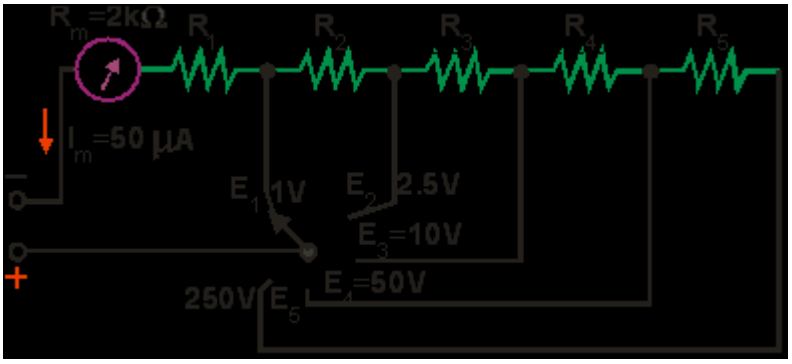
หน่วยที่2. การขยายย่านวัด



จุดประสงค์ทั่วไป

รู้วิธีการใช้และขยายย่านวัดโวลต์มิเตอร์ แอมมิเตอร์ โอห์มมิเตอร์ และวัตต์มิเตอร์

จุดประสงค์การเรียนรู้

- **อธิบายหลักการทำงานของโวลต์มิเตอร์ได้**
- **ต่อวงจรและใช้โวลต์มิเตอร์ได้อย่างถูกวิธี**
- **จำแนกชนิดของโวลต์มิเตอร์ได้**
- **คำนวณค่าความต้านทานเพื่อนำมาขยายย่านวัดโวลต์มิเตอร์ได้**
- **อธิบายหลักการทำงานของแอมมิเตอร์ได้**
- **ต่อวงจรและใช้แอมมิเตอร์ได้อย่างถูกวิธี**
- **คำนวณค่าความต้านทานเพื่อนำมาขยายย่านวัดแอมมิเตอร์ได้**
- **อธิบายการทำงานของวงจรโอห์มมิเตอร์แบบอนุกรมได้**
- **อธิบายการทำงานของวงจรโอห์มมิเตอร์แบบขนานได้**
- **ปฏิบัติงานที่ได้รับมอบหมายเสร็จตามกำหนด**
- **อธิบายการทำงานของวงจรโอห์มมิเตอร์แบบผสมได้**

ใบความรู้หน่วยที่ 2.1

วิชา เครื่องวัดไฟฟ้า (รหัส3104 - 1002)
ชื่อหน่วย โวลต์มิเตอร์และการขยายย่านวัด

เนื้อหาสาระ

1. โวลต์มิเตอร์และการขยายย่านวัด

1.1 โวลต์มิเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง

1.1.1 โครงสร้างและหลักการทำงาน

มีโครงสร้างและหลักการทำงานมาจากเครื่องวัดชนิดขดลวดเคลื่อนที่ แบบใช้ แม่เหล็กถาวร โดยอาศัยสนามแม่เหล็กถาวร และสนามแม่เหล็กไฟฟ้าที่ เกิดขึ้นในขดลวดตัวนำที่มีกระแสไฟฟ้าไหลผ่านทำให้เกิดแรงบิดบ่ายเบน สามารถวัดแรงดันไฟฟ้าค่าต่ำ ๆ มีค่าเท่ากับกระแสไฟฟ้าเต็มสเกล คูณกับค่าความต้านทานภายในของเครื่องวัดชนิดขดลวดเคลื่อนที่เท่านั้น

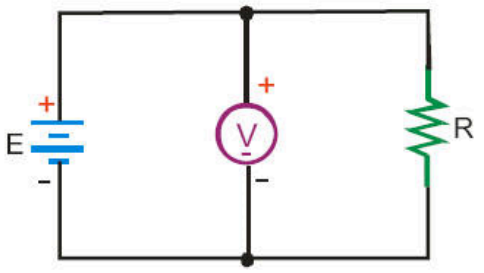
1.1.2 การต่อและใช้งานโวลต์มิเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง เพื่อวัดแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง มีวิธีการต่อดังนี้

1.1.2.1 ต่อขนานกับโหลด

1.1.2.2 สายขั้วบวกของเครื่องวัดจะต้องต่อเข้ากับจุดที่มีศักย์ไฟฟ้าสูงหรือขั้วบวก สายขั้วลบของเครื่องวัดจะต้องต่อเข้ากับจุดที่มีศักย์ไฟฟ้าต่ำหรือขั้วลบ

1.1.2.3 กรณีมีหลายย่านวัดให้เลือกย่านวัดสูงก่อน แล้วจึงลดย่านวัดให้ต่ำลง จนกระทั่งได้ย่านวัดที่ทำให้เข็มชี้อยู่ในตำแหน่งใกล้เคียงค่าเต็มสเกล เพื่อให้อ่านค่าได้ง่าย และมีความถูกต้องมากที่สุด

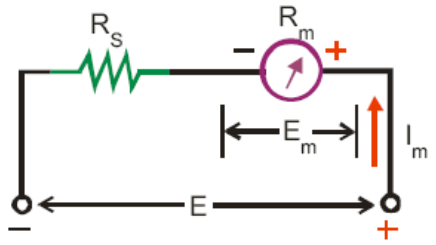
1.1.2.4 อ่านค่าจากสเกลให้สัมพันธ์กับย่านวัดที่ตั้งไว้ วิธีการต่อโวลต์มิเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแสดงดังรูปที่ 1



รูปที่ 1 วงจรการต่อโวลต์มิเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง

1.1.3 การขยายย่านวัด

โวลต์มิเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง ที่มีโครงสร้างภายในเป็นเครื่องวัดชนิดขดลวดเคลื่อนที่แบบใช้แม่เหล็กถาวร สามารถวัดแรงดันไฟฟ้าค่าต่ำๆ เท่ากับกระแสไฟฟ้าเต็มสเกล (I_m) คูณกับค่าความ-ต้านทานภายในของเครื่องวัดชนิดขดลวดเคลื่อนที่ (R_m)เท่านั้น ดังนั้นถ้าต้องการทำให้โวลต์มิเตอร์วัดแรงดันไฟฟ้าได้ย่านวัดสูงขึ้น สามารถทำได้โดยนำตัวต้านทานมาต่ออนุกรมกับเครื่องวัดชนิดขดลวดเคลื่อนที่ เพื่อป้องกันไม่ให้แรงดันไฟฟ้าตกคร่อมเครื่องวัดชนิดขดลวดเคลื่อนที่เกินค่าพิกัดที่จะทนได้ แสดงดังรูปที่2



รูปที่ 2 การขยายย่านวัดโวลต์มิเตอร์

เมื่อกำหนดให้ R_S คือ ความต้านทานต่ออนุกรมกับเครื่องวัดชนิดขดลวดเคลื่อนที่ มีหน่วยเป็นโอห์ม

E_m คือ แรงดันไฟฟ้าตกคร่อมเครื่องวัดชนิดขดลวดเคลื่อนที่ มีหน่วยเป็นโวลต์

E คือ แรงดันไฟฟ้าที่ต้องการขยายย่านวัด มีหน่วยเป็นโวลต์

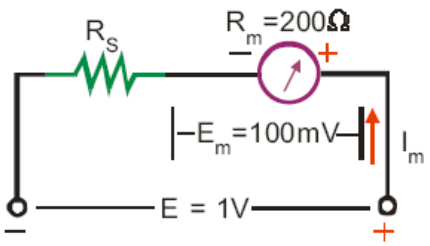
ใช้กฎของโอห์ม หาค่าสมการจากรูปที่ 2

$$E = I_m . (R_S + R_m)$$

$$(R_S + R_m) = \frac{E}{I_m}$$

$$\therefore R_S = \frac{E}{} - R_m = \frac{(E - I_m R_m)}{} = \frac{E - E_m}{}$$

ตัวอย่างที่ 1 เครื่องวัดชนิดขดลวดเคลื่อนที่ มีย่านวัดแรงดันไฟฟ้าสูงสุด 100 mV ความต้านทานภายใน 200 Ω ต้องการขยายย่านวัดแรงดันไฟฟ้าได้สูงสุด 1 V จะต้องใช้ตัวต้านทานค่าเท่าไรมาต่ออนุกรมกับเครื่องวัดชนิดขดลวดเคลื่อนที่



$$I_m = \frac{E_m}{R_m} = \frac{100mV}{200\Omega} = 0.5\,mA$$

$$R_S = \frac{E - E_m}{I_m} = \frac{1V - 100mV}{0.5mA} = 1{,}800\Omega$$

ตัวอย่างที่ 2 จากตัวอย่างที่ 1 ถ้านำเครื่องวัดไปวัดแรงดันไฟฟ้า 100 mV ที่ย่านวัด 100 mV และวัดแรงดันไฟฟ้า 1 V ที่ย่านวัด 1V เมื่ออุณหภูมิขณะทำการวัด 35 °C

อุณหภูมิเปลี่ยนไปจากอุณหภูมิมาตรฐาน (20°C)

$$\Delta t = t_2 - t_1$$

$$= 35\,^{\circ}C - 20^{\circ}C = 15^{\circ}C$$

ค่าความต้านทานภายในของขดลวดเคลื่อนที่เปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้น ตามสมการ

$$R_{m\,35^{\circ}C} = R_{m\,20^{\circ}C}(1 + \alpha_{20}\,\Delta t)$$

ที่ย่านวัด 100 mV กระแสไฟฟ้าที่ไหลเข้าขดลวดเคลื่อนที่ จะมีค่าไม่ถึงค่า I_m เนื่องจากค่าความต้านทานภายในเพิ่มขึ้น ดังนั้น

$$I(100\ mV) = \frac{E_m}{R_{m35^oC}} = \frac{100\ mV}{212\ \Omega} = 0.472\ mA$$

ค่าผิดพลาดสัมบูรณ์ (E_a)= $I(100\ mV) - I_m = 0.472\ mA - 0.5\ mA$

$= -0.028\ mA$

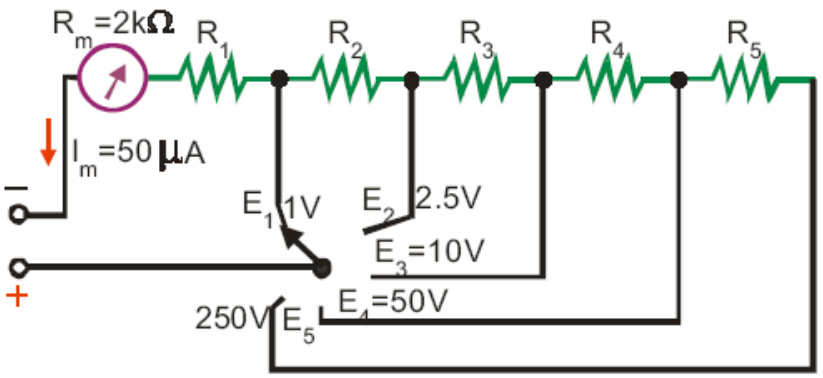
ค่าผิดพลาดสัมพัทธ์ (E_r) = $\frac{E_a}{I_m} \times 100 = \frac{-0.028\ mA}{0.5\ mA} \times 100 = -5.66\%$

ที่ย่านวัด 1V ค่าความต้านทานภายในของขดลวดทองแดงที่เปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้น 12 Ω ค่าความต้านทาน R_S จะเปลี่ยนแปลงค่าความต้านทานเนื่องจากอุณหภูมิน้อยมาก เพราะทำด้วยแมงกานีส ดังนั้นความต้านทานรวมของวงจรที่อุณหภูมิ 35 °C จะได้

$$R_{t35^oC} = R_{m35^oC} + R_S = 212\ \Omega + 1{,}800\ \Omega = 2{,}012\ \Omega$$

กระแสไฟฟ้าที่ย่านวัด 1 V $I(1V) = \frac{E}{R_t} = \frac{1\ V}{2{,}012\ \Omega} = 0.497\ mA$

ตัวอย่างที่ 3 โวลต์มิเตอร์มีย่านวัดดังรูป ให้คำนวณหาค่า R_1 , R_2 , R_3 , R_4 และ R_5



$$E_m = I_m \cdot R_m = 50\ \mu A \cdot 2\ k\Omega = 100\ mV$$

$$R_1 = \frac{E_1 - E_m}{I_m} = \frac{1\ V - 100\ mV}{50\ \mu A} = 18\ k\Omega$$

1.2 โวลต์มิเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับ

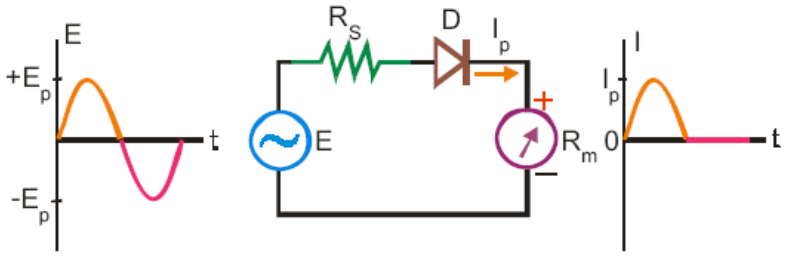
1.2.1 โครงสร้างและหลักการทำงาน

โวลต์มิเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับ อาศัยโครงสร้างและหลักการทำงานของเครื่องวัดชนิดเหล็กเคลื่อนที่ ซึ่งเป็นเครื่องวัดที่สามารถนำมาใช้งานเป็นโวลต์มิเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับได้ หรือใช้เครื่องวัดชนิดขดลวดเคลื่อนที่แบบใช้แม่เหล็กถาวรใช้ร่วมกับวงจรเรียงกระแส

1.2.2 การต่อและใช้งาน

โวลต์มิเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับ มีวิธีการต่อและใช้งานเหมือนกับโวลต์มิเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง แต่ไม่ต้องพิจารณาถึงขั้วบวกขั้วลบของเครื่องวัด ในขณะใช้วัดค่า วิธีการต่อโวลต์มิเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับ แสดงดังรูปที่ 2.3

1.2.3.1 วงจรเรียงกระแสแบบครึ่งคลื่น ซึ่งประกอบเป็นวงจรเบื้องต้นของโวลต์มิเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับ ดังรูปที่ 4



รูปที่ 4 วงจรโวลต์มิเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับเบื้องต้น

จากรูปที่ 4 ไดโอดจะทำงานเฉพาะครึ่งไซเกิลบวกของแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับเท่านั้น ทำให้มีสัญญาณแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับผ่านเครื่องวัดชนิดขดลวดเคลื่อนที่เฉพาะครึ่งคลื่นบวกและกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านเครื่องวัดก็มีเฉพาะช่วงบวกเป็นกระแสยอด (Peak current : I_p)

$$I_p = \frac{E_p}{R_S + R_m} \qquad .....(1)$$

$$E_p = I_p(R_S + R_m) \qquad .....(2)$$

กระแสยอดที่ไหลผ่านเครื่องวัดจะไหลผ่านเป็นช่วงๆ เข็มชี้ของเครื่องวัดจะแกว่งไปมา แต่เนื่องจากความถี่ของแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับที่ทำการวัดมีความถี่สูง 50 Hz ทำให้เข็มชี้ของเครื่องวัดแกว่งเร็วจนชี้ค่าเฉลี่ยออกมาค่าหนึ่ง

$$I_{av} = (0.318).I_p \qquad .....(3)$$

$$I_p = \frac{I_{av}}{0.318} \qquad .....(4)$$

แทนค่า (1) ลงใน (3)

$$I_{av} = \frac{(0.318).E_p}{R_S + R_m}$$

โวลต์มิเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับที่สร้างขึ้นมาใช้งาน สเกลหน้าปัดจะแสดงค่าแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับไว้เป็นแบบอาร์เอ็มเอส(r.m.s.) แรงดันอาร์เอ็มเอสของสัญญาณรูปคลื่นแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับมีค่าเป็น

$$E_{r.m.s.} = (0.707).E_p \qquad .....(5)$$

แทนค่า (2) ลงใน (5)

$$E_{r.m.s.} = (0.707).\ I_p.(R_S + R_m) \qquad .....(6)$$

แทนค่า (4) ลงใน (6)

$$E_{r.m.s.} = (0.707).\ \frac{I_{av}}{0.318}.(R_S + R_m)$$

$$E_{r.m.s.} = (2.22).\ I_{av}.(R_S + R_m)$$

ถ้าต้องการวัดแรงดันอาร์เอ็มเอสเต็มสเกล จะต้องมีกระแสไฟฟ้าไหลผ่านเครื่องวัดเต็มสกเล (I_m) จะได้สมการใหม่เป็น

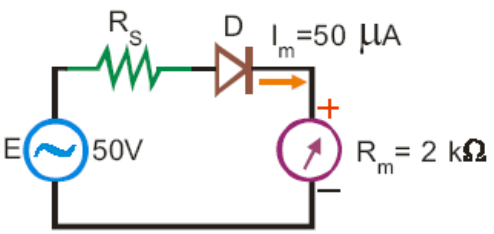
$$E_{r.m.s.} = (2.22).\ I_m.(R_S + R_m)$$

$$(R_S + R_m) = \frac{E_{r.m.s}}{(2.22).\ I_m} = \frac{(0.45)\ .\ E_{r.m.s}}{I_m}$$

$$\therefore\ R_S = \frac{(0.45)\ .\ E_{r.m.s}}{I_m} - R_m$$

เมื่อกำหนดให้ $E_{r.m.s}$ คือแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับที่ต้องการขยายย่านวัด มีหน่วยเป็นโวลต์

ตัวอย่างที่ 4 โวลต์มิเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับจะมีกระแสไฟฟ้าไหลผ่านมิเตอร์เต็มสเกล เมื่อป้อนแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับมีค่า 50 V กระแสไฟฟ้าเต็มสเกล 50 μA ความต้านทานภายใน 2 kΩ ใช้วงจรเรียงกระแสแบบครึ่งคลื่น จงหาค่าความต้านทานของตัวต้านทานที่นำมาต่ออนุกรม



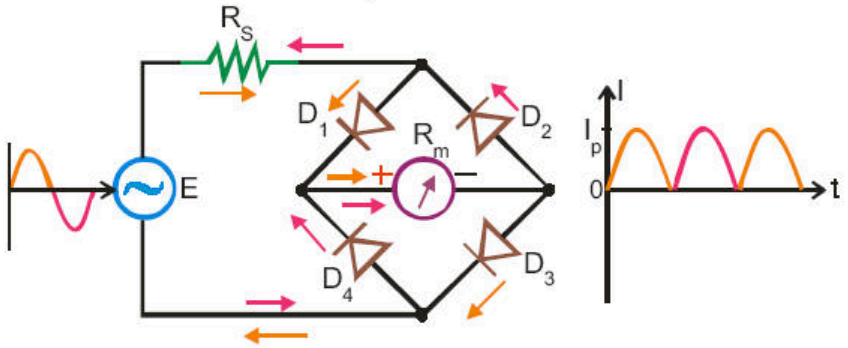
จากสูตร $$R_S = \frac{(0.45)\ .\ E_{r.m.s}}{I_m} - R_m$$

$$= \frac{(0.45) \cdot 50\ V}{50\ \mu A} - 2\ k\Omega$$

$$= 448\ k\Omega$$

1.2.3.2 วงจรเรียงกระแสแบบเต็มคลื่น เนื่องจากวงจรเรียงกระแสแบบครึ่งคลื่นจะมีกระแสไฟฟ้าเฉลี่ยผ่านเครื่องวัดเพียง 31.8% เท่านั้น ทำให้เครื่องวัดมีความไวต่ำจึงใช้วงจรเรียง-กระแสแบบเต็มคลื่น ซึ่งแบ่งได้ 2 ชนิด ดังนี้

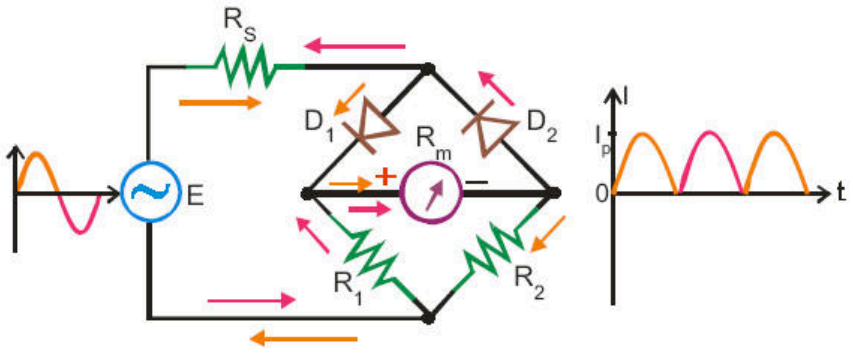
(1) ชนิดบริดจ์ แสดงวงจรดังรูปที่ 5



แบบบริดจ์

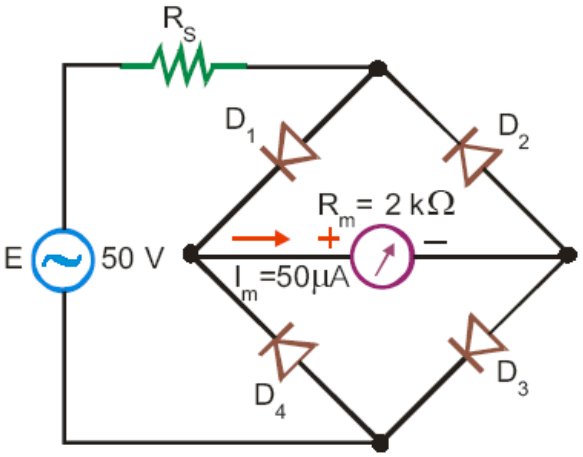
รูปที่ 5 วงจรเรียงกระแสแบบเต็มคลื่นชนิดบริดจ์

(2) ชนิดครึ่งบริดจ์ แสดงวงจรดังรูปที่ 6



แบบครึ่งบริดจ์

ตัวอย่างที่ 5 โวลต์มิเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับจะมีกระแสไฟฟ้าไหลผ่านมิเตอร์เต็มสเกล เมื่อป้อนแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับมีค่า 50 V กระแสไฟฟ้าเต็มสเกล 50 μA ความต้านทานภายใน 2 kΩ ใช้วงจรเรียงกระแสแบบแบบบริดจ์ จงหาค่าความต้านทานของตัวต้านทานที่นำมาต่ออนุกรม



จากสูตร

$$R_S = \frac{(0.9) \cdot E_{r.m.s}}{I_m} - R_m$$

$$= \frac{(0.9) \cdot 50\ V}{50\ \mu A} - 2\ k\Omega$$

$$= 898\ k\Omega$$

ใบความรู้ หน่วยที่ 2.2

เรื่อง แอมมิเตอร์และการขยายย่านวัด

เนื้อหาสาระ

แอมมิเตอร์และการขยายย่านวัด

1. แอมมิเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง

1.1. โครงสร้างและหลักการทำงาน มีโครงสร้างและหลักการทำงานมาจากเครื่องวัดชนิดขดลวดเคลื่อนที่ แบบใช้แม่เหล็กถาวร โดยอาศัยสนามแม่เหล็กถาวร และสนามแม่เหล็กไฟฟ้าที่ เกิดขึ้นในขดลวดตัวนำ ที่มีกระแสไฟฟ้าไหลผ่านทำให้เกิดแรงบิดบ่ายเบนสามารถวัดกระแสไฟฟ้าค่าต่ำ ๆ มีค่าเท่ากับกระแสไฟฟ้าเต็มสเกล ที่ไหลผ่านเครื่องวัดชนิดขดลวดเคลื่อนที่เท่านั้น

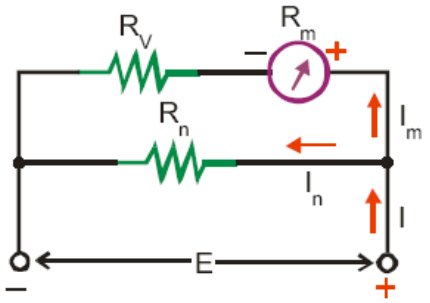
1.2 การต่อและใช้งานแอมมิเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง เพื่อวัดกระแสไฟฟ้ากระแสตรงมีวิธีการต่อ ดังนี้

1.2.1 ต่ออนุกรมกับโหลด

1.2.2 สายขั้วบวกของเครื่องวัดจะต้องต่อเข้ากับจุดที่มีศักย์ไฟฟ้าสูงหรือขั้วบวก สายขั้วลบของเครื่องวัดจะต้องต่อเข้ากับจุดที่มีศักย์ไฟฟ้าต่ำหรือขั้วลบ

1.3 การขยายย่านวัด แอมมิเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง สามารถขยายย่านวัดได้ 2 วิธี ดังนี้

1.3.1 โดยนำตัวต้านทานมาต่อขนานกับเครื่องวัดชนิดขดลวดเคลื่อนที่ เพื่อแบ่งกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านเครื่องวัดชนิดขดลวดเคลื่อนที่ ส่วนที่เกินค่าพิกัดให้ไหลผ่านตัวต้านทานที่นำต่อขนานแทน

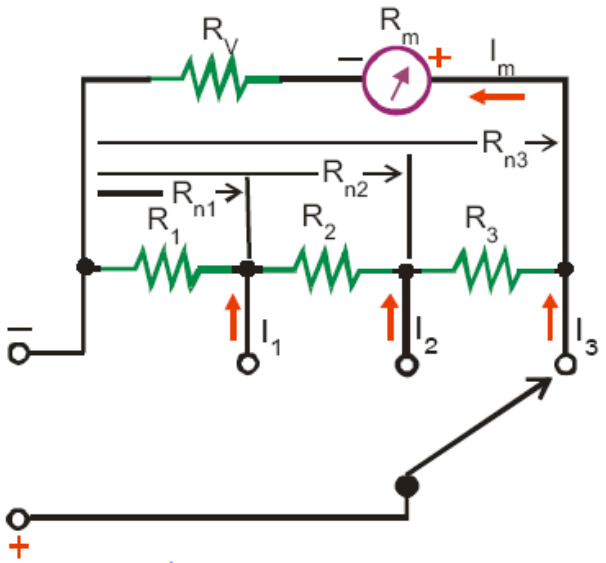


รูปที่ 2 การขยายย่านวัดแอมมิเตอร์

ตัวอย่างที่ 1 เครื่องวัดชนิดขดลวดเคลื่อนที่มีแรงดันไฟฟ้าตกคร่อม $E_m = 25$ mV มีกระแสไฟฟ้า $I_m = 0.1$ mA ถ้าต้องการขยายย่านวัดแรงดันไฟฟ้าให้วัดได้ 20 เท่าของแรงดันไฟฟ้าที่ขดลวดเคลื่อนที่ โดยการต่อ R_V อนุกรมกับขดลวดเคลื่อนที่จงหาค่าความต้านทานอนุกรม R_V และจากย่านวัดแรงดันไฟฟ้านี้ต้องการขยายย่านวัดให้ได้ 15 A จงหาค่าความต้านทานที่นำมาต่อขนาน R_n

R_V R_m

2 วงจรขยายย่านวัดแบบอาร์ตอม



รูปที่ 3 วงจรขยายย่านวัดแบบอาร์ตอม

$$R_1 = R_{n1}$$

$$R_2 = R_{n2} = R_{n1}$$

$$R_3 = R_{n3} = R_{n2}$$

$$R_S = R_V + R_m + R_{n3} \qquad .....(1)$$

เมื่อกำหนดให้ R_S คือความต้านทานภายในลูป มีหน่วยเป็นโอห์ม

R_{n3} คือความต้านทานขยายย่านวัดแบบอาร์ตอม มีหน่วยเป็นโอห์ม

จากสมการ (1) $R_S - R_{n3} = R_V + R_m \qquad .....(2)$

แรงดันไฟฟ้าตกคร่อม $R_V + R_m$ เท่ากับแรงดันไฟฟ้าตกคร่อมความต้านทาน R_{n3}

$$I_m \cdot (R_V + R_m) = (I_3 - I_m) \cdot R_{n3} \qquad .....(3)$$

แทนสมการที่ (2) ลงใน (3)

$$I_m \cdot (R_S - R_{n3}) = (I_3 - I_m) \cdot R_{n3}$$

$$I_m \cdot R_S - I_m \cdot R_{n3} = I_3 \cdot R_{n3} - I_m \cdot R_{n3}$$

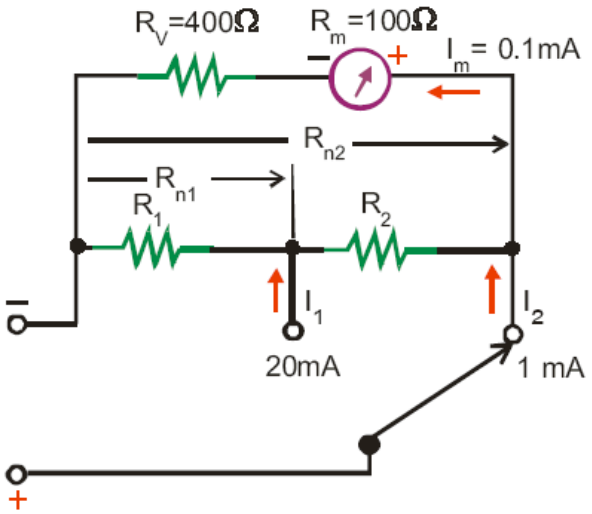
$$I_m \cdot R_S = I_3 \cdot R_{n3}$$

$$R_{n3} = \frac{I_m \cdot R_S}{I_3}$$

$$R_{n2} = \frac{I_m \cdot R_S}{I_2}$$

$$R_{n1} = \frac{I_m \cdot R_S}{I_2}$$

ตัวอย่างที่ 2 วงจรขยายย่านวัดแอมมิเตอร์แบบอาร์ตอม เครื่องวัดชนิดขดลวดเคลื่อนที่มีค่าความต้านทานภายใน $R_m = 100\ \Omega$ กระแสไฟฟ้าที่ทำให้เข็มชี้บ่ายเบนเต็มสเกล $I_m = 0.1$ mA ต้องการขยายย่านวัดเป็น 1 mA , 20 mA จงหาค่าความต้านทานแต่ละย่านวัด



ที่ย่านวัดกระแสไฟฟ้าต่ำสุด $I_2 = 1$ mA เป็นย่านวัดที่ใช้ในการกำหนดค่าของความต้านทานมีค่าความต้านทานสูงสุด (R_{n2})

$$R_{n2} = \frac{I_m \cdot (R_V + R_m)}{(I_2 - I_m)} = \frac{0.1\text{ mA}(400\Omega + 100\Omega)}{(1\text{ mA} - 0.1\text{ mA})} = 55.56\ \Omega$$

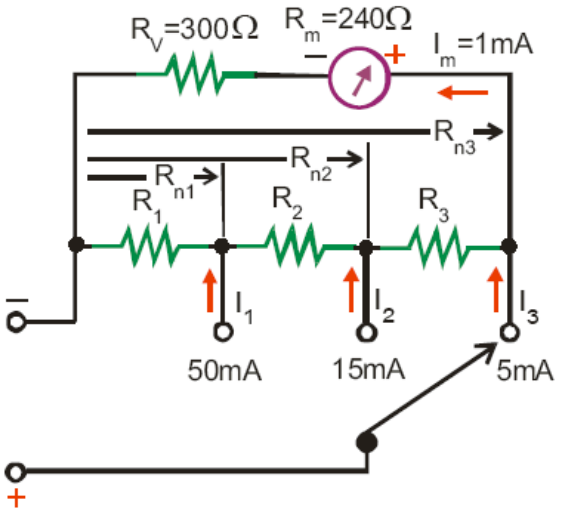
$$R_s = R_V + R_m + R_{n2} = 400\Omega + 100\Omega + 55.56\Omega = 555.56\ \Omega$$

$$R_{n1} = \frac{I_m \cdot R_s}{I_1} = \frac{0.1\text{ mA} \cdot 555.56\ \Omega}{20\text{ mA}} = 2.78\ \Omega$$

$$R_1 = R_{n1} = 2.78\ \Omega$$

$$R_2 = R_{n2} - R_{n1} = 55.56\ \Omega - 2.78\ \Omega = 52.78\ \Omega$$

ตัวอย่างที่ 3 วงจรขยายย่านวัดแอมมิเตอร์แบบอาร์ตอม เครื่องวัดชนิดขดลวดเคลื่อนที่มีค่าความต้านทานภายใน $R_m = 240\ \Omega$ กระแสไฟฟ้าที่ทำให้เข็มชี้บ่ายเบนเต็มสเกล $I_m = 1$ mA ต้องการขยายย่านวัดเป็น 5 mA , 15 mA , 50 mA จงหาค่าความต้านทานแต่ละย่านวัด



ที่ย่านวัดกระแสไฟฟ้าต่ำสุด $I_3 = 5$ mA เป็นย่านวัดที่ใช้ในการกำหนดค่าของความ-ต้านทานมีค่าความต้านทานสูงสุด (R_{n3})

$$R_{n3} \cdot (I_3 - I_m) = I_m \cdot (R_m + R_V)$$

$$R_{n3} = \frac{I_m \cdot (R_m + R_V)}{(I_3 - I_m)}$$

$$R_{n3} = \frac{1\text{ mA} \cdot (300\ \Omega + 240\ \Omega)}{(5\text{ mA} - 1\text{ mA})} = 135\ \Omega$$

$$R_S = R_m + R_V + R_{n3}$$

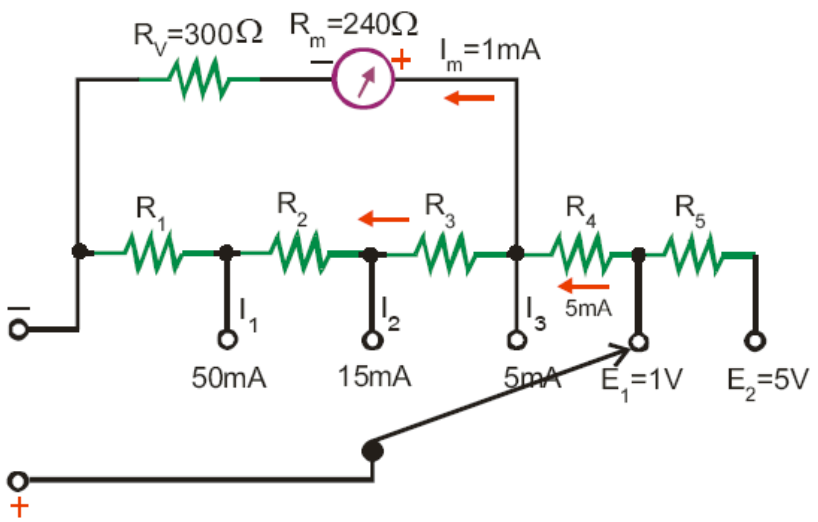
$$= 300\ \Omega + 240\ \Omega + 135\ \Omega = 675\ \Omega$$

$$R_1 = R_{n1} = 13.50\ \Omega$$

$$R_2 = R_{n2} - R_{n1} = 45\ \Omega - 13.50\ \Omega = 31.50\ \Omega$$

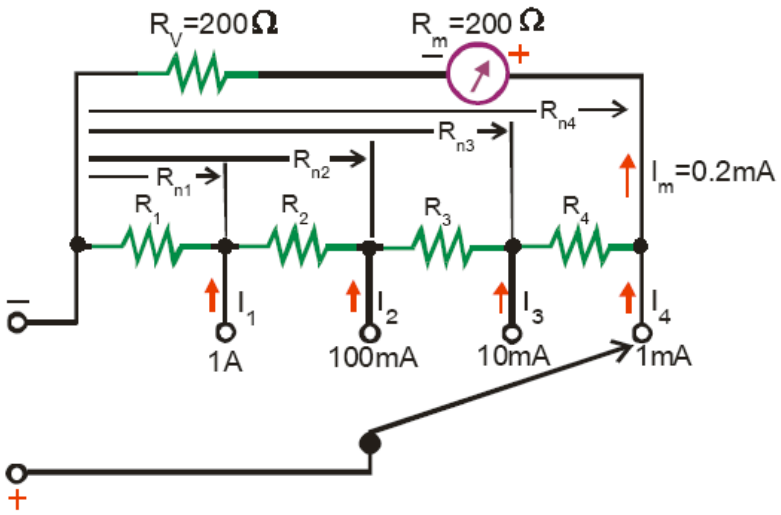
$$R_3 = R_{n3} - R_{n2} = 135\ \Omega - 45\ \Omega = 90\ \Omega$$

ตัวอย่างที่ 4 จากตัวอย่างที่ 3 ซึ่งขยายย่านวัดแอมมิเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงเป็น 5 mA, 15 mA , 50 mA และนำมาขยายย่านวัดเป็นโวลต์มิเตอร์ 1 V , 5 V จงคำนวณหาค่าความต้านทานR_4 , R_5



กระแสไฟฟ้าไหลผ่านตัวต้านทานอนุกรม ต้องใช้กระแสไฟฟ้าย่านวัดต่ำสุด (I_3) เนื่องจาก

ตัวอย่างที่ 5 วงจรขยายย่านวัดแอมมิเตอร์แบบอาร์ตอม เครื่องวัดชนิดขดลวดเคลื่อนที่มีค่าความต้านทานภายใน $R_m = 200\ \Omega$ กระแสไฟฟ้าที่ทำให้เข็มชี้บ่ายเบนเต็มสเกล $I_m = 0.2$ mA ต้องการขยายย่านวัดเป็น 1 mA , 10 mA , 100 mA , 1 A จงหาค่าความต้านทานแต่ละย่านวัด



$$R_{n2} = \frac{I_m \cdot R_S}{I_2} = \frac{0.2\ \text{mA} \cdot 500\ \Omega}{100\ \text{mA}} = 1\ \Omega$$

$$R_{n1} = \frac{I_m \cdot R_S}{I_1} = \frac{0.2\ \text{mA} \cdot 500\ \Omega}{1\ \text{A}} = 0.1\ \Omega$$

$$R_1 = R_{n1} = 0.1\ \Omega$$

$$R_2 = R_{n2} - R_{n1} = 1\ \Omega - 0.1\ \Omega = 0.9\ \Omega$$

$$R_3 = R_{n3} - R_{n2} = 10\ \Omega - 1\ \Omega = 9\ \Omega$$

$$R_4 = R_{n4} - R_{n3} = 100\ \Omega - 10\ \Omega = 90\ \Omega$$

กระแสไฟฟ้าไหลผ่านตัวต้านทานอนุกรม ต้องใช้กระแสไฟฟ้าย่านวัดต่ำสุด (I_4) เนื่องจากที่จุด B จะต้องมีกระแสไฟฟ้าแบ่งเป็น I_m และ กระแสไฟฟ้าไหลผ่าน R_{n4}

$$R_5 = \frac{E_1 - E_{AB}}{I_4} = \frac{100\ \text{mV} - 0.2\ \text{mA}(200\Omega + 200\Omega)}{1\ \text{mA}} = 20\ \Omega$$

$$R_6 = \frac{E_2 - E_1}{I_4} = \frac{1\ \text{V} - 100\ \text{mV}}{1\ \text{mA}} = 900\ \Omega$$

$$R_7 = \frac{E_3 - E_2}{I_4} = \frac{10\ \text{V} - 1\ \text{V}}{1\ \text{mA}} = 9\ \text{k}\Omega$$

ใบความรู้ หน่วยที่ 23

เรื่อง โอห์มมิเตอร์และการขยายย่านวัด

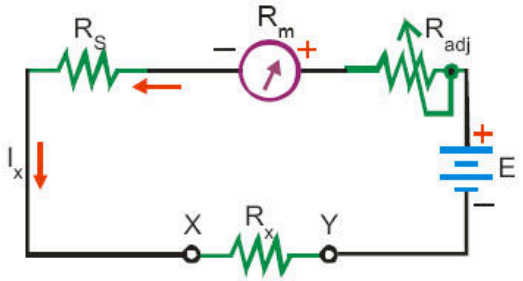
เนื้อหาสาระ

เรื่อง โอห์มมิเตอร์และการขยายย่านวัด

โอห์มมิเตอร์สามารถจำแนกได้ 3 ประเภทดังนี้

1. **โอห์มมิเตอร์แบบอนุกรม**

เป็นโอห์มมิเตอร์เบื้องต้น ดังรูปที่ 1



รูปที่ 1 วงจรโอห์มมิเตอร์แบบอนุกรม

เมื่อกำหนดให้ I_X คือกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านมิเตอร์ เมื่อต่อตัวต้านทาน R_x มีหน่วยเป็นแอมแปร์

E คือแรงดันไฟฟ้าจากแบตเตอรี่ในวงจร มีหน่วยเป็นโวลต์

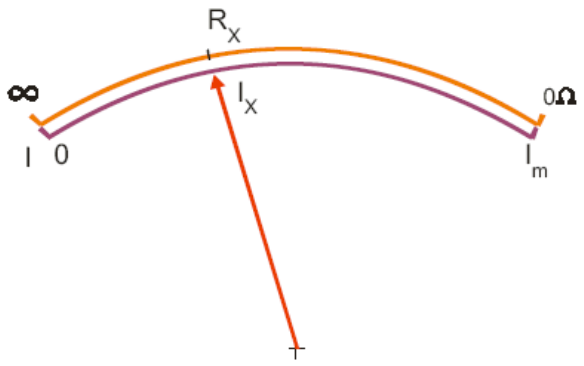
R_S คือความต้านทานป้องกันกระแสจำนวนมากผ่านมิเตอร์ มีหน่วยเป็นโอห์ม

R_{adj} คือความต้านทานจำกัดกระแสไฟฟ้าให้ไหลผ่านมิเตอร์เต็มสเกล มีหน่วยเป็นโอห์ม

R_x คือความต้านทานที่ไม่ทราบค่าที่ต้องการวัด มีหน่วยเป็นโอห์ม

เมื่อ R_x = 0 (จุด X และจุด Y ต่อถึงกัน) ปรับ R_{adj} จนกระแสไฟฟ้าในวงจรมีค่าสูงสุด (I_m) ตำแหน่งนี้คือ 0 Ω บนสเกล และเมื่อ R_x = α (จุด X และจุด Y ต่อไม่ถึงกัน) กระแสไฟฟ้าในวงจรเป็นศูนย์ ตำแหน่งนี้คือ α บนสเกล

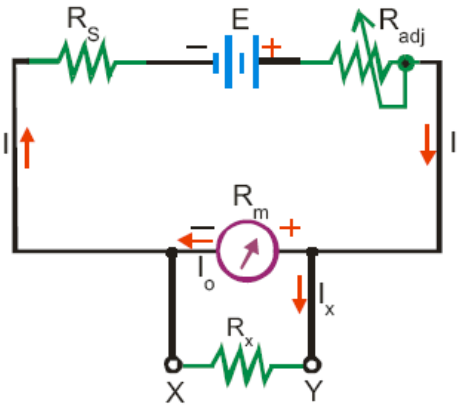
เมื่อต่อ R_x เข้าที่จุด X และจุด Y กระแสไฟฟ้าในวงจรเป็น I_X ตำแหน่งนี้คือค่า R_x บนสเกลโอห์มมิเตอร์แบบอนุกรม นิยมใช้วัดความต้านทานค่าปานกลางและค่าสูงมีสเกลดังรูปที่ 2



รูปที่ 2 สเกลของโอห์มมิเตอร์แบบอนุกรม

2 โอห์มมิเตอร์แบบขนาน

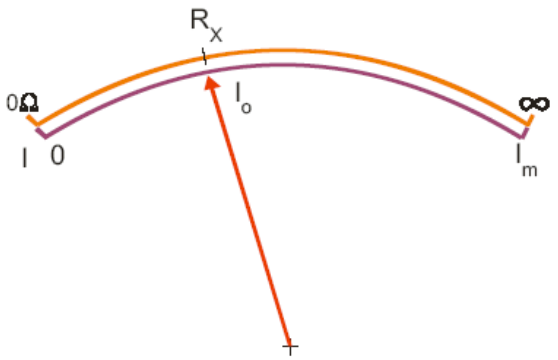
เป็นโอห์มมิเตอร์พื้นฐานอีกแบบหนึ่ง ดังรูปที่ 3



รูปที่ 3 วงจรโอห์มมิเตอร์แบบขนาน

เมื่อ R_x = 0 (จุด X และจุด Y ต่อถึงกัน) ไม่มีกระแสไฟฟ้าไหลผ่านมิเตอร์ กระแสไฟฟ้าทั้งหมดจะผ่านจุด XY ตำแหน่งนี้คือ 0 Ω บนสเกล และเมื่อ R_x = α (จุด X และจุด Y ต่อไม่ถึงกัน) ปรับ R_{adj} จน

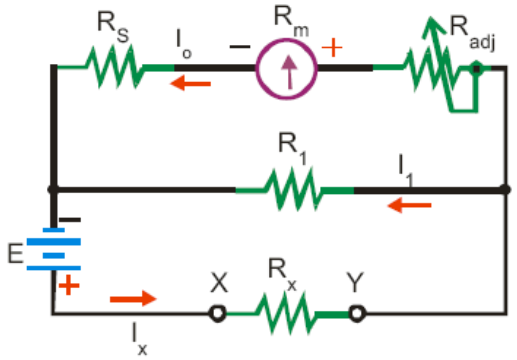
เมื่อต่อ R_x เข้าที่จุด X และจุด Y กระแสไฟฟ้าไหลผ่านมิเตอร์เป็น I_o และกระแสไฟฟ้าไหลผ่าน R_x เป็น I_x ตำแหน่งนี้คือค่า R_x บนสเกล โอห์มมิเตอร์แบบขนาน นิยมใช้วัดความต้านทานค่าต่ำและค่าปานกลาง มีสเกลดังรูปที่ 4



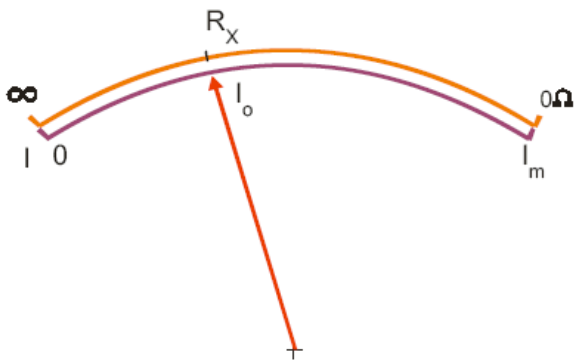
รูปที่ 4 สเกลของโอห์มมิเตอร์แบบขนาน

3 โอห์มมิเตอร์แบบผสม

เป็นโอห์มมิเตอร์ที่มีความต้านทานมาตรฐานต่อขนานกับความต้านทานของโอห์มมิเตอร์แบบอนุกรม ความต้านทานที่ต้องการทราบค่า (R_x) จะต่อเป็นตัวแบ่งแรงดันไฟฟ้ากับความต้านทานมาตรฐาน ดังรูปที่ 5



เมื่อต่อ R_x เข้าที่จุด X และจุด Y กระแสไฟฟ้าไหลผ่านมิเตอร์เป็น I_o และกระแสไฟฟ้าไหลผ่าน R_x เป็น I_x ตำแหน่งนี้คือค่า R_x บนสเกล โอห์มมิเตอร์แบบผสม วัดค่าความต้านทานไม่ทราบค่าได้ดีเกือบทุกค่า ตั้งแต่ค่าต่ำถึงค่าสูง มีสเกลดังรูปที่ 6



รูปที่ 6 สเกลของโอห์มมิเตอร์แบบผสม

การใช้โอห์มมิเตอร์วัดค่าความต้านทาน

1. ก่อนใช้โอห์มมิเตอร์และมีการเปลี่ยนย่านวัดทุกครั้ง จะต้องให้เข็มชี้ที่ 0 Ω ก่อนทุกครั้ง โดยนำปลายสายทั้งสองมาแตะกัน ถ้าเข็มยังไม่ชี้ที่ 0 Ω ให้ปรับปุ่ม 0 Ω (Zero Adjust) จนกระทั่งเข็มชี้ที่ 0 Ω

2. นำปลายสายทั้งสอง ไปต่อขนานกับตัวต้านทานหรืออุปกรณ์ที่ต้องการวัดค่า

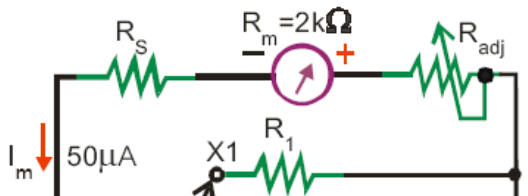
การขยายย่านวัดโอห์มมิเตอร์

ทำเป็นโอห์มมิเตอร์หลายย่านวัดจะต้องใช้สเกลในการวัดค่าเพียงสเกลเดียว ดังนั้นการสร้างโอห์มมิเตอร์หลายย่านวัดจึงต้องถือค่าความต้านทานกึ่งกลางสเกลเป็นส่วนสำคัญ เพื่อจะทำให้สามารถใช้สเกลร่วมกันได้ ถ้าเข็มมิเตอร์ชี้กึ่งกลางสเกล แสดงว่าความต้านทานที่นำมาวัดจะมีค่าเท่ากับความต้านทานภายในมิเตอร์ ดังนั้นถ้าความต้านทานภายในมิเตอร์มีค่าต่ำจะวัดค่าความต้านทานได้ต่ำ และถ้าความต้านทานภายในมิเตอร์มีค่าสูงจะวัดค่าความต้านทานได้สูง การเปลี่ยนค่าความต้านทานภายในมิเตอร์ ทำได้โดยการเปลี่ยนความต้านทานที่นำมาต่อขนานกับความต้านทานภายในมิเตอร์ โอห์มมิเตอร์หลายย่านวัด นิยมทำให้ค่าความต้านทานกึ่งกลางสเกลเพิ่มขึ้นเป็นจำนวนเท่า เช่น 10 เท่า, 100 เท่า, 1,000 เท่า และ 10,000 เท่า เป็นต้น โดยการเพิ่มค่าความต้านทานกึ่งกลางสเกลเป็นหลัก ดังตัวอย่างค่าความต้านทานกึ่งกลางสเกลมิเตอร์มีค่า 15 Ω จะเพิ่มย่านการวัดได้เป็น ดังนี้

ย่านวัด R ×1 ค่าความต้านทานกลางสเกล มีค่า 15 Ω

ย่านวัด R ×10 ค่าความต้านทานกลางสเกล มีค่า 150 Ω

ตัวอย่างที่ 1 จากรูป เครื่องวัดชนิดขดลวดเคลื่อนที่มีกระแสไฟฟ้าไหลผ่านเต็มสเกล 50 μA ความต้านทานภายใน 2 kΩ เมื่อต้องการทำเป็นโอห์มมิเตอร์หลายย่านวัด มีย่านวัด ×1 , ×10 กำหนดให้ค่าความต้านทานกึ่งกลางสเกลของย่านวัดต่ำสุดเท่ากับ 20 Ω จงหาค่า R_S , R_{adj} และค่าความต้านทานที่นำมาต่อขยายย่านวัดของโอห์มมิเตอร์แต่ละย่านวัด R_1, R_2



R_{adj} ควรเลือกค่าให้มากกว่าค่าที่ต้องการจริงเนื่องจากปรับค่าได้ และสามารถปรับให้กระแสไฟฟ้าไหลผ่านมิเตอร์เต็มสเกลก่อนการใช้งาน

ที่ย่านวัด ×1 ค่าความต้านทานกลางสเกล = 20 Ω

$$\therefore\ 20\,\Omega = R_t // R_1$$

$$20\,\Omega = \frac{R_t \cdot R_1}{R_t + R_1}$$

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

$$20\,\Omega.((60\,k\Omega) + R_1) = (60\,k\Omega) \cdot R_1$$

$$1.2\,M\Omega + 0.02\,k\Omega.R_1 = (60\,k\Omega) \cdot R_1$$

$$(60\,k\Omega).R_1 - 0.02\,k\Omega.R_1 = 1.2\,M\Omega$$

$$59.98\,k\Omega.R_1 = 1.2\,M\Omega$$

$$\therefore\ R_1 = \frac{1.2\,M\Omega}{59.98\,k\Omega} = 20\,\Omega$$

ที่ย่านวัด ×10 ค่าความต้านทานกลางสเกล = 200 Ω

$$\therefore\ 200\,\Omega = R_t // R_2$$

$$200\,\Omega = \frac{R_t \cdot R_2}{R_t + R_2}$$

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

$$200\,\Omega.((60\,k\Omega) + R_2) = (60\,k\Omega) \cdot R_2$$

$$12\,M\Omega + 0.2\,k\Omega.R_2 = (60\,k\Omega) \cdot R_2$$

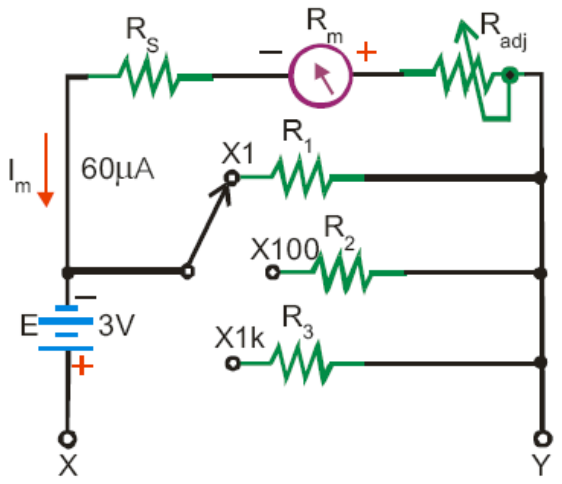
$$(60\,k\Omega).R_2 - 0.2\,k\Omega.R_2 = 12\,M\Omega$$

$$(60\,k\Omega).R_2 - 0.2\,k\Omega.R_2 = 12\,M\Omega$$

$$59.80\,k\Omega.R_2 = 12\,M\Omega$$

$$\therefore \quad R_2 = \frac{12\ M\Omega}{59.80\ k\Omega} = 200.67\ \Omega$$

ตัวอย่างที่ 2 จากรูป กำหนดให้ความต้านทานกึ่งกลางสเกลมีค่า 30 Ω ต้องการทำเป็นโอห์มมิเตอร์หลายย่านวัด มีย่านวัด x1 ,x100, x1k จงหาค่า R_1 , R_2 และ R_3



ลัดวงจรจุด X และจุด Y เข้าด้วยกัน ปรับ R_{adj} ให้กระแสไฟฟ้าไหลผ่านมิเตอร์เต็มสเกล I_m = 60 μA ดังนั้นจะได้ค่าความต้านทานรวมในวงจรมีค่าเท่ากับ

$$R_t = \frac{E}{I_m} = \frac{3\ V}{60\ \mu A} = 50\ k\Omega$$

ที่ย่านวัด x1 ความต้านทานกึ่งกลางสเกลเท่ากับ 30 Ω

$$30\ \Omega = \frac{R_t \cdot R_1}{R_t + R_1} = \frac{50\ k\Omega \cdot R_1}{50\ k\Omega + R_1}$$

$$30\ \Omega.(50\ k\Omega + R_1) = 50\ k\Omega \cdot R_1$$

$$1.5\ M\Omega + 0.03\ k\Omega.\ R_1 = 50\ k\Omega \cdot R_1$$

$$50\ k\Omega \cdot R_1 - 0.03\ k\Omega.\ R_1 = 1.5\ M\Omega$$

$$R_1 = \frac{1.5\ M\Omega}{49.97\ k\Omega} = 30.02\ \Omega$$

ที่ย่านวัด x100 ความต้านทานกึ่งกลางสเกลเท่ากับ 3 kΩ

$$3\ k\Omega = \frac{R_t \cdot R_2}{R_t + R_2} = \frac{50\ k\Omega \cdot R_2}{50\ k\Omega + R_2}$$

$$3\ k\Omega.(50\ k\Omega + R_2) = 50\ k\Omega \cdot R_2$$

$$150\ M\Omega + 3\ k\Omega.\ R_2 = 50\ k\Omega \cdot R_2$$

$$50\ k\Omega \cdot R_2 - 3\ k\Omega.\ R_2 = 150\ M\Omega$$

$$R_2 = \frac{150\ M\Omega}{47\ k\Omega} = 3.19\ k\Omega$$

ที่ย่านวัด x1k ความต้านทานกึ่งกลางสเกลเท่ากับ 30 kΩ

$$30\ k\Omega = \frac{R_t \cdot R_3}{R_t + R_3} = \frac{50\ k\Omega \cdot R_3}{50\ k\Omega + R_3}$$

$$30\ k\Omega.(50\ k\Omega + R_3) = 50\ k\Omega \cdot R_3$$

$$1500\ M\Omega + 30\ k\Omega.\ R_3 = 50\ k\Omega \cdot R_3$$

$$50\ k\Omega \cdot R_3 - 30\ k\Omega.\ R_3 = 1500\ M\Omega$$

$$R_3 = \frac{1500\ M\Omega}{20\ k\Omega} = 75\ k\Omega$$

****

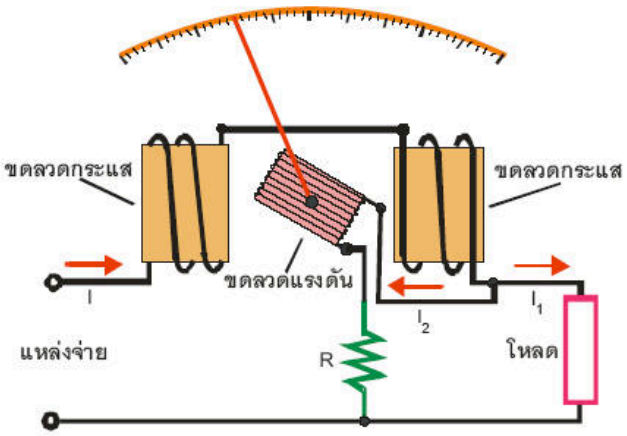
ใบความรู้ หน่วยที่ 2.4

เรื่อง วัตต์มิเตอร์และการขยายย่านวัด

เนื้อหาสาระ

เรื่อง วัตต์มิเตอร์และการขยายย่านวัด

1. หลักการทำงานของวัตต์มิเตอร์ชนิดอิเล็กโตรไดนามิค

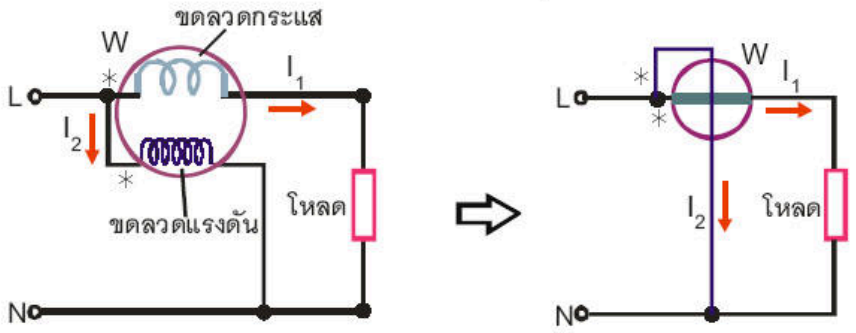


รูปที่ 1 โครงสร้างและส่วนประกอบของวัตต์มิเตอร์ชนิดอิเล็กโตรไดนามิค

จากรูปที่ 1 ซึ่งประกอบด้วยขดลวดกระแส เป็นขดลวดสนามอยู่กับที่ ต่ออนุกรมกับโหลด ดังนั้นเส้นแรงแม่เหล็กที่เกิดขึ้นที่ขดลวดกระแสจะขึ้นอยู่กับกระแสไฟฟ้าของโหลด ขดลวดแรงดันเป็นขดลวด

2. วงจรสมมูลของวัตต์มิเตอร์ชนิดอิเล็กโตรไดนามิค แบ่งได้ 2 แบบ ดังนี้

2.1 วงจรกระแสไฟฟ้าไหลผ่านโหลดมีค่าน้อย แสดงดังรูปที่ 2



รูปที่ 2 วงจรสมมูลแบบวงจรกระแสไฟฟ้าไหลผ่านโหลดมีค่าน้อย

จากรูปที่ 2 ขดลวดกระแสต่ออนุกรมกับโหลด ขดลวดแรงดันต่อขนานกับแหล่งจ่าย ในการต่อจะต้องพิจารณาจุดต้น ของขดลวด โดยมีเครื่องหมาย * หรือ ± กำกับอยู่

2.2 วงจรกระแสไฟฟ้าไหลผ่านโหลดมีค่ามาก แสดงดังรูปที่ 3

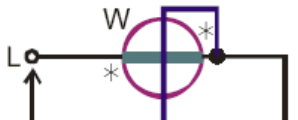
W และมีชั้นคุณภาพสูง 1, 1.5 เพราะมีกำลังไฟฟ้าสูญเสียที่แกนเหล็ก และใช้กับไฟฟ้าที่มีความถี่เฉพาะ เช่น 49.5 - 50.5 Hz

3.2 แบบไม่มีแกนเหล็ก เส้นแรงแม่เหล็กขึ้นอยู่กับ I_1 โดยตรงสามารถวัดกำลังไฟฟ้าได้ค่าต่ำๆ และหลายย่านวัด มีชั้นคุณภาพต่ำ 0.5 เนื่องจากไม่มีการสูญเสียจากแกนเหล็ก และเส้นแรงแม่เหล็ก จากขดลวดอยู่กับที่ซึ่งปกคลุมขดลวดเคลื่อนที่มีน้อย ทำให้มีความไวต่อเส้นแรง-แม่เหล็กภายนอก จึงป้องกันโดยกล่องของเครื่องวัดทำจาก Mu-Metall และสามารถใช้กับความถี่ไฟฟ้าได้ถึง kHz

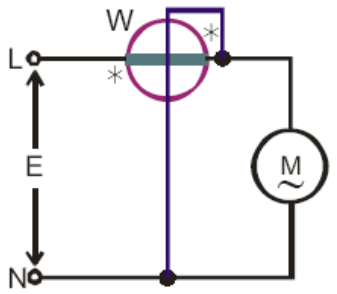
4. การใช้วัตต์มิเตอร์ชนิดอิเล็กโตรไดนามิควัดกำลังไฟฟ้า

วัตต์มิเตอร์ชนิดอิเล็กโตรไดนามิค มีมาตรฐานย่านการวัดกระแสไฟฟ้าของขดลวดกระแส 1A หรือ 5A ส่วนขดลวดแรงดันกำหนดย่านวัดเป็น 120 V, 240 V, และ 480 V เป็นต้น การเคลื่อนที่ของเข็มชี้ จะขึ้นอยู่กับทิศทางกระแสไฟฟ้าของขดลวดทั้งสอง ดังนั้นในการต่อขั้วไฟฟ้าต้องต่อทั้งขดลวดกระแสและ

ตัวอย่างที่ 1 วัตต์มิเตอร์มีขดลวดกระแสกำหนดไว้ 1 A, 5 A และขดลวดแรงดันกำหนดไว้ 120 V, 240 V วัดกำลังไฟฟ้าของมอเตอร์ซึ่งขับด้วยแรงดันไฟฟ้า 160 V มอเตอร์นี้ต้องขับภาระทางกลสูงขึ้นเรื่อยๆ จนเข็มของวัตต์มิเตอร์แสดงเต็มแสดงพอดี 120 ส่วน จงหาค่ากำลังไฟฟ้าที่มอเตอร์ใช้และขนาดกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านขดลวดกระแส



ตัวอย่างที่ 2 มอเตอร์ไฟฟ้าถูกวัดกำลังไฟฟ้าด้วยวัตต์มิเตอร์ที่มีย่านวัด 240 V , 1 A สเกลบนหน้าปัดแบ่งเป็น 120 ส่วน ปรากฏว่าเข็มชี้ที่ 80 ส่วน จงหาค่ากำลังไฟฟ้าต่อ 1 ส่วนสเกล และกำลังไฟฟ้าของมอเตอร์ไฟฟ้า



กำลังไฟฟ้าที่วัดได้สูงสุด $P_n = E_n \cdot I_n = 240\ V \cdot 1\ A = 240\ W$

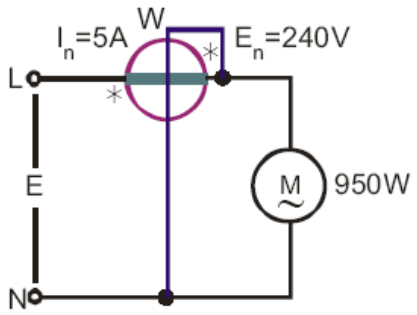
สเกลบนหน้าปัดแบ่งเป็น 120 ส่วน วัดกำลังไฟฟ้าได้ 240 W

ดังนั้น กำลังไฟฟ้า 1 ส่วนสเกล $= \dfrac{240\ W}{120\ \text{ส่วน}} = 2\ W$

กำลังไฟฟ้าของมอเตอร์ไฟฟ้าที่วัดได้จากวัตต์มิเตอร์ (P)

$P = 2\ W \cdot 80\ \text{ส่วน} = 160\ W$

ตัวอย่างที่ 3 มอเตอร์ไฟฟ้าถูกวัดกำลังไฟฟ้าด้วยวัตต์มิเตอร์ ที่มีย่านวัด 240 V , 5 A สเกลบนหน้าปัดแบ่งเป็น 120 ส่วน ปรากฏว่าได้ค่ากำลังไฟฟ้าของมอเตอร์ไฟฟ้าเป็น 950 W จงหาค่าเข็มชี้แสดงอยู่ที่ตำแหน่งใด



กำลังไฟฟ้าที่วัดได้สูงสุด $P_n = E_n \cdot I_n = 240\ V \cdot 5\ A = 1{,}200\ W$

สเกลบนหน้าปัดแบ่งเป็น 120 ส่วน วัดกำลังไฟฟ้าได้ 1,200 W

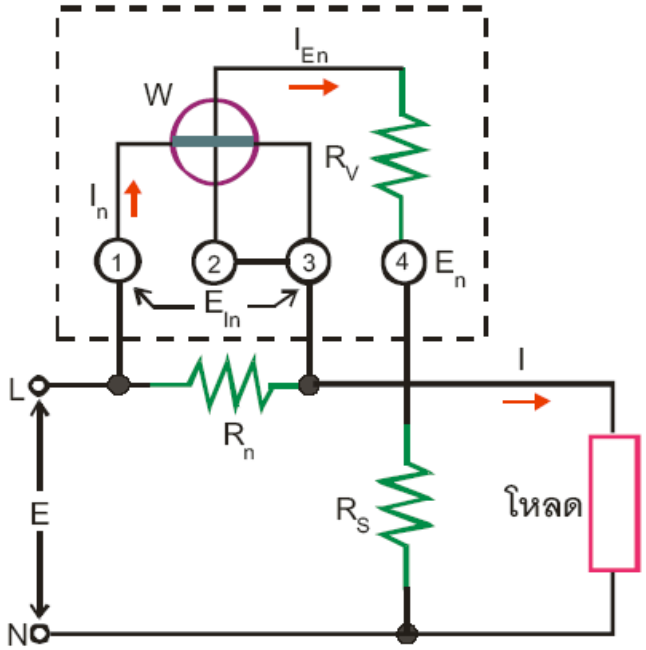
ดังนั้น กำลังไฟฟ้า 1 ส่วนสเกล $= \dfrac{1{,}200\ W}{120\ \text{ส่วน}} = 10\ W$

กำลังไฟฟ้าของมอเตอร์ไฟฟ้าที่วัดได้จากวัตต์มิเตอร์ (P) = 10 W . ตำแหน่งเข็มชี้แสดง

ตำแหน่งเข็มชี้แสดง $= \dfrac{P}{10\ W} = \dfrac{950\ W}{10\ W} = 95$ ส่วน

5. การขยายย่านวัดวัตต์มิเตอร์ชนิดอิเล็กโตรไดนามิค

เพื่อให้สามารถวัดกำลังไฟฟ้าได้สูงขึ้น โดยการนำตัวต้านทานต่ออนุกรมกับขดลวดแรงดัน และตัวต้านทานต่อขนานกับขดลวดกระแส แสดงดังรูปที่ 5



รูปที่ 5 การขยายย่านวัดวัตต์มิเตอร์

$$R_s = \frac{E - E_n}{I_{En}}$$

$R_s =$ E

เมื่อกำหนดให้ E คือแรงดันไฟฟ้าที่จ่ายให้โหลด มีหน่วยเป็นโวลต์

E_n คือย่านวัดขดลวดแรงดัน มีหน่วยเป็นโวลต์

I_{En} คือกระแสไฟฟ้าไหลผ่านขดลวดแรงดัน มีหน่วยเป็นแอมแปร์

R_s คือค่าความต้านทานที่ต่ออนุกรมกับขดลวดแรงดัน มีหน่วยเป็นโอห์ม

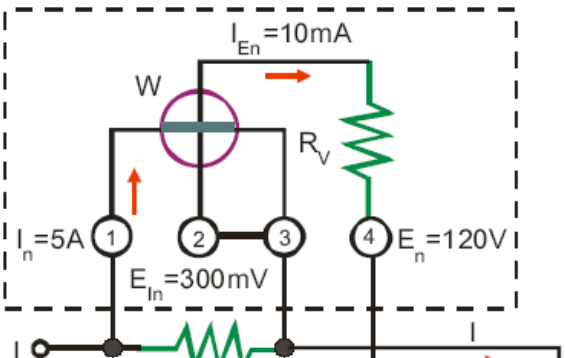
E_{In} คือแรงดันไฟฟ้าตกคร่อมขดลวดกระแส มีหน่วยเป็นโวลต์

I คือกระแสไฟฟ้าไหลผ่านโหลด มีหน่วยเป็นแอมแปร์

I_n คือย่านวัดขดลวดกระแส มีหน่วยเป็นแอมแปร์

R_n คือค่าความต้านทานที่ต่อขนานกับขดลวดกระแส มีหน่วยเป็นโอห์ม

ตัวอย่างที่ 4 วัตต์มิเตอร์ มีย่านวัดแรงดัน 120 V ย่านวัดกระแส 5 A ขณะเข็มชี้เต็มสเกล แรงดันไฟฟ้าตกคร่อมขดลวดกระแส E_{In} = 300 mV ส่วนขดลวดแรงดันมีกระแสไฟฟ้า I_{En} =10 mA จงคำนวณหาค่าความต้านทานที่ต่ออนุกรมกับขดลวดแรงดัน (R_s) และต่อขนานกับขดลวดกระแส (R_n) ซึ่งทำให้การวัดกำลังไฟฟ้าได้สูงสุด 120 kW แรงดันไฟฟ้าของระบบ 1.2 kV



$$R_S = \frac{E_{RS}}{I_{En}} = \frac{E - En}{I_{En}} = \frac{1{,}200\ V - 120\ V}{10\ mA} = 108\ k\Omega$$

$$I = \frac{P}{E} = \frac{120\ kW}{1{,}200\ V} = 100\ A$$

$$R_n = \frac{E_{In}}{(I - In)} = \frac{300\ mV}{(100\ A - 5\ A)} = 3.16\ m\Omega$$

****