

บทที่ 4

ดิซีโวลต์มิเตอร์และการขยายย่านวัด

โวลต์มิเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง (Direct Current Voltmeter) หรือที่เรียกว่าโวลต์มิเตอร์เป็นเครื่องมือวัดปริมาณแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง ซึ่งจัดเป็นเครื่องมือวัดแบบแอนะล็อกหรือที่เรียกว่าเครื่องมือวัดแบบเข็ม เช่นเดียวกับดิซีแอมมิเตอร์โดยจะมีการใช้ขดลวดเคลื่อนที่แบบคาร์สันวัลต์เหมือนกับดิซีแอมมิเตอร์ การวัดแรงดันไฟฟ้าจะมีการต่อในลักษณะขนานกับโหลดที่ต้องการที่จะทราบค่าของปริมาณแรงดัน และต้องให้ขั้วของดิซีโวลต์มิเตอร์เหมือนกับศักย์ไฟฟ้าที่จุดที่ต้องการจะวัดด้วย ถ้าไม่เช่นนั้นจะทำให้ดิซีโวลต์มิเตอร์เสียหายได้

4.1 ความไวกระแสไฟฟ้า (Current Sensitivity : S)

ขดลวดเคลื่อนที่แบบคาร์สันวัลต์จะพันด้วยเส้นลวดตัวนำที่มีขนาดเล็กมากเพื่อให้มีน้ำหนักเบาและจะทำให้ขดลวดนั้นมีความต้านทานภายใน (Moving Coil Resistance : R_m) เมื่อมีกระแสไฟฟ้าไหลผ่านขดลวดจนเข็มมิเตอร์เบี่ยงเบนเต็มสเกล (Full Scale Deflection : FSD) จะเรียกกระแสไฟฟ้าเต็มสเกล (Full Scale Current : I_{fs}) เมื่อมีกระแสไหลผ่านเข้าไปในขดลวดก็จะเกิดแรงดันไฟฟ้าขดลวด (Moving Coil Voltage : V_m) ตกคร่อมหรือแรงดันไฟฟ้าเต็มสเกล (Full Scale Voltage : V_{fs})

ค่ากระแสไฟฟ้าเต็มสเกลของขดลวดเคลื่อนที่นี้ จะเป็นส่วนกลับของความไวกระแสไฟฟ้า (Current Sensitivity : S) มีหน่วยเป็นโอห์ม/โวลต์ (Ω/V) เครื่องวัดไฟฟ้าที่มีค่าความไวต่างกันเมื่อนำไปวัดปริมาณแรงดันไฟฟ้าเดียวกันจะทำให้ผลการวัดต่างกัน โดยที่เครื่องมือวัดไฟฟ้าที่มีค่าความไวที่สูงจะวัดค่าได้แม่นยำกว่าเครื่องมือวัดไฟฟ้าที่มีค่าความไวต่ำกว่า เช่น กระแสไฟฟ้าเต็มสเกล $50\mu A$ จะมีค่าความไวมากกว่ากระแสไฟฟ้าเต็มสเกล $100\mu A$ ค่าความไวของกระแสไฟฟ้าสามารถหาได้จาก

$$S = \frac{1}{I_{fs}} = \frac{1}{I_m}$$

เมื่อ

S	คือความไวกระแสไฟฟ้า Ω/V
I_{fs}	คือกระแสไฟฟ้าเต็มสเกล (A)
I_m	คือกระแสไฟฟ้าขดลวด (A)

ความไวกระแสไฟฟ้าจะหาได้จากขดลวดหรือแรงดันไฟฟ้าเต็มสเกลดังนี้

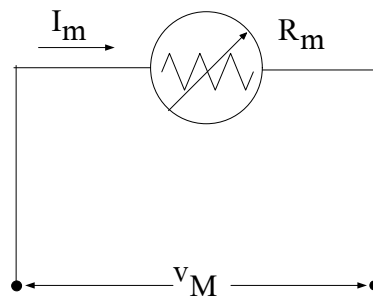
$$S = \frac{R_m}{V_m} = \frac{R_m}{V_{fs}} = \frac{\Omega}{V} = \Omega/V$$

เมื่อ

- S คือความไวกระแสไฟฟ้า (Ω/V)
- R_m คือความต้านทานภายในของขดลวด (Ω)
- V_m คือแรงดันไฟฟ้าขดลวด (V)
- V_{fs} คือแรงดันไฟฟ้าเต็มสเกล (V)

4.2 วงจรโวลต์มิเตอร์ (Circuit of Moving Coil)

การบ้ายเบนของเครื่องวัดจะขึ้นอยู่กับจำนวนกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านขดลวดเคลื่อนที่ กระแสที่ขดลวดจะเป็นสัดส่วนโดยตรงกับแรงดันที่ตกคร่อมขดลวด ดังนั้นสเกลแรงดันสามารถที่จะปรับแต่งได้ (Calibrated) เนื่องจากความต้านทานขดลวดที่มีขนาดเล็กและแรงดันตกคร่อมขดลวดจึงมีไม่มาก จึงสามารถใช้วัดแรงดันได้ค่าต่ำๆ แต่ถ้าต้องการขยายย่านวัดให้สูงขึ้นก็สามารถที่จะทำได้โดยการต่อตัวต้านทานอนุกรมเข้ากับเครื่องวัด ความต้านทานที่ต่ออนุกรมนี้เรียกว่าความต้านทานตัวคูณ (Multiplier resistance)



ภาพที่ 4.1 แสดงวงจรเทียบเท่าของขดลวดเคลื่อนที่

เมื่อ

- V_m คือแรงดันไฟฟ้าขดลวด (V)
- I_{fs} คือกระแสไฟฟ้าเต็มสเกล (A)
- I_m คือกระแสไฟฟ้าขดลวด (A)

R_m คือความต้านทานของขดลวด (Ω)

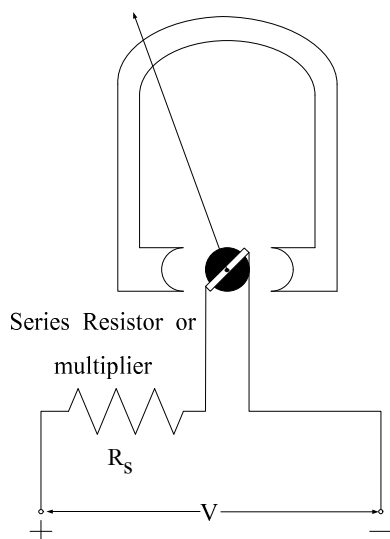
4.3 การขยายย่านวัดของโวลต์มิเตอร์ (Extension of Range)

การขยายย่านวัดของขดลวดเคลื่อนที่ให้เป็นดิซีโวลต์มิเตอร์มี 2 วิธีคือ

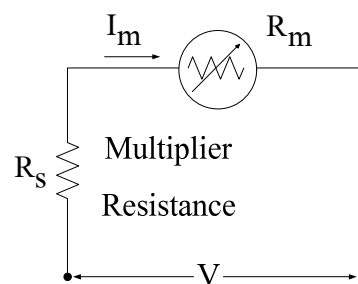
1. การขยายย่านวัดแบบซิงเกิลหรืออินดิวิดวล (Single or Individual Type)
2. การขยายย่านวัดแบบยูนิเวอร์แซล (Universal Type)

4.3.1 การขยายย่านวัดแบบซิงเกิลหรืออินดิวิดวล (Single or Individual Type)

ในการขยายย่านวัดของโวลต์มิเตอร์แบบอินดิวิดวลนั้น จะใช้หลักการของวงจรอนุกรม (Series Circuit) หรืออาจเรียกว่าตัวต้านทานอนุกรม (R_s) โดยจะต่ออนุกรมกับขดลวดเคลื่อนที่เพื่อทำการลดแรงดันไฟฟ้าให้เหลือไปตกคร่อมบนขดลวดให้ได้กระแสไฟฟ้าเต็มสเกลเท่าเดิมซึ่งดิซีโวลต์มิเตอร์หลายย่านวัดแบบอินดิวิดวล นั้นแต่ละย่านวัดจะมีตัวต้านทานอนุกรมแยกเป็นอิสระต่อกัน



ก) โครงสร้างของดิซีโวลต์มิเตอร์



ข) วงจรดิซีโวลต์มิเตอร์

ภาพที่ 4.2 การขยายย่านวัดของดิซีโวลต์มิเตอร์

เมื่อกระแสไฟฟ้าขดลวด I_m หรือ I_{fs} ไหลผ่านขดลวดเคลื่อนที่จะทำให้เกิดแรงดันไฟฟ้าตกคร่อมขดลวด V_m จากหลักการของวงจรไฟฟ้าแบบอนุกรมจะได้สมการ

$$V = I_m R_s + I_m R_m$$

$$R_s = \frac{1}{I_m} \times V - R_m$$

ถ้าให้ $V = \text{Range}$ แทนใน $R_s = \frac{1}{I_m} \times V - R_m$

จะได้ว่า $R_s = \frac{1}{I_m} \times \text{Range} - R_m$

แทน $S = \frac{1}{I_m} = \frac{1}{I_{fs}}$ ใน $R_s = \frac{1}{I_m} \times \text{Range} - R_m$

จะได้ว่า

$$R_s = S \times \text{Range} - R_m$$

สรุป

$$R_s = \frac{V}{I_m} - R_m$$

$$R_s = \frac{\text{Range}}{I_m} - R_m$$

$$R_s = S \times \text{Range} - R_m$$

เมื่อ

R_s คือตัวต้านทานอนุกรม Ω

S คือความไวกระแสไฟฟ้า Ω/V

Range, V คือแรงดันไฟฟ้าของย่านวัด V

I_m กระแสไฟฟ้าขดลวด A

R_m คือความต้านทานขดลวด Ω

ตัวอย่างที่ 4.1 จงคำนวณหาค่าตัวต้านทานอนุกรมของย่านวัด 5V ,20V , 50V ของดีซีโวลต์มิเตอร์แบบหลายย่านวัด โดยขดลวดเคลื่อนที่มีค่าความต้านทาน $1K\Omega$ กระแสไฟฟ้าเต็มสเกล $50\mu A$

หาค่าความไวกระแสไฟฟ้า

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

ย่านวัด 5V หาค่า R_{s1}

$$R_{s1} = S \times \text{Range} - R_{in}$$

$$R_{s1} = 20 \frac{K\Omega}{V} \times 5V - 1K\Omega$$

$$R_{s1} = 99K\Omega$$

ย่านวัด 20 V หาค่า R_{s2}

$$R_{s2} = S \times \text{Range} - R_{in}$$

$$R_{s2} = 20 \frac{K\Omega}{V} \times 20V - 1K\Omega$$

$$R_{s2} = 399K\Omega$$

ย่านวัด 50V หาค่า R_{s3}

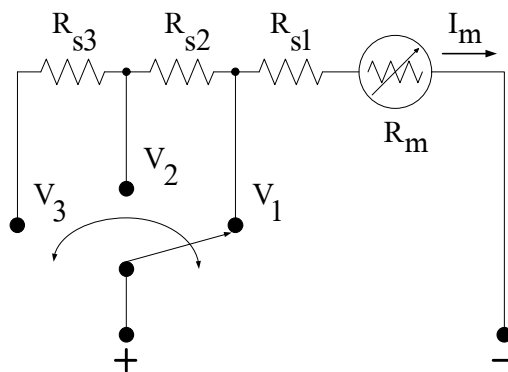
$$R_{s3} = S \times \text{Range} - R_{in}$$

$$R_{s3} = 20 \frac{K\Omega}{V} \times 50V - 1K\Omega$$

$$R_{s3} = 999K\Omega$$

4.3.2 การขยายย่านวัดแบบยูนิเวอร์แซล (Universal Type)

การขยายย่านวัดโวลต์มิเตอร์แบบยูนิเวอร์แซลจะใช้ค่าความต้านทานต่อในลักษณะอนุกรมร่วมกัน ตั้งแต่ย่านวัดต่ำสุดต่อเนื่องกันจนกระทั่งถึงย่านวัดสูงสุด แต่จะมีข้อเสียตรงที่ถ้าย่านวัดต่ำความต้านทานอนุกรมเสียหายจะทำให้ตั้งแต่ย่านวัดนี้เสียหายตามไปด้วย ส่วนข้อดีก็คือจะทำให้ไม่มีปัญหาการหาค่าความต้านทานอนุกรมที่คำนวณได้ แม้จะเป็นย่านวัดสูงสุดก็ตามเพราะจะใช้ความต้านทานอนุกรมร่วมกับทุกย่านวัดต่อเนื่องกัน



ภาพที่ 4.3 วงจรดีซีโวลต์มิเตอร์แบบยูนิเวอร์แซล (Universal Type)

จากภาพที่ 4.3 สามารถที่จะเขียนสมการได้ดังนี้

ที่ย่านการวัด V_1 หาค่าของ R_{s1}

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

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

$$R_{s1} = \frac{(V_1 - I_m R_m)}{I_m}$$

$$R_{s1} = \frac{1}{I_m} (V_1 - I_m R_m)$$

ที่ย่านการวัด V_2 หาค่าของ R_{s2}

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

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

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

ที่ย่านการวัด V_3 หาค่าของ R_{s3}

$$V_3 = I_m (R_{s3} + R_{s2} + R_{s1} + R_m)$$

$$R_{s3} = \frac{V_3}{I_m} - (R_{s2} + R_{s1} + R_m)$$

ตัวอย่างที่ 4.2 จากภาพที่ 4.3 กำหนดให้ $V_1 = 3V$, $V_2 = 10V$ และ $V_3 = 30V$ ขดลวดเคลื่อนที่มีค่าความต้านทาน $1K\Omega$ กระแสไฟฟ้าเต็มสเกล $50\mu A$ จงคำนวณหาค่า R_{s1} , R_{s2} , R_{s3}

ย่านวัด 3V หาค่า R_{s1}

$$R_{s1} = \frac{(V_1 - I_m R_m)}{I_m}$$

$$R_{s1} = \frac{(3V - 50\mu A 1K\Omega)}{50\mu A}$$

$$R_{s1} = 59K\Omega$$

ย่านวัด 10V หาค่า R_{s2}

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

$$R_{s2} = \frac{10V}{50\mu A} - (59K\Omega + 1K\Omega)$$

$$R_{s2} = 140K\Omega$$

ย่านวัด 30V หาค่า R_{s3}

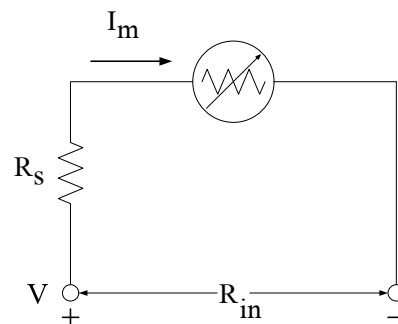
$$R_{s3} = \frac{V_3}{I_m} - (R_{s2} + R_{s1} + R_m)$$

$$R_{s3} = \frac{30V}{50\mu A} - (140K\Omega + 59K\Omega + 1K\Omega)$$

$$R_{s3} = 400K\Omega$$

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

ค่าความต้านทานอินพุตของโวลต์มิเตอร์จะเป็นค่าความต้านทานรวม ของแต่ละย่านวัดทั้งนี้ขึ้นอยู่กับว่าจะเป็นการขยายย่านวัดแบบไหน



ภาพที่ 4.4 ความต้านทานภายในของย่านวัด โวลต์ของดีซีโวลต์มิเตอร์

จากภาพที่ 4.4 เป็นดีซีโวลต์มิเตอร์ที่ย่านวัด V พิจารณาค่าความต้านทานภายในของย่านวัดได้ดังนี้

$$V = I_m R_m = I_m (R_m + R_s)$$

เมื่อ

$$R_{in} = R_s + R_m$$

$$V = I_m R_{in}$$

$$R_{in} = \frac{V}{I_m}$$

$$R_{in} = S \times \text{Range}$$

ตัวอย่างที่ 4.3 จากภาพที่ 4.4 เมื่อ $V = 3V$ กระแสเต็มสเกลมีค่าเท่ากับ $50\mu A$ และขดลวดเคลื่อนที่มีค่าความต้านทาน $1K\Omega$

จากสมการที่ว่า $R_{in} = S \times \text{Range}$

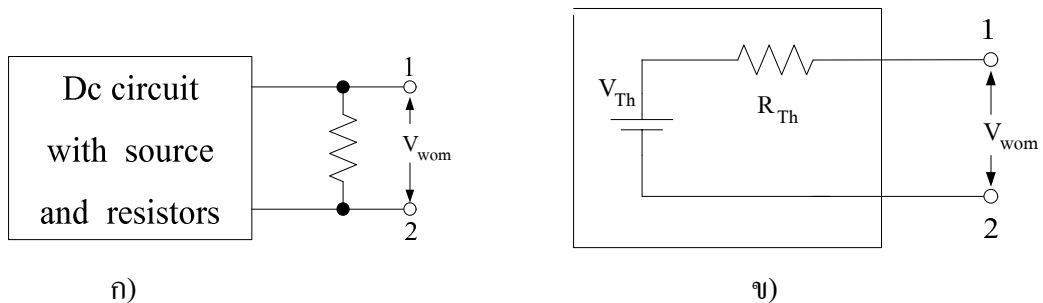
แทนค่า $R_{in} = \frac{1}{50\mu A} \times 3V$

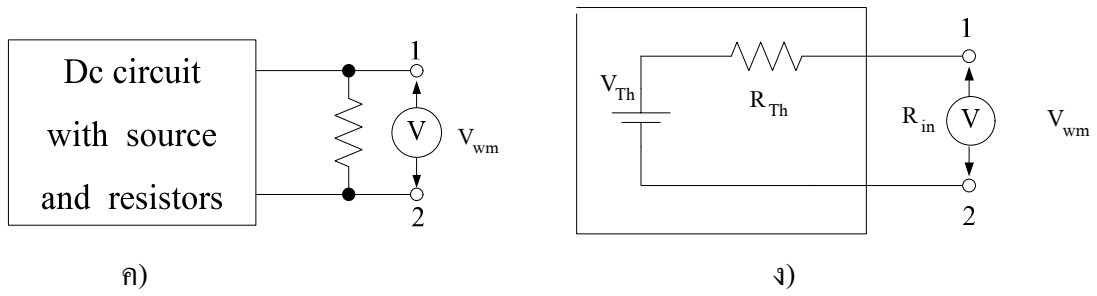
$$R_{in} = 60K\Omega$$

4.5 ผลการโหลดของโวลต์มิเตอร์ (Voltmeter Loading Effect)

เมื่อนำโวลต์มิเตอร์วัดแรงดันไฟฟ้าจะต้องนำโวลต์มิเตอร์ต่อในลักษณะขนานกับโหลดที่ต้องการทราบค่าแรงดัน เมื่อทำการวัดจะทำให้เกิดการรวมความต้านทานแบบวงจรรวมระหว่างความต้านทานภายในของโวลต์มิเตอร์กับค่าความต้านทานของโหลด จะทำให้ค่าของแรงดันที่อ่านได้มีค่าต่ำกว่าแรงดันไฟฟ้าจริงเรียกการเกิดลักษณะนี้ว่า ผลการโหลดของโวลต์มิเตอร์

ค่าความผิดพลาดจากการโหลดของโวลต์มิเตอร์จะมากหรือน้อยเพียงใดนั้นจะขึ้นอยู่กับความต้านทานภายในของโวลต์มิเตอร์ของย่านวัด กับความต้านทานเทียบเท่าเทวินินของวงจรว่าแตกต่างกันมากน้อยเพียงใด





ภาพที่ 4.5 แสดงวงจรเทียบเท่าเทวินินเมื่อวัดด้วยมิเตอร์

จากภาพที่ 4.5 ข) เมื่อไม่วัดด้วยมิเตอร์จะได้ว่า

$$V_{wom} = V_{Th}$$

จากวงจรเทียบเท่าเนวินินเมื่อวัดด้วยมิเตอร์จากภาพที่ 5.4 ข)

$$V_{wn} = \frac{V_{Th}}{R_{in} + R_{Th}} \times R_{in}$$

ค่าความถูกต้องจากการวัดคือ

$$\text{Accuracy} = \frac{V_{wm}}{V_{wom}} = \frac{R_{in}}{R_{in} + R_{Th}}$$

เปอร์เซ็นต์ค่าความถูกต้องจากการวัดคือ

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

$$\% \text{Acc} = \frac{R_{in}}{R_{in} + R_{Th}} \times 100\%$$

เปอร์เซ็นต์ค่าความผิดพลาดจากการวัดคือ

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

$$\%Error = \left| \frac{V_{wom} - V_{wm}}{V_{wom}} \right| \times 100\%$$

เมื่อ

Accuracy คือ ความถูกต้องจากการวัด

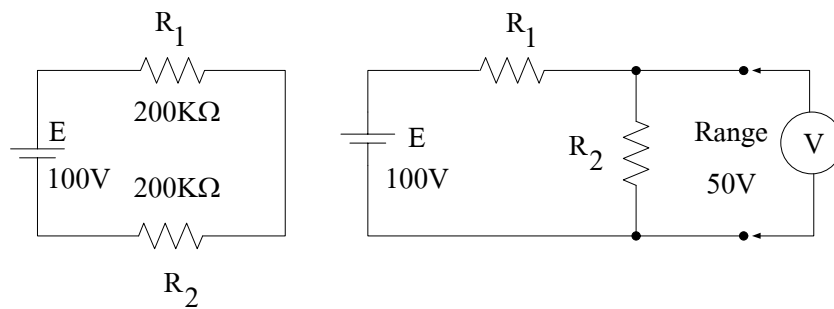
Error คือ ความผิดพลาดจากการวัด

V_{wom} คือ แรงดันไฟฟ้าที่ไม่ต่อมิเตอร์ (V)

V_{wm} คือ แรงดันไฟฟ้าเมื่อวัดด้วยมิเตอร์ (V)

ตัวอย่างที่ 4.4 โวลต์มิเตอร์มีความไวกระแสไฟฟ้า $20K\Omega/V$ ตั้งย่านวัด $50V$ วัดแรงดันตกคร่อม R_2 ในวงจร จงคำนวณหา

- ก) แรงดันไฟฟ้าที่อ่านได้
- ข) ค่าความถูกต้องจากการวัด
- ค) ค่าความผิดพลาดจากการวัด



ภาพที่ 4.6 วงจรอนุกรมตัวต้านทาน 2 ตัว และวงจรเทียบเท่าเทวินิน

หา V_{Th}, R_{Th}, R_{in}

$$V_{TH} = V_{wom} = \frac{E}{R_1 + R_2} \times R_2$$

$$V_{Th} = \frac{100V}{200K\Omega + 200K\Omega} \times 200K\Omega$$

$$V_{Th} = 50V$$

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

$$R_{Th} = 100K\Omega$$

$$R_{in} = S \times Range = 20 \frac{K\Omega}{V} \times 50V$$

$$R_{in} = 1M\Omega$$

ก) แรงดันไฟฟ้าที่อ่านได้ (V_{wm})

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

$$V_{wm} = \left(\frac{1M\Omega}{1M\Omega + 100K\Omega} \right) \times 50V$$

$$V_{wm} = 45.45V$$

ข) หาค่าความถูกต้องจากการวัด

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

$$Accuracy = \frac{45.45V}{50V}$$

$$Accuracy = 0.909 = 90.9\%$$

ค) ค่าความผิดพลาดจากการวัด

$$\text{Error} = 1 - \text{Acc}$$

$$\text{Error} = 1 - 0.909$$

$$\text{Error} = 0.091 = 9.1\%$$

การเลือกใช้โวลต์มิเตอร์วัดแรงดันไฟฟ้าให้ได้ค่าความถูกต้องจากการวัดสูงสุดนั้น จะพิจารณาว่าค่าความต้านทานภายในของโวลต์มิเตอร์ (R_{in}) ของย่านวัดนั้นจะมีค่ามากกว่าค่าความต้านทานเทียบเท่าเทวินิน (R_{Th}) ของวงจรที่วัดค่าเป็นกี่เท่า ถ้ามีค่ามากกว่าจะทำให้วัดค่ามีความถูกต้องมากตามไปด้วย

4.6 สรุป

โวลต์มิเตอร์เป็นเครื่องมือวัดปริมาณแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง ซึ่งจัดเป็นเครื่องมือวัดแบบแอนะล็อกหรือที่เรียกว่าเครื่องมือวัดแบบเข็ม เช่นเดียวกับดีซีแอมมิเตอร์โดยจะมีการใช้ขดลวดเคลื่อนที่แบบคาร์สันวัลเหมือนกับดีซีแอมมิเตอร์ การวัดแรงดันไฟฟ้าจะมีการต่อในลักษณะขนานกับโหลดที่ต้องการที่จะทราบค่าของปริมาณแรงดัน และต้องให้ขั้วของดีซีโวลต์มิเตอร์เหมือนกับศักย์ไฟฟ้าที่จุดที่ต้องการจะวัดด้วย ถ้าไม่เช่นนั้นจะทำให้ดีซีโวลต์มิเตอร์เสียหายได้

การขยายย่านวัดของโวลต์มิเตอร์มี 2 วิธีคือ การขยายย่านวัดแบบซิงเกิลหรืออินดิวิดวล (Single or Individual Type) และการขยายย่านวัดแบบยูนิเวอร์แซล (Universal Type) การขยายย่านวัดแบบซิงเกิลหรืออินดิวิดวล คือจะมีการนำเอาตัวต้านทานมาต่ออนุกรมกับขดลวดเคลื่อนที่เพื่อลดแรงดันไฟฟ้าให้เหลือไปตกคร่อมบนขดลวดให้ได้กระแสไฟฟ้าเต็มสเกลเท่าเดิม ในแต่ละย่านวัดจะต่อตัวต้านทานอนุกรมแยกเป็นอิสระต่อกัน การขยายย่านวัดแบบยูนิเวอร์แซลจะใช้ตัวต้านทานอนุกรมร่วมกันตั้งแต่ย่านต่ำสุดต่อเนื่องกันจนกระทั่งถึงย่านวัดสูงสุด แต่จะมีข้อเสียตรงที่ว่าถ้าย่านวัดค่าความต้านทานอนุกรมเสียหายจะทำให้ตั้งแต่ย่านวัดนี้เสียหายตามไปด้วย ส่วนข้อดีก็คือจะทำให้ไม่มีปัญหาการหาความต้านทานอนุกรมร่วมกันกับทุกย่านวัดต่อเนื่องกัน