

ฟิสิกส์ บทที่ 16 ไฟฟ้าและแม่เหล็ก (1)

ตอนที่ 1 กระแสไฟฟ้า

ขั้วบวก

สนามไฟฟ้า (E)

กระแสอิเล็กตรอน

$-e$

$+Q$

กระแสประจุ = กระแสไฟฟ้า (I)

ขั้วลบ

กฎการบวก

$+5 \rightarrow 0$

$-5 \rightarrow 0$

- 1) กระแสไฟฟ้า เป็นเพียงกระแสสมมุติ
- 2) กระแสไฟฟ้า ไม่ใช่กระแสอิเล็กตรอน
- 3) กระแสไฟฟ้าจะไหลสวนทางกับอิเล็กตรอน
และกระแสไฟฟ้าจะไหลทางเดียวกับประจุบวก
และกระแสไฟฟ้าจะมีทิศทางกับสนามไฟฟ้า (E)

1(มข 40) กำหนดให้สนามไฟฟ้า (E) มีทิศทางดังรูป การเคลื่อนที่ของอนุภาคที่มีประจุไฟฟ้า และ ทิศทางของกระแสไฟฟ้า (I) ที่เกิดขึ้นจะเป็นจริงดังรูปในข้อใด (ข้อ 3)

- 1.
- 2.
- 3.
- 4.

วิธีทำ

เราสามารถคำนวณหาปริมาณกระแสไฟฟ้าได้จากสมการ

$$I = \frac{Q}{t}$$

เมื่อ Q = ปริมาณประจุไฟฟ้าที่ไหลผ่านพื้นที่หน้าตัดตัวนำ ณ.จุดหนึ่งๆ (คูลอมบ์)

t = เวลาที่ประจุไฟฟ้าไหลผ่านจุดนั้นๆ (วินาที)

I = กระแสไฟฟ้าที่เกิด (แอมแปร์, A)

2. ถ้าประจุไฟฟ้าที่ผ่านลวดตัวนำหนึ่ง ภายในเวลา 2 นาที เท่ากับ 600 ไมโครคูลอมบ์

กระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านลวดตัวนำนี้จะมีค่ากี่แอมแปร์ (5×10^{-6})

วิธีทำ

3. ถ้าปริมาณประจุไฟฟ้าที่ผ่านหลอดไฟใน 1 นาที เท่ากับ 120 ไมโครคูลอมบ์ กระแสไฟฟ้าผ่านหลอดไฟมีค่ากี่แอมแปร์ (2×10^{-6})

วิธีทำ

กรณีที่โจทย์ไม่บอกขนาดประจุไฟฟ้า (Q) มาให้นั้น เราอาจหาค่าประจุไฟฟ้าได้จากสมการ

$$Q = n e$$

เมื่อ n = จำนวนอิเล็กตรอนที่เคลื่อนที่ผ่านพื้นที่หน้าตัดตัวนำ ณ.จุดหนึ่งๆ

$$e = 1.6 \times 10^{-19} \text{ C} \quad (\text{คือ ประจุอิเล็กตรอน 1 ตัว})$$

4. หากจำนวนอิเล็กตรอนที่เคลื่อนผ่านพื้นที่หน้าตัดเส้นลวดตัวนำหนึ่งเท่ากับ 5×10^{20} อนุภาคภายในเวลา 2 วินาที จงหาปริมาณกระแสไฟฟ้าที่เกิดขึ้น (40 แอมแปร์)

วิธีทำ

เราอาจคำนวณหาปริมาณกระแสไฟฟ้าได้จากอีกสมการหนึ่ง คือ

$$I = N e v A$$

เมื่อ N = ความหนาแน่นอิเล็กตรอน (m^{-3})

$$e = 1.6 \times 10^{-19} \text{ C} \quad (\text{คือ ประจุอิเล็กตรอน 1 ตัว})$$

v = ความเร็วลอยเลื่อนของอิเล็กตรอน (m/s)

A = พื้นที่หน้าตัดของตัวนำ (m^2)

5. ลวดเส้นหนึ่งมีพื้นที่หน้าตัด 5 ตร.มม มี 5×10^{28} อนุภาคต่อ ล.บ เมตร ถ้า e เคลื่อนที่ด้วยความเร็วลอยเลื่อน 1 มม/วินาที จงหากระแสที่ไหลในเส้นลวด (8 A)

วิธีทำ

6(En 37) ลวดโลหะเส้นหนึ่งมีพื้นที่ ภาศตัดขวาง 1 ตารางมิลลิเมตร ถ้ามีกระแสไฟฟ้าจำนวนหนึ่งไหลผ่านลวดนี้ ในเวลา 4 วินาที โดยขนาดความเร็วลอยเลื่อนของอิเล็กตรอนเท่ากับ 0.02 เซนติเมตรต่อวินาที จงหาปริมาณประจุไฟฟ้าที่เคลื่อนที่ผ่านลวดนี้ในเวลาดังกล่าว (ให้ความหนาแน่นอิเล็กตรอนอิสระของโลหะนี้เท่ากับ $1.0 \times 10^{29} \text{ m}^{-3}$)

1. 8.00 C

2. 10.2 C

3. 12.8 C

4. 16.0 C

(ข้อ 3)

วิธีทำ

ควรทราบเพิ่มเติมว่า พื้นที่ใต้กราฟกระแสไฟฟ้า (I) กับเวลา (t) จะมีขนาดเท่ากับปริมาณประจุไฟฟ้า (Q) เสมอ

7(En 41/2) กระแสไฟฟ้า I ที่ผ่านเส้นลวดโลหะเส้นหนึ่งสัมพันธ์กับเวลา T ดังกราฟ จงหาปริมาณประจุไฟฟ้าทั้งหมดที่ผ่านพื้นที่หน้าตัดของเส้นลวดโลหะนี้ในช่วงเวลา 0 ถึง 10 วินาที

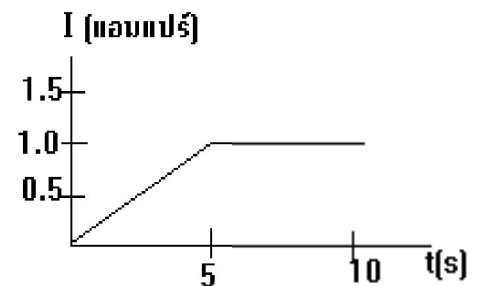
1. 5.0 C

2. 6.25 C

3. 7.5 C

4. 8.75 C

(ข้อ 3)

วิธีทำ

ตอนที่ 2 กฎของโอห์ม และความต้านทาน

กฎของโอห์ม กล่าวว่า

“ปริมาณกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านตัวนำหนึ่ง ๆ จะแปรผันตรงกับความต่างศักย์”

เขียนความสัมพันธ์จะได้

$$I \propto V$$

$$I = k V$$

$$V = \frac{1}{k} I$$

$$V = I R$$

เมื่อ

$$V = \text{ความต่างศักย์ (โวลต์)}$$

$$I = \text{ปริมาณกระแสไฟฟ้า (แอมแปร์)}$$

$$R = \text{ความต้านทาน (โอห์ม)}$$

8. จะต้องใช้ความต่างศักย์เท่าใดต่อกับตัวต้านทาน 1 เมกะโอห์ม ($10^6 \Omega$) เพื่อให้มีกระแสไฟฟ้าผ่านตัวต้านทาน 1 mA (1000 โวลต์)

วิธีทำ

9. ลวดความต้านทานเส้นหนึ่ง เมื่อต่อระหว่างความต่างศักย์ 4.0×10^{-3} โวลต์ มีกระแสไหลผ่าน 1.0 มิลลิแอมแปร์ ถ้าต่อระหว่างความต่างศักย์ 1.2 โวลต์ จะมีกระแสผ่านกี่แอมแปร์
- ก. 0.3×10^{-3} ข. 3.3×10^{-3} ค. 4.8×10^{-3} ง. 0.3 (ข้อ ง)

วิธีทำ

จาก $V = IR$

จะได้ $\frac{V}{R} = I$

จะเห็นว่า หาก R มาก I จะน้อย

หาก R น้อย I จะมาก

และเกี่ยวกับความต้านทานของตัวนำใดๆ

$$R \propto \frac{L}{A}$$

$$R = \rho \frac{L}{A}$$

เมื่อ $R =$ ความต้านทาน (โอห์ม)

$\rho =$ สภาพต้านทาน (โอห์ม . เมตร)

$L =$ ความยาว (เมตร)

$A =$ พื้นที่หน้าตัดของตัวนำ (เมตร²)



10. ลวดโลหะชนิดหนึ่ง มีสภาพต้านทาน 2.0×10^{-8} โอห์ม . เมตร และมีพื้นที่หน้าตัด 1.0 ตารางเซนติเมตร ถ้าต้องการให้ลวดโลหะนี้มีความต้านทาน 1 โอห์ม จะต้องใช้ลวดยาวกี่เมตร
1. 5.0×10^{-3} 2. 2.0×10^{-2} 3. 50 4. 5.0×10^7 (ไม่มีข้อถูก)

วิธีทำ

11. ทรงกระบอกทำจากโลหะที่มีสภาพต้านทาน 4×10^{-7} โอห์ม.เมตร มีพื้นที่หน้าตัด 0.04 ตารางเซนติเมตร ช่วง AB ยาว 1.50 เมตร ขณะที่มีการเสไฟฟ้า 20 มิลลิแอมแปร์ ไหลผ่านทรงกระบอกนี้ ความต่างศักย์ระหว่าง AB มีค่ากี่โวลต์

1. 3×10^{-3} 2. 3×10^{-4} 3. 3×10^{-5} 4. 3×10^{-7} (ข้อ 1)

วิธีทำ

12. สายไฟ 2 เส้น ทำด้วยโลหะ 2 ชนิด เส้นแรกมีสภาพความต้านทานเป็น 5 เท่าของเส้นที่ 2 ถ้าความยาวและความต้านทานเท่ากัน อัตราส่วนพื้นที่หน้าตัดของเส้นที่ 1 ต่อเส้นที่ 2 คือ

ก. 1 : 3

ข. 2 : 1

ค. 5 : 1

ง. 5 : 2

(ค.)

วิธีทำ

13. สายไฟ 2 เส้น ทำจากโลหะชนิดเดียวกัน เส้นที่สองมีพื้นที่หน้าตัดเป็น 6 เท่าของเส้นแรก และมีความยาวเป็น 3 เท่าของเส้นแรก จงหาว่าความต้านทานของเส้นแรกว่ามีค่าเป็นกี่เท่าของเส้นที่สอง (2 เท่า)

วิธีทำ

14. ลวดตัวนำขนาดสม่ำเสมอเส้นหนึ่งยาว 8 เมตร วัดความต้านทานได้ 9 โอห์ม ถ้ามีลวดตัวนำชนิดเดียวกัน แต่ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางเป็นครึ่งหนึ่งของเส้นแรก ต้องการให้มีความต้านทาน 18 โอห์ม จะต้องใช้ลวดยาวกี่เมตร (4)

วิธีทำ

15. ลวดเส้นหนึ่งมีความต้านทาน 6.0 โอห์ม เมื่อนำมารีดให้เส้นลวดมีขนาดเล็กลงจนมีความยาวเป็นสามเท่าของตอนเริ่มต้น ถ้าคุณสมบัติต่างๆ ของสารที่ทำเส้นลวดไม่เปลี่ยน ความต้านทานของเส้นลวดตอนสุดท้ายจะเป็นกี่โอห์ม (ข้อ ง.)

ก. 18

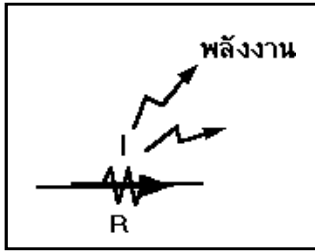
ข. 24

ค. 36

ง. 54

วิธีทำ

ตอนที่ 3 พลังงานไฟฟ้า และ กำลังไฟฟ้า



สมการที่ใช้หาพลังงานไฟฟ้า

$$W = Q V$$

$$W = I t V$$

$$W = I t I R$$

$$W = I^2 R t$$

$$W = \frac{V}{R} t V$$

$$W = \frac{V^2}{R} t$$

จาก $Q = I t$

จาก $V = I R$

จาก $I = \frac{V}{R}$

เมื่อ W = พลังงานไฟฟ้า (จูล)

V = ความต่างศักย์ (โวลต์)

t = เวลา (วินาที)

Q = ประจุไฟฟ้า (คูลอมบ์)

I = กระแสไฟฟ้า (แอมแปร์)

R = ความต้านทาน (โอห์ม)

สมการที่ใช้หากำลังไฟฟ้า

$$P = \frac{W}{t}$$

$$P = \frac{QV}{t}$$

$$P = I V$$

$$P = I^2 R$$

$$P = \frac{V^2}{R}$$

เมื่อ P = กำลังไฟฟ้า (วัตต์)

16. ต่อหลอดไฟกับความต่างศักย์ 220 V แอมมิเตอร์อ่านกระแสไฟฟ้าได้ 0.1 A จงหาพลังงานไฟฟ้าที่สูญเสียไปเมื่อเปิดหลอดไฟนี้ 1 นาที (1320 จูล)

วิธีทำ

- 17(มข 28) เตาไฟฟ้าเตาหนึ่งประกอบด้วยลวดให้ความร้อนซึ่งมีความต้านทาน 48.4Ω เมื่อต่อเข้ากับความต่างศักย์ไฟฟ้า 220 V เป็นเวลา 10 นาที จงหาปริมาณความร้อนที่เกิดขึ้น
- ก. $6 \times 10^5 \text{ J}$ ข. $6 \times 10^4 \text{ J}$ ค. 10^4 J ง. 10^3 J (ข้อ ก)

วิธีทำ

18. ปริมาณความร้อนที่เกิดจากกระแสไฟฟ้า 1 แอมแปร์ ผ่านความต้านทาน 50Ω เป็นเวลา 10 นาที เท่ากับกี่แคลลอรี (ให้ $4.2 \text{ จูล} = 1 \text{ แคลลอรี}$)
- ก. 120 ข. 720 ค. 3600 ง. 7200 (ข้อ ง.)

วิธีทำ

19. ต่อหลอดไฟกับความต่างศักย์ 220 V แอมมิเตอร์อ่านกระแสไฟฟ้าได้ 0.1 A จงหากำลังไฟฟ้าของหลอดไฟนี้
- (22 วัตต์)

วิธีทำ

- 20(En 37) หลอดไฟฟ้าหลอดแรกมีความต้านทาน 4 โอห์ม ต่อกับแบตเตอรี่ 12 โวลต์ หลอดที่ 2 มีความต้านทาน 5 โอห์ม ต่อกับแบตเตอรี่ 15 โวลต์ กำลังไฟฟ้าที่หลอดทั้งสองใช้ต่างกันเท่าใด
1. 3 W 2. 9 W 3. 11 W 4. 22 W (ข้อ 2)

วิธีทำ

- 21(En 41) เต้าไฟฟ้าขนาด 1200 วัตต์ เต้าอบไมโครเวฟขนาด 900 วัตต์ และหม้อหุงข้าวไฟฟ้าขนาด 600 วัตต์ ถ้าใช้ทั้งสามเครื่องกับไฟฟ้า 220 โวลต์ พร้อมกันจะใช้กระแสไฟฟ้าเท่าใด
1. 8 A 2. 10 A 3. 12 A 4. 15 A (ข้อ 3)

วิธีทำ

22. ห้องทำงานแห่งหนึ่งใช้ไฟฟ้าจากแหล่งกำเนิด 200 โวลต์ ภายในห้องมีหลอดไฟขนาด 100 วัตต์ 3 ดวง และพัดลมขนาด 200 วัตต์ 2 เครื่อง เพื่อป้องกันความเสียหายจากการเกิดไฟฟ้าลัดวงจร ควรจะมีฟิวส์ขนาดเล็กสุดเท่าใด
1. 2 A 2. 3 A 3. 4 A 4. 5 A (ข้อ 3.)

วิธีทำ

23(มข 43) จงหาสภาพต้านทานไฟฟ้าในหน่วยโอห์มต่อเมตรของลวดยาว 2 เมตร พื้นที่หน้าตัด 10^{-6} ตารางเมตร เมื่อมีกระแสไฟฟ้า 1 แอมแปร์ไหลผ่าน จะมีอัตราการเปลี่ยนแปลง พลังงานไฟฟ้าเป็นพลังงานความร้อน 48 มิลลิวัตต์

1. 2.4×10^{-2} 2. 4.8×10^{-4} 3. 4.8×10^{-8} 4. 2.4×10^{-8} (ข้อ 4)

วิธีทำ

24(En 36) เครื่องใช้ไฟฟ้าในบ้านชนิด 100 วัตต์ 220 โวลต์ เมื่อนำมาใช้ขณะที่ไฟตกเหลือ 200 โวลต์ เครื่องใช้ไฟฟ้านั้นจะใช้กำลังไฟฟ้าเท่าใด

1. 78 W 2. 83 W 3. 88 W 4. 93 W (ข้อ 2)

วิธีทำ

25. จงหาความเร็วอิเล็กตรอนที่วิ่งจากหยุดนิ่งผ่านความต่างศักย์ไฟฟ้า 1,500 โวลต์

กำหนด ประจุอิเล็กตรอน = 1.6×10^{-19} C , มวลอิเล็กตรอน = 9.1×10^{-31} kg

1. 2.3×10^7 m/s 2. 2.3×10^6 m/s
3. 2.3×10^5 m/s 4. 2.3×10^3 m/s (ข้อ 1.)

วิธีทำ

26(En 38) จะต้องให้ความต่างศักย์ไฟฟ้ากี่โวลต์ เพื่อจะทำให้เกิดสนามไฟฟ้าที่สามารถเร่งอิเล็กตรอนจากหยุดนิ่งให้มีความเร็ว 0.4×10^7 เมตรต่อวินาที (45.5 V)

กำหนด ประจุอิเล็กตรอน = 1.6×10^{-19} C มวลอิเล็กตรอน = 9.1×10^{-31} kg

วิธีทำ

ⓧⓧⓧ ⓧⓧ ⓧⓧ ⓧⓧ ⓧⓧ ⓧⓧ ⓧⓧ ⓧⓧ ⓧⓧ ⓧⓧ ⓧⓧ ⓧⓧ ⓧⓧ ⓧⓧ ⓧⓧ ⓧⓧ

สมการที่ใช้หาค่าไฟฟ้า

$$\text{ค่าไฟฟ้า} = \left(\frac{P}{1000}\right)t \text{ (ราคาต่อหน่วย)}$$

$$\text{เมื่อ } t = \text{เวลา (ชั่วโมง)}$$

27. เมื่อเปิดหลอดไฟขนาด 100 วัตต์ เป็นเวลานาน 20 ชั่วโมงต่อเนื่อง จะต้องเสียค่าไฟฟ้ากี่บาท (กำหนดค่าไฟฟ้าหน่วยละ 2 บาท) (4)

วิธีทำ

28(มข 37) เครื่องทำน้ำอุ่นไฟฟ้าขนาด 3000 วัตต์ 220 โวลต์ ถ้าอาบน้ำอุ่นเป็นเวลา 15 นาที จะเสียค่าไฟฟ้าประมาณ (อัตราค่าไฟฟ้าสำหรับ 5 หน่วยแรก เป็น 3 บาท/หน่วย) (2.25 บาท)

วิธีทำ

ตอนที่ 4 การต่อตัวต้านทาน

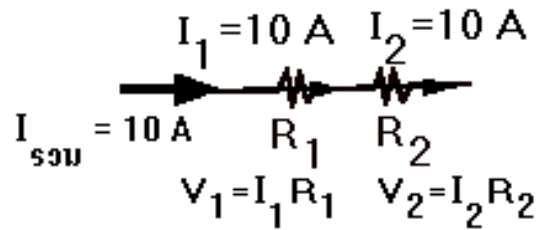
4.1 การต่อแบบอนุกรม มีกฎการต่อดังนี้

$$1) I_{\text{รวม}} = I_1 = I_2$$

$$2) V_1 \neq V_2$$

$$3) V_{\text{รวม}} = V_1 + V_2$$

$$4) R_{\text{รวม}} = R_1 + R_2$$

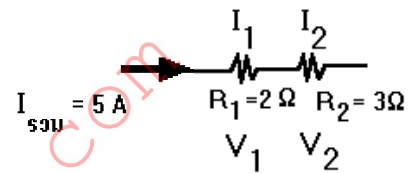


29. จากรูป ก. ให้หาความต้านทานรวม (5 Ω)

ข. ให้หา I_1 และ I_2 (5 แอมแปร์)

ค. ให้หา V_1 และ V_2 (10 V , 15 V)

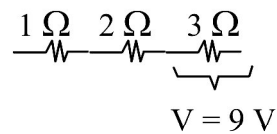
ง. ให้หา $V_{\text{รวม}}$ (25 โวลต์)



วิธีทำ

30. จากรูปจงหากระแสไฟฟ้ารวมของวงจร และ
กระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านตัวต้านทาน 1 Ω

($I_{\text{รวม}} = I_1 = 3$ แอมแปร์)



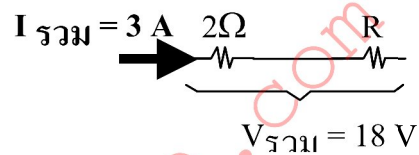
วิธีทำ

31. จากข้อที่ผ่านมา จงหาความต่างศักย์ของตัวต้านทาน $1\ \Omega$ และ ความต่างศักย์รวม

$$(V_1 = 3 \text{ โวลต์} , V_{\text{รวม}} = 18 \text{ โวลต์})$$

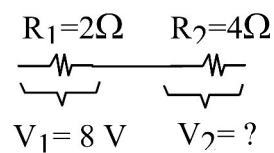
วิธีทำ

32. จากรูปจงหา ค่าความต้านทาน R
($4\ \Omega$)



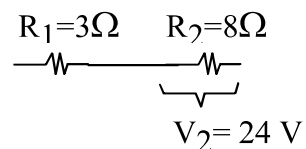
วิธีทำ

33. จากรูปจงหา ความต่างศักย์ที่คร่อม
ตัวต้านทาน $4\ \Omega$ (16 โวลต์)



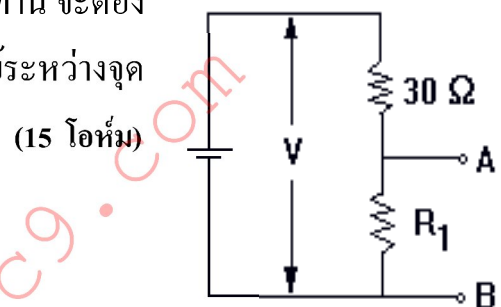
วิธีทำ

34. จากรูปจงหา ความต่างศักย์รวมของวงจร
(33 โวลต์)



วิธีทำ

35(มข 41) ถ้าต้องการแบ่งศักย์ไฟฟ้า V โดยใช้ความต้านทาน จะต้องใช้ตัวต้านทาน R_1 ขนาดกี่โอห์ม จึงจะได้ความต่างศักย์ระหว่างจุด A และ B มีค่าเป็น $\frac{1}{3} V$

วิธีทำ

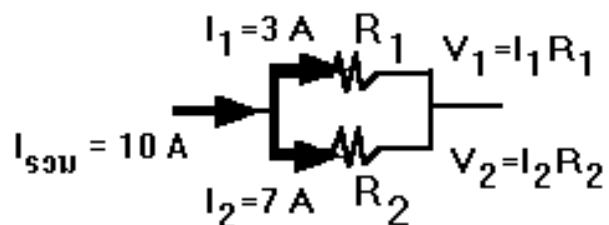
4.2 การต่อแบบขนาน มีกฎการต่อดังนี้

$$1) I_1 \neq I_2$$

$$2) I_{\text{รวม}} = I_1 + I_2$$

$$3) V_{\text{รวม}} = V_1 = V_2$$

$$4) \frac{1}{R_{\text{รวม}}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}$$

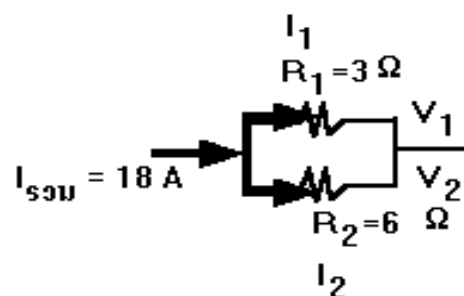


36. ก. ให้หาความต้านทานรวม (2 Ω)

ข. ให้หา $V_{\text{รวม}}$ (36 โวลต์)

ค. ให้หา V_1 และ V_2 (36 โวลต์)

ง. ให้หา I_1 และ I_2 (12 A, 6 A)

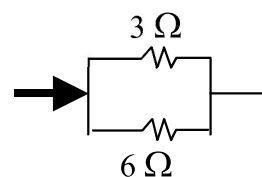


วิธีทำ

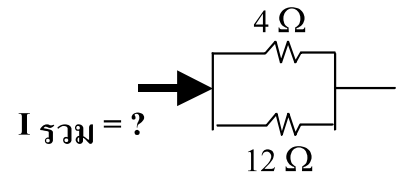
37. กระแสไฟฟ้า 3.5 แอมแปร์ไหลผ่านความต้านทาน 3 โอห์ม และ 4 โอห์ม ซึ่งต่อกัน
แบบขนาน กระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านความต้านทานแต่ละอันมีค่าเท่าใด (2 A , 1.5 A)

วิธีทำ

38. จากรูปจงหา หากกระแสที่ไหลผ่านตัวต้านทาน
3 Ω เป็น 10 แอมแปร์ แล้วกระแสที่ไหลผ่าน
ตัวต้านทาน 6 Ω จะมีค่ากี่แอมแปร์ (5 A)

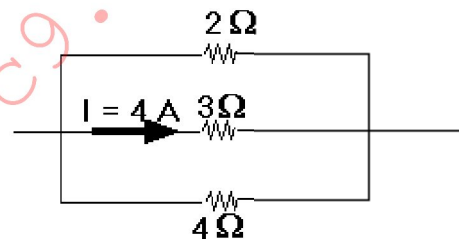
วิธีทำ

39. จากรูปจงหา หากกระแสที่ไหลผ่านตัวต้านทาน $4\ \Omega$ เป็น 15 แอมแปร์ แล้วกระแสรวมที่ไหลเข้าวงจรทั้งหมด จะมีค่ากี่แอมแปร์ (20 A)



วิธีทำ

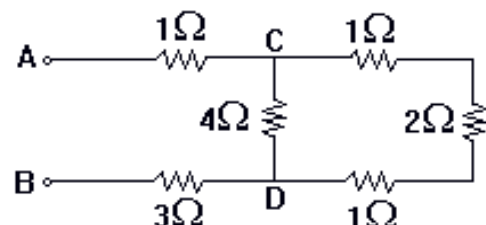
40. ลวดความต้านทาน $2, 3$ และ $4\ \Omega$ ต่อกันอย่างขนาน ถ้ามีกระแสไหลผ่านลวด $3\ \Omega$ เป็น 4 แอมแปร์ กระแสทั้งหมดในวงจรเป็นเท่าไร (13 A)



วิธีทำ

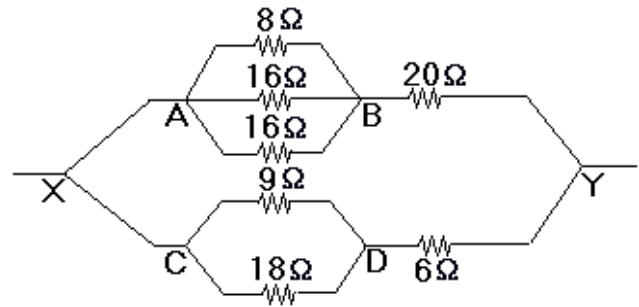
41. จากรูป จงหาความต้านทานระหว่าง A กับ B (6)

วิธีทำ



42. จากรูป จงหาความต้านทานรวม
ระหว่าง X กับ Y (8Ω)

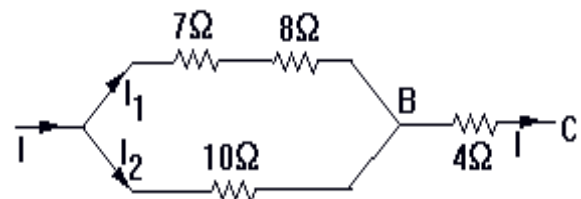
วิธีทำ



43. นำความต้านทานขนาด 1 โอห์ม จำนวน 20 ตัวมาต่อกัน จะต่อกันได้ความต้านทานรวมมากที่สุด และน้อยที่สุดกี่โอห์มได้ ($20 \Omega, 0.05 \Omega$)

วิธีทำ

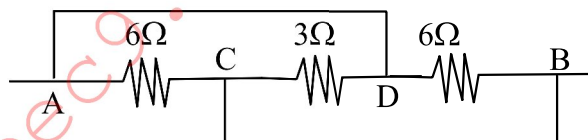
44. ลวดความต้านทาน 4 เส้น ต่อกันดังรูป ถ้าความต่างศักย์ระหว่างปลายทั้งสองของความต้านทาน 4 โอห์ม มีค่า 8 โวลต์ จงหากระแสที่ผ่านความต้านทานทุกเส้น



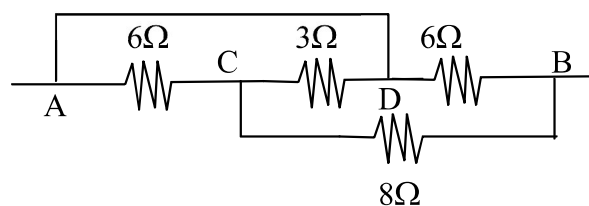
$$(I_{7\Omega} = 0.8 \text{ A} , I_{8\Omega} = 0.8 \text{ A} , I_{10\Omega} = 1.2 \text{ A} , I_{4\Omega} = 2 \text{ A})$$

วิธีทำ**4.3 วงจรที่มีบางจุดยุบรวมกันได้**

45. จากรูปต่อไปนี้จงหาความต้านทานรวม
ระหว่างจุด A กับ B (1.5 โอห์ม)

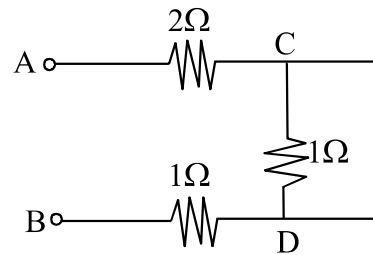
วิธีทำ

46. จากรูปต่อไปนี้จงหาความต้านทานรวม
ระหว่างจุด A กับ B (3.75 โอห์ม)

วิธีทำ

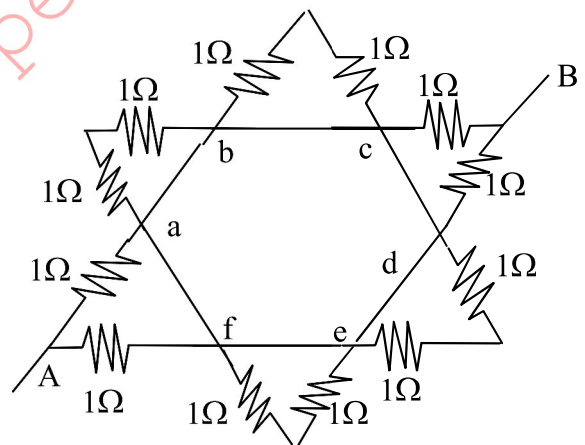
47. จากรูปต่อไปนี้จงหาความต้านทานรวม
ระหว่างจุด A กับ B (3 โอห์ม)

วิธีทำ



48. จากรูปที่กำหนดให้จงหาความต้านทาน
รวมระหว่างจุด A กับ B (1 โอห์ม)

วิธีทำ



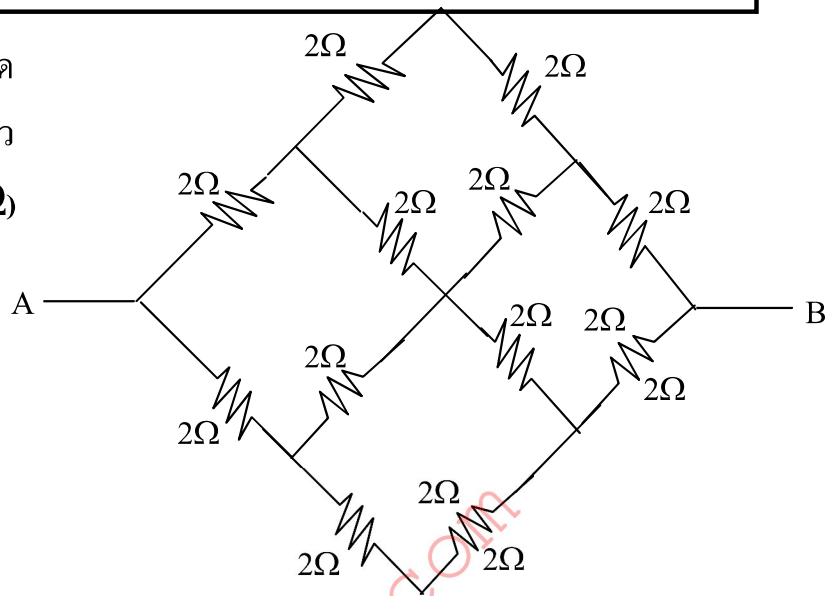
4.4 วงจรแบบสมมาตร

49. จงหาความต้านทานรวมระหว่างจุด

A กับ B ถ้าตัวต้านทานแต่ละตัว

ความต้านทาน $2\ \Omega$ ($3\ \Omega$)

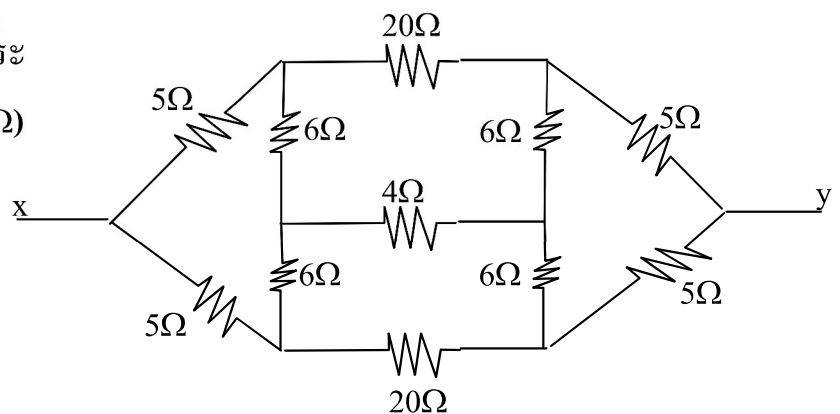
วิธีทำ



50. จากรูป จงหาความต้านทานรวมระหว่างจุด x และ y

($10\ \Omega$)

วิธีทำ



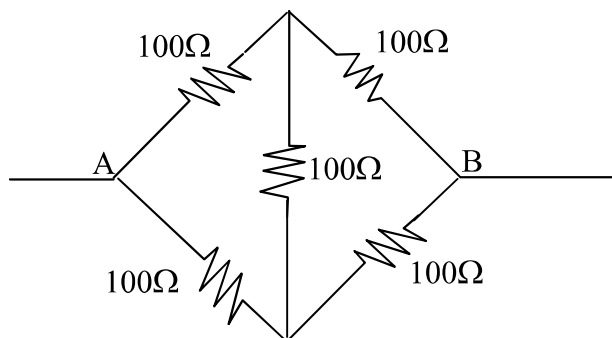
4.5 วงจร WHEATSTONE BRIDGE

51. จงหาความต้านทานรวมระหว่างจุด

A กับ B

(100 โอห์ม)

วิธีทำ

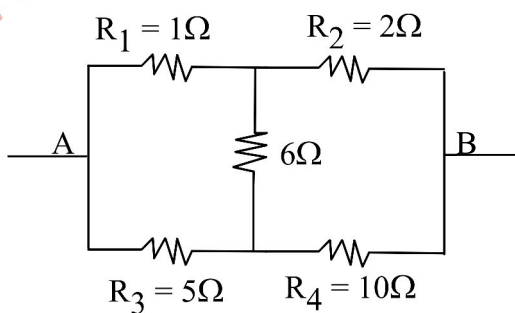


52. จงหาความต้านทานรวมระหว่างจุด

A กับ B

(2.5 โอห์ม)

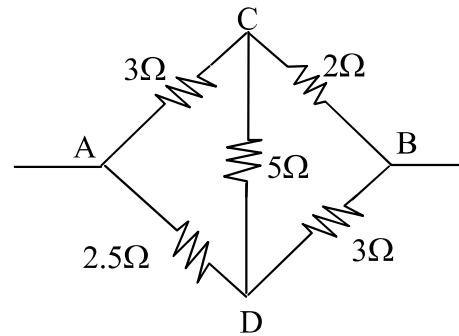
วิธีทำ



4.6 ວິທີ Delta , Wye

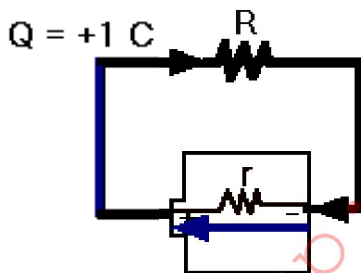
53. จงหาความต้านทานรวมระหว่างจุด A และ B
จากรูปวงจรที่กำหนดให้ (2.6 โห้ม)

วิธีทำ



ตอนที่ 5 แรงเคลื่อนไฟฟ้า

แรงเคลื่อนไฟฟ้า (E) คือ พลังงานที่ประจุ 1 คูลอมบ์ใช้ในการเคลื่อนที่จนครบ 1 รอบวงจร



$$\mathbf{E} = \mathbf{I}(\mathbf{R} + \mathbf{r})$$

เมื่อ E คือ แรงเคลื่อนไฟฟ้า (โวลต์)

I คือ ปริมาณกระแสไฟฟ้า (แอมแปร์)

R คือ ความต้านทานภายนอกเซลล์ไฟฟ้า (โอห์ม)

r คือ ความต้านทานภายในเซลล์ไฟฟ้า (โอห์ม)

54. เซลไฟฟ้าอันหนึ่งมีความต้านทานภายใน 2 โอห์ม เมื่อต่อกับความต้านทาน 8 โอห์ม พบว่ามีกระแสไฟฟ้าไหล 0.15 แอมแปร์ แรงเคลื่อนไฟฟ้าของเซลล์ไฟฟ้าอันนี้คือ (1.5V)

วิธีทำ

55(มข 27) เซลล์ไฟฟ้าอันหนึ่งมีแรงเคลื่อนไฟฟ้า 50 โวลต์ เมื่อต่อกับความต้านทาน 10 โอห์ม พบว่ามีกระแสไฟฟ้าไหล 4.5 แอมแปร์ ความต้านทานภายในของเซลล์ไฟฟ้าอันนี้คือ

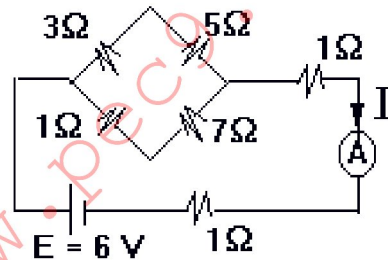
- ก. $0\ \Omega$ ข. $0.50\ \Omega$ ค. $1.1\ \Omega$ ง. $5\ \Omega$ (ข้อ ค)

วิธีทำ

56(En 36) จงหากระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่าน

แอมมิเตอร์ (A) ในวงจร (ข้อ 3)

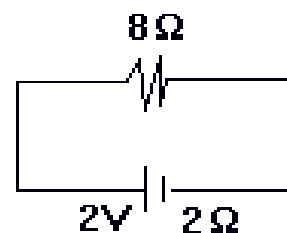
1. $0.3\ \text{A}$ 2. $0.6\ \text{A}$
3. $1.0\ \text{A}$ 4. $1.5\ \text{A}$



วิธีทำ

57. เซลล์ไฟฟ้าเซลล์หนึ่งมีแรงเคลื่อนไฟฟ้า 2 โวลต์ ความต้านทานภายใน $2\ \Omega$ ต่อเป็นวงจรด้วยลวดความต้านทาน $8\ \Omega$ จงหา

- ก. กระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านวงจร ($0.2\ \text{A}$)
ข. ความต่างศักย์ที่ขั้วเซลล์ ($1.6\ \text{V}$)
ค. ความต่างศักย์ภายในเซลล์ ($0.4\ \text{V}$)



วิธีทำ

58. เมื่อนำเอาลวดความต้านทาน $4\ \Omega$ ต่อเข้ากับขั้วแบตเตอรี่แรงเคลื่อนไฟฟ้า 18 โวลต์ ความต้านทานภายใน $2\ \Omega$ จะเกิดความต่างศักย์ระหว่างขั้วเซลล์เท่าใด (12 V)

วิธีทำ

59. เมื่อนำเอาลวดความต้านทาน 6 และ $12\ \Omega$ ต่อเข้ากับขั้วแบตเตอรี่แรงเคลื่อนไฟฟ้า 18 V ความต้านทานภายใน $2\ \Omega$ จะเกิดความต่างศักย์ระหว่างขั้วเซลล์เท่าใด เมื่อลวดต้านทานทั้งสองต่อกันแบบอนุกรม (16.2 V)

วิธีทำ

60. จากข้อที่ผ่านมา หากตัวต้านทาน 6 และ 12 Ω เปลี่ยนเป็นต่อกันแบบขนาน จะเกิดความต่างศักย์ระหว่างขั้วเซลล์เท่าใด (12 V)

วิธีทำ

61. เมื่อต่อความต้านทาน 1 Ω เข้าระหว่างขั้วเซลล์ไฟฟ้าเซลล์หนึ่ง วัดกระแสไฟฟ้าได้ 5 แอมแปร์ เมื่อเปลี่ยนความต้านทานเป็น 7 Ω วัดกระแสไฟฟ้าได้ 1 แอมแปร์ เซลล์ไฟฟ้านี้มีแรงเคลื่อนไฟฟ้าเท่าไร (7.5 โวลต์)

วิธีทำ

- 62(มข 28) เมื่อต่อความต้านทาน 1 Ω เข้าระหว่างขั้วเซลล์ไฟฟ้าเซลล์หนึ่ง วัดกระแสไฟฟ้าได้ 2 A เมื่อเปลี่ยนความต้านทานเป็น 2.5 Ω วัดกระแสไฟฟ้าได้ 1 A เซลล์ไฟฟ้านี้มีแรงเคลื่อนไฟฟ้าเท่าไร
- ก. 1.0 V ข. 1.5 V ค. 2.5 V ง. 3.0 V (ข้อ ง)

วิธีทำ

63. แบตเตอรี่ตัวหนึ่งเมื่อนำไปต่อวงจรไฟฟ้า พบว่าถ้ามีกระแสไหลผ่านแบตเตอรี่ 5.0 แอมแปร์ จะมีความต่างศักย์ระหว่างขั้วแบตเตอรี่เท่ากับ 50 โวลต์ แต่ถ้ามีกระแสไหลผ่านแบตเตอรี่ 1.8 แอมแปร์ จะมีความต่างศักย์ระหว่างขั้วแบตเตอรี่เท่ากับ 56.4 โวลต์ แบตเตอรี่นี้มีแรงเคลื่อนไฟฟ้าและความต้านทานภายในเท่าไร (60 โวลต์ , 2 โอห์ม)

วิธีทำ

- 64(En 33) เซลล์ไฟฟ้าหนึ่ง เมื่อเอาลวดความต้านทาน 8.5Ω ต่อระหว่างขั้วของเซลล์จะเกิด ความต่างศักย์ที่ขั้วของเซลล์ 2.125 V เมื่อทำให้วงจรเปิดความต่างศักย์ที่ขั้วเซลล์เปลี่ยนเป็น 2.5 V จงหาความต้านทานภายในเซลล์ (1.5Ω)

วิธีทำ

การต่อเซลล์ไฟฟ้าโดยทั่วไปมี 2 แบบหลัก ๆ ได้แก่

1) การต่อแบบอนุกรม คือ การต่อเซลล์ไฟฟ้าให้อยู่ในสายเดียวกัน

กรณี 1 ต่ออนุกรมแบบถูกต้อง

$$E_{\text{รวม}} = E_1 + E_2$$

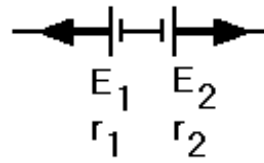
$$r_{\text{รวม}} = r_1 + r_2$$



กรณี 2 ต่ออนุกรมแบบกลับทิศ

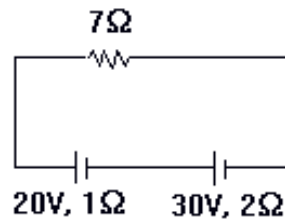
$$E_{\text{รวม}} = E_1 - E_2$$

$$r_{\text{รวม}} = r_1 + r_2$$



65. จากรูปจงหากระแสที่ไหลในวงจร

วิธีทำ



(1 แอมแปร์)

66. จากวงจรที่แสดงตามรูป จงหากระแสในวงจร

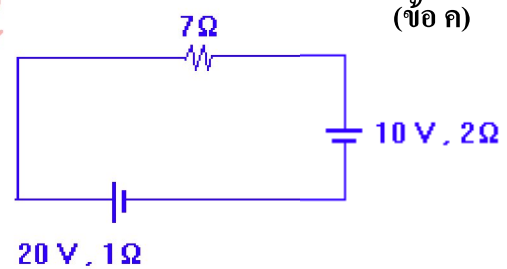
ก. 0.25 A

ข. 0.50 A

ค. 1.00 A

ง. 1.50 A

วิธีทำ



67(En 40) พิจารณาวงจรไฟฟ้างดังรูป จงหาค่า

กระแสไฟฟ้าที่ไหลในวงจร

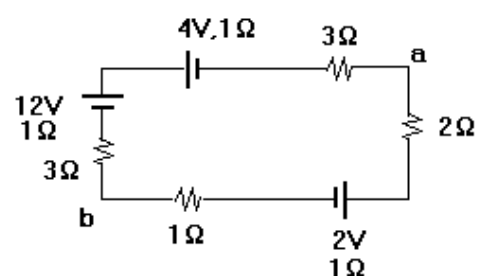
(ข้อ 2)

1. 0.25 A

2. 0.50 A

3. 0.75 A

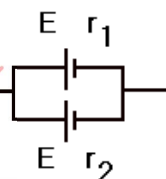
4. 1.00 A



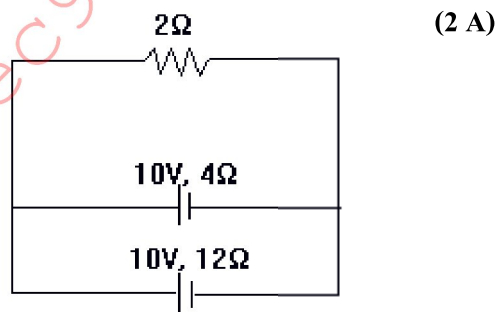
วิธีทำ

2) การต่อแบบขนาน คือ การต่อเซลล์ไฟฟ้าแบบแยกอยู่คนละสาย

$$E_{\text{รวม}} = E \quad \text{และ} \quad \frac{1}{r_{\text{รวม}}} = \frac{1}{r_1} + \frac{1}{r_2}$$



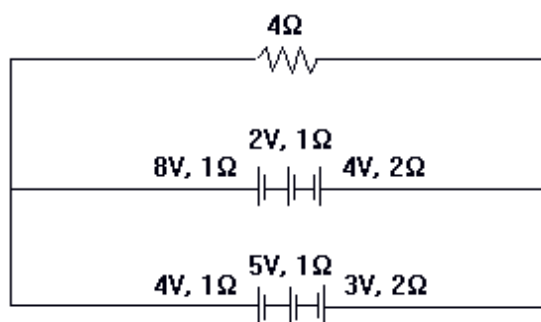
68. จงหา I ที่ผ่านความต้านทาน 2Ω จากรูป

วิธีทำ

69. จงหา I ที่ผ่านความต้านทาน 4Ω

จากรูป

(1 A)

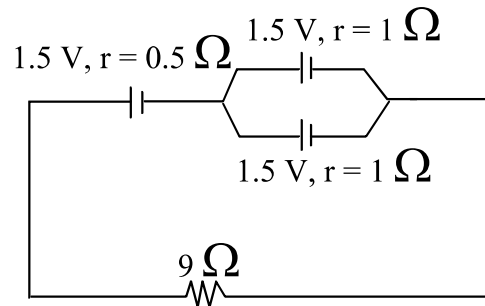
วิธีทำ

70. กระแสที่ไหลผ่านตัวต้านทานในวงจรดังรูป

มีค่ากี่แอมแปร์

- | | |
|---------|------------------|
| 1. 0.25 | 2. 0.30 |
| 3. 0.45 | 4. 0.50 (ข้อ 2.) |

วิธีทำ



ตอนที่ 6 การหาความต่างศักย์ระหว่างเซลล์

เราสามารถหาความต่างศักย์ระหว่างเซลล์ไฟฟ้าใด ๆ ได้จากสมการ

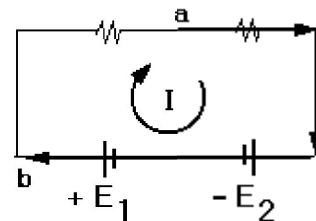
$$V_{ab} = \sum IR - \sum E$$

เมื่อ V_{ab} คือ ความต่างศักย์ระหว่างจุด a กับจุด b

I คือ กระแสไฟฟ้าในวงจร

R คือ ความต้านทานระหว่างจุด a กับ b

E คือ แรงเคลื่อนไฟฟ้าระหว่างจุด a กับ b



ต้องทราบเพิ่มเติม

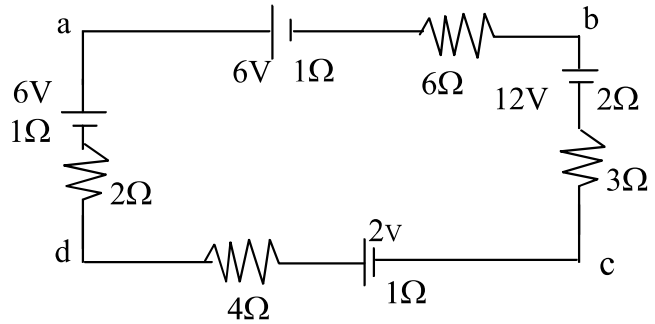
1. ต้องคิดจากจุด a ไปจุด b ตามทิศการไหลของกระแสไฟฟ้า
2. หาก E มีทิศต้านกระแสไฟฟ้า I (คือกระแสเข้าขั้วลบของเซลล์) ต้องใช้ E เป็นลบ
หาก E มีทิศเดียวกับกระแสไฟฟ้า I (คือกระแสเข้าขั้วลบของเซลล์) ต้องใช้ E เป็นบวก
3. $V_{ab} = V_a - V_b$
 $V_{ab} = -V_{ba}$
4. หากเราคิดจนครบรอบวงจร จะได้ว่า $V = 0$ จะได้ออกมาว่า

$$0 = \sum IR - \sum E$$

$$\sum E = \sum IR$$

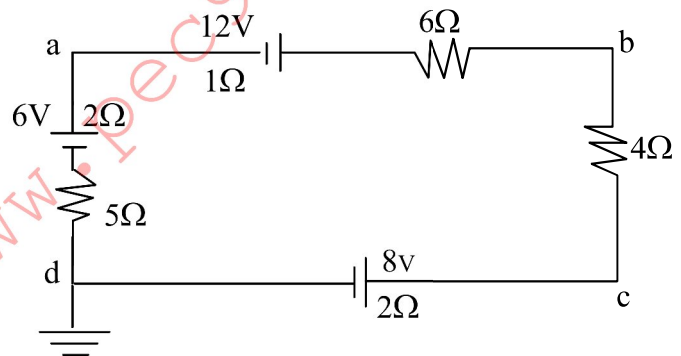
71. จากวงจรดังรูป จงหาความต่างศักย์
ไฟฟ้าระหว่างจุด b กับ c และระ-
หว่างจุด d กับ a (12 , 7.5 โวลต์)

วิธีทำ



72. จากวงจรดังรูป จงหาศักย์ไฟฟ้าที่จุด
a , b , c (2.5 , 11 , 9)

วิธีทำ



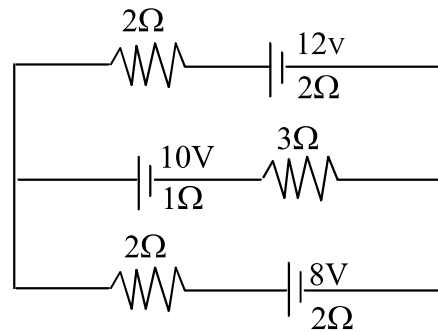
ตอนที่ 7 Kirchoff's Law

กฎของจุด (Point Rule) กล่าวว่า “ ที่จุดใดๆ ในวงจรไฟฟ้าผลรวมของกระแสไฟฟ้าที่เข้าสู่จุดนั้นทั้งหมด จะเท่ากับผลรวมของกระแสไฟฟ้าที่ไหลออกจากจุดนั้นทั้งหมดเสมอ ”

กฎของวง (Loop Rule) กล่าวว่า “ ในวงจรไฟฟ้าที่ครบวงจรใดๆ (วงจรปิด) ผลรวมของแรงเคลื่อนไฟฟ้าตลอดวงจรนั้นๆ จะมีค่าเท่ากับผลรวมของความต่างศักย์ของทุกๆ จุดในวงจรปิดนั้น ” เขียนเป็นสมการจะได้ว่า $\sum E = \sum IR$

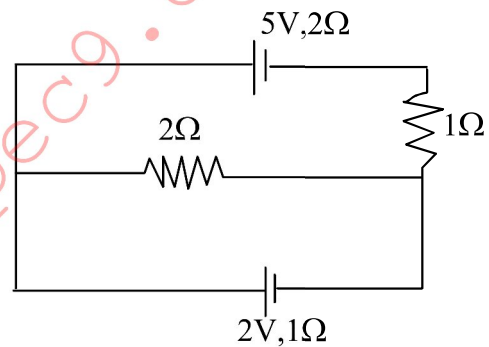
73. จากวงจรดังรูป จงหากระแสไฟฟ้าที่ผ่าน
เซลล์ 8 โวลต์ (0.5 A)

วิธีทำ



74. จากวงจรดังรูป จงคำนวณหากระแสไฟฟ้า
ที่ผ่านตัวต้านทาน 2 โอห์ม (1 A)

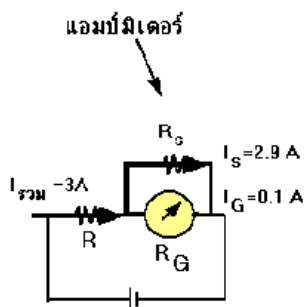
วิธีทำ



XX

ตอนที่ 8 กัลวานอมิเตอร์ แอมป์มิเตอร์ โวลต์มิเตอร์ และโอห์มมิเตอร์

กัลวานอมิเตอร์ คือ เครื่องมือใช้วัดปริมาณกระแสไฟฟ้า



- 1) ต้องต่อ กัลวานอมิเตอร์ แบบอนุกรมเข้ากับตัวต้านทานในวงจร
- 2) ต้องนำชัณฑ์ (R_s) มาต่อแบบขนานกับกัลวานอมิเตอร์ เพื่อลดปริมาณกระแสไฟฟ้าที่ให้ผ่านกัลวานอมิเตอร์ให้มีปริมาณน้อยลง
- 3) กัลวานอมิเตอร์ + ชัณฑ์ เรียกว่า แอมป์มิเตอร์ ใช้วัดกระแสไฟฟ้า

75. แกลแวนอมิเตอร์เครื่องหนึ่งความต้านทาน $R_G = 100$ โอห์ม กระแสไฟฟ้าผ่านสูงสุด 10 ไมโครแอมแปร์ ถ้าต้องการกระแสไฟฟ้า 210 ไมโครแอมแปร์ ผ่านต้องใช้ ความต้านทาน R_S ขนาดเท่าใดมาต่อขนาน (5 Ω)

วิธีทำ

- 76(มข 32) แกลแวนอมิเตอร์เครื่องหนึ่งความต้านทาน $R_G = 900$ โอห์ม กระแสไฟฟ้าผ่านสูงสุด 10 ไมโครแอมแปร์ ถ้าต้องการกระแสไฟฟ้า 100 ไมโครแอมแปร์ ผ่านต้องใช้ ความต้านทาน R_S มีค่าเท่าไรต่ออย่างไร (ข้อ ก)

- ก. $R_S = 100$ โอห์ม ต่อขนานกับแกลแวนอมิเตอร์
ข. $R_S = 60$ โอห์ม ต่อขนานกับแกลแวนอมิเตอร์
ค. $R_S = 100$ โอห์ม ต่ออนุกรมกับแกลแวนอมิเตอร์
ง. $R_S = 90$ โอห์ม ต่ออนุกรมกับแกลแวนอมิเตอร์

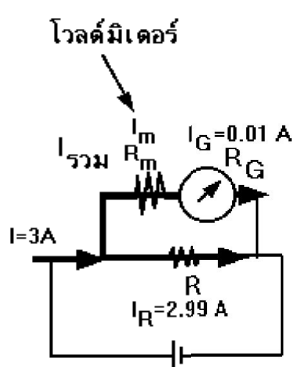
วิธีทำ

- 77(มข 26) แอมป์มิเตอร์วัดกระแสได้ 1 mA ต้องใช้ความต้านทานชั้นตัด 10Ω ต่อขนานกับแกลแวนอมิเตอร์ซึ่งมีความไว 100 μA ค่าความต้านทานของกัลวานมิเตอร์(R_G) มีค่าเท่าใด

- ก. 100Ω ข. 90Ω ค. 10Ω ง. 2Ω (ข้อ ข)

วิธีทำ

การวัดความต่างศักย์ไฟฟ้า



- 1) ต้องต่อ กัลวานอมิเตอร์ แบบขนานกับตัวต้านทานในวงจร
- 2) ต้องนำมัลติพลายเออร์ (R_m) ซึ่งมีค่ามากๆ มาต่อแบบอนุกรมกับกัลวานอมิเตอร์ เพื่อให้กระแสไหลมาหากัลวานอมิเตอร์น้อยๆ ทำให้เหลือกระแสไหลผ่านตัวต้านทาน (R) ใกล้เคียงกับกระแสเดิม จะทำให้วัดความต่างศักย์ได้ใกล้เคียงความจริง
- 3) กัลวานอมิเตอร์ + มัลติพลายเออร์ เรียกว่า โวลต์มิเตอร์ ใช้วัดความต่างศักย์

78(มข 27) การดัดแปลงกลัวานอมิเตอร์เป็นโวลต์ จะต้องนำความต้านทานมาต่อร่วมแบบใด

- ก. ชัณฑ์และความต้านทานมีค่าน้อย ข. ชัณฑ์และความต้านทานมีค่ามาก
ค. อนุกรมและความต้านทานมีค่าน้อย ง. อนุกรมและความต้านทานมีค่ามาก (ข้อ ง)

วิธีทำ

79 (มข 37) แกลเวนอมีเตอร์เครื่องหนึ่งมีความต้านทาน 1000 โอห์ม วัดกระแสไฟฟ้าสูงสุด 100 ไมโครแอมแปร์ จงหาขนาดของความต้านทานที่นำมาต่อกับแกลเวนอมีเตอร์นี้ เพื่อ
 คัดแปลงให้เป็นโวลต์มิเตอร์ที่วัดความต่างศักย์สูงสุด 1 โวลต์ (9000 Ω)

วิธีทำ

80(มข 44) แกลแวนอมิเตอร์เครื่องหนึ่งมีความต้านทาน 0.2 โอห์ม กระแสไฟฟ้าสูงสุดที่ไหลผ่านได้มีค่า 50 มิลลิแอมแปร์ ต้องการความต้านทานเท่าไร (โอห์ม) มาต่อกับแกลแวนอมิเตอร์นี้ เพื่อให้วัดความต่างศักย์ได้สูงสุด 100 มิลลิโวลต์

1. 0.2 2. 1.8 3. 2 4. 2.4

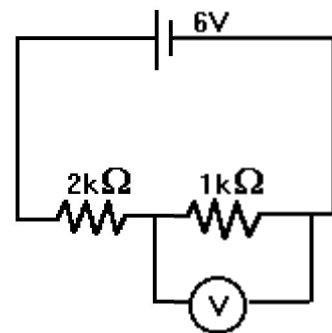
(ข้อ 2)

วิธีทำ

81(En 44/1) โวลต์มิเตอร์ V มีความต้านทาน 1.0 กิโลโอห์ม ต่ออยู่ในวงจรที่มีเซลล์ไฟฟ้า 6.0 โวลต์ (ไม่มีความต้านทานภายใน) และ ตัวต้านทานขนาด 2.0 กิโลโอห์ม และ 1.0 กิโลโอห์ม ดังรูป โวลต์มิเตอร์จะอ่านเท่าใด

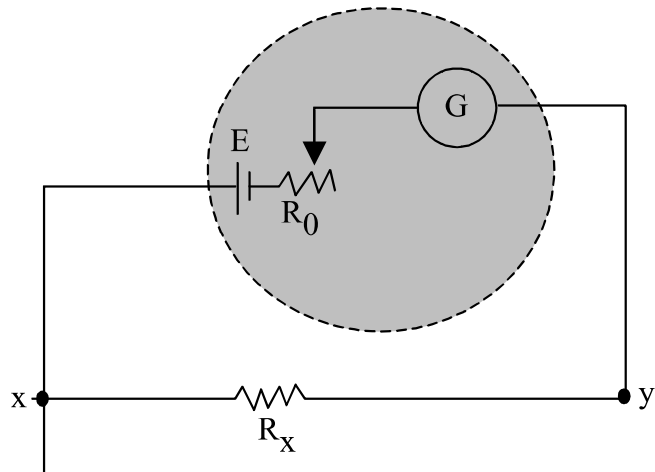
1. 0.6 V 2. 1.2 V 3. 1.8 V 4. 2.0 V

(ข้อ 2)

วิธีทำ

การวัดความต้านทาน

โอห์มมิเตอร์ (Ohmmeter) คือ เครื่องมือที่ใช้วัดความต้านทาน ส่วนประกอบที่สำคัญของโอห์มมิเตอร์ คือ แกลแวนอมิเตอร์ ต่อกับตัวต้านทานแปรค่า R_0 และ เซลล์ไฟฟ้า E ดังรูป



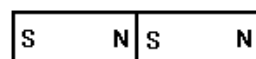
เมื่อต้องการวัดความต้านทาน R_x ใดๆ ให้เอาขั้ว x และ y ไปต่อที่ปลายตัวต้านทานนั้น ซึ่งจะมีผลให้กระแสไฟฟ้าผ่านโอห์มมิเตอร์ ถ้า R_x มีค่ามาก กระแสไฟฟ้าผ่านโอห์มมิเตอร์มีค่าน้อย เข็มจะเบนน้อย แต่ถ้า R_x มีค่าน้อย กระแสไฟฟ้าผ่านโอห์มมิเตอร์มีค่ามาก เข็มจะเบนมาก แต่ถ้านำปลาย x และ y แตะกัน ถือว่าความต้านทานเป็นศูนย์ กระแสไฟฟ้าจะผ่านโอห์มมิเตอร์มากที่สุด เข็มของโอห์มมิเตอร์จะเบนได้มากที่สุด ตำแหน่งของเข็มขณะนี้ต้องชี้ศูนย์ ดังนั้น สเกลของโอห์มมิเตอร์ จะกลับกับแอมมิเตอร์ และโวลต์มิเตอร์

82. ถ้าจะคิดแปลงกัลวานอมิเตอร์ให้เป็นโอห์มมิเตอร์ จะต้องปฏิบัติตามข้อใด

1. นำความต้านทานต่ออนุกรมกับกัลวานอมิเตอร์
2. นำความต้านทานและเซลล์ไฟฟ้าต่อขนานกับกัลวานอมิเตอร์
3. นำเซลล์ไฟฟ้ากับตัวเก็บประจุต่ออนุกรมกับกัลวานอมิเตอร์
4. นำความต้านทานแบบปรับค่าได้และเซลล์ไฟฟ้าต่ออนุกรมกัลวานอมิเตอร์ (ข้อ 4.)

วิธีทำ**ตอนที่ 9 แม่เหล็ก และ สนามแม่เหล็ก**สมบัติเบื้องต้นของแม่เหล็ก

- 1) แท่งแม่เหล็ก 1 แท่งจะมี 2 ขั้ว คือ ขั้วเหนือและขั้วใต้เสมอ
- 2) ขั้วแม่เหล็กชนิดเดียวกันจะผลักกัน และขั้วต่างกันจะดูดกันเสมอ
- 3) บริเวณรอบๆ แท่งแม่เหล็กซึ่งปกติจะมีแรงทางแม่เหล็กแผ่ออกมาตลอดเวลา บริเวณโดยรอบแท่งแม่เหล็กนี้เรียก สนามแม่เหล็ก

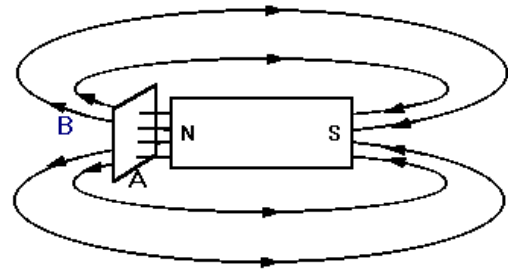


สนามแม่เหล็กจะเป็นปริมาณเวกเตอร์ ซึ่งภายนอกแท่งแม่เหล็ก จะมีทิศออกจากขั้วเหนือ เข้าหาขั้วใต้ และภายในแท่งแม่เหล็กจะมีทิศจากขั้วใต้ไปหาขั้วเหนือ

4) เส้นที่เขียนแทนแรงที่แม่เหล็กแผ่ออกมา

เรียก เส้นแรงแม่เหล็ก

5) จำนวนเส้นแรงแม่เหล็ก เรียกว่า ฟลักซ์แม่เหล็ก (Φ) ซึ่งมีหน่วยเป็น เวเบอร์



เราสามารถคำนวณหา ฟลักซ์แม่เหล็ก ซึ่งตกบนพื้นที่รองรับหนึ่งได้จากสมการ

$$\Phi = BA \sin \theta$$

เมื่อ Φ = ฟลักซ์แม่เหล็ก (เวเบอร์)

B = ความเข้มสนามแม่เหล็ก (เวเบอร์/m², เทสลา)

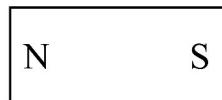
A = พื้นที่ (m²)

θ = มุมระหว่างสนามแม่เหล็กกับพื้นที่รองรับ

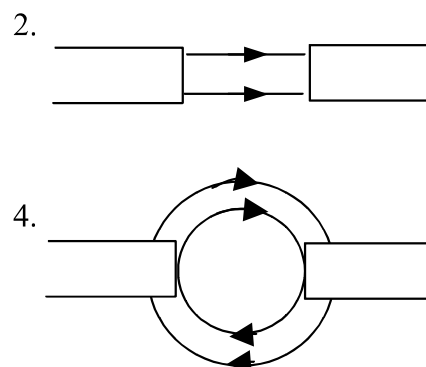
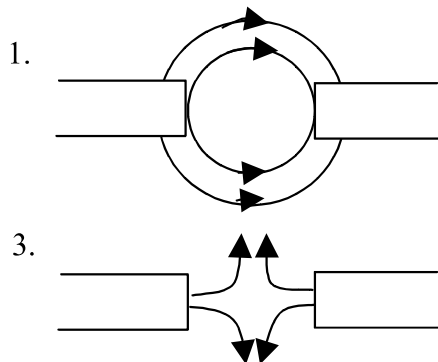
83. จงวาดรูปเส้นแรงแม่เหล็กต่อไปนี้

ให้สมบูรณ์

วิธีทำ



84. โคอะแกรมต่อไปนี้ รูปใดไม่สามารถใช้แทนสนามแม่เหล็ก 2 แท่งได้



(ข้อ 4.)

วิธีทำ

85. ฟลักซ์แม่เหล็ก คือ มีหน่วยเป็น

86. ขดลวดพื้นที่ $10 \times 10^{-4} \text{ m}^2$ วางอยู่ในบริเวณที่มีสนามแม่เหล็กขนาดสม่ำเสมอ 10 เทสลา
จงหาค่าฟลักซ์แม่เหล็กที่ผ่านขดลวด เมื่อระนาบของขดลวดทำมุม 90° กับสนามแม่เหล็ก

วิธีทำ(10⁻²)

87. จากข้อที่ผ่านมา จงหาค่าฟลักซ์แม่เหล็กที่ผ่านขดลวด เมื่อระนาบของขดลวดทำมุม 30°
กับสนามแม่เหล็ก (5x10⁻³)

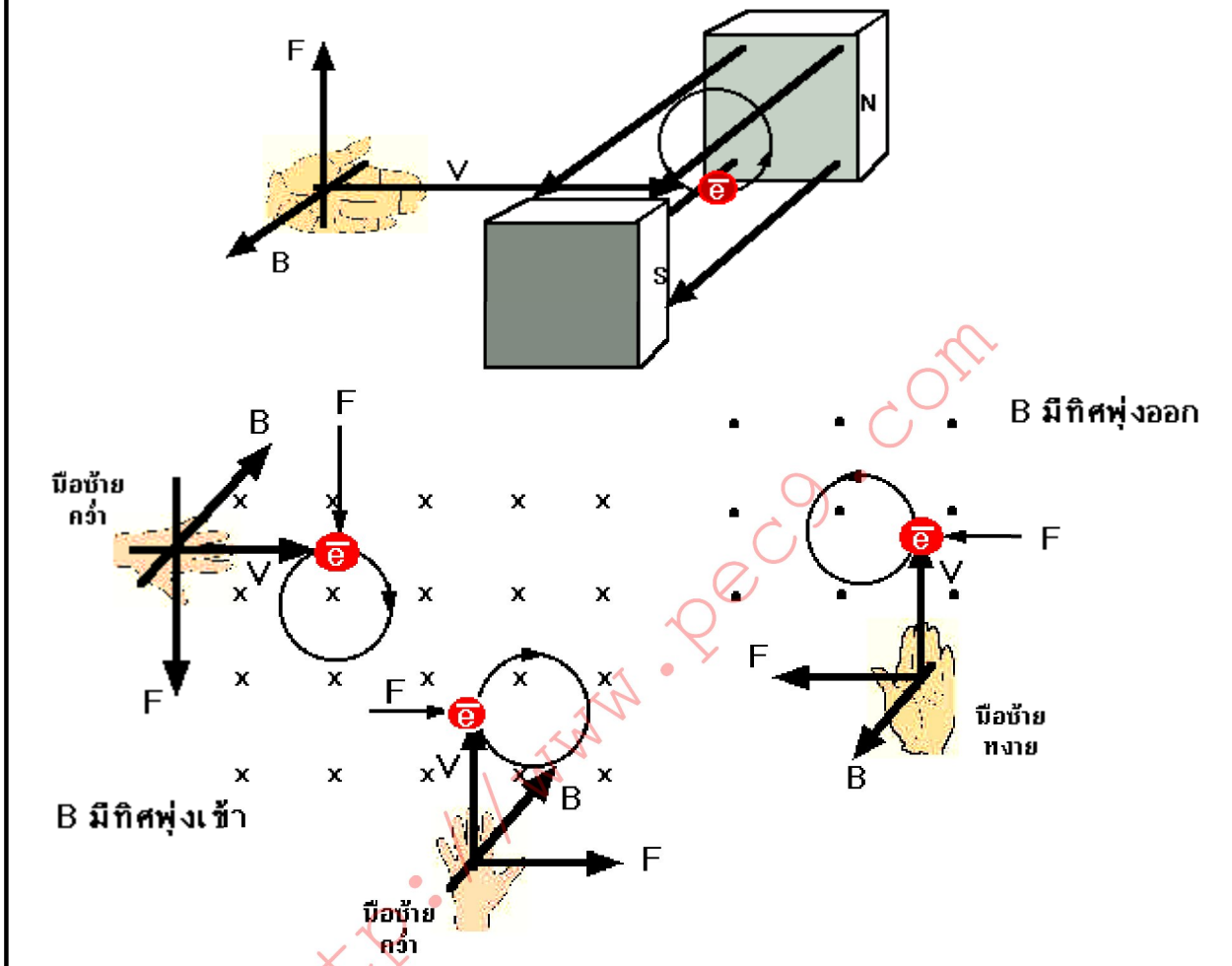
วิธีทำ

88. จากข้อที่ผ่านมา จงหาค่าฟลักซ์แม่เหล็กที่ผ่านขดลวด เมื่อระนาบของขดลวดทำมุม 0°
กับสนามแม่เหล็ก (0 เวเบอร์)

วิธีทำ

ตอนที่ 10 แรงกระทำต่ออนุภาคไฟฟ้าซึ่งเคลื่อนที่ในสนามแม่เหล็ก

เมื่ออิเล็กตรอนหรือประจุลบใด ๆ เคลื่อนที่ตัดสนามแม่เหล็ก จะเกิดแรงกระทำต่อประจุไฟฟ้านั้น ซึ่งสามารถหาทิศทางของแรงกระทำต่ออิเล็กตรอนนี้ได้โดยใช้กฎมือซ้าย



89(มข 37) ถ้ามีอิเล็กตรอนวิ่งตามแนวราบไปทางขวาผ่านสนามแม่เหล็กขนาดสม่ำเสมอซึ่งมีทิศพุ่งออกมาตั้งฉากกับระนาบของแผ่นกระดาษ แนวทางการเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอน คือ

1. วิ่งในแนวราบตามเดิม
2. เบี่ยงเบนจากแนวเดิมลงข้างล่าง
3. เบี่ยงเบนพุ่งออกมาจากแผ่นกระดาษตามทิศของสนามแม่เหล็ก
4. เบี่ยงเบนจากแนวเดิมขึ้นข้างบน

(ข้อ 4)

วิธีทำ