5 โอห์มมิเตอร์
OHMMETER

5.1 บทนำ

ในปี พ.ศ. 2370 (ค.ศ.1827) ยอร์จไซมอนโอห์ม (Georg Simon Ohm) ได้ศึกษาถึงความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันและกระแสไฟฟ้าพบว่า **"กระแสไฟฟ้าเป็นสัดส่วนโดยตรงกับแรงดันไฟฟ้าเมื่อให้ค่าความต้านทานคงที่"** จึงนิยามเป็นกฎของโอห์ม (Ohm's Law) ไว้และให้โอห์มเป็นหน่วยของความต้านทานตั้งแต่นั้นมา

โอห์มมิเตอร์ คือเครื่องมือวัดค่าความต้านทานโดยมีหน่วยเป็นโอห์ม (Ohm : Ω) นอกจากนี้แล้วยังใช้โอห์มมิเตอร์วัดสายไฟฟ้าหรือสายวัด (Test Lead) ของมิเตอร์ว่าขาดใน (Open Circuit) หรือไม่ ดังนั้นโอห์มมิเตอร์จึงนำไปประยุกต์ใช้งานทางด้านไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ได้อย่างกว้างขวาง โดยทั่วไปโอห์มมิเตอร์มีโครงสร้างเบื้องต้น 3 อย่างคือ

1. ขดลวดเคลื่อนที่คาร์สันวัล (PMMC)
2. แหล่งจ่ายไฟฟ้าซึ่งเป็นแบตเตอรี่ภายใน (Internal Battery)
3. ตัวต้านทานปรับค่าได้ (Variable Resistor)

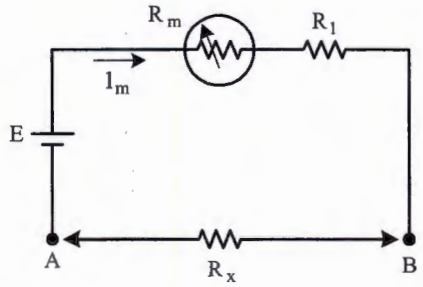
5.2 ชนิดของโอห์มมิเตอร์ (Type of Ohmmeter)

วงจรไฟฟ้ากระแสตรงจะวัดแรงดันไฟฟ้าด้วยดีซีโวลต์มิเตอร์และวัดกระแสไฟฟ้าด้วยดีซีแอมมิเตอร์จะหาค่าความต้านทานของโหลดนั้นได้ตามหลักการกฎของโอห์ม การสร้างโอห์มมิเตอร์จึงใช้หลักการนี้เช่นกันและแบ่งโอห์มมิเตอร์เป็น 3 ชนิดคือ

1. โอห์มมิเตอร์แบบอนุกรม (Series Ohmmeter)
2. โอห์มมิเตอร์แบบขนาน (Shunt Ohmmeter)
3. โอห์มมิเตอร์แบบโปเทนชิโอมิเตอร์ (Potentiometer Ohmmeter)

5.3 โอห์มมิเตอร์แบบอนุกรม (Series Ohmmeter)

โอห์มมิเตอร์จะเป็นส่วนหนึ่งของวีโอเอ็ม (volt-ohm-milliammeter : VOM) โดยปกติแล้วโอห์มมิเตอร์จะไม่เป็นเครื่องมือวัดที่อยู่เดี่ยวๆ (Individual Instrument) จะรวมอยู่กับแอมมิเตอร์และโวลต์มิเตอร์เสมอจึงเรียกว่ามัลติมิเตอร์ (Multimeter) โครงสร้างพื้นฐานของโอห์มมิเตอร์ประกอบด้วยขดลวดเคลื่อนที่ดาร์สันวัล แบตเตอรี่ ตัวต้านทานมาตรฐาน (Standard Resistor) และตัวต้านทานไม่ทราบค่า (Unknown Resistor : R_x) จะต่อที่จุด A และจุด B ซึ่งทั้งหมดต่ออนุกรมกันดังรูปที่ 5.1



รูปที่ 5.1 วงจรพื้นฐานของโอห์มมิเตอร์แบบอนุกรม

จากวงจรโอห์มมิเตอร์แบบอนุกรมมีค่าต่างๆดังนี้

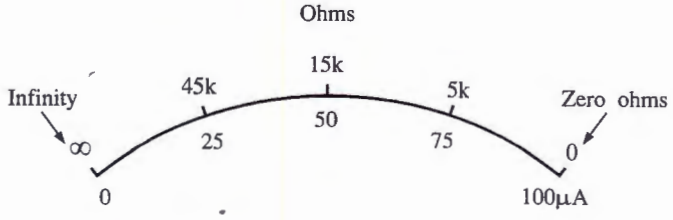
E คือแบตเตอรี่ภายใน (Internal Battery)...โวลต์ (V)

R_m คือความต้านทานขดลวดเคลื่อนที่...โอห์ม (Ω)

I_m คือกระแสไฟฟ้ามิเตอร์...แอมแปร์ (A)

R_1 คือตัวต้านทานมาตรฐานซึ่งเป็นตัวต้านทานจำกัดกระแสไฟฟ้า (Current Limiting Resistor)...โอห์ม (Ω)

R_x คือตัวต้านทานที่ไม่ทราบค่า...โอห์ม (Ω)



รูปที่ 5.2 สเกลของโอห์มมิเตอร์แบบอนุกรมค่าความต้านทานไม่เป็นเชิงเส้น

สเกลของความต้านทานรูปที่ 5.2 จะไม่เป็นเชิงเส้นแต่คำนวณจากกระแสไฟฟ้ามิเตอร์ที่กำหนดค่าเป็นเชิงเส้นดังตัวอย่างที่ 5.1 พิจารณาสเกลแต่ละค่าได้ดังนี้

1. เมื่อ $R_x = 0\Omega$ โดยการลัดวงจรที่จุด A และจุด B และเลือกค่า $R_1 + R_m$ ให้ได้กระแสไฟฟ้าเต็มสเกล (FSD) จะได้ตำแหน่ง 0Ω อยู่ด้านขวามือของสเกล

$$I_m = I_{fs} = \frac{E}{R_1 + R_m} \qquad \text{.....(5.1)}$$

2. เมื่อ $R_x = \infty$ โดยการเปิดวงจรที่จุด A และ B จะไม่มีกระแสไฟฟ้าไหลจึงได้ตำแหน่ง ∞ อยู่ด้านซ้ายมือของสเกล

3. เมื่อต่อ R_x = ค่าใดๆที่จุด A และจุด B จะมีกระแสไฟฟ้ามิเตอร์ไหลมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับการกำหนดค่า R_x ดังสมการ

$$I_m = \frac{E}{R_x + R_1 + R_m} \qquad \text{.....(5.2)}$$

ตัวอย่างที่ 5.1 โอห์มมิเตอร์แบบอนุกรมมีแรงดันไฟฟ้า $E = 1.5V$ ขดลวดเคลื่อนที่ดาร์สันวัล มี $I_{fs} = 100\mu A$, $R_1 + R_m = 15k\Omega$ จงคำนวณหา

ก) เมื่อ $R_x = 0\Omega$ เข็มมิเตอร์ชี้กระแสไฟฟ้าเท่าไร

ข) ตำแหน่งสเกลของค่าความต้านทานที่ 0.5FSD, 0.25FSD และ 0.75FSD

วิธีทำ

ก) เมื่อ $R_x = 0\Omega$ หากระแสไฟฟ้า I_m

$$I_m = \frac{E}{R_x + R_1 + R_m}$$

$$I_m = \frac{1.5V}{0\Omega + 15k\Omega} = 100\mu A \text{ (FSD)} \text{.....\#}$$

ข) หาตำแหน่ง R_x

จากสมการ (5.2) จะได้ $R_x + R_1 + R_m = \frac{E}{I_m}$

ที่ 0.5FSD

$$I_m = 0.5 \times FSD = 0.5 \times 100\mu A = 50\mu A$$

$$R_x = \frac{E}{I_m} - (R_1 + R_m)$$

$$R_x = \frac{1.5V}{50\mu A} - 15k\Omega = 15k\Omega \text{ .....\#}$$

ที่ 0.25FSD

$$I_m = 0.25 \times FSD = 0.25 \times 100\mu A = 25\mu A$$

$$R_x = \frac{E}{I_m} - (R_1 + R_m)$$

$$R_x = \frac{1.5V}{25\mu A} - 15k\Omega = 45k\Omega \ldots..\#$$

ที่ 0.75FSD

$$I_m = 0.75 \times FSD = 0.75 \times 100\mu A = 75\mu A$$

$$R_x = \frac{E}{I_m} - (R_1 + R_m)$$

$$R_x = \frac{1.5V}{75\mu A} - 15k\Omega = 5k\Omega \ldots..\#$$

จากตัวอย่างที่ 5.1 กระแสไฟฟ้ามิเตอร์จะไหลเท่าไรนั้นจะขึ้นอยู่กับการกำหนดค่า R_x และสังเกตได้ว่าถ้า $R_x = R_{in} = (R_1 + R_m)$ จะทำให้กระแสไฟฟ้ามิเตอร์เท่ากับครึ่ง FSD คือ 50μA ซึ่งได้ $R_x = R_{in} = (R_1 + R_m) = 15k\Omega$ ตำแหน่งค่าความต้านทานนี้เรียกว่าความต้านทานกึ่งกลางสเกล (Half Scale Resistor : R_h) ซึ่งจะได้ $R_h = R_{in}$ นั่นเอง

5.4 โอห์มมิเตอร์แบบอนุกรมมีการปรับศูนย์

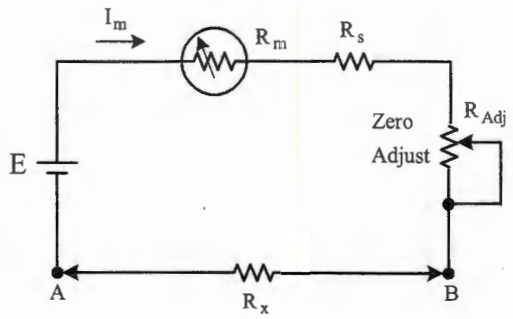
(Series Ohmmeter with Zero Adjust)

วงจรโอห์มมิเตอร์แบบอนุกรมรูปที่ 5.1 เมื่อใช้ไปนานๆแล้วจะทำให้ระดับแรงดันไฟฟ้าของแบตเตอรี่ 1.5V ลดลง เมื่อลัดวงจรที่จุด A และจุด B ($R_x = 0\Omega$) เป็นเหตุให้เข็มมิเตอร์ชี้ไม่ถึงกระแสไฟฟ้า FSD จึงต้องมีการปรับศูนย์ (Zero Adjust) ให้ได้กระแสไฟฟ้า FSD ซึ่งเป็นตำแหน่ง 0Ω จะมี 2 วิธีคือ

1. โอห์มมิเตอร์แบบต่อตัวต้านทานปรับศูนย์อนุกรมกับขดลวด
2. โอห์มมิเตอร์แบบต่อตัวต้านทานปรับศูนย์ขนานกับขดลวด

5.4.1 โอห์มมิเตอร์แบบต่อตัวต้านทานปรับศูนย์อนุกรมกับขดลวด

โอห์มมิเตอร์แบบอนุกรมจะต่อตัวต้านทานปรับศูนย์อนุกรมกับขดลวดดังรูปที่ 5.3 จะเห็นว่าวงจรจะเหมือนกันกับรูปที่ 5.1 จะต่างกันตรงที่เพิ่ม R_{Adj} เข้ามา ถ้าลัดวงจรที่จุด A และจุด B จะปรับ R_{Adj} เพื่อให้เข็มมิเตอร์ชี้กระแสไฟฟ้า FSD



รูปที่ 5.3 โอห์มมิเตอร์ต่อตัวต้านทานปรับศูนย์อนุกรมกับขดลวด

การกำหนดสเกลค่าความต้านทานจะทำนองเดียวกันกับวงจรโอห์มมิเตอร์ที่ไม่มีปรับศูนย์ดังนี้

1. เมื่อ $R_x = 0\Omega$ โดยการลัดวงจรที่จุด A และจุด B แล้วปรับ R_{Adj} จนกระทั่งกระแสไฟฟ้าไหลเต็มสเกลจะทำให้กระแสไฟฟ้ามิเตอร์เท่ากับกระแสไฟฟ้าเต็มสเกล จะได้ตำแหน่ง 0Ω อยู่ขวามือของสเกล

$$I_m = I_{fs} = \frac{E}{R_m + R_s + R_{Adj}} \qquad \text{.....(5.4)}$$

2. เมื่อ $R_x = \infty$ โดยการเปิดวงจรที่จุด A และจุด B จะไม่มีกระแสไฟฟ้าไหลจึงได้ตำแหน่ง ∞ อยู่ซ้ายมือของสเกล

3. เมื่อต่อ R_x = ค่าใดๆที่จุด A และ B จะทำให้กระแสไฟฟ้ามิเตอร์ไหลมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับการกำหนดค่า R_x ดังสมการ

$$I_m = \frac{E}{R_m + R_s + R_{Adj} + R_x} \qquad \text{.....(5.5)}$$

เมื่อ R_s คือตัวต้านทานจำกัดกระแสไฟฟ้า... โอห์ม (Ω)

R_{Adj} คือตัวต้านทานปรับศูนย์... โอห์ม (Ω)

จากสมการ (5.5) : $I_m = \frac{E}{R_m + R_s + R_{Adj} + R_x}$ จะนำไปหาค่าความต้านทานที่ตำแหน่งต่างๆของสเกลทำนองเดียวกันกับตัวอย่างที่ 5.1 และจะได้สเกลค่าความต้านทานเหมือนรูปที่ 5.2

ตัวอย่างที่ 5.2 วงจรโอห์มมิเตอร์รูปที่ 5.3 กำหนดให้ขดลวดมี $I_{fs} = 1mA, R_m = 500\Omega$ และแรงดันไฟฟ้า $E = 3V$ ถ้าให้ $R_s + R_{Adj} = 2.5k\Omega$ จงคำนวณหาค่ากระแสไฟฟ้ามิเตอร์เมื่อให้ค่า R_x เท่ากับ 0Ω, 50Ω, 250Ω, $1k\Omega$, $10k\Omega$, และ ∞ ตามลำดับ

วิธีทำ

จากสมการ (5.5) $$I_m = \frac{E}{R_m + R_s + R_{Adj} + R_x}$$

หา I_m เมื่อ R_x มีค่าต่างๆ

เมื่อ $R_x = 0\Omega$; $$I_m = \frac{3V}{500\Omega + 2.5k\Omega + 0\Omega} = 1mA \text{ .....\#}$$

เมื่อ $R_x = 50\Omega$; $$I_m = \frac{3V}{500\Omega + 2.5k\Omega + 50\Omega} = 0.98mA \text{ .....\#}$$

เมื่อ $R_x = 250\Omega$; $$I_m = \frac{3V}{500\Omega + 2.5k\Omega + 250\Omega} = 0.92mA \text{ .....\#}$$

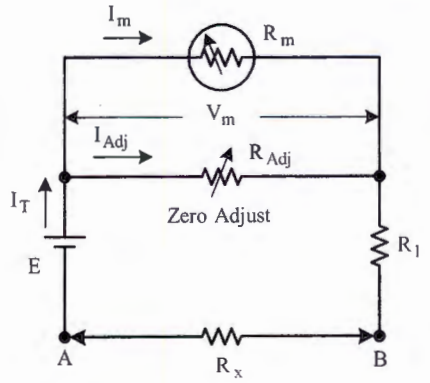
เมื่อ $R_x = 1k\Omega$; $$I_m = \frac{3V}{500\Omega + 2.5k\Omega + 1k\Omega} = 0.75mA \text{ .....\#}$$

เมื่อ $R_x = 10k\Omega$; $$I_m = \frac{3V}{500\Omega + 2.5k\Omega + 10k\Omega} = 0.23mA \text{ .....\#}$$

เมื่อ $R_x = \infty\Omega$; $$I_m = \frac{3V}{500\Omega + 2.5k\Omega + \infty\Omega} = 0mA \text{ .....\#}$$

5.4.2 โอห์มมิเตอร์แบบต่อตัวต้านทานปรับศูนย์ขนานกับขดลวด

จากรูปที่ 5.4 การปรับศูนย์โดยต่อ R_{Adj} ขนานกับขดลวดเคลื่อนที่ดาร์สันวัลกระแสไฟฟ้า I_T จากแบตเตอรี่ถูกแบ่งเป็นกระแสไฟฟ้า I_{Adj} และ I_m เมื่อลัดวงจรที่จุด A และจุด B จะปรับ R_{Adj} ให้กระแสไฟฟ้ามิเตอร์ไหลเต็มสเกลเมื่อ $R_x = 0\Omega$



รูปที่ 5.4 วงจรโอห์มมิเตอร์ที่มีการปรับศูนย์ด้วย R_{Adj}

ความต้านทานภายในคือ $R_{in} = R_1 + R_{Adj} // R_m$ ถ้าต่อค่า $R_x = R_{in}$ แล้วทำให้กระแสไฟฟ้ามิเตอร์เท่ากับ $\frac{I_{fs}}{2}$ จะได้ค่าความต้านทานกึ่งกลางสเกล : $R_h = R_x = R_{in}$

จากรูปที่ 5.4 หากระแสไฟฟ้า I_T

$$I_T = \frac{E}{R_x + R_1 + R_{Adj} // R_m}$$

ถ้า $R_{Adj} // R_m << R_1$ สามารถตัด $R_{Adj} // R_m$ ออกไปได้จะได้กระแสไฟฟ้า I_T ค่าใหม่ดังนี้

$$I_T \approx \frac{E}{R_x + R_1} \qquad \text{.....(5.6)}$$

หากระแสไฟฟ้ามิเตอร์ (I_m)

$$I_m = \frac{V_m}{R_m} = \frac{I_T (R_{Adj} // R_m)}{R_m} \qquad \text{.....(5.7)}$$

ตัวอย่างที่ 5.3 โอห์มมิเตอร์วงจรรูปที่ 5.4 ให้ $E = 1.5V, R_1 = 15k\Omega, R_m = R_{Adj} = 50\Omega$ และ $I_{fs} = 50\mu A$ จงคำนวณหา

ก) ค่า R_x ที่โอห์มมิเตอร์วัดค่าได้ที่ตำแหน่ง 0.5FSD เมื่อ $E = 1.5V$

ข) เมื่อ $E = 1.3V$ และปรับศูนย์ด้วย R_{Adj} ให้กระแสไฟฟ้ามิเตอร์ชี้ตำแหน่ง FSD จะได้ R_{Adj} ค่าใหม่เท่าไร

ค) เมื่อ $E = 1.3V$ ที่ตำแหน่ง 0.5FSD ค่า R_x จะมีค่าเท่าไร

วิธีทำ

ก) หาค่า R_x ที่โอห์มมิเตอร์วัดค่าได้เมื่อ $E = 1.5V$ ที่ 0.5FSD

$$V_m = I_m R_m = 25\mu A \times 50\Omega = 1.25mV$$

$$I_{Adj} = \frac{V_m}{R_{Adj}} = \frac{1.25mV}{50\Omega} = 25\mu A$$

$$I_T = I_{Adj} + I_m = 25\mu A + 25\mu A = 50\mu A$$

$$R_x + R_1 \approx \frac{E}{I_T} = \frac{1.5V}{50\mu A} = 30k\Omega$$

$$R_x = (R_x + R_1) - R_1 = 30k\Omega - 15k\Omega = 15k\Omega \text{ .....\#}$$

ข) หา R_{Adj} ค่าใหม่เมื่อ $E = 1.3V$ และปรับศูนย์ด้วย R_{Adj} ให้กระแสไฟฟ้ามิเตอร์ชี้ตำแหน่ง FSD ($R_x = 0\Omega$)

$$I_{Adj} = \frac{E}{R_x + R_1} = \frac{1.3V}{0 + 15k\Omega} = 86.67\mu A$$

$$I_{Adj} = I_T - I_{m(FSD)} = 86.67\mu A - 50\mu A = 36.67\mu A$$

$$V_m = I_m R_m = 50\mu A \times 50\Omega = 2.5mV$$

$$R_{Adj} = \frac{V_m}{I_{Adj}} = \frac{2.5V}{36.67\mu A}$$

$$R_{Adj} = 68.18\Omega \text{ .....\#}$$

ค) หาค่า R_x เมื่อ $E = 1.3V$ ที่ 0.5FSD

$$V_m = I_m R_m = 25\mu A \times 50\Omega = 1.25mV$$

$$I_{Adj} = \frac{V_m}{R_{Adj}} = \frac{1.25mV}{68.18\Omega} = 18.33\mu A$$

$$I_T = I_{Adj} + I_m = 18.33\mu A + 25\mu A = 43.33\mu A$$

$$R_x + R_1 \approx \frac{E}{I_T} = \frac{1.3V}{43.33\mu A} = 30k\Omega$$

$$R_x = (R_x + R_1) - R_1 = 30k\Omega - 15k\Omega$$

$$R_x = 15k\Omega \text{ .....\#}$$

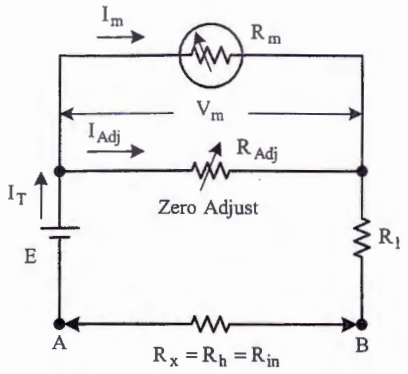
จากตัวอย่างที่ 5.3 เมื่อ $E = 1.5V$ และ $E = 1.3V$ และปรับศูนย์ด้วย R_{Adj} แล้ว โอห์มมิเตอร์จะอ่านค่าได้ $R_x = 15k\Omega$ เหมือนกัน

สมการการออกแบบวงจร

การออกแบบโอห์มมิเตอร์แบบอนุกรมจะพิจารณาค่า R_x ที่จะทำให้การเบี่ยงเบนของเข็มมิเตอร์ได้กึ่งกลางสเกล ในตำแหน่งนี้ตัวต้านทาน R_x ที่ต่อจุด A และ B จะทำให้ได้ค่าตัวต้านทานกึ่งกลางสเกล R_h ซึ่งกระแสไฟฟ้ามิเตอร์จะเท่ากับ $\frac{I_{fs}}{2}$ ค่าตัวต้านทาน R_x จะเท่ากับความต้านภายในของโอห์มมิเตอร์เพราะฉะนั้นจะได้ $R_x = R_h = R_{in}$

เมื่อกระแสไฟฟ้ามิเตอร์ $I_m = \frac{I_{fs}}{2}$ จะได้ค่าตัวต้านทานกึ่งกลางสเกล

$$R_h = R_{in} = R_1 + \frac{R_{Adj} R_m}{R_{Adj} + R_m} \qquad \text{.....(5.8)}$$



รูปที่ 5.5 วงจรโอห์มมิเตอร์ที่ต่อตัวต้านทานกึ่งกลางสเกลเมื่อ $I_m = \frac{1}{2} I_{fs}$

จะได้กระแสไฟฟ้ากึ่งกลางสเกล (Half Scale Current : I_h)

$$I_h = \frac{E}{R_h} \qquad \text{.....(5.9)}$$

กระแสไฟฟ้าที่ทำให้เกิด FSD จะเป็นกระแสไฟฟ้ารวม (I_T) จากแบตเตอรี่

$$I = I_T = 2I_h = \frac{E}{R_h} \qquad \text{.....(5.10)}$$

กระแสไฟฟ้า I_2 ที่ไหลผ่านตัวต้านทาน R_{Adj}

$$I_{Adj} = I_T - I_{fs}$$

จะได้ $$R_{Adj} = \frac{V_m}{I_{Adj}} = \frac{I_{fs} R_m}{I_T - I_{fs}} \qquad \text{.....(5.11)}$$

แทนสมการ (5.10) : $I_T = \frac{E}{R_h}$ ในสมการ (5.11) : $R_{Adj} = \frac{I_{fs} R_m}{I_T - I_{fs}}$

$$R_{Adj} = \frac{I_{fs} R_m}{\frac{E}{R_h} - I_{fs}} = \frac{I_{fs} R_m R_h}{E - I_{fs} R_h} \qquad \text{.....(5.12)}$$

จากสมการ (5.5) : $R_h = R_1 + \frac{R_{Adj} R_m}{R_{Adj} + R_m}$ นำมาหาค่า R_1

จะได้ $$R_1 = R_h - \frac{R_{Adj} R_m}{R_{Adj} + R_m} \qquad \text{.....(5.13)}$$

แทนสมการ (5.12) : $R_{Adj} = \frac{I_{fs} R_m R_h}{E - I_{fs} R_h}$ ในสมการ (5.13) : $R_1 = R_h - \frac{R_2 R_m}{R_2 + R_m}$

จะได้ $$R_1 = R_h - \frac{I_{fs} R_m R_h}{E} \qquad \text{.....(5.14)}$$

ตัวอย่างที่ 5.4 วงจรโอห์มมิเตอร์รูปที่ 5.5 ขดลวดเคลื่อนที่มี $R_m = 50\Omega, I_{fs} = 1mA, E = 3V$ กำหนดให้ $R_h = 2k\Omega$ จงคำนวณหา

ก) ตัวต้านทาน R_1 และ R_{Adj}

ข) ค่าตัวต้านทาน R_{Adj} เมื่อแรงดันไฟฟ้าของ E ลดลง 10%

ค) ค่าความผิดพลาดของสเกลที่ $R_h = 2k\Omega$ เมื่อค่าตัวต้านทาน R_{Adj} สูงสุดตามข้อ ข

วิธีทำ

ก) หา R_1 และ R_{Adj}

หา I_T ที่ FSD

$$I_T = \frac{E}{R_h} = \frac{3V}{2k\Omega} = 1.5mA$$

หา R_{Adj} เมื่อปรับศูนย์ด้วย R_{Adj} แล้วให้ได้ FSD

$$R_{Adj} = \frac{I_{fs}R_m}{I_{Adj}} = \frac{I_{fs}R_m}{I_T - I_{fs}}$$

$$R_{Adj} = \frac{1mA \times 50\Omega}{1.5mA - 1mA} = 100\Omega \text{ .....\#}$$

หา R_1

เพราะว่า $R_p = R_m // R_{Adj} = \frac{R_m R_{Adj}}{R_m + R_{Adj}}$

$$R_p = \frac{50\Omega \times 100\Omega}{50\Omega + 100\Omega} = 33.3\Omega$$

และ $R_h = R_1 + R_p$

จะได้ $R_1 = R_h - R_p = 2k\Omega - 33.3\Omega = 1.97k\Omega$ .....#

ข) หา R_{Adj} เมื่อแรงดันไฟฟ้าของ E ลดลง 10%

หา E ที่ค่าลดลง 10%

$$E = 3V - 0.3V = 2.7V$$

หา I_T และ I_{Adj} เมื่อ E ค่าลดลง 10%

$$I_T = \frac{E}{R_h} = \frac{2.7V}{2k\Omega} = 1.35mA$$

$$I_{Adj} = I_T - I_{fs}$$

$$I_{Adj} = 1.35mA - 1ma = 0.35mA$$

หา R_{Adj}

$$R_{Adj} = \frac{I_{fs}R_m}{I_{Adj}} = \frac{1mA \times 50\Omega}{0.35mA} = 143\Omega \text{ .....\#}$$

ค) หา %Error ที่ $R_h = 2k\Omega$ เมื่อ $R_{Adj} = 143\Omega$ ตามข้อ ข

เพราะว่า $R_p = R_m // R_{Adj}$

$$R_p = \frac{R_m R_{Adj}}{R_m + R_{Adj}} = \frac{50\Omega \times 143\Omega}{50\Omega + 143\Omega} = 37\Omega$$

และ $R_h = R_1 + R_p$

$$R_h = 1.97k\Omega + 37\Omega = 2003.7\Omega$$

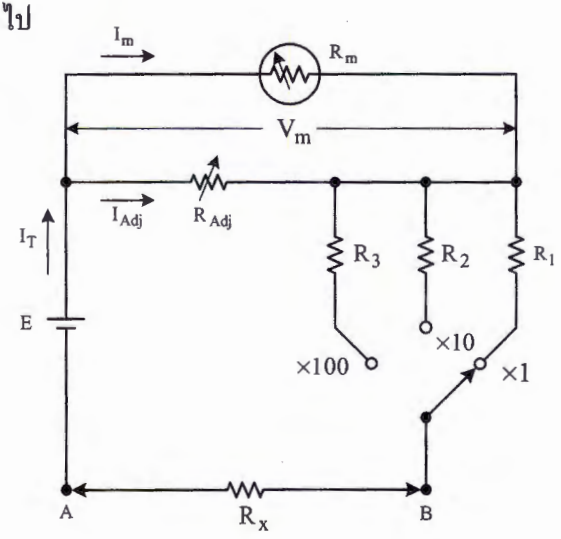
$$\text{Error} = \frac{X_t - X_m}{X_t} = \frac{2000\Omega - 2003.7\Omega}{2000\Omega}$$

$$\text{Error} = -0.00185 = -0.185\% \ldots..\#$$

จากตัวอย่างที่ 5.4 ได้ %Error ติดลบแสดงว่าโอห์มมิเตอร์วัดค่าได้ต่ำกว่าค่าจริง

5.4.3 โอห์มมิเตอร์แบบอนุกรมหลายย่านวัด (Multirange Series Ohmmeter)

โอห์มมิเตอร์แบบอนุกรมสามารถทำเป็นหลายย่านวัดโดยการเพิ่มตัวต้านทาน R_1 หลายๆตัวดังรูปที่ 5.6 การออกแบบจะกำหนดค่า R_h ของย่านวัด ×1 ก่อนเช่นให้ $R_h = 1\Omega$ แล้วให้ย่านวัดต่อไปคือ ×10 ให้มีค่า R_h เพิ่มขึ้นจาก ×1 เป็น 10 เท่าซึ่งจะได้ $R_h = 10\Omega$ และย่านวัดที่สูงขึ้นถัดไปจะพิจารณาค่า R_h ทำนองเดียวกันโดยค่า R_h เพิ่มเป็น 100 เท่า, 1000เท่าตามลำดับและใช้สมการ (5.14) : $R_1 = R_h - \frac{I_{fs} R_m R_h}{E_b}$ เพื่อหาค่าตัวต้านทานของแต่ละย่านวัดต่อไป

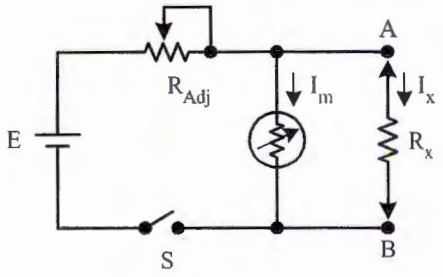


รูปที่ 5.6 โอห์มมิเตอร์แบบอนุกรมหลายย่านวัด

5.5 โอห์มมิเตอร์แบบขนาน (Shunt Ohmmeter)

โอห์มมิเตอร์แบบขนานจะมีโครงสร้างเหมือนกันกับโอห์มมิเตอร์แบบอนุกรมจะแตกต่างกันตรงที่ต่อตัวต้านทานไม่ทราบค่าขนานกับขดลวดเคลื่อนที่ วงจรพื้นฐานของโอห์มมิเตอร์แบบขนานรูปที่ 5.7 จะต่อตัวต้านทานไม่ทราบค่าที่จุด A และจุด B โดยเปิดสวิตช์ S เมื่อต้องการใช้โอห์มมิเตอร์และปิดสวิตช์เมื่อไม่ใช้เพื่อประหยัดพลังงาน มี R_{Adj} ทำหน้าที่ปรับศูนย์และจำกัดกระแสไฟฟ้าซึ่งอาจจะต่อตัวต้านทานอนุกรมเพิ่มอีกหนึ่งตัวเพื่อทำหน้าที่จำกัดกระแสไฟฟ้า

การทำงานของโอห์มมิเตอร์ชนิดนี้จะใช้หลักการแบ่งกระแสไฟฟ้าในวงจรขนานเหมือนกันกับการขยายย่านวัดของแอมมิเตอร์ ปกติแล้วจะใช้โอห์มมิเตอร์วัดตัวต้านทานที่มีค่าต่ำๆจะมีความละเอียดและแม่นยำกว่าโอห์มมิเตอร์แบบอนุกรมจึงใช้ในห้องปฏิบัติการเป็นส่วนใหญ่มากกว่าในงานทั่วไป



รูปที่ 5.7 โอห์มมิเตอร์แบบขนาน

สเกลของโอห์มมิเตอร์แบบขนานการกำหนดสเกลค่าความต้านทานจะมีลักษณะตรงกันข้ามกับโอห์มมิเตอร์แบบอนุกรม เมื่อต่อ R_x พิจารณาหาสเกลได้ดังนี้

1. เมื่อต่อ $R_x = 0\Omega$ โดยการลัดวงจรที่จุด A และจุด B ทำให้ไม่มีกระแสไฟฟ้าไหลผ่านขดลวดเคลื่อนที่จึงได้ตำแหน่ง 0Ω อยู่ด้านซ้ายมือของสเกล

2. เมื่อต่อ $R_x = \infty\Omega$ โดยการเปิดวงจรที่จุด A และจุด B จะปรับศูนย์ด้วย R_{Adj} เพื่อให้กระแสไฟฟ้ามิเตอร์ไหลเต็มสเกลจึงได้ตำแหน่ง $\infty\Omega$ อยู่ด้านขวามือของสเกลและหาค่ากระแสไฟฟ้าเต็มสเกลได้ดังสมการ

$$I_m = I_{fs} = \frac{E}{R_{Adj} + R_m} \qquad \text{.....(5.15)}$$

จากสมการ (5.15) หาสมการ R_{Adj} ได้ดังนี้

$$R_{Adj} = \frac{E}{I_{fs}} - R_m \qquad \text{.....(5.16)}$$

3. เมื่อ R_x = ค่าใดๆ จะทำให้กระแสไฟฟ้ามิเตอร์ลดลงจะได้สมการดังนี้

$$I_m = \frac{I_T R_x}{R_x + R_m} \qquad \text{.....(5.17)}$$

หากระแสไฟฟ้า I_T ได้ดังนี้

$$I_T = \frac{E}{R_{Adj} + \frac{R_m R_x}{R_m + R_x}}$$

$$I_T = \frac{E(R_m + R_x)}{R_{Adj}(R_m + R_x) + R_m R_x} \qquad \text{.....(5.18)}$$

แทนสมการ (5.18) ในสมการ (5.17)

$$I_m = \frac{ER_x}{R_{Adj}R_m + R_x(R_{Adj} + R_m)} \qquad \text{.....(5.19)}$$

การกำหนดสเกลของค่าความต้านทาน

1. กำหนดให้ค่าของ R_x จากค่าน้อยไปหาค่ามากแล้วคำนวณหาค่ากระแสไฟฟ้ามิเตอร์ด้วยสมการ (5.19)
2. แบ่งสเกลออกเป็น 10 ส่วนให้เป็นสเกลของค่ากระแสไฟฟ้ามิเตอร์
3. นำค่า R_x ที่ได้กำหนดค่าไว้แล้วและค่ากระแสไฟฟ้ามิเตอร์ที่คำนวณได้นำไปเขียนสเกลจะได้ค่าความต้านทานของ R_x และค่ากระแสไฟฟ้ามิเตอร์อยู่ในสเกลเดียวกัน

ตัวอย่างที่ 5.5 วงจรโอห์มมิเตอร์แบบขนานรูปที่ 5.7 ขดลวดเคลื่อนที่มี $R_m = 1k\Omega, I_{fs} = 100\mu A$ และ $E = 1.5V$ ถ้าให้ R_x มีค่าเท่ากับ 10Ω, 50Ω, 100Ω, 500Ω และ $1k\Omega$ จงคำนวณหา

ก) ตัวต้านทาน R_{Adj}

ข) กระแสไฟฟ้ามิเตอร์ตามค่า R_x ที่กำหนดให้

วิธีทำ

ก) หาตัวต้านทาน R_{Adj}

จากสมการ (5.16) : $R_{Adj} = \frac{E}{I_{fs}} - R_m$

$$R_{Adj} = \frac{1.5V}{100\mu A} - 1k\Omega = 14k\Omega \text{ .....\#}$$

ข) หากระแสไฟฟ้ามิเตอร์จากสมการ (5.19) : $I_m = \frac{ER_x}{R_{Adj}R_m + R_x(R_{Adj}+R_m)}$

เมื่อ $R_x = 10\Omega$

$$I_m = \frac{1.5V \times 10\Omega}{(15k\Omega \times 1k\Omega) + 10\Omega(15k\Omega + 1k\Omega)} = 1.06\mu A \text{ .....\#}$$

เมื่อ $R_x = 50\Omega$

$$I_m = \frac{1.5V \times 50\Omega}{(15k\Omega \times 1k\Omega) + 50\Omega(15k\Omega + 1k\Omega)} = 4.75\mu A \text{ .....\#}$$

เมื่อ $R_x = 100\Omega$

$$I_m = \frac{1.5V \times 100\Omega}{(15k\Omega \times 1k\Omega) + 100\Omega(15k\Omega + 1k\Omega)} = 9.04\mu A \text{ .....\#}$$

เมื่อ $R_x = 500\Omega$

$$I_m = \frac{1.5V \times 500\Omega}{15k\Omega \times 1k\Omega + 500\Omega(15k\Omega + 1k\Omega)} = 32.60\mu A \text{ .....\#}$$

เมื่อ $R_x = 1k\Omega$

$$I_m = \frac{1.5V \times 1k\Omega}{(15k\Omega \times 1k\Omega) + 1k\Omega(15k\Omega + 1k\Omega)} = 48.39\mu A \text{ .....\#}$$

การออกแบบโอห์มมิเตอร์แบบขนาน

โอห์มมิเตอร์แบบขนานหลายย่านวัดจะแบ่งย่านวัดเป็น $R\times1$, $R\times10$, $R\times100$ ให้ต่อเนื่องกันตามต้องการโดยมีตัวต้านทาน R_s ทำหน้าที่จำกัดกระแสไฟฟ้าและต่ออนุกรมกับ R_{Adj} ที่ทำหน้าที่ปรับศูนย์ดังรูปที่ 5.8 การออกแบบจะพิจารณาดังนี้

1. กำหนดค่าความต้านทานกึ่งกลางสเกลของย่านวัด $R\times1$ จะมีค่าดังสมการคือ

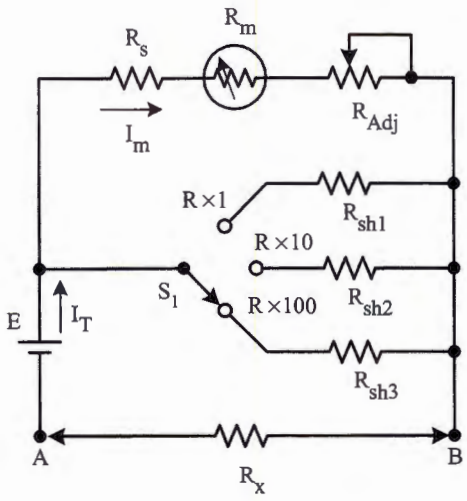
$$R_{h1} = R_{in1} = (R_s + R_m + R_{Adj}) // R_{sh1} \qquad \text{.....(5.20)}$$

2. ให้ค่าความต้านทานกึ่งกลางสเกลของย่านวัด $R\times10$ เป็น 10 เท่าของย่านวัด $R\times1$ ได้สมการดังนี้

$$R_{h2} = 10R_{h1} = R_{in2} = (R_s + R_m + R_{Adj}) // R_{sh2} \qquad \text{.....(5.21)}$$

3. ให้ค่าความต้านทานกึ่งกลางสเกลของย่านวัด $R\times100$ เป็น 10 เท่าของย่านวัด $R\times10$ ได้สมการดังนี้

$$R_{h3} = 10R_{h2} = R_{in3} = (R_s + R_m + R_{Adj}) // R_{sh3} \qquad \text{.....(5.22)}$$



รูปที่ 5.8 โอห์มมิเตอร์แบบขนานหลายย่านวัด

ตัวอย่างที่ 5.6 กำหนดให้ขดลวดเคลื่อนที่มี $R_m = 2k\Omega$, $I_{fs} = 50\mu A$, $R_z = R_s + R_{Adj} = 28k\Omega$ ให้ย่านวัด R×1 มีค่าความต้านทานกึ่งกลางสเกลเท่ากับ 10Ω จงออกแบบโอห์มมิเตอร์แบบขนานหลายย่านวัดรูปที่ 5.8

วิธีทำ

เพราะว่า $R_h = R_{in} = R_{sh} // (R_m + R_z)$

$$R_h = \frac{R_{sh}(R_m + R_z)}{R_{sh} + R_m + R_z} = \frac{R_{sh}R_m + R_{sh}R_z}{R_{sh} + R_m + R_z}$$

แก้สมการได้ $$R_{sh} = \frac{R_h R_m + R_h R_z}{R_m + R_z - R_h}$$

ย่านวัด R×1 หา R_{sh1}

$$R_{sh1} = \frac{(10\Omega \times 2k\Omega) + (10\Omega \times 28k\Omega)}{2k\Omega + 28k\Omega - 10\Omega} = 10\Omega$$

ย่านวัด R×10 หา R_{sh2}

$$R_{h2} = 10R_{h1} = 10 \times 10\Omega = 100\Omega$$

$$R_{sh2} = \frac{(100\Omega \times 2k\Omega) + (100\Omega \times 28k\Omega)}{2k\Omega + 28k\Omega - 100\Omega} = 100\Omega \text{ .....\#}$$

ย่านวัด R×100 หา R_{sh3}

$$R_{h3} = 10R_{h2} = 10 \times 100\Omega = 1k\Omega$$

$$R_{sh3} = \frac{(1k\Omega \times 2k\Omega) + (1k\Omega \times 28k\Omega)}{2k\Omega + 28k\Omega - 1k\Omega} = 1k\Omega \text{ .....\#}$$

ตัวอย่างที่ 5.7 วงจรโอห์มมิเตอร์แบบขนานจากตัวอย่างที่ 5.6 จงคำนวณหากระแสไฟฟ้ามิเตอร์

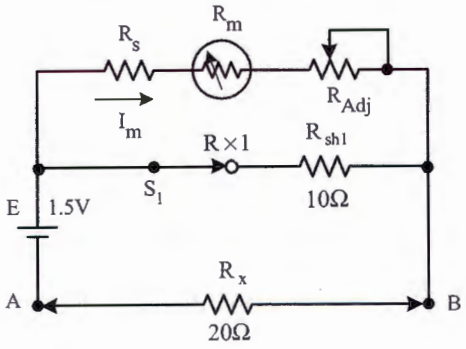
ก) ถ้าวัด $R_x = 20\Omega$ ด้วยย่านวัด R×1

ข) ถ้าวัด $R_x = 200\Omega$ ด้วยย่านวัด R×10

ค) ถ้าวัด $R_x = 2k\Omega$ ด้วยย่านวัด R×100

วิธีทำ

ก) หา I_m เมื่อวัด $R_x = 20\Omega$ ด้วยย่านวัด R×1



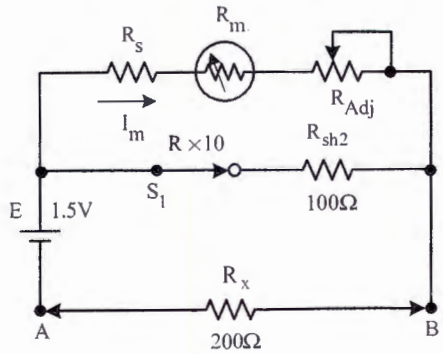
$$R_{p1} = (R_m + R_z) // R_{sh1} = (2k\Omega + 28k\Omega) // 10\Omega = 10\Omega$$

$$E_{p1} = \frac{E}{R_{p1} + R_x} \times R_{p1}$$

$$E_{p1} = \frac{1.5V}{10\Omega + 20\Omega} \times 10\Omega = 0.5V$$

$$I_m = \frac{E_{p1}}{R_m + R_z} = \frac{0.5V}{2k\Omega + 28k\Omega} = 16.66\mu A \text{ .....\#}$$

ข) หา I_m เมื่อวัด $R_x = 200\Omega$ ด้วยย่านวัด R×10



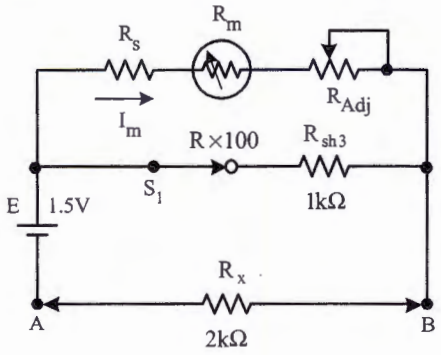
$$R_{pl} = (R_m + R_z) // R_{sh1} = (2k\Omega + 2k\Omega) // 100\Omega = 100\Omega$$

$$E_{pl} = \frac{E}{R_{pl} + R_x} \times R_{pl}$$

$$E_{pl} = \frac{1.5V}{100\Omega + 200\Omega} \times 100\Omega = 0.5V$$

$$I_m = \frac{E_{pl}}{R_m + R_z} = \frac{0.5V}{2k\Omega + 28k\Omega} = 16.66\mu A \text{ .....\#}$$

ค) หา I_m เมื่อวัด $R_x = 2k\Omega$ ด้วยย่านวัด R×100



$$R_{pl} = (R_m + R_z) // R_{sh1} = (2k\Omega + 2k\Omega) // 100\Omega = 100\Omega$$

$$E_{pl} = \frac{E}{R_{pl} + R_x} \times R_{pl}$$

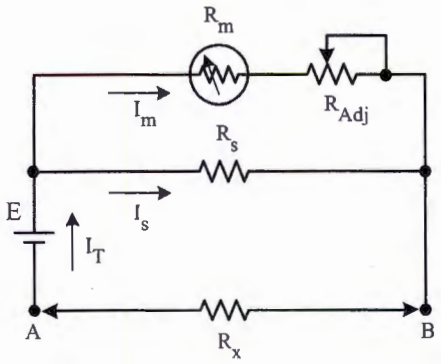
$$E_{pl} = \frac{1.5V}{100\Omega + 200\Omega} \times 100\Omega = 0.5V$$

$$I_m = \frac{E_{pl}}{R_m + R_z} = \frac{0.5V}{2k\Omega + 28k\Omega} = 16.66\mu A \text{ .....\#}$$

จากตัวอย่างที่ 5.7 กระแสไฟฟ้ามิเตอร์เท่ากับ 16.66μA ทุกย่านวัดหมายความว่าจะกำหนดค่า 20Ω ไว้ที่ตำแหน่ง 33.32% ของค่าเต็มสเกล : $\left(\frac{16.66\mu A}{50\mu A} \times 100\% = 33.32\%\right)$ นั่นคือถ้าตั้งย่านวัด R×1 มิเตอร์จะชี้ที่ค่า 20Ω แล้วคูณด้วย 1 จะอ่านค่าตัวต้านทานไม่ทราบค่าได้ 20Ω ถ้าตั้งย่านวัด R×10 มิเตอร์จะชี้ที่ค่า 20Ω แล้วคูณด้วย 10 จะอ่านค่าตัวต้านทานไม่ทราบค่าได้ 200Ω และถ้าตั้งย่านวัด R×100 มิเตอร์จะชี้ที่ค่า 20Ω แล้วคูณด้วย 100 จะอ่านค่าตัวต้านทานไม่ทราบค่าได้ 2kΩ จากดังกล่าวจะเห็นว่าทุกย่านวัดที่หน้าปัดจะใช้สเกลเดียวร่วมกันได้

5.6 โอห์มมิเตอร์แบบโปเทนชิโอมิเตอร์ (Potentiometer Ohmmeter)

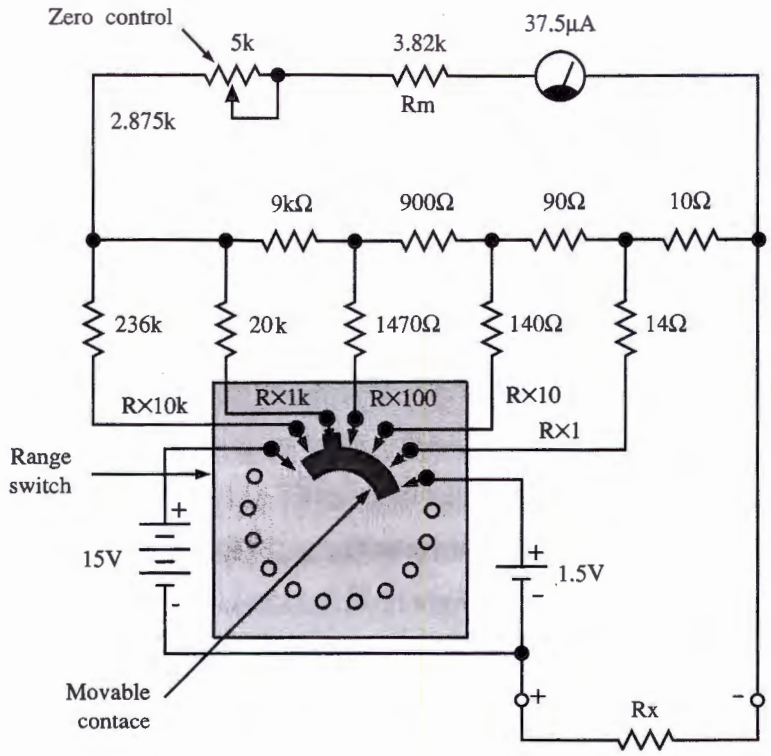
โครงสร้างของโอห์มมิเตอร์แบบโปเทนชิโอมิเตอร์หรือแบบแบ่งแรงดันไฟฟ้าดังวงจรพื้นฐานรูปที่ 5.9 มี R_m ต่ออนุกรมกับ R_{Adj} แล้วมาขนานกับตัวต้านทานมาตรฐาน (Standard Resistor : R_s) เมื่อลัดวงจรที่จุด A และจุด B แล้วปรับ R_{Adj} ให้กระแสไฟฟ้าเต็มสเกลจะได้ค่า $R_x = 0\Omega$ และแรงดันไฟฟ้าตกคร่อมที่ R_m และ R_{Adj} จะเท่ากับแบตเตอรี่ซึ่งเหมือนกับวงจรโวลต์มิเตอร์



รูปที่ 5.9 วงจรพื้นฐานโอห์มมิเตอร์แบบโปเทนชิโอมิเตอร์

เมื่อต่อ R_x = ค่าใดๆ จะมีกระแสไฟฟ้า I_T ไหลผ่านวงจรและกระแสไฟฟ้ามิเตอร์ที่ไหลผ่าน R_m กับ R_{Adj} น้อยลง ถ้า $R_x = \infty\Omega$ จะไม่มีกระแสไฟฟ้าผ่านวงจร ดังนั้น $\infty\Omega$ จะอยู่ด้านซ้ายมือของสเกลซึ่งลักษณะสเกลจึงเป็นแบบ Back Off Scale เหมือนสเกลของโอห์มมิเตอร์แบบอนุกรม

เพราะว่า $(R_m + R_{Adj}) >> R_s$ และการที่ $(R_m + R_{Adj}) // R_s$ ความต้านทานรวมของวงจรขนานจะเท่ากับ R_s ค่าความต้านทาน R_s นี้จะเป็นตัวกำหนดค่าความต้านทานกึ่งกลางสเกลของโอห์มมิเตอร์ ดังนั้นเมื่อเพิ่มค่า R_s เป็น 10 เท่าสเกลเดิมของมิเตอร์จะอ่านค่าได้ 10 เท่าด้วย จะเห็นว่าค่า R_s จะกำหนดกระแสไฟฟ้าเต็มสเกลและค่าแรงดันไฟฟ้าของแบตเตอรี่เมื่อลัดวงจรที่จุด A และจุดB ในทางปฏิบัติเมื่อขยายย่านวัดเป็น 10 เท่าแล้วค่า R_s อาจจะไม่เพิ่มเป็น 10 เท่าจากค่า R_s ของย่านวัดค่าเดิมเพราะเหตุว่าแบตเตอรี่มีค่าความต้านทานภายในด้วย



รูปที่ 5.10 โอห์มมิเตอร์แบบโปเทนชิโอมิเตอร์หลายย่านวัด

จากรูปที่ 5.10 แต่ละย่านวัดของโอห์มมิเตอร์จะใช้ตัวต้านทานมาตรฐานร่วมกัน และค่าความต้านทานจะเพิ่มเป็น 10 เท่า ทำให้ใช้สเกลเดียวกันได้ พิจารณาความต้านทานมาตรฐานของแต่ละย่านวัดได้ดังนี้

ย่านวัด R×1 ถึง R×1k จะมีแบตเตอรี่ภายใน 1.5V

$$R_{s(R\times1)} = 10\Omega$$

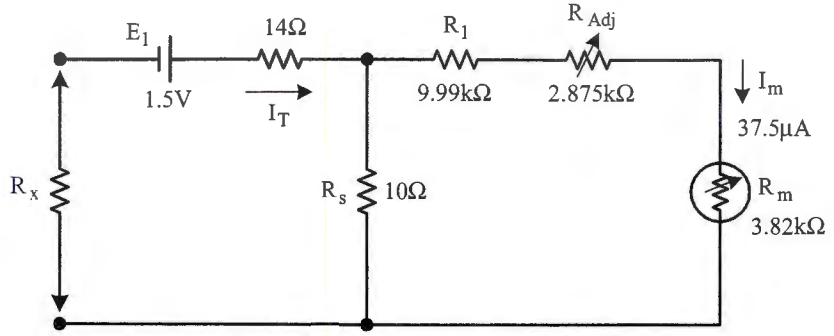
$$R_{s(R\times10)} = 90\Omega + 10\Omega = 100\Omega$$

$$R_{s(R\times100)} = 900\Omega + 90\Omega + 10\Omega = 1{,}000\Omega = 1k\Omega$$

$$R_{s(R\times1k)} = 9k\Omega + 900\Omega + 90\Omega + 10\Omega = 10{,}000\Omega = 10k\Omega$$

ย่านวัด R×10k จะมีแบตเตอรี่ภายใน 15V

$$R_{s(R\times10k)} = 9k\Omega + 900\Omega + 90\Omega + 10\Omega = 10{,}000\Omega = 10k\Omega$$



รูปที่ 5.11 วงจรย่านวัด R×1 ของโอห์มมิเตอร์แบบโปเทนชิโมิเตอร์รูปที่ 5.10

โอห์มมิเตอร์แบบโปเทนชิโอมิเตอร์รูปที่ 5.11 ขดลวดเคลื่อนที่ดาร์สันวัลมีกระแสไฟฟ้า FSD 37.5μA ความต้านทานขดลวด R_m 3.82kΩ ตัวต้านทานปรับศูนย์ 5kΩ ถ้าแรงดันไฟฟ้าของแบตเตอรี่ปกติจะตั้งค่าไว้ที่ 2.875kΩ $R_1 = 9k\Omega + 900\Omega + 90\Omega = 9.99k\Omega$ และค่าตัวต้านทานมาตรฐานของย่านวัด R×1 คือ $R_s = 10\Omega$ แบตเตอรี่จะมี 2 ชุด คือ 1.5V ใช้กับทุกย่านวัดยกเว้น R×10kΩ และอีกชุดคือ 15V ใช้กับย่านวัด R×10kΩ ตัวต้านทานไม่ทราบค่าต่อที่ขั้ว + และขั้ว – เพราะเหตุว่าโอห์มมิเตอร์เป็นส่วนหนึ่งของมัลติมิเตอร์จึงต้องใช้สายวัดร่วมกับแอมมิเตอร์และโวลต์มิเตอร์

ตัวอย่างที่ 5.8 จากวงจรรูปที่ 5.11 จงคำนวณหากระแสไฟฟ้ามิเตอร์และค่าความต้านทานที่มิเตอร์จะอ่านค่าได้เมื่อตั้งย่านวัด R×1 ก) $R_x = 0\Omega$ ข) $R_x = 24\Omega$

วิธีทำ

ก) หา I_m เมื่อ $R_x = 0\Omega$

$$I_T = \frac{1.5V}{14\Omega + [10\Omega // (9.99k\Omega + 2.875k\Omega + 3.82k\Omega)]} = 62.516mA$$

จากหลักการของวงจรแบ่งกระแสไฟฟ้า

$$I_m = 62.516mA \times \frac{10\Omega}{10\Omega + 16.685k\Omega}$$

$$I_m = 37.5\mu A \text{ .....\#}$$

จะได้ $I_{fs} = I_m = 37.5\mu A$ ที่ 0Ω .....#

ข) หา I_m เมื่อ $R_x = 24\Omega$

$$I_T = \frac{1.5V}{24\Omega + 14\Omega + (10\Omega // 16.685k\Omega)} = 31.254mA$$

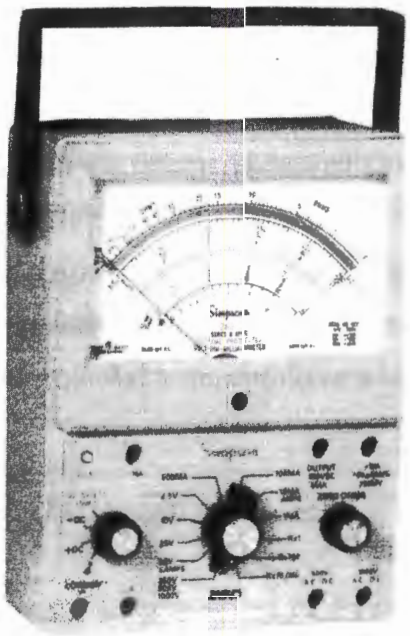
$$I_m = 31.254\text{mA} \times \frac{10\Omega}{10\Omega + 16.685\text{k}\Omega}$$

$$I_m = 18.72\mu\text{A} \text{ .....\#}$$

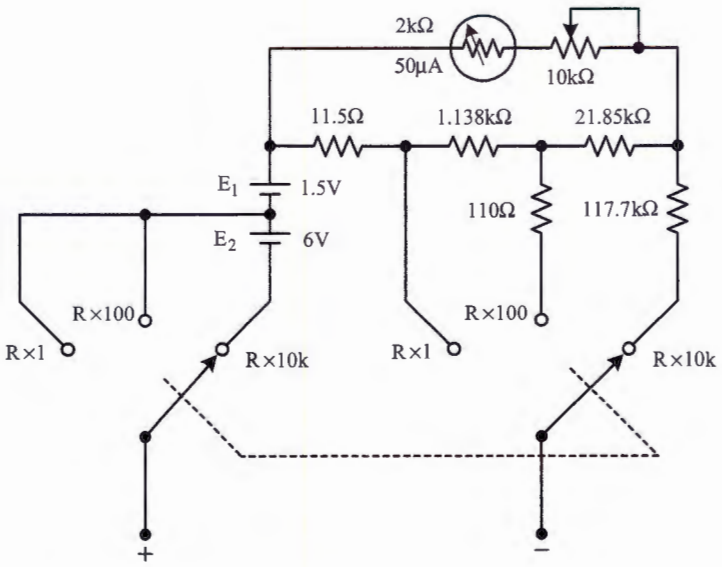
จะได้ $I_m = \frac{I_{fs}}{2} = 18.72\mu\text{A}$ ที่ 24Ω เป็นค่ากึ่งกลางสเกล.....#

5.7 มัลติมิเตอร์ (Multimeter)

มัลติมิเตอร์ คือ มิเตอร์อเนกประสงค์ที่มีแอมมิเตอร์ โวลต์มิเตอร์และโอห์มมิเตอร์อยู่รวมกันดังตัวอย่างมัลติมิเตอร์รุ่นหนึ่งที่นิยมใช้ในห้องปฏิบัติการดังรูปที่ 5.12 ซึ่งเป็นของบริษัท Simpson Electric ใช้ขดลวดเคลื่อนที่คาร์สันวัลมีความต้านทานขดลวด 2kΩ กระแสไฟฟ้าเต็มสเกล 50μA มีความไวกระแสตรง 20kΩ/V ในส่วนของโอห์มมิเตอร์จะมี 3 ย่านวัดคือ R×1, R×100, และ R×10k

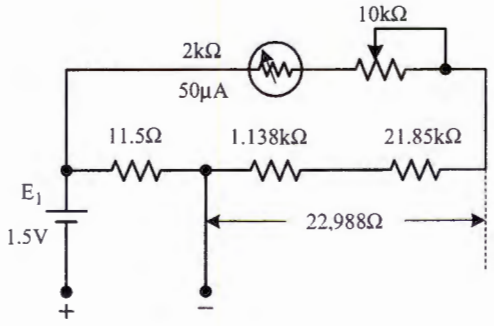


รูปที่ 5.12 มัลติมิเตอร์ของบริษัท Simpson Electric

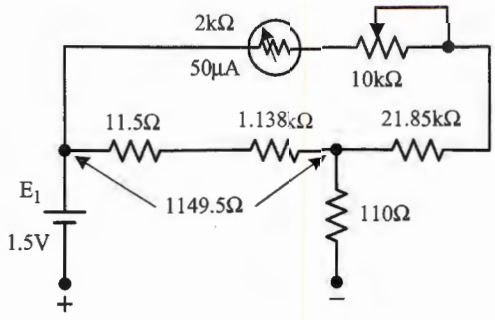


รูปที่ 5.13 วงจรโอห์มมิเตอร์ของบริษัท Simpson Electric

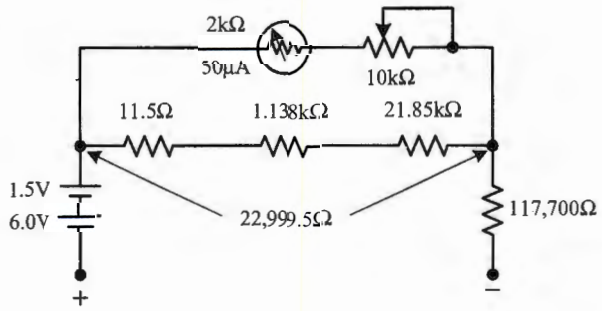
วงจรโอห์มมิเตอร์ของบริษัท Simpson Electric ดังรูปที่ 5.13 ย่านวัด R×1 มีค่าความต้านทานมาตรฐานเท่ากับ 11.5Ω ย่านวัด R×100 มีค่าความต้านทานมาตรฐานเท่ากับ 1149.5Ω (ได้จาก 11.5Ω+11.38Ω=1149.5Ω) จะเห็นว่ามีค่าประมาณ 100 เท่าของย่านวัด R×1 แต่ย่านวัด R×10k มีค่าความต้านทานมาตรฐานเท่ากับ 22,999.5Ω (ได้จาก 11.5Ω+ 11.38Ω+21,850Ω=22,999.5Ω) แทนที่จะเป็น 10,000 เท่าของย่านวัด R×1 คือ 115,000Ω ทั้งนี้เพราะเมื่อวัดความต้านทาน 115,000Ω เข็มมิเตอร์ไม่ชี้ที่กึ่งกลางสเกลสาเหตุมาจากความต้านทานภายในวงจรมีค่าสูงและแก้ไขด้วยการเพิ่มแรงดันไฟฟ้าของย่านวัด R×10k เป็น 7.5V ด้วย



รูปที่ 5.14 วงจรโอห์มมิเตอร์ย่านวัด R×1 ของบริษัท Simpson Electric



รูปที่ 5.15 วงจรโอห์มมิเตอร์ย่านวัด R×100 ของบริษัท Simpson Electric



รูปที่ 5.16 วงจรโอห์มมิเตอร์ย่านวัด R×10k ของบริษัท Simpson Electric

แบบฝึกหัดที่ 5

1. โอห์มมิเตอร์แบบอนุกรมขดลวดเคลื่อนที่มี $R_m = 50\Omega, I_{fs} = 50\mu A, E = 3V$ ตัวต้านทานอนุกรม $R_1 = 30k\Omega$ ขดลวดมีตัวต้านทานขนาน $R_2 = 50\Omega$ จงคำนวณหาค่าความต้านทานที่วัดได้ ก) ที่ 0FSD ข) ที่ 0.25FSD ค) ที่ 0.5FSD ง) ที่ 0.75FSD

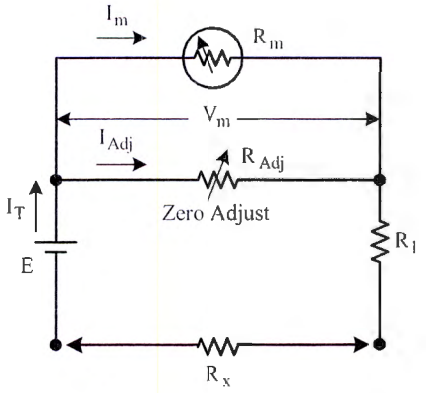
2. โอห์มมิเตอร์แบบอนุกรมมีตัวต้านทานมาตรฐาน $R_1 = 50k\Omega$ ใช้ขดลวดเคลื่อนที่ PMMC มี $R_m = 100\Omega$, $I_{fs} = 75\mu A$ มิเตอร์มีตัวต้านทานขนาน $R_2 = 300\Omega$ ให้ $E = 5V$ จงคำนวณหาค่าความต้านทานที่วัดได้ ก) ที่ 0%FSD ข) ที่ 25%FSD ค) ที่ 50%FSD ง) ที่ 75%FSD จ) ที่ 100%FSD

3. โอห์มมิเตอร์แบบอนุกรมจากข้อ 1 ถ้าแรงดันไฟฟ้า E ลดลงเหลือ 2.5V จะปรับศูนย์ด้วย R_2 ให้เข็มมิเตอร์ชี้ FSD จงคำนวณหา

   ก) ความต้านทานค่าใหม่

   ข) ความต้านทานที่วัดได้ที่ 0.5FSD และ 0.75FSD

4. โอห์มมิเตอร์แบบอนุกรมกำหนดให้ขดลวดเคลื่อนที่มี $R_m = 100\Omega, I_{fs} = 100\mu A$ และ $E = 4.5V$ จงออกแบบให้เป็น ก) ย่านวัด $R \times 1k$ ข) ย่านวัด $R \times 100k$

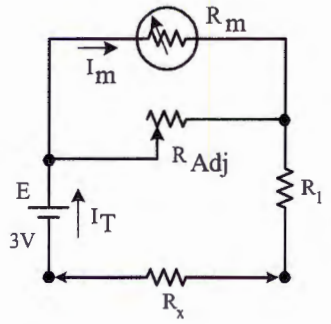


5. โอห์มมิเตอร์แบบอนุกรมขดลวดเคลื่อนที่มี $R_m = 50\Omega$, $I_{fs} = 1mA$ และ $E = 3V$ ต้องการออกแบบให้มิเตอร์อ่านค่ากึ่งกลางสเกลเท่ากับ $2k\Omega$ จงคำนวณหา

   ก) ตัวต้านทาน R_{Adj} และ R_1

   ข) ค่าสูงสุดของตัวต้านทาน R_{Adj} ถ้าแรงดันไฟฟ้าของ E ลดลง 10%

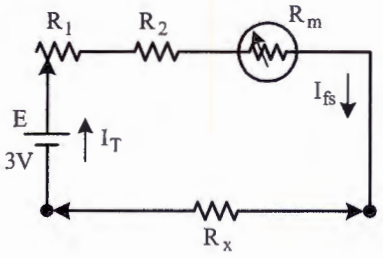
   ค) เปอร์เซ็นต์ค่าความผิดพลาดเมื่อเข็มมิเตอร์ชี้เต็มสเกล



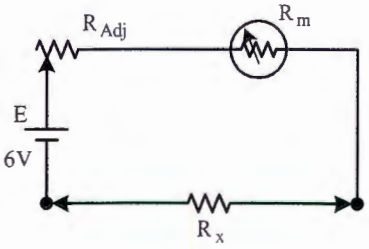
6. โอห์มมิเตอร์แบบอนุกรมให้ขดลวดเคลื่อนที่มี $R_m = 100\Omega$, $I_{fs} = 1mA$ และ $R_z = R_1 + R_2$

   ก) จงคำนวณหาค่า R_z และค่าความต้านทานกึ่งกลางสเกล

   ข) จงเขียนสเกลของโอห์มมิเตอร์



7. โอห์มมิเตอร์แบบอนุกรมถ้า PMMC มี $I_{fs} = 50\mu A$ จงคำนวณหาค่าความต้านทานเมื่อเข็มมิเตอร์ชี้กึ่งกลางสเกล



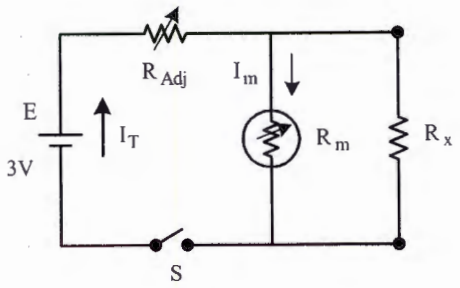
8. โอห์มมิเตอร์แบบอนุกรมข้อ 7 ให้ใช้ PMMC ที่มี $I_{fs} = 1mA$ และความต้านทานกึ่งกลางสเกล 6kΩ ถ้าแรงดันไฟฟ้าของ E ลดลงเหลือ 5V เมื่อวัด $R_x = 6k\Omega$ มิเตอร์จะอ่านค่าได้เท่าไร

9. โอห์มมิเตอร์แบบอนุกรมให้ขดลวดเคลื่อนที่มี $R_m = 50\Omega$, $I_{fs} = 50\mu A$, $R_{Adj} = 50\Omega$ และ $R_1 = 15k\Omega$ จงคำนวณหาค่า R_x ที่วัดได้ที่ตำแหน่ง 0.75FSD เมื่อ ก) $E = 1.5V$ ข) $E = 1.3V$

10. โอห์มมิเตอร์แบบขนานมี $R_m = 5\Omega$, $I_{fs} = 10mA$ และ $E = 3V$ ถ้าต้องการปรับปรุงวงจรโดยการต่อ R_{sh} ขนานกับขดลวดเคลื่อนที่ทำให้เข็มมิเตอร์ชี้ค่า 0.5Ω ที่กึ่งกลางสเกล จงคำนวณหา

    ก) ค่าความต้านทาน R_{sh}

    ข) ค่าตัวต้านทาน R_{Adj}



11. โอห์มมิเตอร์แบบโปเทนชิโอมิเตอร์รูปที่ 5.10 ใช้วัดค่า $R_x = 0\Omega$ จงคำนวณหาค่ากระแสไฟฟ้ามิเตอร์เมื่อวัดด้วยย่านวัด

    ก) R×100 ข) R×10k

12. โอห์มมิเตอร์แบบโปเทนชิโอมิเตอร์รูปที่ 5.10 จงคำนวณหากระแสไฟฟ้ามิเตอร์ถ้าวัดด้วยย่านวัด R×10

    ก) $R_x = 0\Omega$ ข) $R_x = 70\Omega$ ค) $R_x = 500\Omega$