



มหาวิทยาลัยราชภัฏนครปฐม



ฟิสิกส์ 2 (Physics 2)

บทที่ 4

กระแสไฟฟ้าและกฎของเคอร์ชอฟฟ์

ผู้สอน

อาจารย์ ดร.วุฒิชัย ไชยภักษา

สาขาฟิสิกส์อุตสาหกรรม คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี



Nakhon Pathom Rajabhat University



หัวข้อเนื้อหาประจำบท

- 4.1 ความหนาแน่นของกระแสไฟฟ้า
- 4.2 กฎของโอห์ม
- 4.3 สภาพนำไฟฟ้า
- 4.4 งานและกำลังไฟฟ้า
- 4.5 การต่อตัวต้านทาน
- 4.6 กฎของเคิร์ชฮอฟฟ์



ความหนาแน่นของกระแสไฟฟ้า

กระแสไฟฟ้า (I) เกิดจากการเคลื่อนที่ของประจุในสารต่าง ๆ แต่มีประจุบาง จำนวนเท่านั้น ที่เคลื่อนที่ไปได้ ประจุที่เคลื่อนที่ไปได้นี้เรียกว่า พาหะนำไฟฟ้า ซึ่งหาค่ากระแสไฟฟ้า (I) ได้จาก

$$I \equiv \frac{q}{t} \quad (4.1)$$

หรือ $I = nqvA$ (4.2)

เมื่อ n เป็นความหนาแน่นของพาหะนำไฟฟ้า

v เป็นความเร็วของพาหะนำไฟฟ้า

A เป็นพื้นที่หน้าตัดที่พาหะนำไฟฟ้าเคลื่อนที่ผ่าน

ถ้าพิจารณาจำนวนกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่ จะได้

$$J \equiv \frac{I}{A} \quad (4.3)$$

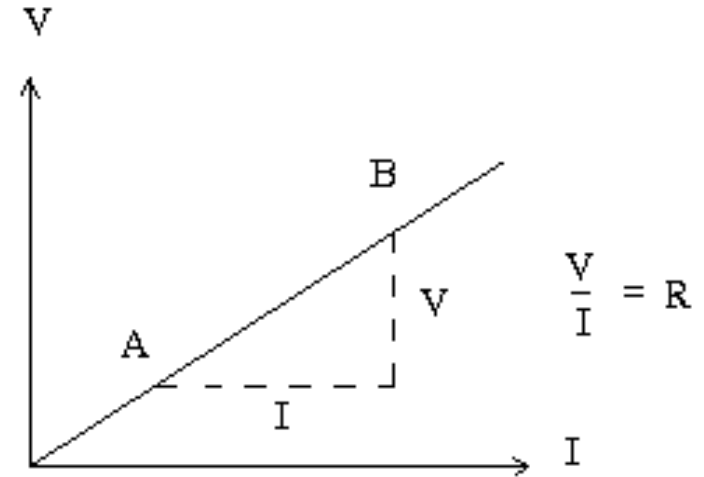
โดยที่ J คือ กระแสไฟฟ้าที่ไหลต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่และเรียกว่า ความหนาแน่นของกระแสไฟฟ้า (Current density) ดังนั้นจากสมการ (4.2) และ (4.3) จะได้

$$J \equiv nqv \quad (4.4)$$



กฎของโอห์ม

“ในโลหะตัวนำที่อุณหภูมิคงตัวอัตราส่วนของความต่างศักย์ไฟฟ้าระหว่างจุดสองจุดในตัวนำต่อกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านตัวนำนั้นมีค่าคงตัว” ซึ่งสามารถเขียนเป็นกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความต่างศักย์ไฟฟ้ากับกระแสไฟฟ้าได้ ดังภาพ



ถ้าให้ความต่างศักย์ไฟฟ้าระหว่างจุด A และ B มีค่าเท่ากับ V แล้วทำให้เกิดกระแสไฟฟ้าเท่ากับ I ณ อุณหภูมิคงตัว

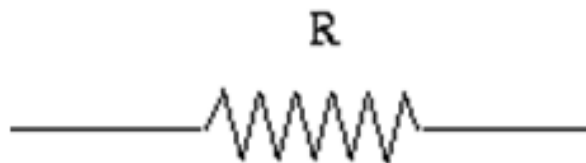
$$\frac{V}{I} = R \quad (4.5)$$

เมื่อ R เป็นค่าคงตัว ซึ่งก็คือค่าความต้านทานของตัวนำไฟฟ้า (Electric resistance) ระหว่างจุด A และ B มีหน่วยเป็น โวลต์ต่อแอมแปร์ (VA^{-1}) หรือโอห์ม (Ω) และจากภาพที่ 4.1 ความชันของกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง V กับ I คือความต้านทาน (R)



ความต้านทาน 1 โอห์ม

ความต้านทาน 1 โอห์มคือค่าความต้านทานของตัวนำที่มีกระแสไฟฟ้า 1 แอมแปร์ไหลผ่านเมื่อให้ความต่างศักย์ 1 โวลต์ และตัวนำที่มีความต้านทานนี้เรียกว่า ตัวต้านทาน (Resistor) มีสัญลักษณ์ดังภาพที่ 4.2



ภาพที่ 4.2 สัญลักษณ์ของตัวต้านทาน
ที่มา (Halliday, Resnick and Walker, 2001)



ในตัวนำบางชนิดที่มีการนำไฟฟ้า แต่กระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านตัวนำนั้นไม่เป็นไปตามกฎของโอห์มคือ กระแสไฟฟ้าไม่ไหลแปรผันตามความต่างศักย์ เช่น ไดโอด

ค่าส่วนกลับของความต้านทานไฟฟ้าของตัวนำ เรียกว่า การนำไฟฟ้า (Electric conductance, G) มีหน่วยเป็นต่อโอห์ม (Ω^{-1}) หรือซีเมนส์ (Simens)

$$\underline{G} = \frac{1}{R} = \frac{I}{V} \quad (4.6)$$



รูปภาพ ไดโอด



ตัวอย่างที่ 4.1 จงหากระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านวงจรที่มีความต้านทาน 22 โอห์ม และมีความต่างศักย์ไฟฟ้าเท่ากับ 110 โวลต์ ถ้าตัวต้านทานมีพื้นที่หน้าตัด 5 ตารางเซนติเมตร จงหาความหนาแน่นของกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่าน

วิธีทำ
$$I = \frac{V}{R} = \frac{110}{22} = 5 \text{ A}$$

กระแสไฟฟ้ามีค่า 5 แอมแปร์

$$\underline{J} = \frac{I}{A} = \frac{5}{5 \times 10^{-4}} = 10^4 \text{ A/m}$$

ความหนาแน่นของกระแสไฟฟ้ามีค่า 10^4 A/m





ตัวอย่างที่ 4.2 เมื่อให้แรงดันไฟฟ้ากับหัวแรง 120 โวลต์ ปรากฏว่ามีกระแสไฟฟ้าไหลผ่าน 0.5 แอมแปร์ จงหาว่าหัวแรงนี้มีความต้านทานและความนำไฟฟ้าเท่าใด

วิธีทำ
$$R = \frac{V}{I} = \frac{120}{0.5} = 240 \quad \Omega$$

หัวแรงมีความต้านทาน 240 โอห์ม

$$G = \frac{1}{R} = \frac{1}{240} = 4.17 \times 10^{-3} \quad \Omega^{-1}$$

ความนำไฟฟ้ามีค่าเท่ากับ 4.17×10^{-3} ต่อโอห์ม





สภาพนำไฟฟ้า

พิจารณาลวดตัวนำยาว ℓ เมตร มีพื้นที่หน้าตัด A ตารางเมตร เมื่อให้ความต่างศักย์ไฟฟ้า V โวลต์ ทำให้มีกระแสไฟฟ้าไหล I แอมแปร์ ความต่างศักย์ไฟฟ้าระหว่างปลาย ทั้งสองของลวดตัวนำ ทำให้เกิดสนามไฟฟ้า $\vec{E}$ ขึ้นภายในตัวนำ จึงทำให้เกิดแรง $\vec{F}$ กระทำต่ออิเล็กตรอนแล้วอิเล็กตรอนเคลื่อนที่ไปด้วยความเร่ง แต่อิเล็กตรอนจะวิ่งไปชนกับอะตอมจึงทำให้เกิดการถ่ายเทพลังงานจลน์ให้กับอะตอม ทำให้อิเล็กตรอนภายในอะตอมสั่นอิเล็กตรอนจึง เคลื่อนที่ด้วยอัตราเร็วเฉลี่ย (Drift speed) คงตัว ดังนั้นจาก

$$E = \frac{V}{\ell}$$

$$V = \ell E \quad (4.7)$$

$$I = JA \quad (4.8)$$





แทนค่า V, I จากสมการ (4.7) และ (4.8) ลงในสมการ (4.5) จะได้

$$\ell E = IAR$$

$$J = \frac{\ell E}{AR} \quad (4.9)$$

ให้

$$\sigma = \frac{\ell}{AR} \quad (4.10)$$

จะได้

$$J = \sigma E \quad (4.11)$$

$$R = \frac{\ell}{A \sigma} \quad (4.12)$$

เมื่อ σ เป็นค่าคงตัวเรียกว่า สภาพนำไฟฟ้า (Electric conductivity) มีหน่วยเป็นต่อโอห์มต่อเมตร ($\Omega^{-1} \text{m}^{-1}$) ซึ่งสารแต่ละชนิดจะมีสภาพนำไฟฟ้าแตกต่างกัน ดังตารางที่ 4.1

ส่วนกลับของสภาพนำไฟฟ้า เรียกว่า สภาพต้านทานไฟฟ้า (ρ) มีหน่วยเป็น โอห์มเมตร (Ωm)

$$\rho = \frac{1}{\sigma} \quad (4.13)$$

$$\rho = \frac{AR}{\ell} \quad (4.14)$$





ตารางที่ 4.1 สภาพนำไฟฟ้าของสารต่าง ๆ ณ อุณหภูมิ 20 °C

สาร	สภาพนำไฟฟ้า (Sm^{-1})	สาร	สภาพนำไฟฟ้า (Sm^{-1})
โลหะ		สารกึ่งตัวนำ	
ทองแดง	5.8×10^7	คาร์บอน	2.80×10^4
เงิน	6.17×10^7	<u>เยอร์มาเนียม</u>	2.20×10^{-4}
อะลูมิเนียม	3.54×10^7	ซิลิกอน	1.60×10^{-5}
เหล็ก	1.53×10^7	ฉนวน	
ทังสเตน	1.82×10^7	แก้ว	10^{-10} ถึง 10^{-14}
โลหะผสม		<u>ลูไซต์</u>	น้อยกว่า 10^{-13}
แมงกานีส	2.27×10^6	<u>ควอร์ตซ์</u>	1.33×10^{-18}
นิโครม	1.00×10^6	พาราฟิน	3.37×10^{-17}

ที่มา (จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2545, หน้า 42)





ตัวอย่างที่ 4.3 ลวดตัวนำยาว 2 กิโลเมตร มีพื้นที่หน้าตัด 6 ตารางมิลลิเมตร จงหาความต้านทานของลวดตัวนำนี้เมื่อสภาพนำไฟฟ้าของตัวนำมีค่า 5.81×10^7 ต่อโห์มต่อเมตร และเมื่อลวดตัวนำนี้มีสนามไฟฟ้าเท่ากับ 3×10^2 นิวตันต่อคูลอมบ์ จงหากระแสไฟฟ้าและความหนาแน่นกระแสไฟฟ้า

วิธีทำ
$$R = \frac{\ell}{A\sigma} = \frac{(2 \times 10^3)}{(5.81 \times 10^7) \times (6 \times 10^{-6})} = 5.74 \, \Omega$$

ความต้านทานมีค่า 5.74 โห์ม

$$\underline{J} = \sigma E = (5.81 \times 10^7) \times (3 \times 10^2) = 1.743 \times 10^{10} \, \text{Am}^{-2}$$

ความหนาแน่นของกระแสไฟฟ้าเท่ากับ 1.743×10^{10} แอมแปร์ต่อตารางเมตร

$$\underline{I} = JA = (1.743 \times 10^{10}) \times (6 \times 10^{-6}) = 1.046 \times 10^5 \, \text{A}$$

กระแสไฟฟ้ามีค่า $1.046 \times 10^5 \, \text{A}$



ตัวอย่างที่ 4.4 อะลูมิเนียมมีสภาพนำไฟฟ้า 3.54×10^7 ซีเมนส์ต่อเมตร ยาว 5 เมตร พื้นที่หน้าตัด 3 ตารางเซนติเมตร เมื่อมีกระแสไฟฟ้าไหลผ่าน 2×10^5 แอมแปร์ จงหา

- 1) ความต้านทาน
- 2) สนามไฟฟ้า
- 3) สภาพต้านทานไฟฟ้า

วิธีทำ $R = \frac{\ell}{A\sigma} = \frac{5}{(3.54 \times 10^7) \times (3 \times 10^{-4})} = 4.7 \times 10^{-4} \Omega$

ความต้านทานมีค่า 4.7×10^{-4} โอห์ม

$$J = \frac{I}{A} = \frac{2 \times 10^5}{3 \times 10^{-4}} = 6.67 \times 10^8 \text{ Am}^{-2}$$

$$E = \frac{J}{\sigma} = \frac{6.67 \times 10^8}{3.54 \times 10^7} = 18.84 \text{ NC}^{-1}$$

สนามไฟฟ้ามีค่า 18.84 นิวตันต่อคูลอมบ์

$$\rho = \frac{1}{\sigma} = \frac{1}{3.54 \times 10^7} = 2.82 \times 10^{-8} \Omega\text{m}$$



งานและกำลังไฟฟ้า

งานที่ใช้ในการเคลื่อนที่ของประจุ หาได้จากสูตร

$$W = qV$$

จากสมการ (4.5) $V = IR$

และจาก $q = It$

แทนลงในสมการ W จะได้

$$W = I^2 R t \quad (4.15)$$

กำลังคืองานต่อหนึ่งหน่วยเวลา ดังนั้นจะได้

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

แทนค่า W จากสมการ (4.15) ลงไปจะได้

$$P = I^2 R \quad (4.16)$$

$$P = VI \quad (4.17)$$



$$P = \frac{V^2}{R} \quad (4.18)$$

กำลังมีหน่วยเป็นจูลต่อวินาที (Js^{-1})หรือวัตต์ (watt) หรือกำลังม้า (H.P) โดยมีการ
เปลี่ยนหน่วยได้ดังนี้

$$1 \text{ W} = 0.293 \text{ Cal s}^{-1}$$

$$1 \text{ kW} = 10^3 \text{ W}$$

$$1 \text{ kW} = 1.341 \text{ H.P.}$$

$$1 \text{ H.P.} = 0.746 \text{ kW}$$



จงหางานและกำลังที่ได้จากการที่ประจุไฟฟ้า 9.4×10^4 คูลอมบ์ เคลื่อนที่ผ่านความต่างศักย์ไฟฟ้า 50 โวลต์ ในเวลา 3.8×10^3 วินาที

วิธีทำ

$$W = \underline{qV}$$

$$\underline{W} = 9.4 \times 10^4 \times 50 = 4.7 \times 10^6 \text{ J}$$

งานมีค่า 4.7×10^6 จูล

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

$$\underline{P} = \frac{4.7 \times 10^6}{3.8 \times 10^3} = 1.23 \times 10^3 \text{ W}$$

กำลังมีค่าเท่ากับ 1.23×10^3 วัตต์

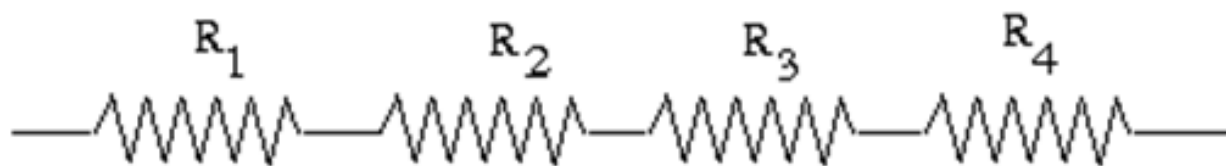


การต่อตัวต้านทาน

การนำตัวต้านทาน (R) มาต่อกันเพื่อใช้ในวงจรไฟฟ้าสามารถทำได้ 3 แบบคือ

1. การต่อตัวต้านทานแบบอนุกรม เป็นการนำตัวต้านทานหลาย ๆ ตัวมาต่อกันโดยที่ปลายด้านหนึ่งของตัวต้านทานตัวที่หนึ่งไปต่อกับปลายด้านหนึ่งของตัวนำตัวที่สอง และอีกปลายด้านหนึ่งของตัวนำตัวที่สองจะต่อกับปลายด้านหนึ่งของตัวที่สาม และต่อกันอย่างนี้เรื่อย ๆ ดังภาพที่ 4.4 ตัวต้านทาน $R_1, R_2, R_3, \dots, R_n$ หาความต้านทานรวม (R_T) ได้จากสูตร

$$R_T = R_1 + R_2 + R_3 + \dots + R_n \quad (4.22)$$



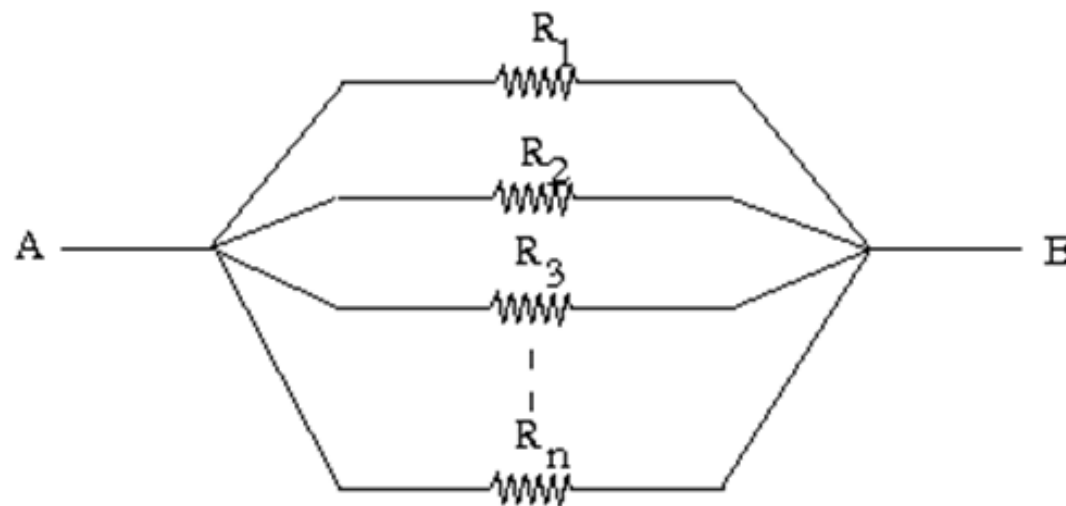
ภาพที่ 4.4 การต่อตัวต้านทานแบบอนุกรม

ที่มา ([Serway and Jewett, 2008](#))



2. การต่อตัวต้านทานแบบขนาน เป็นการนำตัวต้านทานหลาย ๆ ตัวมาต่อกันโดยที่ปลายของตัวต้านทานแต่ละตัวถูกนำมาต่อร่วมกันหมดทั้งสองด้าน ดังภาพที่ 4.5 ตัวต้านทาน $R_1, R_2, R_3, \dots, R_n$ ถ้านำมาต่อแบบขนานและหาความต้านทานรวมได้จากสูตร

$$\frac{1}{R_T} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} + \dots + \frac{1}{R_n} \quad (4.23)$$



ภาพที่ 4.5 การต่อตัวต้านทานแบบขนาน
ที่มา (Serway and Jewett, 2008)





ตัวต้านทาน 3 ตัวมีความต้านทาน 4, 5 และ 10 โอห์ม จงหาความต้านทานรวมเมื่อ

- 1) ต่อกันแบบอนุกรม
- 2) ต่อกันแบบขนาน

วิธีทำ

$$1) R_T = R_1 + R_2 + R_3$$

$$= 4 + 5 + 10$$

$$R_T = 19 \Omega$$

ความต้านทานรวมมีค่า 19 โอห์ม

$$2) \frac{1}{R_t} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} = \frac{1}{4} + \frac{1}{5} + \frac{1}{10}$$

$$= \frac{11}{20} = \frac{20}{11}$$

$$R_T = 1.8 \Omega$$

ความต้านทานรวมเท่ากับ 1.8 โอห์ม



กฎของเคิร์ชฮอฟฟ์

ในวงจรไฟฟ้าที่ซับซ้อนโดยมีตัวต้านทาน แหล่งกำเนิดไฟฟ้าหลายตัวดังภาพที่ 4.11 ถ้าแรงเคลื่อนไฟฟ้าคงตัวและอยู่ในสภาวะคงตัว ใช้กฎของเคิร์ชฮอฟฟ์ (Kirchhoff's law) ในการวิเคราะห์วงจรไฟฟ้าเพื่อหาค่าของกระแสไฟฟ้าในเทอมของแรงเคลื่อนไฟฟ้าและความต้านทานได้

กฎของเคิร์ชฮอฟฟ์ มี 2 ข้อดังนี้

1. ณ จุดร่วมใด ๆ ในวงจรไฟฟ้าผลรวมแบบพีชคณิตของกระแสไฟฟ้าที่จุดร่วมกันจะมีค่าเป็นศูนย์ ถ้าให้กระแสไฟฟ้า I_i เป็นกระแสไฟฟ้าที่ไหลเข้าหรือออกจากจุดร่วมใด ๆ จะได้

$$\sum_{i=1}^n I_i = 0 \quad (4.33)$$

โดยกำหนดเครื่องหมายดังนี้ กระแสไฟฟ้าที่มีทิศเข้าหาจุดร่วมจะมีเครื่องหมายบวกและกระแสไฟฟ้าที่ไหลออกจากจุดร่วมจะมีเครื่องหมายลบ



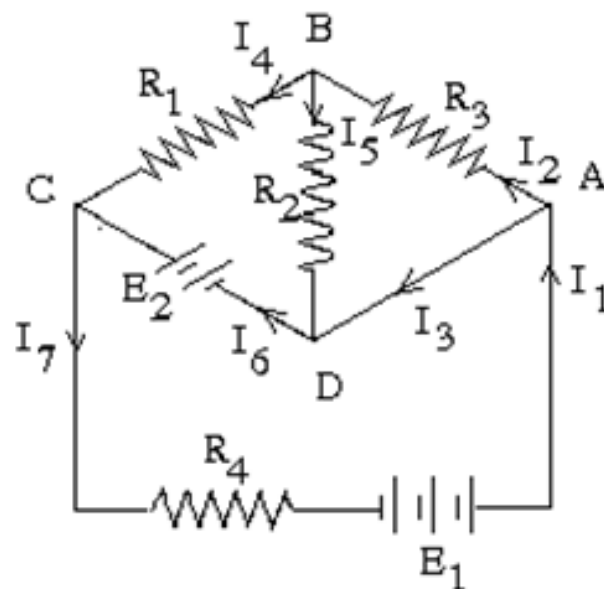


2. ผลรวมแบบพีชคณิตของแหล่งกำเนิดแรงเคลื่อนไฟฟ้าในวงจรปิดใด ๆ ของ วงจรไฟฟ้า เท่ากับผลรวมแบบพีชคณิตของความต่างศักย์ไฟฟ้าในวงจรไฟฟ้านั้น

$$\sum_{i=1}^n E_i = \sum_{i=1}^n V_i = \sum_{i=1}^n I_i R_i \quad (4.34)$$

ในการคำนวณต้องสมมติทิศทางการวนของกระแสไฟฟ้ารอบวงจรไฟฟ้าก่อน โดยกำหนดให้ทิศทางนั้นเป็นบวกเมื่อมีทิศวนตามเข็มนาฬิกา ดังนั้นกระแสไฟฟ้าและแรงเคลื่อนไฟฟ้าที่มีทิศตามเข็มนาฬิกาจะมีเครื่องหมายเป็นบวก และในทิศวนเข็มนาฬิกามีเครื่องหมายเป็นลบ





ภาพที่ 4.11 วงจรไฟฟ้า

ที่มา (Serway and Jewett, 2008)

จากภาพที่ 4.11 ณ จุดร่วม A

$$I_1 + I_2 + I_3 = 0$$

ณ จุดร่วม B

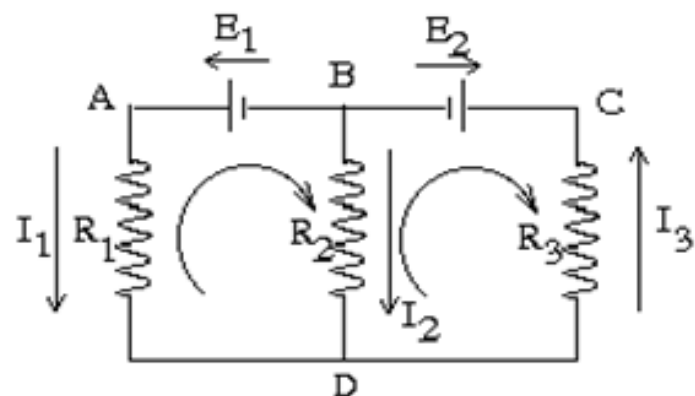
$$I_2 + I_4 + I_5 = 0$$

ณ จุดร่วม C

$$I_4 + I_6 + I_7 = 0$$



ตัวอย่างที่ 4.9 จากวงจรไฟฟ้าดังรูป ถ้า $E_1 = 12$ โวลต์ $E_2 = 6$ โวลต์ $R_1 = 10$ โอห์ม และ $R_2 = R_3 = 30$ โอห์ม จงหากระแสไฟฟ้า I_1 , I_2 , และ I_3



วิธีทำ สมมติให้กระแสไฟฟ้าไหลดังรูป พิจารณากระแสไฟฟ้า ณ จุดร่วม D จะได้

$$I_1 + I_2 - I_3 = 0$$

$$I_3 = I_1 + I_2 \quad (1)$$

ในวงจรปิดที่ 1

$$-E_1 = -I_1 R_1 + I_2 R_2$$

$$-12 = -10I_1 + 30I_2$$

$$-6 = -5I_1 + 15I_2 \quad (2)$$

ในวงจรปิดที่ 2

$$E_2 = -I_2 R_2 - I_3 R_3$$



ในวงจรปิดที่ 1

$$-E_1 = -I_1 R_1 + I_2 R_2$$

$$-12 = -10I_1 + 30I_2$$

$$-6 = -5I_1 + 15I_2 \quad (2)$$

ในวงจรปิดที่ 2

$$E_2 = -I_2 R_2 - I_3 R_3$$

$$6 = -30I_2 - 30I_3$$

$$1 = -5I_2 - 5I_3 \quad (3)$$

แทนค่า I_3 จากสมการ (1) ลงในสมการ (3)

$$1 = -5I_2 - 5I_1 - 5I_2$$

$$5I_1 = 1 + 10I_2 \quad (4)$$

แทนค่าสมการ (4) ลงในสมการ (2)

$$-6 = 1 + 10I_2 + 15I_2$$

$$25I_2 = -7$$

$$I_2 = -\frac{7}{25} = -0.82 \text{ A}$$





$$5I_1 = 1 - \left(\frac{7}{25} \times 10\right)$$

$$5I_1 = \frac{14}{5} - 1$$

$$I_1 = \frac{9}{25}$$

$$= 0.36 \text{ A}$$

แทนค่า I_1 และ I_2 ลงในสมการ (1)

$$I_3 = 0.36 - 0.28$$

$$= 0.08 \text{ A}$$

กระแสไฟฟ้า I_2 มีเครื่องหมายลบแสดงว่ามีทิศตรงกันข้ามกับทิศที่กำหนดให้ มีค่าเท่ากับ 0.28

แอมแปร์ I_1 มีค่าเท่ากับ 0.36 แอมแปร์ และ I_3 มีค่าเท่ากับ 0.08 แอมแปร์





มหาวิทยาลัยราชภัฏนครปฐม