

หน่วยที่ 1

ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับเครื่องวัดไฟฟ้า

ความหมายที่เกี่ยวข้องกับการวัด มีดังนี้ (Kalsi, H. S. 2007: 2)

เครื่องวัด (Instrument)

การวัด (Measurement)

ความถูกต้องหรือความแม่นยำ (Accuracy)

ความละเอียด (Resolution)

ความเที่ยงตรง (Precision)

ความคลาดเคลื่อน (Error)

ความไว (Sensitivity)

1.2

หน่วยการวัดของระบบ SI

ปริมาณ	สัญลักษณ์ปริมาณ	หน่วย	สัญลักษณ์หน่วย
ความยาว (Length)	l	เมตร(meter)	m
มวล (Mass)	M	กิโลกรัม (kilogram)	kg
เวลา (Time)	T	วินาที (second)	s
กระแสไฟฟ้า (Electric current)	I	แอมแปร์ (ampere)	A
อุณหภูมิทางเทอร์โมไดนามิกส์ (Thermodynamic Temperature)	T	เคลวิน (kelvin)	K
ความเข้มการส่องสว่าง (Luminous Intensity)	IV	แคนเดลา (candela)	cd
ปริมาณของสาร (Amount of Substance)	n	โมล (mole)	mol

ปริมาณ	สัญลักษณ์ปริมาณ ¹	หน่วย	สัญลักษณ์หน่วย
มุมระนาบ (Plane Angles)	$\phi, \theta, \alpha, \beta, \gamma$	เรเดียน (radian)	rad
มุมตัน (Solid Angles)	ω, Ω	สเตอเรเดียน (steradian)	sr

ปริมาณ	สัญลักษณ์ปริมาณ	หน่วย	สัญลักษณ์หน่วย
ความถี่ (Frequency)	f	เฮิรตซ์ (Hertz)	Hz
แรง (Force)	F	นิวตัน (Newton)	N
ความดัน (Pressure)	p	ปาสคาล (Pascal)	Pa
พลังงาน, งาน (Energy, Work)	w	จูล (Joule)	J
กำลังงาน (Power)	P	วัตต์ (Watt)	W
ประจุไฟฟ้า (Electric Charge)	Q	คูลอมบ์ (Coulomb)	C

ปริมาณ	สัญลักษณ์ปริมาณ	หน่วย	สัญลักษณ์หน่วย
ความต่างศักย์ไฟฟ้า, แรงดันไฟฟ้า (Electric Potential, Electromotive Force)	V	โวลต์ (Volt)	V
ความจุไฟฟ้า (Capacitance)	C	ฟาราด (Farad)	F
ความต้านทานไฟฟ้า (Electrical Resistance)	R	โอห์ม (Ohm)	Ω
ความนำไฟฟ้า (Electrical Conductance)	G	ซีเมนส์ (Siemens)	S
เส้นแรงแม่เหล็ก (Magnetic Flux)	ϕ	เวเบอร์ (Weber)	Wb
ความหนาแน่นของเส้นแรงแม่เหล็ก (Magnetic Flux Density)	B	เทสลา (Tesla)	T
ความเหนี่ยวนำ (Inductance)	L	เฮนรี (Henry)	H
ฟลักซ์การส่องสว่าง (Luminous Flux)	–	ลูเมน (Lumen)	lm
การส่องสว่าง (Illuminance)	–	ลักซ์ (Lux)	lx

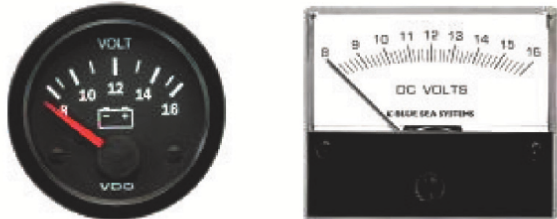
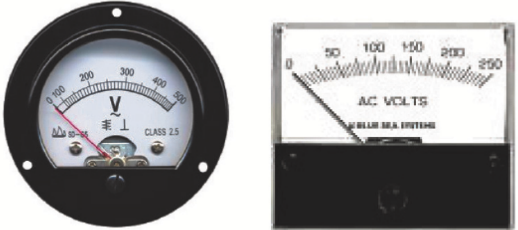
ชื่อประกอบ	สัญลักษณ์	เลขสิบยกกำลัง	จำนวนตัวเลข
เอกซะ (exa)	E	10^{18}	1,000,000,000,000,000,000
เพตะ (peta)	P	10^{15}	1,000,000,000,000,000
เทระ (tera)	T	10^{12}	1,000,000,000,000
จิกะ (giga)	G	10^9	1,000,000,000
เมกะ (mega)	M	10^6	1,000,000
กิโล (kilo)	k	10^3	1,000
เฮกโต (hector)	h	10^2	100
เดคา (deca)	dk	10^1	10
หน่วยหลัก	–	10^0	1
เดซี (deci)	d	10^{-1}	0.1

ชื่อประกอบ	สัญลักษณ์	เลขสิบยกกำลัง	จำนวนตัวเลข
เซนติ (centi)	c	10^{-2}	0.01
มิลลิ (milli)	m	10^{-3}	0.001
ไมโคร (micro)	μ	10^{-6}	0.000001
นาโน (nano)	n	10^{-9}	0.000000001
พิโก (pico)	p	10^{-12}	0.000000000001
เฟมโต (femto)	f	10^{-15}	0.000000000000001
อัตโต (atto)	a	10^{-18}	0.000000000000000001

1.3

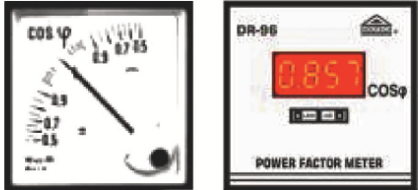
เครื่องวัดที่ใช้ในงานไฟฟ้ากำลัง

รูปเครื่องวัดไฟฟ้า	ชื่อเครื่องวัดไฟฟ้า	ลักษณะการใช้งาน
	กัลวานอมิเตอร์	- ใช้วัดกระแสไฟฟ้าปริมาณน้อย ๆ - ใช้วัดทิศทางการไหลของกระแสไฟฟ้า
	ดีซีแอมมิเตอร์	- ใช้วัดกระแสไฟฟ้ากระแสตรง

รูปเครื่องวัดไฟฟ้า	ชื่อเครื่องวัดไฟฟ้า	ลักษณะการใช้งาน
	เอซี-ดีซีแอมมิเตอร์	- เอซี-ดีซีแอมมิเตอร์ - ใช้วัดกระแสไฟฟ้ากระแสตรงและกระแสไฟฟ้ากระแสสลับในเครื่องเดียวกัน
	ดีซีโวลต์มิเตอร์	- ใช้วัดแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง
	เอซีโวลต์มิเตอร์	- ใช้วัดแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ

รูปเครื่องวัดไฟฟ้า	ชื่อเครื่องวัดไฟฟ้า	ลักษณะการใช้งาน
	โอห์มมิเตอร์	– ใช้วัดความต้านทานไฟฟ้า
	เมกโอห์มมิเตอร์/ เมกเกอร์	– ใช้วัดความต้านทานไฟฟ้าค่าสูง – ใช้วัดฉนวนไฟฟ้า
	มัลติมิเตอร์/ เครื่องวัดอเนกประสงค์	– ใช้วัดค่าทางไฟฟ้าได้หลายอย่าง เช่น วัดแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง วัดแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ วัดความต้านทาน วัดกระแสไฟฟ้า กระแสตรง เป็นต้น

รูปเครื่องวัดไฟฟ้า	ชื่อเครื่องวัดไฟฟ้า	ลักษณะการใช้งาน
	แคลมป์ออนมิเตอร์	- ใช้วัดกระแสไฟฟ้ากระแสสลับ
	วัตต์มิเตอร์	- ใช้วัดกำลังไฟฟ้า
	กิโลวัตต์อวอร์มิเตอร์	- ใช้วัดพลังงานไฟฟ้า

รูปเครื่องวัดไฟฟ้า	ชื่อเครื่องวัดไฟฟ้า	ลักษณะการใช้งาน
	เพาเวอร์แฟกเตอร์ มิเตอร์	– ใช้วัดค่าเพาเวอร์แฟกเตอร์ของ ระบบไฟฟ้า
	เครื่องวัดความถี่	– ใช้วัดความถี่ในระบบ ไฟฟ้า

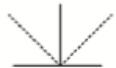
รูปเครื่องวัดไฟฟ้า	ชื่อเครื่องวัดไฟฟ้า	ลักษณะการใช้งาน
	ลักซ์มิเตอร์	– ใช้วัดความเข้มของแสง
	เครื่องวัดลำดับเฟส	– ใช้วัดลำดับเฟสระบบไฟฟ้า 3 เฟส เพื่อต้องการรู้ทิศทางการหมุนของมอเตอร์ 3 เฟส
	เครื่องวัดความเร็วรอบ	– ใช้วัดความเร็วรอบของมอเตอร์
	เครื่องวัดอุณหภูมิ	– ใช้วัดอุณหภูมิของห้อง วัดอุณหภูมิหน้าสัมผัสของสวิตช์ เซอร์กิตเบรกเกอร์ ใช้วัดอุณหภูมิ ของเครื่องปรับอากาศ

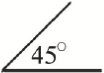
รูปเครื่องวัดไฟฟ้า	ชื่อเครื่องวัดไฟฟ้า	ลักษณะการใช้งาน
	เครื่องวัดความเร็วลม	– ใช้วัดความเร็วลมของพัดลม ในเครื่องปรับอากาศ ใช้วัดความเร็วลมของพัดลม ฯลฯ
	ออสซิลโลสโคป	– ใช้วัดสัญญาณไฟฟ้า แสดงผล เป็นภาพหรือรูปร่าง

สัญลักษณ์บอกชนิด	ความหมาย	สัญลักษณ์บอกชนิด	ความหมาย
	โวลต์มิเตอร์กระแสตรง (DC Voltmeter)		แอมมิเตอร์กระแสตรง (DC Ammeter)
	โวลต์มิเตอร์กระแสสลับ (AC Voltmeter)		แอมมิเตอร์กระแสสลับ (AC Ammeter)
	โวลต์มิเตอร์กระแสตรง/ กระแสสลับ (DC/AC Voltmeter)		แอมมิเตอร์ กระแสตรง/กระแสสลับ (DC/AC Ammeter)
	โอห์มมิเตอร์ (Ohmmeter)		เฟาเวอร์แฟกเตอร์มิเตอร์ (Power Factor Meter)

สัญลักษณ์บอกชนิด	ความหมาย	สัญลักษณ์บอกชนิด	ความหมาย
	วัดต์มิเตอร์ 1 เฟส (Single Phase Wattmeter)		เครื่องวัดความถี่ (Frequency Meter)
	วัดต์มิเตอร์ 3 เฟส (Three Phase Wattmeter)		กัลวานอมิเตอร์ (Galvanometer)
	กิโลวัตต์อวาร์มิเตอร์ (Kilowatt Hour Meter)		วาร์มิเตอร์ (Var Meter)

สัญลักษณ์บอก โครงสร้าง	ความหมาย	สัญลักษณ์บอก โครงสร้าง	ความหมาย
	เครื่องวัดไฟฟ้าแบบ ขดลวดเคลื่อนที่ ชนิดใช้แม่เหล็กถาวร		เครื่องวัดไฟฟ้าแบบ แกนเหล็กเคลื่อนที่

	เครื่องวัดไฟฟ้าแบบ อิเล็กทรอนิกส์ไดนามิก ชนิดไม่มีแกนเหล็ก		เครื่องวัดไฟฟ้าแบบ อิเล็กทรอนิกส์ไดนามิก ชนิดมีแกนเหล็ก
	เครื่องวัดไฟฟ้าแบบ ขดลวดไขว้ ชนิดไม่มีแกนเหล็ก		เครื่องวัดไฟฟ้าแบบ ขดลวดไขว้ ชนิดมีแกนเหล็ก
	เครื่องวัดไฟฟ้าแบบ เหนี่ยวนำ		เครื่องวัดไฟฟ้าแบบ ก้านสั้น
	เครื่องวัดไฟฟ้าแบบ เทอร์มอคับเปิด		เครื่องวัดไฟฟ้าแบบ มีวงจรเรียงกระแส
	เครื่องวัดไฟฟ้าแบบ ขดลวดเคลื่อนที่ ที่มี วงจรเรียงกระแส		เครื่องวัดไฟฟ้าแบบ โลหะคู่
	ทดสอบจนวันที่แรงดัน ไฟฟ้า 2 kV (ตัวเลข บอกแรงดันไฟฟ้าที่ ทดสอบ)		

สัญลักษณ์บอกการวาง	ความหมาย	สัญลักษณ์บอกการวาง	ความหมาย
	วางตั้งฉากขณะใช้งาน		วางตั้งฉากเป็นมุม 45° (หรือมุมอื่นตามกำหนด)
	วางแนวนอนขณะใช้งาน		

สัญลักษณ์บอกชั้นหรือคลาส	ความหมาย
0.1 หรือ Class 0.1	ค่าความคลาดเคลื่อน 0.1%
0.2 หรือ Class 0.2	ค่าความคลาดเคลื่อน 0.2%
0.5 หรือ Class 0.5	ค่าความคลาดเคลื่อน 0.5%
1.0 หรือ Class 1.0	ค่าความคลาดเคลื่อน 1.0%
1.5 หรือ Class 1.5	ค่าความคลาดเคลื่อน 1.5%
2.5 หรือ Class 2.5	ค่าความคลาดเคลื่อน 2.5%



(ก) เอซีโวลต์มิเตอร์



(ข) ดีซีแอมมิเตอร์

รูปที่ 1.1 การอ่านความหมายจากสัญลักษณ์ของเครื่องวัดไฟฟ้า

1.5.1 ความคลาดเคลื่อนเชิงระบบ

ความคลาดเคลื่อนเชิงระบบ (Systematic Errors) มีสาเหตุ ดังนี้

1. ความคลาดเคลื่อนของเครื่องมือวัด (Instrumental Errors)
2. ความคลาดเคลื่อนจากสภาพแวดล้อม (Environmental Errors)

1.5.2 ความคลาดเคลื่อนโดยผู้วัด

1.5.3 ความคลาดเคลื่อนแบบสุ่ม

1.6.1 ค่าความคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์

$$e = Y_n - X_n$$

(1.1)

1.6.2 ค่าความคลาดเคลื่อนสัมพัทธ์ของย่านวัด

$$\%Error = \frac{Y_n - X_n}{Y_n} \times 100\%$$

(1.2)

หรือ

$$\%Error = \left| \frac{e}{Y_n} \right| \times 100\%$$

(1.3)

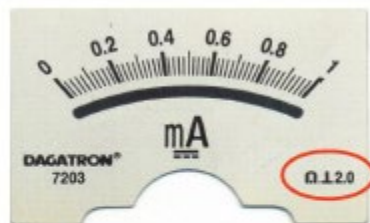
1.6.3 ค่าความแม่นยำ

$$A = 1 - \left| \frac{Y_n - X_n}{Y_n} \right| \quad \text{.....(1.4)}$$

$$a = 100\% - \% \text{Error} \quad \text{.....(1.5)}$$

หรือ

$$a = A \times 100 \quad \text{.....(1.6)}$$



(ก) แอมมิเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง คลาส 2.0



(ข) โวลต์มิเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับ คลาส 2.5

รูปที่ 1.2 ตัวอย่างคลาสของเครื่องวัดไฟฟ้า

1. รักษาสภาพให้ใช้งานได้ตลอดเวลา เช่น สายวัด ฝาครอบ สกรูต่าง ๆ เป็นต้น
2. จัดเก็บในตู้ที่มีการดูแล มีการป้องกันฝุ่นละออง ให้ห่างจากความร้อน แสงแดด และความชื้น
3. จัดเก็บคู่มือการใช้งาน ให้สะดวกต่อการค้นหาและตรวจสอบตามคู่มือ
4. ควรมีการปรับแต่งเครื่องวัดที่ผ่านการใช้งานเป็นระยะเวลานาน
5. ควรระมัดระวังอย่าให้เครื่องวัดได้รับการกระแทกเป็นอันตราย
6. เครื่องวัดที่ไม่ได้ใช้งานเป็นเวลานาน ควรถอดแบตเตอรี่ออก
7. ก่อนใช้งานควรปรับตั้งย่านวัดให้อยู่ในตำแหน่งที่ถูกต้องทุกครั้งและเลือกย่านวัดที่เหมาะสมกับค่าที่ประมาณไว้
8. ผู้วัดต้องตรวจตำแหน่งศูนย์ของเข็มชี้ก่อนทำการวัดและอาจต้องปรับถ้าจำเป็น มิฉะนั้นค่าผิดพลาดของการวัดจะเพิ่มขึ้น
9. กรณีฟิวส์ขาด ห้ามนำลวดทองแดงแทนฟิวส์

หน่วยที่ 2

มัลติมิเตอร์และดิจิตอลมิเตอร์

2.1

มัลติมิเตอร์



รูปที่ 2.1 ตัวอย่างมัลติมิเตอร์แบบมาตรฐาน

2.1.1 ส่วนประกอบของมัลติมิเตอร์



รูปที่ 2.2 มัลติมิเตอร์ชนิดอนาล็อก YX-360TRE-B

2.1.2 ส่วนประกอบสเกลหน้าปิดของมัลติมิเตอร์



รูปที่ 2.3 สเกลหน้าปัดของมัลติมิเตอร์รุ่น YX-360TRE-B

2.1.3 การใช้มัลติมิเตอร์

1. การใช้มัลติมิเตอร์วัดแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง (DC Voltage)



รูปที่ 2.4 ย่านวัด DCV ของมัลติมิเตอร์ยี่ห้อ YX-360TRE-B

ลำดับขั้นตอนการใช้ดีซีโวลต์มิเตอร์



รูปที่ 2.5 ตัวอย่างการวัดแรงดันไฟฟ้าของแบตเตอรี่ด้วยมัลติมิเตอร์



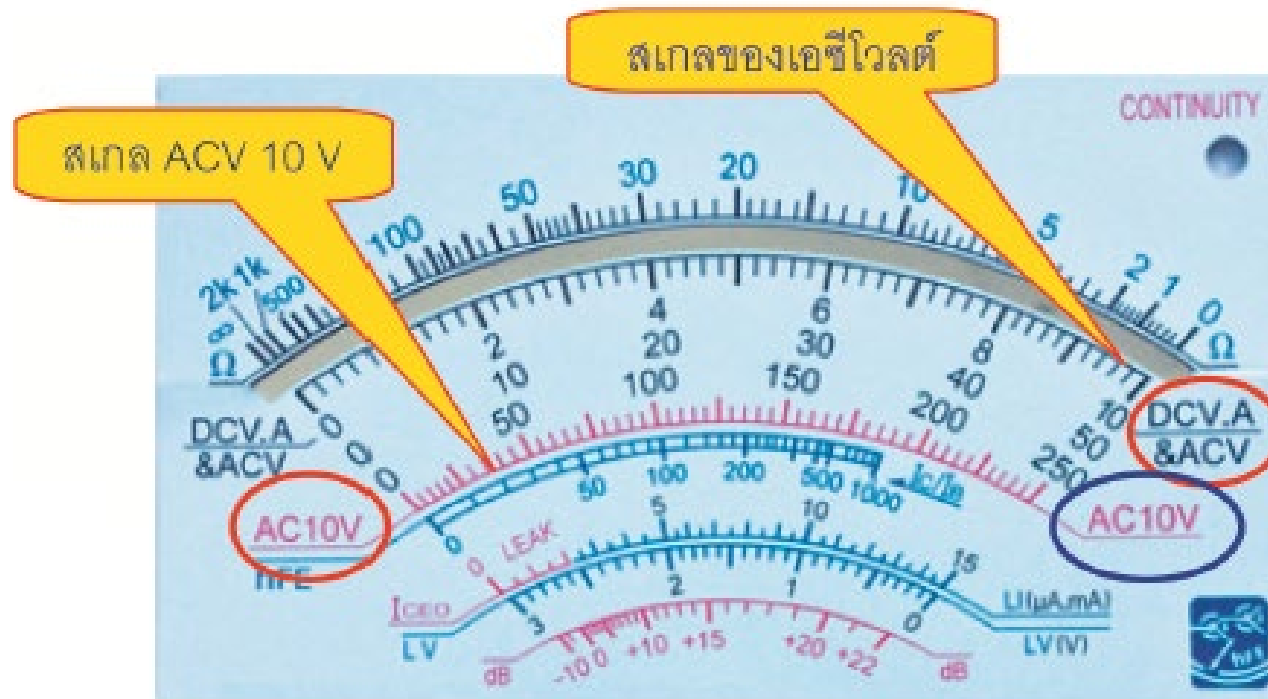
รูปที่ 2.6 สเกลของดีซีโวลต์มิเตอร์ของมัลติมิเตอร์

2. การใช้มัลติมิเตอร์วัดแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ



รูปที่ 2.7 ย่านวัด ACV ของมัลติมิเตอร์ยี่ห้อ YX-360TRE-B

2. การใช้มัลติมิเตอร์วัดแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ



รูปที่ 2.8 สเกลของเอซีโวลต์มิเตอร์ของมัลติมิเตอร์

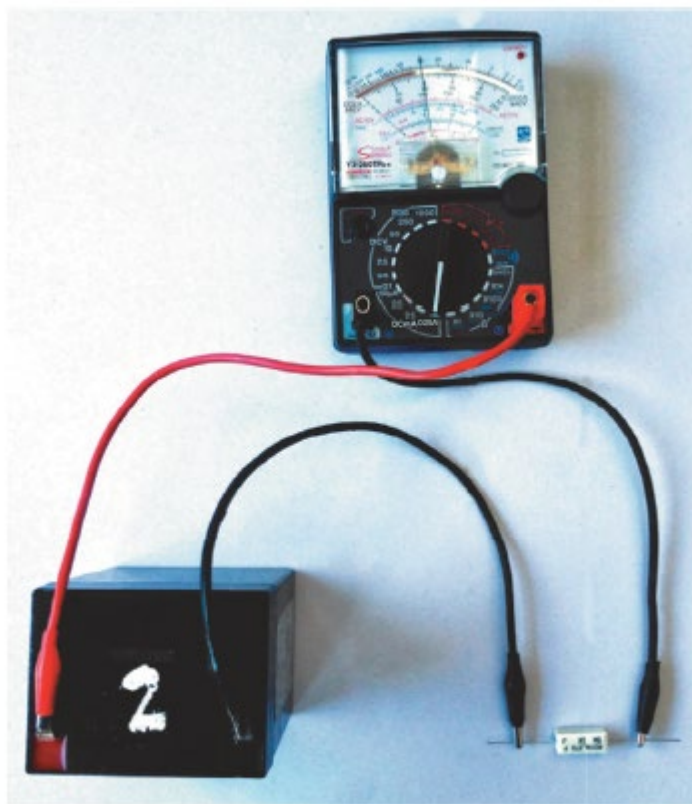
ลำดับขั้นตอนการใช้เอซีโวลต์มิเตอร์

3. การใช้มัลติมิเตอร์วัดกระแสไฟฟ้ากระแสตรง



รูปที่ 2.9 ย่านวัด DCmA ของมัลติมิเตอร์ยี่ห้อ YX-360TRE-B

ลำดับชั้นการใช้ที่ดินมิลลิแอมมิเตอร์



รูปที่ 2.11 สเกลของ DCA ของมัลติมิเตอร์

4. การใช้มัลติมิเตอร์วัดความต้านทาน โอห์มมิเตอร์



รูปที่ 2.12 ย่านวัดโอห์มของมัลติมิเตอร์ยี่ห้อ YX-360TRE-B

ลำดับขั้นตอนการใช้โอห์มมิเตอร์



รูปที่ 2.13 ตัวอย่างการวัดความต้านทานด้วยมัลติมิเตอร์



รูปที่ 2.14 สเกลในการอ่านค่าย่านวัดโอห์มของมัลติมิเตอร์



(ก) แคลมป์ออนมิเตอร์



(ข) เครื่องวัดความถี่



(ค) เครื่องวัดความเข้มของแสง



(ง) ดิจิตอลมัลติมิเตอร์



(จ) โหมดมิเตอร์



(ข) เครื่องวัดความเร็วรอบ



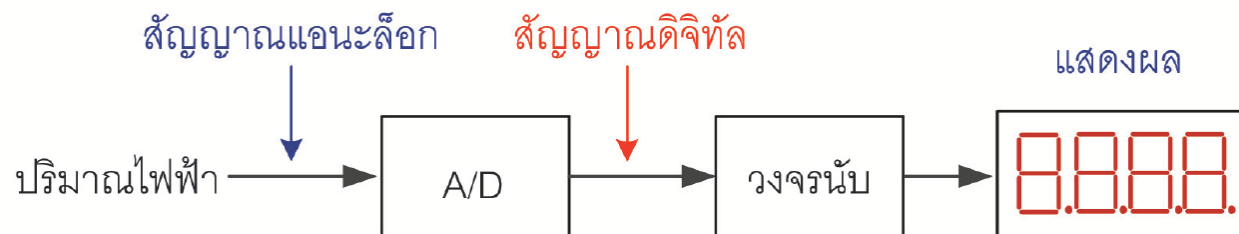
(ค) เครื่องวัดกำลังไฟฟ้า



(ง) เครื่องวัดปริมาณลม

รูปที่ 2.15 ตัวอย่างดิจิทัลมิเตอร์

2.2.1 หลักการทำงานเบื้องต้นของดิจิทัลมิเตอร์



รูปที่ 2.16 บล็อกไดอะแกรมเบื้องต้นของดิจิทัลมิเตอร์

2.2.2 ดิจิทัลมัลติมิเตอร์

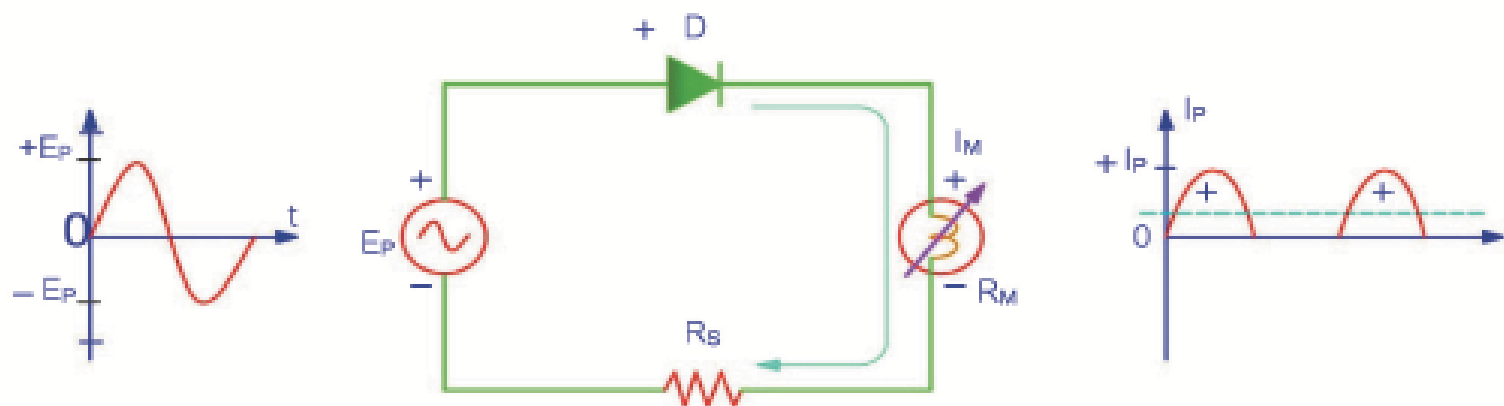


รูปที่ 2.17 ดิจิทัลมัลติมิเตอร์ ยี่ห้อ EDISON รุ่น DAM 982

หน่วยที่ 3

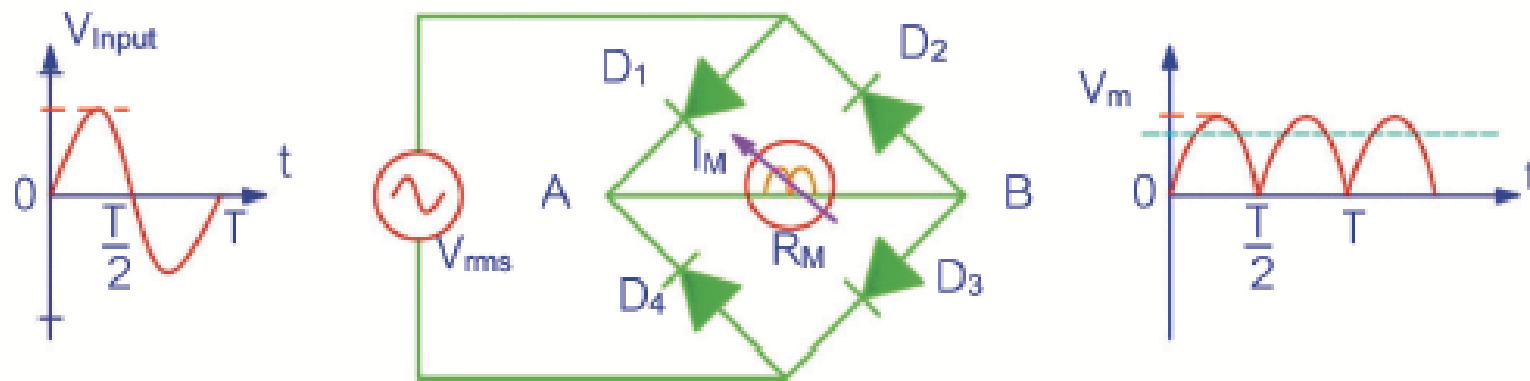
เครื่องวัดไฟฟ้ากระแสสลับ

3.1.1 เครื่องวัดแบบเรียงกระแสครึ่งรูปคลื่น (Half-Wave Rectifier)

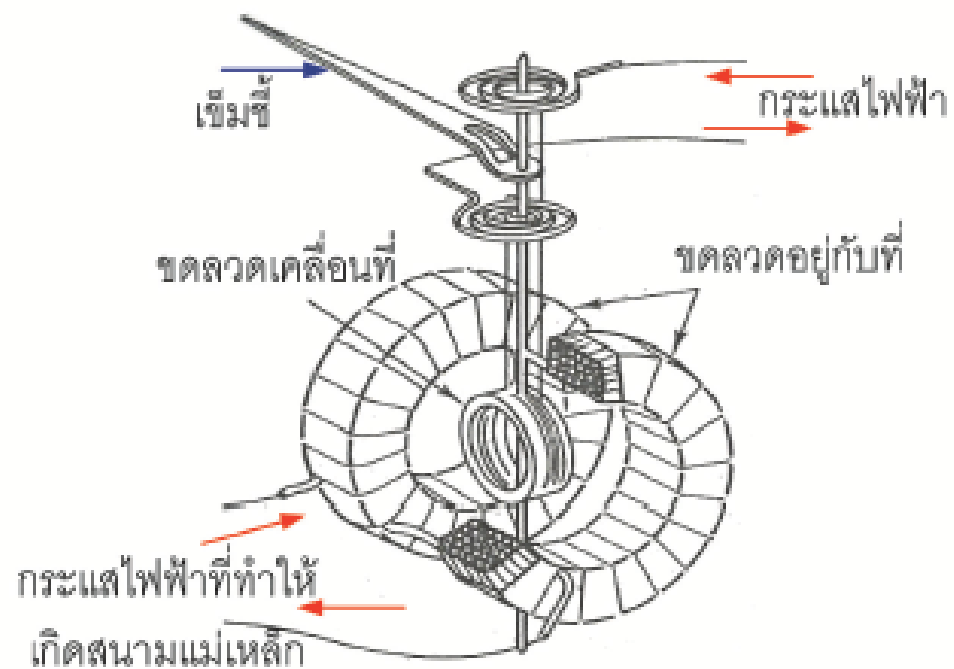


รูปที่ 3.1 เครื่องวัดแบบการเรียงกระแสไฟฟ้าครึ่งรูปคลื่น

3.1.2 เครื่องวัดแบบเรียงกระแสเต็มรูปคลื่น (Full-Wave Rectifier)

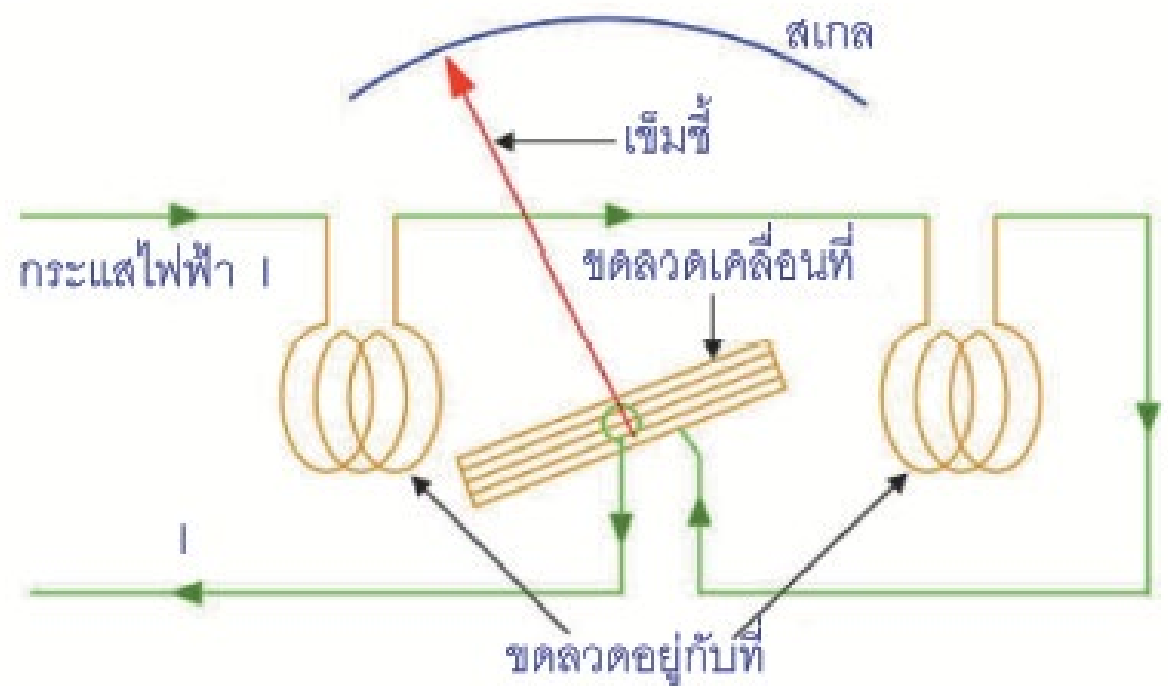


รูปที่ 3.2 เครื่องวัดแบบการเรียงกระแสเต็มรูปคลื่น



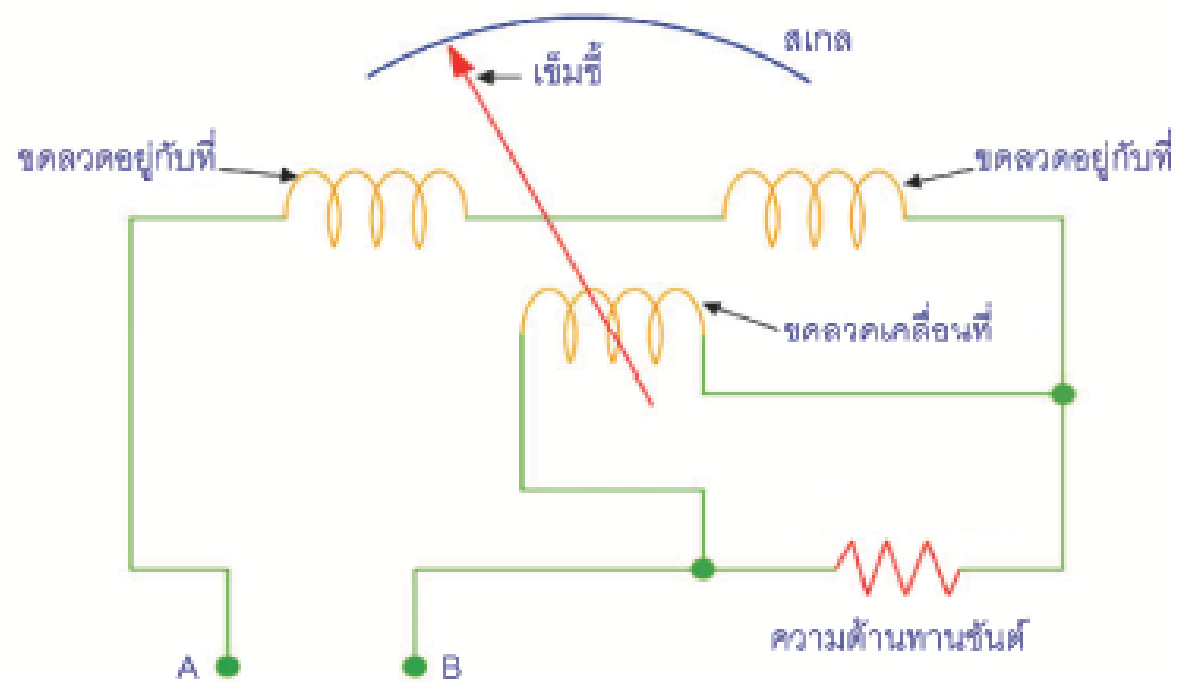
รูปที่ 3.3 โครงสร้างของเครื่องวัดไฟฟ้าแบบอิเล็กทรอนิกส์ไดนาโมมิเตอร์

3.2.1 หลักการทำงาน

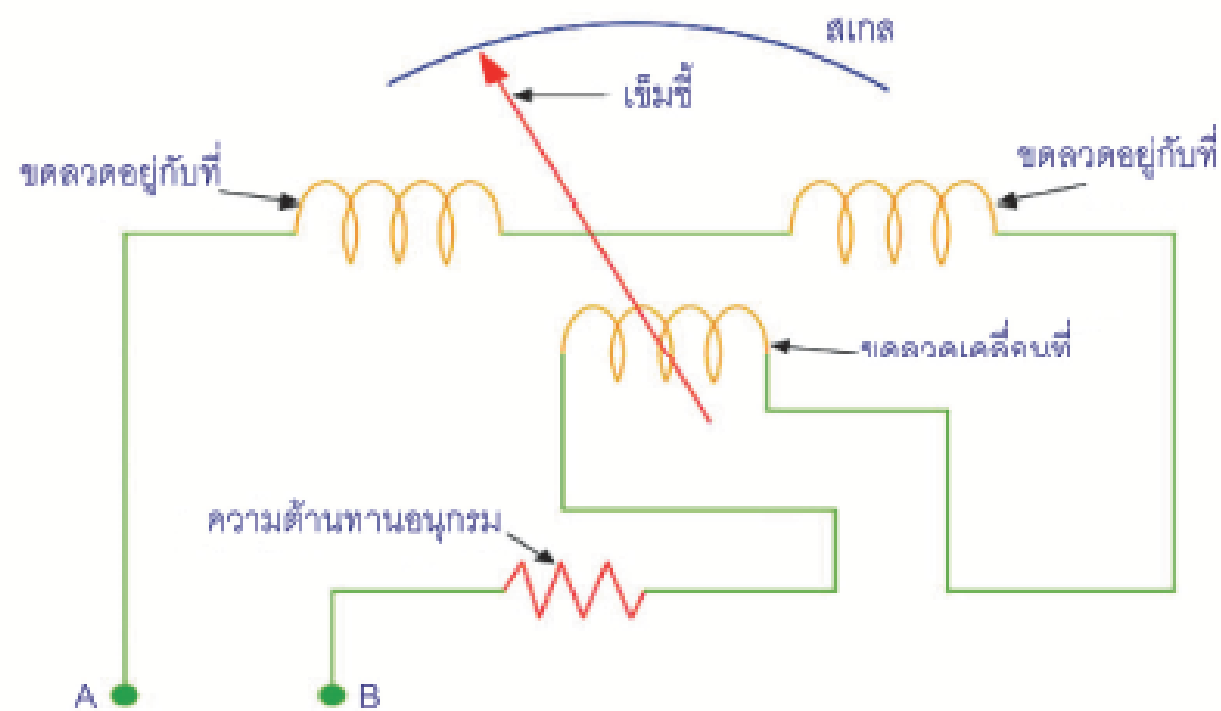


รูปที่ 3.4 การทำงานของเครื่องวัดไฟฟ้าแบบอิเล็กทรอนิกส์ไดนาโมมิเตอร์

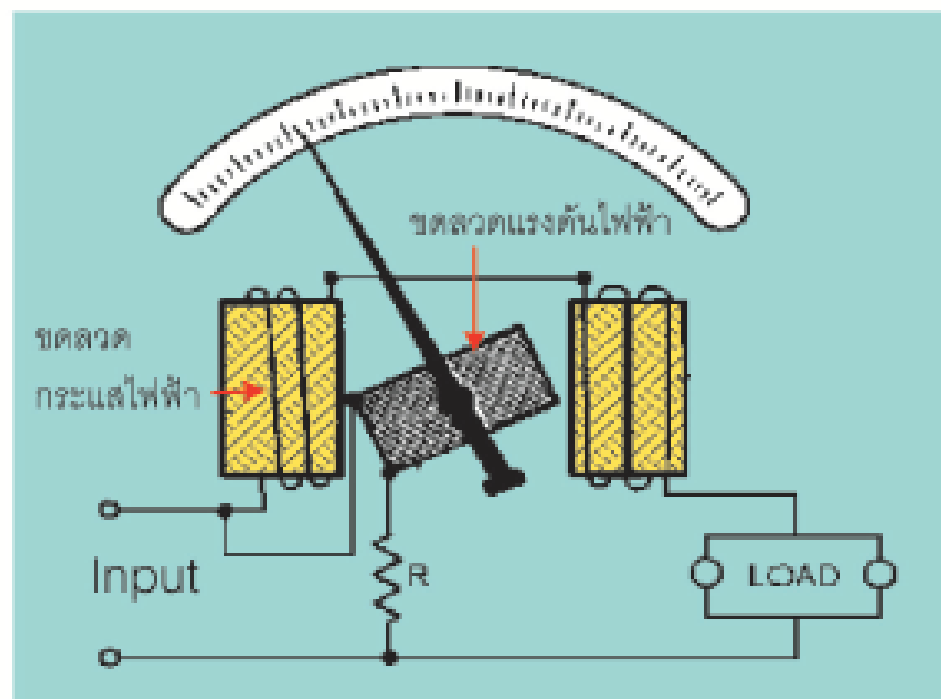
3.2.2 การนำไปใช้งาน



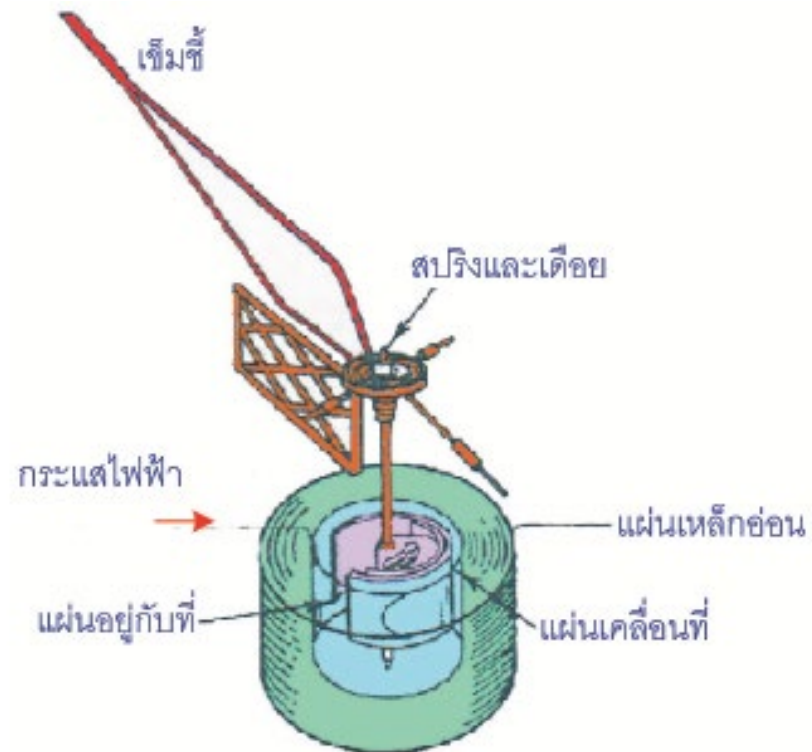
รูปที่ 3.5 โครงสร้างแอมมิเตอร์แบบอิเล็กทรอนิกส์ไดนาโมมิเตอร์



รูปที่ 3.6 โครงสร้างโวลต์มิเตอร์แบบอิเล็กทรอนิกส์โคไนาโมมิเตอร์

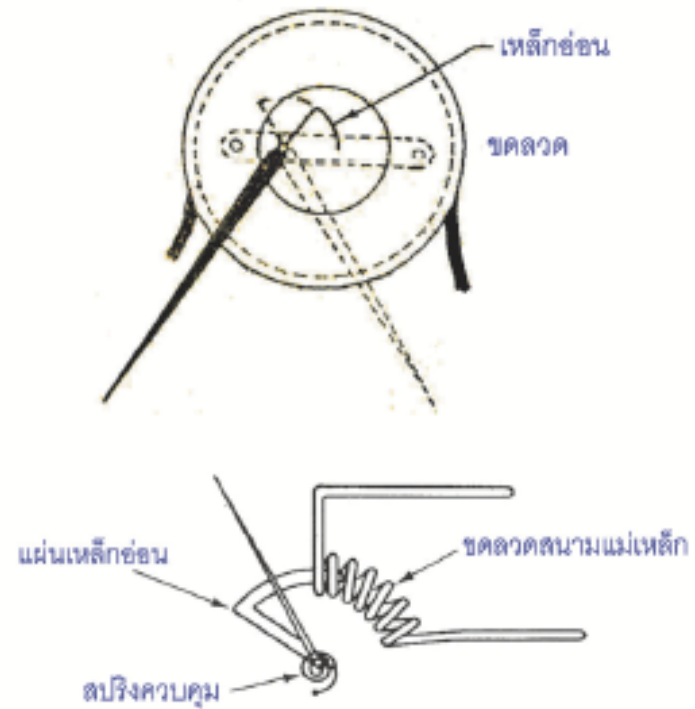


รูปที่ 3.7 โครงสร้างวัตต์มิเตอร์แบบอิเล็กทรอนิกส์ไดนาโมมิเตอร์



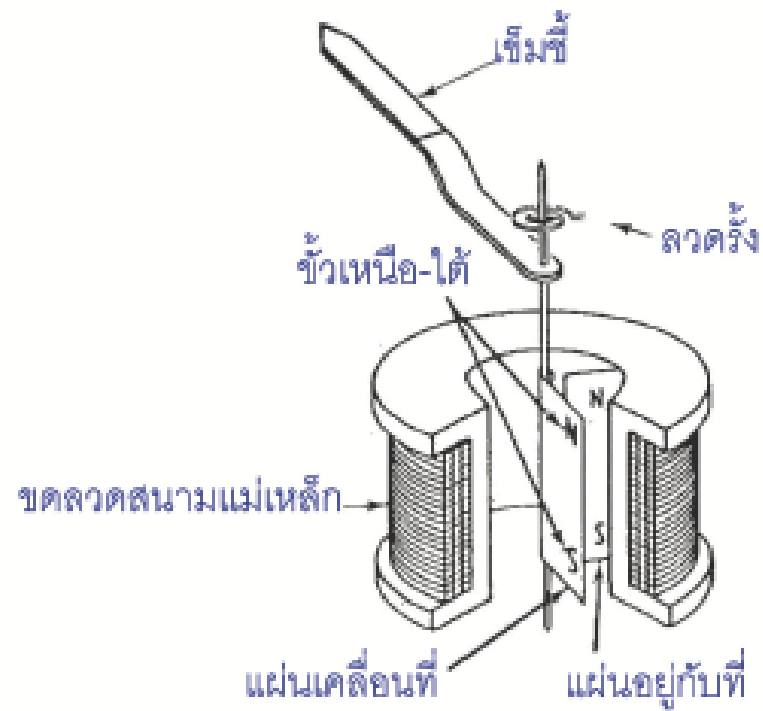
รูปที่ 3.8 โครงสร้างของเครื่องวัดแบบแผ่นเหล็กเคลื่อนที่

3.3.1 แบบแรงดูด



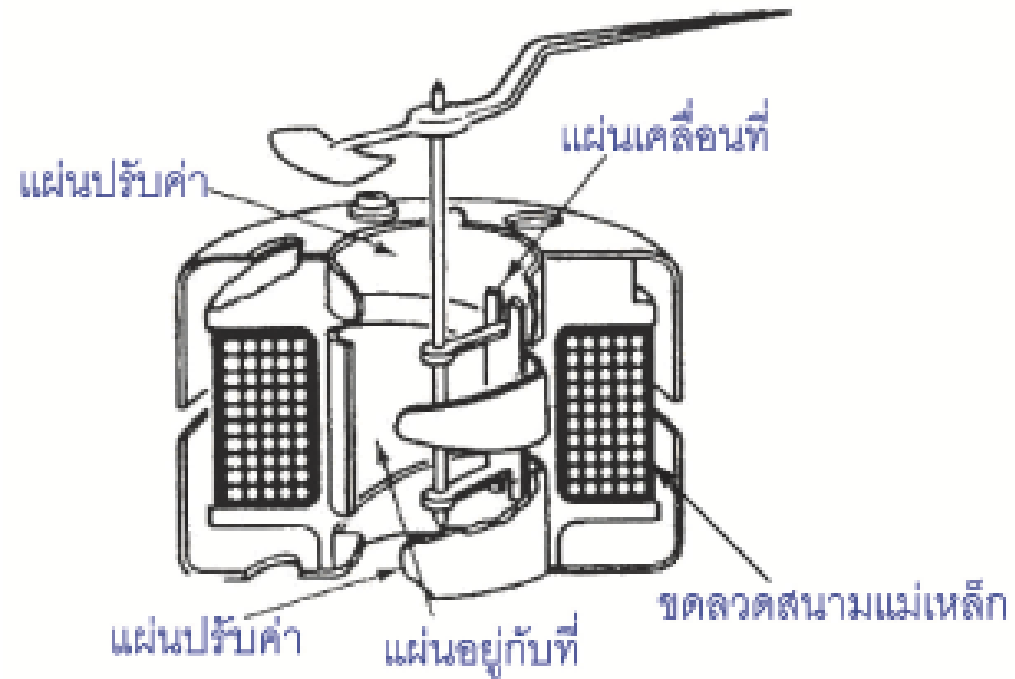
รูปที่ 3.9 โครงสร้างเครื่องวัดแบบแผ่นเหล็กเคลื่อนที่ชนิดแรงดูด

3.3.2 แบบแรงผลัก



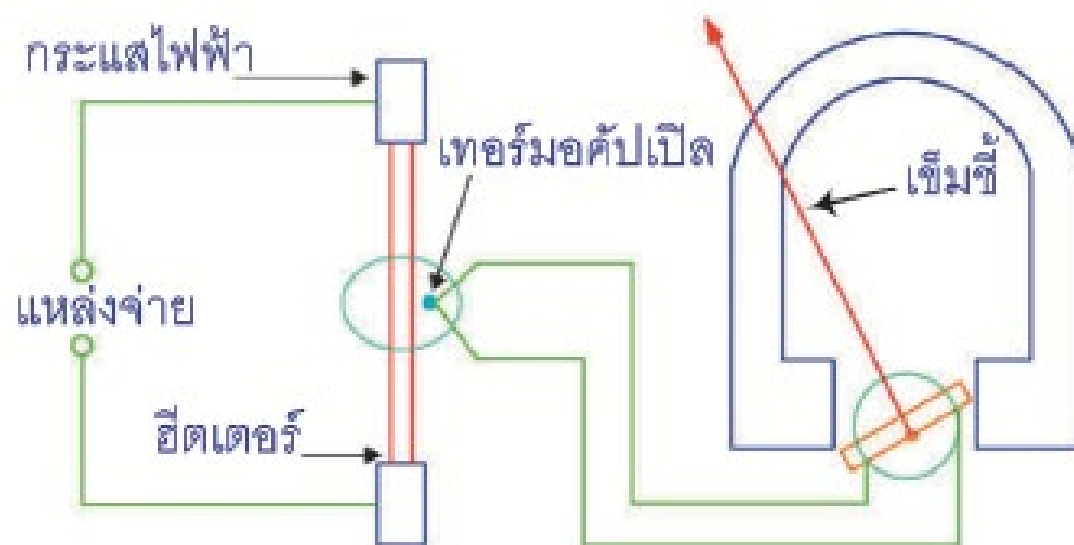
รูปที่ 3.10 โครงสร้างเครื่องวัดแบบแผ่นเหล็กเคลื่อนที่ชนิดผลัก

3.3.3 แบบแรงดูดและผลักร่วมกัน



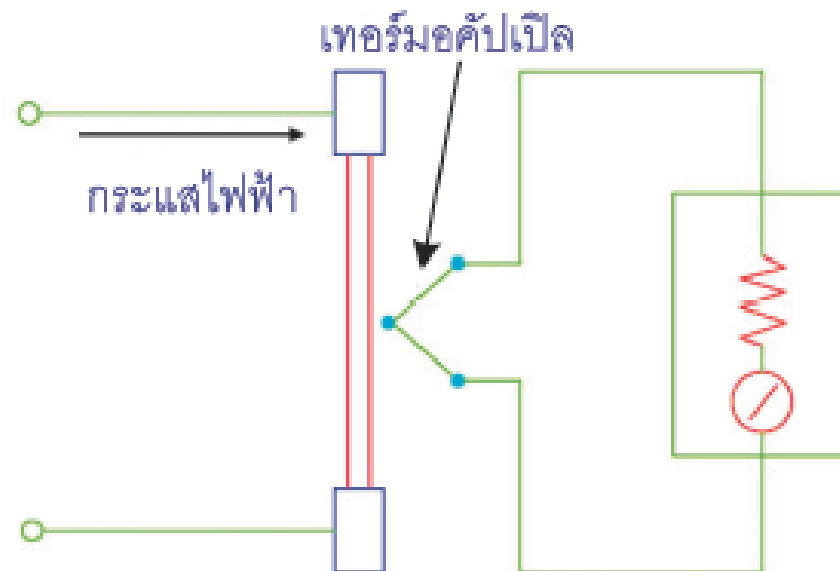
รูปที่ 3.11 เครื่องวัดแบบแรงดูดและผลักร่วมกัน

3.4.1 โครงสร้างและหลักการทำงาน



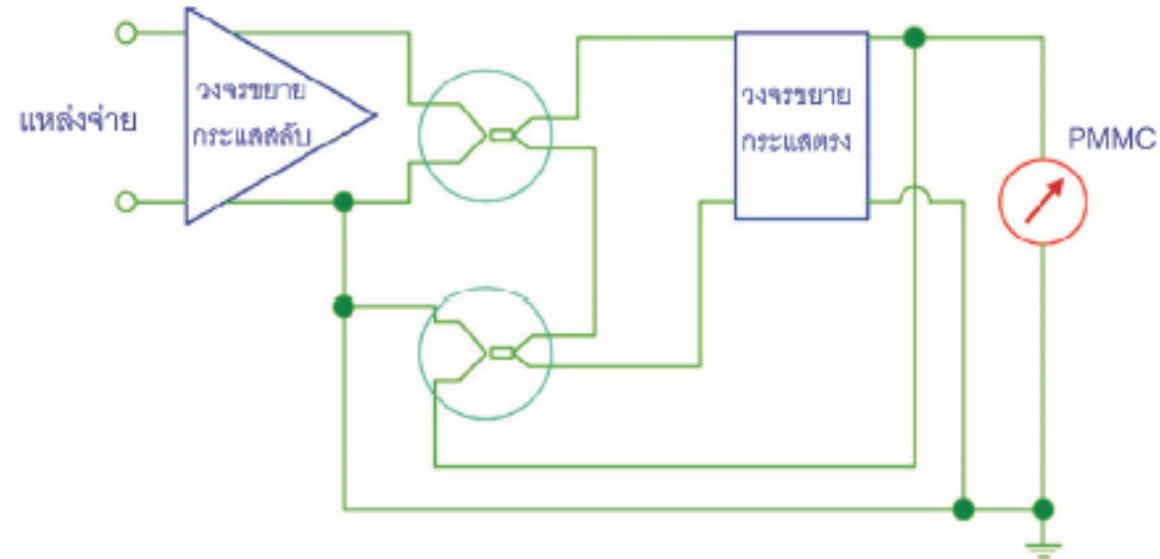
รูปที่ 3.12 โครงสร้างเครื่องวัดแบบเทอร์มอคัปเปิล

3.4.2 การนำไปใช้งาน



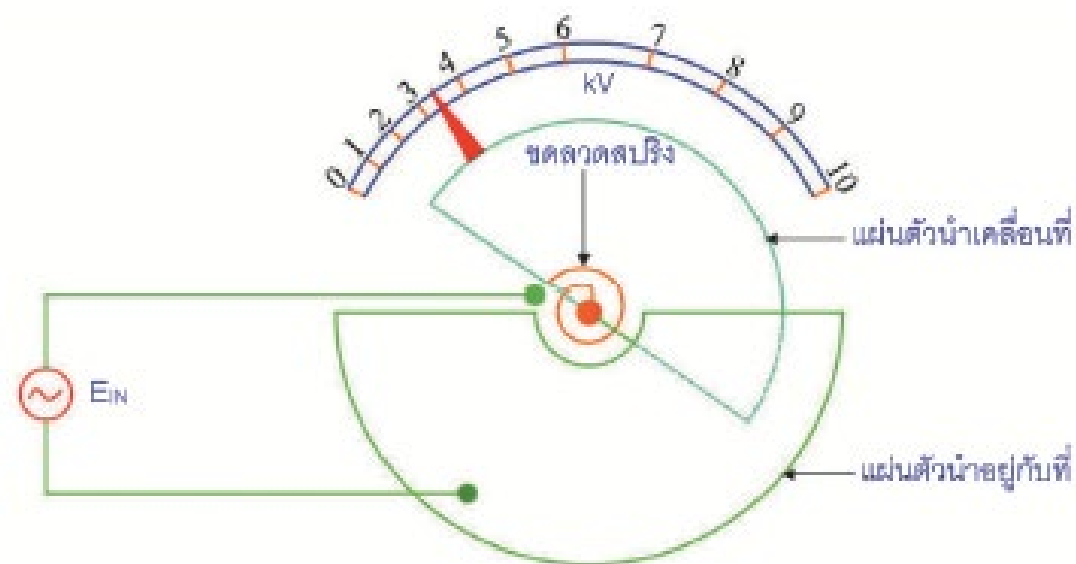
รูปที่ 3.13 ตัวอย่างเครื่องวัดกระแสไฟฟ้าแบบเทอร์มอคัปเปิล

2. การนำไปใช้เป็นโวลต์มิเตอร์ ดังรูปที่ 3.14



รูปที่ 3.14 ตัวอย่างโวลต์มิเตอร์แบบเทอร์มอคัปเปิล

3.5.1 โครงสร้าง



รูปที่ 3.15 โครงสร้างเครื่องวัดแบบไฟฟ้าสถิต

3.5.2 หลักการทำงาน

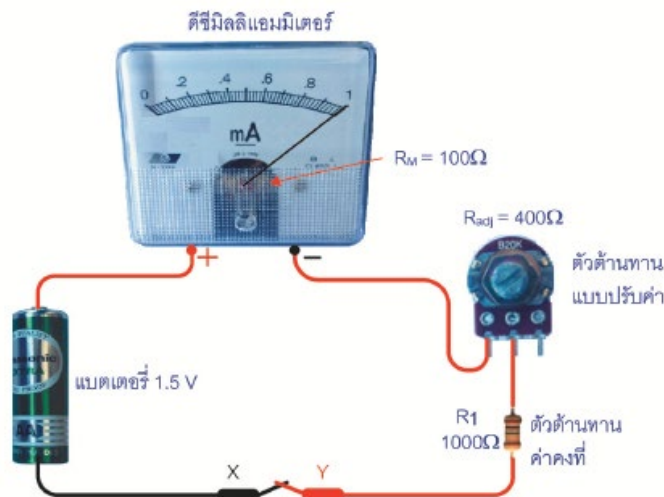
หลักการทำงานของเครื่องวัดแบบไฟฟ้าสถิตมีดังนี้ เมื่อจ่ายไฟฟ้ากระแสลับเข้าที่อินพุตของแผ่นตัวนำทั้งสองชุด จะทำให้แผ่นตัวนำทั้งสองมีขั้วที่แตกต่างกันเป็นผลให้เกิดแรงบิดที่แผ่นตัวนำทั้งสองชุด ส่งผลให้แผ่นตัวนำเคลื่อนที่ไปเข็มชี้ที่ติดกับแผ่นตัวนำให้เกิดการบ่ายเบน เข็มชี้จะหยุดนิ่งเมื่อแรงบิดของแผ่นตัวนำเคลื่อนที่ และแผ่นตัวนำอยู่กับที่มีแรงบิดที่สปริงเกิดการสมดุลกัน

หน่วยที่ 4

เครื่องวัดความต้านทาน

4.1.1 โครงสร้างของโอห์มมิเตอร์

โอห์มมิเตอร์ (Ohmmeter) ออกแบบโดยการดัดแปลงจากแอมมิเตอร์ ให้สามารถวัดค่าและแสดงค่าออกมาเป็นค่าความต้านทานได้โดยตรง เพราะคุณสมบัติของค่าความต้านทาน จะต้านการไหลของกระแสไฟฟ้าในวงจร



รูปที่ 4.2 วงจรเบื้องต้นของโอห์มมิเตอร์

$$I = \frac{E}{R}$$

$$I_M = \frac{E}{R_M + R_1}$$

เมื่อ

$$I_M = ?$$

$$E = 1.5 \text{ V}$$

$$R_M = 100 \, \Omega$$

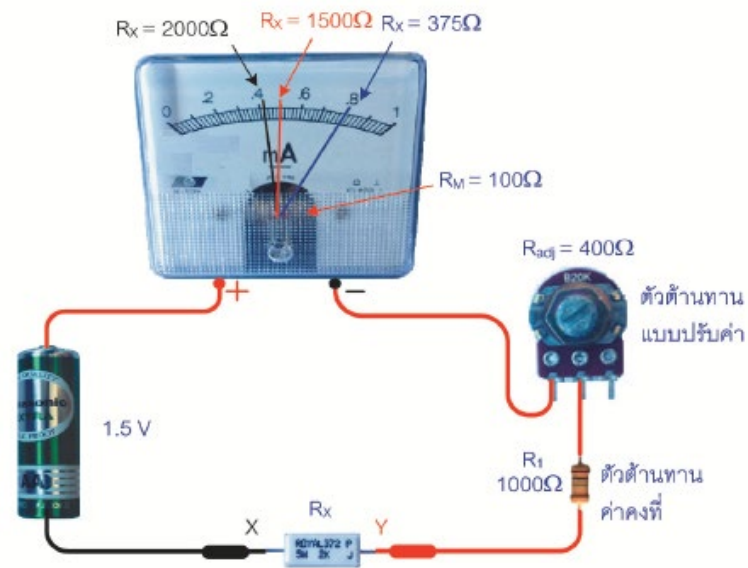
$$R_{\text{adj}} + R_1 = 1,400 \, \Omega$$

แทนค่า

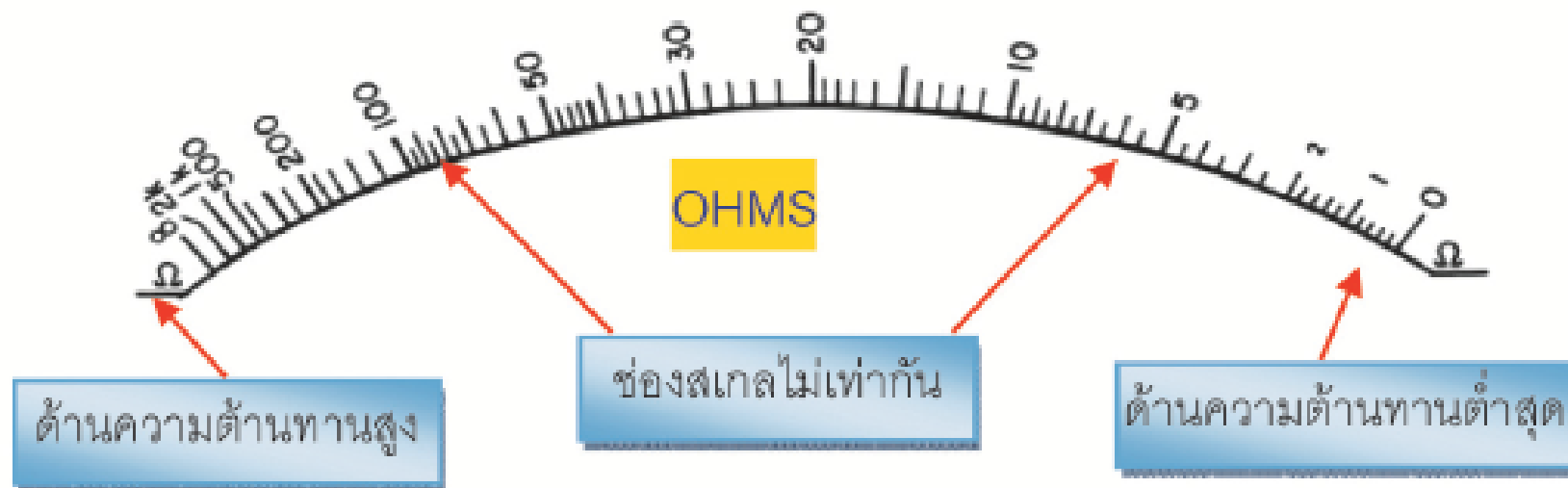
$$I_M = \frac{1.5 \text{ V}}{100 \, \Omega + 1400 \, \Omega} = 1 \text{ mA}$$

4.1.2 สเกลของโอห์มมิเตอร์

โอห์มมิเตอร์ถูกสร้างมาจากแอมมิเตอร์โดยอาศัยสภาวะการจำกัดกระแสไฟฟ้าของตัวต้านทานให้ไหลผ่านแอมมิเตอร์แตกต่างกันไป ดังนั้นการปรับแต่งสเกลของโอห์มมิเตอร์ทำได้โดยกำหนดค่าความต้านทานของตัวต้านทานหลาย ๆ ค่าจากค่าน้อยไปหาค่ามากตามลำดับ



รูปที่ 4.3 โอห์มมิเตอร์ต่อเพิ่มตัวต้านทาน R_x เพื่อปรับเปลี่ยนสเกล



รูปที่ 4.4 สเกลหน้าปัดของโอห์มมิเตอร์

4.1.3 การใช้งานโอห์มมิเตอร์

โอห์มมิเตอร์ที่ถูกสร้างขึ้นมาใช้งานจริงนั้นจะมีย่านวัดค่าความต้านทานหลายย่านวัดตั้งแต่ วัดค่าความต้านทานต่ำ ๆ เป็นโอห์ม (Ω) ไปจนถึงวัดค่าความต้านทานสูง ๆ เป็นเมกโอห์ม (M Ω) โดยมีสเกลค่าความต้านทานที่วัดได้เพียงสเกลเดียว ค่าที่อ่านได้จะเป็นค่าที่ถูกต้องเป็นค่าความต้านทานจริง การอ่านค่าจะต้องปฏิบัติ 2 ประการ คือ ประการแรกอ่านค่าความต้านทานบนสเกลที่ ตำแหน่งเข็มชี้ชี้ค่าออกมาประการที่สองดูย่านหน้าปัดที่ตั้งไว้นำมาคูณกับค่าความต้านทานที่อ่านได้ แสดงดังรูปที่ 4.5



รูปที่ 4.5 ตัวอย่างโอห์มมิเตอร์

4.1.4 วิธีอ่านค่าความต้านทาน

โดยทั่วไปโอห์มมิเตอร์มีสเกลเพียงสเกลเดียว แต่มีหลายย่านวัด เช่น ย่านวัด $\times 1$, $\times 10$, $\times 100$, $\times 1k$ และ $\times 10k$ เป็นต้น การอ่านค่าจึงไม่ยุ่งยาก คืออ่านค่าบนสเกลที่เข็มชี้ค่า แล้วนำค่าที่อ่านได้ คูณกับย่านวัดที่ตั้งไว้ จะได้ค่าความต้านทานที่วัดออกมา



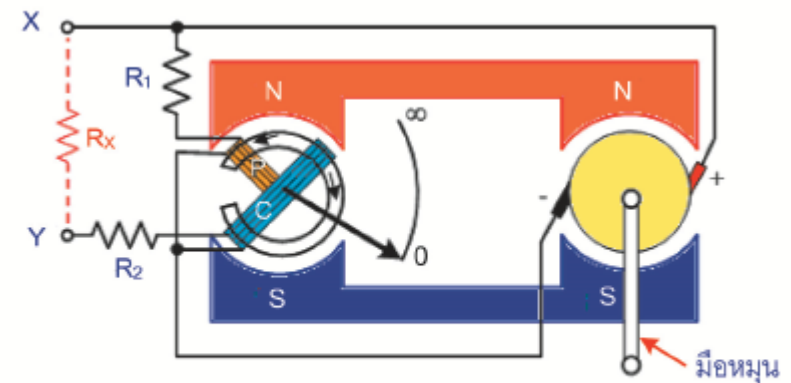
(ก) การปรับแต่งโอห์มมิเตอร์ก่อนการใช้งาน (ข) การใช้โอห์มมิเตอร์วัดค่าความต้านทาน

รูปที่ 4.6 การใช้โอห์มมิเตอร์

เมกโอห์มมิเตอร์ (Meg-ohmmeter) เป็นโอห์มมิเตอร์อีกชนิดหนึ่งที่ใช้วัดค่าความต้านทานของอุปกรณ์ต่าง ๆ ที่มีค่าความต้านทานสูง ๆ เป็นเมกโอห์มขึ้นไป หรือไว้สำหรับวัดความเป็นฉนวนไฟฟ้าที่นำมาใช้งาน มักนิยมเรียกว่าเมกเกอร์ (Megger) เมกโอห์มมิเตอร์มีสเกลหน้าปัดบอกค่าสเกลไว้เป็นเมกโอห์ม ($M \Omega$) โดยตรง รูปร่างของเมกโอห์มมิเตอร์แสดงดังรูปที่ 4.9



รูปที่ 4.9 ตัวอย่างเมกโอห์มมิเตอร์



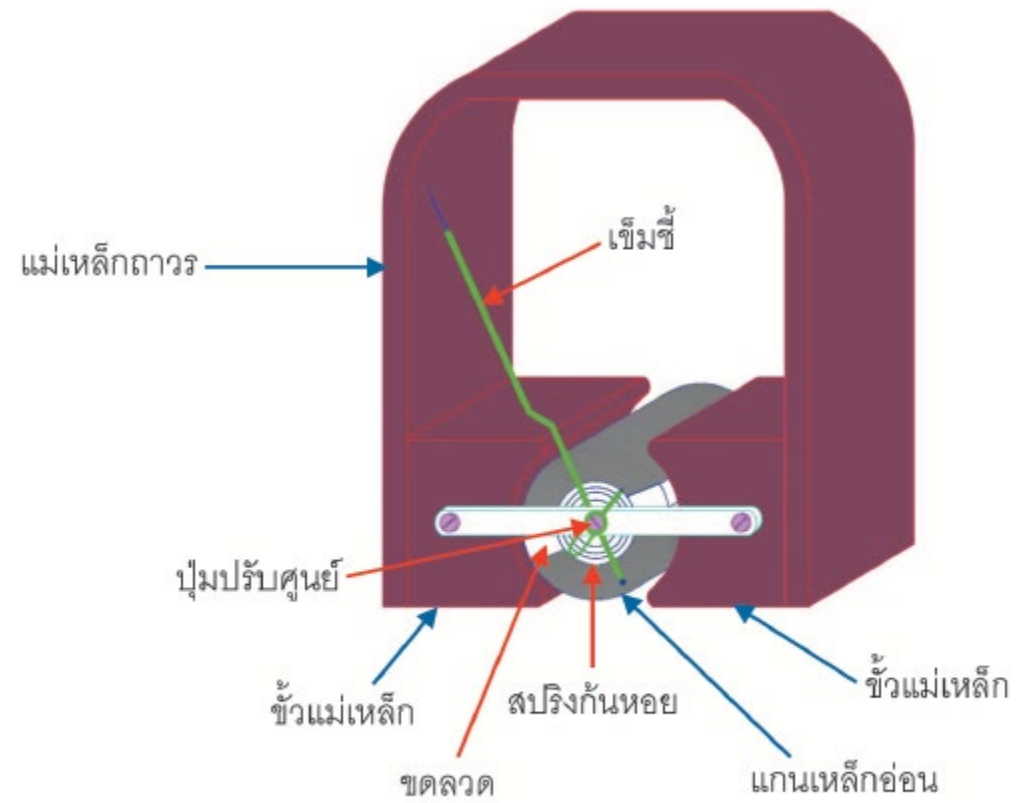
รูปที่ 4.10 โครงสร้างภายในเมกโอห์มมิเตอร์

หน่วยที่ 5

เครื่องวัดไฟฟ้ากระแสตรง

5.1.1 พื้นฐานขดลวดเคลื่อนที่แบบดาร์สแนวล

1. ขั้วแม่เหล็ก (Pole Shoe) เป็นขั้วเหนือและขั้วใต้ของแม่เหล็กถาวรรูปเกือกม้า
2. ขดลวดเคลื่อนที่ ประกอบด้วย
 - (1) ขดลวด (Coil) เป็นลวดทองแดงน้ำหนักเบา
 - (2) แกนขดลวด (Core) เป็นจานอะลูมิเนียม
 - (3) สปริงก้นหอย (Spiral Spring)
 - (4) แกน (Pivotor Shaft)
 - (5) เข็มชี้ (Pointer)
 - (6) หน้าปัด (Scale)
 - (7) ปุ่มปรับศูนย์ (Zero Position Control)
 - (8) น้ำหนักถ่วง (Counter Weight)

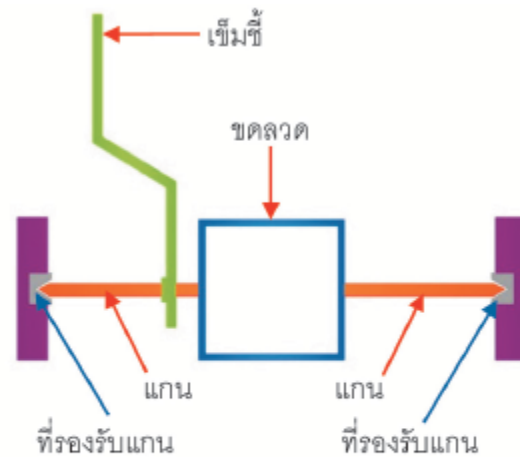


รูปที่ 5.1 โครงสร้างของขดลวดเคลื่อนที่แบบคาร์สันวาล

5.1.2 ที่รองรับแกน

ที่รองรับแกน (Jewel Bearing) ของขดลวดเคลื่อนที่จะต้องไม่มีแรงเสียดทานกับ
ปลายแกนของขดลวด มี 2 แบบ คือ

1. ที่รองรับแกนแบบตัววี



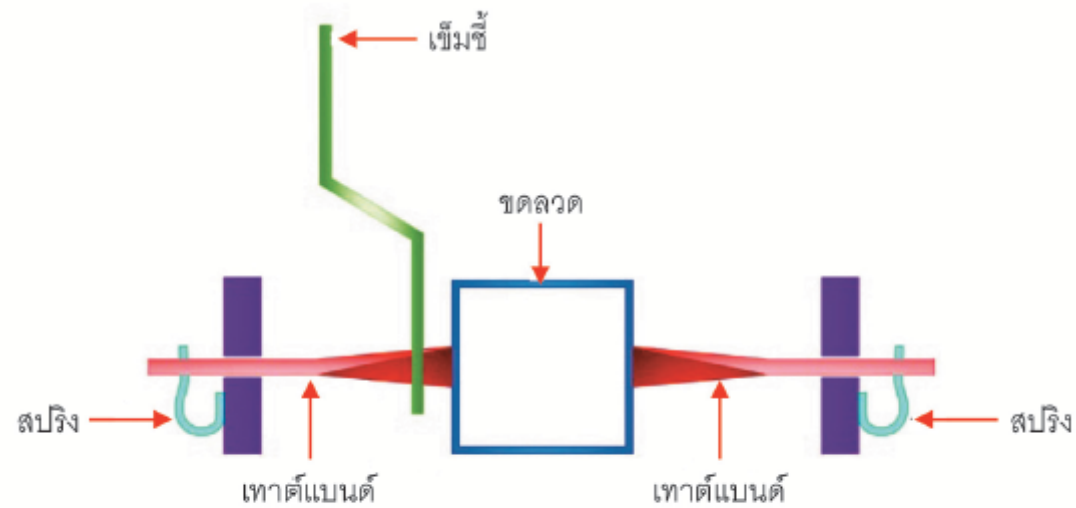
(ก) ที่รองรับแกนแบบตัววี



(ข) ที่รองรับแกนแบบมีสปริงรองด้านหลัง

รูปที่ 5.2 ที่รองรับแกนแบบตัววี

2. ที่รองรับแกนแบบห้อยแขวนเทตแบนด์ (Taut Band Suspension)

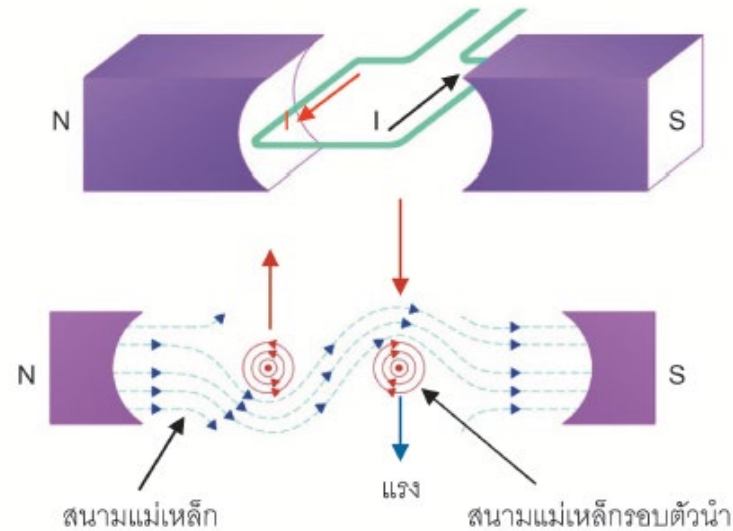


รูปที่ 5.3 ที่รองรับแกนแบบห้อยแขวนเทตแบนด์

5.1.3 แรงทางกลของเครื่องมือวัด

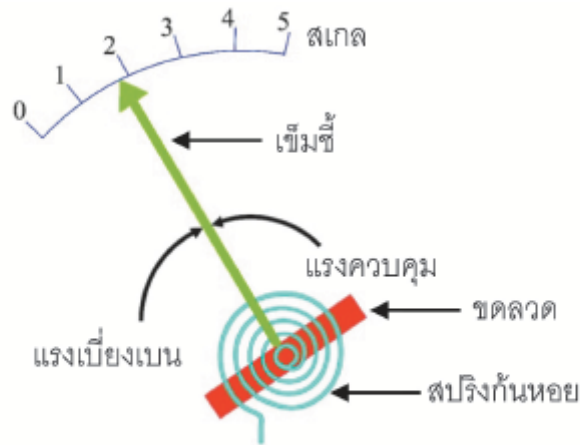
แรงทางกลของเครื่องมือวัด (Instrument Mechanical Force) เป็นแรงทางกลกระทำทำให้เข็มชี้และขดลวดเคลื่อนที่หมุนตามปริมาณกระแสไฟฟ้าที่จ่ายให้ขดลวดนั้น มีดังนี้

1. แรงเบี่ยงเบนหรือแรงขับ (Deflection or Operating Force) เป็นแรงที่ทำให้เข็มชี้เคลื่อนที่จากตำแหน่งศูนย์ของสเกล



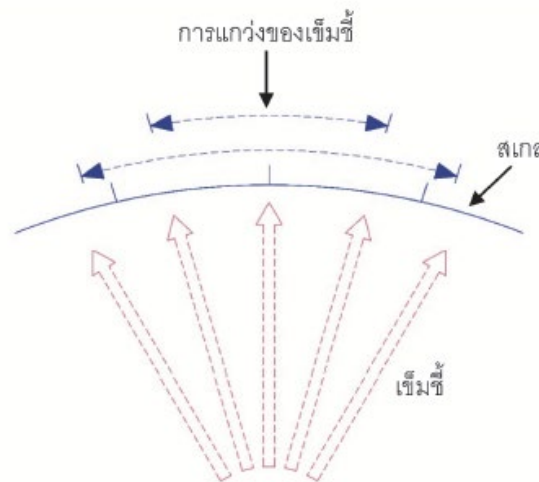
รูปที่ 5.4 แรงเบี่ยงเบนที่เกิดในขดลวดเคลื่อนที่

2. แรงสปริงหรือแรงควบคุม (Springor Controlling Force) ที่เกิดจากสปริงกันหอยจะเป็นแรงต่อต้านแรงเบี่ยงเบนและมีหน้าที่ดึงเข็มชี้กลับคืนตำแหน่งศูนย์ของสเกลเมื่อไม่มีกระแสไฟฟ้าป้อนให้ขดลวด ขณะมีกระแสไฟฟ้าป้อนให้ขดลวดเคลื่อนที่จะทำให้เข็มชี้หมุนไปพร้อมกันโดยจะหยุดหมุนเมื่อแรงเบี่ยงเบนเท่ากับแรงควบคุม ดังรูปที่ 5.5

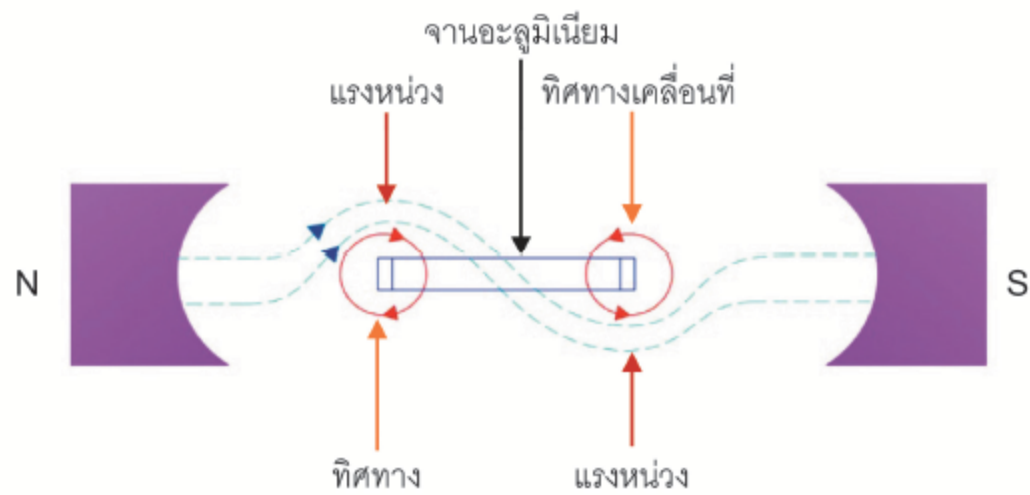


รูปที่ 5.5 แรงควบคุมสมดุลกับแรงเบี่ยงเบนทำให้เข็มชี้หยุดนิ่ง

3. แรงหน่วง (Damping Force) เมื่อขดลวดเคลื่อนที่หมุนและขณะกำลังจะหยุดนิ่งที่ค่าวัดได้บนสเกลนั้น เข็มชี้จะสั่นดังรูปที่ 5.6 ดังนั้นจึงต้องสร้างแรงหน่วงมาป้องกันการสั่นของเข็มชี้ด้วย กระแสไฟฟ้าไหลวน (Eddy Current) โดยการพันขดลวดบนจานอะลูมิเนียม เมื่อขดลวดเคลื่อนที่ตัดสนามแม่เหล็กของแม่เหล็กถาวรจะทำให้เกิดกระแสไฟฟ้าไหลวนในจานอะลูมิเนียมและจะเหนี่ยวนำให้เกิดสนามแม่เหล็กมีทิศทางตรงกันข้ามกับการหมุนของขดลวด

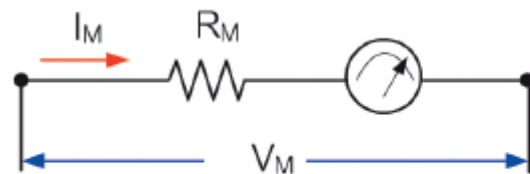


รูปที่ 5.6 การแกว่งหรือสั่นของเข็มชี้ก่อนจะหยุดนิ่ง

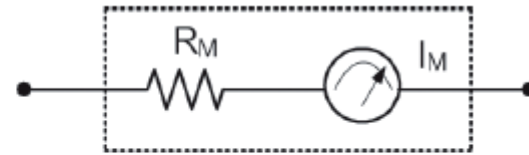


รูปที่ 5.7 แรงหน่วงที่เกิดจากการเหนี่ยวนำด้วยกระแสไฟฟ้าไหลวนในจันอะลูมิเนียม เพื่อหยุดการแกว่งของเข็มชี้

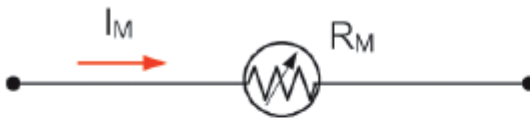
5.1.4 วงจรเทียบเท่าของเครื่องวัดแบบขดลวดเคลื่อนที่



(ก)



(ข)



(ค)



(ง)

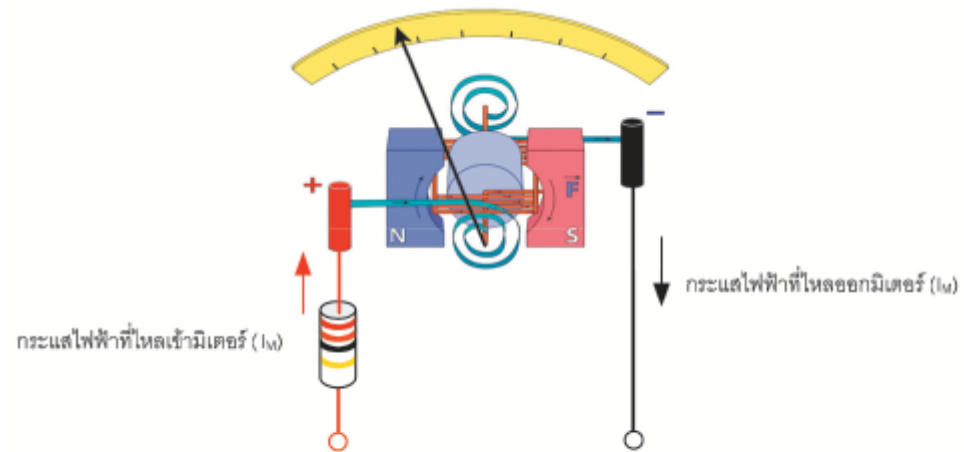
รูปที่ 5.8 วงจรเทียบเท่าของขดลวดเคลื่อนที่แบบดาร์สันวาล

ดาร์สันวาลมิเตอร์สามารถพัฒนาเป็นโวลต์มิเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงโดยอาศัยคุณสมบัติการจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงให้ไหลผ่านขดลวดเคลื่อนที่ของดาร์สันวาลมิเตอร์เหมือนกัน ปริมาณของแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงที่ป้อนให้ดาร์สันวาลมิเตอร์มีผลต่อกระแสไฟฟ้าที่เกิดขึ้น



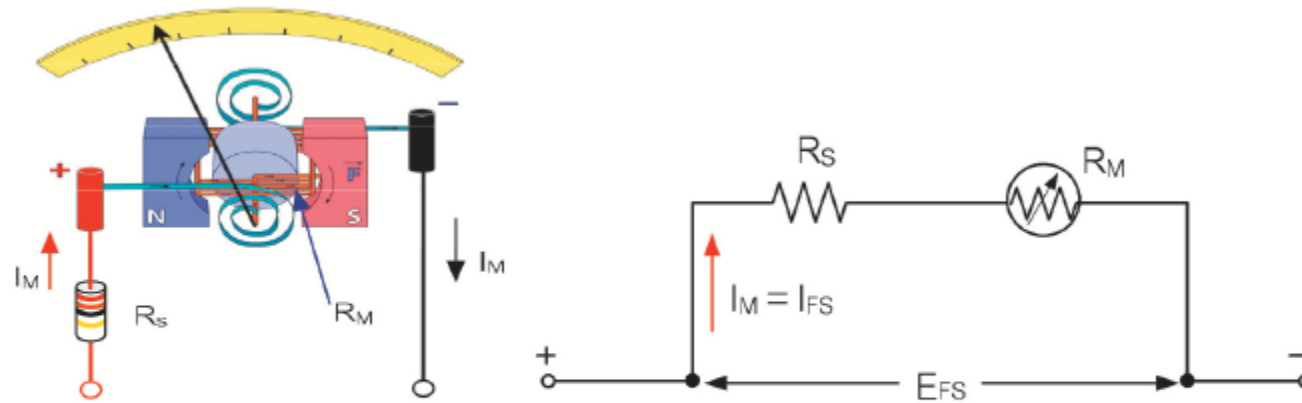
รูปที่ 5.9 ตัวอย่างโวลต์มิเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง

5.2.1 โครงสร้างโวลต์มิเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง



รูปที่ 5.10 รูปเสมือนโครงสร้างโวลต์มิเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง

5.2.2 การขยายย่านวัดโวลต์มิเตอร์



(ก) ภาพจำลองโวลต์มิเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง

(ข) วงจรเทียบเท่าโวลต์มิเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง

รูปที่ 5.11 วงจรโวลต์มิเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงเบื้องต้น

จากรูปที่ 5.11 เป็นวงจรดีซีโวลต์มิเตอร์เบื้องต้น มีตัวต้านทาน R_S ต่ออันดับกับดาร์สันวาลมิเตอร์ กระแสไฟฟ้าเต็มสเกลในวงจรต้องไม่เกินค่ากระแสไฟฟ้าเต็มสเกลเดิมของดาร์สันวาลมิเตอร์ อักษรย่อต่าง ๆ กำหนดไว้ดังนี้

R_M = ความต้านทานของขดลวดเคลื่อนที่หรือความต้านทานเดิมของมิเตอร์ หน่วย โอห์ม (Ω)

R_S = ความต้านทานอันดับเพื่อขยายย่านการวัดของโวลต์มิเตอร์ หน่วย โอห์ม (Ω)

$I_M = I_{FS}$ = กระแสไฟฟ้าเต็มสเกลที่ไหลผ่านมิเตอร์ หน่วย แอมแปร์ (A)

E_{FS} = แรงดันไฟฟ้ากระแสตรงเต็มสเกลครั้งใหม่ที่วัดได้ หน่วย โวลต์ (V)

การหาสมการของวงจรรูปที่ 5.12 หาได้โดยใช้กฎของโอห์ม

$$E_{FS} = I_{FS} (R_S + R_M) \quad \text{-----} (5.1)$$

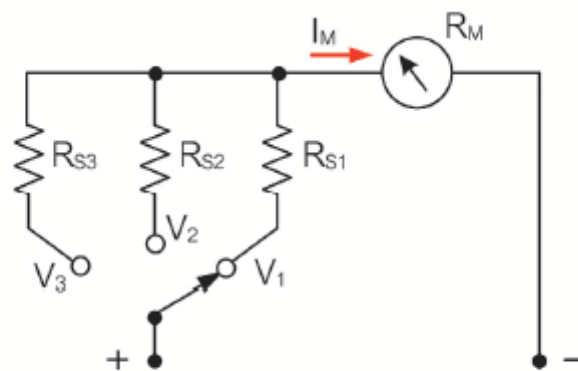
$$R_S + R_M = \frac{E_{FS}}{I_{FS}}$$

$$R_S = \frac{E_{FS}}{I_{FS}} - R_M \quad \text{-----} (5.2)$$

5.2.3 โวลต์มิเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบหลายย่านวัด

โวลต์มิเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบหลายย่านวัด (Multirange DC voltmeter) คือ การต่อตัวต้านทานหลาย ๆ ตัว อนุกรมกับมิเตอร์ วิธีการต่อแบ่งออกเป็น 2 แบบ คือ

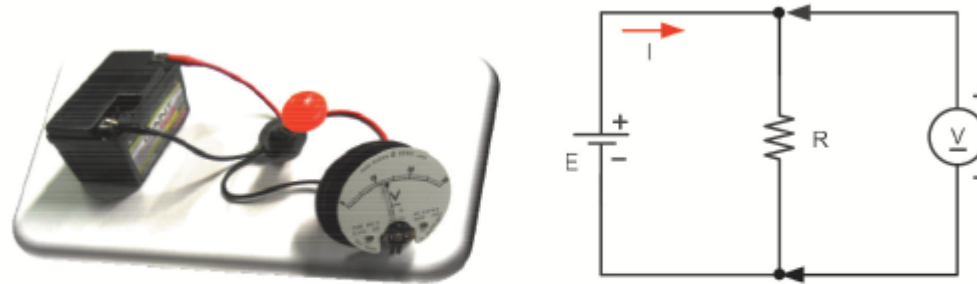
1. โวลต์มิเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบอินดิวิดวล (Individual Type DC Voltmeter)



รูปที่ 5.14 โวลต์มิเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงหลายย่านวัดแบบอินดิวิดวล

5.2.4 การต่อโวลต์มิเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง

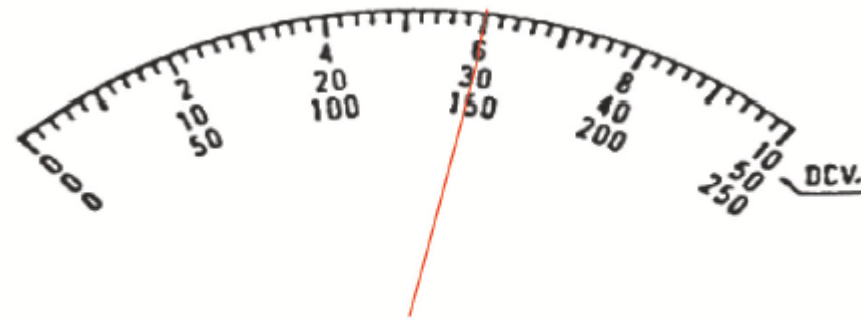
โวลต์มิเตอร์สร้างขึ้นมาเพื่อวัดค่าความต้านทานต่างศักย์ไฟฟ้าของแหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้า หรือวัดค่าแรงดันไฟฟ้าตกคร่อมระหว่างจุดสองจุดในวงจรในตำแหน่งที่ต้องการวัด (ต่อขนานกับจุดวัด)เสมอลักษณะการต่อแสดงดังรูปที่ 5.18



รูปที่ 5.18 การต่อโวลต์มิเตอร์วัดแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง

5.2.5 การอ่านสเกลของโวลต์มิเตอร์

โวลต์มิเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงที่ถูกสร้างขึ้นมาใช้งานมักจะมีย่านวัดค่าแรงดันเต็มสเกลหลายย่านและมีสเกลบอกค่าแรงดันไฟฟ้าหลายสเกลทั้งนี้เพื่อให้เกิดความสะดวกในการใช้งานดังนั้นการเปลี่ยนย่านวัดค่าควรเลือกใช้ให้เหมาะสม การอ่านสเกลก็ต้องอ่านให้ถูกต้องกับย่านวัดที่ตั้งวัดจึงจะได้ค่าแรงดันไฟฟ้าที่วัดได้มีค่าถูกต้อง



รูปที่ 5.19 ตำแหน่งที่เข็มชี้ของโวลต์มิเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง

แอมมิเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง (DC Ammeter) เป็นเครื่องวัดไฟฟ้ากระแสตรงที่ใช้วัดกระแสไฟฟ้าได้หลายค่า คือ วัดกระแสไฟฟ้าเป็นไมโครแอมแปร์ เรียกว่า ไมโครแอมมิเตอร์ (Microammeter) ใช้วัดกระแสไฟฟ้าเป็นมิลลิแอมแปร์ เรียกว่า มิลลิแอมมิเตอร์ (Milliammeter) และใช้วัดกระแสไฟฟ้าเป็นแอมแปร์ เรียกว่า แอมมิเตอร์ ตัวอย่างมิลลิแอมมิเตอร์และแอมมิเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง ดังรูปที่ 5.21

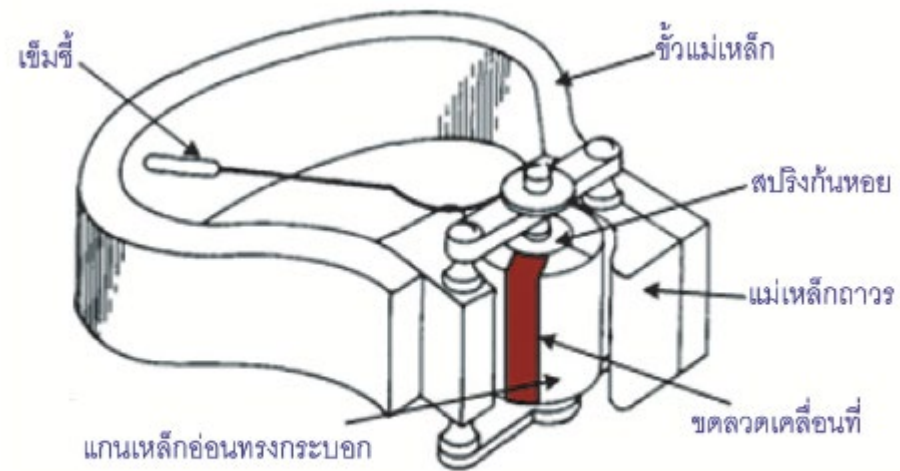


รูปที่ 5.21 ตัวอย่างมิลลิแอมมิเตอร์และแอมมิเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง

5.3.1 โครงสร้างของแอมมิเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง

โครงสร้างของแอมมิเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงประกอบด้วยส่วนสำคัญ 2 ส่วน คือ ขดลวดเคลื่อนที่แบบแม่เหล็กถาวรและตัวต้านทานชั้นต่ำ

1. ขดลวดเคลื่อนที่แบบแม่เหล็กถาวร



รูปที่ 5.22 โครงสร้างของคาร์สันวาลมิเตอร์

2. ตัวต้านทานชั้น



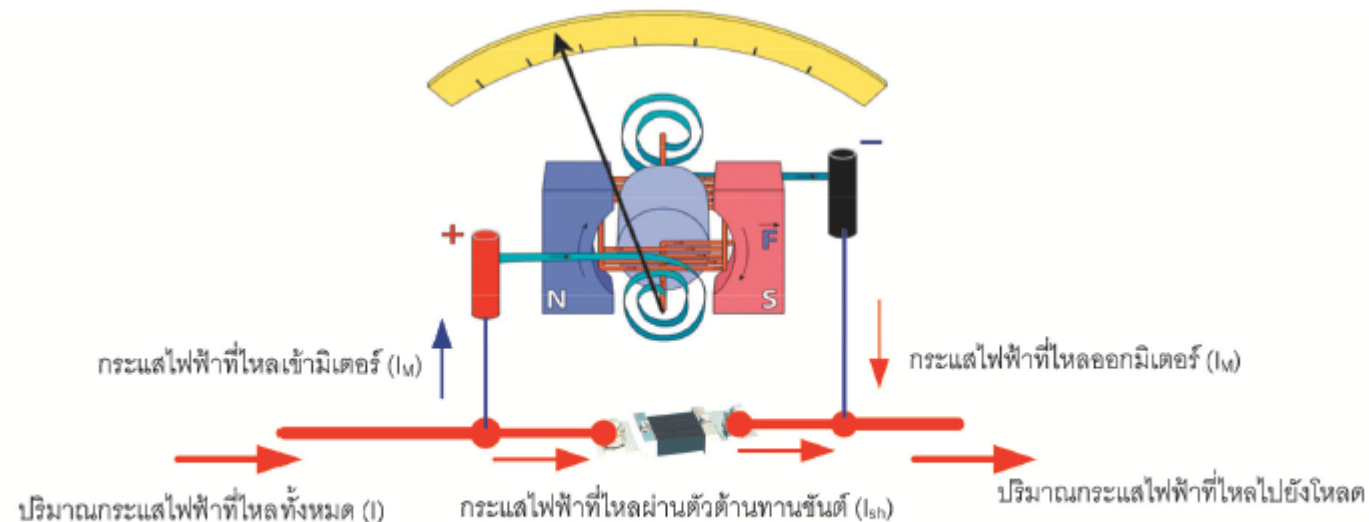
(ก) ความต้านทานชั้นสำหรับแอมมิเตอร์ 30 A (ข) ความต้านทานชั้นภายนอกสำหรับแอมมิเตอร์ 500 A

รูปที่ 5.23 ตัวต้านทานชั้นที่ใช้สำหรับแอมมิเตอร์

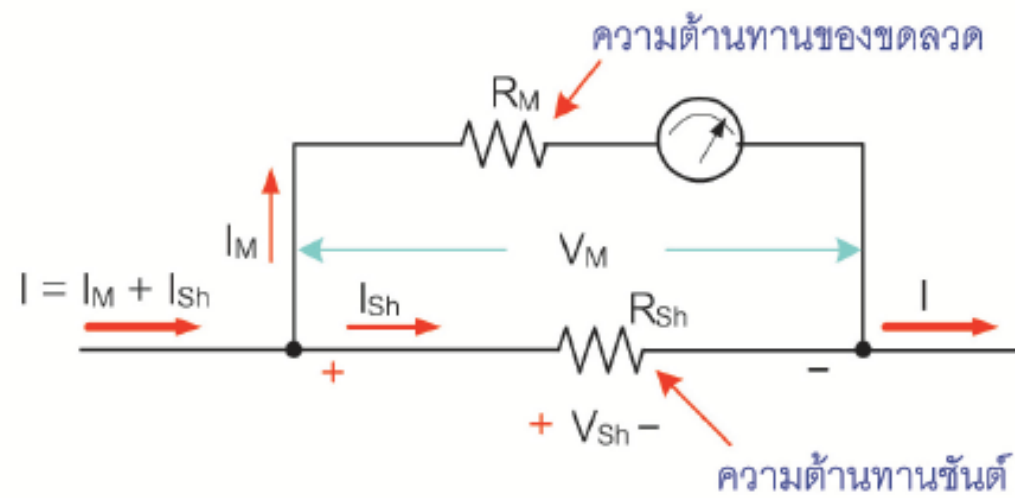
5.3.2 การขยายย่านวัดของแอมมิเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง

การขยายย่านวัดของขดลวดเคลื่อนที่แบบแม่เหล็กถาวรเพื่อทำเป็นแอมมิเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง มี 2 วิธี คือ ใช้ตัวต้านทานชั้นแบบตัวเดียวหรือแบบซิงเกิลชั้นและใช้ตัวต้านทานแบบอาร์ตันชั้น

1. การขยายย่านวัดของแอมมิเตอร์แบบซิงเกิลชั้น



รูปที่ 5.24 ภาพจำลองการต่อตัวต้านทานชั้นเข้ากับขดลวดเคลื่อนที่แบบแม่เหล็กถาวร



รูปที่ 5.25 การขยายย่านวัดของแอมมิเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง

จากรูปที่ 5.25 โดยเพิ่ม R_S ต่อขนานกับดาร์สันวาลมิเตอร์ R_M เมื่อจ่ายกระแสไฟฟ้าเข้ามาในวงจร กระแสไฟฟ้าถูกแบ่งออกเป็น 2 ส่วน ส่วนหนึ่งผ่านดาร์สันวาลมิเตอร์ อีกส่วนหนึ่งผ่านตัวต้านทานชั้นต่ออักษรย่อต่าง ๆ กำหนดไว้ดังนี้

R_M = ความต้านทานของขดลวดเคลื่อนที่ (ความต้านทานภายใน) หน่วย โอห์ม (Ω)

R_{Sh} = ความต้านทานชั้นต่อ หน่วย โอห์ม (Ω)

I_M = กระแสไฟฟ้าสูงสุดเต็มสเกลของขดลวดเคลื่อนที่ หน่วย แอมแปร์ (A)

I_{Sh} = กระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านตัวต้านทานชั้นต่อ หน่วย แอมแปร์ (A)

I = กระแสไฟฟารวมที่ไหลผ่านเข้าวงจรไฟฟ้าของแอมมิเตอร์ หน่วย แอมแปร์ (A)
หรือกระแสไฟฟ้าสูงสุดเต็มสเกล (Full Scale Deflection Current: FSD) ของ
แอมมิเตอร์ (กระแสไฟฟ้านี้จะไหลไปยังโหลดที่ต้องการวัด)

$$V_M = V_{Sh}$$

ประยุกต์ใช้กฎของโอห์ม: $I_M \times R_M = I_{Sh} \times R_{Sh}$

$$R_{Sh} = \frac{I_M \times R_M}{I_{Sh}} \text{ (5.3)}$$

$$R_M = \frac{I_{Sh} \times R_{Sh}}{I_M} \text{ (5.4)}$$

และประยุกต์ใช้กฎกระแสไฟฟ้าของเคอร์ชอฟฟ์จะได้

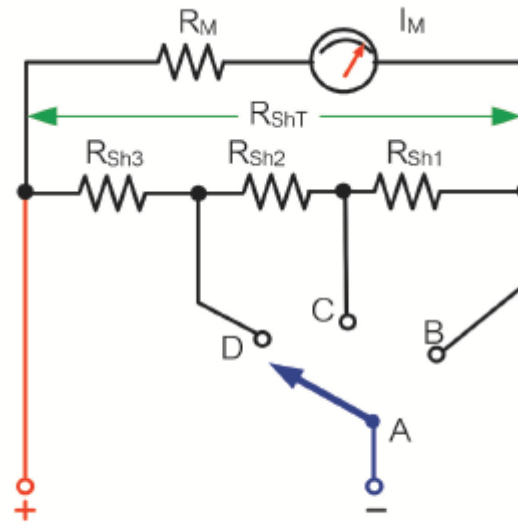
$$I_M = I - I_{Sh}$$

$$\text{หรือ } I_{Sh} = I - I_M$$

จากสมการที่ (2.3) เขียนใหม่จะได้

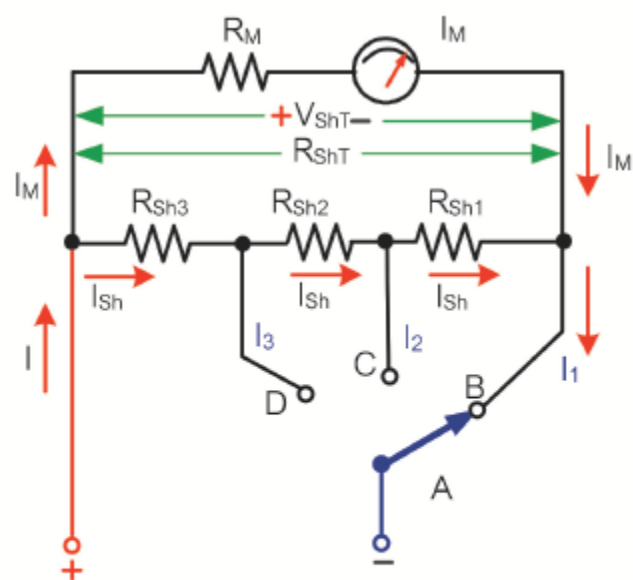
$$R_M = \frac{I_M \times R_M}{I - I_M} \text{ (5.5)}$$

2. การขยายย่านวัดของแอมมิเตอร์แบบอาร์ตันชันต์ (Ayrton Shunt)

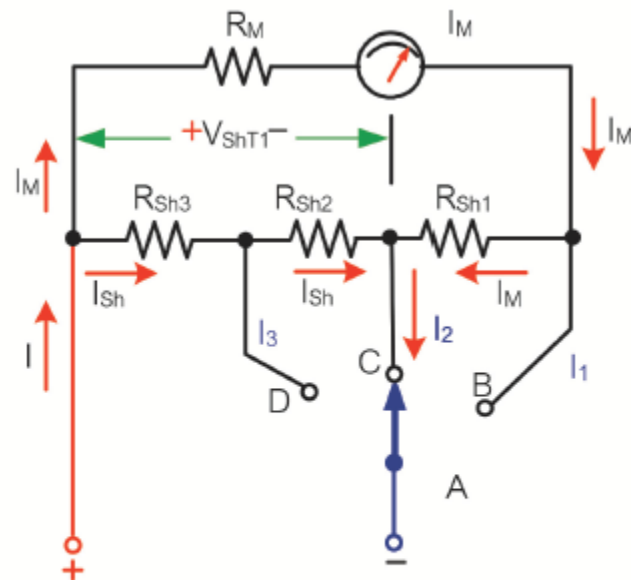


รูปที่ 5.29 วงจรไฟฟ้าของแอมมิเตอร์แบบอาร์ตันชันต์

ความต้านทานชั้นดี: $R_{ShT} = R_{Sh1} + R_{Sh2} + R_{Sh3}$ (5.6)



(ก) สวิตช์เลือกอยู่ตำแหน่ง B



(ข) สวิตช์เลือกอยู่ตำแหน่ง C

รูปที่ 5.30 กระแสไฟฟ้า แรงดันไฟฟ้า และความต้านทานของอาร์ตันชั้นดี

$$I_2 = I_{Sh} + I_M$$

ดังนั้น

$$I_{Sh} = I_2 - I_M$$

$$(R_{Sh2} + R_{Sh3})(I_2 - I_M) = I_M(R_M + R_{Sh1})$$

นำ I_M คูณตลอด และเขียนสมการใหม่ จะได้

$$R_{Sh2} + R_{Sh3} = \frac{I_M (R_{Sh} \times R_M)}{I_2} \quad \text{----- (5.7)}$$

และจากสมการที่ 5.6 สามารถหาค่า R_{Sh1} ได้คือ

$$R_{Sh1} = R_{ShT} - (R_{Sh2} + R_{Sh3}) \quad \text{----- (5.8)}$$

กระแสไฟฟ้า I เป็นกระแสสูงสุดของย่านวัด เมื่อสวิตช์เลือกอยู่ในตำแหน่ง D จะได้ R_{Sh3}

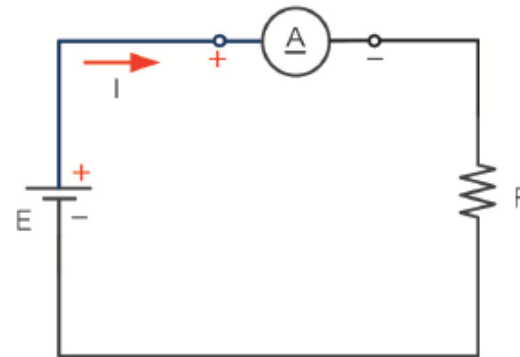
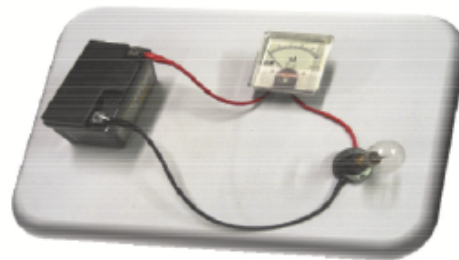
$$R_{Sh3} = \frac{I_M (R_{Sh} \times R_M)}{I_3} \quad \text{..... (5.9)}$$

และ

$$R_{Sh2} = (R_{Sh2} + R_{Sh3}) - R_{Sh3} \quad \text{..... (5.10)}$$

5.3.3 การใช้งานแอมมิเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง

1. การวัดกระแสไฟฟ้าโดยใช้แอมมิเตอร์ เป็นเครื่องมือวัด โดยต่ออนุกรมกับโหลด



(ก) ตัวอย่างการต่อแอมมิเตอร์เพื่อวัดกระแสไฟฟ้า (ข) วงจรการต่อแอมมิเตอร์เพื่อวัดกระแสไฟฟ้า

รูปที่ 5.33 การวัดกระแสไฟฟ้า

2. ข้อควรคำนึงในการใช้แอมมิเตอร์

(1) แอมมิเตอร์จะต้องต่ออนุกรมกับโหลดในวงจร

(2) ต่อให้ถูกขั้ว ถ้าต่อผิดขั้วจะทำให้เข็มตีกลับและเกิดการเสียหายได้

(3) การเลือกแอมมิเตอร์ที่เหมาะสมในการวัดกระแสไฟฟ้า กรณีใช้แอมมิเตอร์แบบวัดได้หลายค่าและไม่ทราบค่ากระแสไฟฟ้า ให้ใช้ย่านวัดสูงสุดของมิเตอร์ก่อนแล้วจึงปรับหาย่านวัดที่เหมาะสม เพื่อให้ได้ผลถูกต้อง ควรให้เข็มชี้ชี้แสดงค่าออกมาบนสเกลอยู่ประมาณกลางสเกลไม่ควรต่ำหรือสูงเกินไป

(4) ไม่ต่อแอมมิเตอร์โดยตรงกับแหล่งจ่ายไฟฟ้า เนื่องจากขดลวดเคลื่อนที่ภายในแอมมิเตอร์มีค่าความต้านทานต่ำมาก ทำให้กระแสไฟฟ้าไหลผ่านแอมมิเตอร์จำนวนมากทำให้เกิดความเสียหายได้ จึงควรลดทอนกระแสไฟฟ้าลงโดยต่อตัวต้านทานชั้นต่ำที่เหมาะสมกับแอมมิเตอร์ก่อนนำไปใช้วัด

5.3.4 การอ่านค่ากระแสไฟฟ้าจากสเกล

การอ่านค่ากระแสไฟฟ้าที่เข็มชี้ของแอมมิเตอร์แสดงค่าไว้มุมที่มองเข็มชี้เพื่ออ่านค่ากระแสบนสเกลมิเตอร์ควรมองจากด้านหน้าเข้ามายังมิเตอร์ไม่ควรมองในมุมเอียงซ้ายเอียงขวาเพราะค่าที่อ่านได้อาจผิดพลาดไปทำให้อ่านค่าได้ไม่ถูกต้อง

หน่วยที่ 6

เครื่องวัดความต้านทานแบบบริดจ์

วงจรบริดจ์สมดุล (Balanced Bridge Circuit) จากรูปที่ 6.1 ถ้าปรับความต้านทาน R_4 จนเข็มของกัลวานอมิเตอร์ชี้ที่ตำแหน่งศูนย์ ซึ่งหมายความว่า ไม่มีกระแสไฟฟ้าไหลผ่านกัลวานอมิเตอร์ หรือไม่มีกระแสไฟฟ้าไหลจาก A มา B หรือ ไม่มีกระแสไฟฟ้าไหลจาก B มายัง A นั้นแสดงว่าแรงดันไฟฟ้าที่จุด A และจุด B มีความต่างศักย์เท่ากัน หรือ $V_A = V_B$ เมื่อเทียบกับจุดเดียวกัน หรือเขียนเป็นสมการได้ดังนี้

เมื่อวงจรบริดจ์สมดุล จะได้

$$V_1 = V_3 \quad \text{-----} (6.1)$$

และ

$$V_2 = V_4 \quad \text{-----} (6.2)$$

จากกฎของโอห์ม

$$V_1 = I_1 R_1$$

$$V_2 = I_1 R_2$$

$$V_3 = I_2 R_3$$

และ

$$V_4 = I_2 R_4$$

แทนค่า V_1, V_2, V_3 และ V_4 ในสมการที่ (6.1) และ สมการที่ (6.2)

$$I_1 R_1 = I_2 R_3 \quad \text{-----} (6.3)$$

และ $I_1 R_2 = I_2 R_4 \quad \text{-----} (6.4)$

นำสมการที่ (6.3) หารด้วยสมการที่ (6.4) จะได้ดังสมการที่ (6.5)

$$\frac{I_1 R_1}{I_1 R_2} = \frac{I_2 R_3}{I_2 R_4}$$
$$\frac{R_1}{R_2} = \frac{R_3}{R_4}$$

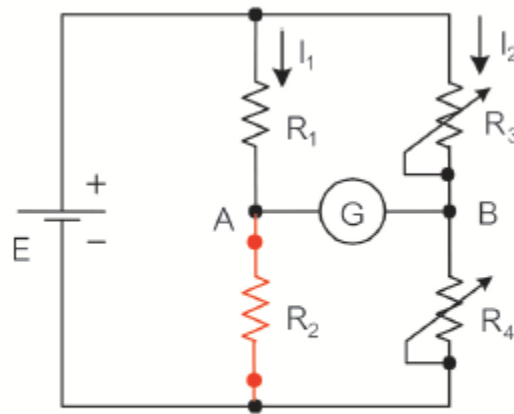
จากสมการที่ (6.5) เขียนเป็นรูปสมการใหม่ ได้ดังสมการที่ (6.6) และ สมการที่ (6.7)

$$R_1 R_4 = R_2 R_3 \quad \text{-----} (6.5)$$

$$R_2 = \frac{R_1 R_4}{R_3} \quad \text{-----} (6.6)$$

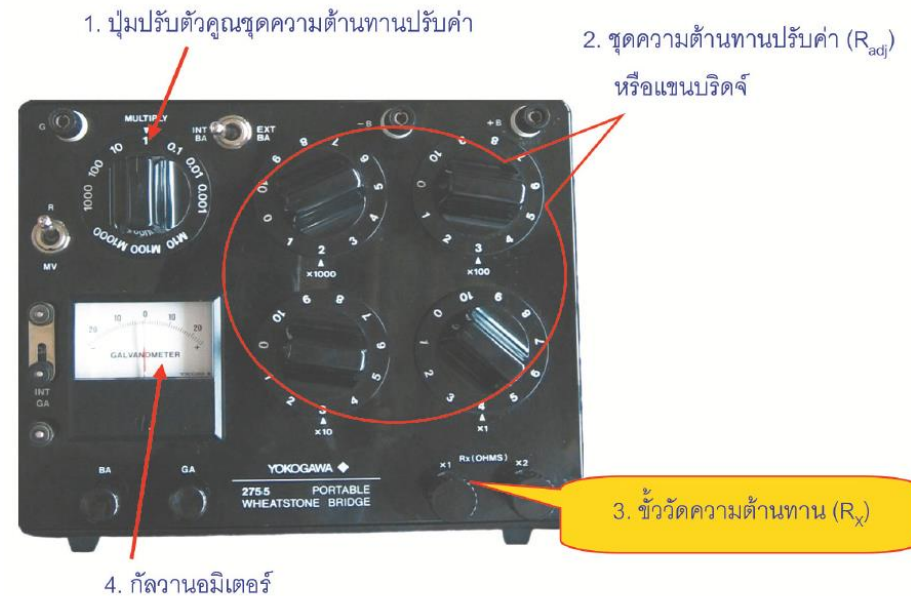
$$R_3 = \frac{R_1 R_4}{R_2} \quad \text{-----} (6.7)$$

วงจรบริดจ์ไม่สมดุล (Unbalanced Bridge Circuit) ลักษณะของวงจรบริดจ์ไม่สมดุล เกิดขึ้นจากอัตราส่วนของ $R_1/R_2 \neq R_3/R_4$ มีผลทำให้ $V_{R1} \neq V_{R3}$ และ $V_{R2} \neq V_{R4}$ และจะส่งผลให้เกิดความต่างศักย์ที่จุด A – B หรือ $V_{AB} \neq 0$ ทำให้มีกระแสไฟฟ้าไหลผ่านกัลวานอมิเตอร์และเข็มของกัลวานอมิเตอร์จะบ่ายเบนแสดงดังรูปที่ 6.4



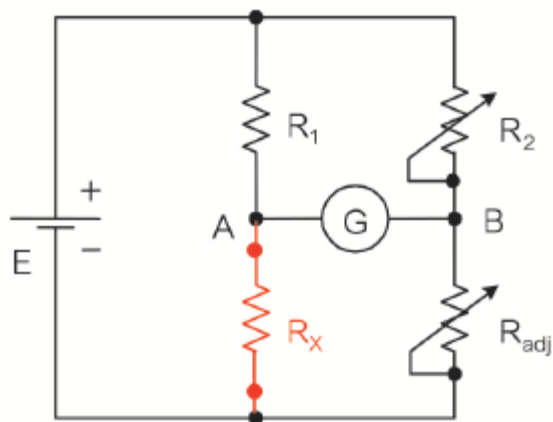
รูปที่ 6.4 วงจรบริดจ์ภาวะไม่สมดุล

เครื่องวัดความต้านทานแบบวีทสโตนบริดจ์ (Wheatstone Bridge) ชนิดนี้ใช้สำหรับวัดค่าความต้านทาน จากค่า 0.1Ω ถึง $10 \text{ M} \Omega$ โดยมีความถูกต้อง $0.01\%-1\%$ หลักการของเครื่องวัดความต้านทานแบบวีทสโตนบริดจ์ ใช้คุณสมบัติวงจรบริดจ์พื้นฐาน แสดงดังรูปที่แสดงทำงานดังนี้ แสดงดังรูปที่ 6.6



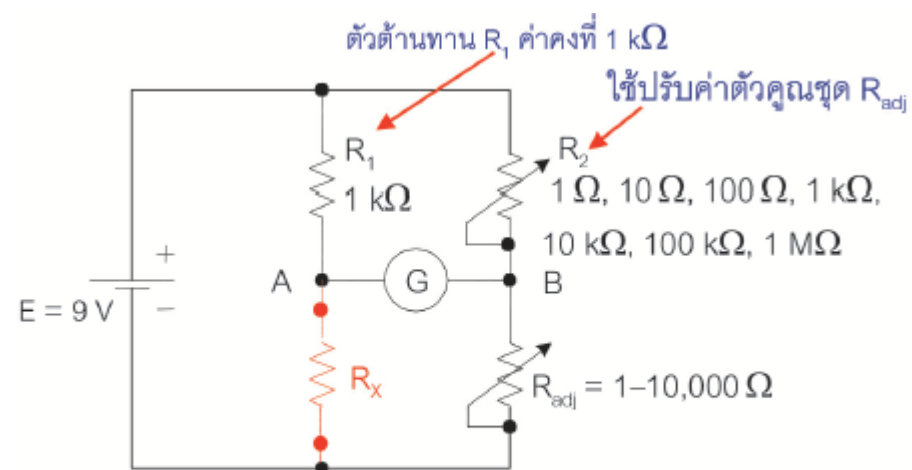
(ก) รูปถ่ายวีทสโตนบริดจ์

รูปที่ 6.6 เครื่องวัดความต้านทานแบบวีทสโตนบริดจ์



(ข) วงจรเทียบเคียงวีทสโตนบริดจ์

รูปที่ 6.6 (ต่อ) เครื่องวัดความต้านทานแบบวีทสโตนบริดจ์



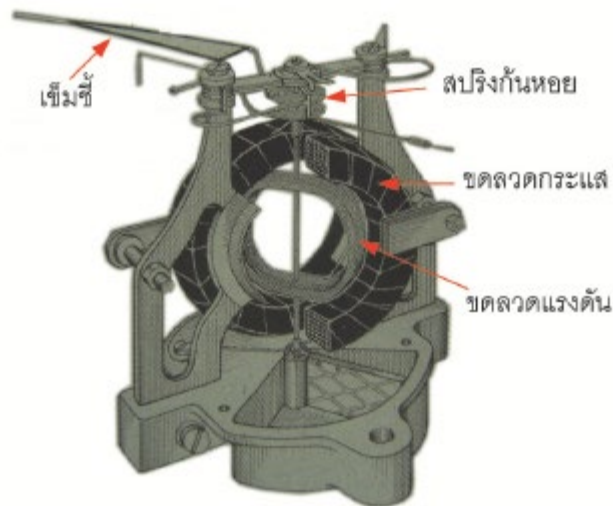
รูปที่ 6.7 ตัวอย่างวงจรการออกแบบเครื่องวัดวีทสโตนบริดจ์

หน่วยที่ 7

เครื่องวัดกำลังไฟฟ้า

7.1.1 โครงสร้างของวัตต์มิเตอร์

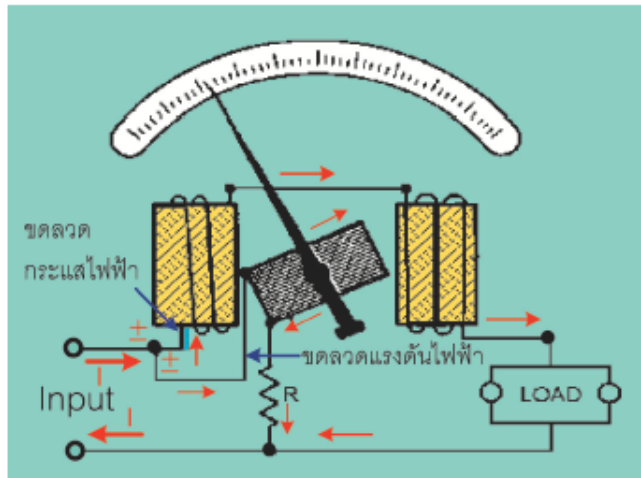
จากความยุ่งยากในการวัดค่าและคำนวณค่าด้วยสูตรหาค่ากำลังไฟฟ้่าดังกล่าวมาแล้วจึงได้มีการดัดแปลงมิเตอร์ให้สามารถวัดค่ากำลังไฟฟ้าออกมาได้โดยตรง เรียกมิเตอร์นี้ว่าวัตต์มิเตอร์ (Wattmeter) โดยการสร้างรวมเอาโวลต์มิเตอร์และแอมมิเตอร์ไว้ในตัวเดียวกัน โครงสร้างของวัตต์มิเตอร์ใช้หลักการทำงานของอิเล็กโทรไดนาโมมิเตอร์ (Electrodynamometer) แสดงดังรูปที่ 7.2



รูปที่ 7.2 โครงสร้างของวัตต์มิเตอร์แบบอิเล็กโทรไดนาโมมิเตอร์

จากรูปที่ 7.2 เป็นโครงสร้างของวัตต์มิเตอร์ แบบอิเล็กทรอนิกส์ไดนาโมมิเตอร์ส่วนประกอบของโครงสร้างประกอบด้วยขดลวด 3 ชุด ขดลวด 2 ชุดใหญ่ที่วางขนานกัน เป็นขดลวดที่อยู่กับที่ (Fixed Coil) หรือขดลวดกระแสไฟฟ้า (Current Coil) ส่วนตอนกลางของขดลวดคงที่มีขดลวดอีกอันหนึ่งขดวางอยู่ในส่วนวงกลมที่วางเป็นขดลวดเคลื่อนที่ได้ หรือขดลวดแรงดันไฟฟ้า ขดลวดเคลื่อนที่นี้จะถูกยึดติดกับแกนร่วมกับเข็มชี้และสปริงกันหอย

ขดลวดที่อยู่กับที่หรือขดลวดกระแสไฟฟ้านั้นทั้งสองชุดถูกต่ออันดับกัน และต่อออกมาเพื่อวัดค่ากระแสไฟฟ้า ส่วนขดลวดเคลื่อนที่หรือขดลวดแรงดันไฟฟ้าถูกต่ออันดับกับตัวต้านทานทำหน้าที่จำกัดกระแสไฟฟ้าผ่านขดลวดและต่อออกมาเพื่อวัดค่าแรงดันไฟฟ้าของวงจรข้อต่อของวัตต์มิเตอร์แบบอิเล็กทรอนิกส์ไดนาโมมิเตอร์ แสดงดังรูปที่ 7.3

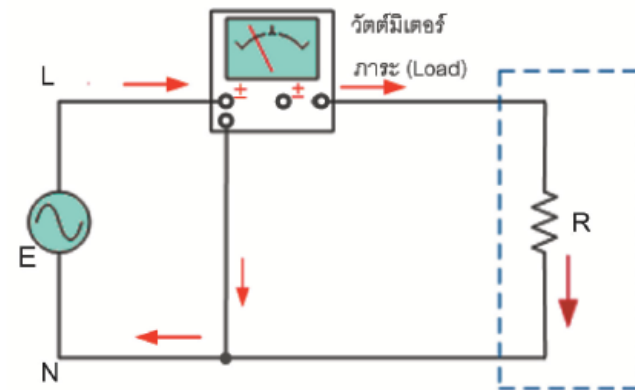


รูปที่ 7.3 โครงสร้างและวงจรการต่อใช้งานของวัตต์มิเตอร์แบบอิเล็กทรอนิกส์ไดนาโมมิเตอร์

จากรูปที่ 7.3 เป็นข้อต่อใช้งานของวัตต์มิเตอร์แบบอิเล็กทรอนิกส์ไดนาโมมิเตอร์มีทั้งหมด 4 ข้อต่อแบ่งเป็น 2 ชุด ชุดละ 2 ข้อต่อ ชุดแรก (ขั้ว A, $\pm$) ต่อวัดกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านวงจรวัดค่าชุดสอง (ขั้ว V, $\pm$) ต่อวัดแรงดันไฟฟ้าที่จ่ายให้วงจรวัดค่า วัตต์มิเตอร์นี้สามารถนำไปวัดกำลังไฟฟ้าได้ทั้งกำลังไฟฟ้าของวงจรไฟฟ้ากระแสตรง (DC) และกำลังไฟฟ้าของวงจรไฟฟ้ากระแสสลับ (AC) เพราะขดลวดที่อยู่กับที่และขดลวดเคลื่อนที่ สามารถรับแรงดันและกระแสได้ทั้งไฟฟ้ากระแสตรง (DC) และไฟฟ้ากระแสสลับ (AC) ช่วยให้เกิดความสะดวกในการใช้งานและลดความยุ่งยากในการวัด

7.1.2 การต่อใช้งานวัตต์มิเตอร์

การนำวัตต์มิเตอร์แบบอิเล็กทรอนิกส์ไดนาโมมิเตอร์ไปต่อใช้งาน ต้องต่อวงจรทั้งขดลวดที่อยู่กับที่และขดลวดเคลื่อนที่เข้าด้วยกัน นำไปต่อกับภาระ (Load) ที่ต้องการวัดค่ากำลังไฟฟ้า และต่อเข้าแหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้าของวงจร ลักษณะการต่อแสดงดังรูปที่ 7.4

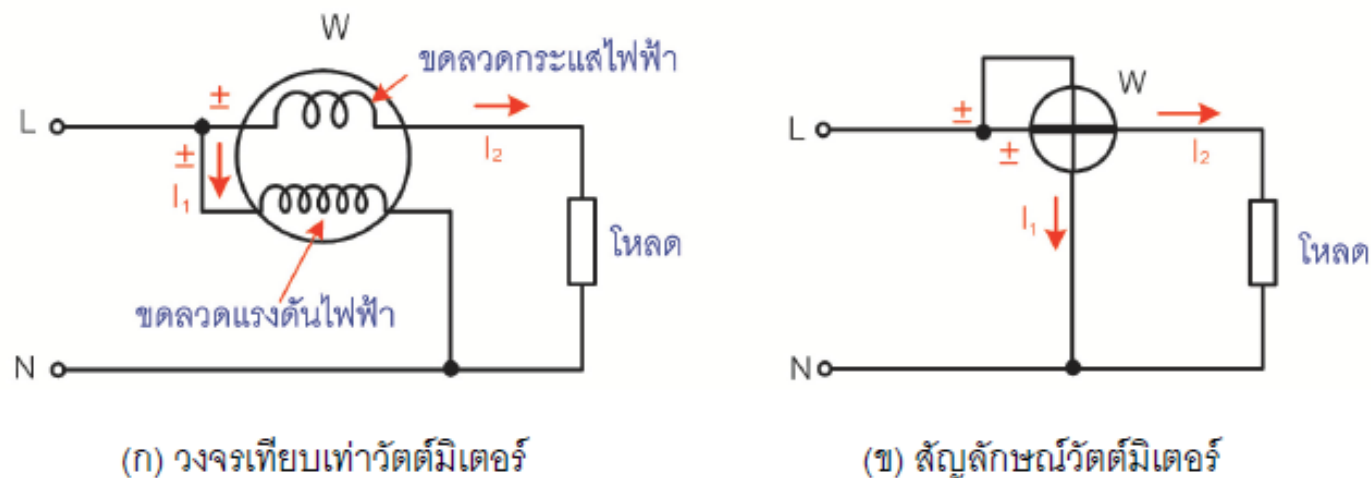


รูปที่ 7.4 วงจรต่อใช้งานวัตต์มิเตอร์แบบอิเล็กทรอนิกส์ไดนาโมมิเตอร์

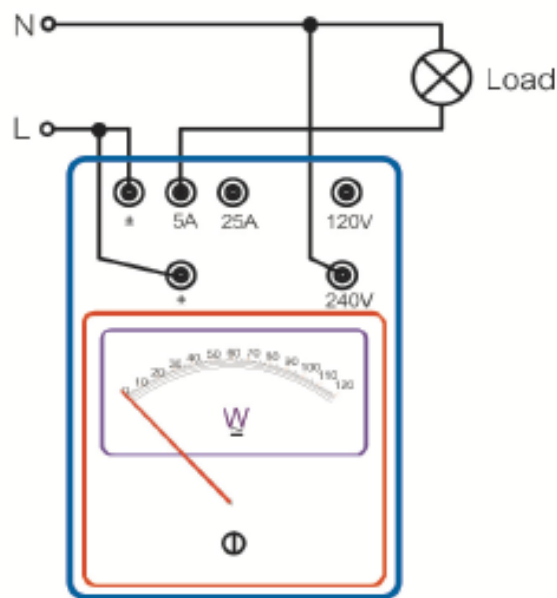
จากรูปที่ 7.4 เป็นการต่อใช้งานวัตต์มิเตอร์แบบอิเล็กทรอนิกส์โดยนำขั้วของขดลวดคงที่กับขดลวดเคลื่อนที่ต่อเข้าด้วยกันนำไปต่อเข้าแหล่งจ่ายแรงดันขั้วหนึ่ง ขั้ว A ของขดลวดคงที่ต่อเข้าภาระที่ต้องการวัดกำลังไฟฟ้าและขั้ว V ของขดลวดเคลื่อนที่ต่อกับภาระอีกขั้วหนึ่ง นำไปต่อเข้าแหล่งจ่ายแรงดันขั้วที่เหลือ

7.1.3 การวัดและการอ่านค่ากำลังไฟฟ้า

การต่อใช้งานวัตต์มิเตอร์ ต้องระมัดระวังในการต่อ โดยต้องไม่ให้กระแสไฟฟ้าไหลผ่านขดลวดที่อยู่กับที่หรือขดลวดกระแสไฟฟ้ามากเกินไปกว่าพิกัดของวัตต์มิเตอร์ที่บอกไว้ และต้องไม่ให้แรงดันไฟฟ้าที่ป้อนเข้าขดลวดเคลื่อนที่หรือขดลวดแรงดันไฟฟ้าเกินกว่าพิกัดของวัตต์มิเตอร์ที่บอกไว้



รูปที่ 7.5 วงจรเทียบเท่าและสัญลักษณ์วัตต์มิเตอร์



รูปที่ 7.6 การต่อใช้งานวัตต์มิเตอร์

จากรูปที่ 7.6 แสดงรูปร่างของวัตต์มิเตอร์ที่สร้างขึ้นมาเพื่อใช้งานจริงของวัตต์มิเตอร์ชนิดเฟสเดียว (Single Phase Wattmeter) ถูกสร้างขึ้นมาให้สามารถวัดแรงดันไฟฟ้าและวัดกระแสไฟฟ้าได้ 2 ย่านวัด คือ วัดกระแสไฟฟ้าได้ 5 A และ 25 A วัดแรงดันไฟฟ้าได้ 120 V และ 240 V อีกแบบหนึ่งวัดกระแสไฟฟ้าได้ 5 A และ 25 A วัดแรงดันไฟฟ้าได้ 120 V และ 240 V

การอ่านค่ากำลังไฟฟ้าจากวัตต์มิเตอร์ที่ถูกต้องโดยต้องอ่านจากหน้าปัดสเกลในตำแหน่งที่เข็มมิเตอร์ชี้ค่านำมาคูณร่วมกับค่าตัวคูณในตารางที่แนบติดมากับตัววัตต์มิเตอร์ ซึ่งขึ้นอยู่กับค่าแรงดันไฟฟ้าและค่ากระแสไฟฟ้าของขั้วที่ต่อวัดจากวัตต์มิเตอร์ ค่าที่คำนวณได้จะเป็นค่ากำลังไฟฟ้าที่วัดได้จริงจากอุปกรณ์หรือวงจรที่ทำการวัด สรุปได้ว่าการอ่านค่าจากวัตต์มิเตอร์ เป็นการนำค่าย่านแรงดันไฟฟ้าและย่านวัดกระแสไฟฟ้าที่ใช้ต่อวงจรการวัดในขณะนั้นคูณกับค่าตัวคูณของวัตต์มิเตอร์ที่กำหนดมาให้ดังตารางที่ 7.1

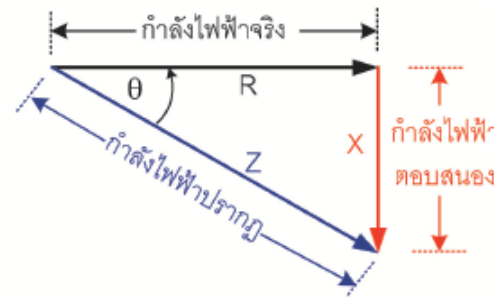
ตารางที่ 7.1 ตัวอย่างตารางค่าตัวคูณของวัตต์มิเตอร์ 1 เฟส

ย่านวัดแรงดันไฟฟ้า ย่านวัดกระแสไฟฟ้า	120 V	240 V
5 A	5	10
25 A	25	50

การอ่านค่ากำลังไฟฟ้าจากวัตต์มิเตอร์

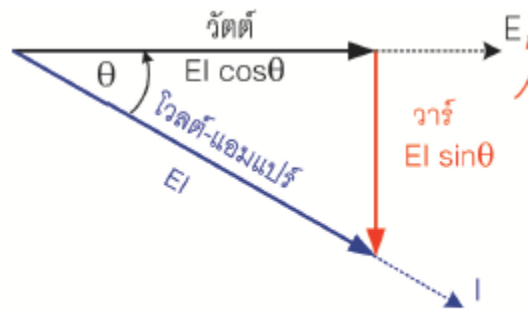
$$\text{กำลังไฟฟ้าที่วัดได้} = \text{ตัวเลขที่อ่านได้ (W)} \times \text{ค่าตัวคูณ} \quad \text{.....(7.4)}$$

กำลังไฟฟ้าที่วัดได้จากเครื่องใช้ไฟฟ้าหรือวัดได้จากวงจรไฟฟ้ากระแสสลับ มีด้วยกัน 3 ลักษณะ คือกำลังไฟฟ้าจริง (True Power) กำลังไฟฟ้าตอบสนอง (Reactive Power) และกำลังไฟฟ้าปรากฏ (Apparent Power) ความสัมพันธ์ของกำลังไฟฟ้าทั้ง 3 ลักษณะเขียนออกมาเป็นรูปได้ดังรูปที่ 7.7



รูปที่ 7.7 ลักษณะกำลังไฟฟ้าที่เกิดขึ้นในระบบไฟฟ้า

จากรูปที่ 7.7 แสดงกำลังไฟฟ้าลักษณะต่าง ๆ เกิดขึ้นในตำแหน่งที่วัดออกมาได้ต่างกัน จึงเรียกค่ากำลังไฟฟ้าที่ปรากฏขึ้นมาแตกต่างกัน กำลังไฟฟ้าแต่ละแบบเกิดขึ้นได้จากอุปกรณ์ในวงจรต่างชนิดกำลังไฟฟ้าจริงเกิดขึ้นได้กับอุปกรณ์จำพวกตัวต้านทานบริสุทธิ์ (Pure Resistor) กำลังไฟฟ้าตอบสนองเกิดขึ้นได้กับอุปกรณ์จำพวกตัวเหนี่ยวนำและตัวเก็บประจุ และกำลังไฟฟ้าปรากฏเกิดขึ้นได้กับอุปกรณ์จำพวกอิมพีแดนซ์ต่าง ๆ ความสัมพันธ์ของกำลังไฟฟ้าทั้ง 3 ค่าเขียนออกมาในรูปเฟสเซอร์ของสมการและหน่วยได้ดังรูปที่ 7.8



รูปที่ 7.8 ความสัมพันธ์ของกำลังไฟฟ้าในรูปเฟสเซอร์

จากรูปที่ 7.8 เป็นความสัมพันธ์ของกำลังไฟฟ้าทั้ง 3 ค่าในรูปเวกเตอร์ กำลังไฟฟ้าจริงเป็นกำลังไฟฟ้าที่สามารถวัดออกมาได้จริงด้วยวัตต์มิเตอร์ เกิดจากแรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าที่มีทิศทางเดียวกัน เกิดจากผลคูณของแรงดันไฟฟ้าและส่วนประกอบของกระแสไฟฟ้าในรูป $E \times I \cos \theta$ หน่วยของกำลังไฟฟ้านี้เป็นวัตต์ (W) ส่วนกำลังไฟฟ้าตอบสนอง เกิดจากผลคูณของแรงดันไฟฟ้ากับกระแสไฟฟ้าและส่วนประกอบของกระแสไฟฟ้า ในรูป $E \times I \sin \theta$ หน่วยของกำลังไฟฟ้านี้เป็นวาร์ (VAR ย่อจาก Volt Ampere Reactive) กำลังไฟฟ้าตอบสนองนี้วัตต์มิเตอร์ไม่สามารถวัดออกมาได้



รูปที่ 7.9 ตัวอย่างวาร์มิเตอร์

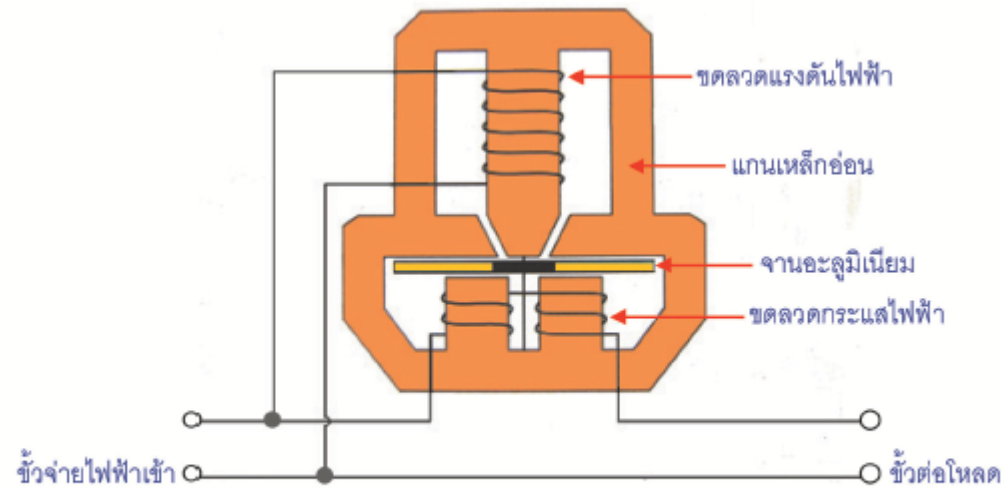
จากรูปที่ 7.9 เป็นเครื่องวัดกำลังไฟฟ้าตอบสนองหรือวาร์มิเตอร์ ซึ่งค่าที่วัดได้มีหน่วยเป็นวาร์ (VAR) หรือกิโลวาร์ (kVAR) วาร์มิเตอร์บางเครื่องสามารถวัดได้เป็นเมกวาร์ (MVAR) สเกลของวาร์มิเตอร์แบ่งออกเป็น 2 ด้าน สเกลด้านซ้ายมือบอกระบบการนำหน้า (Leading) ของกำลังไฟฟ้าตอบสนอง คือ กระแสไฟฟ้านำหน้าแรงดันไฟฟ้าเป็นการแสดงสถานะเป็นตัวเก็บประจุ (C) ส่วนสเกลด้านขวามือบอกระบบการล่าช้า (Lagging) ของกำลังไฟฟ้าตอบสนอง คือ กระแสไฟฟ้าล่าช้าแรงดันไฟฟ้า เป็นการแสดงสถานะเป็นตัวเหนี่ยวนำ (L)

วัตต์อวาร์มิเตอร์ (Watt–Hour Meter) ส่วนใหญ่เป็นเครื่องวัดที่ทำงานด้วยการเหนี่ยวนำไฟฟ้าสร้างขึ้นมาเพื่อวัดปริมาณกำลังไฟฟ้ากระแสสลับทั้งในบ้านเรือนและโรงงานอุตสาหกรรม โดยมีหน่วยวัดพลังงานไฟฟ้า เป็นกิโลวัตต์ชั่วโมง (Kilowatt–hour)

วัตต์อวาร์มิเตอร์มีหลักการทำงานเหมือนกับวัตต์มิเตอร์ชนิดที่ทำงานด้วยการเหนี่ยวนำไฟฟ้า และมีส่วนประกอบที่เหมือนกันคือขดลวดกระแสไฟฟ้า (Current Coil) และขดลวดแรงดันไฟฟ้า (Potential Coil) ส่วนที่แตกต่างกันก็คือในวัตต์มิเตอร์จะแสดงค่าด้วยการบ้ายเบนของเข็มชี้

7.3.1 โครงสร้างวัตต์อวาร์มิเตอร์

วัตต์อวาร์มิเตอร์มีโครงสร้างดังรูปที่ 7.10 ประกอบด้วยขดลวดกระแสต่ออนุกรมกับโหลดและขดลวดแรงดันต่อขนานกับโหลด ขดลวดทั้งสองชุดจะพันอยู่บนแกนเหล็กที่ออกแบบโดยเฉพาะและมีจานอะลูมิเนียมบาง ๆ ยึดติดกับแกนหมุนวางอยู่ในช่องว่างระหว่างขดลวดทั้งสอง



รูปที่ 7.10 โครงสร้างเบื้องต้นและลักษณะการต่อใช้งานอาร์มิเตอร์ 1 เฟส

7.3.2 หลักการทำงานของตัวอาร์มิเตอร์

หลักการทำงานของขดลวดกระแสไฟฟ้าและขดลวดแรงดันไฟฟ้าทำหน้าที่สร้างสนามแม่เหล็กส่งผ่านไปยังจานอะลูมิเนียมที่วางอยู่ระหว่างขดลวดทั้งสอง ทำให้เกิดแรงดันไฟฟ้าเหนี่ยวนำและมีกระแสไหลวน (Eddy Current) เกิดขึ้นในจานอะลูมิเนียม แรงต้านระหว่างกระแสไหลวนและสนามแม่เหล็กของขดลวดแรงดันจะทำให้เกิดแรงผลักขึ้น

หน่วยที่ 8

เครื่องกำเนิดสัญญาณและออสซิลโลสโคป

เครื่องกำเนิดสัญญาณ (Function Generator) เป็นเครื่องมืออิเล็กทรอนิกส์ทำหน้าที่กำเนิดสัญญาณรูปคลื่นสามารถผลิตเอาต์พุตได้หลายชนิด และสามารถปรับความถี่ ลักษณะของรูปคลื่นและแอมพลิจูดของรูปคลื่น โดยทั่วไปสัญญาณเอาต์พุตที่ผลิตได้ เช่น สัญญาณไซน์ (Sine Wave) สัญญาณสี่เหลี่ยม (Square Wave) และสัญญาณสามเหลี่ยม (Triangle Wave) เป็นต้น ดังรูปที่ 8.1



รูปที่ 8.1 ตัวอย่างเครื่องกำเนิดสัญญาณ ยี่ห้อ ITT Instruments รุ่น GX 239 Metrix

8.1.1 ปุ่มปรับและขั้วต่อของเครื่องกำเนิดสัญญาณ

เครื่องกำเนิดสัญญาณที่มีใช้งานในปัจจุบันมีมากมายหลายยี่ห้อ หลายรุ่น ซึ่งแต่ละเครื่องมีหน้าที่การทำงาน ปุ่มปรับ ขั้วต่อ และฟังก์ชันต่าง ๆ คล้ายกัน จะแตกต่างกันเพียงการวางตำแหน่งเท่านั้นอธิบายความหมายตามหมายเลข ดังนี้

1. Power Switch สวิตช์ปุ่มกดเปิด-ปิดเครื่อง
2. Power on Indicator หลอดสัญญาณ (LED) แสดงสถานะการทำงานของเครื่อง
3. Range Switch สวิตช์ปุ่มกดเลือกย่านความถี่ของคลื่น
4. Function Switch สวิตช์ปุ่มกดเลือกสัญญาณรูปคลื่น มี 3 แบบ คือ สัญญาณรูปคลื่นไซน์ สัญญาณรูปคลื่นสามเหลี่ยม และสัญญาณรูปคลื่น 4 เหลี่ยม
5. Multiplier ปุ่มปรับเพื่อเลือกค่าความถี่ ตั้งแต่ 0.2–2.0 เพื่อนำไปเป็นตัวคูณร่วมกับปุ่ม Range Switch จะได้ความถี่ตามต้องการ
6. Duty Control ปุ่มปรับความกว้างของ Pulse ต่อคาบเวลา
7. Pulse Invert Switch ปุ่มกลับสัญญาณรูปคลื่น จะใช้ร่วมกับปุ่ม Duty Control
8. DC Offset ปุ่มควบคุมระดับแรงดันไฟฟ้า DC เมื่อทำการปรับจะต้องดึงปุ่มนี้ขึ้นมาแล้วทำการปรับ

9. Amplitude ปุ่มปรับควบคุมระดับแรงดันไฟฟ้าของรูปคลื่นสัญญาณ
10. ATT ปุ่มกดเพื่อปรับค่าระดับแรงดันไฟฟ้าของรูปสัญญาณให้อ่อนกำลัง ลงหรือลดทอนสัญญาณ
11. Output จุดต่อเพื่อนำสัญญาณความถี่ของเครื่องที่สร้างขึ้นไปใช้งาน
12. VCF Input จุดต่อแรงดันจากภายนอกเข้ามาควบคุมความถี่
13. Pulse Output Logic จุดต่อเพื่อนำสัญญาณ Pulse ที่เครื่องสร้างขึ้นไปใช้กับอุปกรณ์ TTL

8.1.2 ขั้นตอนการใช้งานเครื่องกำเนิดสัญญาณ

การใช้งานเครื่องกำเนิดสัญญาณทุกรุ่น ทุกยี่ห้อ แต่ละเครื่องมีหน้าที่การทำงานคล้ายกันโดยมีขั้นตอนการใช้งานเครื่องกำเนิดสัญญาณได้ดังนี้

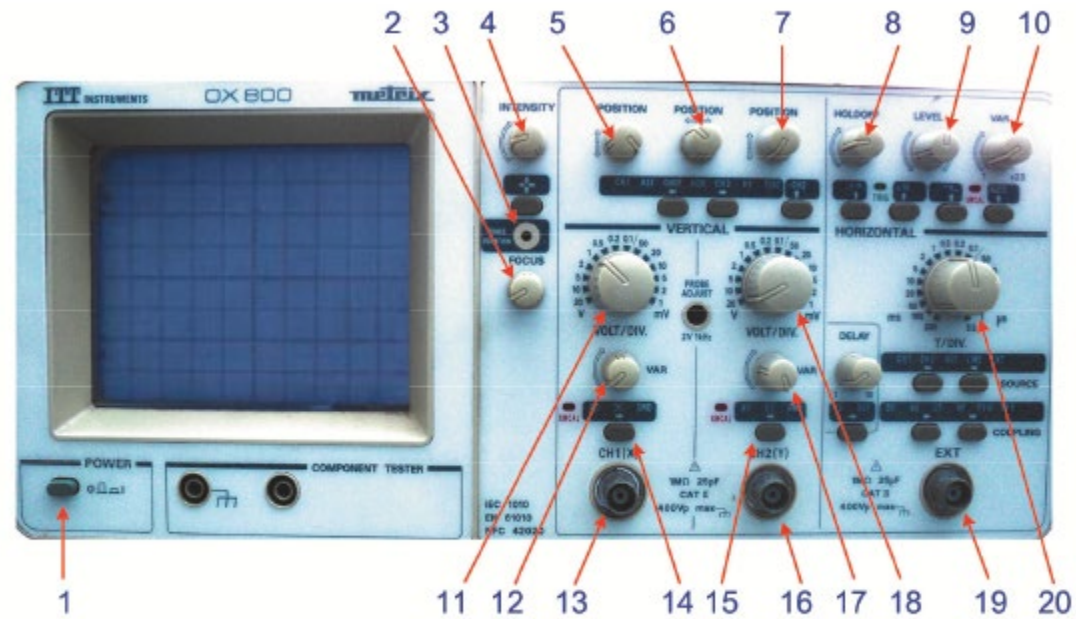
1. ต่อสายไฟฟ้า AC ที่จุด Power Connector และเลือกสวิตช์ใช้กับไฟฟ้า 220–250 V
2. กดสวิตช์ Power เมื่ออยู่ในสภาวะการทำงาน “ON” หลอดไฟสัญญาณ LED จะสว่าง
3. กดปุ่ม Range Switch เพื่อเลือกย่านความถี่ของสัญญาณ
4. กดปุ่ม Function Switch เพื่อเลือกรูปร่างของสัญญาณ
5. ปรับปุ่ม Multiplier โดยนำไปคูณกับปุ่ม Range Switch เพื่อให้ได้ความถี่ตามต้องการ
6. ปรับปุ่ม Amplitude เพื่อปรับระดับแรงดันไฟฟ้า V_{P-P} ให้ได้ค่าตามต้องการ (ถ้าต้องการทราบค่าเป็นค่า RMS

ให้ใช้สูตร $V_{rms} = 0.707 \times V_P$)

ออสซิลโลสโคป (Oscilloscope) เป็นเครื่องมือวัดที่แสดงผลเป็นลักษณะรูปร่างของสัญญาณ ให้การตอบสนองที่รวดเร็ว สัญญาณนั้น ๆ เทียบกับเวลา สามารถอ่านปริมาณค่าต่าง ๆ ของรูปคลื่นได้ เช่น แรงดันไฟฟ้า ความถี่ มุมเฟส ความกว้างของพัลส์ เป็นต้น เมื่อนำไปวัดสัญญาณไฟฟ้า การอ่านค่า แอมพลิจูด (ขนาดสัญญาณ) ซึ่งจะอ่านค่าทางด้านแนวตั้ง โดยมีปุ่ม VOLTS/DIV ไว้ปรับสัญญาณอินพุตให้มีขนาดตามต้องการและค่าคาบเวลาจะอ่านค่าทางด้านแนวนอน โดยมีปุ่ม TIME/DIV ไว้ปรับค่าฐานเวลาให้เหมาะสม

8.2.1 ปุ่มปรับ ขั้วต่อ และหน้าที่การทำงานของออสซิลโลสโคป

ออสซิลโลสโคปที่มีใช้งานในปัจจุบันมีมากมายหลายยี่ห้อ หลายรุ่น ซึ่งแต่ละเครื่องตำแหน่งของปุ่มปรับ ขั้วต่อ และฟังก์ชันต่าง ๆ คล้ายกัน จะแตกต่างกันเพียงการวางตำแหน่งเท่านั้น



รูปที่ 8.2 ตัวอย่างออสซิลโลสโคป ยี่ห้อ ITT Instruments รุ่น OX 800 Metrix

จากรูปที่ 8.2 เป็นออสซิลโลสโคป ยี่ห้อ ITT Instruments รุ่น OX 800 Metrix แบบ 2 เส้นภาพซึ่งเป็นที่นิยมใช้แพร่หลาย โดยมีปุ่มปรับ ขั้วต่อ และหน้าที่การทำงาน ดังตารางที่ 8.1

ตารางที่ 8.1 ปุ่มปรับ ขั้วต่อ และหน้าที่การทำงานของออสซิลโลสโคป

ปุ่มปรับ/ขั้วต่อ	หน้าที่การทำงาน
1. POWER on/off	ปุ่มเปิด/ปิดออสซิลโลสโคป
2. FOCUS	ปุ่มปรับความคมชัดของรูปคลื่น
3. TR (Trace Rotation)	ปุ่มปรับความเอียงของเส้นสัญญาณ
4. INTENS	ปุ่มปรับความเข้มของแสง
5. Y-POS.I (Y-Position I)	ปุ่มควบคุมการเลื่อนรูปคลื่นในแนวตั้ง (แกน y) ของช่อง 1 (CH.I)
6. X-POS. (X-POSITION)	ปุ่มเลื่อนรูปคลื่นในแนวนอนหรือแกน X
7. Y-POS.II (Y-Position)	ปุ่มควบคุมการเลื่อนรูปคลื่นในแนวตั้ง (แกน Y) ของช่อง 2 (CH.II)
8. HOLD OFF	ปุ่มหยุดเวลากวาดภาพก่อนที่จะเริ่มการกวาดภาพครั้งต่อไป
9. LEVEL	ปุ่มปรับระดับทริกเกอร์ จะต้องใช้ร่วมกับปุ่ม AT/NORM ถ้าเลือกระดับทริกเกอร์เหมาะสมแล้วรูปคลื่นบนจอภาพจะหยุดนิ่ง
10. VARIABLE (Time Variable Control)	ปุ่มปรับช่วงเวลาของสัญญาณกวาดภาพ ถ้าหมุนปุ่มนี้ตามเข็มนาฬิกาจนถึงสุดจะขยายช่วงเวลาการกวาดภาพขึ้นเป็น 2.5 เท่า ปกติแล้วถ้าต้องการอ่านค่า TIME/DIV ให้ถูกต้องตามจริงจะหมุนปุ่มทวนเข็มนาฬิกาจนสุด

ตารางที่ 8.1 ปุ่มปรับ ขั้วต่อ และหน้าที่การทำงานของออสซิลโลสโคป (ต่อ)

ปุ่มปรับ/ขั้วต่อ	หน้าที่การทำงาน
11. VOLTS/DIV (Volts/Division)	ปุ่มควบคุมการลดทอนสัญญาณอินพุตของช่อง 1 (CH.I) มี 2 ช่วง คือ mV/cm และ V/cm
12. VAR.GAIN (Variable Gain)	ปุ่มนี้ใช้ร่วมกับปุ่ม VOLTS/DIV. – ปุ่มนี้ปกติจะหมุนทวนเข็มนาฬิกาจนสุด – หมุนปุ่มนี้ตามเข็มนาฬิกาจะขยายสัญญาณได้ 2.5 เท่า แต่อ่านค่าจะไม่ได้ขนาดสัญญาณที่แท้จริง
13. CH.I (Channel I) ขั้ว (BNC)	สัญญาณอินพุตของภาคเบี่ยงเบนแนวตั้ง (Vertical Input) ของช่อง 1 (CH.I) – มีอินพุตอิมพีแดนซ์ $1\text{ M}\Omega$ และอินพุตคาปาซิเตอร์ 30 pF – ขนาดสัญญาณอินพุตสูงสุด 400 V_p

ตารางที่ 8.1 ปุ่มปรับ ขั้วต่อ และหน้าที่การทำงานของออสซิลโลสโคป (ต่อ)

ปุ่มปรับ/ขั้วต่อ	หน้าที่การทำงาน
14. DC AC GD	สวิตช์เลือกชนิดสัญญาณอินพุต – DC : ต่อสัญญาณอินพุตเป็นแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง – AC : ต่อสัญญาณอินพุตเป็นแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ ที่ตำแหน่งนี้จะ มีคาปาซิเตอร์กัน (Block) แรงดันไฟฟ้ากระแสตรง – GD : ต่อสัญญาณอินพุตกราวด์
15. DC AC GD	เหมือนปุ่มปรับ 14
16. CH.II (Channel II)	ขั้ว (BNC) สัญญาณอินพุตของภาคเบี่ยงเบนแนวตั้ง (Vertical Input) ของช่อง 2 (CH.II) – มีอินพุตอิมพีแดนซ์ $1\text{ M}\Omega$ และอินพุตคาปาซิเตอร์ 30 pF – ขนาดสัญญาณอินพุตสูงสุด 400 V_p

ตารางที่ 8.1 ปุ่มปรับ ขั้วต่อ และหน้าที่การทำงานของออสซิลโลสโคป (ต่อ)

ปุ่มปรับ/ขั้วต่อ	หน้าที่การทำงาน
17. VAR.GAIN (Variable Gain)	เหมือนปุ่ม 12
18. VOLTS/DIV (Volts/Division)	ปุ่มควบคุมการลดทอนสัญญาณอินพุตของช่อง 2 (CH.II) มี 2 ช่องคือ mV/cm และ V/cm
19. EXT (External Trigger)	ปุ่มเลือกสัญญาณทริกหรือสัญญาณอินพุตจากภายนอกของภาคเบี่ยงเบนแนวนอน – ตำแหน่งปล่อยปุ่ม (Out Position) จะเป็นการรับสัญญาณทริกเกอร์จากภายในออสซิลโลสโคป – ตำแหน่งกดปุ่ม (In Position) ออสซิลโลสโคปจะรับสัญญาณทริกเกอร์จากภายนอกมาควบคุมภาคเบี่ยงเบนแนวนอน (แกน X) เป็นสัญญาณซิงค์ต้องมีค่า $0.6-10 V_{pp}$
20. TIME/DIV (TIME Division)	ปุ่มปรับฐานเวลาของสัญญาณภาพ

8.2.2 การเตรียมออสซิลโลสโคปก่อนใช้งาน

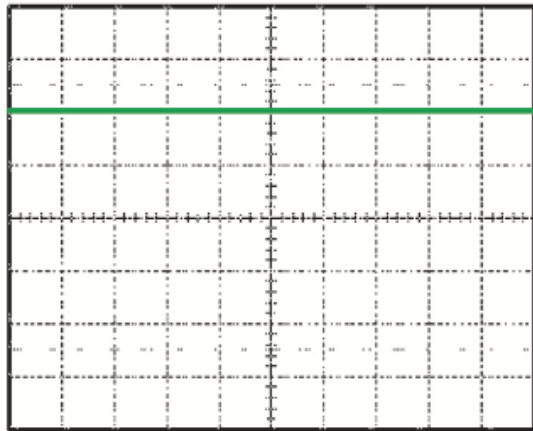
ก่อนเปิดสวิตช์ POWER เพื่อจ่ายแรงดันไฟฟ้าออสซิลโลสโคปจะต้องปฏิบัติตามขั้นตอนดังต่อไปนี้

1. ตรวจสอบทุกปุ่มจะต้องอยู่ในตำแหน่งปล่อยปุ่ม (Out Position)
2. หมุนปุ่มควบคุมที่มีลูกศรกำกับ 3 ปุ่ม คือ ปุ่มปรับฐานเวลา (ปุ่ม TIME/DIV) ปุ่มลดทอนสัญญาณ (ปุ่ม VOLTS/DIV) ให้หมุนทวนเข็มนาฬิกาจนสุด
3. หมุนปุ่มควบคุมทุกปุ่มที่มีเส้นขีดกำกับให้อยู่ตำแหน่งกึ่งกลาง (เส้นขีดอยู่ในตำแหน่งตั้งตรง)
4. สวิตช์เลือกของภาคแกนนอน (Trigger Selector: X-Section) เลื่อนไปอยู่ตำแหน่ง AC)
5. สวิตช์เลือกของภาคแกนตั้ง (Y-Section) เลื่อนไปอยู่ตำแหน่งกราวด์ (GD)
6. จ่ายแรงดันไฟฟ้าเข้าเครื่องโดยการกดปุ่ม POWER หลอด LED จะติดแสดงว่าเครื่องพร้อมจะทำงานและจะมีเส้นแสดงระดับสัญญาณปรากฏขึ้นมา 1 เส้น
7. ให้อุ่นเครื่องประมาณ 10 วินาที ปรับตำแหน่งแกนตั้งด้วยปุ่ม Y-POS. และตำแหน่งแกนนอนด้วยปุ่ม X-POS. เพื่อให้เส้นสัญญาณอยู่กึ่งกลางของจอภาพ
8. ปรับความเข้มของแสงด้วยปุ่ม INTENS ให้ต่ำที่สุดเพียงเพื่อบ่งเห็นรูปคลื่นขณะทำการวัดเท่านั้นและปรับความคมชัดด้วยปุ่ม FOCUS

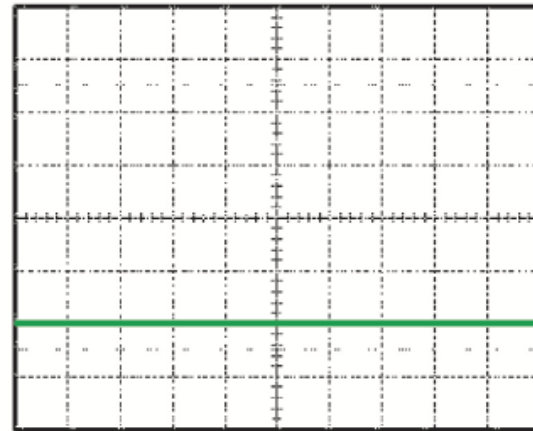
8.2.3 การวัดแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงด้วยออสซิลโลสโคป

การวัดแรงดันไฟฟ้าตามปกติใช้โวลต์มิเตอร์ทำการวัด ค่าที่ได้จากการวัดมาจากการอ่านจากเข็มชี้บนสเกลเมื่อใช้โวลต์มิเตอร์แบบแอนะล็อกทำการวัด หรืออ่านค่าเป็นตัวเลขเมื่อใช้โวลต์มิเตอร์แบบดิจิทัลทำการวัด หากต้องการค่าแรงดันไฟฟ้าและรูปร่างสัญญาณจากการวัดพร้อมกัน จะต้องใช้เครื่องวัดออสซิลโลสโคปทำการวัดค่าแรงดันไฟฟ้านั้น

การวัดแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงด้วยออสซิลโลสโคป ภาพที่หน้าจอของออสซิลโลสโคปเป็นเส้นแสงในแนวนอน ขณะทำการวัดแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง เส้นแสงจะเลื่อนเปลี่ยนตำแหน่งไปจากเดิมเส้นแสงจะเลื่อนขึ้นไปถ้าวัดแรงดันไฟฟ้าถูกขั้ว และเส้นแสงจะเลื่อนลงหากวัดแรงดันไฟฟ้าผิดขั้ว ดังรูปที่ 8.3 (ก) และ 8.3 (ข)



(ก) ขณะวัดแรงดันไฟฟ้าถูกขั้ว



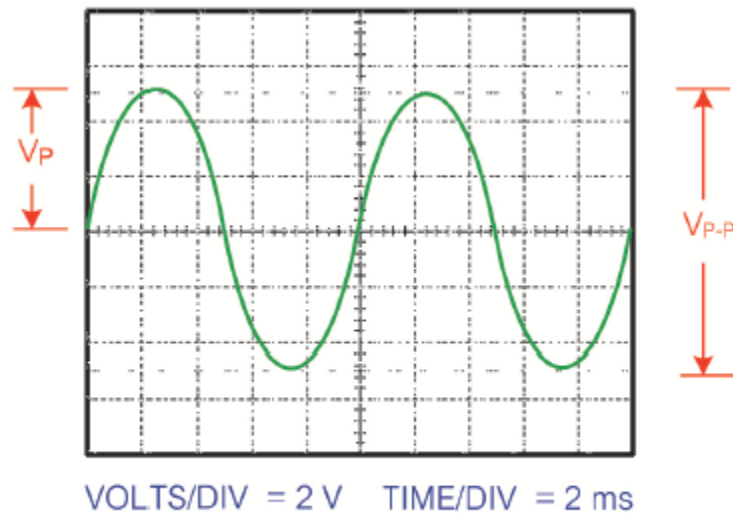
(ข) ขณะวัดแรงดันไฟฟ้าผิดขั้ว

รูปที่ 8.3 สัญญาณจากการวัดค่าแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงด้วยออสซิลโลสโคป

$$V_{DC} = \text{จำนวนช่องที่เลื่อนไป} \times \text{VOLTS/DIV} \quad \text{หน่วย V} \quad \text{.....(8.1)}$$

8.2.4 การวัดแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับด้วยออสซิลโลสโคป

การวัดแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับด้วยออสซิลโลสโคป สัญญาณไฟฟ้ากระแสสลับจะปรากฏขึ้นที่หน้าจอ ตามสัญญาณไฟฟ้าที่ป้อนเข้ามาที่อินพุต การอ่านแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับจะอ่านตามแนวตั้งการอ่านค่าแรงดันไฟฟ้ามี 2 แบบ คือ ค่าแรงดันยอด (VP) และค่าแรงดันยอดถึงยอด (VP-P) ดังแสดงในรูปที่ 8.6



รูปที่ 8.6 สัญญาณจากการวัดค่าแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ

การอ่านค่าแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับด้วยออสซิลโลสโคป สามารถอ่านค่าได้โดยเชสมการ

$$V_{p-p} = \text{จำนวนช่องที่มีสัญญาณจากบนสุดถึงล่างสุด} \times \text{VOLTS/DIV} \quad \text{.....(8.2)}$$

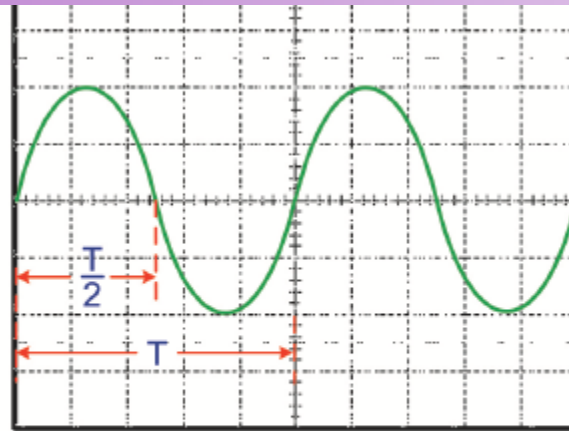
มีหน่วยเป็น V_{p-p}

$$V_p = \frac{V_{p-p}}{2} \text{ มีหน่วยเป็น } V_p \quad \text{.....(8.3)}$$

8.2.5 การวัดคาบเวลาและการคำนวณความถี่

1. การวัดคาบเวลา จะทำการวัดเฉพาะสัญญาณไฟฟ้ากระแสสลับเท่านั้น เนื่องจากสัญญาณไฟฟ้ากระแสตรงมีค่าคงที่ และไม่มีการเปลี่ยนแปลงรูปร่างเมื่อเวลาเปลี่ยนไป

คาบหรือคาบเวลา (Period of Time: T) หมายถึง เวลาที่รูปคลื่นใช้ในการเปลี่ยนรูปร่างครบ 1 ไซเคิล มีหน่วยเป็นวินาที (Second: s) แสดงดังรูปที่ 8.8



VOLTS/DIV = 5 V TIME/DIV = 1 ms

รูปที่ 8.8 สัญญาณคลื่นไซน์จำนวน 2 ไซเคิล

รูปที่ 8.8 การอ่านค่าคาบเวลาของคลื่นไซน์ 1 ไซเคิล ให้พิจารณาจากช่องสเกลแนวนอนคูณกับค่า TIME/DIV ที่ตั้งไว้โดยสมการ

$$\text{คาบเวลา (T)} = \text{จำนวนช่องตามแนวนอนของคลื่น 1 ไซเคิล} \times \text{TIME/DIV (8.4)}$$

2. การคำนวณความถี่ เนื่องจากเครื่องวัดออสซิลโลสโคป ไม่สามารถวัดความถี่ได้โดยตรง การหาความถี่สัญญาณไฟฟ้า ทำได้โดยการวัดคาบเวลาและนำไปคำนวณค่าความถี่

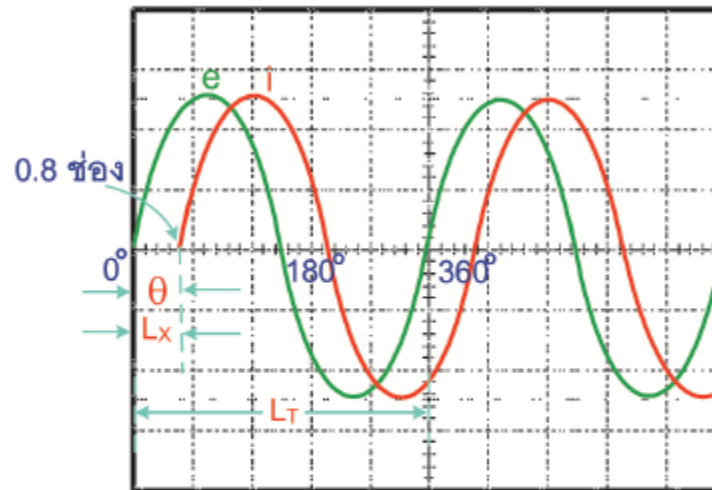
ความถี่ (Frequency: f) หมายถึง จำนวนของรอบต่อวินาที ของรูปคลื่น เช่น หรือจำนวนรอบ (ไซเคิล) ต่อวินาที ความถี่ในหน่วย SI คือ เฮิรตซ์ (Hertz) และสามารถคำนวณความถี่ ได้โดยสมการ

$$T = \frac{1}{f} \text{ s} \quad \text{-----} (8.5)$$

$$f = \frac{1}{T} \text{ Hz} \quad \text{-----} (8.6)$$

8.2.6 การวัดเฟสและคำนวณมุมเฟส

1. การวัดเฟส จะทำเมื่อมีจำนวนรูปคลื่น 2 รูปคลื่นขึ้นไปและรูปคลื่นที่ทำการวัดจะต้องมีคาบเวลาเท่ากันหรือมีความถี่เดียวกันเท่านั้น แสดงดังรูปที่ 8.10



ของการเกิดรูปคลื่นเปลี่ยนเป็นค่ามุมต่างเฟส

จากรูปที่ 8.10 รูปคลื่นแรงดันไฟฟ้า (e) เกิดขึ้นที่เริ่มต้น หรือตำแหน่ง 0 องศา มีจำนวนช่องตามแนวนอน 1 ไชเกิล (LT) เท่ากับ 5 ช่อง มีค่ามุมเท่ากับ 360 องศา

รูปคลื่นกระแสไฟฟ้า (i) เกิดขึ้นหลังรูปคลื่นแรงดันไฟฟ้าเกิดไปแล้ว นับช่องตามแนวนอน (LX) ต่างกันเท่ากับ 0.8 ช่อง สามารถคำนวณมุมต่างเฟสได้ดังนี้

$$\theta = \frac{L_X}{L_T} \times 360 \text{ องศา} \quad \text{----- (8.7)}$$

$$= \frac{0.8 \text{ ช่อง}}{5 \text{ ช่อง}} \times 360 \text{ องศา}$$

$$\theta = 57.6 \text{ องศา}$$

หน่วยที่ 9

เครื่องวัดไฟฟ้าเฉพาะทาง

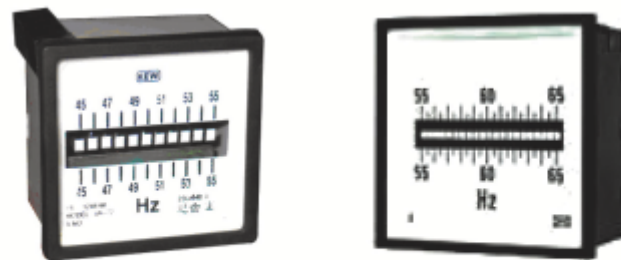
เครื่องวัดความถี่ (Frequency Meter) หรือฟรีควেনซีมิเตอร์ ทำหน้าที่วัดความถี่ของระบบไฟฟ้าหน่วยวัดเรียกว่า เฮิรตซ์ (Hertz: Hz) เครื่องวัดชนิดนี้นับว่ามีความสำคัญอย่างมากต่อการทำงานของอุปกรณ์ไฟฟ้า ตัวอย่างเช่น มอเตอร์ (Motor) หม้อแปลงไฟฟ้า (Transformer) ถ้าหากว่าความถี่ที่จ่ายให้กับมอเตอร์มีค่าเปลี่ยนไปจะทำให้มอเตอร์หมุนช้าลงหรือเร็วยิ่งขึ้น ทำให้การควบคุมคลาดเคลื่อน (Error) ไปจากเดิมซึ่งไม่เป็นผลดีต่อวงจรอุตสาหกรรม เครื่องวัดความถี่แบ่งเป็นแบบแอนะล็อก และแบบดิจิทัล (Digital Frequency Meter) สำหรับเครื่องวัดความถี่แบบแอนะล็อกที่ใช้งานในปัจจุบัน แบ่งได้ 2 แบบ คือ แบบก้านสั่น (Vibration Frequency Meter) แบบเข็มชี้ป้ายเบน (Indicator Frequency Meter)

9.1.1 เครื่องวัดความถี่แบบแอนะล็อก

1. เครื่องวัดความถี่แบบก้านสั่น

ข้อดีของเครื่องวัดความถี่แบบก้านสั้น

- (1) โครงสร้างไม่ซับซ้อน
- (2) ทนทาน
- (3) เหมาะกับงานระบบไฟฟ้ากำลัง เนื่องจากสามารถใช้งานได้หลายระดับแรงดัน
- (4) ระดับแรงดันไฟฟ้าเปลี่ยนแปลงไม่เกิน 10% จะไม่มีผลต่อการอ่าน



รูปที่ 9.1 ตัวอย่างเครื่องวัดความถี่แบบก้านสั้น

2. เครื่องวัดความถี่แบบเข็มชี้ป้ายเบน ที่นิยมใช้ในห้องปฏิบัติการทั่วไป คือ เครื่องวัดความถี่แบบขดลวดเคลื่อนที่ (Moving Coil Type Indicator) พิกัดแรงดัน (Rated Voltage) 120/240 V การป้ายเบนของเข็มชี้จะถูกควบคุมด้วยแรงบิดจากสปริง ความกว้างของย่านวัดมีค่าอยู่ระหว่าง 45–55 Hz, 45–65 Hz, 55–65 Hz, 20–100 Hz เป็นต้น



รูปที่ 9.2 ตัวอย่างเครื่องวัดความถี่แบบเข็มชี้ป้ายเบน

9.1.2 เครื่องวัดความถี่แบบดิจิทัล

เครื่องวัดความถี่แบบดิจิทัลนิยมใช้ในห้องควบคุมระบบไฟฟ้าและปฏิบัติการ ที่ต้องการทราบค่าความถี่ที่มีความละเอียด และสามารถมองเห็นในระยะไกลทำให้ง่ายต่อการอ่านค่าความถี่



รูปที่ 9.3 ตัวอย่างเครื่องวัดความถี่แบบดิจิทัล

เครื่องวัดลำดับเฟส (Phase Sequence Indicator) ใช้สำหรับตรวจสอบการเรียงลำดับเฟสของแรงดันไฟฟ้า 3 เฟส (Three Phase Voltage) รวมถึงการขาดหายไปของเฟสใดเฟสหนึ่งของระบบไฟฟ้าโดยสังเกตจากการติดสว่างของ LED หรือจากการหมุนของแผ่น Disc ลำดับเฟสของแรงดันไฟฟ้ากระแสลับ 3 เฟส มี 2 แบบ คือ ลำดับเฟสบวก (Positive Phase Sequence) และลำดับเฟสลบ (Negative Phase Sequence) ความสำคัญของลำดับเฟส คือ การต่อขนานเครื่องกำเนิดไฟฟ้า (Generator) จะต้องตรวจสอบให้มีลำดับเฟสเหมือนกัน มิเช่นนั้นแล้วจะทำให้เกิดความเสียหายได้

อีกอย่างหนึ่ง คือ ช่วยให้ต่อสายมอเตอร์ได้ถูกต้องและหมุนถูกต้องทิศทาง หรือที่คุ้นเคยคือ การกลับเฟสสายจ่ายแรงดันเพียงคู่ใดคู่หนึ่ง ก็จะทำให้มอเตอร์หมุนกลับทางตามต้องการ นอกจากนี้ยังใช้ประโยชน์ในการตรวจสอบเฟสของระบบไฟฟ้าในโรงงานเพื่อหาเฟส R, S, T ได้ เครื่องวัดลำดับเฟสมีหลักการทำงาน 2 แบบ คือ แบบอาศัยการเหนี่ยวนำและแบบอาศัยหลอดไฟ

9.2.1 เครื่องวัดลำดับเฟสแบบอาศัยการเหนี่ยวนำ

เครื่องวัดลำดับเฟสแบบอาศัยการเหนี่ยวนำมีส่วนประกอบที่สำคัญ คือ ขดลวดสร้างสนามแม่เหล็ก (Field Coils) จานหมุนอะลูมิเนียม (Disc) และหลอดไฟ การทำงานเริ่มจากป้อนแรงดันไฟฟ้าให้กับขดลวด จะสร้างสนามแม่เหล็กเหนี่ยวนำให้จานอะลูมิเนียมหมุนไป ถ้าหมุนตามเข็มนาฬิกาแสดงว่าลำดับเฟสเรียงลำดับ R, S, T ถูกต้อง ถ้าหากผิดทิศทางให้สลับสายคู่ใดคู่หนึ่ง แต่ถ้าจานไม่หมุนแสดงว่ามีเฟสใดเฟสหนึ่งขาดหายไป (Phase Open) หรือไม่ครบเฟส ดังรูปที่ 9.4



รูปที่ 9.4 ตัวอย่างเครื่องวัดลำดับเฟสแบบอาศัยการเหนี่ยวนำ

9.2.2 เครื่องวัดลำดับเฟสแบบอาศัยหลอดไฟ

เครื่องวัดลำดับเฟสแบบนี้จะแสดงลำดับเฟสด้วยการติดสว่างของหลอดไฟ (LED) และเสียงบั๊ซเซอร์ (Buzzer) ส่วนประกอบที่สำคัญมีดังนี้



รูปที่ 9.5 ตัวอย่างเครื่องวัดลำดับเฟสแบบอาศัยหลอดไฟ

1. หลอด LED แสดงการขาดหายของเฟส
2. หลอด LED แสดงลำดับของเฟส (หลอดสีเขียวแสดงลำดับถูกต้อง หลอดสีแดงลำดับไม่ถูกต้อง)
3. จั๊บบยางใช้ยึดเครื่องติดกับสวิตช์บอร์ด
4. สายวัด (สีแดง คือ เฟส R, สีขาว คือ เฟส S และสีน้ำเงิน คือ เฟส T)
5. ปากคิบนีบสายไฟ
6. สายคล้องข้อมือ
7. เข็มสำหรับแตะวัดแบบสัมผัส

เครื่องวัดความเร็วรอบ (Tachometer) ใช้สำหรับวัดรอบการหมุนของมอเตอร์ เครื่องกำเนิด และเครื่องจักรกลต่าง ๆ มีหน่วยวัดเป็นรอบต่อนาที (Revolution Per Minute; rpm) ที่ใช้งานในปัจจุบันมีหลายแบบ เช่น แบบสัมผัส แบบแสง และแบบใช้แสง/สัมผัส เป็นต้น

เครื่องวัดความเร็วรอบแบบใช้แสง/สัมผัส ระบบดิจิทัล (Digital Photo/Contact Tachometer) เป็นเครื่องวัดความเร็วรอบที่ใช้แสงและระบบสัมผัสรวมไว้ในเครื่องเดียวกัน ทำให้สะดวกต่อการใช้งานโครงสร้างภายในทำงานด้วยอุปกรณ์โซลิดสเตต (Solid State Device) แบบ LSI ซึ่งเป็นไมโครคอมพิวเตอร์ชิปเดียว (Microcomputer Single Chip) จึงให้ความเที่ยงตรงสูงมีช่วงการวัดที่กว้างและวัดได้รวดเร็ว เช่น ตั้งแต่ 0.5–9999 รอบต่อนาที (rpm) นอกจากนี้ยังมีหน่วยความจำ (Memory) เพื่อเก็บข้อมูลการวัดไว้ได้



รูปที่ 9.6 ตัวอย่างเครื่องวัดความเร็วรอบและการทำงาน

วิธีการใช้งานแบบใช้แสง แบบนี้จะใช้วิธีการติดแผ่นสะท้อนแสงเข้ากับเพลลาหรือผิวของวัตถุที่หมุนจากนั้นเล็งลำแสงไปยังวัตถุที่จะวัด ตัวเลขจะปรากฏขึ้นบอกความเร็วให้ทราบเป็นรอบต่อนาที ส่วนแบบสัมผัส จะใช้วิธีการวัดความเร็วที่ผิวสัมผัสโดยใช้ลูกยางแบบกรวย

เครื่องวัดความเข้มของแสง (Lux Meter) หรือลักซ์มิเตอร์ เป็นเครื่องมือที่ใช้สำหรับวัดความเข้มของแสงหรือความสว่างของแสง จึงเรียกอีกชื่อหนึ่งว่า Illuminometer อุปกรณ์รับแสงจะใช้โฟโตเซลล์ชนิด Selenium Photo Cell ที่มีประสิทธิภาพและความไวสูง ประโยชน์ของลักซ์มิเตอร์มีดังนี้

1. ใช้ในการออกแบบระบบแสงสว่าง สำหรับสำนักงาน โรงงานอุตสาหกรรม และสถานที่ต่าง ๆ ให้เหมาะสมกับสถานที่และงานทุกชนิด เพื่อที่จะรักษาสุขภาพตาของผู้คนในสถานที่นั้น
2. ใช้ในการจัดแสงไฟสำหรับเวทีการแสดงหรือห้องสตูดิโอที่มีการถ่ายทำภาพยนตร์ วิดีโอ หรือถ่ายภาพ
3. เพื่อเป็นการประหยัดค่าไฟจากสถานที่ที่มีแสงสว่างเกินความจำเป็น
4. ใช้ในการเกษตร เช่น แสงสว่างในเรือนเพาะชำ เป็นต้นสำหรับระดับแสงสว่างที่พอเหมาะกับสถานที่ต่าง ๆ หรืองานชนิดต่าง ๆ ลักซ์มิเตอร์ที่ใช้งานทั่วไปมี 2 แบบ คือ แบบเข็มชี้ป้ายเบนและแบบดิจิตอล

แอมมิเตอร์แบบแคลมป์ออน (Clamp on AC Ammeter) ดังรูปที่ 9.8 จะทำงานเหมือนกันกับหม้อแปลงกระแสไฟฟ้า โดยมีขดลวดปฐมภูมินำไปคล้องเข้ากับสายไฟ ทำให้เกิดการเหนี่ยวนำได้กระแสไฟฟ้าไหลในขดลวดทุติยภูมิ โดยกระแสไฟฟ้านี้จะเป็นสัดส่วนกับกระแสไฟฟ้าที่ขดลวดปฐมภูมิ และนำไปป้อนให้วงจรเรียงกระแสเพื่อเปลี่ยนกระแสสลับเป็นกระแสตรงป้อนให้ขดลวดเคลื่อนที่



รูปที่ 9.8 ตัวอย่างแคลมป์ออนมิเตอร์

โดยปกติแล้วการวัดกระแสไฟฟ้าจะต้องต่อแอมมิเตอร์อนุกรมกับโหลด ถ้าวัดค่ากระแสไฟฟ้าสูงแล้วจะมีอันตรายและไม่สะดวกในการปฏิบัติ จึงใช้แคลมป์ออนมิเตอร์วัดกระแสไฟฟ้าแทนแอมมิเตอร์ แคลมป์ออนมิเตอร์จะมี 3 ส่วน คือ โอห์มมิเตอร์ แอมมิเตอร์ และโวลต์มิเตอร์ จะมีสวิตช์เปลี่ยนย่านวัดเหมือนมิเตอร์ทั่วไป