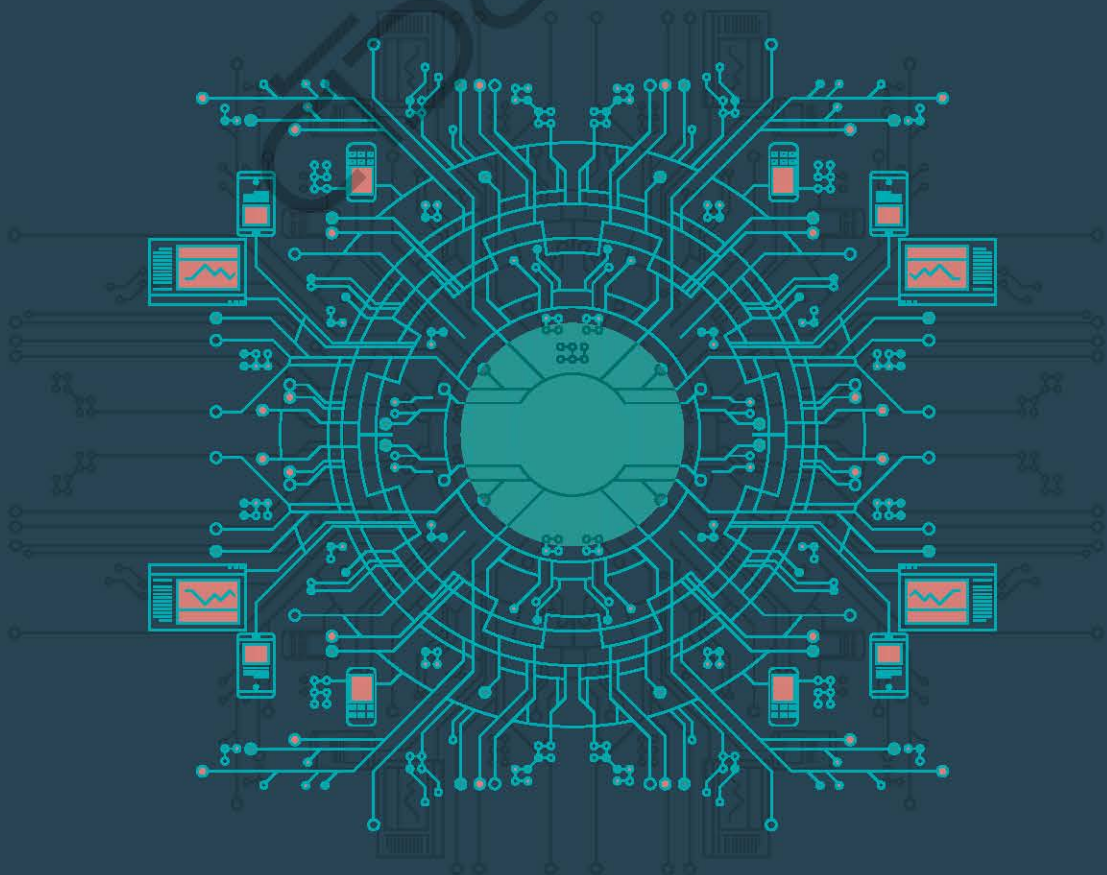


ทฤษฎี วงจรไฟฟ้า 1

(วงจรไฟฟ้ากระแสตรง)

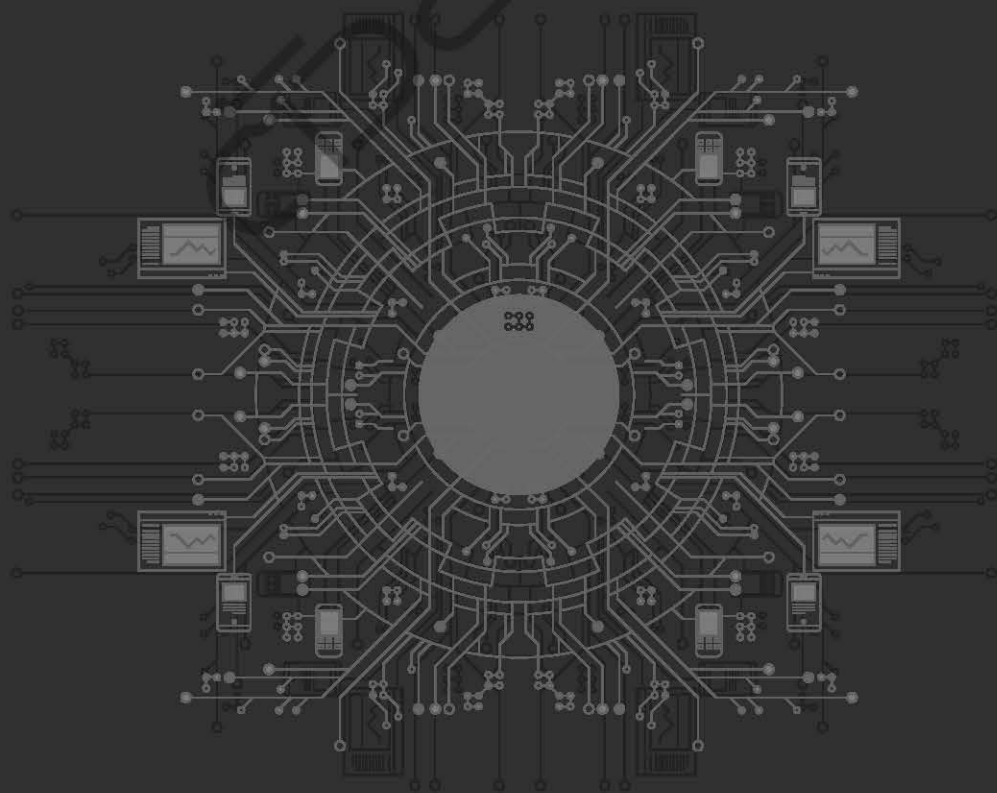
Direct current circuits in theory



ทฤษฎี วงจรไฟฟ้า 1

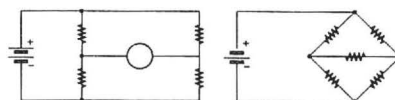
(วงจรไฟฟ้ากระแสตรง)

Direct current circuits in theory



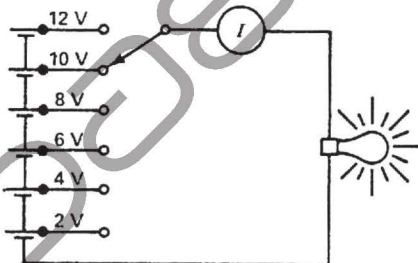
1

กฎของโอห์ม



1-1 กระแสไฟฟ้า

ในวงจรไฟฟ้าประกอบไปด้วย ปริมาณทางไฟฟ้า 3 ส่วน คือค่าความต้านทานในวงจรไฟฟ้า ค่าแหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้า และค่ากระแสไฟฟ้าที่ไหลจากแหล่งจ่ายไฟฟ้าผ่านตัวต้านทานไฟฟ้า ในวงจรไฟฟ้านั้น พิจารณาวงจรไฟฟ้าในรูป 1-1 ประกอบไปด้วยแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรง 6 ตัว มีค่า 12 V, 10 V, 8 V, 6 V, 4 V, และ 2 V ต่อกับสวิตช์เสียบไปยังหลอดไฟฟ้าขนาด 12 V ที่มีค่าความต้านทานคงที่ค่าหนึ่ง



รูป 1-1 แสดงวงจรไฟฟ้าที่ต่อแหล่งจ่ายไฟฟ้านำกระแสตรงหลายๆ ค่าแรงดัน

ถ้าเสียบสวิตช์ไปที่แหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรง 12 V จะเกิดกระแสไฟฟ้าจำนวนหนึ่งไหลผ่านหลอดไฟฟ้าทำให้หลอดสว่างที่สุด แต่ถ้าเสียบสวิตช์ไปที่แหล่งจ่าย 10 V หลอดไฟฟ้าจะลดความสว่างลง และถ้าค่าแรงดันแหล่งจ่ายมีค่าลดลงอีก ความสว่างของหลอดไฟฟ้าก็จะลดลง แสดงว่ากระแสไฟฟ้าในวงจรลดลงด้วย ความสัมพันธ์ของกระแสไฟฟ้าขึ้นอยู่กับ อัตราส่วนระหว่างค่าแรงดันไฟฟ้า กระแสตรงกับความต้านทานในวงจรไฟฟ้านั้น ดังสมการ 1-1

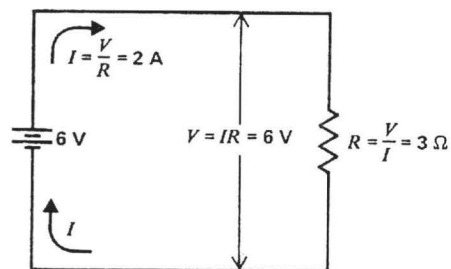
$$I = \frac{V}{R} \quad \dots\dots\dots (1-1)$$

เมื่อ I = กระแสไฟฟ้า มีหน่วยเป็นแอมแปร์ (A)
 V = แรงดันไฟฟ้าที่ตกคร่อมตัวต้านทาน มีหน่วยเป็นโวลต์ (V)
 R = ค่าความต้านทานที่กระแสไหลผ่าน มีหน่วยเป็นโอห์ม (Ω)
 คำสมการ 1-1 เขียนในรูปหน่วยทางไฟฟ้าได้ว่า

$$\text{แอมแปร์} = \frac{\text{โวลต์}}{\text{โอห์ม}}$$

วงจรไฟฟ้ากระแสตรงอย่างง่ายวงจรหนึ่งประกอบไปด้วย แบตเตอรี่ 6 V ต่อกับตัวต้านทานค่า 3 โอห์มตัวหนึ่งดังรูป 1-2 (a) สามารถเขียนวงจรไฟฟ้าแทนรูป 1-2 (a) ได้ดังรูป 1-2 (b) วงจรไฟฟ้างกล่าวจะมีกระแสไฟฟ้า (I) ไหลผ่านตัวต้านทาน (R) ดังนี้

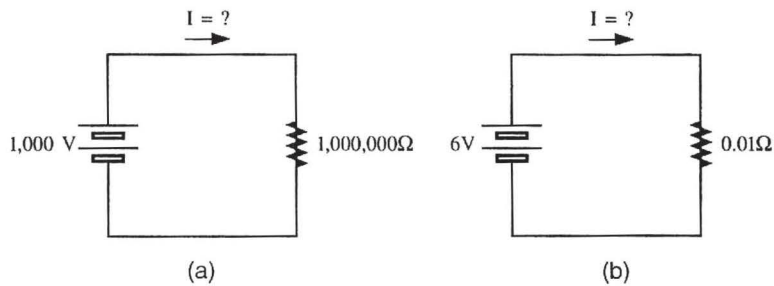
$$\begin{aligned} I &= \frac{V}{R} \\ &= \frac{6 \text{ V}}{3 \Omega} \\ &= 2 \text{ A} \end{aligned}$$



(b)

รูป 1-2 (a) แสดงการต่อแบตเตอรี่ 6 V กับตัวต้านทาน 3 Ω
 (b) แสดงวงจรไฟฟ้าของรูป (a)

ตัวอย่าง 1-1 จงคำนวณค่ากระแสไฟฟ้าในวงจรไฟฟ้าต่อไปนี้



วิธีทำ (a) ตามสมการ (1-1)

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

$$= \frac{1,000 \text{ V}}{1,000,000 \Omega}$$

$$\therefore I = 0.001 \text{ A}$$

(b) จากสมการ (1-1)

$$I = \frac{6\text{V}}{0.01\Omega}$$

$$\therefore I = 600 \text{ A}$$

ตัวอย่าง 1-2 ลวดความร้อน (heater) อันหนึ่งมีค่าความต้านทานของขดลวดเท่ากับ 8 โอห์ม ต่อกับไฟฟ้า 120 โวลต์ จะมีกระแสไหลผ่านลวดความร้อนนี้เท่าไร

วิธีทำ จากสมการ (1-1)

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

$$= \frac{120 \text{ V}}{8\Omega}$$

$$\therefore I = 15 \text{ A}$$

ตัวอย่าง 1-3 หลอดไฟฟ้าขนาดเล็กหลอดหนึ่ง มีค่าความต้านทาน 2,400 โอห์ม ต่อกับแหล่งจ่ายไฟฟ้า 120 โวลต์ จะมีกระแสไหลผ่านหลอดไฟฟ้าเท่าไร

วิธีทำ จากสมการ (1-1)

$$\begin{aligned} I &= \frac{V}{R} \\ &= \frac{120 \text{ V}}{2,400 \text{ } \Omega} \\ \therefore I &= 0.05 \text{ A} \end{aligned}$$

จากตัวอย่างที่ 1-2 และ 1-3 จะเห็นว่าค่าแรงดันไฟฟ้าเท่ากับ 120 V เท่ากัน แต่คำนวณค่ากระแสได้ไม่เท่ากัน เพราะค่าความต้านทานในวงจรไฟฟ้าต่างกัน วงจรใดที่มีค่าความต้านทานสูง จะมีกระแสไฟฟ้าไหลผ่านจำนวนน้อยกว่าวงจรที่มีค่าความต้านทานต่ำ

1-2 แรงดันไฟฟ้า

แรงดันไฟฟ้าที่เกิดขึ้นและตกคร่อมอุปกรณ์ไฟฟ้าใดๆ จะมีค่าเท่ากับผลคูณของกระแสไฟฟ้ากับค่าตัวต้านทานของอุปกรณ์ไฟฟ้านั้น พิจารณาจากรูป 1-2 จะเห็นว่าค่าแรงดัน (V) ที่ตกคร่อมตัวต้านทาน $R = 3 \text{ } \Omega$ จะมีค่าเท่ากับ 6 V ดังสมการ (1-2)

$$V = I \times R \dots\dots\dots (1-2)$$

จากสมการ (1-2) พิจารณาวงจร 1-2 (a)

$$\begin{aligned} V &= I \times R \\ &= 2 \text{ A} \times 3 \text{ } \Omega \\ V &= 6 \text{ V} \end{aligned}$$

ตัวอย่าง 1-4 หลอดไฟฟ้าหลอดหนึ่ง มีความต้านทานของไส้หลอด 0.5 โอห์ม ต่อกับแบตเตอรี่ตัวหนึ่งเกิดกระแสไหลผ่านหลอดไฟฟ้าเท่ากับ 20 แอมป์ แบตเตอรี่ตัวนี้มีแรงดันที่ขั้วเท่าไร

วิธีทำ จากสมการ (1-2)

$$\begin{aligned} V &= I \times R \\ &= 20 \text{ A} \times 0.5 \text{ } \Omega \\ &= 10 \text{ V} \end{aligned}$$

1-3 ค่าความต้านทาน

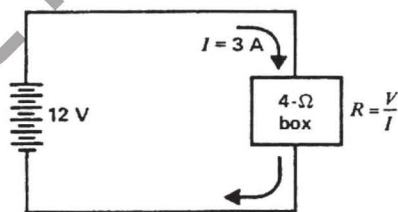
ค่าความต้านทานไฟฟ้า คืออัตราส่วนระหว่างค่าแรงดันไฟฟ้าที่ตกคร่อมตัวต้านทานกับค่ากระแสไฟฟ้าที่ผ่านตัวต้านทานนั้น จากสมการ (1-2) สามารถหาค่า R ได้ดังสมการ (1-3)

$$R = \frac{V}{I} \dots\dots\dots (1-3)$$

จากรูป 1-2 (b) ค่าความต้านทานของวงจรเท่ากับ 3Ω สามารถคำนวณได้จากสมการต่อไปนี้

$$\begin{aligned} \text{จากสมการ (3-1)} \quad R &= \frac{V}{I} \\ &= \frac{6 \text{ V}}{2 \text{ A}} \\ \therefore R &= 3 \Omega \end{aligned}$$

ตัวอย่าง 1-5 จากวงจรไฟฟ้าต่อไปนี้ มีแหล่งจ่ายไฟฟ้า = 12 V และจ่ายให้กล่องวงจรไฟฟ้า (box) กล่องหนึ่งทำให้เกิดกระแสไหล 3 A จงคำนวณค่าความต้านทานในกล่องวงจรไฟฟ้านี้



วิธีทำ

$$\begin{aligned} \text{จากสมการ (1-3)} \\ R &= \frac{V}{I} \\ &= \frac{12 \text{ V}}{3 \text{ A}} \\ R &= 4 \Omega \end{aligned}$$

กฎของโอห์ม (Ohm's Law) กล่าวถึงความสัมพันธ์ระหว่างค่าแรงดันไฟฟ้า ค่าความต้านทาน และค่ากระแสไฟฟ้า ซึ่งเป็นไปตามสมการ 1-1, 1-2, 1-3 สามารถเขียนสรุปในแผนภาพต่อไปนี้ เพื่อให้สะดวกในการใช้งาน ดังแสดงในรูป 1-3



รูป 1-3 แสดงแผนภาพวงกลมตามกฎของโอห์ม

จากรูป 1-3 สามารถคำนวณค่าต่างๆ ได้ดังนี้

ค่าของ	V	$=$	$I \times R$
ค่าของ	I	$=$	$\frac{V}{R}$
ค่าของ	R	$=$	$\frac{V}{I}$

1-4 พหุคูณหน่วยทางไฟฟ้า

หน่วยเบื้องต้นของปริมาณทางไฟฟ้าทั้ง 3 ปริมาณคือ โวลต์, โอห์ม และแอมแปร์ ซึ่งในการเขียนหน่วยและการคำนวณค่าต่างๆ อาจมีค่ามากหรือน้อยกว่าค่าโอห์ม หน่วยเบื้องต้นสามารถแปลงหน่วยได้เมื่อเข้าใจหน่วยพหุคูณ ดังแสดงในตาราง 1-1

ตาราง 1-1 แสดงหน่วยพหุคูณทางไฟฟ้า

เมกะ	(Mega)	เท่ากับ	1,000,000
กิโล	(Kilo)	เท่ากับ	1,000
มิลลิ	(milli)	เท่ากับ	$\frac{1}{1,000}$
ไมโคร	(Micro)	เท่ากับ	$\frac{1}{1,000,000}$

ตัวอย่าง 1-6 กระแสจำนวน 8 มิลลิแอมป์ ไหลผ่านตัวต้านทาน 5 กิโลโอห์ม จะเกิดแรงดันตกคร่อมเท่าไร

วิธีทำ

$$\begin{aligned}
 V &= I \times R \\
 &= 8 \text{ mA} \times 5 \text{ k}\Omega \\
 &= 8 \times 10^{-3} \times 5 \times 10^3 \\
 \therefore V &= 40 \text{ V}
 \end{aligned}$$

ตัวอย่าง 1-7 จะเกิดกระแสเท่าไรเมื่อแหล่งจ่ายขนาด 60 V จ่ายให้กับตัวต้านทานค่า 12 k Ω

วิธีทำ

$$\begin{aligned}
 I &= \frac{V}{R} \\
 &= \frac{60 \text{ V}}{12 \times 10^3 \Omega} = 5 \times 10^{-3} \text{ A} \\
 \therefore I &= 5 \text{ mA}
 \end{aligned}$$

หมายเหตุ : เมื่อพบโจทย์วงจรไฟฟ้าที่มีการใช้พหุคูณหน่วย ในการคำนวณเราจะพบบ่อยครั้ง ดังตัวอย่างต่อไปนี้

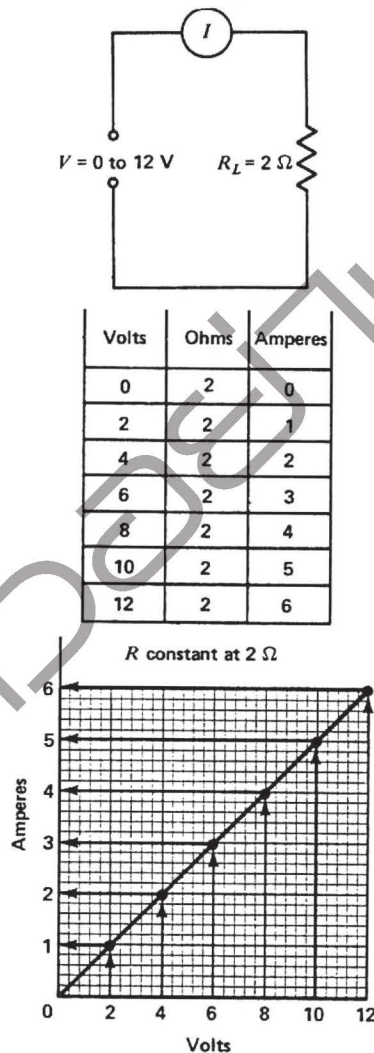
$$\text{ค่ากระแสจะมีหน่วยเป็น mA เมื่อ} = \frac{V}{\text{k}\Omega}$$

$$\text{ค่ากระแสจะมีหน่วยเป็น }\mu\text{A เมื่อ} = \frac{V}{\text{M}\Omega}$$

$$\begin{aligned}
 \text{ค่าแรงดันเท่ากับ Volts เมื่อ} &= \text{mA} \times \text{k}\Omega \\
 \text{หรือ} &= \mu\text{A} \times \text{M}\Omega
 \end{aligned}$$

1-5 ความสัมพันธ์ระหว่างกระแสไฟฟ้าและแรงดันไฟฟ้า

เนื่องจากกฎของโอห์มกล่าวไว้เป็นสมการว่า $I = \frac{V}{R}$ ในวงจรไฟฟ้ากระแสตรง ถ้าค่าความต้านทาน (R) ในวงจรไฟฟ้ามีค่าคงที่ กระแสที่ไหลผ่านตัวต้านทานนั้นจะเปลี่ยนแปลงไปตามค่าแรงดันของแหล่งจ่ายไฟฟ้า (V) ที่จ่ายให้กับตัวต้านทานนั้น ตัวอย่างเช่น วงจรไฟฟ้า ในรูป 1-4 (a) มีตัวต้านทาน R_L ค่าเท่ากับ 2 โอห์ม ต่อกับแหล่งจ่ายไฟฟ้าที่ปรับค่าได้ตั้งแต่ 0 ถึง 12 โวลต์



รูป 1-4 (a) วงจรไฟฟ้ากระแสตรง

(b) ตารางบันทึกค่ากระแสไฟฟ้าในวงจร

(c) กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกระแสไฟฟ้า และแรงดันไฟฟ้าในวงจร (a)

เมื่อทำการปรับค่าแรงดันไฟฟ้าในวงจร 1-4 (a) ที่ละค่าแรงดันจากแรงดัน 0, 2, 4, 6, 8, 10, และ 12 โวลต์ตามลำดับ จะพบว่าค่ากระแสไฟฟ้า (I) ในวงจรมีค่าเพิ่มขึ้นจากค่า 0, 1, 2, 3, 4, 5, และ 6 แอมแปร์ตามลำดับที่แสดงไว้ในตาราง 1-4 (b)

เมื่อนำข้อมูลที่ได้จากตารางรูป 1-4 (b) มาพล็อตจากกราฟความสัมพันธ์ระหว่างกระแส (I) และแรงดันไฟฟ้า (V) ในวงจรไฟฟ้าที่มีค่าความต้านทาน (R) คงที่เท่ากับ 2Ω ได้ดังรูป 1-4 (c) เส้นกราฟมีลักษณะเป็นเส้นตรงที่มีความลาดเอียงเปลี่ยนแปลงในลักษณะต่อเนื่องแบบเชิงเส้น (Linear) กราฟในรูป 1-4 (c) เรียกว่า กราฟลักษณะสมบัติของกระแสและแรงดัน (Voltampere Characteristic)

1-6 กำลังไฟฟ้า

กำลังไฟฟ้ามีหน่วยเป็นวัตต์ (Watts) ซึ่งนำมาจากชื่อของเจมส์วัตต์ (James Watt, 1736-1819) ซึ่งค้นพบว่ากำลังไฟฟ้า (Electric Power, P) มีค่าเท่ากับผลคูณของกระแสไฟฟ้า กับค่าแรงดันไฟฟ้า ดังสมการ

$$\text{กำลังไฟฟ้า} = \text{แรงดันไฟฟ้า} \times \text{กระแสไฟฟ้า}$$

$$P = V \times I \dots\dots\dots (1-4)$$

$$\text{จากสมการ 1-4} \quad I = \frac{P}{V}$$

$$\text{และ} \quad V = \frac{P}{I}$$

ตัวอย่าง 1- 8 เตาไฟฟ้าตัวหนึ่งกินกระแสไฟฟ้า 10 แอมป์ เมื่อต่อกับแหล่งจ่ายไฟฟ้า 120 โวลต์ เตาไฟฟ้านี้ใช้กำลังไฟฟ้าเท่าไร

วิธีทำ จากสมการ 1-4

$$\begin{aligned} P &= V \times I \\ &= 120 \text{ V} \times 10 \text{ A} \\ \therefore P &= 1,200 \text{ W} \end{aligned}$$

ตัวอย่าง 1-9 หลอดไฟฟ้าขนาด 300 วัตต์ ต่อกับแหล่งจ่ายไฟฟ้า 120 โวลต์ หลอดไฟฟ้านี้จะกินกระแสไฟฟ้าเท่าไร

วิธีทำ จากสมการ (1-4)

$$\begin{aligned} P &= V \times I \\ I &= \frac{P}{V} \\ &= \frac{300 \text{ W}}{120 \text{ V}} \\ I &= 2.5 \text{ A} \end{aligned}$$

งานและกำลังงาน

เมื่อคนยกของหนัก 100 ปอนด์ เดินเป็นระยะทาง 10 ฟุต จะได้งาน (work) เท่ากับ $100 \times 10 = 1,000$ ฟุต-ปอนด์ นี่คือการหมายของงาน สำหรับกำลังงาน (Power) หมายถึงงานที่ทำในระยะเวลาใดเวลาหนึ่ง เช่น ถ้าคนทำงานได้ 1,000 ฟุตปอนด์ ในเวลา 2 วินาที จะหมายความว่ากำลังงานที่เกิดขึ้นเท่ากับ 1,000 ฟุตปอนด์ ต่อ 2 วินาที หรือ 500 ฟุตปอนด์ต่อวินาที เป็นต้น ความสัมพันธ์ของงานกับกำลังงานไฟฟ้าในหน่วยของงานทางไฟฟ้า นิยมใช้แรงม้า (Horse Power) มีความสัมพันธ์กับกำลังงานไฟฟ้า (วัตต์) ดังนี้

$$\begin{aligned} 746 \text{ วัตต์} &= 1 \text{ แรงม้า} = 550 \text{ ฟุต - ปอนด์ต่อวินาที} \\ 746 \text{ W} &= 1 \text{ HP} = 550 \text{ ft} \cdot \text{Lb} / \text{s} \end{aligned}$$

การพิจารณาหน่วยของงานและกำลังงาน สามารถพิจารณาได้จากสมการ (1-5)

$$\text{กำลังงาน} = \frac{\text{งาน}}{\text{เวลา}} \dots\dots\dots(1-5)$$

$$\text{หรือ งาน} = \text{กำลังงาน} \times \text{เวลา} \dots\dots\dots(1-6)$$

เมื่อให้วัตต์เป็นหน่วยของกำลังงานที่ทำในเวลา 1 วินาที จะได้งานเท่ากับ 1 จูล (Joule) หรือกำลังงาน 1 วัตต์ เท่ากับงาน 1 จูล ในเวลา 1 วินาที เขียนได้ดังสมการ

$$\begin{aligned} 1 \text{ จูล} &= 1 \text{ วัตต์-วินาที} \\ 1 \text{ วัตต์} &= 1 \text{ จูลต่อวินาที} \end{aligned}$$

ถ้าพิจารณาในเทอมของประจุไฟฟ้าจะเขียนสมการของงานได้ว่า

$$\begin{aligned} 1 \text{ จูล} &= 1 \text{ โวลต์-คูลอมป์} \\ 1 \text{ วัตต์} &= 1 \text{ โวลต์-แอมแปร์} \end{aligned}$$

อิเล็กตรอนโวลต์

เป็นหน่วยของงาน ที่ใช้ในการเคลื่อนที่อิเล็กตรอนจำนวนหนึ่งคูลอมป์จากศักดาไฟฟ้าสูงไปยังศักดาไฟฟ้าที่ต่ำกว่า จำนวน 1 คูลอมป์ เท่ากับ จำนวนอิเล็กตรอน 6.25×10^{18} อิเล็กตรอน ดังนั้นสมการของงานในรูปอิเล็กตรอนโวลต์ (eV) คือ

$$\begin{aligned} 1 \text{ จูล} &= 6.25 \times 10^{18} \text{ อิเล็กตรอนโวลต์} \\ 1 \text{ J} &= 6.25 \times 10^{18} \text{ eV} \end{aligned}$$

กิโลวัตต์-ชั่วโมง

เป็นหน่วยที่ใช้คิดค่ากำลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในช่วงเวลาหนึ่ง เช่น หลอดไฟฟ้าขนาด 300 วัตต์ ใช้ให้แสงสว่างเป็นเวลา 4 ชั่วโมง เท่ากับ 300×4 เท่ากับ 1200 วัตต์-ชั่วโมง หรือ $\frac{1,200}{1,000}$ เท่ากับ 1 กิโลวัตต์-ชั่วโมง (kWh)

ตัวอย่าง 1-9 ลวดความร้อนของเตาไฟฟ้าตัวหนึ่งมีขนาดแรงดัน 120 โวลต์ กับกระแส 20 แอมป์ ถ้าใช้งานนาน 5 ชั่วโมง จะมีค่ากำลังไฟฟ้าต่อชั่วโมงเท่าไร

วิธีทำ

จากสมการ	P	$=$	$V \times I$
		$=$	$120 \text{ V} \times 20 \text{ A}$
		$=$	$2,400 \text{ W} = 2.4 \text{ kW}$

ดังนั้น

ค่ากำลังไฟฟ้า	$=$	$P \times h$
	$=$	$2.4 \text{ kW} \times 5 \text{ h}$
	$=$	$12. \text{ kWh}$

1-7 กำลังไฟฟ้าสูญเสียที่ตัวต้านทาน

เมื่อต่อตัวต้านทานตัวหนึ่งในวงจรไฟฟ้า จะเกิดกระแสไหลผ่านตัวต้านทานนั้น และค่ากำลังไฟฟ้าที่เกิดขึ้นที่ตัวต้านทาน (Power dissipation in R) จะเท่ากับสมการ 1-7

$$\begin{aligned} P &= V \times I \\ \text{แต่ } V &= I \times R \\ \therefore P &= I \times R \times I \end{aligned}$$

$$P = I^2 \times R \quad \text{..... (1-7)}$$

สูตรการคำนวณค่ากำลังไฟฟ้าที่เกิดขึ้นกับตัวต้านทาน สามารถเขียนได้อีกรูปแบบหนึ่ง ดังสมการ 1-8

$$\begin{aligned} P &= V \times I \\ \text{แต่ } I &= \frac{V}{R} \\ P &= V \times \frac{V}{R} \end{aligned}$$

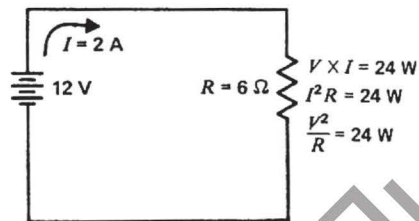
$$P = \frac{V^2}{R} \quad \text{..... (1-8)}$$

ตัวอย่าง 1-10 จากวงจรไฟฟ้ากระแสตรงต่อไปนี้ ถ้ากำหนดให้แบตเตอรี่มีค่าแรงดัน 12 โวลต์, ตัวต้านทานในวงจรเท่ากับ 6 โอห์ม จงคำนวณค่ากระแสที่ผ่านตัวต้านทานนั้น และกำลังไฟฟ้าที่เกิดขึ้นกับตัวต้านทาน

วิธีทำ

$$\begin{aligned} \text{จากสมการ } I &= \frac{V}{R} \\ \therefore &= \frac{12 \text{ V}}{6 \Omega} \\ I &= 2 \text{ A} \\ \text{แต่ } P &= V \times I \\ &= 12 \text{ V} \times 2 \text{ A} \\ &= 24 \text{ W} \\ \text{หรือ } P &= I^2 \times R \\ &= (2\text{A})^2 \times 6 \Omega \\ &= 24 \text{ W} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{หรือ } P &= \frac{V^2}{R} \\
 &= \frac{(12 \text{ V})^2}{6 \Omega} \\
 &= 24 \text{ W}
 \end{aligned}$$



ตัวอย่าง 1-11 จงคำนวณค่ากำลังไฟฟ้าที่เกิดขึ้นกับตัวต้านทานค่า 25 โอห์มต่อกับ แหล่งจ่ายไฟฟ้า ค่า 100 โวลต์ มีกระแสไหลผ่านตัวต้านทาน 4 แอมป์

วิธีทำ

จากสมการ	P	$=$	$I^2 \times R$
		$=$	$(4\text{A})^2 \times 25 \Omega$
$\therefore$	P	$=$	400 W

1-8 สูตรคำนวณค่ากำลังไฟฟ้า

จากความสัมพันธ์ของกระแสไฟฟ้า แรงดันไฟฟ้า และตัวต้านทาน ทำให้เราสามารถเปลี่ยนแปลงสูตรการคำนวณค่ากำลังไฟฟ้าได้หลายรูปแบบ เพื่อเลือกใช้ให้เหมาะสมกับโจทย์ดังต่อไปนี้

$$\begin{aligned}
 P &= VI \\
 I &= \frac{P}{V} \\
 V &= \frac{P}{I}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 P &= I^2 R \\
 R &= \frac{P}{I^2} \\
 I &= \sqrt{\frac{P}{R}}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 P &= \frac{V^2}{R} \\
 R &= \frac{V^2}{P} \\
 V &= \sqrt{PR}
 \end{aligned}$$

ตัวอย่าง 1-12 จงหาค่าความต้านทานของขดลวดความร้อน ขนาด 600 วัตต์ 120 โวลต์

วิธีทำ จากสมการ
$$R = \frac{V^2}{P}$$
$$= \frac{(120 \text{ V})^2}{600 \text{ W}}$$
$$\therefore R = 24 \Omega$$

ตัวอย่าง 1-13 จะมีกระแสไฟฟ้าขนาดกี่แอมป์ไหลผ่านตัวต้านทานขนาด 24 โอห์ม ที่กำลังไฟฟ้า 600 วัตต์

วิธีทำ จากสมการ
$$I = \sqrt{\frac{P}{R}}$$
$$= \sqrt{\frac{600 \text{ W}}{24 \Omega}}$$
$$= \sqrt{25}$$
$$\therefore I = 5 \text{ A}$$

แบบฝึกหัดบทที่ 1

ตอนที่ 1 จงเติมค่าปริมาณทางไฟฟ้าลงในช่องว่างให้สมบูรณ์

1. แรงดัน 10 V ตกคร่อมตัวต้านทาน 5 Ω , กระแสไหลเท่ากับ A
2. แรงดัน 10 V ต่อให้ตัวต้านทาน Ω ทำให้กระแสไหล 2.5 A
3. กระแส 8 A ผ่านตัวต้านทาน 2 Ω เกิดแรงดันตกคร่อมตัวต้านทาน V
4. ตัวต้านทานขนาด 500,000 Ω เท่ากับ M Ω
5. แรงดัน 10 V ตกคร่อมตัวต้านทาน 5,000 Ω จะเกิดกระแสไหล mA
6. กำลังไฟฟ้า 50 W คือ กระแสไฟฟ้า 2 A x V
7. พลังงาน 50 J คือ ประจุไฟฟ้า 2 C x V
8. กระแสที่ผ่านเตาไฟฟ้าขนาด 1.2 kW ที่แรงดันไฟฟ้า 120 V คือ A
9. กระแสไฟฟ้า 400 μA = mA
10. แรงดันตกคร่อมตัวต้านทาน 12 V, ค่าตัวต้านทาน 2 Ω จะมีกำลังไฟฟ้าเท่ากับ W

ตอนที่ 2 จงแสดงวิธีการคำนวณค่าต่างๆ จากโจทย์ต่อไปนี้

1. แรงดันไฟฟ้ากระแสตรง 60V ต่อกับตัวต้านทาน 30 k Ω
 - (a) จงสเก็ตซ์ภาพวงจรไฟฟ้า
 - (b) คำนวณค่ากระแสไฟฟ้าที่ผ่านตัวต้านทาน
 - (c) ค่าตัวต้านทานมีค่าเพิ่มขึ้น 2 เท่า จงคำนวณค่ากระแสที่แหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงจ่ายออกมา
2. แบตเตอรี่ขนาด 12 V ต่อเข้ากับตัวต้านทานค่า 2 Ω
 - (a) สเก็ตซ์ภาพวงจรไฟฟ้า
 - (b) คำนวณกำลังไฟฟ้าที่เกิดกับตัวต้านทาน
 - (c) คำนวณกำลังไฟฟ้าที่แบตเตอรี่จ่ายออกมา
 - (d) ถ้าค่าความต้านทานเพิ่มขึ้น 2 เท่า จะเกิดกำลังไฟฟ้าที่ตัวต้านทานเท่าไร
3. ขดลวดความร้อนอันหนึ่งกันกระแส 800 mA ที่แรงดัน 63 V
 - (a) สเก็ตซ์ภาพวงจรไฟฟ้า
 - (b) คำนวณค่าความต้านทานของขดลวดความร้อนนี้

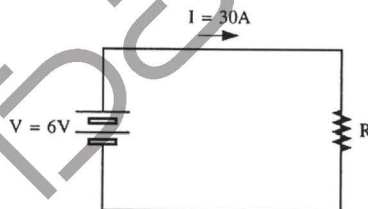
4. จงแปลงหน่วยต่างๆ ให้อยู่ในรูป 10^x (ยกกำลัง)

- (a) 12 mA เป็น A
- (b) 5000 V เป็น kV
- (c) $\frac{1}{2}$ M Ω เป็น Ω
- (d) 100,000 Ω เป็น M Ω
- (e) $\frac{1}{2}$ A เป็น mA
- (f) 9,000 μ s เป็น s
- (g) 1,000 μ A เป็น mA
- (h) 5 k Ω เป็น Ω
- (i) 8 ns เป็น s

5. แบตเตอรี่หนึ่งต่อกับตัวต้านทาน 6 Ω เกิดกระแสไหลในวงจร 2 A

- (a) แรงดันที่แบตเตอรี่มีค่าเท่าไร
- (b) คำนวณค่ากำลังไฟฟ้าที่เกิดขึ้นที่ตัวต้านทาน
- (c) คำนวณค่ากำลังไฟฟ้าที่แบตเตอรี่จ่ายออกมา

6. วงจรไฟฟ้ากระแสตรงวงจรหนึ่ง ดังรูป



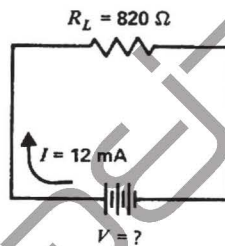
- (a) ค่าความต้านทานของ R เท่าไร
- (b) กำลังไฟฟ้าที่ R เท่าไร

7. แหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงตัวหนึ่งจ่ายกระแส 1 mA ผ่านตัวต้านทาน i M Ω ค่าแรงดันไฟฟ้าของแหล่งจ่ายนี้ มีค่าเท่าไร

8. จงคำนวณค่ากระแสไฟฟ้าในหน่วยของแอมป์ (A)

- (a) แรงดัน 45V จ่ายให้ตัวต้านทาน 68 k Ω
- (b) แรงดัน 250V จ่ายให้ตัวต้านทาน 12 M Ω
- (c) กำลังไฟฟ้า 1,200 W เกิดที่ตัวต้านทาน 600 Ω

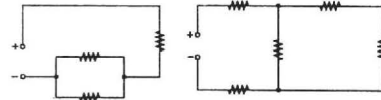
9. จงคำนวณค่าแรงดันไฟฟ้าในหน่วยของโวลต์(V)
- (a) กระแส $68 \mu\text{A}$ ผ่านตัวต้านทาน $22 \text{ M}\Omega$
 - (b) กระแส 2.3 mA ผ่านตัวต้านทาน $47 \text{ k}\Omega$
 - (c) กระแส 237 A ผ่านตัวต้านทาน 0.012Ω
10. จงคำนวณค่าตัวต้านทานในหน่วยของโอห์ม (Ω)
- (a) กระแส 134 mA จ่ายจากแหล่งจ่ายไฟฟ้า 220 V
 - (b) กำลังไฟฟ้า 800 วัตต์ จ่ายจากแหล่งจ่ายไฟฟ้า 120V
 - (c) ความนำไฟฟ้า $9000 \mu\text{S}$ (ไมโครซีเมนส์)
11. จากวงจรต่อไปนี้จงคำนวณค่าแหล่งจ่ายไฟฟ้า V



تبرکات

2

วงจรไฟฟ้าแบบอนุกรม

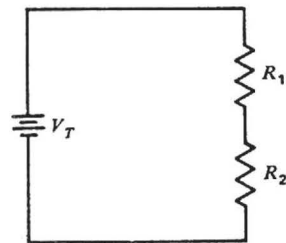


2-1 การต่อวงจรไฟฟ้าแบบอนุกรม

คือวงจรไฟฟ้าที่ต่ออุปกรณ์ไฟฟ้า (เช่นตัวต้านทาน) หลายๆ ตัวเรียงตามลำดับกัน ดังแสดงในรูป 2-1(a) เป็นการต่อแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรง (แบตเตอรี่) ตัวหนึ่งกับตัวต้านทาน 2 ตัวแบบอนุกรมโดยมีสายไฟฟ้าต่อเป็นวงจรไฟฟ้า และในรูป 2-1(b) คือภาพสเก็ทวงจรไฟฟ้า (Schematic diagram) ประกอบไปด้วย V_T คือ แบตเตอรี่, R_1 และ R_2 คือตัวต้านทาน สาเหตุที่เรียกว่า วงจรไฟฟ้าแบบอนุกรมเพราะในวงจรดังกล่าวมีทิศทางที่กระแสไหลเพียงทิศทางเดียว



(a)

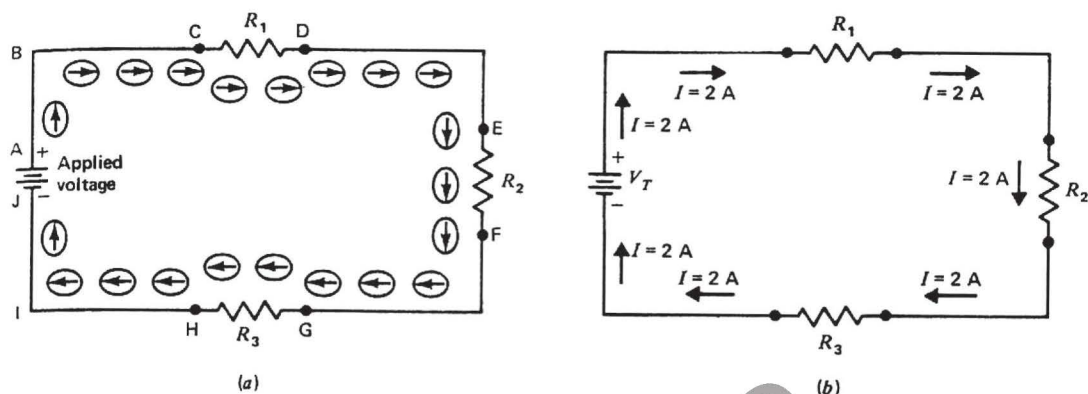


(b)

รูป 2-1 (a) แสดงแบบงานจริงของวงจรไฟฟ้าแบบอนุกรม

(b) แสดงวงจรไฟฟ้าแบบอนุกรม (Schematic diagram)

การไหลของกระแสไฟฟ้าในวงจรไฟฟ้าแบบอนุกรม พัฒนาจากรูป 2-2 (a) เป็นวงจรไฟฟ้าที่ต่ออนุกรมตัวต้านทาน 3 ตัวคือ R_1 , R_2 , R_3 , และมีแหล่งจ่ายไฟฟ้าตัวหนึ่งคือแบตเตอรี่ (Applied Voltage) โดยต่อจุด A ขั้วบวกของแบตเตอรี่ไว้กับจุด C ของ R_1 และจุด D ของ R_1 เข้ากับจุด E ของ R_1 และต่อจุด F ของ R_2 เข้ากับจุด G ของ R_3 และต่อจุด 1+ ของ R_3 เข้ากับ จุด J (ขั้วลบของแบตเตอรี่) กระแสไฟฟ้าจะไหลจากขั้วบวกไปยังขั้วลบของแบตเตอรี่ โดยไหลผ่าน R_1 , R_2 และ R_3 ตามลำดับ

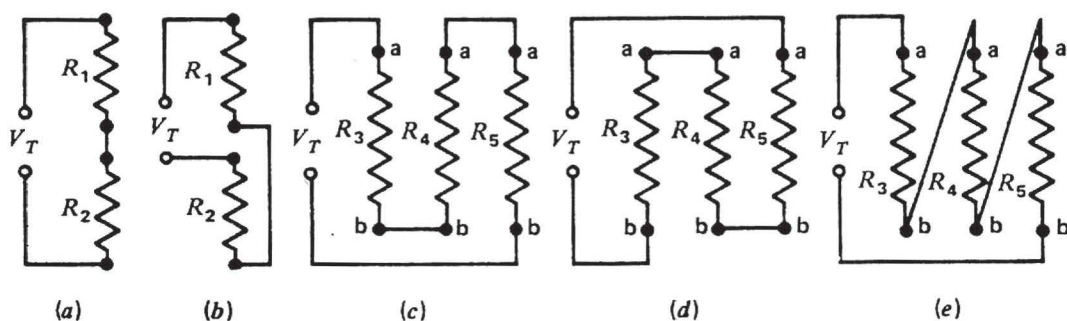


รูป 2-2 (a) แสดงอิเล็กตรอนที่ไหลในวงจรไฟฟ้าแบบอนุกรม
(b) แสดงกระแสไฟฟ้าที่ไหลในวงจรไฟฟ้าแบบอนุกรม

จากรูป 2-2 (b) จะเห็นว่าถ้ากระแสที่ออกจากแบตเตอรี่ (V_T) เท่ากับ 2 A ($I = 2\text{ A}$) กระแสจำนวนเดียวกันนี้จะไหลผ่าน R_1 , R_2 และ R_3 แสดงว่าค่ากระแสที่ผ่าน R_1 เท่ากับ 2 A , กระแสที่ผ่าน $R_2 = 2\text{ A}$ และกระแสที่ผ่าน R_3 ก็เท่ากับ 2 A เช่นเดียวกัน

2-2 การหาค่าความต้านทานรวมในวงจรไฟฟ้าแบบอนุกรม

พิจารณาลักษณะการต่อตัวต้านทานแบบอนุกรมในรูป 2-3 เช่นในรูป 2-3 (a),(b) คือการต่อ R_1 อนุกรมกับ R_2 และต่อเข้ากับแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรง V_T สำหรับรูป 2-3 (c),(d),(e) คือการต่อตัวต้านทาน R_4 , R_5 และ R_6 อนุกรมกัน จะเห็นว่าลักษณะการต่อมีหลายรูปแบบ และผลคือกระแสที่ไหลผ่านความต้านทานทุกตัวยังคงเท่ากัน เป็นกระแสตัวเดียวกัน



รูป 2-3 แสดงการต่อตัวต้านทานในวงจรไฟฟ้าแบบอนุกรมแบบต่างๆ

ถ้าต่อตัวต้านทาน $R_1 = 3 \Omega$ เข้ากับแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงขนาด 10 V ดังรูป 2-4 (a) เมื่อใช้กฎของโอห์มคำนวณค่ากระแส จะได้ว่า

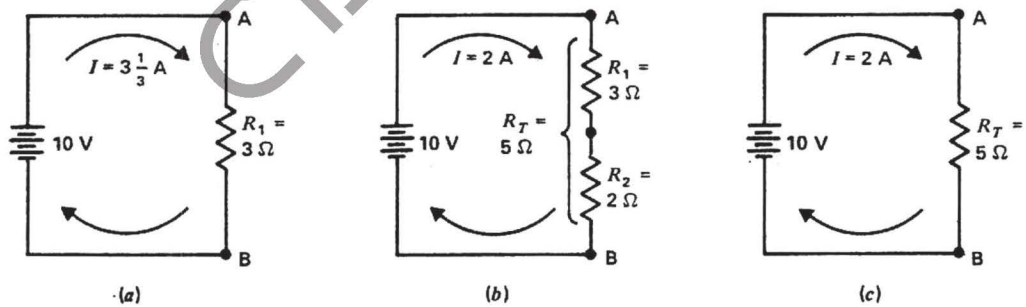
$$\begin{aligned} I &= \frac{V}{R} \\ &= \frac{10 \text{ V}}{3 \Omega} \\ &= 3 \frac{1}{3} \text{ A} \end{aligned}$$

แต่ถ้าต่อตัวต้านทาน $R_2 = 2 \Omega$ อนุกรมเข้ากับ R_1 ตัวแสดงในรูป 2-4 (b) กระแสไฟฟ้าในวงจรจะลดลงเหลือ $I = 2 \text{ A}$ ดังนี้

$$\begin{aligned} I &= \frac{V}{R} \\ &= \frac{10 \text{ V}}{R_1 + R_2} \\ &= \frac{10 \text{ V}}{3 \Omega + 2 \Omega} \end{aligned}$$

$$\therefore I = 2 \text{ A}$$

แสดงว่าค่าความต้านทานรวมในวงจรไฟฟ้าแบบอนุกรมคือผลรวมของ $R_1 + R_2$



รูป 2-4 แสดงการคำนวณหากระแสที่เปลี่ยนแปลงในวงจรไฟฟ้าของแบบอนุกรม

นั่นคือ ถ้าค่าความต้านทานเพิ่มขึ้น กระแสไฟฟ้าในวงจรจะลดลง (ตามกฎของโอห์ม) ดังนั้นรูป 2-4 (b) จึงสามารถเขียนใหม่ได้ดังรูป 2-4 (c) แสดงว่าค่าความต้านทานรวมของวงจร (Total Resistance, R_T) คือผลรวมของตัวต้านทานทุกตัวที่ต่ออนุกรมกันอยู่ในวงจรไฟฟ้าแบบอนุกรม สูตรการคำนวณค่าความต้านทานรวมในวงจรไฟฟ้าแบบอนุกรม คือ

$$R_T = R_1 + R_2 + R_3 + \dots + e + c \dots\dots\dots(2-1)$$

เมื่อสามารถคำนวณค่าความต้านทานรวมในวงจรไฟฟ้าแบบอนุกรมได้ เราสามารถหาค่ากระแสไฟฟ้ารวมในวงจรได้เช่นเดียวกัน ด้วยกฎของโอห์มดังแสดงในสมการ 2-2

$$I = \frac{V_T}{R_T} \dots\dots\dots(2-2)$$

เมื่อ I = กระแสไฟฟ้ารวมในวงจรอนุกรม
 V_T = ค่าแหล่งจ่ายไฟฟ้า
 R_T = ค่าความต้านทานรวม

ตัวอย่าง 2-1 ตัวต้านทาน $R_1 = R_2 = 5 \Omega$ และ $R_3 = 10 \Omega$ ต่ออนุกรมกัน จงคำนวณหาค่าความต้านทานรวมในวงจรแบบอนุกรม

วิธีทำ

$$\begin{aligned} R_T &= R_1 + R_2 + R_3 \\ &= 5 \Omega + 5 \Omega + 10 \Omega \\ \therefore R_T &= 20 \Omega \end{aligned}$$

ตัวอย่าง 2-2 ถ้านำตัวต้านทานในตัวอย่าง 2-1 ต่อเข้ากับแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงค่า 80 V จงคำนวณค่ากระแสที่ไหลผ่าน R_1 , R_2 และ R_3

วิธีทำ

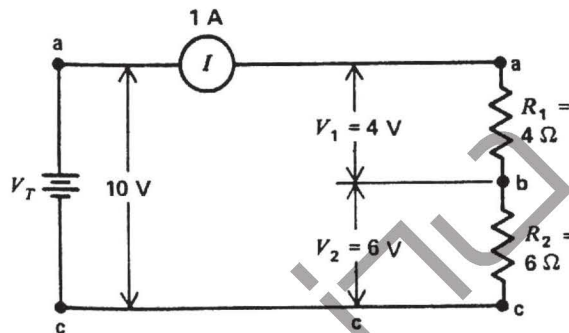
$$\begin{aligned} I &= \frac{V_T}{R_T} \\ &= \frac{80 \text{ V}}{20 \Omega} \end{aligned}$$

$$\therefore I = 4 \text{ A}$$

และกระแสที่ผ่าน R_1 , R_2 , R_3 เท่ากันและเท่ากับ $I = 4 \text{ A}$

2-3 แรงดันตกคร่อมตัวต้านทานในวงจรไฟฟ้าแบบอนุกรม

เนื่องจากในวงจรไฟฟ้าแบบอนุกรม กระแสที่ไหลผ่านตัวต้านทานทุกตัวในวงจรมีค่าเท่ากัน เมื่อพิจารณาจากกฎของโอห์มแล้วจะเห็นว่า แรงดันตกคร่อม (Voltage drop) ที่เกิดกับตัวต้านทานแต่ละตัวนั้น ($V = I \times R$) เท่ากับผลคูณของกระแสที่ผ่านตัวต้านทานกับค่าความต้านทานของตัวต้านทานนั้น ดังแสดงในรูป 2-5



รูป 2-5 แสดงแรงดันตกคร่อมตัวต้านทานในวงจรไฟฟ้าแบบอนุกรม

พิจารณาจากรูป 2-5 แหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรง (V_T) ค่า 10 V ต่อกับตัวต้านทาน $R_1 = 4\ \Omega$ อนุกรมกับตัวต้านทาน $R_2 = 6\ \Omega$ ดังนั้น

$$\begin{aligned} \text{กระแสรวมในวงจร} &= I = \frac{V_T}{R_T} = \frac{V_T}{R_1 + R_2} \\ &= \frac{10\text{ V}}{4\ \Omega + 6\ \Omega} \end{aligned}$$

$$\therefore I = 1\text{ A}$$

$$\begin{aligned} \text{แรงดันตกคร่อม } R_1 &= V_1 = I \times R_1 \\ &= 1\text{ A} \times 4\ \Omega \\ &= 4\text{ V} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{แรงดันตกคร่อม } R_2 &= V_2 = I \times R_2 \\ &= 1\text{ A} \times 6\ \Omega \\ &= 6\text{ V} \end{aligned}$$

จะเห็นว่าค่าแรงดันที่ตกคร่อมตัวต้านทานทุกตัวในวงจรอนุกรมรวมกันแล้วเท่ากับค่าแรงดันของแหล่งจ่ายไฟฟ้าที่จ่ายให้กับวงจร คือ

$$\begin{aligned} V_T &= V_1 + V_2 \\ &= 4 \text{ V} + 6 \text{ V} \\ V_T &= 10 \text{ V} \end{aligned}$$

2-4 การคำนวณค่าแรงดันตกคร่อมในวงจรไฟฟ้าแบบอนุกรม

จากวงจร รูป 2-5 และการคำนวณค่าแรงดันตกคร่อมตัวต้านทานในวงจรไฟฟ้าแบบอนุกรมจะเห็นว่า ตรงกันกับสมการ 2-3

$$V_T = V_1 + V_2 + V_3 + \dots + \text{etc} \dots\dots\dots (2-3)$$

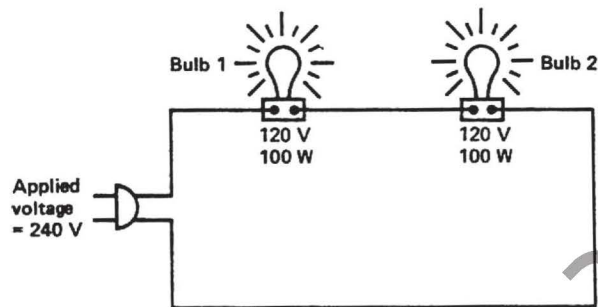
นั่นคือค่าแรงดันจากแหล่งจ่ายไฟฟ้า (V_T) เท่ากับผลรวมของแรงดันตกคร่อมตัวต้านทานทุกตัวรวมกัน

ตัวอย่าง 2-3 วงจรไฟฟ้าอนุกรมตัวต้านทาน 3 ตัว ดังนี้ $R_1 = 20\Omega$, $R_2 = 30\Omega$, $R_3 = 90\Omega$ ต่อกับแหล่งจ่ายไฟฟ้าตัวหนึ่ง ผลปรากฏว่ามีแรงดันจากคร่อม $R_1 = 40 \text{ V}$, ตกคร่อม $R_2 = 60 \text{ V}$ และตกคร่อม $R_3 = 180 \text{ V}$ จงคำนวณค่าแหล่งจ่ายไฟฟ้านี้และกระแสที่แหล่งจ่ายไฟฟ้าจ่ายออกมา

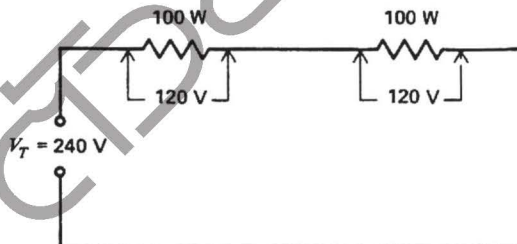
วิธีทำ

$$\begin{aligned} \text{จากสมการ(2-3)} \quad V_T &= V_1 + V_2 + V_3 \\ &= 40 \text{ V} + 60 \text{ V} + 180 \text{ V} \\ \therefore V_T &= 280 \text{ V} \\ \text{เนื่องจาก} \quad R_T &= R_1 + R_2 + R_3 \\ &= 20 \Omega + 30 \Omega + 90 \Omega \\ &= 140 \Omega \\ \text{ดังนั้น} \quad I &= \frac{V_T}{R_T} \\ &= \frac{280 \text{ V}}{140 \Omega} \\ &= 2 \text{ A} \end{aligned}$$

ตัวอย่าง 2-4 วงจรไฟฟ้าอนุกรมประกอบด้วยหลอดไฟฟ้า 2 หลอดมีความต้านทานเท่ากัน มีขนาดกำลังไฟฟ้าหลอดละ 100 W จงคำนวณค่ากระแสที่ผ่านหลอดไฟฟ้าและแรงดันตกคร่อมของหลอดไฟฟ้าแต่ละหลอด



วิธีทำ จากวงจรตามโจทย์กำหนดสามารถเขียนเป็นวงจรไฟฟ้า (Schematic diagram) ได้ดังนี้



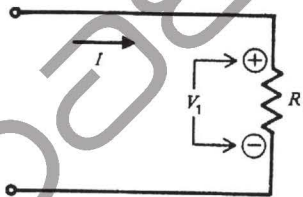
$$\begin{aligned}
 \text{เมื่อ} \quad V_T &= 240 \text{ V} \\
 \text{ดังนั้น} \quad V_1 &= V_2 = \frac{V_T}{2} \\
 &= \frac{240 \text{ V}}{2}
 \end{aligned}$$

$$\therefore \text{แรงดันตกคร่อมแต่ละหลอด} = 120 \text{ V}$$

$$\begin{aligned}
 \text{กระแสที่ผ่านหลอดที่ 1 คือ } I &= \frac{P}{V} \\
 &= \frac{100 \text{ W}}{120 \text{ V}} \\
 &= 0.833 \text{ A} \\
 \text{กระแสที่ผ่านหลอดที่ 2 เท่ากับ } I &= 0.833 \text{ A ด้วย}
 \end{aligned}$$

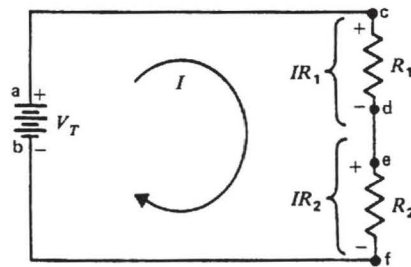
2-5 ขั้วของแรงดันตกคร่อมในวงจรไฟฟ้าแบบอนุกรม

ในวงจรไฟฟ้าโดยทั่วไป ขั้วของแรงดันตกคร่อมที่เกิดขึ้นกับตัวต้านทานใดๆ ที่ต่ออยู่ในวงจรขึ้นอยู่กับทิศทางของกระแสที่ไหลผ่านตัวต้านทานนั้น คือ จะเกิดขั้วบวก (+) ในตำแหน่งที่กระแสไหลเข้า และเกิดขั้วลบ (-) ในตำแหน่งที่กระแสไหลออก ดังแสดงในรูป 2-6



รูป 2-6 แสดงขั้วของแรงดันตกคร่อมตัวต้านทานที่เกิดขึ้นเมื่อมีกระแสไฟฟ้าไหลผ่าน

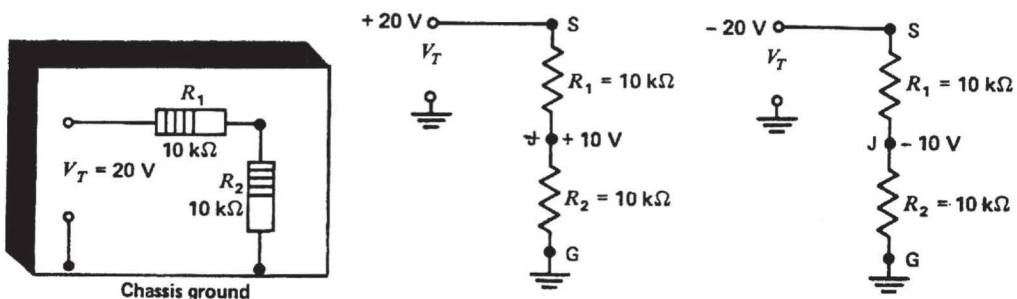
ในกรณีที่มีตัวต้านทานต่ออนุกรมกัน ดังแสดงในรูป 2-7 มีตัวต้านทาน R_1 ต่ออนุกรมกับ R_2 และต่อกับแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรง V_T จะเกิดกระแส (I) ไหลออกมาที่ขั้วบวก (+) ของ V_T ผ่าน R_1 และ R_2 และไหลกลับมาเข้าขั้วลบ (-) ของ V_T กระแส I จะทำให้เกิดแรงดันตกคร่อม ตัวต้านทาน R_1 เท่ากับ $I \times R_1$ และมีขั้วบวกที่จุด c ขั้วลบที่จุด d และกระแส I ก็ไหลผ่าน R_2 ทำให้เกิดแรงดันตกคร่อม R_2 เท่ากับ $I \times R_2$ มีขั้วบวกของแรงดันที่จุด e (หรือ d) และมีขั้วลบของแรงดันที่จุด f ดังแสดงในรูป 2-7



รูป 2-7 แสดงชื่อของแรงดันตกคร่อมในวงจรไฟฟ้าแบบอนุกรม

2-6 ขั้วของแรงดันตกคร่อมตัวต้านทานในวงจรไฟฟ้าที่มีจุดดิน

ในวงจรไฟฟ้าของงานบางชนิดเช่น วงจรไฟฟ้าภายในเครื่องรับวิทยุ เครื่องขยายเสียง ฯลฯ เนื่องจากมีวงจรการต่ออุปกรณ์ทางไฟฟ้าที่ซับซ้อนจึงนิยมต่อขั้วใดขั้วหนึ่งของแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงลงที่จุดเดียวกัน เรียกว่าจุดดิน (Ground) และต่อเข้ากับโครงที่เป็นโลหะของเครื่องไฟฟ้านั้น เรียกว่าจุดดินที่ตัวถัง (Chassis-Ground) ดังแสดงในรูป 2-8 (a) เป็นการต่อตัวต้านทานอนุกรม 2 ตัว คือ $R_1 = 10 \text{ k}\Omega$ และ $R_2 = 10 \text{ k}\Omega$ โดยต่อ R_1 เข้ากับขั้วหนึ่งของแหล่งจ่ายไฟฟ้า V_T (อาจเป็นขั้วบวก (+)) และขั้วลบ (-) ของ V_T ต่อลงจุดดิน และต่อขั้วของ R_2 ที่ไม่ได้ต่อกับ R_1 ลงจุดดิน (แสดงว่าต่อกับขั้วลบของ V_T) วงจรจึงครบวงจร

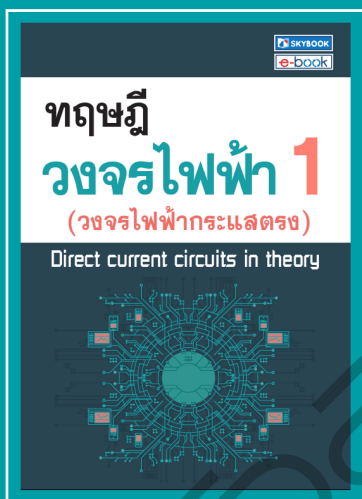


รูป 2-8 (a) แสดงการต่อตัวต้านทานลงจุดดิน

(b) แสดงวงจรไฟฟ้าของรูป (a) และชื่อของแรงดันตกคร่อมตัวต้านทาน

(c) แสดงการต่อขั้วบวกของแหล่งจ่ายลงจุดดิน และชื่อของแรงดันตกคร่อมตัวต้านทาน

แนะนำหนังสือ



ทฤษฎีวงจรไฟฟ้า 1
(วงจรไฟฟ้ากระแสตรง)



ปฏิบัติวงจรไฟฟ้า 1
(วงจรไฟฟ้ากระแสตรง)

จัดพิมพ์และจำหน่ายโดย



บริษัท สกายบุ๊กส์ จำกัด
SKYBOOK COMPANY LIMITED
28, 30, 32 ซอยรังสิต-ปทุมธานี 16 ซอย 7
ต.ประชาธิปัตย์ อ.ธัญบุรี จ.ปทุมธานี 12130
โทรศัพท์ 0-2958-1123, 0-2958-1127 www.skybook.co.th
e-mail: sales@skybook.co.th, saleskybook@gmail.com

e-book

หมวดงานอาชีพ
ทฤษฎีวงจรไฟฟ้า
(วงจรไฟฟ้ากระแสตรง)

ISBN : 978-616-596-231-5



9 786165 962315

ราคา 300 บาท