บทที่ 10

การวัดและเครื่องมือวัดไฟฟ้า

1. คำศัพท์ต่างๆที่ควรทราบสำหรับการใช้เครื่องมือวัด

1.1 ความไว (Sensitivity) ของมิเตอร์ หมายถึงเครื่องมือตอบสนองกับสัญญาณที่ทำการวัดไวมากน้อยเพียงไร เช่นเครื่องมือที่แบ่งหน้าปัทม์ไว้วัดกระแส 1uA/mm และ 1 uA/cm เครื่องมือตัวแรกจะตอบสนองและมีความไวน้อยกว่าแบบที่สอง

1.2 ความเที่ยงตรง (Precision) คือ ความสามารถของเครื่องมือวัดที่วัดค่าแต่ละครั้งมีความแตกต่างของค่าวัดได้น้อยมาก เมื่อใช้เครื่องมือวัดนั้นไปวัดปริมาณตัวแปรเดิม

1.3 ความถูกต้องแม่นยำ (Accuracy) ความถูกต้องหมายถึงความไม่สมบูรณ์ของเครื่องมือวัดที่ทำให้เครื่องมือวัดเกิดความผิดพลาด(อาจจะเกิดจากอุปกรณ์ภายในเครื่องมือวัดที่นำมาต่อ ทำให้เกิดความผิดพลาด) มักจะบอกเป็นเปอร์เซนต์ของความผิดพลาดของช่วงวัดสูงสุด เช่น เครื่องมือวัดแอมมิเตอร์มี Accuracy $\pm 0.5\%$ of Full Scale

1.4 ข้อผิดพลาด (Error) หมายถึงผลที่วัดได้ไม่ตรงกับความเป็นจริง

ข้อผิดพลาด (Error) = ค่าปริมาณจริง - ค่าปริมาณที่วัดได้จากเครื่องมือวัด

2. กัลวาโนมิเตอร์และเครื่องมือวัดสัญญาณไฟฟ้ากระแสตรง

2.1 กัลวาโนมิเตอร์และเครื่องมือวัดสัญญาณไฟฟ้ากระแสตรง

เครื่องมือประเภทนี้เป็นประเภทขดลวดหมุนแม่เหล็กถาวร (Permanent Magnet Moving Coil) หรือ PMMC มิเตอร์ประเภทนี้สัญญาณกระแสที่ต้องการวัดจะไหลผ่าน Moving Coil ซึ่งวางไว้ระหว่างขั้วแม่เหล็กถาวรดังรูปที่ 10.1 ตามทฤษฎีแม่เหล็กไฟฟ้า ขดลวดจะหมุน แรงหมุนจะเป็นสัดส่วนโดยตรงกับกระแสไหลผ่านขดลวดเป็นไปตามสมการที่ 10.1

$$\Gamma = BANI \quad \text{..... (10.1)}$$

เมื่อ Γ = *torque ของขดลวด*

B = *magnetic flux density*

A = *พื้นที่หน้าตัดของขดลวด*

I = *กระแสที่ไหลผ่านขดลวด*

$$\Gamma = K\theta \quad \text{..... (10.2)}$$

Γ = *torque ของสปริง*

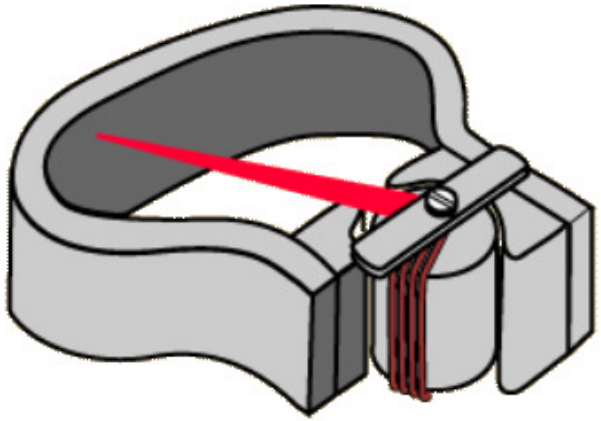
K = *Spring Constant*

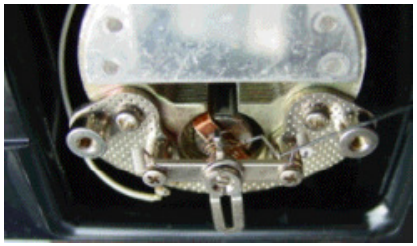
θ = *มุมของเข็มชี้ที่เบี่ยงเบนไปและหยุดนิ่งอยู่กับที่*

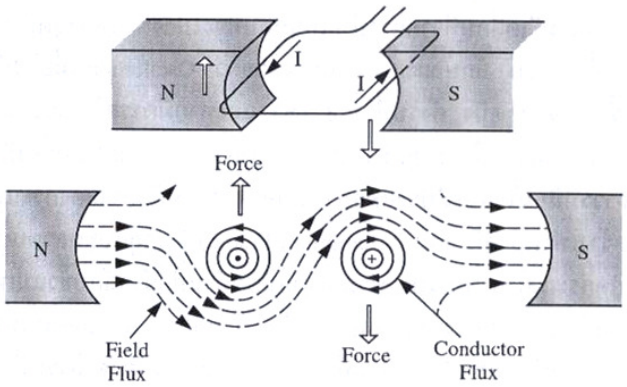
แรงของสปริงจะเท่ากับแรงที่เกิดจากแรงบิดของขดลวดสมการ (10.1)เท่ากับสมการ (10.2)

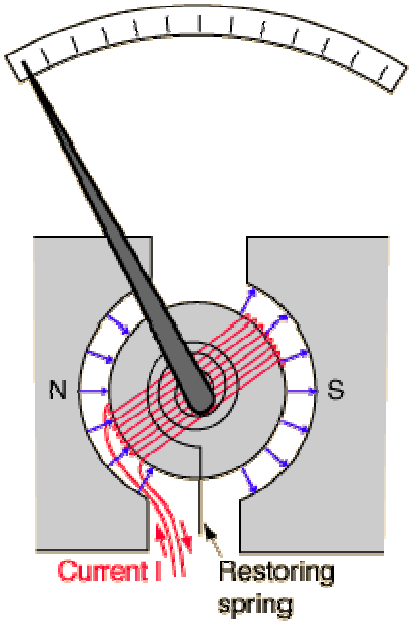
$$\Gamma = K\theta = BANI \Rightarrow \theta = \frac{BANI}{K}$$

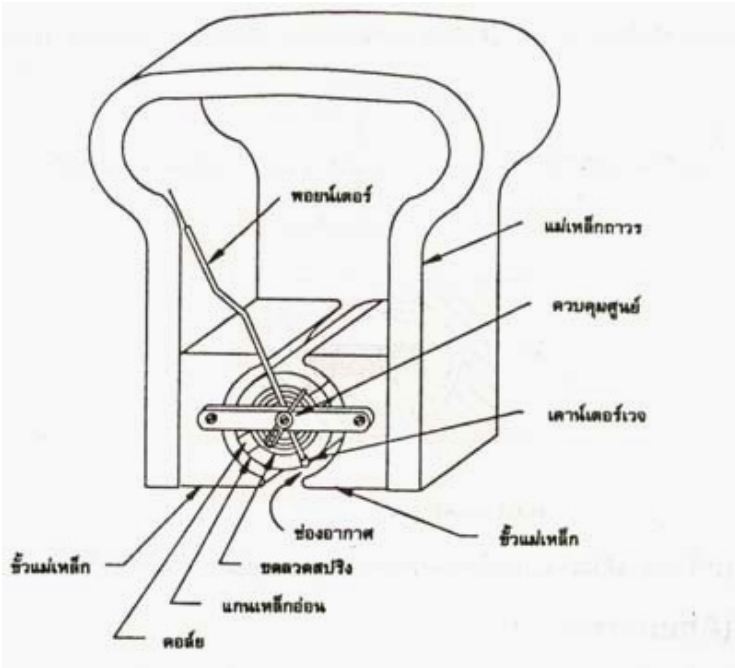
$$\boxed{\theta \propto I} \quad \text{..... (10.3)}$$











รูปที่ 1. แสดงโครงสร้างของกัลวาโนมิเตอร์

เราสามารถนำกัลวาโนมิเตอร์ต่อวงจรทำเป็น แอมมิเตอร์ โวลท์มิเตอร์ และ โอห์มมิเตอร์ได้

มีปรากฏการณ์อย่างหนึ่งเกี่ยวกับมิเตอร์ประเภทนี้ที่ควรทำความเข้าใจ คือเมื่อเข็มบนหน้าปัทม์เคลื่อนที่และหยุดนิ่ง การเคลื่อนที่ของเข็มนั้นเกี่ยวข้องกับการ Damping ทางไฟฟ้าและเครื่องกล ลักษณะที่เข็มเคลื่อนที่และหยุดนิ่งอยู่ที่ตำแหน่งค่าของสัญญาณที่ต้องการวัดนั้นพอดี ไม่มีการสวิงมากจนเกินไปหรือช้าจนเกินไป จะเรียกว่า critical damping การที่จะให้เกิด critical damping ได้จะต้องทำการปรับปรุงวงจรข้างนอกของกัลวาโนมิเตอร์ให้มีค่าความต้านทานรวมเท่ากับ CDRX(External Critical Damping Resistance)

ดังนั้นข้อมูลเกี่ยวกับกัลวาโนมิเตอร์ ที่ผู้ใช้ควรทราบ

Current Sensitivity เช่น 0.1 uA/mm

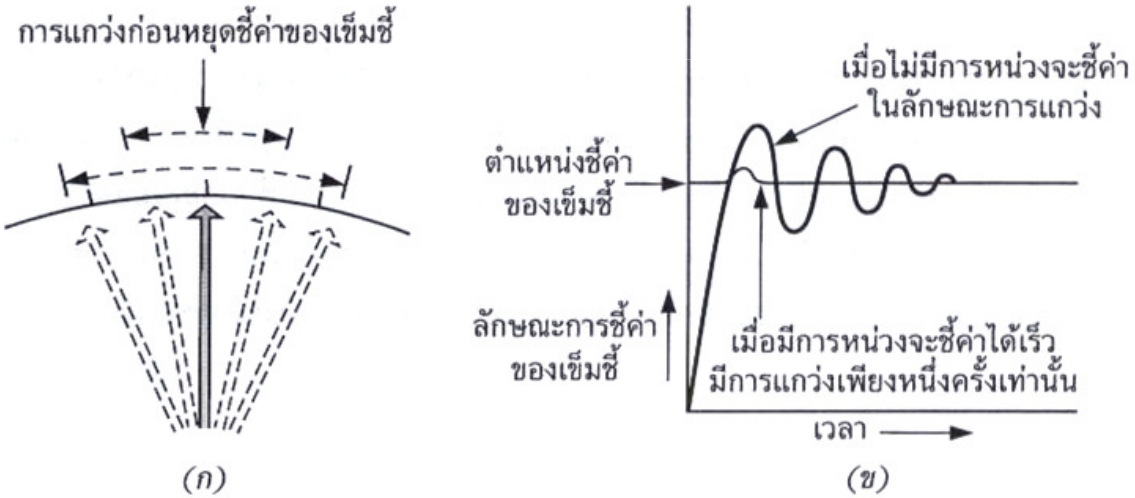
Scale length เช่น 10 mm

กระแสเต็มเสกล เช่น 10 mA

ความต้านทานภายใน (R_g)

เช่น R_g = 100 โอห์ม

CDRX = 400 โอห์ม



รูปที่ 2. แสดงการแกว่งของเข็มกัลวาโนมิเตอร์แบบ Critical Damping

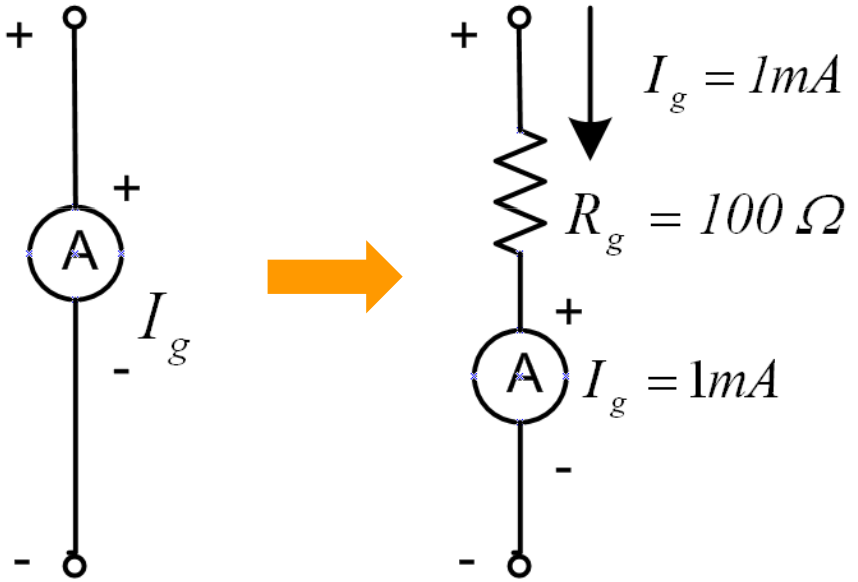
10.3 ดีซีแอมมิเตอร์ (DC Ammeter)

แอมมิเตอร์ชนิดดีซี นั้นก็คือกัลวาโนมิเตอร์ ที่มีแต่ซีกบวกซีกเดียว ดังรูป

คุณสมบัติของดีซีแอมมิเตอร์คือ ความต้านทานภายในของดีซีแอมมิเตอร์ คือ R_g กระแสไหลสูงสุด(Full Scale) คือ I_g หรือ I_m

กัลวาโนมิเตอร์

แอมมิเตอร์

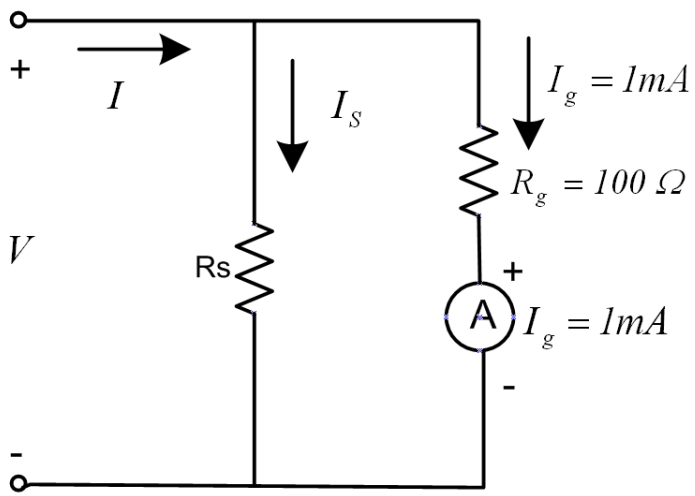


สัญญาลักษณ์ของแอมมิเตอร์ และวงจรเสมือน

การออกแบบดีซีแอมมิเตอร์ (DC Ammeter) ให้สามารถวัดค่ากระแสได้สูงขึ้น

แอมมิเตอร์ชนิดดีซี เราสามารถขยายย่านการวัดกระแสให้สูงขึ้นได้ด้วยการนำตัวต้านทาน R_S ต่อขนานเข้ากับแอมมิเตอร์เพื่อทำการแบ่งกระแส จะทำให้สามารถวัดค่ากระแสได้สูงขึ้น

ตัวอย่างที่ 1 จงดัดแปลงกัลวาโนมิเตอร์ให้เป็น ดีซีแอมมิเตอร์ที่สามารถวัดกระแสได้เต็มเสกล 1A โดยที่กัลวาโนมิเตอร์มีคุณสมบัติคือ กระแสสูงสุด 1 mA ความต้านทานภายใน 100 โอห์ม



วิธีทำ จากวงจร $V = I_S R_S = I_g R_g$

$$R_S = \frac{I_g R_g}{I_S} \quad \text{เพราะ} \quad I = I_S + I_g$$

ดังนั้น

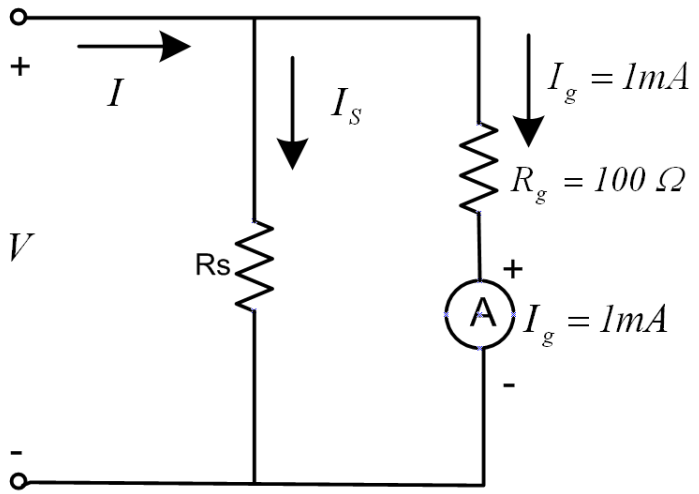
$$\boxed{R_S = \frac{I_g R_g}{I - I_g}}$$

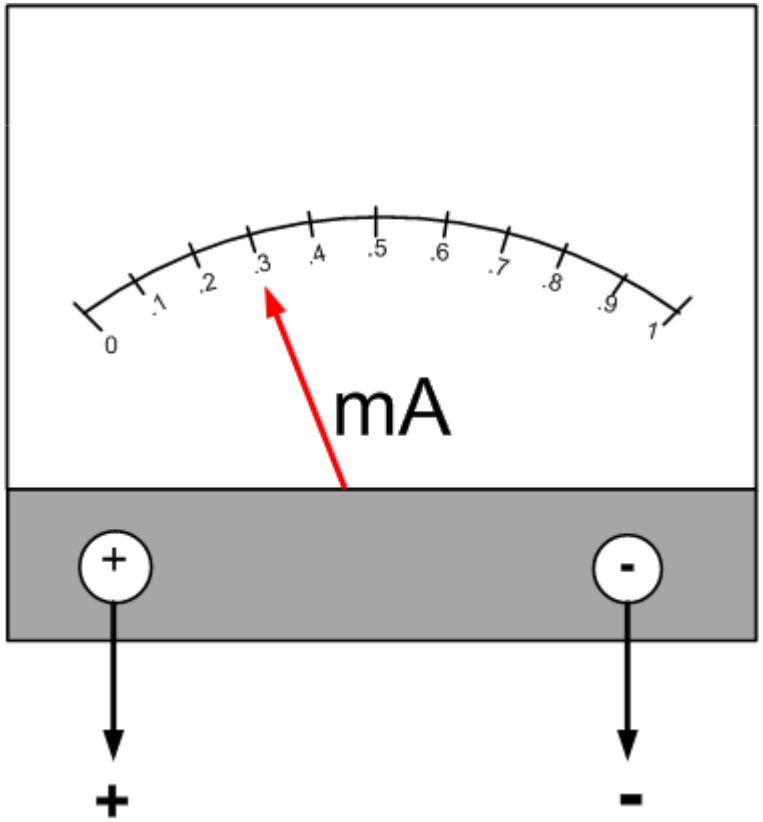
สูตร

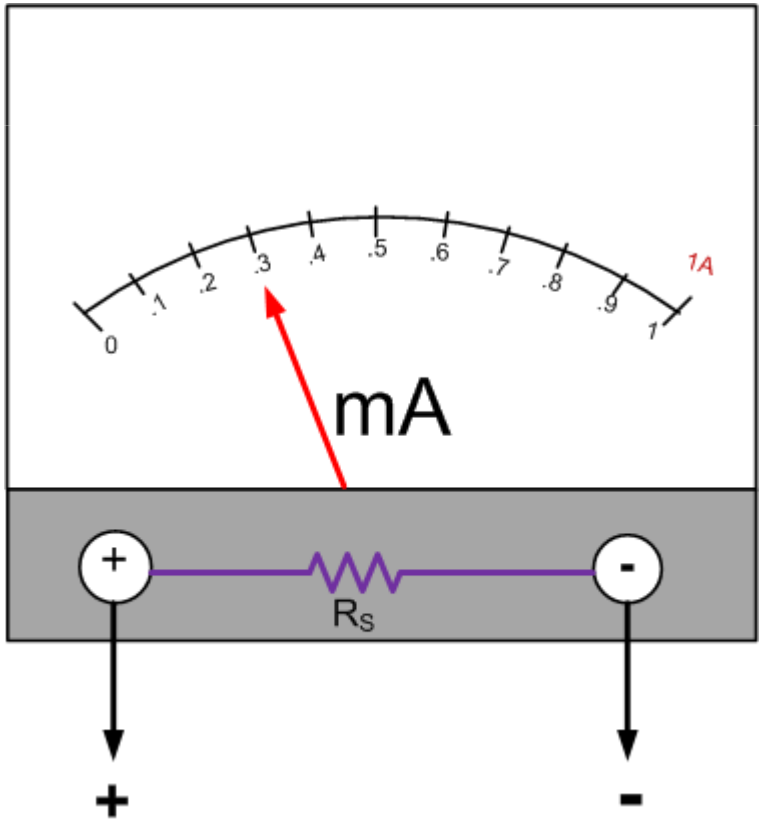
แทนค่า $I = 1A \qquad I_g = 1mA \qquad R_g = 100\Omega$

$$R_S = \frac{1mA \times 100\Omega}{1A - 1mA} \approx 0.1\Omega$$

0
0.2
0.4
0.6
0.8
1.0
mA


+
I
I_S
$I_g = 1mA$
$R_g = 100\ \Omega$
V
Rs
+
A
$I_g = 1mA$
-
-


0
.1
.2
.3
.4
.5
.6
.7
.8
.9
1
mA
+
-
+
-


0
.1
.2
.3
.4
.5
.6
.7
.8
.9
1
1A
mA
+
-
Rs
+
-

การออกแบบดีซีแอมมิเตอร์ให้สามารถวัดค่ากระแสได้หลายช่วงการวัด

เราสามารถขยายย่านการวัดกระแสได้หลายช่วงการวัดดังรูป

จากตัวอย่างที่1 จงออกแบบให้สามารถวัดกระแสได้สูงสุด 100 mA และ 1A

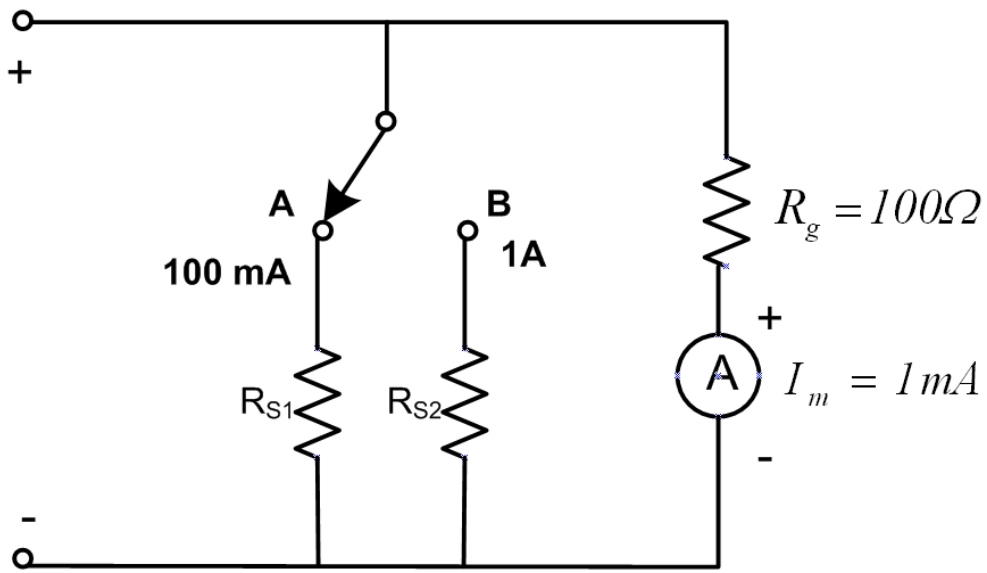
สูตร $$R_S = \frac{I_g R_g}{I - I_g}$$

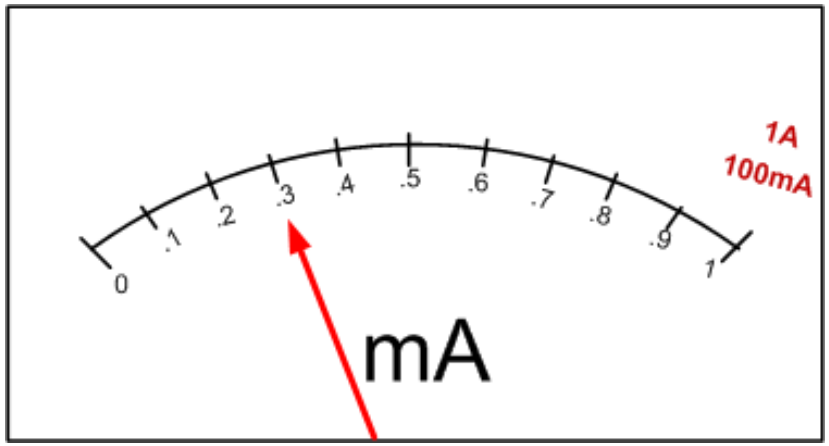
แทนค่า $I = 100mA \qquad I_g = 1mA \qquad R_g = 100\Omega$

$$R_{S1} = \frac{1mA \times 100\Omega}{100mA - 1mA} \approx 1\Omega$$

$I = 1A \qquad I_g = 1mA \qquad R_g = 100\Omega$

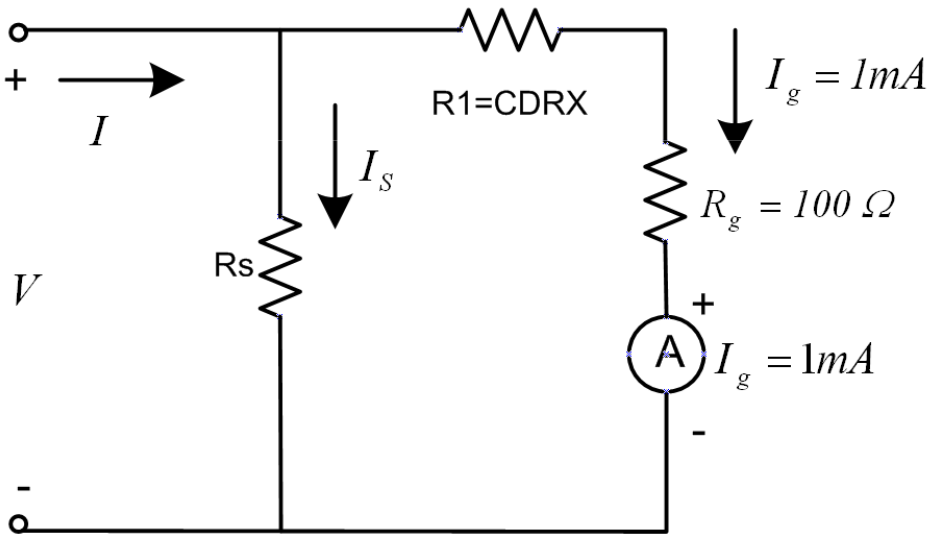
$$R_{S2} = \frac{1mA \times 100\Omega}{1A - 1mA} \approx 0.1\Omega$$





ตัวอย่างที่ 2 จากตัวอย่างที่1 จงดัดแปลงกัลวาโนมิเตอร์ให้เป็น ดีซีแอมมิเตอร์ที่สามารถวัดกระแสได้เต็มเสกล 1A ให้ได้ critical damping โดยที่กัลวาโนมิเตอร์มีคุณสมบัติคือ กระแสสูงสุด 1 mA ความต้านทานภายใน 100 โอห์ม และมีค่า CDRX = 400 Ohms

วิธีทำ เพื่อให้ได้ critical damping จะต้องให้ $R_1 = CDRX = 400\Omega$



จากวงจร $V = I_S R_S = I_g(R_g + R_1)$

$$R_S = \frac{I_g(R_g + R_1)}{I_S} \quad \text{และ} \quad I = I_S + I_g$$

ดังนั้น

$$\boxed{R_S = \frac{I_g(R_g + R_1)}{I - I_g}}$$ สูตร

แทนค่า $I = 1A \quad I_g = 1mA \quad R_g = 100\Omega \quad R_1 = 400\Omega$

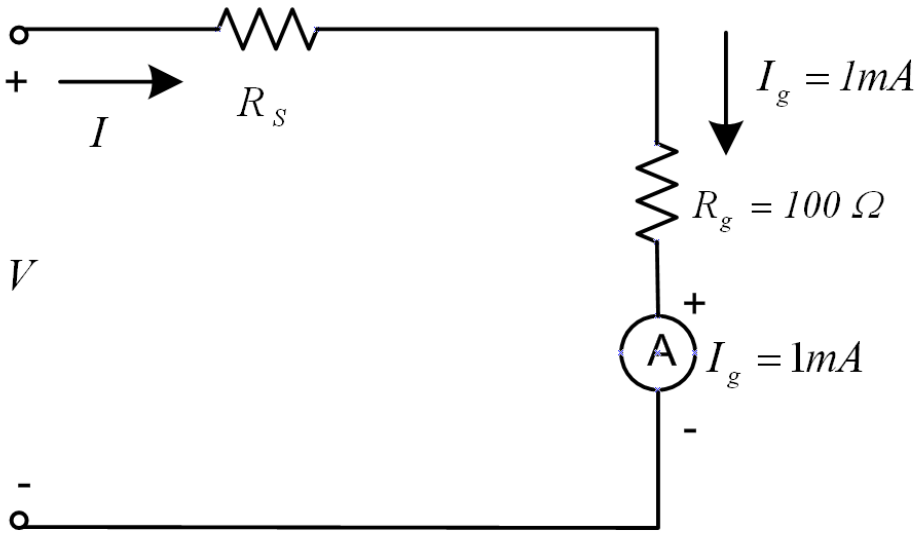
$$R_S = \frac{1mA \times (100\Omega + 400\Omega)}{1A - 1mA} \approx 0.5\Omega$$

10.4 เครื่องมือวัดดีซีโวลท์มิเตอร์ (DC Voltmeter)

โวลท์มิเตอร์ชนิดดีซี เราสามารถใช้ดีซีแอมมิเตอร์นำมาดัดแปลงเป็นโวลท์มิเตอร์ได้ด้วยการนำตัวต้านทาน R_S ต่ออนุกรมเข้ากับแอมมิเตอร์ จะทำให้สามารถวัดค่าแรงดันดีซีได้

ตัวอย่างที่ 3 จงดัดแปลงดีซีแอมมิเตอร์ให้เป็น ดีซีโวลท์มิเตอร์ที่สามารถวัดแรงได้เต็มเสกล 100V โดยที่ดีซีแอมมิเตอร์มีคุณสมบัติคือ กระแสสูงสุด 1 mA ความต้านทานภายใน 100 โอห์ม

วิธีทำ จากวงจร $V = I_g(R_S + R_g)$

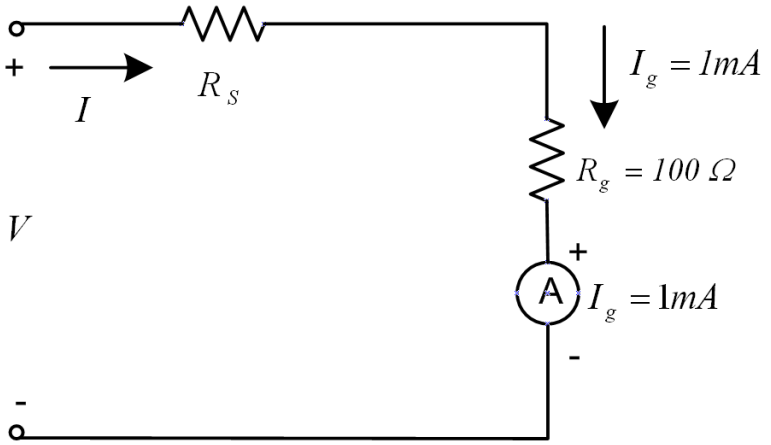


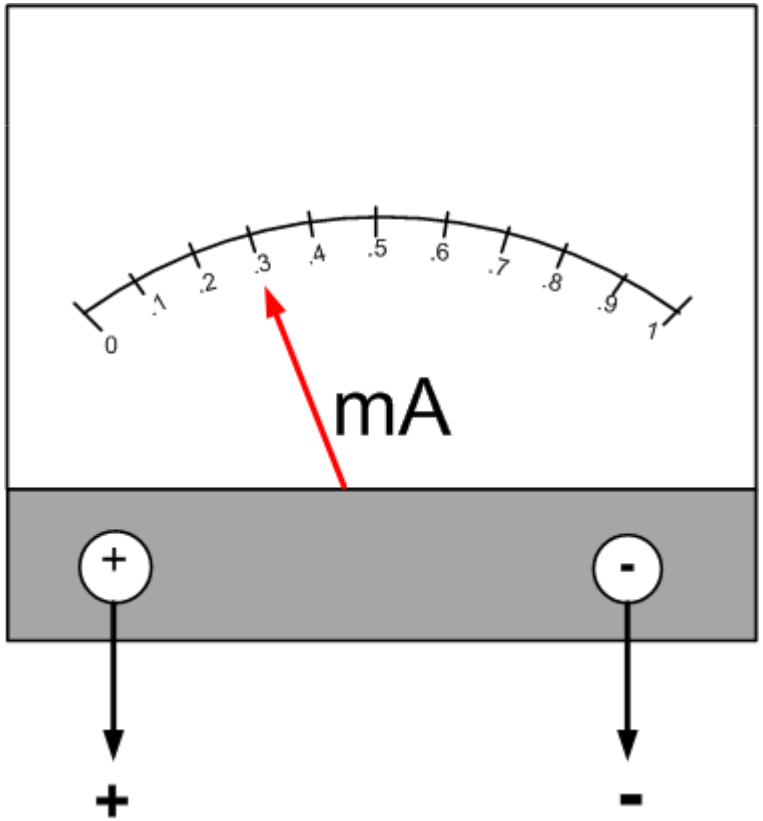
ดังนั้น $$R_S = \frac{V}{I_g} - R_g$$ **สูตร**

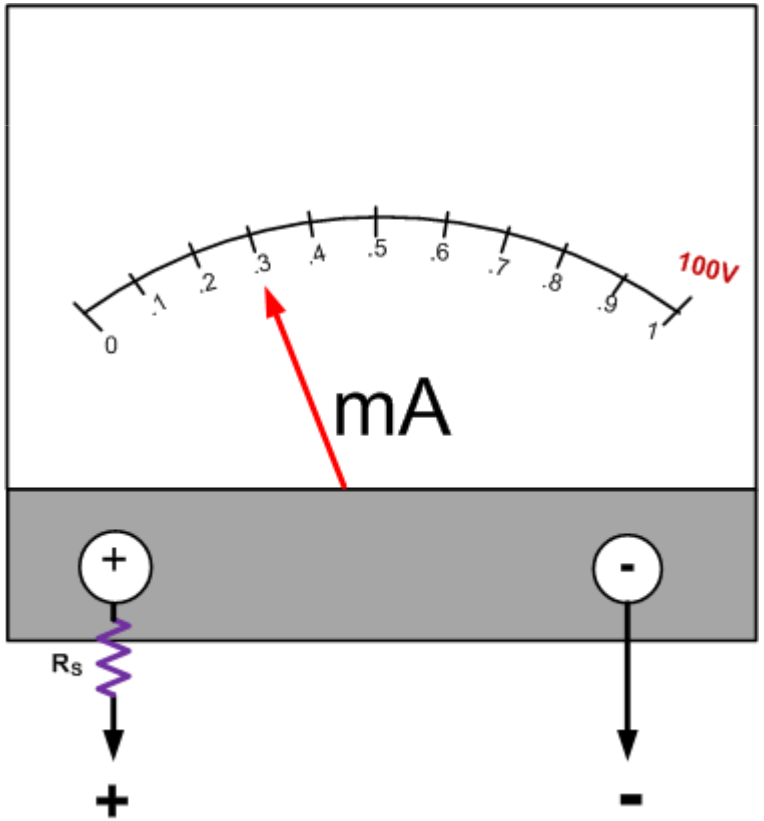
แทนค่า $V = 100V \qquad I_g = 1mA \qquad R_g = 100\Omega$

$$R_S = \frac{100V}{1mA} - 100\Omega \approx 100k\Omega$$

0
0.2
0.4
0.6
0.8
1.0
mA


+
I
R_S
$I_g = 1mA$
$R_g = 100\ \Omega$
V
+
A
$I_g = 1mA$
-
-


0
.1
.2
.3
.4
.5
.6
.7
.8
.9
1
mA
+
-
+
-


0
.1
.2
.3
.4
.5
.6
.7
.8
.9
1
100V
mA
+
-
Rs
+
-

การออกแบบดีซีโวลท์มิเตอร์ให้สามารถวัดค่ากระแสได้หลายช่วงการวัด

เราสามารถขยายย่านการวัดแรงดันได้หลายช่วงการวัดดังรูป

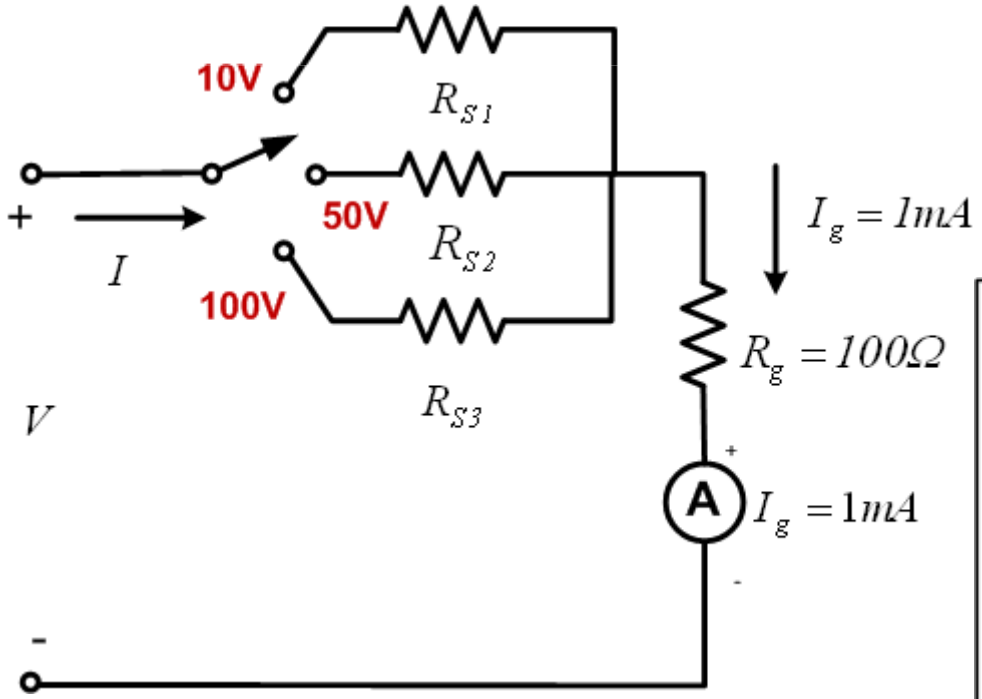
จากตัวอย่างที่3 จงออกแบบให้สามารถวัดกระแสได้สูงสุด 10V 50V และ 100V

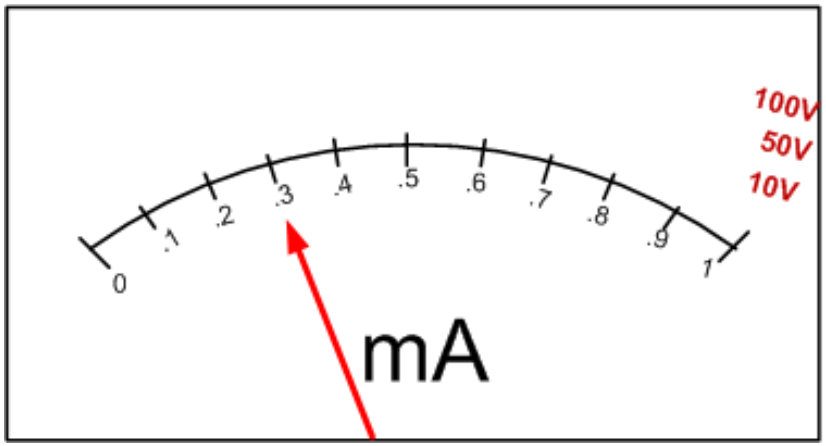
สูตร $$R_S = \frac{V}{I_g} - R_g$$

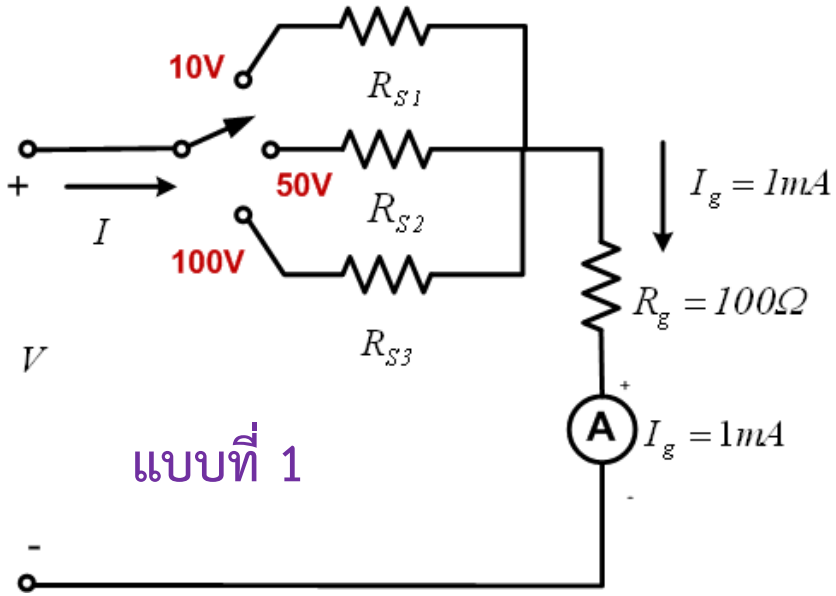
แทนค่า 10V : $$R_{S1} = \frac{10V}{1mA} - 100\Omega = 9.9k\Omega$$

50V : $$R_{S2} = \frac{50V}{1mA} - 100\Omega = 49.9k\Omega$$

100V : $$R_{S3} = \frac{100V}{1mA} - 100\Omega = 99.9k\Omega$$





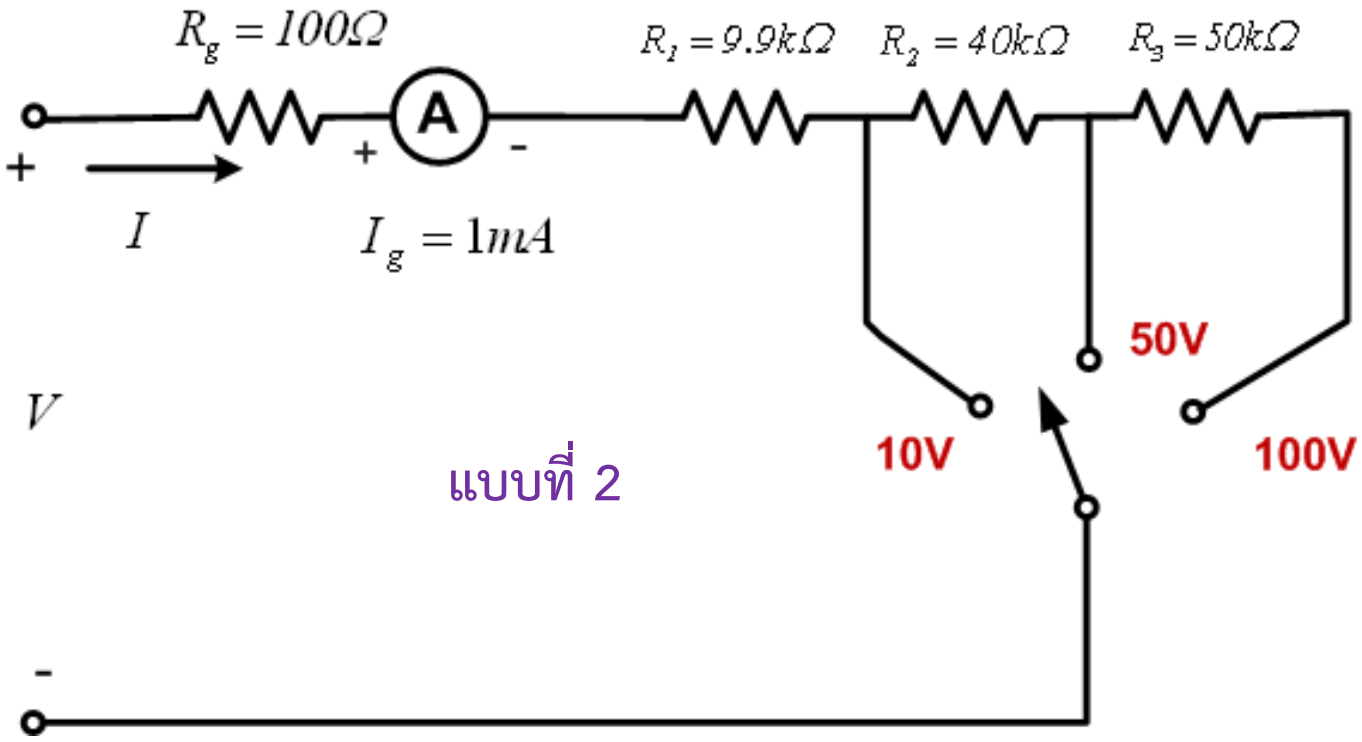


แบบที่ 1

10V : $R_{S1} = \frac{10V}{1mA} - 100\Omega = 9.9k\Omega$

50V : $R_{S2} = \frac{50V}{1mA} - 100\Omega = 49.9k\Omega$

100V : $R_{S3} = \frac{100V}{1mA} - 100\Omega = 99.9k\Omega$



แบบที่ 2

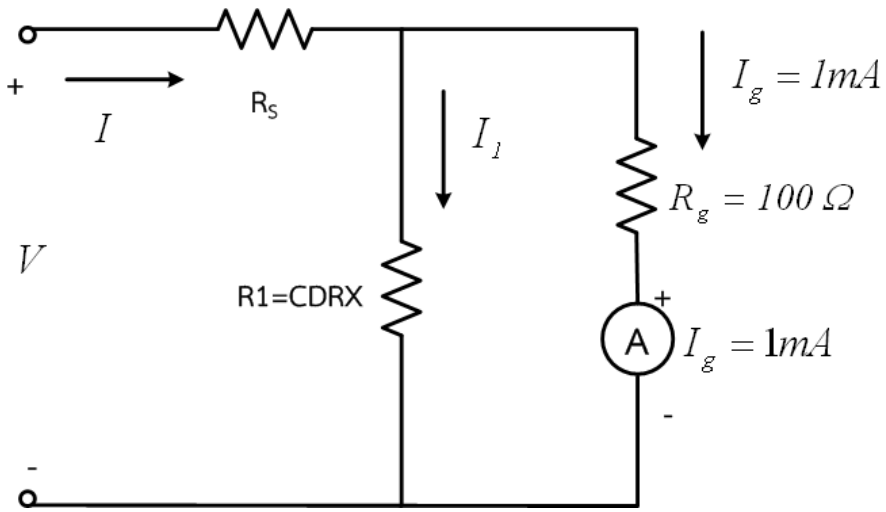
ตัวอย่างที่ 4 จากตัวอย่างที่ 3. จงดัดแปลงกัลวาโนมิเตอร์ให้เป็น ดีซีโวลท์มิเตอร์ที่สามารถวัดแรงดันได้เต็มเสกล 100V และให้ได้ critical damping เมื่อดีซีโวลท์มิเตอร์มี CDRX = 400 ohm

วิธีทำ เพื่อให้ได้ critical damping จะต้องให้ $R_1 = CDRX = 400\Omega$

จากวงจร $V = IR_S + I_g R_g$

$$I = I_1 + I_g$$

$$V_{R1} = I_1 R_1 = I_g R_g \quad \text{ดังนั้น} \quad I_1 = \frac{I_g R_g}{R_1}$$



ดังนั้น $$R_S = \frac{V - I_g R_g}{I} = \frac{V - I_g R_g}{I_1 + I_g}$$

$$\boxed{R_S = \frac{V - I_g R_g}{\frac{I_g R_g}{R_1} + I_g}}$$ สูตร

แทนค่า

$V = 100V \qquad I_g = 1mA \qquad R_g = 100\Omega$

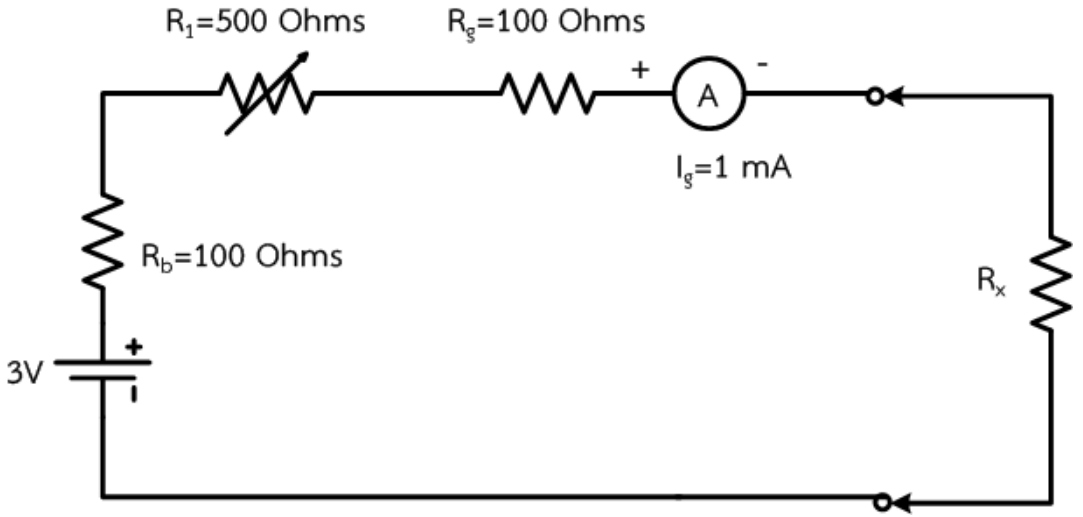
$$R_S = \frac{100V - 1mA \times 100\Omega}{\frac{1mA \times 100\Omega}{400\Omega} + 1mA} = 79.92k\Omega$$ ตอบ

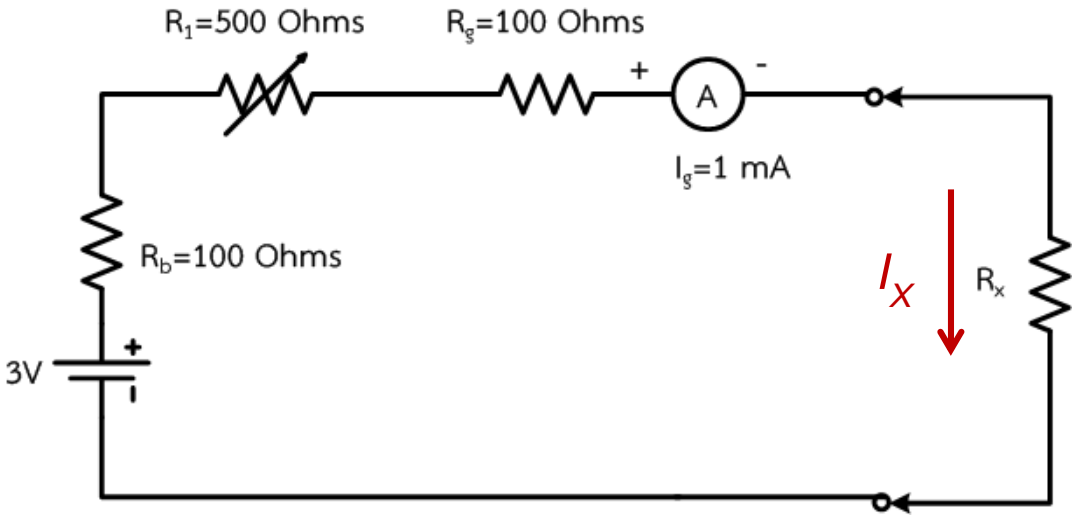
10.5 เครื่องมือวัดความต้านทาน (Ohmmeter)

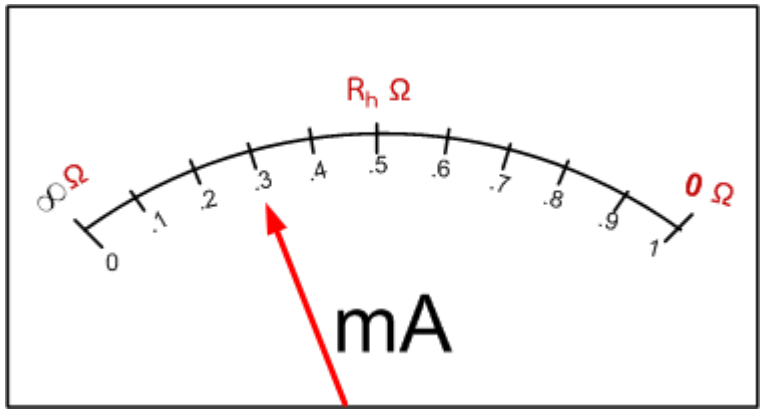
สามารถนำกัลวาโนมิเตอร์ ต่อเพื่อทำการวัดค่าความต้านทานได้ สามารถแบ่งโอห์มมิเตอร์ได้เป็นสองแบบคือ โอห์มมิเตอร์แบบอนุกรม(Series Ohmmeter) และ โอห์มมิเตอร์แบบขนาน(Parallel Ohmmeter)

10.5.1 โอห์มมิเตอร์แบบอนุกรม(Series Ohmmeter)

ดังรูปที่ โอห์มมิเตอร์ต้องมีแบตเตอรี่และแอมมิเตอร์ โดยที่ R_b เป็นความต้านทานภายในแบตเตอรี่ R_g เป็นความต้านทานภายในแอมมิเตอร์ R_1 เป็นความต้านทานที่ปรับให้กระแสเต็มเสกล(Zero Adjust) R_X คือความต้านทานที่ต้องการวัด







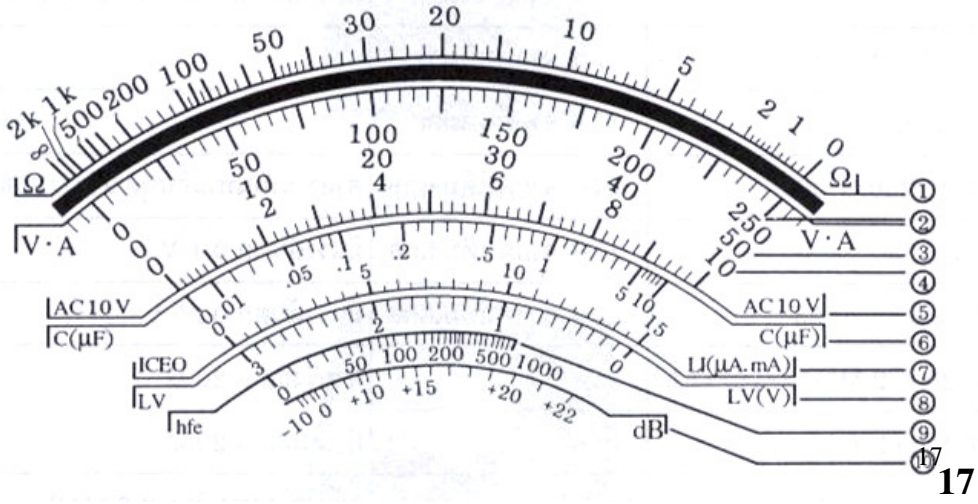
1. ถ้าความต้านทาน $R_X = 0$ ohm (Short circuit) $I_X = 1$ mA เข็มชี้เต็มเสกล

2. ถ้าความต้านทาน $R_X = \infty$ ohm (Open circuit) $I_X = 0$ mA เข็มชี้ที่ 0 mA

3. ถ้าความต้านทานที่กึ่งกลางเสกล (R_h = Half Scale)

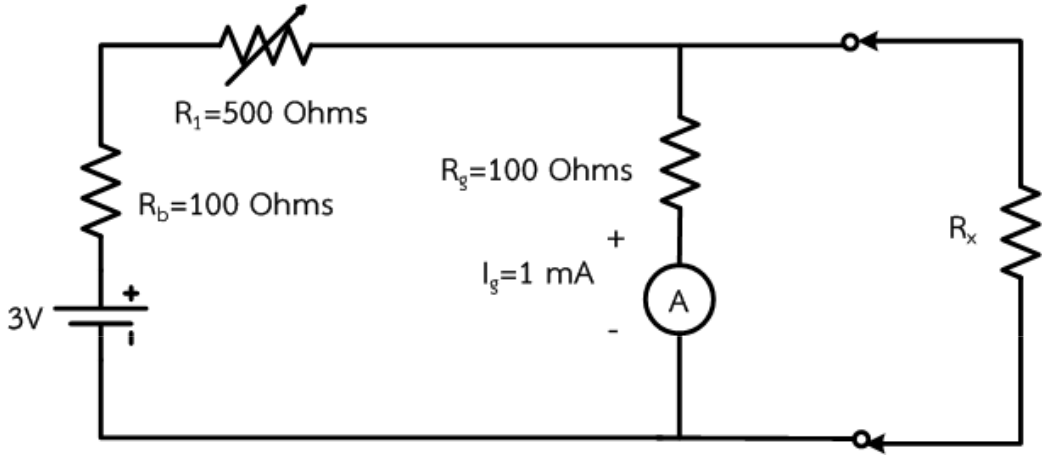
$R_X = R_{th} = R_b+R_1+R_g$ ทำให้ $I_X = I_g/2 = 0.5$ mA เข็มชี้กึ่งกลางเสกล

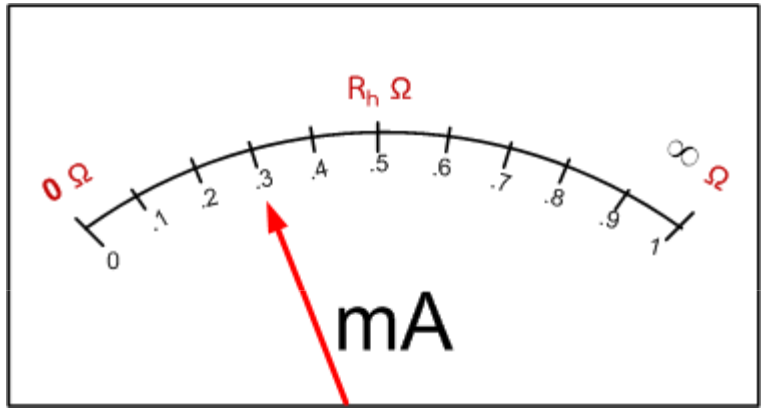
$$R_h = R_b+R_1+R_g$$



10.5.2 โอห์มมิเตอร์แบบขนาน(Parallel Ohmmeter)

โอห์มมิเตอร์รูปที่ 10.8 ต้องมีแบตเตอรี่และแอมป์มิเตอร์ โดยที่ R_b เป็นความต้านทานภายในแบตเตอรี่ R_1 เป็นความต้านทานที่ปรับให้กระแสเต็มเสกล(Infinity Adjust) R_m เป็นความต้านทานภายในแอมมิเตอร์ R_X คือความต้านทานที่ต้องการวัด





1. ถ้าความต้านทาน R_X = 0 ohm (Short circuit) I_X = 0 mA เข็มชี้ที่ 0 mA

2. ถ้าความต้านทาน $R_X = \infty$ ohm (Open circuit) I_X = 1 mA เข็มชี้เต็มเสกล

3. ถ้าความต้านทานที่กึ่งกลางเสกล (R_h = Half Scale)

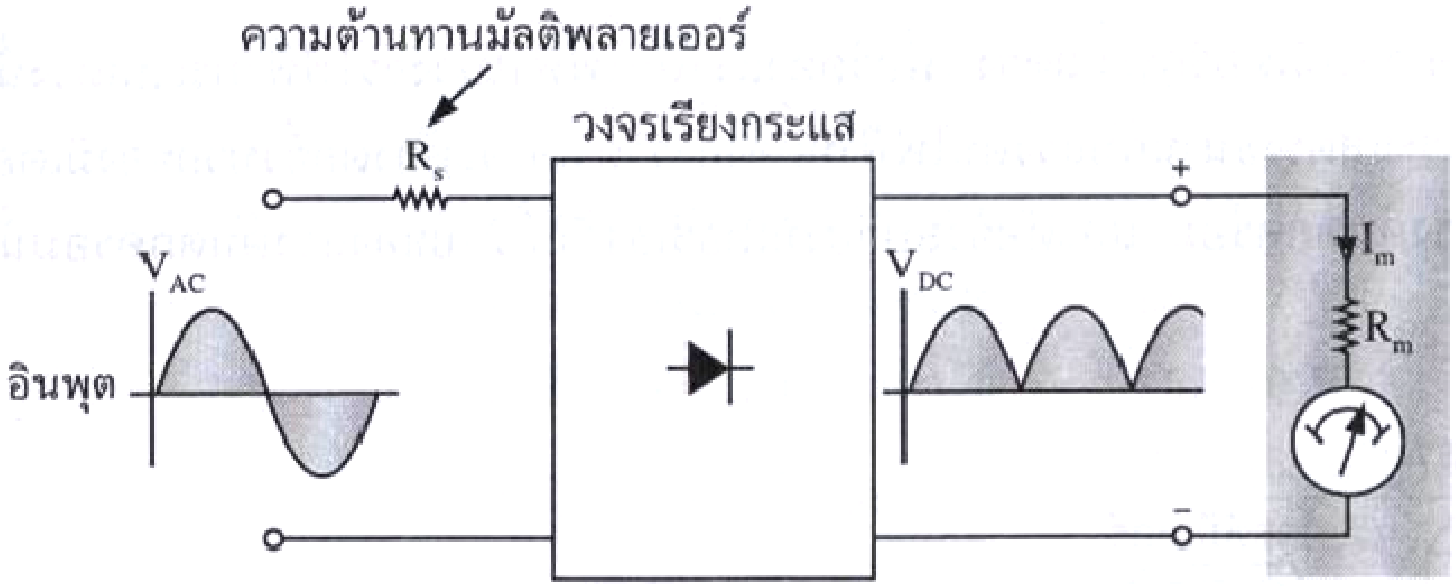
$R_X = R_{th} = (R_b+R_1)//R_g$ ทำให้ $I_X = I_g/2$ = 0.5 mA เข็มชี้กึ่งกลางเสกล

$$R_h = (R_b+R_1)//R_g$$

10.6 เครื่องมือวัดสัญญาณกระแสสลับ (AC Instruments)

เครื่องมือวัดสัญญาณเอซีชนิดแปลงสัญญาณเอซีให้เป็นดีซี (Rectifier Instruments)

เครื่องมือวัดสัญญาณกระแสสลับประเภทนี้ จะแปลงสัญญาณเอซีให้เป็นสัญญาณดีซีก่อน แล้วจึงผ่านสัญญาณดีซีไปยังกัลวาโนมิเตอร์ หรือ PMMC วงจรที่ทำการแปลงสัญญาณเอซี เป็นดีซีเรียกว่า วงจร Rectifier ดังรูป



กัลวาโนมิเตอร์จะอ่านค่าเฉลี่ยของสัญญาณดีซี แต่สัญญาณที่วัดเป็นเอซีมีหน่วยเป็น rms โดยนำสัญญาณเอซีผ่านวงจรRectifier ดังนั้นเราจะต้องหาสมการความสัมพันธ์ระหว่างค่า rms และค่าเฉลี่ย dc ของสัญญาณ ดังนั้นจะต้องทำการปรับหน้าปัทม์ของกัลวาโนมิเตอร์ให้อ่านค่า rms ด้วยวิธีคูณค่าดีซีด้วยตัวเลข 1.1 ซึ่งได้มาจาก

ค่าเฉลี่ยดีซีของสัญญาณที่ออกจากวงจร Rectifier $V_{dc} = \frac{2}{\pi} \times V_m$

ค่า rms ของสัญญาณเอซี $V_{rms} = \frac{V_m}{\sqrt{2}}$

ดังนั้นสัดส่วน $\frac{V_{rms}}{V_{dc}} = \frac{V_m}{\sqrt{2}} \times \frac{\pi}{2V_m} = \frac{\pi}{2\sqrt{2}} \approx 1.1$

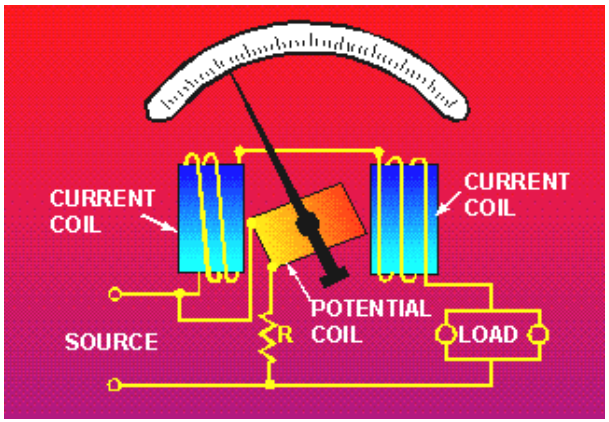
ค่านี้เรียกว่า form factor ของมิเตอร์

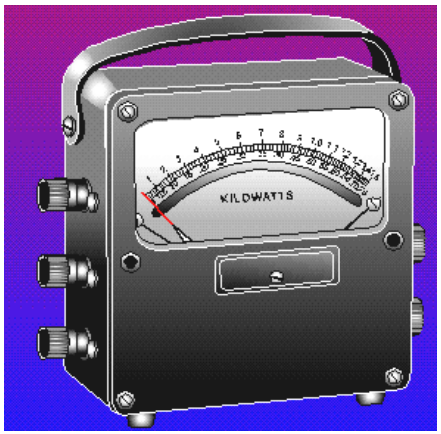
10.7 เครื่องมือวัดกำลังไฟฟ้า (Wattmeter)

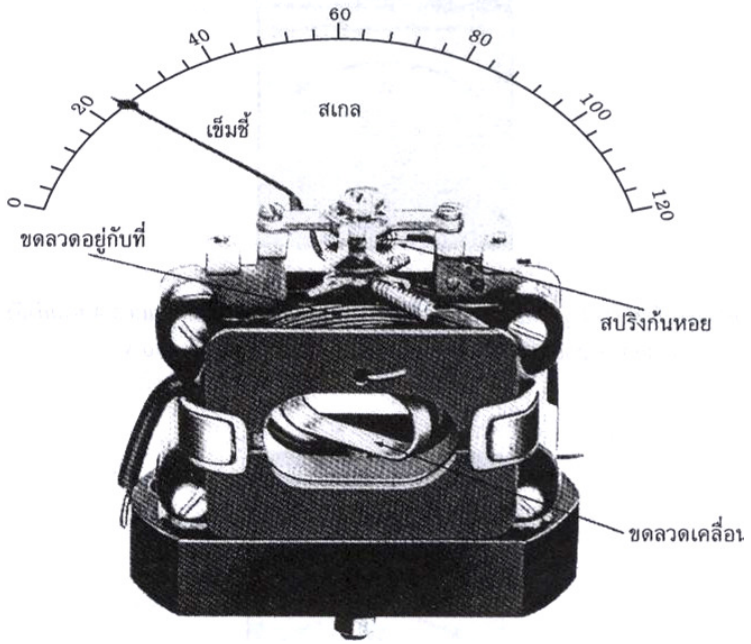
วัตต์มิเตอร์ประกอบด้วยส่วนสำคัญสองส่วนคือ ขดลวดวัดกระแส(Current Coil) และขดลวดวัดแรงดัน(Voltage Coil) ดังรูปที่ 10.12 ความต้านทานภายในขดลวดวัดกระแสจะมีค่าต่ำมาก ส่วนความต้านทานภายในขดลวดวัดแรงดันจะมีค่าสูงมาก ค่าของการวัดกำลัง(Power)

วงจรไฟฟ้าดีซี $P = VI$ *วงจรไฟฟ้าเอซี* $P = VI\cos\theta$

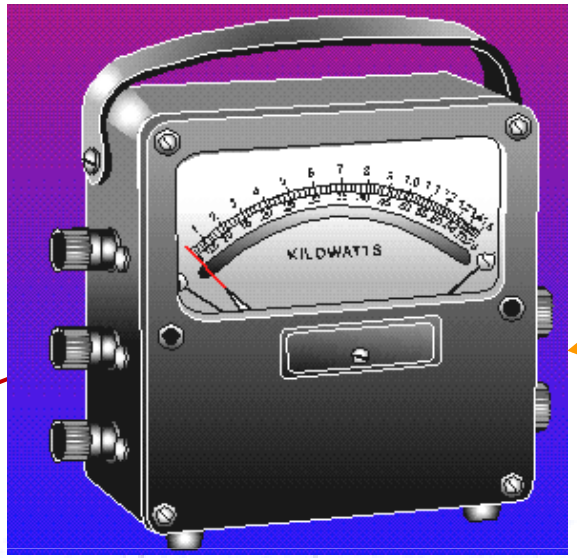
เมื่อสัญญาณเอซีทั้งแรงดัน และกระแส จะต้องมีค่าเป็น rms เท่านั้น







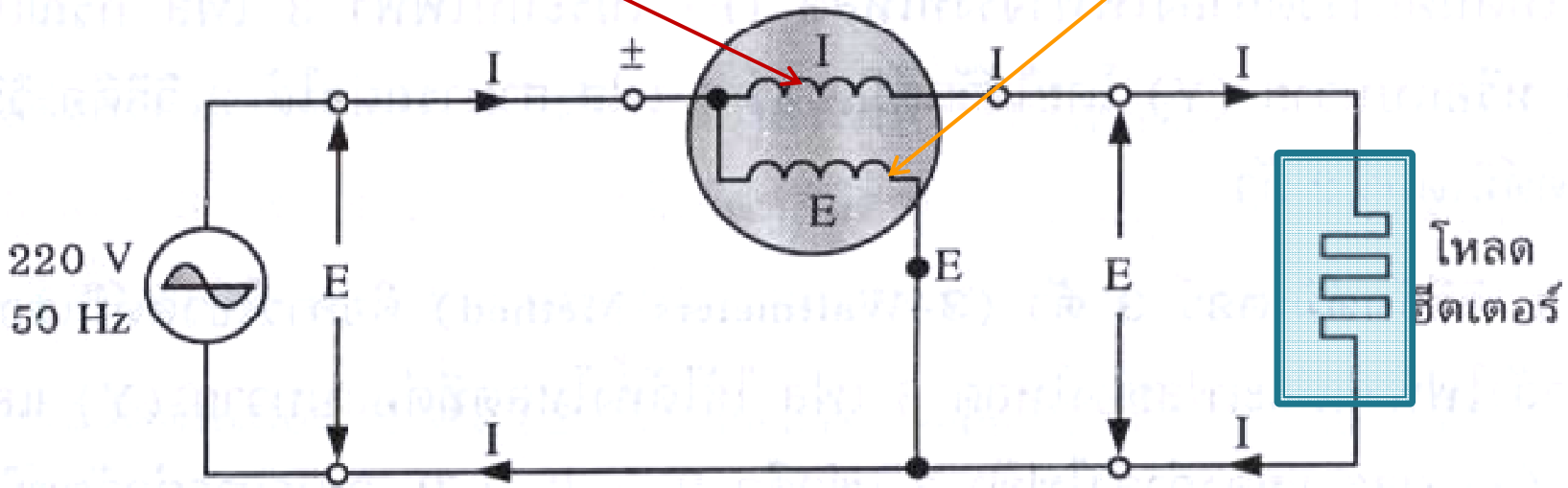
การต่อวัตต์มิเตอร์วัดค่ากำลังไฟฟ้า



Current Coil
(CC)

Voltage Coil
(VC)

วัตต์มิเตอร์ 1 เฟส



การวัดกำลังไฟฟ้า

กรณีการวัดกำลังไฟฟ้าเฟสเดียว การต่อใช้งานวัตต์มิเตอร์ ต้องระมัดระวังในการต่อโดยต้องไม่ให้กระแสผ่านเข้าขดลวดคงที่หรือขดลวด กระแสมากเกินกว่าพิกัดของวัตต์มิเตอร์ที่บอกไว้ และต้องไม่ให้แรงดันที่ป้อนเข้าขดลวดเคลื่อนที่ หรือขดลวดแรงดันเกินกว่าพิกัดของวัตต์มิเตอร์ที่บอกไว้ ดังนั้นก่อนการต่อวัตต์มิเตอร์เข้าวงจร จึงควรตรวจสอบทั้งแรงดัน และกระแสของวงจรก่อนเสมอ เพื่อป้องกันการชำรุดเสียหายของวัตต์มิเตอร์ วัตต์มิเตอร์ที่ถูกสร้างขึ้นมา ใช้งานจริงและสัญลักษณ์ แสดงดังรูปที่ 10.13

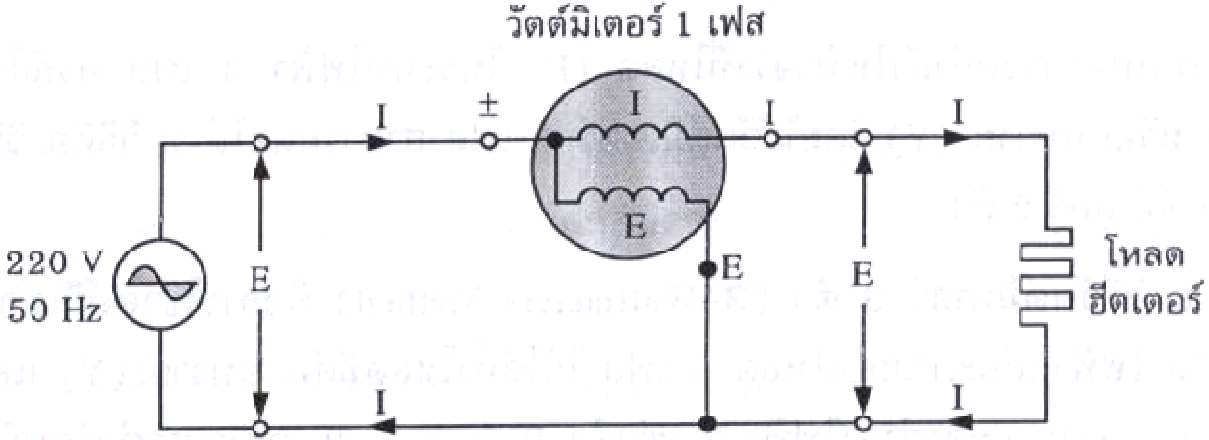
จากรูปแสดงรูปร่างของวัตต์มิเตอร์ที่สร้างขึ้นมาใช้งานจริงดังรูปที่ 10.13 เป็นวัตต์มิเตอร์ชนิดเฟสเดียว ถูกสร้างขึ้น มาให้สามารถวัดแรงดันและวัดกระแสได้ 2 ย่าน คือ วัดกระแสได้ 0.2A และ 1A วัดแรงดันได้ 120V และ 240V

การอ่านค่ากำลังไฟฟ้าจากวัตต์มิเตอร์ที่ถูกต้อง โดยต้องอ่านค่าจากหน้าปัดสเกลในตำแหน่งที่เข็มมิเตอร์ชี้ค่า นำมาคูณร่วมกับค่าตัวคูณในตารางที่แนบติดมากับตัววัตต์มิเตอร์ ซึ่งขึ้นอยู่กับค่าแรงดันและค่ากระแสของขั้วที่ต่อวัด จากวัตต์มิเตอร์ ค่าที่คำนวณได้จึงจะเป็นค่ากำลังไฟฟ้าที่วัดได้จริงจากอุปกรณ์หรือวงจรที่ทำการวัด

ตารางแสดงค่าตั้งวัดและค่าคูณของวัตต์มิเตอร์แสดงไว้ในตารางที่ 1.

ตารางที่ 1

ย่านแรงดัน	120V	240V
ย่านกระแส	ค่าตัวคูณ	
0.2A	0.2	0.4
1A	1	2



รูปที่ 10.13 แสดงการวัดกำลังไฟฟ้าเฟสเดียว

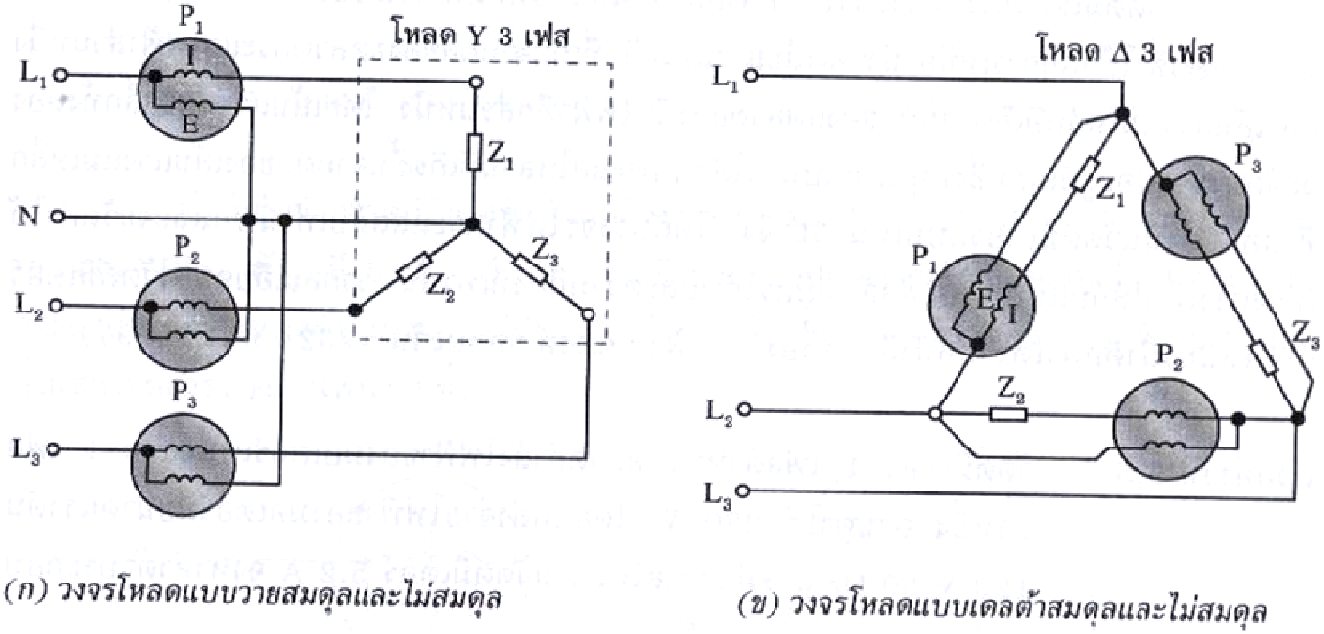
กรณีการวัดกำลังไฟฟ้าสามเฟส สามารถวัดค่า Real Power ได้สามวิธีคือ

1. วิธีวัตต์มิเตอร์สามตัว *คือใช้วัตต์มิเตอร์สามตัวเพื่อวัดค่า real power แต่ละเฟส ผลรวมของไฟฟ้าสามเฟสคือ $P_1 + P_2 + P_3$ ไม่ว่าโหลดจะต่อเป็นแบบวายหรือเดลต้าดังรูปที่ 10.14*

$$P_{3phase} = P_1 + P_2 + P_3$$

ซึ่งจะเท่ากับ $$P_{3\,phase} = 3V_{phase} I_{lphase} \cos\theta$$

$$P_{3\,phase} = \sqrt{3} V_{line} I_{line} \cos\theta$$



(ก) วงจรโหลดแบบวายสมดุลและไม่สมดุล (ข) วงจรโหลดแบบเดลต้าสมดุลและไม่สมดุล

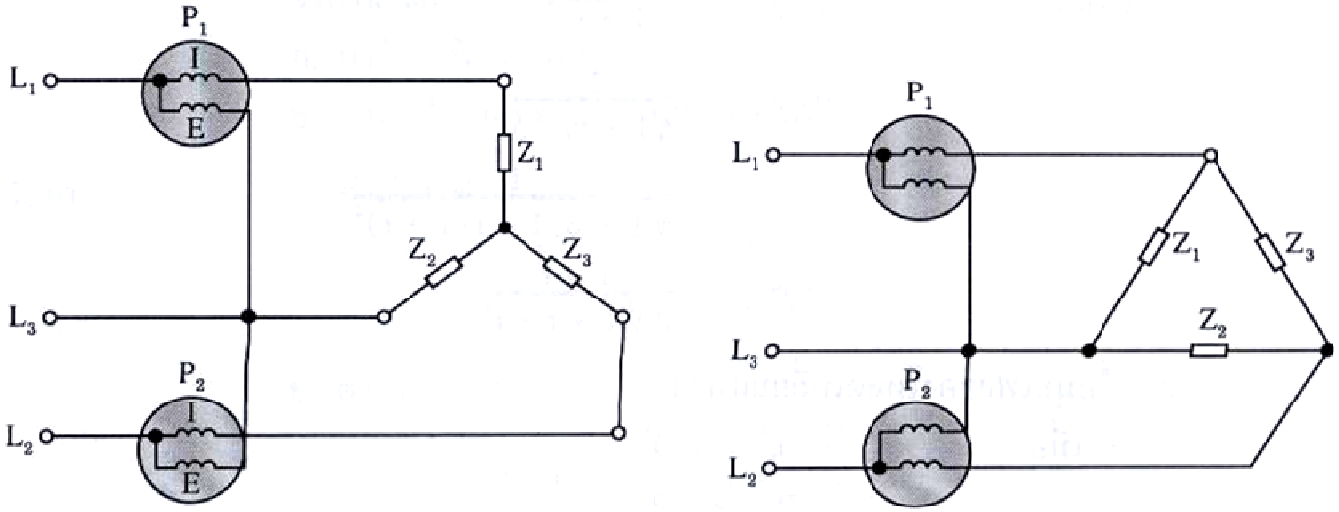
รูปที่ 10.14 แสดงการวัดกำลังไฟฟ้าสามเฟสวัตต์มิเตอร์สามตัว

2. วิธีวัตต์มิเตอร์สองตัว *คือใช้วัตต์มิเตอร์สองตัวเพื่อวัดค่า real power ต่อเป็นแบบวายหรือเดลต้าดังรูปที่ 10.15 ผลรวมของไฟฟ้าสามเฟสคือ* $P_1 + P_2$

$$P_{3phase} = P_1 + P_2$$

ซึ่งจะเท่ากับ $$P_{3\,phase} = 3V_{phase} I_{lphase} \cos\theta$$

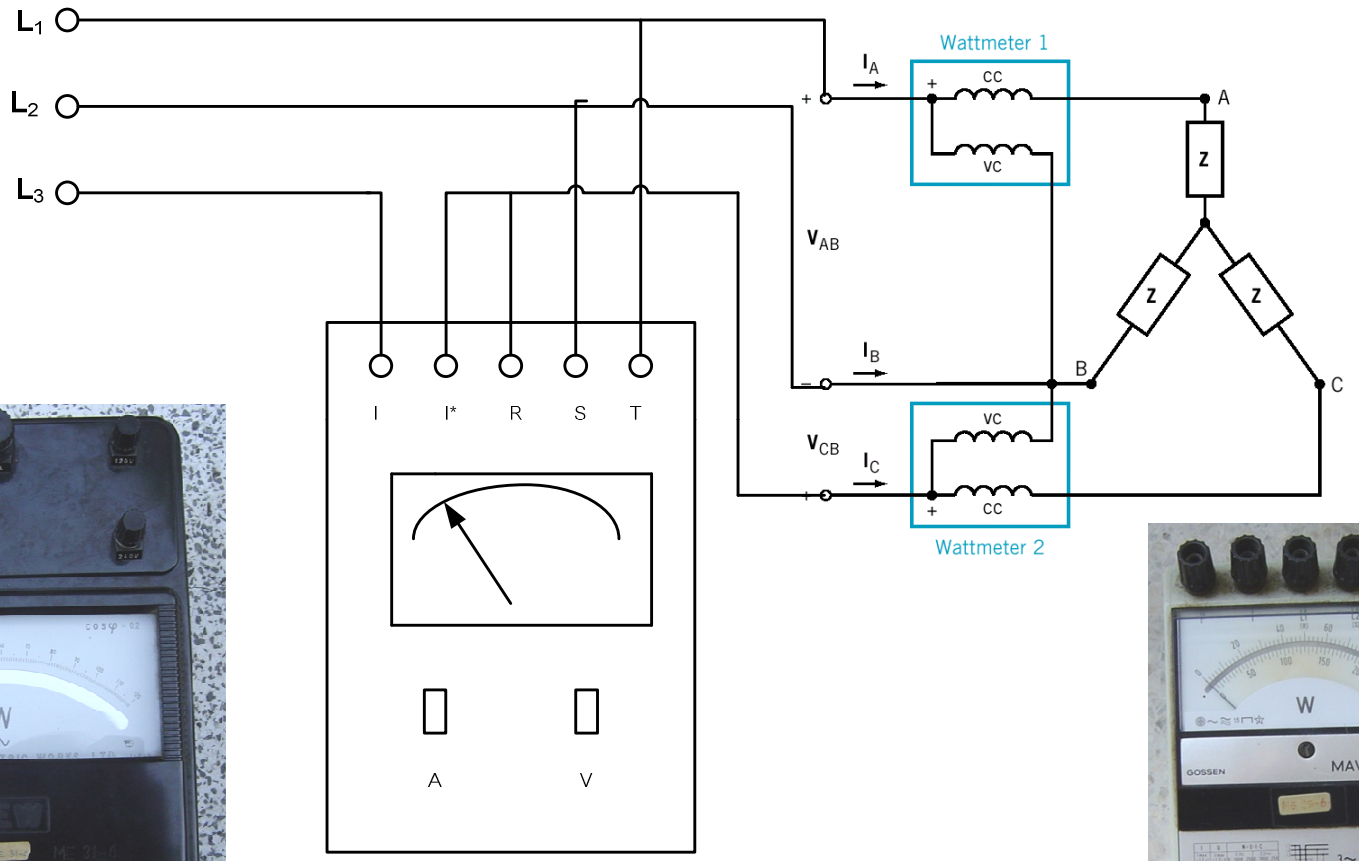
$$P_{3\,phase} = \sqrt{3} V_{line} I_{line} \cos\theta$$



(ก) วงจรโหลดแบบวายสมดุลและไม่สมดุล (ข) วงจรโหลดแบบเดลต้าสมดุลและไม่สมดุล

รูปที่ 10.14 แสดงการวัดกำลังไฟฟ้าสามเฟสวัตต์มิเตอร์สองตัว

3. วิธีวัตต์มิเตอร์สามเฟส *ต่อวงจรดังรูปที่ 10.16 ซึ่งวัตต์มิเตอร์สามเฟสจะประกอบด้วยขดลวดกระแสหนึ่งขด และขดลวดแรงดันสามขด*



รูปที่ 10.16 แสดงการวัดกำลังไฟฟ้าสามเฟสวัตต์มิเตอร์สามเฟส

10.8 เครื่องมือวัดพลังงานไฟฟ้า (Energy Meter or Kilowatt-Hour Meter)

เครื่องมือชนิดนี้จะประกอบด้วยวัตต์มิเตอร์ส่วนหนึ่งกับเครื่องวัดเวลาอีกส่วนหนึ่ง ค่าพลังงานจะบอกเป็นหน่วย(Unit) หรือ กิโลวัตต์-ชั่วโมง(KWH) คือบอกจำนวนกำลังไฟฟ้าที่ใช้เป็นกิโลวัตต์คูณกับจำนวนชั่วโมงที่ใช้ไฟ

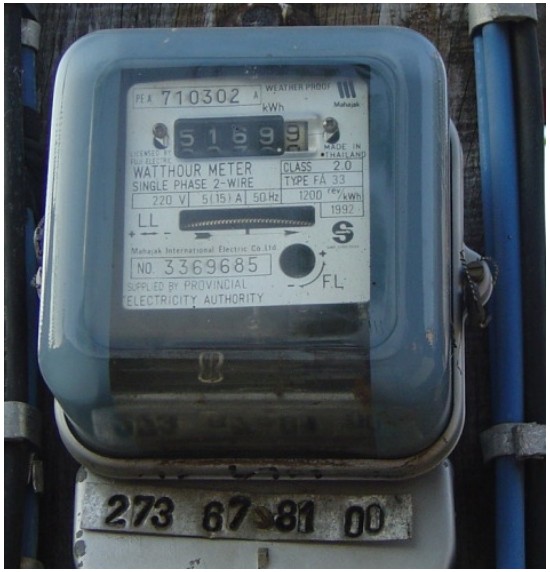
รูปที่ 10.17 แสดงถึงโครงสร้างภายในของ Kilowatt-Hour Meter จะประกอบด้วยขดลวดกระแสอยู่ด้านล่าง และขดลวดแรงดันอยู่ด้านบน จานหมุนอยู่ตรงกลาง

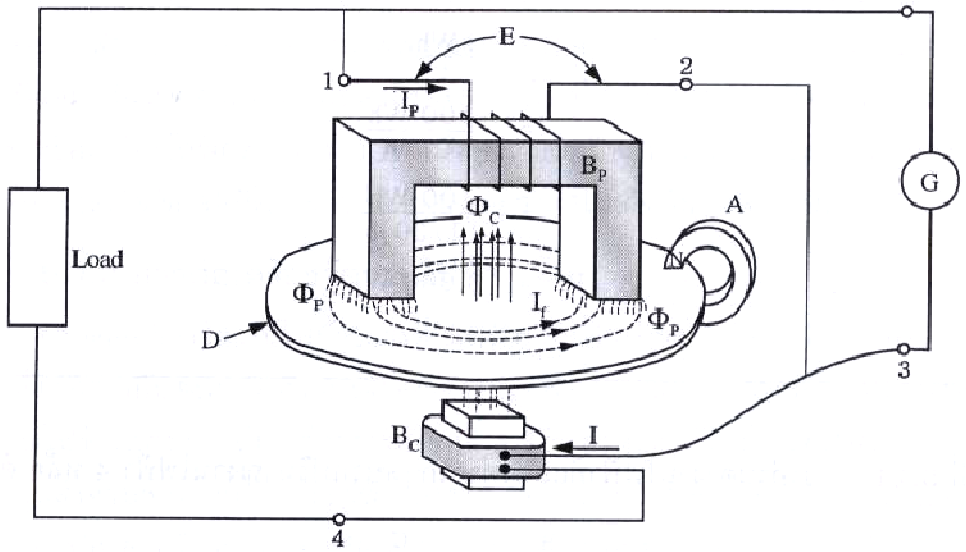
การทำงานของเครื่องมือวัด พิจารณาจากรูปที่ 10.17 เมื่อมีกระแสไหลผ่านโหลดจะทำให้เกิดเส้นแรงแม่เหล็ก Φ_c *ส่วนขดลวดแรงดันทำให้เกิดเส้นแรงแม่เหล็ก* Φ_p

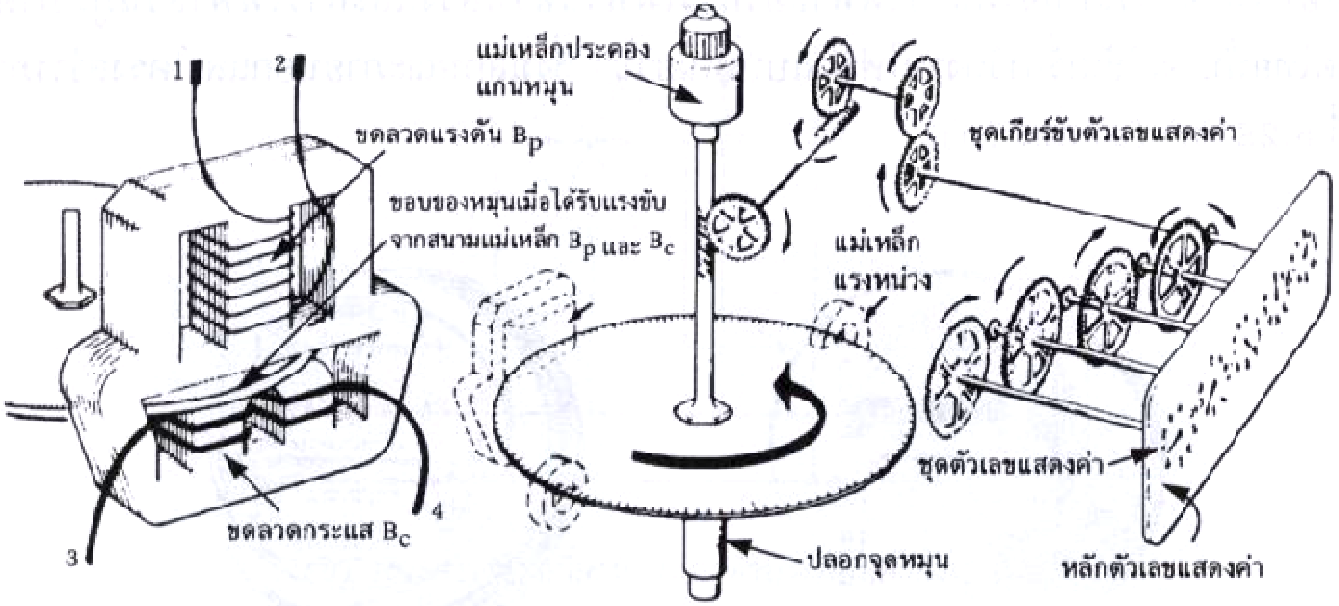
ดังรูป ทำให้เกิดกระแสไหลวน I_f *ซึ่งจะทำให้เกิดแรงบิดที่จานหมุนทิศทางเดียวกับ* I_f *โดยแรงบิดขึ้นกับปริมาณของกระแสที่ไหลผ่านและแรงดัน เมื่อจานหมุนจะต่อกับเฟืองเพื่อนำไปหมุนตัวเลขอีกต่อหนึ่งดังรูปที่ 10.17 ความเร็วของจานหมุนสามารถบังคับให้ช้าลงได้ด้วยแม่เหล็กถาวร A ที่ใช้เบรก*

หน่วยยูนิต(Unit) คือหน่วยที่ใช้ในการคำนวณค่าการใช้ไฟฟ้าที่ผู้ใช้ไฟฟ้าต้องชำระตามตัวเลขยูนิตของการใช้ไฟฟ้า ตัวอย่างเครื่องมือวัด Kilowatt-Hour Meter เช่น เครื่องวัดงานไฟฟ้าเฟสเดียวพิกัด 5(15) A หมายความว่าเป็นเครื่องมือวัดที่มีพิกัด 5 A แต่ทนกระแสได้สูงสุด 15A โดยไม่เป็นอันตราย นอกจากนั้นยังมีขนาดพิกัด 10(30) A และ 15(45) A

1 Unit = 1 Kwatt-Hour

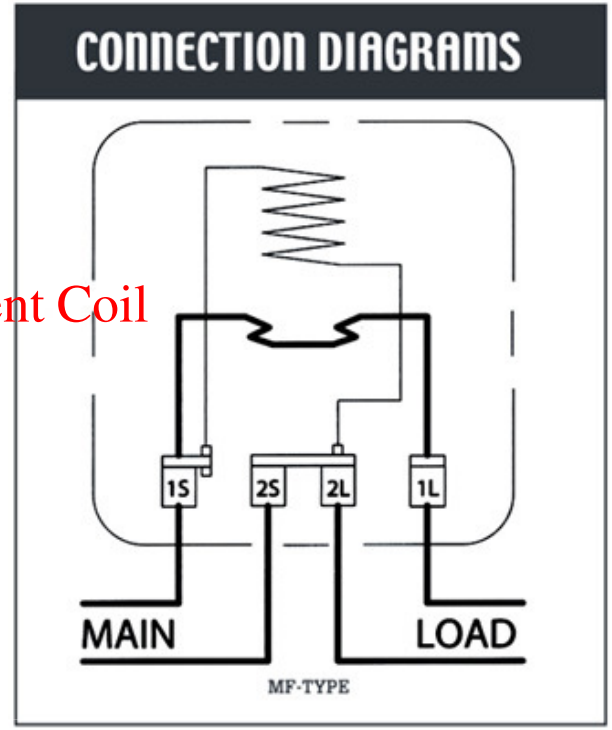






แสดงโครงสร้างเครื่องมือวัดพลังงานไฟฟ้า

Current Coil



Meter Type	MF-33E(U)		
Max. Rated Current (A)	45	100	150
Max. conductor size (mm²)	10	25	50

ขนาดสายไฟ (ไม่ควรใหญ่เกิน)

10.9 แอมมิเตอร์แบบแคลมป์ (Clip on Ammeter)

จากแอมมิเตอร์แบบต่างๆดังที่ได้กล่าวมาแล้วนั้นเมื่อนำไปวัดกระแสไฟฟ้าจำเป็นต้องถอดสายออกก่อนแล้วจึงต่อแอมมิเตอร์อนุกรมกับโหลดซึ่งเกิดความลำบากไม่สะดวกในการปฏิบัติ แต่แบบแคลมป์แค่แกนเหล็กคล้องกับสายเพียงเท่านั้นเราก็สามารถวัดกระแสไฟฟ้าได้ เครื่องวัดแบบนี้สามารถใช้วัดกระแสโดยไม่ต้องดับเครื่องหรือหยุดเดินเครื่องเพื่อทำการวัดกระแส แต่อาศัยหลักการเหนี่ยวนำของกระแสในเส้นลวดที่ต้องการวัด

รูปที่ 10.18 แสดงโครงสร้างเครื่องมือวัดแอมมิเตอร์แบบแคลมป์

10.10 มัลติมิตอร์

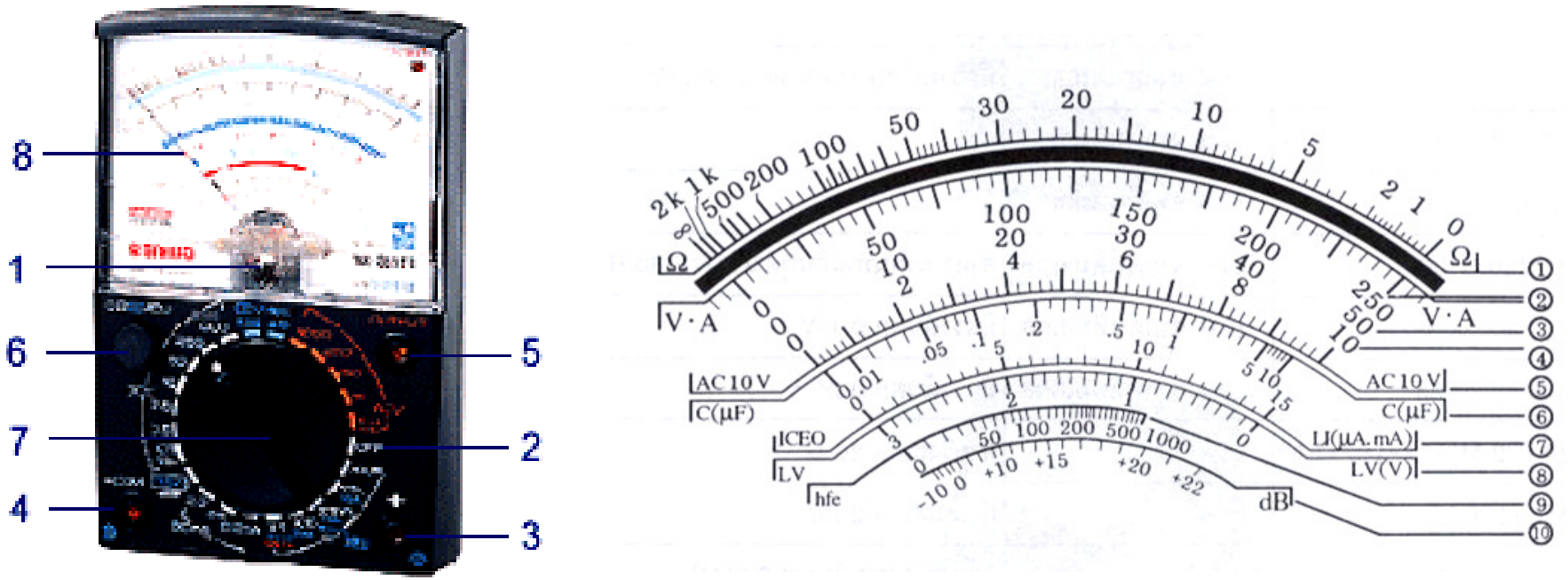
มัลติมิเตอร์สามารถแบ่งเป็นสองแบบคือ อานาลอกมัลติมิเตอร์ และดิจิตอลมัลติมิเตอร์

อานาลอกมัลติมิเตอร์ *เป็นเครื่องมือวัดไฟฟ้าที่ใช้หลักการอย่างเดียวกับ เครื่องวัดชนิดขดลวดเคลื่อนที่ (Moving Coil) หรือแบบ PMMC ทั่วไปที่กล่าวมาแล้วข้างต้น โดยที่มัลติมิเตอร์นี่สามารถนำไปใช้ในการวัดค่ากระแสไฟฟ้า ค่าแรงดันไฟฟ้าที่เป็นไฟ AC หรือ DC ได้ และค่าความต้านทาน*

มัลติมิเตอร์ บางทีเรียกว่า VOM ซึ่งย่อมาจาก Volt-Ohm-Milliammeter สร้างขึ้นเพื่อให้ความสะดวกในการใช้งาน โดยทั่วไปมัลติมิเตอร์ที่ใช้จะมีค่ากระแสของขดลวดเคลื่อนที่ (Moving Coil) เท่ากับ 50 ไมโครแอมป์ และมีค่าความไวในการวัด (Sensitivity)เท่ากับ 20 กิโลโอห์มต่อโวลต์

โดยทั่วไปแล้วมัลติมิเตอร์จะสามารถใช้วัดปริมาณต่อไปนี้

- *ความต่างศักย์กระแสตรง (DC voltage)*
- *ความต่างศักย์กระแสสลับ (AC voltage)*
- *ปริมาณกระแสตรง (DC current)*
- *ความต้านทานไฟฟ้า (electrical resistance)*



รูปที่ 10.19 แสดงโครงสร้างเครื่องมือวัดมัลติมิเตอร์แบบเข็ม

หมายเลข ① สเกลโอห์มระหว่างค่า 0 Ω ถึง 2 kΩ

หมายเลข ②, ③ สเกล DCV ACV และ DCA ระหว่างค่า 0-250 และ 0-50

หมายเลข ④, ⑤ สเกล DCV และ ACV

หมายเลข ⑥ สเกลค่าตัวเก็บประจุ C(μF) ระหว่างค่า 0-10 μF

หมายเลข ⑦ สเกลค่า LI ระหว่างค่า 0-15 (μA, mA)

หมายเลข ⑧ สเกลค่า LV ระหว่างค่า 3-0 (V)

หมายเลข ⑨ สเกลค่า hfe ระหว่างค่า 0-1,000

หมายเลข ⑩ สเกลค่า dB ระหว่างค่า -10 ถึง +22 (dB)

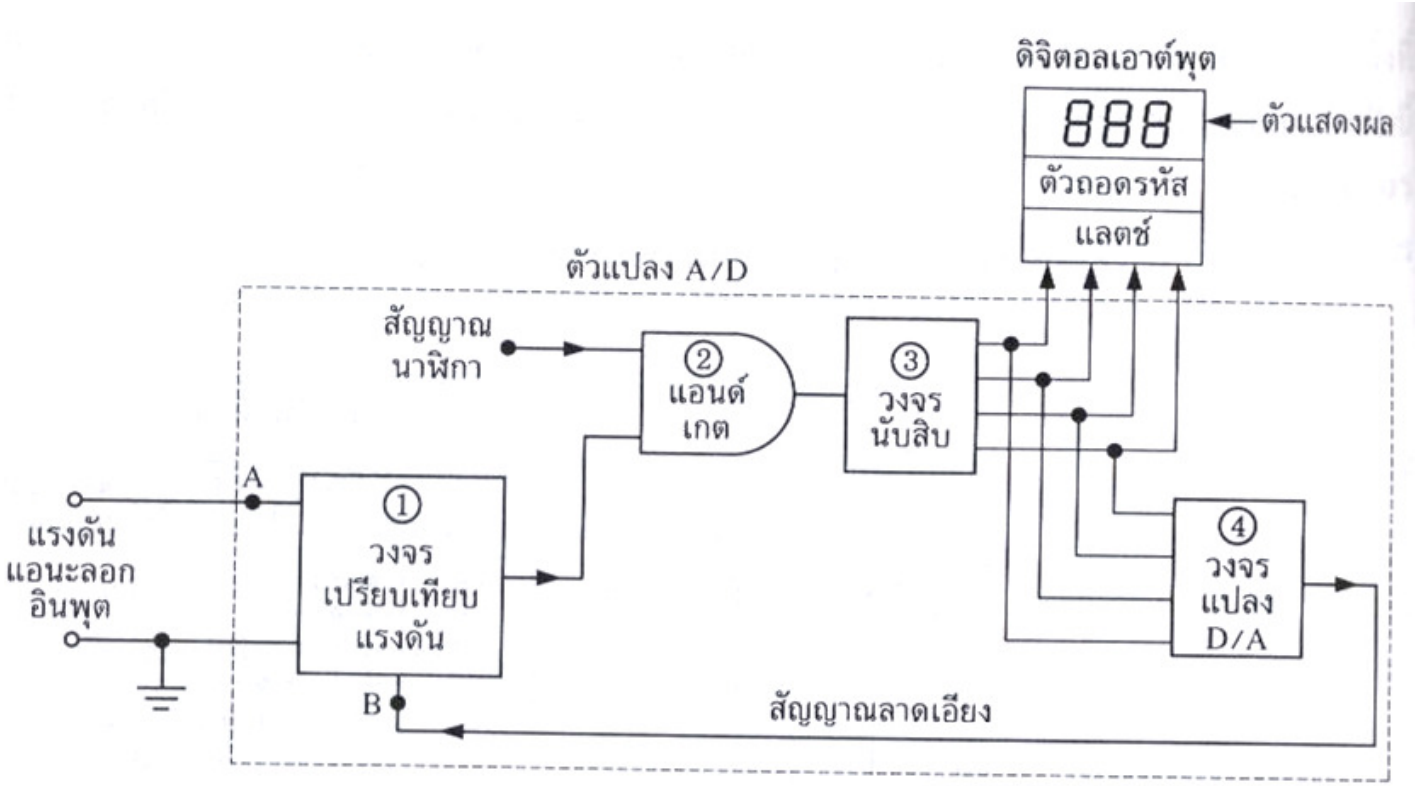
การอ่านผลการวัดจากสเกลเครื่องวัด

Measurement	Measurement ranges	Allowance	Remarks
DC Voltage (DCV)	0-0.1 V -0.5 V -2.5 V -10 V -50 V -250 V 1000 V-(25kV) 25 kV with HV probe extra	±3%fs except 25 kV	Imput impedance 20 k Ω/V
AC Voltage (ACV)	0-10 V -50 V -250 V -1000 V 30 Hz ~ 50 kHz ± 1 dB (50 V or less) 50 Hz ~ 20 kHz ±3% (50 V or less)	±4% fs	Input impedance 9k Ω/V
DC Current (DCA)	0-50 μA -2.5 mA 25 mA 0.25 A 50 μA at 0.1 VDC position	±3% fs	Voltage drop 250 mV (100 mV for 50 μA)
Resistance (Ω)	Range X 1 - X 10 - X 1k -X 10k Minimum 0.2 - 2 - 200 - 200 k (Ω) Midscale 20 - 200 - 20 k - 200 k (Ω) Maximum 2k - 20k - 2M - 20M Ω)	±3% of are	Internal batteries UM -3 x 2 006 P x 1
AF Output (dB)	-10 dB ~ +22 dB (for 10 VAC) ~ +62 dB 0 dB/0.775 V (1 mW through 600 Ω)	±4% fs	9 k Ω/V for OUTPUT Terminal

ดิจิตอลมัลติมิเตอร์

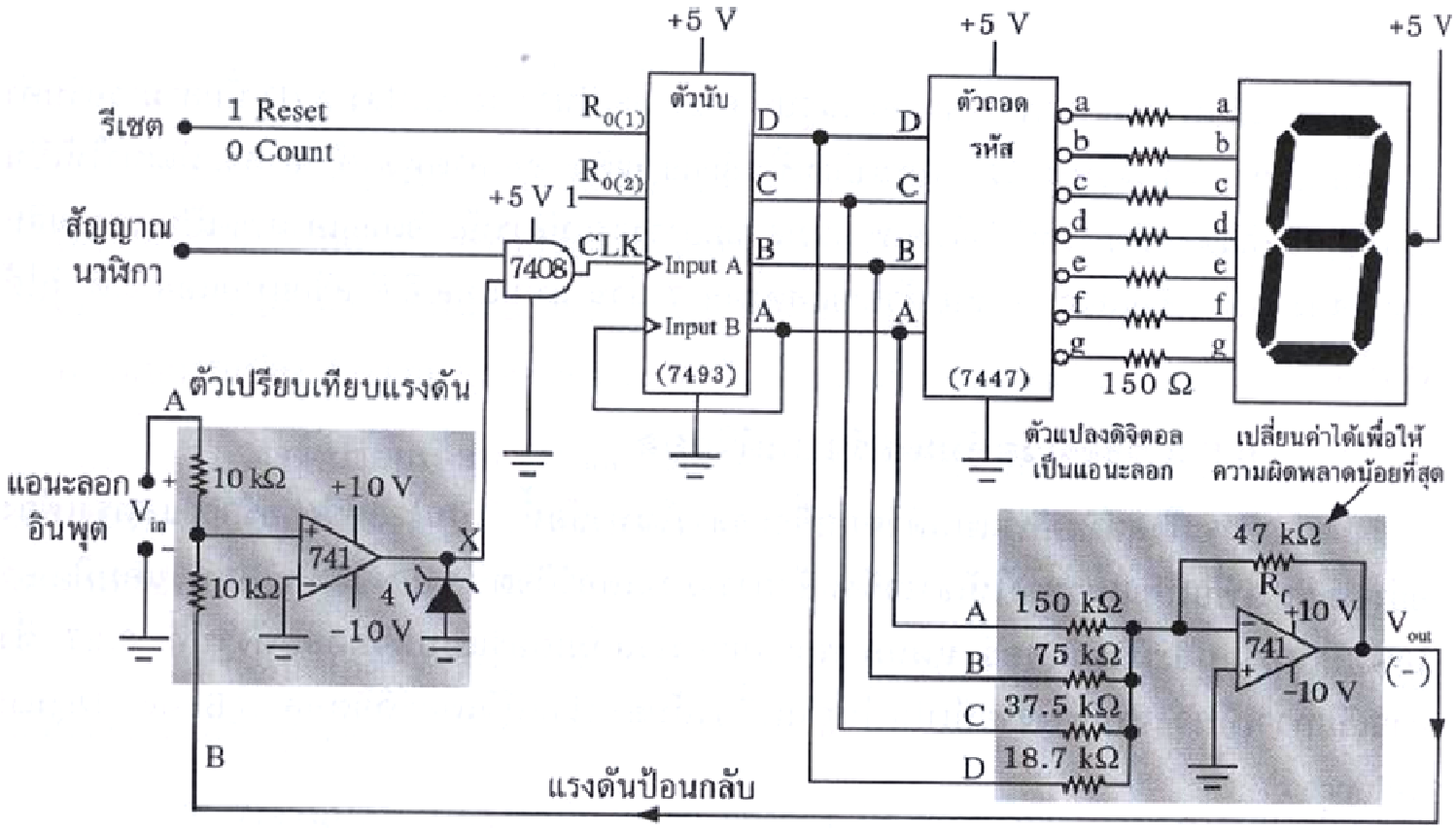
เป็นมัลติมิเตอร์ที่ไม่มีเข็มแบบเครื่องมือวัดแบบ PMMC แต่จะอาศัยหลักการของระบบดิจิตอลและแสดงผลเป็นตัวเลข

รูปที่ 10.21 แสดงโวลท์มิเตอร์แบบดิจิตอล



รูปที่ 10.22 แสดงแผนภาพโวลท์มิเตอร์แบบดิจิตอลอย่างง่าย

หลักการทำงานของวงจรดิจิตอลโวลท์มิเตอร์ สามารถอธิบายได้ดังรูปวงจรข้างต้นดังนี้ แรงดันที่ต้องการวัดถูกป้อนผ่านวงจรแปลงสัญญาณอานาลอกเป็นดิจิตอล ซึ่งภายในวงจรแปลงสัญญาณจากอานาลอกเป็นดิจิตอลจะประกอบด้วยวงจรเปรียบเทียบสัญญาณ วงจรแปลงสัญญาณจากดิจิตอลเป็นอานาลอก และวงจรนับเลขสิบ เมื่อสัญญาณแรงดันที่ต้องการวัดผ่านวงจรแปลงสัญญาณจากอานาลอกเป็นดิจิตอลแล้ว จะนำสัญญาณดิจิตอลผ่านวงจรถอดรหัสเพื่อควบคุมการแสดงผลเป็นตัวเลข 7-Segment



รูปที่ 10.23 แสดงวงจรโวลท์มิเตอร์แบบดิจิตอล

วงจรทั้งหมดจะเป็นไอซีดิจิตอลที่ผลิตขึ้นเพื่อใช้ในแต่ละงาน ส่วนการวัดสัญญาณกระแส ค่าความต้านทาน จะต้องเปลี่ยนค่าต่างๆทั้งหมดให้อยู่ในรูปแรงดันก่อน โดยให้ค่าที่ได้เป็นสัดส่วนกันโดยตรง และนำค่าที่ได้จัดการเพื่อแสดงผล

แอมมิเตอร์(Ammeter)

วัตต์มิเตอร์(Watt Meter)

กิโลวัตต์-ชั่วโมงมิเตอร์(Kilo Watt-Hour Meter)

แบบฝึกหัดบทที่ 10

1. จงอธิบายความหมายของของคำศัพท์ต่อไปนี้สำหรับเครื่องมือวัดไฟฟ้า

- Sensitivity

- Precision

- Accuracy

2. จงอธิบายถึงหลักการทำงานของเครื่องมือวัดแบบ PMMC

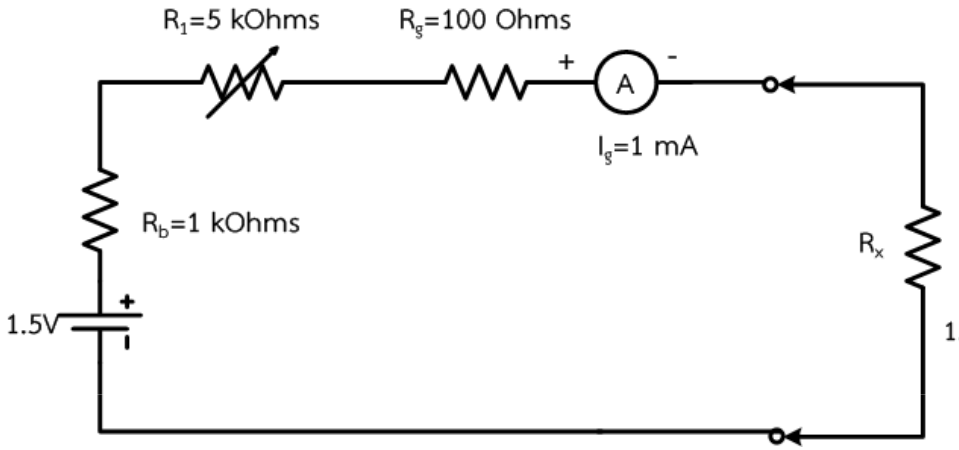
3. ท่านเข้าใจค่า CDRX ของมิเตอร์ไฟฟ้าอย่างไร

4. จงดัดแปลงกัลวาโนมิเตอร์ให้เป็น ดีซีแอมมิเตอร์ที่สามารถวัดกระแสได้เต็มเสกล 100 mA โดยที่กัลวาโนมิเตอร์มีคุณสมบัติคือ กระแสสูงสุด 10 mA ความต้านทานภายใน 50 โอห์ม

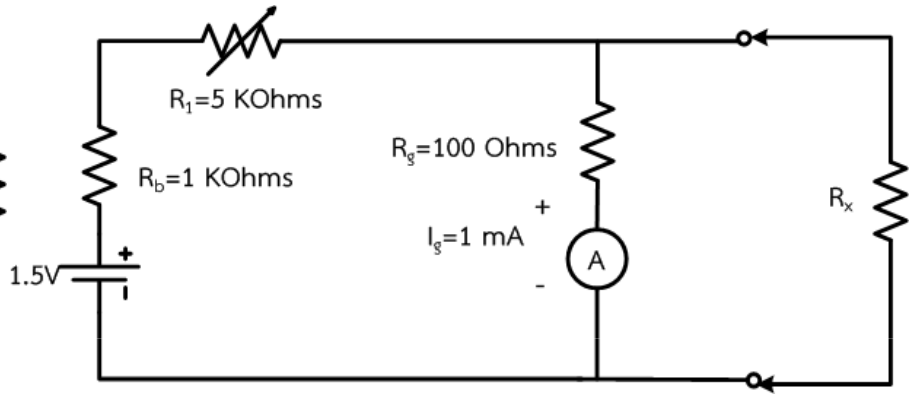
5. จงดัดแปลงกัลวาโนมิเตอร์ให้เป็น ดีซีแอมมิเตอร์ที่สามารถวัดแรงดันได้เต็มเสกล 50 V โดยที่กัลวาโนมิเตอร์มีคุณสมบัติคือ กระแสสูงสุด 10 mA ความต้านทานภายใน 50 โอห์ม

6. วงจรโอห์มมิเตอร์แบบ Series Type และ Parallel Type จงเขียนเสกลที่ 0 ohm ,

∞ ohm , และคำนวณค่าความต้านทานที่เข็มชี้กึ่งกลางเสกล



Series type Ohmmeter



Parallel Type Ohmmeter

7. ทำไมสเกลของ AC Voltmeter แบบ Rectifier จึงมีสเกลไม่เหมือนกับ DC Voltmeter

8. โครงสร้างและหลักการทำงานของ Wattmeter

9. โครงสร้างและหลักการทำงานของ Kilowatt-hour meter