

บทที่ 4

ไฟฟ้ากระแสตรง

ปลาไหลไฟฟ้า



ปลาไหลไฟฟ้าเป็นสัตว์ที่ประหลาดประเภทหนึ่งอาศัยอยู่ในแม่น้ำของอเมริกาใต้ มันสามารถฆ่าเหยื่อของมันได้โดยใช้กระแสไฟฟ้าจำนวนมากที่สร้างขึ้นเองภายในตัวของมัน ตลอดลำตัวจากหัวถึงหางสามารถสร้างความต่างศักย์ไฟฟ้าได้หลายร้อยโวลต์ ให้กระแสไฟฟ้าได้ถึง 1 แอมแปร์ ตอนนั้นก็ถึงคำถามสำคัญที่ว่า ปลาไหลที่น่ารักนี้สร้างกระแสไฟฟ้าได้อย่างไร โดยที่ตัวมันเองไม่โดนกระแสไฟฟ้าช็อตตายไปเสียก่อน [อ่านต่อครับ](#) 🌟

4-1 กระแสไฟฟ้า

ถ้าประจุมีการเคลื่อนที่จากตำแหน่งหนึ่งไปยังอีกตำแหน่งหนึ่ง หรือเคลื่อนที่ผ่านพื้นที่หน้าตัดใดๆ กล่าวได้ว่า มีกระแสไฟฟ้าเกิดขึ้นบริเวณนั้น นิยามของกระแสไฟฟ้า (Electric Current, I) คือ อัตราการเคลื่อนที่ของประจุผ่านพื้นที่หน้าตัด เขียนเป็นสมการได้ดังนี้

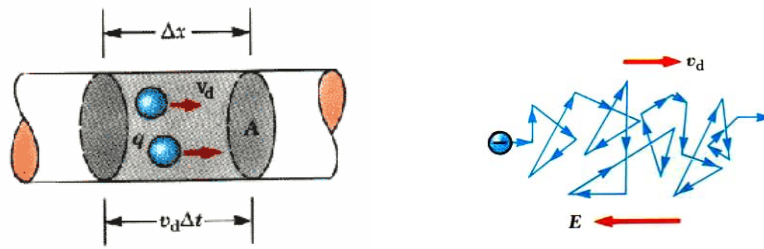
$$I = \frac{dq}{dt}$$

หน่วยของกระแสไฟฟ้าคือ คูลอมบ์ต่อวินาที (C/s) เรียกหน่วยนี้ว่า แอมแปร์ (A) เพื่อเป็นเกียรติแก่นักวิทยาศาสตร์ชาวฝรั่งเศส

เมื่อนำตัวนำวางในสนามไฟฟ้าจะเกิดความต่างศักย์ที่ปลายทั้งสองของตัวนำ สนามไฟฟ้าทำให้เกิดแรงบนอิเล็กตรอนอิสระ ประจุบวกในอะตอมของตัวนำก็ถูกแรงกระทำเช่นเดียวกัน แต่แรงยึดเหนี่ยวภายในนิวเคลียสจะยึดเอาไว้ไม่ให้เคลื่อนที่ได้ เนื่องจากแรงไฟฟ้าที่กระทำบนอิเล็กตรอนมีทิศตรงข้ามกับทิศของสนามไฟฟ้า อิเล็กตรอนจึงเคลื่อนที่สวนกับสนามไฟฟ้า อิเล็กตรอนจะจัดตัวมันเองในลักษณะที่ทำให้ศักย์ไฟฟ้าในเส้นลวดตัวนำมีค่าคงที่ (สนามไฟฟ้าภายในตัวนำมีค่าเป็นศูนย์) เหตุการณ์นี้เกิดขึ้นในช่วงเวลาสั้นๆ กระแสไฟฟ้าที่เกิดขึ้นเนื่องจากการเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอนจึงเกิดขึ้นเพียงระยะเวลาสั้นๆ และจะไม่เกิดกระแสไฟฟ้าในตัวนำอีก กระแสไฟฟ้านี้เรียกว่า กระแสไฟฟ้าชั่วขณะ (transient current) ถ้าจะให้กระแสไฟฟ้าเกิดขึ้นอย่างต่อเนื่อง ต้องทำให้สนามไฟฟ้าในตัวนำมีค่าคงที่อยู่ตลอดเวลา

ปริมาณกระแสไฟฟ้าสามารถเขียนอยู่ในรูปของความเร็วของประจุและพื้นที่หน้าตัด ให้อิเล็กตรอนในตัวนำเคลื่อนที่ด้วยความเร็วล่องลอย v_d (drift velocity) ความเร็วของอิเล็กตรอนแต่ละตัวจะต่างกัน เพราะอิเล็กตรอนมีการชนกันเองภายในตัวนำ ทำให้ทิศทางการเคลื่อนที่เปลี่ยนไปด้วย





รูป 4-1 อิเล็กตรอนเคลื่อนที่ในตัวนำ ด้วยความเร็วลอย

อิเล็กตรอนเคลื่อนที่ผ่านตัวนำซึ่งมีพื้นที่หน้าตัด A ระยะทางที่อิเล็กตรอนเคลื่อนที่ได้ในเวลา dt คือ $v_d \Delta t$ ให้ n คือจำนวนอิเล็กตรอนต่อปริมาตร ภายในเวลา Δt จำนวนอิเล็กตรอนเคลื่อนที่ผ่านพื้นที่หน้าตัด A จะมีจำนวนเท่ากับ $nAv_d \Delta t$ และขนาดประจุของอิเล็กตรอนมีค่าเท่ากับ Δq ดังนั้นจะได้

$$\begin{aligned} \Delta q &= enAv_d \Delta t \\ \frac{\Delta q}{\Delta t} &= enAv_d \end{aligned} \quad (4-1)$$

4-2 กฎของโอห์ม

เมื่อนำตัวนำวางไว้ในสนามไฟฟ้า หรือให้ความต่างศักย์เกิดขึ้นที่ปลายทั้งสองของตัวนำ ซึ่งมีความยาว L เมื่อนำความหนาแน่นกระแส J และสนามไฟฟ้า E มาเทียบอัตราส่วนกัน จะได้ค่าคงที่ค่าหนึ่งเรียกว่า สภาพนำไฟฟ้าของตัวนำ (electrical conductivity, σ) มีหน่วยเป็น ซีเมนต่อเมตร (siemen/m) เขียนเป็นสมการแสดงเฉพาะขนาดจะได้

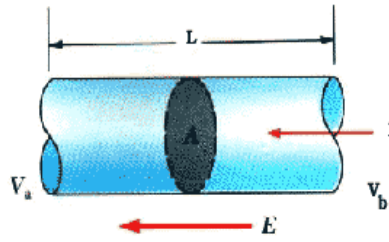
$$\begin{aligned} \frac{J}{E} &= \sigma \\ \text{เมื่อ } J &= I/A \quad \text{และ} \quad E = -dV/dx \\ \text{ดังนั้นเมื่อแทนค่าลงไปจะได้} \quad Idx &= -\sigma AdV \\ I \int_0^L dx &= -A\sigma \int_{V_A}^{V_B} dV \\ I &= \frac{\sigma A}{L} (V_A - V_B) \end{aligned} \quad (4-2)$$

ปริมาณ $\sigma A/L$ ในสมการ (4-2) เรียกว่า ความนำไฟฟ้าของลวดตัวนำ กระแสไฟฟ้าจะไหลผ่านตัวนำมากน้อยเพียงใด ขึ้นอยู่กับโลหะนั้นว่าจะนำไฟฟ้าได้ดีเพียงใด ถ้าความต่างศักย์ระหว่างจุด 2 จุด มีค่ามาก กระแสไฟฟ้าก็จะไหลผ่านตัวนำมากด้วย ในทางปฏิบัติ เรานิยมใช้ส่วนกลับของความนำไฟฟ้าบอกสมบัติของตัวนำ ซึ่งเรียกว่า ความต้านทาน (Resistance, R)

$$R = \frac{1}{\text{conductance}} = \frac{L}{\sigma A} = \rho \frac{L}{A} \quad (4-3)$$

เมื่อ $\rho = 1/\sigma$ ในสมการ (4-3) เรียกว่า สภาพความต้านทานของตัวนำ (resistivity) มีหน่วยเป็น $\Omega \cdot m$ และ ค่าจะแปรผันกับอุณหภูมิ โดยทั่วไปโลหะจะมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น แต่โลหะจะมีค่าลดลงเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น





รูป 4-2 ความต่างศักย์ที่ปลายทั้งสองจะทำให้เกิดกระแสไฟฟ้าไหลในตัวนำ

ตาราง 4-1 แสดงสภาพความต้านทานของสารต่างๆ ที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส⁽¹⁾

	ρ ($\Omega \cdot \text{m}$)	สัมประสิทธิ์ของความต้านทานแปรตามอุณหภูมิ (/ องศาเซลเซียส)
อลูมิเนียม	2.6×10^{-8}	0.0039
ทองแดง	1.7×10^{-8}	0.0039
เหล็ก	12×10^{-8}	0.0050
ตะกั่ว	21×10^{-8}	0.0043
ปรอท	98×10^{-8}	0.008
พลาสติก	11×10^{-8}	0.0036
เงิน	1.6×10^{-8}	0.0038
เยอรมาเนียม	0.5	-
แก้ว	$10^{10} - 10^{14}$	-
กำมะถัน	10^{15}	-

⁽¹⁾Beiser, Arthur., **Physics**, (California: Benjamin/Cummings Publishing, 1982) p. 422

บทความออนไลน์



โอห์ม เกิดเมื่อวันที่ 16 มีนาคม ค.ศ. 1787 ที่เมืองเออร์แลงเกน ประเทศเยอรมนี บิดาของเขาชื่อว่า โจฮัน โอห์ม มีอาชีพเป็นช่างทำกุญแจ และ ปืน แม้ว่าฐานะทางครอบครัวของเขาจะค่อนข้างยากจน ถึงอย่างนั้นโอห์มก็ขวนขวายหาความรู้อยู่เสมอ [อ่านต่อครับ](#) 🌟



โอห์ม (George Simon Ohm) นักวิทยาศาสตร์ชาวเยอรมันได้ศึกษากระแสไฟฟ้าในตัวนำ สรุปเป็นกฎได้ดังนี้ "ถ้าอุณหภูมิของตัวนำมีค่าคงที่ อัตราส่วนระหว่างความต่างศักย์ของปลายทั้งสองของตัวนำ และกระแสไฟฟ้าที่ไหลในตัวนำย่อมมีค่าคงที่"

$$\frac{V}{I} = \text{ค่าคงที่} = R \quad (4-4)$$

เมื่อพล็อตกราฟความสัมพันธ์ระหว่างกระแสไฟฟ้า I กับความต่างศักย์ V จะได้กราฟเส้นตรงมีความชันเท่ากับ R กฎของโอห์มสามารถใช้ได้กับตัวนำทั่วไป ที่มีความต้านทานไม่ขึ้นกับกระแสไฟฟ้าและศักย์ไฟฟ้า ตัวนำบางชนิดจะไม่เป็นไปตามกฎของโอห์ม ดังนั้นเมื่อพล็อตกราฟระหว่างกระแสไฟฟ้า I กับความต่างศักย์ V กราฟจะไม่เป็นเส้นตรง

4-3 กำลังและพลังงานไฟฟ้า

4-3-1 กำลังไฟฟ้า

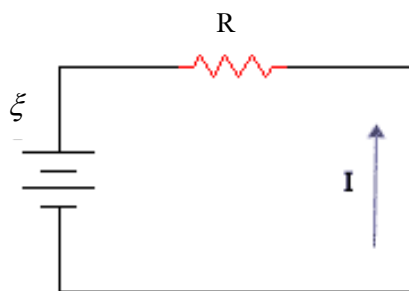
แรงเคลื่อนไฟฟ้า (electromotive force) เกิดจากพลังงานรูปอื่นๆ เช่น พลังงานเคมี พลังงานกล ฯลฯ เปลี่ยนเป็นพลังงานไฟฟ้า ทำให้เกิดความต่างศักย์ไฟฟ้าระหว่างจุด 2 จุดที่มันต่ออยู่มีค่าคงที่เสมอ (ในกรณีกระแสตรง) อุปกรณ์ที่ทำให้เกิดแรงเคลื่อนไฟฟ้า ได้แก่ แบตเตอรี่ ถ่านไฟฉาย และเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

ขนาดของแรงเคลื่อนไฟฟ้า คืองานที่ใช้ในการเคลื่อนประจุขนาด 1 หน่วย ผ่านพื้นที่หน้าตัดตัวนำหนึ่ง จากรูป 4-3 แหล่งกำเนิดแรงเคลื่อนไฟฟ้าขนาด ξ เคลื่อนประจุขนาด dq จากศักย์ไฟฟ้าบวกไปหาศักย์ไฟฟ้าลบเป็น dW ในเวลา dt จะได้

$$\xi = \frac{dW}{dq}$$

แต่กำลังไฟฟ้า

$$P = \frac{dW}{dt} = \xi \frac{dq}{dt} = \xi I$$



รูป 4-3 วงจรไฟฟ้าเบื้องต้น

ถ้าอุปกรณ์มีความต้านทาน R สอดคล้องกับกฎของโอห์มจะได้ $P = I^2 R$ พลังงานจากแหล่งกำเนิดไฟฟ้าทำให้เกิดกระแสไฟฟ้า I ในวงจร ให้แหล่งจ่ายไฟมีความต้านทานภายใน r พลังงานของแหล่งกำเนิดไฟฟ้าจะต้องสูญเสียให้แก่อุปกรณ์ที่มีความต้านทาน R (อาจสูญเสียไปในรูปของแสง ความร้อน) และสูญเสียที่แหล่งจ่ายไฟที่มีความต้านทานภายใน r ดังนั้น สมการวงจรไฟฟ้า (circuit equation) คือ

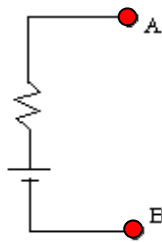
$$\xi I = I^2 R + I^2 r$$

$$I = \frac{\xi}{R + r} \quad (4-5)$$

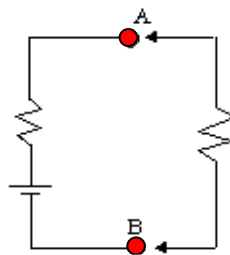


4-3-2 การคำนวณกำลังไฟฟ้าและประสิทธิภาพของวงจรไฟฟ้า

แหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงย่อมมีความต้านทานภายในตัวของมันเสมอ พลังงานที่เปลี่ยนรูปเป็นพลังงานไฟฟ้าส่วนหนึ่ง จะต้องสูญเสียไปเพราะความต้านทานภายในของอุปกรณ์เหล่านี้ ให้ ξ เป็นพลังงานเคมีที่เปลี่ยนรูปไปเป็นพลังงานไฟฟ้าของแบตเตอรี่นั่นเอง A และ B เป็นขั้วของแบตเตอรี่ เมื่อไม่มีการต่อวงจรภายนอกดังรูป 4-4 ก) ความต่างศักย์ไฟฟ้าที่ตกคร่อม AB ของแบตเตอรี่จะมีค่าเท่ากับ ξ และเรียกว่าความต่างศักย์เมื่อไม่ได้ต่อกับอุปกรณ์ภายนอก (no load voltage)



ก) เมื่อไม่ได้ต่อกับอุปกรณ์ภายนอก



ข) เมื่อต่อกับอุปกรณ์ภายนอก

รูป 4-4 ความต่างศักย์ที่ขั้วของแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรง

ตัวอย่าง 4-1 ถ้าความต้านทานภายในของแบตเตอรี่เท่ากับ $1,000 \Omega$ แรงเคลื่อนไฟฟ้าขณะที่ยังไม่ต่อกับวงจรภายนอกมีค่าเท่ากับ 100 V จงหากำลังไฟฟ้าที่ตัวต้านทานเมื่อมีค่าต่าง ๆ กัน

- ก) 500Ω
- ข) 1000Ω
- ค) 1500Ω

หลักการคำนวณ

ก) เมื่อ $R = 500 \Omega$

$$I = \frac{\xi}{R+r} = \frac{100}{500+1000} = 0.0667 \text{ A}$$

ความต่างศักย์ที่ตกคร่อมบนตัวต้านทาน $V = IR = 33.4 \text{ V}$

กำลังไฟฟ้าบนตัวต้านทาน $P = VI = 33.4 \times 0.0667 = 2.22 \text{ W}$

ข) เมื่อ $R = 1,000 \Omega$

$$I = \frac{\xi}{R+r} = \frac{100}{1000+1000} = 0.05 \text{ A}$$

ความต่างศักย์ที่ตกคร่อมบนตัวต้านทาน $V = IR = 50 \text{ V}$

กำลังไฟฟ้าบนตัวต้านทาน $P = VI = 50 \times 0.05 = 2.5 \text{ W}$

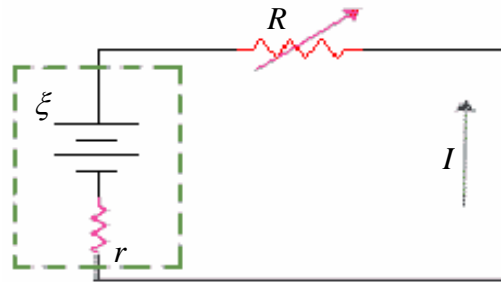


ค) เมื่อ $R = 1,500 \Omega$

$$I = \frac{\xi}{R+r} = \frac{100}{1500+1000} = 0.04 \quad \text{A}$$

ความต่างศักย์ที่ตกคร่อมบนตัวต้านทาน $V = IR = 60 \quad \text{V}$

กำลังไฟฟ้าบนตัวต้านทาน $P = VI = 60 \times 0.04 = 2.4 \quad \text{W}$



รูป 4-5 วงจรไฟฟ้าที่ R ปรับค่าได้ แหล่งจ่ายไฟฟ้ามีความต้านทานภายใน

จากรูป 4-5 ความต้านทาน R ต่อกับแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงมีแรงเคลื่อนไฟฟ้า ξ มีความต้านทานภายใน r

กระแสไฟฟ้าในวงจร $I = \frac{\xi}{R_L + r}$

แรงดันไฟฟ้าที่ตกคร่อม R_L $V_L = IR_L = \left(\frac{\xi}{R_L + r}\right)R$

กำลังไฟฟ้าบนตัวต้านทาน R_L $P_L = V_L I = \frac{\xi^2}{(R_L + r)^2} R$

ถ้าต้องการให้เกิดกำลังไฟฟ้ามากที่สุดบนตัวต้านทาน R_L ควรใช้ค่า R_L เท่ากับเท่าใด ที่จะทำให้เกิดกำลังไฟฟ้าสูงสุด

$$\frac{dP}{dR_L} = 0$$

$$\left[\frac{1}{(R_L + r)^2} - \frac{2R}{(R_L + r)^3} \right] = 0$$

$$R_L = r$$

ดังนั้นจะเกิดกำลังไฟฟ้าสูงสุดบนตัวต้านทาน R_L เมื่อ R_L มีค่าเท่ากับ ความต้านทานภายในของแหล่งจ่ายไฟฟ้า ประสิทธิภาพของวงจรไฟฟ้า (efficiency) คือ อัตราส่วนกำลังไฟฟ้าที่เกิดขึ้นบนอุปกรณ์ไฟฟ้าที่เรานำไปใช้งาน P_L กับกำลังไฟฟ้าที่แหล่งจ่ายไฟฟ้า จ่ายให้จริงๆ P_S

ประสิทธิภาพของวงจรไฟฟ้า $\eta = \frac{P_L}{P_S} \times 100\%$



วงจรในรูป 4-5 ถ้ากำหนดให้ $\xi = 20 \text{ V}$ $r = 10 \Omega$ เมื่อเปลี่ยนค่าความต้านทาน R_L ให้มีค่าต่างๆ กันดังนั้น เมื่อคำนวณหาค่ากำลังไฟฟ้า, แรงดันไฟฟ้าที่เกิดขึ้นบน R_L และประสิทธิภาพของวงจร จะเป็นดังตาราง 4-2

ตาราง 4-2 แสดงค่าความต้านทาน กระแสไฟฟ้า แรงดันไฟฟ้า กำลังไฟฟ้า และประสิทธิภาพของวงจร

R_L (Ω)	$R_L + r$ (Ω)	I (A)	V_L (V)	P_L (W)	η
0	10	2.0	0.0	0.0	0.0
2	12	1.7	3.3	5.6	16.7
4	14	1.4	5.7	8.3	40.9
6	16	1.3	7.5	9.4	46.8
8	18	1.1	8.9	9.8	49.2
10	20	1.0	10.0	10.0	50.0
12	22	0.9	10.9	9.9	54.6
14	24	0.8	11.7	9.7	58.5
16	26	0.8	12.3	9.3	61.4
18	28	0.7	12.9	9.2	64.3
20	30	0.7	13.3	8.9	66.7
30	40	0.5	15.0	7.5	75.0
40	50	0.4	16.0	6.4	80.0

จะเห็นได้ว่า กำลังไฟฟ้าจะเกิดขึ้นมากที่สุดเมื่อ $R_L = r$ ณ จุดนี้แรงดันไฟฟ้าที่ตกคร่อมบนตัวต้านทาน R_L มีค่าเป็นครึ่งหนึ่งของแรงเคลื่อนไฟฟ้าของแหล่งจ่ายไฟฟ้า (ขณะที่ยังไม่ต่ออุปกรณ์ไฟฟ้า) ประสิทธิภาพของวงจรมีค่าเพียง 50% เมื่อเพิ่มค่า R_L จนพ้นจากจุดนี้ ประสิทธิภาพของวงจรจะเพิ่มขึ้น และจะเกือบ 100% เมื่อ R_L มีค่ามากๆ

เรื่องนี้มีความสำคัญอย่างมาก ในเรื่องการสื่อสารสัญญาณ เช่น ในสายอากาศ กำลังของสัญญาณจะถูกส่งผ่านได้มากที่สุด เมื่อตัวต้านทานที่เป็น load resistor มีความต้านทานเท่ากับความต้านทานภายในของแหล่งจ่ายสัญญาณ ซึ่งเรียกว่า แมตช์ (match) กัน

ตัวอย่าง 4-2 ไฟฟ้าในระบบรถยนต์มีแรงเคลื่อนไฟฟ้า 12 V วิद्यุติดในรถยนต์ใช้ไฟ 6 V กินกระแสไฟฟ้า 6 A ต้องใช้ตัวต้านทาน R ขนาดเท่าใดต่ออนุกรมกับระบบไฟฟ้าในรถยนต์ เพื่อใช้กับวิद्यุได้ จงหาประสิทธิภาพของวงจรไฟฟ้า

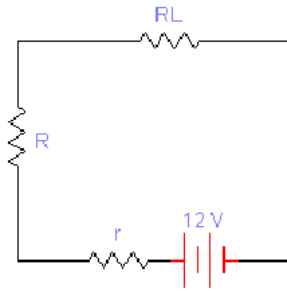
หลักการคำนวณ

สมมติว่าแหล่งจ่ายไฟฟ้าไม่มีความต้านทานภายใน $r = 0$

แรงดันไฟฟ้าที่ตกคร่อม R $V_R = \xi - V_L = 12 - 6 = 6 \text{ V}$

ต้องการตัวต้านทาน $R = \frac{V_R}{I} = \frac{6}{6} = 1 \Omega$





รูป 4-6

กำลังไฟฟ้าที่จ่ายจากระบบไฟฟ้ารถยนต์ $P_S = \xi I = 12 \times 6 = 72 \text{ W}$

กำลังไฟฟ้าที่จ่ายที่วิทยุ $P_L = V_L I = 6 \times 6 = 36 \text{ W}$

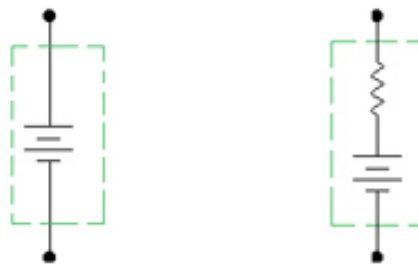
$$\begin{aligned} \text{ดังนั้น ประสิทธิภาพของวงจรไฟฟ้า } \eta &= \frac{P_L}{P_S} \times 100 \\ &= \frac{36}{72} \times 100 \\ &= 50 \end{aligned}$$

พลังงานไฟฟ้าจะหายไปครึ่งหนึ่ง ซึ่งจะกลายเป็นพลังงานความร้อนที่สูญเสียให้กับตัวต้านทาน R และตัวต้านทาน R ที่ใช้จะต้องทนกำลังไฟฟ้าได้อย่างน้อย 36 W

4-3-3 วงจรไฟฟ้าและการวิเคราะห์ห้วงจรไฟฟ้า

แหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงในวงจรไฟฟ้า แบ่งได้เป็น 2 ประเภทใหญ่ๆ คือ

1. แหล่งจ่ายแรงเคลื่อนไฟฟ้าคงที่ (voltage source) ในทางอุดมคติ จะถือว่าแหล่งจ่ายไฟฟ้าชนิดนี้จะให้ค่าแรงดันไฟฟ้าคงที่เสมอ ไม่ขึ้นกับอุปกรณ์ไฟฟ้า (load) ที่นำมาต่อไม่ว่าอุปกรณ์นั้น จะมีความต้านทานเป็นศูนย์ หรือมีความต้านทานอนันต์ ซึ่งจะเป็นไปได้ก็ต่อเมื่อความต้านทานภายในแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงมีค่าเป็นศูนย์ โดยปกติแล้วแหล่งจ่ายไฟฟ้าจะมีค่าความต้านทานภายในเท่ากับค่าๆ หนึ่งเสมอ



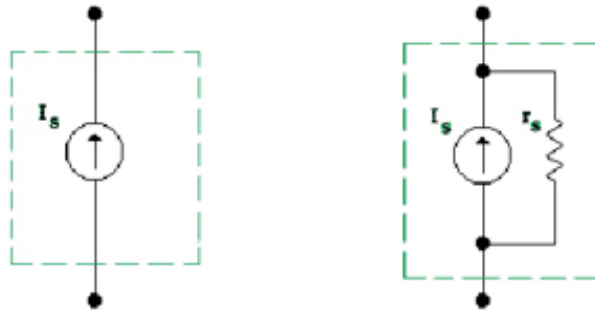
ก) แหล่งจ่ายไฟฟ้าแรงดันไฟฟ้าคงที่ในอุดมคติ ข) แหล่งจ่ายไฟฟ้าตามสภาพที่แท้จริง

รูป 4-7 สัญลักษณ์แหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรง แรงเคลื่อนไฟฟ้าคงที่

2. แหล่งจ่ายกระแสไฟฟ้าคงที่ (current source) ในทางอุดมคติถือว่าแหล่งจ่ายไฟจะจ่ายกระแสไฟฟ้าคงที่เสมอไม่ขึ้นกับอุปกรณ์ที่นำมาต่อ โดยมีความต้านทานของแหล่งจ่ายไฟฟ้าเป็นอนันต์ ในทาง



ปฏิบัติแหล่งจ่ายไฟฟ้าชนิดนี้จะมีความต้านทานภายในเสมอ ลูกศรเป็นสัญลักษณ์แหล่งจ่ายไฟฟ้า จะแสดงทิศของกระแสสมมติ (conventional current)



ก) แหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสไฟฟ้าคงที่ในอุดมคติ และ ข) แหล่งจ่ายไฟฟ้าตามสภาพที่แท้จริง
รูป 4-8 สัญลักษณ์แหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรง กระแสไฟฟ้าคงที่

ในวงจรที่มีแหล่งจ่ายแรงเคลื่อนไฟฟ้าคงที่ สามารถเปลี่ยนค่าต่างๆ ของแหล่งจ่ายไฟฟ้าให้เป็นแหล่งจ่ายกระแสไฟฟ้าคงที่ โดยที่ยังมีคุณสมบัติต่างๆเหมือนเดิมทุกประการ หรือเปลี่ยนจากแหล่งจ่ายกระแสไฟฟ้าคงที่ให้เป็นแหล่งจ่ายแรงเคลื่อนไฟฟ้าคงที่ได้เช่นกัน

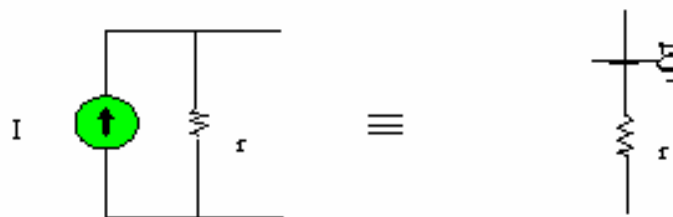
วิธีเปลี่ยนแหล่งจ่ายแรงเคลื่อนไฟฟ้าคงที่ให้เป็นแหล่งจ่ายกระแสไฟฟ้าคงที่ ทำได้ดังนี้



รูป 4-9

1. ความต้านทานภายในของแหล่งจ่ายไฟฟ้าทั้งสองมีค่าเท่ากัน คือ r
2. หาค่ากระแสไฟฟ้าเทียบเท่ากับการใช้กฎของโอห์ม คือ $I = \xi / r$

วิธีเปลี่ยนแหล่งจ่ายกระแสไฟฟ้าคงที่ให้เป็นแหล่งจ่ายแรงเคลื่อนไฟฟ้าคงที่ มีดังนี้

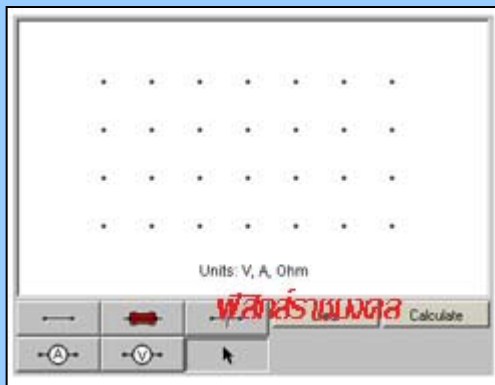


รูป 4-10

1. ความต้านทานภายในของแหล่งจ่ายไฟฟ้าทั้งสองมีค่าเท่ากัน คือ r
2. หาค่าแรงเคลื่อนไฟฟ้าเทียบเท่ากับการใช้กฎของโอห์ม คือ $\xi = Ir$



การทดลองเสมือนจริง

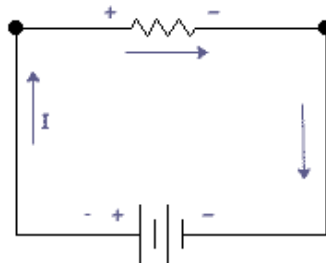


ไฟฟ้ากระแสตรง

ในห้องทดลองคุณสามารถสร้างวงจรไฟฟ้ากระแสตรงได้หลายรูปแบบตามใจชอบ อย่างไรก็ตามมีข้อจำกัดบางประการที่จะต้องทราบก่อนยกตัวอย่างเช่น แบตเตอรี่ หรือแหล่งจ่ายไฟฟ้า กำหนดค่าได้ตั้งแต่ +10 V ถึง -10 V ดังนั้นถ้าคุณต้องการแบตเตอรี่ค่า 20 V ให้ต่อแบตเตอรี่ 2 อันอนุกรมกัน [คลิกที่นี่เพื่อเข้าสู่การทดลอง](#) 🔥

4-4 กฎของเคอร์ชอฟ (Kirchhoff's Law)

กุสตาฟ โรเบิร์ต เคอร์ชอฟ (Gustav Robert Kirchhoff) เป็นนักฟิสิกส์ชาวเยอรมัน มีชีวิตอยู่ในช่วง ค.ศ. 1824-1887 เคอร์ชอฟและคณะของเขาได้คิดค้นวิธีวิเคราะห์วงจรไฟฟ้าที่มีลักษณะเป็นเครือข่าย (networks) ประกอบด้วยตัวต้านทานต่อกันอย่างซับซ้อน มีแหล่งจ่ายไฟฟ้าหลายชุด



รูป 4-11

พิจารณาวงจรไฟฟ้าเบื้องต้นดังรูป ความต่างศักย์ไฟฟ้าที่ตกคร่อมความต้านทาน R ด้านใดจะเป็นบวกหรือลบดูจากทิศการไหลของกระแสไฟฟ้า โดยกระแสไฟฟ้าจะไหลจากศักย์ไฟฟ้าบวกไปสู่ศักย์ไฟฟาลบเสมอ

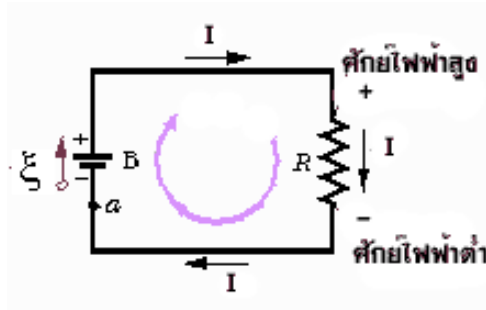
กฎของเคอร์ชอฟแบ่งออกเป็น 2 กฎใหญ่ๆ คือ

1. กฎเกี่ยวกับศักย์ไฟฟ้า (Kirchhoff's Voltage Law, KVL)
2. กฎเกี่ยวกับกระแสไฟฟ้า (Kirchhoff's Current Law, KCL)



4-4-1 กฎเกี่ยวกับศักย์ไฟฟ้า (Kirchhoff's Voltage Law, KVL)

กล่าวว่า “ผลรวมทางพีชคณิตของศักย์ไฟฟ้าที่เพิ่มค่า หรือลดค่ารอบวงจรปิด มีค่าเป็นศูนย์” (The algebraic sum of the potential rises and drops around any closed loop is zero.) วงจรไฟฟ้าประกอบด้วยตัวต้านทาน ดังรูป 4-12



รูป 4-12 วงจรที่มีวงปิดเพียง 1 วง

จากรูป 4-12 จะเริ่มต้นวงปิดที่จุด a ซึ่งมีค่าศักย์ไฟฟ้าเป็น V_a ไปในทิศตามเข็มนาฬิกา จะวนไปรอบวงปิดจนกระทั่งมาถึงที่จุด a อีกครั้ง ในระหว่างที่วนนั้นจะพิจารณาการเปลี่ยนแปลงความต่างศักย์ที่ตกคร่อมอุปกรณ์ต่างๆ ด้วย ที่จุด a เป็นขั้วลบของแบตเตอรี่ วนไปหาขั้วบวก ซึ่งถือว่ามีค่าศักย์ไฟฟ้าสูงกว่า ความต่างศักย์ระหว่างขั้วแบตเตอรี่ หรือที่เรียกว่า แรงเคลื่อนไฟฟ้า ξ เมื่อวนผ่านแบตเตอรี่ความต่างศักย์มีค่าเพิ่มขึ้นเป็น $+\xi$ (เพิ่มจากค่าลบเป็นค่าบวก)

เมื่อวนผ่านลวดตัวนำด้านบน ลวดตัวนำมีความต้านทานไฟฟ้าเป็นศูนย์ จึงไม่มีการเปลี่ยนแปลงความต่างศักย์ที่ลวดตัวนำ ค่าศักย์ไฟฟ้าที่ลวดตัวนำจึงมีค่าเท่ากับศักย์ไฟฟ้าที่ขั้วบวกของแบตเตอรี่ วนเรื่อยมาจนถึงตัวต้านทาน R ความต่างศักย์ที่ตกคร่อมตัวต้านทานมีค่าลดลง (เปลี่ยนจากค่าบวกเป็นค่าลบ) เท่ากับ $-IR$

เมื่อวนออกจากตัวต้านทานมาบรรจบที่จุด a อีกครั้ง ศักย์ไฟฟ้าที่จุด a ก็คือ V_a นั่นเอง ดังนั้น

$$V_a + \xi - IR = V_a$$

$$\xi - IR = 0$$

เมื่อวนทวนเข็มนาฬิกา จะได้ผลลัพธ์เช่นเดียวกันแต่เครื่องหมายตรงกันข้ามดังนี้

$$-\xi + IR = 0$$

การวนรอบวงปิดจะวนตามเข็มนาฬิกา หรือทวนเข็มนาฬิกาก็ได้ สำคัญตรงที่ต้องใส่เครื่องหมายหน้า ξ หรือ IR ให้ถูกต้อง

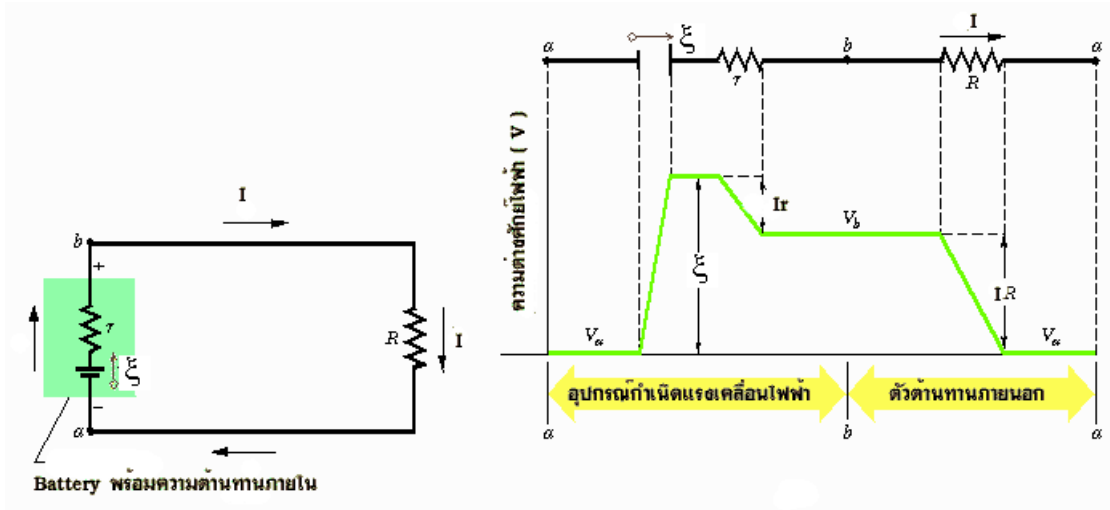
ก่อนที่จะไปพบวงจรที่ซับซ้อน สามารถสรุปการวนรอบวงปิดเป็นกฎ 2 ข้อ ดังนี้

1. กฎของตัวต้านทาน เมื่อวนผ่านตัวต้านทานในทิศเดียวกับทิศกระแสไฟฟ้า การเปลี่ยนแปลงความต่างศักย์มีค่าเท่ากับ $-IR$ ถ้าววนในทิศสวนกับกระแสไฟฟ้าการเปลี่ยนแปลงความต่างศักย์จะมีค่าเพิ่มขึ้นด้วยค่า $+IR$ เพื่อที่จะให้จำได้ง่ายขึ้นลองนึกถึงการเดินลุยลำธารบนภูเขา ถ้าเราเดินตามลำน้ำ ความชันของภูเขาจะมีค่าลดลง ถ้าเดินสวนกับกระแสน้ำในลำธาร ความชันของภูเขาจะมีค่าเพิ่มขึ้น (มีค่าเป็นบวก)

2. กฎของแรงเคลื่อนไฟฟ้า ถ้าววนผ่านแหล่งจ่ายไฟฟ้าในทิศของแรงเคลื่อนไฟฟ้า (จากขั้วลบไปยังขั้วบวก) ความต่างศักย์ที่ขั้วแหล่งจ่ายไฟฟ้าจะเป็น $+\xi$ ถ้าการวนจากแหล่งจ่ายไฟฟ้ามาจากขั้วบวกไปยังขั้วลบ ความต่างศักย์ที่ขั้วแหล่งจ่ายไฟฟ้าจะเป็น $-\xi$



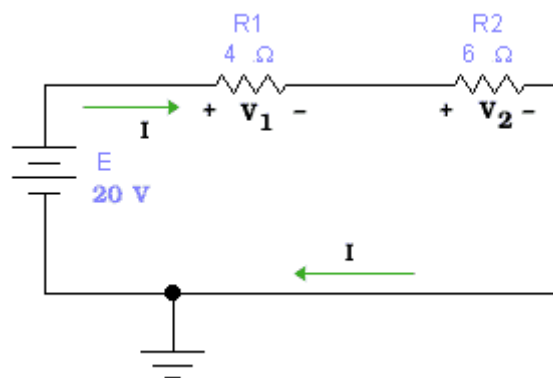
โดยทั่วไปแหล่งจ่ายไฟฟ้าย่อมมีความต้านทานภายใน r เสมอ เว้นเสียแต่จะคิดว่าแหล่งจ่ายไฟฟ้านั้นเป็นแบบอุดมคติ คือความต้านทานภายในเป็นศูนย์ วงจรที่เป็นวงปิดเพียงวงเดียวแต่คิดความต้านทานภายในของแหล่งจ่ายไฟฟ้าด้วย จะเป็นดังรูป 4-13



รูป 4-13 วงจรไฟฟ้าที่คิดความต้านทานภายในของแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรง

จากรูป 4-13 ด้านขวามือ แสดงให้เห็นว่ากฎของเคอร์ชอฟข้อนี้เป็นไปตามกฎการอนุรักษ์พลังงาน ขณะที่ประจุไฟฟ้าเดินทางผ่านวงจรมาบรรจบที่จุดเริ่มต้นอีกครั้งหนึ่ง ผลรวมของความต่างศักย์ไฟฟ้าที่เพิ่มขึ้นแต่ละจุดจะเท่ากับผลรวมของความต่างศักย์ไฟฟ้าที่หายไป

ตัวอย่าง 4-3 จากรูป 4-14 จงคำนวณหากระแสไฟฟ้าที่ไหลในวงจร โดยใช้กฎเคอร์ชอฟ



รูป 4-14 วงจรปิดวงเดียวที่มีตัวต้านทาน 2 ตัว

หลักการคำนวณ ตัวอย่างนี้สามารถใช้กฎของโอห์มคำนวณได้โดยง่าย และมีสัญลักษณ์กราวด์เพิ่มขึ้นในวงจร ซึ่งหมายถึงเป็นตำแหน่งอ้างอิงในการวัดความต่างศักย์ไฟฟ้า ศักย์ไฟฟ้า ณ ตำแหน่งอ้างอิงนี้ถือว่าเป็นค่าเป็นศูนย์



ในที่นี้จะใช้กฎ KVL คำนวณโดยเริ่มวนวงปิดที่ขั้วลบแบตเตอรี่วนไปในทิศตามเข็มนาฬิกา จะได้

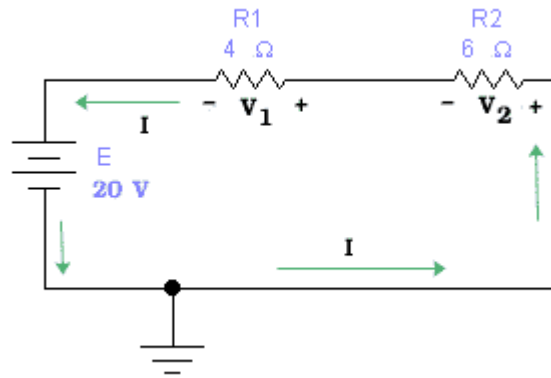
$$E - IR_1 - IR_2 = 0$$

แทนค่า E , R_1 และ R_2 ลงไปจะได้

$$20 - 4I - 6I = 0$$

$$I = \frac{20}{10} = 2 \quad \text{A}$$

ถ้าเปลี่ยนทิศของกระแสไฟฟ้าในวงจรให้ไหลในทิศตรงกันข้ามดังรูป 4-15 การวนวงปิดจะทวนเข็มนาฬิกา เครื่องหมายแสดงค่าความต่างศักย์ที่ตัวต้านทานแต่ละตัวจะเปลี่ยนไป



รูป 4-15 เมื่อกลับทิศกระแสไฟฟ้าไปในทิศตรงกันข้าม

ดังนั้นจะได้

$$E + IR_1 + IR_2 = 0$$

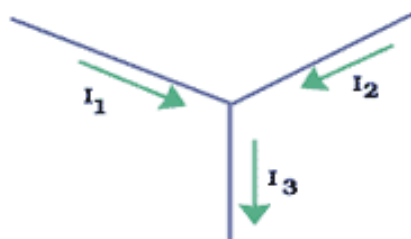
$$20 + 4I + 6I = 0$$

$$I = -\frac{20}{10} = -2 \quad \text{A}$$

เครื่องหมายลบแสดงว่าทิศทางของกระแสไฟฟ้า I ที่กำหนดในกรณีนี้ไม่ถูกต้อง ต้องกลับทิศของกระแสไฟฟ้าไปอีกทางหนึ่ง

4-4-2 กฎเกี่ยวกับกระแสไฟฟ้า (Kirchhoff's Current Law, KCL)

กล่าวว่า “ผลบวกทางพีชคณิตของกระแสไฟฟ้าผ่านจุดแยก หรือซุ่มทางใดๆ มีค่าเป็นศูนย์” (The algebraic sum of the currents at a node is zero.)



รูป 4-16 แสดงกระแสไฟฟ้าตรงทางแยก

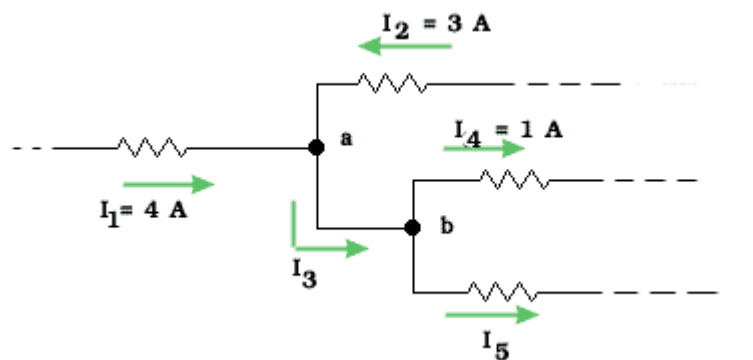


การรวมทางพีชคณิตนั้นกำหนดให้กระแสไฟฟ้าไหลเข้าเป็นบวก และกระแสไฟฟ้าไหลออกเป็นลบ ดังนั้น จากรูป 4-16 จะได้

$$\begin{aligned} I_1 + I_2 - I_3 &= 0 \\ I_1 + I_2 &= I_3 \end{aligned}$$

หรือ อาจกล่าวได้ว่าผลรวมของกระแสไฟฟ้าไหลเข้าที่จุดแยกเท่ากับผลรวมของกระแสไฟฟ้าที่ไหลออกจากจุดแยก กฎข้อนี้เป็นผลมาจากกฎการอนุรักษ์ของประจุไฟฟ้า เนื่องจากในวงจรไม่มีการสะสมประจุไว้ กระแสไฟฟ้าที่ไหลเข้าที่จุดใดๆ จึงต้องเท่ากับกระแสไฟฟ้าที่ไหลออก

ตัวอย่าง 4-3 จงหากระแสไฟฟ้า I_3 และ I_5 ดังรูป 4-17



รูป 4-17 ภาพตัดตอนการไหลของกระแสไฟฟ้าในจุดต่อของวงจรหนึ่ง

หลักการคำนวณ จุดเชื่อมต่อ a มีตัวแปรที่ไม่ทราบค่าเพียงตัวเดียว จึงเริ่มคำนวณตรงจุดเชื่อมต่อ a ก่อน

$$\begin{aligned} \text{ที่จุด } a \text{ จะได้} \quad I_1 + I_2 &= I_3 \\ 4 + 3 &= I_3 \\ I_3 &= 7 \quad \text{A} \\ \text{ที่จุด } b \text{ จะได้} \quad I_3 - I_4 - I_5 &= 0 \\ 7 - 1 - I_5 &= 0 \\ I_5 &= 6 \quad \text{A} \end{aligned}$$

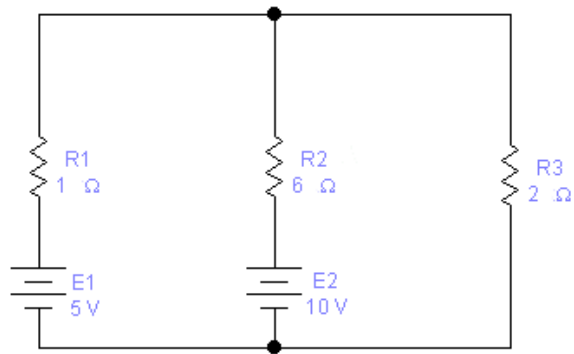
ขั้นตอนการนำกฎเคอร์ชอฟไปใช้แก้ปัญหา

1. กำหนดกระแสไฟฟ้าที่ไหลในแต่ละวงจรปิด
2. กำหนดเครื่องหมายของความต่างศักย์ไฟฟ้าที่ตัวต้านทานแต่ละตัว โดยใช้ทิศของกระแสไฟฟ้าเป็นหลัก
3. หาผลรวมของความต่างศักย์รอบวงจรปิด จะวนทวน หรือตามเข็มนาฬิกาก็ได้
4. หาคำตอบของระบบสมการเชิงเส้น อาจใช้กฎ KCL ช่วยลดจำนวนตัวแปรให้เหลือน้อยลง



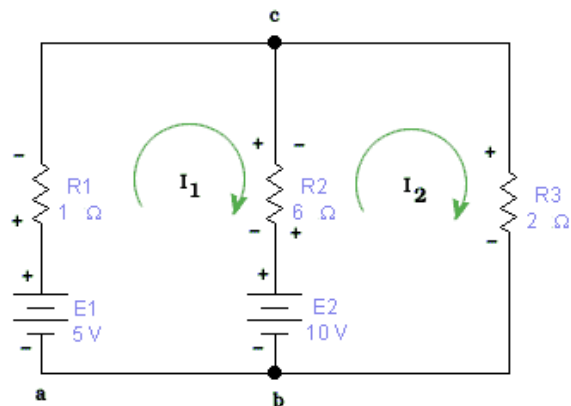
ข้อที่ควรระวัง คือ แหล่งจ่ายไฟฟ้าในวงจรจะต้องเป็นแหล่งจ่ายไฟฟ้าประเภทแรงเคลื่อนไฟฟ้าคงที่เท่านั้น (voltage source) ถ้ามีแหล่งจ่ายไฟฟ้าประเภทกระแสไฟฟ้าคงที่ จะต้องเปลี่ยนให้เทียบเท่ากับแหล่งจ่ายไฟฟ้าประเภทแรงเคลื่อนไฟฟ้าคงที่เสียก่อน

ตัวอย่าง 4-4 จงหากระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านตัวต้านทานแต่ละตัว



รูป 4-18

หลักการคำนวณ กำหนดกระแสไฟฟ้าในวงปิดแต่ละวง กำหนดเครื่องหมายศักย์ไฟฟ้าที่ตกร้อมตัวต้านทานแต่ละตัว ใช้กฎ KVL หาสมการความต่างศักย์ไฟฟ้าของแต่ละวง



รูป 4-19

วงปิดที่ 1 (ด้านซ้ายมือ) วนตามเข็มนาฬิกา เริ่มจากจุด a

$$\begin{aligned}
 E_1 - I_1 R_1 - I_1 R_2 + I_2 R_2 - E_2 &= 0 \\
 5 - 1I_1 - 6I_2 + 6I_2 - 10 &= 0 \\
 -7I_1 + 6I_2 &= 5
 \end{aligned} \tag{1}$$



วงปิดที่ 2 (ด้านขวามือ) วนตามเข็มนาฬิกา เริ่มจากจุด b

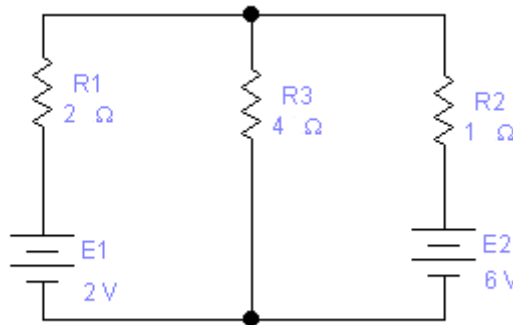
$$\begin{aligned} E_2 - I_2 R_2 + I_1 R_2 - I_2 R_3 &= 0 \\ 10 - 6I_2 + 6I_1 - 2I_2 &= 0 \\ 6I_1 - 8I_2 &= -10 \end{aligned} \quad (2)$$

แก้สมการ (1) และ (2) ดังนั้นจะได้

$$I_1 = \frac{\begin{vmatrix} +5 & +6 \\ -10 & -8 \end{vmatrix}}{\begin{vmatrix} -7 & +6 \\ +6 & -8 \end{vmatrix}} = 1 \quad \text{A} \quad I_2 = \frac{\begin{vmatrix} -7 & +5 \\ +6 & -10 \end{vmatrix}}{\begin{vmatrix} -7 & +6 \\ +6 & -8 \end{vmatrix}} = 2 \quad \text{A}$$

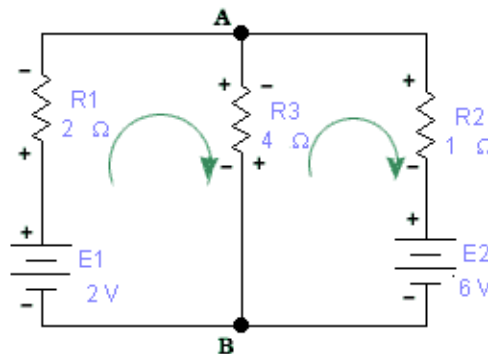
และ กระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านตัวต้านทาน R_2 คือ $I_2 - I_1 = 1 \text{ A}$ ทิศการไหลมีทิศเดียวกับทิศของกระแสไฟฟ้า I_2

ตัวอย่าง 4-5 จงหากระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านตัวต้านทานแต่ละตัว



รูป 4-20

หลักการคำนวณ กำหนดกระแสไฟฟ้าในวงจรปิดแต่ละวง กำหนดเครื่องหมายของศักย์ไฟฟ้าที่ตัวต้านทาน จะมีกระแสไฟฟ้า I_1 และ I_2 ซึ่งเป็นตัวไม่ทราบค่า มีวงจรปิดอยู่ 2 วง



รูป 4-21



วงจรปิดที่ 1 (ด้านซ้ายมือ) เริ่มคำนวณจากจุด B วนตามเข็มนาฬิกา

$$+2 - I_1 R_1 - I_1 R_3 + I_2 R_3 = 0$$

$$+2 - 2I_1 - 4I_1 + 4I_2 = 0$$

$$-6I_1 + 4I_2 = -2$$

$$3I_1 - 2I_2 = +1$$

(1)

วงจรปิดที่ 2 (ด้านขวามือ) เริ่มคำนวณจากจุด A วนตามเข็มนาฬิกา

$$-I_2 R_2 - 6 - I_2 R_3 + I_1 R_3 = 0$$

$$-I_2 - 6 - 4I_2 + 4I_1 = 0$$

$$4I_1 - 5I_2 = 6$$

(2)

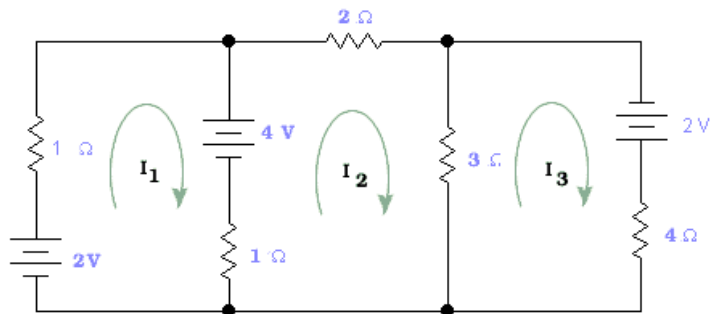
จากสมการ (1) และ (2) หาค่า I_1 และ I_2 จะได้

$$I_1 = -1 \quad \text{A}$$

$$I_2 = -2 \quad \text{A}$$

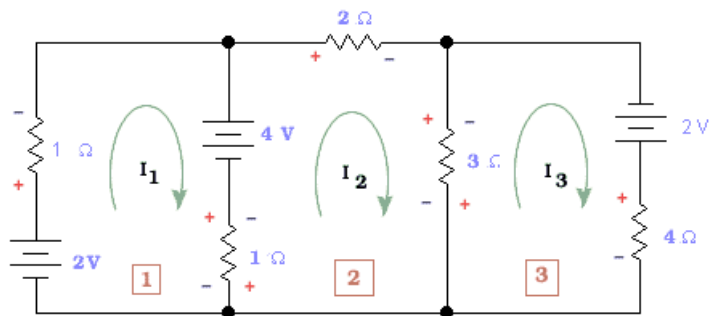
I_1 และ I_2 มีค่าเป็นลบ แสดงว่ากำหนดทิศของกระแสไฟฟ้าไม่ถูกต้อง กระแสไฟฟ้าจะไหลในทิศตรงกันข้ามกับที่กำหนดไว้ กระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่าน R_1 คือ 1 A กระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่าน R_3 คือ $I_1 - I_2 = -1 - (-2) = +1$ A มีทิศเดียวกับ I_1 . กระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่าน R_2 คือ 2 A (มีทิศสวนกับทิศที่กำหนดไว้)

ตัวอย่าง 4-6 จงหากระแสไฟฟ้า I_1 , I_2 และ I_3



รูป 4-22

หลักการคำนวณ ใส่เครื่องหมายบวกลบที่ตัวต้านทานในแต่ละวงปิดดังรูป 4-23



รูป 4-23



วงปิดที่ 1 วนตามเข็มนาฬิกา

$$\begin{aligned}2 - I_1 - 4 - I_1 + I_2 &= 0 \\ -2I_1 + I_2 &= 2\end{aligned}\quad (1)$$

วงปิดที่ 2 วนตามเข็มนาฬิกา

$$\begin{aligned}-I_2 + I_1 + 4 - 2I_2 - 3I_2 + 3I_3 &= 0 \\ I_1 - 6I_2 + 3I_3 &= -4\end{aligned}\quad (2)$$

วงปิดที่ 3 วนตามเข็มนาฬิกา

$$\begin{aligned}-3I_3 + 3I_2 + 2 - 4I_3 &= 0 \\ 3I_2 - 7I_3 &= -2\end{aligned}\quad (3)$$

จากสมการ (1), (2) และ (3) จัดลำดับตัวแปร I_1 , I_2 และ I_3 จะเห็นว่าสัมประสิทธิ์ของตัวแปรมีลักษณะสมมาตรตามแนวเส้นทแยงมุม ซึ่งเป็นหลักไว้ใช้ตรวจสอบความถูกต้องในการหาสมการความต่างศักย์รอบวงปิด

$$\begin{aligned}-2I_1 + I_2 &= 2 \\ I_1 - 6I_2 + 3I_3 &= -4 \\ 3I_2 - 7I_3 &= -2\end{aligned}$$

แก้สมการหาค่ากระแสไฟฟ้า I_1 , I_2 และ I_3

$$I_1 = \frac{\begin{vmatrix} +2 & +1 & 0 \\ -4 & -6 & +3 \\ -2 & +3 & -7 \end{vmatrix}}{\begin{vmatrix} -2 & +1 & 0 \\ +1 & -6 & +3 \\ 0 & +3 & -7 \end{vmatrix}} = \frac{-32}{59} = -0.5424 \quad \text{A}$$

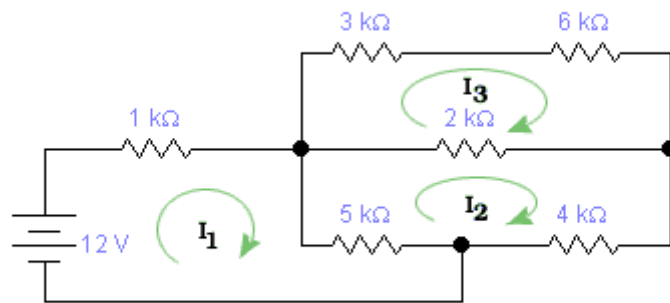
$$I_2 = \frac{\begin{vmatrix} -2 & +2 & 0 \\ +1 & -4 & +3 \\ 0 & -2 & -7 \end{vmatrix}}{\begin{vmatrix} -2 & +1 & 0 \\ +1 & -6 & +3 \\ 0 & +3 & -7 \end{vmatrix}} = \frac{54}{59} = 0.9153 \quad \text{A}$$

$$I_3 = \frac{\begin{vmatrix} -2 & +1 & +2 \\ +1 & -6 & -4 \\ 0 & -3 & -2 \end{vmatrix}}{\begin{vmatrix} -2 & +1 & 0 \\ +1 & -6 & +3 \\ 0 & +3 & -7 \end{vmatrix}} = \frac{40}{59} = 0.6780 \quad \text{A}$$

จะเห็นว่ามีการไหลไฟฟ้า I_1 เพียงค่าเดียวที่มีทิศสวนกับทิศของกระแสไฟฟ้าที่กำหนดไว้



ตัวอย่าง 4-7 จงหากระแสไฟฟ้า I_1 , I_2 และ I_3 ตัวต้านทานทุกตัวมีหน่วย $k\Omega$



รูป 4-24

หลักการคำนวณ ตัวต้านทานทุกตัวมีหน่วย $k\Omega$ กระแสไฟฟ้าที่ได้จะมีหน่วย mA อันที่จริงตัวอย่างนี้สามารถทำได้โดยวิธีรวมความต้านทานแล้วใช้กฎของโอห์มคำนวณหากระแสไฟฟ้า ในที่นี้จะใช้กฎของเคอร์ชอฟ

วงปิดที่ 1 วนตามเข็มนาฬิกา

$$+12 - (1 \times 10^3)I_1 - (5 \times 10^3)I_1 + (5 \times 10^3)I_2 = 0$$

$$6I_1 - 5I_2 = 12 \quad (1)$$

วงปิดที่ 2 วนตามเข็มนาฬิกา

$$-(2 \times 10^3)I_2 + (2 \times 10^3)I_3 - (5 \times 10^3)I_2 + (5 \times 10^3)I_1 - (4 \times 10^3)I_2 = 0$$

$$5I_1 - 11I_2 + 2I_3 = 0 \quad (2)$$

วงปิดที่ 3 วนตามเข็มนาฬิกา

$$-(3 \times 10^3)I_3 - (6 \times 10^3)I_3 - (2 \times 10^3)I_3 + (2 \times 10^3)I_2 = 0$$

$$2I_2 - 11I_3 = 0 \quad (3)$$

แก้สมการ (1), (2) และ (3) จะได้

$$I_1 = 3.29 \quad \text{mA}$$

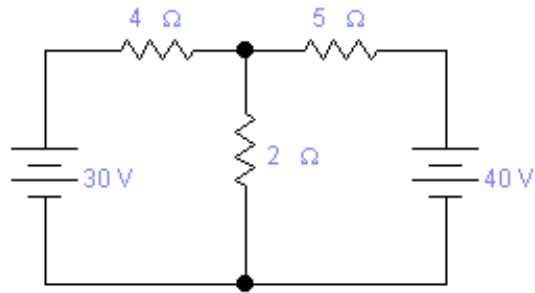
$$I_2 = 1.55 \quad \text{mA}$$

$$I_3 = 0.28 \quad \text{mA}$$

เมื่อหาคำตอบได้แล้วจะเห็นได้ว่าทิศของกระแสไฟฟ้าที่กำหนดไว้ถูกต้องแล้ว



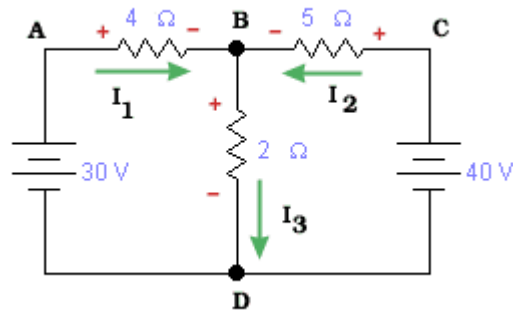
ตัวอย่าง 4-8 จงหากระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านตัวต้านทานแต่ละตัว



รูป 4-25

หลักการคำนวณ ตัวอย่างนี้ถ้าใช้วิธี กำหนดกระแสไฟฟ้าในแต่ละวงจะต้องใช้ถึง 2 วง (2 สมการ) แต่ถ้าใช้วิธีวิเคราะห์จุดแยก จะใช้เพียงสมการเดียว

1. กำหนด V_B โดยใช้จุด D เป็นจุดอ้างอิง พร้อมทั้งเครื่องหมายบวกลบ กระแสไฟฟ้า I_3 ซึ่งไหลผ่านตัวต้านทาน 2Ω จึงมีทิศจาก B ไป D
2. กำหนดทิศกระแสไฟฟ้า I_1 และ I_2 พร้อมทั้งกำหนดเครื่องหมายบนตัวต้านทาน 4Ω และ 5Ω (อย่าลืมว่าทิศของกระแสไฟฟ้าต้องไหลจากศักย์ไฟฟ้าสูงไปสู่ศักย์ไฟฟ้าต่ำ)



รูป 4-26

ทิศกระแสไฟฟ้าเป็นดังรูป 4-26 สมการกระแสไฟฟ้าที่จุด B โดยใช้กฎ KCL คือ

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

การเลือกทิศของกระแสไฟฟ้าแบบนี้แสดงว่า $V_B < 30 \text{ V}$ และ $V_B < 40 \text{ V}$

ความต่างศักย์ไฟฟ้าที่ตกคร่อมตัวต้านทาน 4Ω คือ $30 - V_B$ ดังนั้น $I_1 = (30 - V_B)/4$

ความต่างศักย์ไฟฟ้าที่ตกคร่อมตัวต้านทาน 5Ω คือ $40 - V_B$ ดังนั้น $I_2 = (40 - V_B)/5$

ความต่างศักย์ไฟฟ้าที่ตกคร่อมตัวต้านทาน 2Ω คือ V_B ดังนั้น $I_3 = V_B/2$

เมื่อแทนค่ากระแสไฟฟ้า I_1 , I_2 และ I_3 ลงไปในสมการ (1) จะได้

$$\frac{30 - V_B}{4} + \frac{40 - V_B}{5} = \frac{V_B}{2}$$

เมื่อแก้สมการจะได้

$$V_B = 16.32$$

V

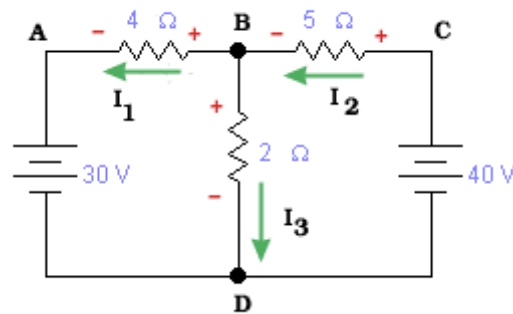


แทนค่าความต่างศักย์ไฟฟ้า V_B กลับลงไปจะได้

$$I_1 = \frac{30 - 16.32}{4} = 3.42 \quad \text{A}$$

$$I_2 = \frac{40 - 16.32}{5} = 4.74 \quad \text{A}$$

$$I_3 = \frac{16.32}{2} = 8.16 \quad \text{A}$$



รูป 4-27

ถ้าเปลี่ยนทิศกระแสไฟฟ้าเป็นทิศอื่นดังรูป 4-27 ดังนั้นที่จุด B จะได้

$$-I_1 + I_2 - I_3 = 0 \quad (2)$$

การเลือกทิศของกระแสไฟฟ้าแบบนี้แสดงว่า $V_B > 30 \text{ V}$ และ $V_B < 40 \text{ V}$

ความต่างศักย์ไฟฟ้าที่ตกคร่อมตัวต้านทาน 4Ω คือ $V_B - 30$ ดังนั้น $I_1 = (V_B - 30)/4$

ความต่างศักย์ไฟฟ้าที่ตกคร่อมตัวต้านทาน 5Ω คือ $40 - V_B$ ดังนั้น $I_2 = (40 - V_B)/5$

ความต่างศักย์ไฟฟ้าที่ตกคร่อมตัวต้านทาน 2Ω คือ V_B ดังนั้น $I_3 = V_B/2$

เมื่อแทนค่ากระแสไฟฟ้า I_1 , I_2 และ I_3 ลงไปในสมการ (2) จะได้

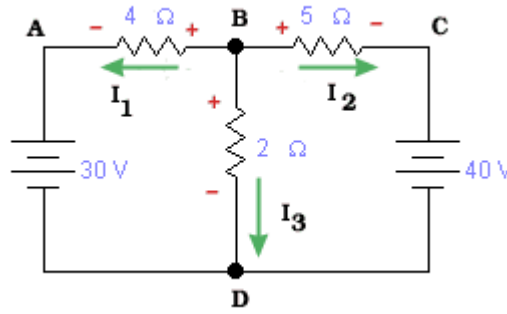
$$\frac{-(V_B - 30)}{4} + \frac{(40 - V_B)}{5} - \frac{V_B}{2} = 0$$

เมื่อแก้สมการจะได้ $V_B = 16.32 \quad \text{V}$

ในทำนองเดียวกันเมื่อแทนค่าความต่างศักย์ไฟฟ้า V_B กลับลงไป

จะได้ค่ากระแสไฟฟ้า $I_1 = -3.42 \text{ A}$, $I_2 = 4.74 \text{ A}$ และ $I_3 = 8.16 \text{ A}$ ตามลำดับ





รูป 4-28

ถ้าเปลี่ยนทิศกระแสไฟฟ้าเป็นทิศอื่นอีกแบบหนึ่ง ดังรูป 4-28 ดังนั้นที่จุด B จะได้

$$-I_1 - I_2 - I_3 = 0 \quad (3)$$

การเลือกทิศของกระแสไฟฟ้าแบบนี้แสดงว่า $V_B > 30 \text{ V}$ และ $V_B > 40 \text{ V}$

ความต่างศักย์ไฟฟ้าที่ตกคร่อมตัวต้านทาน 4Ω คือ $V_B - 30$ ดังนั้น $I_1 = (V_B - 30)/4$

ความต่างศักย์ไฟฟ้าที่ตกคร่อมตัวต้านทาน 5Ω คือ $V_B - 40$ ดังนั้น $I_2 = (V_B - 40)/5$

ความต่างศักย์ไฟฟ้าที่ตกคร่อมตัวต้านทาน 2Ω คือ V_B ดังนั้น $I_3 = V_B/2$

เมื่อแทนค่ากระแสไฟฟ้า I_1 , I_2 และ I_3 ลงไปในสมการ (3) จะได้

$$\frac{-(V_B - 30)}{4} - \frac{(V_B - 40)}{5} - \frac{V_B}{2} = 0$$

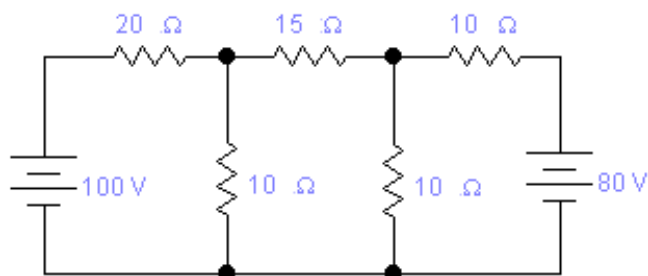
เมื่อแก้สมการจะได้ $V_B = 16.32 \text{ V}$

ในทำนองเดียวกันเมื่อแทนค่าความต่างศักย์ไฟฟ้า V_B กลับลงไป

จะได้ค่ากระแสไฟฟ้า $I_1 = -3.42 \text{ A}$, $I_2 = -4.74 \text{ A}$ และ $I_3 = 8.16 \text{ A}$ ตามลำดับ

จากตัวอย่างนี้จะเห็นว่าความต่างศักย์ไฟฟ้า V_B ไม่ขึ้นอยู่กับทิศของกระแสไฟฟ้าที่เรากำหนด

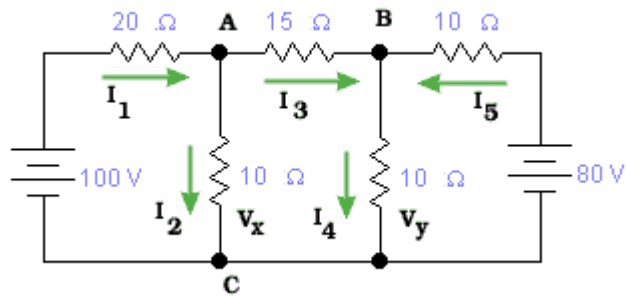
ตัวอย่าง 4-9 จงหากระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านตัวต้านทานแต่ละตัว



รูป 4-29

หลักการคำนวณ กำหนดความต่างศักย์ไฟฟ้าที่จุด A และ B เป็น V_A และ V_B ตามลำดับ โดยวัดเทียบกับจุด C กำหนดทิศของกระแสไฟฟ้า I_2 และ I_4 ก่อน จึงค่อยกำหนดกระแสไฟฟ้าที่ตัวต้านทานตัวอื่น





รูป 4-30

จากรูป 4-30 ใช้กฎ KCL หากระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านจุด A และ B

$$\text{ที่จุด A} \quad I_1 = I_2 + I_3 \quad (1)$$

$$\text{ที่จุด B} \quad I_3 + I_5 = I_4 \quad (2)$$

เปลี่ยนสมการกระแสไฟฟ้าให้อยู่ในรูปสมการความต่างศักย์ไฟฟ้า หรืออาจกล่าวอีกนัยหนึ่งว่า เมื่อทราบกระแสไฟฟ้า I_1, I_2, I_3, I_4 และ I_5 ซึ่งอยู่ในรูปของความต่างศักย์ไฟฟ้า คล้ายดังตัวอย่าง 4-9 หลังจากนั้นก็แทนค่ากระแสไฟฟ้าเหล่านั้นลงไปนในสมการ (1) และ (2) ตามลำดับ

$$\text{จากสมการ (1)} \quad \frac{100 - V_y}{20} = \frac{V_y}{10} + \frac{V_y - V_x}{15} \quad (3)$$

$$\text{จากสมการ (2)} \quad \frac{V_y - V_x}{15} + \frac{80 - V_x}{10} = \frac{V_x}{10} \quad (4)$$

เมื่อจัดรูปสมการใหม่จะได้สมการเชิงเส้น คือ

$$\begin{aligned} 4V_x - 13V_y &= -300 \\ -16V_x + 4V_y &= -480 \end{aligned}$$

แก้สมการเชิงเส้นหาคำตอบจะได้

$$\begin{aligned} V_x &= 38.75 \quad \text{V} \\ V_y &= 35 \quad \text{V} \end{aligned}$$

เมื่อแทนค่า V_x และ V_y ก็จะสามารถคำนวณหากระแสไฟฟ้าที่ผ่านตัวต้านทานแต่ละตัวได้ดังนี้

$$I_1 = 3.25 \text{ A}, I_2 = 3.50 \text{ A}, I_3 = -0.25 \text{ A}, I_4 = 3.875 \text{ A} \text{ และ } I_5 = 4.125 \text{ A}$$

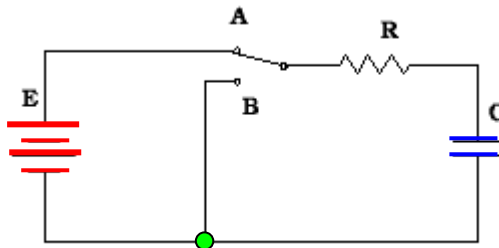
กระแสไฟฟ้า I_3 มีค่าเป็นลบ แสดงว่าทิศของกระแสไฟฟ้าที่กำหนดไว้ในรูปยังไม่ถูกต้อง ต้องกลับทิศของกระแสไฟฟ้าเป็นทิศตรงกันข้าม



4-5 วงจร RC กับแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรง

วงจร RC คือวงจรที่ประกอบด้วยตัวต้านทาน (resistor) และตัวเก็บประจุ (capacitor) วงจรที่มีแต่ตัวต้านทานอย่างเดียว กระแสไฟฟ้าในวงจรจะมีค่าคงที่ไม่เปลี่ยนแปลงตามเวลา แต่ถ้ามีตัวเก็บประจุในวงจร กระแสไฟฟ้าและความต่างศักย์จะเปลี่ยนแปลงตามเวลา

4-5-1 การวิเคราะห์กระแสไฟฟ้าในวงจร RC



รูป 4-31

วงจร RC ประกอบด้วยตัวต้านทานและตัวเก็บประจุต่อกันดังรูป 4-31 เมื่อสับสวิตช์แต่ที่จุด A จะมีกระแสไฟฟ้า I ไหลในวงจรทำให้เกิดประจุสะสมอยู่บนแผ่นทั้งสองของตัวเก็บประจุ ประจุจะทำให้เกิดความต่างศักย์ตกคร่อมที่ตัวเก็บประจุ V_C เมื่อ V_C มีค่าเท่ากับแรงเคลื่อนไฟฟ้า E จะไม่มีกระแสไฟฟ้าไหลในวงจรอีกต่อไป ประจุไฟฟ้าที่สะสม q_0 บนแผ่นประจุจะมีค่าสูงสุดเท่ากับ EC

ประจุไฟฟ้า q ที่สะสมบนตัวเก็บประจุ C ที่เวลาใดๆ หาได้โดยอาศัยกฎ KVL

$$\begin{aligned} V_R + V_C &= E \\ IR + \frac{q}{C} &= E \\ \frac{dq}{dt} + \frac{1}{RC}q &= \frac{E}{R} \end{aligned}$$

หาคำตอบของสมการ Differential โดยการใช้ Integrating Factor $e^{\frac{t}{RC}}$ คูณเข้าไปทั้งสองข้างของสมการ แล้วใช้เงื่อนไขเริ่มต้น เมื่อ $t=0$ และ $q=0$ ก็จะได้คำตอบของสมการดังนี้

$$\begin{aligned} q &= EC(1 - e^{-\frac{t}{RC}}) \\ &= q_0(1 - e^{-\frac{t}{RC}}) \end{aligned} \quad (4-6)$$

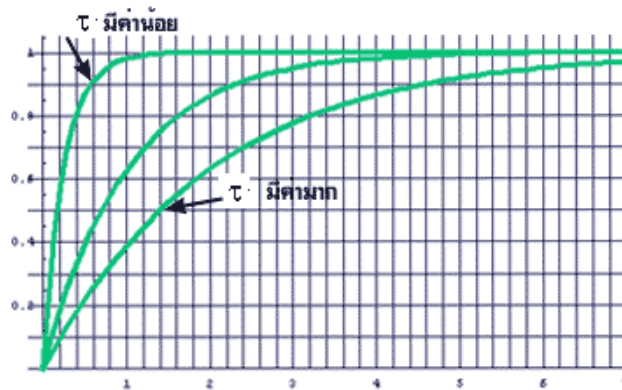
จากสมการ (4-6) จะเห็นว่าค่า $e^{-\frac{t}{RC}}$ จะมีค่าลดลง เมื่อเวลา t ผ่านไปมากขึ้น ประจุบนตัวเก็บประจุจะค่อยๆ เพิ่มขึ้น เมื่อเวลา t ผ่านไปนานมากๆ ($t \rightarrow \infty$) ประจุบนตัวเก็บประจุจะมีค่าสูงสุดเท่ากับ q_0 กำหนดให้ τ เป็นค่าคงที่เวลา (time constant) โดยที่ $\tau = RC$

เมื่อ $t = \tau = RC$ จะได้

$$q = q_0(1 - e^{-1}) = 0.63q_0$$

ค่าคงที่เวลาของวงจร RC คือ เวลาที่ใช้ในการสะสมประจุบนตัวเก็บประจุจนมีค่าเท่ากับ 63% ของค่าสูงสุด ถ้าค่าคงที่ของเวลาสั้นก็จะสามารถสะสมประจุให้เต็มได้เร็ว แต่ถ้าค่าคงที่เวลายาวนานก็จะสะสมประจุให้เต็มได้ช้าลง





รูป 4-32 แสดงลักษณะของกราฟของการสะสมประจุบนตัวเก็บประจุ เมื่อค่าคงที่เวลาต่างกัน

กระแสไฟฟ้า I ในวงจรหาได้จาก
$$I = \frac{dq}{dt}$$

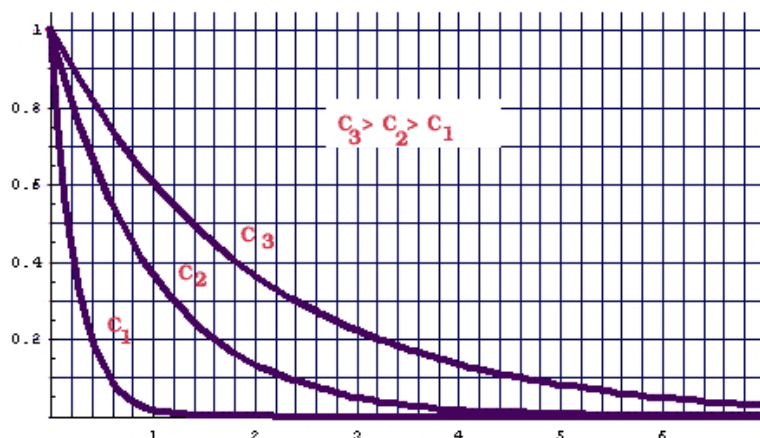
$$I = \frac{E}{R} e^{-\frac{t}{RC}} = I_0 e^{-\frac{t}{RC}} \quad (4-7)$$

จากสมการ (4-7) จะเห็นว่าเมื่อเวลา $t=0$ กระแสไฟฟ้าในวงจรจะมีค่าสูงสุดเท่ากับ E/R เมื่อเวลาผ่านไปนานมากๆ ($t \rightarrow \infty$) กระแสไฟฟ้าจะลดลงจนเป็นศูนย์ ในทางปฏิบัติจะถือว่ากระแสไฟฟ้าเป็นศูนย์ได้เมื่อเวลาผ่านไปเท่ากับ 7τ ดังรูป 4-33

แทนค่าคงที่เวลา t หรือ $\tau = RC$ ลงในสมการ (4-7) จะได้

$$I = 0.37I_0$$

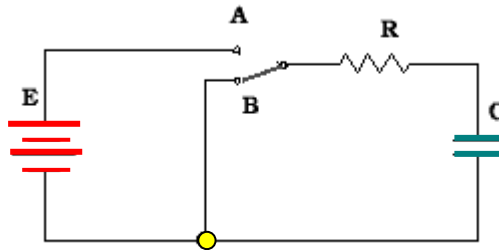
อาจกล่าวได้อีกนัยหนึ่งว่า ค่าคงที่เวลาของวงจร $\tau = RC$ คือช่วงเวลาที่ทำให้กระแสไฟฟ้าสูงสุดในวงจรลดลงเหลือ 37% ของค่าเดิม



รูป 4-33 แสดงลักษณะของกราฟเป็นการลดลงของกระแสไฟฟ้า เมื่อค่าความจุไฟฟ้า C ของตัวเก็บประจุต่างกัน



เมื่อตัวเก็บประจุสะสมประจุเต็มที่แล้ว ถ้าย้ายสวิตช์มาแตะที่จุด B ตัวเก็บประจุจะคายประจุ (discharge) ผ่านตัวต้านทาน R ทิศการไหลของกระแสไฟฟ้าจะตรงกันข้ามกับทิศเดิม



รูป 4-34 เมื่อย้ายสวิตช์มาที่ B

ดังนั้นสามารถหาประจุและกระแสไฟฟ้าในวงจรได้ดังนี้

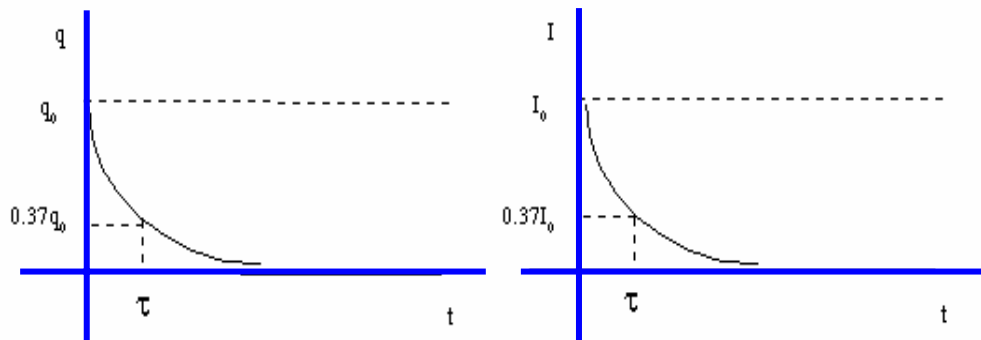
$$IR + \frac{q}{C} = 0$$

$$\frac{dq}{dt} + \frac{1}{RC}q = 0$$

จะได้คำตอบของสมการเชิงอนุพันธ์ คือ $q = q_0 e^{-\frac{t}{RC}}$

$$I = -\frac{E}{R} e^{-\frac{t}{RC}} \quad (4-8)$$

เครื่องหมายลบ แสดงว่ากระแสไฟฟ้าไหลเข้ามีทิศสวนทางกับทิศของกระแสไฟฟ้าครั้งแรก ปริมาณประจุและกระแสไฟฟ้าที่ไหลในวงจรจะลดลงแบบ Exponential

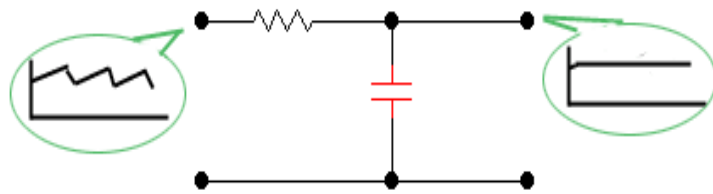


รูป 4-35 การลดลงของประจุและกระแสไฟฟ้า

4-5-2 การนำวงจร RC ไปใช้งาน

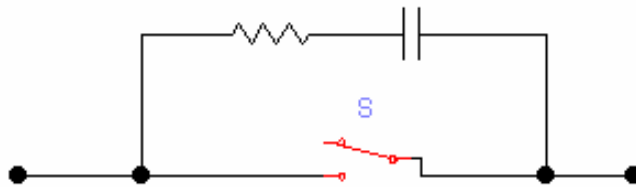
วงจร RC ใช้ในวงจรกรองกระแสไฟฟ้าในแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรง ไฟฟ้ากระแสตรงมีค่ากระแสไฟฟ้าไม่สม่ำเสมอ เมื่อผ่านวงจร RC ตัวเก็บประจุจะคายประจุตรงบริเวณที่มีกระแสน้อยกว่าปกติ และจะสะสมประจุเมื่อกระแสนี้น้อยกว่าปกติ





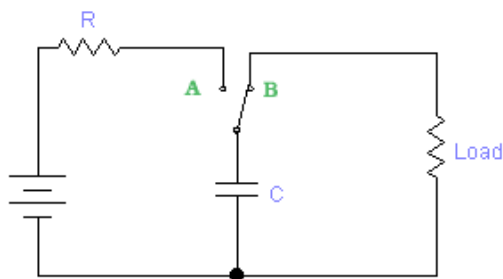
รูป 4-36 การใช้วงจร RC กรองกระแสไฟฟ้า

วงจร RC ใช้ป้องกันการเกิดประกายไฟ เนื่องจากการสัมผัสหรือการแยกออกจากกันของหน้าสัมผัสทั้งสองของสวิตช์ ขณะที่หน้าสัมผัสของสวิตช์ S แยกออกจากกัน ตัวเก็บประจุจะดูดพลังงานซึ่งเกิดจากการอาร์ค (arc) ของหน้าสัมผัสทำให้สวิตช์มีอายุการใช้งานนานขึ้น เพื่อป้องกันการหลอมละลายของหน้าสัมผัส



รูป 4-37 การใช้วงจร RC เพื่อป้องกันการเกิดประกายไฟ

ตัวต้านทาน R จะจำกัดกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านสวิตช์ขณะที่สวิตช์ต่อวงจร หรือหน้าสัมผัสแตะกัน วงจร RC ใช้ในการสะสมพลังงานจากรูป 4-37 สวิตช์ S เป็นสวิตช์แบบ SPDT (Single Pole Double Throw switch) สมมติว่าต้องใช้เวลา 8 s เพื่อจะสะสมพลังงานขนาด 50 J ที่ตัวเก็บประจุ เพื่อใช้กับไฟแฟลชของกล้องถ่ายรูป เมื่อสวิตช์ตัดกลับมาที่ B พลังงานทั้งหมดจะถูกใช้ที่ตัวต้านทานที่เป็น load ซึ่งเป็นหลอดไฟแฟลช หลอดนี้ใช้พลังงานทั้งหมดไปภายใน 1 ms กำลังไฟฟ้าเฉลี่ยที่ได้จะมีค่าเท่ากับ 50 kW

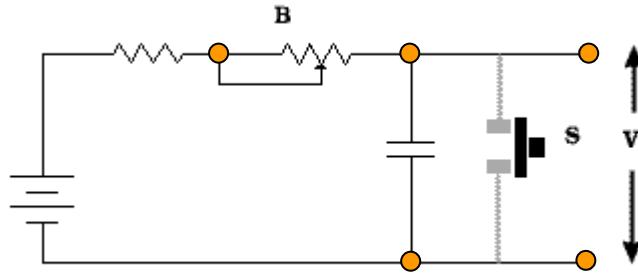


รูป 4-38 การใช้วงจร RC สะสมพลังงาน

เรานำหลักการนี้ไปสร้างเครื่องมือที่ต้องการให้เกิดพลังงานสูงในช่วงเวลาสั้นๆ (short duration megawatt pulse of energy) เช่น อุปกรณ์ในเครื่องเรดาร์ หัวระเบิดกรีที่ใช้อย่างเฉพาะจุด



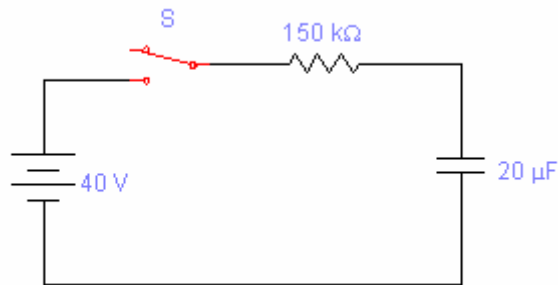
วงจร RC สามารถนำไปใช้เป็นตัวหน่วงเวลา โดยอาศัยการสะสมและคายประจุของตัวเก็บประจุ



รูป 4-39 การใช้วงจร RC หน่วงเวลา

เมื่อกดสวิตช์ S ตัวเก็บประจุจะคายประจุจนหมด เป็นการตั้งเวลาใหม่ เมื่อสวิตช์ S ถูกปล่อย ความต่างศักย์ที่ขั้วทั้งสองของตัวเก็บประจุ V_C จะค่อยๆ เพิ่มขึ้นจนถึงค่าที่กำหนดไว้ คือ ความต่างศักย์ที่ขั้วทั้งสองของตัวเก็บประจุ V_C ซึ่งใช้กระตุ้นให้อุปกรณ์อื่นทำงาน วงจรนี้จึงเป็นตัวหน่วงเวลา (time delay) โดยในช่วงชั่วระยะเวลาหนึ่ง หลังจากกดสวิตช์อุปกรณ์ที่ต่อพ่วงกับความต่างศักย์ที่ขั้วทั้งสองของตัวเก็บประจุ V_C จึงเริ่มทำงาน

ตัวอย่าง 4-10 จะเป็นเวลานานเท่าใด ความต่างศักย์ที่ตกคร่อมตัวเก็บประจุจึงจะมีค่าเท่ากับ 25 V โดยเริ่มนับเวลาหลังจากกดสวิตช์ S



รูป 4-40

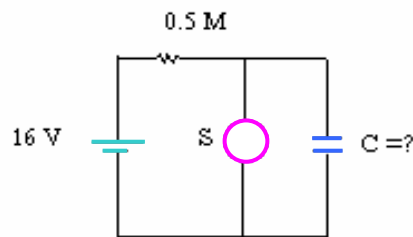
หลักการคำนวณ

จากสมการ	$V_C = \frac{q}{C} = E(1 - e^{-\frac{t}{RC}})$
แทนค่าต่างๆ ลงในสมการ	
ดังนั้นจะได้	$25 = 40(1 - e^{-\frac{t}{(150 \times 10^3)(20 \times 10^{-6})}})$
	$e^{-\frac{t}{3}} = 0.375$
เพราะฉะนั้น	$t = 2.94 \quad \text{s}$



ตัวอย่าง 4-10 เครื่องตั้งเวลาเครื่องหนึ่งใช้วงจร RC เป็นตัวนับเวลา วงจรประกอบด้วยแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรง 16 V ตัวต้านทาน $0.5\text{ M}\Omega$ สวิตช์ของเครื่องตั้งเวลาจะทำงานเมื่อมีความต่างศักย์ตกคร่อมตัวเก็บประจุ V_C เท่ากับ 6 V จงหาค่าความจุไฟฟ้าของตัวเก็บประจุที่ทำให้สวิตช์ทำงานเมื่อเวลาผ่านไป 6 s

หลักการคำนวณ เมื่อวงจรตั้งเวลาเริ่มทำงาน ตัวเก็บประจุจะสะสมประจุไว้ที่แผ่นของตัวเก็บประจุ ความต่างศักย์ที่ตกคร่อมตัวเก็บประจุ V_C จะสูงขึ้นเรื่อยๆ จนกระทั่งมีค่าเท่ากับ 6 V สวิตช์ S จึงจะเริ่มทำงาน ต้องการให้สวิตช์ทำงานในเวลา 6 s



รูป 4-41

จากสมการ
$$V_C = \frac{q}{C} = E(1 - e^{-\frac{t}{RC}})$$

แทนค่าต่างๆ ลงในสมการ

ดังนั้นจะได้
$$6 = 16(1 - e^{-\frac{6}{(0.5 \times 10^6) \times C}})$$

เพราะฉะนั้น ต้องใช้ตัวเก็บประจุที่มีค่าความจุไฟฟ้าเท่ากับ $25.5\ \mu\text{F}$

บรรยายลงในกระดานฟิสิกส์ราชมงคล



ก่อนสงครามโลกครั้งที่สอง คนเยอรมันภูมิใจมากที่พวกเขาสามารถสร้างเรือเหาะขนาดใหญ่ เท่ากับสนามฟุตบอล 3 สนามรวมกันได้สำเร็จ เขาขนานนามมันว่า เรือเหาะอินเดนเบอร์ก [กระดานฟิสิกส์ราชมงคลใหม่](#) 🔥 [คลิกดูวีดีโอการระเบิดของเรือเหาะ](#) 🔥



ทดสอบก่อนและหลังเรียน

วิธีทำให้ใส่ชื่อ สกุล เลือกวิชาที่สอบ และจำนวนข้อ แต่ต้องไม่เกินจากที่กำหนดไว้ เช่น กำหนดไว้ 10 ข้อ เวลาเลือกจำนวนข้อ ให้เลือก 5 และ 10 ข้อไม่เกินจากนี้ เป็นต้นเมื่อทำเสร็จสามารถดูคะแนนจากรายละเอียดผู้ทำข้อสอบได้ที่

เรื่องไฟฟ้ากระแสตรง

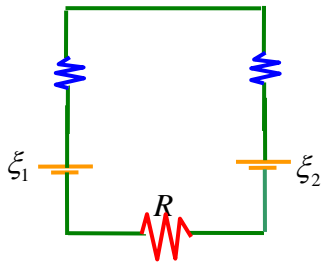
[คลิกเข้าสู่การทดสอบก่อนและหลังเรียนครับ](#) 🌟

แบบฝึกหัดเรื่องไฟฟ้ากระแสตรง

- ลวดทองแดงและลวดเหล็กมีความยาวเท่ากัน ต่างต่อเข้ากับความต่างศักย์ไฟฟ้าที่เท่ากัน
ก) จงหาอัตราส่วนของรัศมีของขดลวดทั้งสอง เมื่อมีกระแสไฟฟ้าผ่านลวดทั้งสองเป็นปริมาณเท่ากัน ให้สภาพความต้านทานของทองแดงและเหล็กเป็น 1.7×10^{-8} และ $12 \times 10^{-8} \Omega \cdot m$ ตามลำดับ [ตอบ 2.66 เท่า]
ข) ความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าเท่ากันหรือไม่ ถ้าจะให้เท่ากันควรทำอย่างไร [ตอบ ไม่ ต้องทำให้พื้นที่หน้าตัดเท่ากัน]
- แท่งอลูมิเนียมรูปสี่เหลี่ยมจตุรัสยาว 1 m ขอบหนา 5 cm จงหาความต้านทานระหว่างปลายทั้งสอง ถ้าต้องการทองแดงยาว 1 m ที่มีความต้านทานเท่ากัน จะต้องมีเส้นผ่าศูนย์กลางเท่าไรให้สภาพความต้านทานของอลูมิเนียม $2.6 \times 10^{-8} \Omega \cdot m$ [ตอบ $0.104 \times 10^{-12} \Omega$, 4.56 mm]
- กระแสไฟฟ้าขนาด 5 A ไหลผ่านขดลวดความต้านทาน 10Ω เป็นเวลา 4 นาที
ก) จงหาขนาดของประจุ [ตอบ $1.2 \times 10^3 C$]
ข) จำนวนอิเล็กตรอนที่ไหลผ่านพื้นที่ภาคตัดขวาง [ตอบ 7.5×10^{11} ตัว]
- ลวดความต้านทาน 6Ω ถูกดึงให้มีความยาวเพิ่มเป็น 3 เท่าของเดิม จงหาความต้านทานของลวดเส้นใหม่นี้ สภาพความต้านทานและความหนาแน่นของเนื้อโลหะไม่เปลี่ยนแปลง [ตอบ 54Ω]
- กระแสไฟฟ้าขนาด $10^{-10} A$ ไหลในลวดทองแดง ซึ่งมีเส้นผ่าศูนย์กลาง 0.25 cm จงหาอัตราเร็วลอยลอย (drift speed) ของอิเล็กตรอน [ตอบ $1.5 \times 10^{-19} m/s$]

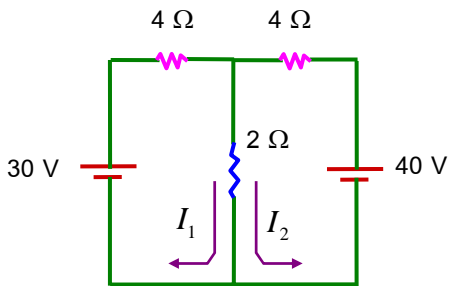


6.

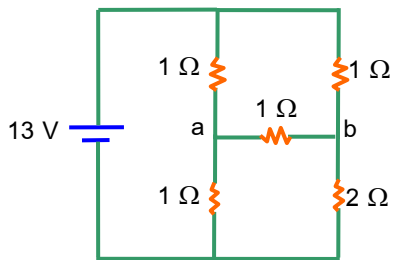


ให้ $\xi_1 = 2 \text{ V}$, $\xi_2 = 3 \text{ V}$, $r_1 = r_2 = 3 \text{ } \Omega$
 กระแสไฟฟ้าในวงจรเท่ากับ 0.001 A จงหาค่า R และกำลังไฟฟ้า
 ที่เปลี่ยนเป็นความร้อน [ตอบ $1006 \text{ } \Omega$, 10^{-6} W]

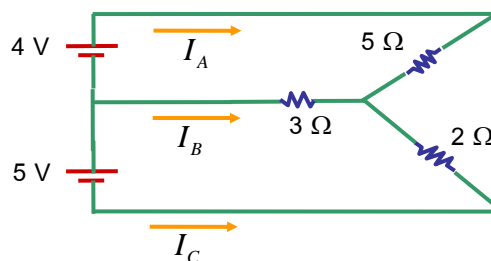
7. จงหากระแสไฟฟ้า I_1 และ I_2 [ตอบ 3.125 A , 5.625 A]



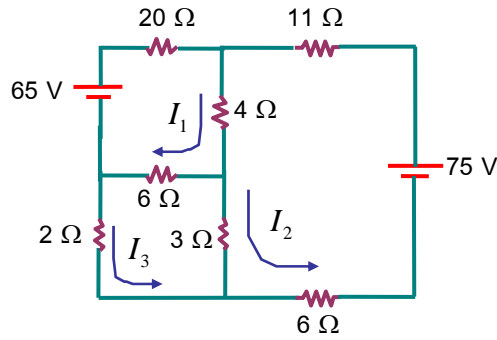
8. จงหากระแสไฟฟ้ารวมและกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านตัวต้านทาน ab [ตอบ 11 A , 1 A]



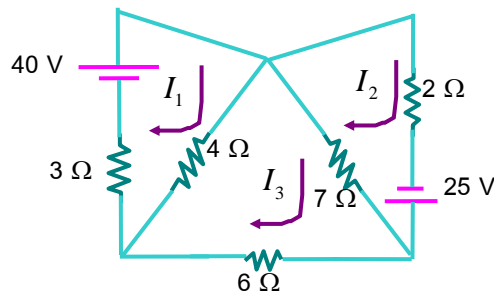
9. จงหาค่ากระแสไฟฟ้า I_A , I_B และ I_C [ตอบ $I_A = 1.129 \text{ A}$, $I_B = 0.548 \text{ A}$ และ $I_C = 1.677 \text{ A}$]



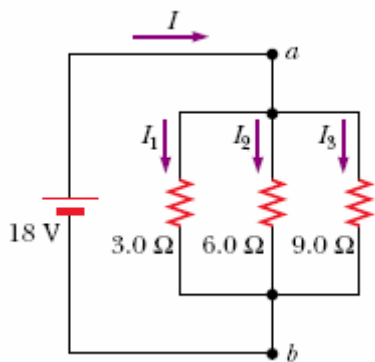
10. จงหาค่ากระแสไฟฟ้า I_1 , I_2 และ I_3 [ตอบ $I_1 = 5.21$ A, $I_2 = 3.46$ A และ $I_3 = -19.0$ A]



11. จงหาค่ากระแสไฟฟ้า I_1 , I_2 และ I_3 [ตอบ $I_1 = 8.322$ A, $I_2 = 6.327$ A และ $I_3 = 4.563$ A]

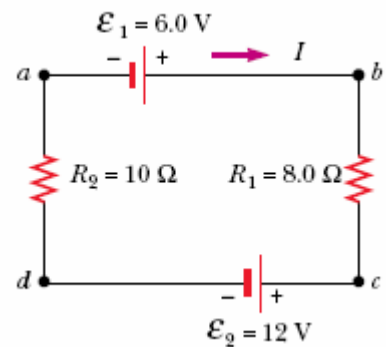


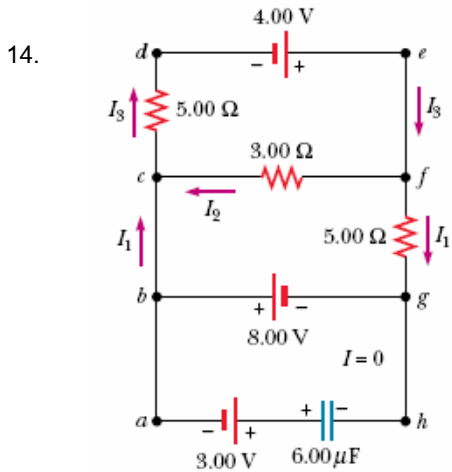
- 12.



จากรูปความต้านทานสามตัวต่อขนานกันต่ออยู่กับแบตเตอรี่ขนาด 18 V จงหากระแสไฟฟ้าที่ผ่านความต้านทานแต่ละตัว [ตอบ $I_1 = 6.0$ A, $I_2 = 3.0$ A, $I_3 = 2.0$ A]

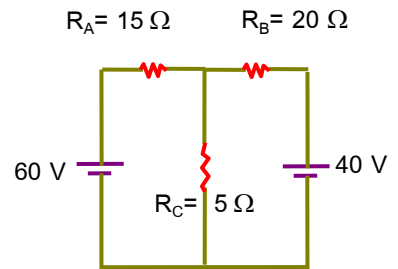
13. จากรูปจงหากระแสไฟฟ้า I ที่ไหลในวงจร [ตอบ -0.33 A]



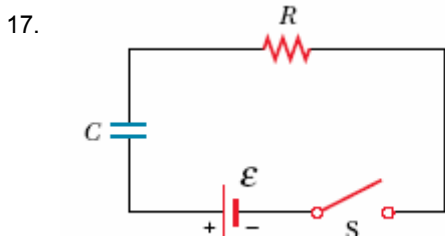
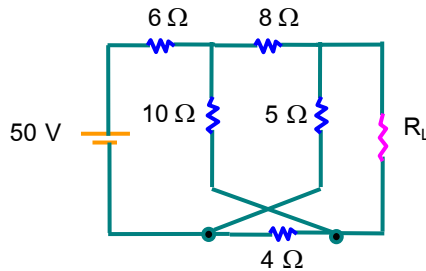


จากรูปจงหาค่ากระแสไฟฟ้า I_1 , I_2 และ I_3
 [ตอบ $I_1 = 1.38$ A, $I_2 = -0.364$ A, $I_3 = 1.02$ A]

15. จงใช้วิธี nodal analysis หาค่ากระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านตัวต้านทานแต่ละตัว ตัวต้านทานทุกตัวมีหน่วยเป็น Ω
 [ตอบ 2.74 A, 1.05 A, 3.79 A]



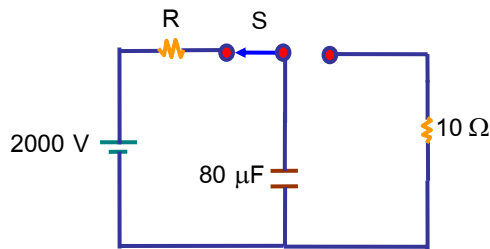
16. จงคำนวณหาค่า R_L ซึ่งทำให้เกิดกำลังไฟฟ้าสูงสุดบนตัวต้านทาน R_L นี้ [ตอบ 6.67 Ω]



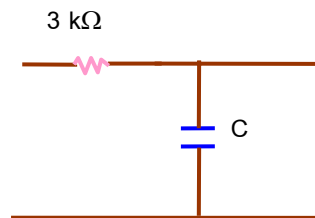
จากรูป ถ้าแรงเคลื่อนไฟฟ้า 12 V ตัวต้านทานขนาด $8 \times 10^5 \Omega$ ตัวเก็บประจุขนาด $5 \times 10^{-6} \mu F$ เมื่อสับสวิตช์ S แล้วจงหาค่า time constant, ประจุสูงสุดบนตัวเก็บประจุ และ กระแสไฟฟ้าสูงสุดที่ไหลในวงจร
 [ตอบ 4.00 s, 60 μC และ 15.0 μA]



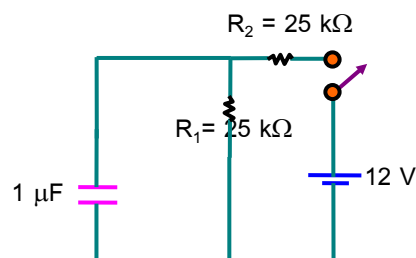
18. เมื่อตัวเก็บประจุถูกประจุจนมีประจุเต็มที่แล้ว สับสวิตช์กลับมายังตัวต้านทาน 10Ω จงหากระแสไฟฟ้าเริ่มต้นในตัวต้านทาน ถ้า 95% ของพลังงานถูกใช้ที่ตัวต้านทานในเวลา 2τ s และจงหา กำลังไฟฟ้าเฉลี่ยบนตัวต้านทาน [ตอบ 10 A, 667 kW]




19. เวลาที่กระแสไฟฟ้าใช้ในการเปลี่ยนค่าจาก 0 ถึง 90 เปอร์เซ็นต์ของค่าสูงสุด (rise time) มีค่า 4 ns จงหาค่าความจุไฟฟ้าของตัวเก็บประจุ C ในวงจร [ตอบ 0.579 pF]



20. เมื่อเริ่มสับสวิตช์ ($t = 0$) จงหากระแสไฟฟ้าเริ่มต้นและศักย์ไฟฟ้าเริ่มต้นที่ตัวต้านทานแต่ละตัว และตัวเก็บประจุ [ตอบ 0.48 mA, 12 V ที่ R_1 และ R_2]
เมื่อตัวเก็บประจุเก็บประจุจนเต็มแล้ว จงหากระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านตัวต้านทานแต่ละตัว และที่ตัวเก็บประจุ [ตอบ ที่ R_1 0.48 mA, 12 V ที่ R_2 0 A, 0 V ที่ C 0 mA, 12 V]



หนังสืออิเล็กทรอนิกส์	
ฟิสิกส์ 1(ภาคกลศาสตร์(ฟิสิกส์ 1 (ความร้อน)
ฟิสิกส์ 2	กลศาสตร์เวกเตอร์
โลหะวิทยาฟิสิกส์	เอกสารคำสอนฟิสิกส์ 1
ฟิสิกส์ 2 (บรรยาย(แก้ปัญหาฟิสิกส์ด้วยภาษา C
ฟิสิกส์พิศวง	สอนฟิสิกส์ผ่านทางอินเทอร์เน็ต
ทดสอบออนไลน์	วิดีโอการเรียนการสอน
หน้าแรกในอดีต	แผ่นใสการเรียนการสอน
เอกสารการสอน PDF	กิจกรรมการทดลองทางวิทยาศาสตร์
แบบฝึกหัดออนไลน์	สุดยอดสิ่งประดิษฐ์
การทดลองเสมือน	
บทความพิเศษ	ตารางธาตุไทย1) 2 (Eng)
พจนานุกรมฟิสิกส์	ลับสมองกับปัญหาฟิสิกส์
ธรรมชาติมหัศจรรย์	สูตรพื้นฐานฟิสิกส์
การทดลองมหัศจรรย์	ดาราศาสตร์ราชมงคล
แบบฝึกหัดกลาง	
แบบฝึกหัดโลหะวิทยา	แบบทดสอบ
ความรู้รอบตัวทั่วไป	อะไรเอ่ย ?
ทดสอบ)เกมเศรษฐี(คติปริศนา
ข้อสอบเอนทรานซ์	เฉลยกลศาสตร์เวกเตอร์
คำศัพท์ประจำสัปดาห์	
ความรู้รอบตัว	
การประดิษฐ์ของโลก	ผู้ได้รับโนเบลสาขาฟิสิกส์
นักวิทยาศาสตร์เทศ	นักวิทยาศาสตร์ไทย
ดาราศาสตร์พิศวง	การทำงานของอุปกรณ์ทางฟิสิกส์
การทำงานของอุปกรณ์ต่าง ๆ	

 การเรียนรู้การสอนฟิสิกส์ 1 ผ่านทางอินเทอร์เน็ต 	
1. การวัด	2. เวกเตอร์
3. การเคลื่อนที่แบบหนึ่งมิติ	4. การเคลื่อนที่บนระนาบ
5. กฎการเคลื่อนที่ของนิวตัน	6. การประยุกต์กฎการเคลื่อนที่ของนิวตัน
7. งานและพลังงาน	8. การดลและโมเมนตัม
9. การหมุน	10. สมดุลของวัตถุแข็งเกร็ง
11. การเคลื่อนที่แบบคาบ	12. ความยืดหยุ่น
13. กลศาสตร์ของไหล	14. ปริมาณความร้อน และ กลไกการถ่ายโอนความร้อน
15. กฎข้อที่หนึ่งและสองของเทอร์โมไดนามิก	16. คุณสมบัติเชิงโมเลกุลของสสาร
17. คลื่น	18. การสั่น และคลื่นเสียง
 การเรียนรู้การสอนฟิสิกส์ 2 ผ่านทางอินเทอร์เน็ต 	
1. ไฟฟ้าสถิต	2. สนามไฟฟ้า
3. ความกว้างของสายฟ้า	4. ตัวเก็บประจุและการต่อตัวต้านทาน
5. ศักย์ไฟฟ้า	6. กระแสไฟฟ้า
7. สนามแม่เหล็ก	8. การเหนี่ยวนำ
9. ไฟฟ้ากระแสสลับ	10. ทรานซิสเตอร์
11. สนามแม่เหล็กไฟฟ้าและเสาอากาศ	12. แสงและการมองเห็น
13. ทฤษฎีสัมพัทธภาพ	14. กลศาสตร์ควอนตัม
15. โครงสร้างของอะตอม	16. นิวเคลียร์
 การเรียนรู้การสอนฟิสิกส์ทั่วไป ผ่านทางอินเทอร์เน็ต 	
1. จลศาสตร์ (kinematic)	2. จลพลศาสตร์ (kinetics)
3. งานและโมเมนตัม	4. ซิมเปิลฮาร์โมนิก คลื่น และเสียง
5. ของไหลกับความร้อน	6. ไฟฟ้าสถิตกับกระแสไฟฟ้า
7. แม่เหล็กไฟฟ้า	8. คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้ากับแสง
9. ทฤษฎีสัมพัทธภาพ อะตอม และนิวเคลียร์	

