ตำราเรียนวิชา

50-401-041-201 เครื่องมือและการวัดอิเล็กทรอนิกส์

โดย

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. นิธิโรจน์ พรสุวรรณเจริญ

คณะอุตสาหกรรมและเทคโนโลยี

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตสกลนคร

คำนำ

ยินดีต้อนรับเข้าสู่รายวิชา 50-401-041-201 " เครื่องมือและการวัดอิเล็กทรอนิกส์ " ในหน้าที่ของนักศึกษาผู้ศึกษาวิชาวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์และโทรคมนาคม (ค.อ.บ.) และสาขาที่เกี่ยวข้อง วิชานี้เป็นส่วนหนึ่งของความรู้และทักษะที่สำคัญในการพัฒนาและนำเสนอเทคโนโลยีอิเล็กทรอนิกส์ในยุคที่เทคโนโลยีเติบโตอย่างรวดเร็ว บทเรียนนี้ได้จัดทำขึ้นตั้งแต่ปี 2550 จนถึงปัจจุบัน พ.ศ. 2568 และได้ถูกพัฒนาขึ้นเพื่อให้ทันสมัยอยู่เสมอผ่านการปรับปรุงอย่างต่อเนื่องสม่ำเสมอมา เพื่อให้ครอบคลุมเนื้อหาในรายวิชา เครื่องมือและการวัดอิเล็กทรอนิกส์ และใช้เพื่อประกอบการสอนในรายวิชาดังกล่าวเท่านั้น มีส่วนช่วยให้นักศึกษาได้รับความเข้าใจในหลักการทำงานและการใช้งานของเครื่องมือวัดอิเล็กทรอนิกส์ต่างๆ ซึ่งเป็นเครื่องมือที่สำคัญและจำเป็นในการวัดและวิเคราะห์สัญญาณอิเล็กทรอนิกส์ในหลากหลายอุตสาหกรรม ไม่ว่าจะเป็นในด้านอิเล็กทรอนิกส์ทางการแพทย์ การสื่อสาร อุตสาหกรรมไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ และอื่นๆ ที่เกี่ยวข้อง ในรายวิชานี้นักศึกษาจะได้เรียนรู้เกี่ยวกับหลักการทำงานและการใช้งานของเครื่องมือวัดอิเล็กทรอนิกส์ที่พัฒนามาอย่างทันสมัย รวมลดความซับซ้อนและเทคโนโลยีที่นำเข้ามาใช้ในการสร้างเครื่องมือที่มีประสิทธิภาพ นอกจากนี้ยังมีการเน้นให้นักศึกษามีทักษะในการวิเคราะห์ข้อมูลและแก้ปัญหาที่เกิดขึ้นกับเครื่องมือและการวัดอิเล็กทรอนิกส์ เพื่อให้สามารถปรับปรุงและปรับใช้เทคโนโลยีให้เหมาะสมกับสภาพแวดล้อมและความต้องการในปัจจุบัน การเรียนรู้ในรายวิชานี้นอกจากจะเสริมสร้างความรู้ในเรื่องของอุปกรณ์และเทคโนโลยีในด้านเครื่องมือวัดอิเล็กทรอนิกส์แล้ว ยังส่งเสริมทักษะในการทำงานเป็นทีม การแก้ปัญหา และการนำเสนอผลงานให้เป็นที่เข้าใจได้อย่างชัดเจน หวังว่ารายวิชานี้จะเป็นส่วนหนึ่งที่สำคัญในการเตรียมความพร้อมและพัฒนาทักษะที่จำเป็นในการทำงานในวงการอุตสาหกรรมและส่งเสริมให้นักศึกษามีความเสียสละในการพัฒนาเทคโนโลยีใหม่ๆ เพื่อเสริมสร้างสังคมและเศรษฐกิจให้ก้าวไปสู่อนาคตที่ยั่งยืน

ขอให้นักศึกษามีความสุขในการเรียนรู้ในรายวิชานี้และเกิดประสบการณ์ใหม่ๆ ที่น่าประทับใจที่นี่ ความมุ่งหวังให้ทุกคนสำเร็จในการเรียนการสอน และนำความรู้และทักษะที่ได้รับไปใช้ในชีวิตจริง

นิธิโรจน์ พรสุวรรณเจริญ

ศูนย์บรรณสารและการเรียนรู้ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

คำนิยม

ยินดีต้อนรับเข้าสู่รายวิชา 50-401-041-201 "เครื่องมือและการวัดอิเล็กทรอนิกส์" ในหน้าที่ของตำรา ในรายวิชาวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์และโทรคมนาคม (ค.อ.บ.) และสาขาที่เกี่ยวข้อง วิชานี้เป็นส่วนหนึ่งของความรู้และทักษะที่สำคัญในการพัฒนาและนำเสนอเทคโนโลยีอิเล็กทรอนิกส์ในยุคที่เทคโนโลยีเติบโตอย่างรวดเร็ว และทั้งนี้ขอขอบคุณ รองศาสตราจารย์ ดร. วิสุทธิ์ สุนทรกนกพงศ์ ศาสตราจารย์ ดร. บุญยัง ปลั่งกลาง รองศาสตราจารย์ ดร. สืบตระกลู สุชาติ และ รองศาสตราจารย์ ดร. ระวี พรหมหลวงศรี ในการอ่านและแก้ไข พร้อมทั้งให้ข้อคิดเพื่อการปรับปรุงเนื้อหาให้มีความถูกต้อง และเป็นที่น่าสนใจ ทั้งนี้ขอให้ท่านทั้ง 4 ท่านพบเจอแต่สิ่งที่ดีมีความสุขทั้งในกาลปัจจุบันและอนาคตด้วยเทอญ

ผู้เรียบเรียง

นิธิโรจน์ พรสุวรรณเจริญ

ศูนย์บรรณสารและการเรียนรู้ สถาบันนวัตกรรมการเรียนรู้ มหาวิทยาลัยพะเยา

ลักษณะรายวิชา

1. **รหัสรายวิชา** 50-401-041-201เครื่องมือและการวัดอิเล็กทรอนิกส์ 3(2-3-5)
Electronics Instrument and Measurement

2. สภาพรายวิชา วิชาชีพพื้นฐานหลักสูตรปริญญาตรี สาขาวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์และโทรคมนาคม

3. ระดับรายวิชา ภาคการศึกษาที่ 1 ชั้นปีที่ 2

4. พื้นฐาน -

5. เวลาศึกษา 45 คาบเรียน ตลอด 17 สัปดาห์ ทฤษฎี 3 คาบ ต่อสัปดาห์ รวมสอบกลาง ภาคและปลายภาค 6 ชั่วโมง นอกจากนี้นักศึกษายังต้องใช้เวลาในการศึกษา ค้นคว้านอกเวลาสัปดาห์ละ 6 ชั่วโมงต่อสัปดาห์

6. จำนวนหน่วยกิต 3 หน่วยกิต

7. จุดมุ่งหมายรายวิชา

7.1 รู้และเข้าใจลักษณะของเครื่องมือวัดพื้นฐานไฟฟ้า และ อิเล็กทรอนิกส์ได้

7.2 รู้และเข้าใจและอธิบายหลักการของเครื่องมือวัดพื้นฐานได้

7.3 เข้าใจและอธิบายหลักการของเครื่องมือวัดขดลวดเคลื่อนที่ได้

7.4 เข้าใจ และอธิบายหลักการ และคำนวณค่าการขยายย่านวัดของเครื่องมือวัดแอมมิเตอร์ โวลต์มิเตอร์ และโอมห์มิเตอร์ได้

7.5 อธิบายหลักการ และคำนวณค่าการขยายย่านวัดของเครื่องมือวัดอิเล็กทรอนิกส์แอมมิเตอร์ โวลต์มิเตอร์ และโอมห์มิเตอร์ได้

7.6 อธิบายหลักการ และคำนวณค่าการขยายย่านวัดของเครื่องมือวัดดิจิตอลแอมมิเตอร์ โวลต์มิเตอร์ และโอมห์มิเตอร์ได้

7.7 อธิบายหลักการ และคำนวณของเครื่องมือวัดแบบบริดจ์มิเตอร์ได้

7.8 อธิบายหลักการ และคำนวณของเครื่องมือวัดออสซิลโลสโคปได้

7.9 อธิบายหลักการ และการสอบเทียบมาตรฐานเครื่องมือวัดและระบบมาตรฐานได้

7.10 อธิบายหลักการ เครื่องกำเนิดสัญญาณไฟฟ้าได้

7.11 อธิบายหลักการ เครื่องวัดกำลังไฟฟ้าได้

8. คำอธิบายรายวิชา เครื่องมือและการวัดอิเล็กทรอนิกส์แบบอนาลอกและดิจิตอล คำนวณหาค่า ส่วนประกอบและค่าความผิดพลาดของเครื่องมือวัดอิเล็กทรอนิกส์ การ

ศูนย์บรรณสารและการเรียนรู้ สถาบันวิจัยการอาชีวศึกษา มหาวิทยาลัยพายัพ

วิเคราะห์วงจร เครื่องมือวัด การใช้งานเครื่องมือวัดอิเล็กทรอนิกส์ เครื่องวัดหลายฟังก์ชัน เครื่องวัด รูปคลื่นทางไฟฟ้า เครื่องกำเนิดสัญญาณไฟฟ้า และเครื่องวัดกำลังไฟฟ้า

Electronic instruments and measurement of analog and digital, calculation of measuring range, measurement error, Analysis of measuring circuits, usage of electronic instruments multi-meter, oscilloscope, signal generator and wattmeter

ศูนย์บรรณสารและการเรียนรู้ สถาบันนวัตกรรมการเรียนรู้ มหาวิทยาลัยพะเยา

สารบัญ

	หน้า
บทที่ 1 บทนำเกี่ยวกับเครื่องมือวัดอิเล็กทรอนิกส์	**1**
1.1 ลักษณะของเครื่องมือวัด	1
1.1.1 ชนิดของเครื่องมือวัดไฟฟ้าอิเล็กทรอนิกส์	1
1.1.2 หน้าที่ของเครื่องมือวัด	2
1.1.3 หน่วยวัดและมาตรฐานการวัด	4
1.2 ความคาดเคลื่อนในการวัด	9
1.2.1 ความแม่นยำและความเที่ยงตรง	9
1.2.2 ความผิดพลาดของเครื่องมือวัด	11
สรุปท้ายบทเรียน 1	16
แบบฝึกหัดบทที่ 1	17
บทที่ 2 เครื่องมือวัดพื้นฐาน	**19**
2.1 หลักการของเครื่องมือวัดพื้นฐาน	19
2.1.1 กัลวานอมิเตอร์	22
2.1.2 หลักการของขดลวดเคลื่อนที่	22
2.2 แอมมิเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง	29
2.2.1 ลักษณะของแอมมิเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง	29
2.2.2 การออกแบบแอมมิเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง	30
2.2.3 ผลของการโหลดของแอมมิเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง	38
2.3 โวลต์มิเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง	40
2.3.1 รูปแบบของโวลต์มิเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง	40
2.3.2 การออกแบบโวลต์มิเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง	41
2.3.3 ผลของการโหลดของโวลต์มิเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง	47
2.4 โอห์มมิเตอร์	50
2.4.1 ลักษณะของโอห์มมิเตอร์	50
2.4.2 การออกแบบโอห์มมิเตอร์	51
2.5 โวลต์มิเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับ	63

หนังสือสงวนลิขสิทธิ์ สถาบันนวัตกรรมการเรียนรู้ มหาวิทยาลัยพะเยา

สารบัญ

2.5.1 รูปแบบของโวลต์มิเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับ 63

2.5.2 การออกแบบโวลต์มิเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับ 65

2.6 วัตต์มิเตอร์ 72

2.6.2 โครงสร้างของวัตต์มิเตอร์ 74

2.6.3 วัตต์มิเตอร์แบบอิเล็กโตรไดนาโมมิเตอร์ 75

2.6.4 วัตต์มิเตอร์แบบเหนี่ยวนำ 76

2.6.5 การต่อใช้งานวัตต์มิเตอร์ 77

2.6.6 การวัดและอ่านค่ากำลังไฟฟ้า 78

2.6.7 วัตต์อาวร์มิเตอร์ 82

2.6.8 ข้อระมัดระวังและการบำรุงรักษาวัตต์มิเตอร์ 84

สรุปท้ายบทเรียนที่ 2 85

แบบฝึกหัดบทที่ 2 86

บทที่ 3 เครื่องมือวัดอิเล็กทรอนิกส์ **89**

3.1 โวลต์มิเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงโดยวงจรอิเล็กทรอนิกส์ 89

3.1.1 โวลต์มิเตอร์แบบอิเล็กทรอนิกส์วงจรอิมิตเตอร์ฟอลโลเวอร์ 89

3.1.2 โวลต์มิเตอร์อิเล็กทรอนิกส์แบบเฟทเป็นอินพุต 93

3.1.3 โวลต์มิเตอร์อิเล็กทรอนิกส์แบบออปแอมป์ 95

3.2 โวลต์มิเตอร์อิเล็กทรอนิกส์ไฟฟ้ากระแสสลับ 97

3.2.1 โวลต์มิเตอร์อิเล็กทรอนิกส์ไฟฟ้ากระแสสลับ 97

3.2.2 โวลต์มิเตอร์อิเล็กทรอนิกส์ไฟฟ้ากระแสสลับแบบเทอร์โมคับเปิล 99

3.3 อิเล็กทรอนิกส์มัลติมิเตอร์ 102

3.3.1 ลักษณะของอิเล็กทรอนิกส์มัลติมิเตอร์ 102

3.3.2 การวัดโอห์มมิเตอร์ 104

3.3.3 การวัดกระแสในอิเล็กทรอนิกส์มัลติมิเตอร์ 108

สรุปท้ายบทเรียนที่ 3 112

แบบฝึกหัดบทที่ 3 113

บทที่ 4 เครื่องมือวัดดิจิตอล **115**

ศูนย์วิทยทรัพยากร จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย สถาบันวิทยบริการ มหาวิทยาลัยพะเยา

สารบัญ

4.1 การแสดงผลแบบดิจิทัล 115

4.1.1 หลักการแสดงผลแบบดิจิทัล 115

4.1.2 การแสดงผลแบบดิจิทัล 119

4.2 หลักการของดิจิทัลมิเตอร์ 126

4.2.1 ดิจิทัลโวลต์มิเตอร์ 126

4.2.2 ดิจิทัลมัลติมิเตอร์ 138

4.2.3 เครื่องวัดความถี่แบบดิจิทัล 142

สรุปท้ายบทเรียนที่ 4 145

แบบฝึกหัดบทที่ 4 146

บทที่ 5 บริดจ์มิเตอร์ **147**

5.1 บริดจ์ไฟฟ้ากระแสตรง 148

5.1.1 วิสโตนบริดจ์ 148

5.1.2 เคลวินบริดจ์ 156

5.2 บริดจ์ไฟฟ้ากระแสสลับ 169

5.2.1 ลักษณะของวงจรบริดจ์ไฟฟ้ากระแสสลับ 169

5.2.2 วงจรบริดจ์ที่ใช้วัดค่าความจุ 171

5.2.3 วงจรบริดจ์ที่ใช้วัดค่าความเหนี่ยวนำ 176

สรุปท้ายบทเรียนที่ 5 181

แบบฝึกหัดบทที่ 5 182

บทที่ 6 ออสซิลโลสโคป **185**

6.1 หลักการทั่วไปของออสซิลโลสโคปเบื้องต้น 186

6.1.1 ไดอะแกรมของออสซิลโลสโคปเบื้องต้น 186

6.1.2 หลอดรังสีแคโทด 187

6.1.3 การเดินภาพบนจอออสซิลโลสโคป 198

6.2 หลักการการทำงานของออสซิลโลสโคป 205

6.2.1 แผนภาพบล็อกของออสซิลโลสโคป 205

6.2.2 ระบบการบ่ายเบนทางด้านแนวตั้ง 205

ศูนย์วิทยทรัพยากรและการเรียนรู้ สถาบันนวัตกรรมการเรียนรู้ มหาวิทยาลัยพะเยา

สารบัญ

6.2.3 สายวัดสัญญาณหรือโพรบของออสซิสโลสโคป 209

6.2.4 ระบบบ่ายเบนทางแนวนอน 214

6.2.5 ออสซิลโลสโคปแบบ 2 เส้นภาพ 224

6.3 ออสซิลโลสโคปชนิดพิเศษ 231

6.3.1 สตอเรจออสซิลโลสโคป 231

6.3.2 แอนะลอกสตอเรจออสซิลโลสโคป 233

6.3.3 ดิจิทัลสตอเรจ-ออสซิลโลสโคป 240

6.3.4 ดีเลย์สวีปสตอเรจ-ออสซิลโลสโคป 242

6.3.5 ดิจิทัลรีดเอาต์-ออสซิลโลสโคป 244

6.4 การใช้งานออสซิลโลสโคป 247

6.4.1 การเตรียมใช้งานออสซิลโลสโคป 247

6.4.2 การนำออสซิโลสโคปไปใช้งาน 249

สรุปท้ายบทเรียนที่ 6 264

แบบฝึกหัดบทที่ 6 265

บทที่ 7 การสอบเทียบมาตรฐานเครื่องมือวัดและระบบมาตรฐาน 267

7.1 ระบบมาตรฐานการวัด 267

7.1.1 ประวัติความเป็นมา 267

7.1.2 การดำเนินการเกี่ยวกับมาตรฐานการวัด 267

7.1.3 การวัดและมาตรวิทยา 268

7.1.4 การกระจายความเป็นมาตรฐานไปสู่ผู้ใช้งาน 269

7.2 การสอบเทียบมาตรฐานเครื่องมือวัด 271

7.2.1 ลักษณะทั่วไปของการสอบเทียบมาตรฐานเครื่องมือวัด 271

7.2.2 วิธีการสอบเทียบมาตรฐานเครื่องมือวัดแบบการเปรียบเทียบ 271

7.2.3 วิธีการสอบเทียบมาตรฐานเครื่องมือวัดแบบโพเทนซิโอมิเตอร์ 279

7.2.4 การประยุกต์ใช้การวัดอิเล็กทรอนิกส์และการสอบเทียบการสั่นสะเทือน 295

สรุปท้ายบทเรียนที่ 7 300

แบบฝึกหัดบทที่ 7 301

ศูนย์วิทยทรัพยากรและการเรียนรู้ สถาบันนวัตกรรมการเรียนรู้ มหาวิทยาลัยพะเยา

สารบัญ

บทที่ 8 เครื่องกำเนิดสัญญาณไฟฟ้า 303

8.1 บทนำ 303

8.1.1 ความหมายและความสำคัญของเครื่องกำเนิดสัญญาณไฟฟ้าในงานอิเล็กทรอนิกส์ 303

8.1.2 ประเภทของเครื่องกำเนิดสัญญาณไฟฟ้า 304

8.2 หลักการทำงานของเครื่องกำเนิดสัญญาณ 306

8.2.1 การสร้างสัญญาณไฟฟ้าแบบต่าง ๆ 306

8.2.2 การแปลงพลังงานไฟฟ้าให้เป็นสัญญาณ 311

8.2.3 องค์ประกอบพื้นฐานของเครื่องกำเนิดสัญญาณ 318

8.3 ประเภทของเครื่องกำเนิดสัญญาณ 320

8.3.1 เครื่องกำเนิดสัญญาณความถี่ต่ำ (AF Signal Generator) 321

8.3.2 เครื่องกำเนิดสัญญาณความถี่สูง (RF Signal Generator) 323

8.3.3 เครื่องกำเนิดสัญญาณรูปคลื่น (Function Generator) 325

8.3.4 เครื่องกำเนิดสัญญาณดิจิทัล (Digital Signal Generator) 327

8.3.5 เครื่องกำเนิดสัญญาณพลัส (Pulse Generator) 329

8.3.6 เครื่องกำเนิดสัญญาณออสซิลเลเตอร์ (Oscillator) 331

8.4 คุณลักษณะและพารามิเตอร์สำคัญ 341

8.4.1 ความถี่ (Frequency) 341

8.4.2 แอมพลิจูด (Amplitude) 342

8.4.3 รูปร่างคลื่น (Waveform) 344

8.4.4 ความแม่นยำ (Accuracy) 345

8.4.5 ความเสถียรของสัญญาณ (Signal Stability) 350

8.5 การใช้งานเครื่องกำเนิดสัญญาณในงานอิเล็กทรอนิกส์ 352

8.5.1 การทดสอบวงจรขยาย (Amplifier Testing) 352

8.5.2 การวิเคราะห์สัญญาณในระบบสื่อสาร 354

8.5.3 การใช้งานในห้องปฏิบัติการและการทดลอง 356

8.6 การสอบเทียบและบำรุงรักษาเครื่องกำเนิดสัญญาณ 359

8.6.1 ขั้นตอนการสอบเทียบเพื่อความแม่นยำ 359

ศูนย์วิทยทรัพยากรและการเรียนรู้ สถาบันพัฒนาการเรียนรู้ มหาวิทยาลัยพะเยา

สารบัญ

8.6.2 การตรวจสอบค่าความถี่และแอมพลิจูด 361

8.6.3 การดูแลรักษาและการใช้งานอย่างถูกต้อง 364

8.7 กรณีศึกษาและตัวอย่างการใช้งานจริง 366

8.7.1 การใช้งานในระบบโทรคมนาคม 366

8.7.2 การทดสอบวงจรสัญญาณความถี่สูง 369

8.7.3 การวิเคราะห์สัญญาณในระบบควบคุมอัตโนมัติ 371

สรุปท้ายบทเรียน 8 376

แบบฝึกหัดบทที่ 8 377

บทที่ 9 เครื่องวัดกำลังไฟฟ้าได้ 379

9.1 บทนำ 379

9.1.1 ความหมายของกำลังไฟฟ้าและการวัดกำลังไฟฟ้า 379

9.1.2 ความสำคัญของการวัดกำลังไฟฟ้าในงานอิเล็กทรอนิกส์และอุตสาหกรรม 381

9.1.3 การใช้งานเครื่องวัดกำลังไฟฟ้าในงานวิเคราะห์และทดสอบ 382

9.2 หลักการพื้นฐานของการวัดกำลังไฟฟ้า 383

9.2.1 กำลังไฟฟ้ากระแสตรง (DC Power) 384

9.2.2 กำลังไฟฟ้ากระแสสลับ (AC Power) 385

9.2.3 กำลังไฟฟ้าจริง (Active Power) กำลังไฟฟ้าเสมือน (Apparent Power) และกำลังไฟฟ้ารีแอคทีฟ (Reactive Power) 388

9.2.4 ตัวประกอบกำลังไฟฟ้า (Power Factor) 393

9.3 ประเภทของเครื่องวัดกำลังไฟฟ้า 394

9.3.1 เครื่องวัดกำลังไฟฟ้ากระแสตรง (DC Power Meter) 394

9.3.2 เครื่องวัดกำลังไฟฟ้ากระแสสลับ (AC Power Meter) 395

9.3.3 เครื่องวัดกำลังไฟฟ้าแบบดิจิทัล (Digital Power Meter) 396

9.3.4 เครื่องวัดกำลังไฟฟ้าแบบอะนาล็อก (Analog Power Meter) 398

9.3.5 เครื่องวัดกำลังไฟฟ้าแบบหลายเฟส (Three-Phase Power Meter) 399

9.4 หลักการทำงานของเครื่องวัดกำลังไฟฟ้า 402

9.4.1 หลักการวัดกำลังโดยใช้วงจรไฟฟ้า 402

ศูนย์วิทยทรัพยากรและการเรียนรู้ สถาบันนวัตกรรมการเรียนรู้ มหาวิทยาลัยพะเยา

สารบัญ

9.4.2 การต่อวงจรวัตต์มิเตอร์ในระบบไฟฟ้า 3 เฟส 403

9.4.3 หลักการทำงานของวัตต์มิเตอร์ 408

9.4.4 หม้อแปลงแรงดันไฟฟ้า หรือ หม้อแปลงไฟฟ้า 410

9.4.5 หม้อแปลงกระแสไฟฟ้า 412

9.4.6 การต่อหม้อแปลงแรงดันไฟฟ้าและหม้อแปลงกระแสไฟฟ้าเพื่อวัดกำลังไฟฟ้า 415

9.4.7 เพาเวอร์แฟกเตอร์มิเตอร์ 415

9.4.8 วัตต์อาวร์มิเตอร์ 418

9.5 คุณลักษณะและพารามิเตอร์สำคัญของเครื่องวัดกำลังไฟฟ้า 423

9.5.1 ช่วงการวัด (Measurement Range) 423

9.5.2 ความแม่นยำ (Accuracy) 423

9.5.3 การตอบสนองความถี่ (Frequency Response) 423

9.5.4 ความเสถียรของการวัด (Measurement Stability) 423

9.5.5 อัตราการแสดงผล (Display Rate) 423

9.6 การใช้งานเครื่องวัดกำลังไฟฟ้าในงานอิเล็กทรอนิกส์ 424

9.6.1 การวัดกำลังไฟฟ้าในอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์และเครื่องใช้ไฟฟ้า 424

9.6.2 การวิเคราะห์ประสิทธิภาพของวงจรขยาย (Amplifier Efficiency) 424

9.6.3 การวัดกำลังไฟฟ้าในระบบไฟฟ้ากำลังและเครื่องกำเนิดไฟฟ้า 424

9.6.4 การประเมินค่าตัวประกอบกำลังในระบบไฟฟ้าอุตสาหกรรม 425

9.7 การสอบเทียบและการบำรุงรักษาเครื่องวัดกำลังไฟฟ้า 425

9.7.1 ความสำคัญของการสอบเทียบเพื่อความแม่นยำ 425

9.7.2 ขั้นตอนการสอบเทียบเครื่องวัดกำลังไฟฟ้า 426

9.7.3 การตรวจสอบค่าความถูกต้องของการวัด 426

9.7.4 การบำรุงรักษาและการใช้งานอย่างปลอดภัย 426

9.8 กรณีศึกษาและตัวอย่างการใช้งานจริง 427

9.8.1 การวัดกำลังไฟฟ้าในระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ 427

9.8.2 การวิเคราะห์กำลังไฟฟ้าในอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์สำหรับผู้บริโภค 430

9.8.3 การวัดกำลังไฟฟ้าในเครื่องจักรอุตสาหกรรม 436

ศูนย์วิทยทรัพยากร และการเรียนรู้ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ มหาวิทยาลัยพะเยา

สารบัญ

9.8.4 การประเมินประสิทธิภาพพลังงานในระบบไฟฟ้าโรงงาน 443
สรุปท้ายบทเรียน 9 450
แบบฝึกหัดบทที่ 9 451

ใบงาน 453
ใบงานที่ 1 เรื่อง ความผิดพลาดของการวัด 453
ใบงานที่ 2 เรื่อง การออกแบบแอมมิเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง 457
ใบงานที่ 3 เรื่อง การออกแบบโวลต์มิเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง 461
ใบงานที่ 4 เรื่อง การออกแบบโวลต์มิเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับ 464
ใบงานที่ 5 เรื่อง การใช้งานมัลติมิเตอร์ 468
ใบงานที่ 6 เรื่อง การออแบบและสร้างดิจิทัลมิเตอร์ 472
ใบงานที่ 7 เรื่อง การวัดกำลังไฟฟ้า 477
ใบงานที่ 8 เรื่อง การใช้ฟังก์ชั่นเจนต์และการเกิดภาพบนจอออสซิลโลสโคป 483
ใบงานที่ 9 เรื่อง การประยุกต์ใช้งานออสซิลโลสโคปกับวงจรอิเล็กทรอนิกส์ 489
คำศัพท์ **494**
ดัชนี **510**
บรรณานุกรม **513**

ศูนย์บรรณสารและการเรียนรู้ สถาบันนวัตกรรมการเรียนรู้ มหาวิทยาลัยพะเยา

บทที่ 1

บทนำ

เครื่องมือวัดถือเป็นอุปกรณ์สำคัญที่ช่วยในการตรวจวัดค่าทางกายภาพและไฟฟ้า ซึ่งมีบทบาทอย่างยิ่งในด้านวิทยาศาสตร์ วิศวกรรม และอุตสาหกรรม โดยทั่วไปเครื่องมือวัดจะทำหน้าที่แสดงค่าของปริมาณที่ไม่สามารถประเมินได้ด้วยตาเปล่า เช่น แรงดันไฟฟ้า กระแสไฟฟ้า ความต้านทาน ฯลฯ ซึ่งการนำเครื่องมือวัดมาใช้งาน ช่วยให้สามารถวิเคราะห์และควบคุมกระบวนการต่าง ๆ ได้อย่างแม่นยำยิ่งขึ้น กล่าวโดยสรุปได้ว่า “เป็นอุปกรณ์ที่ใช้ในการตรวจจับและแสดงค่าของปริมาณทางไฟฟ้าหรือสัญญาณไฟฟ้าที่เปลี่ยนแปลงไป เพื่อให้สามารถนำข้อมูลเหล่านั้นไปใช้ประโยชน์ในทางวิเคราะห์ วิจัย หรือควบคุมระบบต่าง ๆ ได้อย่างมีประสิทธิภาพ”

1.1 ลักษณะของเครื่องมือวัด

1.1.1 ชนิดของเครื่องมือวัดไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์

1. เครื่องมือวัดแบบแอนะล็อก (Analog Instruments)

เครื่องมือวัดประเภทแอนะล็อก คือ เครื่องมือที่แสดงผลการวัดในลักษณะค่าต่อเนื่อง เช่น การเคลื่อนที่ของเข็มไปบนสเกล หรือการเปลี่ยนระดับของของเหลวภายในหลอดวัด ตัวอย่างเช่น นาฬิกาแบบเข็ม หรือเทอร์โมมิเตอร์แอลกอฮอล์ เครื่องมือเหล่านี้ทำงานโดยอาศัยกลไกทางฟิสิกส์ เช่น แรงแม่เหล็กหรือแรงสปริง เพื่อให้เข็มชี้เคลื่อนที่สอดคล้องกับค่าที่ตรวจวัดได้ ข้อดีของเครื่องมือแอนะล็อกคือใช้งานง่าย ไม่ซับซ้อน และไม่จำเป็นต้องใช้ความรู้ทางเทคนิคขั้นสูง อย่างไรก็ตาม ข้อจำกัดที่สำคัญคือความแม่นยำของการอ่านค่าซึ่งขึ้นอยู่กับการกะระยะด้วยสายตา และอาจเกิดความคลาดเคลื่อนได้โดยเฉพาะเมื่อค่าที่วัดอยู่ในช่วงต่ำมีลักษณะดังรูปที่ 1.1

2. เครื่องมือวัดแบบดิจิทัล (Digital Instruments)

เครื่องมือวัดแบบดิจิทัล เป็นอุปกรณ์ที่แสดงผลการวัดเป็นตัวเลขดิจิทัลที่อ่านค่าได้โดยตรง จึงช่วยลดความผิดพลาดจากการตีความค่าด้วยสายตา และสามารถแสดงผลได้อย่างแม่นยำและรวดเร็ว มีการเชื่อมต่อกับระบบประมวลผลเพื่อจัดเก็บ วิเคราะห์ หรือส่งข้อมูลไปยังระบบอื่น เช่น คอมพิวเตอร์หรือระบบควบคุมอัตโนมัติ ตัวอย่างของการใช้งาน ได้แก่ การวัดค่าคงที่ทางไฟฟ้าในระบบควบคุมอัจฉริยะ การเก็บข้อมูลเพื่อตรวจสอบย้อนหลัง หรือการคำนวณค่าเฉลี่ยจากหลายการวัดเพื่อความแม่นยำสูงขึ้น คุณสมบัติเหล่านี้ทำให้เครื่องมือวัดแบบดิจิทัลได้รับความนิยมในงานที่ต้องการความละเอียดสูง หรือระบบที่ต้องการการประมวลผลข้อมูลอย่างต่อเนื่องและแม่นยำ มีลักษณะดังรูปที่ 1.2

ศูนย์วิทยทรัพยากรและการเรียนรู้ สถาบันเทคโนโลยีการเรียนรู้ มหาวิทยาลัยพายัพ



รูปที่ 1.1 เครื่องมือวัดแบบแอนาลอก



รูปที่ 1.2 เครื่องมือวัดแบบดิจิทัล

ที่มา: http://www.kyoritsu-meter.com/kyoritsu-meter-product / สืบค้นเมื่อวันที่ 13/8/2567

1.1.2 หน้าที่ของเครื่องมือวัด

เครื่องมือวัดทำหน้าที่หลักในการให้ข้อมูลเกี่ยวกับปริมาณต่าง ๆ ที่ได้จากการตรวจวัด ไม่ว่าจะเป็นการแสดงค่า การบันทึก หรือการควบคุมค่าตามต้องการ เครื่องมือวัดหลายประเภทถูกออกแบบให้สามารถบันทึกข้อมูลถาวร และทำหน้าที่ควบคุมกระบวนการในระบบอัตโนมัติได้อย่างแม่นยำ

โดยสรุป หน้าที่หลักของเครื่องมือวัดทางอิเล็กทรอนิกส์มีอยู่ 3 ประการ คือ

- **การแสดงผล (Indicating)** คือ แสดงค่าที่วัดได้ทันที
- **การบันทึก (Recording)** คือ เก็บข้อมูลเพื่อใช้งานในภายหลัง
- **การควบคุม (Controlling)** คือ ใช้ในการปรับหรือควบคุมระบบตามค่าที่ตรวจวัด

ศูนย์วิทยทรัพยากรและการเรียนรู้ คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยพะเยา

คุณสมบัติพื้นฐานของเครื่องมือวัด

เครื่องมือวัดที่ดีควรมีความไวในการตอบสนองสูง (High Sensitivity) ซึ่งหมายถึงความสามารถของเครื่องมือในการตรวจจับการเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อยของสัญญาณที่ต้องการวัดได้อย่างรวดเร็วและแม่นยำ โดยเฉพาะอย่างยิ่งในกรณีที่ต้องใช้วัดสัญญาณที่มีขนาดเล็กหรือมีค่าต่ำมาก เช่น แรงดันไฟฟ้าระดับไมโครโวลต์ ความเข้มของแสงในระดับต่ำ หรือปริมาณสารเคมีจำนวนน้อย ความไวในการตอบสนองที่สูงจะช่วยให้สามารถรับรู้และแสดงค่าที่แท้จริงของสัญญาณนั้นได้โดยไม่ถูกกลบด้วยสัญญาณรบกวนหรือค่าความคลาดเคลื่อนจากเครื่องมือ ส่งผลให้การวัดมีความแม่นยำ น่าเชื่อถือ และสามารถนำไปใช้ในการวิเคราะห์หรือวิจัยได้อย่างมีประสิทธิภาพ

แนวโน้มและพัฒนาการของการวัด

ระบบการวัดมีความสำคัญใน 2 ด้านหลัก ได้แก่

1. การวัดค่าทางไฟฟ้าโดยตรง เช่น แรงดัน กระแส ความต้านทาน และความจุ
2. การวัดปริมาณทางฟิสิกส์หรือเคมีผ่านการแปลงเป็นสัญญาณไฟฟ้า เช่น ความดัน อุณหภูมิ หรืออัตราการไหล โดยใช้เซนเซอร์เป็นตัวแปลง

เมื่อสัญญาณไฟฟ้าถูกดัดแปลงมาจากค่าทางฟิสิกส์ และเคมี ระบบสามารถดำเนินการต่าง ๆ ได้ เช่น การกรองสัญญาณ (Filtering), การสลับช่องวัด (Multiplexing), การสุ่มสัญญาณ (Sampling), และการแสดงผล (Display) ซึ่งช่วยให้การประมวลผลและแสดงข้อมูลเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพและสะดวกยิ่งขึ้น ข้อมูลสามารถแปลงเป็นสัญญาณดิจิทัลเพื่อใช้ในการวิเคราะห์ บันทึก และควบคุมได้อย่างอัตโนมัติ โดยสามารถแสดงผลเป็นกราฟ ตาราง หรือแผนภูมิที่เข้าใจง่าย

จุดเด่นของระบบการวัดแบบอิเล็กทรอนิกส์

เครื่องมือวัดแบบอิเล็กทรอนิกส์มีจุดเด่นหลายประการที่ทำให้เริ่มเข้ามาแทนที่ระบบการวัดแบบดั้งเดิม ได้แก่

1. **ความไวสูง (Sensitivity)**
   สามารถวัดสัญญาณที่มีขนาดเล็กมาก เช่น ระดับพิโควินาที (picoseconds) หรือกระแสไฟฟ้าระดับ 10^{-14} แอมแปร์ได้อย่างแม่นยำ โดยเฉพาะเมื่อใช้ร่วมกับวงจรขยายหรือกัลวานอมิเตอร์
2. **การสูญเสียกำลังต่ำ (Low Power Loss)**
   ในกรณีที่ต้องวัดสัญญาณพลังงานต่ำ หากใช้อุปกรณ์ที่มีอินพุตอิมพีแดนซ์ต่ำจะเกิดปัญหาการโหลด (Loading Effect) ดังนั้นจึงใช้วงจรขยายที่มีอิมพีแดนซ์สูง เช่น FET Instrumentation Amplifier ซึ่งอาจมีอินพุตอิมพีแดนซ์สูงถึง 10^{12} Ω
3. **ความเร็วในการตอบสนอง (Speed)**
   เครื่องมือวัดแบบดิจิทัลสามารถเก็บข้อมูลได้หลายพันครั้งต่อวินาที ซึ่งเหมาะอย่างยิ่งสำหรับระบบควบคุมในอุตสาหกรรมที่ต้องการการตอบสนองแบบเรียลไทม์

ศูนย์บรรณสารและการเรียนรู้ สถาบันเทคโนโลยีการอาชีพและการเรียนรู้ มหาวิทยาลัยพะเยา

4. **ความน่าเชื่อถือสูง (Reliability)**
   ระบบสามารถผสานการทำงานทั้งหมดไว้ในแผงวงจรเดียว เช่น รวมการรับสัญญาณ การประมวลผล และการแสดงผลเข้าด้วยกันในรูปแบบโมดูลหรืออุปกรณ์แบบบูรณาการ
5. **ความยืดหยุ่นและหลากหลาย (Flexibility)**
   ระบบสามารถปรับเปลี่ยนหรือเลือกใช้วงจรสำหรับการวัดปริมาณเดียวกันได้หลายรูปแบบตามความเหมาะสม เช่น เลือกวิธีการวัดอุณหภูมิจากเซนเซอร์หลายชนิด

1.1.3 หน่วยวัดและมาตรฐานการวัด

การวัดค่าเพื่อบอกจำนวน ปริมาณ หรือข้อมูลต่าง ๆ จำเป็นต้องใช้หน่วยวัดที่ชัดเจนและเป็นที่ยอมรับร่วมกัน เพื่อให้สามารถสื่อสารและเข้าใจผลการวัดได้ตรงกันในทุกสถานการณ์ โดยเฉพาะเมื่อเกี่ยวข้องกับวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี การใช้หน่วยวัดที่มีมาตรฐานเดียวกันจึงเป็นสิ่งจำเป็นอย่างยิ่ง

การกำหนดหน่วยวัดต่าง ๆ มีพื้นฐานจากหลักฟิสิกส์ ซึ่งระบุขนาดของปริมาณที่ต้องการวัดผ่านตัวเลขร่วมกับหน่วย เช่น การวัดเวลา ความยาว หรือมวล ทั้งหมดนี้ต้องอ้างอิงจากมาตรฐานที่ได้รับการยอมรับในระดับสากล เพื่อให้สามารถใช้ได้ทั่วโลกอย่างถูกต้องและสอดคล้องกัน

ประวัติความเป็นมาของระบบหน่วยวัดสากล

ในปี พ.ศ. 2333 (ค.ศ. 1790s) รัฐบาลฝรั่งเศสได้ริเริ่มการศึกษาและพัฒนาระบบหน่วยวัดที่มีความเป็นสากล เพื่อใช้ทดแทนระบบเดิมซึ่งหลากหลายและไม่เป็นมาตรฐาน การพัฒนานี้มีวัตถุประสงค์หลัก 3 ประการ ได้แก่

1. **สร้างระบบหน่วยที่เป็นสากลและถาวร (Universal and Permanent Standards)**
   หน่วยวัดต้องไม่ขึ้นอยู่กับข้อตกลงเฉพาะบุคคลหรือกลุ่ม แต่ควรกำหนดจากหลักธรรมชาติที่สามารถตรวจสอบและยืนยันได้อย่างถาวร เช่น หน่วยความยาว “เมตร” ถูกนิยามว่าเป็น 1 ใน 10 ล้านส่วนของระยะทางจากขั้วโลกเหนือถึงเส้นศูนย์สูตร โดยวัดตามเส้นเมอริเดียนที่ตัดผ่านกรุงปารีส
2. **มาตรฐานของมวล**
   หน่วย “กรัม” เดิมถูกกำหนดให้เป็นมวลของน้ำกลั่นปริมาตร 1 m^3 ที่อุณหภูมิ 4 °C ภายใต้ความดันของบรรยากาศปกติ 760 mmHg
3. **มาตรฐานของเวลา**
   หน่วย “วินาที” เดิมมีนิยามว่าเป็น 1 ใน 86,400 ส่วนของเวลาทั้งหมดในหนึ่งวันสุริยะ (Solar Day) หรือช่วงเวลาระหว่างเที่ยงวันถึงเที่ยงวันของวันถัดไป

หน่วยพื้นฐานและหน่วยอนุพันธ์

จากหลักการเบื้องต้น ระบบหน่วยวัดจึงได้กำหนดหน่วยพื้นฐานไว้ 3 หน่วยสำคัญ ได้แก่

- ความยาว มีหน่วยเป็น เมตร (Meter)
- เวลา มีหน่วยเป็น วินาที (Second)

ศูนย์วิทยทรัพยากร จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย สถาบันวิทยบริการ

- มวล มีหน่วยเป็น กรัม (Gram)

หน่วยอื่น ๆ ที่ใช้ในทางฟิสิกส์และวิทยาศาสตร์ล้วนถูกอนุพันธ์มาจากหน่วยพื้นฐานเหล่านี้ เช่น ความเร็ว แรง พลังงาน ฯลฯ ซึ่งสามารถคำนวณได้จากการผสมผสานของหน่วยพื้นฐานในรูปแบบต่าง ๆ

ระบบเลขทศนิยม (Decimal System) ระบบเลขทศนิยมคือระบบเลขฐานสิบ ซึ่งนิยมใช้ในการคูณหรือหารตัวเลขที่มีค่ามากหรือน้อยมาก ๆ เพื่อให้ง่ายต่อการเขียนและการคำนวณ จึงมักเขียนให้อยู่ในรูปของเลขยกกำลังของ 10 ตามตัวอย่างที่แสดงในตารางที่ 1.1

ตารางที่ 1.1 ชื่อ ค่าเลขยกกำลัง และสัญลักษณ์

ชื่อ	ค่าเลขยกกำลัง	สัญลักษณ์
เอกซะ (exa)	10^{18}	E
เพตะ (peta)	10^{15}	P
เทรา (tera)	10^{12}	T
จิกกะ (giga)	10^{9}	G
เมกกะ (mega)	10^{6}	M
กิโล (kilo)	10^{3}	K
เฮกโต (hecto)	10^{2}	H
เดคา (deca)	10^{1}	Da
เดซิ (deci)	10^{-1}	D
เซนติ (centi)	10^{-2}	C
มิลลิ (milli)	10^{-3}	m
ไมโคร (micro)	10^{-6}	μ
นาโน (nano)	10^{-9}	n
พิคโค (pico)	10^{-12}	P
เฟมโต (femto)	10^{-15}	f
แอทโต (atto)	10^{-18}	a

ในแวดวงวิทยาศาสตร์และวิศวกรรมศาสตร์ การวัดปริมาณต่าง ๆ ถือเป็นสิ่งสำคัญพื้นฐานที่ใช้ในการอธิบายและวิเคราะห์ปรากฏการณ์ทางธรรมชาติหรือกระบวนการทางวิศวกรรม โดยหน่วยวัด (Units

ศูนย์บรรณสารและการเรียนรู้ สถาบันนวัตกรรมการเรียนรู้ มหาวิทยาลัยพะเยา

of Measurement) ที่ใช้ในการแสดงค่าปริมาณต่าง ๆ สามารถจำแนกออกได้เป็นสองประเภทหลัก ได้แก่ หน่วยพื้นฐาน (Fundamental Units) และหน่วยอนุพันธ์ (Derived Units)

หน่วยพื้นฐาน คือหน่วยวัดที่เป็นพื้นฐานที่สุดซึ่งไม่สามารถนิยามหรือแสดงออกมาในรูปของหน่วยอื่นได้ ใช้เป็นรากฐานในการสร้างหน่วยวัดอื่น ๆ ตัวอย่างเช่น ในระบบเอสไอ (SI Units) จะมีหน่วยพื้นฐานอยู่ 7 หน่วย ได้แก่ เมตร (meter, m) สำหรับความยาว, วินาที (second, s) สำหรับเวลา, กิโลกรัม (kilogram, kg) สำหรับมวล, แอมแปร์ (ampere, A) สำหรับกระแสไฟฟ้า, เคลวิน (kelvin, K) สำหรับอุณหภูมิ, โมล (mole, mol) สำหรับปริมาณสาร และแคนเดลา (candela, cd) สำหรับความเข้มของแสง

หน่วยอนุพันธ์ คือหน่วยที่ได้จากการผสมหรือคำนวณจากหน่วยพื้นฐานตั้งแต่สองหน่วยขึ้นไป เพื่อใช้วัดปริมาณที่ซับซ้อนหรือเกิดจากหลายปริมาณพื้นฐานรวมกัน เช่น ความเร็วมีหน่วยเป็นเมตรต่อวินาที (m/s), ความเร่งมีหน่วยเป็นเมตรต่อวินาทียกกำลังสอง (m/s^2), แรงมีหน่วยเป็นนิวตัน (N) ซึ่งเท่ากับกิโลกรัมคูณด้วยเมตรต่อวินาทียกกำลังสอง ($kg{\cdot}m/s^2$)

การเข้าใจความแตกต่างระหว่างหน่วยพื้นฐานและหน่วยอนุพันธ์จึงเป็นสิ่งสำคัญในการเรียนรู้และประยุกต์ใช้หลักการทางวิทยาศาสตร์และวิศวกรรมอย่างถูกต้องและแม่นยำหน่วยพื้นฐานในระบบกลศาสตร์ครอบคลุมปริมาณหลัก 3 ประเภท ได้แก่

1. ความยาว (Length)
2. มวล (Mass)
3. เวลา (Time)

ซึ่งถือเป็นแกนหลักของการวัดทางฟิสิกส์ โดยมักเรียกกันว่า “หน่วยพื้นฐานปฐมภูมิ” (Primary Fundamental Units)

ค่าของหน่วยพื้นฐานเหล่านี้อาจเลือกใช้แตกต่างกันไปตามบริบทหรือระบบที่ใช้งาน เช่น ความยาวอาจวัดเป็นฟุต (foot) หรือเมตร (meter) มวลอาจใช้ปอนด์ (pound) หรือกิโลกรัม (kilogram) ขณะที่เวลาอาจแสดงเป็นวินาที (second) หรือชั่วโมง (hour)

หน่วยพื้นฐานเหล่านี้เป็นรากฐานในการสร้างหน่วยอนุพันธ์ที่ซับซ้อนขึ้น เช่น ความเร็ว แรง หรือพลังงาน ซึ่งล้วนเป็นผลลัพธ์จากการผสมผสานของหน่วยพื้นฐานตามสูตรทางฟิสิกส์

ศูนย์วิทยทรัพยากร สถาบันนวัตกรรมการเรียนรู้ มหาวิทยาลัยพะเยา

ตารางที่ 1.2 หน่วยพื้นฐาน

ปริมาณ	สัญลักษณ์	**หน่วย**
การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ	°K	เคลวิน
ความเข้มจากการส่องสว่าง	cd	แคเดลา
กระแสไฟฟ้า	A	แอมแปร์
แรงดัน	V	โวลต์
ความต้านทาน	R	โอห์ม
ความยาว	m	เมตร
มวล	kg	กิโลกรัม
เวลา	s	วินาที

การวัดค่าปริมาณทางฟิสิกส์ เช่น ความร้อน ไฟฟ้า และการส่องสว่าง แม้จะเป็นหน่วยพื้นฐานเช่นเดียวกัน แต่หน่วยเหล่านี้ถือว่าเป็น หน่วยพื้นฐานเฉพาะทาง ซึ่งมีความซับซ้อนในการนิยาม จึงเรียกว่า หน่วยพื้นฐานเสริม (Auxiliary Fundamental Units)

สำหรับหน่วยวัดอื่น ๆ ที่สามารถแสดงออกในรูปของหน่วยพื้นฐานจะถูกจัดอยู่ในกลุ่ม หน่วยอนุพันธ์ (Derived Units) ซึ่งนำหน่วยพื้นฐานมาประยุกต์ร่วมกันตามหลักการทางฟิสิกส์

ยกตัวอย่างเช่น การคำนวณพื้นที่ (Area) ของรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า พื้นที่คำนวณได้จากนำเอาความยาว (Length) มาคูณกับความกว้าง (Width) ดังสูตร

$$A = L \times b$$

หากวัดทั้งความยาวและความกว้างด้วยหน่วย "เมตร" (m) เช่น พื้นที่ของรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้าที่มีขนาด 3 เมตร × 4 เมตร จะเท่ากับ 12 ตารางเมตร (m^2)

จะเห็นได้ว่าการคูณค่าตัวเลข (3 × 4 = 12) จะควบคู่กับการคูณหน่วย (m × m = m^2) ดังนั้น หน่วยของ "พื้นที่" ซึ่งเป็นหน่วยอนุพันธ์ จะได้เป็น ตารางเมตร (square meter)

อีกตัวอย่างของหน่วยอนุพันธ์ที่ใช้กันแพร่หลายในระบบ SI คือหน่วยของแรง ซึ่งเรียกว่า นิวตัน (Newton: N) โดยสามารถถอดออกมาเป็นหน่วยพื้นฐานได้ในรูป

$$1\ N = 1\ kg{\cdot}m/s^2$$

แสดงให้เห็นว่า นิวตันเป็นหน่วยที่เกิดจากการผสมผสานของมวล ความยาว และเวลา ซึ่งเป็นหน่วยพื้นฐานทั้งสิ้น

ศูนย์บรรณสารและการเรียนรู้ สถาบันบัณฑิตการจัดการเรียนรู้ มหาวิทยาลัยพะเยา

ตารางที่ 1.3 ตัวอย่างหน่วยอนุพันธ์

ปริมาณ	สัญลักษณ์	หน่วย
กำลัง (power)	W,J/S	วัตต์
ความต้านทานไฟฟ้า (resistance)	Ω,V/A	โอห์ม
ความจุไฟฟ้า (capacitance)	F, A•S/V	ฟารัด
ความเร่ง (acceleration)	m/s2	เมตรต่อวินาทีกำลังสอง
แรง (force)	N, Kg.m/s^2	นิวตัน
งาน (work)	J, N.m	จูล
ความถี่ (frequency)	Hz l/s	เฮิรตซ์
ความหนาแน่น (density)	Kg/m^3	กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร

เครื่องมือวัดทางอิเล็กทรอนิกส์ทำหน้าที่ตรวจวัดค่าทางไฟฟ้าต่าง ๆ ซึ่งเกี่ยวข้องกับ “หน่วยทางไฟฟ้า” (Electrical Units) ที่ใช้เป็นมาตรฐานในการบ่งบอกปริมาณ โดยมีอยู่ทั้งหมด 6 หน่วยหลักที่ใช้กันอย่างแพร่หลาย ดังนี้

1. **กระแสไฟฟ้า (Electric Current)**
   หน่วยที่ใช้คือ **แอมแปร์ (Ampere: A)**
   1 A คือ ค่าของกระแสคงที่ไหลในตัวนำสองเส้น ซึ่งวางขนานกันในสุญญากาศ โดยห่างกัน 1 เมตร และมีหน้าตัดเล็กมาก จะทำให้เกิดแรงระหว่างกันเท่ากับ 2×10^{-7} นิวตันต่อเมตรของความยาว
2. **ประจุไฟฟ้า (Electric Charge)**
   หน่วยคือ **คูลอมบ์ (Coulomb: C)**
   1 C หมายถึงปริมาณประจุที่ไหลผ่านตัวนำในเวลา 1 วินาที ภายใต้กระแสไฟฟ้าขนาด 1 A
3. **แรงเคลื่อนไฟฟ้า (Electromotive Force)**
   หน่วยที่ใช้คือ **โวลต์ (Volt: V)**
   1 V คือ ค่าความต่างศักย์ระหว่างจุดสองจุดที่ทำให้กระแสไฟฟ้าขนาด 1 A ไหลผ่านเมื่อกำลังไฟฟ้าที่ใช้ระหว่างจุดทั้งสองเท่ากับ 1 W
4. **ความต้านทานไฟฟ้า (Electrical Resistance)**
   หน่วยคือ **โอห์ม (Ohm: Ω)**
   ความต้านทาน 1 **Ω** หมายถึงความต่างศักย์ 1 V ที่จำเป็นในการให้กระแสไฟฟ้า 1 A ไหลผ่านตัวนำ นอกจากนี้ยังมีการกำหนดตามมาตรฐานว่า เป็นความต้านทานของลวดปรอทความยาว 106.3 ซม. มวล 14.452 g ที่อุณหภูมิ 0°C

ศูนย์บรรณสารและการเรียนรู้ สถาบันนวัตกรรมการเรียนรู้ มหาวิทยาลัยพะเยา

5. **ค่าความเหนี่ยวนำ (Inductance)**
   ใช้หน่วย **เฮนรี (Henry: H)**
   1 H หมายถึงความเหนี่ยวนำที่ทำให้เกิดแรงเคลื่อนไฟฟ้า 1 V เมื่อกระแสไฟในวงจรเปลี่ยนแปลงในอัตรา 1 A/s
6. **ค่าความจุไฟฟ้า (Capacitance)**
   หน่วยที่ใช้คือ **ฟารัด (Farad: F)**
   1 F คือความจุของตัวเก็บประจุที่สามารถกักเก็บประจุไฟฟ้า 1 C ได้ เมื่อมีความต่างศักย์ระหว่างแผ่นเพลตเท่ากับ 1 V

1.2 ความคลาดเคลื่อนของการวัด

1.2.1 ความแม่นยำและความเที่ยงตรง

ความแม่นยำ (Accuracy) หมายถึง ระดับของความถูกต้องของค่าที่เครื่องมือวัดให้ค่าออกมา โดยพิจารณาจากความใกล้เคียงระหว่างค่าที่วัดได้กับค่าจริงของปริมาณที่ต้องการวัด โดยมีค่าดังนี้

$$\text{ค่าความแม่นยำของการวัด } (A_{cc}) = 1 - \left|\frac{Y_n - X_n}{Y_n}\right| \qquad (1.1)$$

เมื่อ A_{CC} คือ ค่าความแม่นยำของการวัด
X_n คือ ค่าที่อ่านได้จากการวัด
Y_n คือ ค่าที่แท้จริงของการวัด
N คือ จำนวนครั้งของการวัดในที่นี้มีค่าเท่ากับ 1

ตัวอย่างที่ 1.1 วงจรไฟฟ้าที่มีแรงดันไฟฟ้าขาเข้าเท่ากับ 12 โวลต์ เมื่อนำโวลต์มิเตอร์วัดค่าแรงเคลื่อนไฟฟ้าในวงจร พบว่าอ่านค่าได้ 11.7 โวลต์ จงคำนวณความแม่นยำของโวลต์มิเตอร์เครื่องนี้

วิธีทำ ดังสมการ (1.1) จะได้

$$\text{ค่าความแม่นยำของการวัด (Acc)} = 1 - \left|\frac{Y_n - X_n}{Y_n}\right|$$

$$A_{cc} = 1 - \left|\frac{12 - 11.7}{12}\right|$$

$$\% \text{ ค่าความแม่นยำของการวัด} = 0.975 \times 100\ \% = 97.5\ \%$$

ตอบ ค่าแม่นยำของการวัด คือ 97.5 %

ความแม่นยำเชิงสัมบูรณ์จะลดลงเมื่อค่าที่ต้องการวัดอยู่ห่างจากค่าช่วงสูงสุดของอุปกรณ์วัด ดังนั้น เพื่อให้ได้ค่าที่มีความแม่นยำใกล้เคียงกับความเป็นจริงตามการใช้งาน ควรเลือกใช้อุปกรณ์ที่มีช่วงการวัดเหมาะสมกับค่าที่ต้องการวัดจริง

ศูนย์บรรณสารและการเรียนรู้ สถาบันพัฒนาการเรียนรู้ มหาวิทยาลัยพะเยา

ความเที่ยงตรง (Precision) หมายถึง สมรรถนะของเครื่องมือวัดในการแสดงผลลัพธ์ที่ใกล้เคียงกันทุกครั้งเมื่อทำการวัดซ้ำภายใต้เงื่อนไขเดียวกัน กล่าวคือ ถ้าทำการวัดค่าของตัวแปรที่มีค่าคงที่ซ้ำหลายครั้ง ความเที่ยงตรงจะแสดงให้เห็นว่าค่าที่ได้นั้นจะแตกต่างกันไม่มากนักดังนั้นเครื่องมือที่มีความเที่ยงตรงสูงจะให้ผลการวัดที่มีค่าคงที่หรือแตกต่างกันเล็กน้อยในแต่ละครั้ง เช่น เมื่อแรงดันจริงเท่ากับ 100 โวลต์ และเครื่องมือวัดแสดงค่าซ้ำ ๆ ใกล้กับค่า 99 โวลต์ ทุกครั้ง แสดงว่าเครื่องมือนั้นมีความเที่ยงตรงสูง

โดย ค่าความเที่ยงตรง $= 1 - \left|\frac{X_n - \bar{X}_n}{\bar{X}_n}\right|$ (1.2)

$$\bar{X}_n = \frac{\text{ผลรวมค่าที่วัดได้แต่ละครั้ง}}{\text{จำนวนครั้งของการวัดค่า}} \quad (1.3)$$

เมื่อ X_n คือ ค่าที่วัดได้ในแต่ละครั้ง

$\bar{X}_n$ คือ ค่าเฉลี่ยที่ได้จากการวัดค่า

n คือ จำนวนครั้งที่วัดได้ที่มีค่า 1,2,3...n

ตัวอย่างที่ 1.2 ทำการวัดค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าที่ตกคร่อมระหว่างตัวต้านทานหนึ่งจำนวน 5 ครั้ง ได้ค่าดังนี้ 5.20V, 5.12V, 5.09V, 4.82V และ 4.91V โดยแรงดันจริงที่ควรได้คือ 5.00V จงหาค่าความเที่ยงตรงของชุดการวัดนี้

วิธีทำ 1. จาก ค่าความเที่ยงตรง $= 1 - \left|\frac{X_n - \bar{X}_n}{\bar{X}_n}\right|$

$$\bar{X}_n = \frac{5.20+5.12+5.09+4.82+4.91}{5} = 5.028 \text{ V}$$

2. คำนวณความคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์ (Absolute Error)

ค่าความคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์ $= |5.028 - 5.00| = 0.028$ V

3. ความเที่ยงตรง Precision $= 1 - \left|\frac{0.028}{5.028}\right| = 1 - 0.0056$

% accuracy $= 0.9944 \times 100\ \% = 99.44\ \%$

ตอบ ความเที่ยงตรง 99.44 %

ศูนย์บรรณสารและการเรียนรู้ สถาบันเทคโนโลยีการอาชีพและการเรียนรู้ มหาวิทยาลัยพะเยา

1.2.2 ความผิดพลาดจากเครื่องมือวัด

ในการวัดทางวิทยาศาสตร์ ความคลาดเคลื่อนสามารถแบ่งออกเป็น 3 ประเภทหลัก ได้แก่ ความผิดพลาดที่เกิดจากมนุษย์ ความผิดพลาดที่เกิดจากระบบ และความผิดพลาดแบบสุ่ม ซึ่งรายละเอียดของแต่ละประเภทมีดังนี้

1. **ความคลาดเคลื่อนจากผู้ปฏิบัติ (Human Error)**

เป็นข้อผิดพลาดที่เกิดขึ้นจากตัวบุคคลผู้ดำเนินการวัด เช่น การอ่านค่าผิด การบันทึกข้อมูลไม่ถูกต้อง การใช้เครื่องมือวัดไม่เหมาะสมกับลักษณะของงาน หรือแม้แต่การคำนวณที่ผิดพลาด ตัวอย่างเช่น การใช้มิเตอร์วัดแรงดันที่ไม่สอดคล้องกับขนาดแรงดันที่ต้องการวัด อาจทำให้ได้ค่าที่ไม่ถูกต้อง

2. **ความคลาดเคลื่อนเชิงระบบ (Systematic Error)**

ข้อผิดพลาดประเภทนี้มีลักษณะคงที่และสามารถระบุแหล่งที่มาได้ แบ่งย่อยได้เป็น

- **ข้อผิดพลาดจากเครื่องมือ (Instrumental Error)** เกิดจากข้อจำกัดหรือความบกพร่องภายในตัวเครื่องมือวัดเอง เช่น แรงเสียดทานภายในชิ้นส่วนเคลื่อนไหว หรือความไม่แม่นยำของกลไกที่ใช้วัด
- **ข้อผิดพลาดจากสิ่งแวดล้อม (Environmental Error)** เป็นผลกระทบจากปัจจัยภายนอก เช่น การเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิ ความชื้น หรือสนามแม่เหล็กภายนอก ซึ่งอาจส่งผลให้เครื่องมือแสดงค่าที่คลาดเคลื่อนจากความจริง

3. **ความคลาดเคลื่อนแบบสุ่ม (Random Error)**

เป็นข้อผิดพลาดที่อาจจะเกิดขึ้นได้แน่นอน มีความไม่แน่นอน และไม่สามารถควบคุมได้ แม้จะใช้เครื่องมือที่ปรับตั้งไว้อย่างดีและทำงานในสภาวะแวดล้อมที่เหมาะสมก็ตาม ตัวอย่างเช่น การวัดแรงดันไฟฟ้าโดยใช้เครื่องมือเดิมในช่วงเวลาที่ต่างกัน อาจให้ค่าที่แตกต่างกันเพียงเล็กน้อย ทั้งนี้ความแปรปรวนเล็กๆ น้อยๆ เหล่านี้ไม่สามารถระบุสาเหตุที่ชัดเจน และไม่สามารถแก้ไขด้วยการเปรียบเทียบหรือปรับเทียบเครื่องมือเพิ่มเติมได้

การประยุกต์ใช้อุปกรณ์วัดทางอิเล็กทรอนิกส์อย่างมีประสิทธิภาพจำเป็นต้องคำนึงถึงการลดระดับความไม่แน่นอนในการวัด (measurement error) ซึ่งหมายถึงส่วนต่างระหว่างค่าที่ได้จากการวัดจริงกับค่าที่แท้จริงของปริมาณที่ต้องการทราบ

ยกตัวอย่างเช่น เมื่อทำการตรวจสอบแหล่งจ่ายไฟที่มีค่าแรงดันจริง 10 โวลต์ หากเครื่องมือวัดที่ใช้มีข้อจำกัดด้านความแม่นยำที่ระดับ ± 0.2 โวลต์ นั่นหมายความว่าผลการอ่านค่าจากเครื่องมือนี้อาจแสดงค่าอยู่ในช่วงตั้งแต่ 9.8 โวลต์ ถึง 10.2 โวลต์

โดย % ค่าความคลาดเคลื่อน = 100% - % accuracy

หรือ % ความคลาดเคลื่อน (error) = $\left|\frac{Y_n - X_n}{Y_n}\right| \times 100\ \%$ (1.4)

เมื่อ e คือ ค่าความคลาดเคลื่อนของเครื่องวัด

ศูนย์บรรณสารและการเรียนรู้ สถาบันพัฒนาการอาชีวะ มหาวิทยาลัยพายัพ

Y_n คือ ค่าที่แท้จริงของการวัด

X_n คือ ค่าที่อ่านได้จากการวัด

จากการหาค่า % ผิดพลาด ได้ดังนี้

% ผิดพลาด = 100 % - % accuracy

= 100 % - 98 %

= 1 %

หรือ

$$\% \text{ ผิดพลาด } = \left|\frac{10-9.8}{10}\right| \times 100\ \% = 2\ \%$$

ประเภทของความคลาดเคลื่อนในการวัด

การวัดค่าทางฟิสิกส์มักมีความคลาดเคลื่อนเกิดขึ้น ซึ่งสามารถจำแนกออกได้เป็น 2 ประเภท ได้แก่

1. **ค่าความคลาดเคลื่อนเชิงสัมบูรณ์ (Absolute Error)** คือ ผลต่างระหว่างค่าที่ได้จากการวัดกับค่าจริงของปริมาณที่ต้องการวัด โดยคำนวณได้จากสูตร

โดย ค่าผิดพลาดสัมบรูณ์ (A) = $X_n - Y_n$

เมื่อ A คือ ค่าผิดพลาดสัมบรูณ์

X_n คือ ค่าที่วัดได้

Y_n คือ ค่าที่เป็นจริง

ค่าที่ได้จากสูตรนี้สามารถเป็นค่าบวกหรือลบได้ หากผลลัพธ์เป็นลบ แสดงว่าค่าที่วัดได้น้อยกว่าค่าจริง ในทางตรงข้าม หากเป็นบวก หมายความว่าค่าที่วัดได้สูงกว่าค่าจริง

2. **ค่าความคลาดเคลื่อนสัมพัทธ์** หมายถึง การแสดงระดับความผิดพลาดในรูปแบบสัดส่วนที่คำนวณได้จากการนำค่าความคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์มาหารด้วยค่าที่แท้จริงของปริมาณที่ทำการวัด แล้วแปลงผลลัพธ์ให้อยู่ในรูปเปอร์เซ็นต์

โดย

$$\text{ค่าความผิดพลาดสัมพันธ์ (R)} = \left(\frac{A}{Y_n}\right) \times 100\ \% \qquad (1.5)$$

เมื่อ R คือ ค่าความผิดพลาดสัมพันธ์

ศูนย์บรรณสารและการเรียนรู้ สถาบันนวัตกรรมการเรียนรู้ มหาวิทยาลัยพะเยา

ค่าความคลาดเคลื่อนสัมพัทธ์ใช้ในการประเมินว่าผลการวัดที่ได้นั้นเบี่ยงเบนจากค่าจริงในสัดส่วนเท่าใด เมื่อใช้โวลต์มิเตอร์วัดแรงดันไฟฟ้าจากแหล่งจ่าย 220 V ปรากฏว่าได้ผลการวัด 217 V และ 227 V ต้องการหาค่าความคลาดเคลื่อนและเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดจากค่าจริง

การคำนวณหาค่าความคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์

สำหรับการวัดที่ได้ 217 V

$$A = \text{ค่าที่วัดได้} - \text{ค่าจริง}$$

$$A = 217 - 220 = -3 \text{ V}$$

สำหรับการวัดที่ได้ 227 V

$$A = \text{ค่าที่วัดได้} - \text{ค่าจริง}$$

$$A = 227 - 220 = +7 \text{ V}$$

ดังนั้น ค่าความคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์อยู่ในช่วง ±3 ถึง ±7 V

การคำนวณค่าความคลาดเคลื่อนสัมพัทธ์

$$R = (\text{ค่าความคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์}/\text{ค่าจริง}) \times 100\%$$

สำหรับ 217 V

$$R = (3/220) \times 100\% = \pm 1.36\%$$

สำหรับ 227 V

$$R = (7/220) \times 100\% = \pm 3.18\%$$

คลาสของเครื่องวัด

หมวดหมู่ของอุปกรณ์วัด (Instrument class) คือการจัดกลุ่มเครื่องมือวัดตามลักษณะการทำงานและคุณสมบัติที่มีความเหมือนกัน หรือจำแนกตามชนิดของปริมาณทางกายภาพที่ใช้ในการตรวจวัด เช่น การแบ่งประเภทตามลักษณะพารามิเตอร์ที่ต้องการศึกษา ได้แก่ หมวดหมู่อุปกรณ์วัดพิกัดไฟฟ้า หมวดหมู่เครื่องมือวัดความร้อน ฯลฯ

ศูนย์บรรณสารและการเรียนรู้ สถาบันนวัตกรรมการเรียนรู้ มหาวิทยาลัยพะเยา

ตัวอย่างหมวดหมู่ของเครื่องมือวัด

หมวดหมู่อุปกรณ์วัดพิกัดไฟฟ้า เป็นเครื่องมือที่ใช้ในวัดค่าโวลต์ในวงจรไฟฟ้า เช่น โวลต์มิเตอร์ดิจิทัล เครื่องวัดสัญญาณแบบออสซิลโลสโคป เป็นต้น

หมวดหมู่เครื่องมือวัดอัตราเร็ว เป็นอุปกรณ์สำหรับตรวจสอบอัตราการเคลื่อนที่ของวัตถุต่างๆ เช่น สปีโดมิเตอร์ในยานพาหนะ เครื่องมือวัดความแรงของกระแสลม เป็นต้น

หมวดหมู่เครื่องมือวัดความร้อน เป็นอุปกรณ์ที่ใช้ตรวจสอบระดับความร้อนของสารหรือสิ่งแวดล้อม เช่น เทอร์โมมิเตอร์แบบดิจิทัล เซนเซอร์วัดความร้อนอุตสาหกรรม เป็นต้น

สำหรับเครื่องวัดแบบคอยล์เคลื่อนที่ คลาส 1 หมายความว่า อุปกรณ์วัดนี้จะมีค่าเบี่ยงเบนสัมพัทธ์ไม่เกิน ± 1% ของค่าเต็มช่วงการวัด และตลอดทั้งช่วงการทำงานมีค่าความคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์คงที่เท่ากับค่าเต็มสเกล

ตัวอย่างที่ 1.3 โวลต์มิเตอร์หนึ่งเครื่องมีความแม่นยำของคลาส 1.15 และสามารถวัดได้ในช่วง 100 โวลต์ 250 โวลต์ และ 1,000 โวลต์ เมื่อใช้เครื่องมือนี้ตรวจวัดแหล่งจ่ายไฟที่มีค่าจริง 110 โวลต์ จงคำนวณหาค่าที่แสดงบนเข็มวัด ค่าความคลาดเคลื่อนของเข็มชี้ และค่าความคลาดเคลื่อนสัมพัทธ์

วิธีทำ

ขั้นตอนที่ 1 เลือกช่วงการวัดที่เหมาะสม เนื่องจากค่าจริง 110 V จึงควรใช้ช่วงวัด 250 V

ขั้นตอนที่ 2 หาค่าความคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์ = (คลาส × ช่วงการวัด) / 100

= (1.15 × 250) / 100 = ±2.875 V

ขั้นตอนที่ 3 หาค่าที่เข็มอาจแสดง ค่าที่แสดงได้ = ค่าจริง ± ความคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์

= 110 ± 2.875 V = 107.125 V ถึง 112.875 V

ขั้นตอนที่ 4 หาค่าความคลาดเคลื่อนสัมพัทธ์ = (ความคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์ / ค่าจริง) × 100%

= (2.875 / 110) × 100% = ±2.61%

คำตอบ

- ค่าที่เข็มชี้แสดง 107.125 - 112.875 V
- ความคลาดเคลื่อนของเข็มชี้ ±2.875 V
- ความคลาดเคลื่อนสัมพัทธ์ ±2.61%

ศูนย์บรรณสารและการเรียนรู้ สถาบันนวัตกรรมการเรียนรู้ มหาวิทยาลัยพะเยา

ตัวอย่างที่ 1.4 แอมมิเตอร์หนึ่งตัว ระดับความแม่นยำคลาส 1.25 ช่วงการวัด 10 A นำไปตรวจวัดกระแสไฟฟ้า 4 ครั้ง ได้ค่าการอ่าน 10A, 7A, 5A และ 3A ตามลำดับ จงคำนวณหาค่ากระแสจริงและค่าความคลาดเคลื่อนสัมพัทธ์

วิธีทำ

ขั้นตอนที่ 1 คำนวณค่าความคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์ = (คลาส × ช่วงการวัด) / 100

= (1.25 × 10) / 100 = ±0.125 A

ขั้นตอนที่ 2 หาช่วงค่ากระแสจริงสำหรับแต่ละการวัด

การวัดครั้งที่ 1 เข็มชี้ 10A ค่าจริง = 10 ± 0.125 A = 9.875 - 10.125 A

การวัดครั้งที่ 2 เข็มชี้ 7A ค่าจริง = 7 ± 0.125 A = 6.875 - 7.125 A

การวัดครั้งที่ 3 เข็มชี้ 5A ค่าจริง = 5 ± 0.125 A = 4.875 - 5.125 A

การวัดครั้งที่ 4 เข็มชี้ 3A ค่าจริง = 3 ± 0.125 A = 2.875 - 3.125 A

ขั้นตอนที่ 3 คำนวณค่าความคลาดเคลื่อนสัมพัทธ์สำหรับแต่ละการวัด

การวัด 10A จะได้ (0.125/10) × 100% = ±1.25%

การวัด 7A จะได้ (0.125/7) × 100% = ±1.79%

การวัด 5A จะได้ (0.125/5) × 100% = ±2.50%

การวัด 3A จะได้ (0.125/3) × 100% = ±4.17%

ดังนั้น

- การวัด 10A จะได้ ค่าจริง 9.875-10.125 A, ความคลาดเคลื่อนสัมพัทธ์ ±1.25%
- การวัด 7A จะได้ ค่าจริง 6.875-7.125 A, ความคลาดเคลื่อนสัมพัทธ์ ±1.79%
- การวัด 5A จะได้ ค่าจริง 4.875-5.125 A, ความคลาดเคลื่อนสัมพัทธ์ ±2.50%
- การวัด 3A จะได้ ค่าจริง 2.875-3.125 A, ความคลาดเคลื่อนสัมพัทธ์ ±4.17%

สรุป

ประเด็นที่ 1 หลักการเลือกช่วงการวัดอย่างเหมาะสม เพื่อให้ได้ผลการวัดที่มีความแม่นยำสูงสุด ควรกำหนดช่วงการวัดให้เข็มชี้วัดแสดงตำแหน่งที่ประมาณ 2/3 ของระยะสเกลเต็ม หลักการนี้จะช่วยให้การอ่านค่าจากเครื่องวัดมีความละเอียดและความน่าเชื่อถือมากที่สุด เนื่องจากเป็นจุดที่เครื่องมือสามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพและลดผลกระทบจากความไม่แน่นอนในการวัด

ประเด็นที่ 2 ความหมายของระดับความแม่นยำของเครื่องมือ ตัวเลขคลาสที่ระบุบนเครื่องมือวัดเป็นตัวบ่งชี้ถึงระดับความคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์สูงสุดที่อาจเกิดขึ้นในช่วงการวัดนั้นๆ ค่านี้จะแสดงให้เห็นถึงขีดจำกัดของความผิดพลาดที่เป็นไปได้ของเครื่องมือ และเป็นข้อมูลสำคัญที่ช่วยในการประเมินความเชื่อถือได้ของผลการวัด

ประเด็นที่ 3 ความหมาย ของค่าเปอร์เซ็นต์คลาดเคลื่อนสัมพัทธ์ เป็นตัวชี้วัดที่แสดงถึงระดับความไม่แน่นอนสูงสุดที่อาจเกิดขึ้นกับแต่ละจุดวัดในช่วงการทำงานของเครื่องมือ ค่านี้มีความสำคัญในการวิเคราะห์ความเชื่อถือได้ของข้อมูลที่ได้จากการวัด และช่วยในการตัดสินใจว่าผลการวัดมีความเหมาะสมสำหรับการใช้งานตามวัตถุประสงค์หรือไม่ การเข้าใจหลักการเหล่านี้จะช่วยให้ผู้ใช้งานสามารถเลือกใช้เครื่องมือวัดได้อย่างเหมาะสมและตีความผลลัพธ์ได้อย่างถูกต้อง

ศูนย์บรรณสารและการเรียนรู้ สถาบันวิทยบริการและการเรียนรู้ มหาวิทยาลัยพะเยา

สรุปท้ายบทเรียนบทที่ 1

การศึกษาวิชาเครื่องมือวัดทางไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ถือเป็นรากฐานที่สำคัญยิ่งสำหรับการพัฒนาความรู้และทักษะในด้านเทคโนโลยีไฟฟ้า รวมถึงการนำไปประยุกต์ใช้ในชีวิตประจำวันและสายอาชีพที่เกี่ยวข้อง หลักสูตรนี้จะช่วยให้ผู้ศึกษาได้รับความรู้เชิงลึกเกี่ยวกับหลักการทำงานของอุปกรณ์วัดต่างๆ ที่ใช้ในการตรวจสอบพารามิเตอร์ทางไฟฟ้า ไม่ว่าจะเป็น โวลเทจ, แอมแปร์, โอห์ม และค่าอื่นๆ ที่สำคัญในระบบไฟฟ้า นอกจากนี้ยังครอบคลุมถึงเทคนิคการใช้งานที่เหมาะสมตามข้อกำหนดและข้อจำกัดของแต่ละเครื่องมือ การเลือกช่วงการวัดที่เหมาะสม และการตีความผลลัพธ์ที่ได้อย่างมีประสิทธิภาพ เพื่อให้มั่นใจได้ว่าข้อมูลที่ได้รับมีความถูกต้องและสามารถนำไปใช้ตัดสินใจได้อย่างเชื่อถือได้ การเรียนรู้เนื้อหานี้จะช่วยสร้างพื้นฐานที่แข็งแกร่งสำหรับการศึกษาต่อในระดับที่สูงขึ้น และเตรียมความพร้อมสำหรับการปฏิบัติงานจริงในสาขาวิศวกรรมไฟฟ้า เทคโนโลยีอิเล็กทรอนิกส์ และอุตสาหกรรมที่เกี่ยวข้อง นอกจากนี้ บทเรียนยังช่วยสร้างความเข้าใจเกี่ยวกับส่วนประกอบเบื้องต้นของวงจรอิเล็กทรอนิกส์ ความสัมพันธ์ของค่าทางไฟฟ้า และการอ่านค่าจากอุปกรณ์วัดอย่างถูกวิธี ผู้เรียนจะได้เรียนรู้เรื่องคลาสของเครื่องมือวัด รวมถึงลักษณะของความผิดพลาดที่อาจเกิดขึ้นจากการใช้งาน เช่น ความคลาดเคลื่อน ความเที่ยงตรง และความแม่นยำ ซึ่งมีผลต่อคุณภาพของข้อมูลที่ได้จากการวัด ความรู้ที่ได้รับจากบทนี้จะเป็นพื้นฐานที่มีประโยชน์อย่างยิ่งในการทำงานด้านไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ ทั้งในแง่ของการออกแบบ การตรวจสอบระบบ การแก้ไขปัญหา และการพัฒนาอุปกรณ์ใหม่ ๆ ผู้เรียนจะสามารถประยุกต์ใช้ทฤษฎีควบคู่กับการปฏิบัติ เพื่อเพิ่มทักษะในการวิเคราะห์ปัญหาทางเทคนิคได้อย่างมีประสิทธิภาพ

ศูนย์บรรณสารและการเรียนรู้ สถาบันนวัตกรรมการเรียนรู้ มหาวิทยาลัยพะเยา

แบบฝึกหัดบทที่ 1

1. อธิบายความหมายของเครื่องมือวัดแบบแอนะลอก คือ อะไร
2. อธิบายความแตกต่างระหว่างเครื่องมือวัดแบบแอนะลอกและเครื่องมือวัดแบบดิจิทัล
3. อธิบายหลักการทำงานพื้นฐานของเครื่องมือวัดแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง
4. ยกตัวอย่างการนำเครื่องมือวัดกระแสไฟฟ้าไปใช้ในชีวิตประจำวันมาสัก 5 อย่าง
5. อธิบายคำว่า “พิสัยการวัด” พร้อมยกตัวอย่างประกอบ
6. ทำไมการเลือกพิสัยการวัดให้เหมาะสมจึงสำคัญในการใช้งานเครื่องมือวัด
7. ความละเอียดของเครื่องมือวัดคืออะไร และส่งผลต่อการวัดอย่างไร
8. อธิบายวิธีการอ่านค่าจากเครื่องมือวัดแบบเข็มให้ถูกต้อง
9. ยกตัวอย่างสถานการณ์ที่ความผิดพลาดจากการวัดอาจก่อให้เกิดผลเสียร้ายแรง
10. ทำไมต้องมีการสอบเทียบ (Calibration) เครื่องมือวัด
11. อธิบายลักษณะของความผิดพลาดเชิงระบบ (Systematic Error) และยกตัวอย่าง
12. อธิบายลักษณะของความผิดพลาดเชิงสุ่ม (Random Error) และยกตัวอย่าง
13. เครื่องมือวัดคลาสต่ำกับคลาสสูงต่างกันอย่างไร
14. จงอธิบายถึงความสำคัญของค่าผิดพลาดสัมพัทธ์ในการวิเคราะห์ผลการวัด
15. ทำไมการใช้เครื่องมือวัดไม่ถูกพิสัยอาจทำให้เครื่องมือเสียหาย
16. เครื่องมือวัดทางไฟฟ้าที่มีฟีเจอร์ Auto Range โวลต์มิเตอร์หนึ่งตัว ระดับความแม่นยำคลาส 2.5 มีช่วงการวัด 10V, 50V, 250V และ 1,000V เมื่อนำไปตรวจสอบแรงดันไฟฟ้าที่มีค่า 110V จงคำนวณหาค่าที่เข็มบอกและค่าเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนสัมพัทธ์ (ตอบ 6.25 V, 110±6.25 V และ 5.68%)

ศูนย์บรรณสารและการเรียนรู้ สถาบันนวัตกรรมการเรียนรู้ มหาวิทยาลัยพะเยา

บทที่ 2

เครื่องมือวัดไฟฟ้าพื้นฐาน

ในบทนี้กล่าวถึงหลักการทำงานของเครื่องมือวัดทางไฟฟ้าพื้นฐาน โดยเริ่มจากกัลวานอมิเตอร์ ซึ่งเป็นกลไกสำคัญของเครื่องวัดกระแสตรงแบบขดลวดเคลื่อนที่ อุปกรณ์นี้นิยมใช้ตรวจวัดกระแสไฟฟ้า และสามารถดัดแปลงเป็นโอห์มมิเตอร์หรือโวลต์มิเตอร์ได้ รวมถึงประยุกต์ใช้งานในภาคอุตสาหกรรม เช่น วัดแรงดัน ความถี่ และ อุณหภูมิเครื่องมือวัดเหล่านี้อาศัยหลักการของแม่เหล็กถาวรและแม่เหล็กไฟฟ้า โดยมีโครงสร้างหลักเป็นแม่เหล็กถาวรและขดลวดพันรอบแกน เมื่อมีกระแสไหลผ่านขดลวด จะเกิดแรงแม่เหล็กทำให้ขดลวดเคลื่อนที่ กลไกนี้จะอธิบายเพิ่มเติมในหัวข้อถัดไป

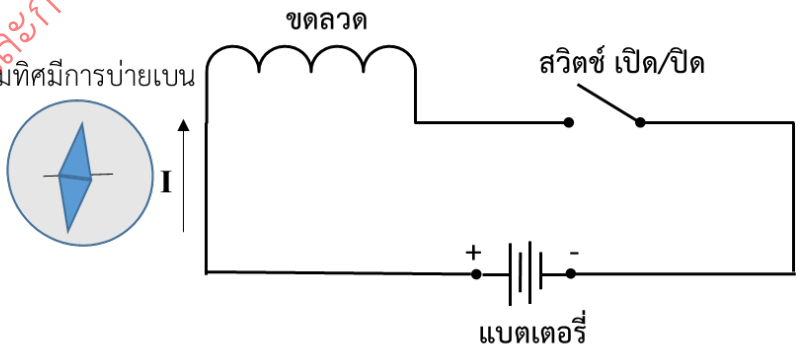
2.1 หลักการของเครื่องมือวัดไฟฟ้าพื้นฐาน

2.1.1 หลักการของกัลป์วานอมิเตอร์ (galvanometer)

เป็นอุปกรณ์ที่ใช้สำหรับวัดหรือรับรู้กระแสไฟฟ้าขนาดเล็ก ถือเป็นหนึ่งในเครื่องมือวัดไฟฟ้าที่มีความไวสูงมาก และเป็นต้นแบบของเครื่องมือวัดประเภทอื่นๆ ที่พัฒนาต่อมา

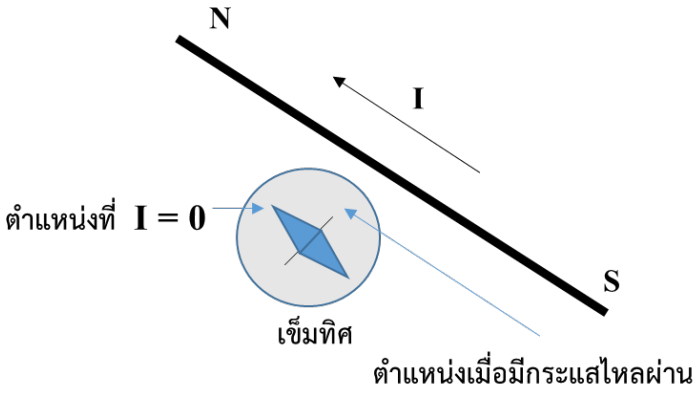
แนวคิดเบื้องต้นของกัลวานอมิเตอร์มีที่มาจากการทดลองของฮานส์ คริสเตียน เออร์สเตด เป็นนักวิทยาศาสตร์ชาวเดนมาร์ก ดังรูปที่ 2.1 โดยการสังเกตพบว่าเมื่อมีกระแสไฟฟ้าไหลผ่านลวดตัวนำ สนามแม่เหล็กจะเกิดขึ้นรอบตัวนำ ซึ่งส่งผลให้เข็มทิศที่อยู่ใกล้เบี่ยงเบนจากทิศปกติ จากหลักการนี้สามารถอธิบายทิศทางของสนามแม่เหล็กที่เกิดขึ้นได้ด้วยกฎมือขวา (Right-hand rule) ของไมเคิล ฟาราเดย์ ดังรูปที่ 2.2

ต่อมาลอร์ด เคลวิน (Lord Kelvin) ได้พัฒนาแนวคิดนี้ โดยนำลวดตัวนำมาพันเป็นวงกลม และวางเข็มไว้ตรงกลางของขดลวด เพื่อเพิ่มความไวต่อการตรวจจับกระแสไฟฟ้า ทำให้เครื่องมือมีประสิทธิภาพในการวัดที่ดียิ่งขึ้น

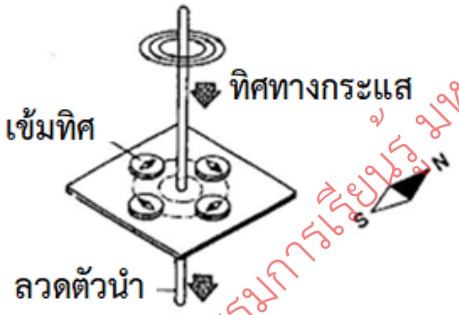


(ก)

ศูนย์บรรณสารและการเรียนรู้ สถาบันนวัตกรรมการเรียนรู้ มหาวิทยาลัยพะเยา

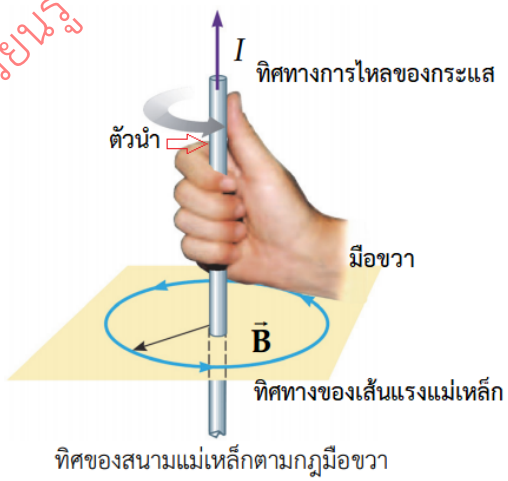


(ข)



(ค)

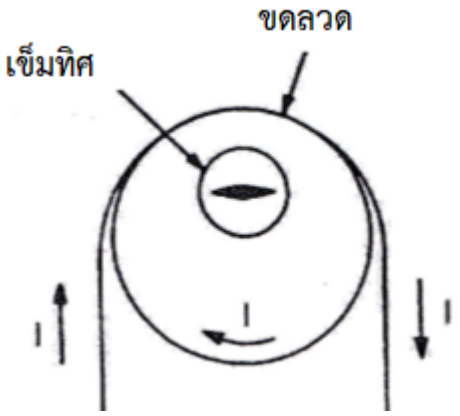
รูปที่ 2.1 การทดลองของเออร์สเตด



รูปที่ 2.2 ทิศทางความหนาแน่นสนามแม่เหล็กจากระบบมือขวา

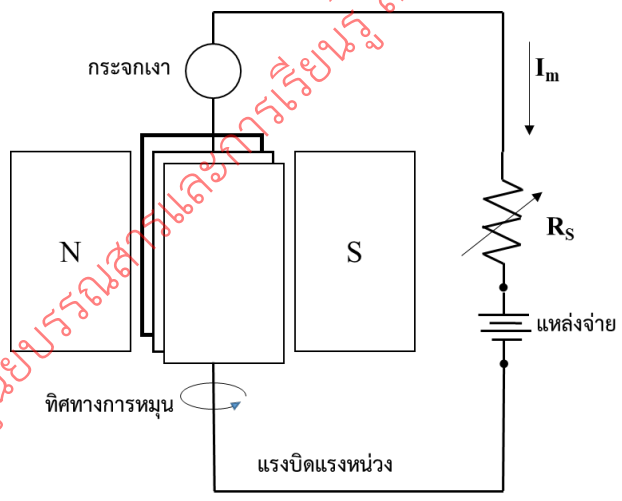
ดันแปลงภาพจากต้นฉบับ ที่มา:
https://www.facebook.com/photo.php?fbid=908721155807952&id=422449687768437&set=a.422673381079401 สืบค้นเมื่อ 2/6/2568

ศูนย์บรรณสารและการเรียนรู้ สถาบันนวัตกรรมการเรียนรู้ มหาวิทยาลัยพะเยา

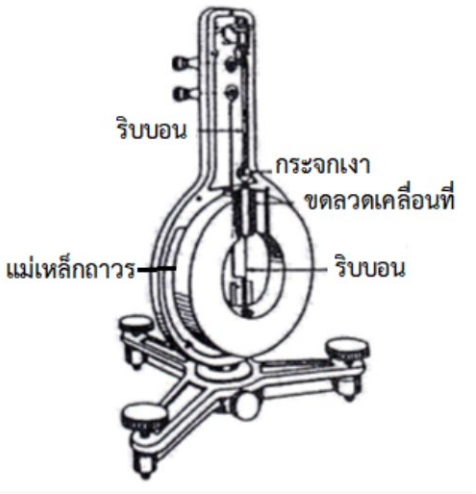


รูปที่ 2.3 กัลวานอมิเตอร์ที่เคลวินได้พัฒนาขึ้นให้มีประสิทธิภาพสูงกว่าเดิม

กัลวานอมิเตอร์ส่วนใหญ่ที่ใช้งานกันมักเป็นแบบขดลวดเคลื่อนที่ (Moving Coil Type) ซึ่งทำงานโดยนำลวดนำไฟฟ้ามาพันเป็นขดลวด หรือที่เรียกกันว่า "คอยล์" จากนั้นจึงนำคอยล์นี้ไปวางในตำแหน่งที่มีสนามแม่เหล็กโดยรอบ ขดลวดจะถูกแขวนไว้ด้วยแผ่นโลหะบางที่เรียกว่า "ริบบอน" ซึ่งทำหน้าที่คล้ายกับสปริง ทำให้สามารถต้านการหมุนและดึงกลับตำแหน่งเดิมได้ เมื่อมีกระแสไฟฟ้าไหลผ่านขดลวด จะทำให้เกิดสนามแม่เหล็กไฟฟ้าขึ้น ซึ่งจะมีแรงผลักหรือแรงดูดกับสนามแม่เหล็กถาวรที่อยู่รอบๆ ทำให้ขดลวดเกิดการหมุน แรงหมุนนี้จะส่งผลให้ริบบอนเกิดการบิดตัวตามไปด้วย ที่ริบบอนจะมีการติดตั้งกระจกเงาขนาดเล็กไว้ ซึ่งใช้สะท้อนแสงเลเซอร์หรือแสงสว่างเพื่อใช้เป็นตัวบ่งชี้มุมเบี่ยงเบนของขดลวด และมีสเกลสำหรับการอ่านค่ากระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่าน เมื่อหยุดจ่ายกระแสไฟฟ้า สนามแม่เหล็กไฟฟ้าจะหายไป และแรงต้านจากริบบอนจะดึงขดลวดกลับสู่ตำแหน่งเดิมโดยอัตโนมัติ

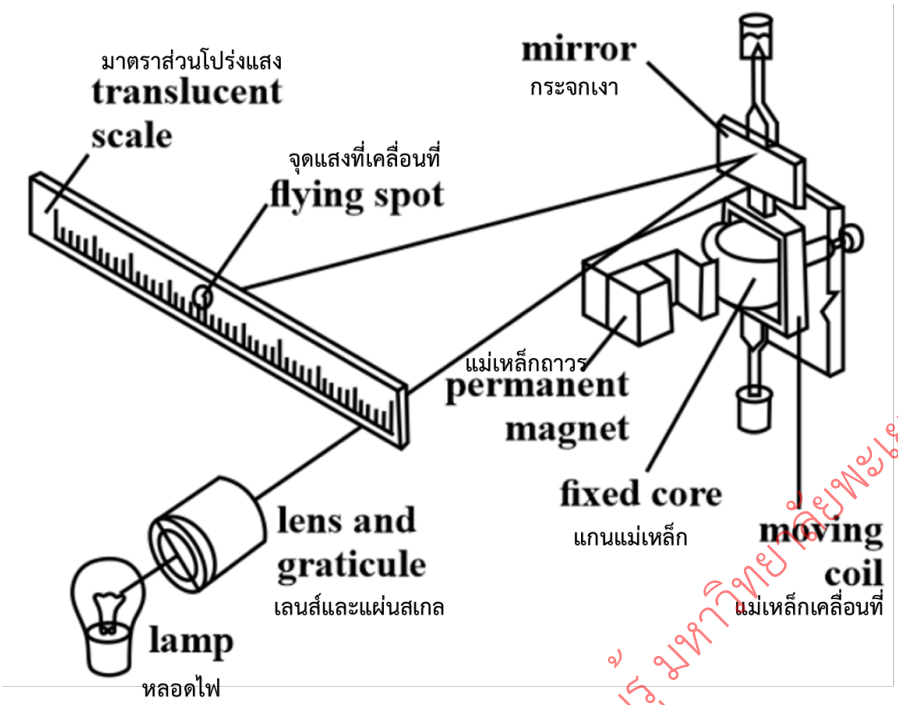


(ก) โครงสร้างทางไฟฟ้า



(ข) โครงสร้างกัลป์วานอมิเตอร์

ศูนย์บรรณสารและสื่อการเรียนรู้ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง



(ค) ลักษณะการทำงาน

รูปที่ 2.4 กัลวานอมิเตอร์แบบซัสเพนชั่น (Suspension galvanometer)

ที่มา: https://images.search.yahoo.com/search/images?p=suspension+galvanometer สืบค้นเมื่อวันที่ 3/6/2568

กัลวานอมิเตอร์อีกประเภทหนึ่งที่มักพบเห็นได้บ่อยในการใช้งานทั่วไป คือแบบที่มีลักษณะเป็นแผงหน้าปัด (Panel Type) โดยบริเวณกึ่งกลางของสเกลจะมีเข็มชี้ตั้งอยู่ในตำแหน่งศูนย์ ซึ่งใช้เป็นจุดอ้างอิงในการวัดค่า กัลวานอมิเตอร์ชนิดนี้มีโครงสร้างพื้นฐานเป็นแบบขดลวดเคลื่อนที่ ซึ่งรายละเอียดของกลไกและการทำงานจะได้กล่าวเพิ่มเติมในหัวข้อถัดไป

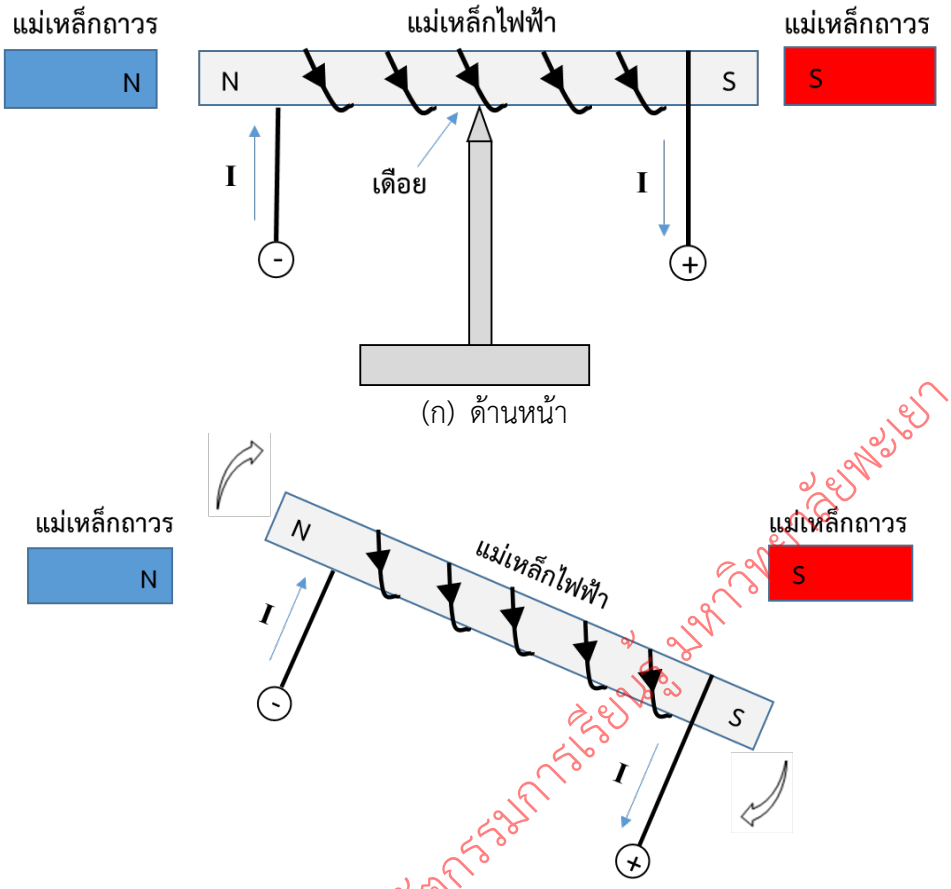
2.1.2 หลักการทำงานของขดลวดเคลื่อนที่

เครื่องมือวัดไฟฟ้าประเภทขดลวดเคลื่อนที่ทำงานโดยอาศัยหลักการของแม่เหล็กถาวรร่วมกับแม่เหล็กไฟฟ้า โดยโครงสร้างพื้นฐานของเครื่องมือชนิดนี้ประกอบด้วยแม่เหล็กถาวรที่มีขั้วเหนือ (N) และขั้วใต้ (S) วางเรียงใกล้กัน พร้อมด้วยขดลวดที่พันอยู่รอบแกนกลาง ซึ่งปลายของขดลวดจะเชื่อมต่อกับแหล่งจ่ายกระแสไฟฟ้า

ขดลวดที่พันบนแกนนี้จะติดตั้งอยู่บนเดือยหมุนแหลมคม ทำให้สามารถเคลื่อนไหวหรือหมุนได้อย่างอิสระ เมื่อกระแสไฟฟ้าไหลผ่านขดลวด จะทำให้เกิดสนามแม่เหล็กไฟฟ้าขึ้น ซึ่งขั้วของสนามแม่เหล็กนี้จะขึ้นอยู่กับทิศทางการพันของขดลวด โดยจะถูกออกแบบให้มีขั้วเหมือนกับขั้วของแม่เหล็กถาวรที่อยู่ใกล้กัน

ผลจากการมีขั้วแม่เหล็กแบบเดียวกันอยู่ใกล้กันจะทำให้เกิดแรงผลักระหว่างสนามแม่เหล็กของขดลวดกับสนามแม่เหล็กถาวร ส่งผลให้ขดลวดหมุนออกจากตำแหน่งเดิม แสดงกลไกของการทำงานดังรูปที่ 2.5

ศูนย์วิทยทรัพยากรและการเรียนรู้ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ มหาวิทยาลัยพะเยา



รูปที่ 2.5 รูปแบบของมิเตอร์ไฟฟ้าเบื้องต้น

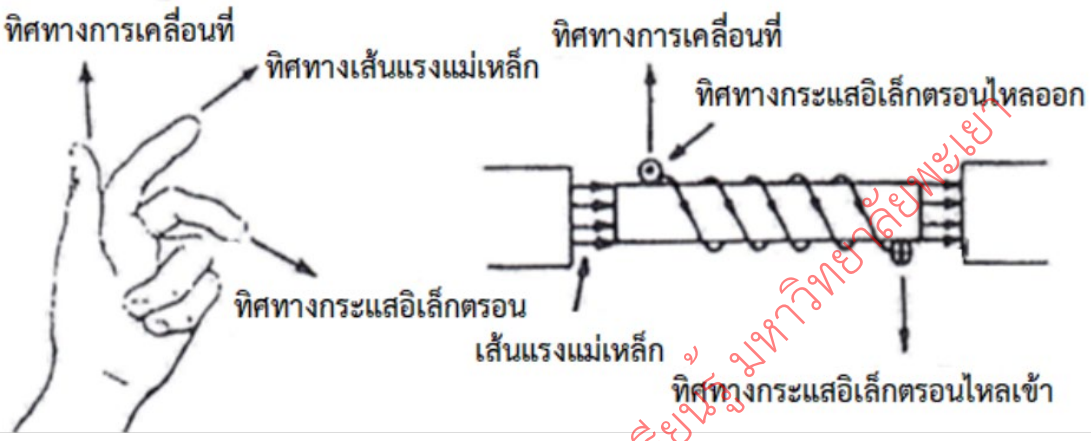
จากรูปที่ 2.5 (ก) แสดงให้เห็นถึงโครงสร้างพื้นฐานของเครื่องมือวัดไฟฟ้าเมื่อมองจากด้านหน้า โดยขดลวดซึ่งพันอยู่บนแกนจะเชื่อมต่อกับขั้วไฟฟ้าทั้งสองด้าน โดยกำหนดให้ด้านซ้ายเป็นขั้วลบ (-) และด้านขวาเป็นขั้วบวก (+) การกำหนดขั้วเช่นนี้มีจุดประสงค์เพื่อให้เมื่อมีแรงดันไฟฟ้าป้อนเข้าสู่ระบบ จะทำให้ขั้วของสนามแม่เหล็กไฟฟ้าที่เกิดจากขดลวดมีทิศทางตรงกับขั้วของแม่เหล็กถาวรที่อยู่ด้านข้าง ส่งผลให้เกิดแรงผลักกันระหว่างสนามแม่เหล็กทั้งสอง ซึ่งเป็นกลไกสำคัญที่ทำให้ขดลวดเกิดการเคลื่อนที่

อย่างไรก็ตาม หากต่อแรงดันไฟฟ้าที่ผิดขั้ว ทิศทางของสนามแม่เหล็กไฟฟ้าที่เกิดจากขดลวดจะตรงข้ามกับทิศทางของสนามแม่เหล็กถาวร ส่งผลให้เกิดแรงดึงดูดแทนแรงผลัก ซึ่งจะไม่ทำให้เกิดการเบี่ยงเบนของขดลวดตามต้องการ

รูปที่ 2.5 (ข) แสดงมุมมองจากด้านบน ซึ่งช่วยให้เห็นการเบี่ยงเบนของขดลวดได้ชัดเจน เมื่อขดลวดถูกผลักโดยสนามแม่เหล็กที่มีขั้วเหมือนกัน ขดลวดจะหมุนออกจากแนวปกติ ความมากน้อยของการเบี่ยงเบนขึ้นอยู่กับความแรงของสนามแม่เหล็กที่เกิดจากขดลวด ซึ่งสัมพันธ์โดยตรงกับกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่าน หากมีกระแสมาก สนามแม่เหล็กก็จะมีความเข้มสูง และการเบี่ยงเบนของขดลวดก็จะมากตามไปด้วย ในทางตรงกันข้าม หากมีกระแสน้อย ขดลวดจะเบี่ยงเบนน้อยเช่นกัน

ศูนย์บรรณสารและการเรียนรู้ สถาบันนวัตกรรมการเรียนรู้ มหาวิทยาลัยพะเยา

การหาทิศทางของการเคลื่อนที่ของขดลวดหรือแม่เหล็กไฟฟ้า สามารถใช้กฎมือซ้ายของเฟลมมิง (Fleming's Left Hand Rule) ซึ่งประกอบด้วยนิ้วหัวแม่มือ นิ้วกลางและนิ้วชี้ของมือซ้าย โดยต้องจัดให้นิ้วทั้งสามตั้งฉากต่อกัน นิ้วชี้แทนทิศทางของสนามแม่เหล็ก นิ้วกลางแทนทิศทางของกระแสไฟฟ้า (หรือการเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอน) และนิ้วหัวแม่มือจะแสดงทิศทางของแรงที่เกิดขึ้น หรือทิศการเคลื่อนที่ของขดลวดแม่เหล็กไฟฟ้า ซึ่งสามารถอ้างอิงได้จากรูปที่ 2.6



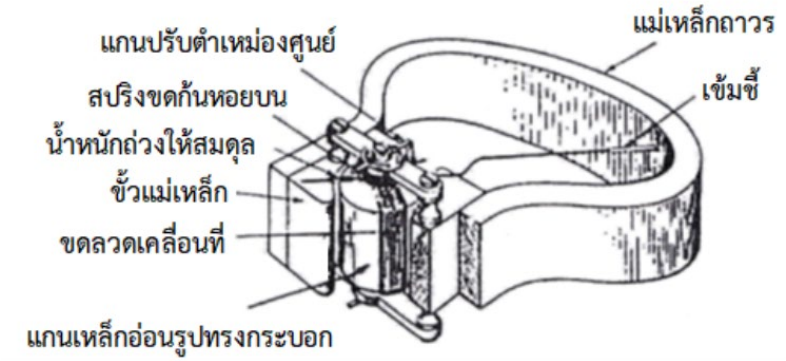
(ก) กฎมือซ้ายของเฟลมมิง (ข) ทิศการเคลื่อนที่ของขดลวด

รูปที่ 2.6 การเคลื่อนที่ใช้กฎมือซ้ายของเฟรมมิ่งของมิเตอร์

ที่มา : http://pansak.50megs.com/Measu01/sheet01.html สืบค้นเมื่อวันที่ 30/10/2566

เครื่องมือวัดไฟฟ้าประเภทนี้เรียกว่า มิเตอร์แบบขดลวดเคลื่อนที่ (Moving Coil Meter) โดยพื้นฐานของการทำงานจะอาศัยไฟฟ้ากระแสตรงที่ไหลผ่านขดลวด ซึ่งจำเป็นต่อการสร้างสนามแม่เหล็กภายในอุปกรณ์ ดังนั้น มิเตอร์ชนิดนี้จึงถูกออกแบบมาสำหรับใช้วัดเฉพาะกระแสตรงเท่านั้น

มิเตอร์ชนิดนี้เป็นที่รู้จักในอีกชื่อหนึ่งว่า ดาร์สันวาล์มิเตอร์ (D'Arsonval Meter) ซึ่งตั้งชื่อตามนักฟิสิกส์ผู้พัฒนาหลักการทำงานของอุปกรณ์ประเภทนี้ โดยโครงสร้างภายในของมิเตอร์สามารถดูได้จากรูปที่ 2.7



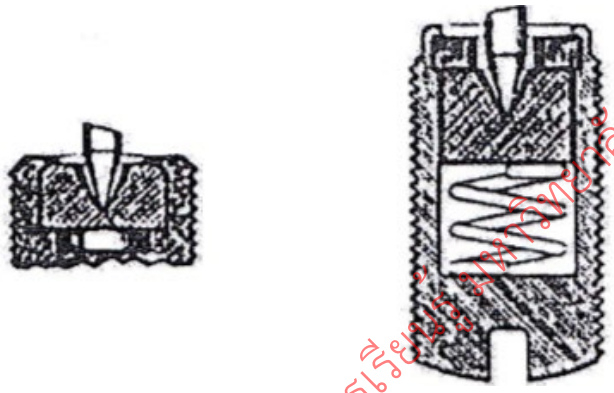
รูปที่ 2.7 โครงสร้างของมิเตอร์ดาร์สันวาล์มิเตอร์

ที่มา : http://pansak.50megs.com/Measu01/sheet01 สืบค้นเมื่อวันที่ 30/10/2566

ศูนย์บรรณสารและการเรียนรู้ สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

จากรูปที่ 2.7 แสดงให้เห็นโครงสร้างของมิเตอร์แบบขดลวดเคลื่อนที่ชนิดดาร์สันวาล์มิเตอร์ ซึ่งทำงานโดยอาศัยแม่เหล็กถาวรรูปตัวยู ที่สร้างเส้นแรงแม่เหล็กให้ไหลจากขั้วเหนือ (N) ไปยังขั้วใต้ (S) เส้นแรงแม่เหล็กนี้จะผ่านผ่านบริเวณที่ติดตั้งแกนเหล็กอ่อนรูปทรงกระบอกไว้

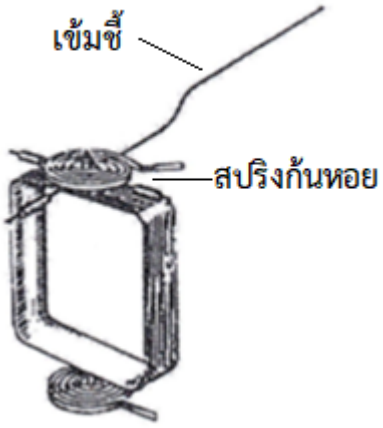
บริเวณรอบแกนเหล็กอ่อนจะมีขดลวดเคลื่อนที่พันอยู่ ซึ่งถูกวางให้อยู่ในตำแหน่งที่รับแรงสนามแม่เหล็กอย่างเต็มที่ เพื่อให้สามารถตอบสนองต่อการไหลของกระแสไฟฟ้าได้อย่างมีประสิทธิภาพ ทั้งนี้ ส่วนบนและล่างของขดลวดจะติดตั้งเดือยแหลมเล็ก ๆ วางอยู่บนฐานรองเดือย เพื่อให้ขดลวดสามารถหมุนหรือเคลื่อนที่ได้อย่างอิสระเมื่อเกิดแรงแม่เหล็กกระทำ



รูปที่ 2.8 รูปแบบของเดือยและรองเดือยแบบปรับได้

ที่มา : http://pansak.50megs.com/Measu01/sheet01.html สืบค้นเมื่อวันที่ 30/10/2566

บริเวณเดือยด้านบนและล่างของขดลวดเคลื่อนที่ จะมีสปริงก้นหอยติดตั้งไว้ ทำหน้าที่ควบคุมการหมุนของขดลวดให้กลับสู่ตำแหน่งสมดุลอย่างถูกต้อง นอกจากนี้ด้านบนของขดลวดมีเข็มชี้ติดอยู่เพื่อแสดงค่าการวัดบนสเกล โดยเข็มชี้เคลื่อนที่ตามแรงหมุนของขดลวดเคลื่อนที่ ซึ่งเกิดจากกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่าน



รูปที่ 2.9 องค์ประกอบของขดลวดเคลื่อนที่ของสปริงก้นหอยและเข็มชี้

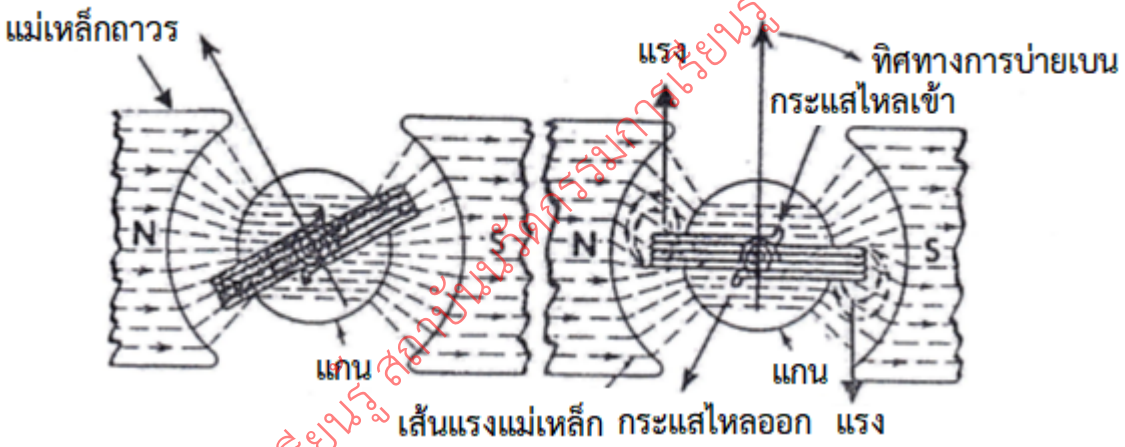
ที่มา : http://pansak.50megs.com/Measu01/sheet01.html สืบค้นเมื่อวันที่ 30/10/2566

ศูนย์บรรณสารและการเรียนรู้ สถาบันวิทยบริการและการเรียนรู้ มหาวิทยาลัยพะเยา

เมื่อมีการจ่ายกระแสตรงเข้าสู่ขดลวดเคลื่อนที่ในมิเตอร์ สนามแม่เหล็กไฟฟ้าจะถูกสร้างขึ้นภายในขดลวด ซึ่งสนามนี้จะมีทิศทางที่แน่นอนตามขั้วของแรงดันที่ป้อนไฟเข้า โดยมีการกำหนดขั้วกระแสไว้ล่วงหน้าเพื่อควบคุมให้ทิศทางการเบี่ยงเบนของขดลวดเป็นไปตามต้องการ

สนามแม่เหล็กที่เกิดจากขดลวดจะมีขั้วเหมือนกับสนามแม่เหล็กของแม่เหล็กถาวร กล่าวคือ ด้านซ้ายของขดลวดเป็นขั้วเหนือ (N) และด้านขวาเป็นขั้วใต้ (S) ดังที่แสดงไว้ในรูปที่ 2.9 เมื่อสนามแม่เหล็กทั้งสองขั้วเหมือนกันเกิดการผลักกัน ขดลวดจึงถูกบังคับให้หมุนออกจากตำแหน่งเดิม เข็มชี้ซึ่งติดอยู่กับแกนของขดลวดก็จะเคลื่อนไปตามมาตราสเกลเพื่อแสดงค่าที่วัดได้

ในขณะเดียวกัน สปริงเกลียวหรือสปริงก้นหอยที่ยึดขดลวดไว้จะเริ่มคลายตัวเพื่อสร้างแรงต้านกลับ ซึ่งช่วยควบคุมการหมุนไม่ให้เลยจุดสมดุล การเบี่ยงเบนของขดลวดจะมากหรือน้อยขึ้นกับปริมาณกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านขดลวดหากกระแสต่ำสนามแม่เหล็กไฟฟ้าก็อ่อน และแรงผลักที่เกิดขึ้นจะน้อย ทำให้เข็มเบี่ยงเล็กน้อยแต่ถ้ากระแสไฟฟ้าสูงสนามแม่เหล็กก็จะแรงขึ้นตามส่งผลให้แรงผลักเพิ่มขึ้น และขดลวดเคลื่อนที่มากขึ้น เข็มชี้จึงเบี่ยงไปมากตามหลักการที่แสดงไว้ในรูปที่ 2.10



(ก) ขณะที่ไม่มีกระแสไหลเข้าขดลวด (ข) ขณะที่มีกระแสไหลเข้าขดลวด

รูปที่ 2.10 การเกิดการบ่ายเบนของเข็มชี้เมื่อจ่ายกระแสผ่านขดลวด

ที่มา : http://pansak.50megs.com/Measu01/sheet01.html สืบค้นเมื่อวันที่ 30/10/2566

แรงที่เกิดขึ้นในมิเตอร์แบบดาร์สันวาล์ (D' Arsonval Meter) เกิดจากปฏิกิริยาระหว่างสนามแม่เหล็กสองสนาม ซึ่งทำหน้าที่ผลักดันขดลวดให้เคลื่อนที่ โดยสามารถอธิบายได้จากสมการต่อไปนี้

$$F = NBIL \qquad (2.1)$$

เมื่อ F คือ แรงเหนี่ยวนำที่เกิดขึ้น หน่วย (N)
N คือ จำนวนรอบของขดลวดเคลื่อนที่
B คือ ความหนาแน่นของเส้นแรงแม่เหล็ก หน่วย (Wb/m^2)
I คือ กระแสที่ไหลผ่านขดลวดเคลื่อนที่ หน่วย (mA)
L คือ ด้านยาวของกรอบพันขดลวดเคลื่อนที่ หน่วย (m)

ศูนย์บรรณสารและการเรียนรู้ สถาบันวิทยบริการเรียนรู้ มหาวิทยาลัยพะเยา

แรงบิด (Torque) = Fb

แทนค่าสมการ (2.1)

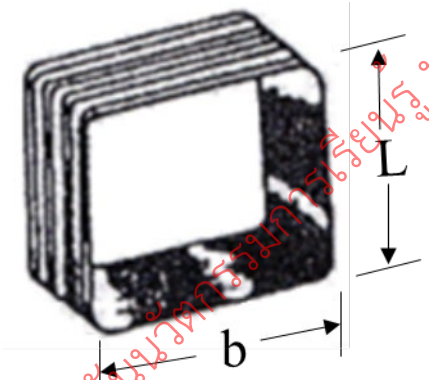
$$T = NBILb$$

$$T = NBIA \qquad (2.2)$$

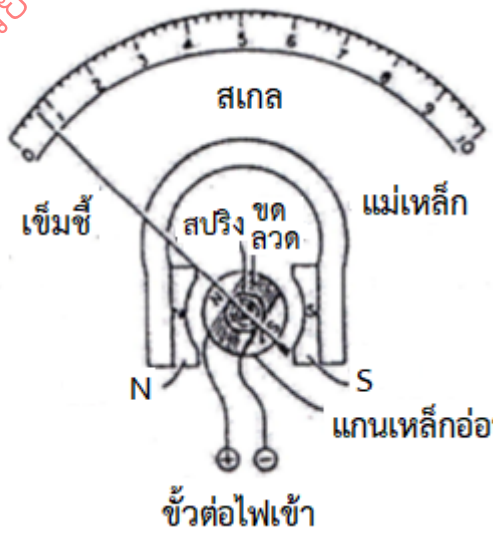
T คือ แรงบิด หน่วย (N·m)

A คือ พื้นที่ในกรอบขดลวดเคลื่อนที่

$A = L \cdot b$ หน่วย m^2

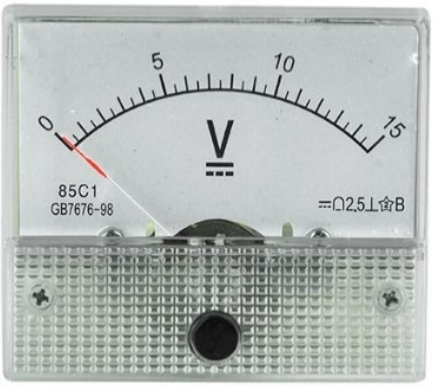


รูปที่ 2.11 ขดลวดเคลื่อนที่แสดงด้านกว้างและด้านยาว



รูปที่ 2.12 รูปแบบของมิเตอร์ชนิดขดลวดเคลื่อนที่

ศูนย์บรรณสารและการเรียนรู้ สถาบันพัฒนาการเรียนรู้ มหาวิทยาลัยพะเยา



รูปที่ 2.13 ภาพจริงของมิเตอร์ชนิดขดลวดเคลื่อนที่

ข้อดี

- ใช้พลังงานไฟฟ้าในการวัดต่ำ
- สเกลแสดงผลมีลักษณะเป็นเชิงเส้น ทำให้อ่านค่าได้ง่ายและแม่นยำตลอดช่วงการวัด
- มีอัตราส่วนระหว่างแรงบิดกับน้ำหนักตัวเครื่องสูง ส่งผลให้ตอบสนองต่อกระแสไฟฟ้าได้รวดเร็ว
- สามารถประยุกต์ใช้งานได้หลากหลาย เช่น นำไปดัดแปลงเป็นแอมมิเตอร์หรือโวลต์มิเตอร์ได้โดยไม่ซับซ้อน
- ไม่มีการสูญเสียจากพลังงานแม่เหล็ก ทำให้มีความแม่นยำและเสถียร
- มีการป้องกันผลกระทบจากสนามแม่เหล็กภายนอกได้ดี เนื่องจากสนามแม่เหล็กภายในมีความเข้มสูง
- แรงบิดที่เพิ่มขึ้นสามารถเหนี่ยวนำกระแสไหลวนได้อย่างเหมาะสม ช่วยเพิ่มความแม่นยำในการวัด

ข้อจำกัด

- มีโครงสร้างที่ค่อนข้างเปราะบาง จึงต้องการการผลิตที่ใช้ความประณีต ส่งผลให้ต้นทุนสูงกว่ามิเตอร์แบบอื่น และเครื่องมือที่มีความแม่นยำสูง
- สปริงที่ใช้ในกลไกอาจเกิดการล้าตามอายุการใช้งาน ทำให้ค่าที่วัดได้เกิดความคลาดเคลื่อนเมื่อใช้งานไปนาน ๆ
- ไม่ทนต่อแรงกระแทกหรือการสั่นสะเทือนรุนแรง ซึ่งอาจทำให้เดือยรองรับเกิดการคดงอ ส่งผลให้กลไกการหมุนผิดปกติ

ศูนย์บรรณสารและสื่อการเรียนรู้ สถาบันวิทยบริการเพื่อการเรียนรู้ มหาวิทยาลัยพะเยา

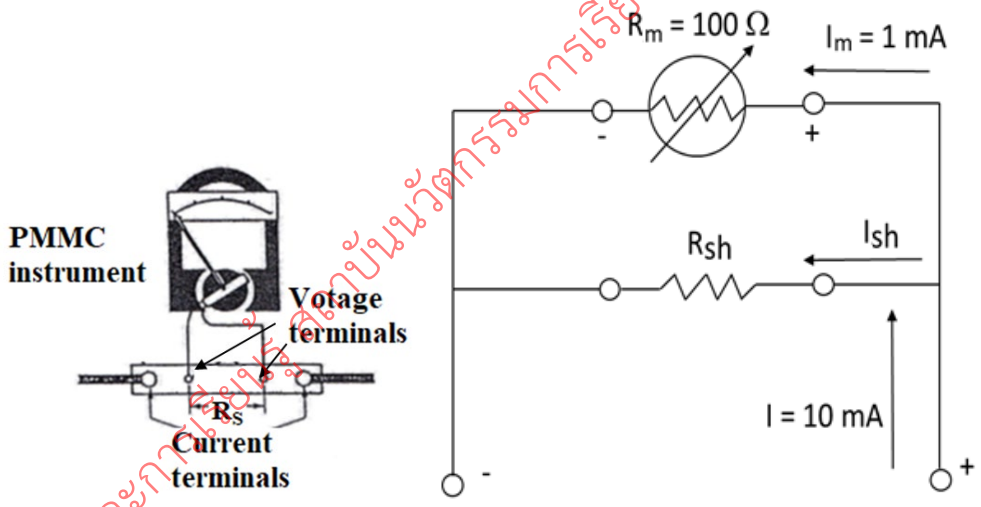
2.2 แอมมิเตอร์สำหรับไฟฟ้ากระแสตรง

2.2.1 ลักษณะของเครื่องวัดกระแสตรง (DC Ammeter)

แอมมิเตอร์กระแสตรง หรือ Direct Current Ammeter (DC Ammeter) เป็นอุปกรณ์ที่ใช้ตรวจวัดค่าของกระแสไฟฟ้าชนิดกระแสตรงในระบบไฟฟ้า โดยพื้นฐานการทำงานของเครื่องมือนี้อิงจากหลักการของระบบขดลวดเคลื่อนที่ในสนามแม่เหล็กถาวร (Permanent Magnet Moving Coil: PMMC)

เนื่องจากขดลวดของเครื่องวัดมีความสามารถในการรับกระแสได้ในปริมาณจำกัด หากนำไปใช้วัดกระแสที่มีค่ามากกว่าความสามารถของตัวเครื่องโดยตรง อาจทำให้เกิดความเสียหาย ดังนั้น เพื่อให้สามารถใช้งานกับกระแสที่มีค่ามากขึ้นได้ จำเป็นต้องมีการเชื่อมตัวต้านทานชนิดความต้านทานต่ำมาก ซึ่งเรียกว่า "ตัวต้านทานเชนต์" (Shunt Resistance: R_{sh}) ต่อขนานเข้ากับขดลวดภายในเครื่องมือวัด

นอกจากนี้ ภายในตัวเครื่องยังมีการติดตั้งตัวต้านทานภายในที่มีค่าคงที่ (R_m) ซึ่งช่วยควบคุมกระแสและปกป้องกลไกของเครื่องวัดให้ทำงานได้อย่างถูกต้อง ตัวอย่างการเชื่อมต่อแสดงไว้ในรูปที่ 2.14



(ก) โครงสร้างของ PMMC (ข) วงจรแอมมิเตอร์พื้นฐาน

รูปที่ 2.14 รูปแบบของแอมมิเตอร์

จากรูปที่ 2.14 ตัวต้านทานชันท์ (R_{sh}) จะถูกต่อขนานกับความต้านทานภายในของมิเตอร์ (R_m) ซึ่งตัวต้านทานชันท์นี้มีหน้าที่ควบคุมกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านขดลวดเคลื่อนที่ไม่ให้เกินค่ากระแสสูงสุดที่สเกลกำหนดไว้ (I_m) โดยทั่วไป กระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านตัวต้านทานชันท์ (I_{sh}) จะมีค่ามากกว่ากระแสที่ไหลผ่านขดลวดของมิเตอร์ ทำให้มิเตอร์สามารถวัดกระแสที่มีค่ามากกว่าความจุของขดลวดได้

การคำนวณค่าความต้านทานชันท์ (R_{sh}) สามารถทำได้โดยใช้กฎของโอห์ม ซึ่งพารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้องมีดังนี้

R_{sh} คือ ความต้านทานชันท์ ต่อขนานกับขดลวด (Ω)

ศูนย์บรรณสารและการเรียนรู้ สถาบันนวัตกรรมการเรียนรู้ มหาวิทยาลัยนเรศวร

R_m คือ ความต้านทานภายในของขดลวด (Ω)

I คือ ค่ากระแสไฟฟ้าที่ต้องการวัด (A)

I_{sh} คือ กระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านตัวต้านทานชันท์ (A)

I_m คือ ค่ากระแสสูงสุดที่ขดลวดสามารถรับได้ (A)

จากรูป 2.14 (ข) แรงดันที่ตกคร่อมขดลอดเคลื่อนที่ของมิเตอร์คือ

$$V_m = I_m \cdot R_m \tag{2.3}$$

วงจรแบบขนาน ดังนั้น

$$V_{sh} = V_m \tag{2.4}$$

จาก

$$I_{sh} \cdot R_{sh} = I_m \cdot R_m \tag{2.5}$$

จาก

$$I = I_{sh} + I_m$$

หรือ

$$I_{sh} = I - I_m \tag{2.6}$$

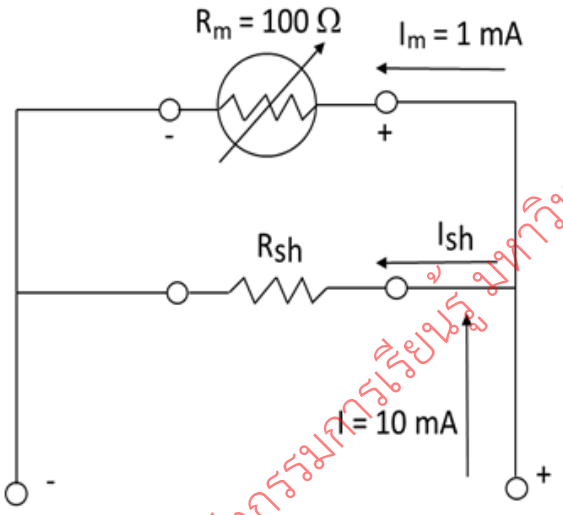
แทนสมการ (2.6) ในสมการ (2.5)

$$R_{Sh} = \frac{I_m}{(I - I_m)} R_m \tag{2.7}$$

ศูนย์บรรณสารและการเรียนรู้ สถาบันนวัตกรรมการเรียนรู้ มหาวิทยาลัยพะเยา

2.2.2 การสร้างแบบจำลองแอมมิเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง

ตัวอย่างที่ 2.3 สมมติว่ามิเตอร์ชนิดขดลวดเคลื่อนที่มีค่ากระแสสูงสุดที่ขดลวด (I_m) เท่ากับ 1 mA (0.001 A) และมีความต้านทานภายใน (R_m) เท่ากับ 100 **Ω** ต้องการใช้มิเตอร์นี้วัดกระแสไฟฟ้าตั้งแต่ 0 ถึง 10 mA (0.01 A) โจทย์ให้หาค่าความต้านทานขนาน (R_{sh}) ที่ต้องต่อเพิ่ม เพื่อให้มิเตอร์สามารถวัดกระแสได้ถึง 10 mA



รูปที่ 2.15 วงจรแอมมิเตอร์ที่วัดกระแสได้ 0 -10 mA

วิธีทำ จากสมการ (2.3)

กระแสทั้งหมดที่ต้องการวัด คือ I = 0.01 A
กระแสที่ไหลผ่านขดลวดคือ I_m = 0.001 A
กระแสที่ไหลผ่านตัวต้านทานขนานคือ

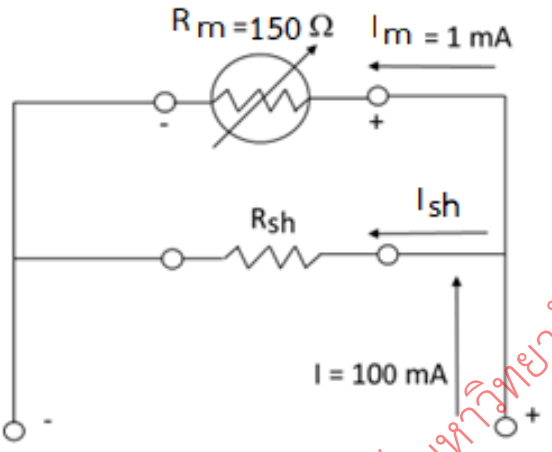
$$I_{sh} = I - I_m = 0.01 - 0.001 = 0.009 \text{ A}$$

ใช้กฎของโอห์มและหลักการต่อตัวต้านทานขนาน

$$R_{sh} = I_m \times R_m I_{sh} = 0.001 \times 1000.009 = 11.11 \text{ Ω}$$

ศูนย์บรรณสารและการเรียนรู้ สถาบันนวัตกรรมการเรียนรู้ มหาวิทยาลัยพะเยา

ตัวอย่าง 2.4 แอมมิเตอร์ในวงจรมีขีดจำกัดของกระแสที่วัดได้สูงสุดที่ 1 mA และมีค่าความต้านทานภายในเท่ากับ 150 โอห์ม เมื่อต้องการใช้งานให้สามารถวัดกระแสไฟฟ้าได้ถึง 100 mA จำเป็นต้องต่อความต้านทานขนานเพื่อให้กระแสส่วนเกินไหลผ่านเส้นทางอื่นแทนขดลวดของมิเตอร์



รูปที่ 2.16 วงจรแอมมิเตอร์วัดกระแสได้ 0 – 100 mA

วิธีทำ จากโจทย์

- กระแสทั้งหมดที่ต้องการวัด I =100 mA = 0.1 A
- กระแสที่ไหลผ่านขดลวดของมิเตอร์ I_m=1 mA = 0.001 A
- ค่าความต้านทานภายในของมิเตอร์ R_m=150 Ω
- กระแสที่ไหลผ่านตัวต้านทานขนาน I_{sh}= I–I_m= 0.1–0.001= 0.099 A

ใช้สูตรคำนวณค่าความต้านทานขนาน

$$R_{sh} = \frac{I_m R_m}{I_{sh}} = \frac{(0.001)(150)}{0.099}$$

$$R_{sh} = \frac{0.15}{0.099} = 1.515\ \Omega$$

แอมมิเตอร์แบบหลายช่วงการวัด (Multirange Ammeter)

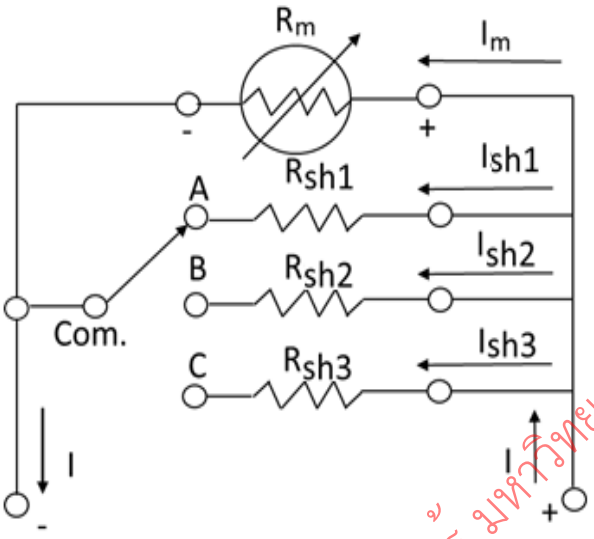
เพื่อให้แอมมิเตอร์สามารถใช้งานได้หลากหลายขอบเขตของค่ากระแสไฟฟ้า การปรับปรุงเครื่องมือวัดชนิดนี้จึงทำโดยการเพิ่มตัวต้านทานแบบขนานกับขดลวดเคลื่อนที่หลายค่า และใช้สวิตช์สำหรับเลือกพิสัย (Selector Switch) เป็นตัวกำหนดขอบเขตของค่ากระแสที่ต้องการวัดในแต่ละครั้งตามความเหมาะสม

แอมมิเตอร์ลักษณะนี้แบ่งได้ 2 รูปแบบ ดังนี้

1. **ชนิดพื้นฐานหลายพิสัย (Simple Multirange Type)** หรืออีกชื่อหนึ่งว่า แบบแยกอิสระ (Individual Type) สำหรับแอมมิเตอร์ในลักษณะนี้ ตัวต้านทานแต่ละค่าในแต่ละพิสัยการวัดจะทำงานอย่างแยกจากกัน กล่าวคือ ตัวต้านทานขนานจะมีการต่อแยกในแต่ละช่วงการวัดอย่างอิสระ เมื่อมีการ

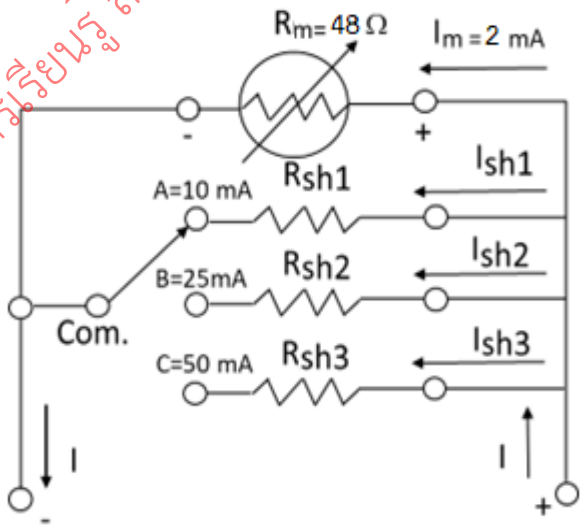
ศูนย์บรรณสารและการเรียนรู้ สถาบันบัณฑิตพัฒนบริหารศาสตร์ มหาวิทยาลัยพะเยา

เลือกช่วงวัดกระแสด้วยสวิตช์ จะมีเพียงตัวต้านทานที่สัมพันธ์กับช่วงนั้นเท่านั้นที่ถูกใช้งาน ดังภาพประกอบในรูปที่ 2.17



รูปที่ 2.17 แอมมิเตอร์แบบอินดิวิดวล

ตัวอย่างที่ 2.5 แอมมิเตอร์กระแสตรงตัวหนึ่งอ่านค่ากระแสได้เต็มสเกลที่ 2 มิลิแอมแปร์ และมีค่าความต้านทานภายในของเครื่องวัดเท่ากับ 48 โอห์ม หากต้องการเพิ่มช่วงการวัดกระแสให้สามารถตรวจวัดได้ที่ระดับ 10 mA, 25 mA และ 50 mA ให้คำนวณหาค่าตัวต้านทานแบบขนานที่จะต้องนำมาต่อร่วมกับแอมมิเตอร์สำหรับแต่ละช่วงการวัดเหล่านี้



รูปที่ 2.18 วงจรดีซีแอมมิเตอร์แบบอินดิวิดวล

วิธีทำ

คำนวณค่าความต้านทานที่ต้องนำมาต่อแบบขนาน (R_{sh}) กับแอมมิเตอร์ได้โดยใช้สูตร

ศูนย์บรรณสารและการเรียนรู้ สถาบันพัฒนาการเรียนรู้ มหาวิทยาลัยพะเยา

$$R_{sh} = \frac{I_m R_m}{I_{sh} - I_m}$$

โดยที่

I = กระแสรวมที่ต้องการวัด (10 mA, 25 mA, 50 mA)

I_m = กระแสเต็มสเกลของแอมมิเตอร์ = 2 mA

R_m = ความต้านทานภายในของแอมมิเตอร์ = 48 Ω

พิสัยที่ 1 ที่ 10 mA

$$R_{sh} = \frac{2 \times 48}{10-2} = 12\Omega$$

พิสัยที่ 2 ที่ 25 mA

$$R_{sh} = \frac{2 \times 48}{25-2} = 4.17\Omega$$

พิสัยที่ 3 ที่ 50 mA

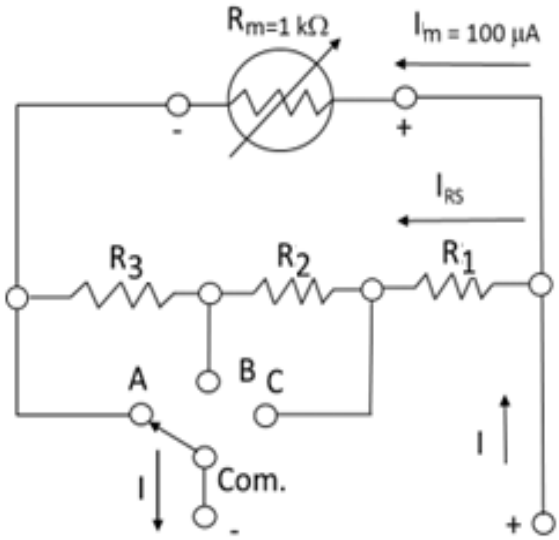
$$R_{sh} = \frac{2 \times 48}{50 - 2} = 2\Omega$$

ข้อควรระวัง ในการใช้งานแอมมิเตอร์ชนิดหลายพิสัยวัด คือ ขณะทำการหมุนสวิตช์เพื่อเปลี่ยนช่วงพิสัยการวัดตามโครงสร้างในรูปที่ 2-17 อาจเกิดกระแสไฟฟ้าจำนวนมากไหลผ่านเข้าสู่ขดลวดเคลื่อนที่โดยตรงชั่วขณะ ซึ่งเสี่ยงต่อความเสียหายของแอมมิเตอร์ เนื่องจากกระแสเกินค่าที่ขดลวดรับได้

เพื่อป้องกันปัญหาดังกล่าว ควรใช้ออกแบบวงจรแอมมิเตอร์ให้เป็นแบบอายร์ตันชันท์ (Ayrton Shunt) ซึ่งทำให้ในทุกพิสัยการวัด กระแสส่วนใหญ่จะไหลผ่านตัวต้านทานแทนที่จะผ่านขดลวดโดยตรง และช่วยให้การเปลี่ยนช่วงวัดสามารถทำได้อย่างปลอดภัยโดยไม่เสี่ยงทำลายอุปกรณ์

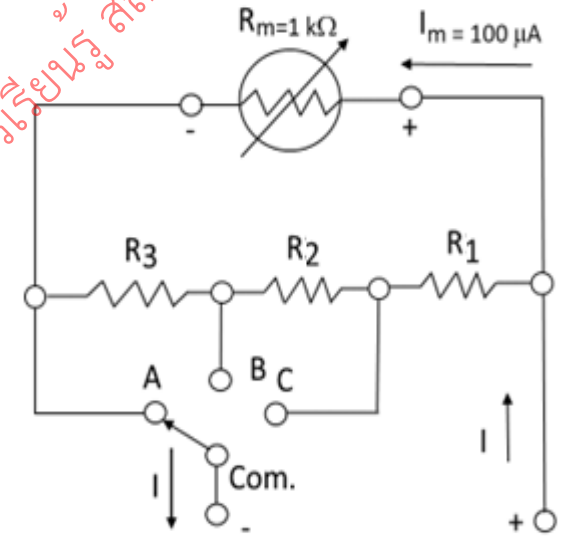
1. **แบบอายร์ตันชันท์ (Ayrton Shunt)** หรือที่เรียกว่า แบบยูนิเวอร์แซล (Universal Type) เป็นวิธีการออกแบบวงจรแอมมิเตอร์เพื่อแก้ไขปัญหาที่อาจเกิดขึ้นจากการเปลี่ยนพิสัยการวัดในแอมมิเตอร์ชนิดหลายพิสัยที่ใช้การต่อชันท์แยกอิสระแบบเดิม ในการออกแบบวงจรแอมมิเตอร์แบบอายร์ตันชันท์นั้น จะใช้ ตัวต้านทานหลายตัว R_1 R_2 และ R_3 ต่อแบบเรียงลำดับ หรือวงจรอนุกรม และต่อขนานกับขดลวดเคลื่อนที่ของมิเตอร์ วงจรนี้จะถูกออกแบบให้สามารถเลือกพิสัยการวัดกระแสไฟฟ้าได้หลายระดับโดยไม่เสี่ยงทำให้กระแสเกินไหลผ่านขดลวดโดยตรง

ศูนย์บรรณสารและการเรียนรู้ สถาบันนวัตกรรมการเรียนรู้ มหาวิทยาลัยพะเยา



รูปที่ 2.19 วงจรแอมมิเตอร์แบบอายร์ตันชันท์ (Ayrton Shunt)

ตัวอย่างที่ 2.6 แอมมิเตอร์กระแสตรงชนิดอายร์ตันชันท์ (Ayrton Shunt) ตามวงจรในรูปที่ 2.20 มี ค่าความต้านทานภายในของมิเตอร์เท่ากับ 1 กิโลโอห์ม และ สามารถอ่านค่ากระแสได้สูงสุดที่ 100 ไมโครแอมแปร์ ต้องการใช้แอมมิเตอร์นี้วัดกระแสในพิสัยที่กว้างขึ้น 10 มิลลิแอมแปร์ 100 มิลลิแอมแปร์ และ 1 แอมแปร์ จงหาค่าความต้านทานของตัวต้านทานแบบอนุกรมในวงจร เช่น R_1, R_2 และ R_3 ซึ่งจะต่อร่วมกับมิเตอร์ในลักษณะแบบอายร์ตันชันท์



รูปที่ 2.20 วงจรอายร์ตันชันท์ (Ayrton Shunt)

วิธีทำ ที่พิสัยวัด 10 mA

ค่าความต้านทาน $R_{sh} = R_1 + R_2 + R_3$, $I = 10$ mA, $I_m = 100$ μA, $R_{m1} = 1k\Omega$

ศูนย์บรรณสารและการเรียนรู้ สถาบันพัฒนาการเรียนรู้ มหาวิทยาลัยพะเยา

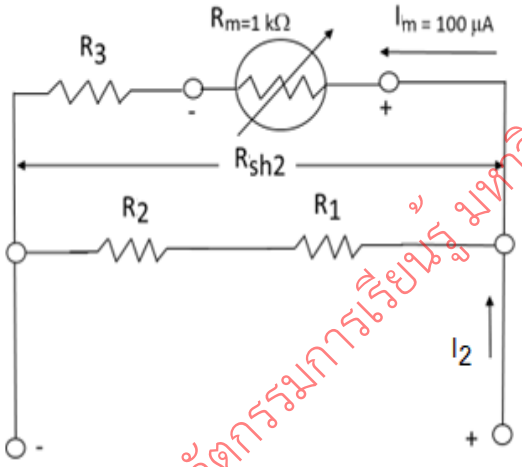
จะได้ $R_{sh} = \frac{Im}{I-Im} \times R_m = R_1 + R_2 + R_3$

$$R_{sh1} = \frac{(100\mu A)(1k\Omega)}{(10mA-100\mu A)}$$

$$R_{sh1} = 10.10\ \Omega$$

$$\therefore R_1 + R_2 + R_3 = 10.10\ \Omega \qquad (2.8)$$

ที่ย่านวัด 100 mA จะได้วงจรดังรูป 2.21



รูปที่ 2.21 วงจรแอมมิเตอร์ย่านวัด 100 mA

ค่าความต้านทาน $R_{sh2} = R_1 + R_2$

เมื่อ $I_m = 100\ \mu A$ และ $I = 100\ mA$ และความต้านทานภายในมิเตอร์ $R_{m2} = R_m + R_3$

$$V_{(Rm+R3)} = V_{(R1+R2)}$$

$$I_m \times (R_m + R_3) = (R_1+R_2) \times (I - I_m)$$

$$R_1 + R_2 = \frac{I_m}{I-I_m} \times (R_m + R_3)$$

$$= \left(\frac{100\ \mu A}{100\ mA-100\ \mu A}\right) \times (1\ k\Omega + R_3)$$

$$\therefore R_1 + R_2 = 1.001 \times 10^{-3}(1\ k\Omega + R_3) \qquad (2.9)$$

จากสมการ (2.8)

$$R_1 + R_2 + R_3 = 10.10\ \Omega$$

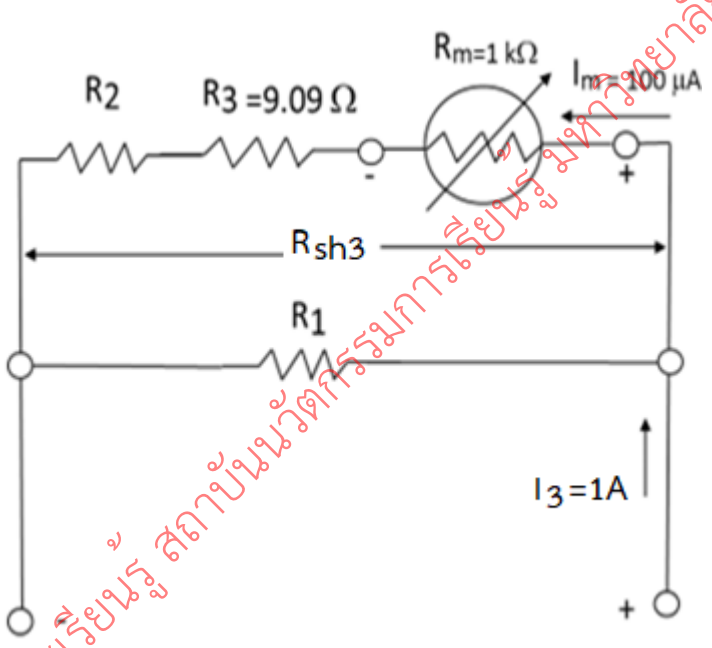
$$\therefore\ R_1 + R_2 = 10.10\ \Omega - R_3 \qquad (2.10)$$

ศูนย์บรรณสารและสื่อการเรียนรู้ สถาบันนวัตกรรมการเรียนรู้ มหาวิทยาลัยพะเยา

จากสมการ (2.9) และ (2.10) จะได้

$$10.10\Omega - R_3 = 10.10 + 10^{-3} R_3$$
$$1.001 \times 10^{-3} R_3 + R_3 = 10.10\Omega - 1.010\Omega$$
$$1.001\ R_3 = 0.099\Omega$$
$$R_3 = \frac{9.099\Omega}{1.001}$$
$$\therefore\ R_3 = 9.09\Omega$$

ที่พิสัยวัด 1 A จะได้วงจรดังรูป 2.22



รูปที่ 2.22 วงจรแอมมิเตอร์ย่านวัด 1 A

ค่าความต้านทาน $R_{sh} = R_1$

I_m = 100 μA ความต้านทานภานในมิเตอร์ (R_{m3}) = $R_2 + R_3 + R_m$

และ I = 1 A

$$V_{(R2 + R3 + Rm)} = V_{(R1)}$$

$$I_m \times (R_2 + R_3 + R_m) = (I - I_m) \times (R_1)$$

$$R_1 = \frac{I_m}{I - I_m} (R_2 + R_3 + R_m)$$

$$R_1 = \frac{100\ \mu A}{1A - 100\ \mu A} \times (1\ k\Omega + 9.09\ \Omega + R_2)$$

ศูนย์วิทยทรัพยากร สถาบันนวัตกรรมการเรียนรู้ มหาวิทยาลัยพะเยา

$$\therefore R_1 = 1 \times 10^{-4} (1{,}009.09\ \Omega + R_2) \qquad (2.11)$$

จากสมการ (2.8)

$R_1 + R_2 + R_3 = 10.10\ \Omega$

เมื่อ $R_3 = 9.09\ \Omega$

$R_1 = 10.1\ \Omega - 9.09\ \Omega - R_2$

$\therefore R_1 = 1.01\ \Omega - R_2$

แทนค่า R_1 ในสมการ (2.11)

$0.001\ R_2 + R_2 = 1.01\ \Omega - 0.1009\ \Omega$

$1.0001 R_2 = 0.9091\ \Omega$

$$R_2 = \frac{0.9091\ \Omega}{1.0001}$$

$\therefore R_2 = 0.909\ \Omega$

แทนค่า R_2 ในสมการ (2.11)

$R_1 = 1.01\ \Omega - R_2$

$R_1 = 1.01\ \Omega - 0.909\ \Omega$

$\therefore R_1 = 0.101\ \Omega$

ตอบ $R_1 = 0.101\ \Omega$, $R_2 = 0.909\ \Omega$ และ $R_3 = 9.09\ \Omega$

ข้อดี

แอมมิเตอร์แบบอายร์ตันชันท์มีจุดเด่นตรงที่สามารถป้องกันไม่ให้กระแสไฟฟ้าไหลเข้าสู่ขดลวดเคลื่อนที่มากเกินค่าที่กำหนด ซึ่งช่วยป้องกันความเสียหายต่อเครื่องวัดและยืดอายุการใช้งานของอุปกรณ์ได้อย่างมีประสิทธิภาพ

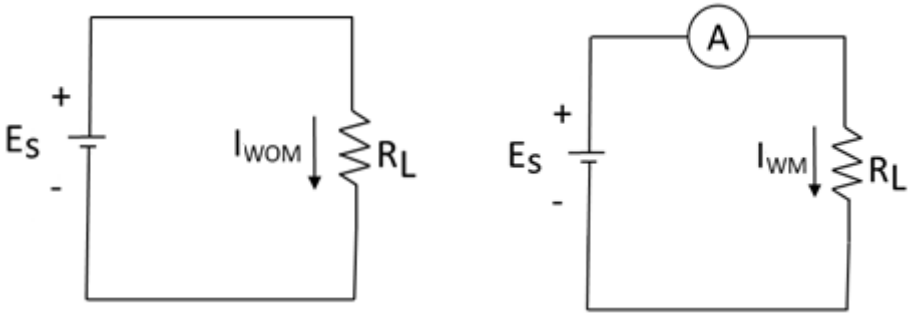
ข้อจำกัด

อย่างไรก็ตาม หากค่าความต้านทานในวงจรเกิดการเปลี่ยนแปลง ไม่ว่าจะเพิ่มขึ้นหรือลดลง ก็อาจส่งผลให้ค่ากระแสไฟฟ้าที่วัดได้ในทุกช่วงพิสัยเกิดความคลาดเคลื่อน ไม่แม่นยำตามต้องการ

2.2.3 ผลกระทบจากโหลดของแอมมิเตอร์ในวงจรกระแสตรง

ผลกระทบจากการโหลดของแอมมิเตอร์ (Ammeter Loading Effects) หมายถึง ความคลาดเคลื่อนที่เกิดขึ้นระหว่างการใช้งานแอมมิเตอร์เพื่อวัดกระแสไฟฟ้าในวงจร โดยเมื่อมีการต่อแอมมิเตอร์เข้าไปในวงจร จะส่งผลให้ค่าความต้านทานรวมของวงจรเพิ่มขึ้น ส่งผลให้กระแสไฟฟ้าที่ไหลในวงจรลดลงจากค่าจริงที่ควรจะเป็น ซึ่งความคลาดเคลื่อนนี้จะขึ้นอยู่กับความสัมพันธ์ระหว่างค่าความต้านทานภายในของวงจรและความต้านทานภายในของแอมมิเตอร์

ศูนย์บรรณสารและการเรียนรู้ สถาบันนวัตกรรมการเรียนรู้ มหาวิทยาลัยพะเยา



(ก) ไม่ต่อแอมมิเตอร์ในวงจร (ข) แอมมิเตอร์ต่ออยู่ในวงจร

รูปที่ 2.23 การโหลดของแอมมิเตอร์

เมื่อพิจารณาวงจรไฟฟ้าตามรูปที่ 2.23 (ก) จะพบว่ากระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านตัวต้านทานโหลด R_L มีค่าเท่ากับ I_{wom} (ย่อมาจาก Without Meter) ซึ่งเป็นค่ากระแสที่เกิดขึ้นในสภาวะที่ยังไม่ได้ต่อแอมมิเตอร์เข้าในวงจร

แต่เมื่อมีการนำแอมมิเตอร์มาต่อเข้าในวงจร เพื่อใช้ในการวัดค่ากระแสไฟฟ้าดังแสดงในรูปที่ 2.23 (ข) จะทำให้ค่ากระแสไฟฟ้าในวงจรลดลง โดยกระแสที่วัดได้นี้เรียกว่า I_w (ย่อมาจาก With Meter) สาเหตุของการลดลงนี้เกิดจากการที่แอมมิเตอร์มีค่าความต้านทานภายใน ซึ่งเมื่อถูกนำมาต่ออนุกรมกับวงจร จะทำให้ความต้านทานรวมของวงจรเพิ่มขึ้น ส่งผลให้กระแสไฟฟ้าโดยรวมลดลง

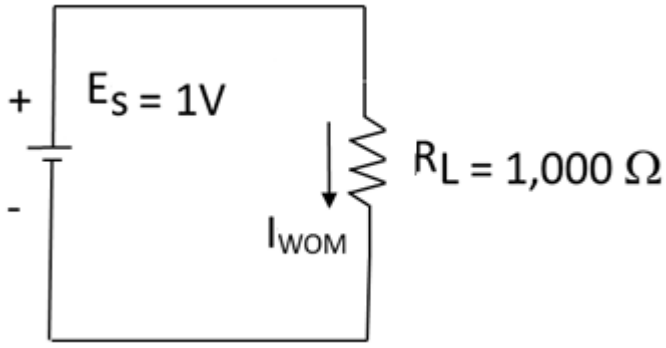
คำนวณหาค่าความผิดพลาดที่เกิดจากผลกระทบของโหลดแอมมิเตอร์นี้ได้ โดยใช้สมการ (2.12) ซึ่งแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่ากระแสที่แท้จริงและค่ากระแสที่วัดได้ พร้อมทั้งพิจารณาความคลาดเคลื่อนที่เกิดขึ้นจากการเพิ่มค่าความต้านทานของแอมมิเตอร์ในวงจร

$$\% \text{ ความผิดพลาดที่เกิดจากผลกระทบของโหลด} = \left(1 - \frac{I_{WM}}{I_{WOM}}\right) \times 100\% \qquad (2.12)$$

เมื่อ I_{wm} คือ กระแสเมื่อต่อแอมมิเตอร์เข้าไปในวงจร
I_{wom} คือ กระแสที่ไม่ได้ต่อแอมมิเตอร์

ตัวอย่างที่ 2.7 พิจารณาวงจรไฟฟ้าตามรูปที่ 2.22 ซึ่งมีแหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้า E_s ขนาด 1 โวลต์ และตัวต้านทานโหลด R_L ขนาด 1,000 โอห์ม มีการใช้แอมมิเตอร์ที่ตั้งพิสัยการวัดไว้ที่ 1 mA โดยแอมมิเตอร์มีค่าความต้านทานภายในเท่ากับ 100 โอห์มในพิสัยนี้ จงคำนวณเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนของค่ากระแสไฟฟ้าที่เกิดขึ้น เนื่องจากผลของโหลดจากแอมมิเตอร์

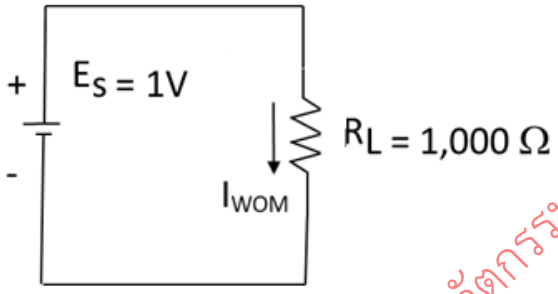
ศูนย์บรรณสารและการเรียนรู้ สถาบันวิทยบริการและเทคโนโลยีสารสนเทศ มหาวิทยาลัยพะเยา



รูปที่ 2.22 วงจรการต่อโหลดของแอมมิเตอร์

วิธีทำ

หาค่ากระแสในวงจรจริงขณะไม่ได้ต่อแอมมิเตอร์วัด (I_{wom})

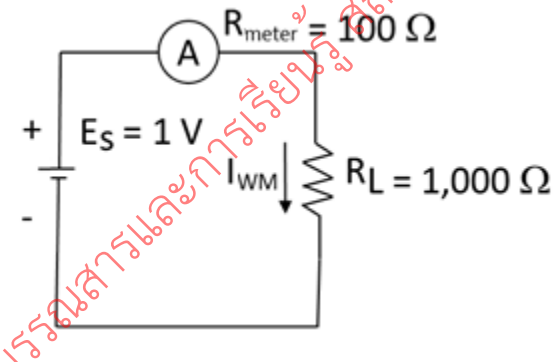


จากรูปจะได้ $I_{wom} = \frac{E_S}{R_L}$

$= \frac{1}{1{,}000\Omega}$

$= 1$ mA

จากนั้นต่อแอมมิเตอร์เข้าไปหาค่ากระแสขณะต่อมิเตอร์วัด (I_{wm})



จากรูปจะได้ $I_{wm} = \frac{E_S}{R_L + R_{Meter}}$

$= \frac{1}{1{,}000\Omega + 100\Omega}$

$= 0.91$mA

การคำนวณเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนที่เกิดจากผลการโหลดของแอมมิเตอร์จากสูตร

$$\% \text{ ความคลาดเคลื่อนจากโหลดแอมมิเตอร์} = \left(1 - \frac{I_{WN}}{I_{WON}}\right) \times 100$$

$$= \left(1 - \frac{0.91}{1}\right) \times 100$$

$= 9\ \%$

ตอบ เปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนที่เกิดจากผลของโหลดแอมมิเตอร์มีค่าเท่ากับ 9%

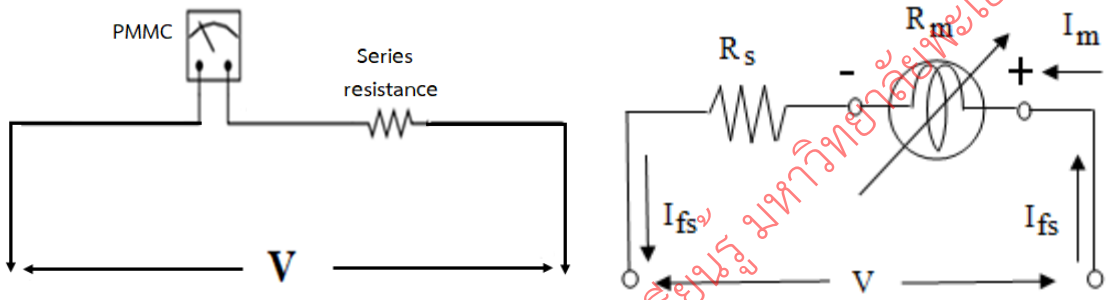
ศูนย์บรรณสารและการเรียนรู้ สถาบันนวัตกรรมการเรียนรู้ มหาวิทยาลัยพะเยา

2.3 โวลต์มิเตอร์สำหรับไฟฟ้ากระแสตรง (DC Voltmeter)

2.3.1 รูปแบบของโวลต์มิเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง

เป็นเครื่องมือวัดความต่างศักย์ไฟฟ้าในวงจร โดยทำงานตามหลักการของเครื่องวัดแบบขดลวดเคลื่อนที่ถาวร (PMMC) เมื่อมีแรงดันไฟฟ้าเข้าสู่เครื่องวัด จะมีกระแสไฟฟ้าขนาดเล็ก (I_m) ไหลผ่านขดลวด ซึ่งมีความต้านทานภายใน (R_m) ทำให้เกิดแรงดันตกคร่อมในมิเตอร์ตามสมการ $V = I_m \times R_m$

เนื่องจากขดลวดสามารถรับแรงดันได้จำกัด การเพิ่มช่วงการวัดแรงดันจึงทำได้โดยการต่อความต้านทานภายนอก (R_s) แบบอนุกรมกับขดลวด เพื่อแบ่งแรงดันส่วนเกินออกจากมิเตอร์ และป้องกันไม่ให้แรงดันตกคร่อมเกินค่าที่กำหนด



(ก) การต่อความต้านทานอนุกรมเข้ากับขดลวดเคลื่อนที่ (ข) วงจรโวลต์มิเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง

รูปที่ 2.23 รูปแบบของโวลต์มิเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง

จากรูปที่ 2.23 (ข) โดยที่

R_m คือ ความต้านทานภายในขดลวดเคลื่อนที่ หน่วย (Ω)
R_s คือ ความต้านทานที่ต่ออนุกรมกับขดลวดเคลื่อนที่ หน่วย (Ω)
R_T คือ ความต้านทานทั้งหมดของโวลต์มิเตอร์ หน่วย (Ω)
I_m คือ กระแสไฟฟ้าที่เข็มชี้เต็มสเกล หน่วย (A)
V คือ แรงดันไฟฟ้าของพิสัยวัด (range) หน่วย (V)

พิจารณาหาค่าความต้านทานที่ต่ออนุกรมจะได้ว่า

$$R_S = \frac{(V_{fs} - (I_m \times R_m))}{I_m}$$

$$\frac{V_{fs}}{I_m} = I_m \frac{R_m}{I_m}$$

$$R_S = \frac{V_{fs}}{I_m} - R_m \qquad (2.13)$$

ความไวในการวัด (sensitivity) มีค่า

$$S = \frac{1}{I_{fs}} \qquad (2.14)$$

ศูนย์บรรณสารและการเรียนรู้ คณะนวัตกรรมการเรียนรู้ มหาวิทยาลัยพะเยา

เมื่อ S คือ ความไวในการวัด หน่วย (Ω / V)
$I_m = I_{fs}$ คือ กระแสไฟฟ้าที่เต็มสเกล หน่วย (A)

แทนที่สมการ (2.14) ลงในสมการ (2.13)

$$\therefore R_s = S \times V$$

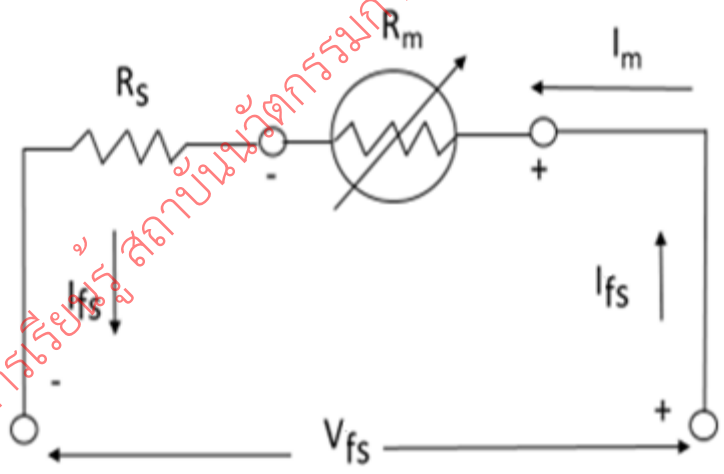
หรือ

$$R_s = (S \times R_{ange}) - R_m \qquad (2.15)$$

2.3.2 การออกแบบโวลต์มิเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง

1. โวลต์มิเตอร์ที่มีพิสัยวัดเดี่ยว (Single-range Voltmeter)

ตัวอย่างที่ 2.8 ต้องการนำมิเตอร์ชนิดหนึ่งมีกระแสเต็มสเกล 1 mA และมีความต้านทานภายใน 150 Ω มาสร้างเป็นโวลต์มิเตอร์สำหรับวัดแรงดันไฟฟ้าสูงสุด 50 V จงหาค่าความต้านทานที่ต้องนำมาต่อแบบอนุกรมกับมิเตอร์เพื่อให้ใช้งานได้ในย่านวัดนี้



รูปที่ 2.24 โวลต์มิเตอร์กระแสตรง

วิธีทำ

$I_m = 1$ mA , $R_m = 150\ \Omega$, $V_{fs} = 50$ V

จากสูตร $$R_s = \frac{V_{fs}}{I_m} - R_m$$

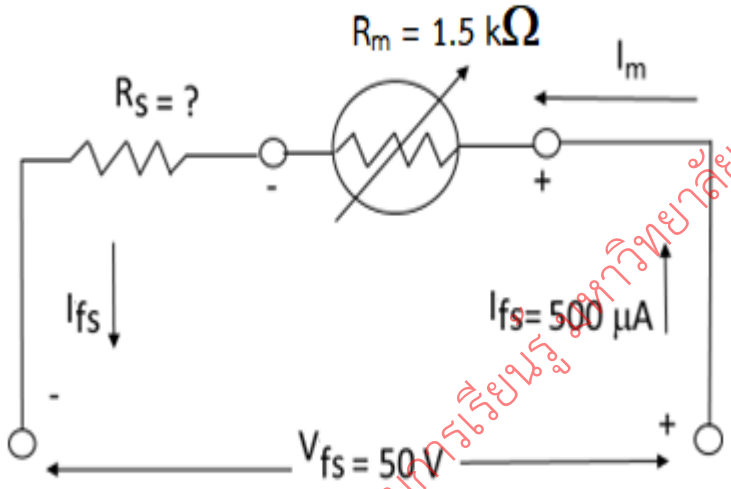
$$R_s = \frac{50V}{1mA} - 150\ \Omega$$

$$R_s = 49.85\ k\Omega$$

ศูนย์บรรณสารและการเรียนรู้ สถาบันนวัตกรรมการเรียนรู้ มหาวิทยาลัยพะเยา

ตอบ ตัวต้านทานที่นำมาต่ออันดับคือ 49.85 kΩ

ตัวอย่างที่ 2.9 เมื่อให้ความต้านทานภายใน R_m=1.5 kΩ ที่ต่อในการวัดแรงดันไฟฟ้า 50 V และมีค่าความต้านทานภายใน 1 kΩ และมิเตอร์มีกระแสไฟฟ้าเต็มสเกล (I_{FS}) 500 μA จงคำนวณหาความต้านทานขยายพิสัย R_s



รูปที่ 2.25 วงจรโวลต์มิเตอร์ขยายย่านวัด

วิธีทำ

เมื่อ V = 50 V, I_{FS} = 500 μA, R_m = 1.5 kΩ

จะได้

$$R_S = (S \times R_{rage}) - R_m$$

$$S = \frac{1}{I_{fs}} = \frac{1}{500\ \mu A} = 2\ k\Omega / V$$

$$R_S = (2\ k\Omega \times 50\ V) - R_m$$

$$R_s = 100\ k\Omega - 1.5\ k\Omega = 98.5\ k\Omega$$

ตอบ ตัวต้านทานขยายพิสัยวัดมีค่า 98.5 kΩ

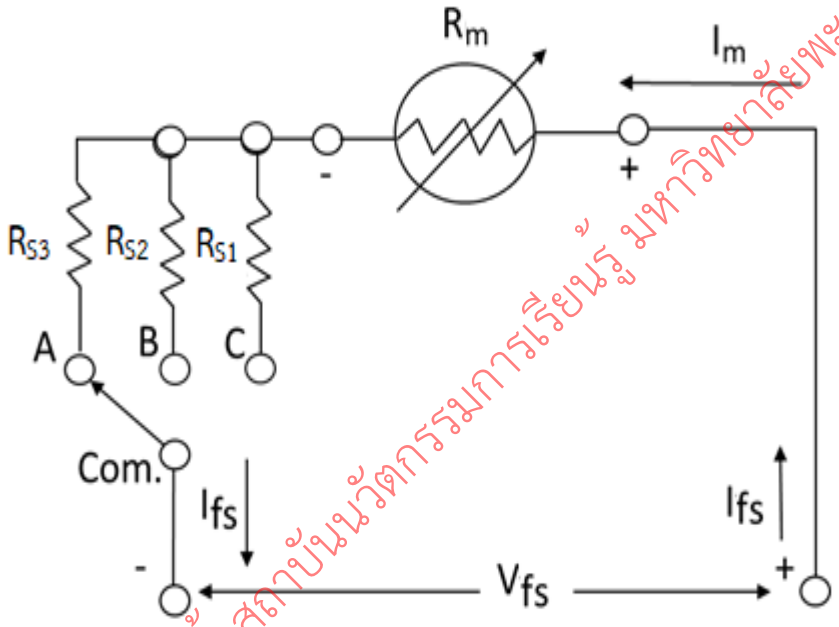
ศูนย์บรรณสารและการเรียนรู้ สถาบันนวัตกรรมการเรียนรู้ มหาวิทยาลัยพะเยา

2. โวลต์มิเตอร์แบบหลายพิสัย

การใช้งานโวลต์มิเตอร์สามารถขยายช่วงการวัดแรงดันไฟฟ้าได้โดยการต่อร่วมกับตัวต้านทานทวีคูณ (Multiplier Resistor) แบบอนุกรม ซึ่งจะช่วยลดกระแสที่ไหลผ่านขดลวดเคลื่อนที่ลง หากต้องการให้โวลต์มิเตอร์สามารถวัดแรงดันไฟฟ้าได้หลายพิสัย สามารถทำได้ 2 วิธีหลัก ได้แก่

1. แบบอินดิวิดวล (Individual Type)

ใช้ตัวต้านทานทวีคูณหลายตัว โดยแต่ละตัวจะถูกออกแบบให้เหมาะสมกับพิสัยการวัดที่ต้องการและแยกการทำงานออกจากกันอย่างอิสระ ดังแสดงในรูปที่ 2.26



รูปที่ 2.26 วงจรโวลต์มิเตอร์หลายย่านวัดแบบอินดิวิดวล

ในการเปลี่ยนพิสัยการวัดของโวลต์มิเตอร์ จะใช้ สวิตช์เลือกพิสัย (Selector Switch) ทำหน้าที่เชื่อมต่อระหว่างมิเตอร์กับตัวต้านทานทวีคูณ (R_s) ที่เหมาะสมในแต่ละช่วงการวัด ซึ่งหลักการนี้มีความคล้ายคลึงกับการเปลี่ยนพิสัยของแอมมิเตอร์

โดยจะสมมุติค่าความต้านทานทวีคูณแต่ละตัวเป็น R_{s1}, R_{s2}, R_{s3}, ..., R_{sn} ซึ่งแต่ละตัวจะถูกเลือกใช้งานผ่านสวิตช์ ตามพิสัยแรงดันไฟฟ้าที่ต้องการวัด ดังแสดงในรูปที่ 2.26

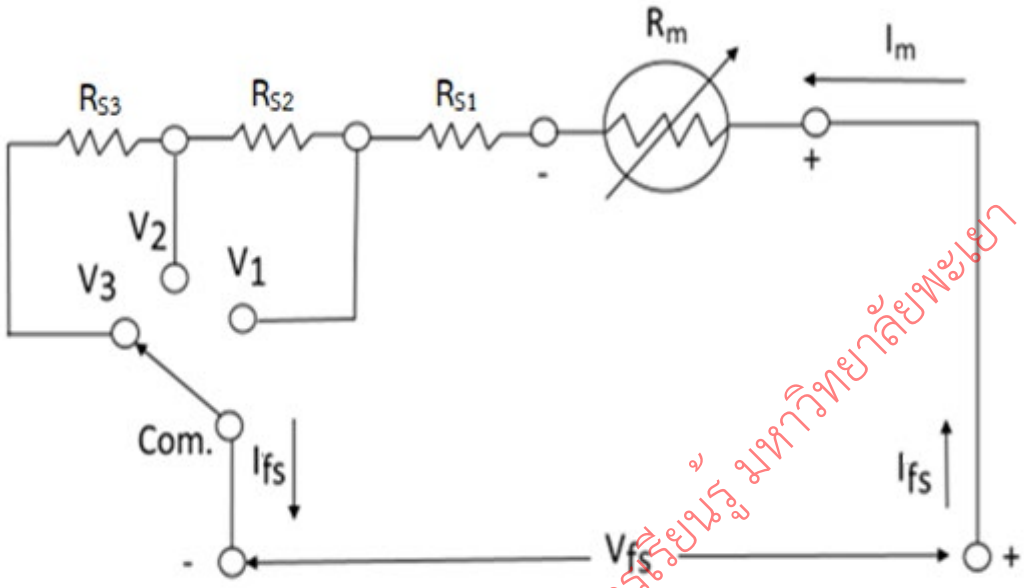
$$R_{S1} = \frac{V_1}{I_{fs}} - R_m \qquad (2.16)$$

$$R_{S2} = \frac{V_2}{I_{fs}} - R_m \qquad (2.17)$$

ศูนย์บรรณสารและสื่อการเรียนรู้ สถาบันนวัตกรรมการเรียนรู้ มหาวิทยาลัยพะเยา

$$R_{S3} = \frac{V_3}{I_{fs}} - R_m \qquad (2.18)$$

2. แบบยูนิเวอร์แซล การต่อวงจรในลักษณะนี้จะใช้ตัวต้านทานทวีคูณหลายตัวต่อเรียงกันเป็นลำดับ จากนั้นจึงนำไปต่อเข้ากับมิเตอร์ตามลำดับ ดังรูปที่ 2.27



รูปที่ 2.27 วงจรโวลต์มิเตอร์ไฟฟ้าแบบหลายย่าน

จากรูปที่ 2.27 จะได้

$$R_{S1} = \frac{V_1}{I_{fs}} - R_m \qquad (2.19)$$

$$R_{S2} = \frac{V_2}{I_{fs}} - R_m - R_{S1} \qquad (2.20)$$

$$R_{S3} = \frac{V_3}{I_{fs}} - R_m - R_{S1} - R_{S2} \qquad (2.21)$$

ตัวอย่างที่ 2.10 การหาค่าตัวต้านทานทวีคูณสำหรับวงจรโวลต์มิเตอร์ จากโจทย์ จงหาค่าตัวต้านทานทวีคูณ (Multiplier Resistor) ที่ต้องต่อกับโวลต์มิเตอร์เพื่อให้สามารถวัดแรงดันได้ในช่วง 3 V, 10 V และ 30 V

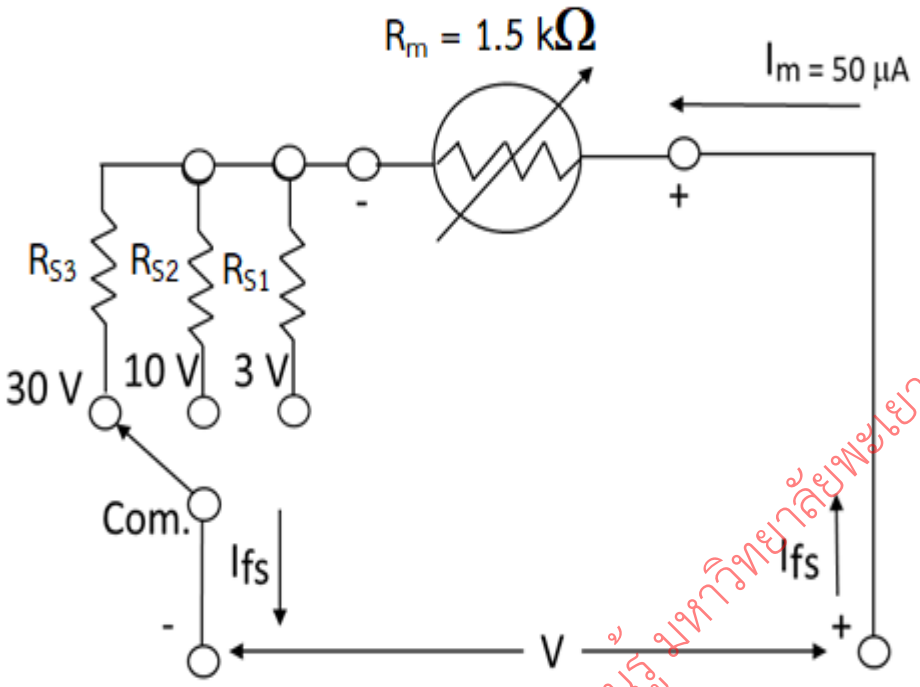
วิธีทำ

ข้อมูลที่กำหนดให้

ความต้านทานภายในของโวลต์มิเตอร์ (R_m) = 1.5 kΩ

กระแสเต็มสเกล (I_{fs}) = 50 μA

ศูนย์บรรณสารและสื่อการเรียนรู้ สถาบันนวัตกรรมการเรียนรู้ มหาวิทยาลัยพะเยา



รูปที่ 2.28 วงจรตัวต้านทานทวีแรงดัน (Voltage Multiplier Resistor Network)

ความไวของมิเตอร์เป็น $S = \frac{1}{I_{fs}} = \frac{1}{50\ \mu A} = 20\ k\Omega / V$

จาก $R_S = (S \times R_{range}) - R_m$

ที่พิสัย 3 V

$R_{S1} = (20\ k\Omega \times 3\ V) - 1.5\ k\Omega = 58.5\ k\Omega$

ที่พิสัย 10 V

$R_{S2} = (20\ k\Omega \times 10\ V) - 1.5\ k\Omega = 198.5\ k\Omega$

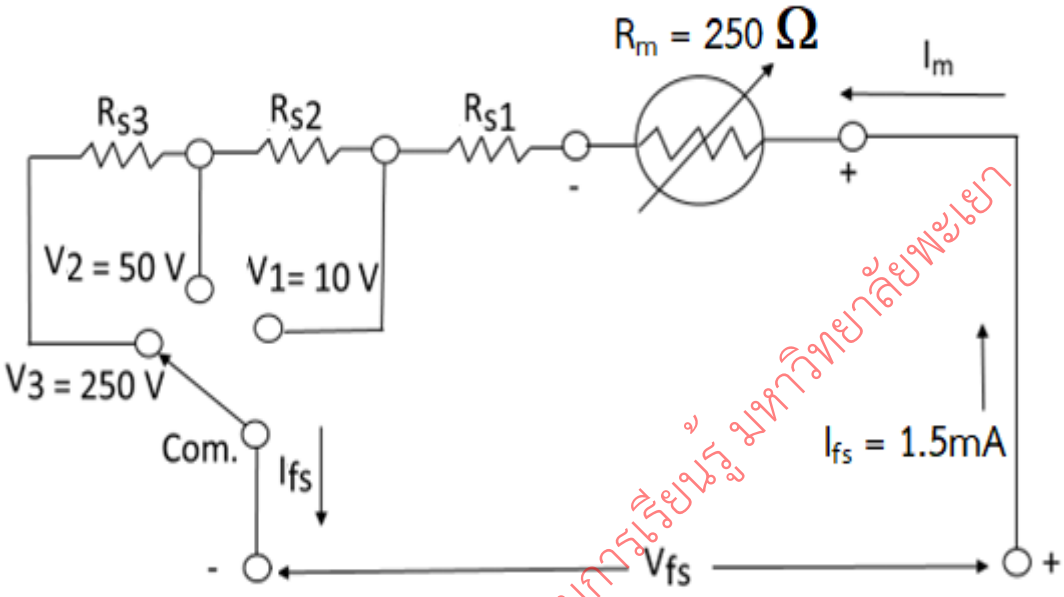
ที่พิสัย 30 V

$R_{S3} = (20\ k\Omega \times 30\ V) - 1.5\ k\Omega = 598.5\ k\Omega$

ตอบ R_{s1} = 58.5 kΩ , R_{s2} = 198.5 kΩ และ R_{s3} = 598.5 kΩ

ศูนย์บรรณสารและการเรียนรู้ สถาบันวิทยบริการเรียนรู้ มหาวิทยาลัยพะเยา

ตัวอย่างที่ 2.11 มิลลิแอมมิเตอร์ที่มีความต้านทานภายใน 250 Ω มีกระแสเต็มสเกล 1.5 mA และ ต้องการดัดแปลงให้ใช้งานเป็นโวลต์มิเตอร์ที่สามารถวัดแรงดันไฟฟ้าได้ 3 พิสัย ได้แก่ 10 V, 50 V และ 250 V จงคำนวณหาค่าตัวต้านทานทวีคูณ ที่ต้องนำมาต่ออนุกรมกับมิลลิแอมมิเตอร์ เพื่อให้สามารถวัดแรงดันได้ตามพิสัยที่กำหนด



รูปที่ 2.29 วงจรตัวต้านทานทวีแรงดัน (Voltage Multiplier Resistor Network)

วิธีทำ จาก I_{fs} = 1.5mA และ R_m = 250 Ω

หาความไว $S = \frac{1}{I_{fs}} = \frac{1}{1.5mA} = 666\ \Omega$

และจาก $R_S = (S \times Range) - R_m$

ที่พิสัย 10 V

$R_{s1} = (0.666k\Omega \times 10\ V) - 250\ \Omega = 5.75\ k\Omega$

ที่พิสัย 50 V

$R_{s2} = (0.666\ k\Omega \times 50\ V) - 250\ \Omega - 5.75\ k\Omega = 27.3\ k\Omega$

ที่พิสัย 250 V

$R_{s3} = (0.666\ k\Omega \times 250\ V) - 250\Omega - 5.75\ k\Omega - 27.3\ k\Omega = 133.2\ k\Omega$

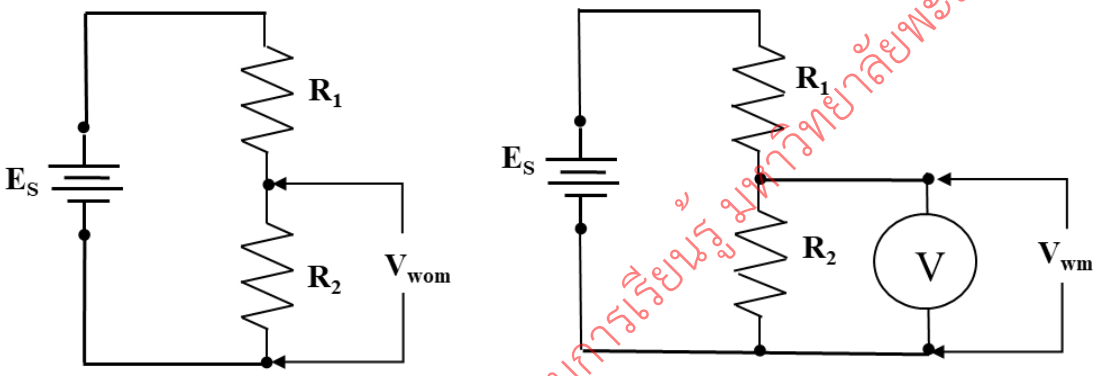
ตอบ R_{s1} = 5.75 kΩ , R_{s2} = 27.3 kΩ และ R_{s3} = 133.2 kΩ

ศูนย์บรรณสารและสื่อการเรียนรู้ สถาบันเทคโนโลยีการเรียนรู้ มหาวิทยาลัยพะเยา

2.3.3 ผลการโหลดของโวลต์มิเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง

ผลของการโหลด (Voltage Loading Effect) ของโวลต์มิเตอร์เกิดขึ้นเมื่อโวลต์มิเตอร์ถูกนำไปวัดแรงดันตกคร่อมที่ตัวต้านทานในวงจร โดยการต่อโวลต์มิเตอร์แบบขนานกับองค์ประกอบในวงจรจะส่งผลให้ความต้านทานรวมลดลงจากค่าปกติ ซึ่งแตกต่างจากกรณีที่ไม่มีโวลต์มิเตอร์ต่ออยู่เลย

ความต้านทานรวมที่ลดลงนี้จะทำให้แรงดันตกคร่อมในจุดที่ต้องการวัดมีค่าลดลง ส่งผลให้โวลต์มิเตอร์แสดงค่าแรงดันต่ำกว่าค่าจริง หรือค่าที่ได้จากการคำนวณตามทฤษฎี ซึ่งถือเป็นข้อผิดพลาดที่เกิดจากการโหลดของเครื่องมือวัดเอง



(ก) แรงดันตกคร่อมขณะไม่ต่อโวลต์มิเตอร์ (V_{wom}) (ข) แรงดันตกคร่อมเมื่อต่อโวลต์มิเตอร์ (V_{wm})

รูปที่ 2.30 รูปแบบของผลการโหลดของโวลต์มิเตอร์

จากรูปที่ 2.30 (ก) ซึ่งเป็นวงจรที่ยังไม่ได้ต่อโวลต์มิเตอร์ เข้ากับตัวต้านทาน R_2 เราสามารถคำนวณแรงดันตกคร่อมที่ R_2 ได้โดยใช้กฎของโอห์มและหลักการแบ่งแรงดัน (Voltage Divider)

$$V_{wom} = \frac{R_2}{R_1+R_2} \times Vs \qquad (2.22)$$

จากรูปที่ 2.30 (ข) แรงดันตกคร่อมเมื่อต่อโวลต์มิเตอร์ (R_2) จะลดลงจากค่าที่ควรจะเป็น กรณีไม่ต่อโวลต์มิเตอร์ เนื่องจากการโหลดของโวลต์มิเตอร์ ซึ่งทำให้ความต้านทานรวมของสาขา R_2 ลดลง และแรงดันแบ่งตกคร่อมก็น้อยลงตามไปด้วย

$$V_{wm} = \frac{R_2 /\!/ R_{METER}}{R_1+(R_2 /\!/ R_{METER})} \times Vs \qquad (2.23)$$

จะสังเกตได้ว่า เมื่อความต้านทาน R_2 ถูกต่อขนานกับความต้านทานภายในของโวลต์มิเตอร์ R_{METER} ค่าความต้านทานรวมของสาขานี้จะลดลง ส่งผลให้แรงดันตกคร่อมที่วัดได้โดยโวลต์มิเตอร์มีค่าต่ำกว่าค่าที่ควรจะเป็นจริง ความคลาดเคลื่อนนี้เรียกว่า ค่าความผิดพลาดที่เกิดจากการโหลดของโวลต์มิเตอร์ (Volt Meter Loading Error) ซึ่งสามารถคำนวณ เปอร์เซ็นต์ความผิดพลาด ได้จากสูตร

ศูนย์บรรณสารและการเรียนรู้ กายอนามัยการเรียนรู้ มหาวิทยาลัยพะเยา

$$\% \text{ Loading error} = \left(1 - \frac{V_{WM}}{V_{WOM}}\right) \times 100 \qquad (2.24)$$

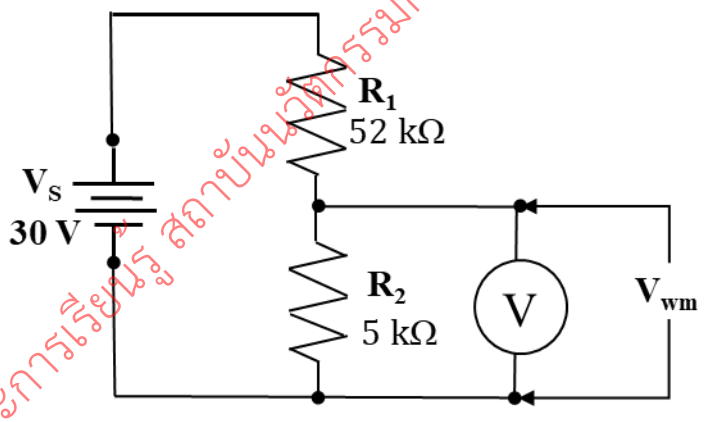
การแก้ปัญหาผลการโหลดของโวลต์มิเตอร์ ในการวัดแรงดันไฟฟ้าในวงจรด้วยโวลต์มิเตอร์ อาจเกิดข้อผิดพลาดจากผลของการโหลด ซึ่งทำให้ค่าแรงดันที่วัดได้ต่ำกว่าค่าจริง เนื่องจากโวลต์มิเตอร์ไปลดทอนความต้านทานรวมของวงจรที่วัด

ตัวอย่างที่ 2.12 พิจารณาวงจรที่มีความต้านทาน R_2 และมีโวลต์มิเตอร์ 2 ตัวใช้วัดแรงดันตกคร่อมที่ R_2 โดยรายละเอียดของโวลต์มิเตอร์ทั้งสองเป็นดังนี้

- โวลต์มิเตอร์ตัวที่ 1 ความไว S=1 kΩ/V, พิสัยการวัด = 10 V

- โวลต์มิเตอร์ตัวที่ 2 ความไว S=20 kΩ/V, พิสัยการวัด = 10 V

จงหาค่าร้อยละของความคลาดเคลื่อน ที่เกิดจากผลของการโหลดของโวลต์มิเตอร์แต่ละตัวในการวัดแรงดันตกคร่อมที่ R_2



รูปที่ 2.31 โวลต์มิเตอร์

วิธีทำ หาแรงดันตกคร่อม R_2 ขณะที่ไม่ต่อมิเตอร์

$$V_{wom} = \frac{R_2}{R_1 + R_2} \times Vs$$

$$V_{wom} = \frac{5\ k\Omega}{52\ k\Omega + 5\ k\Omega} \times 30V = 2.63V$$

จะได้ค่าแรงดันตกคร่อม R_2 ขณะที่ไม่ได้ต่อโวลต์มิเตอร์เป็น 5 V เมื่อนำโวลต์มิเตอร์ตัวที่ 1 เข้ามาทำการวัดจะอ่านค่าแรงดันเป็น

$$V_{wm1} = \frac{R_2 /\!/ R_{METER}}{R_1 + (R_2 /\!/ R_{METER1})} \times Vs$$

ศูนย์บรรณสารและการเรียนรู้ สถาบันนวัตกรรมการเรียนรู้ มหาวิทยาลัยพะเยา

ในที่นี้ความต้านทานของโวลต์มิเตอร์ตัวที่ 1 ที่พิสัย 10 V หาได้จาก

$$R_{METER1} = S_{METER1} \times \text{Range}$$

$$= 1\ k\Omega \times 10V = 10k\Omega$$

$$V_{wm1} = \frac{5\ k\Omega \,/\!/ 10\ k\Omega}{52\ k\Omega + (5\ k\Omega \,/\!/ 10\ k\Omega)} \times 30\ V$$

$$= \frac{3.33\ k\Omega}{52\ K\Omega + 3.33\ K\Omega} \times 30\ V$$

$$V_{wm1} = 1.80\ V$$

$$\%\ \text{Loading error} = \left(1 - \frac{V_{WM1}}{V_{WOM}}\right) \times 100$$

$$= \left(1 - \frac{1.80V}{5\ v}\right) \times 100$$

เมื่อ โวลต์มิเตอร์ตัวที่ 1 วัดผิดพลาด = 64 %

เมื่อนำโวลต์มิเตอร์ตัวที่ 2 เข้ามาทำการวัดจะอ่านค่าแรงดันเป็น

$$V_{wm2} = \frac{R_2 \,/\!/ R_{METER}}{R_1 + (R_2 \,/\!/ R_{METER1})} \times V_S$$

ในที่นี้ความต้านทานของโวลต์มิเตอร์ตัวที่ 2 ที่พิสัย 10 V หาได้จาก

$$R_{METER1} = \text{Range} \times S_{METER2}$$

$$= 10\ V \times 20\ k\Omega$$

$$= 200\ k\Omega$$

$$V_{wm2} = \frac{5k \,/\!/ 200\ k\Omega}{52\ k\Omega + (5\ k\Omega \,/\!/ 200\ k\Omega)} \times 30V$$

$$= \frac{4.88\ k\Omega}{52\ k\Omega + 4.88\ k\Omega} \times 30V$$

$$V_{wm2} = 2.57\ V$$

ศูนย์บรรณสารและการเรียนรู้ สถาบันนวัตกรรมการเรียนรู้ มหาวิทยาลัยพะเยา

$$\% \text{ Loading error} = \left(1 - \frac{V_{WM2}}{V_{WOM}}\right) \times 100$$

$$= \left(1 - \frac{2.57\ V}{5\ V}\right) \times 100$$

เมื่อ โวลต์มิเตอร์ตัวที่ 2 วัดค่าผิดพลาด = 48.6 %

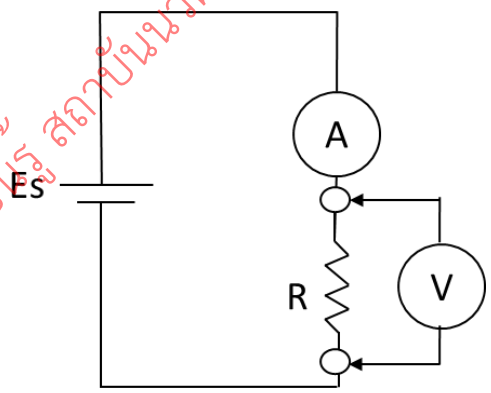
ดังนั้น โวลต์มิเตอร์ตัวที่ 1 วัดค่าผิดพลาด = 64 %

ตอบ โวลต์มิเตอร์ตัวที่ 2 วัดค่าผิดพลาด = 48.6 %

2.4 โอห์มมิเตอร์

2.4.1 ลักษณะของโอห์มมิเตอร์

โอห์มมิเตอร์เป็นเครื่องมือที่ใช้สำหรับวัดค่าความต้านทานทางไฟฟ้าของอุปกรณ์หรือวงจรที่ไม่ทราบค่าความต้านทานมาก่อน โดยการวัดจะอิงตามหลักของกฎโอห์ม ซึ่งระบุว่า ดังนี้



รูปที่ 2.32 การวัดค่าแอมมิเตอร์และโวลต์มิเตอร์

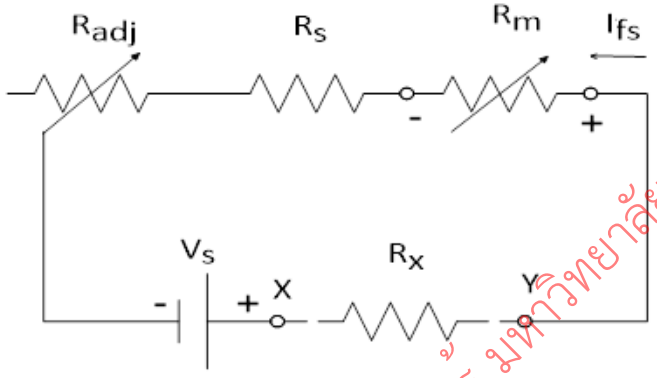
วิธีการวัดค่าความต้านทานโดยให้เครื่องสามารถอ่านค่าได้โดยตรง เรียกว่า โอห์มมิเตอร์ ซึ่งมักใช้เครื่องวัดชนิดขดลวดเคลื่อนที่ (PMMC) ดัดแปลงใช้งาน และสามารถแบ่งออกได้เป็น 3 ประเภทหลัก คือ โอห์มมิเตอร์แบบอนุกรม (Series Type Ohmmeter) โอห์มมิเตอร์แบบขนาน (Shunt Type Ohmmeter) และ โอห์มมิเตอร์ที่มีหลายพิสัยวัด (Multiple-range Ohmmeters)

ศูนย์บรรณสารและการเรียนรู้ สถาบันนวัตกรรมการเรียนรู้ มหาวิทยาลัยพะเยา

2.4.2 การออกแบบโอห์มมิเตอร์

1. โอห์มมิเตอร์แบบอนุกรม (Series Type Ohmmeter)

โอห์มมิเตอร์ชนิดนี้ประกอบด้วยเครื่องวัดแบบขดลวดเคลื่อนที่ ต่ออนุกรมกับตัวต้านทานและแบตเตอรี่ ดังแสดงในรูปที่ 2.33 ภายในวงจรจะมีตัวต้านทานปรับค่าได้ (R_{adj}) ใช้สำหรับปรับศูนย์โอห์ม (Zero-ohms adjust) เพื่อให้เครื่องแสดงค่าได้อย่างแม่นยำเมื่อเข็มชี้อยู่ที่ตำแหน่งศูนย์โอห์มขณะต่อขั้ววัดเข้าด้วยกัน



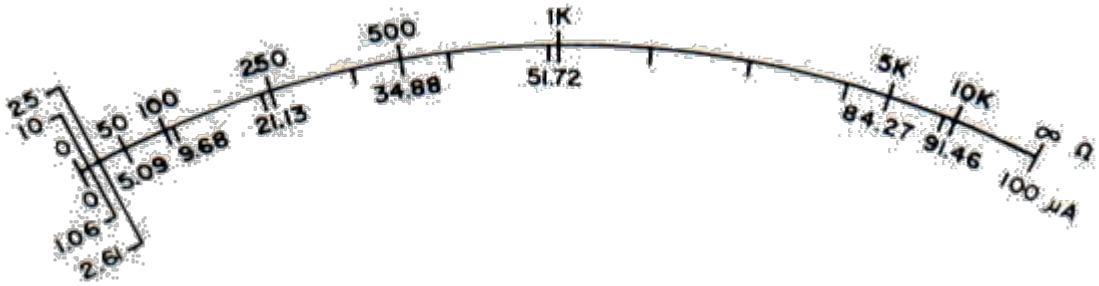
รูปที่ 2.33 วงจรโอห์มมิเตอร์แบบอันดับ

เมื่อ

R_m	คือ	ความต้านทานภายในมิเตอร์
R_s	คือ	ความต้านทานในวงจร
R_x	คือ	ความต้านทานที่ต้องการจะวัดค่า
R_{daj}	คือ	ความต้านทานปรับศูนย์โอห์ม
V_s	คือ	แหล่งจ่าย

การปรับศูนย์ของโอห์มมิเตอร์

คือการลัดวงจรระหว่างขั้ว X และ Y ดูรูปที่ 2.33) เพื่อให้กระแสในวงจรไหลสูงสุด จากนั้นปรับค่าความต้านทาน R_{adj} จนเข็มชี้ค่ากระแสสูงสุดของสเกล (I_{fs}) ซึ่งตำแหน่งนี้คือ "0 Ω" ต้องปรับศูนย์ทุกครั้งก่อนวัด เพื่อความแม่นยำ เมื่อต่อตัวต้านทาน R_xที่ขั้ว X และ Y เข็มจะเบนมากหรือน้อยตามค่าความต้านทานที่วัดได้ และ ช่วงการวัดของโอห์มมิเตอร์อยู่ระหว่าง 0 Ω ถึง ∞ Ω โดยมี R_x เป็นตัวกำหนดค่าบนสเกลหน้าปัด



รูปที่ 2.34 แสดงตำแหน่งสเกลหน้าปัดของโอห์มมิเตอร์แบบอนุกรม

ศูนย์บรรณสารและการเรียนรู้ สถาบันวิจัยและนวัตกรรมการเรียนรู้ มหาวิทยาลัยพะเยา

จากวงจรโอห์มมิเตอร์แบบอนุกรม จากรูปที่ 2.33 จะได้กระแสไฟฟ้าเต็มสเกลขณะปรับศูนย์โอห์ม

$$I_{fs} = \frac{V_s}{R_m + R_s + R_{adj}} \tag{2.25}$$

เมื่อต่อความต้านทาน R_x เข้ากับขั้ว X และขั้ว Y ค่ากระแสไฟฟ้าที่ไหลในวงจรจะเป็นไปตามกฎโอห์ม โดยมีค่า

$$I_0 = \frac{V_s}{R_m + R_s + R_{adj} + R_x} \tag{2.26}$$

หาสัดส่วนของกระแสไฟฟ้าขณะวัดด้วยโอห์มมิเตอร์ (I_0) เทียบกับกระแสเต็มสเกล (I_{fs}) โดยนำสมการ (2.26) หารด้วยสมการ (2.25)

$$\frac{I_0}{I_{fs}} = \frac{\left(\frac{V_S}{R_{adj}}\right) + R_s + R_m + R_x}{\left(\frac{V_S}{R_{adj}}\right) + R_s + R_m}$$

$$\frac{I_0}{I_{fs}} = \frac{R_{adj} + R_m + R_s}{R_{adj} + R_m + R_s + R_x}$$

ให้ P แทนค่าอัตราส่วนระหว่างกระแสไฟฟ้าเมื่อต่อตัวต้านทานที่ต้องการวัด (I_0) กับกระแสไฟฟ้าเต็มสเกล (I_{fs})

เมื่อ P คือ อัตราการเบี่ยงเบนของเข็มมิเตอร์

I_0 คือ กระแสที่มีค่า R_x เมื่อต่อเข้ามาในโอห์มมิเตอร์

$$P = \frac{I_0}{I_{fs}} = \frac{R_{adj} + R_m + R_s}{R_{adj} + R_m + R_s + R_x} \tag{2.27}$$

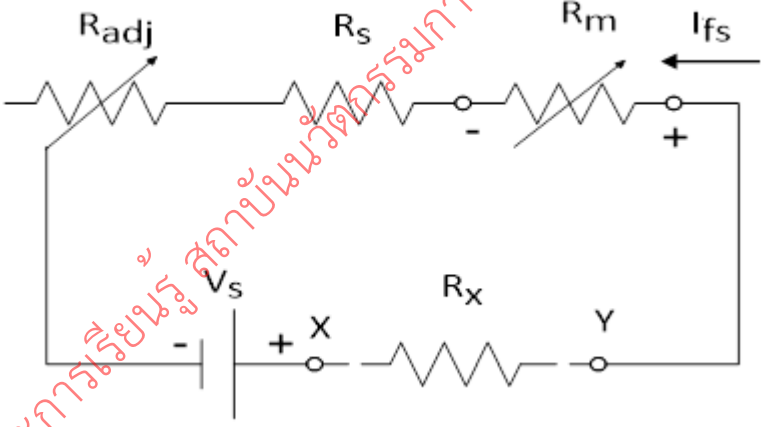
สมการ (2.27) เป็นสมการที่ใช้กำหนดค่าสเกลของหน้าปัดโอห์มมิเตอร์สำหรับแสดงค่าการวัดความต้านทาน

ศูนย์บรรณสารและการเรียนรู้ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง มหาวิทยาลัยพะเยา

ตัวอย่างที่ 2.13 จากมิเตอร์ตัวหนึ่งมีความต้านทานภายใน 100 Ω และมีกระแสเต็มสเกล 1 mA ต้องการนำมาใช้เป็นโอห์มมิเตอร์ โดยใช้แบตเตอรี่แรงดัน 3 โวลต์ ต่อเข้ากับวงจร จงสร้างสเกลสำหรับวัดค่าความต้านทานที่ไม่ทราบค่า R_x โดยพิจารณาจากอัตราส่วนการเบี่ยงเบนของเข็มมิเตอร์ (P) ตามค่าที่กำหนดในตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 การสร้างสเกลเมื่อไม่ทราบค่าในการวัดตัวต้านทาน (R_x)

P (%)	R_x (kΩ)	$R_1 + R_2 + R_m$ (kΩ)
20	12	3
40	4.5	3
50	3	3
75	1	3
100	0	3



รูปที่ 2.35 การหาค่า (R_x) ในวงจรโอห์มมิเตอร์

วิธีทำ

เมื่อ $R_m = 100\,\Omega$, $I_{fs} = 1\text{ mA}$, $V_s = 3\text{ V}$

$$I_{fs} = \frac{V_s}{R_m + R_s + R_{adj}}$$

จะได้

$$R_{adj} + R_s = \frac{V_s}{I_{fs}} - R_m$$

ศูนย์บรรณสารและการเรียนรู้ สถาบันนวัตกรรมการเรียนรู้ มหาวิทยาลัยพะเยา

$$R_{adj} + R_s = \frac{3\ V}{1\ mA} - 100\ \Omega = 2.9\ k\Omega$$

หาค่า R_X เมื่ออัตราการเบี่ยงเบน (P) = 20%

$$P = \frac{R_{adj}+R_m+R_s}{R_{adj}+R_m+R_s+R_x}$$

$$R_x = \frac{R_{adj}+R_m+R_s}{P} - (R_{adj} + R_m + R_s)$$

$$R_x = \frac{2.9\ k\Omega+0.1\ k\Omega}{0.2} - (\ 2.9k\Omega + 0.1k\Omega)$$

$$R_x = \frac{3\ k\Omega}{0.2} - 3k\Omega = 12k\Omega$$

หาค่า R_X เมื่ออัตราการเบี่ยงเบน (P) = 40%

$$R_x = \frac{R_{adj}+R_m+R_s}{P} - (R_{adj} + R_m + R_s)$$

$$R_x = \frac{3K\Omega}{0.4} - 3k\Omega = 4.5k\Omega$$

หาค่า R_X เมื่ออัตราการเบี่ยงเบน (P) = 50%

$$R_x = \frac{R_{adj}+R_m+R_s}{P} - (R_{adj} + R_m + R_s)$$

$$R_x = \frac{3k\Omega}{0.5} - 3k\Omega = 3k\Omega$$

หาค่า R_X เมื่ออัตราการเบี่ยงเบน (P) = 75%

$$R_x = \frac{R_{adj}+R_m+R_s}{P} - (R_{adj} + R_m + R_s)$$

$$R_x = \frac{3k\Omega}{0.75} - 3k\Omega = 1k\Omega$$

หาค่า R_X เมื่ออัตราการเบี่ยงเบน (P) = 100%

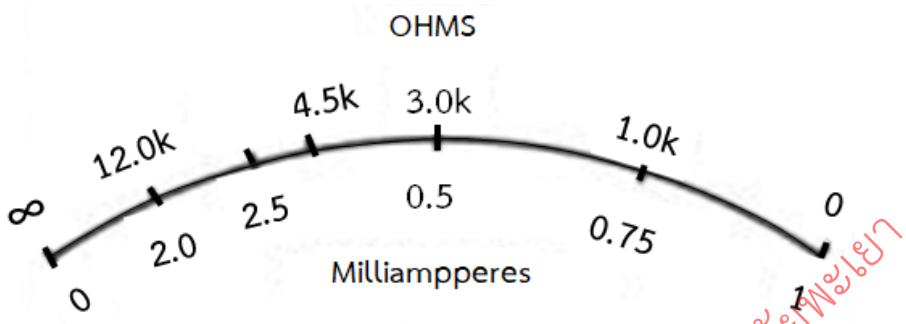
$$R_x = \frac{R_{adj}+R_m+R_s}{P} - (R_{adj} + R_m + R_s)$$

$$R_x = \frac{3k\Omega}{1.00} - 3k\Omega = 0\ k\Omega$$

สเกลของโอห์มมิเตอร์ในตัวอย่างที่ 2.13 แสดงในรูปที่ 2.36 โดยสเกลมีลักษณะไม่เป็นเชิงเส้น (non-linear) โอห์มมิเตอร์แบบอนุกรมเป็นเครื่องมือวัดความต้านทานที่นิยมใช้กันมาก

ศูนย์วิทยทรัพยากร จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย สถาบันวิทยบริการ การเรียนรู้ มหาวิทยาลัยพะเยา

ข้อจำกัด คือ แบตเตอรี่จะเสื่อมตามการใช้งาน ทำให้เมื่อปรับศูนย์ เข็มมิเตอร์อาจไม่ชี้ที่ตำแหน่ง "0 Ω" จำเป็นต้องปรับค่าความต้านทาน R_{adj} ทุกครั้ง เพื่อให้เข็มกลับมาชี้ตำแหน่งศูนย์อย่างถูกต้อง



รูปที่ 2.36 สเกลจากตัวอย่างที่ 2.13 โอห์มมิเตอร์

ตัวอย่างที่ 2.14 โอห์มมิเตอร์มีค่ากระแสเต็มสเกล 1.5 mA ใช้แบตเตอรี่ขนาด 1.5 V หากแรงดันแบตเตอรี่ลดลงเหลือ 1.3 V จงหาค่าความคลาดเคลื่อน (ความผิดพลาด) ที่ตำแหน่งกึ่งกลางสเกล (1/2 สเกล) ของโอห์มมิเตอร์

วิธีทำ

- คำนวณหาค่าความต้านทานรวม (R_{in})
  เมื่อ $V_s = 1.5\ V$ และ $I_{fs} = 1.5mA$

$$R_{in} = \frac{V_s}{I_{fs}} = \frac{1.5V}{1.5mA} = 1k\Omega$$

ดังนั้น สเกลของโอห์มมิเตอร์จะแสดงค่ากึ่งกลางสเกลที่ 1.5 kΩ เมื่อต่อความต้านทาน 1 kΩ เข้าที่ขั้ววัดแต่หากแรงดันแบตเตอรี่ลดลงเหลือ 1.3 โวลต์ จะต้องปรับค่าความต้านทาน R_{adj} เพื่อให้เข็มมิเตอร์ยังคงชี้ที่ตำแหน่งเต็มสเกล (0 Ω) ได้

- หาค่าความต้านทานรวม (R_{in}) ภายในโอห์มมิเตอร์ตัวใหม่
  เมื่อ $V_s = 1.5\ V$

$$R_{in} = \frac{V_s}{I_{fs}} = \frac{1.3\ V}{1\ mA} = 1.3\ k\Omega$$

เมื่อต่อความต้านทาน 1.3 kΩ เข้ากับโอห์มมิเตอร์ แต่เข็มชี้ต่ำกว่าขีดกึ่งกลางที่ 1.5 kΩ แสดงว่าเครื่องอ่านค่าน้อยกว่าความเป็นจริง

สาเหตุหนึ่งคือแรงดันแบตเตอรี่ลดลง ทำให้กระแสในวงจรลดลง และส่งผลให้เกิดความคลาดเคลื่อนในการอ่านค่าความต้านทาน

ศูนย์บรรณสารและสื่อการเรียนรู้ สถาบันนวัตกรรมการเรียนรู้ มหาวิทยาลัยพะเยา

- การหาค่าความผิดพลาด

จากสูตร

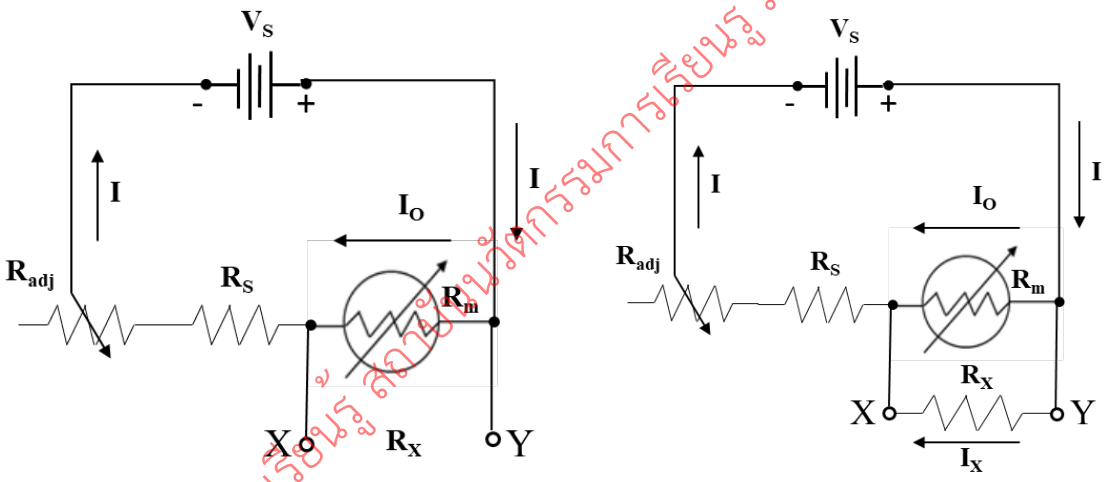
$$\% \text{ error} = \left|\frac{Y_n - X_n}{Y_n}\right| \times 100\%$$

$$= \left|\frac{1\ \text{k}\Omega - 1.3\ \text{k}\Omega}{1\ \text{k}\Omega}\right| \times 100\%$$

% error = 30 %

2. โอห์มมิเตอร์แบบขนาน (Shunt Type Ohmmeter)

เป็นวงจรวัดความต้านทานที่ประกอบด้วยแบตเตอรี่ ตัวต้านทานปรับค่าได้ (R_{adj}) และขดลวดเคลื่อนที่ โดยขั้วต่อ X และ Y ใช้สำหรับเชื่อมต่อกับตัวต้านทานที่ต้องการวัด (R_x) ซึ่งจะถูกต่อขนานกับขดลวดเคลื่อนที่ภายในวงจร ทำให้สามารถตรวจวัดค่าความต้านทานของ R_x ได้จากการเปลี่ยนแปลงของกระแสในขดลวดเคลื่อนที่



(ก) ขณะปรับอินฟินิตี้ (ข) ขณะวัดตัวต้านทาน R_x

รูปที่ 2.37 วงจรโอห์มมิเตอร์แบบขนาน (Shunt Type Ohmmeter)

จากรูปที่ 2.37 (ก) ขณะยังไม่มีการต่อความต้านทาน R_x เข้าที่ขั้ว X และ Y (วงจรเปิด) เข็มจะชี้เต็มสเกล ซึ่งตำแหน่งนี้แสดงค่าความต้านทานเป็น ∞ หรืออนันต์ เนื่องจากไม่มีกระแสไหลผ่านขดลวดของมิเตอร์

$$I_{fs} = I_m = \frac{V_s}{R_{adj} + R_m + R_s} \qquad (2.28)$$

จากรูปที่ 2.37 (ข) เมื่อต่อตัวต้านทานไม่ทราบค่า R_x เข้ากับขั้ว X และ Y กระแสไฟฟ้าบางส่วนจะไหลผ่าน R_x ทำให้กระแสที่ไหลผ่านขดลวดมิเตอร์ลดลงเป็นสัดส่วน ซึ่งขึ้นอยู่กับค่าของ R_x ดังนั้น จะได้สมการความสัมพันธ์ของกระแสในวงจรเป็นไปตาม

ศูนย์บรรณสารและการเรียนรู้ สถาบันนวัตกรรมการเรียนรู้ มหาวิทยาลัยพายัพ

$$R_{xy} = \frac{R_x \times R_m}{R_m + R_x}$$

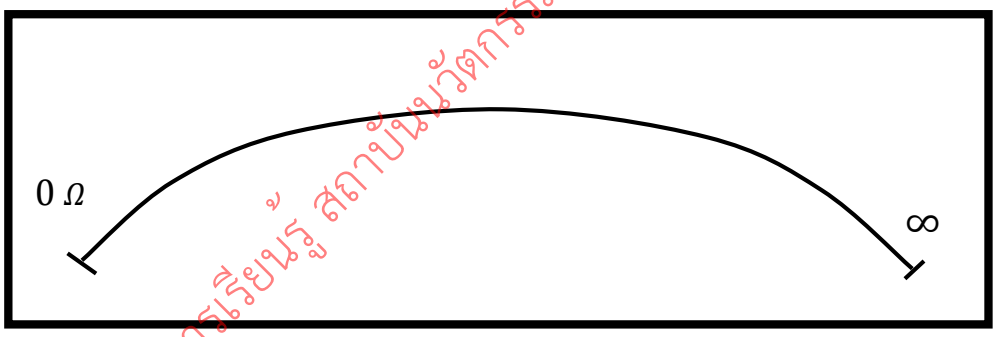
$$I = \frac{V_s}{R_{adj} + R_{xy} + R_s}$$

$$I = \frac{V_{xy}}{R_{xy}} = \frac{R_m \times I_0}{R_{xy}}$$

$$\frac{R_m \times I_0}{R_{xy}} = \frac{V_s}{R_{adj} + R_{xy} + R_s}$$

$$I_0 = \frac{V_s}{R_{adj} + R_m + R_s} \times \frac{R_{xy}}{R_m}$$

การสร้างสเกลของโอห์มมิเตอร์แบบขนานจากสมการ (2.29) ทำได้โดยกำหนดค่า R_x จากค่าต่ำไปหาค่าสูงตามลำดับ จะได้สเกลดังแสดงในรูปที่ 2.38 ซึ่งมีลักษณะไม่เป็นเชิงเส้น โดยตำแหน่ง "0 Ω" อยู่ทางด้านซ้ายมือ และ "∞ " อยู่ด้านขวามือ โอห์มมิเตอร์แบบขนานใช้สำหรับการวัดค่าความต้านทานต่ำโดยให้ความแม่นยำสูงในช่วงนั้น



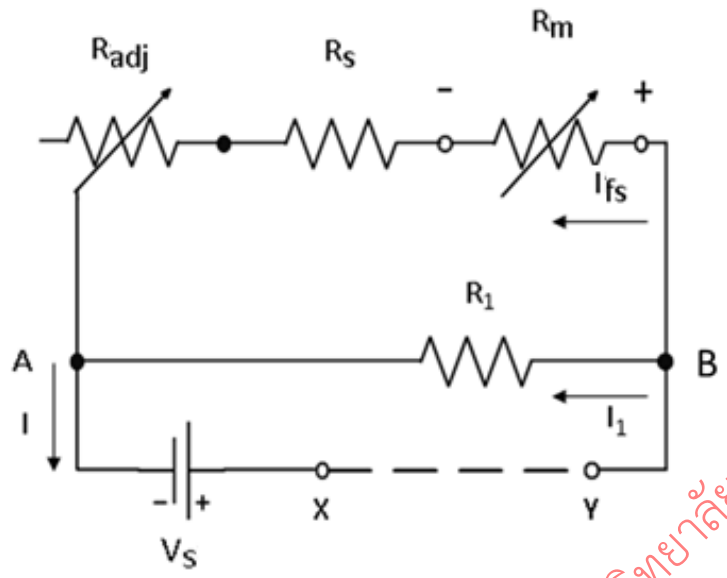
รูปที่ 2.38 สเกลโอห์มมิเตอร์แบบขนาน (Shunt Type Ohmmeter)

3. โอห์มมิเตอร์แบบหลายพิสัย (Multiple-Range Ohmmeters)

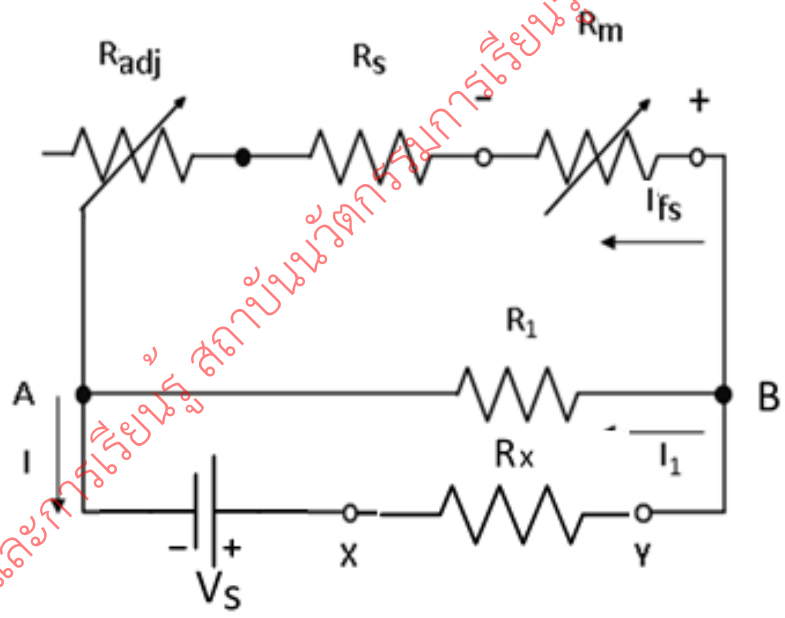
วงจรโอห์มมิเตอร์ทั่วไปไม่สามารถวัดความต้านทานในช่วงกว้างได้ จึงต้องมีการขยายพิสัยการวัดเพิ่มเติม โดยเฉพาะในโอห์มมิเตอร์แบบอันดับซึ่งวัดค่าความต้านทานต่ำได้ไม่แม่นยำ เนื่องจากมีความต้านทานภายในสูง

หากต้องการวัดความต้านทานต่ำ ต้องลดความต้านทานภายในของโอห์มมิเตอร์ โดยต่อตัวต้านทานค่าต่ำขนานกับความต้านทานภายในตามวงจรในรูปที่ 2.39 วงจรแบบนี้เรียกว่า “โอห์มมิเตอร์แบบโพเทนทิโอมิเตอร์” ซึ่งสามารถปรับค่าความต้านทานภายในได้และสามารถเพิ่มสวิตช์เลือกค่าตัวต้านทานที่มาต่อขนาน จึงทำให้สามารถปรับเปลี่ยนพิสัยการวัดได้ตามต้องการ

ศูนย์บรรณสารและการเรียนรู้ สถาบันนวัตกรรมการเรียนรู้ มหาวิทยาลัยพะเยา



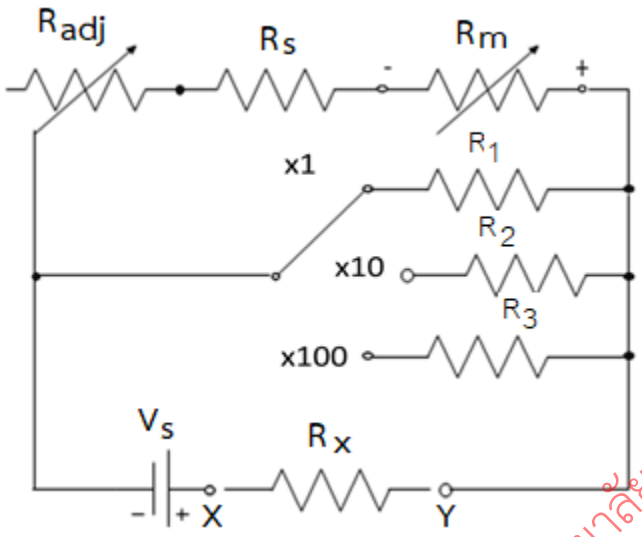
(ก) ขณะปรับศูนย์โอห์ม



(ข) การวัดตัวต้านทาน R_x

รูปที่ 2.39 วงจรโอห์มมิเตอร์หลายย่านวัด

ศูนย์บรรณสารและการเรียนรู้ สถาบันนวัตกรรมการเรียนรู้ มหาวิทยาลัยพะเยา

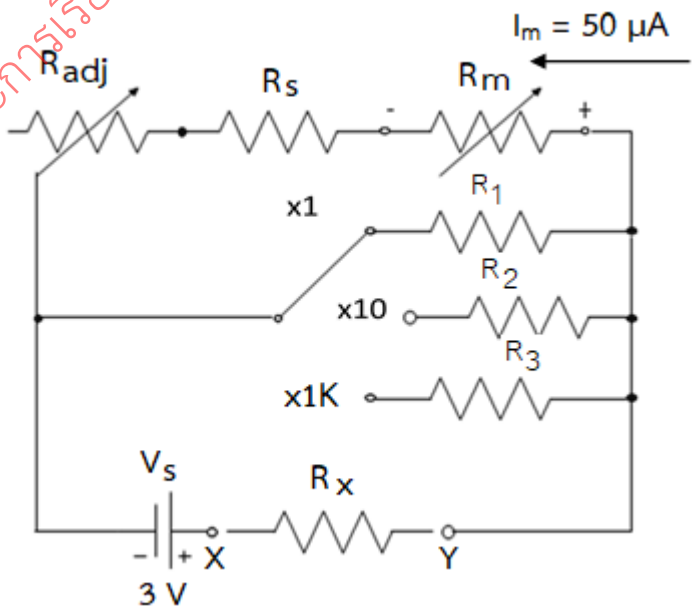


รูปที่ 2.40 วงจรโอห์มมิเตอร์แบบหลายย่านวัด

จากรูปที่ 2.40 แสดงวงจรโอห์มมิเตอร์แบบหลายย่าน ซึ่งพัฒนามาจากวงจรโอห์มมิเตอร์แบบอนุกรม โดยเพิ่มความสามารถในการเลือกพิสัยวัดผ่านการต่อตัวต้านทานขนานหลายค่า และใช้สวิตช์สำหรับเลือกพิสัยที่เหมาะสมกับค่าความต้านทานที่ต้องการวัด

ตัวอย่างที่ 2.14 มิเตอร์หนึ่งมี I_m = 50 μA และ R_s = 2 kΩ ต้องการดัดแปลงเป็นโอห์มมิเตอร์ที่มีพิสัยการวัด 3 ระดับ ได้แก่ X1, X10 และ X1k โดยกำหนดให้ค่ากลางสเกลต่ำสุด (ย่าน X1) เท่ากับ 20 Ω และใช้แบตเตอรี่แรงดัน 3 V จงหาค่าความต้านทานที่ต้องใช้ต่อในแต่ละย่านวัด

วิธีทำ



รูปที่ 2.41 โอห์มมิเตอร์ 3 ย่านวัด

ศูนย์บรรณสารและการเรียนรู้ สถาบันนวัตกรรมการเรียนรู้ มหาวิทยาลัยพะเยา

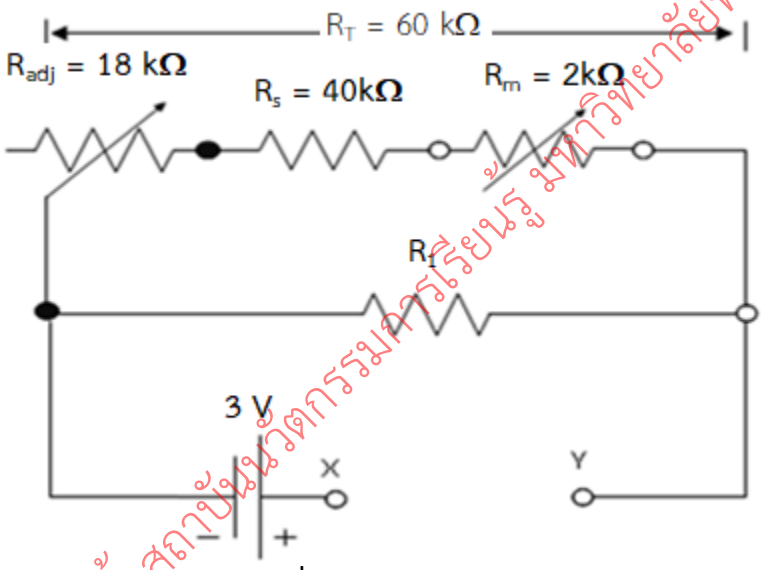
ก) หาค่า $R_{adj} + R_s$ โดยลัดวงจรที่จุด X - Y

$$R_{adj} + R_m + R_s = \frac{V_S}{I_m} = \frac{3V}{50\times10^{-6}A} = 60\ k\Omega$$

$$\begin{aligned} R_s + R_{adj} &= 60\ k\Omega - R_m \\ &= 60\ k\Omega - 2\ k\Omega \\ &= 58\ k\Omega \end{aligned}$$

เลือกใช้ R_{adj} ชนิดปรับค่าได้ 20 kΩ และค่า R_s เป็น 40 kΩ

ข) หาค่าตัวต้านทาน R_1 ที่ย่านวัด X_1



รูปที่ 2.42 ย่านวัด X 1

จากค่ากึ่งกลางสเกล = 20 Ω

R กลางสเกลพิสัย X1 = $(R_{adj} + R_s + R_m) // R_1$

$$20\ \Omega = \frac{(R_{adj}+R_s+R_m)\times R_1}{(R_{adj}+R_s+R_m)+R_1}$$

$$20\ \Omega = \frac{R_1\times(60\ k\Omega)}{(60\ k\Omega)+R_1}$$

$$60\ k\Omega\ (20\ \Omega + R_1) = R_1 + 60\ k\Omega$$

$$1.2\ M\Omega + 20\ \Omega\ R_1 = R_1 + 60\ k\Omega$$

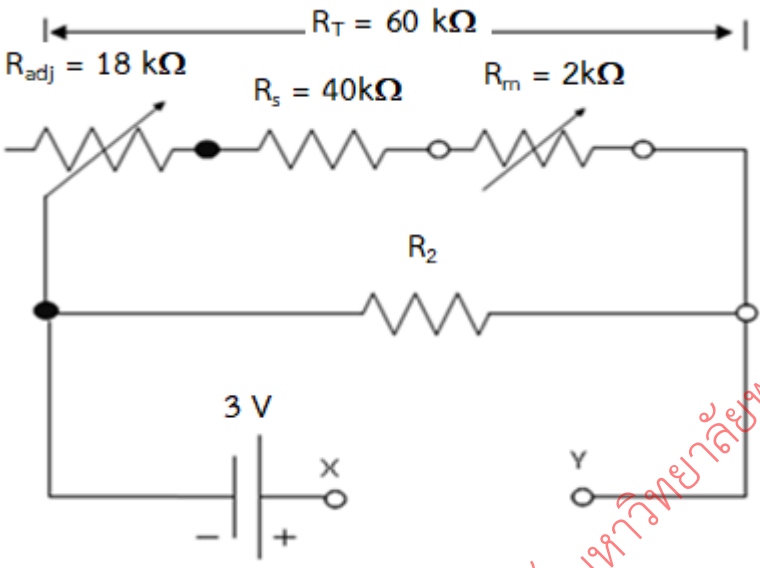
$$1.2\ M\Omega = 60\ k\Omega\ R_1 - 20\Omega\ R_1$$

$$1.2\ M\Omega = 59.98\ M\Omega\ R_1$$

$$R_1 = 1.2\ M\Omega / 59.98\ k\Omega = 20\ \Omega$$

ศูนย์บรรณสารและการเรียนรู้ สถาบันนวัตกรรมการเรียนรู้ มหาวิทยาลัยพะเยา

ค) หาค่าตัวต้านทาน R_2 ที่พิสัยวัด X10



รูปที่ 2.43 พิสัยวัด X10

จากค่ากึ่งกลางสเกล = 20 Ω

R กลางสเกลพิสัย X10 = 20 Ω x 10 = 200 Ω

R กลางสเกลพิสัย X10 = $(R_{adj} + R_m + R_s) // R_2$

$$200\ \Omega = \frac{(R_{adj} + R_m + R_s) \times R_2}{(R_{adj} + R_m + R_s) + R_2}$$

$$200\ \Omega = \frac{R_2 \times (60\ k\Omega)}{(60\ k\Omega) + R_2}$$

$$200\ \Omega\ (60\ k\Omega + R_2) = 60\ k\Omega \times R_2$$

$$12\ M\Omega + 200\ \Omega\ R_2 = 600\ k\Omega\ R_2 - 200\ \Omega\ R_2$$

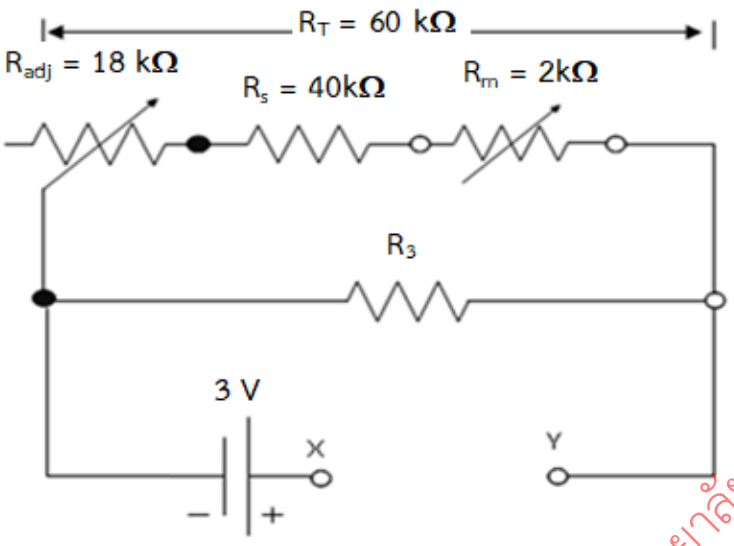
$$12\ M\Omega = 59.98\ k\Omega\ R_2$$

$$R_2 = 12\ M\Omega / 59.98\ \Omega$$

$$R_2 = 200.7\ \Omega$$

ง) หาค่าตัวต้านทาน R_3 ที่ย่านวัด X 1k

ศูนย์บรรณสารและการเรียนรู้ สถาบันนวัตกรรมการเรียนรู้ มหาวิทยาลัยพะเยา



รูปที่ 2.44 พิสัยวัด X 1k

จากค่ากึ่งกลางสเกล = 20 Ω

R กลางสเกลพิสัย X 1k = 1k x 20 Ω = 20 kΩ

R กลางสเกลพิสัย X 1k = (Radj + Rm+ Rs) // R3

$$20\ k\Omega = \frac{(R_{adj} + R_m + R_s) \times R_3}{(R_{adj} + R_m + R_s) + R_3}$$

$$20\ k\Omega = \frac{R_3 \times (60\ k\Omega)}{(60\ k\Omega) + R_3}$$

20 kΩ (60 kΩ) + R_3 = R_3 × 60 kΩ

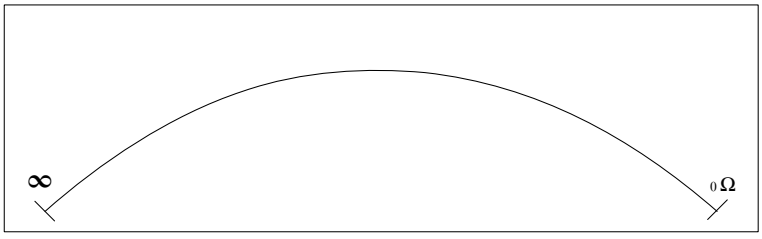
1,200 MΩ + 20 kΩ R_3 = R_3 × 60 kΩ

1,200 MΩ = 60 kΩ R_3 – 20 kΩ R_3

1,200 MΩ = 40 kΩ R_3

R_3 = 1,200 kΩ /40 kΩ = 30 kΩ

ตอบ R_{adj} = 20 kΩ , R_s = 40 kΩ , R_1 = 20 Ω , R_2 = 200.7 Ω และ R_3 = 30 kΩ และมีรูปแบบของสเกลดังรูปที่ 2.45



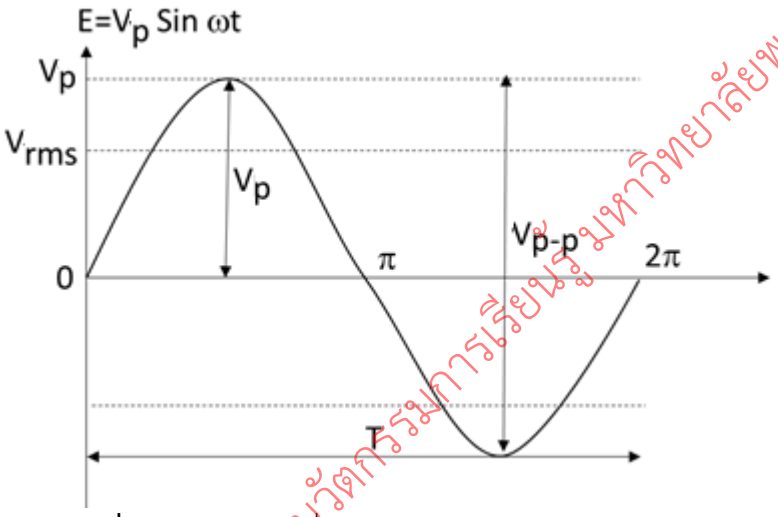
รูปที่ 2.45 รูปแบบของสเกลโอห์มมิเตอร์แบบหลายย่าน

ศูนย์บรรณสารและการเรียนรู้ สถาบันนวัตกรรมการเรียนรู้ มหาวิทยาลัยพะเยา

2.5 โวลต์มิเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับ (Alternating Current Voltmeter)

2.5.1 รูปแบบของโวลต์มิเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับ

เป็นเครื่องมือที่ใช้วัดแรงดันไฟฟ้าสลับ ซึ่งมีขนาดและทิศทางเปลี่ยนแปลงเป็นระยะตามเวลา (periodically) รูปคลื่นไฟฟ้าสลับ (Waveform) แสดงการเปลี่ยนแปลงของแรงดันหรือกระแสตามเวลา โดยรูปคลื่นพื้นฐานที่พบมากที่สุดคือ รูปคลื่นไซน์ (Sine Wave) ซึ่งแสดงการเปลี่ยนแปลงของแรงดันจาก 0 ไปถึง 360 องศา ภายในหนึ่งไซเคิล (Cycle) ดังรูปที่ 2.46



รูปที่ 2.46 ลักษณะคลื่นไซน์ของแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ

สัญญาณแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับรูปคลื่นไซน์

การเปลี่ยนแปลงค่าตามเวลา โดยเคลื่อนที่เป็นวงกลมที่สอดคล้องกับมุม 2π เรเดียน ต่อหนึ่งไซเคิลของคลื่น ความถี่ (f) คือ จำนวนไซเคิลที่เกิดขึ้นต่อวินาที หน่วยเป็น เฮิร์ต (Hz) และ ความเร็วเชิงมุม (ω) คือ ความเร็วในการเคลื่อนที่ของมุมเฟส มีหน่วยเป็น เรเดียนต่อวินาที (rad/s)

โดยมีความสัมพันธ์กับความถี่เป็น $\omega = 2\pi f$

ซึ่งหมายความว่า สัญญาณแรงดันหรือกระแสจะหมุนครบ 2π เรเดียน f ครั้งใน 1 วินาที หรือหมุนด้วยความเร็วเชิงมุม ω เรเดียนต่อวินาที ในการวิเคราะห์วงจร AC มักแสดงแรงดันหรือกระแสเป็นเวกเตอร์เฟสเซอร์ (phasor) ซึ่งหมุนด้วยอัตรา $2\pi f$ เรเดียนต่อวินาที เพื่อแทนการเปลี่ยนแปลงค่าของแรงดันหรือกระแสตามเวลา

$$e = V_p \sin\omega t \qquad (2.30)$$

จากรูปที่ 2.46 ขนาดของรูปคลื่นไซน์สามารถอธิบายได้ 3 ค่าหลัก ดังนี้

ศูนย์เรรณสารและการเรียนรู้ สถาบันพัฒนาบุคลากรด้านการเรียนรู้ มหาวิทยาลัยพะเยา

1. ค่ายอดคลื่น (Peak Value, V_p)

หมายถึง ค่าสูงสุดของแรงดันหรือกระแสในรูปคลื่นไซน์ที่เกิดขึ้นในหนึ่งไซเคิล มักวัดเป็นโวลต์หรือแอมแปร์

- สำหรับคลื่นไซน์ ค่ายอด (Peak) คือค่าที่มีขนาดสูงสุดของคลื่น
- บางกรณี อาจใช้ ค่าจากยอดถึงยอดคลื่น (Peak-to-Peak Value, V_{pp}) ซึ่งเท่ากับ 2Vp

2. ค่าเฉลี่ย (Average Value, V_{av})

คือค่ากลางของคลื่นที่คำนวณจากการเฉลี่ยค่าทั้งหมดในช่วงเวลาหนึ่ง เช่น ช่วงครึ่งไซเคิลของคลื่นไซน์

สำหรับคลื่นไซน์ ค่าเฉลี่ยของครึ่งไซเคิลเป็น

$$V_{av} = 2V_p\pi \tag{2.31}$$

3. ค่ารากเฉลี่ยกำลังสอง (RMS Value, V_{rms})

เป็นค่าที่สำคัญในการคำนวณกำลังไฟฟ้า เพราะแสดงค่าคงที่ของกระแสหรือแรงดัน DC ที่ให้พลังงานเท่ากันกับคลื่น AC

สำหรับคลื่นไซน์

$$V_{rms} = \frac{V_p}{\sqrt{2}} \tag{2.32}$$

เครื่องวัดแบบเรียงกระแส (Rectifier Instrument) สามารถวัดแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับได้โดยตรง เพราะเครื่องวัดจะตอบสนองต่อค่าเฉลี่ยของสัญญาณไฟฟ้า ซึ่งต้องแปลงแรงดันไฟฟ้าสลับให้เป็นแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงทิศทางเดียวก่อน แล้วจึงแสดงผลเป็นค่าเฉลี่ยของแรงดันไฟฟ้าสลับนั้น

เครื่องวัดแบบเรียงกระแสแบ่งออกเป็น 2 ประเภทหลัก คือ

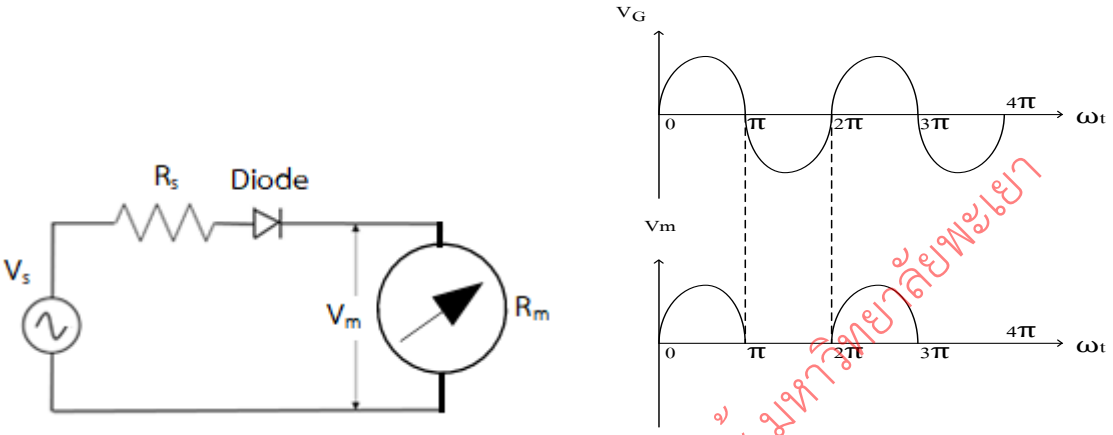
1. เครื่องวัดแบบเรียงกระแสครึ่งคลื่น (Half Wave Rectifier Type)
2. เครื่องวัดแบบเรียงกระแสเต็มคลื่น (Full Wave Rectifier Type)

ทั้งสองประเภทนี้ช่วยให้การวัดและตรวจสอบแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับเป็นไปอย่างแม่นยำและสะดวก ใช้ในงานวิทยาศาสตร์และวิศวกรรมไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์เพื่อวิเคราะห์และวัดค่าไฟฟ้าได้หลากหลายรูปแบบ

ศูนย์บรรณสารและการเรียนรู้ สถาบันนวัตกรรมการเรียนรู้ มหาวิทยาลัยพะเยา

2.5.2 การออกแบบโวลต์มิเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับ

1. โวลต์มิเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับชนิดเรียงกระแสแบบครึ่งคลื่น เป็นเครื่องวัดชนิดนี้จะใช้ไดโอดต่ออนุกรมกับขดลวดเคลื่อนที่ในวงจร ดังรูปที่ 2.47 เพื่อแปลงแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับเป็นแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงในครึ่งคลื่นเดียว



รูปที่ 2.47 วงจรโวลต์มิเตอร์เรียงกระแสแบบครึ่งคลื่น

จากรูปที่ 2.47 ในช่วงครึ่งไซเคิลบวก ($0 < \omega t < \pi$) ไดโอดได้รับไบแอสตรง (forward bias) ทำให้มีความต้านทานต่ำ กระแสไฟฟ้าสามารถไหลผ่านได้โดยง่าย โดยแรงดัน e(t) และกระแส i(t) มีสัดส่วนสัมพันธ์กันตามลักษณะปกติของไดโอด กล่าวคือ กระแส i(t) จะเป็นสัดส่วนกับแรงดัน e(t) ในช่วงเวลานี้

สรุปคือ ในช่วง $0 < \omega t < \pi$ ไดโอดอยู่ในภาวะนำ (on state) ความต้านทานต่ำ ทำให้กระแสไหลผ่านได้ดี และแรงดันกับกระแสมีความสัมพันธ์เชิงเส้น

สมการพื้นฐานในการหาค่าแรงดันเฉลี่ย (V_{av}) ของแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับแบบครึ่งคลื่น คือ

$$V_{rms} = 0.707\ V_p \quad (2.33)$$

$$V_p = 1.414\ V_{rms} \quad (2.34)$$

$$V_{av} = 0.318\ V_p \quad (2.35)$$

$$V_{av} = 0.45\ V_{rms} \quad (2.36)$$

เมื่อ V_{rms} คือ แรงดันไฟฟ้าที่ใช้งาน (Effective value)

V_{av} คือ แรงดันไฟฟ้าเฉลี่ย (Average value)

V_p คือ แรงดันไฟฟ้าสูงสุด (Peak voltage)

ศูนย์บรรณสารและการเรียนรู้ สถาบันนวัตกรรมการเรียนรู้ มหาวิทยาลัยพะเยา

สมการที่ใช้หาค่าความต้านทานทวีแรงดัน (Multiplier resistance) R_s สำหรับโวลต์มิเตอร์ไฟฟ้าชนิดเรียงกระแสแบบครึ่งคลื่น มีดังนี้

$$R_s = \frac{V_{dc}}{I_{dc}} - R_m = \frac{0.45\ V_{rms}}{I_{fs}} - R_m \qquad (2.37)$$

และ $$S_{ac} = 0.45\ S_{dc} \qquad (2.38)$$

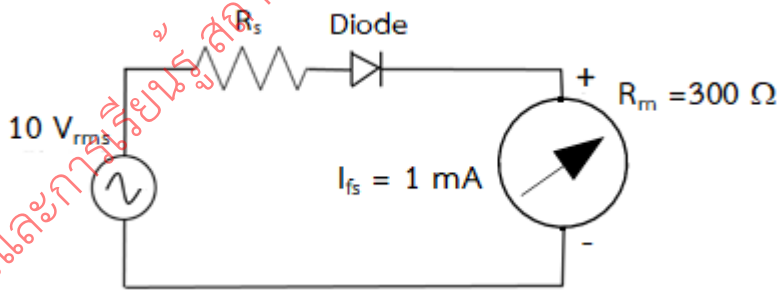
โดยที่ $$S_{dc} = \frac{1}{I_{fs}} \quad (\Omega/V) \qquad (2.39)$$

เมื่อ S_{ac} คือ ความไวของโวลต์มิเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับ

S_{ad} คือ ความไวของโวลต์มิเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง

ในครึ่งไซเคิลลบ กรณีที่พิจารณาไดโอดอุดมคติ (ideal diode) จะมีความต้านทานสูงมากจนเท่ากับอนันต์ (∞) ส่งผลให้ไม่มีการไหลของกระแสผ่านไดโอด กระแสที่ไหลผ่านเครื่องวัดจึงเท่ากับศูนย์ (0) ทำให้ในช่วงเวลานี้มิเตอร์ไม่ตอบสนองต่อแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ

ตัวอย่างที่ 2.15 จงคำนวณหาค่าความต้านทานทวีคูณแรงดัน R_s ของโวลต์มิเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับที่มีพิสัยวัด 10 โวลต์ RMS ตามวงจรในรูปที่ 2.48



รูปที่ 2.48 วงจรโวลต์มิเตอร์กระแสสลับแบบครึ่งคลื่น

วิธีทำ จาก $$S_{dc} = \frac{1}{I_{fs}} = \frac{1}{1mA} = 1\ k\Omega/V$$

จากสมการหาค่าความต้านทาน R_s ได้ดังนี้

$$R_s = \left(V_{Range-dc} \times S_{dc}\right) - R_m$$

$$R_s = (0.45\ V_{rms})(1\ k\Omega/V) - R_m$$

ตอบ ค่า $R_s = 4.2\ k\Omega$

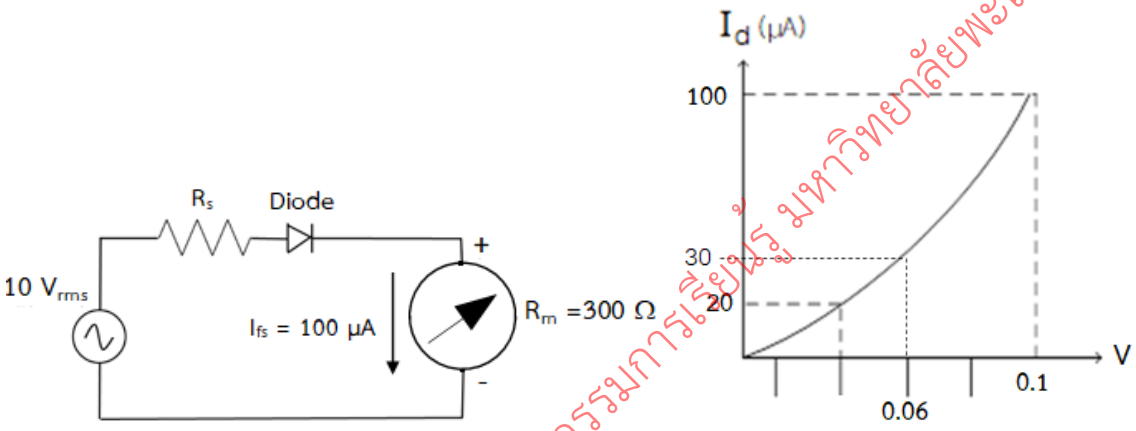
ศูนย์บรรณสารและการเรียนรู้ สถาบันพัฒนาการเรียนรู้ มหาวิทยาลัยพะเยา

ตัวอย่างที่ 2.16 จากรูปที่ 2.49 ขณะที่เข็มชี้เบี่ยงเบนเต็มสเกล กระแสไหลผ่านไดโอดมีค่า 100 ไมโครแอมป์ และค่าความต้านทานของไดโอดเท่ากับ 1 กิโลโอห์ม โดยใช้คุณลักษณะแรงดันและกระแสดังรูปที่ 2.49 (ข)

ก. คำนวณค่าความต้านทานมัลติพลาย R_s ขณะที่เข็มชี้เบี่ยงเบนเต็มสเกล

ข. คำนวณค่าความต้านทานของไดโอด R_d เมื่อกระแสไหลผ่านมีค่า 30 ไมโครแอมป์

ค. หาค่าแรงดันอินพุต V_{in} ขณะที่กระแสไหลผ่านไดโอดมีค่า 30 ไมโครแอมป์



(ก) วงจรโวลต์มิเตอร์กระแสสลับแบบครึ่งคลื่น (ข) รูปแบบของแรงดันและกระแสของไดโอด

รูปที่ 2.49 แบบครึ่งคลื่นของวงจรโวลต์มิเตอร์กระแสสลับ

วิธีทำ

ก. ค่าความต้านทานทวีแรงดัน R_s ขณะเข็มชี้เบี่ยงเบนเต็มสเกลจะได้

$$R_s = \frac{0.45V_{rms}}{I_{fs}} - (R_d + R_m)$$

$$R_s = \frac{(0.45)(10\ V_{rms})}{100\ \mu A} - (1\ k\Omega + 300\ \Omega)$$

$$R_s = 4.5\ k\Omega - 1.3\ k\Omega = 3.2\ k\Omega$$

ข. ค่าความต้านทานของไดโอด R_d ขณะกระแสไฟฟ้าไหลผ่านมีค่า 30 ไมโครแอมป์ จากรูปที่ 2.49 (ข) จะได้

$$R_d = \frac{V_d}{I_d} = \frac{0.06\ V}{30\ \mu A} = 2\ k\Omega$$

ศูนย์บรรณสารและการเรียนรู้ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ มหาวิทยาลัยพะเยา

ค. แรงดันอินพุต V_{in} ขณะกระแสไฟฟ้าไหลผ่านไดโอดมีค่า 30 ไมโครแอมป์

$R_T = R_s + R_m + R_d$

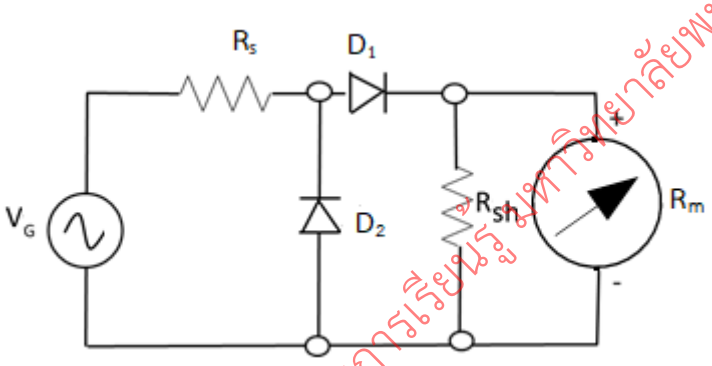
$R_T = 3.2\ k\Omega + 0.3\ k\Omega + 2\ k\Omega$

$R_T = 5.5\ k\Omega$

$V_{in} = 20\ \mu A \times 5.5\ k\Omega$

ตอบ $V_{in} = 0.11\ V$

ในทางปฏิบัติ เครื่องวัดชนิดนี้มักเพิ่มไดโอด D_2 ตามรูปที่ 4.6 เพื่อป้องกันกระแสรั่วหรือการไบแอสกลับของไดโอดช่วยเพิ่มความแม่นยำและความปลอดภัยในการวัดไฟฟ้ากระแสสลับ



รูปที่ 2.50 การต่อเพิ่มไดโอด D_2 ในวงจร

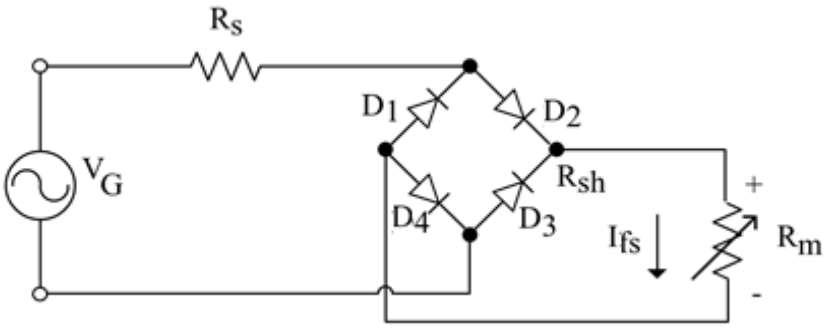
จากรูปที่ 2.50 การต่อไดโอด D_2 ใช้เพื่อป้องกันการไบแอสกลับ โดยในช่วงไซเคิลบวก D_2 มีความต้านทานสูง ป้องกันกระแสย้อนกลับ ส่วนในไซเคิลลบ D_2 นำกระแส ช่วยให้ D_1 ทำงานได้ตามปกติ ตัวต้านทาน R_{sh} ที่ต่อขนานกับขดลวดช่วยเลื่อนจุดทำงานของไดโอดให้อยู่ในช่วงเชิงเส้น เพิ่มเสถียรภาพการทำงานของไดโอด แม้จะลดความไวของเครื่องวัดลงเล็กน้อย แต่ให้ผลการวัดที่แม่นยำและปลอดภัยมากขึ้น

2) เครื่องวัดชนิดเรียงกระแสแบบเต็มคลื่น

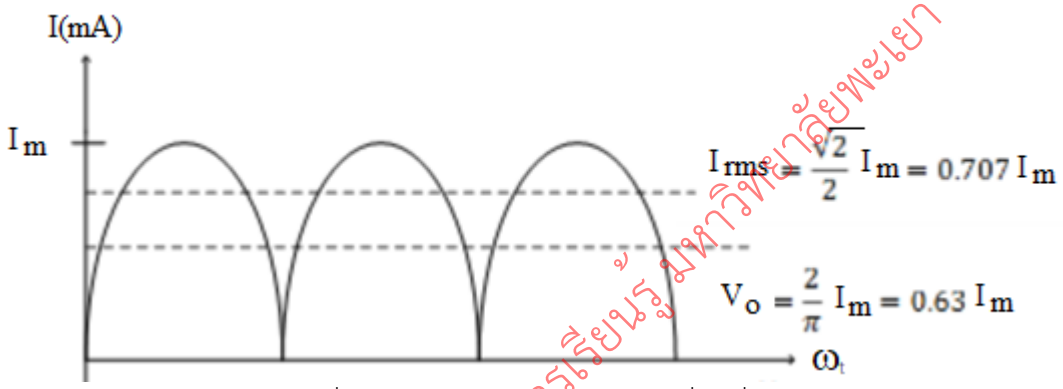
เครื่องวัดแบบเต็มคลื่นมีความแม่นยำและความไวสูงกว่าแบบครึ่งคลื่น เนื่องจากสามารถวัดแรงดันได้ในทุกครึ่งไซเคิลของสัญญาณไฟฟ้า โดยใช้วงจรบริดจ์เรียงกระแสซึ่งประกอบด้วยไดโอด ช่วยเปลี่ยนแรงดันไฟฟ้าสลับให้เป็นแรงดันทางเดียวอย่างต่อเนื่อง ต่างจากแบบครึ่งคลื่นที่วัดได้เฉพาะช่วงหนึ่งของไซเคิล ทำให้ความไวลดลง

ดังนั้น เครื่องวัดแบบเต็มคลื่นจึงเหมาะสำหรับการวัดแรงดันไฟฟ้าสลับที่ต้องการความแม่นยำและเสถียรภาพสูง

ศูนย์วิทยทรัพยากร สถาบันการอาชีวศึกษากรุงเทพมหานคร



(ก) วงจรเรียงกระแสแบบเต็มคลื่น



(ข) รูปคลื่นของกระแสไหลผ่านขดลวดเคลื่อนที่

รูปที่ 2.51 แสดงเอซีโวลต์มิเตอร์ชนิดเรียงกระแสแบบเต็มคลื่น

รูปที่ 2.51 แสดงเอซีโวลต์มิเตอร์ชนิดเรียงกระแสแบบเต็มคลื่น ซึ่งเป็นวงจรวัดแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ (AC) โดยใช้วงจรเรียงกระแสแบบเต็มคลื่น (Full-Wave Rectifier) เพื่อแปลงสัญญาณ AC ให้เป็น DC ก่อนเข้าสู่เครื่องวัด ช่วยให้สามารถวัดค่าแรงดัน AC ได้อย่างแม่นยำและต่อเนื่องในทั้งครึ่งวงจรบวกและลบของสัญญาณไฟฟ้า สมการที่ใช้ในการคำนาณ ได้แก่

$$V_{rms} = 0.707\ V_p \quad (2.40)$$

$$V_{av} = 0.636\ V_p \quad (2.41)$$

จากสมการที่ (2.40)

$$V_p = \frac{V_{rms}}{0.707} \quad (2.42)$$

จากสมการที่ (2.41)

$$V_p = \frac{V_{av}}{0.636}$$

ดังนั้น

$$\frac{V_{rms}}{0.707} = \frac{V_{av}}{0.636}$$

$$V_{av} = \frac{0.636}{0.707} V_{rms}$$

ศูนย์บรรณสารและการเรียนรู้ ชั้น 2 สำนักวิทยบริการและการเรียนรู้ มหาวิทยาลัยพะเยา

$$V_{av} = 0.9\ V_{rms}$$

ค่าความไวของ AC โวลต์มิเตอร์ชนิดนี้จะมีค่าเท่ากับ

$$S_{ac} = 0.9\ S_{dc} \qquad (2.43)$$

โดยที่ $S_{dc} = \frac{1}{I_{fs}}\ (\Omega/V)$

เมื่อ S_{ac} คือ ค่าความไวของเอซีโวลต์มิเตอร์

S_{dc} คือ ค่าความไวของเอซีโวลต์มิเตอร์

ตัวอย่างที่ 2.18 จากวงจรโวลต์มิเตอร์แบบไดโอดที่แสดงในรูปที่ 2.51 (ก) คำนวณค่าความต้านทานแบบหลายค่า R_s และความไวของโวลต์มิเตอร์ในวงจรโวลต์มิเตอร์แบบไดโอด เราจะใช้ข้อมูลที่ให้มาดังนี้ ความต้านทานภายในของขดลวดเคลื่อนที่ (R_m) 100 Ω กระแสที่ให้เต็มสเกล (I_{fs}) 1 mA (หรือ 0.001 A) แรงดันที่ต้องการวัดเต็มสเกล (V_{rms}) 10 Vrms สมมติให้ไดโอดเป็นไดโอดในอุดมคติ หมายความว่าไดโอดจะไม่มีแรงดันตกคร่อมเมื่อนำกระแส (V_D=0 V) และไม่มีความต้านทานภายใน

วิธีทำ

สำหรับวงจรเรียงกระแสแบบเต็มคลื่น

$$V_{av} = V_{dc} = \frac{2V_p}{\pi} = \frac{(2\sqrt{2}V_{rms})}{\pi} = 0.9\ V_{rms}$$

และ $V_{av} = (10\ V)(0.9) = 9\ V$

ค่าความต้านทานรวมของวงจรโดย

$$R_T = R_m + R_S = \frac{9\ V}{1\ mA} = 9\ k\Omega$$

และ $R_S = R_T - R_m = 9{,}000\ \Omega - 100\ \Omega = 8{,}900\ \Omega$

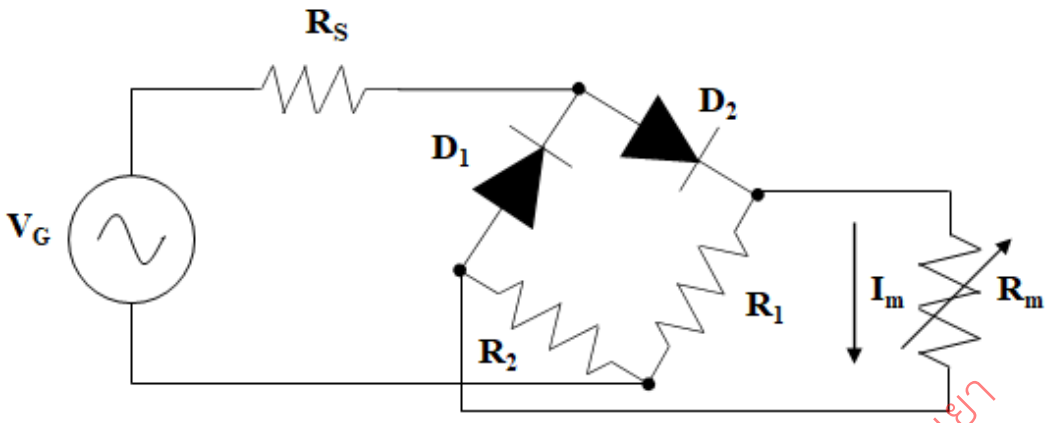
ความไวของโวลต์มิเตอร์คือ

ตอบ $$S_{ac} = \frac{R_T}{V_T} = \frac{8{,}900\ \Omega}{10\ V} = 890\ \Omega/V$$

ในทางปฏิบัติ แม้ว่าวงจรบริดจ์จะสามารถใช้ไดโอด 4 ตัวเพื่อเรียงกระแสเต็มคลื่นได้อย่างสมบูรณ์ แต่การใช้ไดโอดจำนวนมากทำให้ตรวจสอบความเสียหายยากขึ้นและเพิ่มต้นทุนการผลิต

ดังนั้น เอซีโวลต์มิเตอร์จึงมักใช้ไดโอดเพียง 2 ตัวแทน เพื่อลดความซับซ้อนและค่าใช้จ่าย โดยยังสามารถวัดแรงดันและกระแสได้อย่างมีประสิทธิภาพและแม่นยำตามรูปที่ 2.52

ศูนย์บรรณสารและการเรียนรู้ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง



รูปที่ 2.52 โวลต์มิเตอร์กระแสสลับแบบเต็มคลื่นที่ใช้ความต้านทานแทนไดโอด 2 ตัว

การทำงานของเครื่องวัดแบบเรียงกระแสเต็มคลื่น

เครื่องวัดแบบเรียงกระแสเต็มคลื่นจะใช้วงจรที่ประกอบด้วยไดโอดสองตัว (D_1 และ D_2) และตัวต้านทาน R_1 เพื่อแปลงสัญญาณแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ (AC) ให้กลายเป็นสัญญาณที่มีขั้วเดียว (DC) เพื่อให้อุปกรณ์วัดสามารถแสดงค่ากระแสหรือแรงดันได้อย่างต่อเนื่องทั้งในครึ่งไซเคิลบวกและลบของสัญญาณ AC

เมื่อแรงดันไฟฟ้าสลับที่จ่ายให้กับวงจรมีค่าบวก (ครึ่งไซเคิลบวก) ไดโอด D_1 จะได้รับแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง (forward bias) ทำให้กระแสไหลผ่าน D_1 ผ่านตัวต้านทาน R_1 และขดลวดเคลื่อนที่ในเครื่องวัดไปยังจุด B ในขณะเดียวกัน ไดโอด D_2 จะถูกแรงดันกลับ (reverse bias) ทำให้ไม่มีกระแสไหลผ่าน D_2

ในครึ่งไซเคิลลบของสัญญาณแรงดันไฟฟ้า กระแสจะไหลผ่านจุด B ตัวต้านทาน R_1 ขดลวดเคลื่อนที่ และไดโอด D_2 ซึ่งในช่วงนี้ไดโอด D_1 จะถูกแรงดันกลับ ทำให้ไม่มีการไหลของกระแสผ่าน D_1 ทำให้กระแสในวงจรไหลได้เพียงทิศทางเดียวเสมอ ส่งผลให้เครื่องวัดสามารถแสดงค่าที่สอดคล้องกับค่ากระแสเต็มคลื่นได้

ข้อจำกัดของเครื่องวัดแบบเรียงกระแสเต็มคลื่น

1. **การออกแบบสเกลที่จำกัดกับรูปคลื่นไซน์** เครื่องวัดนี้ถูกออกแบบมาเพื่อใช้กับสัญญาณกระแสสลับที่มีรูปคลื่นไซน์มาตรฐานเท่านั้น ดังนั้น หากใช้กับสัญญาณที่มีรูปคลื่นผิดไป เช่น รูปคลื่นที่บิดเบี้ยวหรือเป็นสัญญาณพัลส์ เครื่องวัดอาจไม่สามารถอ่านค่าที่ถูกต้องได้
2. **ความแม่นยำที่จำกัด** ความถูกต้องของเครื่องวัดแบบเรียงกระแสเต็มคลื่นจะอยู่ในช่วงประมาณ 3-5% ของค่าที่แสดงผล ซึ่งหมายความว่าค่าที่อ่านได้อาจมีความคลาดเคลื่อนในระดับนี้ จึงไม่เหมาะกับงานที่ต้องการความแม่นยำสูง
3. **ผลกระทบจากอุณหภูมิและความถี่** เนื่องจากวงจรใช้ไดโอดและส่วนประกอบอิเล็กทรอนิกส์อื่นๆ ซึ่งค่าความต้านทานและคุณสมบัติของไดโอดจะเปลี่ยนไปตามอุณหภูมิและความถี่ของสัญญาณ อุปกรณ์จึงอาจอ่านค่าผิดพลาดเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงสภาพแวดล้อมหรือสัญญาณที่วัด

ศูนย์วิทยทรัพยากร สถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยพะเยา

2.6 วัตต์มิเตอร์

วัตต์มิเตอร์คือเครื่องมือวัดพื้นฐานในระบบไฟฟ้าที่ใช้สำหรับวัดกำลังไฟฟ้าที่ใช้ไปในวงจรไฟฟ้ากำลัง หรือที่เรียกว่า “พลังงานไฟฟ้า” (Electrical Power) โดยกำลังไฟฟ้านี้แทนด้วยสัญลักษณ์ P และมีหน่วยวัดเป็น วัตต์ (W)

กำลังไฟฟ้าที่วัดได้เกิดจากผลคูณของแรงดันไฟฟ้า (V) และกระแสไฟฟ้า (I) ที่ไหลผ่านวงจร โดยแรงดันไฟฟ้ามีหน่วยเป็นโวลต์ (V) และกระแสไฟฟ้ามีหน่วยเป็นแอมแปร์ (A) กระแสไฟฟ้าคือการเคลื่อนที่ของประจุไฟฟ้าภายในวงจร และพลังงานนี้ถูกใช้ในการผลักดันประจุไฟฟ้าให้เคลื่อนที่จากจุดหนึ่งไปยังอีกจุดหนึ่งในหนึ่งหน่วยเวลา (วินาที)

(W) คือ พลังงานไฟฟ้าที่ทำให้กระแสไฟฟ้าไหล (J) / เวลา (T)

หรือ

$$P = \frac{W}{T} \tag{2.44}$$

โดย

P คือ กำลังไฟฟ้า มีหน่วยเป็น วัตต์ (W)
W คือ พลังงานไฟฟ้า มีหน่วยเป็น จูล (J)
T คือ เวลา มีหน่วยเป็น วินาที (S)

จากพลังงานไฟฟ้าที่เกิดขึ้น การจ่ายแรงดันไฟฟ้า E ซึ่งมีหน่วยเป็นโวลต์ (Volt, V) ทำให้เกิดกระแสไฟฟ้า I ที่ไหลผ่านวงจร มีหน่วยเป็นแอมแปร์ (Ampere, A) โดยพลังงานไฟฟ้าที่ถูกใช้ในหนึ่งวินาที (Second, S) จะเป็นผลของการทำงานร่วมกันของแรงดันและกระแสไฟฟ้า

$$W = E \cdot I \cdot t \tag{2.45}$$

W คือ พลังงานไฟฟ้า มีหน่วยเป็น จูล (J)
E คือ แรงดันไฟฟ้า มีหน่วยเป็น โวลต์ (V)
I คือ กระแสไฟฟ้า มีหน่วยเป็น แอมแปร์ (A)
t คือ เวลา มีหน่วยเป็น วินาที (S)

เมื่อแทนค่า

$$W = P \cdot t \tag{2.46}$$

$$P \cdot t = E \cdot I \cdot t$$

$$P = \frac{E \cdot I \cdot t}{t}$$

ศูนย์บรรณสารและการเรียนรู้ สถาบันวิทยบริการและเทคโนโลยีสารสนเทศ มหาวิทยาลัยพะเยา

$$P = E \cdot I$$

ดังนั้น สูตรการคำนวณค่ากำลังไฟฟ้าที่ใช้ในวงจร สามารถหาได้โดยการคูณค่าแรงดันไฟฟ้า E ซึ่งมีหน่วยเป็นโวลต์ (V) กับค่ากระแสไฟฟ้า I ซึ่งมีหน่วยเป็นแอมแปร์ (A) ผลลัพธ์ที่ได้จะเป็นกำลังไฟฟ้า P มีหน่วยเป็นวัตต์ (W)

2.6.1 วัตต์มิเตอร์ (Watt Meter)

วัตต์มิเตอร์ คือเครื่องมือสำหรับวัดกำลังงานไฟฟ้าในวงจรไฟฟ้า โดยทั่วไปกำลังไฟฟ้าสามารถคำนวณได้จากผลคูณของกระแสไฟฟ้าและแรงดันไฟฟ้า ในการใช้งาน วัตต์มิเตอร์จะมีขั้วต่อสำหรับวัดแรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าพร้อมกันภายในตัวเดียว เพื่อวัดทั้งแรงดันและกระแสที่ไหลผ่านวงจรอย่างแม่นยำ ทำให้สามารถคำนวณและแสดงค่ากำลังไฟฟ้าที่ใช้งานจริงในวงจรนั้นได้อย่างถูกต้อง



รูปที่ 2.53 รูปร่างของวัตต์มิเตอร์

กำลังไฟฟ้าในวงจรไฟฟ้ากระแสตรงนั้นสามารถหาได้จากสูตร

$$P = U \cdot I = \frac{E^2}{R} = I^2 \cdot R \qquad (2.46)$$

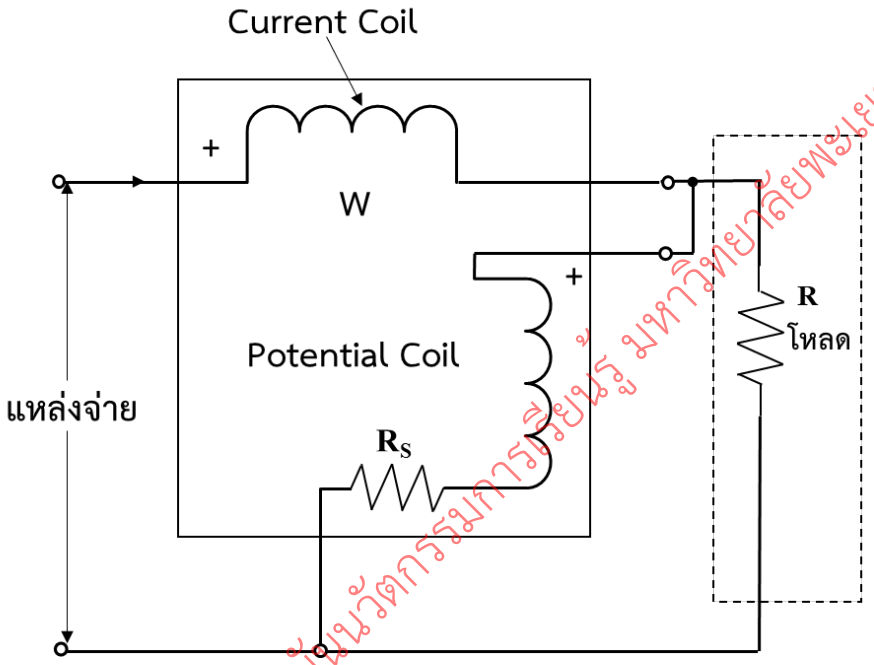
เมื่อ P คือ กำลังไฟฟ้า (W)
U คือ แรงดันไฟฟ้า (V)
I คือ กระแสไฟฟ้า (A)
R คือ ความต้านทานไฟฟ้า (Ω)

วงจรในรูปที่ 2.53 นี้เหมาะสำหรับใช้กับวงจรที่มีค่า R_L ต่ำ เนื่องจากโวลต์มิเตอร์ที่ใช้วัดแรงดันมีความต้านทานสูง แต่เมื่อใช้กับค่า R_L ต่ำจะเกิด “โหลดดิ้งเอฟเฟ็ค” (loading effect) ทำให้ค่าที่วัดได้คลาดเคลื่อน การต่อแอมมิเตอร์ในวงจรแบบอนุกรมกับ R_L จะช่วยลดปัญหานี้ลง เพราะแอมมิเตอร์มีความต้านทานต่ำ ทำให้กระแสไหลผ่านวงจรได้อย่างถูกต้องและแม่นยำมากขึ้น

ศูนย์บรรณสารและการเรียนรู้ สถาบันนวัตกรรมการเรียนรู้ มหาวิทยาลัยพะเยา

2.6.2 โครงสร้างของวัตต์มิเตอร์

วัตต์มิเตอร์ (Watt meter) คือ เครื่องมือที่รวมเอาโวลท์มิเตอร์และแอมมิเตอร์ไว้ในตัวเดียวกัน โครงสร้างของวัตต์มิเตอร์ใช้หลักการของอิเล็กโทรไดนาโมมิเตอร์ (Electrodynamometer) แสดงในรูปที่ 2.54



รูปที่ 2.54 โครงสร้างวัตต์มิเตอร์

ดัดแปลงมาจากที่มา : http://www.tatc.ac.th/elearning_elec/Untitled-7.html
สืบค้นเมื่อวันที่ 17/11/2568

จากรูปที่ 2.54 แสดงโครงสร้างของวัตต์มิเตอร์แบบอิเล็กโทรไดนาโมมิเตอร์ ซึ่งประกอบด้วยขดลวดทั้งหมด 3 ขด ได้แก่

- ขดลวด 2 ขดใหญ่ที่วางขนานกัน เรียกว่าขดลวดคงที่ (Fixed Coil) หรือขดลวดกระแส (Current Coil)
- ขดลวดอีกขดหนึ่งซึ่งวางอยู่ตรงกลางระหว่างขดลวดคงที่ในส่วนวงกลมที่ว่าง เรียกว่าขดลวดเคลื่อนที่ได้ (Moving Coil) หรือขดลวดแรงดัน (Voltage Coil)

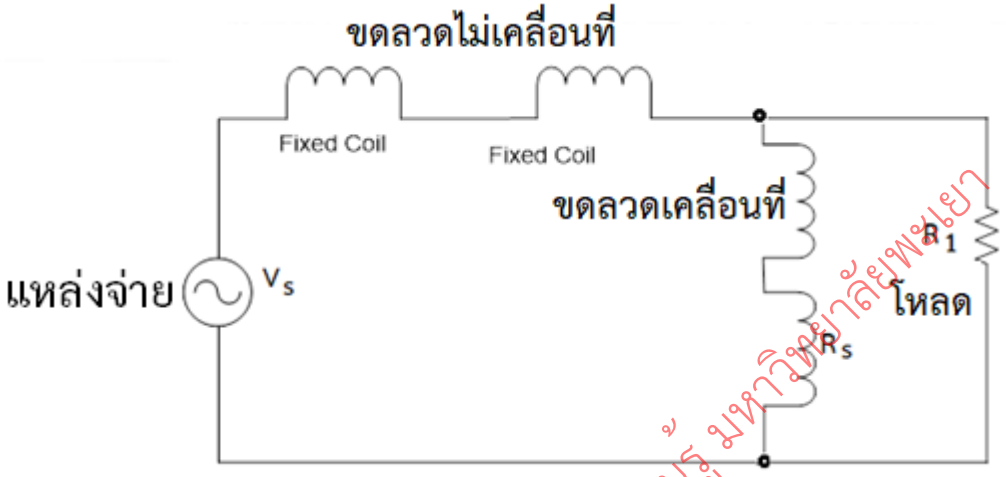
ขดลวดเคลื่อนที่จะถูกยึดติดกับแกนซึ่งเชื่อมต่อกับเข็มชี้และสปริงก้นหอย เพื่อให้สามารถเคลื่อนที่และแสดงค่ากำลังไฟฟ้าที่วัดได้

โดยขดลวดคงที่ทั้งสองขดถูกต่อต่ออนุกรมกัน และต่อออกมาเพื่อตรวจวัดกระแสไฟฟ้าที่ไหลในวงจร ส่วนขดลวดเคลื่อนที่จะต่อต่ออนุกรมกับตัวต้านทานเพื่อจำกัดกระแสที่ไหลผ่านขดลวดนี้ และต่อออกมาเพื่อตรวจวัดแรงดันไฟฟ้าในวงจร ด้วยการทำงานร่วมกันของขดลวดทั้งสามนี้ วัตต์มิเตอร์สามารถวัดกำลังไฟฟ้าได้อย่างแม่นยำ

ศูนย์บรรณสารและสื่อการเรียนรู้ สถาบันนวัตกรรมการเรียนรู้ มหาวิทยาลัยพะเยา

2.6.3 วัตต์มิเตอร์แบบอิเล็กโตรไดนาโมมิเตอร์ (Electrodynamometer Wattmeter)

โครงสร้างของอิเล็กโตรไดนาโมมิเตอร์ประกอบด้วยขดลวดอยู่กับที่ 2 ขด (Field coil) และขดลวดเคลื่อนที่ (Moving coil) การต่ออิเล็กโตรไดนาโมมิเตอร์เพื่อวัดกำลังไฟฟ้านั้นสามารถต่อได้ดังรูปที่ 2.55



รูปที่ 2.55 วงจรภายในของวัตต์มิเตอร์แบบอิเล็กโทรไดนาโมมิเตอร์

ในวัตต์มิเตอร์แบบอิเล็กโทรไดนาโมมิเตอร์ ขดลวดอยู่กับที่ (Field Coil หรือ Fixed Coil) จะถูกต่อต่ออนุกรมกับโหลด R_L เพื่อใช้ในการวัดกระแสไฟฟ้า เนื่องจากกระแสที่ไหลผ่าน R_L จะต้องไหลผ่านขดลวดนี้ด้วยโดยตรง ส่วนขดลวดเคลื่อนที่ (Moving Coil) จะต่อต่ออนุกรมกับตัวต้านทาน R_S และต่อคร่อมอยู่กับ R_L เพื่อใช้ในการวัดแรงดันไฟฟ้าที่ตกคร่อมโหลด โดยที่ R_S ทำหน้าที่คล้ายกับตัวต้านทานในมัลติมิเตอร์ ที่ใช้จำกัดกระแสในวงจรวัดแรงดัน

จากโครงสร้างวงจร จะเห็นได้ว่าทั้งกระแสและแรงดันไฟฟ้าที่เปลี่ยนแปลงไป จะส่งผลโดยตรงต่อการเบี่ยงเบนของเข็มชี้ ซึ่งแสดงค่ากำลังไฟฟ้า ดังนั้น วัตต์มิเตอร์ชนิดนี้จึงสามารถใช้วัดค่ากำลังไฟฟ้าได้อย่างต่อเนื่องและสัมพันธ์กับการเปลี่ยนแปลงของแรงดันและกระแสในวงจร

อย่างไรก็ตาม กำลังไฟฟ้าที่วัดได้จากเครื่องวัดนี้จะไม่ขึ้นอยู่กับค่าแรงดันและกระแสเพียงอย่างเดียว ในกรณีของไฟฟ้ากระแสสลับ (AC) จะต้องพิจารณา มุมเฟส (Phase Angle) ระหว่างแรงดันกับกระแสด้วย หากแรงดันและกระแสไม่อยู่ในเฟสเดียวกัน ค่ากำลังไฟฟ้าที่แท้จริง (Real Power) ที่วัดได้จะลดลงตามค่าของ เพาเวอร์แฟคเตอร์ (Power Factor)

ศูนย์วิทยทรัพยากร จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

2.6.4 วัตต์มิเตอร์แบบเหนี่ยวนำ (Induction Type Watt Meter)

วัตต์มิเตอร์ชนิดอาศัยหลักการเหนี่ยวนำ (Induction Wattmeter) เป็นเครื่องมือวัดกำลังไฟฟ้าที่ใช้ได้เฉพาะกับไฟฟ้ากระแสสลับ (AC) เท่านั้น ไม่สามารถใช้วัดกำลังในวงจรไฟฟ้ากระแสตรง (DC) ได้ เครื่องวัดชนิดนี้ประกอบด้วย ขดลวด 2 ขด พันอยู่บนแกนเหล็ก ดังนี้

1. ขดลวดหนึ่งจะต่อขนานกับโหลด R_L เพื่อวัด แรงดันไฟฟ้า ขดลวดนี้จึงมีการสร้างสนามแม่เหล็กที่เปลี่ยนแปลงตามแรงดัน

2. ขดลวดอีกขดจะต่ออนุกรมกับ R_L เพื่อวัด กระแสไฟฟ้า และสร้างสนามแม่เหล็กที่เปลี่ยนแปลงตามกระแส

ระหว่างขดลวดทั้งสองจะมี จานอะลูมิเนียม คั่นอยู่ ดังในรูปที่ 2.56 ซึ่งทำหน้าที่เป็นส่วนเคลื่อนที่ของเครื่องวัด เมื่อลำสนามแม่เหล็กจากขดลวดแรงดันและขดลวดกระแสตัดผ่านจานอะลูมิเนียม จะทำให้เกิดกระแสไหลวน (Eddy Current) บนจาน และทำให้เกิด แรงบิด ส่งผลให้จานหมุน เข็มชี้ที่ติดอยู่กับแกนเดียวกับจานจะเบี่ยงเบนตามแรงบิด ซึ่งแสดงค่ากำลังไฟฟ้าที่วัดได้ แรงบิดที่เกิดขึ้นจะมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับความแรงของสนามแม่เหล็กจากขดลวดทั้งสอง โดยมีความสัมพันธ์กับกำลังไฟฟ้าในวงจร

การทำงานในวงจรที่มี R, L และ C

ในกรณีที่วงจรประกอบด้วยองค์ประกอบของตัวต้านทาน (R), ตัวเหนี่ยวนำ (L) และตัวเก็บประจุ (C) แรงดันและกระแสไฟฟ้าจะไม่อยู่ในเฟสเดียวกัน ทำให้เกิดมุมเฟสระหว่างแรงดันกับกระแส ส่งผลให้พลังงานบางส่วนที่จ่ายออกไปไม่ได้ถูกใช้หมดในโหลด แต่ ย้อนกลับคืนไปยังแหล่งจ่าย ซึ่งจะเกิดกำลังไฟฟ้ารีแอคทีฟ

กำลังไฟฟ้าที่แท้จริงในกรณีนี้สามารถคำนวณได้จากสูตร

$$P = VI\cos(\theta) \qquad (2.47)$$

โดยที่

P คือ กำลังไฟฟ้าจริง (Watt)

V คือ แรงดันไฟฟ้า (Volt)

I คือ กระแสไฟฟ้า (Ampere)

cos (θ) คือ ค่าเพาเวอร์แฟกเตอร์ ซึ่งขึ้นกับมุมเฟส θ

ศูนย์บรรณสารและการเรียนรู้ สำนักส่งเสริมวิชาการและงานทะเบียน มหาวิทยาลัยพะเยา

การปรับเฟสของสนามแม่เหล็ก

เพื่อให้เครื่องวัดสามารถตอบสนองต่อกำลังไฟฟ้าได้อย่างแม่นยำ จะมีการใช้วงแหวนทองแดง (Copper Shading Bands) บนขดลวดแรงดัน เพื่อปรับให้สนามแม่เหล็กจากขดลวดแรงดัน (Voltage Coil) และขดลวดกระแส (Current Coil) มีความต่างเฟสที่เหมาะสมในการสร้างแรงบิดบนจานอะลูมิเนียม



รูปที่ 2.56 วัตต์มิเตอร์แบบเหนี่ยวนำ
ที่มา : https://images.search.yahoo.com/search/images สืบค้นเมื่อวันที่ 17/11/2566

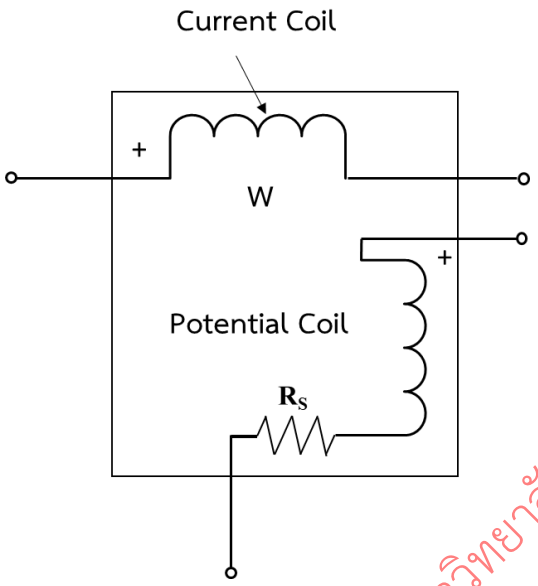
2.6.5 การต่อใช้งานวัตต์มิเตอร์

การต่อใช้งานวัตต์มิเตอร์แบบอิเล็กโทรไดนาโมมิเตอร์ เมื่อต้องการนำวัตต์มิเตอร์ชนิดอิเล็กโทรไดนาโมมิเตอร์มาใช้งานในวงจร ควรทำการต่อวงจรให้ถูกต้องตามหลักการดังนี้

- ขดลวดกระแส (Current Coil) ซึ่งเป็นขดลวดคงที่ จะต้อง ต่ออนุกรมกับภาระ (โหลด) ที่ต้องการวัดกำลังไฟฟ้า เพื่อให้กระแสที่ไหลผ่านภาระไหลผ่านขดลวดนี้ด้วย
- ขดลวดแรงดัน (Voltage Coil) ซึ่งเป็นขดลวดเคลื่อนที่ จะต้อง ต่อขนานกับภาระ เพื่อให้สามารถตรวจวัดแรงดันที่ตกคร่อมภาระได้

โดยในการต่อใช้งานจริง จะต้องทำการ ต่อขั้ว A (หรือ + ของ Current Coil) เข้าด้วยกันกับขั้ว V (หรือ + ของ Voltage Coil) แล้วนำไปต่อเข้ากับด้านที่เชื่อมต่อกับภาระและแหล่งจ่ายแรงดันตามลำดับ รูปแบบการต่อวงจรจะแสดงใน รูปที่ 2.57 ซึ่งช่วยให้เข้าใจตำแหน่งของขดลวดต่าง ๆ และขั้วต่อได้อย่างชัดเจน การต่อใช้งานในลักษณะนี้จะทำให้วัตต์มิเตอร์สามารถวัดกำลังไฟฟ้าที่แท้จริง (Real Power) ที่จ่ายให้กับภาระได้อย่างถูกต้อง

ศูนย์บรรณสารและการเรียนรู้ สถาบันนวัตกรรมการเรียนรู้ มหาวิทยาลัยพะเยา



รูปที่ 2.57 วงจรต่อใช้งานวัตต์มิเตอร์แบบอิเล็กโทรไดนาโมมิเตอร์

การต่อใช้งานวัตต์มิเตอร์แบบอิเล็กโตรไดนาโมมิเตอร์ (Electrodynamometer Wattmeter) จากรูปที่ 2.57 เป็นการแสดงการต่อวงจรของวัตต์มิเตอร์แบบอิเล็กโตรไดนาโมมิเตอร์ โดยมีลำดับการเชื่อมต่อดังนี้

- ขั้วบวก (+) ของ ขดลวดคงที่ (Current Coil) และ ขดลวดเคลื่อนที่ (Voltage Coil) จะถูกต่อเข้าด้วยกัน แล้วต่อไปยัง ขั้วบวกของแหล่งจ่ายแรงดัน
- ขั้ว A ของขดลวดคงที่ต่อเข้า ด้านหนึ่งของภาระ (โหลด) ที่ต้องการวัด
- ขั้ว V ของขดลวดเคลื่อนที่ต่อเข้า อีกด้านหนึ่งของภาระ
- ด้านที่เหลือของภาระจะถูกต่อกลับไปยัง ขั้วลบของแหล่งจ่ายแรงดัน

เมื่อต่อวงจรครบและจ่ายแรงดันเข้าวงจร ขดลวดคงที่ (Current Coil) ซึ่งอยู่ในแนวสนามแม่เหล็กเดียวกับ ขดลวดเคลื่อนที่ (Voltage Coil) จะสร้างสนามแม่เหล็กไฟฟ้า เนื่องจากขดลวดทั้งสองอยู่ใกล้กันและมีขั้วสนามแม่เหล็กเหมือนกัน จึงเกิด แรงผลักกัน ระหว่างสนามแม่เหล็กของทั้งสองขดลวด แรงผลักนี้ทำให้ ขดลวดเคลื่อนที่เกิดการเบี่ยงเบน และขับเข็มชี้ให้แสดงค่ากำลังไฟฟ้าที่วัดได้

2.6.6 การวัดและอ่านค่ากำลังไฟฟ้า

ข้อควรระวังในการต่อใช้งานวัตต์มิเตอร์ ในการต่อวัตต์มิเตอร์เข้ากับวงจรไฟฟ้า ควรปฏิบัติดังนี้เพื่อป้องกันความเสียหายของอุปกรณ์

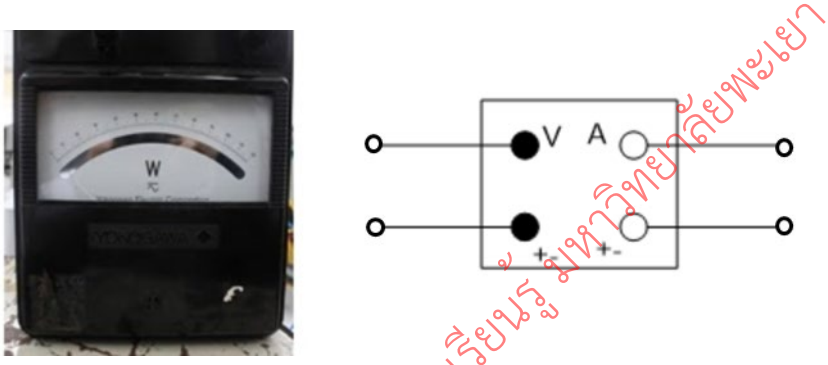
1. อย่าให้กระแสที่ไหลผ่านขดลวดคงที่ (Current Coil) เกินค่าพิกัดที่กำหนดไว้บนตัวมิเตอร์ เนื่องจากขดลวดนี้ทำหน้าที่วัดกระแสไฟฟ้าโดยตรง การมีกระแสเกินพิกัดอาจทำให้ขดลวดร้อนจัดหรือขาดได้

ศูนย์บรรณสารและการเรียนรู้ สถาบันวิทยบริการและเทคโนโลยีสารสนเทศ มหาวิทยาลัยพะเยา

2. อย่าให้แรงดันไฟฟ้าที่ป้อนเข้าสู่ขดลวดเคลื่อนที่ (Voltage Coil) เกินกว่าค่าพิกัดของมิเตอร์ เพราะขดลวดนี้มีความต้านทานสูง หากแรงดันเกิน จะทำให้ฉนวนภายในเสียหายหรือขดลวดไหม้

3. ควรตรวจสอบแรงดันและกระแสของวงจรล่วงหน้า ก่อนทำการต่อวัตต์มิเตอร์เข้ากับระบบ เพื่อให้มั่นใจว่าอยู่ในช่วงค่าที่ปลอดภัย และไม่เกินพิกัดของวัตต์มิเตอร์

การไม่ระมัดระวังในการต่อใช้งานอาจทำให้วัตต์มิเตอร์ ชำรุดหรือเสียหายถาวรได้ โดยทั่วไป วัตต์มิเตอร์ที่ใช้งานจริงจะมีสัญลักษณ์กำกับขั้วต่อไว้อย่างชัดเจน ดังแสดงใน รูปที่ 2.58 เพื่อช่วยในการต่อวงจรอย่างถูกต้อง



(ก) วัตต์มิเตอร์ (ข) สัญญลักษณ์

รูปที่ 2.58 รูปร่างและสัญลักษณ์ของวัตต์มิเตอร์

การใช้งานวัตต์มิเตอร์ Metrix รุ่น Mx0095 จากรูปที่ 2.58 แสดงรูปร่างของ วัตต์มิเตอร์ชนิดเฟสเดียว (Single-phase Wattmeter) รุ่น Mx0095 ของ Metrix ซึ่งเป็นอุปกรณ์วัดกำลังไฟฟ้าที่ถูกออกแบบมาให้ใช้งานได้ในระบบไฟฟ้ากระแสสลับเฟสเดียว โดยสามารถวัดค่าทางไฟฟ้าได้ในหลายช่วงดังนี้ กระแสไฟฟ้า (Current): 1 A และ 5 A และ แรงดันไฟฟ้า (Voltage): ตั้งแต่ 12 V ถึง 480 V วัตต์มิเตอร์รุ่นนี้สามารถนำมาใช้งานได้หลากหลาย โดยมีหน้าปัดสเกลแสดงค่าการวัดแบบเข็มหมุน ซึ่งผู้ใช้งานต้องรู้จักวิธีอ่านค่าที่ถูกต้องเพื่อให้ได้ผลการวัดที่แม่นยำ

วิธีอ่านค่ากำลังไฟฟ้าอย่างถูกต้อง อ่านค่าที่เข็มมิเตอร์ชี้บนหน้าปัดสเกล นำค่าที่อ่านได้ไปคูณกับ "ค่าตัวคูณ (Multiplying Factor)" ที่กำหนดไว้ใน ตารางตัวคูณ ซึ่งมักจะแนบมากับตัวเครื่องหรือแสดงอยู่ใกล้หน้าปัด ผลลัพธ์ที่ได้คือ "ค่ากำลังไฟฟ้าจริง" (Watt) ที่ใช้อยู่ในวงจรหรืออุปกรณ์นั้น

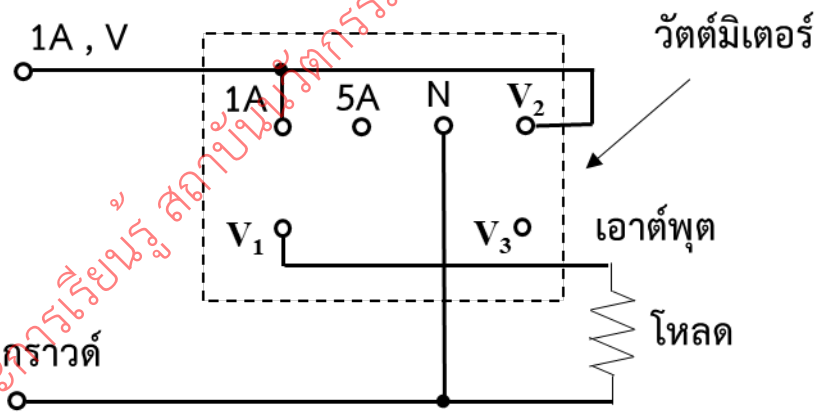
ตารางค่าตัวคูณของวัตต์มิเตอร์ Metrix รุ่น Mx0095 จะแสดงไว้ใน ตารางที่ 2.2 ซึ่งประกอบด้วยข้อมูลของย่านแรงดัน ย่านกระแส และค่าตัวคูณที่ใช้ร่วมกัน เพื่อให้ผู้ใช้งานสามารถคำนวณค่ากำลังไฟฟ้าได้ถูกต้องในแต่ละช่วงการวัด

ศูนย์ปรัชญาและศาสตราจารย์ ดร.กนิษฐา วัตการรัมย์ การเรียนรู้ มหาวิทยาลัยพะเยา

ตารางที่ 2.2 ค่าที่ตั้งวัดและค่าตัวคูณของวัตต์มิเตอร์ Matrix รุ่น Mx0095

ย่านแรงดัน (โวลต์)	ย่านกระแส 1 แอมป์	ย่านกระแส 5 แอมป์
	ค่าตัวคูณ	
12	0.1	0.5
24	0.2	1
60	0.5	2.5
120	1	5
240	2	10
360	3	15
480	4	20

วัตต์มิเตอร์ชนิดนี้มี ขดลวดกระแส (Current Coil) และ ขดลวดแรงดัน (Voltage Coil) ที่ใช้ในการตรวจวัดกระแสและแรงดันพร้อมกัน โดยต้องมีการเชื่อมต่อที่เหมาะสมดังรูปที่ 2.59



รูปที่ 2.59 การต่อใช้งานวัตต์มิเตอร์ Matrix รุ่น Mx 0095

หาได้ดังนี้

กำลังไฟฟ้าที่วัดได้ = ตัวเลขที่อ่านค่าได้ (W) x ค่าตัวคูณ

ศูนย์บรรณสารและการเรียนรู้ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ตัวอย่างที่ 2.19 ต่อวัตต์มิเตอร์ใช้งานที่ขั้วแรงดัน 120 V และขั้วกระแส 5 A เมื่อวัดค่าเข็มชี้ชี้ค่าที่เลข 42 ค่ากำลังไฟฟ้าจริงมีค่าเท่าไร

วิธีทำ ค่าตัวคูณของแรงดัน 120 V กระแส 5 A คือค่า 5 (ดูตารางที่ 2.2)

กำลังไฟฟ้าที่วัดได้ = ตัวเลขที่อ่านค่าได้ (W) x ค่าตัวคูณ

= 42 W X 5

ตอบ P = 210 Watt

ตัวอย่างที่ 2-20 ต่อวัตต์มิเตอร์ใช้งานที่ขั้วแรงดัน 240 V และขั้วกระแส 1 A เมื่อวัดค่าเข็มชี้ที่เลข 76 ค่ากำลังไฟฟ้าจริงมีค่าเท่าไร

วิธีทำ ค่าตัวคูณของแรงดัน 240 V กระแส 1 A คือค่า 2 (ดูตารางที่ 2.2)

กำลังไฟฟ้าที่วัดได้ = ตัวเลขที่อ่านค่าได้ (W) x ค่าตัวคูณ

= 76 W X 2

ตอบ P = 152 Watt

ตัวอย่างที่ 2-21 ต่อวัตต์มิเตอร์ใช้งานที่ขั้วแรงดัน 360 V และขั้วกระแส 5 A เมื่อวัดค่าเข็มชี้ชี้ค่าเลข 115 ค่ากำลังไฟฟ้าจริงมีค่าเท่าไร

วิธีทำ ค่าตัวคูณของแรงดัน 360 V กระแส 5 A คือค่า 15 (ดูตารางที่ 2.2)

กำลังไฟฟ้าที่วัดได้ = ตัวเลขที่อ่านค่าได้ (W) x ค่าตัวคูณ

= 115W X 15

ตอบ P = 1,725 Watt

ในวงจรกระแสสลับ (AC) การคำนวณหากำลังไฟฟ้าไม่สามารถใช้เพียงผลคูณของแรงดันไฟฟ้า (Voltage, V) และกระแสไฟฟ้า (Current, I) ได้โดยตรง เนื่องจากอาจมีเฟสต่างกันระหว่างแรงดันและกระแส ซึ่งเกิดจากองค์ประกอบของวงจร เช่น ความต้านทาน (R), ตัวเหนี่ยวนำ (L) และตัวเก็บประจุ (C)

$$PT = VI\cos\theta \qquad (2.47)$$

เมื่อ PT คือ กำลังไฟฟ้าค่าจริง หน่วยเป็นวัตต์ (W)

V คือ แรงดันไฟกระแสสลับ หน่วยเป็นโวลต์ (V)

I คือ กระแสไฟฟ้าสลับ หน่วยเป็นแอมแปร์ (A)

$\cos\theta$ คือ ค่าเพาเวอร์แฟกเตอร์ในวงจร ไม่มีหน่วย

ศูนย์บรรณสารและการเรียนรู้ สถาบันนวัตกรรมการเรียนรู้ มหาวิทยาลัยพะเยา

2.6.7 วัตต์อาวร์มิเตอร์

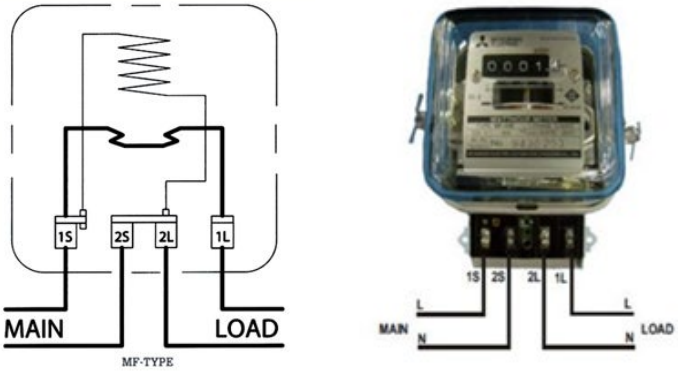
วัตต์อาวร์มิเตอร์ (Watthour Meter) คือเครื่องมือที่ใช้วัด พลังงานไฟฟ้า (Electrical Energy) ที่ใช้งานไปในช่วงระยะเวลาหนึ่ง โดยวัดค่ากำลังไฟฟ้า (Watt) ที่ใช้และ สะสมตามเวลา ซึ่งผลลัพธ์จะถูกแสดงออกมาเป็นหน่วยของ กิโลวัตต์ชั่วโมง (kWh) หน่วยมาตรฐานของการคิดค่าบริการไฟฟ้า



รูปที่ 2.60 วัตต์อาวร์มิเตอร์
ที่มา: https://images.search.yahoo.com/search/images สืบค้นเมื่อวันที่ 17/11/2566

หลักการทำงานของวัตต์อาวร์มิเตอร์ วัตต์อาวร์มิเตอร์มีหลักการทำงานคล้ายคลึงกับวัตต์มิเตอร์แบบเหนี่ยวนำ โดยใช้หลักการเหนี่ยวนำแม่เหล็กไฟฟ้าเช่นเดียวกัน มีส่วนประกอบหลักคือ ขดลวดกระแส และ ขดลวดแรงดัน ซึ่งทำหน้าที่สร้างสนามแม่เหล็กตามกระแสและแรงดันไฟฟ้าที่ไหลผ่าน อย่างไรก็ตาม ความแตกต่างของวัตต์อาวร์มิเตอร์คือ วิธีการแสดงผลการวัด โดย วัตต์มิเตอร์จะแสดงค่ากำลังไฟฟ้าในขณะนั้นผ่านเข็มชี้ที่บ่ายเบนบนสเกลหน้าปัด และ ส่วนวัตต์อาวร์มิเตอร์จะแสดง พลังงานไฟฟ้าที่ใช้สะสมตามเวลา โดยใช้จานอะลูมิเนียมหมุนได้ซึ่งถูกหน่วงด้วยแม่เหล็กถาวร และมีชุดเฟืองที่ถ่ายทอดการหมุนของจานไปยังชุดแสดงผล

การแสดงผลอาจเป็นแบบเข็มชี้หรือตัวเลขหมุน (mechanical counter) เพื่อแสดงค่าพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ไปในหน่วยกิโลวัตต์ชั่วโมง (kWh) โครงสร้างของชุดสร้างสนามแม่เหล็กและจานหมุนของวัตต์อาวร์มิเตอร์แสดงไว้ในรูปที่ 2.60



(ก) โครงสร้างภายใน (ข) ภาพจริง

รูปที่ 2.60 โครงสร้างของวัตต์อาวร์มิเตอร์

ศูนย์บรรณสารและการเรียนรู้ สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ที่มา: https://images.search.yahoo.com/search/images สืบค้นเมื่อวันที่ 17/11/2566

การทำงานของชุดกำเนิดสนามแม่เหล็กและจานหมุนของวัตต์อาวร์มิเตอร์ จากรูปที่ 2.60 แสดงโครงสร้างภายในของวัตต์อาวร์มิเตอร์ ซึ่งประกอบด้วยขดลวดสองชุด ได้แก่ ขดลวดกระแส (Current Coil) ซึ่งต่ออนุกรมกับภาระในวงจร และ ขดลวดแรงดัน (Voltage Coil) ซึ่งต่อขนานกับวงจร ขดลวดทั้งสองพันอยู่บนโครงโลหะเฉพาะที่ออกแบบมาเพื่อสร้างวงจรสนามแม่เหล็กสองชุด

แผ่นจานอะลูมิเนียมทรงกลมวางอยู่ในตำแหน่งที่ตัดผ่านสนามแม่เหล็กที่เกิดจากขดลวดทั้งสอง การทำงานจะอาศัยหลักการของกระแสไหลวน (Eddy Current) ซึ่งเกิดขึ้นในจานอะลูมิเนียมเมื่อสนามแม่เหล็กเปลี่ยนแปลง กระแสไหลวนนี้จะปฏิสัมพันธ์กับสนามแม่เหล็ก ทำให้เกิดแรงบิดซึ่งหมุนจานอะลูมิเนียม แรงบิดที่เกิดขึ้นแปรผันตามกำลังไฟฟ้าที่ใช้งานจริง

การหมุนของจานอะลูมิเนียมจะถูกถ่ายทอดผ่านชุดเฟืองไปยังเข็มชี้หรือชุดตัวเลขแสดงผล ซึ่งแสดงค่าพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ไปในหน่วยกิโลวัตต์ชั่วโมง (kWh) โดยความเร็วในการหมุนของจานขึ้นอยู่กับพลังงานที่ใช้ในช่วงเวลานั้น

การเปลี่ยนมาใช้มิเตอร์อิเล็กทรอนิกส์

ในปัจจุบัน การไฟฟ้านครหลวงและการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคได้เปลี่ยนมาใช้ วัตต์อาวร์มิเตอร์แบบอิเล็กทรอนิกส์ ซึ่งมีข้อดีหลายประการ เช่น ขนาดกะทัดรัด น้ำหนักเบา มีความแม่นยำสูงในการวัด และสามารถแสดงผลเป็นตัวเลขดิจิทัลบนหน้าจอ นอกจากนี้ ยังสามารถวัดค่ากำลังไฟฟ้ารีแอคทีฟ (Reactive Power) ได้อีกด้วย ขึ้นอยู่กับโปรแกรมควบคุมที่ติดตั้งในตัวเครื่อง ดังแสดงในรูปที่ 2.61



รูปที่ 2.61 ดิจิตอลวัตต์อาร์วมิเตอร์
ที่มา: https://www.matichonweekly.com/publicize/article_45250
สืบค้นเมื่อวันที่ 17/11/2566

ศูนย์บรรณสารและการเรียนรู้ สถาบันบัณฑิตการจัดการและการเรียนรู้ มหาวิทยาลัยพะเยา

2.6.8 ข้อระมัดระวังและการบำรุงรักษาวัตต์มิเตอร์

1. ศึกษาวิธีการใช้งานให้เข้าใจ

ก่อนใช้งานวัตต์มิเตอร์ ควรอ่านและศึกษาคู่มือการใช้งานอย่างละเอียด เพื่อให้เข้าใจถึงหลักการทำงานและวิธีการวัดที่ถูกต้อง

2. ตรวจสอบการต่อขั้วให้ถูกต้อง

ควรต่อสายวัดให้ตรงตามขั้วที่ระบุไว้ในคู่มือของเครื่องวัด หากต่อผิดขั้ว อาจทำให้ค่าที่วัดได้ผิดพลาด หรืออาจเกิดความเสียหายต่อเครื่องวัดได้

3. เลือกย่านวัดให้เหมาะสม

การอ่านค่าจากหน้าปัดต้องนำไปคูณกับค่าตัวคูณที่ระบุไว้ในแต่ละย่านวัด เนื่องจากแต่ละย่านมีค่าตัวคูณไม่เท่ากัน จึงควรตรวจสอบและเลือกย่านให้เหมาะสมกับค่าที่คาดว่าจะวัด

4. ถอดสายวัดก่อนปรับย่าน

ทุกครั้งที่มีการเปลี่ยนย่านวัด ควรถอดสายวัดออกจากจุดวัดก่อนเสมอ เพื่อป้องกันความเสียหายที่อาจเกิดขึ้นกับเครื่อง

5. ป้องกันการกระทบกระเทือนและสิ่งแวดล้อมที่ไม่เหมาะสม

หลีกเลี่ยงไม่ให้เครื่องวัดได้รับการกระแทกหรือกระเทือน และควรเก็บรักษาเครื่องวัดให้พ้นจากฝุ่นละออง ความชื้น และความร้อน เพื่อยืดอายุการใช้งาน

6. ระวังอันตรายจากไฟฟ้าดูด

โดยเฉพาะในการวัดกำลังไฟฟ้าที่มีแรงดันสูง ควรใช้ความระมัดระวังอย่างยิ่ง และสวมใส่อุปกรณ์ป้องกันไฟฟ้า เช่น ถุงมือหรือรองเท้าฉนวนหากจำเป็น

ศูนย์บรรณสารและการเรียนรู้ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

สรุปท้ายบทเรียนบทที่ 2

ในบทเรียนนี้ ได้เรียนรู้ถึงความสำคัญและบทบาทของเครื่องมือวัดพื้นฐานในงานด้านไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ โดยเฉพาะการวัดค่าทางไฟฟ้าที่จำเป็น เช่น กระแสไฟฟ้า แรงดันไฟฟ้า และความต้านทาน ซึ่งมีความสำคัญต่อการออกแบบ ตรวจสอบ และควบคุมวงจรไฟฟ้าให้ทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ เราได้ทำความเข้าใจหลักการทำงานของเครื่องมือวัดต่าง ๆ เช่น มัลติมิเตอร์ ซึ่งสามารถวัดค่าทั้งกระแสตรงและกระแสสลับได้ รวมถึงวัตต์มิเตอร์ที่ใช้วัดค่ากำลังไฟฟ้าในวงจร ตลอดจนเครื่องมือที่ใช้ในภาคอุตสาหกรรม ซึ่งมีบทบาทสำคัญต่อคุณภาพของกระบวนการผลิต บทเรียนยังเน้นให้เห็นถึงความรู้พื้นฐานเกี่ยวกับองค์ประกอบของวงจรไฟฟ้า เช่น การขยายย่านวัด และความสัมพันธ์ระหว่างแรงดัน กระแส และกำลังไฟฟ้า ซึ่งช่วยให้ผู้เรียนเข้าใจภาพรวมของการทำงานในระบบไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ได้ดีขึ้น ด้วยความรู้ที่ได้รับจากบทเรียนนี้ ผู้เรียนสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในชีวิตประจำวัน เช่น การตรวจสอบอุปกรณ์ไฟฟ้า การบำรุงรักษาเครื่องใช้ไฟฟ้า รวมถึงใช้เป็นพื้นฐานต่อยอดในการเรียนรู้ในสาขาวิศวกรรมไฟฟ้า อิเล็กทรอนิกส์ และสาขาอื่นที่เกี่ยวข้องต่อไป

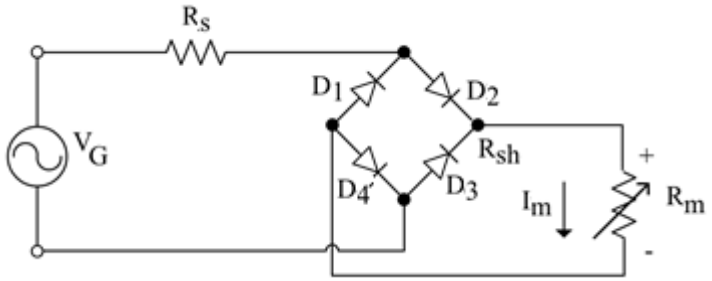
ศูนย์บรรณสารและการเรียนรู้ สถาบันนวัตกรรมการเรียนรู้ มหาวิทยาลัยแม่โจ้

แบบฝึกหัดบทที่ 2

1. หลักการใช้ขดลวดพันเป็นวงกลมและวางเข็มทิศตรงกลาง ถูกคิดค้นโดยนักวิทยาศาสตร์กี่คน
2. เครื่องวัดไฟฟ้าชนิดใดเหมาะสำหรับการวัดกระแสไฟฟ้าขนาดเล็ก
3. อธิบายความหมายของเครื่องวัดแบบขดลวดเคลื่อนที่ (Moving Coil) เรียกอีกชื่อหนึ่งว่าอะไร
4. อธิบายความหมายของเครื่องวัดแบบขดลวดเคลื่อนที่มีองค์ประกอบหลักใดบ้าง
5. ส่วนประกอบของชุดเคลื่อนที่ในเครื่องวัดแบบ PMMC มีอะไรบ้าง
6. เมื่อเข็มมิเตอร์เคลื่อนที่และหยุดนิ่ง แรงที่เกิดในสปริงขดมีลักษณะอย่างไร
7. นิยามของความไวในการวัด (Sensitivity) คืออะไร
8. หากมิเตอร์ตัวหนึ่งมีค่าความไว (Sensitivity) เท่ากับ 20 kΩ/V และตั้งพิสัยการวัดที่ 12 โวลต์ DC จะมีค่าความต้านทานภายในของมิเตอร์เท่าใด (ตอบ 240 kΩ)
9. ให้ออกแบบมิลลิแอมมิเตอร์ตัวหนึ่งมีกระแสเต็มสเกล 1.2 mA และความต้านทานภายใน 1.2 kΩ เมื่อนำมาดัดแปลงเป็นโวลต์มิเตอร์เพื่อวัดแรงดัน 50 โวลต์ จงคำนวณหาค่าความไว (Sensitivity) และค่าความต้านทานเพิ่ม Rs (ตอบ 833.33 Ω/V และ R_s=40.47 kΩ)
10. ให้ออกแบบวงจรโวลต์มิเตอร์ที่มีพิสัยการวัด 4 ระดับ คือ 2.5 V, 25 V, 100 V และ 1,000 V โดยใช้มิลลิแอมมิเตอร์ที่มีกระแสเต็มสเกล 0.5 mA และความต้านทานภายใน R_m = 100 Ω จงคำนวณหาค่าตัวต้านทานเพิ่ม (R_s) สำหรับแต่ละพิสัย (ตอบ R_s = 4,900Ω, 49,900Ω, 199,900Ω, 1,999,900Ω)
11. ไมโครแอมมิเตอร์ขนาด 500 μA เต็มสเกลมีความต้านทานขดลวดเท่ากับ 2,500 Ω ต้องการทำเป็นโวลต์มิเตอร์ 5 พิสัยคือ 2.5 V , 10 V , 50 V , 250 V และ 1,000 V จงคำนวณค่าความต้านทาน R_m ตามลำดับ (ตอบ R_s = 2,500Ω, 17,500Ω, 97,500Ω, 497,500Ω, 1,997,500Ω)
12. โจทย์ข้อนี้เป็นปัญหาทางวงจรไฟฟ้าซึ่งต้องการหาค่าความคลาดเคลื่อนของแรงดันไฟฟ้าที่วัดได้ด้วยโวลต์มิเตอร์ที่มีความต้านทานภายใน ซึ่งส่งผลให้แรงดันตกคร่อม R_2 เปลี่ยนแปลงไปจากค่าที่ควรจะเป็นเมื่อไม่มีโวลต์มิเตอร์ R_1 = 2 kΩ , R_2 = 5 kΩ ต่ออันดับกันและป้อนแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรง 150 V ถ้านำโวลต์มิเตอร์ที่มีค่าความต้านทานภายใน 14 kΩ มาวัดที่ R_2 จงคำนวณหาค่าที่วัดได้จะผิดพลาดไปจากความจริงเท่าไหร่ (ตอบ ค่าแรงดันที่วัดได้จริง= 97.23 V, แรงดันที่ควรได้ = 107.14 V, ความคลาดเคลื่อน = 9.91 V, เปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อน = 9.25%)
13. จงออกแบบวงจรโวลต์มิเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับแบบอิดิวิดดวลที่มีพิสัยการวัด 3 พิสัยคือ 10 V , 25 V และ 100 V โดยใช้มิลลิแอมมิเตอร์ที่มีกระแสเต็มสเกล 0.6 mA และความต้านทานภายใน (R_m) = 100 Ω (ตอบ 16.57 kΩ, 41.57 kΩ, 166.57 kΩ)
14. ไมโครแอมมิเตอร์ที่มีกระแสเต็มสเกล 60 μA และมีความต้านทานของขดลวดเท่ากับ 1,500 โอห์ม ต้องการดัดแปลงให้เป็นโวลต์มิเตอร์สำหรับวัดไฟฟ้ากระแสสลับแบบครึ่งคลื่นชนิดยูนิเวอร์แซล โดยให้สามารถเลือกใช้งานได้ 4 พิสัย ได้แก่ 10 V, 50 V, 250 V และ 1,000 V จงคำนวณหาค่าความต้านทานอนุกรม R_m สำหรับแต่ละพิสัย เพื่อให้สามารถวัดแรงดันได้เต็มสเกลตามค่าที่กำหนด (ตอบ 150,000 Ω, 750,000 Ω, 3,750,000 Ω และ 15,000,000 Ω
15. ไมโครแอมมิเตอร์ที่มีกระแสเต็มสเกล 120 ไมโครแอมแปร์ (120 μA) และมีความต้านทานภายในของขดลวดเท่ากับ 4,500 โอห์ม ต้องการดัดแปลงให้สามารถใช้งานเป็นโวลต์มิเตอร์สำหรับวัด

ศูนย์บรรณสารและสื่อการเรียนรู้ สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

แรงดันไฟฟ้ากระแสสลับแบบครึ่งคลื่น (Half-wave Rectifier) โดยกำหนดให้ช่วงการวัดเต็มสเกลอยู่ที่ 10 โวลต์ จงคำนวณหาค่าความต้านทานอนุกรม R_m ที่ต้องนำมาต่อร่วมกับไมโครแอมมิเตอร์เพื่อให้สามารถวัดแรงดันไฟฟ้าได้เต็มสเกลที่ 10 โวลต์ (ตอบ 75kΩ ,70.5 kΩ)



16.วัตต์มิเตอร์ใช้งานที่ขั้วแรงดัน 240 V และขั้วกระแส 6.5 A เมื่อวัดค่าเข็มชี้ที่เลข 76 ค่ากำลังไฟฟ้าจริงมีค่าเท่าไร (ตอบ 1,185.6 W)

17. วัตต์มิเตอร์ใช้งานที่ขั้วแรงดัน 360 V และขั้วกระแส 2 A เมื่อวัดค่าเข็มชี้ที่ค่าเลข 120 ค่ากำลังไฟฟ้าจริงมีค่าเท่าไร (ตอบ 576 W)

ศูนย์บรรณสารและการเรียนรู้ สถาบันนวัตกรรมการเรียนรู้ มหาวิทยาลัยพะเยา

ศูนย์บรรณสารและการเรียนรู้ สถาบันนวัตกรรมการเรียนรู้ มหาวิทยาลัยพะเยา

บทที่ 3
เครื่องมือวัดอิเล็กทรอนิกส์

เครื่องมือวัดแบบแอนะล็อกชนิดขดลวดเคลื่อนที่มีข้อจำกัดหลายด้าน เช่น อินพุตอิมพีแดนซ์ต่ำและแปรผันตามช่วงการวัด ทั้งยังมีความไวต่ำ ทำให้ไม่เหมาะสำหรับใช้ในการวัดแรงดันไฟฟ้าที่มีค่าน้อย โดยเฉพาะแรงดัน AC ในทางกลับกัน มีอินพุตอิมพีแดนซ์สูงและคงที่ ลดผลกระทบต่อวงจร (Loading effect) ทั้งยังใช้วงจรขยายสัญญาณ เพื่อให้สามารถตรวจวัดแรงดันหรือสัญญาณที่มีค่าเล็กได้อย่างแม่นยำ เครื่องมือประเภทนี้มักนำไปใช้สำหรับการวัดแรงดัน เช่น โวลต์มิเตอร์อิเล็กทรอนิกส์ และยังใช้สำหรับการวัดปริมาณทางไฟฟ้าอื่นๆ ได้อีกด้วย



รูปที่ 3.1 เครื่องมือวัดอิเล็กทรอนิกส์มิเตอร์

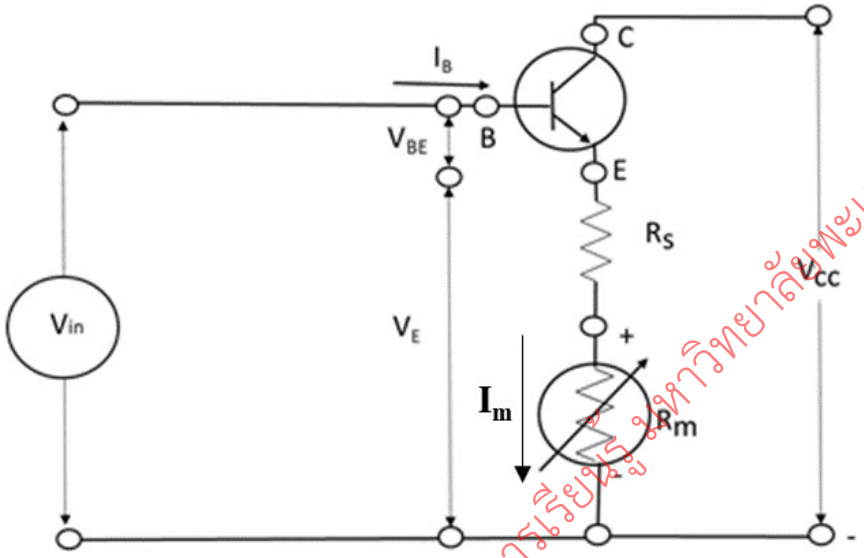
ศูนย์บรรณสารและการเรียนรู้ สถาบันนวัตกรรมการเรียนรู้ มหาวิทยาลัยพะเยา

3.1 โวลต์มิเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงโดยวงจรอิเล็กทรอนิกส์

3.1.1 โวลต์มิเตอร์แบบอิเล็กทรอนิกส์วงจรอิมิตเตอร์ฟอลโลเวอร์

วงจรอิเล็กทรอนิกส์โวลต์มิเตอร์ใช้กับอุปกรณ์แอคทีฟ เช่น ทรานซิสเตอร์ หลอดสุญญากาศ FET (Field-effect transistor) และ ออปแอมป์ (Op-amp) เพื่อใช้สำหรับการวัดแรงดัน วงจรอิมิตเตอร์ฟอลโลเวอร์มีข้อดี คือ มีเอาต์พุตอิมพีแดนซ์ต่ำ และมีอินพุตอิมพีแดนซ์สูง ลดผลกระทบต่อวงจรที่ถูกวัด (Loading effect) ตัวโวลต์มิเตอร์ประกอบด้วย มิเตอร์ขดลวดเคลื่อนที่และตัวต้านทานทวีคูณแรงดัน โดยมีรายละเอียดดังนี้

- มิเตอร์และตัวต้านทานต่อกับ อิมิตเตอร์
- ขั้วลบแหล่งจ่ายไฟต่อกับ ด้าน
- ลบขั้วบวกแหล่งจ่ายไฟต่อกับ คอลเลคเตอร์
- แรงดันอินพุต (V_{in}) จะต่อเข้าที่ ฐาน



รูปที่ 3.2 วงจรเทียบเคียงโวลต์มิเตอร์แบบอิมิตเตอร์ฟอลโลเวอร์ (Emitter follower)

I_B ในรูปที่ 2.3 ต่ำกว่า I_m เป็นอย่างมาก

$$I_B = \frac{I_m}{h_{fe}}$$

เมื่อ h เป็นอัตราขยายกระแส ค่า (R_i) จะได้

$$R_i = \frac{V_{in}}{I_B}$$

โดยทั่วไปความต้านทาน (R_i) ในรูปที่ 3.2 จะมีค่าสูงกว่าผลรวมของความต้านทาน (R + R) ในวงจรมิเตอร์ซึ่งแสดงในตัวอย่างที่ 3.1

ตัวอย่างที่ 3.1 หากวงจรดังรูปที่ 3.2 แสดงค่าเบี่ยงเบนเต็มสเกลที่ V = 20 V โดยมี R_s+R_m= 9.3 kΩ, I_m เป็น 1 มิลลิแอมป์ และมี h_{fe}=100

(ก) จงหาค่า I_E เมื่อ V_{in} = 10V

วิธีทำ (ก) จาก $I_E = I_m$

$V_E = V_{in} - V_{BE}$

$= 10\ V - 0.7\ V$

$= 9.3\ V$

ศูนย์วิทยทรัพยากร สถาบันนวัตกรรมการเรียนรู้ มหาวิทยาลัยพะเยา

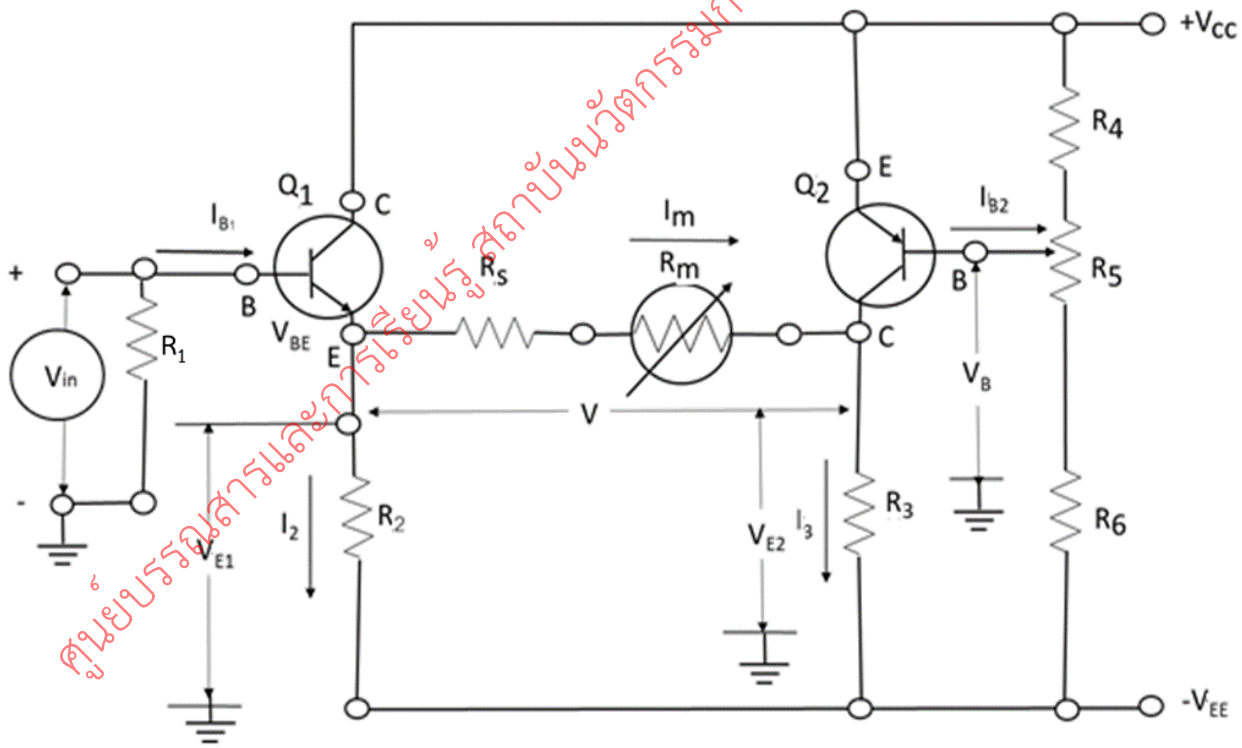
$$I_m = \frac{V_E}{R_m + R_s}$$
$$= \frac{9.3\ V}{9.3\ k\Omega}$$
$$= 1\ mA$$

(ข) จงหา R ขณะที่ทรานซิสเตอร์ และ ขณะที่ไม่มีทรานซิสเตอร์

$$I_B = \frac{I_m}{h_{fe}} = \frac{1\ mA}{100}$$
$$= 10\ \mu A$$
$$R_i = \frac{V_{in}}{I_B} = \frac{10\ V}{10\ \mu A}$$
$$= 1\ M\Omega$$

ตอบ $R_i = R_m + R_s = 9.3\ k\Omega$

แรงดันตกคร่อมระหว่างขั้วเบสและอิมิตเตอร์ (V) เป็นสาเหตุให้โวลต์มิเตอร์แบบอิมิตเตอร์ฟอลโลเวอร์มีค่าคลาดเคลื่อน ทั้งนี้สามารถแก้ไขได้โดยใช้ตัวแบ่งแรงดันและเพิ่มเติมอิมิตเตอร์ฟอลโลเวอร์ตามที่แสดงในรูปที่ 3.3



รูปที่ 3.3 วงจรเทียบเคียงโวลต์มิเตอร์อิมิตเตอร์ฟอลโลเวอร์ (Emitter follower)

จากรูปที่ 3.3 ใช้แหล่งจ่ายแรงดันบวกและลบ ตัวอย่างเช่น +12 V และขั้วเบสของทรานซิสเตอร์ Q_1 ได้รับแรงดันไบอัสและต่อลงกราวด์ผ่านตัวต้านทาน R ตัวแบ่งแรงดันซึ่งประกอบด้วย R_1, R_5 และ R_6 เป็นตัวกำหนดแรงดันไบอัส เพื่อป้อนให้กับขั้วเบสของ Q_2 ตัวต้านทาน R_2 และ R_3 เชื่อมต่อระหว่าง

ศูนย์บรรณสารและการเรียนรู้ สถาบันนวัตกรรมการเรียนรู้ มหาวิทยาลัยพะเยา

อิมิตเตอร์และแรงดันลบ (-V) ความต้านทานอินพุตของวงจรมีค่าเท่ากับ R_1 ขนานกับความต้านทานอินพุตที่ขั้วเบส และวงจรมิเตอร์ต่ออยู่ระหว่างขั้วอิมิตเตอร์

เมื่อไม่ป้อนแรงดันอินพุต (V_{in} = 0 V) ไปที่วงจรในรูปที่ 3.2 แรงดันที่ฐาน Q_2 จะถูกปรับ เพื่อให้กระแสที่มิเตอร์เป็นศูนย์ นั่นคือ V=0V, V_{E1}=V_{E2}=−0.7V และแรงดันที่มิเตอร์มีค่าเป็น 0 V เมื่อป้อนแรงดันอินพุต 5 V ที่ฐาน Q_1 แรงดันที่มิเตอร์จะมีค่าเป็น

$$V = V_{E1} - V_{E2} = (V_{in} - V_{BE1}) - V_{E2} = (5-0.7) - (-0.7) = 5V$$

จะเห็นว่าแรงดันที่มิเตอร์ไม่เท่ากับโวลต์มิเตอร์ในรูปที่ 3.2 เนื่องจากแรงดันทั้งหมดตกคร่อมวงจรมิเตอร์ โดยไม่ถูกหักออกไปเป็นแรงดันที่ตกคร่อมทรานซิสเตอร์

ตัวอย่างที่ 3.2 เมื่อ V_{cc} = ±12 V และ $R_2 = R_3 = 3.9\ k\Omega$ จงหาค่าของ I_2 และ I_3 และหาค่าของแรงดันที่มิเตอร์ เมื่อ V_{in} = 1.0 V และ V_{in} = 0.5 V ดังรูปที่ 3.3

วิธีทำ (ก) $V_{R2} = V_{R3} = 0V - V_{BE} - V_{EE}$

$$= 0V - 0.7V - (-12V)$$

$$= 11.3\ V$$

$$I_2 = I_3 = \frac{V_{R2}}{R_2}$$

$$= \frac{11.3\ V}{3.9\ K\Omega}$$

$$= 2.9\ mA$$

(ข) เมื่อ V_{in} = 1.0 V

$$V_{E1} = V_{in} - V_{BE}$$

$$= 1\ V - 0.7\ V$$

$$= 0.3\ V$$

$$V_{E2} = V_P - V_{BE} = 0V - 0.7V$$

$$= -0.7\ V$$

$$V = V_{E1} - V_{E2} = 0.3\ V - (-0.7V)$$

$$= 1\ V$$

เมื่อ Vin = 0.5 V

ศูนย์บรรณสารและการเรียนรู้ สถาบันนวัตกรรมการเรียนรู้ มหาวิทยาลัยพะเยา

$$V_{E1} = E - V_{BE} = 0.5\ V - 0.7\ V$$

$$= -0.2\ V$$

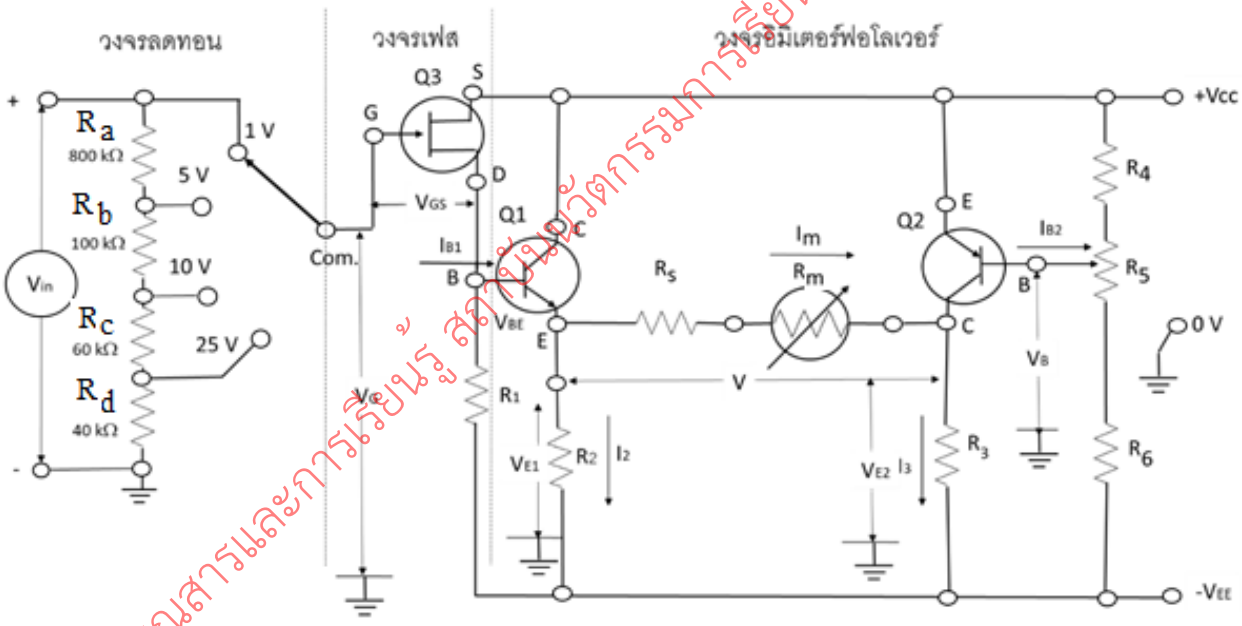
$$V_{E2} = V_P - V_{BE} = 0V - 0.7\ V$$

$$V = V_{E1} - V_{E2} = 0.2\ V - (-0.7\ V)$$

ตอบ $V = 0.9\ V$

3.1.2 โวลต์มิเตอร์อิเล็กทรอนิกส์แบบเฟทเป็นอินพุต

โวลต์มิเตอร์แบบ FET–input (FET–input voltmeter) จะมีความต้านทานอินพุตสูงกว่า ทั้งนี้ หากต้องการเพิ่มค่าความต้านทานอินพุตในโวลต์มิเตอร์ซึ่งใช้ทรานซิสเตอร์ ดังที่แสดงในรูปที่ 3.3 สามารถใช้วิธีต่ออิมิตเตอร์ฟอลโลเวอร์เพิ่มเติมที่ขั้วเบส Q_1 อย่างไรก็ตาม หากใช้ซอร์สฟอลโลเวอร์ตามรูปที่ 3.4 จะมีความต้านทานอินพุตสูงยิ่งขึ้น เนื่องจากซอร์ส FET สามารถจ่ายกระแสเบสทั้งหมดที่ Q_1 ต้องใช้และมีค่าความต้านทานอินพุตที่เกทสูงกว่า 1 MΩ



รูปที่ 3.4 วงจรโวลต์มิเตอร์แบบใช้เฟทเป็นอินพุต

องค์ประกอบของวงจรตัวลดทอนอินพุต (Input attenuator) ที่มีหน้าที่แบ่งแรงดันอินพุตให้เหมาะสม เพื่อป้อนไปที่อินพุต FET ทั้งนี้เมื่อแรงดันอินพุตมีค่าสูงสุดสำหรับย่านที่ใช้ เช่น ที่ย่าน 5 V แรงดันที่เกท Q_3 (E_G) จะมีค่าเท่ากับ 1 V เสมอ

$$E_G = 5V \times \frac{R_b + R_c + R_d}{R_a + R_b + R_c + R_d}$$

$$= 5V \times \frac{100\ k\Omega + 60\ k\Omega + 40\ k\Omega}{800\ k\Omega + 100\ k\Omega + 60\ k\Omega + 40\ k\Omega}$$

$$= 1V$$

ศูนย์บรรณสารและการเรียนรู้ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ

สังเกตว่า ความต้านทานทั้งหมดในตัวลดทอนมีค่า 1 MΩ หากต่อตัวต้านทานอีก 9 MΩ เป็นอนุกรม จะมีค่าความต้านทานอินพุตสูงขึ้นเป็น 10 MΩ เป็นผลให้แรงดันอินพุตถูกแบ่งด้วยตัวประกอบหรือแฟคเตอร์ 10 ก่อนนำไปป้อนที่เกท Q_1

เมื่อ V_{in}=0V ขั้วเกท FET จะมีแรงดันเป็นศูนย์ (E_G = 0) FET เป็นประเภท n-channel ที่นำกระแสเมื่อแรงดันเกทเป็นลบเมื่อเทียบกับซอร์ส (V_{GS} เป็นลบ) หาก V_{GS} = −5V แรงดันซอร์ส (V_S) จะเป็น $V_S = E_G - V_{GS}$ = +5V แรงดันที่ฐาน Q_1 จะมีค่า +5V เช่นกัน และ Q_2 จะมีแรงดันที่ฐานเท่ากับ Q_1 และ Q_2 มีค่า V_B = +5V ในกรณีนี้ R_3 จะปรับให้มิเตอร์เป็นศูนย์ และเมื่อแรงดันอินพุตเป็นศูนย์ เช่นเดียวกับในรูปที่ 3.3 เมื่อมีแรงดันอินพุต ค่า E_G จะสูงขึ้นสูงสุดเป็น +1V ในขณะที่ V_{GS} เป็น -5V เป็นผลให้แรงดันซอร์ส (V_S) เพิ่มขึ้นจาก +5V เป็น +6V แรงดันที่ฐาน Q_1 จะสูงขึ้นอีก +1V เช่นกัน และแรงดันที่เพิ่มขึ้นนี้ (1V) จะตกคร่อมวงจรทั้งหมดที่มิเตอร์

ตัวอย่างที่ 3.3 เมื่อแรงดันอินพุต (V_{in}) เท่ากับ 7.5 V และตั้งย่านหน้าปัดมิเตอร์เป็น 10 V หากแรงดันเกท–ซอร์ส (V_{GS}) เท่ากับ -5 V, จุดหยุดกระแส (V_P) เท่ากับ +5 V, ตัวต้านทาน R_S และ R_m รวมกันมีค่า 1 kΩ และกระแสเต็มสเกลมิเตอร์ (I_m) เท่ากับ 1 mA ขณะที่เข็มมิเตอร์เบนเต็มสเกล อยากให้คำนวณแรงดันที่มิเตอร์อ่านได้ ตามวงจรในรูปที่ 3.4

วิธีทำ ที่ย่านวัด 10 V

$$E_g = V_{range} \times \frac{R_c + R_d}{R_a + R_b + R_c + R_d}$$

$$= 7.5\text{V} \times \frac{60\text{k}\Omega + 40\text{k}\Omega}{800\text{k}\Omega + 100\text{k}\Omega + 60\text{k}\Omega + 40\text{k}\Omega}$$

$$= 0.75\ \text{V}$$

$$V_S = E_G - V_{GS}$$

$$= 0.75\ \text{V} - (-5)$$

$$= 5.75\ \text{V}$$

$$V_{E1} = V_S - V_{BE}$$

$$= 5.75\ \text{V} - 0.7\ \text{V}$$

$$= 5.05\ \text{V}$$

$$V_{E2} = V_P - V_{BE}$$

$$= 5\ \text{V} - 0.7\ \text{V}$$

$$= 4.3\ \text{V}$$

ศูนย์บรรณสารและการเรียนรู้ สถาบันนวัตกรรมการเรียนรู้ มหาวิทยาลัยพะเยา

$$V = V_{E1} - V_{E2}$$

$$= 5.05\ V - 4.3\ V$$

$$= 0.75\ V$$

จะได้ $I_m = \frac{V}{R_s + R_m}$

$$= \frac{0.75V}{1k\Omega}$$

$$= 0.75mA \quad (\ 75\%\ \text{ของค่าเต็มสเกล}\ )$$

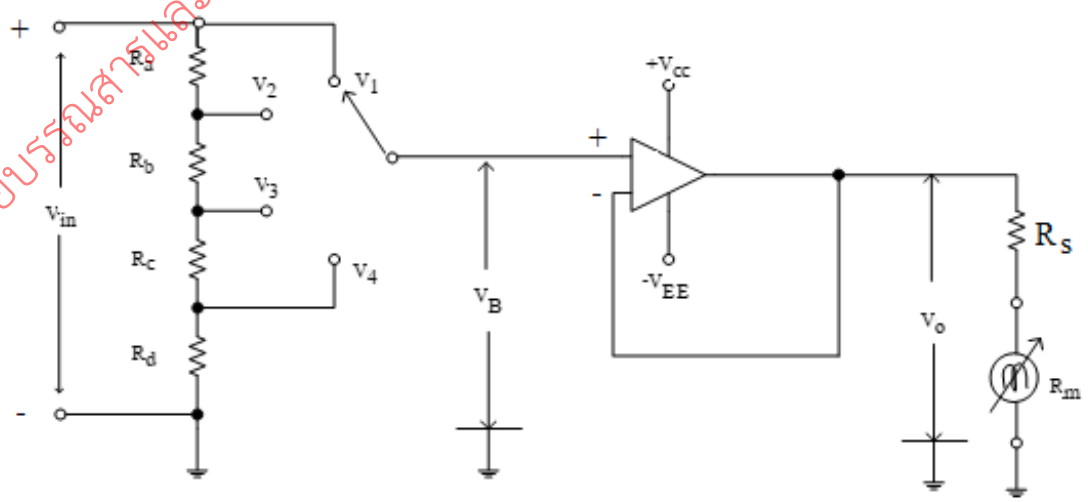
ตอบ ที่ย่านหน้าปัด 10 V หากเข็มเบนเต็มสเกลจะแสดงค่า 10 V ดังนั้นเมื่อเข็มเบนไป 75% ของเต็มสเกล จะอ่านค่าได้ 7.5 V

3.1.3 โวลต์มิเตอร์อิเล็กทรอนิกส์แบบออปแอมป์

วงจรโวลต์มิเตอร์ซึ่งใช้ ออปแอมป์ (Operational amplifier) เป็นตัวขยาย จะมีหลายประเภท ดังนี้

1. โวลต์มิเตอร์แบบโวลเตจฟอลโลเวอร์โดยออปแอมป์ (Op-amp voltage-follower voltmeter)

จากรูปที่ 3.5 จะเห็นว่าแรงดันอินพุตถูกต่อเข้าที่ขาอินพุตไม่กลับเฟส ขณะที่แรงดันจากเอาต์พุตบางส่วนจะถูกส่งกลับมายังขาอินพุตกลับเฟสในลักษณะการป้อนกลับเชิงลบ เนื่องจากออปแอมป์มีอัตราขยายแรงดันสูงมาก ร่วมกับผลของการป้อนกลับเชิงลบ จึงทำให้แรงดันที่ขาทั้งสองใกล้เคียงกันหรือแทบจะเท่ากัน ส่งผลให้แรงดันที่เอาต์พุต (V_0) แปรผันตามแรงดันอินพุตอย่างแม่นยำ



รูปที่ 3.5 วงจรเทียบเคียงโวลต์มิเตอร์ใช้ออปแอมป์แบบโวลต์เตจฟอลโลเวอร์

ศูนย์บรรณสารและการเรียนรู้ สถาบันวิทยบริการ มหาวิทยาลัยพะเยา

2) โวลต์มิเตอร์แบบวงจรขยายด้วยออปแอมป์ (Op-amp amplifier voltmeter) โวลต์มิเตอร์ประเภทนี้ใช้ออปแอมป์เป็นตัวขยายแรงดันต่ำ เพื่อให้มีแรงดันสูงขึ้นและสามารถนำไปใช้กับเครื่องมือวัดประเภทขดลวดเคลื่อนที่ได้

จากรูปที่ 3.5 เมื่อป้อนแรงดันอินพุต (V_{in}) ที่ ขั้วอินพุตไม่กลับเฟส จะมีแรงดันเอาต์พุตซึ่งถูกแบ่งโดยตัวต้านทาน R_3 และ R_4 โดยแรงดันที่ตกคร่อม R_3 (V_{R3}) จะถูกป้อนกลับไปที่ ขั้วอินพุตกลับเฟส ทั้งนี้อัตราการขยายแรงดันสูง ที่มีอยู่ในออปแอมป์ จะบังคับให้แรงดันที่ R_3 เท่ากับแรงดันอินพุต (V_{in}) เป็นผลให้แรงดันเอาต์พุตมีค่าเป็น

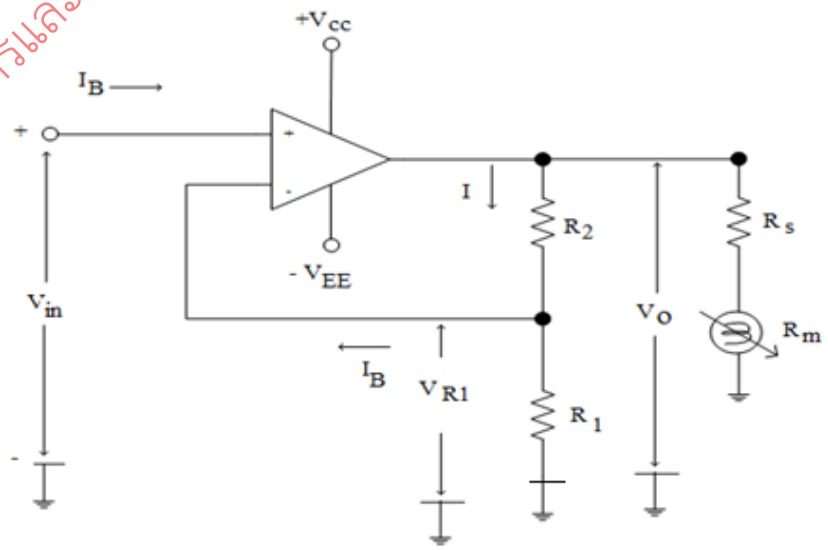
$$V_0 = V_{in}\frac{R_1+R_2}{R_1} \qquad (3.1)$$

วงจรในรูปที่ 3.6 เรียกว่า วงจรขยายไม่กลับเฟส (Non-inverting amplifier) ซึ่งมีคุณสมบัติที่แรงดันเอาต์พุตจะมีเฟสตรงกับแรงดันอินพุต กล่าวคือ เมื่ออินพุตเป็นบวก เอาต์พุตก็จะเป็นบวก และเมื่ออินพุตเป็นลบ เอาต์พุตก็จะเป็นลบเช่นกัน วงจรนี้มีความต้านทานเอาต์พุตต่ำ ความต้านทานอินพุตสูงมาก และมีอัตราขยายแรงดัน (Voltage gain) เท่ากับ

$$A_V = \frac{R_1+R_2}{R_1} \qquad (3.2)$$

การออกแบบวงจรขยายไม่กลับเฟสโวลต์มิเตอร์ เริ่มจากการกำหนดให้กระแสผ่าน R_4 (I_4) มีค่าสูงกว่ากระแสไบอัสอินพุตของออปแอมป์ (I_B) อย่างมาก คำนวณหาค่าความต้านทาน R_3 และ R_4 ให้เหมาะสมกับการทำงานของวงจร

$$R_1 = \frac{V_{in}}{I} \quad \text{และ} \quad R_2 = \frac{V_0 - V_{in}}{I}$$



รูปที่ 3.6 วงจรเทียบเคียงโวลต์มิเตอร์โดยใช้ออปแอมป์แบบวงจรขยาย

ศูนย์บรรณสารและการเรียนรู้ สถาบันพัฒนาการเรียนรู้ มหาวิทยาลัยพะเยา

ตัวอย่างที่ 3.4 จากวงจรรูปที่ 3.6 วัดแรงดันอินพุตสูงสุด 20 mV โดยกระแสด้านอินพุตของออปแอมป์ (I_B) เท่ากับ 0.2 μA วงจรขยายย่านการวัดของมิเตอร์มี (I_m) เท่ากับ 50 μA และความต้านทานภายในมิเตอร์ (R_m) เท่ากับ 10 kΩ จงหา ค่าความต้านทาน R_1 และ R_2 หมายถึง R_3 และ R_4 ในวงจรขยายไม่กลับเฟส

วิธีทำ กำหนดให้

$$I = 1{,}000 \times I_B = 1{,}000 \times 0.2\ \mu A$$
$$= 0.2\ mA$$

ค่ากระแสเต็มสเกล

$$I_m = 50\ \mu A$$

$$V_{0out} = R_m \times I_m = 10\ k\Omega \times 50\ \mu A$$
$$= 0.5\ V$$

$$R_1 = \frac{V_{in}}{I} = \frac{20\ mV}{0.2\ mA}$$
$$= 100\ \Omega$$

$$R_2 = \frac{V_0 - V_{in}}{I} = \frac{1\ V - 20\ mV}{0.2\ mA}$$

ตอบ $= 4.9\ k\Omega$

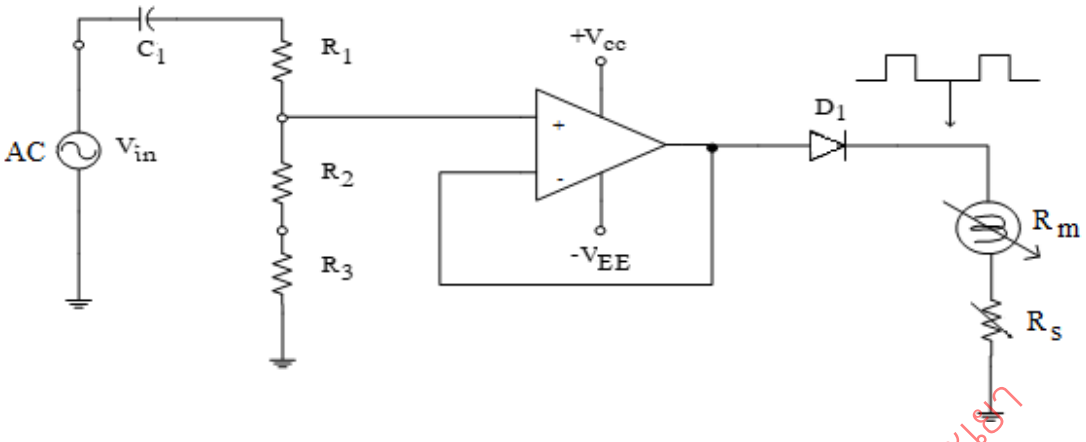
3.2 โวลต์มิเตอร์อิเล็กทรอนิกส์ไฟฟ้ากระแสสลับ

3.2.1 โวลต์มิเตอร์อิเล็กทรอนิกส์ไฟฟ้ากระแสสลับ

โวลต์มิเตอร์อิเล็กทรอนิกส์สำหรับไฟฟ้ากระแสสลับ (AC electronic voltmeters) สามารถสร้างขึ้นโดยใช้วงจรโวลต์เตจฟอลโลเวอร์ด้วยออปแอมป์เป็นฐาน และต่อวงจรเรียงกระแสแบบอนุกรมเข้ากับวงจรมิเตอร์

ตัวอย่างในรูปที่ 3.8 วงจรนี้จะทำงานเป็นโวลต์มิเตอร์แบบเรียงกระแสครึ่งคลื่น (Half-wave rectifier voltmeter) สำหรับการวัดแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ

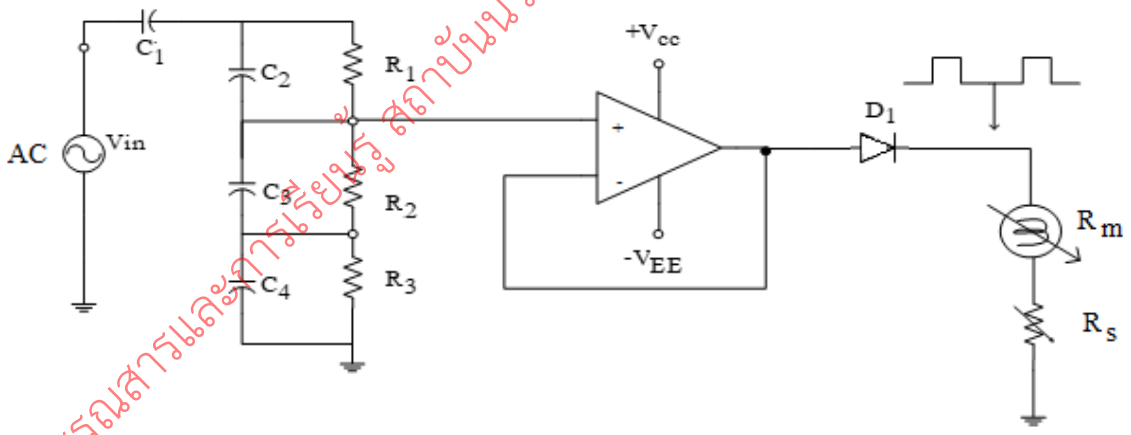
ศูนย์วิทยทรัพยากร จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย สถาบันวิทยบริการ มหาวิทยาลัยพะเยา



รูปที่ 3.7 โวลต์มิเตอร์อิเล็กทรอนิกส์ไฟฟ้ากระแสสลับ

จากรูปที่ 3.7 จะเห็นว่าเอาต์พุตของโวลต์เตจฟอลโลเวอร์มีค่าเท่ากับแรงดันอินพุต ดังนั้นแรงดันที่ป้อนให้วงจรมิเตอร์จึงเป็นแรงดันที่ผ่านการเรียงกระแสครึ่งคลื่นจากตัวลดทอน (Attenuator)

เพื่อแก้ไขปัญหานี้ จึงมีการต่อส่วนป้อนกลับของโวลต์เตจฟอลโลเวอร์ไปยังขั้วกลับเฟสที่ตำแหน่งใหม่ คือป้อนกลับจากขั้วคาโทดของไดโอดแทนการป้อนกลับจากเอาต์พุตวงจรขยาย ดังรูปที่ 3.9 ซึ่งวงจรนี้เรียกว่าวงจรเรียงกระแสแบบเที่ยงตรง (Precision rectifier) ทำให้เอาต์พุตตามแรงดันครึ่งไซเคิลบวกของอินพุตจริงโดยไม่มีแรงดันตกคร่อมไดโอดที่ก่อความคลาดเคลื่อน



รูปที่ 3.8 วงจรเทียบเคียงโวลต์มิเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับที่ปรับปรุง

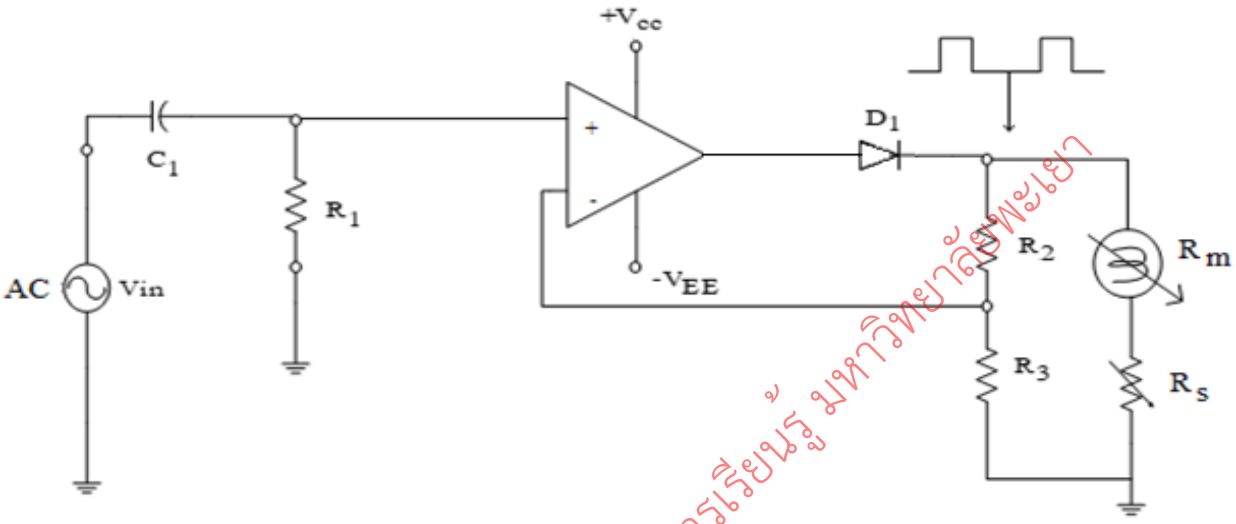
ขั้นตอนการคำนวณความต้านทานอนุกรม (R_s) และคาปาซิเตอร์ C_2, C_3 และ C_4 ต่อคร่อมความต้านทานของตัวลดทอนในรูปที่ 3.8 ทำหน้าที่ชดเชยโดย C_i ของวงจรขยาย เพื่อให้การวัดแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับมีความแม่นยำมากขึ้น

กรณีแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับระดับต่ำ ควรขยายสัญญาณให้เหมาะสมก่อนส่งเข้าสู่วงจรเรียงกระแสและมิเตอร์ ดังแสดงในรูปที่ 3.9 โดยวงจรออปแอมป์ทำหน้าที่เป็นวงจรขยายแบบไม่กลับเฟสร่วมกับไดโอด D_1 เพื่อขยายครึ่งไซเคิลบวกของสัญญาณอินพุตด้วยอัตราขยาย

ศูนย์บรรณสารและสารสนเทศ สถาบันนวัตกรรมการเรียนรู้ มหาวิทยาลัยพะเยา

$$A_V = \frac{(R_2+R_3)}{R_3} \quad (3.3)$$

การออกแบบนี้ไม่มีแรงดันตกคร่อมในวงจรเรียงกระแสแบบครึ่งคลื่น และความถูกต้องสูง ทำให้การวัดมีความแม่นยำยิ่งขึ้น



รูปที่ 3.9 วงจรเทียบเคียงโวลต์มิเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับชนิดมีการขยาย

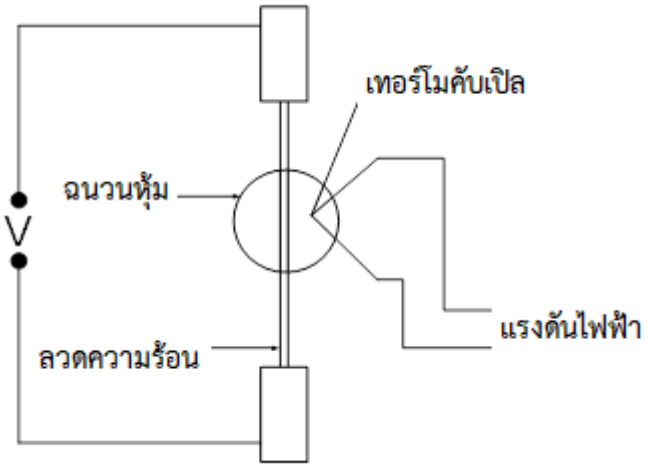
ขั้นตอนการคำนวณความต้านทานต่อแบบอนุกรมของวงจรในรูปที่ 3.9 ในกรณีนี้ V_P ที่ป้อนให้กับวงจรมิเตอร์เป็น A_VV_P และไม่มีแรงดันตกคร่อมไดโอด โดยวงจรออปแอมป์ทำงานเป็นวงจรขยายแบบไม่กลับเฟส ร่วมกับไดโอด D_1 ซึ่งทำให้ครึ่งไซเคิลบวกของสัญญาณอินพุตได้รับการขยายด้วยอัตราขยาย การขยายแบบนี้ให้ความถูกต้องสูงและไม่มีแรงดันตกคร่อมในวงจรเรียงกระแส จะได้

$$A_V = \frac{(R_2+R_3)}{R_3} \quad (3.4)$$

3.2.2 โวลต์มิเตอร์อิเล็กทรอนิกส์ไฟฟ้ากระแสสลับแบบเทอร์โมคับเปิล

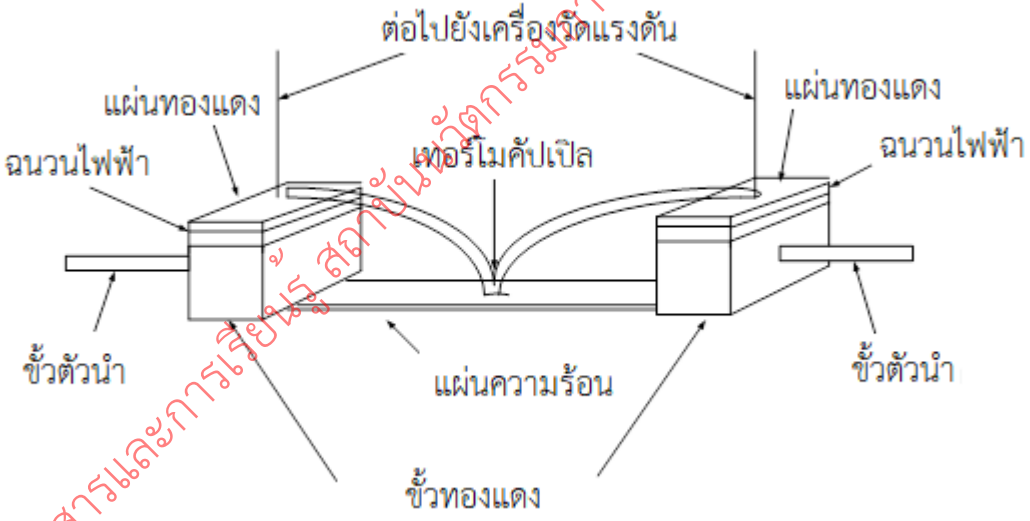
เทอร์โมคับเปิล (Thermocouple) ใช้หลักการแปลงความร้อนเป็นแรงดันไฟฟ้า โดยวัสดุต่างชนิดกันสองชิ้นที่ต่อกันเป็นรูปตัววี (V) จะเกิดแรงดันไฟฟ้าขึ้นเมื่อมีความต่างอุณหภูมิระหว่างจุดต่อทั้งสองปลาย โดยเทอร์โมคับเปิลที่ใกล้ขดลวดความร้อนจะเปลี่ยนเป็นแรงดันไฟฟ้า ส่งต่อไปยังมิเตอร์สำหรับวัด ดังรูปที่ 3.10

ศูนย์วิทยทรัพยากร จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย มหาวิทยาลัยพะเยา



รูปที่ 3.10 วงจรเทียบเคียงเทอร์โมคับเปิลมิเตอร์เบื้องต้น

เมื่อเทอร์โมคับเปิลได้รับความร้อนจากขดลวดความร้อน จะเกิดแรงเคลื่อนไฟฟ้า (EMF) ที่ปลายตัววี แรงเคลื่อนไฟฟ้านี้ขึ้นอยู่กับอุณหภูมิของขดลวดความร้อน ซึ่งสัมพันธ์กับแรงดันและกระแสที่ป้อนให้ขดลวดความร้อน แรงเคลื่อนไฟฟ้าที่เกิดขึ้นมีค่าประมาณ 0 ถึง 10 มิลลิโวลต์



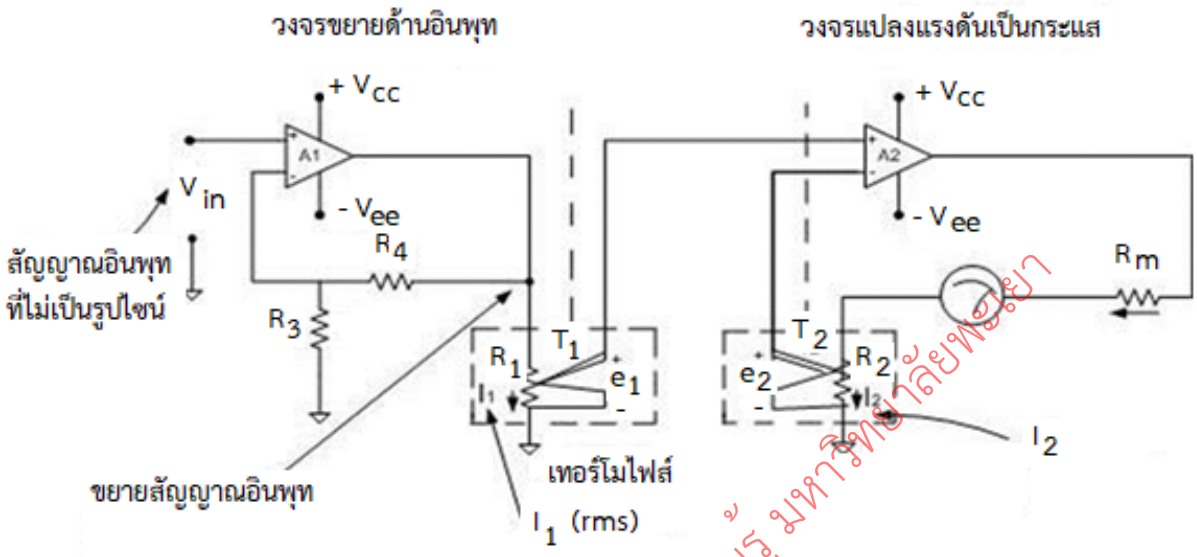
รูปที่ 3.11 รูปแบบของตัวเทอร์โมไฟล์

เทอร์โมไฟล์เทอร์โมคับเปิลจะติดอยู่กับแผ่นทำความร้อน โดยรอยต่อจะถูกเชื่อมติดกับตัวทำความร้อนเมื่อมีกระแสไหลผ่านแผ่นทำความร้อนทำให้มีอุณหภูมิสูงขึ้น ซึ่งเทอร์โมคับเปิลจะตรวจจับอุณหภูมิที่สูงขึ้นนี้และแปลงเป็นแรงดันไฟฟ้าที่ปลายสายเอาต์พุต

ในรูปที่ 3.11 ปลายสายของเทอร์โมคับเปิลจะเชื่อมต่อกับแผ่นทองแดงที่หุ้มด้วยฉนวนกันความร้อน และต่อเข้ากับขั้วทองแดงขนาดใหญ่ เพื่อรักษาอุณหภูมิบริเวณปลายสายให้คงที่ วิธีนี้เรียกว่า "รอยต่อเย็น" (Cold Junction) ทำให้เทอร์โมคับเปิลสามารถสร้างแรงดันไฟฟ้าได้ โดยต้องอาศัยความแตกต่างของอุณหภูมิระหว่าง รอยต่อเย็น และ รอยต่อร้อน (Hot Junction) ของเทอร์โมคับเปิล

ศูนย์บรรณสารและการเรียนรู้ สถาบันวิทยบริการและเทคโนโลยีสารสนเทศ มหาวิทยาลัยพะเยา

แรงดันเอาต์พุตสูงสุดของเทอร์โมคับเปิลประมาณ 12 mV และกระแสในแผ่นทำความร้อนอยู่ระหว่าง 2 mA ถึง 50 mA



รูปที่ 3.12 การเปลี่ยนค่าทรูอาร์เอ็มเอสแบบแม็ทช์เทอร์โมไฟล์

ในวงจรแปลงเป็นค่าทรูอาร์เอ็มเอสตามรูปที่ 3.12 จะใช้คู่ของเทอร์โมไฟล์ร่วมกับวงจรเพื่อรับแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง ที่สัมพันธ์กับค่า RMS ของสัญญาณไฟฟ้ากระแสสลับ เนื่องจากค่า RMS มีคุณสมบัติในการสร้างความร้อนของคลื่นไฟฟ้า

เนื่องจากแผ่นความร้อนของเทอร์โมไฟล์ไม่เปลี่ยนแปลงตามรูปแบบคลื่น จึงแสดงค่ารูทมีนสแควร์ (RMS) ของแรงดันอินพุตโดยตรง โดยแรงดันเอาต์พุตของเทอร์โมไฟล์จะแปรตามความร้อนที่เกิดจากค่า RMS ของสัญญาณอินพุต

ออปแอมป์ A_1 ทำหน้าที่แยกสัญญาณอินพุตออกจากเทอร์โมไฟล์ กระแสที่ไหลผ่าน A_1 และความต้านทาน R_1 จะมีรูปคลื่นเหมือนแรงดันอินพุต จึงทำให้ความร้อนที่ R_1 เป็นสัดส่วนกับค่า RMS ของแรงดัน และแรงดันเอาต์พุตของเทอร์โมไฟล์ T_1 จะสัมพันธ์กับค่า RMS ของ V_{in}

วงจรขยาย A_2 ทำหน้าที่เป็นตัวแปลงแรงดันเป็นกระแส (Voltage-to-current converter) กระแสเอาต์พุตจะไหลผ่านเครื่องวัดและความต้านทาน R_2 ซึ่งทำหน้าที่เป็นตัวทำความร้อนให้เทอร์โมไฟล์ T_2 โดย T_2 ต่อกับขั้วอินเวอร์ติ้งของ A_2 ทำให้ A_2 ทำงานเป็นวงจรดิฟเฟอเรนเชียลแอมพลิฟายเออร์

เมื่อแรงดันเอาต์พุตของ T_1 และ T_2 เท่ากัน วงจรจะสมดุล แต่ถ้า e_2 น้อยกว่า e_1 เอาต์พุตของ A_2 จะเพิ่มขึ้น ส่งผลให้กระแส I_2 เพิ่มจนความร้อนที่เกิดขึ้นจาก I_2 ทำให้ e_2 เท่ากับ e_1

ดังนั้น หากเทอร์โมไฟล์เป็นชนิดเดียวกัน ความร้อนจากกระแส $I_2 = I_1$ ทำให้กระแสตรงที่แสดงบนเครื่องวัดเป็นค่าของ RMS ของแรงดันอินพุตจริง

ศูนย์บรรณสารและการเรียนรู้ สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

3.3 มัลติมิเตอร์อิเล็กทรอนิกส์

3.3.1 ลักษณะของอิเล็กทรอนิกส์มัลติมิเตอร์

หน้าที่เหมือนมัลติมิเตอร์ คือ วัดแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงและกระแสสลับ และความต้านทานแต่จะมีความสามารถวัดพิสัยต่ำๆ ได้ละเอียดและแม่นยำกว่ามัลติมิเตอร์แบบธรรมดา



(ก) ด้านหน้า (ข) ภายในด้านหลัง

รูปที่ 3.13 อิเล็กทรอนิกส์มัลติมิเตอร์

จากรูปที่ 3.13 อิเล็กทรอนิกส์มัลติมิเตอร์แบบแอนะล็อกรูปจริงดานหน้าดังรูปที่ 3.13 (ก) และภายในด้านหลังของดังรูปที่ 3.13 (ข) ซึ่งมีแบตเตอรี่ 9 V และแหล่งจ่าย 3 V เป็นไฟเลี้ยงวงจร

ศูนย์บรรณสารและการเรียนรู้ คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยพระจอมเกล้าพระนครเหนือ



YX360TRF	Measuring range	Accuracy
DCV (NULL)	0.1V (20kΩ / V)	±5% of full scale
	0.25 / 2.5 / 10 / 50 (20kΩ / V) / 250 / 1000V(9kΩ / V)	±3% of full scale
	±5 / 25V (40kΩ / V)	±5% of full scale
ACV	10 / 50 / 250 / 750V (9kΩ / V)	±4% of full scale
DCA	50μ / 2.5m /25m / 0.25A	*1±5% of full scale
Resistance	2k / 20k / 200k / 2MΩ (X1 / X10 / X100 / X1k)	±3% of arc
	200MΩ (X100k)	±5% of arc
Load current (LI)	0~150m / 15m / 1.5m / 150μ / 1.5μA	
Capacitance	10μF	*2
dB	-10dB~+22dB (for 10VAC) ~+62dB	—
DC high voltage	DC25kV (optional probe "HV-10T" is necessary)	—
hFE	1000 at X10 range (optional probe "HFE-6T" is necessary)	—
Battery	R6 (IEC) or UM-3(1.5V)X2	
Fuse	φ5.2X20mm (250V / 0.5A)	
Size / Mass	H159.5XW129XD41.5mm, approx. 320g	
Standard accessories included	Instruction manual, Hand strap	

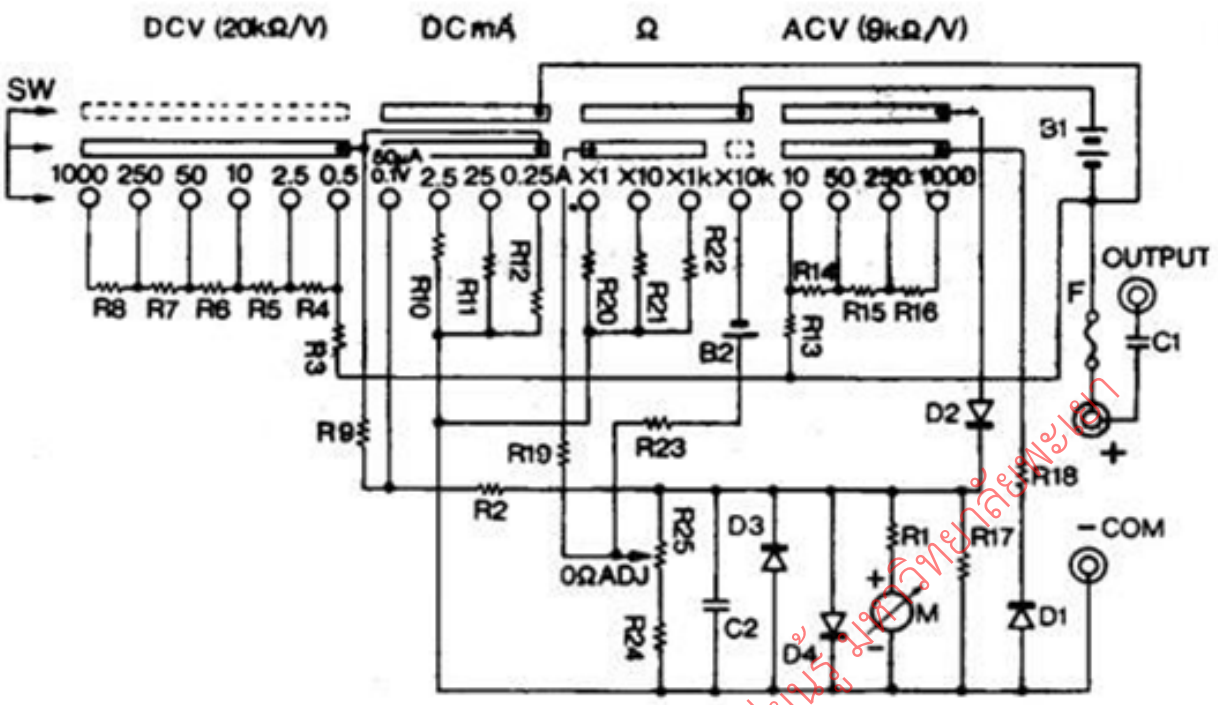
The value in bracket at DCV and ACV is input resistance.
*1 Not including the resistance of fuse.
*2 Pointer indication of the maximum move by charged current in the capacitor.

รูปที่ 3.14 แสดงย่านวัดของอิเล็กทรอนิกส์มัลติมิเตอร์

ที่มา : https://www.ktrelectric.com/ สืบค้นเมื่อวันที่ 3/8/2556

จากรูปที่ 3.14 มัลติมิเตอร์สามารถวัดค่าในพิสัยต่ำได้ ได้แก่ โวลต์มิเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงวัดได้ต่ำสุดที่ 0.1 V และโวลต์มิเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับวัดได้ต่ำสุดที่ 1 V ซึ่งมัลติมิเตอร์ทั่วไปไม่สามารถทำได้ วัดกระแสตรงต่ำสุด 50 μA และวัดกระแสสูงสุด 0.25 A เป็นต้น

ศูนย์บรรณสารและสื่อการศึกษา สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 3.15 วงจรภายในของมัลติมิเตอร์แบบอิเล็กทรอนิกส์

ที่มา: http://www.tatc.ac.th/elearning_elec/Untitled-3.html สืบค้นเมื่อวันที่ 3/9/2557

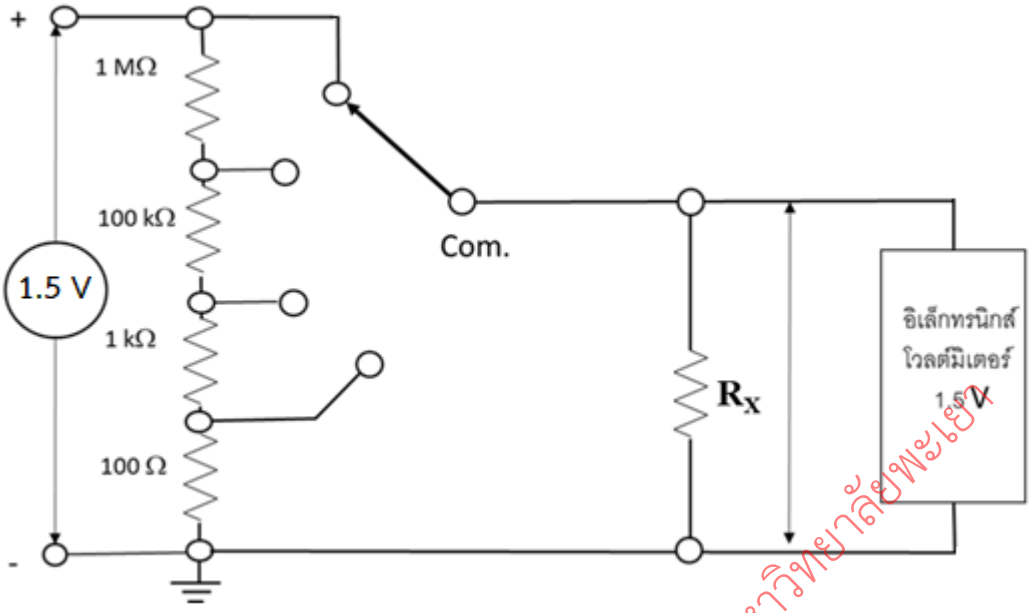
เพื่อให้เข้าใจวงจรพื้นฐานของอิเล็กทรอนิกส์มิเตอร์ในรูปที่ 3.15 ก่อนวงจรภายในทั่วไปของมิเตอร์ในส่วนการวัดความต้านทาน การวัดกระแส และแรงดันไฟฟ้า เพื่อเป็นพื้นฐานในความเข้าใจเบื้องต้น

3.3.2 การวัดโอห์มมิเตอร์

ฟังก์ชันของโอห์มมิเตอร์มี 3 แบบ คือแบบอนุกรม แบบชันท์ และแบบเชิงเส้น

1. โอห์มมิเตอร์แบบอนุกรม (Series ohmmeter) โดยใช้โวลต์มิเตอร์แบบอิเล็กทรอนิกส์ที่มีย่านวัด 1.5 V ดังแสดงในรูปที่ 3.16

ศูนย์บรรณสารและการเรียนรู้ สถาบันพัฒนาการเรียนรู้ มหาวิทยาลัยพะเยา



รูปที่ 3.16 วงจรเทียบเคียงโอห์มมิเตอร์แบบอนุกรมในอิเล็กทรอนิกส์มิเตอร์

จากรูปที่ 3.16 จะเห็นว่ามีแบตเตอรี่ 1.5 V และตัวต้านทาน 4 ตัว ทั้งนี้ตัวต้านทานที่ไม่ทราบค่า (R_x) จะต่อคร่อมที่ขั้ว A และ B โดยแรงดันที่โวลต์มิเตอร์ (V) วัดได้ คือ แรงดันตกคร่อม R_x

เมื่อสวิตช์อยู่ที่ย่านการวัดซึ่งใช้ตัวต้านทานมาตรฐาน 1 kΩ (R_1) หากไม่ได้ต่อ R_x (เปิดวงจร A–B) เข็มจะเบนเต็มสเกล (V = 1.5 V) แสดงว่า R_x เป็นอนันต์ ($R_x = \infty$)

ในทางกลับกัน หากลัดวงจรที่ A–B จะมีแรงดันเป็นศูนย์ (V = 0 V) เข็มก็จะชี้ไปด้านซ้ายเต็มสเกล แสดงว่า R_x = 0 Ω



รูปที่ 3.17 สเกลของโอห์มมิเตอร์

เมื่อต่อตัวต้านทานซึ่งมีค่า มากกว่า 0 แต่น้อยกว่า อนันต์ (R_x) เข้าที่ขั้ว A และ B จะมีการแบ่งแรงดันระหว่าง R_1 และ R_x เป็นผลให้แรงดันซึ่งตกคร่อม R_x ลดลง ตามอัตราส่วนตัวต้านทาน ทั้งนี้แรงดันที่ได้นี้จะแสดงผลบนหน้าปัดโวลต์มิเตอร์ เพื่อใช้สำหรับคำนวณหาค่า R_x ต่อไป

$$V = V_B \frac{R_x}{R_1 + R_x}$$

ศูนย์บรรณสารและการเรียนรู้ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เมื่อ

$R_x = R_1 = 1\ k\Omega$

$$V = 1.5\ V\ x\ \frac{1\ k\Omega}{1\ k\Omega + 1\ k\Omega}$$

$$V = 0.75\ V$$

ดังนั้น หาก $R_x = R_1$ จะส่งผลให้มิเตอร์แสดงค่า ครึ่งหนึ่งของการเบี่ยงเบนเต็มสเกล ทั้งนี้ ไม่ว่าจะเลือกใช้พิสัยการวัดใด ค่า R_x ที่เท่ากับ R_1 จะถูกกำหนดเป็นจุดกลางของสเกลหน้าปัด เพื่อใช้สำหรับอ่านค่าความต้านทาน

ตัวอย่างที่ 3.5 ซึ่งอ้างถึงวงจรในรูปที่ 3.16 หาก $R_x = R_1$ จะได้มิเตอร์เบี่ยงเต็มสเกล 50% หรือกลางสเกล เมื่อ R_x เปลี่ยนไป ค่าเบี่ยงก็จะแปรผกผันตามตัวต้านทาน ตัวหน้าปัดสเกลมักจะแสดงเป็นสเกลไม่เป็นเชิงเส้น (Non-linear) เมื่อมิเตอร์เบี่ยง 1/3 และ 2/3 ของเต็มสเกล ค่า R_x

วิธีทำ

จาก $$R_x = \frac{R_1}{\left(\frac{V_B}{V}\right) - 1}$$

ที่ตำแหน่ง 1/3 ของการบ่ายเบนเต็มสเกล

$$V = \frac{V_B}{3}$$

$$R_x = \frac{R_1}{\left|\left(\frac{V_B \times 3}{V_B}\right) - 1\right|}$$

$$= \frac{R_1}{2}$$

$$= 0.5\ R_1$$

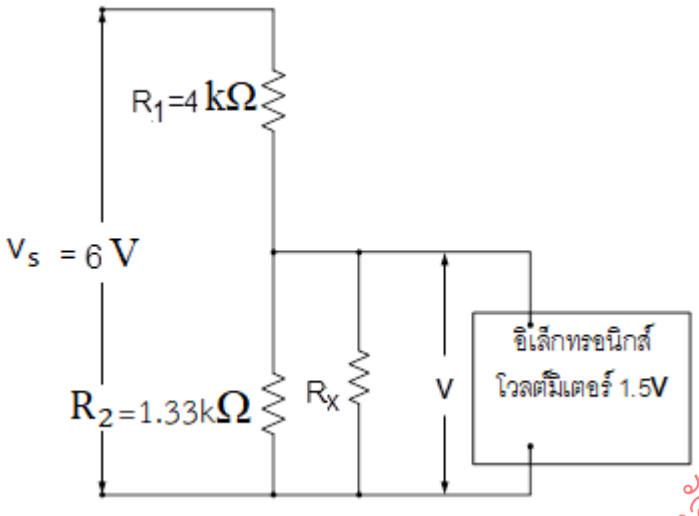
ที่ตำแหน่ง 2/3 ของการบ่ายเบนเต็มสเกล

$$V = \frac{2V_B}{3}$$

$$R_x = \left|\frac{\left(\frac{R_1}{V_B \times 3}\right)}{2V_B} - 1\right|$$

ตอบ $R_x = 2\ R_1$

ศูนย์บรรณสารและการเรียนรู้ สถาบันนวัตกรรมการเรียนรู้ มหาวิทยาลัยพะเยา



รูปที่ 3.18 วงจรเทียบเคียงโอห์มมิเตอร์แบบชันท์

2) โอห์มมิเตอร์แบบชันท์ (Shunt ohmmeter) ที่ใช้กับเครื่องวัดอิเล็กทรอนิกส์ดังวงจรในรูปที่ 3.18 จะมีจุดสำคัญดังนี้

- มีตัวต้านทานซึ่งมีค่าเที่ยงตรง ต่อขนานกับแหล่งจ่าย เพื่อให้แรงดันซัพพลายนิ่งและมีความมีเสถียรภาพสูง (ตัวจ่ายแรงดันมีค่า 6V คงที่)
- วิธีนี้ช่วยให้ แรงดันจ่ายมีความนิ่งและไม่ขึ้นลงเหมือนแบตเตอรี่ ทำให้มีความเที่ยงตรงสูงขึ้นและมีข้อผิดพลาดต่ำเมื่อใช้สำหรับการปรับเทียบและการใช้เป็นโอห์มมิเตอร์
- ตัวมิเตอร์จะแสดงค่าความต้านทานจาก กระแสที่ไหลผ่านตัวต้านทานซึ่งขึ้นอยู่กับค่าความต้านทานที่มาวัด

เมื่อเปิดวงจรที่ขั้ว A และ B จะทำให้ $R_x = \infty$

$$V = V_B\left(\frac{R_2}{R_1 + R_2}\right)$$

$$V = \frac{1.33\ K\Omega}{4\ k\Omega + 1.33\ k\Omega}$$

$$V = 1.5\ V$$

วงจรนี้โวลต์มิเตอร์ที่ย่านการวัด 1.5 V อีกครั้ง เพื่อให้เกิดการบ่ายเบนเต็มสกลเมื่อ $R_x = \infty$

ศูนย์บรรณสารและการเรียนรู้ สถาบันวิศวกรรมการเรียนรู้ มหาวิทยาลัยพะเยา

จะได้

- หาก $R_x = \infty$ ไม่ได้ต่อตัวต้านทานหรือวงจรเปิด แรงดันที่โวลต์มิเตอร์จะแสดงเต็มสเกล (Full Scale) ซึ่งคือ 1.5 V เข็มมิเตอร์จะชี้ไปด้านขวามือ เพื่อแสดงว่า R_x เป็นอนันต์
- หาก $R_x = 0$ ลัดวงจร แรงดันตกคร่อม R_x จะเป็น 0 V เข็มมิเตอร์จะชี้ไปด้านซ้าย เพื่อแสดงว่า R_x เป็น 0 Ω

เมื่อวัด R_x ใดที่ จะได้

$$V = V_B \times \frac{R_2 /\!/ R_x}{R_1 + R_2 + /\!/ R_x}$$

โอห์มมิเตอร์แบบชันท์ แสดงค่าครึ่งหนึ่งของสเกลเต็ม เมื่อ $R_x = R_1 /\!/ R_2$ หากใช้ค่า R_1 และ R_2 ตามวงจรในรูป 3.19 เครื่องมือจะมี พิสัย (range) ที่ 1 kΩ หากค่าความต้านทานสูงกว่า R_1 และ R_2 ประมาณ 10 เท่า เครื่องมือก็จะมี ช่วงการวัด ประมาณ 100 Ω หน้าปัด (สเกล) จะมีลักษณะเหมือนดังรูปที่ 3.18

ข้อดีคือ แรงดันจ่ายมีความเสถียร ทำให้จำเป็นต้องปรับศูนย์เพียงครั้งเดียว โดยนำ ขั้วมิเตอร์มาสัมผัสกันแล้วปรับให้เป็นศูนย์ก่อนเริ่มใช้

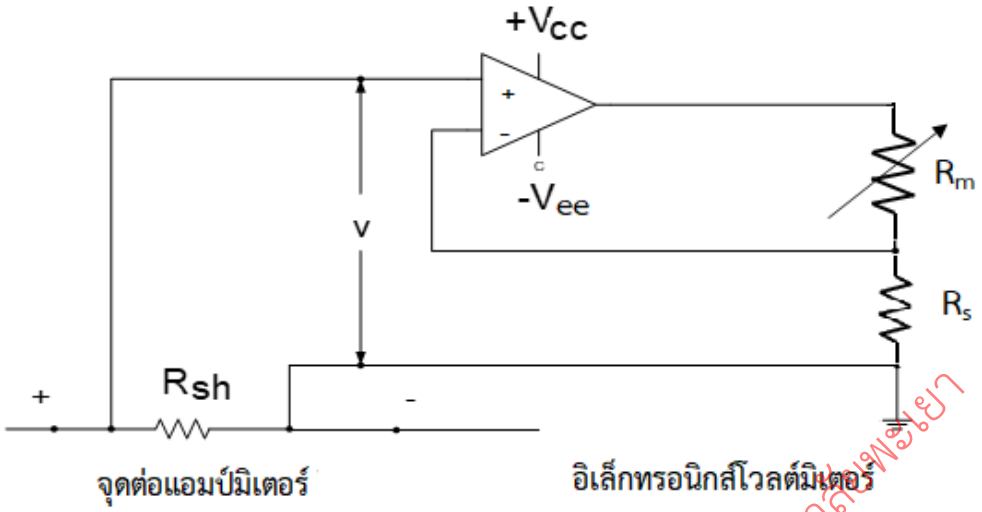
3.3.3 การวัดกระแสในอิเล็กทรอนิกส์มิเตอร์

การนำอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์มาใช้ในเครื่องวัดมีเหตุผลสำคัญ 2 ประการ คือ เพื่อให้มีความต้านทานอินพุตสูง และ เพื่อช่วยขยายแรงดันที่มีค่าต่ำๆ

สำหรับ แอมมิเตอร์ซึ่งจำเป็นต้องมีความต้านทานอินพุตต่ำ เหตุผลข้อแรกจึงไม่ใช้ เช่นเดียวกับโวลต์มิเตอร์ อย่างไรก็ตาม เหตุผลข้อที่สองมีความจำเป็นสำหรับ การวัดกระแสที่มีค่าน้อยๆ

มีวงจรพื้นฐานสำหรับแอมมิเตอร์อิเล็กทรอนิกส์ เพื่อใช้สำหรับวัดกระแสต่ำ เช่น ไมโครแอมป์หรือมิลลิแอมป์ แสดงดังรูปที่ 3.19

ศูนย์วิทยทรัพยากร สถาบันเทคโนโลยีการศึกษาและการอาชีวศึกษา มหาวิทยาลัยพะเยา



รูปที่ 3.19 วงจรเทียบเคียงการวัดกระแสด้วยเครื่องวัดอิเล็กทรอนิกส์

จากรูปที่ 3.19 แรงดันที่ตกคร่อมตัวต้านทานชันท์ (R_{sh}) เป็นแรงดันต่ำซึ่งจำเป็นต้องขยายก่อนส่งไปยังวงจรหน้าปัด เพื่อให้สามารถใช้สำหรับการวัดกระแสต่ำได้ สำหรับกระแสที่มีค่าปานกลางและสูงหากออกแบบค่าความต้านทานชันท์และวงจรให้เหมาะสม ก็สามารถใช้โวลต์มิเตอร์อิเล็กทรอนิกส์เป็นแอมมิเตอร์ได้

วงจรแปลงแรงดันเป็นกระแส (Voltage-to-current converter) ในรูปที่ 3.20 เป็นวงจรขยายกลับเฟส ที่ใช้ op-amp เพื่อแปลงแรงดันอินพุตให้เป็นกระแส โดยมีเงื่อนไขว่าแรงดันที่ R_{sh} เท่ากับแรงดันอินพุตและกระแสที่ไหลมีค่ามากกว่ากระแสไบแอส (I_B) อย่างมีนัยสำคัญ

$$I_m = I_{Rs} = \frac{V}{R_s}$$

ตัวอย่างที่ 3.6 จากรูปที่ 3.19 แสดงวงจรมิเตอร์แบบขดลวดเคลื่อนที่ (Moving Coil Meter) ที่ใช้ออปแอมป์ ข้อมูลที่กำหนด แรงดันไฟฟ้าอินพุต V = 2 V จะทำให้เข็มบ่ายเบนเต็มสเกล (Full Scale Deflection) R_m = 100 Ω และ I_{FS} = 1 mA จงหาค่าความต้านทาน R_1 ในวงจร และ (V_o)

วิธีทำ จาก

$$R_s = \frac{V}{1\ mA} = \frac{2\ V}{1\ mA} = 2\ k\Omega$$

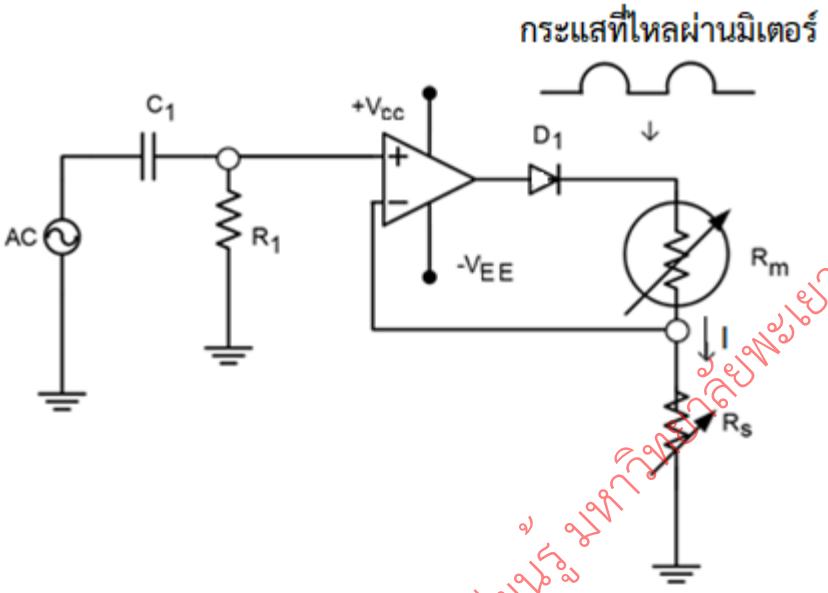
$$V_o = 1\ mA \times (R_3 + R_m)$$

$$V_o = 1\ mA \times (2\ k\Omega + 100\ \Omega)$$

ตอบ V_o = 2.1 V

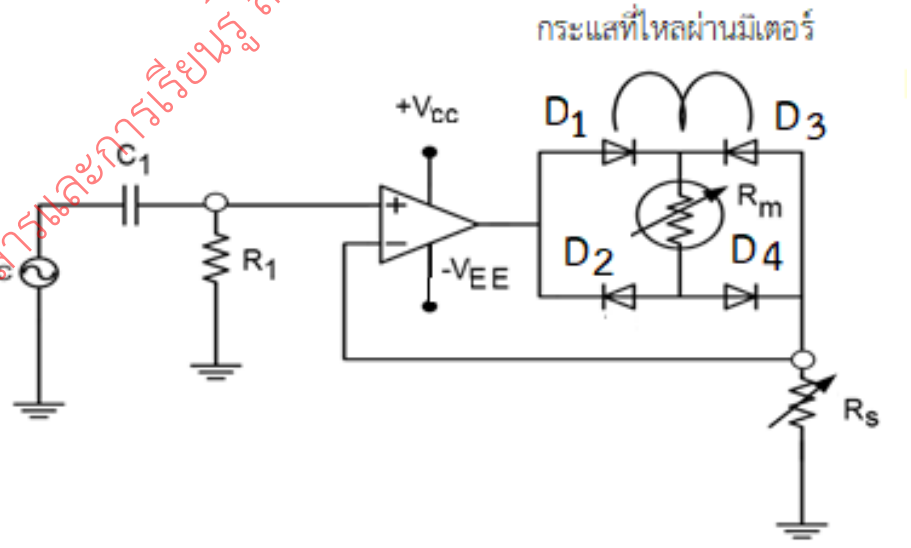
ศูนย์บรรณสารและการเรียนรู้ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

การแปลงแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับให้เป็นแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงโดยใช้วงจรเรียงกระแสครึ่งคลื่น มีลักษณะตามรูปที่ 3.21



รูปที่ 3.21 การแปลงแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับให้เป็นแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง

ในวงจรของรูปที่ 3.21 กระแสจะไหลเฉพาะในครึ่งไซเคิลบวกของสัญญาณไฟฟ้ากระแสสลับเท่านั้น เนื่องจากไดโอดนำกระแสได้เฉพาะในช่วงนี้ ทำให้มีกระแสไหลผ่านมิเตอร์ ในขณะที่ครึ่งไซเคิลลบไดโอดจะถูกไบแอสย้อนกลับ ทำให้ไม่มีการไหลของกระแสผ่านมิเตอร์ R_s โดยในกรณีนี้ กระแสสูงสุดของมิเตอร์มีค่าเท่ากับ $I_p = V_p/R_3$ และ $I_{av} = 0.5(0.636I_p)$



รูปที่ 3.22 วงจรแปลงแรงดันให้เป็นกระแสแบบเต็มคลื่น

ศูนย์บรรณสารและการเรียนรู้ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง มหาวิทยาลัยพะเยา

จากรูปที่ 3.22 เมื่อแรงดันอินพุตเป็นบวก เอาต์พุตเป็นบวก ทำให้ไดโอด D_1และ D_4 ถูกไบอัสตรง ส่งผลให้กระแสไหลผ่านมิเตอร์จากขั้วบวก (+) ไปยังขั้วลบ (–) ในทางกลับกัน เมื่อแรงดันอินพุตเป็นลบ ไดโอด D_2 และ D_3 จะได้รับไบอัสตรง กระแสจึงไหลผ่านมิเตอร์ในทิศทางเดียวกัน คือจากขั้วบวก (+) ไปยังขั้วลบ (–) เช่นกัน โดยไม่ว่าจะเป็นอินพุตบวกหรือลบ กระแสพีคของมิเตอร์มีค่าเท่ากับ $I_p = V_p/R_3$ กระแสเฉลี่ยของมิเตอร์ คือ $I_{av} = 0.636\, I_p$

ตัวอย่างที่ 4.8 จากรูปที่ 3.22 ใช้มิเตอร์ที่มีกระแสบ่ายเบนเต็มสเกล I_{fs} = 1 mA และ R_m=1.2 kΩ จงหา ค่า R_s ที่ทำให้เข็มมิเตอร์ชี้บ่ายเบนเต็มสเกล เมื่อ V_{in}=120 mV (RMS) และ การบ่ายเบนของมิเตอร์เมื่อแรงดันอินพุตลดลงเหลือ 60 mV (RMS)

วิธีทำ ขณะมีการบ่ายเบนเต็มสเกล กระแสเฉลี่ยของมิเตอร์ $I_{av} = 1\text{mA}$

จะได้ $$I_{av} = \frac{0.636}{2}\, I_p$$

$$I_{av} = \frac{2}{0.636}\, I_{av} = \frac{2}{0.636} \times 1\text{mA}$$

I_{av} = 3.14 mA

ค่าพีคของ V_{Rs} คือ V_p ดังนั้น

$$V_p = \frac{V_{in}}{0.707} = \frac{120\text{mV}}{0.707}$$

$$= 169.7\text{ mV}$$

$$R_s = \frac{V_p}{I_p} = \frac{169.7\text{ mV}}{3.14\text{ mA}} = 54.05\ \Omega$$

เมื่อ $V = 60\text{ mV}$

$$V_p = \frac{60\text{ mV}}{0.707} = 0.084\text{ V}$$

$$I_p = \frac{70.7\text{ mV}}{54.05\ \Omega} = 1.30\text{ mA}$$

$$I_{av} = \frac{0.636}{2} \times 1.30\text{ mA}$$

ตอบ 0.41mA (ครึ่งหนึ่งของการบ่ายเบนเต็มสเกล)

ศูนย์บรรณสารและการเรียนรู้ สถาบันนวัตกรรมการเรียนรู้ มหาวิทยาลัยพะเยา

สรุปท้ายบทเรียนบทที่ 3

บทเรียน “เครื่องมือวัดอิเล็กทรอนิกส์” เป็นแหล่งความรู้และความเข้าใจเชิงลึกเกี่ยวกับเครื่องมือที่จำเป็นสำหรับใช้ในการวัดและทดสอบทางอิเล็กทรอนิกส์ เพื่อให้สามารถนำไปใช้ได้อย่างมีประสิทธิภาพ ในบทเรียนนี้ เราได้เรียนรู้ถึงเครื่องมือหลายประเภท เช่น มัลติมิเตอร์และอุปกรณ์สำหรับใช้ตรวจสอบและวัดค่าทางไฟฟ้าที่จำเป็น ทั้งกระแสไฟฟ้า แรงดันไฟฟ้า ไปจนถึงความสมบูรณ์และความถูกต้องของวงจร อีกทั้งยังได้เข้าใจถึงความหลากหลายของเครื่องมือ ทั้งอนาล็อกและดิจิทัล ทั้งตัวที่ใช้สำหรับตรวจสอบค่าตัวที่สามารถใช้สำหรับการวัดหลายค่าได้อีกด้วย สิ่งสำคัญที่ได้เรียนรู้คือ หลักการทำงาน วิธีใช้ และวิธีต่อวงจร เพื่อให้ได้ผลลัพธ์ที่ถูกต้องและน่าเชื่อถือ ด้วยองค์ความรู้นี้ ทั้งในการตรวจสอบและทดสอบอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ การปรับแต่งและซ่อมบำรุงระบบ ความรู้นี้จึงเป็นรากฐานสำคัญที่จะช่วยให้ต่อยอดเพื่อเรียนรู้และใช้เทคโนโลยีด้านอิเล็กทรอนิกส์ได้อีก ทั้งในชีวิตประจำวันที่จำเป็นและในวิชาชีพอีกด้วย

ศูนย์บรรณสารและการเรียนรู้ สถาบันนวัตกรรมการเรียนรู้ มหาวิทยาลัยพายัพ

แบบฝึกหัดบทที่ 3

1. ตัวลดทอนสัญญาณที่ป้อนเข้าโวลต์มิเตอร์คืออะไร และมีหน้าที่อย่างไร
2. มีวิธีใดบ้างในการแปลงแรงดันไฟฟ้าให้กลายเป็นกระแสไฟฟ้าในโวลต์มิเตอร์แบบอิเล็กทรอนิกส์
3. โอห์มมิเตอร์แบบเชิงเส้นหมายถึงอะไร และมีองค์ประกอบสำคัญอะไรบ้าง
4. จากวงจรโวลต์มิเตอร์แบบอิมิตเตอร์ฟอลโลเวอร์ในรูปที่ 3.2 มีข้อด้อยอะไร และสามารถปรับปรุงได้ด้วยวิธีใด
5. โอห์มมิเตอร์ที่ใช้การต่อแบบชันท์ มีจุดเด่นอะไรเมื่อเทียบกับแบบต่ออนุกรม
6. สามารถดัดแปลงโวลต์มิเตอร์อิเล็กทรอนิกส์ให้ใช้งานเป็นแอมมิเตอร์ได้อย่างไรบ้าง
7. การมีเฟสที่อินพุตมีผลกระทบหรือข้อดีอย่างไรต่อประสิทธิภาพของโวลต์มิเตอร์
8. โวลต์มิเตอร์ที่ใช้วงจรขยายแบบดิฟเฟอเรนเชียลเหนือกว่าแบบอิมิตเตอร์ฟอลโลเวอร์ในด้านใดบ้าง
9. ข้อได้เปรียบของโวลต์มิเตอร์ที่ใช้วงจรขยายแบบออปแอมป์เมื่อเทียบกับวงจรง่ายในรูปที่ 3.2 คืออะไร

10. ถ้าต้องการให้โวลต์มิเตอร์อิเล็กทรอนิกส์ทำงานได้สมบูรณ์แบบ ควรเพิ่มวงจรหรืออุปกรณ์ใดเพิ่มเติม วงจรโวลต์มิเตอร์ในรูปที่ 3.2 ประกอบด้วย V_{CC} = 12V, R_m =1kΩ หากกระแสที่ไหลผ่านมิเตอร์มีค่า 2 mA และตัวทรานซิสเตอร์มีอัตราขยายกระแส h_{FE} = 80 จงหาค่า R_s ที่จะทำให้มิเตอร์บ่ายเบนเต็มสเกลเมื่อแรงดันอินพุต E=5V ค่า R_1 ในวงจร (ตอบ $R_s = 1.5k\Omega, R_1 = 272\ k\Omega$)

12. จากรูปที่ 3.3 มีองค์ประกอบดังนี้ $R_1 = 10\ k\Omega, R_2 = R_3 = 2.9\ k\Omega, R_4 = R_6 = 3.6\ k\Omega, R_5 = 550\ \Omega$ และ $R_s + R_m = 12\ k\Omega$ ถ้ากระแสที่มิเตอร์เป็น $120\ \mu A$ แรงดันที่แหล่งจ่ายเป็น $\pm 12V$ และทรานซิสเตอร์มี $h_{FE} = 90$ จงหา V_p, I_{B1}, I_2, I_3 และ I_4 เมื่อ $E = 0$ จงหาพิสัยการปรับแต่ง V_p (ตอบ Vp = 1.44 V, I_{B1}=1.33 μA, I_2=3.33 mA, I_3=3.328 mA, I_4=3.33 mA, พิสัย Vp ตั้งได้จาก 0V ถึง +12V)

13. จากรูปที่ 3.4 มีองค์ประกอบดังนี้ $R_1 = 6.9\ k\Omega, R_2 = R_3 = 4.8\ k\Omega, R_4 = 1.2\ k\Omega, R_5 = 550\ \Omega, R_6 = 3.6\ k\Omega, R_s + R_m = 25\ k\Omega$ ถ้า $I_m = 55\ \mu A$ ที่การบ่ายเบนเต็มสเกล และแรงดันที่แหล่งจ่ายเป็น $\pm 12\ V, h_{FE} = 90$ และ $V_{GS} = -5\ V$ จงหา v_p, I_s, I_2, I_3, I_4 และเมื่อ $V = 0$ จงหาย่านวัดการปรับแต่งของ V_p (ตอบ V_p = 1.38 V, I_s = 2.51 mA, I_2 = 2.5 mA, I_3 = 2.499 mA, I_4 = 10 mA และ พิสัย V_p ตั้งได้จาก 0 V ถึง +12 V)

14. จากรูปที่ 3.5 มีองค์ประกอบดังนี้ $R_a = R_2 = 17\ k\Omega, R_{L1} = R_{L2} = 3.8\ k\Omega, R_E = 3.6\ k\Omega, R_s = 83\ k\Omega$, และ $R_m = 700\ \Omega$ ถ้า $I_m = 70\ \mu A$ การที่บ่ายเบนเต็มสเกล และแรงดันที่แหล่งจ่ายเป็น$\pm 12\ V$ จงหาแรงดันที่ทรานซิสเตอร์ เมื่อ $V = 0$ (ตอบ เมื่อ V=0 V, V_B=0 V, V_E=−0.7 V, V_C=11.26 V, I_E=−0.194 mA ,I_C=−0.194 mA)

15. จากรูปที่ 3.6 มีองค์ประกอบดังนี้ $R_a = 900\ k\Omega, R_b = 200\ k\Omega, R_c = 70\ k\Omega$ และ $R_d = 30\ k\Omega$ ถ้ากระแสที่มิเตอร์เป็น $60\ \mu A, R_m = 850\ \Omega$ และสวิชต์เลือกพิสัยการวัดมีตำแหน่งดังรูปที่ 3.6 จงหา R_s ที่ทำให้การบ่ายเบนเต็มสเกลเมื่อ $V = 10\ V$ (ตอบ R_s = 165.82kΩ)

ศูนย์วิทยทรัพยากร จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ศูนย์บรรณสารและการเรียนรู้ สถาบันนวัตกรรมการเรียนรู้ มหาวิทยาลัยพะเยา

บทที่ 4
เครื่องมือวัดดิจิทัล

เครื่องมือวัดที่แสดงผลแบบแอนะล็อก จะทำงานโดยการวัดค่าทางไฟฟ้าและแสดงผลผ่านเข็มที่เคลื่อนที่ไปตามมุม ซึ่งมีความสัมพันธ์โดยตรงกับค่าที่ตรวจวัดได้ ในขณะที่เครื่องมือวัดแบบดิจิทัลจะแสดงค่าที่วัดได้ในรูปของตัวเลขฐานสิบ ทำให้สามารถอ่านค่าได้ง่ายและชัดเจน ความแตกต่างหลักระหว่างเครื่องวัดสองประเภทนี้อยู่ที่ลักษณะของการแสดงผล โดยเครื่องดิจิทัลจะให้ค่าที่แน่นอนและไม่คลุมเครือ สามารถอ่านได้รวดเร็ว ทั้งนี้ เครื่องมือวัดแบบดิจิทัลถือเป็นพื้นฐานสำคัญของอุปกรณ์วัดสมัยใหม่ที่แสดงผลในรูปแบบตัวเลข



รูปที่ 4.1 ดิจิทัลมัลติมิเตอร์

ที่มา: https://www.artronshop.co.th/article/digital meter สืบค้นเมื่อวันที่ 3/8/2566

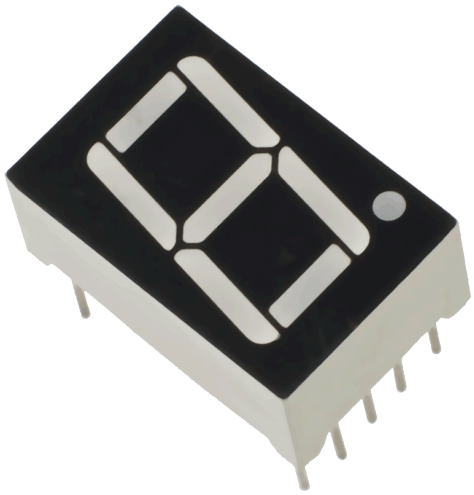
ศูนย์บรรณสารและการเรียนรู้ สถาบันนวัตกรรมการเรียนรู้ มหาวิทยาลัยพะเยา

4.1 การแสดงผลแบบดิจิทัล

4.1.1 หลักการของการแสดงผลดิจิทัล

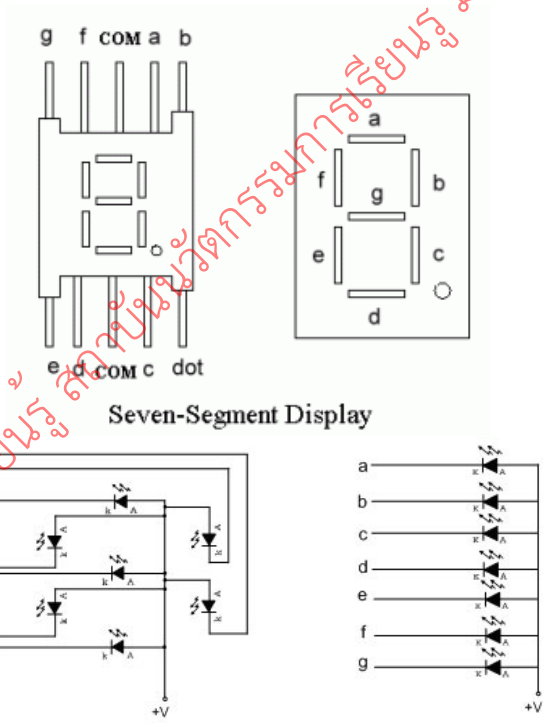
ในปัจจุบัน การแสดงผลแบบดิจิทัลมักอาศัยเทคโนโลยีพื้นฐาน 2 ประเภท ได้แก่ การใช้ไดโอดเปล่งแสงหรือ LED (Light-Emitting Diode) และการใช้จอผลึกเหลวหรือ LCD (Liquid Crystal Display)

อุปกรณ์แสดงผลประเภท LED นิยมใช้ชนิด 7 ส่วน (Seven-Segment Display) ซึ่งประกอบด้วย LED ขนาดเล็กเรียงกันเป็นรูปทรงคล้ายตัวเลข โดยสามารถแสดงตัวเลข 0–9 และบางตัวอักษรได้ตามการเปิด-ปิดของแต่ละส่วน ซึ่งสามารถดูตัวอย่างรูปแบบการจัดเรียงได้ในภาพที่ 4.2



รูปที่ 4.2 รูปแบบของแอลอีดีที่ใช้ในการแสดงผลแบบดิจิทัล

ที่มา: https://www.artronshop.co.th/article/-7-segment สืบค้นเมื่อวันที่ 3/8/2566



(ก) การวางตำแหน่งของแอลอีดี 7 ส่วน (ข) วงจรของแอลอีดี 7 ส่วน

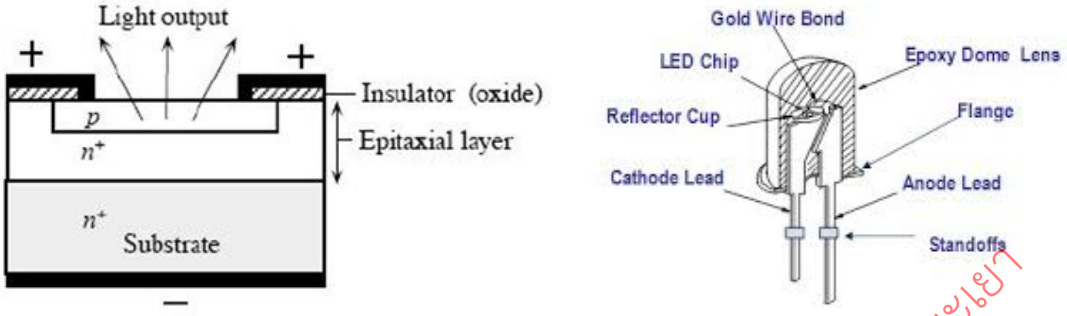
ที่มา: https://www.artronshop.co.th/article/-7-segment สืบค้นเมื่อวันที่ 3/8/2566

รูปที่ 4.3 วงจรเทียบเคียงภายในของแอลอีดี 7 ส่วน

เมื่อไดโอดเปล่งแสง (LED) ได้รับแรงดันไบอัสตรง จะเกิดการเรืองแสงขึ้น เนื่องจากกระแสไฟฟ้าไหลผ่าน ทำให้เกิดการรวมตัวใหม่ของประจุพาหะ (charge carrier recombination) ที่บริเวณรอยต่อพี-เอ็น กล่าวคือ อิเล็กตรอนจากด้านเอ็นจะเคลื่อนที่มารวมกับโฮลที่ด้านพี การรวมตัวนี้ส่งผลให้พลังงานถูกปล่อยออกมาในรูปของแสงและความร้อน ซึ่งแสงจะส่องออกมาจากบริเวณรอยต่ออันเป็นแหล่งกำเนิด

ศูนย์บรรณสารและการเรียนรู้ สถาบันนวัตกรรมการเรียนรู้ มหาวิทยาลัยพะเยา

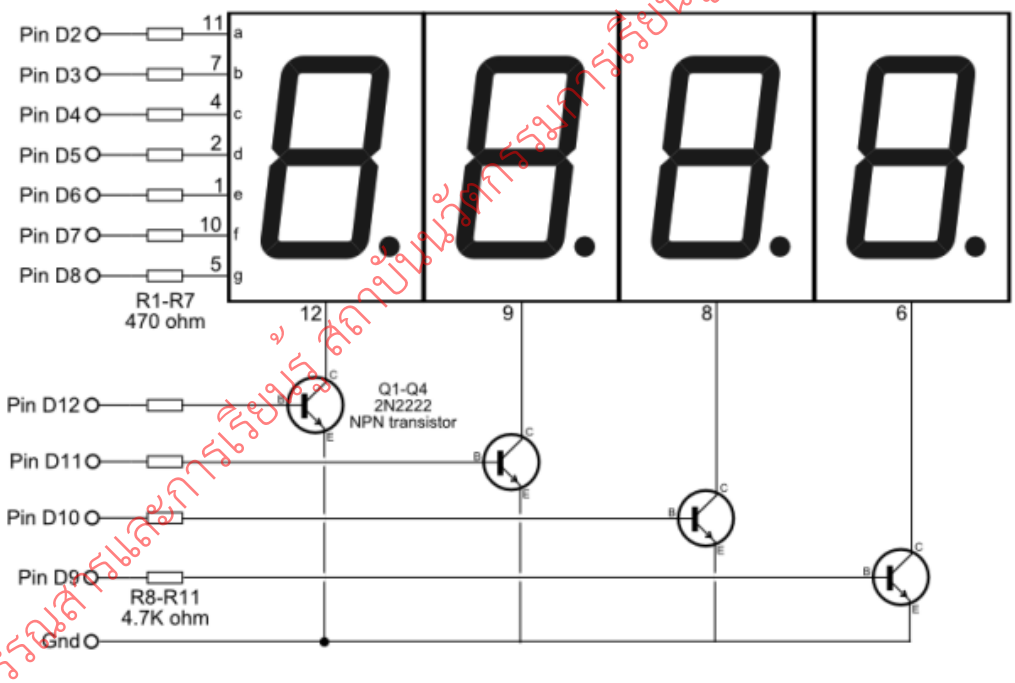
แสงของอุปกรณ์นี้ อย่างไรก็ตาม หาก LED ได้รับแรงดันไบอัสกลับ จะไม่มีการนำกระแส และ LED จะไม่สว่าง รูปที่ 4.4 แสดงให้เห็นโครงสร้างภายในของ LED ทั่วไปที่ทำหน้าที่ดังกล่าว



(ก) โครงสร้างทางฟิสิกส์ของแอลอีดี (ข) โครงสร้างรูปเสมือนจริงของแอลอีดี

รูปที่ 4.4 โครงสร้างทางฟิสิกส์ของแอลอีดีชนิดรอยต่อพีเอ็น

ที่มา: https://www.artronshop.co.th/article/-LED สืบค้นเมื่อวันที่ 3/8/2566



รูปที่ 4.5 การจัดวางแอลอีดี 7 ส่วนเพื่อใช้แสดงผล

ที่มา: https://www.artronshop.co.th/article/-7-segment สืบค้นเมื่อวันที่ 3/8/2566

ศูนย์บรรณสารและการเรียนรู้ สถาบันบัณฑิตการอาชีวศึกษาพระนครเหนือ

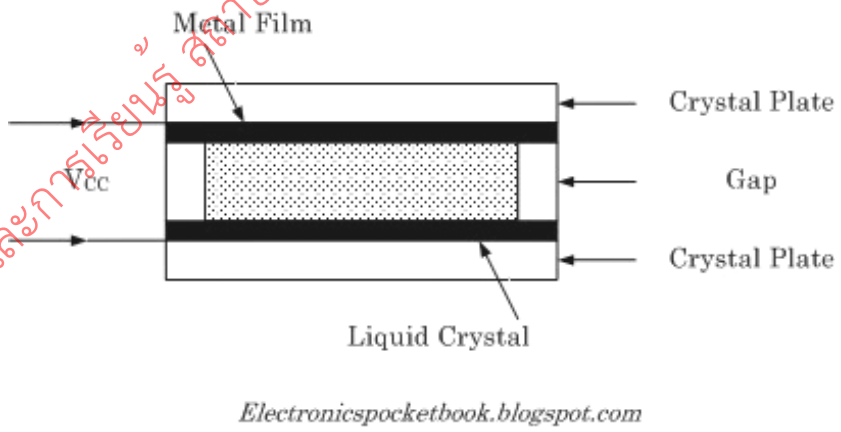
2) อุปกรณ์แสดงผลแบบแอลซีดี (LCD)

จอแสดงผลแบบแอลซีดี (Liquid Crystal Display) เป็นเทคโนโลยีที่ได้รับความนิยมในการแสดงผลตัวเลขและข้อความ เนื่องจากมีจุดเด่นที่ใช้พลังงานต่ำและไม่ต้องพึ่งแหล่งกำเนิดแสงภายในโดยตรง แต่ทำงานโดยอาศัยการเปลี่ยนแปลงเชิงแสงของผลึกเหลวภายใต้สนามไฟฟ้า

โครงสร้างของ LCD (ดังรูปที่ 4.6) ประกอบด้วยแผ่นกระจก 2 ชั้นวางขนานกัน โดยมีผลึกเหลวบรรจุอยู่ระหว่างช่องว่างระหว่างแผ่นกระจก ทั้งสองแผ่นจะเคลือบด้วยตัวนำใสและมีการเคลือบพื้นผิวเพื่อควบคุมทิศทางการจัดเรียงของโมเลกุลผลึกเหลว เมื่อยังไม่มีแรงดันไฟฟ้า โมเลกุลของผลึกเหลวจะจัดเรียงในลักษณะที่ทำให้แสงโพลาไรซ์สามารถผ่านได้ แต่เมื่อมีการป้อนแรงดันเข้าไป โมเลกุลจะเปลี่ยนแนวการเรียงตัว ส่งผลให้แสงเปลี่ยนทิศทางการโพลาไรซ์ และเกิดการมองเห็นภาพหรือข้อความบนจอ

แอลซีดีมีโหมดการแสดงผลหลัก 2 แบบ คือ โหมดทรานสมิสซีฟ (Transmissive) คือ ต้องใช้แสงส่องผ่านจากด้านหลังจอเพื่อให้มองเห็นภาพ และ โหมดรีเฟล็กทีฟ (Reflective) คือ ใช้แสงจากภายนอกสะท้อนผ่านกระจกที่ติดด้านหลัง เพื่อให้เกิดภาพที่มองเห็นได้

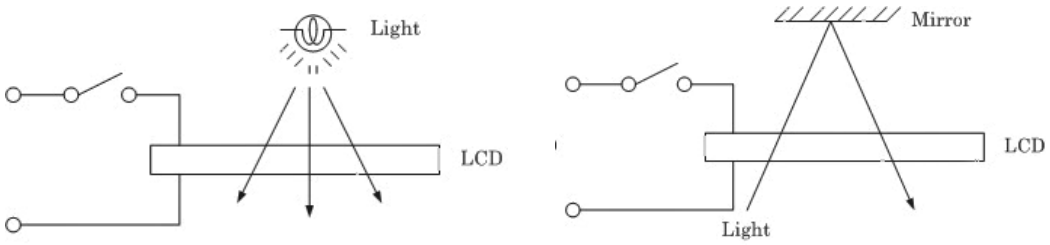
เนื่องจาก LCD ใช้พลังงานน้อยมาก ในระดับไมโครแอมป์ จึงเหมาะสำหรับอุปกรณ์ที่ใช้พลังงานต่ำ เช่น นาฬิกาดิจิทัล เครื่องคิดเลข และอุปกรณ์พกพาอื่น ๆ การควบคุมการแสดงผลของ LCD มักใช้ไอซีประเภท CMOS เป็นตัวขับสัญญาณ โดยใช้พัลส์สี่เหลี่ยมจ่ายไปยังแผ่นตัวนำใสและแผ่นพื้น (backplane) ของจอ แม้ว่า LCD จะใช้ไฟเลี้ยงแบบตรง แต่การกระตุ้นให้แสดงผลจะใช้สัญญาณสลับเพื่อยืดอายุการใช้งานและลดความเสียหายของผลึกเหลว



รูปที่ 4.6 รูปแบบของแอลซีดี

ที่มา: http://electronicspocketbook.blogspot.com/2014/01/liquid-crystal-display-lcd.html สืบค้นเมื่อวันที่ 3/8/2566

ศูนย์บรรณสารและการเรียนรู้ สถาบันนวัตกรรมการเรียนรู้ มหาวิทยาลัยพะเยา



(ก) แบบทรานสมิสซีฟ (ข) แบบรีเฟล็กซ์ตีฟ

รูปที่ 4.7 โครงสร้างของแอลซีดี



รูปที่ 4.8 รูปแบบของแอลซีดีที่ใช้กับการแสดงผล
ที่มา: http://www.cei-store.com/product/สืบค้นเมื่อวันที่ 3/8/2566

ศูนย์วิทยทรัพยากร สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

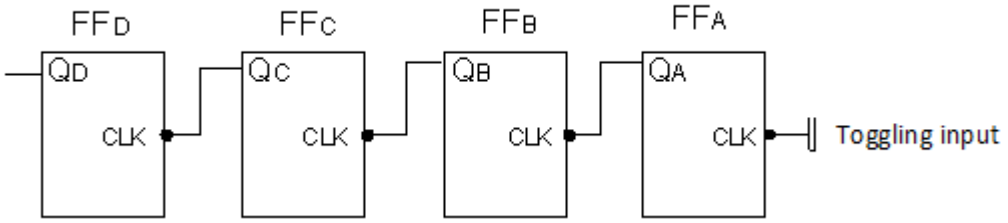
4.1.2 การแสดงผลแบบดิจิทัล

ระบบแสดงผลแบบดิจิทัลมีพื้นฐานการทำงานจากแนวคิดของการนับแบบดิจิทัล (Digital Counting) ซึ่งเป็นกระบวนการสำคัญที่นำไปสู่การแสดงค่าตัวเลขในรูปแบบดิจิทัล โดยในหัวข้อนี้จะอธิบายพื้นฐานของวงจรการนับเพื่อให้เข้าใจกลไกการแสดงผลในขั้นต้น

1. **วงจรนับแบบไบนารี**

จากภาพในรูปที่ 4.9 แสดงตัวอย่างของวงจรนับไบนารีขนาด 4 บิต ซึ่งสร้างขึ้นโดยการเชื่อมต่อฟลิปฟลอปจำนวน 4 ตัวเข้าด้วยกันในลักษณะแคสเคด (Cascade) หรือเรียงต่อกันเป็นลำดับ แต่ละฟลิปฟลอปจะทำหน้าที่นับสถานะตามพัลส์ที่ป้อนเข้า โดยในระบบ 4 บิตนี้สามารถนับสถานะที่ไม่ซ้ำกันได้ทั้งหมด 16 ค่า (ตั้งแต่ 0000 ถึง 1111 ในเลขฐานสอง) ซึ่งบางครั้งถูกเรียกว่า “ฐาน 16” หรือ “สเกล 16” นั่นเอง

วงจรลักษณะนี้เป็นพื้นฐานสำคัญของการสร้างตัวแสดงผลแบบดิจิทัลที่ใช้ในเครื่องวัดทางอิเล็กทรอนิกส์ โดยค่าที่นับได้จะถูกแปลงและแสดงผลผ่านอุปกรณ์แสดงผล เช่น LED แบบ 7 ส่วน หรือลักษณะตัวเลขอื่น ๆ ที่มนุษย์สามารถอ่านค่าได้โดยตรง



รูปที่ 4.9 การนับแบบไบนารีขนาด 4 บิต

รูปที่ 4.9 แสดงการทำงานของฟลิปฟลอปแบบต่ออนุกรม (Cascade) เริ่มจาก FF_A ซึ่งจะ ท็อกเกิล ทุกครั้งที่พัลส์อินพุตขอบลบมาถึงอินพุตล็อก เมื่อเอาต์พุต Q_A เปลี่ยนเป็น LOW จะสร้างแรงดันลบไปยังอินพุตล็อกของ FF_B ทำให้ FF_B ท็อกเกิลเช่นกัน กระบวนการนี้จะส่งต่อไปยัง FF_C และ FF_D ตามลำดับ ซึ่งสามารถแสดงผลลัพธ์ได้ใน ตารางที่ 4.1

จากตาราง 4.1 ได้ผลดังนี้

- พัลส์ที่ 1: Q_A = HIGH ทำให้สถานะของ Q_B, Q_C, Q_D ยังไม่เปลี่ยนจะแสดงผล 0001
- พัลส์ที่ 2: Q_A = LOW ทำให้สถานะของ ท็อกเกิลที่ Q_B = HIGH จะแสดงผล 0010
- พัลส์ที่ 3: Q_A = HIGH ทำให้สถานะของ Q_B คงเดิม จะแสดงผล 0011
- พัลส์ที่ 4: Q_A = LOW ทำให้สถานะของท็อกเกิล Q_B = LOW และท็อกเกิล Q_C = HIGH จะแสดงผล 0100

การท็อกเกิลจะดำเนินไปเรื่อย ๆ จนถึงพัลส์ที่ 15 ซึ่งได้เอาต์พุตเป็น **1111** เมื่อป้อน **พัลส์ที่ 16**: Q_A = LOW ทำให้สถานะของ ท็อกเกิล Q_B = LOW ทำให้สถานะของ ท็อกเกิล Q_C = LOW ทำให้สถานะของ ท็อกเกิล Q_D = LOW และฟลิปฟลอปทั้ง 4 ตัวจึงกลับสู่สถานะเริ่มต้น **0000**

สรุปได้ว่าการต่อฟลิปฟลอป 4 ตัวแบบแคสเคด จะสร้างสถานะที่แตกต่างกันได้ 16 สถานะ จึงเรียกวงจรนี้ว่า วงจรนับสเกล 16 หรือ วงจรนับโหมด 16 (Mod-16 Counter)

ศูนย์บรรณสารและการเรียนรู้ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้า

ตารางที่ 4.1 ตารางความจริงของวงจรนับ 16 แบบไบนารี

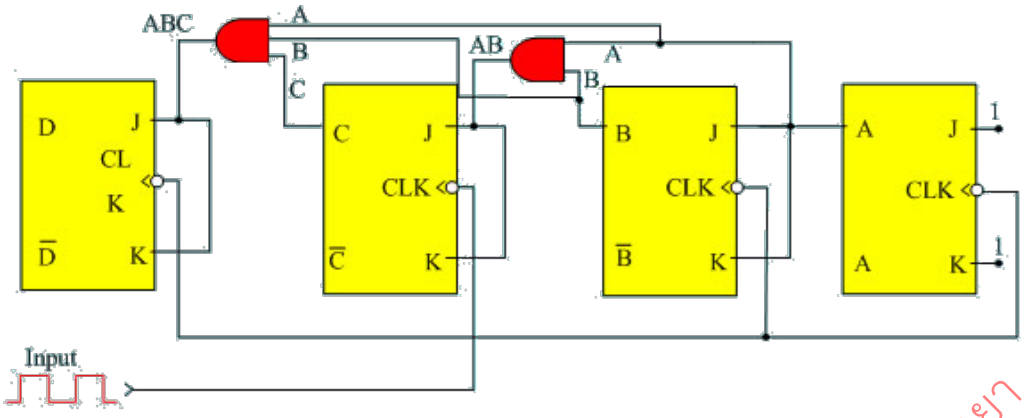
Flip-flop outputs				Input pulses
Q_D	Q_C	Q_B	Q_A	
0	0	0	0	0
0	0	0	1	1
0	0	1	0	2
0	0	1	1	3
0	1	0	0	4
0	1	0	1	5
0	1	1	0	6
0	1	1	1	7
1	0	0	0	8
1	0	0	1	9
1	0	1	0	10
1	0	1	1	11
1	1	0	0	12
1	1	0	1	13
1	1	1	0	14
1	1	1	1	15
0	0	0	0	0

2) วงจรนับสิบ (Decade Counter)

วงจรนับสิบเป็นการปรับปรุงจาก วงจรนับสเกล 16 (Mod-16 Counter) โดยการ ตัดทอน 6 สภาวะสุดท้าย ออกจาก 16 สภาวะเดิม เพื่อให้เหลือเพียง 10 สภาวะ ซึ่งทำได้โดยการเพิ่ม ประตู NAND (NAND-gate) ดังแสดงใน รูปที่ 4.10

จากหลักการทำงานในรูปที่ 4.10 เมื่อเอาต์พุตของ Q_B และ Q_D มีค่าสูง (HIGH) พร้อมกัน ประตู NAND จะสร้างเอาต์พุตเป็น LOW ซึ่งใช้รีเซตวงจรกลับสู่สภาวะแรกโดยอัตโนมัติ ส่งผลให้การนับจำกัดอยู่เพียง 10 สภาวะ ตามที่แสดงใน ตารางที่ 4.2

ศูนย์บรรณสารและการเรียนรู้ สถาบันนวัตกรรมการเรียนรู้ มหาวิทยาลัยพะเยา



รูปที่ 4.10 วงจรนับ 10 โดยใช้ JK Flip-Flop

ตารางที่ 4.2 ตารางความจริงของวงจรนับสิบ

Flip-flop outputs				Input pulses
Q_D	Q_C	Q_B	Q_A	
0	0	0	0	0
0	0	0	1	1
0	0	1	0	2
0	0	1	1	3
0	1	0	0	4
0	1	0	1	5
0	1	1	0	6
0	1	1	1	7
1	0	0	0	8
1	0	0	1	9
1	0	1	0	10
0	0	0	0	0

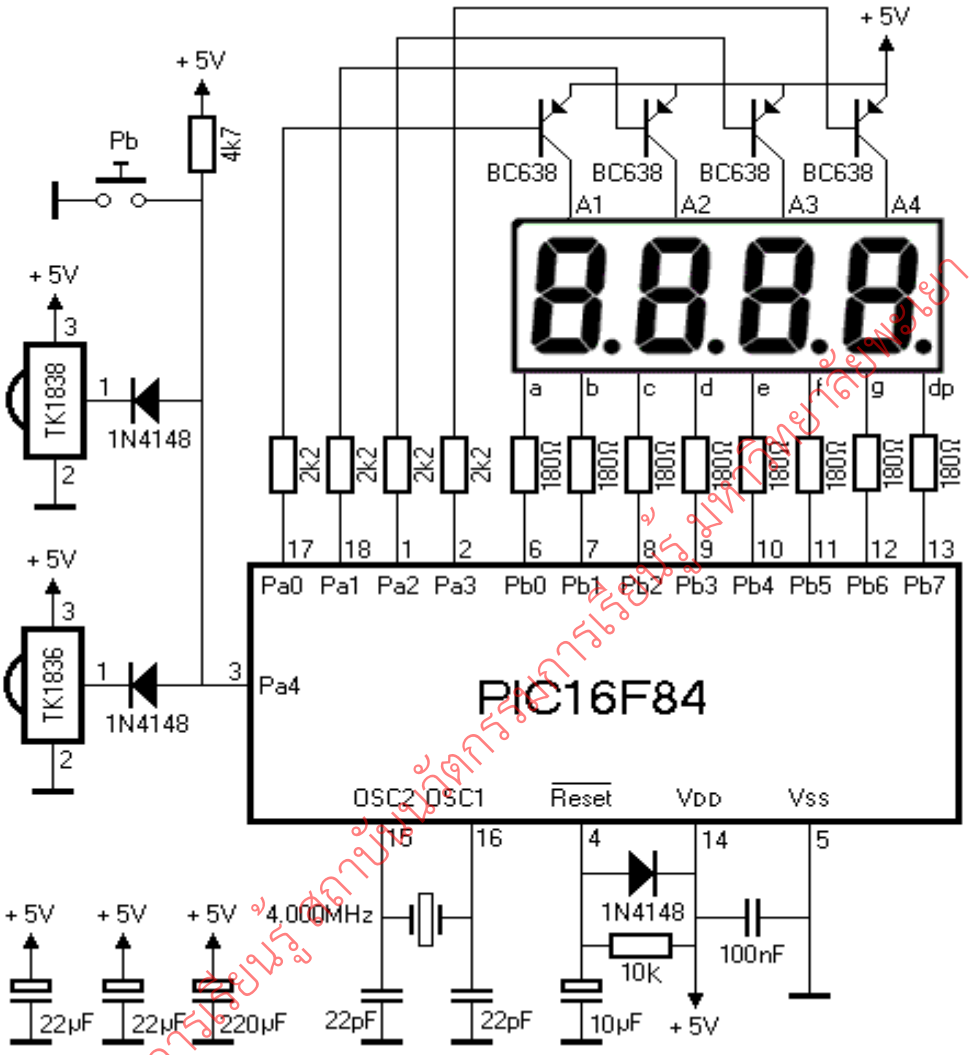
ศูนย์บรรณสารและการเรียนรู้ สถาบันนวัตกรรมการเรียนรู้ มหาวิทยาลัยพะเยา

3) วงจรนับสเกล 2000 (Scale-of-2000 Counter)

เอาต์พุตของฟลิปฟลอป (FF) ในวงจรนับสเกล 10 อยู่ในรูปแบบ รหัส BCD (Binary Coded Decimal) ซึ่งเป็นรหัสฐานสอง 4 บิตที่แทนค่าตัวเลข 0–9

เมื่อต้องการแสดงค่าที่ได้บน จอแสดงผลแบบ 7 ส่วน (7-segment display) จำเป็นต้องแปลงรหัส BCD ให้เป็นรหัสที่เหมาะกับการควบคุมจอแสดงผล โดยใช้ วงจรแปลงรหัส BCD เป็นรหัส 7 ส่วน ซึ่งมักเป็นวงจร IC เฉพาะทางโดยปกติ วงจรนับสเกล 10 หนึ่งชุดจะนับได้ตั้งแต่ 0 ถึง 9 เมื่อป้อนพัลส์อินพุตครบ 10 ครั้ง จอแสดงผลจะเปลี่ยนจากเลข 9 กลับเป็น 0 ในขณะเดียวกัน เอาต์พุตของฟลิปฟลอปตัวสุดท้ายจะสร้างสัญญาณลบเพื่อนำไป ท็อกเกิลวงจรนับสเกล 10 ชุดถัดไป เมื่อเชื่อมต่อวงจรนับสเกล 10

หลายชุดเข้าด้วยกันเป็นลำดับ (Cascade) จะสามารถนับได้สูงถึง 2000 สถานะ (0 ถึง 1999) จึงเรียกวงจรนี้ว่า วงจรนับสเกล 2000 (Scale-of-2000 Counter)



รูปที่ 4.11 วงจรพื้นฐานการแสดงผลแบบดิจิทัลนับ 2000
ที่มา: http://www.9bkk.com/project/electronic/project12.html สืบค้นเมื่อวันที่ 3/8/2566

รูปที่ 4.11 แสดงแผนภาพบล็อกของ วงจรนับสเกล 2000 โดยใช้ ตัวแสดงผลแบบ LED 3 หลัก (3-digit digital display) ซึ่งประกอบด้วย

- วงจรนับสิบ (Decade Counter) จำนวน 3 ชุด
- วงจรแปลงรหัส BCD เป็นรหัส 7 ส่วน (BCD to 7-segment decoder/driver) จำนวน 3 ชุด
- ฟลิปฟลอป (FF) อีก 1 ตัว ใช้ควบคุมการแสดงผลของหลักพัน

หลักการทำงาน

ศูนย์บรรณสารและการเรียนรู้ สถาบันเทคโนโลยีการอาชีพ

- เริ่มต้นที่สถานะ 000 โดยตัวแสดงผลหลักพันยัง ไม่แสดงค่า
- พัลส์อินพุตที่ 1–9: ตัวแสดงผลหลักหน่วย หลักขวาสุด ทำงานแสดงค่าจาก 0 ถึง 9
- พัลส์อินพุตที่ 10: หลักหน่วยรีเซตเป็น 0 และทริกเกอร์หลักสิบให้แสดงค่า 1 จึงได้ค่ารวม = 10
- พัลส์อินพุตที่ 11–19: หลักหน่วยแสดงค่าต่อเนื่องจาก 1 ถึง 9 รวมแสดงผลเป็น 11 ถึง 19
- พัลส์อินพุตที่ 20: หลักหน่วยรีเซตเป็น 0 อีกครั้ง และหลักสิบเพิ่มเป็น 2 จะแสดงค่าเป็น 20
- การทำงานนี้ดำเนินต่อเนื่องจนกระทั่งแสดงค่า 099

เมื่อถึง

- พัลส์อินพุตที่ 100: หลักหน่วยและหลักสิบรีเซตเป็น 0 และหลักร้อยเริ่มแสดงค่า 1 จะแสดงผลเป็น 100
- พัลส์อินพุตที่ 1000: ค่าทั้งสามหลักเปลี่ยนจาก 999 เป็น 000 และ FF ถูกทริกเกอร์ ทำให้เปิดตัวแสดงผลหลักพัน จะแสดงค่าเป็น 1000
- การนับดำเนินไปจนถึงค่าสูงสุด 1999
- พัลส์อินพุตที่ 2000: ระบบรีเซตกลับสู่ค่าเริ่มต้น 0000

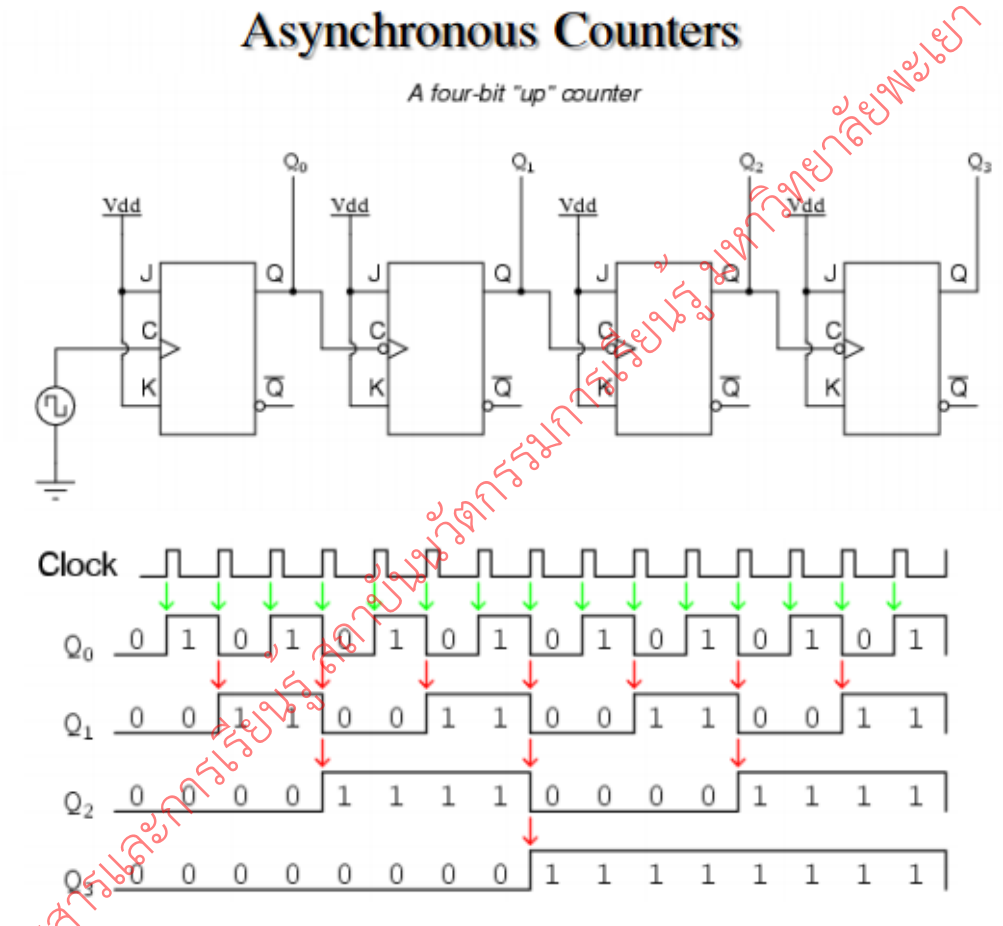
สรุปได้ว่าวงจรนี้สามารถนับพัลส์ได้ตั้งแต่ 0 ถึง 1999 โดยใช้หลักการของ วงจรนับสิบแบบต่อเนื่อง (cascade decade counters) และ ฟลิปฟล็อปตัวควบคุม การแสดงผลหลักพัน

ศูนย์บรรณสารและการเรียนรู้ สถาบันนวัตกรรมการเรียนรู้ มหาวิทยาลัยพะเยา

1) การหาค่าความถี่แบบดิจิทัล (Digital Frequency Division)

ในการวัดค่าทางดิจิทัล จำเป็นต้องใช้ คาบเวลาที่แม่นยำ หรือ ฐานเวลา (Time Base) ซึ่งเป็นพื้นฐานของการวัด เช่น การวัดความถี่

การขยายคาบเวลา หรือ ลดความถี่ ทำได้โดยใช้วงจร หารความถี่ (Frequency Divider) ซึ่งแสดงใน รูปที่ 4.12 วงจรเหล่านี้จะลดความถี่ของสัญญาณอินพุตลง เพื่อให้ได้คาบเวลานานขึ้นตามต้องการ เช่น จาก 1 MHz เหลือ 1 kHz (หารด้วย 1000)



รูปที่ 4.12 แสดงวงจรหารความถี่แบบดิจิทัล

ที่มา : https://fra221b6169.wordpress.com/blog/page/2/ สืบค้นเมื่อวันที่ 3/8/2566

รูปที่ 4.12 แสดงแผนภาพบล็อกและรูปคลื่นของ ฐานเวลาการหารความถี่แบบดิจิทัล (Digital Frequency Division Time Base) ในวงจรนี้ใช้ เครื่องกำเนิดความถี่ผลึก (Crystal Oscillator) ขนาด 1 MHz เพื่อสร้างสัญญาณนาฬิกาที่มีความถี่สูงและแม่นยำ โดยมี คาบเวลา (T) เท่ากับ 1 ไมโครวินาที (1 μs)

หลักการทำงานเอาต์พุตของ ฟลิปฟลอป (FF) ตัวสุดท้ายในวงจรนับสิบ (Mod-10 Counter) จะมีความถี่เป็น 1/10 ของความถี่อินพุต หมายความว่า คาบเวลาของเอาต์พุตจะเพิ่มขึ้น 10 เท่า หากนำเอาต์พุตของ FF ตัวสุดท้ายของแต่ละวงจรมาใช้ต่อเนื่อง จะได้ดังตารางที่ 4.3

ศูนย์บรรณสารและการเรียนรู้ สถาบันนวัตกรรมการเรียนรู้ มหาวิทยาลัยพะเยา

ตารางที่ 4.3 ตารางวงจรนับ 3 ความถี่

ลำดับวงจรนับ	ค่าคาบเวลา (T)	ความถี่ (f)
วงจรที่ 1 (Mod-10)	10 μs	100 kHz
วงจรที่ 2 (Mod-10)	100 μs	10 kHz
วงจรที่ 3 (Mod-10)	1 ms	1 kHz

การหาค่าคาบเวลาของเอาต์พุตจะได้

$$T = T_o \times N^n \qquad (4.1)$$

เมื่อ T_o คือ เป็นคาบเวลาของเครื่องกำเนิดความถี่
N คือ เป็นจำนวนโหมดของวงจรนับ
n คือ เป็นจำนวนของวงจรนับ

ตัวอย่างที่ 4.1 จากรูปที่ 4.12 ถ้าแทนวงจรนับสิบทั้ง 3 วงจรด้วย วงจรนับ 16 (Mod-16) และใช้ความถี่อินพุตจากคริสตอลออสซิลเลเตอร์ขนาด 1 MHz จงหา f ของวงจรนับ ตัวสุดท้าย

วิธีทำ จาก

$$T = T_o \times N^n = 1\ \mu S \times 16^3$$

$$= 4.1\ mS$$

$$f = \frac{1}{T} = \frac{1}{4\ mS}$$

ตอบ

$$= 244\ Hz$$

4.2 หลักการของดิจิทัลมิเตอร์

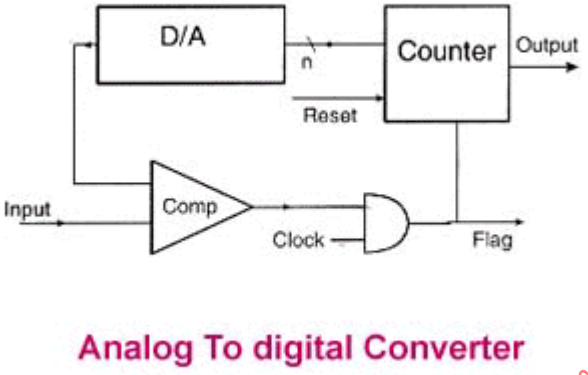
4.2.1 ดิจิทัลโวลต์มิเตอร์ (Digital Voltmeter: DVM) ดิจิทัลโวลต์มิเตอร์มีหลายประเภท สำหรับในหัวข้อนี้จะกล่าวถึง ดิจิทัลโวลต์มิเตอร์ชนิดแรมป์ (Ramp-type DVM) ซึ่งเป็นพื้นฐานที่สำคัญสำหรับทำความเข้าใจการทำงานของโวลต์มิเตอร์ชนิดอื่น

DVM ชนิดแรมป์ ทำงานโดยใช้หลักการของ การแปลงสัญญาณแอนะลอกเป็นดิจิทัล (Analog-to-Digital Conversion) ซึ่งเป็นกระบวนการสำคัญในเครื่องมือวัดแบบดิจิทัล

รูปที่ 4.13 แสดงแผนผังการทำงานของ ADC แบบแรมป์ โดยใช้ เครื่องกำเนิดแรมป์ (Ramp Generator) สร้างสัญญาณแรมป์ที่เพิ่มหรือลดค่าต่อเนื่อง แล้วนำไปเปรียบเทียบกับแรงดันอินพุตแบบ

ศูนย์บรรณสารและการเรียนรู้ สถาบันนวัตกรรมการเรียนรู้ มหาวิทยาลัยพะเยา

แอนะลอก เมื่อแรงดันแรมป์มีค่าเท่ากับแรงดันอินพุต ระบบจะหยุดจับเวลา และนำระยะเวลานั้นมาแปลงเป็นค่าดิจิทัล ซึ่งแสดงเป็นค่าแรงดันไฟฟ้า



รูปที่ 4.13 วงจรแปลงแอนะลอกเป็นดิจิทัลแบบแรมป์
ที่มา : https://physicsfour.wordpress.com/2012/01/24/analog-to-digital-converter / สืบค้นเมื่อวันที่ 3/8/2566

ความคลาดเคลื่อนของการแปลง (Conversion Error)

ความคลาดเคลื่อนของการแปลง หมายถึง ความคลาดเคลื่อนที่เกิดขึ้นในกระบวนการแปลงสัญญาณจากแอนะลอกเป็นดิจิทัล (Analog-to-Digital Conversion) ซึ่งส่งผลให้ค่าเอาต์พุตดิจิทัล ไม่เท่ากับค่าที่ควรจะได้ตามแรงดันอินพุตจริง

ตัวอย่างเช่น ถ้าแรงดันอินพุตมีช่วงตั้งแต่ 0 ถึง 10 โวลต์ (V) ระบบควรแปลงแรงดันให้ได้ค่าเอาต์พุตดิจิทัลที่ครอบคลุมตั้งแต่ 0 ถึง 10 V

แต่ในทางปฏิบัติ อาจแปลงได้เพียง 0 ถึง 9 V เท่านั้น ซึ่งหมายถึงมี ความคลาดเคลื่อน 1 V จาก 10 V หรือคิดเป็น 10%

ถ้าใช้ค่าบิตและระดับ (step size)

$$\text{Conversion Error (\%)} = \left(\frac{1}{2^n}\right) \times 100 \qquad (4.2)$$

หรือ $N = 2^n - 1$ (4.3)

เมื่อ n คือ จำนวนบิต

2^n คือ จำนวนระดับที่สามารถแปลงได้

ศูนย์บรรณสารและการเรียนรู้ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ มหาวิทยาลัยพะเยา

ตัวอย่างที่ 4.2 โจทย์ต้องการให้ความคลาดเคลื่อนของการแปลง (Conversion Error) ใน ADC น้อยกว่า 1% จงหาว่า ADC ควรมีจำนวนบิตอย่างน้อยกี่บิต

วิธีทำ

ค่าความคลาดเคลื่อนสูงสุดที่เกิดจากการแปลง (Quantization Error) ใน ADC จะมีค่าไม่เกิน

$$\text{Conversion Error (\%)} = \left(\frac{1}{2^n}\right) \times 100$$

จาก $N = 2^n - 1$

กรณี n = 6 $N = 2^6 - 1 = 63$

กรณี n = 7 $N = 2^7 - 1 = 127$

ตอบ ต้องใช้ ADC ที่มีอย่างน้อย 7 บิต เพื่อให้ความคลาดเคลื่อนของการแปลงน้อยกว่า 1%

2) การแปลงดิจิทัลเป็นแอนะลอก (Digital to Analog Converter: DAC)

ในหัวข้อนี้จะพิจารณา DAC ชนิด R/2R Ladder ซึ่งเป็นวงจรแปลงสัญญาณดิจิทัลเป็นแอนะลอกแบบพื้นฐานและง่ายที่สุด รูปที่ 4.14 (ก) แสดงวงจร DAC ขนาด 4 บิต โดยมีขั้วอินพุตดิจิทัลจำนวน 4 ขั้ว คือ A, B, C และ D ซึ่งจะรับสัญญาณดิจิทัลในรูปของแรงดัน 0 V หรือ V_1 (เช่น 5 V)

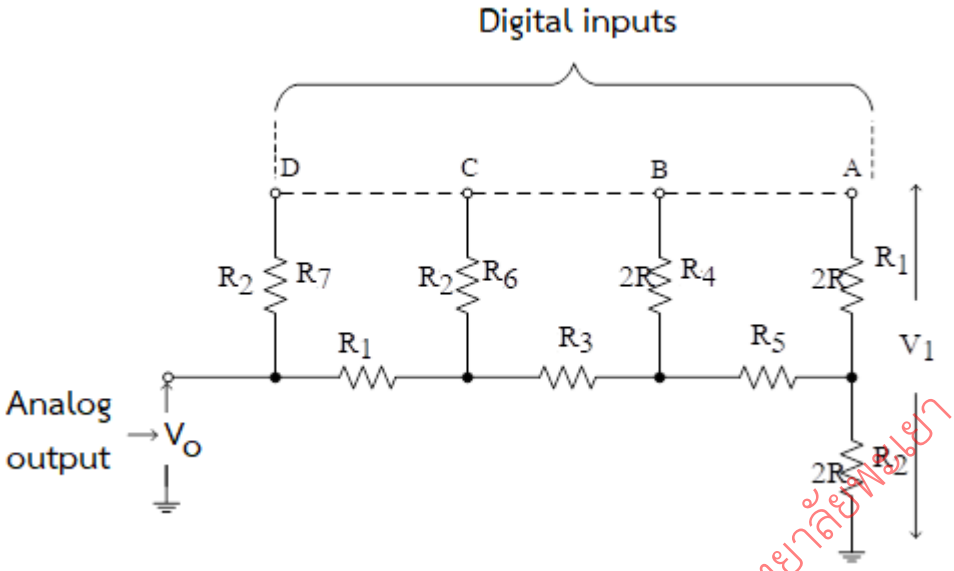
องค์ประกอบของวงจร ดังนี้

- ตัวต้านทาน R_3, R_5, R_7 มีค่าความต้านทานเท่ากับ R
- (ค่า R เลือกได้ในช่วง 1 kΩ ถึง 100 kΩ ขึ้นอยู่กับลักษณะโหลดที่เอาต์พุตต้องจ่ายให้)
- ตัวต้านทาน R_1, R_2, R_4, R_6 และ R_8 มีค่าความต้านทาน 2R
- แรงดันอินพุตแต่ละบิตสามารถเป็น LOW (0 V) หรือ HIGH (V_1 เช่น 5 V)

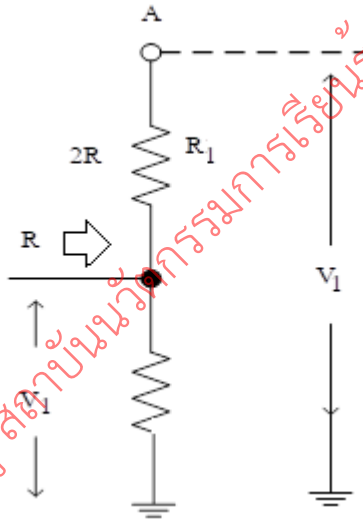
หลักการทำงาน แรงดันเอาต์พุตแบบแอนะลอกจะขึ้นอยู่กับรูปแบบของบิตดิจิทัลที่ป้อนเข้ามา (เช่น 0001, 1000 ฯลฯ) ซึ่งแรงดันดังกล่าวจะเป็นผลรวมของแรงดันที่ถูกแบ่งค่าตามสัดส่วนของตัวต้านทานในโครงสร้าง R/2R เมื่อค่าบิตเปลี่ยน ค่าแรงดันเอาต์พุตก็จะเปลี่ยนไปตามลำดับ เช่น

- อินพุต 0000 จะได้ เอาต์พุต = 0 V
- อินพุต 0001 จะได้ เอาต์พุต = $1/16 \times V_1$
- อินพุต 1111 จะได้ เอาต์พุต = $15/16 \times V_1$

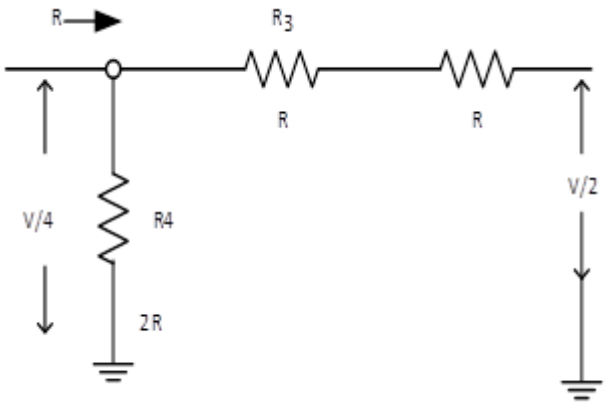
ศูนย์บรรณสารและสื่อการเรียนรู้ ชั้น 1 คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยพะเยา



(ก)

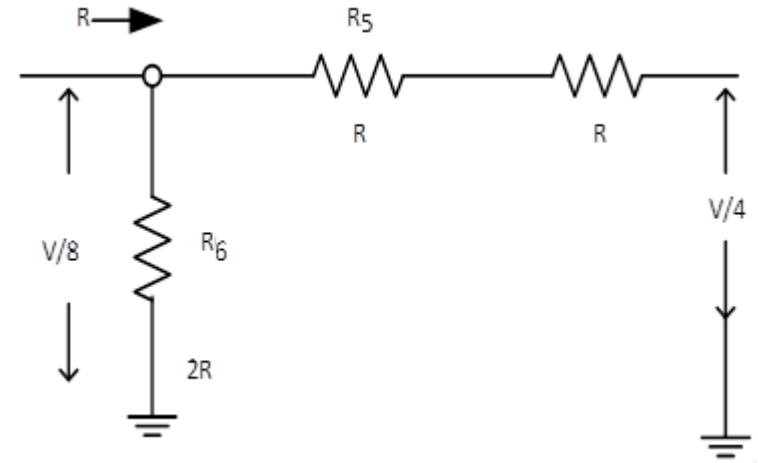


(ข)

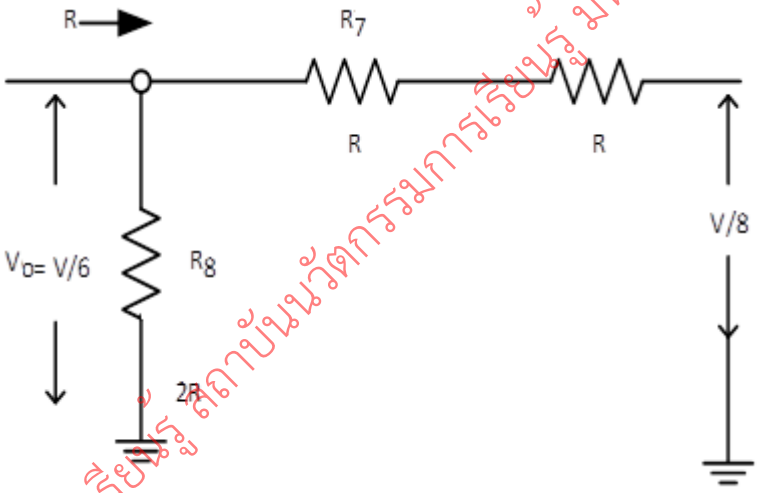


(ค)

ศูนย์บรรณสารและการเรียนรู้ สถาบันนวัตกรรมการเรียนรู้ มหาวิทยาลัยพายัพ



(ง)



(จ)

รูปที่ 4.14 วงจรแปลงดิจิทัลเป็นแอนะลอก โดยใช้ R/2R

การทำงานของวงจร R/2R DAC ในกรณีป้อนบิต A เท่านั้น เพื่อให้เข้าใจว่าวงจร R/2R Ladder DAC ทำหน้าที่แปลงสัญญาณดิจิทัลเป็นแรงดันแอนะลอกได้อย่างไร เราจะพิจารณาเฉพาะกรณีที่ป้อนอินพุต ดิจิทัลที่บิต A เท่านั้นเป็น HIGH (V_1) ส่วนบิตอื่น (B, C, D) ให้เป็น LOW (0 V)

ศูนย์บรรณสารและการเรียนรู้ สถาบันนวัตกรรมการเรียนรู้ มหาวิทยาลัยพะเยา

จากรูปที่ 4.14 (ข) แรงดันอินพุต V_1 เป็นแรงดันที่ได้รับการแบ่งโดย R_1 และ R_2 เพื่อให้แรงดันเปิดวงจรเป็น V_i /2 ที่จุดต่อของ R_1 และ R_2 (คือ R_3 ไม่ได้ต่อกับ R_1 และ R_2) และความต้านทานเอาต์พุตที่จุดนี้คือ R_1 // R_2 = R

รูปที่ 4.14 (ค) เนื่องจาก (R_3 + R_4) = 2R แรงดัน V_i/2 จึงได้รับการแบ่งต่อไปด้วย R_4 และ (R_3 + R) จึงทำให้แรงดันเปิดวงจรเป็น V_i/4 ที่จุดต่อ R_3 และ R_4

รูปที่ 4.14 (ง) ในขั้นนี้ความต้านทานแหล่งจ่ายที่จุดต่อ R_3 และ R_4 เป็น R_4 // (R_3 + R) = R ดังนั้น V_i /4 จึงได้รับการแบ่งต่อไปด้วย (R_5 + R) และ R_6 จึงทำให้แรงดันเปิดวงจรเป็น V_i /8 ที่จุดต่อ R_5 /R_6

รูปที่ 4.14 (จ) ในทำนองเดียวกัน ตัวแบ่งแรงดันจะมีความต้านทานแหลางจ่ายเป็น R ที่จุดต่อ R_5 และ R_6 ดังนั้น (R_7 + R) รวมกับ R เพื่อแบ่ง V_i /8 เป็น V_i /16 ที่เอาต์พุต

หลักการนี้แสดงให้เห็นว่า หากพิจารณาเฉพาะการป้อนอินพุตที่บิต **B** เพียงบิตเดียว จะได้แรงดันเอาต์พุตเท่ากับ V_i /8 ในทำนองเดียวกัน หากป้อนเฉพาะบิต **C** จะได้แรงดันเอาต์พุต V_i /4 และหากป้อนเฉพาะบิต **D** จะได้แรงดันเอาต์พุตสูงสุดในระบบ คือ V_i /2

ตารางที่ 4.3 ขนาดของสัญญาณแอนะลอกที่ได้จากสัญญาณดิจิทัล

Digital inputs (V al each input decimal)				Analog
D	C	B	A	output
0	0	0	0	0
0	0	0	1	V/16
0	0	1	0	2(V/16)
0	0	1	1	3(V/16)
0	1	0	0	4(V/16)
0	1	0	1	5(V/16)
0	1	1	0	6(V/16)
0	1	1	1	7(V/16)
1	0	0	0	8(V/16)
1	0	0	1	9(V/16)
1	0	1	0	10(V/16)
1	0	1	1	11(V/16)
1	1	0	0	12(V/16)
1	1	0	1	13(V/16)
1	1	1	0	14(V/16)
1	1	1	1	15(V/16)

ศูนย์บรรณสารและการเรียนรู้ สถาบันนวัตกรรมการเรียนรู้ มหาวิทยาลัยพะเยา

ตารางที่ 4.3 แสดงค่าแรงดันเอาต์พุตแบบแอนะลอกที่เกิดจากชุดอินพุตดิจิทัลทั้งหมดในระบบ DAC ขนาด 4 บิต สามารถคำนวณแรงดันเอาต์พุตจากการจัดกลุ่มของบิตอินพุตดิจิทัลได้โดย กำหนดค่าน้ำหนัก (Weight) ให้กับแต่ละบิตตามระดับความสำคัญ ดังนี้

- บิต A (Least Significant Bit: LSB) มีค่าน้ำหนัก 1
- บิต B มีค่าน้ำหนัก 2
- บิต C มีค่าน้ำหนัก 4
- บิต D (Most Significant Bit: MSB) มีค่าน้ำหนัก 8

เมื่อเรารวมค่าของบิตที่เป็น "1" แล้วนำมาหารด้วยค่ารวมสูงสุด $2^4 - 1 = 15$ และคูณด้วยแรงดันอ้างอิง V_i ก็จะได้ค่าแรงดันเอาต์พุตแอนะลอกที่สัมพันธ์กับค่าดิจิทัลนั้น

หากแทนค่าตัวเลขที่เกิดจากการจัดหมู่ของอินพุตดิจิทัล (Digital Input Combination) ด้วยค่าตัวเลขฐานสิบที่เหมาะสม คือ

$$V_0 = (D + C + B + A)\frac{V_i}{16} \qquad (4.3)$$

ตัวอย่างที่ 4.3 จากรูปที่ 4.14 อินพุตดิจิทัล คือ 1011 (D = 1, C = 0, B = 1, A = 1) แรงดัน HIGH: V_1=10V และ DAC ขนาด 4 บิตแบบ R/2R

วิธีทำ จาก $V_0 = (D + C + B + A)\frac{V_i}{16}$

$$= (8 + 0 + 2 + 1)\frac{V_i}{16} = 11\frac{V_i}{16}$$

$$= 11 \times \frac{10\,V}{16}$$

ตอบ = 6.875 V

3) ดิจิทัลโวลต์มิเตอร์ชนิดแรมป์ (Ramp-Type Digital Voltmeters)

หลังจากที่ได้ศึกษาเรื่องการแปลงสัญญาณแอนะลอกเป็นดิจิทัลแล้ว เราจะมาดูการทำงานของ ดิจิทัลโวลต์มิเตอร์ชนิดแรมป์ (DVM) ซึ่งประกอบด้วยองค์ประกอบหลักดังนี้

- ADC ชนิดแรมป์ (Ramp-type Analog to Digital Converter)
- วงจรนับ (Counter)

ศูนย์บรรณสารและการเรียนรู้ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง มหาวิทยาลัยพะเยา

- แลตซ์ (Latch) ซึ่งเป็นฟลิปฟลอปชนิดหนึ่ง
- ตัวถอดรหัส/ขับรหัส BCD เป็นรหัส 7 ส่วน (BCD-to-Seven-Segment Decoder/Driver)
- ตัวแสดงผลแบบ 7 ส่วน (Seven-Segment Display)

ทั้งหมดนี้เชื่อมต่อกันเป็นระบบคล้ายกับ วงจรนับสเกล 2000 ตามที่แสดงใน รูปที่ 4.15 โครงสร้างคล้ายกับรูปที่ 4.11

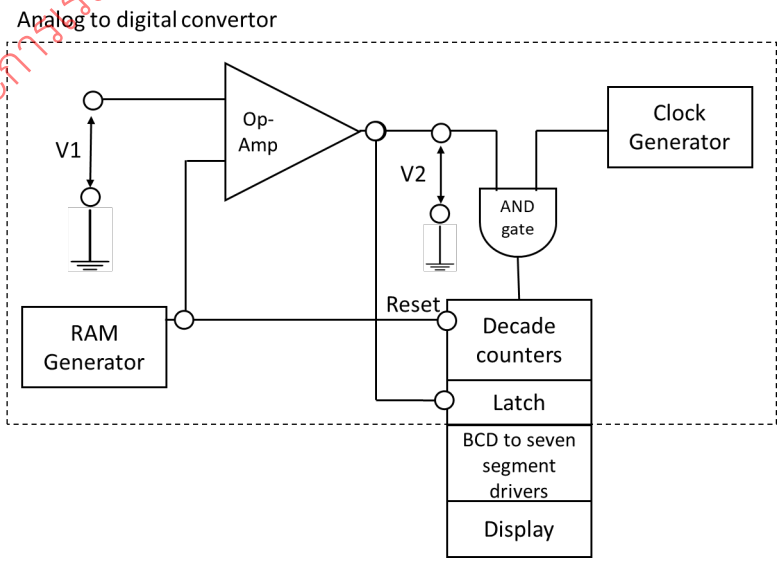
หลักการทำงาน

- เมื่อเริ่มการวัดที่เวลา t_1 วงจรจะเริ่มนับ โดยนับจากศูนย์ขึ้นไปจนกระทั่งสัญญาณแรมป์ตัดผ่านแรงดันอินพุตที่ต้องการวัด
- ช่วงเวลาการนับนี้จะสัมพันธ์โดยตรงกับค่าของแรงดันอินพุต

บทบาทของ Latch

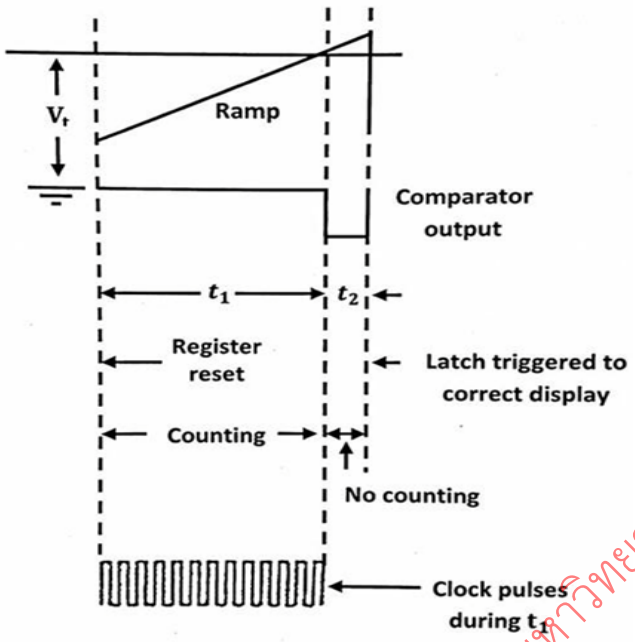
- **Latch** จะเก็บค่าที่ได้จากวงจรนับไว้ชั่วขณะหนึ่งเพื่อส่งต่อไปยังตัวแสดงผล
- หาก **ไม่มี Latch** ค่าที่แสดงผลจะแปรเปลี่ยนไปอย่างรวดเร็วระหว่างช่วง t_1 ซึ่งทำให้ไม่สามารถอ่านค่าได้ชัดเจน เพราะค่าจะถูกรีเซ็ตในช่วงเริ่มต้น
- ในทางกลับกัน ช่วง t_2 ซึ่งเป็นช่วงพัก จะยังคงค่าคงที่ ทำให้ latch สามารถส่งค่าที่แน่นอนให้กับจอแสดงผลได้

ดิจิทัลโวลต์มิเตอร์ชนิดแรมป์อาศัยการนับช่วงเวลาที่สัญญาณแรมป์เพิ่มขึ้นจนเท่ากับแรงดันอินพุต การมี Latch เป็นส่วนสำคัญที่ช่วยให้สามารถแสดงค่าผลลัพธ์ที่คงที่และอ่านได้ชัดเจนในจังหวะที่เหมาะสม



รูปที่ 4.15 โวลต์มิเตอร์ดิจิทัลชนิดแรมป์

ศูนย์บรรณสารและการเรียนรู้ สถาบันเทคโนโลยีการเรียนรู้ มหาวิทยาลัยพะเยา



รูปที่ 4.16 รูปคลื่นของโวลต์มิเตอร์ดิจิทัลชนิดแรมป์

การแสดงผลของดิจิทัลโวลต์มิเตอร์ขณะทำการนับ ระหว่างที่วงจรนับกำลังทำงานอยู่นั้น วงจรแลตช์ (Latch) จะทำหน้าที่แยก ส่วนแสดงผล ออกจากวงจรนับ เพื่อป้องกันไม่ให้ค่าที่กำลังเปลี่ยนแปลงส่งผลต่อการแสดงผล เมื่อถึงจุดสิ้นสุดของช่วงเวลา t_1 ซึ่งเป็นช่วงเวลาที่สัญญาณแรมป์เท่ากับแรงดันอินพุต สัญญาณเอาต์พุตจากตัวเปรียบเทียบแรงดัน (Comparator) จะส่งพัลส์สั้น ๆ เพื่อทริกเกอร์แลตช์ ให้ทำงานตามที่แสดงไว้ใน รูปที่ 4.13

ผลที่เกิดขึ้น คือ

- แลตช์จะเชื่อมต่อวงจรนับเข้ากับ ตัวถอดรหัส/ตัวขับรหัส BCD เป็นรหัส 7 ส่วน
- ค่าจากวงจรนับจะถูกส่งไปยัง จอแสดงผล
- ทำให้สามารถอ่านค่าผลลัพธ์แรงดันที่วัดได้อย่างถูกต้องและนิ่ง

1) ดิจิทัลโวลต์มิเตอร์แบบสโลปคู่ (Dual-Slope Integrator DVM)

ดิจิทัลโวลต์มิเตอร์ชนิดแรมป์มีข้อจำกัดในด้าน ความเที่ยงตรงของแรงดันแรมป์ และ ความเสถียรของคาบเวลา ซึ่งเป็นปัจจัยที่ควบคุมและรักษาได้ยาก ทำให้ความแม่นยำของการวัดลดลง

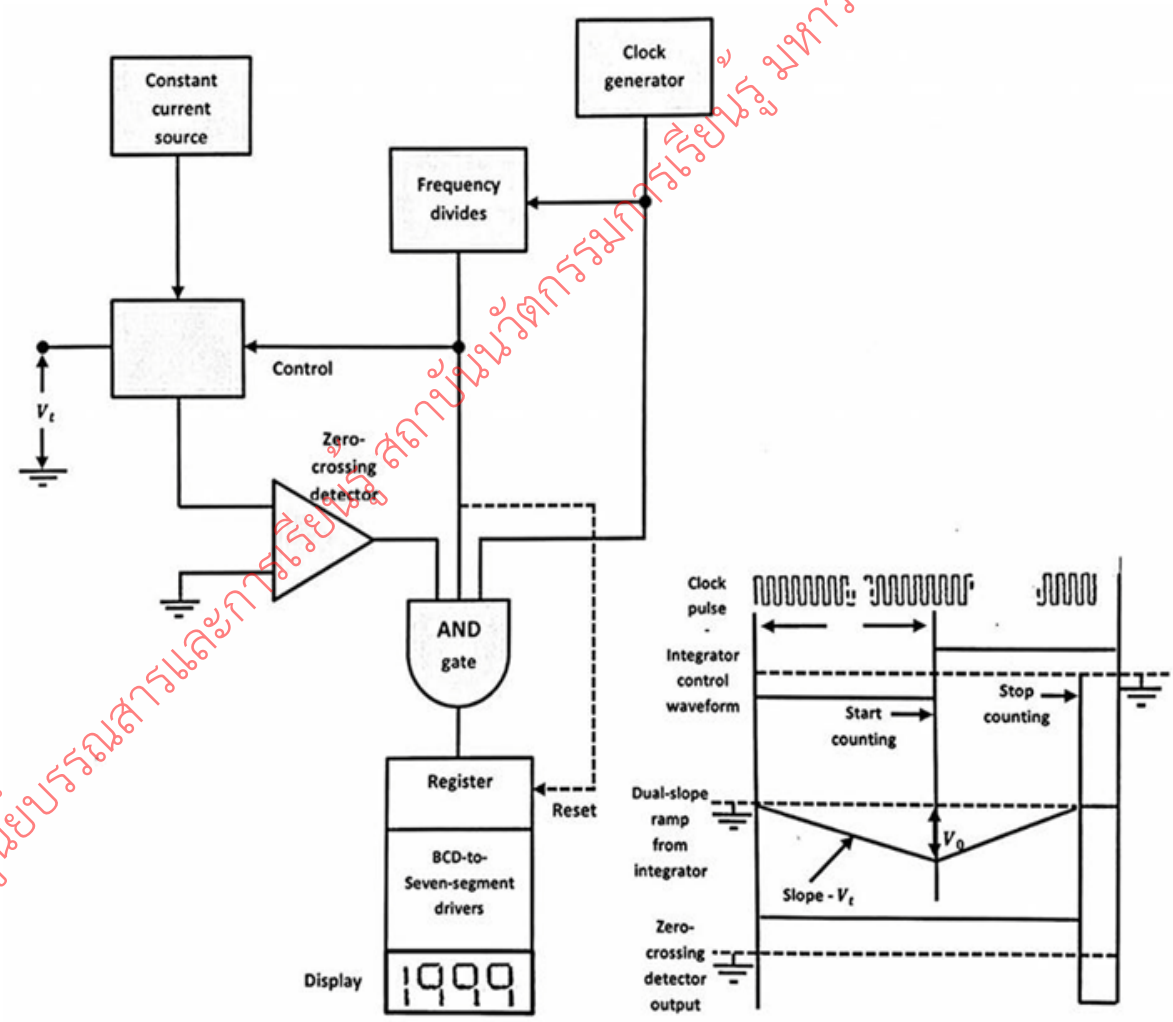
โวลต์มิเตอร์แบบสโลปคู่ (Dual-Slope DVM) จึงถูกพัฒนาขึ้นเพื่อลดข้อจำกัดเหล่านี้ โดยมีลักษณะเด่นคือ

ศูนย์ปรับปรุงสารสนเทศการเรียนรู้ สถาบันบริการการเรียนรู้ มหาวิทยาลัยพะเยา

หลักการทำงานของวงจรสโลปคู่ แบ่งเป็น 2 ช่วง คือ ช่วงแรก การประจุ (Integration Phase) แรงดันอินพุตแบบแอนะลอกจะถูกส่งเข้าวงจรอินทิเกรตเตอร์ (Integrating Circuit) ทำให้ ตัวเก็บประจุ (Capacitor) เก็บประจุเพิ่มขึ้นต่อเนื่องในช่วงเวลาคงที่ t_1 ช่วงที่สอง การคายประจุ (De-integration Phase) หลังจากสิ้นสุด t_1 ระบบจะเปลี่ยนให้คาปาซิเตอร์คายประจุด้วยแรงดันอ้างอิงค่าคงที่ เช่น V_{ref} โดยจะวัด ช่วงเวลาคายประจุ t_2 จนกว่าแรงดันจะลดลงถึงศูนย์

จุดเด่นของการออกแบบ

- ช่วงเวลา t_2 จะแปรผันโดยตรงกับแรงดันอินพุต
- เนื่องจากแรงดันอ้างอิงและคาบเวลาในการคายประจุสามารถควบคุมได้แม่นยำ วงจรนี้จึงให้ความเที่ยงตรงและเสถียรภาพที่สูงกว่าแบบแรมป์เดี่ยว
- ผลลัพธ์ดิจิทัลจะได้จากการนับจำนวนพัลส์ในช่วง t_2 ซึ่งสัมพันธ์กับแรงดันอินพุต



รูปที่ 4.17 โครงสร้างสวิตช์เลือกย่านวัดของ DVM

ศูนย์บรรณสารและการเรียนรู้ สถาบันนวัตกรรมการเรียนรู้ มหาวิทยาลัยพะเยา

การทำงานของดิจิทัลโวลต์มิเตอร์แบบสโลปคู่ (Dual-Slope DVM)

จากรูปที่ 4.17 ซึ่งแสดง บล็อกไดอะแกรม และ รูปคลื่น ของวงจร DVM แบบสโลปคู่ จะเห็นได้ว่าเครื่องวัดแรงดันชนิดนี้ทำงานโดยอาศัยการประจุและคายประจุของตัวเก็บประจุ (Capacitor) ภายใต้การควบคุมของ แหล่งกำเนิดสัญญาณนาฬิกา (Clock Generator)

ลำดับขั้นการทำงาน ดังนี้

1. ช่วงเวลาที่ 1 (t_1) เป็นการประจุ

- ตัวเก็บประจุจะเริ่ม ประจุด้วยแรงดันอินพุต (V_i) โดยอาศัยกระแสคงที่จากแหล่งกำเนิดภายในวงจร
- การประจุนี้จะเกิดขึ้นภายในช่วงเวลาคงที่ t_1 ซึ่งควบคุมโดยความถี่ของสัญญาณนาฬิกา
- ผลลัพธ์คือแรงดัน V_o ซึ่งมีค่าแปรผันตรงกับ V_i

2. ช่วงเวลาที่ 2 (t_2) เป็นการคายประจุ

- เมื่อสิ้นสุดช่วง t_1 วงจรจะ สลับแหล่งจ่ายเป็นแรงดันอ้างอิงค่าคงที่ (V_{ref}) เพื่อให้ตัวเก็บประจุเริ่มคายประจุ
- รูปคลื่นของแรงดันจะลดลงเรื่อย ๆ จนกระทั่งผ่านระดับศูนย์
- ตัวเปรียบเทียบแรงดัน (Comparator) จะตรวจจับจุดตัดผ่านศูนย์ และส่งสัญญาณสิ้นสุดช่วง t_2

การวัดแรงดันอินพุต ดังนี้

- ช่วงเวลาคายประจุ t_2 จะแปรผันตรงกับแรงดันอินพุต V_i ที่ถูกประจุไว้ในช่วง t_1พัลส์จากแหล่งกำเนิดสัญญาณนาฬิกา จะถูกส่งผ่าน AND-gate ไปยังวงจรนับ เฉพาะในช่วง t_2
- จำนวนพัลส์ที่นับได้ = ค่าดิจิทัล ที่แสดงผลซึ่งสอดคล้องกับค่าแอนะลอก V_i

ข้อดีของระบบนี้ เช่น

- ความแม่นยำสูง เพราะ ค่าคงที่ทั้งกระแสและเวลา สามารถควบคุมได้ดี
- ไม่จำเป็นต้องปรับความถี่ของนาฬิกาให้ซับซ้อน เนื่องจากการเปรียบเทียบทำในรูปของเวลา (t_1, t_2)
- ให้การแสดงผลดิจิทัลที่เสถียรและเชื่อถือได้

ดิจิทัลโวลต์มิเตอร์แบบสโลปคู่ ทำงานโดยใช้การชาร์จและดิสชาร์จของตัวเก็บประจุเพื่อเปรียบเทียบแรงดันอินพุตกับแรงดันอ้างอิง โดยการวัดช่วงเวลาคายประจุ (t_2) แล้วแปลงเป็นค่าดิจิทัล ซึ่งให้ความเที่ยงตรงสูง โดยไม่ต้องพึ่งพาการปรับแต่งความถี่นาฬิกา

ศูนย์บรรณสารและสื่อการเรียนรู้ สถาบันนวัตกรรมการเรียนรู้ มหาวิทยาลัยพะเยา

4) การเปลี่ยนพิสัยวัด (Ramp Changing หรือ Auto-Ranging)

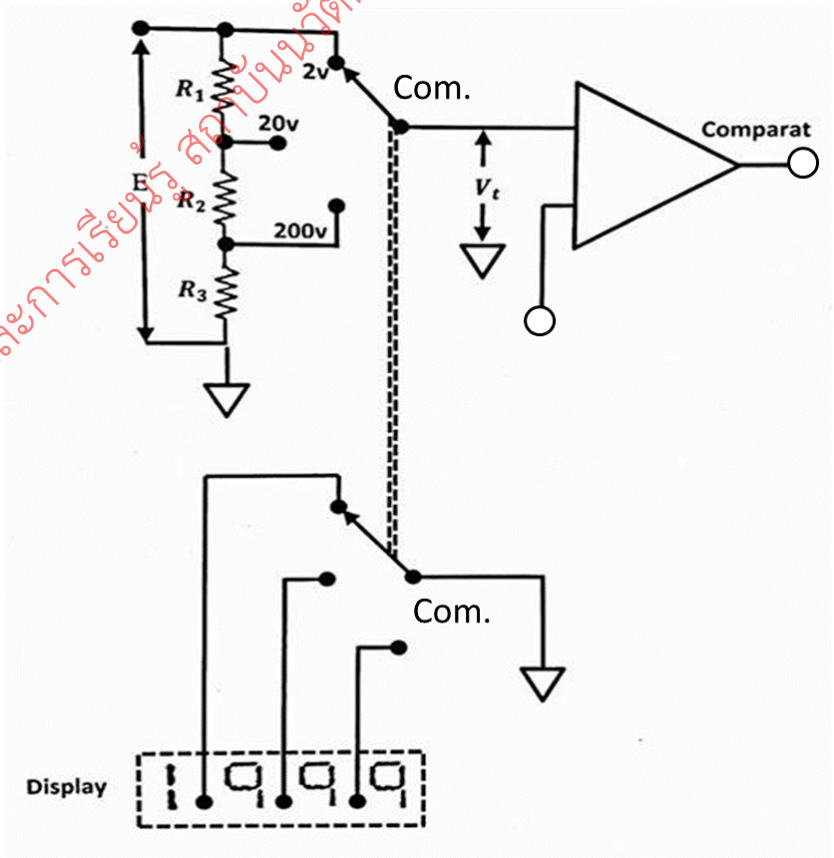
ในดิจิทัลโวลต์มิเตอร์ (DVM) ทั่วไป มักจะมี วงจรเลือกพิสัยวัดอัตโนมัติ (Auto-Ranging Circuit) เพื่อช่วยให้การวัดแรงดันมีความแม่นยำและสะดวกยิ่งขึ้น

หลักการทำงานของการเปลี่ยนพิสัยวัด ดังนี้

- เมื่อเริ่มต้นการวัด วงจรจะตรวจสอบค่า แรงดันอินพุต (Input Voltage)
- ระบบจะ เลือกพิสัยวัด (Range) ที่เหมาะสมโดยอัตโนมัติ เช่น 200 mV, 2 V, 20 V, 200 V เป็นต้น
- จากนั้นจะส่งสัญญาณไปยังวงจร ขับจุดทศนิยม (Decimal Point Driver) เพื่อเปิดไฟที่จุดทศนิยมให้ตรงกับพิสัยที่เลือก
- จุดทศนิยมจะช่วยระบุหน่วยของค่าที่แสดงบนหน้าจอ เช่น “2.000”, “0.200” ฯลฯ

ข้อดีของระบบ Auto-Ranging ได้แก่

- ลดความผิดพลาดจากการเลือกพิสัยไม่ถูกต้อง โดยผู้ใช้งาน
- เพิ่ม ความสะดวก และ ความเร็ว ในการวัด
- ทำให้การแสดงผลมี ความละเอียดและแม่นยำสูงสุด ภายใต้พิสัยที่เหมาะสม



รูปที่ 4.18 โครงสร้างสวิตช์เลือกย่านวัดของ DVM

ศูนย์บรรณสารและการเรียนรู้ สถาบันนวัตกรรมการเรียนรู้ มหาวิทยาลัยนเรศวร

ในรูปที่ 4.18 แสดงโครงสร้างของสวิตช์เลือกพิสัยวัดแรงดัน ของดิจิทัลโวลต์มิเตอร์ (DVM) ซึ่งทำงานร่วมกับ วงจรลดทอน (Attenuator) คล้ายกับในโวลต์มิเตอร์แบบแอนะลอก

หลักการทำงาน ได้แก่

- เมื่อมีการป้อนแรงดันอินพุต เช่น 1.999 V หรือน้อยกว่า เข้าสู่ ตัวเปรียบเทียบแรงดันของ DVM (ตามที่แสดงในรูปที่ 4.15)
- ระบบจะสั่งให้ สวิตช์เลือกพิสัย (Range Selector Switch) อยู่ในพิสัยต่ำสุด
- จากนั้นจะส่งสัญญาณไปยัง จุดทศนิยม (Decimal Point) ในหน้าจอแสดงผลให้แสดงที่ หลังตัวเลขหลักแรก (เช่น แสดงผลเป็น “1.999”)

การเลือกพิสัยและจุดทศนิยม เช่น

- ถ้าเปลี่ยนพิสัยวัดเป็น 19.99 V:
  - ตำแหน่งของจุดทศนิยมจะเลื่อนไปอยู่ หลังตัวเลขหลักที่สอง (เช่น “19.99”)
- ถ้าเปลี่ยนพิสัยวัดเป็น 199.9 V:
  - จุดทศนิยมจะอยู่ หลังตัวเลขหลักที่สาม (เช่น “199.9”)

วิธีการควบคุมจุดทศนิยม ได้แก่

- จุดทศนิยมในจอแสดงผล อาจเป็น LED หรือ LCD จะสว่างขึ้นเมื่อ
  - ขั้วหนึ่งของวงจรได้รับพลังงาน
  - อีกขั้วต่อกับกราวด์ จะทำให้จุดทศนิยม เปิด (On) และแสดงผลในตำแหน่งที่ตรงกับพิสัยที่เลือก

4.2.2 ดิจิทัลมัลติมิเตอร์

มัลติมิเตอร์แบบดิจิทัล หรือที่เรียกย่อว่า DMM เป็นเครื่องมือวัดทางไฟฟ้าที่สามารถวัดค่าพื้นฐานได้หลายประเภทในเครื่องเดียว เช่น

- แรงดันไฟฟ้า (Voltage)
- กระแสไฟฟ้า (Current)
- ความต้านทาน (Resistance)

ในที่นี้จะกล่าวถึง DMM พื้นฐานแบบมือถือ (Basic Hand-held DMM) ดังแสดงในรูปที่ 4.19 ซึ่งเป็นรุ่นที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลาย เนื่องจากมีขนาดเล็ก น้ำหนักเบา ใช้งานง่าย และเหมาะสำหรับงานทั่วไปทั้งในภาคสนามและงานซ่อมแซมอุปกรณ์ไฟฟ้า

ศูนย์บรรณสารและการเรียนรู้ สถาบันวิทยบริการและการเรียนรู้ มหาวิทยาลัยพะเยา



รูปที่ 4.19 มัลติมิเตอร์แบบดิจิทัล
ที่มา: http://www.technotestsystem.com/ สืบค้นเมื่อวันที่ 12/8/2566

โครงสร้างและการใช้งานของ DMM จากรูปที่ 4.19 จะเห็นว่า มัลติมิเตอร์ดิจิทัล (DMM) แบบมือถือรุ่นพื้นฐานนี้มี สวิตช์ฟังก์ชันเพียงตัวเดียว ซึ่งสามารถหมุนเลือกตำแหน่งต่างๆ เพื่อระบุโหมดการวัดได้ ดังนี้

ตำแหน่งของสวิตช์ฟังก์ชัน

- OFF : ปิดเครื่อง
- V~ (AC Volts) : วัดแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ
- V⎓ (DC Volts) : วัดแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง
- Ω (Resistance) : วัดค่าความต้านทาน
- A~ (AC mA) : วัดกระแสไฟฟ้ากระแสสลับ (มิลลิแอมป์)
- A⎓ (DC mA) : วัดกระแสไฟฟ้ากระแสตรง (มิลลิแอมป์)

ขั้วต่อ (Input Terminals)

มัลติมิเตอร์ประกอบด้วยขั้วต่อหลัก 3 ขั้ว ได้แก่

1. COM (Common) ขั้วต่อร่วม ใช้เป็นขั้วลบหรือกราวด์
2. V/Ω ใช้วัดแรงดันและความต้านทาน
3. A ใช้วัดกระแสไฟฟ้า

ศูนย์บรรณสารและการเรียนรู้ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

การใช้งานร่วมกันของขั้ว ได้แก่

- V/Ω กับ COM ใช้สำหรับวัดแรงดัน (AC/DC) และความต้านทาน
- A กับ COM ใช้สำหรับวัดกระแส (AC/DC)

ฟังก์ชันอื่นที่ควรทราบ

- ระบบเลือกพิสัยอัตโนมัติ (Auto-ranging): ไม่ต้องหมุนเลือกพิสัยวัดเอง
- Annunciator บนหน้าจอ: แสดงหน่วยที่กำลังวัด เช่น VDC, VAC, Ω
- เครื่องหมายลบ (-): แสดงเมื่อขั้วต่อสลับผิด (เช่น COM ต่อกับขั้วบวกของแบตเตอรี่ และ V/Ω ต่อกับขั้วลบ)

ข้อควรระวัง ก่อนใช้งาน DMM ต้อง ตั้งสวิตช์ฟังก์ชัน และ ต่อสายวัดให้ถูกต้อง ตามประเภทการวัด การตั้งค่าหรือการต่อขั้วผิด อาจทำให้วงจรที่กำลังวัดเสียหาย หรือทำให้เครื่องวัดชำรุดได้

ศัพท์สำคัญเกี่ยวกับ DMM (Digital Multi-Meter)

1. จำนวนหลัก (Number of Digits)

- หมายถึงจำนวนหลักที่ DMM สามารถแสดงตัวเลขได้ เช่น
  - 3 หลักเต็ม (Full Digits) แสดงได้ตั้งแต่ 000–999
  - 3½ หลัก (3.5 Digits) หลักซ้ายสุดแสดงได้แค่ 0 หรือ 1 ⟶ แสดงค่าได้ถึง 1999
  - 3¾ หลัก (3.75 Digits) หลักซ้ายสุดแสดงได้ถึง 2 ⟶ แสดงได้ถึง 2999
- เรียกว่า Overrange เมื่อ DMM แสดงค่าได้เกินช่วงมาตรฐาน เช่น 1999 ที่สเกล 1 V หมายถึงแสดงค่าได้เกิน 100%

2. ความสามารถแยกแยะ (Resolution)

- คือค่าต่ำสุดที่สามารถแสดงได้ในการวัดหนึ่งช่วงสเกล
- คำนวณจาก

$$\text{Resolution} = \frac{1}{\text{จำนวนค่าที่แสดงได้}} \times 100\ \% \qquad (3.5)$$

หรือแสดงเป็นค่าทางไฟฟ้า เช่น DMM 3 หลัก ที่สเกล 1000 V ความละเอียดคือ 1 V

3. ความไว (Sensitivity)

คือค่าความเปลี่ยนแปลงน้อยที่สุดที่ DMM ตรวจจับได้ เท่ากับ ค่าที่มีนัยสำคัญน้อยที่สุด ของสเกลต่ำสุด เช่น DMM 3 หลัก สเกลต่ำสุด 10 mV จะได้ ความไว = 0.1 mV หรือ 100 μV

4. ความแม่นยำ (Accuracy)

ศูนย์บรรณสารและการเรียนรู้ สถาบันพัฒนาคุณภาพการเรียนรู้ มหาวิทยาลัยพะเยา

- แสดงความคลาดเคลื่อนของค่าที่วัดได้ โดยทั่วไประบุเป็น $\pm x\% + N$ หลัก เช่น DMM ระบุว่า ±(0.25% + 1 หลัก) หากวัดได้ 0.795 V จะได้ค่าผิดพลาดประมาณ ±0.003 V จะได้ ช่วงถูกต้อง คือ 0.792–0.798 V

5. อินพุตอิมพีแดนซ์ (Input Impedance)

- ค่าความต้านทานที่วงจรภายนอก "มองเห็น" DMM
- โดยทั่วไป = 10 MΩ
  - ควรมากกว่าอิมพีแดนซ์ของวงจรที่วัด อย่างน้อย 10^n เท่า (n = จำนวนหลัก) เช่น DMM 3 หลัก ไม่ควรวัดแรงดันคร่อมตัวต้านทาน > 10 kΩ

6. แสดงขั้นอัตโนมัติ (Auto Polarity)

  - DMM แสดงขั้วสัญญาณโดยอัตโนมัติ เช่น +1.999 V หรือ –1.999 V
  - ไม่ต้องกังวลการกลับขั้วสายวัด

7. ปรับศูนย์อัตโนมัติ (Auto Zero)

- DMM ปรับค่าเริ่มต้นของการวัดเป็นศูนย์เองโดยอัตโนมัติ
- ไม่ต้องหมุนปรับศูนย์ด้วยมือเหมือน VOM

8. ปรับพิสัยโดยอัตโนมัติ (Auto Ranging)

- DMM ปรับช่วงวัดอัตโนมัติตามสัญญาณที่เข้ามา
- สำหรับรุ่น กึ่งอัตโนมัติ (Semi Auto Ranging) ผู้ใช้ต้องเลือกช่วงเริ่มต้นเอง เช่น
  - เลือก HIGH เครื่องจะเลือก 200V, 100V
  - เลือก LOW เครื่องจะเลือก 2V, 20V

9. การขจัดสัญญาณรบกวนปกติ (NMR – Normal Mode Rejection)

- ความสามารถขจัดสัญญาณรบกวนที่แทรกในสัญญาณที่วัด เช่น 50–60 Hz
- แสดงเป็น dB

$$\text{NMR} = 20 \log \left(\frac{Peak\ noise}{Peak\ error} \right) \tag{3.6}$$

- ค่า NMR = 60 dB ค่าที่อ่านอาจคลาดเคลื่อนได้ 1 หลักสุดท้ายที่สเกล 100 mV

10. การขจัดสัญญาณรบกวนร่วม (CMR – Common Mode Rejection)

ศูนย์บรรณสารและการเรียนรู้ สถาบันนวัตกรรมการเรียนรู้ มหาวิทยาลัยพะเยา

- ความสามารถในการตัดสัญญาณรบกวนที่เกิดระหว่างอินพุตกับกราวด์
- วัดในสภาพความไม่สมดุลของแรงดันระหว่างขั้วสัญญาณ เช่นใช้ 1 kΩ

11. แรงดันตกคร่อมขั้ววัดกระแส (Voltage Burden)

- แรงดันที่ตกคร่อมภายในขณะวัดกระแส
- ถ้ามีมาก อาจไปมีผลกับวงจรที่กำลังวัด ทำให้ค่าคลาดเคลื่อนได้

4.2.3 เครื่องวัดความถี่แบบดิจิทัล

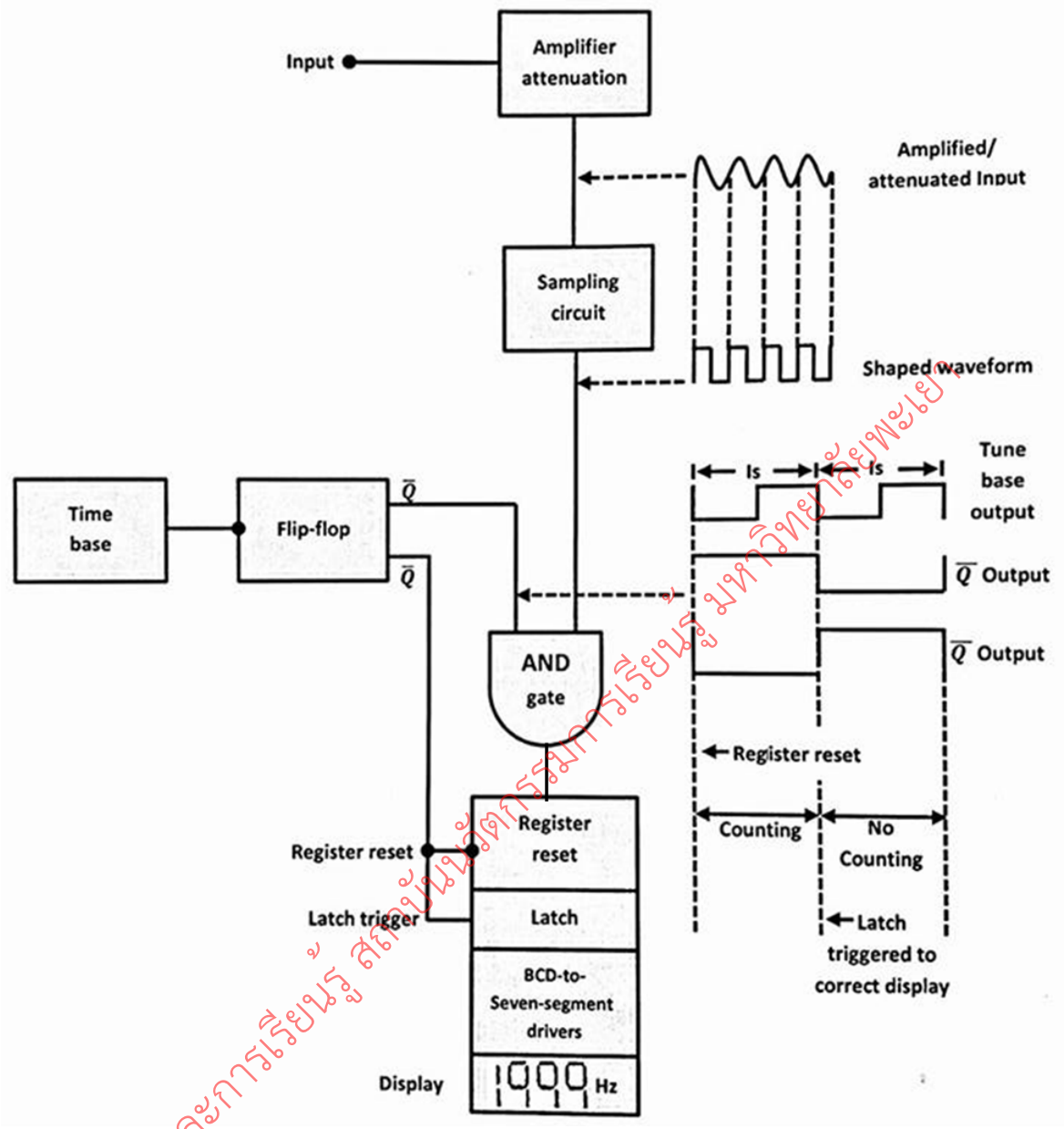
ระบบเครื่องวัดความถี่ดิจิทัลพื้นฐาน ประกอบด้วยส่วนสำคัญดังนี้ ดังรูปที่ 4.20

- ฐานเวลา (Time base generator)
- วงจรนับแบบดิจิทัล (Digital counter)
- วงจรสร้างรูปคลื่นอินพุต (Wave shaping circuit)
- วงจรเกต (Gate circuit)

ขั้นตอนการทำงาน คือ

1. สัญญาณอินพุตจะถูก ขยายหรือทอน ผ่านวงจรขยายหรือวงจรลดทอน เพื่อปรับขนาดสัญญาณให้เหมาะสม
2. สัญญาณถูกส่งเข้าสู่วงจรสร้างรูปคลื่น ที่จะแปลงสัญญาณอินพุตเป็น รูปคลื่นสี่เหลี่ยมหรือพัลส์ ที่มีความถี่เท่ากับสัญญาณต้นทาง
3. รูปคลื่นจากวงจรสร้างรูปคลื่นจะถูกป้อนเข้าสู่ขั้วหนึ่งของวงจร AND-gate อีกขั้วหนึ่งของ AND-gate จะได้รับสัญญาณควบคุมจาก ฟลิปฟลอป (Flip-flop)
4. ฟลิปฟลอปนี้ถูกควบคุมโดยสัญญาณจาก วงจรกำเนิดฐานเวลา ซึ่งจะเปลี่ยนสถานะเมื่อเกิด การเปลี่ยนแปลงระดับทางด้านลบ (Negative Going Transition, NGT) ของสัญญาณฐานเวลา
5. สมมุติว่าความถี่ของฐานเวลาเป็น 1 Hz ฟลิปฟลอปจะสลับสถานะระหว่าง HIGH และ LOW ทุกๆ 1 วินาที
6. ในช่วงที่ขั้ว Q ของฟลิปฟลอปเป็น HIGH พัลส์จากวงจรสร้างรูปคลื่นจะถูกส่งผ่าน AND-gate ไปยังวงจรนับ ทำให้วงจรนับนับพัลส์ได้เป็นเวลา 1 วินาที
7. ผลการนับนี้จะแสดงค่า ความถี่โดยตรงในหน่วย Hz
8. เมื่อเกิด NGT ของสัญญาณ Q ฟลิปฟลอปจะรีเซ็ตวงจรนับให้เริ่มนับใหม่จากศูนย์
9. ส่วนของ แลตช์ (Latch) จะทำหน้าที่เก็บค่าและแสดงผลลัพธ์ที่นับได้อย่างคงที่ในช่วงเวลาที่เหมาะสมดังรูปที่ 4.15 เพื่อให้สามารถอ่านค่าได้

ศูนย์วิทยทรัพยากร จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย สถาบันพัฒนาการเรียนรู้ มหาวิทยาลัยพะเยา



รูปที่ 4.20 วงจรเครื่องวัดความถี่แบบดิจิทัล

การเปลี่ยนพิสัยวัด (Range Changing) ในเครื่องวัดความถี่ดิจิทัล

จากรูปที่ 4.20 เราทราบว่า ฐานเวลา (time base) เช่น 10 μs, 100 μs และ 1 ms เกิดขึ้นจากเครื่องกำเนิดความถี่และวงจรนับ ซึ่งฐานเวลาเหล่านี้ถูกนำมาใช้ในมิเตอร์ความถี่ดิจิทัล เพื่อสร้างพิสัยวัดความถี่ที่หลากหลาย เมื่อใช้ฐานเวลาคาบ 1 วินาที กับการนับพัลส์อินพุต ส่วนแสดงผลดิจิทัลขนาด 3½ หลักจะแสดงค่าความถี่โดยตรงในหน่วย Hz

- หากกำหนดจุดทศนิยมไว้ที่ตำแหน่งหลังตัวเลขตัวแรก ตามรูปที่ 4.21 (ก) หน่วยความถี่จะเปลี่ยนเป็น **kHz**

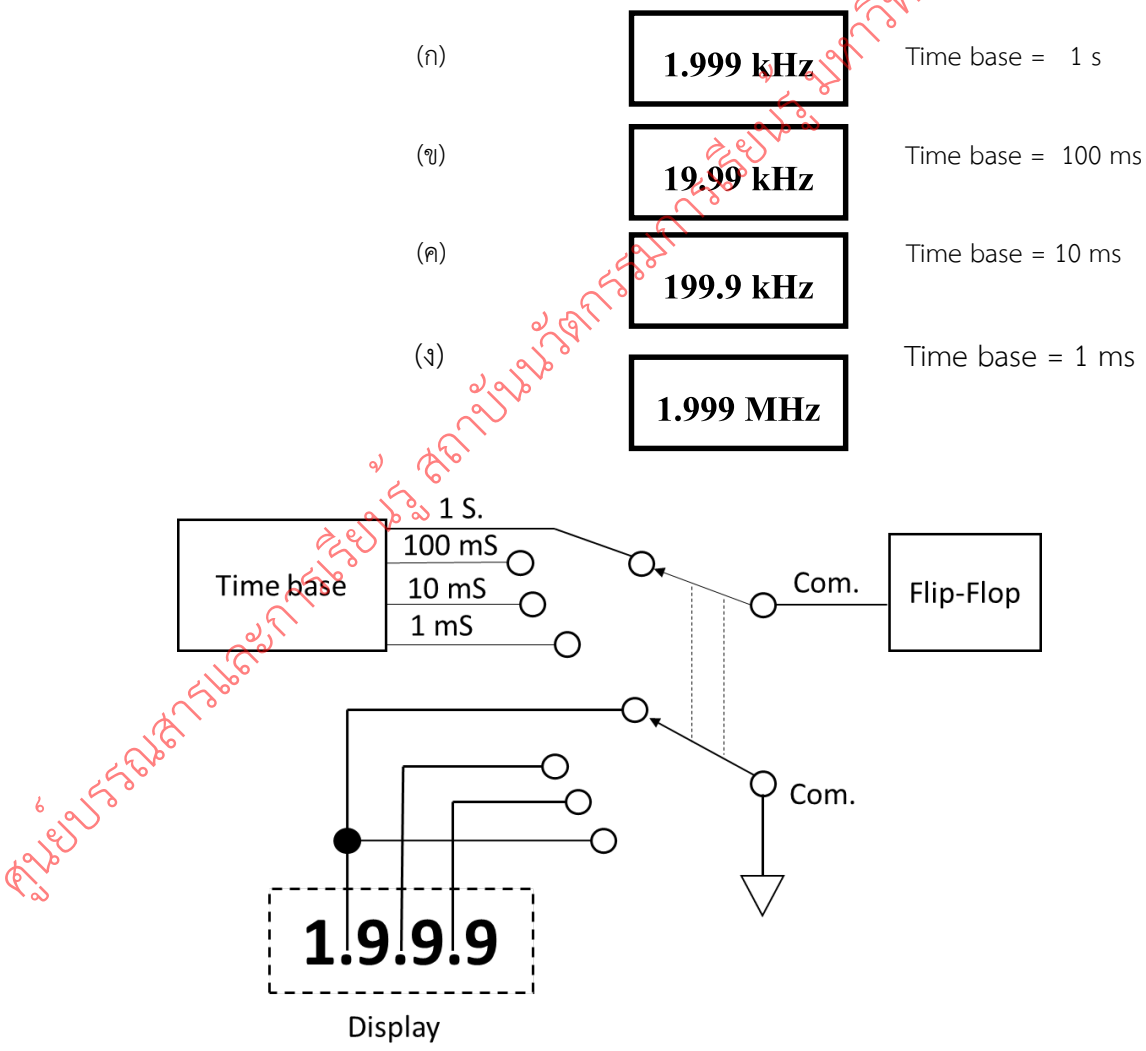
ศูนย์บรรณสารและการเรียนรู้ สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

- เมื่อเปลี่ยนฐานเวลาการนับเป็น 100 ms (0.1 s) ค่าแสดงผล 1,999 จะหมายถึง 1,999 พัลส์ใน 100 ms หรือ 19.99 kHz ดังรูปที่ 4.21 (ข)

ในขณะเดียวกัน จุดทศนิยมก็จะเลื่อนตำแหน่งตามฐานเวลาที่เปลี่ยน

- การเปลี่ยนฐานเวลาเป็น 10 ms จะเลื่อนจุดทศนิยมไปทางขวาอีกหนึ่งตำแหน่ง ทำให้ความถี่สูงสุดที่วัดได้เป็นประมาณ 199.9 kHz ดังรูปที่ 4.21 (ค)
- หากใช้ฐานเวลา 1 ms สามารถนับพัลส์สูงสุด 1,999 พัลส์ใน 1 ms หรือประมาณ 1.999 MHz ดังรูปที่ 4.21 (ง)

โครงสร้างของสวิตช์เลือกฐานเวลาและการปรับจุดทศนิยมของส่วนแสดงผล สามารถอธิบายได้ดังรูปที่ 4.21 (จ)



(จ)

รูปที่ 4.21 วิธีการเปลี่ยนย่านวัดความถี่

ศูนย์บรรณสารและการเรียนรู้ สถาบันนวัตกรรมการเรียนรู้ มหาวิทยาลัยพะเยา

สรุปท้ายบทเรียนบทที่ 4

ในบทเรียนเรื่อง เครื่องมือวัดดิจิทัล ได้เรียนรู้แนวคิดและความรู้เกี่ยวกับเครื่องมือที่ใช้วัดและตรวจสอบสัญญาณดิจิทัล ซึ่งเป็นส่วนสำคัญในการทำงานในยุคเทคโนโลยีดิจิทัลที่เติบโตอย่างรวดเร็ว สัญญาณดิจิทัลมีค่าแทนด้วยตัวเลขฐานสอง และเครื่องมือวัดดิจิทัลเป็นอุปกรณ์สำคัญที่ใช้ร่วมกับอุปกรณ์ดิจิทัล เช่น คอมพิวเตอร์ ไมโครคอนโทรลเลอร์ และอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ต่าง ๆ ที่ใช้สัญญาณดิจิทัล บทเรียนนี้ครอบคลุมความรู้เกี่ยวกับการวัดสัญญาณดิจิทัลในรูปแบบต่าง ๆ ทั้งแบบดิจิทัลชี้วัดและแอนะล็อกชี้วัด รวมถึงการปรับแต่งความละเอียดในการวัด นอกจากนี้ ยังได้เรียนรู้เกี่ยวกับวงจรแปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นดิจิทัล (ADC) และดิจิทัลเป็นแอนะล็อก (DAC) ซึ่งเป็นกระบวนการสำคัญในการเชื่อมโยงสัญญาณระหว่างรูปแบบดิจิทัลและแอนะล็อก ด้วยความรู้เหล่านี้ ผู้เรียนสามารถนำไปใช้ในการวัดและตรวจสอบสัญญาณดิจิทัลได้อย่างมีประสิทธิภาพ อีกทั้งยังเป็นพื้นฐานสำคัญสำหรับการต่อยอดการเรียนรู้และการปฏิบัติงานในสาขาวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์และเทคโนโลยีดิจิทัลในอนาคต

ศูนย์บรรณสารและการเรียนรู้ สถาบันนวัตกรรมการเรียนรู้ มหาวิทยาลัยพายัพ

แบบฝึกหัดบทที่ 4

1. ถ้าไดโอดแต่ละตัวของตัวแสดงค่า 7 ส่วนด้วย LED ต้องการกระแสทิศฟอร์เวิร์ดขนาด 10 mA จงหากระแสที่แหล่งจ่ายทั้งหมดซึ่งป้อนให้กับตัวแสดงค่า 7 ส่วน ซึ่งเป็น LED จำนวน 4 ดิจิทัล (ตอบ 280 mA)

2. วงจรหารความถี่แบบดิจิทัลประกอบด้วยวงจรนับสเกล 16 หนึ่งตัว, นับสเกล 12 หนึ่งตัว และนับสเกล 10 หนึ่งตัว ถ้าคาบเวลาที่เอาต์พุตของวงจรหารความถี่แบบดิจิทัล (คาบเวลาของวงจรนับสเกล 10) มีค่า 5.12 ms จงหาความถี่ของเครื่องกำเนิดและคาบเวลาอื่นๆ ที่หาได้ (ตอบ 5.12 ms,375 kHz,51.2 ms และ 614.4 ms)

3. ADC แบบแรมป์ที่เครื่องกำเนิดคล็อคขนาด 2 MHz, พัลส์คล็อค 1,000 พัลส์ และอินพุต 1 V จงหาแรงดันแรมป์ เมื่อ ความถี่คล็อค = 2 MHz , จำนวนพัลส์ = 1,000 (ตอบ 0.5 ms , แรงดันแรมป์ = 1 V)

4. จงหาความคลาดเคลื่อนของการแปลงของ ADC ที่เอาต์พุต 16 บิต (ตอบ 0.0015%)

5. จากรูปที่ 4.14 กำหนดให้แรงดันเอาต์พุตแบบแอนะลอกเป็น 7.5 V และ 1.25 V ถ้า V_i = 100 V จงหาอินพุตแบบดิจิทัล (ตอบ 1 และ 0)

6. ความถูกต้องของเครื่องวัดแบบดิจิทัลกำหนดเป็น ± (0.3+1) หมายถึงอะไร

7. จงเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างมัลติมิเตอร์แบบแอนะลอกกับมัลติมิเตอร์แบบดิจิทัล

8. วงจรกำเนิดฐานเวลาในมิเตอร์ความถี่มีหน้าที่อะไร

9. การเปลี่ยนพิสัยวัดของมิเตอร์ความถี่มีวิธีการอย่างไร

10. จากรูปที่ 4.15 ถ้าความถี่ของเครื่องกำเนิดสัญญาณนาฬิกาเป็น 1 MHz จงหาเวลาของแรมป์และความถี่ของเครื่องกำเนิดแรมป์ (ตอบ 0.5 MHz, 2 μs)

11. โวลต์มิเตอร์แบบดิจิทัลมีความถูกต้อง ± (0.1% rdg + 1 d) ถ้าแรงดันของ 1 ดิจิตเป็น 0.001 V จงหาความคลาดเคลื่อนสูงสุดขณะอ่านค่าแรงดัน 1.490 V (ตอบ ± 0.00249 V)

ศูนย์บรรณสารและการเรียนรู้ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี มหาวิทยาลัยพะเยา

บทที่ 5
วงจรบริดจ์มิเตอร์

เครื่องวัดแบบบริดจ์ เป็นเครื่องมือที่นิยมใช้ในการวัดค่าของอุปกรณ์ต่างๆ เช่น ความเหนี่ยวนำ ความต้านทาน ความจุ รวมถึงองค์ประกอบสำคัญอื่นๆ เช่น มุมเฟส ความถี่ และอุณหภูมิ ลักษณะการทำงานของวงจรนี้อาศัยหลักการเปรียบเทียบค่าของอุปกรณ์ที่ไม่ทราบค่ากับค่าที่ทราบแน่นอนของอุปกรณ์ชนิดเดียวกัน โดยอาศัยสภาวะสมดุลของวงจรบริดจ์เป็นเกณฑ์ตัดสิน ซึ่งส่งผลให้ได้ค่าที่แม่นยำสูงกว่าการวัดแบบทั่วไป

หลักการพื้นฐานของวงจรบริดจ์ประเภทต่างๆ เช่น

- เคลวินบริดจ์ (Kelvin Bridge) สำหรับวัดความต้านทานต่ำ
- วิทสโตนบริดจ์ (Wheatstone Bridge) สำหรับวัดค่าความต้านทานกระแสตรง
- และเครื่องมือวัดในกลุ่มที่ใช้ตรวจสอบความต้านทานของสายเคเบิล



รูปที่ 5.1 เครื่องวัดแบบบริดจ์

ที่มา : https://docs.google.com/document/d/ สืบค้นเมื่อวันที่ 4/6/2567

ศูนย์บรรณสารและการเรียนรู้ สถาบันวิจัยและพัฒนาการเรียนรู้ มหาวิทยาลัยพะเยา

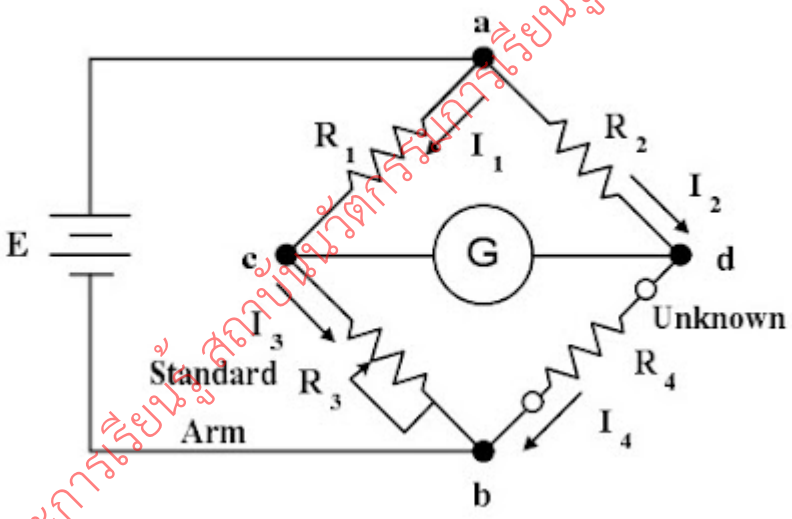
5.1 วงจรบริดจ์ไฟฟ้ากระแสตรง

5.1.1 วิทสโตนบริดจ์ (Wheatstone Bridge)

รูปที่ 5.1 แสดงเครื่องวัดแบบบริดจ์ชนิดกระเป๋าหิ้ว ซึ่งภายในประกอบด้วยวงจรวิทสโตนบริดจ์ โดยหลักการทำงานพื้นฐานสามารถอธิบายได้ตามรูปที่ 5.2

วงจรวิทสโตนบริดจ์ประกอบด้วยตัวต้านทาน 4 ตัว (R_1, R_2, R_3 และ R_4) ต่อเป็นสองแขนขนานกัน โดยในแต่ละแขนมีตัวต้านทาน 2 ตัวต่ออนุกรมกัน แหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง (V) จะถูกต่อขนานกับสองแขนของวงจร เพื่อจ่ายกระแสไฟฟ้าให้กับบริดจ์

กัลวานอมิเตอร์ (Galvanometer: G) ซึ่งเป็นเครื่องมือที่ไวต่อกระแสเล็กๆ จะถูกต่อคร่อมระหว่างจุดกึ่งกลางของแต่ละแขน ในสภาวะสมดุลของวงจรบริดจ์ จะไม่มีกระแสไหลผ่านกัลวานอมิเตอร์ เข็มชี้จะอยู่ที่ตำแหน่งศูนย์ แต่หากวงจรไม่สมดุล เข็มจะเกิดการเบี่ยงเบน ซึ่งช่วยบ่งชี้ว่ามีกระแสไหลผ่านวงจร หรือใช้เพื่อบอกสถานะการสมดุลของบริดจ์ได้อย่างชัดเจน



รูปที่ 5.2 วงจรวิทสโตนบริดจ์
ที่มา : https://docs.google.com/document/d/ สืบค้นเมื่อวันที่ 5/7/2567

ศูนย์บรรณสารและการเรียนรู้ สถาบันเทคโนโลยีการเรียนรู้ มหาวิทยาลัยพะเยา

วงจรบริดจ์สมดุล (Balanced Bridge)

เมื่อวงจรบริดจ์อยู่ในสภาวะสมดุล จะไม่มีกระแสไฟฟ้าไหลผ่านตัวกัลวานอมิเตอร์ ส่งผลให้เข็มชี้ของกัลวานอมิเตอร์อยู่ที่ตำแหน่งศูนย์ ซึ่งหมายความว่าแรงดันไฟฟ้าระหว่างจุด **c** และ **b** จะเท่ากับแรงดันระหว่างจุด **d** และ **a** กล่าวอีกนัยหนึ่งคือ ศักย์ไฟฟ้าที่จุด **c** เท่ากับที่จุด **d** และศักย์ที่จุด **b** เท่ากับที่จุด **a** เมื่อเปรียบเทียบกับขั้วของแหล่งจ่ายแรงดัน

ในภาวะเช่นนี้ จะไม่มีแรงดันตกคร่อมระหว่างขั้วของกัลวานอมิเตอร์ จึงไม่มีการไหลของกระแสผ่านตัวตรวจวัด ซึ่งแสดงถึงการสมดุลของวงจรได้อย่างชัดเจน สถานการณ์ดังกล่าวสามารถแสดงให้เห็นใน รูปที่ 5.2

จาก $V_{AC} = V_{AD}$

และ $V_{CB} = V_{DB}$ จะได้ $I_1 R_1 = I_2 R_2$ (5.1)

$I_3 R_3 = I_4 R_4$ (5.2)

กรณีที่ไม่มีกระแสไหลผ่านตัวกัลวานอมิเตอร์ แสดงว่า

$$I_1 = I_3 = \frac{Vs}{R_1+R_3} \quad (5.3)$$

และ $$I_2 = I_4 = \frac{V_s}{R_2+R_4} \quad (5.4)$$

จากสมการที่ (5.1), (5.2), (5.3) และ (5.4) แทนค่า

$$\frac{R_1}{R_1+R_3} = \frac{R_2}{R_2+R_4} \quad (5.5)$$

และ $$\frac{R_1}{R_2} = \frac{R_3}{R_4} \quad (5.6)$$

จากสมการที่ (5.6) ซึ่งเป็นสมการพื้นฐานที่ใช้ในการคำนวณหาค่าความต้านทานที่ไม่ทราบค่าในวงจรวิทสโตนบริดจ์ เมื่อวงจรอยู่ในสภาวะสมดุล หากทราบค่าความต้านทานของ R_1, R_2 และ R_3 และต้องการหาค่าความต้านทานของ R_4 ซึ่งเรียกแทนด้วย R_x สามารถคำนวณได้จากสมการสมดุลของบริดจ์ดังนี้

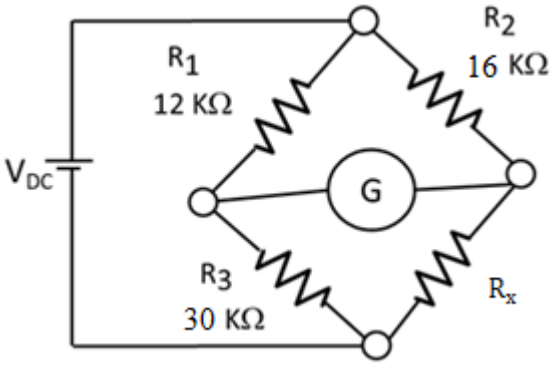
$$R_X = \frac{R_2}{R_1} R_3 \quad (5.7)$$

จากสมการที่ (5.7) ตัวต้านทาน R_3 เรียกว่า ตัวต้านทานมาตรฐาน (Standard Resistor) ซึ่งเป็นค่าที่ทราบแน่นอนและใช้เป็นเกณฑ์อ้างอิงในการเปรียบเทียบ

ส่วนตัวต้านทาน R_1 และ R_2 เรียกว่า อัตราส่วนตัวต้านทานมาตรฐาน (Ratio Arms หรือ Ratio Resistors) ซึ่งใช้ในการกำหนดอัตราส่วนระหว่างแขนของบริดจ์ โดยค่าของ R_1 และ R_2 จะถูกเลือกให้เหมาะสมเพื่อให้สามารถหาค่าความต้านทานของตัวไม่ทราบค่า (R_x) ได้อย่างแม่นยำ เมื่อวงจรบริดจ์อยู่ในสภาวะสมดุล

ศูนย์บรรณสารและการเรียนรู้ สถาบันนวัตกรรมการเรียนรู้ มหาวิทยาลัยพะเยา

ตัวอย่างที่ 5.1 จากโจทย์จงคำนวณหาค่าความต้านทาน R_x ของวงจรบริดจ์ใน รูปที่ 5.2 โดยกำหนดว่า วงจรอยู่ในสภาวะสมดุล ซึ่งหมายความว่า ไม่มีกระแสไหลผ่านกัลวานอมิเตอร์



รูปที่ 5.3 วงจรวิทสโตนบริดจ์

วิธีทำ จากสมการที่ (5.7)

$$R_x = \frac{R_2}{R_1} R_3$$

$$R_x = \frac{(16\ \text{k}\Omega)(30\ \text{k}\Omega)}{12\ \text{k}\Omega} = 40\ \text{k}\Omega$$

ตอบ $R_x = 40\ \text{k}\Omega$

ค่าความผิดพลาดในการวัดด้วยวงจรวิทสโตนบริดจ์

วงจรวิทสโตนบริดจ์เป็นเครื่องมือที่นิยมใช้ในการวัดค่าความต้านทาน เนื่องจากให้ผลการวัดที่มีความเที่ยงตรงสูง โดยเฉพาะสำหรับค่าความต้านทานในช่วงประมาณ 1 โอห์ม ถึง 1 เมกกะโอห์ม อย่างไรก็ตาม ค่าผิดพลาดในการวัดสามารถเกิดขึ้นได้จากหลายปัจจัย โดยเฉพาะข้อจำกัดของตัวต้านทานทั้งสามที่ใช้ในวงจร ได้แก่ R_1, R_2 และ R_3 ซึ่งอาจส่งผลดังนี้

- ค่าความต้านทานไม่แม่นยำ หากตัวต้านทานมีค่าความคลาดเคลื่อนสูง (tolerance สูง) จะทำให้สมการสมดุลของบริดจ์ไม่ถูกต้อง ส่งผลต่อค่าที่คำนวณได้ของ R_x
- การเสื่อมสภาพของตัวต้านทาน ตัวต้านทานอาจเปลี่ยนค่าเมื่อใช้งานไปนานๆ โดยเฉพาะในสภาพแวดล้อมที่มีความร้อนหรือความชื้นสูง
- อิทธิพลของอุณหภูมิ ตัวต้านทานมีสัมประสิทธิ์อุณหภูมิ (temperature coefficient) ซึ่งอาจทำให้ค่าความต้านทานเปลี่ยนแปลงตามอุณหภูมิ

ดังนั้น เพื่อให้ผลการวัดมีความแม่นยำสูง จึงควรเลือกใช้ตัวต้านทานที่มีค่าความคลาดเคลื่อนต่ำ เสถียรต่ออุณหภูมิ และอยู่ในสภาพแวดล้อมที่เหมาะสม

ศูนย์บรรณสารและสื่อการเรียนรู้ สถาบันนวัตกรรมการเรียนรู้ มหาวิทยาลัยพะเยา

วงจรสมมูลของเทวินิน (Thevenin's Equivalent Circuit)

ในกรณีที่ วงจรวิทสโตนบริดจ์อยู่ในสภาวะไม่สมดุล (Unbalanced Condition) จะมีกระแสไฟฟ้าไหลผ่านกัลวานอมิเตอร์ เพื่อคำนวณค่ากระแสดังกล่าว สามารถใช้หลักการของ วงจรสมมูลของเทวินิน (Thevenin's Theorem) มาช่วยวิเคราะห์ โดยพิจารณาจุดเชื่อมต่อของกัลวานอมิเตอร์ที่ จุด C และ D ตามที่แสดงใน รูปที่ 5.4

การหาวงจรสมมูลของเทวินินสามารถแบ่งออกเป็น 2 ขั้นตอนหลัก ได้แก่

ขั้นที่ 1 หาแรงดันเทวินิน (Thevenin Voltage)

คือแรงดันระหว่างจุด C และ D ขณะที่ยัง ไม่นำกัลวานอมิเตอร์มาต่อเข้าวงจร หรือเรียกว่าแรงดันขณะวงจรเปิด (Open-Circuit Voltage)

ขั้นที่ 2 หาค่าความต้านทานเทวินิน (Thevenin Resistance)

โดยการ ถอดแหล่งจ่ายแรงดันออก แล้วแทนด้วย ความต้านทานภายในของแหล่งจ่าย จากนั้นหาค่าความต้านทานรวมที่มองเห็นได้จากขั้ว C และ D การหาค่านี้แสดงในรูปที่ 5.4 (ข) และ (ค) ตามลำดับ

จากรูปที่ 5.4 (ก) แรงดันที่ปรากฏระหว่างจุด C และ D ในขณะเปิดวงจร คือ แรงดันเทวินิน (V_{Th}) ซึ่งใช้เป็นพื้นฐานในการคำนวณกระแสที่ไหลผ่านกัลวานอมิเตอร์ เมื่อวงจรถูกต่อกลับเข้าไปใหม่

$$V_{CD} = V_{AC} - V_{AD} = I_1R_1 - I_2R_2$$

เมื่อ $I_1 = \frac{V_s}{R_1+R_3}$ และ $I_2 = \frac{V_s}{R_2+R_4}$

ดังนั้น $$V_{CD} = V_{TH} = E(\frac{R_1}{R_1+R_3} - \frac{R_2}{R_2+R_4}) \quad (5.8)$$

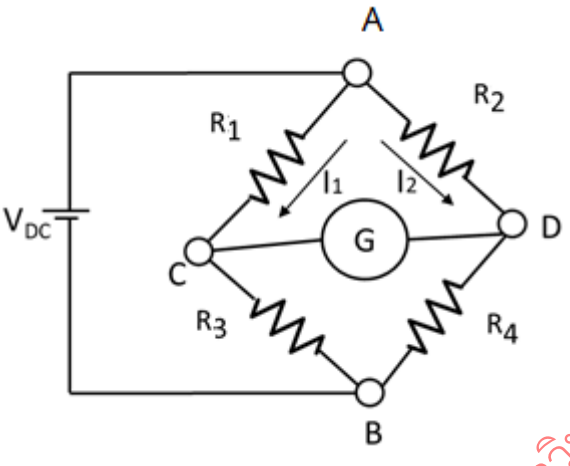
ค่าความต้านทานเทวินินที่จุด C และ D

จากรูปที่ 5.4 (ข) การหาค่าความต้านทานสมมูลของเทวินิน (Thevenin Equivalent Resistance) ที่มองเห็นจากจุด C และ D จะพิจารณาในขณะที่แหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้า ถูกแทนที่ด้วยค่าความต้านทานภายใน ซึ่งในที่นี้คือ ตัวต้านทาน R_b

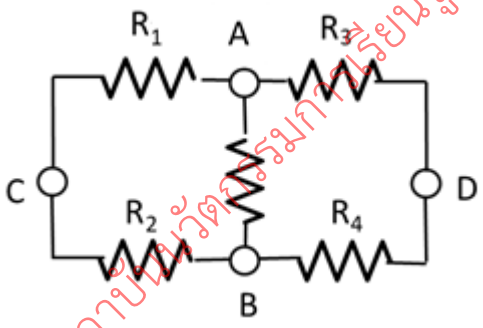
อย่างไรก็ตาม ค่าความต้านทานภายในของแบตเตอรี่ (R_b) มักมีค่าต่ำมากจนสามารถ ละเว้น ไม่ต้องนำมารวมในการคำนวณได้โดยไม่ทำให้เกิดความคลาดเคลื่อนอย่างมีนัยสำคัญ

ศูนย์บรรณสารและการเรียนรู้ สถาบันเทคโนโลยีการเรียนรู้ มหาวิทยาลัยพะเยา

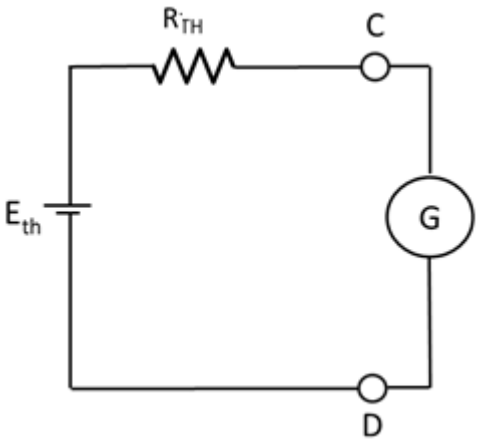
ดังนั้น ในการวิเคราะห์และคำนวณวงจรเทวินินที่จุด C และ D สามารถ ละค่าความต้านทาน R_b ได้ เพื่อความสะดวกและไม่ซับซ้อนในการคำนวณค่าความต้านทานเทวินิน (R_{Th})



(ก) วงจรวิทสโตนบริดจ์



(ข) ค่า R_{TH} ที่จุด c และ d



(ค) วงจรเทียบเคียงเทวินินเข้าไปที่จุด c และจุด d

รูปที่ 5.4 วงจรเทียบเคียงเทวินินในวงจรวิทสโตนบริดจ์

ศูนย์บรรณสารและการเรียนรู้ สถาบันวิจัยและนวัตกรรมการเรียนรู้ มหาวิทยาลัยพะเยา

จาก รูปที่ 5.4 (ข) จะเห็นว่า ที่จุด A และ B เสมือนเป็นวงจรเปิด เนื่องจากแหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้าได้ถูกแทนที่ด้วยค่าความต้านทานภายในของแบตเตอรี่ ซึ่งโดยทั่วไปถือว่า $R_b \approx 0\ \Omega$ หรือมีค่าน้อยมากจนสามารถละเว้นได้

ดังนั้น การคำนวณ ค่าความต้านทานเทวินิน (R_{Th}) ที่มองจากจุด C และ D จะเท่ากับ ค่าความต้านทานสมมูลของแขนทั้งสองฝั่งของบริดจ์ ซึ่งได้จากการนำตัวต้านทานที่ต่ออนุกรมในแต่ละแขนมาคำนวณค่ารวมแล้วหาค่าความต้านทานรวมระหว่างจุด C และ D ด้วยสูตร

$$R_{TH} = \frac{R_1 R_3}{R_1 + R_3} + \frac{R_2 R_4}{R_2 + R_4}$$

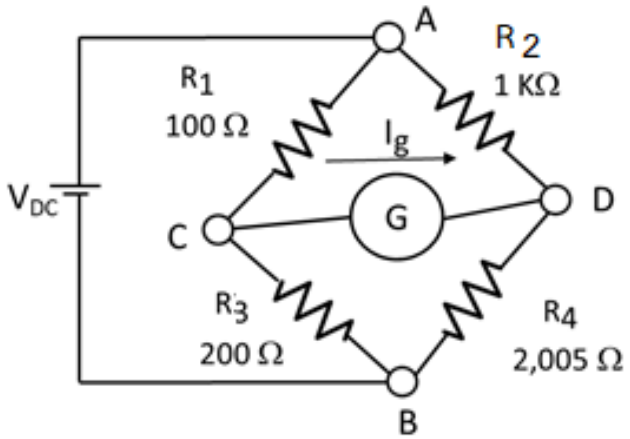
วงจรวิทสโตนบริดจ์สามารถแทนด้วยวงจรสมมูลของเทวินินที่ประกอบด้วยแรงดันสมมูล E_{TH} และความต้านทานสมมูล R_{TH} ตามสมการที่ (5.8) และ (5.9) ตามลำดับ ซึ่งแสดงใน รูปที่ 5.4

เมื่อกัลวานอมิเตอร์ถูกต่อเข้ากับขั้วเอาต์พุตของวงจรสมมูลนี้ กระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านกัลวานอมิเตอร์สามารถคำนวณได้จากสมการ

$$I_g = \frac{V_{TH}}{R_{TH} + R_g} \qquad (5.10)$$

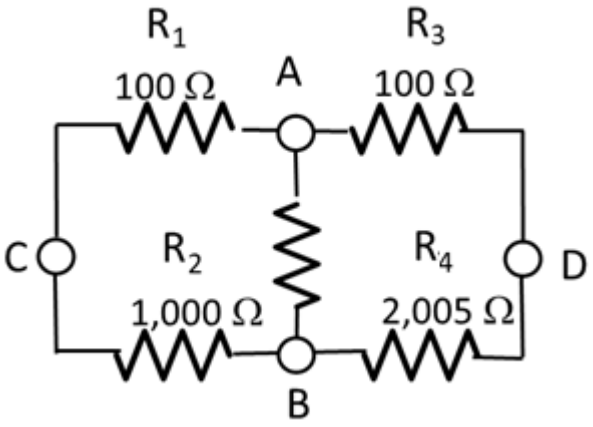
เมื่อ I_g คือ กระแสที่ไหลผ่านกัลวานอมิเตอร์
R_g คือ ค่าความต้านทานของกัลวานอมิเตอร์

ตัวอย่างที่ 5.2 จากรูปที่ 5.5 แสดงวงจรวิทสโตนบริดจ์ที่ประกอบด้วยแหล่งจ่ายแรงดันแบตเตอรี่ขนาด 5 โวลต์ โดยมีค่าความต้านทานภายในของแบตเตอรี่ต่ำมากจนสามารถละเว้นได้ กัลวานอมิเตอร์ที่ใช้มีค่าความไวต่อกระแสเท่ากับ 10 mm/μA และมีความต้านทานภายในเท่ากับ 100 โอห์ม ในกรณีที่วงจรบริดจ์อยู่ในสภาวะ ไม่สมดุล ณ จุด B และ C ตามที่แสดงใน รูปที่ 5.5 (ก) จะทำการวิเคราะห์และคำนวณกระแสที่ไหลผ่านกัลวานอมิเตอร์โดยใช้วงจรสมมูลของเทวินิน

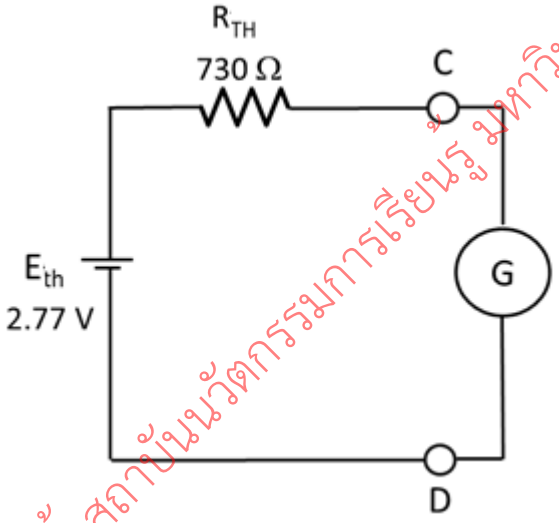


(ก) วงจรวิทสโนบริดจ์

ศูนย์บรรณสารและการเรียนรู้ สถาบันพัฒนาการเรียนรู้ มหาวิทยาลัยพะเยา



(ข) หาค่า R_{TH}



(ค) วงจรเทียบเคียงของเทวินินต่อกัลวานอมิเตอร์

รูปที่ 5.5 ขั้นตอนการหาค่าของวงจรบริดจ์ไม่สมดุล

วิธีทำ วงจรบริดจ์จะอยู่ในสภาวะสมดุลเมื่อค่าความต้านทานที่จุด D และ C เท่ากับ 2,000 โอห์ม จาก รูปที่ 5.5 (ข) พบว่าความต้านทานที่แขนดังกล่าวมีค่าเท่ากับ 2,005 โอห์ม ซึ่งหมายความว่าวงจรบริดจ์ยังไม่สมดุลอย่างสมบูรณ์ แต่มีความไม่สมดุลเพียงเล็กน้อย โดยความคลาดเคลื่อนนี้น้อยกว่า 2,000 โอห์ม

ขั้นที่ 1 การเปลี่ยนวงจรบริดจ์เป็นวงจรสมมูลของเทวินิน

เพื่อคำนวณหากระแสที่ไหลผ่านกัลวานอมิเตอร์ในกรณีที่วงจรบริดจ์ไม่สมดุล เราจะเปลี่ยนวงจรบริดจ์ให้เป็น วงจรสมมูลของเทวินิน ที่จุด D และ B

โดยทำการถอดกัลวานอมิเตอร์ออกจากวงจรก่อน จากนั้นวัดแรงดันไฟฟ้าระหว่างจุด D และ B ซึ่งแรงดันนี้เรียกว่า แรงดันเทวินิน (Thevenin Voltage, E_{TH})

ศูนย์วิทยทรัพยากรและการเรียนรู้ สถาบันนวัตกรรมการเรียนรู้ มหาวิทยาลัยพะเยา

แรงดันที่จุด D และ B นี้จะใช้เป็นแรงดันขับในวงจรสมมูลของเทวินิน เพื่อใช้ในการคำนวณกระแสที่ไหลผ่านกัลวานอมิเตอร์ในขั้นตอนถัดไป

$$V_{TH} = V_{AB} - V_{AD} = 5V_X\left(\frac{100}{100+200} - \frac{1{,}000}{1{,}000+2{,}005}\right)$$

$$V_{TH} \cong 2.77\ \text{mV}$$

ขั้นที่ 2 การหาค่าความต้านทานเทวินินที่จุด D และ B ในการหาค่าความต้านทานสมมูลของเทวินิน (Thevenin Resistance, R_{TH}) ที่จุด D และ B จะต้อง แทนแบตเตอรี่ด้วยความต้านทานภายใน ซึ่งในที่นี้กำหนดว่าแบตเตอรี่มีความต้านทานภายในเท่ากับ 0 โอห์ม จึงสามารถ ลัดวงจรแหล่งจ่ายแรงดัน (short circuit) ได้การคำนวณ R_{TH}จะทำโดย

- ถอดกัลป์วานอมิเตอร์ออกจากวงจร
- ลัดวงจรแหล่งจ่าย (แทนด้วยลวดตัวนำ)
- หาค่าความต้านทานรวมที่มองเข้าจากจุด D และ B ซึ่งแสดงใน รูปที่ 5.5 (ข)

ดังนั้น

$$R_{TH} = \frac{(100)(200)}{100+200} - \frac{(1000)(2000)}{1000+2005} \cong 730\ \Omega$$

จากรูปที่ 5.5 (ค) การคำนวณกระแสผ่านกัลวานอมิเตอร์ จาก รูปที่ 5.5 (ค) แสดงวงจรสมมูลของเทวินิน เมื่อมีการ ต่อกัลวานอมิเตอร์กลับเข้าไป ระหว่างจุด B และ D ในวงจรนี้ คือ

$$I_g = \frac{V_{TH}}{R_{TH}+R_G} = \frac{2.77\ \text{mV}}{730\ \Omega + 100\ \Omega} = 3.34\ \mu\text{A}$$

การบ่ายเบนของกัลวานอมิเตอร์ คือ

$$d = 3.34\ \mu\text{A}\ \text{x}\frac{10\ \text{mm}}{1\ \mu\text{A}} = 33.4\ \text{mm}$$

ศูนย์บรรณสารและการเรียนรู้ สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตัวอย่างที่ 5.3 จงคำนวณการเบี่ยงเบนของเข็มกัลวานอมิเตอร์ ตามข้อมูล ดังนี้ กัลวานอมิเตอร์มีความต้านทานภายใน R_G=500 Ω ความไวต่อกระแส = 1 mm/μA แรงดันเทวินิน (Thevenin Voltage) V_{TH}=2.77 mV และ ความต้านทานเทวินิน R_{TH}=730 Ω

วิธีทำ

1. คำนวณกระแสที่ไหลผ่านกัลวานอมิเตอร์

ใช้สมการของโอห์ม

$$I_g = \frac{V_{TH}}{R_{TH} + R_G} = \frac{2.77\ mV}{730\ \Omega + 500\ \Omega} = 2.25\ \mu A$$

ดังนั้นการเบี่ยงเบนของกัลวานอมิเตอร์ คือ

ตอบ $d = 2.25\ \mu A\ x \frac{1\ mm}{1\ \mu A} = 2.25\ mm$

5.1.2 เคลวินบริดจ์ (Kelvin-bridge)

เคลวินบริดจ์ เป็นวงจรบริดจ์ที่ได้รับการพัฒนาต่อยอดจากวงจร วิทสโตนบริดจ์ โดยมีจุดเด่นที่สามารถวัดค่าความต้านทานที่มีค่าต่ำมากได้อย่างแม่นยำ โดยเฉพาะในช่วงค่าต่ำกว่า 1 โอห์ม ซึ่งวงจรวิทสโตนบริดจ์ทั่วไปอาจมีข้อผิดพลาดสูงเมื่อใช้วัดค่าระดับนี้

หลักการทำงาน

พิจารณาจาก รูปที่ 5.6 ตัวต้านทาน R_y เป็นความต้านทานของสายตัวนำที่เชื่อมระหว่างตัวต้านทาน R_3 กับตัวต้านทานที่ไม่ทราบค่า R_x

- เมื่อกัลวานอมิเตอร์ต่อที่จุด m ความต้านทานของสายตัวนำ R_y จะถูกรวมกับ R_x ซึ่งทำให้ค่าที่วัดได้ของ R_x สูงกว่าค่าจริง
- เมื่อกัลวานอมิเตอร์ต่อที่จุด n ความต้านทาน R_y จะถูกรวมกับ R_3 แทน ทำให้ค่าที่วัดได้ของ R_x ต่ำกว่าค่าจริง เนื่องจากดูเหมือนว่า R_3 มีค่ามากขึ้น
- เพื่อหลีกเลี่ยงข้อผิดพลาดนี้ กัลวานอมิเตอร์จึงต่อที่ จุด p ซึ่งอยู่ระหว่างจุด m และ n

การแก้ไขความคลาดเคลื่อนด้วยจุดต่อ "p"

การต่อกัลวานอมิเตอร์ที่ จุด p ทำให้อัตราส่วนของความต้านทานระหว่างจุด n ไปยัง p และ m ไปยัง p เท่ากับอัตราส่วนระหว่าง R_1 และ R_2 ซึ่งสามารถเขียนเป็นสมการได้ว่า

$$\frac{R_{np}}{R_{mp}} = \frac{R_1}{R_2} \qquad (5.11)$$

ศูนย์บรรณสารและสื่อการเรียนรู้ สถาบันส่งเสริมการเรียนรู้ มหาวิทยาลัยพะเยา

กรณีบริดจ์สมดุล จะได้

$$\frac{R_2}{R_3+R_{mp}} = \frac{R_1}{R_x+R_{np}}$$

$$R_x + R_{np} = \frac{R_1}{R_2}\left(R_3 + R_{mp}\right) \quad (5.12)$$

จากสมการที่ (5.11) และ (5.12) แก้สมการ R_x จะได้

$$R_x + \left(\frac{R_1}{R_1+R_2}\right)R_y = \frac{R_1}{R_2}\left[R_3 + \left(\frac{R_2}{R_1+R_2}\right)R_y\right]$$

ดังนั้น $R_{np} = \left(\frac{R_1}{R_1+R_2}\right)R_y$

$$R_{mp} = \left(\frac{R_2}{R_1+R_2}\right)R_y$$

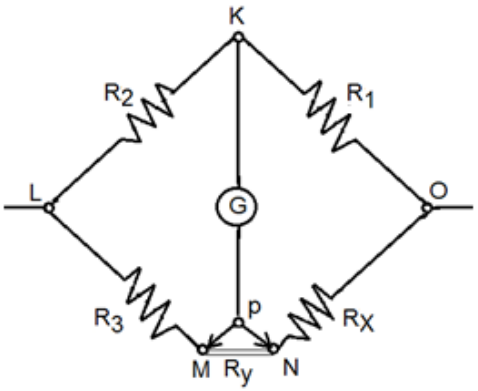
แก้สมการหาค่า R_x จะได้

$$R_x = \frac{R_1}{R_2}R_3 \quad (5.13)$$

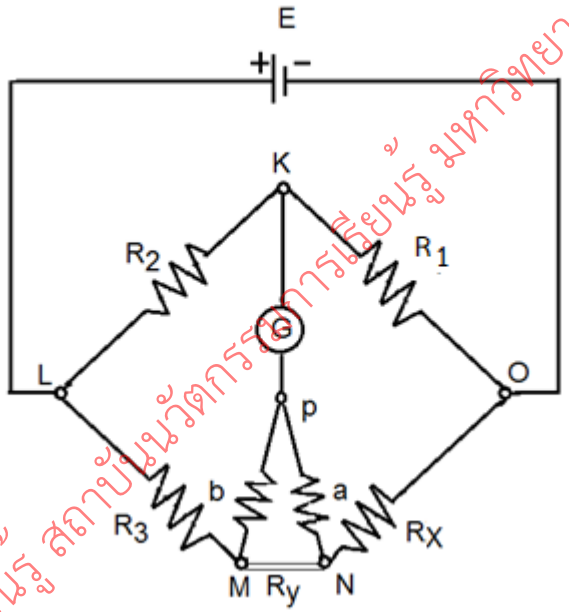
จากสมการที่ (5.13) ซึ่งได้มาจากหลักการของวงจรบริดจ์ในสภาวะสมดุลของ วิทสโตนบริดจ์ แสดงให้เห็นว่า ผลของค่าความต้านทานของสายตัวนำ ระหว่างจุด m และ n สามารถ ชดเชยได้ หากมีการต่อกัลวานอมิเตอร์เข้าที่ จุดกึ่งกลางระหว่างจุด m และ n ซึ่งคือ จุด p

การต่อกัลวานอมิเตอร์ที่จุด p ทำให้อัตราส่วนของความต้านทานในแขนของบริดจ์ยังคงสมดุล และความคลาดเคลื่อนที่เกิดจากค่าความต้านทานของสายตัวนำ R_y จะไม่มีผลต่อการวัดค่า R_x สถานะนี้แสดงให้เห็นในรูปที่ 5.6 ซึ่งชี้ให้เห็นว่าการวางตำแหน่งจุดต่อของกัลวานอมิเตอร์อย่างเหมาะสมสามารถลดผลกระทบจากค่าความต้านทานภายนอก และทำให้การวัดค่าความต้านทานขนาดเล็กมี ความแม่นยำสูงยิ่งขึ้น

ศูนย์วิทยทรัพยากร จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย สำนักนวัตกรรมการเรียนรู้ มหาวิทยาลัยพะเยา



รูปที่ 5.6 วงจรวิทสโตนบริดจ์ ที่แสดงความต้านทาน R_y ของสายตัวนำจากจุด M และจุด N



รูปที่ 5.7 วงจรเคลวินดับเบิลบริดจ์ (kelvin double bridge)

วงจรบริดจ์แบบดับเบิล (Double Bridge)

หมายถึง วงจรบริดจ์ที่ประกอบด้วย อัตราส่วนของแขนบริดจ์ 2 กลุ่ม ซึ่งทำให้สามารถวัดค่าความต้านทานที่มีค่าน้อยมากได้อย่างแม่นยำยิ่งขึ้น โดยลักษณะของวงจรนี้แสดงไว้ใน รูปที่ 5.7

ในวงจรดังกล่าว

- อัตราส่วนของแขนบริดจ์ทั้งสองกลุ่มกำหนดด้วยสัญลักษณ์ a และ b
- จุดเชื่อมต่อของกัลวานอมิเตอร์คือ จุด p ซึ่งอยู่ตรง กึ่งกลางระหว่างจุด m และ n
- เงื่อนไขเริ่มต้นที่ทำให้บริดจ์สมดุล คือ อัตราส่วนระหว่าง a และ b ต้องเท่ากับอัตราส่วนของตัวต้านทาน R_1 ต่อ R_2

ศูนย์วิทยทรัพยากร จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย สถาบันนวัตกรรมการเรียนรู้ มหาวิทยาลัยพะเยา

เมื่อบริดจ์อยู่ในสภาวะสมดุล

- แรงดันไฟฟ้าที่จุด k จะเท่ากับ แรงดันไฟฟ้าที่จุด p
- กัลวานอมิเตอร์จะแสดงการเบี่ยงเบนที่ศูนย์ (0)

สามารถเขียนเงื่อนไขสมดุลได้ว่า $V_{kl} = V_{mp}$ โดยที่

$$V_{kl} = \frac{R_2}{R_1+R_2}E = \frac{R_2}{R_1+R_2}I\left[R_3R_x + \frac{(a+b)R_y}{a+b+R_y}\right] \tag{5.14}$$

และ

$$V_{lmp} = I\left\{R_3 + \left|\frac{a}{a+b}\left[\frac{(a+B)R_y}{a+b+R_y}\right]\right\}\right. \tag{5.15}$$

จากสมการที่ 5.14 และ 5.15 แก้สมการหาค่าความต้านทาน R_x โดยที่

$$\frac{R_2}{R_1+R_2}I\left[R_3R_x + \frac{(a+b)R_y}{a+b+R_y}\right] = I\left[R_3 + \frac{b}{a+b}\cdot\frac{(a+b)R_y}{a+b+R_y}\right]$$

$$R_3 + R_x + \frac{(a+b)R_y}{a+b+R_y} = \frac{R_1+R_2}{R_2}\left[R_3 + \frac{bR_y}{a+b+R_y}\right]$$

$$R_3 + R_x + \frac{(a+b)R_y}{a+b+R_y} = \frac{R_1R_3}{R_2} + \frac{R_1+R_2}{R_2}\cdot\frac{bR_y}{a+b+R_y}$$

$$R_x = \frac{R_1R_3}{R_2} + \frac{R_1+R_2}{R_2}\cdot\frac{bR_y}{a+b+R_y} - \frac{(a+b)R_y}{a+b+R_y}$$

$$R_x = \frac{R_1R_3}{R_2} + \frac{bR_y}{a+b+R_y}\left[\frac{R_1}{R_2} - \frac{a}{b}\right] \tag{5.16}$$

ใช้เงื่อนไขคือ $\frac{a}{b} = \frac{R_1}{R_2}$ จากสมการที่ (5.16) จะได้

$$R_x = \frac{R_1}{R_2}R_3 \tag{5.17}$$

การคำนวณค่าความต้านทาน R_x ด้วยเคลวินบริดจ์

จากสมการที่ (5.17) ซึ่งใช้สำหรับการคำนวณค่าความต้านทาน Rx ในวงจร เคลวินบริดจ์ พบว่า ค่าความต้านทานของสายตัวนำจะไม่มีผลต่อค่าที่วัดได้ หากทำให้อัตราส่วนของแขนวงจรบริดจ์ทั้งสองกลุ่ม มีค่าเท่ากัน

ขอบเขตการใช้งาน เคลวินบริดจ์เหมาะสำหรับการวัดค่าความต้านทานที่ ต่ำมาก โดยทั่วไปสามารถวัดได้ตั้งแต่ประมาณ 1 โอห์ม ลงไปถึง 0.00001 โอห์ม ตัวอย่างการใช้งานจริง (จากรูปที่ 5.8)

ศูนย์บรรณสารและการเรียนรู้ สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยพะเยา

รูปที่ 5.8 แสดงตัวอย่างของวงจรเคลวินบริดจ์ที่ใช้ในทางปฏิบัติ ซึ่งสามารถวัดค่าความต้านทานตั้งแต่ 10 โอห์ม จนถึง 0.00001 โอห์ม

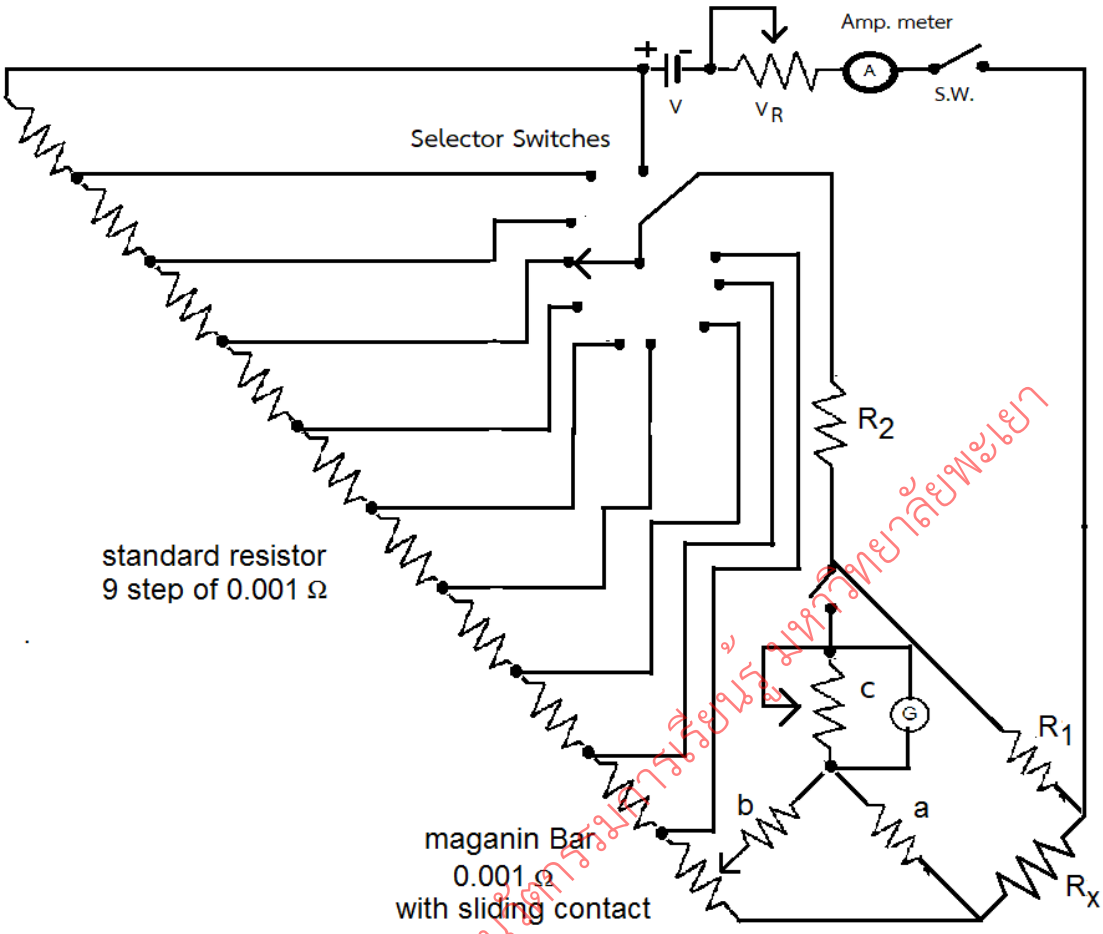
- ตัวต้านทาน R_3 ในสมการ (5.7) ถูกแทนด้วย ตัวต้านทานมาตรฐานแบบปรับค่าได้
- อัตราส่วนของแขนบริดจ์ (R_1 และ R_2) จะขึ้นอยู่กับ พิสัยการวัด ที่เลือกในแต่ละขั้น (step)

การลดค่าความคลาดเคลื่อนจากหน้าสัมผัสสวิตช์

ในการเลือกพิสัยวัด อาจเกิดค่าความผิดพลาดจากหน้าสัมผัสของสวิตช์ ดังนั้นจึงมีวิธีการลดความผิดพลาดดังนี้

- ใช้ค่าความต้านทานมาตรฐาน 9 พิสัย โดยในแต่ละพิสัยจะต่อเข้ากับ ตัวต้านทานแมงกานินบาร์ (Manganin bar) ที่สามารถปรับค่าได้
- ตัวต้านทานแมงกานินมีค่าเท่ากับ 0.001 โอห์ม
- ตัวต้านทาน R_3 ของแขนบริดจ์จะมีค่าเริ่มต้นเท่ากับ 0.001 โอห์ม และสามารถเปลี่ยนค่าตามพิสัยวัด เช่น
  0.001 โอห์ม, 0.0011 โอห์ม เป็นต้น

ศูนย์บรรณสารและการเรียนรู้ สถาบันนวัตกรรมการเรียนรู้ มหาวิทยาลัยพะเยา



รูปที่ 5.8 วงจรดับเบิลบริดจ์ที่ใช้งานจริง

ที่มา : https://fr.aliexpress.com/item/32377299564.html สืบค้นเมื่อวันที่ 5/8/2566



รูปที่ 5.9 เครื่องเคลวินดับเบิลบริดจ์ที่ใช้งานจริง

ที่มา : https://fr.aliexpress.com/item/32377299564.html สืบค้นเมื่อวันที่ 5/8/2566

ศูนย์บรรณสารและการเรียนรู้ สถาบันนวัตกรรมการเรียนรู้ มหาวิทยาลัยพะเยา

5.2 บริดจ์ไฟฟ้ากระแสสลับ

5.2.1 ลักษณะของวงจรบริดจ์ไฟฟ้ากระแสสลับ

บริดจ์ไฟฟ้ากระแสสลับเป็นเครื่องมือที่ใช้วัดค่ารีแอคแตนซ์ ได้แก่ และคาปาซิแตนซ์ (Capacitance) อินดัคแตนซ์ (Inductance) โดยใช้แหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสสลับ (AC) ในการทำงาน เครื่องมือนี้สามารถวัดอิมพิแดนซ์ (Impedance) ได้อย่างแม่นยำ คล้ายกับการวัดความต้านทานด้วยวิทสโตนบริดจ์ ซึ่งในบทนี้จะกล่าวถึงบริดจ์ไฟฟ้ากระแสสลับที่ใช้งานกันอย่างแพร่หลาย

วงจรแทนอิมพิแดนซ์ (Equivalent Impedance)

ในวงจรไฟฟ้ากระแสสลับ อิมพิแดนซ์มักถูกแทนด้วยจำนวนเชิงซ้อน (complex number) เช่นเดียวกับแรงดันและกระแสไฟฟ้า โดยอิมพิแดนซ์จะแบ่งเป็น 2 ส่วน คือ

- ส่วนจริง (Real part) แทนค่าความต้านทาน (Resistance)
- ส่วนจินตภาพ (Imaginary part) แทนค่ารีแอคแตนซ์ (Reactance)

สามารถแทนอิมพิแดนซ์ได้ด้วยวงจรแบบอนุกรม (Series) หรือขนาน (Parallel) เช่นในรูปที่ 5.10 (ก) ซึ่งประกอบด้วย

- ความต้านทาน 20 โอห์ม 2 ตัว รวมเป็น 10 โอห์ม
- รีแอคแตนซ์ j50และ –j20 รวมกันเป็น j30
- ผลรวมนี้สามารถแทนด้วยวงจรอนุกรมที่มี R = 10 Ω และรีแอคแตนซ์ j30 Ω ตามรูปที่ 5.10 (ข) ซึ่งสามารถแปลงเป็นรูปแบบวงจรขนานได้เช่นกัน

$$Z = 10 + j20$$

เมื่อ $$Y = \frac{1}{z}$$

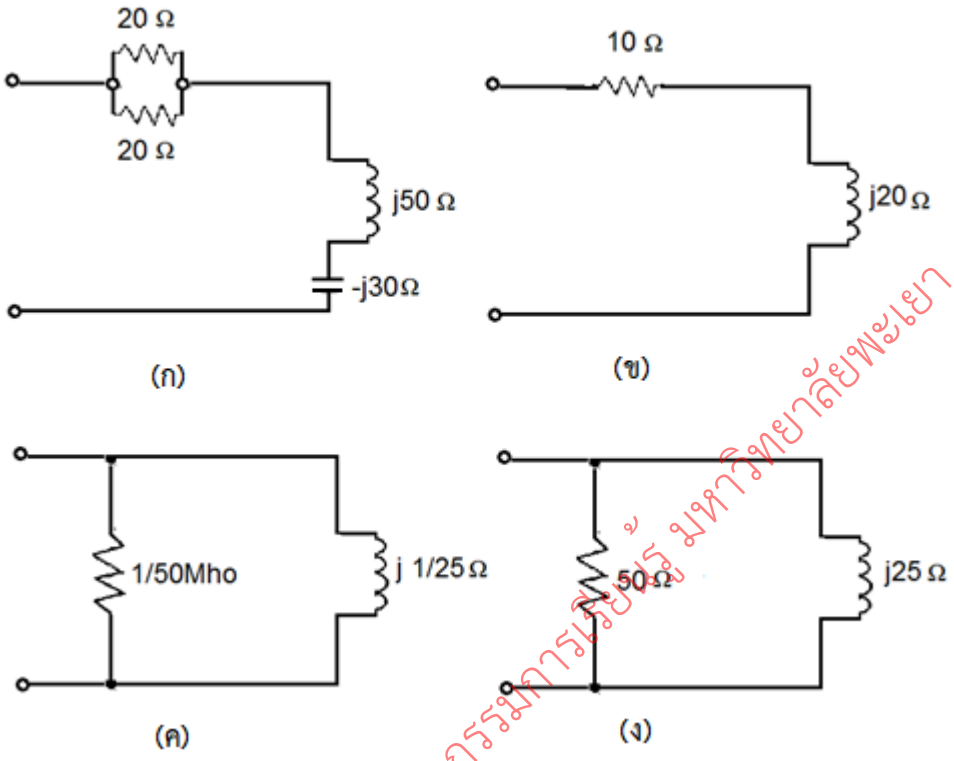
$$= \frac{1}{10+j20}$$

$$= \left(\frac{1}{10+j20}\right) X \frac{(10-j20)}{(10-j20)}$$

$$= \frac{10-j20}{500}$$

ศูนย์บรรณสารและการเรียนรู้ สถาบันนวัตกรรมการเรียนรู้ มหาวิทยาลัยพะเยา

ดังนั้น $Y = \frac{1}{50} - j\frac{1}{25}$



รูปที่ 5.10 วงจรของอิมพีแดนซ์

จากค่า อิมพิแดนซ์แบบอนุกรม (Series Impedance) เท่ากับ 10 + j20 โอห์ม เราสามารถแปลงเป็นอแซมมิแตนซ์ (Admittance) ได้ โดยผลลัพธ์คือ

- ค่าความนำ (Conductance) Y_1=1/50 mho
- ค่าซัสเซปแตนซ์ (Susceptance) Y_2=1/25 mho

ซึ่งเมื่อรวมกันในรูปแบบ วงจรขนาน (Parallel) จะได้อแซมมิแตนซ์รวม $Y=Y_1+Y_2$ ดังแสดงในรูป 5.10 (ค)

โดยทั่วไป วงจรไฟฟ้ามักนิยมใช้หน่วยโอห์ม ดังนั้นจึงสามารถเปลี่ยนอแซมมิแตนซ์ Y_1 และ Y_2 กลับเป็นรูปแบบอิมพิแดนซ์ในหน่วยโอห์ม ซึ่งจะได้ว่า วงจรเดิมในรูปที่ 5.10 (ก) สามารถแทนด้วยวงจรขนาน (parallel equivalent) ที่มีค่าความต้านทาน 50 โอห์ม ต่อขนานกับรีแอคแตนซ์เหนี่ยวนำ 25 โอห์ม ดังรูปที่ 5.10 (ค)

เหตุผลที่ต้องเรียนรู้เรื่อง Series และ Parallel Equivalent Circuit

เนื่องจากเครื่องมือวัดอิมพิแดนซ์ เช่น บริดจ์ไฟฟ้ากระแสสลับ (AC Bridge) จะอ่านค่าอิมพิแดนซ์ออกมาในรูปแบบ Series หรือ Parallel ตามที่ผู้ออกแบบกำหนด

ศูนย์บรรณสารและการศึกษาด้านนวัตกรรมการเรียนรู้ มหาวิทยาลัยพะเยา

- หากเครื่องมือออกแบบให้แสดงค่าในรูป Series จะได้ค่าความต้านทาน 10 โอห์ม อนุกรมกับ รีแอคแตนซ์เหนี่ยวนำ 20 โอห์ม
- หากแสดงค่าในรูป Parallel จะได้ค่าความต้านทาน 50 โอห์ม ขนานกับรีแอคแตนซ์เหนี่ยวนำ 25 โอห์ม

ดังนั้น ก่อนใช้งานเครื่องมือวัดอิมพิแดนซ์ จึงต้องทราบว่าเครื่องมือนั้นอ่านค่าแบบใด (Series หรือ Parallel) เพื่อแปลผลให้ถูกต้อง

ข้อควรระวัง

ค่าของ Series และ Parallel Equivalent Circuit จะ เปลี่ยนแปลงตามความถี่ของสัญญาณ หากความถี่เปลี่ยนไป การแปลงค่าอิมพิแดนซ์ก็ต้องคำนวณใหม่เสมอ เพื่อให้ค่าที่ได้สอดคล้องกับสภาพจริงของวงจร

ตัวอย่างที่ 6.7 เพื่อหา **Parallel Equivalent Circuit** จากวงจร **Series** ที่มี ความต้านทาน R=1 **Ω** รีแอคแตนซ์เหนี่ยวนำ X_L=1 **Ω** ใช้การแปลงจาก **Series impedance** เป็น **Parallel impedance**

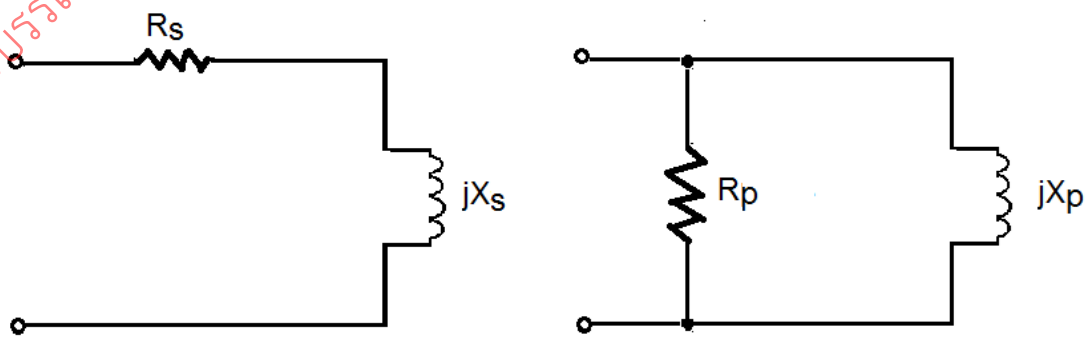
วิธีทำ

$$z = 1 + j1$$

$$y = \frac{1}{z} + \frac{1}{1+j1} = \frac{1-j1}{2} = \frac{1}{2} - j\frac{1}{2}$$

ค่า Admittance คือ Y = $\frac{1}{2} - j\frac{1}{2}$ mho เทียบเท่ากับวงจรที่มีความต้านทาน 2 โอห์ม ต่อขนานกับรีแอคแตนซ์เหนี่ยวนำ 2 โอห์ม แสดงในรูป Parallel Equivalent Circuit ได้ตามภาพในรูปที่ 5.10 (ค)

2) การเปลี่ยนแปลงระหว่างวงจรเทียงเคียงแบบอนุกรม และวงจรเทียงเคียงแบบขนาน



(ก) (ข)

รูปที่ 5.11 วงจรเทียบเคียง RL

ศูนย์บรรณสารและการเรียนรู้ สถาบันนวัตกรรมการเรียนรู้ มหาวิทยาลัยพะเยา

จากรูปที่ 5.11 (ก) ซึ่งแสดงรูปแบบ Series Equivalent ค่าอิมพีแดนซ์ขาเข้า (Input Impedance) ของวงจรจะมีค่าเท่ากับ

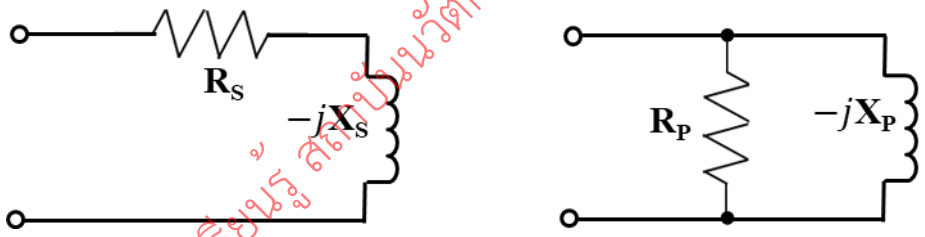
$$Z = R_s + jx_s \tag{5.18}$$

หรือ

$$Y = \frac{1}{z} = \frac{1}{R_s + jx_s} = \left(\frac{1}{R_s + jx_s}\right)\left(\frac{R_s - jx_s}{R_s - jx_s}\right) = \frac{R_s - jx_s}{R_s^2 + X_s^2}$$

$$Y = \frac{R_s}{R_s^2+X_s^2} - \frac{x_s}{R_s^2+X_s^2}$$

จากรูปที่ 5.11 (ก) ซึ่งเป็นรูปแบบ Series Equivalent ค่าอิมพีแดนซ์ขาเข้า (Input Impedance) ของวงจรสามารถแสดงในรูปของอิมพีแดนซ์เชิงซ้อน โดยที่ส่วนจริง (Real Part) แทนค่า Conductance และส่วนจินตภาพ (Imaginary Part) แทนค่าซัสเซพแทนซ์ (Susceptance: Y) คือ ความสามารถในการนำกระแสสลับ (AC) ผ่านส่วนที่เป็นตัวเหนี่ยวนำหรือตัวเก็บประจุ ซึ่งทั้งสองส่วนมีหน่วยเป็น Mho จากนั้นสามารถแปลงค่าดังกล่าวให้อยู่ในรูปของวงจรเทียบเท่าแบบขนาน (Parallel Equivalent) ได้ โดยแสดงเป็นความต้านทาน Rp ต่อขนานกับรีแอกแตนซ์เหนี่ยวนำ (Inductive Reactance) ดังแสดงในรูปที่ 5.11 (ข)



(ก) (ข)

รูปที่ 5.12 วงจรเทียบเคียง RC

$$\therefore R_p = \frac{R_s^2+X_s^2}{R_s} \tag{5.19}$$

$$X_p = \frac{R_s^2+X_s^2}{R_s} \tag{5.20}$$

สมการ (5.19) และ (5.20) ใช้สำหรับการแปลงวงจรจากรูปแบบ Series Equivalent ไปเป็นวงจรแบบ Parallel Equivalent โดยเมื่อพิจารณาวงจรตามรูปที่ 5.12 (ก) ซึ่งเป็นรูปแบบอนุกรม (Series Circuit) ก็สามารถแปลงให้อยู่ในรูปแบบขนาน (Parallel Circuit) ได้ดังแสดงในรูปที่ 5.12 (ข) โดยใช้สมการ (5.19) และ (5.20) เช่นเดียวกัน

ศูนย์บรรณสารและการเรียนรู้ สถาบันนวัตกรรมการเรียนรู้ มหาวิทยาลัยพะเยา

นอกจากการแปลงโดยใช้สมการ (5.19) และ (5.20) แล้ว ยังสามารถแปลงได้โดยพิจารณาจากค่าคุณภาพของวงจร (Q - factor) ได้อีกด้วย โดยในกรณีของวงจรอนุกรม (Series Circuit) จะได้ว่า

$$Q_s = \frac{X_s}{R_s} \tag{5.21}$$

เมื่อแทนค่า X_s ลงในสมการ (5.19) ซึ่งใช้สำหรับการแปลงวงจรจากรูปแบบวงจรเทียบเคียงแบบอนุกรม (Series Equivalent) ไปเป็นวงจรเทียบเคียงแบบขนาน (Parallel Equivalent) จะได้ว่า

$$R_p = \frac{R_s^2+X_s^2}{R_s} = \frac{R_s^2+Q_s^2R_s^2}{R_s} = R_s(1+Q_s^2) \tag{5.22}$$

ในทำนองเดียวกันเมื่อแทนค่า R_s ลงในสมการ (5.20) ซึ่งใช้สำหรับแปลงค่าจากวงจรขนาน (Parallel Equivalent) ไปเป็นวงจรอนุกรม (Series Equivalent) จะได้ว่า

$$X_p = X_s\left(1+\frac{1}{Q_s^2}\right) \tag{5.23}$$

สำหรับการแปลงวงจรจากรูปแบบ Parallel Equivalent ไปเป็น Series Equivalent ก็สามารถคำนวณได้ในเทอมของค่า Q ได้เช่นเดียวกัน โดยมีความสัมพันธ์ดังนี้

$$Q_p = \frac{R_p}{X_p} \tag{5.24}$$

โดยคำนวณในลักษณะเดียวกับการแปลงจากวงจรแบบ Series Equivalent ไปเป็น Parallel Equivalent จะได้ว่า สำหรับการแปลงจากวงจรแบบ Parallel Equivalent ไปเป็น Series Equivalent นั้น สามารถแสดงได้ในเทอมของค่า Q เช่นเดียวกัน โดยมีความสัมพันธ์ดังนี้

$$R_s = \frac{X_p}{1+\frac{1}{Q_p^2}} \tag{5.25}$$

$$X_s = \frac{Xp}{1+\frac{1}{Q_p^2}} \tag{5.26}$$

ศูนย์บรรณสารและการเรียนรู้ สถาบันพัฒนาการเรียนรู้ มหาวิทยาลัยพะเยา

ตัวอย่างที่ 5.4 โจทย์ในวงจรแบบ Series Equivalent วงจรหนึ่งประกอบด้วย ความต้านทาน R_s=100 **Ω** รีแอกแตนซ์แบบเก็บประจุ (Capacitive Reactance) X_s= 500 **Ω** จงแปลงวงจรนี้ให้เป็นแบบ Parallel Equivalent Circuit และคำนวณค่า **Q** และแสดงว่า Q ของวงจร Series และ Parallel มีค่าเท่ากัน

วิธีทำ

$$Q_s = \frac{X_s}{R_s} = 5{,}000/100 = 50$$

$$R_p = R_s(1 + Q_s^2) = 100(1 + 50^2) = 250.1\ \text{k}\Omega$$

$$X_p = X_s\left(1 + \frac{1}{Q_s^2}\right) = 500\ \Omega\left[1 + \frac{1}{50^2}\right] = 5{,}002\ \Omega$$

$$Q_p = \frac{R_p}{X_p} = 250.1\ (10^3)/5{,}002 = 50$$

จากตัวอย่างที่ 5.4 จะเห็นได้ว่า ค่า Q ในวงจรแบบ Series Equivalent และ Parallel Equivalent มีค่าเท่ากันเสมอ ซึ่งเป็นเงื่อนไขสำคัญที่ทำให้ทั้งสองวงจรสามารถถือว่า สมมูล (Equivalent) กันได้ นอกจากนี้ สำหรับกรณีที่วงจรมีค่า Q สูง จะพบว่า $X_s \approx X_p$ กล่าวคือ ค่ารีแอกแตนซ์ในรูปแบบอนุกรมและขนานจะมีค่าประมาณเท่ากัน

ข้อควรสังเกตอีกประการหนึ่งคือ หากในวงจร Series Equivalent ประกอบด้วยรีแอกแตนซ์แบบเก็บประจุ (Capacitive Reactance) เช่นเดียวกับกรณีที่วงจร Series ประกอบด้วยรีแอกแตนซ์แบบเหนี่ยวนำ (Inductive Reactance) วงจร Parallel Equivalent ที่ได้จะมีชนิดของรีแอกแตนซ์เหมือนกัน กล่าวคือ

- ถ้า X_s เป็นรีแอกแตนซ์เหนี่ยวนำ เป็น X_p ก็เป็นรีแอกแตนซ์เหนี่ยวนำ
- ถ้า X_s เป็นรีแอกแตนซ์เก็บประจุ เป็น X_p ก็เป็นรีแอกแตนซ์เก็บประจุ

ศูนย์บรรณสารและการเรียนรู้ สถาบันนวัตกรรมการเรียนรู้ มหาวิทยาลัยพะเยา

ตัวอย่างที่ 5.5 โจทย์วงจรแบบ Parallel Equivalent ประกอบด้วย ความต้านทาน R_p=10 kΩ และรีแอกแตนซ์เหนี่ยวนำ (Inductive Reactance) X_p=100 Ω ต่อขนานกัน จงหา วงจรแบบ Series Equivalent ที่เทียบเท่ากัน (ค่า R_s และ X_s)

วิธีทำ

$$Q_p = \frac{R_p}{X_p} = \frac{10\times10^3}{100} = 100$$

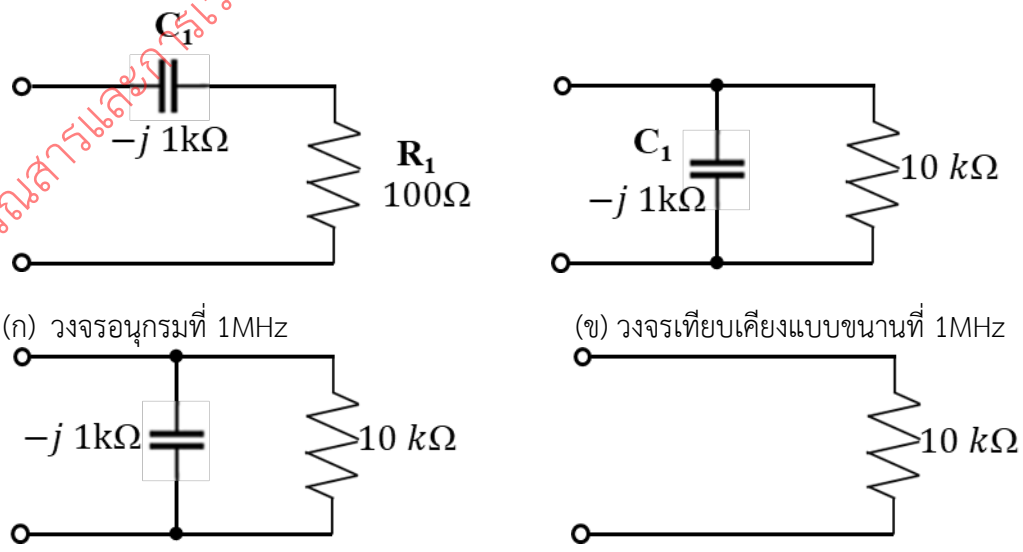
$$R_s = \frac{X_p}{1+\frac{1}{Q_p^2}} = \frac{10\times10^3}{1+100^2} = 1\Omega$$

$$X_s = \frac{Xp}{1+\frac{1}{Q_p^2}} = \frac{100}{1+\frac{1}{100^2}} = 100\Omega$$

ถ้าค่า Q ของวงจรต่ำ เช่น 0.01 รีแอกแตนซ์ในวงจร Series Equivalent จะมีค่าน้อยมาก ต่างจากค่าที่ตั้งต้นในวงจรขนาน

ตัวอย่างที่ 5.6 โจทย์ต้องการออกแบบให้หลอดขยายหลอดหนึ่งทำงานที่โหลด 10 kΩ ที่ความถี่ 1 MHz แต่ภาคถัดไป (Input Stage) มีค่า Input Resistance เพียง 100 Ω เท่านั้น ควรมีวิธีการอย่างไรจึงจะทำให้ค่า Input Resistance ของภาคถัดไปเพิ่มขึ้นเป็น 10 kΩ

วิธีทำ การเพิ่มค่า Input Resistance ของวงจรภาคถัดไปจาก 100 Ω เป็น 10 kΩ สามารถทำได้โดยใช้ ทรานสฟอร์มเมอร์ (Transformer) ที่มีอัตราส่วนรอบ (Turn Ratio) เท่ากับ 10:1 อย่างไรก็ตาม หากต้องการหลีกเลี่ยงการใช้ทรานสฟอร์มเมอร์ สามารถใช้วงจร Series Equivalent แทนได้ ตามที่แสดงในรูปที่ 5.13 (ก)



(ก) วงจรอนุกรมที่ 1MHz

(ข) วงจรเทียบเคียงแบบขนานที่ 1MHz

(ค) การปรับค่าเพื่อให้ค่า Capacitive หายไป

(ง) ค่าประสิทธิภาพโหลด

รูปที่ 5.13 วงจรเทียบเคียงแบบอนุกรม

ศูนย์บรรณสารและการเรียนรู้ สถาบันวิทยบริการ การเรียนรู้ มหาวิทยาลัยพะเยา

จากรูปที่ 5.13 (ก) จะได้ค่าดังนี้

$$Q_s = \frac{1{,}000}{100} = 10\,\Omega$$

$$R_p = 100\left(1 + 10^2\right) = 10\,k\Omega$$

$$X_p = 10^3\left(1 + \frac{1}{10^2}\right) = 1\,k\Omega$$

วงจรเทียบเคียงแบบขนาน (Parallel Equivalent) จะแสดงดังในรูปที่ 5.13 (ข) ซึ่งจะเห็นได้ว่ายังมีค่า Capacitive Reactance คือ ค่าที่แสดงถึงการขัดขวางกระแสไฟฟ้าสลับจากตัวเก็บประจุ อยู่ในวงจร สามารถกำจัดผลของ Capacitive Reactance นี้ได้โดยการต่อ Inductive Reactance คือ การขัดขวางการไหลของกระแส AC โดยขดลวดเหนี่ยวนำ ขนาด 1 Ω เข้าไปตามรูปที่ 5.13 (ค) ดังนั้น ค่า Effective Load ของวงจรจึงเท่ากับ 10 kΩ ตามที่ต้องการ

อย่างไรก็ตาม ควรทราบว่าวงจรนี้จะส่งผลเฉพาะที่ความถี่ 1 MHzเท่านั้น เนื่องจากค่าของ X_L และ X_C ขึ้นอยู่กับความถี่ ซึ่งที่ความถี่นี้สามารถคำนวณค่า ตัวเหนี่ยวนำ (L) และ ตัวเก็บประจุ (C) ที่เหมาะสมสำหรับวงจรได้

$$L = 0.159\ \text{MHz}$$

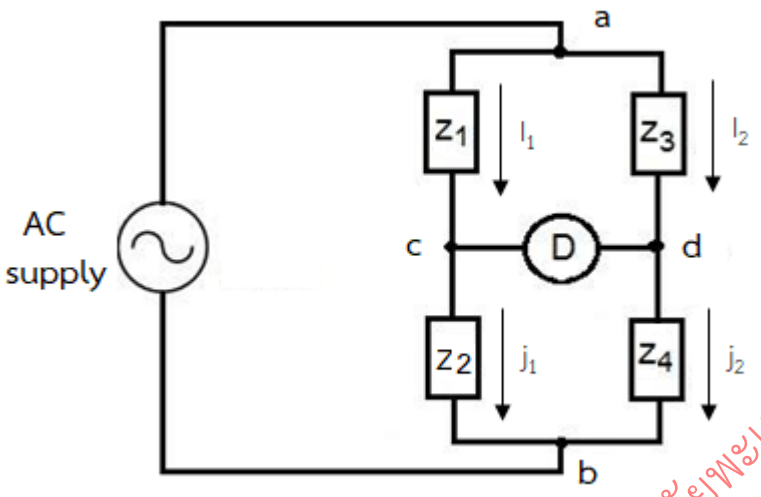
และ $C = 159\ \text{pF}$

5.2 วงจรบริดจ์กระแสสลับ (AC Bridge)

หลักการทำงานของวงจรบริดจ์กระแสสลับในรูปที่ 5.14 มีลักษณะคล้ายกับวงจรวิทสโตนบริดจ์ โดยใช้หลักการ สมดุลบริดจ์ เพื่อหาค่าความต้านทานในวงจรกระแสสลับ

ในวงจรนี้จะมีอุปกรณ์ ดีเท็คเตอร์ (detector) ทำหน้าที่วัดกระแสในขณะเกิดสมดุลของบริดจ์ ซึ่งจะมาแทนที่ตัวกัลวานอมิเตอร์ที่ใช้ในวงจรวิทสโตนบริดจ์แบบกระแสตรง

ศูนย์บรรณสารและการเรียนรู้ สถาบันวิทยบริการและเทคโนโลยีสารสนเทศ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี



รูปที่ 5.14 วงจรบริดจ์กระแสสลับ

เมื่อดีเท็คเตอร์ชี้ที่ตำแหน่งศูนย์ตามรูปที่ 5.14 แสดงว่าแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ ณ จุด a และ b เป็นศูนย์ กล่าวคือแรงดันที่ตกคร่อมที่ Z_1 มีค่าเท่ากับ Z_2 และแรงดันที่ตกคร่อมที่ Z_3 กับ Z_4 ก็เท่ากันเช่นเดียวกัน เนื่องจากกระแสที่ไหลผ่านแต่ละแขนเป็นเส้นทางเดียวกันตามที่แสดงในรูป

ดังนั้นเมื่อบริดจ์สมดุล จะได้สมการความสมดุลของบริดจ์ดังนี้

$$V_{Z1} = V_{Z3}$$

ดังนั้น $$i_1 Z_1 = i_2 Z_3 \qquad (5.27)$$

และ $$V_{Z2} = V_{Z4}$$

หรือ $$i_1 Z_2 = i_2 Z_4 \qquad (5.28)$$

เมื่อนำสมการที่ (5.27) หารด้วยสมการที่ (5.28) จะได้ผลลัพธ์เป็น

$$\frac{i_1 Z_1}{i_1 Z_2} = \frac{i_2 Z_3}{i_2 Z_4}$$

$$\frac{Z_1}{Z_2} = \frac{Z_3}{Z_4}$$

หรือ $$Z_1 Z_4 = Z_2 Z_3$$

ศูนย์บรรณสารและการเรียนรู้ สถาบันนวัตกรรมการเรียนรู้ มหาวิทยาลัยพะเยา

วงจรบริดจ์กระแสสลับจะแตกต่างจากวงจรบริดจ์กระแสตรงตรงที่ เมื่อบริดจ์สมดุลแล้ว นอกจากขนาด (Magnitude) ของอิมพีแดนซ์จะต้องสมดุลกันแล้ว มุมเฟส (Phase angle) ของอิมพีแดนซ์แต่ละแขนก็ต้องเท่ากันด้วย

ดังนั้น เมื่อนำอิมพีแดนซ์และมุมเฟสมาแทนในสมการสมดุลของบริดจ์ในรูปของจำนวนเชิงซ้อน (Complex number) แบบโพล่าร์ฟอร์ม (Polar form) จะได้สมการดังนี้

$$Z_1 < \theta_1 \times Z_4 < \theta_4 = Z_2 < \theta_2 \times Z_3 < \theta_3 \quad (5.29)$$

หรือ $$Z_1 Z_2 < (\theta_1 + \theta_4) = Z_2 Z_3 < (\theta_2 + \theta_3) \quad (5.30)$$

จากสมการที่ (5.29) สามารถแยกสมการสมดุลของบริดจ์ไฟฟ้ากระแสสลับออกเป็นส่วนของขนาดอิมพีแดนซ์ได้ดังนี้

$$|Z_1| \times |Z_4| = |Z_2| \times |Z_3| \quad (5.31)$$

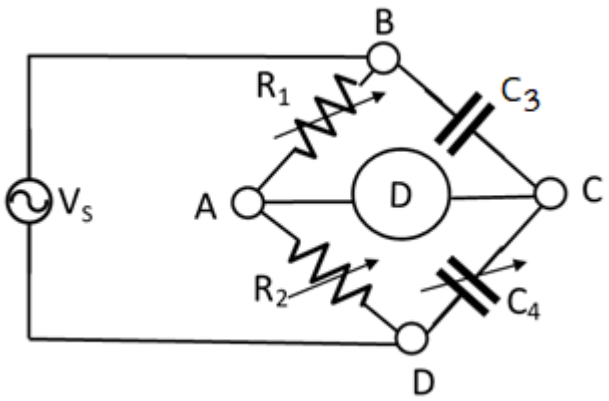
ส่วนของ มุมเฟส (phase angle) ที่สมดุลกันของอิมพีแดนซ์ จะเป็นดังนี้

$$\angle(\theta_1 + \theta_4) = (\theta_2 + \theta_3)$$

วงจรบริดจ์กระแสสลับถูกพัฒนาและนำมาใช้งานในหลายรูปแบบ ขึ้นอยู่กับลักษณะการต่อวงจรและการประยุกต์ใช้งาน จึงมีชื่อเรียกและประเภทที่แตกต่างกันออกไป ดังรายละเอียดดังต่อไปนี้

5.2.2 วงจรบริดจ์สำหรับวัดค่าความจุ

1. **วงจรคาพาซิแตนซ์บริดจ์ (Capacitance Bridge)** เป็นวงจรบริดจ์ชนิดหนึ่งที่ใช้สำหรับวัดค่าความจุของตัวเก็บประจุ โดยส่วนใหญ่จะใช้สำหรับการเปรียบเทียบค่าความจุระหว่างตัวเก็บประจุตัวหนึ่งกับค่ามาตรฐาน วงจรมีลักษณะดังที่แสดงในรูปที่ 5.15



รูปที่ 5.15 วงจรคาพาซิแตนซ์บริดจ์ (Capacitance Bridge)

ศูนย์บรรณสารและการเรียนรู้ สถาบันวิทยบริการและการเรียนรู้ มหาวิทยาลัยพะเยา

จากรูปที่ 5.15 เมื่อ

R_1, R_2 คือ ความต้านทานปรับค่าได้ ใช้สำหรับปรับวงจรบริดจ์ให้สมดุล
C_4 คือ ค่าความจุมาตรฐานที่ปรับค่าได้
C_3 คือ ค่าความจุที่ต้องการวัดหรือตรวจสอบ

เมื่อวงจรบริดจ์สมดุล จะได้ความสัมพันธ์ระหว่างค่าต่าง ๆ ดังนี้

$$Z_1 \times Z_4 = Z_2 \times Z_3$$

โดยที่

$$Z_1 = R_1$$
$$Z_2 = R_2$$
$$Z_3 = -jXc_4 = \frac{-j}{\omega c_3}$$
$$Z_4 = -jXc_4 = \frac{-j}{\omega c_4}$$

เมื่อแทนค่าต่าง ๆ ลงในสมการบริดจ์สมดุล จะได้ว่า

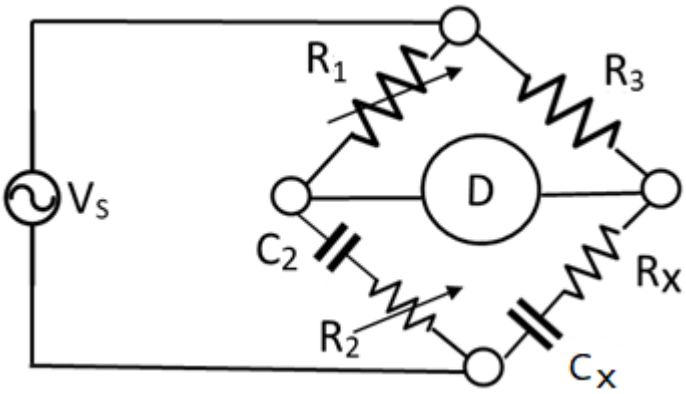
$$\frac{Z_1}{Z_2} = \frac{Z_3}{Z_4}$$
$$\frac{R_1}{R_2} = \frac{-j}{\omega c_3} ; \frac{\omega c_4}{-j}$$
$$\frac{R_1}{R_2} = \frac{\omega c_4}{\omega c_3}$$
$$\frac{R_1}{R_2} = \frac{C_4}{C_3}$$
$$C_3 = \frac{R_2 C_4}{R_1} \qquad (5.32)$$

วงจรบริดจ์แบบนี้จะมีความไวสูงสุดเมื่อค่าความจุ C_4 เท่ากับ C_3 แต่ในทางปฏิบัติจะไม่สามารถปรับค่าให้วงจรบริดจ์อยู่ในภาวะสมดุลอย่างสมบูรณ์ได้เสมอไป

1. บริดจ์มุมเหมือน (Similar Angle Bridge) ดังแสดงในรูปที่ 5.16 เป็นวงจรบริดจ์กระแสสลับที่ใช้สำหรับวัด อิมพีแดนซ์เชิงเก็บประจุ (Capacitive Impedance) โดยเฉพาะ ซึ่งประกอบด้วยค่าความต้านทาน R_x และค่าความจุ C_x ที่ต้องการวัด

วงจรนี้ใช้ ตัวเก็บประจุมาตรฐาน C_2 เป็นองค์ประกอบหลักในการเปรียบเทียบค่ากับอิมพีแดนซ์ที่ต้องการวัด เพื่อหาค่าที่ถูกต้องเมื่อบริดจ์อยู่ในสภาวะสมดุล

ศูนย์บรรณสารและสื่อการเรียนรู้ สถาบันนวัตกรรมการเรียนรู้ มหาวิทยาลัยพะเยา



รูปที่ 5.16 วงจรบริดจ์มุมเหมือน

เมื่อวงจรบริดจ์มุมเหมือน (Similar Angle Bridge) อยู่ในสภาวะสมดุล และเมื่อนำค่าต่าง ๆ ในวงจรไปเปรียบเทียบกับวงจรบริดจ์มาตรฐานในรูปที่ 5.14 จะได้สมการสมดุลของบริดจ์ดังนี้

$$Z_1 = R_1 \qquad Z_2 = R_2 - jX_{c2}$$
$$Z_3 = R_3 \qquad Z_4 = R_x - jX_{cx} \tag{5.33}$$

เมื่อนำค่าจากสมการ (5.33) ไปแทนลงในสมการ (5.31) จะได้ว่า

$$R_1(R_x - jX_{cx}) = (R_2 - jX_{c2})R_3 \tag{5.34}$$

$$R_1R_x - jR_1X_{cx} = R_2R_3 - jR_3X_{c2} \tag{5.35}$$

หากแบ่งสมการ (3.53) ออกเป็น 2 ส่วน ได้แก่ ส่วนของจำนวนจริง (Real Part) และ ส่วนของจำนวนจินตภาพ (Imaginary Part) จะสามารถแยกสมการเพื่อหาค่าต่าง ๆ ได้ดังนี้

จะได้ $$R_1X_1 = R_2R_3 \tag{5.36}$$

$$-jR_1X_{cx} = -jR_3X_{c2} \tag{5.37}$$

จากสมการ (5.37) จะได้ว่า

$$-jR_1\frac{1}{\omega C_x} = -jR_3\frac{1}{\omega c_2} \tag{5.38}$$

$$R_1C_2 = R_3C_x \tag{5.39}$$

จากสมการ (5.36) และสมการ (5.39) จะได้

$$\boxed{R_x = \frac{R_2}{R_1}R_3} \tag{5.40}$$

ศูนย์บรรณสารและการเรียนรู้ สถาบันบัณฑิตพัฒนบริหารศาสตร์ มหาวิทยาลัยพะเยา

$$C_x = \frac{R_1}{R_3} C_2 \qquad (5.41)$$

ตัวอย่างที่ 5.7 ในวงจรบริดจ์มุมเหมือน ตามรูปที่ 5.16 ใช้สำหรับวัดอิมพีแดนซ์เชิงเก็บประจุ (Capacitive impedance) ที่ความถี่ f=2 kHz โดยมีค่าคงที่ต่าง ๆ ซึ่งทำให้บริดจ์อยู่ในสภาวะสมดุล ดังนี้

$C_2 = 100\ \mu F$ $R_1 = 15\ k\Omega$

$R_3 = 55\ k\Omega$ $R_2 = 150\ k\Omega$

จงหาค่า R_x และ C_xที่ต่อในวงจรดังกล่าว

วิธีทำ

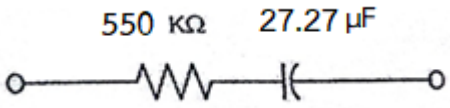
จงหาค่า R_x จากสมการ (5.40)

$$R_x = \frac{R_2}{R_1} R_3 = \frac{(150\times10^3\Omega)(55\times10^3\Omega)}{15\times10^3\Omega} = 550k\Omega$$

จงหาค่า C_x จากสมการ (5.41)

$$C_x = \frac{R_1}{R_3} C_2 = \frac{(15\times10^3\Omega)(100\times10^{-6}\Omega)}{55\times10^3\Omega} = 27.27\mu F$$

นำค่า R_x และ C_x มาเป็นวงจรเทียบเคียงได้เป็น



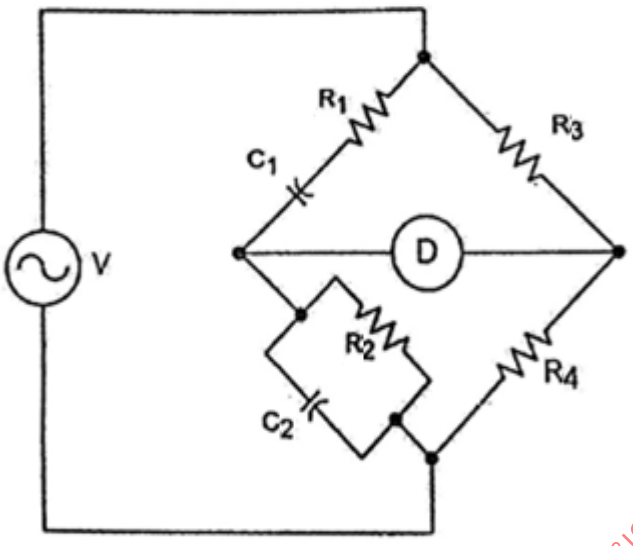
รูปที่ 5.17 ค่าที่ได้จากการคำนวณ

3) วงจรวีนบริดจ์ (Wien Bridge)

คือ วงจรบริดจ์กระแสสลับที่ใช้สำหรับวัดอิมพีแดนซ์ของตัวเก็บประจุ (Capacitive impedance) โดยสามารถใช้งานได้ใน 2 ลักษณะหลัก ดังนี้

- กรณีที่ ตัวต้านทาน R_1 และ ตัวเก็บประจุ C_1 ต่อแบบอนุกรมกัน และใช้ ตัวเก็บประจุมาตรฐาน C_2 เป็นองค์ประกอบในการเปรียบเทียบค่า
- กรณีที่ ตัวต้านทาน R_2และ ตัวเก็บประจุ C_2 ต่อแบบอนุกรมกัน และใช้ ตัวเก็บประจุมาตรฐาน C_1 เป็นองค์ประกอบในการเปรียบเทียบค่า

ศูนย์บรรณสารและการเรียนรู้ สถาบันบัณฑิตพัฒนบริหารศาสตร์ มหาวิทยาลัยพะเยา



รูปที่ 5.18 วงจรวีนบริดจ์ (Wien Bridge)

จาก

$$Z_1 = R_1 - jX_{c_1}$$

$$Z_2 = \frac{1}{\frac{1}{R_2} - \frac{1}{jX_{c_2}}}$$

$$Z_3 = R_3$$

$$Z_4 = R_4$$

จะได้

$$R_1 = \frac{R_3}{R_4}\left(\frac{R_2}{1+\omega^2 R_2^2 C_2^2}\right) \tag{5.42}$$

$$C_1 = \frac{R_4}{R_3}\left(C_2 + \frac{R_2}{\omega^2 R_2^2 C_2^2}\right) \tag{5.43}$$

และ

$$R_2 = \frac{R_4}{R_3}\left(R_1 + \frac{1}{\omega^2 R_1 C_1^2}\right) \tag{5.44}$$

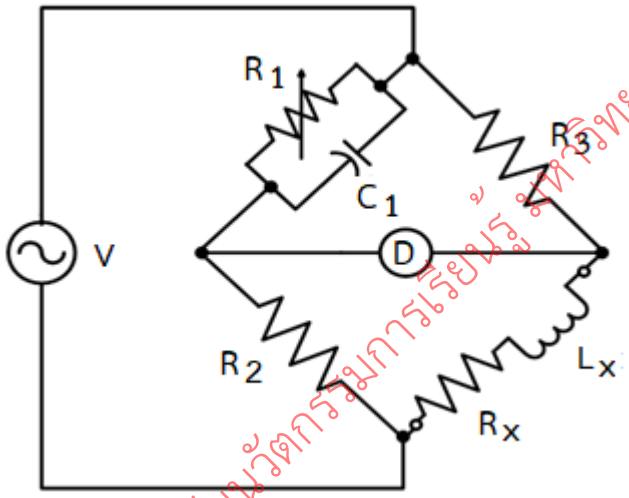
$$C_2 = \frac{R_3}{R_4}\left(1 + \frac{1}{\omega^2 R_1^2 C_1^2}\right) C_1 \tag{5.45}$$

ศูนย์บรรณสารและสื่อการเรียนรู้ สถาบันนวัตกรรมการเรียนรู้ มหาวิทยาลัยพะเยา

5.2.3 วงจรบริดจ์ที่ใช้วัดค่าความเหนี่ยวนำ

1. แมกซ์เวลล์บริดจ์ (Maxwell Bridge)

เป็นวงจรบริดจ์กระแสสลับที่ใช้สำหรับวัดค่าอิมพีแดนซ์เชิงเหนี่ยวนำ (Inductive impedance) ซึ่งประกอบด้วยความต้านทาน R_x และค่าความเหนี่ยวนำ L_x ของโหลดที่ต้องการวัด โดยในวงจรนี้จะใช้ ตัวเก็บประจุมาตรฐาน C_1 เป็นองค์ประกอบสำคัญสำหรับการเปรียบเทียบค่า เพื่อให้วงจรเข้าสู่สภาวะสมดุล วงจรแสดงดังในรูปที่ 5.19



รูปที่ 5.19 วงจรแมกซ์เวลล์บริดจ์ (Maxwell Bridge)

เมื่อวงจรแมกซ์เวลล์บริดจ์ (Maxwell Bridge) อยู่ในสภาวะสมดุล และเมื่อนำค่าต่าง ๆ ในวงจรมาเทียบเคียงกับรูปที่ 5.19 จะได้ความสัมพันธ์ ดังนี้

$$Z_1 = \frac{1}{\frac{1}{R_1}+j\omega c_1} \qquad Z_2 = R_2$$

$$Z_3 = R_3 \qquad Z_4 = R_x + jX_{LX}$$

จะได้

$$\frac{1}{\frac{1}{R_1}+j\omega c_1}(R_x + jX_{LX}) = R_2R_3$$

$$R_X + jx_{LX} = \frac{R_2R_3}{R_1} + j\omega R_2R_3C_1 \qquad (5.46)$$

เมื่อนำสมการ (5.46) มาแยกออกเป็นส่วนจำนวนจริง (Real Part) และส่วนจำนวนจินตภาพ (Imaginary Part) ดังนี้

ศูนย์บรรณสารและการเรียนรู้ สถาบันนวัตกรรมการเรียนรู้ มหาวิทยาลัยพะเยา

$$R_x = \frac{R_2 R_3}{R_1} \tag{5.47}$$

$$j\omega L_x = j\omega R_2 R_3 C_1$$

$$L_x = R_2 R_3 C_1 \tag{5.48}$$

ตัวอย่างที่ 5.8 จากวงจร Maxwell Bridge ในรูปที่ 5.19 ซึ่งใช้วัดอิมพีแดนซ์เชิงเหนี่ยวนำ (inductive impedance) โดยมีค่าคงที่ที่ทำให้บริดจ์อยู่ในสภาวะสมดุล ดังนี้

C_1 = 0.01 μF R_1 = 580 kΩ

R_2 = 5 kΩ R_3 = 150 kΩ

จงหาค่า R_X และ L_X ที่ต่อในวงจรดังกล่าว

วิธีทำ หาค่า R_X และ L_X ได้จาก

$$R_X = \frac{R_2\ R_3}{R_1} = \frac{(5.0\times10^3\ \Omega)(150\times10^3\ \Omega)}{580\times10^3\ \Omega} = 1.293\ \text{k}\Omega$$

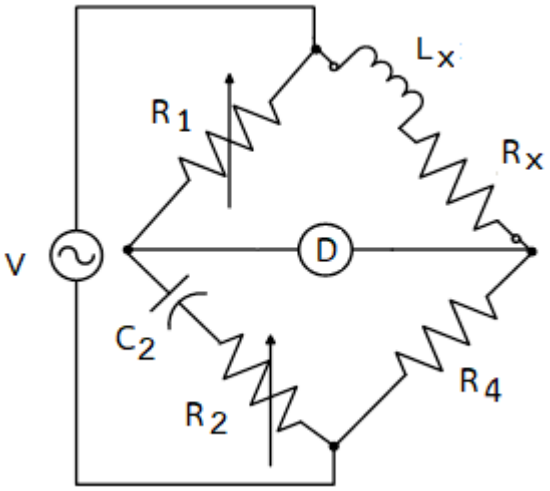
ตอบ $L_X = R_2\ R_3\ C_1 = (5.0 \times 10^3\ \Omega)(150 \times 10^3\ \Omega)(0.01 \times 10^{-6}\ \text{F}) = 7.5\ \text{H}$

2. **บริดจ์มุมตรงข้าม (Opposite Angle Bridge)**

หรือที่เรียกกันว่า Hay Bridge โดยทั่วไป วงจร Similar Angle Bridge เพื่อหาค่า Capacitive impedance (C_x และ R_x) แต่เมื่อต้องการวัดค่า Inductive impedance (L_x และ R_x) สามารถทำได้โดยการแทนที่ตัวเก็บประจุมาตรฐาน C_2 ในรูปที่ 5.19 ด้วยตัวเหนี่ยวนำมาตรฐาน

อย่างไรก็ตามตัวเหนี่ยวนำมาตรฐานมีขนาดใหญ่และราคาสูงมากจึงนิยมใช้ตัวเก็บประจุมาตรฐานแทน และปรับเปลี่ยนรูปแบบวงจรบริดจ์กระแสสลับใหม่ ดังแสดงในรูปที่ 5.20 ซึ่งวงจรนี้เรียกว่า Opposite Angle Bridge หรือ Hay Bridge

ศูนย์บรรณสารและการเรียนรู้ สถาบันบัณฑิตพัฒนบริหารศาสตร์ มหาวิทยาลัยพะเยา



รูปที่ 5.20 วงจร Hay Bridge หรือ Opposite Angle Bridge

จะได้

$$Z_1 = R_1 \qquad Z_2 = R_2 - jX_{c2}$$

$$Z_3 = R_X + jX_{LX} \qquad Z_4 = R_4$$

เมื่อวงจร Opposite Angle Bridge อยู่ในสภาพสมดุล จะได้สมการความสัมพันธ์ระหว่างอิมพีแดนซ์ต่าง ๆ ในวงจรดังนี้

$$R_1R_4 = (R_2 - jX_{c2})(R_X + JX_{LX})$$

$$R_1R_4 = R_2R_X + jR_2X_{L2} - jR_XX_{C2} + X_{C2}X_{LX}$$

$$R_1R_4 = R_2R_X + jR_2X_{L2} - jR_XX_{C2} + \frac{\omega L_X}{\omega C_2} \qquad (5.49)$$

เมื่อแยกสมการ (5.49) ออกเป็น ส่วนจำนวนจริง (Real Part) และ ส่วนจำนวนจินตภาพ (Imaginary Part) จะได้

$$R_1R_4 = R_2R_X + \frac{L_X}{C_2} \qquad (5.50)$$

$$R_2X_{LX} - R_XX_{C2} = 0 \qquad (5.51)$$

จากสมการ (5.51) จะได้

$$R_2X_{LX} = R_XX_{C2}$$

$$\omega R_2L_X = \frac{R_X}{\omega C_2}$$

ศูนย์บรรณสารและการเรียนรู้ สถาบันวิทยบริการและการเรียนรู้ มหาวิทยาลัยพะเยา

$$L_X = \frac{R_X}{\omega^2 R_2 C_2} \tag{5.52}$$

แทนค่า L_X ในสมการ (5.50) จะได้

$$R_1 R_4 = R_2 R_X + \frac{R_X}{\omega^2 R_2 C_2}$$

$$R_X \left(\frac{1}{\omega^2 R_2 C_2^2} + R_2\right) = R_1 R_4$$

$$R_X \left(\frac{1+\omega^2 R^2 2 C_2^2}{\omega^2 R_2 C_2^2}\right) = R_1 R_4$$

$$R_X = \frac{\omega^2 R_1 R_2 R_4 C_2^2}{1+\omega^2 R_2^2 C_2^2} \tag{5.53}$$

แทนค่าสมการ 5.53 ในสมการ 5.52 จะได้

$$L_X = \left(\frac{\omega^2 R_1 R_2 R_4 C_2^2}{1+\omega^2 R_2^2 C_2^2}\right) \frac{1}{\omega^2 R_2 C_2}$$

$$L_X = \frac{R_1 R_4 C_2}{1+\omega^2 R_2^2 C_2^2} \tag{5.54}$$

ตัวอย่างที่ 5.9 จากวงจร Opposite Angle Bridge ในรูปที่ 5.20 ซึ่งใช้วัดอิมพีแดนซ์เชิงเหนี่ยวนำ (Inductive impedance) โดยมีค่าคงที่ที่ทำให้บริดจ์อยู่ในสภาวะสมดุล ดังนี้

ω = 3000 rad/s R_1 = 10 kΩ C_2 = 1 μF
R_4 = 1 kΩ R_2 = 2 kΩ จงหาค่า R_X และ L_X ที่มาต่อในวงจร

วิธีทำ หาค่า

$$R_X = \frac{\omega^2 R_1 R_2 R_4 C_2^2}{1+\omega^2 R_2^2 C_2^2}$$

$$= \frac{(3\times10^3)^2 (10\times10^3 (2\times10^3)(1\times10^3)(1\times10^{-6})^2}{1+(3\times10^3)^2 (2\times10^3)^2 (1\times10^{-6})^2}$$

ศูนย์บรรณสารและการเรียนรู้ สถาบันเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์ มหาวิทยาลัยพะเยา

$$= \frac{180\times10^{3}}{1+36} = 4.86\ \text{k}\Omega$$

$$L_X = \frac{R_1 R_4 C_2}{1+\omega^2 R_2^{\,2} C_2^{\,2}}$$

$$= \frac{(10\times10^{3}\Omega)(1\times10^{3}\Omega)(1\times10^{-6}\Omega)}{1+(3\times10^{3})^2(1\times10^{-6})^2}$$

$$L_x = \frac{10}{1+36} = 0.27\ \text{H} = 270\ \text{mH}$$

ศูนย์บรรณสารและการเรียนรู้ สถาบันนวัตกรรมการเรียนรู้ มหาวิทยาลัยพะเยา

บทสรุปท้ายบทเรียนบทที่ 5

ในบทเรียนเรื่องวงจรบริดจ์มิเตอร์ได้เรียนรู้แนวคิดและความรู้เกี่ยวกับอุปกรณ์วัดชนิดนี้ รวมทั้งการใช้งานบริดจ์มิเตอร์ในการวัดกระแสไฟฟ้าทั้งกระแสตรงและกระแสสลับ ซึ่งเป็นเครื่องมือสำคัญในการวัดและควบคุมกระแสไฟฟ้าในวงจรต่าง ๆ

บทเรียนได้อธิบายหลักการทำงานของบริดจ์มิเตอร์ที่ใช้แนวคิดศักย์ไฟฟ้าในการวัดกระแสไฟฟ้าและการต่อวงจรเพื่อให้เกิดความสัมพันธ์ที่ช่วยให้การวัดมีความแม่นยำ นอกจากนี้ ยังได้เรียนรู้การประยุกต์ใช้งานบริดจ์มิเตอร์ในด้านต่าง ๆ เช่น การวัดกระแสไฟฟ้าเพื่อปรับแต่งอุปกรณ์ การควบคุมกระแสในงานอุตสาหกรรม และการตรวจสอบความปลอดภัยในระบบไฟฟ้า

บทเรียนยังแนะนำประเภทของบริดจ์มิเตอร์ เช่น บริดจ์มิเตอร์แบบเปิด และแบบไฟฟ้าสถิต ซึ่งแต่ละประเภทมีลักษณะการใช้งานและการประยุกต์ที่แตกต่างกัน ด้วยความรู้ที่ได้รับนี้ ผู้เรียนสามารถนำบริดจ์มิเตอร์ไปใช้วัดและควบคุมกระแสไฟฟ้าได้อย่างมีประสิทธิภาพและแม่นยำ รวมถึงสามารถพัฒนาความรู้และต่อยอดไปสู่การทำงานในสาขาอิเล็กทรอนิกส์และการวิจัยระบบไฟฟ้าต่าง ๆ ได้อย่างเป็นประโยชน์

ศูนย์บรรณสารและการเรียนรู้ สถาบันนวัตกรรมการเรียนรู้ มหาวิทยาลัยพะเยา

แบบฝึกหัดบทที่ 5

1. จงหา วงจรเทียบแบบขนาน (Parallel Equivalent Circuit) ของวงจรที่ประกอบด้วย ความต้านทาน 60 kΩ และ ต่ออนุกรมกับ Capacitive Reactance 250 Ω (ตอบ R_p= 60 kΩ และ X_p=14.4 MΩ)

2. จงหาวงจรเทียบแบบอนุกรม (Series Equivalent Circuit) ของวงจรที่ประกอบด้วย ความต้านทาน 6.5 kΩ ต่อขนานกับ Inductive Reactance 120 Ω (ตอบ ความต้านทานอนุกรม Rs = 2.21 Ω และ ค่า Inductive Reactance อนุกรม X_s=120 Ω)

3. จาก Electrolytic Capacitor ตัวหนึ่งมีค่าความจุ 120 mF และ ค่า Shunt Leakage Resistance 3.0 MΩ

   (ก) จงหา วงจรเทียบแบบอนุกรม ที่ความถี่ 14.9 Hz (ตอบ R_s= 0 Ω และ X_s = 0.089 Ω)

   (ข) หากความถี่เปลี่ยนเป็น 1.69 Hz จงหา วงจรเทียบแบบขนาน
   (ตอบ R_p= 3 MΩ และX_p = 0.785 Ω)

4. คอยล์ตัวหนึ่งมี ค่า Q=120 ที่ความถี่ 90 kHz และ ค่า Inductance 0.1 mH

   (ก) จงหาค่า ความต้านทานอนุกรม (Series Resistance) ของคอยล์ (ตอบ R_s = 0.471 Ω

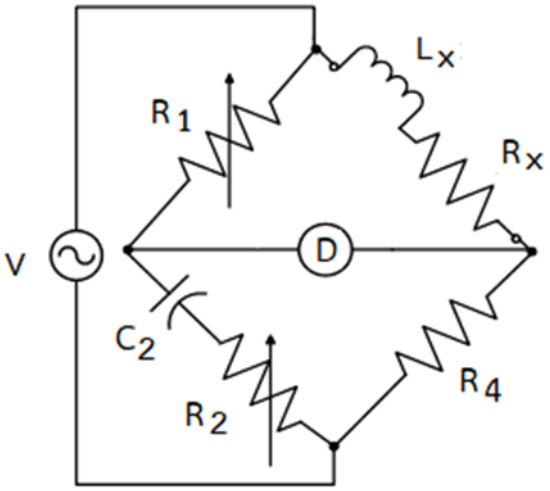
   (ข) หากต้องการหา วงจรเทียบแบบขนาน (Parallel Equivalent Circuit) จงหาค่า R_p
   (ตอบ R_p= 6.78 k Ω)

5. วงจร A.C. Bridge ตัวหนึ่งวัดค่า Q ของคาปาซิเตอร์ตัวหนึ่งได้ค่า 1,200 ค่า Capacitance 150 pF และ ความถี่ทำงานของบริดจ์ 1.5 MHz จงหา
   (ก) ค่า R_s ของวงจรSeries Equivalent (ตอบ 0.589 Ω)

   (ข) ค่า R_p ของวงจรParallel Equivalent (ตอบ 849 kΩ)

6. วงจรบริดจ์มุมเหมือน ในรูปที่ 5.16 ใช้วัด capacitive impedance ที่ความถี่ 2.0 kHz และมี ค่าคงที่ ซึ่งทำให้บริดจ์อยู่ในสภาพสมดุล ดังนี้ คือ
   $C_2 = 130\ \mu F$ $R_1 = 15\ k\Omega$
   $R_3 = 70\ k\Omega$ $R_2 = 160\ k\Omega$ จงหาค่า R_x และ C_xที่ต่อในวงจร
   (ตอบ R_x = 746.7 kΩ และ C_x = 27.9 μF)

ศูนย์เรรณสารและการเรียนรู้ สถาบันพัฒนาการเรียนรู้ มหาวิทยาลัยพะเยา



รูปที่ 5.20 วงจร Opposite Angle Bridge

7. จากวงจร Opposite Angle Bridge ในรูปที่ 5.20 มีค่าคงที่ซึ่งทำให้บริดจ์อยู่ในสภาพสมดุล ดังนี้

ω = 3,500 rad/s R_1 = 18 kΩ C_2 = 1.3 μF

R_4 = 1.4 kΩ R_2 = 2.8 kΩ จงหาค่า R_x และ L_xที่ต่อในวงจร

(ตอบ R_x = 9.0 kΩ และ L_x = 32.76 H)

8. จากรูปที่ 5.20 มีค่าคงที่ซึ่งทำให้บริดจ์อยู่ในสภาพสมดุล ดังนี้

ω = 3,700 rad/s R_1 = 48 kΩ C_2 = 2.3 μF

R_4 = 6.4 kΩ R_2 = 4.8 kΩ จงหาค่า R_x และ L_xที่ต่อในวงจร

(ตอบ R_x = 640 Ω และ L_x = 70.656 H)

ศูนย์บรรณสารและการเรียนรู้ สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยพะเยา

ศูนย์บรรณสารและการเรียนรู้ สถาบันนวัตกรรมการเรียนรู้ มหาวิทยาลัยพะเยา

บทที่ 6
ออสซิลโลสโคป

ออสซิลโลสโคป (Oscilloscope) หรือที่นิยมเรียกสั้นๆ ว่า “สโคป” (Scope) เป็นเครื่องมือวัดสัญญาณไฟฟ้าที่สำคัญ ใช้สำหรับแสดงรูปคลื่นของสัญญาณในลักษณะกราฟระหว่างแรงดันไฟฟ้ากับเวลา ช่วยในการตรวจสอบ วิเคราะห์ และวินิจฉัยปัญหาในงานด้านไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ ไม่ว่าจะเป็นการวัดความถี่ แอมพลิจูด หรือการตรวจสอบรูปคลื่นของวงจรที่มีความซับซ้อน ออสซิลโลสโคปจึงเป็นเครื่องมือพื้นฐานที่จำเป็นในงานวิศวกรรมและงานวิจัยต่างๆ



รูปที่ 6.1 ออสซิลโลสโคป
ที่มา: https://icelectronic.com/beginner/study/cro.htm สืบค้นเมื่อวันที่ 6/8/2566

ศูนย์หนังสือและการเรียนรู้ สถาบันนวัตกรรมการเรียนรู้ มหาวิทยาลัยพะเยา

ออสซิลโลสโคป (Oscilloscope)

ออสซิลโลสโคปคือเครื่องมือสำหรับวัดแรงดันไฟฟ้าที่เปลี่ยนแปลงตามเวลา โดยจะแสดงผลในรูปกราฟแรงดันเทียบกับเวลา ซึ่งสามารถใช้วัดปริมาณอื่นๆ ที่แปลงให้อยู่ในรูปแรงดันได้ เช่น กระแสไฟฟ้า ความดังของเสียง ความดัน ความเร่ง หรือการสั่นสะเทือน เป็นต้น ด้วยคุณสมบัติที่หลากหลาย ออสซิลโลสโคปจึงถูกนำไปใช้อย่างแพร่หลายในหลายสาขา เช่น การแพทย์ การสื่อสาร การทหาร และด้านวิศวกรรมต่างๆ

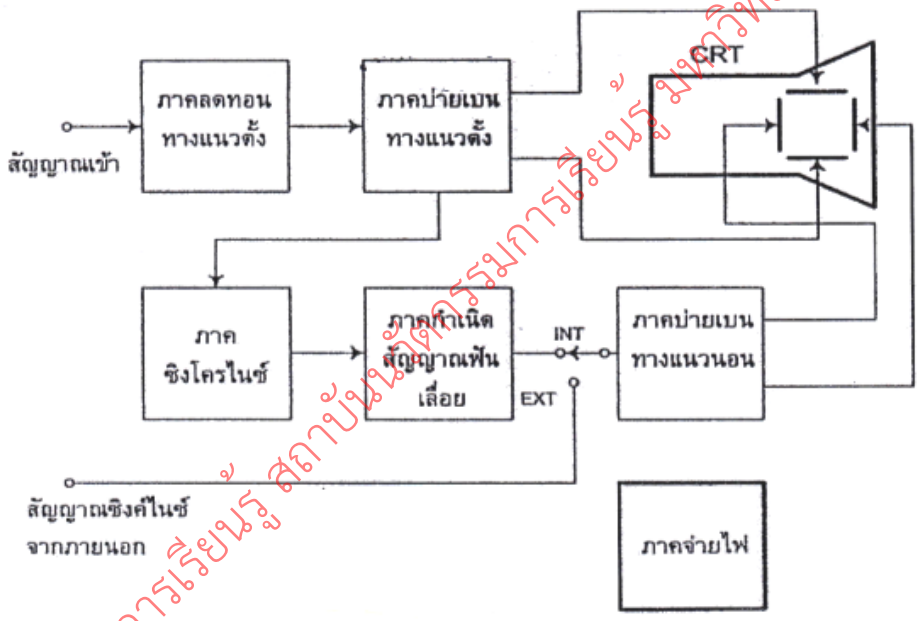
เมื่ออ่านค่าจากหน้าจอออสซิลโลสโคป สามารถวัดได้ทั้ง:

- ค่ายอด (Peak Value หรือ $V_{\mathbf{p}}$)
- ค่ายอดถึงยอด (Peak-to-Peak Value หรือ $V_{\mathbf{p-p}}$)
- ความถี่ (Frequency) ซึ่งหาได้จากการวัดช่วงเวลาของรูปคลื่น

ประโยชน์ของออสซิลโลสโคปโดยสรุป

- วัดแรงดันไฟฟ้าหรือกระแสไฟฟ้าของสัญญาณ
- วัดเวลาและความถี่ของสัญญาณ
- วัดเฟสระหว่างสัญญาณ 2 ชุด
- ตรวจสอบรูปร่างและองค์ประกอบของสัญญาณในวงจร
- ใช้ในการซ่อมบำรุงอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์
- ใช้งานร่วมกับเครื่องมืออื่น หรือดัดแปลงใช้ในงานเฉพาะทาง ดูตัวอย่างออสซิลโลสโคปใน รูปที่ 6.1

6.1 หลักการทำงานของออสซิลโลสโคป (Oscilloscope Principle)



รูปที่ 6.2 บล็อกไดอะแกรมของออสซิลโลสโคป

6.1.1 บล็อกไดอะแกรมของออสซิลโลสโคป

บล็อกไดอะแกรมของออสซิลโลสโคปแสดงในรูปที่ 6.2 ประกอบด้วยส่วนต่างๆ ที่ทำงานร่วมกันเพื่อแสดงรูปคลื่นของสัญญาณไฟฟ้าบนหน้าจอ หลอดภาพ (CRT) โดยมีรายละเอียดของแต่ละส่วนดังนี้

- **ภาคลดทอนทางแนวตั้ง (Vertical Attenuator)**
  ทำหน้าที่รับสัญญาณจากภายนอก และปรับลดความแรงของสัญญาณให้อยู่ในระดับที่เหมาะสม ก่อนส่งต่อไปยังภาคขยาย เพื่อไม่ให้สัญญาณแรงเกินไปจนทำให้หน้าจอแสดงผลผิดเพี้ยน

ศูนย์วิทยทรัพยากร สถาบันนวัตกรรมการเรียนรู้ มหาวิทยาลัยพะเยา

- **ภาคขยายสัญญาณแนวตั้ง (Vertical Deflection Amplifier)**
  ขยายสัญญาณจากภาคลดทอนให้มีแรงดันเพียงพอสำหรับควบคุมแผ่นเพลตแนวตั้ง (Vertical Plates) ภายใน CRT เพื่อบังคับให้ลำอิเล็กตรอนบ่ายเบนขึ้นหรือลง แสดงสัญญาณในแนวดิ่ง
- **ภาคซิงโครไนซ์ (Synchronize Circuit)**
  ดึงสัญญาณบางส่วนจากภาคขยายแนวตั้งมาแปลงเป็นพัลส์ เพื่อซิงโครไนซ์กับสัญญาณจากภาคกำเนิดฟันเลื่อยแนวนอน ทำให้ภาพบนหน้าจอหยุดนิ่ง ไม่เคลื่อนที่
- **ภาคกำเนิดสัญญาณฟันเลื่อยทางแนวนอน (Horizontal Sawtooth Oscillator)**
  สร้างสัญญาณรูปฟันเลื่อยสำหรับควบคุมแผ่นเพลตแนวนอน (Horizontal Plates) ให้ลำอิเล็กตรอนบ่ายเบนจากซ้ายไปขวา แสดงรูปคลื่นในแนวเวลา
- **สวิตช์เลือกสัญญาณแนวนอน (INT/EXT Switch)**
  ใช้เลือกแหล่งสัญญาณแนวนอน:
  - *INT (Internal)* รับสัญญาณฟันเลื่อยจากภายในเครื่อง
  - *EXT (External)* รับสัญญาณจากภายนอกผ่านขั้ว HOR. Input เพื่อใช้วัดความถี่หรือเฟสด้วยวิธีลิสซาจูส์ (Lissajous's method)
- **แหล่งจ่ายไฟ (Power Supply)**
  จ่ายพลังงานไฟฟ้าให้กับทุกภาคของออสซิลโลสโคป รวมถึงสร้างแรงดันสูงสำหรับหลอด CRT
- **หลอดแคโทดเรย์ (Cathode Ray Tube หรือ CRT)**
  เป็นส่วนแสดงผลหลัก แปลงสัญญาณไฟฟ้าที่รับเข้าให้เป็นภาพบนหน้าจอ โดยใช้ลำอิเล็กตรอนยิงไปบนจอเรืองแสงตามการควบคุมของสัญญาณแนวตั้งและแนวนอน

ออสซิลโลสโคปทุกเครื่องจึงอาศัยการทำงานร่วมกันของแต่ละภาคเพื่อให้สามารถแสดงรูปคลื่นของสัญญาณไฟฟ้าได้อย่างถูกต้องและชัดเจนบนหน้าจอ

6.1.2 หลอดรังสีแคโทด (Cathode Ray Tube – CRT)

หลอดรังสีแคโทด หรือ CRT เป็นหัวใจสำคัญของออสซิลโลสโคป ทำหน้าที่แสดงผลสัญญาณที่ตรวจวัดในรูปของคลื่นแสงบนหน้าจอ มีหลักการทำงานคล้ายกับหลอดภาพของโทรทัศน์ โดยใช้ลำอิเล็กตรอนยิงไปยังหน้าจอเรืองแสงตามการควบคุมของสัญญาณไฟฟ้าที่ได้รับ

1) ประเภทของหลอดรังสีแคโทด
แบ่งตามลักษณะของลำแสงอิเล็กตรอน
- ลำแสงเดี่ยว (Single Beam) ใช้ลำอิเล็กตรอนเพียงลำเดียวในการแสดงผล เหมาะกับการวัดสัญญาณเดียว
- ลำแสงคู่ (Dual Beam) มีลำอิเล็กตรอน 2 ลำ แสดงสัญญาณได้พร้อมกัน 2 ช่อง
- หลายลำแสง (Multi Beam) สามารถแสดงหลายสัญญาณพร้อมกัน เหมาะสำหรับการวิเคราะห์สัญญาณที่ซับซ้อน

2) แบ่งตามวิธีการบ่ายเบนของลำอิเล็กตรอน
- การบ่ายเบนด้วยสนามแม่เหล็กไฟฟ้า (Electromagnetic Deflection) ใช้สนามแม่เหล็กจากขดลวดสร้างการเบี่ยงเบนของลำอิเล็กตรอน

ศูนย์บรรณสารและการเรียนรู้ สถาบันนวัตกรรมการเรียนรู้ มหาวิทยาลัยพะเยา

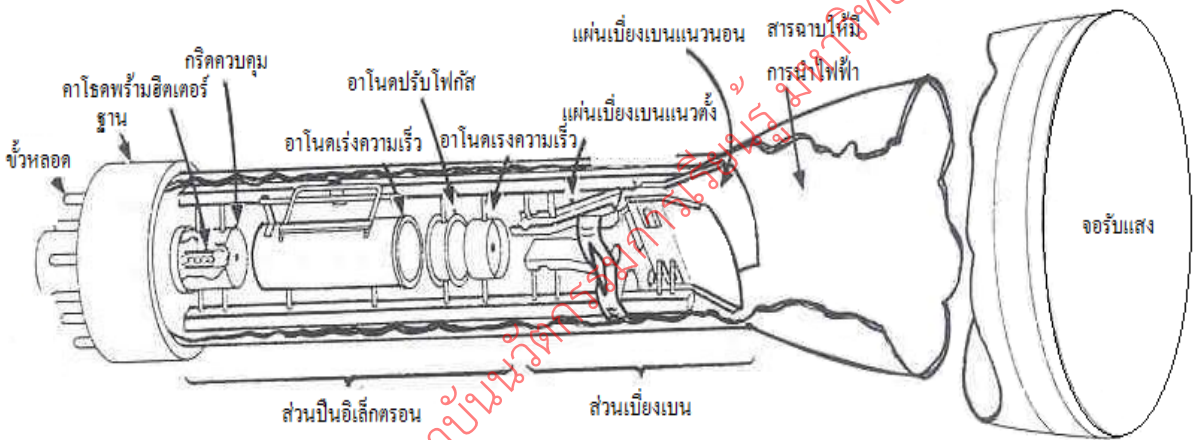
- การบ่ายเบนด้วยสนามไฟฟ้าสถิต (Electrostatic Deflection) ใช้แผ่นเพลตมีศักย์ไฟฟ้าในการควบคุมทิศทางลำอิเล็กตรอน นิยมใช้ในออสซิลโลสโคปทั่วไป

3) แบ่งตามวิธีการเร่งลำอิเล็กตรอน

- ตัวเร่งความเร็วเดี่ยว (Mono Accelerator) ใช้ขั้วไฟฟ้าชุดเดียวเร่งลำแสงอิเล็กตรอน
- ตัวเร่งความเร็วหลัง (Post Accelerator) เพิ่มการเร่งความเร็วเพิ่มเติมหลังจากผ่านขั้นตอนเร่งแรก เพื่อให้ลำแสงมีพลังงานสูงและให้ภาพคมชัดยิ่งขึ้น

CRT จึงเป็นองค์ประกอบหลักที่ทำให้ออสซิลโลสโคปสามารถแสดงผลสัญญาณต่างๆ ได้อย่างชัดเจนและแม่นยำ

6.1.3 โครงสร้างของหลอดรังสีแคโทด



รูปที่ 6.3 ภายในของรังสีแคโทด
ที่มา: https://www.physics-and-radio-electronics.com/blog/cathode-ray-tube-crt/
สืบค้นเมื่อวันที่ 4/7/2566

ส่วนประกอบภายในของหลอดรังสีแคโทด (CRT) จากรูปที่ 6.3 โครงสร้างภายในของหลอดรังสีแคโทดสามารถแบ่งออกเป็น 5 ส่วนหลักตามหน้าที่ ดังนี้

1) ชุดกำเนิดอิเล็กตรอน (Electron Gun)

ทำหน้าที่สร้างลำอิเล็กตรอน เพื่อยิงไปยังจอภาพ ประกอบด้วย

- ไส้หลอด (Heater)
- แคโทด (Cathode)
- คอนโทรลกริด (Control Grid) หน้าที่ร่วมกันคือควบคุมปริมาณและความเข้มของลำอิเล็กตรอน

ศูนย์บรรณสารและการเรียนรู้ สถาบันนวัตกรรมการเรียนรู้ มหาวิทยาลัยพะเยา

2) ชุดโฟกัสและเร่งความเร็ว (Focus & Accelerating Electrode)

ทำให้ลำอิเล็กตรอนเรียวเล็กและพุ่งตรงไปยังจอภาพอย่างแม่นยำ พร้อมทั้งเพิ่มความเร็วให้ลำอิเล็กตรอน ประกอบด้วยขั้วแอโนด A1, A2, A3

- ทำหน้าที่โฟกัสลำอิเล็กตรอน
- ทำหน้าที่เร่งลำอิเล็กตรอนให้มีพลังงานสูง

3) ชุดแผ่นเพลตหักเห (Deflection Plates)

ควบคุมทิศทางของลำอิเล็กตรอนให้บ่ายเบนตามสัญญาณที่วัดประกอบด้วย

- แผ่นเพลตแนวตั้ง (Vertical Plates) บังคับให้ลำอิเล็กตรอนเคลื่อนขึ้น-ลง
- แผ่นเพลตแนวนอน (Horizontal Plates) บังคับให้ลำอิเล็กตรอนเคลื่อนไปทางซ้าย-ขวา

4) ภาคเร่งความเร็วภายหลังการหักเห (Post-Deflection Acceleration)

เพิ่มความเร็วให้ลำอิเล็กตรอนหลังผ่านแผ่นเพลตหักเห เพื่อให้สามารถพุ่งถึงจอภาพได้อย่างมีพลัง ภาคนี้ใช้แรงดันไฟฟ้าสูง

5) จอภาพ (Screen)

เป็นพื้นผิวที่แสดงผลสัญญาณที่ตรวจวัด

- ผิวด้านในของจอจะเคลือบด้วยสาร ฟอสเฟอร์ (Phosphor)
- เมื่อฟอสเฟอร์ถูกรังสีอิเล็กตรอนชน จะเปล่งแสง (เรืองแสง) ออกมา
- ฟอสเฟอร์ยังคงเปล่งแสงต่อเล็กน้อยแม้หยุดยิงอิเล็กตรอน เพื่อป้องกันภาพกระพริบ

คุณสมบัติของสารฟอสเฟอร์

- ฟอสเฟอร์แบบเรืองแสงสั้น ใช้ในออสซิลโลสโคปความถี่สูง ทำให้รูปคลื่นเปลี่ยนเร็ว
- ฟอสเฟอร์แบบเรืองแสงยาว ใช้ในงานแพทย์หรืองานความถี่ต่ำ ทำให้ภาพอยู่นิ่งนาน

ศูนย์บรรณสารและการเรียนรู้ สถาบันนวัตกรรมการเรียนรู้ มหาวิทยาลัยพะเยา

ตารางที่ 6.1 แสดงชนิดและคุณสมบัติเฉพาะของฟอสเฟอร์แต่ละประเภท เช่น สี ความไวต่อแสง และระยะเวลาการเรืองแสง

เบอร์ฟอสเฟอร์	สี		เปรียบเทียบการส่องสว่าง	เวลาในการเรืองแสงสดลงถึง 0.1 %	การนำไปใช้งาน
	ฟลูออเรสเซนต์	ฟอสเฟอร์เรสเซนต์			
P_1	เหลือง-เขียว	เหลือง-เขียว	50 %	95	ทั่วไป สโคป เรดาร์
P_2	น้ำเงิน-เขียว	น้ำเงิน-เขียว	55 %	120	สโคปความถี่ต่ำ-สูง
P_4	ขาว	ขาว	50 %	20	โทรทัศน์ขาว-ดำ
P_7	น้ำเงิน	น้ำเงิน	35 %	1,500	ความถี่ต่ำ เรดาร์ การแพทย์
P_{11}	ม่วง-น้ำเงิน	ม่วง-น้ำเงิน	15 %	20	เกี่ยวกับการถ่ายรูป
P_{31}	เหลือง-เขียว	เหลือง-เขียว	100 %	32	ทั่วไป สโคป

3) การจ่ายไฟให้กับหลอดรังสีแคโทด (CRT Power Supply)

การจ่ายไฟฟ้าให้กับหลอดรังสีแคโทดในออสซิลโลสโคปเป็นขั้นตอนสำคัญที่ส่งผลต่อการแสดงผลของสัญญาณบนจอภาพ โดยหลอด CRT ต้องการทั้งแรงดันไฟต่ำและแรงดันไฟสูงเพื่อให้ทำงานได้สมบูรณ์

โครงสร้างระบบจ่ายไฟ

ระบบจ่ายไฟฟ้าให้กับ CRT ประกอบด้วย

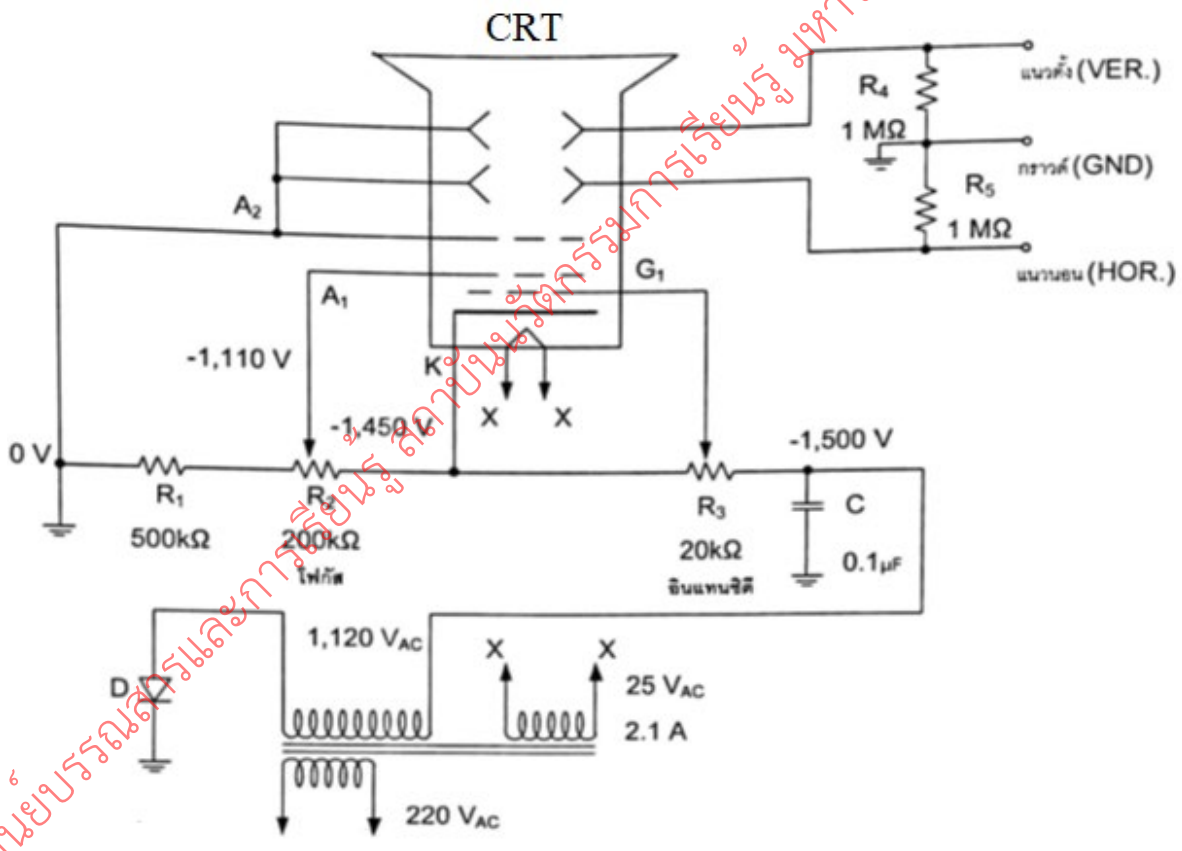
- หม้อแปลง (Transformer) ใช้แปลงแรงดันไฟฟ้าให้เหมาะสมกับการใช้งาน
- เรกติไฟเออร์ (Rectifier) ใช้เปลี่ยนกระแสสลับ (AC) เป็นกระแสตรง (DC) แบบครึ่งคลื่นหรือเต็มคลื่น
- วงจรกรอง (Filter Circuit) ช่วยลดริปเปิลของแรงดัน DC เพื่อให้ได้แรงดันเรียบ
- โหลดความต้านทาน (Load Resistor) สำหรับควบคุมกระแสและแบ่งแรงดัน
- วงจรควบคุมแรงดัน (Voltage Regulator) ทำให้แรงดันคงที่ เพื่อให้การแสดงผลของ CRT มีความเสถียร

ศูนย์บรรณสารและการเรียนรู้ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ตัวอย่างการจ่ายไฟจากรูปที่ 6.4 ในตัวอย่างวงจรพื้นฐาน แรงดันไฟฟ้าสูง 1,500 โวลต์ จะถูกจ่ายผ่านตัวต้านทาน R_1, R_2 และ R_3 ซึ่งทำหน้าที่เป็นวงจรแบ่งแรงดัน (Voltage Divider) ดังนี้

- R_3 (Potentiometer ปรับได้) ใช้ปรับแรงดันที่ส่งไปยังขั้ว G_1 (Control Grid) เพื่อควบคุม ความสว่างของแสงบนจอ (Intensity Control)
- R_2 (Potentiometer ปรับได้) ใช้ปรับแรงดันที่ส่งไปยังขั้ว A_1 (Anode) เพื่อควบคุม ความคมชัดของภาพ (Focus Control)
- R_1 ทำหน้าที่ร่วมในระบบแบ่งแรงดัน เพื่อให้เกิดแรงดันต่างๆ ตามต้องการในแต่ละจุดของหลอด CRT

หมายเหตุ แรงดันไฟฟ้าสูงในระบบนี้จำเป็นต้องมีการควบคุมที่แม่นยำและปลอดภัย เนื่องจากส่งผลโดยตรงต่อคุณภาพของการแสดงผล และเพื่อความปลอดภัยของผู้ใช้งาน



รูปที่ 6.4 วงจรเพาเวอร์ซัพพลายจ่ายไฟให้หลอดรังสีแคโทด

ในระบบหลอดรังสีแคโทด (CRT) ของออสซิลโลสโคป การจัดแรงดันให้กับขั้วต่างๆ มีผลโดยตรงต่อการควบคุมลำอิเล็กตรอน ทั้งในแง่ความเร็ว ทิศทาง และการแสดงผลบนจอภาพ โดยเฉพาะแอโนดและแผ่นเพลตหักเหแนวตั้ง-แนวนอน

1) A_1 แอโนดเร่งความเร็ว (Accelerating Anode)

ศูนย์บรรณสารและการเรียนรู้ สถาบันอุดมศึกษาการเรียนรู้ มหาวิทยาลัยพะเยา

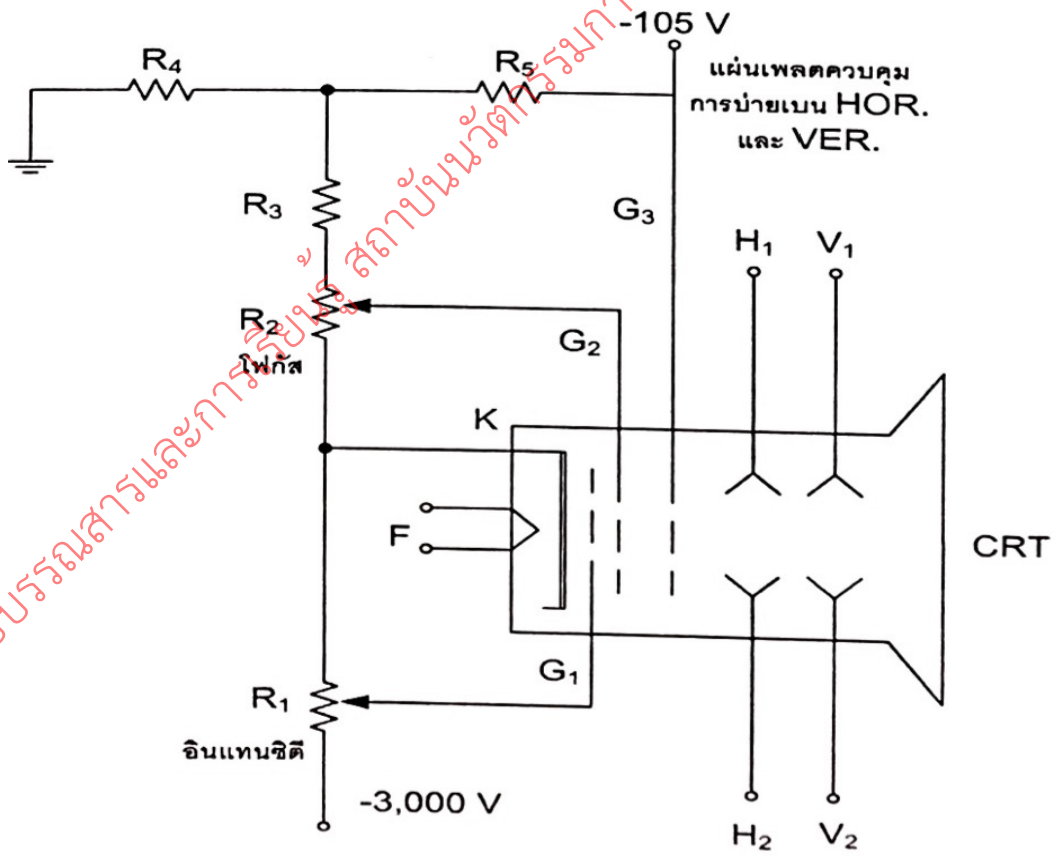
ทำหน้าที่เร่งลำอิเล็กตรอนที่ยิงออกจากชุด Electron Gun จัดแรงดัน คงที่ เพื่อความเสถียรของความเร็วลำอิเล็กตรอน ในรูปที่ 6.4 A_1 ถูก ต่อลงกราวด์ (0 โวลต์) หมายถึง ใช้ A_1 เป็นจุดอ้างอิงศักย์ไฟฟ้า (Reference Point) และ ขั้วอื่นๆ โดยเฉพาะ A_2 จะมีศักย์สูงกว่าจุดนี้

2) A_2 แอโนดแรงดันสูง (High Voltage Anode)

มีศักย์ เป็นบวกสูงสุด เมื่อเทียบกับขั้วอื่นๆ ทำหน้าที่เร่งลำอิเล็กตรอนอย่างเต็มที่ก่อนพุ่งชนจอภาพ และ ศักย์สูงนี้จำเป็นสำหรับให้ลำอิเล็กตรอนมีพลังงานพอในการกระตุ้นฟอสเฟอร์ให้เรืองแสง

3) แผ่นเพลตควบคุมการบ่ายเบน (Deflection Plates – VER. & HOR.)

- ทำหน้าที่ควบคุมทิศทางการเคลื่อนที่ของลำอิเล็กตรอน
  - VER. Plates ควบคุมการเบี่ยงขึ้น–ลง
  - HOR. Plates ควบคุมการเบี่ยงซ้าย–ขวา
- การต่อไฟฟ้า
  - ด้านหนึ่ง ของเพลตทั้งแนวตั้งและแนวนอน จะ ต่อลงกราวด์ ร่วมกับ A_2
  - อีกด้านหนึ่ง จะเชื่อมต่อกับ ภาคขยายสัญญาณการเบี่ยงเบนแนวตั้งและแนวนอน
    เพื่อควบคุมการเบี่ยงลำอิเล็กตรอนตามสัญญาณที่ป้อนเข้า



รูปที่ 6.5 วงจรภาคจ่ายแรงดันไบอัสให้หลอดรังสีแคโทด

ศูนย์บรรณสารและการเรียนรู้ สถาบันนวัตกรรมการเรียนรู้ มหาวิทยาลัยพะเยา

วงจรจ่ายแรงดันไบอัสให้หลอดรังสีแคโทด จากรูปที่ 6.5 วงจรในรูปที่ 6.5 เป็นอีกตัวอย่างหนึ่งของการจ่ายแรงดันไบอัสให้กับหลอดรังสีแคโทด (CRT) ซึ่งมีโครงสร้างคล้ายกับวงจรในรูปที่ 6.4 แต่มีรายละเอียดการจัดแรงดันในแต่ละขั้วต่างกันเล็กน้อยเพื่อควบคุมลำอิเล็กตรอนให้ทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ

องค์ประกอบของวงจร

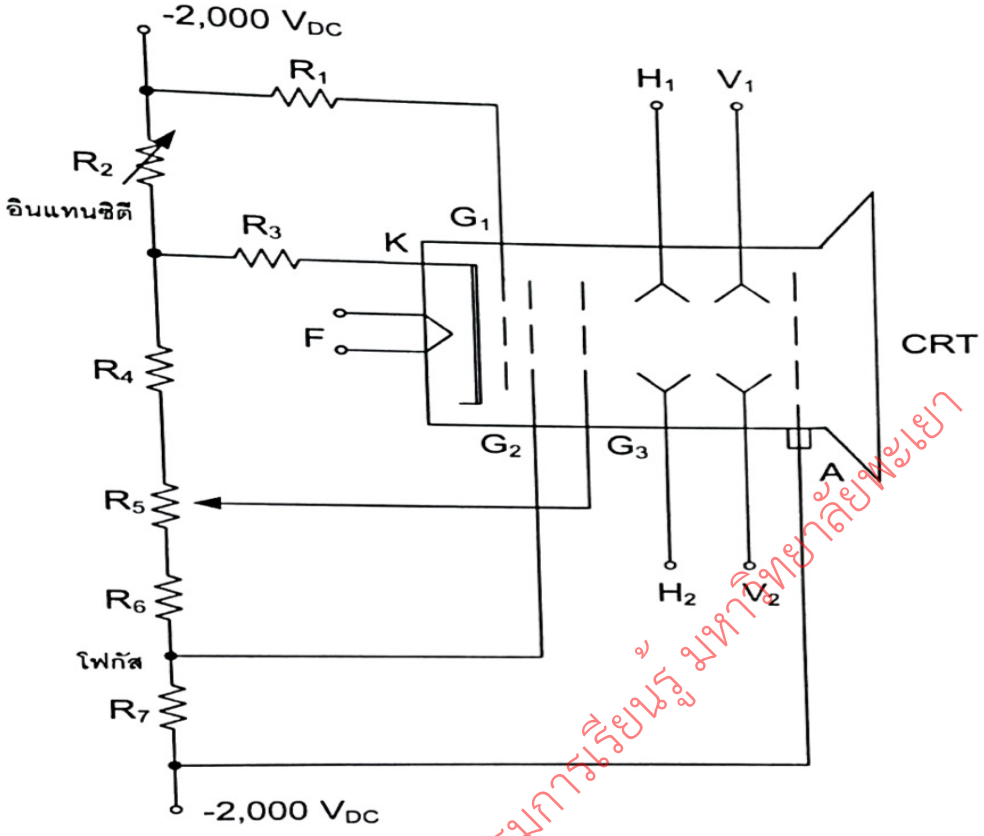
- R_1 ตัวต้านทานปรับค่าความสว่าง (Intensity Control)
  ใช้ปรับแรงดันที่จ่ายไปยัง G_1 (Control Grid) เพื่อควบคุมความสว่างของภาพบนจอ
- R_2 ตัวต้านทานปรับค่าความคมชัด (Focus Control)
  ใช้ปรับแรงดันที่จ่ายไปยัง G_2 (Focus Electrode) เพื่อควบคุมความชัดของเส้นสัญญาณบนจอ
- G_3 (Accelerating Electrode) จ่ายแรงดัน +105 โวลต์
  ใช้เป็นขั้วเร่งความเร็วให้ลำอิเล็กตรอนพุ่งไปยังจอภาพ
- H_1 และ H_2 แผ่นเพลตควบคุมการเบี่ยงเบนในแนวตั้ง (Vertical Deflection Plates)
  ทำหน้าที่บังคับทิศทางลำอิเล็กตรอนขึ้น-ลงตามสัญญาณที่วัด

ระบบแรงดันไฟฟ้าโดยรวม

- แรงดันเลี้ยงหลักของวงจรเป็นแรงดันลบ –3,000 โวลต์ ซึ่งถูกนำมาจ่ายผ่านตัวต้านทาน R_1 ถึง R_5 เพื่อแบ่งแรงดัน (Voltage Divider) ส่งไปควบคุมขั้วต่าง ๆ ของ CRT ตามระดับแรงดันที่ต้องการ

วงจรในรูปที่ 6.5 แสดงการออกแบบระบบไบอัสของ CRT โดยใช้การแบ่งแรงดันจากแหล่งจ่าย –3,000 โวลต์ ด้วยตัวต้านทานหลายตัว เพื่อควบคุมขั้ว G_1 (ความสว่าง), G_2 (ความคมชัด), G_3 (เร่งลำอิเล็กตรอน) และแผ่นเพลตแนวตั้ง H_1, H_2 อย่างแม่นยำ ทำให้สามารถควบคุมภาพสัญญาณบนจอได้ชัดเจนและเสถียร

ศูนย์บรรณสารและสื่อการเรียนรู้ สถาบันนวัตกรรมการเรียนรู้ มหาวิทยาลัยพะเยา



รูปที่ 6.6 วงจรภาคจ่ายแรงดันไบอัสให้หลอดรังสีแคโทดชนิดมีตัวเร่งความเร็วหลัง

วงจรจ่ายแรงดันไบอัสรูปที่ 6.6 แสดงวงจรจ่ายแรงดันไบอัสให้หลอดรังสีแคโทด (CRT) ที่มีรูปแบบการจ่ายไฟต่างจากวงจรก่อนหน้า (รูปที่ 6.4 และ 6.5) โดยเฉพาะในด้านการควบคุมแรงดันและการเร่งลำอิเล็กตรอน

องค์ประกอบหลักของวงจร

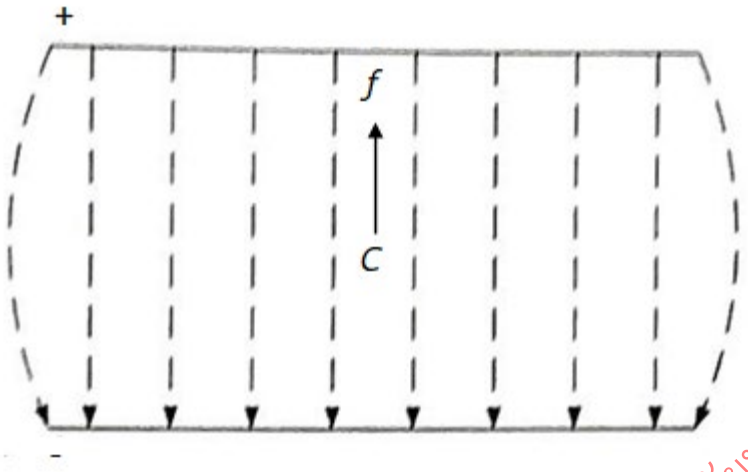
- G_1 ขั้วควบคุมความสว่างของภาพ ปรับได้ด้วยตัวต้านทาน R_2
- G_2 ทำหน้าที่เร่งความเร็วลำอิเล็กตรอนชุดแรก
- G_3 ขั้วปรับความคมชัดของเส้นสัญญาณ ปรับค่าได้ผ่าน R_5
- A (Post Accelerator) เร่งลำอิเล็กตรอนหลังผ่านระบบเบี่ยงเบน เพื่อให้มีพลังงานสูงพอแสดงผลชัดเจนบนจอ

แรงดันที่ใช้ A (Post Accelerator) ต้องใช้แรงดันสูงกว่า 1 กิโลโวลต์ ในออสซิลโลสโคปคุณภาพดีใช้แรงดัน ประมาณ 3–7 กิโลโวลต์ กรณีในทีวีสี ใช้แรงดันสูงถึง 25 กิโลโวลต์

ความปลอดภัย จุดที่ใช้แรงดันสูงมักมี ระบบป้องกันพิเศษ เพื่อความปลอดภัยของผู้ใช้งาน เช่น ฉนวนกันไฟ หรือวงจรป้องกันแรงดันเกิน

วงจรตามรูปที่ 6.6 ออกแบบมาเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการแสดงผล โดยใช้ระบบเร่งความเร็วหลายขั้น รวมถึง Post Accelerator ที่ต้องใช้แรงดันสูงมาก เหมาะสำหรับอุปกรณ์ที่ต้องการความละเอียดและความชัดเจนของภาพสูง เช่น ออสซิลโลสโคประดับมืออาชีพ หรือเครื่องรับโทรทัศน์สี

ศูนย์บรรณสารและการเรียนรู้ สถาบันเทคโนโลยีการเรียนรู้ มหาวิทยาลัยพะเยา



รูปที่ 6.7 การเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอนและสนามไฟฟ้า

หลักการทำงาน จากรูปที่ 6.7 สนามไฟฟ้าระหว่างแผ่นเพลต 2 แผ่นทำหน้าที่ "บีบ" หรือ "รวม" ลำอิเล็กตรอนให้พุ่งตรงและตกกระทบจอภาพในจุดที่แคบและคมที่สุด

- สนามไฟฟ้าจะเคลื่อนจาก ขั้วบวกไปยังขั้วลบ
- ลำอิเล็กตรอน (ซึ่งมีประจุลบ) จะเคลื่อนที่ สวนทางกับสนามไฟฟ้า เข้าหาศักย์บวก
- ขอบสนามไฟฟ้าโค้งงอ เนื่องจากแรงผลักของสนามจากขอบแผ่นเพลต
- ความเข้มของสนามไฟฟ้ามากที่สุดตรงกลางระหว่างแผ่น และน้อยที่สุดที่ปลาย

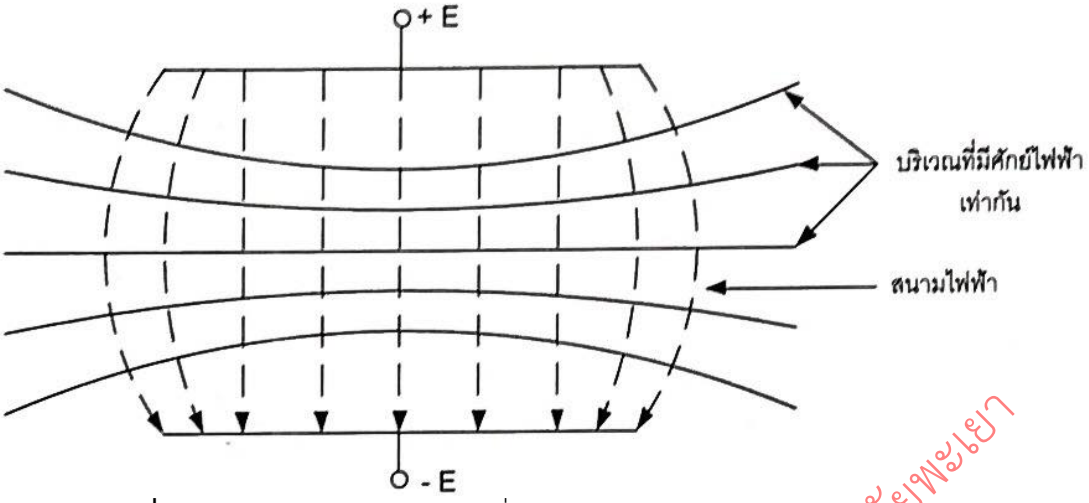
ภาพประกอบในรูปที่ 6.8 จะแสดงเส้นศักย์เท่ากัน (Equipotential Surfaces) ด้วยเส้นทึบ

- บริเวณที่เส้นศักย์อยู่ใกล้กันมาก แสดงถึง สนามไฟฟ้าแรง
- บริเวณที่เส้นห่างกัน แสดงถึง สนามไฟฟ้าอ่อน

การจัดเรียงศักย์ไฟฟ้าในลักษณะนี้จะทำให้ลำอิเล็กตรอน รวมตัวกันเป็นลำแคบ (Focus) คล้ายการใช้เลนส์รวมแสงในระบบออปติก

ระบบโฟกัสด้วยไฟฟ้าสถิตใน CRT ใช้การจัดศักย์ไฟฟ้าระหว่างขั้วไฟ เพื่อควบคุมแนววิ่งของลำอิเล็กตรอนให้รวมตัวกันเป็นจุดคมชัดบนจอภาพ ช่วยให้แสดงรูปคลื่นได้อย่างแม่นยำและชัดเจน

ศูนย์วิทยทรัพยากร สถาบันวิทยบริการเพื่อการเรียนรู้ มหาวิทยาลัยพะเยา



รูปที่ 6.8 เส้นแรงไฟฟ้าและบริเวณที่มีศักย์ไฟฟ้าเท่ากันของเพลตขนาน 2 แผ่น

สนามไฟฟ้าระหว่างตัวนำทรงกระบอกสองอัน จากรูปที่ 6.9 เมื่อนำตัวนำทรงกระบอกสองอัน มาวางใกล้กันโดยให้ปลายหันเข้าหากัน และ จ่ายศักย์ไฟฟ้าแตกต่างกันให้แก่ตัวนำทั้งสอง จะทำให้เกิดสนามไฟฟ้า ระหว่างปลายของทรงกระบอกทั้งสอง

ลักษณะของสนามไฟฟ้าที่เกิดขึ้น

- สนามไฟฟ้าเกิดจากความต่างศักย์ระหว่างทรงกระบอกทั้งสอง
- เส้นแรงไฟฟ้า (Electric Field Lines) จะพุ่งจากทรงกระบอกที่มีศักย์สูงกว่า (ขั้วบวก) ไปยังทรงกระบอกที่มีศักย์ต่ำกว่า (ขั้วลบ)
- เส้นแรงไฟฟ้าแผ่ออกในลักษณะโค้ง จากกึ่งกลางไปด้านข้าง สร้างสนามที่มีรูปร่างคล้ายเลนส์ไฟฟ้า

ลักษณะความเข้มของสนาม

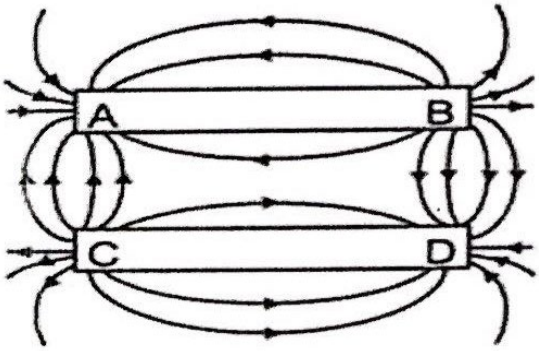
- สนามไฟฟ้าจะมี ความเข้มสูงที่สุดบริเวณใกล้ปลายทรงกระบอก
- ระดับความเข้มของสนามจะ ค่อยๆ ลดลงเมื่อออกห่างจากกึ่งกลาง
- ความเข้มของสนามอาจสมมาตรกัน หากขนาด รูปร่าง และศักย์ไฟฟ้าทั้งสองฝั่งเท่ากัน

ศักย์ไฟฟ้า (Equipotential Lines)

- เส้นศักย์ไฟฟ้า แสดงในรูปที่ 6.9 จะมีลักษณะโค้งล้อมรอบระหว่างทรงกระบอก
- บริเวณใกล้ปลายจะมี เส้นศักย์ชิดกัน แสดงว่าศักย์เปลี่ยนแปลงเร็ว (สนามแรง)
- บริเวณไกลออกไป เส้นศักย์จะ ห่างกันมากขึ้น แสดงว่าศักย์เปลี่ยนแปลงช้า (สนามอ่อน)

การวางตัวนำทรงกระบอกสองอันไว้ใกล้กันและจ่ายศักย์ไฟฟ้าแตกต่างกัน จะทำให้เกิดสนามไฟฟ้าแผ่ออกจากกึ่งกลางคล้ายรูปเลนส์ เส้นแรงไฟฟ้าและเส้นศักย์จะแสดงให้เห็นทิศทางและความเข้มของสนามไฟฟ้าในบริเวณดังกล่าว ซึ่งมีความสำคัญในหลักการของการโฟกัสลำอิเล็กตรอนในอุปกรณ์อย่าง CRT

ศูนย์บรรณสารและการเรียนรู้ สถาบันพัฒนาการเรียนรู้ มหาวิทยาลัยพะเยา



รูปที่ 6.9 เส้นแรงไฟฟ้าของทรงกระบอกทั้ง 2 อัน

เส้นศักย์เท่ากันและเลนส์อิเล็กตรอน จากรูปที่ 6.9 จะเห็นว่า เส้นทึบ แสดงบริเวณที่มี ศักย์ไฟฟ้าเท่ากัน (Equipotential Surfaces) ซึ่งมีลักษณะ โค้ง เนื่องจากสนามไฟฟ้าที่เกิดขึ้น ไม่สม่ำเสมอ ในช่องว่างระหว่างปลายของทรงกระบอกทั้งสอง

ลักษณะของเส้นศักย์

- เส้นศักย์โค้งโอบล้อมระหว่างทรงกระบอก
- รูปแบบการจัดเรียงของเส้นศักย์คล้ายกับ เลนส์ในระบบแสง ซึ่งใช้หักเหหรือรวมแสง
- ความโค้งของเส้นศักย์เกิดจากสนามไฟฟ้าที่ไม่สมมาตรและเปลี่ยนแปลงตามตำแหน่ง

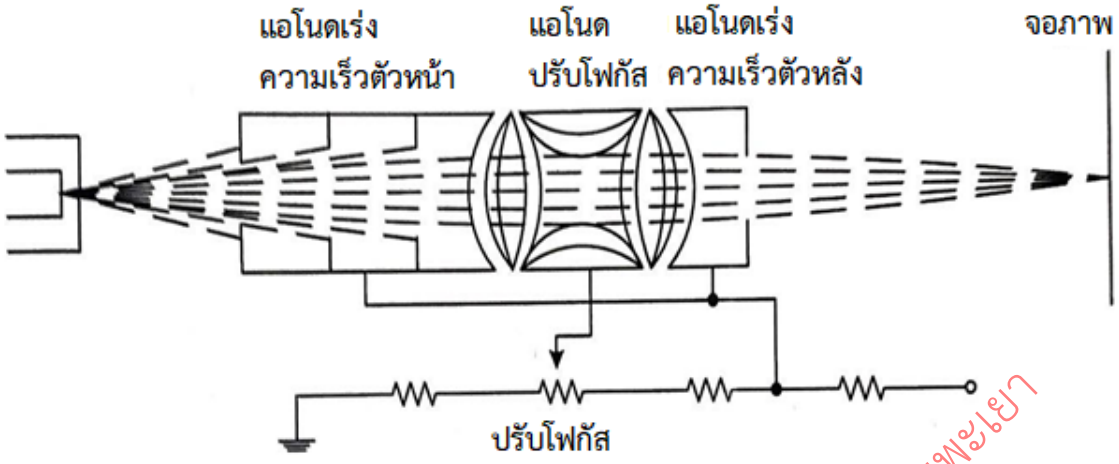
เลนส์อิเล็กตรอน (Electron Lens)

- ระบบสนามไฟฟ้าแบบนี้มีคุณสมบัติเหมือน เลนส์รวมแสง แต่ใช้ควบคุม ลำอิเล็กตรอนแทนแสง
- จึงเรียกว่า เลนส์อิเล็กตรอน
  ใช้รวมและปรับแนวลำอิเล็กตรอนให้วิ่งรวมเป็นจุดเล็กและคมชัดบนจอภาพ CRT
- ใช้หลักการเดียวกับโฟกัสในกล้องหรือกล้องจุลทรรศน์ แต่เป็นการโฟกัส ด้วยศักย์ไฟฟ้า

ดังรูปที่ 6.10 ระบบโฟกัสด้วยไฟฟ้าสถิตที่สมบูรณ์ แสดงให้เห็นการจัดตำแหน่งขั้วไฟฟ้าอย่างเหมาะสม ศักย์ไฟฟ้าและระยะห่างถูกออกแบบเพื่อให้ โฟกัสลำอิเล็กตรอนได้อย่างมีประสิทธิภาพ และใช้ในออสซิลโลสโคปที่ต้องการความแม่นยำและความคมชัดของสัญญาณสูง

ลักษณะของเส้นศักย์ที่โค้งระหว่างทรงกระบอกสองอันเปรียบได้กับเลนส์ ทำหน้าที่ควบคุมแนวลำอิเล็กตรอนแบบเดียวกับเลนส์รวมแสงในระบบแสง ทำให้ระบบโฟกัสด้วยไฟฟ้าสถิตใน CRT ถูกเรียกว่า เลนส์อิเล็กตรอน (Electron Lens) และระบบที่ออกแบบอย่างสมบูรณ์จะแสดงในรูปที่ 6.10

ศูนย์วิทยทรัพยากร สถาบันบัณฑิตพัฒนบริหารศาสตร์ มหาวิทยาลัยพะเยา



รูปที่ 6.10 การปรับโฟกัสด้วยไฟฟ้าสถิตของหลอดรังสีแคโทด

ระบบการปรับโฟกัสด้วยไฟฟ้าสถิต จาก รูปที่ 6.10 แสดงระบบปรับโฟกัสของหลอดรังสีแคโทด (CRT) ด้วย ไฟฟ้าสถิต โดยมีส่วนประกอบหลัก 3 ชิ้นคือ

- แอโนดเร่งความเร็วตัวหน้า (Pre-accelerating anode)
- แอโนดปรับโฟกัส (Focusing anode)
- แอโนดเร่งความเร็วตัวหลัง (Accelerating anode)

ทั้งสามเป็น โลหะทรงกระบอก ที่ได้รับแรงดันไฟฟ้าบวกต่างกัน

- แอโนดหน้าและหลังประมาณ +1,500 โวลต์
- แอโนดโฟกัส มีค่าประมาณ +500 โวลต์

หลักการทำงาน

- ความต่างศักย์ระหว่างขั้วไฟฟ้าทั้งสามทำให้เกิด สนามไฟฟ้าแบบเลนส์ หรือ เลนส์อิเล็กตรอน 2 จุด
- ลำอิเล็กตรอนจากปืนอิเล็กตรอนจะถูกเร่งด้วยแอโนดหน้า
- ผ่านวงแหวนโลหะภายใน เพื่อป้องกันการกระจายของลำอิเล็กตรอน
- จากนั้นลำอิเล็กตรอนจะผ่านเลนส์ไฟฟ้าทั้งสองจุด และรวมตัวไปตกที่จุด C บนจอภาพ

การปรับภาพให้คม

หากจุด C ยังไม่ชัดเจน สามารถปรับ ตัวต้านทานปรับค่าได้ เพื่อเปลี่ยนแรงดันที่ขั้วโฟกัส จนได้ จุดโฟกัสคมชัดที่สุด

ระบบโฟกัสด้วยไฟฟ้าสถิตใน CRT ใช้ขั้วไฟฟ้า 3 ตัวที่มีแรงดันต่างกัน เพื่อสร้างเลนส์ไฟฟ้า 2 จุด ควบคุมลำอิเล็กตรอนให้รวมเป็นจุดคมชัดบนจอภาพ โดยสามารถปรับจุดโฟกัสได้ผ่านแรงดันของขั้วโฟกัส

ศูนย์บรรณสารและการเรียนรู้ สถาบันวิจัยการอาชีวศึกษาและการเรียนรู้ มหาวิทยาลัยพะเยา

6.1.3 การเดินภาพบนจอออสซิลโลสโคป (CRT Deflection Systems)

ระบบการเดินภาพ หรือ การบ่ายเบนลำอิเล็กตรอน บนจอของหลอดรังสีแคโทด (CRT) ทำให้สามารถแสดงรูปคลื่นสัญญาณได้ โดยควบคุมให้ลำอิเล็กตรอนเบี่ยงเบนไปทางซ้าย–ขวา (แนวนอน) และขึ้น–ลง (แนวตั้ง) บนจอภาพ

ประเภทของระบบการบ่ายเบน

1. ระบบสนามแม่เหล็ก (Magnetic Deflection)
    - ใช้ ขดลวดแม่เหล็กไฟฟ้า (Electromagnetic Coils) ล้อมรอบปลายหลอด CRT
    - แบ่งเป็น 2 ส่วน
        - ขดลวดควบคุมแนวตั้ง (Vertical Deflection)
        - ขดลวดควบคุมแนวนอน (Horizontal Deflection)
    - ขดลวดทั้งสองรวมกันเรียกว่า Deflection Yoke
    - ลำอิเล็กตรอนจะบ่ายเบนตามสนามแม่เหล็กที่เกิดขึ้น
    - ตัวอย่างการใช้งาน เช่น โทรทัศน์ขาวดำ, โทรทัศน์สี, เรดาร์
    - ข้อดี: ช่วยให้ ความยาวของหลอด CRT สั้นลง
2. ระบบสนามไฟฟ้าสถิต (Electrostatic Deflection)
    - ใช้ แผ่นเพลต 4 แผ่น วางอยู่ในหลอด CRT
        - 2 แผ่นควบคุมแนวตั้ง (Vertical Plates)
        - 2 แผ่นควบคุมแนวนอน (Horizontal Plates)
    - ตำแหน่งแผ่นเพลตอยู่ระหว่าง แอโนดเร่งความเร็ว กับ จอภาพ
    - การจ่ายแรงดันไฟฟ้าตรง (DC Voltage) ไปยังแผ่นเพลตจะสร้างสนามไฟฟ้าสถิต
    - สนามนี้จะ ผลักหรือดูดลำอิเล็กตรอน ทำให้ลำแสงเบี่ยงออกจากกึ่งกลาง
    - ข้อดี คือ เหมาะสำหรับ งานความถี่สูงและการทดลองทางวิทยาศาสตร์

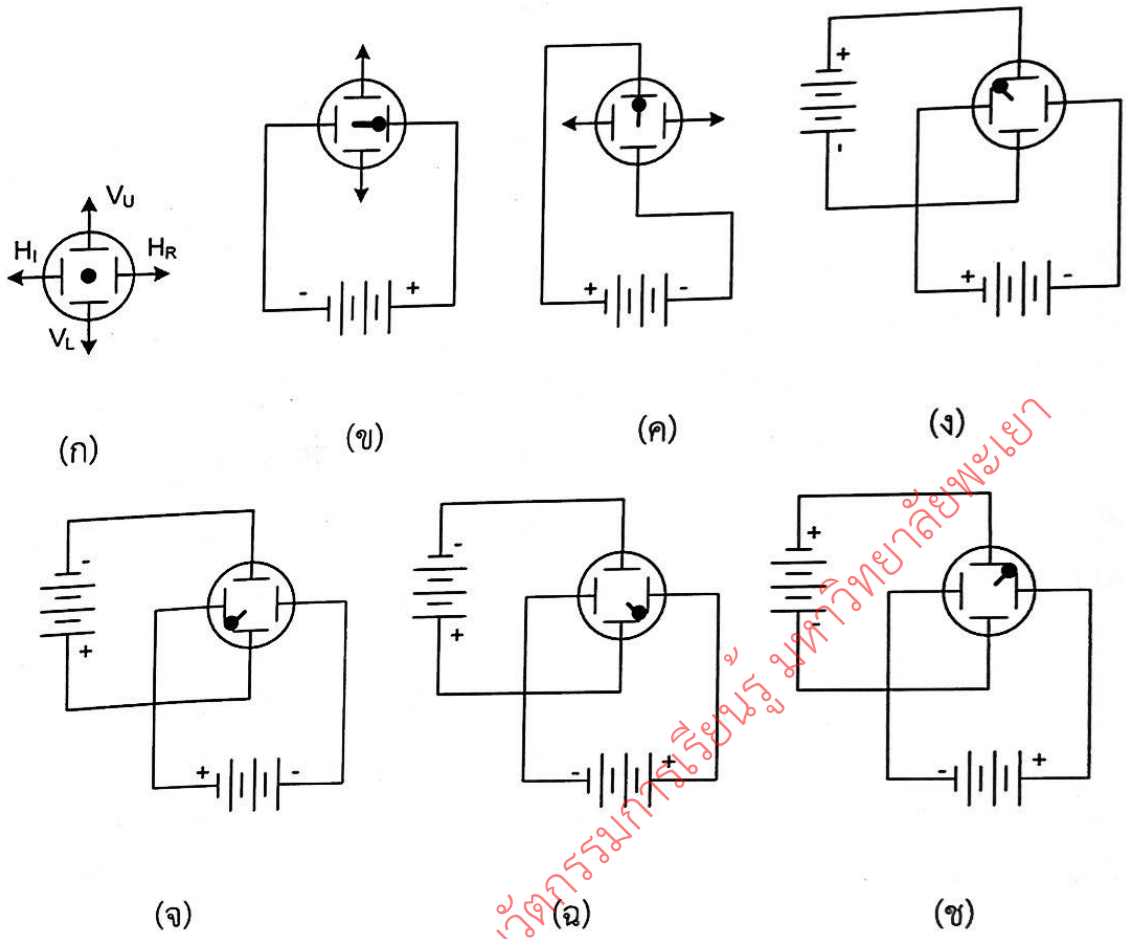
การกำหนดตัวย่อของแผ่นเพลต

เพื่อความสะดวกในการอธิบายและแสดงภาพดังรูปที่ 6.11) แผ่นเพลตต่างๆ จะถูกกำหนดตัวย่อ เช่น

- V+ / V–: แผ่นเพลตควบคุมการเบี่ยงเบนแนวตั้ง (บน–ล่าง)
- H+ / H–: แผ่นเพลตควบคุมการเบี่ยงเบนแนวนอน (ซ้าย–ขวา)

ออสซิลโลสโคปใช้ระบบบ่ายเบนสองแบบคือ สนามแม่เหล็กและสนามไฟฟ้าสถิต โดยแบบหลังนิยมในงานความถี่สูง ใช้แผ่นเพลตสร้างสนามไฟฟ้าสถิตเพื่อควบคุมทิศทางลำอิเล็กตรอนให้แสดงสัญญาณบนจอภาพอย่างแม่นยำ

ศูนย์บรรณสารและสื่อการเรียนรู้ สถาบันพัฒนาการเรียนรู้ มหาวิทยาลัยพะเยา



รูปที่ 6.11 การควบคุมที่แผ่นเพลตต่างๆและตำแหน่งของอิเล็กตรอนเคลื่อนที่

รูปที่ 6.11 ตำแหน่งการเคลื่อนที่ของลำอิเล็กตรอน

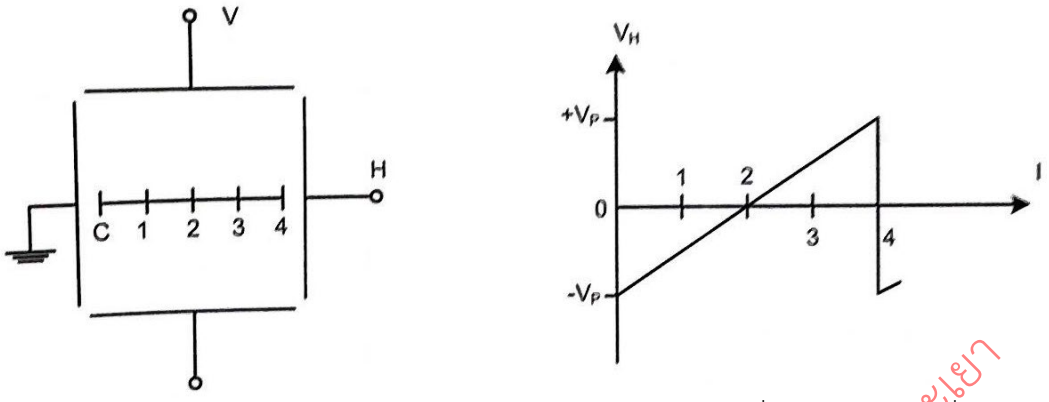
- รูปที่ 6.11 (ก) สักย์ทั้ง 4 แผ่นเป็นศูนย์ ทำให้เกิดลำอิเล็กตรอนอยู่ กึ่งกลางจอ
- รูปที่ 6.11 (ข) H_R = บวก, H_L = ลบ จะเคลื่อนที่ไปทาง ขวา
- รูปที่ 6.11 (ค) V_U = บวก, V_L = ลบ จะเคลื่อนขึ้น ด้านบน
- รูปที่ 6.11 (ง) V_U = บวก, V_L = ลบ, H_L = บวก, H_R = ลบ จะเคลื่อนที่ เฉียงขึ้นซ้าย
- รูปที่ 6.11 (จ) V_U = ลบ, V_L = บวก, H_L = ลบ, H_R = บวก จะเคลื่อนที่ เฉียงลงขวา
- รูปที่ 6.11 (ช) V_U = บวก, V_L = ลบ, H_L = ลบ, H_R = บวก จะเคลื่อนที่ เฉียงขึ้นขวา

การแสดงรูปสัญญาณบนจอ ออสซิลโลสโคปใช้ตรวจสอบ รูปร่างสัญญาณอินพุต โดย

- ป้อน สัญญาณฟันเลื่อย (Sawtooth Wave) เข้าแผ่นเพลตแนวนอน (HOR.) เพื่อสร้างแกนเวลา
- ป้อน สัญญาณอินพุตที่ต้องการวัด เข้าแผ่นเพลตแนวตั้ง (VER.)

ผลลัพธ์คือสัญญาณที่ปรากฏบนจอจะเป็น รูปคลื่นของอินพุตสัมพันธ์กับเวลา เรียกว่า "linear time base pattern"

ศูนย์บรรณสารและการเรียนรู้ สถาบันนวัตกรรมการเรียนรู้ มหาวิทยาลัยพะเยา



(ก) ภาพปรากฏบนจอ (ข) สัญญาณที่ป้อนเป็นรูปฟันเลื่อย

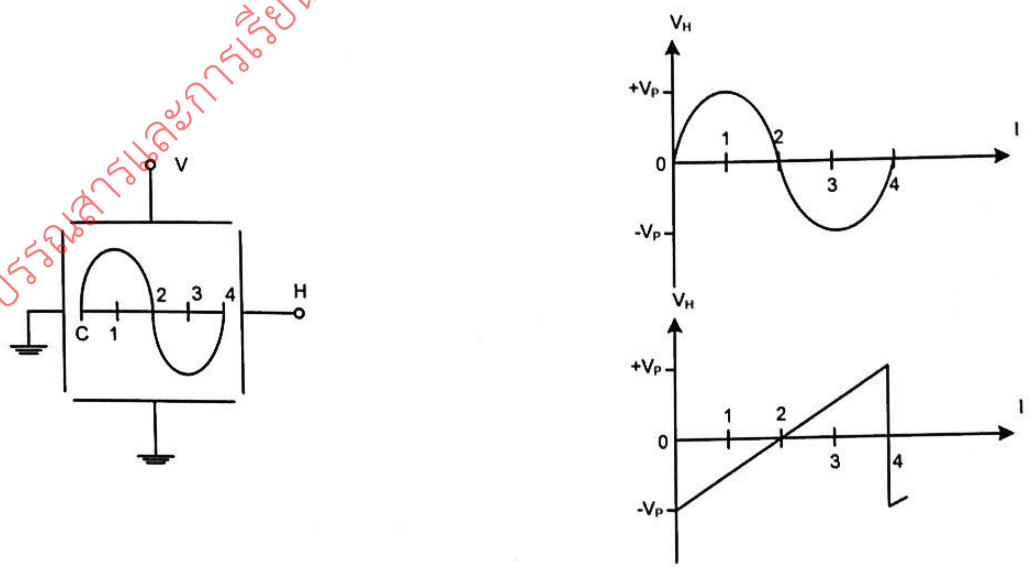
รูปที่ 6.12 เมื่อป้อนสัญญาณฟันเลื่อยเข้าทางแผ่นเพลต HOR.

รูปที่ 6.12 แสดงภาพเมื่อป้อน สัญญาณฟันเลื่อย (Sawtooth wave) เข้าแผ่นเพลตแนวนอน (HOR.) ของออสซิลโลสโคป

ผลที่เกิดขึ้นคือ

- ลำอิเล็กตรอนจะเคลื่อนจาก ซ้ายไปขวาอย่างต่อเนื่อง บนจอภาพ
- การเคลื่อนที่ของลำอิเล็กตรอนสะท้อนรูปคลื่นฟันเลื่อย
- บนจอจะเห็นเส้นวาดเรียงลำดับจาก ตำแหน่ง 0 ⟶ 2 ⟶ 3 ⟶ 4
- ตำแหน่งที่แสดงจะขึ้นอยู่กับ ค่าฐานเวลา (Time Base) ที่ตั้งไว้

การป้อนสัญญาณฟันเลื่อยที่ HOR. จะทำให้จอแสดงการเคลื่อนที่ของลำอิเล็กตรอนจากซ้ายไปขวาตามเวลาที่กำหนด ช่วยให้เห็นรูปคลื่นของสัญญาณอินพุตแบบต่อเนื่อง



(ก) ภาพบนจอ (ข) สัญญาณที่ป้อน

รูปที่ 6.13 สัญญาณไซน์ด้วยออสซิลโลสโคป

ศูนย์บรรณสารและการเรียนรู้ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

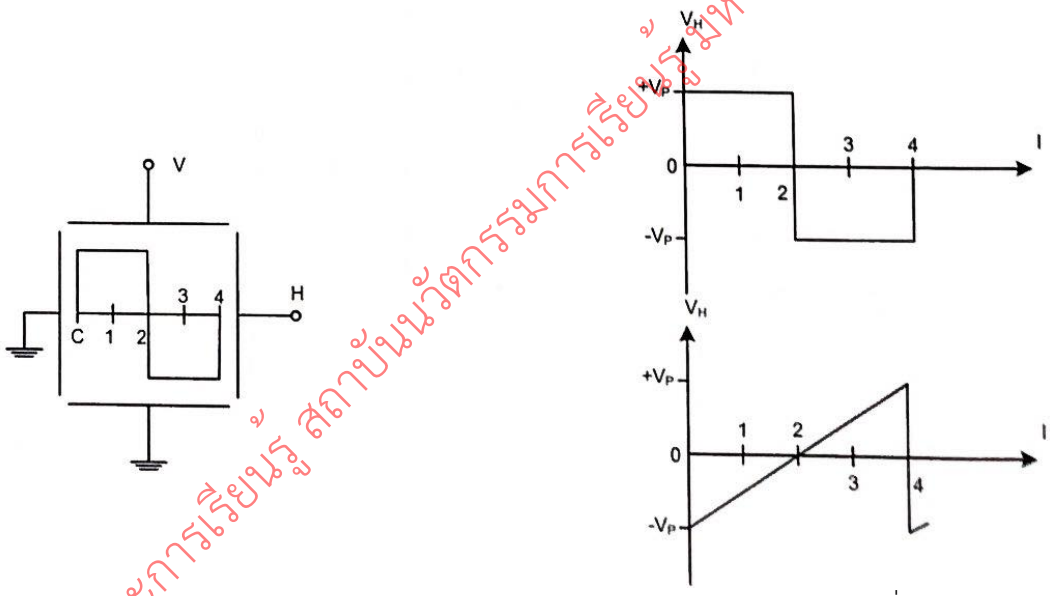
รูปที่ 6.13 แสดงการวัด สัญญาณไซน์ ด้วยออสซิลโลสโคป โดย

- ป้อน สัญญาณไซน์ เข้าแผ่นเพลตแนวตั้ง (VER.)
- ป้อน สัญญาณฟันเลื่อย เข้าแผ่นเพลตแนวนอน (HOR.)

ผลลัพธ์คือ

- ลำอิเล็กตรอนถูกควบคุมให้เคลื่อนจากซ้ายไปขวาด้วยสัญญาณฟันเลื่อย
- ขณะเดียวกัน สัญญาณไซน์จะทำให้ลำอิเล็กตรอนขึ้น–ลงตามรูปคลื่น
- บนจอภาพจะปรากฏ รูปคลื่นไซน์ต่อเนื่อง ตามการเปลี่ยนแปลงของสัญญาณอินพุต

การป้อนสัญญาณไซน์ที่ VER. และฟันเลื่อยที่ HOR. ทำให้จอแสดง รูปคลื่นไซน์ ตามฐานเวลา (time base) ที่กำหนด



(ก) ภาพบนจอ (ข) สัญญาณที่ป้อน

รูปที่ 6.14 สัญญาณสี่เหลี่ยมด้วยออสซิลโลสโคป

รูปที่ 6.14 แสดงการวัด สัญญาณสี่เหลี่ยม ด้วยออสซิลโลสโคป โดย

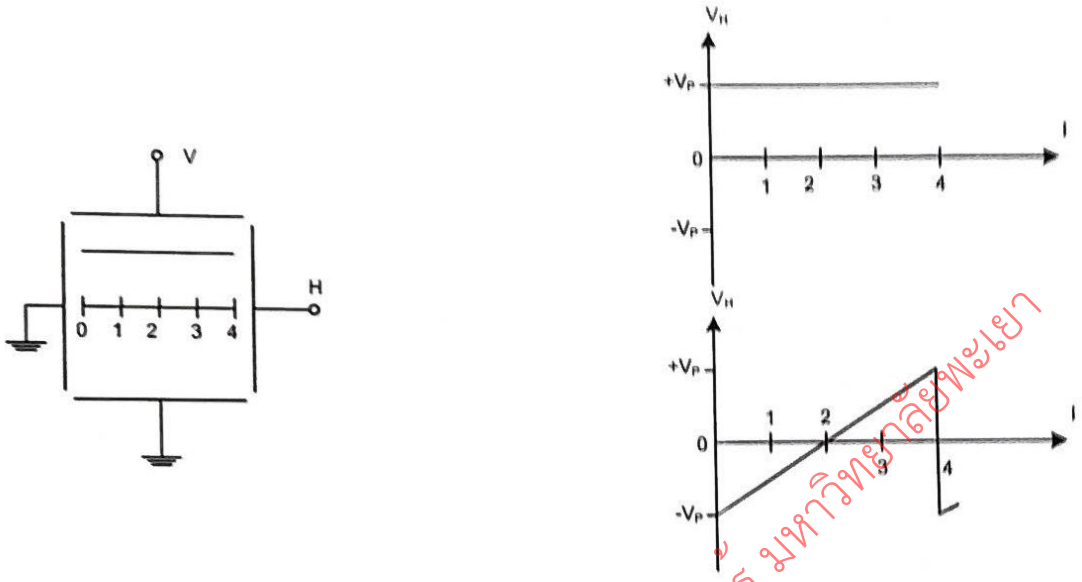
- ป้อน สัญญาณสี่เหลี่ยม เข้าแผ่นเพลตแนวตั้ง (VER.)
- ป้อน สัญญาณฟันเลื่อย เข้าแผ่นเพลตแนวนอน (HOR.)

ผลลัพธ์คือ

- ลำอิเล็กตรอนเคลื่อนจากซ้ายไปขวาตามสัญญาณฟันเลื่อย
- แสดงผลสัญญาณสี่เหลี่ยมขึ้น–ลงบนจอภาพตามเวลาจริง
- ทำให้เห็นรูปคลื่นสี่เหลี่ยมเปลี่ยนแปลงตามฐานเวลาที่ตั้งไว้

ศูนย์วิทยทรัพยากร สถาบันนวัตกรรมการเรียนรู้ มหาวิทยาลัยพะเยา

การป้อนสัญญาณสี่เหลี่ยมที่ VER. และฟันเลื่อยที่ HOR. ทำให้จอแสดง รูปคลื่นสี่เหลี่ยม ตามช่วงเวลาอย่างชัดเจน



(ก) ภาพบนจอ (ข) สัญญาณที่ป้อน

รูปที่ 6.15 สัญญาณไฟฟ้ากระแสตรงด้วยออสซิลโลสโคป

รูปที่ 6.15 แสดงการวัด แรงดันไฟตรง (DC) ด้วยออสซิลโลสโคป โดย

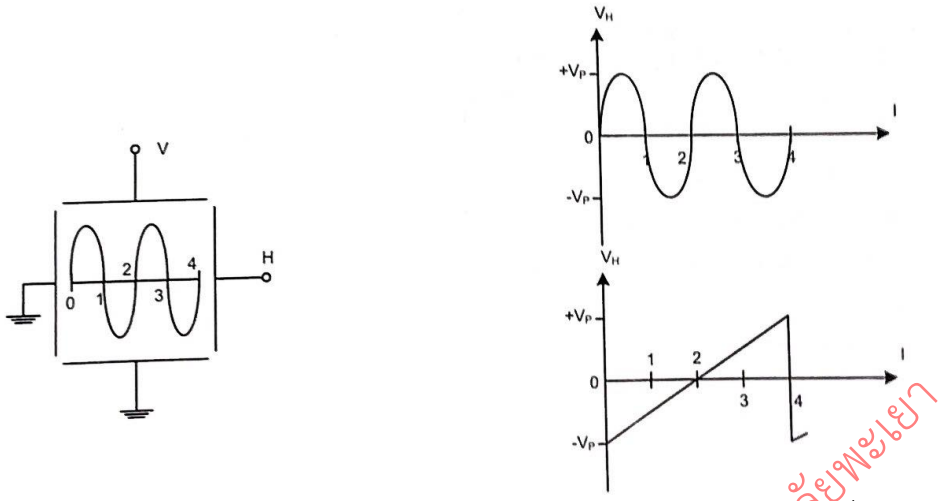
- ป้อน แรงดันไฟตรงคงที่ เข้าแผ่นเพลตแนวตั้ง (VER.)
- ป้อน สัญญาณฟันเลื่อย เข้าแผ่นเพลตแนวนอน (HOR.)

ผลลัพธ์ คือ

- ลำอิเล็กตรอนถูกกวาดจากซ้ายไปขวาด้วยสัญญาณฟันเลื่อย
- ระดับแรงดันคงที่ทาง VER. ทำให้ลำอิเล็กตรอนเลื่อนขึ้นหรือลงตามค่าที่ป้อน
- บนจอภาพจะปรากฏเป็น เส้นตรงแนวนอน ที่ระดับสูงหรือต่ำ ขึ้นกับค่าแรงดัน DC

การวัดแรงดันไฟตรงด้วยออสซิลโลสโคปจะแสดงเป็นเส้นตรงแนวนอน โดยตำแหน่งของเส้นขึ้นอยู่กับค่าของแรงดันที่ป้อนเข้า

ศูนย์เรียนรู้ สถาบันพระบรมราชชนก สำนักงานปลัดกระทรวงการเรียนรู้ มหาวิทยาลัยพะเยา



(ก) ภาพบนจอ (ข) สัญญาณที่ป้อน

รูปที่ 6.16 สัญญาณไซน์ที่มีลูกคลื่นมากกว่า 1 ไซเกิล

รูปที่ 6.16 แสดงการวัดสัญญาณไซน์ที่แสดงมากกว่า 1 ไซเกิลบนจอออสซิลโลสโคป โดย

- ปรับ ฐานเวลาของสัญญาณฟันเลื่อย ให้ยาวขึ้น
- ตัวอย่างเช่น
    - ต้องการให้เห็น 2 ไซเกิลของสัญญาณไซน์ ปรับฐานเวลาเป็น 2 เท่าของรอบไซน์
    - ต้องการเห็น 3, 4, 5 ไซเกิล ปรับฐานเวลาเป็น 3, 4, 5 เท่าตามลำดับ

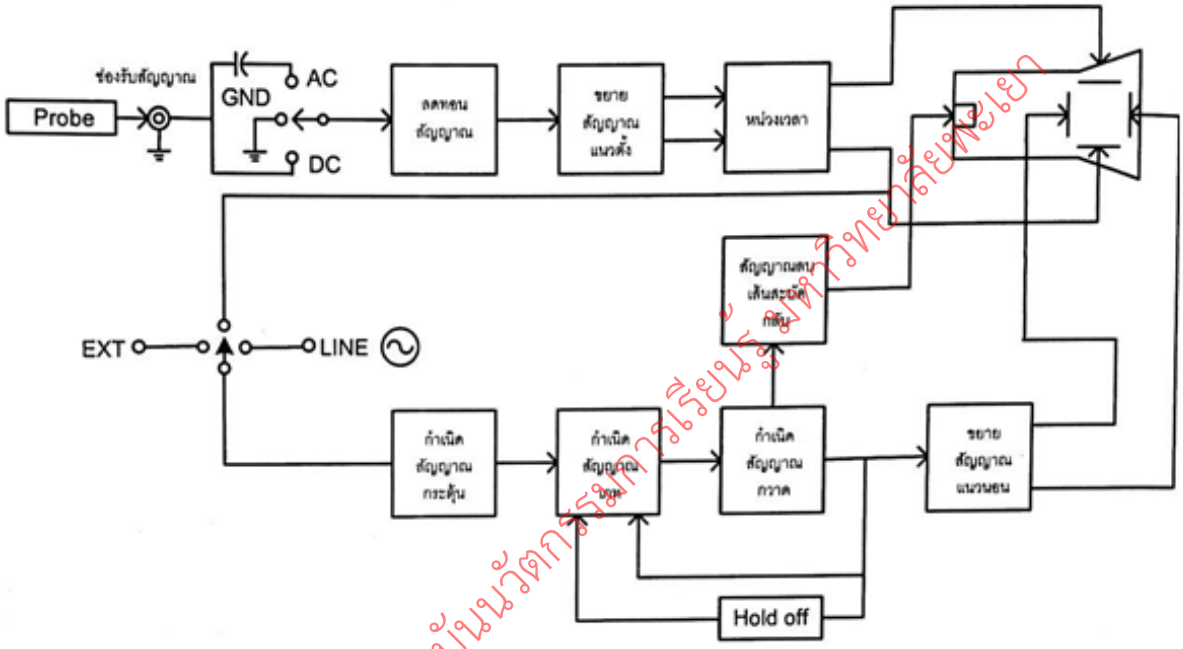
การปรับฐานเวลาของสัญญาณฟันเลื่อยที่ป้อนทาง HOR. ช่วยให้แสดงจำนวนไซเกิลของสัญญาณไซน์บนจอได้ตามต้องการ

ศูนย์บรรณสารและการเรียนรู้ สถาบันนิติศาสตร์การเรียนรู้ มหาวิทยาลัยพะเยา

6.2 หลักการทำงานของออสซิลโลสโคป

6.2.1 แผนผังการทำงานของออสซิลโลสโคป

หัวข้อนี้อธิบายกลไกการทำงานของออสซิลโลสโคปโดยรวม ผ่านแผนภาพบล็อกดังแสดงในรูปที่ 6.17 ซึ่งแสดงองค์ประกอบหลักของเครื่องและการทำงานในแต่ละส่วน โดยรายละเอียดของแต่ละองค์ประกอบจะอธิบายเพิ่มเติมในหัวข้อถัดไป



รูปที่ 6.17 ผังการทำงานของออสซิลโลสโคป

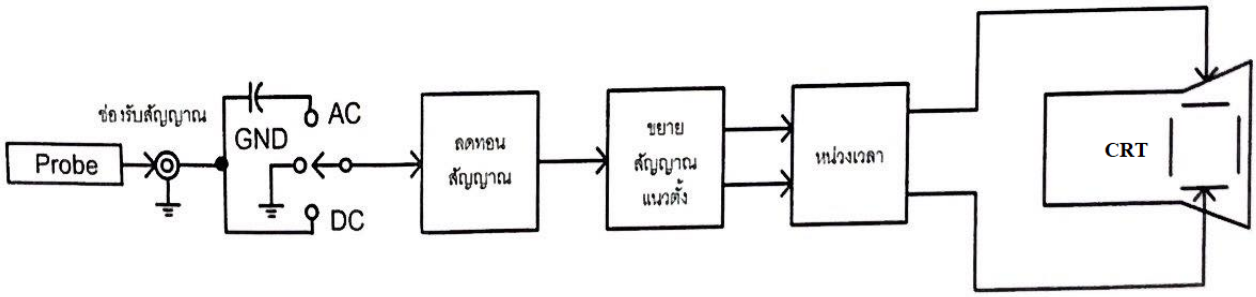
6.2.2 ระบบบ่ายเบนทางด้านแนวตั้ง (Vertical Deflection System)

ระบบบ่ายเบนแนวตั้ง หรือที่เรียกว่า ระบบบ่ายเบนแกน Y (Y-axis Deflection System) ทำหน้าที่ควบคุมการแสดงสัญญาณในแนวดิ่งบนหน้าจอออสซิลโลสโคป สัญญาณที่ต้องการวัดจะถูกป้อนเข้าสู่ระบบนี้ และส่งผ่านส่วนประกอบต่าง ๆ ได้แก่

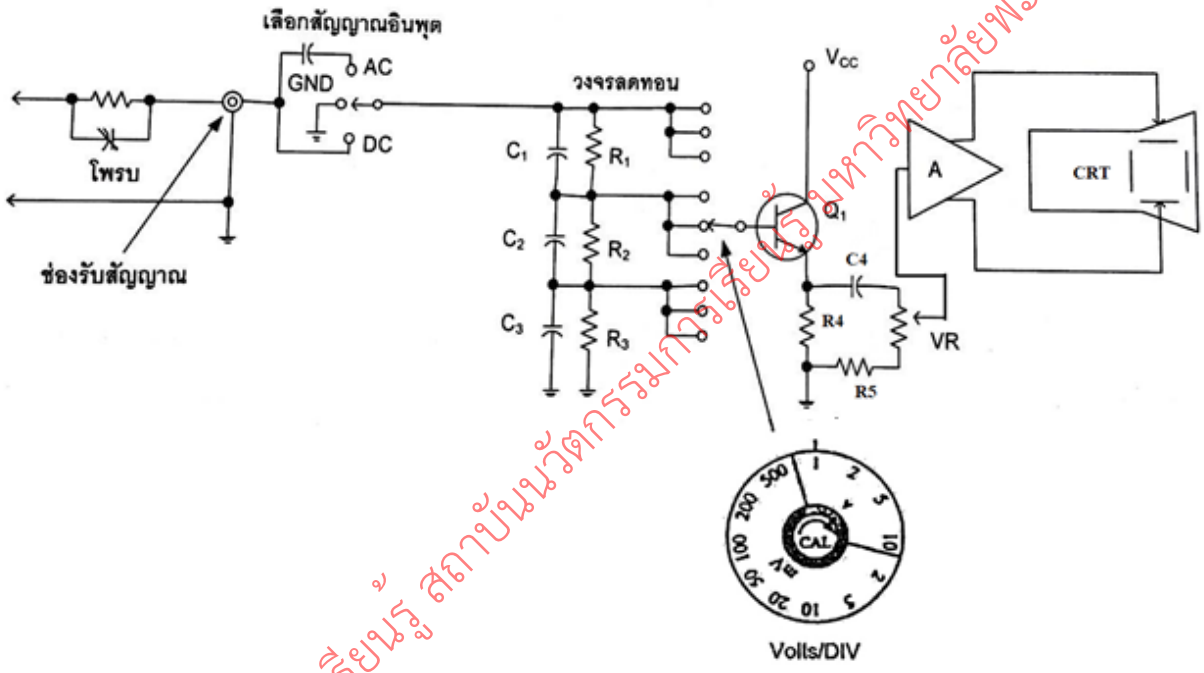
- โพรบ
- สวิตช์เลือกสัญญาณอินพุต
- วงจรหน่วงเวลา
- วงจรขยายสัญญาณแนวตั้ง
- วงจรลดทอนสัญญาณ

จากนั้นสัญญาณจะถูกส่งไปควบคุมการเบนอิเล็กตรอนที่แผ่นเพลตในแนวดิ่ง (Vertical Plates) ซึ่งแสดงผลเป็นรูปคลื่นบนจอภาพ โครงสร้างโดยรวมของระบบนี้แสดงในรูปที่ 6.18

ศูนย์บรรณสารและการเรียนรู้ สถาบันนวัตกรรมการเรียนรู้ มหาวิทยาลัยพะเยา



รูปที่ 6.18 แผนผังของระบบบ่ายเบนทางแนวตั้ง



รูปที่ 6.19 วงจรระบบบ่ายเบนทางแนวตั้ง

ระบบบ่ายเบนแนวตั้ง (Vertical Deflection System)

จากรูปที่ 6.19 แสดงโครงสร้างของระบบบ่ายเบนแนวตั้ง ซึ่งเป็นเส้นทางที่สัญญาณอินพุตถูกประมวลผลก่อนแสดงบนจอภาพออสซิลโลสโคป โดยสามารถอธิบายลำดับการทำงานได้ดังนี้

1. **สัญญาณอินพุต**
   สัญญาณที่ต้องการวัดจะถูกป้อนเข้าทางปลายโพรบ (TIP) ผ่านโพรบชนิดความจุต่ำ (low capacitance probe) ซึ่งช่วยชดเชยการลดทอนของสัญญาณความถี่สูงที่เกิดขึ้นในสายโพรบแบบซีล
2. **สวิตช์เลือกสัญญาณอินพุต**
   สัญญาณจากโพรบจะเข้าสู่สวิตช์เลือกการวัดที่สามารถเลือกโหมดได้ 3 แบบ ได้แก่
   - AC วัดเฉพาะสัญญาณสลับ
   - DC วัดทั้งสัญญาณตรงและสัญญาณสลับ

ศูนย์วิทยทรัพยากร สถาบันนวัตกรรมการเรียนรู้ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยพะเยา

- **GND** ตัดการป้อนสัญญาณอินพุต ใช้ตั้งค่าระดับฐาน (ground reference)

3. **วงจรลดทอนสัญญาณแนวตั้ง (Vertical Attenuator)**
   ทำหน้าที่ลดทอนแรงดันอินพุตให้เหมาะสมกับการแสดงผล โดยอาศัยตัวต้านทานแบ่งแรงดัน (voltage divider) เช่น R_1, R_2, R_3 ซึ่งมีค่าตายตัว
   - หากตั้งสวิตช์ไว้ที่ตำแหน่ง “1” จะไม่มีการลดทอน
   - หากตั้งไว้ที่ตำแหน่ง “10” แรงดันจะลดลง 10 เท่า
   - หากตั้งไว้ที่ตำแหน่ง “100” แรงดันจะลดลง 100 เท่า
4. **ตัวปรับระดับความแรงทางแนวตั้ง (Vertical Gain)**
   เพิ่มความสามารถในการปรับความแรงของสัญญาณได้อย่างละเอียด โดยใช้ตัวต้านทานปรับค่าได้ (R_4 หรือ R_{pot}) ต่อที่ขาอิมิตเตอร์ของทรานซิสเตอร์ Q_1 ซึ่งทำหน้าที่เป็นวงจรขยายแบบคอลเลกเตอร์ร่วม (common collector) เพื่อให้ได้อัตราขยายกระแสสูง
5. **ภาคขยายสัญญาณแนวตั้ง**
   สัญญาณที่ผ่านการลดทอนและปรับความแรงจะเข้าสู่ภาคขยายสัญญาณแนวตั้งอีกครั้ง เพื่อเพิ่มแรงดันให้เพียงพอในการควบคุมการเบนของลำอิเล็กตรอนที่แผ่นเพลตแนวตั้ง (vertical deflection plates)
   ภาคขยายนี้ต้องตอบสนองความถี่ได้กว้างและแม่นยำตามย่านความถี่ของสัญญาณที่ต้องการวัด
6. **วงจรซิงโครไนซ์ (SYNC.)**
   สัญญาณจากภาคขยายแนวตั้งยังถูกส่งไปยังวงจรซิงโครไนซ์ ผ่านสวิตช์ SYNC Selector ที่ตำแหน่ง **INT.** (Internal) เพื่อใช้ในการซิงค์สัญญาณกับสัญญาณฟันเลื่อยจากวงจรกำเนิดฐานเวลา
7. **การตั้งค่าการลดทอน (Volts/Division)**
   การลดทอนของระบบแนวตั้งสามารถปรับได้ที่หน้าปัดเครื่อง โดยระบุเป็นหน่วย "โวลต์ต่อวิดิชัน (Volts/Div.)" เช่น 0.1, 0.2, 0.5, 1, 2, 5, 10, 20 และ 50 โวลต์/วิดิชัน โดยเป็นลำดับแบบ 1-2-5 เพื่อความสะดวกในการเลือกใช้งาน

การหน่วงเวลาสัญญาณแนวตั้ง (Vertical Signal Delay)

ก่อนที่สัญญาณแนวตั้ง (VER.) ซึ่งผ่านการขยายจากภาคขยายสัญญาณแนวตั้งจะถูกส่งไปยังแผ่นเพลตควบคุมการบ่ายเบนแนวตั้ง จำเป็นต้องผ่าน **ภาคหน่วงเวลา (Delay Line)** เสียก่อน

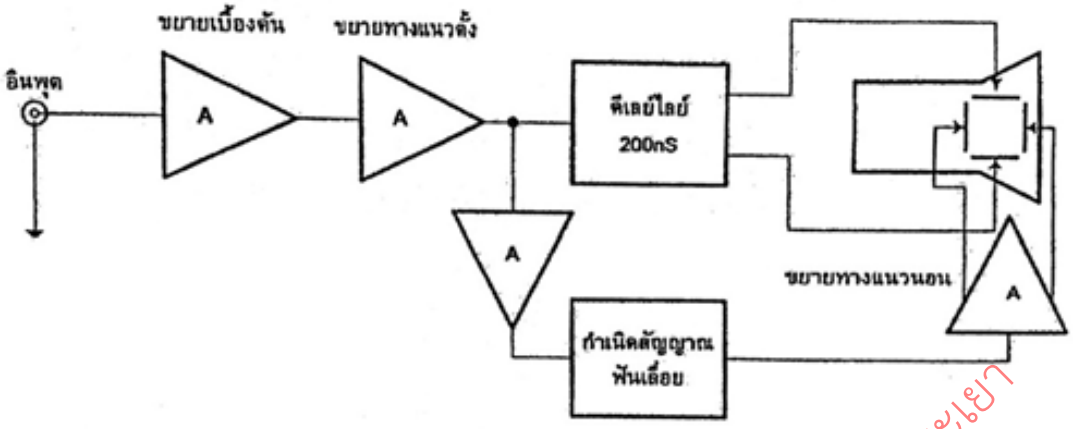
วัตถุประสงค์ของ Delay Line

เพื่อหน่วงเวลาการส่งสัญญาณแนวตั้งให้ทำงาน *พร้อมกัน* กับสัญญาณแนวนอน (HOR.) ซึ่งใช้ในการสร้างรูปคลื่นบนจอภาพ การหน่วงเวลานี้ช่วยให้ระบบสามารถประมวลผลสัญญาณกระตุ้น (trigger) และเริ่มต้นสัญญาณฟันเลื่อยแนวนอนได้ทัน ก่อนที่สัญญาณแนวตั้งจะปรากฏบนหน้าจอ

ค่าการหน่วงเวลา

โดยทั่วไป Delay Line จะหน่วงเวลาประมาณ 200 นาโนวินาที (1 ns = 1×10^{-9} วินาที) ซึ่งเพียงพอให้วงจรกำเนิดสัญญาณฟันเลื่อยเริ่มทำงานก่อนที่สัญญาณแนวตั้งจะถึงแผ่นเพลต ในบางออสซิลโลสโคปรุ่นใหม่ Delay Line อาจมีฟังก์ชันปรับค่าได้

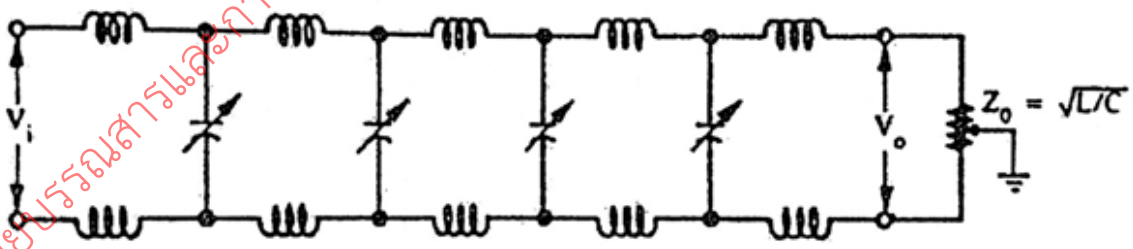
ศูนย์ประสานงานและการเรียนรู้ สถาบันพัฒนาบุคลากรการเรียนรู้ มหาวิทยาลัยพะเยา



รูปที่ 6.20 การเพิ่มดีเลย์ไลน์เพื่อหน่วงเวลาทางแนวตั้ง

การทำงานตามแผนภาพบล็อกดังรูปที่ 6.20

- สัญญาณอินพุตเข้าสู่ภาคขยายสัญญาณแนวตั้ง (Vertical Amplifier)
- จากนั้นจะแยกออกเป็น 2 ทาง ดังนี้
    1. ทางหนึ่งเข้าสู่ Delay Line เพื่อหน่วงเวลา ก่อนส่งไปยังแผ่นเพลตแนวตั้ง
    2. อีกทางส่งไปยัง Trigger Pick-Off เพื่อใช้ในการกำหนดการกระตุ้น (Trigger)
- สัญญาณกระตุ้นจะสั่งให้วงจรกำเนิดสัญญาณฟันเลื่อยทำงาน
- สัญญาณฟันเลื่อยจะถูกส่งผ่านภาคขยายแนวนอน (Horizontal Amplifier) ไปควบคุมแผ่นเพลตแนวนอน (HOR.)
- เวลาที่สัญญาณแนวนอนใช้ในการเดินทางคือประมาณ 80 นาโนวินาที



รูปที่ 6.21 วงจรดีเลย์ไลน์แบบหนึ่ง

รูปที่ 6.21 แสดงตัวอย่างวงจร Delay Line แบบหนึ่ง ซึ่งออกแบบมาให้หน่วงเวลาได้อย่างแม่นยำและตอบสนองต่อความถี่สูงโดยไม่บิดเบือนรูปคลื่น เมื่อส่งสัญญาณอินพุตทาง VER. ไปยังแผ่นเพลตควบคุมการบ่ายเบนทาง VER. จะต้องหน่วงเวลาให้ช้ากว่าสัญญาณฟันเลื่อยที่ส่งไปยังแผ่นเพลตควบคุมการบ่ายเบนทาง HOR. เล็กน้อย เพื่อให้การแสดงผลทั้งสองแนวตั้งและแนวนอนมีการประสานกัน จากรูปที่ 6.21

ศูนย์บรรณสารและการเรียนรู้ สถาบันส่งเสริมการเรียนรู้ มหาวิทยาลัยพะเยา

- สัญญาณทาง VER. เมื่อถึงแผ่นเพลตทาง VER. จะถูกหน่วงเวลา ประมาณ 200 นาโนวินาที (t_0 + 200 ns)
- สัญญาณทาง HOR. เมื่อถึงแผ่นเพลตทาง HOR. จะถูกหน่วงเวลา ประมาณ 80 นาโนวินาที (t_0 + 80 ns)

6.2.3 สายวัดสัญญาณหรือโพรบของออสซิลโลสโคป

ในการใช้งานออสซิลโลสโคป จำเป็นต้องต่อ โพรบ เข้ากับขั้วอินพุตของเครื่อง เพื่อใช้ในการวัดสัญญาณไฟฟ้าจากภายนอก โพรบมีความสำคัญอย่างมาก โดยเฉพาะในการวัดสัญญาณความถี่สูง เนื่องจาก

- หากใช้สายวัดธรรมดา แล้วจับด้วยมือ อาจเกิด สัญญาณรบกวน จากค่าความจุระหว่างมือกับสายวัด
- อิมพีแดนซ์ไม่แมตช์ (Mismatch) ระหว่างจุดวัดกับอินพุตของออสซิลโลสโคป อาจทำให้เกิดการสูญเสียกำลังของสัญญาณ

การใช้โพรบจึงช่วยลดปัญหาดังกล่าว และทำหน้าที่เป็นตัวกลางเชื่อมระหว่างจุดวัดกับออสซิลโลสโคปอย่างมีประสิทธิภาพ

นอกจากนี้ โพรบยังทำหน้าที่ ลดทอนสัญญาณ ก่อนเข้าสู่ระบบแนวตั้ง (VER.) เพื่อป้องกันความเสียหายหรือการแสดงผลเกินช่วง โดยทั่วไปโพรบจะมีค่าอัตราการลดทอน 2 แบบคือ

- 1× (ไม่ลดทอน) สัญญาณจะถูกส่งตรงโดยไม่เปลี่ยนค่า
- 10× (ลดทอน 10 เท่า) ใช้เมื่อสัญญาณมีแรงดันสูง เพื่อความปลอดภัยและความแม่นยำในการวัด



รูปที่ 6.22 ชุดโพรบ

ที่มา: https://th.element14.com/rs-probeselector สืบค้นเมื่อวันที่ 12/8/2566

ศูนย์บรรณสารและการเรียนรู้ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ประเภทของโพรบที่ใช้กับออสซิลโลสโคป

โพรบที่ใช้กับออสซิลโลสโคปสามารถแบ่งออกเป็น 2 ประเภทหลัก ดังนี้

1. โพรบแบบพาสซีฟ (Passive Probe)

เป็นโพรบที่ไม่มีวงจรขยายในตัว ทำหน้าที่ส่งผ่านและลดทอนสัญญาณ โดยประกอบด้วยองค์ประกอบพื้นฐาน เช่น ตัวต้านทาน ตัวเก็บประจุ และขดลวด

โพรบชนิดนี้เหมาะสำหรับการใช้งานทั่วไป เน้นความเรียบง่ายและต้นทุนต่ำ

2. โพรบแบบแอคทีฟ (Active Probe)

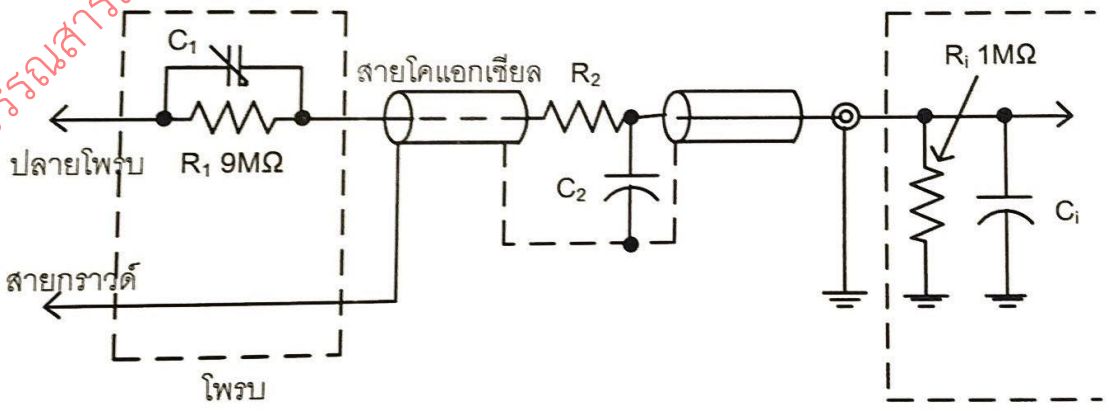
เป็นโพรบที่มีวงจรขยายในตัว เช่น วงจรกึ่งตัวนำ ช่วยเพิ่มความแรงของสัญญาณที่วัดได้ เหมาะสำหรับสัญญาณที่มีแอมพลิจูดต่ำ หรือความถี่สูงมาก ซึ่งต้องการความแม่นยำและโหลดต่ำที่สุดเท่าที่เป็นไปได้

นอกจากนี้ โพรบทั้งสองประเภท ยังสามารถแบ่งออกตามลักษณะการใช้งานเฉพาะทาง เช่น

- โพรบความจุต่ำ (Low Capacitance Probe) ลดผลกระทบจากความจุโหลด เหมาะสำหรับสัญญาณความถี่สูง
- โพรบ RF (RF Probe) ใช้สำหรับวัดสัญญาณความถี่วิทยุ
- โพรบแรงดันสูง (High Voltage Probe) รองรับแรงดันสูง ใช้ในงานไฟฟ้ากำลังหรือแรงดันสูงพิเศษ

โพรบพาสซีฟแบบมีตัวลดทอนภายใน

ในโพรบพาสซีฟบางรุ่นจะมีวงจรลดทอนภายใน โดยประกอบด้วย ตัวต้านทานและตัวเก็บประจุที่ต่อขนานกัน และเชื่อมต่อแบบอนุกรมกับสายโคแอกเชียล (coaxial cable) เพื่อรักษาความเที่ยงตรงของสัญญาณในย่านความถี่ต่าง ๆ โครงสร้างของโพรบชนิดนี้แสดงใน รูปที่ 6.23



รูปที่ 6.23 โครงสร้างของโพรบแบบพาสซีฟชนิดมีตัวลดทอน

ศูนย์บรรณสารและการเรียนรู้ สถาบันนวัตกรรมการเรียนรู้ มหาวิทยาลัยพะเยา

คำนวณหาขนาดของแรงดันสัญญาณเข้าและออกทางโพรบได้จากสมการ

$$Vout = V_{in}\frac{R_i}{R_1 + R_i}$$

$$T_1 = R_1C_1 = R_i\left(C_2 + C_i\right)$$

$$V_p = \frac{V_{p-p}}{2}$$

$$W = P \cdot t$$

$$P = \frac{W}{T}$$

$$P = U \cdot I = \frac{E^2}{R} = I^2 \cdot R$$

$$PT = EI\cos\theta$$

$$\cos\theta$$

$$Vout = V_{in}\frac{R_i}{R_1 + R_i} \qquad (6.1)$$

เมื่อ V_{out} คือ แรงดันที่ออกจากโพรบ มีหน่วยเป็นโวลต์

V_{in} คือ แรงดันที่ป้อนเข้าที่โพรบมีหน่วยเป็นโวลต์

R_i คือ ความต้านทานอินพุตของออสซิลโลสโคป มีหน่วยเป็น Ω

R_1 คือ ความต้านทานที่ต่ออันดับกับสายโคแอกเซียลมีหน่วยเป็น Ω

การตอบสนองความถี่ (Frequency Response) ของโพรบสามารถวิเคราะห์ได้จาก ค่าเวลาคงที่ (Time Constant, **τ**) ซึ่งเป็นปัจจัยสำคัญที่แสดงถึงพฤติกรรมการตอบสนองต่อการเปลี่ยนแปลงของสัญญาณ โดยเฉพาะในโพรบแบบพาสซีฟที่มี วงจรแบ่งแรงดัน RC (Resistor-Capacitor)

$$T_1 = R_1C_1 = R_i\left(C_2 + C_i\right) \qquad (6.2)$$

เมื่อ T_2 คือ เวลาคงที่มีหน่วยเป็นวินาที

C_1 คือ ความจุที่ต่ออันดับในสาย มีหน่วยเป็นไมโครฟารัด

C_2 คือ ความจุในสาย มีหน่วยเป็นไมโครฟารัด

C_i คือ ความจุในอินพุตของออสซิลโลสโคป มีหน่วยเป็นไมโครฟารัด

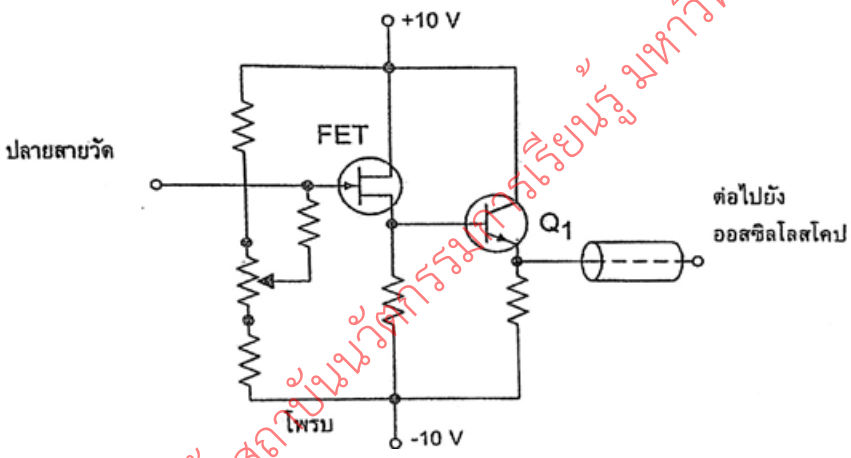
ศูนย์บรรณสารและการเรียนรู้ สถาบันวิทยบริการและการเรียนรู้ มหาวิทยาลัยพะเยา

โพรบวัดแรงดันไฟฟ้าแบบแอคทีฟ (Active Voltage Probe)

โพรบแบบแอคทีฟเป็นโพรบที่ภายในหัวโพรบมีวงจรอิเล็กทรอนิกส์ประกอบด้วย ทรานซิสเตอร์และเฟท (FET) ซึ่งทำหน้าที่เป็นภาคขยายสัญญาณเบื้องต้น จุดเด่นของโพรบชนิดนี้ คือ

- มี อินพุตอิมพีแดนซ์สูงมาก ทำให้ไม่รบกวนวงจรที่ทำการวัด
- สามารถ ตอบสนองต่อสัญญาณความถี่สูง ได้ดีมากกว่าพาสซีฟโพรบ
- เหมาะสำหรับวัดสัญญาณที่มีแอมพลิจูดต่ำหรือวงจรความเร็วสูง เช่น สัญญาณดิจิตอลความเร็วสูงหรือวงจร RF

โพรบชนิดนี้จึงเหมาะกับงานวัดที่ต้องการ ความแม่นยำสูง โหลดต่ำ และแบนด์วิดธ์กว้าง เช่นในงานวิจัย หรืองานซ่อมอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ขั้นสูง



(ก) วงจรโพรบแบบแอกทีฟ



(ข) ลักษณะโพรบวัดแรงดันไฟฟ้าแบบแอกทีฟ

ที่มา: https://th.element14.com/rs-probeselector สืบค้นเมื่อวันที่ 12/8/2566

รูปที่ 6.24 สายโพรบวัดแรงดันไฟฟ้าแบบแอกทีฟ

ศูนย์บรรณสารและการเรียนรู้ สถาบันนวัตกรรมการเรียนรู้ มหาวิทยาลัยพะเยา

โพรบวัดกระแสไฟฟ้า (Current Probe)

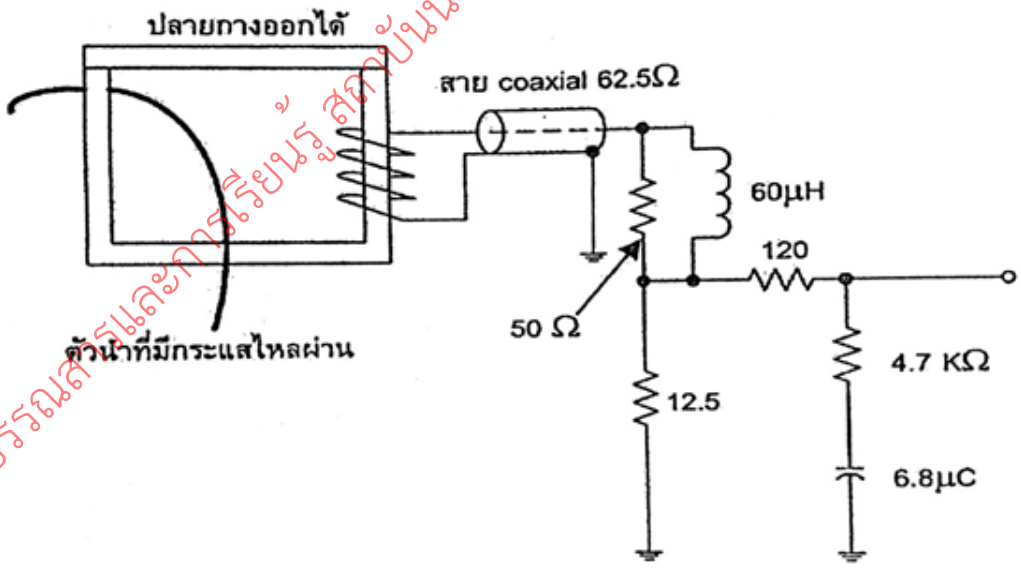
โพรบวัดกระแสไฟฟ้าเป็นอุปกรณ์ที่ใช้ในการวัดกระแสโดยไม่ต้องตัดวงจร โดยโพรบชนิดนี้ทำงานบนหลักการของ หม้อแปลงกระแส (Current Transformer)

การทำงานมีลักษณะดังนี้

- ที่ปลายโพรบจะมีช่องเปิดหรือกลไกแบบกางออกได้ เพื่อให้ ครอบสายตัวนำ ที่มีกระแสไฟฟ้าไหลอยู่ภายใน
- เมื่อตัวนำมีกระแสไหล จะเกิด สนามแม่เหล็กรอบตัวนำ ซึ่งจะทำให้เกิด แรงดันไฟฟ้าเหนี่ยวนำภายในขดลวดของโพรบตามกฎของฟาราเดย์
- สัญญาณแรงดันนี้จะถูกแปลงเป็นรูปคลื่นไฟฟ้า ส่งต่อไปยังอินพุตของออสซิลโลสโคป เพื่อแสดงค่ากระแสไฟฟ้าที่ไหลในวงจร

โพรบชนิดนี้เหมาะสำหรับ

- วัดกระแสสลับ (AC) หรือกระแสตรง (DC) ในบางรุ่นที่มีเซนเซอร์ Hall effect ร่วมด้วย
- ใช้งานในระบบไฟฟ้ากำลัง มอเตอร์ หรือวงจรอิเล็กทรอนิกส์ที่ต้องการวัดกระแสแบบไม่รบกวนการทำงานของวงจร



(ก) วงจรของโพรบใช้สำหรับวัดกระแส

ศูนย์บรรณสารและการเรียนรู้ สถาบันนวัตกรรมการเรียนรู้ มหาวิทยาลัยพะเยา



(ข) ลักษณะโพรบใช้วัดกระแส

รูปที่ 6.25 โพรบใช้วัดกระแส
ที่มา: https://www.measuretronix.com/product/894400สืบค้นเมื่อวันที่ 6/8/2566

6.2.4 ระบบบ่ายเบนทางแนวนอน

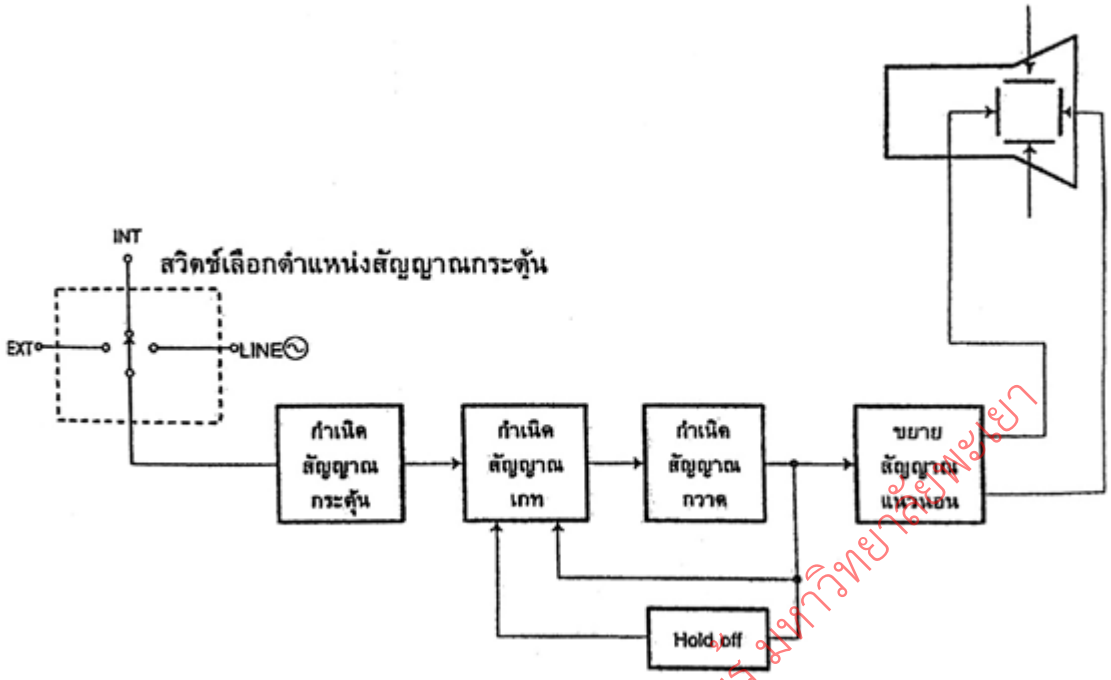
ระบบบ่ายเบนแนวนอน (Horizontal Deflection System) หรือที่เรียกว่า ระบบบ่ายเบนแกน X (X-axis Deflection System) ทำหน้าที่ควบคุมการเคลื่อนที่ของลำอิเล็กตรอนในแนวนอนบนหน้าจอออสซิลโลสโคป

ระบบนี้ประกอบด้วยส่วนสำคัญหลายภาค ดังนี้

- สวิตช์เลือกสัญญาณกระตุ้น (Trigger Selector Switch)
- ภาคกำเนิดสัญญาณเกท (Sweep Gating Multivibrator)
- ภาคกำเนิดสัญญาณกระตุ้น (Trigger Generator)
- ภาคขยายการบ่ายเบนทางแนวนอน (Horizontal Amplifier)
- ภาคกำเนิดความถี่ฟันเลื่อยหรือสัญญาณกวาด (Sweep Generator)
- ภาคโฮลด์ออฟ (Hold-off Circuit)

โดยทั้งหมดทำงานร่วมกันเพื่อสร้างสัญญาณกวาดฟันเลื่อยในแนวนอน ช่วยให้ลำอิเล็กตรอนเคลื่อนที่อย่างสม่ำเสมอและสอดคล้องกับสัญญาณอินพุตแนวตั้ง ทำให้เกิดการแสดงผลคลื่นสัญญาณบนหน้าจออย่างถูกต้อง สามารถดูแผนภาพบล็อกของระบบบ่ายเบนทางแนวนอนได้ในรูปที่ 6.26

ศูนย์บรรณสารและการเรียนรู้ สถาบันนวัตกรรมการเรียนรู้ มหาวิทยาลัยพะเยา



รูปที่ 6.26 ภาพผังการทำงานระบบบ่ายเบนแนวนอน

สวิตช์เลือกตำแหน่งแหล่งสัญญาณกระตุ้น (Trigger Source Selector Switch)

โดยทั่วไป สวิตช์นี้ใช้สำหรับเลือกแหล่งสัญญาณที่เข้ามากระตุ้นการสร้างสัญญาณกวาดภาพในออสซิลโลสโคป ซึ่งแบ่งออกเป็น 3 แหล่งหลัก ได้แก่

- แหล่งกำเนิดภายใน (Internal Source: INT)
  เมื่อเลือกตำแหน่งนี้ ภาคกำเนิดสัญญาณกระตุ้นจะรับสัญญาณมาจากภาคบ่ายเบนแนวตั้ง (Vertical input) เพื่อซิงโครไนซ์การกวาดภาพกับสัญญาณที่วัด
- แหล่งกำเนิดภายนอก (External Source: EXT)
  รับสัญญาณกระตุ้นจากภายนอกออสซิลโลสโคป เช่น สัญญาณจากวงจรหรืออุปกรณ์อื่น ๆ เพื่อใช้เป็นจุดเริ่มต้นสัญญาณกวาด
- แหล่งกำเนิดที่สาย (Line Source)
  ใช้สัญญาณไฟฟ้ากระแสสลับ (AC line) ที่จ่ายไฟให้กับออสซิลโลสโคป เป็นสัญญาณกระตุ้นการกวาดภาพ

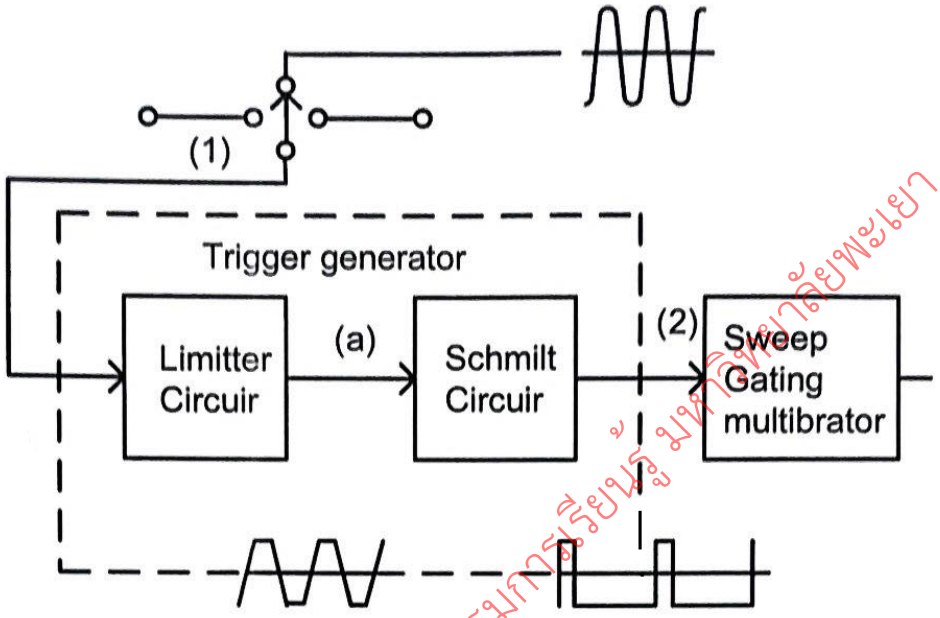
ภาคกำเนิดสัญญาณกระตุ้น (Trigger Generator)

ภาคนี้มีหน้าที่แปลงสัญญาณที่ได้รับจากสวิตช์เลือกแหล่งกระตุ้น ให้กลายเป็นสัญญาณพัลส์กระตุ้น (Trigger Pulse) ซึ่งมีลักษณะเป็นรูปสี่เหลี่ยม (Square Wave) เพื่อใช้กระตุ้นให้เกิดการกวาดภาพบนหน้าจอออสซิลโลสโคป

ศูนย์บรรณสารและสื่อการเรียนรู้ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

วงจรกำเนิดสัญญาณกระตุ้นนี้ประกอบด้วย

- วงจรลิมิตเตอร์ (Limiter Circuit) ช่วยตัดขอบสัญญาณให้คมชัด
- วงจรชมิตช์ (Schmitt Trigger Circuit) ช่วยสร้างสัญญาณพัลส์ที่มีความนิ่งและแม่นยำ



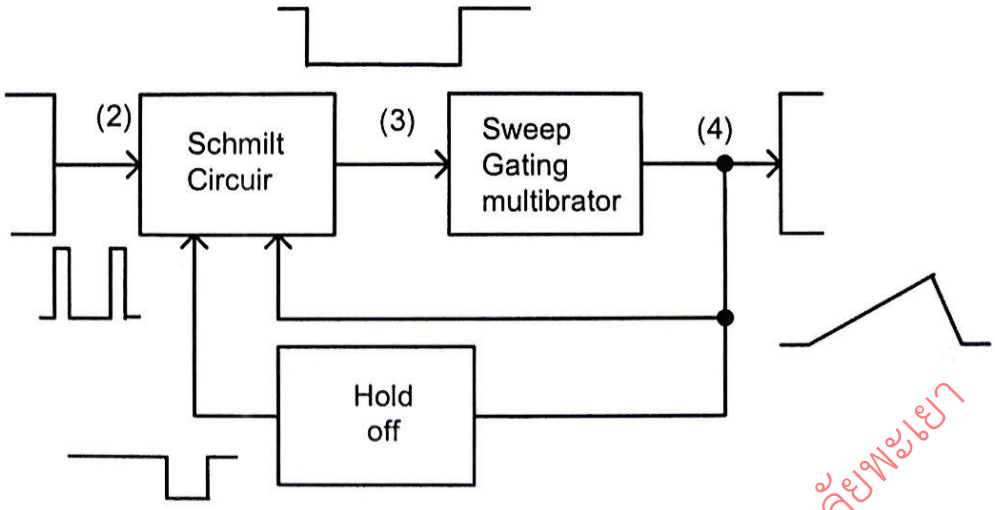
รูปที่ 6.27 ผังการทำงานภายในของภาคกำเนิดสัญญาณกระตุ้น

จากรูปที่ 6.27 เมื่อสัญญาณอินพุตที่เป็นรูปคลื่นไซน์เข้าสู่วงจร วงจร ลิมิตเตอร์ (Limiter) จะทำหน้าที่ตัดสัญญาณส่วนที่เกินระดับบนและล่างตามค่าระดับการกระตุ้น (Trigger Level) ที่ตั้งไว้ สัญญาณที่ถูกตัดแล้วจะถูกส่งต่อไปยังวงจร ชมิตท์ (Schmitt Trigger) วงจรชมิตท์จะเปลี่ยนสัญญาณเป็นรูปแบบสัญญาณสี่เหลี่ยม (Square Wave) ซึ่งเป็นพัลส์กระตุ้นที่คงที่และชัดเจน

ภาคกำเนิดสัญญาณเกท (Gate Generator), ภาคกำเนิดสัญญาณกวาด (Sweep Generator) และภาคโฮลด์ออฟ (Hold-off Circuit)

- เมื่อสัญญาณพัลส์ (Trigger Pulse) เข้าสู่วงจร ภาคกำเนิดสัญญาณเกทจะทำให้สัญญาณเอาต์พุตของภาคนี้กลายเป็น “0”
- จากนั้น วงจรเกทจะ ปิดวงจร เพื่อไม่ให้สัญญาณพัลส์ใหม่เข้ามารบกวน จนกว่าจะครบช่วงเวลาที่กำหนด
- ส่วนภาคกำเนิดสัญญาณกวาดโดยทั่วไปจะใช้วงจร มิลเลอร์อินทิเกรเตอร์ (Miller Integrator) ซึ่งประกอบด้วยตัวต้านทานและตัวเก็บประจุ
- วงจรนี้จะสร้างสัญญาณฟันเลื่อย (sawtooth wave) ซึ่งทำหน้าที่กวาดลำอิเล็กตรอนในแนวนอนบนจอออสซิลโลสโคปอย่างสม่ำเสมอ

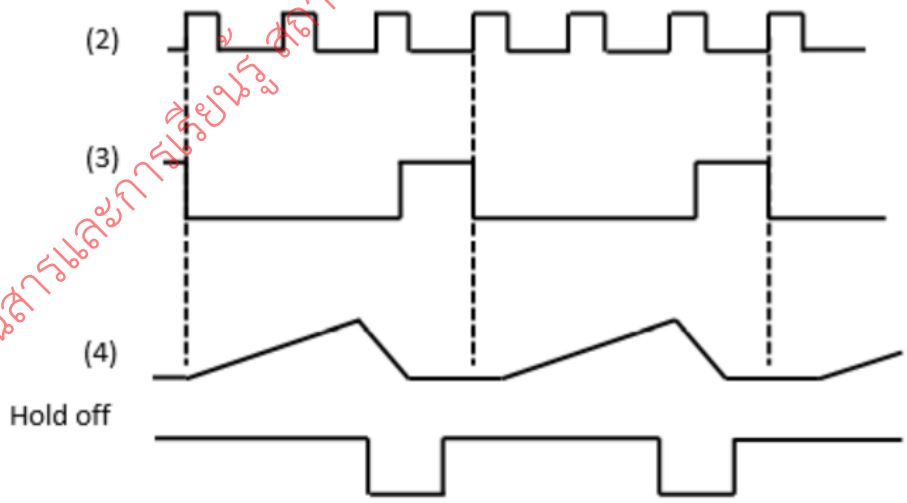
ศูนย์บรรณสารและการเรียนรู้ สถาบันอุดมศึกษาการเรียนรู้ มหาวิทยาลัยพะเยา



รูปที่ 6.28 การทำงานของภาคกำเนิดสัญญาณเกท (Gate Generator) ภาคกำเนิดสัญญาณกวาด (Sweep Generator) และภาคโฮลด์ออฟ (Hold-off Circuit)

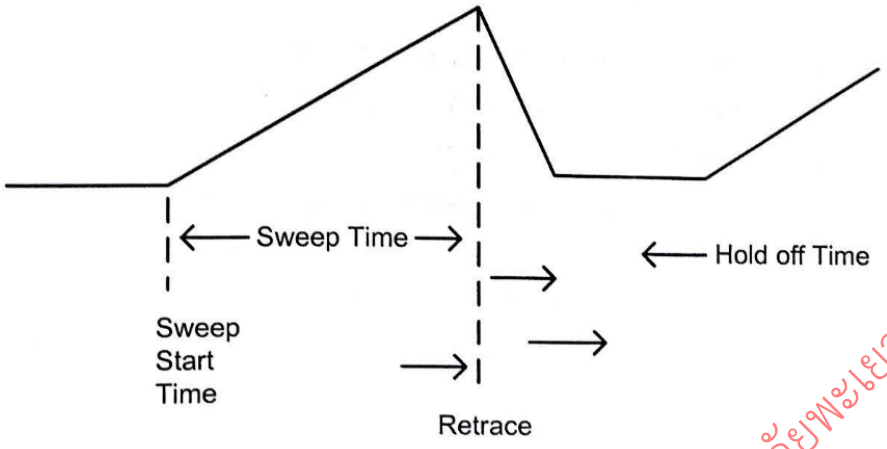
จากรูปที่ 6.28 ซึ่งทำงานร่วมกันเพื่อควบคุมการสร้างสัญญาณกวาดฟันเลื่อยในระบบบ่ายเบนแนวนอน

- ภาคกำเนิดสัญญาณเกท จะเปิด-ปิดวงจรรับสัญญาณพัลส์กระตุ้น (trigger pulse) ตามช่วงเวลาที่กำหนด (2)
- ภาคกำเนิดสัญญาณกวาด จะสร้างสัญญาณฟันเลื่อยที่ใช้บังคับลำอิเล็กตรอนในแนวนอน (3)
- ภาคโฮลด์ออฟ จะกำหนดช่วงเวลาห้ามรับสัญญาณกระตุ้นซ้ำ เพื่อป้องกันการกวาดภาพผิดจังหวะ (4)



รูปที่ 6.29 สัญญาณของภาคกำเนิดสัญญาณเกทและสัญญาณต่าง ๆ

ศูนย์บรรณสารและการเรียนรู้ สถาบันวิจัยการเรียนรู้ มหาวิทยาลัยพะเยา



รูปที่ 6.30 สัญญาณกวาดในสภาวะต่างๆ

การกำเนิดสัญญาณกวาด (Sweep Signal Generation)

ออสซิลโลสโคปสามารถแสดงรูปร่างของสัญญาณที่ป้อนเข้าทางแนวตั้ง (VER.) ได้อย่างถูกต้องก็ต่อเมื่อสัญญาณดังกล่าวสัมพันธ์กับเวลาที่ควบคุมโดยสัญญาณทางแนวนอน (HOR.) ซึ่งเรียกว่า ฐานเวลา (Time Base)

ฐานเวลานี้ควบคุมการกวาดลำอิเล็กตรอนผ่านแผ่นเพลตบ่ายเบนแนวนอน (HOR. plate) โดยให้ลำอิเล็กตรอนเคลื่อนที่จากซ้ายไปขวาด้วยความเร็วคงที่และสม่ำเสมอ

การสร้างฐานเวลาทำได้โดยการป้อนแรงดันรูป สัญญาณฟันเลื่อย (sawtooth wave) เข้าไปยังแผ่นเพลตควบคุมการบ่ายเบนแนวนอน

สัญญาณฟันเลื่อยในอุดมคติจะมีลักษณะเชิงเส้น คือแรงดันเพิ่มขึ้นอย่างสม่ำเสมอจากค่าต่ำสุด (V_{min}) ไปยังค่าสูงสุด (V_{max}) แล้วสะบัดกลับ (retrace) อย่างรวดเร็วกลับสู่ค่าเริ่มต้นดังรูปที่ 6.30

สัญญาณฟันเลื่อยแบ่งออกเป็น 2 ช่วงหลัก ได้แก่

1. ช่วงลาดขึ้นเชิงเส้น (Linear Rising) หรือ แรงดันแรมป์ (Ramp Voltage)
   เป็นช่วงเวลาที่แรงดันเพิ่มขึ้นจากต่ำสุดถึงสูงสุด โดยใช้เวลาช่วงนี้เท่ากับ T_s หรือ Sweep Time ซึ่งสอดคล้องกับการกวาดลำอิเล็กตรอนจากขอบซ้ายถึงขอบขวาของหน้าจอ
2. ช่วงสะบัดกลับ (Retrace Time, T_R)
   เป็นช่วงเวลาที่แรงดันลดลงกลับไปยังค่าต่ำสุดอย่างรวดเร็ว เพื่อเริ่มต้นกวาดใหม่อีกครั้ง ในช่วงนี้ลำอิเล็กตรอนจะหยุดทำงานชั่วคราวเพื่อไม่ให้เกิดเส้นสะบัดกลับบนจอภาพ

ศูนย์บรรณสารและสื่อการเรียนรู้ คณะเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยพะเยา

คุณสมบัติของสัญญาณฟันเลื่อยที่ดี

สัญญาณฟันเลื่อยที่ใช้ในออสซิลโลสโคปควรมีคุณสมบัติดังนี้

1. กวาดแรงดันได้อย่างเชิงเส้น (linear sweep)
2. มีช่วงสะบัดกลับ (retrace) ที่รวดเร็วและชัดเจน
3. สามารถควบคุมความถี่และปรับแต่งได้ง่าย
4. ซิงโครไนซ์กับสัญญาณอินพุตได้อย่างแม่นยำ

วงจรกำเนิดสัญญาณฟันเลื่อย

วงจรกำเนิดสัญญาณฟันเลื่อยมีหลายแบบ ตั้งแต่วงจรพื้นฐานที่ใช้ส่วนประกอบ RC ไปจนถึงวงจรที่มีประสิทธิภาพสูง เช่น วงจรทรานซิสเตอร์ UJT (Unijunction Transistor) เป็นต้น

ตัวอย่างวงจรผลิตสัญญาณฟันเลื่อยแบบ RC

จากรูปที่ 6.31 (ก) เป็นวงจรพื้นฐานสำหรับสร้างสัญญาณฟันเลื่อย โดยในช่วงเริ่มต้นเมื่อสวิตช์ S อยู่ในตำแหน่ง NO (ปกติเปิด) จะไม่มีแรงดันตกคร่อมตัวเก็บประจุ C ดังนั้นค่าแรงดัน e_c=0 โวลต์

เมื่อสวิตช์ S ถูกตัดออกจากวงจร (OFF) ตัวเก็บประจุ C จะเริ่มประจุผ่านความต้านทาน R ทำให้แรงดัน e_c ค่อย ๆ เพิ่มขึ้นตามเวลา จนถึงค่าของแหล่งจ่าย +E โดยพฤติกรรมการเปลี่ยนแปลงของแรงดัน e_c สามารถอธิบายได้ด้วยสมการทางคณิตศาสตร์ต่อไปนี้

$$e_c = E(1-e^{-t/RC}) \qquad (6.3)$$

โดยที่ $\mathbf{e_c}$ คือ แรงดันตกคร่อม C มีหน่วยเป็นโวลต์
E คือ แรงดันของแหล่งจ่าย มีหน่วยเป็นโวลต์
e คือ ค่าเท่ากับ 2.718278
T คือ เวลาในการเก็บประจุของ C มีหน่วยเป็นวินาที
R คือ ความต้านทานที่ต่อวงจร มีหน่วยเป็นโอห์ม
C คือ ความจุที่ต่อวงจร มีหน่วยเป็นโอห์ม

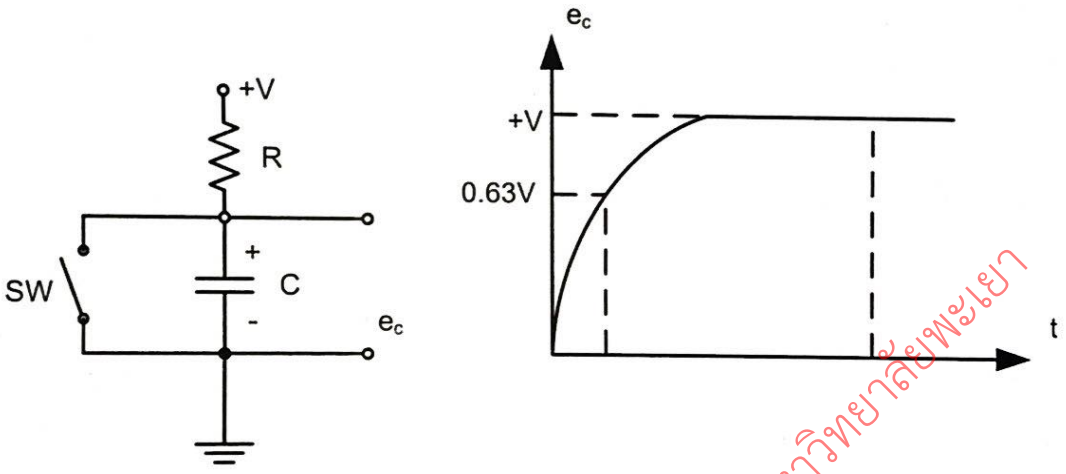
ลักษณะการทำงานของสัญญาณฟันเลื่อยในวงจร RC

จากรูปที่ 6.31 (ข) จะเห็นว่าแรงดันที่ตกคร่อมตัวเก็บประจุ C ในช่วงเวลา τ ถึงประมาณ 5τ มีลักษณะไม่เป็นเส้นตรง ดังนั้น หากต้องการนำแรงดันนี้ไปใช้งาน จำเป็นต้องเลือกช่วงเวลาที่แรงดันมีการเปลี่ยนแปลงใกล้เคียงเชิงเส้นมากที่สุด ซึ่งจะอยู่ในช่วงเวลาประมาณ τ

เมื่อแรงดันที่ C ประจุถึงค่า 0.63E (หรือประมาณ 63% ของแรงดันแหล่งจ่าย) จะสั่งให้สวิตช์ S ทำงาน (ON) เพื่อให้ตัวเก็บประจุคายประจุ และเริ่มต้นการประจุใหม่อีกครั้ง การควบคุมให้อยู่ในช่วง τ นี้

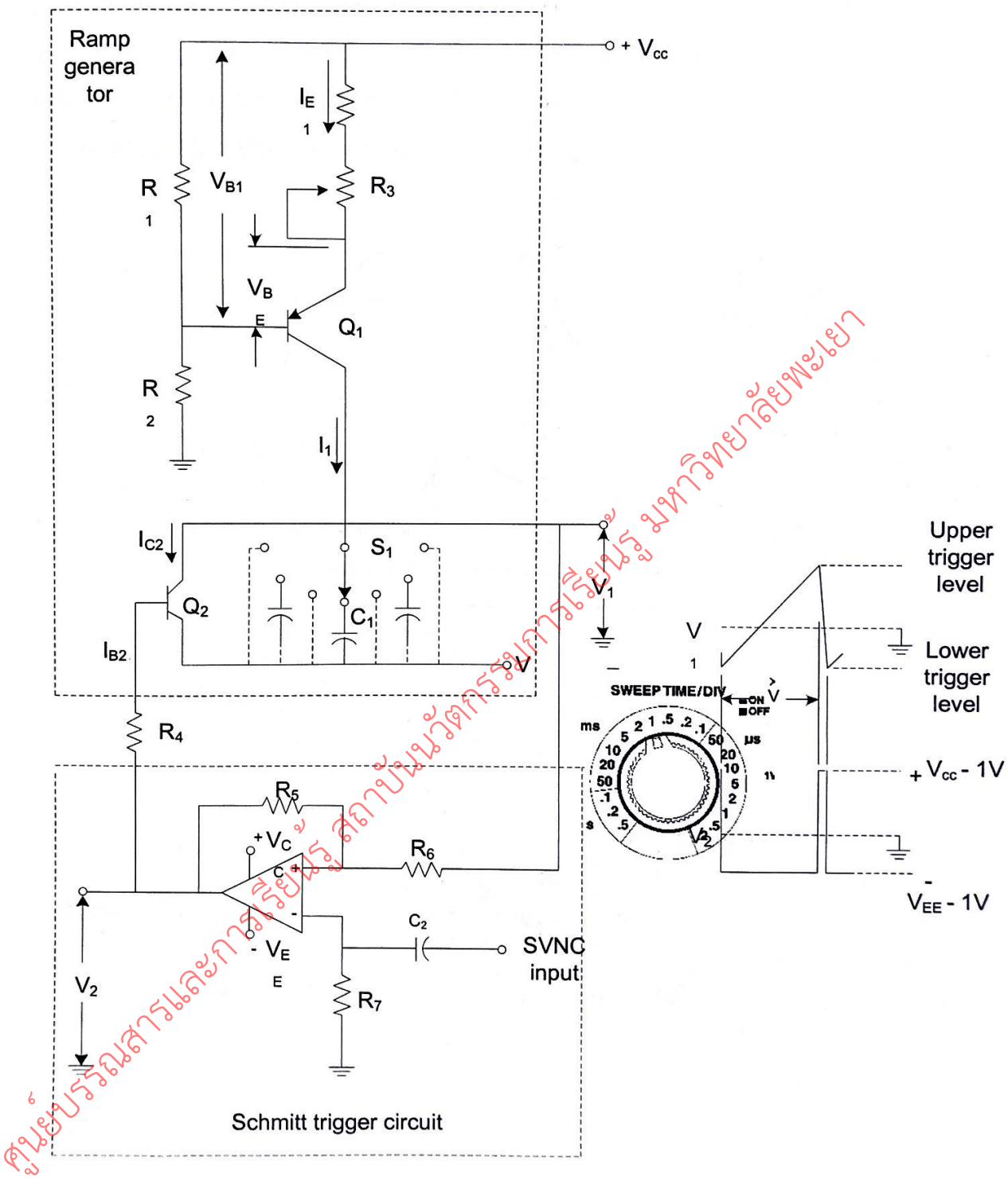
ศูนย์บรรณสารและการเรียนรู้ สถาบันนวัตกรรมการเรียนรู้ มหาวิทยาลัยพะเยา

ทำให้ความคลาดเคลื่อนจากความไม่เป็นเชิงเส้นต่ำกว่า 10% ซึ่งถือว่าอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ การสร้างสัญญาณฟันเลื่อยด้วยวิธีนี้เหมาะสำหรับใช้งานในออสซิลโลสโคปที่ทำงานในย่านความถี่ต่ำ



รูปที่ 6.31 วงจรกำเนิดสัญญาณฟันเลื่อย

ศูนย์บรรณสารและการเรียนรู้ สถาบันนวัตกรรมการเรียนรู้ มหาวิทยาลัยพะเยา



รูปที่ 6.32 วงจรกำเนิดสัญญาณฟันเลื่อยที่ใช้งานจริง

การกวาดที่พร้อมกัน (Synchronized Sweep)

สัญญาณฟันเลื่อยในรูปที่ 6.32 ถูกสร้างขึ้นอย่างอิสระ (free running) โดยไม่ถูกควบคุมจากภายนอก ทำให้ความถี่และความกว้างของสัญญาณขึ้นอยู่กับค่าของตัวต้านทาน R_1 และตัวเก็บประจุ C_1 ส่งผลให้ความกว้างของสัญญาณฟันเลื่อยไม่คงที่ และมักกว้างเกินความจำเป็น ส่งผลให้ภาพบนจอออสซิลโลสโคปเคลื่อนไหวไม่หยุดนิ่ง

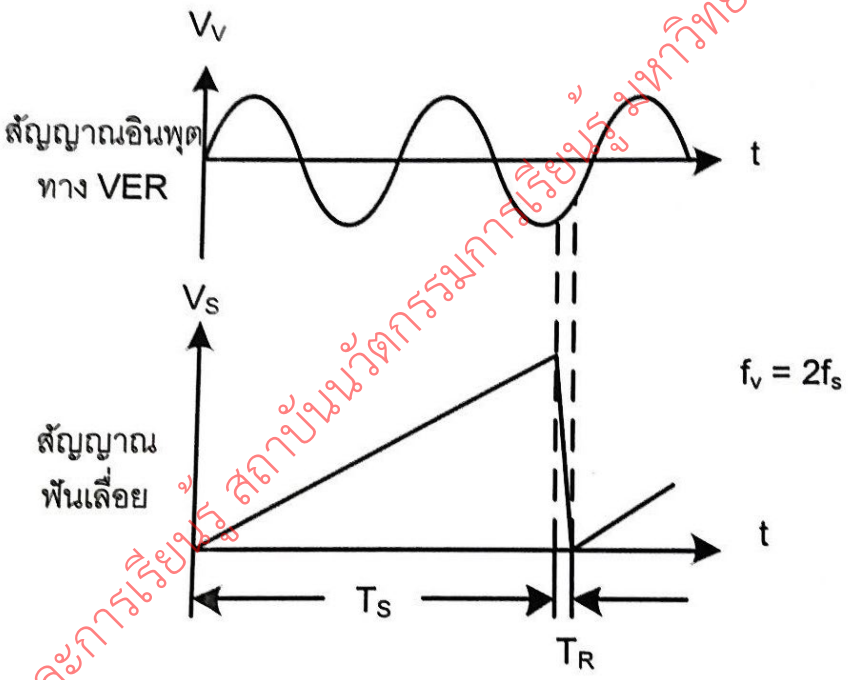
ศูนย์บรรณสารและการเรียนรู้ สถาบันนวัตกรรมการเรียนรู้ มหาวิทยาลัยพะเยา

เพื่อให้ภาพบนจอหยุดนิ่ง การกวาดของสัญญาณฟันเลื่อยต้องซิงโครไนซ์ (synchronize) กับสัญญาณที่ต้องการวัด โดยต้องปรับให้ความถี่ของสัญญาณอินพุต (f_V) เป็นผลคูณของความถี่ของสัญญาณกวาดฟันเลื่อย (f_S) ตามสมการ

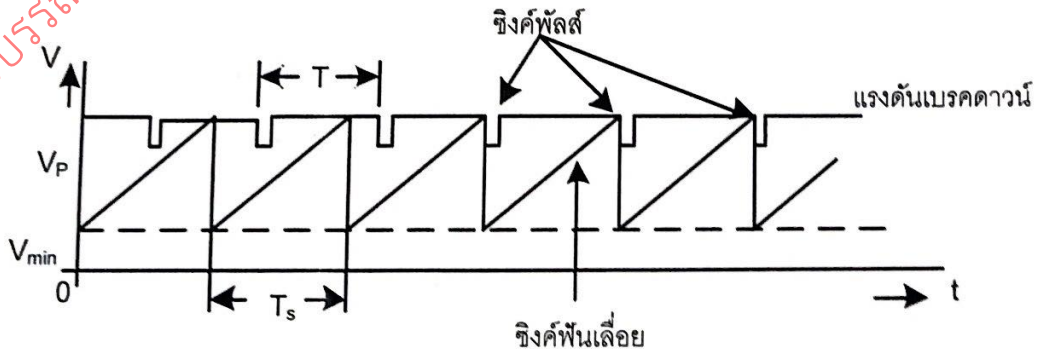
$$f_V = nf_S$$

โดยที่ n คือจำนวนรอบของสัญญาณอินพุตที่แสดงผลได้ภายในหนึ่งรอบของสัญญาณฟันเลื่อย

จากรูปที่ 6.33 แสดงตัวอย่างเมื่อสัญญาณอินพุตทางแกน VER. มีความถี่เป็นสองเท่าของสัญญาณฟันเลื่อยทางแกน HOR. ($f_V = 2f_S$) ทำให้สัญญาณไซน์สามารถแสดงได้พอดี 2 ไซเกิลต่อ 1 ไซเกิลของฟันเลื่อย และเมื่อสัญญาณไซน์ V_V ถูกป้อนทางแกน VER. และสัญญาณฟันเลื่อย V_S ถูกป้อนทาง HOR. จะปรากฏภาพสัญญาณไซน์แบบหยุดนิ่งจำนวน 2 ไซเกิลบนหน้าจอออสซิลโลสโคป



รูปที่ 6.33 การเปรียบเทียบความถี่ระหว่างสัญญาณอินพุตทาง VER. กับสัญญาณฟันเลื่อย



รูปที่ 6.34 สัญญาณซิงค์พัลส์ในการควบคุมการเกิดสัญญาณซิงค์ฟันเลื่อย

ศูนย์บรรณสารและการเรียนรู้ สถาบันนวัตกรรมการเรียนรู้ มหาวิทยาลัยพะเยา

สัญญาณซิงค์พัลส์กับการควบคุมสัญญาณฟันเลื่อย

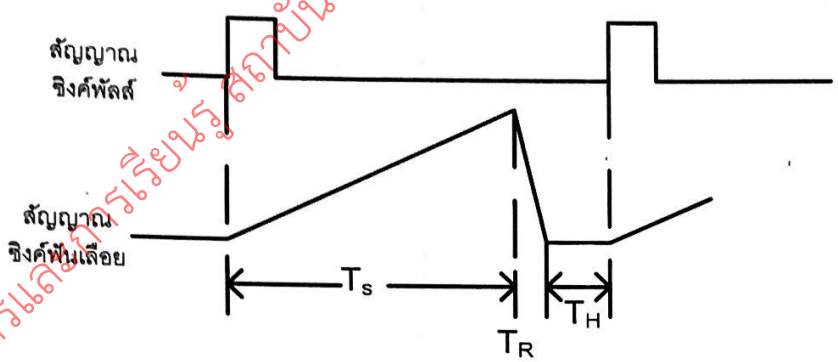
จากรูปที่ 6.34 จะเห็นว่าใน ช่วงแรกของสัญญาณฟันเลื่อยทางด้านซ้ายมือ สัญญาณซิงค์พัลส์ยังไม่สามารถควบคุมสัญญาณฟันเลื่อยได้ ทำให้สัญญาณฟันเลื่อยมีช่วงเวลาการเกิดที่คงที่ โดยเป็นไปตามจังหวะการควบคุมของสัญญาณซิงค์พัลส์

สัญญาณซิงค์พัลส์ที่นำมาควบคุมวงจรกำเนิดสัญญาณฟันเลื่อยนั้น อาจเป็น พัลส์ช่วงบวก (+) ก็ได้ ขึ้นอยู่กับชนิดของวงจรว่าต้องการพัลส์แบบใด เพื่อให้เกิดสัญญาณฟันเลื่อยที่เหมาะสม

ช่วงเวลาหยุดการเกิด (Hold-Off Time) ของสัญญาณฟันเลื่อย

โดยทั่วไปแล้ว สัญญาณฟันเลื่อยจะไม่เกิดขึ้นอย่างต่อเนื่องตลอดเวลาเหมือนดังรูป 6.34 แต่จะมีช่วงเวลาหยุดการเกิด (HOLD OFF time) ซึ่งเป็นช่วงเวลาที่สัญญาณฟันเลื่อยจะหยุด เพื่อให้สัญญาณซิงค์พัลส์สามารถทำการทริกและควบคุมการกำเนิดสัญญาณฟันเลื่อยได้อย่างถูกต้อง ช่วงเวลาหยุดการเกิดนี้จะมีค่าน้อยมาก

ในออสซิลโลสโคปบางรุ่น จะมี ปุ่มปรับ HOLD OFF อยู่บนหน้าปัด เพื่อให้ผู้ใช้งานสามารถปรับการทริกของสัญญาณซิงค์พัลส์ได้อย่างแม่นยำ รูปที่ 6.35 แสดงให้เห็นสัญญาณซิงค์ฟันเลื่อยที่มีช่วงเวลา HOLD-OFF นี้อย่างชัดเจน



รูปที่ 6.35 สัญญาณซิงค์ฟันเลื่อยที่มีช่วงเวลาหยุดการเกิด

สัญญาณซิงค์ฟันเลื่อยที่สมบูรณ์และการนำไปใช้งาน จากรูปที่ 6.35 สัญญาณซิงค์ฟันเลื่อยที่เห็นอยู่นี้เป็นสัญญาณที่สมบูรณ์และถูกนำไปใช้ในการควบคุม แผ่นเพลตบ่ายเบนแนวนอน (HOR.) โดยสัญญาณซิงค์ฟันเลื่อยนี้จะแบ่งออกเป็น 3 ช่วงเวลาหลัก ๆ คือ

1. ช่วงเวลากวาด (Sweep Time: T_S) คือ ช่วงเวลาที่ตัวเก็บประจุกำลังประจุ ซึ่งเป็นส่วนสำคัญที่ทำให้เกิดการกวาดสัญญาณไปในทิศทางหนึ่ง

2. ช่วงเวลาสะบัดกลับ (Retrace Time: T_R) คือ ช่วงที่ตัวเก็บประจุกำลังคายประจุ ทำให้สัญญาณเคลื่อนที่กลับไปยังจุดเริ่มต้นอย่างรวดเร็ว

ศูนย์บรรณสารและการเรียนรู้ สถาบันนวัตกรรมการเรียนรู้ มหาวิทยาลัยพะเยา

3. ช่วงเวลาหยุด (Hold-Off Time: T_H) คือ ช่วงเวลาที่ตัวเก็บประจุหยุดการทั้งประจุและคายประจุ นี่เป็นช่วงเวลาสั้น ๆ ที่สำคัญสำหรับการทริกสัญญาณฟันเลื่อยรอบถัดไป เพื่อให้การควบคุมเป็นไปอย่างต่อเนื่องและแม่นยำ

การแบ่งช่วงเวลาเหล่านี้ช่วยให้สัญญาณฟันเลื่อยสามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพในการควบคุมการบ่ายเบนของแผ่นเพลตแนวนอนในอุปกรณ์ต่าง ๆ

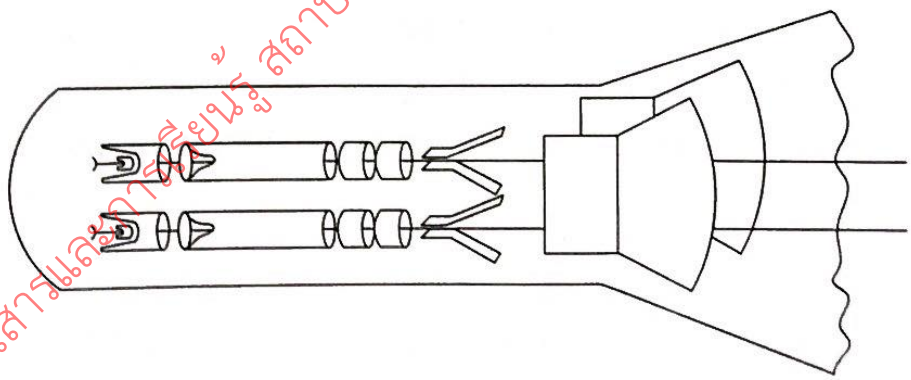
6.2.5. ออสซิลโลสโคปแบบ 2 เส้นภาพ (Dual-Trace Oscilloscope)

ออสซิลโลสโคปที่นิยมใช้กันทั่วไปมักจะเป็นชนิดที่สามารถวัดสัญญาณอินพุตได้พร้อมกัน 2 ช่อง หรือ 2 อินพุต ซึ่งมีประโยชน์มากสำหรับการ เปรียบเทียบสัญญาณ และ ใช้อ้างอิงสัญญาณ คุณสามารถดูเวลา, ความแรง, และเฟสของสัญญาณทั้งสองเปรียบเทียบกันได้

โดยปกติแล้ว การทำให้ลำแสงอิเล็กตรอนปรากฏบนหน้าจอเป็น 2 เส้นภาพสามารถทำได้ 2 วิธี

1) ออสซิลโลสโคปชนิดลำอิเล็กตรอนคู่ (Dual Beam Oscilloscope)

ออสซิลโลสโคปชนิดนี้สามารถวัดสัญญาณอินพุต 2 สัญญาณได้พร้อม ๆ กัน โดยสัญญาณที่แสดงบนหน้าจอภาพแต่ละช่องสัญญาณนั้นจะ เกิดจากปืนอิเล็กตรอนแต่ละชุดโดยเฉพาะ พูดง่าย ๆ คือ หลอดรังสีแคโทด (Cathode Ray Tube - CRT) ที่ใช้กับออสซิลโลสโคปแบบนี้ถูกสร้างมาเป็นพิเศษสำหรับงานนี้โดยเฉพาะ ดังที่แสดงในรูปที่ 6.36



รูปที่ 6.36 ภายในหลอดแคโทดเรย์ชนิดลำอิเล็กตรอนคู่

โครงสร้างและการทำงานของออสซิลโลสโคปชนิดลำอิเล็กตรอนคู่

จากรูปที่ 6.36 จะเห็น โครงสร้างภายในของหลอดแคโทดเรย์ชนิดลำอิเล็กตรอนคู่ ซึ่งประกอบด้วยชุดปืนอิเล็กตรอน ชุดปรับโฟกัส ชุดเร่งความเร็วลำอิเล็กตรอน และชุดควบคุมการบ่ายเบนแนวตั้ง โดยแต่ละส่วนเหล่านี้ มีอย่างละ 2 ชุดแยกกันอย่างอิสระ และมีแรงดันกับสัญญาณที่ใช้ควบคุมการทำงานโดยเฉพาะสำหรับแต่ละชุด

ศูนย์บรรณสารและการเรียนรู้ สถาบันนวัตกรรมการเรียนรู้ มหาวิทยาลัยพะเยา

อย่างไรก็ตาม มีเพียง ชุดควบคุมการบ่ายเบนแนวนอนเท่านั้นที่มีชุดเดียว ซึ่งทำหน้าที่ควบคุมการบ่ายเบนของลำอิเล็กตรอนทั้งสองลำแสงพร้อมกัน

ข้อดีและข้อเสียของออสซิลโลสโคปชนิดลำอิเล็กตรอนคู่

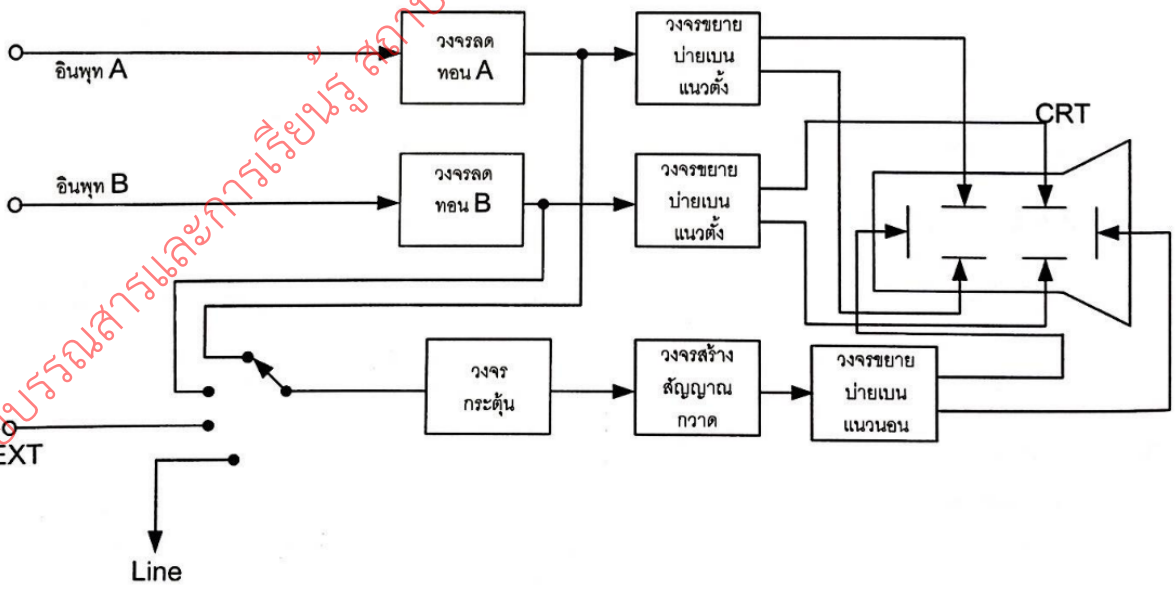
ข้อดี

- ใช้งานง่าย มีปุ่มปรับใช้งานน้อย ทำให้การใช้งานไม่ซับซ้อน
- การทำงานแยกอิสระ การทำงานของแต่ละช่องสัญญาณอินพุตถูกแยกออกจากกันอย่างสมบูรณ์

ข้อเสีย

- ความยุ่งยากในการผลิต หลอดรังสีแคโทดมีความซับซ้อนในการผลิต
- ต้นทุนสูง มีต้นทุนการผลิตที่สูงกว่า

บล็อกไดอะแกรมของออสซิลโลสโคปชนิดลำอิเล็กตรอนคู่ รูปที่ 6.37 แสดง บล็อกไดอะแกรมของออสซิลโลสโคปชนิดลำอิเล็กตรอนคู่ สัญญาณอินพุตจากแต่ละช่อง (CH.A และ CH.B) จะถูกป้อนเข้าสู่ภาคขยายเบื้องต้นและภาคขยายของแต่ละช่องสัญญาณแยกกัน โดยผ่านการหน่วงเวลา (Delay Line) เฉพาะสำหรับแต่ละช่อง จากนั้นสัญญาณจะถูกส่งต่อไปยังภาคขยายสัญญาณบ่ายเบนแนวตั้งของแต่ละช่องโดยเฉพาะ ก่อนที่จะส่งไปยังแผ่นเพลตควบคุมการบ่ายเบนแนวตั้งแต่ละชุดที่แยกกัน



รูปที่ 6.37 แผนผังการทำงานของออสซิลโลสโคปชนิดอิเล็กตรอนคู่

ศูนย์บรรณสารและการเรียนรู้ สถาบันนวัตกรรมการเรียนรู้ มหาวิทยาลัยพะเยา

แหล่งสัญญาณทริกเกอร์ในการควบคุมการบ่ายเบนแนวนอน

สัญญาณทริกเกอร์มีความสำคัญอย่างยิ่งในการควบคุมจังหวะการทำงานของออสซิลโลสโคป โดยสามารถรับได้จากหลายแหล่งอินพุต ดังนี้

- A รับสัญญาณทริกเกอร์มาจาก ชุดอินพุต A ซึ่งเป็นสัญญาณที่กำลังแสดงผลอยู่ในช่อง A
- B รับสัญญาณทริกเกอร์มาจาก ชุดอินพุต B ซึ่งเป็นสัญญาณที่กำลังแสดงผลอยู่ในช่อง B
- EXT. (External) รับสัญญาณทริกเกอร์จาก แหล่งสัญญาณภายนอก ออสซิลโลสโคป
- LINE รับสัญญาณทริกเกอร์จาก สัญญาณไฟ AC 50 เฮิรตซ์ ซึ่งเป็นความถี่ของไฟบ้าน

สัญญาณทริกเกอร์ที่ได้รับจากแหล่งใดแหล่งหนึ่งเหล่านี้จะถูกป้อนเข้าสู่วงจรทริกเกอร์เพื่อกำเนิดสัญญาณพัลส์ ที่มีจังหวะเวลาถูกต้อง สัญญาณพัลส์ที่ได้จะถูกส่งไปควบคุมการกำเนิด สัญญาณฟันเลื่อย ให้มีเวลาที่แม่นยำ จากนั้นสัญญาณฟันเลื่อยนี้จะถูกส่งต่อไปยัง ภาคขยายสัญญาณบ่ายเบนแนวนอน เพื่อให้มีแรงดันที่เหมาะสม และนำไปควบคุมแผ่นเพลตบ่ายเบนแนวนอน ทำให้ลำแสงอิเล็กตรอนเคลื่อนที่กวาดไปบนจอภาพอย่างถูกต้องตามจังหวะที่กำหนดไว้

1) ออสซิลโลสโคปชนิดเส้นกวาดคู่ (Dual Trace Oscilloscope)

ออสซิลโลสโคปชนิดเส้นกวาดคู่ สามารถวัดสัญญาณอินพุตได้ 2 สัญญาณพร้อมกันเช่นเดียวกับออสซิลโลสโคปชนิดลำอิเล็กตรอนคู่ แต่สิ่งที่แตกต่างกันคือ ลักษณะการแสดงภาพสัญญาณบนจอภาพ

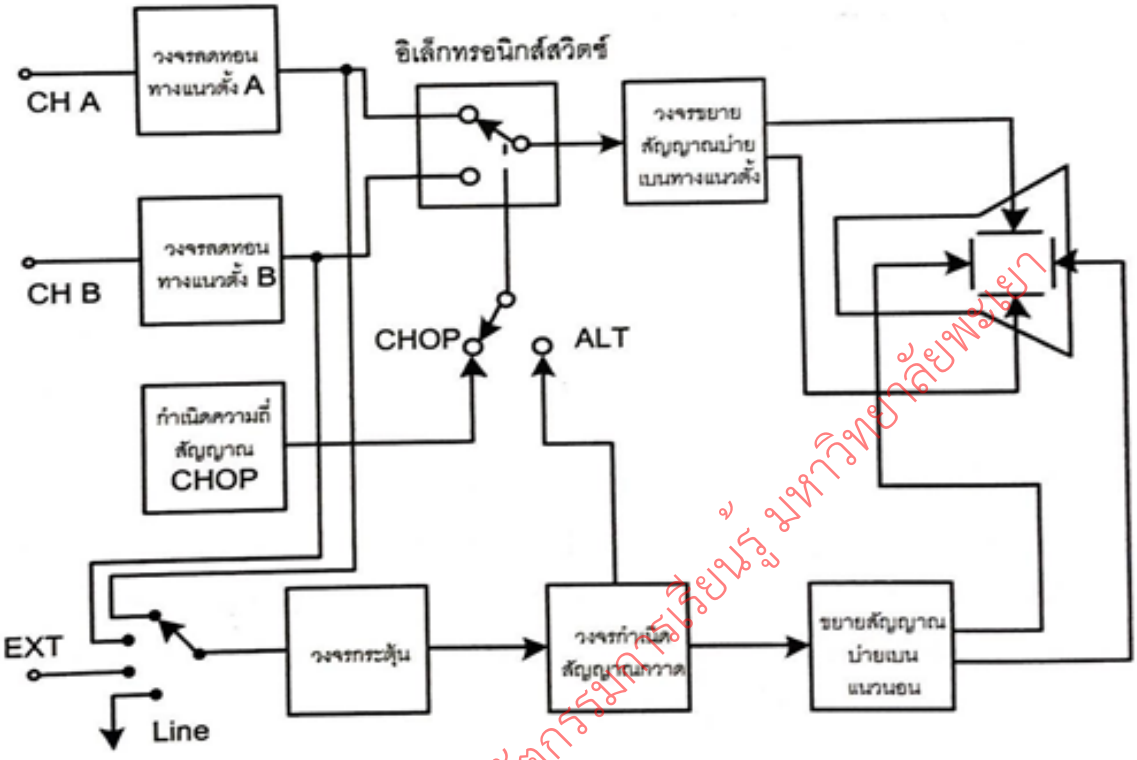
สำหรับออสซิลโลสโคปชนิดเส้นกวาดคู่นี้ การกำเนิดอิเล็กตรอนของหลอดรังสีแคโทด (CRT) จะใช้หลอดรังสีแคโทดแบบเส้นภาพเดียว ซึ่งหมายถึงมีชุดการบ่ายเบนแนวตั้ง (VER.) และแนวนอน (HOR.) อย่างละชุดเท่านั้น การจะทำให้เกิดภาพ 2 เส้นบนหน้าจอจึงทำได้โดยการ เพิ่มวงจรอิเล็กทรอนิกส์สวิตช์ (electronic switch) เข้าไป เพื่อสลับเลือกรับสัญญาณจากแต่ละอินพุตทางแนวตั้ง (VER.) ให้แสดงผลออกมาเป็น 2 สัญญาณ ดังแสดงในรูปที่ 6.38



รูปที่ 6.38 แสดงออสซิลโลสโคปชนิดเส้นกวาดคู่

ศูนย์บรรณสารและการเรียนรู้ สถาบันเทคโนโลยีการเรียนรู้ มหาวิทยาลัยนเรศวร

ที่มา: https://www.alibaba.com/pla/LW-L-212-20MHZ-Laboratory-Dual-Channel
สืบค้นเมื่อวันที่ 12/8/2566

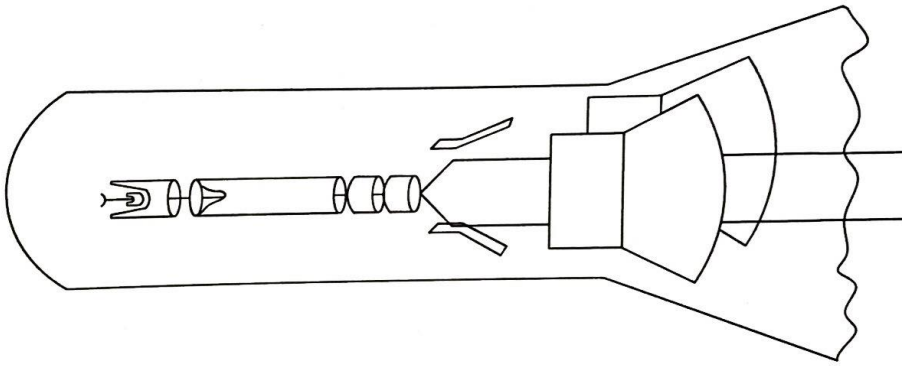


รูปที่ 6.39 แผนผังการทำงานของออสซิลโลสโคปชนิดเส้นกวาดคู่

การทำงานของออสซิลโลสโคปชนิดเส้นกวาดคู่ จากรูปที่ 6.39 แสดง บล็อกไดอะแกรมของออสซิลโลสโคปชนิดเส้นกวาดคู่ ซึ่งแตกต่างจากแบบลำอิเล็กตรอนคู่ตรงที่ไม่ได้ใช้ลำอิเล็กตรอนสองลำกวาดพร้อมกัน แต่จะใช้ หลักการแบ่งเวลาในการกวาดของอิเล็กตรอน เพื่อแสดงสัญญาณอินพุต 2 สัญญาณ

โดยหลักการคือ ออสซิลโลสโคปจะ กวาดแสดงรูปสัญญาณทีละรูปหรือทีละส่วน ของสัญญาณอินพุตแรก จากนั้นก็จะ สลับมากวาดสัญญาณอินพุตอีกสัญญาณหนึ่งทีละรูปหรือทีละส่วน เช่นนี้สลับกันไปเรื่อยๆ ด้วยวิธีการนี้ ภาพที่ปรากฏบนจอจึง ไม่ได้เกิดขึ้นพร้อมกัน แต่จะสลับกันเกิด หากการสลับนี้เกิดขึ้นเร็วมากจน ภาพเก่ายังไม่ทันหายไปจากจอ ภาพใหม่ที่เกิดขึ้นมาจะทำให้เรามองเห็นเหมือนกับว่าภาพทั้งสองเกิดขึ้นพร้อมกัน ซึ่งเป็นเทคนิคที่หลอกตาเราให้เห็นสองเส้นพร้อมกัน ดังรูปที่ 6.40 แสดงให้เห็นถึง ลักษณะการกวาดของลำอิเล็กตรอน ในออสซิลโลสโคปชนิดเส้นกวาดคู่นี้

ศูนย์วิทยทรัพยากรและการเรียนรู้ สถาบันนวัตกรรมการเรียนรู้ มหาวิทยาลัยพะเยา



รูปที่ 6.40 ลำอิเล็กตรอนของออสซิลโลสโคปชนิดเส้นกวาดคู่

การประมวลผลสัญญาณอินพุตในออสซิลโลสโคปแบบเส้นกวาดคู่

สัญญาณอินพุตจะถูกป้อนเข้าที่ขั้วรับของแต่ละช่องสัญญาณ (CH.A และ CH.B) โดยเฉพาะ จากนั้นจะผ่านการ ขยายเบื้องต้นและลดทอนสัญญาณ สำหรับแต่ละช่อง ที่จุดนี้จะมีปุ่มปรับ เลื่อนเส้นภาพ (Position) ของแต่ละสัญญาณ เพื่อให้คุณสามารถเลื่อนตำแหน่งของภาพที่ปรากฏบนจอให้ห่างกันหรือชิดกันได้ตามต้องการ

หลังจากนั้น สัญญาณจากช่องสัญญาณ B จะผ่านวงจร ดีเลย์ไลน์ เพื่อหน่วงเวลาเล็กน้อย ก่อนที่สัญญาณจากทั้งสองช่องจะถูกส่งต่อไปยัง ภาคขยายสัญญาณบ่ายเบนแนวตั้ง เพื่อขยายสัญญาณและส่งไปควบคุมแผ่นเพลตด้านแนวตั้ง (VER.)

โหมดการแสดงผลของอิเล็กทรอนิกส์สวิตช์

อิเล็กทรอนิกส์สวิตช์ จะทำหน้าที่เลือกรับสัญญาณจากช่อง A หรือช่อง B เพื่อนำไปแสดงผลบนจอภาพ โดยมีสัญญาณมาควบคุมอิเล็กทรอนิกส์สวิตช์ ทำให้เกิดภาพบนจอภาพได้ 2 แบบหลัก ๆ คือ

1. แบบ Alternate (ALT.) เป็นการเลือกรับสัญญาณแบบสลับกัน แสดงดังรูปที่ 6.41 (ก)
2. แบบ Chopped (CHOP.) เป็นการเลือกรับสัญญาณแบบซอยออกย่อย ๆ แสดงดังรูปที่ 6.41 (ข)

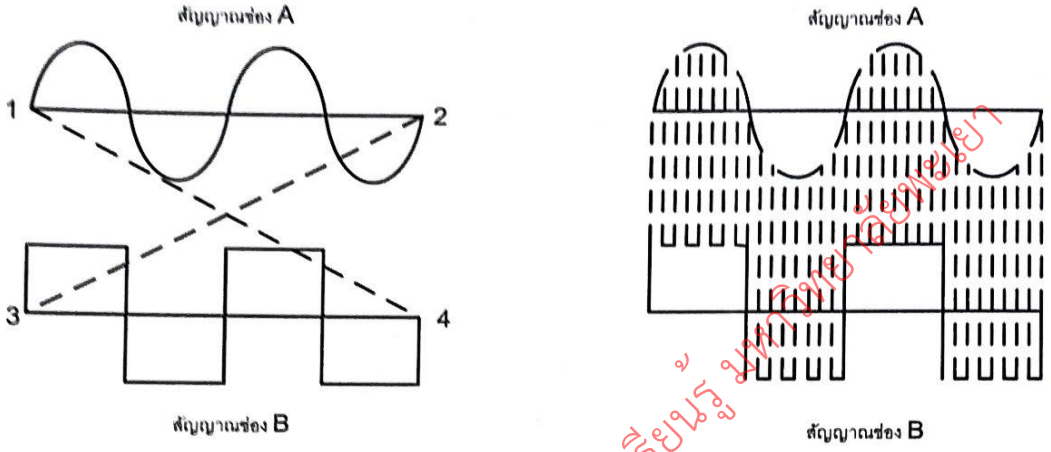
การกวาดแบบ Alternate (ALT.)

ในโหมดการกวาดแบบ ALT. ดังรูปที่ 6.41 (ก) ออสซิลโลสโคปจะ กวาดทีละภาพสลับกัน การทำงานของอิเล็กทรอนิกส์สวิตช์ในการเลือกรับสัญญาณจากช่อง A หรือช่อง B จะถูกควบคุมด้วยสัญญาณฟันเลื่อย ที่ส่งมาจากภาคกำเนิดสัญญาณกวาดฟันเลื่อย

อิเล็กทรอนิกส์สวิตช์จะเปลี่ยนตำแหน่งทุกครั้งที่สัญญาณฟันเลื่อยทำการกวาดครบ 1 ลูกคลื่น ดังที่แสดงในรูปที่ 6.41 (ก) ตัวอย่างเช่น ครั้งแรกอิเล็กทรอนิกส์สวิตช์จะเชื่อมต่อกับช่องสัญญาณ A ทำให้เกิดภาพสัญญาณไซน์บนจอภาพ โดยลำแสงจะกวาดจากซ้ายมือ (เลข 1) ไปขวามือ (เลข 2) หลังจากนั้นอิเล็กทรอนิกส์สวิตช์จะสลับมาเชื่อมต่อกับช่องสัญญาณ B ทำให้เกิดภาพสัญญาณสี่เหลี่ยมบนจอภาพ ซึ่งก็จะกวาดจากซ้ายมือ (เลข 1) ไปขวามือ (เลข 2) เช่นกัน กระบวนการนี้จะดำเนินไปอย่างต่อเนื่อง

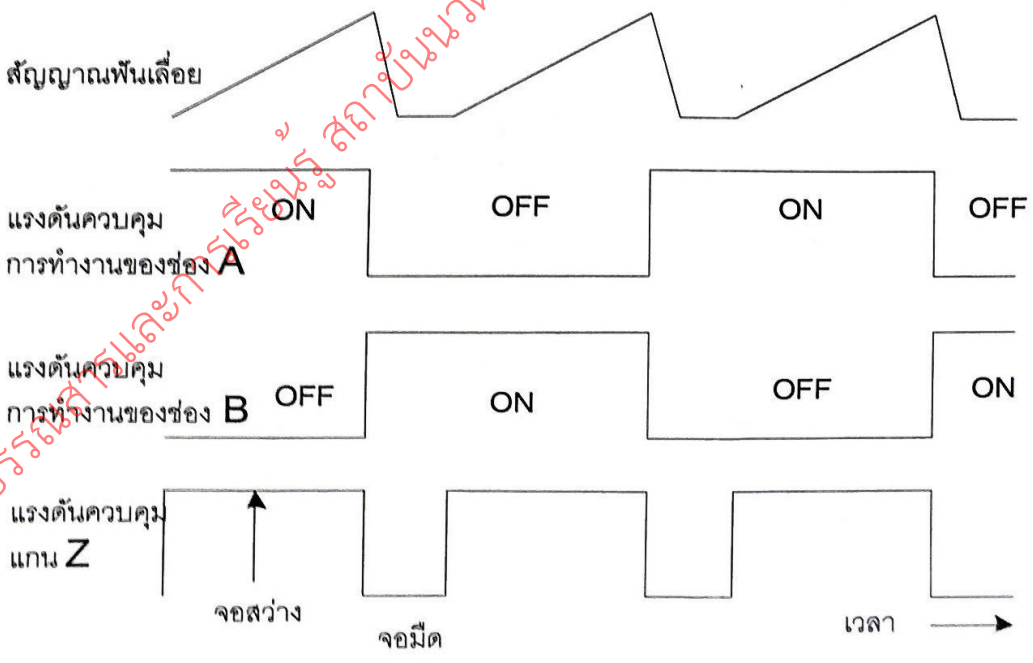
ศูนย์บรรณสารและการเรียนรู้ สถาบันนวัตกรรมการเรียนรู้ มหาวิทยาลัยพะเยา

หากการกวาดแต่ละครั้งใช้เวลาสั้นพอที่ภาพเดิมบนจอไม่ทันจางหายไป ภาพที่เกิดขึ้นใหม่จะทำให้เรามองเห็นสัญญาณสองสัญญาณปรากฏอย่างต่อเนื่องและไม่กระพริบ อย่างไรก็ตาม การกวาดแบบ ALT. นี้เหมาะสำหรับการวัดสัญญาณความถี่สูงประมาณ 500 เฮิรตซ์ขึ้นไป หรือเมื่อตั้งค่าสวิตช์ TIME/DIV. ไว้ที่ย่าน 0.5 มิลลิวินาทีต่อดิวิชั่นลงมา เพื่อให้การสลับภาพเกิดขึ้นเร็วเพียงพอ รูปที่ 6.42 แสดงสัญญาณที่ใช้ควบคุมการทำงานของออสซิลโลสโคปในโหมด ALT.



(ก) การกวาดแบบ Alternate (ALT.) (ข) การกวาดแบบ Chopped (CHOP.)

รูปที่ 6.41 รูปสัญญาณปรากฏบนจอภาพแบบ Alternate (ALT.) และแบบ (Chopped : CHOP.)



รูปที่ 6.42 สัญญาณควบคุมการทำงานของออสซิลโลสโคปในตำแหน่ง ALT.

การกวาดแบบ Chopped (CHOP.) ในออสซิลโลสโคป จากรูปที่ 6.41 (ข) แสดงการกวาดสัญญาณในโหมด CHOP. ซึ่งเป็นวิธีการแสดงผลที่แบ่งการกวาดหน้าจอออกเป็นช่วงเล็ก ๆ และสลับกันแสดงสัญญาณจากช่องสัญญาณ A และ B อย่างรวดเร็ว โดยใช้สวิตช์อิเล็กทรอนิกส์ควบคุมการสลับ

ศูนย์บรรณสารและการเรียนรู้ สถาบันนวัตกรรมการเรียนรู้ มหาวิทยาลัยพะเยา

ช่องสัญญาณ สวิตช์นี้จะทำงานตามสัญญาณควบคุมที่มาจากวงจรออสซิลเลเตอร์ ซึ่งสร้างความถี่สูงประมาณ 100 ถึง 250 กิโลเฮิรตซ์ ส่งผลให้การสลับรับสัญญาณเกิดขึ้นได้ถึง 100,000 ถึง 250,000 ครั้งต่อวินาที ทำให้สัญญาณจากทั้งสองช่องปรากฏบนจอภาพเหมือนแสดงพร้อมกันอย่างต่อเนื่อง

ด้วยความเร็วในการสลับที่สูงมากนี้ ภาพของสัญญาณ A และสัญญาณ B จึงถูกกวาดทีละส่วนย่อยๆ สลับกันไปตลอดเวลาตั้งแต่ซ้ายมือไปขวามือ ทำให้ภาพสัญญาณทั้งสองถูก ซอยออกเป็นส่วนย่อยๆ ตลอดแนวพร้อมกัน ในเวลาเดียวกัน

ดังนั้น การใช้งานในตำแหน่ง CHOP. จึงเหมาะสำหรับการวัดสัญญาณความถี่ต่ำ ตั้งแต่ 500 เฮิรตซ์ลงมา หรือเมื่อตั้งค่าสวิตช์ TIME/DIV. ไว้ที่ย่านวัด 1 มิลลิวินาทีต่อดิวิชั่นขึ้นไป รูปที่ 6.42 แสดงสัญญาณที่ใช้ควบคุมการทำงานของออสซิลโลสโคปในตำแหน่ง CHOP.

การเลือกใช้โหมด ALT. หรือ CHOP. ขึ้นอยู่กับความถี่ของสัญญาณที่คุณต้องการวัด เพื่อให้ได้ภาพที่ชัดเจนและถูกต้องที่สุดบนจอแสดงผล

การทำงานของสวิตช์ควบคุมและแหล่งสัญญาณทริกเกอร์ในออสซิลโลสโคป จากรูปที่ 6.43 เมื่อสวิตช์ S_{2A} และ S_{2B} เป็นสวิตช์ที่ทำงานพร้อมกัน ทำหน้าที่สำคัญในการเลือกโหมดการทำงานของออสซิลโลสโคปได้ 2 แบบหลักๆ

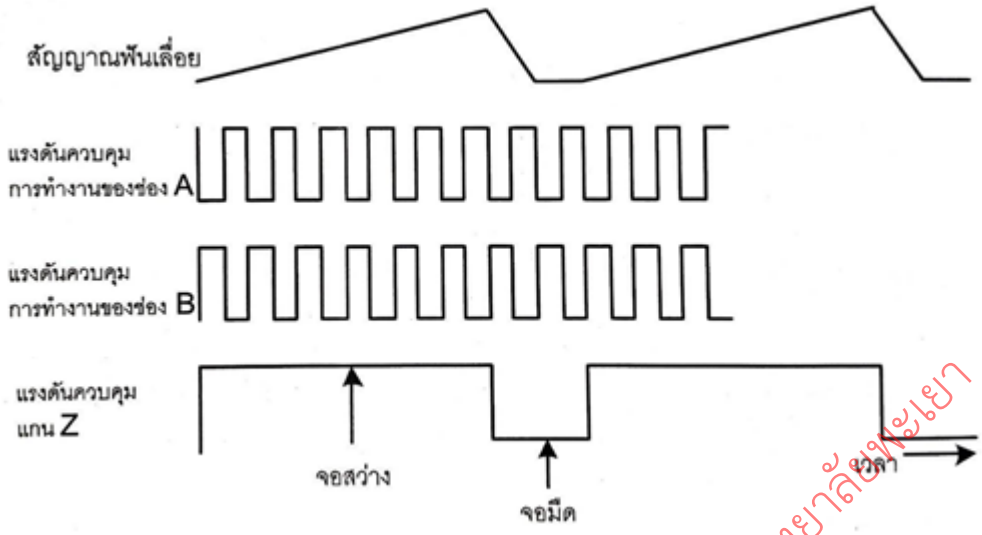
1. โหมดกวาดต่อเนื่อง เป็นโหมดการทำงานปกติของออสซิลโลสโคปที่แสดงสัญญาณเทียบกับเวลา
2. โหมด X-Y ออสซิลโลสโคปใช้สำหรับทำการวัดสัญญาณแบบ ลิสซาจูส์ (Lissajous figures) ในโหมดนี้ อินพุตช่อง B จะถูกใช้เป็นสัญญาณอินพุตสำหรับแกนนอน (HOR.)

ส่วน สวิตช์ S1 ทำหน้าที่เลือกแหล่งสัญญาณทริกเกอร์จากหลายอินพุต

- A รับสัญญาณทริกเกอร์มาจาก อินพุตช่อง A
- B รับสัญญาณทริกเกอร์มาจาก อินพุตช่อง B
- EXT. (External) รับสัญญาณทริกเกอร์จาก แหล่งภายนอก
- LINE รับสัญญาณทริกเกอร์จาก สัญญาณไฟสลับ 50 เฮิรตซ์

สัญญาณทริกเกอร์ที่ถูกเลือกจะถูกป้อนเข้าสู่วงจรทริกเกอร์เพื่อ กำเนิดสัญญาณพัลส์ สัญญาณพัลส์นี้จะถูกส่งไปควบคุมการกำเนิด สัญญาณฟันเลื่อย ให้มีเวลาที่ถูกต้องและแม่นยำ จากนั้นสัญญาณฟันเลื่อยจะถูกส่งต่อไปยัง ภาคขยายสัญญาณบ่ายเบนทางแนวนอน เพื่อขยายแรงดันให้เหมาะสม ก่อนจะนำไปควบคุมแผ่นเพลตในการบ่ายเบนแนวนอน ทำให้ลำแสงอิเล็กตรอนเคลื่อนที่กวาดไปบนหน้าจอตามจังหวะที่กำหนดไว้

ศูนย์บรรณสารและสื่อการเรียนรู้ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยพะเยา



รูปที่ 6.43 การควบคุมการทำงานของออสซิโลสโคปในตำแหน่ง CHOP

สัญญาณควบคุมการทำงานของออสซิลโลสโคปในตำแหน่ง CHOP ดังรูปที่ 6.43 สัญญาณที่ควบคุมการทำงานของออสซิลโลสโคปในตำแหน่ง CHOP (Chopped mode) คือ สัญญาณความถี่สูงที่มาจากวงจรกำเนิดความถี่ (oscillator)

ความถี่ของสัญญาณนี้จะอยู่ที่ประมาณ 100 ถึง 250 กิโลเฮิรตซ์ ซึ่งเป็นสัญญาณที่ทำหน้าที่ควบคุม อิเล็กทรอนิกส์สวิตช์ ให้สลับการเลือกรับสัญญาณจากช่องสัญญาณ A และช่องสัญญาณ B อย่างรวดเร็วมาก ประมาณ 100,000 ถึง 250,000 ครั้งต่อวินาที การสลับที่รวดเร็วนี้ทำให้ภาพของสัญญาณทั้งสองปรากฏบนจอพร้อมกัน โดยถูกซอยออกเป็นส่วนย่อยๆ สลับกันไปตลอดแนว

โหมด CHOP นี้เหมาะสำหรับการวัด สัญญาณความถี่ต่ำ ประมาณ 500 เฮิรตซ์ลงมา เพื่อให้ได้ภาพที่ต่อเนื่องและไม่กระพริบ

6.3 ออสซิลโลสโคปชนิดพิเศษ

6.3.1 สตอเรจออสซิลโลสโคป (Storage Oscilloscope)

สตอเรจออสซิลโลสโคป เป็นออสซิลโลสโคปประเภทหนึ่งที่ได้รับการพัฒนาขึ้นเพื่อเพิ่มความสะดวกในการใช้งาน โดยพื้นฐานแล้ว มีรูปลักษณ์และฟังก์ชันการทำงานเช่นเดียวกับออสซิลโลสโคปแบบกวาดต่อเนื่องทั่วไป แต่สิ่งที่เพิ่มเข้ามาคือความสามารถพิเศษในการ บันทึกรูปภาพสัญญาณให้ค้างอยู่บนหน้าจอภาพได้ แม้ว่าสัญญาณอินพุตจะหยุดป้อนเข้ามาแล้วก็ตาม

คุณสมบัติการบันทึกภาพนี้ช่วยให้ผู้ใช้งานสามารถวิเคราะห์สัญญาณที่ไม่เกิดขึ้นซ้ำ หรือสัญญาณที่เกิดขึ้นเพียงชั่วขณะได้อย่างละเอียด โดยที่ภาพสัญญาณจะยังคงปรากฏบนจอภาพได้ตั้งแต่ไม่กี่วินาทีไปจนถึงหลายสัปดาห์ ขึ้นอยู่กับชนิดของสตอเรจออสซิลโลสโคปที่ใช้งาน ซึ่งแสดงดังรูปที่ 6.44

ศูนย์บรรณสารและการเรียนรู้ สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 6.44 สตอเรสออสซิลโลสโคป (Storage Oscilloscope)

ที่มา: https://www.bing.com/images/ สืบค้นเมื่อวันที่ 6/8/2566

การที่ออสซิลโลสโคปสามารถจำสัญญาณภาพไว้บนหน้าจอได้นั้น ช่วยให้การดูรูปคลื่น การเปรียบเทียบสัญญาณ และการวิเคราะห์สัญญาณสะดวกสบายขึ้นอย่างมาก สตอเรจออสซิลโลสโคปจึงมีประโยชน์ในการใช้งานที่หลากหลาย ซึ่งสรุปได้ดังนี้

1. เฝ้าดูและบันทึกสัญญาณชั่วขณะ เหมาะสำหรับการบันทึกรูปคลื่นของสัญญาณที่เกิดขึ้นเพียงชั่วเวลาสั้น ๆ แล้วหายไป เช่น แรงดันชั่วขณะ (transients voltage) ที่อาจเป็นอันตรายต่อวงจรหรือไม่สามารถสังเกตเห็นได้ด้วยออสซิลโลสโคปทั่วไป
2. ดูรูปคลื่นสัญญาณความถี่ต่ำมาก สามารถใช้ดูสัญญาณที่มีคาบเวลานานมาก ซึ่งออสซิลโลสโคปแบบธรรมดาไม่สามารถแสดงการเปลี่ยนแปลงทั้งหมดของสัญญาณได้ เนื่องจากจะเห็นเป็นเพียงแค่จุดแสงที่เคลื่อนที่ไปบนจอเท่านั้น แต่สตอเรจออสซิลโลสโคปสามารถเก็บภาพรวมทั้งหมดไว้ให้เห็นได้
3. บันทึกสัญญาณที่มีการเปลี่ยนแปลงรวดเร็ว มีประโยชน์ในการวัดค่าที่เปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็ว เช่น ช่วงเวลาขาขึ้น (rise time) หรือ ช่วงเวลาขาลง (fall time) ของสัญญาณต่าง ๆ ซึ่งมีค่าน้อยมากจนยากที่จะจับภาพได้ทัน
4. เปรียบเทียบสัญญาณที่เกิดขึ้นต่างเวลา สามารถใช้เปรียบเทียบสัญญาณสองสัญญาณหรือมากกว่าที่เกิดขึ้นในเวลาที่แตกต่างกันได้ เช่น การเปรียบเทียบสัญญาณก่อนและหลังการปรับแต่งวงจรหรือสัญญาณก่อนและหลังการแก้ไขข้อบกพร่องของวงจร

ศูนย์วิทยทรัพยากรเพื่อการเรียนรู้ สถาบันบริการการเรียนรู้ มหาวิทยาลัยพะเยา

การบันทึกภาพสัญญาณให้ค้างอยู่บนหน้าจอของสตอเรจออสซิลโลสโคปนั้นแบ่งออกได้เป็น 2 แบบหลัก ๆ คือ แบบแอนะล็อก (analog storage oscilloscope) และ แบบดิจิทัล (digital storage oscilloscope)

6.3.2 แอนะลอกสตอเรจออสซิลโลสโคป

แอนะลอกสตอเรจออสซิลโลสโคป (analog storage oscilloscope) เป็นออสซิลโลสโคปที่ใช้เทคนิคพิเศษในการบันทึกภาพอยู่ที่ หลอดแคโทดเรย์ (CRT) โดยตัวหลอดรังสีแคโทดเองจะเป็นส่วนสำคัญที่ทำให้สัญญาณสามารถแสดงบนจอภาพได้นานเท่าที่ต้องการ

หลอดรังสีแคโทดที่ใช้ในออสซิลโลสโคปชนิดนี้ถูกออกแบบมาเป็นพิเศษ โดยมี ชุดกำเนิดลำอิเล็กตรอน 2 ชนิด คือ

- ไรต์กัน (Write Gun) เป็นลำอิเล็กตรอนชนิดแรกที่กำเนิดจากปืนอิเล็กตรอนและชุดควบคุมการทำงานต่าง ๆ คล้ายกับหลอดรังสีแคโทดในออสซิลโลสโคปทั่วไป ทำหน้าที่ "เขียน" รูปคลื่นสัญญาณลงบนจอ
- ฟลัดกัน (Flood Gun) มี 2 ชุด ทำหน้าที่กวาดลำอิเล็กตรอนที่มีความเร็วต่ำไปกระทบทั่วพื้นที่จอภาพตลอดเวลา การจำภาพสัญญาณบนจอจะเกิดขึ้นที่ฟลัดกันนี้เอง

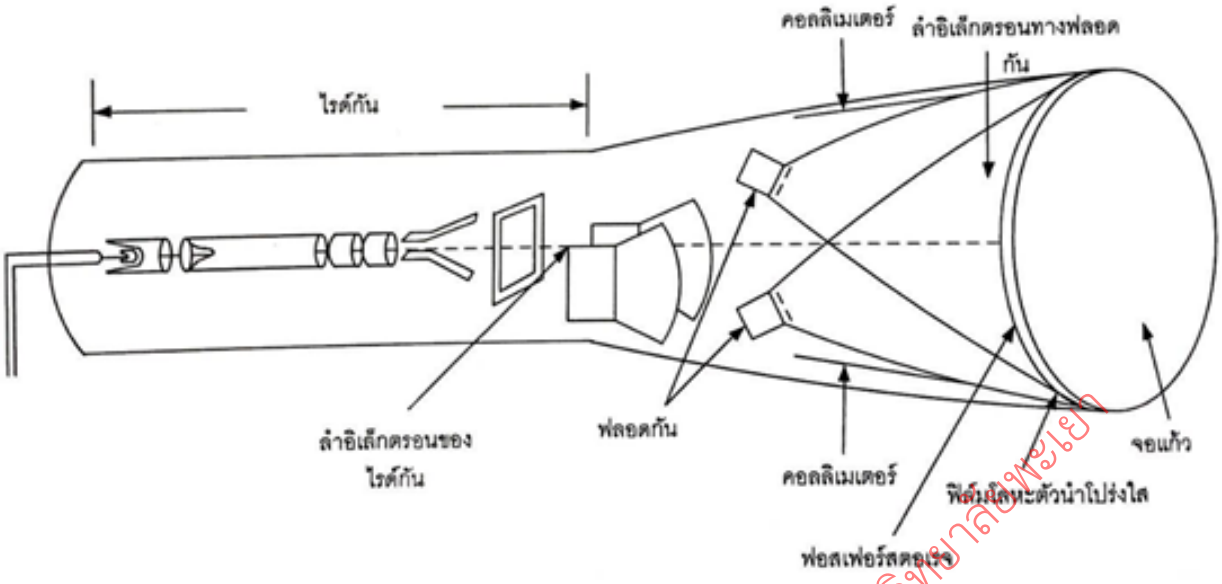
โครงสร้างของหลอดรังสีแคโทดที่ใช้ในแอนะลอกสตอเรจออสซิลโลสโคปมีความแตกต่างกัน และสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 แบบหลัก ๆ คือ

1. แอนะลอกสตอเรจออสซิลโลสโคปแบบไบสเตเบิล

การบันทึกสัญญาณด้วยระบบไบสเตเบิลเป็นวิธีที่ง่ายที่สุดในการเก็บภาพของสัญญาณไว้บนหน้าจอออสซิลโลสโคป โครงสร้างพื้นฐานของหลอดรังสีแคโทด (CRT) ยังคงคล้ายกับที่ใช้ในออสซิลโลสโคปทั่วไป แต่มีการเพิ่มเติมส่วนประกอบบางอย่างเพื่อให้สามารถเก็บภาพสัญญาณไว้บนจอได้อย่างต่อเนื่อง

หลอดรังสีแคโทดแบบไบสเตเบิลสามารถเก็บสัญญาณให้อยู่ค้างบนหน้าจอได้แม้สัญญาณต้นทางจะหมดไปแล้ว โดยภาพจะคงอยู่จนกว่าจะมีการลบหรือเขียนภาพใหม่ การทำงานลักษณะนี้เหมาะกับการจับสัญญาณที่เกิดขึ้นเร็วหรือเกิดขึ้นเพียงช่วงเวลาสั้น ๆ โครงสร้างของหลอดรังสีแคโทดแบบไบสเตเบิลสามารถดูได้ในรูปที่ 6.45

ศูนย์วิทยทรัพยากร เพื่อการเรียนรู้ของคนไทย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 6.45 หลอดรังสีแคโทดแบบไบสเตเบิล

ส่วนประกอบสำคัญของหลอดรังสีแคโทดแบบไบสเตเบิล จากรูปที่ 6.45 จะเห็นโครงสร้างของหลอดรังสีแคโทดแบบไบสเตเบิล ซึ่งเป็นหัวใจสำคัญของแอนะลอกสตอเรจออสซิลโลสโคป โดยประกอบด้วยส่วนประกอบหลักดังนี้

1. ไรต์กัน (Write Gun) ไรต์กันคือชุดกำเนิดและควบคุมการทำงานของลำแสงอิเล็กตรอน ประกอบด้วย ชุดปืนอิเล็กตรอน, ชุดปรับโฟกัส, ชุดเร่งความเร็ว และชุดควบคุมการบ่ายเบนทั้งแนวนอนและแนวตั้ง การทำงานของไรต์กันจะเหมือนกับหลอดรังสีแคโทดในออสซิลโลสโคปทั่วไป หน้าที่หลักคือการสร้างลำอิเล็กตรอนที่เป็นจุดคมชัดและบ่ายเบนไปตามสัญญาณ เพื่อ "เขียน" ภาพสัญญาณลงบนหน้าจอ

2. ฟลัดกัน (Flood Gun) ฟลัดกันเป็นอีกหนึ่งชุดกำเนิดลำอิเล็กตรอนที่สำคัญอย่างยิ่ง ทำหน้าที่ ยิงลำอิเล็กตรอนความเร็วต่ำให้กวาดไปทั่วพื้นที่หน้าจอภาพตลอดเวลา ส่วนนี้คือหัวใจของการจำภาพสัญญาณบนหน้าจอได้

3. คอลลิเมเตอร์ (Collimator) คอลลิเมเตอร์ทำหน้าที่คล้าย เลนส์ไฟฟ้า ช่วยควบคุมให้ลำอิเล็กตรอนที่เกิดจากฟลัดกันกระจายไปทั่วจอภาพอย่างสม่ำเสมอ เพื่อให้การคงภาพเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพ

4. ฟอสเฟอร์สตอเรจ (Phosphor Storage) นี่คือ สารฟอสเฟอร์ ที่จะเรืองแสงขึ้นมาเมื่อถูกลำอิเล็กตรอนจากไรต์กันยิงเข้ามากระทบ แต่จะไม่เรืองแสงเมื่อถูกอิเล็กตรอนจากฟลัดกันยิงเข้ามากระทบ หลักการทำงานนี้อาศัยปรากฏการณ์ การแตกตัวครั้งที่ 2 ของอิเล็กตรอน (secondary electron emission) ซึ่งเป็นกลไกที่ทำให้ภาพคงอยู่ได้

5. ฟิล์มโลหะตัวนำโปร่งใส (Metal Film) บางครั้งเรียกว่า STB (storage target back plate) เป็นชั้นของโลหะตัวนำที่โปร่งใสและบางมาก ถูกฉาบไว้ที่ผิวกระจกด้านในของจอภาพ ก่อนที่จะฉาบสารฟอสเฟอร์ทับอีกชั้นหนึ่ง ฟิล์มโลหะนี้มีหน้าที่สำคัญในการ ลบภาพสัญญาณที่ถูกจำไว้บนหน้าจอ เมื่อต้องการให้หน้าจอว่างเพื่อแสดงสัญญาณใหม่

ศูนย์วิทยทรัพยากร จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

หลักการบันทึกภาพรูปสัญญาณโดยวิธีไบสเตเบิล

จากรูปที่ 6.46 แสดงการเกิดแสงค้างที่จอภาพของหลอดรังสีแคโทดแบบไบสเตเบิล ซึ่งใช้หลักการสำคัญคือ การแตกตัวครั้งที่ 2 ของอิเล็กตรอน (secondary electron emission)

หลักการนี้อธิบายได้ดังนี้ เมื่อลำอิเล็กตรอนที่เกิดจาก ไรต์กัน (write gun) วิ่งไปชนกับ สารฟอสเฟอร์ ที่ตำแหน่งใดตำแหน่งหนึ่ง อิเล็กตรอนที่อยู่ชั้นนอกสุดของอะตอมฟอสเฟอร์ที่ตำแหน่งนั้นจะได้รับพลังงานมากพอจน หลุดออกจากอะตอม อิเล็กตรอนที่หลุดออกมานี้เรียกว่า อิเล็กตรอนชุดที่ 2 (secondary electron)

ปริมาณการหลุดออกมาของอิเล็กตรอนชุดที่ 2 นี้จะมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับ ความแรงในการชนของลำอิเล็กตรอนที่มาจากไรต์กัน โดยอัตราส่วนระหว่างจำนวนอิเล็กตรอนที่ถูกคายออกมาจากสารฟอสเฟอร์ กับจำนวนอิเล็กตรอนที่พุ่งเข้าชนนั้นเรียกว่า อัตราส่วนการแตกตัวครั้งที่ 2 (secondary emission ratio) ซึ่งใช้สัญลักษณ์คือ δ (เดลตา)

$$\delta = \frac{I_S}{I_P} \qquad (6.4)$$

โดยที่ δ คือ อัตราส่วนการแตกตัวครั้งที่ 2
I_s คือ กระแสอิเล็กตรอนที่ถูกคายออกมาจากฟอสเฟอร์
I_p คือ กระแสอิเล็กตรอนที่เกิดจากไรต์กันยิงออกมา

เมื่อ อัตราส่วนการแตกตัวครั้งที่ 2 (δ) น้อยกว่า 1 แสดงว่าจำนวนอิเล็กตรอนที่คายออกมามีน้อยกว่าจำนวนอิเล็กตรอนที่พุ่งเข้าชน บริเวณที่ถูกยิงนั้นจึงมีจำนวนอิเล็กตรอนเพิ่มขึ้นจากปกติ ทำให้แสดงอำนาจไฟฟ้าเป็น ประจุลบ (-) ซึ่งจะส่งผลให้สารฟอสเฟอร์ ไม่เปล่งแสงออกมา

ในทางกลับกัน เมื่อ อัตราส่วนนี้มากกว่า 1 แสดงว่าจำนวนอิเล็กตรอนที่คายออกมามีมากกว่าจำนวนอิเล็กตรอนที่พุ่งเข้าชน บริเวณที่ถูกยิงนั้นมีจำนวนอิเล็กตรอนน้อยกว่าปกติ หรือมีการสูญเสียอิเล็กตรอนไป จึงแสดงอำนาจไฟฟ้าเป็น ประจุบวก (+) และในสภาวะนี้ สารฟอสเฟอร์จะ เปล่งแสงสว่างออกมา

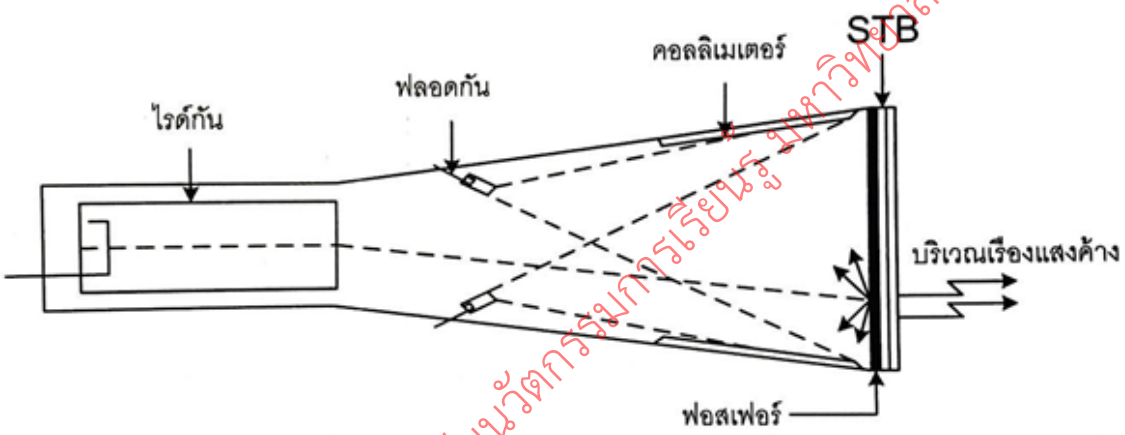
กลไกการบันทึกภาพสัญญาณ

การจะบันทึกภาพสัญญาณให้ค้างอยู่บนหน้าจอ ผู้ใช้จะต้องกดปุ่ม "Store" ที่หน้าปัดเครื่อง การกดปุ่มนี้จะทำให้แผ่นโลหะตัวนำโปร่งใส (STB) มีแรงดันเป็นบวก (เช่น +60 โวลต์) เพื่อดึงลำอิเล็กตรอนจาก ฟลัดกัน (flood gun) ให้ยิงกวาดลำอิเล็กตรอนไปทั่วจอภาพตลอดเวลา อย่างไรก็ตาม เนื่องจากพลังงานของอิเล็กตรอนเหล่านี้มีค่าน้อย จึงทำให้ค่า δ น้อยกว่า 1 ฟอสเฟอร์จึงไม่เปล่งแสงออกมาในสภาวะปกติ

ศูนย์วิทยทรัพยากร จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

เมื่อมีสัญญาณที่ต้องการบันทึกถูกป้อนเข้ามายัง ไรต์กัน (write gun) จะเกิดการยิงลำอิเล็กตรอนจากไรต์กัน ทำให้เกิดการกวาดของลำอิเล็กตรอนเป็นรูปคลื่นสัญญาณบนจอภาพ บริเวณที่ถูกยิงจากไรต์กันนี้จะทำให้บริเวณนั้นมีค่า δ มากกว่า 1 ฟอสเฟอร์บริเวณนั้นจะมีประจุเป็นบวกและ เริ่มเปล่งแสงขึ้น

หลังจากที่ไรต์กันหยุดการยิงแล้ว บริเวณดังกล่าวที่เคยถูกยิงยังคงมีประจุเป็นบวกอยู่ ซึ่งประจุบวกนี้จะช่วยเร่งให้ลำอิเล็กตรอนจากฟลัดกันวิ่งเข้าชนบริเวณนั้นด้วยแรงมากพอที่จะรักษาให้ประจุไฟฟ้ายังคงเป็นบวกอยู่ได้ (คือให้ค่า δ มากกว่า 1 อยู่ต่อไป) ด้วยกลไกนี้ ฟอสเฟอร์ในบริเวณดังกล่าวจึงยังคงเปล่งแสงอยู่ต่อไป ทำให้รูปคลื่นสัญญาณที่เกิดจากการยิงของลำอิเล็กตรอนจากไรต์กันยังคงปรากฏค้างอยู่บนหน้าจอได้อย่างต่อเนื่อง



รูปที่ 6.46 ปรากฏการการเกิดแสงค้างที่หน้าจอภาพแบบไบสเตเบิล

จากที่กล่าวมาจะเห็นได้ว่า สารฟอสเฟอร์บนจอภาพที่ถูกยิงด้วยลำอิเล็กตรอนจะมีสถานะการทำงานเพียง 2 สถานะเท่านั้น ซึ่งเป็นที่มาของชื่อ "ไบสเตเบิล" (bistable) หรือ "ไบสเตเบิลฟอสเฟอร์สตอเรจ" (bistable phosphor storage) สถานะทั้งสองได้แก่

- สถานะที่ δ มีค่าน้อยกว่า 1 ในสถานะนี้ จำนวนอิเล็กตรอนที่คายออกมามีน้อยกว่าที่พุ่งเข้าชน ทำให้บริเวณนั้นมีประจุลบ และสารฟอสเฟอร์จะไม่เปล่งแสง
- สถานะที่ δ มีค่ามากกว่า 1 ในสถานะนี้ จำนวนอิเล็กตรอนที่คายออกมามีมากกว่าที่พุ่งเข้าชน ทำให้บริเวณนั้นมีประจุบวก และสารฟอสเฟอร์จะเปล่งแสงอย่างต่อเนื่อง ทำให้ยังคงเห็นรูปสัญญาณที่เกิดจากการยิงของลำอิเล็กตรอนจากไรต์กัน

ศูนย์บรรณสารและการเรียนรู้ สถาบันนวัตกรรมการเรียนรู้ มหาวิทยาลัยพะเยา

ระยะเวลาในการคงภาพ

ความสามารถในการคงภาพบนหน้าจอของออสซิลโลสโคปแบบไบสเตเบิลนั้นขึ้นอยู่กับว่าบริเวณภาพนั้นสามารถคงสภาพประจุบวก หรือคงสภาพให้ค่า δ มีค่ามากกว่า 1 ไว้ได้นานเพียงใด โดยทั่วไปแล้ว สามารถ จำภาพได้นานตั้งแต่ 1 ชั่วโมงขึ้นไป และบางรุ่นอาจจำได้นานกว่า 4 ชั่วโมงเลยทีเดียว

การลบภาพ (Erase)

หากต้องการลบภาพที่บันทึกไว้ ผู้ใช้สามารถทำได้โดยการกดปุ่ม "Erase" หรือบางเครื่องอาจเป็นปุ่ม "Reset" บนหน้าปัด การกดปุ่มนี้จะเป็นการป้อนพัลส์บวกเข้าไปยังแผ่นโลหะตัวนำโปร่งใส (STB) ทำให้ทุกจุดบนจอภาพสว่างจ้าขึ้นมาทั้งหมด จากนั้นแรงดันของ STB จะถูกลดลงมาจนมีค่าเท่ากับแรงดันที่แคโทดของฟลัดกัน และค่อยๆ เพิ่มขึ้นเป็นบวกดังเดิม เมื่อพร้อมที่จะบันทึกรูปสัญญาณใหม่ได้ต่อไป

โหมดการทำงานปกติ

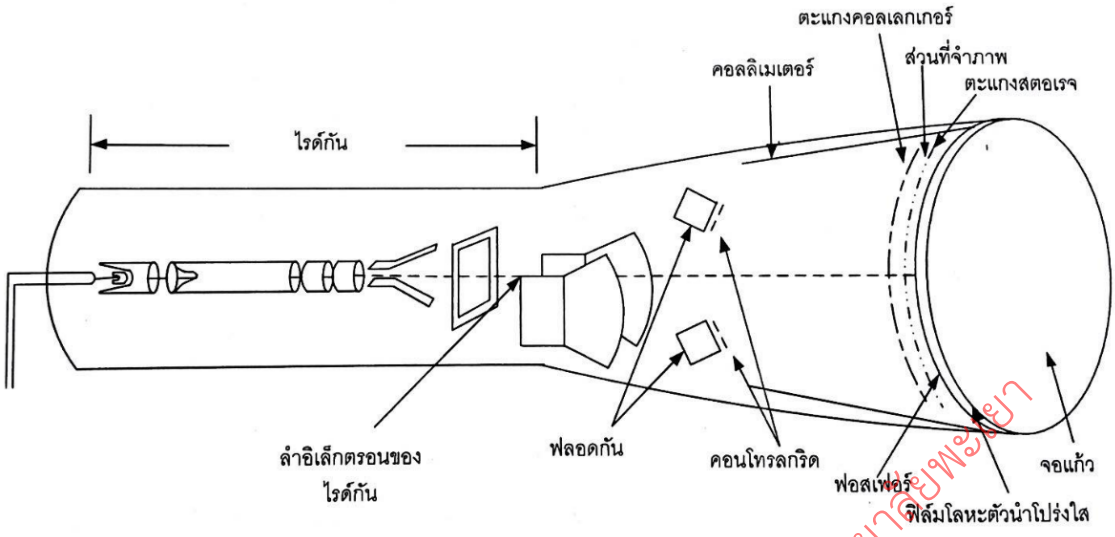
ในขณะที่ใช้งานออสซิลโลสโคปแบบนี้ใน โหมดปกติ หรือไม่ต้องการบันทึกรูปสัญญาณ จะมีการจ่ายศักย์ไฟฟ้าให้ STB มีแรงดันเท่ากับแคโทดของฟลัดกัน ซึ่งจะทำให้ไม่มีการกวาดของลำอิเล็กตรอนออกจากฟลัดกันไปยังจอภาพ ในขณะที่ไรต์กันยังคงทำงานเป็นปกติเมื่อมีสัญญาณป้อนเข้ามา ทำให้แสดงสัญญาณแบบเรียลไทม์เหมือนออสซิลโลสโคปทั่วไป

2) แอนะลอกสตอเรจออสซิลโลสโคป

สตอเรจออสซิลโลสโคปแบบวาริเอเบิลเพอร์ซิสเตนซ์ (variable persistence storage oscilloscope) มีโครงสร้างของหลอดรังสีแคโทดที่คล้ายคลึงกับแบบไบสเตเบิลมาก แต่มีข้อดีที่เหนือกว่าคือ การลบภาพที่บันทึกไว้ทำได้สะดวกกว่า และที่สำคัญคือ สามารถปรับเปลี่ยนระยะเวลาของการแสดงผลสัญญาณได้ ทำให้สามารถคงภาพสัญญาณบนหน้าจอได้นานขึ้นตามต้องการ

ความสามารถในการปรับเปลี่ยนระยะเวลาการคงภาพนี้เป็นจุดเด่นที่ทำให้ Variable Persistence Storage Oscilloscope มีความยืดหยุ่นในการใช้งานสูงกว่าแบบ Bistable โดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อต้องการสังเกตการณ์สัญญาณที่มีการเปลี่ยนแปลงอย่างช้าๆ หรือต้องการบันทึกภาพไว้เพื่อการวิเคราะห์ในภายหลังหลอดรังสีแคโทดแบบวาริเอเบิลเพอร์ซิสเตนซ์นี้แสดงไว้ดังรูปที่ 6.46

ศูนย์วิทยทรัพยากร สถาบันนวัตกรรมการเรียนรู้ มหาวิทยาลัยพะเยา



รูปที่ 6.47 โครงสร้างของหลอดรังสีแคโทดแบบวาริเอเมเบิลเพอร์ซิสเตนซ์

ส่วนประกอบสำคัญของหลอดรังสีแคโทดแบบวาริเอเบิลเพอร์ซิสเตนซ์ จากรูปที่ 6.47 แสดงโครงสร้างของ หลอดรังสีแคโทดแบบวาริเอเบิลเพอร์ซิสเตนซ์ที่ใช้ในแอนะลอกสตอเรจออสซิลโลสโคป ซึ่งประกอบด้วยส่วนประกอบสำคัญดังนี้

1. ไรต์กัน (Write Gun) ทำหน้าที่เป็นชุดกำเนิดและควบคุมการทำงานของลำอิเล็กตรอน โดยมีลักษณะการทำงานเหมือนกับไรต์กันในหลอดรังสีแคโทดแบบไบสเตเบิล
2. ฟลัดกัน (Flood Gun) เป็นชุดกำเนิดลำอิเล็กตรอนอีกชุดหนึ่งที่ทำหน้าที่ยิงลำอิเล็กตรอนความเร็วต่ำให้กวาดไปทั่วพื้นที่หน้าจอภาพตลอดเวลา เช่นเดียวกับฟลัดกันในหลอดรังสีแคโทดแบบไบสเตเบิล
3. คอลลิเมเตอร์ (Collimator) ทำหน้าที่คล้ายเลนส์ทางไฟฟ้า ช่วยให้ลำอิเล็กตรอนที่เกิดจากฟลัดกันกระจายไปทั่วหน้าจออย่างสม่ำเสมอ เหมือนกับคอลลิเมเตอร์ในหลอดรังสีแคโทดแบบไบสเตเบิล
4. คอนโทรลกริด (Control Grids) ทำหน้าที่สำคัญในการควบคุมการกวาดของลำอิเล็กตรอนที่เกิดจากฟลัดกัน หรือสามารถควบคุมให้หยุดการกวาดของลำอิเล็กตรอนได้
5. ตะแกรงคอลเลกเตอร์ (Collector Mesh) เป็นตะแกรงค่อนข้างหยาบ ทำหน้าที่เร่งลำอิเล็กตรอนที่เกิดจากไรต์กันให้วิ่งไปชนเป้าด้วยพลังงานที่สูงพอที่จะทำให้เกิดการแตกตัวครั้งที่ 2 ของอิเล็กตรอน นอกจากนี้ยังทำหน้าที่ควบคุมอิเล็กตรอนชุดที่ 2 ที่หลุดออกมาจากเป้าไม่ให้วิ่งสะเปะสะปะไปรบกวนการทำงานของส่วนอื่น ๆ
6. ตะแกรงสตอเรจ (Storage Mesh) เป็นตะแกรงอีกชุดหนึ่งที่มีความละเอียดมากกว่าตะแกรงคอลเลกเตอร์ โดยมีความละเอียดประมาณ 500 เส้นต่อนิ้ว ที่ผิวด้านหนึ่งถูกฉาบด้วยสารที่เป็นฉนวนอย่างดี ตะแกรงนี้จะทำหน้าที่เป็น เป้ารับการยิงของไรต์กันโดยตรง แทนที่จะใช้ฟอสเฟอร์เป็นเป้าเหมือนในแบบไบสเตเบิล
7. ฟอสเฟอร์ (Phosphor) เป็นสารเรืองแสงที่จะเรืองแสงเมื่อมีอิเล็กตรอนเคลื่อนที่จากตะแกรงสตอเรจมาตกกระทบ

ศูนย์วิทยทรัพยากร จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

8. ฟิล์มโลหะโปร่งใส (Transparent Metal Film) เป็นโลหะตัวนำโปร่งใสบาง ๆ ที่ฉาบไว้ที่ผิวกระจกด้านในของจอภาพ จากนั้นจึงฉาบสารฟอสเฟอร์ทับอีกชั้นหนึ่ง ฟิล์มนี้ทำหน้าที่ เร่งอิเล็กตรอนให้วิ่งเร็วขึ้น ก่อนที่จะไปกระทบกับฟอสเฟอร์เพื่อทำให้เกิดแสง

หลักการบันทึกรูปสัญญาณโดยวิธีวาริเอเบิลเพอร์ซิสเตนซ์

จากรูปที่ 6.48 แสดงให้เห็นถึงการเกิดแสงค้างบนหน้าจอภาพของหลอดรังสีแคโทดแบบวาริเอเบิลเพอร์ซิสเตนซ์ในขณะบันทึกรูปคลื่น โดยมีกลไกที่ซับซ้อนกว่าแบบไบสเตเบิลเล็กน้อย

ในระหว่างการบันทึกภาพ ฟลัดกัน (flood gun) จะยิงลำอิเล็กตรอนพลังงานต่ำกวาดไปทั่วตะแกรงสตอเรจ (storage mesh) อย่างต่อเนื่อง แต่โดยปกติแล้ว อิเล็กตรอนจากฟลัดกันจะ ไม่สามารถผ่านตะแกรงสตอเรจไปได้ เนื่องจากบริเวณนั้นมีการเกิดอิเล็กตรอนชุดที่สองที่ทำให้ค่า δ น้อยกว่า 1 ซึ่งหมายความว่าตะแกรงสตอเรจยังคงมีศักย์ไฟฟ้าเป็นลบ ทำให้ต้านทานไม่ให้ลำอิเล็กตรอนจากฟลัดกันวิ่งผ่านไป

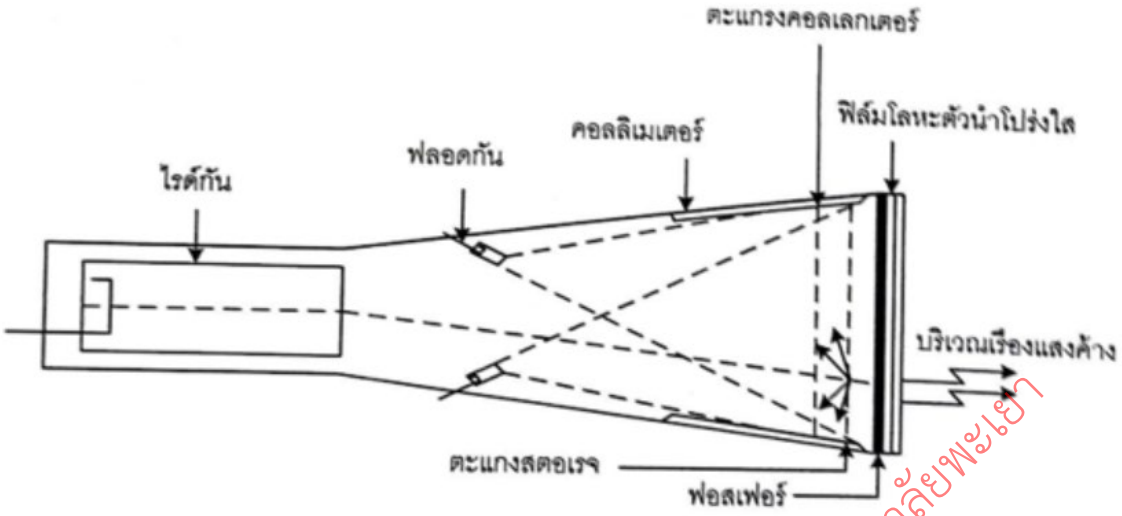
เมื่อไรต์กัน (write gun) ยิงลำอิเล็กตรอนไปกระทบที่ตะแกรงสตอเรจ จะเกิดการแตกตัวของอิเล็กตรอนชุดที่ 2 ซึ่งทำให้ค่า δ มากกว่า 1 ณ ตำแหน่งนั้น ส่งผลให้ ตะแกรงสตอเรจมีศักย์ไฟฟ้าเป็นบวกเฉพาะตรงจุดที่ลำอิเล็กตรอนจากไรต์กันตกกระทบ ในขณะที่ส่วนอื่นๆ ของตะแกรงสตอเรจยังคงมีศักย์ไฟฟ้าเป็นลบอยู่

ณ จุดที่ตะแกรงสตอเรจมีศักย์เป็นบวกนี้เอง ลำอิเล็กตรอนจากไรต์กันสามารถวิ่งผ่านเลยไปกระทบที่ ฟอสเฟอร์ (phosphor) ทำให้ฟอสเฟอร์เรืองแสงขึ้นมา นอกจากนี้ ที่จุดเดียวกันนี้ ลำอิเล็กตรอนจากฟลัดกันก็สามารถวิ่งผ่านตะแกรงสตอเรจไปกระทบฟอสเฟอร์ได้เช่นกัน

ดังนั้น แม้ว่าลำอิเล็กตรอนจากไรต์กันจะหยุดส่งมาแล้ว ก็ยังคงมีอิเล็กตรอนจากฟลัดกันวิ่งผ่านตะแกรงสตอเรจ (ในบริเวณที่ยังคงเป็นบวก) มากระทบฟอสเฟอร์ ทำให้ฟอสเฟอร์ยังคงเรืองแสงได้ต่อไป จึงสามารถ จำภาพสัญญาณบนจอภาพไว้ได้

ในขณะที่บริเวณที่ตะแกรงสตอเรจเป็นลบจะต้านลำอิเล็กตรอนไม่ให้เคลื่อนที่ไปยังฟอสเฟอร์ ด้วยเหตุนี้ ภาพที่ได้รับจึงมีความสว่างดีกว่าแบบไบสเตเบิล มีความแตกต่างระหว่างภาพและพื้นที่ว่างของจอมาก และยังสามารถบันทึกรูปคลื่นให้มีความสว่างมากน้อยตามรูปคลื่นจริงได้อีกด้วย ดังนั้น บางครั้งออสซิลโลสโคปแบบนี้จึงถูกเรียกว่า ฮาล์ฟโทนสตอเรจออสซิลโลสโคป (half tone storage oscilloscope)

ศูนย์บรรณสารและการเรียนรู้ สถาบันนวัตกรรมการเรียนรู้ มหาวิทยาลัยพะเยา



รูปที่ 6.48 การเกิดแสงค้างที่หน้าจอแบบวาริเมเบิลเฟอร์ซิสเตอนซ์

วิธีการลบภาพที่บันทึกไว้ทำได้โดยการ ป้อนพัลส์บวกประมาณ 10 โวลต์ให้แก่ตะแกรงสตอเรจ แม้ว่าตะแกรงสตอเรจจะถูกเคลือบสารฉนวนไว้ด้านหนึ่งก็ตาม ก็จะถูกเหนี่ยวนำให้มีประจุบวกเพิ่มขึ้น ทำให้ลำอิเล็กตรอนจากฟลัดกันสามารถวิ่งผ่านตะแกรงสตอเรจไปยังฟอสเฟอร์ได้ ส่งผลให้เกิดแสงสว่างจ้าขึ้นทั่วทั้งหน้าจอภาพ จากนั้นพัลส์ที่ป้อนเข้าจะลดลงเป็น 0 โวลต์ ตะแกรงสตอเรจจะมีแรงดันกลับคืนสู่สภาพปกติคือ ที่ด้านเคลือบสารที่เป็นฉนวนจะมีแรงดันไฟฟ้าเป็นลบตามเดิม ลำอิเล็กตรอนจากฟลัดกันก็จะไม่สามารถวิ่งผ่านไปยังฟอสเฟอร์ได้อีก จอภาพจะมืดลงและกลับเข้าสู่สภาวะปกติ พร้อมที่จะทำงานต่อไป

6.3.3 ดิจิทัลสตอเรจ-ออสซิลโลสโคป

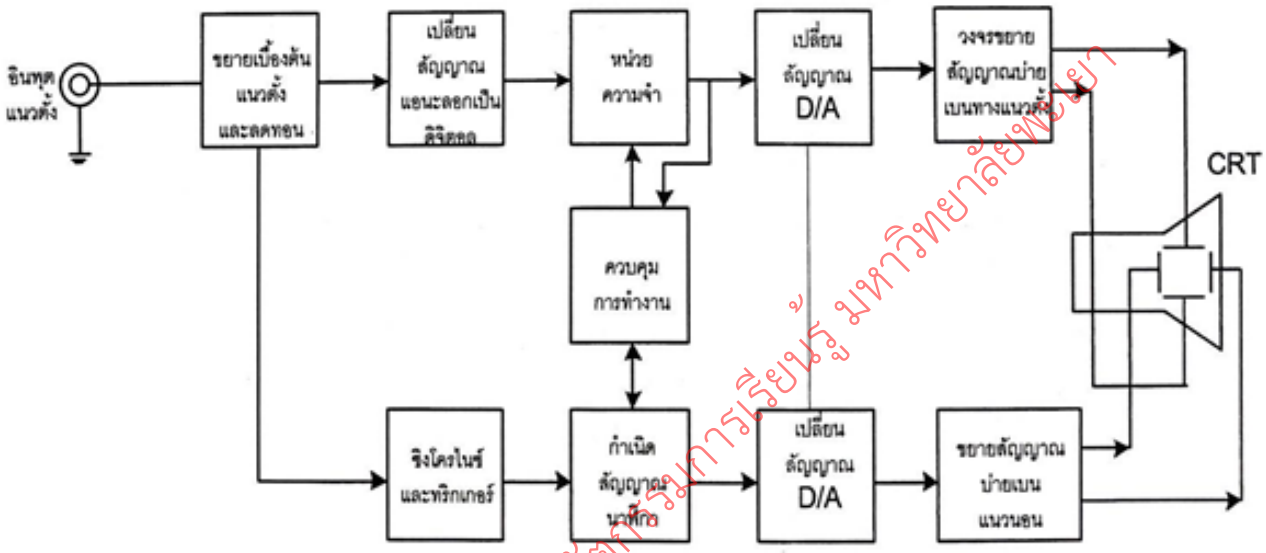
ดิจิทัลสตอเรจ-ออสซิลโลสโคป (DSO) มีหลักการทำงานที่แตกต่างจากแอนะล็อกสตอเรจ-ออสซิลโลสโคปอย่างสิ้นเชิง โดยเฉพาะในส่วนของการจัดเก็บข้อมูล สำหรับแอนะล็อกสตอเรจนั้นจะใช้วิธีการจัดเก็บสัญญาณแบบกลไกตามที่ได้อธิบายไว้แล้วในหัวข้อที่ 4 แต่สำหรับ DSO จะใช้วิธีการแปลงสัญญาณที่รับเข้ามาให้อยู่ในรูปแบบของข้อมูลเลขฐานสอง (Binary) และจัดเก็บไว้ในหน่วยความจำสารกึ่งตัวนำ จากนั้นจึงเรียกข้อมูลจากหน่วยความจำดังกล่าวมาแสดงผลบนหน้าจอ รูปที่ 6.49 แสดงบล็อกไดอะแกรมของดิจิทัลสตอเรจ-ออสซิลโลสโคป ซึ่งมีหลักการทำงานดังนี้

1. อินพุตแนวตั้ง (Vertical Input) รับสัญญาณเข้ามา และส่งต่อไปยังภาคขยายสัญญาณเบื้องต้น (VER. PRE. AMP. and attenuator) ซึ่งจะทำหน้าที่ขยายและลดทอนสัญญาณให้เหมาะสม
2. สัญญาณที่ผ่านการปรับระดับแล้วจะถูกส่งต่อไปยัง วงจรแปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นดิจิทัล (Analog-to-Digital Converter หรือ ADC) โดย ADC จะแปลงสัญญาณแอนะล็อกให้อยู่ในรูปแบบของข้อมูลดิจิทัลเลขฐานสอง
3. ข้อมูลดิจิทัลที่ได้จะถูกส่งไปจัดเก็บไว้ใน หน่วยความจำ (Memory) ซึ่งส่วนใหญ่เป็นหน่วยความจำประเภท RAM

ศูนย์วิทยทรัพยากร สถาบันการอาชีวศึกษากรุงเทพมหานคร 1 มหาวิทยาลัยพะเยา

4. จากนั้น ข้อมูลดิจิทัลจากหน่วยความจำจะถูกส่งต่อไปยัง วงจรแปลงสัญญาณดิจิทัลเป็นแอนะล็อก (Digital-to-Analog Converter หรือ DAC) เพื่อแปลงข้อมูลดิจิทัลกลับมาเป็นสัญญาณแอนะล็อก

5. สุดท้าย สัญญาณแอนะล็อกที่ได้จาก DAC จะถูกส่งไปยัง ภาคขยายสัญญาณเบี่ยงเบนแนวตั้ง (VER. deflection Amp.) เพื่อขยายสัญญาณและควบคุมการเคลื่อนที่ของลำอิเล็กตรอนในแนวตั้ง ทำให้เกิดการแสดงผลบนหน้าจอ



รูปที่ 6.49 บล็อกไดอะแกรมดิจิทัลสตอเรจออสซิสโลสโคป

การแสดงผลภาพที่จัดเก็บไว้

เมื่อต้องการแสดงภาพที่จัดเก็บไว้ในหน่วยความจำบนหน้าจอ DSO จะทำงานโดยการป้อนสัญญาณทริก จาก วงจรกำเนิดสัญญาณนาฬิกาฐานเวลา (Clock Time Base Generator) ไปยัง หน่วยประมวลผล (Processor) จากนั้นหน่วยประมวลผลจะสั่งให้หน่วยความจำส่งข้อมูลสัญญาณที่จัดเก็บไว้ไปแสดงบนหน้าจออย่างต่อเนื่อง

การควบคุมการกวาดแนวแกนนอน (Horizontal Sweep)

ภาคซิงโครไนซ์และทริกเกอร์ (Synchronize and Trigger) จะรับสัญญาณมาจากภาคขยายสัญญาณเบื้องต้นแนวตั้งและลดทอน (VER. PRE. AMP. and attenuator) โดยจะเปลี่ยนสัญญาณที่ได้รับให้เป็นพัลส์ (Pulse) เพื่อควบคุมการสร้างสัญญาณนาฬิกาฐานเวลาที่ วงจรกำเนิดสัญญาณนาฬิกาฐานเวลา (Clock Time Base Generator) ซึ่งจะสร้างสัญญาณรูปคลื่นแบบขั้นบันได (Staircase Waveform) สัญญาณขั้นบันไดนี้จะถูกส่งต่อไปยัง วงจรแปลงสัญญาณดิจิทัลเป็นแอนะล็อก (D/A Converter) และต่อไปยัง ภาคขยายสัญญาณเบี่ยงเบนแนวนอน (HOR. deflection Amp.) ซึ่งจะทำหน้าที่ขยายสัญญาณเพื่อควบคุมแผ่นเพลตเบี่ยงเบนแนวนอน ให้ลำอิเล็กตรอนเกิดการเบี่ยงเบนในแนวนอน ทำให้เกิดการกวาดภาพบนหน้าจอ

ศูนย์วิทยทรัพยากร สถาบันวิทยบริการเรียนรู้ มหาวิทยาลัยพะเยา

การลบภาพ

การลบภาพที่จัดเก็บไว้ทำได้ง่าย ๆ โดยการกดปุ่ม Erase หรือปุ่ม Reset ที่แผงควบคุมด้านหน้าของเครื่อง การกดปุ่มเหล่านี้จะเป็นการล้างข้อมูลในหน่วยความจำเดิมออก เพื่อให้สามารถบันทึกข้อมูลสัญญาณใหม่เข้าไปแทนที่ได้

6.3.4 ดีเลย์สวีปสตอเรจ-ออสซิลโลสโคป

ดีเลย์สวีปออสซิลโลสโคป (Delayed Sweep Oscilloscope) โดยพื้นฐานแล้วก็คือออสซิลโลสโคปแบบกวาดต่อเนื่องทั่วไป เพียงแต่มีการเพิ่มวงจรพิเศษเข้าไปในส่วนของการทำงานทางแนวนอน (Horizontal Section) ซึ่งทำให้คุณสมบัติของออสซิลโลสโคปมีความสามารถในการขยายสัญญาณเฉพาะส่วนใดส่วนหนึ่งที่ปรากฏบนหน้าจอได้

การขยายสัญญาณเฉพาะส่วนนี้มีประโยชน์อย่างมากในการศึกษา สังเกต และวิเคราะห์รายละเอียดของสัญญาณในบริเวณที่สนใจได้อย่างละเอียดมากขึ้น คุณสมบัตินี้เปรียบเสมือนกับการใช้แว่นขยายส่องดูเฉพาะบริเวณใดบริเวณหนึ่งของภาพ ซึ่งจะทำให้บริเวณนั้นถูกขยายใหญ่ขึ้นและมองเห็นได้ชัดเจนกว่าส่วนอื่น ๆ

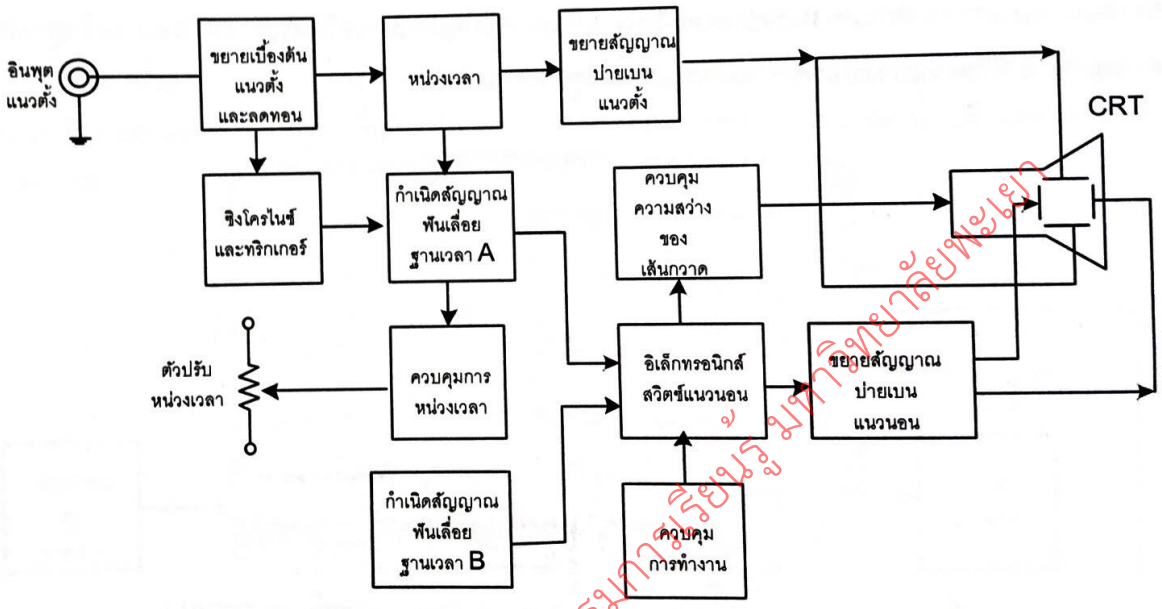


รูปที่ 6.50 ออสซิสโลสโคปแบบดีเลย์สวีป

รูปที่ 6.50 แสดงบล็อกไดอะแกรมของดีเลย์สวีปออสซิลโลสโคป ส่วนที่เพิ่มเข้ามาคือ วงจรกำเนิดสัญญาณฟันเลื่อยอีกชุดหนึ่ง วงจรนี้จะทำงานตามการควบคุมของวงจรหน่วงเวลา (Delay Circuit) เพื่อไปเน้นภาพสัญญาณบนหน้าจอให้เกิดความสว่างเฉพาะบริเวณจุดที่ต้องการขยายภาพ ความสว่างนี้จะช่วยระบุตำแหน่งของจุดที่ต้องการขยายได้อย่างชัดเจน

ศูนย์บรรณสารและการเรียนรู้ สถาบันนวัตกรรมการเรียนรู้ มหาวิทยาลัยพะเยา

การเลื่อนจุดสว่างบนหน้าจอสามารถทำได้โดยการปรับ วงจรหน่วงเวลา ซึ่งจะส่งสัญญาณฟันเลื่อยไปควบคุมการกวาดของลำอิเล็กตรอนที่แผ่นเพลตแนวนอน (Horizontal Deflection Plates) โดยจะมีสวิตช์อิเล็กทรอนิกส์ทางแนวนอน ทำหน้าที่เลือกรับสัญญาณฟันเลื่อยทั้งสองชุดไปใช้งาน ทำให้สามารถควบคุมการแสดงผลและขยายภาพเฉพาะส่วนได้ตามต้องการ



รูปที่ 6.51 แผนผังการทำงานของดีเลย์สวีปออสซิสโลสโคป

รูปที่ 6.51 แสดงแผนภาพบล็อกของดีเลย์สวีปออสซิลโลสโคป ในส่วนของการทำงานภาคแนวตั้ง (Vertical Section หรือ VER.) จะมีลักษณะเหมือนกับออสซิลโลสโคปทั่วไป

ส่วนการทำงานในภาคแนวนอน (Horizontal Section หรือ HOR.) จะมีส่วนประกอบและการทำงานเพิ่มเติมดังนี้

- ภาคซิงโครไนซ์และทริกเกอร์ (Synchronize and Trigger) จะรับสัญญาณมาจากภาคขยายเบื้องต้นแนวตั้งและลดทอน (VER. PRE. AMP. and attenuator) โดยจะเปลี่ยนสัญญาณที่ได้รับให้เป็นสัญญาณพัลส์ (Pulse)
- สัญญาณพัลส์นี้จะถูกส่งไปควบคุม ภาคกำเนิดสัญญาณฟันเลื่อยฐานเวลา A (A Time Base Saw-Tooth Sweep Generator)
- สัญญาณฟันเลื่อยที่ได้จากภาคกำเนิดสัญญาณฐานเวลา A จะถูกส่งผ่าน วงจรอิเล็กทรอนิกส์สวิตช์แนวนอน (Horizontal Electronic Switch)
- จากนั้น สัญญาณจะถูกส่งต่อไปยัง ภาคขยายเบี่ยงเบนแนวนอน (HOR. Deflection Amp.) เพื่อขยายสัญญาณและควบคุมการทำงานของแผ่นเพลตเบี่ยงเบนแนวนอน ซึ่งจะทำให้ลำอิเล็กตรอนเกิดการกวาดในแนวนอนและแสดงผลบนหน้าจอ

การขยายภาพสัญญาณ

ศูนย์วิทยทรัพยากรและการเรียนรู้ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

หากต้องการขยายภาพสัญญาณที่วัดได้บนหน้าจอของดีเลย์สวีปออสซิลโลสโคป ให้โยกสวิตช์บนแผงควบคุมไปในตำแหน่งที่เปิดใช้งาน ภาคกำเนิดสัญญาณฟันเลื่อยฐานเวลา B (B time base saw-tooth sweep generator) การทำงานนี้จะถูกควบคุมโดย ภาคควบคุมการทำงาน (Display Select Control) ซึ่งจะสั่งให้ วงจรอิเล็กทรอนิกส์สวิตช์แนวนอน เชื่อมต่อรับสัญญาณที่ถูกต้องและส่งต่อไปยังภาคควบคุมความสว่างของเส้นกวาด (Trace Intensify) จากนั้น ภาคควบคุมความสว่างจะส่งแรงดันไฟฟ้าไปบังคับให้หลอดรังสีแคโทด (Cathode Ray Tube) ปล่อยลำอิเล็กตรอนเน้นภาพให้เกิดความสว่างมากกว่าปกติในตำแหน่งที่คุณต้องการ

การควบคุมเวลาหน่วงและการเน้นความสว่าง

การทำงานของภาคกำเนิดสัญญาณฟันเลื่อยฐานเวลา B ขึ้นอยู่กับ วงจรควบคุมเวลาหน่วง (Delay Time Control) ซึ่งคุณสามารถปรับแต่งเวลาหน่วงได้ตามต้องการ เมื่อภาคกำเนิดสัญญาณฟันเลื่อยฐานเวลา B ทำงาน สัญญาณที่ออกมาจะไปสั่งให้วงจรควบคุมความสว่างของเส้นกวาดส่งพัลส์ออกไป

การแสดงผลบนหน้าจอ

สัญญาณฟันเลื่อยจากทั้ง ฐานเวลา A และ ฐานเวลา B จะถูกส่งต่อไปยัง ภาคขยายสัญญาณเบี่ยงเบนแนวนอน (HOR. Plate) ซึ่งจะทำให้ภาพที่แสดงบนหน้าจอมีความแตกต่างกันสองตำแหน่ง

1. ตำแหน่งที่มีความสว่างปกติ: เป็นส่วนของสัญญาณที่มีขนาดใหญ่กว่า
2. ตำแหน่งที่มีความสว่างมากกว่าปกติ: เป็นส่วนของสัญญาณที่มีขนาดเล็กกว่าแต่ถูกเน้นให้สว่างขึ้น

สามารถปรับเลื่อนส่วนที่สว่างมากกว่าปกติบนหน้าจอได้โดยการปรับ ปุ่มปรับเวลาหน่วง ที่แผงควบคุม

การขยายภาพจริง

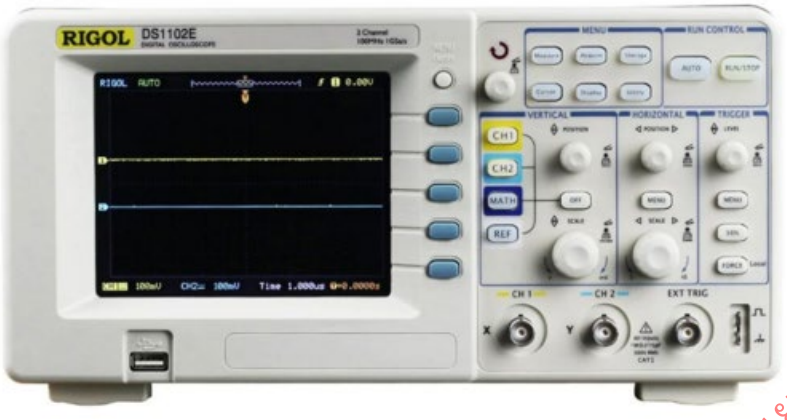
เมื่อได้ตำแหน่งที่ต้องการแล้ว ให้กด ปุ่มขยายภาพ ที่แผงควบคุม การกดปุ่มนี้จะทำให้ภาพส่วนที่สว่างมากกว่าปกติถูกขยายออก โดยการปรับเปลี่ยนเวลาของภาคกำเนิดสัญญาณฟันเลื่อยฐานเวลา B จะช่วยให้ภาพส่วนที่สว่างมากกว่าปกติถูกขยายใหญ่ขึ้นบนหน้าจอตามที่ต้องการ

6.3.5 ดิจิทัลรีดเอาต์-ออสซิลโลสโคป

ดิจิทัลรีดเอาต์-ออสซิลโลสโคป (Digital Readout Oscilloscope) คือออสซิลโลสโคปที่สามารถแสดงข้อมูลของสัญญาณที่วัดได้ ไม่ว่าจะเป็นค่าแรงดันหรือเวลา เป็นตัวเลขพร้อมหน่วยวัด บนหน้าจอของหลอดรังสีแคโทด (Cathode Ray Tube) โดยตรง

หลักการพื้นฐานของดิจิทัลรีดเอาต์-ออสซิลโลสโคปคือการ รวมเอาออสซิลโลสโคปแบบธรรมดาเข้ากับเครื่องนับจำนวนอิเล็กทรอนิกส์ (Electronic Counter) วงจรของเครื่องวัดทั้งสองจะเชื่อมต่อกันโดยมี ลอจิกแสดงผล (Display Logic) ทำหน้าที่เป็นตัวควบคุม ซึ่งทำให้สามารถวัดสัญญาณที่มีความเร็วสูงได้อย่างถูกต้องและแม่นยำ รูปที่ 6.52 แสดงบล็อกไดอะแกรมของดิจิทัลรีดเอาต์-ออสซิลโลสโคป

ศูนย์บรรณสารและการเรียนรู้ สถาบันเทคโนโลยีการเรียนรู้ มหาวิทยาลัยพะเยา

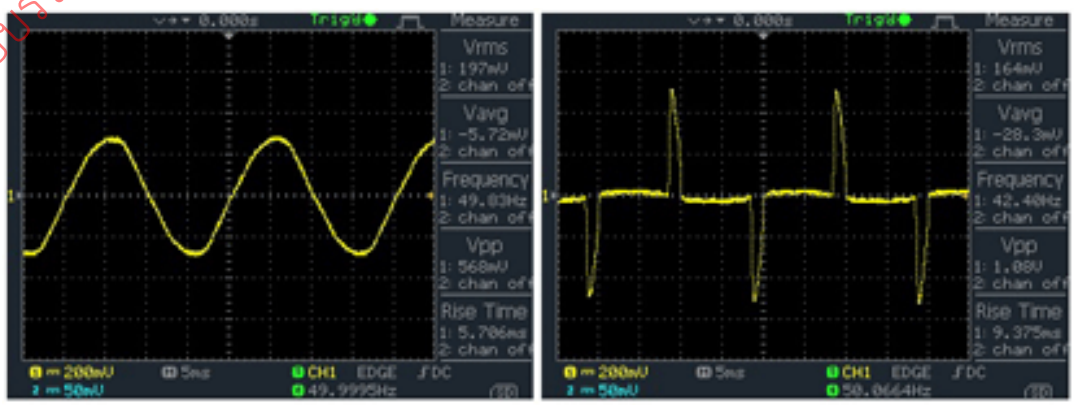


รูปที่ 6.52 ดิจิทัลรีดเอาต์ออสซิสโลสโคป

ที่มา: https://www.manualslib.com/manual/1255425/Rigol-Ds1102e.html สืบค้นเมื่อวันที่ 6/8/2566

นอกเหนือจากการแสดงรูปคลื่นสัญญาณ ดิจิทัลรีดเอาต์-ออสซิลโลสโคปยังมีความสามารถในการแสดงข้อมูลสำคัญต่าง ๆ บนหน้าจอได้โดยตรง ซึ่งช่วยให้ผู้ใช้งานวิเคราะห์สัญญาณได้อย่างรวดเร็วและแม่นยำยิ่งขึ้น ข้อมูลเหล่านี้รวมถึง

- ค่าเวลาหน่วงของสัญญาณ (Rise Time Signal): แสดงเวลาที่สัญญาณใช้ในการเปลี่ยนจากระดับต่ำสุดไปสู่ระดับสูงสุด
- ค่าความแรง (Amplitude): แสดงค่าความสูงหรือขนาดของสัญญาณ
- ค่าตำแหน่งที่เปลี่ยนแปลงในการปรับแต่ง (Position Various Operating Controls): แสดงค่าการตั้งค่าของปุ่มควบคุมต่าง ๆ เช่น ตำแหน่งแนวตั้งหรือแนวนอนของสัญญาณ
- ค่าเวลาต่อช่อง (Time/DIV.): แสดงค่าเวลาที่ใช้ในการกวาดหนึ่งช่องตารางแนวนอนบนหน้าจอ ซึ่งบ่งบอกถึงความเร็วในการแสดงผลสัญญาณ
- ค่าความแรงต่อช่อง (Amplitude/DIV.): แสดงค่าความแรงที่ใช้ในการขยายสัญญาณในแนวตั้งต่อหนึ่งช่องตารางบนหน้าจอ
- โปรแกรมที่ตั้งไว้ (Set Program): แสดงการตั้งค่าหรือโหมดการทำงานที่ผู้ใช้ได้กำหนดไว้



รูปที่ 6.53 ค่าต่างๆ ที่แสดงบนจอหลอดรังสีแคโทด

ศูนย์วิทยทรัพยากร จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย สถาบันวิทยบริการ มหาวิทยาลัยพะเยา

หลักการสุ่มตัวอย่างสัญญาณ (Sampling)

ดิจิทัลรีดเอาต์-ออสซิลโลสโคปทำงานโดยการ สุ่มตัวอย่างสัญญาณอินพุต ที่ถูกป้อนเข้ามา โดยใช้วงจรสุ่มตัวอย่าง (Sampling Circuit) หลักการสำคัญคือการเก็บตัวอย่างสัญญาณที่ซ้ำกันหลาย ๆ ครั้ง วงจรสุ่มตัวอย่างจะทำการเก็บข้อมูลแต่ละจุดของสัญญาณในช่วงเวลาที่แตกต่างกันทีละน้อย ๆ จนกว่าจะเก็บข้อมูลของสัญญาณครบทั้งรูปคลื่น

ผลลัพธ์ที่ได้คือ รูปร่างของสัญญาณใหม่ที่เหมือนกับสัญญาณเดิม แต่มีความถี่ที่ต่ำกว่า สัญญาณที่ถูกสุ่มตัวอย่างนี้จะถูกนำมาแสดงบนหน้าจอหลอดรังสีแคโทดทีละจุด โดยกำหนดตำแหน่งของจุดบนจอภาพโดยอ้างอิงจากความสัมพันธ์ระหว่างความแรงของสัญญาณ (แนวตั้ง) เทียบกับเวลา (แนวนอน)

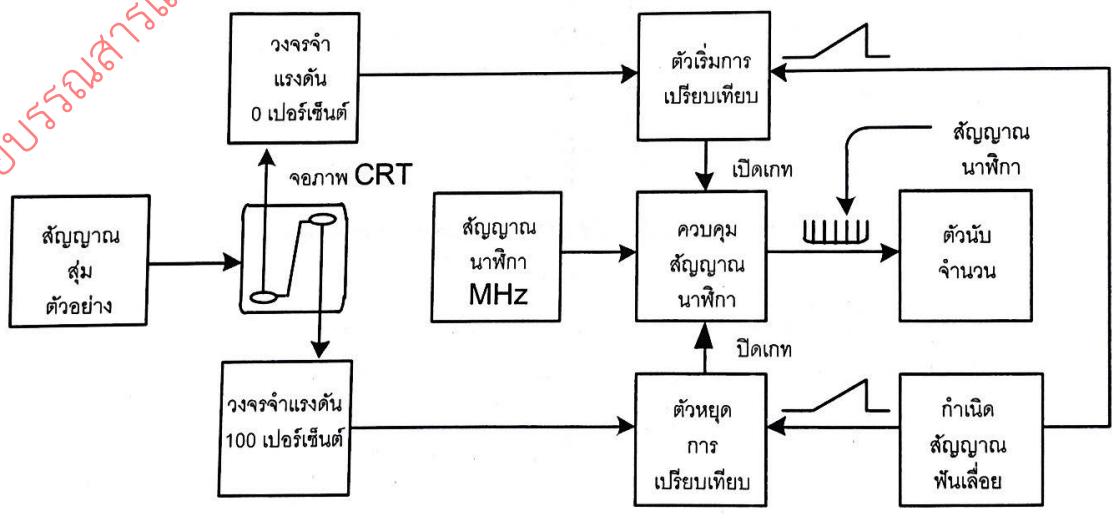
เวลาที่ใช้ในการสุ่มตัวอย่าง จะขึ้นอยู่กับจำนวนสัญญาณที่ทำการสุ่มเทียบต่อหนึ่งเซนติเมตรของสัญญาณที่แสดงบนหน้าจอ และเวลาที่ใช้ในการกวาดของลำอิเล็กตรอนก็เทียบกับหนึ่งเซนติเมตรของสัญญาณที่แสดงบนหน้าจอเช่นกัน

ตัวอย่างการทำงาน

เพื่อให้เห็นภาพที่ชัดเจนขึ้น ลองพิจารณาตัวอย่างดังนี้

- อัตราการกวาด: 1 วินาทีต่อเซนติเมตร
- อัตราการสุ่มตัวอย่าง: 100 ตัวอย่างต่อเซนติเมตร
- เวลาของการสุ่มตัวอย่างต่อหนึ่งตัวอย่าง: 10 พิโกวินาที (picoseconds)

ในสถานการณ์นี้ คุณสามารถนับจำนวนของการสุ่มตัวอย่างได้โดยการเลือกจุดวัดสองจุดบนรูปคลื่นที่วัดได้ จากนั้น ออสซิลโลสโคปจะสามารถคำนวณและแสดง ค่าเวลาที่อยู่ระหว่างจุดสองจุดนั้น ออกมาที่หน้าจอได้ทันที ทำให้การวิเคราะห์สัญญาณเป็นไปได้อย่างแม่นยำและสะดวกสบายยิ่งขึ้น



รูปที่ 6.54 แผนผังการทำงานของการวัดแรงดันด้วยดิจิตอลรีดเอาต์ออสวิสโลสโคป

ศูนย์บรรณสารและการเรียนรู้ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ มหาวิทยาลัยพะเยา

การวัดแรงดันด้วยดิจิทัลรีดเอาต์-ออสซิลโลสโคป

รูปที่ 6.54 แสดงแผนภาพบล็อกที่อธิบายการทำงานของดิจิทัลรีดเอาต์-ออสซิลโลสโคปในส่วนของการวัดแรงดัน เมื่อสัญญาณอินพุตถูกป้อนเข้ามา สัญญาณจะถูกส่งผ่าน วงจรสุ่มตัวอย่าง (Sampling Circuit) และแสดงภาพที่ได้บนจอหลอดรังสีแคโทดในรูปแบบของรูปคลื่น

ค่าแรงดันที่วัดได้ จะถูกจัดเก็บไว้ใน วงจรจำแรงดัน (Voltage Memory Circuit) ซึ่งจะบันทึกระดับแรงดันที่แสดงบนหน้าจอ จากนั้น ค่าแรงดันที่วัดได้นี้จะถูก เปรียบเทียบกับแรงดันอ้างอิง สองระดับ ได้แก่:

- แรงดันอ้างอิง 0 เปอร์เซ็นต์ แรงดันนี้จะถูกจ่ายไปกระตุ้นให้ ตัวเปรียบเทียบ (Comparator) เริ่มทำงาน
- แรงดันอ้างอิง 100 เปอร์เซ็นต์ แรงดันนี้จะถูกจ่ายไปควบคุมให้ตัวเปรียบเทียบหยุดทำงาน

6.4 การใช้งานออสซิลโลสโคป

6.4.1 การเตรียมใช้งานออสซิลโลสโคป

เพื่อให้การใช้งานออสซิลโลสโคปเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพและยืดอายุการใช้งานของเครื่องมือ ควรปฏิบัติตามข้อควรระวังดังต่อไปนี้

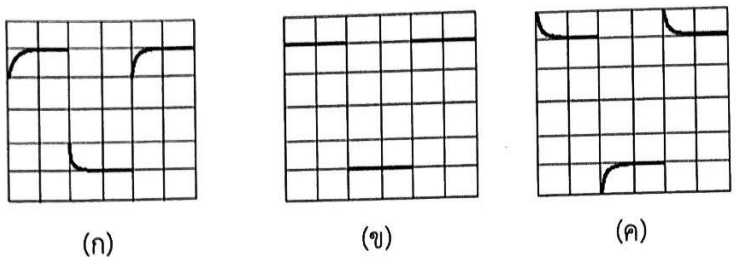
- ระวังจุดสว่างบนจอภาพ หากมีเพียงจุดสว่างจุดเดียวปรากฏบนหน้าจอ อาจทำให้สารฟอสเฟอร์ที่เคลือบอยู่เสียหายได้ ให้ลดความเข้มของแสงลงทันที และตรวจสอบให้แน่ใจว่าปุ่มควบคุมทั้งหมดอยู่ในตำแหน่งที่เหมาะสม (ไม่ได้กดหรือคลายจนสุด)
- ปรับความเข้มแสงให้เหมาะสม ขณะใช้งาน ควรกำหนดความเข้มของแสงบนจอภาพให้อยู่ในระดับต่ำที่สุดเท่าที่เพียงพอต่อการสังเกตการณ์ขณะทำการวัดเท่านั้น การทำเช่นนี้จะช่วยยืดอายุการใช้งานของหลอดรังสีแคโทด (CRT)
- หลีกเลี่ยงการเปิด-ปิดบ่อยครั้ง ไม่ควรเปิดหรือปิดออสซิลโลสโคปซ้ำ ๆ ในช่วงเวลาใกล้เคียงกันโดยไม่เว้นช่วงพัก เพราะอาจทำให้หลอด CRT เสื่อมสภาพเร็วขึ้น

การปรับเทียบโพรบ

หากโพรบมีความผิดเพี้ยนในการส่งสัญญาณ สามารถแก้ไขได้โดยการ ปรับค่าคาปาซิแตนซ์ชดเชย (Compensating Capacitance) เมื่อใช้โพรบชนิดที่มีการลดทอนสัญญาณ ไม่ว่าจะเป็นชนิด x10 หรือ x100 สิ่งสำคัญคือสัญญาณที่ส่งผ่านโพรบจะต้องปราศจากความผิดเพี้ยน

ออสซิลโลสโคปรุ่นที่ใช้เป็นตัวอย่างมักจะมี สัญญาณรูปคลื่นสี่เหลี่ยมขนาดความสูง 0.2 Vpp และมีความถี่ประมาณ 1 kHz อยู่ภายในเครื่อง เพื่อใช้สำหรับสอบเทียบโพรบโดยเฉพาะ

ศูนย์วิทยทรัพยากร สถาบันนวัตกรรมการเรียนรู้ มหาวิทยาลัยพะเยา



รูปที่ 6.55 สัญญาณที่วัดได้จากออสซิสโลสโคป

ขั้นตอนการปรับเทียบโพรบ

1. เชื่อมต่อโพรบ ใช้โพรบแบบขอเกี่ยว (hook-type probe) ต่อเข้ากับขั้วต่อ Calibrator บนตัวเครื่องออสซิลโลสโคป
2. ปรับค่าคาปาซิแตนซ์ชดเชย ใช้ไขควงพลาสติก (หรือที่เรียกว่า Trimmer Tool) ค่อย ๆ ปรับค่าคาปาซิแตนซ์ชดเชย (Compensating Capacitance) ของโพรบไปเรื่อย ๆ จนกระทั่งสัญญาณที่ปรากฏบนหน้าจอมีลักษณะเป็นรูปคลื่นสี่เหลี่ยมที่สมบูรณ์ดัง รูปที่ 6.55 (ข) หากสัญญาณเป็นไปตามรูปนี้ แสดงว่าโพรบลดทอนสัญญาณได้โดยปราศจากความผิดเพี้ยน และพร้อมสำหรับการใช้งาน

ข้อควรระวังในการปรับค่าคาปาซิแตนซ์ชดเชย

- รูปที่ 6.55 (ก) แสดงภาพสัญญาณที่ผิดเพี้ยนเมื่อค่า C1 (คาปาซิแตนซ์ชดเชย) มีค่าน้อยเกินไป จะเห็นว่ารูปคลื่นมีลักษณะโค้งงอ
- รูปที่ 6.55 (ค) แสดงภาพสัญญาณที่ผิดเพี้ยนเมื่อค่า C1 มีค่ามากเกินไป จะเห็นว่ารูปคลื่นมีลักษณะเป็นคลื่นสูงเกินจริง

ทั้งสองกรณีนี้ (C1 น้อยเกินไปหรือมากเกินไป) จะทำให้สัญญาณที่ปรากฏบนหน้าจอเกิดความผิดเพี้ยน ทำให้การวัดค่าไม่ถูกต้อง ดังนั้น การปรับให้ได้สัญญาณตามรูปที่ 6.55 (ข) จึงเป็นสิ่งสำคัญเพื่อให้ได้ผลการวัดที่แม่นยำ

6.4.2 การนำออสซิลโลสโคปไปใช้งาน

ออสซิลโลสโคปเป็นเครื่องมือที่มีประโยชน์อย่างยิ่งสำหรับการวิเคราะห์วงจรไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ คุณสามารถนำออสซิลโลสโคปไปใช้งานเพื่อวัดค่าต่าง ๆ ของสัญญาณรูปคลื่นได้ดังนี้

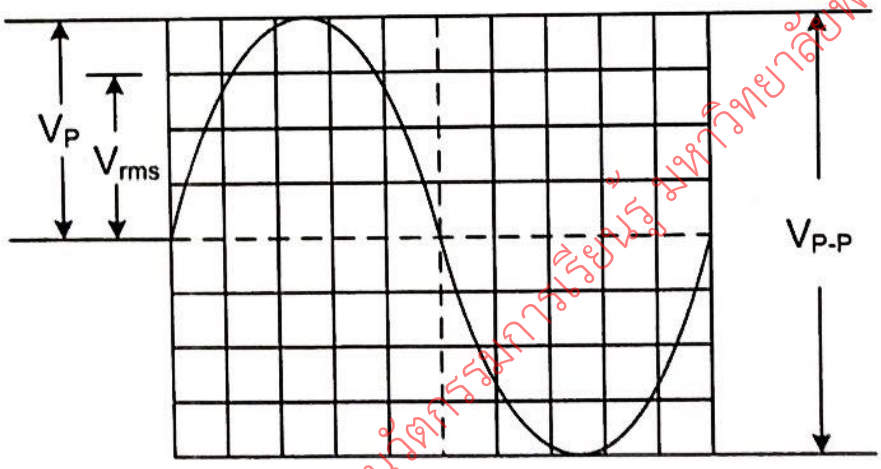
- แรงดันไฟฟ้า วัดค่าแรงดันสูงสุด-ต่ำสุด (Peak-to-Peak Voltage), แรงดัน RMS, หรือแรงดันเฉลี่ยของสัญญาณ
- มุมต่างเฟส (Phase Angle) เปรียบเทียบความสัมพันธ์เชิงเวลาของสัญญาณสองสัญญาณ เพื่อหาว่าสัญญาณหนึ่งนำหรือตามอีกสัญญาณหนึ่งเป็นกี่องศา
- ความถี่ (Frequency) วัดจำนวนรอบของสัญญาณที่เกิดขึ้นในหนึ่งหน่วยเวลา

ศูนย์วิทยทรัพยากรและการเรียนรู้ สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยพะเยา

- เวลา (Time) วัดช่วงเวลาของสัญญาณ เช่น คาบเวลา (Period) หรือเวลาที่สัญญาณเปลี่ยนแปลงจากระดับหนึ่งไปอีกระดับหนึ่ง (Rise/Fall Time)

การวัดค่าเหล่านี้ช่วยให้คุณสามารถวิเคราะห์และทำความเข้าใจพฤติกรรมของวงจรไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ได้อย่างละเอียด

1) การวัดแรงดันไฟฟ้า (Voltage measurement)



รูปที่ 6.56 แรงดันของรูปคลื่นไซน์

เมื่อใช้ออสซิลโลสโคปวัดแรงดันไฟฟ้าโดยตรง ค่าที่ได้จะเป็นค่าแรงดันพีคทูพีค (Vpp) เสมอ หากต้องการหาค่าแรงดันไฟฟ้าที่ใช้งาน (V_{rms}) สำหรับสัญญาณรูปคลื่นไซน์ จะต้องใช้สูตร

$$V_{rms} = \frac{V_{p-p}}{2.83} \qquad (6.5)$$

เมื่อ V_{rm} คือ แรงดันไฟฟ้า
V_p คือ แรงดันไฟฟ้าสูงสุด
V_{p-p} คือ แรงดันยอดถึงยอด

โดย

$$V_p = \frac{V_{p-p}}{2} \qquad (6.6)$$

เพียงนำ ความสูงของสัญญาณจากยอดถึงยอด ที่ห็นบนหน้าจอ (นับเป็นจำนวนช่องตารางแนวตั้งหรือ "DIV") คูณด้วย ค่าที่คุณตั้งไว้บนปุ่ม VOLTS/DIV. ตัวเลขที่ได้คือค่าแรงดันไฟฟ้าแบบยอดถึงยอดของสัญญาณ

ศูนย์บรรณสารและการเรียนรู้ สถาบันนวัตกรรมการเรียนรู้ มหาวิทยาลัยพะเยา

ถ้าใช้ โพรบแรงดันที่มีอัตราการลดทอนสัญญาณ x10 (หรือที่เรียกว่า "10x probe") จะต้องนำค่าแรงดันที่อ่านได้บนหน้าจอออสซิลโลสโคปไป คูณด้วย 10 เสมอ เป็นขั้นตอนสำคัญที่จะทำให้ได้ค่าแรงดันไฟฟ้าที่แท้จริงของสัญญาณที่กำลังวัดอยู่

เมื่อกำหนดให้

H คือ ความสูงพีคทูพีของสัญญาณ
V_{p-p} คือ แรงดันไฟฟ้าพีคทูพีค
D คือ สัมประสิทธิ์ตัวคูณของสวิทช์ VOLTS/DIV.

จะได้สมการที่แสดงค่าทั้งสามเป็น

$$V_{p-p} = DH \qquad (6.6)$$

ตัวอย่างที่ 6.1 จากรูปคลื่นสัญญาณไฟฟ้าใน รูปที่ 6.56 ที่แสดงบนหน้าจอออสซิลโลสโคป (โดยสมมติให้แต่ละช่องตารางมีขนาด 1 cm x 1 cm) ถ้าตั้งค่า VOLTS/DIV ไว้ที่ 1.0 V/cm และใช้ โพรบแบบ x1 (ไม่มีการลดทอนสัญญาณ) จงคำนวณค่าต่อไปนี้

(ก) ค่าแรงดันยอดถึงยอด (V_{p-p})

(ข) ค่าแรงดันใช้งาน (V_{rms})

วิธีทำ (ก) จาก $V_{p-p} = DH$; D = 1.0 V/cm. ; H = 8 cm.

$$V_{p-p} = 1.0 \text{ V/cm.} \times 8 \text{ cm.}$$

$$= 8 \ V_{p-p}$$

(ข) จาก $V_{rms} = \frac{V_{p-p}}{2.83} = \frac{8}{2.83} = 2.826 \text{ V}$

หรือหาค่าแรงดันไฟฟ้าสูงสุดจาก

$$V_p = \frac{V_{p-p}}{2} = \frac{8}{2} = 4 \ V_p$$

จะได้

ตอบ $V_{rms} = \frac{V_p}{\sqrt{2}} = \frac{4}{\sqrt{2}} = 2.828$

ศูนย์บรรณสารและการเรียนรู้ สถาบันเทคโนโลยีการเรียนรู้ มหาวิทยาลัยพะเยา

2. การวัดคาบเวลาและความถี่ (Period and Frequency Measurement) บนออสซิลโลสโคป

ในการวิเคราะห์สัญญาณไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์, คาบเวลา (Period, T) และ ความถี่ (Frequency, f) เป็นพารามิเตอร์พื้นฐานที่มีความสำคัญอย่างยิ่ง ออสซิลโลสโคปเป็นเครื่องมือที่ใช้ในการแสดงผลและวัดค่าเหล่านี้ได้อย่างมีประสิทธิภาพ

2.1 คาบเวลา (Period, T)

คาบเวลา (T) คือระยะเวลาที่สมบูรณ์หนึ่งรอบของสัญญาณรูปคลื่นที่ซ้ำกัน (periodic waveform) ซึ่งหมายถึงช่วงเวลาที่สัญญาณเปลี่ยนแปลงครบรอบทั้งด้านบวกและด้านลบ และกลับมาอยู่ในสถานะเริ่มต้นเพื่อเริ่มต้นรอบใหม่ ดังแสดงในรูปที่ 6.57 ที่ระบุว่า T=0.4 S

2.2 ความถี่ (Frequency, f)

ความถี่ (f) คือจำนวนรอบของสัญญาณรูปคลื่นที่เกิดขึ้นซ้ำกันภายในระยะเวลา 1 วินาที มีหน่วยเป็นเฮิรตซ์ (Hertz, Hz) โดยที่ 1 Hz หมายถึง 1 รอบต่อวินาที (1 Hz=1 cycle/second)

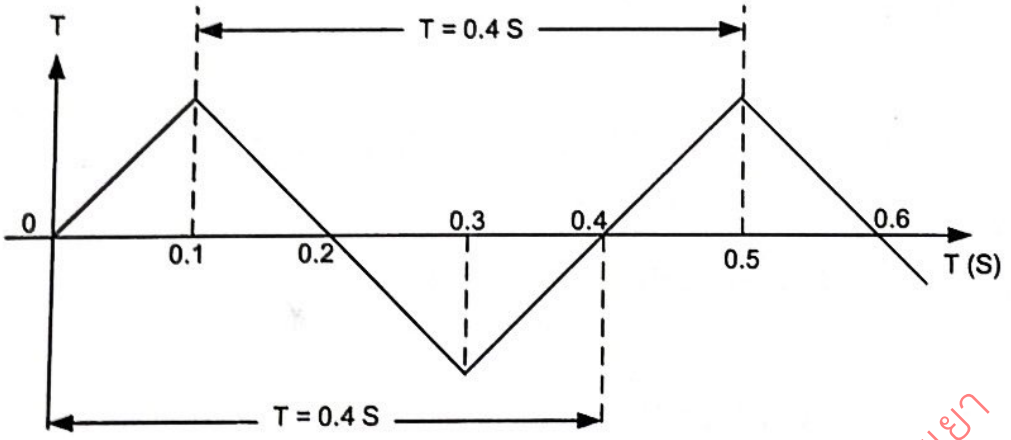
สัญญาณทุกชนิดที่ต้องการวัดคาบเวลาและความถี่ด้วยออสซิลโลสโคปจะต้องเป็นสัญญาณแบบคาบ (periodic signal) ซึ่งหมายถึงสัญญาณที่มีรูปแบบการเปลี่ยนแปลงซ้ำเดิมในช่วงระยะเวลาที่แน่นอน ดังนั้น การวัดคาบเวลาของสัญญาณจึงสามารถนำไปคำนวณหาความถี่ของสัญญาณได้ เนื่องจากคาบเวลาและความถี่มีความสัมพันธ์แบบผกผันกัน นั่นคือ $f = \frac{1}{T}$ หน่วยเป็นเฮิรตซ์

2.3 การแสดงผลและการตั้งค่าบนออสซิลโลสโคป

ออสซิลโลสโคปจะแสดงรูปคลื่นสัญญาณบนจอภาพ ซึ่งโดยปกติแล้วจะแสดงสัญญาณเต็มคาบหลาย ๆ คาบ หรือเพียงบางส่วนของคาบ ขึ้นอยู่กับการตั้งค่า ฐานเวลา (Time Base) โดยใช้สวิตช์ TIME/DIV. (Time per Division) สวิตช์นี้ควบคุมอัตราการกวาดของลำอิเล็กตรอนในแนวนอน และมีหน่วยเป็นมิลลิวินาทีต่อเซนติเมตร (ms/cm) หรือวินาทีต่อเซนติเมตร (s/cm) ซึ่งหมายถึงระยะเวลาที่ลำอิเล็กตรอนใช้ในการกวาดผ่านหนึ่งช่องตารางแนวนอนบนจอภาพ

การตั้งค่า TIME/DIV. ที่เหมาะสมจะช่วยให้ผู้ใช้สามารถมองเห็นรูปคลื่นได้อย่างชัดเจนและครอบคลุมจำนวนคาบที่ต้องการ เพื่อให้สามารถวัดคาบเวลาได้อย่างแม่นยำ จากนั้นจึงนำไปคำนวณหาความถี่ของสัญญาณได้. การทำความเข้าใจหลักการและหน่วยการวัดเหล่านี้เป็นสิ่งจำเป็นสำหรับการวิเคราะห์และใช้งานออสซิลโลสโคปในงานทางวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีที่เกี่ยวข้องกับการวัดและแสดงสัญญาณไฟฟ้าในมิติของเวลาได้อย่างเป็นระบบและมีประสิทธิภาพ

ศูนย์บรรณสารและการเรียนรู้ สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยพะเยา



รูปที่ 6.57 ตัวอย่างสัญญาณคลื่นรูปสามเหลี่ยม

สิ่งสำคัญที่ผู้ใช้งานออสซิลโลสโคปไม่ควรมองข้ามในการวัดคาบเวลาและความถี่คือ การตั้งค่าปุ่มปรับช่วงเวลาของสัญญาณกวาดภาพ (Time Variable Control) ปุ่มนี้มักจะอยู่ในตำแหน่งใกล้เคียงกับสวิตช์ TIME/DIV. และมีหน้าที่ปรับความละเอียดของการกวาดสัญญาณในแนวนอน ผู้ใช้ควรหมุนปุ่มนี้ทวนเข็มนาฬิกาจนสุด เพื่อให้มั่นใจว่าอัตราการกวาดเวลาเป็นไปตามค่าที่ระบุไว้บนสวิตช์ TIME/DIV. อย่างถูกต้องแม่นยำที่สุด หากปุ่มนี้ไม่ได้อยู่ในตำแหน่งสุดทวนเข็มนาฬิกา ค่าเวลาที่อ่านได้จากจอภาพอาจคลาดเคลื่อนไปจากการตั้งค่าจริงของสวิตช์ TIME/DIV. ได้

เมื่อกำหนดให้

L	คือ	ความยาวของช่วงสัญญาณในหนึ่งคาบเวลา (หน่วยเป็น cm.)
T	คือ	คาบเวลา (หน่วยเป็น Second)
F	คือ	ความถี่ของรูปคลื่นสัญญาณ (หน่วยเป็น Hz)
T_c	คือ	สัมประสิทธิ์ตัวคูณฐานเวลาของสวิตช์ TIME / DIV. (หน่วยเป็น s/cm)

สมการแสดงความสัมพันธ์ระหว่างคาบเวลากับความถี่เขียนได้เป็นดังนี้

$$f = \frac{1}{T} \tag{6.9}$$

นอกจากนี้

$$T = LT_c \tag{6.10}$$

ศูนย์บรรณสารและการเรียนรู้ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ วิทยาเขตการอาชีพมหาวิทยาลัยพะเยา

ตัวอย่างที่ 6.2 การหาความถี่ของสัญญาณจากออสซิลโลสโคป พิจารณารูปคลื่นสัญญาณไซน์ที่แสดงบนจอออสซิลโลสโคปใน รูปที่ 6.56 (ตามภาพที่แนบมา) หากตั้งค่า สัมประสิทธิ์ตัวคูณฐานเวลาของสวิตช์ TIME/DIV. ไว้ที่ 2 μs/cm จงคำนวณหาความถี่ (f) ของสัญญาณดังกล่าว

วิธีทำ จาก $T = L.T_c$

$= (4\ cm)\ (2\ \mu s/cm)$

$= 8\ \mu s$

จาก $f = \frac{1}{T} = \frac{1}{8\ \mu s}$

ตอบ $= 125\ kHz$

ตัวอย่างที่ 6.3 การคำนวณความยาวของสัญญาณบนจอออสซิลโลสโคป หากคุณต้องการสังเกตสัญญาณ TV-LINE ซึ่งมีความถี่มาตรฐานอยู่ที่ 15,625 Hz บนออสซิลโลสโคป และคุณได้ตั้งค่าสัมประสิทธิ์ตัวคูณฐานเวลาของสวิตช์ TIME/DIV. ไว้ที่ 5 μs/cm จงคำนวณว่าสัญญาณ TV-LINE หนึ่งคาบเวลา จะมีความยาวปรากฏบนหน้าจอออสซิลโลสโคปเป็นกี่เซนติเมตร

วิธีทำ จาก $L = \frac{T}{T_c}$

และ $f = \frac{1}{T}$

$\therefore \quad L = \frac{1}{f} \cdot \frac{1}{T_c}$

$L = \frac{1}{15{,}625Hz \times 5 \times 10^{-6}\ S/cm}$

ตอบ $L = 12.8\ cm$

ตัวอย่างที่ 6.4 การคำนวณคาบเวลาและความถี่ของสัญญาณเมื่อมีการขยายภาพในแนวนอน รูปคลื่นไซน์หนึ่งคาบเวลาปรากฏบนหน้าจอออสซิลโลสโคปมีความยาว 1.0 เซนติเมตร หากผู้ใช้งานได้ตั้งค่า สัมประสิทธิ์ตัวคูณฐานเวลาของสวิตช์ TIME/DIV. ไว้ที่ 0.5 μs/cm และมีการเปิดใช้งานฟังก์ชัน X-MAGN x10 (การขยายสัญญาณในแนวนอน 10 เท่า) จงคำนวณหาคาบเวลา (*T*) และความถี่ (*f*) ของรูปคลื่นไซน์ดังกล่าว

วิธีทำ $T_c = \frac{0.5\mu S/cm}{10} = 0.05\mu s/cm$

เมื่อ $L = \frac{1}{f} \cdot \frac{1}{T_c}$

$f = \frac{1}{L.T_c}$

$= \frac{1}{1.0\ cm \times 0.05 \times 10^{-6}\ s/cm}$

ศูนย์วิทยทรัพยากร สถาบันนวัตกรรมการเรียนรู้และการเรียนรู้ตลอดชีวิต มหาวิทยาลัยพะเยา

= 20 MHz

หา $T = \frac{1}{f} = \frac{1}{20\times10^6}$

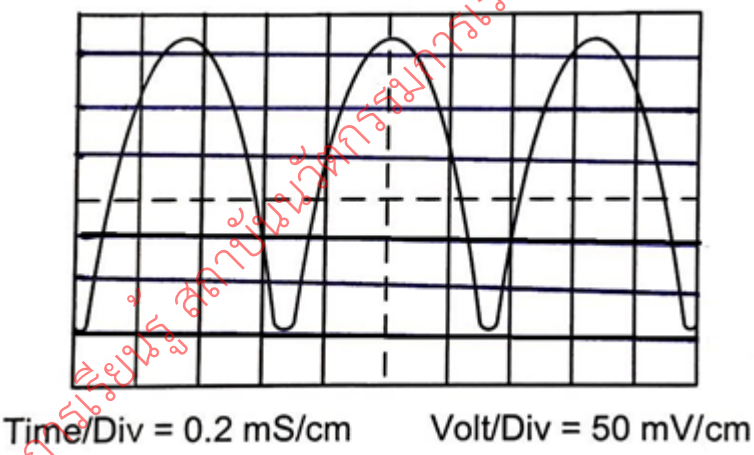
ตอบ T = 50 ns

ตัวอย่างที่ 6.5 การวิเคราะห์สัญญาณรูปคลื่นแบบ Full-wave Rectified ด้วยออสซิลโลสโคป จากสัญญาณรูปคลื่นที่ปรากฏบนจอออสซิลโลสโคปใน รูปที่ 6.58 ซึ่งมีการตั้งค่าดังนี้

- TIME/DIV = 0.2 ms/cm
- VOLT/DIV = 50 mV/cm

ถ้าภาพที่เกิดขึ้นนี้เป็นผลจากการใช้ โพรบวัดสัญญาณแบบ x10 (มีการลดทอนสัญญาณ 10 เท่า) จงคำนวณหาค่าต่อไปนี้ของสัญญาณอินพุตที่แท้จริง

(ก) แรงดันยอด (V_p) (ข) คาบเวลา (ค) ความถี่



รูปที่ 6.58 จากการวัดโดยใช้โพรบ x 10

วิธีทำ (ก) จาก $V_{p-p} = DH$

เมื่อใช้โพรบ x10 $V_{p-p} = DH \times 10$

$= (4.6cm \times 50 \times \frac{10^{-6}V}{cm}) \times 10$

= 2.3V

$V_p = \frac{V_{p-p}}{2}$

(ข) เมื่อพิจารณารูปที่ 6.57 จะได้ L=3.2cm

จะได้คาบเวลาเป็น T $= L \cdot T_c$

ศูนย์บรรณสารและการเรียนรู้ สถาบันบัณฑิตพัฒนบริหารศาสตร์ มหาวิทยาลัยพะเยา

$$= 3.2 \times 0.2 \text{ mS/cm}$$

$$= 0.64 \text{ mS}$$

(ค) หาความถี่จาก $f = \frac{1}{T} = \frac{1}{0.64 \times 10^{-3} \text{ S}}$

ตอบ $= 1.56 \text{ kHz}$

2. การวัดมุมต่างเฟสของสัญญาณแนวตั้งและแนวนอน (X-Y Phase Measurement) บนออสซิลโลสโคป

ในการวิเคราะห์ความสัมพันธ์เชิงเวลา (Phase Relationship) ระหว่างสัญญาณสองสัญญาณที่มีความถี่เท่ากัน ออสซิลโลสโคปมีโหมดการทำงานพิเศษที่เรียกว่า X-Y Mode ซึ่งเป็นประโยชน์อย่างยิ่งสำหรับการวัดมุมต่างเฟส

หลักการทำงานของ X-Y Mode

เมื่อสัญญาณรูปคลื่นไซน์สองสัญญาณที่มีความถี่เท่ากันถูกป้อนเข้าสู่ช่องรับสัญญาณอินพุตของออสซิลโลสโคป โดยที่

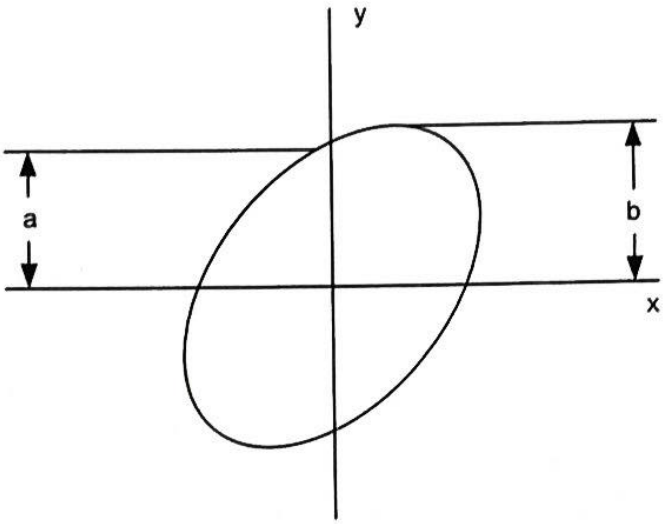
- สัญญาณหนึ่งป้อนเข้าสู่ระบบเบี่ยงเบนแนวนอน (Horizontal Deflection System หรือ แกน X)
- และอีกสัญญาณหนึ่งป้อนเข้าสู่ระบบเบี่ยงเบนแนวตั้ง (Vertical Deflection System หรือ แกน Y)

จากนั้นทำการเปิดใช้งาน X-Y Mode ภาพที่ปรากฏบนหน้าจอออสซิลโลสโคปจะเรียกว่า รูปคลื่นลิสซาจูส์ (Lissajous Figure) ดังแสดงในรูปที่ 6.59

ประโยชน์และการแสดงผล

รูปคลื่นลิสซาจูส์ที่เกิดขึ้นนี้จะแตกต่างกันไปตามมุมต่างเฟสระหว่างสัญญาณทั้งสอง ทำให้ผู้ใช้สามารถวิเคราะห์และหาค่ามุมต่างเฟสได้อย่างแม่นยำ โดยไม่ต้องคำนวณจากรูปคลื่นเวลาโดยตรง ซึ่งการใช้ X-Y Mode ในลักษณะนี้ช่วยให้เห็นความสัมพันธ์เชิงเฟสของสัญญาณได้อย่างชัดเจนด้วยภาพกราฟิกบนหน้าจอ

ศูนย์บรรณสารและการเรียนรู้ สถาบันนวัตกรรมการเรียนรู้ มหาวิทยาลัยพะเยา



รูปที่ 6.59 การเกิดจากการต่างเฟสของภาพลิสซาจัวส์

เกิดมุมต่างเฟส ระหว่างสัญญาณทั้งสองในรูปที่ 6.59 ดังนี้

$$\sin\theta = \frac{a}{b} \tag{6.11}$$

$$\theta = \arcsin\frac{a}{b} \tag{6.12}$$

เมื่อ θ คือ มุมต่างเฟสของสัญญาณทั้งสอง

a คือ ระยะของภาพลิสซาจัวส์ที่ตัดกับแกน Y

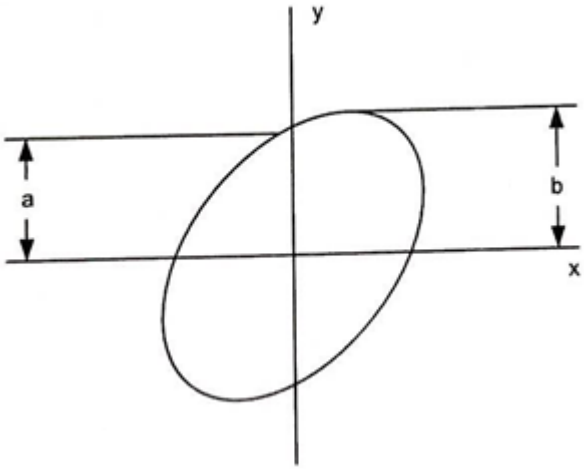
b คือ ระยะของค่าบ่ายเบนสูงสุดของภาพลิสซาจัวส์ตามแนวตั้ง (แกน Y)

ตัวอย่างที่ 6.6 การหามุมต่างเฟสจากรูปคลื่นลิสซาจูส์ จากรูปคลื่นลิสซาจูส์แบบวงรีที่แสดงใน รูปที่ 6.60 (ซึ่งเป็นภาพที่ใช้สำหรับคำนวณมุมต่างเฟส) หากทำการวัดระยะต่างๆ ได้ดังนี้

- ระยะ a (ระยะจากจุดศูนย์กลางถึงจุดที่วงรีตัดแกน Y) = 1.85 cm
- ระยะ b (ระยะจากจุดศูนย์กลางถึงจุดสูงสุดของวงรีในแนวตั้ง) = 2.45 cm

จงคำนวณหามุมต่างเฟส (θ) ระหว่างสัญญาณทั้งสอง

ศูนย์บรรณสารและการเรียนรู้ สถาบันพัฒนาวัตกรรมการเรียนรู้ มหาวิทยาลัยพะเยา



รูปที่ 6.60 การหามุมต่างเฟส

วิธีทำ จาก $\sin\theta = \frac{a}{b}$

$$= \frac{1.85}{2.45}$$

$$= 0.7551$$

ตอบ $\theta = 49.04°$

3. การวัดมุมต่างเฟสของสัญญาณสองช่องพร้อมกัน (Dual-Trace Phase Difference Measurement)

นอกเหนือจากการใช้โหมด X-Y ออสซิลโลสโคปแบบสองช่องสัญญาณ (Dual-Trace Oscilloscope) ยังมีอีกวิธีหนึ่งในการเปรียบเทียบมุมต่างเฟสของสัญญาณสองชุดที่มีความถี่เท่ากัน โดยการแสดงผลสัญญาณทั้งสองพร้อมกันบนจอภาพ วิธีนี้สามารถใช้ได้กับสัญญาณความถี่สูง ตราบเท่าที่ระบบเบี่ยงเบนแนวตั้งของเครื่องสามารถรองรับได้ โดยมีขั้นตอนการดำเนินงานดังนี้

3.1 การตั้งค่าเริ่มต้น

- เลือกช่องสัญญาณอินพุต ตั้งค่าสวิตช์เลือกสัญญาณอินพุตแนวตั้งให้อยู่ในตำแหน่งที่สามารถแสดงผลได้ทั้งสองช่องสัญญาณพร้อมกัน (โดยทั่วไปคือการกดปุ่ม "DUAL" หรือเลือกโหมด "CH1 & CH2")
- กำหนดสัญญาณอ้างอิง ควรเชื่อมต่อสัญญาณที่ใช้เป็นตัวอ้างอิง (reference signal) เข้ากับช่องสัญญาณที่ 1 (CH1)
- เลือกโหมดการทำงานของช่องสัญญาณ
    - สำหรับสัญญาณที่มีความถี่สูงกว่า 1 kHz ควรเลือกโหมดการทำงานแบบ สลับเรียงตามลำดับในแต่ละคาบ (Alternate Mode)

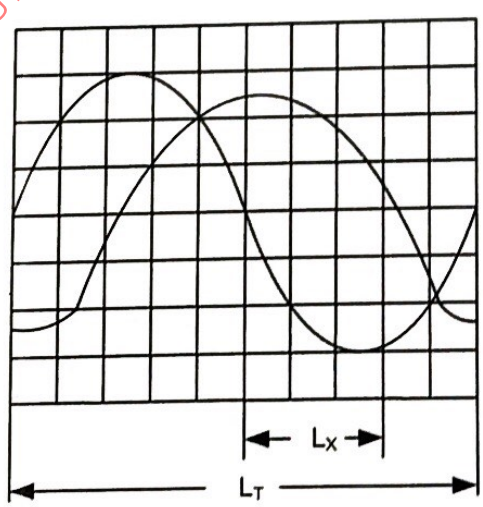
ศูนย์วิทยทรัพยากร สถาบันนวัตกรรมการเรียนรู้ มหาวิทยาลัยพะเยา

- สำหรับสัญญาณที่มีความถี่ต่ำกว่า 1 kHz ควรเลือกโหมดการทำงานแบบ สลับหลายครั้งในแต่ละคาบ (Chopped Mode)

- การเลือกโพรบ ควรใช้โพรบวัดสัญญาณที่มีอัตราการลดทอนสัญญาณเท่ากันสำหรับทั้งสองช่องสัญญาณ เพื่อให้แน่ใจว่าการวัดค่าแรงดันและเฟสเป็นไปอย่างถูกต้อง
- ตั้งฐานเวลา ตั้งค่าฐานเวลาของสัญญาณกวาดภาพ (TIME/DIV) ให้เหมาะสม โดยทั่วไปควรกำหนดให้มีรูปคลื่นสัญญาณปรากฏบนจอภาพเพียงประมาณ 1 คาบเวลา (หรือประมาณ 1-2 คาบ) เพื่อให้ง่ายต่อการพิจารณาและวัดระยะ
- ปรับขนาดสัญญาณ ปรับปุ่มเลือกอัตราการลดทอนสัญญาณ (VOLT/DIV) และปุ่มควบคุมขนาด (Variable Gain) สำหรับทั้งช่อง 1 (CH1) และช่อง 2 (CH2) เพื่อให้ขนาดของรูปคลื่นสัญญาณทั้งสองที่ปรากฏบนจอภาพมีความสูงใกล้เคียงกันมากที่สุด
- ปรับตำแหน่งสัญญาณ ใช้ปุ่มปรับเลื่อนรูปคลื่นสัญญาณในแนวตั้ง (Y-POS. I สำหรับ CH1 และ Y-POS. II สำหรับ CH2) เพื่อจัดตำแหน่งรูปคลื่นสัญญาณทั้งสองให้อยู่กึ่งกลางของเส้นแบ่งจอภาพ (Display) เพื่อให้การวัดทำได้ง่ายขึ้น

3.2 การวัดมุมต่างเฟส

- ปรับช่วงเวลาการกวาด หมุนปุ่มปรับช่วงเวลาของสัญญาณกวาดภาพ (Time Variable Control) ทวนเข็มนาฬิกาจนสุด (เพื่อความแม่นยำสูงสุดตามค่าที่ตั้งไว้) และปรับค่า TIME/DIV. เพิ่มเติมหากจำเป็น จนกระทั่งสัญญาณอ้างอิง (ที่ช่อง 1) มีความยาวปรากฏบนหน้าจอพอดี 10 ช่องตารางแนวนอน ดังแสดงในรูปที่ 6.61
- การคำนวณสเกลเชิงมุม เมื่อสัญญาณอ้างอิงมีความยาว 10 ช่องตารางพอดี นั่นหมายความว่า 1 คาบเวลา (360 องศา) ถูกแบ่งออกเป็น 10 ช่องตาราง ดังนั้น แต่ละช่องตารางแนวนอนจะมีค่าเท่ากับ $360^{\circ}/10 = 36^{\circ}$ ต่อ 1 ช่อง



รูปที่ 6.61 เฟสที่แตกต่างกัน

จากรูป 6.61 กำหนดได้ดังนี้

ศูนย์บรรณสารและการเรียนรู้ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง มหาวิทยาลัยพะเยา

L_T คือ ระยะของภาพทั้งสองใน 1 คาบเวลา เมื่อพิจารณาที่แกน X

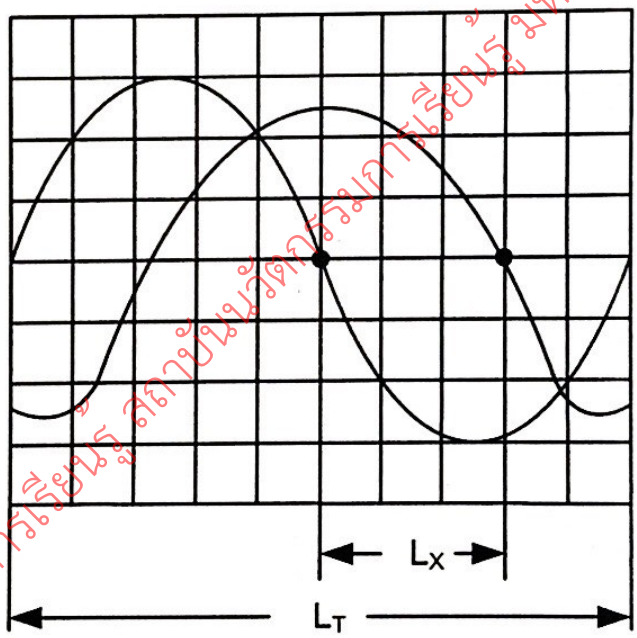
L_X คือ ระยะของภาพทั้งสองตัดกับแกน X เมื่อเทียบกับจุดศูนย์

θ คือ มุมต่างเฟสของสัญญาณ

การหามุมต่างเฟสของสัญญาณภาพทั้งสองหาได้จาก

$$\theta = \frac{L_X}{L_T} \times 360° \qquad (6.13)$$

ตัวอย่างที่ 6.7 การหามุมต่างเฟสของสัญญาณสองชุดบนจอออสซิลโลสโคป จากจอภาพของออสซิลโลสโคปใน รูปที่ 6.62 ซึ่งแสดงรูปคลื่นสัญญาณไซน์สองสัญญาณที่มีความถี่เท่ากัน จงคำนวณหามุมต่างเฟสของรูปคลื่นสัญญาณที่ปรากฏนี้



รูปที่ 6.62 เฟสสัญญาณแตกต่างกัน

วิธีทำ จากรูป $L_X = 3cm$; $L_T = 10cm$

$$\theta = \frac{L_X}{L_T} \times 360°$$

$$\theta = \frac{3}{10} \times 360° = 108°$$

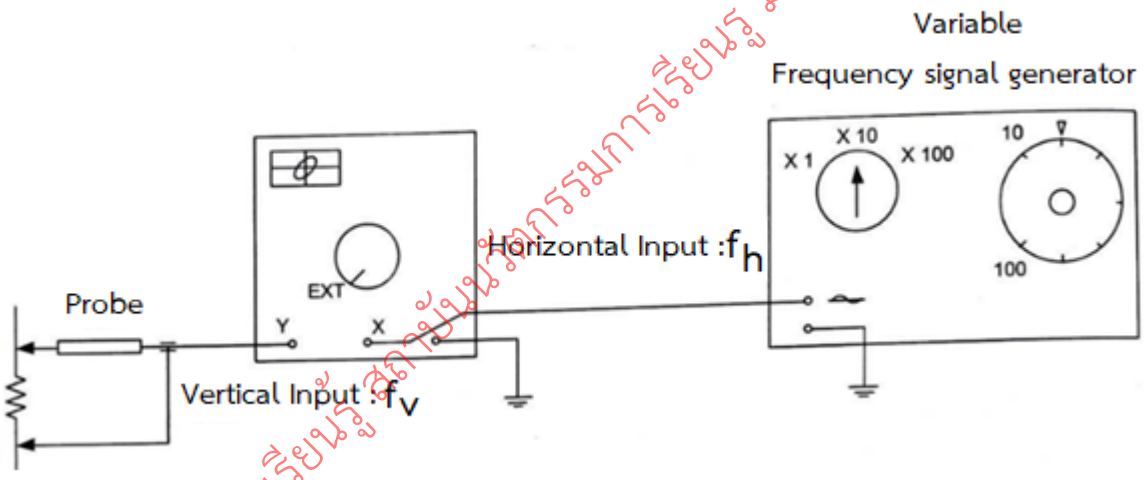
ศูนย์บรรณสารและการเรียนรู้ สถาบันบัณฑิตพัฒนบริหารศาสตร์ มหาวิทยาลัยพะเยา

4. การวัดความถี่ด้วยรูปลิสซาจูส์ (Measuring Frequency Using Lissajous Figures)

การวัดความถี่ของสัญญาณโดยใช้วิธีรูปลิสซาจูส์ (Lissajous Figures) เป็นเทคนิคที่อาศัยหลักการเปรียบเทียบระหว่างสัญญาณสองชุด

1. สัญญาณความถี่อ้างอิง (Reference Frequency) ซึ่งเป็นสัญญาณที่มีความถี่ทราบค่าแน่นอนและแม่นยำ
2. สัญญาณความถี่ที่ต้องการทราบค่า (Unknown Frequency) ซึ่งเป็นสัญญาณที่เราต้องการวัดความถี่

โดยการป้อนสัญญาณทั้งสองเข้าสู่ช่องสัญญาณแนวนอน (แกน X) และแนวตั้ง (แกน Y) ของออสซิลโลสโคป แล้วเปิดใช้งานโหมด X-Y รูปแบบของลิสซาจูส์ที่ปรากฏบนหน้าจอจะช่วยให้สามารถคำนวณหาความถี่ของสัญญาณที่ไม่ทราบค่าได้จากความสัมพันธ์กับความถี่อ้างอิง



รูปที่ 6.63 แผนผังการวัดความถี่ด้วยรูปลิสซาจัวส์

ในการวัดความถี่ของสัญญาณที่ไม่ทราบค่าโดยใช้รูปลิสซาจูส์บนออสซิลโลสโคป มีขั้นตอนและหลักการดังนี้

4.1 การเชื่อมต่อสัญญาณ

ผู้ใช้งานจะเชื่อมต่อสัญญาณความถี่ที่ทราบค่า (ซึ่งอาจได้มาจากเครื่องกำเนิดสัญญาณความถี่แบบปรับค่าได้ หรือ Variable Frequency Signal Generator) เข้ากับ ช่องรับสัญญาณอินพุตของระบบเบี่ยงเบนแนวนอน (Horizontal Input) ของออสซิลโลสโคป ในขณะที่สัญญาณความถี่ที่ต้องการทราบค่าจะถูกป้อนเข้าสู่ช่องรับสัญญาณอินพุตของระบบเบี่ยงเบนแนวตั้ง (Vertical Input)

จากนั้น เมื่อเลือกใช้งาน X-Y Mode ภาพที่ปรากฏบนจอ CRT จะเป็น รูปลิสซาจูส์ ดังที่แสดงในรูปที่ 6.63

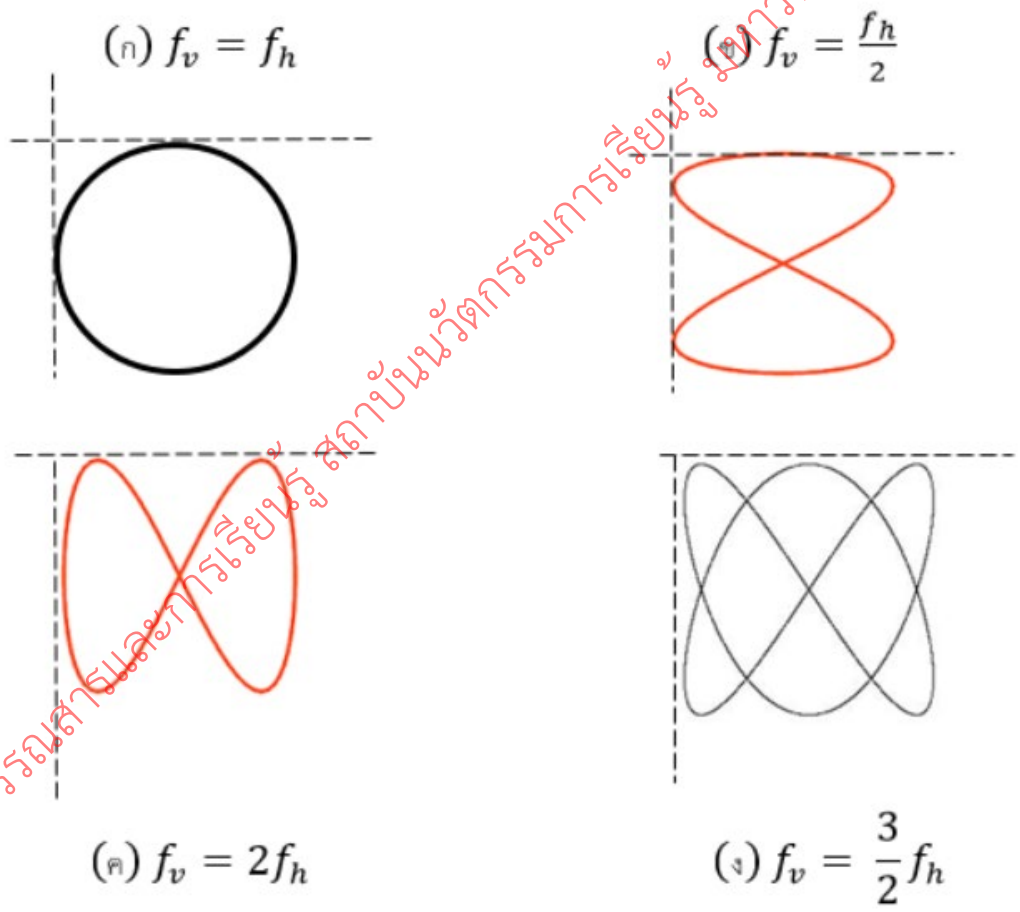
ศูนย์บรรณสารและการเรียนรู้ สถาบันบัณฑิตพัฒนบริหารศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร

4.2 หลักการคำนวณหาความถี่

การคำนวณหาค่าความถี่ของสัญญาณที่ไม่ทราบค่าอาศัยการพิจารณาจาก อัตราส่วนของจุดสัมผัส (Tangency Points) บนรูปลิสซาจูส์ โดยมีขั้นตอนดังนี้

- ลากเส้นตรงสัมผัสกับยอดสูงสุดของรูปลิสซาจูส์ที่เกิดขึ้นตามแนวตั้ง (แกน Y) และแนวนอน (แกน X)
- นับจำนวนจุดที่เส้นตรงเหล่านี้สัมผัสกับรูปคลื่นลิสซาจูส์ตามแนวแกน Y (จำนวนจุดสัมผัสในแนวนอน) และแนวแกน X (จำนวนจุดสัมผัสในแนวตั้ง)

ดังที่แสดงในรูปที่ 6.64 ค่าความถี่ของสัญญาณที่ไม่ทราบค่า (ที่ป้อนเข้าแกน Y) สามารถหาได้จากความสัมพันธ์กับความถี่ของสัญญาณที่ทราบค่า (ที่ป้อนเข้าแกน X) และอัตราส่วนของจุดสัมผัสเหล่านี้



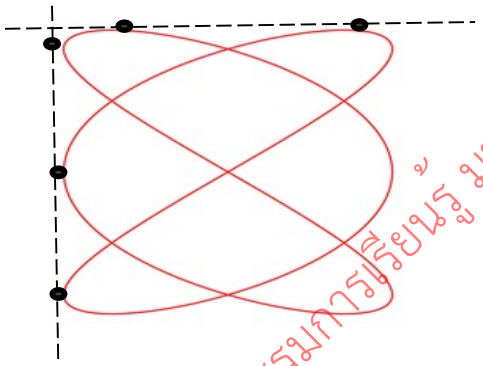
รูปที่ 6.64 ลักษณะรูปสัญญาณที่เกิดขึ้นบนจอออสซิสโลสโคป

จากรูปลิสซาจัวส์ที่ปรากฏในรูปที่ 6.64 ใช้สมการหาความถี่ดังนี้

ศูนย์บรรณสารและสื่อการเรียนรู้ สถาบันนวัตกรรมการเรียนรู้ มหาวิทยาลัยนเรศวร

$$\frac{f_v}{f_h} = \frac{\text{จำนวนจุดสัมผัสเส้นตรงกับยอดสูงสุดของสัญญาณแนวตั้ง}}{\text{จำนวนจุดสัมผัสของเส้นตรงกับยอดสุงสุดของสัญญาณแนวนอน}}$$

ตัวอย่างที่ 6.8 การหาความถี่สัญญาณด้วยรูปลิสซาจูส์ พิจารณารูปคลื่นลิสซาจูส์ที่ปรากฏบนจอภาพออสซิลโลสโคปใน รูปที่ 6.65 หากสัญญาณที่ป้อนเข้าสู่ แกนแนวนอน (Horizontal Input) มีความถี่ (fH) เท่ากับ 100 Hz จงคำนวณหาความถี่ของสัญญาณที่ป้อนเข้าสู่แกนแนวตั้ง (Vertical Input) หรือ f_V



$$f = \frac{2}{3} f_2$$

รูปที่ 6.65 ภาพที่ปรากฏ

วิธีทำ เมื่อลากเส้นตามแนวตั้งสัมผัสกับยอดรูปคลื่นแนวตั้งจะได้จุดสัมผัส 3 จุด และเมื่อลากเส้นตรงตามแนวนอนสัมผัสกับยอดรูปคลื่นตามแนวนอนจะได้จุดสัมผัส 2 จุด

จาก $\frac{f_v}{f_h} = \frac{2}{3}$

เมื่อ $f_h = 140 \text{ Hz}$

$$f_v = \frac{2}{3} f_h = \frac{2}{3} \times 140 \text{ Hz}$$

ตอบ จำนวนจุดสัมผัสเส้นตรงกับยอดสูงสุดของสัญญาณแนวตั้ง (f_v) 93.33 Hz

ศูนย์บรรณสารและการเรียนรู้ สถาบันวิทยบริการและการเรียนรู้ มหาวิทยาลัยพะเยา

ข้อจำกัดในการหาค่าความถี่ด้วยรูปลิสซาจูส์

แม้ว่าวิธีการวัดความถี่ด้วยรูปลิสซาจูส์จะเป็นประโยชน์ในการเปรียบเทียบความถี่ของสัญญาณ แต่ก็มีข้อจำกัดที่สำคัญที่ผู้ใช้งานควรตระหนักถึงดังนี้

1. ความแม่นยำของความถี่อ้างอิง ความถูกต้องของการวัดความถี่ด้วยรูปลิสซาจูส์ขึ้นอยู่กับความแม่นยำของสัญญาณความถี่อ้างอิง (Reference Frequency) ที่ป้อนเข้าสู่แกนใดแกนหนึ่งของออสซิลโลสโคป หากความถี่อ้างอิงไม่ตรงกับความเป็นจริงหรือมีความคลาดเคลื่อน จะส่งผลให้ค่าความถี่ของสัญญาณที่ต้องการวัดคลาดเคลื่อนตามไปด้วย

2. ความซับซ้อนของรูปคลื่นที่ความถี่สูง เมื่ออัตราส่วนของความถี่ระหว่างสัญญาณที่ป้อนเข้าแกน X และแกน Y มีค่าสูงมาก (เช่น อัตราส่วนความถี่เป็นจำนวนเต็มที่มาก) หรือมีความสัมพันธ์ที่ไม่เป็นจำนวนเต็มอย่างง่าย รูปคลื่นลิสซาจูส์ที่ปรากฏบนจอภาพจะมีความซับซ้อนและมีรายละเอียดมาก ซึ่งอาจทำให้ยากต่อการนับจำนวนจุดสัมผัส (tangency points) หรือพิจารณารูปแบบได้อย่างถูกต้อง ทำให้การอ่านค่าอัตราส่วนความถี่ผิดพลาดได้ง่าย

ศูนย์บรรณสารและการเรียนรู้ สถาบันนวัตกรรมการเรียนรู้ มหาวิทยาลัยพะเยา

บทสรุปท้ายบทเรียนบทที่ 6

ในบทเรียนเรื่อง "ออสซิลโลสโคป" นี้ เราได้เจาะลึกถึงหลักการทำงาน ความสำคัญ และการประยุกต์ใช้ของออสซิลโลสโคป ซึ่งเป็นเครื่องมือพื้นฐานที่ขาดไม่ได้สำหรับการวัด วิเคราะห์ และตรวจสอบสัญญาณไฟฟ้าในระบบอิเล็กทรอนิกส์ ไม่ว่าจะเป็นสัญญาณอนาล็อกหรือดิจิทัล

ได้ทำความเข้าใจถึงแก่นแท้ของการทำงานของออสซิลโลสโคป ตั้งแต่การรับสัญญาณ การประมวลผล ไปจนถึงการแสดงผลบนจอภาพ ซึ่งเปรียบเสมือน "เซนเซอร์" ที่สามารถแสดงระดับและรูปแบบของสัญญาณไฟฟ้าได้อย่างเป็นรูปธรรม

บทเรียนนี้ได้ครอบคลุมการประยุกต์ใช้ออสซิลโลสโคปในหลากหลายมิติ อาทิ การวัดค่าพารามิเตอร์ของสัญญาณ เช่น แรงดัน (V_{p-p}, V_{rms}), คาบเวลา (T), ความถี่ (f), และมุมต่างเฟส รวมถึงการนำไปใช้ในงานอุตสาหกรรม การทดสอบวงจร และการวิเคราะห์ปัญหาในระบบอิเล็กทรอนิกส์

นอกจากนี้ยังได้สำรวจและทำความรู้จักกับออสซิลโลสโคปประเภทต่างๆ ซึ่งแต่ละประเภทมีคุณสมบัติและข้อดีข้อเสียที่แตกต่างกัน เช่น แอนะล็อกออสซิลโลสโคป, ดิจิทัลสตอเรจ-ออสซิลโลสโคป (DSO), ดีเลย์สวีป-ออสซิลโลสโคป และดิจิทัลรีดเอาต์-ออสซิลโลสโคป ซึ่งความเข้าใจในประเภทเหล่านี้จะช่วยให้สามารถเลือกใช้เครื่องมือได้อย่างเหมาะสมกับลักษณะงาน

ด้วยองค์ความรู้ที่ได้รับจากบทเรียนนี้ ผู้เรียนจะมีความสามารถในการนำออสซิลโลสโคปไปประยุกต์ใช้ในการวัดและควบคุมระดับสัญญาณอนาล็อก รวมถึงการวิเคราะห์ลักษณะเฉพาะของสัญญาณต่างๆ ในงานจริงได้อย่างมีประสิทธิภาพสูงสุด ยิ่งไปกว่านั้น ความเข้าใจพื้นฐานเหล่านี้ยังเป็นรากฐานที่แข็งแกร่งในการต่อยอดการเรียนรู้และปฏิบัติการในสาขาวิชาวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์ งานวิจัยด้านระบบอิเล็กทรอนิกส์ และสาขาที่เกี่ยวข้องอื่น ๆ ในอนาคตได้อย่างเป็นประโยชน์อย่างยิ่ง

ศูนย์บรรณสารและการเรียนรู้ คณะเทคนิคศึกษาอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยพะเยา

แบบฝึกหัดบทที่ 6

1. อธิบายความแตกต่างที่สำคัญระหว่างหลักการทำงานของ แอนะล็อกสตอเรจ-ออสซิลโลสโคป และ ดิจิทัลสตอเรจ-ออสซิลโลสโคป (DSO) ในด้านการจัดเก็บและแสดงผลสัญญาณ พร้อมระบุข้อดีหลักของ DSO
2. จงอธิบายหลักการทำงานของ ดิจิทัลสตอเรจ-ออสซิลโลสโคป (DSO) โดยละเอียดตามบล็อกไดอะแกรม (ไม่ต้องวาดรูป) ตั้งแต่การรับสัญญาณจนถึงการแสดงผลบนจอภาพ
3. ดีเลย์สวีปออสซิลโลสโคป มีความสามารถพิเศษที่แตกต่างจากออสซิลโลสโคปแบบกวาดต่อเนื่องทั่วไปอย่างไร และประโยชน์จากความสามารถนี้คืออะไรในการวิเคราะห์สัญญาณ
4. หากคุณต้องการขยายเฉพาะส่วนของสัญญาณบนจอภาพของดีเลย์สวีปออสซิลโลสโคป คุณจะต้องดำเนินการอย่างไร และวงจรใดที่เกี่ยวข้องกับการเน้นความสว่างของภาพในตำแหน่งที่ต้องการ
5. ดิจิทัลรีดเอาต์-ออสซิลโลสโคป มีคุณสมบัติเด่นที่แตกต่างจากออสซิลโลสโคปประเภทอื่นอย่างไร และสามารถแสดงข้อมูลอะไรได้บ้างบนหน้าจอ
6. จงอธิบายหลักการทำงานของการ สุ่มตัวอย่างสัญญาณ (Sampling) ในดิจิทัลรีดเอาต์-ออสซิลโลสโคป เพื่อนำมาแสดงผลบนจอภาพ
7. ก่อนการใช้งานออสซิลโลสโคป มีข้อควรระวังใดบ้างที่ผู้ใช้งานควรคำนึงถึง เพื่อยืดอายุการใช้งานของเครื่องมือและหลอด CRT
8. อธิบายขั้นตอนการ ปรับเทียบโพรบ (Probe Calibration) ชนิดลดทอนสัญญาณ (เช่น x10) เพื่อให้มั่นใจว่าสัญญาณที่วัดได้ปราศจากความผิดเพี้ยน
9. หากคุณวัดสัญญาณด้วยออสซิลโลสโคปและตั้งค่า VOLTS/DIV. ไว้ที่ 0.2 V/DIV. โดยสัญญาณมีความสูงจากยอดถึงยอด 5 ช่องตาราง และใช้โพรบ x10 จงคำนวณหาค่าแรงดันพีคทูพีค(V_{P-P}) ที่แท้จริงของสัญญาณ
10. จงให้คำจำกัดความของ คาบเวลา (T) และ ความถี่ (f) พร้อมอธิบายความสัมพันธ์ระหว่างสองพารามิเตอร์นี้
11. ในการวัดคาบเวลาและความถี่ด้วยออสซิลโลสโคป หากคุณต้องการความแม่นยำสูงสุด ปุ่ม "Time Variable Control" ควรอยู่ในตำแหน่งใด และเพราะเหตุใดจึงเป็นเช่นนั้น
12. จงอธิบายหลักการและขั้นตอนการใช้ X-Y Mode เพื่อวัดมุมต่างเฟสของสัญญาณสองสัญญาณที่มีความถี่เท่ากัน และภาพที่ปรากฏบนจอภาพเรียกว่าอะไร
13. จากรูปคลื่นลิสซาจูส์แบบวงรีที่เกิดจากการเปรียบเทียบสัญญาณสองชุด หากระยะจากจุดศูนย์กลางถึงจุดที่วงรีตัดแกน Y เป็น 'a' และระยะจากจุดศูนย์กลางถึงจุดสูงสุดของวงรีในแนวตั้งเป็น 'b' จงเขียนสมการที่ใช้คำนวณหามุมต่างเฟส (θ) พร้อมอธิบายว่ารูปคลื่นลิสซาจูส์จะเป็นอย่างไรเมื่อมุมต่างเฟสเป็น 0 องศา และ 90 องศา
14. อธิบายหลักการของการวัดความถี่ด้วย รูปลิสซาจูส์ โดยใช้การเปรียบเทียบสัญญาณ และปัจจัยใดบ้างที่ใช้ในการคำนวณหาความถี่จากรูปคลื่นที่ปรากฏ
15. ระบุข้อจำกัดสำคัญสองประการในการหาค่าความถี่ด้วยรูปลิสซาจูส์ และอธิบายว่าข้อจำกัดเหล่านั้นส่งผลต่อความแม่นยำของการวัดอย่างไร

ศูนย์บรรณสารและการเรียนรู้ สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

16. ถ้ารูปคลื่นแรงดันไฟฟ้าบนออสซิลโลสโคปมีความสูงจากยอดถึงยอด (peak-to-peak) เท่ากับ 5.3 cm จงหาค่าแรงดันไฟฟ้าสูงสุด (peak voltage) ของสัญญาณ โดยกำหนดว่าใช้โพรบ x1 และตั้งสวิตช์ VOLTS/DIV ไว้ที่

(ก) 0.5 V/div

(ข) 2 V/div

(ค) 5 V/div

17. บนออสซิลโลสโคปปรากฏรูปคลื่นซ้ำกัน 5 คาบ (5 รูปคลื่น) ในระยะแนวนอนยาว 10 cm จงหาความถี่ของสัญญาณ (Frequency) ที่แสดงบนจอ
โดยใช้โพรบ x10 และตั้งสวิตช์ TIME/DIV ไว้ที่

(ก) 0.5 ms/div

(ข) 2 ms/div

(ค) 0.1 ms/div

(ง) 5 ms/div

18. จากรูปลิสซาจัวส์ที่ปรากฏบนออสซิลโลสโคป เมื่อลากเส้นแนวตั้ง จะสัมผัสยอดคลื่นได้ 3 จุด เมื่อลากเส้นแนวนอน จะสัมผัสยอดคลื่นได้ 5 จุด ถ้าความถี่ของสัญญาณในแนวนอน (f_h) เท่ากับ 360 Hz จงหาความถี่ของสัญญาณในแนวตั้ง (f_v) (ตอบ 216 Hz)

19. จากการวัดสัญญาณแรงดันไฟฟ้าบนออสซิลโลสโคปโดยใช้โพรบ x10 วัดคร่อมตัวต้านทานขนาด **4.7 kΩ** ได้ค่าความสูงของสัญญาณ **peak-to-peak = 4.6 cm** และตั้ง **VOLTS/DIV = 0.2 V/cm** ความยาวของสัญญาณ 1 ไซเกิลตามแนวนอนคือ **2 cm** จงหา

(ก) ค่ากระแสไฟฟ้าสูงสุด (ตอบ 0.979mA)

(ข) ความถี่ของกระแสไฟฟ้า (ตอบ f=500Hz)

(ค) สมการแรงดันไฟฟ้าชั่วขณะ (ตอบ v(t)=4.6sin (1000πt)

(ง) สมการกระแสไฟฟ้าชั่วขณะ (ตอบ i(t)≈0.979mA·sin(1000πt))

20. ออสซิลโลสโคปวัดแรงดันไฟฟ้าคร่อมตัวต้านทานได้ 18 Vpp และแอมมิเตอร์วัดกระแสได้ 2.4 mA จงหาค่าความต้านทานของตัวต้านทาน (ตอบ 2651.7 Ω)

21. รูปคลื่นในรูปเป็นรูปคลื่นที่ปรากฏบนจอออสซิสโลสโคป เมื่อสวิตช์ TIME / DIV ตั้งไว้ที่ 10 μS และสวิตช์ VOLTS/DIV ตั้งไว้ที่ 200 mV จงหาค่าความถี่ และขนาดพีคทูพีคของสัญญาณรูปคลื่นนี้ (ตอบ 25 KHz และ 600 mV)

22. จากการตั้งค่าออสซิลโลสโคปในโหมด X-Y พบว่าเกิดเป็นรูปลิสซาจัวส์ดังแสดงในรูป เมื่อลากเส้นแนวตั้งจะตัดยอดรูปคลื่นได้ 3 จุด และลากเส้นแนวนอนจะตัดยอดรูปคลื่นได้ 5 จุด หากความถี่ของสัญญาณที่ป้อนเข้าทางแกนนอน (X-axis) เท่ากับ 150 Hz จงหาความถี่ของสัญญาณที่ป้อนเข้าทางแกนตั้ง (Y-axis) (ตอบ f_v = 90 Hz)

ศูนย์บรรณสารและการเรียนรู้ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยพะเยา

บทที่ 7

การสอบเทียบมาตรฐานและระบบมาตรฐาน

หมายถึงกระบวนการที่เกี่ยวข้องกับการวัดและการเปรียบเทียบเครื่องมือวัดหรืออุปกรณ์วัดกับมาตรฐานอ้างอิง เพื่อให้แน่ใจว่าเครื่องมือนั้นให้ค่าการวัดที่ถูกต้อง แม่นยำ และสามารถเชื่อถือได้ ซึ่งเป็นส่วนหนึ่งของระบบมาตรฐานที่สนับสนุนคุณภาพในงานด้านวิศวกรรม วิทยาศาสตร์ และอุตสาหกรรม

7.1 ระบบมาตรฐานการวัด

7.1.1 ประวัติความเป็นมา

ระบบมาตรฐานการวัดมีจุดเริ่มต้นจากความจำเป็นในการมี "หน่วยวัดที่เป็นสากล" เพื่อให้การค้าขาย การผลิต และการวิจัยทางวิทยาศาสตร์ดำเนินไปอย่างถูกต้องและเที่ยงตรง ในอดีต หน่วยวัดมักใช้สิ่งรอบตัว เช่น ความยาวของแขน หรือฝ่ามือ ทำให้เกิดความคลาดเคลื่อนสูง

ต่อมา ในช่วงปลายศตวรรษที่ 18 ประเทศฝรั่งเศสได้ริเริ่มการสร้างระบบเมตริก (Metric System) โดยกำหนด เมตร (metre) เป็นหน่วยวัดความยาวมาตรฐาน โดยอ้างอิงจากส่วนหนึ่งของเส้นรอบวงโลก นับเป็นจุดเริ่มต้นของการจัดตั้งระบบวัดที่เป็นมาตรฐานสากล

พัฒนาการสำคัญ

- พ.ศ. 2333 (ค.ศ. 1793) ฝรั่งเศสกำหนดหน่วย "เมตร" และ "กิโลกรัม" เป็นมาตรฐาน
- พ.ศ. 2418 (ค.ศ. 1875) มีการลงนามใน อนุสัญญาเมตริก (Metric Convention) โดย 17 ประเทศ เพื่อสร้างความร่วมมือด้านการวัดระหว่างประเทศ
- พ.ศ. 2432 (ค.ศ. 1889) สร้างต้นแบบมาตรฐานกิโลกรัมและเมตรจากโลหะแพลตินัม-อิริเดียม เพื่อใช้อ้างอิง
- พ.ศ. 2503 (ค.ศ. 1960) กำเนิด ระบบ SI (Système International d'Unités) หรือ ระบบหน่วยสากล ซึ่งเป็นระบบมาตรฐานการวัดที่ใช้อย่างแพร่หลายในปัจจุบัน
- พ.ศ. 2562 (ค.ศ. 2019) มีการนิยามหน่วยวัดพื้นฐานใหม่ เช่น กิโลกรัม วินาที และเคลวิน ด้วยค่าคงที่ทางธรรมชาติ เพื่อเพิ่มความแม่นยำและตรวจสอบย้อนกลับได้ตลอดเวลา

7.1.2 มาตรฐานการวัด

มาตรฐานการวัด (Measurement Standards) คือ สิ่งอ้างอิงหรืออุปกรณ์ที่ใช้กำหนดค่าปริมาณทางกายภาพที่แน่นอน เพื่อใช้เป็นหลักในการสอบเทียบเครื่องมือวัดอื่น ๆ ให้ได้ผลที่ถูกต้องและเชื่อถือได้

ความสำคัญของมาตรฐานการวัด

- ทำให้การวัดมีความ แม่นยำ สม่ำเสมอ และตรวจสอบได้
- ช่วยให้สามารถ เปรียบเทียบผลการวัด จากห้องปฏิบัติการต่าง ๆ ทั่วโลกได้

ศูนย์บรรณสารและการเรียนรู้ สถาบันนวัตกรรมการเรียนรู้ มหาวิทยาลัยพะเยา

- เป็นพื้นฐานของระบบคุณภาพ เช่น ISO 9001, ISO/IEC 17025
- ส่งเสริมการค้า การผลิต และการวิจัย

ประเภทของมาตรฐานการวัด (ตามระดับ)

1. มาตรฐานระดับปฐมภูมิ (Primary Standard)
    - เป็นมาตรฐานสูงสุด มีความแม่นยำที่สุด
    - นิยามจากค่าคงที่ทางฟิสิกส์ เช่น ความเร็วแสง, ค่าพลังค์
    - มักอยู่ในความดูแลของสถาบันมาตรวิทยาแห่งชาติ เช่น NIST (สหรัฐฯ), NIMT (ไทย)
2. มาตรฐานระดับทุติยภูมิ (Secondary Standard)
    - ได้รับการสอบเทียบจากมาตรฐานระดับปฐมภูมิ
    - ใช้ในห้องปฏิบัติการสอบเทียบ เพื่อสอบเทียบเครื่องมืออื่น ๆ
3. มาตรฐานระดับถ่ายโอน (Working Standard)
    - ใช้ในการตรวจสอบหรือสอบเทียบเครื่องมือวัดประจำวัน
    - มีความแม่นยำน้อยกว่าระดับทุติยภูมิ

ตัวอย่างองค์กรที่เกี่ยวข้อง

- NIMT (Thailand) สถาบันมาตรวิทยาแห่งชาติของประเทศไทย
- BIPM องค์การระหว่างประเทศว่าด้วยมาตรฐาน (ดูแลระบบ SI)
- ISO องค์การระหว่างประเทศว่าด้วยการมาตรฐาน

7.1.3 การวัดและมาตรวิทยา

มาตรวิทยา (Metrology) คือวิทยาศาสตร์แห่งการวัด มีความสำคัญยิ่งขึ้นตามการเติบโตของวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี และการค้า มาตรวิทยาสอดแทรกอยู่ในชีวิตประจำวันของเรา ตั้งแต่ปริมาณยาสีฟัน นม แก๊ส น้ำมันรถ ไปจนถึงความดันลมยาง เช่น มาตรวิทยาเชิงพาณิชย์ (Legal Metrology) ของกระทรวงพาณิชย์ที่ควบคุมการชั่งตวงวัด

นอกจากนี้ มาตรวิทยาคุณภาพสินค้า ยังเข้ามาควบคุมคุณภาพผลิตภัณฑ์ต่างๆ เช่น หลอดไฟ พัดลม ถังแก๊ส หรือรถยนต์ โดยใช้ความรู้ทางวิทยาศาสตร์ในการผลิตและตรวจสอบคุณภาพอย่างมีประสิทธิภาพ สร้างความเชื่อมั่นแก่ผู้บริโภคในทุกขั้นตอนตั้งแต่การผลิตจนถึงมือผู้บริโภค

มาตรวิทยายังเป็นรากฐานสำคัญในการพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีทุกสาขา เพราะเป็นพื้นฐานของการทดลองและการพิสูจน์ความสามารถและคุณภาพของสิ่งต่างๆ ทำให้ข้อมูลการวัดเชื่อถือได้

ศูนย์บรรณสารและสื่อการเรียนรู้ สถาบันเทคโนโลยีการเรียนรู้ มหาวิทยาลัยพะเยา

ระบบมาตรวิทยาแห่งชาติ

ระบบมาตรวิทยาแห่งชาติ คือโครงสร้างที่จัดตั้งขึ้นเพื่อบริหาร จัดการ และพัฒนา การวัดอย่างถูกต้องและเชื่อถือได้ ภายในประเทศ โดยมีจุดมุ่งหมายเพื่อให้สอดคล้องกับมาตรฐานสากล รองรับความต้องการของภาคอุตสาหกรรม วิทยาศาสตร์ การค้า และสังคมโดยรวม ซึ่งประกอบด้วยหน่วยงานกลาง ห้องปฏิบัติการสอบเทียบ องค์กรรับรอง และระบบการควบคุมคุณภาพ

แนวทางการพัฒนาแบ่งเป็น 2 ส่วนหลักคือ

1. การพัฒนาด้านโครงสร้างพื้นฐานทางมาตรวิทยา เช่น การจัดตั้งห้องปฏิบัติการมาตรฐาน การรับรองระบบสอบเทียบ และการเชื่อมโยงกับระบบมาตรฐานสากล
2. การพัฒนาศักยภาพบุคลากรและการส่งเสริมความรู้ด้านมาตรวิทยา เพื่อสร้างความเข้าใจและการนำไปใช้ในภาคอุตสาหกรรม วิทยาศาสตร์ และภาคบริการอย่างมีประสิทธิภาพ

การพัฒนาระบบมาตรวิทยาอย่างเป็นระบบทั้งในแนวดิ่งและแนวกว้างนี้ จะช่วยสร้างความเป็นธรรมในการค้าขาย ความเชื่อมั่นและ การใช้สินค้าและบริการ รวมถึงเป็นฐานสำคัญในการพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีของประเทศต่อไป

7.1.4 การกระจายความเป็นมาตรฐานสู่ผู้ใช้งาน

การกระจายความเป็นมาตรฐานหมายถึงการนำระบบการวัดที่มีความแม่นยำและเชื่อถือได้ ซึ่งพัฒนาขึ้นโดยหน่วยงานมาตรวิทยา ไปสู่การใช้งานในระดับต่างๆ ทั้งภาครัฐ ภาคเอกชน และภาคประชาชน จุดมุ่งหมายเพื่อให้ผู้ใช้งานสามารถอ้างอิงผลการวัดได้อย่างถูกต้องและสอดคล้องกับมาตรฐานสากล โดยมีกลไกสนับสนุน เช่น

- การให้บริการสอบเทียบเครื่องมือวัด
- การถ่ายทอดค่ามาตรฐานสู่ห้องปฏิบัติการท้องถิ่น
- การจัดฝึกอบรมและเผยแพร่ความรู้
- การรับรองความสามารถห้องปฏิบัติการและบุคลากร

การดำเนินการเหล่านี้ช่วยให้การวัดในประเทศมีความน่าเชื่อถือ และรองรับการแข่งขันในระดับสากล

บทบาทของ BIPM และระบบหน่วย SI

BIPM (Bureau International des Poids et Mesures) หรือ สำนักงานชั่งตวงวัดระหว่างประเทศ มีบทบาทสำคัญในการกำหนด พัฒนา และรักษาความเป็นสากลของระบบหน่วยวัด โดยเฉพาะระบบหน่วยสากล (SI: Système International d’Unités) ซึ่งเป็นระบบหน่วยที่ได้รับการยอมรับและใช้อย่างแพร่หลายทั่วโลก

ศูนย์บรรณสารและการเรียนรู้ สถาบันนวัตกรรมการเรียนรู้ มหาวิทยาลัยพะเยา

บทบาทหลักของ BIPM ได้แก่

1. กำหนดนิยามของหน่วยฐานในระบบ SI ให้ทันสมัยและสอดคล้องกับหลักฟิสิกส์
2. ส่งเสริมการเปรียบเทียบค่ามาตรฐานระหว่างประเทศ เพื่อความสอดคล้องของการวัด
3. ประสานงานความร่วมมือระหว่างห้องปฏิบัติการมาตรวิทยาแห่งชาติของแต่ละประเทศ
4. เผยแพร่ข้อมูลและแนวทางที่เกี่ยวข้องกับมาตรวิทยาและการวัดสากล

ระบบหน่วย SI เป็นระบบหน่วยมาตรฐานที่มีโครงสร้างชัดเจน ครอบคลุมทุกมิติของการวัด เช่น เมตร (m) สำหรับความยาว, วินาที (s) สำหรับเวลา, และกิโลกรัม (kg) สำหรับมวล โดยเน้นการนิยามหน่วยบนพื้นฐานของค่าคงที่ทางธรรมชาติ เพื่อให้แม่นยำและไม่เปลี่ยนแปลงตามกาลเวลา

การทำงานร่วมกันระหว่าง BIPM และประเทศสมาชิกช่วยให้การวัดในระดับสากลมีความเชื่อมโยง เชื่อถือได้ และรองรับการพัฒนาเทคโนโลยี วิทยาศาสตร์ และการค้าอย่างยั่งยืน

มาตรฐานแห่งชาติและการสร้างระบบมาตรวิทยาในประเทศ

มาตรฐานแห่งชาติ คือค่ามาตรฐานอ้างอิงสูงสุดของประเทศในแต่ละด้านของการวัด เช่น มาตรฐานความยาว มวล เวลา หรืออุณหภูมิ ซึ่งมีความแม่นยำสูงและสามารถเทียบเคียงกับมาตรฐานสากล เพื่อให้ผลการวัดภายในประเทศมีความน่าเชื่อถือและสามารถยอมรับได้ในระดับนานาชาติ

การสร้างระบบมาตรวิทยาในประเทศ เป็นการจัดตั้งโครงสร้างพื้นฐานที่เกี่ยวข้องกับการวัดให้ครอบคลุมและมีประสิทธิภาพ โดยประกอบด้วยองค์ประกอบหลัก เช่น

- องค์กรกลางด้านมาตรวิทยา เช่น สถาบันมาตรวิทยาแห่งชาติ ซึ่งรับผิดชอบพัฒนาและรักษามาตรฐานแห่งชาติ
- ห้องปฏิบัติการสอบเทียบ/ทดสอบ ที่ทำหน้าที่ถ่ายทอดค่ามาตรฐานไปสู่ภาคอุตสาหกรรมและผู้ใช้งาน
- ระบบรับรองคุณภาพ เช่น การรับรองห้องปฏิบัติการ (ISO/IEC 17025) และการประเมินความสามารถบุคลากร
- กลไกการเผยแพร่ความรู้และฝึกอบรม เพื่อสร้างความเข้าใจในการใช้มาตรฐานและการวัดที่ถูกต้อง

ระบบมาตรวิทยาที่เข้มแข็งช่วยสนับสนุนภาคเศรษฐกิจ วิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี และความปลอดภัยของผู้บริโภค อีกทั้งยังส่งเสริมการค้าและการแข่งขันในระดับสากล

ศูนย์บรรณสารและการเรียนรู้ สถาบันนวัตกรรมการเรียนรู้ มหาวิทยาลัยพะเยา

7.2 การสอบเทียบมาตรฐาน

7.2.1 ลักษณะทั่วไปของการสอบเทียบมาตรฐาน

การสอบเทียบ (Calibration) เป็นกระบวนการเปรียบเทียบค่าที่ได้จากเครื่องมือวัดกับค่ามาตรฐานอ้างอิงที่เชื่อถือได้ เพื่อระบุความคลาดเคลื่อนของเครื่องมือ และปรับปรุงความถูกต้องในการวัด

ลักษณะทั่วไปของการสอบเทียบมาตรฐานมีดังนี้

1. มีการอ้างอิงกับมาตรฐานที่สูงกว่า เครื่องมือที่นำมาสอบเทียบจะถูกเปรียบเทียบกับค่าที่ได้จากมาตรฐานอ้างอิง ซึ่งอาจเป็นมาตรฐานรองหรือมาตรฐานแห่งชาติ
2. ดำเนินการในสภาวะควบคุม การสอบเทียบต้องทำในห้องปฏิบัติการที่ควบคุมสภาพแวดล้อม เช่น อุณหภูมิ ความชื้น และแรงสั่นสะเทือน เพื่อไม่ให้ส่งผลต่อผลการวัด
3. ต้องมีการบันทึกผลอย่างเป็นระบบ ผลการสอบเทียบจะถูกจัดทำเป็นเอกสาร เช่น ใบรับรองการสอบเทียบ (Calibration Certificate) ที่แสดงค่าความคลาดเคลื่อน และความไม่แน่นอนของการวัด (Uncertainty)
4. มีระยะเวลาการสอบเทียบที่กำหนดชัดเจน เครื่องมือวัดจะต้องได้รับการสอบเทียบตามรอบระยะเวลาที่กำหนด เพื่อรักษาความถูกต้องในการใช้งานอย่างต่อเนื่อง
5. สอดคล้องกับมาตรฐานสากล กระบวนการสอบเทียบควรดำเนินการภายใต้แนวทางตามมาตรฐาน เช่น ISO/IEC 17025 เพื่อรับรองความน่าเชื่อถือของผลการสอบเทียบ

7.2.2 วิธีสอบเทียบมาตรฐานเครื่องมือวัดแบบเปรียบเทียบ

1) กระบวนการปรับเทียบมาตรฐานโวลต์มิเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง (DC Voltmeter Calibration)

การปรับเทียบโวลต์มิเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง เป็นกระบวนการเปรียบเทียบค่าที่แสดงบนโวลต์มิเตอร์กับค่ามาตรฐานแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงที่ทราบค่าแน่นอน เพื่อให้มั่นใจว่าโวลต์มิเตอร์แสดงค่าถูกต้องและแม่นยำ

ขั้นตอนกระบวนการปรับเทียบมีดังนี้

1. เตรียมเครื่องมือและอุปกรณ์
    - โวลต์มิเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงที่ต้องการสอบเทียบ
    - แหล่งแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงมาตรฐาน (Standard DC Voltage Source) ที่มีความแม่นยำสูง
    - อุปกรณ์เสริม เช่น สายวัดและขั้วต่อที่มีคุณภาพดี
2. ตั้งค่าการวัดเบื้องต้น
    - ตรวจสอบสภาพของโวลต์มิเตอร์และอุปกรณ์ทั้งหมด
    - เชื่อมต่อโวลต์มิเตอร์กับแหล่งแรงดันไฟฟ้าอย่างถูกต้อง

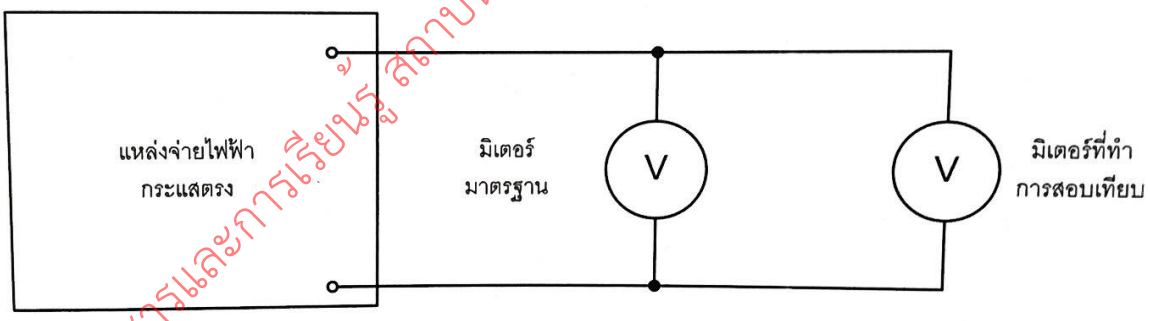
ศูนย์วิทยทรัพยากร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

- ตั้งค่าช่วงการวัด (Range) ที่เหมาะสมกับแรงดันที่ใช้ทดสอบ

3. ป้อนแรงดันไฟฟ้าตัวอย่าง
   - ป้อนแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงค่าต่าง ๆ จากแหล่งมาตรฐาน เช่น 0 V, 1 V, 5 V, 10 V เป็นต้น
   - รอให้ค่าอ่านบนโวลต์มิเตอร์นิ่งก่อนบันทึกผล
4. บันทึกผลและเปรียบเทียบค่า
   - จดค่าที่แสดงบนโวลต์มิเตอร์และค่าแรงดันจริงจากแหล่งมาตรฐาน
   - คำนวณค่าความคลาดเคลื่อนระหว่างค่าที่อ่านได้กับค่ามาตรฐาน
5. ปรับแก้โวลต์มิเตอร์ (ถ้าจำเป็น)
   - หากพบความคลาดเคลื่อนเกินเกณฑ์ที่กำหนด ให้ปรับตั้งโวลต์มิเตอร์ตามคู่มือผู้ผลิต
   - ทำซ้ำขั้นตอนป้อนแรงดันและบันทึกผลจนได้ค่าที่แม่นยำตามมาตรฐาน
6. จัดทำรายงานการสอบเทียบ
   - รวบรวมข้อมูลและสรุปผลการปรับเทียบเป็นเอกสารรับรอง (Calibration Certificate)
   - ระบุค่าความคลาดเคลื่อนและความไม่แน่นอนของการวัด (Measurement Uncertainty)

ขั้นตอนการสอบเทียบ

ดังแสดงในรูปที่ 7.1 แรงดันไฟฟ้าจะถูกจ่ายจากแหล่งจ่ายเดียวกันไปยังทั้งมิเตอร์มาตรฐานและมิเตอร์ที่ต้องการสอบเทียบ จากนั้นจะปรับแรงดันไฟฟ้าทีละขั้น และบันทึกค่าที่อ่านได้จากมิเตอร์ทั้งสอง



รูปที่ 7.1 วงจรสอบเทียบวิธีการเปรียบเทียบโวลต์มิเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง

ดูตัวอย่างในตารางที่ 7.1 การเปรียบเทียบค่าที่ได้จะช่วยยืนยันความถูกต้องและความน่าเชื่อถือของโวลต์มิเตอร์ที่ต้องการสอบเทียบ ทำให้มั่นใจว่าให้ค่าที่สอดคล้องกับมาตรฐานอ้างอิงที่มีความแม่นยำสูง และสามารถนำไปใช้เป็นแหล่งอ้างอิงในการสอบเทียบเครื่องมือวัดไฟฟ้ากระแสตรงอื่นๆ ได้

ศูนย์บรรณสารและการเรียนรู้ สถาบันนวัตกรรมการเรียนรู้ มหาวิทยาลัยพะเยา

ตารางที่ 7.1 ค่าที่ได้จากการวัดในรูปที่ 7.1

ค่าที่ได้จากมิเตอร์มาตรฐาน	ค่าที่ได้จากมิเตอร์ที่สอบเทียบ	ค่าแก้
100	102.6	+2.6
90	92.7	+2.7
80	82.5	+2.5
70	72.5	+2.0
60	62	+2.5
50	51.5	+1.5
40	41.5	+1.5
30	31.5	+1.5
20	19.7	-1.3
10	9.5	-0.5
0	0	0

ในกรณีของมิเตอร์ดิจิทัล การปรับแก้อาจทำได้โดยการ ปรับตัวต้านทานภายในวงจร เมื่อปรับแล้ว เครื่องมือจะสามารถแสดงค่าที่ใกล้เคียงกับมาตรฐาน หรืออยู่ในขอบเขตของคุณลักษณะทางเทคนิคที่ผู้ผลิตกำหนดไว้ การปรับแก้เครื่องมือวัดให้ถูกต้องและน่าเชื่อถือเป็นสิ่งสำคัญ เพื่อให้เครื่องมือสามารถให้ผลการวัดที่แม่นยำในการใช้งานปกติดังรูปที่ 7.2



รูปที่ 7.2 การปรับแต่งมิเตอร์หลังจากการสอบเทียบมาตรฐานแล้ว

ศูนย์บรรณสารและการเรียนรู้ สถาบันนวัตกรรมการเรียนรู้ มหาวิทยาลัยพะเยา

การสอบเทียบมาตรฐานชนิดเข็มบ่ายเบน (Deflection-Type Standard Calibration)

การสอบเทียบมาตรฐานชนิดเข็มบ่ายเบน หมายถึงกระบวนการสอบเทียบเครื่องมือวัดที่แสดงผลด้วยการเคลื่อนที่ของเข็มชี้ ซึ่งวัดค่าจากการเบี่ยงเบนของเข็มตามแรงที่มากระทำ เช่น โวลต์มิเตอร์แอนะล็อก หรือแอมป์มิเตอร์แบบเข็ม

ขั้นตอนหลักของการสอบเทียบ ได้แก่

1. **เตรียมเครื่องมือและอุปกรณ์**
   - เครื่องมือวัดชนิดเข็มบ่ายเบนที่ต้องการสอบเทียบ
   - แหล่งสัญญาณมาตรฐาน เช่น แหล่งแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง หรือกระแสไฟฟ้ากระแสตรง ที่มีความแม่นยำสูง
   - อุปกรณ์เสริม เช่น ขั้วต่อและสายวัดที่มีคุณภาพดี
2. **ตั้งค่าและตรวจสอบเครื่องมือ**
   - ตรวจสอบความสมบูรณ์ของเครื่องมือ ว่ามีความเสียหายหรือไม่
   - เชื่อมต่อเครื่องมือกับแหล่งสัญญาณอย่างถูกต้อง
   - ตั้งศูนย์เข็มให้ชี้ที่ตำแหน่งศูนย์ (Zero adjustment) หากจำเป็น
3. **ป้อนสัญญาณมาตรฐาน**
   - ป้อนแรงดันหรือกระแสในค่าที่กำหนดทีละจุด เช่น 0%, 25%, 50%, 75%, และ 100% ของช่วงการวัด
   - รอให้เข็มนิ่งและอ่านค่าตำแหน่งเข็มในแต่ละจุด
4. **บันทึกค่าและเปรียบเทียบ**
   - บันทึกค่าที่อ่านจากเข็มและค่าที่ป้อนจากแหล่งมาตรฐาน
   - คำนวณค่าความคลาดเคลื่อนและตรวจสอบความแม่นยำ
5. **ปรับตั้งเครื่องมือ**
   - หากพบความคลาดเคลื่อนเกินเกณฑ์ ให้ปรับตั้งการทำงานของเครื่องมือ ตามคู่มือผู้ผลิต
   - ทำซ้ำขั้นตอนจนเครื่องมือแสดงค่าที่แม่นยำตามมาตรฐาน
6. **จัดทำรายงานการสอบเทียบ**
   - สรุปผลและจัดทำใบรับรองการสอบเทียบ ระบุค่าความคลาดเคลื่อนและความไม่แน่นอนของการวัด

ศูนย์บรรณสารและการเรียนรู้ สถาบันมาตรวิทยาแห่งชาติ กรมการเรียนรู้ มหาวิทยาลัยพะเยา

การสอบเทียบแอมมิเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง (DC Ammeter Calibration)

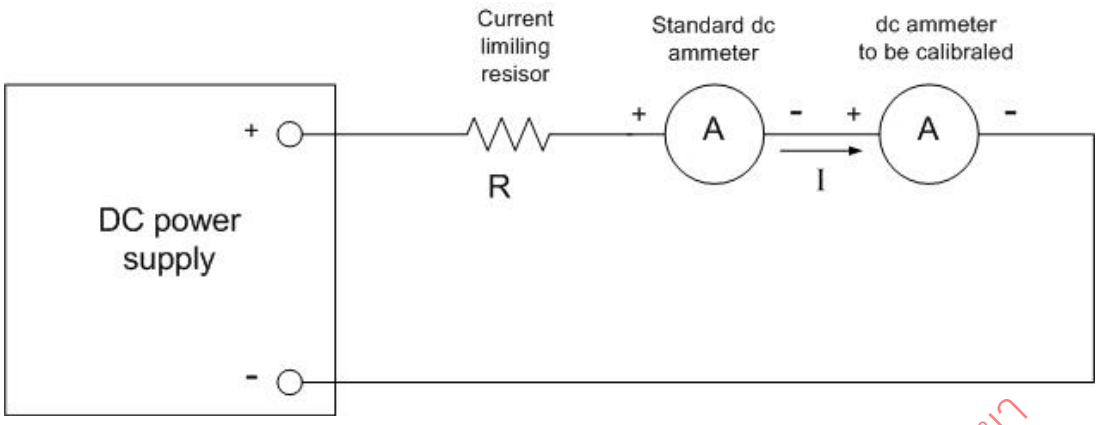
การสอบเทียบแอมมิเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง คือกระบวนการตรวจสอบและปรับเทียบค่ากระแสไฟฟ้าที่แอมมิเตอร์แสดงให้สอดคล้องกับค่ากระแสจริงที่ได้จากแหล่งกระแสไฟฟ้ามาตรฐาน เพื่อให้แน่ใจว่าแอมมิเตอร์มีความแม่นยำและเชื่อถือได้

ขั้นตอนการสอบเทียบมีดังนี้

1. **เตรียมอุปกรณ์**
   - แอมมิเตอร์ DC ที่ต้องการสอบเทียบ
   - แหล่งกระแสไฟฟ้ากระแสตรงมาตรฐานที่มีความแม่นยำสูง
   - อุปกรณ์เสริม เช่น สายวัดและขั้วต่อที่มีคุณภาพดี
2. **ตรวจสอบเบื้องต้น**
   - ตรวจสอบสภาพแอมมิเตอร์ให้พร้อมใช้งาน เช่น ไม่มีความเสียหาย หรือเข็มบ่ายเบนผิดปกติ
   - เชื่อมต่อแอมมิเตอร์เข้ากับวงจรสอบเทียบอย่างถูกต้องตามขั้ว
3. **ตั้งค่าช่วงการวัด**
   - เลือกช่วงการวัด (Range) ที่เหมาะสมกับค่ากระแสที่จะทดสอบ
4. **ป้อนกระแสไฟฟ้าตัวอย่าง**
   - ป้อนกระแสไฟฟ้ากระแสตรงที่มีค่าต่างๆ จากแหล่งมาตรฐาน เช่น 0%, 25%, 50%, 75%, และ 100% ของช่วงการวัด
   - รอให้ค่าอ่านบนแอมมิเตอร์นิ่งก่อนจดบันทึก
5. **บันทึกและเปรียบเทียบค่า**
   - จดค่ากระแสที่แสดงบนแอมมิเตอร์และค่ากระแสจริงจากแหล่งมาตรฐาน
   - คำนวณค่าความคลาดเคลื่อนระหว่างค่าที่วัดได้กับค่าที่ป้อน
6. **ปรับตั้งแอมมิเตอร์ (ถ้าจำเป็น)**
   - หากค่าที่วัดได้คลาดเคลื่อนเกินเกณฑ์ที่กำหนด ให้ปรับตั้งแอมมิเตอร์ตามคู่มือผู้ผลิต
   - ทำซ้ำขั้นตอนการป้อนกระแสและบันทึกจนได้ค่าที่แม่นยำ
7. **จัดทำรายงานการสอบเทียบ**
   - จัดทำใบรับรองการสอบเทียบ (Calibration Certificate) ที่ระบุผลการทดสอบ ความคลาดเคลื่อน และความไม่แน่นอนของการวัด

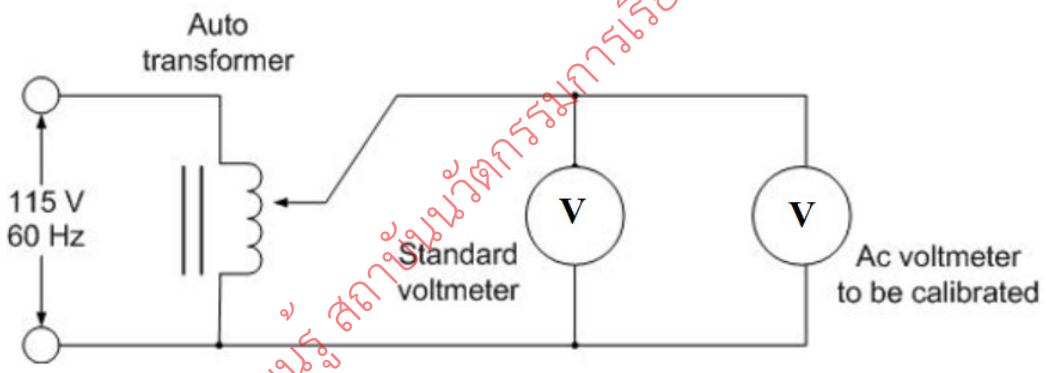
ดังรูปที่ 7.3 โดยมีเป้าหมายเพื่อให้แอมมิเตอร์สามารถให้ผลการวัดที่ถูกต้องและน่าเชื่อถือ ทั้งในการใช้งานปกติและการสอบเทียบในอนาคต

ศูนย์บรรณสารและการเรียนรู้ สถาบันพัฒนาการเรียนรู้ มหาวิทยาลัยพะเยา

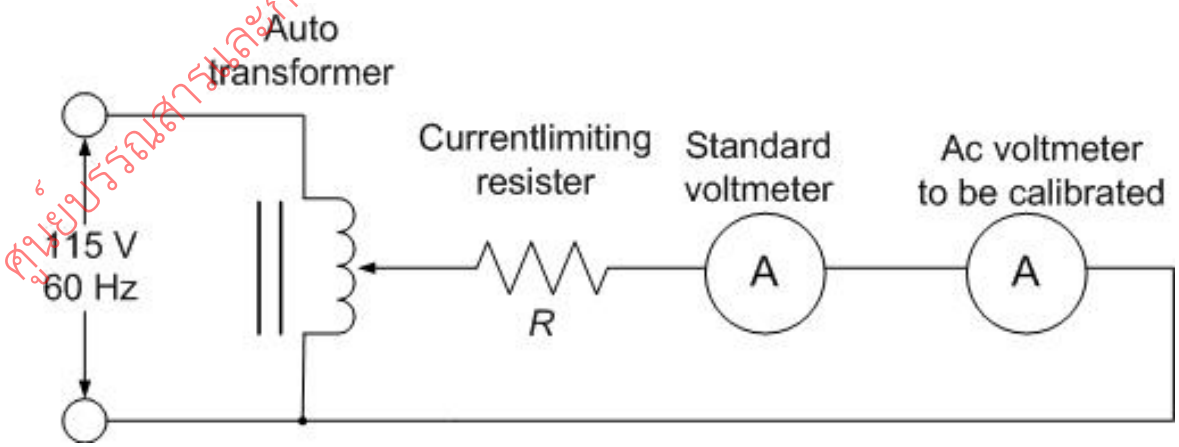


รูปที่ 7.3 วงจรสอบเทียบมาตรฐานแอมมิเตอร์

การสอบเทียบเครื่องวัดไฟฟ้ากระแสสลับจะใช้วงจรตามที่แสดงในรูปที่ 7.4 และรูปที่ 7.5 เพื่อให้มั่นใจว่าเครื่องมือวัดเหล่านี้ให้ค่าที่ถูกต้องและน่าเชื่อถือ



รูปที่ 7.4 การสอบเทียบมาตรฐานโวลต์มิเตอร์กระแสสลับ



รูปที่ 7.5 การสอบเทียบมาตรฐานแอมมิเตอร์กระแสสลับ

ศูนย์บรรณสารและการเรียนรู้ สถาบันนวัตกรรมการเรียนรู้ มหาวิทยาลัยพะเยา

4) การสอบเทียบโอห์มมิเตอร์มาตรฐาน (Standard Ohmmeter Calibration)

การสอบเทียบโอห์มมิเตอร์เป็นกระบวนการตรวจสอบความถูกต้องของเครื่องมือวัดค่าความต้านทาน โดยเปรียบเทียบค่าที่แสดงบนโอห์มมิเตอร์กับค่าความต้านทานมาตรฐานที่ทราบค่าแน่นอน เพื่อให้มั่นใจว่าโอห์มมิเตอร์แสดงผลอย่างแม่นยำและน่าเชื่อถือ

ขั้นตอนการสอบเทียบโอห์มมิเตอร์มีดังนี้

1. เตรียมอุปกรณ์
    - โอห์มมิเตอร์ที่ต้องการสอบเทียบ
    - ตัวต้านทานมาตรฐาน (Standard Resistors) ที่มีค่าความต้านทานแน่นอนและความแม่นยำสูง
    - อุปกรณ์เสริม เช่น สายวัดคุณภาพดีและขั้วต่อ
2. ตรวจสอบเบื้องต้น
    - ตรวจสอบสภาพโอห์มมิเตอร์และอุปกรณ์ ว่าไม่มีความเสียหายหรือความผิดปกติ
    - ตั้งค่าโอห์มมิเตอร์ให้อยู่ในช่วงวัดที่เหมาะสมกับค่าความต้านทานที่ใช้ในการสอบเทียบ
3. การทดสอบค่าความต้านทาน
    - ต่อโอห์มมิเตอร์เข้ากับตัวต้านทานมาตรฐานทีละค่า เช่น 10 Ω, 100 Ω, 1 kΩ, 10 kΩ เป็นต้น
    - อ่านค่าที่แสดงบนโอห์มมิเตอร์และจดบันทึก
4. เปรียบเทียบและคำนวณความคลาดเคลื่อน
    - เปรียบเทียบค่าที่อ่านได้กับค่าความต้านทานมาตรฐาน
    - คำนวณเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อน (Error) และตรวจสอบว่าค่าความคลาดเคลื่อนอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้หรือไม่
5. ปรับตั้งโอห์มมิเตอร์ (ถ้าจำเป็น)
    - หากความคลาดเคลื่อนเกินเกณฑ์ ให้ทำการปรับตั้งตามคู่มือผู้ผลิต
    - ทดสอบซ้ำจนได้ค่าที่แม่นยำตามมาตรฐาน
6. จัดทำรายงานการสอบเทียบ
    - สรุปผลการสอบเทียบ พร้อมระบุค่าความคลาดเคลื่อนและความไม่แน่นอนของการวัดในใบรับรองการสอบเทียบ

ศูนย์บรรณสารและการเรียนรู้ สำนักวิทยบริการและการเรียนรู้ มหาวิทยาลัยแม่โจ้

5) การสอบเทียบวัตต์มิเตอร์ (Wattmeter Calibration)

การสอบเทียบวัตต์มิเตอร์เป็นกระบวนการตรวจสอบความแม่นยำของเครื่องมือวัดกำลังไฟฟ้า โดยเปรียบเทียบค่ากำลังที่วัตต์มิเตอร์แสดงกับค่ากำลังไฟฟ้าจริงที่ได้จากแหล่งกำลังมาตรฐาน เพื่อให้มั่นใจว่าวัตต์มิเตอร์มีความถูกต้องและเชื่อถือได้

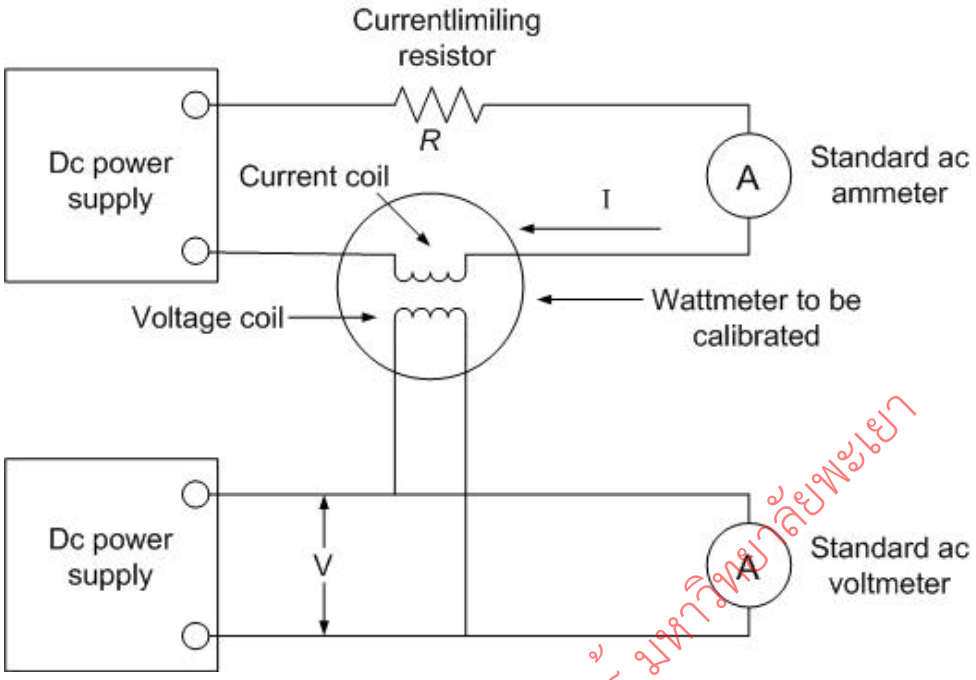
ขั้นตอนการสอบเทียบวัตต์มิเตอร์มีดังนี้

1. เตรียมอุปกรณ์
    - วัตต์มิเตอร์ที่ต้องการสอบเทียบ
    - แหล่งกำลังไฟฟ้ามาตรฐานที่สามารถควบคุมและวัดกำลังไฟฟ้าได้แม่นยำ
    - อุปกรณ์เสริม เช่น ตัวต้านทานโหลดที่มีค่าและกำลังไฟฟ้ารับได้เหมาะสม สายวัด และขั้วต่อคุณภาพดี
2. ตรวจสอบและตั้งค่าเครื่องมือ
    - ตรวจสอบวัตต์มิเตอร์และอุปกรณ์ให้พร้อมใช้งาน
    - เชื่อมต่อวงจรทดสอบอย่างถูกต้อง
    - ตั้งช่วงการวัดและค่าพื้นฐานที่ต้องการทดสอบ
3. ป้อนภาระและสัญญาณทดสอบ
    - ป้อนแรงดันและกระแสไฟฟ้าในค่าต่าง ๆ ตามช่วงที่ต้องการสอบเทียบ
    - รอให้ค่าอ่านนิ่งก่อนจดบันทึก
4. บันทึกค่าและเปรียบเทียบ
    - บันทึกค่ากำลังไฟฟ้าที่วัตต์มิเตอร์แสดงและค่ากำลังไฟฟ้าจากแหล่งมาตรฐาน
    - คำนวณความคลาดเคลื่อนระหว่างค่าที่วัดได้กับค่าที่ควรเป็น
5. ปรับตั้งเครื่องมือ
    - หากค่าที่ได้มีความคลาดเคลื่อนเกินเกณฑ์ ให้ปรับตั้งวัตต์มิเตอร์ตามคู่มือผู้ผลิต
    - ทดสอบซ้ำจนได้ค่าที่แม่นยำ
6. จัดทำรายงานการสอบเทียบ
    - สรุปผลและจัดทำใบรับรองการสอบเทียบ ระบุความคลาดเคลื่อนและความไม่แน่นอนของการวัด

คำนวณค่ากำลังได้จากสูตรและแสดงดังรูปที่ 7.6

$$\text{กำลังไฟฟ้า} = \text{กระแส} \times \text{แรงดัน} \tag{7.1}$$

ศูนย์บรรณสารและสื่อการเรียนรู้ สถาบันนวัตกรรมการเรียนรู้ มหาวิทยาลัยพะเยา



รูปที่ 7.6 วงจรเทียบเคียงวัตต์มิเตอร์มาตรฐาน

7.2.3 วิธีการสอบเทียบมาตรฐานแบบโพเทนซิโอมิเตอร์

การสอบเทียบมาตรฐานแบบโพเทนซิโอมิเตอร์เป็นวิธีที่ใช้โพเทนซิโอมิเตอร์เป็นเครื่องมือหลักในการแบ่งและปรับแรงดันไฟฟ้าให้มีค่าที่ต้องการอย่างแม่นยำ เพื่อใช้เป็นมาตรฐานอ้างอิงในการสอบเทียบเครื่องมือวัดต่างๆ

ขั้นตอนวิธีการสอบเทียบแบบโพเทนซิโอมิเตอร์มีดังนี้

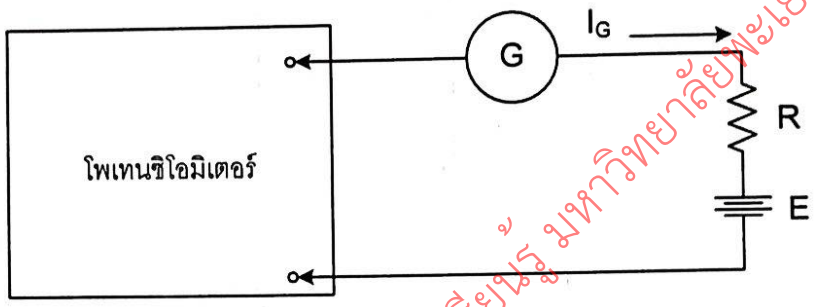
1. เตรียมอุปกรณ์
    - โพเทนซิโอมิเตอร์ที่มีความแม่นยำสูง
    - แหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้าที่เสถียร
    - เครื่องมือวัดที่ต้องการสอบเทียบ
    - อุปกรณ์เสริม เช่น สายวัดและสวิตช์เลือกสัดส่วน
2. ตั้งค่าโพเทนซิโอมิเตอร์และแหล่งจ่ายไฟ
    - เชื่อมต่อโพเทนซิโอมิเตอร์เข้ากับแหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้า
    - ปรับค่าความต้านทานของโพเทนซิโอมิเตอร์เพื่อแบ่งแรงดันให้เหมาะสม
3. เลือกสัดส่วนแรงดันผ่านสวิตช์
    - ใช้สวิตช์เลือกสัดส่วนแบ่งแรงดันที่โพเทนซิโอมิเตอร์ เพื่อกำหนดแรงดันไฟฟ้าที่จะป้อนให้กับเครื่องมือวัด
    - วิธีนี้ช่วยให้สามารถปรับแรงดันได้ละเอียดและแม่นยำ
4. เปรียบเทียบและปรับเครื่องมือวัด
    - ป้อนแรงดันไฟฟ้าจากโพเทนซิโอมิเตอร์เข้าสู่เครื่องมือวัด

ศูนย์บรรณสารและการเรียนรู้ สถาบันเทคโนโลยีการเรียนรู้ มหาวิทยาลัยพะเยา

- อ่านค่าที่เครื่องมือวัดแสดงและเปรียบเทียบกับค่าที่ตั้งไว้จากโพเทนซิโอมิเตอร์
- ปรับตั้งเครื่องมือวัดหากจำเป็นเพื่อให้แสดงค่าที่ถูกต้อง

5. บันทึกผลและจัดทำรายงาน
   - บันทึกค่าที่วัดได้ในแต่ละช่วงแรงดัน
   - จัดทำรายงานการสอบเทียบ พร้อมระบุความคลาดเคลื่อนและความไม่แน่นอน

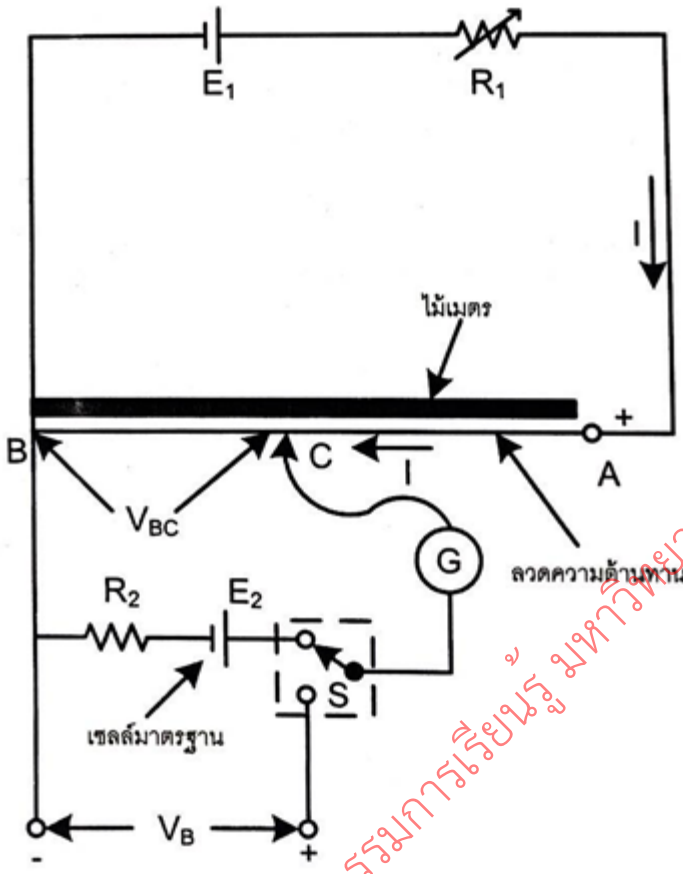
หลักการนี้ทำให้โพเทนซิโอมิเตอร์เป็นเครื่องมือสำคัญสำหรับการวัดแรงดันที่ไม่ทราบค่าในระบบไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ ดังรูปที่ 7.7



รูปที่ 7.7 การใช้โพเทนซิโอมิเตอร์มาตรฐาน

เพื่อวัดค่าแรงดันไฟฟ้า $I_Q = 0$ แสดงค่าแรงดันของโพเทนซิโอมิเตอร์ที่มีค่าเท่ากับแรงดันที่ต้องการวัด วงจรโพเทนซิโอมิเตอร์พื้นฐาน รูปที่ 7.8 ออกแบบมาเพื่อวัดค่าความต้านทานหรือการเปลี่ยนแปลงของวัตต์ โดยมีส่วนประกอบหลักดังนี้ แบตเตอรี่ E_1 ทำหน้าที่เป็นแหล่งจ่ายกระแส (I) เข้าสู่วงจร, อุปกรณ์ R_1 ใช้สำหรับปรับค่าความต้านทานเพื่อควบคุมกระแสที่ไหลผ่าน, และ ลวดความต้านทาน (AB) ซึ่งเป็นส่วนสำคัญที่มีความต้านทานต่อหน่วยความยาวคงที่และวางขนานกับหน่วยความยาวที่วัดได้ การปรับ R_1 ส่งผลต่อกระแสในวงจร ทำให้สามารถวัดค่าความแปรผันต่างๆ ได้อย่างแม่นยำ

ศูนย์บรรณสารและการเรียนรู้ สถาบันวิทยบริการ มหาวิทยาลัยพะเยา



รูปที่ 7.8 วงจรโพเทนซิโอมิเตอร์

กัลวานอมิเตอร์ (G) ถูกต่อเข้ากับลวดความต้านทานผ่านจุด C ที่เลื่อนได้ และปลายอีกด้านเชื่อมต่อกับสวิตช์ S_1 เพื่อเลือกวัดระหว่าง เซลล์มาตรฐาน (E_2) หรือ แรงดันที่ต้องการทดสอบ (V_x)

ก่อนใช้งาน ต้อง ปรับเทียบ โพเทนซิโอมิเตอร์ ขั้นตอนนี้ทำโดยการเลือกเซลล์มาตรฐานด้วยสวิตช์ S_1 จากนั้นเลื่อนจุด C เพื่อหาตำแหน่งที่กัลวานอมิเตอร์ไม่แสดงกระแส (สมดุล) ขณะเดียวกันก็ปรับ R_1 จนกระทั่งแรงดันที่ตกคร่อมลวดความต้านทาน (V_o) เท่ากับแรงดันของเซลล์มาตรฐาน

ตัวอย่างที่ 7.1 การคำนวณแรงดันตกคร่อมต่อหน่วยความยาวและการวัดแรงดันที่ไม่ทราบค่า ในตัวอย่างนี้ ใช้เซลล์มาตรฐานที่มีค่าแรงดัน 1.0190 โวลต์ และมีความยาวขดลวดความต้านทานทั้งหมด 100 เซนติเมตร เมื่อปรับโพเทนซิโอมิเตอร์จนกัลวานอมิเตอร์เข้าสู่สภาวะสมดุล พบว่าจุดสัมผัสอยู่ที่ตำแหน่ง 50.95 เซนติเมตร ซึ่งหมายถึง

แรงดันของเซลล์มาตรฐาน =1.0190 โวลต์ (7.2)

ดังนั้น แรงดันตกคร่อมต่อหน่วยความยาวของลวดความต้านทานสามารถคำนวณได้ดังนี้

ศูนย์บรรณสารและสื่อการเรียนรู้ สถาบันนวัตกรรมการเรียนรู้ มหาวิทยาลัยพะเยา

แรงดันตกคร่อม/ความยาว =1.0190 V/ 50.95 cm = 0.02 V/cm = 20 mV/cm (7.3)

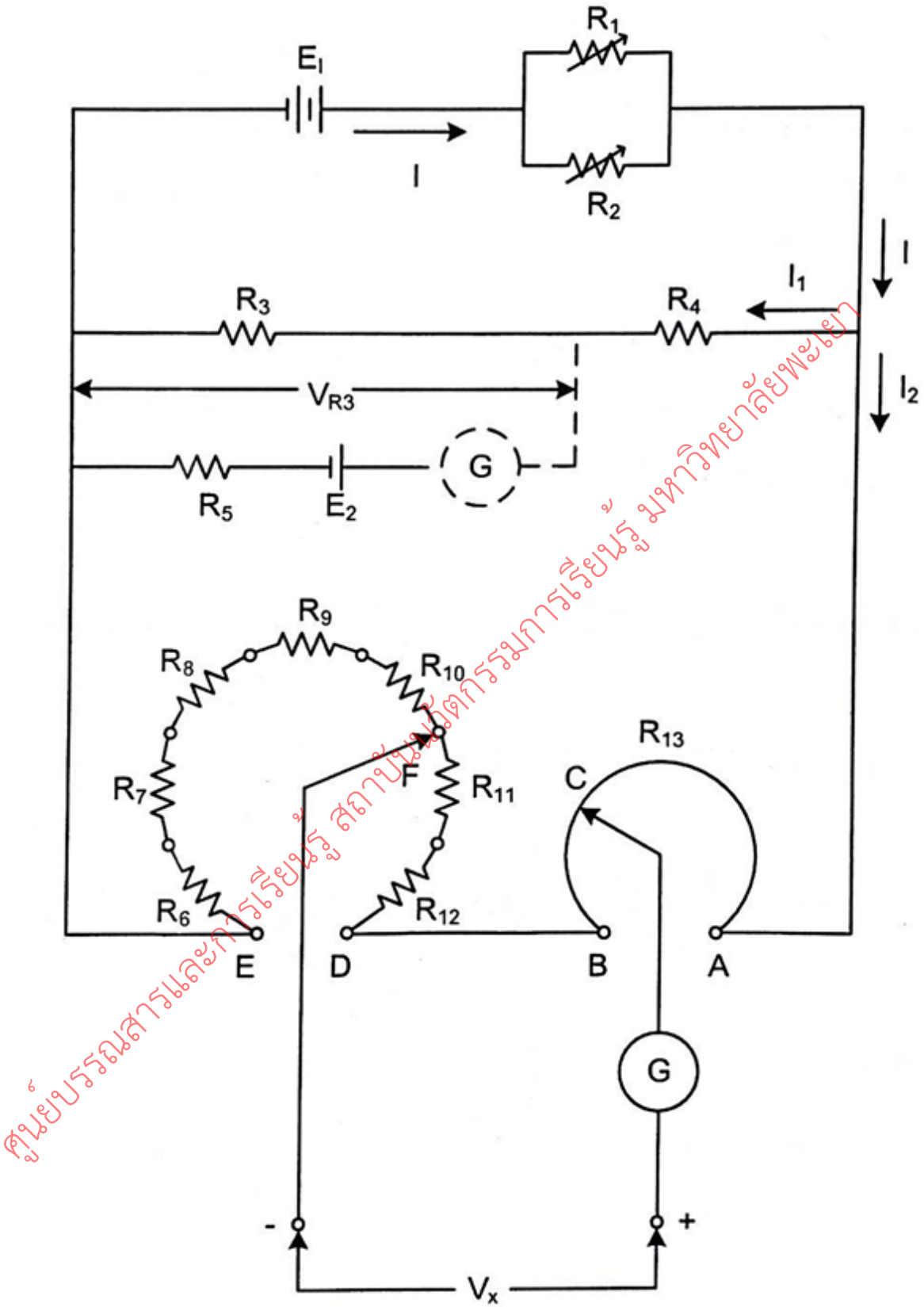
หลังจากปรับเทียบโพเทนซิโอมิเตอร์เรียบร้อยแล้ว ปรับสวิตช์ S เพื่อวัดแรงดันที่ไม่ทราบค่า (V_x) ค่าแรงดัน V_x สามารถหาได้จากการอ่านตำแหน่งของจุดสัมผัสที่ทำให้กัลวานอมิเตอร์เข้าสู่สภาวะสมดุลอีกครั้ง โดยคำนวณจาก

V_x = 20 mV/cm × ความยาวที่ทำให้เกิดสมดุล (7.4)

2) โพเทนซิโอมิเตอร์ที่ใช้ในทางปฏิบัติ ดังรูปที่ 7.9 ประกอบด้วย คอยล์กระแส และ คอยล์แรงดัน ที่จัดเรียงเป็นวงกลม เครื่องวัดนี้ใช้ชุดความต้านทาน R_6 – R_{12} ที่ต่อกับคอยล์แรงดันแบบวงกลมเพื่อเพิ่มความแม่นยำในการวัด เมื่อสวิตช์สัมผัสและกัลวานอมิเตอร์อยู่ในสภาวะสมดุล ค่าแรงดันไฟฟ้าที่วัดได้จะเป็นไปตามสมการ

$$V_x = R_{11} + R_{12} + V_{bc} \quad (7.5)$$

ศูนย์บรรณสารและการเรียนรู้ สถาบันนวัตกรรมการเรียนรู้ มหาวิทยาลัยพะเยา



รูปที่ 7.9 วงจรโพเทนซิโอมิเตอร์พื้นฐาน

ศูนย์บรรณสารและการเรียนรู้ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ศูนย์วิทยทรัพยากรและการเรียนรู้ มหาวิทยาลัยพะเยา

จากรูปที่ 7.9 วงจรโพเทนซิโอมิเตอร์ที่แสดงในแผนภาพมีลักษณะดังนี้

ส่วนประกอบหลักและหน้าที่

- ตัวต้านทาน R_1 และ R_2 เป็นแบบปรับค่าได้ โดย R_1 มีค่าความต้านทานต่ำ ใช้ปรับกระแสอย่างคร่าวๆ ส่วน R_2 มีค่าความต้านทานสูง ใช้ปรับกระแสอย่างละเอียด
- ตัวต้านทาน R_6 ถึง R_{12} เป็นตัวต้านทานชนิดแม่นยำ เชื่อมต่อกับคอยล์แรงดันที่จัดเรียงเป็นวงกลม เพื่อให้การวัดแม่นยำเมื่อหมุนสวิตช์ไปยังแต่ละจุดสัมผัส
- ลวดความต้านทาน R_{13} สามารถปรับตำแหน่งจุดสัมผัส C ได้ เพื่อเปลี่ยนค่าความต้านทานตามต้องการ

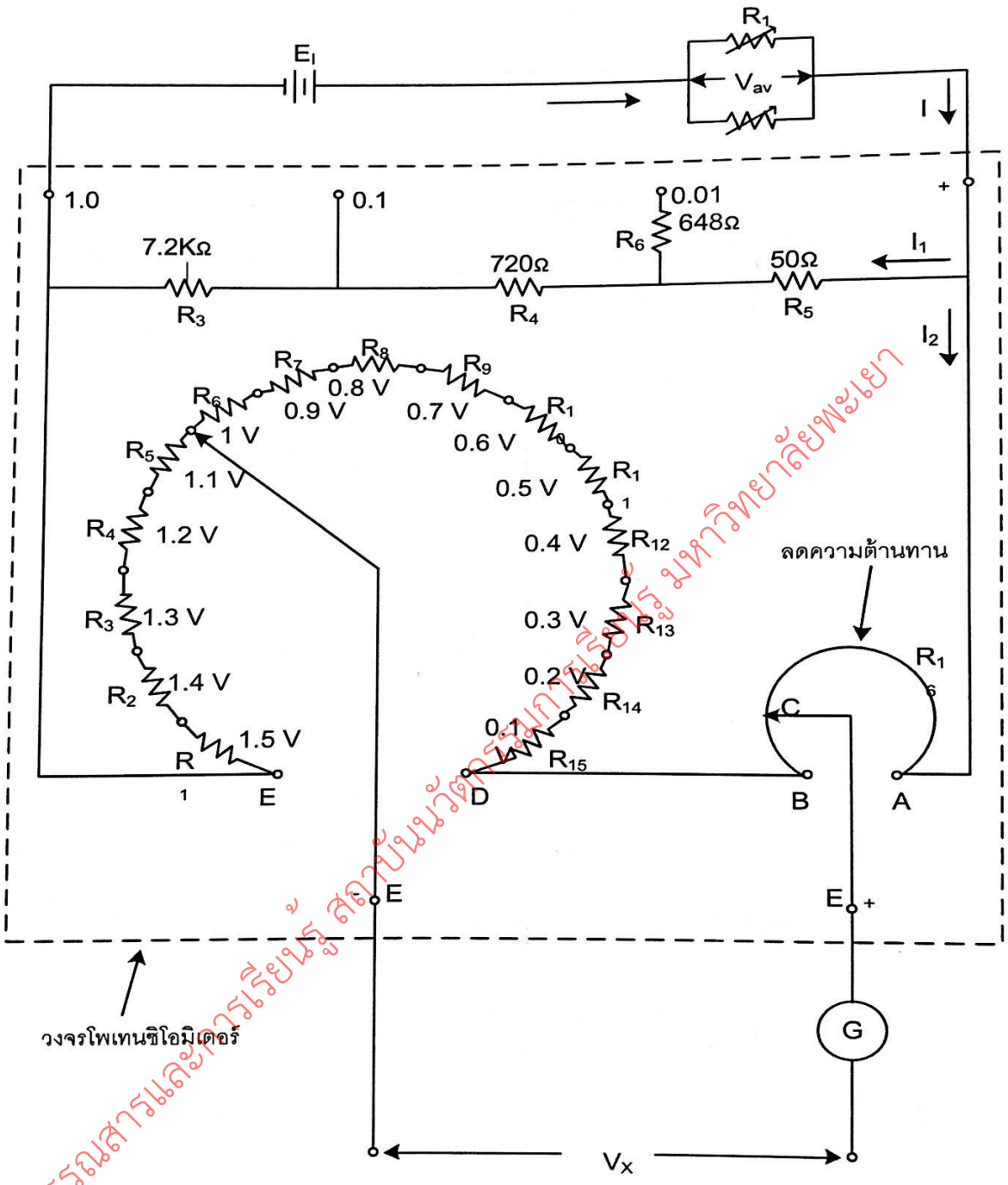
กระบวนการสอบเทียบ

ก่อนใช้งานโพเทนซิโอมิเตอร์ เราต้องทำการสอบเทียบก่อน โดยปรับสวิตช์ เพื่อเชื่อมต่อกัลวานอมิเตอร์เข้ากับ เซลล์มาตรฐาน จากนั้นเลื่อน จุดสัมผัส C ไปยังตำแหน่งที่ตรงกับค่าแรงดันของเซลล์มาตรฐาน และปรับค่าความต้านทาน R_1 และ R_2 เพื่อควบคุมกระแส I_1 จนกระทั่งแรงดัน V_{R3} มีค่าเท่ากับแรงดันของเซลล์มาตรฐาน ณ จุดนี้ โพเทนซิโอมิเตอร์จะถือว่าได้รับการสอบเทียบเรียบร้อยแล้ว

การวัดแรงดันที่ไม่ทราบค่า

หลังจากการสอบเทียบ สวิตช์จะถูกปรับเพื่อเชื่อมต่อกัลวานอมิเตอร์เข้ากับ แรงดันไม่ทราบค่า (V_x) ดังรูป สวิตช์สัมผัส F จะถูกปรับเพื่อสร้างสมดุลให้กับกัลวานอมิเตอร์อย่างหยาบๆ จากนั้นจึงทำการปรับละเอียดเพื่อให้ได้สมดุลที่แท้จริง โดยอาศัยสวิตช์สัมผัส C ค่าแรงดัน V_x จะสามารถอ่านได้จากค่าที่รวมกันซึ่งแสดงบนสวิตช์สัมผัส F และ C รูปที่ 7.10 แสดงตัวอย่างของโพเทนซิโอมิเตอร์แบบหลายช่วงการวัดที่ใช้งานจริง

ศูนย์บรรณสารและการเรียนรู้ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง



ศูนย์บรรณสารและการเรียนรู้ สถาบันนวัตกรรมการเรียนรู้ มหาวิทยาลัยพะเยา

รูปที่ 7.10 โครงสร้างของโพเทนซิโอมิเตอร์แบบหลายช่วงวัด

คุณสมบัติของตัวต้านทานและลวดความต้านทาน

- R_1 ถึง R_{15} เป็นตัวต้านทานความแม่นยำสูง แต่ละตัวมีค่า 50 โอห์ม
- R_{16} เป็นลวดความต้านทานที่มีความแม่นยำสูงกว่า 50 โอห์ม

ช่วงการวัดสูงสุดของโพเทนซิโอมิเตอร์

โพเทนซิโอมิเตอร์นี้สามารถวัดแรงดันสูงสุดได้แตกต่างกันไปตามการตั้งค่าช่วงวัด

- ช่วงวัด 1.0 แรงดันสูงสุดที่วัดได้คือ 1.0 × (1.5+0.1) โวลต์ หรือเท่ากับ 1.6 โวลต์
- ช่วงวัด 0.1 แรงดันสูงสุดที่วัดได้คือ 0.1 × (1.5+0.1) โวลต์ หรือเท่ากับ 0.16 โวลต์
- ช่วงวัด 0.01 แรงดันสูงสุดที่วัดได้คือ 0.01 × (1.5+0.1) โวลต์ หรือเท่ากับ 0.016 โวลต์

ค่าแรงดันสูงสุดเหล่านี้ขึ้นอยู่กับการปรับค่าตัวต้านทานและลวดความต้านทานให้มีความแม่นยำสูงสุดในแต่ละช่วงวัด

ความแม่นยำตามพิกัดผู้ผลิต

ความแม่นยำในการวัดของโพเทนซิโอมิเตอร์ตามพิกัดของผู้ผลิตเป็นดังนี้

ช่วงการวัด	ความแม่นยำ
0–1.6 V	10 V
0–0.16 V	10 V
0–0.016 V	10 V

เซลล์มาตรฐาน (Standard Cell)

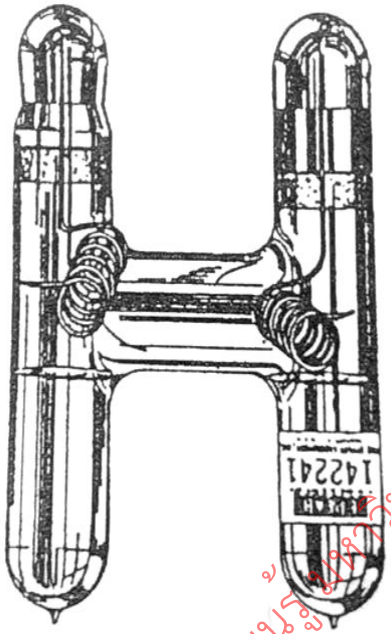
เซลล์มาตรฐาน คือแหล่งแรงดันไฟฟ้าคงที่ที่มีค่าคงที่และแม่นยำสูง ใช้เป็นมาตรฐานอ้างอิงในการสอบเทียบเครื่องมือวัดแรงดันไฟฟ้าในห้องปฏิบัติการมาตรวิทยา โดยทั่วไปเซลล์มาตรฐานจะเป็นเซลล์เคมีชนิดหนึ่งที่ผลิตแรงดันไฟฟ้าคงที่โดยอาศัยปฏิกิริยาเคมีภายในเซลล์

คุณสมบัติสำคัญของเซลล์มาตรฐาน

- แรงดันไฟฟ้าคงที่และเสถียรในระยะยาว
- มีความแม่นยำสูงและสามารถใช้เปรียบเทียบกับมาตรฐานอื่นได้
- ปกติจะมีแรงดันประมาณ 1.018 โวลต์ (สำหรับเซลล์ Weston)
- ต้องเก็บรักษาในสภาพแวดล้อมที่เหมาะสมเพื่อรักษาความเสถียรของแรงดัน

การใช้งาน เซลล์มาตรฐานใช้เป็นแหล่งอ้างอิงแรงดันไฟฟ้าสำหรับสอบเทียบโวลต์มิเตอร์และอุปกรณ์วัดแรงดันอื่น ๆ เพื่อให้ผลการวัดมีความถูกต้องและสอดคล้องกับมาตรฐานสากล เช่น การทดสอบเซลล์มาตรฐานแบบ Weston มักถูกนำมาใช้เป็นแหล่งแรงดันมาตรฐาน เพราะมีความละเอียดและความแม่นยำสูงมาก

ศูนย์บรรณสารและการเรียนรู้ สถาบันนวัตกรรมการเรียนรู้ มหาวิทยาลัยพะเยา



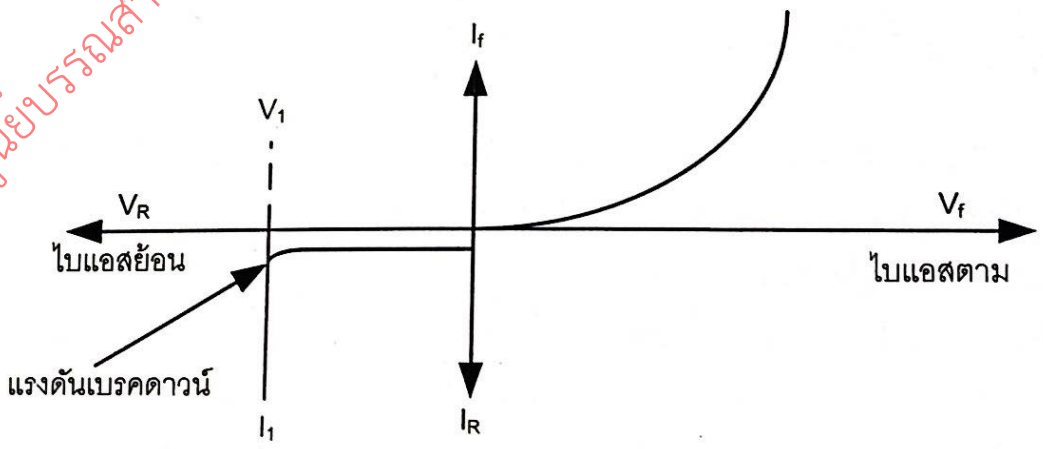
รูปที่ 7.11 ของเซลล์มาตรฐานแบบ Weston

การใช้ซีเนอร์ไดโอดเป็นแหล่งแรงดันมาตรฐาน

ในบางกรณี เราอาจใช้ซีเนอร์ไดโอด (Zener diode) ซึ่งเป็นอุปกรณ์สารกึ่งตัวนำที่ช่วยในการออกแบบแหล่งแรงดันมาตรฐานแบบปรับค่าได้ ทำให้การสร้างเครื่องมือวัดไฟฟ้าสะดวกยิ่งขึ้น

คุณสมบัติของซีเนอร์ไดโอด

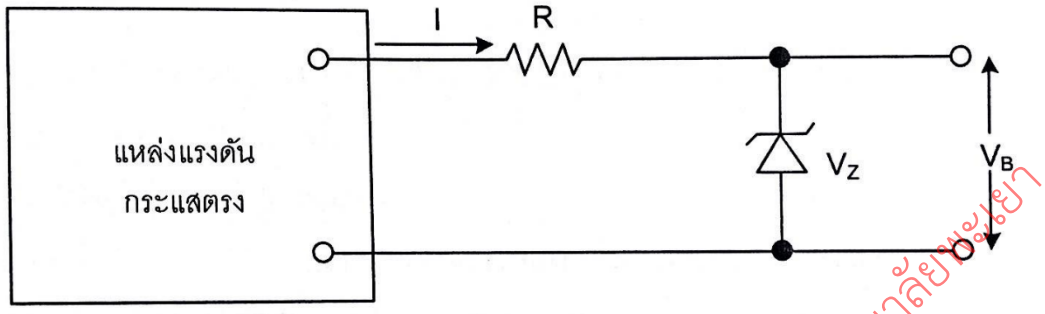
ซีเนอร์ไดโอดมีคุณสมบัติพิเศษคือ จะมีแรงดันตกคร่อมตัวมันคงที่เมื่อถูกไบอัสย้อนกลับไปจนถึงค่าแรงดันค่าหนึ่ง แรงดันนี้เรียกว่า แรงดันแบรกดาวน์ (Breakdown Voltage) ดังแสดงในรูปที่ 7.12



รูปที่ 7.12 กราฟแสดงคุลักษณะสมบัติของซีเนอร์ไดโอด

ศูนย์บรรณสารและการเรียนรู้ สถาบันวิทยบริการและการเรียนรู้ มหาวิทยาลัยพะเยา

การประยุกต์ใช้ซีเนอร์ไดโอดเป็นแหล่งแรงดันมาตรฐาน สำหรับตัวอย่างการนำ ซีเนอร์ไดโอด (Zener Diode) มาใช้งานเป็นแหล่งแรงดันมาตรฐาน สามารถดูได้จาก รูปที่ 7.13 ซึ่งแสดงวงจรพื้นฐานที่ซีเนอร์ไดโอดถูกนำมาใช้เพื่อรักษาระดับแรงดันให้คงที่ตามคุณสมบัติของมัน ทำให้เหมาะกับการเป็นแหล่งอ้างอิงแรงดันในงานต่าง ๆ



รูปที่ 7.13การนำซีเนอร์ไดโอดมาใช้งานเป็นแหล่งแรงดันมาตรฐาน

ความจำเป็นของตัวต้านทาน R ในวงจรซีเนอร์ไดโอด

เมื่อซีเนอร์ไดโอดทำงานถึงจุดแบรกดาวน์ แรงดันตกคร่อมไดโอด (V_z) จะคงที่ และความต้านทานภายในของไดโอดจะลดลงอย่างมาก ด้วยเหตุนี้ จึงจำเป็นต้องมีตัวต้านทาน R อยู่ในวงจรเพื่อจำกัดและควบคุมกระแสไม่ให้เกินค่าพิกัดของตัวไดโอดเอง ป้องกันความเสียหายที่อาจเกิดขึ้นได้

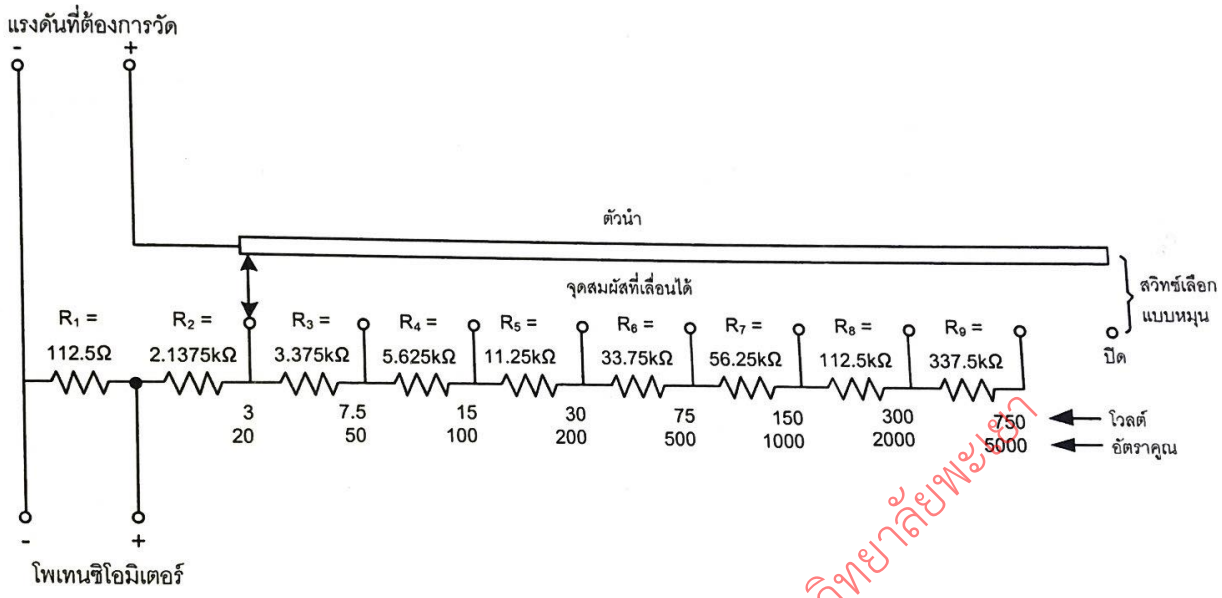
โวลต์บอกซ์ (Volt Box)

โวลต์บอกซ์ประกอบด้วย ความต้านทานความแม่นยำสูงที่ต่ออนุกรมกัน เพื่อลดแรงดันที่ป้อนเข้าโพเทนซิโอมิเตอร์ ในรูปที่ 7.8 ความต้านทาน R_x เป็นความต้านทานความแม่นยำสูงที่ต่ออนุกรมกัน โดยมีอัตราส่วนการแบ่งแรงดันดังนี้

- 1/20
- 1/50
- 1/5000

วิธีนี้ แรงดันไฟฟ้าที่ต้องการวัดจะถูกป้อนผ่านสวิตช์เลือกสัดส่วนการแบ่งแรงดัน ทำให้แรงดันที่เข้าสู่โพเทนซิโอมิเตอร์ลดลงเหลือในระดับที่สามารถอ่านและวัดค่าได้อย่างแม่นยำ

ศูนย์บรรณสารและการเรียนรู้ สถาบันวิทยบริการและการเรียนรู้ มหาวิทยาลัยขอนแก่น



รูปที่ 7.14 โครงสร้างของโวลต์บอกซ์

การคำนวณแรงดันจริงด้วยโวลต์บอกซ์ รูปที่ 7.14 แสดงกรณีที่สวิตช์เลือกสัดส่วนแบ่งแรงดันเป็น 1/20 ดังนั้น หากโพเทนชิโอมิเตอร์อ่านค่าได้ 0.1235 โวลต์ ค่าแรงดันจริงจะคำนวณได้ดังนี้

แรงดันจริง = 0.1235 V × 20 = 2.4700 V

ชันต์บอกซ์ (Shunt Box)

ในการวัดแรงดันตกคร่อมด้วยโพเทนชิโอมิเตอร์ อุปกรณ์ที่เรียกว่า ชันต์บอกซ์ (Shunt Box) จะถูกนำมาใช้เพื่อสร้างแรงดันตกคร่อมในระดับที่เหมาะสมกับช่วงการวัดของโพเทนชิโอมิเตอร์ โดยชันต์บอกซ์ประกอบด้วยชุดตัวต้านทานหลายค่า และมีปุ่มสำหรับปรับเลือกค่าความต้านทานที่ต้องการใช้งาน เพื่อให้สอดคล้องกับลักษณะการทดสอบหรือเงื่อนไขการวัดเฉพาะกรณี

ในรูปที่ 7.15 แสดงให้เห็นโครงสร้างภายในของชันต์บอกซ์ พร้อมระบุค่าความต้านทานของตัวต้านทานแต่ละตัวตั้งแต่ R_1 ถึง R_9 อย่างชัดเจน ซึ่งช่วยให้สามารถปรับเลือกค่าที่เหมาะสมได้ตามลักษณะของแรงดันตกคร่อมที่ต้องการวัดโดยใช้โพเทนชิโอมิเตอร์

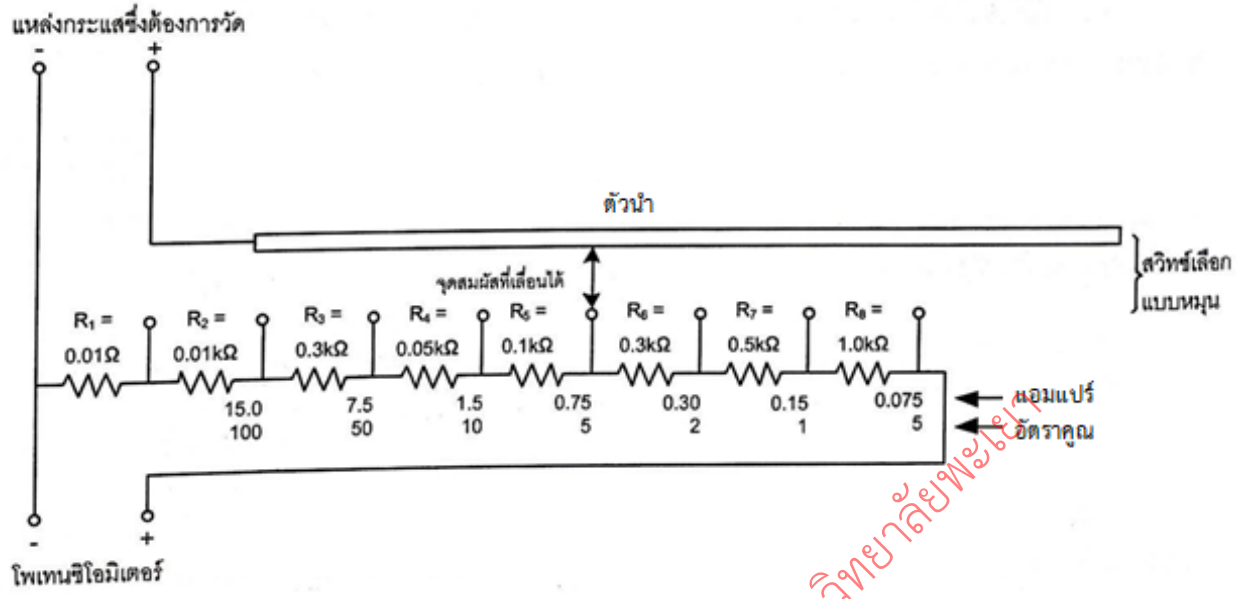
ตัวอย่างการคำนวณแรงดันตกคร่อมจากชันต์บอกซ์

แรงดันตกคร่อม = 0.75 แอมแปร์ × (0.01+0.01+0.03+0.05+0.01) Ω

แรงดันตกคร่อม = 0.75 แอมแปร์ × 0.11 Ω

แรงดันตกคร่อม = 0.0825 V หรือ 82.5 mV

ศูนย์วิทยทรัพยากร จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย สถาบันนวัตกรรมการเรียนรู้ มหาวิทยาลัยพะเยา



รูปที่ 7.15 โครงสร้างภายในของชันต์บอกซ์

หากโพเทนซิโอมิเตอร์อ่านค่าได้ 150 มิลลิโวลต์ (0.150 โวลต์) เมื่อกระแสไหลผ่าน ชันต์บอกซ์จะทำหน้าที่คูณค่าที่อ่านได้นั้นด้วยอัตราส่วนที่กำหนด ตามที่แสดงในรูปที่ 7.15 คือคูณ 5 เพื่อให้ได้ค่ากระแสจริงที่ไหลในวงจร

ดังนั้น กระแสที่ไหลจริงจะมีค่า

กระแสที่ไหล = 0.150 V × 5 A / V กระแสที่ไหล = 0.75 แอมแปร์

เมื่อเลื่อนปุ่มสัมผัสไปที่จุดอื่น เพื่อเปลี่ยนอัตราส่วนการแบ่งกระแส ก็จะได้ผลการคำนวณในลักษณะเดียวกัน โดยขึ้นอยู่กับอัตราส่วนการคูณของตำแหน่งนั้นๆ

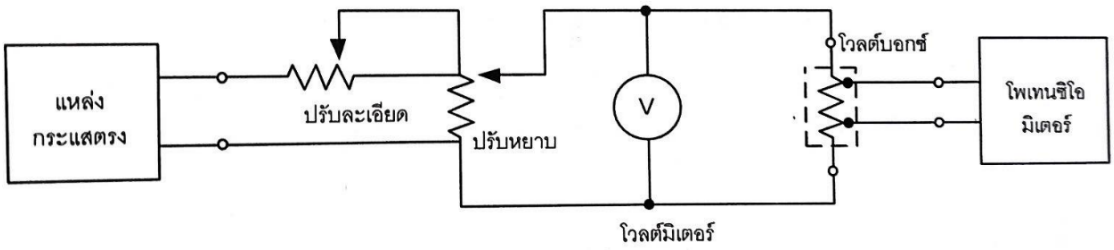
4) การประยุกต์ใช้งานการสอบเทียบเครื่องมือวัดด้วยโพเทนซิโอมิเตอร์

โพเทนซิโอมิเตอร์เป็นเครื่องมือวัดแรงดันที่มีความแม่นยำสูง เหมาะสำหรับการสอบเทียบเครื่องมือวัดต่าง ๆ ในห้องปฏิบัติการ เช่น โวลต์มิเตอร์ แอมมิเตอร์ และวัตต์มิเตอร์

การสอบเทียบโวลต์มิเตอร์

เมื่อมีการปรับแรงดันในวงจรโพเทนซิโอมิเตอร์จะช่วยระบุค่าความต่างระหว่างแรงดันจริงกับค่าที่โวลต์มิเตอร์แสดง ซึ่งถือเป็นผลการสอบเทียบ รูปที่ 7.16 แสดงขั้นตอนและการต่อวงจรในการสอบเทียบนี้อย่างชัดเจน

ศูนย์บรรณสารและการเรียนรู้ สถาบันนวัตกรรมการเรียนรู้ มหาวิทยาลัยพะเยา

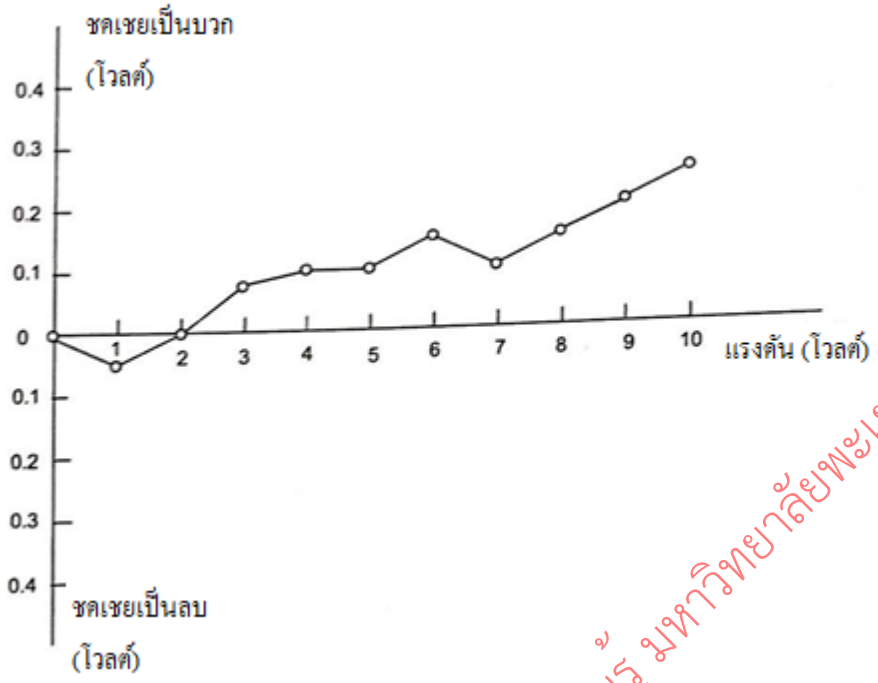


รูปที่ 7.16 วงจรสอบเทียบโวลต์มิเตอร์กระแสตรง

ตารางที่ 7.2 ผลของโวลต์มิเตอร์กระแสตรงโดยใช้โพเทนซิโอมิเตอร์ (หน่วย: โวลต์)

สเกลที่อ่านบนมิเตอร์ (V)	ค่าที่ถูกต้องจากโพเทนซิโอมิเตอร์ (V)	การขดเชย
0.0	0.00	0.00
1.0	0.95	0.05
2.0	2.00	0.00
3.0	3.05	0.05
4.0	4.10	0.01
5.0	5.10	0.01
6.0	6.15	0.15
7.0	7.10	0.10
8.0	8.15	0.15
9.0	9.20	0.20
10.0	10.25	0.25

ศูนย์บรรณสารและการเรียนรู้ สถาบันนวัตกรรมการเรียนรู้ มหาวิทยาลัยพะเยา



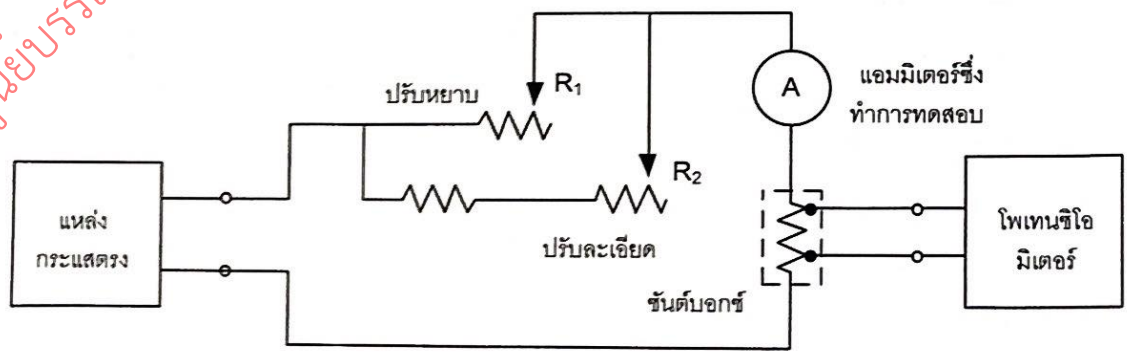
รูปที่ 7.17 การสอบเทียบต้องมีการชดเชย

การสอบเทียบแอมมิเตอร์มาตรฐาน

การสอบเทียบแอมมิเตอร์สามารถทำได้โดยต่อเข้ากับตัวต้านทานความแม่นยำสูงตามรูปที่ 7.18 โพเทนซิโอมิเตอร์จะใช้วัดแรงดันตกคร่อมบนตัวต้านทานอย่างแม่นยำ จากนั้นจึงใช้สูตร

กระแส = แรงดันตกคร่อม ÷ ค่าความต้านทาน

เนื่องจากทั้งแรงดันตกคร่อมและค่าความต้านทานมีความแม่นยำสูง ค่ากระแสที่คำนวณได้จึงเชื่อถือได้ และสามารถใช้เป็นค่ามาตรฐานในการสอบเทียบความแม่นยำของแอมมิเตอร์ได้อย่างมีประสิทธิภาพ



รูปที่ 7.19 วงจรสำหรับการสอบเทียบแอมมิเตอร์กระแสตรง

ศูนย์บรรณสารและการเรียนรู้ สถาบันวิจัยและพัฒนาการเรียนรู้ มหาวิทยาลัยพะเยา

การควบคุมกระแสและการบันทึกผล

ในการสอบเทียบแอมมิเตอร์ ค่ากระแสที่ไหลผ่านจะถูกควบคุมโดยการปรับค่าความต้านทาน ซึ่งเริ่มจากการปรับหยาบก่อน แล้วจึงปรับละเอียดจนเข็มแอมมิเตอร์ชี้ตามสเกลที่ต้องการ จากนั้นจะบันทึกผลลงในตาราง เปรียบเทียบระหว่างค่ากระแสที่อ่านได้จากแอมมิเตอร์ กับค่ากระแสจริงที่คำนวณจากแรงดันตกคร่อมที่วัดได้ด้วยโพเทนซิโอมิเตอร์ ตารางที่ 7.3

หากค่ากระแสที่ต้องการวัดสูงเกินขีดจำกัดของโพเทนซิโอมิเตอร์ จะใช้ ชันต์บอกซ์ ช่วยลดแรงดันตกคร่อมเพื่อให้อยู่ในช่วงที่วัดได้

การสอบเทียบวัตต์มิเตอร์มาตรฐาน

การสอบเทียบวัตต์มิเตอร์อาศัยทั้งโวลต์มิเตอร์และแอมมิเตอร์ เพื่อเปรียบเทียบและตรวจสอบค่ากำลังไฟฟ้าในวงจร โดยวงจรการสอบเทียบแสดงในรูปที่ 7.13

คอยล์กระแสของวัตต์มิเตอร์จะต่อผ่านแหล่งจ่ายและชันต์บอกซ์ เพื่อให้โพเทนซิโอมิเตอร์ใช้วัดค่ากระแสจริง ส่วนคอยล์แรงดันจะต่อกับแหล่งจ่ายและโวลต์บอกซ์ เพื่อวัดแรงดันจริงด้วยโพเทนซิโอมิเตอร์เช่นกัน

เมื่อได้ค่ากระแสและแรงดันจริง นั้นคำนวณได้จากสูตร

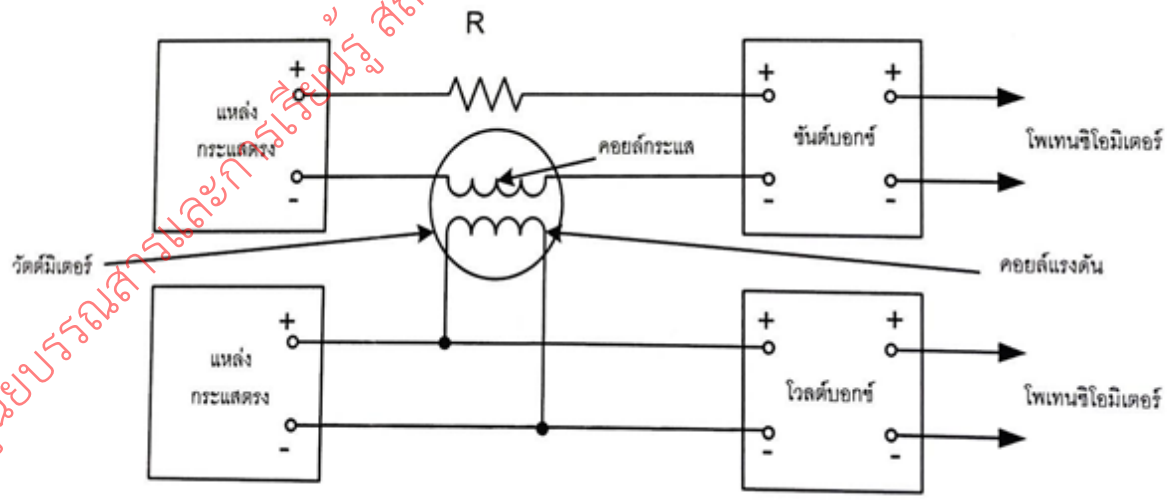
$$\text{กำลังไฟฟ้า} = \text{แรงดัน} \times \text{กระแส}$$

จากนั้นนำค่ากำลังไฟฟ้าที่คำนวณได้ไปเปรียบเทียบกับค่าที่แสดงบนวัตต์มิเตอร์ เพื่อประเมินความแม่นยำของเครื่องวัด

ศูนย์บรรณสารและการเรียนรู้ สถาบันนวัตกรรมการเรียนรู้ มหาวิทยาลัยพะเยา

ตารางที่ 7.3 การสอบเทียบวัตต์มิเตอร์กระแสตรงโดยใช้โพเทนซิโอมิเตอร์

สเกลที่อ่านบนมิเตอร์ (W)	ค่าวัดถูกต้องจากโพเทนซิโอมิเตอร์ (W)	การชดเชยค่า
100	103	+3
90	93	+3
80	82	+2
70	72.5	+2.5
60	62	+2
50	51	+1
40	41.5	+1.5
30	31	+1
20	19.5	-0.3
10	9.5	-0.5
0	0	0.0



รูปที่ 7.20 วงจรการสอบเทียบวัตต์มิเตอร์

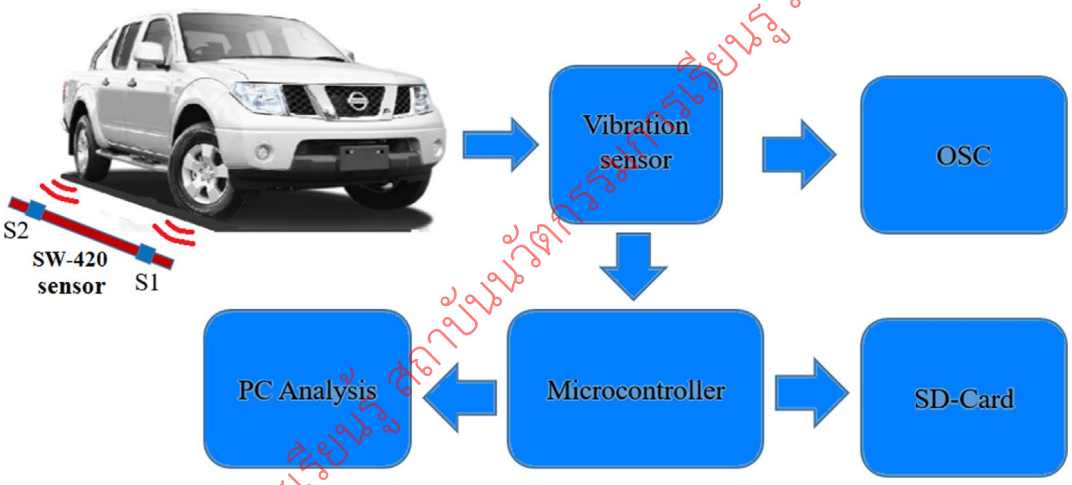
ศูนย์บรรณสารและการเรียนรู้ สถาบันนวัตกรรมการเรียนรู้ มหาวิทยาลัยพะเยา

7.2.4 การประยุกต์ใช้การวัดอิเล็กทรอนิกส์และการสอบเทียบการสั่นสะเทือน

กรณีศึกษา เรื่อง การสั่นสะเทือนของผิวถนนแอสฟัลต์และการกระจายแรงที่เกิดจากการเบรกของรถกระบะ โดย นิธิโรจน์ พรสุวรรณเจริญ และคณะฯ

บทความนี้นำเสนอวิธีการวัดแรงและการสั่นสะเทือนแบบไดนามิกโดยใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ โดยทำการทดลองวัดความถี่ของการสั่นสะเทือนบนพื้นผิวถนนแอสฟัลต์ในขณะเบรกรถ และวิเคราะห์ข้อมูลด้วยอุปกรณ์และซอฟต์แวร์เพิ่มเติม อุปกรณ์ตรวจจับการสั่นสะเทือนที่ใช้คือ SW-420 ซึ่งรองรับความถี่ในช่วง 10–1,000 Hz ข้อมูลที่ได้ถูกนำมาทดสอบและประเมินแรงกระทำต่อพื้นผิวถนนในขณะรถเคลื่อนที่

ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่า ระบบที่พัฒนาขึ้นสามารถใช้วัดและคำนวณแรงที่กระทำต่อถนนได้อย่างแม่นยำ โดยแรงที่ตรวจวัดได้มีค่าประมาณ 0.20 – 4.10 × 10^{10} นิวตัน ที่ความเร็วรถระหว่าง 20 – 100 กิโลเมตรต่อชั่วโมง และมีค่าความคลาดเคลื่อนสูงสุดเพียง 0.20%



รูปที่ 7.21 การทำงานของการวัดแรงสั่นสะเทือนขณะเบรก

ที่มา : Preecha Yupapin, Nithiroth Pornsuwancharoen, Asphalt road surface vibration and force distribution generated by pickup truck braking, Measurement, Vol. 148 (2019) 106871.

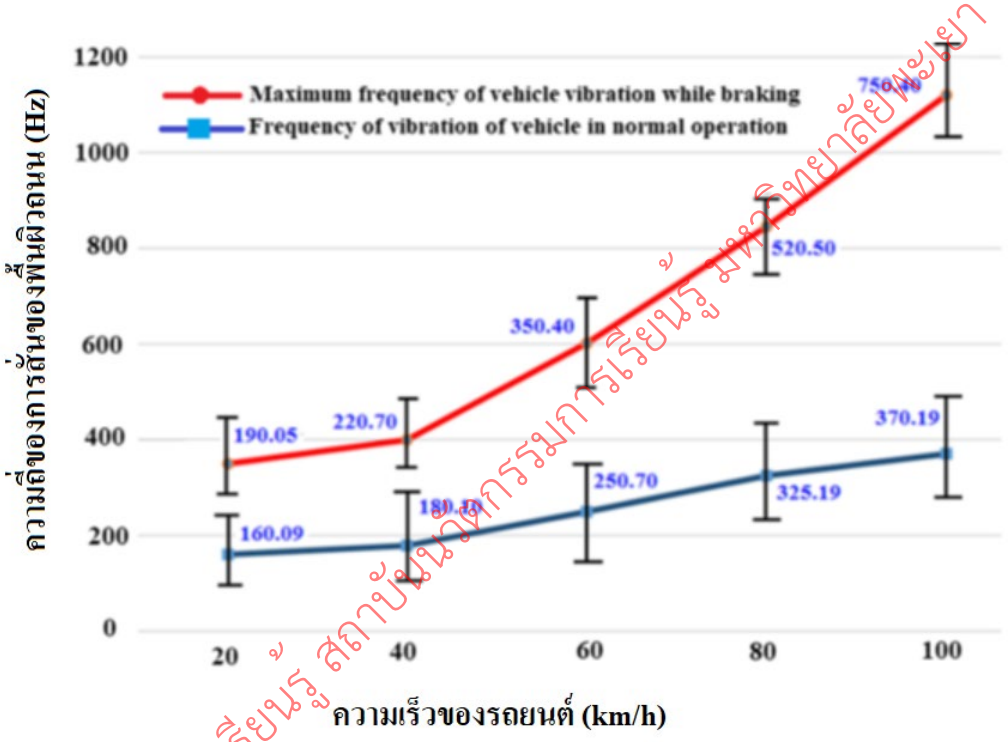
จากขั้นตอนการทดลองที่แสดงในรูปที่ 7.21 จะมีการอธิบายความสัมพันธ์ระหว่างการสั่นสะเทือนและความเร่งที่เกิดบนพื้นผิวถนน โดยการกระจัดในแนวดิ่งของยานพาหนะสามารถกำหนดได้จากสมการ $\mathbf{y = A \cdot \sin(\omega t)}$ ความเร็วของการสั่นสะเทือนเป็น $\mathbf{v = \omega \cdot A \cdot \cos(\omega t)}$ และความเร่งของการสั่นสะเทือนคือ $\mathbf{a = -\omega^2 \cdot A \cdot \sin(\omega t)}$ โดยที่

- **ω** คือ ความเร็วเชิงมุม ($\omega = 2\pi f$)
- A คือ แอมพลิจูด
- f คือ ความถี่ของการสั่นสะเทือน

ศูนย์บรรณสารและการเรียนรู้ สถาบันนวัตกรรมการเรียนรู้ มหาวิทยาลัยพะเยา

- t คือ เวลา
- v คือ ความเร็วของวัตถุ

แรงที่กระทำต่อพื้นผิวคำนวณได้จากสมการ $\mathbf{F = m \cdot a}$ โดยที่ m คือมวลของวัตถุ ในการทดลอง ได้ติดตั้งอุปกรณ์เพื่อสร้างการสั่นสะเทือนที่พื้นถนนในขณะเบรก โดยรถเคลื่อนที่ด้วยความเร็วระหว่าง 20–100 km/h ตามที่แสดงในรูปที่ 7.21 เซ็นเซอร์วัดแรงสั่นสะเทือนถูกวางห่างจากรถ 100 ซม. และใช้ค่าสัญญาณความถี่ในการคำนวณแรงที่กระทำต่อพื้นผิวถนนโดยตรง หลักการทำงานของระบบวัดแสดงไว้ในรูปดังกล่าว

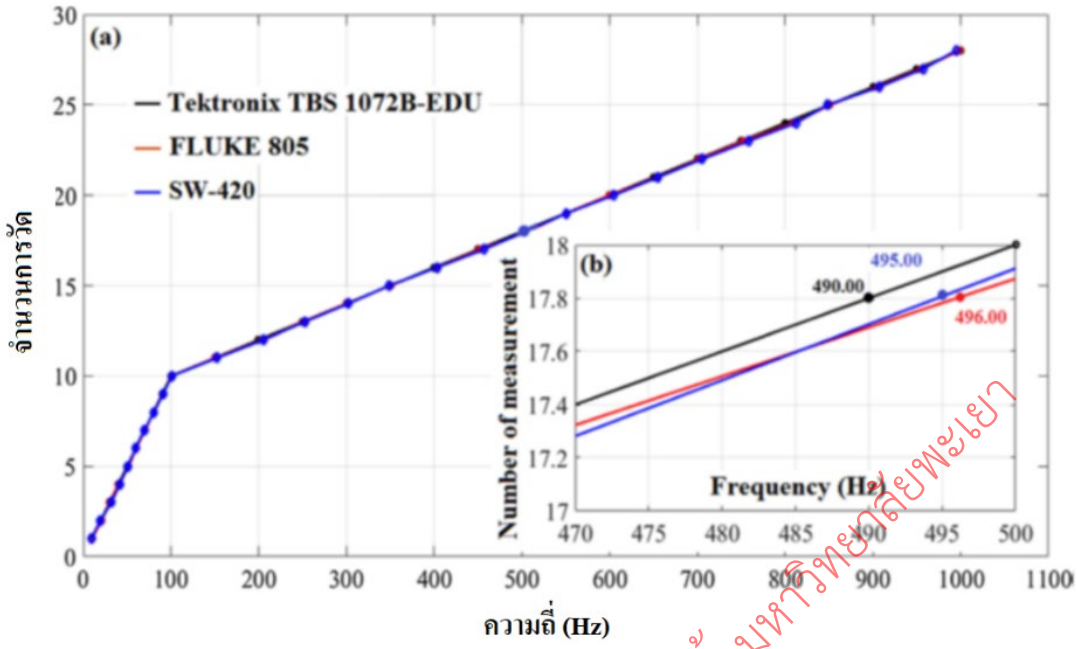


รูปที่ 7.22 ความสัมพันธ์ความเร็วของรถกับแรงสั่นสะเทือนของผิวถนน

ที่มา : Preecha Yupapin, Nithiroth Pornsuwancharoen, Asphalt road surface vibration and force distribution generated by pickup truck braking, Measurement, Vol. 148 (2019) 106871.

จากรูปที่ 7.22 แสดงพล็อตค่าเฉลี่ยของการวัดที่ทำโดยเซ็นเซอร์สองตัวอิงจากการวิเคราะห์โดย Excel และ Matlab 2010

ศูนย์บรรณสารและการเรียนรู้ สถาบันนวัตกรรมการเรียนรู้ มหาวิทยาลัยพะเยา

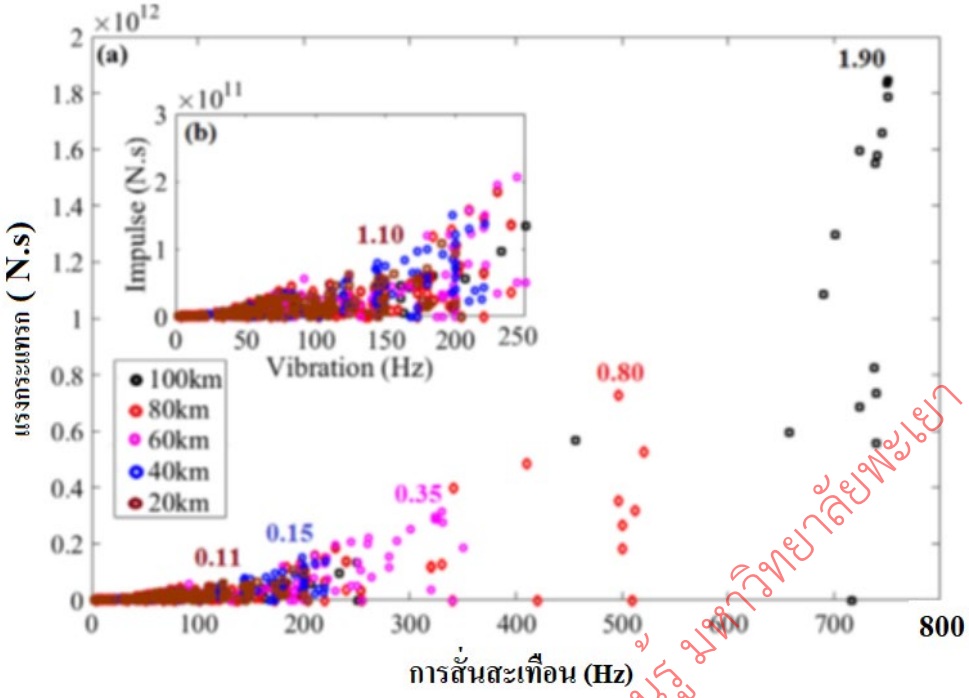


รูปที่ 7.23 การสอบเทียบของ SW-420 FLUKE 805 และ Tektronix TBS 1072B-EDU.

ที่มา : Preecha Yupapin, Nithiroth Pornsuwancharoen, Asphalt road surface vibration and force distribution generated by pickup truck braking, Measurement, Vol. 148 (2019) 106871.

รูปที่ 7.23 แสดงการสอบเทียบสัมพัทธ์ระหว่างเซนเซอร์ SW-420, เครื่องวัดแรงสั่นสะเทือน FLUKE 805 และออสซิลโลสโคป Tektronix TBS 1072B-EDU โดยใช้ฟังก์ชันเจเนอเรเตอร์สร้างความถี่ตั้งแต่ 10 ถึง 1,000 Hz เพื่อเปรียบเทียบจำนวนการวัดที่ได้จากแต่ละอุปกรณ์ เปอร์เซ็นต์ข้อผิดพลาดของระบบสามารถคำนวณได้จากสมการ $\%\ \text{error} = (Y_n - X_n) / Y_n \times 100$ โดยที่ Y_n คือ ค่าที่วัดได้จาก FLUKE 805 และ X_n คือ ค่าที่วัดได้จาก SW-420 จากการวิเคราะห์ พบว่าเปอร์เซ็นต์ข้อผิดพลาดของระบบอยู่ที่ 0.20% ซึ่งแสดงถึงความแม่นยำของการวัดที่ยอมรับได้ในงานทดลองนี้

ศูนย์บรรณสารและการเรียนรู้ สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 7.24 แรงกระแทกเปรียบเทียบกับการสั่นสะเทือนของพื้นผิวถนนขณะเบรกที่ความเร็วต่างกัน (20 – 100 กม./ชม.)

ที่มา : Preecha Yupapin, Nithiroth Pornsuwancharoen, Asphalt road surface vibration and force distribution generated by pickup truck braking, Measurement, Vol. 148 (2019) 106871.

การวิเคราะห์แรงกระแทกและการสั่นสะเทือนของผิวถนนขณะเบรก

รูปที่ 7.24 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงกระแทกและการสั่นสะเทือนของผิวถนนแอสฟัลต์ในขณะเบรกรถที่ความเร็ว 20–100 กม./ชม. การกระจัดของล้อจากจุดศูนย์กลางสัมพันธ์โดยตรงกับขนาดของการสั่นสะเทือนที่เกิดขึ้นบนผิวถนน ในรูปที่ 7.24 (ก) พบว่าความกว้างของคลื่นสั่นสะเทือนอยู่ในช่วง 0 – 250 Hz

ความเร็ว (km/h)	ความถี่สูงสุด (Hz)	ค่าอิมพัลส์ (Ns)
100	750	1.90×10^{12}
80	500	0.80×10^{12}
60	320	0.35×10^{12}
40	249	0.15×10^{12}
20	191	0.11×10^{12}

จากรูปที่ 7.24 (ข) สรุปได้ว่า ความเร็วของรถส่งผลโดยตรงต่อแรงที่กระทำต่อผิวถนน ยิ่งรถมีน้ำหนักมากและระยะเบรกสั้น แรงกระทำจะยิ่งสูง ส่งผลให้เกิดแรงเฉือน แรงบิด ความเค้น และ

ศูนย์บรรณสารและการเรียนรู้ สถาบันนวัตกรรมการเรียนรู้ มหาวิทยาลัยพะเยา

ความเครียดต่อโครงสร้างถนนที่แตกต่างกันในแต่ละเส้นทาง การวัดความถี่จากเซ็นเซอร์ระหว่างการเบรกช่วยระบุพื้นที่กระจายแรงที่เกิดจากล้อรถ โดยรถคันอื่นที่ใช้งานถนนร่วมกันก็สามารถกระตุ้นให้เกิดการสั่นสะเทือนต่อผิวถนนได้เช่นกัน

สรุปผลการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรสำคัญ ได้แก่

- ความถี่ของการเบรก
- ความเร็วขณะเบรก
- ความเร็วและความเร่งของการสั่นสะเทือนบนผิวถนน

สามารถใช้ในการคำนวณหาแรงสูงสุดที่กระทำต่อพื้นผิวถนนภายใต้สถานการณ์เบรกแบบฉับพลันและแบบไดนามิก

ประโยชน์ของงานวิจัย

ระบบที่พัฒนาขึ้นสามารถวัดแรงกระแทกจากยานพาหนะขนาดใหญ่ที่กระทำต่อผิวถนนได้อย่างแม่นยำ โดยพิจารณาจากปัจจัยเสริม เช่น

- สภาพภูมิอากาศ โดยเฉพาะในพื้นที่ชุ่มน้ำ
- สภาพพื้นผิวเดิม
- คุณภาพและสัดส่วนผสมของแอสฟัลต์
- การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิแวดล้อมของพื้นผิวถนน

ข้อมูลจากงานวิจัยนี้สามารถนำไปใช้ในการออกแบบถนนให้ทนต่อแรงกระแทกและเพิ่มความปลอดภัยในการใช้งานได้อย่างมีประสิทธิภาพ

ศูนย์บรรณสารและการเรียนรู้ สถาบันพัฒนศึกษาการเรียนรู้ มหาวิทยาลัยนเรศวร

บทสรุปท้ายบทเรียนบทที่ 7

บทเรียนนี้ให้ความรู้เกี่ยวกับกระบวนการสอบเทียบเครื่องมือวัดและการพัฒนาระบบมาตรฐาน เพื่อให้เครื่องมือมีความแม่นยำและน่าเชื่อถือ การสอบเทียบมีความสำคัญอย่างยิ่ง เพราะเครื่องมือที่ไม่ได้สอบเทียบอาจให้ค่าที่คลาดเคลื่อน ซึ่งส่งผลต่อประสิทธิภาพ ความปลอดภัย และคุณภาพของงาน เนื้อหาครอบคลุมขั้นตอนการสอบเทียบ โดยเปรียบเทียบค่าที่วัดได้กับค่าจากมาตรฐาน เพื่อประเมินความคลาดเคลื่อนและปรับแก้ให้ได้ค่าที่ถูกต้องแม่นยำ นอกจากนี้ ยังเน้นการพัฒนาระบบมาตรฐานที่สามารถเปรียบเทียบผลวัดได้อย่างเที่ยงตรงและสอดคล้องกับข้อกำหนด การประยุกต์ใช้ ความรู้จากบทเรียนนี้สามารถนำไปใช้จริงในงานด้านอุตสาหกรรมและการผลิต เพื่อเพิ่มความแม่นยำในการวัด พัฒนาคุณภาพและปรับปรุงกระบวนการให้มีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น

ศูนย์บรรณสารและการเรียนรู้ สถาบันนวัตกรรมการเรียนรู้ มหาวิทยาลัยพะเยา

แบบฝึกหัดบทที่ 7

1. อธิบายการกระจายความเป็นโวลต์มิเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง พร้อมยกตัวอย่างพอสังเขป
2. อธิบายความหมายของมาตรวิทยา พร้อมยกตัวอย่างพอสังเขป
3. อธิบายวิธีการเทียบมาตรฐานโวลต์มิเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง พร้อมยกตัวอย่างพอสังเขป
4. อธิบายบายวิธีการสอบมาตรฐานการสอบเทียบวัตต์มิเตอร์ พร้อมยกตัวอย่างพอสังเขป
5. อธิบายบายวิธีการสอบมาตรฐานแอมมิเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง พร้อมยกตัวอย่างพอสังเขป
6. จงวาดแผนภาพจงจรสำหรับการสอบเทียบ แอมมิเตอร์กระแสตรง พร้อมยกตัวอย่างพอสังเขป
7. ความสำคัญของการสอบเทียบมาตรฐานมีความสำคัญอย่างไรกับเครื่องมือวัดทางอิเล็กทรอนิกส์ พร้อมยกตัวอย่างพอสังเขป
8. อธิบายความหมายของการสอบเทียบมาตรฐานและวัตถุประสงค์หลักในการดำเนินการสอบเทียบ พร้อมยกตัวอย่างพอสังเขป
9. จงอธิบายขั้นตอนการสอบเทียบมาตรฐานโดยสังเขป พร้อมยกตัวอย่างอุปกรณ์ที่มักต้องสอบเทียบ
10. ระบุและอธิบายปัจจัยสำคัญที่ต้องคำนึงถึงในการเลือกใช้มาตรฐานอ้างอิงในการสอบเทียบ
11. อธิบายถึงความแตกต่างระหว่างการสอบเทียบมาตรฐานและการตรวจสอบความแม่นยำของเครื่องมือวัด
12. จงอธิบายวิธีการสอบเทียบเครื่องชั่งดิจิทัลในห้องปฏิบัติการอย่างละเอียด
13. วิเคราะห์ผลกระทบที่อาจเกิดขึ้นหากเครื่องมือวัดไม่ได้รับการสอบเทียบอย่างถูกต้องและสม่ำเสมอ
14. อธิบายถึงความสำคัญของการสอบเทียบมาตรฐานในอุตสาหกรรมการผลิตและการควบคุมคุณภาพ
15. จงยกตัวอย่างกรณีศึกษาที่แสดงให้เห็นถึงผลกระทบจากการไม่สอบเทียบเครื่องมือวัดในงานวิจัยหรืออุตสาหกรรม
16. อธิบายวิธีการตรวจสอบความถูกต้องของการสอบเทียบหลังจากดำเนินการเสร็จสิ้น
17. จงอธิบายความสัมพันธ์ระหว่างมาตรฐานการวัดสากล (SI) กับการสอบเทียบมาตรฐานในงานวิทยาศาสตร์

ศูนย์บรรณสารและการเรียนรู้ สถาบันเทคโนโลยีการอาชีวศึกษา มหาวิทยาลัยพะเยา

อ้างอิงและบรรณานุกรมประจำบทที่ 7

[1] Preecha Yupapin, Nithiroth Pornsuwancharoen, Asphalt road surface vibration and force distribution generated by pickup truck braking, Measurement, Vol. 148 (2019) 106871.

ศูนย์บรรณสารและการเรียนรู้ สถาบันนวัตกรรมการเรียนรู้ มหาวิทยาลัยพะเยา

บทที่ 8

เครื่องกำเนิดสัญญาณไฟฟ้า (Signal Generator)

8.1 บทนำ

เครื่องกำเนิดสัญญาณไฟฟ้า (Signal Generator) เป็นอุปกรณ์สำคัญที่ใช้ในการสร้างสัญญาณไฟฟ้าเพื่อทดสอบและวิเคราะห์ระบบอิเล็กทรอนิกส์ต่าง ๆ ไม่ว่าจะเป็นการตรวจสอบความถี่ ความแม่นยำ หรือการวิเคราะห์สัญญาณในวงจรไฟฟ้า เครื่องกำเนิดสัญญาณไฟฟ้ามีบทบาทสำคัญในงานวิจัย การพัฒนา และการตรวจสอบคุณภาพของผลิตภัณฑ์ทางอิเล็กทรอนิกส์

โดยทั่วไป เครื่องกำเนิดสัญญาณไฟฟ้าจะทำหน้าที่สร้างสัญญาณในรูปแบบต่าง ๆ เช่น สัญญาณไซน์ (Sine Wave), สัญญาณสี่เหลี่ยม (Square Wave) สัญญาณสามเหลี่ยม (Triangle Wave) สัญญาณพัลส์ (Pulse) และสัญญาณดิจิทัล (Digital Signal) ซึ่งสัญญาณเหล่านี้จะถูกนำไปใช้ในการทดสอบอุปกรณ์ เช่น วงจรขยาย (Amplifier) ตัวกรองความถี่ (Filter) และระบบสื่อสาร (Communication Systems) นอกจากนั้น เครื่องกำเนิดสัญญาณไฟฟ้ายังมีหลายประเภทตามลักษณะการใช้งาน เช่น เครื่องกำเนิดสัญญาณความถี่ต่ำ (AF Signal Generator) เครื่องกำเนิดสัญญาณความถี่สูง (RF Signal Generator) เครื่องกำเนิดสัญญาณรูปคลื่น (Function Generator) และเครื่องกำเนิดสัญญาณดิจิทัล (Digital Signal Generator)

ความแม่นยำในการสร้างสัญญาณ ความเสถียรของความถี่ และความสามารถในการปรับเปลี่ยนรูปคลื่นเป็นปัจจัยสำคัญในการเลือกใช้งานเครื่องกำเนิดสัญญาณไฟฟ้าอย่างเหมาะสม การเข้าใจถึงหลักการทำงาน โครงสร้าง และการใช้งานเครื่องกำเนิดสัญญาณไฟฟ้าอย่างถูกต้อง จะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการวัดและการวิเคราะห์สัญญาณในงานอิเล็กทรอนิกส์ได้อย่างมีประสิทธิผล

8.1.1 ความหมายและความสำคัญของเครื่องกำเนิดสัญญาณไฟฟ้าในงานอิเล็กทรอนิกส์

ความหมายของเครื่องกำเนิดสัญญาณไฟฟ้า

เครื่องกำเนิดสัญญาณไฟฟ้า (Signal Generator) คืออุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่ใช้ในการสร้างสัญญาณไฟฟ้าในรูปแบบต่าง ๆ ตามความต้องการ เช่น สัญญาณไซน์ (Sine Wave), สัญญาณสี่เหลี่ยม (Square Wave), สัญญาณสามเหลี่ยม (Triangle Wave), สัญญาณฟันเลื่อย (Saw tooth Wave) สัญญาณพัลส์ (Pulse) และสัญญาณดิจิทัล (Digital Signal) เครื่องกำเนิดสัญญาณเหล่านี้สามารถปรับค่าความถี่ แอมพลิจูด และรูปคลื่นได้ตามลักษณะการใช้งาน

ศูนย์หนังสือและการเรียนรู้ สถาบันนวัตกรรมการเรียนรู้ มหาวิทยาลัยพะเยา

ความสำคัญของเครื่องกำเนิดสัญญาณไฟฟ้าในงานอิเล็กทรอนิกส์

เครื่องกำเนิดสัญญาณไฟฟ้ามีบทบาทสำคัญอย่างยิ่งในงานวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์ เนื่องจากสามารถใช้ในการทดสอบและวิเคราะห์คุณลักษณะทางไฟฟ้าของวงจรหรืออุปกรณ์ต่าง ๆ ตัวอย่างการใช้งานที่พบได้บ่อย ได้แก่

1. **การทดสอบอุปกรณ์และวงจรอิเล็กทรอนิกส์**
    - ใช้ในการตรวจสอบคุณสมบัติของอุปกรณ์ เช่น แอมพลิฟายเออร์ (Amplifier), ตัวกรองความถี่ (Filter), และเครื่องรับสัญญาณ (Receiver)
    - ใช้สร้างสัญญาณทดสอบเพื่อตรวจสอบการตอบสนองของวงจรในด้านความถี่ แรงดัน และรูปคลื่น
2. **การวิเคราะห์และออกแบบวงจรอิเล็กทรอนิกส์**
    - เครื่องกำเนิดสัญญาณสามารถสร้างสัญญาณมาตรฐานเพื่อทดสอบการทำงานของวงจรไฟฟ้า เช่น การวัดอัตราขยาย ความถี่ตอบสนอง หรือค่าความผิดเพี้ยนของสัญญาณ (THD)
    - มีความสำคัญในการพัฒนาวงจรกรองสัญญาณ (Filter Design) และวงจรสร้างความถี่ (Oscillator)
3. **การตรวจสอบและซ่อมบำรุงอุปกรณ์**
    - ใช้ในการทดสอบเครื่องรับ-ส่งสัญญาณ เพื่อวิเคราะห์ความผิดปกติของสัญญาณ
    - ช่วยให้วิศวกรสามารถระบุปัญหาที่เกิดขึ้นกับระบบอิเล็กทรอนิกส์ได้อย่างรวดเร็ว
4. **การใช้งานด้านการสื่อสาร**
    - ใช้สร้างสัญญาณทดสอบในระบบสื่อสารไร้สาย เช่น การทดสอบคุณภาพสัญญาณในเครื่องรับวิทยุหรือโทรศัพท์มือถือ
    - จำเป็นสำหรับการวิเคราะห์ความผิดเพี้ยนและสัญญาณรบกวนในระบบส่งสัญญาณ
5. **การใช้งานในงานวิจัยและพัฒนา**
    - มีบทบาทในการทดลองและพัฒนาวงจรอิเล็กทรอนิกส์ในงานวิจัย เช่น การสร้างต้นแบบระบบควบคุมอัตโนมัติหรือระบบประมวลผลสัญญาณ

เครื่องกำเนิดสัญญาณไฟฟ้าเป็นเครื่องมือที่ขาดไม่ได้ในงานวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์ เนื่องจากมีความสามารถในการสร้างสัญญาณไฟฟ้าได้หลากหลายรูปแบบ ซึ่งจำเป็นต่อการทดสอบ การวิเคราะห์ และการพัฒนาอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ต่าง ๆ การเลือกใช้งานเครื่องกำเนิดสัญญาณที่เหมาะสมและการใช้งานอย่างถูกวิธีจะช่วยให้การทดสอบและตรวจสอบวงจรเป็นไปอย่างแม่นยำและมีประสิทธิภาพ

ศูนย์บรรณสารและการเรียนรู้ สถาบันนวัตกรรมการเรียนรู้ มหาวิทยาลัยพะเยา

8.1.2 ประเภทของเครื่องกำเนิดสัญญาณไฟฟ้า

เครื่องกำเนิดสัญญาณไฟฟ้า (Signal Generator) มีหลายประเภท ซึ่งแต่ละประเภทมีลักษณะการใช้งานและคุณสมบัติเฉพาะที่แตกต่างกันออกไป การเลือกใช้งานขึ้นอยู่กับลักษณะของสัญญาณที่ต้องการ รวมถึงความแม่นยำและความถี่ที่ต้องการใช้งาน

ประเภทของเครื่องกำเนิดสัญญาณไฟฟ้า

1. เครื่องกำเนิดสัญญาณรูปคลื่น (Function Generator)

- ลักษณะ สร้างสัญญาณรูปคลื่นพื้นฐาน ได้แก่ ไซน์ (Sine) สี่เหลี่ยม (Square) สามเหลี่ยม (Triangle) และฟันเลื่อย (Saw tooth)
- การใช้งาน ทดสอบวงจรขยาย (Amplifier) วงจรกรอง (Filter) และการทดลองในห้องปฏิบัติการ
- จุดเด่น คือ ความยืดหยุ่นในการสร้างรูปคลื่น ความถี่ตั้งแต่ไม่กี่เฮิรตซ์ (Hz) ถึงหลายเมกะเฮิรตซ์ (MHz)

2. เครื่องกำเนิดสัญญาณความถี่ต่ำ (AF Signal Generator)

- ลักษณะ สร้างสัญญาณความถี่เสียง (Audio Frequency) หรือความถี่ต่ำ (20 Hz - 20 kHz)
- การใช้งาน ตรวจสอบอุปกรณ์เสียง เช่น ลำโพง แอมพลิฟายเออร์
- จุดเด่น เหมาะสำหรับการทดสอบระบบเสียงและออดิโอ

3. เครื่องกำเนิดสัญญาณความถี่สูง (RF Signal Generator)

- ลักษณะ สร้างสัญญาณความถี่สูง (Radio Frequency) ในช่วงไม่กี่เมกะเฮิรตซ์ (MHz) ถึงหลายกิกะเฮิรตซ์ (GHz)
- การใช้งาน ทดสอบเครื่องส่งวิทยุ ตัวรับสัญญาณ (Receiver) และการสื่อสารไร้สาย
- จุดเด่น ความแม่นยำสูงในการกำหนดความถี่และแอมพลิจูด

4. เครื่องกำเนิดสัญญาณดิจิทัล (Digital Signal Generator)

- ลักษณะ สร้างสัญญาณดิจิทัลแบบพัลส์หรือบิตสตรีม (Bit stream)
- การใช้งาน ทดสอบระบบดิจิทัลและไมโครคอนโทรลเลอร์
- จุดเด่น รองรับการสร้างสัญญาณดิจิทัลและพัลส์ที่กำหนดได้

5. เครื่องกำเนิดสัญญาณความถี่เฉพาะ (Crystal Oscillator)

- ลักษณะ ใช้ผลึกคริสตัลในการสร้างสัญญาณที่มีความถี่คงที่และเสถียร
- การใช้งาน นาฬิกาดิจิทัล ระบบประมวลผล และการวัดเวลาที่แม่นยำ
- จุดเด่น ความเสถียรและความแม่นยำสูง

6. เครื่องกำเนิดสัญญาณพัลส (Pulse Generator)

- ลักษณะ สร้างสัญญาณพัลส์ (Pulse) ที่มีความถี่และหน้าที่ (Duty Cycle) กำหนดได้
- การใช้งาน ทดสอบวงจรดิจิทัล ตัวนับ (Counter) และทรานซิสเตอร์
- จุดเด่น ควบคุมความกว้างและอัตราการเกิดพัลส์ได้

ศูนย์บรรณสารและการเรียนรู้ สถาบันบัณฑิตการจัดการเรียนรู้ มหาวิทยาลัยพะเยา

7. เครื่องกำเนิดสัญญาณออสซิลเลเตอร์ (Oscillator Signal Generator)

- ลักษณะ สร้างสัญญาณไฟฟ้าที่มีความถี่คงที่ เช่น ออสซิลเลเตอร์ซายน์ (Sine Oscillator)
- การใช้งาน ใช้เป็นแหล่งสัญญาณในการทดสอบความถี่คงที่ เช่น การสร้างสัญญาณนาฬิกา (Clock Signal)
- จุดเด่น มีความเสถียรสูง เหมาะกับงานที่ต้องการความถี่คงที่

8. เครื่องกำเนิดสัญญาณสเปกตรัม (Arbitrary Waveform Generator - AWG)

- ลักษณะ สามารถสร้างรูปคลื่นเฉพาะตามที่กำหนดเองได้ เช่น รูปคลื่นสลับซับซ้อน
- การใช้งาน ทดสอบระบบสัญญาณขั้นสูง เช่น การสื่อสารดิจิทัลและการวิเคราะห์คลื่น
- จุดเด่น ปรับแต่งรูปคลื่นได้ตามความต้องการ

เครื่องกำเนิดสัญญาณไฟฟ้ามีหลากหลายประเภทเพื่อรองรับงานในด้านต่าง ๆ ของวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์ การเลือกใช้งานเครื่องกำเนิดสัญญาณอย่างเหมาะสมจะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการทดสอบและวิเคราะห์วงจรได้อย่างถูกต้องและแม่นยำ เนื่องจากแต่ละประเภทมีคุณสมบัติและจุดเด่นที่ต่างกัน การทำความเข้าใจเกี่ยวกับประเภทและการใช้งานจึงมีความสำคัญอย่างยิ่งในการปฏิบัติงานจริง

8.2 หลักการทำงานของเครื่องกำเนิดสัญญาณ

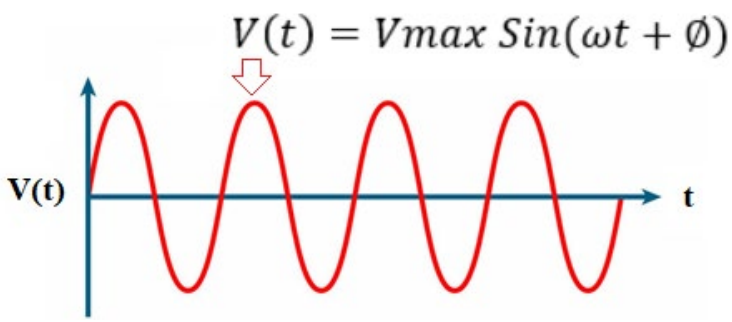
8.2.1 การสร้างสัญญาณไฟฟ้าแบบต่าง ๆ

เครื่องกำเนิดสัญญาณไฟฟ้า (Signal Generator) มีความสามารถในการสร้างสัญญาณไฟฟ้าหลายรูปแบบ เพื่อตอบสนองความต้องการในการทดสอบและวิเคราะห์วงจรอิเล็กทรอนิกส์ โดยรูปแบบสัญญาณที่สร้างขึ้นสามารถแบ่งออกได้ตามลักษณะของคลื่นและลักษณะการใช้งาน ดังนี้

1. สัญญาณไซน์ (Sine Wave)

ลักษณะ รูปคลื่นเป็นลักษณะโค้งตามสมการตรีโกณ (Sinusoidal)

สมการ $$V(t) = Vmax\ Sin(\omega t + \emptyset)$$ (8.1)



รูปที่ 8.1 สัญญาณไซน์ (Sine Wave)

ศูนย์บรรณสารและการเรียนรู้ ตึกอนันตกรรมการเรียนรู้ มหาวิทยาลัยพะเยา

คุณสมบัติ คือ ความถี่คงที่ และ ความแอมพลิจูดคงที่

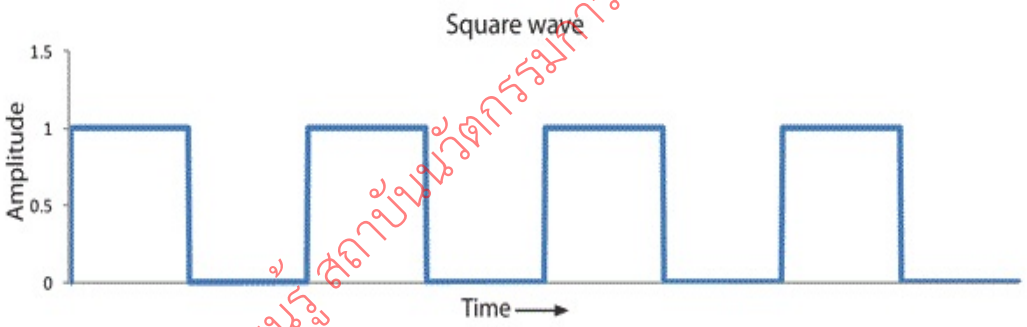
- การใช้งาน
  - ทดสอบวงจรขยาย (Amplifier)
  - ตรวจสอบความถี่ตอบสนอง (Frequency Response)
  - ใช้เป็นสัญญาณมาตรฐานในงานสื่อสาร
- จุดเด่น
  - ให้ความถี่ที่มีความเสถียรสูง
  - รูปคลื่นราบเรียบ ไม่มีฮาร์มอนิก

2. สัญญาณสี่เหลี่ยม (Square Wave)

ลักษณะของคลื่นมีลักษณะเป็นกราฟสี่เหลี่ยม สลับไปมาระหว่างแรงดันสูงและต่ำ

สมการ

- ช่วงสูง V(t) = Vmax
- ช่วงต่ำ V(t) = 0 V



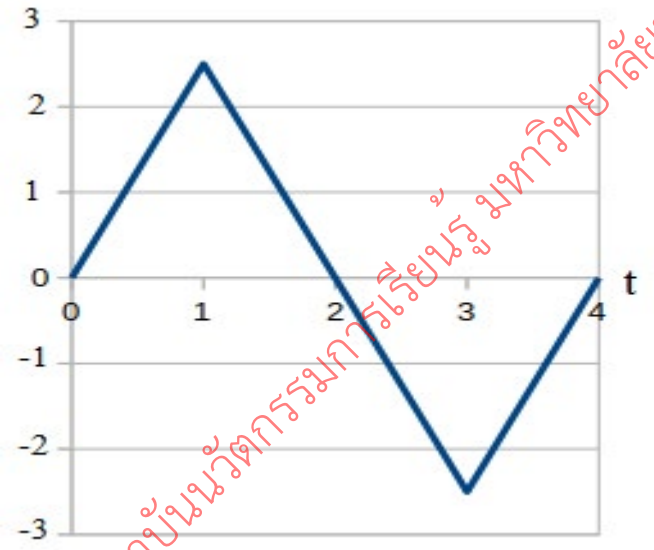
รูปที่ 8.2 สัญญาณสี่เหลี่ยม (Square Wave)

- คุณสมบัติ
  - มีความถี่พื้นฐานและฮาร์มอนิกที่เป็นจำนวนคี่
  - หน้าที่ (Duty Cycle) สามารถปรับได้
- การใช้งาน
  - ทดสอบวงจรดิจิทัล (Digital Circuit)
  - ใช้เป็นสัญญาณนาฬิกา (Clock Signal)
  - ตรวจสอบการตอบสนองของสวิตช์อิเล็กทรอนิกส์
- จุดเด่น
  - เหมาะสำหรับการกระตุ้นวงจรดิจิทัล
  - ง่ายต่อการวิเคราะห์สัญญาณ

ศูนย์บรรณสารและการเรียนรู้ สถาบันนวัตกรรมการเรียนรู้ มหาวิทยาลัยพะเยา

3. สัญญาณสามเหลี่ยม (Triangle Wave)

- ลักษณะของรูปคลื่นมีลักษณะเป็นสามเหลี่ยม ความชันคงที่
- สมการ
  - ขาขึ้น V(t)=$\frac{2Vmax}{T}t$ (8.2)
  - ขาลง V(t)=$-\frac{2Vmax}{T}t$ (8.3)



รูปที่ 8.3 สัญญาณสามเหลี่ยม (Triangle Wave)

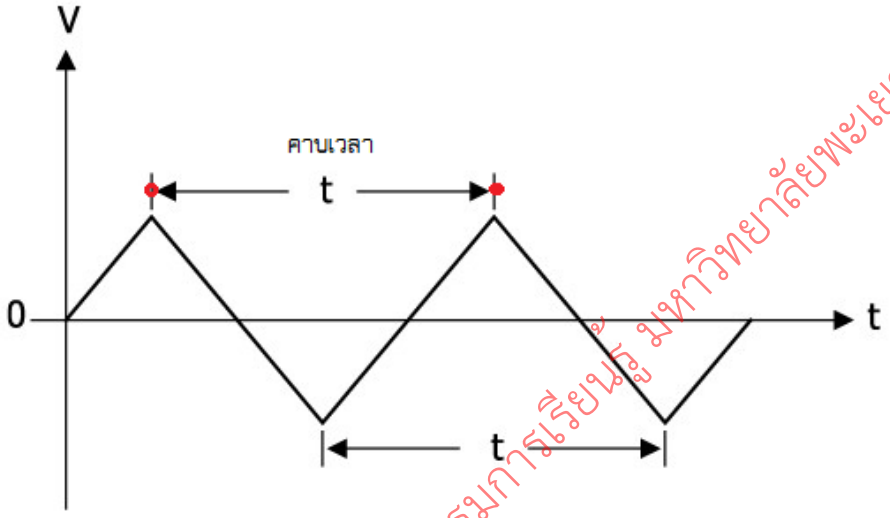
- คุณสมบัติ
  - เสียงรบกวนต่ำ
  - ความถี่ฮาร์มอนิกเป็นจำนวนคี่
- การใช้งาน
  - ทดสอบวงจรกรอง (Filter Testing)
  - ใช้ในเครื่องกำเนิดฟังก์ชัน (Function Generator)
- จุดเด่น
  - สัญญาณขึ้นลงอย่างสม่ำเสมอ
  - เหมาะกับงานทดสอบแอมพลิฟายเออร์เชิงเส้น

ศูนย์บรรณสารและการเรียนรู้ สถาบันนวัตกรรมการเรียนรู้ มหาวิทยาลัยพะเยา

4. สัญญาณฟันเลื่อย (Sawtooth Wave)

- ลักษณะ รูปคลื่นมีลักษณะฟันเลื่อย ขึ้นอย่างช้าและตกอย่างรวดเร็ว (หรือกลับกัน)
- สมการ

$$V(t)=V_{max} \times \frac{t}{T} \quad (8.4)$$



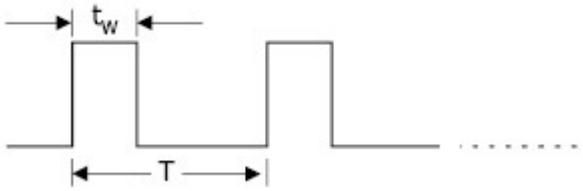
รูปที่ 8.4 สัญญาณฟันเลื่อย (Saw tooth Wave)

- คุณสมบัติ
  - มีทั้งส่วนขาขึ้นและขาลงไม่เท่ากัน
  - ความถี่ฮาร์มอนิกทั้งเลขคี่และเลขคู่
- การใช้งาน
  - ทดสอบวงจรสแกนในจอภาพ (Oscilloscope)
  - ใช้ในการสร้างกราฟิกและการสังเคราะห์เสียง
- จุดเด่น
  - มีความชัดเจนในการวิเคราะห์ทางคลื่น
  - เหมาะสำหรับงานที่ต้องการการไล่ระดับ

5. สัญญาณพัลส์ (Pulse Wave)

- ลักษณะ คลื่นสั้น ๆ ที่เกิดขึ้นเป็นช่วง ๆ
- สมการ
  - พัลส์ V(t)=Vmax เมื่อเปิด
  - ไม่มีพัลส์ V(t)=0 เมื่อปิด

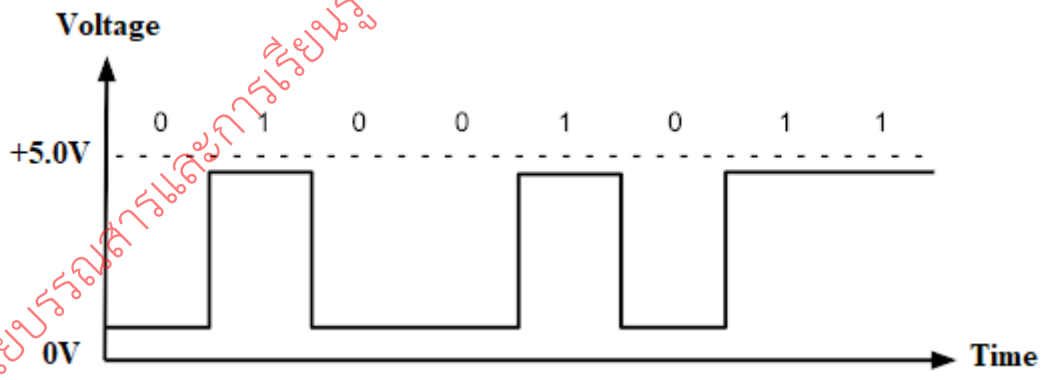
ศูนย์บรรณสารและการเรียนรู้ สถาบันนวัตกรรมการเรียนรู้ มหาวิทยาลัยพะเยา



รูปที่ 8.5 สัญญาณพัลส์ (Pulse Wave)

- คุณสมบัติ
  - ควบคุมความกว้างของพัลส์ได้
  - มีช่วงเปิด (On) และปิด (Off)
- การใช้งาน
  - กระตุ้นวงจรตรรกะ (Logic Circuit)
  - ใช้ในการทดสอบสวิตช์และตัวนับ (Counter)
- จุดเด่น
  - เหมาะสำหรับการทดสอบการตอบสนองแบบชั่วคราว
  - ใช้เป็นสัญญาณกระตุ้นในระบบดิจิทัล

6. สัญญาณดิจิทัล (Digital Signal)
   - ลักษณะ สัญญาณที่มีเพียงสองสถานะคือ สูง (High) และ ต่ำ (Low)
   - คุณสมบัติ
     - ระดับแรงดันระหว่าง 0 และ Vmax
     - ใช้รหัสไบนารี (Binary Encoding)



รูปที่ 8.6 สัญญาณดิจิทัล (Digital Signal)

- การใช้งาน
  - ทดสอบระบบไมโครคอนโทรลเลอร์ (Microcontroller)
  - วิเคราะห์การทำงานของบัสข้อมูล (Data Bus)
- จุดเด่น
  - เหมาะสำหรับงานระบบดิจิทัลและการประมวลผลข้อมูล

ศูนย์บรรณสารและการเรียนรู้ สถาบันวิทยาการเรียนรู้ มหาวิทยาลัยพะเยา

การสร้างสัญญาณไฟฟ้าในรูปแบบต่าง ๆ เป็นสิ่งสำคัญในงานวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์ เนื่องจากสัญญาณแต่ละประเภทมีลักษณะเฉพาะและเหมาะสมกับการใช้งานที่แตกต่างกัน การเลือกใช้สัญญาณที่ถูกต้องช่วยให้การทดสอบวงจรและอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์มีความแม่นยำและมีประสิทธิภาพมากขึ้น

8.2.2 การแปลงพลังงานไฟฟ้าให้เป็นสัญญาณ

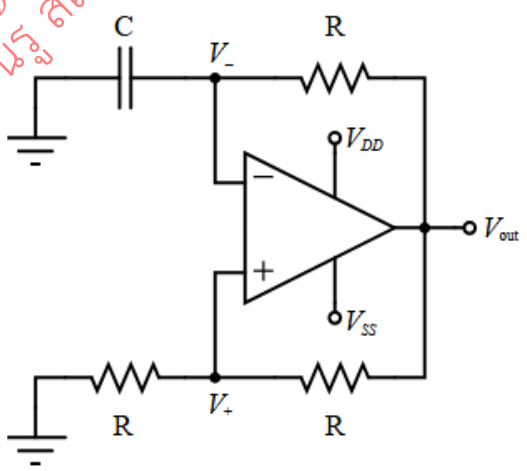
การแปลงพลังงานไฟฟ้าให้เป็นสัญญาณ (Electrical Power Conversion to Signal) เป็นกระบวนการที่เครื่องกำเนิดสัญญาณไฟฟ้าทำหน้าที่เปลี่ยนรูปพลังงานไฟฟ้าให้เป็นสัญญาณรูปคลื่นตามต้องการ กระบวนการนี้มีความสำคัญอย่างยิ่งในงานอิเล็กทรอนิกส์ เนื่องจากการวิเคราะห์และทดสอบระบบต่าง ๆ ต้องอาศัยสัญญาณไฟฟ้าที่มีความแม่นยำและเสถียร

หลักการแปลงพลังงานไฟฟ้าให้เป็นสัญญาณ

โดยทั่วไปการแปลงพลังงานไฟฟ้าให้เป็นสัญญาณไฟฟ้าสามารถแบ่งออกเป็น 3 ขั้นตอนหลัก ดังนี้

1. **การกำเนิดแรงดันไฟฟ้า (Voltage Generation)**
   - เริ่มต้นจากการสร้างแรงดันไฟฟ้าโดยใช้แหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรง (DC) หรือกระแสสลับ (AC)
   - เครื่องกำเนิดสัญญาณจะใช้วงจรออสซิลเลเตอร์ (Oscillator Circuit) เพื่อสร้างแรงดันในรูปแบบคลื่น เช่น ไซน์หรือสี่เหลี่ยม

ตัวอย่าง วงจร LC Oscillator สำหรับสร้างสัญญาณไซน์



รูปที่ 8.6 วงจร LC Oscillator

วงจรที่ 8.6 เป็นวงจรออสซิลเลเตอร์ LC ที่ใช้ แอมป์ออปแอมป์ (Op-Amp) เป็นส่วนประกอบหลัก โดยมีองค์ประกอบสำคัญดังนี้

ศูนย์บรรณสารและการเรียนรู้ สถาบันนวัตกรรมการเรียนรู้ มหาวิทยาลัยพะเยา

องค์ประกอบของวงจร

1. ตัวเก็บประจุ (C)
    - ทำงานร่วมกับตัวต้านทาน (R) เพื่อสร้างเงื่อนไขการสั่น
2. ตัวต้านทาน (R)
    - มีอยู่หลายตำแหน่ง โดยทำหน้าที่กำหนดความถี่และการขยายของสัญญาณ
3. Op-Amp
    - ทำหน้าที่เป็นตัวขยายและสร้างฟีดแบ็กกลับมายังอินพุต
    - มีขั้วจ่ายไฟ V_{DD} และ V_{SS}
4. แรงดันไฟฟ้าอ้างอิง (V_+ และ V_-)
    - อินพุตบวก (+) และลบ (-) ของ Op-Amp
5. เอาต์พุต (V_{out})
    - เป็นสัญญาณเอาต์พุตของออสซิลเลเตอร์

หลักการทำงาน

1. การสร้างสัญญาณสั่น
    - วงจรนี้อาศัยหลักการของการตอบสนองความถี่ของตัวเก็บประจุและตัวต้านทานเพื่อสร้างการสั่น
    - การเชื่อมต่อของตัวเก็บประจุและตัวต้านทานสร้างเงื่อนไขสำหรับการเกิดความถี่เรโซแนนซ์
2. การขยายสัญญาณ
    - สัญญาณถูกขยายโดย Op-Amp และป้อนกลับมายังอินพุต
    - ฟีดแบ็กเชิงบวกจาก Op-Amp ช่วยให้เกิดการสั่นอย่างต่อเนื่อง
3. เงื่อนไขการสั่น
    - สำหรับออสซิลเลเตอร์แบบ LC เงื่อนไขการสั่น คือ

$$A\beta = 1 \tag{8.4}$$

A คือ อัตราขยายของ Op-Amp

β คือ อัตราการป้อนกลับ (Feedback)

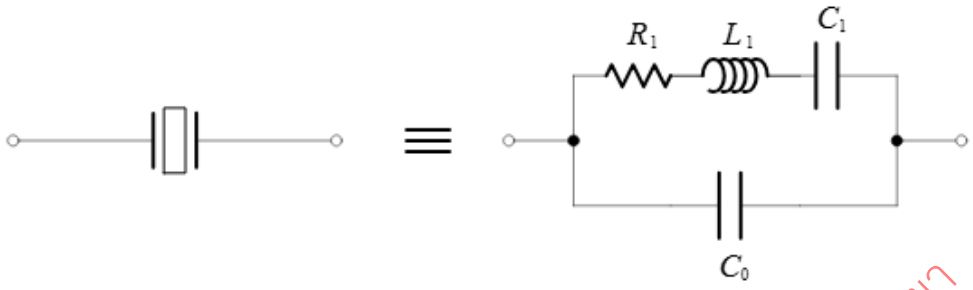
4. ความถี่ของการสั่น
    - ความถี่การสั่น (f) ของวงจรสามารถคำนวณได้โดย

$$f = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} \tag{8.5}$$

    - เนื่องจากตัวต้านทาน (R) และตัวเก็บประจุ (C) มีอิทธิพลต่อการกำหนดความถี่ วงจรนี้เป็นออสซิลเลเตอร์ LC ที่ใช้ Op-Amp เพื่อสร้างการสั่นด้วยความถี่ที่ขึ้นอยู่กับค่าของตัวต้านทานและตัวเก็บประจุ มีการนำสัญญาณฟีดแบ็กกลับมายังอินพุตเพื่อรักษาการสั่นอย่างต่อเนื่อง

ศูนย์บรรณสารและสื่อการเรียนรู้ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง มหาวิทยาลัยพะเยา

วงจร Crystal Oscillator เพื่อสร้างความถี่คงที่



รูปที่ 8.7 วงจร Crystal Oscillator

ที่มา: https://www.academia.edu/6495067/Lecture_4_Crystal_Oscillators

สืบค้นเมื่อวันที่ 13/5/2567

วงจรที่ 8.7 เป็นวงจรคริสตอลเป็นเสมือนวงจรอนุกรม RLC แบบขนาน (Parallel RLC Circuit) ที่มีส่วนประกอบดังนี้

องค์ประกอบของวงจร

1. ตัวต้านทาน (R_1)
    - ทำหน้าที่ควบคุมการสูญเสียพลังงานในวงจร
    - มีผลต่อค่า ความหนืด (Damping) ของการสั่น
2. ตัวเหนี่ยวนำ (L_1)
    - เก็บพลังงานในรูปของสนามแม่เหล็ก
    - มีอิทธิพลต่อความถี่เรโซแนนซ์และการสั่น
3. ตัวเก็บประจุ (C_1)
    - เก็บพลังงานในรูปของสนามไฟฟ้า
    - ทำงานร่วมกับตัวเหนี่ยวนำเพื่อกำหนดความถี่เรโซแนนซ์
4. ตัวเก็บประจุ (C_0)
    - เชื่อมต่อแบบขนานกับวงจร RLC อนุกรม
    - ส่งผลต่อค่าความจุรวมของวงจร

หลักการทำงานของวงจร

1. **ลักษณะการต่อ**
    - ตัวต้านทาน (R_1) ตัวเหนี่ยวนำ (L_1) และตัวเก็บประจุ (C_1) ต่อกันแบบอนุกรม
    - ชุดอนุกรมนี้ต่อขนานกับตัวเก็บประจุ (C_0)

ศูนย์บรรณสารและการเรียนรู้ สถาบันนวัตกรรมการเรียนรู้ มหาวิทยาลัยพะเยา

2. **เงื่อนไขการสั่น**
    - วงจรนี้สามารถสร้างการสั่นได้เมื่อค่า ความต้านทานรวม (Impedance) เป็นศูนย์
    - ความถี่เรโซแนนซ์ (f_r) คำนวณจาก

$$f_r = \frac{1}{2\pi\sqrt{L_1(C_1+C_0)}} \quad (8.6)$$

    - การมีตัวเก็บประจุสองตัว (C_1 และ C_0) ทำให้ค่าความจุรวมเพิ่มขึ้น
3. **พฤติกรรมความถี่**
    - ที่ความถี่เรโซแนนซ์ กระแสจะสูงสุด เนื่องจากอิมพีแดนซ์ต่ำสุด
    - ความถี่ที่ไม่ใช่เรโซแนนซ์ จะมีอิมพีแดนซ์สูง ทำให้กระแสลดลง
4. **การลดทอน (Damping)**
    - ตัวต้านทาน (R_1) มีบทบาทในการลดทอนการสั่น
    - การมีตัวต้านทานสูงจะลดทอนการสั่นให้หมดเร็วขึ้น

การประยุกต์ใช้งาน

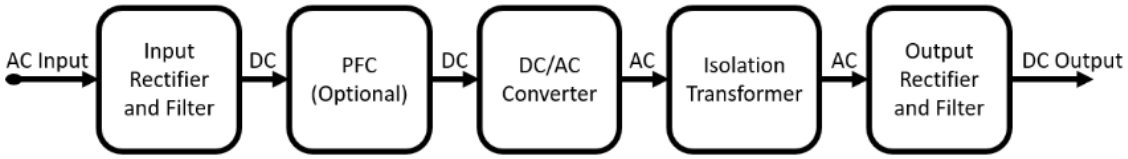
- วงจรชนิดนี้มักใช้ใน ฟิลเตอร์ความถี่ ออสซิลเลเตอร์ และ เครื่องจูนความถี่ (Tuning Circuits)
- เหมาะสำหรับการกรองสัญญาณความถี่เฉพาะ

2. การกำหนดรูปแบบคลื่น (Waveform Shaping)
    - แรงดันไฟฟ้าที่ได้จากออสซิลเลเตอร์ยังคงเป็นคลื่นพื้นฐาน (Basic Wave)
    - การปรับรูปคลื่นทำได้โดยใช้วงจรปรับคลื่น (Wave Shaping Circuit) เพื่อสร้างรูปคลื่นที่ต้องการ เช่น สามเหลี่ยม ฟันเลื่อย หรือพัลส์
    - วงจรที่ใช้
        - วงจรกรอง (Filter Circuit) เพื่อตัดความถี่ส่วนเกิน
        - วงจรอินทิเกรเตอร์ (Integrator) เพื่อแปลงสัญญาณสี่เหลี่ยมเป็นสามเหลี่ยม
        - วงจรคลิปเปอร์ (Clipper) และวงจรคลามเปอร์ (Clamper) เพื่อปรับค่าความสูงของคลื่น

3. การควบคุมแอมพลิจูดและความถี่ (Amplitude and Frequency Control)
    - หลังจากได้รูปคลื่นที่ต้องการ จะมีการปรับความถี่และแอมพลิจูดให้ได้ตามความต้องการ
    - ใช้วงจรขยาย (Amplifier Circuit) เพื่อปรับระดับแรงดัน
    - วงจรกำหนดความถี่ (Frequency Control Circuit) จะควบคุมความเสถียรในการกำเนิดคลื่น

ศูนย์บรรณสารและการเรียนรู้ สถาบันพัฒนาการเรียนรู้ มหาวิทยาลัยพะเยา

ตัวอย่าง การใช้พลังงานจากแหล่งจ่ายไฟฟ้าร่วมกับวงจรปรับแอมพลิจูด



รูปที่ 8.8 การใช้พลังงานจากแหล่งจ่ายไฟฟ้าร่วมกับวงจรปรับแอมพลิจูด

ที่มา: https://www.monolithicpower.com/en/learning/resources/ac-dc-power-supply-basics/ ค้นเมื่อวันที่ 13/5/2567

แนวทางการออกแบบแหล่งจ่ายไฟรูปแบบใหม่ได้รับการพัฒนาขึ้นเพื่อแก้ไขข้อจำกัดของแหล่งจ่ายไฟ AC/DC แบบเชิงเส้นหรือแบบดั้งเดิม เช่น ขนาดของหม้อแปลงที่ใหญ่และประสิทธิภาพในการควบคุมแรงดันไฟฟ้าที่ต่ำ ปัจจุบัน แหล่งจ่ายไฟแบบสวิตชิ่ง (Switching Power Supply) ได้รับความนิยมมากขึ้น เนื่องจากความก้าวหน้าของเทคโนโลยีเซมิคอนดักเตอร์ โดยเฉพาะทรานซิสเตอร์ MOSFET กำลังสูง (High-Power MOSFET) ซึ่งสามารถทำงานเปิด–ปิดได้อย่างรวดเร็วและมีประสิทธิภาพ แม้ในสภาวะที่มีแรงดันและกระแสสูง

แหล่งจ่ายไฟ AC/DC แบบสวิตชิ่ง หรือที่เรียกว่า Switched-Mode Power Supply (SMPS) มีข้อได้เปรียบด้านประสิทธิภาพในการแปลงพลังงาน เนื่องจากลดการสูญเสียพลังงานที่ไม่จำเป็น ทำให้สามารถออกแบบแหล่งจ่ายไฟที่มีขนาดเล็ก น้ำหนักเบา และให้ประสิทธิภาพสูงได้ดียิ่งขึ้น

หลักการทำงานของแหล่งจ่ายไฟ AC/DC แบบสวิตชิ่ง (Switched-Mode Power Supply: SMPS) แหล่งจ่ายไฟ AC/DC แบบสวิตชิ่งมีขั้นตอนการแปลงพลังงานที่ซับซ้อนกว่าแบบเชิงเส้นเล็กน้อย โดยเริ่มจากการนำแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ (AC) ขาเข้าไปผ่านกระบวนการเรียงกระแส (Rectification) และกรอง (Filtering) เพื่อให้ได้แรงดันกระแสตรง (DC) จากนั้นแรงดัน DC นี้จะถูกส่งเข้าสู่วงจรสับ (Chopper) ซึ่งทำหน้าที่แปลงแรงดันให้เป็นพัลส์ความถี่สูง (High-Frequency Pulse Train)

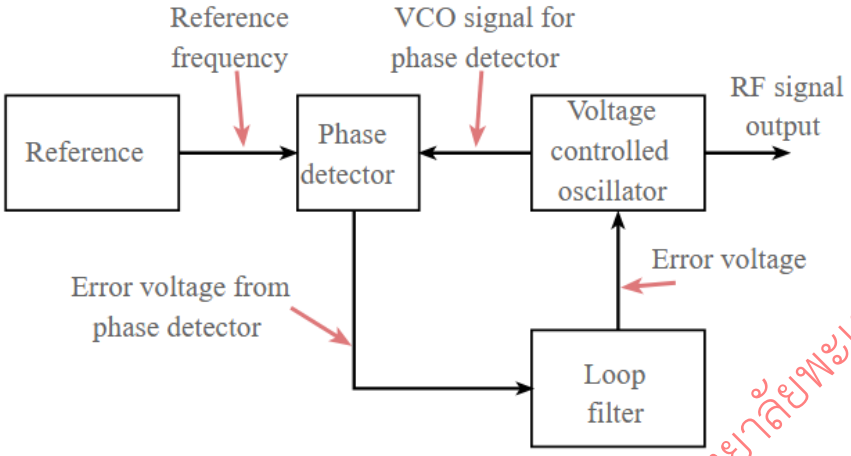
พัลส์ดังกล่าวจะถูกส่งผ่านตัวเรียงกระแสและตัวกรองอีกครั้งเพื่อแปลงกลับเป็นแรงดันกระแสตรง (DC) ที่เรียบ และกำจัดสัญญาณรบกวนจากองค์ประกอบของกระแสสลับที่อาจหลงเหลืออยู่ก่อนนำไปใช้งาน ดูรูปที่ 8.8 ประกอบ

ข้อได้เปรียบของหม้อแปลงในแหล่งจ่ายไฟแบบสวิตชิ่ง

เมื่อทำงานที่ความถี่สูง หม้อแปลงสามารถถ่ายโอนพลังงานผ่านตัวเหนี่ยวนำ (Inductor) ได้มากขึ้นโดยไม่เข้าสู่ภาวะอิ่มตัว (Saturation) ซึ่งช่วยให้สามารถใช้แกนแม่เหล็กขนาดเล็กลงได้อย่างมีประสิทธิภาพ ด้วยเหตุนี้ หม้อแปลงในแหล่งจ่ายไฟ AC/DC แบบสวิตชิ่งจึงมีขนาดเล็กและเบากว่าหม้อแปลงในแหล่งจ่ายไฟแบบเชิงเส้นอย่างมาก แม้จะให้กำลังเท่ากันก็ตาม โดยยังสามารถลดแอมพลิจูดของแรงดันไฟฟ้าให้เหมาะสมกับการใช้งานได้อย่างมีประสิทธิภาพ

ศูนย์บรรณสารและการเรียนรู้ สถาบันพัฒนาการอาชีวศึกษา มหาวิทยาลัยพะเยา

การใช้ PLL (Phase-Locked Loop) เพื่อรักษาความถี่ให้คงที่



รูปที่ 8.9 วงจร PLL (Phase-Locked Loop)

ที่มา: https://th.fmuser.net/wap/content/?6852.html ค้นเมื่อวันที่ 13/5/2567

การควบคุมแรงดันไฟฟ้าในระบบ PLL (Phase-Locked Loop) ในระบบ Phase-Locked Loop (PLL) ตัวสร้างสัญญาณควบคุมด้วยแรงดันไฟฟ้า (Voltage-Controlled Oscillator: VCO) จะผลิตสัญญาณที่นำไปเปรียบเทียบกับสัญญาณอ้างอิงในวงจรตรวจจับเฟส (Phase Detector) ผลต่างของเฟสดังกล่าวจะถูกแปลงเป็นแรงดันไฟฟ้า ซึ่งสะท้อนถึงความคลาดเคลื่อนระหว่างสองสัญญาณ

แรงดันไฟฟ้าข้อผิดพลาดนี้จะผ่านตัวกรองความถี่ต่ำ (Low-Pass Filter) เพื่อกำจัดสัญญาณรบกวนหรือส่วนประกอบความถี่สูง จากนั้นนำแรงดันที่ได้ไปควบคุม VCO เพื่อปรับความถี่ให้เข้าใกล้สัญญาณอ้างอิงมากที่สุด

สถานะของระบบ PLL

- ขณะยังไม่ล็อก (Unlocked) ระบบยังไม่สามารถปรับให้สัญญาณทั้งสองตรงกันได้ แรงดันไฟฟ้าจะเปลี่ยนแปลงอย่างต่อเนื่องเพื่อเร่งให้ VCO เข้าใกล้ความถี่อ้างอิง
- ขณะล็อกแล้ว (Locked) เฟสของสัญญาณจาก VCO และสัญญาณอ้างอิงจะคงที่หรือแตกต่างกันเพียงเล็กน้อย ทำให้แรงดันควบคุมคงที่ ส่งผลให้ VCO คงความถี่เท่ากับสัญญาณอ้างอิงอย่างมีเสถียรภาพ

การประยุกต์ใช้งานในระบบ RF

PLL เป็นองค์ประกอบสำคัญในงานด้านวิศวกรรมความถี่วิทยุ (RF) โดยถูกใช้ใน:

- ตัวสร้างความถี่ (Frequency Synthesizer)
- ตัวถอดรหัสสัญญาณ FM (FM Demodulator)

ศูนย์บรรณสารและการเรียนรู้ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยพะเยา

- ระบบกู้คืนคลื่นพาหะ (Carrier Recovery)

เนื่องจาก PLL ให้ความแม่นยำและความเสถียรสูง จึงมีบทบาทสำคัญในระบบสื่อสารไร้สายและอุปกรณ์ RF ทั่วไป

การใช้งานจริงในการแปลงพลังงานไฟฟ้าเป็นสัญญาณ

1. การทดสอบอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์
    - การแปลงไฟฟ้ากระแสตรงเป็นสัญญาณไซน์เพื่อทดสอบแอมพลิฟายเออร์
    - การสร้างสัญญาณสี่เหลี่ยมเพื่อทดสอบการตอบสนองของวงจรดิจิทัล
2. การวัดและตรวจสอบในงานอุตสาหกรรม
    - การใช้สัญญาณไซน์เพื่อวัดค่าความถี่ของมอเตอร์
    - การใช้สัญญาณพัลส์ในการทดสอบระบบควบคุมอัตโนมัติ
3. การสร้างสัญญาณความถี่สูงในงานสื่อสาร
    - แปลงแรงดันไฟฟ้าจากแบตเตอรี่เป็นสัญญาณ RF เพื่อทดสอบเครื่องส่งวิทยุ
    - การสร้างสัญญาณคลื่นพาหะ (Carrier Wave) สำหรับระบบวิทยุและโทรคมนาคม

ตารางที่ 8.1 วงจรแปลงพลังงานไฟฟ้าเป็นสัญญาณ

วงจรแปลงพลังงาน	รูปแบบสัญญาณที่ได้	การใช้งาน
LC Oscillator	ไซน์ (Sine Wave)	วิทยุ FM
Crystal Oscillator	ไซน์ (ความถี่คงที่)	นาฬิกาดิจิทัล
Multivibrator	สี่เหลี่ยม (Square Wave)	นาฬิกาดิจิทัล
Pulse Generator	พัลส์ (Pulse)	การทดสอบวงจรดิจิทัล
Function Generator	หลายรูปแบบ (Sine, Square, Triangle)	ห้องปฏิบัติการ

ปัญหาและอุปสรรคในการแปลงพลังงานไฟฟ้าให้เป็นสัญญาณ

1. การรบกวนจากสัญญาณรบกวน (Noise Interference)
    - ทำให้รูปคลื่นผิดเพี้ยน ส่งผลต่อความแม่นยำ
    - แก้ไขโดยการใช้วงจรกรองความถี่ต่ำ (Low Pass Filter)
2. การผิดเพี้ยนของคลื่น (Wave Distortion)
    - เกิดจากความไม่เสถียรของวงจรออสซิลเลเตอร์
    - ใช้ Crystal Oscillator เพื่อความเสถียรสูง
3. ความคลาดเคลื่อนของความถี่ (Frequency Drift)
    - อุณหภูมิเปลี่ยนแปลงอาจทำให้ค่าความถี่ผิดพลาด
    - ใช้วงจรชดเชยความร้อน (Temperature Compensation)

ศูนย์บรรณสารและการเรียนรู้ คณะวิศวกรรมการเรียนรู้ มหาวิทยาลัยพะเยา

การแปลงพลังงานไฟฟ้าให้เป็นสัญญาณมีความสำคัญอย่างมากในงานอิเล็กทรอนิกส์ เนื่องจากสัญญาณที่ถูกต้องและแม่นยำมีผลโดยตรงต่อการทดสอบและวิเคราะห์วงจร การใช้เทคนิคและวงจรที่เหมาะสมในการกำเนิดสัญญาณสามารถลดปัญหาความผิดเพี้ยนและเพิ่มความน่าเชื่อถือของผลการทดสอบได้

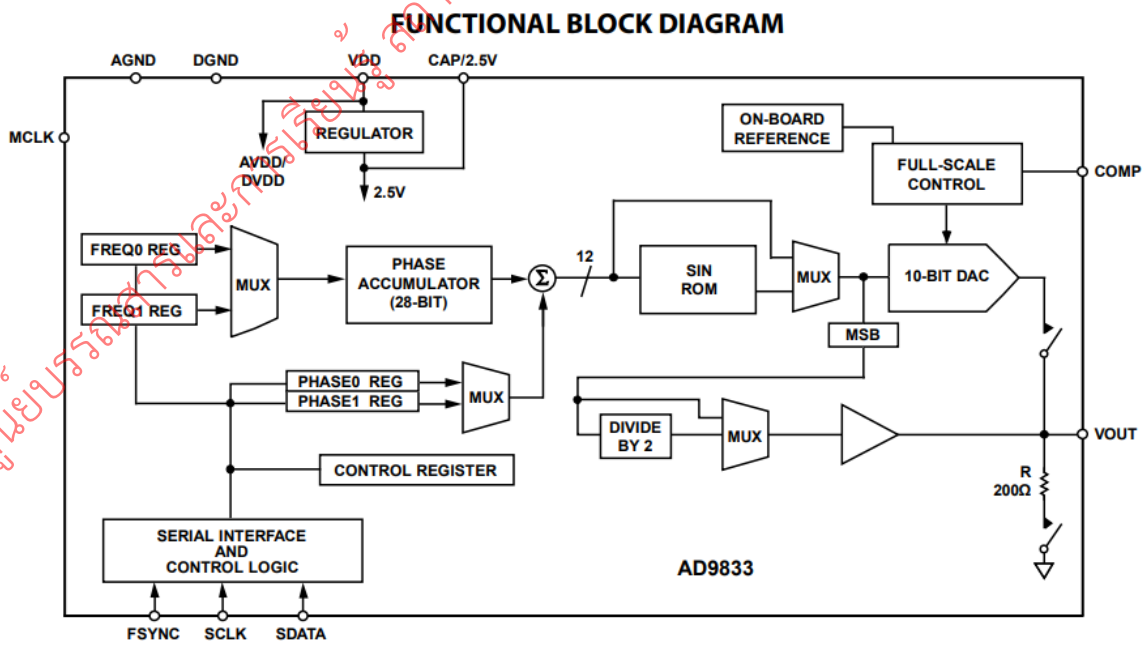
8.2.3 องค์ประกอบพื้นฐานของเครื่องกำเนิดสัญญาณ

เครื่องกำเนิดสัญญาณ (Signal Generator) เป็นอุปกรณ์ที่ใช้สร้างสัญญาณไฟฟ้าหลากหลายรูปแบบ เช่น สัญญาณไซน์ (Sine Wave) สี่เหลี่ยม (Square Wave) สามเหลี่ยม (Triangle Wave) และพัลส์ (Pulse) โดยมีองค์ประกอบพื้นฐานที่สำคัญ ดังนี้



รูปที่ 8.10 เครื่องกำเนิดสัญญาณ (Signal Generator)

ที่มา : https://www.artronshop.co.th/article/79/-function-generator-ค้นเมื่อวันที่ 13/5/2567



รูปที่ 8.11 ผังการทำงานของเครื่องกำเนิดสัญญาณ (Signal Generator)

ที่มา : https://www.artronshop.co.th/article/79/-function-generator-ค้นเมื่อวันที่ 13/5/2567

ศูนย์บรรณสารและการเรียนรู้ สถาบันวิทยาการเรียนรู้ มหาวิทยาลัยพะเยา

AD9833 สามารถสร้างสัญญาณได้ 3 รูปคลื่น คือ คลื่นไซน์ คลื่นสี่เหลี่ยม และคลื่นสามเหลี่ยม กำหนดความถี่ได้ตั้งแต่ 0Hz ถึง 12.5MHz โดยผลการทดสอบให้ AD9833 ผลิตความถี่และรูปคลื่นที่ต่างกันมีดังนี้

1. แหล่งจ่ายไฟ (Power Supply)

- หน้าที่ ให้พลังงานไฟฟ้าแก่เครื่องกำเนิดสัญญาณ
- ประเภท ไฟฟ้ากระแสตรง (DC) หรือไฟฟ้ากระแสสลับ (AC)
- คุณสมบัติ ต้องมีความเสถียรสูงเพื่อไม่ให้แรงดันตกหรือแกว่งระหว่างการทำงาน

2. วงจรกำเนิดสัญญาณ (Oscillator Circuit)

- หน้าที่ สร้างสัญญาณไฟฟ้าในรูปคลื่นต่าง ๆ
- ชนิดของออสซิลเลเตอร์
    - LC Oscillator ใช้ตัวเหนี่ยวนำ (L) และตัวเก็บประจุ (C) สร้างคลื่นไซน์
    - Crystal Oscillator ใช้ผลึกควอทซ์เพื่อความแม่นยำสูง
    - RC Oscillator ใช้ตัวต้านทาน (R) และตัวเก็บประจุ (C) เพื่อสร้างคลื่นรูปแบบต่าง ๆ
- จุดเด่น คือ ความถี่ที่ได้มีความแม่นยำและเสถียรสูง

3. วงจรปรับความถี่ (Frequency Control Circuit)

- หน้าที่ ปรับความถี่ของสัญญาณที่สร้างขึ้น
- กลไกการปรับ
    - การหมุนปุ่มหรือการตั้งค่าดิจิทัล
    - การใช้ไดโอดปรับความถี่ (Varactor Diode)
- จุดเด่น ปรับช่วงความถี่ได้กว้างตามความต้องการ

4. วงจรปรับแอมพลิจูด (Amplitude Control Circuit)

- หน้าที่ ปรับระดับความสูงของสัญญาณ (Amplitude)
- องค์ประกอบ
    - ตัวต้านทานปรับค่า (Variable Resistor)
    - ตัวขยายสัญญาณ (Amplifier)
- จุดเด่น สามารถเพิ่มหรือลดความแรงของสัญญาณได้

5. วงจรสร้างรูปคลื่น (Waveform Shaping Circuit)

- หน้าที่ คือ ปรับแต่งรูปคลื่นให้เป็นไปตามความต้องการ
- รูปแบบคลื่นที่สามารถสร้างได้
    - ไซน์ (Sine)

ศูนย์บรรณสารและการเรียนรู้ สถาบันนวัตกรรมการเรียนรู้ มหาวิทยาลัยพะเยา

    - สี่เหลี่ยม (Square)
    - สามเหลี่ยม (Triangle)
    - ฟันเลื่อย (Sawtooth)
- จุดเด่น คือ ความยืดหยุ่นในการเลือกใช้รูปคลื่น

6. วงจรขยายสัญญาณ (Signal Amplifier)

- หน้าที่ เพิ่มกำลังของสัญญาณให้เพียงพอต่อการใช้งาน
- ชนิดของเครื่องขยาย
    - แอมพลิฟายเออร์เชิงเส้น (Linear Amplifier)
    - แอมพลิฟายเออร์ดิจิทัล (Digital Amplifier)
- จุดเด่น คงค่าความถี่และแอมพลิจูดตามที่กำหนด

7. หน้าจอแสดงผลและส่วนควบคุม (Display and Control Panel)

- หน้าที่แสดงค่าต่าง ๆ เช่น ความถี่ แอมพลิจูด และรูปคลื่น
- ส่วนควบคุม
    - ปุ่มปรับความถี่
    - ปุ่มเลือกคลื่น
    - ปุ่มปรับแอมพลิจูด
- จุดเด่น คือ ใช้งานง่ายและให้ข้อมูลแบบเรียลไทม์

8. ช่องต่อเอาต์พุต (Output Port)

- หน้าที่ คือ ส่งสัญญาณไปยังอุปกรณ์หรือวงจรที่ต้องการทดสอบ
- ประเภทช่องต่อ
    - BNC (Bayonet Neill–Concelman)
    - Banana Jack
- จุดเด่น คือ เชื่อมต่อได้ง่ายและมีความเสถียร

องค์ประกอบพื้นฐานของเครื่องกำเนิดสัญญาณช่วยให้สามารถสร้างสัญญาณได้หลากหลายและปรับแต่งตามความต้องการในงานทดสอบและวิเคราะห์วงจรอิเล็กทรอนิกส์ ความสามารถในการสร้างสัญญาณที่มีความถี่และแอมพลิจูดที่แม่นยำช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการวัดและตรวจสอบระบบต่าง ๆ ในงานวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์

ศูนย์บรรณสารและสารสนเทศ สถาบันนวัตกรรมการเรียนรู้ มหาวิทยาลัยพะเยา

8.3 ประเภทของเครื่องกำเนิดสัญญาณ

เครื่องกำเนิดสัญญาณ (Signal Generator) เป็นอุปกรณ์ที่ใช้ในการสร้างสัญญาณไฟฟ้าหลากหลายรูปแบบเพื่อนำไปใช้ในงานทางด้านอิเล็กทรอนิกส์ การสื่อสาร การทดสอบและวัดค่าทางไฟฟ้า โดยเครื่องกำเนิดสัญญาณมีความสำคัญอย่างยิ่งในการทดสอบวงจร อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ รวมถึงการศึกษาวิจัยเกี่ยวกับสัญญาณต่างๆ

เนื่องจากการใช้งานที่หลากหลาย เครื่องกำเนิดสัญญาณจึงถูกพัฒนาออกมาในหลายประเภท ซึ่งแต่ละประเภทมีลักษณะเฉพาะและคุณสมบัติที่แตกต่างกันไปตามการใช้งาน บทความนี้จะกล่าวถึงประเภทของเครื่องกำเนิดสัญญาณ พร้อมทั้งอธิบายคุณสมบัติและลักษณะการใช้งานของแต่ละประเภท เพื่อให้ผู้อ่านเข้าใจและเลือกใช้งานได้อย่างเหมาะสม

8.3.1 เครื่องกำเนิดสัญญาณความถี่ต่ำ (AF Signal Generator)

เครื่องกำเนิดสัญญาณความถี่ต่ำ (AF Signal Generator) เป็นอุปกรณ์ที่ใช้ในการสร้างสัญญาณไฟฟ้าที่มีความถี่ต่ำอยู่ในช่วงเสียง (Audio Frequency) โดยทั่วไปจะอยู่ในช่วงความถี่ตั้งแต่ 20 Hz ถึง 20 kHz ซึ่งครอบคลุมย่านความถี่ที่มนุษย์สามารถได้ยิน เครื่องกำเนิดสัญญาณประเภทนี้มักใช้ในงานทดสอบระบบเสียง เครื่องขยายเสียง ลำโพง และอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่เกี่ยวข้องกับเสียง

ลักษณะและการใช้งาน

- **รูปแบบสัญญาณ** เครื่องกำเนิดสัญญาณความถี่ต่ำสามารถสร้างสัญญาณได้หลายรูปแบบ เช่น สัญญาณไซน์ (Sine Wave), สัญญาณสี่เหลี่ยม (Square Wave), สัญญาณสามเหลี่ยม (Triangle Wave) และสัญญาณฟันเลื่อย (Sawtooth Wave)
- **การประยุกต์ใช้งาน**
    - ทดสอบคุณภาพของเครื่องขยายเสียง (Amplifier)
    - ทดสอบอุปกรณ์ระบบเสียง เช่น ลำโพงและไมโครโฟน
    - ตรวจสอบความถี่ตอบสนองของอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์
- **คุณสมบัติที่สำคัญ**
    - มีช่วงความถี่ครอบคลุมย่านเสียง
    - สามารถปรับระดับแรงดันสัญญาณได้ตามต้องการ
    - ความเสถียรสูงเพื่อลดการคลาดเคลื่อนของความถี่

ด้วยคุณสมบัติดังกล่าว เครื่องกำเนิดสัญญาณความถี่ต่ำจึงมีบทบาทสำคัญในการวิเคราะห์และตรวจสอบระบบเสียง รวมถึงการใช้งานในงานวิจัยด้านเสียงและดนตรี

ศูนย์บรรณสารและการเรียนรู้ สถาบันนวัตกรรมการเรียนรู้ มหาวิทยาลัยพะเยา

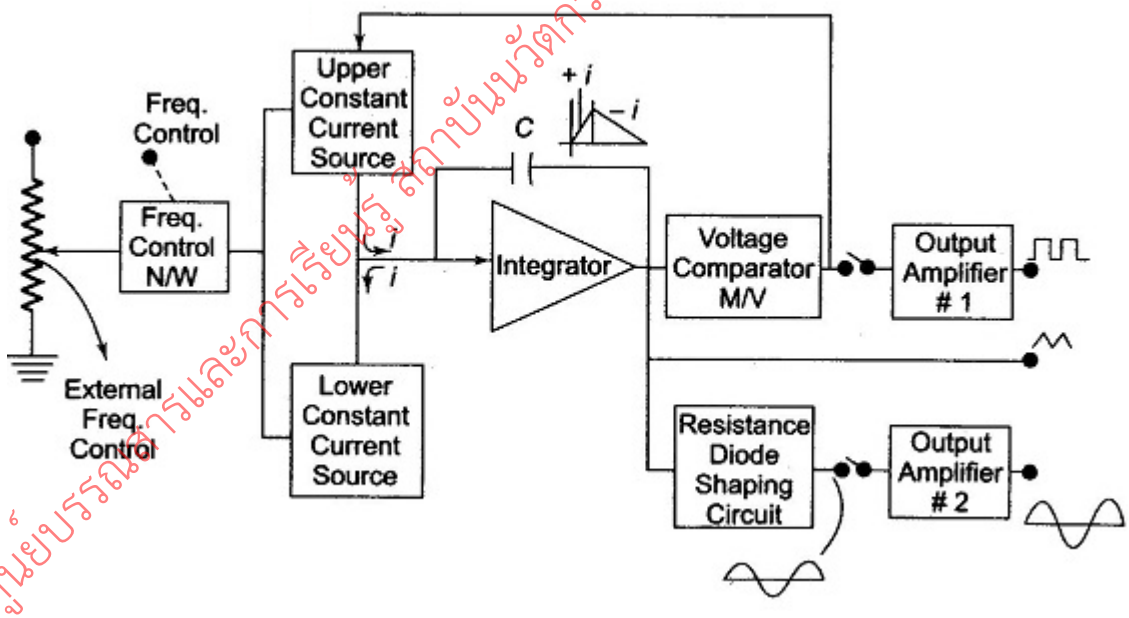


รูปที่ 8.12 เครื่องกำเนิดสัญญาณความถี่รูปคลื่น (Function Generator)

ที่มา : https://www.artronshop.co.th/article/79/-function-generator-234/ค้นเมื่อวันที่ 13/5/2567

คุณสมบัติทั่วไป

1. ให้สัญญาณคลื่นรูป Sine/Squarc/Triagle
2. ความถี่ไม่น้อยกว่า 2 MHz
3. การแสดงผลเป็นแบบตัวเลข ไม่น้อยกว่า 6 หลัก
4. Output สามารถปรับได้ไม่น้อยกว่า 20 V
5. มีสายสัญญาณ จำนวน 2 เส้น



รูปที่ 8.13 ผังการทำงานของเครื่องกำเนิดสัญญาณความถี่รูปคลื่น (Function Generator)

ที่มา: https://www.eeeguide.com/function-generator-block-diagram/ค้นเมื่อวันที่ 13/5/2567

ศูนย์บรรณสารและการเรียนรู้ สถาบันนวัตกรรมการเรียนรู้ มหาวิทยาลัยพะเยา

ผังการทำงานของเครื่องกำเนิดฟังก์ชัน (Function Generator Block Diagram) แสดงไว้ในรูปที่ 8.13 โดยปกติแล้ว ความถี่จะถูกควบคุมโดยการเปลี่ยนแปลงค่าคาปาซิเตอร์ในวงจร LC หรือ RC แต่ในอุปกรณ์นี้ ความถี่จะถูกควบคุมโดยการเปลี่ยนแปลงขนาดกระแสที่ขับเคลื่อนวงจรอินทิเกรเตอร์ (Integrator) อุปกรณ์นี้สามารถสร้างสัญญาณไซน์ (Sine Wave) สัญญาณสามเหลี่ยม (Triangular Wave) และสัญญาณสี่เหลี่ยม (Square Wave) โดยมีช่วงความถี่ตั้งแต่ 0.01 Hz ถึง 100 kHz

แรงดันไฟฟ้าที่ควบคุมความถี่จะทำหน้าที่ควบคุมแหล่งกำเนิดกระแสสองแหล่ง แหล่งกำเนิดกระแสด้านบนจะจ่ายกระแสคงที่ไปยังวงจรอินทิเกรเตอร์ ซึ่งแรงดันไฟฟ้าขาออกของอินทิเกรเตอร์จะเพิ่มขึ้นเชิงเส้นตามเวลา ตามสมการของแรงดันไฟฟ้าขาออก

$$e_{out} = -\frac{1}{C}\int_0^l i\, di \qquad (8.5)$$

หลักการทำงานของเครื่องกำเนิดฟังก์ชัน (Function Generator)

ในเครื่องกำเนิดฟังก์ชัน การควบคุมขนาดของกระแสไฟฟ้าที่จ่ายเข้าสู่วงจรอินทิเกรเตอร์จะส่งผลต่อความชันของแรงดันขาออก ซึ่งมีผลโดยตรงต่อความถี่ของสัญญาณที่สร้างได้ กล่าวคือ กระแสที่มากขึ้นจะเพิ่มความชัน ทำให้ได้ความถี่สูงขึ้น และในทางกลับกัน

วงจรมัลติไวเบรเตอร์เชิงเปรียบเทียบแรงดัน (Voltage Comparator Multivibrator) จะเปลี่ยนสถานะเมื่อแรงดันขาออกของอินทิเกรเตอร์ถึงค่าระดับบนที่กำหนดไว้ โดยการเปลี่ยนสถานะนี้จะหยุดแหล่งกระแสด้านบน และเปิดการทำงานของแหล่งกระแสด้านล่าง

แหล่งกระแสด้านล่างจะจ่ายกระแสในทิศตรงข้ามเข้าสู่วงจรอินทิเกรเตอร์ ส่งผลให้แรงดันขาออกลดลงอย่างเชิงเส้นตามเวลา จนถึงค่าระดับล่างที่กำหนดไว้ มัลติไวเบรเตอร์จะเปลี่ยนสถานะอีกครั้ง และกลับไปใช้แหล่งกระแสด้านบน ทำให้เกิดการสลับไปมาอย่างต่อเนื่อง

ผลลัพธ์ คือ

- สัญญาณขาออกของอินทิเกรเตอร์ มีลักษณะเป็นคลื่นสามเหลี่ยม (Triangular Wave) โดยมีความถี่ขึ้นอยู่กับขนาดของกระแสจากแหล่งกำเนิดกระแสคงที่
- สัญญาณขาออกของคอมพาเรเตอร์ เป็นคลื่นสี่เหลี่ยม (Square Wave) ที่มีความถี่เท่ากัน
- เครือข่ายตัวต้านทาน–ไดโอด (Resistor-Diode Network) จะเปลี่ยนความชันของคลื่นสามเหลี่ยมตามแอมพลิจูด เพื่อให้สามารถแปลงสัญญาณเป็นคลื่นไซน์ที่มีความผิดเพี้ยนต่ำ (ต่ำกว่า 1%)

ศูนย์บรรณสารและการเรียนรู้ สถาบันวิทยบริการและการเรียนรู้ มหาวิทยาลัยพะเยา

8.3.2 เครื่องกำเนิดสัญญาณความถี่สูง (RF Signal Generator)

เครื่องกำเนิดสัญญาณความถี่สูง (RF Signal Generator) เป็นอุปกรณ์ที่ใช้ในการสร้างสัญญาณไฟฟ้าความถี่สูงในย่านความถี่วิทยุ (Radio Frequency) โดยทั่วไปจะมีช่วงความถี่ตั้งแต่ประมาณ 9 kHz ถึงหลายสิบ GHz ขึ้นอยู่กับประเภทและรุ่นของอุปกรณ์ เครื่องกำเนิดสัญญาณ RF ถูกนำมาใช้ในงานทางด้านโทรคมนาคม การสื่อสารไร้สาย การทดสอบอุปกรณ์ RF และการวิเคราะห์ระบบสื่อสาร

ลักษณะและการใช้งาน

- **รูปแบบสัญญาณ** สามารถสร้างสัญญาณหลายรูปแบบ เช่น สัญญาณไซน์ (Sine Wave), สัญญาณพัลส์ (Pulse) สัญญาณสี่เหลี่ยม (Square Wave) และสัญญาณ AM/FM (Amplitude Modulated/Frequency Modulated)
- **การประยุกต์ใช้งาน**
    - ทดสอบและสอบเทียบอุปกรณ์สื่อสาร เช่น เครื่องรับ-ส่งวิทยุและเรดาร์
    - ตรวจสอบประสิทธิภาพของเครื่องรับ RF โดยวัดค่าความไวในการรับสัญญาณ
    - วิเคราะห์คุณภาพสัญญาณและตรวจสอบการรบกวนทางคลื่นวิทยุ (EMI/EMC Testing)
- **คุณสมบัติที่สำคัญ**
    - สามารถปรับความถี่และแอมพลิจูดได้อย่างละเอียด
    - มีความเสถียรของความถี่สูงและความแม่นยำในการสร้างสัญญาณ
    - รองรับการมอดูเลตหลายรูปแบบ เช่น AM, FM, PM (Phase Modulation)
    - สามารถควบคุมได้ผ่านอินเทอร์เฟซดิจิทัล เช่น USB, GPIB หรือ LAN

หลักการทำงาน

เครื่องกำเนิดสัญญาณ RF จะใช้วงจรออสซิลเลเตอร์ความถี่สูง เช่น วงจรคริสตัลออสซิลเลเตอร์หรือวงจร Phase-Locked Loop (PLL) เพื่อสร้างสัญญาณที่มีความถี่คงที่และเสถียร จากนั้นสัญญาณจะถูกขยายและผ่านการมอดูเลตเพื่อให้ได้รูปคลื่นตามต้องการ

ข้อดีและข้อจำกัด

- **ข้อดี**
    - มีช่วงความถี่กว้าง รองรับทั้งย่านความถี่ต่ำและสูง
    - ความแม่นยำสูง เหมาะสำหรับงานทดสอบมาตรฐาน
- **ข้อจำกัด**
    - ราคาค่อนข้างสูงเมื่อเทียบกับเครื่องกำเนิดสัญญาณประเภทอื่น
    - การใช้งานค่อนข้างซับซ้อน ต้องการการตั้งค่าที่ถูกต้อง

ด้วยคุณสมบัติที่หลากหลายและความแม่นยำสูง เครื่องกำเนิดสัญญาณความถี่สูงจึงเป็นอุปกรณ์สำคัญในงานด้านโทรคมนาคมและการทดสอบอุปกรณ์ RF

ศูนย์บรรณสารและการเรียนรู้ สถาบันบริหารการเรียนรู้ มหาวิทยาลัยพะเยา



รูปที่ 8.14 เครื่องกำเนิดสัญญาณความถี่สูง (RF Signal Generator) รุ่น Promax GR-205: RF Signal Generator

ที่มา : https://www.measuretronix.com/product/888588 ค้นเมื่อวันที่ 13/5/2568

คุณสมบัติทั่วไป

- เครื่องกำเนิดสัญญาณความถี่วิทยุ 150 KHz ถึง 2 GHz
- ให้ OUTPUT สัญญาณตั้งแต่ -127 dBm ถึง +m7 dBm
- Accuracy +- 1 ppm, Phase Noise <-116 dBc/Hz
- สามารถเลือกการมอดูเลตทั้ง AM, FM และ PM
- มี INTERFACE GPIB และ RS232

8.3.3 เครื่องกำเนิดสัญญาณรูปคลื่น (Function Generator)

เครื่องกำเนิดสัญญาณรูปคลื่น (Function Generator) เป็นอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่ใช้สร้างสัญญาณไฟฟ้าในรูปแบบต่าง ๆ เพื่อทดสอบ วิเคราะห์ และประเมินผลอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์และวงจรไฟฟ้า เครื่องกำเนิดสัญญาณประเภทนี้สามารถสร้างสัญญาณได้หลากหลายรูปแบบ เช่น สัญญาณไซน์ (Sine Wave) สัญญาณสี่เหลี่ยม (Square Wave), สัญญาณสามเหลี่ยม (Triangle Wave) สัญญาณฟันเลื่อย (Sawtooth Wave) และสัญญาณพัลส์ (Pulse Wave)

ลักษณะและการใช้งาน

- **ช่วงความถี่** โดยทั่วไป เครื่องกำเนิดสัญญาณรูปคลื่นจะมีช่วงความถี่ตั้งแต่ 0.01 Hz ถึงหลาย MHz ขึ้นอยู่กับรุ่นและยี่ห้อ
- **รูปแบบสัญญาณ**
  - Sine Wave ใช้ทดสอบวงจร AC และอุปกรณ์กรองสัญญาณ
  - Square Wave ใช้ทดสอบการตอบสนองความถี่และวงจรดิจิทัล
  - Triangle Wave ใช้ตรวจสอบการตอบสนองของวงจรเชิงเส้น

ศูนย์วิทยทรัพยากร จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

    - Sawtooth Wave ใช้ในงานสแกนและระบบควบคุม
    - Pulse Wave ใช้ทดสอบอุปกรณ์ที่เกี่ยวข้องกับสัญญาณพัลส์
- **การปรับค่า**
    - สามารถปรับความถี่ (Frequency), แอมพลิจูด (Amplitude), ออฟเซ็ต DC (DC Offset) และรูปแบบสัญญาณได้
    - รองรับการมอดูเลต (Modulation) เช่น AM (Amplitude Modulation) และ FM (Frequency Modulation)

หลักการทำงาน

เครื่องกำเนิดสัญญาณรูปคลื่นมักใช้วงจรออสซิลเลเตอร์ที่ควบคุมความถี่โดยตัวเก็บประจุ (Capacitor) หรือวงจรดิจิทัลสมัยใหม่ เช่น วงจร DDS (Direct Digital Synthesis) เพื่อสร้างสัญญาณไฟฟ้า จากนั้นสัญญาณจะถูกขยายและส่งออกไปยังอุปกรณ์หรือวงจรที่ต้องการทดสอบ

การประยุกต์ใช้งาน

- ทดสอบอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ เช่น แอมพลิฟายเออร์ (Amplifier) และออสซิลเลเตอร์
- ตรวจสอบการตอบสนองความถี่ของวงจรกรอง (Filter)
- วิเคราะห์การทำงานของระบบควบคุมอัตโนมัติ
- ใช้เป็นแหล่งสัญญาณในการทดลองและการเรียนการสอนทางวิศวกรรมไฟฟ้า

ข้อดีและข้อจำกัด

- **ข้อดี**
    - สามารถสร้างสัญญาณได้หลายรูปแบบในเครื่องเดียว
    - ปรับความถี่และแอมพลิจูดได้ตามต้องการ
    - ความเสถียรสูง เหมาะสำหรับงานทดสอบและวิจัย
- **ข้อจำกัด**
    - สัญญาณอาจมีความเพี้ยน (Distortion) โดยเฉพาะที่ความถี่สูง
    - รุ่นราคาประหยัดอาจมีข้อจำกัดในด้านความแม่นยำ

เครื่องกำเนิดสัญญาณรูปคลื่นเป็นอุปกรณ์สำคัญในห้องปฏิบัติการอิเล็กทรอนิกส์และวิศวกรรม เนื่องจากมีความยืดหยุ่นและสามารถสร้างสัญญาณได้หลายรูปแบบ ทำให้เป็นเครื่องมือที่ขาดไม่ได้สำหรับงานวิเคราะห์และทดสอบวงจร

ศูนย์บรรณสารและสื่อการเรียนรู้ สถาบันนวัตกรรมการเรียนรู้ มหาวิทยาลัยนเรศวร



รูปที่ 8.15 เครื่องกำเนิดสัญญาณรูปคลื่น (Function Generator)

ที่มา : https://www.sangchaimeter.com/product/1475/sfg-1003

คุณสมบัติทั่วไป

- เครื่องกำเนิดสัญญาณ ใช้เทคโนโลยี DDS และ FPGA Design
- กำเนิดสัญญาณความถี่ได้ตั้งแต่ 0.1 Hz ~ 3MHz
- มีเอ้าท์พุทรูปคลื่น Sine, Triangle ,Square , Ramp และTTL
- DC Offset
- 40dB Attenuation

8.3.4 เครื่องกำเนิดสัญญาณดิจิทัล (Digital Signal Generator)

เครื่องกำเนิดสัญญาณดิจิทัล (Digital Signal Generator) เป็นอุปกรณ์ที่ใช้สร้างสัญญาณไฟฟ้าในรูปแบบดิจิทัล โดยสามารถสร้างสัญญาณได้ทั้งสัญญาณดิจิทัลล้วนและสัญญาณอนาล็อกที่มีการควบคุมโดยดิจิทัล อุปกรณ์นี้มักถูกนำไปใช้ในงานทดสอบและวิเคราะห์ระบบดิจิทัล เช่น การสื่อสารดิจิทัล การทดสอบวงจรดิจิทัล และการประเมินคุณภาพของอุปกรณ์รับส่งสัญญาณ

ลักษณะและการใช้งาน

- **ช่วงความถี่** เครื่องกำเนิดสัญญาณดิจิทัลสามารถสร้างสัญญาณในช่วงความถี่กว้าง ตั้งแต่ไม่กี่ Hz ไปจนถึงหลาย GHz ขึ้นอยู่กับความสามารถของอุปกรณ์
- **รูปแบบสัญญาณ**
  - สัญญาณดิจิทัลแบบสี่เหลี่ยม (Digital Square Wave) สำหรับทดสอบวงจรดิจิทัล
  - สัญญาณพัลส์ (Pulse Wave) ใช้ในการจำลองสัญญาณนาฬิกา (Clock Signal)
  - สัญญาณบิตสตรีม (Bit Stream) จำลองข้อมูลดิจิทัลในงานสื่อสาร

ศูนย์เรียนรู้และการเรียนรู้ สถาบันนวัตกรรมการเรียนรู้ มหาวิทยาลัยพะเยา

    - สัญญาณที่มอดูเลต (Modulated Signal) เช่น AM, FM, PM, ASK, FSK, PSK
- **การปรับค่า**
    - สามารถปรับค่าความถี่ (Frequency), แอมพลิจูด (Amplitude), รูปแบบการมอดูเลต (Modulation) และอัตราบิต (Bit Rate) ได้
    - รองรับการตั้งค่าล่วงหน้า (Preset) เพื่อใช้งานได้สะดวกรวดเร็ว

หลักการทำงาน

เครื่องกำเนิดสัญญาณดิจิทัลใช้เทคโนโลยี Direct Digital Synthesis (DDS) หรือการประมวลผลสัญญาณดิจิทัล (DSP) เพื่อสร้างสัญญาณที่แม่นยำสูง กระบวนการทำงานเริ่มจากการสร้างข้อมูลดิจิทัลผ่านวงจรไมโครโปรเซสเซอร์ จากนั้นข้อมูลจะถูกแปลงเป็นสัญญาณไฟฟ้าผ่าน Digital-to-Analog Converter (DAC) เพื่อสร้างสัญญาณตามรูปแบบที่กำหนด

การประยุกต์ใช้งาน

- การทดสอบระบบสื่อสารดิจิทัล
    - ทดสอบอุปกรณ์รับส่งสัญญาณ (Transmitter/Receiver)
    - ตรวจสอบความถูกต้องของข้อมูลและความคลาดเคลื่อนของบิต (Bit Error Rate)
- การทดสอบอุปกรณ์ดิจิทัล
    - ทดสอบการทำงานของไมโครคอนโทรลเลอร์และ FPGA
    - วิเคราะห์สัญญาณนาฬิกาในวงจรดิจิทัล
- การวิเคราะห์และจำลองสัญญาณ
    - สร้างสัญญาณทดสอบที่ซับซ้อนเพื่อวิเคราะห์การทำงานของระบบ
    - จำลองรูปแบบการรบกวนและการลดทอนของสัญญาณในช่องทางการสื่อสาร

ข้อดีและข้อจำกัด

- ข้อดี
    - มีความแม่นยำสูงและความเสถียรดี เนื่องจากใช้การควบคุมแบบดิจิทัล
    - สามารถสร้างสัญญาณที่ซับซ้อนได้ เช่น การมอดูเลตหลายรูปแบบ
    - ใช้งานง่ายและรองรับการควบคุมผ่านคอมพิวเตอร์
- ข้อจำกัด
    - ราคาสูงกว่าเครื่องกำเนิดสัญญาณแบบอนาล็อก
    - การใช้งานอาจซับซ้อน ต้องอาศัยความเข้าใจในด้านการตั้งค่าพารามิเตอร์

เครื่องกำเนิดสัญญาณดิจิทัลมีบทบาทสำคัญในงานวิจัยและพัฒนาระบบสื่อสารยุคใหม่ เนื่องจากมีความสามารถในการสร้างสัญญาณได้หลากหลายรูปแบบ ทั้งในย่านความถี่ต่ำและความถี่สูง อีกทั้งยังรองรับการมอดูเลตที่ซับซ้อน เหมาะสำหรับงานที่ต้องการความแม่นยำและประสิทธิภาพสูง

ศูนย์บรรณสารและการเรียนรู้ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง



รูปที่ 8.16 เครื่องกำเนิดสัญญาณดิจิทัล (Digital Signal Generator)

ที่มา: https://intereducation.co.th/product/function-generator-audio-signal/

คุณสมบัติทั่วไป

เครื่องกำเนิดสัญญาณเป็นเครื่องมือวัดและเครื่องมือตรวจสอบอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ โดยจะใช้สัญญาณจากเครื่องกำเนิดสัญญาณเป็นมาตรฐานอ้างอิง โดยเครื่องกำเนิดสัญญาณสามารถกำเนิดคลื่นความถี่ได้ 3 รูปแบบ

1. Sine wave กำเนิดคลื่นความถี่ได้ตั้งแต่ 0.1Hz~3MHz/5MHz/8MHz

2. Square wave กำเนิดคลื่นความถี่ได้ตั้งแต่ 0.1Hz~2MHz

3. Triangle wave กำเนิดคลื่นความถี่ได้ตั้งแต่ 0.1Hz~1MHz

- หน้าจอแสดงผลแบบ LED 6 ตำแหน่ง
- สามารถปรับความถี่และปรับแต่งความแรงของสัญญาณได้

8.3.5 เครื่องกำเนิดสัญญาณพลัส (Pulse Generator)

เครื่องกำเนิดสัญญาณพัลส์ (Pulse Generator) เป็นอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่ใช้ในการสร้างสัญญาณพัลส์ (Pulse) หรือสัญญาณดิจิทัลในรูปของสี่เหลี่ยม (Square Wave) ที่มีความถี่ แอมพลิจูด และความกว้างของพัลส์ (Pulse Width) ที่สามารถปรับค่าได้ นิยมใช้ในงานวิจัย การทดสอบวงจรดิจิทัล และการวิเคราะห์ระบบควบคุม เนื่องจากสามารถจำลองพฤติกรรมของสัญญาณดิจิทัลได้อย่างแม่นยำ

ลักษณะและการใช้งาน

- **รูปแบบสัญญาณ**
  - Pulse Wave สัญญาณพัลส์รูปสี่เหลี่ยมที่มีคาบและความกว้างพัลส์คงที่
  - Burst Pulse สัญญาณพัลส์ที่เกิดขึ้นเป็นชุด (Burst) โดยมีช่วงหยุดระหว่างชุด

ศูนย์บรรณสารและการเรียนรู้ สถาบันนิยมการเรียนรู้ มหาวิทยาลัยพะเยา

- Pulse Train ลำดับของพัลส์ต่อเนื่องกันตามความถี่ที่กำหนด

- **คุณสมบัติการปรับค่า**
  - ความกว้างของพัลส์ (Pulse Width) ปรับเพื่อกำหนดระยะเวลาของพัลส์
  - อัตราส่วนการทำงาน (Duty Cycle) กำหนดอัตราส่วนระหว่างเวลาสัญญาณเปิดกับเวลาสัญญาณปิด
  - ความถี่ (Frequency) ปรับความถี่ตามต้องการ
  - ความหน่วงเวลา (Delay) กำหนดระยะเวลารอก่อนปล่อยพัลส์
  - แอมพลิจูด (Amplitude) ปรับระดับแรงดันของสัญญาณพัลส์

หลักการทำงาน

เครื่องกำเนิดสัญญาณพัลส์จะสร้างสัญญาณโดยใช้ออสซิลเลเตอร์กำเนิดความถี่พื้นฐาน จากนั้นสัญญาณดังกล่าวจะถูกปรับแต่งผ่านวงจรควบคุม เช่น

- วงจรกำหนดความกว้างพัลส์ (Pulse Width Control)
- วงจรตั้งค่าความถี่ (Frequency Control)
- วงจรควบคุมความหน่วง (Delay Control)

จากนั้นสัญญาณพัลส์ที่ได้จะถูกส่งออกไปยังอุปกรณ์หรือวงจรที่ต้องการทดสอบ

การประยุกต์ใช้งาน

- **งานทดสอบอุปกรณ์ดิจิทัล**
  - ตรวจสอบการตอบสนองของวงจรดิจิทัล เช่น ไมโครคอนโทรลเลอร์และระบบนับ (Counter)
  - วิเคราะห์สัญญาณนาฬิกา (Clock Signal) และระบบจับเวลา
- **งานด้านการสื่อสาร**
  - จำลองสัญญาณพัลส์ในระบบสื่อสารดิจิทัล
  - ทดสอบเครื่องรับ-ส่งสัญญาณที่ใช้พัลส์เป็นข้อมูล
- **งานทดลองทางฟิสิกส์และวิศวกรรม**
  - สร้างสัญญาณทริกเกอร์ (Trigger Signal) สำหรับออสซิลโลสโคป
  - ควบคุมการทำงานของอุปกรณ์ที่ต้องการสัญญาณพัลส์เป็นอินพุต

ข้อดีและข้อจำกัด

- **ข้อดี**
  - สามารถสร้างสัญญาณพัลส์ที่มีความแม่นยำสูงและปรับค่าพารามิเตอร์ได้หลายรูปแบบ
  - เหมาะสำหรับงานทดสอบวงจรดิจิทัลและระบบควบคุม
  - รองรับการกำหนดรูปแบบการยิงพัลส์ (Single, Burst, Train)
- **ข้อจำกัด**
  - ไม่เหมาะสำหรับงานที่ต้องการสัญญาณความถี่สูงมาก
  - สัญญาณพัลส์ที่มีความกว้างน้อยอาจมีปัญหาเรื่องความผิดเพี้ยน (Distortion)

ศูนย์บรรณสารสนเทศและการเรียนรู้ สถาบันนวัตกรรมการเรียนรู้ มหาวิทยาลัยพะเยา

เครื่องกำเนิดสัญญาณพัลส์ถือเป็นอุปกรณ์ที่ขาดไม่ได้ในงานวิจัยและทดสอบระบบดิจิทัล เนื่องจากมีความสามารถในการสร้างสัญญาณพัลส์ที่แม่นยำและปรับแต่งได้ตามความต้องการ ทั้งในด้านความกว้าง ความถี่ และรูปแบบสัญญาณ ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการทดสอบและวิเคราะห์อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์และระบบควบคุม



รูปที่ 8.17 เครื่องกำเนิดสัญญาณพลัส (Pulse Generator)

ที่มา: https://www.sangchaimeter.com/sub-category/-Function-Generator/

คุณสมบัติทั่วไป

- ย่านความถี่สำหรับคลื่นรูปไซน์และสี่เหลี่ยม : 0.1Hz~10MHz
- ย่านความถี่สำหรับคลื่นรูปสามเหลี่ยม : 0.1Hz~1MHz
- รูปคลื่นเอ๊าท์พุท : Sine, Square, Triangle
- การแสดงผล : จอ LED 9 หลัก
- ขนาด : 266 x 107 x 293 มม.

8.3.6 เครื่องกำเนิดสัญญาณออสซิลเลเตอร์ (Oscillator)

เครื่องกำเนิดสัญญาณออสซิลเลเตอร์ (Oscillator) เป็นอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่ใช้ในการสร้างสัญญาณไฟฟ้าในรูปของคลื่นต่อเนื่อง โดยไม่จำเป็นต้องใช้สัญญาณกระตุ้นจากภายนอก สัญญาณที่สร้างขึ้นสามารถเป็นสัญญาณไซน์ (Sine Wave) สัญญาณสี่เหลี่ยม (Square Wave) สัญญาณสามเหลี่ยม (Triangle Wave) หรือสัญญาณฟันเลื่อย (Sawtooth Wave) ขึ้นอยู่กับชนิดของออสซิลเลเตอร์

หลักการทำงาน

ออสซิลเลเตอร์จะสร้างสัญญาณโดยอาศัยหลักการของ การสั่นคงที่ (Sustained Oscillation) ซึ่งทำได้โดยใช้วงจรขยาย (Amplifier) และวงจรป้อนกลับ (Feedback Circuit) การทำงานแบ่งเป็นสองส่วนหลัก ดังนี้

ศูนย์วิทยทรัพยากรและการเรียนรู้ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

1. การขยายสัญญาณ ใช้ทรานซิสเตอร์หรือออปแอมป์ (Operational Amplifier) เพื่อขยายสัญญาณ
2. การป้อนกลับ ส่งสัญญาณขาออกบางส่วนกลับไปยังขาเข้า เพื่อรักษาการสั่นคงที่ โดยต้องมีเงื่อนไขสองประการคือ
    - เฟสของสัญญาณป้อนกลับต้องตรงกับเฟสสัญญาณขาเข้า (Phase Shift = 0° หรือ 360°)
    - อัตราขยายของวงจรต้องมากกว่าหรือเท่ากับ 1 (Gain ≥ 1)

วงจรวงจรกำเนิดสัญญาณพื้นฐาน (Basic Signal Generator Circuit)

คือ วงจรที่สร้างสัญญาณไฟฟ้าในรูปแบบต่าง ๆ เช่น สัญญาณไซน์ (Sine Wave) สัญญาณสี่เหลี่ยม (Square Wave) สัญญาณสามเหลี่ยม (Triangle Wave) และสัญญาณฟันเลื่อย (Sawtooth Wave)

1. องค์ประกอบของวงจรกำเนิดสัญญาณพื้นฐาน

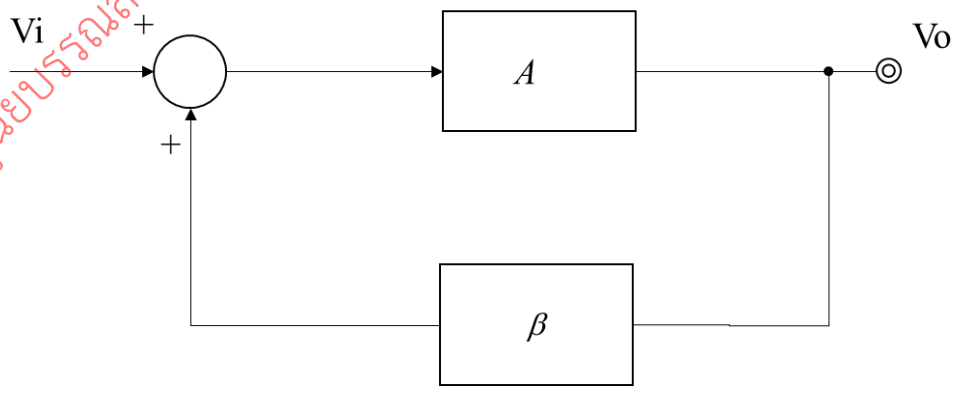
วงจรกำเนิดสัญญาณพื้นฐานมักประกอบด้วย

- ออสซิลเลเตอร์ (Oscillator) สร้างการสั่นเพื่อกำเนิดความถี่
- วงจรแปลงรูปคลื่น (Waveform Shaping) ปรับแต่งรูปคลื่น
- ภาคขยาย (Amplifier) ขยายระดับสัญญาณให้อยู่ในช่วงที่ต้องการ
- ตัวปรับความถี่ (Frequency Control) ควบคุมค่าความถี่ที่ออกมา

2. ประเภทของวงจรกำเนิดสัญญาณพื้นฐาน

2.1 วงจรออสซิลเลเตอร์ (Oscillator Circuits)

ใช้หลักการ ฟีดแบ็กบวก (Positive Feedback) เพื่อสร้างการสั่นอย่างต่อเนื่อง เช่น



รูปที่ 8.17 แผนภาพระบบป้อนกลับแบบบวก

ศูนย์บรรณสารและการเรียนรู้ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง มหาวิทยาลัยพะเยา

เมื่อ A คือ อัตราขยายแรงดันของวงจรขยาย

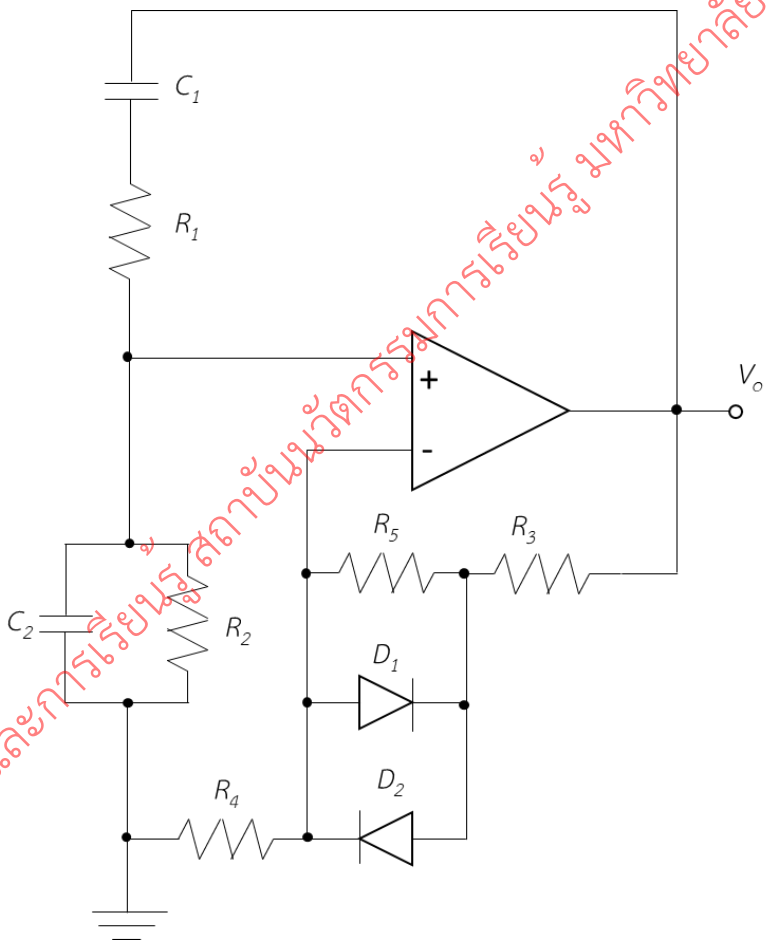
β คือ ฟังก์ชันถ่ายโอนของวงจรส่วนป้อนกลับ

A_f คือ ฟังก์ชันการถ่ายโอนของระบบที่มีการป้อนกลับ

$$V_o = A(V_i + \beta V_o)$$

$$V_o - A\beta V_o = AV_i$$

$$A_f = \frac{V_o}{V_i} = \frac{A}{1-A\beta} \quad (8.1)$$



รูปที่ 8.18 วงจรออสซิเลเตอร์ขนาดสัญญาณขาออกที่มีเสถียรภาพ

ส่วนวงจรขยายสัญญาณไม่กลับเฟสที่ใช้ออปแอมป์ ในช่วงเริ่มต้นขณะที่สัญญาณขาออกยังมีขนาดเล็กอยู่ แรงดันป้อนกลับที่ตกคร่อม R_5 จะยังมีค่าต่ำไม่เพียงพอที่จะทำให้ไดโอด D_1 และ D_2 นำกระแสได้ ดังนั้น อัตราขยายจะมีค่าเป็น

$$A = 1 + \frac{R_3+R_5}{R_4} \quad (8.2)$$

ศูนย์บรรณสารและการเรียนรู้ สถาบันนวัตกรรมการเรียนรู้ มหาวิทยาลัยพะเยา

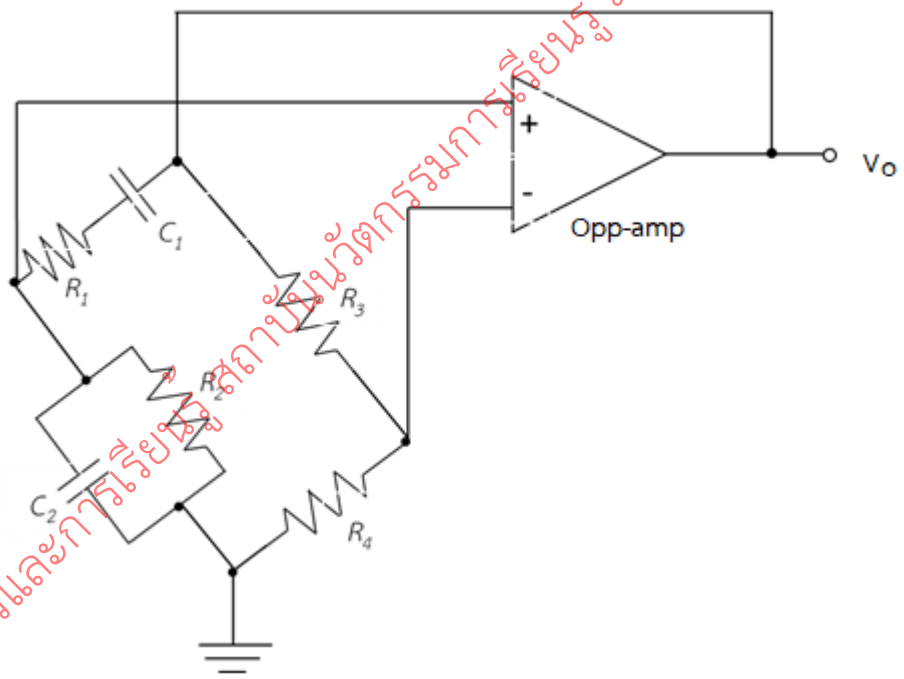
การกำหนดค่าอัตราขยายตามสมการนี้ เมื่อคูณกับค่า β แล้วจะต้องให้มีค่ามากกว่า 1 อยู่เล็กน้อย เพื่อให้วงจรเริ่มการ ออสซิลเลตได้ดังที่กล่าวมา และเมื่อขนาดสัญญาณออกสูงถึงค่าที่กำหนดแรงคันที่ตกคร่อม R_5 ก็จะมีค่าเพียงพอให้ ไดโอดทั้งสองเริ่มนำกระแส เมื่อวงจรทำงานในช่วงนี้ถ้าไม่คิดความด้านทานของไดโอดในขณะนำกระแสซึ่งมีค่าต่ำมาก อัตราขยายก็จะมีค่าเท่ากับ

$$A = 1 + \frac{R_3}{R_4} \tag{8.3}$$

เมื่อจัดค่าอัตราขยายในสมการนี้ให้ได้อัตราขยายลูปเท่ากับ 1 วงจรออสซิลเลตเตอร์ก็จะทำงานได้ตามต้องการ

(ก) วงจรออสซิลเลเตอร์แบบ RC

ตัวอย่าง Wien Bridge Oscillator



รูปที่ 8.19 วงจร Wien Bridge Oscillator

$$Z_1 Z_4 = Z_2 Z_3 \tag{8.4}$$

$$R_1 - jX_{C1}) \cdot R_4 = \left[\frac{1}{\frac{1}{R_2} + \frac{1}{-jX_{C2}}}\right] \cdot R_3$$

$$R_1 R_4 - j\frac{R_4}{\omega C_1} = \frac{R_2 R_3}{1 + j\omega R_2 C_2}$$

ศูนย์บรรณสารและการเรียนรู้ สถาบันนวัตกรรมการเรียนรู้ มหาวิทยาลัยพะเยา

$$R_2R_3 = R_1R_4 - j\frac{R_4}{\omega C_1} + j\omega R_1R_2R_4C_2 + \frac{R_2R_4C_2}{C_1} \quad (8.5)$$

จากสมการ (8.5) จะเป็นจริงได้ก็ต่อเมื่อ พจน์จริง (Real Terms) ทั้งสองข้างของสมการมีค่าเท่ากัน และ พจน์จินตภาพ (Imaginary Terms) ทั้งสองข้างก็ต้องมีค่าเท่ากันด้วยเช่นกัน

$$R_2R_3 = R_1R_4 + \frac{R_2R_4C_2}{C_1}$$

$$\frac{R_3}{R_4} = \frac{R_1}{R_2} + \frac{C_2}{C_1} \quad (8.6)$$

เมื่อคิดเฉพาะพจน์จินตภาพและกำหนดให้ ω_o เป็นความถี่เชิงมุมของการออสซิลเลต จะได้ว่า

$$\frac{R_4}{\omega C_1} = \omega R_1R_2R_4C_2$$

$$\omega_o = \frac{1}{\sqrt{R_1R_2C_1C_2}} \quad (8.7)$$

$$f_o = \frac{1}{2\pi\sqrt{R_1R_2C_1C_2}} \quad (8.8)$$

ค่าความถี่ตามสมการ (8.8) คือความถี่ที่วงจรเวนบริดจ์ออสซิลเลเตอร์ (Wien Bridge Oscillator) เกิดการออสซิลเลต (Oscillate) หรือสั่นสัญญาณออกมาได้อย่างเสถียร โดยวงจรนี้เป็นวงจรขยาย ไม่กลับเฟส (Non-Inverting Amplifier) และเพื่อให้เกิดการออสซิลเลตอย่างต่อเนื่อง อัตราขยาย (Gain) ของวงจรขยายต้องมีค่า

$$A = 1 + \frac{R_3}{R_4} \quad (8.9)$$

เมื่อแทนค่า $\frac{R_3}{R_4}$ จากสมการ (8.6) จะได้เป็น

$$A = 1 + \frac{R_1}{R_2} + \frac{C_2}{C_1} \quad (8.10)$$

โดยทั่วไปจะใช้ $R_1 = R_2 = R$ และ $C_1 = C_2 = C$ ซึ่งจะได้

$$A = 1 + 1 + 1 = 3 \quad (8.11)$$

และความถี่ออสซิลเลต คือ

$$f_o = \frac{1}{2\pi\sqrt{RC}} \quad (8.12)$$

ศูนย์บรรณสารและการเรียนรู้ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง มหาวิทยาลัยพระจอมเกล้าธนบุรี

ในวงจรเวนบริดจ์ออสซิลเลเตอร์ (Wien Bridge Oscillator) การป้อนกลับแบบบวก (Positive Feedback) จะใช้เครือข่าย RC แบบอนุกรม–ขนาน ซึ่งทำหน้าที่เป็นตัวกรองความถี่ และมี ฟังก์ชันการถ่ายโอน (Transfer Function) ของเครือข่ายป้อนกลับเป็น

$$\beta = \frac{Z_2}{Z_1+Z_2} \tag{8.13}$$

$$= \frac{\frac{R_2}{1+j\omega R_2 C_2}}{\left(R_1 - \frac{j}{\omega C_1}\right)\left(\frac{R_2}{1+j\omega R_2 C_2}\right)}$$

เมื่อจัดรูปสมการและแทนค่า ω_o จากสมการ (8.7) ลงไปจะได้เป็น

$$\beta = \frac{R_2 C_1}{R_2 C_1 + R_1 C_1 + R_2 C_2} \tag{8.14}$$

เมื่อให้ $R_1 = R_2 = R$ และ $C_1 = C_2 = C$ จะได้

$$\beta = \frac{1}{3} \tag{8.15}$$

เมื่อคูณค่า β ด้วยอัตราขยาย *A* จากสมการ *(8.11)* ก็จะได้เป็นอัตราขยายลูป $A\beta$ ที่มีค่าเท่ากับ 1 พอดี แต่ด้วยเหตุผลการมีเสถียรภาพของขนาดดังที่ได้กล่าวมาแล้ว วงจรที่ใช้งานจริงอาจใช้วงจรดังรูปที่ 8.18 และต้องให้ $A\beta$ มีค่ามากกว่า 1 เล็กน้อย

ตัวอย่าง 8.1 จากวงจร Wien Bridge Oscillator $R_1 = 10\ kOhm,\ R_2 = 15\ kOhm,\ R_3 = 20\ kOhm,\ R_4 = 30\ kOhm$ และ $C_1 = 0.5\ \mu F$ และ $C_2 = 1\ \mu F$ จงหาค่า ความเร็วเชิงมุมของการออสซิลเลต (ω_0) ความถี่ (f_o) และ ค่าอัตราขยาย (*A*) และค่าเบต้า (β)

วิธีทำ

$$\omega_o = \frac{1}{\sqrt{R_1 R_2 C_1 C_2}} = \frac{1}{\sqrt{(10k\Omega)(15k\Omega)(0.5\ \mu F)(1\ \mu F)}} = 42{,}163{,}702.14$$

$$f_o = \frac{1}{2\pi\sqrt{R_1 R_2 C_1 C_2}} = \frac{1}{2\cdot\pi\cdot\sqrt{(10k\Omega)(15k\Omega)(0.5\ \mu F)(1\ \mu F)}} = 0.159\ \text{Hz}$$

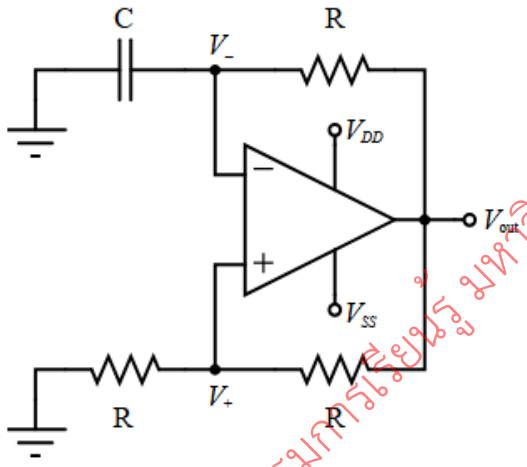
$$A = 1 + \frac{R_1}{R_2} + \frac{C_2}{C_1} = 1 + \frac{(10k\Omega)}{(15k\Omega)} + \frac{(1\ \mu F)}{(0.5\ \mu F)} = 1+0.666+2 = 3.666$$

ศูนย์บรรณสารและการเรียนรู้ สถาบันวิทยบริการและการเรียนรู้ มหาวิทยาลัยพะเยา

$$\beta = \frac{R_2C_1}{R_2C_1+R_1C_1+R_2C_2} = \frac{(15k\Omega)(0.5\ \mu F)}{(15k\Omega)(0.5\ \mu F)+(10k\Omega)(0.5\ \mu F)+(15k\Omega)(1\ \mu F)} = 0.2727$$

จากการใช้ตัวเก็บประจุ (C) และตัวต้านทาน (R) เพื่อสร้างสัญญาณไซน์ (Sine Wave) เมื่อ R มีค่าเท่ากันหมดทุกตัวจะได้ ความถี่

$$f = \frac{1}{2\pi RC} \tag{8.2}$$



รูปที่ 8.18 วงจรออสซิลเลเตอร์แบบ RC

(ข) วงจรออสซิลเลเตอร์แบบ LC

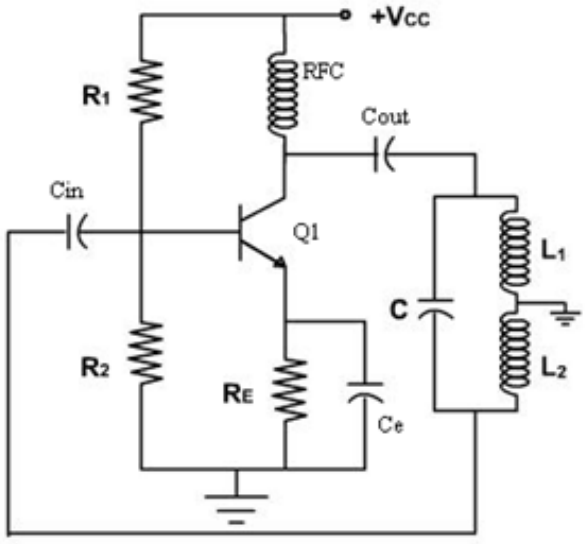
ตัวอย่าง วงจร Hartley Oscillator

- ใช้ ตัวเหนี่ยวนำ (L) และตัวเก็บประจุ (C)
- สร้าง สัญญาณไซน์ (Sine Wave)

จะได้ ความถี่

$$f = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} \tag{8.3}$$

ศูนย์บรรณสารและสารสนเทศ สถาบันนวัตกรรมการเรียนรู้ มหาวิทยาลัยพะเยา



รูปที่ 8.19 วงจรออสซิลเลเตอร์แบบ LC แบบ Hartley Oscillator

ที่มา: https://32013305233-1.blogspot.com/2017/09/crystal-crystal-2-2-resonance-frequency.html สืบค้นเมื่อวันที่ 13/5/2568

วงจร Hartley Oscillator และการทำงานของแต่ละส่วนประกอบ วงจร Hartley Oscillator เป็นวงจรออสซิลเลเตอร์ที่ใช้เครือข่าย ถัง (Tank Circuit) ซึ่งประกอบด้วยตัวเหนี่ยวนำสองตัว (L_1 และ L_2) และตัวเก็บประจุ (C) เพื่อกำหนดความถี่ของการออสซิลเลต โดยวงจรนี้มีโครงสร้างพื้นฐานคล้ายวงจรแอมพลิฟายเออร์แบบอีซีแอล (Common Emitter Amplifier)

ส่วนประกอบหลักของวงจรประกอบด้วย

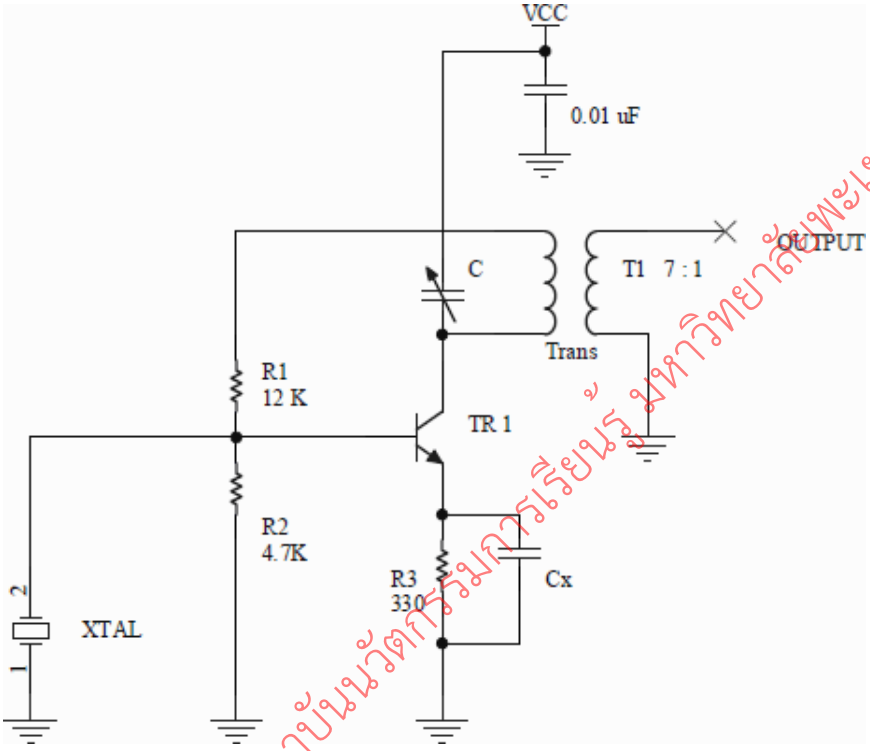
- R_1 และ R_2 ทำหน้าที่เป็นเครือข่ายแบ่งแรงดัน (Voltage Divider Bias Network) เพื่อกำหนดไบแอสเบื้องต้นให้กับทรานซิสเตอร์
- R_e ความต้านทานที่ขาอีมิตเตอร์ ซึ่งช่วยเพิ่มเสถียรภาพให้กับวงจร โดยลดการเปลี่ยนแปลงของกระแสไบแอสอันเนื่องมาจากอุณหภูมิ
- R_c ความต้านทานที่ขาคอลเลกเตอร์ ซึ่งใช้ควบคุมกระแสเอาต์พุต
- C_o ตัวเก็บประจุแยกสัญญาณเอาต์พุต ทำหน้าที่ป้องกันแรงดัน DC จากวงจรขยายไหลเข้าสู่วงจรโหลด
- C_{in} ตัวเก็บประจุแยกสัญญาณอินพุต ทำหน้าที่กัน DC จากแหล่งอินพุต
- C_e ตัวเก็บประจุบายพาสที่ขาอีมิตเตอร์ ซึ่งช่วยข้าม (bypass) สัญญาณ AC รอบ R_e ทำให้ได้อัตราขยายเต็มที่
- L_1, L_2 และ C สร้าง วงจรถัง (Tank Circuit) ซึ่งกำหนดความถี่ออสซิลเลตของวงจร โดยอาศัยการป้อนกลับแบบบวกจากขดลวดเหนี่ยวนำ

วงจร Hartley Oscillator มีข้อดีคือสามารถปรับความถี่ได้ง่ายผ่านการเปลี่ยนค่าของ L หรือ C และให้สัญญาณออสซิลเลตที่เสถียร เหมาะสำหรับงานในช่วงความถี่วิทยุ (RF) และแหล่งกำเนิดสัญญาณทั่วไป

ศูนย์บรรณสารและการเรียนรู้ สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย พะเยา

(ค) วงจรออสซิลเลเตอร์แบบคริสตัล (Crystal Oscillator)

- ใช้ คริสตัลควอตซ์ เพื่อความเสถียรสูง
- สร้าง สัญญาณไซน์ ที่มีความแม่นยำสูง
- ความถี่ ขึ้นอยู่กับความถี่ธรรมชาติของคริสตัล



รูปที่ 8.20 วงจรออสซิลเลเตอร์แบบคริสตัล (Crystal Oscillator)

ที่มา: https://320133305233-1.blogspot.com/2017/09/crystal-crystal-2-2-resonance-frequency.html สืบค้นเมื่อวันที่ 13/5/2568

วงจร Crystal oscillators เป็นวงจรกำเนิดความถี่ที่นิยมใช้งานกันมาก มีข้อดีที่ไม่สามารถหาได้จากวงจรกำเนิดความถี่แบบอื่น ๆ คือ เสียรภาพทางความถี่เป็นเยียม หรือว่ามีความถี่ที่คงที่อยู่ตลอดเวลา ดังรูป 8.20

ประเภทของออสซิลเลเตอร์

1. ออสซิลเลเตอร์แบบความถี่ต่ำ (Low-Frequency Oscillator)
   - RC Oscillator สร้างสัญญาณไซน์ที่ความถี่ต่ำ (Hz - kHz) เช่น Wien Bridge Oscillator
   - Phase-Shift Oscillator ใช้เครือข่าย RC เพื่อสร้างการเลื่อนเฟส
2. ออสซิลเลเตอร์แบบความถี่สูง (High-Frequency Oscillator)
   - LC Oscillator ใช้วงจร LC เพื่อสร้างความถี่สูง (kHz - MHz) เช่น Colpitts และ Hartley Oscillator

ศูนย์วิทยทรัพยากร สถาบันนวัตกรรมการเรียนรู้ มหาวิทยาลัยพะเยา

- Crystal Oscillator ใช้ผลึกควอตซ์เพื่อสร้างสัญญาณความถี่คงที่และมีความแม่นยำสูง

3. ออสซิลเลเตอร์ดิจิทัล (Digital Oscillator)
    - Relaxation Oscillator สร้างสัญญาณสี่เหลี่ยมหรือพัลส์ เช่น Multivibrator
    - Phase-Locked Loop (PLL) ควบคุมความถี่โดยการล็อกเฟสของสัญญาณ

ลักษณะและการใช้งาน

- รูปแบบสัญญาณ
    - สัญญาณไซน์ ใช้ในระบบสื่อสารและการวัดค่าทางไฟฟ้า
    - สัญญาณสี่เหลี่ยม ใช้ในวงจรดิจิทัลและสัญญาณนาฬิกา
    - สัญญาณสามเหลี่ยมและฟันเลื่อย ใช้ในเครื่องมือวัดและแสดงผล
- การประยุกต์ใช้งาน
    - นาฬิกาในวงจรดิจิทัล ควบคุมความถี่ในการประมวลผล
    - ระบบสื่อสาร สร้างคลื่นพาหะ (Carrier Wave) สำหรับการส่งสัญญาณ
    - เครื่องมือวัดและทดสอบ เช่น สโคปมิเตอร์และเครื่องวัดความถี่
    - แหล่งจ่ายความถี่มาตรฐาน ใช้เป็นนาฬิกามาตรฐานในระบบคอมพิวเตอร์

ข้อดีและข้อจำกัด

- ข้อดี
    - สามารถสร้างสัญญาณความถี่คงที่และแม่นยำสูง
    - ใช้งานได้ทั้งในย่านความถี่ต่ำและสูง
    - มีหลายรูปแบบตามความต้องการในการใช้งาน
- ข้อจำกัด
    - ความไม่เสถียรอาจเกิดขึ้นหากอัตราขยายหรือการป้อนกลับไม่เหมาะสม
    - ต้องปรับแต่งวงจรให้มีการสั่นที่เสถียร โดยเฉพาะในย่านความถี่สูง

เครื่องกำเนิดสัญญาณออสซิลเลเตอร์มีบทบาทสำคัญในการสร้างสัญญาณไฟฟ้าที่มีความถี่และรูปแบบคงที่ เหมาะสำหรับการใช้งานในระบบอิเล็กทรอนิกส์ การสื่อสาร และการควบคุม เนื่องจากมีความแม่นยำสูงและสามารถปรับความถี่ได้หลากหลายตามประเภทของออสซิลเลเตอร์ที่ใช้งาน

ศูนย์วิทยทรัพยากร จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 8.18 เครื่องกำเนิดสัญญาณออสซิลเลเตอร์ (Oscillator)

ที่มา: https://eu.elevatorsound.com/product/buchla-and-tiptop-audio-258t-eurorack-dual-oscillator-module/ค้นเมื่อวันที่ 13/5/2568

เป็นโมดูลออสซิลเลเตอร์คู่ (Dual Oscillator Module)

คุณสมบัติหลักของ Dual Oscillator Module

1. การสร้างเสียงที่หลากหลาย
   - มีออสซิลเลเตอร์ 2 ตัวในโมดูลเดียว ทำให้สามารถสร้างสัญญาณเสียงได้หลากหลาย เช่น การผสมสัญญาณ (Mixing) หรือการมอดูเลตระหว่างกัน (Cross Modulation)
2. รูปแบบคลื่น (Waveforms)
   - มักมีหลายรูปแบบ เช่น Sine, Square, Sawtooth และ Triangle
   - สามารถตั้งความถี่แยกกันหรือซิงโครไนซ์กันได้
3. การมอดูเลต (Modulation)
   - สามารถใช้ออสซิลเลเตอร์ตัวหนึ่งควบคุมอีกตัวหนึ่ง (Frequency Modulation หรือ FM) เพื่อสร้างเสียงที่ซับซ้อนและมีการเปลี่ยนแปลงตามเวลา
4. การใช้งานแบบแยกอิสระ
   - ออสซิลเลเตอร์แต่ละตัวสามารถใช้งานแยกจากกันได้ ทำให้สามารถสร้างเสียงได้ 2 แหล่งพร้อมกัน

ศูนย์บรรณสารและการเรียนรู้ สถาบันเทคโนโลยีการอุตสาหกรรมการเรียนรู้ มหาวิทยาลัยพะเยา

8.4 คุณลักษณะและพารามิเตอร์สำคัญ

เครื่องกำเนิดสัญญาณเป็นอุปกรณ์สำคัญในงานทดสอบและวิเคราะห์วงจรอิเล็กทรอนิกส์ การเลือกใช้งานเครื่องกำเนิดสัญญาณให้เหมาะสมจำเป็นต้องพิจารณาคุณลักษณะและพารามิเตอร์ที่สำคัญ เนื่องจากปัจจัยเหล่านี้ส่งผลต่อประสิทธิภาพและความแม่นยำในการสร้างสัญญาณไฟฟ้า

ในหัวข้อนี้จะกล่าวถึงคุณลักษณะสำคัญที่ควรพิจารณาในการเลือกใช้เครื่องกำเนิดสัญญาณ เช่น ความถี่ (Frequency) รูปแบบสัญญาณ (Waveform) แอมพลิจูด (Amplitude) และพารามิเตอร์อื่น ๆ ที่ส่งผลต่อคุณภาพของสัญญาณ เพื่อให้สามารถนำไปประยุกต์ใช้งานได้อย่างเหมาะสมและมีประสิทธิภาพสูงสุด

8.4.1 ความถี่ (Frequency)

ความถี่ (Frequency) คือจำนวนรอบของคลื่นหรือสัญญาณที่เกิดขึ้นในหนึ่งวินาที มีหน่วยเป็นเฮิรตซ์ (Hz) โดย 1 Hz หมายถึง 1 รอบต่อวินาที ความถี่ถือเป็นพารามิเตอร์สำคัญของเครื่องกำเนิดสัญญาณ เนื่องจากมีผลโดยตรงต่อคุณลักษณะของสัญญาณไฟฟ้าที่สร้างขึ้น

ประเภทของความถี่ในเครื่องกำเนิดสัญญาณ

1. **ความถี่ต่ำ (Low Frequency - LF)**
    - ช่วงความถี่ประมาณ 30 Hz ถึง 300 kHz
    - มักใช้ในงานเสียง (Audio) เช่น การทดสอบระบบเสียง
2. **ความถี่กลาง (Intermediate Frequency - IF)**
    - ช่วงความถี่ประมาณ 300 kHz ถึง 30 MHz
    - ใช้ในงานวิทยุและการสื่อสารแบบอนาล็อก
3. **ความถี่สูง (High Frequency - HF)**
    - ช่วงความถี่ประมาณ 30 MHz ถึง 300 MHz
    - นิยมใช้ในงานวิทยุสื่อสารและโทรคมนาคม
4. **ความถี่วิทยุ (Radio Frequency - RF)**
    - ช่วงความถี่ตั้งแต่ไม่กี่ MHz ถึงหลาย GHz
    - ใช้ในการส่งสัญญาณวิทยุและโทรทัศน์
5. **ความถี่ไมโครเวฟ (Microwave Frequency)**
    - ช่วงความถี่ตั้งแต่ 1 GHz ถึงหลายสิบ GHz
    - ใช้ในระบบสื่อสารความเร็วสูง เช่น Wi-Fi และดาวเทียม

การปรับความถี่ในเครื่องกำเนิดสัญญาณ

เครื่องกำเนิดสัญญาณมักมีฟังก์ชันในการปรับค่าความถี่ โดยวิธีการปรับอาจทำได้ดังนี้

- แบบแมนนวล หมุนปุ่มหรือใช้ตัวเลื่อน (Slider) บนเครื่อง

ศูนย์บรรณสารและสื่อการเรียนรู้ สถาบันพัฒนาการเรียนการสอน มหาวิทยาลัยพะเยา

- แบบดิจิทัล ป้อนค่าความถี่ผ่านแป้นพิมพ์หรือหน้าจอสัมผัส
- แบบควบคุมด้วยแรงดัน (Voltage-Controlled Oscillator - VCO) เปลี่ยนความถี่ตามแรงดันไฟฟ้าที่ป้อน

การประยุกต์ใช้งานความถี่

- งานทดสอบเสียง ใช้สร้างความถี่ต่ำในงานเครื่องเสียงและลำโพง
- การสื่อสารไร้สาย ใช้ความถี่สูงในการส่งสัญญาณวิทยุและโทรคมนาคม
- งานวิเคราะห์วงจร RF ใช้ตรวจสอบการตอบสนองความถี่ของแอมพลิฟายเออร์และตัวกรอง (Filter)
- งานวิจัยด้านฟิสิกส์ ใช้สร้างคลื่นไมโครเวฟในการทดลอง

ข้อควรพิจารณา

- ความเสถียรของความถี่ เครื่องกำเนิดสัญญาณควรมีความเสถียรสูง โดยเฉพาะในย่านความถี่สูง
- ความแม่นยำ ความคลาดเคลื่อนของความถี่อาจทำให้ผลการทดลองผิดเพี้ยน
- ช่วงความถี่ เลือกเครื่องกำเนิดสัญญาณที่รองรับความถี่ได้ครอบคลุมตามความต้องการ

ความถี่เป็นพารามิเตอร์สำคัญในการเลือกใช้เครื่องกำเนิดสัญญาณ เนื่องจากมีผลต่อรูปแบบและคุณภาพของสัญญาณที่สร้างขึ้น การเลือกใช้งานความถี่อย่างเหมาะสมจะช่วยให้การทดสอบและวิเคราะห์อุปกรณ์มีความถูกต้องและมีประสิทธิภาพสูงสุด

8.4.2 แอมพลิจูด (Amplitude)

แอมพลิจูด (Amplitude) คือค่าความสูงของคลื่นสัญญาณจากแกนกลาง (จุดศูนย์) ไปยังจุดสูงสุด (ยอดคลื่น) หรือจุดต่ำสุด (ท้องคลื่น) มีหน่วยเป็นโวลต์ (V) แอมพลิจูดเป็นพารามิเตอร์สำคัญในการกำหนดความแรงของสัญญาณไฟฟ้าที่สร้างจากเครื่องกำเนิดสัญญาณ

ลักษณะของแอมพลิจูด

- แอมพลิจูดยอด (Peak Amplitude)
  - ค่าจากจุดศูนย์ถึงยอดคลื่น
- แอมพลิจูดยอด-ยอด (Peak-to-Peak Amplitude)
  - ค่าจากยอดคลื่นบวกถึงยอดคลื่นลบ
  - ใช้ในงานวัดสัญญาณที่มีการสลับเฟส เช่น คลื่นไซน์
- แอมพลิจูดเชิงรากกำลังสองเฉลี่ย (RMS Amplitude)
  - ค่าเฉลี่ยกำลังของสัญญาณ เหมาะสำหรับสัญญาณที่มีการแกว่งไปมา เช่น คลื่นไฟฟ้ากระแสสลับ (AC)

ศูนย์บรรณสารและสารสนเทศการเรียนรู้ สถาบันวิจัยการเรียนรู้ มหาวิทยาลัยพะเยา

การปรับค่าแอมพลิจูดในเครื่องกำเนิดสัญญาณ

เครื่องกำเนิดสัญญาณมักมีฟังก์ชันปรับแอมพลิจูดเพื่อตอบสนองการใช้งานที่หลากหลาย เช่น

- แบบแมนนวล ปรับหมุนปุ่มเพื่อเพิ่มหรือลดความแรงสัญญาณ
- แบบดิจิทัล ป้อนค่าตัวเลขผ่านหน้าจอแสดงผล
- การควบคุมอัตโนมัติ (Automatic Gain Control - AGC) ปรับแอมพลิจูดให้คงที่ตามสภาพแวดล้อม

การประยุกต์ใช้งานแอมพลิจูด

- การทดสอบอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์
    - ตรวจสอบความทนทานต่อสัญญาณแรงดันสูงของวงจร
    - วิเคราะห์การตอบสนองของตัวกรอง (Filter) ต่อสัญญาณแรงดันต่าง ๆ
- การวิเคราะห์สัญญาณเสียง
    - วัดระดับความดังของสัญญาณเสียงจากลำโพง
- งานสื่อสารไร้สาย
    - ตรวจสอบการขยายสัญญาณของแอมพลิฟายเออร์ RF
- งานทดลองทางฟิสิกส์
    - สร้างสัญญาณกระตุ้นในระบบทดสอบการสั่นสะเทือน

ข้อควรพิจารณาในการตั้งค่าแอมพลิจูด

- ความแม่นยำ การตั้งค่าแอมพลิจูดไม่ถูกต้องอาจทำให้ผลลัพธ์ผิดเพี้ยน
- ระดับแรงดันสูงสุด ระวังอย่าตั้งค่าแอมพลิจูดสูงเกินไป เพราะอาจทำให้วงจรเสียหาย
- ความเสถียรของแอมพลิจูด สัญญาณที่มีการแกว่งของแอมพลิจูด (Amplitude Drift) อาจทำให้การวัดค่าคลาดเคลื่อน

ตัวอย่างการใช้งานจริง

1. การวัดการตอบสนองของลำโพง
    - ตั้งค่าแอมพลิจูดตามมาตรฐาน เพื่อทดสอบระดับความดังเสียง
2. การทดสอบเครื่องขยายเสียง (Amplifier)
    - ปรับแอมพลิจูดของสัญญาณอินพุต เพื่อดูการขยายและการบิดเบือน (Distortion)
3. การตรวจสอบวงจรกรองความถี่ (Filter)
    - ปรับแอมพลิจูดของสัญญาณทดสอบ เพื่อวิเคราะห์การลดทอน (Attenuation)

แอมพลิจูดเป็นพารามิเตอร์ที่สำคัญในการสร้างและทดสอบสัญญาณไฟฟ้า การเลือกใช้แอมพลิจูดที่เหมาะสมช่วยให้การวิเคราะห์และทดสอบอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์เป็นไปอย่างแม่นยำและมีประสิทธิภาพ การตั้งค่าที่ไม่เหมาะสมอาจทำให้ผลการทดลองผิดเพี้ยนและอุปกรณ์ได้รับความเสียหาย

ศูนย์วิทยทรัพยากรและการเรียนรู้ สถาบันนวัตกรรมการเรียนรู้ มหาวิทยาลัยพะเยา

8.4.3 รูปร่างคลื่น (Waveform)

รูปร่างคลื่น (Waveform) คือรูปแบบของสัญญาณไฟฟ้าที่เครื่องกำเนิดสัญญาณสร้างขึ้น ซึ่งมีความสำคัญในการวิเคราะห์และทดสอบอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ เนื่องจากลักษณะของคลื่นมีผลโดยตรงต่อคุณสมบัติของสัญญาณ เช่น ความถี่ แอมพลิจูด และเฟส การเลือกใช้รูปร่างคลื่นที่เหมาะสมช่วยให้การทดสอบเป็นไปอย่างแม่นยำและตรงกับลักษณะการทำงานของอุปกรณ์

ประเภทของรูปร่างคลื่นที่ใช้บ่อย

1. **คลื่นไซน์ (Sine Wave)**
   - **ลักษณะ** มีรูปร่างโค้งเรียบ คล้ายคลื่นน้ำ
   - **คุณสมบัติ**
     - เป็นคลื่นพื้นฐานที่พบได้ทั่วไปในธรรมชาติ
     - มีการเปลี่ยนแปลงค่าอย่างต่อเนื่องและไม่มีฮาร์มอนิก (Harmonic)
   - **การใช้งาน**
     - ทดสอบวงจรไฟฟ้า อุปกรณ์เสียง และเครื่องขยายเสียง (Amplifier)
     - การวิเคราะห์ระบบการสั่นสะเทือนและสัญญาณเสียง

2. **คลื่นสี่เหลี่ยม (Square Wave)**
   - **ลักษณะ** มีการเปลี่ยนค่าจากระดับสูงไปต่ำอย่างรวดเร็ว
   - **คุณสมบัติ**
     - มีฮาร์มอนิกจำนวนมาก ทำให้มีเสียงรบกวนสูง
     - ใช้แสดงสถานะเปิด-ปิด (ON-OFF)
   - **การใช้งาน**
     - สัญญาณนาฬิกา (Clock Signal) ในวงจรดิจิทัล
     - ทดสอบวงจรตรรกะ (Logic Circuit) และไมโครคอนโทรลเลอร์

3. **คลื่นสามเหลี่ยม (Triangle Wave)**
   - **ลักษณะ** มีการเปลี่ยนแปลงค่าที่คงที่แบบเชิงเส้น (Linear)
   - **คุณสมบัติ**
     - ความถี่ของฮาร์มอนิกลดลงตามลำดับ
     - มีการขึ้นลงเท่าๆ กัน (Symmetrical)
   - **การใช้งาน**
     - ทดสอบการตอบสนองเชิงเส้นของอุปกรณ์
     - ใช้ในเครื่องดนตรีอิเล็กทรอนิกส์ เช่น ซินธิไซเซอร์

4. **คลื่นฟันเลื่อย (Sawtooth Wave)**
   - **ลักษณะ** เพิ่มขึ้นอย่างค่อยเป็นค่อยไปแล้วลดลงอย่างรวดเร็ว
   - **คุณสมบัติ**

ศูนย์บรรณสารและการเรียนรู้ สถาบันนวัตกรรมการเรียนรู้ มหาวิทยาลัยพะเยา

        - มีฮาร์มอนิกสูง เนื่องจากความไม่สมมาตร
        - ลักษณะคล้ายคลื่นสามเหลี่ยม แต่มีการลุกขึ้นและตกลงที่ไม่เท่ากัน
    - **การใช้งาน**
        - ใช้ในระบบสแกนของโทรทัศน์และออสซิลโลสโคป
        - ทดสอบวงจรกรองความถี่ (Filter)

5. **คลื่นพัลส์ (Pulse Wave)**
    - **ลักษณะ** มีช่วงเวลาสั้นๆ ที่เป็นระดับสูงคั่นด้วยช่วงเวลาระดับต่ำ
    - **คุณสมบัติ**
        - มี Duty Cycle ปรับได้ (อัตราส่วนระหว่างช่วงเปิดกับปิด)
        - ใช้สำหรับสร้างสัญญาณดิจิทัล
    - **การใช้งาน**
        - ทดสอบวงจรจับเวลา (Timer) และวงจรทริกเกอร์ (Trigger)
        - ใช้ในระบบควบคุมดิจิทัล

การเลือกใช้รูปร่างคลื่น

การเลือกใช้รูปร่างคลื่นขึ้นอยู่กับลักษณะงานและอุปกรณ์ที่ต้องการทดสอบ เช่น

- งานวิเคราะห์เสียง เลือกคลื่นไซน์เพื่อความบริสุทธิ์ของสัญญาณ
- งานดิจิทัล เลือกคลื่นสี่เหลี่ยมหรือพัลส์เพื่อจำลองสถานะเปิด-ปิด
- งานวิเคราะห์เชิงเส้น เลือกคลื่นสามเหลี่ยมเพื่อตรวจสอบการตอบสนองเชิงเส้น
- งานแสดงผลภาพ เลือกคลื่นฟันเลื่อยในระบบสแกน

ข้อควรพิจารณา

- ความแม่นยำในการสร้างคลื่น คลื่นบางชนิด เช่น คลื่นไซน์ ควรมีความผิดเพี้ยน (Distortion) น้อย
- ผลกระทบจากฮาร์มอนิก คลื่นที่มีฮาร์มอนิกสูง เช่น คลื่นสี่เหลี่ยม อาจสร้างความผิดเพี้ยนในวงจรเสียง
- การใช้งานจริง ควรพิจารณาประเภทสัญญาณและความถี่ที่เหมาะสมกับการทดสอบ

รูปร่างคลื่นเป็นพารามิเตอร์สำคัญในการกำหนดคุณลักษณะของสัญญาณที่สร้างจากเครื่องกำเนิดสัญญาณ การเลือกใช้งานคลื่นอย่างเหมาะสมและการปรับค่าตามลักษณะงานจะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการทดสอบและวิเคราะห์อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ได้อย่างมีประสิทธิภาพและแม่นยำ

ศูนย์บรรณสารและสื่อการเรียนรู้ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยพะเยา

8.4.4 ความแม่นยำ (Accuracy)

ความแม่นยำ (Accuracy) คือความสามารถของเครื่องกำเนิดสัญญาณในการสร้างสัญญาณที่มีค่าตรงตามที่ตั้งไว้ โดยเปรียบเทียบกับค่ามาตรฐานหรือค่าจริง ความแม่นยำเป็นปัจจัยสำคัญที่มีผลต่อประสิทธิภาพในการทดสอบอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ โดยเฉพาะในงานที่ต้องการความเที่ยงตรงสูง เช่น การวิเคราะห์วงจรความถี่สูงและการวัดค่าทางไฟฟ้า

องค์ประกอบของความแม่นยำ

ความแม่นยำของเครื่องกำเนิดสัญญาณสามารถแบ่งออกเป็นหลายด้าน ดังนี้

1. ความแม่นยำของความถี่ (Frequency Accuracy)
    - ระดับความถูกต้องของความถี่ที่เครื่องสร้างขึ้นเมื่อเทียบกับค่าที่ตั้งไว้
    - ตัวอย่าง หากตั้งค่าความถี่ไว้ที่ 1 kHz แต่เครื่องสร้างสัญญาณได้ 0.998 kHz แสดงว่ามีความคลาดเคลื่อน
2. ความแม่นยำของแอมพลิจูด (Amplitude Accuracy)
    - ค่าความแรงของสัญญาณที่ถูกต้องเมื่อเทียบกับค่าตั้งต้น
    - ตัวอย่าง ตั้งแอมพลิจูดไว้ที่ 5 V แต่เครื่องจ่ายได้ 4.95 V แสดงว่าความแม่นยำลดลง
3. ความแม่นยำของเฟส (Phase Accuracy)
    - การคงค่ามุมเฟสที่ถูกต้องเมื่อมีการซิงโครไนซ์สัญญาณหลายชุด
    - มีความสำคัญในงานที่ต้องการสัญญาณตรงกัน เช่น การวิเคราะห์ระบบหลายช่องสัญญาณ
4. ความเสถียรของสัญญาณ (Signal Stability)
    - ความสามารถในการรักษาค่าความถี่และแอมพลิจูดให้คงที่เมื่อเวลาผ่านไป
    - ปัจจัยที่มีผล คือ อุณหภูมิ แรงดันไฟฟ้าขาเข้า และคุณภาพของวงจร

ความแม่นยำ (Accuracy) ของสัญญาณในบริบทของวงจรไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์หมายถึงความใกล้เคียงของสัญญาณจริงเมื่อเทียบกับสัญญาณอ้างอิงหรือสัญญาณที่ต้องการ

1. นิยาม Accuracy

Accuracy แสดงถึงอัตราส่วนระหว่างจำนวนข้อมูลที่ถูกต้องกับจำนวนข้อมูลทั้งหมด โดยทั่วไปคำนวณได้ดังนี้

$$\text{Accuracy} = \frac{\text{จำนวนข้อมูลที่ถูกต้อง}}{\text{จำนวนข้อมูลที่ถูกต้อง}} \times 100\% \qquad (8.7)$$

ศูนย์ประสานงานและการวิจัย สถาบันนวัตกรรมการเรียนรู้ มหาวิทยาลัยพะเยา

ตัวอย่าง ถ้ามีสัญญาณจริง 100 จุด และวิเคราะห์ได้ถูกต้อง 90 จุด

$$\text{Accuracy} = \frac{90}{100} \times 100\ \% = 90\ \%$$

2. Accuracy ของสัญญาณไฟฟ้า

ในกรณีสัญญาณไฟฟ้า การคำนวณความแม่นยำมักใช้ ความคลาดเคลื่อนสัมพัทธ์ (Relative Error)

$$Accuracy = \left[1 - \left|\frac{V_{จริง} - V_{ทฤษฎี}}{V_{ทฤษฎี}}\right|\right] \times 100\ \% \qquad (8.9)$$

- $V_{จริง}$ คือ ค่าที่วัดได้จริง
- $V_{ทฤษฎี}$ คือ ค่าตามทฤษฎีหรืออ้างอิง

ตัวอย่าง

ถ้าค่าทฤษฎีคือ 5 V แต่ค่าที่วัดได้คือ 4.8 V

$$\text{Accuracy} = \left[1 - \left|\frac{4.8-5}{5}\right|\right] \times 100\ \% = \left[1 - \left|\frac{0.2}{5}\right|\right] \times 100\ \% = 96\ \%$$

3. Accuracy ในการวิเคราะห์สัญญาณดิจิทัล

เมื่อวิเคราะห์ความแม่นยำของสัญญาณดิจิทัล (Binary Classification)

$$\text{Accuracy} = \frac{TP+TN}{TP+TN+FP+FN} \times 100\ \% \qquad (8.10)$$

TP คือ ตรวจจับได้ถูกต้อง (True Positive)
TN คือ ไม่ตรวจจับได้ถูกต้อง (True Negative)
FP คือ ตรวจจับผิดพลาด (False Positive)
FN คือ ไม่ตรวจจับแต่มี (False Negative)

ศูนย์บรรณสารและการเรียนรู้ สถาบันวิทยบริการและการเรียนรู้ มหาวิทยาลัยพะเยา

4. Accuracy ของวงจรออสซิลเลเตอร์

ความแม่นยำของสัญญาณออสซิลเลเตอร์มักพิจารณาจาก

- **ความผิดพลาดของความถี่ (Frequency Error)**

$$Accuracy = \left[1 - \frac{|f_{จริง} - f_{ทฤษฎี}|}{f_{ทฤษฎี}}\right] \times 100\ \% \quad (8.11)$$

- **ค่าความเพี้ยน (THD - Total Harmonic Distortion)**

$$THD = \frac{\sqrt{V_2^2 + V_3^2 + \cdots}}{V_1} \times 100\ \% \quad (8.12)$$

- ความแม่นยำสูงแปลว่าค่าความเพี้ยนต่ำ

5. ปัจจัยที่มีผลต่อ Accuracy

- ความเที่ยงตรงของอุปกรณ์วัด (Precision of Instruments)
- การรบกวนจากสัญญาณรบกวน (Noise Interference)
- ความคลาดเคลื่อนของส่วนประกอบวงจร (Component Tolerance)
- การปรับเทียบอุปกรณ์ (Calibration)

ปัจจัยที่ส่งผลต่อความแม่นยำ

1. คุณภาพของวงจรอิเล็กทรอนิกส์
    - ใช้ส่วนประกอบคุณภาพสูงเพื่อลดความผิดเพี้ยน
2. การสอบเทียบ (Calibration)
    - การปรับตั้งเครื่องกำเนิดสัญญาณให้ตรงกับค่ามาตรฐาน
    - ควรดำเนินการเป็นระยะเพื่อลดความคลาดเคลื่อน
3. สภาพแวดล้อม
    - อุณหภูมิและความชื้นอาจทำให้ค่าความถี่และแอมพลิจูดเปลี่ยนแปลง
    - การใช้วงจรควบคุมอุณหภูมิ (Temperature Compensation) ช่วยลดผลกระทบ
4. การรบกวนทางแม่เหล็กไฟฟ้า (EMI)
    - สัญญาณรบกวนจากภายนอกอาจทำให้สัญญาณผิดเพี้ยน
    - การป้องกัน EMI และการต่อสายดินอย่างถูกต้องเป็นสิ่งสำคัญ

ศูนย์บรรณสารและการเรียนรู้ สถาบันนวัตกรรมการเรียนรู้ มหาวิทยาลัยพะเยา

วิธีการเพิ่มความแม่นยำ

1. การเลือกเครื่องกำเนิดสัญญาณคุณภาพสูง
    - ตรวจสอบสเปก เช่น ค่าความแม่นยำทางความถี่ ±0.01%
2. การใช้งานในสภาวะที่ควบคุมได้
    - ใช้ในห้องที่มีการควบคุมอุณหภูมิและปราศจากสัญญาณรบกวน
3. การสอบเทียบอย่างสม่ำเสมอ
    - ปฏิบัติตามคู่มือผู้ผลิตเพื่อรักษาความแม่นยำ
4. การตรวจสอบค่าผิดพลาด (Error Checking)
    - ใช้เครื่องมือวัดร่วม เช่น ออสซิลโลสโคป เพื่อตรวจสอบความถูกต้องของสัญญาณ

การประยุกต์ใช้งานความแม่นยำสูง

- การวิเคราะห์วงจร RF
    - ต้องการความแม่นยำสูงในการสร้างสัญญาณความถี่สูงเพื่อทดสอบเครื่องขยายสัญญาณและตัวกรอง
- การสอบเทียบอุปกรณ์วัด
    - เครื่องกำเนิดสัญญาณที่มีความแม่นยำสูงใช้เป็นแหล่งอ้างอิงสำหรับสอบเทียบเครื่องมือวัด เช่น มิเตอร์วัดความถี่
- การทดสอบอุปกรณ์ดิจิทัล
    - สร้างสัญญาณนาฬิกาที่มีความเที่ยงตรงสูงเพื่อตรวจสอบวงจรดิจิทัลและไมโครคอนโทรลเลอร์

ข้อควรระวัง

- ความผิดพลาดจากผู้ใช้งาน
    - การตั้งค่าผิดพลาดอาจนำไปสู่ความคลาดเคลื่อนในการทดสอบ
- การเสื่อมสภาพของอุปกรณ์
    - การใช้งานต่อเนื่องโดยไม่สอบเทียบอาจทำให้ค่าความแม่นยำลดลง
- การอ่านค่าผิดพลาด
    - ใช้เครื่องมือวัดคุณภาพสูงเพื่อยืนยันความถูกต้องของสัญญาณ

ความแม่นยำเป็นปัจจัยสำคัญในการเลือกใช้เครื่องกำเนิดสัญญาณสำหรับงานที่ต้องการความเที่ยงตรงสูง การรักษาความแม่นยำทำได้โดยการเลือกใช้อุปกรณ์คุณภาพดี การสอบเทียบเป็นประจำ และใช้งานในสภาพแวดล้อมที่เหมาะสม ความแม่นยำที่สูงขึ้นจะช่วยให้การทดสอบและวิเคราะห์อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์มีความน่าเชื่อถือและถูกต้องมากขึ้น

ศูนย์ทรัพยากรและการเรียนรู้ สถาบันนวัตกรรมการเรียนรู้ มหาวิทยาลัยพะเยา

8.4.5 ความเสถียรของสัญญาณ (Signal Stability)

ความเสถียรของสัญญาณ (Signal Stability) คือความสามารถของเครื่องกำเนิดสัญญาณในการสร้างสัญญาณที่คงที่และไม่แปรเปลี่ยนเมื่อเวลาผ่านไป ซึ่งรวมถึงการรักษาค่าความถี่ แอมพลิจูด และเฟสให้มีความเสถียรภายใต้สภาวะแวดล้อมหรือการใช้งานที่หลากหลาย

ความเสถียรเป็นปัจจัยสำคัญในการวัดและทดสอบ เนื่องจากสัญญาณที่ไม่เสถียรอาจทำให้ผลลัพธ์การทดลองคลาดเคลื่อน โดยเฉพาะอย่างยิ่งในงานที่ต้องการความเที่ยงตรงสูง เช่น การวิเคราะห์วงจร RF และระบบสื่อสาร

ประเภทของความเสถียรของสัญญาณ

1. ความเสถียรทางความถี่ (Frequency Stability)
    - ความสามารถในการรักษาความถี่ให้คงที่ภายใต้การเปลี่ยนแปลงของสภาวะแวดล้อม เช่น อุณหภูมิและแรงดันไฟฟ้า
    - ตัวอย่าง เครื่องกำเนิดสัญญาณ RF ที่มีความเสถียร ±0.001% ต่อการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ
2. ความเสถียรทางแอมพลิจูด (Amplitude Stability)
    - การรักษาระดับความแรงของสัญญาณให้คงที่เมื่อเวลาผ่านไป
    - ตัวอย่าง สัญญาณเสียงที่มีความดังไม่เปลี่ยนแปลงระหว่างการวัด
3. ความเสถียรทางเฟส (Phase Stability)
    - การรักษาความสัมพันธ์ของมุมเฟสให้คงที่ โดยเฉพาะในระบบหลายช่องสัญญาณที่ต้องการความสอดคล้องกัน
    - ตัวอย่าง การวิเคราะห์คลื่นซิงโครไนซ์ในระบบสื่อสารดิจิทัล

ปัจจัยที่ส่งผลต่อความเสถียรของสัญญาณ

1. อุณหภูมิ (Temperature)
    - การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิอาจทำให้ส่วนประกอบอิเล็กทรอนิกส์ เช่น ตัวเก็บประจุและตัวต้านทาน มีค่าผิดเพี้ยน
        - วิธีแก้ไข ใช้วงจรชดเชยอุณหภูมิ (Temperature Compensated Crystal Oscillator - TCXO)
2. แรงดันไฟฟ้า (Voltage)
    - การเปลี่ยนแปลงแรงดันไฟฟ้าอาจทำให้ความถี่และแอมพลิจูดไม่คงที่
        - วิธีแก้ไข ใช้ระบบจ่ายไฟที่มีการกรองสัญญาณรบกวน
3. การรบกวนทางแม่เหล็กไฟฟ้า (EMI)
    - คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าจากภายนอกอาจทำให้ค่าความถี่หรือแอมพลิจูดเปลี่ยนแปลง
        - วิธีแก้ไข ใช้โล่ป้องกัน (Shielding) และกราวด์อย่างถูกต้อง

ศูนย์บรรณสารและการเรียนรู้ ชั้น 2 อาคารวิทยบริการและการเรียนรู้ มหาวิทยาลัยพะเยา

4. คุณภาพของวงจรอิเล็กทรอนิกส์
    - การออกแบบวงจรที่มีคุณภาพสูงจะช่วยลดความแปรปรวน
        - วิธีแก้ไข ใช้อุปกรณ์ที่มีความแม่นยำสูง เช่น คริสตัลออสซิลเลเตอร์ (Crystal Oscillator)

การเพิ่มความเสถียรของสัญญาณ

1. การสอบเทียบอย่างสม่ำเสมอ
    - ปรับตั้งค่าเครื่องกำเนิดสัญญาณตามมาตรฐานอย่างต่อเนื่อง
2. การใช้งานในสภาวะควบคุม
    - ใช้ในห้องที่มีการควบคุมอุณหภูมิและความชื้นเพื่อลดผลกระทบภายนอก
3. การใช้ตัวกำเนิดความถี่ที่เสถียรสูง
    - เช่น ออสซิลเลเตอร์ชนิด OCXO (Oven Controlled Crystal Oscillator) ที่รักษาอุณหภูมิให้คงที่
4. การป้องกัน EMI
    - ใช้วงจรกรองสัญญาณรบกวนและสายเคเบิลคุณภาพสูง
5. การบำรุงรักษาอุปกรณ์
    - ตรวจสอบอุปกรณ์อย่างสม่ำเสมอเพื่อป้องกันการเสื่อมสภาพ

ตัวอย่างการใช้งาน

- การวิเคราะห์สัญญาณ RF เครื่องกำเนิดสัญญาณ RF ที่เสถียรช่วยในการวิเคราะห์คุณภาพของการส่งสัญญาณในระบบไร้สาย
- การทดสอบเครื่องขยายสัญญาณ ต้องใช้สัญญาณอินพุตที่เสถียรเพื่อทดสอบการขยายและบิดเบือนของแอมพลิฟายเออร์
- งานทดสอบมาตรฐาน การทดสอบอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ต้องการสัญญาณที่มีความเสถียรสูงเพื่อลดข้อผิดพลาดในการวัด

ข้อควรระวัง

- ผลกระทบจากการใช้งานต่อเนื่อง การใช้งานนานเกินไปโดยไม่พักอาจทำให้ความเสถียรลดลง
- การเลือกเครื่องกำเนิดสัญญาณที่ไม่เหมาะสม ควรตรวจสอบสเปกของเครื่องว่าเหมาะกับงานที่ต้องการหรือไม่

ความเสถียรของสัญญาณเป็นปัจจัยสำคัญที่ส่งผลต่อความแม่นยำในการวัดและทดสอบอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ การรักษาความเสถียรสามารถทำได้โดยการควบคุมสภาพแวดล้อม เลือกใช้อุปกรณ์ที่มีคุณภาพ และสอบเทียบอย่างสม่ำเสมอ เพื่อให้การทดสอบและวิเคราะห์เป็นไปอย่างถูกต้องและเชื่อถือได้

ศูนย์บรรณสารและการเรียนรู้ สถาบันนวัตกรรมการเรียนรู้ มหาวิทยาลัยพะเยา

8.5 การใช้งานเครื่องกำเนิดสัญญาณในงานอิเล็กทรอนิกส์

เครื่องกำเนิดสัญญาณเป็นอุปกรณ์สำคัญในการทดสอบและวิเคราะห์อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ เนื่องจากสามารถสร้างสัญญาณไฟฟ้ารูปแบบต่าง ๆ เช่น คลื่นไซน์ คลื่นสี่เหลี่ยม และคลื่นสามเหลี่ยม ซึ่งจำเป็นสำหรับการตรวจสอบคุณภาพ การวัดประสิทธิภาพ และการตรวจสอบความเสถียรของวงจรไฟฟ้า

การใช้งานเครื่องกำเนิดสัญญาณมีความหลากหลายทั้งในงานวิจัย การพัฒนาอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ การผลิต และการบำรุงรักษา เช่น การวัดการตอบสนองความถี่ของวงจร การทดสอบเครื่องขยายสัญญาณ และการตรวจสอบอุปกรณ์สื่อสาร ดังนั้น การเข้าใจหลักการและวิธีใช้งานอย่างถูกต้องจะช่วยให้การทดสอบเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพและเชื่อถือได้

8.5.1 การทดสอบวงจรขยาย (Amplifier Testing)

วงจรขยาย (Amplifier) เป็นอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่มีหน้าที่เพิ่มขนาดของสัญญาณไฟฟ้า ทั้งในด้านแอมพลิจูด (Amplitude) หรือกำลังไฟฟ้า (Power) การทดสอบวงจรขยายเป็นขั้นตอนสำคัญในการประเมินประสิทธิภาพ คุณภาพ และความถูกต้องของการขยายสัญญาณ

วัตถุประสงค์ของการทดสอบวงจรขยาย

1. ตรวจสอบอัตราขยาย (Gain) ของวงจร
    - วัดว่าแอมพลิจูดของสัญญาณขาออกเพิ่มขึ้นจากสัญญาณขาเข้าเท่าใด
2. วิเคราะห์การบิดเบือน (Distortion)
    - ตรวจสอบว่าสัญญาณขยายมีความผิดเพี้ยนหรือความบิดเบือนจากสัญญาณต้นฉบับมากน้อยเพียงใด
3. ประเมินย่านความถี่ตอบสนอง (Frequency Response)
    - วัดการตอบสนองของวงจรขยายในย่านความถี่ต่าง ๆ
4. ทดสอบกำลังขับ (Output Power)
    - ตรวจสอบว่ากำลังขับสูงสุดของวงจรขยายอยู่ในเกณฑ์ที่กำหนดหรือไม่
5. ทดสอบความเสถียร (Stability)
    - ตรวจสอบว่าวงจรมีปัญหาการออสซิลเลต (Oscillation) หรือไม่

เครื่องมือที่ใช้ในการทดสอบวงจรขยาย

1. เครื่องกำเนิดสัญญาณ (Signal Generator)
    - สร้างสัญญาณทดสอบ เช่น คลื่นไซน์ คลื่นสี่เหลี่ยม และคลื่นสามเหลี่ยม
2. ออสซิลโลสโคป (Oscilloscope)
    - แสดงรูปคลื่นของสัญญาณขาเข้าและขาออกเพื่อตรวจสอบความผิดเพี้ยน

ศูนย์บรรณสารและสื่อการเรียนรู้ สถาบันนวัตกรรมการเรียนรู้ มหาวิทยาลัยพะเยา

3. วัตต์มิเตอร์ (Wattmeter)
    - วัดกำลังขับของวงจรขยาย
4. เครื่องวิเคราะห์สเปกตรัม (Spectrum Analyzer)
    - ตรวจสอบการบิดเบือนฮาร์มอนิก (Harmonic Distortion)
5. โวลต์มิเตอร์ AC (AC Voltmeter)
    - วัดค่าแอมพลิจูดของสัญญาณขาเข้าและขาออก

ขั้นตอนการทดสอบวงจรขยาย

1. **การตั้งค่าทดสอบ**
    - เชื่อมต่อเครื่องกำเนิดสัญญาณเข้ากับอินพุตของวงจรขยาย
    - ตั้งค่าความถี่และแอมพลิจูดของสัญญาณให้เหมาะสม
2. **การวัดอัตราขยาย (Gain Measurement)**
    - ป้อนสัญญาณไซน์ที่ความถี่คงที่ เช่น 1 kHz
    - วัดแรงดันไฟฟ้าขาเข้า (V_{in}) และขาออก (V_{out})
    - คำนวณอัตราขยาย

$$\text{Gain (dB)} = 20 \times \log \frac{\mathbf{V_{out}}}{\mathbf{V_{in}}} \tag{8.13}$$

3. **การวัดความถี่ตอบสนอง (Frequency Response)**
    - เปลี่ยนความถี่ของสัญญาณเข้าและวัดค่าความแรงของสัญญาณขาออกในช่วงความถี่ต่าง ๆ
    - แสดงกราฟอัตราขยายเทียบกับความถี่
4. **การวัดการบิดเบือน (Distortion Measurement)**
    - ใช้เครื่องวิเคราะห์สเปกตรัมเพื่อตรวจสอบฮาร์มอนิก
    - คำนวณอัตราการบิดเบือนฮาร์มอนิกทั้งหมด (THD)

$$\text{THD} = \frac{\sqrt{\mathbf{V_2^2+V_3^2+V_4^2+\cdots}}}{\mathbf{V_1}} \times 100\% \tag{8.14}$$

    - ค่า THD ที่ต่ำบ่งชี้ถึงคุณภาพการขยายที่ดี
5. **การวัดกำลังขับ (Power Output Measurement)**
    - ใช้วัตต์มิเตอร์วัดกำลังขับที่ความต้านทานโหลดมาตรฐาน เช่น 4 โอห์ม หรือ 8 โอห์ม
    - ตรวจสอบว่ากำลังขับอยู่ในเกณฑ์ตามสเปกหรือไม่
6. **การทดสอบความเสถียร (Stability Test)**
    - ตรวจสอบว่ามีการออสซิลเลตหรือไม่เมื่อเพิ่มระดับสัญญาณ
    - ทดสอบในช่วงความถี่สูงและต่ำเพื่อดูว่ามีปัญหาความเสถียรหรือไม่

ศูนย์บรรณสารและการเรียนรู้ สถาบันวิทยบริการและการเรียนรู้ มหาวิทยาลัยพะเยา

การวิเคราะห์ผลการทดสอบ

- Gain ที่เหมาะสม ค่าคงที่และไม่ลดทอนในช่วงความถี่ใช้งาน
- ความบิดเบือนต่ำ ค่า THD ต่ำกว่า 1% สำหรับเครื่องขยายเสียงคุณภาพสูง
- ความถี่ตอบสนองกว้าง สามารถขยายสัญญาณได้ในช่วงความถี่กว้างโดยไม่ลดทอน
- กำลังขับเพียงพอ รองรับการขับโหลดได้โดยไม่มีการคลิป (Clipping)
- ไม่มีการออสซิลเลต แสดงถึงความเสถียรของวงจร

ข้อควรระวังในการทดสอบ

- ตรวจสอบการตั้งค่าของเครื่องมือวัดก่อนทำการทดลอง
- ระวังแรงดันขาออกสูงเกินไป อาจทำให้ลำโพงหรือวงจรเสียหาย
- ใช้อุปกรณ์ป้องกัน เช่น ตัวต้านทาน Dummy Load เพื่อป้องกันความเสียหายจากการโอเวอร์โหลด

การทดสอบวงจรขยายมีความสำคัญในการประเมินประสิทธิภาพและคุณภาพของการขยายสัญญาณ การใช้เครื่องมือวัดที่เหมาะสมและขั้นตอนทดสอบที่ถูกต้องจะช่วยให้ได้ข้อมูลที่แม่นยำ การวิเคราะห์ผลที่ครบถ้วนช่วยให้ทราบถึงข้อบกพร่องและสามารถปรับปรุงวงจรขยายให้มีคุณภาพสูงขึ้น

8.5.2 การวิเคราะห์สัญญาณในระบบสื่อสาร

การวิเคราะห์สัญญาณในระบบสื่อสารเป็นขั้นตอนสำคัญในการประเมินประสิทธิภาพและคุณภาพของการส่งข้อมูลผ่านช่องทางต่าง ๆ เช่น สายสัญญาณ โครงข่ายไร้สาย หรือระบบใยแก้วนำแสง การวิเคราะห์นี้มีจุดประสงค์เพื่อศึกษาลักษณะของสัญญาณ ตรวจสอบความผิดเพี้ยน และประเมินประสิทธิภาพในการส่งผ่านข้อมูล

วัตถุประสงค์ของการวิเคราะห์สัญญาณในระบบสื่อสาร

1. ประเมินคุณภาพสัญญาณ (Signal Quality)
    - ตรวจสอบความเข้มของสัญญาณ ความผิดเพี้ยน (Distortion) และอัตราส่วนสัญญาณต่อสัญญาณรบกวน (SNR)
2. ตรวจสอบความถี่และความกว้างของแถบสัญญาณ (Bandwidth)
    - วัดความถี่ของสัญญาณและย่านความถี่ที่ใช้ในการส่งข้อมูล
3. วิเคราะห์การมอดูเลต (Modulation Analysis)
    - ตรวจสอบรูปแบบการมอดูเลต เช่น AM, FM, PM หรือการมอดูเลตดิจิทัล เช่น QAM, PSK
4. ตรวจสอบการบิดเบือนและการรบกวน (Distortion and Noise Analysis)
    - วิเคราะห์ปัญหา เช่น การลดทอน (Attenuation) หรือการสะท้อน (Reflection)

ศูนย์บรรณสารและการเรียนรู้ สถาบันวิทยบริการและการเรียนรู้ มหาวิทยาลัยพะเยา

5. วิเคราะห์ความเสถียร (Stability Analysis)
    - ตรวจสอบว่าสัญญาณมีการออสซิลเลต (Oscillation) หรือความแปรปรวนระหว่างการส่งหรือไม่

เครื่องมือที่ใช้ในการวิเคราะห์สัญญาณ

1. เครื่องกำเนิดสัญญาณ (Signal Generator)
    - สร้างสัญญาณทดสอบ เช่น คลื่นไซน์ คลื่นสี่เหลี่ยม หรือสัญญาณมอดูเลต
2. ออสซิลโลสโคป (Oscilloscope)
    - แสดงรูปคลื่นของสัญญาณในโดเมนเวลา เพื่อตรวจสอบการผิดเพี้ยน
3. เครื่องวิเคราะห์สเปกตรัม (Spectrum Analyzer)
    - วิเคราะห์สัญญาณในโดเมนความถี่ เพื่อตรวจสอบความกว้างแถบความถี่และฮาร์มอนิก
4. เครื่องวิเคราะห์เวคเตอร์ (Vector Signal Analyzer - VSA)
    - ตรวจสอบสัญญาณดิจิทัล เช่น QAM หรือ OFDM
5. เครื่องวิเคราะห์เครือข่าย (Network Analyzer)
    - วัดค่าพารามิเตอร์ เช่น S-parameters เพื่อตรวจสอบการสะท้อนและการส่งผ่าน

ขั้นตอนการวิเคราะห์สัญญาณในระบบสื่อสาร

1. การตั้งค่าทดสอบ
    - เชื่อมต่อเครื่องกำเนิดสัญญาณเข้ากับระบบสื่อสารที่ต้องการวิเคราะห์
    - ปรับตั้งค่าความถี่ แอมพลิจูด และรูปแบบการมอดูเลตตามต้องการ
2. การวิเคราะห์ในโดเมนเวลา (Time Domain Analysis)
    - ใช้ออสซิลโลสโคปตรวจสอบรูปคลื่น
    - ตรวจสอบว่ารูปคลื่นมีความผิดเพี้ยนหรือไม่ เช่น การบิดเบือนแบบฮาร์มอนิก
3. การวิเคราะห์ในโดเมนความถี่ (Frequency Domain Analysis)
    - ใช้เครื่องวิเคราะห์สเปกตรัมตรวจสอบความถี่และฮาร์มอนิก
    - ตรวจสอบอัตราส่วนสัญญาณต่อสัญญาณรบกวน (SNR)
4. การวิเคราะห์การมอดูเลต (Modulation Analysis)
    - ตรวจสอบสัญญาณมอดูเลตด้วย VSA เพื่อตรวจสอบค่าพารามิเตอร์ เช่น EVM (Error Vector Magnitude)
    - วิเคราะห์รูปแบบคอนสเตลเลชัน (Constellation Diagram) เพื่อตรวจสอบความผิดเพี้ยนในการมอดูเลต
5. การวิเคราะห์สัญญาณรบกวน (Noise Analysis)
    - วัดค่า Noise Figure เพื่อประเมินการสูญเสียคุณภาพของสัญญาณ
    - ตรวจสอบว่ามีการรบกวนจากภายนอกหรือไม่

ศูนย์บรรณสารและการเรียนรู้ สถาบันนวัตกรรมการเรียนรู้ มหาวิทยาลัยพะเยา

6. การวิเคราะห์การสะท้อน (Reflection Analysis)
    - ใช้ Network Analyzer วัดค่า Return Loss หรือ VSWR
    - ตรวจสอบปัญหาการสะท้อนที่เกิดจากสายอากาศหรือสายส่ง

การวิเคราะห์ข้อมูลและการประเมินผล

- คุณภาพสัญญาณสูง
    - ค่า SNR สูง (> 30 dB)
    - ความผิดเพี้ยนต่ำ (THD < 1%)
    - ค่าผิดพลาดจากการมอดูเลต (EVM) ต่ำ (< 3%)
- ปัญหาที่พบ
    - ฮาร์มอนิกสูง สัญญาณผิดเพี้ยนจากแหล่งกำเนิด
    - การสะท้อนมาก เกิดจากการต่อสายผิดพลาด
    - สัญญาณรบกวน รบกวนจากอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ใกล้เคียง

การปรับปรุงคุณภาพสัญญาณ

1. การกรองสัญญาณ (Filtering)
    - ใช้ตัวกรองความถี่เพื่อลดสัญญาณรบกวนและฮาร์มอนิก
2. การควบคุมอุณหภูมิ
    - ใช้อุปกรณ์รักษาอุณหภูมิเพื่อลดการเปลี่ยนแปลงของความถี่
3. การออกแบบระบบที่เหมาะสม
    - เลือกใช้อุปกรณ์ที่มีค่าความเสถียรสูงและรองรับความถี่ที่ต้องการ
4. การป้องกันการรบกวน (Shielding)
    - ติดตั้งโล่ป้องกันสัญญาณรบกวนจากภายนอก

การวิเคราะห์สัญญาณในระบบสื่อสารมีความสำคัญอย่างยิ่งในการประเมินคุณภาพและประสิทธิภาพของการส่งข้อมูล การใช้เครื่องมือวิเคราะห์ที่เหมาะสมและขั้นตอนที่ถูกต้องช่วยให้สามารถตรวจสอบปัญหาและปรับปรุงระบบได้อย่างมีประสิทธิภาพ ส่งผลให้การสื่อสารมีความน่าเชื่อถือและมีประสิทธิภาพสูงขึ้น

ศูนย์วิทยทรัพยากร สถาบันนวัตกรรมการเรียนรู้ มหาวิทยาลัยพะเยา

8.5.3 การใช้งานในห้องปฏิบัติการและการทดลอง

เครื่องกำเนิดสัญญาณเป็นอุปกรณ์สำคัญที่ใช้ในห้องปฏิบัติการและการทดลองด้านอิเล็กทรอนิกส์ เพื่อสร้างสัญญาณทดสอบในรูปแบบต่าง ๆ เช่น สัญญาณไซน์ (Sine) สี่เหลี่ยม (Square) สามเหลี่ยม (Triangle) และสัญญาณพัลส์ (Pulse) การใช้งานเหล่านี้มีความจำเป็นในการวิเคราะห์ ประเมิน และทดสอบวงจรหรืออุปกรณ์ต่าง ๆ ทั้งในด้านการศึกษาและการวิจัย

วัตถุประสงค์ของการใช้งานในห้องปฏิบัติการ

1. การทดสอบการตอบสนองความถี่ (Frequency Response Testing)
    - ตรวจสอบว่าวงจรขยายหรือฟิลเตอร์มีการตอบสนองอย่างไรเมื่อเปลี่ยนความถี่
2. การวัดอัตราขยาย (Gain Measurement)
    - วัดระดับการขยายของแอมพลิฟายเออร์โดยใช้สัญญาณอินพุตที่มีความถี่และแอมพลิจูดคงที่
3. การตรวจสอบการบิดเบือน (Distortion Testing)
    - ตรวจสอบความเพี้ยนของสัญญาณหลังผ่านวงจร เช่น วงจรขยายเสียง
4. การทดสอบวงจรกรองความถี่ (Filter Testing)
    - ทดสอบประสิทธิภาพของฟิลเตอร์ในการกรองสัญญาณรบกวนหรือความถี่ที่ไม่ต้องการ
5. การสร้างสัญญาณมาตรฐาน (Standard Signal Generation)
    - ใช้สร้างสัญญาณมาตรฐานสำหรับการสอบเทียบเครื่องมือวัด

เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้

1. เครื่องกำเนิดสัญญาณ (Signal Generator)
    - สร้างสัญญาณทดสอบ เช่น AF Signal Generator, RF Signal Generator และ Function Generator
2. ออสซิลโลสโคป (Oscilloscope)
    - แสดงรูปคลื่นและตรวจสอบการเปลี่ยนแปลงของสัญญาณเมื่อผ่านวงจร
3. เครื่องวัดสเปกตรัม (Spectrum Analyzer)
    - ตรวจสอบการกระจายของความถี่ในสัญญาณขาออก
4. โวลต์มิเตอร์และแอมมิเตอร์ (Voltmeter and Ammeter)
    - วัดแรงดันและกระแสไฟฟ้าเพื่อตรวจสอบอัตราขยาย
5. เครื่องวัดกำลังไฟฟ้า (Power Meter)
    - ประเมินกำลังขาออกของอุปกรณ์ขยายเสียง

ขั้นตอนการใช้งานในห้องปฏิบัติการ

1. การเตรียมอุปกรณ์
    - ตรวจสอบความพร้อมของเครื่องกำเนิดสัญญาณและเครื่องมือวัด
    - ตั้งค่าความถี่และแอมพลิจูดให้เหมาะสมกับการทดลอง

ศูนย์บรรณสารและสื่อการเรียนรู้ สถาบันบัณฑิตพัฒนบริหารศาสตร์ มหาวิทยาลัยนะเยา

2. การตั้งค่าทดสอบ
    - เชื่อมต่อเครื่องกำเนิดสัญญาณเข้ากับวงจรหรืออุปกรณ์ที่ต้องการทดสอบ
    - เชื่อมต่อออสซิลโลสโคปเพื่อตรวจสอบรูปคลื่นขาออก
3. การเก็บข้อมูล
    - วัดค่าแรงดันขาเข้าและขาออก
    - บันทึกความถี่ตอบสนองเมื่อเปลี่ยนความถี่อินพุต
    - ตรวจสอบการบิดเบือนโดยใช้เครื่องวิเคราะห์สเปกตรัม
4. การวิเคราะห์ผล
    - เปรียบเทียบรูปคลื่นอินพุตและเอาต์พุต
    - วิเคราะห์อัตราขยายและความเพี้ยน
    - วัดค่า SNR (Signal-to-Noise Ratio) เพื่อตรวจสอบคุณภาพสัญญาณ

ตัวอย่างการใช้งานในห้องปฏิบัติการ

1. การทดสอบเครื่องขยายเสียง (Amplifier Testing)
    - ใช้เครื่องกำเนิดสัญญาณสร้างคลื่นไซน์ความถี่ 1 kHz เพื่อวัดอัตราขยายและความบิดเบือน
2. การวิเคราะห์วงจรกรองความถี่ (Filter Analysis)
    - ป้อนสัญญาณสวีพความถี่ (Sweep Frequency) เพื่อดูการลดทอนของความถี่ต่าง ๆ
3. การทดสอบระบบสื่อสาร (Communication System Testing)
    - ใช้ RF Signal Generator ในการตรวจสอบประสิทธิภาพของเครื่องส่งและเครื่องรับ
4. การทดลองในงานวิจัย (Research Testing)
    - สร้างสัญญาณพัลส์เพื่อตรวจสอบการตอบสนองชั่วคราว (Transient Response) ของระบบ

ข้อควรระวังในการใช้งาน

- การตั้งค่าความถี่และแอมพลิจูดผิดพลาด
    - อาจทำให้วงจรเสียหาย ควรตรวจสอบก่อนใช้งาน
- การต่อสายอย่างถูกต้อง
    - ป้องกันความเสียหายต่ออุปกรณ์และลดความผิดพลาดในการวัด
- การควบคุมสภาพแวดล้อม
    - หลีกเลี่ยงสัญญาณรบกวนจากภายนอก เช่น เครื่องใช้ไฟฟ้าใกล้เคียง

ประโยชน์ของการใช้งานในห้องปฏิบัติการ

1. การทดสอบและพัฒนาวงจร
    - ช่วยวิจัยและพัฒนาวงจรอิเล็กทรอนิกส์ใหม่ ๆ
2. การตรวจสอบคุณภาพอุปกรณ์

ศูนย์บรรณสารและการเรียนรู้ สถาบันพัฒนาการเรียนรู้ มหาวิทยาลัยพะเยา

- วิเคราะห์ความเสถียรและความถูกต้องของเครื่องขยายเสียงหรือวงจรกรอง

3. การศึกษาทางวิชาการ
   - สร้างความเข้าใจเกี่ยวกับพฤติกรรมของวงจรเมื่อได้รับสัญญาณต่าง ๆ
4. การทดสอบตามมาตรฐาน
   - ตรวจสอบว่าอุปกรณ์ทำงานตามมาตรฐานทางอุตสาหกรรมหรือไม่

การใช้งานเครื่องกำเนิดสัญญาณในห้องปฏิบัติการมีบทบาทสำคัญในการทดสอบและวิเคราะห์วงจรอิเล็กทรอนิกส์ เครื่องกำเนิดสัญญาณที่มีความแม่นยำสูงจะช่วยให้การวัดและประเมินผลเป็นไปอย่างถูกต้องและเชื่อถือได้ ส่งผลให้การพัฒนางานวิจัยและการเรียนการสอนด้านอิเล็กทรอนิกส์มีประสิทธิภาพมากขึ้น

8.6 การสอบเทียบและบำรุงรักษาเครื่องกำเนิดสัญญาณ

เครื่องกำเนิดสัญญาณเป็นอุปกรณ์สำคัญในการสร้างสัญญาณทดสอบที่หลากหลายสำหรับการใช้งานในห้องปฏิบัติการ การวิจัย และงานอุตสาหกรรม เพื่อให้มั่นใจว่าการวัดและการทดสอบมีความแม่นยำและน่าเชื่อถือ การสอบเทียบและบำรุงรักษาเครื่องกำเนิดสัญญาณอย่างสม่ำเสมอจึงเป็นสิ่งจำเป็น

การสอบเทียบช่วยให้ค่าความถี่ แอมพลิจูด และรูปร่างคลื่นที่เครื่องกำเนิดสัญญาณผลิตออกมาเป็นไปตามมาตรฐานที่กำหนด ขณะที่การบำรุงรักษาจะช่วยยืดอายุการใช้งาน ลดความเสี่ยงจากความผิดพลาดและการชำรุด การปฏิบัติตามขั้นตอนที่เหมาะสมจะช่วยรักษาประสิทธิภาพการทำงานและลดปัญหาที่อาจเกิดขึ้นในการใช้งานจริง

8.6.1 ขั้นตอนการสอบเทียบเพื่อความแม่นยำ

การสอบเทียบเครื่องกำเนิดสัญญาณเป็นกระบวนการตรวจสอบและปรับตั้งค่าการทำงานของเครื่องให้เป็นไปตามมาตรฐาน เพื่อให้แน่ใจว่าสัญญาณที่ผลิตออกมามีความแม่นยำ ทั้งในด้านความถี่ แอมพลิจูด และรูปคลื่น การสอบเทียบอย่างสม่ำเสมอช่วยลดความคลาดเคลื่อนและเพิ่มความน่าเชื่อถือในการใช้งาน

วัตถุประสงค์ของการสอบเทียบ

1. รับรองความถูกต้องของสัญญาณ
   - ตรวจสอบว่าค่าความถี่ แอมพลิจูด และรูปร่างคลื่นถูกต้องตามมาตรฐาน
2. รักษาคุณภาพการวัด
   - ลดข้อผิดพลาดที่อาจเกิดขึ้นจากการใช้งานในระยะยาว
3. ป้องกันความคลาดเคลื่อน
   - ตรวจสอบความเสถียรและการเปลี่ยนแปลงของสัญญาณเมื่อใช้งานต่อเนื่อง
4. ยืดอายุการใช้งาน

ศูนย์บรรณสารและการเรียนรู้ สถาบันวิจัยและนวัตกรรม มหาวิทยาลัยพะเยา

- ป้องกันปัญหาการเสื่อมสภาพของอุปกรณ์ภายใน

อุปกรณ์ที่ใช้ในการสอบเทียบ

1. เครื่องวัดความถี่มาตรฐาน (Frequency Counter)
   - ตรวจสอบค่าความถี่ที่เครื่องกำเนิดสัญญาณผลิตได้
2. ออสซิลโลสโคป (Oscilloscope)
   - ตรวจสอบรูปคลื่นและแอมพลิจูดของสัญญาณ
3. เครื่องวัดแรงดันไฟฟ้า AC (AC Voltmeter)
   - ตรวจสอบระดับแอมพลิจูดของสัญญาณ
4. มัลติมิเตอร์ความแม่นยำสูง (Precision Multimeter)
   - วัดแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง (DC) และกระแสสลับ (AC)
5. เครื่องสอบเทียบสัญญาณ (Signal Calibrator)
   - อ้างอิงมาตรฐานในการวัดค่า

ขั้นตอนการสอบเทียบเครื่องกำเนิดสัญญาณ

1. การเตรียมความพร้อม
   - ปิดเครื่องกำเนิดสัญญาณและปล่อยให้เย็นลงก่อนการสอบเทียบ
   - ตรวจสอบสภาพภายนอกและทำความสะอาด
2. ตั้งค่ามาตรฐาน
   - เลือกย่านความถี่และแอมพลิจูดที่ต้องการสอบเทียบ
   - ตั้งค่าให้ตรงกับมาตรฐานที่กำหนด
3. สอบเทียบความถี่ (Frequency Calibration)
   - เชื่อมต่อเครื่องกำเนิดสัญญาณกับเครื่องวัดความถี่มาตรฐาน
   - ป้อนสัญญาณคลื่นไซน์ที่ความถี่อ้างอิง (เช่น 1 kHz)
   - ตรวจสอบค่าความถี่ที่เครื่องวัดแสดง
   - ปรับค่าความถี่หากคลาดเคลื่อนจากค่ามาตรฐาน
4. สอบเทียบแอมพลิจูด (Amplitude Calibration)
   - เชื่อมต่อขาออกของเครื่องกำเนิดสัญญาณกับออสซิลโลสโคปหรือโวลต์มิเตอร์
   - ป้อนสัญญาณไซน์ที่แอมพลิจูดกำหนด (เช่น 1 Vpp)
   - ตรวจสอบค่าที่อุปกรณ์วัดแสดง
   - ปรับแอมพลิจูดจนตรงกับค่ามาตรฐาน
5. สอบเทียบรูปร่างคลื่น (Waveform Calibration)
   - ตรวจสอบความผิดเพี้ยนของคลื่นไซน์ สี่เหลี่ยม และสามเหลี่ยม
   - ใช้ออสซิลโลสโคปตรวจสอบความสมบูรณ์ของรูปคลื่น
   - ปรับการตั้งค่าหากคลื่นมีลักษณะผิดปกติ
6. การทดสอบความเสถียร (Stability Test)
   - ปล่อยให้เครื่องทำงานอย่างต่อเนื่องเป็นระยะเวลาหนึ่ง

ศูนย์บรรณสารและการเรียนรู้ สถาบันวิทยบริการเรียนรู้ มหาวิทยาลัยพะเยา

- ตรวจสอบว่าค่าความถี่และแอมพลิจูดยังคงเดิมหรือไม่

7. การบันทึกผลการสอบเทียบ
    - จดบันทึกค่าที่ได้หลังการปรับเทียบทุกขั้นตอน
    - ทำรายงานสรุปผลเพื่อใช้อ้างอิงในการสอบเทียบครั้งถัดไป

การวิเคราะห์ผลการสอบเทียบ

- ค่าความถี่ที่ยอมรับได้
    - ค่าความคลาดเคลื่อนไม่เกิน ±0.01% จากมาตรฐาน
- ค่าแอมพลิจูดที่ยอมรับได้
    - ค่าคลาดเคลื่อนแอมพลิจูดไม่เกิน ±1%
- รูปร่างคลื่นที่ถูกต้อง
    - คลื่นไซน์ไม่มีการบิดเบือนหรือฟันหยัก
    - คลื่นสี่เหลี่ยมมีขอบคมชัด
    - คลื่นสามเหลี่ยมมีความสมมาตร

ข้อควรระวังในการสอบเทียบ

- หลีกเลี่ยงการสัมผัสโดยตรง
    - ป้องกันความชื้นและฝุ่นละอองที่อาจทำให้เกิดการลัดวงจร
- ระวังการใช้แรงดันเกิน
    - ตรวจสอบการตั้งค่าก่อนใช้งาน เพื่อป้องกันความเสียหาย
- การใช้อุปกรณ์มาตรฐานเท่านั้น
    - อุปกรณ์ที่ใช้ในการสอบเทียบต้องผ่านการรับรองมาตรฐาน (Certified)

การสอบเทียบเครื่องกำเนิดสัญญาณเป็นขั้นตอนสำคัญในการรักษาความแม่นยำและความน่าเชื่อถือของสัญญาณ การดำเนินการสอบเทียบอย่างถูกต้องและสม่ำเสมอช่วยให้การใช้งานเครื่องกำเนิดสัญญาณมีประสิทธิภาพสูงสุด พร้อมลดความเสี่ยงจากการวัดค่าที่คลาดเคลื่อน ทั้งนี้ การบันทึกข้อมูลหลังการสอบเทียบเป็นประโยชน์ในการติดตามการเปลี่ยนแปลงของประสิทธิภาพเครื่องในระยะยาว

ศูนย์บรรณสารและการเรียนรู้ สถาบันนวัตกรรมการเรียนรู้ มหาวิทยาลัยพะเยา

8.6.2 การตรวจสอบค่าความถี่และแอมพลิจูด

การตรวจสอบค่าความถี่และแอมพลิจูดของเครื่องกำเนิดสัญญาณเป็นขั้นตอนสำคัญในการประเมินความแม่นยำและความถูกต้องของสัญญาณที่ผลิตออกมา เนื่องจากความคลาดเคลื่อนเล็กน้อยอาจส่งผลกระทบต่อการทดลองหรือการทดสอบวงจร การตรวจสอบเหล่านี้ช่วยรับรองว่าเครื่องกำเนิดสัญญาณสามารถทำงานได้ตามมาตรฐานที่กำหนด

วัตถุประสงค์ของการตรวจสอบ

1. รับรองความแม่นยำของสัญญาณ
    - ตรวจสอบว่าความถี่และแอมพลิจูดของสัญญาณที่สร้างขึ้นตรงตามค่าที่ตั้งไว้
2. ป้องกันข้อผิดพลาดในการทดลอง
    - ลดปัญหาการวัดค่าที่ผิดพลาดซึ่งอาจทำให้ผลการทดลองคลาดเคลื่อน
3. รักษาคุณภาพการวัด
    - ทำให้มั่นใจได้ว่าสัญญาณที่ใช้งานมีคุณภาพสูงและเสถียร

อุปกรณ์ที่ใช้ในการตรวจสอบ

1. เครื่องวัดความถี่ (Frequency Counter)
    - ตรวจสอบค่าความถี่ของสัญญาณที่สร้างขึ้น
2. ออสซิลโลสโคป (Oscilloscope)
    - แสดงรูปคลื่นและวัดแอมพลิจูด
3. โวลต์มิเตอร์ AC (AC Voltmeter)
    - ตรวจสอบแอมพลิจูดของสัญญาณไฟฟ้ากระแสสลับ
4. มาตรฐานอ้างอิง (Reference Standard)
    - อุปกรณ์ที่ผ่านการสอบเทียบจากหน่วยงานที่เชื่อถือได้

ขั้นตอนการตรวจสอบค่าความถี่

1. การตั้งค่าเครื่องกำเนิดสัญญาณ
    - ตั้งค่าความถี่ของเครื่องกำเนิดสัญญาณให้เป็นค่ามาตรฐาน เช่น 1 kHz
2. เชื่อมต่ออุปกรณ์
    - ต่อขาออกของเครื่องกำเนิดสัญญาณเข้ากับเครื่องวัดความถี่
3. การวัดความถี่
    - เปิดใช้งานทั้งสองอุปกรณ์
    - อ่านค่าความถี่จากเครื่องวัดความถี่
4. การเปรียบเทียบค่า
    - ตรวจสอบว่าค่าที่แสดงตรงกับค่าที่ตั้งไว้หรือไม่
    - หากมีค่าคลาดเคลื่อน ให้ทำการปรับจูนหรือสอบเทียบเครื่องกำเนิดสัญญาณ

ศูนย์บรรณสารและการเรียนรู้ สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ขั้นตอนการตรวจสอบค่าแอมพลิจูด

1. การตั้งค่าเครื่องกำเนิดสัญญาณ
    - ตั้งค่าแอมพลิจูด เช่น 1 Vpp (โวลต์ยอดถึงยอด)
2. เชื่อมต่ออุปกรณ์
    - ต่อขาออกของเครื่องกำเนิดสัญญาณเข้ากับออสซิลโลสโคป
3. การวัดแอมพลิจูด
    - เปิดใช้งานเครื่องกำเนิดสัญญาณและออสซิลโลสโคป
    - ตรวจสอบรูปคลื่นบนหน้าจอออสซิลโลสโคป
    - วัดแอมพลิจูดจากจุดยอดถึงยอด (Peak-to-Peak)
4. การตรวจสอบความคลาดเคลื่อน
    - เปรียบเทียบค่าแอมพลิจูดที่วัดได้กับค่าที่ตั้งไว้
    - หากมีความแตกต่างมากเกินไป ให้ปรับจูนใหม่

ตัวอย่างการตรวจสอบ

1. กรณีคลื่นไซน์ 1 kHz, 1 Vpp
    - ความถี่ที่วัดได้ 1.002 kHz (ค่าคลาดเคลื่อน = +0.2%)
    - แอมพลิจูดที่วัดได้ 0.99 Vpp (ค่าคลาดเคลื่อน = -1%)
    - สรุป ค่าความถี่และแอมพลิจูดอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้
2. กรณีคลื่นสี่เหลี่ยม 10 kHz, 5 Vpp
    - ความถี่ที่วัดได้ 9.98 kHz (ค่าคลาดเคลื่อน = -0.2%)
    - แอมพลิจูดที่วัดได้ 5.1 Vpp (ค่าคลาดเคลื่อน = +2%)
    - สรุป ต้องปรับจูนแอมพลิจูดให้แม่นยำยิ่งขึ้น

การวิเคราะห์และการแก้ไข

- หากความถี่คลาดเคลื่อน
    - ตรวจสอบการตั้งค่าของเครื่องกำเนิดสัญญาณ
    - ตรวจสอบสายสัญญาณว่ามีความต้านทานหรือความยาวที่กระทบต่อความถี่หรือไม่
- หากแอมพลิจูดคลาดเคลื่อน
    - ตรวจสอบการเชื่อมต่อและขั้วต่อ
    - ตรวจสอบความแม่นยำของออสซิลโลสโคป โดยสอบเทียบใหม่ถ้าจำเป็น

ข้อควรระวังในการตรวจสอบ

- การรบกวนจากภายนอก
    - ระวังคลื่นรบกวนที่อาจทำให้ค่าการวัดผิดพลาด เช่น คลื่นวิทยุหรืออุปกรณ์ไฟฟ้าใกล้เคียง
- การตั้งค่าเกณฑ์การวัด

ศูนย์บรรณสารและการเรียนรู้ สถาบันบัณฑิตการจัดการเรียนรู้ มหาวิทยาลัยพะเยา

- เลือกช่วงการวัดของออสซิลโลสโคปให้เหมาะสมเพื่อหลีกเลี่ยงปรากฏการณ์ Overrange
- การบันทึกข้อมูล
  - บันทึกค่าและการตั้งค่าทุกครั้งเพื่ออ้างอิงในการสอบเทียบครั้งถัดไป

การตรวจสอบค่าความถี่และแอมพลิจูดของเครื่องกำเนิดสัญญาณเป็นสิ่งจำเป็นในการรักษาความแม่นยำและความน่าเชื่อถือ การใช้เครื่องมือวัดที่มีความแม่นยำสูงและปฏิบัติตามขั้นตอนการตรวจสอบอย่างถูกต้องจะช่วยให้สามารถประเมินค่าที่ได้อย่างถูกต้อง ทั้งนี้ การบันทึกผลการตรวจสอบและการวิเคราะห์เป็นประจำจะช่วยรับรองคุณภาพของสัญญาณในระยะยาว

8.6.3 การดูแลรักษาและการใช้งานอย่างถูกต้อง

เครื่องกำเนิดสัญญาณเป็นอุปกรณ์สำคัญในงานทดสอบและวิเคราะห์ทางอิเล็กทรอนิกส์ การดูแลรักษาและใช้งานอย่างถูกต้องจะช่วยยืดอายุการใช้งาน รักษาความแม่นยำของสัญญาณ และลดปัญหาจากการชำรุดเสียหาย การปฏิบัติตามแนวทางที่เหมาะสมจึงเป็นสิ่งจำเป็นสำหรับผู้ใช้งาน

วัตถุประสงค์ของการดูแลรักษา

1. ยืดอายุการใช้งาน
   - ลดการสึกหรอและการชำรุดจากการใช้งานต่อเนื่อง
2. รักษาความแม่นยำ
   - ป้องกันความคลาดเคลื่อนของสัญญาณที่อาจเกิดขึ้นจากการใช้งานผิดวิธี
3. ความปลอดภัยในการใช้งาน
   - ลดความเสี่ยงต่อผู้ใช้งานและอุปกรณ์ในระบบ
4. ลดค่าใช้จ่ายในการซ่อมบำรุง
   - ป้องกันปัญหาที่อาจทำให้เครื่องเสียหายรุนแรง

แนวทางการใช้งานเครื่องกำเนิดสัญญาณอย่างถูกต้อง

1. การตรวจสอบก่อนใช้งาน
   - ตรวจสภาพภายนอกของเครื่องว่ามีรอยแตก หรือตัวเครื่องบิดเบี้ยวหรือไม่
   - ตรวจสอบสายสัญญาณและขั้วต่อว่าอยู่ในสภาพดี ไม่มีการฉีกขาดหรือชำรุด
2. การตั้งค่าก่อนเปิดใช้งาน
   - ตั้งค่าความถี่และแอมพลิจูดให้เหมาะสมกับงานทดสอบ
   - ตรวจสอบว่าไม่มีการตั้งค่าเกินกว่าค่ากำหนดของอุปกรณ์รับสัญญาณ
3. การต่อสายสัญญาณ
   - ใช้สายสัญญาณที่มีคุณภาพสูงเพื่อลดสัญญาณรบกวน
   - ตรวจสอบว่าขั้วต่อแน่นหนาและไม่หลวม

ศูนย์บรรณสารและการเรียนรู้ สถาบันนวัตกรรมการเรียนรู้ มหาวิทยาลัยพะเยา

4. การใช้งานระหว่างทดสอบ
    - หลีกเลี่ยงการสัมผัสโดยตรงกับขั้วต่อหรือสายไฟขณะเครื่องทำงาน
    - ไม่ควรปรับค่าความถี่และแอมพลิจูดอย่างฉับพลัน เพราะอาจทำให้อุปกรณ์ปลายทางเสียหาย
5. การตรวจสอบระหว่างใช้งาน
    - ตรวจสอบรูปคลื่นด้วยออสซิลโลสโคปเพื่อตรวจความถูกต้องของสัญญาณ
    - หากพบสัญญาณผิดปกติ ควรปิดเครื่องและตรวจสอบสาเหตุ
6. การปิดเครื่องหลังใช้งาน
    - ปรับค่าทั้งหมดกลับสู่ศูนย์ก่อนปิดเครื่อง
    - ปิดเครื่องตามลำดับ เริ่มจากปิดภาคสัญญาณและปิดแหล่งจ่ายไฟ

การดูแลรักษาเครื่องกำเนิดสัญญาณ

1. การทำความสะอาด
    - เช็ดฝุ่นและคราบสกปรกด้วยผ้าแห้งหรือผ้านุ่มชุบน้ำหมาด
    - ห้ามใช้น้ำยาทำความสะอาดที่มีสารเคมีรุนแรง
2. การเก็บรักษา
    - เก็บในที่แห้งและไม่มีความชื้นสูง
    - ป้องกันจากการกระแทกและการสั่นสะเทือน
    - ควรเก็บในกล่องหรือฝาครอบเมื่อไม่ใช้งาน
3. การตรวจสอบภายใน
    - หากมีเสียงหรือกลิ่นผิดปกติ ควรหยุดใช้งานทันทีและตรวจสอบโดยผู้เชี่ยวชาญ
    - หลีกเลี่ยงการเปิดเครื่องโดยไม่มีความรู้ในการซ่อมแซม
4. การสอบเทียบตามระยะเวลา
    - ตรวจสอบและสอบเทียบเครื่องอย่างน้อยปีละ 1 ครั้ง
    - ใช้อุปกรณ์มาตรฐานในการสอบเทียบเพื่อความแม่นยำ

ข้อควรระวังในการใช้งาน

- การใช้งานในสภาพแวดล้อมที่ไม่เหมาะสม
    - หลีกเลี่ยงอุณหภูมิสูง ความชื้นสูง หรือบริเวณที่มีฝุ่นมาก
- การใช้อุปกรณ์เสริมที่ไม่ได้มาตรฐาน
    - สายสัญญาณหรือขั้วต่อที่ไม่ได้มาตรฐานอาจทำให้สัญญาณผิดเพี้ยน
- การใช้งานเกินกำลัง (Overload)
    - ปรับตั้งค่าความถี่และแอมพลิจูดให้เหมาะสม เพื่อป้องกันความเสียหายต่อวงจรภายใน
- การปล่อยให้ทำงานนานเกินไป
    - การใช้งานต่อเนื่องโดยไม่หยุดพักอาจทำให้เครื่องร้อนเกินไป ควรปิดพักเป็นระยะ

ศูนย์วิทยทรัพยากร สถาบันเทคโนโลยีการศึกษา มหาวิทยาลัยพะเยา

การดูแลรักษาและใช้งานเครื่องกำเนิดสัญญาณอย่างถูกต้องมีความสำคัญต่อประสิทธิภาพและความแม่นยำในการทดสอบอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ การปฏิบัติตามแนวทางดังกล่าวช่วยยืดอายุการใช้งาน ลดความเสี่ยงจากการเสียหาย และรักษาความน่าเชื่อถือของผลการวัด ควรปฏิบัติตามขั้นตอนการใช้งานและดูแลรักษาอย่างเคร่งครัดเพื่อให้เครื่องกำเนิดสัญญาณพร้อมใช้งานอยู่เสมอ

8.7 กรณีศึกษาและตัวอย่างการใช้งานจริง

เครื่องกำเนิดสัญญาณเป็นอุปกรณ์ที่มีบทบาทสำคัญในงานอิเล็กทรอนิกส์ ทั้งด้านการวิจัย การพัฒนา และการทดสอบระบบสัญญาณ เนื่องจากสามารถสร้างสัญญาณรูปคลื่นหลากหลายประเภท ทั้งคลื่นไซน์ คลื่นสี่เหลี่ยม และคลื่นสามเหลี่ยม ที่มีความถี่และแอมพลิจูดปรับได้

บทนี้จะนำเสนอกรณีศึกษาและตัวอย่างการใช้งานจริงของเครื่องกำเนิดสัญญาณในงานอิเล็กทรอนิกส์ต่างๆ โดยเน้นถึงวิธีการประยุกต์ใช้ การวิเคราะห์ผล และข้อดีของการใช้งาน เพื่อให้เข้าใจถึงประโยชน์และความสำคัญของเครื่องกำเนิดสัญญาณในสถานการณ์จริง

8.7.1 การใช้งานในระบบโทรคมนาคม

เครื่องกำเนิดสัญญาณมีบทบาทสำคัญในการทดสอบและวิเคราะห์ระบบโทรคมนาคม เนื่องจากสามารถสร้างสัญญาณอ้างอิงที่มีความถี่และรูปคลื่นต่างๆ เพื่อจำลองสัญญาณที่ใช้ในระบบสื่อสาร เช่น สัญญาณวิทยุ สัญญาณเสียง และสัญญาณดิจิทัล

การใช้งานในงานโทรคมนาคม

1. การทดสอบตัวรับสัญญาณ (Receiver Testing)
    - ใช้เครื่องกำเนิดสัญญาณ RF เพื่อสร้างคลื่นวิทยุที่ความถี่เฉพาะ
    - ตรวจสอบความไว (Sensitivity) และความสามารถในการรับสัญญาณอ่อนของเครื่องรับ
2. การวัดคุณภาพสัญญาณ (Signal Quality Measurement)
    - ใช้สัญญาณคลื่นไซน์ในการทดสอบการบิดเบือนของสัญญาณ
    - ตรวจสอบอัตราส่วนสัญญาณต่อสัญญาณรบกวน (SNR)
3. การจำลองสัญญาณรบกวน (Noise Simulation)
    - ใช้เครื่องกำเนิดสัญญาณสุ่ม (Noise Generator) เพื่อสร้างสัญญาณรบกวน
    - ทดสอบประสิทธิภาพของอุปกรณ์ในการกรองหรือปรับปรุงคุณภาพสัญญาณ
4. การทดสอบแบนด์วิดท์ของช่องสัญญาณ (Channel Bandwidth Testing)
    - ป้อนสัญญาณคลื่นหลายความถี่เข้าไปในระบบสื่อสาร
    - วิเคราะห์การผ่านกรองและความถี่ที่ระบบรองรับ
5. การวิเคราะห์คลื่นพาหะ (Carrier Wave Analysis)
    - สร้างสัญญาณพาหะความถี่สูงเพื่อทดสอบการมอดูเลต AM, FM และ PM
    - ตรวจสอบความถูกต้องของการมอดูเลตและการถอดรหัส

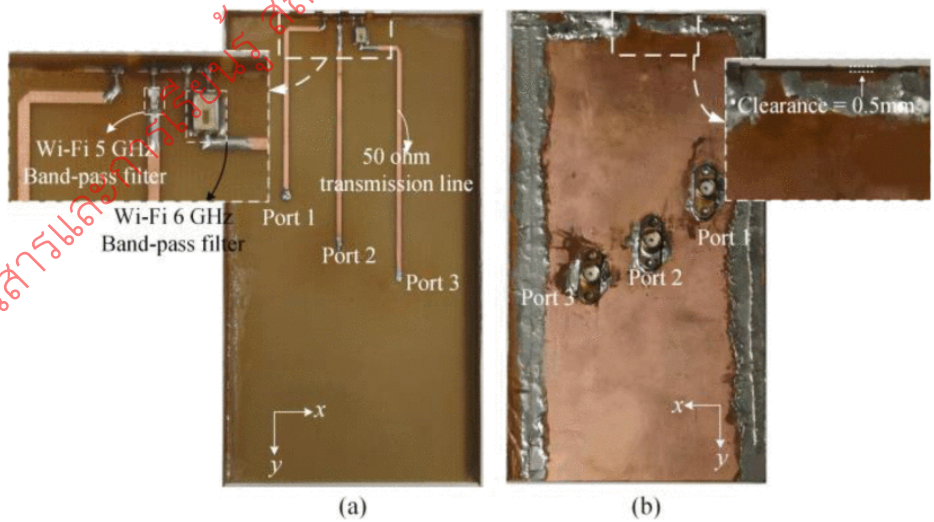
ศูนย์บรรณสารและการเรียนรู้ สถาบันพัฒนาการเรียนรู้ มหาวิทยาลัยพะเยา

กรณีศึกษา: การทดสอบระบบวิทยุสื่อสาร

ในงานวิจัยเกี่ยวกับระบบวิทยุสื่อสาร เครื่องกำเนิดสัญญาณ RF ถูกใช้เพื่อสร้างคลื่นพาหะความถี่ 2.4 GHz เพื่อทดสอบเครื่องรับสัญญาณแบบ Wi-Fi ดังงานวิจัย ของ Xiaomeng Li; และ Yan Wang

เรื่อง **A Triple-Port, Triple-Band Wi-Fi Antenna Covering the 2.4/5/6 GHz Bands With a Small Clearance and High Isolation for Metal-Bezel Smartphones** ดังมีลายละเอียดดังนี้

“จดหมายฉบับนี้นำเสนอเสาอากาศ Wi-Fi แบบสามพอร์ต สามย่านความถี่ ซึ่งครอบคลุมย่านความถี่ 2.4/5/6 GHz โดยมีพื้นที่ติดตั้งขนาดเล็กและมีการแยกสัญญาณสูง เหมาะสำหรับสมาร์ทโฟนที่มีขอบโลหะ (Metal-Bezel Smartphones) เสาอากาศ Wi-Fi ที่นำเสนอนี้ประกอบด้วยเสาอากาศแบบ Inverted-F จำนวนสามตัว ซึ่งครอบคลุมย่านความถี่ 2.4, 5 และ 6 GHz ตามลำดับ โดยมีการนำวงจรกรองแมตชิ่ง (Filtering-Matching Circuit) และตัวกรองผ่านย่านความถี่ (Band-Pass Filters) สองตัวมาใช้ เพื่อให้ได้การแยกสัญญาณสูงระหว่างย่านความถี่ต่างๆ ของ Wi-Fi (2.4, 5 และ 6 GHz) นอกจากนี้ ยังมีการใช้ตัวเก็บประจุ (Capacitor) เพื่อเพิ่มการแยกสัญญาณระหว่างย่านความถี่ที่อยู่ติดกันของ Wi-Fi 5 และ 6 GHz ต้นแบบของเสาอากาศที่นำเสนอนี้สามารถสร้างแบนด์วิดท์ที่ต้องการที่ระดับ -10 dB ได้แก่ 2.402–2.486 GHz, 5.162–5.942 GHz และ 5.846–7.676 GHz โดยการแยกสัญญาณของแต่ละพอร์ตที่วัดได้ทั้งหมดมีค่าสูงกว่า 20 dB นอกจากนี้ ประสิทธิภาพเฉลี่ยที่ได้จากการจำลองของเสาอากาศนี้อยู่ที่ 72.7%, 65.6% และ 67.9% ภายในแต่ละย่านความถี่ตามลำดับ เสาอากาศ Wi-Fi ที่นำเสนอซึ่งมีพอร์ตป้อนสัญญาณสามพอร์ตและการแยกสัญญาณสูงนี้ ถือเป็นตัวเลือกที่น่าสนใจสำหรับการนำไปใช้ในเสาอากาศ Wi-Fi สำหรับสมาร์ทโฟนรุ่นใหม่ในปัจจุบัน”



รูปที่ 8.19 รูปภาพของเสาอากาศที่ผลิตขึ้น (a) มุมมองด้านหน้า (b) มุมมองด้านหลัง (L4 = 63 มม., L5 = 65 มม., L6 = 85 มม.)

ที่มา : X. Li and Y. Wang, "A Triple-Port, Triple-Band Wi-Fi Antenna Covering the 2.4/5/6 GHz Bands With a Small Clearance and High Isolation for Metal-Bezel Smartphones," in *IEEE*

ศูนย์บรรณสารและสื่อการเรียนรู้ สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Antennas and Wireless Propagation Letters, vol. 23, no. 6, pp. 1814-1818, June 2024, doi: 10.1109/LAWP.2024.3370312.

วัตถุประสงค์ ตรวจสอบประสิทธิภาพของตัวรับภายใต้สัญญาณรบกวน เสาอากาศ Wi-Fi แบบสามพอร์ต สามย่านความถี่ ซึ่งครอบคลุมย่านความถี่ 2.4/5/6 GHz โดยมีพื้นที่ติดตั้งขนาดเล็กและมีการแยกสัญญาณสูง เหมาะสำหรับสมาร์ทโฟนที่มีขอบโลหะ (Metal-Bezel Smartphones)

- วิธีการ
    1. ใช้เครื่องกำเนิดสัญญาณ RF สร้างคลื่นพาหะที่ความถี่ 2.4/5/6 GHz
    2. เพิ่มระดับแอมพลิจูดตั้งแต่ -30 dBm ถึง 0 dBm
    3. วัดค่า SNR ที่ตัวรับและประเมินคุณภาพสัญญาณ
- ผลลัพธ์

ในจดหมายฉบับนี้ ได้มีการเสนอให้ใช้เสาอากาศ Wi-Fi แบบ 3 พอร์ต 3 แบนด์ที่ครอบคลุมแบนด์ 2.4/5/6 GHz โดยมีระยะห่างที่น้อยและการแยกสัญญาณสูงสำหรับสมาร์ทโฟนที่มีขอบโลหะ มีการใช้วงจรจับคู่ตัวกรองและตัวกรองแบนด์พาสสองตัวเพื่อให้ได้การแยกสัญญาณสูงระหว่างแบนด์ความถี่การทำงานที่แตกต่างกันของแบนด์ Wi-Fi 2.4, 5 และ 6 GHz ใช้ตัวเก็บประจุเพื่อให้ได้การแยกสัญญาณสูงระหว่างแบนด์ความถี่ที่อยู่ติดกันของแบนด์ Wi-Fi 5 และ 6 GHz การออกแบบดังกล่าวมีศักยภาพอย่างมากในการนำไปใช้ในสมาร์ทโฟนที่มีขอบโลหะที่มีระยะห่างที่น้อย

ข้อดีของการใช้เครื่องกำเนิดสัญญาณในโทรคมนาคม

- ความแม่นยำในการกำหนดความถี่
    - สามารถสร้างสัญญาณที่ความถี่เฉพาะได้แม่นยำ ทำให้ทดสอบได้อย่างมีประสิทธิภาพ
- การควบคุมแอมพลิจูด
    - สามารถปรับระดับสัญญาณได้อย่างละเอียด เพื่อตรวจสอบความไวของตัวรับ
- ความหลากหลายของรูปคลื่น
    - ทดสอบได้ทั้งสัญญาณอนาล็อกและดิจิทัลตามมาตรฐานการสื่อสาร

การใช้งานเครื่องกำเนิดสัญญาณในระบบโทรคมนาคมช่วยให้สามารถจำลองสถานการณ์ต่างๆ และวิเคราะห์ประสิทธิภาพของอุปกรณ์สื่อสารได้อย่างแม่นยำ การทดสอบตัวรับสัญญาณ การวัดคุณภาพสัญญาณ และการจำลองสัญญาณรบกวนเป็นตัวอย่างการใช้งานที่แสดงถึงความสำคัญของอุปกรณ์นี้ในการพัฒนาและทดสอบระบบโทรคมนาคม

ศูนย์วิทยทรัพยากร สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยพะเยา

8.7.2 การทดสอบวงจรสัญญาณความถี่สูง

การทดสอบวงจรสัญญาณความถี่สูง (High-Frequency Circuit Testing) เป็นขั้นตอนสำคัญในการพัฒนาและตรวจสอบระบบที่ใช้งานในย่านความถี่สูง เช่น วงจร RF (Radio Frequency) วงจรไมโครเวฟ และระบบการสื่อสารไร้สาย เนื่องจากวงจรเหล่านี้มีความไวต่อการรบกวนและต้องการความแม่นยำสูง การใช้เครื่องกำเนิดสัญญาณในกระบวนการทดสอบจึงมีความจำเป็นอย่างมาก

วัตถุประสงค์ของการทดสอบ

1. ตรวจสอบความถี่และความเสถียร
    - ตรวจสอบว่าวงจรสามารถสร้างหรือรับสัญญาณที่ความถี่เฉพาะได้อย่างถูกต้อง
2. วิเคราะห์การตอบสนองของวงจร
    - วิเคราะห์ว่าวงจรมีการตอบสนองอย่างไรต่อสัญญาณความถี่สูงที่ป้อนเข้า
3. ทดสอบความไวต่อสัญญาณรบกวน
    - ประเมินประสิทธิภาพของวงจรเมื่อมีสัญญาณรบกวนภายนอก
4. วัดอัตราขยายและการสูญเสีย
    - วัดกำลังขยาย (Gain) และการสูญเสียกำลัง (Loss) ภายในระบบ

เครื่องมือที่ใช้ในการทดสอบ

1. เครื่องกำเนิดสัญญาณความถี่สูง (RF Signal Generator)
    - ใช้สร้างสัญญาณ RF ที่ความถี่เฉพาะ เช่น 2.4 GHz หรือ 5 GHz
2. เครื่องวิเคราะห์สเปกตรัม (Spectrum Analyzer)
    - ตรวจสอบสเปกตรัมของสัญญาณและวิเคราะห์ฮาร์มอนิก
3. ออสซิลโลสโคปความถี่สูง (High-Frequency Oscilloscope)
    - แสดงรูปคลื่นสัญญาณและวิเคราะห์ความผิดเพี้ยน
4. เครื่องวัดพารามิเตอร์เครือข่าย (Network Analyzer)
    - วัดค่าพารามิเตอร์ S เช่น S_{11} และ S_{21} เพื่อประเมินการสะท้อนกลับและการส่งผ่าน

ขั้นตอนการทดสอบวงจรสัญญาณความถี่สูง

1. การเตรียมอุปกรณ์
    - ตรวจสอบการเชื่อมต่อของวงจรและเครื่องมือวัด
    - กำหนดค่าความถี่และแอมพลิจูดในเครื่องกำเนิดสัญญาณ
2. การตั้งค่าทดสอบ
    - ตั้งค่าเครื่องกำเนิดสัญญาณที่ความถี่ต้องการ เช่น 2.4 GHz
    - ปรับแอมพลิจูดให้อยู่ในช่วงที่วงจรรับได้
3. การทดสอบและบันทึกผล
    - ป้อนสัญญาณจากเครื่องกำเนิดสัญญาณเข้าสู่วงจร
    - ใช้เครื่องวิเคราะห์สเปกตรัมวัดการตอบสนองของวงจร

ศูนย์ประมวลสารและการเรียนรู้ สถาบันนวัตกรรมการเรียนรู้ มหาวิทยาลัยนเรศวร

- ตรวจสอบสัญญาณขาออกด้วยออสซิลโลสโคปเพื่อตรวจสอบรูปคลื่น

4. การวิเคราะห์ผลการทดสอบ
   - เปรียบเทียบความถี่ขาเข้าและขาออกเพื่อตรวจสอบความเสถียร
   - วัดอัตราขยาย (Gain) และคำนวณการสูญเสีย (Loss)
   - ตรวจสอบค่า S-Parameter เพื่อวิเคราะห์การสะท้อนและการส่งผ่าน

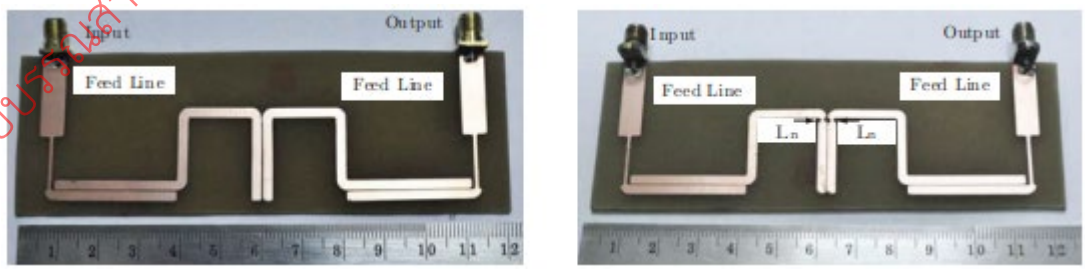
กรณีศึกษา: การทดสอบโมดูลขยายกำลัง RF (RF Power Amplifier) เรื่อง A novel design of the Bandpass Filter Open-Loop with an Inductive Compensated Coupled Line ของผู้เขียน M. Jamsai, N. Thammawongsa, N. Pornsuwancharoen, และ R. Phromloungsri

วัตถุประสงค์

บทความนี้นำเสนอเทคนิคในการออกแบบตัวกรองผ่านย่านความถี่ (Band pass Filter) แบบวงจรเปิด (Open-Loop) ซึ่งสามารถผลักดันความถี่ไปยัง $2f_0$ และ $3f_0$ โครงสร้างวงจรประกอบด้วยตารางที่เชื่อมต่อกับสายคัปเปิลขนาน (Parallel-Coupled Line) ที่มีความยาวหนึ่งในแปดของความยาวคลื่น (One-Eighth Wavelength) ทำหน้าที่เป็นเรโซเนเตอร์ (Resonator) เชื่อมต่อกับตัวกรองไปยังสนามไฟฟ้าแบบปรับได้ และการตอบสนองความถี่ในการปลูกถ่ายเทียม (Artificial Implant) จะถูกวางไว้ที่กึ่งกลางของวงจร ด้วยสายส่ง (Transmission Line) ที่มีการก้าว (Step) ที่พอร์ตอินพุตและเอาต์พุตทำหน้าที่เป็นวงจรแมตชิ่ง (Matching Circuit) เมื่อเปรียบเทียบผลการจำลองกับผลการวัดของวงจรที่ความถี่ 0.9 GHz พบว่าวงจรที่นำเสนอสามารถลดการตอบสนองความถี่เท็จ (False Frequency Response) ที่ 1.8 GHz และ 2.7 GHz ได้มากกว่า 30 และ 19 เดซิเบลตามลำดับ

ขั้นตอน

1. ใช้เครื่องกำเนิดสัญญาณ RF สร้างคลื่นไซน์ที่ 2.4 GHz และกำหนดแอมพลิจูด 10 dBm
2. ป้อนสัญญาณเข้าโมดูลขยายกำลัง
3. วัดสัญญาณขาออกด้วยเครื่องวิเคราะห์สเปกตรัม
4. ตรวจสอบอัตราขยายโดยเปรียบเทียบสัญญาณขาเข้าและขาออก



(ก) (ข)

รูปที่ 8.20 แผงวงจรตัวกรองผ่านย่านความถี่แบบวงจรเปิด (Open-Loop Band pass Circuit Board) (ก) เชื่อมต่อกับตัวเหนี่ยวนำทั้งสี่ตัว (ข) ไม่เชื่อมต่อกับตัวเหนี่ยวนำทั้งสี่ตัว

ศูนย์บรรณสารและการเรียนรู้ สถาบันนวัตกรรมการเรียนรู้ มหาวิทยาลัยพะเยา

ที่มา: M. Jamsai, N. Thammawongsa, N. Pornsuwancharoen, R. Phromloungsri, “A novel design of the Bandpass Filter Open-Loop with an Inductive Compensated Coupled Line.” ***Procedia Engineering,*** 32 (2012) 531 – 535.

ผลลัพธ์

ตัวกรองผ่านย่านความถี่แบบวงจรเปิด (Open-Loop Band pass Filter) ที่ความถี่ 0.9 GHz ได้รับการพัฒนาและสามารถเชื่อมต่อกับสายคัปเปิลขนาน (Parallel-Coupled Lines) พร้อมการชดเชยแบบเหนี่ยวนำ (Inductive Compensation) ซึ่งสามารถตอบสนองได้ประมาณ 20 เดซิเบลที่ความถี่ฮาร์มอนิก การออกแบบวงจรแอคทีฟสามารถทำได้โดยใช้สมการที่ง่าย ทำให้สะดวกต่อการใช้งาน เหมาะสำหรับนำไปประยุกต์ใช้ในระบบการสื่อสารไร้สาย (Wireless Communications) และระบบการสื่อสารไมโครเวฟ (Microwave Communications)

ข้อดีของการทดสอบวงจรความถี่สูงด้วยเครื่องกำเนิดสัญญาณ

- ความแม่นยำสูง
  - ปรับความถี่ได้ละเอียด ทำให้เหมาะกับการทดสอบอุปกรณ์ RF
- ทดสอบหลายรูปคลื่น
  - รองรับคลื่นไซน์ สี่เหลี่ยม และคลื่นพัลส์
- รองรับหลายย่านความถี่
  - เหมาะสำหรับทดสอบทั้งย่านความถี่ต่ำและสูง

ข้อควรระวัง

- **ความถี่เกินพิกัด**
  - ตั้งค่าความถี่ให้เหมาะสมกับวงจรเพื่อป้องกันความเสียหาย
- **การรบกวนจากภายนอก**
  - ใช้สายโคแอกเชียลคุณภาพสูงเพื่อลดสัญญาณรบกวน
- **การระบายความร้อน**
  - ตรวจสอบอุณหภูมิของวงจรขณะทดสอบ เพื่อป้องกันความร้อนเกิน

การทดสอบวงจรสัญญาณความถี่สูงเป็นขั้นตอนที่ต้องใช้ความระมัดระวังและเครื่องมือที่มีความแม่นยำสูง การใช้เครื่องกำเนิดสัญญาณร่วมกับเครื่องวัดต่างๆ เช่น ออสซิลโลสโคปและเครื่องวิเคราะห์สเปกตรัม จะช่วยให้สามารถวิเคราะห์ประสิทธิภาพและตรวจสอบความถูกต้องของวงจรได้อย่างละเอียด การทดสอบอย่างถูกต้องและรอบคอบจะช่วยให้การพัฒนาวงจรความถี่สูงเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพและลดปัญหาการทำงานในภายหลัง

ศูนย์บรรณสารและการเรียนรู้ สถาบันนวัตกรรมการเรียนรู้ มหาวิทยาลัยพะเยา

8.7.3 การวิเคราะห์สัญญาณในระบบควบคุมอัตโนมัติ

ระบบควบคุมอัตโนมัติ (Automatic Control Systems) เป็นระบบที่ใช้ในการควบคุมกระบวนการต่างๆ โดยไม่ต้องอาศัยการควบคุมจากมนุษย์โดยตรง สัญญาณในระบบเหล่านี้มีความสำคัญอย่างยิ่ง เนื่องจากใช้เป็นตัวแทนของข้อมูลหรือการตอบสนองของระบบ เช่น สัญญาณแรงดันกระแสไฟฟ้า หรือสัญญาณดิจิทัล

วัตถุประสงค์ของการวิเคราะห์สัญญาณในระบบควบคุมอัตโนมัติ

1. ตรวจสอบความแม่นยำของการควบคุม
    - ตรวจสอบว่าสัญญาณที่ใช้ในการควบคุมสามารถตอบสนองได้ถูกต้องตามที่กำหนด
2. วิเคราะห์เสถียรภาพของระบบ
    - ประเมินว่าสัญญาณขาออกมีความเสถียรภายใต้เงื่อนไขการทำงานที่แตกต่างกัน
3. ตรวจสอบการตอบสนองเชิงพลวัต
    - วิเคราะห์ว่าสัญญาณเปลี่ยนแปลงตามเวลาหรือปัจจัยกระตุ้นอย่างไร
4. ทดสอบความไวของระบบต่อสัญญาณรบกวน
    - ตรวจสอบว่าสัญญาณรบกวนจากภายนอกมีผลกระทบต่อการควบคุมหรือไม่

เครื่องมือที่ใช้ในการวิเคราะห์สัญญาณ

1. เครื่องกำเนิดสัญญาณรูปคลื่น (Function Generator)
    - ใช้สร้างสัญญาณทดสอบ เช่น คลื่นไซน์หรือคลื่นสี่เหลี่ยม
2. ออสซิลโลสโคป (Oscilloscope)
    - แสดงรูปคลื่นของสัญญาณและตรวจสอบการตอบสนองแบบเรียลไทม์
3. เครื่องวิเคราะห์สเปกตรัม (Spectrum Analyzer)
    - ตรวจสอบการกระจายของความถี่และสัญญาณรบกวน
4. เครื่องวิเคราะห์การตอบสนองความถี่ (Frequency Response Analyzer)
    - วัดการตอบสนองของระบบเมื่อป้อนสัญญาณทดสอบที่ความถี่ต่างๆ

ขั้นตอนการวิเคราะห์สัญญาณในระบบควบคุมอัตโนมัติ

1. **การเตรียมอุปกรณ์**
    - เชื่อมต่อเครื่องกำเนิดสัญญาณเข้ากับระบบควบคุม
    - กำหนดความถี่และแอมพลิจูดของสัญญาณทดสอบ
2. **การตั้งค่าทดสอบ**
    - เลือกรูปแบบสัญญาณ เช่น คลื่นไซน์หรือคลื่นสี่เหลี่ยม
    - กำหนดค่าพารามิเตอร์ เช่น ความถี่ตั้งแต่ 1 Hz ถึง 1 kHz
3. **การทดสอบการตอบสนอง**
    - ป้อนสัญญาณจากเครื่องกำเนิดเข้าสู่ระบบควบคุม
    - ตรวจสอบสัญญาณขาออกด้วยออสซิลโลสโคปหรือเครื่องวิเคราะห์สเปกตรัม

ศูนย์ประมวลสารสนเทศ สถาบันนวัตกรรมการเรียนรู้ มหาวิทยาลัยพะเยา

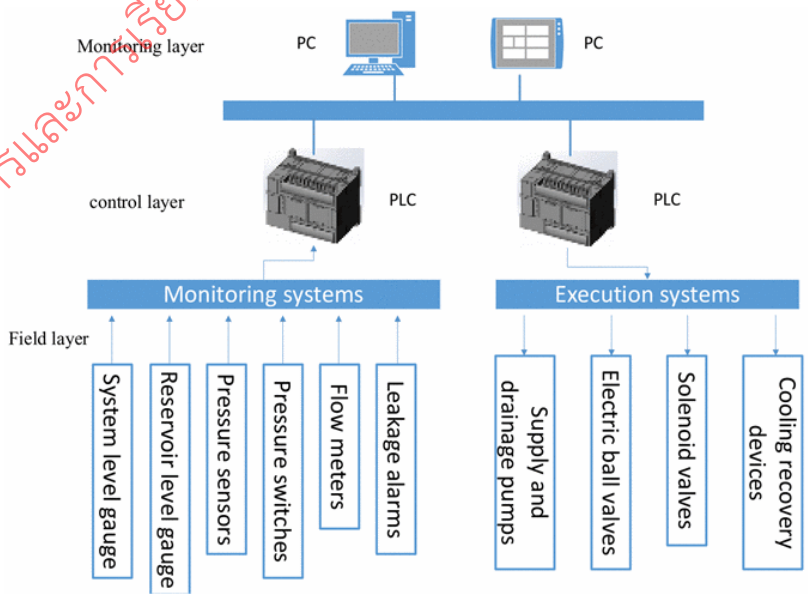
4. **การวิเคราะห์ผล**
    - ตรวจสอบความผิดเพี้ยน (Distortion) และการรบกวนในสัญญาณ
    - วัดการตอบสนองของระบบในย่านความถี่ต่างๆ
    - วิเคราะห์เสถียรภาพของสัญญาณเมื่อเพิ่มสัญญาณรบกวน

กรณีศึกษา: การทดสอบระบบควบคุมอุณหภูมิอัตโนมัติ

งานวิจัยของ Z. Gui *et al.*, เรื่อง "Design of the Hydroelectric Turbine Unit's Evaporative Cooling Automatic Control System," *2024 27th International Conference on Electrical Machines and Systems (ICEMS)*

วัตถุประสงค์

เพื่อแก้ไขปัญหาการแทรกแซงด้วยตนเองมากเกินไปในระบบควบคุมการระเหยเพื่อทำความเย็น (Evaporative Cooling Control Systems) ได้มีการพัฒนาการออกแบบโดยใช้ระบบอัตโนมัติทางไฟฟ้าสำหรับระบบทำความเย็นแบบระเหยอัตโนมัติ เพื่อให้สามารถจ่ายของเหลว ระบายน้ำ และกู้คืนสารทำความเย็นที่ระเหยได้โดยอัตโนมัติ ซึ่งช่วยเพิ่มความน่าเชื่อถือและความปลอดภัยของระบบทำความเย็นแบบระเหย การออกแบบนี้ประกอบด้วยการพัฒนาฮาร์ดแวร์และการเขียนโปรแกรมควบคุม จากนั้นได้นำระบบไปทดสอบการใช้งานจริงในระบบทำความเย็นแบบระเหยของกังหันไฮดรอลิก โดยเน้นไปที่การทำงานอัตโนมัติของการจ่ายของเหลว การระบายน้ำ และการกู้คืนสารทำความเย็นที่ระเหย ผลการทดสอบแสดงให้เห็นว่าระบบทำความเย็นแบบระเหยอัตโนมัติมีความสามารถในการตรวจสอบและบันทึกระดับของเหลวและข้อมูลความดันแบบเรียลไทม์ นอกจากนี้ยังสามารถจ่ายของเหลว ระบายน้ำ กู้คืนสารทำความเย็นที่ระเหย และแจ้งเตือนโดยอัตโนมัติได้สำเร็จ



รูปที่ 8.21 แผนภาพการออกแบบโดยรวมของระบบอัตโนมัติสำหรับการทำความเย็นแบบระเหย

ศูนย์บรรณสารและการเรียนรู้ สถาบันวิทยบริการและการเรียนรู้ มหาวิทยาลัยพะเยา

ที่มา : Z. Gui *et al*., "Design of the Hydroelectric Turbine Unit's Evaporative Cooling Automatic Control System," *2024 27th International Conference on Electrical Machines and Systems (ICEMS)*, Fukuoka, Japan, 2024, pp. 957-960, doi: 10.23919/ICEMS60997.2024.10921093.

ขั้นตอน

1. ใช้เครื่องกำเนิดสัญญาณสร้างคลื่นไซน์ที่ 1 Hz และแอมพลิจูด 2 V
2. ป้อนสัญญาณเข้าไปยังอินพุตของตัวควบคุมอุณหภูมิ
3. ตรวจสอบอุณหภูมิที่ตัวเซนเซอร์ด้วยออสซิลโลสโคป
4. เปรียบเทียบรูปคลื่นอินพุตและเอาต์พุต

ผลลัพธ์

สำหรับระบบทำความเย็นแบบระเหยของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าพลังน้ำ ได้มีการออกแบบระบบควบคุมอัตโนมัติโดยอิงจากหลักการระบบอัตโนมัติทางไฟฟ้า (Electrical Automation) ระบบอัตโนมัติของการทำความเย็นแบบระเหยประกอบด้วยโมดูลหลัก ได้แก่ โมดูลการเก็บข้อมูล โมดูลสื่อสาร โมดูลควบคุม และโมดูลปฏิบัติการ

ระบบอัตโนมัติของการทำความเย็นแบบระเหยสามารถจ่ายของเหลว ระบายน้ำ และกู้คืนไอสารทำความเย็นได้โดยอัตโนมัติ ซึ่งช่วยลดความจำเป็นในการแทรกแซงด้วยตนเองอย่างมาก นอกจากนี้ระบบยังสามารถส่งสัญญาณเตือนโดยทันทีเมื่อเกิดความผิดปกติภายในระบบทำความเย็นแบบระเหย การใช้ระบบอัตโนมัติทำให้การปฏิบัติงานของระบบทำความเย็นแบบระเหยมีความซับซ้อนน้อยลง อีกทั้งยังเพิ่มความน่าเชื่อถือและความสามารถในการตอบสนอง

ประสิทธิภาพของระบบอัตโนมัติสำหรับการทำความเย็นแบบระเหยได้รับการทดสอบในชุดกังหันไฮดรอลิกขนาดใหญ่ ระหว่างขั้นตอนการทดสอบการเดินระบบ (Commissioning) ระบบสามารถดำเนินการจ่ายของเหลว ระบายน้ำ และกู้คืนไอสารทำความเย็นได้โดยอัตโนมัติอย่างมีประสิทธิภาพ

ผลการทดสอบระบุว่าระบบอัตโนมัติของการทำความเย็นแบบระเหยสามารถวัดอุณหภูมิของระบบ ระดับของเหลว และข้อมูลความดันได้อย่างแม่นยำ รวมถึงสามารถดำเนินงานอัตโนมัติ เช่น การจ่ายของเหลว การระบายน้ำ การกู้คืน และการเตือนภัยตามการวัดค่าที่เกี่ยวข้อง

ข้อดีของการวิเคราะห์สัญญาณในระบบควบคุมอัตโนมัติ

- เพิ่มประสิทธิภาพของระบบ
    - ช่วยระบุปัญหาด้านความเสถียรและความไวของระบบ
- ตรวจสอบการตอบสนองอย่างละเอียด
    - วิเคราะห์รูปคลื่นและความผิดเพี้ยนได้อย่างแม่นยำ

ศูนย์บรรณสารและการเรียนรู้ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยพะเยา

- ลดความเสี่ยงในการใช้งานจริง
    - ทดสอบสภาพแวดล้อมจำลองก่อนนำไปใช้งานจริง

ข้อควรระวัง

- ความถี่สูงเกินไป
    - อาจทำให้เกิดการตอบสนองที่ผิดเพี้ยนหรือระบบล้มเหลว
- การรบกวนจากภายนอก
    - ควรใช้อุปกรณ์วัดที่มีการป้องกันการรบกวนที่ดี
- ความปลอดภัยในการทดสอบ
    - ตรวจสอบการเชื่อมต่ออุปกรณ์ให้แน่นหนาเพื่อป้องกันความเสียหาย

การวิเคราะห์สัญญาณในระบบควบคุมอัตโนมัติเป็นขั้นตอนสำคัญที่ช่วยประเมินประสิทธิภาพและความเสถียรของระบบ การใช้เครื่องกำเนิดสัญญาณและอุปกรณ์วัดที่เหมาะสมทำให้สามารถตรวจสอบความแม่นยำและตอบสนองของระบบได้อย่างละเอียด การวิเคราะห์อย่างถูกต้องช่วยให้ระบบควบคุมทำงานได้อย่างน่าเชื่อถือและมีประสิทธิภาพในงานจริง

ศูนย์บรรณสารและการเรียนรู้ สถาบันนวัตกรรมการเรียนรู้มหาวิทยาลัยพะเยา

สรุปท้ายบทเรียนบทที่ 8

บทเรียนที่ 8 ได้กล่าวถึงเครื่องกำเนิดสัญญาณประเภทต่างๆ ที่ใช้ในงานอิเล็กทรอนิกส์ รวมถึงคุณลักษณะและพารามิเตอร์สำคัญที่เกี่ยวข้อง การทำความเข้าใจประเภทของเครื่องกำเนิดสัญญาณ เช่น เครื่องกำเนิดสัญญาณความถี่ต่ำ (AF Signal Generator) ความถี่สูง (RF Signal Generator) เครื่องกำเนิดสัญญาณรูปคลื่น (Function Generator) ดิจิทัล (Digital Signal Generator) และเครื่องกำเนิดสัญญาณพลัส (Pulse Generator) จะช่วยให้สามารถเลือกใช้งานได้อย่างเหมาะสมตามลักษณะงาน นอกจากนี้ยังได้กล่าวถึงคุณลักษณะและพารามิเตอร์สำคัญ เช่น ความถี่ (Frequency) แอมพลิจูด (Amplitude) รูปร่างคลื่น (Waveform) ความแม่นยำ (Accuracy) และความเสถียรของสัญญาณ (Signal Stability) ซึ่งมีบทบาทสำคัญในการประเมินประสิทธิภาพของเครื่องกำเนิดสัญญาณ

บทเรียนนี้ยังครอบคลุมถึงการใช้งานเครื่องกำเนิดสัญญาณในงานอิเล็กทรอนิกส์ต่างๆ เช่น การทดสอบวงจรขยาย (Amplifier Testing) การวิเคราะห์สัญญาณในระบบสื่อสาร การใช้งานในห้องปฏิบัติการ และการทดสอบในระบบควบคุมอัตโนมัติ รวมถึงการสอบเทียบและบำรุงรักษาเครื่องกำเนิดสัญญาณเพื่อรักษาความแม่นยำและความน่าเชื่อถือ

นอกจากนี้ยังได้ยกตัวอย่างกรณีศึกษาและการใช้งานจริง เช่น การทดสอบในระบบโทรคมนาคมและการวิเคราะห์สัญญาณในระบบควบคุมอัตโนมัติ เพื่อให้เห็นภาพการนำไปประยุกต์ใช้งานในสถานการณ์จริง บทเรียนนี้เน้นความเข้าใจเกี่ยวกับประเภทและคุณลักษณะของเครื่องกำเนิดสัญญาณ พร้อมทั้งวิธีใช้งานและบำรุงรักษาอย่างเหมาะสม ซึ่งเป็นพื้นฐานสำคัญสำหรับผู้ปฏิบัติงานในด้านอิเล็กทรอนิกส์และการสื่อสาร

ศูนย์บรรณสารและการเรียนรู้ สถาบันนวัตกรรมการเรียนรู้ มหาวิทยาลัยพะเยา

แบบฝึกหัดบทที่ 8

1. อธิบายความหมายของเครื่องกำเนิดสัญญาณ (Signal Generator) และบทบาทสำคัญในการทดสอบวงจรอิเล็กทรอนิกส์
2. จำแนกประเภทของเครื่องกำเนิดสัญญาณตามย่านความถี่ พร้อมยกตัวอย่างการใช้งานจริงของแต่ละประเภท
3. อธิบายหลักการทำงานของเครื่องกำเนิดสัญญาณความถี่ต่ำ (AF Signal Generator)
4. อธิบายลักษณะการทำงานของเครื่องกำเนิดสัญญาณความถี่สูง (RF Signal Generator) และประโยชน์ในการใช้งาน
5. เปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างเครื่องกำเนิดสัญญาณดิจิทัล (Digital Signal Generator) กับเครื่องกำเนิดสัญญาณรูปคลื่น (Function Generator)
6. นิยามและอธิบายความหมายของ "ความถี่" (Frequency) ในเครื่องกำเนิดสัญญาณ พร้อมยกตัวอย่างการคำนวณ
7. อธิบายปัจจัยที่ส่งผลต่อความแม่นยำ (Accuracy) ของเครื่องกำเนิดสัญญาณ
8. อธิบายความสำคัญของ "แอมพลิจูด" (Amplitude) ในการสร้างสัญญาณ
9. อธิบายความเสถียรของสัญญาณ (Signal Stability) และวิธีการทดสอบเพื่อประเมินความเสถียร
10. ระบุรูปแบบคลื่น (Waveform) ที่เครื่องกำเนิดสัญญาณสามารถสร้างได้ พร้อมอธิบายคุณลักษณะของแต่ละรูปคลื่น
11. อธิบายการใช้งานเครื่องกำเนิดสัญญาณในการทดสอบวงจรขยาย (Amplifier Testing)
12. ยกตัวอย่างการนำเครื่องกำเนิดสัญญาณมาใช้ในการวิเคราะห์สัญญาณในระบบสื่อสาร
13. อธิบายความสำคัญของเครื่องกำเนิดสัญญาณในงานวิจัยและทดลองในห้องปฏิบัติการ
14. อธิบายการประยุกต์ใช้เครื่องกำเนิดสัญญาณในระบบควบคุมอัตโนมัติ
15. ยกตัวอย่างการใช้เครื่องกำเนิดสัญญาณในการทดสอบระบบโทรคมนาคม
16. อธิบายขั้นตอนการสอบเทียบเครื่องกำเนิดสัญญาณเพื่อให้ได้ค่าที่แม่นยำ
17. อธิบายวิธีการตรวจสอบค่าความถี่และแอมพลิจูดระหว่างการสอบเทียบ
18. ระบุวิธีการบำรุงรักษาเครื่องกำเนิดสัญญาณเพื่อยืดอายุการใช้งาน
19. อธิบายความสำคัญของการใช้งานเครื่องกำเนิดสัญญาณอย่างถูกต้องและปลอดภัย
20. ยกตัวอย่างปัญหาที่อาจเกิดขึ้นจากการสอบเทียบไม่ถูกต้อง และวิธีการแก้ไข
21. ยกตัวอย่างกรณีศึกษาที่ใช้เครื่องกำเนิดสัญญาณในระบบโทรคมนาคม และอธิบายผลที่ได้
22. อธิบายขั้นตอนการทดสอบวงจรสัญญาณความถี่สูง (High-Frequency Signal Circuit) โดยใช้เครื่องกำเนิดสัญญาณ
23. อธิบายวิธีการวิเคราะห์สัญญาณในระบบควบคุมอัตโนมัติ โดยใช้เครื่องกำเนิดสัญญาณรูปคลื่น (Function Generator)
24. ยกตัวอย่างการนำเครื่องกำเนิดสัญญาณไปใช้ในการทดลองกับระบบทำความเย็นอัตโนมัติ
25. อธิบายประโยชน์ของการใช้เครื่องกำเนิดสัญญาณในงานทดสอบทางวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์ พร้อมยกตัวอย่าง

ศูนย์บรรณสารและสื่อการเรียนรู้ สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยพะเยา

อ้างอิงและบรรณานุกรมประจำบทที่ 8

[1] Preecha Yupapin, Nithiroth Pornsuwancharoen, Asphalt road surface vibration and force distribution generated by pickup truck braking, **Measurement**, Vol. 148 (2019) 106871.

[2] X. Li and Y. Wang, "A Triple-Port, Triple-Band Wi-Fi Antenna Covering the 2.4/5/6 GHz Bands with a Small Clearance and High Isolation for Metal-Bezel Smartphones," in ***IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters***, vol. 23, no. 6, pp. 1814-1818, June 2024, doi: 10.1109/LAWP.2024.3370312.

[3] M. Jamsai, N. Thammawongsa, N. Pornsuwancharoen, R. Phromloungsri, "A novel design of the Bandpass Filter Open-Loop with an Inductive Compensated Coupled Line." ***Procedia Engineering,*** 32 (2012) 531 – 535.

[4] Z. Gui *et al*., "Design of the Hydroelectric Turbine Unit's Evaporative Cooling Automatic Control System," *2024* ***27th International Conference on Electrical Machines and Systems (ICEMS)***, Fukuoka, Japan, 2024, pp. 957-960, doi: 10.23919/ICEMS60997.2024.10921093.

ศูนย์บรรณสารและการเรียนรู้ สถาบันนวัตกรรมการเรียนรู้ มหาวิทยาลัยพะเยา

บทที่ 9

เครื่องวัดกำลังไฟฟ้าได้ (Power Meter)

9.1 บทนำ

การวัดกำลังไฟฟ้าเป็นกระบวนการสำคัญในการศึกษาระบบไฟฟ้าและการใช้งานในงานอุตสาหกรรม วิศวกรรมไฟฟ้า และระบบพลังงานต่าง ๆ เนื่องจากกำลังไฟฟ้าเป็นตัวบ่งชี้ประสิทธิภาพและปริมาณการใช้พลังงานในระบบ การวัดกำลังไฟฟ้าที่แม่นยำและถูกต้องจึงมีความสำคัญอย่างยิ่ง ทั้งในการออกแบบ ตรวจสอบ และบำรุงรักษาอุปกรณ์ไฟฟ้า

เครื่องวัดกำลังไฟฟ้า (Power Meter) เป็นอุปกรณ์ที่ใช้ในการวัดกำลังไฟฟ้าในระบบไฟฟ้ากระแสตรง (DC) และกระแสสลับ (AC) โดยสามารถคำนวณกำลังไฟฟ้าได้จากปริมาณแรงดัน กระแสไฟฟ้า และมุมเฟสระหว่างสองปริมาณนี้ เครื่องวัดกำลังไฟฟ้ามีหลายประเภท ขึ้นอยู่กับเทคโนโลยีและวัตถุประสงค์ในการใช้งาน เช่น วัตต์มิเตอร์ (Wattmeter), พาวเวอร์แอนะไลเซอร์ (Power Analyzer) และสมาร์ทมิเตอร์ (Smart Meter)

บทนี้จะนำเสนอหลักการทำงาน ประเภท และการใช้งานของเครื่องวัดกำลังไฟฟ้า รวมถึงการคำนวณกำลังไฟฟ้าในระบบกระแสตรงและกระแสสลับ พร้อมทั้งตัวอย่างการใช้งานในงานด้านวิศวกรรมไฟฟ้าและอุตสาหกรรมพลังงาน เพื่อให้ผู้อ่านมีความเข้าใจที่ชัดเจนเกี่ยวกับการวัดกำลังไฟฟ้าและการเลือกใช้อุปกรณ์ให้เหมาะสมกับงาน

9.1.1 ความหมายของกำลังไฟฟ้าและการวัดกำลังไฟฟ้า

กำลังไฟฟ้า (Electric Power) คือ ปริมาณพลังงานไฟฟ้าที่ถูกถ่ายโอนหรือใช้งานในหน่วยเวลา โดยทั่วไปกำลังไฟฟ้าถูกวัดในหน่วยวัตต์ (W) ซึ่งบ่งบอกถึงอัตราการใช้พลังงานไฟฟ้าในระบบไฟฟ้าหรืออุปกรณ์ไฟฟ้าต่าง ๆ

กำลังไฟฟ้าสามารถแบ่งออกเป็น 2 ประเภทหลัก ได้แก่

1. **กำลังไฟฟ้ากระแสตรง (DC Power)**
    - กำลังไฟฟ้ากระแสตรงคำนวณได้จากสมการ

$$P = V \times I \tag{9.1}$$

โดยที่

P = กำลังไฟฟ้า (วัตต์)
V = แรงดันไฟฟ้า (โวลต์)
I = กระแสไฟฟ้า (แอมแปร์)

ศูนย์บรรณสารและการเรียนรู้ สถาบันพัฒนาการเรียนรู้ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้า

- การวัดกำลังไฟฟ้ากระแสตรงทำได้โดยใช้เครื่องวัดเชิงปริมาณแรงดันและกระแสไฟฟ้า

2. **กำลังไฟฟ้ากระแสสลับ (AC Power)**
   - กำลังไฟฟ้ากระแสสลับมีความซับซ้อนกว่า เนื่องจากต้องคำนึงถึงมุมเฟสระหว่างแรงดันและกระแส
   - กำลังไฟฟ้าจริง (Active Power) คำนวณได้จากสมการ

$$P = V \times I \times \cos\theta \qquad (9.2)$$

โดยที่

θ = มุมเฟสระหว่างแรงดันและกระแส

   - นอกจากนี้ยังมีพลังงานไฟฟ้าอีกสองประเภทที่สำคัญ คือ
     - กำลังรีแอกทีฟ (Reactive Power)

$$Q = V \times I \times Sin\,\theta \qquad (9.3)$$

     - กำลังปรากฏ (Apparent Power)

$$S = V \times I \qquad (9.4)$$

   - การวัดกำลังไฟฟ้ากระแสสลับมักใช้เครื่องวัดเฉพาะ เช่น วัตต์มิเตอร์ (Wattmeter) หรือพาวเวอร์แอนะไลเซอร์ (Power Analyzer)

การวัดกำลังไฟฟ้า

การวัดกำลังไฟฟ้าเป็นกระบวนการที่สำคัญในการประเมินประสิทธิภาพการใช้งานพลังงานของอุปกรณ์และระบบไฟฟ้า การเลือกใช้เครื่องวัดกำลังไฟฟ้าที่เหมาะสมกับประเภทของไฟฟ้า (DC หรือ AC) และความแม่นยำในการวัดมีความสำคัญต่อการวิเคราะห์และประเมินระบบไฟฟ้าอย่างถูกต้อง

เครื่องวัดกำลังไฟฟ้าในปัจจุบันมีความก้าวหน้า โดยสามารถวัดได้ทั้งกำลังไฟฟ้าจริง กำลังรีแอกทีฟ และกำลังปรากฏ รวมถึงคำนวณค่าตัวประกอบกำลัง (Power Factor) ซึ่งช่วยให้การวิเคราะห์การใช้พลังงานเป็นไปอย่างถูกต้องและแม่นยำ

ศูนย์บรรณสารและการเรียนรู้ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ การเรียนรู้ มหาวิทยาลัยพะเยา

9.1.2 ความสำคัญของการวัดกำลังไฟฟ้าในงานอิเล็กทรอนิกส์และอุตสาหกรรม

การวัดกำลังไฟฟ้าเป็นกระบวนการสำคัญในงานอิเล็กทรอนิกส์และอุตสาหกรรม เนื่องจากกำลังไฟฟ้าเป็นตัวบ่งชี้ปริมาณการใช้พลังงาน ประสิทธิภาพของอุปกรณ์ และคุณภาพของระบบไฟฟ้า การวัดกำลังไฟฟ้าอย่างแม่นยำและสม่ำเสมอช่วยให้สามารถประเมินและควบคุมการใช้พลังงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยมีความสำคัญในหลายด้าน ดังนี้

1. การเพิ่มประสิทธิภาพการใช้พลังงาน

ในงานอุตสาหกรรม การลดการใช้พลังงานเป็นเป้าหมายสำคัญ เนื่องจากช่วยลดต้นทุนการผลิต การวัดกำลังไฟฟ้าอย่างถูกต้องทำให้สามารถตรวจสอบประสิทธิภาพการใช้พลังงานของเครื่องจักรและระบบไฟฟ้าได้อย่างมีประสิทธิภาพ นอกจากนี้ยังสามารถนำข้อมูลไปวิเคราะห์เพื่อปรับปรุงกระบวนการผลิต ลดการสูญเสียพลังงาน และเพิ่มประสิทธิภาพโดยรวม

2. การบำรุงรักษาและตรวจสอบระบบไฟฟ้า

การตรวจสอบกำลังไฟฟ้าอย่างสม่ำเสมอช่วยให้สามารถระบุปัญหาหรือความผิดปกติในระบบไฟฟ้าได้อย่างทันท่วงที เช่น การเกิดฮาร์มอนิกส์ (Harmonics) หรือความผิดปกติของตัวประกอบกำลัง (Power Factor) การวัดกำลังไฟฟ้าช่วยในการตรวจสอบความเสถียรของระบบและป้องกันการเสียหายของอุปกรณ์

3. การวิเคราะห์ประสิทธิภาพของอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์

ในงานอิเล็กทรอนิกส์ การวัดกำลังไฟฟ้ามีบทบาทสำคัญในการทดสอบประสิทธิภาพและการใช้งานของอุปกรณ์ เช่น เครื่องขยายสัญญาณ (Amplifiers), แหล่งจ่ายไฟ (Power Supplies), และอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์กำลัง (Power Electronics) ข้อมูลกำลังไฟฟ้าที่แม่นยำช่วยในการประเมินคุณภาพและความสามารถในการรองรับโหลดของอุปกรณ์

4. การควบคุมคุณภาพและการตรวจสอบมาตรฐาน

ในการผลิตอุปกรณ์ไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ การวัดกำลังไฟฟ้าเป็นสิ่งจำเป็นในการตรวจสอบให้แน่ใจว่าอุปกรณ์มีคุณภาพตามมาตรฐานที่กำหนด เช่น มาตรฐาน IEC และ IEEE ซึ่งช่วยลดปัญหาการเรียกคืนผลิตภัณฑ์และเสริมสร้างความน่าเชื่อถือ

5. การจัดการพลังงานและระบบพลังงานอัจฉริยะ

ในระบบพลังงานอัจฉริยะ (Smart Grid) การวัดกำลังไฟฟ้าแบบเรียลไทม์มีความสำคัญอย่างมาก ช่วยในการวิเคราะห์การใช้งานพลังงานในแต่ละช่วงเวลาและเพิ่มประสิทธิภาพในการจัดสรรพลังงาน นอกจากนี้ยังมีบทบาทสำคัญในการตรวจสอบระบบผลิตพลังงานหมุนเวียน เช่น โซลาร์เซลล์และกังหันลม

ศูนย์หนังสือและการเรียนรู้ สถาบันนวัตกรรมการเรียนรู้ มหาวิทยาลัยนเรศวร

6. ความปลอดภัยในการใช้งาน

การวัดกำลังไฟฟ้าในอุปกรณ์ที่ใช้พลังงานสูง เช่น หม้อแปลงไฟฟ้าและมอเตอร์ไฟฟ้า ช่วยป้องกันการเกิดไฟฟ้าลัดวงจรและความเสียหายจากการโอเวอร์โหลด การควบคุมกำลังไฟฟ้าที่ถูกต้องช่วยลดความเสี่ยงด้านความปลอดภัยในสถานประกอบการ

9.1.3 การใช้งานเครื่องวัดกำลังไฟฟ้าในงานวิเคราะห์และทดสอบ

เครื่องวัดกำลังไฟฟ้าเป็นอุปกรณ์สำคัญในงานวิเคราะห์และทดสอบระบบไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ เนื่องจากสามารถวัดค่ากำลังไฟฟ้าทั้งในระบบกระแสตรง (DC) และกระแสสลับ (AC) ได้อย่างแม่นยำ การใช้งานเครื่องวัดกำลังไฟฟ้ามีบทบาทสำคัญในหลายด้าน ดังนี้

1. การวิเคราะห์ประสิทธิภาพของอุปกรณ์ไฟฟ้า

ในการทดสอบอุปกรณ์ไฟฟ้า เช่น มอเตอร์ไฟฟ้า หม้อแปลงไฟฟ้า และเครื่องกำเนิดไฟฟ้า เครื่องวัดกำลังไฟฟ้าช่วยให้สามารถประเมินค่ากำลังไฟฟ้าจริง (Active Power) กำลังรีแอกทีฟ (Reactive Power) และกำลังปรากฏ (Apparent Power) ได้อย่างถูกต้อง ข้อมูลเหล่านี้ใช้ในการคำนวณค่าตัวประกอบกำลัง (Power Factor) เพื่อวิเคราะห์ประสิทธิภาพของอุปกรณ์

2. การทดสอบและตรวจสอบระบบพลังงาน

ในงานอุตสาหกรรมและการผลิต เครื่องวัดกำลังไฟฟ้าใช้ในการทดสอบระบบจ่ายไฟฟ้า เช่น ระบบหม้อแปลงและแผงสวิตช์เกียร์ เพื่อให้แน่ใจว่ากำลังไฟฟ้าที่ส่งผ่านมีความเสถียรและไม่มีการสูญเสียพลังงานมากเกินไป การตรวจสอบกำลังไฟฟ้าเป็นส่วนหนึ่งของการบำรุงรักษาเชิงป้องกัน (Preventive Maintenance)

3. การตรวจสอบและทดสอบอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์กำลัง

ในงานอิเล็กทรอนิกส์กำลัง (Power Electronics) เช่น อินเวอร์เตอร์ (Inverter) และอุปกรณ์ควบคุมมอเตอร์ เครื่องวัดกำลังไฟฟ้าถูกใช้เพื่อตรวจสอบประสิทธิภาพการแปลงพลังงาน การวัดกำลังขาเข้าและขาออกช่วยให้สามารถคำนวณค่าประสิทธิภาพ (Efficiency) ได้อย่างแม่นยำ

4. การวิเคราะห์คุณภาพไฟฟ้า (Power Quality)

การวิเคราะห์คุณภาพไฟฟ้ามีความสำคัญในระบบที่มีโหลดไม่สมดุลหรือมีฮาร์มอนิกส์ (Harmonics) สูง เครื่องวัดกำลังไฟฟ้าประสิทธิภาพสูง เช่น พาวเวอร์แอนะไลเซอร์ (Power Analyzer) สามารถวัดฮาร์มอนิกส์ กำลังไฟฟ้าเฉลี่ย (Average Power) และกำลังไฟฟ้าทันที (Instantaneous Power) เพื่อวิเคราะห์ความผิดปกติของระบบไฟฟ้า

ศูนย์วิทยทรัพยากรและการเรียนรู้ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

5. การทดสอบประสิทธิภาพพลังงานหมุนเวียน

เครื่องวัดกำลังไฟฟ้าเป็นอุปกรณ์สำคัญในการวิเคราะห์ประสิทธิภาพของระบบผลิตพลังงานหมุนเวียน เช่น ระบบโซลาร์เซลล์และกังหันลม การวัดค่ากำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้จริงเมื่อเทียบกับกำลังไฟฟ้าที่คาดการณ์ไว้ช่วยให้สามารถประเมินความคุ้มค่าในการลงทุนและประสิทธิภาพในการใช้งาน

6. การตรวจสอบโหลดไฟฟ้าในอาคารและโรงงาน

เครื่องวัดกำลังไฟฟ้าใช้ในการตรวจสอบการกระจายโหลดไฟฟ้าในอาคารสำนักงานและโรงงานอุตสาหกรรม เพื่อระบุพื้นที่ที่มีการใช้พลังงานสูงเกินไป การวิเคราะห์กำลังไฟฟ้าช่วยในการวางแผนการจัดการพลังงานอย่างมีประสิทธิภาพ

7. การทดสอบเครื่องมือและอุปกรณ์วัดไฟฟ้า

ในงานสอบเทียบ (Calibration) เครื่องวัดกำลังไฟฟ้าช่วยตรวจสอบและยืนยันความแม่นยำของอุปกรณ์วัดแรงดัน กระแส และกำลังไฟฟ้า การสอบเทียบที่ถูกต้องช่วยรักษามาตรฐานและความแม่นยำในการใช้งานเครื่องมือวัด

ตัวอย่างเครื่องวัดกำลังไฟฟ้า

- วัตต์มิเตอร์ (Wattmeter) ใช้ในการวัดกำลังไฟฟ้าจริงในระบบ AC
- พาวเวอร์แอนะไลเซอร์ (Power Analyzer) วัดกำลังไฟฟ้าหลายประเภทและคุณภาพไฟฟ้า
- สมาร์ทมิเตอร์ (Smart Meter) วัดกำลังไฟฟ้าในระบบไฟฟ้าอัจฉริยะ (Smart Grid)
- ดิจิตอลพาวเวอร์มิเตอร์ (Digital Power Meter) วัดและแสดงข้อมูลกำลังไฟฟ้าแบบดิจิตอล

9.2 หลักการพื้นฐานของการวัดกำลังไฟฟ้า

การวัดกำลังไฟฟ้าเป็นกระบวนการสำคัญในการประเมินและตรวจสอบการใช้พลังงานในระบบไฟฟ้าและอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ การวัดกำลังไฟฟ้าอย่างถูกต้องจำเป็นต้องอาศัยความเข้าใจในหลักการพื้นฐานของการวัด โดยกำลังไฟฟ้าสามารถแบ่งออกเป็น 2 ประเภทหลัก ได้แก่ กำลังไฟฟ้ากระแสตรง (DC Power) และกำลังไฟฟ้ากระแสสลับ (AC Power) ในระบบกระแสตรง กำลังไฟฟ้าคำนวณจากผลคูณระหว่างแรงดันไฟฟ้า (Voltage) และกระแสไฟฟ้า (Current) โดยไม่มีการเปลี่ยนแปลงทิศทางของกระแส ทำให้การวัดกำลังไฟฟ้าทำได้โดยตรงและง่ายกว่า ในทางตรงกันข้าม ระบบกระแสสลับมักมีมุมเฟสระหว่างแรงดันและกระแส ทำให้ต้องคำนึงถึงค่าตัวประกอบกำลัง (Power Factor) ในการคำนวณ

หลักการวัดกำลังไฟฟ้าในระบบกระแสสลับประกอบด้วยการวัดกำลังจริง (Active Power) กำลังรีแอกทีฟ (Reactive Power) และกำลังปรากฏ (Apparent Power) การเลือกใช้เครื่องวัดที่เหมาะสม เช่น

ศูนย์ทรัพยากรสารและการเรียนรู้ สถาบันพัฒนาการเรียนรู้ มหาวิทยาลัยพะเยา

วัตต์มิเตอร์ (Wattmeter) พาวเวอร์แอนะไลเซอร์ (Power Analyzer) หรือสมาร์ทมิเตอร์ (Smart Meter) จะช่วยให้ได้ค่าที่แม่นยำและครบถ้วน

อธิบายถึงหลักการพื้นฐานของการวัดกำลังไฟฟ้าในทั้งสองระบบ พร้อมตัวอย่างการคำนวณและการใช้งานในงานอุตสาหกรรมและอิเล็กทรอนิกส์ เพื่อให้ผู้อ่านมีความเข้าใจเชิงลึกและสามารถนำไปประยุกต์ใช้งานได้อย่างมีประสิทธิภาพ

9.2.1 กำลังไฟฟ้ากระแสตรง (DC Power)

กำลังไฟฟ้ากระแสตรง (DC Power) คือ ปริมาณพลังงานไฟฟ้าที่ถูกถ่ายโอนในระบบไฟฟ้ากระแสตรง ซึ่งเป็นระบบที่กระแสไฟฟ้าไหลในทิศทางเดียวคงที่ โดยไม่มีการเปลี่ยนแปลงทิศทางเหมือนในระบบกระแสสลับ (AC)

หลักการคำนวณกำลังไฟฟ้ากระแสตรง

กำลังไฟฟ้ากระแสตรงสามารถคำนวณได้จากสมการพื้นฐานดังนี้

$$P = V \times I \tag{9.1}$$

โดยที่

P = กำลังไฟฟ้า (วัตต์, W)
V = แรงดันไฟฟ้า (โวลต์, V)
I = กระแสไฟฟ้า (แอมแปร์, A)

ตัวอย่างการคำนวณ

ถ้าในวงจรไฟฟ้ากระแสตรงมีแรงดันไฟฟ้า 12 โวลต์ และกระแสไฟฟ้า 2 แอมแปร์ จะได้กำลังไฟฟ้าเท่ากับ

$$P = 12 \times 2 = 24 \text{ วัตต์}$$

ดังนั้น วงจรนี้ใช้กำลังไฟฟ้า 24 วัตต์

การใช้งานและความสำคัญ

กำลังไฟฟ้ากระแสตรงมักถูกใช้งานในระบบและอุปกรณ์ที่ต้องการแรงดันคงที่ เช่น

- แบตเตอรี่และระบบพลังงานสำรอง (UPS)
- อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ เช่น แผงวงจรไฟฟ้า (PCBs)
- ระบบโซลาร์เซลล์ที่ผลิตไฟฟ้ากระแสตรง

ศูนย์บรรณสารและการเรียนรู้ สถาบันนวัตกรรมการเรียนรู้ มหาวิทยาลัยพะเยา

- อุปกรณ์คอมพิวเตอร์และเครื่องมืออิเล็กทรอนิกส์

การวัดกำลังไฟฟ้ากระแสตรงทำได้ง่ายโดยการใช้เครื่องมือวัดแรงดัน (โวลต์มิเตอร์) และเครื่องวัดกระแส (แอมมิเตอร์) จากนั้นนำค่ามาคำนวณตามสมการกำลังไฟฟ้า

เครื่องวัดกำลังไฟฟ้ากระแสตรง

ในการวัดกำลังไฟฟ้ากระแสตรงอย่างแม่นยำ เครื่องวัดกำลังไฟฟ้ากระแสตรง (DC Wattmeter) มักถูกนำมาใช้ โดยเครื่องมือเหล่านี้สามารถแสดงค่ากำลังไฟฟ้าได้โดยตรง ทำให้สะดวกในการวิเคราะห์และตรวจสอบประสิทธิภาพของระบบ

จุดเด่นของกำลังไฟฟ้ากระแสตรง

- มีค่าคงที่และไม่แปรผันตามเวลา
- ง่ายต่อการคำนวณและวิเคราะห์
- เหมาะสำหรับงานที่ต้องการพลังงานเสถียร เช่น อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์และแบตเตอรี่

9.2.2 กำลังไฟฟ้ากระแสสลับ (AC Power)

กำลังไฟฟ้ากระแสสลับ (Alternating Current Power หรือ AC Power) หมายถึง อัตราการส่งผ่านพลังงานไฟฟ้าในวงจรไฟฟ้ากระแสสลับ มีลักษณะสำคัญคือกระแสไฟฟ้าและแรงดันไฟฟ้าจะมีการเปลี่ยนแปลงทิศทางและขนาดอย่างต่อเนื่องเป็นรูปคลื่นไซน์ (Sinusoidal Wave) ด้วยความถี่คงที่ โดยทั่วไปในประเทศไทยใช้ความถี่ 50 เฮิรตซ์ (Hz)

ไฟฟ้ากระแสสลับเป็นรูปแบบพลังงานไฟฟ้าที่ใช้กันอย่างแพร่หลายในบ้านเรือน อาคารพาณิชย์ และภาคอุตสาหกรรม เนื่องจากความสะดวกในการผลิต การส่งจ่ายพลังงานไปในระยะทางไกลๆ และการแปลงระดับแรงดันไฟฟ้าให้เหมาะสมกับการใช้งานได้อย่างมีประสิทธิภาพโดยใช้หม้อแปลงไฟฟ้า

ประเภทของกำลังไฟฟ้ากระแสสลับ

ในวงจรไฟฟ้ากระแสสลับ การพิจารณากำลังไฟฟ้าจะมีความซับซ้อนกว่าในวงจรไฟฟ้ากระแสตรง เนื่องจากผลของตัวเหนี่ยวนำ (Inductance) และตัวเก็บประจุ (Capacitance) ในวงจร ทำให้เกิดความแตกต่างของเฟส (Phase Difference) ระหว่างคลื่นแรงดันไฟฟ้าและคลื่นกระแสไฟฟ้า กำลังไฟฟ้ากระแสสลับสามารถแบ่งออกเป็นประเภทต่างๆ ได้ดังนี้

1. **กำลังไฟฟ้าจริง (Real Power หรือ True Power, P)** คือ กำลังไฟฟ้าที่ถูกใช้งานจริงโดยโหลด (Load) เพื่อให้เกิดงานหรือเปลี่ยนเป็นพลังงานรูปอื่น เช่น แสงสว่าง (หลอดไฟ) ความร้อน (ฮีตเตอร์) หรือพลังงานกล (มอเตอร์) มีหน่วยเป็น วัตต์ (Watt, W) ในวงจรที่มีความต้านทาน (Resistive Load) เพียงอย่างเดียว แรงดันและกระแสไฟฟ้าจะมีเฟสตรงกัน (In-phase) ทำให้กำลังไฟฟ้าทั้งหมดเป็นกำลังไฟฟ้าจริง

ศูนย์บรรณสารและการเรียนรู้ สถาบันพัฒนาการเรียนรู้ มหาวิทยาลัยพะเยา

จากสมการ (9.2)

$$P = VI \cos \theta$$

ในกรณีที่โหลดในวงจรเป็นตัวต้านทาน (R) เพียงอย่างเดียว แรงดันไฟฟ้า (V) และกระแสไฟฟ้า (I) จะ อยู่ในเฟสเดียวกัน กล่าวคือ มุมเฟสระหว่างแรงดันและกระแส θ=0\theta = 0θ=0 ส่งผลให้ค่าของตัวประกอบกำลัง (Power Factor) เท่ากับ

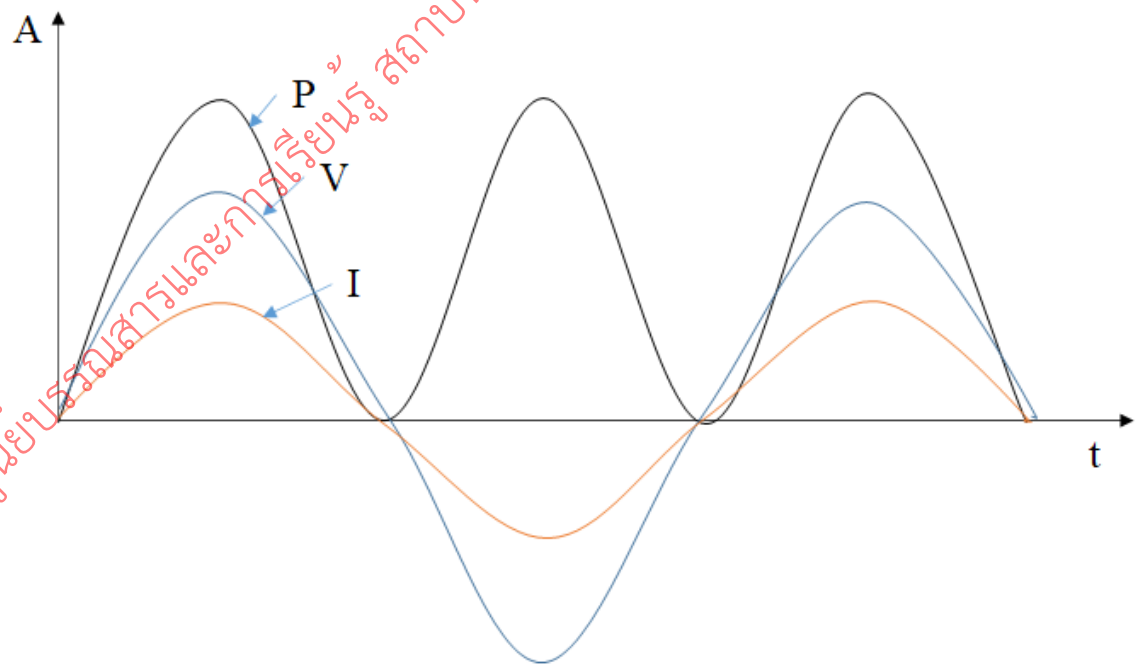
$$\cos \theta = \cos 0 = 1$$

ดังนั้น กำลังไฟฟ้าเฉลี่ย (Average Power) หรือกำลังจริง (Active Power) จึงคำนวณได้จาก

$$P = VI \cos \theta = VI$$

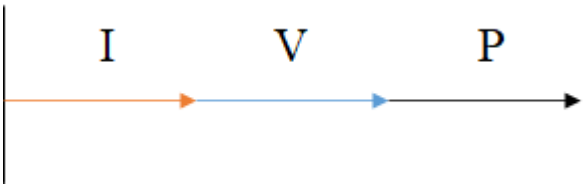
ซึ่งเป็นค่ากำลังที่ มากที่สุด หรือ สูงสุดที่โหลดจะใช้ได้ เนื่องจากไม่มีพลังงานสูญเสียในรูปของกำลังรีแอกทีฟ (Reactive Power)

รูปที่ 9.1 (ก) แสดงรูปคลื่นแรงดันและกระแสที่มีเฟสตรงกัน และ รูปที่ 9.1 (ข) แสดงเฟสเซอร์ไดอะแกรม โดยที่เวกเตอร์ของแรงดันและกระแสมีทิศทางตรงกัน แสดงถึงการอยู่ในเฟสเดียวกันอย่างสมบูรณ์



(ก) รูปคลื่นกำลังไฟฟ้าจริง เมื่อโหลดเป็น R

ศูนย์บรรณสารและการเรียนรู้ สถาบันนวัตกรรมการเรียนรู้ มหาวิทยาลัยพะเยา



(ข) เฟสเซอร์ของ V, I และ P

รูปที่ 9.1 กำลังไฟฟ้าจริงในวงจรไฟฟ้ากระแสสลับที่มีโหลดเป็นตัวต้านทาน

2. **กำลังไฟฟ้ารีแอคทีฟ (Reactive Power, Q)** คือ กำลังไฟฟ้าที่จำเป็นในการสร้างสนามแม่เหล็กในตัวเหนี่ยวนำ (Inductor) หรือสนามไฟฟ้าในตัวเก็บประจุ (Capacitor) ซึ่งเป็นส่วนประกอบในวงจรไฟฟ้ากระแสสลับ

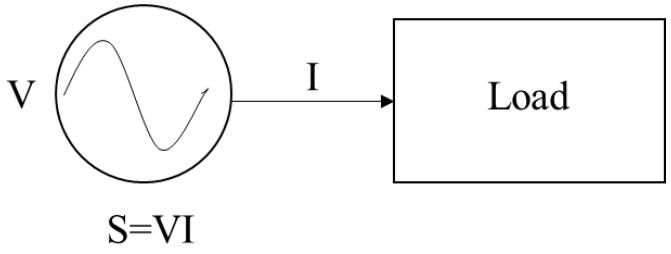
- กำลังไฟฟ้านี้จะมีการแลกเปลี่ยนไปมาระหว่างแหล่งจ่ายกับโหลดที่เป็นรีแอคทีฟ (Reactive Load) โดยไม่ได้ถูกนำไปใช้งานจริงให้เกิดประโยชน์โดยตรง
- มีหน่วยเป็น **วาร์ (VAR - Volt-Ampere Reactive)**
- ในวงจรที่มีตัวเหนี่ยวนำล้วน (Purely Inductive Load) กระแสไฟฟ้าจะมีเฟสตามหลังแรงดันไฟฟ้าอยู่ 90 องศา (Lagging)
- ในวงจรที่มีตัวเก็บประจุล้วน (Purely Capacitive Load) กระแสไฟฟ้าจะมีเฟสนำหน้าแรงดันไฟฟ้าอยู่ 90 องศา (Leading)

จากสมการ (9.3) จะได้

$$Q = VI\ Sin\ \theta$$

3. กำลังไฟฟ้าปรากฏ (Apparent Power, S) คือ ผลรวมทางเวกเตอร์ของกำลังไฟฟ้าจริงและกำลังไฟฟ้ารีแอคทีฟ เป็นค่ากำลังไฟฟ้าที่แหล่งจ่ายจะต้องสามารถจ่ายได้ทั้งหมด เพื่อให้โหลดสามารถทำงานได้ มีหน่วยเป็นโวลต์-แอมแปร์ (Volt-Ampere, VA)

$$\boldsymbol{S = VI} \qquad (9.5)$$



รูปที่ 9.2 ค่าของไฟฟ้าปรากฏ

ศูนย์บรรณสารและการเรียนรู้ สถาบันนวัตกรรมการเรียนรู้ มหาวิทยาลัยนเรศวร

ความสำคัญและการประยุกต์ใช้

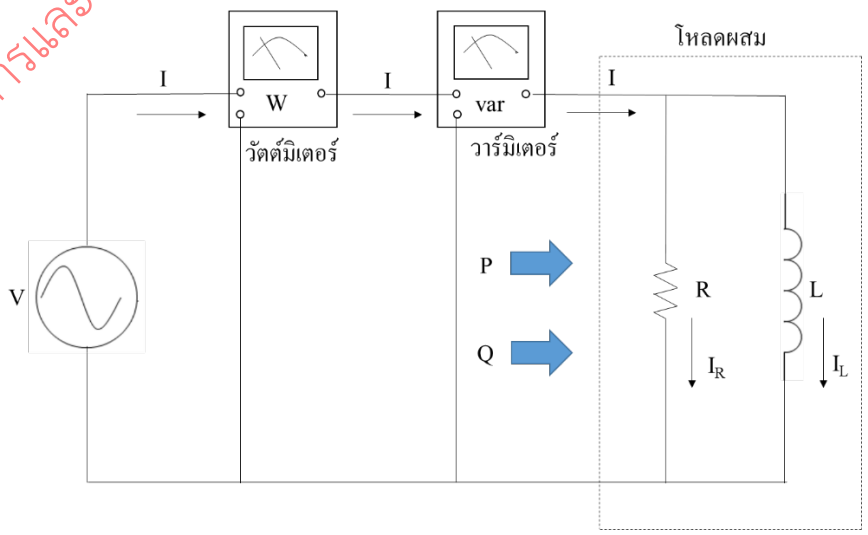
กำลังไฟฟ้ากระแสสลับมีความสำคัญอย่างยิ่งในชีวิตประจำวันและการพัฒนาเศรษฐกิจ เนื่องจาก

- การส่งจ่ายพลังงานที่มีประสิทธิภาพ สามารถแปลงแรงดันไฟฟ้าให้สูงขึ้นเพื่อลดการสูญเสียพลังงานในระหว่างการส่งจ่ายระยะไกล และแปลงแรงดันให้ต่ำลงเพื่อความปลอดภัยในการใช้งาน
- การใช้งานที่หลากหลาย อุปกรณ์ไฟฟ้าและเครื่องจักรกลส่วนใหญ่ในภาคครัวเรือน พาณิชยกรรม และอุตสาหกรรม ถูกออกแบบมาให้ใช้กับไฟฟ้ากระแสสลับ เช่น ระบบแสงสว่าง เครื่องปรับอากาศ ตู้เย็น มอเตอร์ไฟฟ้าในโรงงานอุตสาหกรรม เป็นต้น
- ความสะดวกในการผลิต เครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับ (Alternator) มีโครงสร้างที่ไม่ซับซ้อน และบำรุงรักษาง่ายกว่าเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรงขนาดใหญ่

การทำความเข้าใจเรื่องกำลังไฟฟ้ากระแสสลับจึงเป็นพื้นฐานสำคัญสำหรับวิศวกรไฟฟ้า ช่างเทคนิค และผู้ที่เกี่ยวข้องกับการใช้งานระบบไฟฟ้า เพื่อให้สามารถออกแบบ เลือกใช้อุปกรณ์ และบำรุงรักษาระบบไฟฟ้าได้อย่างถูกต้อง ปลอดภัย และมีประสิทธิภาพสูงสุด

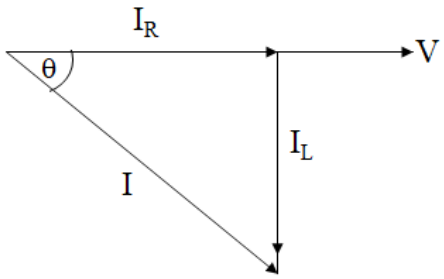
9.2.3 ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังไฟฟ้าจริง (Active Power) กำลังไฟฟ้าเสมือน (Apparent Power) และ กำลังไฟฟ้ารีแอคทีฟ (Reactive Power)

โหลดทางไฟฟ้าใรโรงงานอุตสาหกรรมมักเป็นโหลดที่มีคุณสมบัติของแอกทีปโหลด (Active load) คือ โหลดไฟฟ้าที่ใช้กำลังไฟฟ้าจริง (Active Power) จากแหล่งจ่ายไฟฟ้า โดยเปลี่ยนพลังงานไฟฟ้าให้เป็นพลังงานรูปแบบอื่น เช่น พลังงานกลหรือพลังงานความร้อน และรีแอกทีฟโหลด (Reactive load) คือ โหลดไฟฟ้าที่ใช้กำลังไฟฟ้ารีแอกทีฟ (Reactive Power) โดยโหลดประเภทนี้จะ ไม่ใช้กำลังไฟฟ้าจริง (Active Power) ในการทำงานโดยตรง แต่จะสร้างหรือกักเก็บพลังงานในรูปของสนามแม่เหล็กหรือสนามไฟฟ้า ดังนั้นกำลังไฟฟ้าที่เกิดขึ้นที่โหลดจะมีทั้งค่ากำลังไฟฟ้าจริงและค่ากำลังไฟฟ้ารีแอกทีฟ ดังรูปที่ 9.3 ก) และ เขียนเป็นเฟสเซอร์กระแสไฟฟ้า ดังรูปที่ 9.3 ข)



(ก) วงจรโหลดผสม R-L

ศูนย์บรรณสารและการเรียนรู้ สถาบันนวัตกรรมการเรียนรู้ มหาวิทยาลัยพะเยา



(ข) เฟสเซอร์กระแสไฟฟ้าในวงจร

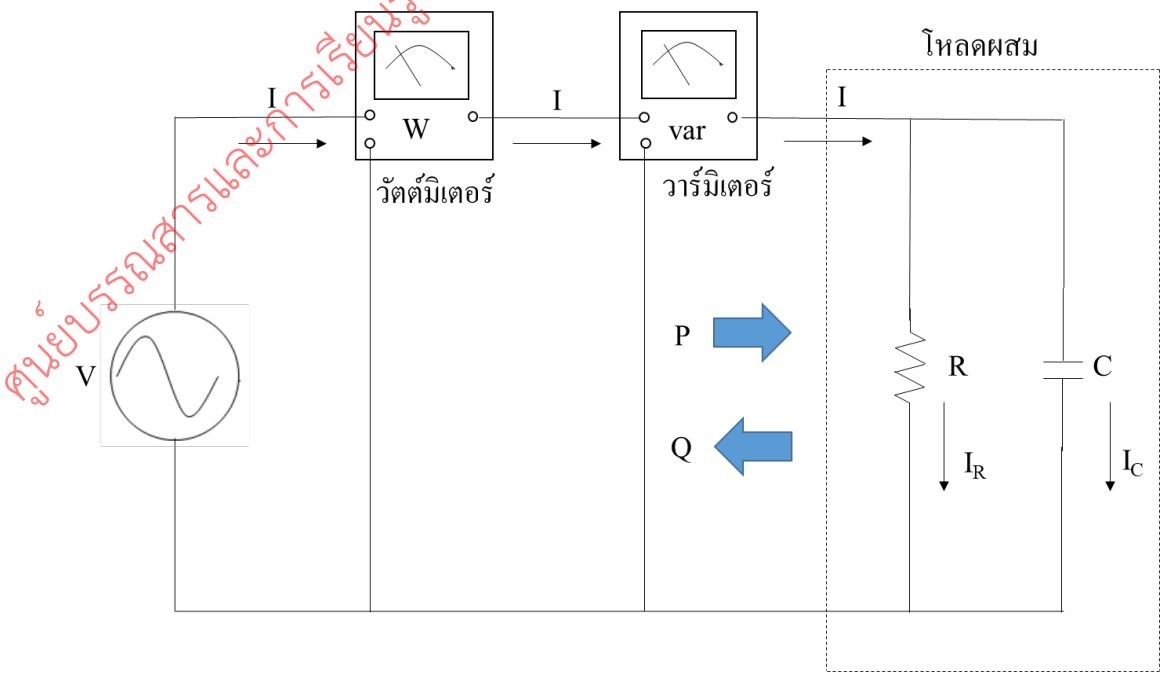
รูปที่ 9.3 วงจรไฟฟ้าที่มีโหลดผสม R-L เกิดกำลังไฟฟ้า P และ Q ที่โหลดมีทิศทางเดียวกัน

อีกหนึ่งลักษณะของโหลดผสม คือ โหลดชนิด R–C ซึ่งประกอบด้วยตัวต้านทาน (R) ต่อร่วมกับตัวเก็บประจุ (C) โดยตัวเก็บประจุทำหน้าที่เป็น โหลดรีแอกทีฟแบบจ่ายพลังงานกลับ (capacitive reactive load) กล่าวคือ จะส่งคืนพลังงานรีแอกทีฟกลับไปยังแหล่งจ่ายในช่วงเวลาหนึ่งของรอบสัญญาณ ซึ่งตรงข้ามกับกรณีของขดลวดเหนี่ยวนำ (L) ที่จะดูดพลังงานรีแอกทีฟจากแหล่งจ่าย

เมื่อวงจรมีโหลดผสม R–C ดังแสดงใน รูปที่ 9.4 (ก) เราสามารถวัดค่ากำลังได้เช่นเดียวกับวงจรทั่วไป โดย

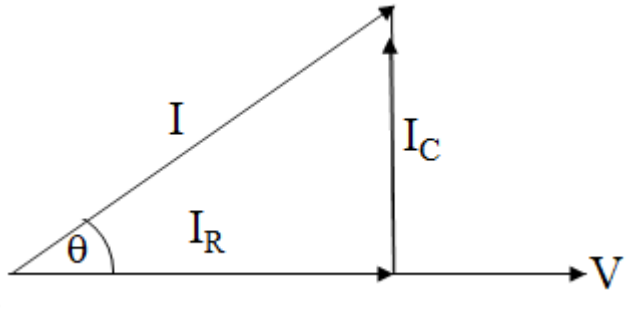
- กำลังจริง P จะมีค่า บวก แสดงถึงการใช้พลังงานจริงของตัวต้านทาน
- กำลังรีแอกทีฟ Q จะมีค่า ลบ แสดงถึงพลังงานที่ตัวเก็บประจุส่งกลับไปยังแหล่งจ่าย

ใน รูปที่ 9.4 (ข) แสดง เฟสเซอร์ของกระแสไฟฟ้า (I) ซึ่งจะ นำหน้าแรงดันไฟฟ้า (V) เนื่องจากผลของตัวเก็บประจุในวงจร ทำให้มุมเฟส θ มีค่าติดลบ และส่งผลให้ Q = VI sin θ เป็นค่าลบเช่นกัน



(ก) วงจรโหลดผสม R-C

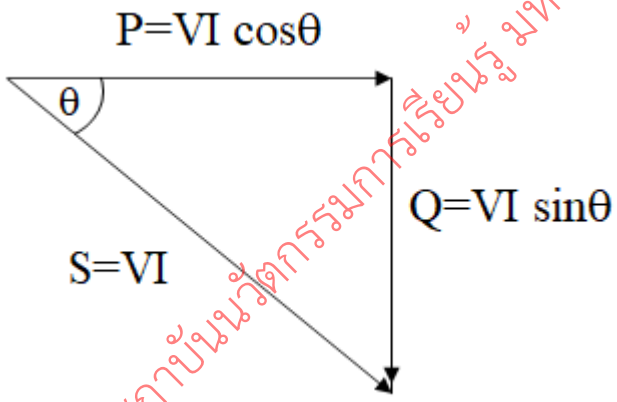
ศูนย์บรรณสารและการเรียนรู้ สถาบันเทคโนโลยีการอาชีวศึกษาเทคนิคพระนครศรีอยุธยา



(ข) เฟสเซอร์กระแสไฟฟ้าในวงจร

รูปที่ 9.4 วงจรไฟฟ้าโหลดผสม R-C เกิดกำลังไฟฟ้า P และ Q ที่โหลดมีทิศทางต่างกัน

เมื่อความสัมพันธ์ของกำลังไฟฟ้าทั้ง 3 ตัว คือ กำลังไฟฟ้าปรากฏ กำลังไฟฟ้าจริง และกำลังไฟฟ้ารีแอสทีฟมาเขียนเป็นแผนภาพเฟสเซอร์จะได้เป็น 3 เหลี่ยมกำลังไฟฟ้า (Power Triangle) ดังรูปที่ 9.5



รูปที่ 9.5 แผนภาพเฟสเซอร์แสดงความสัมพันธ์ของกำลังไฟฟ้า P, Q และ S

จาก รูปที่ 9.5 ซึ่งแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกำลังไฟฟ้าในระบบกระแสสลับ ได้แก่

- กำลังจริง (Active Power) P
- กำลังรีแอกทีฟ (Reactive Power) Q
- กำลังปรากฏ (Apparent Power) S

สมการได้ ดังต่อไปนี้

$$S^2 = P^2 + Q^2 \tag{9.6}$$

มุม θ คือ มุมต่างเฟสระหว่าง P และ S ซึ่งสารมารถแสงเป็นสมการได้

$$P = S\cos\theta \tag{9.7}$$

ค่าของ cos θ นี้เรียกว่า ค่าตัวประกอบกำลังหรือเพาเวอร์แฟกเตอร์ (Power factor) ใช้อักษรย่อเป็น P.F. หาได้ดังนี้

ศูนย์บรรณสารและการเรียนรู้ สถาบันนวัตกรรมการเรียนรู้ มหาวิทยาลัยพายัพ

$$\text{P.F.} = \cos\theta = \frac{P}{S} \qquad (9.8)$$

ค่าเพาเวอร์แฟกเตอร์ (Power Factor) เป็นตัวบ่งชี้ความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าในระบบกระแสสลับ โดยพิจารณาจาก มุมเฟส (θ) ระหว่างแรงดันและกระแส ซึ่งส่งผลต่อทิศทางของพลังงานรีแอกทีฟในวงจร

- ในกรณีที่โหลดเป็น โหลดผสม R–L (ตัวต้านทานร่วมกับขดลวดเหนี่ยวนำ) กระแสไฟฟ้าจะล้าหลังแรงดัน ทำให้มุมเฟส θ มีค่าเป็นบวก จึงเรียกว่า "เพาเวอร์แฟกเตอร์ล้าหลัง" หรือ Lagging Power Factor
- ในทางตรงกันข้าม หากโหลดเป็น โหลดผสม R–C ตัวต้านทานร่วมกับตัวเก็บประจุ กระแสไฟฟ้าจะ นำหน้าแรงดัน ทำให้มุมเฟส θ มีค่าเป็นลบ จึงเรียกว่า "เพาเวอร์แฟกเตอร์นำหน้า" หรือ Leading Power Factor

ค่าเพาเวอร์แฟกเตอร์มีความสำคัญในด้านการออกแบบระบบไฟฟ้า การเลือกขนาดอุปกรณ์ และการควบคุมคุณภาพพลังงาน โดยค่าใกล้ 1 หมายถึงการใช้พลังงานอย่างมีประสิทธิภาพสูงสุด

ตัวอย่างที่ 9.2 มอเตอร์ขนาด 220 V 50 Hz กินกระแส 6 A ว่าค่าเพาเวอร์แฟกเตอร์ของมอเตอร์ 0.7 จงหาค่ากำลังไฟฟ้าจริง และค่ากำลังไฟฟ้ารีแอกทีฟของมอเตอร์

วิธีทำ

- หาค่ากำลังไฟฟ้าจริง P ของมอเตอร์ โดยหาค่า S ก่อนดังนี้

จากสมการที่ (9.5)

$$S = VI$$

$$= 220\ \text{V} \times 6\ \text{A}$$

$$= 1{,}320\ \text{VA}$$

จากสมการที่ (9.7)

$$P = S\cos\theta$$

$$= 1{,}320\ \text{VA} \times 0.7\ \text{A}$$

$$= 924\ \text{W}$$

- หากำลังรีแอกทีฟ Q ของมอเตอร์

ศูนย์บรรณสารและการเรียนรู้ สถาบันบัณฑิตพัฒนบริหารศาสตร์ มหาวิทยาลัยพะเยา

จากสมการที่ (9.6)

$$S^2 = P^2 + Q^2$$

ดังนั้น $Q = \sqrt{S^2 + P^2}$

$= \sqrt{1{,}320^2 + 924^2}$

= 943 var **ตอบ**

9.2.3 วัตต์มิเตอร์แบบอิเล็กโตรไดนาโมมิเตอร์ (Electrodynamometer Wattmeter)

วัตต์มิเตอร์ชนิดนี้เป็นเครื่องมือวัดกำลังไฟฟ้ากระแสตรงและกระแสสลับที่แม่นยำ โดยอาศัยแรงแม่เหล็กไฟฟ้าระหว่างขดลวดเพื่อสร้างแรงบิดให้เข็มแสดงค่า

เครื่องมือนี้ประกอบด้วยส่วนสำคัญ 2 ส่วน ได้แก่

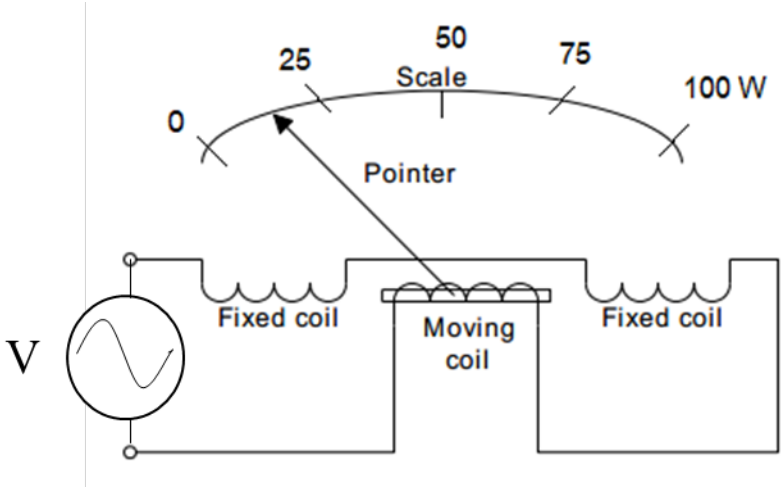
1. ขดลวดสนามแม่เหล็ก (Field Coil) ติดตั้ง อยู่กับที่ (Fixed Coil) ทำหน้าที่สร้างสนามแม่เหล็กโดยต่อเข้ากับวงจรกระแสสูง (Current Circuit)
2. ขดลวดเคลื่อนที่ (Moving Coil) ติดตั้งบนแกนที่สามารถหมุนได้ อาศัยแรงบิดจากการปฏิสัมพันธ์กับสนามแม่เหล็กของขดลวดสนาม โดยต่อเข้ากับวงจรแรงดัน (Voltage Circuit) ผ่านตัวต้านทาน

เมื่อมีกระแสไฟฟ้าไหลผ่านทั้งสองขดลวด จะเกิดแรงแม่เหล็กและแรงบิดที่ทำให้ขดลวดเคลื่อนที่หมุน ซึ่งแรงบิดที่เกิดขึ้นมีค่าแปรผันตามกำลังไฟฟ้าที่ใช้ในวงจร ทำให้สามารถวัดค่าได้โดยตรง

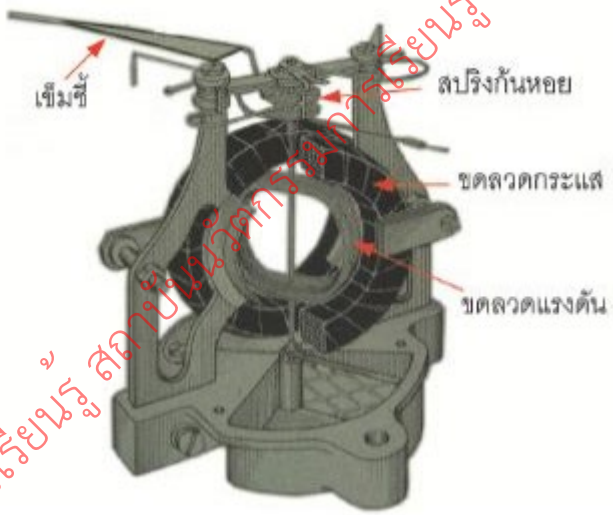
- รูปที่ 9.6 แสดงลักษณะภายนอกและการจัดวางของขดลวดในเครื่องวัด
- รูปที่ 9.7 แสดงรายละเอียด โครงสร้างภายใน ของวัตต์มิเตอร์แบบอิเล็กโตรไดนาโมมิเตอร์

เครื่องมือนี้มีความแม่นยำสูงและสามารถใช้ได้ทั้งในระบบไฟฟ้ากระแสตรงและกระแสสลับ เหมาะสำหรับการวัดในงานที่ต้องการความเที่ยงตรง เช่น ห้องปฏิบัติการทางไฟฟ้า

ศูนย์บรรณสารและการเรียนรู้ สถาบันนวัตกรรมการเรียนรู้ มหาวิทยาลัยพะเยา



รูปที่ 9.6 วงจรวัตต์มิเตอร์แบบอิเล็กโตรไดนาโมมิเตอร์



รูปที่ 9.7 โครงสร้างภายของวัตต์มิเตอร์แบบอิเล็กโตรไดนาโมมิเตอร์

ที่มา: http://ctc.chontech.ac.th/files/2207201717561529_24050910102511.pdf สืบค้นเมื่อวันที่ 16/5/2568

ศูนย์บรรณสารและการเรียนรู้ สถาบันนวัตกรรมการเรียนรู้ มหาวิทยาลัยพะเยา

โครงสร้างของวัตต์มิเตอร์แบบอิเล็กโตรไดนาโมมิเตอร์ วัตต์มิเตอร์แบบอิเล็กโตรไดนาโมมิเตอร์ประกอบด้วยส่วนสำคัญ ดังนี้

1. ขดลวดสนามแม่เหล็กอยู่กับที่ (Stationary Field Coil) ขดลวดนี้ต่อ อนุกรมกับสายโหลด หรือแหล่งจ่ายไฟฟ้า ทำหน้าที่สร้างสนามแม่เหล็กตามขนาดของกระแสโหลดที่ไหลผ่าน จึงเรียกว่า ขดลวดกระแส (Current Coil) สนามแม่เหล็กที่เกิดขึ้นมีทิศทางและความแรงขึ้นอยู่กับกระแสไฟฟ้าในวงจร

2. ขดลวดเคลื่อนที่ (Moving Coil) ขดลวดนี้ต่อ คร่อมกับแรงดันไฟฟ้าในวงจร ทำให้เกิดสนามแม่เหล็กซึ่งมีค่าตามแรงดันไฟฟ้า ขดลวดนี้เรียกว่า ขดลวดแรงดัน (Potential Coil) โดยจะติดตั้งบนระบบหมุนที่สามารถเบี่ยงเบนได้เมื่อเกิดแรงบิด

หลักการทำงาน

เมื่อมีกระแสไฟฟ้าและแรงดันในวงจร จะเกิดแรงแม่เหล็กทั้งจากขดลวดกระแสและขดลวดแรงดัน ส่งผลให้เกิด แรงบิดชั่วขณะ (Instantaneous Torque) ซึ่งเป็นผลคูณของกระแสชั่วขณะในขดลวดกระแสและแรงดันชั่วขณะในขดลวดแรงดัน

ดังนั้น สเกลของวัตต์มิเตอร์ชนิดนี้จะเป็น สเกลแบบเชิงเส้น (Linear Scale) เพราะแรงบิดเฉลี่ยแปรผันโดยตรงกับกำลังไฟฟ้าจริงในวงจร

ในกรณีที่ใช้งานกับ วงจรกระแสสลับ (AC) การเบี่ยงเบนของเข็มวัดจะขึ้นอยู่กับ:

- กระแสในขดลวดกระแส (Current)
- แรงดันในขดลวดแรงดัน (Voltage)
- มุมเฟส θ หรือ Power Factor (PF) ของโหลด

ดังแสดงใน สมการ (9.2) ที่แสดงค่ากำลังไฟฟ้าเป็นฟังก์ชันของแรงดัน กระแส และเพาเวอร์แฟกเตอร์

ค่าคงที่ของเครื่องมือวัด (Instrument Constant; K_m) เพื่อให้การวัดกำลังไฟฟ้าแม่นยำ จำเป็นต้องกำหนดความสัมพันธ์ระหว่าง

- มุมเบี่ยงเบนของเข็ม
- ค่ากำลังไฟฟ้า (P) ที่ต้องการวัด

โดยอาศัย ค่าคงที่ของเครื่องมือวัด หรือ $K_m = \frac{P}{\theta}$ เมื่อทราบค่ากำลังไฟฟ้าและ K_m จะสามารถคำนวณหามุมเบี่ยงเบนของเข็มได้อย่างถูกต้อง และ ค่าคงที่ของเครื่องวัดจะหามุมการเบี่ยงเบนของเข็มได้ดังนี้

$$\theta_m = K_m VI \cos\theta \qquad (9.7)$$

เมื่อ θ_m คือ มุมบ่ายเบี่ยงของเข้ม

K_m คือ ค่าคงที่ของเครื่องมือวัด

V คือ ค่าอาร์เอ็มเอส (rms) ของแรงดันที่ขดลวดแรงดัน

I คือ ค่าอาร์เอ็มเอส (rms) ของกระแสที่ขดลวกกระแส

$\cos\theta$ คือ เพาเวอรีแฟกเตอร์

ศูนย์บรรณสารและการเรียนรู้ สถาบันนวัตกรรมการเรียนรู้ มหาวิทยาลัยนเรศวร

ตัวอย่างที่ 9.3 วัตต์มิเตอร์แบบอิเล็กโตรไดนาโมมิเตอร์มีค่า K_m = 10°/Watt เมื่อนำมาวัดกำลังไฟฟ้าในวงจรกระแสสลับขณะที่โหลดมีค่าแรงดัน 220 V และกระแสมีค่า 0.06 A เพาเวอร์แฟกเตอร์มีค่า 0.8 จงหามุมในการเบี่ยงเบนของเข็มในมิเตอร์ดังกล่าว

วิธีทำ

หามุมในการเบี่ยงเบนของเข็ม θ_m จากสมการที่ (9.7)

$$\theta_m = K_m VI \cos\theta = 10°/W \times 220\ V \times 0.06 \times 0.8$$

$$= 105.6°$$ **ตอบ**

9.2.4 ตัวประกอบกำลังไฟฟ้า (Power Factor)

ตัวประกอบกำลังไฟฟ้า คือ อัตราส่วนระหว่างกำลังไฟฟ้าจริง (Active Power: Watt) กับกำลังไฟฟ้าปรากฏ (Apparent Power: VA) โดยสามารถเขียนได้ในรูปสมการ

Power Factor = Active Power (W) / Apparent Power (VA)

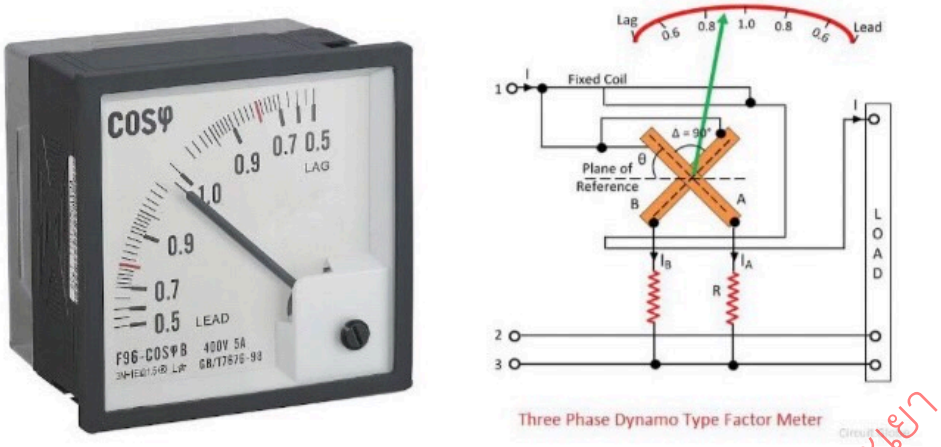
ค่าของ Power Factor (PF) ไม่มีหน่วย แต่สามารถแสดงเป็น เปอร์เซ็นต์ หรือ ค่าทศนิยม เช่น 0.90 หรือ 90%

Power Factor เป็นตัวชี้วัด ประสิทธิภาพในการใช้พลังงานไฟฟ้า ในระบบ โดย

- ค่าที่เข้าใกล้ 1 หรือ 100% แสดงว่าใช้พลังงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ
- ค่าต่ำกว่า 1 แสดงว่ามีการสูญเสียพลังงานในรูปของกำลังรีแอกทีฟ ซึ่งไม่ได้ถูกนำไปใช้งานจริง แต่ยังต้องจ่ายค่าไฟ

ค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้าที่เหมาะสม ในระบบไฟฟ้าทั่วไป ควรไม่ต่ำกว่า 85–90% (หรือ 0.85–0.90) เพื่อให้เกิดความสูญเสียน้อยที่สุดในการส่งจ่ายพลังงาน และลดภาระต่อระบบไฟฟ้าโดยรวม

ศูนย์บรรณสารและการเรียนรู้ สถาบันวิทยบริการและการเรียนรู้ มหาวิทยาลัยพะเยา



รูปที่ 9.8 ตัวประกอบกำลังไฟฟ้า (Power Factor)

ที่มา: https://www.ohswa.or.th/17877489/ สืบค้นเมื่อ 12/5/2567

9.3 ประเภทของเครื่องวัดกำลังไฟฟ้า

9.3.1 เครื่องวัดกำลังไฟฟ้ากระแสตรง (DC Power Meter)



รูปที่ 9.9 เครื่องวัดกำลังไฟฟ้ากระแสตรง (DC Power Meter)

ที่มา: https://www.ohswa.or.th/17877489/ สืบค้นเมื่อ 12/5/2567

เครื่องวัดกำลังไฟฟ้ากระแสตรง (DC Power Meter) คืออุปกรณ์ที่ใช้วัดกำลังไฟฟ้าในวงจรไฟฟ้ากระแสตรง (DC) โดยกำลังไฟฟ้ากระแสตรงสามารถคำนวณได้จากสูตร

ศูนย์บรรณสารและการเรียนรู้ สถาบันนวัตกรรมการเรียนรู้ มหาวิทยาลัยพะเยา

$$P = VI$$

โดยที่

P คือ กำลังไฟฟ้า (วัตต์, W)
V คือ แรงดันไฟฟ้า (โวลต์, V)
I คือ กระแสไฟฟ้า (แอมแปร์, A)

ลักษณะและการใช้งาน มีส่วนประกอบ คือ เครื่องวัดกำลังไฟฟ้ากระแสตรงมักประกอบด้วยโวลต์มิเตอร์และแอมมิเตอร์ในตัว โดยมีหลักการทำงาน ดังนี้ เครื่องจะวัดแรงดันและกระแส จากนั้นคำนวณกำลังไฟฟ้าโดยตรงตามสูตร การใช้งาน คือ เหมาะสำหรับการวัดกำลังไฟฟ้าในแบตเตอรี่ แหล่งจ่ายไฟ DC และอุปกรณ์ที่ใช้ไฟ DC เช่น มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง

คุณสมบัติสำคัญ

- ความแม่นยำสูง เนื่องจากกระแสตรงไม่มีการเปลี่ยนแปลงเฟส จึงสามารถวัดกำลังได้อย่างตรงไปตรงมา
- แสดงผลทันที แสดงกำลังไฟฟ้าโดยตรงบนหน้าจอ ไม่ต้องคำนวณเอง
- พกพาสะดวก มักมีขนาดกะทัดรัด เหมาะสำหรับงานภาคสนาม

9.3.2 เครื่องวัดกำลังไฟฟ้ากระแสสลับ (AC Power Meter)



รูปที่ 9.10 เครื่องวัดกำลังไฟฟ้ากระแสสลับ (AC Power Meter)

ที่มา : http://www.iotbundle.com/product/38/ac-power-meter/ สืบค้นเมื่อ 12/5/2567

ศูนย์บรรณสารและการเรียนรู้ สถาบันวิทยบริการและการเรียนรู้ มหาวิทยาลัยพะเยา

เครื่องวัดกำลังไฟฟ้ากระแสสลับ (AC Power Meter) คืออุปกรณ์ที่ใช้วัดกำลังไฟฟ้าในวงจรไฟฟ้ากระแสสลับ (AC) โดยกำลังไฟฟ้ากระแสสลับจะซับซ้อนกว่ากระแสตรง เนื่องจากมีเฟสและเพาเวอร์แฟกเตอร์ (Power Factor) เข้ามาเกี่ยวข้อง

ประเภทของเครื่องวัดกำลังไฟฟ้ากระแสสลับ

1. เครื่องวัดกำลังไฟฟ้าแบบวัตต์มิเตอร์ (Wattmeter) ใช้สำหรับวัดกำลังไฟฟ้าจริง (P)
2. เครื่องวัดกำลังไฟฟ้าแบบดิจิทัล (Digital Power Meter) แสดงผลทั้ง P, Q, และ S
3. เครื่องวัดกำลังไฟฟ้าแบบอเนกประสงค์ (Power Analyzer) สามารถวัดพารามิเตอร์ไฟฟ้าหลายอย่างพร้อมกัน

การใช้งาน

- งานอุตสาหกรรม ตรวจสอบประสิทธิภาพของเครื่องจักรไฟฟ้า
- งานระบบไฟฟ้า ตรวจวัดกำลังไฟฟ้าในหม้อแปลงและอุปกรณ์ไฟฟ้า
- งานวิจัยและพัฒนา ตรวจสอบพฤติกรรมของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าและโหลด

9.3.3 เครื่องวัดกำลังไฟฟ้าแบบดิจิทัล (Digital Power Meter)



รูปที่ 9.12 เครื่องวัดกำลังไฟฟ้าแบบดิจิทัล (Digital Power Meter) YOKOGAWA รุ่น WT333E

ที่มา: https://www.cal-laboratory.com/ สืบค้นเมื่อ 12/5/2567

ศูนย์บรรณสารและการเรียนรู้ สถาบันนวัตกรรมการเรียนรู้ มหาวิทยาลัยพะเยา

เครื่องวัดกำลังไฟฟ้าแบบดิจิทัล (Digital Power Meter) คืออุปกรณ์ที่ใช้ในการวัดและแสดงค่ากำลังไฟฟ้าในระบบไฟฟ้ากระแสตรง (DC) หรือกระแสสลับ (AC) โดยมีการแสดงผลผ่านหน้าจอดิจิทัล ซึ่งมีความแม่นยำและประสิทธิภาพสูงเมื่อเทียบกับเครื่องวัดกำลังไฟฟ้าแบบอนาล็อก

หลักการทำงาน

1. การวัดแรงดัน (Voltage Measurement)
    - ใช้เซนเซอร์วัดแรงดัน (Voltage Sensor) เพื่อวัดแรงดันไฟฟ้า (V)
2. การวัดกระแส (Current Measurement)
    - ใช้หม้อแปลงกระแส (CT) หรือเซนเซอร์กระแส (Current Sensor) เพื่อวัดกระแสไฟฟ้า (I)
3. การคำนวณกำลังไฟฟ้า
    - ใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์หรือไมโครโปรเซสเซอร์ในการประมวลผล
    - คำนวณกำลังไฟฟ้าจริง (P), กำลังไฟฟ้ารีแอกทีฟ (Q), และกำลังไฟฟ้าปรากฏ (S)
4. การแสดงผล (Display)
    - หน้าจอ LCD หรือ LED แสดงค่ากำลังไฟฟ้าอย่างชัดเจน

ฟังก์ชันและคุณสมบัติ

1. วัดกำลังไฟฟ้าได้หลากหลาย
    - กำลังไฟฟ้าจริง (P)
    - กำลังไฟฟ้ารีแอกทีฟ (Q)
    - กำลังไฟฟ้าปรากฏ (S)
    - เพาเวอร์แฟกเตอร์ (Power Factor)
    - ความถี่ (Frequency)
2. แสดงค่าทางไฟฟ้าแบบเรียลไทม์
    - มีความแม่นยำสูงและตอบสนองรวดเร็ว
3. การเก็บข้อมูลและบันทึก
    - บางรุ่นรองรับการเก็บข้อมูลและเชื่อมต่อกับคอมพิวเตอร์ผ่าน USB หรือ Ethernet
4. วิเคราะห์คุณภาพไฟฟ้า (Power Quality)
    - ตรวจสอบฮาร์มอนิก (Harmonics) และค่าผิดเพี้ยนทางไฟฟ้า

ข้อดีของเครื่องวัดกำลังไฟฟ้าแบบดิจิทัล

- ความแม่นยำสูง เนื่องจากมีการประมวลผลแบบดิจิทัล
- ใช้งานง่าย แสดงค่าตรงไปตรงมาบนหน้าจอ
- ความน่าเชื่อถือ มีการกรองสัญญาณรบกวน
- บันทึกข้อมูลได้ เหมาะสำหรับการวิเคราะห์เชิงลึก
- รองรับการวัดไฟฟ้าหลายเฟส เช่น 1 เฟส, 3 เฟส

ศูนย์บรรณสารและการเรียนรู้ สถาบันนวัตกรรมการเรียนรู้ มหาวิทยาลัยพะเยา

การใช้งาน

- งานอุตสาหกรรม ตรวจสอบกำลังไฟฟ้าในระบบการผลิต
- งานด้านพลังงาน ตรวจวัดการใช้ไฟฟ้าในอาคารและโรงงาน
- งานวิจัยและพัฒนา ทดสอบประสิทธิภาพเครื่องใช้ไฟฟ้า
- งานด้านซ่อมบำรุง ตรวจสอบความผิดปกติของอุปกรณ์ไฟฟ้า

9.3.4 เครื่องวัดกำลังไฟฟ้าแบบอะนาล็อก (Analog Power Meter)

เครื่องวัดกำลังไฟฟ้าแบบอะนาล็อก (Analog Power Meter) คืออุปกรณ์ที่ใช้วัดกำลังไฟฟ้าในระบบไฟฟ้ากระแสตรง (DC) หรือกระแสสลับ (AC) โดยการแสดงผลจะเป็นแบบเข็มหรือแถบเคลื่อนที่บนสเกล



รูปที่ 9.13 เครื่องวัดกำลังไฟฟ้าแบบอะนาล็อก (Analog Power Meter)

หลักการทำงานของเครื่องวัดกำลังไฟฟ้าแบบอะนาล็อก

1. การวัดแรงดัน (Voltage Measurement)
    - ใช้ขดลวดแรงดัน (Voltage Coil) ที่ต่อขนานกับโหลด
2. การวัดกระแส (Current Measurement)
    - ใช้ขดลวดกระแส (Current Coil) ที่ต่ออนุกรมกับโหลด
3. แรงบิดแม่เหล็ก (Electromagnetic Torque)
    - เมื่อกระแสไฟฟ้าไหลผ่านขดลวด จะเกิดแรงบิดที่ทำให้แผ่นโลหะหรือเข็มหมุน
    - แรงบิดนี้เป็นสัดส่วนกับกำลังไฟฟ้าที่เกิดขึ้น
4. การแสดงผล (Display)
    - เข็มจะหมุนไปตามแรงบิดที่เกิดขึ้น แสดงค่ากำลังไฟฟ้าบนหน้าปัด

ศูนย์บรรณสารและการเรียนรู้ สถาบันวิทยบริการและการเรียนรู้ มหาวิทยาลัยพะเยา

ประเภทของเครื่องวัดกำลังไฟฟ้าแบบอะนาล็อก

1. **แบบไดนาโมมิเตอร์ (Dynamometer Type Wattmeter)**
   - ใช้ขดลวดไฟฟ้าสองชุด (แรงดันและกระแส)
   - เหมาะสำหรับไฟฟ้ากระแสสลับ (AC) และกระแสตรง (DC)
2. **แบบโครงเหล็กหมุน (Moving Iron Wattmeter)**
   - ใช้แรงดึงดูดระหว่างแผ่นเหล็กอ่อนและขดลวด
   - นิยมใช้ในระบบ AC เนื่องจากทนทาน
3. **แบบแกนหมุน (Moving Coil Wattmeter)**
   - ขดลวดที่เคลื่อนที่อยู่ในสนามแม่เหล็กถาวร
   - เหมาะกับระบบ DC

9.3.5 เครื่องวัดกำลังไฟฟ้าแบบหลายเฟส (Three-Phase Power Meter)



รูปที่ 9.14 เครื่องวัดกำลังไฟฟ้าแบบหลายเฟส (Three-Phase Power Meter)

ที่มา: https://www.ponpe.com/ สืบค้นเมื่อวันที่ 16/5/2568

เครื่องวัดกำลังไฟฟ้าแบบหลายเฟส (Three-Phase Power Meter) คืออุปกรณ์ที่ใช้วัดกำลังไฟฟ้าในระบบไฟฟ้ากระแสสลับ (AC) แบบสามเฟส ซึ่งเป็นระบบที่นิยมใช้ในงานอุตสาหกรรมและระบบไฟฟ้ากำลัง เนื่องจากมีประสิทธิภาพสูงและสามารถส่งกำลังได้มาก

ศูนย์บรรณสารและการเรียนรู้ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง เรียนรู้มหาวิทยาลัยพะเยา

หลักการทำงาน

เครื่องวัดกำลังไฟฟ้าแบบหลายเฟสสามารถวัดกำลังไฟฟ้าในระบบไฟฟ้า 3 เฟสได้ โดยมีวิธีการวัดดังนี้

1. วัดแรงดัน (Voltage Measurement)
    - ใช้หม้อแปลงแรงดัน (VT) หรือโวลต์มิเตอร์
    - วัดแรงดันระหว่างเฟส (Line-to-Line) หรือระหว่างเฟสกับนิวทรัล (Line-to-Neutral)
2. วัดกระแส (Current Measurement)
    - ใช้หม้อแปลงกระแส (CT) หรือแอมมิเตอร์
    - วัดกระแสในแต่ละเฟส
3. คำนวณกำลังไฟฟ้า (Power Calculation)
    - กำลังไฟฟ้าจริง (Active Power, P)

$$P = \sqrt{3} * V * I * pf$$

    - กำลังไฟฟ้ารีแอกทีฟ (Reactive Power, Q)

$$Q = \sqrt{3} * V * I * \sin\theta$$

    กำลังไฟฟ้าปรากฏ (Apparent Power, S)

$$S = \sqrt{3} * V * I$$

4. การแสดงผล (Display)
    - แสดงค่ากำลังไฟฟ้าแต่ละเฟสและค่าเฉลี่ย
    - แสดงค่าเพาเวอร์แฟกเตอร์ (pf) และความถี่

ประเภทของเครื่องวัดกำลังไฟฟ้าแบบหลายเฟส

1. Analog Three-Phase Power Meter
    - แสดงผลด้วยเข็มและหน้าปัด
    - ใช้ในงานพื้นฐานและระบบไฟฟ้าเก่า
2. Digital Three-Phase Power Meter
    - แสดงผลด้วยหน้าจอ LCD หรือ LED
    - มีฟังก์ชันวัดค่าหลายพารามิเตอร์พร้อมกัน
    - รองรับการเชื่อมต่อกับคอมพิวเตอร์ผ่าน USB, RS485 หรือ Ethernet
3. Smart Power Meter
    - รองรับการตรวจสอบผ่านระบบออนไลน์ (IoT)
    - สามารถบันทึกข้อมูลและวิเคราะห์พลังงานได้

ศูนย์บรรณสารและการเรียนรู้ สถาบันนวัตกรรมการเรียนรู้ มหาวิทยาลัยพะเยา

การใช้งาน

1. อุตสาหกรรมการผลิต
    - ตรวจสอบประสิทธิภาพการใช้พลังงานของมอเตอร์ เครื่องจักร และหม้อแปลง
2. ระบบไฟฟ้าแรงสูง
    - วัดกำลังไฟฟ้าในสถานีย่อยไฟฟ้าและระบบจ่ายไฟฟ้าหลัก
3. การอนุรักษ์พลังงาน
    - ตรวจสอบพลังงานในอาคารพาณิชย์หรือโรงงาน
4. การควบคุมการใช้พลังงาน
    - ติดตามและวิเคราะห์การใช้พลังงานในระบบไฟฟ้า 3 เฟส

คุณสมบัติเด่น

- วัดได้ทั้งระบบ 3 เฟส 3 สาย (3P3W) และ 3 เฟส 4 สาย (3P4W)
- ฟังก์ชันวัดค่าหลายพารามิเตอร์
    - กำลังไฟฟ้าจริง (P)
    - กำลังไฟฟ้ารีแอกทีฟ (Q)
    - กำลังไฟฟ้าปรากฏ (S)
    - เพาเวอร์แฟกเตอร์ (PF)
    - ความถี่ (Hz)
- การบันทึกข้อมูล
    - เก็บข้อมูลระยะยาวเพื่อวิเคราะห์การใช้พลังงาน
- รองรับการวิเคราะห์ฮาร์มอนิก
    - ตรวจสอบคุณภาพกำลังไฟฟ้าและปัญหาฮาร์มอนิก

ข้อดี

- วัดได้ครบถ้วนทุกเฟส ทำให้ได้ข้อมูลที่แม่นยำ
- รองรับการบันทึกและวิเคราะห์ข้อมูล
- สามารถติดตามการใช้พลังงานแบบเรียลไทม์

ข้อเสีย

- ราคาสูงเมื่อเทียบกับเครื่องวัดเฟสเดียว
- การติดตั้งและการตั้งค่าค่อนข้างซับซ้อน
- อาจต้องใช้ซอฟต์แวร์เพิ่มเติมในการวิเคราะห์

ตัวอย่างการใช้งานจริง

- โรงงานอุตสาหกรรม ติดตั้งในตู้ควบคุมเพื่อวัดการใช้พลังงานรวม
- สถานีย่อยไฟฟ้า ตรวจสอบกำลังไฟฟ้าที่ส่งผ่านระบบ
- อาคารพาณิชย์ ตรวจสอบการใช้พลังงานในแต่ละส่วน

ศูนย์บรรณสารและการเรียนรู้ สถาบันนวัตกรรมการเรียนรู้ มหาวิทยาลัยพะเยา

9.4 การต่อวงจรวัตต์มิเตอร์

9.4.1 การต่อวัตต์มิเตอร์ในระบบไฟฟ้า 1 เฟส

การต่อวัตต์มิเตอร์ในการวัดกำลังไฟฟ้า วัตต์มิเตอร์แบบอิเล็กโตรไดนาโมมิเตอร์สามารถใช้งานได้ทั้งในระบบไฟฟ้า 1 เฟส และ 3 เฟส สำหรับ ระบบไฟฟ้า 3 เฟส มีวิธีการต่อวัตต์มิเตอร์อยู่ 2 วิธีหลัก ได้แก่

1. วิธีวัตต์มิเตอร์ 3 เครื่อง (Three-Wattmeter Method)
2. วิธีวัตต์มิเตอร์ 2 เครื่อง (Two-Wattmeter Method)

หลักการต่อวัตต์มิเตอร์แบบอิเล็กโตรไดนาโมมิเตอร์ การต่อวัตต์มิเตอร์ต้องคำนึงถึง ทิศทางของกระแสไฟฟ้าในแต่ละขดลวด ซึ่งมีผลโดยตรงต่อ

- ทิศทางของสนามแม่เหล็กที่เกิดขึ้น
- ทิศทางของแรงบิดที่ทำให้เข็มเบี่ยงเบน

โดยทั่วไป

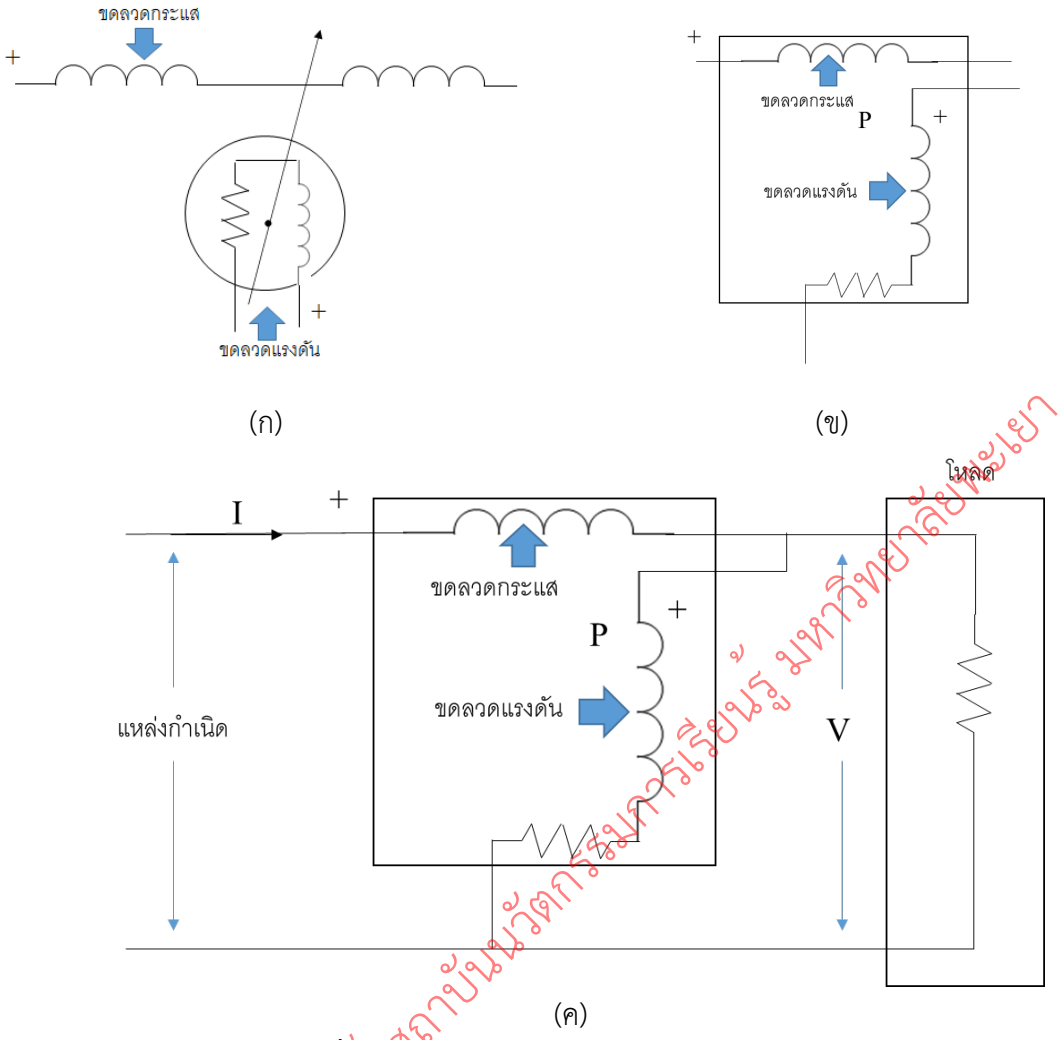
- ขดลวดกระแส (Current Coil) ต่อ อนุกรมกับโหลด เพื่อให้กระแสของโหลดไหลผ่าน
- ขดลวดแรงดัน (Potential Coil) ต่อ ขนานกับแรงดันของโหลด เพื่อรับแรงดันตกคร่อม

ดังแสดงใน รูปที่ 9.15 (ก), (ข), และ (ค)

- หากต่อ ถูกขั้ว กระแสที่ไหลเข้าสู่ขั้วบวกของขดลวดกระแส และแรงดันตกคร่อมที่ขั้วบวกของขดลวดแรงดันตรงตามรูป จะทำให้แรงบิดเกิดในทิศทางที่ถูกต้อง ส่งผลให้เข็มของวัตต์มิเตอร์ เบี่ยงเบนไปทางขวา หรือ อ่านค่าเพิ่มขึ้น (Up Scale)
- แต่หากต่อ ผิดขั้ว ไม่ว่าทางด้านกระแสหรือแรงดัน จะทำให้สนามแม่เหล็กกลับทิศ ส่งผลให้เข็มวัด เบี่ยงเบนไปทางซ้าย หรือ อ่านค่าลดลง (Down Scale)

การต่อวัตต์มิเตอร์อย่างถูกต้องจึงมีความสำคัญอย่างยิ่งต่อความแม่นยำในการวัดกำลังไฟฟ้า โดยเฉพาะในการใช้งานกับระบบ 3 เฟส ซึ่งต้องระวังเป็นพิเศษในการเลือกจุดต่อและทิศทางของขั้ว

ศูนย์วิทยทรัพยากร จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย สถาบันนวัตกรรมการเรียนรู้ มหาวิทยาลัยพะเยา



รูปที่ 9.15 การต่อวัตต์มิเตอร์ในระบบไฟฟ้า 1 เฟส

9.4.2 การต่อวงจรวัตต์มิเตอร์ในระบบไฟฟ้า 3 เฟส

กรณีใช้วัตต์มิเตอร์แบบ 1 เฟส คือ ในการวัดกำลังไฟฟ้าจริงในระบบไฟฟ้า 3 เฟส ไม่ว่าจะเป็นกรณีโหลดต่อแบบ เดลตา (Δ) หรือ วาย (Y) สามารถใช้ วัตต์มิเตอร์แบบ 1 เฟส ได้ โดยมีวิธีการต่อหลัก 2 วิธี ดังนี้

1. วิธีวัตต์มิเตอร์ 3 เครื่อง (Three-Wattmeter Method)

เป็นวิธีที่ใช้ วัตต์มิเตอร์แบบ 1 เฟส จำนวน 3 เครื่อง โดยแต่ละเครื่องต่อวัดกำลังไฟฟ้าของ แต่ละเฟสของโหลด โดยตรง ซึ่งสามารถใช้ได้กับ

- โหลดแบบ Y ทั้งแบบ สมดุล (Balanced) และ ไม่สมดุล (Unbalanced)
- โหลดแบบ Δ ทั้งแบบสมดุลและไม่สมดุลเช่นกัน

ผลรวมของกำลังไฟฟ้าจากทั้ง 3 เฟสจะเป็นกำลังไฟฟ้ารวมของระบบ

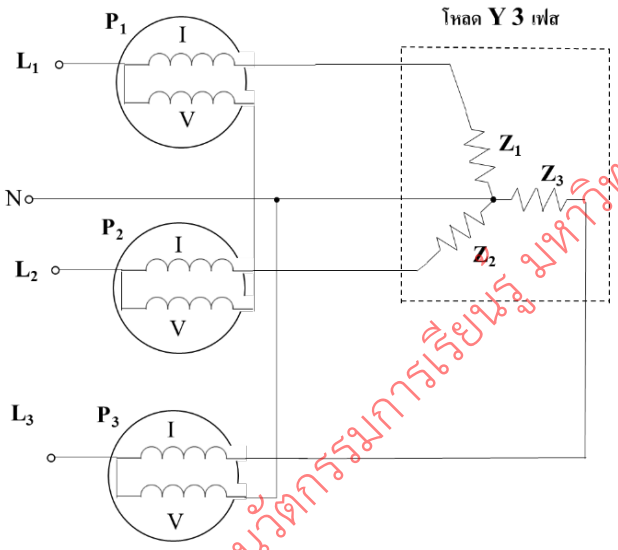
ศูนย์วิทยทรัพยากร สถาบันนวัตกรรมการเรียนรู้ มหาวิทยาลัยพะเยา

$$P_T = P_1 + P_2 + P_3$$

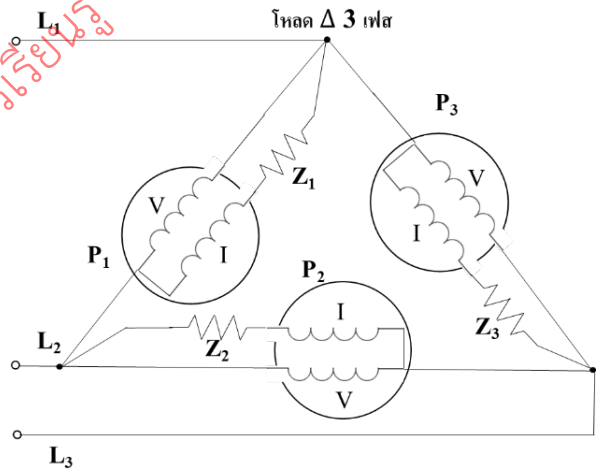
ซึ่ง P_T คือกำลังไฟฟ้ารวม (Total Power) และ P_1,P_2,P_3 คือค่าที่วัตต์มิเตอร์แต่ละตัววัดได้ในแต่ละเฟส

- รูปที่ 9.16 (ก) แสดงการต่อวงจรกรณีโหลดแบบ Y
- รูปที่ 9.16 (ข) แสดงการต่อวงจรกรณีโหลดแบบ Δ

การใช้วิธีวัตต์มิเตอร์ 3 เครื่องมีข้อดีคือสามารถวัดได้ทั้งในกรณีที่โหลดสมดุลและไม่สมดุลได้อย่างแม่นยำ



(ก) วงจรโหลดแบบ Y สมดุลและไม่สมดุล



(ข) วงจรโหลดแบบ Δ สมดุลและไม่สมดุล

รูปที่ 9.16 การต่อวัตต์มิเตอร์ 3 เครื่องวัดกำลังไฟฟ้าในระบบไฟฟ้า 3 เฟส

หลักการของการวัดกำลังไฟฟ้า 3 เฟสด้วยวัตต์มิเตอร์ 1 เฟส 3 เครื่อง คือ การวัดกำลังไฟฟ้าจริงของโหลดแต่ละเฟส ดังนั้นจึงใช้ได้กับโหลดแบบสมดุล (Z_1=Z_2=Z_3) และโหลดแบบไม่สมดุล (Z_1≠Z_2≠Z_3) โดยไม่ต้องเปลี่ยนแปลงวงจรการต่อวัตต์มิเตอร์ ถ้ากำหนดให้

ศูนย์บรรณสารและการเรียนรู้ สถาบันนวัตกรรมการเรียนรู้ มหาวิทยาลัยพะเยา

P_T คือ กำลังไฟฟ้ารวมในระบบไฟฟ้า 3 เฟส
P_1 คือ กำลังไฟฟ้าที่อ่านได้จากวัตต์มิเตอร์ P_1
P_2 คือ กำลังไฟฟ้าที่อ่านได้จากวัตต์มิเตอร์ P_2
P_3 คือ กำลังไฟฟ้าที่อ่านได้จากวัตต์มิเตอร์ P_3

กำลังไฟฟ้ารวมในระบบไฟฟ้า 3 เฟสที่วัดได้ คือ

$$P_T = P_1 + P_2 + P_3 \qquad (9.8)$$

ตัวอย่างที่ 9.3 จากรูปที่ 9.16 ก) ถ้าวัตต์มิเตอร์ P_1= 800 W, P_2= 900 W และ P_3= 240 W จงหากำลังไฟฟ้าทั้งหมดของวงจร

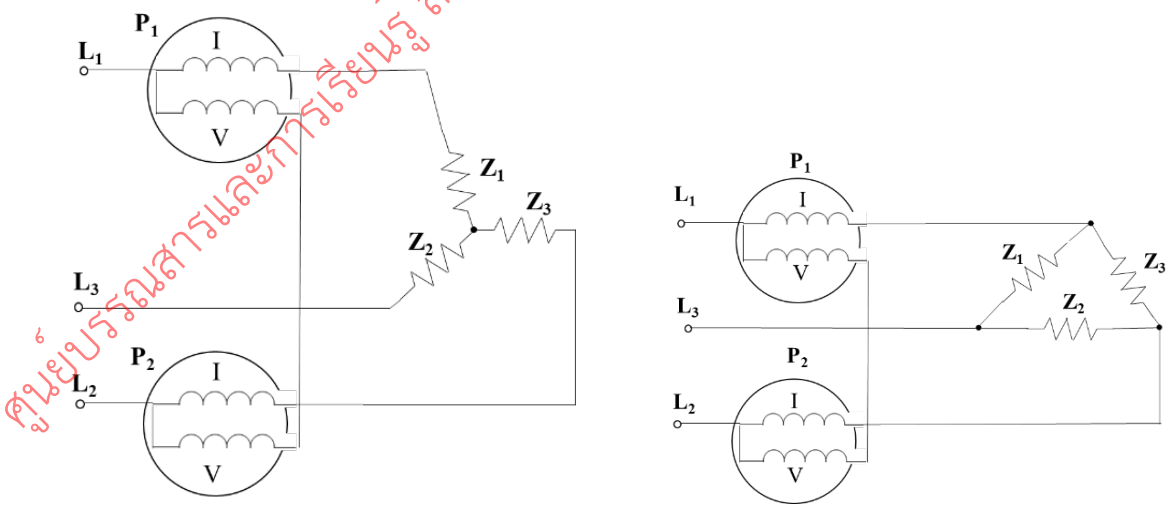
วิธีทำ จากสมการที่ 9.8

$$P_T = P_1 + P_2 + P_3 \text{ = 800 W + 900 W + 240 W}$$

$$= \text{ 1,940 W} \qquad \textbf{ตอบ}$$

2. วิธีวัตต์มิเตอร์ 2 เครื่อง (Two wattmeter method)

เป็นการใช้วัตต์มิเตอร์ 1 เฟส จำนวน 2 เครื่อง โดยต่อขดลวดกระแสของแต่ละเครื่องกับสายเฟสใดก็ได้ 2 เส้น และต่อขดลวดแรงดันของทั้งสองเครื่องร่วมกันกับสายเฟสที่เหลือ ซึ่งไม่ได้ใช้กับขดกระแส วิธีนี้ใช้วัดกำลังไฟฟ้าในโหลด 3 เฟสได้ทั้งแบบวายและแบบเดลตา ไม่ว่าจะเป็นโหลดสมดุลหรือไม่สมดุล ดังแสดงในรูปที่ 9.17 ก) และ ข)



(ก) วงจรโหลดแบบ Y สมดุลและไม่สมดุล (ข) วงจรโหลดแบบ Δ สมดุลและไม่สมดุล

รูปที่ 9.17 การต่อวัตต์มิเตอร์ 2 เครื่อง วัดกำลังไฟฟ้าในระบบไฟฟ้า 3 เฟส

จากรูปที่ 9.17 ก) และ ข) เมื่อกำหนดให้ P_1 คือ กำลังไฟฟ้าจริงที่อ่านได้จากวัตต์มิเตอร์ที่ต่อขดลวดกระแสกับสาย L_1 และ P_2 คือกังไฟฟ้าจริงที่อ่านได้จากวัตต์มิเตอร์ที่ต่อขดลองกระแสกับสาย L_2 ดังสมการ

ศูนย์บรรณสารและการเรียนรู้ สถาบันบริการการเรียนรู้ มหาวิทยาลัยพะเยา

$$P_1 = V_L\ I_L\ cos\ (30^\circ - \theta) \tag{9.9}$$

$$P_2 = V_L\ I_L\ cos\ (30^\circ + \theta) \tag{9.10}$$

(1) เมื่อ PT คือ กำลังไฟฟ้ารวมในระบบ 3 เฟส

$$P_T = P_1 + P_2$$
$$= V_L\ I_L\ cos\ (30^\circ - \theta) + V_L\ I_L\ cos\ (30^\circ + \theta) \tag{9.11}$$

จากหลักการของตรีโกณมิติ

$$cos\ (x + y) = cos\ x \cos y \mp sinx\ siny$$

ทำให้ได้ดังนี้

$$cos\ (30^\circ - \theta) = \cos 30^\circ \cos\theta + \sin 30^\circ \sin\theta \tag{9.12}$$

$$cos\ (30^\circ + \theta) = \cos 30^\circ \cos\theta - \sin 30^\circ \sin\theta \tag{9.13}$$

แทนสมการ (9.12) และสมการ (9.13) ในสมการ (9.11)

จะได้ $$P_T = \sqrt{3}\,V_L\ I_L\ \cos\theta \tag{9.14}$$

การหาค่าเพาเวอร์แฟกเตอร์ หาได้โดยกำหนดให้

$$P_1 + P_2 = \sqrt{3}\,V_L\ I_L\ \cos\theta \tag{9.15}$$

และ $$P_1 - P_2 = V_L\ I_L\ cos\ (30^\circ - \theta) - V_L\ I_L\ cos\ (30^\circ + \theta)$$

จะได้ $$P_1 - P_2 = V_L\ I_L\ \sin\theta \tag{9.16}$$

นำสมการ (9.16) หารด้วยสมการ (9.15)

$$\frac{P_1 - P_2}{P_1 + P_2} = \frac{V_L\ I_L\ \sin\theta}{\sqrt{3}\,V_L\ I_L\ \cos\theta}$$

$$\frac{P_1 - P_2}{P_1 + P_2} = \frac{\tan\theta}{\sqrt{3}}$$

จะได้ $$\tan\theta = \sqrt{3}\,\frac{(P_1 - P_2)}{(P_1 + P_2)}$$

$$\theta = tan^{-1}\left(\sqrt{3}\,\frac{(P_1 - P_2)}{(P_1 + P_2)}\right) \tag{9.17}$$

เพาเวอร์แฟกเตอร์ = $cos\ \theta$

ศูนย์บรรณสารและการเรียนรู้ คณะนวัตกรรมการเรียนรู้ มหาวิทยาลัยพะเยา

2) เมื่อมุมเฟสของโหลดเปลี่ยนแปลง

ก) *เมื่อ* $\theta = 0°$

$$P_1 - P_2 = V_L I_L \cos 30°$$

จะได้ $$P_T = P_1 + P_2 \quad (9.18)$$

ข) *เมื่อ* $\theta = 60°$

$$P_1 = V_L I_L \cos(-30°) = V_L I_L \cos 30°$$

และ $P_2 = 0$

จะได้ $$P_T = P_1 + 0 = P_1 \quad (9.19)$$

ค) เมื่อ $\theta = 90°$ โหนดเป็น L หรือ C เพียงอย่างเดียว

$$P_1 = V_L I_L \cos(30° - 90°) = V_L I_L \cos 30°$$

และ $$P_2 = V_L I_L \cos(30° + 90°) = -V_L I_L \cos 30°$$

จะได้ $$P_T = P_1 + P_2 = 0 \quad (9.20)$$

วิธีวัตต์มิเตอร์ 2 เครื่อง เป็นวิธีที่นิยมใช้มาก เพราะต่อวงจรง่าย ประหยัดอุปกรณ์ และสามารถวัดกำลังไฟฟ้า 3 เฟสได้ ทั้งกรณีโหลดสมดุลและไม่สมดุล ไม่ว่าจะเป็นการต่อโหลดแบบวายหรือเดลตา

ตัวอย่างที่ 9.4 โหลด 3 เฟสแบบวายสมดุลใช้วิธีวัตต์มิเตอร์ 2 เครื่อง วัดค่ากำลังไฟฟ้า 3 เฟส โดยที่วัตต์มิเตอร์ตัวหนึ่งอ่านค่าได้ 1,800 W และวัตต์มิเตอร์ตังที่สองอ่านค่าได้ 900 W จงคำนวณหาค่าของกำลังไฟฟ้า 3 เฟส และเพาเวอร์แฟกเตอร์ของโหลด 3 เฟส

วิธีทำ หากำลังไฟฟ้า 3 เฟส จากสมการที่ (9.18)

$$P_T = P_1 + P_2 = 1{,}800\ W + 900\ W$$

$$P_T = 2{,}700\ W$$ **ตอบ**

หาเพาเวอร์แฟกเตอร์ *(cos* θ*)* ของโหลด *3* เฟส

จากสมการที่ (9.17)

$$\theta = tan^{-1}\left(\sqrt{3}\frac{(P_1 - P_2)}{(P_1 + P_2)}\right) = tan^{-1}\left(\sqrt{3}\frac{(900\ W)}{(2{,}700\ W)}\right)$$

$$= tan^{-1}(\mathbf{0.577}) \quad = 29.98°$$

เมื่อ $\theta = 29.98°$

$$\cos\theta = \cos 29.98° = 0.87$$

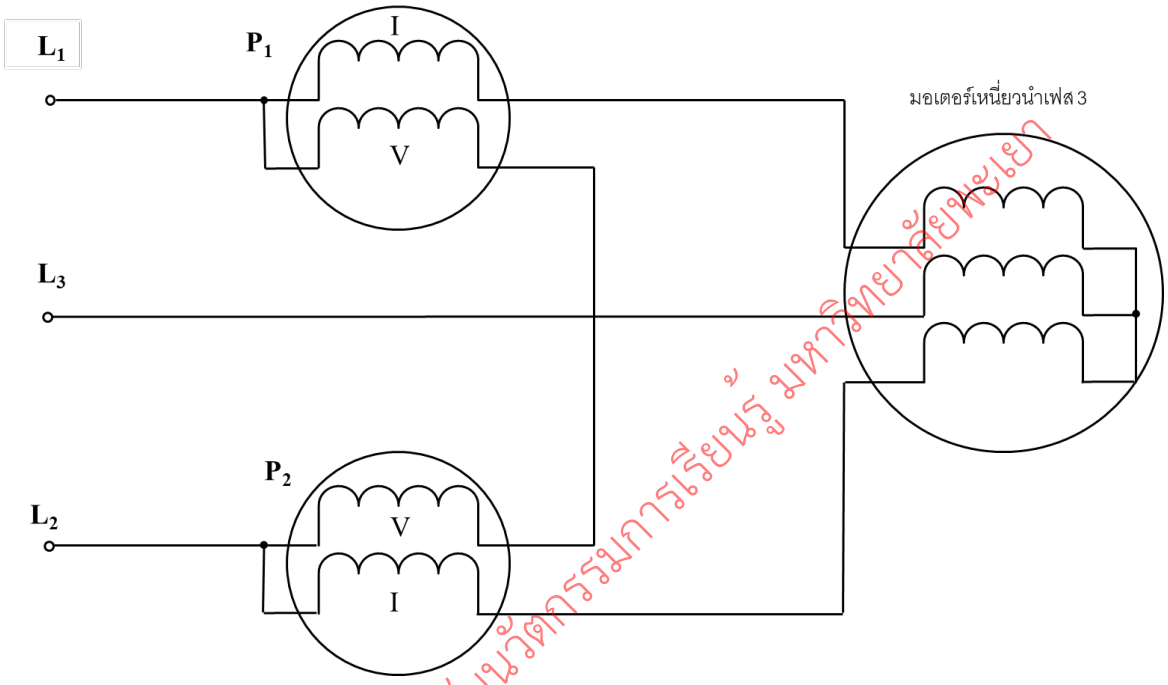
นั่นคือ เพาเวอร์แฟกเตอร์ของโหลด 3 เฟส มีค่าเท่ากับ 0.87 **ตอบ**

ศูนย์บรรณสารและการเรียนรู้ สถาบันวิทยบริการและการเรียนรู้ มหาวิทยาลัยพะเยา

ตัวอย่างที่ 9.5 มอเตอร์แบบเหนี่ยวนำ 3 เฟส ขนาด 10 แรงม้าต่อกับระบบไฟฟ้า 3 เฟส 3 สาย มีแรงดัน V_L= 380 V ดังรูปที่ 9.11 ขนะมอเตอร์หมุนที่ไม่มีโหลดวัดค่า I_L = 5 A ที่ P.F. = 0.3 ล้าหลัง แต่ถ้าโหลดทำงานเต็มพิกัดจะมี P.F. = 0.9 ล้าหลังและมีประสิทธิภาพ 85 % จงคำนวณหาค่า

ก) จงหาค่าที่วัตต์มิเตอร์ P_1 และ P_2 อ่านได้เมื่อสภาวะไม่มีโหลด

ข) จงหาค่าที่วัตต์มิเตอร์ P_1 และ P_2 อ่านได้เมื่อโหลดเต็มพิกัด



รูปที่ 9.18 มอเตอร์แบบเหนี่ยวนำ 3 เฟส

วิธีทำ

ก) หาค่าที่วัตต์มิเตอร์ P_1 และ P_2 อ่านได้ เมื่อไม่มีโหลด

โจทย์กำหนดให้ cos θ = 0.3 (ขณะไม่มีโหลด)

ดังนั้นจะได้

$$\theta = cos^{-1}(0.3) = 72.54°$$

จากสมการที่ (9.9)

$$P_1 = V_L\ I_L\ cos\ (30° - \theta) = 380V \times 5A\ cos\ (30° - 72.54°)$$

$$= 380V \times 5A\ cos\ (42.54°)$$

$$P_1 = 1{,}399.93\ W$$ **ตอบ**

และจากสมการที่ (9.10)

$$P_2 = V_L\ I_L\ cos\ (30° + \theta) = 380V \times 5A\ cos\ (30° + 72.54°)$$

$$= 380V \times 5A\ cos\ (102.54°)$$

ศูนย์บรรณสารและการเรียนรู้ สถาบันนวัตกรรมการเรียนรู้ มหาวิทยาลัยพะเยา

$$P_2 = -412.53 \text{ W}$$ **ตอบ**

ข) หาค่าที่วัตต์มิเตอร์ P_1 และ P_2 อ่านได้ เมื่อสภาวะโหลดเต็มพิกัด

$$P_{มอเตอร์} = (10 \text{ hp}) \times \frac{746W}{0.85} = 8{,}776.47 \text{ W}$$

จากสมการ (9.14) เมื่อ

$$P_{มอเตอร์} = P_T$$

จะได้ $P_{มอเตอร์} = \sqrt{3}\, V_L\, I_L \cos\theta$

ดังนั้น $8{,}776.47 \text{ W} = \sqrt{3} \times 380V \times I_L \times 0.9$

$$I_L = \frac{8{,}776.47\ W}{\sqrt{3} \times 380V \times 0.9} = 14.81\ A$$

โจทย์กำหนดให้ cos θ = 0.9 (ขณะโหลดเต็มพิกัด)

จะได้ $\theta = cos^{-1}(0.9) = 25.84°$

จากสมการ (9.9)

$$P_1 = V_L\ I_L\ cos\ (30° - \theta) = 380\text{V} \times 14.81 cos\ (30° - 25.84°)$$

$$= 380\text{V} \times 14.81\text{A} \times cos\ (4.16°)$$

$$P_1 = 5{,}612.97 \text{ W}$$ **ตอบ**

และจากสมการที่ (9.10)

$$P_2 = V_L\ I_L\ cos\ (30° + \theta) = 380\text{V} \times 14.81\text{A}\ cos\ (30° + 25.84°)$$

$$= 380\text{V} \times 14.81\text{A}\ cos\ (55.84°)$$

$$P_2 = 3{,}160.04 \text{ W}$$ **ตอบ**

9.4.3 หลักการทำงานของวัตต์มิเตอร์ (Wattmeter)

หลักการทำงานของวัตต์มิเตอร์ (Wattmeter) คือ การวัดกำลังไฟฟ้า (Power) ที่ใช้ในวงจรไฟฟ้า โดยทั่วไปใช้วัดกำลังไฟฟ้าจริง (Real Power) หน่วยเป็นวัตต์ (Watt, W) ซึ่งมีหลักการทำงานพื้นฐานดังนี้

ส่วนประกอบหลักของวัตต์มิเตอร์แบบทั่วไป (โดยเฉพาะชนิดแบบขดลวดเคลื่อนที่ Electrodynamometer type)

1. ขดลวดกระแส (Current Coil) ต่อแบบอนุกรมกับโหลด รับกระแสไฟฟ้าที่จะวัด
2. ขดลวดแรงดัน (Voltage Coil) ต่อแบบขนานกับโหลด รับแรงดันไฟฟ้าที่จะวัด

ศูนย์บรรณสารและการเรียนรู้ สถาบันเทคโนโลยีการเรียนรู้ มหาวิทยาลัยพะเยา

3. ตัวชี้และสเกล แสดงค่ากำลังไฟฟ้าเป็นวัตต์

หลักการทำงาน

เมื่อมีแรงดันและกระแสในวงจร

- ขดลวดแรงดัน จะสร้างสนามแม่เหล็กตามแรงดันไฟฟ้า
- ขดลวดกระแส จะสร้างสนามแม่เหล็กตามกระแสไฟฟ้า
- ทั้งสองสนามแม่เหล็กจะมีปฏิสัมพันธ์กัน เกิดแรงบิดหมุนให้เข็มชี้เคลื่อนที่ไป
- ค่าที่อ่านได้บนหน้าปัดจะ แปรผันตรงกับผลคูณของแรงดัน กระแส และค่าคงที่ของเครื่อง ซึ่งในกรณีของกำลังจริง คือ

$$P = V\ I\ cos\phi \qquad (9.21)$$

โดยที่

P คือ กำลังไฟฟ้าจริง (วัตต์)

V คือ แรงดันไฟฟ้า

I คือ กระแสไฟฟ้า

cos**φ** คือ เพาเวอร์แฟกเตอร์ (Power factor)

ใช้งานกับไฟฟ้ากระแสตรง (DC) และกระแสสลับ (AC)

- DC ไม่มีเพาเวอร์แฟกเตอร์ ค่ากำลังคือ $P = V \cdot I$
- AC ต้องคำนึงถึงเฟสระหว่างแรงดันและกระแส ใช้ $P = V\ I\ cos\phi$

วงจรไฟฟ้ากำลังสูง (High Power Electrical Circuit) คือ วงจรไฟฟ้าที่เกี่ยวข้องกับการจ่ายหรือใช้งานพลังงานไฟฟ้าในปริมาณ มาก ทั้งในแง่ของ แรงดันไฟฟ้า (Voltage), กระแสไฟฟ้า (Current) หรือ กำลังไฟฟ้า (Power) ซึ่งโดยทั่วไปมักพบในงานอุตสาหกรรม สถานีไฟฟ้า ระบบส่งจ่ายไฟฟ้า และเครื่องจักรขนาดใหญ่

ลักษณะสำคัญของวงจรไฟฟ้ากำลังสูง คือ แรงดันไฟฟ้าสูง อาจสูงกว่า 1,000 โวลต์ ขึ้นอยู่กับเกณฑ์ของแต่ละประเทศ เช่น แรงดันระดับแรงสูง = High Voltage กระแสไฟฟ้าสูง ใช้จ่ายกระแสในระดับสูงเพื่อจ่ายพลังงานให้กับโหลดขนาดใหญ่ กำลังไฟฟ้าสูง เช่น 10 กิโลวัตต์ (kW), 100 kW หรือมากกว่านั้น

ความปลอดภัย คือ วงจรไฟฟ้ากำลังสูงมีอันตรายสูงมาก ทั้งจากไฟฟ้าช็อต อาร์กไฟฟ้า (arc flash) และความร้อน ต้องมี อุปกรณ์ป้องกัน เช่น เซอร์กิตเบรกเกอร์แรงสูง รีเลย์ป้องกัน ระบบกราวด์ และอุปกรณ์นิรภัยต่าง ๆ การทำงานต้องเป็นผู้เชี่ยวชาญ มีใบอนุญาต และมาตรฐานตามกฎหมาย เช่น มอก.

ศูนย์วิทยทรัพยากรและการเรียนรู้ สถาบันนวัตกรรมการเรียนรู้ มหาวิทยาลัยพะเยา

หรือ IEC ตัวอย่างระบบที่ใช้วงจรไฟฟ้ากำลังสูง เช่น ระบบจ่ายไฟฟ้าแรงสูง (High-voltage transmission systems) เครื่องจักรโรงงานอุตสาหกรรม หม้อแปลงไฟฟ้าขนาดใหญ่ มอเตอร์ไฟฟ้ากำลังสูง และ ระบบผลิตไฟฟ้า หรือ โรงไฟฟ้า

9.4.4 หม้อแปลงแรงดันไฟฟ้า หรือ หม้อแปลงไฟฟ้า (Voltage Transformer หรือ Power Transformer) คือ อุปกรณ์ไฟฟ้า ที่ใช้สำหรับ แปลงค่าระดับแรงดันไฟฟ้า จากค่าแรงดันหนึ่งไปยังอีกค่าแรงดันหนึ่ง โดยที่ความถี่ไฟฟ้าไม่เปลี่ยนแปลง และ ไม่มีการเปลี่ยนรูปของพลังงานไฟฟ้าเป็นพลังงานประเภทอื่น

หลักการทำงานของหม้อแปลงไฟฟ้า หม้อแปลงทำงานโดยใช้หลักการ การเหนี่ยวนำแม่เหล็ก (Electromagnetic Induction)

- มี ขดลวดปฐมภูมิ (Primary Coil) และ ขดลวดทุติยภูมิ (Secondary Coil) พันอยู่รอบแกนเหล็ก (core)
- เมื่อจ่ายไฟฟ้ากระแสสลับ (AC) เข้าที่ขดลวดปฐมภูมิ จะเกิด สนามแม่เหล็กสลับ ทำให้เกิดแรงดันเหนี่ยวนำที่ขดลวดทุติยภูมิ
- ถ้ามีจำนวนรอบของขดลวดต่างกัน จะทำให้แรงดันที่ได้เปลี่ยนไป

สูตรพื้นฐานในการแปลงแรงดัน

$$\frac{V_s}{V_p} = \frac{N_s}{N_p} \tag{9.22}$$

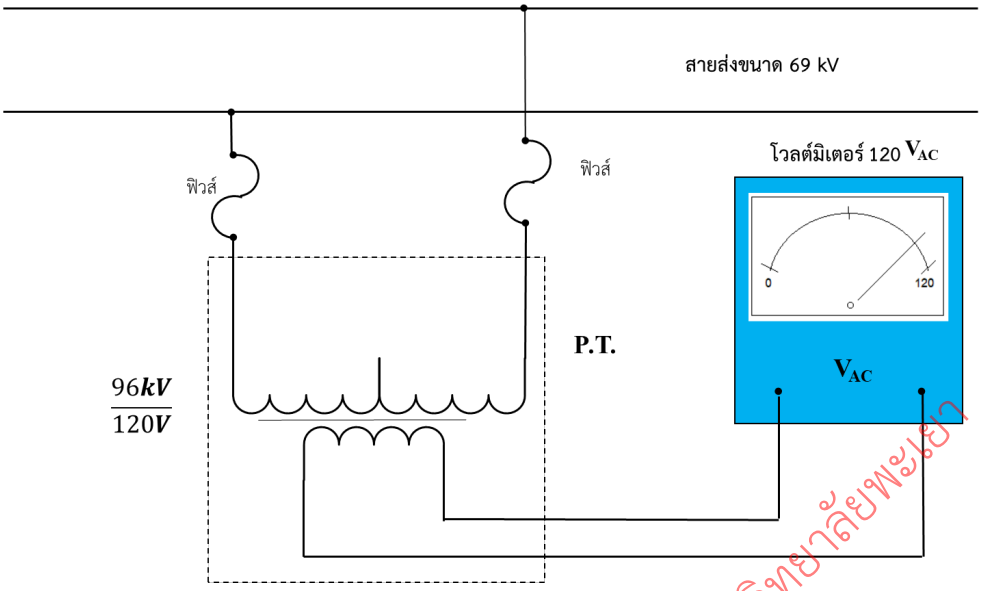
โดยที่

V_p คือ แรงดันขดลวดปฐมภูมิ
V_s คือ แรงดันขดลวดทุติยภูมิ
N_p คือ จำนวนรอบของขดลวดปฐมภูมิ
N_s คือ จำนวนรอบของขดลวดทุติยภูมิ

ประเภทของหม้อแปลงแรงดันไฟฟ้า

1. หม้อแปลงเพิ่มแรงดัน (Step-Up Transformer) เพิ่มแรงดันจากต่ำไปสูง
2. หม้อแปลงลดแรงดัน (Step-Down Transformer) ลดแรงดันจากสูงไปต่ำ
3. หม้อแปลงแรงดันสำหรับการวัด (Voltage Transformer – VT) ใช้ในงานวัดและป้องกัน
4. หม้อแปลงกระแส (Current Transformer – CT) สำหรับวัดกระแสไฟฟ้า (แปลงกระแส ไม่ใช่แรงดัน)

ศูนย์บรรณสารและการเรียนรู้ สถาบันนวัตกรรมการเรียนรู้ มหาวิทยาลัยพะเยา



รูปที่ 9.19 การต่อหม้อแปลงแรงดันไฟฟ้าเพื่อวัดแรงดันไฟฟ้าเพื่อใช้ในสายส่งขนาด 69 kV

จากรูปที่ 9.19 การต่อหม้อแปลงแรงดันไฟฟ้า (VT หรือ PT) ช่วยแยกวงจรแรงดันสูงออกจากวงจรแรงดันต่ำที่ต่อกับมิเตอร์ เพื่อความปลอดภัยและป้องกันความเสียหายต่อมิเตอร์ ตัวอย่างเช่น หม้อแปลงขนาด 500 VA อัตราส่วน 69,000V / 120V หรือ 575:1 หากมิเตอร์แสดงค่าแรงดันใด ๆ ค่าจริงของแรงดันในสายส่งจะเท่ากับค่าที่อ่านได้ × 575 ดังแสดงในรูปที่ 9.20 ซึ่งเป็นหม้อแปลงแรงดันที่ติดตั้งใช้งานจริงในสถานีไฟฟ้า



รูปที่ 9.20 หม้อแปลงแรงดันไฟฟ้า

ที่มา: https://fowlerproducts.com/สืบค้นเมื่อวันที่ 24/5/2568

ศูนย์บรรณสารและการเรียนรู้ สถาบันนวัตกรรมการเรียนรู้ มหาวิทยาลัยพะเยา

9.4.5 หม้อแปลงกระแสไฟฟ้า

หม้อแปลงกระแสไฟฟ้า หรือเรียกเต็มว่า หม้อแปลงกระแส (Current Transformer: CT) คือ อุปกรณ์ไฟฟ้าที่ใช้ในการ แปลงค่ากระแสไฟฟ้าให้มีค่าต่ำลง เพื่อให้สามารถนำไปใช้กับเครื่องมือวัด รีเลย์ ป้องกัน หรือระบบควบคุมต่าง ๆ ได้อย่างปลอดภัย

จุดประสงค์หลักของหม้อแปลงกระแส

1. วัดกระแสไฟฟ้าสูง ในระบบไฟฟ้าโดยไม่ต้องต่อเครื่องมือวัดเข้ากับสายไฟโดยตรง
2. แยกวงจรวัดออกจากวงจรกำลัง เพื่อความปลอดภัย
3. ส่งสัญญาณไปยังอุปกรณ์ป้องกัน เช่น รีเลย์กระแสเกิน, รีเลย์ป้องกันการลัดวงจร

หลักการทำงานของ CT

หม้อแปลงกระแสทำงานตามหลัก การเหนี่ยวนำแม่เหล็ก (เหมือนหม้อแปลงทั่วไป)

- กระแสไฟฟ้าใน ขดลวดปฐมภูมิ (Primary) จะสร้างสนามแม่เหล็กในแกนเหล็ก
- สนามแม่เหล็กนี้จะไปเหนี่ยวนำให้เกิดกระแสใน ขดลวดทุติยภูมิ (Secondary)
- กระแสที่ได้จะ แปรผันตามอัตราส่วนของจำนวนรอบของขดลวด และมีขนาดเล็กลง เช่น

$$\frac{I_P}{I_S} = \frac{N_s}{N_p} \tag{9.23}$$

โดยที่

Ip คือ กระแสในขดปฐมภูมิ

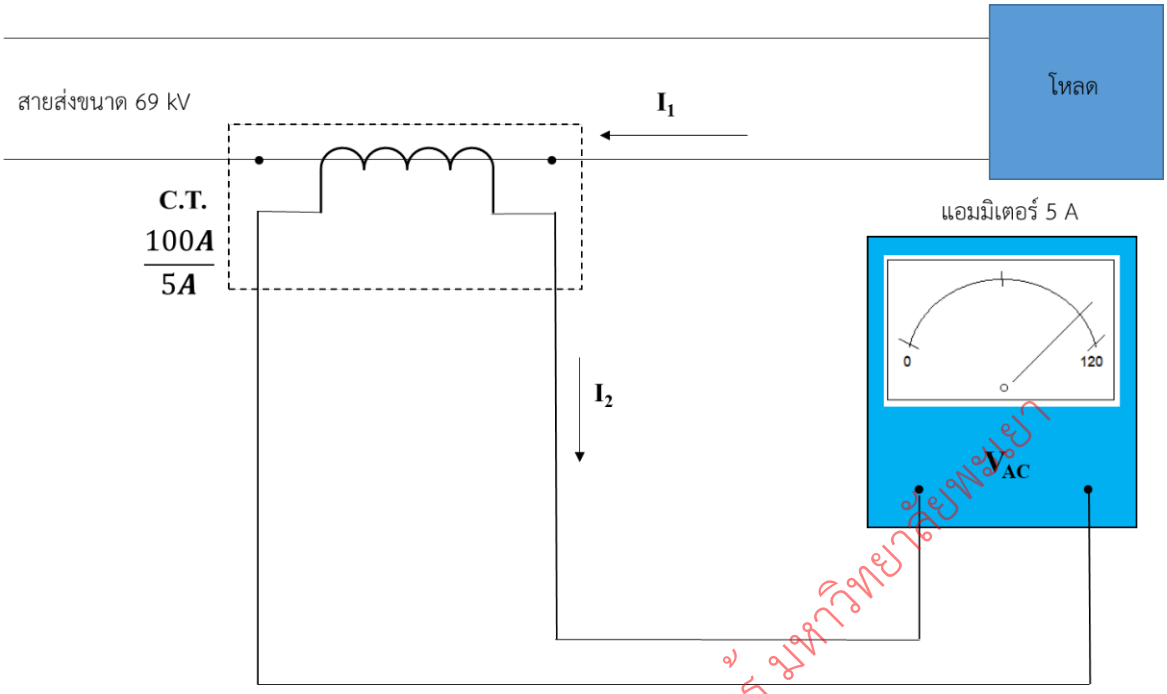
Is คือ กระแสในขดทุติยภูมิ

Np, Ns คือ จำนวนรอบของขดลวด

ตัวอย่างอัตราส่วนหม้อแปลงกระแส เช่น หม้อแปลง CT อัตราส่วน 500 A : 5 A หมายความว่า หากกระแสจริงในระบบคือ 500 A เครื่องวัดจะเห็นเพียง 5 A

ข้อควรระวัง ขดลวดทุติยภูมิห้ามเปิดวงจร (open circuit) เพราะจะทำให้เกิดแรงดันสูงมากที่ปลายขดลวด อันตรายถึงชีวิตและทำให้ CT เสียหาย และ ต้องต่อโหลดให้เหมาะสม เช่น แอมมิเตอร์ รีเลย์ หรือ ภาระต้านทานจำเพาะ

ศูนย์บรรณสารและการเรียนรู้ สถาบันนวัตกรรมการเรียนรู้ มหาวิทยาลัยพะเยา



รูปที่ 9.21 การต่อหม้อแปลงกระแสไฟฟ้าพิกัด 100A/5A วัดกระแสไฟฟ้าในสายส่ง 69kV

จากรูปที่ 9.21 แสดงการต่อหม้อแปลงกระแสไฟฟ้าพิกัด 100A/5A วัดกระแสไฟฟ้าในสายส่ง 69kV โดยการต่อขดลวดปฐมภูมิเข้ากับสายส่งไฟฟ้าแรงสูง 69kV และขดลวดทุติยภูมิต่อเข้ากับแอมมิเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับพิกัดสูงสุด 5A ดังนั้นอัตราส่วนของการแปลงกระแสไฟฟ้า คือ 100A/5A = 20 : 1 หมายความว่า หากกระแสไฟฟ้าที่แสดงที่แอมมิเตอร์มีค่าเท่าไร จะต้องคูณด้วย 20 จึงจะเป็นกระแสไฟฟ้าในสายส่งที่ไหลผ่านโหลดจริง ๆ รูปที่ 9.22 หม้อแปลงกระแสไฟฟ้าที่ใช้งานจริง



รูปที่ 9.22 หม้อแปลงกระแสไฟฟ้า

ที่มา: https://nongcom-electrical.blogspot.com/2015/08/current-transformer-ct.html สืบค้นเมื่อวันที่ 24/5/2568

ศูนย์บรรณสารและการเรียนรู้ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง มหาวิทยาลัยพะเยา

ตัวอย่างที่ 9.6 หม้อแปลงกระแสไฟฟ้ามีขนาดพิกัด 60VA 600A/5A วัดกระแสในสายส่งไฟฟ้าแรงสูง 40 kV 50 Hz มีกระแสไฟฟ้าในสายส่ง 250A จงคำนวณหากระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านแอมมิเตอร์ต่อด้านขดลวดทุติยภูมิของหม้อแปลงกระแสไฟฟ้า

วิธีทำ อัตราส่วนกระแสไฟฟ้า คือ กระแสที่ขดลวดปฐมภูมิ : กระแสที่ขดลวดทุติยภูมิ คือ

$$\frac{I_1}{I_2} = \frac{600A}{5A} = 120$$

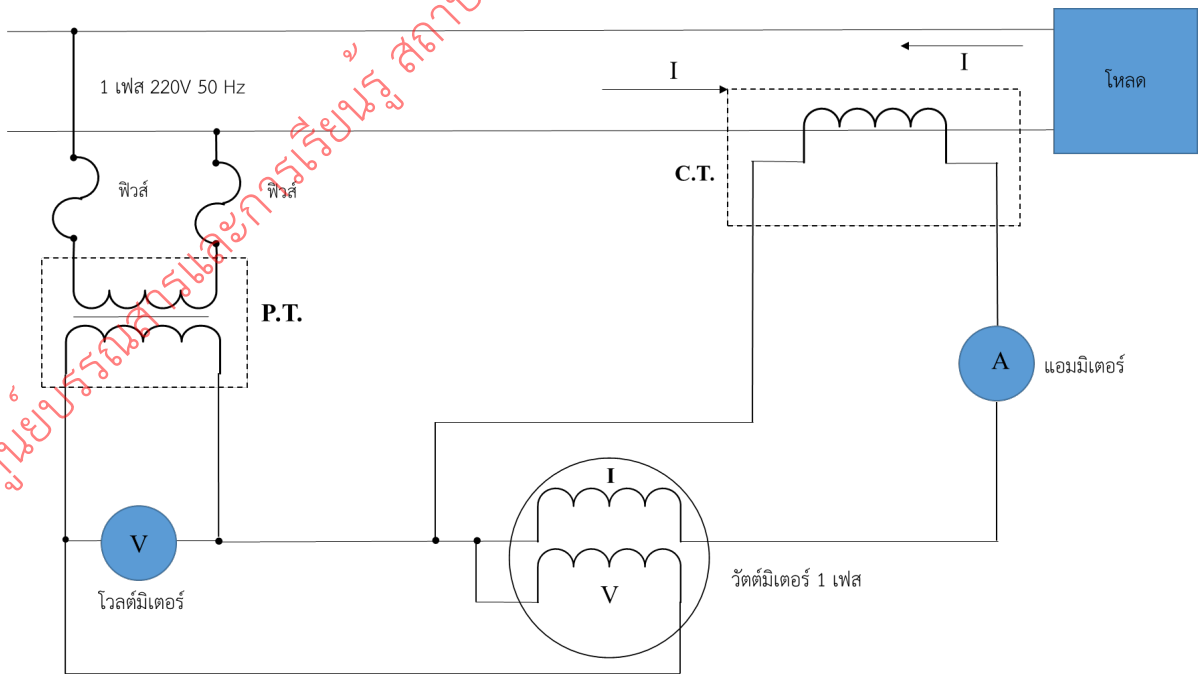
จะได้ $$I_2 = \frac{I_1}{120} = \frac{250A}{120}$$

$$I_2 = 2.08A$$

ดังนั้นกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านแอมมิเตอร์ที่ต่อด้านขดลวดทุติยภูมิมีค่า 2.08 A **ตอบ**

9.4.6 การต่อหม้อแปลงแรงดันไฟฟ้าและหม้อแปลงกระแสไฟฟ้าเพื่อวัดกำลังไฟฟ้า

การต่อ หม้อแปลงแรงดันไฟฟ้า (Voltage Transformer – VT) และ หม้อแปลงกระแสไฟฟ้า (Current Transformer – CT) เพื่อ วัดกำลังไฟฟ้า เป็นวิธีมาตรฐานที่ใช้ในระบบไฟฟ้ากำลัง โดยเฉพาะในระบบ แรงดันสูง ที่ไม่สามารถต่อเครื่องวัดโดยตรงกับสายไฟได้ เนื่องจากอันตรายและข้อจำกัดของอุปกรณ์ที่ทำการวัด ตัวอย่างวงจรดังรูปที่ 9.23 เป็นวงจรการต่อหม้อแปลงแรงดันไฟฟ้าและหม้อแปลงกระแสไฟฟ้าในระบบ 1 เฟส เพื่อวัดกำลังไฟฟ้าของโหลด



รูปที่ 9.23 การต่อ P.T. และ C.T. กับวัตต์มิเตอร์ 1 เฟส

ศูนย์บรรณสารและการเรียนรู้ สถาบันวิจัยการเรียนรู้ มหาวิทยาลัยพะเยา

9.4.7 เพาเวอร์แฟกเตอร์มิเตอร์

เพาเวอร์แฟกเตอร์มิเตอร์ (Power Factor Meter) คือ เครื่องมือที่ใช้ในการวัดค่าตัวประกอบกำลัง (Power Factor: PF) ของระบบไฟฟ้ากระแสสลับ (AC) โดยตัวประกอบกำลังเป็นค่าที่แสดงถึงประสิทธิภาพในการใช้พลังงานของโหลดไฟฟ้า ซึ่งมีค่าตั้งแต่ 0 ถึง 1 หรือสามารถแสดงในรูปของมุมเฟสระหว่างแรงดันและกระแสไฟฟ้าก็ได้

หลักการทำงานของเพาเวอร์แฟกเตอร์มิเตอร์

เพาเวอร์แฟกเตอร์มิเตอร์จะวัดมุมเฟสระหว่างแรงดันไฟฟ้า (Voltage) และกระแสไฟฟ้า (Current) แล้วคำนวณเป็นค่า PF ตามสูตร

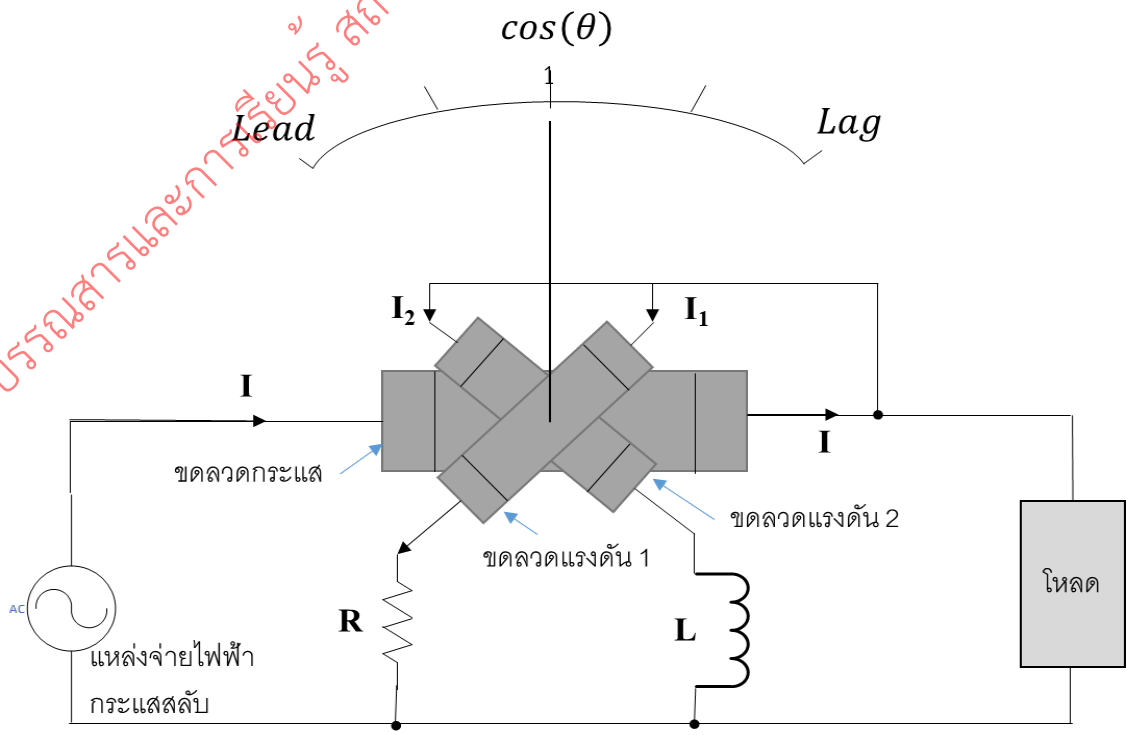
$$\text{Power Factor (PF)} = \cos(\theta) \qquad (9.24)$$

โดยที่

θ คือ มุมเฟสระหว่างแรงดันและกระแส

- หากกระแสและแรงดันอยู่ในเฟสเดียวกัน PF = 1 (โหลดเป็นค่าต้านทานล้วน)

- หากมีมุมเฟสมาก PF จะลดลง (โหลดเป็นแบบเหนี่ยวนำหรือเก็บประจุ)



รูปที่ 9.24 วงจรภายในและการต่อใช้งานเพาเวอร์แฟกเตอร์มิเตอร์ 1 เฟส

ศูนย์บรรณสารและการเรียนรู้ สถาบันนวัตกรรมการเรียนรู้ มหาวิทยาลัยพะเยา

จากรูปที่ 9.24 วงจรภายในและการต่อใช้งานเพาเวอร์แฟกเตอร์มิเตอร์แบบ 1 เฟส ซึ่งแสดงให้เห็นหลักการทำงานของมิเตอร์วัดค่าตัวประกอบกำลัง (Power Factor Meter) สำหรับระบบไฟฟ้ากระแสสลับเฟสเดียว โดยสามารถอธิบายได้ดังนี้ องค์ประกอบของวงจรในภาพ แหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสสลับ (AC Source) เป็นแหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับให้กับวงจร โหลด (Load) เป็นอุปกรณ์หรือวงจรที่บริโภคพลังงาน อาจเป็นโหลดที่มีความต้านทาน (R) ความเหนี่ยวนำ (L) หรือทั้งสองอย่างรวมกัน ซึ่งส่งผลต่อค่ามุมเฟส (θ) R (ตัวต้านทาน)ใช้สร้างเฟสอ้างอิงของกระแส L (ขดลวดเหนี่ยวนำ) ใช้สร้างเฟสอ้างอิงของแรงดัน ขดลวดภายในมิเตอร์ ขดลวดกระแส (Current Coil) ต่ออนุกรมกับโหลด กระแสไฟฟ้าจากแหล่งจ่ายจะไหลผ่านขดลวดนี้ และ ขดลวดแรงดัน 1 และ 2 (Voltage Coils) คือ ต่อคร่อมแรงดันโดยผ่าน R และ L เพื่อสร้างเฟสต่างกัน I, I_1, I_2 ซึ่ง I คือ กระแสรวมในวงจร ส่วน I_1 และ I_2 คือ กระแสในขดลวดแรงดันทั้งสองเส้น

หลักการทำงานของมิเตอร์

- มิเตอร์อาศัยแรงผลต่างเฟสระหว่างแรงดันและกระแส (θ) เพื่อกำหนดค่า **cos(θ)** ซึ่งคือ Power Factor
- เข็มของมิเตอร์จะหมุนไปทางซ้ายหรือขวา ขึ้นอยู่กับว่าโหลดมีลักษณะเป็นแบบ นำ (Lead) หรือหน่วง (Lag)

กรณีที่

- cos(θ) = 1 คือ แรงดันและกระแสอยู่ในเฟสเดียวกัน (โหลดเป็นค่าต้านทานล้วน) PF = 1
- cos(θ) < 1 และกระแสช้ากว่าแรงดัน (Lagging) คือ โหลดเป็นแบบเหนี่ยวนำ
- cos(θ) < 1 และกระแสเร็วกว่าแรงดัน (Leading) คือ โหลดเป็นแบบเก็บประจุ

- เครื่องวัดเพาเวอร์แฟกเตอร์แบบนี้ใช้หลักการสร้างสนามแม่เหล็กจากขดลวดแรงดันและขดลวดกระแส
- การหมุนของเข็มบนสเกล **cos(θ)** จะบอกลักษณะโหลดว่าเป็นแบบ Lead หรือ Lag และมีค่าตัวประกอบกำลังเท่าไร
- เครื่องมือนี้เหมาะสำหรับการติดตั้งในระบบไฟฟ้า 1 เฟส เพื่อใช้ตรวจสอบคุณภาพพลังงาน

ประเภทของเพาเวอร์แฟกเตอร์มิเตอร์

1. แบบเข็ม (Analog Power Factor Meter)
    - แสดงค่า PF ด้วยเข็มที่หมุนบนหน้าปัด
    - มักใช้งานในตู้ควบคุมไฟฟ้า
    - ทนทานแต่ความแม่นยำไม่สูงเท่าระบบดิจิทัล
2. แบบดิจิทัล (Digital Power Factor Meter)
    - แสดงค่า PF แบบตัวเลขดิจิทัล
    - สามารถวัดค่าอื่น ๆ ได้ด้วย เช่น kW, kVA, PF, Hz

ศูนย์บรรณสารและการเรียนรู้ สถาบันนวัตกรรมการเรียนรู้ มหาวิทยาลัยพะเยา

- บางรุ่นสามารถเชื่อมต่อกับระบบ SCADA หรือส่งข้อมูลออกทางพอร์ตสื่อสารได้

3. **แบบพกพา (Portable Power Analyzer / Clamp Meter with PF Function)**
   - ใช้หนีบสายไฟเพื่อตรวจสอบค่า PF ได้สะดวกโดยไม่ต้องตัดวงจร
   - นิยมใช้ในงานตรวจสอบและซ่อมบำรุง

ประโยชน์ของเพาเวอร์แฟกเตอร์มิเตอร์

- ประเมินคุณภาพการใช้พลังงานในโรงงานอุตสาหกรรม
- วางแผนการปรับปรุงระบบไฟฟ้า เช่น การติดตั้ง **Capacitor Bank**
- ลดการสูญเสียในสายไฟและหม้อแปลง
- ลดค่าปรับจากการไฟฟ้าในกรณีที่ PF ต่ำ

ตัวอย่างที่ 9.7 การคำนวณการลดความสูญเสียในสายไฟฟ้า มอเตอร์เหนี่ยวนำ 3 เฟส 380 V ขณะ Full Load กระแส 75 A P.F. = 0.80 Lagging ติดตั้งห่างจากแหล่งจ่าย 160 m ความต้านทานของสายไฟฟ้าเส้นละ 0.064 Ω หากมีการปรับปรุงให้มีค่า PF = 0.95 แล้วการสูญเสียในสายไฟจะต่างกันอย่างไร

วิธีทำ 1) ก่อนปรับปรุง P.F. = 0.80 Lagging

การสูญเสียในสายไฟทั้ง 3 เส้น = $3I^2R$ =3 x 75^2x 0.064 Ω = 1,080 *W*

2) หลังปรับปรุง P.F. = 0.95 Lagging

$$\text{Loss reduction} = 1 - \left(\frac{\text{Original PF}}{\text{Improved PF}}\right)^2 \qquad (9.25)$$

ดังนั้น การสูญเสียลดลง $= 1 - \left(\frac{0.80}{0.95}\right)^2$ = 0.2908 หรือ 29.08 %

ดังนั้นหลังจากการปรับปรุงค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้า การสูญเสียในสายไฟทั้ง 3 เส้นจะลดลงได้เท่ากับ 0.2908 x 1,080 W = 314.12 W คิดเป็นค่าประมาณ 1 ใน 4 ของการสูญเสียเดิม **ตอบ**

ศูนย์วิทยทรัพยากร จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย สถาบันนวัตกรรมการเรียนรู้ มหาวิทยาลัยพะเยา

9.4.8 วัตต์อาวร์มิเตอร์

วัตต์อาวร์มิเตอร์ (Watt-hour Meter) คือ เครื่องมือที่ใช้วัดปริมาณพลังงานไฟฟ้า ที่ใช้ไปในระบบไฟฟ้ากระแสสลับ โดยค่าพลังงานที่วัดได้จะมีหน่วยเป็น กิโลวัตต์-ชั่วโมง (kWh)

หลักการทำงานวัตต์อาวร์มิเตอร์จะวัดพลังงานจากสูตรพื้นฐาน

พลังงาน (kWh) = กำลังไฟฟ้า (kW) × เวลา (ชั่วโมง) (9.27)

ทำงานโดยตรวจจับ แรงดันไฟฟ้า (Voltage) และ กระแสไฟฟ้า (Current) ที่ไหลผ่านเข้าเครื่องใช้ไฟฟ้า คำนวณ กำลังไฟฟ้า (Watt) และสะสมค่าตามระยะเวลาใช้งาน และ แสดงผลรวมเป็นตัวเลข (digital หรือ analog) ให้ผู้ใช้หรือการไฟฟ้าอ่านค่าเพื่อนำไปคำนวณค่าไฟ



(ก) (ข)

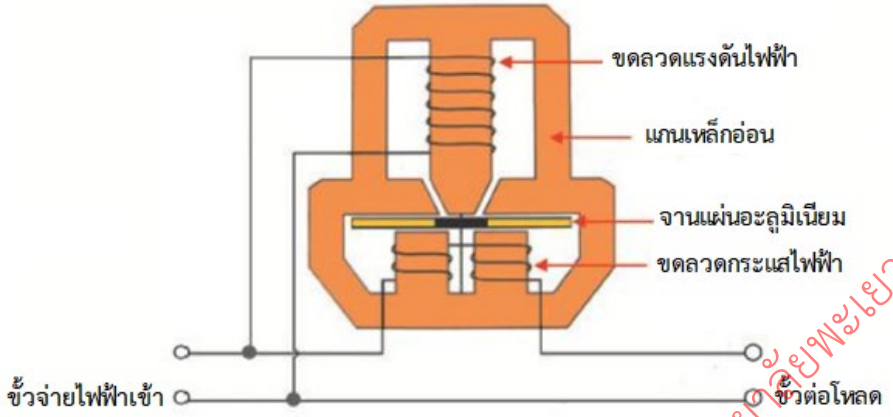
รูปที่ 9.25 วัตต์อาวร์มิเตอร์ 1 เฟส (ก) และ 3 เฟส (ข)

ที่มา: https://www.ohswa.or.th/17877489/สืบค้นเมื่อวันที่ 26/5/2568

จากรูปที่ 9.25 วัตต์อาวร์มิเตอร์ (Watt-hour Meter) ซึ่งใช้สำหรับวัดปริมาณพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ไป โดยแยกเป็นแบบ 1 เฟส และ 3 เฟส รูปที่ 9.25 (ก) วัตต์อาวร์มิเตอร์ 1 เฟส (1 Phase Watt-hour Meter)ใช้กับระบบไฟฟ้ากระแสสลับ 1 เฟส 2 สาย (สายไฟและสายนิวทรัล) เหมาะสำหรับ บ้านพักอาศัยขนาดเล็ก หรืออุปกรณ์ที่ใช้พลังงานไฟฟ้าน้อย มีสายเชื่อมต่อ 2 จุดหลัก สำหรับสายไฟเข้าและออก ทำหน้าที่วัดพลังงานไฟฟ้าในหน่วย กิโลวัตต์-ชั่วโมง (kWh) ที่ผู้ใช้ไฟฟ้าใช้งานไป ข้อดี ขนาดเล็ก ราคาถูก ติดตั้งง่าย 1 เฟส ใช้ในบ้านทั่วไป ใช้งานง่าย ราคาถูก รูปที่ 9.25 (ข) วัตต์อาวร์มิเตอร์ 3 เฟส (3 Phase Watt-hour Meter) ใช้กับระบบไฟฟ้ากระแสสลับ 3 เฟส 4 สาย เหมาะสำหรับ อาคารพาณิชย์ โรงงาน หรือเครื่องจักรที่ใช้ไฟมาก มีการเชื่อมต่อหลายจุดเพื่อแยกเฟส A, B, C และ Neutral วัดพลังงานไฟฟ้ารวมของทั้ง 3 เฟส และคำนวณเป็นหน่วย kWh เช่นเดียวกัน ข้อดี สามารถรองรับโหลดไฟฟ้าสูงกว่า 1

ศูนย์วิทยทรัพยากร สถาบันนวัตกรรมการเรียนรู้ มหาวิทยาลัยพะเยา

เฟส และเหมาะกับงานที่ต้องใช้ไฟฟ้าต่อเนื่อง 3 เฟส ใช้ในงานอุตสาหกรรมหรืออาคารที่ใช้ไฟมาก รองรับโหลดสูงกว่า



รูปที่ 9.26 โครงสร้างเบื้องต้นและลักษณะการต่อใช้งานอาร์มิเตอร์ 1 เฟส

ที่มา : http://ctc.chontech.ac.th/files/2207201717561529_24050910102511.pdf สืบค้นเมื่อวันที่ 26/5/2568

หลักการทำงานวัตต์อาวร์มิเตอร์

หลักการทำงานของขดลวดกระแสไฟฟ้าและขดลวดแรงดันไฟฟ้าทำหน้าที่สร้างสนามแม่เหล็กส่งผ่านไปยังจานอะลูมิเนียมที่วางอยู่ระหว่างขดลวดทั้งสอง ทำให้เกิดแรงดันไฟฟ้าเหนี่ยวนำและมีกระแสไหลวน (Eddy Current) เกิดขึ้นในจานอะลูมิเนียม แรงต้านระหว่างกระแสไหลวนและสนามแม่เหล็กของขดลวดแรงดันจะทำให้เกิดแรงผลักขึ้น ดังรูปที่ 9.26 โครงสร้างเบื้องต้นและลักษณะการต่อใช้งานอาวร์มิเตอร์ 1 เฟส

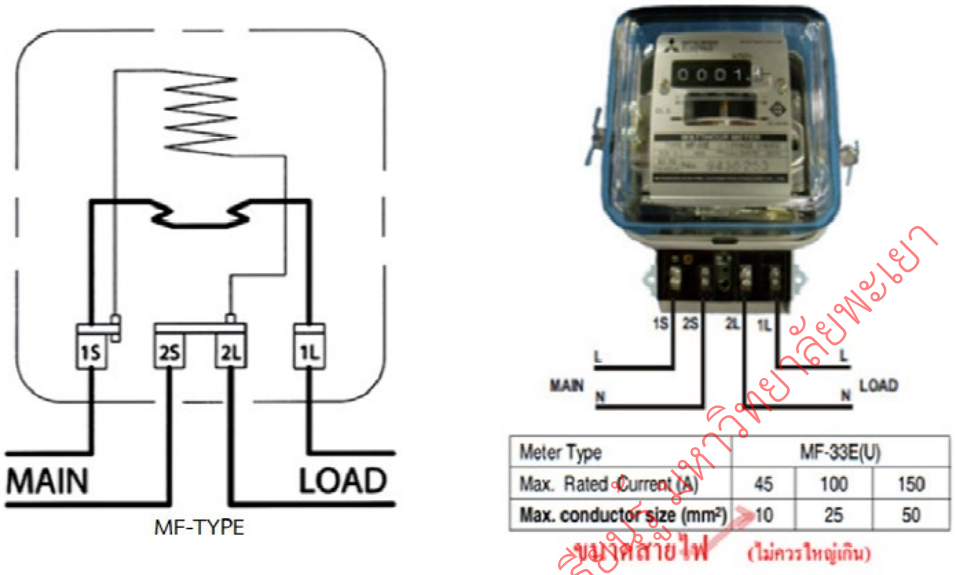
โครงสร้าง ของวัตต์ฮาวมิเตอร์ เฟสเดียว มีส่วนประกอบหลัก 5 ส่วน คือ (1)ขดลวดกระแสไฟฟ้า (Current coil) (2) ขดลวดแรงดันไฟฟ้า (Potential coil) (3) จานหมุนอลูมิเนียม (4) ชุดเฟืองขับตัวเลขแสดงผล (5) สิ่งห่อหุ้มและฐานของมิเตอร์ ส่วนการแสดงค่างานไฟฟ้าที่วัดได้นั้น เมื่อมีการใช้พลังงานไฟฟ้า จะทำให้เกิดเส้นแรง แม่เหล็กจากขอลวดทั้งสอง ส่งผลให้เกิดแม่เหล็กเหนี่ยวนำให้เกิดกระแสไหลวนในจาน หมุนอลูมิเนียม ทำให้จานหมุนได้และใช้ชุดเฟืองไปขับ ชุดตัวเลขหรือชุดเข็มชี้ให้แสดงค่างานไฟฟ้าที่วัดได้ออกมาบน ชุดตัวเลขหน้าปัด และจะมีขั้วต่อสายไฟฟ้า AC ทางเข้า สองสาย และทางออกต่อไปโหลด สองสาย สำหรับโครงสร้างของวัตต์ฮาวมิเตอร์ 3 เฟส ก็คล้ายคลึงกันเพียงแต่ขดลวดกระแส และแรงดัน จะเป็นขดลวด 3 เฟสเท่านั้น

การต่อใช้งานและการอ่านค่า

การต่อเครื่องวัดกิโลวัตต์ฮาวมิเตอร์ 1 เฟส ทำได้ดังรูปที่ 9.27 โดยต่อสายไฟเข้า AC สองสาย (L-N) เข้าที่ขั้ว 1S และ 2S และต่อขั้วไฟออกที่ขั้ว 1L และ 2L ไปยังโหลด และการอ่านค่า ให้ดูว่าเป็นเครื่องวัดกิโลวัตต์ฮาวมิเตอร์ แบบที่มีจุดทศนิยม หรือแบบที่ ไม่มีจุดทศนิยมและอ่านค่าตามตัวเลขที่

ศูนย์วิทยทรัพยากรเพื่อการเรียนรู้ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

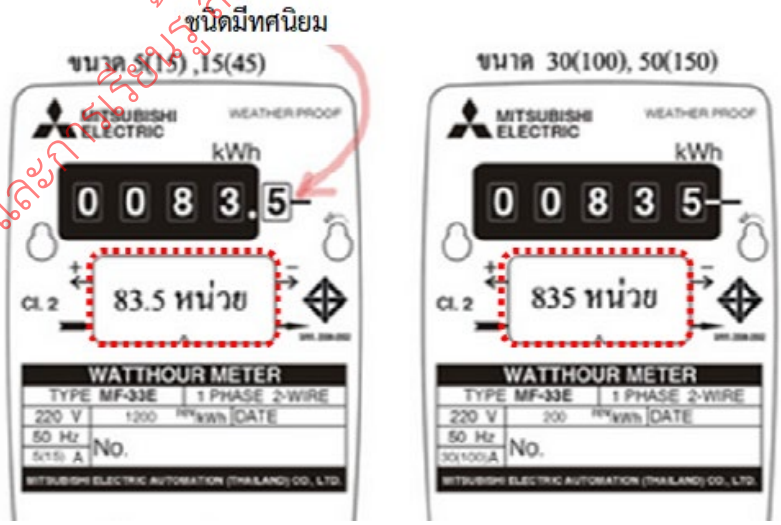
ปรากฏด้านหน้าของเครื่องวัด เช่น รูปที่ 9.27 (ก) อ่านค่าได้ 83.5 kWh(Unit : หน่วย) หรือในรูปที่ 9.27 (ข) อ่านค่าได้ 835 kWh(Unit : หน่วย) เป็นต้น



(ก) (ข)

รูปที่ 9.27 วงจรการต่อเครื่องวัดกิโลวัตต์ฮาวมิเตอร์ 1 เฟส

ที่มา: https://www.ohswa.or.th/17877489/สืบค้นเมื่อวันที่ 26/5/2568



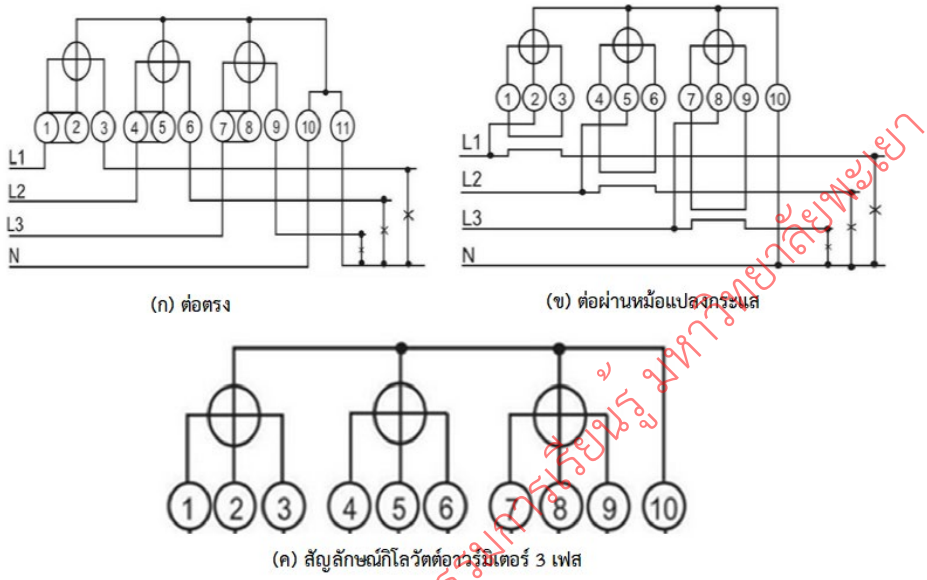
(ก) ชนิดมีทศนิยม (ข) ชนิดไม่มีทศนิยม

รูปที่ 9.27 การอ่านค่าเครื่องวัดกิโลวัตต์อาวร์มิเตอร์ 1 เฟส

ที่มา: https://www.ohswa.or.th/17877489/สืบค้นเมื่อวันที่ 26/5/2568

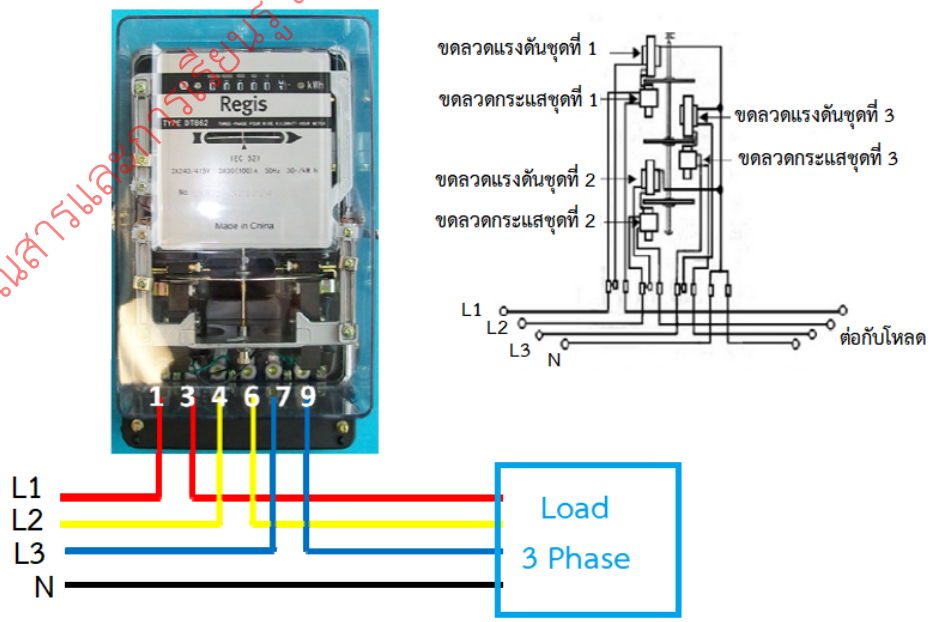
ศูนย์บรรณสารและการเรียนรู้ สถาบันนวัตกรรมการเรียนรู้ มหาวิทยาลัยพะเยา

การต่อเครื่องวัดกิโลวัตต์อาวร์มิเตอร์ 3 เฟส ทำได้ดังรูปที่ 9.28 โดยต่อสายไฟเข้า AC 4 เส้น (L1-L2-L3-N) เข้าที่ขั้ว 1-2,4-5,7-8,10-11 และต่อขั้วไฟออก3 เฟส 4 สาย ที่ ขั้ว 3-6-9-11 ไปยังโหลดในระบบ 3 เฟส รูป 9.28 (ก) เป็นวงจรต่อโดยตรงไม่ต้องผ่าน หม้อแปลงกระแสไฟฟ้า(Current transformer) และ รูป 9.28 (ข) เป็นวงจรต่อผ่านหม้อ แปลงกระแสไฟฟ้าสำหรับโหลดที่มีพิกัดกำลังไฟฟ้าสูงๆ เท่านั้น รูปที่ 9.28 (ค) สัญลักษณ์กิโลวัตต์อาวร์มิเตอร์ 3 เฟส



รูปที่ 9.28 การต่อเครื่องวัดกิโลวัตต์ฮาวมิเตอร์ 3 เฟสและสัญลักษณ์

ดัดแปลงมาจากที่มา: https://www.ohswa.or.th/17877489/สืบค้นเมื่อวันที่ 26/5/2568



รูปที่ 9.29 การต่อเครื่องวัดกิโลวัตต์ฮาวมิเตอร์ 3 เฟส

ที่มา: https://www.ohswa.or.th/17877489/สืบค้นเมื่อวันที่ 26/5/2568

ศูนย์บรรณสารและการเรียนรู้ สถาบันนวัตกรรมการเรียนรู้ มหาวิทยาลัยพะเยา

9.5 คุณลักษณะและพารามิเตอร์สำคัญของเครื่องวัดกำลังไฟฟ้า

9.5.1 ช่วงการวัด (Measurement Range)

- คือช่วงค่าของกำลังไฟฟ้าที่เครื่องสามารถวัดได้อย่างถูกต้อง เช่น 0–1000 W, 0–10 kW
- อาจรวมถึงช่วงของแรงดัน (Voltage Range) และกระแส (Current Range) ที่สัมพันธ์กับกำลังไฟฟ้า
- ควรเลือกเครื่องที่มีช่วงการวัดเหมาะสมกับโหลดที่ใช้งาน เพื่อให้ได้ค่าที่แม่นยำ

9.5.2 ความแม่นยำ (Accuracy)

- แสดงความใกล้เคียงระหว่างค่าที่วัดได้กับค่าจริง
- มักระบุเป็น ค่าร้อยละของช่วงเต็ม (Full Scale) หรือ ค่าร้อยละของค่าที่อ่านได้ (Reading)
- ตัวอย่าง: ±0.5% of reading หมายถึงความคลาดเคลื่อนไม่เกิน 0.5% ของค่าที่วัดได้
- เครื่องวัดที่ดีควรมีค่าความแม่นยำสูง โดยเฉพาะในการใช้งานวิเคราะห์หรือควบคุมพลังงาน

9.5.3 การตอบสนองความถี่ (Frequency Response)

- ระบุว่าเครื่องวัดสามารถตอบสนองต่อความถี่ของแรงดัน/กระแสในช่วงใดได้
- ปกติจะระบุช่วง เช่น 45–65 Hz (สำหรับระบบไฟฟ้าทั่วไป) หรือกว้างกว่านั้นสำหรับงานเฉพาะ
- สำคัญต่อการวัดในระบบที่มีความถี่ไม่คงที่ หรือในระบบอินเวอร์เตอร์

9.5.4 ความเสถียรของการวัด (Measurement Stability)

- เป็นความสามารถของเครื่องในการให้ค่าที่คงที่และไม่แกว่งเมื่อวัดค่าคงที่
- ขึ้นอยู่กับคุณภาพของวงจรภายใน การป้องกันสัญญาณรบกวน และสภาวะแวดล้อม
- มีผลต่อความน่าเชื่อถือของข้อมูล โดยเฉพาะในงานควบคุมหรือบันทึกข้อมูลระยะยาว

9.5.5 อัตราการแสดงผล (Display Rate)

- คือความถี่ที่เครื่องวัดอัปเดตค่าแสดงผล เช่น 1 ครั้ง/วินาที (1 Hz) หรือ 10 ครั้ง/วินาที (10 Hz)
- หากใช้ในการวิเคราะห์ระบบแบบไดนามิกหรือโหลดเปลี่ยนแปลงเร็ว ควรเลือกอัตราการแสดงผลที่สูง
- ในระบบทั่วไป ความถี่ 1–2 Hz ก็เพียงพอ แต่ในงานวิเคราะห์ละเอียดควรเลือก 10 Hz หรือมากกว่า

ศูนย์บรรณสารและการเรียนรู้ สถาบันพระบรมราชชนก วิทยาลัยพยาบาล

9.6 การใช้งานเครื่องวัดกำลังไฟฟ้าในงานอิเล็กทรอนิกส์

การวัดกำลังไฟฟ้าเป็นขั้นตอนสำคัญในงานทางด้านอิเล็กทรอนิกส์และไฟฟ้า เพื่อวิเคราะห์การใช้พลังงาน ประสิทธิภาพ และความเหมาะสมของวงจรหรืออุปกรณ์ต่าง ๆ ปัจจุบันมีการใช้เครื่องวัดพลังงานไฟฟ้าหลากหลายประเภท เช่น Power Meter, Wattmeter, Clamp Meter และอุปกรณ์วัดแบบดิจิทัล เพื่อรองรับการวัดในระบบไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ทั้งในระดับอุตสาหกรรมและระดับผู้ใช้งานทั่วไป

9.6.1 การวัดกำลังไฟฟ้าในอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์และเครื่องใช้ไฟฟ้า

การวัดกำลังไฟฟ้าในอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์และเครื่องใช้ไฟฟ้าทั่วไป เช่น ทีวี พัดลม ตู้เย็น หรือคอมพิวเตอร์ มีเป้าหมายเพื่อทราบการใช้พลังงานจริงของอุปกรณ์ในสภาวะการใช้งานจริง ซึ่งสามารถช่วยในการประเมินประสิทธิภาพและประหยัดพลังงาน โดยการวัดค่าแรงดันไฟฟ้า (V), กระแสไฟฟ้า (I) และนำมาคำนวณกำลังไฟฟ้า (P) ได้จากสูตร

$$P = V \times I \times PF \tag{9.26}$$

ที่ PF คือตัวประกอบกำลัง (Power Factor) โดยเครื่องวัดแบบดิจิทัลสามารถแสดงค่าเหล่านี้ได้โดยตรงในรูปของวัตต์ (W), วัตต์-ชั่วโมง (Wh) และตัวประกอบกำลัง

9.6.2 การวิเคราะห์ประสิทธิภาพของวงจรขยาย (Amplifier Efficiency)

ในวงจรขยายสัญญาณ (Amplifier) เช่นวงจรขยายเสียงหรือ RF การวัดกำลังไฟฟ้าเข้าและออกมีความสำคัญอย่างยิ่ง เพื่อประเมินประสิทธิภาพการทำงานของวงจร ซึ่งคำนวณได้จากสูตร

$$\text{ประสิทธิภาพ (\%)} = (\text{กำลังขาออก} / \text{กำลังขาเข้า}) \times 100 \tag{9.27}$$

การใช้อุปกรณ์วัด เช่น Digital Oscilloscope ร่วมกับ Wattmeter สามารถช่วยให้การวิเคราะห์มีความแม่นยำมากขึ้น โดยเฉพาะในระบบที่มีสัญญาณเปลี่ยนแปลงตลอดเวลา เช่น ระบบสื่อสารไร้สาย ซึ่งต้องควบคุมการสูญเสียพลังงานให้ต่ำที่สุด

9.6.3 การวัดกำลังไฟฟ้าในระบบไฟฟ้ากำลังและเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

การวัดกำลังไฟฟ้าในระบบไฟฟ้ากำลัง เช่น ระบบจำหน่ายไฟฟ้าในโรงงาน หรือเครื่องกำเนิดไฟฟ้า (Generator) มีความสำคัญเพื่อควบคุมโหลด วางแผนการผลิต และป้องกันความเสียหาย การวัดจะครอบคลุมค่าดังนี้

- กำลังไฟฟ้าแท้จริง (Real Power: kW)
- กำลังไฟฟ้ารีแอคทีฟ (Reactive Power: kVAR)
- กำลังไฟฟ้ารวม (Apparent Power: kVA)
- ค่าตัวประกอบกำลัง (PF)
- ความถี่และเฟส

ศูนย์บรรณสารและการเรียนรู้ สถาบันเทคโนโลยีการเรียนรู้ มหาวิทยาลัยพะเยา

เครื่องวัดที่ใช้งานได้แก่ Digital Power Analyzer, Clamp Meter ที่มีฟังก์ชันวัดพลังงาน และ SCADA สำหรับระบบควบคุมอัตโนมัติในโรงงาน

9.6.4 การประเมินค่าตัวประกอบกำลังในระบบไฟฟ้าอุตสาหกรรม

ในระบบไฟฟ้าอุตสาหกรรม การมีค่าตัวประกอบกำลัง (Power Factor: PF) ต่ำจะส่งผลต่อประสิทธิภาพของระบบไฟฟ้า ทำให้เกิดการสูญเสียพลังงานสูง และอาจต้องเสียค่าปรับจากผู้ให้บริการไฟฟ้า การประเมิน PF จึงเป็นสิ่งจำเป็น โดยมีวิธีการดังนี้

1. ใช้ Power Meter หรือเครื่องวัดที่สามารถอ่านค่าพลังงานและ PF ได้โดยตรง
2. ตรวจสอบค่า PF ในช่วงเวลาการใช้โหลดสูงสุด
3. วิเคราะห์แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงของ PF เพื่อวางแผนปรับปรุงระบบ

การปรับปรุง PF สามารถทำได้โดยการติดตั้ง Capacitor Bank เพื่อชดเชยกำลังรีแอคทีฟในระบบ ช่วยให้ค่า PF เพิ่มขึ้น ส่งผลให้การใช้พลังงานมีประสิทธิภาพมากขึ้น และลดค่าใช้จ่ายด้านพลังงานไฟฟ้าในระยะยาว

9.7 การสอบเทียบและการบำรุงรักษาเครื่องวัดกำลังไฟฟ้า

เครื่องวัดกำลังไฟฟ้าเป็นอุปกรณ์ที่มีบทบาทสำคัญในการวัดและวิเคราะห์พลังงานในระบบไฟฟ้าทั้งในงานวิจัย การติดตั้งระบบ และงานอุตสาหกรรม ดังนั้นการสอบเทียบ (Calibration) และการบำรุงรักษาเครื่องวัดเหล่านี้จึงมีความจำเป็นอย่างยิ่ง เพื่อให้มั่นใจว่าอุปกรณ์สามารถให้ค่าที่แม่นยำ เชื่อถือได้ และปลอดภัยตลอดอายุการใช้งาน

9.7.1 ความสำคัญของการสอบเทียบเพื่อความแม่นยำ

การสอบเทียบคือกระบวนการเปรียบเทียบค่าที่เครื่องวัดแสดงกับค่ามาตรฐานที่รู้แน่ชัด โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อ

- ตรวจสอบความแม่นยำของเครื่องวัด
- ลดความคลาดเคลื่อนในการวัด เพื่อให้ผลที่ได้ถูกต้องตามข้อกำหนดทางวิศวกรรม
- ป้องกันปัญหาที่อาจเกิดจากค่าผิดพลาด เช่น การคำนวณโหลดผิด การวางแผนการใช้พลังงานที่ไม่เหมาะสม
- เป็นส่วนหนึ่งของมาตรฐานคุณภาพในกระบวนการอุตสาหกรรม เช่น ISO/IEC 17025

ศูนย์บรรณสารและการเรียนรู้ สถาบันอุตสาหกรรมการเรียนรู้ มหาวิทยาลัยพะเยา

9.7.2 ขั้นตอนการสอบเทียบเครื่องวัดกำลังไฟฟ้า

ขั้นตอนการสอบเทียบโดยทั่วไปมีดังนี้

1. เตรียมเครื่องมือมาตรฐาน เช่น Power Calibrator หรือ Load Bank ที่ผ่านการสอบเทียบแล้วจากห้องปฏิบัติการที่ได้รับการรับรอง
2. ต่อวงจรการวัด โดยนำเครื่องวัดที่ต้องการสอบเทียบมาเชื่อมต่อกับอุปกรณ์มาตรฐาน
3. ตั้งค่าทดสอบ เช่น แรงดัน กระแส ความถี่ และค่าพลังงานให้ใกล้เคียงกับการใช้งานจริง
4. เปรียบเทียบค่าที่อ่านได้ จากเครื่องวัดกับค่ามาตรฐาน แล้วบันทึกความคลาดเคลื่อน
5. ปรับแต่ง หากค่าที่วัดได้มีความคลาดเคลื่อนเกินเกณฑ์ที่ยอมรับได้
6. จัดทำเอกสารผลการสอบเทียบ และติดป้ายสอบเทียบ (Calibration Label) กำกับ

9.7.3 การตรวจสอบค่าความถูกต้องของการวัด

นอกจากการสอบเทียบตามรอบเวลาแล้ว ยังสามารถทำการตรวจสอบความถูกต้องเบื้องต้นได้ด้วยวิธีต่าง ๆ ดังนี้

- เปรียบเทียบกับเครื่องวัดอื่นที่เชื่อถือได้ในสภาวะใช้งานจริง
- ตรวจสอบค่าที่ได้กับค่าที่คาดการณ์จากการคำนวณ เช่น $P = V \times I \times PF$
- ใช้โหลดมาตรฐานที่ทราบค่ากำลังแน่นอน
- ตรวจสอบเสถียรภาพของการแสดงผล เมื่อแรงดันหรือกระแสเปลี่ยนแปลง

การตรวจสอบสม่ำเสมอสามารถช่วยลดความเสี่ยงในการใช้ข้อมูลผิดพลาดและป้องกันความเสียหายต่ออุปกรณ์ระบบ

9.7.4 การบำรุงรักษาและการใช้งานอย่างปลอดภัย

เพื่อยืดอายุการใช้งานของเครื่องวัดกำลังไฟฟ้าและใช้งานได้อย่างปลอดภัย ควรมีแนวทางดังนี้

- ทำความสะอาดอย่างสม่ำเสมอ โดยใช้ผ้าแห้งหรือผ้าเปียกหมาด หลีกเลี่ยงของเหลวเข้าสู่อุปกรณ์
- หลีกเลี่ยงการใช้งานเกินพิกัด ของแรงดันหรือกระแสตามที่ผู้ผลิตกำหนด
- เก็บรักษาในที่แห้ง ไม่ร้อนจัดหรือเย็นจัด และไม่มีความชื้นสูง
- ตรวจสอบสายไฟและขั้วต่ออยู่เสมอ เพื่อป้องกันการลัดวงจรหรือช็อตไฟฟ้า
- หมั่นตรวจสอบวันสอบเทียบครั้งล่าสุด และวางแผนสอบเทียบตามรอบที่กำหนด

ศูนย์บรรณสารและการเรียนรู้ สถาบันเทคโนโลยีการเรียนรู้ มหาวิทยาลัยพะเยา

9.8 กรณีศึกษาและตัวอย่างการใช้งานจริง

9.8.1 การวัดกำลังไฟฟ้าในระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์

การวัด กำลังไฟฟ้า (Electrical Power) ในระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ เป็นกระบวนการที่ใช้ในการตรวจสอบและประเมินประสิทธิภาพของระบบว่าผลิตไฟฟ้าได้มากน้อยเพียงใด โดยทั่วไปแล้วกำลังไฟฟ้าที่วัดได้จะมี 2 ประเภทหลัก คือ

1. กำลังไฟฟ้ากระแสตรง (DC Power)

- วัดจากแผงโซลาร์เซลล์ก่อนเข้าสู่ **อินเวอร์เตอร์** (Inverter)
- สูตรการคำนวณ

$$P_{DC} = V_{DC} \times I_{DC} \tag{9.28}$$

โดยที่

P_{DC} คือ กำลังไฟฟ้ากระแสตรง (วัตต์)

V_{DC} คือ แรงดันไฟฟ้ากระแสตรง (โวลต์)

I_{DC} คือ กระแสไฟฟ้ากระแสตรง (แอมแปร์)

2. กำลังไฟฟ้ากระแสสลับ (AC Power)

- วัดหลังจากไฟฟ้าถูกแปลงจาก DC เป็น AC โดย อินเวอร์เตอร์
- เป็นไฟฟ้าที่ส่งเข้าสู่โหลดหรือเชื่อมต่อกับระบบจำหน่าย (Grid)
- สูตรการคำนวณ (ไฟฟ้า 3 เฟส)

$$P_{AC} = \sqrt{3} V_L I_L PF \tag{9.29}$$

โดยที่

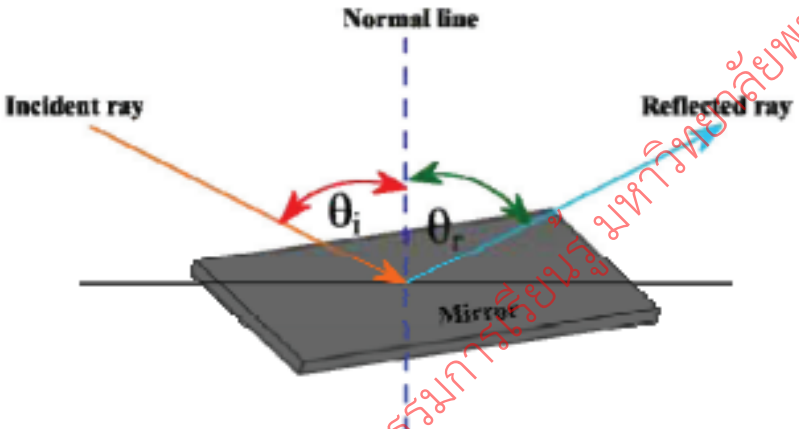
V_L คือ แรงดันไฟฟ้าระหว่างสาย (โวลต์)

I_L คือ กระแสไฟฟ้า (แอมแปร์)

PF คือ Power Factor (ตัวประกอบกำลัง)

ศูนย์บรรณสารและการเรียนรู้ สถาบันนัฏการุรมการเรียนรู้ มหาวิทยาลัยพะเยา

กรณีตัวอย่างที่ 9.8 เรื่อง การทดลองการเพิ่มพลังงานแสงอาทิตย์เป็นสองเท่าด้วยวิธีการสะท้อนแสง ภาษาอังกฤษ The experiment of double solar energy by reflection light method เขียนโดย S. Julajaturasirarath , W. Jonburom , N. Pornsuwancharoen ได้นำเสนอแนวคิดการออกแบบรูปแบบใหม่ที่สามารถใช้ในการผลิตพลังงานแสงอาทิตย์แบบใหม่ที่ให้กำลังไฟฟ้าเป็นสองเท่าโดยใช้หลักการสะท้อนแสงอาทิตย์ผ่านระบบเซลล์แสงอาทิตย์ (Photovoltaic: PV) การใช้กระจกสะท้อนสี่ด้านบนเซลล์แสงอาทิตย์ ทำให้สามารถเพิ่มพลังงานแสงอาทิตย์จาก 10 วัตต์ เป็น 20 วัตต์ได้ ในส่วนของความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิและพลังงานแสงอาทิตย์ บทความนี้เสนอแนวคิดการระบายความร้อนด้วยการใช้น้ำเป็นแหล่งดูดซับความร้อน และการไหลของอากาศที่อยู่ใต้เซลล์แสงอาทิตย์



รูปที่ 9.30 แสดงลักษณะการสะท้อนของแสงที่เกิดจากกระจก



รูปที่ 9.31 แสดงการทดลองชุดอุปกรณ์เพิ่มพลังงานสองเท่าของเซลล์แสงอาทิตย์

รูปที่ 9.31 แสดงโครงสร้างของกระจกที่ใช้สะท้อนแสงในรูปแบบการทดลอง โดยใช้แผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ออกแบบร่วมกับตัวสะท้อนแสงจำนวน 4 ด้าน ซึ่งแสงอาทิตย์จะสะท้อนผ่านกระจกเข้าสู่เซลล์แสงอาทิตย์ในมุม 60 องศา เมื่อความเข้มของแสงเพิ่มขึ้น กระแสไฟฟ้าที่ได้จากเซลล์แสงอาทิตย์ก็จะเพิ่มขึ้นตามที่แสดงใน สมการ (9.30) และ สมการ (9.31)

ศูนย์บรรณสารและการเรียนรู้ สถาบันนวัตกรรมการเรียนรู้ มหาวิทยาลัยพะเยา

$$I_D(G_a,T) = I_{sat}(G_a,T) \times \left[e^{\frac{V_{oc}}{V_t}} - 1\right] \quad (9.30)$$

เมื่อแรงดันของขั้วโลล่าเซลล์ คือ $V_t(T) = \frac{AkT}{q}$

และ A คือ ค่าตัวประกอบอุดมคติ

I_{sat} คือ กระแสอิ่มตัวของไดโอดที่มีความเข้มแสงเปลี่ยนแปลงได้

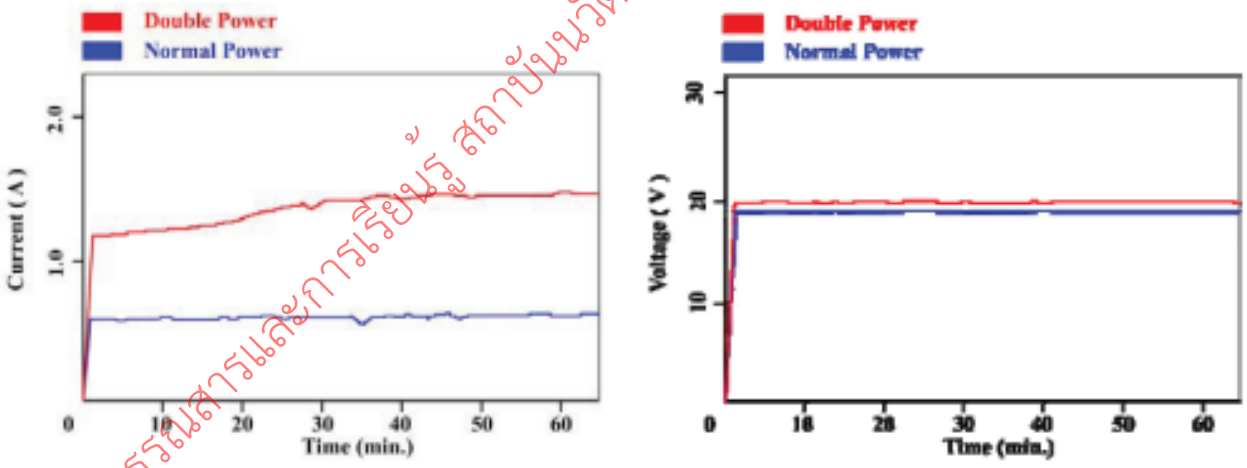
q คือ ค่าความจุไฟฟ้ามีค่า 1.602×10^{-19} คูลอมบ์

k คือ ค่าคงที่ของบอลต์ซมันน์มีค่าเท่ากับ 1.38×10^{-23} จูลต่อเคลวิน (J/K)

$$I_{sat}(G_a,T) = \frac{I_{ph}(G_a,T)}{\left(e^{\left[\frac{V_{OC}(T)}{V_t(T)}\right]}\right)-1} \quad (9.31)$$

เมื่อ I_{ph} คือ กระแสที่เกี่ยวข้องกับแสง (current of photonic)

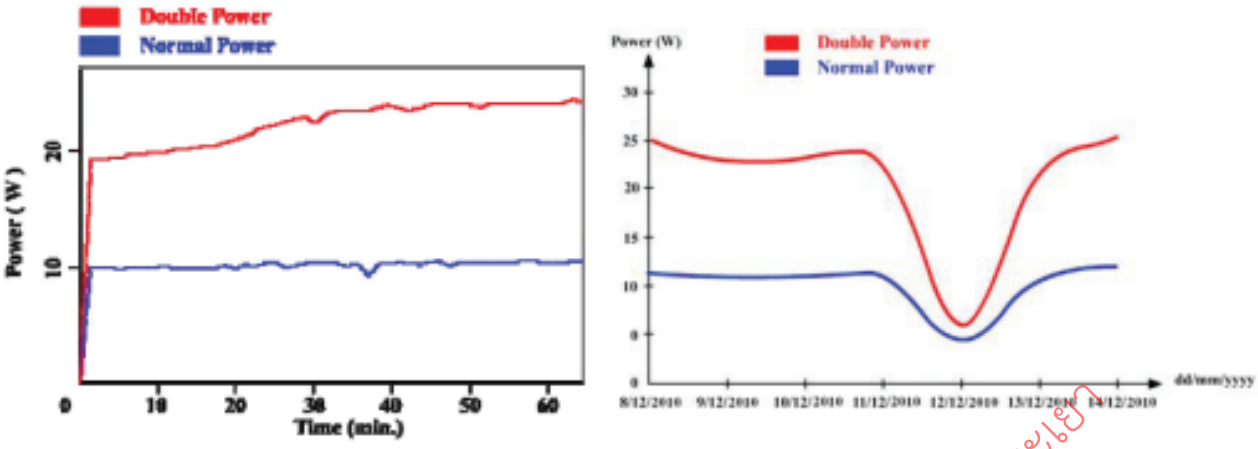
V_{oc} คือ ค่าแรงดันไฟฟ้าขณะวงจรเปิด (open-circuit voltage value)



(ก) กระแสไฟฟ้า (ข) แรงดันไฟฟ้า

รูปที่ 9.32 ผลลัพธ์ของกระแสและแรงดันไฟฟ้าขาออกของระบบเซลล์แสงอาทิตย์ทั้งสองระบบ

ศูนย์บรรณสารและการเรียนรู้ สถาบันนวัตกรรมการเรียนรู้ มหาวิทยาลัยพะเยา



(ก) กำลังไฟฟ้า (ข) พลังงานที่ได้ต่อวัน

รูปที่ 9.34 กำลังไฟฟ้าเฉลี่ยของเซลล์แสงอาทิตย์ในช่วง 1 สัปดาห์

ที่มา: S. Julajaturasirarath, W. Jonburom, N. Pornsuwancharoen, The experiment of double solar energy by reflection light method, ***Procedia Engineering,*** Volume 32, 2012, Pages 522-530, ISSN 1877-7058, https://doi.org/10.1016/j.proeng.2012.01.1303.

ดังรูปที่ 9.34 ก) เป็นภาพแสดงการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของกำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้จากเซลล์แสงอาทิตย์ กราฟเส้นสีแดงแสดงค่ากำลังไฟฟ้า (วัตต์) ที่ได้จากแผงโซลาร์เซลล์แบบปกติ โดยสามารถวัดกำลังไฟฟ้าเฉลี่ยได้ที่ 10.41 วัตต์ ส่วนกราฟเส้นสีน้ำเงินแสดงค่ากำลังไฟฟ้า (วัตต์) ที่ได้จากแผงโซลาร์เซลล์ที่ได้รับการปรับปรุงโดยใช้กระจกสะท้อนแสง พบว่าสามารถวัดกำลังไฟฟ้าเฉลี่ยได้ที่ 25.12 วัตต์ ซึ่งแสดงให้เห็นว่าพลังงานที่ผลิตได้เพิ่มขึ้นเป็น สองเท่า ณ วันที่ 8 ธันวาคม 2010 รูปที่ 9.34 ข) แสดงค่ากำลังไฟฟ้าเฉลี่ยที่ได้จากผลการทดลองของเซลล์แสงอาทิตย์ โดยแผงเซลล์แสงอาทิตย์หมายเลข 1 เป็นแผงมาตรฐานขนาด 10 วัตต์ ส่วนแผงหมายเลข 2 เป็นแผงที่ได้รับการปรับปรุงด้วยการใช้กระจกสะท้อนแสง การทดลองนี้เก็บข้อมูลตั้งแต่วันที่ 8 ธันวาคม 2010 ถึงวันที่ 14 ธันวาคม 2010 รวมเป็นเวลา 7 วัน ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าแผงที่ได้รับการปรับปรุงสามารถเพิ่มกำลังไฟฟ้าได้เป็น สองเท่า จากกำลังเฉลี่ยเดิม 10 วัตต์ เป็น 22 วัตต์ โดยเฉพาะในวันที่ 12 ธันวาคม 2010 ซึ่งเป็นวันที่มีพายุฝน ฟ้าหลัว หรือไม่มีแสงแดดเลย

นำเสนอเทคนิคใหม่ที่ออกแบบมาเพื่อเพิ่มการผลิตพลังงานจากเซลล์แสงอาทิตย์ โดยการใช้กระจกสะท้อนแสง ซึ่งสามารถให้พลังงานได้มากกว่าการใช้แผงโซลาร์เซลล์แบบดั้งเดิม จากการเก็บข้อมูลทดลองเป็นเวลา 7 วัน ตั้งแต่วันที่ 8 ธันวาคม 2010 ถึงวันที่ 14 ธันวาคม 2010 พบว่า กำลังไฟฟ้าเฉลี่ย (วัตต์) ของแผงโซลาร์เซลล์ที่ใช้กระจกสะท้อนแสงมีค่ามากกว่าสองเท่าเมื่อเทียบกับแผงโซลาร์เซลล์ปกติ แม้ว่าการวิจัยนี้จะแสดงให้เห็นว่าเราสามารถเพิ่มพลังงานให้กับแผงได้จริงด้วยการสะท้อนแสงของกระจก แต่เรายังไม่ได้ทำการศึกษาว่าอายุการใช้งานของเซลล์แสงอาทิตย์จะได้รับผลกระทบหรือไม่ เนื่องจากแสงสะท้อนที่มากขึ้นจะทำให้อุณหภูมิของเซลล์แสงอาทิตย์สูงขึ้น ซึ่งอาจส่งผลให้ ประสิทธิภาพในการแปลงพลังงานแสงเป็นพลังงานไฟฟ้าลดลง อย่างไรก็ตาม หากสามารถนำเทคนิคใหม่นี้มาใช้จริง ก็อาจช่วยประหยัดค่าใช้จ่ายในการซื้อแผงโซลาร์เซลล์ในอนาคตได้

ศูนย์บรรณสารและการเรียนรู้ สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

9.8.2 การวิเคราะห์กำลังไฟฟ้าในอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์สำหรับผู้บริโภค

การวิเคราะห์กำลังไฟฟ้าในอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์สำหรับผู้บริโภค หมายถึงกระบวนการตรวจสอบและประเมินการใช้พลังงานไฟฟ้าของอุปกรณ์ต่าง ๆ เช่น โทรทัศน์ คอมพิวเตอร์ สมาร์ตโฟน ตู้เย็น พัดลม และเครื่องใช้ไฟฟ้าอื่น ๆ ที่ใช้ในชีวิตประจำวัน โดยมีวัตถุประสงค์หลักเพื่อ

วัตถุประสงค์ของการวิเคราะห์กำลังไฟฟ้า

1. ประเมินประสิทธิภาพการใช้พลังงาน (Energy Efficiency)
    - เพื่อเปรียบเทียบว่าอุปกรณ์ใช้พลังงานมากน้อยเพียงใดเทียบกับประสิทธิภาพการทำงาน
    - เช่น ค่า EER (Energy Efficiency Ratio) หรือ COP (Coefficient of Performance)
2. ลดต้นทุนค่าไฟฟ้า
    - วิเคราะห์ว่าอุปกรณ์ใดใช้ไฟมาก และสามารถเปลี่ยนพฤติกรรมการใช้งานเพื่อประหยัดค่าไฟได้อย่างไร
3. ออกแบบระบบพลังงานและเลือกอุปกรณ์อย่างเหมาะสม
    - โดยเฉพาะในระบบพลังงานแสงอาทิตย์หรือระบบสำรองพลังงาน จำเป็นต้องรู้ว่าโหลด (load) มีขนาดเท่าใด
4. ตรวจสอบการทำงานผิดปกติ
    - เช่น หากอุปกรณ์มีการใช้พลังงานเกินปกติ อาจเป็นสัญญาณของการชำรุด

องค์ประกอบของการวิเคราะห์กำลังไฟฟ้า

1. กำลังไฟฟ้า (Power)
    - วัดเป็นวัตต์ (Watt) แบ่งเป็น
        - กำลังไฟฟ้าจริง (Real Power, W)
        - กำลังไฟฟ้าเสมือน (Apparent Power, VA)
        - กำลังไฟฟ้ารีแอคทีฟ (Reactive Power, VAR)
2. แรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้า (Voltage & Current)
    - ค่าแรงดัน (V) และกระแส (A) ของอุปกรณ์ในขณะทำงาน
3. ตัวประกอบกำลัง (Power Factor)
    - ค่าระหว่าง 0 ถึง 1 ยิ่งใกล้ 1 แสดงว่าใช้พลังงานได้มีประสิทธิภาพ
4. การใช้พลังงานต่อเวลา (Energy Consumption)
    - เช่น หน่วยกิโลวัตต์ชั่วโมง (kWh) ต่อวันหรือเดือน

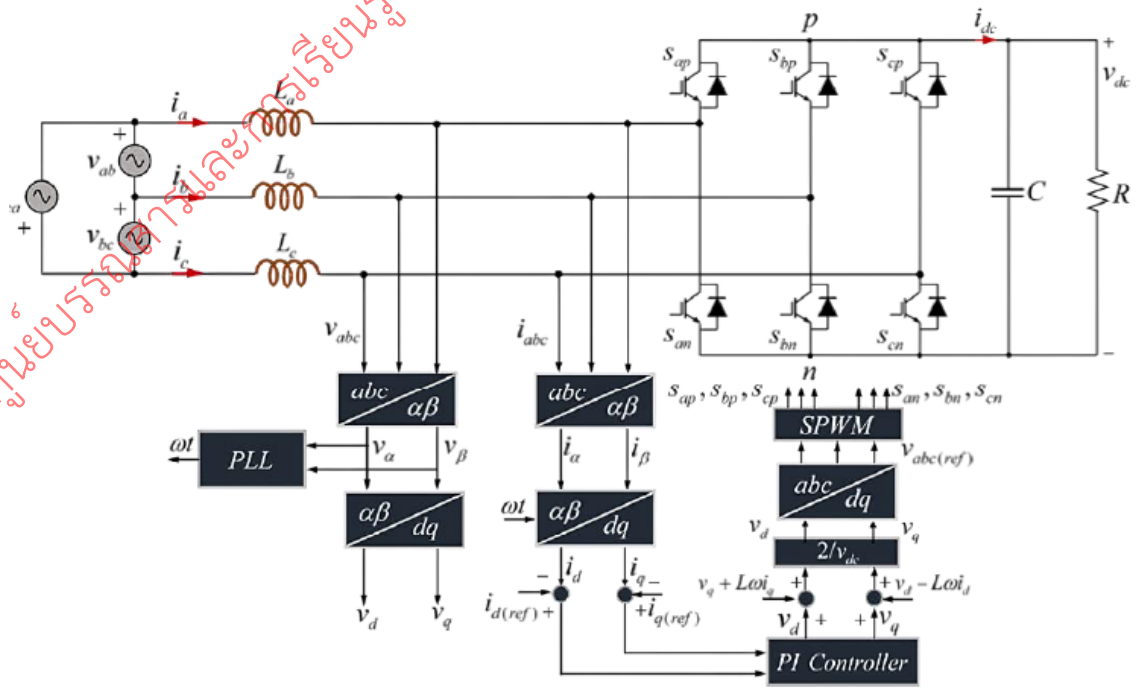
เครื่องมือที่ใช้ในการวิเคราะห์

- Wattmeter ใช้วัดกำลังไฟฟ้า
- Power analyzer ตรวจวัดพารามิเตอร์ทางไฟฟ้าทั้งแรงดัน กระแส กำลัง ฯลฯ
- Smart plug หรือ Energy monitor สำหรับวัดพลังงานของอุปกรณ์ที่เสียบปลั๊กได้
- ซอฟต์แวร์วิเคราะห์ เช่น Home Assistant, OpenEnergyMonitor หรือระบบ IoT

ศูนย์บรรณสารและการเรียนรู้ สถาบันนวัตกรรมการเรียนรู้ มหาวิทยาลัยนเรศวร

กรณีตัวอย่างที่ 9.9 เรื่อง การสร้างแบบจำลองและวิเคราะห์วงจรเรคติไฟเออร์บูสต์สามเฟสสำหรับการชาร์จรถยนต์ไฟฟ้าแบบเร็วด้วยกระแสตรง เรื่อง ภาษาอังกฤษ Modeling and analysis of three-phase boost rectifier for DC fast EV charging เขียนโดย Jeerapong Srivichai, Kittaya Somsai, Nithiroth Pornsuwancharoen กับวารสาร International Journal of Power Electronics and Drive System (IJPEDS) Vol. 16, No. 2, June 2025, pp. 1094~1106 ISSN: 2088-8694, DOI: 10.11591/ijpeds.v16.i2.pp1094-1106 ได้นำเสนอ งานวิจัยนี้ศึกษาการสร้างแบบจำลองและการวิเคราะห์วงจรเรคติไฟเออร์แบบบูสต์สามเฟสสำหรับระบบชาร์จไฟฟ้าแบบเร็ว (DC fast charging) สำหรับยานยนต์ไฟฟ้า (EVs) โดยใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่ได้รับการตรวจสอบความถูกต้องด้วยการจำลองใน MATLAB/Simulink เพื่อศึกษาพฤติกรรมของระบบภายใต้สภาวะต่างๆ

การวิเคราะห์สมรรถนะในระบบพิกัด abc และ dq แสดงให้เห็นความสอดคล้องสูงกับการคำนวณเชิงทฤษฎี โดยค่าแรงดันเฉลี่ยในเฟรม dq พบว่า vd เท่ากับ 685 V และ vq เท่ากับ 0 V ซึ่งมีความคลาดเคลื่อนน้อยกว่า 0.1% จากค่าที่คำนวณได้ อย่างไรก็ตาม ค่ากระแสเฉลี่ยในเฟรม dq แสดงความคลาดเคลื่อนเนื่องจากผลกระทบของการเชื่อมโยงไขว้ (cross-coupling effects) และอิมพีแดนซ์ของวงจร ผลการจำลองรายงานว่า id เท่ากับ 211.50 A และ iq เท่ากับ 93.50 A เมื่อเปรียบเทียบกับค่าที่คำนวณได้คือ id เท่ากับ 151.97 A และ iq เท่ากับ 0 V สำหรับแรงดันและกระแส DC ที่เอาต์พุตค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 983.05 V และ 98.31 A ตามลำดับ การศึกษาวิเคราะห์สามกรณีทดสอบ ประกอบด้วยสภาวะสามเฟสที่ไม่สมดุล การตกของแรงดัน และการตอบสนองต่อการเปลี่ยนแปลงโหลดแบบขั้นบันได กรณีที่ 1 แสดงค่า Total Harmonic Distortion (THD) สูงสุด กรณีที่ 2 มีค่า THD เพิ่มขึ้นอีก และกรณีที่ 3 ได้ค่า THD ต่ำสุด แสดงให้เห็นถึงความเสถียรที่ดีขึ้นภายใต้โหลดแบบไดนามิก ผลการศึกษาเหล่านี้ยืนยันว่าระบบมีค่าเบี่ยงเบนจากการทำนายเชิงทฤษฎีที่น้อยมาก พร้อมทั้งมีคุณภาพแรงดันที่เพิ่มขึ้น การลดฮาร์มอนิก และประสิทธิภาพการชาร์จที่ดีขึ้นสำหรับการใช้งานชาร์จเร็วยานยนต์ไฟฟ้า ดังรูปที่ 9.35



รูปที่ 9.35 โครงสร้างการควบคุม PI สำหรับแบบจำลองการสวิตช์

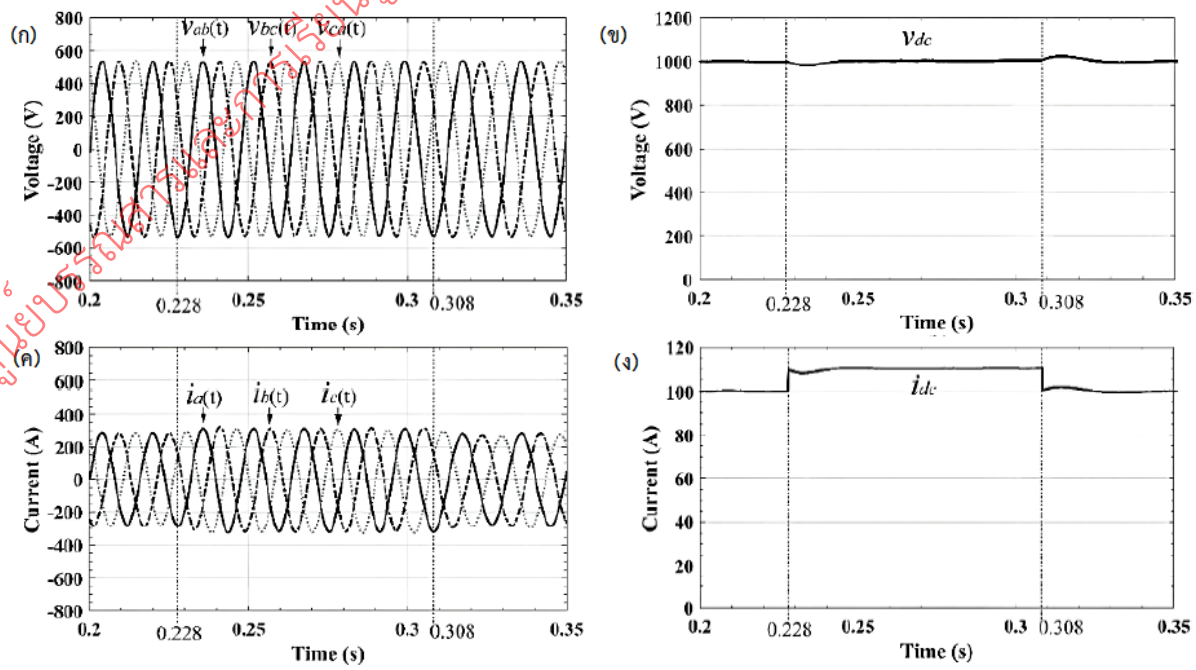
ศูนย์บรรณสารและการเรียนรู้ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ที่มา: Jeerapong Srivichai, Kittaya Somsai, Nithiroth Pornsuwancharoen. “Modeling and analysis of three-phase boost rectifier for DC fast EV charging” International Journal of Power Electronics and Drive System (IJPEDS) Vol. 16, No. 2, June 2025, pp. 1094~1106 ISSN: 2088-8694, DOI: 10.11591/ijpeds.v16.i2.pp1094-1106

กรณีที่ 3 การตอบสนองต่อการเปลี่ยนแปลงโหลดแบบขั้นบันได

การจำลองนี้สร้างแบบจำลองการตอบสนองของวงจรต่อการเปลี่ยนแปลงโหลดอย่างกะทันหัน โดยเฉพาะการตอบสนองแบบขั้นบันไดที่โหลดลดลงจาก 100% ของค่าโหลดเต็มเหลือเพียง 10% การจำลองนี้เน้นการจับภาพพฤติกรรมชั่วคราวที่เกิดขึ้นเมื่อโหลดถูกลดลงอย่างกะทันหัน ส่งผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงในสภาวะการทำงานของระบบทันที เมื่อโหลดลดลง รูปคลื่นแรงดันและกระแสจะปรับตัวแบบเรียลไทม์เพื่อตอบสนองต่อความต้องการโหลดใหม่ สถานการณ์นี้มีประโยชน์อย่างยิ่งสำหรับการประเมินความสามารถของระบบในการฟื้นตัวและความเสถียรหลังจากการลดลงของโหลดอย่างรุนแรงเช่นนี้

การจำลองจะบันทึกพารามิเตอร์ไดนามิกที่สำคัญ เช่น การเกินขอบเขต (overshoot) การตกตะกอน (settling) และความผันผวนใดๆ ที่อาจเกิดขึ้นในเอาต์พุตเมื่อระบบชดเชยการเปลี่ยนแปลงโหลด เมตริกเหล่านี้มีความสำคัญต่อการประเมินสมรรถนะของระบบในระหว่างเหตุการณ์ชั่วคราว นอกจากนี้ ผลกระทบต่อสมรรถนะของระบบได้รับการวิเคราะห์อย่างละเอียด โดยเน้นด้านต่างๆ เช่น การเปลี่ยนแปลงประสิทธิภาพ คุณภาพกำลังไฟฟ้า และความเป็นไปได้ของการเกิดแรงดันหรือกระแสกระชาก (spike) ระหว่างการเปลี่ยนผ่าน ซึ่งช่วยระบุความเสี่ยงที่อาจเกิดขึ้นต่อความเสถียรของระบบ เช่น การเสื่อมสภาพของคุณภาพกำลังไฟฟ้า สภาวะแรงดันเกิน หรือกระแสเกินที่อาจเกิดจากการเปลี่ยนแปลงโหลด



ศูนย์บรรณสารและสื่อการเรียนรู้ สถาบันนวัตกรรมการเรียนรู้ มหาวิทยาลัยนเรศวร

รูปที่ 9.36 การตอบสนองต่อการเปลี่ยนแปลงโหลดแบบขั้นบันได (ก) แรงดันระหว่างสาย (ข) แรงดันเอาต์พุต (vdc) (ค) กระแสเฟสอินพุต (iabc) และ (ง) กระแสเอาต์พุต (idc)

ที่มา: Jeerapong Srivichai, Kittaya Somsai, Nithiroth Pornsuwancharoen. “Modeling and analysis of three-phase boost rectifier for DC fast EV charging” International Journal of Power Electronics and Drive System (IJPEDS) Vol. 16, No. 2, June 2025, pp. 1094~1106 ISSN: 2088-8694, DOI: 10.11591/ijpeds.v16.i2.pp1094-1106

การวิเคราะห์ปัจจัยเหล่านี้ให้ข้อมูลเชิงลึกอันมีค่าเกี่ยวกับระบบสามารถรักษาการทำงานที่เชื่อถือได้ภายใต้การเปลี่ยนแปลงโหลดอย่างกะทันหันได้ดีเพียงใด และช่วยประเมินความเสถียรและความแข็งแกร่งโดยรวมของระบบ รูปที่ 9.36 แสดงผลการจำลองสำหรับสภาวะการตอบสนองต่อการเปลี่ยนแปลงโหลดแบบขั้นบันได ในรูปที่ 9.36 (ก) และ 9.36 (ข) การตอบสนองต่อการเปลี่ยนแปลงโหลดแบบขั้นบันไดแสดงระหว่างช่วงเวลา 0.228 วินาที ถึง 0.308 วินาที โดยแรงดันระหว่างสาย 380 V และ vdc คือ 993.75 V ส่งผลให้เกิดแรงดันริปเปิล 22.50 V รูปเหล่านี้แสดงให้เห็นอย่างชัดเจนถึงการปรับแรงดันเมื่อโหลดเปลี่ยนแปลงและพฤติกรรมชั่วคราวที่เกิดขึ้นเนื่องจากการลดโหลดอย่างกะทันหัน แรงดันริปเปิลที่เห็นที่นี่เป็นตัวบ่งชี้การตอบสนองของระบบต่อการเปลี่ยนแปลงโหลดแบบขั้นบันได แสดงให้เห็นว่าระบบชดเชยการเปลี่ยนแปลงโหลดและความเสถียรตลอดเวลาอย่างไร

ในรูปที่ 9.36 (ค) และ 9.36 (ง)การตอบสนองต่อการเปลี่ยนแปลงโหลดแบบขั้นบันไดสำหรับกระแสในแต่ละเฟสแสดงในช่วงเวลาเดียวกัน idc วัดได้ที่ 109.30 A ส่งผลให้เกิดกระแสริปเปิล 1.20 A รูปเหล่านี้แสดงให้เห็นว่ารูปคลื่นกระแสผันผวนอย่างไรเมื่อเกิดการเปลี่ยนแปลงโหลดแบบขั้นบันได โดยกระแสริปเปิลแสดงถึงผลกระทบชั่วคราวเมื่อระบบปรับตัวเข้ากับสภาวะโหลดใหม่ รูปคลื่นกระแสเน้นย้ำถึงความสามารถของระบบในการจัดการการเปลี่ยนแปลงโหลดแบบขั้นบันไดและทำให้เอาต์พุตเสถียร ให้ความมั่นใจว่าระดับกระแสจะตกตะกอนภายในขีดจำกัดที่ยอมรับได้ในที่สุด

แรงดันและกระแสริปเปิลที่สังเกตได้มีความสำคัญต่อการทำความเข้าใจสมรรถนะชั่วคราวของระบบและประสิทธิผลของกลไกการควบคุมที่มีอยู่ ผลลัพธ์เหล่านี้ยังให้ข้อมูลเชิงลึกเกี่ยวกับผลกระทบที่อาจเกิดขึ้นต่อคุณภาพกำลังไฟฟ้า เนื่องจากความผันผวนของแรงดันและกระแสอาจมีอิทธิพลต่อสมรรถนะโดยรวมและความเสถียรของอุปกรณ์ที่มีความไวซึ่งเชื่อมต่อกับระบบ

จากตารางที่ 9.2 เมื่อระบบอยู่ในสภาวะสามเฟสไม่สมดุล สามารถสังเกตได้ว่า THD ของแรงดันและกระแสมีการบิดเบือนอย่างมีนัยสำคัญ โดยเฉพาะในกระแสของเฟส b และ c ซึ่งแสดงให้เห็นถึงผลกระทบของความไม่สมดุลของระบบที่นำไปสู่การเพิ่มขึ้นของการบิดเบือนฮาร์มอนิก การตกของแรงดันทำให้เกิดการเพิ่มขึ้นอย่างชัดเจนของค่า THD ทั้งแรงดันและกระแส แสดงให้เห็นถึงความไม่เพียงพอของการจ่ายแรงดันที่อาจส่งผลต่อสมรรถนะของระบบ การตอบสนองต่อโหลดแสดงการบิดเบือนน้อยที่สุดทั้งแรงดันและกระแส ซึ่งอาจเป็นเพราะโหลดที่เปลี่ยนแปลงอย่างต่อเนื่องช่วยให้ระบบรักษาความเสถียรได้ดีกว่า

ศูนย์บรรณสารและการเรียนรู้ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร

ตารางที่ 9.2 เปรียบเทียบคุณสมบัติของแต่ละกรณี

Parameter	Unbalanced three-phase condition	Voltage drop	Load step response
v_{dc} (V)	995.95	981.45	993.75
v_{ripple} (V)	18.10	32.55	22.50
i_{dc} (A)	102.37	98.10	109.30
i_{ripple} (A)	7.25	6.40	1.20
THDv_{ab} (%)	0.34	6.50	0.06
THDv_{bc} (%)	4.38	8.28	0.06
THDv_{ca} (%)	4.34	6.47	0.06
THDi_a (%)	1.88	8.40	2.85
THDi_b (%)	9.36	8.90	2.91
THDi_c (%)	10.06	8.73	2.85

ที่มา: Jeerapong Srivichai, Kittaya Somsai, Nithiroth Pornsuwancharoen, "Modeling and analysis of three-phase boost rectifier for DC fast EV charging" International Journal of Power Electronics and Drive System (IJPEDS) Vol. 16, No. 2, June 2025, pp. 1094~1106 ISSN: 2088-8694, DOI: 10.11591/ijpeds.v16.i2.pp1094-1106

ผลสรุปได้ว่า การวิเคราะห์สมรรถนะของระบบในระบบพิกัดทั้ง abc และ dq แสดงให้เห็นถึงความสอดคล้องในระดับสูงระหว่างการจำลองและการคำนวณเชิงทฤษฎี โดยค่าแรงดันเฉลี่ยในเฟรม dq พบว่าเท่ากับ 658 V สำหรับ vd และ 0 V สำหรับ vq ซึ่งมีความคลาดเคลื่อนน้อยกว่า 0.1% จากค่าที่คำนวณได้ แสดงให้เห็นถึงความแม่นยำของการแปลงแรงดันระหว่างเฟรมอ้างอิง สำหรับกระแสในเฟรม dq ผลการจำลองแสดงให้เห็นว่า id อยู่ที่ 211.50 A และ iq อยู่ที่ 93.50 A ในขณะที่ค่าที่คำนวณได้คือ 151.97 A สำหรับ Id และ 0 A สำหรับ Iq ความเบี่ยงเบนนี้เกิดจากผลกระทบของการเชื่อมโยงไขว้ระหว่างแกน d และ q รวมถึงอิทธิพลของส่วนประกอบเหนี่ยวนำและความจุภายในวงจร ปัจจัยเหล่านี้ก่อให้เกิดปฏิสัมพันธ์แบบไดนามิกที่ไม่สามารถจับได้อย่างครบถ้วนในแบบจำลองทางทฤษฎีที่เป็นอุดมคติ แต่สามารถเห็นได้ชัดเจนในการจำลอง แรงดันและกระแส DC ที่เอาต์พุตพบว่าอยู่ที่ 983.054 V และ 98.31 A ตามลำดับ แสดงให้เห็นถึงการทำงานที่เสถียรภายใต้สภาวะปกติ การวิเคราะห์เพิ่มเติมของพฤติกรรมระบบภายใต้สามสถานการณ์ที่แตกต่างกัน ได้แก่ การทำงานสามเฟสแบบไม่สมดุล การตกของแรงดัน และการตอบสนองต่อการเปลี่ยนแปลงโหลดแบบขั้นบันได เผยให้เห็นการเปลี่ยนแปลงของ Total Harmonic Distortion (THD) สภาวะไม่สมดุลแสดง THD สูงสุดทั้งแรงดันและกระแสเนื่องจากความไม่สมมาตรของเฟส ในขณะที่สถานการณ์การตกของแรงดันทำให้ THD เพิ่มขึ้นอีก เน้นย้ำถึงความไวของระบบต่อการลดลงอย่างกะทันหันของแรงดันจ่าย ในทางตรงกันข้าม การตอบสนองต่อการเปลี่ยนแปลงโหลดแบบขั้นบันไดส่งผลให้ได้ THD ต่ำสุด แสดงถึงความสามารถของระบบในการรักษาการทำงานที่เสถียรภายใต้การเปลี่ยนแปลงโหลดแบบไดนามิก โดยรวมแล้ว ระบบแสดงความเบี่ยงเบนน้อยที่สุดจากการทำนายเชิงทฤษฎีและรักษาแรงดันและกระแสที่เสถียรในสภาวะการทำงานที่แตกต่างกัน ผลการศึกษาเน้นย้ำถึงความสำคัญของการรวมผลกระทบของการเชื่อมโยงไขว้และรีแอคแตนซ์ของวงจรเข้าไปในแบบจำลองเชิงวิเคราะห์เพื่อปรับปรุงความแม่นยำในการทำนาย นอกจากนี้ ผลลัพธ์ยังยืนยันความแข็งแกร่งของระบบในการจัดการกับการรบกวนการทำงานต่างๆ ในขณะที่ยังคงรักษาระดับสมรรถนะที่ยอมรับได้

ศูนย์วิทยทรัพยากร จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

9.8.3 การวัดกำลังไฟฟ้าในเครื่องจักรอุตสาหกรรม

การวัดกำลังไฟฟ้าในเครื่องจักรอุตสาหกรรม คือ กระบวนการที่ใช้เครื่องมือวัดทางไฟฟ้าเพื่อตรวจสอบและบันทึกค่าพารามิเตอร์ทางไฟฟ้าต่างๆ ของเครื่องจักรในโรงงานอุตสาหกรรม

การวัดนี้ครอบคลุมพารามิเตอร์สำคัญดังนี้

- พารามิเตอร์หลักที่วัด
- แรงดันไฟฟ้า (Voltage)
- กระแสไฟฟ้า (Current)
- กำลังจริง (Real Power - Watts)
- กำลังปรากฏ (Apparent Power - VA)
- กำลังรีแอคทีฟ (Reactive Power - VAR)
- ตัวประกอบกำลัง (Power Factor)
- ความถี่ (Frequency)
- พลังงานไฟฟ้า (Energy Consumption)

วัตถุประสงค์ของการวัด คือ

- ตรวจสอบสมรรถนะและประสิทธิภาพของเครื่องจักร
- วิเคราะห์การใช้พลังงาน
- ตรวจหาปัญหาหรือความผิดปกติ
- วางแผนการบำรุงรักษา
- ควบคุมคุณภาพกำลังไฟฟ้า
- คำนวณต้นทุนพลังงาน

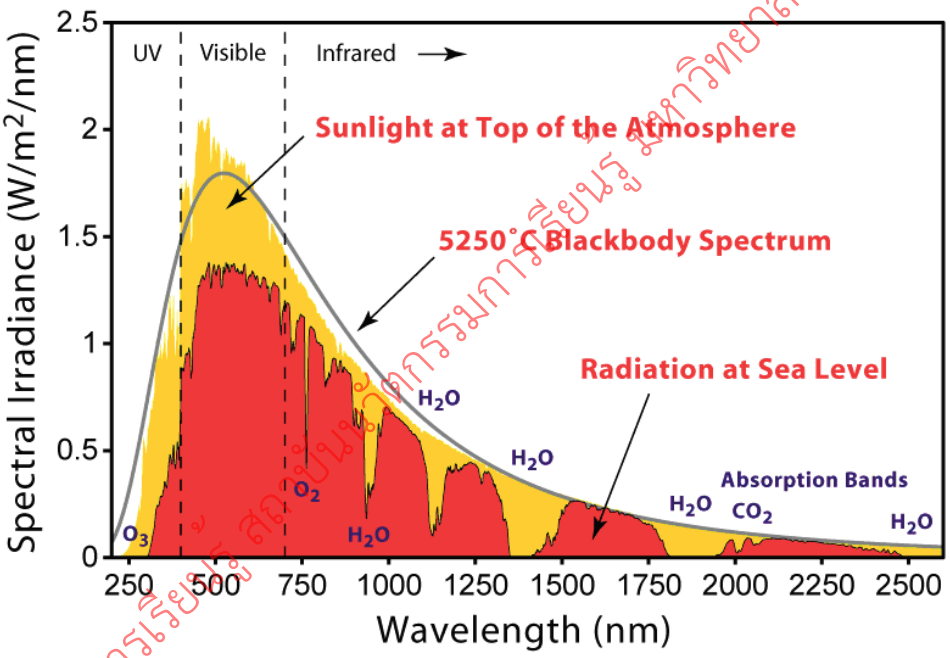
เครื่องมือที่ใช้ เช่น

- มิเตอร์วัดกำลัง (Power Meter)
- เครื่องวิเคราะห์คุณภาพกำลังไฟฟ้า (Power Quality Analyzer)
- มัลติมิเตอร์
- โคลมป์มิเตอร์ (Clamp Meter)
- เครื่องบันทึกข้อมูล (Data Logger)

การวัดกำลังไฟฟ้าในเครื่องจักรอุตสาหกรรมเป็นกิจกรรมที่สำคัญต่อการจัดการพลังงานและการรักษาความเสถียรของระบบไฟฟ้าในโรงงาน

ศูนย์บรรณสารและการเรียนรู้ สถาบันนวัตกรรมการเรียนรู้ มหาวิทยาลัยพะเยา

กรณีตัวอย่างที่ 9.10 เรื่อง ศักยภาพในการใช้ระบบไฮบริดพลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับไฟฟ้าในภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทย การพัฒนาและนำเสนอระบบเทคนิคใหม่เพื่อใช้พลังงานอย่างเพียงพอและมีประสิทธิภาพ โดยใช้เซลล์แสงอาทิตย์ในการผลิตกระแสตรง (DC) และแปลงเป็นกระแสสลับ (AC) ผ่านระบบอินเวอร์เตอร์ เพื่อใช้งานร่วมกับระบบไฟฟ้าปกติ โดยออกแบบให้ระบบประกอบด้วยสามเฟสและวงจรอินเวอร์เตอร์สามชุด สำหรับรองรับการใช้งานในระบบไฟฟ้าภายในสำนักงาน ซึ่งจากผลการทดลองพบว่าระบบดังกล่าวสามารถช่วยประหยัดพลังงานไฟฟ้าได้ประมาณ 10% เมื่อเปรียบเทียบกับระบบไฟฟ้าทั่วไป คุณสมบัตินี้เหมาะสมอย่างยิ่งสำหรับการตรวจสอบการใช้พลังงานในพื้นที่ที่มีการปล่อยพลังงานอย่างต่อเนื่อง รวมถึงการควบคุมกระบวนการผลิตแบบ in-line และในอนาคตอันใกล้ ระบบพลังงานแสงอาทิตย์นี้มีความคุ้มค่าทางเศรษฐกิจในระยะยาว โดยเฉพาะเมื่อใช้ร่วมกับระบบพลังงานขนาด 1 เมกะวัตต์



รูปที่ 9.37 สเปกตรัมของรังสีแสงอาทิตย์

ที่มา: Potential of using a Solar-Electricity Hybrid System in North-East of Thailand R. Sakulpong, N. Pornsuwancharoen, P.P. Yupapin กับวารสาร Procedia Engineering Vol. 8, 2011, Pages 67-74

ในรูปที่ 9.37 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างสเปกตรัมรังสีแสงอาทิตย์กับค่าการแผ่รังสีจำเพาะและความยาวคลื่น พลังงานแสงอาทิตย์มีข้อได้เปรียบที่สำคัญเหนือกว่าพลังงานจากแหล่งดั้งเดิมคือด้านสิ่งแวดล้อม โรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์แบบรวมแสง (CSP) ไม่มีการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) หรือมลพิษอื่น ๆ ในระหว่างการทำงาน ตรงกันข้ามกับโรงไฟฟ้าถ่านหินขนาด 500 เมกะวัตต์ (MW) ซึ่งปล่อยก๊าซ CO_2 ประมาณ 3.7 ล้านตันต่อปี พร้อมกับการปล่อยก๊าซเรือนกระจก (GHG) อื่น ๆ ในปริมาณมาก

ศูนย์บรรณสารและการเรียนรู้ สถาบันวิทยาการเรียนรู้ มหาวิทยาลัยพะเยา

การกำหนดขนาดระบบ PV

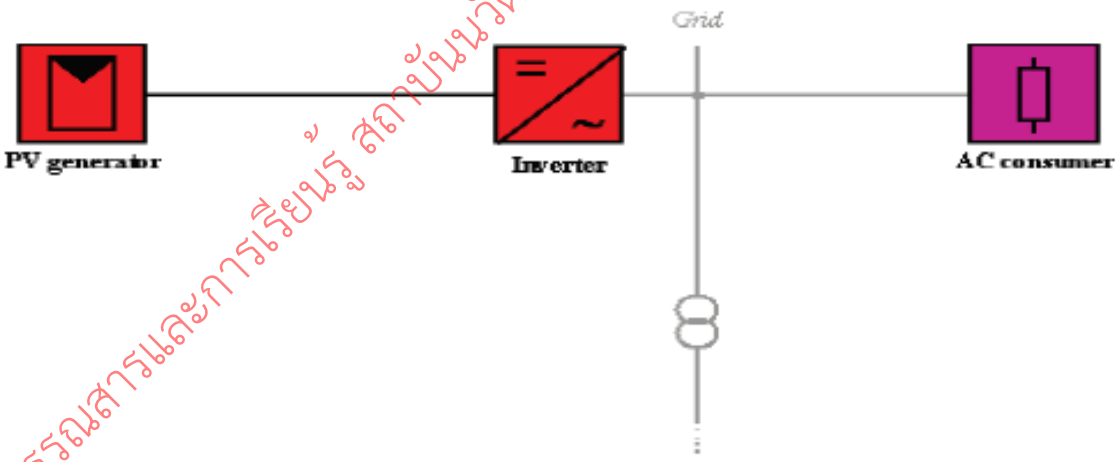
จากตัวประกอบคุณภาพ (Q) ในสมการ (9.33) สามารถกำหนดขนาดของแผงโซลาร์เซลล์ได้ดังนี้

$$P_{peak} = \frac{E_{Load} \cdot I_{STC}}{E_{glob} \cdot Q} \qquad (9.33)$$

โดยที่

P_{peak} คือ กำลังไฟฟ้าสูงสุดภายใต้สภาวะ STC [kWp]
E_{load} คือ พลังงานไฟฟ้าเอาต์พุตจริง [kWh/ปี]
I_{STC} คือ ความเข้มรังสีแสงอาทิตย์ภายใต้สภาวะ STC [1 kW/m²]
E_{glob} คือ รังสีแสงอาทิตย์รวมประจำปี [kWh/m²·ปี]
Q คือ ตัวประกอบคุณภาพของระบบ

ในทางทฤษฎี ค่าการจ่ายและการใช้พลังงานจะเท่ากัน และตัวประกอบคุณภาพจึงเท่ากับหนึ่ง (Q = 1) ค่าที่วัดได้ เช่น Q = 0.75 หมายความว่า 75% ของพลังงานไฟฟ้าที่แปลงจากพลังงานแสงอาทิตย์ถูกนำไปใช้ ส่วน 25% ของพลังงานไฟฟ้าสูญเสียระหว่างเซลล์แสงอาทิตย์และเอาต์พุตของระบบ หรือไม่ได้ถูกนำไปใช้



รูปที่ 9.38 แสดงแบบจำลองการติดตั้งพลังงานแสงอาทิตย์เพื่อการบูรณาการร่วมกับระบบพลังงานไฟฟ้า

ที่มา: Potential of using a Solar-Electricity Hybrid System in North-East of Thailand R. Sakulpong, N. Pornsuwancharoen, P.P. Yupapin กับวารสาร Procedia Engineering Vol. 8, 2011, Pages 67-74

ระบบผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์แสดงไว้ในรูปที่ 9.38 โดยระบบนี้ยังสามารถรับไฟฟ้ากระแสสลับ (AC) จากระบบไฟฟ้าหลักได้อีกด้วย ซึ่งไฟฟ้าที่ผลิตจากพลังงานแสงอาทิตย์จะเป็นแหล่งจ่ายไฟหลัก และสามารถทำงานร่วมกับระบบจ่ายไฟฟ้าหลักได้ โดยระบบพลังงานไฟฟ้านี้แบ่ง

ศูนย์บรรณสารและการเรียนรู้ สถาบันนวัตกรรมการเรียนรู้ มหาวิทยาลัยพะเยา

ออกเป็นสองส่วน ส่วนแรกคือการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์และจ่ายเข้าสู่ระบบไฟฟ้าหลัก ส่วนที่สองคือการจ่ายไฟจากระบบไฟฟ้าหลักเพียงอย่างเดียว

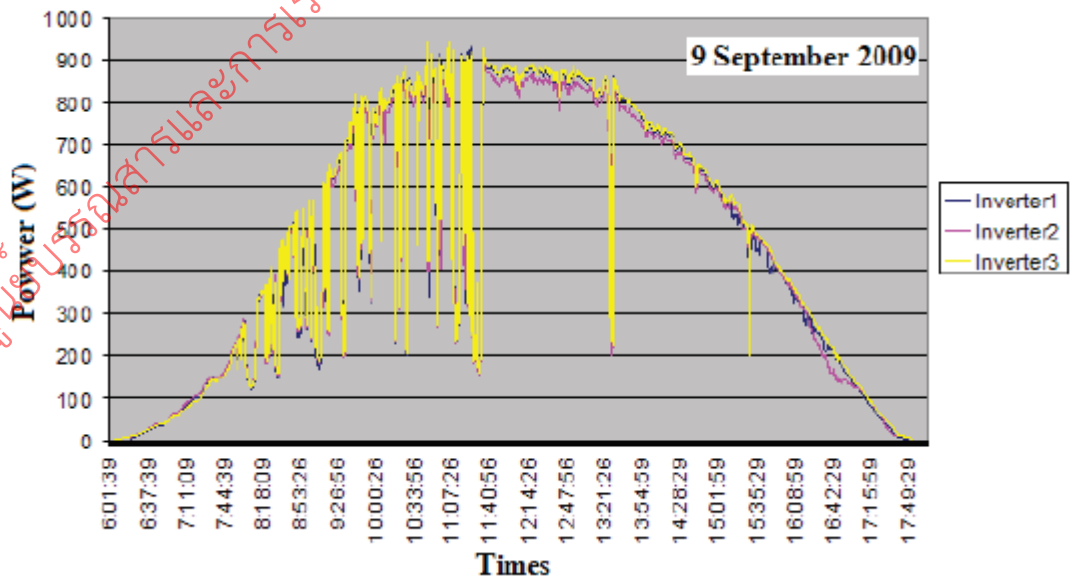


(ก) (ข)

รูปที่ 9.39 แสดงตำแหน่งที่ตั้งจริงของโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ (a) และอินเวอร์เตอร์สำหรับเชื่อมต่อกับระบบไฟฟ้า (b)

ที่มา: Potential of using a Solar-Electricity Hybrid System in North-East of Thailand R. Sakulpong, N. Pornsuwancharoen, P.P. Yupapin กับวารสาร Procedia Engineering Vol. 8, 2011, Pages 67-74

รูปที่ 9.39 แสดงตำแหน่งที่ตั้งของโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ในพื้นที่ภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทย รวมถึงระบบการเชื่อมต่อร่วมกันของพลังงานไฟฟ้าผ่านอินเวอร์เตอร์ในรูปแบบระบบไฟฟ้า 3 เฟส ซึ่งมีแรงดันไฟฟ้า 220 โวลต์ สำหรับใช้งานในระบบไฟฟ้า

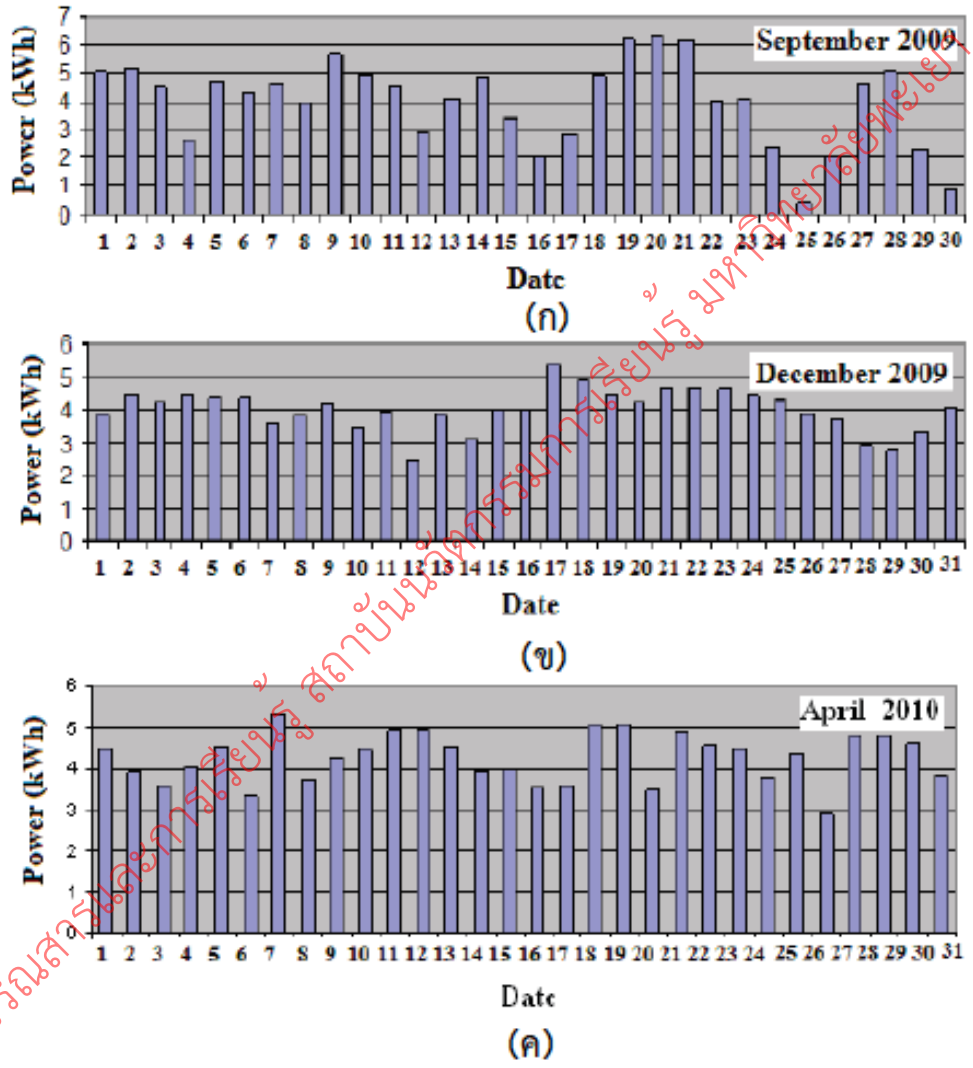


รูปที่ 9.40 แสดงข้อมูลพลังงานแสงอาทิตย์ในอินเวอร์เตอร์ทั้ง 3 สาย เมื่อวันที่ 9 กันยายน พ.ศ. 2552

ศูนย์ประสานและการเรียนรู้ สถาบันนวัตกรรมการเรียนรู้ มหาวิทยาลัยพะเยา

ที่มา: Potential of using a Solar-Electricity Hybrid System in North-East of Thailand R. Sakulpong, N. Pornsuwancharoen, P.P. Yupapin กับวารสาร Procedia Engineering Vol. 8, 2011, Pages 67-74

ในรูปที่ 9.40 แสดงพลังงานแสงอาทิตย์ใน 3 สายของอินเวอร์เตอร์ ซึ่งเชื่อมโยงกับระบบไฟฟ้า 3 เฟส โดยมีพลังงานแสงอาทิตย์เฉลี่ยอยู่ที่ 900 วัตต์ เมื่อวันที่ 9 กันยายน พ.ศ. 2552 ซึ่งสามารถเชื่อมต่อกับระบบไฟฟ้าปกติและระบบไฟฟ้าแบบผสมผสานได้



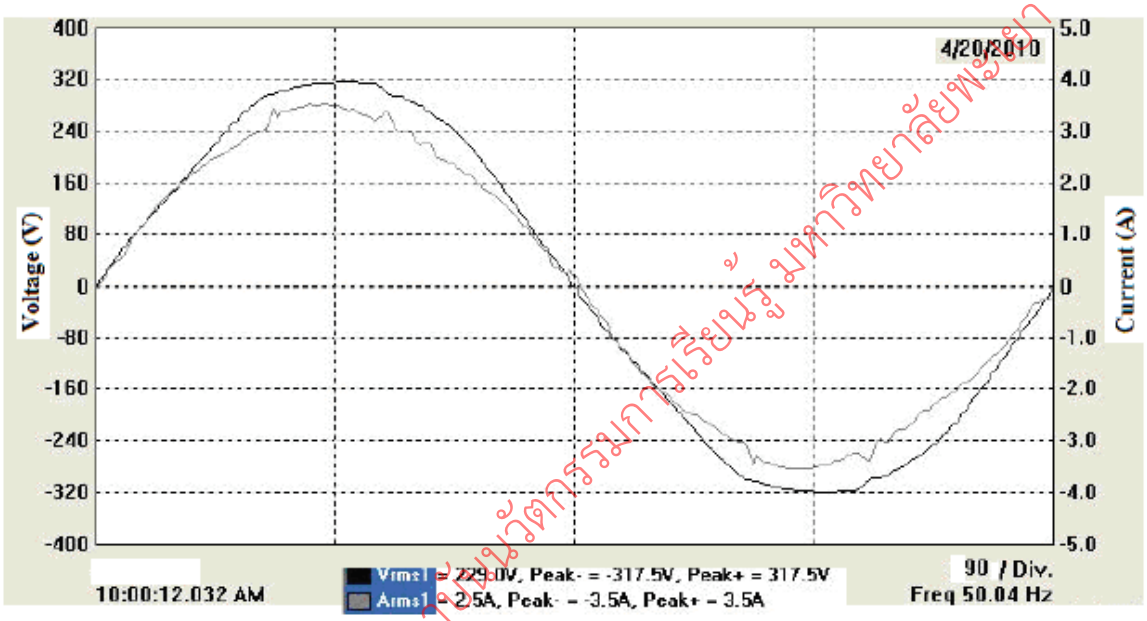
รูปที่ 9.41 แสดงค่าพลังงานแสงอาทิตย์เฉลี่ยของเดือนกันยายน (ก), เดือนธันวาคม พ.ศ. 2552 (ข) และเดือนเมษายน พ.ศ. 2553 (ค)

ที่มา: Potential of using a Solar-Electricity Hybrid System in North-East of Thailand R. Sakulpong, N. Pornsuwancharoen, P.P. Yupapin กับวารสาร Procedia Engineering Vol. 8, 2011, Pages 67-74

ศูนย์บรรณสารและการเรียนรู้ สถาบันนวัตกรรมการเรียนรู้ มหาวิทยาลัยพะเยา

ในรูปที่ 9.41 แสดงค่าพลังงานแสงอาทิตย์เฉลี่ยในช่วงฤดูฝนของเดือนกันยายน พ.ศ. 2552 ฤดูหนาวของเดือนธันวาคม พ.ศ. 2552 และฤดูร้อนของเดือนเมษายน พ.ศ. 2553 ซึ่งแสดงให้เห็นถึงศักยภาพของพลังงานที่เพียงพอสำหรับการลงทุนในโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ขนาดเล็กในอนาคต เนื่องจากพลังงานเฉลี่ยที่ผลิตได้เพียงพอสำหรับโรงไฟฟ้าขนาด 1 เมกะวัตต์

ผลตอบแทนจากการลงทุน (ROI) ของโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์อยู่ที่ประมาณ 6 – 7 ปี เมื่อเปรียบเทียบกับเชื้อเพลิงฟอสซิลที่มีแนวโน้มหมดลงในอนาคตอันใกล้นี้ โดยพื้นที่ภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทยมีศักยภาพในการรับพลังงานแสงอาทิตย์สูงกว่าพื้นที่อื่น ๆ ของประเทศ



รูปที่ 9.42 แสดงค่าแรงดันไฟฟ้า (โวลต์) และกระแสไฟฟ้า (แอมแปร์) ขณะเชื่อมต่อระบบไฟฟ้ากับระบบพลังงานแสงอาทิตย์แบบผสมผสาน

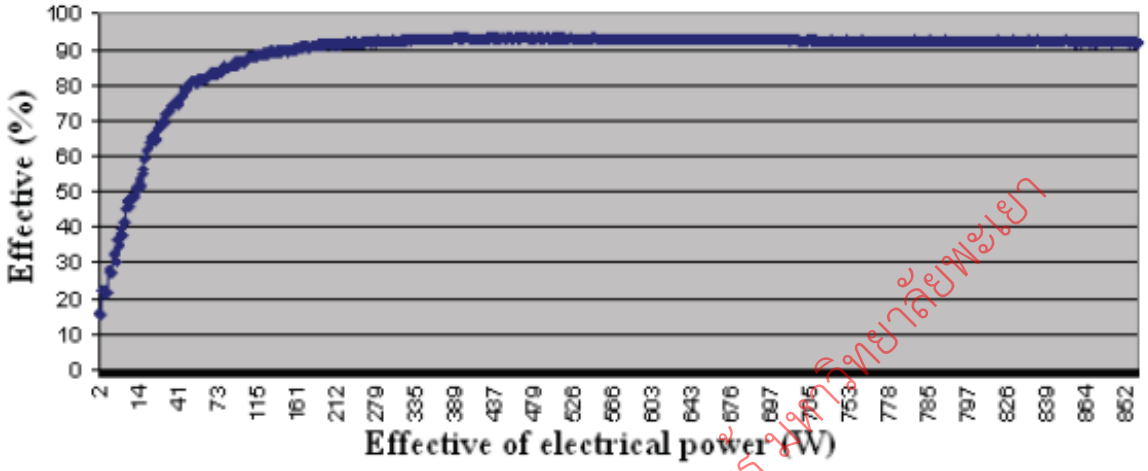
ที่มา: Potential of using a Solar-Electricity Hybrid System in North-East of Thailand R. Sakulpong, N. Pornsuwancharoen, P.P. Yupapin กับวารสาร Procedia Engineering Vol. 8, 2011, Pages 67-74

รูปที่ 9.42 แสดงค่าแรงดันไฟฟ้า (โวลต์) และกระแสไฟฟ้า (แอมแปร์) ขณะเชื่อมต่อระบบไฟฟ้ากับระบบพลังงานแสงอาทิตย์ โดยเส้นทึบแสดงค่าแรงดันไฟฟ้าของระบบไฟฟ้าแบบ 3 เฟส ซึ่งมีระดับแรงดันอยู่ที่ 320 โวลต์แบบพีก-ทู-พีก (Vp-p) ส่วนเส้นสีเทาแสดงค่ากระแสไฟฟ้าของระบบพลังงานแสงอาทิตย์แบบ 3 เฟสที่จ่ายออกจากอินเวอร์เตอร์ โดยมีค่าแรงดันไฟฟ้า (Vrms) ประมาณ 200–220 โวลต์ต่อสาย และกระแสไฟฟ้า (Irms) อยู่ในช่วง 1.0–1.2 แอมแปร์

การรวมระบบพลังงานแสงอาทิตย์เข้ากับระบบไฟฟ้าสามารถช่วยเสริมกำลังไฟฟ้าได้ประมาณ 10–15% ซึ่งส่งผลให้สามารถชดเชยกระแสไฟฟ้าในระบบได้อย่างเพียงพอ พื้นที่ที่ใช้ในการวิจัยคือ ตำบลพังโคน จังหวัดสกลนคร ประเทศไทย ซึ่งตั้งอยู่ทางภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศ ณ ละติจูด 17 องศา 21 ลิปดาเหนือ และลองจิจูด 103 องศา 42 ลิปดาตะวันออก ระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์

ศูนย์บรรณสารและการเรียนรู้ สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

แสงอาทิตย์ที่ใช้ในการวิจัยเป็นระบบเชื่อมต่อกับโครงข่ายไฟฟ้า (Grid-connected system) โดยมีขนาด 1 กิโลวัตต์ และแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ใช้เป็นชนิดอะมอร์ฟัส (Amorphous)



รูปที่ 9.43 แสดงประสิทธิภาพของระบบอินเวอร์เตอร์

ที่มา: Potential of using a Solar-Electricity Hybrid System in North-East of Thailand R. Sakulpong, N. Pornsuwancharoen, P.P. Yupapin กับวารสาร Procedia Engineering Vol. 8, 2011, Pages 67-74

จากรูปที่ 9.43 โดยเปรียบเทียบประสิทธิภาพของอินเวอร์เตอร์กับระบบไฟฟ้ากระแสสลับ (AC) ซึ่งสามารถจ่ายพลังงานได้สูงสุดถึง 93.2% เทคโนโลยีพลังงานแสงอาทิตย์สามารถให้พลังงานสำหรับการให้ความร้อน การทำความเย็น การให้แสงสว่างภายในอาคาร และการทำน้ำร้อน โดยไม่ก่อให้เกิดการปล่อยมลพิษโดยตรง ดังนั้น เทคโนโลยีเหล่านี้จึงสามารถช่วยเสริมระบบพลังงานแบบผสมผสาน และส่งเสริมการใช้พลังงานสะอาดเพื่อคุณภาพชีวิตที่ดีขึ้น การใช้ระบบพลังงานแสงอาทิตย์ในอาคารสามารถลดความจำเป็นในการผลิตไฟฟ้าจากโรงไฟฟ้าถ่านหิน ก๊าซธรรมชาติ และน้ำมัน ซึ่งช่วยลดการปล่อยสารมลพิษในอากาศ เช่น ไนโตรเจนออกไซด์ ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ และปรอท รวมถึงลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจก เช่น คาร์บอนไดออกไซด์

ผลสรุปได้ว่าในบทความนี้นำเสนอประสิทธิภาพของโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ขนาด 1 กิโลวัตต์ในจังหวัดสกลนคร ภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทย โดยพบว่ามีศักยภาพการผลิตพลังงานอยู่ที่ 4 กิโลวัตต์-ชั่วโมง โรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ขนาด 1 เมกะวัตต์สามารถผลิตพลังงานได้ประมาณ 4,000 หน่วยต่อวัน หรือเท่ากับ 4,000 กิโลวัตต์-ชั่วโมง ปริมาณพลังงานแสงอาทิตย์ที่ได้รับในหนึ่งปีอยู่ที่ประมาณ 1,427.6 กิโลวัตต์-ชั่วโมง โดยค่าเฉลี่ยของพลังงานรายวันในแต่ละเดือนสูงสุดอยู่ที่ 4.683 กิโลวัตต์-ชั่วโมง ในเดือนตุลาคม ปี 2552 ซึ่งเป็นช่วงฤดูหนาว ส่วนค่าเฉลี่ยต่ำสุดอยู่ที่ 3.239 กิโลวัตต์-ชั่วโมง ในเดือนสิงหาคม ปี 2553 ซึ่งเป็นช่วงฤดูฝน การลงทุนในโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ขนาด 1 เมกะวัตต์มีมูลค่าประมาณ 103 ล้านบาท โดยมีระยะเวลาคืนทุนประมาณ 6.3 – 7.0 ปี สำหรับแผนธุรกิจระยะยาว 20 ปี ซึ่งแสดงให้เห็นถึงศักยภาพที่สูงของพลังงานทางเลือกในการบริหารจัด

ศูนย์บรรณสารและการเรียนรู้ สถาบันวิทยบริการและการเรียนรู้ มหาวิทยาลัยพะเยา

การพลังงานสะอาด การบรรลุการแยกประจุอย่างรวดเร็วและมีอายุการใช้งานยาวนาน จะส่งผลอย่างมีนัยสำคัญต่อประสิทธิภาพของการแปลงและการกักเก็บพลังงานจากแสงอาทิตย์ไปเป็นเชื้อเพลิง ซึ่งจะมีบทบาทสำคัญในอนาคต เมื่อทรัพยากรเชื้อเพลิงของโลกเริ่มลดน้อยลง

9.8.4 การประเมินประสิทธิภาพพลังงานในระบบไฟฟ้าโรงงาน

การประเมินประสิทธิภาพพลังงานในระบบไฟฟ้าโรงงาน คือ กระบวนการศึกษาและวิเคราะห์การใช้พลังงานไฟฟ้าในโรงงานอุตสาหกรรมอย่างเป็นระบบ เพื่อประเมินว่าระบบไฟฟ้าทำงานได้มีประสิทธิภาพเพียงใด และหาแนวทางในการปรับปรุงเพื่อลดการสูญเสียพลังงานและต้นทุน

องค์ประกอบหลักของการประเมิน

1. การวิเคราะห์การใช้พลังงาน
    - การตรวจสอบรูปแบบการใช้ไฟฟ้า (Load Profile)
    - การวัดและบันทึกข้อมูลการใช้พลังงาน
    - การวิเคราะห์แนวโน้มการใช้พลังงาน
    - การระบุจุดที่มีการใช้พลังงานสูง
2. การประเมินประสิทธิภาพระบบ
    - ประสิทธิภาพของหม้อแปลง
    - ประสิทธิภาพของมอเตอร์และเครื่องจักร
    - การสูญเสียในระบบสายส่ง
    - คุณภาพกำลังไฟฟ้า (Power Quality)
    - ตัวประกอบกำลัง (Power Factor)
3. ตัวชี้วัดหลัก (KPIs)
    - ความเข้มพลังงาน (Energy Intensity)
    - ประสิทธิภาพพลังงานจำเพาะ (Specific Energy Consumption)
    - อัตราการใช้พลังงาน (Energy Utilization Rate)
    - ต้นทุนพลังงานต่อหน่วยผลิต
4. เครื่องมือและวิธีการ
    - การตรวจวัดด้วยเครื่องมือวิเคราะห์พลังงาน
    - การใช้ซอฟต์แวร์จัดการพลังงาน
    - การประเมินตามมาตรฐาน ISO 50001
    - การทำ Energy Audit
5. ผลลัพธ์ที่ได้
    - รายงานสถานภาพการใช้พลังงาน
    - ข้อเสนอแนะการปรับปรุงประสิทธิภาพ
    - แผนการลงทุนในเทคโนโลยีประหยัดพลังงาน

ศูนย์วิทยทรัพยากร สถาบันวิจัยการเรียนรู้ มหาวิทยาลัยพะเยา

- การคำนวณระยะเวลาคืนทุน (Payback Period)

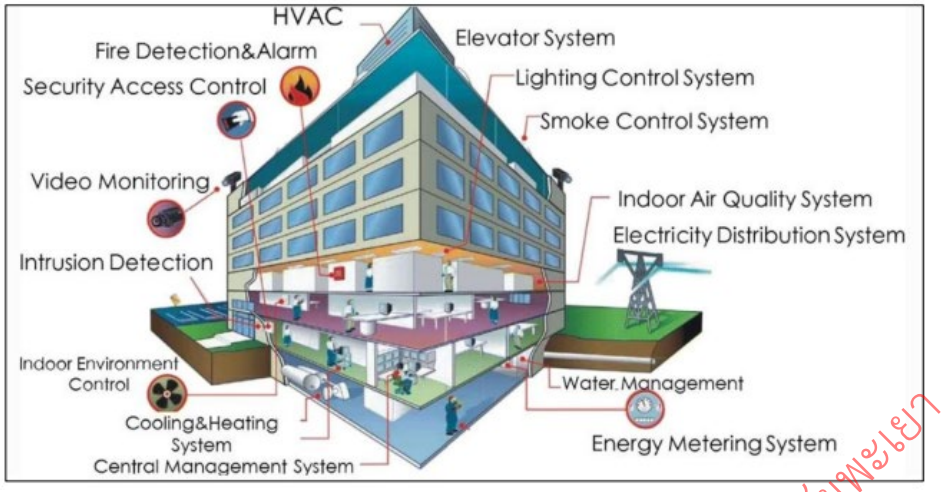
6. ประโยชน์ที่ได้รับ

- ลดต้นทุนพลังงาน
- เพิ่มประสิทธิภาพการผลิต
- ลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม
- เพิ่มความน่าเชื่อถือของระบบไฟฟ้า
- ปฏิบัติตามข้อกำหนดด้านพลังงาน

การประเมินประสิทธิภาพพลังงานเป็นเครื่องมือสำคัญที่ช่วยให้โรงงานสามารถจัดการพลังงานอย่างมีประสิทธิภาพและยั่งยืน

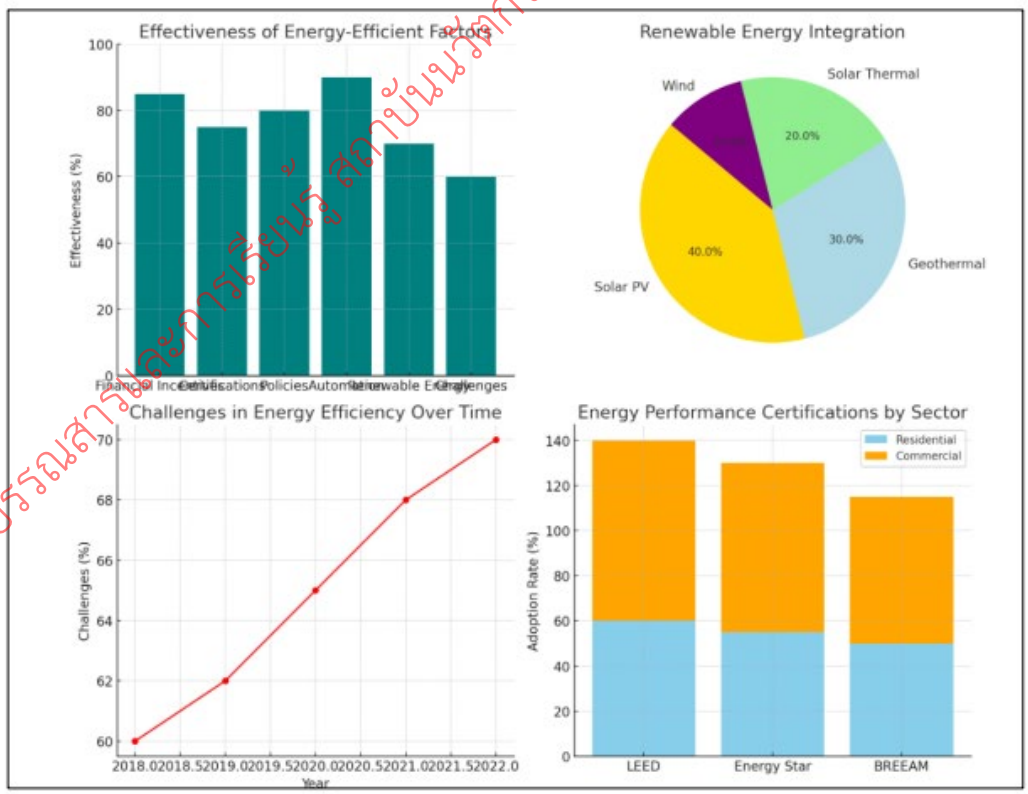
กรณีตัวอย่างที่ 9.10 เรื่อง การปรับให้เหมาะสมด้านประสิทธิภาพพลังงาน: การวิเคราะห์อย่างครอบคลุมของพารามิเตอร์การออกแบบอาคาร มีการศึกษาการสำรวจบทบาทสำคัญของแรงจูงใจทางการเงิน การรับรองประสิทธิภาพด้านพลังงาน นโยบายของรัฐบาล และเทคโนโลยีขั้นสูงในการผลักดันการนำแนวทางอาคารประหยัดพลังงานมาใช้ แรงจูงใจทางการเงิน เช่น เครดิตภาษี ส่วนลด และเงินช่วยเหลือได้รับการพิสูจน์แล้วว่าสามารถลดต้นทุนเบื้องต้นที่เกี่ยวข้องกับเทคโนโลยีประหยัดพลังงานได้อย่างมาก ทำให้ผู้พัฒนาและเจ้าของอาคารสามารถเข้าถึงนวัตกรรมเหล่านี้ได้ง่ายขึ้น การวิจัยนี้เน้นย้ำถึงประสิทธิภาพของการรับรองประสิทธิภาพด้านพลังงาน เช่น LEED และ Energy Star ในการเพิ่มมูลค่าทางการตลาดและประสิทธิภาพด้านพลังงานของอาคาร โดยจัดทำกรอบโครงสร้างสำหรับการประเมินความยั่งยืน นโยบายของรัฐบาลและรหัสอาคาร รวมถึงรหัสการอนุรักษ์พลังงานระหว่างประเทศ (International Energy Conservation Code หรือ IECC) และมาตรฐาน ASHRAE ถือเป็นปัจจัยสำคัญที่ขับเคลื่อนประสิทธิภาพด้านพลังงาน ทำให้ผู้พัฒนาต้องปฏิบัติตามมาตรฐานประสิทธิภาพที่เข้มงวด นอกจากนี้ การผสานเทคโนโลยีพลังงานหมุนเวียน เช่น แผงโซลาร์เซลล์และปั๊มความร้อนใต้พิภพ ร่วมกับระบบอัตโนมัติอาคารอัจฉริยะ ยังมีบทบาทสำคัญในการลดการใช้พลังงานและปรับปรุงประสิทธิภาพการดำเนินงาน อย่างไรก็ตาม ความแตกต่างในระดับภูมิภาคในการสนับสนุนทางการเงินและการบังคับใช้นโยบายเป็นความท้าทายต่อการนำไปใช้ในวงกว้าง การศึกษาสรุปว่า การขยายการสนับสนุนทางการเงิน การเสริมสร้างการบังคับใช้นโยบาย และการเพิ่มการรับรู้ของสาธารณชนและอุตสาหกรรมเกี่ยวกับผลประโยชน์ทางการเงินและสิ่งแวดล้อมในระยะยาวของอาคารประหยัดพลังงานถือเป็นสิ่งจำเป็นในการเร่งการเปลี่ยนผ่านสู่แนวทางการก่อสร้างที่ยั่งยืน โดยการแก้ไขปัญหาเหล่านี้ อุตสาหกรรมการก่อสร้างสามารถก้าวหน้าอย่างมีนัยสำคัญในการลดการใช้พลังงาน ลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจก และบรรลุเป้าหมายด้านความยั่งยืนระดับโลก

ศูนย์วิทยทรัพยากร จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 9.44 ระบบอาคารอัจฉริยะแบบบูรณาการเพื่อการประหยัดพลังงานและการควบคุมแบบอัตโนมัติ

ที่มา: ASM Morshed, Kazi Abu Manjur , Mohammad Shahjalal , Abul Kashem Mohammad Yahia “OPTIMIZING ENERGY EFFICIENCY: A COMPREHENSIVE ANALYSIS OF BUILDING DESIGN PARAMETERS” Academic Journal on Science, Technology, Engineering & Mathematics Education, Vol 04, Issue 04, October 2024, Page:54-73, ISSN 2997-9870, Doi: 10.69593/ajsteme.v4i04.120



รูปที่ 9.45 สรุปผลการศึกษา

ศูนย์บรรณสารและการเรียนรู้ สถาบันนวัตกรรมการเรียนรู้ มหาวิทยาลัยพะเยา

ที่มา: ASM Morshed, Kazi Abu Manjur , Mohammad Shahjalal , Abul Kashem Mohammad Yahia “OPTIMIZING ENERGY EFFICIENCY: A COMPREHENSIVE ANALYSIS OF BUILDING DESIGN PARAMETERS” Academic Journal on Science, Technology, Engineering & Mathematics Education, Vol 04, Issue 04, October 2024, Page:54-73, ISSN 2997-9870, Doi: 10.69593/ajsteme.v4i04.120

การศึกษานี้เน้นย้ำถึงบทบาทสำคัญของแรงจูงใจทางการเงิน การรับรองสมรรถนะด้านพลังงาน นโยบายของภาครัฐ และเทคโนโลยีอาคารอัจฉริยะ ในการส่งเสริมการนำแนวทางประหยัดพลังงานมาใช้ในการออกแบบและการดำเนินงานของอาคาร แรงจูงใจทางการเงิน เช่น การลดหย่อนภาษี เงินคืน และเงินสนับสนุน ได้พิสูจน์แล้วว่ามีประสิทธิภาพในการลดต้นทุนเริ่มต้นของเทคโนโลยีประหยัดพลังงาน ทำให้สามารถเข้าถึงได้ง่ายขึ้นสำหรับนักพัฒนาและเจ้าของอาคาร อย่างไรก็ตาม ความแตกต่างของแรงจูงใจระหว่างภูมิภาคยังสะท้อนให้เห็นถึงความจำเป็นในการจัดทำนโยบายที่มีความสอดคล้องกันมากขึ้น เพื่อส่งเสริมการนำไปใช้ในวงกว้าง การรับรองสมรรถนะด้านพลังงาน เช่น LEED และ Energy Star ไม่เพียงส่งเสริมการปฏิบัติที่ยั่งยืนเท่านั้น แต่ยังช่วยเพิ่มความสามารถในการแข่งขันและมูลค่าทางการตลาดของอสังหาริมทรัพย์ เนื่องจากผู้เช่าและนักลงทุนให้ความสำคัญกับความยั่งยืนมากขึ้น นโยบายของภาครัฐและข้อกำหนดด้านอาคาร เช่น มาตรฐานการอนุรักษ์พลังงานระหว่างประเทศ (IECC) และมาตรฐานของ ASHRAE มีความสำคัญในการกำหนดเกณฑ์ขั้นต่ำด้านสมรรถนะ ซึ่งผลักดันให้นักพัฒนาออกแบบอาคารให้มีประสิทธิภาพด้านพลังงาน โดยเฉพาะในการก่อสร้างอาคารใหม่ ถึงแม้ว่าการบังคับใช้นโยบายจะแตกต่างกันในแต่ละภูมิภาค ซึ่งส่งผลให้การนำไปใช้อาจไม่เท่าเทียมกัน

การบูรณาการเทคโนโลยีอาคารอัจฉริยะและระบบอัตโนมัติช่วยเพิ่มประสิทธิภาพพลังงานได้อย่างมีนัยสำคัญ ด้วยการปรับการใช้พลังงานแบบเรียลไทม์และปรับปรุงสมรรถนะของอาคาร ซึ่งมีส่วนช่วยในการประหยัดพลังงานและเพิ่มความสะดวกสบายให้แก่ผู้ใช้อาคาร

กรณีตัวอย่างที่ 9.11 เรื่อง Green AI: การยกระดับความยั่งยืนและการใช้พลังงานอย่างมีประสิทธิภาพในระบบองค์กรที่บูรณาการปัญญาประดิษฐ์ ภาษาอังกฤษ Green AI: Enhancing Sustainability and Energy Efficiency in AI-Integrated Enterprise Systems การเพิ่มขึ้นของปัญญาประดิษฐ์ (AI) ในการทำงานอัตโนมัติและขับเคลื่อนการตัดสินใจภายในระบบองค์กรได้นำไปสู่ความกังวลที่เพิ่มขึ้นเกี่ยวกับการใช้พลังงานอย่างมากในกระบวนการฝึกฝนโมเดลและการประมวลผลเพื่อการอนุมาน งานวิจัยนี้นำเสนอกรอบการทำงานที่สร้างสรรค์ใหม่ที่มุ่งเน้นไปที่การเพิ่มประสิทธิภาพพลังงานในโมเดล AI ขณะเดียวกันก็รักษาประสิทธิภาพสูงไว้ ระบบใช้อัลกอริทึมการเพิ่มประสิทธิภาพขั้นสูงที่มุ่งหมายลดการใช้พลังงานในระหว่างการฝึกฝน AI และการอนุมาน โดยให้แน่ใจว่าจะมีผลกระทบต่อความแม่นยำของโมเดลให้น้อยที่สุด การวิธีการเพิ่มประสิทธิภาพแบบพลวัตและหลายวัตถุประสงค์ถูกนำมาใช้เพื่อให้บรรลุสมดุลที่เหมาะสมระหว่างการลดพลังงานและประสิทธิภาพ โดยระบุโซลูชัน Pareto-optimal ที่ปรับแต่งสำหรับความต้องการด้านการดำเนินงานที่หลากหลาย เมื่อตรวจสอบความถูกต้องภายในสภาพแวดล้อมองค์กรขนาดใหญ่ ระบบสามารถลดการใช้พลังงานโดยรวม 30.6% โดยมีการลดลงของความแม่นยำโมเดลเพียง 0.7% เท่านั้น นอกจากนี้ ความสามารถในการขยายขนาดยังแสดงให้เห็นผ่าน

ศูนย์วิทยทรัพยากร จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

การปรับปรุงเวลาการทำงานของงาน 5.0% และการเพิ่มขึ้นของปริมาณงานของระบบ 4.8% ผลการวิจัยเน้นย้ำถึงความเป็นไปได้ในทางปฏิบัติของกรอบการทำงานนี้ในการส่งเสริมการนำ AI ไปใช้อย่างยั่งยืน ช่วยเหลือทั้งด้านประสิทธิภาพต้นทุนและความรับผิดชอบต่อสิ่งแวดล้อม บทความสรุปด้วยการอภิปรายข้อจำกัดและการร่างแนวทางที่มีศักยภาพสำหรับการวิจัยในอนาคตเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการขยายขนาดและขยายการประยุกต์ใช้กรอบการทำงานให้กว้างขึ้น

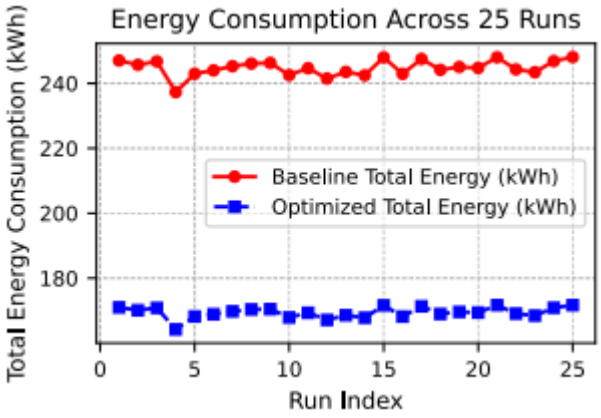


รูปที่ 9.46 การสร้างใหม่ของศูนย์ข้อมูลทดลองขนาดเล็ก รวมถึงส่วนประกอบสำคัญ เช่น หน่วยจ่ายไฟและระบบทำความเย็น การรวมระบบเซ็นเซอร์ กลไกความปลอดภัย และโครงสร้างพื้นฐานของระบบสายเคเบิล

ที่มา : S. Dash, "Green AI: Enhancing Sustainability and Energy Efficiency in AI-Integrated Enterprise Systems," in *IEEE Access*, vol. 13, pp. 21216-21228, 2025, doi: 10.1109/ACCESS.2025.3532838.

ในรูปที่ 9.46 ได้รับการออกแบบเพื่อตรวจสอบความถูกต้องของกรอบการเพิ่มประสิทธิภาพที่นำเสนอในสภาพแวดล้อมที่มีการควบคุมแต่มีความเป็นจริง รูปย่อย (ก) แสดงส่วนหนึ่งของศูนย์ข้อมูลขนาดใหญ่เดิม ส่วนนี้ได้รับการแบ่งพื้นที่อย่างระมัดระวังและสร้างใหม่ ดังที่แสดงใน (ข) และ (ค) เป็นพื้นที่เฉพาะขนาด 25 ตารางเมตร รูปย่อย (ง) ถึง (ซ) เน้นส่วนประกอบสำคัญของการติดตั้งเพื่อการทดลอง ได้แก่ การจัดการพลังงาน เซ็นเซอร์สิ่งแวดล้อม หน่วยทำความเย็น ระบบความปลอดภัย และโครงสร้างพื้นฐานของระบบสายเคเบิล

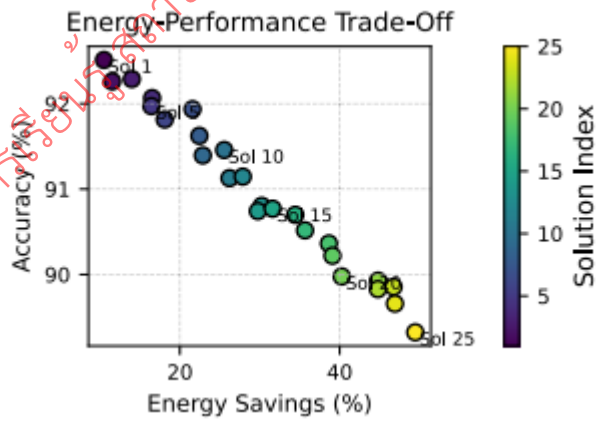
ศูนย์ปรัชญาและการเรียนรู้ สถาบันวิทยาการเรียนรู้ มหาวิทยาลัยพะเยา



รูปที่ 9.47 การใช้พลังงานตลอด 25 รอบการทดลอง แสดงระบบพื้นฐานและระบบที่ปรับให้เหมาะสม ระบบที่ปรับให้เหมาะสมสามารถบรรลุการใช้พลังงานที่ต่ำกว่าอย่างสม่ำเสมอในทุกรอบการทดลอง

ที่มา : S. Dash, "Green AI: Enhancing Sustainability and Energy Efficiency in AI-Integrated Enterprise Systems," in *IEEE Access*, vol. 13, pp. 21216-21228, 2025, doi: 10.1109/ACCESS.2025.3532838.

จากรูปที่ 9.47 แสดงการใช้พลังงานรวมสำหรับ 25 รอบการทดลอง แต่ละรอบแสดงถึงการทดลองแยกต่างหาก และผลลัพธ์เน้นย้ำการประหยัดพลังงานที่สม่ำเสมอซึ่งบรรลุโดยระบบที่ปรับให้เหมาะสม ความสม่ำเสมอนี้แสดงให้เห็นถึงความมั่นคงแข็งแกร่งของเทคนิคการเพิ่มประสิทธิภาพที่นำเสนอ



รูปที่ 9.48 การแลกเปลี่ยนระหว่างพลังงานและประสิทธิภาพตลอด 25 โซลูชัน รูปนี้แสดงให้เห็นผลตอบแทนที่ลดลงในด้านความแม่นยำเมื่อการประหยัดพลังงานเพิ่มขึ้น

ที่มา : S. Dash, "Green AI: Enhancing Sustainability and Energy Efficiency in AI-Integrated Enterprise Systems," in *IEEE Access*, vol. 13, pp. 21216-21228, 2025, doi: 10.1109/ACCESS.2025.3532838.

ศูนย์บรรณสารและการเรียนรู้ สถาบันนวัตกรรมการเรียนรู้ มหาวิทยาลัยพะเยา

จากรูปที่ 9.48 แสดงให้เห็นประสิทธิผลของกรอบการเพิ่มประสิทธิภาพในการระบุโซลูชัน Pareto-optimal ที่ทำให้สามารถตัดสินใจอย่างมีข้อมูลในระบบองค์กร

สรุปว่าในบทความนี้ เราได้นำเสนอกรอบการเพิ่มประสิทธิภาพที่ประหยัดพลังงานซึ่งออกแบบมาเพื่อลดการใช้พลังงานของโมเดล AI ในระบบองค์กรขนาดใหญ่ ขณะเดียวกันก็รักษาประสิทธิภาพของโมเดลไว้ในระดับสูง โดยการนำเสนออัลกอริทึมการเพิ่มประสิทธิภาพใหม่และใช้วิธีการเพิ่มประสิทธิภาพแบบพลวัตหลายวัตถุประสงค์ เราสามารถบรรลุการประหยัดพลังงานอย่างมีนัยสำคัญในระหว่างการฝึกฝนโมเดล AI และการประมวลผลเพื่อการอนุมาน ระบบได้รับการตรวจสอบความถูกต้องในสภาพแวดล้อมองค์กรในโลกจริง โดยแสดงให้เห็นการลดลงของการใช้พลังงาน 30.6% พร้อมกับความแม่นยำที่ลดลงเพียงเล็กน้อย 0.7% เท่านั้น นอกจากนี้ ระบบยังแสดงการปรับปรุงในด้านความสามารถในการขยายขนาด โดยมีการลดลงของเวลาการทำงาน 5.0% และการเพิ่มขึ้นของปริมาณงาน 4.8%

กรอบการทำงานที่นำเสนอแก้ไขช่องว่างสำคัญในการวิจัยปัจจุบัน รวมถึงความจำเป็นสำหรับสมดุลระหว่างประสิทธิภาพพลังงานและประสิทธิภาพของโมเดล รวมถึงการขาดการตรวจสอบความถูกต้องในสภาพแวดล้อมองค์กรขนาดใหญ่ในโลกจริง โดยการนำเสนอการติดตามพลังงานแบบละเอียดและใช้ประโยชน์จากการแลกเปลี่ยน Pareto-optimal ระบบเสนอโซลูชันที่เป็นไปได้จริงสำหรับความท้าทายของการนำ AI ที่ประหยัดพลังงานไปใช้ในระบบองค์กร

แม้จะประสบความสำเร็จ กรอบการทำงานนี้มีข้อจำกัดบางประการ เช่น การนำไปใช้ทั่วไปกับสถาปัตยกรรม AI ที่หลากหลายและความจำเป็นในการติดตามพลังงานที่ละเอียดยิ่งขึ้นในระดับการดำเนินงาน การวิจัยในอนาคตจะมุ่งเน้นไปที่การขยายความสามารถในการนำไปใช้ของกรอบการทำงานกับสถาปัตยกรรม AI ต่างๆ การปรับปรุงกลไกการแลกเปลี่ยนแบบพลวัต และการสำรวจการเพิ่มประสิทธิภาพในระดับฮาร์ดแวร์เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพพลังงานมากยิ่งขึ้น

โดยสรุป ระบบที่นำเสนอมีส่วนช่วยในความพยายามอย่างต่อเนื่องเพื่อ AI ที่ยั่งยืนโดยการให้โซลูชันการเพิ่มประสิทธิภาพที่ประหยัดพลังงานและขยายได้สำหรับระบบองค์กร งานนี้เปิดทางสำหรับการนำ AI ไปใช้ที่ใส่ใจด้านพลังงานมากขึ้น สนับสนุนทั้งการลดต้นทุนการดำเนินงานและความยั่งยืนด้านสิ่งแวดล้อมในยุคขององค์กรที่ขับเคลื่อนด้วย AI

ศูนย์บรรณสารและการเรียนรู้ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

สรุปท้ายบทเรียนบทที่ 9

วัตต์มิเตอร์ (Wattmeter) คือ เครื่องมือที่ใช้สำหรับวัดกำลังไฟฟ้าในวงจรไฟฟ้ากระแสตรง (DC) และกระแสสลับ (AC)

ประเภทของวัตต์มิเตอร์

1. วัตต์มิเตอร์แบบขดลวดเคลื่อนที่ (Electrodynamometer Type)
   - ใช้หลักการแรงแม่เหล็กระหว่างขดลวดกระแสและขดลวดแรงดัน
   - เหมาะสำหรับการวัดทั้งไฟฟ้ากระแสตรงและกระแสสลับ
2. วัตต์มิเตอร์แบบดิจิทัล (Digital Wattmeter)
   - แสดงค่าด้วยตัวเลข
   - ความแม่นยำสูง ใช้งานสะดวก

องค์ประกอบของวัตต์มิเตอร์แบบขดลวดเคลื่อนที่

- ขดลวดกระแส (Current Coil) ต่ออนุกรมกับโหลด
- ขดลวดแรงดัน (Voltage Coil) ต่อขนานกับโหลด
- เข็มชี้และสเกล แสดงค่ากำลังไฟฟ้า

หลักการทำงาน วัตต์มิเตอร์จะวัดพลังงานไฟฟ้าจากแรงแม่เหล็กที่เกิดจากกระแสในขดลวดทั้งสอง ทำให้เกิดแรงบิดที่สัมพันธ์กับกำลังไฟฟ้าจริง (Watt) การใช้งาน ใช้วัดกำลังไฟฟ้าในวงจรไฟฟ้ากระแสตรงหรือกระแสสลับ และ ใช้ในงานทดลองทางไฟฟ้า หรือระบบไฟฟ้าภายในบ้านและโรงงาน ข้อควรระวังในการใช้วัตต์มิเตอร์ อย่าให้กระแสหรือแรงดันเกินพิกัดที่กำหนด ต่อวงจรให้ถูกต้อง ขดลวดกระแสต้องต่ออนุกรม ขดลวดแรงดันต้องต่อขนาน และ หลีกเลี่ยงแรงกระแทกหรือการตกหล่น

สมการใช้งานที่เกี่ยวข้อง

ปริมาณ	ระบบไฟฟ้า 1 เฟส	ระบบไฟฟ้า 3 เฟส
P	$P = V \times I \times Cos\theta$	$P_{3\Phi} = \sqrt{3} \times V_L \times I_L \times Cos\theta$
Q	$Q = V \times I \times Sin\theta$	$Q_{3\Phi} = \sqrt{3} \times V_L \times I_L \times Sin\theta$
S	$S = V \times I$ $S = \sqrt{P^2 + Q^2}$	$S_{3\Phi} = \sqrt{3} \times V_L \times I_L$ $S_{3\Phi} = \sqrt{P_{3\Phi}^2 + Q_{P_{3\Phi}}^2}$
Cos θ (PF)	$\frac{P}{S}$	$\frac{P_{3\Phi}}{S_{3\Phi}}$

ศูนย์บรรณสารและสื่อการเรียนรู้ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ มหาวิทยาลัยพะเยา

แบบฝึกหัดท้ายบทเรียนที่ 9

1. อธิบายหน้าที่ของวัตต์มิเตอร์และความสำคัญในการใช้งานทางไฟฟ้า
2. วัตต์มิเตอร์มีขดลวดหลักกี่ชนิด แต่ละชนิดมีหน้าที่อย่างไร
3. อธิบายหลักการทำงานของวัตต์มิเตอร์แบบขดลวดเคลื่อนที่
4. วัตต์มิเตอร์แบบขดลวดเคลื่อนที่สามารถวัดได้ทั้งไฟฟ้ากระแสตรงและกระแสสลับหรือไม่เพราะเหตุใด
5. วาดแผนภาพการต่อวัตต์มิเตอร์ในวงจรไฟฟ้าพร้อมอธิบายว่าแต่ละขดลวดควรอยู่ตำแหน่งใด
6. จงเปรียบเทียบข้อดีและข้อเสียระหว่างวัตต์มิเตอร์แบบเข็ม (แอนะล็อก) และวัตต์มิเตอร์แบบดิจิทัล
7. อธิบายความแตกต่างระหว่างวัตต์มิเตอร์กับโวลต์มิเตอร์ และแอมมิเตอร์
8. หากในวงจรไฟฟ้ามีแรงดันไฟฟ้า 230 โวลต์ และกระแสไฟฟ้า 5 แอมแปร์ จงคำนวณหากำลังไฟฟ้าที่ใช้
9. วัตต์มิเตอร์สามารถอ่านค่าติดลบได้หรือไม่ อธิบายสาเหตุ
10. หากต่อขั้วของขดลวดแรงดันหรือขดลวดกระแสผิด จะส่งผลต่อการอ่านค่าอย่างไร
11. ถ้าโหลดเป็นแบบรีแอกทีฟ เช่น ขดลวดเหนี่ยวนำล้วน วัตต์มิเตอร์จะอ่านค่าเป็นอย่างไรเพราะเหตุใด
12. อธิบายวิธีการตรวจสอบว่าวัตต์มิเตอร์ยังสามารถใช้งานได้อย่างถูกต้องหรือไม่
13. ถ้ากำลังไฟฟ้าที่ใช้คือ 1000 วัตต์ ในเวลา 2 ชั่วโมง จงคำนวณพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ทั้งหมดในหน่วยวัตต์-ชั่วโมง (Wh) และกิโลวัตต์-ชั่วโมง (kWh)
14. อธิบายเหตุผลที่ต้องเลือกวัตต์มิเตอร์ให้มีพิกัดเหมาะสมกับวงจรที่จะวัด
15. สมมติคุณต้องใช้วัตต์มิเตอร์วัดกำลังไฟฟ้าในบ้าน อธิบายขั้นตอนการเตรียมเครื่องมือและการต่อวงจรอย่างปลอดภัย

อ้างอิงและบรรณานุกรมประจำบทที่ 9

[1] S. Julajaturasirarath, W. Jonburom, N. Pornsuwancharoen, The experiment of double solar energy by reflection light method, ***Procedia Engineering,*** Volume 32, 2012, Pages 522-530, ISSN 1877-7058, https://doi.org/10.1016/j.proeng.2012.01.1303.

[2] Jeerapong Srivichai, Kittaya Somsai, Nithiroth Pornsuwancharoen. “Modeling and analysis of three-phase boost rectifier for DC fast EV charging” International Journal of Power Electronics and Drive System (IJPEDS) Vol. 16, No. 2, June 2025, pp. 1094~1106 ISSN: 2088-8694, DOI: 10.11591/ijpeds.v16.i2.pp1094-1106

[3] R. Sakulpong, N. Pornsuwancharoen , P.P. Yupapin “Potential of using a Solar-Electricity Hybrid System in North-East of Thailand” ***Procedia Engineering***, Vol. 8, 2011, Pages 67-74.

[4] ASM Morshed, Kazi Abu Manjur , Mohammad Shahjalal , Abul Kashem Mohammad Yahia “OPTIMIZING ENERGY EFFICIENCY: A COMPREHENSIVE ANALYSIS OF BUILDING DESIGN PARAMETERS” Academic Journal on Science, Technology, Engineering &

ศูนย์วิทยทรัพยากร สถาบันนวัตกรรมการเรียนรู้ มหาวิทยาลัยพะเยา

Mathematics Education, Vol 04, Issue 04, October 2024, Page:54-73, ISSN 2997-9870. Doi: 10.69593/ajsteme.v4i04.120

[5] S. Dash, "Green AI: Enhancing Sustainability and Energy Efficiency in AI-Integrated Enterprise Systems," in *IEEE Access*, vol. 13, pp. 21216-21228, 2025, doi: 10.1109/ACCESS.2025.3532838.

ศูนย์บรรณสารและการเรียนรู้ สถาบันนวัตกรรมการเรียนรู้ มหาวิทยาลัยพะเยา

ใบงานที่ 1

เรื่อง ความผิดพลาดของการวัด

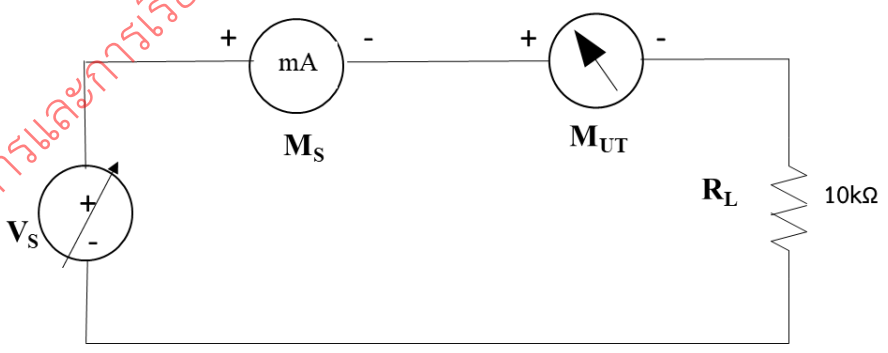
วัตถุประสงค์

1. เพื่อให้นักศึกษาเข้าใจความหมายและประเภทของความผิดพลาดในการวัด
2. เพื่อให้นักศึกษาสามารถแยกแยะความผิดพลาดที่เกิดจากเครื่องมือ บุคคล และสภาพแวดล้อม
3. เพื่อให้นักศึกษาสามารถวิเคราะห์และอธิบายสาเหตุของความคลาดเคลื่อนในการวัดได้อย่างถูกต้อง
4. เพื่อให้นักศึกษามีทักษะในการวัดและบันทึกข้อมูลอย่างถูกต้องและรอบคอบ
5. เพื่อปลูกฝังเจตคติที่ดีในการทำงานวิทยาศาสตร์ด้วยความแม่นยำและความรับผิดชอบ

เครื่องมือและอุปกรณ์

1.	มัลติมิเตอร์ (Multimeter)	1	เครื่อง
2.	เพาเวอร์ซัพพลาย (DC Power Supply) 0-30 V	1	เครื่อง
3.	สายวัด และสายต่อวงจร (Test Leads / Jumper Wires)	1	จำนวน
4.	ตัวต้านทาน 10 KΩ	1	ตัว
5.	คลิปหนีบสายไฟ / ปากคีบ (Alligator Clips / Probes)	1	จำนวน
6.	เครื่องมือพื้นฐาน เช่น ไขควง คีมตัด คีมปากจิ้งจก	1	จำนวน
7.	คู่มือหรือ Datasheet ของอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์	1	เล่ม

ลำดับขั้นการทดลอง



รูปที่ 1.1 วงจรทดลองหาค่าความผิดพลาด

1. ต่อวงจรทดลองตามรูปที่ 1.1 ใช้แอมมิเตอร์ M_{UT} = 100 μA

เมื่อ M_{UT} คือ MUT (Measurement Unit Under Test) คือ หน่วยที่ต้องการวัดหรือทดสอบ และ M_S (Measuring System) คือ ระบบการวัด หรือ เครื่องมือที่ใช้ในการวัด

2. ตั้งค่าของแหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้า (VS) โดยปรับแรงดันให้แอมมิเตอร์มาตรฐาน (MS) แสดงค่ากระแสไฟฟ้าเท่ากับ 100 μA

ศูนย์บรรณสารและการเรียนรู้ สถาบันวิจัยและพัฒนาการเรียนรู้ มหาวิทยาลัยพะเยา

3. อ่านค่ากระแสไฟฟ้าที่แอมมิเตอร์ MUT วัดได้ และบันทึกค่าที่อ่านได้ลงในตารางผลการทดลอง (ตารางที่ 1.1)

4. เปลี่ยนค่ากระแสโดยปรับแรงดันจากแหล่งจ่ายไฟ (VS) ให้แอมมิเตอร์มาตรฐาน (MS) แสดงค่ากระแสตรงตามที่กำหนดไว้ในตารางที่ 1.1 แล้วจึงบันทึกค่ากระแสที่แอมมิเตอร์ MUT อ่านได้ในแต่ละช่วงลงในตารางเดียวกัน

5. นำค่ากระแสที่ได้จากทั้ง MS และ MUT มาคำนวณหาค่าความคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์ (Absolute Error) และค่าความคลาดเคลื่อนสัมพัทธ์ (Relative Error) จากนั้นกรอกผลลัพธ์ลงในตารางที่ 1.1 ให้ครบถ้วน เพื่อประเมินความแม่นยำของเครื่องมือ MUT และเรียนรู้วิธีการวิเคราะห์ความผิดพลาดในการวัดทางไฟฟ้า

ตารางที่ 1.1 แอมมิเตอร์ M_{UT} คลาส 1.5 ขนาด 100 μA

ค่ากระแสที่อ่านได้จากมิเตอร์มาตรฐาน	ค่ากระแสที่อ่านได้จากมิเตอร์ M_{UT}	ค่าผิดพลาดสมบูรณ์	ค่าผิดพลาดสัมพัทธ์
10 μA			
20 μA			
30 μA			
40 μA			
50 μA			
60 μA			
70 μA			
80 μA			
90 μA			
100 μA			

6. เปลี่ยนแอมมิเตอร์ที่ทำหน้าที่เป็นหน่วยทดสอบ (MUT) จากรุ่นที่มีช่วงการวัดสูงสุด 100 μA ไปเป็นแอมมิเตอร์อีกตัวหนึ่งซึ่งมีช่วงการวัดสูงสุด 1 mA ตามที่แสดงไว้ในรูปที่ 1.1

7. ปรับค่าแรงดันไฟจากแหล่งจ่ายไฟ (VS) ให้แอมมิเตอร์มาตรฐาน (MS) แสดงค่ากระแสไฟฟ้าเป็น 1 มิลลิแอมแปร์ (mA)

8. ทำการทดลองซ้ำตามขั้นตอนข้อ 3, 4 และ 5 โดยใช้แอมมิเตอร์ MUT ตัวใหม่ (ช่วง 1 mA) และบันทึกข้อมูลทั้งหมดลงในตารางที่ 1.2

ศูนย์วิทยทรัพยากร สถาบันนวัตกรรมการเรียนรู้ มหาวิทยาลัยพะเยา

ตารางที่ 1.2 แอมมิเตอร์ M_{UT} คลาส 2.0 ขนาด 1 mA

ค่ากระแสที่อ่านได้จากมิเตอร์มาตรฐาน	ค่ากระแสที่อ่านได้จากมิเตอร์ M_{UT}	ค่าผิดพลาดสมบูรณ์	ค่าผิดพลาดสัมพัทธ์
0.1 mA			
0.2 mA			
0.3 mA			
0.4 mA			
0.5 mA			
0.6 mA			
0.7 mA			
0.8 mA			
0.9 mA			
1 mA			

สรุปผลการทดลอง

.....

.....

.....

.....

.....

.....

ปัญหาและข้อเสนอแนะ

.....

.....

.....

คำถามท้ายการทดลอง

1. จงอธิบายความแตกต่างระหว่าง MUT และ MS พร้อมยกตัวอย่างประกอบ
2. ความผิดพลาดในการวัดสามารถเกิดขึ้นจากสาเหตุใดบ้าง และมีวิธีลดความผิดพลาดอย่างไร
3. หากค่าที่วัดได้จากมัลติมิเตอร์มีค่าคลาดเคลื่อนจากค่าที่ควรเป็น ควรตรวจสอบหรือดำเนินการอย่างไร
4. เพราะเหตุใดการสอบเทียบเครื่องมือวัด (Calibration) จึงมีความสำคัญในการทำงานด้านอิเล็กทรอนิกส์
5. จากการทดลองครั้งนี้ คุณได้เรียนรู้อะไรเกี่ยวกับการใช้งานเครื่องมือวัด และจะนำไปประยุกต์ใช้อย่างไรในการทำงานจริง

ศูนย์บรรณสารและการเรียนรู้ สถาบันนวัตกรรมการเรียนรู้ มหาวิทยาลัยพะเยา

ใบงานที่ 2
เรื่อง การออกแบบแอมมิเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง

จุดประสงค์

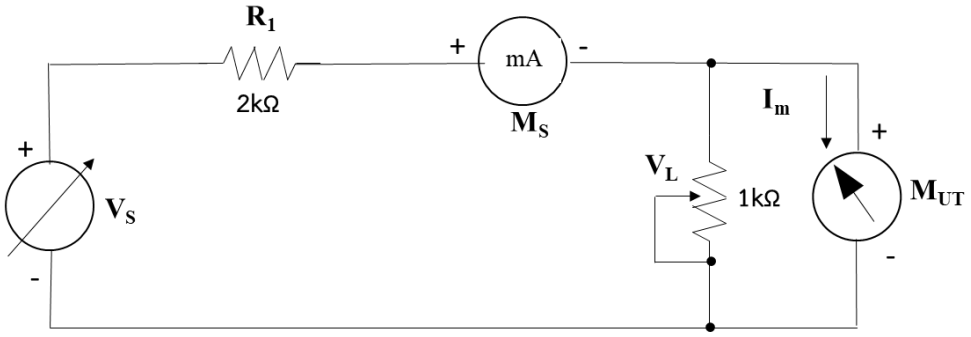
1. เพื่อให้นักศึกษาเข้าใจหลักการทำงานของแอมมิเตอร์ชนิดไฟฟ้ากระแสตรง (DC Ammeter)
2. เพื่อฝึกทักษะการคำนวณหาค่าตัวต้านทานชันต์ (Shunt Resistor) ที่ใช้ในการออกแบบแอมมิเตอร์
3. เพื่อให้นักศึกษาสามารถต่อวงจรแอมมิเตอร์อย่างถูกต้องและปลอดภัย
4. เพื่อให้นักศึกษาสามารถออกแบบแอมมิเตอร์ที่สามารถวัดกระแสในช่วงต่าง ๆ ได้ตามต้องการ
5. เพื่อส่งเสริมให้นักศึกษามีความเข้าใจในการประยุกต์ใช้องค์ความรู้ทางทฤษฎีมาสู่การปฏิบัติจริงทางด้านอิเล็กทรอนิกส์

เครื่องมือและอุปกรณ์

1. กัลวานอมิเตอร์ (Galvanometer)	1 ตัว
2. ตัวต้านทานชนิดค่าคงที่ (Fixed Resistor) 2 kΩ 1 W	1 ตัว
3. แหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง (DC Power Supply) 0 – 30 V	1 ตัว
4. แผ่นทดลองวงจร (Breadboard)	1 แผง
5. สาย Jumper หรือสายต่อวงจร	1 จำนวน
6. มัลติมิเตอร์มาตรฐาน (Multimeter)	1 ตัว
7. ตัวต่านทานปรับค่าได้ 1 kΩ 2 W	1 ตัว
8. โหลดตัวต้านทานค่าต่าง ๆ (Load Resistor)	1 ชุด
9. กระดาษตาราง บันทึกข้อมูล และเครื่องคิดเลข	1 เครื่อง
10. อุปกรณ์พื้นฐาน เช่น คีมตัด คีมปากจิ้งจก ไขควง	1 จำนวน

ลำดับขั้นการทดลอง

ตอนที่ 1 วัดค่ากระแสเต็มสเกลและค่าความต้านทานภายใน



รูปที่ 2.1 วงจรตรวจวัดค่ากระแสเต็มสเกล

ศูนย์บรรณสารและการเรียนรู้ สถาบันนวัตกรรมการเรียนรู้ มหาวิทยาลัยพะเยา

1.1 จัดเตรียมวงจรตามแผนภาพที่ 2.1 โดยกำหนดให้แหล่งจ่ายไฟมีค่าแรงดัน 0 โวลต์ และยังไม่เชื่อมต่อตัวต้านทาน V_R เข้ากับวงจร

1.2 ดำเนินการเพิ่มแรงดันของแหล่งจ่ายไฟอย่างค่อยเป็นค่อยไป จนกระทั่งเข็มของมิเตอร์ M_{UT} เบี่ยงไปสุดสเกล

1.3 จากผลการทดสอบในขั้นตอนที่ 1.2 จะสามารถหาค่ากระแสไฟฟ้าสูงสุดที่มิเตอร์ M_{UT} สามารถรองรับได้ ซึ่งเป็นค่ากระแสเต็มสเกลของมิเตอร์ดังกล่าว M_{UT} = ...mA เหตุผล ..... ต่อตัวต้านทาน V_R = 1 kΩ ดังรูปที่ 2.1 และทำการปรับ V_R ให้เข็มของมิเตอร์ M_{UT} ชี้ตำแหน่งกึ่งกลางสเกล (Half scale)

1.4 นำตัวต้านทาน V_R = 1 kΩ ออกจากวงจรในรูปที่ 2.1 และนำมาวัดค่าความต้านทานซึ่งค่าที่วัดได้คือค่าความต้านทานภายในของแอมมิเตอร์ได้

R_m =.....Ω

ตอนที่ 2 การขยายย่านวัดแอมมิเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง

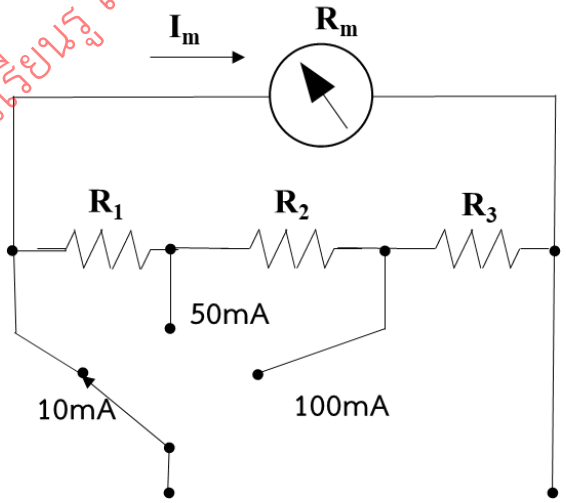
2.1 คำนวณหาค่าความต้านทานขยายย่านวัดของแอมมิเตอร์ไฟฟ้าแระแสตรง R_1, R_2 และ R_3 ของย่านวัด 10 mA, 50 mA และ 100 mA ตามลำดับในรูปที่ 2.2 (ใช้ค่า I_m และ R_m จากการทดลองตอนที่ 1) ได้

R_1 =.....Ω

R_2 =.....Ω

R_3 =.....Ω

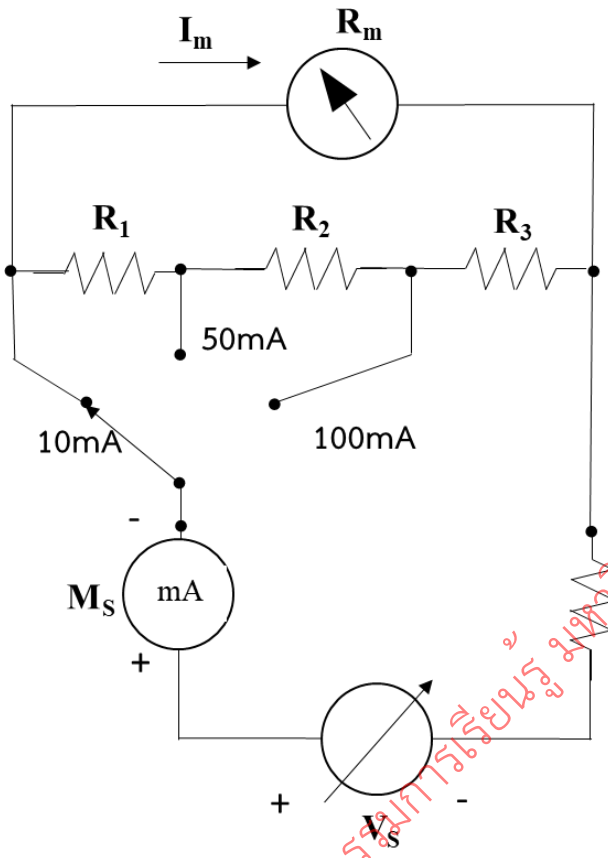
2.2 เลือกค่าความต้านทานที่คำนวณได้และประกอบวงจร ดังรูปที่ 2.2 ในชุดทดลอง



รูปที่ 2.2 วงจรแอมมิเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง 3 ย่านวัด

2.3 นำแอมมิเตอร์กระแสตรงที่สร้างขึ้นมาดำเนินการตรวจสอบความแม่นยำโดยการเปรียบเทียบกับแอมมิเตอร์อ้างอิง โดยจัดวางวงจรตามแผนภาพที่ 2.3 และเริ่มต้นโดยการตั้งค่าแรงดันไฟฟ้าของแหล่งจ่ายที่ 0 โวลต์

ศูนย์บรรณสารและการเรียนรู้ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ มหาวิทยาลัยพายัพ



รูปที่ 2.3 วงจรทดสอบแอมมิเตอร์มาตรฐานกับแอมมิเตอร์ที่สร้างขึ้น

2.4 กำหนดช่วงการวัดกระแสไฟฟ้าของแอมมิเตอร์อ้างอิงและแอมมิเตอร์ที่ประดิษฐ์ขึ้นให้อยู่ที่ระดับ 10mA เท่ากัน

2.5 ดำเนินการควบคุมแรงดันไฟฟ้าจากแหล่งจ่ายให้เข็มของแอมมิเตอร์อ้างอิงเบี่ยงไปยังจุดต่างๆ ตามที่กำหนดในตารางที่ 2.1 จากนั้นทำการอ่านและจดบันทึกค่ากระแสที่แสดงผลจากแอมมิเตอร์ที่สร้างขึ้นลงในตารางที่ 2.1 พร้อมทั้งคำนวณหาค่าร้อยละของความคลาดเคลื่อนโดยใช้สูตรการคำนวณ

$$\% \text{ ความผิดพลาด} = \left|\frac{Y_n - X_n}{Y_n}\right| \times 100\ \%$$

ตารางที่ 2.1 ย่านวัด 10mA

ค่าจากมิเตอร์มาตรฐาน (mA)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
ค่าจากมิเตอร์ที่สร้างขึ้น (mA)										
% ความผิดพลาด										

2.6 ทำการทดลองซ้ำข้อที่ 2.4 และข้อที่ 2.5 โดยเปลี่ยนย่านวัดเป็น 50 mA และ 100 mA ตามลำดับ บันทึกผลการทดลองในตารางที่ 2.2 และตารางที่ 2.3 ตามลำดับ

ตารางที่ 2.2 ย่านวัด 50mA

ค่าจากมิเตอร์มาตรฐาน (mA)	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50
ค่าจากมิเตอร์ที่สร้างขึ้น (mA)										
% ความผิดพลาด										

ศูนย์วิทยทรัพยากร สถาบันเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์ มหาวิทยาลัยพะเยา

ตารางที่ 2.3 ย่านวัด 100mA

ค่าจากมิเตอร์มาตรฐาน (mA)	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
ค่าจากมิเตอร์ที่สร้างขึ้น (mA)										
% ความผิดพลาด										

สรุปผลการทดลอง

.....

.....

.....

.....

.....

.....

ปัญหาและข้อเสนอแนะ

.....

.....

.....

คำถามท้ายการทดลอง

1. การออกแบบแอมมิเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงต้องคำนึงถึงปัจจัยใดบ้าง และทำไมจึงต้องคำนึงถึงปัจจัยเหล่านั้น
2. อธิบายหลักการทำงานของแอมมิเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง และความแตกต่างระหว่างแอมมิเตอร์ที่วัดกระแสตรงกับกระแสสลับ
3. ในการทดลอง ถ้าค่าความต้านทานชันต์ (shunt resistor) ไม่ถูกต้อง จะส่งผลต่อการวัดกระแสอย่างไร
4. เพราะเหตุใดแอมมิเตอร์จึงต้องต่อแบบอนุกรมกับวงจร และจะเกิดอะไรขึ้นหากต่อลัดวงจรหรือผิดวิธี
5. จากการทดลอง อธิบายข้อผิดพลาดที่อาจเกิดขึ้นระหว่างการวัดและการประกอบวงจร และแนวทางในการป้องกันข้อผิดพลาดเหล่านั้น

ศูนย์บรรณสารและการเรียนรู้ สถาบันนวัตกรรมการเรียนรู้ มหาวิทยาลัยพะเยา

ใบงานที่ 3
เรื่อง การออกแบบโวลต์มิเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง

จุดประสงค์

1. เพื่อศึกษาหลักการทำงานของโวลต์มิเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง
2. เพื่อเรียนรู้วิธีการออกแบบโวลต์มิเตอร์โดยใช้แกนวัดกระแส และการต่อความต้านทานอนุกรม
3. เพื่อสามารถคำนวณหาค่าความต้านทานที่ต้องใช้ในการออกแบบโวลต์มิเตอร์สำหรับช่วงแรงดันต่าง ๆ
4. เพื่อทดลองประกอบวงจรโวลต์มิเตอร์อย่างถูกต้องและปลอดภัย
5. เพื่อวิเคราะห์ข้อผิดพลาดที่อาจเกิดขึ้นจากการออกแบบหรือการวัดแรงดันในวงจร

เครื่องมือและอุปกรณ์

1. กาลวานอมิเตอร์ (Galvanometer)	1 ตัว
2. ตัวต้านทาน (Resistors) ค่าที่คำนวณได้	1 จำนวน
3. แหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง (DC Power Supply) 0 – 30 V	1 ตัว
4. มัลติมิเตอร์ (Multimeter)	1 ตัว
5. สายไฟ หรือ สายต่อวงจร (Connecting Wires)	1 จำนวน
6. บอร์ดทดลอง (Breadboard) หรือ แผ่นประกอบวงจร (Circuit Board)	1 แผง
7. คลิปหนีบสายไฟ หรือ หัวต่อสาย (Alligator Clips / Banana Plugs)	1 จำนวน

ลำดับขั้นการทดลอง

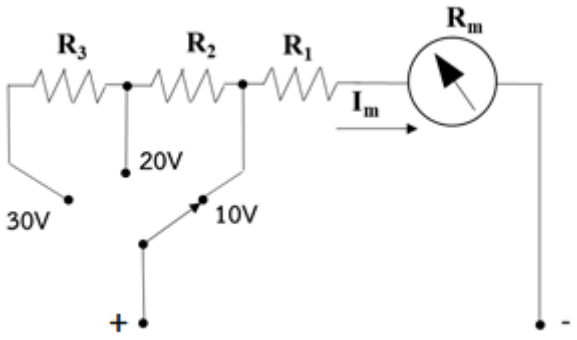
1. คำนวณหาค่าความต้านทานขยายย่านวัดของโวลต์มิเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง R_1, R_2 และ R_3 ของย่านวัด 10V, 20V และ 30V ในรูปที่ 3.1 ได้

R_1 = ...Ω

R_2 = ...Ω

R_3 = ...Ω

2. เลือกค่าความต้านทานที่คำนวณได้แล้วประกอบวงจรตามรูปที่ 3.1 ในชุดทดลอง จากนั้นทำการปรับเทียบสเกลของแอมมิเตอร์ให้แสดงค่าเป็นสเกลโวลต์มิเตอร์ เพื่อใช้วัดแรงดันไฟฟ้าแทนกระแส

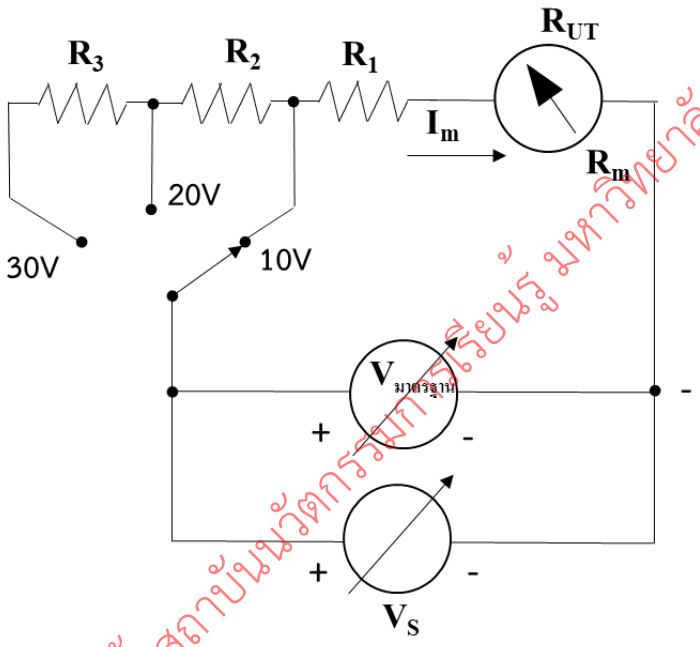


รูปที่ 3.1 วงจรโวลต์มิเตอร์กระแสตรง 3 ย่านวัด

ศูนย์วิทยทรัพยากร สถาบันนวัตกรรมการเรียนรู้ มหาวิทยาลัยพะเยา

3. นำโวลต์มิเตอร์ที่สร้างขึ้นมาทดสอบ โดยเปรียบเทียบค่าที่อ่านได้กับโวลต์มิเตอร์กระแสตรงมาตรฐาน ตามรูปที่ 3.2
4. ตั้งย่านวัดของทั้งโวลต์มิเตอร์ที่สร้างขึ้นและโวลต์มิเตอร์มาตรฐานไว้ที่ 10V
5. ปรับแรงดันจากแหล่งจ่ายไฟ V_S ให้เป็นไปตามค่าที่กำหนดในตารางที่ 3.1 แล้วอ่านและบันทึกค่าแรงดันจากโวลต์มิเตอร์ที่สร้างไว้ในตาราง พร้อมคำนวณเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาด ดังนี้

$$\% \text{ ความคลาดเคลื่อน} = \left|\frac{Y_n - X_n}{Y_n}\right| \times 100\ \%$$



รูปที่ 3.2 วงจรทดสอบโวลต์มิเตอร์มาตรฐานกับโวลต์มิเตอร์ที่สร้างขึ้น

ตารางที่ 3.1 ย่านวัด 10V

ค่าจากมิเตอร์มาตรฐาน (V)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
ค่าจากมิเตอร์ที่สร้างขึ้น (V)										
% ความผิดพลาด										

6. เปลี่ยนย่านวัดของโวลต์มิเตอร์ที่สร้างขึ้นเป็น 20V และ 30V ตามลำดับ โดยคงย่านวัดของโวลต์มิเตอร์มาตรฐานไว้ที่ 50V จากนั้นทำการทดลองตามขั้นตอนที่ 5 คือ ปรับแรงดันจากแหล่งจ่ายไฟ V_S ตามที่กำหนด แล้วอ่านและบันทึกค่าแรงดันจากโวลต์มิเตอร์ที่สร้างไว้ใน ตารางที่ 3.2 (สำหรับย่าน 20V) และ ตารางที่ 3.3 (สำหรับย่าน 30V) พร้อมทั้งคำนวณเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดในแต่ละกรณี

ตารางที่ 3.2 ย่านวัด 20V

ค่าจากมิเตอร์มาตรฐาน (V)	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20
ค่าจากมิเตอร์ที่สร้างขึ้น (V)										
% ความผิดพลาด										

ศูนย์บรรณสารและการเรียนรู้ สถาบันนวัตกรรมการเรียนรู้ มหาวิทยาลัยพะเยา

ตารางที่ 3.3 ย่านวัด 30V

ค่าจากมิเตอร์มาตรฐาน (V)	3	6	9	12	15	18	21	24	27	30
ค่าจากมิเตอร์ที่สร้างขึ้น (V)										
% ความผิดพลาด										

สรุปผลการทดลอง

.....

.....

.....

.....

.....

.....

ปัญหาและข้อเสนอแนะ

.....

.....

.....

คำถามท้ายการทดลอง

1. จงอธิบายหลักการทำงานของโวลต์มิเตอร์กระแสตรงที่ออกแบบขึ้น และเปรียบเทียบกับการทำงานของแกลวานอมิเตอร์
2. ตัวต้านทานแบ่งแรงดัน (Multiplier Resistor) มีบทบาทอย่างไรในการขยายช่วงการวัดของโวลต์มิเตอร์ จงอธิบายพร้อมยกตัวอย่าง
3. หากต้องการสร้างโวลต์มิเตอร์ที่วัดได้สูงสุด 50 โวลต์ โดยใช้แกลวานอมิเตอร์ที่มีกระแสเต็มสเกล 100 ไมโครแอมแปร์ และความต้านทานภายใน 1,000 โอห์ม จงคำนวณหาค่าความต้านทานที่ต้องต่อเพิ่ม
4. จงวิเคราะห์ปัจจัยที่อาจทำให้เกิดความคลาดเคลื่อนในการวัดแรงดันของโวลต์มิเตอร์ที่สร้างขึ้น และเสนอวิธีการปรับปรุง
5. เปรียบเทียบข้อดีข้อเสียของโวลต์มิเตอร์แบบอนาล็อกกับโวลต์มิเตอร์แบบดิจิทัล ในด้านความแม่นยำ การใช้งาน และต้นทุน

ศูนย์บรรณสารและการเรียนรู้ สถาบันนวัตกรรมการเรียนรู้ มหาวิทยาลัยพะเยา

ใบงานที่ 4
เรื่อง การออกแบบโวลต์มิเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับ

จุดประสงค์

1. เพื่อศึกษาหลักการทำงานและโครงสร้างของโวลต์มิเตอร์กระแสสลับ
2. เพื่อออกแบบและสร้างเครื่องวัดแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับโดยใช้หลักการแปลงกระแสสลับให้เป็นกระแสตรง
3. เพื่อทำความเข้าใจการทำงานของวงจรเรียงกระแสและตัวกรองสัญญาณในการวัดแรงดัน AC
4. เพื่อเปรียบเทียบผลการวัดระหว่างโวลต์มิเตอร์ที่สร้างขึ้นกับเครื่องมือวัดมาตรฐาน
5. เพื่อวิเคราะห์ความแม่นยำและข้อจำกัดของโวลต์มิเตอร์กระแสสลับที่พัฒนาขึ้น
6. เพื่อฝึกทักษะการประยุกต์ใช้อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ในการสร้างเครื่องมือวัด

เครื่องมือและอุปกรณ์

1.	แกลวานอมิเตอร์ (Galvanometer) หรือมัลติมิเตอร์มาตรฐาน	1 เครื่อง
2.	ไดโอดเรียงกระแส (Rectifier Diode) 1914	4 ตัว
3.	ตัวเก็บประจุ (Capacitor) สำหรับกรองสัญญาณ	1 ตัว
4.	ตัวต้านทานแบ่งแรงดัน (Multiplier Resistor) หลายค่า	1 จำนวน
5.	ตัวต้านทานปรับค่าได้ (Variable Resistor/Potentiometer)	1 ตัว
6.	โวลต์มิเตอร์กระแสสลับมาตรฐาน	1 ตัว
7.	แฟหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสสลับ 0 – 220 V	1 เครื่อง
8.	สายต่อวงจร	1 ชุด

ลำดับขั้นการทดลอง

1. ใช้โอห์มมิเตอร์วัดค่าความต้านทานของไดโอดในลักษณะไบแอสตรง (Forward bias) ซึ่งจะได้ค่าความต้านทานต่ำ แสดงว่าไดโอดนำกระแสได้ในทิศทางนี้

R_d = ...Ω

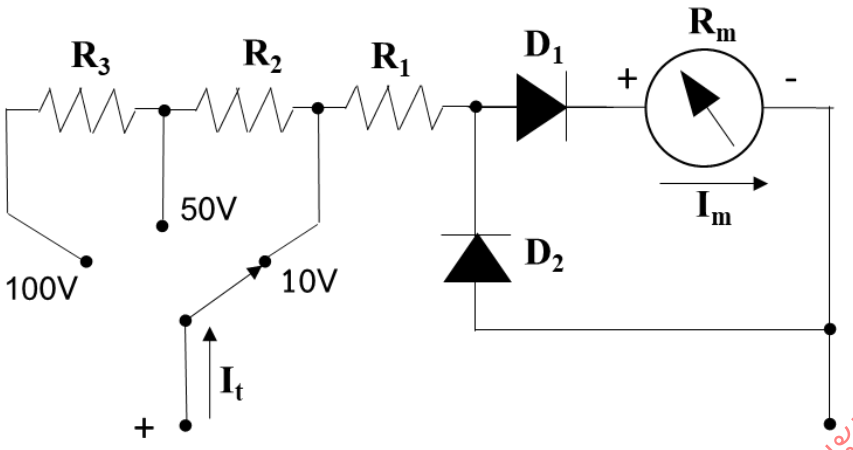
2. คำนวณค่าความต้านทานสำหรับการขยายย่านวัดของโวลต์มิเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับ โดยพิจารณาค่าความต้านทานต่อเพิ่ม (*Multiplier Resistors)* ได้แก่ R_1, R_2 และ R_3 สำหรับย่านวัด 10*V*, 50*V* และ 100*V* ตามลำดับ ตามวงจรในรูปที่ 4.1

R_1 = ...Ω

R_2 = ...Ω

R_3 = ...Ω

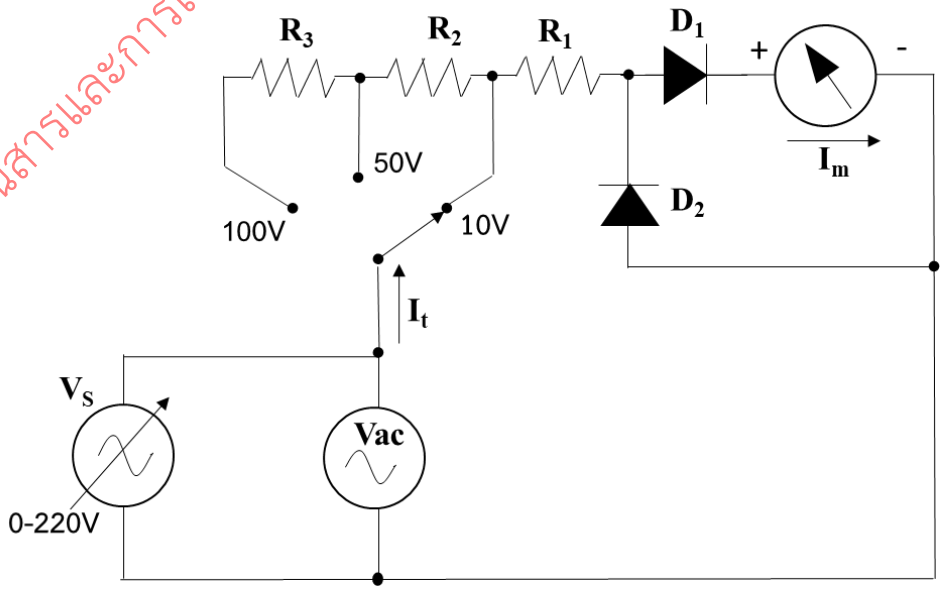
ศูนย์บรรณสารและสื่อการเรียนรู้ สถาบันบัณฑิตพัฒนบริหารศาสตร์ มหาวิทยาลัยพะเยา



รูปที่ 4.1 วงจรโวลต์มิเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับ 3 ย่านวัด

3. นำค่าความต้านทานที่คำนวณได้มาประกอบเข้ากับวงจรโวลต์มิเตอร์ตามแผนภาพที่ 4.1 ในชุดการทดลอง
4. ทดสอบโวลต์มิเตอร์ที่สร้างขึ้นโดยเปรียบเทียบค่าที่อ่านได้กับโวลต์มิเตอร์กระแสสลับมาตรฐานตามการเชื่อมต่อวงจรในรูปที่ 4.2
5. ตั้งย่านวัดของโวลต์มิเตอร์ที่สร้างขึ้นให้อยู่ในช่วง 10V
6. ปรับแรงดันจากแหล่งจ่าย V_S ให้ตรงตามค่าที่กำหนดใน ตารางที่ 4.1 แล้วอ่านและบันทึกค่าแรงดันที่แสดงโดยโวลต์มิเตอร์ที่สร้างขึ้น พร้อมทั้งคำนวณ เปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อน

$$\% \text{ ความคลาดเคลื่อน} = \left|\frac{Y_n - X_n}{Y_n}\right| \times 100\ \%$$



รูปที่ 4.2 วงจรทดสอบโวลต์มิเตอร์ที่สร้างขึ้นกับโวลต์มิเตอร์มาตรฐาน

ศูนย์บรรณสารและการเรียนรู้ สถาบันวิทยบริการและการเรียนรู้ มหาวิทยาลัยพะเยา

ตารางที่ 4.1 ย่านวัด 10V

ค่าจากมิเตอร์มาตรฐาน (V)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
ค่าจากมิเตอร์ที่สร้างขึ้น (V)										
% ความผิดพลาด										

7. กำหนดช่วงการวัดของโวลต์มิเตอร์กระแสสลับที่ประดิษฐ์ขึ้นให้เป็น 50*V* และ 100*V* ตามลำดับ โดยตั้งช่วงวัดของโวลต์มิเตอร์อ้างอิง (โวลต์มิเตอร์มาตรฐาน) ให้เหมาะสมกับการเปรียบเทียบ จากนั้นปรับแรงดันจากแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสสลับให้ได้ค่าตามที่กำหนดใน ตารางที่ 4.2 (สำหรับช่วง 50*V*) และ ตารางที่ 4.3 (สำหรับช่วง 100*V*) แล้วบันทึกค่าที่อ่านได้จากโวลต์มิเตอร์ที่สร้างขึ้น พร้อมคำนวณ เปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อน ในแต่ละช่วงการวัด
8. คำนวณเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาด % ความคลาดเคลื่อน = $\left|\frac{Y_n - X_n}{Y_n}\right| \times 100$ % พร้อมบันทึก

ตารางที่ 4.2 ย่านวัด 50V

ค่าจากมิเตอร์มาตรฐาน (V)	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50
ค่าจากมิเตอร์ที่สร้างขึ้น (V)										
% ความผิดพลาด										

ตารางที่ 4.3 ย่านวัด 100V

ค่าจากมิเตอร์มาตรฐาน (V)	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
ค่าจากมิเตอร์ที่สร้างขึ้น (V)										
% ความผิดพลาด										

สรุปผลการทดลอง

.....

.....

.....

.....

.....

.....

ปัญหาและข้อเสนอแนะ

.....

.....

.....

ศูนย์บรรณสารและการเรียนรู้ สถาบันนวัตกรรมการเรียนรู้ มหาวิทยาลัยพะเยา

คำถามท้ายการทดลอง

1. จงอธิบายเหตุผลที่ต้องใช้วงจรเรียงกระแสในโวลต์มิเตอร์ AC และเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างวงจรเรียงกระแสแบบครึ่งคลื่นกับแบบเต็มคลื่น ในแง่ของความแม่นยำและประสิทธิภาพ

2. หากต้องการสร้างโวลต์มิเตอร์ AC ย่านวัด 100V โดยใช้แกลวานอมิเตอร์ที่มีกระแสเต็มสเกล 2mA และความต้านทานภายใน 500Ω จงคำนวณหาค่าตัวต้านทานแบ่งแรงดันที่ต้องใช้ (กำหนดให้ค่า RMS ของแรงดัน AC เท่ากับ 0.707 เท่าของค่าสูงสุด)

3. ตัวเก็บประจุกรองสัญญาณมีหน้าที่อย่างไรในวงจรโวลต์มิเตอร์ AC และจะเกิดอะไรขึ้นหากไม่มีตัวเก็บประจุนี้ จงอธิบายพร้อมแสดงรูปคลื่นที่คาดว่าจะได้รับ

4. จงวิเคราะห์ปัจจัยที่อาจทำให้เกิดความคลาดเคลื่อนในการวัดแรงดัน AC ของโวลต์มิเตอร์ที่สร้างขึ้น อย่างน้อย 4 ปัจจัย และเสนอแนวทางแก้ไขสำหรับแต่ละปัจจัย

5. เปรียบเทียบข้อดีข้อเสียของโวลต์มิเตอร์ AC แบบ Moving Coil (ที่ใช้วงจรเรียงกระแส) กับโวลต์มิเตอร์ AC แบบ Moving Iron ในด้านความแม่นยำ ช่วงความถี่ที่ใช้งานได้ และความซับซ้อนของวงจร พร้อมทั้งแนะนำการใช้งานที่เหมาะสมสำหรับแต่ละแบบ

ศูนย์บรรณสารและการเรียนรู้ สถาบันนวัตกรรมการศึกษา มหาวิทยาลัยพะเยา

ใบงานที่ 5
เรื่อง การใช้งานมัลติมิเตอร์

จุดประสงค์

1. เพื่อศึกษาหลักการทำงานและโครงสร้างของมัลติมิเตอร์แบบอะนาล็อก และแบบดิจิทัล
2. เพื่อฝึกทักษะการใช้งานมัลติมิเตอร์ในการวัดแรงดันไฟฟ้า กระแสไฟฟ้า และความต้านทาน
3. เพื่อเรียนรู้วิธีการเลือกย่านการวัดที่เหมาะสมสำหรับการวัดปริมาณไฟฟ้าแต่ละชนิด
4. เพื่อทำความเข้าใจข้อควรระวังและวิธีการต่อวงจรที่ถูกต้องเมื่อใช้มัลติมิเตอร์
5. เพื่อเปรียบเทียบความแม่นยำและข้อจำกัดของมัลติมิเตอร์แบบต่างๆ
6. เพื่อศึกษาการวัดค่าต่างๆ ในวงจรไฟฟ้ากระแสตรง

เครื่องมือและอุปกรณ์

1.	มัลติมิเตอร์แบบอะนาล็อก (Analog Multimeter)	1 เครื่อง
2.	มัลติมิเตอร์แบบดิจิทัล (Digital Multimeter/DMM)	1 เครื่อง
3.	โวลต์มิเตอร์อ้างอิง (Reference Voltmeter)	1 เครื่อง
4.	แอมมิเตอร์อ้างอิง (Reference Ammeter)	1 เครื่อง
5.	โอห์มมิเตอร์อ้างอิง (Reference Ohmmeter)	1 เครื่อง
6.	แหล่งจ่ายแรงดันกระแสตรงปรับค่าได้ (0-30V DC)	1 เครื่อง
7.	ทรานซิสเตอร์เบอร์ 2N3055, MJ2955, 2N4037, BC337 และ 2SC458 อย่างละ	5 ตัว
8.	ตัวต้านทาน 25kΩ 0.5W	1 ตัว
9.	ตัวต้านทาน 100Ω 10W	6 ตัว
10.	ตัวต้านทาน 100Ω, 100kΩ, 1MΩ, 10MΩ อย่างละ	2 ตัว
11.	แหล่งจ่ายกระแสคงที่ (Constant Current Source) 0-30V	1 เครื่อง

ลำดับขั้นการทดลอง

ตอนที่ 1 วัดและตรวจสอบค่าความต้านทานแต่ละย่านวัด (R_{Range})

2.1 คำนวณค่าความต้านทานสำหรับแต่ละย่านวัดของโวลต์มิเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง และบันทึกผลใน ตารางที่ 5.1

2.2 ใช้ดิจิทัลโอห์มมิเตอร์วัดค่าความต้านทานภายในของแต่ละย่านวัดโวลต์มิเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง แล้วบันทึกผลลงใน ตารางที่ 5.1 เช่นกัน

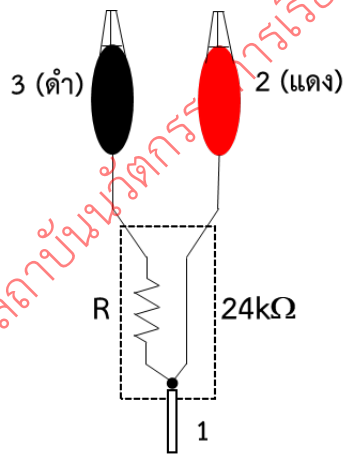
ศูนย์บรรณสารและการเรียนรู้ สถาบันพัฒนาการเรียนรู้ มหาวิทยาลัยพะเยา

ตารางที่ 5.1 บันทึกค่าความต้านทานย่านวัด

ย่านวัด	โวลต์มิเตอร์กระแสตรง (DCV)	
	R_{Range} คำนวณ	R_{Range} วัด
0.1V		
0.5V		
2.5V		
10V		
50V		
250V		
1000V		

ตอนที่ 2 การสร้างสายวัด h_{FE} และการวัดค่า h_{FE} ของทรานซิสเตอร์

2.1 ต่อสายวัด h_{FE} ตามรูปที่ 5.1



รูปที่ 5.1 ชุดสายวัดโครงสร้างภายในของสายวัด h_{FE}

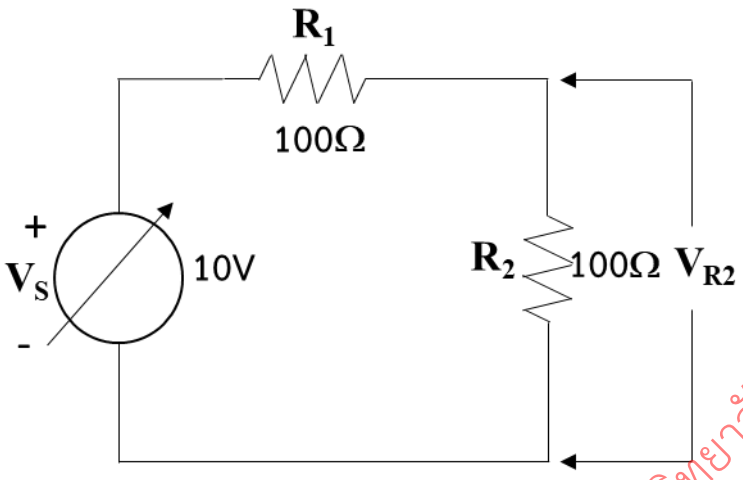
2.2 วัดค่า h_{FE} ของทรานซิสเตอร์แต่ละตัวตามตารางที่ 5.2 พร้อมบันทึกผล

ตารางที่ 5.2 บันทึกค่า h_{FE} ของทรานซิสเตอร์

ทรานซิสเตอร์ตัวที่	ค่าอัตราขยายกระแสไฟฟ้ากระแสตรง (h_{FE}) ทรานซิสเตอร์				
	2N3055	MJ2955	2N4037	BC337	2SC458
1					
2					
3					
4					
5					

ศูนย์บรรณสารและการเรียนรู้ สถาบันนวัตกรรมการเรียนรู้ มหาวิทยาลัยพะเยา

ตอนที่ 3 สภาวะการโหลดในโวลต์มิเตอร์



รูปที่ 5.2 วงจรทดลองสภาวะการโหลดในโวลต์มิเตอร์

3.1 ต่อวงจรตามรูปที่ 5.2 แล้วปรับค่าแรงดันจากแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรง V_S ให้เท่ากับ **10V**

3.2 ใช้โวลต์มิเตอร์แต่ละชนิดตั้งย่านวัดตามที่ระบุใน ตารางที่ 5.3 พร้อมใช้ออสซิลโลสโคปวัดแรงดันที่ตกคร่อมตัวต้านทาน R_2 แล้วบันทึกค่าแรงดันที่ได้ลงในตาราง

3.3 เปลี่ยนค่าความต้านทานในวงจร โดยกำหนดให้ $R_1 = R_2$ ตามที่ระบุไว้ในตาราง แล้วทำการทดลองซ้ำตามขั้นตอนในข้อ 3.2 จนครบทั้ง 4 ค่า จากนั้นบันทึกผลที่ได้ลงใน ตารางที่ 5.3

ตารางที่ 5.3 บันทึกสภาวะการโหลดของมิเตอร์

ค่า $R_1 = R_2$	โวลต์มิเตอร์แบบแอนะล็อค ย่านวัด		โวลต์มิเตอร์แบบดิจิทัล ย่านวัด		โวลต์มิเตอร์แบบอิเล็กทรอนิกส์ ย่านวัด		ออสซิลโลสโคป
	10V	50V	10V	50V	10V	50V	
100Ω							
100kΩ							
1 MΩ							
10MΩ							

ศูนย์วิทยทรัพยากร จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย สถาบันวิทยบริการ ศูนย์เรียนรู้ สถาบันวิทยบริการเฉลิมพระเกียรติ สมเด็จพระเทพรัตนราชสุดา

สรุปผลการทดลอง

.....

.....

.....

.....

.....

.....

ปัญหาและข้อเสนอแนะ

.....

.....

.....

คำถามท้ายการทดลอง

1. จงอธิบายความแตกต่างระหว่างมัลติมิเตอร์แบบอะนาล็อกและแบบดิจิทัล ในด้านหลักการทำงาน ความแม่นยำ ความละเอียด และข้อดีข้อเสียของแต่ละแบบ พร้อมยกตัวอย่างสถานการณ์ที่เหมาะสมสำหรับการใช้งานแต่ละประเภท

2. เมื่อวัดแรงดันไฟฟ้าในวงจร จำเป็นต้องต่อโวลต์มิเตอร์แบบขนาน (Parallel) และเมื่อวัดกระแสไฟฟ้าจำเป็นต้องต่อแอมมิเตอร์แบบอนุกรม (Series) จงอธิบายเหตุผลทางวิทยาศาสตร์ของการต่อวงจรแต่ละแบบนี้ และจะเกิดผลอะไรขึ้นหากต่อผิดวิธี

3. หากต้องการวัดความต้านทานของตัวต้านทาน 4.7kΩ ด้วยมัลติมิเตอร์ จงอธิบายขั้นตอนการวัดที่ถูกต้อง ข้อควรระวังที่สำคัญ และวิเคราะห์ปัจจัยที่อาจทำให้ผลการวัดคลาดเคลื่อนจากค่าจริง พร้อมเสนอวิธีการเพิ่มความแม่นยำ

4. ในการวัดแรงดัน AC ด้วยมัลติมิเตอร์ ค่าที่แสดงผลคือค่า RMS (Root Mean Square) จงอธิบายความหมายของค่า RMS และความสัมพันธ์ระหว่างค่า RMS กับค่าสูงสุด (Peak Value) สำหรับสัญญาณไซน์ พร้อมยกตัวอย่างการคำนวณเมื่อวัดได้แรงดัน AC 220V

5. จงวิเคราะห์ข้อผิดพลาดที่พบบ่อยในการใช้งานมัลติมิเตอร์ อย่างน้อย 5 ข้อ พร้อมอธิบายผลกระทบที่อาจเกิดขึ้นต่อการวัดและอุปกรณ์ รวมทั้งเสนอแนวทางป้องกันและแก้ไขสำหรับแต่ละข้อผิดพลาด

ศูนย์บรรณสารและการเรียนรู้ สถาบันนวัตกรรมการเรียนรู้ มหาวิทยาลัยพะเยา

ใบงานที่ 6
เรื่อง การออแบบและสร้างดิจิทัลมิเตอร์

จุดประสงค์

1. เพื่อศึกษาหลักการทำงานและโครงสร้างของดิจิทัลมิเตอร์ รวมถึงระบบการแปลงสัญญาณอะนาล็อกเป็นดิจิทัล
2. เพื่อออกแบบและสร้างดิจิทัลมิเตอร์ที่สามารถวัดแรงดันไฟฟ้า กระแสไฟฟ้า และความต้านทานได้
3. เพื่อทำความเข้าใจการทำงานของวงจร ADC (Analog-to-Digital Converter) และระบบแสดงผลแบบดิจิทัล
4. เพื่อศึกษาการใช้งานไมโครคอนโทรลเลอร์ในการประมวลผลและควบคุมการทำงานของเครื่องมือวัด
5. เพื่อเรียนรู้การออกแบบวงจรปรับสภาวะสัญญาณ (Signal Conditioning) สำหรับการวัดปริมาณไฟฟ้าต่างๆ
6. เพื่อทดสอบและปรับเทียบความแม่นยำของดิจิทัลมิเตอร์ที่สร้างขึ้นเปรียบเทียบกับเครื่องมือมาตรฐาน
7. เพื่อวิเคราะห์ข้อดีข้อเสียของดิจิทัลมิเตอร์เมื่อเปรียบเทียบกับมิเตอร์แบบอะนาล็อก
8. เพื่อฝึกทักษะการแก้ไขปัญหาทางเทคนิคและการปรับปรุงสมรรถนะของเครื่องมือวัดดิจิทัล

เครื่องมือและอุปกรณ์

1.	ดิจิทัลมัลติมิเตอร์ DM-887	1 เครื่อง
2.	วงจรแปลงสัญญาณ (ADC)	1 วงจร
3.	ADC แบบ 12-bit, 16-bit หรือ 24-bit	1 ชุด
4.	ตัวขยายสัญญาณ (Operational Amplifier)	1 ตัว
5.	วงจรแบ่งแรงดัน (Voltage Divider)	1 ชุด
6.	หน้าจอแสดงผล	1 ตัว
7.	7-Segment Display	1 ตัว
8.	ตัวต้านทาน 10kΩ, 90 kΩ, 100 kΩ, 900 kΩ 0.25W ค่าละ	1 ตัว
9.	ตัวต้านทาน 0.1Ω, 1Ω, 10Ω 5W ค่าละ	1 ตัว
10.	สายต่อวงจร	1 ชุด

ศูนย์บรรณสารและสื่อการเรียนรู้ สถาบันนวัตกรรมการเรียนรู้ มหาวิทยาลัยพะเยา

ลำดับขั้นการทดลอง

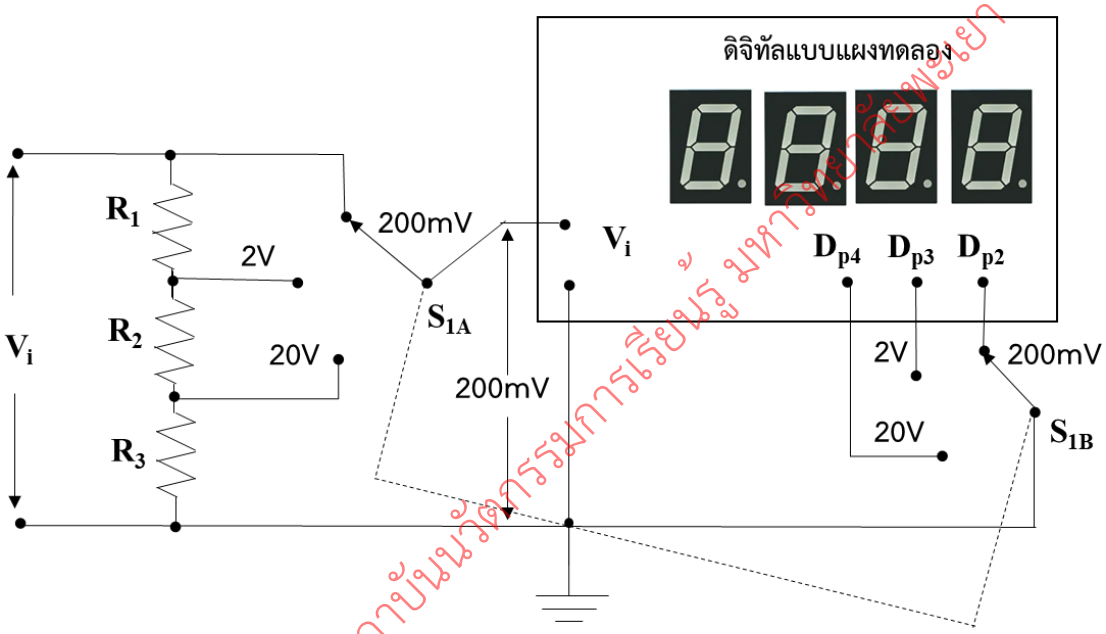
ตอนที่ 1 ออกแบบและสร้างดิจิทัลโวลต์มิเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง

1.1 จากรูปที่ 6.1 คำนวณหาค่าความต้านทานขยายย่ายวัด R_1, R_2 และ R_3 ได้

R_1 = ...Ω เมื่อ R_{in} รวม 1 MΩ

R_2 = ...Ω

R_3 = ...Ω



รูปที่ 6.1 วงจรดิจิทัลโวลต์มิเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง

1.2 เลือกค่าความต้านทานที่คำนวณได้สำหรับใช้ในชุดทดลอง แล้วประกอบวงจรตาม รูปที่ 6.1

1.3 นำดิจิทัลโวลต์มิเตอร์ที่สร้างขึ้นมาทดสอบ โดยเปรียบเทียบกับดิจิทัลโวลต์มิเตอร์มาตรฐาน เริ่มต้นที่ ย่านวัด 200 mV วัดและบันทึกผลการทดลองลงใน ตารางที่ 6.1

1.4 ทำซ้ำขั้นตอนในข้อ 1.3 โดยเปลี่ยนย่านวัดของโวลต์มิเตอร์เป็น 2V และ 20V ตามลำดับ แล้วบันทึกผลการทดลองลงใน ตารางที่ 6.2 และ ตารางที่ 6.3 ตามลำดับ

ตารางที่ 6.1 ย่านวัด 200 mV

ค่าจากมิเตอร์มาตรฐาน (mV)	20	50	80	100	125	150	170	190
ค่าจากมิเตอร์ที่สร้างขึ้น (mV)								
% ความผิดพลาด								

ศูนย์บรรณสารและสื่อการเรียนรู้ สถาบันนวัตกรรมการเรียนรู้ มหาวิทยาลัยพายัพ

ตารางที่ 6.2 ย่านวัด 2 V

ค่าจากมิเตอร์มาตรฐาน (V)	0.2	0.5	0.8	1.0	1.25	1.50	1.70	1.90
ค่าจากมิเตอร์ที่สร้างขึ้น (V)								
% ความผิดพลาด								

ตารางที่ 6.3 ย่านวัด 20 V

ค่าจากมิเตอร์มาตรฐาน (V)	2	5	8	10	12.5	15	17	19
ค่าจากมิเตอร์ที่สร้างขึ้น (V)								
% ความผิดพลาด								

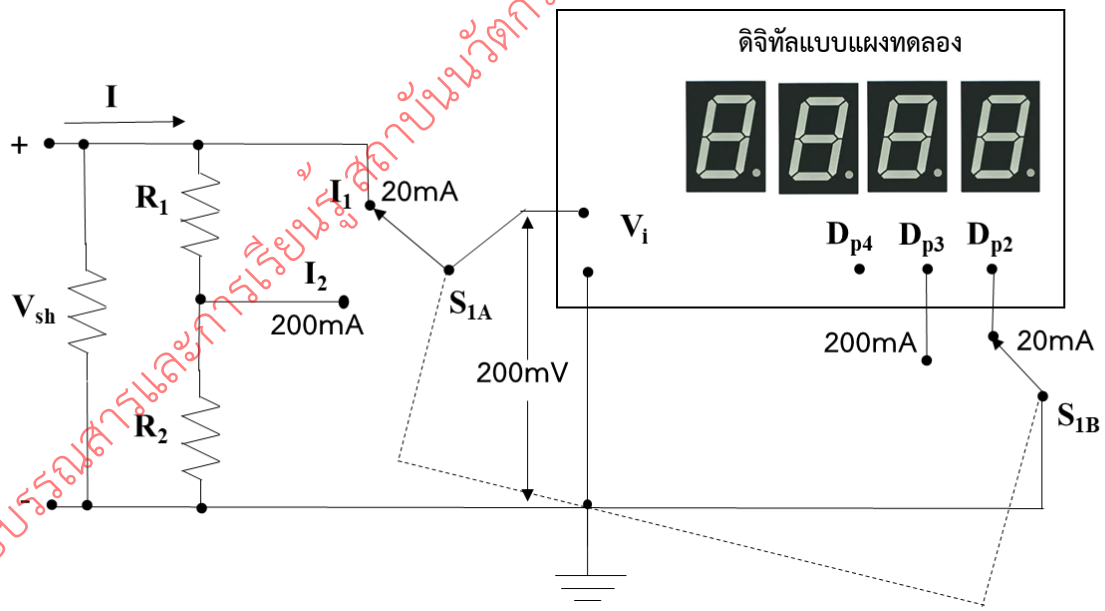
ตอนที่ 2 ออกแบบและสร้างดิจิทัลแอมมิเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง

2.1 จากวงจรดังรูปที่ 6.2 คำนวณหาค่าความต้านทานขยายย่านวัด R_1 และ R_2 ได้

R_1 = ...Ω เมื่อ R_{in} รวม 1MΩ

R_2 = ...Ω

2.2 ให้เลือกค่าความต้านทานที่คำนวณได้ในชุดทดลองและจากนั้นต่อวงจรตามรูปที่ 6.2 กำหนดให้ R_{sh}= 10 Ω



รูปที่ 6.2 วงจรดิจิทัลแอมมิเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง

2.3 นำดิจิทัลแอมมิเตอร์ที่สร้างขึ้นมาทดสอบ โดยเปรียบเทียบกับดิจิทัลแอมมิเตอร์มาตรฐาน เริ่มที่ ย่านวัด 20 mA จากนั้นวัดค่ากระแสไฟฟ้าและบันทึกผลลงใน ตารางที่ 6.4

2.4 ทำซ้ำขั้นตอนในข้อ 2.3 โดยเปลี่ยนย่านวัดของแอมมิเตอร์เป็น 200 mA แล้ววัดและบันทึกผลการทดลองลงใน ตารางที่ 6.5

ศูนย์บรรณสารและการเรียนรู้ สถาบันนวัตกรรมการเรียนรู้ มหาวิทยาลัยพะเยา

ตารางที่ 6.4 ย่านวัด 20 mA

ค่าจากมิเตอร์มาตรฐาน (mA)	2	5	8	10	12.5	15	17	19
ค่าจากมิเตอร์ที่สร้างขึ้น (mA)								
% ความผิดพลาด								

ตารางที่ 6.5 ย่านวัด 200 mA

ค่าจากมิเตอร์มาตรฐาน (mA)	20	50	80	100	125	150	170	190
ค่าจากมิเตอร์ที่สร้างขึ้น (mA)								
% ความผิดพลาด								

สรุปผลการทดลอง

.....

.....

.....

.....

.....

.....

ปัญหาและข้อเสนอแนะ

.....

.....

.....

คำถามท้ายการทดลอง

1. หลักการทำงานและวงจร อธิบายหลักการทำงานของ ADC (Analog-to-Digital Converter) ในดิจิทัลมิเตอร์ และเหตุใดความละเอียด (Resolution) ของ ADC จึงมีผลต่อความแม่นยำในการวัด พร้อมยกตัวอย่างการคำนวณค่าความละเอียดของ ADC 12-bit เมื่อวัดแรงดัน 0-5V

2. การออกแบบวงจรป้องกัน จากการทดลอง อธิบายความสำคัญของวงจรป้องกันในดิจิทัลมิเตอร์ และออกแบบวงจรป้องกันแรงดันเกินสำหรับการวัดแรงดัน AC 220V โดยระบุอุปกรณ์ที่ใช้และค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสม

3. การสอบเทียบและความแม่นยำ อธิบายขั้นตอนการสอบเทียบ (Calibration) ดิจิทัลมิเตอร์ที่สร้างขึ้น หากพบว่าการวัดแรงดัน 5V แสดงผล 5.12V ควรปรับแก้อย่างไร และการสอบเทียบนี้มีความสำคัญอย่างไรต่อความน่าเชื่อถือของผลการวัด

4. การวิเคราะห์ข้อผิดพลาดและแก้ไข ในระหว่างการทดลอง หากพบปัญหาดังนี้ ให้วิเคราะห์สาเหตุและวิธีแก้ไข

ศูนย์วิทยทรัพยากร สถาบันนวัตกรรมการเรียนรู้ มหาวิทยาลัยพะเยา

- หน้าจอแสดงค่าที่ไม่เสถียร (fluctuating)
- ไม่สามารถวัดค่ากระแสได้
- การแสดงผลผิดพลาดเมื่อวัดความต้านทาน

5. การประยุกต์ใช้และพัฒนาต่อยอด เสนอแนะการปรับปรุงและพัฒนาดิจิทัลมิเตอร์ที่สร้างขึ้นให้มีฟังก์ชันเพิ่มเติม เช่น การวัดความถี่ การวัดอุณหภูมิ หรือการบันทึกข้อมูล พร้อมอธิบายหลักการทำงานและอุปกรณ์เพิ่มเติมที่จำเป็น

ศูนย์บรรณสารและการเรียนรู้ สถาบันนวัตกรรมการเรียนรู้ มหาวิทยาลัยพะเยา

ใบงานที่ 7
เรื่อง การวัดกำลังไฟฟ้า

จุดประสงค์

1. เพื่อให้นักศึกษาเข้าใจความหมายของกำลังไฟฟ้า
2. เพื่อให้นักศึกษาสามารถวัดกำลังไฟฟ้าของอุปกรณ์ไฟฟ้าต่าง ๆ ได้อย่างถูกต้อง
3. เพื่อให้นักศึกษาสามารถคำนวณหากำลังไฟฟ้าได้จากค่ากระแสไฟฟ้าและแรงดันไฟฟ้า
4. เพื่อให้นักศึกษาสามารถใช้เครื่องมือวัดกำลังไฟฟ้าได้อย่างปลอดภัยและเหมาะสม
5. เพื่อปลูกฝังทักษะการสังเกต วิเคราะห์ และอธิบายผลการทดลองที่เกิดขึ้นจากการวัดกำลังไฟฟ้า

เครื่องมือและอุปกรณ์

1.	โวลต์มิเตอร์ (Voltmeter)	1 เครื่อง
2.	แอมมิเตอร์ (Ammeter)	1 เครื่อง
3.	วัตต์มิเตอร์ (Wattmeter)	1 เครื่อง
4.	มัลติมิเตอร์ (Multimeter)	1 เครื่อง
5.	อุปกรณ์ไฟฟ้า เช่น หลอดไฟ พัดลม หรือเตารีด อย่างละ	1 เครื่อง
6.	สายไฟพร้อมปลั๊กและเต้ารับ	1 เครื่อง
7.	แหล่งจ่ายไฟฟ้า AC 220 V	1 เครื่อง
8.	มอเตอร์ 1 เฟส ¼ แรงม้า	1 ตัว
9.	ตัวเก็บประจุมาตรฐานขนาด 10μF, 20μF และ 30μF อย่างละ	1 ชุด
10.	หลอดไฟแบบไส้ ขนาด 40W, 60W และ 100W อย่างละ	1 ตัว
11.	สายต่อวงจร	1 ชุด

ลำดับขั้นการทดลอง

ตอนที่ 1 การวัดกำลังไฟฟ้าในวงจร AC

ขั้นตอนที่ 1 การเตรียมอุปกรณ์

1. เตรียมอุปกรณ์ไฟฟ้า AC หลอดไฟ 60W, พัดลม และ เตารีด
2. ตรวจสอบการทำงานของวัตต์มิเตอร์ AC
3. เตรียมมัลติมิเตอร์ที่สามารถวัด AC ได้

ขั้นตอนที่ 2 การต่อวงจรและวัด

1. ต่อวงจรตามแผนภาพสำหรับการวัดกำลัง AC

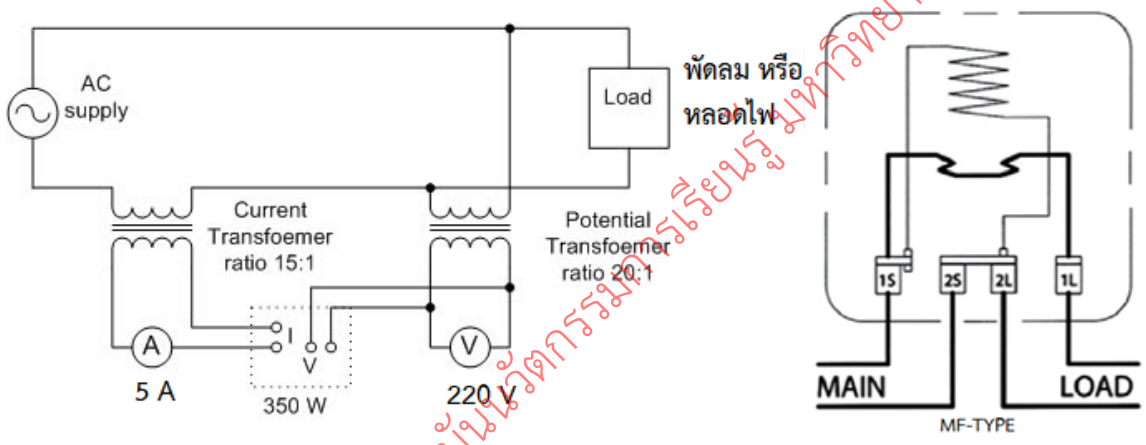
ศูนย์ทรัพยากรและการเรียนรู้ สถาบันนวัตกรรมการเรียนรู้ มหาวิทยาลัยพะเยา

2. วัดแรงดัน, กระแส, และกำลังของหลอดไฟ 60W
3. วัดแรงดัน, กระแส, และกำลังของพัดลม
4. วัดแรงดัน, กระแส, และกำลังของเตารีด

ขั้นตอนที่ 3 การคำนวณตัวประกอบกำลัง

1. คำนวณกำลังปรากฏ S = V × I
2. เปรียบเทียบกับกำลังจริงที่วัดได้ (P)
3. คำนวณตัวประกอบกำลัง Power Factor = P/S

สัญลักษณ์เครื่องมือวัดและอุปกรณ์ไฟฟ้า



(ก) วงจรวัดกำลังไฟฟ้าในวงจร AC (ข) โครงสร้างของวัตต์มิเตอร์

รูปที่ 7.1 วงจรวัดกำลังไฟฟ้าในวงจร AC และ โครงสร้างของวัตต์มิเตอร์

ตารางที่ 7.1 การทดลอง AC กับเครื่องใช้ไฟฟ้า

อุปกรณ์	แรงดัน (V)	กระแส (I)	กำลังจริง (P)	กำลังปรากฏ (S)	ตัวประกอบกำลัง
หลอดไฟ					
พัดลม					
เตารีด					

ศูนย์วิทยทรัพยากร สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตอนที่ 2 กรณีที่โหลดเป็นหลอดไฟแบบไส้ ใช้แทนโหลดเป็นตัวต้านทาน (R)

2.1 ประกอบวงจรตามรูปที่ 7.2



รูปที่ 7.2 การวัดกำลังไฟฟ้าเมื่อโหลดเป็นหลอดไฟแบบไส้

ที่มา:https://www.sangchaimeter.com/product/2237/Power-Analyzer-DW-735 ดัดแปลงและสืบค้นเมื่อวันที่ 30/5/2568

2.2 ดำเนินการวัดแรงดันไฟฟ้า กระแสไฟฟ้า กำลังไฟฟ้าเฉลี่ย กำลังไฟฟ้าปรากฏ และค่าตัวประกอบกำลัง (Power Factor) ขณะใช้งานโหลดเป็นหลอดไฟขนาด 40 วัตต์, 60 วัตต์ และ 100 วัตต์ ตามลำดับ จากนั้นบันทึกค่าที่ได้ลงในตารางที่ 7.2

2.3 คำนวณค่ามุมเฟส (θ) และกำลังไฟฟ้าต้านกลับ (Q) บันทึกผลการทดลองลงในตารางที่ 7.2

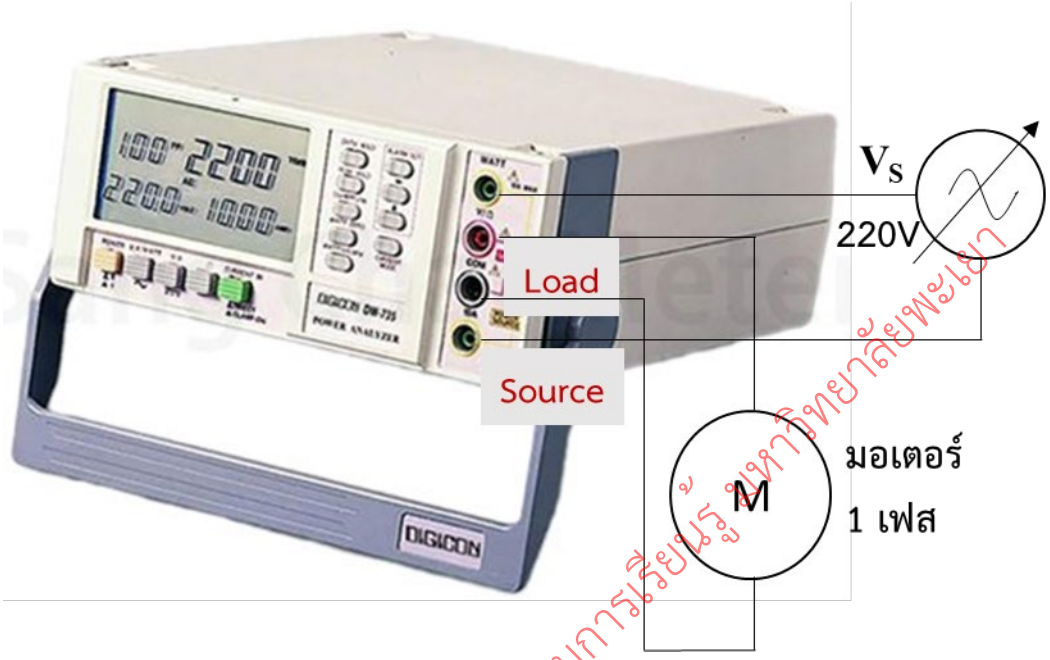
ตารางที่ 7.2 กรณีที่โหลดเป็นหลอดไฟฟแบบไส้

ขนาดโหลด	V (V)	I (A)	P (W)	P.F (cos θ)	S (VA)	θ (องศา)	Q (var)
40W							
60W							
100W							

ศูนย์วิทยทรัพยากร สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตอนที่ 3 กรณีที่โหลดเป็นมอเตอร์

3.1 ประกอบวงจร ดังรูปที่ 7.3



รูปที่ 7.3 การวัดกำลังไฟฟ้าเมื่อโหลดเป็นมอเตอร์

ที่มา:https://www.sangchaimeter.com/product/2237/Power-Analyzer-DW-735 ดัดแปลงและสืบค้นเมื่อวันที่ 30/5/2568

3.2 ทำการวัดค่าทางไฟฟ้าด้วยเครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง โดยบันทึกค่าแรงดันไฟฟ้า กระแสไฟฟ้า กำลังไฟฟ้าเฉลี่ย กำลังไฟฟ้าเสมือน และค่าตัวประกอบกำลัง (Power Factor) จากนั้นจัดเก็บข้อมูลที่ได้ลงในตารางที่ 7.3 อย่างเป็นระบบ

3.3 คำนวณค่ามุมเฟส และกำลังไฟฟ้าต้านกลับ บันทึกผลการทดลองลงในตารางที่ 7.3

ตารางที่ 7.3 กรณีที่โหลดเป็นมอเตอร์

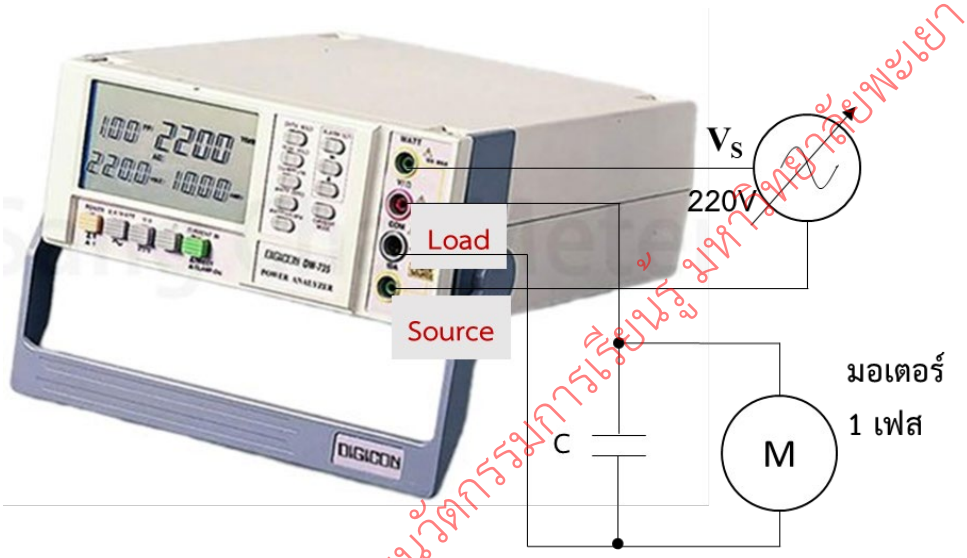
ขนาดโหลด	V (V)	I (A)	P (W)	P.F (cos θ)	S (VA)	θ (องศา)	Q (var)
มอเตอร์ 1 เฟส ¼ HP							

ศูนย์วิทยทรัพยากร จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตอนที่ 4 การแก้เพาเวอร์แฟกเตอร์

4.1 ประกอบวงจร ดังรูปที่ 7.4 โดยใช้ตัวเก็บประจุ (C) ให้มีค่าตามตารางที่ 7.4 ต่อขนานกับมอเตอร์

4.2 ทำการวัดค่าแรงดันไฟฟ้า กระแสไฟฟ้า กำลังไฟฟ้าเฉลี่ย กำลังไฟฟ้าเสมือน และค่าตัวประกอบกำลัง (Power Factor) ขณะใช้งานตัวเก็บประจุขนาด 10 ไมโครฟารัด, 20 ไมโครฟารัด และ 30 ไมโครฟารัด ตามลำดับ แล้วบันทึกข้อมูลลงในตารางที่ 7.4



รูปที่ 7.4 การวัดกำลังไฟฟ้าเมื่อโหลดเป็นมอเตอร์และต่อ C ค่าต่าง ๆ ขนานกับมอเตอร์

ที่มา:https://www.sangchaimeter.com/product/2237/Power-Analyzer-DW-735 ดัดแปลงและสืบค้นเมื่อวันที่ 30/5/2568

4.3 คำนวณค่ามุมเฟส และกำลังไฟฟ้าต้านกลับ บันทึกผลการทดลองลงในตารางที่ 7.4

ตารางที่ 7.4 การแก้เพแวอร์แฟกเตอร์ โดยต่อ C ขนานกับโหลด

ขนาดของ C	V (V)	I (A)	P (W)	P.F (cos θ)	S (VA)	θ (องศา)	Q (var)
10 μF							
20 μF							
30 μF							

ศูนย์วิทยทรัพยากร สถาบันนวัตกรรมการเรียนรู้ มหาวิทยาลัยพะเยา

สรุปผลการทดลอง

.....

.....

.....

.....

.....

.....

ปัญหาและข้อเสนอแนะ

.....

.....

.....

คำถามท้ายการทดลอง

1. จงอธิบายความแตกต่างระหว่างการวัดกำลังไฟฟ้าด้วยการคำนวณจาก P=V×I และการวัดด้วยวัตต์มิเตอร์
2. อุปกรณ์ไฟฟ้าที่ใช้ในการทดลองมีกำลังไฟฟ้าเท่าใด? และค่าที่ได้ใกล้เคียงกับค่าที่ระบุไว้บนตัวอุปกรณ์หรือไม่ เพราะเหตุใด
3. ถ้ากระแสไฟฟ้าเพิ่มขึ้นโดยที่แรงดันไฟฟ้าคงที่ กำลังไฟฟ้าจะเปลี่ยนแปลงอย่างไร อธิบาย
4. มีปัจจัยใดบ้างที่อาจทำให้ค่ากำลังไฟฟ้าที่วัดได้ไม่ตรงกับค่าที่ควรจะเป็น
5. จากการทดลองครั้งนี้ นักศึกษาได้ข้อคิดหรือแนวทางใดในการใช้อุปกรณ์ไฟฟ้าให้ประหยัดพลังงานมากขึ้น

ศูนย์บรรณสารและการเรียนรู้ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง มหาวิทยาลัยพะเยา

ใบงานที่ 8
เรื่อง การใช้ฟังก์ชั่นเจนต์และการเกิดภาพบนจอออสซิลโลสโคป

จุดประสงค์

1. เพื่อให้นักศึกษาเข้าใจหลักการทำงานของเครื่องออสซิลโลสโคป (Oscilloscope)
2. เพื่อให้นักศึกษาสามารถตั้งค่าและใช้งานออสซิลโลสโคปได้อย่างถูกต้อง
3. เพื่อให้นักศึกษาสามารถสังเกตและวิเคราะห์ลักษณะของสัญญาณไฟฟ้าที่ปรากฏบนจอออสซิลโลสโคป
4. เพื่อให้นักศึกษาสามารถวัดค่าทางไฟฟ้า เช่น ความถี่ ค่าระดับแรงดันไฟฟ้า และคาบของสัญญาณ จากภาพบนจอออสซิลโลสโคปได้
5. เพื่อส่งเสริมทักษะในการสังเกต วิเคราะห์ข้อมูล และอธิบายปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นจากการทดลอง

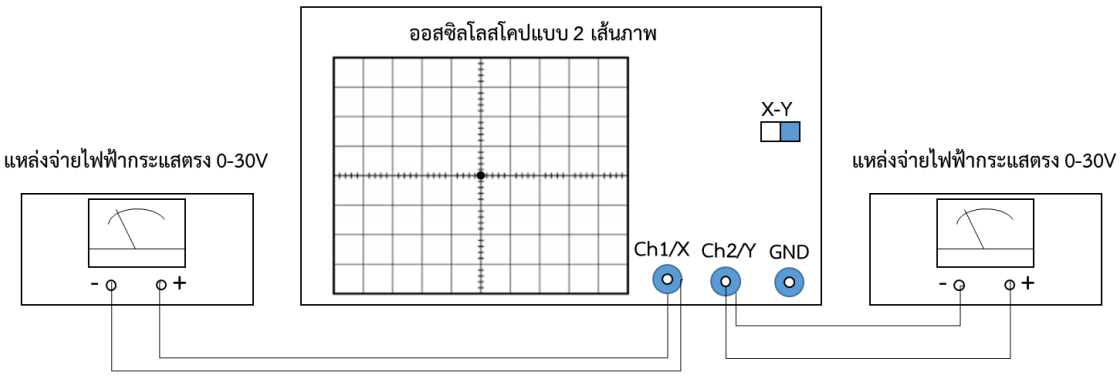
เครื่องมือและอุปกรณ์

1.	เครื่องออสซิลโลสโคป (Oscilloscope) แบบ 2 เส้นภาพ	1 เครื่อง
2.	แหล่งกำเนิดสัญญาณ (Function Generator หรือ Signal Generator)	2 เครื่อง
3.	สายโพรบ (Oscilloscope Probe)	2 เส้น
4.	สายไฟ/สายต่อ BNC	2 เส้น
5.	บอร์ดทดลองการวัดสัญญาณ	1 บอร์ด
6.	เครื่องมือวัดมัลติมิเตอร์	1 เครื่อง
7.	แหล่งจ่ายกระแสตรง 0-30V	1 เครื่อง
8.	แบบบันทึกผลการทดลอง	1 เล่ม

ลำดับขั้นการทดลอง

1. ประกอบวงจรตาม รูปที่ 8.1 และปรับแรงดันจากแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงให้เริ่มต้นที่ 0 V
2. ตั้งค่า ออสซิลโลสโคป ให้อยู่ในโหมด XY จากนั้นหมุนปุ่ม Volt/Div ของทั้ง Channel 1 และ Channel 2 ไปที่ 1V
   - ปรับสวิตช์เลือกอินพุตของแต่ละช่องไปที่ตำแหน่ง GND
   - ใช้ปุ่ม X-position และ Y-position ปรับตำแหน่งของสัญญาณให้จุดตัดอยู่ ตรงกลางหน้าจอแสดงผล เพื่อเป็นตำแหน่งอ้างอิงก่อนเริ่มทดลอง

ศูนย์ประสานงานและการเรียนรู้ สถาบันนวัตกรรมการเรียนรู้ มหาวิทยาลัยพายัพ



รูปที่ 8.1 วงจรทดสอบการเกิดภาพบนจอของออสซิลโลสโคป

3. หมุนสวิตช์เลือกอินพุตของ ช่องที่ 1 (Ch1) ไปที่ตำแหน่ง DC จากนั้นปรับแรงดันไฟฟ้าจากแหล่งจ่ายไฟกระแสตรง เริ่มจาก 0 โวลต์ แล้วเพิ่มขึ้นอย่างช้า ๆ จนถึง 5 โวลต์ เมื่อถึง 5V แล้ว ค่อย ๆ ปรับลดแรงดันกลับลงสู่ 0 โวลต์ อีกครั้ง ระหว่างการเพิ่มและลดแรงดันนี้ ให้ สังเกตลักษณะของจุดหรือเส้นบนหน้าจอออสซิลโลสโคปในโหมด XY ว่ามีการเปลี่ยนแปลงอย่างไร เช่น

- จุดเคลื่อนที่ไปทางขวา (แนวแกน X) เมื่อแรงดันเพิ่ม
- จุดเคลื่อนที่กลับทางซ้ายเมื่อแรงดันลด
  การเคลื่อนที่ลักษณะนี้จะแสดงพฤติกรรมของแรงดันไฟฟ้าบนแกน X หรือแกน Y ขึ้นอยู่กับว่า Channel 1 ถูกใช้ในแกนใด (ปกติ Ch1 ⟶ X, Ch2 ⟶ Y)

เพราะเหตุใด

.....

.....

เมื่อสลับขั้วแรงดันไฟฟ้าจากแหล่งจ่าย ภาพบนจอจะเป็นอย่างไร

.....

.....

.....

เพราะเหตุใด

.....

.....

4. ตั้งสวิตช์เลือกอินพุตของ ช่องที่ 1 (Ch1) ไปที่ตำแหน่ง GND เพื่อทำให้สัญญาณแกน X เป็นค่าคงที่ และตั้ง ช่องที่ 2 (Ch2) ไปที่ตำแหน่ง DC เพื่อให้แสดงแรงดันจากแหล่งจ่ายบนแกน Y จากนั้นค่อย ๆ ปรับแรงดันจากแหล่งจ่าย เริ่มที่ 0V แล้ว เพิ่มขึ้นช้า ๆ จนถึง 5V ก่อนจะ ปรับลดลงกลับสู่ 0V อีกครั้ง สิ่งที่ต้องสังเกตบนหน้าจอออสซิลโลสโคป (โหมด XY)

- รูปคลื่นจะเคลื่อนที่ในแนวดิ่ง (แกน Y) เนื่องจาก Ch2 ควบคุมแกน Y ขณะที่ Ch1 (แกน X) ถูกตรึงไว้ที่ตำแหน่งกลางหน้าจอ
- เมื่อแรงดันเพิ่ม จุดบนหน้าจอจะเคลื่อน ขึ้น
- เมื่อแรงดันลด จุดจะเคลื่อน ลง

ศูนย์บรรณสารและการเรียนรู้ สถาบันนวัตกรรมการเรียนรู้ มหาวิทยาลัยพะเยา

- หากแรงดันเปลี่ยนแปลงอย่างต่อเนื่อง จะเห็นเป็น เส้นตรงในแนวดิ่ง ที่ลากขึ้นและลงตามแรงดัน

ผลลัพธ์นี้แสดงลักษณะการตอบสนองของแรงดันไฟฟ้าต่อแกน Y ในขณะที่แกน X คงที่

.....

เพราะเหตุใด

.....

.....

เมื่อสลับขั้วแรงดันไฟฟ้าจากแหล่งจ่าย ภาพบนจอจะเป็นอย่างไร

.....

.....

เพราะเหตุใด

.....

.....

5.เมื่อทำตามขั้นตอนดังนี้

- ตั้งสวิตช์เลือกสัญญาณอินพุตของทั้ง ช่องที่ 1 (Ch1) และ ช่องที่ 2 (Ch2) ไปที่ตำแหน่ง DC
- ปรับแรงดันจาก แหล่งจ่ายทั้งสองเครื่องพร้อมกัน โดยเริ่มจาก 0V แล้วเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องจนถึง 5V
- จากนั้นค่อย ๆ ลดแรงดันกลับลงสู่ 0V อีกครั้ง

สิ่งที่เกิดขึ้นบนหน้าจอออสซิลโลสโคป (โหมด XY)

- Ch1 (X-axis) และ Ch2 (Y-axis) จะได้รับแรงดันเท่ากันตลอดเวลา
- ในโหมด XY ถ้าทั้ง X และ Y มีค่าเท่ากันตลอด ($V_x = V_y$) จุดบนหน้าจอจะเคลื่อนที่ตามแนวเส้นทะแยงมุม (เส้น 45 องศา)
- เมื่อแรงดันเพิ่ม จุดจะเคลื่อนจาก มุมล่างซ้าย ⟶ มุมขวาบน
- เมื่อแรงดันลด จุดจะเคลื่อนกลับจาก มุมขวาบน ⟶ มุมล่างซ้าย

เพราะเหตุใด

.....

.....

เมื่อสลับขั้วแรงดันไฟฟ้าจากแหล่งจ่าย ภาพบนจอจะเป็นอย่างไร

.....

.....

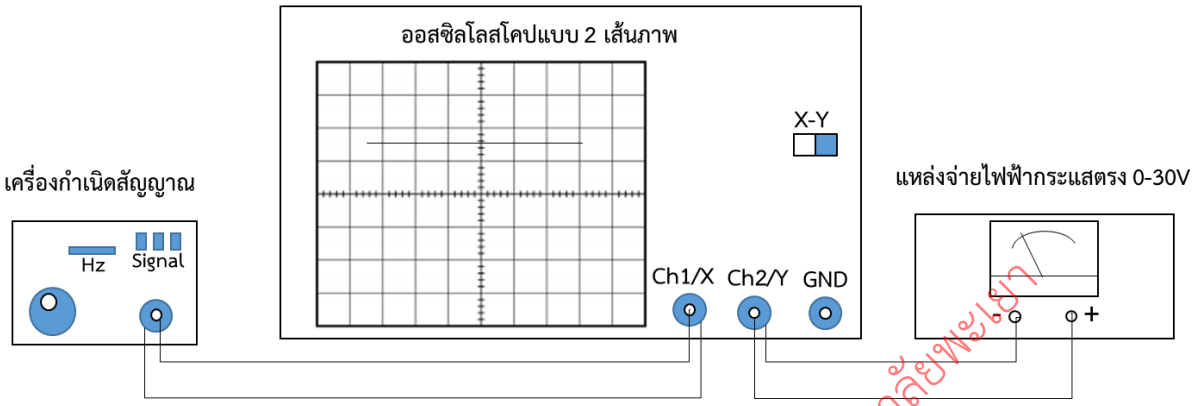
เพราะเหตุใด

.....

.....

ศูนย์บรรณสารและสื่อการเรียนรู้ สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย พะเยา

6. ประกอบวงจรตามรูปที่ 8.2



รูปที่ 8.2 วงจรทดสอบการเกิดภาพบนจอของออสซิลโลสโคป

7. การตั้งค่าและการสังเกตผลบนออสซิลโลสโคป

- ตั้งสวิตช์เลือกอินพุตของ ช่องที่ 1 (Ch1) ไว้ที่ตำแหน่ง AC
- ตั้งอินพุตของ ช่องที่ 2 (Ch2) ไว้ที่ตำแหน่ง GND
- ต่อ สัญญาณไซน์ จาก เครื่องกำเนิดสัญญาณ (Function Generator) เข้ากับ Ch1
- เริ่มต้นด้วยความถี่ต่ำประมาณ 1 Hz แล้วค่อย ๆ เพิ่มความถี่ขึ้นไปจนถึง 1 kHz

เพราะเหตุใด

.....

.....

8. การตั้งค่าและการสังเกตผลบนออสซิลโลสโคป

- ตั้งสวิตช์อินพุตของ
  - ช่องที่ 1 (Ch1) ไว้ที่ตำแหน่ง AC (รับสัญญาณไซน์จากเครื่องกำเนิดสัญญาณ ความถี่ 1 kHz)
  - ช่องที่ 2 (Ch2) ไว้ที่ตำแหน่ง DC (รับแรงดันจากแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรง)
- ป้อน สัญญาณไซน์ความถี่ 1 kHz เข้าช่อง Ch1
- ค่อย ๆ ปรับแรงดันไฟตรงจาก 0V ⟶ 5V แล้วลดกลับลงเป็น 0V
- จออยู่ในโหมด XY mode:
  - Ch1 ⟶ แกน X (สัญญาณไซน์ AC)
  - Ch2 ⟶ แกน Y (แรงดันไฟฟ้ากระแสตรง DC)

.....

.....

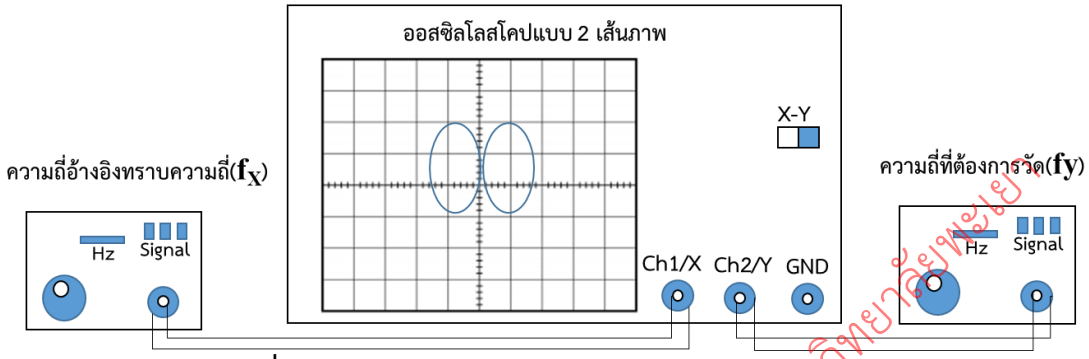
ศูนย์บรรณสารและการเรียนรู้ สถาบันนวัตกรรมการเรียนรู้ มหาวิทยาลัยพะเยา

เพราะเหตุใด

.....

.....

8. ประกอบวงจรดังรูปที่ 8.3



รูปที่ 8.3 วงจรทดสอบการเกิดภาพบนจอของออสซิลโลสโคป

9. การตั้งค่าออสซิลโลสโคปในโหมด XY ตั้งออสซิลโลสโคปให้อยู่ใน โหมด XY ปรับปุ่ม Volt/Div ของทั้ง Channel 1 (Ch1) และ Channel 2 (Ch2) เป็น 1 โวลต์ ใช้ปุ่มปรับตำแหน่ง X-position และ Y-position เพื่อเลื่อนสัญญาณให้อยู่ ตรงกลางหน้าจอแสดงผล

10. การทดลองและสังเกตลักษณะของลูป Lissajous ตั้ง เครื่องกำเนิดสัญญาณทั้งสองเครื่อง ให้ออก สัญญาณไซน์ (sine wave) ป้อนสัญญาณจากเครื่องแรกเข้า Ch1 (แกน X) และเครื่องที่สองเข้า Ch2 (แกน Y) ปรับความถี่ของแต่ละเครื่องตามที่กำหนดใน ตารางที่ 8.1 สังเกตรูปคลื่นที่แสดงบนหน้าจอ ซึ่งจะปรากฏเป็น ลูปรูปทรงต่าง ๆ (Lissajous figures) ขึ้นอยู่กับอัตราส่วนความถี่และเฟสระหว่างสองสัญญาณ

ตารางที่ 8.1 ภาพปรากฏบนจอของออสซิลโลสโคปเมื่อจ่ายสัญญาณไซต์ความถี่ต่าง ๆ เข้าทางแผ่นเบี่ยงเบนทางแนวตั้งและแผ่นเบี่ยงเบนทางแนวนอน

ความถี่ของสัญญาณอินพุต Ch1 หรือ อินพุต X (kHz)	ความถี่ของสัญญาณอินพุต Ch2 หรือ อินพุต Y (kHz)	ภาพปรากฏบนหน้าจอ
1	1	
1	2	

ศูนย์วิทยทรัพยากร และการเรียนรู้ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี มหาวิทยาลัยพะเยา

1	3	
1.5	2	
2	3	
2.5	3	

สรุปผลการทดลอง

.....

.....

.....

.....

.....

.....

ปัญหาและข้อเสนอแนะ

.....

.....

.....

ศูนย์บรรณสารและการเรียนรู้ สถาบันนวัตกรรมการเรียนรู้ มหาวิทยาลัยพะเยา

คำถามท้ายการทดลอง

1 สัญญาณไฟฟ้าที่ปรากฏบนจอออสซิลโลสโคปมีลักษณะอย่างไร และเป็นคลื่นประเภทใด เช่น sine, square, triangle

2 จากภาพที่ปรากฏบนหน้าจอ นักเรียนสามารถหาค่าความถี่และคาบของสัญญาณได้อย่างไร อธิบายขั้นตอนโดยสังเขป

3 เพราะเหตุใดการตั้งค่าความไวของแกนเวลา (Time/Div) และแกนแรงดัน (Volt/Div) จึงมีความสำคัญในการใช้ออสซิลโลสโคป

4 ออสซิลโลสโคปสามารถใช้ประโยชน์ในงานด้านใดบ้างในทางวิศวกรรมหรืออิเล็กทรอนิกส์ ยกตัวอย่างอย่างน้อย 2 กรณี

5 จากการทดลองนี้ นักเรียนได้เรียนรู้อะไรเกี่ยวกับการวิเคราะห์สัญญาณไฟฟ้าด้วยออสซิลโลสโคป

ศูนย์บรรณสารและการเรียนรู้ สถาบันนวัตกรรมการเรียนรู้ มหาวิทยาลัยพะเยา

ใบงานที่ 9
เรื่อง การประยุกต์ใช้งานออสซิลโลสโคปกับวงจรอิเล็กทรอนิกส์

จุดประสงค์

1. เพื่อให้นักศึกษาเข้าใจหลักการใช้งานออสซิลโลสโคปในการตรวจวัดสัญญาณไฟฟ้าในวงจรอิเล็กทรอนิกส์
2. เพื่อให้นักศึกษาสามารถเชื่อมต่อและใช้งานออสซิลโลสโคปร่วมกับวงจรอิเล็กทรอนิกส์อย่างถูกต้องและปลอดภัย
3. เพื่อให้นักศึกษาสามารถวิเคราะห์รูปคลื่นและลักษณะสัญญาณที่ได้จากวงจรจริง
4. เพื่อเสริมสร้างทักษะในการตรวจสอบและวิเคราะห์ความผิดปกติของวงจรอิเล็กทรอนิกส์ด้วยออสซิลโลสโคป
5. เพื่อให้นักศึกษาสามารถประยุกต์ใช้ออสซิลโลสโคปในการแก้ไขปัญหาในงานด้านอิเล็กทรอนิกส์เบื้องต้นได้

เครื่องมือและอุปกรณ์

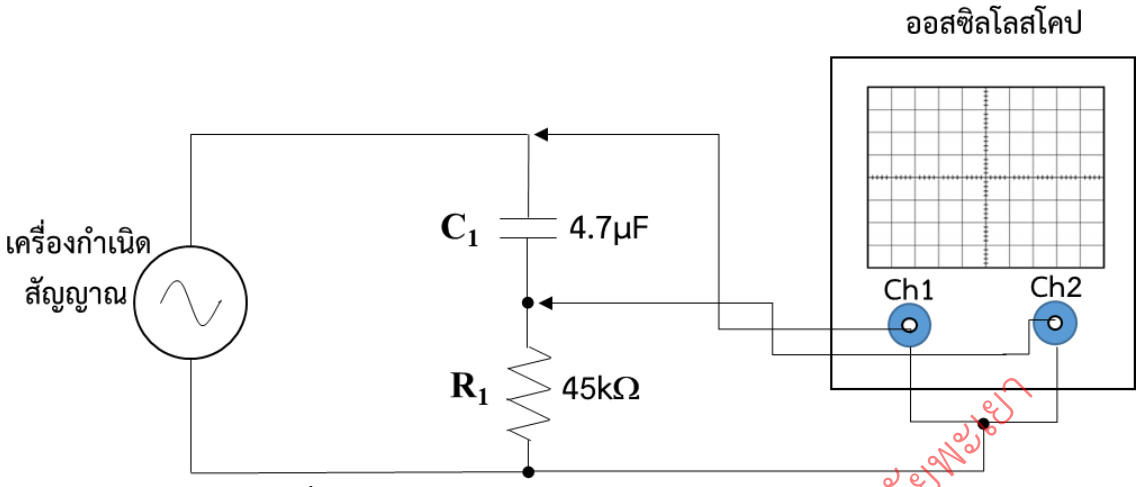
1.	ออสซิลโลสโคป (Oscilloscope)	1 เครื่อง
2.	โพรบวัดสัญญาณ (Oscilloscope Probe)	1 ชุด
3.	ชุดทดลองวงจรอิเล็กทรอนิกส์ตัวอย่าง เช่น	
	o วงจรต่างเฟสสัญญาณ (R-C Circuit)	
	o วงจรต่างเฟสสัญญาณ (R-L Circuit) อย่างละ	1 ชุด
4.	แหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้า (DC Power Supply) 0-30V	1 เครื่อง
5.	เครื่องกำเนิดสัญญาณ (Function Generator)	1 เครื่อง
6.	สายเชื่อมต่อ	1 ชุด
7.	บอร์ดทดลองหรือแผ่นวงจร (Breadboard หรือ PCB)	1 แผ่น
8.	มัลติมิเตอร์ (Multimeter)	1 เครื่อง
9.	สมุดบันทึกผลการทดลอง	1 เล่ม

ลำดับขั้นการทดลอง

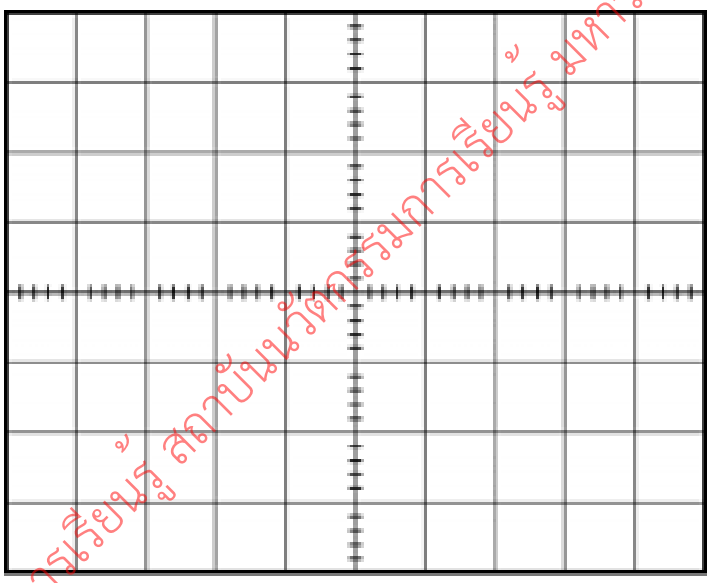
ตอนที่ 1 วงจรต่างเฟสสัญญาณ (R-C Circuit)

1. ประกอบวงจรดังรูป 9.1
2. ปรับเครื่องกำเนิดสัญญาณที่ความถี่ 1 kHz ขนาด $5V_{p-p}$
3. ปรับออสซิลโลสโคปให้รูปสัญญาณปรากฏบนจอมีขนาดที่เหมาะสม
4. เขียนรูปสัญญาณจากจอออสซิลโลสโคปลงในรูปที่ 9.2

ศูนย์ประมวลสื่อและการเรียนรู้ สถาบันเทคโนโลยีการเรียนรู้ มหาวิทยาลัยพะเยา



รูปที่ 9.1 การวัดความต่างเฟสของสัญญาณวงจร R-C



รูปที่ 9.2 จอภาพออสซิลโลสโคป

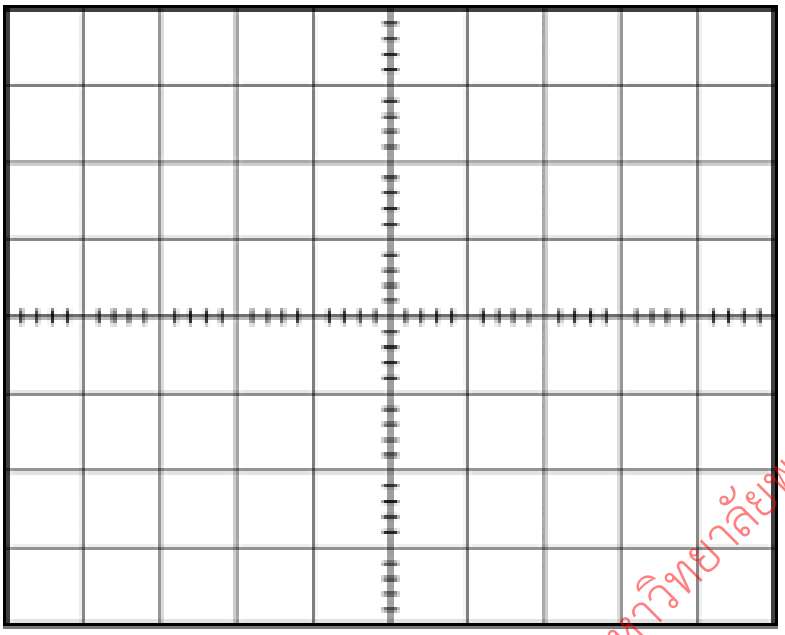
5. อ่านค่าความต่างเฟสของสัญญาณทั้ง 2
   - ความต่างเฟส (Phase difference) = ...องศา
6. ตั้งค่าออสซิลโลสโคปให้อยู่ในโหมด XY
   - ปรับสวิตช์เลือกสัญญาณ (AC-GND-DC) ของทั้งสองช่องไปที่ตำแหน่ง GND
   - ใช้ปุ่มปรับตำแหน่งแกน X และแกน Y เพื่อจัดให้อิเล็กตรอนลำแสงอยู่ตรงกลางหน้าจอ
   - จากนั้นเปลี่ยนสวิตช์เลือกสัญญาณกลับไปที่ตำแหน่ง AC
   - สังเกตและวาดรูปสัญญาณที่ปรากฏบนหน้าจอออสซิลโลสโคป ลงใน รูปที่ 9.3
7. อ่านระยะ a (Y1) และ b (Y2) และคำนวณความต่างเฟสของสัญญาณทั้ง 2

   a = ...ช่อง (cm)

   b = ...ช่อง (cm)

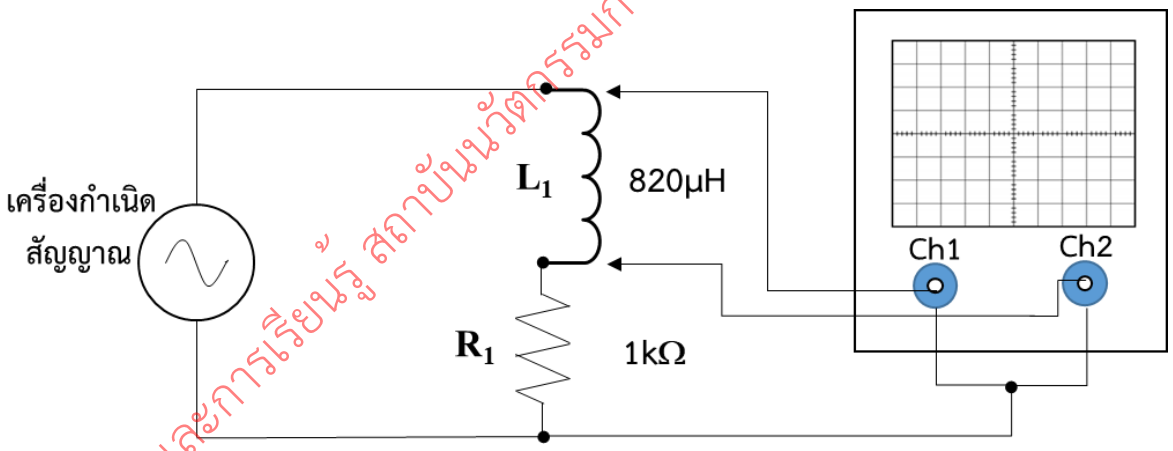
   ความต่างเฟส = ...องศา

ศูนย์บรรณสารและการเรียนรู้ สถาบันนวัตกรรมการเรียนรู้ มหาวิทยาลัยพะเยา



รูปที่ 9.3 จอภาพออสซิลโลสโคป

ตอนที่ 2 วงจรต่างเฟสสัญญาณ (R-C Circuit)

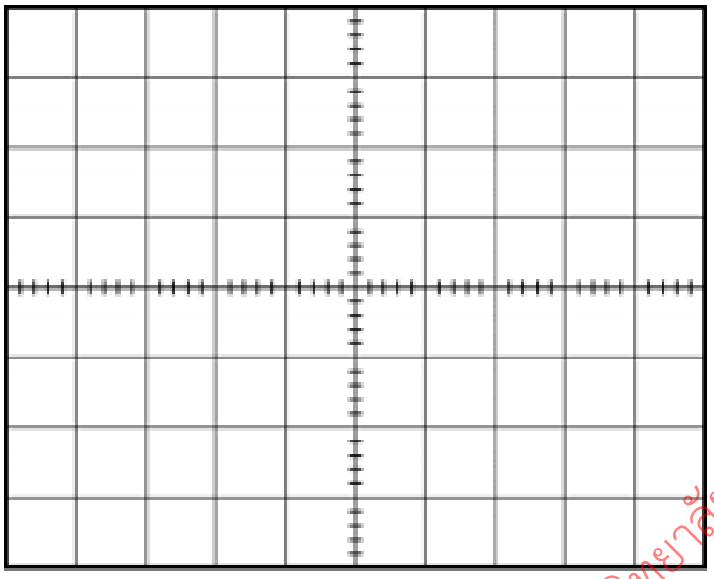


รูปที่ 9.4 วงจรต่างเฟสสัญญาณ (R-C Circuit)

8. ต่อวงจรดังรูปที่ 9.4
9. อ่านค่าความต่างเฟสของสัญญาณทั้ง 2
   - ความต่างเฟส (Phase difference) = ...องศา
10. ตั้งออสซิลโลสโคปในโหมด XY

- ปรับสวิตช์เลือกสัญญาณ (AC-GND-DC) ของทั้งสองช่องไปที่ตำแหน่ง GND
- ใช้ปุ่มปรับตำแหน่งแกน X และ Y เพื่อจัดตำแหน่งลำอิเล็กตรอนให้อยู่กึ่งกลางหน้าจอ
- จากนั้นเปลี่ยนสวิตช์เลือกสัญญาณกลับไปที่ตำแหน่ง AC เพื่อเริ่มแสดงสัญญาณจริง

ศูนย์บรรณสารและการเรียนรู้ สถาบันนวัตกรรมการเรียนรู้ มหาวิทยาลัยพะเยา



รูปที่ 9.5 จอภาพออสซิลโลสโคป

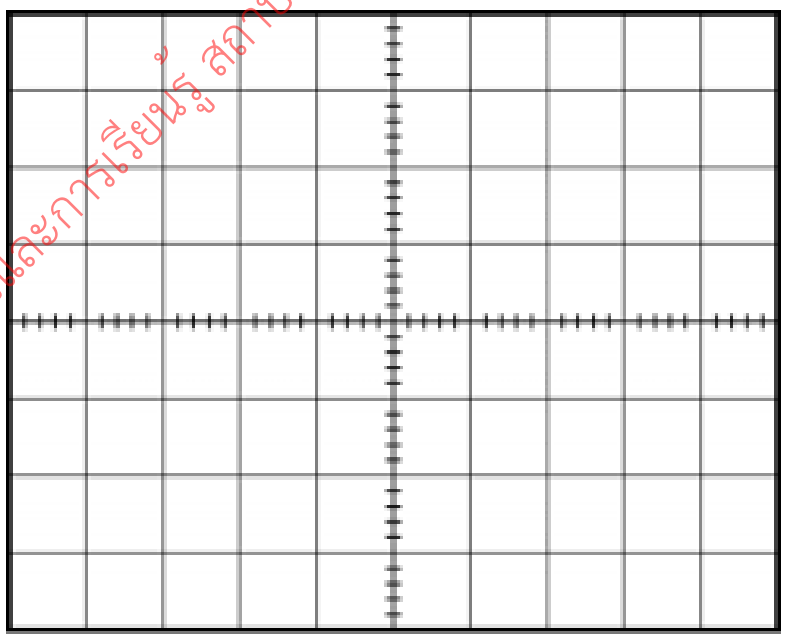
11. เขียนรูปสัญญาณจากออสซิลโลสโคป ลงในรูปที่ 9.5 และ 9.6 ตามลำดับ

12. อ่านระยะ a (Y_1) และ b (Y_2) และคำนวณความต่างเฟสของสัญญาณทั้ง 2

a = ...ช่อง (cm)

b = ...ช่อง (cm)

ความต่างเฟส = ...องศา



รูปที่ 9.6 จอภาพออสซิลโลสโคป

ศูนย์บรรณสารและการเรียนรู้ สถาบันนวัตกรรมการเรียนรู้ มหาวิทยาลัยพะเยา

สรุปผลการทดลอง

.....

.....

.....

.....

.....

.....

ปัญหาและข้อเสนอแนะ

.....

.....

.....

คำถามท้ายการทดลอง

1. ออสซิลโลสโคปมีบทบาทสำคัญอย่างไรในการตรวจสอบการทำงานของวงจรอิเล็กทรอนิกส์
2. จากการทดลอง นักศึกษาพบว่ารูปคลื่นของสัญญาณอินพุตและเอาต์พุตแตกต่างกันอย่างไร จงอธิบาย
3. หากสัญญาณที่ปรากฏบนจอออสซิลโลสโคปผิดปกติ อาจเกิดจากสาเหตุใดได้บ้าง
4. การตั้งค่า Time/Div และ Volt/Div ที่ไม่เหมาะสมจะส่งผลอย่างไรต่อการแสดงผลของสัญญาณ
5. จากการทดลองครั้งนี้ นักศึกษาสามารถนำความรู้ไปประยุกต์ใช้ในสถานการณ์จริงด้านใดบ้างในงานอิเล็กทรอนิกส์

ศูนย์บรรณสารและการเรียนรู้ สถาบันนวัตกรรมการเรียนรู้ มหาวิทยาลัยพะเยา

คำศัพท์

ลำดับ	คำศัพท์	ความหมายพอสังเขป
บทที่ 1 เครื่องมือวัดไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์		
1	เครื่องมือวัด (Measuring Instrument)	อุปกรณ์ที่ใช้วัดค่าทางไฟฟ้า
2	มัลติมิเตอร์ (Multimeter)	เครื่องมือรวมการวัดโวลต์ แอมป์ และโอห์มในเครื่องเดียว
3	โวลต์มิเตอร์ (Voltmeter)	เครื่องมือวัดแรงดันไฟฟ้า
4	แอมมิเตอร์ (Ammeter)	เครื่องมือวัดกระแสไฟฟ้า
5	โอห์มมิเตอร์ (Ohmmeter)	เครื่องมือวัดค่าความต้านทาน
6	ออสซิลโลสโคป (Oscilloscope)	เครื่องมือแสดงรูปคลื่นสัญญาณไฟฟ้า
7	เครื่องวัดสัญญาณ (Signal Analyzer)	อุปกรณ์วิเคราะห์ความถี่และรูปคลื่นของสัญญาณไฟฟ้า
8	เครื่องสร้างสัญญาณ (Function Generator)	อุปกรณ์สร้างสัญญาณไฟฟ้าหลากหลายรูปแบบ
9	ความแม่นยำ (Accuracy)	ความใกล้เคียงระหว่างค่าที่วัดได้กับค่าจริง
10	ค่าคลาดเคลื่อน (Error / Tolerance)	ความต่างระหว่างค่าจริงกับค่าที่วัดได้
11	ความละเอียด (Resolution)	ความสามารถในการแยกแยะค่าที่วัดได้ทีละน้อย
12	ค่าจริง (True Value)	ค่าที่ถูกต้องที่สุดในการวัด
13	ค่าที่วัดได้ (Measured Value)	ค่าที่แสดงจากเครื่องมือวัด
14	แรงดันไฟฟ้า (Voltage)	พลังงานที่ทำให้กระแสไหลในวงจร
15	กระแสไฟฟ้า (Current)	การไหลของอิเล็กตรอนในวงจรไฟฟ้า
16	ความต้านทาน (Resistance)	การขัดขวางการไหลของกระแสไฟฟ้า
17	ย่านการวัด (Measuring Range)	ขอบเขตของค่าที่เครื่องมือวัดสามารถวัดได้
18	อินพุตอิมพีแดนซ์ (Input Impedance)	ความต้านทานของเครื่องมือวัดต่อสัญญาณที่เข้า
19	การสอบเทียบ (Calibration)	การปรับเครื่องมือให้แสดงค่าได้ถูกต้อง
20	การต่อแบบอนุกรม (Series Connection)	การต่ออุปกรณ์ตามแนวเดียวกันในวงจร
21	การต่อแบบขนาน (Parallel Connection)	การต่ออุปกรณ์ในแนวขนานกันในวงจร
22	การวัดแบบ AC/DC (AC/DC Measurement)	การวัดไฟฟ้ากระแสสลับหรือกระแสตรง
23	เครื่องมือแบบอนาล็อก (Analog Instrument)	เครื่องมือที่แสดงค่าการวัดด้วยเข็ม

ศูนย์วิทยทรัพยากร สถาบันบัณฑิตการอาชีวศึกษา มหาวิทยาลัยพะเยา

ลำดับ	คำศัพท์	ความหมายพอสังเขป
บทที่ 2 เครื่องมือวัดพื้นฐาน		
1	เครื่องมือวัดพื้นฐาน (Basic Measuring Instrument)	อุปกรณ์วัดไฟฟ้าทั่วไป เช่น มัลติมิเตอร์
2	เครื่องวัดแบบเข็ม (Analog Meter)	เครื่องมือวัดที่แสดงค่าโดยการขยับของเข็ม
3	เครื่องวัดแบบดิจิทัล (Digital Meter)	เครื่องวัดที่แสดงผลเป็นตัวเลข
4	แกนแม่เหล็กถาวร (Permanent Magnet)	ส่วนประกอบในเครื่องวัดแบบเข็มที่สร้างสนามแม่เหล็ก
5	คอยล์เคลื่อนที่ (Moving Coil)	ขดลวดที่ขยับเมื่อมีกระแสไหล ใช้ในมิเตอร์แบบเข็ม
6	เครื่องมือวัดค่าเฉลี่ย (Average Responding Meter)	เครื่องวัดที่อ่านค่ากระแสหรือแรงดันเฉลี่ย
7	เครื่องมือวัดค่ารูทมีนสแควร์ (True RMS Meter)	เครื่องวัดที่อ่านค่ารากที่สองของค่าเฉลี่ยกำลังสองของสัญญาณ
8	ช่วงการวัด (Range)	ขอบเขตค่าที่เครื่องมือสามารถวัดได้
9	การโอเวอร์โหลด (Overload)	การวัดเกินขอบเขตที่เครื่องมือรับได้
10	ฟังก์ชันการวัด (Measuring Function)	โหมดการทำงานของเครื่องมือ เช่น วัดโวลต์ แอมป์ โอห์ม
11	การวัดแบบต่อเนื่อง (Continuous Measurement)	การวัดค่าอย่างต่อเนื่องในเวลาจริง
12	ปุ่มปรับค่าศูนย์ (Zero Adjustment)	ตัวปรับเข็มให้อยู่ตำแหน่งศูนย์ก่อนวัด
13	ตัวต้านทานปรับค่าได้ (Variable Resistor)	อุปกรณ์ที่สามารถปรับค่าความต้านทานได้
14	ฟิวส์ (Fuse)	อุปกรณ์ป้องกันวงจรจากกระแสเกิน
15	ขั้ววัด (Probe / Test Lead)	สายวัดหรือหัววัดที่ใช้เชื่อมต่อกับอุปกรณ์ที่ต้องการวัด
16	ความไวของเครื่องวัด (Meter Sensitivity)	ความสามารถในการตอบสนองต่อสัญญาณขนาดเล็ก
17	สเกลการวัด (Scale)	หน้าปัดแสดงค่าการวัดบนเครื่องมือแบบเข็ม
18	หน่วยของการวัด (Unit of Measurement)	หน่วยที่ใช้แสดงผล เช่น โวลต์, แอมป์, โอห์ม
19	ค่าภายในของมิเตอร์ (Internal Resistance)	ค่าความต้านทานภายในของเครื่องวัด
20	การอ่านค่า (Reading)	ค่าที่แสดงออกมาจากเครื่องมือวัด

ศูนย์บรรณสารและสื่อการเรียนรู้ สถาบันนวัตกรรมการเรียนรู้ มหาวิทยาลัยพะเยา

ลำดับ	คำศัพท์	ความหมายพอสังเขป
บทที่ 3 เครื่องมือวัดอิเล็กทรอนิกส์		
1	เครื่องมือวัดอิเล็กทรอนิกส์ (Electronic Measuring Instrument)	อุปกรณ์วัดที่ใช้วงจรอิเล็กทรอนิกส์ในการทำงาน
2	ออสซิลโลสโคป (Oscilloscope)	เครื่องมือแสดงคลื่นสัญญาณไฟฟ้าแบบกราฟบนหน้าจอ
3	ดิจิทัลออสซิลโลสโคป (Digital Oscilloscope)	ออสซิลโลสโคปที่แสดงผลด้วยระบบดิจิทัล
4	เครื่องสร้างสัญญาณ (Function Generator)	อุปกรณ์สร้างสัญญาณไฟฟ้า เช่น sine, square, triangle
5	เครื่องวิเคราะห์สเปกตรัม (Spectrum Analyzer)	อุปกรณ์วิเคราะห์ความถี่ของสัญญาณไฟฟ้า
6	เครื่องวัดเฟส (Phase Meter)	อุปกรณ์วัดความต่างเฟสระหว่างสัญญาณสองชุด
7	โปรบวัด (Oscilloscope Probe)	หัววัดที่เชื่อมต่อสัญญาณเข้ากับออสซิลโลสโคป
8	หน่วงเวลา (Time Base)	ส่วนควบคุมการแสดงผลตามช่วงเวลาในออสซิลโลสโคป
9	ความถี่ (Frequency)	จำนวนรอบของสัญญาณต่อวินาที หน่วยเป็นเฮิรตซ์ (Hz)
10	คาบเวลา (Period)	เวลาที่สัญญาณใช้ในการครบหนึ่งรอบ
11	ความกว้างพัลส์ (Pulse Width)	ช่วงเวลาที่พัลส์มีสถานะสูงหรือ “ON”
12	ความต่างศักย์ (Potential Difference)	แรงดันไฟฟ้าระหว่างจุดสองจุดในวงจร
13	การแสดงผลแบบกราฟ (Graphical Display)	การแสดงคลื่นสัญญาณบนหน้าจอเป็นภาพกราฟ
14	แชนแนล (Channel)	ช่องรับสัญญาณบนออสซิลโลสโคป (เช่น CH1, CH2)
15	ค่าเฉลี่ย (Average)	ค่าเฉลี่ยของสัญญาณในช่วงเวลาหนึ่ง
16	โหมด AC/DC (AC/DC Coupling)	การเลือกให้เครื่องวัดรับเฉพาะสัญญาณ AC หรือรวม DC
17	ความไวแนวดิ่ง (Vertical Sensitivity)	การตั้งค่าความสูงของรูปคลื่น (โวลต์ต่อช่อง)
18	ความไวแนวระดับ (Horizontal Sensitivity)	การตั้งค่าช่วงเวลาแสดงผล (เวลา/ช่อง)
19	หน่วยวัด (Measurement Unit)	หน่วยที่ใช้ เช่น V (โวลต์), ms (มิลลิวินาที), Hz
20	สัญญาณรบกวน (Noise)	สัญญาณที่ไม่พึงประสงค์ที่ปะปนกับสัญญาณจริง

ศูนย์ทรัพยากรและสื่อการเรียนรู้ สถาบันบัณฑิตการเรียนรู้ มหาวิทยาลัยพะเยา

ลำดับ	คำศัพท์	ความหมายพอสังเขป
บทที่ 4	**เครื่องมือวัดดิจิตอล**	
1	เครื่องมือวัดดิจิตอล (Digital Measuring Instrument)	เครื่องมือวัดที่แสดงผลเป็นตัวเลข
2	ดิจิตอลมัลติมิเตอร์ (Digital Multimeter: DMM)	เครื่องวัดไฟฟ้าแบบดิจิตอลที่วัดได้หลายค่า
3	แสดงผลแบบตัวเลข (Digital Display)	การแสดงค่าผลลัพธ์เป็นตัวเลขบนหน้าจอ
4	หน้าจอ LCD (LCD Display)	จอแสดงผลแบบคริสตัลเหลว ใช้แสดงค่าที่วัดได้
5	ความละเอียด (Resolution)	จำนวนหลักที่เครื่องมือแสดงได้ เช่น 3½ หลัก
6	ความแม่นยำ (Accuracy)	ความใกล้เคียงระหว่างค่าที่วัดได้กับค่าจริง
7	(Sampling)	การจับค่าสัญญาณในช่วงเวลาหนึ่งเพื่อนำมาวัด
8	ความเร็วในการวัด (Measurement Speed)	ระยะเวลาในการประมวลผลและแสดงผลการวัด
9	การเก็บค่าข้อมูล (Data Hold)	ฟังก์ชันค้างค่าการวัดไว้บนหน้าจอ
10	หน่วยความจำในตัว (Internal Memory)	หน่วยความจำสำหรับเก็บข้อมูลการวัด
11	อินเตอร์เฟส (Interface)	ช่องเชื่อมต่อกับอุปกรณ์ภายนอก เช่น USB, RS232
12	ออโต้เรนจ์ (Auto Range)	ฟังก์ชันเลือกย่านการวัดโดยอัตโนมัติ
13	โหมดแมนนวล (Manual Mode)	การเลือกย่านวัดหรือฟังก์ชันด้วยตนเอง
14	ออฟเซต (Offset)	ค่าที่เบี่ยงเบนจากค่าศูนย์ที่ต้องแก้ไข
15	การสอบเทียบ (Calibration)	การปรับเครื่องมือให้แสดงผลถูกต้อง
16	การโอเวอร์โหลด (Overload Indication)	การแจ้งเตือนเมื่อค่าที่วัดเกินขอบเขตเครื่องมือ
17	ตัวกรองสัญญาณ (Signal Filter)	วงจรหรือตัวเลือกที่ใช้ลดสัญญาณรบกวน
18	ฟังก์ชัน MAX/MIN	แสดงค่ามากที่สุด/น้อยที่สุดที่วัดได้ในช่วงเวลา
19	ปุ่ม SELECT	ปุ่มเลือกฟังก์ชันการวัดต่างๆ บนเครื่อง
20	ความปลอดภัยในการวัด (Measurement Safety)	มาตรฐานความปลอดภัยที่เครื่องวัดต้องมี
21	ฟังก์ชัน REL (Relative Mode)	การแสดงผลเทียบกับค่าพื้นฐาน (เช่น ลบค่าศูนย์อัตโนมัติ)
22	โหมดต่อเนื่อง (Continuity Mode)	ฟังก์ชันตรวจสอบการต่อวงจร หากต่อครบจะมีเสียงดัง “ติ๊ด”
23	การทดสอบไดโอด (Diode Test)	ฟังก์ชันทดสอบแรงดันตกคร่อมไดโอดว่าทำงานได้หรือไม่

ศูนย์วิทยทรัพยากร สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ลำดับ	คำศัพท์	ความหมายพอสังเขป
24	วัดความจุ (Capacitance Measurement)	การวัดค่าความจุของตัวเก็บประจุ
25	วัดความเหนี่ยวนำ (Inductance Measurement)	การวัดค่าความเหนี่ยวนำของขดลวด
26	โหมดบันทึก (Data Logging)	การบันทึกค่าการวัดลงในหน่วยความจำเพื่อดูย้อนหลัง
27	ค่าคงที่ทางไฟฟ้า (Electrical Constant)	ค่าที่ใช้บ่อย เช่น ค่าคงที่ของโอห์ม ฟารัด เฮนรี
28	การวัดไฟ AC แบบ True RMS	การวัดค่าไฟ AC ที่แม่นยำ แม้รูปคลื่นไม่เป็นไซน์
29	ย่านวัดความถี่ (Frequency Range)	ขอบเขตของความถี่ที่สามารถวัดได้
30	โหมดสแตนด์บาย (Standby Mode)	โหมดประหยัดพลังงานเมื่อไม่ได้ใช้งานชั่วคราว
31	แหล่งจ่ายไฟแบตเตอรี่ (Battery Power Supply)	การใช้พลังงานจากแบตเตอรี่ในเครื่องวัด
32	แจ้งเตือนแบตเตอรี่อ่อน (Low Battery Indication)	สัญลักษณ์เตือนเมื่อแบตเตอรี่ใกล้หมด
33	การเชื่อมต่อกับคอมพิวเตอร์ (PC Interface)	การถ่ายโอนข้อมูลจากเครื่องวัดเข้าสู่คอมพิวเตอร์
34	ฟังก์ชัน HOLD อัตโนมัติ (Auto Hold)	เครื่องจับค่าที่นิ่งโดยอัตโนมัติ และแสดงค่านั้นไว้
บทที่ 5 บริดจ์มิเตอร์		
1	บริดจ์มิเตอร์ (Bridge Meter)	เครื่องมือวัดค่าทางไฟฟ้าโดยใช้หลักการบริดจ์
2	วงจรบริดจ์ (Bridge Circuit)	วงจรที่มีการต่ออุปกรณ์เป็นรูปสี่เหลี่ยมเพื่อเปรียบเทียบค่า
3	วีตสโตนบริดจ์ (Wheatstone Bridge)	วงจรบริดจ์ใช้วัดค่าความต้านทานอย่างแม่นยำ
4	เคลวินบริดจ์ (Kelvin Bridge)	วงจรวัดความต้านทานต่ำมาก โดยลดผลกระทบจากสายวัด
5	เอซีบริดจ์ (AC Bridge)	วงจรบริดจ์ที่ใช้สัญญาณไฟฟ้ากระแสสลับ
6	บริดจ์แบบบาลานซ์ (Balanced Bridge)	สภาวะที่วงจรบริดจ์มีแรงดันไฟฟ้าที่จุดกลางเท่ากัน (ไม่มีการเบี่ยงเบน)
7	บริดจ์แบบไม่บาลานซ์ (Unbalanced Bridge)	สภาวะที่แรงดันที่จุดกลางของบริดจ์ไม่เท่ากัน
8	ตัวเปรียบเทียบ (Comparator)	ส่วนของบริดจ์ที่เปรียบเทียบค่าอุปกรณ์เพื่อหาความต่างศักย์

ศูนย์บรรณสารและการเรียนรู้ สถาบันวิทยบริการเรียนรู้ มหาวิทยาลัยพะเยา

ลำดับ	คำศัพท์	ความหมายพอสังเขป
9	ดีเทกเตอร์ (Detector)	อุปกรณ์ที่ตรวจจับสัญญาณความต่างศักย์ในบริดจ์
10	ตัวต้านทานตัวแปร (Variable Resistor)	ตัวต้านทานที่ปรับค่าได้ เพื่อหาจุดสมดุลในบริดจ์
11	สภาวะสมดุล (Bridge Balance Condition)	สถานะที่กระแสไม่ไหลผ่านดีเทกเตอร์ แสดงว่าค่าถูกต้องแล้ว
12	การสอบเทียบบริดจ์ (Bridge Calibration)	การปรับบริดจ์ให้แสดงค่าถูกต้องตามมาตรฐาน
13	การวัดแบบอินดักแตนซ์ (Inductance Measurement)	การวัดค่าความเหนี่ยวนำด้วยบริดจ์ AC
14	การวัดแบบคาปาซิแตนซ์ (Capacitance Measurement)	การวัดค่าความจุไฟฟ้าด้วยวงจรบริดจ์
15	การวัดค่าความต้านทาน (Resistance Measurement)	การวัดค่าความต้านทานด้วยบริดจ์ เช่น วีตสโตนบริดจ์
16	กำลังไฟฟ้าสูญเสีย (Power Loss)	การสูญเสียพลังงานในองค์ประกอบของบริดจ์
17	อิมพีแดนซ์บริดจ์ (Impedance Bridge)	บริดจ์สำหรับวัดอิมพีแดนซ์ของอุปกรณ์
18	เฟสชิฟต์ (Phase Shift)	ความต่างเฟสระหว่างแรงดันและกระแสในวงจร AC
19	การปรับความถี่ (Frequency Adjustment)	การเปลี่ยนความถี่สัญญาณในบริดจ์เพื่อให้เกิดสมดุล
20	ความแม่นยำสูง (High Accuracy)	คุณสมบัติของบริดจ์มิเตอร์ที่ให้ค่าการวัดเที่ยงตรงมาก
21	ค่าที่ทราบแน่นอน (Known Value)	ค่าของอุปกรณ์ที่ใช้เทียบในการวัด เช่น ตัวต้านทานมาตรฐาน
22	ค่าที่ไม่รู้ (Unknown Value)	ค่าของอุปกรณ์ที่ต้องการหาด้วยบริดจ์มิเตอร์
23	แขนของบริดจ์ (Bridge Arm)	ส่วนของวงจรบริดจ์แต่ละด้านที่มีอุปกรณ์ต่ออยู่
24	การวัดเชิงเปรียบเทียบ (Comparative Measurement)	การวัดโดยเปรียบเทียบกับค่ามาตรฐาน ไม่ใช่วัดตรงๆ
25	บริดจ์พีเตอร์สัน (Petersen Bridge)	บริดจ์แบบพิเศษที่ใช้วัดคาปาซิแตนซ์ที่มีค่าต่ำมาก
26	การอ่านค่าแบบศูนย์กลาง (Null Detection)	วิธีการอ่านค่าด้วยการปรับจนไม่มีสัญญาณที่ดีเทกเตอร์
27	อนาล็อกบริดจ์ (Analog Bridge)	บริดจ์มิเตอร์แบบดั้งเดิมที่ไม่มีการแสดงผลดิจิตอล

ศูนย์วิทยทรัพยากร จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย สถาบันนวัตกรรมการเรียนรู้ มหาวิทยาลัยพะเยา

ลำดับ	คำศัพท์	ความหมายพอสังเขป
28	บริดจ์อัตโนมัติ (Automatic Bridge)	บริดจ์ที่สามารถหาค่าและปรับสมดุลเองโดยอัตโนมัติ
29	ความไวของบริดจ์ (Bridge Sensitivity)	ความสามารถของบริดจ์ในการตอบสนองต่อการเปลี่ยนแปลงเล็กน้อย
30	อิมพีแดนซ์ที่ซับซ้อน (Complex Impedance)	อิมพีแดนซ์ที่ประกอบด้วยความต้านทานและความรีแอกแตนซ์ร่วมกัน
31	การชดเชยเฟส (Phase Compensation)	การปรับวงจรบริดจ์ให้สมดุลเมื่อมีความต่างเฟส
32	บริดจ์แบบแมกซ์เวลล์ (Maxwell Bridge)	วงจรบริดจ์ที่ใช้วัดอินดักแตนซ์ที่มีความต้านทานร่วมด้วย
33	บริดจ์แบบเฮย์ (Hay Bridge)	วงจรบริดจ์ที่เหมาะสำหรับวัดขดลวดที่มีค่าคิวสูง
34	บริดจ์แบบชวิง (Schering Bridge)	ใช้วัดคาปาซิแตนซ์และค่าความสูญเสียในตัวเก็บประจุ
35	ความสูญเสียไดอิเล็กทริก (Dielectric Loss)	การสูญเสียพลังงานในวัสดุฉนวนขณะทำงานในสัญญาณ AC
บทที่ 6 ออสซิลโลสโคป		
1	ออสซิลโลสโคป (Oscilloscope)	เครื่องมือแสดงรูปคลื่นสัญญาณ
2	รูปคลื่น (Waveform)	ลักษณะของสัญญาณบนหน้าจอ
3	สัญญาณอินพุต (Input Signal)	สัญญาณที่ป้อนเข้าเครื่องเพื่อวัด
4	เวลาต่อหนึ่งช่อง (Time/Div)	การตั้งค่าเวลาต่อช่องบนแกน X
5	แรงดันต่อหนึ่งช่อง (Volt/Div)	การตั้งค่าแรงดันต่อช่องบนแกน Y
6	ความถี่ (Frequency)	จำนวนรอบของสัญญาณต่อวินาที
7	คาบเวลา (Period)	เวลาที่ใช้ในการเกิดสัญญาณครบ 1 รอบ
8	ความต่างศักย์สูงสุด-ต่ำสุด (Peak-to-Peak Voltage)	ค่าระหว่างยอดสูงสุดและต่ำสุดของสัญญาณ
9	ค่าเฉลี่ย (Average Voltage)	ค่ากลางของแรงดันสัญญาณ
10	ค่า RMS (RMS Voltage)	ค่าแรงดันเฉลี่ยทางพลังงาน
11	ทริกเกอร์ (Trigger)	จุดที่ออสซิลโลสโคปเริ่มจับรูปคลื่น
12	ขอบสัญญาณ (Edge Trigger)	การเริ่มทริกจากขาขึ้นหรือขาลงของคลื่น
13	ความไวแนวดิ่ง (Vertical Sensitivity)	การตอบสนองของสัญญาณแรงดันในแนวดิ่ง
14	ความไวแนวราบ (Horizontal Sensitivity)	การปรับช่วงเวลาต่อช่อง
15	ช่องสัญญาณ (Channel)	อินพุตของออสซิลโลสโคป เช่น CH1, CH2
16	การแสดงผลแบบสองช่อง (Dual Channel)	แสดงสัญญาณจากสองแหล่งพร้อมกัน

ศูนย์วิทยทรัพยากร จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย สถาบันบัณฑิตพัฒนบริหารศาสตร์ มหาวิทยาลัยพายัพ

ลำดับ	คำศัพท์	ความหมายพอสังเขป
17	โพรบ (Probe)	สายวัดสัญญาณจากวงจรเข้าสู่ออสซิลโลสโคป
18	การชดเชยโพรบ (Probe Compensation)	การปรับค่าให้การวัดแม่นยำยิ่งขึ้น
19	ย่านแบนด์วิดท์ (Bandwidth)	ช่วงความถี่ที่ออสซิลโลสโคปรองรับได้อย่างแม่นยำ
20	อัตราการสุ่มตัวอย่าง (Sampling Rate)	จำนวนครั้งที่จับค่าสัญญาณต่อวินาที
21	สโตกเวล (Storage Mode)	โหมดเก็บข้อมูลรูปคลื่นไว้ดูย้อนหลัง
22	ดิจิตอลออสซิลโลสโคป (Digital Oscilloscope)	ออสซิลโลสโคปที่ทำงานแบบดิจิตอล
23	อนาล็อกออสซิลโลสโคป (Analog Oscilloscope)	ออสซิลโลสโคปแบบเก่า ใช้หลอดรังสี
24	หน้าจอ CRT	จอแสดงผลแบบหลอดรังสีในรุ่นเก่า
25	หน้าจอ LCD	จอภาพในออสซิลโลสโคปรุ่นใหม่
26	หน่วยวัด (Measurement Units)	หน่วยที่ใช้วัด เช่น mV, µs
27	ฟังก์ชันวัดอัตโนมัติ (Auto Measurement)	ฟังก์ชันวัดความถี่, ค่าความสูง โดยอัตโนมัติ
28	ซูมอิน/ซูมเอาต์ (Zoom In/Out)	การขยาย/ย่อรูปคลื่นเพื่อวิเคราะห์รายละเอียด
29	การจับภาพหน้าจอ (Screen Capture)	บันทึกรูปคลื่นเพื่อใช้งานภายหลัง
30	ฟังก์ชันคณิตศาสตร์ (Math Function)	เช่น บวก/ลบสัญญาณระหว่างช่อง
31	โหมด X-Y (XY Mode)	แสดงสัญญาณระหว่าง 2 ช่องเป็นกราฟ XY
32	แหล่งทริกเกอร์ (Trigger Source)	จุดที่ใช้เริ่มต้นจับรูปคลื่น เช่น CH1, External
33	ระดับทริกเกอร์ (Trigger Level)	ค่าที่สัญญาณต้องถึงเพื่อเริ่มจับรูปคลื่น
34	รูปคลื่นซ้ำ (Repetitive Waveform)	รูปคลื่นที่เกิดซ้ำ เช่น sine wave
35	รูปคลื่นไม่ซ้ำ (Single Shot)	รูปคลื่นที่เกิดเพียงครั้งเดียว
36	สัญญาณรบกวน (Noise)	สัญญาณแปลกปลอมที่ปนในคลื่นจริง
37	ค่า DC Offset	ค่าการเลื่อนรูปคลื่นในแนวดิ่งจากศูนย์
38	ความละเอียดการแสดงผล (Display Resolution)	จำนวนพิกเซลของจอที่ใช้แสดงผลคลื่น
39	ฟิลเตอร์ความถี่ (Bandwidth Filter)	ตัวเลือกตัดความถี่เกินที่ไม่ต้องการ
40	การตั้งศูนย์ (Zero Adjust)	การปรับตำแหน่งศูนย์ของรูปคลื่นให้อยู่กึ่งกลางจอ

ศูนย์วิทยทรัพยากร จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย สถาบันนวัตกรรมการเรียนรู้ มหาวิทยาลัยพะเยา

ลำดับ	คำศัพท์	ความหมายพอสังเขป
บทที่ 7 การสอบเทียบมาตรฐานเครื่องมือวัดและระบบมาตรฐาน		
1	การสอบเทียบ (Calibration)	กระบวนการตรวจและปรับแก้เครื่องมือวัดให้ถูกต้อง
2	มาตรฐาน (Standard)	เกณฑ์อ้างอิงสำหรับการวัดและการสอบเทียบ
3	เครื่องมือมาตรฐาน (Standard Instrument)	เครื่องมือวัดที่ถูกสอบเทียบและรับรองความถูกต้อง
4	ความถูกต้อง (Accuracy)	ความใกล้เคียงของค่าที่วัดกับค่าจริง
5	ความแม่นยำ (Precision)	ความสม่ำเสมอของค่าที่วัดได้ซ้ำ ๆ
6	ความผิดพลาด (Error)	ความแตกต่างระหว่างค่าที่วัดได้กับค่าจริง
7	ความไม่แน่นอนของการวัด (Measurement Uncertainty)	ขอบเขตที่คาดว่า ค่าที่แท้จริงจะอยู่ภายใน
8	การติดตามสอบเทียบ (Traceability)	ความสามารถเชื่อมโยงผลวัดกลับไปยังมาตรฐานระดับสูงสุด
9	มาตรฐานระดับชาติ (National Standard)	มาตรฐานที่รับรองโดยหน่วยงานระดับประเทศ
10	มาตรฐานสากล (International Standard)	มาตรฐานที่ยอมรับในระดับนานาชาติ เช่น ISO
11	ความสามารถในการทำซ้ำ (Repeatability)	ความสม่ำเสมอในการวัดซ้ำในสภาพเดิม
12	ความสามารถในการทำซ้ำ (Reproducibility)	ความสม่ำเสมอของผลวัดเมื่อเปลี่ยนสภาพหรือผู้วัด
13	เครื่องมืออ้างอิง (Reference Instrument)	เครื่องมือที่ใช้เป็นมาตรฐานในการสอบเทียบเครื่องอื่น
14	การปรับเทียบ (Adjustment)	การแก้ไขเครื่องมือวัดหลังจากสอบเทียบ
15	ช่วงวัด (Range)	ขอบเขตของค่าที่เครื่องมือสามารถวัดได้
16	จุดศูนย์ (Zero Point)	ค่าที่เครื่องมือวัดแสดงเมื่อไม่มีสัญญาณเข้า
17	ความละเอียด (Resolution)	ค่าขั้นต่ำที่เครื่องมือสามารถแยกแยะได้
18	การสอบเทียบภาคสนาม (Field Calibration)	การสอบเทียบเครื่องมือในสถานที่ใช้งานจริง
19	การสอบเทียบในห้องทดลอง (Laboratory Calibration)	การสอบเทียบในห้องทดลองที่ควบคุมสภาพแวดล้อม
20	เครื่องมือสอบเทียบ (Calibrator)	อุปกรณ์ที่ใช้ในการสอบเทียบเครื่องมือวัด
21	การทดสอบก่อนใช้งาน (Pre-test)	การตรวจสอบเครื่องมือก่อนการสอบเทียบ
22	การตรวจสอบ (Verification)	การยืนยันว่าเครื่องมือยังคงความถูกต้องอยู่
23	รายงานการสอบเทียบ (Calibration Report)	เอกสารบันทึกผลการสอบเทียบ

ศูนย์วิทยทรัพยากร จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย สถาบันนวัตกรรมการเรียนรู้ มหาวิทยาลัยพะเยา

ลำดับ	คำศัพท์	ความหมายพอสังเขป
24	ค่าความคลาดเคลื่อน (Deviation)	ค่าที่ต่างจากมาตรฐานหรือค่าที่คาดไว้
25	ค่าคงที่ (Constant)	ค่าที่กำหนดให้กับเครื่องมือวัด เช่น ค่าการขยาย
26	การปรับเทียบเชิงเส้น (Linear Calibration)	การสอบเทียบโดยสมมติความสัมพันธ์เชิงเส้น
27	การสอบเทียบแบบไม่เชิงเส้น (Non-linear Calibration)	การสอบเทียบที่มีความสัมพันธ์ซับซ้อน
28	การปรับจูน (Tuning)	การปรับเครื่องมือเพื่อเพิ่มความแม่นยำ
29	ระดับความเชื่อมั่น (Confidence Level)	ความน่าจะเป็นที่ค่าที่แท้จริงอยู่ในช่วงค่าที่วัดได้
30	การตรวจสอบความคงที่ (Stability Check)	การตรวจสอบว่าเครื่องมือยังคงค่าที่แม่นยำในเวลานาน
31	การสอบเทียบย้อนกลับ (Back Calibration)	การทดสอบโดยการเทียบเครื่องมือกลับไปยังมาตรฐานเดิม
32	มาตรฐานต้นทาง (Primary Standard)	มาตรฐานสูงสุดที่ใช้วัดและสอบเทียบมาตรฐานอื่น
33	มาตรฐานทุติยภูมิ (Secondary Standard)	มาตรฐานที่สอบเทียบจากมาตรฐานต้นทาง
34	ระบบมาตรฐาน (Standard System)	ระบบที่รวมมาตรฐาน เครื่องมือ และขั้นตอนสอบเทียบ
35	การสอบเทียบตามระยะเวลา (Periodic Calibration)	การสอบเทียบเครื่องมือเป็นระยะเวลาที่กำหนด
36	ความแม่นยำที่กำหนด (Specified Accuracy)	ความแม่นยำที่เครื่องมือควรทำได้ตามสเปค
37	เครื่องมือวัด (Measuring Instrument)	อุปกรณ์ที่ใช้วัดค่าทางไฟฟ้าหรือทางกายภาพอื่นๆ
บทที่ 8 เครื่องกำเนิดสัญญาณไฟฟ้า		
1	เครื่องกำเนิดสัญญาณ (Signal Generator)	อุปกรณ์สร้างสัญญาณไฟฟ้าเพื่อทดสอบวงจร
2	ความถี่ (Frequency)	จำนวนรอบของสัญญาณต่อวินาที (Hz)
3	ความกว้างสัญญาณ (Amplitude)	ขนาดของแรงดันหรือกระแสในสัญญาณ
4	รูปคลื่น (Waveform)	รูปแบบของสัญญาณ เช่น sine, square, triangle
5	ความถี่ตั้งต้น (Carrier Frequency)	ความถี่หลักที่เครื่องกำเนิดสร้างขึ้น
6	มอดูเลชัน (Modulation)	การปรับเปลี่ยนสัญญาณเพื่อส่งข้อมูล

ศูนย์บรรณสารและสื่อการเรียนรู้ สถาบันนวัตกรรมการเรียนรู้ มหาวิทยาลัยพะเยา

ลำดับ	คำศัพท์	ความหมายพอสังเขป
7	มอดูเลชันความกว้าง (Amplitude Modulation, AM)	การปรับเปลี่ยนความกว้างของสัญญาณ
8	มอดูเลชันความถี่ (Frequency Modulation, FM)	การปรับเปลี่ยนความถี่ของสัญญาณ
9	การสร้างความถี่ (Frequency Synthesis)	การสร้างความถี่ต่าง ๆ ด้วยเทคนิคทางอิเล็กทรอนิกส์
10	สัญญาณคลื่นไซน์ (Sine Wave)	สัญญาณที่มีรูปคลื่นเรียบและโค้ง
11	สัญญาณสี่เหลี่ยม (Square Wave)	สัญญาณที่เปลี่ยนจากสูงเป็นต่ำทันที
12	สัญญาณสามเหลี่ยม (Triangle Wave)	สัญญาณที่เพิ่มและลดแรงดันอย่างช้า ๆ
13	ความเพี้ยน (Distortion)	ความผิดปกติของรูปคลื่นจากรูปแบบที่แท้จริง
14	ความเสถียรของความถี่ (Frequency Stability)	ความคงที่ของความถี่เมื่อใช้งาน
15	ช่วงความถี่ (Frequency Range)	ขอบเขตความถี่ที่เครื่องกำเนิดสามารถสร้างได้
16	เอาท์พุต (Output)	สัญญาณที่ส่งออกจากเครื่องกำเนิด
17	โหมดการทำงาน (Operating Mode)	รูปแบบการสร้างสัญญาณ เช่น ต่อเนื่อง หรือเป็นช่วง
18	สัญญาณพัลส์ (Pulse Signal)	สัญญาณที่มีการเปลี่ยนแปลงแบบพัลส์สั้น ๆ
19	การปรับความถี่ (Frequency Adjustment)	การตั้งค่าความถี่ที่ต้องการใช้งาน
20	การปรับความกว้าง (Amplitude Adjustment)	การตั้งค่าความแรงของสัญญาณ
21	ความผิดเพี้ยนของฮาร์มอนิก (Harmonic Distortion)	ความผิดปกติที่เกิดจากสัญญาณฮาร์มอนิกส์ที่ไม่พึงประสงค์
22	ตัวกำเนิดสัญญาณฟังก์ชัน (Function Generator)	เครื่องกำเนิดสัญญาณที่สร้างรูปคลื่นหลายแบบ
23	การสร้างสัญญาณแบบดิจิตอล (Digital Signal Generation)	การสร้างสัญญาณโดยใช้เทคโนโลยีดิจิตอล
24	เครื่องกำเนิดสัญญาณวิทยุ (RF Signal Generator)	เครื่องกำเนิดสัญญาณที่ใช้ในความถี่วิทยุ
25	การปรับแต่ง (Tuning)	การปรับตั้งเพื่อให้ได้สัญญาณตามต้องการ
26	การตรวจสอบสัญญาณ (Signal Verification)	การทดสอบและตรวจสอบความถูกต้องของสัญญาณที่สร้าง
27	ฟังก์ชันการแก้ไขคลื่น (Waveform Shaping)	การปรับเปลี่ยนรูปคลื่นให้เหมาะสมกับงาน

ศูนย์วิทยทรัพยากร จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย สถาบันนวัตกรรมการเรียนรู้ มหาวิทยาลัยพะเยา

ลำดับ	คำศัพท์	ความหมายพอสังเขป
บทที่ 9 เครื่องวัดกำลังไฟฟ้า (Electric Power Meter)		
1	กำลังไฟฟ้า (Electric Power)	พลังงานไฟฟ้าที่ใช้ต่อหน่วยเวลา
2	กำลังจริง (Active Power, P)	กำลังที่ใช้จริงในวงจร (วัดเป็นวัตต์)
3	กำลังปฏิกิริยา (Reactive Power, Q)	กำลังที่เก็บและคืนในวงจร (วัดเป็นวาร์)
4	กำลังดูดซับ (Apparent Power, S)	ผลรวมกำลังจริงและกำลังปฏิกิริยา (วัดเป็นโวลต์แอมแปร์)
5	ตัวประกอบกำลัง (Power Factor)	อัตราส่วนของกำลังจริงต่อกำลังดูดซับ
6	แอมมิเตอร์ (Ammeter)	เครื่องมือวัดกระแสไฟฟ้า
7	โวลต์มิเตอร์ (Voltmeter)	เครื่องมือวัดแรงดันไฟฟ้า
8	วัตต์มิเตอร์ (Wattmeter)	เครื่องมือวัดกำลังไฟฟ้า
9	มิเตอร์ไฟฟ้า (Electric Meter)	อุปกรณ์วัดการใช้ไฟฟ้าของระบบ
10	กระแสไฟฟ้า (Electric Current)	การไหลของประจุไฟฟ้าในวงจร
11	แรงดันไฟฟ้า (Voltage)	ความต่างศักย์ไฟฟ้า
12	การวัดแบบต่ออนุกรม (Series Connection)	การเชื่อมต่อเครื่องมือวัดในวงจรแบบต่ออนุกรม
13	การวัดแบบขนาน (Parallel Connection)	การเชื่อมต่อเครื่องมือวัดในวงจรแบบขนาน
14	การชดเชย (Compensation)	การปรับแก้ความคลาดเคลื่อนของเครื่องมือ
15	การแปลงสัญญาณ (Signal Conversion)	การเปลี่ยนสัญญาณไฟฟ้าให้เหมาะสมกับเครื่องมือวัด
16	การสอบเทียบ (Calibration)	การตรวจสอบและปรับเครื่องมือให้แม่นยำ
17	ความถี่ (Frequency)	จำนวนรอบของสัญญาณไฟฟ้าต่อวินาที
18	การวัดกำลังแบบเฟสเดียว (Single-phase Power Measurement)	การวัดกำลังในวงจรไฟฟ้าเฟสเดียว
19	การวัดกำลังแบบสามเฟส (Three-phase Power Measurement)	การวัดกำลังในวงจรไฟฟ้าสามเฟส
20	ความต้านทาน (Resistance)	ความต้านทานไฟฟ้าในวงจร
21	ตัวเก็บพลังงาน (Energy Storage)	อุปกรณ์เก็บพลังงานในระบบไฟฟ้า
22	แรงดันพิกัด (Rated Voltage)	แรงดันไฟฟ้าที่เครื่องมือวัดรองรับได้
23	กระแสพิกัด (Rated Current)	กระแสไฟฟ้าที่เครื่องมือวัดรองรับได้
24	ความละเอียด (Resolution)	ความสามารถในการแยกแยะค่าที่วัดได้
25	การอ่านค่าจากมิเตอร์ (Meter Reading)	การตรวจสอบค่าการใช้ไฟฟ้าที่แสดงบนมิเตอร์

ศูนย์บรรณสารและสื่อการเรียนรู้ สถาบันนวัตกรรมการเรียนรู้ มหาวิทยาลัยพะเยา

ลำดับ	คำศัพท์	ความหมายพอสังเขป
26	มาตรฐานการวัด (Measurement Standard)	เกณฑ์ที่กำหนดในการวัดและประเมินผล
27	ระบบวัด (Measurement System)	ระบบที่ประกอบด้วยอุปกรณ์และวิธีวัด
28	ฟิวส์ (Fuse)	อุปกรณ์ป้องกันวงจรไฟฟ้า
29	ตัวต้านทาน (Resistor)	อุปกรณ์ที่ใช้ควบคุมกระแสไฟฟ้า
30	วัดกำลัง (Power Measurement)	การวัดค่ากำลังไฟฟ้าในวงจร
31	เครื่องวัดอัตโนมัติ (Automatic Meter)	มิเตอร์ที่วัดและบันทึกค่าการใช้ไฟฟ้าโดยอัตโนมัติ
32	การบันทึกข้อมูล (Data Logging)	การเก็บข้อมูลการวัดเพื่อใช้งานภายหลัง
33	การแสดงผล (Display)	การแสดงค่าที่วัดได้บนเครื่องมือ
34	การแปลงอนาล็อกเป็นดิจิตอล (Analog-to-Digital Conversion)	การแปลงสัญญาณเพื่อแสดงผลแบบดิจิตอล

ศูนย์บรรณสารและการเรียนรู้ สถาบันนวัตกรรมการเรียนรู้ มหาวิทยาลัยพะเยา

ดัชนี

ก

- การต่อแบบขนาน (Parallel Connection) 498
- การต่อแบบอนุกรม (Series Connection) 498
- การสอบเทียบ (Calibration) 266, 271, 274, 498, 501,
- การวัดแบบ AC/DC (AC/DC Measurement) 498
- การอ่านค่า (Reading) 11, 423, 500
- การวัดแบบต่อเนื่อง (Continuous Measurement) 499
- การโอเวอร์โหลด (Overload) 355, 383, 499, 501
- การแสดงผลแบบกราฟ (Graphical Display) 500
- แกนแม่เหล็กถาวร (Permanent Magnet) 499
- การเก็บค่าข้อมูล (Data Hold) 501
- การเชื่อมต่อกับคอมพิวเตอร์ (PC Interface) 403, 502
- การสุ่มข้อมูล (Sampling) 501
- การทดสอบไดโอด (Diode Test) 501
- การวัดไฟ AC แบบ True RMS 502
- การโอเวอร์โหลด (Overload Indication) 355, 383, 499
- การวัดความจุ (Capacitance Measurement) 502
- การวัดความเหนี่ยวนำ (Inductance Measurement) 502
- กระแสพิกัด (Rated Current) 510
- กระแสไฟฟ้า (Electric Current) 1, 6, 8
- การจับภาพหน้าจอ (Screen Capture) 505
- การชดเชย (Compensation) 209, 294, 372, 509
- การชดเชยโพรบ (Probe Compensation) 505
- การชดเชยเฟส (Phase Compensation) 504
- การตรวจสอบ (Verification) 11, 16, 112, 181, 185
- การตรวจสอบความคงที่ (Stability Check) 507
- การตรวจสอบสัญญาณ (Signal Verification) 509
- การทดสอบก่อนใช้งาน (Pre-test) 506
- การบันทึกข้อมูล (Data Logging) 11, 362, 365, 404, 479
- การบำรุงรักษา (Maintenance) 84, 352, 360
- การปรับความกว้าง (Amplitude Adjustment) 508
- การปรับความถี่ (Frequency Adjustment) 314, 342, 508
- การปรับจูน (Tuning) 363, 507
- การปรับแต่ง (Tuning) 112, 136, 145
- การปรับเทียบ (Adjustment) 107, 207, 272
- การปรับเทียบเชิงเส้น (Linear Calibration) 507
- การตั้งศูนย์ (Zero Adjust) 505
- การต่อแบบขนาน (Parallel Connection) 498
- การต่อแบบอนุกรม (Series Connection) 498
- การสอบเทียบ (Calibration) 429, 479, 501
- การสอบเทียบภาคสนาม (Field Calibration) 506
- การสอบเทียบในห้องทดลอง (Laboratory Calibration) 506
- การสอบเทียบบริดจ์ (Bridge Calibration) 503
- การสอบเทียบตามระยะเวลา (Periodic Calibration) 366, 507
- การสอบเทียบแบบไม่เชิงเส้น (Non-linear Calibration) 507
- การสอบเทียบโดยใช้มาตรฐานอ้างอิง (Traceable Calibration) 507
- การสอบเทียบย้อนกลับ (Back Calibration) 507

ศูนย์บรรณสารและสื่อการเรียนรู้ สถาบันนวัตกรรมการเรียนรู้ มหาวิทยาลัยพะเยา

- การสร้างความถี่ (Frequency Synthesis) 508
- การสร้างสัญญาณแบบดิจิตอล (Digital Signal Generation) 508
- การสุ่มตัวอย่าง (Sampling Rate) 246, 505
- การแสดงผล (Display) 2, 82, 115, 134
- การแปลงสัญญาณ (Signal Conversion) 126, 132, 475
- การวัดค่าความต้านทาน (Resistance Measurement) 50, 57, 150

ข

- ขั้ววัด (Probe / Test Lead) 51, 55, 142
- ขอบสัญญาณ (Edge Trigger) 504

ค

- ค่าคลาดเคลื่อน (Error / Tolerance) 91, 142
- ค่าจริง (True Value) 12, 152, 156
- ค่าที่วัดได้ (Measured Value) 159
- ความละเอียด (Resolution) 194
- ความแม่นยำ (Accuracy) 181, 197
- ความไวของเครื่องวัด (Meter Sensitivity) 68, 499
- คาบเวลา (Period) 125, 135
- ความต่างศักย์ (Potential Difference) 8, 10, 195
- ค่าคงที่ (Constant) 29, 136
- ค่าคงที่ทางไฟฟ้า (Electrical Constant) 1, 502
- ค่าเฉลี่ย (Average Voltage) 1, 10, 64
- คาบเวลา (Period) 125
- ความกว้างพัลส์ (Pulse Width) 329, 330
- ความถี่ตั้งต้น (Carrier Frequency) 508
- ความถี่ที่กำหนด (Specified Frequency) 330
- ความต่างศักย์สูงสุด-ต่ำสุด (Peak-to-Peak Voltage) 504
- ความถูกต้อง (Accuracy) 71, 506
- ความผิดพลาด (Error) 1, 11, 47
- ความเพี้ยน (Distortion) 326, 349
- ความแม่นยำ (Precision) 349
- ความแม่นยำสูง (High Accuracy) 349
- ความไม่แน่นอนของการวัด (Measurement Uncertainty) 271
- ความสามารถในการทำซ้ำ (Repeatability) 506
- ความละเอียด (Resolution) 15, 137
- ความไวแนวดิ่ง (Vertical Sensitivity) 500
- ความไวแนวราบ (Horizontal Sensitivity) 504
- ความเสถียรของความถี่ (Frequency Stability) 303, 324
- เครื่องสร้างสัญญาณ (Function Generator) 347, 498
- เครื่องวัดสัญญาณ (Signal Analyzer) 14, 498
- เครื่องวัดแบบดิจิทัล (Digital Meter) 146, 427
- เครื่องมือมาตรฐาน (Standard Instrument) 429, 506
- เครื่องวิเคราะห์สเปกตรัม (Spectrum Analyzer) 354, 356, 500
- ความปลอดภัยในการวัด (Measurement Safety) 501
- ความแม่นยำ (Accuracy) 461, 479
- ความละเอียด (Resolution) 137, 238

จ

- จุดศูนย์ (Zero Point) 506
- แจ้งเตือนแบตเตอรี่อ่อน (Low Battery Indication) 502

ช

- ช่วงการวัด (Range) 9, 14, 15
- ช่วงความถี่ (Frequency Range) 325, 327
- ช่องสัญญาณ (Channel) 225, 257, 347

ย

- ย่านการวัด (Measuring Range) 97, 105
- ย่านวัดความถี่ (Frequency Range) 144

ต

- ตัวกรองสัญญาณ (Signal Filter) 467
- ตัวเปรียบเทียบ (Comparator) 134, 136, 138
- ตัวกรองสัญญาณ (Signal Filter) 467

ท

- ทริกเกอร์ (Trigger) 504

ศูนย์บรรณสารและการเรียนรู้ สถาบันนวัตกรรมการเรียนรู้ มหาวิทยาลัยพะเยา

บ

- บริดจ์มิเตอร์ (Bridge Meter) 181, 503
- บริดจ์แบบแมกซ์เวลล์ (Maxwell Bridge) 504
- บริดจ์แบบเฮย์ (Hay Bridge) 504

ฟ

- ฟิวส์ (Fuse) 499

ม

- มอดูเลชัน (Modulation) 508
- มัลติมิเตอร์ (Multimeter) 102, 138, 361
- มาตรฐาน (Standard) 510
- มาตรฐานระดับชาติ (National Standard) 506
- มาตรฐานสากล (International Standard) 506
- มาตรฐานการวัด (Measurement Standard) 510

ร

- รูปคลื่น (Waveform) 63, 71
- แรงดันพิกัด (Rated Voltage) 510
- แรงดันต่อหนึ่งช่อง (Volt/Div) 504

ส

- สเกลการวัด (Scale) 499
- สัญญาณรบกวน (Noise) 500
- สัญญาณพัลส์ (Pulse Signal) 71, 216, 226
- สัญญาณรบกวน (Noise) 3, 141, 351
- สัญญาณอินพุต (Input Signal) 206, 224

ห

- หน่วงเวลา (Time Base) 205, 207, 225
- หน่วยวัด (Measurement Units) 4, 7, 267

อ

- อนาล็อกออสซิลโลสโคป (Analog Oscilloscope) 505
- อิมพีแดนซ์ที่ซับซ้อน (Complex Impedance) 504
- อินพุตอิมพีแดนซ์ (Input Impedance) 3, 89, 141
- อินเตอร์เฟส (Interface) 501
- โอห์มมิเตอร์ (Ohmmeter) 50, 52, 59

ศูนย์บรรณสารและการเรียนรู้ สถาบันนวัตกรรมการเรียนรู้ มหาวิทยาลัยพายัพ

บรรณานุกรม

กฤษดา วิศวธีรานนท์และคณะ.**หลักการทำงานและเทคนิคการใช้งานออสซิลโลสโคป**.กรุงเทพฯ : บริษัทซีเอ็คยูเคชั่น จำกัด.,2521

กอบศักดิ์ ตันติ์ทวิสุทธิ์ และ นายธิติ เมฆวิลัย. (2544). "**ชุดการสอน วิชา ทฤษฎีเครื่องมือวัดไฟฟ้า.**" ปริญญานิพนธ์ครุศาสตร์อุตสาหกรรมบัณฑิต สาขาวิชาไฟฟ้า ภาควิชาครุศาสตร์ไฟฟ้า คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ.

ขจร อินวงษ์. (ม.ป.ป.**). เครื่องมือวัดไฟฟ้า.** กรุงเทพฯ : สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ,

จริยา เอียบสกุล. (ม.ป.ป.) "**ชุดทดลองวงจรพัลส์และดิจิตอล.**" ผลงานทางวิชาการ : วิทยาลัยเทคนิคภูเก็ต.

เจน สงสมพันธ์. (2540). **ใช้และซ่อมมัลติมิเตอร์แบบมืออาชี**พ. พิมพ์ครั้งที่ 3. ปทุมธานี : หจก. เม็ดทรายพริ้นติ้ง.

ชิดเชื้อ กนกเพ็ชรรัตน์.**เครื่องมือวัดเบื้อต้**น.กรุงเทพ : บริษัทสยามสปอร์ตซินดิเคท จำกัด.,2539

ณรงค์ อาจฤทธ์.**เครื่องมือวัดอิเล็กทรอนิกส์และการใช้งาน เล่น 2**.กรุงเทพฯ : สำนักพิมพ์ยูไนเต็ดบุคส์. ,2530

ณรงค์ อาจฤทธิ์.**เครื่องมือวัดอิเล็กทรอนิกส์และการใช้งาน เล่ม 1**.กรุงเทพฯ : สำนักพิมพ์ยูไนเต็ดบุคส์. ,2530

ณรงค์ ชอนตะวัน. (ม.ป.ป.). เครื่องวัดไฟฟ้า. กรุงเทพฯ : เอราวัณการพิมพ์.

เดชา ศิริรัตน์.**เครื่องมือวัดและทดสอบไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์**.กรุงเทพฯ : มปป

เดชา ศิริรัตน์. (ม.ป.ป.). **เครื่องมือวัดและทดสอบไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์.** นครพนม : ปริญญาการพิมพ์.

ธานินทร์ อินทรภัยกุล. (2542). **ฟิวเจอร์คิทอิเล็คทรอนิคส์.** ฉบับที่ 1. กรุงเทพฯ : ส.เอเซียเพรส.

นภดล ปัญญาวานิชกุล. (2542). "**โปรแกรมมัลติมีเดีย 99 คำถามเครื่องมือวัดไฟฟ้า.**" ปริญญานิพนธ์ครุศาสตร์อุตสาหกรรมบัณฑิต สาขาวิชาไฟฟ้า ภาควิชาครุศาสตร์ไฟฟ้า คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ.

นภัทร วัจนเทพินทร์.**เครื่องวัดไฟฟ้า (ภาคปฏิบัติ)**.กรุงเทพฯ : สกายบุกส์.,2541

นภัทร วัจนเทพินทร์แลคณะ.**ปฏิบัติเครื่องวัดไฟฟ้า**.กรุงเทพฯ : โรงพพิมพ์เจริญธรรม.,2521

นภัทร วัจนเทพินทร์และวีนะ เลรามัญ.**ปฏิบัติการทดลองวงจรไฟฟ้าและการวัดทางไฟฟ้า**.กรุงเทพฯ : ศูนย์ส่งเสริมอาชีวะ.,2534

บัญญัติ ภัคดุรงค์. (2537). **คู่มือการใช้มิเตอร์ Sanwa YX-360TRA YX-361 TR**. พิมพ์ครั้งที่ 3. กรุงเทพฯ : เรือนแก้วการพิมพ์.

บริษัทเทพธวัช อินเตอร์เนชั่นแนล จำกัด.**เรียนรู้และสร้างเครื่องมือวัด-ทดสอบ**.กรุงเทพฯ :

บัญญัติ ภุคดุรงค์.**คู่มือการใช้มิเตอร์ SANWA**.กรุงเทพฯ : โรงเรียนบัญญัติอิเล็คโทรนิค (เอดิสัน).,2522

บุญโปร่ง บัวแช่ม.**คู่มือปฏิบัติการทดลองเครื่องมือทดสอบอิเล็กทรอนิกส์1**.กรุงเทพฯ : สำนักพิมพ์นิยมวิทยา.,2516

ผศ.ประยูร เชียววัฒนา.**เครื่องมือและการวัดทางไฟฟ้า**.กรุงเทพฯ : สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น).,2535

ศูนย์บรรณสารและการเรียนรู้ สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ประสาน ไกรดำ.**เครื่องมือและการวัดทางไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์**.กรุงเทพฯ: บริษัทศูนย์หนังสือเมืองไทย จำกัด., 2556

พันธ์ศักดิ์ พุฒิมานิตพงษ์.**เครื่องวัดทางไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์**.กรุงเทพฯ : บริษัทซีเอ็ดยูเคชั่น จำกัด (มหาชน).,2521

พันธ์ศักดิ์ พุฒิมานิตพงษ์.**ทฤษฎีเครื่องมือวัดเบื้องต้น**.กรุงเทพฯ : สำนักพิมพ์ศูนย์ส่งเสริมวิชาการ..มปป., 2539

พันธ์ศักดิ์ พุฒิมานิตพงษ์.. **หลักการใช้งานมัลติมิเตอร์และออสซิลโลสโคป**.กรุงเทพฯ : บริษัทซีเอ็ดยูเคชั่น จำกัด (มหาชน)., 2537

พิสมัยสุภัทรานนท์.**การวัดและการทดสอบทางไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์**.กรุงเทพฯ : บ.เอช.เอ็น.กรุ๊ป จำกัด.,2543

มงคล ทองสงคราม.**เครื่องมือวัดอิเล็กทรอนิกส์และไฟฟ้า**.กรุงเทพฯ : พรศวการพิมพ์.,2539

มงคล ทองสงคราม.**ทฤษฎีเครื่องมือเครื่องวัดไฟฟ้า**.กรุงเทพ : บริษัทรามาการพิมพ์ จำกัด.,2534

มงคล ทองสงคราม.. **เครื่องวัดอิเล็กทรอนิกส์และไฟฟ้า.** พิมพ์ครั้งที่ 3. กรุงเทพฯ: วี.เจ. พริ้นติ้ง, 2541

โยธิน เปรมปราณีรัชต์.**เครื่องมือวัดอุสาหกรรม**.กรุงเทพฯ : แผนกเอกสารการพิมพ์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าวิทยาเขตเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.,2522

โยธิน เปรมปราณีรัชต์และคณะ.**เครื่องมือวัดทางอิเล็กทรอนิกส์และเทคนิคการวัด**.กรุงเทพฯ : นำอักษรการพิมพ์,.มปป

วโรดม มุทาไร.**ใบงานวิชาปฏิบัติเครื่องมือวัดทางไฟฟ้า**.กรุงเทพฯ : หจก.สำนักพิมพ์ฟิสิกส์เซ็นเตอร์. ,2541

วิบูล เขมรังสฤษฎ์.**ทฤษฎีเครื่องมือวัดไฟฟ้าการวัดขนาดทางไฟฟ้า**.กรุงเทพฯ : โรงพิมพ์เจริญธรรม. ,2528

ราชบัณฑิตยสถาน. (2546). **พจนานุกรมฉบับราชบัณฑิตยสถาน พ.ศ. 2542**. กรุงเทพฯ : นานมีบุ๊คสพับลิเคชั่นส์.

วิมูล เขมรังสฤษฏ์. (2528). **ทฤษฎีเครื่องวัดไฟฟ้าการวัดขนาดทางไฟฟ้า.** กรุงเทพฯ : เจริญธรรม.

วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย ในพระบรมราชูปถัมภ์.**ศัพท์เทคนิควิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์.** พิมพ์ครั้งที่ 5. กรุงเทพฯ : จุฬลงกรณ์มหาวิทยาลัย.,2537

สถาบันมาตรวิทยาแห่งชาติ กระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี. (2550). **เอกสารประกอบการประชุมปฏิบัติการพัฒนาการเรียนการสอน หลักสูตรด้านมาตรวิทยา.** กรุงเทพฯ : สำเนา.

สมคิด วิริยประสิทธ์ชัย.**การตรวจสอบอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์**.กรุงเทพฯ : สำนักพิมพ์ฟิสิกส์เซ็นเตอร์. ,2541

สมศักดิ์ กีรติวุฒิเศรษฐ์.**หลักการและการใช้งานเครื่องมือวัดอุตสาหกรรม**.กรุงเทพฯ : บริษัท ส. เอเซียเพรส จำกัด.,2540

สุนันท์ แสงโพธิ์และคณะ.**เครื่องมือวัดอิเล็กทรอนิกส์**.กรุงเทพฯ : หจก.สำนักพิมพ์ฟิสิกส์เซ็นเตอร์.,2536

สุศักดิ์ พรพันธ์.**เทคนิคการใช้อิเล็กทรอนิกส์มิเตอร์**.กรุงเทพฯ : บริษัทอิเล็กทรอนิกส์เวิลด์ จำกัด.,2526

สำยัณต์ ชื่นอารมณ์ และ สมพิศ ปล้องสวย. (2548). **วงจรอิเล็กทรอนิกส์.** กรุงเทพฯ : ชวนพิมพ์.

ศูนย์บรรณสารและการศึกษา สถาบันนวัตกรรมการเรียนรู้ มหาวิทยาลัยพะเยา

สิงห์คม แสงพุทธ. (2536). "**ดิจิตอลมัลติมิเตอร์เพื่อการสาธิต.**" ปริญญานิพนธ์ครุศาสตร์อุตสาหกรรมบัณฑิต สาขาวิชาไฟฟ้า ภาควิชาครุศาสตร์ไฟฟ้า คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ.

สุชาติ ศิริสุขไพบูลย์. (2526). **การสอนทักษะภาคปฏิบัติ.** ภาควิชาครุศาสตร์เครื่องกล คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรมและวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ.

สุรพันธ์ ตันศรีวงษ์. (ม.ป.ป.). **ยุทธวิธีการเรียนการสอนวิชาเทคนิค**. กรุงเทพฯ : สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ, (อัดสำเนา).

สุรพันธ์ ตันศรีวงษ์. (2531). **วิธีการสอน 1**. กรุงเทพฯ : สถาบันเทคนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ.

อนันต์ คัมภิรานนท์.**ทฤษฎีเครื่องมือวัดเบื้องต้น**.กรุงเทพฯ : โรงพิมพ์เจริญธรรม.,2535

เอกไชยสวัสดิ์.**การวัดและเครื่องมือวัดไฟฟ้า**.กรุงเทพฯ : งานเอกสารและการพิมพ์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้า วิทยาเขตธนบุรี.,2525

เอกไชยสวัสดิ์.**การวัดและเครื่องวัดไฟฟ้า.**กรุงเทพฯ : บริษัททรามาการพิมพ์ จำกัด.,2539

อบรม สินภิบาล และ กุญชี องค์สิริพร. (2532). **ประสบการณ์วิชาชีพภาคปฏิบัติ.** กรุงเทพฯ : โอเดียนสโตร์.

A.J. BOUWENS.DIGITAL **INSTRUMETSTION**; MCGRAW-HILL,1987

ALBERTD.HELFRICK AND WILLIAM D. COOPER. **MODERN ELECTRONIC INSTRUMEATATION AND MEASURMEVT TECHNIQUES**; PRENTICE-HALL,1990

DAVID A. BELL.ELECTRONIC **INSTRUMENTATION AND MEASUREMENTS** SECOND EDITON; PRENTICE-HALL INTERNATIONAL,1994

SANWA ELECTRIC INSTRUMENT CO.LTD. Sanwa YX-360TR MULTITESTER OPERATOR'S MANUAL. 2 nd ed. Japan: Tokyo. n.p., n.d.

Tektronix CO.LTD. Measurement Products Catalog 1998/1999. 2 nd ed. U.S.A.: n.p., n.d.

TEKTRONIX **MEASUREMENT AND AUTOMATION CATALOGUE**.1999

TEKTRONIX **MEASUREMENT PRODUCTS CATALOG** 1997/1998

NATIONAL **INSTRUMENTS.INSTRUMENTATION REFERNCE AND CATALOGUE**

Preecha Yupapin, Nithiroth Pornsuwancharoen, Asphalt road surface vibration and force distribution generated by pickup truck braking, **Measurement**, Vol. 148 (2019) 106871.

X. Li and Y. Wang, "A Triple-Port, Triple-Band Wi-Fi Antenna Covering the 2.4/5/6 GHz Bands with a Small Clearance and High Isolation for Metal-Bezel Smartphones," in ***IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters***, vol. 23, no. 6, pp. 1814-1818, June 2024, doi: 10.1109/LAWP.2024.3370312.

M. Jamsai, N. Thammawongsa, N. Pornsuwancharoen, R. Phromloungsri, “A novel design of the Bandpass Filter Open-Loop with an Inductive Compensated Coupled Line.” ***Procedia Engineering,*** 32 (2012) 531 – 535.

ศูนย์บรรณสารและการเรียนรู้ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ มหาวิทยาลัยพะเยา

Z. Gui *et al*., "Design of the Hydroelectric Turbine Unit's Evaporative Cooling Automatic Control System," *2024* ***27th International Conference on Electrical Machines and Systems (ICEMS)***, Fukuoka, Japan, 2024, pp. 957-960, doi:

10.23919/ICEMS60997.2024.10921093.

S. Julajaturasirarath, W. Jonburom, N. Pornsuwancharoen, The experiment of double solar energy by reflection light method, ***Procedia Engineering,*** Volume 32, 2012, Pages 522-530, ISSN 1877-7058, https://doi.org/10.1016/j.proeng.2012.01.1303.

Jeerapong Srivichai, Kittaya Somsai, Nithiroth Pornsuwancharoen. “Modeling and analysis of three-phase boost rectifier for DC fast EV charging” ***International Journal of Power Electronics and Drive System (IJPEDS)***, Vol. 16, No. 2, June 2025, pp. 1094~1106 ISSN: 2088-8694, DOI: 10.11591/ijpeds.v16.i2.pp1094-1106

ศูนย์บรรณสารและการเรียนรู้ สถาบันนวัตกรรมการเรียนรู้ มหาวิทยาลัยพะเยา

ทรัพยากรเล่มนี้ ได้มอบให้ศูนย์บรรณสารและการเรียนรู้
สถาบันนวัตกรรมการเรียนรู้ มหาวิทยาลัยพะเยา
เพื่อเผยแพร่ผลงานทางวิชาการ
ห้ามผู้ใดทำซ้ำ คัดลอก ลอกเลียน ดัดแปลง ปลอมแปลง จัดแผยแพร่
จำหน่าย ให้เช่า เข้าครอบครอง เรียกดึงข้อมูล บันทึก ส่งผ่าน
หรือกระทำการใด ๆ เกี่ยวกับลิขสิทธิ์ของเล่ม โดยไม่ชอบด้วยกฎหมาย
หรือโดยไม่ได้รับอนุญาตอย่างเป็นทางการจากเจ้าของผลงาน