

สัปดาห์ที่ 2

ชื่อหน่วยเรียน

2. กฎพื้นฐานและความต้านทาน

ชื่อบทเรียน

2.1. กฎของโอลิม

2.1.1 ความต้านทาน

2.1.2 ความนำไฟฟ้าสำหรับค่าของความนำไฟฟ้า

2.1.3 กำลังบนตัวต้านทาน

2.2. กฎของเคอร์ชอฟฟ์

2.2.1. โนดบรานซ์และลูป

2.2.2. กฎกระแสไฟฟ้าของเคอร์ชอฟ

2.2.3. การคำนวณกระแสไฟฟ้าของเคอร์ชอฟ

2.2.4. กฎแรงดันไฟฟ้าของเคอร์ชอฟ

2.2.5. การคำนวณแรงดันไฟฟ้าของเคอร์ชอฟ

จุดประสงค์การสอน

2.1 เข้าใจกฎของโอลิม

2.1.1 คำนวณหาค่าความต้านทานไฟฟ้าของความต้านไฟฟ้า

2.1.2 เขียนสัญลักษณ์ของความต้านทานชนิดต่างๆ

2.1.3 คำนวณหาค่าความนำไฟฟ้าของความนำไฟฟ้า

2.1.4 ใช้กฎของโอลิม

2.1.5 ใช้สูตรกำลังบนตัวต้านทาน

2.2 เข้าใจกฎของเคอร์ชอฟฟ์

2.2.1 อธิบายโอนคบราณ์และลูป

2.2.2 อธิบายกฎกระแซของเคอร์ชอฟฟ์

2.2.3 เจียนณาการกระແສຕາມกฎกระແສຂອງเคอร์ชອົບ

2.2.4 อธิบายกฎແຮງດັນຂອງເຄອຣ່ຈອົບ

2.2.5 เจียนณาการແຮງດັນຕາມกฎແຮງດັນຂອງເຄອຣ່ຈອົບ

2.2.6 คำນວນຫາຮາກຮະແສແລະແຮງດັນທີ່ຍຸກกฎຮະແສຂອງເຄອຣ່ຈອົບ

2. กฎพื้นฐานและความต้านทาน(Resistance and Basic Laws)

2.1. กฎของโอห์ม

2.1.1 ความต้านทาน

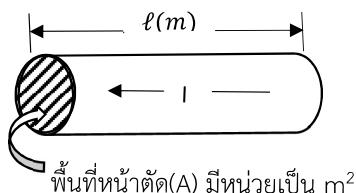
กระแสไฟเกิดจากการเคลื่อนที่ของประจุไฟฟ้าในตัวนำไฟฟ้า ประจุไฟฟ้าจะเคลื่อนที่ได้นั้น จะต้องมีพลังงานภายนอกมากระทำกับประจุไฟฟ้านั้น พลังงานภายนอกนี้ได้แก่ แหล่งกำเนิดพลังงานไฟฟ้า เช่น แบตเตอรี่ เป็นต้น เมื่อประจุไฟฟ้าเคลื่อนที่ไปในตัวนำ ประจุไฟฟ้านั้นจะมีเมนตัมและพลังงานจนค่าหนึ่ง และสูญเสียพลังงานจนส่วนหนึ่งไปเนื่องจากเกิดการชนกันกับอะตอมที่อยู่ดัดไป พลังงานที่สูญเสียไปนี้ จะกลายเป็นพลังงานความร้อนของตัวนำนั้น

จะเห็นว่าการไหลของประจุไฟฟ้านั้นมีได้ไหลอย่างอิสระปราศจากการต่อต้านจากสิ่งใดๆ และจะต้องสูญเสียพลังงานส่วนหนึ่งไปเพื่อເเอกสารณาการต่อต้านนั้น และการที่ตัวนำไฟฟ้าหรืออุปกรณ์ไฟฟ้าการต่อต้านต่อการไหลของกระแสไฟฟ้านี้ เรียกว่า ตัวนำนั้นมีความต้านทานไฟฟ้า(resistance)

องค์ประกอบของสารที่มีผลต่อความต้านทาน สารทุกชนิดมีคุณสมบัติที่ต่อต้านการไหลของกระแสไฟฟ้าเสมอ อีกนัยหนึ่งคือสารทุกชนิดจะมีความต้านทานไฟฟ้าอยู่ในตัวเองเสมอ ซึ่งค่าความต้านทานไฟฟ้าของสารแต่ละชนิดนั้นจะมีค่าต่างกัน ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับโครงสร้างอะตอม และโครงสร้างทางผลึกของสารนั้น สารที่เป็นโลหะจะมีอิเล็กตรอนอิสระได้ง่าย ดังนั้นโลหะจึงมีความต้านทานไฟฟ้าต่ำ ซึ่งตรงกันข้ามกับสารจำพวกอนุภาณ์

คุณสมบัติของสารต่างชนิดกันที่มีความต้านทานไฟฟ้าต่างกันนี้ เรียกว่า ความต้านทานจำเพาะ (specific resistivity) ซึ่งจะใช้สัญลักษณ์ ρ อ่านว่า โร (rho) แทนความต้านทานจำเพาะในคำอธิบายต่อ ๆ ไป

ความต้านทานไฟฟ้าของตัวนำไฟฟ้าได ๆ นั้นนอกจากจะขึ้นอยู่กับความต้านทานจำเพาะ ซึ่งเป็นลักษณะเฉพาะตัวของสารชนิดต่าง ๆ ที่ทำหน้าที่เป็นตัวนำไฟฟ้าแล้ว ยังขึ้นอยู่กับลักษณะรูปร่างของตัวนำนั้น ด้วยเป็นต้นว่า ตัวนำที่มีความยาวมากจะมีความต้านทานสูง ตัวนำที่มีพื้นที่หน้าตัดที่กระแสไฟฟ้าไหลผ่านมากจะมีความต้านทานไฟฟ้าต่ำตามรูปภาพที่ 2.1



รูปภาพที่ 2.1 ลักษณะรูปร่างของตัวนำที่มีผลต่อความต้านทาน

ตามรูปภาพที่ 2.1 จะได้ค่าความต้านทาน(R) ขึ้นอยู่กับความต้านทานจำเพาะ(ρ) พื้นที่หน้าตัด(A) และความยาว(ℓ) ตามสมการ

$$R = \rho \frac{\ell}{A} \quad (2.1)$$

โดยที่ R คือ ความต้านทานมีหน่วยเป็นโอห์ม (Ω)

ℓ คือ ความยาวของตัวนำมีหน่วยเป็นเมตร (m)

A คือ พื้นที่หน้าตัดของตัวนำมีหน่วยเป็นตารางเมตร (m^2)

ρ ความต้านทานจำเพาะของตัวนำมีหน่วยเป็นโอห์ม • เมตร ($\Omega \cdot m$)

สารต่างชนิดกันจะมีความต้านทานจำเพาะต่างกัน และสารจำพวกโลหะจะมีความต้านทานจำเพาะต่ำ โดยเงิน (silver) มีความต้านทานจำเพาะต่ำมาก ทองแดงและอลูминีียมนั้นมีความต้านทานจำเพาะสูงกว่าเงิน แต่ที่นิยมนำมาผลิตเป็นสายไฟฟ้าก็ เพราะว่ามีราคาถูก โดยเฉพาะอลูминีียมนั้นนอกจากมีราคาถูกแล้วยังมีน้ำหนักเบาอีกด้วย ตัวอย่างความต้านทานจำเพาะของสารชนิดต่าง ๆ เป็นตามตารางที่ 2.1

ชนิดของสาร	ความต้านทานจำเพาะ ($\Omega \cdot m$) ที่อุณหภูมิ $20^\circ C$
ตัวนำ (conductor)	
เงิน (silver)	1.6×10^{-8}
ทองแดง (copper)	1.7×10^{-8}
อะลูมิเนียม (aluminum)	2.8×10^{-8}
คอนสแตนตัน (constantan)	49×10^{-8}
สารกึ่งตัวนำ (semiconductor)	
คาร์บอน (carbon)	4×10^{-5}
เจอร์มาเนียม (germanium)	0.45
ซิลิโคน (silicon)	2500
ฉนวน	
กระดาษ (paper)	10^{10}
ไมกา (mica)	5×10^{11}
แก้ว (glass)	10^{12}

ตารางที่ 2.1 ตัวอย่างความต้านทานจำเพาะของสารชนิดต่าง ๆ

ตามตารางที่ 2.1 จะเห็นว่าสารกึ่งตัวนำมีค่าความต้านทานจำเพาะอยู่ระหว่างตัวนำกับ绝缘率คือ ไม่เป็นพังตัวนำ(conductor)และ绝缘率(insulator) สารประเภทนี้มีประดิษฐ์มากที่ใช้ผลิตเป็นอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ได้แก่ ไดโอด ทรานซิสเตอร์ ไอซี ฯลฯ

ตัวอย่างที่ 2.1

จงหาความต้านทานที่อุณหภูมิ 20°C ของสารต่อไปนี้

- (ก) ลวดทองแดงยาว 1 m มีพื้นที่หน้าตัดเป็นรูปวงกลมเส้นผ่านศูนย์กลาง 2 mm
- (ข) ลวดคอลัมน์แตนตันยาว 2.5 m มีพื้นที่หน้าตัดเป็นรูปวงกลมเส้นผ่านศูนย์กลาง 1 mm

วิธีทำ

ใช้สมการที่ (2.1) และข้อมูลตามตารางที่ 2.1 จะคำนวณความต้านทานได้ดังนี้

$$\begin{aligned}
 \text{(ก) จาก } R &= \rho \frac{l}{A} \\
 &= \frac{\pi d^2}{4} \cdot \frac{1.0}{(2 \times 10^{-3})^2} \\
 &= 3.14 \times 10^{-6}
 \end{aligned}$$

จะได้ความต้านทานของทองแดงยาว 1 m คือ

$$\begin{aligned}
 R &= \rho \frac{l}{A} \\
 &= 1.7 \times 10^{-8} \times \frac{1.0}{3.14 \times 10^{-6}} \\
 &= 5.4 \times 10^{-3} \Omega
 \end{aligned}$$

\therefore จะได้ความต้านทานเท่ากับ $5.4 \times 10^{-3} \Omega$

$$\begin{aligned}
 \text{(ข)} \quad R &= \rho \frac{l}{A} \\
 &= \frac{\pi d^2}{4} \cdot \frac{1.0}{(1 \times 10^{-3})^2} \\
 &= 7.85 \times 10^7
 \end{aligned}$$

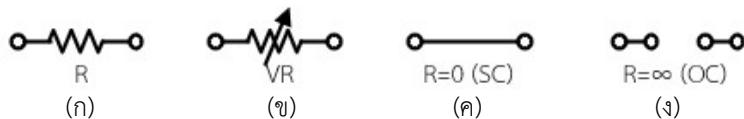
$$R = \rho \frac{\ell}{A}$$

$$= 4.9 \times 10^{-8} \times \frac{2.5}{7.85 \times 10^{-7}}$$

$$= 1.56 \Omega$$

\therefore จะได้ความต้านทานเท่ากับ 1.56Ω

สัญลักษณ์ของความต้านทาน ความหมายของสัญลักษณ์ของความต้านทานจะเป็นไปตามรูปภาพที่ 2.2



รูปภาพที่ 2.2 ลักษณะสัญลักษณ์ของความต้านทาน

ตามรูปภาพที่ 2.2 (ก) และ (ข) สัญลักษณ์ของความต้านทานเป็นรูปทางเดินไฟฟ้าเมื่อันพันเดือยซึ่งมีความหมายว่าเป็นทางเดินที่ไม่สะดวกต่อการไหลของกระแสไฟฟ้า ในรูป (ค) แสดงสัญลักษณ์ที่ไม่มีทางเดินรูปพันเดือย แสดงว่าไม่มีความต้านทานไฟฟ้าอยู่บนเส้นทางเดินของกระแสไฟฟ้าเลย หรือความต้านทานไฟฟ้าเท่ากับศูนย์ กรณีที่วงจรไฟฟ้ามีความต้านทานเป็นศูนย์นี้เรียกว่า วงจรลัด (short circuit หรือ sc) ส่วนในรูป (ง) เป็นสัญลักษณ์ของวงจรที่กระแสไฟฟ้าผ่านไม่ได้หรือมีความต้านทานเป็นอนันต์ (∞) วงจรแบบนี้เรียกอีกอย่างว่า วงจรปิด (open circuit หรือ oc)

2.1.2 ความนำไฟฟ้า สำหรับค่าของความนำไฟฟ้า (conductance) ของสารได้ก็คือความสามารถในการนำไฟฟ้าผ่านไปได้ ซึ่งหมายถึงสิ่งที่ตั้งกันข้ามกับความต้านทานนั้นเองดังนั้นค่าของความนำไฟฟ้า (G) จึงเท่ากับส่วนกลับของความต้านทานตามสมการ

$$G = \frac{1}{R} \quad (2.2)$$

โดยที่ G คือ ความนำไฟฟ้ามีหน่วยเป็นชีเมนต์ (siemens หรือ s) หรือ โอม์ (mho หรือ S)

R คือ ความต้านทานไฟฟ้ามีหน่วยเป็นโอห์ม (ohm หรือ Ω)

จากความต้านทานจำเพาะจะได้ความนำจำเพาะ (specific conductivity) ดังสมการ

$$\sigma = \frac{1}{\rho} \quad (2.3)$$

โดยที่ σ คือ ความนำจำเพาะมีหน่วยเป็นชีเมนส์ต่อเมตร (S/m)

กฎของโอห์ม

กฎของโอห์มค้นพบจากการทดลอง โดยนักฟิสิกส์ชาวเยอรมันชื่อ จอร์จ โอห์ม (Georg Ohm) การทดลองของโอห์มพบว่า ถ้าปล่อยกระแสไฟฟ้าผ่านตัวนำได ๆ ที่อุณหภูมิคงที่จะได้ความต่างศักย์ไฟฟ้าที่ตกคร่อมตัวนำนั้นขึ้นอยู่กับกระแสที่ผ่านตัวนำนั้น หรือ อัตราส่วนระหว่างแรงดันที่ตกคร่อมตัวนำต่อกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านตัวนำนั้นมีค่าคงที่ โดยค่าคงที่นี้คือ ความต้านทานของตัวนำนั้นเอง ซึ่งเขียนเป็นสมการได้ดังนี้

$$E = IR \quad (2.5)$$

โดยที่ E คือ แรงดันตกคร่อมหรือความต่างศักย์ระหว่างขั้วทั้งสองของความต้านทานมีหน่วยเป็นโวลต์ (V)

/ คือ กระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านความต้านทานมีหน่วยเป็นแอมป์ร์ (A)

R คือ ความต้านทาน (ของตัวนำ) มีหน่วยเป็นโอห์ม (Ω)

จากสมการที่ (2.5) จะเขียนเป็นสมการความสัมพันธ์ได้ดังนี้

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

และ

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

$$\text{หรือ} E = IR \quad (2.6)$$

กฎของโอห์มนี้ใช้ได้กับเฉพาะตัวนำที่มีความต้านทานคงที่ ไม่ขึ้นอยู่กับกระแสไฟฟ้าและแรงดันเท่านั้น แต่โดยธรรมชาตินั้นความต้านทานของตัวนำ หรือสารชนิดต่าง ๆ จะไม่คงที่ เช่น เปลี่ยนตามอุณหภูมิ บางชนิด แปรเปลี่ยนตามค่าของกระแสไฟฟ้าและแรงดันด้วย ดังนั้นกฎของโอห์มจึงใช้ไม่ได้กับสารบางชนิด เช่น สารกึ่งตัวนำ เป็นต้น ด้วยเหตุนี้กฎของโอห์มจึงใช้ไม่ได้กับสารบางชนิด เช่น สารกึ่งตัวนำ เป็นต้น กฎของโอห์มจึงไม่ถือว่าเป็นกฎที่ยั่งใหญ่ในทางฟิสิกส์

กฎของโอห์มใช้ได้กับตัวนำที่เป็นโลหะโดยเฉพาะ กรณีที่กระแสไฟฟ้ามีค่าต่ำและกฎของโอห์มนี้ใช้ในการประมาณค่าในทางปฏิบัติได้ จึงมีประโยชน์อย่างมากในการออกแบบวงจรไฟฟ้าและวงจรอิเล็กทรอนิกส์

กำลังบนตัวต้านทาน

เมื่อมีกระแสไฟฟ้าไหลผ่านความต้านทานใด ๆ กำลังไฟฟ้าที่ผลักดันให้กระแสไฟฟ้าไหลผ่านความต้านทานนี้จะเป็นกำลังที่สูญเสียไปบนตัวต้านทาน และปกติตัวต้านทานจะกระจาย (dissipated) พลังงานออกมานอกตัวความต้านทานในรูปของความร้อนหรือแสงสว่าง (หลอดไฟฟ้า)

ตัวต้านทานมีประโยชน์ดังนี้

1. ใช้จำกัดหรือควบคุมการไหลของกระแสไฟฟ้า
2. สำหรับเปลี่ยนพลังงานไฟฟ้าเป็นพลังงานความร้อนหรือแสงสว่าง

ในกรณีการใช้งานหากทรูนิกส์ทั่ว ๆ ไปนั้น จะใช้ตัวต้านทานเพื่อประโยชน์ตามข้อที่ 1 คือจำกัดหรือควบคุมการไหลของกระแสไฟฟ้า แต่ความต้านทานทุกตัวจะเปลี่ยนพลังงานไปเป็นความร้อน ซึ่งเป็นพลังงานที่จะต้องสูญเปล่า และพลังงานความร้อนนี้จะเป็นตัวทำลายตัวความต้านทานเอง โดยหากว่าตัวความต้านทานกำลังสูญเสียนี้ไม่ได้ ตัวต้านทานก็จะไหม้และชำรุดเสียหายไปในที่สุด

ในทางปฏิบัติจึงจำเป็นต้องทำความเข้าใจการคำนวณกำลังที่สูญเสียตัวต้านทานและกำลังสูงสุดที่ตัวต้านทานจะรับภาระได้โดยไม่ชำรุด

จะได้กำลังสูญเสียบนตัวต้านทานมีหน่วยเป็นวัตต์(W) ตามสมการ

$$P = IV \quad (2.7)$$

จากกฎของโอห์ม $I = \frac{V}{R}$ แทนในสมการที่ (2.7) จะได้

$$P = \frac{V^2}{R} \quad (2.8)$$

และจากกฎของโอห์ม $V = IR$ แทนในสมการที่ (2.8) จะได้

$$P = I^2 R \quad (2.9)$$

ตัวต้านทานที่ใช้ในทางปฏิบัติจริงนั้นจะมีหลายขนาดขึ้นอยู่กับ อัตราการทนต่อกำลังสูญเสียสูงสุด (maximum power rating) ของตัวต้านทานนั้น ๆ ตัวต้านทานที่ทนกำลังสูญเสียจะมีขนาดใหญ่กว่าตัวต้านทานที่ทนกำลังสูญเสียได้ต่ำ ในการนำตัวต้านทานไปใช้งานจะต้องคำนวณค่าขีดจำกัดทางแรงดันและกระแสไม่ให้เกินขีดจำกัดที่ตัวต้านทานจะรับภาระได้ดังนี้

$$V_{max} = \sqrt{P_{max} R} \quad (2.10)$$

$$I_{max} = \sqrt{\frac{P_{max}}{R}} \quad (2.11)$$

โดยที่ V_{max} คือ แรงดันสูงสุดที่จะใช้งานโดยตัวต้านทานไม่ชำรุด

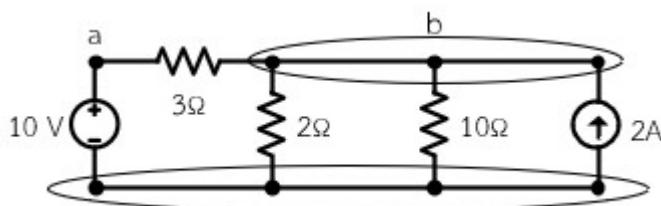
I_{max} คือ กระแสไฟฟ้าสูงสุดที่จะใช้งานโดยตัวต้านทานไม่ชำรุด

P_{max} คือ อัตราการทอนต่อกำลังสูญเสียของตัวต้านทาน (ระบบโดยผู้ผลิต)

2.2. กฎของเคอร์ชอฟฟ์

2.2.1. โนดบранช์และลูป

บранช์หรือกิ่ง (Branch) แสดงถึงองค์ประกอบของวงจรไฟฟ้าหนึ่งตัว เช่น แหล่งจ่ายแรงดันหรือแหล่งจ่ายกระแสหรือตัวต้านทาน ดังตัวอย่างที่แสดงในรูปภาพที่ 2.7 มีทั้งหมด 5 บранช์ คือแหล่งจ่ายแรงดัน 10-V และแหล่งจ่ายกระแส 2-A และตัวต้านทาน 3 ตัว



รูปภาพที่ 2.7 โนดกิ่งและลูป

โนดหรือจุด(Node) คือจุดเชื่อมต่อ กันระหว่างบранช์สองตัวขึ้นไป วงจรในรูปภาพที่ 2.7 มีอยู่สาม โนด คือ โนด a b และ c โดยที่โนด b มีจุดเชื่อมต่อ กันสามจุด ในขณะที่โนด c มีการเชื่อมต่อ กันสี่จุด

ลูปหรือวงปิด(Loop) คือวงปิดใด ๆ ในวงจร ตัวอย่าง เช่น วงจรในรูปภาพที่ 2.7 มีทั้งหมด สามลูปคือ ลูป abca ซึ่งกระแสไหลผ่านตัวต้านทาน 3-Ω และ 2-Ω และแหล่งจ่าย 10-v โดยที่ลูป bcb มีสอง ลูปคือ ลูปที่กระแสไหลผ่านตัวต้านทาน 2-Ω และ 10-Ω และไฟล์ผ่านตัวต้านทาน 10-Ω และแหล่งจ่ายกระแส 2-A

2.2.2. กฎกระแสไฟฟ้าของเคอร์ชอฟ

นักฟิสิกส์เยอรมัน Guatav Robert Kirchhoff (1824-1887) เสนอกฎพื้นฐานซึ่งใช้รวมกัน กฎของ โอล์มสำหรับวิเคราะห์วงจรไฟฟ้าเรียกว่า กฎของเคอร์ชอฟ (Kirchhoff law) กฎที่หนึ่งอาศัยหลักการพื้นฐาน ที่ว่า ประจุไฟฟ้าไม่อาจสร้างหรือทำลายได้ และโนดของวงจรไฟฟ้าคือตัวนำที่ไม่มีความต้านทาน ไม่สามารถ สะสมประจุหรือดูดกลืนพลังงานໄວ่ได้

กฎกระแสของเคอร์ชอฟ(Kirchhoff's current law , KCL) กล่าวว่า
ผลรวมทางพีชคณิตของกระแสที่ไหลเข้าโนดใด ๆ รวมกันเท่ากับศูนย์

สมการ KCL

$$\sum_{n=1}^N i_n = 0 \quad (2.11)$$

N คือจำนวนของbranchที่เชื่อมต่อในด้วยและ i_n คือกระแสลำดับ n ที่ไหลเข้าหรือไหลออกที่ในด้านนั้นๆ โดยการกำหนดกระแสสถาหากรกำหนดกระแสให้ไหลเข้าเป็นบวกกระแสให้ไหลออกเป็นลบสมสูตรมีเชิงของกระแส $i_k(t)$, $k=1,2,\dots$ ให้ไหลเข้าไปยังโนดผลรวมทางพีชคณิตของกระแสที่ในด้านนั้นคือ

$$i_T(t) = i_1(t) + i_2(t) + i_3(t) + \dots \quad (2.12)$$

ทำการอินทิเกรตสมการที่ (2.12) ทั้งสองข้างจะได้

$$q_T(t) = q_1(t) + q_2(t) + q_3(t) + \dots \quad (2.13)$$

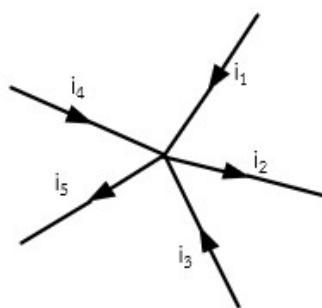
โดยที่ $q_k(t) = \int i_k(t) dt$ และ $q_T(t) = \int i_T(t) dt$ แต่ก็ของประจุไฟฟ้ากล่าวว่า ผลรวมทางพีชคณิตของประจุไฟฟ้าที่โนดต้องไม่เปลี่ยนแปลง ในด้วยสามารถจะสมหรือคูดกลืนพลังงานได้ ดังนั้น $q_T(t) = 0 \rightarrow i_T(t) = 0$ ซึ่งหมายความว่าที่โนดไม่มีประจุไฟฟ้า

2.2.3. การคำนวณกระแสไฟฟ้าของเคอร์ชอฟ

พิจารณาโนดในวงจรรูปภาพที่ 2.8 ใช้ KCL จะได้

i_1 , i_3 และ i_4 ไหลเข้าโนด ในขณะที่กระแส i_2 และ i_5 ไหลออกจาก สมการที่ (2.14) เขียนใหม่ได้

$$i_1 + i_3 + i_4 = i_2 + i_5 \quad (2.15)$$



รูปภาพที่ 2.8 ทิศทางกระแสที่โนดแสดงด้วย KCL

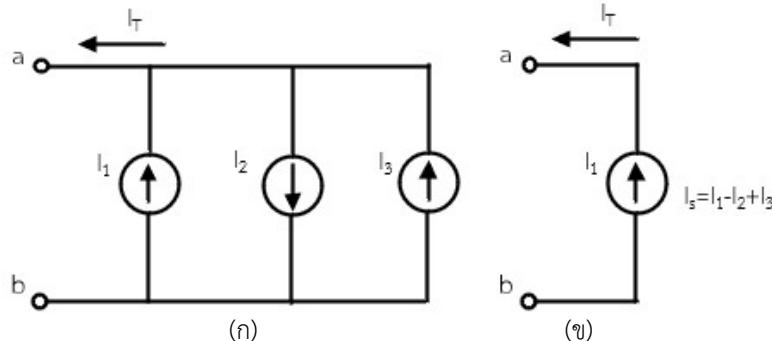
ผลรวมของกระแสที่ไหลเข้าโนดเท่ากับผลรวมของกระแสรวมที่ไหลออกจากโนด

ตัวอย่างการประยุกต์ KCL ในการวิเคราะห์แหล่งจ่ายกระแสที่ต่อขานกันดังแสดงในรูปภาพที่ 2.9(ก) ใช้ KCL วิเคราะห์โนด σ

$$I_T + I_2 = I_1 + I_3$$

หรือ

$$I_T = I_1 + I_2 + I_3 \quad (2.16)$$



รูปภาพที่ 2.9 แหล่งจ่ายกระแสที่ต่อแบบขนาน(ก) วงจรเริ่มต้น และ (ข) วงรสัมมูลย์

ซึ่งแสดงเป็นวงรสัมมูลย์ได้ดังวงจรในรูปภาพที่ 2.9 (ข) (แหล่งจ่ายกระแสไม่สามารถต่ออนุกรมกันได้ยกเว้นมีค่ากระแสเท่ากัน ซึ่งพิสูจน์ข้อยกเว้นนี้ได้โดยใช้ KCL)

2.2.4. กฎแรงดันไฟฟ้าของเคอร์ชอฟ

กฎที่สองของเคอร์ชอฟใช้หลักการพื้นฐานของกฎพลังงาน

กฎแรงดันของเคอร์ชอฟ(Kirchhoff's voltage law , KVL) กล่าวว่า

ผลรวมทางพิชคณิตของแรงดันที่ลูปใด ๆ มีค่าเท่ากับศูนย์

สมการKVL

$$\sum_{m=1}^M V_m = 0 \quad (2.17)$$

M คือ จำนวนแรงดันในลูปและ V_m คือแรงดันลำดับที่ m พิจารณาวงจรในรูปภาพที่ 2.10 สมมุติว่าเริ่มต้นที่แหล่งจ่าย V_1 โดยมีทิศทางกระแสตามเข็มนาฬิกา ดังนั้นจะได้แรงดัน $-V_1, +V_2, +V_3, -V_4$ และ $+V_5$ เขียนสมการ KVL ได้ดังนี้

$$-V_1 + V_2 + V_3 - V_4 + V_5 = 0 \quad (2.18)$$

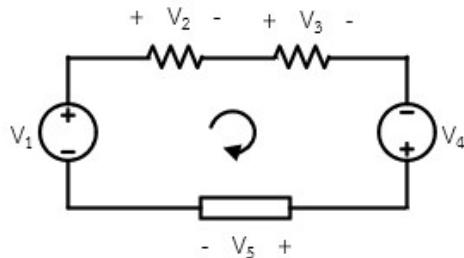
สมการที่ (2.18) สามารถเขียนใหม่ได้

$$V_2 + V_3 + V_5 = V_1 + V_4 \quad (2.19)$$

ซึ่งอาจกล่าวได้ว่า

$$\text{ผลรวมของแรงดันที่จ่ายในลูป} = \text{ผลรวมของแรงดันต่อกคร่วงโดยลดในลูปนั้น ๆ} \quad (2.20)$$

ในขณะเดียวกันก็สามารถกำหนดทิศทางกระแสทิศทางและทิศทางของแรงดันที่จ่ายในลูปนั้นๆ ได้ ซึ่งจะได้ $+V_1, -V_5, +V_4, -V_3$ และ $-V_2$ ซึ่งผลลัพธ์ที่ได้ก็จะเท่ากับผลลัพธ์ในสมการที่ (2.18) และ (2.19)



รูปภาพที่ 2.10 แสดงลูปวงจรโดย KVL

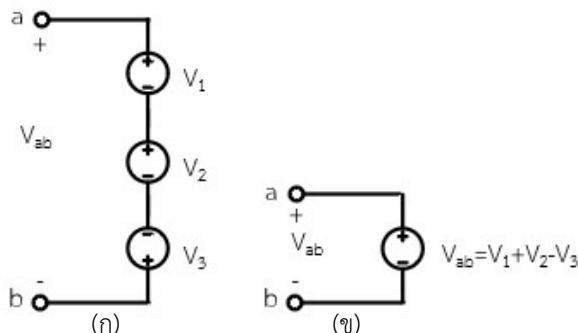
แหล่งจ่ายแรงดันต่ออนุกรมกันสามารถใช้ KVL เขียนวงจรสมมูลย์ได้ ดังตัวอย่างแสดงในรูปภาพที่ 2.11

$$-V_{ab} + V_1 + V_2 - V_3 = 0$$

หรือ

$$V_{ab} = V_1 + V_2 - V_3 \quad (2.21)$$

แหล่งจ่ายแรงดันไม่สามารถต่อ กันแบบขนานได้ ยกเว้นมีค่าแรงดันเท่ากัน



รูปภาพที่ 2.11 แหล่งจ่ายแรงดันต่อแบบอนุกรม(g) วงจรเริ่มต้น และ (x) วงจรสมมูลย์

ตัวอย่างที่ 2.2

จากรูปภาพที่ 2.12 (g) คำนวณหา V_0 และ V_x

วิธีทำ

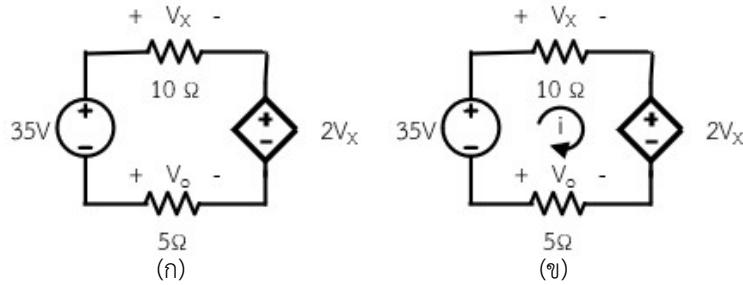
จากรูปภาพที่ 2.12 ใช้ KVL วิเคราะห์ลูป

$$10i + 2V_x + 5i - 35 = 0 \quad (2.2.1)$$

วงจรไฟฟ้า (Electric Circuits)

V_x คือแรงดันตกคร่อมตัวต้านทาน 10Ω ใช้กฎของโอล์มจะได้

$$V_x = 10i \quad (2.2.2)$$



รูปภาพที่ 2.12 วงจรสำหรับตัวอย่างที่ 2.2

แทนสมการที่ (2.2.2) ลงในสมการที่ (2.2.1) จะได้

$$10i + 20i + 5i - 35 = 0 \Rightarrow i = 5A$$

ใช้กฎของโอล์มคำนวณ V_x และ V_0 ได้ดังนี้

$$V_x = 10i = 10(5) = 50 \quad V, V_0 = 5(-i) = 5(-1) = -5V$$

2.2.5. การคำนวณแรงดันไฟฟ้าของเคอร์ชอฟ

ตัวอย่างที่ 2.3

จากรูปภาพที่ 2.13 (ก) คำนวณหารกระแสและแรงดัน

วิธีทำ

ใช้กฎของโอล์มและเคอร์ชอฟในการวิเคราะห์วงจรในรูปภาพที่ 2.13(ข) ดังนี้

$$V_1 = 2i_1, \quad V_2 = 8i_2, \quad V_3 = 4i_3 \quad (2.3.1)$$

เขียนสมการกระแสที่โนด a โดยใช้ KCL จะได้

$$i_1 = i_2 + i_3 \quad (2.3.2)$$

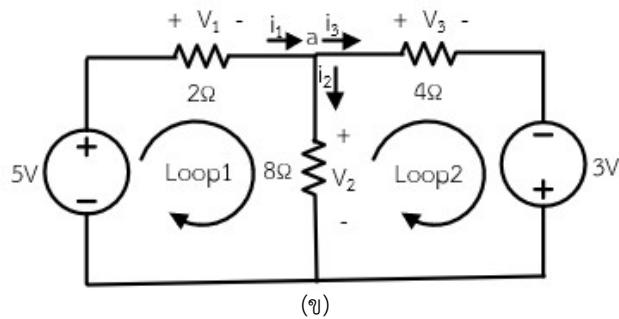
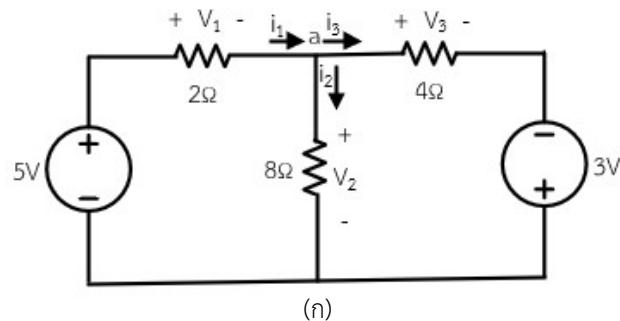
ใช้ KVL เขียนสมการในลูปที่ 1

$$-5 + 2i_1 + 8i_2 = 0$$

$$i_1 = \frac{5 - 8i_2}{2} \quad (2.3.3)$$

ใช้ KVL เขียนสมการในลูปที่ 2

$$V_3 - 3 - V_2 = 0 \quad (2.3.4)$$



รูปภาพที่ 2.13 วงจรสำหรับตัวอย่างที่ 2.3

นำ V_2 และ V_3 จากสมการที่ (2.3.1) แทนในสมการที่ (2.3.4)

$$4i_3 - 3 - 8i_2 = 0$$

$$i_3 = \frac{3 + 8i_2}{4} \quad (2.3.5)$$

แทนสมการที่ (2.3.3) และ (2.3.5) ในสมการที่ (2.3.2)

$$\frac{5 - 8i_2}{2} = i_2 + \frac{3 + 8i_2}{4}$$

$$10 - 16i_2 = 4i_2 + 3 + 8i_2$$

ดังนั้นจะได้ $i_2 = 0.25A$ นำไปค้นวณหาค่ากระแสแลพแรงดันโดยใช้สมการที่ (2.3.1) ถึง (2.3.5) ได้
ดังนี้

$$v_1 = 3V, v_2 = 2V, v_3 = 5V, i_1 = 1.5A, i_2 = 0.25A, i_3 = 1.25A$$