4 ดีซีโวลต์มิเตอร์
DC VOLTMETER

4.1 บทนำ

โวลต์มิเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง (Direct Current Voltmeter) หรือดีซีโวลต์มิเตอร์ เป็นเครื่องมือวัดปริมาณแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง (Direct Current Voltage) ซึ่งจัดเป็นเครื่องมือวัดแบบอะนาลอก หรือเรียกว่าเครื่องมือวัดแบบเข็มชี้เช่นเดียวกันกับดีซีแอมมิเตอร์โดยจะใช้ขดลวดเคลื่อนที่แบบดาร์สันวัลเหมือนกับดีซีแอมมิเตอร์เช่นกัน

การวัดแรงดันไฟฟ้าจะต้องต่อดีซีโวลต์มิเตอร์ขนานกับโหลดหรือแหล่งจ่ายไฟฟ้า และต้องให้ขั้วของดีซีโวลต์มิเตอร์เหมือนกันกับศักย์ไฟฟ้าที่ต้องการวัดคือต้องต่อขั้วบวกของดีซีโวลต์มิเตอร์กับศักย์ไฟฟ้าบวกและขั้วลบกับศักย์ไฟฟ้าลบ ถ้าต่อไม่ถูกต้องแล้วจะทำให้เข็มชี้ของมิเตอร์ตีกลับอาจจะทำให้เกิดการเสียหายได้

4.2 ความไวกระแสไฟฟ้า (Current Sensitivity : S)

ขดลวดเคลื่อนที่แบบดาร์สันวัลจะพันด้วยเส้นลวดตัวนำที่มีขนาดเล็กมากเพื่อให้มีน้ำหนักเบาทำให้ขดลวดมีความต้านทานภายใน (Moving Coil Resistance : R_m) และนี กระแสไฟฟ้าไหลผ่านขดลวดจนเข็มมิเตอร์เบี่ยงเบนเต็มสเกล (Full Scale Deflection : FSD) จะเรียกว่ากระแสไฟฟ้าเต็มสเกล (Full Scale Current : I_{fs}) หรือกระแสไฟฟ้าขดลวด (Moving Coil Current : I_m) และจะเกิดแรงดันไฟฟ้าขดลวด (Moving Coil Voltage : V_m) ตกคร่อมหรือแรงดันไฟฟ้าเต็มสเกล (Full Scale Voltage : V_{fs})

ค่ากระแสไฟฟ้าเต็มสเกลของขดลวดเคลื่อนที่นี้ จะเป็นส่วนกลับของความไวกระแสไฟฟ้า (Current Sensitivity : S) หรือจะเรียกว่าความไว (Sensitivity : S) หรือเซ้นส์ (Sens : S) มีหน่วยเป็นโอห์ม/โวลต์ (Ω / V)

เครื่องมือวัดไฟฟ้าที่มีค่าความไวต่างกัน เมื่อนำไปวัดปริมาณแรงดันไฟฟ้าเดียวกัน จะทำให้ผลการวัดต่างกัน โดยที่เครื่องมือวัดไฟฟ้าที่มีค่าความไวสูงจะวัดค่าได้แม่นยำกว่าเครื่องมือวัดไฟฟ้าที่มีค่าความไวต่ำกว่า ดังนั้น ค่ากระแสไฟฟ้าเต็มสเกลของเครื่องมือวัดไฟฟ้าที่ต่ำกว่าย่อมมีค่าความไวในการวัดสูงกว่า เช่น กระแสไฟฟ้าเต็มสเกล 10μA จะมีค่าความไวมากกว่ากระแสไฟฟ้าเต็มสเกล 50μA

$$S = \frac{1}{I_{fs}} \text{ หรือ } S = \frac{1}{I_m} \qquad \text{.....(4.1)}$$

เมื่อ S คือความไวกระแสไฟฟ้า...โอห์ม/โวลต์ (Ω/V)

I_{fs} คือกระแสไฟฟ้าเต็มสเกล...แอมแปร์ (A)

I_m คือกระแสไฟฟ้าขดลวด...แอมแปร์ (A)

หน่วยความไวกระแสไฟฟ้าคือ Ohms per Volt : Ω/V พิจารณาดังนี้

$$\text{Sensitivity} = S = \frac{1}{I_{fs}} = \frac{1}{\text{Amperes}}$$

$$\text{Sensitivity} = S = \frac{1}{\text{Volt / Ohms}}$$

$$\text{Sensitivity} = S = \frac{\text{Ohms}}{\text{Volt}} = \frac{\Omega}{V} = \Omega / V \qquad \text{.....(4.2)}$$

นอกจากนี้แล้วความไวกระแสไฟฟ้า จะหาได้จากแรงดันไฟฟ้าขดลวดหรือแรงดันไฟฟ้าเต็มสเกลดังนี้

จากสมการ (4.1) : $S = \frac{1}{I_{fs}}$

จะได้ $$S = \frac{R_m}{V_m} = \frac{R_m}{V_{fs}} = \frac{\Omega}{V} = \Omega / V \qquad \text{.....(4.3)}$$

เมื่อ S คือความไวกระแสไฟฟ้า...โอห์ม/โวลต์ (Ω / V)

R_m คือความต้านทานภายในของขดลวด...โอห์ม (Ω)

V_m คือแรงดันไฟฟ้าขดลวด...โวลต์ (V)

V_{fs} คือแรงดันไฟฟ้าเต็มสเกล...โวลต์ (V)

ตัวอย่างที่ 4.1 มิเตอร์ติดแผง (Panel Meter) เครื่องหนึ่งมีแรงดันไฟฟ้าเต็มสเกล 50V กระแสไฟฟ้าเต็มสเกล 50μA จะมีความไวกระแสไฟฟ้าและความต้านทานขดลวดเท่าไร

วิธีทำ

หาความไวกระแสไฟฟ้า

$$S = \frac{1}{I_{fs}} = \frac{1}{50\times10^{-6}\,A} = 20k\Omega/V \ldots..\#$$

หาความต้านทานขดลวด

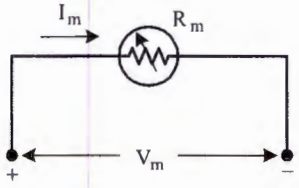
$$S = \frac{R_m}{V_m}$$

$$R_m = S\times V_m = \frac{20k\Omega}{V}\times 50V = 1M\Omega \ldots..\#$$

หรือ $$R_m = \frac{V_m}{I_{fs}} = \frac{50V}{50\times10^{-6}\,A} = 1M\Omega \ldots..\#$$

4.3 วงจรเทียบเท่าของขดลวดเคลื่อนที่ (Equivalent Circuit of Moving Coil)

วงจรเทียบเท่าของขดลวดเคลื่อนที่ที่ใช้กับดีซีโวลต์มิเตอร์จะเหมือนกันกับที่ใช้กับดีซีแอมมิเตอร์ดังรูปที่ 3.1 ในบทที่ 3 ซึ่งแรงดันไฟฟ้าขดลวดจะมีค่าน้อยมากจึงวัดแรงดันไฟฟ้าได้จำกัดและถ้าต้องการให้วัดแรงดันไฟฟ้าได้มากกว่านี้จะนำขดลวดเคลื่อนที่ไปขยายย่านวัดตามที่ต้องการต่อไป



รูปที่ 4.1 วงจรเทียบเท่าของขดลวดเคลื่อนที่

หาแรงดันไฟฟ้าขดลวด

$$V_m = I_m R_m$$
$$V_m = I_{fs} R_m \qquad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots(4.4)$$

เมื่อ V_m คือแรงดันไฟฟ้าขดลวดเคลื่อนที่...โวลต์ (V)

I_{fs} คือกระแสไฟฟ้าเต็มสเกล...แอมแปร์ (A)

I_m คือกระแสไฟฟ้าขดลวด...แอมแปร์ (A)

R_m คือความต้านทานขดลวด... โอห์ม (Ω)

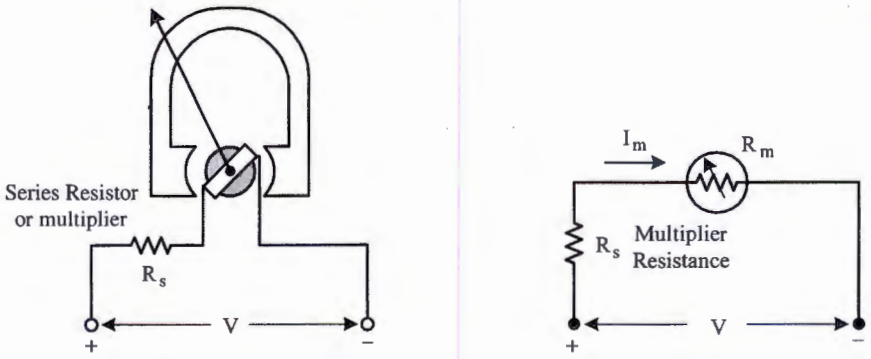
4.4 การขยายย่านวัดของโวลต์มิเตอร์ (Extension of Range)

การขยายย่านวัดของขดลวดเคลื่อนที่ให้เป็นดีซีโวลต์มิเตอร์มี 2 วิธีคือ

1. การขยายย่านวัดแบบซิงเกิลหรืออินดิวิดวล (Single or Individual Type)
2. การขยายย่านวัดแบบยูนิเวอร์แซล (Universal Type)

4.4.1 การขยายย่านวัดแบบซิงเกิลหรืออินดิวิดวล (Single or Individual Type)

ในการขยายย่านวัดของโวลต์มิเตอร์แบบอินดิวิดวลนั้น จะใช้หลักการของวงจรอนุกรม (Series Circuit) โดยนำตัวต้านทานคูณ (Multiplier Resistor) หรืออาจจะเรียกว่าตัวต้านทานอนุกรม (Series Resistor : R_s) มาต่อกับขดลวดเคลื่อนที่เพื่อลดแรงดันไฟฟ้าให้เหลือไปตกคร่อมบนขดลวดให้ได้กระแสไฟฟ้าเต็มสเกลเท่าเดิมซึ่งดีซีโวลต์มิเตอร์หลายย่านวัดแบบอินดิวิดวลนั้นแต่ละย่านวัดจะมีตัวต้านทานอนุกรมแยกเป็นอิสระต่อกัน



(ก) โครงสร้างของดีซีโวลต์มิเตอร์ (ข) วงจรดีซีโวลต์มิเตอร์

รูปที่ 4.2 การขยายย่านวัดของดีซีโวลต์มิเตอร์โดยการต่อตัวต้านทานอนุกรมให้กับขดลวด

สมการการออกแบบวงจร

เมื่อกระแสไฟฟ้าขดลวด (I_m หรือ I_{fs}) ไหลผ่านขดลวดเคลื่อนที่ทำให้เกิดแรงดันไฟฟ้าตกคร่อมขดลวด (V_m) จากหลักการของวงจรไฟฟ้าแบบอนุกรมจะได้สมการคือ

$$V = I_m R_s + I_m R_m$$

$$R_s = \frac{1}{I_m} \times V - R_m \qquad \text{.....(4.5)}$$

ถ้าให้ $V = Range$ แทนในสมการ (4.5) : $R_s = \frac{1}{I_m} \times V - R_m$

จะได้ $$R_s = \frac{1}{I_m} \times Range - R_m \quad \text{.....(4.6)}$$

แทนสมการ (4.1) : $S = \frac{1}{I_m} = \frac{1}{I_{fs}}$ ในสมการ (4.6)

จะได้ $$R_s = S \times Range - R_m \quad \text{.....(4.7)}$$

สรุป

$$R_s = \frac{V}{I_m} - R_m$$
$$R_s = \frac{Range}{I_m} - R_m \quad \text{.....(4.8)}$$
$$R_s = S \times Range - R_m$$

เมื่อ R_s คือตัวต้านทานอนุกรม (Series Resistor) หรือตัวต้านทานคูณ (Multiplier Resistor)...โอห์ม (Ω)

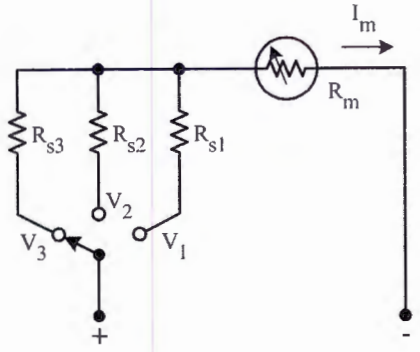
S คือความไวกระแสไฟฟ้า...โอห์ม/โวลต์ (Ω/V)

$Range, V$ คือแรงดันไฟฟ้าของย่านวัด...โวลต์ (V)

I_m คือกระแสไฟฟ้าขดลวด...แอมแปร์ (A)

R_m คือความต้านทานขดลวด...โอห์ม (Ω)

ตัวอย่างที่ 4.2 จงคำนวณหาตัวต้านทานอนุกรม ของย่านวัด 3V, 10V, 30V ของดีซีโวลต์มิเตอร์แบบหลายย่านวัด ขดลวดเคลื่อนที่มีความต้านทาน 1kΩ กระแสไฟฟ้าเต็มสเกล 50μA



วิธีทำ

หาความไวกระแสไฟฟ้า

$$S = \frac{1}{I_{fs}} = \frac{1}{50\mu A} = \frac{1}{50\times10^{-6}\,A} = 20\frac{k\Omega}{V}$$

ย่านวัด $V_1 = 3V$ หา R_{s1}

$$R_{s1} = S\times Range - R_m = \frac{20k\Omega}{V}\times 3V - 1k\Omega = 59k\Omega \;.....\#$$

ย่านวัด $V_2 = 10V$ หา R_{s2}

$$R_{s2} = S\times Range - R_m = \frac{20k\Omega}{V}\times 10V - 1k\Omega = 199k\Omega \;.....\#$$

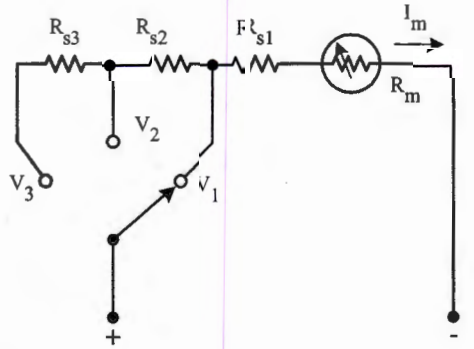
ย่านวัด $V_3 = 30V$ หา R_{s3}

$$R_{s3} = S\times Range - R_m = \frac{20k\Omega}{V}\times 30V - 1k\Omega = 599k\Omega \;.....\#$$

จากตัวอย่างที่ 4.2 จะมีข้อเสียเมื่อค่าย่านวัดสูงมากขึ้นการคำนวณค่าความต้านทานอนุกรมจะมากตามไปด้วยทำให้หาค่าไม่ได้ แต่มีข้อดีของการขยายย่านวัดแบบนี้คือถ้าหากความต้านทานอนุกรมของย่านวัดใดเสียหายจะไม่กระทบถึงย่านวัดอื่นๆ

4.4.2 การขยายย่านวัดแบบยูนิเวอร์แซล (Universal Type)

การขยายย่านวัดโวลต์มิเตอร์แบบยูนิเวอร์แซลจะใช้ความต้านทานอนุกรมร่วมกันตั้งแต่ย่านวัดต่ำสุดต่อเนื่องกันจนกระทั่งถึงย่านวัดสูงสุด แต่จะมีข้อเสียตรงที่ว่าถ้าย่านวัดต่ำความต้านทานอนุกรมเสียหายจะทำให้ตั้งแต่ย่านวัดนี้เสียหายตามไปด้วย ส่วนข้อดีคือจะทำให้ไม่มีปัญหาการหาความต้านทานอนุกรมที่คำนวณได้ แม้จะเป็นย่านวัดสูงสุดก็ตามเพราะจะใช้ความต้านทานอนุกรมร่วมกันกับทุกย่านวัดต่อเนื่องกัน



รูปที่ 4.3 วงจรดีซีโวลต์มิเตอร์หลายย่านวัดแบบยูนิเวอร์แซล

สมการการออกแบบวงจร

จากรูปที่ 4.3 หาความต้านทานอนุกรมของแต่ละย่านวัดดังนี้

ย่านวัด V_1 หา R_{s1}

$$V_1 = I_m(R_{s1} + R_m) = I_m R_{s1} + I_m R_m$$

$$R_{s1} = \frac{V_1 - I_m R_m}{I_m} = \frac{1}{I_m} \times V_1 - R_m \qquad \text{.....(4.9)}$$

แทน $S = \frac{1}{I_m}$ และ $\text{Range} = V_1$ ในสมการ (4.9)

$$R_{s1} = S \times \text{Range} - R_m \qquad \text{.....(4.10)}$$

ย่านวัด V_2 หา R_{s2}

$$V_2 = I_m(R_{s2} + R_{s1} + R_m)$$
$$V_2 = I_m R_{s2} + I_m R_{s1} + I_m R_m$$
$$R_{s2} = \frac{V_2 - I_m R_{s1} + I_m R_m}{I_m} = \frac{V_2 - I_m(R_{s1} + R_m)}{I_m}$$

$$R_{s2} = \frac{1}{I_m} \times V_2 - (R_{s2} + R_m) \qquad \text{.....(4.11)}$$

แทน $S = \frac{1}{I_m}$ และ $\text{Range} = V_2$ ในสมการ (4.11)

$$R_{s2} = S \times \text{Range} - (R_{s1} + R_m) \qquad \text{.....(4.12)}$$

ทำนองเดียวกันย่านวัด V_3 จะหาสมการตัวต้านทานอนุกรมได้ดังนี้

ย่านวัด V_3 หา R_{s3}

$$R_{s3} = S \times \text{Range} - (R_{s2} + R_{s1} + R_m) \qquad \text{.....(4.13)}$$

ตัวอย่างที่ 4.3 จากรูปที่ 4.3 กำหนดให้ $V_1 = 3V$, $V_2 = 10V$, $V_3 = 30V$ ขดลวดเคลื่อนที่มีความต้านทาน $1k\Omega$ กระแสไฟฟ้าเต็มสเกล $50\mu A$ จงคำนวณหา R_{s1} , R_{s2} , R_{s3}

วิธีทำ

หาความไวกระแสไฟฟ้า

$$S = \frac{1}{I_{fs}} = \frac{1}{50\mu A} = \frac{1}{50 \times 10^{-6} A} = 20 \frac{k\Omega}{V}$$

ย่านวัด $V_1 = 3V$ หา R_{s1}

$$R_{s1} = S \times Range - R_m$$

$$R_{s1} = 20\frac{k\Omega}{V} \times 3V - 1k\Omega = 59k\Omega \ldots..\#$$

ย่านวัด $V_2 = 10V$ หา R_{s2}

$$R_{s2} = S \times Range - (R_{s1} + R_m)$$

$$R_{s2} = 20\frac{k\Omega}{V} \times 10V - (59k\Omega + 1k\Omega) = 140k\Omega \ldots..\#$$

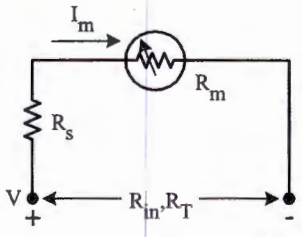
ย่านวัด $V_3 = 30V$ หา R_{s3}

$$R_{s3} = S \times Range - (R_{s2} + R_{s1} + R_m)$$

$$R_{s3} = 20\frac{k\Omega}{V} \times 30V - (140k\Omega + 59k\Omega + 1k\Omega) = 400k\Omega \ldots..\#$$

4.5 ความต้านทานภายในของโวลต์มิเตอร์ (Voltmeter Input Resistance : R_{in})

ความต้านทานอินพุตของโวลต์มิเตอร์จะเป็นความต้านทานรวม (Total Resistance : R_T) ของแต่ละย่านวัดทั้งนี้จะขึ้นอยู่กับว่าจะเป็นการขยายย่านวัดแบบไหน



รูปที่ 4.4 ความต้านทานภายใน (R_{in}, R_T) ของย่านวัด V ของดีซีโวลต์มิเตอร์

การคำนวณค่าความต้านทานภายในของโวลต์มิเตอร์

จากรูปที่ 4.4 เป็นดีซีโวลต์มิเตอร์ที่มีย่านวัด V พิจารณาหาความต้านทานภายในของย่านวัด V ได้ดังนี้

$$V = I_m(R_{in}) = I_m(R_T) = I_m(R_s + R_m)$$

$$R_{in} = R_T = R_s + R_m = \frac{1}{I_m} \times V \qquad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots(4.14)$$

แทน $S=\frac{1}{I_m}$ และ $\text{Range}=V$ ในสมการ (4.14)

$$R_{in}=R_T=\frac{1}{I_m}\times V=\frac{1}{I_m}\times \text{Range} \qquad \text{.....(4.15)}$$
$$R_{in}=R_T=S\times \text{Range}$$

ตัวอย่างที่ 4.4 จากตัวอย่างที่ 4.3 จงคำนวณหา R_{in} ของแต่ละย่านวัด

วิธีทำ

หาความไวกระแสไฟฟ้า

$$S=\frac{1}{I_{fs}}=\frac{1}{50\mu A}=20\frac{k\Omega}{V}$$

ย่านวัด $V_1=3V$

$$R_{in}=S\times \text{Range}=20\frac{k\Omega}{V}\times 3V=60k\Omega \text{ .....\#}$$

ย่านวัด $V_2=10V$

$$R_{in}=S\times \text{Range}=20\frac{k\Omega}{V}\times 10V=200k\Omega \text{ .....\#}$$

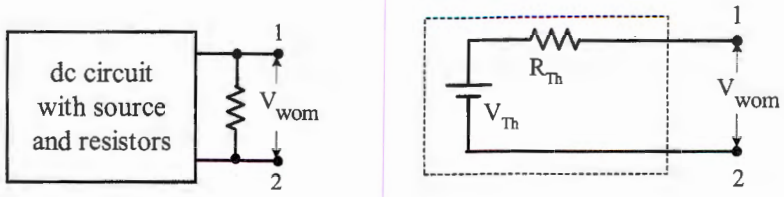
ย่านวัด $V_3=30V$

$$R_{in}=S\times \text{Range}=20\frac{k\Omega}{V}\times 30V=600k\Omega \text{ .....\#}$$

4.6 ผลการโหลดของโวลต์มิเตอร์ (Voltmeter Loading Effect)

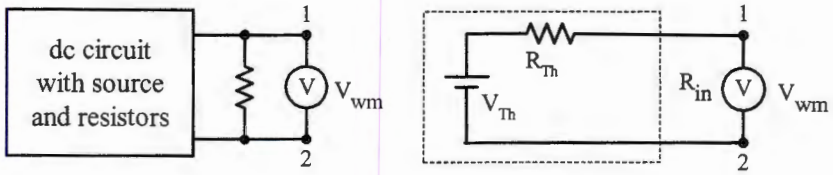
เมื่อนำโวลต์มิเตอร์วัดแรงดันไฟฟ้าจะต่อขนานกับโหลดนั้นๆทำให้เกิดการรวมความต้านทานแบบวงจรขนานระหว่างความต้านทานภายในของย่านวัดกับความต้านทานของโหลดจะทำให้อ่านค่าแรงดันไฟฟ้าได้ต่ำกว่าค่าแรงดันไฟฟ้าจริงเรียกว่าผลการโหลดของโวลต์มิเตอร์

ค่าความผิดพลาดจากผลการโหลดของโวลต์มิเตอร์จะมากหรือน้อยเพียงใดนั้นขึ้นอยู่กับความต้านทานภายในของโวลต์มิเตอร์ของย่านวัดกับความต้านทานเทียบเท่าเทวินิน (Thevenin Equivalent Resistance : R_{Th}) ของวงจรว่าแตกต่างกันมากน้อยเพียงใด



(ก) (ข)

รูปที่ 4.5 วงจรเทียบเท่าเทวินินเมื่อไม่วัดด้วยมิเตอร์



(ก) (ข)

รูปที่ 4.6 วงจรเทียบเท่าเทวินินเมื่อวัดด้วยมิเตอร์

การคำนวณค่าความถูกต้องและค่าความผิดพลาด

จากวงจรเทียบเท่าเทวินินเมื่อไม่วัดด้วยมิเตอร์รูปที่ 4.5 (ข)

$$V_{wom} = V_{Th} \qquad \text{.....(4.16)}$$

จากวงจรเทียบเท่าเทวินินเมื่อวัดด้วยมิเตอร์รูปที่ 4.6 (ข)

$$V_{wm} = \frac{V_{Th}}{R_{in} + R_{Th}} \times R_{in} \qquad \text{.....(4.17)}$$

สมการ $\frac{(5.8)}{(5.7)}$ จะได้เป็นค่าความถูกต้องจากการวัดคือ

$$\text{Accuracy} = \frac{V_{wm}}{V_{wom}} = \frac{R_{in}}{R_{in} + R_{Th}} \qquad \text{.....(4.18)}$$

เปอร์เซ็นต์ค่าความถูกต้องจากการวัดคือ

$$\%\text{Acc} = \frac{V_{wm}}{V_{wom}} \times 100\%$$

$$\%\text{Acc} = \frac{R_{in}}{R_{in} + R_{Th}} \times 100\% \qquad \text{.....(4.19)}$$

เปอร์เซ็นต์ค่าความผิดพลาดจากการวัดคือ

$$\%\text{Error} = 1 - \%\text{Acc} = \left|\frac{X_t - X_m}{X_t}\right| \times 100\%$$

$$\%\text{Error} = \left|\frac{V_{wom} - V_{wm}}{V_{wom}}\right| \times 100\% \qquad \text{.....(4.20)}$$

เมื่อ Accuracy คือความถูกต้องจากการวัด

Error คือความผิดพลาดจากการวัด

V_{wom} คือแรงดันไฟฟ้าเมื่อไม่ต่อมิเตอร์ (Voltage without Meter)...โวลต์ (V)

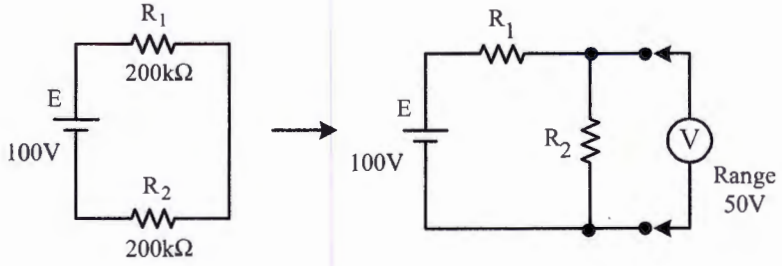
V_{wm} คือแรงดันไฟฟ้าเมื่อวัดด้วยมิเตอร์ (Voltage with Meter)...โวลต์ (V)

ตัวอย่างที่ 4.5 โวลต์มิเตอร์มีความไวกระแสไฟฟ้า $20k\Omega/V$ ตั้งย่านวัด 50V วัดแรงดันไฟฟ้าตกคร่อม R_2 ในวงจร จงคำนวณหา

ก) แรงดันไฟฟ้าที่อ่านได้

ข) ค่าความถูกต้องจากการวัด

ค) ค่าความผิดพลาดจากการวัด



วิธีทำ

หา V_{Th} , R_{Th} , R_{in}

$$V_{Th} = V_{wom} = \left(\frac{E}{R_1 + R_2}\right)R_2$$

$$V_{Th} = \left(\frac{100V}{200k\Omega + 200k\Omega}\right) \times 200k\Omega = 50V$$

$$R_{Th} = R_1 // R_2 = 200k\Omega // 200k\Omega = 100k\Omega$$

$$R_{in} = S \times \text{Range} = 20\frac{k\Omega}{V} \times 50V = 1M\Omega$$

ก) หาแรงดันไฟฟ้าที่อ่านได้ (V_{wm})

$$V_{wm} = (\frac{R_{in}}{R_{in} + R_{Th}})V_{wom}$$

$$V_{wm} = (\frac{1M\Omega}{1M\Omega + 100k\Omega}) \times 50V = 45.45V \text{ .....\#}$$

หรือ $$V_{wm} = (\frac{V_{Th}}{R_{in} + R_{Th}})R_{in}$$

$$V_{wm} = (\frac{100V}{1M\Omega + 100k\Omega}) \times 1M\Omega = 45.45V \text{ .....\#}$$

ข) หาค่าความถูกต้องจากการวัด

$$\text{Accuracy} = \frac{V_{wm}}{V_{wom}}$$

$$\text{Accuracy} = \frac{45.45V}{50V} = 0.909 = 90.90\% \text{ .....\#}$$

หรือ $$\text{Accuracy} = \frac{R_{in}}{R_{in} + R_{Th}}$$

$$\text{Accuracy} = \frac{1M\Omega}{1M\Omega + 200k\Omega} = 0.909 = 90.90\% \text{ .....\#}$$

ค) หาความผิดพลาดจากการวัด

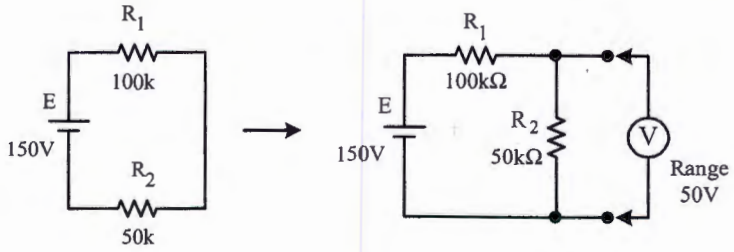
$$\text{Error} = 1 - \text{Acc} = 1 - 0.909 = 0.091 = 9.1\% \text{ .....\#}$$

หรือ $$\text{Error} = \frac{X_t - X_m}{X_t} = \frac{50V - 45.45V}{50V} = 0.091 = 9.1\% \text{ .....\#}$$

ตัวอย่างที่ 4.6 โวลต์มิเตอร์ A มี $S = 1k\Omega/V$, $R_m = 0.2k\Omega$, Range = 50V และโวลต์มิเตอร์ B มี $S = 20k\Omega/V$, $R_m = 20k\Omega$, Range = 50V จงคำนวณหา

ก) มิเตอร์ A วัดแรงดันไฟฟ้าของ R_2 ได้เท่าไรและมีความผิดพลาดเท่าไร

ข) มิเตอร์ B วัดแรงดันไฟฟ้าของ R_2 ได้เท่าไรและมีความผิดพลาดเท่าไร



วิธีทำ

หา R_{Th}, V_{Th}

$$R_{Th} = R_1 // R_2 = 100k\Omega // 50k\Omega = 33.33k\Omega$$

$$V_{Th} = V_{wom} = V_{R2} = (\frac{E}{R_1 + R_2}) \times R_2$$

$$V_{Th} = (\frac{150V}{100k\Omega + 50k\Omega}) \times 50k\Omega = 50V$$

เมื่อวัดด้วยมิเตอร์ A :

หา R_{in} , Acc , V_{wm}

$$R_{in} = S \times Range = 1k\frac{k\Omega}{V} \times 50V = 50k\Omega$$

$$Acc = \frac{R_{in}}{R_{in} + R_{Th}} = \frac{50k\Omega}{50k\Omega + 33.33k\Omega} = 0.60$$

$$V_{wm} = Acc \times V_{wom} = 0.06 \times 50V = 30V \text{ .....\#}$$

หาค่าความผิดพลาดจากการวัด

$$Error = 1 - Acc = 1 - 0.60 = 0.40 = 40\% \text{ .....\#}$$

หรือ $$Error = \frac{X_t - X_m}{X_t} = \frac{50V - 30V}{50V} = 0.40 = 40\% \text{ .....\#}$$

เมื่อวัดด้วยมิเตอร์ B :

หา R_{in} , Acc , V_{wm}

$$R_{in} = S \times Range = 20k\frac{k\Omega}{V} \times 50V = 1M\Omega$$

$$Acc = \frac{R_{in}}{R_{in} + R_{Th}} = \frac{1M\Omega}{1M\Omega + 33.33k\Omega} = 0.97 = 97\%$$

$$V_{wm} = Acc \times V_{wom} = 0.97 \times 50V = 48.50V \text{ .....\#}$$

หาค่าความผิดพลาดจากการวัด

$$Error = 1 - Acc = 1 - 0.97 = 0.03 = 3\% \text{ .....\#}$$

หรือ $$Error = \frac{X_t - X_m}{X_t} = \frac{50V - 48.50V}{50V} = 0.03 = 3\% \text{ .....\#}$$

จากตัวอย่างที่ 4.6 สรุปได้ว่าโวลต์มิเตอร์ 2 เครื่อง ถ้าตั้งย่านวัดเดียวกันแล้วโวลต์มิเตอร์ที่มีความไวสูงกว่าจะวัดแรงดันไฟฟ้าได้ค่าความผิดพลาดจากการวัดต่ำกว่าหรือมีค่าความถูกต้องจากการวัดมากกว่า

4.7 การเลือกโวลต์มิเตอร์วัดแรงดันไฟฟ้าให้ได้ค่าความถูกต้องสูงสุด

การเลือกใช้โวลต์มิเตอร์วัดแรงดันไฟฟ้าให้ได้ค่าความถูกต้องจากการวัดสูงสุดนั้น จะพิจารณาว่าความต้านทานภายในของโวลต์มิเตอร์ (R_{in}) ของย่านวัดนั้นจะมีค่ามากกว่าความต้านทานเทียบเท่าเทวินิน (R_{Th}) ของวงจรที่วัดเป็นกี่เท่า ถ้ามีค่ามากจะทำให้วัดค่ามีความถูกต้องมากตามไปด้วย

ตัวอย่างที่ 4.7 ต้องการให้เกิด Accuracy = 99% จากการวัดจะต้องให้ความต้านทานภายในของโวลต์มิเตอร์มีค่าเป็นกี่เท่าของความต้านทานเทียบเท่าเทวินิน

วิธีทำ

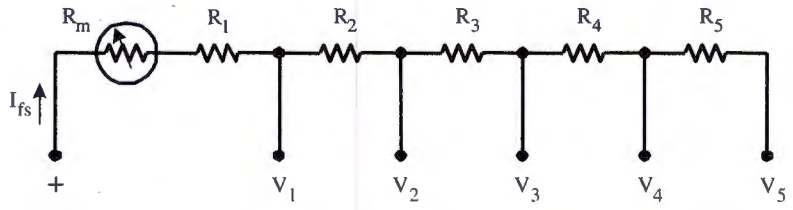
$$Acc = 99\% = \frac{Rin}{R_{in} + R_{Th}}$$

$$R_{in} = \frac{0.99R_{Th}}{1-0.99} = 99R_{Th} \text{ .....\#}$$

แบบฝึกหัดที่ 4

1. จงเขียนวงจรและขยายย่านวัดแบบอินดิวิดวลเป็น 1.5V, 5V, 15V, 150V และ 500V ให้ขดลวดเคลื่อนที่มี $I_{fs} = 20\mu A$, $R_m = 5k\Omega$ จงคำนวณหา
   ก) ความต้านทานอนุกรมของแต่ละย่านวัด
   ข) ความต้านทานภายในของแต่ละย่านวัด

2. จงคำนวณหาค่าตัวต้านทานอนุกรม R_1.....R_5 ของดีซีโวลต์มิเตอร์ เมื่อขดลวด PMMC มี $R_m = 2k\Omega, I_{fs} = 50\mu A$ มีย่านวัด $V_1 = 1V, V_2 = 5V, V_3 = 10V, V_4 = 50V, V_5 = 100V$ และแต่ละย่านวัดจะมีความต้านทานภายในเท่าไร



3. วงจรอนุกรมมี $E = 20V$, $R_1 = 15k\Omega$, $R_2 = 5k\Omega$ จงนำดีซีโวลต์มิเตอร์จากข้อ 1 ไปวัดแรงดันไฟฟ้าของ R_1 ด้วยย่านวัด 15V และ 150V จะอ่านค่าแรงดันไฟฟ้าและมีค่าความผิดพลาดจากการวัดเท่าไร โดยให้เขียนวงจรประกอบด้วย

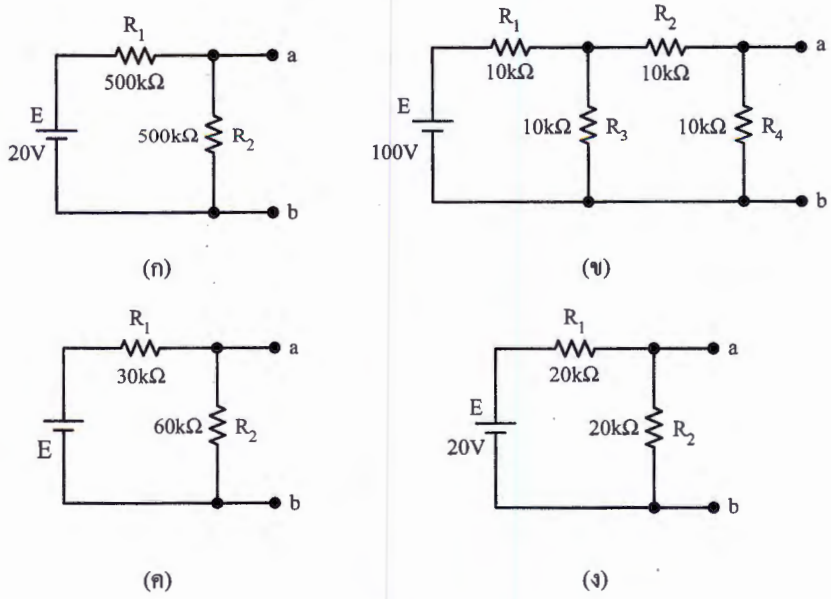
4. เครื่องมือวัดไฟฟ้า PMMC มี $S = 5k\Omega / V$, Calibration Error = ±3% of FSD ถ้าตั้งย่านวัด 100V วัดแรงดันไฟฟ้าของโหลดตัวหนึ่งอ่านค่าได้ 50V จงคำนวณหาช่วงแรงดันไฟฟ้าจริงที่มิเตอร์จะอ่านค่าได้

5. จงคำนวณหา Sensitivity ของเครื่องมือวัดไฟฟ้า 2 ตัว ถ้าความต้านทานภายในของขดลวดเคลื่อนที่มี $R_m = 2k\Omega$ เท่ากัน
   ก) โวลต์มิเตอร์ A มีย่านวัด 10V และมีความต้านทานอนุกรม $R_a = 18k\Omega$
   ข) โวลต์มิเตอร์ B มีย่านวัด 300V และมีความต้านทานอนุกรม $R_b = 298k\Omega$

6. ดีซีโวลต์มิเตอร์มี $S = 20k\Omega/V$ ตั้งย่านวัด 15V และ 50V วัดแรงดันไฟฟ้าของ R_1 ในวงจรอนุกรมมี $E = 20V$, $R_1 = R_2 = 500k\Omega$ ดังรูปที่ 4.7 (ก) จงคำนวณหา
   ก) ค่าแรงดันไฟฟ้าที่วัดด้วยแต่ละย่านวัด
   ข) ค่าความถูกต้องจากการวัด
   ค) ค่าความผิดพลาดจากการวัด

7. วงจรอนุกรมมี $E = 20V$, $R_1 = R_2 = 500k\Omega$ ดังรูปที่ 4.7 (ก) ถ้าต้องการวัดแรงดันไฟฟ้าของ R_2 ให้ได้ค่า Accuracy = 99% จะต้องเลือกใช้โวลต์มิเตอร์ที่มี R_{in} เท่าไร

8. จากรูปที่ 4.7 (ก) ถ้าแรงดันไฟฟ้าจริงของ $R_2 = 10V$ ถ้าใช้โวลต์มิเตอร์ที่มี Sensitivity 20k Ohms per Volt วัดแรงดันไฟฟ้าของ R_2 ด้วยย่านวัด 5V, 15V, 50V ตามลำดับ อยากทราบว่าแต่ละย่านวัดจะอ่านค่าแรงดันไฟฟ้าของ R_2 ได้เท่าไร



รูปที่ 4.7

9. ดีซีโวลต์มิเตอร์ตัวหนึ่งมี Sensitivity 20kΩ per Volt นำไปวัดแรงดันไฟฟ้าของ R_4 ในรูปที่ 4.7 (ข) โดยตั้งย่านวัด 30V จงคำนวณหา
   ก) แรงดันไฟฟ้าที่มิเตอร์อ่านค่าได้
   ข) Percent Loading Error และ Percent Accuracy

10. จากวงจรรูปที่ 4.7 (ข) ถ้าต้องการวัดแรงดันไฟฟ้าของ R_4 ให้ได้ Error = 5% จะต้องเลือกดีซีโวลต์มิเตอร์ที่มี R_{in} เท่าไร

11. โวลต์มิเตอร์ตัวหนึ่งมี $S = 20k\Omega/V$ ให้นำไปวัดแรงดันไฟฟ้าของ R_2 ในวงจรอนุกรมที่มี $R_1 = 30k\Omega$, $R_2 = 60k\Omega$ ดังรูปที่ 4.7 (ค) ถ้าตั้งย่านวัด 5V และอ่านค่าได้ 5V จงคำนวณหาค่าแรงดันไฟฟ้า E ที่ป้อนให้วงจร

12. วงจรอนุกรมมี $E = 20V$, $R_1 = R_2 = 20k\Omega$ ดังรูปที่ 4.7 (ง) วัดแรงดันไฟฟ้าของ R_2 ด้วยดีซีโวลต์มิเตอร์ที่มี $S = 1k\Omega/V$ อ่านค่าได้ 5V ถ้าโวลต์มิเตอร์มีย่านวัด 1V, 3V, 5V, 10V, 30V, 100V และ 300V อยากทราบว่าจะวัดด้วยย่านวัดอะไร

13. โวลต์มิเตอร์มี $S = 100\Omega/V$, Range = 50V วัดแรงดันไฟฟ้าของ R_2 ได้ 4.65V ในวงจรอนุกรมที่มี $E = 100V$, $R_1 = 100k\Omega$ จงคำนวณหาค่าของ R_2

14. จงคำนวณหาค่าแรงดันไฟฟ้าที่อ่านได้และค่าความผิดพลาดจากการวัดด้วยดีซีโวลต์มิเตอร์เมื่อตั้งย่านวัด 3V, 10V และ 30V ไปวัดแรงดันไฟฟ้าของ R_2 ในวงจรอนุกรมมี $E = 30V$, $R_1 = 36k\Omega$, $R_2 = 4k\Omega$ ถ้าโวลต์มิเตอร์มี $S = 20k\Omega/V$