เอกสารประกอบการเรียน

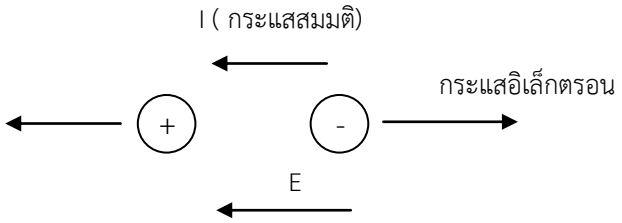
รายวิชา ฟิสิกส์ (เพิ่มเติม) รหัส ว33202 ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 6	เล่ม 2
ชื่อหน่วย : กระแสไฟฟ้า	เวลาเรียน
ชื่อเรื่อง : กระแสไฟฟ้า	2 ชั่วโมง

จุดประสงค์การเรียนรู้ :

1. อธิบายได้ว่า กระแสไฟฟ้าในตัวนำเกิดจากการเคลื่อนที่ของประจุไฟฟ้าผ่านตัวนำ และปริมาณกระแสไฟฟ้า หาได้จากจำนวนประจุผ่านภาคตัดขวางของตัวนำในหนึ่งหน่วยเวลา
2. อธิบายความสัมพันธ์ระหว่างกระแสไฟฟ้า จำนวนประจุไฟฟ้า ขนาดของความเร็วลอยเลื่อนและพื้นที่ตัดขวางของตัวนำโลหะขณะที่มีกระแสไฟฟ้าผ่าน และคำนวณหาปริมาณเหล่านั้นจากสถานการณ์ที่กำหนดให้ได้

กระแสไฟฟ้า (Electric current) I

คือ อัตราการเคลื่อนที่ของประจุไฟฟ้า โดยกระแสไฟฟ้าไหลจากที่มีศักย์ไฟฟ้าสูง ไปยังที่มีศักย์ไฟฟ้าต่ำ มีทิศตามการเคลื่อนที่ของประจุบวก หรือ ทิศตรงข้ามกับการเคลื่อนที่ของประจุลบ



กระแสไฟฟ้าที่เรียนกันอยู่เป็น **“กระแสสมมติ” (I)** ส่วน **กระแสอิเล็กตรอน เป็นกระแสไฟฟ้าแท้จริง** เกิดจากการเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอนอิสระจากศักย์ไฟฟ้าต่ำไปหาศักย์ไฟฟ้าสูง

ถ้าเรานำตัวนำที่มีประจุและมีศักย์ไฟฟ้าต่างกัน มาวางติดกัน หรือใช้ลวดโลหะตัวนำเชื่อมต่อกัน ตัวนำที่มีประจุทั้งสองก็จะเกิดการถ่ายเทประจุระหว่างตัวนำทั้งสองผ่านลวดโลหะตัวนำ เรากล่าวว่ามี **กระแสไฟฟ้า** ในลวดตัวนำนั้น จนกระทั่งศักย์ไฟฟ้าบนตัวนำทั้งสองเท่ากัน ประจุหยุดถ่ายเท กระแสไฟฟ้าก็หมดไป ถ้าต้องการให้เกิดกระแสไฟฟ้าในลวดตัวนำนั้นอย่างต่อเนื่องต้องใช้

แหล่งกำเนิดไฟฟ้า

แหล่งกำเนิดไฟฟ้า (Source of eletromotive force)

คือ แหล่งกำเนิดที่ทำให้เกิดความต่างศักย์ไฟฟ้าระหว่างปลายทั้งสองของตัวนำอยู่ตลอดเวลา เช่น ถ่านไฟฉาย แบตเตอรี่ เครื่องกำเนิดไฟฟ้า เป็นต้น

เซลล์ไฟฟ้าเคมี (eletrochemical)

ประกอบด้วยขั้วไฟฟ้าบวก ขั้วไฟฟ้าลบ และสารเคมีภายในเซลล์ เซลล์ไฟฟ้าเคมี แบ่งออกเป็น 2 ประเภท

เซลล์ไฟฟ้าปฐมภูมิ (primary cell)

เช่น เซลล์แห้ง หรือถ่านไฟฉาย เมื่อสารเคมีถูกใช้หมดแล้วจะไม่สามารถนำมาอัดไฟได้อีก ส่วนประกอบของถ่านไฟฉายทั่วไป

ขั้วลบ สังกะสี
ขั้วบวก แท่งคาร์บอน
ของผสม มังกานีสไดออกไซด์ และแอมโมเนียคลอไรด์ ลักษณะเปียกเป็นผงถ่าน ให้แรงเคลื่อนไฟฟ้า ประมาณ 1.5 โวลต์

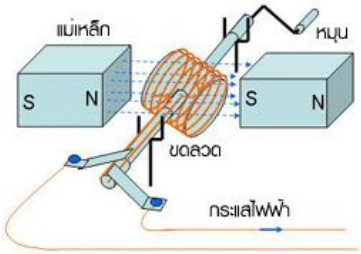
เซลล์ทุติยภูมิ (secondary cell)

เช่น พวกแบตเตอรี่รถยนต์ เมื่อสารเคมีถูกใช้หมดแล้ว สามารถนำมาอัดไฟใหม่ได้ ส่วนประกอบของแบตเตอรี่รถยนต์

ขั้วลบ แผ่นตะกั่วพรุน
ขั้วบวก แผ่นตะกั่วเปอร์ออกไซด์
สารละลาย กรดกำมะถันและน้ำกลั่น
ให้แรงเคลื่อนไฟฟ้า เซลล์ละ 2 โวลต์
หมายเหตุ อาจใช้นิเกิล แคดเมียม แทนตะกั่ว

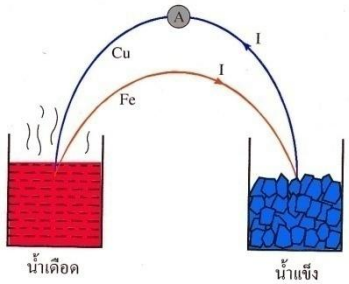
เครื่องกำเนิดไฟฟ้า (generator)

เป็นอุปกรณ์ที่แปลงพลังงานกลให้เป็นพลังงานไฟฟ้า โดยอาศัยหลักการ เหนี่ยวแม่เหล็กไฟฟ้า



คู่ควบความร้อน (thermocouple)

ประกอบด้วยโลหะ 2 ชนิด ซึ่งโลหะหนึ่งพร้อมที่จะให้อิเล็กตรอนอิสระมากกว่าอีกโลหะหนึ่ง



ความต่างอุณหภูมิระหว่างรอยต่อ ทำให้เกิดความต่างศักย์ไฟฟ้าระหว่างโลหะ ทั้งสอง

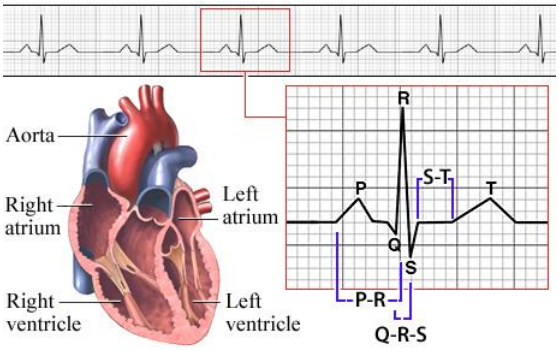
เซลล์สุริยะ (solar cell)

เป็นอุปกรณ์ที่เปลี่ยนพลังงานแสงให้เป็นพลังงานไฟฟ้า โดยอาศัยคุณสมบัติความไวแสงของโลหะกึ่งตัวนำ

แหล่งกำเนิดจากสิ่งมีชีวิต

เช่น ปลาไหลไฟฟ้า สามารถผลิตกระแสไฟฟ้าได้เมื่อมีนตกใจต่อศัตรู โดยมีเซลล์พิเศษสามารถทำให้เกิดความต่างศักย์ ระหว่างหัวกับหางของมัน

นักวิทยาศาสตร์ยังพบว่ามีความต่างศักย์ไฟฟ้าเกิดขึ้นในสัตว์อื่นๆ อีกรวมทั้งในร่างกายของมนุษย์ด้วย เช่น ที่แขนและขา จะพบว่ามีความต่างศักย์ไฟฟ้าเกิดขึ้นทุกครั้งที่หัวใจเต้น จากความรู้นี้ได้ถูกนำมาพัฒนาสร้างเครื่องช่วยตรวจหัวใจที่เรียกว่า **อิเล็กโทรคาร์ดิโอกราฟ** ซึ่งช่วยให้แพทย์สามารถวินิจฉัยโรคหัวใจได้อย่างถูกต้อง



กระแสไฟฟ้าเกิดจากการเคลื่อนที่ของประจุไฟฟ้าซึ่งประจุไฟฟ้าสามารถเคลื่อนที่ได้ในตัวกลางหลายๆ ชนิด และเรียกสมบัติของตัวกลางที่ยอมให้ประจุไฟฟ้าเคลื่อนที่ผ่านได้ว่า **ตัวนำไฟฟ้า** ขณะที่มีกระแสไฟฟ้าในตัวนำ เรากล่าวว่า **มีการนำไฟฟ้า**

เมื่อมีกระแสไฟฟ้าไหลผ่านตัวกลาง เรียกว่า มีการนำไฟฟ้าในตัวกลาง

ใบงาน : แบบฝึกเสริมประสบการณ์ 1
เรื่อง กระแสไฟฟ้า

1. ประจุไฟฟ้าบวกและประจุไฟฟ้าลบมีการเคลื่อนที่อย่างไร

   .....

   .....

2. กระแสไฟฟ้ามีทิศการเคลื่อนที่ตามประจุไฟฟ้าชนิดใด

   .....

3. เซลล์ไฟฟ้าชนิดใด ใช้แล้วไม่สามารถนำมาใช้ได้อีก

   .....

4. แบตเตอรี่รถยนต์เป็นเซลล์ไฟฟ้าประเภทใด

   .....

5. ไดนาโม เป็นอุปกรณ์เปลี่ยนพลังงานอะไร

   .....

6. เซลล์สุริยะเป็นเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรงหรือไฟฟ้ากระแสสลับ

   .....

7. เครื่องกำเนิดไฟฟ้าเป็นไฟฟ้าชนิดใด

   .....

8. หัวปลาไหลไฟฟ้ามีศักย์ไฟฟ้าชนิดใด

   .....

9. เครื่องมือที่ใช้ความรู้จากแหล่งกำเนิดไฟฟ้าในสิ่งมีชีวิตเรียกว่าอะไร

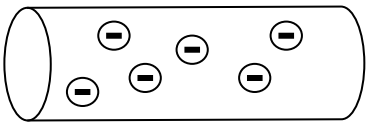
   .....

10. สมบัติของตัวกลางที่ยอมให้ประจุไฟฟ้าเคลื่อนที่ผ่าน เรียกว่า

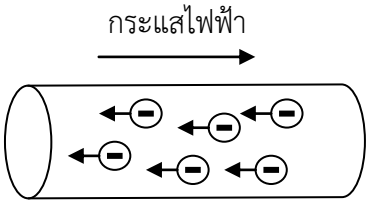
    .....

การนำไฟฟ้าในโลหะ

เป็นการเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอนอิสระ ซึ่งจะเคลื่อนที่แบบบราวน์ตลอดเวลา ความเร็วเฉลี่ยของอิเล็กตรอนอิสระทุกตัวเท่ากับศูนย์ เนื่องจากการเคลื่อนที่มีทิศทางไม่แน่นอน แต่ถ้าปลายทั้งสองของโลหะมีศักย์ไฟฟ้าต่างกันจะเกิดสนามไฟฟ้าในแท่งโลหะ แรงจากสนามไฟฟ้าทำให้อิเล็กตรอนเคลื่อนที่แบบลอยเลื่อน ซึ่งจะเคลื่อนที่เป็นระเบียบในทิศทางเดียวกัน และเป็นไปตามกฎของโอห์ม



ลักษณะการเคลื่อนที่ของ
อิเล็กตรอนอิสระในแท่งโลหะ

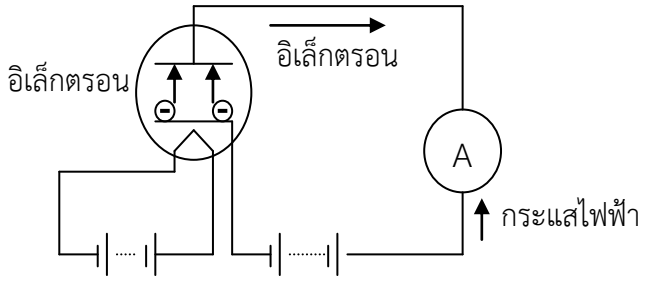


ลักษณะการเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอนในแท่งโลหะ
เมื่อปลายทั้งสองมีความต่างศักย์

การนำไฟฟ้าในหลอดสุญญากาศ

หลอดสุญญากาศ เป็นหลอดแก้วซึ่งสูบอากาศภายในออกเกือบหมด มีขั้วสำหรับให้อิเล็กตรอน เรียกว่า **แคโทด (Cathode)** ขั้วสำหรับรับอิเล็กตรอน เรียกว่า **แอโนด (Anode)** การทำให้ศักย์ไฟฟ้าของแอโนดสูงกว่าแคโทด อิเล็กตรอนก็จะถูกเร่งจากแคโทดผ่านบริเวณสุญญากาศมายังแอโนดจึงมีกระแสไฟฟ้าในหลอดสุญญากาศ เรียกหลอดสุญญากาศนี้ว่า หลอดไดโอด (diode tube)

ดังนั้น **กระแสไฟฟ้าในหลอดสุญญากาศเกิดจากการเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอน**



รูป 1. หลอดไดโอด และวงจร

การทำให้อิเล็กตรอนหลุดจากแคโทของหลอดสุญญากาศนอกจากใช้ความร้อนแล้วยังอาจทำได้โดยใช้โลหะบางชนิด ซึ่งมีสมบัติเมื่อได้รับแสงจะให้อิเล็กตรอนหลุดออกมา เรียกหลอดสุญญากาศที่ทำงานอาศัย หลักการนี้ว่า **หลอดโฟโตอิเล็กทริก** (photoelectric tube)

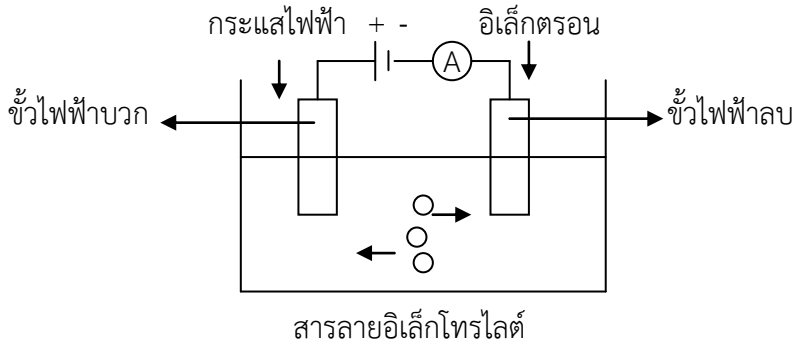
การนำไฟฟ้าในอิเล็กโทรไลต์

เมื่อจุ่มแท่งโลหะ 2 แท่ง ที่มีความต่างศักย์ไฟฟ้า โดยต่อเข้ากับขั้วแบตเตอรี่ลงไปในสารละลายอิเล็กโทรไลต์ ทำให้สารละลายแตกตัวเป็นไอออน โดย

ไอออนบวก เคลื่อนที่ไปยังขั้วไฟฟ้าลบ

ไอออนลบ เคลื่อนที่ไปยังขั้วไฟฟ้าบวก

ดังนั้น กระแสไฟฟ้าในอิเล็กโทรไลต์จึงเกิดจากการเคลื่อนที่ของไอออนบวกและไอออนลบ

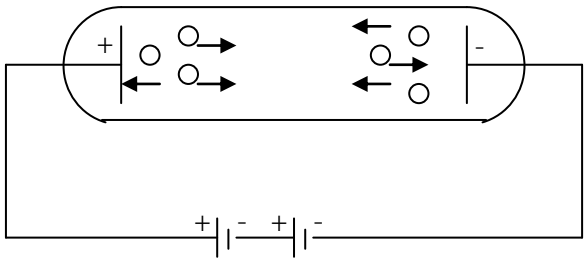


สารละลายอิเล็กโทรไลต์ เป็นสารละลายที่สามารถนำไฟฟ้าได้ ซึ่งอาจเป็นสารละลายของกรด เบส หรือเกลือ เช่น สารละลายกรดกำมะถัน ฯลฯ

การนำไฟฟ้าในหลอดบรรจุแก๊ส

การทำให้ความต่างศักย์ไฟฟ้าระหว่างขั้วหลอดทั้งสองสูงเพียงพอ จะทำให้โมเลกุลของแก๊สแตกตัวเป็นไอออนบวกและอิเล็กตรอนอิสระ แล้วเคลื่อนที่ไปยังขั้วไฟฟ้า เช่น หลอดโฆษณา

ดังนั้น **กระแสไฟฟ้าในหลอดบรรจุแก๊สจะเกิดจากการเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอนอิสระและไอออนบวก**



หลอดบรรจุแก๊ส เป็นหลอดแก้วซึ่งสูบอากาศและบรรจุแก๊สบางชนิด เช่น ไฮโดรเจน นีออน อาร์กอน หรือไอปรอท ลงไปเล็กน้อย ความดันของแก๊สในหลอดแก้วต่ำกว่าความดันบรรยากาศ ที่ปลายทั้งสองของหลอดมีขั้วไฟฟ้า

การนำไฟฟ้าในสารกึ่งตัวนำ

สนามไฟฟ้าที่มีความเข้มมากพอผ่านเข้าไป จะทำให้อิเล็กตรอนบางตัวในพันธะหลุดออกมากลายเป็นอิเล็กตรอนอิสระ และเกิดที่ว่าง เรียกว่า โฮล โฮลจะมีพฤติกรรมคล้ายอนุภาคที่มีประจุไฟฟ้าบวก แรงเนื่องจากสนามไฟฟ้าที่กระต่ออิเล็กตรอนอิสระและโฮล จะมีทิศทางตรงข้าม ทำให้อิเล็กตรอนอิสระและโฮลเคลื่อนที่ โดยอิเล็กตรอนอิสระเคลื่อนที่ในทิศตรงข้ามสนามไฟฟ้าส่วนโฮลเคลื่อนที่ในทิศเดียวกับสนามไฟฟ้า

ดังนั้น **การนำไฟฟ้าในสารกึ่งตัวนำเกิดจากการเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอนอิสระและโฮล**

สารกึ่งตัวนำ (Semiconductor)

เป็นสารที่มีสมบัติทางไฟฟ้าระหว่างตัวนำและฉนวน เช่น ซิลิคอน เยอรมาเนียม มี 2 ชนิด

1. **สารกึ่งตัวนำชนิดพี (P –Type)**
   เกิดจากการเอาสารเยอรมาเนียมบริสุทธิ์ผสมกับธาตุโบรอน มีประจุเป็นบวก
2. **สารกึ่งตัวนำชนิดเอ็น (N – Tpye)**
   เกิดจากการเอาสารเยอรมาเนียมบริสุทธิ์ผสมกับสารหนู เป็นอิเล็กตรอนอิสระ

ขนาดของกระแสไฟฟ้าในตัวกลางใด เท่ากับปริมาณประจุไฟฟ้าที่ผ่านพื้นที่ภาคตัดขวางของตัวกลางในหนึ่งหน่วยเวลา

จากนิยาม $$I = \frac{Q}{t}$$

Q = ปริมาณของประจุ หน่วย คูลอมบ์ (C)

I = กระแสไฟฟ้า หน่วย แอมแปร์ (A)

t = เวลา หน่วย วินาที (s)

ตัวอย่างที่ 1 จงหากระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านในลวดทองแดง 6,000 ไมโครคูลอมบ์ ใน 1 นาที

วิธีทำ จากโจทย์ Q = 6,000 ไมโครคูลอมบ์ = $6{,}000 \times 10^{-6}$ คูลอมบ์

t = 1 นาที = 1×60 วินาที

จากสมการ $$I = \frac{Q}{t} = \frac{6000 \times 10^{-6}}{60} = 1 \times 10^{-4} \text{ A}$$

ตอบ ดังนั้น กระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านลวดทองแดงมีค่าเท่ากับ 1×10^{-4} A

กระแสไฟฟ้าในโลหะตัวนำ คือ ปริมาณประจุไฟฟ้าที่ถ่ายเทผ่านพื้นที่ภาคตัดขวางของตัวนำใน 1 หน่วย

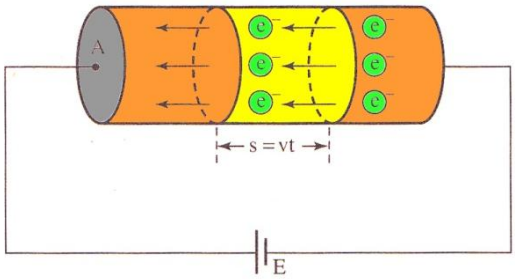
กำหนดให้ A = พื้นที่ภาคตัดขวางของเส้นลวดที่อิเล็กตรอนเคลื่อนที่ผ่าน มีหน่วยเป็นตารางเมตร $(m)^2$

v = ความเร็วลอยเลื่อนของอิเล็กตรอน มีหน่วยเป็นเมตรต่อวินาที (m/s)

t = เวลาที่อิเล็กตรอนเคลื่อนที่ผ่านลวดในระยะทาง s เมตร มีหน่วยเป็น วินาที

n = จำนวนอิเล็กตรอนใน 1 หน่วยปริมาตร มีหน่วยเป็น อนุภาค

e = ประจุของอิเล็กตรอน 1 อนุภาค = 1.6×10^{-19} คูลอมบ์



ดังรูป 2 แสดงทิศของกระแสอิเล็กตรอนและกระแสสมมติ

ปริมาณที่อิเล็กตรอนเคลื่อนที่ผ่านในเวลา t วินาที = A(vt)

จำนวนอิเล็กตรอนทั้งหมดในปริมาตร Avt = Avnt อนุภาค

จำนวนประจุทั้งหมดในปริมาตร Avt = Avent คูลอมบ์

กระแสไฟฟ้าที่ผ่านลวดตัวนำทั้งหมด $I = \frac{Q}{t}$ = Aven แอมแปร์

$$Q = Avent$$

$$I = Aven$$

ตัวอย่างที่ 2 ลวดโลหะเส้นหนึ่งมีจำนวนอิเล็กตรอนอิสระ 5.0×10^{28} อนุภาคต่อลูกบาศก์เมตร และมีขนาดพื้นที่ภาคตัดขวาง 2.0 ตารางเมตร ถ้าความเร็วเฉลี่ยของอิเล็กตรอนผ่านลวดนี้ 0.19 มิลลิเมตรต่อวินาที จงหา

ก. กระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านเส้นลวดนั้น

ข. จำนวนอิเล็กตรอนอิสระที่ผ่านเส้นลวดในเวลา 1 นาที

วิธีทำ ก. n = จำนวนอิเล็กตรอน = 5.0×10^{28} electron/m^3

A = พื้นที่ภาคตัดขวาง = 2×10^{-6} m^2

v = ความเร็วเฉลี่ย = 0.19×10^{-3} m/s

e = ประจุอิเล็กตรอน = 1.6×10^{-19} C

จาก I = Aven

$= (2 \times 10^{-6}\ m^2)(0.19 \times 10^{-3}\ m/s)(1.6 \times 10^{-19}\ C)$

$(5 \times 10^{28}$ electron/$m^3)$

= 3.04 A

∴ กระแสไหลผ่านลวดตัวนำ = 3.04 แอมแปร์ **ตอบ**

ข. จำนวนอิเล็กตรอนใน 1 นาที

$$n = \frac{Q}{e}$$

$$= \frac{Avent}{e}$$

$$= (2 \times 10^{-6}\ m^2)(0.19 \times 10^{-3}\ m/s)(5 \times 10^{28}\ electron/m^3)(60\ s)$$

$$= 1.14 \times 10^{21}\ \text{อนุภาค}$$

∴ จำนวนอิเล็กตรอนอิสระที่ผ่านลวดตัวนำใน 1 นาที = 1.14×10^{21} อนุภาค **ตอบ**

ใบงาน : แบบฝึกเสริมประสบการณ์ 2
เรื่อง การนำไฟฟ้าในโลหะ

คำสั่ง : ให้นักเรียนตอบคาถาม และแสดงวิธีทำ ต่อไปนี้

1. การนำไฟฟ้าในโลหะเป็นการเคลื่อนที่ของประจุอะไร

   .....

2. อิเล็กตรอนอิสระมีการเคลื่อนที่แบบใด

   .....

3. ความเร็วเฉลี่ยของอิเล็กตรอนอิสระมีค่าเท่าใด

   .....

4. การเหนี่ยวนำไฟฟ้าในหลอดสุญญากาศเกิดจากการเคลื่อนที่ของอนุภาคใด

   .....

5. ขั้วแคโทด , แอโนด ในหลอดสุญญากาศทำหน้าที่อะไร

   .....

   .....

6. ถ้าทำให้แคโทดมีศักย์ไฟฟ้าสูงกว่าแอโนดจะมีผลอย่างไร

   .....

7. การนำไฟฟ้าในอิเล็กโทรไลต์เกิดจากอะไร

   .....

8. ไอออนบวกและไอออนลบมีการเคลื่อนที่อย่างไร

   .....

   .....

9. การนำไฟฟ้าในอิเล็กโทรไลต์มีประโยชน์อย่างไรบ้าง

   .....

10. การนำไฟฟ้าในหลอดบรรจุแก๊สเกิดจากการเคลื่อนที่ของอนุภาคอะไร

    .....

11. การนำกระแสไฟฟ้าในสารกึ่งตัวนำเกิดจากการเคลื่อนที่ของอะไร

    .....

12. ที่ว่างในสารกึ่งตัวนำเรียกว่าอะไร

    .....

13. สารกึ่งตัวนำชนิดพี เป็นประจุอะไร

    .....

14. สารกึ่งตัวนำชนิดเอ็น เป็นประจุอะไร

    .....

15. กระแสไฟฟ้ามีทิศเดียวกับปริมาณอะไรบ้าง

.....

16. ทิศของสนามไฟฟ้ามีความสัมพันธ์อย่างไรกับทิศของอิเล็กตรอน

.....

17. ประจุบวกมีทิศเดียวกับปริมาณอะไร

.....

18. กระแสไฟฟ้ามีหน่วยเป็นอะไร

.....

19. กระแสไฟฟ้าขนาดคงที่ 2 แอมแปร์ ไหลผ่านลวดตัวนำ 10 วินาที จงหาปริมาณประจุทั้งหมดที่ไหลผ่านลวดตัวนำ

ก. 5 คูลอมบ์ ข. 20 คูลอมบ์ ค. 100 คูลอมบ์

.....

20. ตัวนำไฟฟ้าหนึ่งมีประจุ 3.2 คูลอมบ์ เคลื่อนที่จากแคโทดไปยังแอโนด ในเวลา 4 วินาที จะมีกระแสไฟฟ้าผ่านตัวนำนี้เท่าใด

ก. 0.8 แอมแปร์ ข. 1.25 แอมแปร์ ค. 12.8 แอมแปร์

.....

21. อิเล็กตรอนจำนวน 10^{29} ตัวต่อลูกบาศก์เมตร เคลื่อนที่แบบลอยเลื่อนด้วยความเร็ว 10^{-3} เมตรต่อวินาที ในลวดตัวนำเส้นตรงที่มีพื้นที่หน้าตัด 10^{-6} ตารางเมตร อยากทราบว่าลวดเส้นนี้มีกระแสไฟฟ้าเท่าไร

.....

.....

.....

.....

22. ลวดตัวนำโลหะขนาดสม่ำเสมอมีปริมาณกระแสต่อหน่วยพื้นที่เท่ากับ 1.0×10^{6} แอมแปร์ต่อตารางเมตร และความหนาแน่นของอิเล็กตรอนอิสระเป็น 5.0×10^{28} ตัวต่อลูกบาศก์เมตร จงหาขนาดของความเร็วลอยเลื่อนของอิเล็กตรอนอิสระในลวด

.....

.....

.....

.....

เอกสารประกอบการเรียน

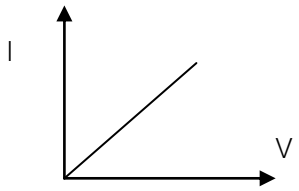
รายวิชา ฟิสิกส์ (เพิ่มเติม) รหัส ว33202 ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 6	**เล่ม 2**
ชื่อหน่วย : ไฟฟ้าสถิต	**เวลาเรียน**
ชื่อเรื่อง : **ความสัมพันธ์ระหว่างกระแสไฟฟ้าและความต่างศักย์**	**2 ชั่วโมง**

จุดประสงค์การเรียนรู้ :

1. ทำการทดลองและสรุปกฎของโอห์มได้ว่า เมื่ออุณหภูมิคงตัว กระแสไฟฟ้าในตัวนำโลหะแปรผันตรงกับความต่างศักย์ระหว่างจุด 2 จุด ในตัวนำโลหะ
2. อธิบายความหมายของความต้านทาน สภาพต้านทานและสภาพนำไฟฟ้า
3. อธิบายความสัมพันธ์ของความต้านทาน สภาพต้านทาน ความยาวและพื้นที่หน้าตัดขวางของลวดตัวนำที่สม่ำเสมอได้ รวมทั้งสามารถคำนวณหาปริมาณดังกล่าวจากสถานการณ์ที่กำหนดให้

กฎของโอห์ม (Ohm of Law)

George Simon Ohm นักฟิสิกส์ชาวเยอรมัน พบว่าเมื่อทำให้ปลายทั้งสองของลวดโลหะมีความต่างศักย์ไฟฟ้า จะมีกระแสไฟฟ้าผ่านลวดโลหะนี้ ซึ่งจากการทดลองจะได้ความสัมพันธ์ของกระแสไฟฟ้าและความต่างศักย์ไฟฟ้าดังกราฟรูป 3.



รูป 3. กราฟระหว่างกระแสไฟฟ้าและความต่างศักย์ของลวดโลหะ

จากกราฟรูป 3. จะได้ว่า กระแสไฟฟ้าที่ผ่านลวดโลหะมีค่าแปรผันตรงกับความต่างศักย์ไฟฟ้าระหว่างปลายทั้งสองของลวดโลหะ จึงเขียนเป็นความสัมพันธ์ได้ว่า

$$I \quad \alpha \quad V$$

ดังนั้น $I = kV$ (k เป็นค่าคงตัวของการแปรผัน)

หรือ $\frac{V}{I} = \frac{1}{k}$

ถ้าให้ $\frac{1}{k} = R$

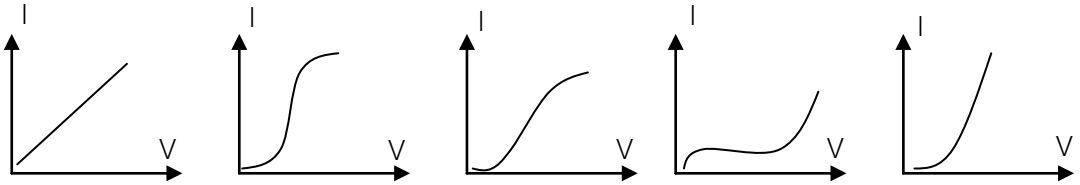
จะได้ว่า $\frac{V}{I} = R$ เรียกว่า **กฎของโอห์ม**

หรือ $V = IR$

โดยกฎของโอห์มมีใจความว่า ที่อุณหภูมิคงตัว กระแสไฟฟ้าที่ผ่านตัวนำหนึ่งจะมีค่าแปรผันตรงกับความต่างศักย์ไฟฟ้าระหว่างปลายทั้งสองของตัวนำนั้น

เมื่อ R เป็นค่าคงตัวเรียกว่า ความต้านทาน หรือเรียกว่า โอห์ม (Ω)

เมื่อศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างกระแสไฟฟ้าและความต่างศักย์และความต่างศักย์ไฟฟ้าของตัวนำชนิดต่างๆ ที่กล่าวมาแล้ว โดยให้อุณหภูมิคงตัวจะได้ความสัมพันธ์ดังรูป



ก. โลหะ ข. หลอดไดโอด ค. อิเล็กโทรไลต์ ง. หลอดบรรจุแก๊ส จ. สารกึ่งตัวนำ

รูป 4. กราฟระหว่างกระแสไฟฟ้าและความต่างศักย์ไฟฟ้าของตัวนำชนิดต่างๆ

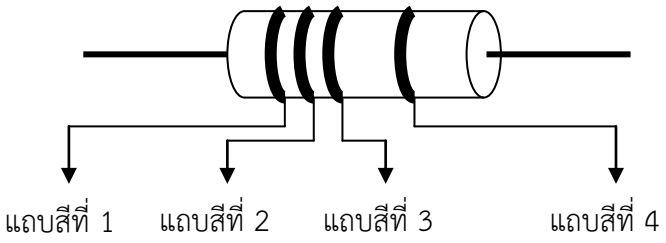
***** สรุป เมื่ออุณหภูมิคงตัว กฎของโอห์มใช้ได้กับตัวนำที่เป็นโลหะเท่านั้น**

ความต้านทานไฟฟ้า (electrical resistance)

ความต้านทานไฟฟ้า เป็นการบอกคุณสมบัติของสารในการต้านกระแสไฟฟ้าที่จะผ่านได้มากน้อยเพียงใด โดยสารที่มีความต้านทานมาก กระแสผ่านไปได้น้อย ส่วนสารที่มีความต้านทานน้อยกระแสผ่านไปได้มาก

ตัวต้านทาน เป็นอุปกรณ์ที่ช่วยปรับความต้านทานให้กับวงจร เพื่อช่วยปรับให้กระแสไฟฟ้าหรือความต่างศักย์ไฟฟ้า พอเหมาะกับวงจรนั้นๆ ชนิดของตัวต้านทานแบ่งออกได้ 2 ชนิดใหญ่ๆ คือ

1. ตัวต้านทานคงตัว เป็นตัวต้านทานที่มีค่าความต้านทานคงตัว มักพบในวงจรไฟฟ้าและวงจรอิเล็กทรอนิกส์ทั่วไป ซึ่งตัวต้านทานประเภทนี้ทำจากผงคาร์บอนอัดแน่นเป็นรูปทรงกระบอกเล็กๆ สัญลักษณ์ที่ใช้แทนตัวต้านทานค่าคงตัวในวงจรไฟฟ้าคือ —/\/\/\— โดยค่าความต้านทานจะบอกด้วยแถบสีที่เขียนไว้บนตัวต้านทานดังรูป 5.



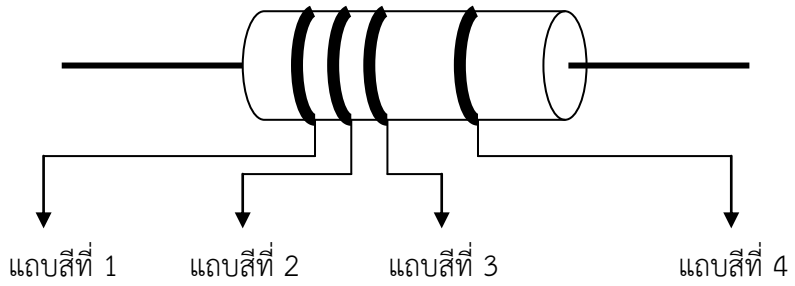
รูป 5. ตัวต้านทานค่าคงตัว

โดยแถบสีที่คาดไว้บนตัวต้านทานมีความหมายดังนี้

- แถบสีที่ 1 ซึ่งอยู่ใกล้ขาข้างใดข้างหนึ่งมากที่สุด บอกเลขตัวแรก
- แถบสีที่ 2 บอกเลขตัวที่ 2
- แถบสีที่ 3 บอกเลขยกกำลังของสิบที่ต้องนำไปคูณกับเลขสองตัวแรก
- แถบสีที่ 4 บอกความคลาดเคลื่อนของค่าความต้านทานที่อ่านได้จากสามแถบแรกโดยบอกเป็นร้อยละ

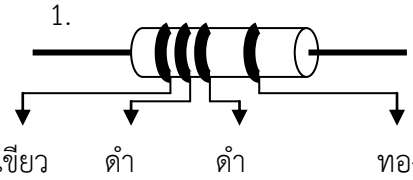
สีต่างๆที่ใช้บอกค่าความต้านทานแสดงในตาราง

ตาราง ความหมายของแถบสี บนตัวต้านทาน



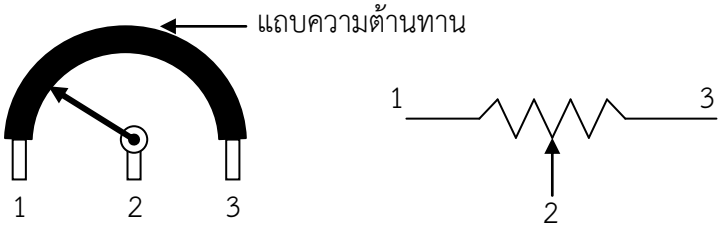
แถบสีที่	แทนเลข	แทนเลข	คูณด้วย	ความคลาดเคลื่อน
ดำ	0	0	1	น้ำตาล = $\pm$ 1 %
น้ำตาล	1	1	10^{1}	แดง = $\pm$ 2 %
แดง	2	2	10^{2}	ทอง = $\pm$ 5 %
ส้ม	3	3	10^{3}	เงิน = $\pm$ 10 %
เหลือง	4	4	10^{4}	ไม่มีแถบสี = $\pm$ 20 %
เขียว	5	5	10^{5}	
น้ำเงิน	6	6	10^{6}	
ม่วง	7	7	-	
เทา	8	8	-	
ขาว	9	9	-	
ทอง	-	-	10^{-1}	
เงิน	-	-	10^{-2}	

ตัวอย่า 1 จากรูปตัวต้านทานที่กำหนดให้ จงหาความต้านทานมีค่ากี่โอห์ม



จากรูปแถบสีที่ 1, 2, 3, 4 คือ เขียว, ดำ, ดำ, และ ทอง ตามลำดับ
จาก เขียว = 5, ดำ = 0, ทอง แถบที่ 4 = $\pm$ 5 %
จะได้ ความต้านทาน = $50 \times 10^{0} \pm 5$ %
$\therefore$ ความต้านทาน= 50 ± 5 % $= 50 \pm 2.5 = 47.5\ \Omega$ - $52.5\ \Omega$
ตอบ ความต้านทาน 47.5 โอห์ม ถึง 52.5 โอห์ม

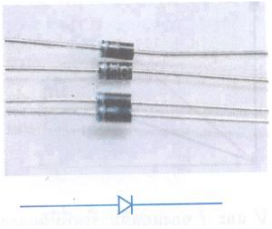
2. ตัวต้านทานแปรค่า เป็นตัวต้านทานที่สามารถปรับค่าความต้านทานมาก, น้อยได้ เพื่อประโยชน์ใช้ในการควบคุมปริมาณกระแสไฟฟ้าในวงจรไฟฟ้า สัญลักษณ์ที่ใช้แทน ตัวต้านทานแปรค่า คือ หรือ ตัวต้านทานแปรค่าที่ใช้กันทั่วไป ประกอบด้วยแถบความต้านทาน ซึ่งอาจทำด้วยแกรไฟต์หรือลวดพันต่อกับขา 1 และ 3 และหน้าสัมผัสต่อกับขา 2 ดังรูป 6 การปรับเปลี่ยนความต้านทานทำได้โดยการเลื่อนหน้าสัมผัสไปบนแถบ ความต้านทาน

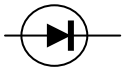
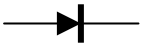


รูป 6 ตัวต้านทานแปรค่า

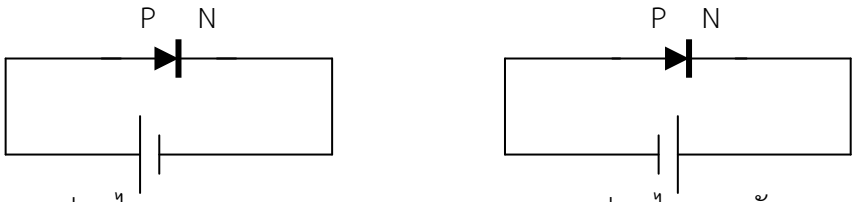
ไดโอด (diode)

เป็นอุปกรณ์ชนิดหนึ่งที่ใช้ในวงจรอิเล็กทรอนิกส์ทั่วๆไป ไดโอดทำจากสารกึ่งตัวนำ สารกึ่งตัวนำ เป็นสารที่มีคุณสมบัติระหว่างตัวนำและฉนวน เช่น ซิลิกอน และ เจอร์เมเนียม โดยที่



อุณหภูมิต่ำ แรงยึดเหนี่ยวระหว่างนิวเคลียสกับอิเล็กตรอนค่อนข้างมาก จึงไม่มีอิเล็กตรอนอิสระดังนั้น ถ้าต่อสารนี้เข้ากับความต่างศักย์ภายนอกก็จะไม่มีกระแสไฟฟ้าเกิดขึ้น จึงประพฤติตัวเป็นฉนวน แต่ถ้าอุณหภูมิสูงขึ้น แรงยึดเหนี่ยวจะลดลง ทำให้มีอิเล็กตรอนจำนวนหนึ่งหลุดออกจากอะตอมเป็นอิเล็กตรอนอิสระ เมื่อมีความต่างศักย์จากภายนอกอิเล็กตรอนจะเกิดการเคลื่อนที่ทำให้เกิด กระแสไฟฟ้าขึ้นแต่ในปริมาน้อยขณะนี้จึงประพฤติตัวเป็นตัวนำแต่ไม่ค่อยดีสัญลักษณ์  หรือ 

ไดโอด เป็นอุปกรณ์ที่ทำด้วยสารกึ่งนำประเภท P – type, และ N – type มีลักษณะดังรูป 6 การต่อไดโอดเข้ากับวงจรไฟฟ้าดังรูป



รูป ก. ไบแอสตรง รูป ข. ไบแอสกลับ

รูป 7. การต่อแบตเตอรี่กับไดโอด

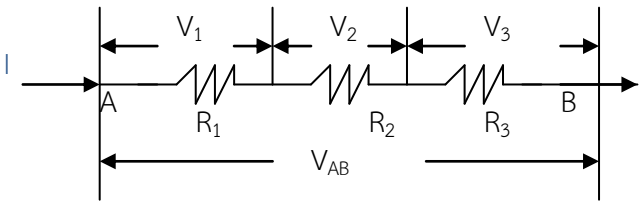
จากวงจรพบว่ารูป 7 ก. จะยอมให้กระแสผ่านไดโอดจึงเรียกว่าการต่อไบแอสตรง ส่วนรูป 7 ข. จะไม่ยอมให้กระแสผ่านไดโอดจึงเรียกว่าการต่อไบแอสกลับ เนื่องจากไดโอดยอมให้กระแสไฟฟ้าผ่านได้ทางเดียวคือจากขั้ว P ไปขั้ว N จึงสามารถใช้ไดโอดเป็นอุปกรณ์สำหรับเปลี่ยนกระแสไฟฟ้าสลับให้เป็นกระแสตรง

การต่อตัวต้านทาน

การต่อตัวต้านทาน คือการนำตัวต้านทานหลายๆตัวมาต่อรวมเป็นกลุ่มเดียวกันอยู่ระหว่างจุดสองจุด ให้ได้ความต้านทานตามต้องการเพื่อนำไปใช้ประโยชน์ต่อๆไป วิธีการต่อตัวต้านทานมี 2 แบบใหญ่ๆ คือ

1. การต่อตัวต้านทานแบบอนุกรม
2. การต่อตัวต้านทานแบบขนาน

การต่อตัวต้านทานแบบอนุกรมหรืออันดับ (series) เป็นการนำตัวต้านทานหลายๆ ตัวมาต่อเรียงกันดังรูป



ผลของการต่อตัวต้านทานแบบอนุกรมได้ว่า

1. กระแสไฟฟ้า (I) ผ่านตัวต้านทานทุกตัวเท่ากัน
2. ความต่างศักย์ไฟฟ้ารวม = ผลรวมของความต่างศักย์ไฟฟ้าย่อย

$V_{AB} = V_1 + V_2 + V_3$ .....①

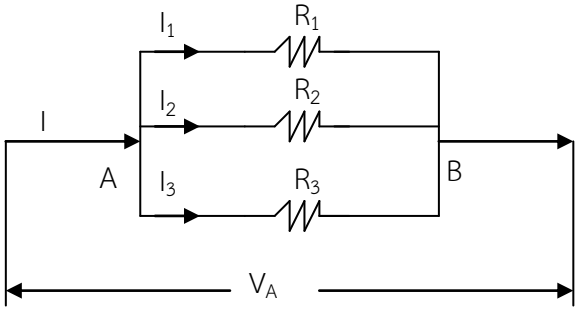
จากกฎของโอห์ม $V = IR$ .....②

แทนค่า ② ใน ① ได้ว่า $IR_{รวม} = I_1R_1 + I_2R_2 + I_3R_3$

แต่ $I_1 = I_2 = I_3 = I_{รวม}$

ดังนั้น $\mathbf{R_{รวม} = R_1 + R_2 + R_3}$

การต่อตัวต้านทานแบบขนาน (parallel) เป็นการต่อที่นำตัวต้านทานหลายๆตัวมาต่อรวมกันเป็นกลุ่มเดียว โดยใช้ปลายหนึ่งของตัวต้านทานทุกตัวไปต่อรวมกันไว้ที่จุดหนึ่ง และใช้อีกปลายหนึ่งของตัวต้านทานทุกตัวไปต่อรวมกันไว้ที่อีกจุดหนึ่งดังรูป



ผลการต่อตัวต้านทานแบบขนานได้ว่า

1. ความต่างศักย์ที่ตกคร่อม ตัวต้านทานแต่ละตัวเท่ากันเท่ากับความต่างศักย์รวม ($V_1 = V_2 = V_3 = V_{AB}$) เพราะว่าตัวต้านทานแต่ละตัวอยู่ระหว่างจุดเดียวกัน ในที่นี้ คือ AB
2. กระแสไฟฟ้าที่ผ่านทั้งหมด เท่ากับผลรวมของกระแสไฟฟ้าที่ผ่านตัวต้านทานแต่ละตัว ($I = I_1 + I_2 + I_3$)

จาก $I = I_1 + I_2 + I_3$ .....①

และกฎของโอห์ม $V = IR$

หรือ $I = \frac{V}{R}$ แทนค่าใน ①

ได้ว่า $\frac{V}{R_{รวม}} = \frac{V_1}{R_1} + \frac{V_2}{R_2} + \frac{V_3}{R_3}$, ($V_1 = V_2 = V_3 = V$)

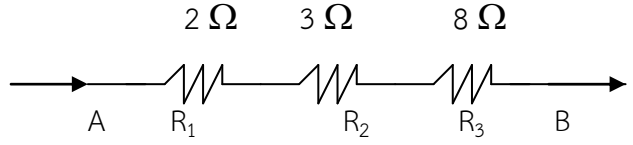
$$\frac{1}{R_{รวม}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3}$$

ตัวอย่าง 2 จงหาความต้านทานรวมระหว่าง A กับ B

1. $R_{AB} = R_1 + R_2 + R_3$

   $R_{AB} = 2 + 3 + 8$

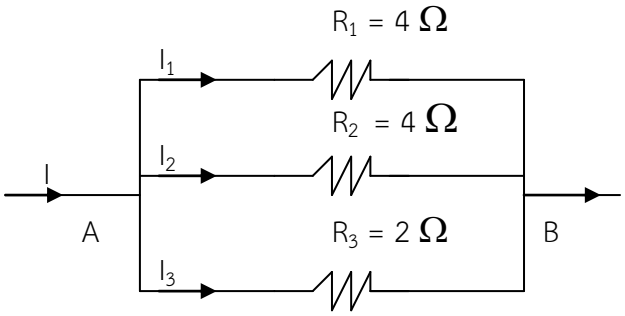
   $R_{AB} = 13\ \Omega$



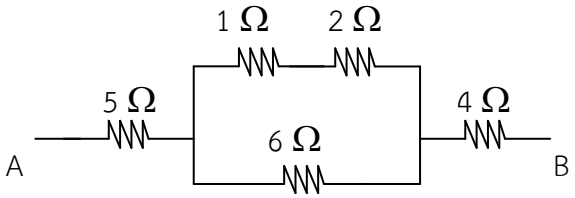
2. $\frac{1}{R_{AB}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3}$

$= \frac{1}{4} + \frac{1}{4} + \frac{1}{2}$

$\therefore R_{AB} = 1 \ \Omega$



3. จากรูป พิจารณาที่ ความต้านทาน 1 Ω และ ความต้านทาน 2 Ω จะต่อกันอย่างอนุกรมจะได้ความต้านทานรวม = 1 + 2 = 3 Ω พิจารณาจาก 3 Ω ที่ได้ กับ 6 Ω จะได้ความต้านทานรวมเท่ากับ



$$\frac{1}{R} = \frac{1}{3} + \frac{1}{6} = \frac{2+1}{6} = \frac{3}{6} \ \Omega$$

$$\therefore R = \frac{6}{3} = 2 \ \Omega$$

$\therefore$ จะได้ความต้านทานรวม $R_{AB} = 5 + 2 + 4 = 11 \ \Omega$

การหาค่าความต้านทานรวม จากสถานการณ์ที่กำหนดให้

1. ความต้านทานรวม การต่อตัวต้านทานแบบอนุกรม เราสามารถหาค่าได้ดังสมการนี้

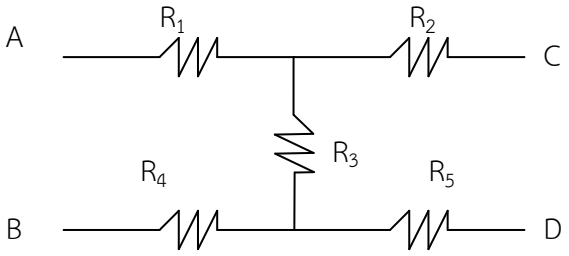
$$R_{รวม} = R_1 + R_2 + R_3$$

2. ความต้านทานรวม การต่อตัวต้านทานแบบขนาน เราสามารถหาค่าได้ดังสมการนี้

$$\frac{1}{R_{รวม}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3}$$

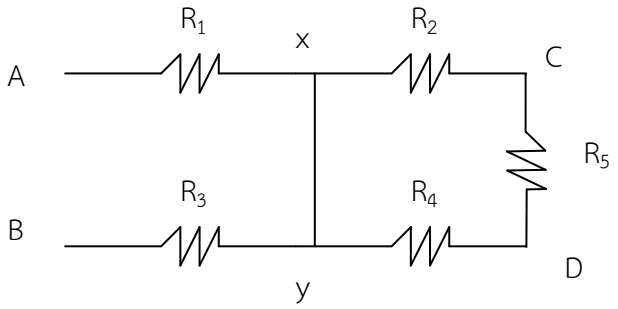
การต่อตัวต้านทานที่ไม่มีกระแสไฟฟ้าผ่าน

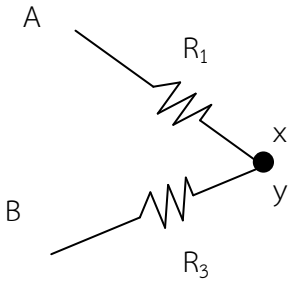
1. ตัวต้านทานต่อไม่ครบวงจร



$R_{AB} = R_1 + R_3 + R_4$ $\qquad$ $R_{CD} = R_2 + R_3 + R_5$

2. ตัวต้านทานต่อลัดวงจร



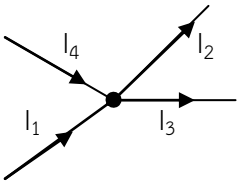


$R_{AB} = R_1 + R_3$

กฎของเคอร์ชอฟฟ์

เหมาะสำหรับหากระแสไฟฟ้าที่ผ่านตัวต้านทานแต่ละเส้น มี 2 ข้อ คือ

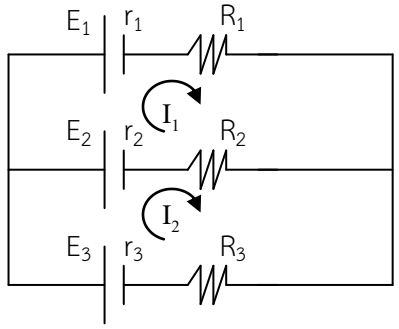
1. **Point Rule** ผลบวกทางพีชคณิตของกระแสไฟฟ้าที่จุดชุมทางใดๆ เป็นศูนย์ $\sum I = 0$



$I_1 - I_2 - I_3 + I_4 = 0$

$I_1 + I_4 = I_2 + I_3$

2. **Loop Rule** ผลบวกทางพีชคณิตของแรงเคลื่อนไฟฟ้าในวงจรใดๆ เท่ากับ ผลบวกทางพีชคณิตความต่างศักย์ในวงจรเดียวกัน $\boxed{\Sigma E = \Sigma IR}$



จาก $\Sigma E = \Sigma IR$

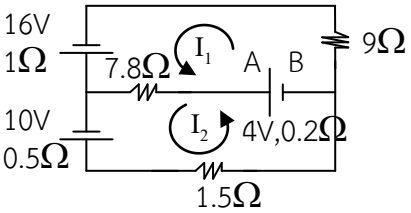
loop บน $E_2 - E_1 = I_1(r_1 + R_1) + (I_1 - I_2)(R_2 + r_2)$

loop ล่าง $E_3 - E_2 = I_2(R_3 + r_3) + (I_2 - I_1)(r_2 + R_2)$

ซึ่งมีหลักการคำนวณดังนี้

1. กำหนดทิศการไหลของกระแสไฟฟ้าในแต่ละลูป (loop) ก่อน
2. คำนวณแต่ละลูป โดยใช้สูตร $\Sigma E = \Sigma IR$ โดยวนตามของกระแสที่สมมติเป็นหลัก
   - ถ้าวนออกจากขั้วบวกของเซลล์ E จะมีเครื่องหมายเป็นบวก
   - ถ้าวนออกจากขั้วลบของเซลล์ E จะมีเครื่องหมายเป็นลบ
3. ในบริเวณลูปร่วม ต้องมีการบวกลบของกระแส ถ้ากำลังคำนวณลูปใดให้ยึดทิศของกระแสไฟฟ้าในลูปนั้นเป็นหลัก
4. ถ้าคำนวณได้ค่าของกระแสไฟฟ้าออกมาเป็นลบ แสดงว่าทิศของกระแสไฟฟ้าที่สมมติไว้นั้นผิด ทิศของกระแสไฟฟ้าจะตรงข้ามกับทิศที่สมมติไว้ แต่ตัวเลขที่ได้นั้นถูกต้องแล้ว

ตัวอย่าง 3 จากวงจรในรูป จงหาความต่างศักย์ไฟฟ้าระหว่างขั้วของแบตเตอรี่ 4 V , 0.2Ω



วิธีทำ จาก $\Sigma E = \Sigma IR$

loop บน $16 - 4 = I_1(1 + 9) + (I_1 - I_2)8$

$12 = 18 I_1 - 8I_2$

loop ล่าง $10 + 4 = (I_2 - I_1)8 + I_2(2)$

$14 = -8 I_1 + 10I_2$ ได้ $I_1 = 2$, $I_2 = 3$

หา $V_{AB} = \Sigma E - \Sigma IR = 4 - (1)(0.2) = 3.8$ V

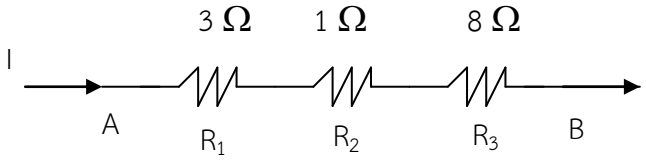
ตอบ ความต่างศักย์ระหว่างขั้ว 4 V , 0.2Ω = 3.8 V)

ใบงาน : แบบฝึกเสริมประสบการณ์ 3
เรื่อง กฎของโอห์ม

คำสั่ง : ให้นักเรียนตอบคาถาม และแสดงวิธีทำ ต่อไปนี้

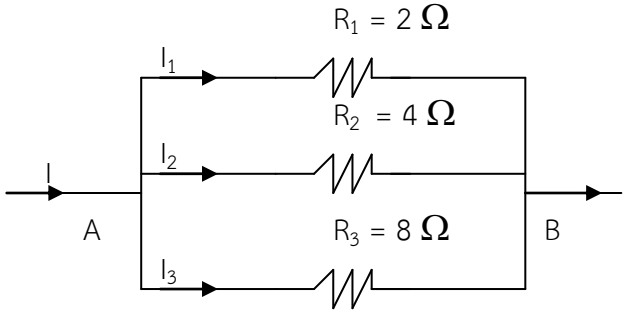
จงหาค่าความต้านทานรวมระหว่าง A กับ B ต่อไปนี้

1.



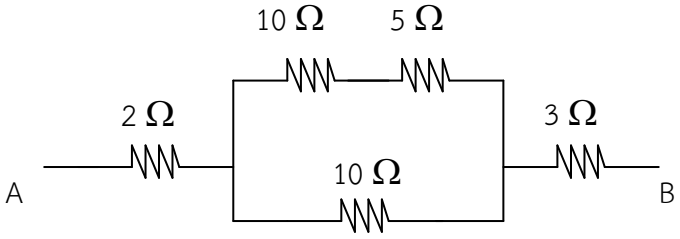
R_{AB} =.....Ω

2.



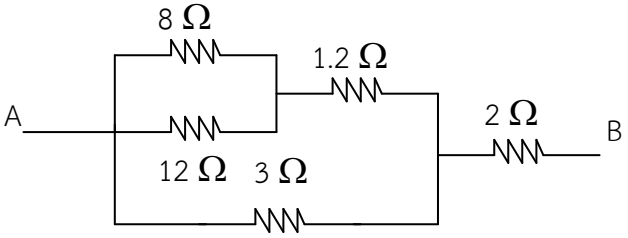
R_{AB}= ..... Ω

3.



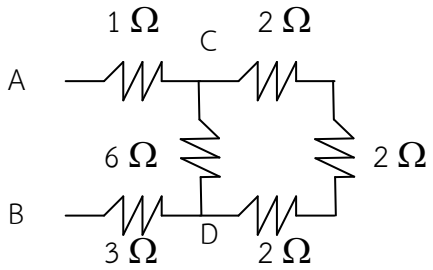
R_{AB}= ..... Ω

4.



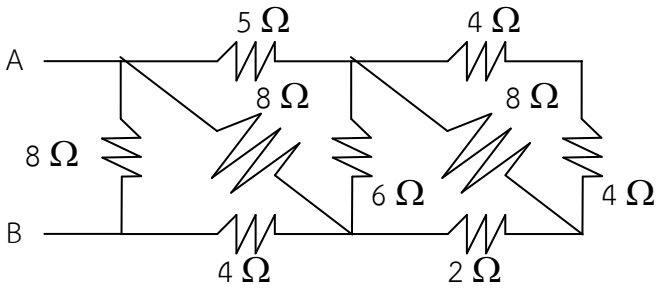
R_{AB}= ..... Ω

5.



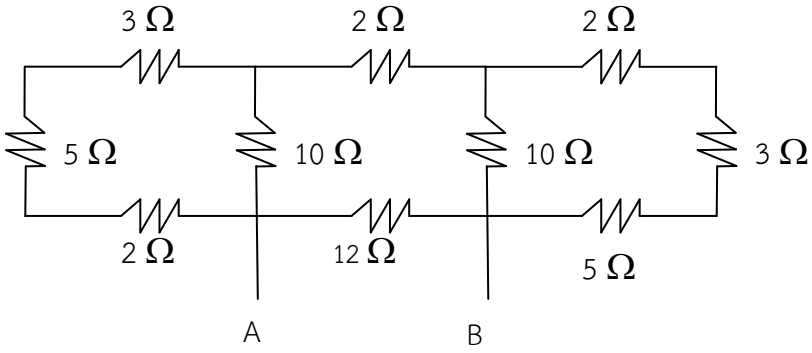
R_{AB}= ..... Ω

6.



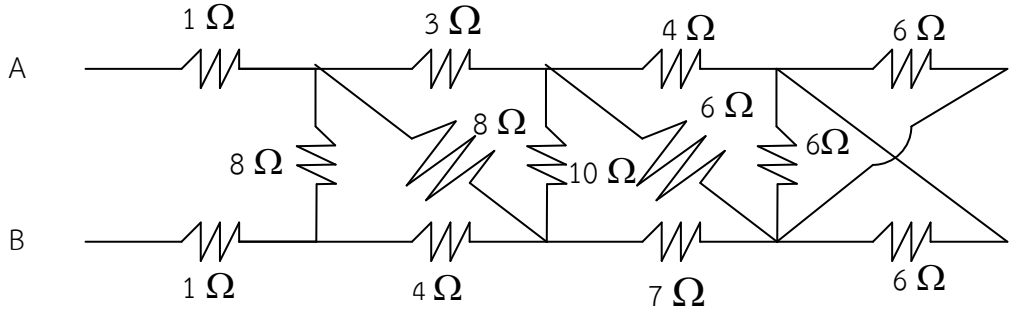
R_{AB}= ..... Ω

7.



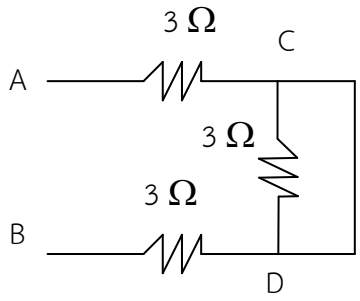
R_{AB} =..... Ω

8.



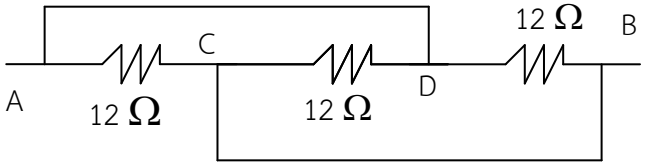
R_{AB}= ..... Ω

9.



R_{AB}= ..... Ω

10.

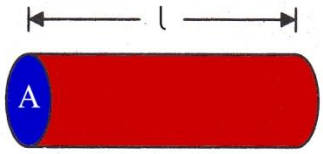


R_{AB}= ..... Ω

สภาพต้านทานไฟฟ้าและสภาพนำไฟฟ้า

เนื่องจากความต้านทานเป็นสมบัติในการต้านการไหลของกระแสไฟฟ้า ในกรณีของโลหะตัวนำ จะพบว่า ลวดโลหะที่มีความยาวมาก จะเกิดความต้านทานมากกว่า (ค่าความต้านทานจะแปรผันตรงกับความยาวลวด) แต่เมื่อลวดโลหะมีขนาดพื้นที่ภาคตัดขวางมาก จะเกิดความต้านทานน้อย (ค่าความต้านทานจะแปรผกผันกับพื้นที่ภาคตัดขวาง)

เมื่อมีกระแสไหลผ่านลวดโลหะที่มีความยาว l และมีพื้นที่ภาคตัดขวางเป็น A (ปริมาตรของลวด V = Al) ค่าความต้านทานของลวดเส้นนี้จะเป็น



เขียนเป็นสมการได้ว่า

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

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

โดย ρ จะเป็นค่าคงที่ เรียกว่า **ค่าสภาพต้านทาน (resistivity ; ρ)** หน่วยเป็น Ω.m ซึ่งจะเป็นค่าเฉพาะของสารชนิดหนึ่งๆ (โลหะชนิดเดียวกันจะมีค่าสภาพต้านทาน ρ เป็นค่าเดียวกัน แต่ค่าความต้านทาน R ของลวดนั้นจะขึ้นกับความยาวและขนาดพื้นที่ภาคตัดขวาง)

ตาราง 2.1 สภาพต้านทานไฟฟ้าของสารบางชนิดที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส

ประเภทของสาร	ชนิดของสาร	สภาพต้านทาน (Ω.m)
ตัวนำ	**โลหะบริสุทธิ์**	
	เงิน	a. $\times 10^{-8}$
	ทองแดง	b. $\times 10^{-8}$
	อะลูมิเนียม	2.7×10^{-8}
	แพลทินัม	10.6×10^{-8}
	โลหะผสม	
	แมงกานีส	4.4×10^{-7}
	คอนสเตนแตน	1.6×10^{-7}
	นิโครม	1.7×10^{-7}
สารกึ่งตัวนำ	แกรไฟต์	2.7×10^{-5}
	เจอร์เมเนียม	0.5
	ซิลิคอน	2.3×10^{3}
ฉนวน	แก้ว	$10^{10} - 10^{14}$
	ไมกา	$10^{11} - 10^{15}$
	พีวีซี	$10^{14} - 10^{18}$

นอกจากค่าสภาพต้านทาน ρ เราอาจกำหนด **ค่าสภาพนำไฟฟ้า (conductivity ; σ)** ให้เป็นค่าส่วนกลับของสภาพต้านทาน คือ สารที่มีสภาพต้านทานมาก ก็จะมีค่าสภาพนำไฟฟ้าน้อย และสารที่มีสภาพต้านทานน้อย ก็จะมีสภาพนำไฟฟ้ามากนั่นเอง โดย

$$\sigma = \frac{1}{\rho}$$

มีหน่วย $(\Omega.m)^{-1}$ หรือ ซีเมนต์ต่อเมตร

ในการคำนวณหาค่าความต้านทานของลวดโลหะตามความสัมพันธ์ $R = \rho\frac{l}{A}$ นี้ สิ่งที่ควรทำความเข้าใจ คือ ความยาว l จะเป็นความยาวลวดตามแนวที่กระแสไหลผ่าน และพื้นที่ A เป็นพื้นที่ภาคตัดขวางที่ตั้งฉากกับแนวที่กระแสไหล (ดังนั้น ปริมาณ ความยาวคูณพื้นที่หรือ l x A นี้ จะเป็นปริมาตรของลวดโลหะนั้นเสมอ)

ตัวอย่าง 4 ลวดทองแดงเส้นหนึ่งมีพื้นที่หน้าตัด 1.2 ตารางมิลลิเมตร ยาว 500 เมตร จะมีความต้านทานเท่าใด ให้สภาพต้านทานของทองแดง 1.8×10^{-8} โอห์มเมตร

วิธีทำ จาก $R = \rho\frac{l}{A}$

$$= \frac{1.8 \times 10^{-8}\ \Omega.m\ (500\ m)}{1.2 \times 10^{-6}\ m^2}$$

$$= 7.5\ \Omega$$

ตอบ ความต้านทานเท่า 7.5 โอห์ม

ตัวอย่าง 5 ลวดตัวนำมีขนาดโตสม่ำเสมอยาว 1 เมตร พื้นที่หน้าตัด 1 ตารางมิลลิเมตร ถ้าลวดนี้มีความต้านทาน 500 โอห์ม จะมีสภาพนำไฟฟ้าเป็นเท่าใด

วิธีทำ จาก $R = \rho\frac{l}{A}$

$$500\ \Omega = \frac{\rho\ (1\ m)}{1 \times 10^{-6}\ m^2}$$

$$\rho = 5 \times 10^{-4}\ \Omega.m$$

จาก $\sigma = \frac{1}{\rho}$

$$= \frac{1}{5 \times 10^{-4}\ \Omega.\text{m}}$$

$$= 2 \times 10^{3}\ (\Omega.\text{m})^{-1}$$

ตอบ สภาพนำไฟฟ้าเป็นเท่า 2×10^{3} (โอห์ม.เมตร)$^{-1}$

ผลของอุณหภูมิที่มีต่อสภาพต้านทาน

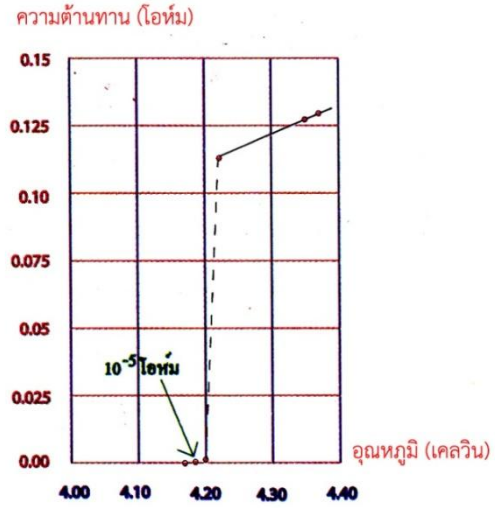
การศึกษาความต้านทานของสารชนิดต่างๆ ที่กล่าวมานี้เป็นการศึกษากรณีที่อุณหภูมิคงตัวค่าหนึ่ง ถ้าอุณหภูมิของสารเปลี่ยนไป ความต้านทานจะเปลี่ยนไปหรือไม่อย่างไร จะได้ศึกษาโดยแยกพิจารณาตามประเภทของสารดังต่อไปนี้

ฉนวน (insulator) ฉนวนเป็นสารที่มีสภาพต้านทานสูง ตัวอย่างของฉนวน ได้แก่ แก้ว ไมกา พีวีซี ยาง กระเบื้อง เป็นต้น การศึกษาสภาพต้านทานของฉนวนที่อุณหภูมิสูงๆ พบว่า สภาพต้านทานจะลดลงเล็กน้อย

สารกึ่งตัวนำ (semiconductor) สารกึ่งตัวนำมีสาภาพต้านทานอยู่ระหว่างตัวนำและฉนวน แต่มีค่าสูงกว่าสภาพต้านทานของตัวนำมาก เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นพบว่า สภาพต้านทานจะลดลงอย่างรวดเร็ว แสดงว่า การนำไฟฟ้าจะดีขึ้น ดังนั้นเครื่องใช้ไฟฟ้าที่อุปกรณ์ประเภทสารกึ่งตัวนำประกอบอยู่ในวงจร จึงทำงานเป็นปกติเฉพาะในช่วงอุณหภูมิที่กำหนดไว้

ตัวนำ (conductor) ตัวนำเป็นสารที่มีสภาพต้านทานต่ำ เมื่อวัดความต้านทานของตัวนำที่เป็นโลหะบริสุทธิ์ เช่น แพลทินัม ทองแดง เงิน เป็นต้น ที่อุณหภูมิต่างๆ พบว่า โดยประมาณแล้วความต้านทานจะแปรผันตรงกับอุณหภูมิสัมบูรณ์ ความรู้นี้จึงนำไปสร้าง **เทอร์มอมิเตอร์ชนิดความต้านทาน** ส่วนตัวนำที่เป็นโลหะผสมบางชนิดพบว่า เมื่ออุณหภูมิเปลี่ยน ความต้านทานจะเปลี่ยนน้อยมาก ความรูนี้นำไปใช้สร้างตัวต้านทานมาตรฐาน ซึ่งความต้านทานคงตัว เช่น ตัวต้านทานที่ทำด้วยแมงกานิน เป็นต้น

ตัวนำยวดยิ่ง (superconductor) เมื่อ พ.ศ. 2454 นักฟิสิกส์ชาวเนเธอร์แลนด์ชื่อคาเมอลิง ออนเนส (Kamerlingh Onnes) ได้ทดลองวัดความต้านทานของปรอทบริสุทธิ์ที่อุณหภูมิใกล้ศูนย์เคลวิน พบว่า ความต้านทานของปรอทลดลงเป็นศูนย์ที่อุณหภูมิ 4.15 เคลวิน ดังรูป 2.11 อุณหภูมินี้เรียกว่า อุณหภูมิวิกฤต (critical temperature, T_c) ปรอทจะอยู่ในสภาวะที่เรียกว่า **สภาพนำยวดยิ่ง** (superconductivity) กล่าว คือ ปรอทจะมีสภาพต้านทานไฟฟ้าเป็นศูนย์หรือมีการนำไฟฟ้าดีที่สุด



รูป 2.10 กราฟแสดงอุณหภูมิวิกฤติของปรอท

ปัจจุบันนักฟิสิกส์พบว่าโลหะผสม สารประกอบหลายชนิดและเซรามิก ก็สามรถแสดงสภาพนำยวดยิ่งได้ที่อุณหภูมิวิกฤตต่างๆ กัน ดังตัวอย่างในตาราง 2.2 วัสดุที่มีความต้านทานเป็นศูนย์หรืออยู่ในสภาพนำยวดยิ่ง เรียกว่า ตัวนำยวดยิ่ง

ตาราง 2.2 อุณหภูมิวิกฤตของสารบางชนิด

วัสดุ	อุณหภูมิวิกฤต (K)	วัสดุ	อุณหภูมิวิกฤต (K)
Zn	0.9	Nb_3Ge	23.2
Al	1.2	$YBa_2Cu_3O_7$	92
Pb	7.2	Bi-Sr-Ca-Cu-O	105
Nb	9.5	Tl-Ba-Ca-Cu-O	125

ความรู้เกี่ยวกับสภาพนำยวดยิ่งนำไปสร้างอุปกรณ์ต่างๆ เช่น

เครื่องเร่งอนุภาคพลังงานสูง (high energy particles accelerators) เป็นเครื่องมือสำหรับทำให้อนุภาคที่มีประจุไฟฟ้ามีพลังงานจลน์สูงมากเพื่อใช้ในการวิจัยทางด้านฟิสิกส์นิวเคลียร์และฟิสิกส์อนุภาค ซึ่งมีหลักการคือ ใช้สนามแม่เหล็กความเข้มสูงที่เกิดจากกระแสไฟฟ้าในตัวนำยวดยิ่ง เมื่อจะเร่งอนุภาคที่มีประจุไฟฟ้าให้มีพลังงานสูงต้องให้อนุภาคเคลื่อนที่เป็นวงกลมซ้ำๆ การจะทำได้เช่นนั้นต้องใช้สนามแม่เหล็กความเข้มสูงมาก ถ้าใช้ลวดตัวนำธรรมดา การจะสร้างสนามแม่เหล็กความเข้มสูงต้องใช้กระแสไฟฟ้าสูง ลวดจะร้อนจนหลอมเหลว แต่ถ้าใช้ลวดที่ทำด้วยตัวนำยวดยิ่ง ซึ่งมีความต้านทานเป็นศูนย์ กระแสไฟฟ้าจะไม่ทำให้ลวดร้อนแต่ประการใด กระแสไฟฟ้าที่สูงจึงสามารถสร้างสนามแม่เหล็กความเข้มสูงได้

รถไฟแมกเลฟ (Maglev : Magnetic Levitation Trains) เป็นรถไฟอัตราเร็วสูงขณะเคลื่อนที่ตัวรถจะลอยเหนือรางเล็กน้อย เนื่องจากสนามแม่เหล็กของรางและสนามแม่เหล็กของตัวรถที่ทำจากตัวนำยวดยิ่งผลักกัน ทำให้เกิดแรงยกตัวรถขึ้น รถจึงลอยเหนือรางเป็นการลดแรงเสียดทานที่มีผลทำให้รถไฟเคลื่อนที่ด้วยอัตราเร็วสูงถึง 513 กิโลเมตร

รูป 2.11 รถไฟฟ้าแมกเลฟ

เนื่องจากอุณหภูมิวิกฤตของสารต่างๆ มีค่าต่ำมาก การทำให้สารแสดงสภาพนำยวดยิ่งจึงต้องใช้ฮีเลียมเหลว (ที่อุณหภูมิ -269 องศาเซลเซียส) ซึ่งมีราคาแพงดังนั้นการนำตัวนำยวดยิ่งไปใช้ประโยชน์จึงไม่แพร่หลาย จนกระทั้ง พ.ศ. 2529 นักฟิสิกส์ได้ค้นพบ ตัวนำยวดยิ่งอุณหภูมิสูง ซึ่งเป็นสารประกอบของอิตเทรียม (Y) แบเรียม (Ba) ทองแดง (Cu) และออกซิเจน (O) สารใหม่นี้เป็นตัวนำยวดยิ่งที่มีอุณหภูมิวิกฤตสูงถึง 90 เคลวินจึงสามารถใช้ ไนโตรเจนเหลว (ซึ่งมีอุณหภูมิ -196 องศาเซลเซียส หรือ 77 เคลวิน) ซึ่งมีราคาถูกกว่าแทนฮีเลียมเหลวได้ การค้นพบตัวนำยวดยิ่งอุณหภูมิสูงได้กระตุ้นให้มีการวิจัยและพัฒนา เพื่อนำตัวนำยวดยิ่งมาใช้ประโยชน์ให้กว้างขวางมากขึ้น

ใบงาน : แบบฝึกเสริมประสบการณ์ 4
เรื่อง สภาพต้านทานไฟฟ้าและสภาพนำไฟฟ้า

คำสั่ง : ให้นักเรียนตอบคาถาม และแสดงวิธีทำ ต่อไปนี้

1. ความต้านทานคืออะไร มีหน่วยและเขียนสูตรได้ว่าอย่างไร

   .....
   .....
   .....

2. สภาพนำไฟฟ้าคืออะไร มีหน่วยและเขียนเป็นสูตรได้อย่างไร

   .....
   .....
   .....

3. ลวดโลหะชนิดหนึ่ง มีสภาพต้านทาน 2.0×10^{-8} โอห์ม-เมตร และมีพื้นที่หน้าตัด 1.0 ตารางมิลลิเมตร ถ้าต้องการให้ลวดโลหะนี้มีความต้านทาน 1 โอห์ม จะต้องใช้ลวดยาวกี่เมตร

   .....
   .....
   .....
   .....
   .....
   .....

เอกสารประกอบการเรียน

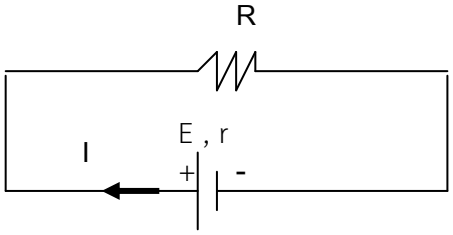
รายวิชา ฟิสิกส์ (เพิ่มเติม) รหัส ว33202 ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 6	เล่ม 2
ชื่อหน่วย : ไฟฟ้าสถิต	**เวลาเรียน**
ชื่อเรื่อง : **พลังงานในวงจรไฟฟ้า**	**2 ชั่วโมง**

จุดประสงค์การเรียนรู้ :

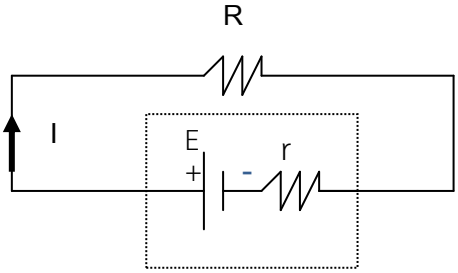
1. อธิบายความหมายของแรงเคลื่อนไฟฟ้าและความต่างศักย์ระหว่างขั้ว
2. อธิบายพลังงานไฟฟ้าและกำลังไฟฟ้าในวงจร

แรงเคลื่อนไฟฟ้า (Electromotive force “e.m.f”) “E”

หมายถึง พลังงานไฟฟ้าที่แหล่งกำเนิด (เซลล์ไฟฟ้า) ที่กระทำต่อประจุ +1 คูลอมบ์ให้เคลื่อนครบวงจรพอดี (จากขั้นบวกไปยังขั้วลบผ่านตัวต้านทาน (R) ภายนอกเซลล์ และจากขั้วลบไปยังขั้วบวก ผ่านเซลล์ไฟฟ้าภายใน) มีหน่วยเป็นจูลต่อคูลอมบ์ หรือ โวลต์



รูป 1. วงจรไฟฟ้าอย่างง่าย



รูป 2. วงจรไฟฟ้าอย่างง่ายซึ่งแสดงความต้านทานภายในเซลล์

จากรูป 1. เมื่อ R คือความต้านทานภายนอกที่ต่อกับเซลล์ไฟฟ้า
r คือความต้านทานภายในของเซลล์เซลล์ไฟฟ้า
E คือแรงเคลื่อนไฟฟ้าของเซลล์ไฟฟ้า

เมื่อมีกระแสไฟฟ้าผ่านตัวต้านทาน (R) และเซลล์ไฟฟ้า (E) ซึ่งมีความต้านทานภายใน (r) ย่อมเกิดความต่างศักย์ไฟฟ้าดังนี้

1. ความต่างศักย์ไฟฟ้าภายนอกเซลล์ (V_R)
2. ความต่างศักย์ไฟฟ้าภายในเซลล์ (V_r)

ความต่างศักย์ไฟฟ้าภายนอกเซลล์ (V_R)

หมายถึง พลังงานที่กระทำต่อประจุ +1 คูลอมบ์ให้เคลื่อนจากขั้วบวกไปยังขั้วลบของเซลล์โดยผ่านตัวต้านทานภายนอกเซลล์ (R) มีหน่วยเป็น จูล/คูลอมบ์ หรือ โวลต์

ความต่างศักย์ไฟฟ้าภายในเซลล์ (V_r)

หมายถึง พลังงานที่กระทำต่อประจุ +1 คูลอมบ์ให้เคลื่อนจากขั้วลบไปยังขั้วบวกของเซลล์ โดยผ่านตัวต้านทานภายในเซลล์ไฟฟ้า (r) มีหน่วยเป็น จูล/คูลอมบ์ หรือ โวลต์

การหาความสัมพันธ์ระหว่างกระแสไฟฟ้าในวงจร แรงเคลื่อนไฟฟ้าของเซลล์ ความต่างศักย์ไฟฟ้าที่ขั้วเซลล์ ความต้านทานภายในและภายนอกเซลล์
จากหลักทรงพลังงาน

พลังงานทั้งหมดที่เคลื่อนครบวงจรพอดี = พลังงานเคลื่อนประจุภายนอกเซลล์ + พลังงานเคลื่อนประจุภายนอกเซลล์

$$qE = qV_R + qV_r$$

จะได้ $E = V_R + V_r$ (เมื่อ $V = IR$)

$$E = IR + Ir$$

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

ได้ว่า $$I = \frac{E}{R + r}$$

เราสามารถบอกได้ว่าความต่างศักย์ไฟฟ้าภายนอกเซลล์ (V_R) ก็คือความต่างศักย์ระหว่างขั้วเซลล์ เพราะคิดจากขั้วบวกถึงขั้วลบของเซลล์ไฟฟ้า เราสามารถหาค่า ความต่างศักย์ระหว่างขั้วเซลล์ได้ดังนี้

จาก $E = V_R + V_r$ (เมื่อ $V = IR$)

$$E = V_R + Ir$$

จะได้ $E - Ir = V_R$

หรือ $$V_R = E - Ir$$

หรือ $$V_R = IR$$

การแก้ปัญหาจากโจทย์ เรื่อง แรงเคลื่อนไฟฟ้าและความต่างศักย์ไฟฟ้าจากสถานการณ์ที่กำหนดให้

การหาความสัมพันธ์ระหว่างกระแสไฟฟ้าในวงจร แรงเคลื่อนไฟฟ้าของเซลล์ ความต่างศักย์ไฟฟ้าที่ขั้วเซลล์ ความต้านทานภายในและภายนอกเซลล์ แล้ว

ดังนั้น ความสัมพันธ์ระหว่างกระแสไฟฟ้าในวงจร แรงเคลื่อนไฟฟ้าของเซลล์ ความต้านทานภายในและภายนอกเซลล์

จะได้ $$I = \frac{E}{R + r}$$

ดังนั้น ความต่างศักย์ระหว่างขั้วเซลล์ ก็คือความต่างศักย์ไฟฟ้าภายนอกเซลล์ (V_R) เพราะคิดจากขั้วบวกถึงขั้วลบของเซลล์ไฟฟ้า เราสามารถหาค่า ความต่างศักย์ระหว่างขั้วเซลล์ได้

จาก $V_R = E - Ir$

หรือ $V_R = IR$

ตัวอย่างการแก้ปัญหาจากโจทย์ เรื่อง แรงเคลื่อนไฟฟ้าและความต่างศักย์ไฟฟ้า จากสถานการณ์ที่กำหนดให้

ตัวอย่างที่ 1 เซลล์ไฟฟ้าเซลล์หนึ่ง มีแรงเคลื่อนไฟฟ้า 2 โวลต์ ความต้านทานภายใน 2 โอห์ม ต่อเป็นวงจรด้วยลวดเส้นหนึ่งมีความต้านทาน 3 โอห์ม จงหา

ก. กระแสไฟฟ้าในวงจร

ข. ความต่างศักย์ไฟฟ้าระหว่างขั้วเซลล์

ค. ความต่างศักย์ภายในเซลล์

วิธีทำ สิ่งที่เราทราบค่าคือ E = 2 V, r = 2 Ω , R = 3 Ω

ก. จาก $I = \frac{E}{R + r}$

$= \frac{2}{3 + 2}$

$\therefore I = 0.4 \text{ A}$

ข. จาก $V_R = E - Ir$

$V_R = 2 - (0.4)(2)$

$V_R = 1.2 \text{ V}$

หรือ $V_R = IR$

$V_R = (0.4)(3)$

$V_R = 1.2 \text{ V}$

ค. จาก $V_r = Ir$

$V_r = (0.4)(2)$

$V_r = 0.8 \text{ V}$

ตัวอย่างที่ 2 เซลล์ไฟฟ้าเซลล์หนึ่ง เมื่อเอาลวดต้านทาน 5 โอห์ม ต่อระหว่างขั้วทั้งสองของเซลล์ไฟฟ้า จะเกิดความต่างศักย์ไฟฟ้าระหว่างขั้วเซลล์ 2.5 โวลต์ แต่ถ้าวงจรเปิด ความต่างศักย์ไฟฟ้าระหว่างขั้วเซลล์เปลี่ยนเป็น 3 โวลต์ จงหาความต้านทานภายในเซลล์

วิธีทำ สิ่งที่เราทราบค่าคือ R = 5 Ω , เมื่อต่อครบวงจร ความต่างศักย์ไฟฟ้าระหว่างขั้วเซลล์คือ V_R = 2.5 V และเมื่อวงจรเปิดความต่างศักย์ไฟฟ้าระหว่างขั้วเซลล์ก็คือค่าแรงเคลื่อนไฟฟ้าของเซลล์ไฟฟ้านั้น E = 3 V ต้องการหา ค่า r หาค่า I ก่อน

จาก $V_R = IR$

$2.5 = I(5)$

$I = 0.5$ A

จาก $I = \frac{E}{R+r}$

$0.5 = \frac{3}{5+r}$

$\therefore r = 1$ Ω

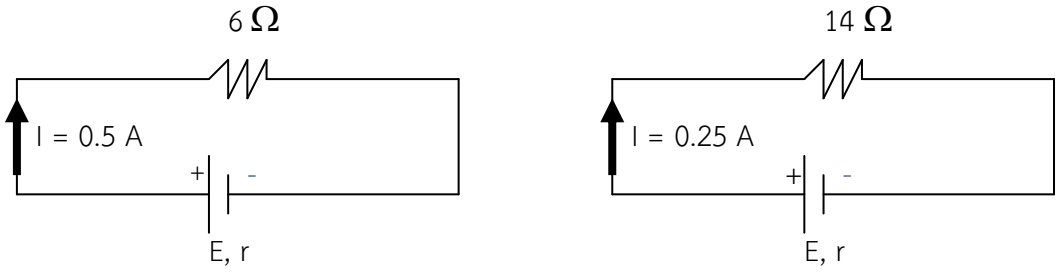
ตอบ ความต้านทานภายในเซลล์มีค่า 1 โอห์ม

ตัวอย่างที่ 3 เมื่อเซลล์ไฟฟ้าเซลล์หนึ่งต่อเข้ากับความต้านทาน 6 โอห์ม มีกระแสไฟฟ้าผ่าน 0.5 แอมแปร์ แต่เมื่อเซลล์ไฟฟ้านี้ต่อเข้ากับตัวต้านทาน 14 โอห์ม จะมีกระแสไฟฟ้าผ่าน 0.25 แอมแปร์ จงหา

ก. แรงเคลื่อนไฟฟ้าของเซลล์ไฟฟ้า

ข. ความต้านทานภายในของเซลล์ไฟฟ้า

วิธีทำ เขียนวงจรไฟฟ้าตามที่กำหนด



ต้องการหาค่า E และ r

จาก $I = \frac{E}{R+r}$

$0.5 = \frac{E}{6+r}$ .....①

$0.25 = \frac{E}{14+r}$ .....②

①/②
$$\frac{0.5}{0.25} = \frac{14+r}{6+r}$$
$$12 + 2r = 14 + r$$
$$\therefore \quad r = 2 \ \Omega$$

แทนค่า r ใน (1) ; E = 4 V

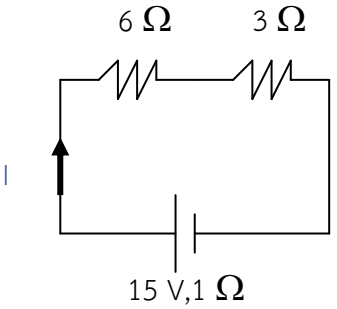
ตอบ แรงเคลื่อนไฟฟ้ามีค่า 4 โวลต์ และมี ความต้านทานภายในมีค่า 2 โอห์ม

ตัวอย่างที่ 4 เมื่อเอาลวดตัวต้านทาน 6 โอห์ม และ 3 โอห์ม มาต่อเข้ากับเซลล์ไฟฟ้าขนาด 15 โอห์ม, 1 โอห์ม จะเกิดความต่างศักย์ไฟฟ้าระหว่างขั้วเซลล์เท่าใด เมื่อลวดตัวต้านทานทั้งสอง ต่อกันแบบ

ก. อนุกรม

ข. ขนาน

วิธีทำ ก. อนุกรม เขียนวงจรไฟฟ้าตามที่โจทย์กำหนดให้ได้ดังนี้



หา I ก่อน

จาก $I = \frac{E}{R+r}$

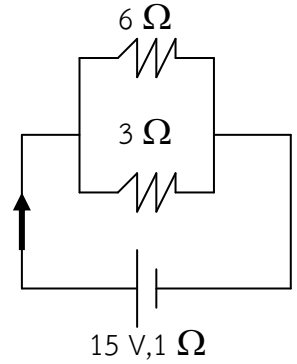
$$I = \frac{15}{(6+3)+1}$$
$$I = 1.5 \ A$$

หา V_R ; จาก $V_R = IR$

$$= 1.5 (6+3)$$
$$\therefore \quad V_R = 13.5 \ V$$

ตอบ เมื่อต่อลวดต้านทานแบบอนุกรม จะเกิดความต่างศักย์ระหว่างขั้วเซลล์มีค่า 13.5 โวลต์

ข. ขนาน เขียนวงจรไฟฟ้าตามที่โจทย์กำหนดให้ได้ดังนี้



จาก $I = \frac{E}{R+r}$

$$I = \frac{15}{\left(\frac{6x3}{6+3}\right)+1}$$
$$I = 5 \ A$$

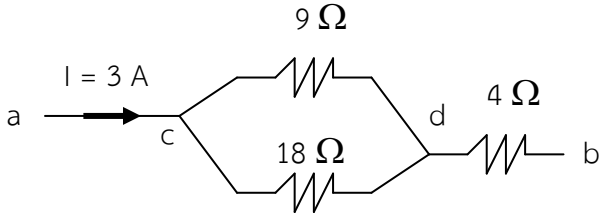
หา V_R ; จาก $V_R = IR$

$$= (5)(2)$$
$$\therefore \quad V_R = 10 \ V$$

ตอบ เมื่อต่อลวดต้านทานแบบขนาน จะเกิดความต่างศักย์ระหว่างขั้วเซลล์มีค่า 10 โวลต์

ตัวอย่างที่ 5 จากรูป เมื่อมีกระแสไฟฟ้า 3 แอมแปร์ ผ่านตัวต้านทานจาก a ไป b จงหากระแสไฟฟ้าที่ผ่าน ตัวต้านทาน 9 โอห์ม 18 โอห์ม และความต่างศักย์ไฟฟ้าระหว่าง ab เป็นเท่าไร

วิธีทำ เขียนวงจรตามที่โจทย์กำหนด



ต้องการหา I ที่ผ่าน 9 Ω และ 18 Ω ซึ่งต่อกันอย่างขนาน

จาก $V_{cd(บน)} = V_{cd(รวม)}$

$IR_{(บน)} = IR_{(รวม)}$

$Ix9 = 3x\left(\frac{9x18}{9+18}\right)$

$\therefore \quad \mathbf{I_{(9\Omega)} = 2 \ A}$

จาก $V_{cd(ล่าง)} = V_{cd(รวม)}$

$IR_{(ล่าง)} = IR_{(รวม)}$

$Ix18 = 3x\left(\frac{9x18}{9+18}\right)$

$\therefore \quad \mathbf{I_{(18\Omega)} = 1 \ A}$

ต้องการหา V_{ab} เมื่อ I = 3A ; $R = \left(\frac{9x18}{9+18}\right)+4 = 10\ \Omega$

จาก $V_{ab} = IR$

$= 3x10$

$\therefore \quad \mathbf{V_{ab} = 30 \ V}$

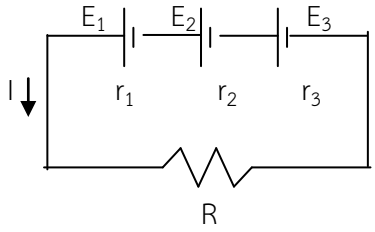
ตอบ กระแสไฟฟ้าที่ผ่านตัวต้านทาน 9 โอห์ม และ 18 โอห์มมีค่า 2 และ 1 แอมแปร์ ตามลำดับและความต่างศักย์ไฟฟ้าระหว่าง ab มีค่า 30 โวลต์

การต่อเซลล์ไฟฟ้า

คือ การนำเอาเซลล์ไฟฟ้ามากกว่า 1 เซลล์มาต่อร่วมกัน เพื่อให้ได้ขนาดของแรงเคลื่อนไฟฟ้าหรือกระแสไฟฟ้าตามต้องการ ดังนี้

การต่อเซลล์ไฟฟ้าแบบอนุกรม คือการนำเซลล์ไฟฟ้ามาต่อเรียงเป็นเส้นเดียวกัน ได้ 2 แบบ

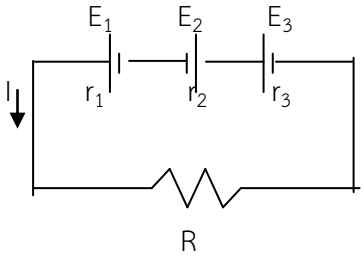
ก . ต่อแบบตามกัน คือ การต่อเซลล์ในลักษณะเสริมกัน โดยกระแสไฟฟ้าไปทางเดียวกัน



$E_{รวม} = E_1 + E_2 + E_3$

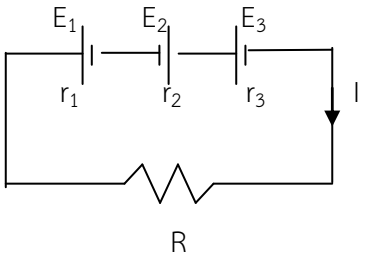
$r_{รวม} = r_1 + r_2 + r_3$

ข. ต่อแบบขัดกัน คือ การต่อเซลล์ไฟฟ้าในลักษณะหักล้างกัน โดยกระแสไฟฟ้าสวนทางกัน



$E_{รวม} = E_1 + E_3 - E_2$

$r_{รวม} = r_1 + r_2 + r_3$



$E_{รวม} = E_2 - (E_1 + E_3)$

$r_{รวม} = r_1 + r_2 + r_3$

หมายเหตุ สังเกตทิศของเซลล์ไฟฟ้า ถ้าทิศเดียวกันบวกกัน ถ้าทิศตรงข้ามลบกัน

กระแสไฟฟ้าในวงจร (I) หาได้จาก $I = \frac{E_{รวม}}{R + r_{รวม}}$

หรือ $I = \frac{E}{R + r}$

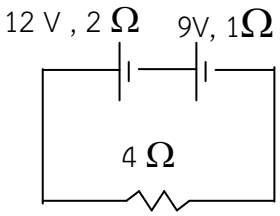
เมื่อ I คือ กระแสไฟฟ้าในวงจร มีหน่วยเป็น แอมแปร์ (A)

E คือ แรงเคลื่อนไฟฟ้ารวมในวงจร มีหน่วยเป็น โวลต์ (V)

R คือ ความต้านทานภายนอกเซลล์ไฟฟ้า มีหน่วยเป็น โอห์ม (Ω)

r คือ ความต้านทานภายในเซลล์ไฟฟ้ารวมในวงจร มีหน่วยเป็น โอห์ม (Ω)

ตัวอย่าง วงจรดังรูป จงหากระแสไฟฟ้า



วิธีทำ จากสมการ $I = \frac{E}{R+r}$

$$I = \frac{12+9}{4+2+1}$$

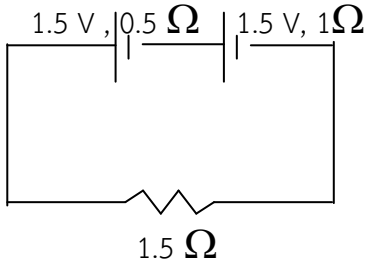
$$I = \frac{21}{7} = 3 \ \Omega$$

ดังนั้นกระแสไหลในวงจรเท่ากับ 3 แอมแปร์

ใบงาน : แบบฝึกเสริมประสบการณ์ 5
เรื่อง การต่อเซลล์ไฟฟ้าแบบอนุกรม

คำสั่ง : ให้นักเรียนตอบคำถาม และแสดงวิธีทำ ต่อไปนี้

1. จากรูปกระแสที่ไหลในวงจรมีค่าเท่าใด



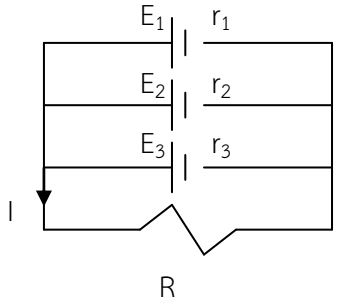
ก. 1 แอมแปร์
ข. 2 แอมแปร์
ค. 3 แอมแปร์

2. จากโจทย์ข้อ 1 จงหาความต้านทานภายในรวม และ แรงเคลื่อนไฟฟ้ารวม
   ก. 3 โอห์ม , 1.5 โวลต์ ข. 1.5 โอห์ม, 3 โวลต์ ค. 3 โอห์ม , 3 โวลต์

โจทย์ เซลล์ไฟฟ้า 3 เซลล์ มีแรงเคลื่อนไฟฟ้า เซลล์ละ 2 โวลต์ ความต้านทานภายในเซลล์เซลล์ละ 4 โอห์ม ต่อกันแบบอนุกรม จงหา

3. แรงเคลื่อนไฟฟ้ารวม
   ก. 12 โวลต์ ข. 8 โวลต์ ค. 6 โวลต์
4. ความต้านทานภายในรวม
   ก. 12 โอห์ม ข. 8 โอห์ม ค. 6 โอห์ม
5. กระแสไฟฟ้าที่ไหลในวงจร ถ้าต่อกับตัวต้านทาน 4 โอห์ม
   ก. 0.225 แอมแปร์ ข. 0.375 แอมแปร์ ค. 0.625 แอมแปร์

2. การต่อเซลล์ไฟฟ้าแบบขนาน คือ การต่อเซลล์ไฟฟ้าให้ขั้วชนิดเดียวกันเข้าด้วยกัน เมื่อ เซลล์ไฟฟ้ามีขนาดเท่ากัน



$$E_{รวม} = E_1 = E_2 = E_3$$

$$\frac{1}{r_{รวม}} = \frac{1}{r_1} + \frac{1}{r_2} + \frac{1}{r_3}$$

เมื่อ ความต้านทานภายในเท่ากัน

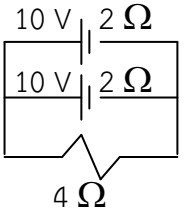
$$r_{รวม} = \frac{r}{n}$$

หมายเหตุ แรงเคลื่อนไฟฟ้าลัพธ์ใช้แรงเคลื่อนไฟฟ้าเพียงเซลล์เดียวเท่านั้น

กระแสไฟฟ้าในวงจร (I) หาได้จาก $I = \frac{E_{รวม}}{R + r_{รวม}}$

หรือ $I = \frac{E}{R + \frac{r}{n}}$

ตัวอย่าง จากวงจร จงหากระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านตัวต้านทาน 4 โอห์ม



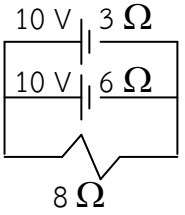
วิธีทำ E = 10 V , r = 2 Ω

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

$$I = \frac{10}{4 + \frac{2}{2}}$$

$$= 2 \quad A$$

ตัวอย่าง จากวงจร จงหากระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านตัวต้านทาน 8 โอห์ม



วิธีทำ จากสมการ $I = \frac{E}{R + r}$

เมื่อ $\frac{1}{r} = \frac{1}{3} + \frac{1}{6}$ จะได้ r = 2 Ω

$$I = \frac{10}{8 + 2}$$

$$= 1 \quad A$$

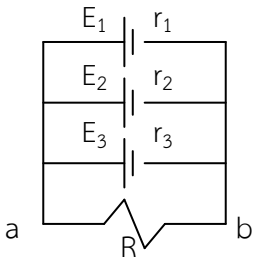
ใบงาน : แบบฝึกเสริมประสบการณ์ 6
เรื่อง การต่อเซลล์ไฟฟ้าแบบอนุกรม

คำสั่ง : ให้นักเรียนตอบคาถาม และแสดงวิธีทำ ต่อไปนี้

1. ถ้าให้เซลล์ไฟฟ้าที่ต่อกันแบบขนานระหว่างจุด a และจุด b กระแสไฟฟ้า (I) ผ่านตัวต้านทาน R มีค่าเท่าใด เมื่อ $E_1 = E_2 = E_3$ และ $r_1 = r_2 = r_3$

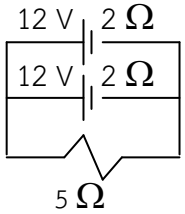
ก. $I = \dfrac{E}{R + r/n}$ ข. $I = \dfrac{E}{R + nr}$

ค. $I = \dfrac{E}{\frac{R + r}{n}}$



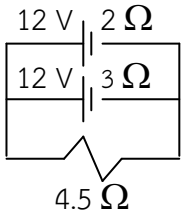
2. จากรูป จงหากระแสที่ไหลผ่านตัวต้านทาน 5 โอห์ม

ก. 1 แอมแปร์ ข. 2 แอมแปร์
ค. 3 แอมแปร์



3. จากรูป จงหากระแสที่ไหลผ่านตัวต้านทาน 4.5 โอห์ม

ก. 1 แอมแปร์ ข. 2 แอมแปร์
ค. 3 แอมแปร์



ใบงาน : แบบฝึกเสริมประสบการณ์ 7
เรื่อง แรงเคลื่อนไฟฟ้า

คำสั่ง : ให้นักเรียนตอบคาถาม และแสดงวิธีทำ ต่อไปนี้

1. เซลล์ไฟฟ้าเซลล์หนึ่ง มีแรงเคลื่อนไฟฟ้า 2 โวลต์ ความต้านทานภายใน 2 โอห์ม ต่อเป็นวงจรด้วยลวดเส้นหนึ่งมีความต้านทาน 3 โอห์ม จงหากระแสไฟฟ้าในวงจร

   .....
   .....
   .....

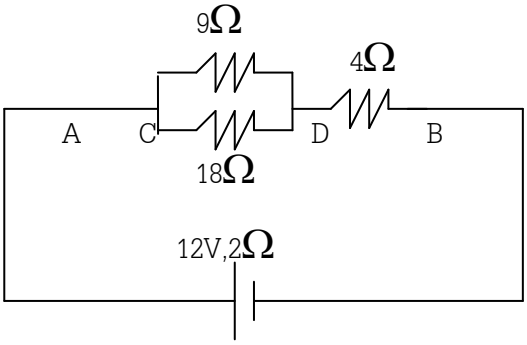
2. เมื่อเอาลวดตัวต้านทาน 6 โอห์ม และ 3 โอห์ม มาต่อเข้ากับเซลล์ไฟฟ้า ขนาด 15 โวลต์, 1 โอห์ม จะเกิดความต่างศักย์ไฟฟ้าระหว่างขั้วเซลล์เท่าใด เมื่อลวดตัวต้านทานทั้งสองต่อกันแบบขนาน

   .....
   .....
   .....
   .....
   .....
   .....

3. ตัวต้านทาน 2 ตัวมีความต้านทาน 30 โอห์ม และ 60 โอห์ม ต่อกันอย่างขนานแล้วต่ออนุกรมกับตัวต้านทาน 8 โอห์ม ถ้าชุดตัวต้านทานนี้ต่ออยู่กับแบตเตอรี่ ซึ่งมีแรงเคลื่อนไฟฟ้า 12 โวลต์ และมีความต้านทานภายใน 2 โอห์ม จงหากระแสไฟฟ้าที่แบตเตอรี่จ่ายจะมีกี่แอมแปร์

   .....
   .....
   .....
   .....
   .....
   .....

4. จากรูป จงหากระแสไฟฟ้าที่ผ่านตัวต้านทาน 4 โอห์ม



.....

.....

.....

.....

.....

.....

5. จากข้อ 4 จงหากระแสไฟฟ้าที่ผ่านตัวต้านทาน 9 โอห์ม

.....

.....

.....

.....

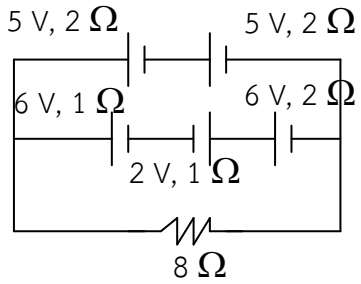
.....

.....

ใบงาน : แบบฝึกเสริมประสบการณ์ 8
เรื่อง การต่อเซลล์ไฟฟ้า

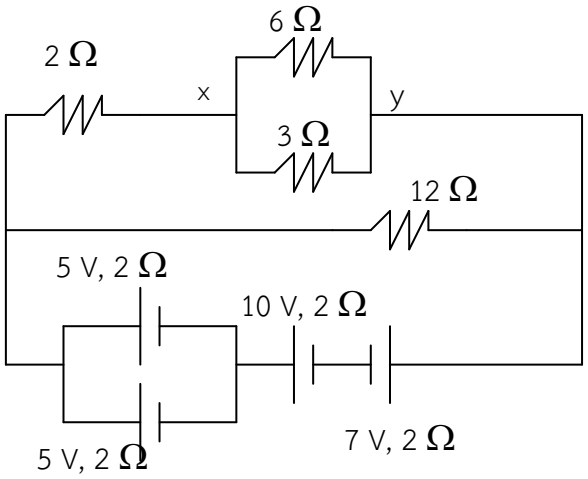
คำสั่ง : ให้นักเรียนตอบคาถาม และแสดงวิธีทำ ต่อไปนี้

1. จากรูป ต้องการหากระแสไฟฟ้าที่ผ่านตัวต้านทาน 8 โอห์ม



.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....

2. จงหากระแสไฟฟ้าในวงจร เป็นกี่แอมแปร์



3. จากข้อ 2 จงหาความต่างศักย์ระหว่าง x และ y

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

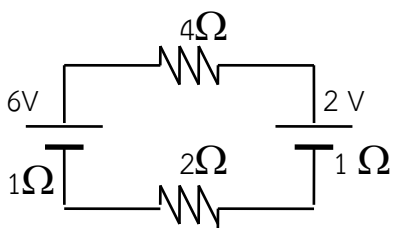
.....

.....

.....

.....

4. จากรูป



1. จงหากระแสไฟฟ้าในวงจร
2. ความต่างศักย์ระหว่างขั้วเซลล์ของ เซลล์ 6 V, 1 Ω

.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....