การทดลองที่ 16
แอมมิเตอร์และโวลต์มิเตอร์

วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาหลักการทำงานของแอมมิเตอร์และโวลต์มิเตอร์
2. เพื่อสร้างแอมมิเตอร์และโวลต์มิเตอร์ พร้อมทั้งทดสอบการใช้งาน

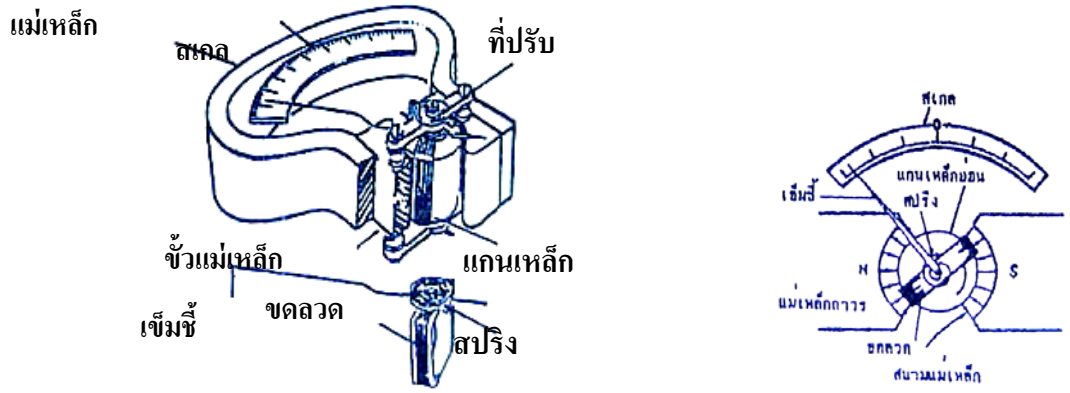
อุปกรณ์

1. กล่องชุดทดลองการสร้างแอมมิเตอร์และโวลต์มิเตอร์ ซึ่งประกอบด้วย
   - กัลวานอมิเตอร์ 1 เครื่อง
   - ตัวต้านทานปรับค่าได้ 3 ตัว คือ R_S (0 - 500 โอห์ม), R_y (100 - 600 โอห์ม) และ R_x-R_M (2k - 52k โอห์ม)
2. เครื่องจ่ายไฟฟ้ากระแสตรง 1 เครื่อง
3. VOM 1 เครื่อง
4. แผงวงจรทดสอบการใช้งานแอมมิเตอร์และโวลต์มิเตอร์ที่สร้างขึ้น 1 แผง (แผงวงจร B)
5. สายไฟต่อวงจร 7 เส้น
6. สายวัดบวกและสายวัดลบอย่างละ 1 เส้น

ทฤษฎี

กัลวานอมิเตอร์

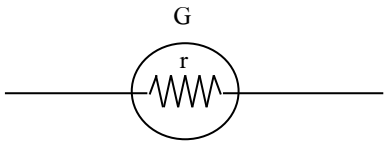
เครื่องมือที่ใช้วัดปริมาณทางไฟฟ้าต่างๆ มักประกอบด้วยกัลวานอมิเตอร์แบบขดลวดเคลื่อนที่ (moving - coil galvanometer) ซึ่งมีความไวต่อกระแสไฟฟ้ามาก ประกอบด้วยขดลวดซึ่งพันอยู่รอบแกนเหล็กอ่อน (soft iron core) หรือ กรอบอลูมิเนียม และวางอยู่ในสนามแม่เหล็กของแท่งแม่เหล็กถาวร ดังแสดงในรูปที่ 1



รูปที่ 1 ลักษณะกลไกการทำงานของกัลวานอมิเตอร์

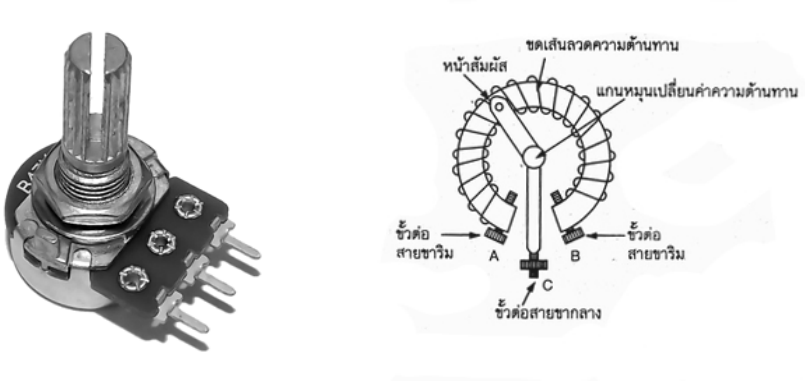
เมื่อกระแสไฟฟ้าไหลผ่านขดลวดจะประพฤติตัวเป็นแม่เหล็ก และจะถูกกระทำโดยแรงเนื่องจากสนามแม่เหล็กของแท่งแม่เหล็กถาวรทำให้ขดลวดเกิดการหมุน จนกระทั่งโมเมนต์เนื่องจากแรงแม่เหล็กเท่ากับโมเมนต์เนื่องจากแรงสปริงที่ยึดขดลวด มุมที่ขดลวดหมุนไปนี้เป็นสัดส่วนกับปริมาณกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านขดลวด เมื่อติดตั้งเข็มชี้และหน้าปัดสเกลก็สามารถนำมาใช้สำหรับตรวจสอบกระแสไฟฟ้าได้ นอกจากนี้ยังสามารถนำกัลวานอมิเตอร์มาประยุกต์เป็นเครื่องมือวัดปริมาณ

ทางไฟฟ้าต่างๆ ได้แก่ แอมมิเตอร์ (ammeter) ซึ่งเป็นเครื่องมือวัดกระแสไฟฟ้า โวลต์มิเตอร์ (voltmeter) ซึ่งเป็นเครื่องมือวัดความต่างศักย์ และโอห์มมิเตอร์ (ohmmeter) ซึ่งเป็นเครื่องมือวัดความต้านทาน สัญลักษณ์ของกัลวานอมิเตอร์ เป็นดังรูปที่ 2



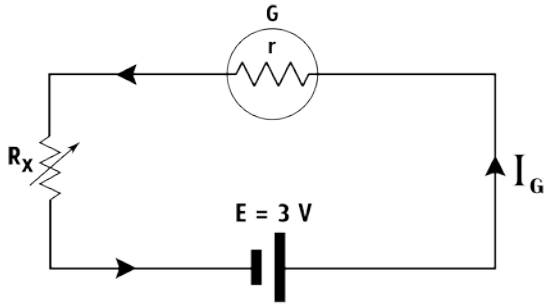
r เป็นความต้านทานภายในของกัลวานอมิเตอร์

รูปที่ 2 สัญลักษณ์ทางไฟฟ้าของกัลวานอมิเตอร์



รูปที่ 3 แสดงตัวต้านทานปรับค่าได้แบบโวลุ่มและโครงสร้างภายใน

การคำนวณหาค่ากระแสไฟฟ้าที่ทำให้เข็มกัลวานอมิเตอร์เบนเต็มสเกล (I_g) และความต้านทานภายในของกัลวานอมิเตอร์ (r)

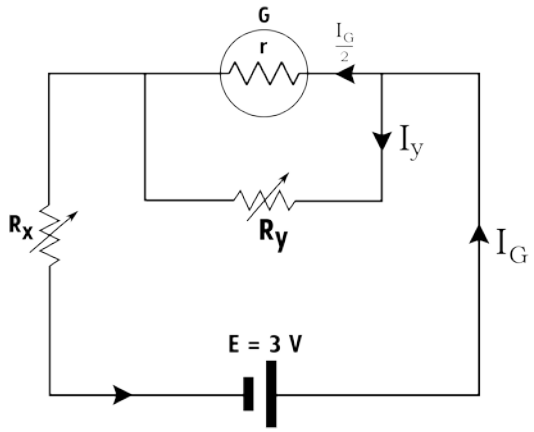


รูปที่ 4 วงจรเริ่มต้นเพื่อใช้หาค่า I_g และ r

พิจารณาวงจรในรูปที่ 4 เมื่อ R_x เป็นค่าความต้านทานที่ทำให้เข็มกัลวานอมิเตอร์เบนเต็มสเกลพอดีจะได้

$$I_g = \frac{E}{R_x + r} \qquad \text{.....(1)}$$

ถ้าต่อตัวต้านทาน R_y เพิ่มในวงจรขนานกับกัลวานอมิเตอร์ ดังรูปที่ 4 แล้วทำให้เข็มกัลวานอมิเตอร์เบนไปครึ่งหนึ่งของค่าเต็มสเกล



รูปที่ 5 การเพิ่ม R_y ในวงจรเพื่อใช้หาค่า I_g และ r

จะได้ $$\left(\frac{I_g}{2}\right)r = I_y R_y$$

หรือ $$I_y = \frac{I_g r}{2R_y} \qquad \text{.....(2)}$$

และ $$I = \frac{I_g}{2} + I_y \qquad \text{.....(3)}$$

จากกฎของเคอร์ชอฟฟ์ ได้ $$E = IR_x + \left(\frac{I_g}{2}\right)r \qquad \text{.....(4)}$$

แทน I จาก (3) ใน (4) ได้ $$E = \left[\left(\frac{I_g}{2}\right) + I_y\right]R_x + \left(\frac{I_g}{2}\right)r \qquad \text{.....(5)}$$

แทน I_y จาก (2) ใน (5) ได้ $$E = \left[\left(\frac{I_g}{2}\right) + \left(\frac{I_g r}{2R_y}\right)\right]R_x + \left(\frac{I_g}{2}\right)r$$

หรือ $$\frac{E}{I_g} = \frac{R_x R_y + rR_x + rR_y}{2R_y} \qquad \text{.....(6)}$$

แทน $E = I_g(R_x + r)$ จาก (1) ใน (6) ได้

$$R_x + r = \frac{R_x R_y + rR_x + rR_y}{2R_y}$$

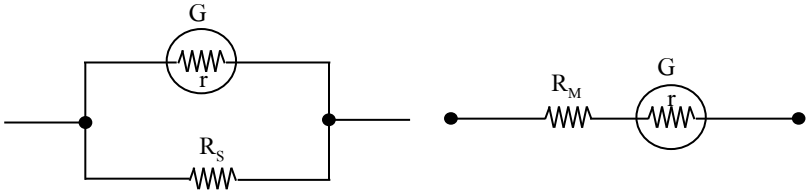
หรือ $$r = \frac{R_x R_y}{R_x - R_y} \qquad \text{.....(7)}$$

แอมมิเตอร์และโวลต์มิเตอร์

แอมมิเตอร์และโวลต์มิเตอร์ประกอบด้วยอุปกรณ์สองชนิด ได้แก่ กัลวานอมิเตอร์ และ ตัวต้านทาน

แอมมิเตอร์ เป็นเครื่องมือที่ใช้วัดกระแสไฟฟ้า ประกอบด้วยตัวต้านทาน (R_S) ต่อขนานกับกัลวานอมิเตอร์ (หรือ เรียกว่าการต่อ shunt) ดังรูปที่ 6(ก) โดยตัวต้านทาน R_S มีความต้านทานค่อนข้างต่ำ เพื่อให้กระแสไฟฟ้าไหลผ่านกัลวานอมิเตอร์มากที่สุด ค่าความต้านทาน R_S นี้จะเป็นตัวกำหนดค่ากระแสไฟฟ้าสูงสุดที่แอมมิเตอร์จะสามารถวัดได้ (ค่าเต็มสเกล)

โวลต์มิเตอร์ เป็นเครื่องมือที่ใช้วัดความต่างศักย์ไฟฟ้าหรือแรงดัน ประกอบด้วย ตัวต้านทาน (R_M) ต่ออนุกรมกับกัลวานอมิเตอร์ ดังรูปที่ 6(ข) โดยตัวต้านทาน R_M มีค่าความต้านทานค่อนข้างสูง เพื่อให้แรงดันตกคร่อมความต้านทานภายในกัลวานอมิเตอร์มีค่าน้อย ค่าความต้านทาน R_M นี้จะเป็นตัวกำหนดค่าแรงดันไฟฟ้าสูงสุดที่โวลต์มิเตอร์สามารถวัดได้ (ค่าเต็มสเกล)



(ก) แอมมิเตอร์ **(ข) โวลต์มิเตอร์**

รูปที่ 6 ส่วนประกอบของแอมมิเตอร์(ก) และโวลต์มิเตอร์(ข)

การนำแอมมิเตอร์และโวลต์มิเตอร์ไปใช้วัดกระแสไฟฟ้าและความต่างศักย์ไฟฟ้าในวงจรมีหลักดังนี้

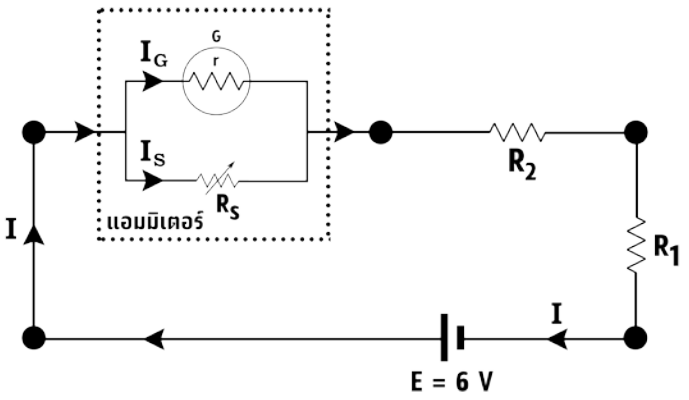
ต้องต่อ **แอมมิเตอร์** อนุกรม (ต่อแทรก) กับส่วนของวงจรที่ต้องการวัดกระแสไฟฟ้า

ต้องต่อ **โวลต์มิเตอร์** ขนาน (ต่อคร่อม) กับส่วนที่ต้องการวัดความต่างศักย์หรือแรงดันไฟฟ้า

แอมมิเตอร์และโวลต์มิเตอร์จะสามารถวัดค่ากระแสไฟฟ้าและความต่างศักย์ไฟฟ้าสูงสุดได้เท่าใดนั้น ขึ้นกับค่าความต้านทาน R_S และ R_M โดยค่า R_S และ R_M จะขึ้นกับสมบัติของกัลวานอมิเตอร์ ได้แก่ค่า I_g และ r

การคำนวณค่า R_S ที่ทำให้แอมมิเตอร์วัดกระแสไฟฟ้าได้สูงสุด I

พิจารณารูปที่ 7 ซึ่งแสดงการต่อแอมมิเตอร์อนุกรม(ต่อแทรก) กับส่วนของวงจรที่ต้องการวัดกระแสไฟฟ้า



รูปที่ 7 การต่อแอมมิเตอร์เพื่อวัดกระแสไฟฟ้าในวงจร

กระแสไฟฟ้าในวงจร (I) ที่ไหลผ่านแอมมิเตอร์จะแยกเป็น 2 ส่วน ส่วนหนึ่งไหลผ่านกัลวานอมิเตอร์ (I_g) อีกส่วนหนึ่งไหลผ่าน R_S (I_S) กรณีเข็มกัลวานอมิเตอร์เบนเต็มสเกลพอดี กระแสไฟฟ้าในวงจร I จะเป็นกระแสไฟฟ้าสูงสุดที่แอมมิเตอร์สามารถวัดได้ และ I_g เป็นกระแสไฟฟ้าที่ทำให้เข็มกัลวานอมิเตอร์เบนเต็มสเกลพอดี

จากกฎของเคอร์ชอฟฟ์ จะได้

$$I = I_g + I_s \qquad \text{.....(8)}$$

และ $$I_g r = I_s R_s \qquad \text{.....(9)}$$

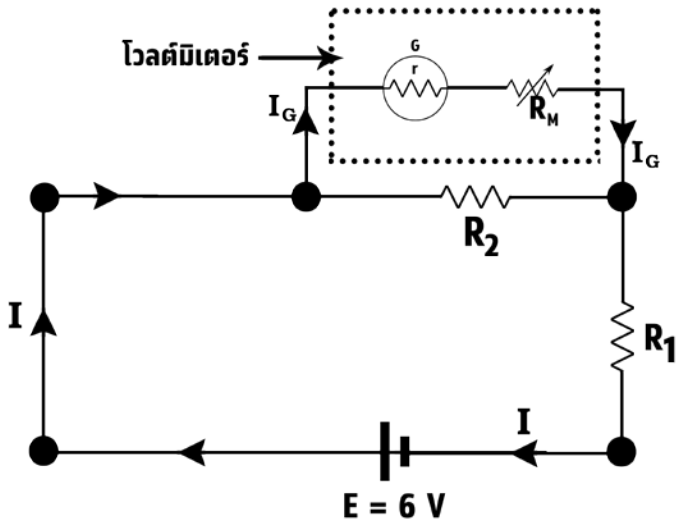
จาก (9) ได้ $R_s = \frac{I_g r}{I_s}$ เมื่อแทนค่า $I_s = I - I_g$ จาก (8) จะได้

$$R_s = \frac{I_g r}{I - I_g} \qquad \text{.....(10)}$$

ดังนั้นสามารถคำนวณหาค่า R_S ที่ทำให้แอมมิเตอร์วัดกระแสไฟฟ้าได้สูงสุด I ได้จากสมการ (10) เมื่อ I_g เป็นค่ากระแสไฟฟ้าที่ทำให้เข็มกัลวานอมิเตอร์เบนเต็มสเกล และ r เป็นค่าความต้านทานภายในของกัลวานอมิเตอร์

การคำนวณค่า R_M ที่ทำให้โวลต์มิเตอร์วัดความต่างศักย์ไฟฟ้าได้สูงสุด V

พิจารณารูปที่ 8 ซึ่งแสดงการต่อโวลต์มิเตอร์ขนาน (ต่อคร่อม) กับส่วนของวงจรที่ต้องวัดความต่างศักย์ไฟฟ้า (ในที่นี้คือการวัดแรงดันย่อย R)



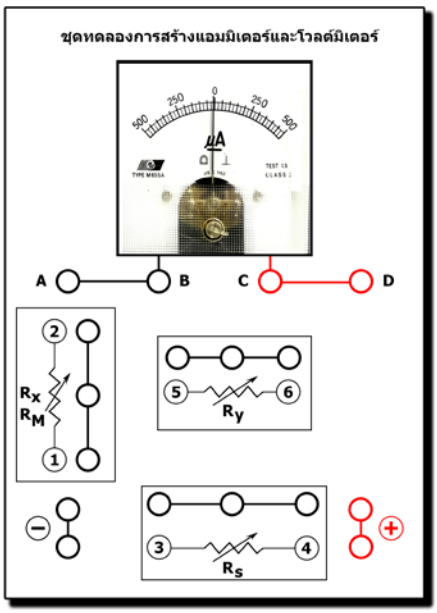
รูปที่ 8 การต่อโวลต์มิเตอร์เพื่อวัดความต่างศักย์ไฟฟ้าในวงจร

กรณีเข็มกัลวานอมิเตอร์เบนเต็มสเกลพอดี แรงดันคร่อม R (V) จะเป็นแรงดันไฟฟ้าสูงสุดที่โวลต์มิเตอร์สามารถวัดได้ จากกฎของเคอร์ชอฟฟ์จะได้

$$V = I_g(R_M + r)$$

หรือ $$R_M = \frac{V}{I_g} - r \qquad \text{.....(11)}$$

ดังนั้นสามารถคำนวณหาค่า R_M ที่ทำให้โวลต์มิเตอร์วัดค่าแรงดันไฟฟ้าได้สูงสุด V จากสมการ (11) เมื่อ I_g เป็นค่ากระแสไฟฟ้าที่ทำให้เข็มกัลวานอมิเตอร์เบนเต็มสเกล และ r เป็นค่าความต้านทานภายในของกัลวานอมิเตอร์

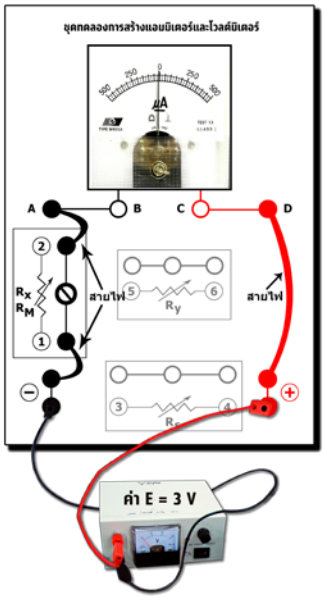


รูปที่ 9 แสดงผังกล่องชุดทดลองการสร้างแอมมิเตอร์และโวลต์มิเตอร์

วิธีการทดลอง

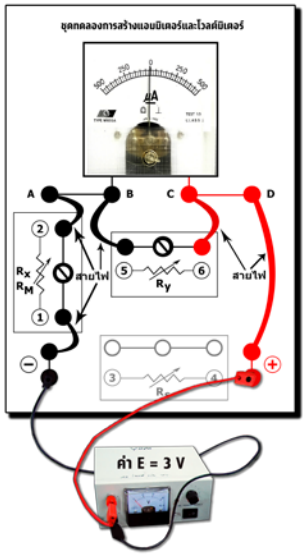
<u>ตอนที่ 1</u> หาค่ากระแสไฟฟ้าที่ทำให้เข็มกัลวานอมิเตอร์เบนเต็มสเกล (I_g) และค่าความต้านทานภายในของกัลวานอมิเตอร์ (r)

1. ตั้งค่าความต่างศักย์ของแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงเท่ากับ 3 โวลต์ โดยใช้ VOM วัด เสร็จแล้วปิด (OFF) สวิตช์แหล่งจ่ายไฟ จากนั้นต่อสายไฟระหว่าง ขั้ว (+) ของกล่องชุดทดลองการสร้างแอมมิเตอร์และโวลต์มิเตอร์ เข้ากับ ขั้ว (+) ของแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรง และต่อสายไฟระหว่างขั้ว (-) ของกล่องชุดทดลองการสร้างแอมมิเตอร์และโวลต์มิเตอร์ เข้ากับ ขั้ว (-) ของแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรง
2. ใช้กล่องฯ ต่อวงจรเพื่อหาค่า R_x โดยต่อตัวต้านทานปรับค่าได้ R_x อนุกรมกับกัลวานอมิเตอร์และต่อเข้ากับแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงที่ปรับค่าในข้อที่ 1 ไว้แล้ว จะได้วงจรดังรูปที่ 10 จากนั้นเปิด (ON) สวิตช์เครื่องจ่ายไฟฟ้ากระแสตรง เพื่อให้กระแสไฟฟ้าไหลในวงจร



รูปที่ 10 แสดงการต่อวงจรเพื่อหาค่า R_x

3. ปรับค่า R_x จนทำให้เข็มของกัลวานอมิเตอร์เบน**เต็มสเกลพอดี**จากนั้น***<u>ห้าม</u>***ปรับค่า R_x อีก
4. ต่อวงจรเพื่อหาค่า R_y โดยใช้ตัวต้านทานปรับค่าได้ R_y ต่อขนานกับกัลวานอมิเตอร์ในวงจรข้อ 2 จะได้วงจรดังรูปที่ 11



รูปที่ 11 แสดงการต่อวงจรเพื่อหาค่า R_y

5. ปรับค่า R_y จนทำให้เข็มของกัลวานอมิเตอร์เบนไป **ครึ่งหนึ่งของค่าเต็มสเกล** จากนั้น ***ห้าม***ปรับค่า R_y อีก
6. ปิด (OFF) สวิตช์แหล่งจ่ายไฟ ถอดสายไฟต่อวงจรออกทั้งหมด โดยระวังอย่าให้ค่า R_x และ R_y เคลื่อนไปจากค่าที่ตั้งไว้
7. วัดค่า R_x และวัดค่า R_y ด้วย VOM แล้วบันทึกค่า R_x และ R_y
8. คำนวณค่า r จากสมการ $r = \dfrac{R_x R_y}{R_x - R_y}$

และคำนวณค่า I_g จากสมการ $I_g = \dfrac{E}{R_x + r}$ โดยแทนค่า E = 3 V

<u>ตอนที่ 2</u> สร้างแอมมิเตอร์ที่สามารถวัดกระแสไฟฟ้าได้สูงสุด 2.5 มิลลิแอมแปร์

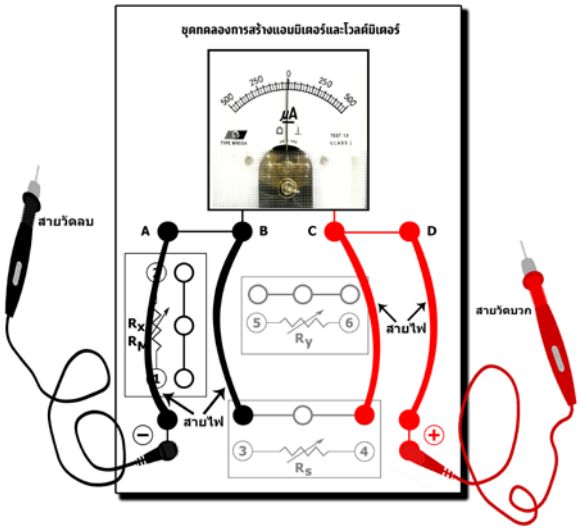
1. คำนวณค่า R_S จากสมการ

$$R_s = \frac{I_g r}{I - I_g}$$

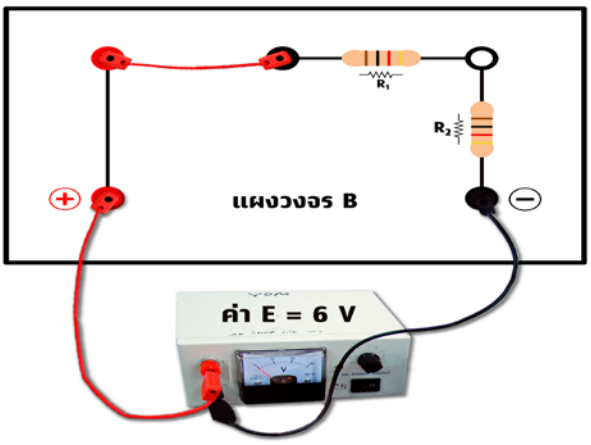
โดยแทนค่า I = 2.5 มิลลิแอมแปร์ และแทนค่า I_g ,r จากที่คำนวณได้ในตอนที่ 1

2. ปรับค่าตัวต้านทานปรับค่าได้ R_S ด้วย VOM ให้มีค่าเท่ากับค่า R_S ที่คำนวณได้ในข้อ 1
3. ต่อตัวต้านทาน R_S ขนานกับกัลวานอร์มิเตอร์ ต่อสายไฟออกจากขั้ว A เข้ากับขั้ว (-) จากนั้นต่อสายวัดออกจากขั้ว (-) เพื่อใช้เป็นสายวัดลบ และต่อสายไฟออกจากขั้ว D เข้ากับขั้ว (+) จากนั้นต่อสายวัดออกจากขั้ว (+) เพื่อใช้เป็นสายวัดบวก จะได้แอมมิเตอร์ที่สามารถวัดกระแสไฟฟ้าได้สูงสุด 2.5 มิลลิแอมแปร์ พร้อมใช้งานดังรูปที่ 12

รูปที่ 12 แสดงการต่อวงจรสำหรับสร้างแอมมิเตอร์



4. ต่อวงจรบนแผงวงจร B ให้เป็นดังรูปที่ 13 โดยตั้งค่าความต่างศักย์ของแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงเท่ากับ 6 โวลต์ (โดยใช้ VOM วัด)



รูปที่ 13 แสดงการต่อวงจรในแผงวงจร B

5. นำแอมมิเตอร์ที่สร้างขึ้น มาวัดกระแสไฟฟ้ากระแสตรงที่ไหลในวงจรในแผงวงจร B โดยต่อแอมมิเตอร์แบบอนุกรมเข้ากับวงจร (ปลดสายไฟบางส่วนของวงจรในแผงวงจร B ออก แล้วต่อแอมมิเตอร์ที่สร้างขึ้นแทรกเข้าไปแทนโดยดูขั้วให้ถูกต้อง) บันทึกค่ากระแสไฟฟ้าที่วัดได้ด้วยแอมมิเตอร์ที่สร้างขึ้น เป็นค่า I
6. นำ VOM มาวัดกระแสไฟฟ้าที่ไหลในวงจรในข้อ 4. (ตั้งสวิตช์เลือกของ VOM ที่ DCA 2.5 mA) โดยต่อ VOM อนุกรมเข้ากับวงจร บันทึกค่ากระแสไฟฟ้าที่วัดด้วย VOM เป็นค่า I_0

   หมายเหตุ : เมื่อเสร็จแล้วไม่ต้องถอดวงจรบนแผง B ออก เพราะต้องใช้วัดค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าในตอนที่ 3 ต่อสายไฟกลับคืนให้ครบวงจร ปิด (OFF) สวิตช์แหล่งจ่ายไฟ
7. เปรียบเทียบค่ากระแสไฟฟ้าวัดด้วยแอมมิเตอร์ที่สร้างขึ้น (I) กับค่ากระแสไฟฟ้าวัดด้วย VOM (I_0) โดยคำนวณค่าเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อน

$$\text{เปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อน} = \frac{|I - I_0|}{I_0} \times 100\ \%$$

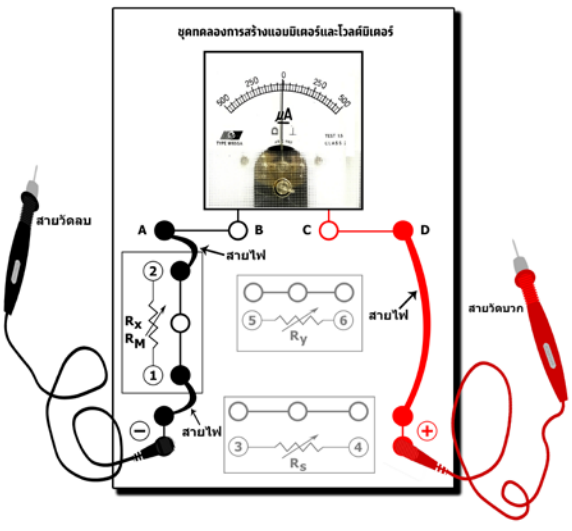
<u>ตอนที่ 3</u> สร้างโวลต์มิเตอร์ที่สามารถวัดความต่างศักย์ไฟฟ้าได้สูงสุด 10 โวลต์

1. คำนวณค่า R_M จากสมการ

$$R_M = \frac{V}{I_g} - r$$

โดยแทนค่า V = 10 โวลต์ และใช้ค่า I_g , r จากตอนที่ 1

2. ปรับค่าตัวต้านทานปรับค่าได้ R_M ด้วย VOM ให้มีค่าเท่ากับค่า R_M ที่คำนวณได้ในข้อ 1.
3. ต่อตัวต้านทานปรับค่าได้ R_M แบบอนุกรมกับกัลวานอมิเตอร์ และต่อสายไฟจากขาตัวต้านทาน R_M เข้ากับขั้ว (-) บนกล่องฯ จากนั้นต่อสายวัดออกจากขั้ว (-) บนกล่องฯ (เพื่อใช้เป็นสายวัดลบ) และต่อสายไฟจากขั้ว D กับขั้ว (+) จากนั้นต่อสายวัดออกจากขั้ว (+) บนกล่องฯ (เพื่อใช้เป็นสายวัดบวก) จะได้โวลต์มิเตอร์ที่สามารถวัดความต่างศักย์ไฟฟ้าได้สูงสุด 10 โวลต์ พร้อมใช้งานดังรูปที่ 14



รูปที่ 14 แสดงการต่อวงจรสำหรับสร้างโวลต์มิเตอร์

4. นำโวลต์มิเตอร์ที่สร้างขึ้นไปวัดความต่างศักย์ไฟฟ้าคร่อมตัวต้านทาน R_1 และ R_2 บนแผงวงจร B (วงจรในรูปที่ 13) บันทึกค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าที่วัดด้วยโวลต์มิเตอร์ที่สร้างขึ้นลงในตารางบันทึกผล
5. นำ VOM มาวัดความต่างศักย์ไฟฟ้าคร่อมตัวต้านทาน R_1 กับ R_2 บนแผงวงจร B (ตั้งสวิตช์เลือกของ VOM ที่ DCV 10 V) บันทึกค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าที่วัดด้วย VOM ลงในตารางบันทึกผล
6. เปรียบเทียบค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าที่วัดด้วยโวลต์มิเตอร์ที่สร้างขึ้น (V) กับค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าที่วัดด้วย VOM (V_0)

$$\text{เปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อน} = \frac{|V - V_o|}{V_o} \times 100$$