บทที่ 10
การวัดและเครื่องมือวัดไฟฟ้า

การวัดคือการพยายามหาว่า มีปริมาณอะไรเกิดขึ้นหรือไม่ ถ้ามีแล้วมีเท่าไร การวัดแรงดันไฟฟ้า ก็คือการที่เราพยายามหาว่ามีแรงดันเกิดขึ้นหรือไม่ ถ้ามีเกิดกี่โวลท์เป็นต้น ดังนั้นจะเห็นว่าเริ่มแรกเราจะต้องทราบว่าต้องการวัดอะไรก่อนที่จะทำการวัด หลังจากที่เราทราบว่าจะวัดอะไรแล้วควรจะทราบด้วยว่า วัดทำไม เพื่ออะไร หรือว่ามีวัตถุประสงค์ในการวัดอะไร

หลังจากทราบว่าจะวัดอะไรและวัดทำไมแล้ว ควรจะทราบด้วยว่าจะใช้อะไรวัด คือใช้เครื่องมือหรือมิเตอร์ชนิดใดวัด ต่อไปจะต้องทราบว่าจะวัดอย่างไรคือใช้วิธีการวัดอย่างไรจึงจะได้ผลถูกต้องที่สุด

ดังนั้นในเรื่องนี้จะเป็นการวัดปริมาณทางไฟฟ้า เช่นการวัดค่ากระแสไฟฟ้า แรงดันไฟฟ้า กำลังไฟฟ้า ความต้านทาน เป็นต้น วัดทำไมเราก็วัดเพื่อพิสูจน์ทฤษฎีไฟฟ้า เพื่อศึกษาปรากฏการณ์ทางไฟฟ้าบางอย่าง หรือ วิเคราะห์ระบบการทำงานในโรงงานเพื่อปรับปรุงประสิทธิภาพการทำงานของระบบไฟฟ้า ใช้อะไรวัด ก็ใช้เครื่องมือวัดต่างๆเช่น โวลท์มิเตอร์ แอมมิเตอร์ วัตต์มิเตอร์ ฯลฯ วัดอย่างไรนั้นจะต้องศึกษาต่อไป

10.1 คำศัพท์ต่าง ๆที่ควรทราบสำหรับการใช้เครื่องมือวัด

1.1 ความไว (Sensitivity) ของมิเตอร์ หมายถึงเครื่องมือตอบสนองกับสัญญาณที่ทำการวัดไวมากน้อยเพียงไร เช่นเครื่องมือที่แบ่งหน้าปัทม์ไว้วัดกระแส 1 $\mu A/mm$ และ 1 $\mu A/cm$ เครื่องมือตัวแรกจะตอบสนองและมีความไวน้อยกว่าแบบที่สอง

1.2 ความแม่นยำ (Precision) หมายถึงความละเอียดของเครื่องมือวัด ถ้าเครื่องมือวัดแบ่งช่องหน้าปัทม์ที่ละเอียดก็จะสามารถอ่านค่าได้ละเอียดกว่าเครื่องมือที่แบ่งช่องหน้าปัทม์แบบยาบๆ เช่น เครื่องมือวัดที่แบ่งช่องวัดกระแส 1 เซนติเมตรเป็น 10 ช่อง(1มม.) กับเครื่องมือวัดที่แบ่งช่องวัดกระแส 1 เซนติเมตรเป็น 2 ช่อง(5มม.) แบบแรกจะมีความละเอียดแม่นยำมากกว่าแบบที่สอง

1.3 ความถูกต้อง (Accuracy) ความถูกต้องกับความละเอียดแม่นยำไม่เหมือนกัน ส่วนใหญ่จะสับสนกับสองค่านี้ ความถูกต้องหมายถึงความไม่สมบูรณ์ของเครื่องมือวัดที่ทำให้เครื่องมือวัดเกิดความผิดพลาด(อาจจะเกิดจากอุปกรณ์ภายในเครื่องมือวัดที่นำมาต่อ ทำให้เกิดความผิดพลาด) มักจะบอกเป็นเปอร์เซนต์ของความผิดพลาดของช่วงวัดสูงสุด เช่น เครื่องมือวัดแอมมิเตอร์มี Accuracy $\pm 0.5\%$ of fullscale ถ้าทำการวัดที่เสกล 5 A ค่าความผิดพลาดของเครื่องมือวัดจะมีค่าไม่เกิน $\pm 0.025A$

1.4 ข้อผิดพลาด (Error) หมายถึงผลที่วัดได้ไม่ตรงกับความเป็นจริง

ข้อผิดพลาด (Error) = ค่าปริมาณจริง - ค่าปริมาณที่วัดได้จากเครื่องมือวัด

กัลวาโนมิเตอร์และเครื่องมือวัดสัญญาณไฟฟ้ากระแสตรง

10.2 กัลวาโนมิเตอร์ (Galvanometers)

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

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

เมื่อ Γ = torque ของขดลวด

B = magnetic flux density

A = พื้นที่หน้าตัดของขดลวด

I = กระแสที่ไหลผ่านขดลวด

เข็มชี้บนขดลวดติดอยู่กับสปริง แรงสปริงของขดลวดเขียนเป็นสมการได้คือ

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

เมื่อ Γ = torque ของสปริง

K = Spring Constant

θ = มุมของเข็มชี้ที่เบี่ยงเบนไปและหยุดนิ่งอยู่กับที่

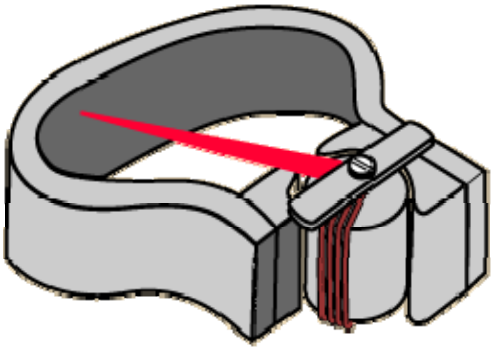
แรงของสปริงจะเท่ากับแรงที่เกิดจากแรงบิดของขดลวดสมการ (10.1)เท่ากับสมการ (10.2)

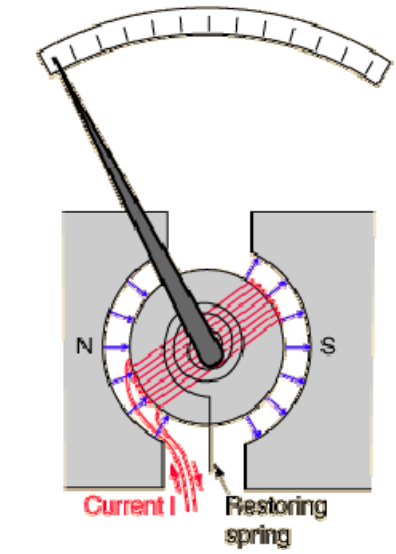
$$\Gamma = K\theta = BANI$$

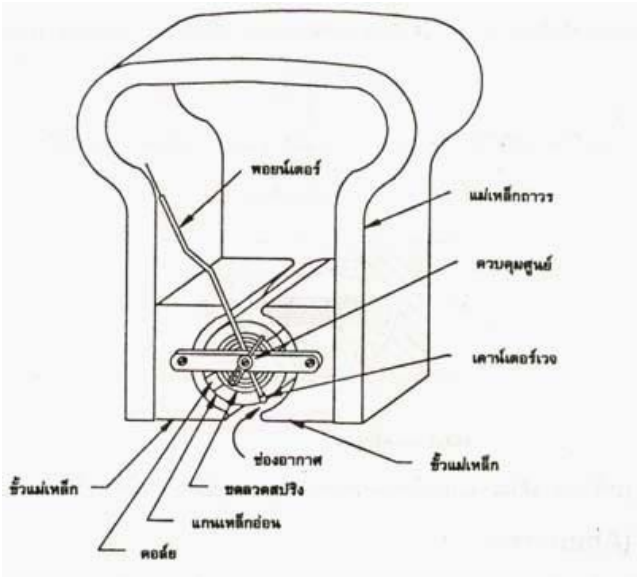
ดังนั้น $$\theta = \frac{BANI}{K}$$

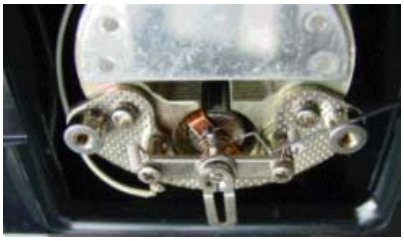
$$\theta \propto I \qquad \text{.....(10.3)}$$

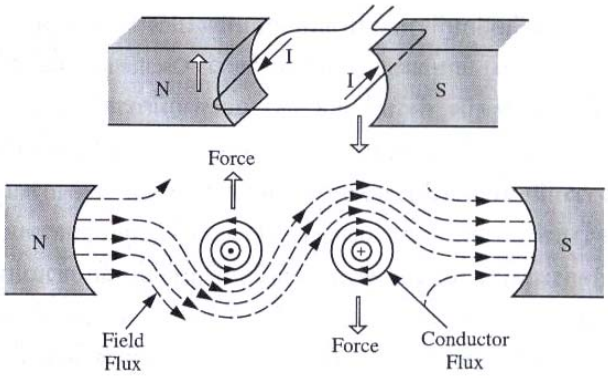
จากสมการที่ (10.3) แสดงว่ามุมของการเบี่ยงเบนของเข็มขึ้นอยู่กับกระแสที่ไหลผ่านขดลวด











รูปที่ 10.1 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

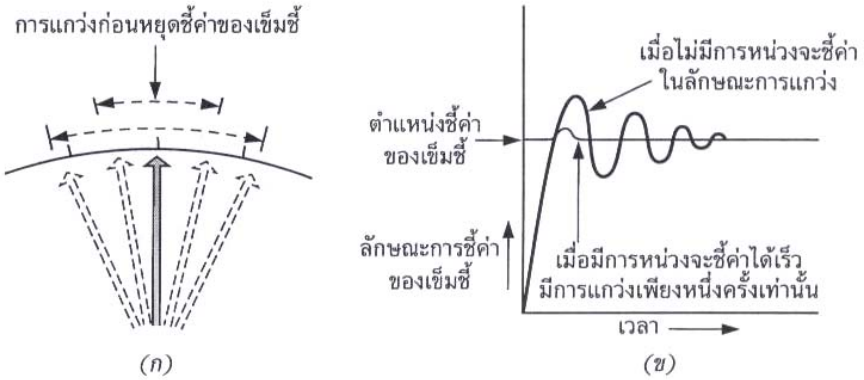
Current Sensitivity เช่น 0.1 $\mu A/mm$

Scale length เช่น 10 mm

กระแสเต็มเสกล เช่น 10 mA

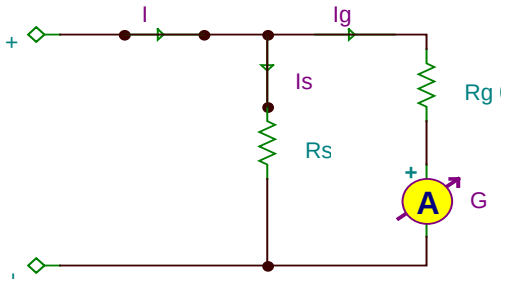
ความต้านทานภายใน (R_g) เช่น R_g = 100 โอห์ม

CDRX = 400 โอห์ม



รูปที่ 10.2 แสดงการแกว่งของเข็มกัลวาโนมิเตอร์แบบ Critical Dampling

10.3 ดีซีแอมมิเตอร์ (DC Ammeter) แอมมิเตอร์ชนิดดีซี ทำจากการนำกัลวาโนมิเตอร์ต่อขนานกับความต้านทานเพื่อทำการแบ่งกระแสดังรูปที่ 10.3



รูปที่ 10.3 แสดงวงจรดีซีแอมมิเตอร์

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

วิธีทำ

จากที่กำหนดให้ R_g = 100 โอห์ม I_g = 1mA

กระแสที่ต้องการวัดสูงสุด I = 1A

กรณีที่พิจารณาขณะกระแสเต็มเสกล

$I = I_g + I_s$

$1A = 1\ mA + I_s$

$I_s = 999\ mA$

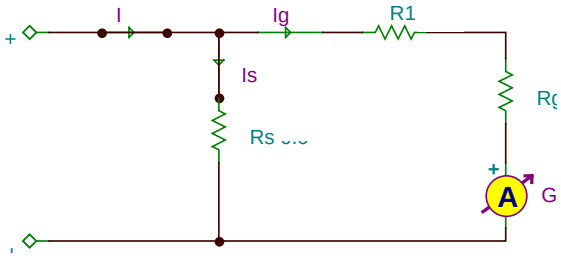
แต่ $V = I_s.R_s = I_g\ .\ R_g$

R_s = 1mAx100/999mA $\approx$ 0.1 ohm

สรุปคือให้นำความต้านทานขนาด 0.1 โอห์มต่อขนานกับกัลวาโนมิเตอร์ดังรูปที่ 3. จะได้แอมมิเตอร์ที่สามารถวัดค่าได้สูงสุด 1A แต่วงจรนี้จะไม่ได้ Critical Damping

ตัวอย่างที่ 2 จากตัวอย่างที่ 1. จงดัดแปลงกัลวาโนมิเตอร์ให้เป็น ดีซีแอมมิเตอร์ที่สามารถวัดกระแสได้เต็มเสกล 1A และให้ได้ critical damping เมื่อ กัลวาโนมิเตอร์มี CDRX = 400 ohm

วิธีทำ



จากที่กำหนดให้ R_g = 100 โอห์ม I_g = 1mA CDRX = 400 ohms

กระแสที่ต้องการวัดสูงสุด I = 1A

เพื่อให้ได้ critical damping จะต้องให้

$CDRX = R_1 + R_s//R_t$

เมื่อ R_t = ความต้านทานวงจรภายนอก

ปกติ R_s ต่ำมากเมื่อเทียบกับ R_t และ R_1 ดังนั้น

$R_1 \approx$ CDRX

เลือก R_1 = 400 ohms

กรณีที่พิจารณาขณะกระแสเต็มเสกล

$I = I_g + I_s$

$1A = 1\ mA + I_s$

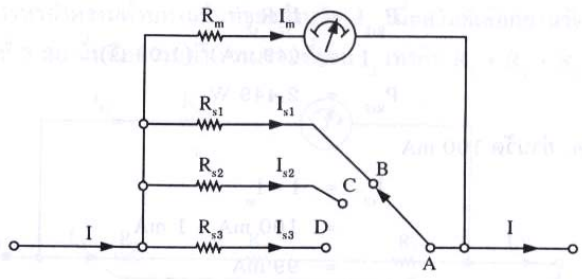
$I_s = 999\ mA$

แต่ $V = I_s.R_s = I_g .(R_g+R_1)$

$R_s = 1mAx(100+400)/999mA \approx 0.5$ ohm

สรุปคือให้นำความต้านทานต่อดังวงจรข้างต้น จะได้แอมมิเตอร์ที่สามารถวัดค่าได้สูงสุด 1A และวงจรนี้จะได้ Critical Damping

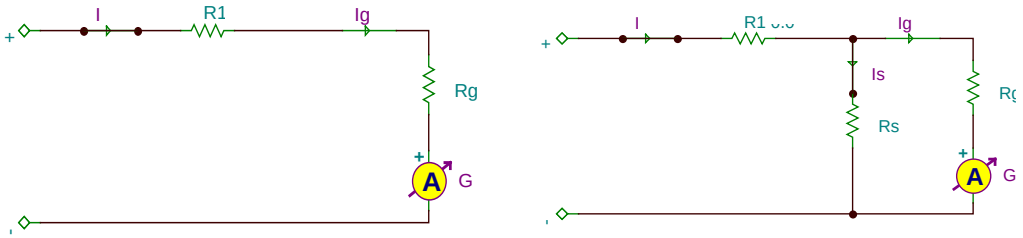
ถ้าต้องการดัดแปลงให้แอมมิเตอร์สามารถวัดกระแสได้หลายย่านการวัดดังแสดงในรูปที่ 10.4



รูปที่ 10.4 แสดงวงจรภายในแอมมิเตอร์หลายย่านการวัด

10.4 เครื่องมือวัดดีซีโวลท์มิเตอร์ (DC Voltmeter)

เราสามารถนำกัลวาโนมิเตอร์ทำเป็น ดีซีโวลท์มิเตอร์ ดังรูปที่ 10.5



(ก) (ข)

รูปที่ 10.5 แสดงวงจรดีซีโวลท์มิเตอร์ ก.แบบไม่คิดCritical Damping ข.แบบคิด Critical Damping

ตัวอย่างที่ 3 จงดัดแปลงกัลวาโนมิเตอร์ให้เป็น ดีซีโวลท์มิเตอร์ที่สามารถวัดกระแสได้เต็มเสกล 100 V โดยที่กัลวาโนมิเตอร์มีคุณสมบัติคือ กระแสสูงสุด 1 mA ความต้านทานภายใน 100 โอห์ม

วิธีทำ

จากที่กำหนดให้ R_g = 100 โอห์ม I_g = 1mA

แรงดันที่ต้องการวัดสูงสุด V = 100 V

กรณีที่พิจารณาขณะกระแสเต็มเสกล

$$V = I_g (R_g + R_1)$$

$$100 = 1\ mA\ (100 + R_1)$$

$$R_1 = 100K - 100 \approx 100\ Kohms$$

สรุปคือให้นำความต้านทานขนาด 100K โอห์มต่ออนุกรมกับกัลวาโนมิเตอร์ดังรูปที่ 5 ก. จะได้โวลท์มิเตอร์ที่สามารถวัดค่าได้สูงสุด 100 V แต่วงจรนี้จะไม่ได้ Critical Damping

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

วิธีทำ

จากที่กำหนดให้ R_g = 100 โอห์ม I_g = 1mA CDRX = 400 ohms

แรงดันที่ต้องการวัดสูงสุด V = 100V

เพื่อให้ได้ critical damping จะต้องให้

$$CDRX = (R_1 + R_t)//R_s$$

เมื่อ R_t = ความต้านทานวงจรภายนอก

ปกติ R_1 ,R_s ต่ำมากเมื่อเทียบกับ R_t ดังนั้น

$$R_s \approx CDRX$$

เลือก R_s = 400 ohms

แต่ $V_g = I_s.R_s = I_g R_g$

$$I_s = I_g R_g / R_s = 1mA(100)/400 = 0.25mA$$

กรณีที่พิจารณาขณะกระแสเต็มเสกล

$$I = I_g + I_s$$

$$I = 1\ mA + 0.25\ mA$$

$$I = 1.25\ mA$$

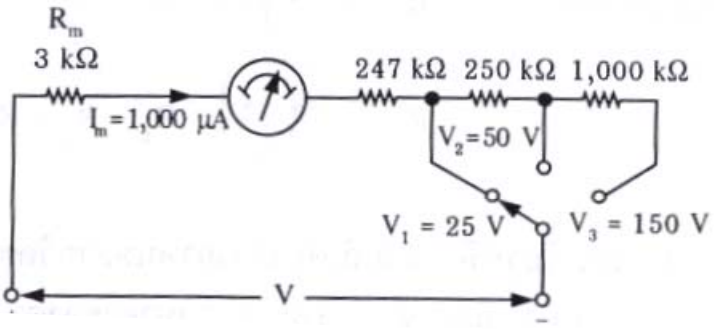
แต่ $V = I(R_1 + R_s//R_g)$

$$100 = 1.25mA(R_1 + 400//100)$$

$R_1 \approx 80$ Kohms

สรุปคือให้นำความต้านทานต่างๆที่คำนวณต่อดังวงจรรูปที่ 5ข. จะได้โวลท์มิเตอร์ที่สามารถวัดค่าได้สูงสุด 100V และวงจรนี้จะได้ Critical Damping

ถ้าต้องการดัดแปลงให้สามารถวัดแรงดันได้หลายย่านการวัดดังแสดงในรูปที่ 10.6



รูปที่ 10.6 แสดงวงจรภายในโวลท์มิเตอร์หลายย่านการวัด

10.5 เครื่องมือวัดความต้านทาน (Ohmmeter) สามารถนำ PMMC ต่อเพื่อทำการวัดค่าความต้านทานได้ สามารถแบ่งโอห์มมิเตอร์ได้เป็นสองแบบคือ โอห์มมิเตอร์แบบอนุกรม(Series Ohmmeter) และ โอห์มมิเตอร์แบบขนาน(Parallel Ohmmeter)

10.5.1 โอห์มมิเตอร์แบบอนุกรม(Series Ohmmeter) ดังรูปที่ 10.7 โอห์มมิเตอร์ต้องมีแบตเตอรี่และแอมป์มิเตอร์ โดยที่ R_b เป็นความต้านทานภายในแบตเตอรี่ R_m เป็นความต้านทานภายในแอมมิเตอร์ R_1 เป็นความต้านทานที่ปรับให้กระแสเต็มเสกล(Zero Adjust) R_X คือความต้านทานที่ต้องการวัด

จากวงจรถ้าความต้านทาน $R_X = \infty$ ohm (Open circuit)

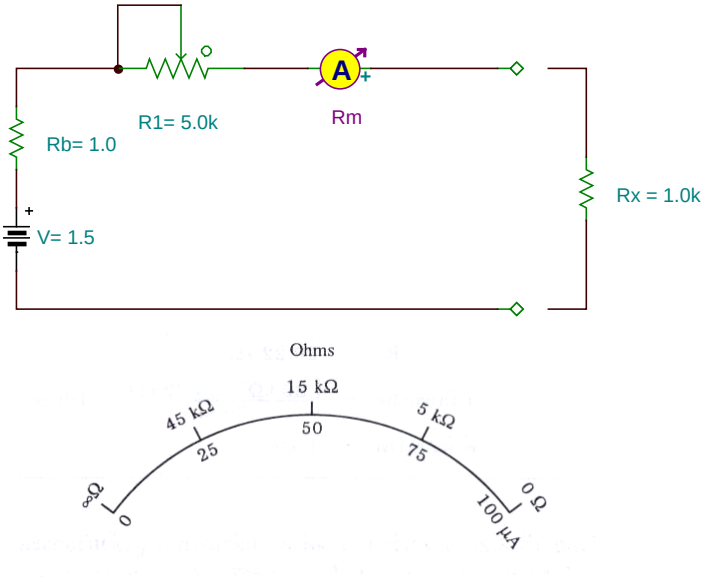
$I_X = 0$ mA เข็มของแอมมิเตอร์จะชี้ที่เสกลซ้ายสุด

ถ้าความต้านทาน $R_X = 0$ ohm (Short circuit)

$I_X = I_m$ เข็มของแอมมิเตอร์จะชี้ที่เสกลขวาสุด เข็มชี้เต็มเสกล

ถ้าความต้านทาน $R_X = R_1 + R_m + R_b$

$I_X = I_m /2$ เข็มของแอมมิเตอร์จะชี้ที่กึ่งกลางเสกล



รูปที่ 10.7 แสดงวงจรโอห์มมิเตอร์แบบอนุกรม

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

จากวงจรถ้าความต้านทาน $R_X = \infty$ ohm (Open circuit)

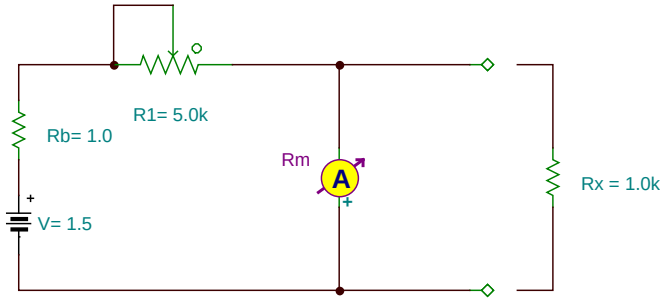
$I_X = I_m$ เข็มของแอมมิเตอร์จะชี้ที่เสกลขวาสุด เข็มชี้เต็มเสกล

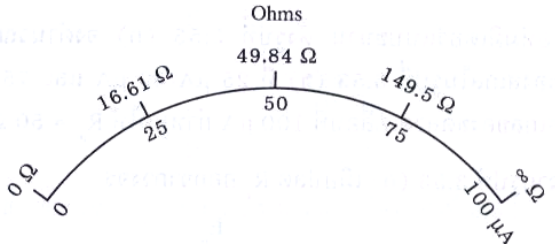
ถ้าความต้านทาน $R_X = 0$ ohm (Short circuit)

$I_X = 0$ mA เข็มของแอมมิเตอร์จะชี้ที่เสกลซ้ายสุด

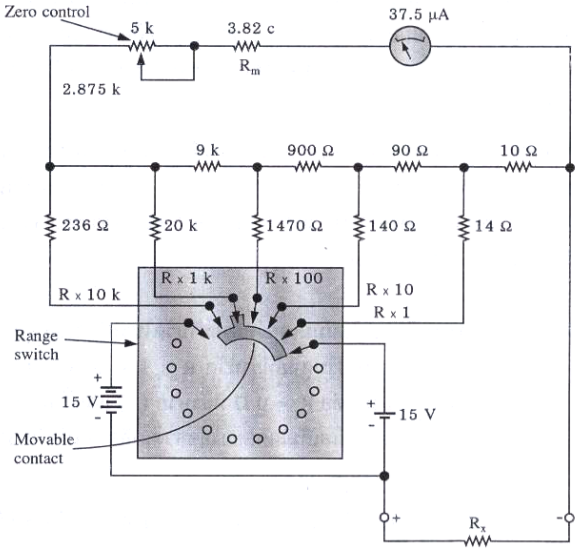
ถ้าความต้านทาน $R_X = (R_1 + R_b) // R_m$

$I_X = I_m /2$ เข็มของแอมมิเตอร์จะชี้ที่กึ่งกลางเสกล





รูปที่ 10.8 แสดงวงจรโอห์มมิเตอร์แบบขนาน

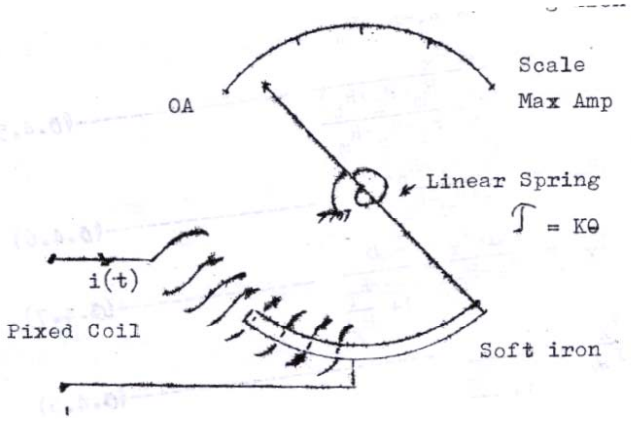


รูปที่ 10.9 แสดงวงจรภายในโอห์มมิเตอร์หลายย่านการวัด

10.6 เครื่องมือวัดสัญญาณกระแสสลับ (AC Instruments)

เครื่องมีวัดสัญญาณไฟฟ้ากระแสตรงที่กล่าวไปแล้ว เป็นแบบขดลวดเคลื่อนที่ในสนามแม่เหล็กถาวร (PMMC) จะเป็นกระแสที่ไหลทางเดียว ถ้านำไปวัดไฟฟ้า AC จะใช้ไม่ได้ เข็มชี้จะเคลื่อนที่สลับไปสลับมา เครื่องมือที่ใช้วัดสัญญาณไฟฟ้ากระแสสลับมีหลายชนิด เช่น Electrodynamo meter , Electrostatic meter , moving-iron meter , rectifier meter ในที่นี้จะกล่าวถึง ชนิด moving-iron และชนิด rectifier

10.6.1 เครื่องมือชนิดแผ่นเหล็กเคลื่อนที่ (Moving-Iron Instrument)



รูปที่ 10.10 โครงสร้างเครื่องมือชนิดแผ่นเหล็กเคลื่อนที่

จากรูปที่ 10.10 มิเตอร์ชนิดแผ่นเหล็กเคลื่อนที่ จะประกอบด้วยขดลวดอยู่กับที่ (Fixed Coil) แผ่นเหล็ก (Iron Vane) มีเข็มติดปลายข้างหนึ่งของแผ่นเหล็ก และวางติดกับสปริงเพื่อให้เข็มคืนสู่ตำแหน่งเดิมได้ กระแสที่ต้องการวัดจะไหลผ่านขดลวดอยู่กับที่ ทำให้เกิดอำนาจแม่เหล็กดูดแผ่นเหล็ก การเคลื่อนที่ของแผ่นเหล็กจะทำให้เข็มเคลื่อนที่ ซึ่งจะเป็นสัดส่วนโดยตรงกับแรงบิดที่เกิดขึ้น แรงบิดที่เกิดขึ้นจากกระแสไฟฟ้าเอซีเป็นสัดส่วนโดยตรงกันดังสมการ

$$\Gamma = \frac{1}{2} i^2 \frac{dL}{d\theta} \qquad \text{.....(10.4)}$$

Γ = แรงบิดในขดลวดอยู่กับที่ ซึ่งจะเท่ากับแรงบิดของสปริง

เข็มชี้บนขดลวดติดอยู่กับสปริง แรงสปริงของขดลวดเขียนเป็นสมการได้คือ

$$\Gamma = K\theta \qquad \text{.....(10.5)}$$

เมื่อ Γ = แรงบิดของสปริง

K = Spring Constant

θ = มุมของเข็มชี้ที่เบี่ยงเบนไปและหยุดนิ่งอยู่กับที่

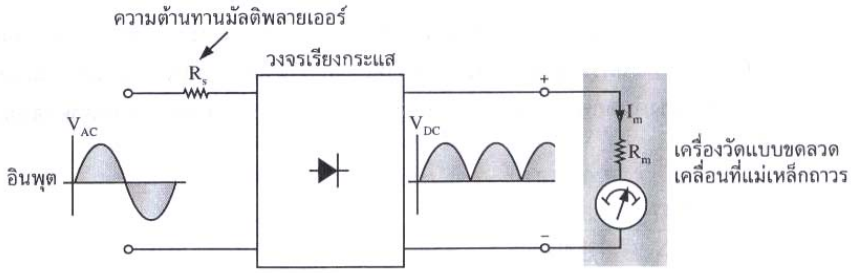
แรงของสปริงจะเท่ากับแรงที่เกิดจากแรงบิดของขดลวดสมการ(10.4)เท่ากับสมการ (10.5)

ดังนั้น $\theta \propto i$ .....(10.6)

จากสมการที่ (10.6) แสดงว่ามุมของการเบี่ยงเบนของเข็มชี้นอยู่กับกระแสที่ไหลผ่านขดลวด มิเตอร์นี้จะอ่านค่าเป็น Amp rms

10.6.2 เครื่องมือวัดสัญญาณเอซีชนิดแปลงสัญญาณเอซีให้เป็นดีซี (Rectifier Instruments)

เครื่องมือวัดสัญญาณกระแสสลับประเภทนี้ จะแปลงสัญญาณเอซีให้เป็นสัญญาณดีซีก่อน แล้วจึงผ่านสัญญาณดีซีไปยังกัลวาโนมิเตอร์ หรือ PMMC วงจรที่ทำการแปลงสัญญาณเอซี เป็นดีซี เรียกว่า วงจร Rectifier ดังรูปที่ 10.11



รูปที่ 10.11 แสดงเครื่องมือวัดสัญญาณเอซีชนิดแปลงสัญญาณเอซีให้เป็นดีซี

กัลวาโนมิเตอร์จะอ่านค่าเฉลี่ยของสัญญาณ แต่สัญญาณที่เข้าไปในกัลวาโนมิเตอร์นั้นเป็นสัญญาณที่ออกมาจากวงจรRectifier เราต้องการวัดสัญญาณเอซีในหน่วย rms 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

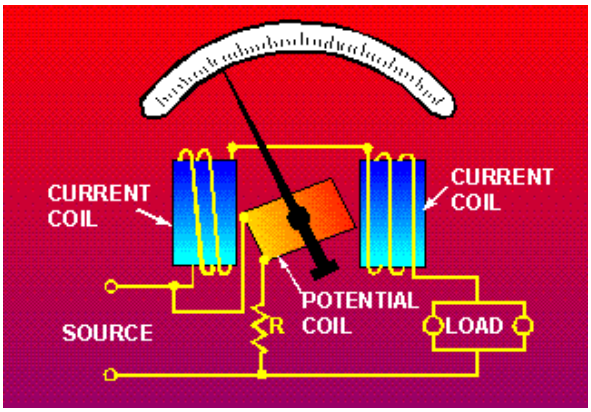
10.7 เครื่องมือวัดกำลังไฟฟ้า (Wattmeter)

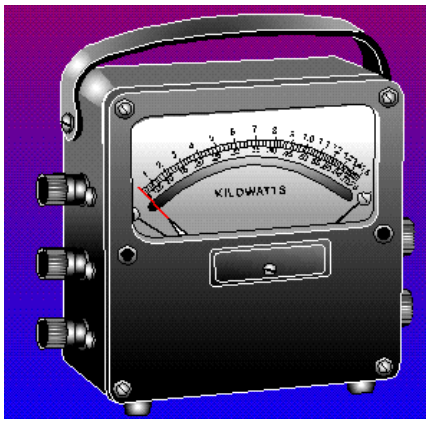
วัตต์มิเตอร์ประกอบด้วยส่วนสำคัญสองส่วนคือ ขดลวดวัดกระแส(Current Coil) และขดลวดวัดแรงดัน(Voltage Coil) ดังรูปที่ 10.12 ความต้านทานภายในขดลวดวัดกระแสจะมีค่าต่ำมาก ส่วนความต้านทานภายในขดลวดวัดแรงดันจะมีค่าสูงมาก ค่าของการวัดกำลัง(Power)

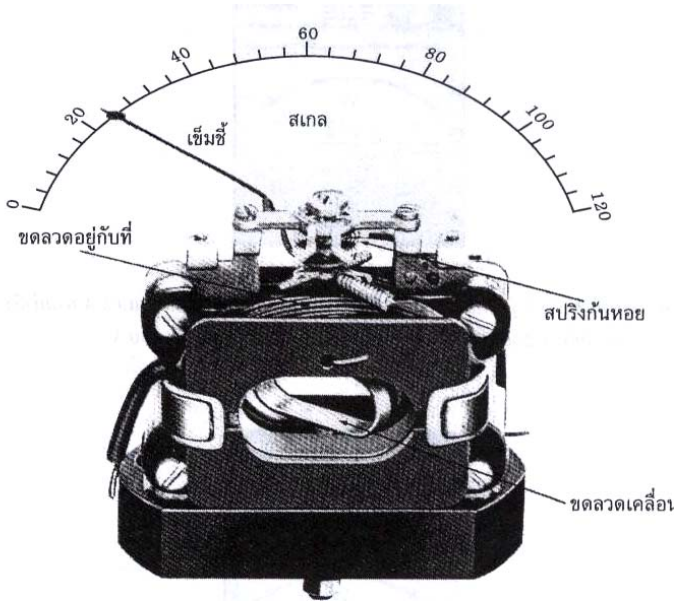
วงจรไฟฟ้าดีซี $P = VI$

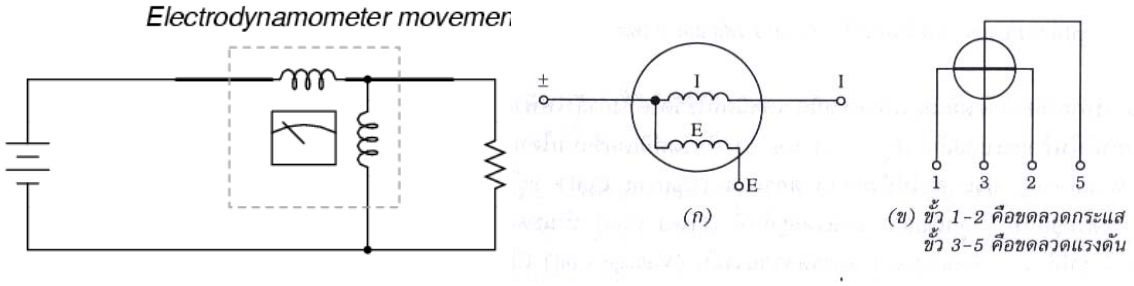
วงจรไฟฟ้าเอซี $P = VI\cos\theta$

เมื่อสัญญาณเอซีทั้งแรงดัน และกระแส จะต้องมีค่าเป็น rms เท่านั้น









รูปที่ 10.12 แสดงเครื่องมือวัดกำลังไฟฟ้า

การวัดกำลังไฟฟ้า

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

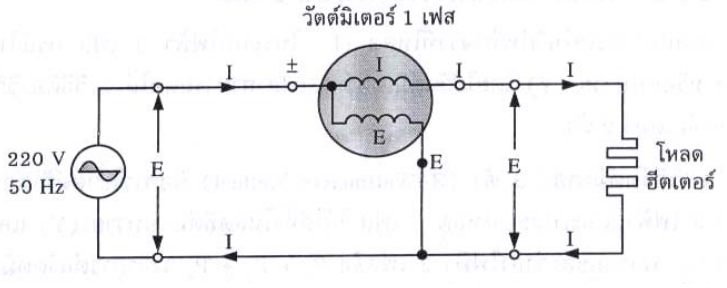
จากรูปแสดงรูปร่างของวัตต์มิเตอร์ที่สร้างขึ้นมาใช้งานจริงดังรูปที่ 10.13 เป็นวัตต์มิเตอร์ชนิดเฟสเดียว ถูกสร้างขึ้น มาให้สามารถวัดแรงดันและวัดกระแสได้ 2 ย่าน คือ วัดกระแสได้ 0.2A และ 1A วัดแรงดันได้ 120V และ 240V

การอ่านค่ากำลังไฟฟ้าจากวัตต์มิเตอร์ที่ถูกต้อง โดยต้องอ่านค่าจากหน้าปัดสเกลในตำแหน่งที่เข็มมิเตอร์ชี้ค่า นำมาคูณร่วมกับค่าตัวคูณในตารางที่แนบติดมากับตัววัตต์มิเตอร์ ซึ่งขึ้นอยู่กับค่าแรงดันและ ค่ากระแสของขั้วที่ต่อวัด จากวัตต์มิเตอร์ ค่าที่คำนวณได้จึงจะเป็นค่ากำลังไฟฟ้าที่วัดได้จริงจากอุปกรณ์หรือวงจรที่ทำการวัด

ตารางแสดงค่าตั้งวัดและค่าคูณของวัตต์มิเตอร์แสดงไว้ในตารางที่ 1.

ตารางที่ 1

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



รูปที่ 10.13 แสดงการวัดกำลังไฟฟ้าเฟสเดียว

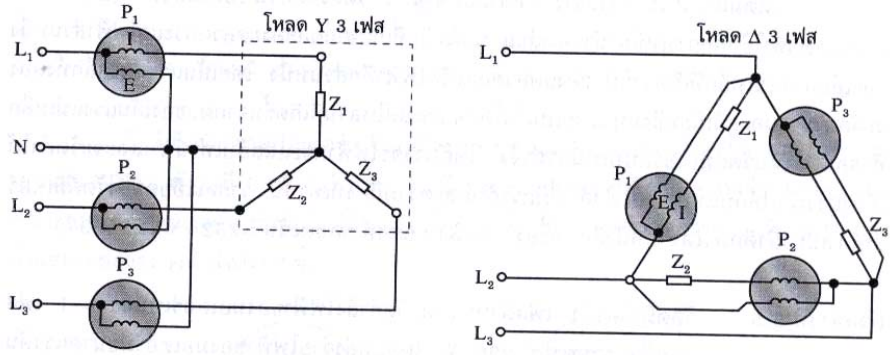
กรณีการวัดกำลังไฟฟ้าสามเฟส สามารถวัดค่า Real Power ได้สามวิธีคือ

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

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



(ก) วงจรโหลดแบบวายสมดุลและไม่สมดุล (ข) วงจรโหลดแบบเดลต้าสมดุลและไม่สมดุล

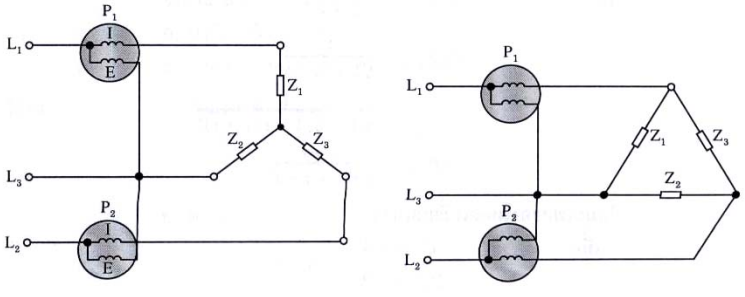
รูปที่ 10.14 แสดงการวัดกำลังไฟฟ้าสามเฟสวัตต์มิเตอร์สามตัว

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

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

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

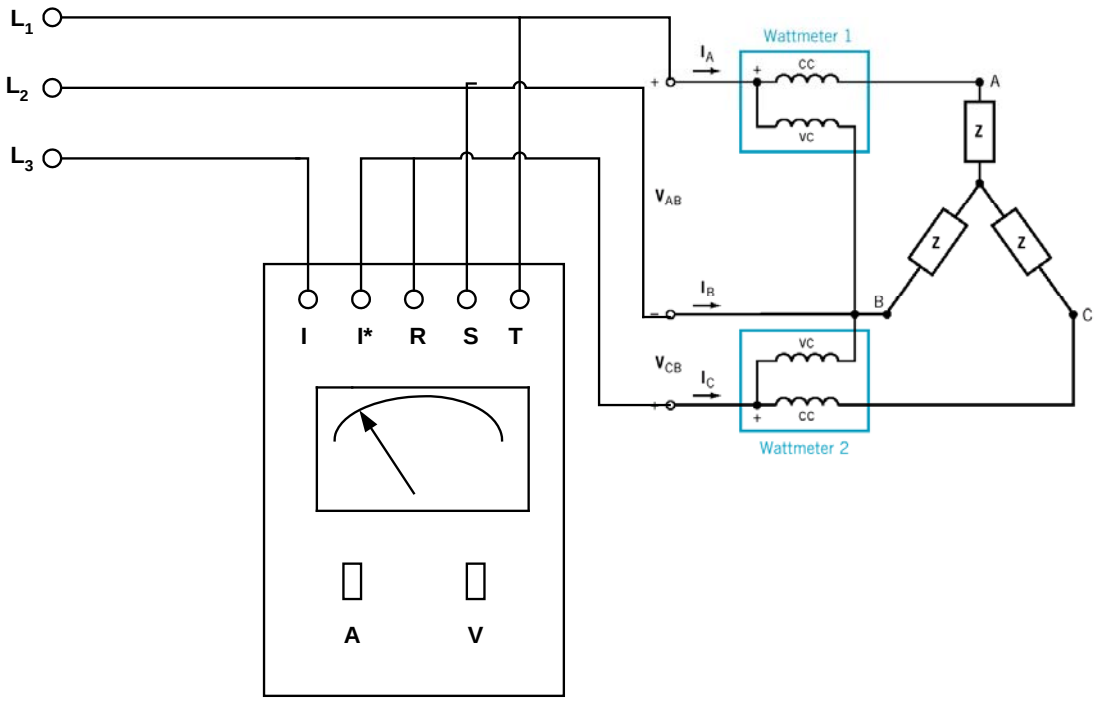
$$P_{3phase} = \sqrt{3} V_{line} I_{line} \cos\theta$$



(ก) วงจรโหลดแบบวายสมดุลและไม่สมดุล (ข) วงจรโหลดแบบเดลต้าสมดุลและไม่สมดุล

รูปที่ 10.15 แสดงการวัดกำลังไฟฟ้าสามเฟสวัตต์มิเตอร์สองตัว

3. วิธีวัตต์มิเตอร์สามเฟส ต่อวงจรดังรูปที่ 16. ซึ่งวัตต์มิเตอร์สามเฟสจะประกอบด้วยขดลวดกระแสหนึ่งขด และขดลวดแรงดันสามขด



รูปที่ 10.16 แสดงการวัดกำลังไฟฟ้าสามเฟสวัตต์มิเตอร์สามเฟส

10.8 เครื่องมือวัดพลังงานไฟฟ้า (Energy Meter or Kilowatt-Hour Meter)

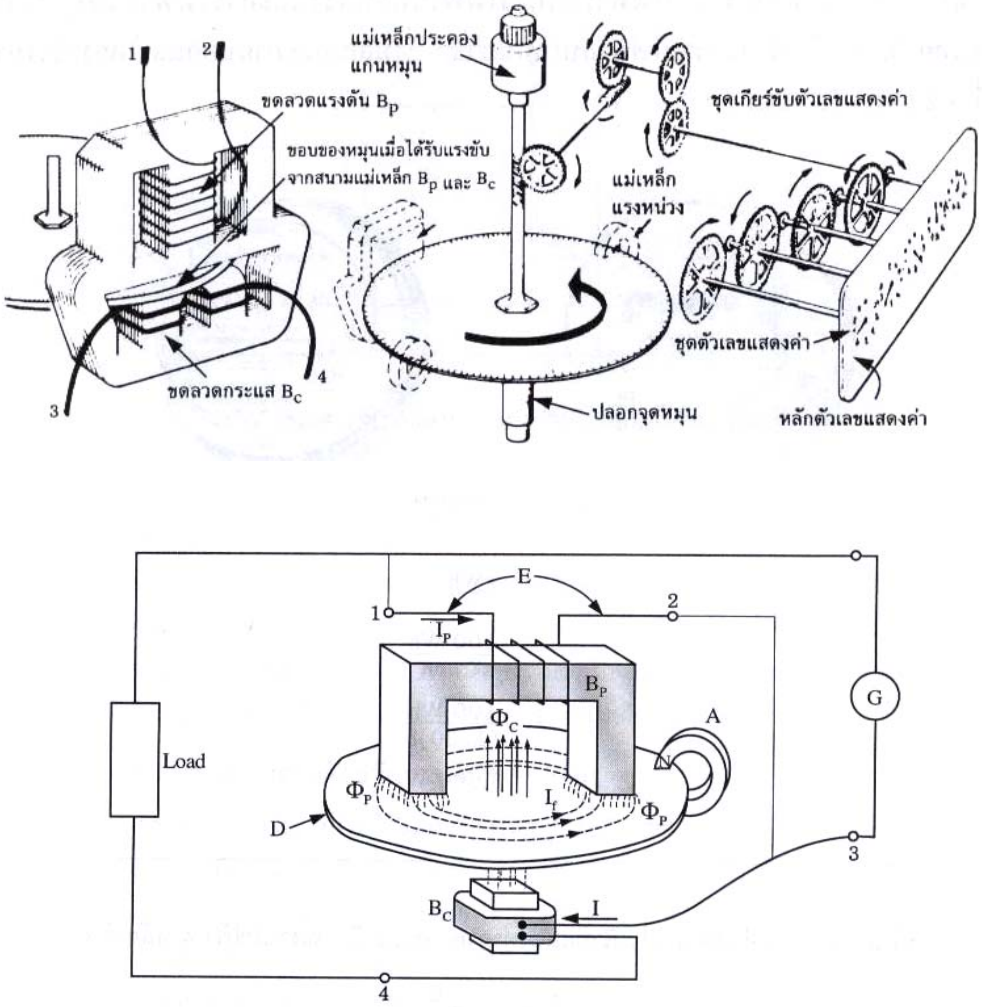
เครื่องมือชนิดนี้จะประกอบด้วยวัตต์มิเตอร์ส่วนหนึ่งกับเครื่องวัดเวลาอีกส่วนหนึ่ง ค่าพลังงานจะบอกเป็นหน่วย(Unit) หรือ กิโลวัตต์-ชั่วโมง(KWH) คือบอกจำนวนกำลังไฟฟ้าที่ใช้เป็นกิโลวัตต์ คูณกับจำนวนชั่วโมงที่ใช้ไฟ

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



รูปที่ 10.17 แสดงโครงสร้างเครื่องมือวัดพลังงานไฟฟ้า

10.9 แอมมิเตอร์แบบแคลมป์ (Clip on Ammeter)

จากแอมมิเตอร์แบบต่าง ๆดังที่ได้กล่าวมาแล้วนั้นเมื่อนำไปวัดกระแสไฟฟ้าจำเป็นต้องถอดสายออกก่อนแล้วจึงต่อแอมมิเตอร์อนุกรมกับโหลดซึ่งเกิดความลำบากไม่สะดวกในการปฏิบัติ แต่แบบแคลมป์แค่แกนเหล็กคล้องกับสายเพียงเท่านั้นเราก็สามารถวัดกระแสไฟฟ้าได้ เครื่องวัดแบบนี้สามารถใช้วัดกระแสโดยไม่ต้องดับเครื่องหรือหยุดเดินเครื่องเพื่อทำการวัดกระแส แต่อาศัยหลักการเหนี่ยวนำของกระแสในเส้นลวดที่ต้องการวัด

ที่ 10.18 แสดงโครงสร้างเครื่องมือวัดแอมมิเตอร์แบบแคมป์

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)

อย่างไรก็ตามมัลติมิเตอร์บางแบบสามารถใช้วัดปริมาณอื่น ๆ ได้อีก เช่น กำลังออกของสัญญาณความถี่เสียง (AF output) การขยายกระแสตรงของทรานซิสเตอร์ (DC current amplification, h_{FE}) กระแสรั่วของทรานซิสเตอร์ (leakage current, I_{CEO}) ความจุทางไฟฟ้า (capacitance) ฯลฯ

มัลติมิเตอร์แบบเข็ม มีลักษณะดังภาพข้างล่าง

รูปที่ 10.19 แสดงโครงสร้างเครื่องมือวัดมัลติมิเตอร์แบบเข็ม

ส่วนประกอบสำคัญของมัลติมิเตอร์แบบเข็ม

ส่วนประกอบสำคัญของมัลติมิเตอร์แบบเข็มข้างต้น ได้แก่

1. **ที่ปรับการชี้ศูนย์** (indicator zero corrector): ใช้สำหรับการปรับให้เข็มชี้ศูนย์ขณะยังไม่ได้ใช้ทำการวัด
2. **สวิตช์เลือกปริมาณที่จะวัดและระดับขนาด** (range selector switch knob) : เป็นสวิตช์ที่ผู้ใช้จะต้องบิดเลือกว่าจะใช้เครื่องวัดปริมาณใด ซึ่งมีทั้งหมด 4 ปริมาณแต่ละปริมาณมีช่วงการวัดให้เลือก ดังนี้

ACV : 0-10V, 0-50 V, 0-250 V และ 0-1000 V (รวม 4 ช่วงการวัด)

DCV : 0-0.1 V, 0-0.5 V, 0-2.5 V, 0-10 V, 0-50 V, 0-250 V และ 0-1000 V (รวม 7 ช่วงการวัด)

DCA :0-50 μA,0-2.5 mA,0-25mA,และ0-0.25 A (รวม 4 ช่วงการวัด)

Resistance (Ω) : x 1 (อ่านได้ 0-2k Ω)

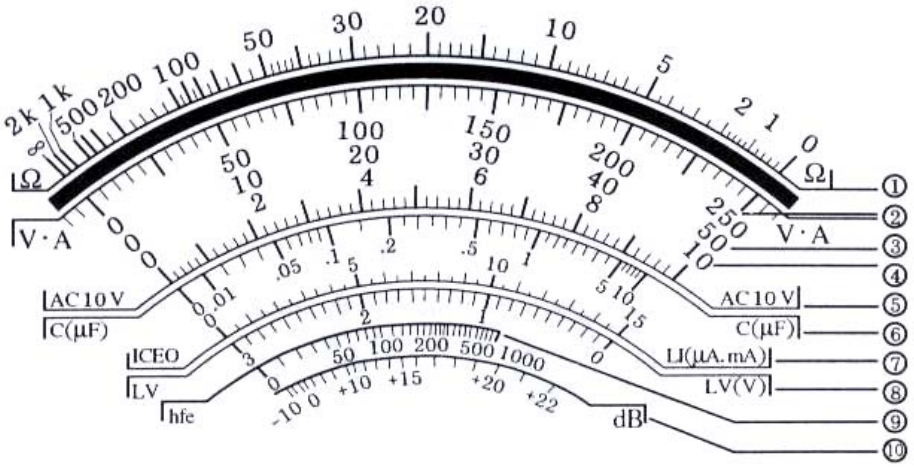
x 10 (อ่านได้ 0-20k Ω)

x 1k (อ่านได้ 0-2000k หรือ 2 M Ω)

x 10k (อ่านได้ 0-20 M Ω)(รวม 4 ช่วงการวัด)

3. **ช่องเสียบสายวัดขั้วบวก** (measuring terminal +)
4. **ช่องเสียบสายวัดขั้วลบ** (measuring terminal -COM)
5. **ช่องเสียบสายวัดขั้วบวกกรณีวัดกำลังออกของสัญญาณความถี่เสียง** (output terminal)

6. **ปุ่มปรับแก้ศูนย์โอห์ม** (0 Ω adjust knob) : ใช้เพื่อปรับให้เข็มชี้ศูนย์โอห์มเมื่อนำปลายวัดทั้งคู่มาแตะกันก่อนทำการวัดค่าความต้านทานในแต่ละช่วงการวัด
7. **แผงหน้าปัด** (panel)
8. **เข็มชี้** (indicator pointer)
9. **สายวัด** (test lead) : ประกอบด้วยสาย 2 เส้น สีแดงสำหรับขั้วบวกและสีดำสำหรับขั้วลบ
10. **สเกลการวัด** (reading scales) : ประกอบด้วย 7 สเกลการวัดเรียงลำดับจากบนสุดลงล่างดังนี้ (ดูจากเครื่องวัดประกอบด้วย)



รูปที่ 10.20 สเกลหน้าปัทม์ของมัลติมิเตอร์

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)

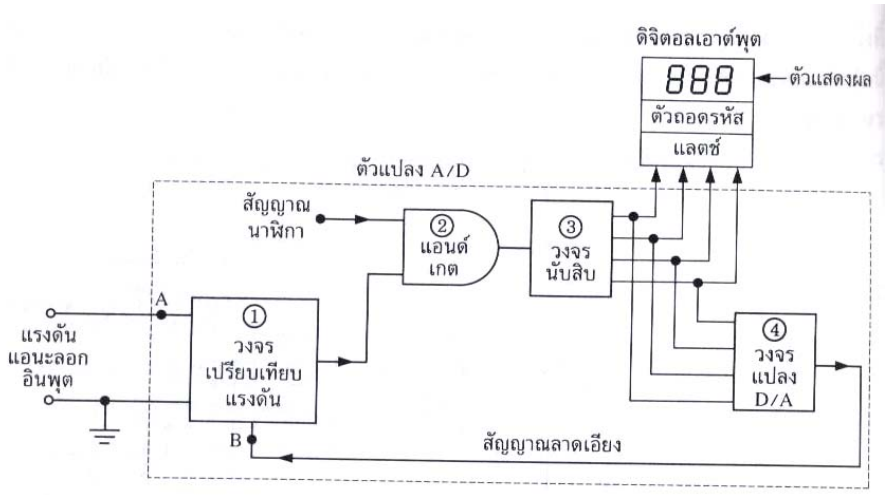
การอ่านผลการวัดจากสเกลเครื่องวัด

ก่อนทำการอ่านผลการวัดจะต้องทราบก่อนว่า ค่าที่อ่านได้จากสเกลเครื่องวัดนี้ มีความเชื่อถือได้มากน้อยเท่าใด นั่นคือต้องทราบความแม่น (accuracy) ของเครื่องวัดด้วย ซึ่งปกติจะมีระบุไว้ในคู่มือของเครื่องวัดนั้นๆ สำหรับเครื่องวัดที่จะได้ศึกษามีรายละเอียดดังตารางข้างล่าง

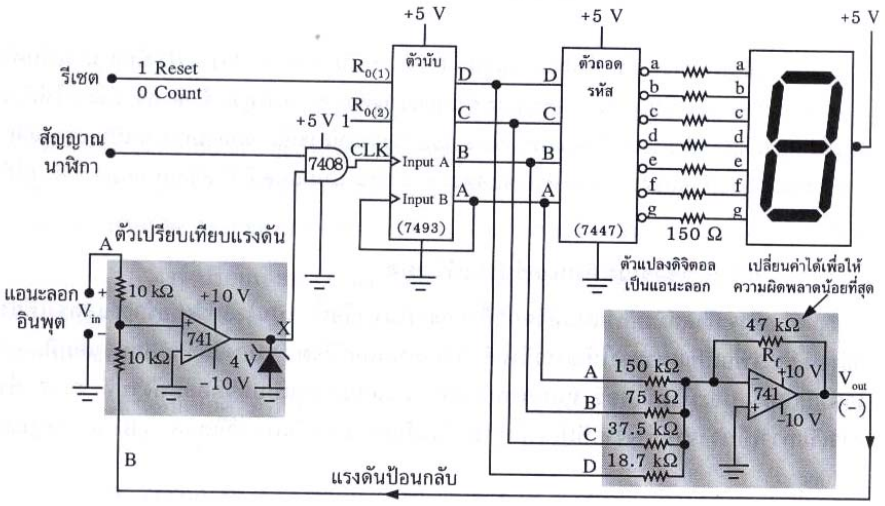
Measurement	Measurement ranges	Allowance	Remarks
DC Voltage (DCV)	0-0.1 V -0.5 V -2.5 V -10 V -50 V -250 V 1000 V-(25kV) 25 kV with HV probe extra	±3%fs except 25 kV	Imput impedance 20 kΩ/V
AC Voltage (ACV)	0-10 V -50 V -250 V -1000 V 30 Hz ~ 50 kHz ± 1 dB (50 V or less) 50 Hz ~ 20 kHz±3% (50 V or less)	±4% fs	Input impedance 9kΩ/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



รูปที่ 10.23 แสดงวงจรโวลท์มิเตอร์แบบดิจิตอล

หลักการทำงานของวงจรดิจิตอลโวลท์มิเตอร์ สามารถอธิบายได้ดังรูปวงจรข้างต้นดังนี้ แรงดันที่ต้องการวัดถูกป้อนผ่านวงจรแปลงสัญญาณอานาลอกเป็นดิจิตอล ซึ่งภายในวงจรแปลงสัญญาณจากอานาลอกเป็นดิจิตอลจะประกอบด้วยวงจรเปรียบเทียบสัญญาณ วงจรแปลงสัญญาณจากดิจิตอลเป็นอานาลอก และวงจรนับเลขสิบ เมื่อสัญญาณแรงดันที่ต้องการวัดผ่านวงจรแปลงสัญญาณจากอานาลอกเป็นดิจิตอลแล้ว จะนำสัญญาณดิจิตอลผ่านวงจรถอดรหัสเพื่อควบคุมการ

แสดงผลเป็นตัวเลข 7-Segment วงจรทั้งหมดจะเป็นไอซีดิจิตอลที่ผลิตขึ้นเพื่อใช้ในแต่ละงาน ส่วนการวัดสัญญาณกระแส ค่าความต้านทาน จะต้องเปลี่ยนค่าต่าง ๆทั้งหมดให้อยู่ในรูปแรงดันก่อน โดยให้ค่าที่ได้เป็นสัดส่วนกันโดยตรง และนำค่าที่ได้จัดการเพื่อแสดงผล

ตัวอย่างรูปมิเตอร์แบบต่าง ๆ

แอมมิเตอร์

WATTS

W

Digital Power Meter
BRAND
ELECTRONICS
MODEL 4-1850

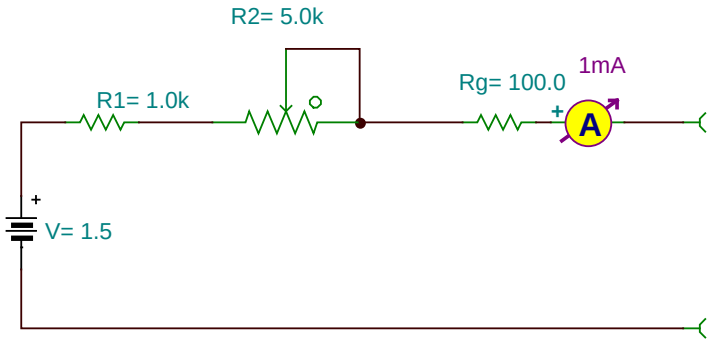
วัตต์มิเตอร์

Carrel Precision
LP-3KW4
KWhr Meter
manufactured by
CARREL & CARREL LTD
AUCKLAND NEW ZEALAND

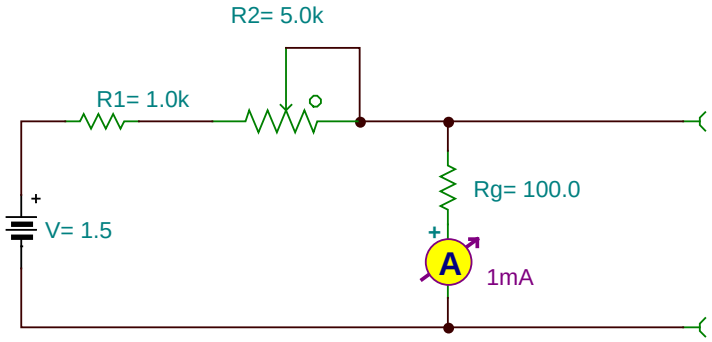
วัตต์-ชั่วโมง มิเตอร์

<u>แบบฝึกหัดบทที่ 10</u>

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



Series type Ohmmeter

7. ทำไมสเกลของ AC Voltmeter แบบ Rectifier จึงมีสเกลไม่เหมือนกับ DC Voltmeter
8. โครงสร้างและหลักการทำงานของ Wattmeter
9. โครงสร้างและหลักการทำงานของ Kilowatt-hour meter

ผศ.วิชัย ประเสริฐเจริญสุข

1 มิถุนายน 2552