

บทที่ 16 ไฟฟ้าและแม่เหล็ก 1

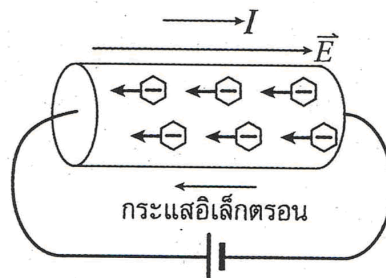
16.1 กระแสไฟฟ้า (Electric Current)

กระแสไฟฟ้าเกิดจากการเคลื่อนที่ของประจุไฟฟ้าเมื่อมีความต่างศักย์ระหว่างจุด 2 จุดในตัวนำนั้นๆ

16.1.1 การนำไฟฟ้า

แหล่งกำเนิดไฟฟ้า (Source of Electromotive Force) คือ แหล่งที่ทำให้เกิดความต่างศักย์ระหว่างปลายทั้งสองของขั้วตัวนำ ทำให้กระแสไฟฟ้าไหล ตัวอย่างแหล่งกำเนิดไฟฟ้า ได้แก่

1. เซลล์ไฟฟ้าเคมี เปลี่ยนพลังงานเคมีเป็นพลังงานไฟฟ้า มี 2 แบบ คือ
 - 1.1 เซลล์ปฐมภูมิ ได้แก่ ถ่านไฟฉาย
 - 1.2 เซลล์ทุติยภูมิ ได้แก่ หม้อสะสมไฟฟ้าหรือแบตเตอรี่
 2. เครื่องกำเนิดไฟฟ้า เปลี่ยนพลังงานกลเป็นพลังงานไฟฟ้า เช่น ไดนาโม
 3. กระแสไฟฟ้าที่เกิดจากพลังงานความร้อน ได้แก่ คู่ความความร้อนซึ่งประกอบด้วยโลหะสองชนิด คือเหล็กกับทองแดง นำมาประกบกันทำให้ปลายทั้งสองข้างต่างกันมากๆ
 4. กระแสไฟฟ้าที่ได้จากพลังงานแสง ได้แก่ เซลล์สุริยะ โดยใช้หลักการแปลงพลังงานแสงอาทิตย์ให้เป็นพลังงานไฟฟ้า
 5. กระแสไฟฟ้าจากสิ่งมีชีวิต ได้แก่ ปลาไหลไฟฟ้า ร่างกายมนุษย์ และสัตว์อื่นๆ
- กระแสไฟฟ้าจะวิ่งจากศักย์สูงไปยังศักย์ต่ำ(กระแสที่เรียนเป็นกระแสสมมุติคือประจุบวก วิ่งจากศักย์สูงไปยังศักย์ต่ำ แต่ประจุลบวิ่งจากศักย์ต่ำไปศักย์สูงวิ่งสวนทางกัน)



รูปที่ 1 ทิศของสนามไฟฟ้า กระแสไฟฟ้า และกระแสอิเล็กตรอนในตัวนำโลหะ

ตัวนำไฟฟ้ามี 5 ตัวนำ

1. การนำไฟฟ้าในโลหะ เกิดจากการเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอนอิสระ
2. การนำไฟฟ้าในหลอดสุญญากาศ เกิดจากประจุลบนำไฟฟ้า
3. การนำไฟฟ้าในสารละลายอิเล็กโทรไลต์ ตัวที่นำไฟฟ้า คือ ประจุบวกและประจุลบ
4. การนำไฟฟ้าในหลอดบรรจุแก๊ส เกิดจากการเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอน และไอออนบวก
5. การนำไฟฟ้าในสารกึ่งตัวนำเช่น ไดโอด (ต้องต่อไดโอดให้ถูกทางถึงจะนำไฟฟ้า) การนำไฟฟ้าเกิดจากการเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอน ไอออนบวก ไอออนลบและโฮล (สารกึ่งตัวนำบริสุทธิ์ในภาวะปกติจะไม่นำไฟฟ้า ถ้ามีสนามไฟฟ้าที่มีความเข้มมากผ่านเข้าไปจะทำให้อิเล็กตรอนบางตัวหลุดเป็นอิสระและเกิดที่ว่างเรียกว่า โฮล โฮลมีพฤติกรรมคล้ายอนุภาคไฟฟ้าบวก แรงจากสนามไฟฟ้าจะทำให้อิเล็กตรอนอิสระเคลื่อนที่ไปในทิศตรงข้ามกับสนามไฟฟ้า และโฮลเคลื่อนที่ไปในทิศเดียวกับสนามไฟฟ้า เกิดกระแสไหลในวงจรได้)

16.1.2 กระแสไฟฟ้าในตัวนำ

กระแสไฟฟ้าในตัวนำใด ๆ

ตัวนำ คือ ตัวที่ยอมให้ประจุไฟฟ้าเคลื่อนที่ผ่าน

ฉนวน คือ ตัวที่ไม่ยอมให้ประจุไฟฟ้าเคลื่อนที่ผ่าน

กระแสไฟฟ้า คือ ปริมาณประจุที่วิ่งผ่านตัวกลางในหนึ่งหน่วยเวลา มีหน่วยเป็น แอมแปร์

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

เมื่อ Q เป็นประจุไฟฟ้าทั้งหมด มีหน่วยเป็นคูลอมบ์ (C)

q เป็นประจุไฟฟ้าของอนุภาค 1 ตัว มีหน่วยเป็นคูลอมบ์ (C) (1.6×10^{-19} C)

t เป็นเวลาที่อนุภาคผ่านภาคตัดขวางมีหน่วยเป็นวินาที (s)

I เป็นกระแสไฟฟ้ามีหน่วยเป็นคูลอมบ์ต่อวินาที(C/s) หรือ แอมแปร์(A)

N เป็นจำนวนประจุ

กระแสไฟฟ้าในเส้นลวดตัวนำโลหะ

$$I = nevA$$

เมื่อ I เป็นกระแสไฟฟ้ามีหน่วยเป็นคูลอมบ์ต่อวินาที(C/s) หรือ แอมแปร์(A)

n คือจำนวนอิเล็กตรอนในปริมาณ 1 ลูกบาศก์หรือความหนาแน่น

e คือประจุไฟฟ้าของอิเล็กตรอน = 1.6×10^{-19} คูลอมบ์

v คือความเร็วลอยเลื่อนของอิเล็กตรอนอิสระ หน่วยเป็น เมตรต่อวินาที หรือ m/s

A คือพื้นที่ภาคตัดขวางของโลหะ หน่วยเป็น ตารางเมตร m^2

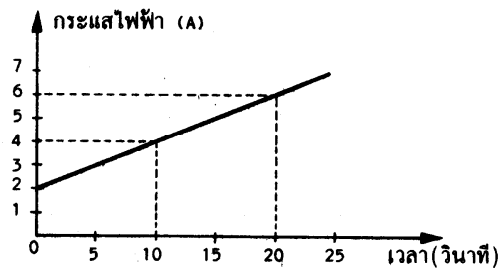
นำโลหะมาต่ออนุกรมกัน (การต่ออนุกรมกันกระแสไฟฟ้าเท่ากัน)

โลหะชนิดเดียวกัน (n เท่ากัน)	โลหะต่างชนิดเดียวกัน (n ไม่เท่ากัน)
$I_1 = I_2$ $n_1 e_1 v_1 A_1 = n_2 e_2 v_2 A_2$ (n, e เท่ากัน) $v_1 A_1 = v_2 A_2$	$I_1 = I_2$ $n_1 e_1 v_1 A_1 = n_2 e_2 v_2 A_2$ (e เท่ากัน) $n_1 v_1 A_1 = n_2 v_2 A_2$

แบบฝึกหัด 16.1

- 1.. ลวดตัวนำเส้นหนึ่งมีกระแสไหลผ่าน 3 แอมแปร์ ในเวลา 5 นาที จะมีปริมาณประจุเคลื่อนที่ผ่านพื้นที่หน้าตัดไปเท่าใด (900 C)
2. ลวดเส้นหนึ่งมีกระแสไหลผ่าน 2.4 แอมแปร์ จำนวนอิเล็กตรอนที่เคลื่อนที่ผ่านพื้นที่หน้าตัดไปในเวลา 2 นาที มีจำนวนเท่าใด (1.8×10^{21} ตัว)
3. ใน $1 m^3$ ของทองแดงมีอิเล็กตรอนอิสระอยู่ 5×10^{22} ตัว ถ้ามีกระแสไฟฟ้าผ่านหลอดทองแดงพื้นที่หน้าตัด $1 cm^2$ ขนาด 16 แอมแปร์ จงหาความเร็วของอิเล็กตรอนในเส้นลวดนี้ (20 m/s)

4. ลวดตัวนำโลหะขนาดสม่ำเสมอมีปริมาณกระแสต่อหน่วยพื้นที่เท่ากับ 1.0×10^{10} แอมแปร์ต่อตารางเมตร และความหนาแน่นของอิเล็กตรอนอิสระเป็น 5.0×10^{28} ตัวต่อลูกบาศก์เมตร จงหาขนาดของความเร็วลอยเลื่อนของอิเล็กตรอนอิสระในลวด (1.25 m/s)
5. กระแสไฟฟ้าไหลผ่านเส้นลวดหนึ่ง เปลี่ยนแปลงตามเวลา ดังแสดงในกราฟ จงหาประจุและจำนวนอิเล็กตรอนที่ผ่านพื้นที่หน้าตัดในช่วงเวลาวินาทีที่ 10 ถึงวินาทีที่ 20 (50 C , 3.125×10^{20} ตัว)



แบบฝึกหัดบททวน 16.1

1. กระแสไฟฟ้าในตัวกลางคู่ใดต่อไปนี้ เกิดจากการถ่ายเทประจุไฟฟ้าลบอย่างเดียวนั้น
 - ก. แท่งโลหะตัวนำและหลอดบรรจุก๊าซ
 - ข. สารละลายอิเล็กโทรไลต์และหลอดสุญญากาศ
 - ค. หลอดสุญญากาศและแท่งโลหะตัวนำ
 - ง. หลอดบรรจุก๊าซและสารละลายอิเล็กโทรไลต์
2. กระแสในข้อใดบ้างที่เกิดจากการเคลื่อนที่ของอนุภาคที่มีประจุไฟฟ้าทั้งบวกและลบ
 1. หลอดฟลูออเรสเซนต์
 2. หลอดไฟฟ้าไส้ทั้งสแตน
 3. สารละลายกรดกำมะถัน
 4. ไดโอดสารกึ่งตัวนำ

คำตอบที่ถูกต้องคือข้อใด

ก. 1, 2, 3 และ 4 ข. 1, 3 และ 4 ค. 3 และ 4 ง. คำตอบเป็นอย่างอื่น
3. ข้อความในข้อใดผิด
 - ก. กระแสไฟฟ้าในโลหะเกิดจากการเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอนอิสระ
 - ข. กระแสไฟฟ้าในสารกึ่งตัวนำเกิดจากการเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอนอิสระ
 - ค. กระแสไฟฟ้าในสารอิเล็กโทรไลต์เกิดจากการเคลื่อนที่ของไอออนบวกและไอออนลบ
 - ง. กระแสไฟฟ้าในหลอดบรรจุก๊าซเกิดจากการเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอนอิสระและไอออนลบ
4. ลวดเส้นหนึ่งมีกระแสไหลผ่าน 4 แอมแปร์ จำนวนอิเล็กตรอนที่เคลื่อนที่ผ่านพื้นที่หน้าตัดไปในเวลา 30 วินาที มีจำนวนเท่าใด

ก. 7.5×10^{18} ตัว ข. 7.5×10^{19} ตัว ค. 7.5×10^{20} ตัว ง. 7.5×10^{22} ตัว
5. ลวดตัวนำเส้นหนึ่งมีกระแสไหลผ่าน 5 แอมแปร์ ในเวลา 2 นาที จะมีปริมาณประจุเคลื่อนที่ผ่านพื้นที่หน้าตัดไปเท่าใด

ก. 10 คูลอมบ์ ข. 100 คูลอมบ์ ค. 300 คูลอมบ์ ง. 600 คูลอมบ์
6. ใน 2 ลูกบาศก์เซนติเมตรของทองแดงมีอิเล็กตรอนอิสระอยู่ 8×10^{22} ตัว ถ้ามีกระแสไฟฟ้าผ่านหลอดทองแดงพื้นที่หน้าตัด 2 ตารางเซนติเมตร ขนาด 160 แอมแปร์ จงหาความเร็วของอิเล็กตรอนในเส้นลวดนี้

ก. $1.25 \times 10^{-4} \text{ m/s}$ ข. $1.25 \times 10^{-5} \text{ m/s}$ ค. $1.25 \times 10^{-6} \text{ m/s}$ ง. $1.25 \times 10^{-7} \text{ m/s}$

7. ถ้าความหนาแน่นของพาหะของประจุไฟฟ้าในลวดทองแดง (อิเล็กตรอนอิสระ) เป็น $5.0 \times 10^{28} \text{ m}^{-3}$ ในลวดทองแดงพื้นที่หน้าตัด 2.0 ตารางมิลลิเมตร มีกระแสไฟฟ้าผ่าน 1.6 แอมแปร์ อัตราเร็วลอยเลื่อนของอิเล็กตรอนในลวดนั้นจะเป็นเท่าใด

ก. $1.0 \times 10^4 \text{ m/s}$ ข. $1.0 \times 10^5 \text{ m/s}$ ค. $1.0 \times 10^{-4} \text{ m/s}$ ง. $1.0 \times 10^{-5} \text{ m/s}$

8. ลวดตัวนำโลหะขนาดสม่ำเสมอมีปริมาณกระแสต่อหน่วยพื้นที่เท่ากับ 1.6×10^6 แอมแปร์ต่อตารางเมตร และความหนาแน่นของอิเล็กตรอนอิสระเป็น 4.0×10^{22} ตัวต่อลูกบาศก์เมตร จงหาขนาดของความเร็วลอยเลื่อนของอิเล็กตรอนอิสระในลวด

ก. $2.5 \times 10^{-4} \text{ m/s}$ ข. $2.5 \times 10^{-2} \text{ m/s}$ ค. $2.5 \times 10^2 \text{ m/s}$ ง. $2.5 \times 10^4 \text{ m/s}$

9. ลวดเส้นหนึ่งมีพื้นที่หน้าตัดเป็นวงกลมขนาด 0.2 ตารางเซนติเมตร ความยาว 1 เมตร เมื่อต่อลวดนี้เข้ากับแหล่งกำเนิดไฟฟ้าจะมีประจุไฟฟ้า 9×10^{-2} คูลอมบ์ เคลื่อนที่ผ่านในเวลา 10 วินาที ถ้าความเร็วลอยเลื่อนของอิเล็กตรอนในลวดเป็น 2×10^{-4} เมตรต่อวินาที จำนวนอิเล็กตรอนอิสระในลวดเส้นนี้

ก. 5.6×10^{-17} ตัว ข. 5.6×10^{-19} ตัว ค. 5.6×10^{17} ตัว ง. 7.5×10^{19} ตัว

10. ลวดเส้นหนึ่งมีพื้นที่หน้าตัดเป็นวงกลมขนาด 0.2 ตารางเซนติเมตร ความยาว 1 เมตร เมื่อต่อลวดนี้เข้ากับแหล่งกำเนิดไฟฟ้าจะมีประจุไฟฟ้า 9×10^{-2} คูลอมบ์ เคลื่อนที่ผ่านในเวลา 10 วินาที ถ้าความเร็วลอยเลื่อนของอิเล็กตรอนในลวดเป็น 2×10^{-4} เมตรต่อวินาที จงหาจำนวนอิเล็กตรอนอิสระในลวดเส้นนี้ทั้งหมด

ก. 1.5×10^{22} ตัว ข. 4.0×10^{22} ตัว ค. 1.5×10^{25} ตัว ง. 2.0×10^{30} ตัว

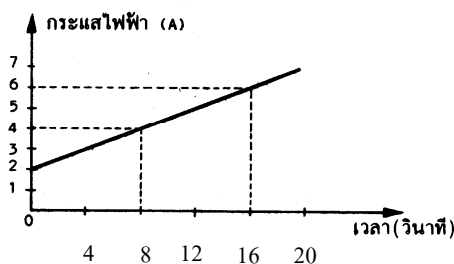
11. กระแสไฟฟ้าไหลผ่านเส้นลวดหนึ่งเปลี่ยนแปลงตามเวลา ดังแสดงในกราฟจงหาจำนวนอิเล็กตรอนที่ผ่านพื้นที่หน้าตัดหนึ่งในช่วงเวลาวินาทีที่ 8 ถึงวินาทีที่ 16

ก. 2.5×10^{19} ตัว

ข. 5.0×10^{19} ตัว

ค. 2.5×10^{20} ตัว

ง. 5.0×10^{20} ตัว



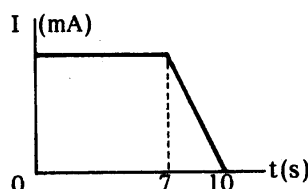
12. ในการทดลองครั้งหนึ่งสามารถเขียนกราฟระหว่างกระแสไฟฟ้า กับเวลา ดังรูป ถ้าวัดว่าตั้งแต่เริ่มต้นจนกระแสไฟฟ้าเท่ากับ 10 แอมแปร์ มีประจุเคลื่อนที่ผ่านเครื่องวัดเฉลี่ยวินาทีละกี่คูลอมบ์

ก. 200 คูลอมบ์

ข. 150 คูลอมบ์

ค. 0.17 คูลอมบ์

ง. 0.017 คูลอมบ์

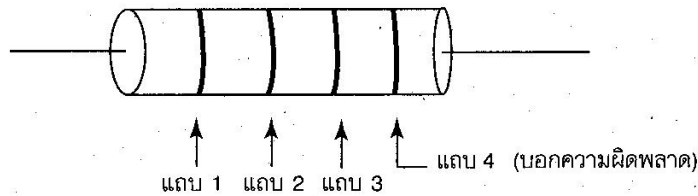


16.2 ความสัมพันธ์ระหว่างกระแสไฟฟ้าและความต่างศักย์

เนื่องจากกระแสไฟฟ้าในตัวนำจะเกิดขึ้นได้ ต้องมีความต่างศักย์ระหว่างปลายของตัวนำ

16.2.1 กฎของโอห์มและความต้านทาน

การอ่านค่าความต้านทานของตัวต้านทานลงที่



แถบสี				แถบสี
สี	แถบ 1	แถบ 2	แถบ 3	แถบที่ 4 (บอกความผิดพลาด)
ดำ	0	0	10^0	น้ำตาล = $\pm 1\%$
น้ำตาล	1	1	10^1	แดง = $\pm 2\%$
แดง	2	2	10^2	ทอง = $\pm 5\%$
ส้ม	3	3	10^3	เงิน = $\pm 10\%$
เหลือง	4	4	10^4	ไม่มีสี = $\pm 20\%$
เขียว	5	5	10^5	สูตร ความต้านทาน = สี สี $\times 10^{\text{สี}} \pm \%$ เช่น แดง เหลือง แดง ทอง $= 2 \ 4 \times 10^2 \pm 5\%$ $= 2400 \pm \frac{5}{100} (2400)$ $= 2400 \pm 120 \ \Omega$
น้ำเงิน	6	6	10^6	
ม่วง	7	7	10^7	
เทา	8	8	10^8	
ขาว	9	9	10^9	
ทอง	-	-	10^{-1}	
เงิน	-	-	10^{-2}	

กฎของโอห์ม มีใจความว่า “เมื่ออุณหภูมิคงที่ ค่าของกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านตัวนำหนึ่งจะแปรผันตรงกับความต่างศักย์ไฟฟ้าระหว่างปลายทั้งสองของตัวนำนั้น”

จะเขียนความสัมพันธ์ได้คือ $I \propto V$

$$I = KV, \quad K \text{ เป็นค่าคงตัวการแปรผัน}$$

$$\therefore \frac{V}{I} = \frac{1}{K} \quad \text{หรือ} \quad \frac{V}{I} = K$$

$$\text{ถ้าให้} \quad \frac{1}{K} = R \quad \text{จะได้} \quad \frac{V}{I} = R \quad \text{หรือ} \quad \frac{V}{I} = \frac{1}{R}$$

$$\boxed{V = IR}$$

เมื่อ V เป็นความต่างศักย์ระหว่างปลายทั้งสองของตัวนำ หน่วยเป็น โวลต์ (V)

I เป็นกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่าน หน่วยเป็น แอมแปร์ (A)

R เป็นความต้านทานของลวดตัวนำ มีหน่วยเป็น โอห์ม (Ω)

แบบฝึกหัด 16.2.1

1. จงเติมความต้านทานลงในช่องว่างให้สอดคล้องกับแถบสีที่กำหนดให้

ลำดับที่	แถบสีที่				ค่าความต้านทานที่อ่านได้	% ความคลาดเคลื่อน
	1	2	3	4		
1	ส้ม	ฟ้า	ส้ม	แดง		
2	ฟ้า	ขาว	เทา	แดง		
3	แดง	ดำ	ม่วง	ไม่มีสี		
4	เทา	ฟ้า	ฟ้า	เงิน		
5	ขาว	ดำ	ขาว	ทอง		
6	แดง	น้ำตาล	เขียว	แดง		
7	น้ำตาล	ขาว	เทา	เงิน		
8	ส้ม	เทา	ฟ้า	ทอง		
9	เทา	ดำ	ดำ	เงิน		
10	เหลือง	ม่วง	ฟ้า	เงิน		

2. จงเติมแถบสีในช่องว่างให้สอดคล้องกับความต้านทานที่กำหนดให้

ลำดับที่	แถบสีที่				ค่าความต้านทานที่อ่านได้	% ความคลาดเคลื่อน
	1	2	3	4		
1					15 Ω	$\pm 5\%$
2					330 Ω	$\pm 10\%$
3					47 Ω	$\pm 5\%$
4					1 Ω	$\pm 5\%$
5					10 Ω	$\pm 10\%$

3. ความต่างศักย์ระหว่างปลายความต้านทานขนาด 28 Ω มีค่าเท่าใด เมื่อมีกระแสไฟฟ้าผ่าน 3 A (84 V)

4. จงหาความต่างศักย์ระหว่างปลายความต้านทานขนาด 5 Ω ถ้ามีประจุไฟฟ้าเคลื่อนที่ผ่าน 960 คูลอมบ์ต่อวินาที (80 V)

5. จงหาความต่างศักย์ระหว่างปลายความต้านทานขนาด 10 Ω ถ้ามีประจุไฟฟ้าเคลื่อนที่ผ่าน 1,800 คูลอมบ์ต่อวินาที (300 V)

6. จงหาความต้านทาน เมื่อความต่างศักย์ระหว่างปลายเท่ากับ 100 โวลต์ ถ้ามีกระแสไฟฟ้าไหลผ่าน 10 แอมแปร์ (10 Ω)

16.2.2 สภาพต้านทานและสภาพนำไฟฟ้า

สภาพต้านทานไฟฟ้า (Electrical resistivity) หมายถึง ความต้านทานของสารชนิดนั้น มีความยาว 1 เมตร และพื้นที่ภาคตัดขวาง 1 ตารางเมตร มีหน่วยเป็นโอห์มเมตร (Ωm) แทนด้วยสัญลักษณ์ ρ

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

เมื่อ R คือ ความต้านทานของตัวนำ (Ω) ρ คือ สภาพต้านทานไฟฟ้า (Ωm)

ℓ คือ ความยาวของตัวนำ (m) A คือ พื้นที่หน้าตัดของตัวนำ (m^2)

เปรียบเทียบลวดโลหะ

1. เปรียบเทียบลวดต่างชนิดกัน	2. เปรียบเทียบโดยการตัดเส้นลวด
ลวดต่างชนิดกัน ($\rho_1 \neq \rho_2$) จากสูตร $R = \rho \frac{\ell}{A}$ สูตรเปรียบเทียบ $\frac{R_1}{R_2} = \frac{\rho_1}{\rho_2} \cdot \frac{\ell_1}{\ell_2} \cdot \frac{A_2}{A_1}$	ลวดเส้นเดียวกัน ($\rho_1 = \rho_2$, $A_1 = A_2$) จากสูตร $R = \rho \frac{\ell}{A}$ สูตรเปรียบเทียบ $\frac{R_1}{R_2} = \frac{\ell_1}{\ell_2}$

3. เปรียบเทียบลวดชนิดเดียวกันโดยจับยึดออก ($\rho_1 = \rho_2$)

การยึดปริมาตรไม่เปลี่ยน $V_1 = V_2$

$$A_1 \ell_1 = A_2 \ell_2$$

$$\frac{\ell_1}{\ell_2} = \frac{A_2}{A_1} \dots\dots\dots(1)$$

$$\frac{R_1}{R_2} = \frac{\rho_1}{\rho_2} \cdot \frac{\ell_1}{\ell_2} \cdot \frac{A_2}{A_1} \dots\dots\dots(2)$$

$$\text{สูตรเปรียบเทียบ} \quad \frac{R_1}{R_2} = \left(\frac{\ell_1}{\ell_2}\right)^2 = \left(\frac{A_2}{A_1}\right)^2 = \left(\frac{r_2}{r_1}\right)^4 = \left(\frac{D_2}{D_1}\right)^4$$

ความนำไฟฟ้า (Electrical Conductance)เป็นส่วนกลับของความต้านทานไฟฟ้ามีหน่วยเป็น (โอห์ม)⁻¹ หรือซีเมนส์ (Siemens) แทนด้วยสัญลักษณ์ S วัตถุที่มีความนำไฟฟ้าสูงจะมีความต้านทานต่ำ วัตถุที่มีความนำไฟฟ้าต่ำจะมีความต้านทานสูง

จะได้ $S = \frac{1}{R}$ เมื่อ S คือความนำไฟฟ้า, R คือความต้านทาน

สภาพนำไฟฟ้า (Electrical Conductivity)เป็นส่วนกลับของสภาพต้านทานไฟฟ้า มีหน่วยเป็น (โอห์ม.เมตร)⁻¹ หรือซีเมนส์ต่อเมตร แทนด้วยสัญลักษณ์ σ

จะได้ $\sigma = \frac{1}{\rho}$ เมื่อ ρ คือ สภาพต้านทานไฟฟ้า (Ωm)

แบบฝึกหัดที่ 16.2.2

1. ลวดเส้นหนึ่งยาว 50 เซนติเมตร มีพื้นที่หน้าตัด 10 ตารางมิลลิเมตร ต่ออยู่กับความต่างศักย์ 1 โวลต์ ปรากฏว่ามีกระแสไหลผ่าน 10 แอมแปร์ สภาพความต้านทานของวัตถุที่ทำลวดนี้มีค่าเท่าใด (2×10^{-6} โอห์ม-เมตร)
2. ลวดทองแดงยาว 2 เมตร มีพื้นที่หน้าตัด 1 ตารางมิลลิเมตร มีสภาพต้านทาน 1.6×10^6 โอห์ม-เมตร ปลายทั้งสองของลวดต่อกับความต่างศักย์ 64 โวลต์ จงหาว่าใน 16 วินาที จะมีอิเล็กตรอนเคลื่อนที่ผ่านลวดทั้งหมดกี่อนุภาค (2×10^9 อนุภาค)
3. ลวดเส้นหนึ่งยาว 60 เมตร มีความต้านทาน 6 โอห์ม ถ้านำมารีดออกให้ยาว 120 เมตร สมมติว่าสมอ จะมีความต้านทานเท่าใด (24 โอห์ม)
4. ลวดเส้นหนึ่งมีพื้นที่หน้าตัด 0.1 ตารางมิลลิเมตร ยาว 500 เมตร เมื่อต่อปลายทั้งสองของลวดเส้นนี้กับความต่างศักย์ 15.9 โวลต์ จะมีกระแสไฟฟ้าไหลผ่านลวด 0.2 แอมแปร์ จงหาสภาพต้านทานของลวดนี้ (1.59×10^{-8} โอห์ม-เมตร)
5. ลวดทองแดงเส้นหนึ่งมีพื้นที่หน้าตัด 1.2 ตารางมิลลิเมตร ยาว 500 เมตร จะมีความต้านทานเท่าใด ให้สภาพต้านทานของทองแดง 1.8×10^{-8} โอห์ม-เมตร (7.5 โอห์ม)
6. ลวด A ยาวเท่ากับลวด B โดยมีพื้นที่หน้าตัดเป็นครึ่งหนึ่งของลวด B แต่มีความต้านทานเท่ากัน จงหาอัตราส่วนระหว่างค่าสภาพต้านทานของลวด A และลวด B (1 : 2)
7. ลวด A ยาวเป็นสองเท่าของลวด B และมีสภาพต้านทานเป็น 4 เท่าของลวด B ถ้าลวด B มีพื้นที่หน้าตัดเป็น $\frac{1}{4}$ เท่าของลวด A จงหาอัตราส่วนของความต้านทานของลวด A ต่อลวด B (2 : 1)
8. ลวดดัดนำมีขนาดโตสมมติยาว 1 เมตร พื้นที่หน้าตัด 1 ตารางมิลลิเมตร ถ้าลวดนี้มีความต้านทาน 500 โอห์มจะมีสภาพการนำไฟฟ้าเป็นกี่ซีเมนส์ต่อเมตร (2×10^3 (โอห์ม-เมตร)⁻¹)
9. ลวดเส้นหนึ่งยาว 1.0 เมตร มีความต้านทาน 0.5 โอห์ม จงหาว่าลวดชนิดเดียวกันที่มีเส้นผ่าศูนย์กลางเป็นสองเท่าของเส้นแรกจะต้องมีความยาวเท่าใด จึงจะมีความต้านทาน 1.2 โอห์ม (9.6 เมตร)
10. เส้นลวดที่มีพื้นที่หน้าตัดเป็นวงกลม ถ้าความยาวและขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของเส้นลวดเพิ่มขึ้นเป็น 2 เท่าทั้งสองค่าแล้ว ความต้านทานของเส้นลวดจะเป็นอย่างไร ($R_1 : R_2 = 2 : 1$)
11. ลวดดัดนำขนาดสมมติยาว 1 เมตร วัดความต้านทานได้ 0.2 โอห์ม ถ้ามีดัดนำชนิดเดียวกันแต่ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางเล็กกว่าเดิมครึ่งหนึ่ง ถ้าต้องการให้มีความต้านทาน 0.8 โอห์ม ต้องใช้ลวดยาวเท่าใด (1 เมตร)
12. ลวดดัดนำเส้นหนึ่งมีพื้นที่หน้าตัด A ยาว L ถ้านำมารีดให้มีขนาดพื้นที่หน้าตัด $\frac{A}{2}$ จงหาค่าความต้านทานของลวดเส้นใหม่ เมื่อเทียบกับเส้นเดิม ($R_2 = 4R_1$)
13. ลวดเส้นหนึ่งมีความต้านทาน 100 โอห์ม ถูกรีดออกให้ยาวเป็น 5 เท่า ของความยาวเดิม ถ้าสภาพต้านทานและความหนาแน่นของลวดนี้มีค่าคงเดิม จงหาความต้านทานใหม่ในหน่วยโอห์ม (2,500)

16.2.3 ผลของอุณหภูมิที่มีต่อความต้านทาน

1. **ตัวนำ** ความต้านทานของตัวนำที่เป็นโลหะบริสุทธิ์ เช่น แพลทินัม เงิน ทองแดง ที่อุณหภูมิต่าง ๆ พบว่า ความต้านทานจะแปรผันตรงกับอุณหภูมิเคลวิน ความรู้ถูกนำไปใช้สร้างเทอร์โมมิเตอร์ชนิดความต้านทาน ส่วนตัวนำพวกโลหะผสมพบว่าอุณหภูมิเปลี่ยนค่าสภาพความต้านทานของโลหะผสมจะเปลี่ยนน้อยมาก ซึ่งมีค่าสูงกว่าโลหะบริสุทธิ์ จึงนำไปใช้ประโยชน์สร้างตัวต้านทานมาตรฐาน เช่น ตัวต้านทานโลหะผสมแมงกานิน (ทองแดง + แมงกานีส + นิกเกิล)

2. **สารกึ่งตัวนำ** ได้แก่พวก ซิลิกอน เจอร์มาเนียม กราไฟต์ พบว่า ที่อุณหภูมิธรรมดา สภาพต้านทานของสารกึ่งตัวนำมีค่าสูงกว่าสภาพต้านทานของตัวนำมาก แต่เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นค่าสภาพต้านทานจะลดลงอย่างรวดเร็ว และนำไฟฟ้าได้ดี

3. **ฉนวน** เป็นวัตถุที่มีค่าสภาพต้านทานสูงมาก เช่น แก้ว ไมกา ยาง กระเบื้อง ที่อุณหภูมิสูงมาก ๆ ค่าสภาพต้านทานจะลดลงบ้าง แต่ถ้าต่อกับความต่างศักย์สูงมาก ๆ วัตถุนี้จะกลายเป็นตัวนำไฟฟ้าได้

จากการศึกษาความต้านทานของโลหะบางชนิด เช่น ตะกั่ว ดีบุก พรอท พบว่า เมื่ออุณหภูมิเข้าใกล้ 0°K ค่าความต้านทานของโลหะเหล่านี้จะลดลงเกือบเป็นศูนย์ อุณหภูมินี้เรียกว่า **อุณหภูมิวิกฤต** และค่าสภาพความต้านทานเป็นศูนย์ โลหะนี้จะอยู่ในสภาพนำไฟฟ้ายิ่งยวด คือนำไฟฟ้าได้ดีที่สุด เรียกโลหะนี้ว่า **ตัวนำยวดยิ่ง** และมีสมบัติสำคัญคือ การผลักกับสนามแม่เหล็ก จึงนำความรู้นี้ไปใช้ประโยชน์ในการสร้างอุปกรณ์ เช่น

เครื่องเร่งอนุภาคกำลังสูง ใช้เร่งอนุภาคเช่น อิเล็กตรอน นิวตรอน ให้มีความเร็วสูง เกิดพลังงานจลน์มาก นำไปใช้ในงานวิจัยฟิสิกส์

รถไฟฟ้ามกเลฟ เป็นรถไฟความเร็วสูง ขณะแล่นตัวรถจะลอยเหนือรางช่วยลดแรงเสียดทาน การยกตัวเกิดจากการผลักกันของสนามแม่เหล็กจากรางและตัวรถ

สควิด ใช้เป็นอุปกรณ์ตรวจวัดที่มีความไวสูง เช่น ตรวจวัดสนามแม่เหล็กที่เกิดจากสมอง ใช้วัดความต่างศักย์ไฟฟ้าที่มีค่าต่ำขนาด 10^{-10} โวลต์

การทำให้สารต่าง ๆ อยู่ในสภาพนำยวดยิ่งต้องใช้ฮีเลียมเหลว ซึ่งมีราคาแพงช่วยลดอุณหภูมิ แต่ปัจจุบันนักฟิสิกส์ได้พบสารชนิดใหม่เรียกว่า ตัวนำยวดยิ่งอุณหภูมิสูง เป็นสารประกอบของอิตเทียม (Y) แบเรียม (Ba) ทองแดง (Cu) และออกซิเจน (O) ซึ่งสามารถใช้ไนโตรเจนเหลว แทนฮีเลียมได้ การพบสารชนิดใหม่นี้กระตุ้นให้เกิดการวิจัยและพัฒนาตัวนำยวดยิ่งมาใช้ประโยชน์มากที่สุด

ในประเทศไทย มีนักฟิสิกส์ที่ทำการวิจัยเกี่ยวกับตัวนำยวดยิ่งทั้งด้านปฏิบัติและทฤษฎีจนเป็นที่ยอมรับของนานาชาติ คือ ดร. สุทัศน์ ยกส้าน

ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิกับความต้านทาน คือ

$$R_t = R_0 (1 + \alpha t)$$

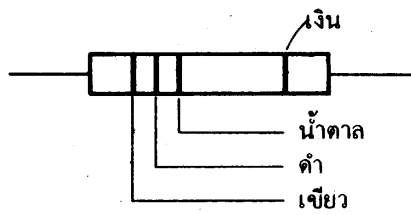
เมื่อ R_t คือ ความต้านทานที่อุณหภูมิ $t^{\circ}\text{C}$ t คือ อุณหภูมิ ($^{\circ}\text{C}$)

R_0 คือ ความต้านทานที่อุณหภูมิ 0°C

α คือ สัมประสิทธิ์อุณหภูมิ - ความต้านทาน ($^{\circ}\text{C}$)⁻¹

แบบฝึกหัดทบทวน 16.2

1. จากรูปที่กำหนดให้ จงหาว่าตัวต้านทานมีค่ากี่โอห์ม



- ก. $50 \pm 5 \ \Omega$
 ข. $500 \pm 10 \ \Omega$
 ค. $500 \pm 25 \ \Omega$
 ง. $500 \pm 50 \ \Omega$

2. ความต้านทานตัวหนึ่งมีแถบสีดังนี้ สีแดง แดง ดำ และทอง ความต้านทานตัวนี้มีค่าเท่าไร

- ก. $22 \pm 5 \%$ ข. $200 \pm 5 \%$ ค. $220 \pm 5 \%$ ง. $2000 \pm 5 \%$

3. ค่าความต้านทานบางชนิด บอกไว้ด้วยแถบสีที่คาดไว้ ตัวต้านทานที่ดีควรมีแถบอย่างไร

- ก. มี 4 แถบ ข. มี 3 แถบ ค. มีสีเข้ม ง. มีสีจาง

4. เมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น สารใดบ้างมีสภาพต้านไฟฟ้าลดลง

1. โลหะบริสุทธิ์ 2. สารกึ่งตัวนำ 3. โลหะผสม 4. ฉนวน
 ก. ข้อ 1 และ 2 ข. ข้อ 2 และ 3 ค. ข้อ 3 และ 4 ง. ข้อ 2 และ 4

5. ตัวต้านทานมาตรฐานซึ่งมีค่าความต้านทานคงที่เชื่อถือได้ แม้อุณหภูมิจะเปลี่ยนแปลง สร้างมาจากสารชนิดใด

- ก. สารกึ่งตัวนำ ข. โลหะบริสุทธิ์ ค. โลหะผสม ง. ฉนวน

6. สภาพต้านทานไฟฟ้าของโลหะขึ้นอยู่กับปริมาณใด

- ก. ความเร็วลอยเลื่อน ข. ความต่างศักย์ไฟฟ้า
 ค. พื้นที่หน้าตัดและความยาว ง. จำนวนอิเล็กตรอนอิสระ

7. ลวดทองแดงเส้นหนึ่งมีพื้นที่หน้าตัด 1.2 ตารางมิลลิเมตร ยาว 500 เมตร จะมีความต้านทานเท่าใด ให้สภาพต้านทานของทองแดง 1.8×10^{-8} โอห์มเมตร

- ก. 1.5×10^{-2} ข. 7.5×10^{-2} ค. 1.5 ง. 7.5

8. ลวด A ยาวเท่ากับลวด B โดยมีพื้นที่หน้าตัดเป็นครึ่งหนึ่งของลวด B แต่มีความต้านทานเท่ากัน จงหาอัตราส่วนระหว่างค่าสภาพต้านทานของลวด A และลวด B

- ก. $1:4$ ข. $1:2$ ค. $2:1$ ง. $4:1$

9. ลวด A ยาวเป็นสองเท่าของลวด B และมีสภาพต้านทานเป็น 3 เท่าของลวด B ถ้าลวด B มีพื้นที่หน้าตัดเป็น $\frac{1}{4}$ เท่าของลวด A จงหาอัตราส่วนของความต้านทานของลวด A ต่อลวด B

- ก. $2:3$ ข. $3:4$ ค. $3:2$ ง. $4:3$

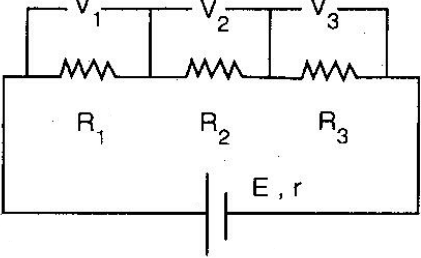
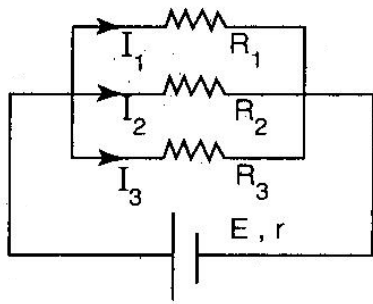
10. แท่งกราไฟท์มีสภาพต้านทาน 3.5×10^{-5} โอห์ม-เมตร มีความยาว 1 เซนติเมตร และเส้นผ่าศูนย์กลาง 1 มิลลิเมตร เหล็กมีสภาพต้านทาน 1.0×10^{-7} เซนติเมตร และเส้นผ่าศูนย์กลางเป็น 2 เท่าของเส้นผ่าศูนย์กลางของแท่งกราไฟท์ ลวดเหล็กจะต้องยาวกี่เมตรจึงจะมีความต้านทานเท่ากับค่าความต้านทานของแท่งกราไฟท์

- ก. 4 เมตร ข. 6 เมตร ค. 10 โอห์ม ง. 14 โอห์ม

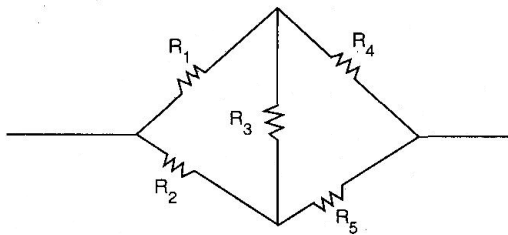
11. ลวดตัวนำมีขนาดโตสม่ำเสมอยาว 1 เมตร พื้นที่หน้าตัด 1 ตารางมิลลิเมตร ถ้าลวดนี้มีความต้านทาน 500 โอห์ม จะมีสภาพการนำไฟฟ้าเป็นกี่ซีเมนส์ต่อเมตร
 ก. 5×10^{-4} ข. 2×10^{-4} ค. 5×10^3 **ง. 2×10^3**
12. ลวดเส้นหนึ่งยาว 1.0 เมตร มีความต้านทาน 0.5 โอห์ม จงหาว่าลวดชนิดเดียวกันที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางเป็นหนึ่งของเส้นแรกจะต้องมีความยาวเท่าใด จึงจะมีความต้านทาน 1.2 โอห์ม
 ก. 0.4 เมตร **ข. 0.6 เมตร** ค. 0.8 เมตร ง. 1.2 เมตร
13. ลวดเส้นหนึ่งโตสม่ำเสมอยาว 1.45 เมตร มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 3.35 มิลลิเมตร ความต้านทาน 10Ω จงหาสภาพนำไฟฟ้า
 ก. 1.6×10^2 ซีเมนส์/ เมตร ข. 1.6×10^3 ซีเมนส์/ เมตร
 ค. 1.6×10^4 ซีเมนส์/ เมตร **ง. 1.6×10^6 ซีเมนส์/ เมตร**
14. เส้นลวดที่มีพื้นที่หน้าตัดเป็นวงกลม ถ้าความยาวและขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของเส้นลวดเพิ่มขึ้นเป็น 2 เท่าทั้งสองค่าแล้ว ความต้านทานของเส้นลวดจะเป็นอย่างไร
 ก. ลดลงเหลือ 1/4 ข. เพิ่มขึ้นเป็น 2 เท่า
ค. ลดลงครึ่งหนึ่ง ง. เพิ่มขึ้นเป็น 4 เท่า
15. ลวดตัวนำขนาดสม่ำเสมอเส้นหนึ่งยาว 1 เมตร วัดความต้านทานได้ 0.2 โอห์ม ถ้ามีตัวนำชนิดเดียวกันแต่ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเล็กกว่าเดิมครึ่งหนึ่ง ถ้าต้องการให้มีความต้านทาน 0.8 โอห์ม ต้องใช้ลวดยาวเท่าใด
ก. 1.0 เมตร ข. 4.0 เมตร ค. 2.0 เมตร ง. 3.0 เมตร
16. ถ้านำลวดเส้นหนึ่งให้เหลือเพียงครึ่งหนึ่งของเดิม แล้ววัดลวดที่เหลือให้ยาวเท่ากับลวดเดิม ถามว่าความต้านทานของลวดเส้นใหม่นี้เป็นเท่าไร ถ้าลวดเส้นเดิมมีความต้านทาน 10 โอห์ม
 ก. 10 โอห์ม ข. 30 โอห์ม **ค. 20 โอห์ม** ง. 40 โอห์ม
17. ลวดโลหะขนาดสม่ำเสมอยาว 50 เซนติเมตร วัดความต้านทานได้ 0.4 โอห์ม ถ้าลวดถูกตัดให้เล็กลงขนาดสม่ำเสมอและมีความยาวเป็น 4 เท่าของความยาวเดิมแล้ว ความต้านทานไฟฟ้าของลวดโลหะเส้นเล็กจะมีค่าเท่าใด
 ก. 0.8 โอห์ม ข. 1.6 โอห์ม ค. 3.2 โอห์ม **ง. 6.4 โอห์ม**
18. ลวดเส้นหนึ่งมีความต้านทาน 6 โอห์ม ถูกตัดออกให้ยาวเป็น 4 เท่าของความยาวเดิม ถ้าสภาพต้านทานและความหนาแน่นของลวดนี้มีค่าคงเดิม จงหาความต้านทานใหม่ในหน่วยโอห์ม
 ก. 32 โอห์ม ข. 64 โอห์ม **ค. 96 โอห์ม** ง. 128 โอห์ม
19. ลวดโลหะบริสุทธิ์เช่น ทองแดง มีค่าความต้านทานเปลี่ยนแปลงกับอุณหภูมิของลวดอย่างไร
ก. ความต้านทานเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น ข. ความต้านทานเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิลดลง
 ค. ความต้านทานคงเดิมเมื่ออุณหภูมิเปลี่ยน ง. ความต้านทานลดลงเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น
20. ข้อความใดที่กล่าว ผิดความจริงทางวิทยาศาสตร์
ก. เมื่ออุณหภูมิลดลง ตัวนำมีความนำไฟฟ้าลดลง ข. เมื่ออุณหภูมิลดลง ฉนวนมีความนำไฟฟ้าลดลง
 ค. เมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น ตัวนำมีความต้านทานเพิ่มขึ้น ง. เมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น ฉนวนมีความต้านทานลดลง

16.3 การต่อตัวต้านทานและแบตเตอรี่

16.3.1 การต่อตัวต้านทาน

การต่อตัวต้านทานแบบอนุกรม	การต่อตัวต้านทานแบบขนาน
 $V_{\text{รวม}} = V_1 + V_2 + V_3$ $I_{\text{รวม}} = I_1 = I_2 = I_3$ $R_{\text{รวม}} = R_1 + R_2 + R_3$	 $V_{\text{รวม}} = V_1 = V_2 = V_3$ $I_{\text{รวม}} = I_1 + I_2 + I_3$ $\frac{1}{R_{\text{รวม}}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3}$

การต่อตัวต้านทานแบบบริดจ์ (แบบสมดุล)



บริดจ์สมดุล จะได้ว่า

$$\frac{R_1}{R_2} = \frac{R_4}{R_5}$$

ข้อสังเกต ไม่มีกระแสไหลผ่าน R_3

การเปลี่ยนรูปความต้านทาน Delta Wye

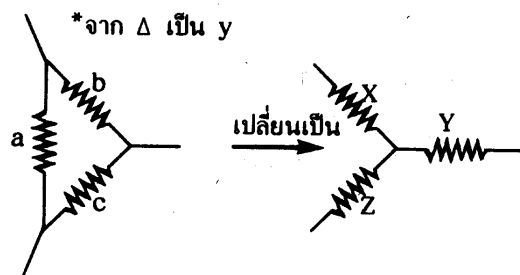
เป็นการเปลี่ยนแปลงรูปความต้านทาน 3 ตัวเพื่อให้สะดวกในการคำนวณสำหรับวงจรที่ซับซ้อน มีหลักการเปลี่ยนรูป อธิบายโดยใช้ไดอะแกรม ได้ดังนี้

จาก Δ เป็น y

$$x = \frac{ab}{a+b+c}$$

$$y = \frac{bc}{a+b+c}$$

$$z = \frac{ca}{a+b+c}$$

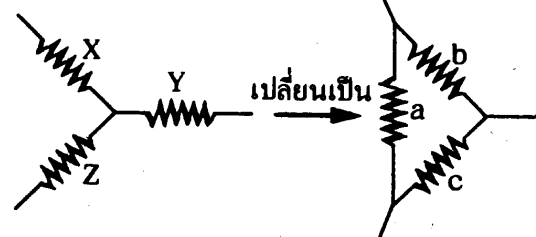


ให้สังเกตว่าตัวหารเป็น $a+b+c$ เสมอ บางทีเรียกว่า Delta (Δ)

$$a = \frac{xy + yz + zx}{y}$$

$$b = \frac{xy + yz + zx}{z}$$

$$c = \frac{xy + yz + zx}{x}$$

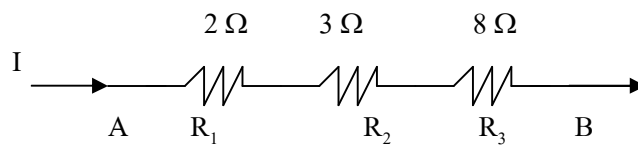


ให้สังเกตว่าตัวตั้งเป็น $xy + yz + zx$ เสมอ บางทีเรียกว่า Why (y) และหารด้วยความต้านที่อยู่ตรงข้าม

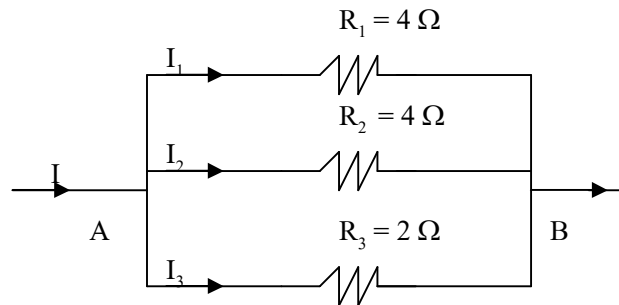
แบบฝึกหัดที่ 16.3.1

จากรูป จงหาความต้านทานรวมระหว่าง A กับ B

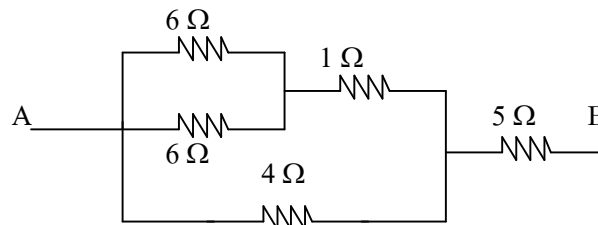
1.



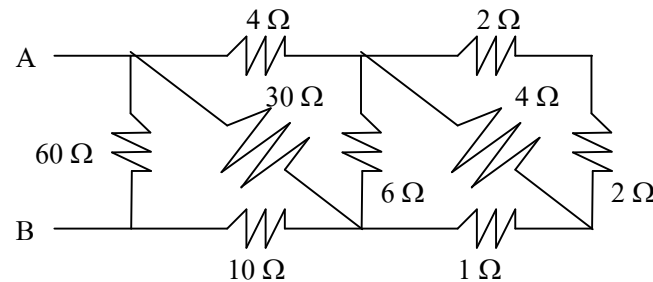
2.



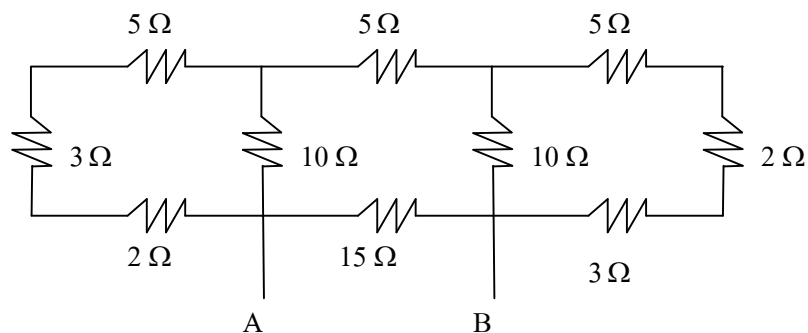
3.



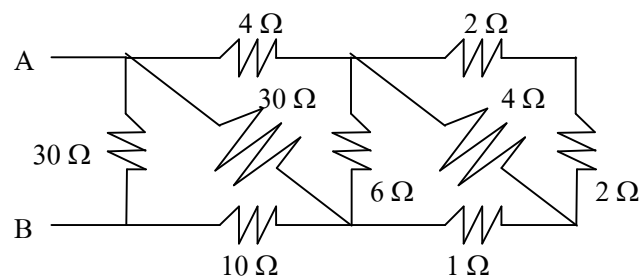
4.

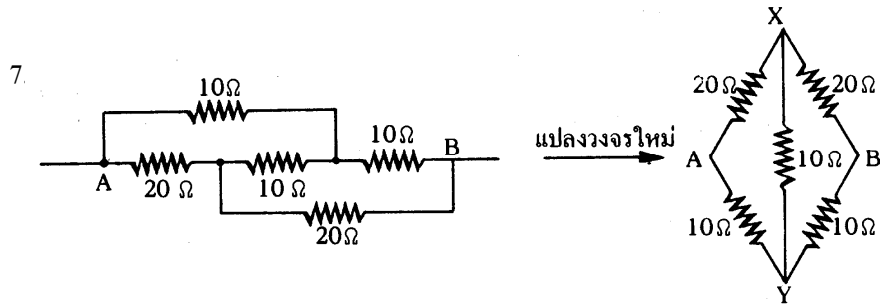


5.



6.





ตอบ 1. 13 Ω 2. 1 Ω 3. 7 Ω 4. 12 Ω 5. 7.5 Ω 6. 10 Ω 7. 13.3 Ω

แบบฝึกหัดทบทวนที่ 16.3.1

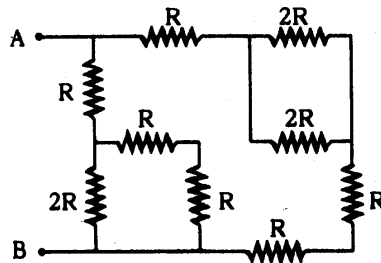
1. จากรูป ค่าความต้านทานที่วัดระหว่างจุด A กับ B จะเป็นเท่าไร ถ้า R มีค่า $\frac{3}{4} \Omega$

ก. $\frac{1}{2} \Omega$

ข. 1 Ω

ค. $\frac{3}{4} \Omega$

ง. $\frac{4}{3} \Omega$



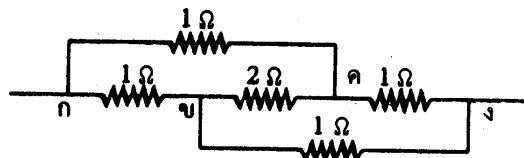
2. มีความต้านทานชุดหนึ่งต่อกันดังรูป ความต้านทานรวมระหว่างจุด ข และ ค คือ

ก. $\frac{2}{3}$ โอห์ม

ข. 1 โอห์ม

ค. $\frac{3}{2}$ โอห์ม

ง. 2 โอห์ม



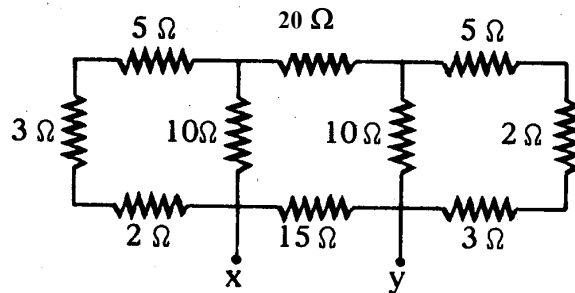
3. จากรูป จงหาความต้านทานระหว่าง x กับ y

ก. 5 โอห์ม

ข. 10 โอห์ม

ค. 15 โอห์ม

ง. 30 โอห์ม



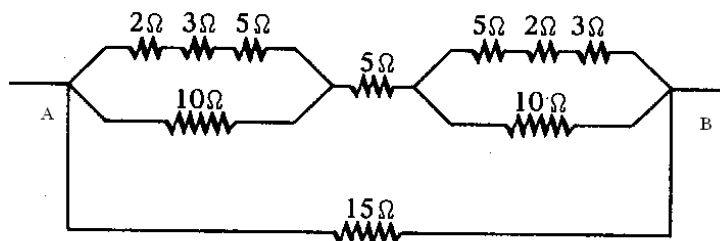
4. จากรูป จงหาความต้านทานระหว่าง A กับ B

ก. 7.5 โอห์ม

ข. 10 โอห์ม

ค. 12 โอห์ม

ง. 15 โอห์ม



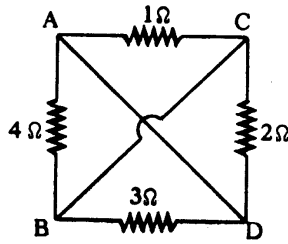
5. จากรูป จงหาความต้านทานระหว่าง A กับ B

ก. 0.48 โอห์ม

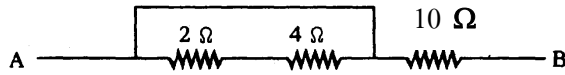
ข. 1.48 โอห์ม

ค. 5 โอห์ม

ง. 10 โอห์ม



6. จากรูป จงหาความต้านทานระหว่าง A กับ B



ก. 8 โอห์ม

ข. 6 โอห์ม

ค. 10 โอห์ม

ง. 12 โอห์ม

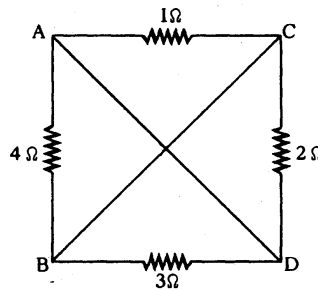
7. จากรูป จงหาความต้านทานระหว่าง A กับ B

ก. 0 โอห์ม

ข. 6 โอห์ม

ค. 9 โอห์ม

ง. 10 โอห์ม



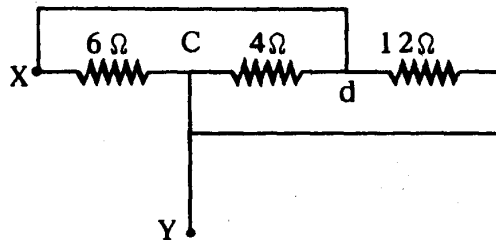
8. จากรูป จงหาความต้านทานระหว่าง x กับ y

ก. 0 โอห์ม

ข. 2 โอห์ม

ค. 10 โอห์ม

ง. 12 โอห์ม



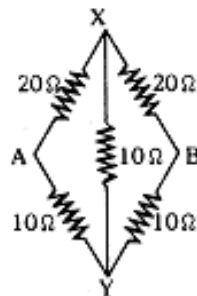
9. จากรูป จงหาความต้านทานระหว่าง A กับ B

ก. 10.5 โอห์ม

ข. 12.4 โอห์ม

ค. 13.3 โอห์ม

ง. 14.2 โอห์ม



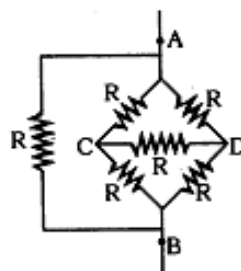
10. จากรูป จงหาความต้านทานระหว่าง A กับ B

ก. 0.5R โอห์ม

ข. 1R โอห์ม

ค. 2R โอห์ม

ง. 4R โอห์ม



16.3.2 แรงเคลื่อนไฟฟ้าและความต่างศักย์

แรงเคลื่อนไฟฟ้า (Electromotive Force หรือ emf) ใช้สัญลักษณ์คือ “E” หมายถึงแรงดันไฟฟ้าของเซลล์ที่จะดันให้กระแสไฟฟ้าได้ครบวงจร มีหน่วยเป็น โวลต์ (V)

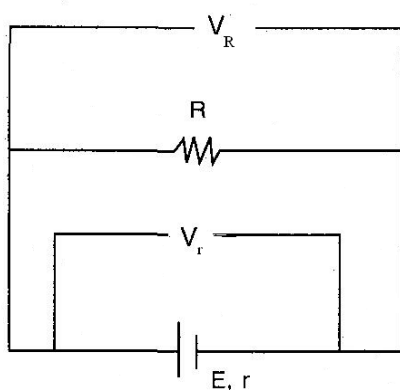
แรงเคลื่อนไฟฟ้า = ความต่างศักย์ระหว่างขั้วเซลล์ + ความต่างศักย์ระหว่างปลายของตัวต้านทานภายใน

$$E = V_R + V_r$$

$$E = IR + Ir$$

$$E = I(R + r)$$

$$I = \frac{E}{R + r}$$



กำหนดให้

E คือ แรงเคลื่อนไฟฟ้า (V)

R คือ ความต้านทานภายนอก (Ω)

r คือ ความต้านทานภายใน (Ω)

I คือ กระแสไฟฟ้า (A)

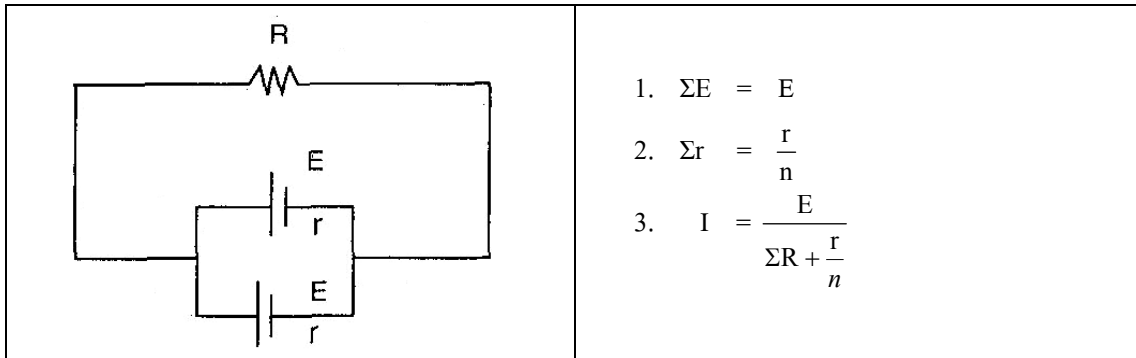
V_R คือ ความต่างศักย์ภายนอกเซลล์ (V)

V_r คือ ความต่างศักย์ภายในเซลล์ (V)

16.3.3 การต่อแบตเตอรี่ (การต่อเซลล์ไฟฟ้า)

การต่อเซลล์ไฟฟ้าแบบอนุกรมตามกัน	การต่อเซลล์ไฟฟ้าแบบอนุกรมขัดกัน
$\Sigma E = E_1 + E_2$ $\Sigma r = r_1 + r_2$ $I = \frac{\Sigma E}{\Sigma R + \Sigma r}$	$\Sigma E = E_1 - E_2$ $\Sigma r = r_1 + r_2$ $I = \frac{\Sigma E}{\Sigma R + \Sigma r}$

การต่อเซลล์ไฟฟ้าแบบขนาน



การต่อเซลล์เพื่อให้ได้กระแสไฟฟ้าไหลในวงจรมากที่สุดเมื่อ

1. $XY = n$
2. $\frac{R}{X} = \frac{r}{Y}$
3. นำค่า X และ Y ที่ได้จาก 1 และ 2 มาแทนในสูตร

$$I = \frac{E}{\frac{R}{X} + \frac{r}{Y}}$$

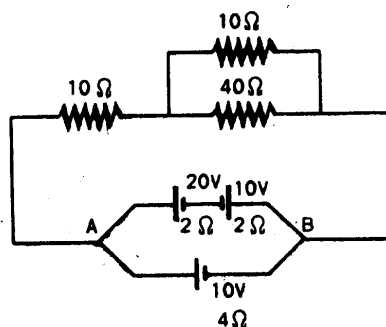
เมื่อ X คือ เป็นจำนวนเซลล์ใน 1 แถวที่ต่อแบบอนุกรม (หลัก)

Y คือ เป็นจำนวนที่ต่อแบบขนาน (แถว)

ข้อควรจำ E และ r เป็นค่าแรงเคลื่อนไฟฟ้าและความต้านทานภายในเพียงเซลล์เดียว

แบบฝึกหัดที่ 16.3.2-3

1. เซลล์ไฟฟ้า 4 เซลล์ มีแรงเคลื่อนไฟฟ้าเซลล์ละ 1.5 โวลต์ และความต้านทานภายในเซลล์ละ 0.5 โอห์ม นำเซลล์ทั้งหมดไปต่อกับความต้านทานภายนอก 28 โอห์ม จงหากระแสไฟฟ้าที่ไหลในวงจรเมื่อ
 - ก. ต่อเซลล์ไฟฟ้าแบบอนุกรม (0.2 A)
 - ข. ต่อเซลล์ไฟฟ้าแบบขนาน (0.053 A)
2. เซลล์ไฟฟ้าแรงเคลื่อนไฟฟ้า 4 โวลต์ ความต้านทานภายใน 2 โอห์ม จำนวน 12 เซลล์ เมื่อนำไปต่อกับความต้านทานภายนอก 6 โอห์ม จะกระแสไฟฟ้าที่ไหลในวงจรมากที่สุดเท่าใด (2 A)
3. เซลล์ไฟฟ้าทั้งหมด 16 เซลล์ มีความต้านทานภายใน 6 โอห์ม และมีแรงเคลื่อนไฟฟ้าเซลล์ละ 12 โวลต์ จะต้องต่อเซลล์ไฟฟ้าอย่างไร เมื่อนำไปต่อกับหลอดไฟฟ้าจำนวน 10 หลอด มีความต้านทานหลอดละ 240 โอห์ม และต่อขนานกันอยู่ จึงจะมีความสว่างของหลอดมากที่สุด (2 A)
4. วงจรไฟฟ้าตามรูปความต่างศักย์ไฟฟ้าระหว่างจุด A กับจุด B มีกี่โวลต์ (9 V)



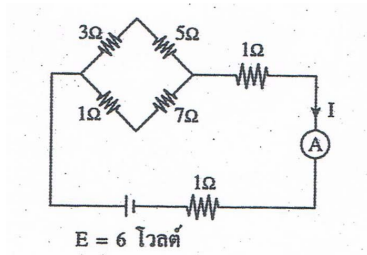
แบบฝึกหัดทบทวน 16.3.2-3

1. ถ่านไฟฉาย 6 ก้อนมีแรงเคลื่อนไฟฟ้าก้อนละ 1.5 โวลต์ ความต้านทานภายในก้อนละ 1 โอห์ม นำมาต่อแบบผสมสองแถวๆ ละ 3 ก้อน เป็นแบตเตอรี่ชุดหนึ่ง แล้วต่อเป็นวงจรด้วยหลอดไฟฟ้าที่มีความต้านทาน 6 โอห์ม จะมีกระแสไฟฟ้าไหลผ่านหลอดไฟมากที่สุดเท่าไร

- ก. 0.45 แอมแปร์
ข. 0.60 แอมแปร์
ค. 0.75 แอมแปร์
ง. 1.00 แอมแปร์

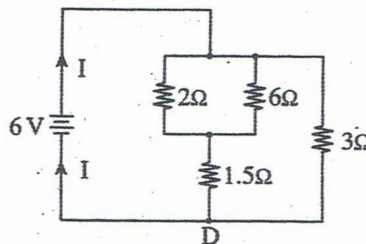
2. จากรูป จงหากระแสไฟฟ้า I ที่ผ่านแอมมิเตอร์ A ในวงจร

- ก. 0.3 A
ข. 0.5 A
ค. 1.0 A
ง. 1.5 A



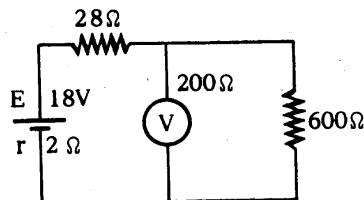
3. จากรูป จงหากระแสไฟฟ้า I ในวงจร

- ก. 0.6 A
ข. 2.0 A
ค. 2.4 A
ง. 4.0 A



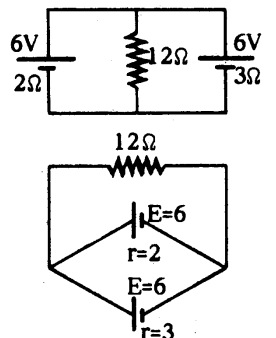
4. โวลต์มิเตอร์มีความต้านทาน 200 โอห์มจะอ่านค่าได้กี่โวลต์ในวงจรนี้

- ก. 5 โวลต์
ข. 10 โวลต์
ค. 15 โวลต์
ง. 20 โวลต์



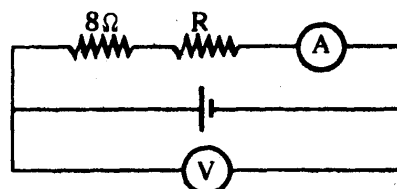
5. จากรูปกระแสไฟฟ้าที่ผ่านความต้านทาน 12 โอห์มมีค่ากี่แอมแปร์

- ก. 0.23 แอมแปร์
ข. 0.32 แอมแปร์
ค. 0.45 แอมแปร์
ง. 0.54 แอมแปร์

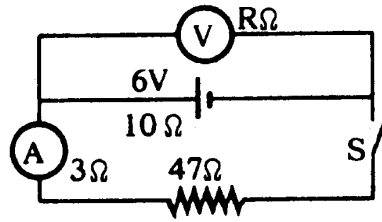


6. จากวงจรดังรูป V อ่าน 10 V A อ่าน 0.5 A จงหาว่า R มีค่าเท่าไร เมื่อ V ไม่กินกระแสไฟและ A ไม่มีความต้านทาน

- ก. 4 Ω
ข. 10 Ω
ค. 12 Ω
ง. 14 Ω



จากรูป ใช้ตอบคำถามข้อ 7-10



7. เมื่อยกสวิตช์ขึ้น V อ่านค่าได้ 5 โวลต์ ถ้าสับสวิตช์ลง V จะมีความต้านทานที่โอห์ม

- ก. 20 โอห์ม ข. 30 โอห์ม ค. 40 โอห์ม **ง. 50 โอห์ม**

8. ถ้ายกสวิตช์ขึ้น A จะอ่านค่าได้ที่แอมแปร์

- ก. 0 โอห์ม** ข. 1 แอมแปร์ ค. 2 แอมแปร์ ง. 3 แอมแปร์

9. ถ้าสับสวิตช์ลง ความต้านทานรวมภายนอกมีค่าที่โอห์ม

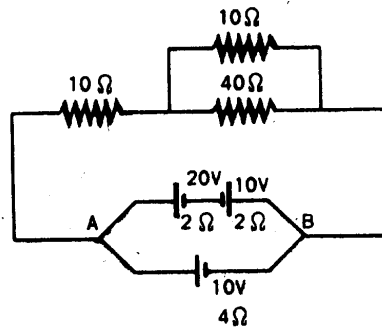
- ก. 15 โอห์ม ข. 20 โอห์ม **ค. 25 โอห์ม** ง. 30 โอห์ม

10. ถ้าสับสวิตช์ลง A จะอ่านค่าได้ที่แอมแปร์

- ก. 0.17 แอมแปร์ **ข. 0.086 แอมแปร์** ค. 0.24 แอมแปร์ ง. 0.3 แอมแปร์

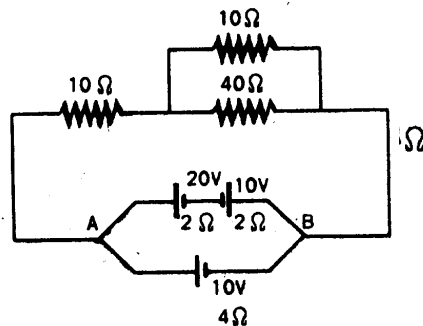
11. วงจรไฟฟ้าตามรูปความต่างศักย์ไฟฟ้าระหว่างจุด A กับจุด B มีกี่โวลต์

- ก. 2 โวลต์
ข. 4 โวลต์
ค. 6 โวลต์
ง. 9 โวลต์



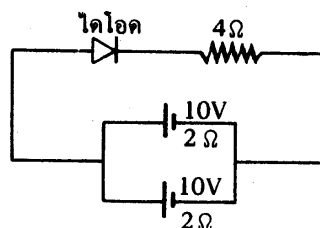
12. จงหาความต่างศักย์ระหว่าง A และ B

- ก. 2 โวลต์
ข. 4 โวลต์
ค. 6 โวลต์
ง. 9 โวลต์



13. จากวงจรไฟฟ้า จงหากระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านเซลล์ 10 โวลต์

- ก. 0 แอมแปร์
ข. 0.5 แอมแปร์
ค. 1 แอมแปร์
ง. 2 แอมแปร์



16.4 พลังงานและกำลังไฟฟ้า

จากสูตรไฟฟ้าสถิต งานไฟฟ้า $W = QV$ (1)

จากสูตรกระแสไฟฟ้าในตัวนำ $Q = It$ (2)

แทน (2) ใน (1) จะได้ $W = ItV$ (3)

แทนค่า $V = IR$ และ $I = \frac{V}{R}$ ในสูตร (3) จะได้

$$\text{งานไฟฟ้า} \quad W = ItV = I^2 R t = \frac{V^2 t}{R}$$

กำลังไฟฟ้า คือ พลังงานไฟฟ้าในหนึ่งหน่วยเวลา

$$\text{กำลังไฟฟ้า} \quad P = \frac{W}{t} = IV = I^2 R = \frac{V^2}{R}$$

กำหนดให้ I คือ กระแสไฟฟ้า มีหน่วยเป็นแอมแปร์ (A) W คือ งานไฟฟ้า มีหน่วยเป็น จูล (J)

R คือ ความต้านทาน มีหน่วยเป็น โอห์ม (Ω) t คือ เวลา มีหน่วยเป็น วินาที (s)

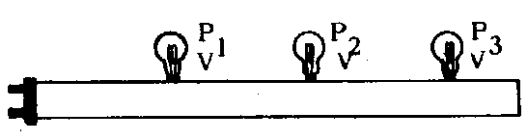
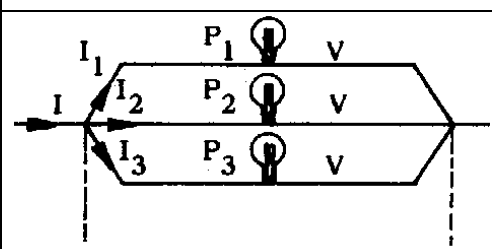
V คือ ความต่างศักย์ มีหน่วยเป็น โวลต์ (V) P คือ กำลัง มีหน่วยเป็น วัตต์ (W)

เมื่อพลังงานจากไฟฟ้าเปลี่ยนเป็นพลังงานความร้อน จะได้ว่า

$$W = \Delta Q$$

$$W = mc\Delta T$$

การต่อหลอดไฟ

การต่อหลอดไฟแบบอนุกรม	การต่อหลอดไฟแบบขนาน
 $R_{\text{รวม}} = R_1 + R_2 + R_3 + \dots$ $\frac{V^2}{P_{\text{รวม}}} = \frac{V^2}{P_1} + \frac{V^2}{P_2} + \frac{V^2}{P_3}$ $\frac{1}{P_{\text{รวม}}} = \frac{1}{P_1} + \frac{1}{P_2} + \frac{1}{P_3}$ เมื่อ V เท่ากัน	 $I_{\text{รวม}} = I_1 + I_2 + I_3 + \dots$ $\frac{P_{\text{รวม}}}{V} = \frac{P_1}{V} + \frac{P_2}{V} + \frac{P_3}{V}$ $P_{\text{รวม}} = P_1 + P_2 + P_3 + \dots$ เมื่อ V เท่ากัน

แบบฝึกหัด 16.4

1. หลอดไฟขนาด 60 W 220 V เมื่อนำไปใช้กับไฟในบ้าน กระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านหลอดไฟเป็นเท่าไร
2. กำลังของมอเตอร์เครื่องหนึ่ง ซึ่งมีกระแสไหลเข้า 3 A เมื่อต่อกับแหล่งจ่ายไฟขนาด 120 V จะมีค่าเท่าไร (360 W)
3. หม้อหุงข้าวใบหนึ่งเขียนติดด้านข้างไว้ว่า 220 V 660 W แสดงว่าหม้อหุงข้าวใบนี้ใช้กระแสไฟฟ้าสูงสุดเท่าไร (3 A)
4. หลอดไฟขนาด 220 V 0.5 A เมื่อใช้นาน 20 นาที จะสิ้นพลังงานเท่าใด (132,000 J)
5. เครื่องใช้ไฟฟ้าชนิดหนึ่ง เมื่อใช้กับไฟฟ้า 220 V กินกระแส 2 A ถ้านำไปใช้กับความต่างศักย์ 110 V จะใช้กระแสไฟฟ้าใด
6. หลอดไฟขนาด 220 V , 40 W จำนวน 10 หลอด ถูกนำมาต่อกันแล้วต่อเข้ากับบ้าน จงหาลำดับไฟฟ้ารวม เมื่อ ก. ต่อหลอดไฟฟ้าทั้งหมดแบบอนุกรม ข. ต่อหลอดไฟฟ้าทั้งหมดแบบขนาน
7. จงหาว่าต้องให้ความร้อนด้วยกำลังเฉลี่ยกี่วัตต์ จึงจะทำให้โลหะมวล 2 กิโลกรัม มีอุณหภูมิสูงขึ้น 30 องศาเซลเซียส ในเวลา 5 นาที กำหนดให้ความจุความร้อนจำเพาะของโลหะนั้นเท่ากับ 400 จูลต่อกิโลกรัม.เคลวิน

แบบฝึกหัดทบทวนที่ 16.4

1. เครื่องกำเนิดไฟฟ้าเครื่องหนึ่งกำลังทำงานด้วยอัตรา 88 กิโลวัตต์ ส่งกำลังไฟฟ้าผ่านสายไฟซึ่งมีความต้านทาน 0.5 โอห์ม เป็นเวลา 5 วินาที ที่ความต่างศักย์ 22,000 โวลต์ จงหาค่าพลังงานที่สูญเสียไปในรูปความร้อนภายในสายไฟ
ก. 8 จูล ข. 20 จูล **ก. 40 จูล** ง. 80 จูล
2. หลอดไฟขนาด 80 วัตต์ ถูกนำมาใช้งานด้วยความต่างศักย์ 220 โวลต์ เป็นเวลานานครึ่งชั่วโมง จงคำนวณหาค่าพลังงานไฟฟ้าที่เปลี่ยนไปเป็นพลังงานความร้อนและแสง
ก. 2.4 กิโลจูล ข. 4.8 กิโลจูล ก. 17.6 กิโลจูล **ง. 144 กิโลจูล**
3. จงหาว่าต้องให้ความร้อนด้วยกำลังเฉลี่ยกี่วัตต์ จึงจะทำให้โลหะมวล 1 กิโลกรัม มีอุณหภูมิสูงขึ้น 60 องศาเซลเซียส ในเวลา 5 นาที กำหนดให้ความจุความร้อนจำเพาะของโลหะนั้นเท่ากับ 400 จูลต่อกิโลกรัม.เคลวิน
ก. 8 วัตต์ ข. 20 วัตต์ ก. 40 วัตต์ **ง. 80 วัตต์**
4. ต่อตัวต้านทาน 10 โอห์ม กับแบตเตอรี่ 12 โวลต์ แล้วจุ่มตัวต้านทานในแคโรอริมิเตอร์ที่บรรจุน้ำ 48 ลูกบาศก์เซนติเมตร จะใช้เวลากี่วินาที อุณหภูมิของน้ำจึงจะเพิ่มขึ้น 2 องศาเซลเซียส (ถ้าแคโรอริมิเตอร์มีความจุความร้อนน้อยมาก ความจุความร้อนจำเพาะของน้ำเท่ากับ 4.2 จูล/กรัม.เคลวิน)
ก. 8 วินาที **ข. 28 วินาที** ก. 48 วินาที ง. 80 วินาที
5. หลอดไฟหลอดแรกมีความต้านทาน 4 โอห์ม ต่อกับแบตเตอรี่ 12 โวลต์ หลอดที่สองมีความต้านทาน 5 โอห์ม ต่อกับแบตเตอรี่ 15 โวลต์ กำลังไฟฟ้าที่หลอดทั้งสองใช้ต่างกันเท่าใด
ก. 3 W **ข. 9 W** ก. 11 W ง. 22 W

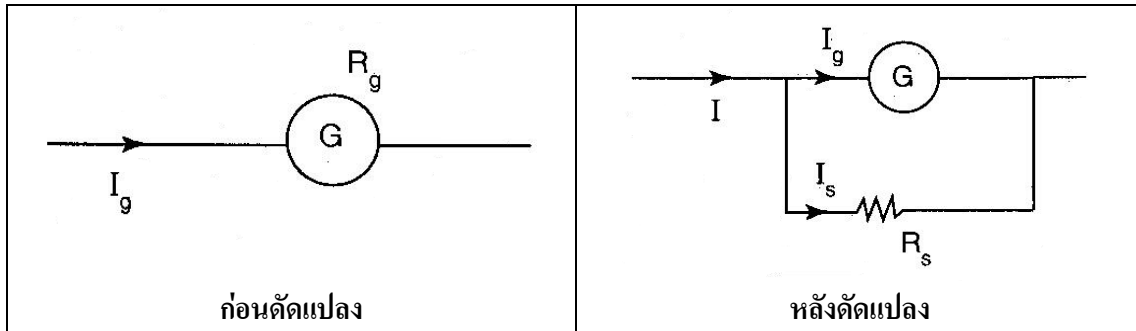
6. ถ้าใช้หม้อต้มไฟฟ้าขนาด 220 โวลต์ 1000 วัตต์ ต้มน้ำ 1 ลิตร อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส น้ำจะเริ่มเดือดภายในเวลาเท่าไร ถ้าการต้มน้ำมีประสิทธิภาพร้อยละ 80 (ความจุความร้อนจำเพาะของน้ำเท่ากับ 4.2 กิโลจูล/กิโลกรัม.เคลวิน)
 ก. 7 นาที ข. 9 นาที ค. 12 นาที ง. 15 นาที
7. ขณะเปิดหลอดไฟ 60 วัตต์ พบว่าร้อยละ 80 ของพลังงานไฟฟ้าสูญเสียไปในรูปความร้อน จงหาปริมาณความร้อนทั้งหมดที่ได้จากหลอดไฟใน 1 นาที
 ก. 48 จูล ข. 75 จูล ค. 288 จูล ง. 2,880 จูล
8. หลอดไฟ 12 V 10 W ถ้านำไปใช้กับแบตเตอรี่ 24 V จะต้องนำความต้านทานที่โอห์มไปต่ออนุกรมกับหลอดนี้เพื่อให้หลอดไฟใช้กำลังเท่าเดิม
 ก. 14.4 โอห์ม ข. 16 โอห์ม ค. 20 โอห์ม ง. 28.8 โอห์ม
9. ใช้ลวด 2 เส้นต่อเป็นวงจรเพื่อส่งกำลังไฟฟ้า 1,000 วัตต์ ไปยังเครื่องใช้ไฟฟ้าเครื่องหนึ่ง โดยลวดแต่ละเส้นมีความต้านทาน 2 โอห์ม ถ้าความต่างศักย์บนเครื่องใช้ไฟฟ้าเป็น 100 โวลต์ ความต่างศักย์ของแหล่งจ่ายพลังงานจะเป็นกี่โวลต์
 ก. 140 V ข. 120 V ค. 110 V ง. 104 V
10. กาต้มน้ำไฟฟ้าใบหนึ่งใช้กับความต่างศักย์ไฟฟ้า 220 V เพื่อใช้ต้มน้ำ 100 ลบ.ซม. ให้เดือดในเวลา 3 นาที อยากทราบว่าถ้าใช้กาต้มน้ำใบนี้กับความต่างศักย์ 110 V ในการต้มน้ำปริมาณเท่าเดิมน้ำจะเดือดภายในกี่นาที
 ก. 3 นาที ข. 6 นาที ค. 12 นาที ง. 15 นาที
11. เครื่องใช้ไฟฟ้าในบ้านชนิด 100 W 220 V เมื่อนำมาใช้ขณะที่ไฟตกเหลือ 200 V เครื่องใช้ไฟฟ้านั้นจะใช้กำลังไฟฟ้าเท่าใด
 ก. 78 W ข. 83 W ค. 88 W ง. 93 W
12. ห้องทำงานแห่งหนึ่งใช้ไฟฟ้าจากแหล่งกำเนิด 200 V ภายในห้องมีหลอดไฟขนาด 100 W 3 ดวง และมีพัดลมขนาด 200 W 2 เครื่อง เพื่อป้องกันความเสียหายจากการเกิดไฟฟ้าลัดวงจร ควรจะมีฟิวส์ขนาดเล็กสุดเท่าใด
 ก. 2 A ข. 3 A ค. 4 A ง. 5 A
13. คนขับรถยนต์ท่านหนึ่งดับเครื่องยนต์แล้วลืมปิดไฟหน้ารถ 2 ดวงเป็นเวลานาน 10 นาที แบตเตอรี่ของรถยนต์ ซึ่งแรงเคลื่อน 12 โวลต์ จะต้องจ่ายไฟเท่าใด ถ้าไฟหน้ากินกระแสดวงละ 5 แอมแปร์
 ก. 120 จูล ข. 1,200 จูล ค. 36,000 จูล ง. 72,000 จูล
14. โรงไฟฟ้าขนาด 400 กิโลวัตต์ ส่งกำลังไฟฟ้าผ่านสายไฟที่มีความต้านทาน 0.25 โอห์ม ด้วยความต่างศักย์ 20,000 โวลต์ จงหากำลังที่ต้องสูญเสียไปในรูปความร้อนในสายไฟ
 ก. 25 W ข. 50 W ค. 75 W ง. 100 W
15. เต้าไฟฟ้าขนาด 1,200 วัตต์ เต้าอบไมโครเวฟขนาด 900 วัตต์ และหม้อหุงข้าวไฟฟ้าขนาด 600 วัตต์ ถ้าใช้ทั้งสามเครื่องกับไฟฟ้า 220 โวลต์ พร้อมกันจะใช้กระแสไฟฟ้าเท่าใด
 ก. 8 A ข. 10 A ค. 12 A ง. 15 A

16.5 เครื่องวัดไฟฟ้า

เกลแวนอิมิตอร์ เป็นเครื่องมือที่ใช้ดัดแปลงให้เป็นแอมมิเตอร์ และโวลต์มิเตอร์

หลักการสร้างแอมมิเตอร์จากเกลแวนอิมิตอร์

การสร้างแอมมิเตอร์จากเกลแวนอิมิตอร์ โดยการเอาความต้านทานที่เรียกว่าชั้น มาต่อขนานกับเกลแวนอิมิตอร์ เพื่อจะได้วัดกระแสไฟฟ้าได้มากขึ้น



กำหนดให้ I คือ กระแสที่ต้องการวัด

R_g คือ ความต้านทานของเกลแวนอิมิตอร์

I_g คือ กระแสผ่านเกลแวนอิมิตอร์

R_s คือ ความต้านทานของขดลวด

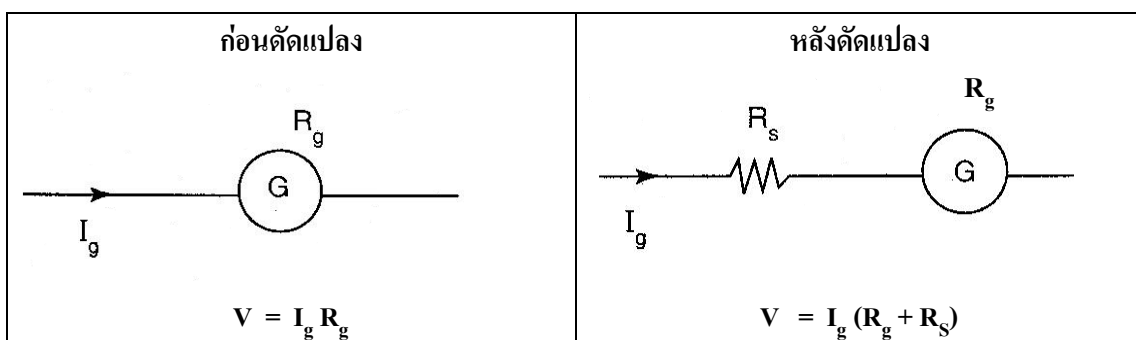
I_s คือ กระแสผ่านขดลวด

จะได้ว่า
$$I_g R_g = I_s R_s$$

$$I_g R_g = (I - I_g) R_s$$

หลักการสร้างโวลต์มิเตอร์จากเกลแวนอิมิตอร์

การสร้างโวลต์มิเตอร์จากเกลแวนอิมิตอร์ โดยการเอาความต้านทานที่เรียกว่าชั้นมาต่ออนุกรม เพื่อจะได้วัดความต่างศักย์ไฟฟ้าได้มากขึ้น



กำหนดให้ V คือ ความต่างศักย์

R_g คือ ความต้านทานของเกลแวนอิมิตอร์

I_g คือ กระแสผ่านชั้น

R_s คือ ความต้านทานของขดลวด

แบบฝึกหัดทบทวน 16.5

- ถ้าตัดแปลงเกลวอนอมิเตอร์ให้เป็น โอห์มมิเตอร์ จะต้องปฏิบัติตามข้อใด
 - นำความต้านทานต่ออนุกรมกับเกลวอนอมิเตอร์
 - นำเซลล์ไฟฟ้ากับตัวเก็บประจุต่ออนุกรมกับเกลวอนอมิเตอร์
 - นำความต้านทานและเซลล์ไฟฟ้าต่อขนานกับเกลวอนอมิเตอร์
 - นำความต้านทานด้านทานแบบปรับค่าได้และเซลล์ไฟฟ้าต่ออนุกรมกับเกลวอนอมิเตอร์
- โวลต์มิเตอร์เครื่องหนึ่งอ่านเต็มสเกล 10 โวลต์ และมีความต้านทาน R จงหาค่าความต้านทานที่ต้องใช้ต่อกับโวลต์มิเตอร์นี้เพื่อเปลี่ยนหน้าปัทม์ให้อ่านเต็มสเกล 100 โวลต์
 - $R/10$
 - $9 R$
 - $R/4$
 - $10 R$
- การตัดแปลงเกลวอนอมิเตอร์เป็น โวลต์มิเตอร์อาจทำได้โดย
 - ต่อความต้านทานอนุกรมกับเกลวอนอมิเตอร์
 - ต่อเซลล์ความต้านทานขนานกับเกลวอนอมิเตอร์
 - ต่อเซลล์ไฟฟ้าและความต้านทานที่ปรับค่าได้แบบขนานกับเกลวอนอมิเตอร์
 - ต่อเซลล์ไฟฟ้าและความต้านทานที่ปรับค่าได้แบบอนุกรมกับเกลวอนอมิเตอร์
- ข้อความต่อไปนี้ ข้อใดถูกต้อง
 - โวลต์มิเตอร์ควรมีความต้านทานต่ำ เพื่อให้กระแสผ่านได้ดี
 - แอมมิเตอร์ควรมีความต้านทานสูงมาก ๆ เพื่อให้กระแสผ่านได้ง่าย
 - ชั้นดีที่มากต่อกับแอมมิเตอร์ ควรต่อแบบอนุกรมเพื่อให้กระแสผ่านได้มาก
 - เครื่องมือที่ใช้วัดความต่างศักย์ ต้องต่อขนานกับส่วนวงจรที่ต้องการวัดเท่านั้น
- เกลวอนอมิเตอร์มีความต้านทาน 1 กิโลโอห์ม อ่านกระแสไฟฟ้าสูงสุด 200 ไมโครแอมแปร์ ถ้าเปลี่ยนเกลวอนอมิเตอร์ให้เป็นแอมมิเตอร์ที่สามารถวัดกระแสสูงสุดได้ 200 มิลลิแอมแปร์ จะต้องใช้ชั้นที่มีความต้านทานเท่าใด
 - 0.1Ω
 - 0.5Ω
 - 1Ω
 - 5Ω
- เกลวอนอมิเตอร์มีความต้านทาน 1 กิโลโอห์ม ทนกระแสไฟฟ้าสูงสุด 0.1 มิลลิแอมแปร์ ต้องใช้ชั้นที่มีความต้านทานเท่าใด จึงจะวัดกระแสไฟฟ้าสูงสุดได้ 20 มิลลิแอมแปร์
 - 0.5Ω
 - 5.0Ω
 - 50.0Ω
 - 500.0Ω
- เกลวอนอมิเตอร์ตัวหนึ่งมีความต้านทาน 4 โอห์ม เข็มเบนเต็มสเกลเมื่อมีกระแสไฟฟ้าผ่าน 1 mA ถ้าต้องการใช้งานเป็นโวลต์มิเตอร์ซึ่งวัดค่าเต็มสเกลได้ 10 โวลต์ จะต้องใช้ความต้านทานขนาดกี่โอห์ม มาต่อลักษณะใดกับเกลวอนอมิเตอร์ตัวนี้
 - 4×10^{-4} , ต่อขนาน
 - 0.4, ต่อขนาน
 - 6, ต่ออนุกรม
 - 9,996, อนุกรม
- เกลวอนอมิเตอร์ตัวหนึ่งมีความต้านทาน 20 โอห์ม อ่านได้เต็มสเกลเมื่อต่อกับความต่างศักย์ 0.2 V ถ้าต้องการทำให้เป็นแอมมิเตอร์ที่อ่านเต็มสเกลได้ 1 A โดยต่อตัวต้านทานแบบขนาน(หรือชั้น) กับเกลวอนอมิเตอร์ตัวนี้ ขณะที่แอมมิเตอร์อ่านได้เต็มสเกล กระแสที่ผ่านชั้นมีค่าเท่าใด
 - 0.01 A
 - 0.10 A
 - 0.90 A
 - 0.99 A

16.6 ความสัมพันธ์ระหว่างกระแสไฟฟ้าและสนามแม่เหล็ก

16.6.1 แม่เหล็ก (Magnet) เป็น " สารที่สามารถดูดและผลักกันเอง และสามารถดูดพวกสารแม่เหล็กได้โดยการเหนี่ยวนำ " โดยปกติมี 2 ขั้ว คือ ขั้วเหนือ (N) และขั้วใต้ (S)
การแบ่งชนิดของแม่เหล็ก

1. แบ่งโดยเอาการกำเนิดเป็นหลัก มีอยู่ 2 ประเภท คือ

1.1 แม่เหล็กธรรมชาติ (Natural Magnet) เป็นแม่เหล็กที่เกิดขึ้นเองตามธรรมชาติทางธรณีวิทยาเรียกกันว่า Magnetite มีสูตรทางเคมี คือ Fe_3O_4 ไม่ค่อยมีอำนาจเพราะมีอำนาจน้อย

1.2 แม่เหล็กประดิษฐ์ เป็นแม่เหล็กที่สร้างขึ้นด้วยวิธีการต่างๆ

2. แบ่งโดยเอาอำนาจที่มีในแม่เหล็กเป็นหลัก มีอยู่ 2 ประเภท คือ

2.1 แม่เหล็กชั่วคราว (Temporary Magnet) มีอำนาจเมื่อมีการบังคับ การบังคับใช้วิธีเหนี่ยวนำ ใช้กระแสไฟฟ้า เหล็กที่ใช้ทำเป็นเหล็กอ่อน

2.2 แม่เหล็กถาวร (Permanent Magnet) มีอำนาจอยู่ถาวร บังคับด้วยวิธีการเดียวกัน แต่เหล็กที่ใช้เป็นเหล็กกล้า

การทำแม่เหล็กทำได้หลายวิธี คือ

1. การเหนี่ยวนำ เช่น การเอาแท่งแม่เหล็กดูดตะปู แล้วเอาตะปูไปดูดเข็มเย็บผ้าต่อกันไปเรื่อยๆ
2. การถู มีหลายแบบ เช่น ถูเดียว ถูแยกรอบ ถูซ้ำรอบ
3. ใช้กระแสไฟฟ้า

สนามแม่เหล็ก (Magnetic Field, $\vec{B}$) คือบริเวณหรือขอบเขตที่แท่งแม่เหล็กส่งอำนาจการดึงดูดออกไปถึง อำนาจแม่เหล็กที่ส่งออกไปจากแท่งแม่เหล็ก ส่งออกมาในรูปเส้นแรงแม่เหล็ก

เส้นแรงแม่เหล็ก (Magnetic Line of Force) เป็นเส้นสมมติเสมือนว่าแท่งแม่เหล็กส่งอำนาจได้ไปถึง

คุณสมบัติของเส้นแรงแม่เหล็ก

1. ขั้วเหนือ (N) เส้นแรงแม่เหล็กพุ่งออก
2. ขั้วใต้ (S) เส้นแรงแม่เหล็กพุ่งเข้า
3. เส้นแรงแม่เหล็กจะพุ่งไม่ตัดกัน
4. เส้นแรงแม่เหล็กจะพุ่งจากขั้วเหนือไปขั้วใต้

จุดสะเทิน (Neutral Point) คือ จุดที่สนามแม่เหล็กหักล้างกันเป็นศูนย์ ($\sum \vec{B} = 0$)

สนามแม่เหล็กโลก

1. ที่ผิวโลกจะมีสนามแม่เหล็กสม่ำเสมอ
2. เข็มทิศจะชี้ไปทางทิศเหนือเสมอเพราะแม่เหล็กโลกบังคับให้ชี้ไปทางทิศเหนือ
3. ทิศเหนือจะมีขั้วใต้ของแท่งแม่เหล็กโลก และทิศใต้จะมีขั้วเหนือของแท่งแม่เหล็กโลก

ฟลักซ์แม่เหล็ก (Magnetic Flux, ϕ_B) คือ ปริมาณเส้นแรงแม่เหล็กหรือจำนวนของเส้นแรงแม่เหล็ก สัญลักษณ์ คือ " ϕ_B " มีหน่วยเป็น เวบเบอร์(Wb)

ความหนาแน่นฟลักซ์แม่เหล็ก หรือ ความเข้มของสนามแม่เหล็ก (Magnetic Flux Density)
หมายถึง จำนวนเส้นแรงแม่เหล็กต่อหน่วยพื้นที่ที่เส้นแรงแม่เหล็กตัดตั้งฉาก มีสัญลักษณ์ คือ “ $\vec{B}$ ” เป็นปริมาณเวกเตอร์

ให้ B เป็นความเข้มของสนามแม่เหล็ก มีหน่วยเป็น เทสลา(T) หรือ Wb/m^2

ϕ_B เป็นฟลักซ์แม่เหล็ก มีหน่วยเป็น เวบเบอร์(Wb)

A เป็นพื้นที่ที่ตั้งฉาก มีหน่วยเป็น ตารางเมตร(m^2)

จากนิยามจะได้ว่า
$$B \sin \theta = \frac{\phi_B}{A}$$

การเคลื่อนที่ของอนุภาคที่มีประจุไฟฟ้าในสนามแม่เหล็ก

เมื่อประจุ q เคลื่อนที่ด้วยความเร็ว v ผ่านเข้าไปในสนามแม่เหล็ก B ในทิศทำมุม θ กับสนามแม่เหล็กจะเกิดแรงแม่เหล็กกระทำต่อประจุ ขนาด F ตามสูตร

$$F = qvB \sin \theta$$

มุม θ มี 3 แบบ ดังนี้

1. $\theta = 0^\circ$	2. $\theta = 90^\circ$	3. $0^\circ < \theta < 90^\circ$
$F = 0$	$F = qvB$	$F = qvB \sin \theta$
ประจุเคลื่อนที่เป็นเส้นตรง	ประจุเคลื่อนที่เป็นวงกลม	ประจุเคลื่อนที่เป็นรูปตะปูเกลียว

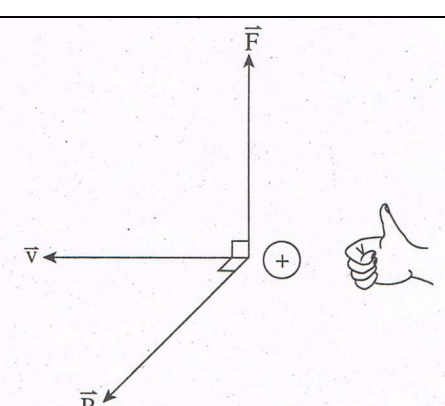
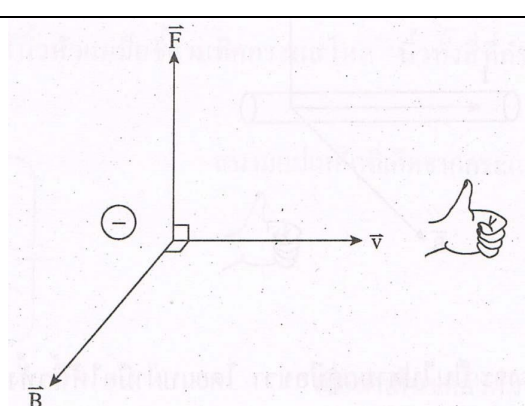
กำหนดให้ F คือ แรงที่แม่เหล็กกระทำต่อประจุ(N) q คือ ประจุไฟฟ้า(C)

v คือ ความเร็ว (m/s)

B คือ สนามแม่เหล็ก (T)

θ คือ มุมระหว่างความเร็ว v (ทิศที่ประจุวิ่ง) กับสนามแม่เหล็ก B

การหาทิศของแรงแม่เหล็กจะหาได้จากการใช้มือแสดง โดยแยกเป็น 2 กรณี ตามชนิดของประจุ คือ

1. ประจุบวก หาได้จากการใช้มือขวาแบฝ่ามือให้นิ้วทั้งสี่ชี้ตามความเร็ว v แล้วงอนิ้วทั้งสี่ให้วนไปตามทิศสนามแม่เหล็ก B นิ้วหัวแม่มือที่กางอยู่จะชี้ทิศของแรง F ที่เกิดขึ้น 	2. ประจุลบ หาได้จากการใช้มือขวาแบฝ่ามือให้นิ้วทั้งสี่ชี้ตามความเร็ว v แล้วงอนิ้วทั้งสี่ให้วนไปตามทิศสนามแม่เหล็ก B นิ้วหัวแม่มือที่กางอยู่จะชี้ทิศของแรง F ที่เกิดขึ้น 
--	--

เนื่องจาก แรงแม่เหล็ก F_B ที่กระทำต่อประจุที่วิ่งในสนามแม่เหล็กนี้เป็นแรงที่ตั้งฉากจึงส่งผลให้ประจุวิ่งเบี่ยงเบนเป็นทางโค้งวงกลม ตามสมการการเคลื่อนที่แบบวงกลม

$$F = \frac{mv^2}{R} = m\omega^2 R \quad \text{เมื่อ} \quad \omega = \frac{\theta}{t} = \frac{2\pi}{T}$$

รัศมีของประจุที่วิ่งในสนามแม่เหล็กในแนวตั้งฉาก จะได้ว่า

$$F_B = F_C$$

$$qvB = \frac{mv^2}{R}$$

$$R = \frac{mv}{qB}$$

และเบี่ยงเบนเป็นมุม θ ในเวลา t จะได้ว่า

$$t = \frac{m\theta}{qB} \quad \text{และ} \quad T = \frac{2\pi m}{qB}$$

อย่างไรก็ตาม ถ้ามีแรงอื่น ๆ มาหักล้าง เช่น แรงไฟฟ้าจากสนามไฟฟ้าก็อาจทำให้ประจุวิ่งเป็นเส้นตรง คือมี $\Sigma F = 0$ ก็ได้

แบบฝึกหัดทบทวนที่ 16.6.1

1. สนามแม่เหล็กคือ

- ก. บริเวณที่มีแรงกระทำต่อประจุไฟฟ้าที่กำลังเคลื่อนที่ผ่านในบริเวณนั้น ทำให้แนวการเคลื่อนที่ของประจุไฟฟ้าเบนไปจากเดิม
- ข. จำนวนเส้นแรงแม่เหล็กต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่ที่เส้นแรงแม่เหล็กตั้งได้ฉากนั้น
- ค. บริเวณที่มีแรงกระทำต่อเข็มทิศที่วางอยู่ในบริเวณนั้น

ง. ถูกทั้งข้อ 1 ข้อ 2 และ ข้อ 3

2. สนามแม่เหล็กที่เกิดจากแท่งแม่เหล็กมีคุณสมบัติ

1. เป็นปริมาณเวกเตอร์
2. มีความเข้มสม่ำเสมอทุก ๆ จุด
3. มีทิศทางชี้ได้ไปยังขั้วเหนือผ่านภายในแท่ง
4. มีแรงกระทำต่อสารแม่เหล็กที่วางในบริเวณนั้น

คำตอบที่ถูกต้องคือข้อใด

ก. ข้อ 1, 2 และ 3

ข. ข้อ 1, 2 และ 4

ค. ข้อ 1, 3 และ 4

ง. ข้อ 2, 3 และ 4

3. ถ้าความเข้มของสนามแม่เหล็กเป็น 4 เทสลา ทำให้เกิดฟลักซ์แม่เหล็กจำนวน 0.002 เวบเบอร์ จงหาพื้นที่ที่ตัดตั้งฉากว่ามีค่าเท่าใด

ก. $5 \times 10^{-3} \text{ m}^2$

ข. $5 \times 10^{-4} \text{ m}^2$

ค. $8 \times 10^{-3} \text{ m}^2$

ง. $8 \times 10^{-4} \text{ m}^2$

4. ขดลวดตัวนำมีพื้นที่ 10 cm^2 วางอยู่ในบริเวณที่มีสนามแม่เหล็กขนาดสม่ำเสมอ 10 T จงหาค่าฟลักซ์แม่เหล็กที่ผ่านขดลวด เมื่อระนาบของขดลวดทำมุมตั้งฉากกับสนามแม่เหล็ก

ก. $1 \times 10^{-2} \text{ Wb}$

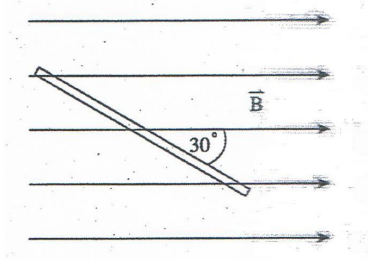
ข. $1 \times 10^{-3} \text{ Wb}$

ค. $1 \times 10^{-4} \text{ Wb}$

ง. $1 \times 10^{-5} \text{ Wb}$

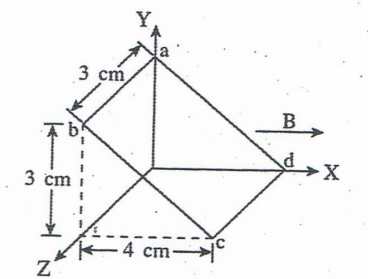
5. ขดลวดของมอเตอร์ไฟฟ้ามีพื้นที่หน้าตัด 0.2 m^2 วางอยู่ในสนามแม่เหล็ก 4 เทสลา โดยมีแนวระนาบของขดลวดทำมุม 30 องศา กับสนามแม่เหล็กดังรูป จงคำนวณหาค่าฟลักซ์แม่เหล็ก ที่ผ่านขดลวดเท่ากับเท่าใด

- ก. 0.4 Weber
ข. 0.6 Weber
ค. 0.8 Weber
ง. 1.0 Weber



6. จงหาค่าฟลักซ์แม่เหล็กที่ผ่านขดลวดสี่เหลี่ยมผืนผ้า abcd ถ้ามีสนามแม่เหล็ก B ขนาดสม่ำเสมอ 3 เทสลา ในทิศที่ขนานแกน X ดังรูป

- ก. 1.8×10^{-3} Weber
ข. 2.4×10^{-3} Weber
ค. 2.7×10^{-3} Weber
ง. 3.6×10^{-3} Weber



7. อิเล็กตรอนวิ่งด้วยความเร็ว 10^7 เมตรต่อวินาที เข้าไปในทิศตั้งฉากกับสนามแม่เหล็กขนาด 10^{-5} เทสลา ขนาดของแรงที่กระทำต่ออิเล็กตรอนเป็นเท่าใด

- ก. $1.6 \times 10^{-16} \text{ N}$ ข. $1.6 \times 10^{-17} \text{ N}$ ค. $1.6 \times 10^{-18} \text{ N}$ ง. $1.6 \times 10^{-19} \text{ N}$

8. อนุภาคมวล 0.5 กรัม มีประจุ $2.5 \times 10^{-8} \text{ C}$ เคลื่อนที่ด้วยความเร็วตามแนวระดับ 8×10^6 เมตรต่อวินาที เข้าไปในสนามแม่เหล็กซึ่งมีทิศตั้งฉากกับความเร็ว ทำให้เกิดการเบี่ยงเบนมีรัศมีความโค้ง 0.2 เมตร จงหาขนาดของสนามแม่เหล็ก

- ก. $5 \times 10^{10} \text{ T}$ ข. $5 \times 10^{11} \text{ T}$ ค. $8 \times 10^{10} \text{ T}$ ง. $8 \times 10^{11} \text{ T}$

9. อิเล็กตรอนวิ่งด้วยความเร็ว 10^7 เมตร/วินาที เข้าไปในทิศตั้งฉากกับสนามแม่เหล็กขนาด 10^{-10} เทสลา จงหาขนาดของแรงและความเร่งที่เกิดกับอิเล็กตรอน

- ก. $1.6 \times 10^{-21} \text{ N}$ และ $1.76 \times 10^8 \text{ m/s}^2$ ข. $1.6 \times 10^{-22} \text{ N}$ และ $1.76 \times 10^8 \text{ m/s}^2$
ค. $1.6 \times 10^{-21} \text{ N}$ และ $1.76 \times 10^9 \text{ m/s}^2$ ง. $1.6 \times 10^{-22} \text{ N}$ และ $1.76 \times 10^9 \text{ m/s}^2$

10. รังสีแคโทดมีค่าอิเล็กตรอนเบี่ยงเบนในสนามแม่เหล็กขนาด 9.1×10^{-3} เทสลา ทำให้เห็นทางโค้งบนฉากเรืองแสง ถ้าทางโค้งมีรัศมีความโค้ง 2 cm จงหาความเร็วของรังสีแคโทด

- ก. $1.6 \times 10^7 \text{ m/s}$ ข. $3.2 \times 10^7 \text{ m/s}$ ค. $1.6 \times 10^8 \text{ m/s}$ ง. $3.2 \times 10^8 \text{ m/s}$

แรงที่แม่เหล็กกระทำต่อลวดที่มีกระแสไหลในสนามแม่เหล็ก

เมื่อประจุเคลื่อนที่ในลวด ก็แสดงว่าลวดนั้นมีกระแสไฟฟ้าไหล ดังนั้น จึงเกิดแรงแม่เหล็กกระทำต่อลวดได้ ตามสูตร

$$F = I l B \sin \theta$$

เมื่อ F คือ แรงที่แม่เหล็กกระทำต่อลวด (N)

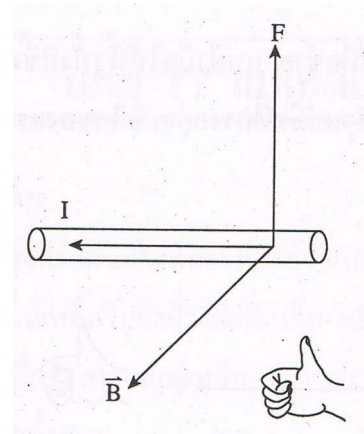
l คือ ความยาวของเส้นลวด (m)

B คือ สนามแม่เหล็ก (T)

θ คือ มุมระหว่าง I กับ B

ทิศของแรงจะเป็นไปตามกฎมือขวา โดยแบฝ่ามือให้นิ้วทั้งสี่ชี้ตามทิศกระแส I งอนิ้วทั้งสี่ไปตามทิศสนามแม่เหล็ก B นิ้วหัวแม่มือที่กลางอยู่จะชี้ทิศของแรง F ที่กระทำต่อลวด

แรงแม่เหล็กที่กระทำต่อลวดที่มีกระแสไหลในสนามแม่เหล็ก จะกระทำต่อลวดทั้งเส้นที่อยู่ในสนามแม่เหล็กจึงส่งผลให้ลวดเคลื่อนที่ไปทั้งเส้น ซึ่งจะเป็นการเคลื่อนที่แบบมีความเร่งตามกฎนิวตัน คือ $\Sigma F = ma$ และถ้ามีแรงเคลื่อนอื่น ๆ มากระทำต่อลวดอีก ก็อาจทำให้ลวดอยู่ในสภาพสมดุล คือ $\Sigma F = 0$ ก็ได้



โมเมนต์ของลวดที่มีกระแสไหลในสนามแม่เหล็ก

ขดลวดพื้นที่ A อยู่ในสนามแม่เหล็ก B โดยแกนของขดลวดตั้งฉากกับสนามแม่เหล็กแล้วให้กระแสไฟฟ้า I ไหลในขดลวด จะเกิดแรงคู่ควบเนื่องจากแรงแม่เหล็กกระทำต่อขดลวดทำให้ขดลวดหมุน มีขนาดโมเมนต์ของแรงคู่ควบ เป็นตามสมการ

$$M = I N B A \cos \theta$$

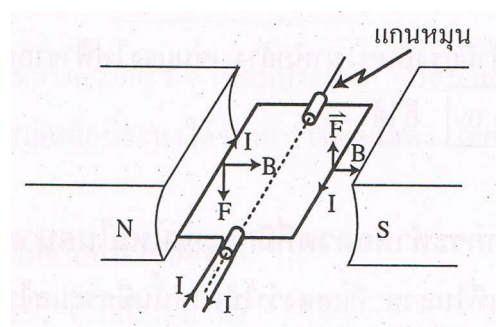
เมื่อ M คือ โมเมนต์ของแรงคู่ควบ (N-m)

I คือ กระแสไฟฟ้าที่ไหลในขดลวด (A)

N คือ จำนวนรอบของขดลวด (รอบ)

A คือ พื้นที่ของขดลวด (m^2)

θ คือ มุมระหว่างระนาบของขดลวดกับสนามแม่เหล็ก



แบบฝึกหัด

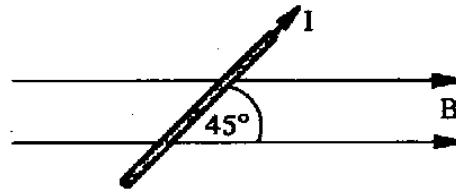
1. ลวดยาว 2 เมตร มีกระแสไหลผ่าน 10 แอมแปร์ เส้นลวดวางทำมุม 30 องศา กับสนามแม่เหล็ก 1.25 เทสลา จงหาขนาดของแรงที่กระทำต่อลวดนี้
2. ลวดยาว 1 เมตร วางทำมุม 60 องศา กับสนามแม่เหล็กขนาด 3 เทสลา เมื่อผ่านกระแส 2 แอมแปร์ เข้าไปจะเกิดแรงเป็นกี่เท่าของลวดที่ขณะทำมุม 30 องศา กับสนามแม่เหล็กเดิม

3. ลวดยาว 10 เซนติเมตร วางอยู่ในสนามแม่เหล็ก

ดิ่งรูป ถ้าสนามแม่เหล็กเป็น 3×10^{-2} เทสลา

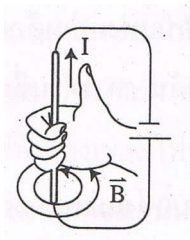
และเกิดแรงลวดเส้นนี้ 6×10^{-4} นิวตัน

จงหาค่ากระแสที่ผ่านลวดนี้ในหน่วยแอมแปร์

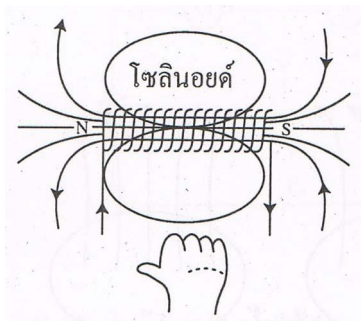


4. ขดลวดสี่เหลี่ยมผืนผ้ายาว 100 cm กว้าง 20 cm มีขดลวดพัน 25 รอบ มีกระแสไฟฟ้าไหลผ่านในวงจร 100 A ความเข้มสนามแม่เหล็กที่ผ่านขดลวดเท่ากับ 0.3 T จงหาโมเมนต์ของแรงคู่ควบในขดลวด เมื่อขดลวดวางในแนวขนานกับทิศของสนามแม่เหล็ก

สนามแม่เหล็กที่เกิดจากกระแสไหลในเส้นลวดและขดลวดโซลินอยด์

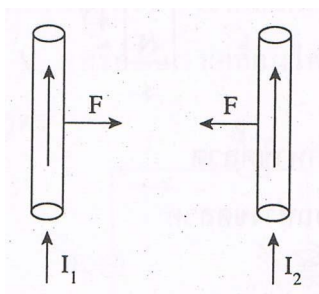


กระแสที่ไหลในขดลวดจะสร้างสนามแม่เหล็กขึ้นมารอบ ๆ ลวดนั้นโดยจะมีทิศวนตามกฎมือขวา คือใช้มือขวาให้นิ้วหัวแม่มือชี้ตามทิศกระแสไหล นิ้วทั้งสี่ที่กำรอบลวดจะแสดงสนามแม่เหล็กที่เกิดขึ้นรอบ ๆ สนามแม่เหล็กที่เกิดจากกระแส $B = 2 \times 10^{-7} \frac{I}{d}$

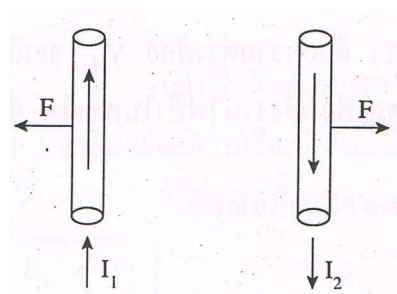


เมื่อนำเส้นลวดมาขดเป็นวง เกิดเป็นขดลวดโซลินอยด์ แล้วให้กระแสไหล สนามแม่เหล็กที่เกิดขึ้นจะมีสภาพเหมือนเป็นแท่งแม่เหล็ก โดยขั้วแม่เหล็กที่เกิดขึ้นจะหาได้จากการใช้มือขวา ถ้าให้นิ้วทั้งสี่วนตามกระแสที่ไหลในขดลวด นิ้วหัวแม่มือจะชี้ไปด้านปลายที่เป็นขั้วเหนือของแม่เหล็กที่ถูกสร้างขึ้นมา

แรงระหว่างลวดขนาน 2 เส้นที่มีกระแสไหลผ่าน



กระแสไหลทางเดียวกัน เกิดแรงดูด



กระแสไหลสวนทางกัน เกิดแรงผลัก

การหาขนาดของแรงหาได้จากสูตร

$$F = 2 \times 10^{-7} \frac{I_1 I_2}{d} l$$

เมื่อ l คือ ความยาวของเส้นลวด

d คือ ระยะห่างระหว่างลวด

F คือ แรงระหว่างลวดขนาน

I_1, I_2 คือ กระแสที่ไหลในเส้นลวด