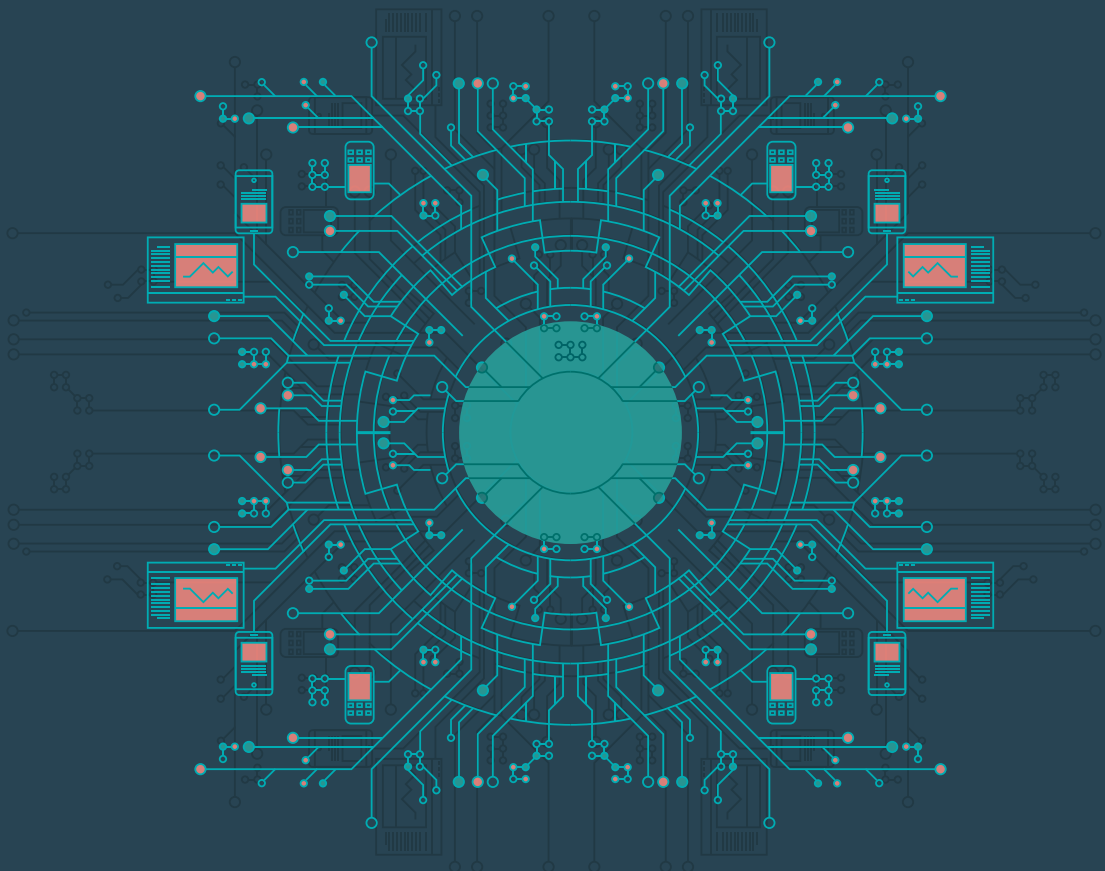


ทฤษฎี วงจรไฟฟ้า 1

(วงจรไฟฟ้ากระแสตรง)

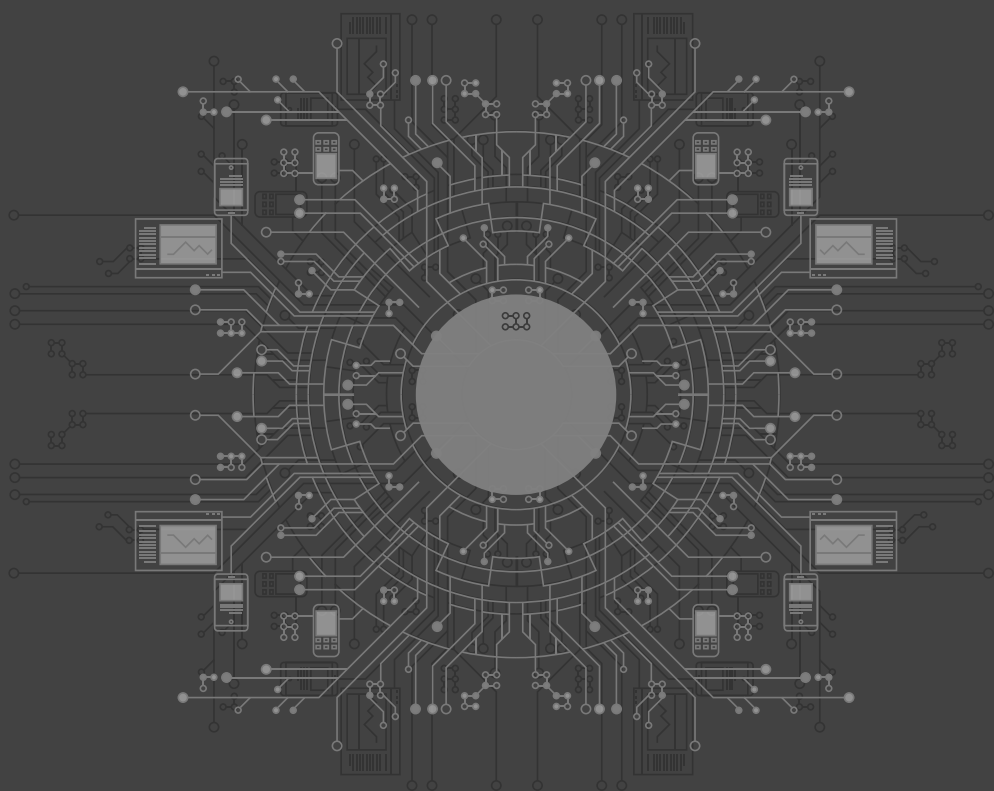
Direct current circuits in theory



ทฤษฎี วงจรไฟฟ้า 1

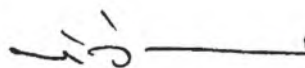
(วงจรไฟฟ้ากระแสตรง)

Direct current circuits in theory



คำนิพน บุณยก

อาจารย์จิระวัฒน์ ใจอ่อนนุ่ม ได้ทำประโยชน์ครั้งยิ่งใหญ่ต่อวงการอาชีวศึกษาของประเทศไทยทางด้านวิชาการ ได้เผยแพร่ตำราทางวิชาการเป็นภาษาไทยที่สอดคล้องกับหลักสูตรระดับประกาศนียบัตรวิชาชีพของกระทรวงศึกษาธิการ และอาจารย์ยังได้สละเวลาค้นคว้าข้อมูลด้วยความเพียร จนหนังสือทฤษฎีวงจรไฟฟ้า 1 (วงจรไฟฟ้ากระแสตรง) ถูกจัดพิมพ์ออกมาเป็นรูปเล่มที่สวยงาม และเต็มไปด้วยความสมบูรณ์ของเนื้อหา และขอให้อาจารย์พยายามค้นคว้าเอกสารวิชาการเพิ่มขึ้น เพื่อจะได้นำเสนอผลงานทางวิชาการเข้าสู่วงการอาชีวศึกษาอย่างต่อเนื่อง เพื่อประโยชน์แก่การพัฒนาอาชีวศึกษาของชาติในอนาคต



(นายณภัทร วัจนเทพินทร์)

อาจารย์ 3 ระดับ 7

หัวหน้าแผนกช่างไฟฟ้า

สถาบันเทคโนโลยีราชมงคล

วิทยาเขตนนทบุรี

คำนำ

มุก

หนังสือทฤษฎีวงจรไฟฟ้า 1 (วงจรไฟฟ้ากระแสตรง) เล่มนี้ เรียบเรียงขึ้นเพื่อให้มีเนื้อหา สอดคล้องและครอบคลุมหลักสูตรระดับประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง สาขาไฟฟ้า สาขาอิเล็กทรอนิกส์ และสาขาคอมพิวเตอร์ ซึ่งวิชาเรียนดังกล่าวเป็นวิชาพื้นฐานที่สำคัญ มีเนื้อหาทั้งสิ้น 16 บทเรียน โดยบทเรียนที่ 1 - 6 เป็นเนื้อหาพื้นฐานวงจรไฟฟ้าซึ่งทบทวนความรู้เดิมในระดับประกาศนียบัตร วิชาชีพ (ปวช.) เนื้อหาบทที่ 7 - 12 เป็นเนื้อหาเกี่ยวกับการวิเคราะห์วงจรโครงข่ายที่ซับซ้อนและมี ทฤษฎีการวิเคราะห์ที่แตกต่างกัน สำหรับบทที่ 13 - 16 เป็นการวิเคราะห์กำลังไฟฟ้าและแม่เหล็ก รวมทั้งการวิเคราะห์และคำนวณหาค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ของวงจร RL และ RC ในสภาวะชั่วขณะ และสภาวะคงตัว ซึ่งมีความสำคัญมากสำหรับนักศึกษาในระดับประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง

ผู้เรียบเรียงหวังว่าหนังสือเล่มนี้คงก่อให้เกิดประโยชน์บ้างไม่มากนักน้อย และหากมีข้อ บกพร่องประการใดขอได้โปรดแจ้งแก่ผู้เรียบเรียงและสำนักพิมพ์สกายบุ๊กส์ เพื่อดำเนินการปรับปรุง แก้ไขต่อไป

ผู้เรียบเรียง
จิระวัฒน์ ใจอ่อนน้อม

สารบัญ

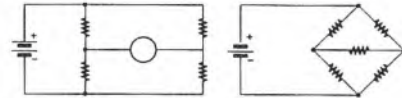
กฎกติกา

บทที่ 1	กฎของโอห์ม	7
	แบบฝึกหัดบทที่ 1	21
บทที่ 2	วงจรไฟฟ้าแบบอนุกรม	25
	แบบฝึกหัดบทที่ 2	43
บทที่ 3	วงจรไฟฟ้าแบบขนาน	49
	แบบฝึกหัดบทที่ 3	68
บทที่ 4	วงจรไฟฟ้าแบบอนุกรม – ขนาน	73
	แบบฝึกหัดบทที่ 4	90
บทที่ 5	วงจรแบ่งแรงดันและวงจรกระแส	99
	แบบฝึกหัดบทที่ 5	113
บทที่ 6	การแปลงโครงข่ายแบบวายและเดลต้า	117
	แบบฝึกหัดบทที่ 6	131
บทที่ 7	กฎของเคอร์ชอฟฟ์	135
	แบบฝึกหัดบทที่ 7	148
บทที่ 8	ทฤษฎีกระแสเมช	155
	แบบฝึกหัดบทที่ 8	170
บทที่ 9	ทฤษฎีแรงดันโนด	177
	แบบฝึกหัดบทที่ 9	197
บทที่ 10	ทฤษฎีซูเปอร์โพสิชัน	203
	แบบฝึกหัดบทที่ 10	222
บทที่ 11	ทฤษฎีเทเวนิน	229
	แบบฝึกหัดบทที่ 11	247

บทที่ 12 ทฤษฎีของนอร์ตัน	255
แบบฝึกหัดบทที่ 12	270
บทที่ 13 ทฤษฎีการส่งผ่านกำลังไฟฟ้าสูงสุด	277
แบบฝึกหัดบทที่ 13	292
บทที่ 14 วงจรแม่เหล็ก	301
แบบฝึกหัดบทที่ 14	317
บทที่ 15 วงจรตัวต้านทาน - ตัวเก็บประจุ ในสภาวะชั่วขณะและสภาวะคงตัว	323
แบบฝึกหัดบทที่ 15	349
บทที่ 16 วงจรตัวต้านทาน - ตัวเหนี่ยวนำ ในสภาวะชั่วขณะและสภาวะคงตัว	353
แบบฝึกหัดบทที่ 16	375

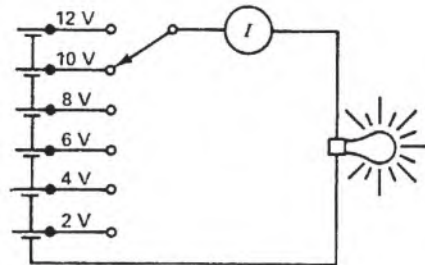
1

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 อัตราส่วนระหว่างค่าแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงกับค่าความต้านทานในวงจรไฟฟ้านั้น ดังสมการ 1-1

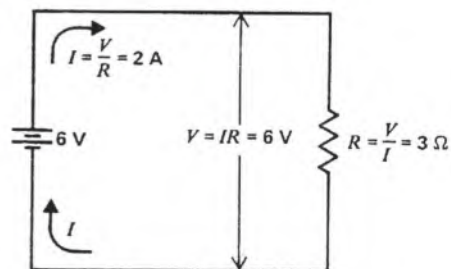
$$I = \frac{V}{R} \quad \dots\dots\dots (1-1)$$

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) วงจรไฟฟ้าง่ายๆจะมีกระแสไฟฟ้า (I) ไหลผ่านตัวต้านทาน (R) ดังนี้

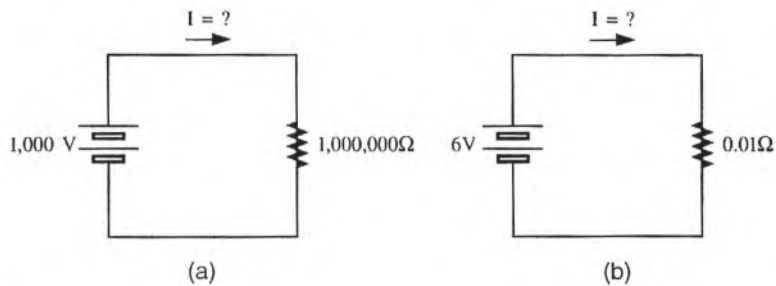
$$\begin{aligned} I &= \frac{V}{R} \\ &= \frac{6 \text{ V}}{3 \Omega} \\ &= 2 \text{ A} \end{aligned}$$



(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 ต่อ
กับไฟฟ้า 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

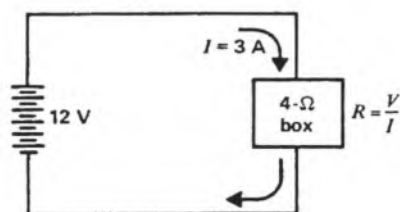
ค่าความต้านทานไฟฟ้า คืออัตราส่วนระหว่างค่าแรงดันไฟฟ้าที่ตกคร่อมตัวต้านทานกับค่ากระแสไฟฟ้าที่ผ่านตัวต้านทานนั้น จากสมการ (1-2) สามารถหาค่า R ได้ดังสมการ (1-3)

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

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

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

ตัวอย่าง 1-7 จะเกิดกระแสเท่าไรเมื่อแหล่งจ่ายขนาด 60 V จ่ายให้กับตัวต้านทานค่า 12 k Ω

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

หมายเหตุ : เมื่อพบโจทย์วงจรไฟฟ้าที่มีการใช้พหุคูณหน่วย ในการคำนวณเราจะพบบ่อยครั้ง ดังตัวอย่างต่อไปนี้

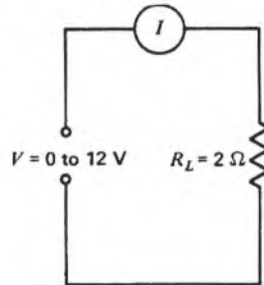
$$\text{ค่ากระแสจะมีหน่วยเป็น mA เมื่อ} = \frac{V}{\text{k}\Omega}$$

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

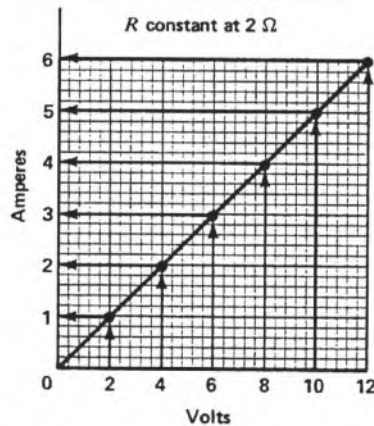
$$\begin{aligned}
 \text{ค่าแรงดันเท่ากับ Volts เมื่อ} &= \text{mA} \times \text{k}\Omega \\
 \text{หรือ} &= \mu\text{A} \times \text{M}\Omega
 \end{aligned}$$

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



Volts	Ohms	Amperes
0	2	0
2	2	1
4	2	2
6	2	3
8	2	4
10	2	5
12	2	6



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) เส้นกราฟมีลักษณะเป็นเส้นตรงที่มีความลาดเอียง เปลี่ยนแปลงในลักษณะต่อเนื่องแบบเชิงเส้น (Linear) กราฟในรูป 1-4 (c) เรียกว่า กราฟลักษณะสมบัติของกระแสและแรงดัน (Voltampere Characteristic)

1-6 กำลังไฟฟ้า

กำลังไฟฟ้ามีหน่วยเป็นวัตต์ (Watts) ซึ่งนำมาจากชื่อของเจมส์ วัตต์ (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 และค่ากำลังไฟฟ้าที่เกิดกับตัวต้านทาน (Power dissipation in R) จะเท่ากับสมการ 1-7

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

$$P = I^2 \times R \quad \dots\dots\dots (1-7)$$

สูตรการคำนวณค่ากำลังไฟฟ้าที่เกิดขึ้นกับตัวต้านทาน สามารถเขียนได้อีกรูปแบบหนึ่ง ดังสมการ 1-8

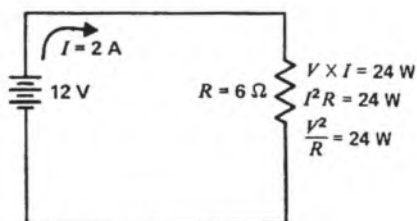
$$\begin{aligned} P &= V \times I \\ \text{แต่ } I &= \frac{V}{R} \\ P &= V \times \frac{V}{R} \end{aligned}$$

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

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

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

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



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

วิธีทำ จากสมการ

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

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 จงหาค่าความต้านทานของหลอดความร้อน 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

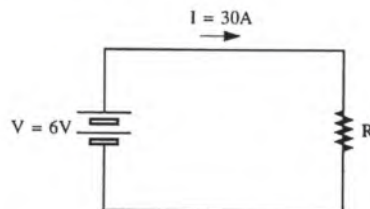
ตอนที่ 1 จงเติมค่าปริมาณทางไฟฟ้าลงในช่องว่างให้สมบูรณ์

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

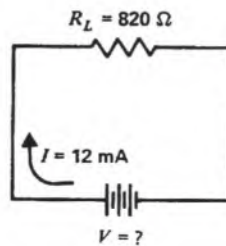
1. แรงดันไฟฟ้ากระแสตรง 60V ต่อกับตัวต้านทาน 30 k Ω
 - (a) จงสเก็ชภาพวงจรไฟฟ้า
 - (b) คำนวณค่ากระแสไฟฟ้าที่ผ่านตัวต้านทาน
 - (c) ค่าตัวต้านทานมีค่าเพิ่มขึ้น 2 เท่า จงคำนวณค่ากระแสที่แหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงจ่ายออกมา
2. แบตเตอรี่ขนาด 12 V ต่อเข้ากับตัวต้านทานค่า 2 Ω
 - (a) สเก็ชภาพวงจรไฟฟ้า
 - (b) คำนวณกำลังไฟฟ้าที่เกิดกับตัวต้านทาน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

4. จงแปลงหน่วยต่างๆ ให้อยู่ในรูป 10^x (ยกกำลัง)
- 12 mA เป็น A
 - 5000 V เป็น kV
 - $\frac{1}{2}$ M Ω เป็น Ω
 - 100,000 Ω เป็น M Ω
 - $\frac{1}{2}$ A เป็น mA
 - 9,000 μ s เป็น s
 - 1,000 μ A เป็น mA
 - 5 k Ω เป็น Ω
 - 8 ns เป็น s
5. แบตเตอรี่หนึ่งตัวกับตัวต้านทาน 6 Ω เกิดกระแสไหลในวงจร 2 A
- แรงดันที่แบตเตอรี่มีค่าเท่าไร
 - คำนวณค่ากำลังไฟฟ้าที่เกิดขึ้นที่ตัวต้านทาน
 - คำนวณค่ากำลังไฟฟ้าที่แบตเตอรี่จ่ายออกมา
6. วงจรไฟฟ้ากระแสตรงวงจรหนึ่ง ดังรูป



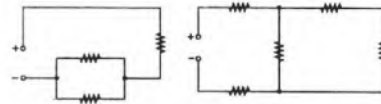
- ค่าความต้านทานของ R เท่าไร
 - กำลังไฟฟ้าที่ R เท่าไร
7. แหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงตัวหนึ่งจ่ายกระแส 1 mA ผ่านตัวต้านทาน i M Ω ค่าแรงดันไฟฟ้าของแหล่งจ่ายนี้ มีค่าเท่าไร
8. จงคำนวณค่ากระแสไฟฟ้าในหน่วยของแอมป์ (A)
- แรงดัน 45V จ่ายให้ตัวต้านทาน 68 k Ω
 - แรงดัน 250V จ่ายให้ตัวต้านทาน 12 M Ω
 - กำลังไฟฟ้า 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



2

วงจรไฟฟ้าแบบอนุกรม

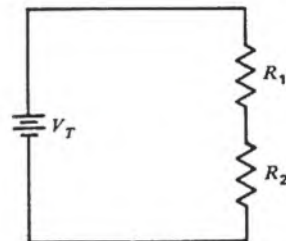


2-1 การต่อวงจรไฟฟ้าแบบอนุกรม

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



(a)

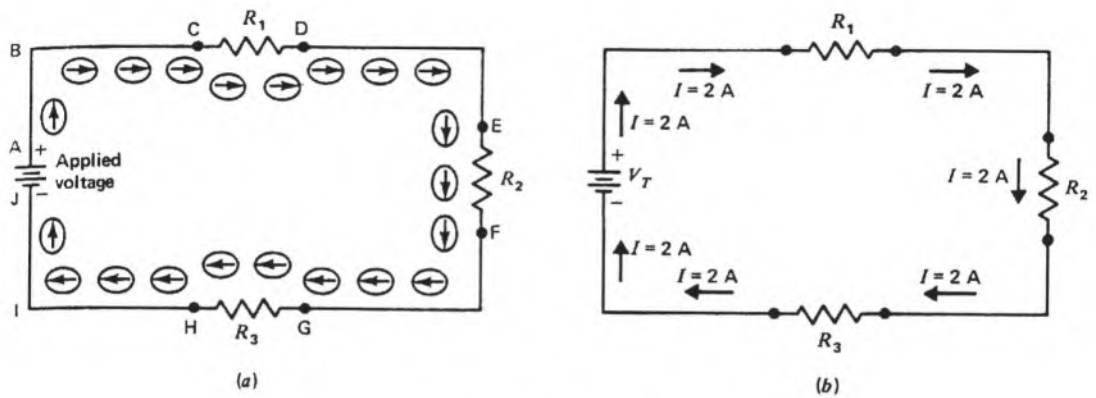


(b)

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

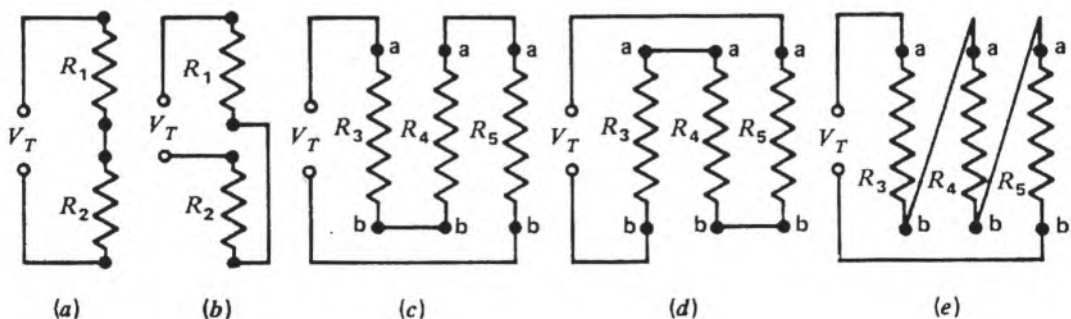


รูป 2-2 (a) แสดงอิเล็กตรอนที่ไหลในวงจรไฟฟ้าแบบอนุกรม
(b) แสดงกระแสไฟฟ้าที่ไหลในวงจรไฟฟ้าแบบอนุกรม

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

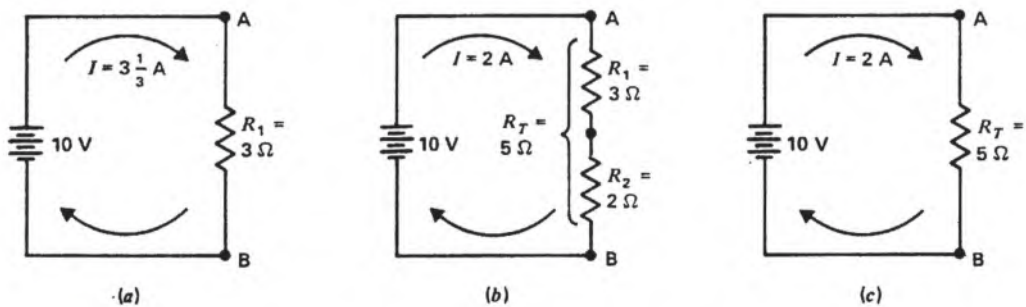
$$\begin{aligned} I &= \frac{V}{R} \\ &= \frac{10 \text{ V}}{3 \Omega} \\ &= 3 \frac{1}{3} \text{ A} \end{aligned}$$

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

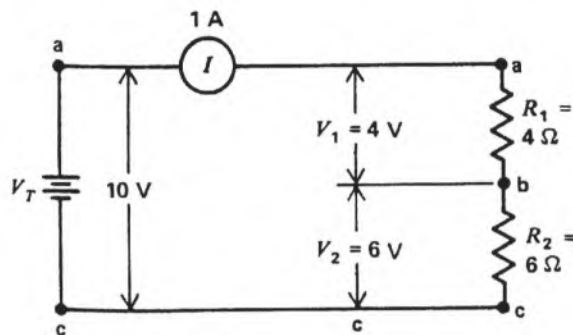
$$\begin{aligned} I &= \frac{V_T}{R_T} \\ &= \frac{80 \text{ V}}{20 \Omega} \end{aligned}$$

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

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

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

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

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

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

จะเห็นว่าค่าแรงดันที่ตกคร่อมตัวต้านทานทุกตัวในวงจรอนุกรมร่วมกันแล้วเท่ากับค่าแรงดันของแหล่งจ่ายไฟฟ้าที่จ่ายให้กับวงจร 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

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

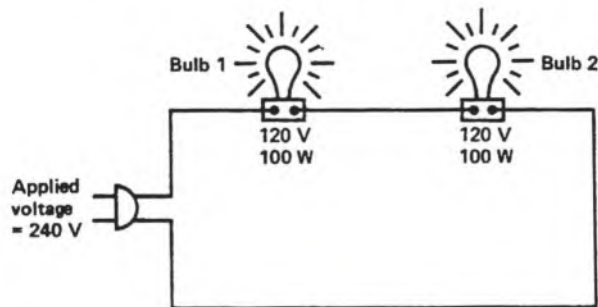
นั่นคือค่าแรงดันจากแหล่งจ่ายไฟฟ้า (V_T) เท่ากับผลรวมของแรงดันตกคร่อมตัวต้านทานทุกตัวรวมกัน

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

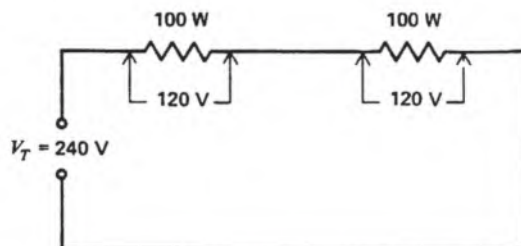
วิธีทำ

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

ตัวอย่าง 2-4 วงจรไฟฟ้าอนุกรมประกอบด้วยหลอดไฟฟ้า 2 หลอดมีความต้านทานเท่ากัน มีขนาดกำลังไฟฟ้าหลอดละ 100 W จงคำนวณค่ากระแสที่ผ่านหลอดไฟฟ้าและแรงดันตกคร่อมของหลอดไฟฟ้าแต่ละหลอด



วิธีทำ จากวงจรตามโจทย์กำหนด สามารถเขียนเป็นวงจรไฟฟ้า (Schematic diagram) ได้ดังนี้



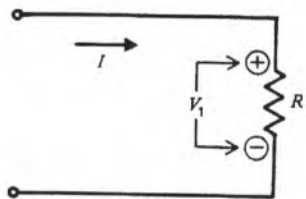
$$\begin{aligned}
 \text{เมื่อ} \quad V_T &= 240 \text{ V} \\
 \text{ดังนั้น} \quad V_1 &= V_2 = \frac{V_T}{2} \\
 &= \frac{240 \text{ V}}{2}
 \end{aligned}$$

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

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

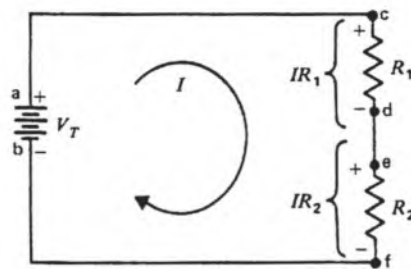
2-5 ขั้วของแรงดันตกคร่อมในวงจรไฟฟ้าแบบอนุกรม

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



รูป 2-6 แสดงขั้วของแรงดันตกคร่อมตัวต้านทานที่เกิดขึ้นเมื่อมีกระแสไฟฟ้าไหลผ่าน

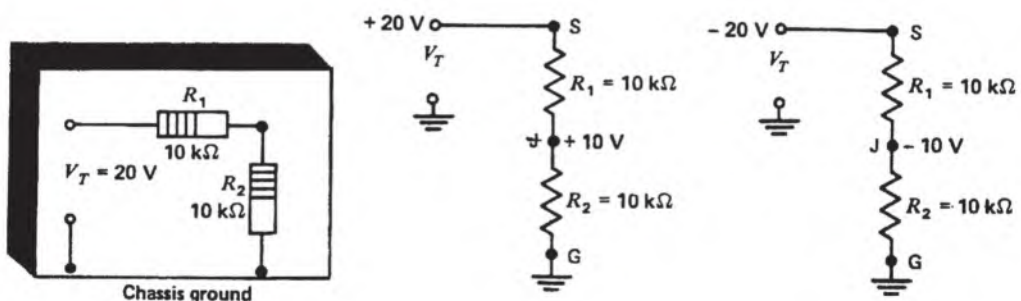
ในกรณีที่มิตัวต้านทานต่ออนุกรมกัน ดังแสดงในรูป 2-7 มีตัวต้านทาน R_1 ต่ออนุกรมกับ R_2 และต่อกับแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรง V_T จะเกิดกระแส (I) ไหลออกมาที่ขั้วบวก (+) ของ V_T ผ่าน R_1 และ R_2 และไหลกลับมาเข้าขั้วลบ (-) ของ V_T กระแส I จะทำให้เกิดแรงดันตกคร่อม ตัวต้านทาน R_1 เท่ากับ $I \times R_1$ และมีขั้วบวกที่จุด 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 ชื่อของแรงดันตกคร่อมตัวต้านทานในวงจรไฟฟ้าที่มีจุดดิน

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

การวัดค่าแรงดันตกคร่อมที่จุดต่างๆ ของวงจรเทียบกับจุดดิน ทำได้โดยใช้โวลต์มิเตอร์ วัดค่า กรณีรูป 2-8 (b) เป็นการต่อขั้วลบของแหล่งจ่ายร่วมกันที่จุดดิน จะต้องต่อสายขั้วลบ(-) ของมิเตอร์เข้ากับจุดดินและใช้สายต่อขั้วบวก(+) ของมิเตอร์วัดค่าแรงดันตกคร่อมที่จุดต่างๆ ของวงจรเช่น วัดที่จุด S คือ ค่าแรงดัน V_T หรือค่าของแรงดันตกคร่อม R_1+R_2 จะวัดได้ค่าแรงดันที่จุด S เทียบกับจุดดิน (G) เท่ากับ + 20 โวลต์ ถ้าทำการย้ายสายต่อขั้วบวก(+) ของมิเตอร์มาวัดที่จุด J โดยสายต่อขั้วลบ (-) ยังคงอยู่ที่จุดดิน (G) ค่าแรงดันที่วัดได้คือแรงดันตกคร่อม R_2 มีค่าเท่ากับ 10V กรณีวงจรที่แสดงในรูป 2-8 (c) เป็นวงจรที่ต่อขั้วบวก(+) แหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรง (V_T) เข้ากับจุดดิน (G) และต่อขั้วลบ (-) ของแหล่งจ่าย V_T เข้ากับวงจรที่จุด S เมื่อใช้โวลต์มิเตอร์ไฟตรงวัดค่าแรงดัน ให้ต่อสายต่อขั้วลบ (-) ของมิเตอร์เข้ากับจุดดิน (G) เช่นเดิม และใช้สายบวก (+) วัดที่จุด S จะอ่านค่าได้เท่ากับ -20V คือ ค่าของแหล่งจ่าย V_T หรือคือค่าของแรงดันตกคร่อม R_1+R_2 เมื่อย้ายสายต่อขั้วบวก(+) ของมิเตอร์ มาวัดค่าแรงดันตกคร่อมวงจรที่จุด J ปรากฏว่าชนิดค่าแรงดันได้เท่ากับ - 10 V

2-7 กำลังไฟฟ้าในวงจรไฟฟ้าแบบอนุกรม

ดังที่กล่าวมาแล้วในหัวข้อ 2-4 ตามสมการ (2-3) คือ แรงดันไฟฟ้าในวงจรไฟฟ้าแบบอนุกรมจะเป็นดังนี้

$$V_T = V_1 + V_2 + V_3 + \dots + \text{etc}$$

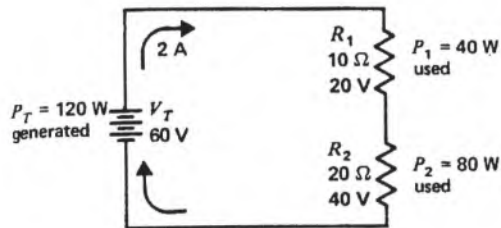
เนื่องจากค่ากระแสไฟฟ้า (I) ที่ไหลในวงจรมีค่าเท่ากันและมีเพียงค่าเดียวดังนั้นนำ (I) คูณตลอดในสมการ (2-3)

$$\begin{aligned} V_T \times I &= V_1 \times I + V_2 \times I + V_3 \times I + \dots + \text{etc} \\ \text{เพราะว่า } P &= V \times I \end{aligned}$$

ดังนั้น	P_T	=	$P_1 + P_2 + P_3 + \dots + \text{etc} \dots \dots \dots$	(2-4)
---------	-------	---	--	-------

$$\begin{aligned} \text{เมื่อ } P_T &= \text{กำลังไฟฟ้ารวมที่จ่ายมาจากแหล่งต่อไฟฟ้า (V_T)} \\ P_1 &= \text{กำลังไฟฟ้าที่เกิดกับตัวต้านทาน (R_1)} \\ P_2 &= \text{กำลังไฟฟ้าที่เกิดกับตัวต้านทาน (R_2)} \\ P_3 &= \text{กำลังไฟฟ้าที่เกิดกับตัวต้านทาน (R_3)} \end{aligned}$$

จะเห็นว่าจากสมการ (2-4) กำลังไฟฟ้าที่เกิดขึ้นกับตัวต้านทานทุกตัวในวงจรไฟฟ้าแบบอนุกรม เมื่อนำมาบวกกันจะเท่ากับกำลังไฟฟ้ารวมที่ต่อออกมาจากแหล่งจ่ายไฟฟ้า (V_T)



รูป 2-9 แสดงค่ากำลังไฟฟ้าในวงจรไฟฟ้าแบบอนุกรม

พิจารณารูป 2-9 เมื่อต่อ $R_1 = 10\ \Omega$ อนุกรมกับ $R_2 = 20\ \Omega$ และต่อกับแหล่งจ่ายไฟฟ้า กระแสตรง $V_T = 60\text{ V}$ จะได้ว่า

$$\begin{aligned} I &= \frac{V_T}{R_T} = \frac{V_T}{R_1 + R_2} \\ &= \frac{60\text{ V}}{10\ \Omega + 20\ \Omega} \\ &= \frac{60\text{ V}}{30\ \Omega} \end{aligned}$$

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

เพราะว่า $V_1 = I \times R_1$
 $= 2\text{ A} \times 10\ \Omega$

$$\therefore V_1 = 20\text{ V}$$

เพราะว่า $V_2 = I \times R_2$
 $= 2\text{ A} \times 20\ \Omega$

$$V_2 = 40\text{ V}$$

เพราะว่า $P_1 = V_1 \times I$
 $= 20\text{ V} \times 2\text{ A}$

$$P_1 = 40\text{ W}$$

เพราะว่า $P_2 = V_2 \times I$
 $= 40\text{ V} \times 2\text{ A}$

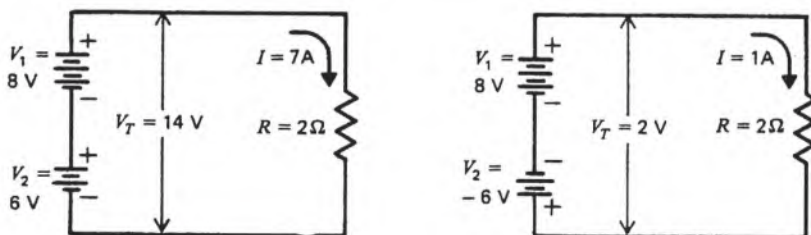
$$\therefore P_2 = 80\text{ W}$$

$$\begin{aligned}
 \text{จากสมการ (2-4) ดังนั้น} \quad P_T &= P_1 + P_2 \\
 &= 40 \text{ W} + 80 \text{ W} \\
 \therefore P_T &= 120 \text{ W} \\
 \text{หรือ คำนวณค่า } P_T \text{ จากสมการ} \\
 P_T &= V_T \times I \\
 &= 60 \text{ V} \times 2 \text{ A} \\
 \therefore P_T &= 120 \text{ W}
 \end{aligned}$$

2-8 วงจรไฟฟ้าแบบอนุกรมที่มีแหล่งจ่ายหลายตัวต่ออนุกรม

ในกรณีที่วงจรไฟฟ้าแบบอนุกรม มีแหล่งจ่ายไฟฟ้าต่ออนุกรมกันอยู่มากกว่า 1 ตัวค่าแหล่งจ่ายไฟฟ้ารวม (V_T) ของวงจรจะเท่ากับผลบวกของค่าแหล่งจ่ายไฟฟ้าแต่ละตัว โดยพิจารณาขั้วของแหล่งจ่าย ในการบวกเพื่อหาค่าของแรงดัน V_T ด้วย ในรูป 2-10 (a) มีแหล่งจ่ายไฟฟ้า $V_1 = 8 \text{ V}$ ต่ออนุกรมกับแหล่งจ่ายไฟฟ้า $V_2 = 6 \text{ V}$ โดยต่อขั้วลบ (-) ของ V_1 กับขั้วบวก (+) ของ V_2 ดังนั้น

$$\begin{aligned}
 V_T &= V_1 + V_2 \\
 &= +8 \text{ V} + (+6 \text{ V}) \\
 \therefore V_T &= +14 \text{ V} \\
 \text{กระแสรวมในวงจร} = I &= \frac{V_T}{R_T} \\
 &= \frac{14 \text{ V}}{2 \Omega} \\
 \therefore I &= 7 \text{ A}
 \end{aligned}$$



รูป 2-10 แสดงการต่อแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรง 2 ตัวอนุกรมกันในวงจรไฟฟ้า

ถ้าต่อขั้วแหล่งจ่ายกลับจากเดิม เช่นในวงจร 2-10 (b) โดยต่อขั้วลบ (-) ของแหล่งจ่ายไฟฟ้า V_1 เข้ากับขั้วลบ (-) ของแหล่งจ่ายไฟฟ้า V_2 ค่าแหล่งจ่ายไฟฟ้ารวมของวงจร (V_T) จะคำนวณได้ดังนี้

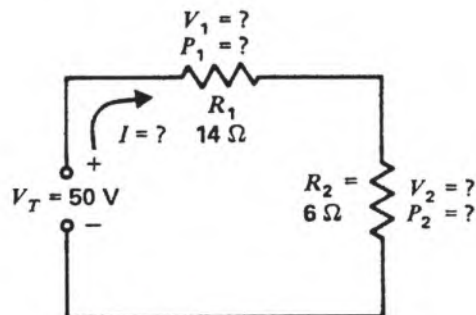
$$\begin{aligned}
 V_T &= V_1 + V_2 \\
 &= +8 \text{ V} + (-6 \text{ V}) \\
 \therefore V_T &= +2 \text{ V} \\
 \text{กระแสไฟฟ้ารวมในวงจร } I &= \frac{V_T}{R_T} \\
 &= \frac{2 \text{ V}}{2 \Omega} \\
 \therefore I &= 1 \text{ A}
 \end{aligned}$$

2-8 วิเคราะห์วงจรไฟฟ้าแบบอนุกรม

หลักการทั่วไปที่ใช้ในการวิเคราะห์วงจรไฟฟ้ากระแสตรงแบบอนุกรมอาจกล่าวสรุปได้ 2 ข้อ ดังลำดับต่อไปนี้

1. ต้องพยายามหาค่ากระแส (I) ในวงจรให้ได้ เพราะกระแสไฟฟ้าจะทำให้สามารถคำนวณค่าแรงดันตกคร่อมและกำลังไฟฟ้าในวงจรได้
2. หรือต้องพยายามหาค่าความต้านทานรวม (R_T) ของวงจรให้ได้เพื่อนำไปหาค่ากระแสที่ไหลในวงจร

ตัวอย่าง 2-5 จากวงจรไฟฟ้าแบบอนุกรมต่อไปนี้ จงแสดงวิธีการคำนวณหาค่ากระแสไฟฟ้าในวงจร, แรงดันตกคร่อมตัวต้านทานในวงจร และกำลังไฟฟ้าที่เกิดขึ้นกับตัวต้านทานในวงจร



วิธีทำ กรณีนี้รู้ค่า R_T ให้หาค่าของ I

$$\begin{aligned} \text{ดังนั้น } I &= \frac{V_1}{R_1} \\ &= \frac{50 \text{ V}}{14 \Omega + 6 \Omega} \\ \therefore I &= 2.5 \text{ A} \end{aligned}$$

เพราะว่า $V_1 = I \times R_1$

$$\begin{aligned} &= 2.5 \text{ A} \times 14 \Omega \\ V_1 &= 35 \text{ V} \end{aligned}$$

เพราะว่า $V_2 = I \times R_2$

$$\begin{aligned} &= 2.5 \text{ A} \times 6 \Omega \\ \therefore V_2 &= 15 \text{ V} \end{aligned}$$

กำลังไฟฟ้า $P_1 = V_1 \times I$

$$\begin{aligned} &= 35 \text{ V} \times 2.5 \text{ A} \\ \therefore P_1 &= 87.5 \text{ W} \end{aligned}$$

และ $P_2 = V_2 \times I$

$$\begin{aligned} &= 15 \text{ V} \times 2.5 \text{ A} \\ \therefore P_2 &= 37.5 \text{ W} \end{aligned}$$

ตัวอย่าง 2-6 วงจรไฟฟ้าแบบอนุกรมต่อตัวต้านทาน $R_1 = 10 \text{ k}\Omega$, $R_2 = 30 \text{ k}\Omega$ และ R_3 ไม่ทราบค่า ต่อกับแหล่งจ่ายไฟฟ้าขนาด 180 V เกิดกระแสไหล 3 mA ดังแสดงในรูป จงคำนวณหาค่า R_3

