

เครื่องมือวัดไฟฟ้า

(Electrical Measuring Instruments)



โจพจน์ ศรีธัญ
สาຍัณต์ ชื่นอารมย์

130.-

เครื่องมือวัดไฟฟ้า (Electrical Measuring Instruments)

กลุ่มอาชีพพลังงาน ไฟฟ้า และอิเล็กทรอนิกส์

ISBN 978-616-495-362-8

พิมพ์ครั้งที่ 1 พ.ศ. 2569

จำนวนที่พิมพ์ 3,000 เล่ม

เรียบเรียงโดย

ไวพจน์ ศรีธัญ

สัชฌ์ ชื่นอารมย์

จัดพิมพ์และจัดจำหน่าย โดย...



บริษัท วังอักษร จำกัด

69/3 ถนนอรุณอมรินทร์ แขวงวัดอรุณ เขตบางกอกใหญ่ กรุงเทพฯ 10600

โทร. 0-2472-3293-4 Mobile 08-8585-1521

e-mail : wangaksorn9@gmail.com

Facebook : สำนักพิมพ์ วังอักษร

www.wangaksorn.com

Line ID : wangaksorn



บริษัท วังอักษร จำกัด ขอสงวนลิขสิทธิ์

ตามพระราชบัญญัติลิขสิทธิ์ พ.ศ. 2537 และตามพระราชบัญญัติลิขสิทธิ์เพิ่มเติม พ.ศ. 2565
ห้ามมิให้ทำการคัดลอก ดัดแปลง แก้ไขเนื้อหา หรือเผยแพร่ต่อสาธารณชน ไม่ว่ารูปแบบใด
ชื่อและเครื่องหมายการค้าอื่น ๆ ที่อ้างอิงในหนังสือเล่มนี้ เป็นสิทธิโดยชอบด้วยกฎหมายของเจ้าของแต่ละราย
บริษัทฯ มิได้อ้างความเป็นเจ้าของแต่อย่างใด



ตารางกำหนดการจัดการเรียนรู้
วิชาเครื่องมือวัดไฟฟ้า
(Electrical Measuring Instruments)

ครั้งที่	รายการ		จำนวน ชั่วโมง
	ทฤษฎี	ปฏิบัติ	
1	บทที่ 1 ความรู้ทั่วไปของการวัดและเครื่องมือวัดไฟฟ้า	ใบงานที่ 1.1 การเปลี่ยนหน่วยวัดทางไฟฟ้า ใบงานที่ 1.2 นิยามค่าศัพท์และฟังก์ชันเครื่องมือวัดไฟฟ้า	5
2 - 3	บทที่ 2 เครื่องวัดไฟฟ้ากระแสตรง	ใบงานที่ 2.1 ดิซีแอมมิเตอร์ ใบงานที่ 2.2 ดิซีโวลต์มิเตอร์	10
4	บทที่ 3 เครื่องวัดไฟฟ้ากระแสสลับ	ใบงานที่ 3.1 เอซีแอมมิเตอร์ ใบงานที่ 3.2 เอซีโวลต์มิเตอร์	5
5	บทที่ 4 โอห์มมิเตอร์	ใบงานที่ 4.1 โอห์มมิเตอร์	5
6 - 7	บทที่ 5 เครื่องวัดกำลังไฟฟ้า	ใบงานที่ 5.1 เครื่องวัดค่ากำลังไฟฟ้า ใบงานที่ 5.2 เครื่องวัดค่าเพาเวอร์แฟกเตอร์	10
8 - 9	บทที่ 6 เครื่องวัดไฟฟ้าเฉพาะงาน	ใบงานที่ 6.1 เครื่องวัดไฟฟ้าเฉพาะงาน ใบงานที่ 6.2 การใช้งานแคลมป์มิเตอร์ ใบงานที่ 6.3 การใช้งานเครื่องวัดความถี่	10
10	บทที่ 7 ดิจิตอลมัลติมิเตอร์	ใบงานที่ 7.1 การใช้งานของดิจิตอลมัลติมิเตอร์	5
11	บทที่ 8 เครื่องกำเนิดสัญญาณ	ใบงานที่ 8.1 การใช้งานเครื่องกำเนิดสัญญาณ	5



ครั้งที่	รายการ		จำนวน ชั่วโมง
	ทฤษฎี	ปฏิบัติ	
12 - 13	บทที่ 9 ออสซิลโลสโคป	ใบงานที่ 9.1 การใช้ออสซิลโลสโคป วัดแรงดันไฟฟ้าและความถี่ ใบงานที่ 9.2 การวัดความถี่ของ สัญญาณไซน์ด้วยวิธีชซาจั่วส์	10
14 - 15	บทที่ 10 เรื่องอื่น ๆ ที่เกี่ยวข้องกับ เครื่องวัดไฟฟ้า	ใบงานที่ 10.1 การวัดอิมพีแดนซ์ ของลำโพง ใบงานที่ 10.2 การลดสัญญาณรบกวน ให้กับระบบไฟฟ้า ใบงานที่ 10.3 การวัดอิมพีแดนซ์ความถี่ต่ำ ใบงานที่ 10.4 การวัดอิมพีแดนซ์ความถี่สูง	10
16	ประเมินผลลัพท์การเรียนรู้ระดับรายวิชา		
รวม			75



คำนำ

บริษัท วังอักษร จำกัด ได้จัดทำหนังสือวิชา **เครื่องมือวัดไฟฟ้า (Electrical Measuring Instruments)** เพื่อใช้บูรณาการและประกอบการเรียนการสอน ตามหลักสูตรอาชีวศึกษา (สอศ.) หลักสูตรส่งเสริมการเรียนรู้ (สกร.) และหลักสูตรอุดมศึกษา ผู้สนใจในการพัฒนาการเรียนรู้และทักษะ

หนังสือเล่มนี้ประกอบด้วยเนื้อหาสาระ ใบงาน แบบฝึกหัดคู่ขนาน มีจุดประสงค์ในการยกระดับผู้เรียนให้เรียนทฤษฎีและปฏิบัติ เพื่อเสริมสร้างทักษะ ประสบการณ์ และการประยุกต์ใช้ได้จริง โดยเน้นกระบวนการเรียนรู้ที่มีคุณธรรม จริยธรรม จรรยาบรรณวิชาชีพ และกิจนิสัยในการทำงาน **10 บทเรียน** คือ **บทที่ 1 ความรู้ทั่วไปของการวัดและเครื่องมือวัดไฟฟ้า บทที่ 2 เครื่องวัดไฟฟ้ากระแสตรง บทที่ 3 เครื่องวัดไฟฟ้ากระแสสลับ บทที่ 4 โอห์มมิเตอร์ บทที่ 5 เครื่องวัดกำลังไฟฟ้า บทที่ 6 เครื่องวัดไฟฟ้าเฉพาะงาน บทที่ 7 ดิจิตอลมัลติมิเตอร์ บทที่ 8 เครื่องกำเนิดสัญญาณ บทที่ 9 ออสซิลโลสโคป และ บทที่ 10 เรื่องอื่น ๆ ที่เกี่ยวข้องกับเครื่องวัดไฟฟ้า**

หนังสือเล่มนี้มีเนื้อหาที่ทันสมัย ตามแผนการพัฒนาศึกษาด้านอาชีพพลังงาน ไฟฟ้า และ อิเล็กทรอนิกส์ สอดคล้องกับยุทธศาสตร์ชาติและแผนการศึกษาแห่งชาติ เพื่อให้ผู้เรียนมีผลลัพธ์การเรียนรู้ และสมรรถนะตามหลักสูตร

ไวพจน์ ศรีธัญ
สายนต์ ชื่นอารมย์



สารบัญ

บทที่ 1 ความรู้ทั่วไปของการวัดและเครื่องมือวัดไฟฟ้า	1
บทนำ	3
หน่วยวัด	3
เครื่องมือวัดไฟฟ้าแบบมาตรฐาน	6
การป้องกันผลกระทบต่าง ๆ ที่เกิดต่อการวัดและเครื่องมือวัด	9
ข้อกำหนดด้านความปลอดภัยและการดูแลบำรุงรักษาเครื่องมือวัดไฟฟ้า	13
การวัดแรงดันไฟฟ้า กระแสไฟฟ้าและกำลังไฟฟ้า	14
แบบทดสอบและกิจกรรมการฝึกทักษะ	16
ใบงานที่ 1.1 การเปลี่ยนหน่วยวัดทางไฟฟ้า	19
ใบงานที่ 1.2 นิยามคำศัพท์และฟังก์ชันเครื่องวัดไฟฟ้า	20
 บทที่ 2 เครื่องวัดไฟฟ้ากระแสตรง	 21
บทนำ	23
เครื่องวัดแบบขดลวดเคลื่อนที่	23
แอมมิเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง	25
โวลต์มิเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง	34
กัลวานอมิเตอร์	41
แบบทดสอบและกิจกรรมการฝึกทักษะ	42
ใบงานที่ 2.1 ดิจิแอมมิเตอร์	47
ใบงานที่ 2.2 ดิจิโวลต์มิเตอร์	49
 บทที่ 3 เครื่องวัดไฟฟ้ากระแสสลับ	 51
บทนำ	53
เครื่องวัดแบบเรียงกระแสไฟฟ้า	53
เครื่องวัดแบบอิเล็กทรอนิกส์ไดนาโมมิเตอร์	56
แบบทดสอบและกิจกรรมการฝึกทักษะ	60
ใบงานที่ 3.1 เอซีแอมมิเตอร์	62
ใบงานที่ 3.2 เอซีโวลต์มิเตอร์	64



บทที่ 4 โอห์มมิเตอร์	66
บทนำ	68
โอห์มมิเตอร์แบบอนุกรม	69
โอห์มมิเตอร์แบบขนาน	73
แบบทดสอบและกิจกรรมการฝึกทักษะ	77
ใบงานที่ 4.1 โอห์มมิเตอร์	81
บทที่ 5 เครื่องวัดกำลังไฟฟ้า	83
กำลังไฟฟ้าในวงจรไฟฟ้ากระแสสลับ	85
วัตต์มิเตอร์ (Wattmeter)	86
เพาเวอร์แฟกเตอร์มิเตอร์ (Power Factor Meter)	89
วาร์มิเตอร์ (Varmeter)	91
กิโลวัตต์ – ชั่วโมง มิเตอร์ (Kilowatt - Hour Meter ; kWh)	91
แบบทดสอบและกิจกรรมการฝึกทักษะ	94
ใบงานที่ 5.1 เครื่องวัดค่ากำลังไฟฟ้า	97
ใบงานที่ 5.2 เครื่องวัดค่าเพาเวอร์แฟกเตอร์	100
บทที่ 6 เครื่องวัดไฟฟ้าเฉพาะงาน	103
บทนำ	105
แคลมป์มิเตอร์ (Clamp Meter)	105
หม้อแปลงไฟฟ้าประกอบเครื่องวัดไฟฟ้า (Instrument Transformer)	110
เครื่องวัดความถี่ (Frequency Meter)	112
แบบทดสอบและกิจกรรมการฝึกทักษะ	114
ใบงานที่ 6.1 เครื่องวัดไฟฟ้าเฉพาะงาน	117
ใบงานที่ 6.2 การใช้งานแคลมป์มิเตอร์	118
ใบงานที่ 6.3 การใช้งานเครื่องวัดความถี่	120



บทที่ 7 ดิจิตอลมัลติมิเตอร์	122
ความหมายของดิจิตอลมัลติมิเตอร์	124
ส่วนประกอบดิจิตอลมัลติมิเตอร์	125
การใช้งานดิจิตอลมัลติมิเตอร์	126
แบบทดสอบและกิจกรรมการฝึกทักษะ	130
ใบงานที่ 7.1 การใช้งานของดิจิตอลมัลติมิเตอร์	133
 บทที่ 8 เครื่องกำเนิดสัญญาณ	 139
ความรู้พื้นฐานของสัญญาณไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์	141
เครื่องกำเนิดสัญญาณแบบหลายคลื่น	143
เครื่องกำเนิดความถี่เสียง	143
เครื่องกำเนิดสัญญาณพัลส์	144
เครื่องกำเนิดความถี่วิทยุ	145
เครื่องกำเนิดสัญญาณกวาด	146
แบบทดสอบและกิจกรรมการฝึกทักษะ	148
ใบงานที่ 8.1 การใช้งานเครื่องกำเนิดสัญญาณ	151
 บทที่ 9 ออสซิลโลสโคป	 153
บทนำ	155
โครงสร้างของออสซิลโลสโคป	156
การเกิดภาพบนจอหลอดแคโทดเรย์	158
หลอดแคโทดเรย์	159
โพรบ (Probe)	161
ปุ่มปรับและฟังก์ชันสวิตช์ของออสซิลโลสโคป	163
การใช้งานของออสซิลโลสโคป	169
ข้อควรจำและการบำรุงรักษาออสซิลโลสโคป	176
แบบทดสอบและกิจกรรมการฝึกทักษะ	178
ใบงานที่ 9.1 การใช้ออสซิลโลสโคปวัดแรงดันไฟฟ้าและความถี่	182
ใบงานที่ 9.2 การวัดความถี่ของสัญญาณไซน์ด้วยวิธีชงาจั่วส์	187



บทที่ 10 เรื่องอื่น ๆ ที่เกี่ยวข้องกับเครื่องวัดไฟฟ้า	189
การวัดแม่เหล็กทรานสดิวเซอร์	191
สัญญาณรบกวน	192
การวัดค่าอิมพีแดนซ์	200
แบบทดสอบและกิจกรรมการฝึกทักษะ	206
ใบงานที่ 10.1 การวัดอิมพีแดนซ์ของลำโพง	209
ใบงานที่ 10.2 การลดสัญญาณรบกวนให้กับระบบไฟฟ้า	210
ใบงานที่ 10.3 การวัดอิมพีแดนซ์ความถี่ต่ำ	211
ใบงานที่ 10.4 การวัดอิมพีแดนซ์ความถี่สูง	212
 คำถามเพื่อการทบทวน	 214
คำศัพท์	219
บรรณานุกรม	224

บทที่...

1

ความรู้ทั่วไปของการวัด และเครื่องมือวัดไฟฟ้า

แนวคิด...

ปริมาณของไฟฟ้าที่เกิดขึ้นในวงจรไฟฟ้าจะไม่สามารถมองเห็นได้ด้วยตาเปล่า จำเป็นต้องอาศัยเครื่องมือวัดไฟฟ้าทำการทดสอบและตรวจสอบระบบว่าปริมาณไฟฟ้าที่เกิดขึ้นนั้นมีมากหรือน้อยเพียงใด เพราะปริมาณไฟฟ้าที่เกิดขึ้นในวงจรไฟฟ้าจะต้องมีขนาดเหมาะสมและถูกต้อง ไม่เช่นนั้นระบบไฟฟ้าจะไม่สามารถทำงานได้ ซึ่งเครื่องมือวัดไฟฟ้าพื้นฐาน ได้แก่ แอมมิเตอร์ (วัดค่ากระแสไฟฟ้า) โอห์มมิเตอร์ (วัดค่าความต้านทาน) โวลต์มิเตอร์ (วัดค่าแรงดันไฟฟ้า) เป็นต้น

สาระการเรียนรู้...

1. บทนำ
2. หน่วยวัด
3. เครื่องมือวัดไฟฟ้าแบบมาตรฐาน
4. การป้องกันผลกระทบต่าง ๆ ที่เกิดต่อการวัดและเครื่องมือวัด
5. ข้อกำหนดด้านความปลอดภัยและการดูแลบำรุงรักษาเครื่องมือวัดไฟฟ้า
6. การวัดแรงดันไฟฟ้า กระแสไฟฟ้าและกำลังไฟฟ้า

สมรรถนะประจำบท...

1. อธิบายการเปลี่ยนหน่วยวัดทางไฟฟ้า

จุดประสงค์เชิงพฤติกรรม (Behavioral Objectives)

หลังจากศึกษาจบบทเรียนนี้แล้ว นักศึกษาจะมีความสามารถดังนี้

1. อธิบายชื่อ สัญลักษณ์ และตัวคูณของหน่วยวัดพื้นฐาน
2. แปลงหน่วยวัดความต้านทาน แรงดันไฟฟ้า กระแสไฟฟ้า และกำลังไฟฟ้า
3. อธิบายคุณสมบัติของเครื่องมือวัดไฟฟ้าแบบมาตรฐาน
4. อธิบายการป้องกันผลกระทบต่าง ๆ ที่เกิดต่อการวัดและเครื่องมือวัด
5. ระบุข้อกำหนดด้านความปลอดภัยและการดูแลบำรุงรักษาเครื่องมือวัดไฟฟ้า
6. อธิบายวิธีการวัดแรงดันไฟฟ้า กระแสไฟฟ้า และกำลังไฟฟ้า

ความรู้ทั่วไปของการวัด และเครื่องมือวัดไฟฟ้า

บทที่

1



บทนำ

ปริมาณทางไฟฟ้าที่ปรากฏอยู่ในวงจรไฟฟ้า ไม่สามารถเห็นได้ด้วยตา จำเป็นต้องอาศัยเครื่องมือวัดทางไฟฟ้า (Electrical Instrument) เข้ามาช่วยแก้ปัญหา เช่น ใช้แอมมิเตอร์ (Ammeter) วัดค่ากระแสไฟฟ้านำโอห์มมิเตอร์ (Ohmmeter) วัดค่าความต้านทาน นาโวลต์มิเตอร์ (Voltmeter) วัดค่าแรงดันไฟฟ้าจากแหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้า เป็นต้น หมายความว่า การวัดปริมาณทางไฟฟ้าจะต้องใช้เครื่องมือวัดให้ถูกต้องและเหมาะสมกับปริมาณไฟฟ้านั้น ๆ



หน่วยวัด

หน่วยวัดที่ใช้กันโดยทั่วไป เขียนแทนด้วยระบบเลขฐานสิบ (Decimal System) ส่วนตัวคูณจะแทนด้วยเลขยกกำลัง ดังตารางที่ 1.1



ตารางที่ 1.1 ชื่อ สัญลักษณ์และตัวคูณของหน่วยวัดพื้นฐาน

ชื่อ	สัญลักษณ์	ตัวคูณ
อัตโต (Atto)	a	10^{-18}
เฟมโต (Femto)	f	10^{-15}
พิโก (Pico)	p	10^{-12}
นาโน (Nano)	n	10^{-9}
ไมโคร (Micro)	μ	10^{-6}
มิลลิ (Milli)	m	10^{-3}
กิโล (Kilo)	k	10^3
เมกะ (Mega)	M	10^6
จิกะ (Giga)	G	10^9
เทอระ (Tera)	T	10^{12}

เนื่องจากปริมาณทางไฟฟ้ามีทั้งปริมาณต่ำและปริมาณสูง จำเป็นต้องเปลี่ยนแปลงหน่วยวัดเพื่อความเหมาะสมในการคิดคำนวณ กล่าวคือ เมื่อเปลี่ยนจากหน่วยใหญ่เป็นหน่วยเล็ก ภายหลังที่เปลี่ยนแปลงแล้วจะมีตัวเลขที่มากขึ้น และเมื่อเปลี่ยนจากหน่วยเล็กเป็นหน่วยใหญ่ ภายหลังที่เปลี่ยนแปลงแล้วจะมีตัวเลขที่น้อยลงเป็นจุดทศนิยมหรือเป็นเลขยกกำลังที่ตัวชี้กำลังมีค่าติดลบ

1. หน่วยวัดค่าความต้านทาน

$$\begin{aligned}
 1 \text{ M}\Omega &= 1,000,000 \text{ }\Omega &= 1,000 \text{ k}\Omega \\
 1 \text{ k}\Omega &= 1,000 \text{ }\Omega &= 1,000,000 \text{ m}\Omega \\
 1 \text{ }\Omega &= 1,000 \text{ m}\Omega &= 1,000,000 \text{ }\mu\Omega \\
 1 \text{ m}\Omega &= 1,000 \text{ }\mu\Omega
 \end{aligned}$$

เช่น ค่าความต้านทาน $4.7 \text{ k}\Omega$ เมื่อแปลงเป็นหน่วยโอห์ม จะได้เท่ากับ $4,700 \text{ }\Omega$ หรือค่าความต้านทาน $20 \text{ M}\Omega$ เมื่อแปลงเป็นหน่วยโอห์ม จะได้เท่ากับ $20 \times 10^6 = 20,000,000 \text{ }\Omega$ เป็นต้น

2. หน่วยวัดค่าแรงดันไฟฟ้า

$$\begin{aligned}
 1 \text{ MV} &= 1,000,000 \text{ V} = 1,000 \text{ kV} \\
 1 \text{ kV} &= 1,000 \text{ V} = 1,000,000 \text{ mV} \\
 1 \text{ V} &= 1,000 \text{ mV} = 1,000,000 \text{ }\mu\text{V} \\
 1 \text{ mV} &= 1,000 \text{ }\mu\text{V}
 \end{aligned}$$



เช่น แบตเตอรี่ขนาด 9 V เมื่อแปลงเป็นหน่วยมิลลิโวลต์ จะได้เท่ากับ 9,000 mV หรือแหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้า 20,000 V เมื่อแปลงเป็นหน่วยกิโลโวลต์ จะได้เท่ากับ 20 kV เป็นต้น

3. หน่วยวัดค่ากระแสไฟฟ้า

$$1 \text{ A} = 1,000 \text{ mA} = 1,000,000 \text{ }\mu\text{A}$$

$$1 \text{ mA} = 1,000 \text{ }\mu\text{A} = 1,000,000 \text{ nA}$$

$$1 \text{ }\mu\text{A} = 1,000 \text{ nA}$$

เช่น กระแสไฟฟ้าจากแบตเตอรี่ 9 V มีค่า 2.5 A เมื่อแปลงเป็นมิลลิแอมแปร์ จะได้เท่ากับ 2,500 mA หรือกระแสไฟฟ้า 75 A เมื่อแปลงเป็นไมโครแอมแปร์ จะได้เท่ากับ 75,000,000 μA เป็นต้น

4. หน่วยวัดค่ากำลังไฟฟ้า

$$1 \text{ MW} = 1,000 \text{ kW} = 1,000,000 \text{ W}$$

$$1 \text{ kW} = 1,000 \text{ W} = 1,000,000 \text{ mW}$$

$$1 \text{ W} = 1,000 \text{ mW} = 1,000,000 \text{ }\mu\text{W}$$

$$1 \text{ mW} = 1,000 \text{ }\mu\text{W}$$

เช่น กำลังไฟฟ้า 50 MW เมื่อแปลงเป็นหน่วยวัตต์ จะได้เท่ากับ 50,000,000 W หรือกำลังไฟฟ้า 7 W เมื่อแปลงเป็นหน่วยมิลลิวัตต์จะได้เท่ากับ 7,000 mW เป็นต้น

ตัวอย่างที่ 1.1 จงเปลี่ยนหน่วยการวัดต่อไปนี้

1. 5.28 Ω เปลี่ยนเป็นหน่วย m Ω และ $\mu\Omega$
2. 63.54 kW เปลี่ยนเป็นหน่วย W และ mW
3. 380 V เปลี่ยนเป็น kV และ mV
4. 100 mA เปลี่ยนเป็น μA และ A

วิธีทำ

$$1. \quad 1 \text{ }\Omega = 1,000 \text{ m}\Omega$$

$$5.28 \text{ }\Omega = 5.28 \times 1,000 \text{ m}\Omega$$

$$= 5,280 \text{ m}\Omega$$

$$1 \text{ m}\Omega = 1,000 \text{ }\mu\Omega$$

$$5,280 \text{ m}\Omega = 5,280 \times 1,000 \text{ }\mu\Omega$$

$$= 5,280,000 \text{ }\mu\Omega$$

$$\therefore 5.28 \text{ }\Omega = 5,280 \text{ m}\Omega = 5,280,000 \text{ }\mu\Omega$$



2. $1 \text{ kW} = 1,000 \text{ W}$
 $63.54 \text{ kW} = 63.54 \times 1,000 \text{ W}$
 $= 63,540 \text{ W}$
 $1 \text{ W} = 1,000 \text{ mW}$
 $63,540 \text{ W} = 63,540 \times 1,000 \text{ mW}$
 $= 63,540,000 \text{ mW}$
 $\therefore 63.54 \text{ kW} = 63,540 \text{ W} = 63,540,000 \text{ mW}$
3. $1,000 \text{ mA} = 1 \text{ A}$
 $100 \text{ mA} = \frac{100}{1,000} \text{ A} = 0.1 \text{ A}$
 $1 \text{ mA} = 1,000 \mu\text{A}$
 $100 \text{ mA} = 100 \times 1,000 \mu\text{A}$
 $= 100,000 \mu\text{A}$
 $\therefore 100 \text{ mA} = 100,000 \mu\text{A} = 0.1 \text{ A}$

ตอบ



เครื่องมือวัดไฟฟ้าแบบมาตรฐาน

เครื่องมือวัดไฟฟ้าทั่วไปจะใช้หลักการทางไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์รวมกันเรียกว่า **เครื่องมือวัดไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ (Electrical and Electronics Instrument)** เช่น มิเตอร์วัดแรงดันไฟฟ้า กระแสสลับ จะมีส่วนประกอบของไดโอดเข้ามาเกี่ยวข้อง เป็นต้น

เมื่อเทคโนโลยีเจริญก้าวหน้า ความต้องการเครื่องมือวัดไฟฟ้าแบบมาตรฐานจึงเพิ่มขึ้น เพราะต้องการวัดค่าละเอียดและเที่ยงตรงยิ่งขึ้น ทำให้ผลิตภัณฑ์เครื่องมือวัดไฟฟ้าใหม่ ๆ ถูกพัฒนาทั้งรูปแบบและการใช้งานอย่างกว้างขวางมากขึ้น ซึ่งรายละเอียดเครื่องมือวัดไฟฟ้าแบบมาตรฐาน มีดังต่อไปนี้

ความถูกต้อง (Accuracy) หมายถึง ค่าที่วัดได้จากเครื่องวัดใกล้เคียงกับค่าจริงมากเพียงใด โดยจะบอกเป็นเปอร์เซ็นต์ของค่าเต็มสเกล (Full Scale) ตัวอย่างเช่น โวลต์มิเตอร์มีสเกลอ่านได้สูงสุด 10 V และระบุความถูกต้องเท่ากับ $\pm 1\%$ หมายความว่า จะมีโอกาสผิดพลาดเท่ากับ $\pm (0.01 \times 10) = \pm 0.1 \text{ V}$ (ตลอดย่านวัด) นอกจากนี้ ความถูกต้องอาจเรียกเป็นเปอร์เซ็นต์ของปริมาณที่วัด เช่น $\pm 3\%$ หมายความว่า ค่าที่ระบุไว้ในเครื่องวัดเป็นเพียงการประกันว่าจะมีค่าอยู่ระหว่าง $\pm 3\%$ ของค่าจริง ดังนั้น ถ้าเครื่องวัดชี้ค่าที่ 10 A ค่าจริง จะอยู่ระหว่าง $\pm 3\%$ ของ 10 A หรือเท่ากับ $\pm 0.3 \text{ A}$



ความเที่ยงตรง (Precision) เป็นการอธิบายถึงผลที่เกิดจากการวัด หมายถึง ค่าที่วัดได้แต่ละครั้งใกล้เคียงกันมากเพียงใด เมื่อทำการวัดตัวแปรเดียวกันซ้ำกันหลายครั้ง ความเที่ยงตรงจะเป็นคุณสมบัติเฉพาะตัวของเครื่องวัด ดังนั้น เครื่องวัดที่มีความเที่ยงตรงสูงผลการวัดแต่ละครั้งจะแตกต่างกันน้อยมาก

ความไว (Sensitivity) ความไวในการวัด หมายถึง ความสามารถในการตอบสนองสัญญาณที่ป้อนเข้าไป เครื่องวัดที่มีความไวสูงจึงมีประสิทธิภาพ (Efficiency) ดีกว่าและราคาก็แพงกว่าด้วย ความไวจะมีค่าเป็นส่วนกลับของกระแสไฟฟ้าที่ทำให้เข็มชี้บ่ายเบนเต็มสเกล (Full Scale Current ; I_{FS}) มีหน่วยเป็นโอห์มต่อโวลต์ (Ω/V)

$$\text{ความไว} = \frac{1}{I_{FS}} (\Omega/V) \quad \dots\dots\dots (1.1)$$

และเมื่อทราบค่าความไวก็จะสามารถคำนวณหาความต้านทานภายใน (Internal Resistance) ของเครื่องวัดย่านวัดใด ๆ ได้ดังนี้

$$R_T = \text{แรงดันไฟฟ้าเต็มสเกล} \times \text{ความไว} \quad \dots\dots\dots (1.2)$$

$$\text{เมื่อ } R_T = \text{ความต้านทานภายในของแต่ละย่านวัด}$$

ตัวอย่างที่ 1.2 มิเตอร์มูฟเมนต์เครื่องหนึ่ง เข็มชี้จะบ่ายเบนเต็มสเกลพอดี ถ้าหากมีกระแสไฟฟ้าไหลผ่าน $50 \mu A$

1. จงคำนวณหาความไวของมิเตอร์
2. ถ้าหากมีย่านวัดแรงดันไฟฟ้าได้สูงสุดเท่ากับ $100 V_{dc}$ จะมีค่าความต้านทานภายในเท่าไร

วิธีทำ

$$\begin{aligned} 1. \text{ ความไว} &= \frac{1}{I_{FS}} \\ &= \frac{1}{50 \times 10^{-6} A} \end{aligned}$$

$$= 20 \text{ k}\Omega/V$$

$$\begin{aligned} 2. R_T &= \text{แรงดันไฟฟ้าเต็มสเกล} \times \text{ความไว} \\ &= 100 V \times 20,000 \Omega/V \\ &= 2 \text{ M}\Omega \end{aligned}$$

นั่นคือ ที่ย่านวัด $100 V_{dc}$ จะมีค่าความต้านทานภายใน $2 \text{ M}\Omega$

ตอบ



ความสามารถแยกแยะ (Resolution) หมายถึง ความสามารถของเครื่องวัดที่รับรู้ถึงสภาวะการเปลี่ยนแปลงของตัวแปรที่กำลังวัดในขณะนั้น ตัวอย่างเช่น สเกล 100 V ของเครื่องวัดแบบแอนะล็อก (Analog Instruments) สามารถระบุความเที่ยงตรงได้เท่ากับ 10 mV หมายความว่า ค่าแรงดันไฟฟ้าที่เปลี่ยนไปต่ำสุดเพียงแค่ว่า 10 mV เครื่องวัดก็สามารถแยกแยะและรับรู้ถึงการเปลี่ยนแปลงดังกล่าวได้

ความคลาดเคลื่อน (Error) หมายถึง ค่าที่ผิดพลาดหรือเบี่ยงเบน (Deviation) ไปจากค่าที่ถูกต้องตามความเป็นจริง

ย่านวัด (Range) หมายถึง ย่านวัดหรือขอบเขตที่สามารถอ่านค่าวัดได้

อิมพีแดนซ์อินพุต (Input Impedance) หมายถึง อิมพีแดนซ์ที่อยู่ระหว่างขั้วอินพุตในเครื่องวัด ซึ่งมีความสำคัญมากในเรื่องผลกระทบจากการโหลด เครื่องวัดที่มีอิมพีแดนซ์อินพุตต่ำ จะทำให้เกิดความคลาดเคลื่อนจากการโหลดของเครื่องวัด ดังนั้น การใช้เครื่องวัดที่มีอิมพีแดนซ์อินพุตสูงกว่าจึงเป็นทางเลือกที่ดีที่สุด ซึ่งเครื่องวัดที่ใช้ไฟฟ้ากระแสตรงได้นั้น บางครั้งเรียกว่า **รีซิสแตนซ์อินพุต (Input Resistance)**

การปรับแต่ง (Calibrated) หมายถึง การพิจารณาความสัมพันธ์ระหว่างค่าปริมาณที่วัดกับตำแหน่งที่สัมพันธ์กันของดัชนีในเครื่องวัด

คลาสของเครื่องวัด (Class) บอกถึงเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาด (ค่าความคลาดเคลื่อน) ของการวัดในแต่ละย่านการวัด ซึ่งคลาส หมายถึง ค่าคุณภาพและประสิทธิภาพของเครื่องวัดไฟฟ้า เช่น คลาส 0.1, คลาส 0.2 และคลาส 0.5 เป็นเครื่องมือวัดที่มีความถูกต้องในการวัดสูง ส่วนใหญ่ใช้ในห้องปฏิบัติการ ส่วนคลาส 1, คลาส 1.5, คลาส 2.5 และคลาส 5 เป็นเครื่องวัดคุณภาพปานกลาง เหมาะกับการใช้งานโดยทั่วไป เป็นต้น

$$\text{ความผิดพลาดที่ย่านการวัดใด ๆ} = \frac{(\text{ย่านการวัด}) (\text{คลาส})}{100} \quad \dots\dots\dots (1.3)$$

ตัวอย่างที่ 1.3 โวลต์มิเตอร์คลาส 1.5 มีย่านการวัด 2 ย่าน คือ 100 V กับ 500 V นำไปวัดค่าแรงดันไฟฟ้า 100 V จากแหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้า จงหาขนาดเข็มชี้มิเตอร์ที่แสดงค่า

วิธีทำ

1. เมื่อใช้ย่านวัด 100 V

$$\begin{aligned} \text{ความผิดพลาดย่านการวัด 100 V} &= \frac{(\text{ย่านการวัด}) (\text{คลาส})}{100} \\ &= \frac{(100) (1.5)}{100} \\ &= \pm 1.5 \text{ V} \end{aligned}$$



นั่นคือ เซมิซีมิเตอร์แสดงค่าระหว่าง $100 \text{ V} \pm 1.5 \text{ V}$

ซึ่งมีค่าระหว่าง 98.50 V ถึง 101.50 V

2. เมื่อใช้ย่านวัด 500 V

$$\begin{aligned}\text{ความผิดพลาดย่านการวัด } 500 \text{ V} &= \frac{(\text{ย่านการวัด}) (\text{คลาส})}{100} \\ &= \frac{(500) (1.5)}{100} \\ &= \pm 7.5 \text{ V}\end{aligned}$$

นั่นคือ เซมิซีมิเตอร์แสดงค่าระหว่าง $500 \text{ V} \pm 7.5 \text{ V}$

ซึ่งมีค่าระหว่าง 492.50 V ถึง 507.50 V

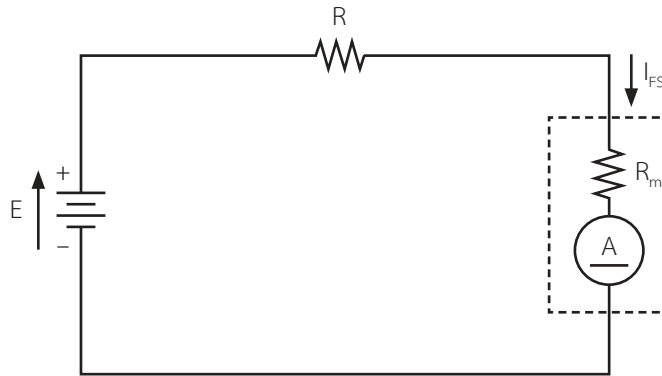
ตอบ



การป้องกันผลกระทบต่าง ๆ ที่เกิดต่อการวัดและเครื่องมือวัด

เครื่องมือวัดทางไฟฟ้า จะมีค่าความต้านทานภายในอยู่จำนวนหนึ่ง เมื่อนำไปต่อวัดในวงจร จะส่งผลกระทบต่อการไหลของกระแสไฟฟ้าในวงจร ลักษณะดังกล่าวเรียกว่า **ผลการโหลด (Loading Effect)** แม้กระทั่งเครื่องวัดตัวเดียวกันแต่มีหลายย่านวัด ก็ย่อมมีค่าความต้านทานภายในที่ต่างกันด้วย ดังนั้น เมื่อนำไปวัดจะต้องตั้งย่านวัดให้เหมาะสมกับปริมาณที่กำลังวัด นอกจากนี้ จะต้องเลือกใช้เครื่องมือวัดที่มีความไวสูง (High Sensitivity ; Sen) หรือมีค่าโอห์มต่อโวลต์ (Ω/V) สูง ๆ จะช่วยลดผลของการโหลดดังกล่าวได้

1. แอมมิเตอร์โหลดตึง (Ammeter Loading) การวัดกระแสไฟฟ้าด้วยแอมมิเตอร์ มิลลิแอมมิเตอร์ หรือไมโครแอมมิเตอร์จะต้องต่ออนุกรม (Series Connection) กับวงจร เนื่องจากภายในมีค่าความต้านทานต่ำมาก ดังนั้น จึงห้ามนำไปต่อขนานกับแหล่งจ่ายใด ๆ โดยปราศจากโหลดเพราะจะทำให้แอมมิเตอร์เสียหาย เนื่องจากจะมีกระแสไฟฟ้าไหลผ่านแอมมิเตอร์จำนวนมากเกินไปนั่นเอง การที่นำแอมมิเตอร์ต่ออนุกรมเข้ากับวงจรและทำให้กระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านวงจรมีค่าลดลงจะเรียกว่า **แอมมิเตอร์โหลดตึง หรือ ผลการโหลดของแอมมิเตอร์ (Ammeter Loading Effect)**



รูปที่ 1.1 ผลจากแอมมิเตอร์โหลดติด

ผลจากการเกิดแอมมิเตอร์โหลดติด พิจารณาจากรูปที่ 1.1 เมื่อ R_m คือ ค่าความต้านทานภายในของแอมมิเตอร์ ซึ่งเป็นการต่อแบบอนุกรม ผลการวัดจะให้ความคลาดเคลื่อนน้อยมาก ถ้าหากว่าความต้านทานภายในของแอมมิเตอร์มีค่าน้อยกว่า R ($R_m \ll R$) ในทางตรงข้าม ถ้าหากแอมมิเตอร์มีความต้านทานภายในสูง ก็จะกลายเป็นโหลดของวงจรและจะส่งผลทำให้การวัดเกิดความคลาดเคลื่อนสูง

2. โวลต์มิเตอร์โหลดติด (Voltmeter Loading) การวัดแรงดันไฟฟ้าของโวลต์มิเตอร์จะต้องต่อขนาน (Parallel Connection) เข้ากับวงจร เนื่องจากโวลต์มิเตอร์มีค่าความต้านทานสูง ถ้าหากนำไปวัดแรงดันไฟฟ้าตกคร่อม (Voltage Drop) ความต้านทานที่มีค่าสูงหรือใกล้เคียงกับความต้านทานภายในของโวลต์มิเตอร์ จะทำให้ความต้านทานที่จุดวัดมีค่าลดลง ส่งผลให้มีกระแสไฟฟ้าไหลผ่านโวลต์มิเตอร์ใกล้เคียงกับที่ไหลผ่านโหลด นั่นคือ เครื่องวัดจะกลายเป็นโหลดของวงจรด้วย ลักษณะนี้เรียกว่า **โวลต์มิเตอร์โหลดติด** หรือ **ผลการโหลดของโวลต์มิเตอร์ (Voltmeter Loading Effect)** เพื่อเป็นการป้องกันผลของการโหลดดังกล่าว จึงควรเลือกใช้โวลต์มิเตอร์ที่มีค่าความต้านทานภายในสูง ๆ มากกว่าความต้านทานของวงจรจุดที่กำลังวัด อย่างไรก็ตาม ความคลาดเคลื่อนของการวัดอาจเกิดขึ้นได้เนื่องจากสาเหตุ 2 ประการดังต่อไปนี้

2.1 ค่าความไว (Sen) ของโวลต์มิเตอร์ เนื่องจากเครื่องวัดที่มีความไวสูงจะทำให้ Input Impedance สูงขึ้น จึงช่วยลดผลของการโหลดให้ลดลงได้

$$R_T = E_{\text{range}} \times \text{Sen} \quad \dots\dots\dots (1.4)$$

เมื่อ R_T = ความต้านทานรวมของย่านที่ตั้งหรือค่า Input Impedance

E_{range} = ย่านแรงดันไฟฟ้าเต็มสเกล

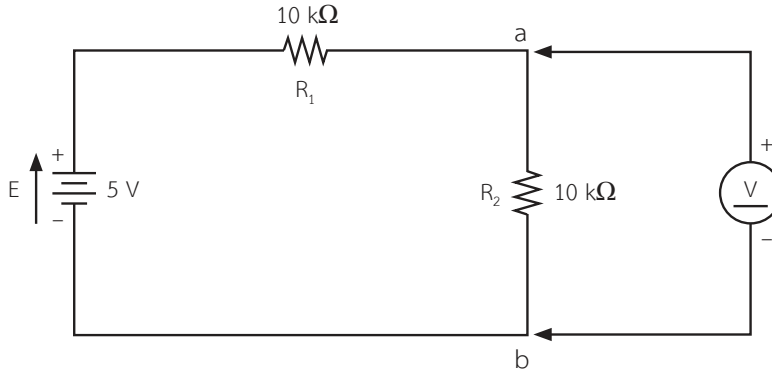
Sen = ความไวของโวลต์มิเตอร์

2.2 การตั้งย่านวัดที่ไม่เหมาะสม



ตัวอย่างที่ 1.4 จงเปรียบเทียบผลการวัดแรงดันไฟฟ้าเป็นเปอร์เซ็นต์จากวงจรดังรูปที่ 1.2

1. เมื่อโวลต์มิเตอร์มีความไว $10 \text{ k}\Omega/\text{V}$ ตั้งย่านวัดที่ 5 V
2. เมื่อโวลต์มิเตอร์มีความไว $20 \text{ k}\Omega/\text{V}$ ตั้งย่านวัดที่ 5 V
3. เมื่อโวลต์มิเตอร์มีความไว $10 \text{ k}\Omega/\text{V}$ ตั้งย่านวัดที่ 20 V



รูปที่ 1.2 ภาพประกอบตัวอย่างที่ 1.4

วิธีทำ จากวงจรแรงดันไฟฟ้าตกคร่อม R_2 จะมีค่าเท่ากับแรงดันไฟฟ้าที่ตกคร่อม R_1 คือ 2.5 V

1. ความต้านทานรวม คือ

$$\begin{aligned} R_T &= E_{\text{range}} \times \text{Sen} \\ &= 5 \text{ V} \times 10 \times 10^3 \Omega/\text{V} \\ &= 50 \text{ k}\Omega \end{aligned}$$

ความต้านทานรวมที่จุด a - b คือ

$$\begin{aligned} R_{ab} &= R_2 // R_T \\ &= \frac{10 \text{ k}\Omega \times 50 \text{ k}\Omega}{10 \text{ k}\Omega + 50 \text{ k}\Omega} \\ &= 8.33 \text{ k}\Omega \end{aligned}$$

แรงดันไฟฟ้าที่ตกคร่อมจุด a - b คือ

$$\begin{aligned} V_{ab} &= \frac{E}{R_1 + R_{ab}} \times R_{ab} \\ &= \frac{5 \text{ V}}{10 \text{ k}\Omega + 8.33 \text{ k}\Omega} \times 8.33 \text{ k}\Omega \\ &= 2.27 \text{ V} \end{aligned}$$



นั่นคือ ผลการวัดคลาดเคลื่อน

$$= 2.5 \text{ V} - 2.27 \text{ V}$$

$$= 0.23 \text{ V}$$

หรือคลาดเคลื่อน = 9.2%

ดังนั้น โวลต์มิเตอร์มีความไว $10 \text{ k}\Omega/\text{V}$ ตั้งย่านวัด 5 V จะคลาดเคลื่อน 9.2%

2. ทำนองเดียวกันจะได้

$$R_T = 5 \text{ V} \times 20 \times 10^3 \Omega/\text{V}$$

$$= 100 \text{ k}\Omega$$

$$R_{ab} = \frac{10 \text{ k}\Omega \times 100 \text{ k}\Omega}{10 \text{ k}\Omega + 100 \text{ k}\Omega}$$

$$= 9.09 \text{ k}\Omega$$

$$V_{ab} = \frac{5 \text{ V}}{10 \text{ k}\Omega + 9.09 \text{ k}\Omega} \times 9.09 \text{ k}\Omega$$

$$= 2.38 \text{ V}$$

นั่นคือ ผลการวัดคลาดเคลื่อน

$$= 2.5 \text{ V} - 2.38 \text{ V}$$

$$= 0.12 \text{ V}$$

หรือคลาดเคลื่อน = 4.8%

ดังนั้น โวลต์มิเตอร์มีความไว $20 \text{ k}\Omega/\text{V}$ ตั้งย่านวัด 5 V จะคลาดเคลื่อน 4.8%

3. ทำนองเดียวกันจะได้

$$R_T = 20 \text{ V} \times 10 \times 10^3 \Omega/\text{V}$$

$$= 200 \text{ k}\Omega$$

$$R_{ab} = \frac{10 \text{ k}\Omega \times 200 \text{ k}\Omega}{10 \text{ k}\Omega + 200 \text{ k}\Omega}$$

$$= 9.52 \text{ k}\Omega$$

$$V_{ab} = \frac{5 \text{ V}}{10 \text{ k}\Omega + 9.52 \text{ k}\Omega} \times 9.52 \text{ k}\Omega$$

$$= 2.43 \text{ V}$$



นั่นคือ ผลการวัดคลาดเคลื่อน

$$= 2.5 \text{ V} - 2.43 \text{ V}$$

$$= 0.07 \text{ V}$$

หรือคลาดเคลื่อน = 2.8%

ดังนั้น โวลต์มิเตอร์มีความไว 10 k Ω /V ตั้งย่านวัด 20 V จะคลาดเคลื่อน 2.8% **ตอบ**



ข้อกำหนดด้านความปลอดภัยและการดูแลบำรุงรักษา เครื่องมือวัดไฟฟ้า

เครื่องมือวัดทางไฟฟ้าเกือบทุกชนิดจะบอบบาง และมีความไวต่อสัญญาณอินพุตที่ป้อนให้ ดังนั้น เพื่อให้เครื่องมือวัดสามารถวัดได้อย่างถูกต้องและเที่ยงตรง ผู้ใช้งานจึงเป็นบุคคลสำคัญสูงสุดที่จะต้องดูแลรักษาก่อนการใช้งาน ตลอดจนวิธีการเก็บรักษาเมื่อใช้งานเสร็จแล้ว ทั้งนี้ เพื่อประสิทธิภาพการใช้งานและยืดอายุการใช้งานของเครื่องมือวัด วิธีการดูแลบำรุงรักษาทั่วไป มีดังนี้

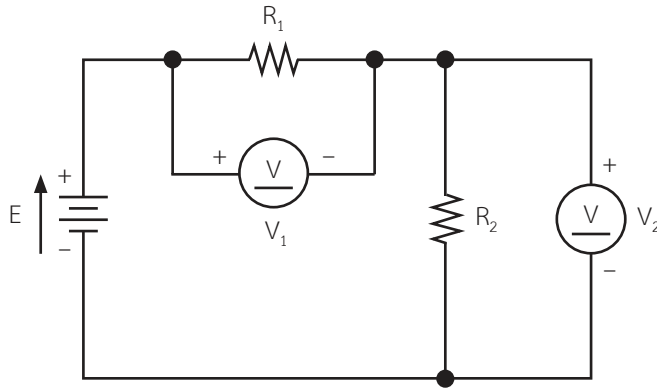
1. จัดเก็บเครื่องมือวัดตามประเภทของเครื่องวัดให้เป็นระเบียบและง่ายต่อการดูแล
2. จัดเก็บคู่มือการใช้งาน (Manual User) ให้ครบตามชนิดและจำนวน เพื่อสะดวกในการค้นหา
3. ดูแลบำรุงรักษาเครื่องมือวัดให้อยู่ในสภาพใช้งานได้ตลอดเวลา ได้แก่ การตรวจสอบสภาพภายนอกทั่วไป เช่น ฝาครอบ สกรูต่าง ๆ หลัगत่อสาย สายวัด ตลอดจนอุปกรณ์ประกอบอื่น ๆ ที่ต้องใช้คู่กัน รวมถึงการบำรุงรักษาตามคู่มือของบริษัทผู้ผลิต
4. จัดเก็บไว้ในตู้ที่สะอาด มีการป้องกันฝุ่นละออง ความร้อน แสงแดด และความชื้น
5. ควรมีการปรับแต่ง (Calibrated) เครื่องมือวัดที่ผ่านการใช้งานเป็นระยะเวลานาน ๆ
6. เครื่องวัดที่ไม่ได้ใช้งานเป็นระยะเวลานานควรถอดแบตเตอรี่ออก เพื่อป้องกันสารเคมีจากแบตเตอรี่ไหลออกมากัดกร่อนอุปกรณ์
7. ควรระมัดระวัง อย่าให้เครื่องมือวัดไฟฟ้าได้รับการกระทบกระแทกเป็นอันตราย
8. ก่อนใช้งานควรตั้งสวิตช์เลือกย่านวัดให้อยู่ในตำแหน่งที่ถูกต้องทุกครั้ง
9. ควรตั้งสวิตช์เลือกย่านวัดให้อยู่ในตำแหน่งที่สามารถวัดค่าได้สูง ๆ ถ้าหากยังวัดค่าไม่ได้จึงค่อยปรับให้ต่ำลง และควรให้เข็มชี้อยู่ระหว่าง 0.5 ถึง 0.75 ของสเกล ถึงจะได้ค่าที่มีความคลาดเคลื่อนต่ำ
10. ในกรณีที่ฟิวส์ของเครื่องวัดขาด **ห้ามนำลวดทองแดงมาใส่แทน และ ห้ามใส่ฟิวส์ที่มีขนาดสูงกว่าฟิวส์เดิม**



การวัดแรงดันไฟฟ้า กระแสไฟฟ้าและกำลังไฟฟ้า

การวัดแรงดันไฟฟ้า กระแสไฟฟ้าและกำลังไฟฟ้าในวงจรไฟฟ้าพื้นฐานซึ่งเป็นไฟฟ้าตรง มีรายละเอียดดังนี้

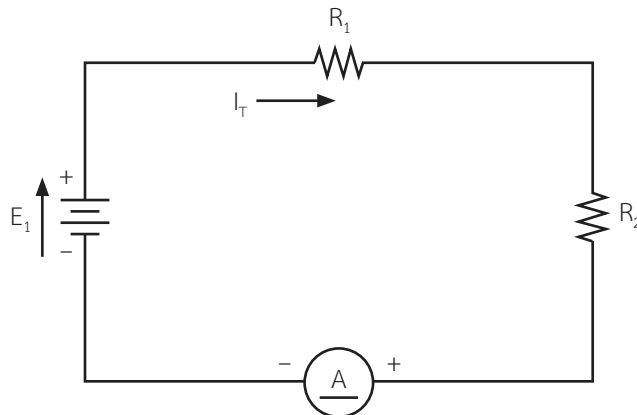
1. การวัดแรงดันไฟฟ้า



รูปที่ 1.3 การวัดค่าแรงดันไฟฟ้าตกคร่อมตัวต้านทาน

การวัดค่าแรงดันไฟฟ้าจะต้องใช้โวลต์มิเตอร์ (Voltmeter) ไฟฟ้ากระแสตรง วัดขนานกับโหลด แสดงในรูปที่ 1.3 ซึ่ง V_1 วัดแรงดันไฟฟ้าตกคร่อม R_1 และ V_2 วัดแรงดันไฟฟ้าตกคร่อม R_2

2. การวัดกระแสไฟฟ้า

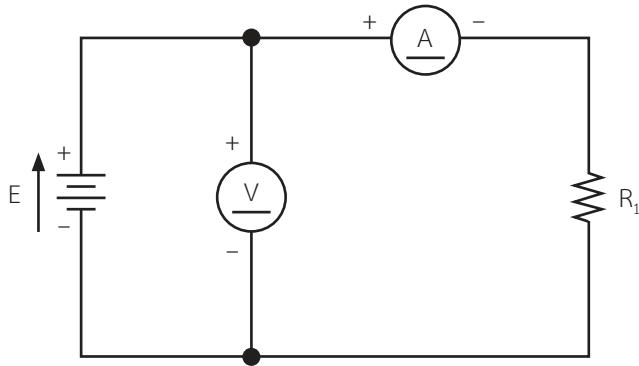


รูปที่ 1.4 การวัดกระแสไฟฟ้าผ่านตัวต้านทาน R_1 กับ R_2



การวัดค่ากระแสไฟฟ้าจะต้องใช้แอมมิเตอร์ (Ammeter) ไฟฟ้ากระแสตรงวัด ต่ออนุกรมกับ โหลด แสดงในรูปที่ 1.4 ซึ่งกระแสไฟฟ้า I_T เป็นกระแสไฟฟ้ารวมที่ผ่าน R_1 กับ R_2 มีค่าเท่ากันเพราะเป็น วงจรรอนุกรม

3. การวัดกำลังไฟฟ้า



รูปที่ 1.5 การวัดกำลังไฟฟ้าผ่าน R_1 โดยใช้โวลต์มิเตอร์กับแอมมิเตอร์

การวัดค่ากำลังไฟฟ้าสามารถนำโวลต์มิเตอร์กับแอมมิเตอร์มาใช้งานได้แสดงดังรูปที่ 1.5 โดยวัดกระแสไฟฟ้ากับแรงดันไฟฟ้าที่ตกคร่อม R_2 ซึ่งกำลังไฟฟ้าที่ R_2 มาจากกระแสไฟฟ้าที่ผ่าน R_2 คูณกับแรงดันไฟฟ้าที่ตกคร่อม R_2