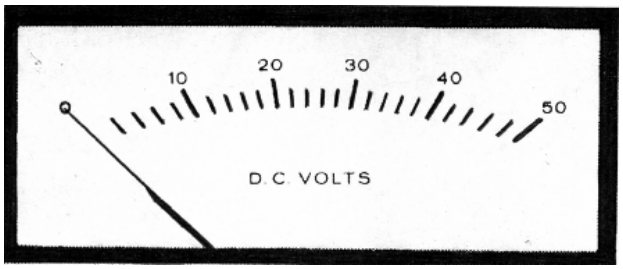
2.2.2 การขยายพิสัยวัดแรงดันไฟฟ้า

เครื่องมือวัดแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง

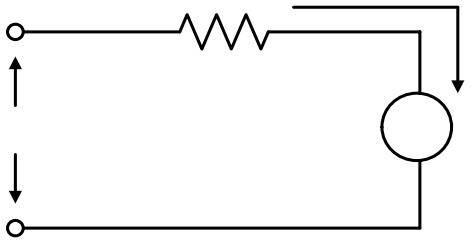
เครื่องมือวัดแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง (ดีซี โวลต์มิเตอร์: ดีซี โวลต์มิเตอร์) ก็คือ เครื่องมือวัดกระแสไฟฟ้า ((ดีซี โวลต์มิเตอร์: DC Ammeter) ที่ดัดแปลงวงจร และปรับแต่งหน้าปัดให้สามารถวัดแรงดันไฟกระแสตรง และสามารถอ่านค่าเป็นแรงดันได้เลย โดยมีขั้วกำกับเป็นบวกและลบ ในการวัดแรงดันไฟฟ้าในวงจร



รูปที่ 2.33 เครื่องมือวัดแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง (ดีซี โวลต์มิเตอร์)

การเปลี่ยนเครื่องมือวัดกระแสไฟฟ้ากระแสตรงเป็นเครื่องมือวัดแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง

เครื่องมือวัดแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง สามารถสร้างขึ้นได้โดยการต่อความต้านทานอนุกรมกับ เครื่องมือวัดกระแสไฟฟ้ากระแสตรง และสร้างสเกลสำหรับอ่านค่าแรงดันไฟฟ้า ที่ตกคร่อมแอมมิเตอร์ดังรูปที่ 2.34



รูปที่ 2.34 วงจรเบื้องต้นของเครื่องมือวัดแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง

จากรูปที่ 2.43 กำหนดให้

R_T = ความต้านทานทั้งหมดของวงจรเครื่องมือวัดแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง (□)

E_{fs} = แรงดันไฟฟ้าของพิสัยวัด (Voltage Fullscale) (V)

I_{fs} = กระแสไฟฟ้าที่ทำให้เข็มเบี่ยงเบนเต็มสเกลหรือกระแสที่ไหลผ่านวงจรเครื่องมือวัดแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง (A)

R_m = ความต้านทานภายในของแอมป์มิเตอร์ (Ω)

R_s = ตัวต้านทานที่ต่ออันดับ มีหน่วยเป็นโอห์ม (Ω)

จากรูปที่ 2.34 การวัดแรงดันที่สูงขึ้นย่อมจะทำให้มีกระแสไหลผ่านมิเตอร์มากขึ้น เข็มมิเตอร์จะเบี่ยงเบนไปมากขึ้น ดังนั้นถ้าต้องการทำให้มิเตอร์ตัวเดิมวัดแรงดันได้สูงขึ้น จะต้องนำความต้านทานมาต่ออันดับ เพื่อจำกัดกระแสที่ไหลผ่านมิเตอร์ พิจารณาจากรูปที่ 2.34 จะได้ว่า

$$E_{fs} = R_T \times I_{fs} \quad (2\text{-}44)$$

$$\mathbf{R_T} = R_s + R_m \quad (2\text{-}45)$$

แทน สมการ 2-45 ในสมการ 2.44 จะได้

$$\therefore \quad E_{fs} = (R_s + R_m) \times I_{fs} \quad (2\text{-}46)$$

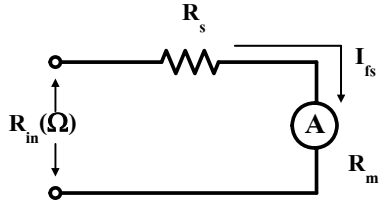
จากสมการ 2-46 แสดงให้เห็นว่าค่าแรงดันจะมีความสัมพันธ์กับค่ากระแส เช่นถ้า (R_s+R_m) มีค่าเท่ากับ 10 KΩ กระแสเท่ากับ 1 mA ค่าแรงดันจะมีค่าเท่ากับ 10V ดังนั้น เราจึงสามารถสร้างสเกลเพื่ออ่านค่า แรงดันได้โดยการเปรียบเทียบค่าของกระแสที่ไหลในวงจร

เมื่อให้ค่ากระแสเท่ากับ Fullscale Current (I_{fs}) ค่า R_s จะต้องมีค่าที่จะให้ได้ แรงดันอ่านได้ สูงสุดพอดีนั้นเอง

เมื่อ I_{fs} คือค่า แรงดันเมื่อกระแส Fullscale จากสมการ 2-46 นี้สามารถหาค่า R_s ได้

$$R_s = \left(\frac{E_{fs}}{I_{fs}}\right) - R_m \quad (\square) \quad (2.47)$$

Input Resistance ของ ดีซี โวลต์มิเตอร์



รูปที่ 2.35 Input Resistance ของ ดีซี โวลต์มิเตอร์

จากรูปที่ 2.35 เป็นวงจร ดีซี โวลต์มิเตอร์ แบบง่ายๆจะเห็นว่าความต้านทาน Input คือค่าความต้านทาน R_s ที่ต่ออันดับกับความต้านทาน R_m ดังนั้น

$$R_{in} = R_s + R_m \quad (\Omega)$$

เมื่อเรามีวงจร โวลต์มิเตอร์ก็สามารถหาค่า R_s และเมื่อนำค่า R_s มารวมกับค่า R_m ก็สามารถทราบค่า Input Resistance ของโวลต์มิเตอร์ได้

ดีซี โวลต์มิเตอร์ ในแต่ละ พิสัยเราสามารถหาค่า R_{in} ได้จากวงจร ดีซี โวลต์มิเตอร์ ดังนี้

$$R_s = \frac{E_{fs}}{I_{fs}} - R_m \quad (\Omega)$$

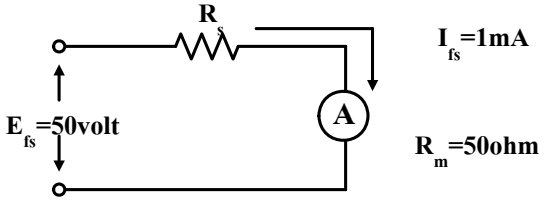
$$R_{in} = R_s + R_m \quad (\Omega)$$

$$\therefore \quad R_{in} = \frac{E_{fs}}{I_{fs}} \quad (\Omega)$$

เมื่อ E_{fs} = แรงดันไฟฟ้าของพิสัยการวัด (Voltage Fullscale)

I_{fs} = กระแสไฟฟ้าที่ทำให้เข็มเบี่ยงเบนเต็มสเกล (Current Fullscale)

ตัวอย่างที่ 2.14_เครื่องมือวัดกระแสไฟฟ้ากระแสตรงตัวหนึ่ง มีค่า I_{fs} = 1 mA , R_m = 50 Ω ต้องการมาทำเป็น โวลต์มิเตอร์ที่สามารถวัดแรงดันได้ถึง 50 Volt Fullscale จงคำนวณหาค่า R_s ที่จะมาต่อในวงจร



รูปที่ 2.36

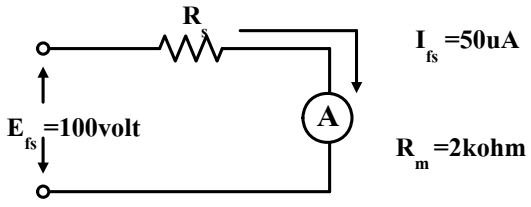
วิธีทำ

จากสมการที่ (2-47) $$R_s = \left(\frac{E_{fs}}{I_{fs}}\right) - R_m \quad (\Omega)$$

แทนค่า $$R_s = \left(\frac{50\,V}{1mA}\right) - 50 \quad (\Omega)$$

$$R_s = 50\ k\Omega - 50\ \Omega = 49.995\ k\Omega$$ **ตอบ**

ตัวอย่างที่ 2.15 ต้องการเปลี่ยนเครื่องมือวัดกระแสไฟฟ้ากระแสตรงตัวหนึ่ง ที่มีค่า $I_{fs} = 50\ \mu A$, $Rm = 2\ k\Omega$ เป็นโวลต์มิเตอร์ที่สามารถวัดแรงดันได้ถึง 100 Volt Fullscale จงคำนวณหาค่า R_s ที่จะนำมาต่อในวงจร



รูปที่ 2.37

<u>วิธีทำ</u>

จากสมการที่ (2-47) $R_s = \left(\frac{E_{fs}}{I_{fs}}\right) - Rm$ (□)

แทนค่า $R_s = \left(\frac{100V}{50\mu A}\right) - 2k$ (□)

$R_s = 2\ M\Omega - 2\ k\Omega = 1.998\ M\Omega$ หรือ $2\ M\Omega$

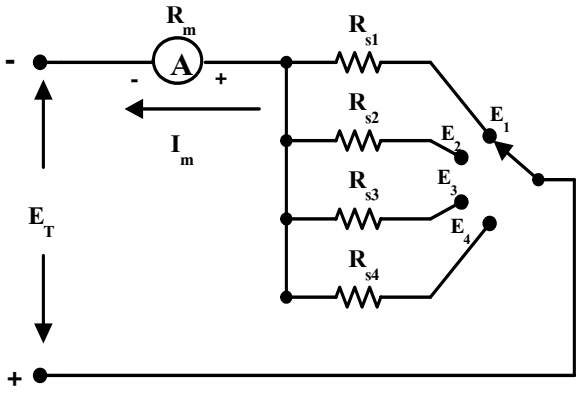
การขยายพิสัยวัดของ เครื่องมือวัดแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง

เนื่องจากเครื่องมือวัดแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงแบบพื้นฐานนั้นสามารถวัดแรงดันที่มีค่าต่ำๆไม่สามารถนำไปใช้ในพิสัยวัดสูงๆได้แต่เนื่องจากในทางปฏิบัติจริงนั้นแรงดันที่จะวัดนั้นมักจะมีแรงดันค่อนข้างสูง ดังนั้นจึงจำเป็นต้องมีการขยายพิสัยวัดให้กับเครื่องมือวัดแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงเพื่อให้สามารถนำมิเตอร์แบบพื้นฐาน ไปใช้ในการวัดแรงดันที่มีค่าสูงได้ การขยายพิสัยการวัดของเครื่องมือวัดแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงมี 2 วิธีคือ

1. โวลต์มิเตอร์แบบใช้ตัวต้านทานแยกกัน (Individual Voltmeter)
2. โวลต์มิเตอร์แบบใช้ตัวต้านทานร่วมกัน (Universal Voltmeter)

1. โวลต์มิเตอร์แบบใช้ตัวต้านทานแยกกัน (Individual Voltmeter)

ทำได้โดยการนำเอาความต้านทาน R_s มาทำการต่อกับเครื่องมือวัดกระแสไฟฟ้ากระแสตรงตาม จำนวนพิสัยที่ทำการขยาย การเปลี่ยนพิสัยวัดทำโดยการใช้ สวิชต์ร่วมในการเปลี่ยนพิสัยวัดดังรูป



รูปที่ 2.38

จากรูปที่ 2.38 การหาค่า R_s ในพิสัยวัด (Range) สามารถหาได้จากสมการ

$$R_s = \left[\frac{E_{fs}}{I_{fs}}\right] - Rm \qquad (\Omega)$$

ที่พิสัยวัด E_1;

$$R_{s1} = \left[\frac{E_1}{I_{fs}}\right] - Rm \qquad (\Omega)$$

ที่พิสัยวัด E_2;

$$R_{s2} = \left[\frac{E_2}{I_{fs}}\right] - Rm \qquad (\Omega)$$

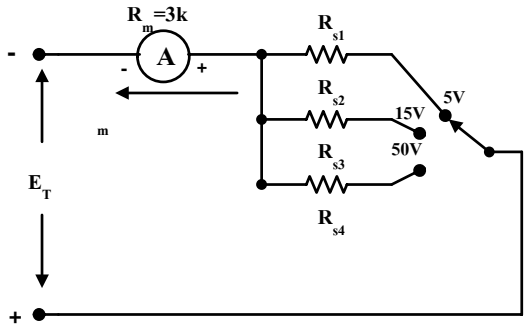
ที่พิสัยวัด E_3;

$$R_{s3} = \left[\frac{E_3}{I_{fs}}\right] - Rm \qquad (\Omega)$$

ที่พิสัยวัด E_4;

$$R_{s4} = \left[\frac{E_4}{I_{fs}}\right] - Rm \qquad (\Omega)$$

ตัวอย่างที่ 2.16 เครื่องมือวัดแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงที่มีหลายพิสัยการวัดมีค่ากระแสไฟฟ้าและความต้านทานในส่วนที่เคลื่อนไหวขณะเข็มเบี่ยงเบนเต็มสเกล 50 μAและ3 kΩ ถ้าต้องการขยายพิสัยการวัดเป็น 5 Volt, 15 Volt และ 50 Volt จงหาความต้านทานซึ่งต้องนำมาต่ออนุกรมกับเครื่องวัดที่พิสัยการวัดต่างๆ



รูปที่ 2.39

วิธีทำ

จากสมการ $R_s = \left[\frac{E_{fs}}{I_{fs}}\right] - R_m \quad (\Omega)$

ที่พิสัยการวัด 5 Volt:

$$R_{s1} = \left[\frac{5V}{50\mu A}\right] - 3\ k\Omega$$

$$R_{s1} = 97\ k\Omega$$

$I = 50\mu A$

ที่พิสัยการวัด 15 Volt:

$$R_{s2} = \left[\frac{15V}{50\mu A}\right] - 3\ k\Omega$$

$$R_{s2} = 297\ k\Omega$$

ที่พิสัยการวัด 50 Volt:

$$R_{s3} = \left[\frac{50V}{50\mu A}\right] - 3\ k\Omega$$

$$R_{s3} = 997\ k\Omega$$

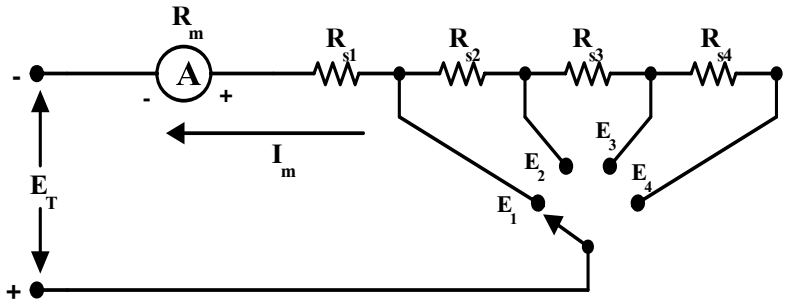
$\therefore$ ที่พิสัยการวัด 5 Volt; $R_s = 97\ k\Omega$

ที่พิสัยการวัด 15 Volt; $R_s = 297\ k\Omega$

ที่พิสัยการวัด 50 Volt; $R_s = 997\ k\Omega$ **ตอบ**

2. แบบใช้ตัวต้านทานร่วมกัน (Universal Voltmeter)

เครื่องมือวัดแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงชนิดนี้ ตัวต้านทานที่นำมาต่อเพื่อจำกัดกระแสในแต่ละพิสัยการวัดนั้นจะต่ออนุกรมทุกตัว แล้วจึงนำมาต่อกับแอมมิเตอร์ ดังรูปที่ 2.40



รูปที่ 2.40

การคำนวณ หาค่าความต้านทานในแต่ละพิสัยนั้นยังคงใช้สมการเดิมของเครื่องมือวัดแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงเพียงแต่ตัวต้านทานอันดับของแต่ละพิสัยวัดนั้น มีจำนวนมากน้อยต่างกัน ยิ่งในพิสัยวัดที่สูงขึ้น ค่าความต้านทาน มากตัวขึ้นเป็นลำดับ สมการที่ใช้หาค่าความต้านทานคือ

$$R_s = \frac{E_{fs}}{I_{fs}} - R_m \qquad (\Omega)$$

การหาค่าความต้านทาน R_S ในแต่ละพิสัยวัด

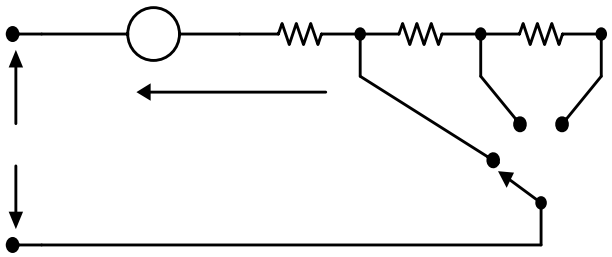
พิสัยเต็มสเกล E_1; $R_{s1} = \frac{E_1}{I_{fs}} - R_m$ (Ω)

พิสัยเต็มสเกล E_2; $R_{s2} = \frac{E_2}{I_{fs}} - (R_m + R_{s1})$ (Ω)

พิสัยเต็มสเกล E_3; $R_{s3} = \frac{E_3}{I_{fs}} - (R_m + R_{s1} + R_{s2})$ (Ω)

พิสัยเต็มสเกล E_4; $R_{s4} = \frac{E_4}{I_{fs}} - (R_m + R_{s1} + R_{s2} + R_{s3})$ (Ω)

ตัวอย่างที่ 2.17 เครื่องมือวัดแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงที่มีหลายพิสัยวัดดังรูปมีค่ากระแสไฟฟ้าและความต้านทานในส่วนที่เคลื่อนไหวขณะเข็มเบี่ยงเบนเต็มสเกล 50 μA และ 3 kΩ จงหาค่าของ R_{S1}, R_{S2} และ R_{S3}



รูปที่ 2.41

วิธีทำ

ที่พิสัยการวัด 5 Volt:

$$R_1 = \left[\frac{5V}{50\mu A}\right] - 3\ k\Omega$$
$$= 100\ k\Omega - 3\ k\Omega$$
$$= 97\ k\Omega$$

ที่พิสัยการวัด15 Volt:

$$R_2 = \left[\frac{15V}{50\mu A}\right] - (3\ k\Omega + 97\ k\Omega)$$
$$= 300\ k\Omega - 100\ k\Omega$$
$$= 200\ k\Omega$$

ที่พิสัยการวัด 50Volt:

$$R_3 = \left[\frac{50V}{50\mu A}\right] - (3\ k\Omega + 97\ k\Omega + 200\ k\Omega)$$
$$= 1\ M\Omega - 300\ k\Omega$$
$$= 700\ k\Omega$$

∴ ที่พิสัยการวัด 5 Volt, R_1 = 97 kΩ

ที่พิสัยการวัด 15 Volt, R_2 = 200 kΩ

ที่พิสัยการวัด 50 Volt, R_3 = 700 kΩ **ตอบ.**

ความไวของเครื่องมือวัดแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง (Sensitivity of Voltmeter)

ความไวของเครื่องมือวัดแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง(Sensitivity) หรือเรียกสั้นๆ ว่าเซนส์ (SENS. : Ω/ V) จะเป็นตัวบอกถึงประสิทธิภาพของเครื่องมือวัดแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงว่า ดีเพียงใด เครื่องมือวัดแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงที่ดีจะต้องมีความไวสูง ตัวที่มีความไวสูงจะยิ่งเป็นเครื่องมือวัดแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงที่ดี เพราะความไวจะเป็นตัวบอกความเที่ยงตรงในการวัด หน่วยของความไวจะเป็นโอห์มต่อโวลต์ (Ω/Volt) และใต้สเกลของเครื่องมือวัดแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงโดยทั่วๆไปแล้วจะบอกอัตราส่วนของ(Ω/Volt) ไว้ จากค่า Sensitivity เราสามารถนำไปคำนวณหาค่า Full scale Current (I_{fs}) ได้จากสมการ

$$S = \frac{1}{I_{fs}} = \frac{1}{A} = \frac{1}{\left(\frac{Volt}{Ohm}\right)} = \frac{Ohm}{Volt}$$

$$I_{fs} = \frac{1}{S} \qquad (2.48)$$

เมื่อ

S = ความไวของเครื่องมือวัดแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง (Sensitivity of DC Voltmeter)มีหน่วยเป็นโอห์ม/โวลต์

I_{fs} = กระแสไฟฟ้าที่ทำให้เข็มของมิเตอร์เบี่ยงเบนเต็มสเกล (Full scale Current)มีหน่วยเป็นแอมป์

จากสมการที่ 2.48 ทำให้ทราบว่า เครื่องมือวัดแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงมีความไวสูงต้องมี I_{fs} ต่ำ ในทางตรงกันข้ามเครื่องมือวัดแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงมีความไวต่ำ ต้องมี I_{fs} สูง

นอกจากนี้การหาค่าความไวของเครื่องมือวัดแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงอาจ พิจารณาจากอัตราส่วนระหว่างความต้านทานรวมของเครื่องมือวัดแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงต่อแรงดันไฟฟ้าที่วัดได้ด้วย

$$R_T = \frac{E_{fs}}{I_{fs}} \qquad \Omega$$

$$S = \frac{R_T}{E_{fs}} \qquad \Omega / V$$

ผลที่ได้จากความไวของเครื่องมือวัดแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงจะได้

1. ทราบประสิทธิภาพของเครื่องมือวัดแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงแต่ละตัว
2. ทราบค่าความต้านทานภายในแต่ละพิสัยวัดขณะใช้เครื่องมือวัดแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง
3. ใช้ในการคำนวณหาค่าความต้านทานที่จะนำมาต่อเพื่อดัดแปลงให้เครื่องมือวัดแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงวัดค่าแรงดันได้สูงขึ้นสมการที่ใช้ในการคำนวณหาความต้านทานคือ

$$R_{RANGE} = E_{RANGE} \times \frac{1}{I_{fs}} = \frac{E_{RANGE}}{I_{fs}} \qquad \Omega$$

$$\therefore \quad R_{RANGE} = E_{RANGE} \times S_{DC} \qquad \Omega \qquad (2\text{-}49)$$

โดยที่ R_{RANGE} คือความต้านทานในย่านวัดของเครื่องมือวัดแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงพิสัยนั้น มีหน่วยเป็นโอห์ม

E_{RANGE} คือแรงดันสูงสุดที่วัดได้ในพิสัยนั้น มีหน่วยเป็นโวลต์

S_{DC} คือความไวของเครื่องมือวัดแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง มีหน่วยเป็นโอห์ม/โวลต์

ตัวอย่างที่ 2.18 มิเตอร์ตัวหนึ่งมีกระแสไหลเต็มสเกล 0 – 50 μA อยากทราบว่ามิเตอร์มีความไวเท่าไร และเมื่อต้องการวัดแรงดันให้ได้ 100 V ต้องมีความต้านทานรวมในวงจรเท่าไร

วิธีทำ

จากสมการที่ (2-48) $S = \frac{1}{I_{fs}}$

$$\therefore \quad S = \frac{1}{50\mu A}$$

$$S = 20\ k\Omega/V$$

จากสมการที่ (2-49) $R_{RANGE} = E_{RANGE} \times S_{DC}$

$$= 100\ V \times 20\ k\Omega/V$$

$$\therefore \quad R_{RANGE} = 2\ M\Omega \qquad \underline{\textbf{ตอบ.}}$$

ตัวอย่างที่ 2.19 เครื่องมือวัดแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงตัวหนึ่งใช้ มิเตอร์ที่ทนกระแสได้สูงสุดเท่ากับ 50 μA , R_m = 3 kΩ จงคำนวณหา ความต้านทานที่ต่ออันดับกับมิเตอร์ที่ย่านการวัด 5 V, 15 V, 50 Vและ 150 V

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

$$S = \frac{1}{50\mu A}$$

$$S = 20\ k\Omega$$

ที่พิสัยการวัด; E_{fs} = 5 Volt

$$R_s = (S \cdot E_{fs}) - R_m$$
$$= (20\ k\Omega/V \times 5\ V) - 3\ k\Omega$$
$$= 100\ k\Omega - 3\ k\Omega = 97\ k\Omega$$

ที่พิสัยการวัด; E_{fs} = 15 Volt

$$R_s = (S \cdot E_{fs}) - R_m$$
$$= (20\ k\Omega/V \times 15\ V) - 3\ k\Omega$$
$$= 300\ k\Omega - 3\ k\Omega = 297\ k\Omega$$

ที่พิสัยการวัด; E_{fs} = 50 Volt

$$R_s = (S \cdot E_{fs}) - R_m$$
$$= (20\ k\Omega/V \times 50\ V) - 3\ k\Omega$$
$$= 1\ M\Omega - 3\ k\Omega = 997\ k\Omega$$

ที่พิสัยการวัด; E_{fs} = 150 Volt

$$R_s = (S \cdot E_{fs}) - R_m$$
$$= (20\ k\Omega/V \times 150\ V) - 3\ k\Omega$$
$$= 3\ M\Omega - 3\ k\Omega = 2.997\ M\Omega$$

∴ ที่พิสัยการวัด; E_{fs} = 5 Volt, R_s = 97 kΩ

ที่พิสัยการวัด; E_{fs} = 15 Volt, R_s = 297 kΩ

ที่พิสัยการวัด; E_{fs} = 50 Volt, R_s = 997 kΩ

ที่พิสัยการวัด; E_{fs} = 150 Volt, R_s = 2.997 MΩ ตอบ.

ค่าของ Input Resistance ของ โวลต์มิเตอร์มีความจำเป็นที่ต้องใช้ในการคำนวณมาก เพราะเมื่อเราใช้ โวลต์มิเตอร์เพื่อทำการวัดในวงจรใดๆ ก็ตาม ค่า แรงดันที่อ่านได้จะมีค่าต่ำกว่าค่าที่

เป็นจริงได้ด้วยผลของการโหลดของมิเตอร์ (Voltmeter Loading Effect) ค่าความคลาดเคลื่อนของแรงดันที่อ่านได้จะขึ้นอยู่กับค่า Input Resistance ของมิเตอร์เป็นสำคัญ

โวลต์มิเตอร์โหลดดิ้ง (Loading Voltmeter)

โวลต์มิเตอร์โหลดดิ้ง หมายถึงผลกระทบจากความต้านทานของเครื่องมือวัดแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงที่มีต่อค่าที่อ่านได้ เช่นในกรณีที่ความต้านทานของโหลดมีค่าสูงกว่าความต้านทานของเครื่องมือวัดแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงค่าที่อ่านได้จากเครื่องมือวัดแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงจะคลาดเคลื่อนจากความเป็นจริง

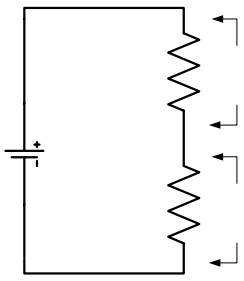
วิธีการหนึ่งที่จะช่วยลดปัญหาเกี่ยวกับโวลต์มิเตอร์โหลดดิ้ง คือ การเปลี่ยนพิสัยการวัดให้สูงขึ้นซึ่งจะทำให้ค่าความต้านทานของเครื่องมือวัดแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงสูงขึ้นและจะช่วยปรับปรุงให้เครื่องวัดแสดงผลการวัดมีความถูกต้องมากขึ้น

ตัวอย่างที่ 2.20 วงจรไฟฟ้าที่มีตัวต้านทานขนาด 1 MΩ 2 ตัว ต่ออนุกรมอยู่กับแหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้าขนาด 10 Volt มีแรงดันไฟฟ้าตกคร่อมตัวต้านทานทั้งสองเท่ากันคือ 5 Volt จงหาค่าต่างๆ ตามเงื่อนไขต่อไปนี้

(a) ค่าที่อ่านได้จากเครื่องมือวัดแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงชนิดอนาลอก ซึ่งมีความไว 20 kΩ/Vที่พิสัยวัด 5 Volt มีค่า ความต้านทานภายในมิเตอร์ (R_{in})= 100 kΩ นำไปต่อคร่อมกับตัวต้านทาน R_2

(b) ค่าที่อ่านได้จากเครื่องมือวัดแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงตัวเดิมที่พิสัยการวัด 50 Volt มีค่าความต้านทานภายในมิเตอร์ (R_{in})= 1 MΩ นำไปต่อคร่อมกับตัวต้านทาน R_2

(c) ค่าที่อ่านได้จากเครื่องมือวัดแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงที่พิสัยการวัด 5 Volt มีค่าความต้านทานภายในมิเตอร์ (R_{in})= 11 MΩ



รูปที่ 2.42

วิธีทำ

(a.) ที่พิสัยวัด 5 Volt

ความต้านทานรวมภายในมิเตอร์

$$R_{in} = \frac{E_{fs}}{I_{fs}} = S \cdot E_{fs}$$

$$= 20\ k\Omega/V \times 5\ V$$

$$= 100\ k\Omega$$

เมื่อพิจารณาวงจรค่าความต้านทานรวม R_{T1} เมื่อนำเครื่องมือวัดแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงมีค่าความต้านทานภายในมิเตอร์ (R_{in}) = 100 kΩ มาต่อขนานที่ R_2 หาค่า R_{T1} ได้ดังนี้

$$R_{T1} = R_1 + \left[\frac{R_2 \times R_{in}}{R_2 + R_{in}}\right]$$

$$= 1\ M\Omega + \left[\frac{1M\Omega \times 100k\Omega}{1M\Omega + 100k\Omega}\right]$$

$$= 1.09\ M\Omega$$

กระแสไฟฟ้าในวงจรมีค่าเป็น

$$I = \frac{E}{R_{T1}} = \frac{10V}{1.09M\Omega}$$

$$I = 9.17\ \mu A$$

แรงดันตกคร่อม R_1 มีค่า

$$E_{R1} = I \cdot R_1$$

$$E_{R1} = 9.17\mu A \times 1\ M\Omega$$

$$E_{R1} = 9.17\ \text{Volt}$$

ค่าแรงดันไฟฟ้าที่ตกคร่อม R_2 ได้

$$E_{R2} = 10\ V - 9.17\ V$$

$$E_{R2} = 0.9\ \text{Volt}$$

จะเห็นได้ว่าเมื่อความต้านทานของเครื่องวัดมีค่าน้อยกว่าความต้านทานของโหลดที่ต่อขนานจะทำให้แรงดันไฟฟ้าตกคร่อม R_1 มีจำนวนมาก (9.1 Volt) และค่าที่อ่านได้คลาดเคลื่อนจากความเป็นจริง คือค่าที่เป็นจริง 5 Volt แต่อ่านค่าได้เพียง 0.9 Volt เท่านั้นสภาพเช่นนี้เราเรียกว่าโวลต์มิเตอร์โหลดดิ้ง

(b.) ที่พิสัยวัด 50 Volt

ความต้านทานรวมภายในมิเตอร์ (R_{in})

$$R_{in} = S \times E_{fs}$$
$$= 20\ k\Omega/V \times 50\ V$$
$$= 1\ M\Omega$$

เมื่อพิจารณาวงจรค่าความต้านทานรวม R_{T2} เมื่อนำเครื่องมือวัดแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงที่มีค่าความต้านทานภายในมิเตอร์ (R_{in})= 1 MΩ มาต่อขนานที่ R_2 หาค่า R_{T2} ได้

$$R_{T2} = 1\ M\Omega + \left[\frac{1M\Omega \times 1M\Omega}{1M\Omega + 1M\Omega}\right]$$
$$= 1.5\ M\Omega$$

กระแสไฟฟ้าของวงจรมีค่าเป็น

$$I = \frac{E}{R_{T2}}$$
$$I = \frac{10V}{1.5M\Omega}$$
$$I = 6.66\ \mu A.$$

แรงดันที่ตกคร่อมที่ R1

$$E_{R1} = I \cdot R_1$$
$$E_{R1} = 6.66\ \mu A \times 1\ M\Omega$$
$$E_{R1} = 6.66\ Volt$$

ค่าแรงดันไฟฟ้าที่ตกคร่อม R_2 ได้

$$E_{R2} = 10\ V - 6.66\ V$$
$$E_{R2} = 3.34\ Volt$$

จากตัวอย่าง (a) และ (b) ทำให้ทราบว่าเมื่อเปลี่ยนพิสัยการวัดให้สูงขึ้นความต้านทานของเครื่องวัดจะสูงขึ้น และช่วยลดปัญหาโวลท์มิเตอร์ โหลดดิ้งได้ด้วย

(c.) เมื่อพิจารณาวงจรค่าความต้านทานรวม R_{T3} เมื่อนำเครื่องมือวัดแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงมีค่าความต้านทานภายในมิเตอร์ (R_{in}) = 11 MΩ มาต่อขนานที่ R_2 หาค่า R_{T3} ได้

$$R_{T3} = 1\ M\Omega + \left[\frac{1M\Omega \times 11M\Omega}{1M\Omega + 11M\Omega}\right]$$

$$= 1.916\ M\Omega$$

$$I = \frac{E}{R_{T3}}$$

$$I = \frac{10V}{1.916M\Omega}$$

$$= 5.21\ \mu A$$

แรงดันที่ตกคร่อมที่ R_1

$$E_{R1} = I \cdot R_1$$

$$E_{R1} = 5.21\ \mu A \times 1\ M\Omega$$

$$E_{R1} = 5.21\ Volt$$

แรงดันไฟฟ้าที่ตกคร่อมที่ R_2

$$E_{R2} = 10\ V - 5.2\ V$$

$$E_{R2} = 4.8\ Volt$$ ตอบ

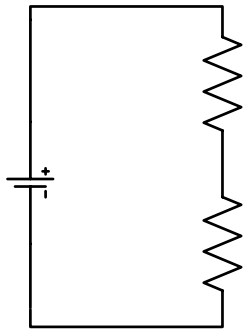
ตัวอย่างที่ 2.21 จากวงจรในรูปที่2.43ถ้าต้องการวัดแรงดันไฟฟ้าตกคร่อมตัวต้านทานโดยใช้เครื่องมือวัดแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง2 ตัว คือ A และ B ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้คือ

A : S = 1kΩ/V , R_m = 0.2 kΩ พิสัยการวัด = 10 Volt

B : S = 20 kΩ/V , R_m = 1.5 kΩ พิสัยการวัด = 10 Volt

จงคำนวณหาค่าต่อไปนี้

1. แรงดันไฟฟ้าตกคร่อม R_B ขณะไม่มีเครื่องวัดต่ออยู่ (E_{RB})
2. แรงดันไฟฟ้าตกคร่อม R_B เมื่อต่อเครื่องวัด A กับวงจร (E_{RB})
3. แรงดันไฟฟ้าตกคร่อม R_B เมื่อต่อเครื่องวัด B เข้ากับวงจร (E_{RB})
4. ความคลาดเคลื่อนในวงจรเครื่องมือวัดแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงทั้ง 2 เครื่อง



รูปที่ 2.43

1. จากกฎการแบ่งแรงดันไฟฟ้า (Voltage Divider)

$$E_{RB} = I \times R_T$$

$$E_{RB} = E \times \left[\frac{R_B}{R_A + R_B} \right]$$

$$E_{RB} = 30\ V \times \left[\frac{5k\Omega}{5k\Omega + 30k\Omega} \right]$$

$$= 5\ Volt$$

2. หาค่าความต้านทานทั้งหมดของเครื่องวัด (R_{in})

$$R_{in} = S \times E_T$$

$$= 1\ k\Omega/V \times 10V = 10\ k\Omega$$

ความต้านทาน R_B ขนานกับเครื่องมือวัด A (R_{T1}) จะมีค่าเป็น

$$R_{T1} = \frac{R_B \times R_{in}}{R_B + R_{in}}$$

$$R_{T1} = \frac{5k\Omega \times 10k\Omega}{5k\Omega + 10k\Omega}$$

$$R_{T1} = 3.33\ k\Omega$$

จากกฎการแบ่งแรงดันไฟฟ้า

หาค่าแรงดันเมื่อความต้านทาน R_B ขนานกับเครื่องวัด A ได้

$$E_{RB} = E \times \left[\frac{R_{T1}}{R_{T1} + R_A} \right]$$

$$E_{RB} = 30V \times \left[\frac{3.33k\Omega}{3.33k\Omega + 25k\Omega} \right]$$

$$E_{RB} = 3.526 \text{ Volt}$$

3. ความต้านทานทั้งหมดของเครื่องวัด B (R_{in})

$$R_{in} = S \times E_T$$

$$R_{in} = \left[20\,k\Omega/V \times 10V \right]$$

$$= 200\,k\Omega$$

ความต้านทาน R_B ขนานกับเครื่องมือวัด B (R_{T1}) จะมีค่าเป็น

$$R_{T1} = \frac{R_B \times R_{in}}{R_B + R_{in}}$$

$$= \frac{5k\Omega \times 200k\Omega}{5k\Omega + 200k\Omega}$$

$$= 4.88\,k\Omega$$

จากกฎการแบ่งแรงดันไฟฟ้า

หาค่าแรงดันเมื่อความต้านทาน R_B ขนานกับเครื่องวัด A ได้

$$E_{RB} = E \times \left[\frac{R_{T1}}{R_{T1} + R_A} \right]$$

$$E_{RB} = 30V \times \left[\frac{4.88k\Omega}{4.88k\Omega + 25k\Omega} \right]$$

$$E_{RB} = 4.9 \text{ Volt}$$

4. ความคลาดเคลื่อนในเครื่องมือวัดแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงทั้งสองเครื่อง

$$\text{เปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อน} = \left| \frac{Y_n - X_n}{Y_n} \right| \times 100\%$$

Y_n = แรงดันไฟฟ้าตกคร่อม R_B ขณะไม่มีเครื่องวัดต่ออยู่

X_n = แรงดันไฟฟ้าตกคร่อม R_B เมื่อต่อเครื่องวัดกับวงจร

$$\text{เปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อน} = \left| \frac{5V - 3.53}{5V} \right| \times 100\%$$

$$= \quad 29.4\ \%$$

$$\text{เปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อน} \quad = \quad \left|\frac{5V - 4.9V}{5V}\right| \times 100\%$$

$$= \quad 2\ \% \qquad \underline{\text{ตอบ}}$$