บทที่ 2

เครื่องวัดและการวัดกระแส แรงดันและความต้านทานไฟฟ้า

2.1 เครื่องวัดกระแสไฟฟ้า (Ammeter)

2.1.1 หลักการวัดกระแสไฟฟ้า

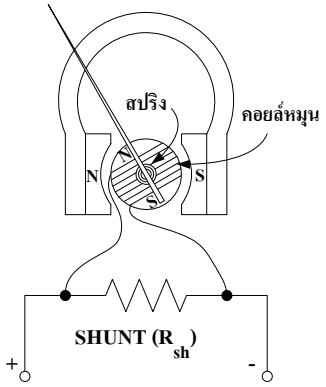
แอมมิเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง (DC. Ammeter)

แอมมิเตอร์เป็นเครื่องมือที่ใช้วัดค่ากระแสในวงจร โดยอาศัยหลักการทำงานของเครื่องวัดชนิดคอยล์หมุน และมีตัวต้านทานต่อขนานกับส่วนที่เคลื่อนไหวเพิ่มเข้าไป

รูปที่ 2.1 แอมมิเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง

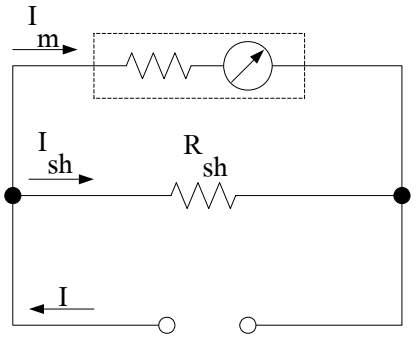
ถ้าเครื่องวัดชนิดคอยล์หมุนแบบพื้นฐานได้รับกระแสขนาด 50μA แล้วเข็มเบี่ยงเบนเต็มสเกล แสดงว่าเครื่องวัดนี้อ่านค่าได้ 50μA หรือมีย่านการวัด 50μA แต่ถ้าเรานำตัวต้านทานตัวหนึ่งต่อขนานกับส่วนที่เคลื่อนไหวของเครื่องวัดดังกล่าว แล้วจ่ายกระแสไฟฟ้าให้เครื่องวัดเท่าเดิม คือ 50μ เข็มจะเบี่ยงเบนเต็มสเกล ทั้งนี้เพราะกระแสไฟฟ้า 50μ ถูกแบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือ ส่วนที่หนึ่งไหลผ่านตัวต้านทานที่ต่อขนาน อีกส่วนหนึ่งไหลผ่านส่วนที่เคลื่อนไหว เครื่องวัดจึงอ่านค่ากระแสไฟฟ้าได้มากกว่า 50μ ลักษณะเช่นนี้เรียกว่า เครื่องวัดได้รับการขยายย่านการวัด

เครื่องวัดที่ใช้หลักการนำตัวต้านทานซึ่งมีขนาดเหมาะสมมาต่อขนานกับส่วนที่เคลื่อนไหวของเครื่องวัดทำให้อ่านค่ากระแสไฟฟ้าได้จำนวนมากขึ้น เราเรียกว่า แอมมิเตอร์



รูปที่ 2.2

สำหรับตัวต้านทานที่นำมาต่อขนานเพื่อขยายการวัดของแอมมิเตอร์นี้เรียกว่า ตัวต้านทานซันท์ (Shunt)



รูปที่ 2.3

จากรูปที่ 2.3 กำหนดให้

R_{Sh} = ความต้านทานซันท์

R_m = ความต้านทานของคอยล์หมุน

I_{sh} = กระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านตัวต้านทานซันท์

I_m = กระแสที่ไหลผ่านส่วนที่เคลื่อนไหวซึ่งทำให้เข็มเบี่ยงเบนเต็มสเกล

I = กระแสไฟฟ้าทั้งหมดที่เข้าสู่แอมมิเตอร์ซึ่งทำให้เข็มเบี่ยงเบนเต็มสเกล หรือ กระแสไฟฟ้าที่ย่านการวัด

จากรูปที่ 2.3 แรงดันไฟฟ้าตกคร่อมส่วนที่เคลื่อนไหวของเครื่องวัด (V_m)

$$V_m = I_m R_m \qquad \text{.....(2-1)}$$

ความต้านทานของ R_{Sh} กับ R_m ต่อขนานกันจึงทำให้แรงดันไฟฟ้าตกคร่อมเท่ากัน คือ

$$V_{sh} = V_m \qquad \text{.....(2-2)}$$

$$\therefore \quad I_{Sh} \; R_{Sh} = I_m R_m \qquad \text{.....(2-3)}$$

เมื่อนำกฎกระแสไฟฟ้าของเคอร์ซอฟฟ์มาร่วมพิจารณา

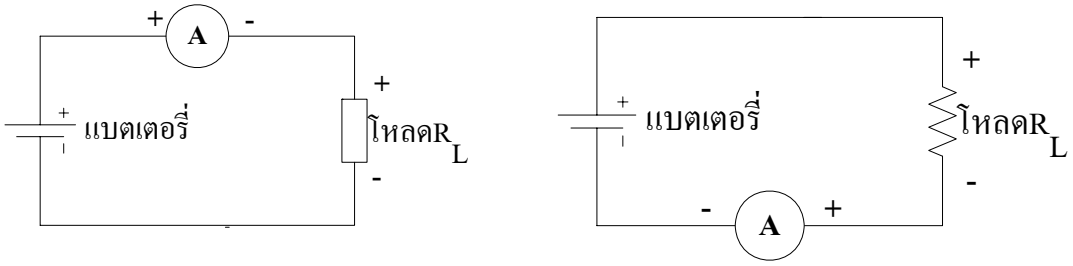
$$I_{Sh} = I - I_m \qquad \text{.....(2-4)}$$

นำสมการ 2-2 แทนลงในสมการ 2-1 และ 2-3

$$R_m = \frac{1.0}{10} = 0.2V \quad = \frac{I_m R_m}{I_{sh}} = \frac{I_m}{I_{sh}} R_m = \frac{I_m}{I - I_m} R_m \quad (\Omega) \qquad \text{.....(2-5)}$$

1) การใช้ D.C แอมมิเตอร์

แอมมิเตอร์เป็นเครื่องมือที่ใช้ในการวัดกระแสไฟฟ้าในวงจรโดยจะต้องต่ออันดับกับโหลดเสมอ



รูปที่ 2.4 แสดงการต่อวงจรแอมมิเตอร์ในการวัดกระแสไฟฟ้า

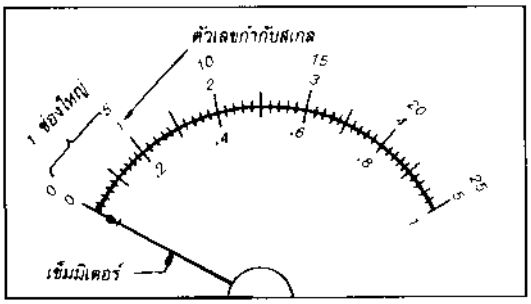
เมื่อพิจารณาการต่อวงจรแอมมิเตอร์ซึ่งจะต้องคำนึงถึงขั้วต่อในขณะที่ทำการวัดโดยขั้วบวกของแอมมิเตอร์จะต้องต่อเข้ากับขั้วบวกของแบตเตอรี่และขั้วลบของแอมมิเตอร์จะต้องต่อเข้าบขั้วลบของแบตเตอรี่ แต่จะต้องต่อแบบอันดับกับความต้านทาน (R_L) ดังในรูป 2.4

2) การอ่านค่าสเกลของแอมมิเตอร์

สเกลของแอมมิเตอร์ที่ใช้ในการวัดค่ากระแสไฟฟ้าตรงนั้นส่วนมากจะมีขาดของช่องสเกลเท่า ๆ กัน หรือเป็นเชิงเส้น (Linear Scale)

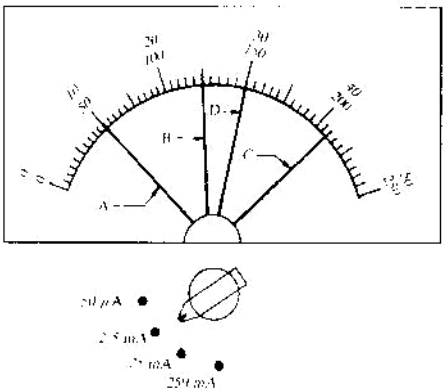
การแบ่งสเกลบนหน้าปัทม์ใน 1 ช่องใหญ่จะแบ่งออกเป็น 10 ช่องเล็ก และมีขีดแสดง

การแบ่งครึ่งช่องใหญ่ทุก ๆ 5 ช่องเล็ก มีตัวเลขกำกับช่องใหญ่ไว้เพื่อให้อ่านค่าตรงกับย่านวัดที่ต้องการ



รูปที่ 2.5 แสดงสเกลของแอมมิเตอร์ที่ใช้วัดได้หลายย่าน

จากรูป 2.5 เราจะสังเกตได้ว่ามีตัวเลขกำกับสเกลไว้ 3 แถว คือ แถว ที่ 1 คือ 0-.2-.4-.6-.8-1 แถวที่ 2 คือ 0-1-2-3-4-5 และแถวที่ 3 คือ 0-5-10-15-20-25 เพื่อให้สามารถเลือกย่าน การวัดได้หลายย่าน เช่นตั้งย่านการวัด (Range) 25 mA ให้อ่านค่าสเกล 0-25 ได้โดยตรงและถ้ายังตั้งย่านการวัด (Range) 250 mA



รูป 2.6 แสดงตำแหน่งการวัดของเข็มมิเตอร์ในการอ่านค่ากระแสไฟฟ้า

วิธีทำ

ก) ตำแหน่ง A ที่ย่านการวัด 250 mA

- ใช้สเกล 0-250 และค่าสเกลจากการอ่านคูณด้วย 1 เท่า
- ค่าสเกลจากการอ่าน = 50
- ค่ากระแสไฟฟ้าที่อ่านได้ที่ตำแหน่ง A คือ 50x 1 = 50 mA

ข) ตำแหน่ง B ที่ย่านการวัด 25 mA

- ใช้สเกล 0 – 250 และค่าสเกลจากการอ่านคูณด้วย 10 เท่า
- ค่าสเกลจากการอ่าน = 125
- ค่ากระแสไฟฟ้าที่อ่านได้ที่ตำแหน่ง B คือ 125/10 = 12.5 mA

ค) ตำแหน่ง C ที่ย่านการวัด 2.5 mA

- ใช้สเกล 0-250 และค่าสเกลจากการอ่านคูณด้วย 100 เท่า
- ใช้สเกลจากการอ่าน = 210
- ค่ากระแสไฟฟ้าที่อ่านได้ที่ตำแหน่ง C คือ 210/100 = 2.1 mA

ง) ตำแหน่ง D ที่ย่านการวัด 50 50μA

- ใช้สเกล 0-0 และค่าสเกลจากการอ่านคูณด้วย 1 เท่า
- ค่าสเกลจากการอ่าน = 30
- ค่ากระแสไฟฟ้าที่อ่านได้ที่ตำแหน่ง D คือ 30 x1 = 30 μA

3) การบำรุงรักษาแอมมิเตอร์

การบำรุงรักษาแอมมิเตอร์ควรปฏิบัติดังต่อไปนี้

ก) อย่าตั้งย่านการวัด (Range) กระแสไปใช้วัดค่าโวลต์เตจ เพราะจะทำให้แอมมิเตอร์เสียหายได้

ข)ในการวัดค่ากระแสไฟฟ้าควรต่อแอมมิเตอร์อันดับกับส่วนของวงจรที่จะทำการวัดต้องคำนึงถึงขั้วต่อในการวัดให้ถูกต้องเพราะถ้าต่อขั้ววัดไม่ถูกเข็มจะตีกลับ ซึ่งอาจจะเป็นผลเสียต่อเข็มมิเตอร์ได้

ค) ควรตั้งย่านวัดกระแสสูงสุดก่อนแล้วแล้วค่อย ๆ ปรับค่าให้ต่ำลงจนอ่านค่าได้เพื่อป้องกันการตีกลับของเข็มมิเตอร์อย่างรุนแรง

ง) ในขณะที่ทำการเปลี่ยนย่านวัดควรนำสายวัดออกจากจุดที่วัดก่อนเสมอ

จ) ไม่ควรนำแอมมิเตอร์ไปวัดกระแสไฟฟ้าใกล้ ๆ กับแหล่งสนามแม่เหล็ก

ควรป้องกันไม่ให้แอมมิเตอร์ได้รับการกระทบกระเทือนซึ่งอาจจะมีผลต่อส่วนที่เคลื่อนที่ของมิเตอร์ได้

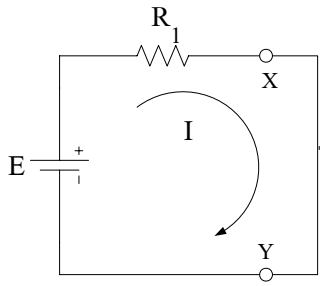
4) Ammeter loading

ปกติแอมมิเตอร์ที่นำมาต่อในวงจรควรมีค่าความต้านทานภายในเป็นศูนย์ แต่ในความเป็นจริงแอมมิเตอร์ที่เราใช้นั้นมีความต้านทานของคอยล์หมุนอยู่ส่วนหนึ่ง จึงทำให้เกิดปัญหา

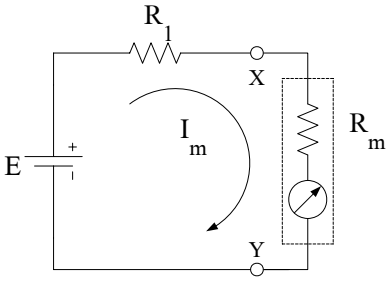
Ammeter loading เช่น ในกรณีความต้านทานของโหลดมีค่าใกล้เคียงหรือน้อยกว่าความต้านทานของแอมมิเตอร์ค่าที่อ่านได้จากแอมมิเตอร์ย่อมคลาดเคลื่อนจากความเป็นจริง

วิธีการอย่างหนึ่งที่จะช่วยลดปัญหาเกี่ยวกับ Ammeter Loading คือ การเปลี่ยนย่านการวัดให้สูงขึ้น เพื่อให้ความต้านทานของแอมมิเตอร์มีค่าต่ำ เครื่องวัดนี้จึงมีความถูกต้องมากขึ้นดังอย่างต่อไปนี้

พิจารณาจากรูปที่ 2.7 ก) วงจรอนุกรมมีกระแส I ไหลผ่านความต้านทาน R_1 ขณะไม่ต่อแอมมิเตอร์ และเมื่อต่อแอมมิเตอร์เข้ากับวงจรรูปที่ 7 ข) ขนาดของกระแสจะลดลงเป็น I_m เมื่อให้แอมมิเตอร์มีความต้านทานภายใน R_m จะได้ความสัมพันธ์ของกระแสดังนี้



รูปที่ 2.7 ก



รูปที่ 2.7 ข

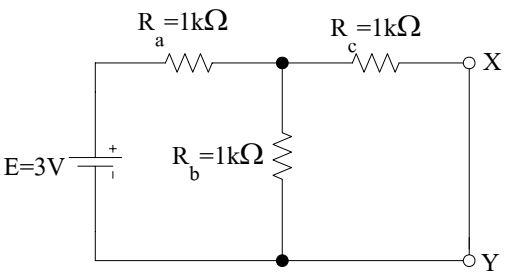
รูปที่ 2.7 ก $$I = \frac{E}{R_1} \quad \text{..... (2-6)}$$

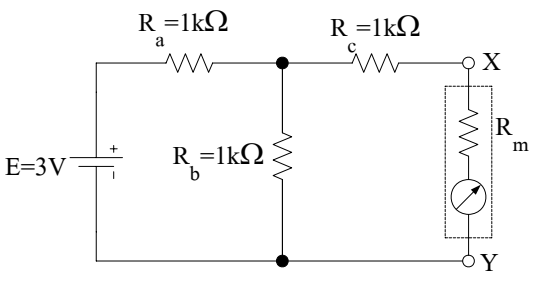
รูปที่ 2.7 ข $$I_m = \frac{E}{R_1+R_m} \quad \text{..... (2-7)}$$

อัตราส่วนกระแส I ต่อกระแส I หาได้จากสมการที่ 2 – 7 หารด้วยสมการที่ 2 – 6 ได้สมการที่ 2 – 8 อยู่ในเทอมของอัตราส่วนความต้านทานคือ

$$\frac{I_m}{I} = \frac{E}{R_1+R_m} \cdot \frac{R_1}{E}$$
$$= \frac{R_1}{R_1+R_m}$$

ตัวอย่างที่ 2.3 แอมมิเตอร์มีความต้านทานภายใน 78 โอห์ม ใช้วัดกระแสไฟฟ้าผ่านความต้านทาน R_C ดังรูปที่ 2.8 คำนวณหาเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดที่อ่านได้จากแอมมิเตอร์





ก) ยังไม่ต่อแอมมิเตอร์ ข) เมื่อต่อแอมมิเตอร์

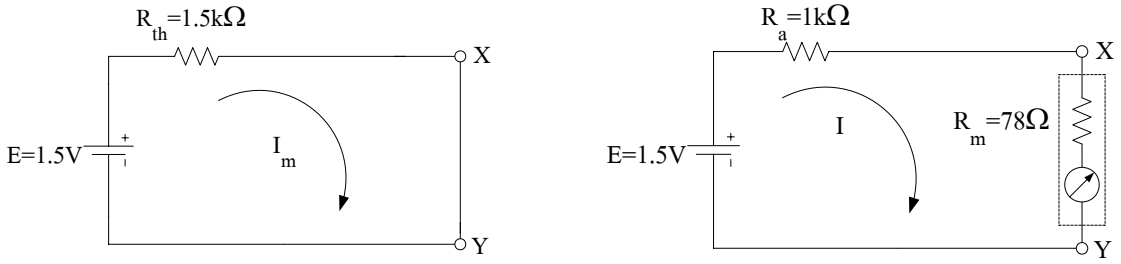
รูปที่ 2.8 ผลของความต้านทานของแอมมิเตอร์

วิธีคิด จากรูปที่ 2.8 ข) เมื่อมองจากจุด xy เข้าในวงจรจะแทนความต้านทนเทียบเท่าเทวินินของวงจรได้คือ

$$R_{th}=R_c+\frac{R_aR_b}{R_a+R_b}$$

$$R_{th}=1K\Omega+\frac{1K\Omega.1k\Omega}{1K\Omega+1k\Omega}=1x10^3\Omega+\frac{1x10^3\Omega}{1x10^3\Omega+1x10^3\Omega}$$

หาแรงดันเทียบเท่าเทวินินได้เท่ากันแรงดันตกคร่อม R_b = 1.5 V สามารถเขียนเป็นวงจรดังรูปที่ 2.9



ก) ข)

รูปที่ 2.9 วงจรเทียบเท่าเทวินิน ก) ขณะไม่ต่อแอมมิเตอร์และ ข) ขณะต่อแอมมิเตอร์

อัตราส่วนกระแสขณะต่อแอมมิเตอร์กับกระแสขณะยังไม่ต่อแอมมิเตอร์คือ

$$\frac{I_m}{I}=\frac{R1}{R_1+R_m}=\frac{1.5k\Omega}{1.5k\Omega+78\Omega}$$

ดังนั้น I_m = 0.95 I ซึ่งคือกระแสผ่านมิเตอร์เพียง 95 % ของกระแสแท้จริง ผิดพลาดจากค่าจริง 5 % สำหรับหาเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดเนื่องจากการต่อแอมมิเตอร์เพื่อวัดกระแสในวงจรเรียกว่า Insertion error เขียนสมการได้ดังนี้

$$\text{Insertion error} = \left(1-\frac{I_m}{I}\right)x100\% \quad (2\text{-}9)$$

5) ข้อควรระวังในการใช้แอมมิเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง

ก) ควรตรวจสอบขั้วของเครื่องวัดให้ถูกต้องเสียก่อนการใช้ เพราะถ้าสลับขั้วบวกและลบเข็มของเครื่องวัดอาจเบี่ยงเบนผิดทางผิดและปลายเข็มอาจเสียหายได้

ข) ไม่ควรต่อแอมมิเตอร์โดยตรงกับแหล่งจ่ายไฟฟ้าใด ๆ เนื่องจากขดลวดภายในแอมมิเตอร์มีค่าความต้านทานต่ำ กระแสไฟฟ้าจำนวนมากจากแหล่งจ่ายจึงไหลผ่านแอมมิเตอร์จนเกิดความเสียหายได้ ดังนั้นควรลดทอนกระแสไฟฟ้าลงโดยนำตัวต้านทานที่เหมาะสมต่อกับแอมมิเตอร์ก่อนนำไปต่อกับแหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้า

ค) กรณีที่ใช้แอมมิเตอร์ที่มีหลายย่านการวัด ให้เลือกใช้ย่านการวัดที่สูงก่อน แล้วจึงลดย่านการวัดให้ต่ำลงจนกระทั่งได้ย่านการวัดที่ทำให้เข็มอยู่ในตำแหน่งใกล้เคียงกับค่าเบี่ยงเบนเต็มสเกลเพื่อให้อ่านค่าได้โดยมีความถูกต้องสูงสุด

2.1.2 การขยายพิสัยวัดกระแส

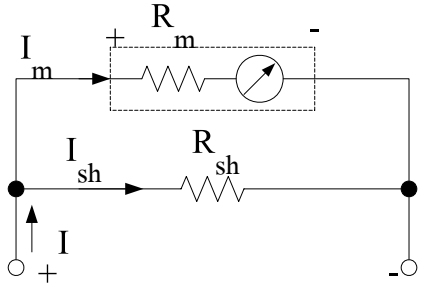
แอมมิเตอร์ คือ เครื่องมือวัดชนิดหนึ่งซึ่งใช้วัดปริมาณกระแสไฟฟ้าในวงจรไฟฟ้า หรือวงจรอิเล็กทรอนิกส์ ใช้หลักการของเครื่องมือวัดแบบคอล์ยหมุน (Moving Coil) การเบี่ยงเบนของเข็มชี้จะขึ้นอยู่กับปริมาณกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านเข้าแอมมิเตอร์

ถ้ามีเครื่องมือวัดแบบคอยล์หมุน ได้รับกระแสไฟฟ้าขนาด 50 μA แล้วทำให้เข็มชี้เบี่ยงเบนเบี่ยงเบนไปเต็มสเกล แสดงว่าเครื่องวัดนี้อ่านค่าได้ 50 μA หรือมีพิสัยการวัดเป็น 50 μA แต่ถ้าเรานำตัวต้านทานมาต่อขนานกับส่วนเคลื่อนไหวของเครื่องวัดนี้ แล้วจ่ายกระแสไฟฟ้าขนาดเท่าเดิม เราจะพบว่าเข็มชี้จะเบี่ยงเบนไม่เต็มสเกล ทั้งนี้เพราะว่า กระแสที่ไหลผ่านเครื่องมือวัดนี้ได้แยกออกเป็น 2 ส่วน คือ ส่วนหนึ่งไหลผ่านส่วนเคลื่อนไหวของเครื่องมือวัด และอีกส่วนหนึ่งไหลผ่านตัวต้านทานที่นำมาต่อขนาน เราจะพบว่าเครื่องมือวัดนี้สามารถวัดกระแสได้มากขึ้น ลักษณะเช่นนี้เราเรียกว่า การขยายพิสัยวัด

เครื่องมือวัดที่ใช้หลักการต่อตัวต้านทานขนาดเหมาะสม ขนานกับส่วนเคลื่อนไหวของเครื่องวัดแบบคอล์ยหมุน ทำให้อ่านค่ากระแสได้มากขึ้น เราเรียกว่า แอมมิเตอร์ (Ammeter)

ส่วนตัวต้านทานที่นำมาต่อขนานกับส่วนเคลื่อนไหวของเครื่องวัดนี้ เราเรียกว่า ตัวต้านชันต์ (Shunt Resistance) หรือ R_{Sh}

วงจรแอมมิเตอร์แสดงได้ดังรูปที่ 2.10



รูปที่ 2.10 แสดงวงจรแอมมิเตอร์

โดยที่ R_m = ความต้านทานของคอยล์หมุน หน่วยเป็น โอห์ม(Ω)

R_S = ความต้านทานชันต์ หน่วยเป็น โอห์ม(Ω)

I_m = กระแสเต็มสเกลของเครื่องวัดแบบคอยล์หมุน หน่วยเป็น แอมแปร์(A)

I_{sh} = กระแสที่ไหลผ่านตัวต้านทานชันต์ หน่วยเป็น แอมแปร์(A)

I = กระแสที่ไหลผ่านทั้งวงจร หรือพิสัยวัด หน่วยเป็น แอมแปร์(A)

การหาค่าตัวต้านทานชันต์

วิธีที่ 1 ใช้หลักการ Current Divider

หลักการของ Current Divider ก็คือ วงจรขนานนั่นเองซึ่งคุณสมบัติของวงจรขนาน คือ แรงดันที่ตกคร่อมตัวต้านทานแต่ละตัวจะมีค่าเท่ากัน แต่กระแสที่ไหลผ่านตัวต้านทานแต่ละตัวจะไม่เท่ากัน

จากวงจรในรูปที่ 2.10 แรงดันตกคร่อมคอล์ยหมุน คือ

$$E_m = I_m \times R_m$$

จากวงจร ความต้านทานชันต์ขนานกับคอล์ยหมุนของมิเตอร์ ดังนั้น แรงดันตกคร่อมความต้านทานชันต์จะเท่ากับแรงดันตกคร่อมคอล์ยหมุน ดังนี้

$$E_{sh} = E_m$$
$$I_{sh} \times R_{sh} = I_m \times R_m$$

กระแสที่ไหลผ่านตัวต้านทานชันต์จะมีค่าเท่ากับกระแสที่ไหลผ่านแอมมิเตอร์ลบด้วยกระแสที่ไหลผ่านคอล์ยหมุน

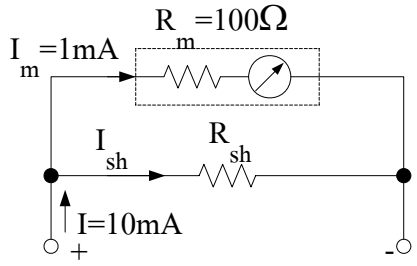
$$I_{sh} = I - I_m$$

ดังนั้นจะสามารถหาค่าความต้านทานชันต์ได้ดังนี้

$$R_{sh} = \frac{E_{sh}}{I_{sh}}$$
$$= \frac{I_m \times R_m}{I - I_m}$$

$$= \frac{I_m}{I-I_m} \times R_m \qquad \text{....(2-10)}$$

ตัวอย่างที่ 2.4 มิเตอร์ตัวหนึ่งมีความต้านทานภายใน 100 Ω สามารถวัดกระแสได้เต็มสเกล 1 mA. ถ้าต้องการดัดแปลงให้มิเตอร์วัดกระแสได้เต็มสเกล 10 mA. จงหาค่าความต้านทานที่นำมาต่อขนาน มิเตอร์



รูปที่ 2.11 วงจรแอมมิเตอร์ที่วัดกระแสได้ 10 mA.

วิธีทำ จากวงจร จะได้

$$E_m = I_m \times R_m$$
$$= 1 \text{ mA.} \times 100\Omega$$
$$= 0.1 \text{ V}$$

และ $E_{sh} = E_m$
$$= 0.1 \text{ V}$$

และ $I_{sh} = I - I_m$
$$= 10\text{mA}-1\text{mA}$$
$$= 9\text{mA}$$

ดังนั้น จะหาค่า R_{sh} ได้ดังนี้

$$R_{sh} = \frac{E_{sh}}{I_{sh}}$$
$$= \frac{0.1\text{V}}{9\text{mA}}$$
$$= 11.11\Omega$$

$\therefore$ ต้องใช้ตัวต้านทานชันต์ค่า 11.11 Ω **ตอบ**

วิธีที่ 2 ใช้หลักการ Current Ratio

หลักการของ Current Ratio คือ กระแสทั้งหมดที่ไหลผ่านแอมมิเตอร์จะเป็นสัดส่วนกับกระแสที่ไหลผ่านคอล์ยหมุน จะได้ค่า n ซึ่งค่านี้เรียกว่า Multiplying factor หลักการนี้จะใช้สำหรับ

แอมมิเตอร์ที่ Current Ratio เป็นจำนวนเต็ม เช่น กระแสทั้งหมดที่ไหลผ่านแอมมิเตอร์เป็น 10 A และกระแสที่ไหลผ่านคอล์ยหมุนเป็น 1 A ดังนั้น Multiplying factor จะเท่ากับ 10 เป็นต้น

เขียนเป็นความสัมพันธ์ได้ดังนี้

$$I = nI_m \qquad \ldots(2\text{-}11)$$

และจากสมการที่ 2-10 จะได้

$$R_s = \frac{I_m \times R_m}{nI_m - I_m}$$

$$= \frac{R_m}{n-1}$$

ตัวอย่างที่ 2.5 มิเตอร์ตัวหนึ่งมีค่ากระแสเต็มสเกล 100 μA. และมีความต้านทานของคอยล์หมุนเท่ากับ 800Ω ต้องการนำไปวัดกระแส 0-100 mA. จงหาค่าความต้านทานที่นำมาต่อขนาน

วิธีทำ จากโจทก์ กระแสทั้งหมดที่ไหลผ่านแอมมิเตอร์คือ 100 mA. และกระแสที่ไหลผ่านคอยล์หมุน คือ 100 μA จะได้ Multiplying factor เท่ากับ

$$n = \frac{I}{I_m}$$

$$= \frac{100\text{mA}}{100\mu\text{A}}$$

$$n = 1000$$

ดังนั้น จะได้

$$R_{sh} = \frac{R_m}{n-1}$$

$$= \frac{800\Omega}{999}$$

$$R_{sh} = 0.80\,\Omega$$

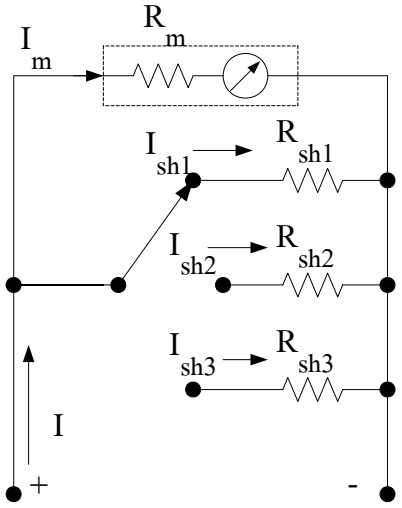
$\therefore$ ต้องใช้ตัวต้านทานค่า 0.80 Ω **ตอบ**

2.1.2 การขยายพิสัยแอมมิเตอร์แบบหลายพิสัยวัด

ถ้ามิเตอร์มีค่าการวัดกระแสได้เต็มสเกลต่ำเพียงพิสัยเดียว ไม่เพียงพอกับความต้องการใช้งาน เมื่อต้องการจะเพิ่มพิสัยการวัดให้สามารถวัดกระแสได้หลายพิสัย โดยแต่ละพิสัยมีค่ากระแสเต็มสเกลต่างกัน สามารถทำได้โดยหาตัวต้านทานชันต์ที่มีค่าต่าง ๆ มาขนานกับส่วนเคลื่อนไหวของมิเตอร์ และใช้ซีเล็กเตอร์สวิตช์เป็นตัวเลือกพิสัยการวัดตามต้องการวิธีการต่อวงจรขยายพิสัยวัดของแอมมิเตอร์ สามารถต่อได้ 2 วิธี คือ

1. แอมมิเตอร์แบบใช้ตัวต้านทานชันต์แยกตัวแต่ละพิสัย (Individual Ammeter)

แอมมิเตอร์แบบนี้ ตัวต้านทานชันต์ที่นำมาต่อขนานกับส่วนเคลื่อนไหว ของมิเตอร์จะถูกแยกเป็นอิสระโดยไม่เกี่ยวข้องกัน การเลือกพิสัยการวัดจะใช้ซีเล็กเตอร์สวิตช์เป็นตัวเลือกพิสัยการวัด วงจรแอมมิเตอร์แบบนี้แสดงดังรูปที่ 2.12



รูปที่ 2.12 แอมมิเตอร์แบบใช้ตัวต้านทานชันต์แยกตัวแต่ละพิสัย

สำหรับสมการที่ใช้ในการคำนวณหาค่าตัวต้านทานชันต์แต่ละตัวนั้นสามารถใช้สมการที่ 2-9 และ 2-11

ที่พิสัยกระแส I_1

$$R_{sh1} = \frac{E_{sh1}}{I_{sh1}}$$

$$= \frac{I_m \times R_m}{I_{sh1}}$$

$$= \frac{I_m}{I_1 - I_m} \times R_m \qquad \text{....(2-12)}$$

หรือ

$$R_{sh1} = \frac{R_m}{n-1} \qquad \text{....(2-13)}$$

เมื่อ $I_1 = nI_m$

พิสัยกระแส I_2

$$R_{sh2} = \frac{E_{sh2}}{I_{sh2}}$$

$$= \frac{I_m \times R_m}{I_{sh2}}$$

$$= \frac{I_m}{I_2 - I_m} \times R_m \qquad \text{....(2-14)}$$

หรือ

$$R_{sh2} = \frac{R_m}{n-1} \qquad \text{....(2-15)}$$

เมื่อ $I_2 = nI_m$

ที่พิสัยกระแส I_3

$$R_{sh3} = \frac{E_{sh3}}{I_{sh3}}$$

$$= \frac{I_m \times R_m}{I_{sh3}}$$

$$= \frac{I_m}{I_3 - I_m} \times R_m \qquad \text{....(2-16)}$$

หรือ

$$R_{sh3} = \frac{R_m}{n-1} \qquad \text{....(2-17)}$$

เมื่อ $I_3 = nI_m$

ตัวอย่างที่ 2.6 มิเตอร์ตัวหนึ่งมีค่าความต้านทานภายใน 100Ω และกระแสเต็มสเกลเป็น 1mA ต้องการขยายพิสัยวัดให้สามารถวัดกระแสได้ 10 mA, 25 mA, 50 mA จงหาค่าตัวต้านทานชันต์ในแต่ละพิสัย

วิธีทำ

ที่พิสัย $I_1 = 10$ mA

จากสมการที่ 2-13 จะได้

$$R_{sh1} = \frac{I_m}{I_1 - I_m} \times R_m$$

$$= \frac{1_{mA}}{10_{mA} - 1_{mA}} \times 100\Omega$$

$$R_{sh1} = 11.11\Omega$$

ที่พิสัย $I_2 = 25$ mA

จากสมการที่ 2-15 จะได้

$$R_{sh2} = \frac{I_m}{I_2 - I_m} \times R_m$$

$$= \frac{1_{mA}}{25_{mA} - 1_{mA}} \times 100\Omega$$

$$R_{sh2} = 4.16\,\Omega$$

ที่พิสัย $I_3 = 50$ mA

จากสมการที่ 2-17 จะได้

$$R_{sh3} = \frac{I_m}{I_3 - I_m} \times R_m$$

$$= \frac{1_{mA}}{50_{mA} - 1_{mA}} \times 100\Omega$$

$$R_{sh3} = 2.04\,\Omega$$

$\therefore$ ที่พิสัย I_1 ต้องใช้ตัวต้านทานค่า 11.11Ω

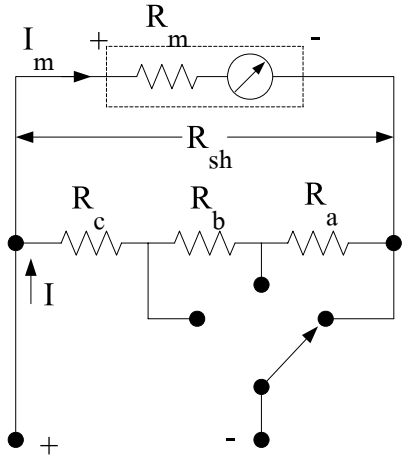
ที่พิสัย I_2 ต้องใช้ตัวต้านทานค่า $4.16\,\Omega$

ที่พิสัย I_3 ต้องใช้ตัวต้านทานค่า $2.04\,\Omega$ **ตอบ**

การต่อวงจรขยายพิสัยวัดให้แอมมิเตอร์แบบนี้ในขณะใช้งานแอมมิเตอร์วัดกระแสในวงจรและมีการเปลี่ยนพิสัยวัด จะทำให้แอมมิเตอร์เสียหายได้ เพราะในขณะเปลี่ยนพิสัยวัดจะไม่มีตัวต้านทานตัวใดต่อในวงจรเลย กระแสทั้งหมดจะไหลผ่านส่วนเคลื่อนไหวของมิเตอร์ทำให้มิเตอร์เสียหายได้

2. แอมมิเตอร์แบบใช้ตัวต้านทานชันต์ร่วมแต่ละพิสัย(Universal) หรือ แอมมิเตอร์แบบอาร์ตอนชันต์ (Ayrton Shunt Ammeter)

แอมมิเตอร์แบบนี้ตัวต้านทานที่ใช้ เพื่อแบ่งกระแสในการขยายพิสัยวัดทุกตัวจะต่ออนุกรมกัน และทั้งหมดจะต่อขนานกับส่วนเคลื่อนไหวของมิเตอร์ พิสัยที่ขยายพิสัยวัดแต่ละพิสัยถูกต่อออกมาจากรอยต่อของตัวต้านทานแต่ละตัว การต่อแบบนี้จะดีกว่าการต่อแบบแรกตรงที่ในขณะวัดกระแสในวงจรแอมมิเตอร์แบบนี้จะไม่เสียหาย เพราะในขณะเปลี่ยนพิสัยวัดจะมีตัวต้านทานต่อในวงจรตลอดเวลา วงจรแสดงในรูปที่ 2.13



รูปที่ 2.13 วงจรแอมมิเตอร์แบบอาร์ตอนชันต์

จากวงจรความต้านทานชันต์จะมีค่าเท่ากับ $R_a + R_b + R_c$ โดยสามารถหาค่าได้จากสมการที่ 2.12 นั่นคือ

ที่พิสัย I_3 หาค่า R_{sh} ได้ดังนี้

$$E_{sh} = E_{sh}$$

$$I_{sh} \times R_{sh} = I_m \times R_m$$

$$R_{sh} = \frac{I_m \times R_m}{I_{sh}}$$

เมื่อ $I_{sh} = I_3 - I_m$, $R_{sh} = R_a + R_b + R_c$

จะได้

$$R_{sh} = \frac{I_m \times R_m}{I_3 - I_m}$$

ที่พิสัย I_3 ใช้หลักการ current ratio หาค่า R_{sh}

$$R_{sh} = \frac{R_m}{n-1}$$

รูปที่ 2.13 จะต้องคำนวณหาค่าความต้านทานชันต์แต่ละตัว R_a R_b R_c ที่พิสัย I_2 จะหาได้โดยการสังเกตรูปดังกล่าว โดยตัวต้านทาน R_b+R_c จะขนานกับ R_a+R_m ดังนั้น แรงดันที่ตกคร่อมแต่ละสาขาของวงจรขนานจะเท่ากัน สามารถเขียนได้ดังนี้

ที่พิสัย I_2 หาค่า R_b+R_c ได้ดังนี้

$$E_{Rb}+E_{Rc} = E_{Ra}+E_{Rm}$$

แทนค่า $E_{Rb}+E_{Rc}$ ด้วย E_{sh} และ $E_{Ra}+E_{Rm}$ ด้วย E_m

ซึ่ง $E_{sh} = E_m$

ดังนั้น

$$I_{sh}(R_b+R_c) = I_m(R_m+R_a)$$

$$(R_b+R_c)(I_2-I_m) = I_m(R_m+(R_{sh}-(Rb+Rc)$$

$I_{sh}=I_2-Im$ และ $R_a = R_{sh}-(R_b+R_c)$

$$I_2(R_b+R_c) - I_m(R_b+R_c) = I_mR_m+I_mR_{sh}-I_m(R_b+R_c)$$

$$I_2(R_b+R_c) = I_mR_m+I_mR_{sh} - I_m(R_b+R_c) + I_m(R_b+R_c)$$

$$= I_m R_m+I_m R_{sh}$$

$$= I_m(Rm+R_{sh})$$

$$(R_b+R_c) = \frac{I_m(R_m+R_{sh})}{I_2} \quad \text{....(2-18)}$$

และสามารถหาค่า R_a ได้ดังนี้

$$R_a = R_{sh} - (R_b+R_c) \quad \text{...(2-19)}$$

กระแสจะไหลได้สูงสุด เมื่อความต้านทานชันต์ คือ R_c หาค่า R_c ได้จาก

ที่พิสัย I_1

$$E_{Rc} = E_{Ra}+E_{Rb}+E_{Rm}$$

แทนค่า $E_{Rc} = E_{sh}$; $E_{Ra}+E_{Rb}+E_{Rm} = E_m$; $I_1-I_m = I_{sh}$

จะได้

$$E_{sh} = E_m$$

$$I_{sh} R_c = I_m (R_m+R_a+R_b)$$

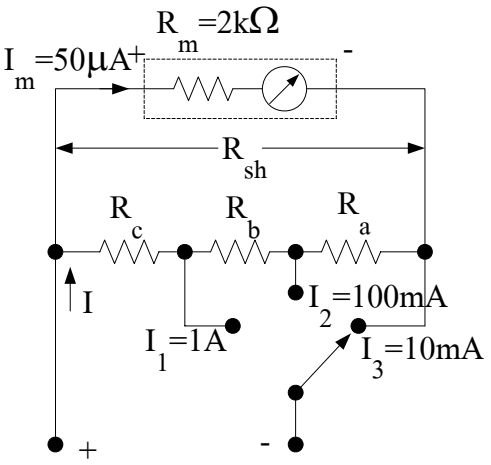
จาก $I_{sh} = I_1-I_m$; $R_a = R_{sh}-(R_b+R_c)$ นำไปแทนค่าสมการข้างบนจะได้

$$\begin{aligned} R_c(I_1-I_m) &= I_m(R_m+R_{sh}-(R_b+R_c)+R_b) \\ &= I_m(R_m+R_{sh}-R_c) \\ R_c I_1-R_c I_m &= I_m R_m+ I_m R_{sh}+ I_m R_c \\ R_c &= \frac{I_m(R_m+R_{sh})}{I_1} \end{aligned} \quad \text{....(2-20)}$$

ตัวต้านทาน R_b หาได้ดังนี้

$$R_b = R_{sh}-(R_a+R_c) \quad \text{...(2-21)}$$

ตัวอย่างที่ 2.7 จงคำนวณหาค่าตัวต้านทานชันต์แต่ละตัวในวงจรรูปที่ 2.14



รูปที่ 2.14 แสดงวงจรในตัวอย่างที่ 2.7

วิธีทำ จากวงจรความต้านทานชันต์ทั้งหมดมีค่าเท่ากับ

$$R_{sh} = \frac{R_m}{n-1}$$

$$= \frac{2k\Omega}{200-1}$$

$$= \frac{2k\Omega}{199}$$

$$R_{sh} = 10.05\ \Omega$$

ในพิสัย 100 mA ความต้านทานชันต์ คือ R_b , R_c หาได้จาก

$$R_b + R_c = \frac{I_m(R_{sh}+R_m)}{I_2}$$

$$= \frac{50\mu A\ (10.05\Omega+2k\Omega)}{100_{mA}}$$

$$R_b + R_c = 1\ \Omega$$

ในพิสัย 1 A ความต้านทานชันต์ คือ R_c หาได้ดังนี้

$$R_c = \frac{I_m(R_{sh}+R_m)}{I_3}$$

$$= \frac{50_{\mu A}(10.05\Omega+2k\Omega)}{1A}$$

$$R_c = 0.1\ \Omega$$

หาค่า R_b ได้จากสมการดังนี้

$$R_b = (R_b + R_c) - R_c$$

$$= 1\Omega - 0.1\Omega$$

$$= 0.9\Omega$$

และหาค่าของ R_a ได้ดังนี้

$$R_a = R_{sh} - (R_b + R_c)$$

$$= 10.05\Omega - (0.9\Omega + 0.1\Omega)$$

$$= 9.05\ \Omega$$

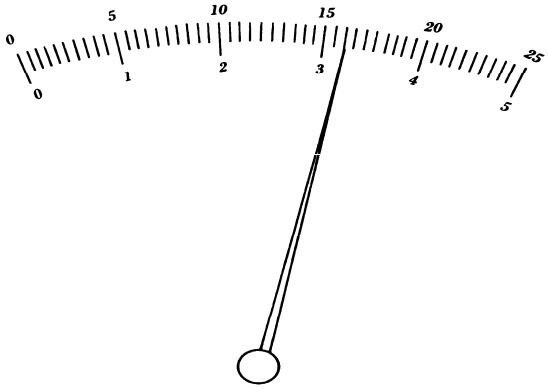
$\therefore$ ต้องใช้ตัวต้านทาน R_a ค่า $9.05\ \Omega$

R_b ค่า $0.9\ \Omega$

R_c ค่า $0.1\ \Omega$ **ตอบ**

การเปลี่ยนสเกลหน้าปัด

การเปลี่ยนสเกลหน้าปัดให้วัดกระแสได้ตามต้องการ ทำได้โดยการใช้สเกลเดิมเป็นหลักและเติมตัวเลขพิสัยสเกลใหม่ลงไป โดยนับจำนวนช่องของสเกลเดิมว่ามีกี่ช่อง นำไปหารจำนวนตัวเลขเต็มสเกลใหม่ จะได้ตัวเลขสเกลใหม่ใน 1 ช่องก็เติมตัวเลขลงไปเพิ่มขึ้นเป็นลำดับ ให้ตรงกับช่องสเกลเดิม เช่น สเกลเดิมมีค่า 0~10 mA แบ่งเป็น 10 ช่อง ต้องการขยายพิสัยวัดให้ได้ 50 mA จะได้สเกลใหม่ 1 ช่องเท่ากับ 50 mA/10 mA. = 5 mA. นั่นคือ 1 ช่องสเกลใหม่มีค่า 5 mA ตามรูปที่ 2.15



รูปที่ 2.15 แสดงลักษณะสเกลหน้าปัด

จากรูปถ้าต้องการเปลี่ยนสเกลให้วัดค่ากระแสไฟตรงได้เท่ากับ 0~250 mA จะได้สเกล 1 ช่องเท่ากับ 250 mA/10 mA = 25 mA นั่นคือ 1 ช่องสเกลใหม่มีค่า 25 mA เขียนลงไปให้ตรงตำแหน่งสเกลเดิมเป็นลำดับ

การวัดค่าปริมาณทางไฟฟ้าจำเป็นต่อการใช้งานระบบไฟฟ้า ซึ่งค่าปริมาณทางไฟฟ้ามีหลาย ๆ ค่าด้วยกัน ในบทนี้จะกล่าวถึง เครื่องวัดแรงดันไฟฟ้า และเครื่องวัดกระแสไฟฟ้า

2.2 เครื่องวัดแรงดันไฟฟ้า (Voltmeter)

เครื่องวัดแรงดันไฟฟ้า จะมี 2 ส่วน คือ เครื่องแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงและเครื่องวัดแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ

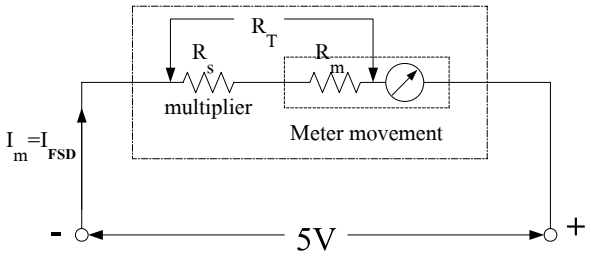
2.2.1 โวลต์มิเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง (DC Voltmeter)

จะเห็นว่าส่วนที่เคลื่อนไหวของเครื่องวัดที่มีค่ากระแสไฟฟ้าและความต้านทานเป็น 50μA และ 3 kΩ ต้องการแรงดันไฟฟ้าเพียง 150 mV เข็มของเครื่องมือวัดก็จะเบี่ยงเบนเต็มสเกล แสดงว่าเครื่องวัดดังกล่าวแรงดันไฟฟ้าสูงสุดได้เพียง 150 mV

มหาวิทยาลัยเทคโนดลยีราชมงคลล้า

รูปที่ 2.16 เครื่องวัดแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง

ถ้าต้องการนำไปวัดค่าที่แรงดันไฟฟ้ามากกว่า 150 mV จะต้องนำตัวต้านทานมาต่ออนุกรมกับส่วนที่เคลื่อนไหวของเครื่องวัดตัวต้านทานที่นำมาต่อนี้ เรียกว่าตัวต้านทานมัลติพลายเออร์ (Multipliers: Rs) (รูปที่ 2.17)



รูปที่ 2.17 แสดงการต่อตัวต้านทานมัลติพลายเออร์

กำหนดให้

R_T = ความต้านทานทั้งหมดของเครื่องวัด

V_T = แรงดันไฟฟ้าของพิสัยการวัด

$I_m = I_{FSD}$ = กระแสไฟฟ้าที่ทำให้เข็มเบี่ยงเบนเต็มสเกล

R_m = ความต้านทานในส่วนที่เคลื่อนไหวของเครื่องวัด

R_s = ความต้านทานมัลติพลาย

เมื่อพิจารณารูป 2.17 จะได้

$$R_T = \frac{V_T}{I_{FSD}}$$

$$R_T = R_s + R_m$$

$$R_s = R_T - R_m$$

$$R_s = \frac{V_T}{I_{FSD}} - R_m \quad \text{(มีหน่วยเป็นโอห์ม)} \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (2\text{-}22)$$

กำหนดให้

$$S = \frac{1}{I_{FSD}} \quad \text{(มีหน่วยเป็นโอห์ม / โวลต์)} \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (2\text{-}23)$$

1) ความไวของโวลต์มิเตอร์ (Voltmeter Sensitifvity)

ความไวของโวลต์มิเตอร์เป็นส่วนกลับของกระแสไฟฟ้าทำให้เข็มของโวลต์มิเตอร์เบี่ยงเบนเต็มสเกล ดังสมการ

$$S=\frac{1}{I_{FSD}} \quad (\text{มีหน่วยเป็นโอห์ม / โวลต์}) \qquad \text{.....(2-24)}$$

เมื่อ

S = ความไวของโวลต์มิเตอร์

I_{FSD} = กระแสไฟฟ้าที่ทำให้เข็มของโวลต์มิเตอร์เบี่ยงเบนเต็มสเกล

เมื่อแทนค่า S ลงในสมการที่ 2.22 และกำหนดให้ V_T = Range จะได้

$$R_s = S \bullet \text{Range} - R_m \quad (\text{มีหน่วยเป็นโอห์ม}) \qquad \text{.....(2-25)}$$

เมื่อ

S = ความไวในการวัด

Range = V_T = แรงดันไฟฟ้าของพิสัยการวัด

จากสมการ 2-24 ทำให้ทราบว่าโวลต์มิเตอร์ที่มีความไวสูงต้องการ I_{FSD} ต่ำ ในทางตรงกันข้ามโวลต์มิเตอร์ที่มีความไวต่ำต้องการ I_{FSD} สูง

นอกจากนี้การหาค่าความไวของโวลต์มิเตอร์อาจพิจารณาจากอัตราส่วนระหว่างความต้านทานรวมของโวลต์มิเตอร์ต่อแรงดันไฟฟ้าที่พิสัยการวัดได้ด้วย

$$S = \frac{R_T}{V_T} \quad (\text{มีหน่วยเป็นโอห์ม/ โวลต์}) \qquad \text{.....(2-26)}$$

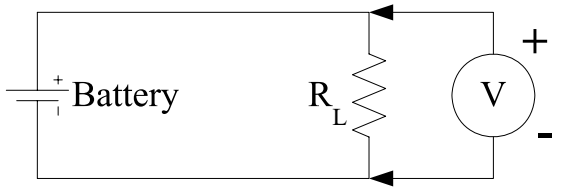
เมื่อ

R_T = ความต้านทานทั้งหมดของโวลต์มิเตอร์

V_T = แรงดันไฟฟ้าที่พิสัยการวัด

2) การใช้งาน D.C โวลต์มิเตอร์

โวลต์มิเตอร์เป็นเครื่องมือที่ใช้ในการวัดค่าแรงดันไฟฟ้าในวงจรโดยจะต้องต่อ ขนานกับโหลดเสมอ

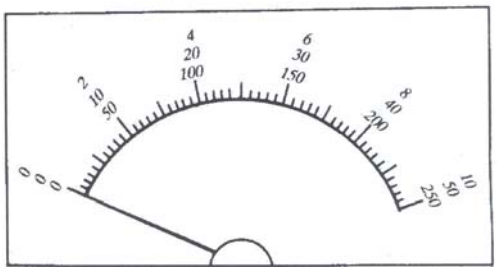


รูปที่ 2.18 แสดงการต่อวงจรโวลต์มิเตอร์ในการวัดแรงเคลื่อนไฟฟ้า

เมื่อพิจารณาการต่อวงจร ดี.ซี โวลต์มิเตอร์ ซึ่งจะต้องคำนึงถึงขั้วต่อในขณะที่ทำการวัดด้วย โดยขั้วบวกของโวลต์มิเตอร์จะต้องต่อเข้ากับขั้วบวกของโหลด หรือแบตเตอรี่ และขั้วลบของโวลต์เตอร์จะต้องต่อเข้ากับขั้วลบของโหลด หรือ แบตเตอรี่ ซึ่งเป็นการต่อขนานกับวงจร ดังแสดงในรูปที่ 2.18

3) การอ่านค่าสเกลของโวลต์มิเตอร์

สเกลการอ่านค่าของ ดีซี โวลต์มิเตอร์ จะมีขนาดช่องสเกลเท่ากันทุกช่องหรือเป็นเชิงเส้น (Linear Scale) เหมือนกับสเกลของแอมมิเตอร์ทุกประการ ดังนั้นในการใช้งานสามารถใช้สเกลร่วมกันได้ เช่น สเกลการวัดโวลต์ และกระแสไฟตรงของเครื่องวัดมัลติมิเตอร์



รูปที่ 2.19 แสดงสเกลของโวลต์มิเตอร์บนหน้าปัดของมัลติมิเตอร์

จากรูปที่ 2.19 ถ้าตั้งพิสัยการวัด 2.5 V ให้อ่านสเกล 0-250 ซึ่งค่าที่อ่านได้จากสเกลจะต้องหารด้วย 100 เท่า ถึงจะได้ค่าแรงดันไฟฟ้าที่ถูกต้อง

สมมุติว่า D.C โวลต์มิเตอร์มีพิสัยการวัดแรงดันไฟฟ้า 7 พิสัย คือ 1.0 V , 5.0 V , 10 V 50 V , 250 V หรือ 1000 V มีการแบ่งสเกลดังรูป 2.19 เราสามารถกำหนดค่าของช่องสเกลต่าง ๆ ใน แต่ละพิสัยการวัดได้ดังนี้

พิสัยการวัด 1.0 V , 1 ช่องใหญ่ = 0.2 V , 1 ช่องเล็กมีค่า $= \frac{0.2}{10} = 0.02V$

พิสัยการวัด 2.5 V , 1 ช่องใหญ่ = 0.5 V , 1 ช่องเล็กมีค่า $= \frac{0.5}{10} = 0.05V$

พิสัยการวัด 5.0 V , 1 ช่องใหญ่ = 1.0 V , 1 ช่องเล็กมีค่า $= \frac{1.0}{10} = 0.01V$

พิสัยการวัด 5.0 V , 1 ช่องใหญ่ = 1.0 V , 1 ช่องเล็กมีค่า $= \frac{2}{10} = 0.2V$

พิสัยการวัด 50 V , 1 ช่องใหญ่ = 1.0 V , 1 ช่องเล็กมีค่า $= \frac{10}{10} = 1V$

พิสัยการวัด 250 V , 1 ช่องใหญ่ = 50 V , 1 ช่องเล็กมีค่า $= \frac{50}{10} = 5V$

พิสัยการวัด 1000 V , 1 ช่องใหญ่ = 200 V , 1 ช่องเล็กมีค่า = $\frac{200}{10} = 20V$

ตัวอย่างที่ 2.8 จงอ่านค่าจาก D.C โวลต์มิเตอร์ เมื่อสวิทช์เลือกพิสัยวัดอยู่ที่ตำแหน่งต่อไปนี้

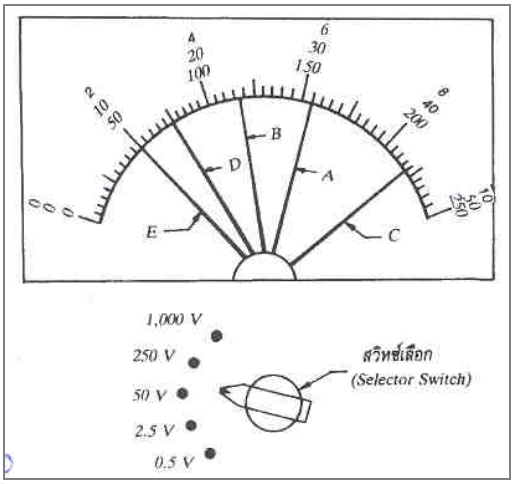
ก) ตำแหน่ง A ที่พิสัยการวัด 1000 V

ข) ตำแหน่ง B ที่พิสัยการวัด 250 V

ค) ตำแหน่ง C ที่พิสัยการวัด 50 V

ง) ตำแหน่ง D ที่พิสัยการวัด 2.5 V

จ) ตำแหน่ง E ที่พิสัยการวัด 1.0 V



รูปที่ 2.20 แสดงตำแหน่งการวัดของเข็มมิเตอร์ในการอ่านค่าแรงดันไฟฟ้า

วิธีทำ

a) ตำแหน่ง A ที่พิสัยการวัด 1000 V

- ใช้สเกล 0-10 และค่าสเกลจากการอ่านคูณด้วย 100 เท่า
- ค่าสเกลจากการอ่าน = 6.2

ค่าโวลต์เตจที่อ่านได้ที่ตำแหน่ง A คือ 6.2 x 100 = 620 V

b) ตำแหน่ง B ที่พิสัยการวัด 250 V

- ใช้สเกล 0-250 และค่าสเกลจากการอ่านคูณด้วย 1 เท่า
- ค่าสเกลจากการอ่าน = 117.5
- ค่าโวลต์เตจที่อ่านได้ที่ตำแหน่ง B คือ 117.5 x 1 = 117.5 V

c) ตำแหน่ง C ที่พิสัยการวัด 50 V

- ใช้สเกล 0-50 และค่าสเกลจากการอ่านคูณด้วย 1 เท่า
- ค่าสเกลจากการอ่าน = 44

ค่าแรงดันไฟฟ้าที่อ่านได้ที่ตำแหน่ง C คือ 44 x 1 = 44 V

d) ตำแหน่ง D ที่พิสัยการวัด 2.5 V

- ใช้สเกล 0-250 และค่าสเกลจากการอ่านหารด้วย 100 เท่า
- ค่าสเกลจากการอ่าน = 55

ค่าแรงดันไฟฟ้าที่อ่านไดที่ตำแหน่ง D คือ 55/100 = 0.55 V

e) ตำแหน่ง E ที่พิสัยการวัด 1.0 V

- ใช้สเกล 0-1 และค่าสเกลจากการอ่านหารด้วย 100 เท่า
- ค่าสเกลจากการอ่าน = 2

ค่าแรงดันไฟฟ้าที่อ่านได้ที่ตำแหน่ง E คือ 2/10 = 0.2 V

4) Voltmeter loading

Voltmeter Loading หมายถึงพลกระทบจากความต้านทานของโวลต์มิเตอร์ที่มีต่อค่าที่อ่านได้ เช่น ในกรณีที่ความต้านทานของโหลดมีค่าสูงกว่าความต้านทานของโวลต์มิเตอร์ ค่าที่อ่านได้จากโวลต์มิเตอร์จะคลาดเคลื่อนจากความเป็นจริง

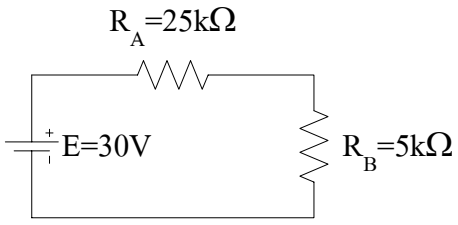
วิธีการหนึ่งที่จะช่วยลดปัญหาเกี่ยวกับ Voltmeter Loading คือการเปลี่ยนพิสัยการวัดให้สูงขึ้น ซึ่งจะทำให้ค่าความต้านทานของโวลต์มิเตอร์สูงขึ้น และช่วยในการปรับปรุงให้เครื่องวัดมีความถูกต้องมากขึ้น แต่ถ้าเป็น Electronics Voltmeter (EVM) และ Digital Voltmeter (DVM) จะมีค่าความต้านทานคงที่ทุกๆพิสัยการวัด

ตัวอย่างที่ 2.9 โวลต์มิเตอร์ A และ B มีลักษณะจำเพาะดังนี้

มิเตอร์ A มีความไว (S) = 1KΩ/V ความต้านทานภายใน(R_m) = 0.2 KΩ ตั้งย่านวัด = 10 V

มิเตอร์ B มีความไว (S) = 20KΩ/V ความต้านทานภายใน(R_m) = 1.5KΩ ตั้งย่านวัด = 10 V

วัดแรงดันที่ตกคร่อมความต้านทาน R_B ในรูปที่ 2.21



รูปที่ 2.21 วงจรตัวอย่างที่ 2.9

จงคำนวณหา

1) แรงดันตกคร่อมความต้านทาน R_B เมื่อไม่ต่อโวลต์มิเตอร์
2) แรงดันตกคร่อมความต้านทาน R_B เมื่อต่อA

3) แรงดันตกคร่อมความต้านทาน R_B เมื่อต่อ B

4) ความคลาดเคลื่อนจากการอ่านหรือแสดงค่าของมิเตอร์

วิธีคิด

1) แรงดันตกคร่อมความต้านทาน R_B เมื่อไม่ต่อโวลต์มิเตอร์จากหลักการแบ่งแรงดันจะได้

$$V_{RB} = E \bullet \frac{R_B}{R_A + R_B} = 30\ V \bullet \frac{5\ k\Omega}{25\ k\Omega + 5\ k\Omega} = 5\ V$$

2) แรงดันตกคร่อมความต้านทาน R_B เมื่อต่อมิเตอร์ A

$R_{meter\ A}$ = S x Range

$$= 1\ \frac{k\ \Omega}{V} \times 10\ V = 10\ k\Omega$$

ความต้านทาน A ขนานกับR_B คือ

$$R_{meter\ A} // RB = \frac{R_{meter\ A} \cdot R_B}{R_{meter\ A} + R_B}$$

$$= \frac{5k\Omega \cdot 10k\Omega}{5k\Omega + 10k\Omega}$$

$$= 3.33\ k\Omega$$

ดังนั้นแรงดันที่อ่านได้เมื่อต่อมิเตอร์ A หาได้จากสมการแบ่งแรงดันคือ

$$V_{RB} = E \bullet \frac{(R_{meter\ A} // R_B)}{(R_{meter\ A} // R_B) + R_A}$$

$$= 30\ V \bullet \frac{3.33\ k\Omega}{3.33\ k\Omega + 25\ k\Omega}$$

$$= 3.53\ V$$

3) แรงดันตกคร่อมความต้านทาน R_B เมื่อต่อมิเตอร์ B

$R_{meter\ B}$ = S x Range

$$= 20\ \frac{k\Omega}{V} \times 10V = 200\ k\Omega$$

ความต้านทานมิเตอร์ B ขนานกับ R_B คือ

$$R_{\text{meter B}} \;//\; R_B = \frac{(R_{\text{meter B}} \bullet R_B)}{(R_{\text{meter B}} + R_B)}$$
$$= \frac{(200\ \text{k}\Omega \bullet 5\ \text{k}\Omega)}{(200\ \text{k}\Omega + 5\ \text{k}\Omega)}$$
$$= 4.88\ \text{k}\Omega$$

ดังนั้นแรงดันไฟฟ้าที่อ่านได้เมื่อต่อมิเตอร์ B หาได้จากสมการแบ่งแรงดันคือ

$$V_{RB} = E \bullet \frac{(R_{\text{meter B}} \;//\; R_B)}{(R_{\text{meter B}} \;//\; R_B) + R_A}$$
$$= 30\ \text{V} \bullet \frac{4.88\ \text{k}\Omega}{4.88\ \text{k}\Omega + 25\ \text{k}\Omega}$$
$$= 4.9\ \text{V}$$

4) ความคลาดเคลื่อนจากการอ่านหรือแสดงค่ามิเตอร์

$$\text{meter A error} = \frac{3.53\ \text{V} - 5\ \text{V}}{5\ \text{V}} \times 100\ \% = -29.4\ \%$$

$$\text{meter B error} = \frac{4.9\ \text{V} - 5\ \text{V}}{5\ \text{V}} \times 100\ \% = -2\ \%$$

จากตัวอย่างที่ 2.9 จะเห็นว่าค่าที่ได้จากมิเตอร์ B มีค่าใกล้ค่าแท้จริงมากกว่ามิเตอร์ A (ผิดพลาด $\approx$ 2 %) แสดงให้เห็นว่าวิธีการใช้โวลต์มิเตอร์ทางที่ดีควรเลือกให้มีค่าความต้านทานมากๆในทางการค้าค่าความไวของเครื่องวัดจะมีค่าอย่างต่ำอยู่ที่ประมาณ 20 kΩ /V และขณะวัดแรงดันแล้วต้องการให้มีการกินกำลังต่ำจากส่วนที่วัดต่ำสุดสามารถทำได้โดยใช้ย่านวัดสูงสุดเท่าที่ทำได้ ในทางปฏิบัติเมื่อจะวัดค่าแรงดันจะตั้งย่านวัดไว้สูงสุดก่อนเมื่ออ่านค่าได้ยากแล้วจึงค่อยปรับลดย่านวัดลงมาเพื่อให้อ่านค่าได้ละเอียดขึ้น เป็นการลดความผิดพลาดที่เกิดจากการอ่านสเกลอีกทางหนึ่ง ลองพิจารณาตัวอย่างการตั้งย่านวัดเพื่อวัดค่าแรงดันดังรูปที่ 2.17

5) การบำรุงรักษา D.C โวลต์มิเตอร์

การบำรุงรักษา D.C โวลต์มิเตอร์ ควรปฏิบัติดังต่อไปนี้

1. การใช้โวลต์มิเตอร์วัดค่าแรงดันไฟฟ้าในการต่อวงจรควรต่อขนานกับโหลดที่ต้องการวัดเสมอ
2. ควรคำนึงถึงขั้วของโวลต์มิเตอร์ในการวัดให้ถูกต้องเพราะถ้าวัดสลับขั้ว เข็มมิเตอร์จะตีกลับซึ่งอาจจะเป็นอันตรายต่อเข็มมิเตอร์และสนามแม่เหล็กของแม่เหล็กถาวรได้
3. การวัดโวลต์มิเตอร์ควรตั้งพิสัยการวัดสูงสุดก่อน แล้วค่อย ๆ ปรับพิสัยการวัดลงมาเพื่อป้องกันการตีขึ้นของเข็มมิเตอร์อย่างรุนแรง

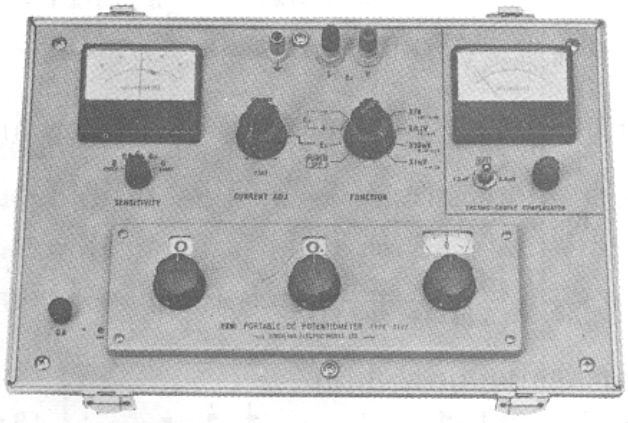
4. ในขณะเปลี่ยนพิสัยการวัดโวลต์ควรนำสายวัดออกมาจุดที่วัดก่อนเสมอ
5. ควรป้องกันไม่ให้โวลต์มิเตอร์ได้รับการกระทบกระเทือน

6) ข้อควรระวังในการใช้โวลต์มิเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง

1. ก่อนใช้โวลต์มิเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง ควรตรวจสอบขั้วให้ถูกต้องเสียก่อน ถ้าสลับขั้วบวก – ลบของเครื่องวัดขณะทำการวัด จะทำให้เข็มเบี่ยงเบนไปในทิศทางตรงกันข้ามและเสียหายได้
2. ในการใช้เครื่องวัดชนิดนี้ต้องต่อเครื่องวัดคร่อมหรือขนานกับโหลดเท่านั้น
3. กรณีที่ใช้โวลต์มิเตอร์ที่มีหลายพิสัยการวัด ควรเริ่มต้นที่พิสัยการวัดสูงๆก่อนแล้วจึงค่อยลดพิสัยการวัดลงมา จนกระทั่งได้พิสัยการวัดซึ่งทำให้เข็มชี้อยู่ใกล้ตำแหน่งเบี่ยงเบนเต็มสเกลมากที่สุด

7) โพเทนชิโอมิเตอร์ (Potentiometer)

โพเทนชิโอมิเตอร์ (รูปที่ 2.22) เป็นเครื่องวัดแรงดันไฟฟ้าที่มีความสามารถแยกแยะและมีความถูกต้องสูง (High resolution and accuracy) ใช้หลักการเปรียบเทียบค่าแรงดันไฟฟ้าที่ต้องการทราบกับแรงดันไฟฟ้าของเซลมาตรฐาน

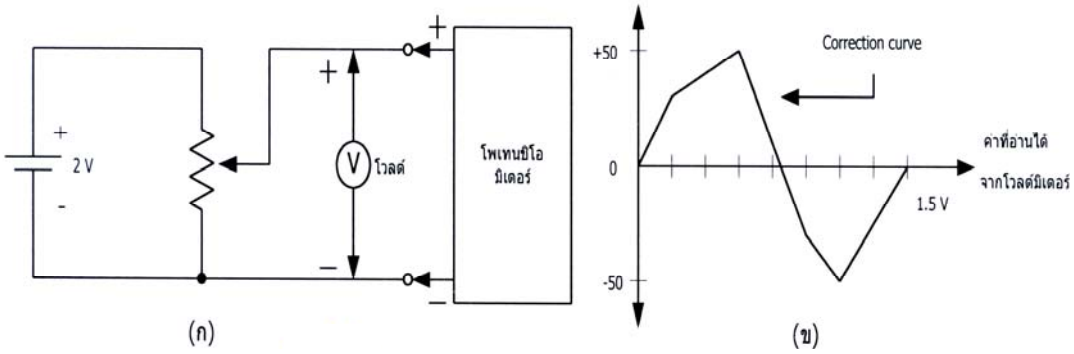


รูปที่ 2.22 โพเทนชิโอมิเตอร์

เนื่องจาก โพเทนชิโอมิเตอร์ เป็นเครื่องวัดแรงดันไฟฟ้าที่มีความถูกต้องและความเที่ยงตรงสูง จึงมักนำไปใช้เป็นอุปกรณ์ที่แสดงค่ามาตรฐานในการสอบเทียบโวลต์มิเตอร์และแอมมิเตอร์

8) การสอบเทียบโวลต์มิเตอร์และแอมมิเตอร์ (Calibration of Voltmeter and Ammeter)

การสอบเทียบ(Calibration) เป็นการนำค่าที่ได้จากเครื่องวัด ซึ่งต้องการสอบเทียบมาเปรียบเทียบกับค่ามาตรฐาน เพื่อทดสอบว่าค่าที่อ่านได้จากเครื่องวัดนั้นมีค่าความผิดพลาดคลาดเคลื่อนจากค่ามาตรฐานเท่าใดและจำเป็นต้องปรับค่าที่อ่านได้จากเครื่องวัดมากน้อยเพียงใดจึงจะได้ค่าที่ถูกต้อง



รูปที่ 2.23 แสดงการต่อวงจรเทียบแรงดันไฟฟ้า

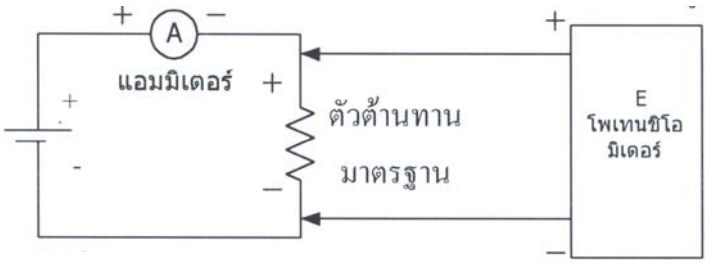
จากรูปที่ 2.23 (ก) แสดงให้เห็นว่าการต่อวงจรสำหรับการสอบเทียบแรงดันไฟฟ้าจากโวลต์มิเตอร์ ซึ่งประกอบด้วยแหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้าขนาด 2V ความต้านทานปรับค่าได้ทำหน้าที่ปรับค่าแรงดันไฟฟ้าจากแหล่งจ่าย , โวลต์มิเตอร์ที่ต้องการสอบเทียบ (V) และโพเทนชิโอมิเตอร์ซึ่งทำหน้าที่แสดงค่ามาตรฐานในการสอบเทียบ

เมื่อเราเริ่มปรับความต้านทานเพื่อทำให้แรงดันไฟฟ้าจากแหล่งจ่ายเพิ่มขึ้นจาก 0V ถึง 1.5 V ค่าที่อ่านได้จากโวลต์มิเตอร์อาจมากกว่าหรือน้อยกว่าค่าที่ได้จากโพเทนชิโอมิเตอร์ผลต่างของการอ่านค่าจากเครื่องวัดทั้งสองจะเป็นค่าแก้ (Correction) ของโวลต์มิเตอร์นำมาเขียนสมการได้ดังนี้

ค่าแก้ (Correction) = ค่าที่อ่านได้จากโพเทนชิโอมิเตอร์ – ค่าที่อ่านได้จากโวลต์มิเตอร์…..2-27

Correction Curve ทำให้เราทราบว่าต้องปรับค่าของเครื่องวัดอีกมากน้อยเพียงใดจึงจะได้ค่าที่ถูกต้อง หรือทำให้ Correction Curve เป็นเส้นตรงดังรูปที่ 2.23

เครื่องวัดที่ดีควรมี Correction Curve ที่ตัดกับเส้นตรง 3 จุด (รูป 2.23) เครื่องวัดทั่วไปมักแสดงค่าความถูกต้องสูงขณะที่เข็มของเครื่องวัดเบี่ยงเบนเต็มสเกลเท่านั้น แต่ขณะที่เข็มแสดงค่าลดต่ำลงมาจะมีค่าความถูกต้องลดลงหรือต้องปรับค่าของเครื่องวัดมากขึ้นจึงจะได้ค่าที่ถูกต้อง



รูปที่ 2.24 โพเทนชิโอมิเตอร์นำมาใช้ในการสอบเทียบแอมมิเตอร์

โพเทนชิโอมิเตอร์นำมาใช้ในการสอบเทียบแอมมิเตอร์ได้โดยการต่อแอมมิเตอร์กับตัวต้านทานมาตรฐาน (Standard Resistor) ที่มีค่าความเที่ยงตรงสูง ขณะที่แหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้าและโพเทนชิโอมิเตอร์ต่อคร่อมกับตัวต้านทานมาตรฐาน

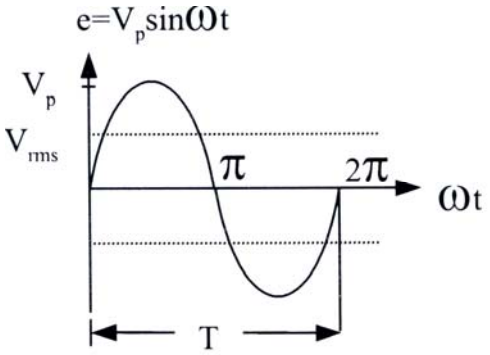
การวัดค่ากระแสไฟฟ้ามาตรฐานทำได้โดยอาศัยกฎของโอห์มคือ $I = \frac{E}{R}$ เมื่อ E เป็นปริมาณแรงดันไฟฟ้าที่โพเทนชิโอมิเตอร์และ R เป็นค่าความต้านทานมาตรฐานจากนั้น จึงนำค่าความแตกต่างระหว่างกระแสไฟฟ้ามาตรฐานกับค่าที่อ่านได้จากแอมมิเตอร์มาเขียนCorrection Curve

รูปที่ 2.25 เป็นภาพตัวความต้านทานมาตรฐานที่นำมาใช้ในการสอบเทียบแอมมิเตอร์

มิเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับ

เครื่องวัดไฟฟ้ากระแสสลับ (Alternating current indicating instruments) เป็นเครื่องมือวัดที่ใช้วัดแรงดันไฟฟ้าหรือกระแสไฟสลับ ที่มีแรงดันหรือกระแสที่มีขนาดและทิศทางเปลี่ยนแปลงไปในลักษณะที่ซ้ำๆกันและมีทิศทางเดิมตามช่วงเวลา (Periodically) ที่กำหนด

รูปคลื่น (Wave form) คือลักษณะการเปลี่ยนแปลงค่าแรงดันหรือกระแสตามเวลา รูปคลื่นพื้นฐานของแรงดันหรือกระแสไฟฟ้าสลับคือรูปคลื่นไซน์ (sine wave) การเขียนรูปคลื่นนิยมเขียนเพียง 1 ไซเคิล (cycle) โดยให้เคลื่อนที่จาก 0 ถึง 360 องศาแสดงได้ดังรูปที่ 2.26



รูปที่ 2.26 รูปคลื่นไซน์ของแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ

สัญญาณแรงดัน(หรือกระแส) ไฟฟ้าสลับรูปคลื่นไซน์เคลื่อนที่ครบ 1 ไซเคิล หมายถึงการเคลื่อนที่เป็นมุม 2π เรเดียน (radian) คือ 360 องศา ถ้าสามารถเคลื่อนที่ได้ f ไซเคิลต่อวินาทีเรียกว่ามีความถี่ f ไซเคิลต่อวินาทีมีหน่วยเป็นเฮิรต์ (hertz) นั่นคือการเคลื่อนที่ของรูปคลื่นไซน์ $2\pi f$ เรเดียนต่อวินาทีและค่า $2\pi f = \omega$ = ความเร็วเชิงมุม (angular velocity) ดังนั้นที่เวลา t ใดๆ มุมเฟส (phasor) ของแรงดัน (หรือกระแส) เคลื่อนที่ไป $2\pi f$ เรเดียนต่อวินาทีสามารถเขียนความสัมพันธ์ของขนาดกับความเร็วเชิงมุมได้ดังรูปที่ 2.26 และสมการแรงดัน (หรือกระแสที่เวลาใดๆ) คือ

$$e = V_P \sin \omega t \quad \text{.....} \quad \text{.....} \quad \text{.....} \quad \text{.....} \quad \text{.....} \quad \text{....} 2.28$$

จากรูปที่ 2.26 การกำหนดค่าต่างๆที่สามารถบอกถึงขนาดของรูปคลื่นไซน์โดยทั่วไปจะมี 3 ชนิด ได้แก่

1) ค่ายอดคลื่น (peak valve) หมายถึงค่าสูงสุดของรูปคลื่นไฟสลับ (V_p) ในบางกรณีอาจจะบอกเป็นค่าจากยอดถึงยอด (peak – to – peak valve) ซึ่งจะมีค่าเป็น 2 เท่าของค่ายอดคลื่น
2) ค่าเฉลี่ย (average valve) หมายถึงค่าความสูงโดยเฉลี่ยของรูปคลื่น (V_{av}) โดยจะหาค่าได้จากช่วงเวลาใดๆ f(t) ระหว่าง 0 ถึง T จากสมการ

$$V_{av} = \frac{1}{T} \int_0^1 f(t)\, dt \quad \text{.....} 2.29$$

3) ค่าประสิทธิผล (effective หรือ root mean square valve) คือค่าแรงดันหรือกระแสไฟฟ้าสลับที่ก่อให้เกิดผลทางความร้อนเท่ากับค่าแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง โดยค่าประสิทธิผลของค่าที่เป็นฟังก์ชัน (function) ของเวลา f(t) ระหว่าง 0 ถึง T จากสมการ

$$V_{rms} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T [f(t)]^2 \, dt} \quad \text{.....} 2.30$$

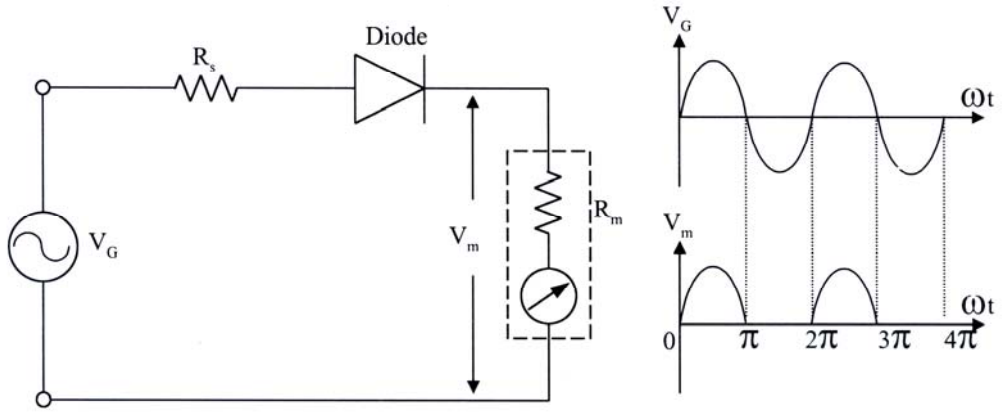
เครื่องวัดไฟฟ้ากระแสสลับมีหลายประเภทในแต่ละประเภทก็มีหลักการทำงานที่แตกต่างกันไป เช่น เครื่องวัดแบบเรียงกระแส (rectifier instrument) เครื่องวัดแบบอิเล็กโตรไดนาโมมิเตอร์ (electrodynamometer) เครื่องวัดแบบแผ่นเหล็กเคลื่อนที่ (iron vane meter) เครื่องวัดแบบเทอร์โมคัปเปิล (thermocouple meter) และเครื่องวัดแบบไฟฟ้าสถิตย์ (electrostatic meter) เป็นต้น ในที่นี้จะกล่าวเฉพาะเครื่องวัดแบบเรียงกระแสเท่านั้น

เครื่องวัดแบบขดลวดเคลื่อนที่ไม่สามารถนำไปวัดกับแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับได้โดยตรง เนื่องจากเครื่องวัดจะตอบสนองต่อค่าเฉลี่ยของปริมาณไฟฟ้าเท่านั้น ดังนั้นจะต้อง

เปลี่ยนแรงดันไฟฟ้าสลับให้เป็นแรงดันไฟฟ้าตรงที่มีทิศทางเดียวและเครื่องวัดจะแสดงผลเป็นค่าเฉลี่ยของแรงดันไฟฟ้าสลับเครื่องวัดที่ใช้หลักการทำงานดังกล่าวนี้เรียกว่าเครื่องวัดแบบเรียงกระแส ซึ่งแบ่งออกได้เป็น2 ชนิด ได้แก่ เครื่องวัดชนิดเรียงกระแสแบบครึ่งคลื่น (half wave rectifier type instrument) และเครื่องวัดชนิดเรียงกระแสแบบเต็มคลื่น (full wave rectifier type instrument)

4) การออกแบบโวลต์มิเตอร์กระแสสลับ

ก) โวลต์มิเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับชนิดเรียงกระแสแบบครึ่งคลื่น เครื่องวัดชนิดนี้จะนำไดโอดต่ออนุกรมกับขดลวดเคลื่อนที่ดังรูปที่ 2.27 เพื่อเปลี่ยนไฟสลับให้เป็นไฟตรง



รูปที่ 2.27 วงจรโวลต์มิเตอร์กระแสสลับชนิดเรียงกระแสแบบครึ่งคลื่น

จากรูปที่ 2.27 ในครึ่งไซเคิลบวก ไดโอดได้รับไบแอสตรงทำให้มีค่าความต้านทานต่ำกระแสสามารถไหลผ่านไดโอดได้โดยกระแส i(t) จะเป็นสัดส่วนกับแรงดัน e(t) ที่จ่ายให้กับวงจรในช่วง $0 < \omega t < \pi$

อย่างไรก็ตาม ค่าความต้านทานของไดโอดขณะได้รับไบแอสตรงจะเป็นฟังก์ชันต่อกระแสคือค่าความต้านทานจะลดลงเมื่อกระแสไหลผ่านมีค่าเพิ่มขึ้น อาจจะทำให้รูปร่างของแรงดันไฟฟ้าตรงที่เป็นห้วงๆผิดเพี้ยน (distortion) วิธีแก้ไขทำได้โดยใช้ตัวความต้านทาน R_s ต่ออนุกรมในวงจรให้มีค่าความต้านทานมากกว่าค่าความต้านทานของไดโอด สมการพื้นฐานที่ใช้ในการคำนวณหาค่าแรงดันโดยเฉลี่ยของแรงดันไฟฟ้าสลับที่เป็นรูปคลื่นไซน์ได้แก่

$V_{rms} = 0.707\ V_P$ ……..2.31

$V_P = 1.414\ V_{rms}$ ……..2.32

$V_{av} = 0.318\ V_P$ ……..2.33

$V_{av} = 0.45\ V_{rms}$ ……..2.34

เมื่อ V_{rms} คือค่าแรงดันไฟฟ้าที่ใช้งาน (effective valve)

V_P คือค่าแรงดันไฟฟ้าสูงสุด (peak voltage or maximum voltage)

V_{av} คือค่าแรงดันไฟฟ้าเฉลี่ย (average valve)

สมการที่ใช้คำนวณหาค่าความต้านทานที่ขยายพิสัยวัดหรือหาค่าความต้านทานทวีคูณแรงดัน (multiplier) R_S ของโวลมิเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงของเครื่องวัดชนิดเรียงกระแสแบบครึ่งคลื่นคือ

$$R_S = \frac{V_{dc}}{I_{dc}} - R_m = \frac{0.45\ V_{rms}}{I_{fs}} - R_m \quad \text{.....2-35}$$

á ÅÐ $S_{ac} = 0.45\ S_{dc}$ 2-36

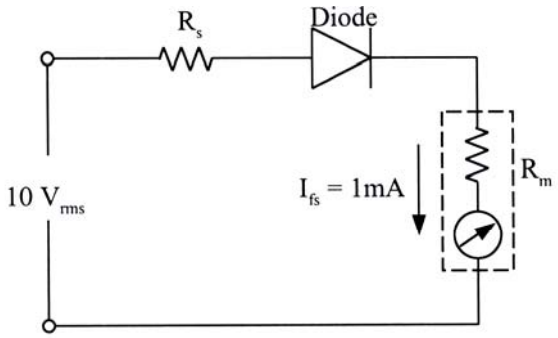
â ´ Â· $\tilde{O}S_{dc} = \frac{1}{I_{fs}}$ (Ω/V) 2-37

เมื่อ S_{ac} = ความไวของโวลต์มิเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับ

S_{dc} = ความไวของโวลต์มิเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง

ในครึ่งไซเคิลลบ กรณีที่เป็นไดโอดในอุดมคติ ความต้านทานของไดโอดเป็นอนันต์ กระแสที่ไหลผ่านเครื่องวัดเท่ากับศูนย์

ตัวอย่างที่ 2.10 จงหาค่าความต้านทานทวีคูณแรงดัน R_S ของโวลมิเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับที่พิสัย 10 โวลต์อาร์เอ็มเอส (ไม่คิดค่าความต้านทานของไดโอด) ของวงจรรูปที่ 2.28



รูปที่ 2.28

วิธีทำ

จาก

$$S_{dc} = \frac{1}{I_{fs}} = \frac{1}{1\ mA} = 1\ k\Omega/V$$

จากสมการคำนวณหาค่าความต้านทาน R_S จะได้

$$R_S = S_{dc} \times V_{range\ dc} - R_m$$

$$R_S = (1\ k\Omega / V)(0.45\ V_{rms}) - R_m$$
$$R_S = (1\ k\Omega / V)(0.45 \times V_{rms}) - 300\ \Omega$$
$$R_S = (1\ k\Omega / V)(0.45\ V) - 300\ \Omega$$
$$R_S = 4.2\ k\Omega$$

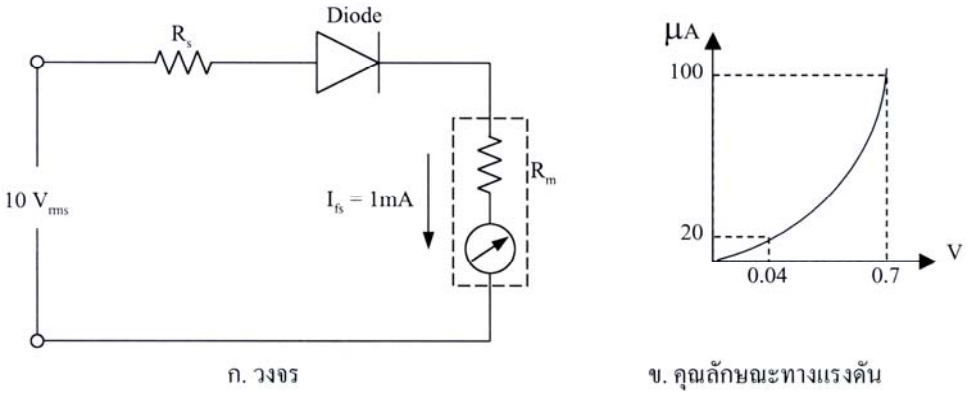
ค่าความต้านทานทวีคูณแรงดัน R_S คือ 4.2 $k\Omega$

ตัวอย่างที่ 2.11 จากรูปที่ 2.29 ขณะที่เข็มชี้เบี่ยงเบนเต็มสเกลมีกระแสไหลผ่านไดโอด 100 ไมโครแอมป์และค่าความต้านทานของไดโอดมีค่า 1 กิโลโอห์มใช้คุณลักษณะทางแรงดันและกระแสดังรูปที่ 2.29 (ข) หาค่าต่อไปนี้

ก. ค่าความต้านทานมัลติพลาย R_S ขณะะเข็มชี้เบี่ยงเบนเต็มสเกล

ข. ค่าความต้านทานของไดโอด R_d ขณะกระแสไฟฟ้าไหลผ่านมีค่า 20 ไมโครแอมป์

ค. แรงดันอินพุต V_{in} ขณะกระแสไฟฟ้าไหลผ่านไดโอดมีค่า 20 ไมโครแอมป์



ก. วงจร ข. คุณลักษณะทางแรงดัน

รูปที่ 2.29 วงจรโจทย์ตัวอย่างที่ 2.11

วิธีทำ

ก. ค่าความต้านทานทวีคูณแรงดัน R_S ขณะเข็มชี้เบี่ยงเบนเต็มสเกลจะได้

$$R_S = \frac{0.45\ V_{rms}}{I_{fs}} - (R_m + R_d)$$
$$R_S = \frac{(0.45)(10\ V_{rms})}{100\ \mu\ A} - (200\ \Omega + 1\ k\Omega)$$
$$R_S = 4.5\ k\Omega - 1.2\ k\Omega$$
$$R_S = 3.3\ k\Omega$$

ข. ค่าความต้านทานของไดโอด R_d ขณะกระแสไหลผ่านมีค่า 20 ไมโครแอมป์

จากรูปที่ 2.29 (ข) จะได้

$$R_d = \frac{V_d}{I_d} = \frac{0.04\ V}{20\ \mu\ A} = 2\ k\Omega$$

ค. แรงดันอินพุต V_{in} ขณะกระแสไฟฟ้าไหลผ่านไดโอดมีค่า 20 ไมโครแอมป์

$$R_T = R_S + R_d + R_m$$

$$R_T = 3.3\ k\Omega + 2\ k\Omega + 0.2\ k\Omega$$

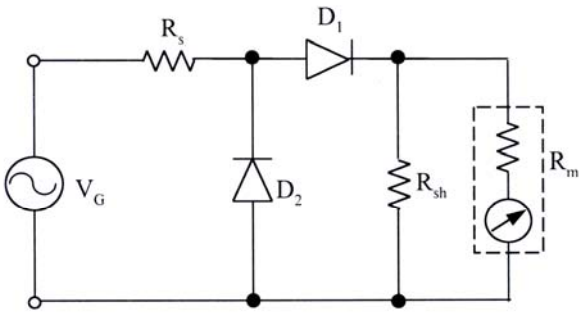
$$R_T = 5.5\ k\Omega$$

$$V_{in} = I_{in} R_T$$

$$V_{in} = 20\ \mu A \times 5.5\ k\Omega$$

$$V_{in} = 0.11\ V$$

ในทางปฏิบัติเครื่องวัดชนิดนี้จะต่อไดโอดเพิ่มขึ้นอีกหนึ่งตัวคือไดโอด D_2 แสดงได้ดังรูปที่ 2.30 เพื่อป้องกันไม่ให้กระแสรั่วไหลหรือป้องกันไม่ให้เกิดการไบแอสกลับที่ไดโอด D_1



รูปที่ 2.30 แสดงการต่อไดโอด D_2 เพิ่มเข้าไปในวงจร

จากรูปที่ 2.30 การต่อไดโอด D_2 จะไม่มีผลในขณะที่วงจรได้รับไซเคิลบวก เนื่องจากไดโอด D_2 ได้รับไบแอสกลับ ทำให้มีค่าความต้านทานสูงกระแสไม่สามารถไหลผ่าน D_1 ได้ในครึ่งไซเคิลลบ ไดโอด D_2 ได้รับไบแอสตรงทให้ความต้านทานลดลงกระแสไหลผ่านได้และไดโอด D_1 จะไม่มีกระแสไหลผ่าน ดังนั้นในการต่อไดโอดในลักษณะนี้จะช่วยป้องกันไดโอดไม่ให้ได้รับไบแอสกลับซึ่งกันและกันและทำให้กระแสไหลผ่านขดลวดเคลื่อนที่ในทิศทางเดียว

ตัวต้านทานที่ต่อขนานกับขดลวดเคลื่อนที่ R_{sh} จะช่วยให้กระแสไหลผ่านได้มากขึ้นเป็นการเลื่อนจุดทำงาน (operating point) ให้อยู่ในช่วงที่เป็นเชิงเส้น (linear) ของลักษณะสมบัติทางแรงดันและกระแส แต่มีข้อเสียคือจะทำให้ความไวลดลง

ตัวอย่างที่ 2.12 ขดลวดเคลื่อนที่ของเครื่องวัดในรูปที่ 2.30 มีค่าความต้านทาน 100 โอห์มและต้องการกระแสไหลผ่านขดลวด 1 มิลลิแอมป์ทำให้เข็มชี้เบี่ยงเบนเต็มสเกล ตัวต้านทานที่ต่อขนานขดลวดเคลื่อนที่เท่ากับ 100 โอห์ม ความต้านทานเฉลี่ยของไดโอดขณะได้รับไบแอสตรง D_1และ

D_2 มีค่า 400 โอห์มเท่ากัน สมมติให้ค่าความต้านทานของไดโอดขณะได้รับไบแอสกลับเท่ากับอนันต์และต้องการใช้เครื่องวัดค่าแรงดันไฟฟ้าสลับที่พิสัยวัด 10 โวลต์อาร์เอ็มเอส

จงหาค่าต่อไปนี้ ก. ค่าความต้านทานมัลติพลาย

ข. ความไวของโวลต์มิเตอร์

วิธีทำ

ก) ค่าความต้านทานทวีคูณแรงดัน

เมื่อไดโอด D_1 ได้รับไบแอสตรงและ D_2 ได้รับไบแอสกลับตัวต้านทาน R_m และ R_{sh} มีค่า 100 โอห์มเท่ากันทำให้กระแสที่ไหลผ่าน R_m และ R_{sh} มีค่าเท่ากันคือ 1 มิลลิแอมป์ ดังนั้นขณะเข็มเบี่ยงเบนเต็มสเกล กระแสทั้งหมด I_T จะมีค่า

$$I_T = I_m + I_{sh}$$

$$I_T = 1\ mA + 1\ mA = 2\ mA$$

แรงดันเต็มสเกลของเครื่องวัดเท่ากับ

$$V_{dc} = 0.45\ V_{rms}$$

$$V_{dc} = (0.45)(10\ V)$$

$$V_{dc} = 4.5\ V$$

ความต้านทานทั้งหมดของวงรของเครื่องวัด (ไม่คิดค่าความต้านทานของไดโอด) จะเท่ากับ

$$R_T = \frac{V_{dc}}{I_T} = \frac{4.5\ V}{2\ mA} = 2{,}250\ \Omega$$

การหาค่าความต้านทานรวมในกรณีที่คำนวณจากค่าความต้านทานของไดโอด D_1 และค่าความต้านทานที่ต่อขนานกับขดลวดเคลื่อนที่ R_m (ขณะที่ไดโอด D_2 ได้รับไบแอสกลับ ค่า

$$R_T = R_S + R_{D1} + \frac{R_m \times R_{sh}}{R_m + R_{sh}}$$

ความต้านทานเท่ากับอนันต์ไม่นำมาใช้ในการคำนวณ) คือ

ดังนั้นค่าความต้านทานมัลติพลายเท่ากับ

$$2{,}250\ \Omega = R_S + 400\ \Omega + \frac{(100\ \Omega)(100\ \Omega)}{(100\ \Omega + 100\ \Omega)}$$

$$2{,}250\ \Omega = R_S + 400\ \Omega$$

$$R_S = 2{,}250\ \Omega - 450\ \Omega = 1{,}800\ \Omega$$

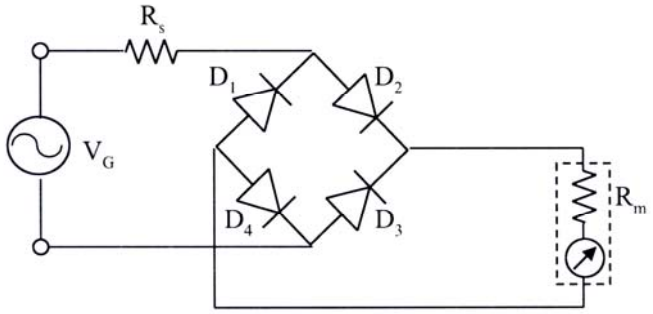
ข. ความไวของโวลต์มิเตอร์คำนวณหาได้จากสมการ

$$S_{dc} = \frac{R_T}{V_T} = \frac{2{,}250\ \Omega}{10\ V} = 225\ \Omega/V$$

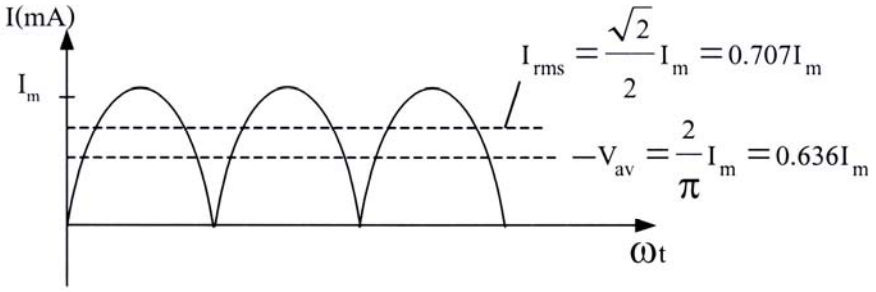
$$S_{ac} = 0.45\ S_{dc}$$

$$S_{ac} = (0.45)(225\ \Omega/V) = 112.5\ \Omega/V$$

2) เครื่องวัดชนิดเรียงกระแสแบบเต็มคลื่น เครื่องวัดแบบนี้จะมีการวัดแรงดันได้ถูกต้องมากกว่าเครื่องวัดชนิดเรียงกระแสแบบครึ่งคลื่น เนื่องจากมีความไวสูงกว่าและนิยมใช้เรียงกระแสแบบบริดจ์ (bridge rectifier)



(ก) วงจร



(ข) กระแสที่ไหลผ่านขดลวดเคลื่อนที่

รูปที่ 2.31 เอซีโวลต์มิเตอร์ชนิดเรียงกระแสแบบเต็มคลื่น

สมการที่ใช้ในการคำนวณหาค่าแรงดันเฉลี่ยของกระแสแบบเต็มคลื่น

$$V_{rms} = 0.707\ V_P \quad \text{..... (2-38)}$$

$$V_{av} = 0.636\ V_P \quad \text{..... (2-39)}$$

จากสมการที่ (2-38)

$$V_P = \frac{V_{rms}}{0.707} \quad \text{.....(2-40)}$$

จากสมการที่ (2-39)

$$V_P = \frac{V_{av}}{0.636} \quad \text{.....(2-41)}$$

จะได้

$$\frac{V_{av}}{0.636} = \frac{V_{rms}}{0.707}$$

$$V_{av} = \frac{0.636}{0.707}\ V_{rms}$$

$$V_{av} = 0.9\ V_{rms} \quad \text{.....(2-42)}$$

ค่าความไวของเอซีโวลต์มิเตอร์ชนิดนี้จะมีค่าเท่ากับ

$$S_{ac} = 0.9\ S_{dc} \quad \text{.....(2-43)}$$

â ´ Â· Õè $S_{dc} = \frac{1}{I_{fs}}$ (Ω/V)

เมื่อ S_{ac} = ค่าความไวของเอซีโวลต์มิเตอร์

S_{dc} = ค่าความไวของดีซีโวลต์มิเตอร์

ตัวอย่างที่ 2.13 จากวงจรรูปที่ 2.31 (ก) ขดลวดเคลื่อนที่ค่าความต้านทานภายใน R_m เท่ากับ 50 โอห์มและมีกระแสไหลผ่านเต็มสเกล 1 มิลลิแอมป์ สมมติให้ไดโอดเป็นไดโอดในอุดมคติ จงคำนวณหาค่าความต้านทานมัลติพลาย R_S ที่ทำให้มิเตอร์วัดแรงดันได้ 10 V_{rms} เต็มสเกลและค่าความไวของโวลต์มิเตอร์

วิธีทำ สำหรับวงจรเรียงกระแสแบบเต็มคลื่น

$$V_{av} = V_{dc} = \frac{2V_P}{\pi} = \frac{2\sqrt{2V_{rms}}}{\pi} = 0.9\ V_{rms}$$

á ÅÐ $V_{av} = (0.9)(10V) = 9\ V$

ค่าความต้านทานรวมของวงจรโดยไม่พิจารณาค่าความต้านทานของไดโอดเมื่อได้รับไบแอสตรงจะได้

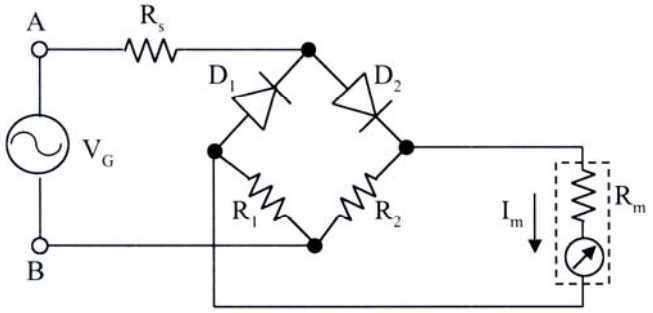
$$R_T = R_S + R_m = \frac{9\ V}{1\ mA} = 9\ k\Omega$$

á ÅÐ $R_S = R_T - R_m = 9{,}000\ \Omega - 50\ \Omega = 8{,}950\ \Omega$

ความไวของโวลต์มิเตอร์คือ

$$S_{ac} = \frac{R_T}{V_T} = \frac{8{,}950\ \Omega}{10V} = 895\ \Omega / V$$

แม้ว่าการต่อวงจรเรียงกระแสที่ใช้วงจรบริดจ์จะสามารถนำสัญญาณรูปคลื่นไซน์ทางด้านไซเคิลลบมาใช้งานได้ แต่เนื่องจากการใช้ไดโอด 4 ตัวทำให้ยุ่งยากในการตรวจสอบความเสียหายของไดโอดและสิ้นเปลืองค่าใช้จ่าย ดังนั้นในทางปฏิบัติเอซีโวลต์มิเตอร์ชนิดนี้จะใช้ไดโอดเพียง 2 ตัวแสดงได้ดังรูปที่ 2.32



รูปที่ 2.32 เอซีโวลต์มิเตอร์ชนิดเรียงกระแสเต็มคลื่นที่ใช้ไดโอด 2 ตัว

ในครึ่งไซเคิลบวกของสัญญาณรูปคลื่นไซน์จ่ายให้กับวงจรไดโอด D_1 ได้รับไบแอสตรง กระแสจะไหลผ่านไดโอด D_1 ขดลวดเคลื่อนที่ตัวความต้านทาน R_1 และครบวงจรที่จุด B ไดโอด D_2 จะได้รับไบแอสกลับ ทำให้ไม่มีกระแสไหลผ่าน

ในครึ่งไซเคิลลบของสัญญาณ กระแสที่ไหลผ่านจุด B ตัวความต้านทาน R_1 D_1 ขดลวดเคลื่อนที่ ไดโอด D_2 และครบวงจรที่ขั้ว A ไดโอด D_1 จะได้รับไบแอสทำให้ไม่มีกระแสไหลผ่านกลับ

ข้อจำกัดของเครื่องวัดชนิดเรียงกระแสแบบเต็มคลื่น

1) การออกแบบสเกลของเครื่องวัดชนิดนี้ มักเทียบกับไฟฟ้ากระแสสลับที่เป็นรูปไซน์ เมื่อนำไปวัดไฟฟ้าสลับที่เป็นรูปคลื่นชนิดอื่นๆ จะอ่านค่าได้ไม่ตรงกับค่าจริง

2) มีค่าความถูกต้องไม่สูงมากนักคือ อยู่ในช่วงประมาณ 3 – 5 เปอร์เซ็นต์ ของค่าที่ทำให้เข็มชี้เบี่ยงเบนเต็มสเกล

3) เนื่องจากอุปกรณ์ที่ใช้ในการเรียงกระแสคือไดโอด ดังนั้นการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิรอบๆเครื่องวัดและความถี่ของสัญญาณที่ทำการวัด จะมีผลต่อค่าที่อ่านได้จากเครื่องวัดด้วย