

แบบทดสอบก่อนเรียน

หน่วยที่ 2 วงจรไฟฟ้าเบื้องต้น

จงเลือกคำตอบที่ถูกต้องที่สุดเพียงข้อเดียว

1. หม้อหุงข้าวไฟฟ้า ขนาด 1200 W จงคำนวณหากระแสไฟฟ้าที่ใช้ในอุปกรณ์นี้

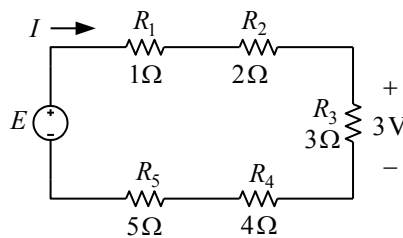
ก. 1.83 A

ข. 0.183 A

ค. 5.45 A

ง. 0.54 A

จากวงจรในรูปที่ 1 ใช้สำหรับคำถามข้อ 2 – 3



รูปที่ 1 สำหรับคำถามข้อ 2 – 3

2. จากวงจรในรูปที่ 1 E มีค่าเท่าใด

ก. 15 V

ข. 10 V

ค. 12 V

ง. 20 V

3. กระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่าน R_5 มีค่าเท่าใด

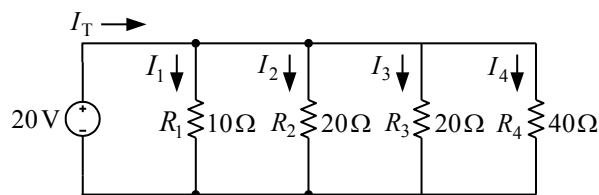
ก. 2 A

ข. 1 A

ค. 500 mA

ง. 800 mA

จากวงจรในรูปที่ 2 ใช้สำหรับคำถามข้อ 4 – 5



รูปที่ 2 สำหรับคำถามข้อ 4 – 5

4. ค่าความต้านทานรวม R_T มีค่าเท่าใด

ก. 8.4 Ω

ข. 20 Ω

ค. 12.4 Ω

ง. 4.4 Ω

5. กระแสไฟฟ้า I_4 มีค่าเท่าใด

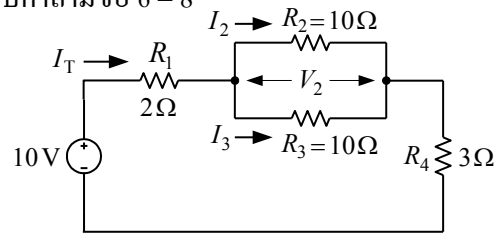
ก. 500 mA

ข. 400 mA

ค. 200 mA

ง. 800 mA

จากวงจรในรูปที่ 3 ใช้สำหรับคำถามข้อ 6 – 8



รูปที่ 3 ใช้สำหรับคำถามข้อ 6 – 8

6. ค่าความต้านทานรวม R_T มีค่าเท่าใด

- | | |
|---------|---------|
| ก. 15 Ω | ข. 25 Ω |
| ค. 10 Ω | ง. 5 Ω |

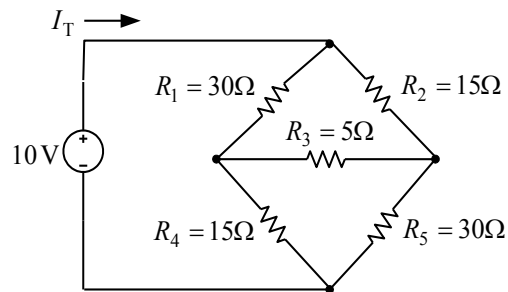
7. แรงดันไฟฟ้า V_2 มีค่าเท่าใด

- | | |
|--------|--------|
| ก. 2 V | ข. 3 V |
| ค. 4 V | ง. 5 V |

8. กระแสไฟฟ้า I_2 มีค่าเท่าใด

- | | |
|-----------|-----------|
| ก. 200 mA | ข. 500 mA |
| ค. 600 mA | ง. 1 A |

จากวงจรในรูปที่ 4 ใช้สำหรับคำถามข้อ 9 – 10



รูปที่ 4 ใช้สำหรับคำถามข้อ 9 – 10

9. ค่าความต้านทานรวม R_T มีค่าเท่าใด

- | | |
|------------|------------|
| ก. 15.45 Ω | ข. 25.45 Ω |
| ค. 20.45 Ω | ง. 10.45 Ω |

10. กระแสไฟฟ้า I_T มีค่าเท่าใด

- | | |
|-----------|-----------|
| ก. 438 mA | ข. 4.88 A |
| ค. 458 mA | ง. 488 mA |

หน่วยที่ 2 วงจรไฟฟ้าเบื้องต้น

สาระสำคัญ

วงจรไฟฟ้าเบื้องต้นประกอบด้วย วงจรแบบอนุกรม แบบขนาน และแบบผสม การวิเคราะห์วงจรไฟฟ้าในแต่ละแบบจะอาศัยกฎของโอห์มเป็นหลัก ส่วนวงจรสตาร์ - เดลต้า นั้นเป็นการแปลงวงจรเพื่อให้การวิเคราะห์วงจรทำได้ง่ายขึ้นโดยอาศัยกฎของโอห์ม และหลักการของวงจรอนุกรม และวงจรขนาน

เนื้อหาสาระ

- | | |
|----------------|------------------------|
| 1.1 กฎของโอห์ม | 1.2 กำลังไฟฟ้า |
| 1.3 วงจรอนุกรม | 1.4 วงจรขนาน |
| 1.5 วงจรผสม | 1.6 วงจร สตาร์ – เดลตา |

จุดประสงค์การเรียนรู้

จุดประสงค์ทั่วไป เพื่อให้มีความรู้และเข้าใจในเรื่อง :

- | | |
|----------------|------------------------|
| 1.1 กฎของโอห์ม | 1.2 กำลังไฟฟ้า |
| 1.3 วงจรอนุกรม | 1.4 วงจรขนาน |
| 1.5 วงจรผสม | 1.6 วงจร สตาร์ – เดลตา |

เชิงพฤติกรรม หลังจากเรียนจบหน่วยเรียนนี้แล้ว ผู้เรียนควรมีความสามารถดังนี้

- 1.1 อธิบาย กฎของโอห์ม ได้
- 1.2 คำนวณหา กำลังไฟฟ้า ได้
- 1.3 วิเคราะห์หาค่าความต้านทานรวม กระแสและแรงดันไฟฟ้า ในวงจรอนุกรม ได้
- 1.4 วิเคราะห์หาค่าความต้านทานรวม กระแสและแรงดันไฟฟ้า ในวงจรขนาน ได้
- 1.5 วิเคราะห์หาค่าความต้านทานรวม กระแสและแรงดันไฟฟ้า ในวงจรผสม ได้
- 1.6 แปลงวงจร สตาร์ – เดลตา และ เดลตา – สตาร์ ได้

หน่วยที่ 2 วงจรไฟฟ้าเบื้องต้น

ทุกสาขาวิชา ในสาขาวิศวกรรมไฟฟ้า ไม่ว่าจะเป็น อิเล็กทรอนิกส์ โทรคมนาคม คอมพิวเตอร์ ระบบควบคุม เครื่องมือวัดอุตสาหกรรม และไฟฟ้ากำลัง ทุกสาขามีพื้นฐานที่สำคัญ คือ ทฤษฎีวงจรไฟฟ้าทั้งสิ้น เมื่อได้เข้ามาศึกษาในสาขานี้แล้ว ถือว่ามีความสำคัญและจำเป็นอย่างยิ่ง ที่จะต้องให้ความสำคัญ และศึกษาทั้งทฤษฎีและการวิเคราะห์วงจรไฟฟ้าเพื่อเป็นการวางรากฐานในการศึกษาทางด้านสาขาไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์

2.1 กฎของโอห์ม

Georg Simon Ohm (1787 – 1854) นักฟิสิกส์ชาวเยอรมัน ผู้ค้นพบความสัมพันธ์ระหว่าง กระแสไฟฟ้า , แรงดัน และความต้านทานด้วยการทดลองในปี ค.ศ. 1826 เขาได้ตีพิมพ์เผยแพร่ผลการทดลองและเป็นที่ยอมรับ หน่วยของความต้านทานจึงมีชื่อเรียกว่า โอห์ม เพื่อเป็นเกียรติแก่ผู้ค้นพบ

กฎของโอห์ม กล่าวไว้ว่า แรงดันที่ตกคร่อมตัวต้านทานจะแปรผันตรงกับกระแสที่ไหลผ่านตัวต้านทานด้วยค่าคงที่ การแปรผันเท่ากับ ความต้านทานของตัวต้านทาน มีหน่วยเป็นโอห์ม

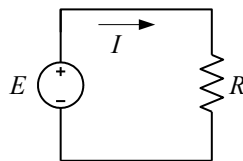
กฎของโอห์ม เขียนเป็นสมการได้ดังนี้

$$E = IR \quad \dots\dots\dots(2.1)$$

เมื่อ E คือแรงดันไฟฟ้า มีหน่วยเป็น โวลต์ (Volt:V)

I คือกระแสไฟฟ้า มีหน่วยเป็น แอมแปร์ (Amperes:A)

R คือความต้านทาน มีหน่วยเป็น โอห์ม (Ohm:Ω)



รูปที่ 2.1 วงจรไฟฟ้าเบื้องต้น

ตัวอย่างที่ 2.1 จากวงจรในรูปที่ 2.1 ถ้า $R = 6\Omega$ และ $E = 3V$ จงหากระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านตัวต้านทาน

วิธีทำ

จากสมการ $E = IR$

$$\therefore I = \frac{E}{R} = \frac{3V}{6\Omega}$$

$$\therefore I = 0.5A$$

.....**ตอบ**

2.2 กำลังไฟฟ้า

กำลังไฟฟ้า (Electrical Power : P) คือ ผลคูณระหว่างแรงดันไฟฟ้า (V) กับกระแสไฟฟ้า (A) หน่วยของกำลังไฟฟ้า เรียกว่า วัตต์ (Watt : W) เขียนเป็น สมการได้ดังนี้

$$P = EI \quad \dots\dots\dots(2.2)$$

- เมื่อ P คือกำลังไฟฟ้า มีหน่วยเป็น วัตต์ (Watt : W)
- I คือกระแสไฟฟ้า มีหน่วยเป็น แอมแปร์ (Amperes : A)
- E คือแรงดันไฟฟ้า มีหน่วยเป็น โวลต์ (Volt : V)

จากกฎของโอห์ม $E = IR$ แทนค่า E ลงในสมการที่ (2.1) จะได้

$$P = (IR)I$$

$$P = I^2R \quad \dots\dots\dots(2.3)$$

ตัวอย่างที่ 2.2 จากวงจรในรูปที่ 2.1 จงคำนวณหา กำลังไฟฟ้าที่เกิดขึ้น ที่ตัวต้านทาน

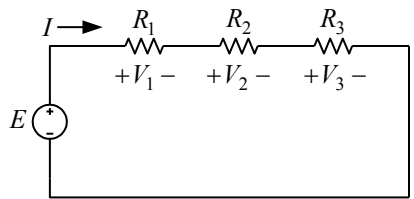
วิธีทำ จากสมการ $P = EI$

$$P = (3V)(0.5A)$$

$\therefore P = 1.5 \text{ W} \quad \dots\dots\dots$ **ตอบ**

2.3 วงจรอนุกรม

วงจรอนุกรม คือ การต่อโหลด หรือตัวต้านทานตั้งแต่ 2 ตัวขึ้นไป ต่อเรียงอันดับกัน การต่อวงจรแบบอนุกรม ทำให้ทิศทางกระแสไหลของกระแสไฟฟ้า ไหลไปในทิศทางเดียวกัน และกระแสที่ผ่านโหลด หรือตัวต้านทาน คือ กระแสไฟฟ้าตัวเดียวกัน มีปริมาณเท่ากัน แต่ แรงดันไฟฟ้าที่ตกคร่อมตัวต้านทานหรือโหลดแต่ละตัว อาจจะไม่เท่ากัน แล้วแต่ค่าของความต้านทานแต่ละตัว ซึ่งเป็นไปตามคุณสมบัติ ของ กฎของโอห์ม วงจรอนุกรมแสดงดังรูปที่ 2.2



รูปที่ 2.2 วงจรอนุกรมที่ต่อโหลด 3 ตัว

จากรูปที่ 2.2 สรุปคุณสมบัติของวงจรอนุกรมได้ดังนี้

1. กระแสไฟฟ้า (I) ที่ไหลในวงจรจะมีปริมาณเท่ากันเมื่อไหลผ่าน โหลดแต่ละตัว
2. แรงดันตกคร่อมโหลดตัวต้านทานแต่ละตัว เป็นไปตาม กฎของ โอห์ม ดังนี้

$$V_1 = IR_1 , V_2 = IR_2 , V_3 = IR_3$$

เมื่อ V_1 คือแรงดันตกคร่อมตัวต้านทานโหลด R_1

V_2 คือแรงดันตกคร่อมตัวต้านทานโหลด R_2

V_3 คือแรงดันตกคร่อมตัวต้านทานโหลด R_3

และแรงดันที่ตกคร่อมโหลดตัวต้านทานแต่ละตัว รวมกันแล้วจะเท่ากับแรงดันที่แหล่งจ่าย E

$$E = V_1 + V_2 + V_3$$

3. ความต้านทานรวมของวงจรจะเท่ากับความต้านทานโหลดทุกตัวรวมกัน

$$R_T = R_1 + R_2 + R_3$$

เมื่อ R_T คือค่าความต้านทานรวมในวงจร

ตัวอย่างที่ 2.3 จากวงจรในรูปที่ 2.2 ถ้า $R_1 = 5\Omega$, $R_2 = 10\Omega$, $R_3 = 15\Omega$ และ $E = 30\text{ V}$

จงหา (1) ความต้านทานรวมในวงจร

(2) กระแสไฟฟ้าที่ไหลในวงจร

(3) แรงดันตกคร่อมตัวต้านทานแต่ละตัว

(4) กำลังไฟฟ้าที่เกิดขึ้นที่ตัวต้านทานแต่ละตัว

วิธีทำ (1) ความต้านทานรวมในวงจร

จากคุณสมบัติของวงจรอนุกรมและจากรูปที่ 2.2

$$R_T = R_1 + R_2 + R_3$$

$$R_T = 5\Omega + 10\Omega + 15\Omega$$

$$\therefore R_T = 30\Omega$$

.....ตอบ

(2) กระแสไฟฟ้าที่ไหลในวงจร

จากกฎของโอห์ม $E = IR$

$$I = \frac{E}{R_T} = \frac{30\text{ V}}{30\Omega}$$

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

.....ตอบ

(3) แรงดันตกคร่อมตัวต้านทานแต่ละตัว

จากกฎของโอห์ม และจากรูปที่ 2.2

$$V_1 = IR_1 = (1\text{ A})(5\Omega)$$

$$\therefore V_1 = 5\text{ V}$$

.....ตอบ

$$V_2 = IR_2 = (1\text{ A})(10\Omega)$$

$$\therefore V_2 = 10\text{ V}$$

.....ตอบ

$$V_3 = IR_3 = (1\text{ A})(15\Omega)$$

$$\therefore V_3 = 15\text{ V}$$

.....ตอบ

(4) กำลังไฟฟ้าที่เกิดขึ้นที่ตัวต้านทานแต่ละตัว

จากสมการที่(2.2) และรูปที่ 2.2

$$P = EI \dots\dots\dots(2.2)$$

$$P_1 = V_1I = (5V)(1A) = 5 \text{ W} \dots\dots\dots\text{ตอบ}$$

$$P_2 = V_2I = (10V)(1A) = 10 \text{ W} \dots\dots\dots\text{ตอบ}$$

$$P_3 = V_3I = (15V)(1A) = 15 \text{ W} \dots\dots\dots\text{ตอบ}$$

อีกวิธี จากสมการที่ (2.3)

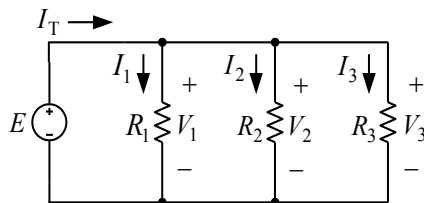
$$P_1 = I^2R_1 = (1A)^2 (5\Omega) = 5 \text{ W}$$

$$P_2 = I^2R_2 = (1A)^2 (10\Omega) = 10 \text{ W}$$

$$P_3 = I^2R_3 = (1A)^2 (15\Omega) = 15 \text{ W}$$

2.4 วงจรขนาน

วงจรรขนาน คือ การต่อโหลด หรือตัวต้านทานตั้งแต่ 2 ตัวขึ้นไป ต่อคร่อมเข้าจุดเดียวกัน(ทั้งขั้วบน 1 จุดและขั้วล่าง 1 จุด) เส้นทางไหลของกระแสไฟฟ้ามีหลายเส้นทางตามจำนวน โหลดตัวต้านทานที่ต่อแบบขนาน กระแสไฟฟ้าจะแยกไหลผ่านตัวต้านทานแต่ละตัวจะมีค่ามากหรือน้อยขึ้นอยู่กับค่าความต้านทานของโหลดตัวต้านทานแต่ละตัว ซึ่งก็เป็นไปตามของ กฎของโอห์ม วงจรรขนานแสดงดังรูปที่ 2.3



รูปที่ 2.3 วงจรรขนานที่ต่อโหลด 3 ตัว

จากรูปที่ 2.3 สรุปคุณสมบัติของวงจรรขนาน ได้ดังนี้

1. แรงดันตกคร่อม โหลดตัวต้านทานแต่ละตัว เท่ากัน และเท่ากับแหล่งจ่าย E

$$E = V_1 = V_2 = V_3$$

ถ้าต่อโหลดมากกว่า 3 ตัว แรงดันตกคร่อม โหลดตัวต่อๆ ไปก็ จะเท่ากัน

$$E = V_1 = V_2 = V_3 = \dots = V_n$$

2. กระแสไฟฟ้ารวม (I_T) ที่ไหลในวงจรจะเท่ากับผลรวมของกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่าน โหลดแต่ละตัว

$$I_T = I_1 + I_2 + I_3$$

ถ้าต่อโหลดมากกว่า 3 ตัว กระแสไฟฟ้ารวม จะเท่ากับผลรวมของกระแสไฟฟ้าทุกสาขา

$$I_T = I_1 + I_2 + I_3 + \dots + I_n$$

3. ความต้านรวมในวงจรขนานหาได้ ดังนี้

$$\frac{1}{R_T} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3}$$

ถ้าต่อโหลดมากกว่า 3 ตัว ความต้านรวมในวงจรขนาน จะเป็น

$$\frac{1}{R_T} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} + \dots + \frac{1}{R_n}$$

แต่ถ้าต่อโหลด 2 ตัว ความต้านรวมในวงจรขนาน จะเป็น

$$R_T = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2}$$

ตัวอย่างที่ 2.4 จากวงจรในรูปที่ 2.3 ถ้า $R_1 = 5\Omega$, $R_2 = 10\Omega$, $R_3 = 20\Omega$ และ $E = 20\text{V}$ จงหา

- (1) ความต้านทานรวมในวงจร
- (2) กระแสไฟฟ้ารวม และกระแสไฟฟ้าที่ไหลในแต่ละสาขา
- (3) กำลังไฟฟ้าที่เกิดขึ้นที่ตัวต้านทานแต่ละตัว

วิธีทำ (1) ความต้านทานรวมในวงจร

$$\begin{aligned} \text{จากคุณสมบัติของวงจรขนาน} \quad \frac{1}{R_T} &= \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} \\ \frac{1}{R_T} &= \frac{1}{5\Omega} + \frac{1}{10\Omega} + \frac{1}{20\Omega} \\ \frac{1}{R_T} &= \frac{4+2+1}{20\Omega} = \frac{7}{20\Omega} \\ \therefore R_T &= \frac{20\Omega}{7} = 2.857\Omega \end{aligned}$$

.....ตอบ

(2) กระแสไฟฟ้ารวม และกระแสไฟฟ้าที่ไหลในแต่ละสาขา

$$\begin{aligned} \text{จากกฎของโอห์ม} \quad I_T &= \frac{E}{R_T} = \frac{20\text{V}}{(20/7)\Omega} \\ \therefore I_T &= 7\text{A} \\ I_1 &= \frac{E}{R_1} = \frac{20\text{V}}{5\Omega} = 4\text{A} \\ I_2 &= \frac{E}{R_2} = \frac{20\text{V}}{10\Omega} = 2\text{A} \\ I_3 &= \frac{E}{R_3} = \frac{20\text{V}}{20\Omega} = 1\text{A} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{หรือ} \quad I_T &= I_1 + I_2 + I_3 \\ I_T &= 4\text{A} + 2\text{A} + 1\text{A} = 7\text{A} \end{aligned}$$

.....ตอบ

(3) กำลังไฟฟ้าที่เกิดขึ้นที่ตัวต้านทานแต่ละตัว

จากสมการที่(2.2) และรูปที่ 2.3

$$P = EI$$

$$P_1 = EI_1 = (20\text{ V})(4\text{ A}) = 80\text{ W}$$

$$P_2 = EI_2 = (20\text{ V})(2\text{ A}) = 40\text{ W}$$

$$P_3 = EI_3 = (20\text{ V})(1\text{ A}) = 20\text{ W}$$

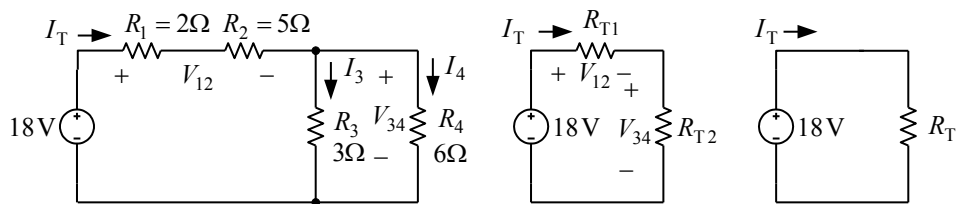
.....ตอบ

2.5 วงจรผสม

วงจรผสม คือ วงจรที่ประกอบด้วย การต่อวงจรแบบวงจรอนุกรมและวงจรขนานต่อร่วมกัน การคำนวณค่าต่างๆ จะทำการวิเคราะห์เป็นส่วนๆ ถ้าส่วนไหนของวงจรต่อแบบอนุกรม ก็ทำการวิเคราะห์โดยหลักการวงจรอนุกรม ถ้าส่วนไหนเป็นวงจรขนาน ก็จะต้องทำการวิเคราะห์โดยหลักการวงจรขนาน จากนั้นจึงรวมความต้านทานทั้งหมดเข้าด้วยกัน

ตัวอย่างที่ 2.5 จากวงจรในรูปที่ 2.4(ก) จงคำนวณหา

- (1) ความต้านทานรวมในวงจร
- (2) กระแสไฟฟ้ารวม และกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านตัวต้านทานแต่ละตัว
- (3) กำลังไฟฟ้าที่เกิดขึ้นที่ตัวต้านทานแต่ละตัว



(ก) วงจรผสมโหลด 4 ตัว

(ข) แสดงการยุบหา R_{T1}, R_{T2}

(ง) แสดงการหา R_T

รูปที่ 2.4 วงจรผสมสำหรับตัวอย่างที่ 2.5

วิธีทำ (1) ความต้านทานรวมในวงจร

พิจารณาวงจรรูปในที่ 2.4(ก) จะพบว่า ส่วนที่เป็นวงจรอนุกรมคือ ส่วน R_1 อนุกรมกับ R_2 ส่วนที่เป็นวงจรขนานคือส่วน R_3 ขนานกับ R_4

ให้ความต้านทานรวมส่วนที่เป็นวงจรอนุกรมเป็น R_{T1} และ ความต้านทานรวมส่วนที่เป็นวงจรขนานเป็น R_{T2} ดังรูปที่ 2.4(ข) ดังนั้น

$$R_{T1} = R_1 + R_2$$

$$R_{T1} = 2\Omega + 5\Omega = 7\Omega$$

และ

$$R_{T2} = \frac{R_3 R_4}{R_3 + R_4}$$

$$R_{T2} = \frac{(3\Omega)(6\Omega)}{3\Omega + 6\Omega} = \frac{18\Omega^2}{9\Omega} = 2\Omega$$

เมื่อได้ค่า R_{T1} และ R_{T2} จะพบว่าทั้ง 2 ค่านี้ต่ออนุกรมกันอยู่ดังรูปที่ 2.4 (ข) ดังนั้น

$$R_T = R_{T1} + R_{T2}$$

$$R_T = 7\Omega + 2\Omega = 9\Omega$$

.....ตอบ

(2) กระแสไฟฟ้ารวม และกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านตัวต้านทานแต่ละตัว

จากกฎของโอห์ม $I_T = \frac{E}{R_T} = \frac{18V}{9\Omega} = 2A$

.....ตอบ

พิจารณาวงจรในรูปที่ 2.4 (ก) กระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่าน ตัวต้านทาน R_1 และ R_2 คือ กระแสไฟฟ้ารวมนั่นเอง ดังนั้น กระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่าน ตัวต้านทาน R_1 และ R_2 คือ $I_T = 2A$

ต่อไปวิเคราะห์หา กระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่าน R_3 และ R_4 จะต้องทราบค่าแรงดัน V_{34} เสียก่อน พิจารณาวงจรในรูปที่ 2.4 (ข) ใช้กฎของโอห์ม จะพบว่า

$$V_{34} = I_T R_{T2}$$

$$V_{34} = (2A)(2\Omega) = 4V$$

จะได้ $I_3 = \frac{V_{34}}{R_3} = \frac{4V}{3\Omega} = 1.333A$

.....ตอบ

และ $I_4 = \frac{V_{34}}{R_4} = \frac{4V}{6\Omega} = 0.667A$

.....ตอบ

(3) กำลังไฟฟ้าที่เกิดขึ้นที่ตัวต้านทานแต่ละตัว

จากสมการที่(2.2) และรูปที่ 2.4 $P = EI$ (2.2)

จากกฎของโอห์ม $E = IR$

แทนค่า $E = IR$ ลงในสมการที่ (2.2) จะได้

$$P = (IR)I = I^2R$$

$$P_1 = I_T^2 R_1 = (2A)^2(2\Omega) = 8W$$

$$P_2 = I_T^2 R_2 = (2A)^2(5\Omega) = 20W$$

$$P_3 = I_3^2 R_3 = (1.333A)^2(3\Omega) = 5.33W$$

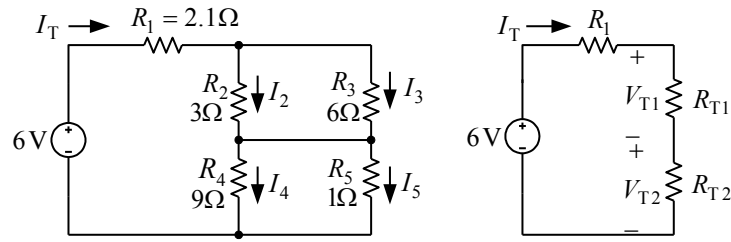
$$P_4 = I_4^2 R_4 = (0.667A)^2(6\Omega) = 2.67W$$

.....ตอบ

ตัวอย่างที่ 2.6 จากวงจรในรูปที่ 2.5(ก) จงคำนวณหา

(1) ความต้านทานรวมในวงจร

(2) กระแสไฟฟ้ารวม และกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านตัวต้านทานแต่ละตัว



(ก) วงจรผสมโหนด 5 ตัว

(ข) แสดงการยุบหา R_{T1}, R_{T2}

รูปที่ 2.5 วงจรผสมสำหรับตัวอย่างที่ 2.6

วิธีทำ (1) ความต้านทานรวมในวงจร

พิจารณาวงจรรูปในที่ 2.5(ก) จะพบว่า เป็นวงจรขนาน 2 ส่วน แล้วอนุกรมกัน คือ ส่วน R_3 ขนานกับ R_2 อีกส่วนคือ วงจรขนาน R_5 กับ R_4 แล้วทั้ง 2 ส่วนนี้อนุกรมกับ R_1 รวมเป็นความต้านทานทั้งหมดของวงจรนี้

ให้ความต้านทานรวมส่วนที่เป็นวงจรขนาน R_2, R_3 เป็น R_{T1} และ ความต้านทานรวมส่วนที่เป็นวงจรขนาน R_4, R_5 เป็น R_{T2} ดังรูปที่ 2.5(ข) ดังนั้น

$$R_{T1} = R_2 // R_3$$

$$R_{T1} = \frac{R_2 R_3}{R_2 + R_3}$$

$$R_{T1} = \frac{(3\Omega)(6\Omega)}{3\Omega + 6\Omega} = \frac{18\Omega^2}{9\Omega} = 2\Omega$$

$$R_{T2} = R_4 // R_5$$

$$R_{T2} = \frac{R_4 R_5}{R_4 + R_5}$$

$$R_{T2} = \frac{(9\Omega)(1\Omega)}{9\Omega + 1\Omega} = \frac{9\Omega^2}{10\Omega} = 0.9\Omega$$

ดังนั้น จะได้ $R_T = R_1 + R_{T1} + R_{T2}$

$$R_T = 2.1\Omega + 2\Omega + 0.9\Omega$$

$$\therefore R_T = 5\Omega$$

.....**ตอบ**

(2) กระแสไฟฟ้ารวม และกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านตัวต้านทานแต่ละตัว

จากกฎของโอห์ม $I_T = \frac{E}{R_T} = \frac{6V}{5\Omega} = 1.2A$

.....**ตอบ**

พิจารณาวงจรในรูปที่ 2.5 (ก) กระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่าน ตัวต้านทาน R_1 คือ กระแสไฟฟ้ารวมนั่นเอง ดังนั้น กระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่าน ตัวต้านทาน R_1 คือ $I_T = 1.2A$

ต่อไปวิเคราะห์หา กระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่าน R_2 และ R_3 จะต้องทราบค่าแรงดัน V_{T1} เสียก่อน พิจารณาวงจรในรูปที่ 2.5 (ข) ใช้กฎของโอห์ม จะพบว่า $V_{T1} = I_T R_{T1}$

$$V_{T1} = (1.2A)(2\Omega) = 2.4V$$

จะได้ $I_2 = \frac{V_{T1}}{R_2} = \frac{2.4\text{V}}{3\Omega} = 0.8\text{A}$ ตอบ

และ $I_3 = \frac{V_{T1}}{R_4} = \frac{2.4\text{V}}{6\Omega} = 0.4\text{A}$ ตอบ

เช่นเดียวกับ V_{T1} จะได้ $V_{T2} = I_T R_{T2}$

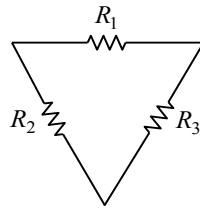
$$V_{T2} = (1.2\text{A})(0.9\Omega) = 1.08\text{V}$$

จะได้ $I_4 = \frac{V_{T2}}{R_4} = \frac{1.08\text{V}}{9\Omega} = 0.12\text{A}$ ตอบ

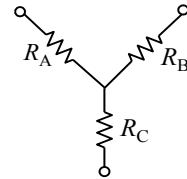
และ $I_5 = \frac{V_{T2}}{R_5} = \frac{1.08\text{V}}{1\Omega} = 1.08\text{A}$ ตอบ

2.6 วงจร สตาร์ – เดลตา

ในบางครั้งการวิเคราะห์วงจรไฟฟ้ามักจะพบปัญหาอยู่เสมอ จึงต้องมีการแปลงรูปแบบของวงจร เช่นการแปลงวงจรสตาร์ เป็น วงจรเดลตา และวงจรเดลตา เป็นวงจรสตาร์ การนำไปใช้ เช่น ในวงจร บริดจ์ แบบ วิทสโตน บริดจ์ เป็นต้น วงจร สตาร์ – เดลตา แสดงดังรูปที่ 2.6



(ก) วงจร สตาร์



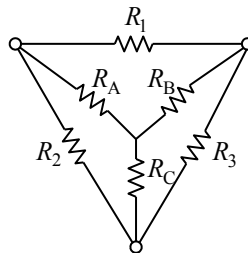
(ข) วงจร เดลตา

รูปที่ 2.6 วงจร สตาร์ – เดลตา

การแปลงวงจรสตาร์ – วงจรเดลตา และ วงจรเดลตา – วงจรสตาร์

การแปลงวงจรสตาร์ เป็น วงจรเดลตา ทำได้โดยใช้ หลักการของวงจรไฟฟ้าแบบอนุกรม – ขนาน และ กฎของโอห์ม มาทำการวิเคราะห์ ในที่นี้จะไม่กล่าวถึง เนื่องจากเวลามีจำกัด จะสรุปเป็น สูตร สมการและเทคนิคการจำ ดังนี้

นำวงจรเดลตา มาวางทาบกับ วงจรสตาร์ จะได้ดังรูปที่ 2.7



รูปที่ 2.7 แสดงความสัมพันธ์ ระหว่างวงจรสตาร์ – เดลตา

การแปลง เดลตา เป็น สตาร์

$$R_A = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2 + R_3} \dots\dots\dots(2.4)$$

$$R_B = \frac{R_1 R_3}{R_1 + R_2 + R_3} \dots\dots\dots(2.5)$$

$$R_C = \frac{R_2 R_3}{R_1 + R_2 + R_3} \dots\dots\dots(2.6)$$

การแปลงสตาร์ เป็น เดลตา

$$R_1 = \frac{R_A R_B + R_B R_C + R_C R_A}{R_C} \dots\dots\dots(2.7)$$

$$R_2 = \frac{R_A R_B + R_B R_C + R_C R_A}{R_B} \dots\dots\dots(2.8)$$

$$R_3 = \frac{R_A R_B + R_B R_C + R_C R_A}{R_A} \dots\dots\dots(2.9)$$

ตัวอย่างที่ 2.7 จากวงจรในรูปที่ 2.6 (ก) จงแปลงให้เป็นวงจรเดลตา ถ้า

$$R_1 = 300\Omega, R_2 = 150\Omega, R_3 = 50\Omega$$

วิธีทำ จากสมการที่ (2.4) – (2.6)

$$R_A = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2 + R_3}$$

$$R_A = \frac{(300\Omega)(150\Omega)}{300\Omega + 150\Omega + 50\Omega}$$

$$\therefore R_A = \frac{45000\Omega^2}{500\Omega} = 90\Omega$$

.....ตอบ

$$R_B = \frac{R_1 R_3}{R_1 + R_2 + R_3}$$

$$R_B = \frac{(300\Omega)(50\Omega)}{300\Omega + 150\Omega + 50\Omega}$$

$$\therefore R_B = \frac{15000\Omega^2}{500\Omega} = 30\Omega$$

.....ตอบ

$$R_C = \frac{R_2 R_3}{R_1 + R_2 + R_3}$$

$$R_C = \frac{(50\Omega)(150\Omega)}{300\Omega + 150\Omega + 50\Omega}$$

$$\therefore R_C = \frac{7500\Omega^2}{500\Omega} = 15\Omega$$

.....ตอบ

ตัวอย่างที่ 2.8 จากวงจรในรูปที่ 2.6 (ข) จงแปลงให้เป็นวงจรสตาร์ ถ้า

$R_A = 0.5\Omega$, $R_B = 1\Omega$, $R_3 = 0.33\Omega$

วิธีทำ จากสมการที่ (2.7) – (2.9)

$$R_1 = \frac{R_A R_B + R_B R_C + R_C R_A}{R_C}$$

$$R_1 = \frac{(0.5\Omega)(1\Omega) + (1\Omega)(0.33\Omega) + (0.33\Omega)(0.5\Omega)}{0.33\Omega}$$

$$R_1 = \frac{0.5\Omega^2 + 0.33\Omega^2 + 0.17\Omega^2}{0.33\Omega}$$

$$\therefore R_1 = \frac{1\Omega^2}{0.33\Omega} = 3\Omega \quad \dots\dots\dots\text{ตอบ}$$

$$R_2 = \frac{R_A R_B + R_B R_C + R_C R_A}{R_B}$$

$$R_2 = \frac{(0.5\Omega)(1\Omega) + (1\Omega)(0.33\Omega) + (0.33\Omega)(0.5\Omega)}{1\Omega}$$

$$R_2 = \frac{0.5\Omega^2 + 0.33\Omega^2 + 0.17\Omega^2}{1\Omega}$$

$$\therefore R_2 = \frac{1\Omega^2}{1\Omega} = 1\Omega \quad \dots\dots\dots\text{ตอบ}$$

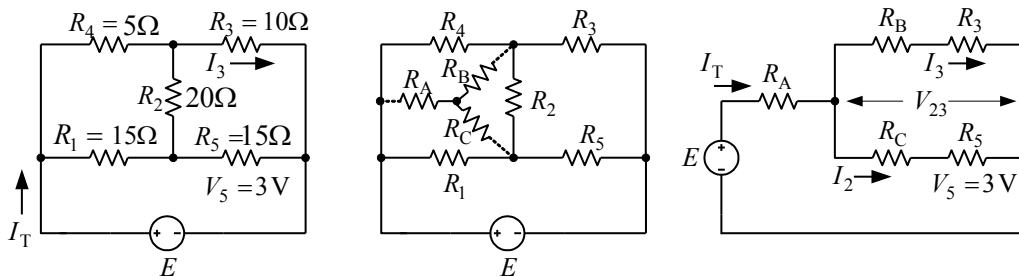
$$R_3 = \frac{R_A R_B + R_B R_C + R_C R_A}{R_A}$$

$$R_3 = \frac{(0.5\Omega)(1\Omega) + (1\Omega)(0.33\Omega) + (0.33\Omega)(0.5\Omega)}{0.5\Omega}$$

$$R_3 = \frac{0.5\Omega^2 + 0.33\Omega^2 + 0.17\Omega^2}{0.5\Omega}$$

$$\therefore R_3 = \frac{1\Omega^2}{0.5\Omega} = 2\Omega \quad \dots\dots\dots\text{ตอบ}$$

ตัวอย่างที่ 2.9 จากวงจรในรูปที่ 2.8 ถ้ามีแรงดันตกคร่อม R_5 เท่ากับ 3V จงคำนวณหาค่า E , I_T และ I_3



(ก) วงจรผสมโหนด 5 ตัว (ข) แสดงการแปลงเป็นวงจรเดลตา (ค) แสดงการวิเคราะห์
รูปที่ 2.8 วงจรผสมสำหรับตัวอย่างที่ 2.9

วิธีทำ จากวงจรในรูปที่ 2.8 (ก) เขียนให้ดูง่าย โดยการแปลงให้เป็นวงจรสตาร์ ดังรูปที่ 2.8 (ข) และ (ค) จากวงจรในรูปที่ 2.8 (ก) และสมการที่ (2.4) – (2.6)

$$R_A = \frac{R_1 R_4}{R_1 + R_2 + R_4}$$

$$R_A = \frac{(15\Omega)(5\Omega)}{15\Omega + 20\Omega + 5\Omega}$$

$$R_A = \frac{75\Omega^2}{40\Omega} = 1.875\Omega$$

$$R_B = \frac{R_2 R_4}{R_1 + R_2 + R_4}$$

$$R_B = \frac{(20\Omega)(5\Omega)}{15\Omega + 20\Omega + 5\Omega}$$

$$R_B = \frac{100\Omega^2}{40\Omega} = 2.5\Omega$$

$$R_C = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2 + R_4}$$

$$R_C = \frac{(15\Omega)(20\Omega)}{15\Omega + 20\Omega + 5\Omega}$$

$$R_C = \frac{300\Omega^2}{40\Omega} = 7.5\Omega$$

ให้ R_B และ R_3 ที่อนุกรมกันเป็น R_{T1} และ R_C กับ R_5 ที่อนุกรมกันเป็น R_{T2} และให้ ส่วนของ R_{T1} และ R_{T2} ที่ขนานกัน รวมเป็น R_{T3} ดังรูปที่ 2.8 (ค)

$$\text{ดังนั้น} \quad R_{T1} = R_B + R_3$$

$$R_{T1} = 2.5\Omega + 10\Omega = 12.5\Omega$$

$$R_{T2} = R_C + R_5$$

$$R_{T2} = 7.5\Omega + 15\Omega = 22.5\Omega$$

$$R_{T3} = \frac{R_{T1} R_{T2}}{R_{T1} + R_{T2}}$$

$$R_{T3} = \frac{(12.5\Omega)(22.5\Omega)}{(12.5\Omega) + (22.5\Omega)}$$

$$R_{T3} = \frac{281.25\Omega^2}{35\Omega} = 8.036\Omega$$

$$\text{สุดท้าย จะได้} \quad R_T = R_A + R_{T3}$$

$$\therefore R_T = 1.875\Omega + 8.036\Omega = 9.911\Omega$$

แรงตกคร่อมตัวต้านทาน R_5 เท่ากับ 3 V ดังนั้นจะหาค่ากระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่าน R_5 ได้โดยใช้กฎของโอห์ม ให้กระแสที่ไหลผ่าน R_5 เป็น I_2

$$\text{ดังนั้น} \quad I_2 = \frac{V_5}{R_5} = \frac{3\text{V}}{15\Omega} = 0.2\text{A}$$

จากกฎของโอห์มและ รูปที่ 2.8 (ค)

$$V_{23} = I_2 R_{T2}$$

$$V_{23} = (0.2 \text{ A})(22.5 \Omega) = 4.5 \text{ V}$$

$$\therefore I_3 = \frac{V_{23}}{R_{T1}} = \frac{4.5 \text{ V}}{12.5 \Omega} = 0.36 \text{ A} \quad \dots\dots\dots\text{ตอบ}$$

จากรูปที่ 2.8 (ค) จะพบว่า กระแสไฟฟ้า I_T ไหลแยกออกเป็น 2 สาขา คือ I_2 และ I_3

ดังนั้น $I_T = I_2 + I_3$

$$I_T = (0.2 \text{ A}) + (0.36 \text{ A}) = 0.56 \text{ A} \quad \dots\dots\dots\text{ตอบ}$$

จากกฎของโอห์มและรูปที่ 2.8 (ค) $E = I_T R_T$

$$\therefore E = (0.56 \text{ A})(9.911 \Omega) = 5.55 \text{ V} \quad \dots\dots\dots\text{ตอบ}$$

สรุปสาระสำคัญ

กฎของโอห์มเป็นพื้นฐานของการศึกษาในสาขาไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ กฎของโอห์ม กล่าวไว้ว่า แรงดันที่ตกคร่อมตัวต้านทานจะแปรผันตรงกับกระแสที่ไหลผ่านตัวต้านทานด้วยค่าคงที่ การแปรผันเท่ากับ ความต้านทานของตัวต้านทาน มีหน่วยเป็นโอห์ม

กฎของโอห์ม เขียนเป็นสมการได้ดังนี้ $E = IR$

กำลังไฟฟ้า (Electrical Power : P) คือ ผลคูณระหว่างแรงดันไฟฟ้า (V) กับกระแสไฟฟ้า (A) หน่วยของกำลังไฟฟ้า เรียกว่า วัตต์ (Watt : W) เขียนเป็น สมการได้ดังนี้ $P = EI$

วงจรไฟฟ้าแบบอนุกรม กระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่าน โหลดแต่ละตัวมีค่าเท่ากัน แต่แรงดันไฟฟ้าตกคร่อม โหลดแต่ละตัวไม่เท่ากันถ้าค่าความต้านทาน โหลดไม่เท่ากัน

วงจรไฟฟ้าแบบขนาน แรงดัน ไฟฟ้าที่ตกคร่อม โหลดแต่ละตัวมีค่าเท่ากันและเท่ากับแหล่งจ่ายที่จ่ายให้กับวงจร และกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่าน โหลดแต่ละตัวไม่เท่ากันถ้าค่าความต้านทาน โหลดไม่เท่ากัน

วงจรผสมคือวงจรที่มีทั้งส่วนที่เป็นวงจรอนุกรม และขนานรวมอยู่ในวงจรเดียวกัน การวิเคราะห์ จะต้องพิจารณาทีละส่วน โดยใช้คุณสมบัติของวงจรอนุกรมและขนานในการวิเคราะห์

แบบฝึกหัด

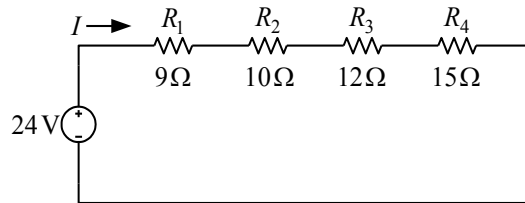
หน่วยที่ 2 วงจรไฟฟ้าเบื้องต้น

1. หลอดไฟฟ้าขนาด 50 W ใช้กับแรงดันไฟฟ้า 220 V จงคำนวณหา ความต้านทานของหลอดไฟฟ้า และกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านหลอด ขณะเปิดใช้งาน **คำตอบ** $I = 0.227 \text{ A}$, $R = 969 \Omega$

2. เตารีดไฟฟ้า ขนาด 1,000 W ใช้กับแรงดันไฟฟ้า 220 V จงคำนวณหากระแสไฟฟ้าที่ใช้ในอุปกรณ์นี้ **คำตอบ** $I = 4.545 \text{ A}$

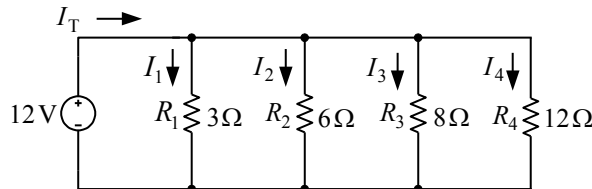
3. วงจรอนุกรมในรูปที่ 2.9 จงหาค่าความต้านทานรวม กระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านวงจร แรงดันไฟฟ้าที่ตกคร่อมตัวต้านทานแต่ละตัว และกำลังไฟฟ้าที่ตัวต้านทานแต่ละตัว

คำตอบ $R_T = 48 \Omega$, $I = 0.5 \text{ A}$, $V_1 = 4.5 \text{ V}$, $V_2 = 5 \text{ V}$, $V_3 = 6 \text{ V}$, $V_4 = 7.5 \text{ V}$, $P_1 = 2.25 \text{ W}$, $P_2 = 2.5 \text{ W}$, $P_3 = 3 \text{ W}$, $P_4 = 3.75 \text{ W}$



วงจรรูปที่ 2.9 วงจรอนุกรมสำหรับแบบฝึกหัดข้อที่ 3

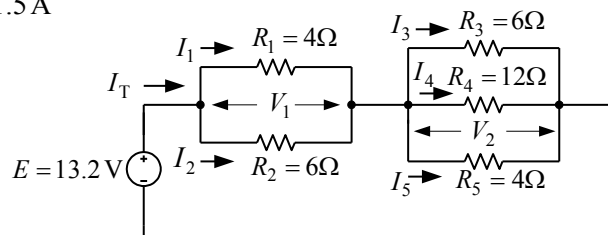
4. วงจรขนานในรูปที่ 2.10 จงหาค่าความต้านทานรวม กระแสไฟฟ้ารวม และกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านตัวต้านทานแต่ละตัว **คำตอบ** $R_T = 1.41 \Omega$, $I_T = 8.5 \text{ A}$, $I_1 = 4 \text{ A}$, $I_2 = 2 \text{ A}$, $I_3 = 1.5 \text{ A}$, $I_4 = 1 \text{ A}$



วงจรรูปที่ 2.10 วงจรขนานสำหรับแบบฝึกหัดข้อที่ 4

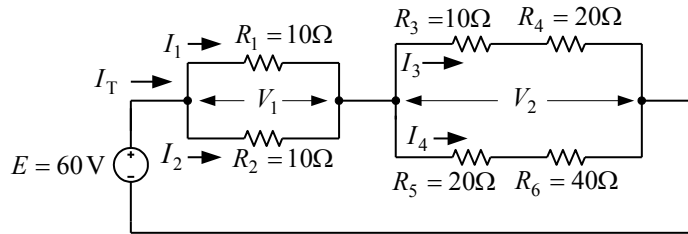
5. จากวงจรในรูปที่ 2.11 จงหาค่าความต้านทานรวม กระแสไฟฟ้ารวม และกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านตัวต้านทานแต่ละตัว **คำตอบ** $R_T = 4.4 \Omega$, $I_T = 3 \text{ A}$, $I_1 = 1.8 \text{ A}$, $I_2 = 1.2 \text{ A}$, $I_3 = 1 \text{ A}$,

$I_4 = 0.5 \text{ A}$, $I_5 = 1.5 \text{ A}$



รูปที่ 2.11 วงจรผสมสำหรับแบบฝึกหัดข้อที่ 5

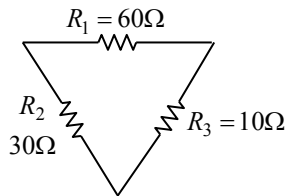
6. จากวงจรในรูปที่ 2.12 จงหาค่าความต้านทานรวม กระแสไฟฟ้ารวม และกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านตัวต้านทานแต่ละสาขา **คำตอบ** $R_T = 25\Omega$, $I_T = 2.4\text{ A}$, $I_1 = 1.2\text{ A}$, $I_2 = 1.2\text{ A}$, $I_3 = 1.6\text{ A}$, $I_4 = 0.8\text{ A}$



รูปที่ 2.12 วงจรผสมสำหรับแบบฝึกหัดข้อที่ 6

7. จากวงจรในรูปที่ 2.13 จงแปลงวงจรเดลตาให้เป็น สตาร์

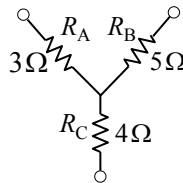
คำตอบ $R_A = 18\Omega$, $R_B = 6\Omega$, $R_C = 3\Omega$



รูปที่ 2.13 วงจรสตาร์สำหรับแบบฝึกหัดข้อที่ 7

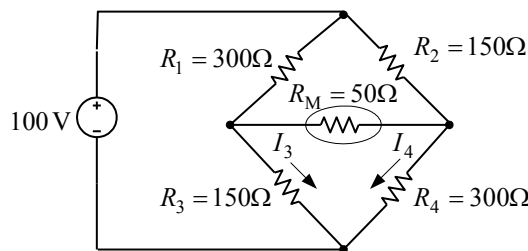
8. จากวงจรในรูปที่ 2.14 จงแปลงวงจรเดลตาให้เป็น สตาร์

คำตอบ $R_1 = 11.75\Omega$, $R_2 = 9.4\Omega$, $R_3 = 15.66\Omega$



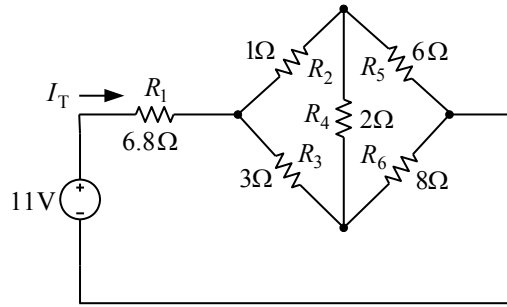
รูปที่ 2.14 วงจรเดลตาสำหรับแบบฝึกหัดข้อที่ 8

9. วงจร วิทสโตนบริดจ์ ดังรูปที่ 2.15 ถ้ากัลป์วานอมิเตอร์มีค่าความต้านทานภายใน (R_M) เป็น 50Ω จงหากระแสไฟฟ้าที่ผ่าน R_3 และ R_4 **คำตอบ** $I_3 = 0.311\text{ A}$, $I_4 = 0.177\text{ A}$



รูปที่ 2.15 วงจร วิทสโตน บริดจ์สำหรับแบบฝึกหัดข้อที่ 9

10. วงจรไฟฟ้าดังรูปที่ 2.16 จงหากระแสไฟฟ้ารวมของวงจร คำตอบ $I_T = 1\text{ A}$



รูปที่ 2.16 วงจรบริดจ์สำหรับแบบฝึกหัดข้อที่ 10

แบบทดสอบหลังเรียน

หน่วยที่ 2 วงจรไฟฟ้าเบื้องต้น

จงเลือกคำตอบที่ถูกต้องที่สุดเพียงข้อเดียว

1. หม้อหุงข้าวไฟฟ้า ขนาด 1200 W จงคำนวณหากระแสไฟฟ้าที่ใช้ในอุปกรณ์นี้

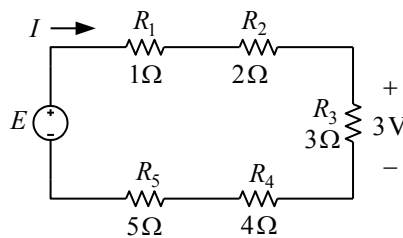
ก. 5.45 A

ข. 0.183 A

ค. 1.83 A

ง. 0.54 A

จากวงจรในรูปที่ 1 ใช้สำหรับคำถามข้อ 2 – 3



รูปที่ 1 สำหรับคำถามข้อ 2 – 3

2. จากวงจรในรูปที่ 1 E มีค่าเท่าใด

ก. 12 V

ข. 10 V

ค. 15 V

ง. 20 V

3. กระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่าน R_5 มีค่าเท่าใด

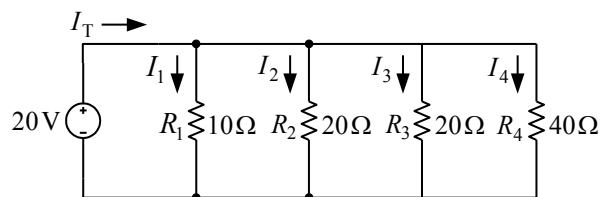
ก. 2 A

ข. 800 mA

ค. 500 mA

ง. 1 A

จากวงจรในรูปที่ 2 ใช้สำหรับคำถามข้อ 4 – 5



รูปที่ 2 สำหรับคำถามข้อ 4 – 5

4. ค่าความต้านทานรวม R_T มีค่าเท่าใด

ก. 8.4 Ω

ข. 20 Ω

ค. 4.4 Ω

ง. 10.4 Ω

5. กระแสไฟฟ้า I_4 มีค่าเท่าใด

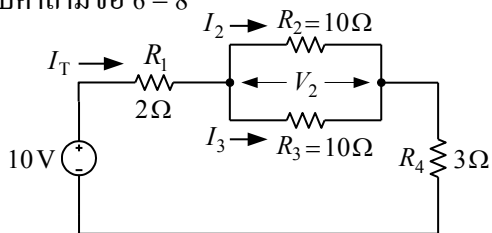
ก. 400 mA

ข. 500 mA

ค. 200 mA

ง. 800 mA

จากวงจรในรูปที่ 3 ใช้สำหรับคำถามข้อ 6 – 8



รูปที่ 3 ใช้สำหรับคำถามข้อ 6 – 8

6. ค่าความต้านทานรวม R_T มีค่าเท่าใด

- | | |
|----------------|----------------|
| ก. 10 Ω | ข. 25 Ω |
| ค. 15 Ω | ง. 5 Ω |

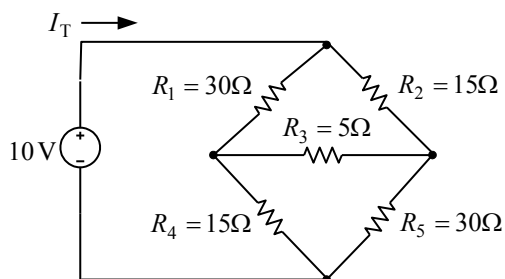
7. แรงดันไฟฟ้า V_2 มีค่าเท่าใด

- | | |
|--------|--------|
| ก. 2 V | ข. 5 V |
| ค. 4 V | ง. 3 V |

8. กระแสไฟฟ้า I_2 มีค่าเท่าใด

- | | |
|-----------|-----------|
| ก. 200 mA | ข. 600 mA |
| ค. 500 mA | ง. 1 A |

จากวงจรในรูปที่ 4 ใช้สำหรับคำถามข้อ 9 – 10



รูปที่ 4 ใช้สำหรับคำถามข้อ 9 – 10

9. ค่าความต้านทานรวม R_T มีค่าเท่าใด

- | | |
|-------------------|-------------------|
| ก. 15.45 Ω | ข. 25.45 Ω |
| ค. 20.45 Ω | ง. 10.45 Ω |

10. กระแสไฟฟ้า I_T มีค่าเท่าใด

- | | |
|-----------|-----------|
| ก. 438 mA | ข. 4.88 A |
| ค. 488 mA | ง. 458 mA |

เอกสารอ้างอิง

กิตติพล ชิตสกุล. (2540). **ทฤษฎีและตัวอย่างโจทย์คณิตศาสตร์พื้นฐาน สำหรับไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์**.

กรุงเทพฯ : แมคกรอ-ฮิล อินเตอร์เนชันแนล เอ็นเตอร์ไพรส์, อิงค์.

มงคล ทองสงคราม. (2540). **ทฤษฎีวงจรไฟฟ้า 1**. กรุงเทพฯ : หจก. วิ.เจ.พรีนติ้ง.

ไมตรี วรวิจิตรยากุล. (2550). **ทฤษฎีวงจรไฟฟ้า เล่ม 1**. พิมพ์ครั้งที่ 5. กรุงเทพฯ :

บริษัท ส. เอเชียเพรส (1989) จำกัด.

บัณฑิต บัวบุชา. (2539). **ทฤษฎีและการวิเคราะห์วงจรไฟฟ้าเล่ม1**. กรุงเทพฯ : สำนักพิมพ์

ฟิสิกส์เซ็นเตอร์.

วิโรจน์ รัตนวิจารณ์. (2557). **วงจรไฟฟ้ากระแสตรง**. กรุงเทพฯ : บริษัท เต็มรักการพิมพ์จำกัด.

บุญเรือง วัชิตลาบุตร. (2555). **วงจรไฟฟ้ากระแสตรงและกระแสสลับ**. กรุงเทพฯ : บริษัท ชนภัทร

(2006) พรีนติ้ง จำกัด.

ประทุม ฉ่ำโสพล. (2549). **วิเคราะห์วงจรไฟฟ้า**. กรุงเทพฯ : บริษัทสำนักพิมพ์เอ็มพันธ์ จำกัด.

ธำรงค์ศักดิ์ หมินกำหริม., อนุวัฒน์ ทองสกุล. **คณิตศาสตร์อิเล็กทรอนิกส์**. กรุงเทพฯ : บริษัท พัฒนา

วิชาการ (2535) จำกัด.

Charles K. Alexander Matthew N.O. Sadiku. **Fundamentals of Electric Circuits**. Second Edition Singapore. McGraw-Hill. 2004.

David E. Johnson, Johnny R. Johnson, John L. Hilburn. **Electric circuit analysis**. (2 rd . Ed.), Simon & Schuster Asia Pte Ltd., Singapore. Prentice-Hall International, Inc . 1996.

ภาคผนวก

- เฉลยแบบทดสอบก่อนและหลังเรียน
- เฉลยแบบฝึกหัดท้ายหน่วย

เฉลยแบบทดสอบก่อนเรียนและหลังเรียน

เฉลยแบบทดสอบก่อนเรียนหน่วยที่ 2

- 1) ค 2) ก 3) ข 4) ง 5) ก 6) ค 7) ง 8) ข 9) ค 10) ง
-
-

เฉลยแบบทดสอบหลังเรียนหน่วยที่ 2

- 1) ก 2) ค 3) ง 4) ค 5) ข 6) ก 7) ข 8) ค 9) ก 10) ค
-
-

เฉลยแบบฝึกหัด

หน่วยที่ 2 วงจรไฟฟ้าเบื้องต้น

1. หลอดไฟฟ้าขนาด 50 W ใช้กับแรงดันไฟฟ้า 220 V จงคำนวณหา ความต้านทานของหลอดไฟฟ้า และกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านหลอด ขณะเปิดใช้งาน

วิธีทำ จากสมการ $P = EI$

แทนค่าลงในสมการ $50 \text{ W} = (220 \text{ V})I$

$$\therefore I = \frac{50 \text{ W}}{220 \text{ V}} = 0.227 \text{ A} \quad \dots\dots\dots \text{ตอบ}$$

จากกฎของโอห์ม $E = IR$

$$\therefore R = \frac{E}{I} = \frac{220 \text{ V}}{0.227 \text{ A}} = 969 \Omega \quad \dots\dots\dots \text{ตอบ}$$

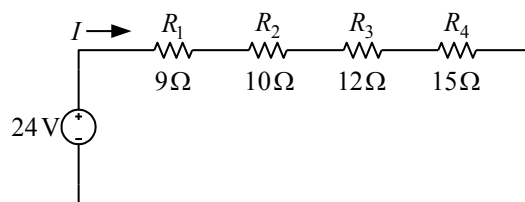
2. เตารีดไฟฟ้า ขนาด 1,000 W ใช้กับแรงดันไฟฟ้า 220 V จงคำนวณหากระแสไฟฟ้าที่ใช้ในอุปกรณ์นี้

วิธีทำ จากสมการ $P = EI$

แทนค่าลงในสมการ $1,000 \text{ W} = (220 \text{ V})I$

$$\therefore I = \frac{1,000 \text{ W}}{220 \text{ V}} = 4.545 \text{ A} \quad \dots\dots\dots \text{ตอบ}$$

3. วงจรอนุกรมในรูปที่ 2.9 จงหาค่าความต้านทานรวม กระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านวงจร แรงดันไฟฟ้าที่ตกคร่อมตัวต้านทานแต่ละตัว และกำลังไฟฟ้า ที่ตัวต้านทานแต่ละตัว



วงจรรูปที่ 2.9 วงจรอนุกรมสำหรับแบบฝึกหัดข้อที่ 3

วิธีทำ (1) ความต้านทานรวมในวงจร

จากคุณสมบัติของวงจรอนุกรมและจากรูปที่ 2.9

$$R_T = R_1 + R_2 + R_3 + R_4$$

$$R_T = 9\Omega + 10\Omega + 12\Omega + 15\Omega$$

$$\therefore R_T = 48\Omega \quad \dots\dots\dots \text{ตอบ}$$

(2) กระแสไฟฟ้าที่ไหลในวงจร

จากกฎของโอห์ม $E = IR$

$$I = \frac{E}{R_T} = \frac{24\text{V}}{48\Omega}$$

$\therefore I = 0.5\text{A}$ ตอบ

(3) แรงดันตกคร่อมตัวต้านทานแต่ละตัว

จากกฎของโอห์ม และจากรูปที่ 2.9

$$V_1 = IR_1 = (0.5\text{A})(9\Omega)$$

$\therefore V_1 = 4.5\text{V}$ ตอบ

$$V_2 = IR_2 = (0.5\text{A})(10\Omega)$$

$\therefore V_2 = 5\text{V}$ ตอบ

$$V_3 = IR_3 = (0.5\text{A})(12\Omega)$$

$\therefore V_3 = 6\text{V}$ ตอบ

$$V_4 = IR_4 = (0.5\text{A})(15\Omega)$$

$\therefore V_4 = 7.5\text{V}$ ตอบ

(4) กำลังไฟฟ้าที่เกิดขึ้นที่ตัวต้านทานแต่ละตัว

จากสมการที่(2.2) และรูปที่ 2.9

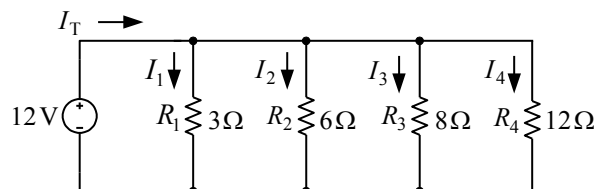
$$P_1 = V_1I = (4.5\text{V})(0.5\text{A}) = 2.25\text{ W}$$
ตอบ

$$P_2 = V_2I = (5\text{V})(0.5\text{A}) = 2.5\text{ W}$$
ตอบ

$$P_3 = V_3I = (6\text{V})(0.5\text{A}) = 3\text{ W}$$
ตอบ

$$P_4 = V_4I = (7.5\text{V})(0.5\text{A}) = 3.75\text{ W}$$
ตอบ

4. วงจรขนานในรูปที่ 2.10 จงหาค่าความต้านทานรวม กระแสไฟฟ้ารวม และกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านตัวต้านทานแต่ละตัว



วงจรรูปที่ 2.10 วงจรขนานสำหรับแบบฝึกหัดข้อที่ 4

วิธีทำ (1) ความต้านทานรวมในวงจร

จากคุณสมบัติของวงจรขนาน $\frac{1}{R_T} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} + \frac{1}{R_4}$

$$\frac{1}{R_T} = \frac{1}{3\Omega} + \frac{1}{6\Omega} + \frac{1}{8\Omega} + \frac{1}{12\Omega}$$

$$\frac{1}{R_T} = \frac{8+4+3+2}{24\Omega} = \frac{17}{24\Omega}$$

$$\therefore R_T = \frac{24\Omega}{17} = 1.41\Omega \quad \dots\dots\dots\text{ตอบ}$$

(2) กระแสไฟฟ้ารวม และกระแสไฟฟ้าที่ไหลในแต่ละสาขา

จากกฎของโอห์ม $I_T = \frac{E}{R_T} = \frac{12V}{(1.41)\Omega}$

$$\therefore I_T = 8.5A \quad \dots\dots\dots\text{ตอบ}$$

$$I_1 = \frac{E}{R_1} = \frac{12V}{3\Omega} = 4A \quad \dots\dots\dots\text{ตอบ}$$

$$I_2 = \frac{E}{R_2} = \frac{12V}{6\Omega} = 2A \quad \dots\dots\dots\text{ตอบ}$$

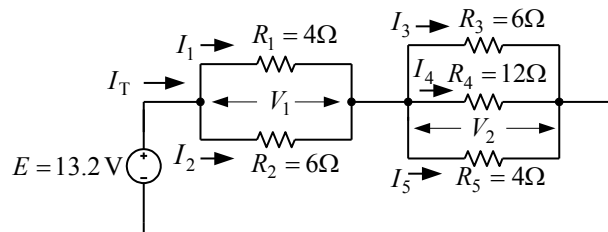
$$I_3 = \frac{E}{R_3} = \frac{12V}{8\Omega} = 1.5A \quad \dots\dots\dots\text{ตอบ}$$

$$I_4 = \frac{E}{R_4} = \frac{12V}{12\Omega} = 1A \quad \dots\dots\dots\text{ตอบ}$$

หรือ $I_T = I_1 + I_2 + I_3 + I_4$

$$I_T = 4A + 2A + 1.5A + 1A = 8.5A \quad \dots\dots\dots\text{ตอบ}$$

5. จากวงจรในรูปที่ 2.11 จงหาค่าความต้านทานรวม กระแสไฟฟ้ารวม และกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านตัวต้านทานแต่ละตัว



รูปที่ 2.11 วงจรผสมสำหรับแบบฝึกหัดข้อที่ 5

วิธีทำ (1) ความต้านทานรวมในวงจร

พิจารณาวงจรรูปในที่ 2.11 จะพบว่าเป็นวงจรขนาน 2 ส่วน แล้วอนุกรมกัน คือ ส่วน R_1 ขนานกับ R_2 อีกส่วนคือ วงจรขนาน R_3, R_4 และ R_5 แล้วทั้ง 2 ส่วนนี้อนุกรมกัน รวมเป็นความต้านทานทั้งหมดของวงจรนี้

ให้ความต้านทานรวมส่วนที่เป็นวงจรขนาน R_1, R_2 เป็น R_{T1} และ ความต้านทานรวมส่วนที่เป็นวงจรขนาน R_3, R_4, R_5 เป็น R_{T2} ดังนั้น

$$R_{T1} = R_1 // R_2$$

$$R_{T1} = \frac{(4\Omega)(6\Omega)}{4\Omega + 6\Omega}$$

$$R_{T1} = \frac{24\Omega^2}{10\Omega}$$

$$\therefore R_{T1} = 2.4\Omega$$

$$R_{T2} = R_3 // R_4 // R_5$$

$$\frac{1}{R_{T2}} = \frac{1}{R_3} + \frac{1}{R_4} + \frac{1}{R_5}$$

$$\frac{1}{R_{T2}} = \frac{1}{6\Omega} + \frac{1}{12\Omega} + \frac{1}{4\Omega}$$

$$\frac{1}{R_{T2}} = \frac{2+1+3}{12\Omega} = \frac{6}{12\Omega}$$

$$\therefore R_{T2} = \frac{12\Omega}{6} = 2\Omega$$

ดังนั้น จะได้

$$R_T = R_{T1} + R_{T2}$$

$$R_T = 2.4\Omega + 2\Omega$$

$$\therefore R_T = 4.4\Omega$$

.....ตอบ

(2) กระแสไฟฟ้ารวม และกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านตัวต้านทานแต่ละตัว

จากกฎของโอห์ม $I_T = \frac{E}{R_T} = \frac{13.2\text{V}}{4.4\Omega} = 3\text{A}$

.....ตอบ

ต่อไปวิเคราะห์หา กระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่าน R_1 และ R_2 จะต้องทราบค่าแรงดัน V_1 เสียก่อน
พิจารณาวงจรในรูปที่ 2.11 ใช้กฎของโอห์ม จะพบว่า

$$V_1 = I_T R_{T1}$$

$$V_1 = (3\text{A})(2.4\Omega) = 7.2\text{V}$$

จะได้ $I_1 = \frac{V_1}{R_1} = \frac{7.2\text{V}}{4\Omega} = 1.8\text{A}$

.....ตอบ

และ $I_2 = \frac{V_1}{R_2} = \frac{7.2\text{V}}{6\Omega} = 1.2\text{A}$

.....ตอบ

เช่นเดียวกับ V_1 จะได้ $V_2 = I_T R_{T2}$

$$V_2 = (3\text{A})(2\Omega) = 6\text{V}$$

จะได้ $I_3 = \frac{V_2}{R_3} = \frac{6\text{V}}{6\Omega} = 1\text{A}$

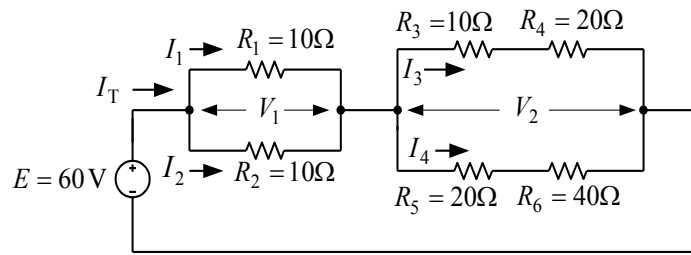
$$I_4 = \frac{V_2}{R_4} = \frac{6\text{V}}{12\Omega} = 0.5\text{A}$$

.....ตอบ

และ $I_5 = \frac{V_2}{R_5} = \frac{6\text{V}}{4\Omega} = 1.5\text{A}$

.....ตอบ

6. จากวงจรในรูปที่ 2.12 จงหาค่าความต้านทานรวม กระแสไฟฟ้ารวม และกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านตัวต้านทานแต่ละตัว



รูปที่ 2.12 วงจรผสมสำหรับแบบฝึกหัดข้อที่ 6

วิธีทำ (1) ความต้านทานรวมในวงจร

พิจารณาวงจรรูปในที่ 2.12 จะพบว่าเป็นวงจรขนาน 2 ส่วน แล้วอนุกรมกัน คือ ส่วน R_1 ขนานกับ R_2 อีกส่วนคือ วงจรขนาน $R_3 + R_4$ (R_3, R_4 อนุกรมกัน) และ $R_5 + R_6$ (R_5, R_6 อนุกรมกัน) แล้วทั้ง 2 ส่วนของวงจรขนานนี้ อนุกรมกันอีกครั้ง รวมเป็นความต้านทานทั้งหมดของวงจรนี้

ให้ความต้านทานรวมส่วนที่เป็นวงจรขนาน R_1, R_2 เป็น R_{T1} และ ความต้านทานรวมส่วนที่เป็นวงจรขนาน R_3, R_4 เป็น R_{T2} ส่วน R_5, R_6 เป็น R_{T3} แล้ว R_{T2} กับ R_{T3} ขนานกันเป็น R_{T4} ดังนั้น ความต้านทานทั้งหมดของวงจร จะเป็น $R_T = R_{T1} + R_{T4}$

$$R_{T1} = R_1 // R_2$$

$$R_{T1} = \frac{(10\Omega)(10\Omega)}{10\Omega + 10\Omega}$$

$$R_{T1} = \frac{100\Omega^2}{20\Omega}$$

$$\therefore R_{T1} = 5\Omega$$

$$R_{T2} = R_3 + R_4 = 10\Omega + 20\Omega = 30\Omega$$

$$R_{T3} = R_5 + R_6 = 20\Omega + 40\Omega = 60\Omega$$

$$R_{T4} = R_{T2} // R_{T3}$$

$$R_{T4} = \frac{(30\Omega)(60\Omega)}{30\Omega + 60\Omega}$$

$$R_{T4} = \frac{1800\Omega^2}{90\Omega} = 20\Omega$$

ดังนั้น จะได้ $R_T = R_{T1} + R_{T4} = 5\Omega + 20\Omega$

$\therefore R_T = 25\Omega$ **ตอบ**

(2) กระแสไฟฟ้ารวม และกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านตัวต้านทานแต่ละสาขา

จากกฎของโอห์ม $I_T = \frac{E}{R_T} = \frac{60V}{25\Omega} = 2.4A$ **ตอบ**

ต่อไปวิเคราะห์หา กระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่าน R_1 และ R_2 จะต้องทราบค่าแรงดัน V_1 เสียก่อน

พิจารณาวงจรในรูปที่ 2.12 ใช้กฎของโอห์ม จะพบว่า

$$V_1 = I_T R_{T1}$$

$$V_1 = (2.4 \text{ A})(5 \Omega) = 12 \text{ V}$$

จะได้ $I_1 = \frac{V_1}{R_1} = \frac{12 \text{ V}}{10 \Omega} = 1.2 \text{ A}$ ตอบ

และ $I_2 = \frac{V_1}{R_2} = \frac{12 \text{ V}}{10 \Omega} = 1.2 \text{ A}$ ตอบ

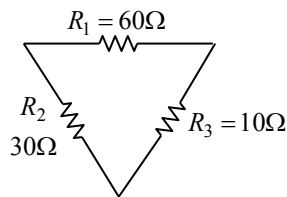
เช่นเดียวกับ V_1 จะได้ $V_2 = I_T R_{T4}$

$$V_2 = (2.4 \text{ A})(20 \Omega) = 48 \text{ V}$$

จะได้ $I_3 = \frac{V_2}{R_{T2}} = \frac{48 \text{ V}}{30 \Omega} = 1.6 \text{ A}$

$$I_4 = \frac{V_2}{R_{T3}} = \frac{48 \text{ V}}{60 \Omega} = 0.8 \text{ A}$$
ตอบ

7. จากวงจรในรูปที่ 2.13 จงแปลงวงจรเดลตาให้เป็น สตาร์



รูปที่ 2.13 วงจรสตาร์สำหรับแบบฝึกหัดข้อที่ 7

วิธีทำ จากสมการที่ (2.4) – (2.6)

$$R_A = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2 + R_3}$$

$$R_A = \frac{(30 \Omega)(60 \Omega)}{30 \Omega + 60 \Omega + 10 \Omega}$$

$$\therefore R_A = \frac{1800 \Omega^2}{100 \Omega} = 18 \Omega$$
ตอบ

$$R_B = \frac{R_1 R_3}{R_1 + R_2 + R_3}$$

$$R_B = \frac{(60 \Omega)(10 \Omega)}{30 \Omega + 60 \Omega + 10 \Omega}$$

$$\therefore R_B = \frac{600 \Omega^2}{100 \Omega} = 6 \Omega$$
ตอบ

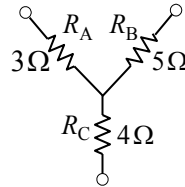
$$R_C = \frac{R_2 R_3}{R_1 + R_2 + R_3}$$

$$R_C = \frac{(30 \Omega)(10 \Omega)}{30 \Omega + 60 \Omega + 10 \Omega}$$

$$\therefore R_C = \frac{300\Omega^2}{100\Omega} = 3\Omega$$

.....ตอบ

8. จากวงจรในรูปที่ 2.14 จงแปลงวงจรเดลตาให้เป็น สตาร์



รูปที่ 2.14 วงจรเดลตาสำหรับแบบฝึกหัดข้อที่ 8

วิธีทำ จากสมการที่ (2.7) – (2.9) และ รูปที่ 2.14

$$R_1 = \frac{R_A R_B + R_B R_C + R_C R_A}{R_C}$$

$$R_1 = \frac{(3\Omega)(5\Omega) + (5\Omega)(4\Omega) + (4\Omega)(3\Omega)}{4\Omega}$$

$$R_1 = \frac{15\Omega^2 + 20\Omega^2 + 12\Omega^2}{4\Omega}$$

$$\therefore R_1 = \frac{47\Omega^2}{4\Omega} = 11.75\Omega$$

.....ตอบ

$$R_2 = \frac{R_A R_B + R_B R_C + R_C R_A}{R_B}$$

$$R_2 = \frac{(3\Omega)(5\Omega) + (5\Omega)(4\Omega) + (4\Omega)(3\Omega)}{5\Omega}$$

$$R_2 = \frac{15\Omega^2 + 20\Omega^2 + 12\Omega^2}{5\Omega}$$

$$\therefore R_2 = \frac{47\Omega^2}{5\Omega} = 9.4\Omega$$

.....ตอบ

$$R_3 = \frac{R_A R_B + R_B R_C + R_C R_A}{R_A}$$

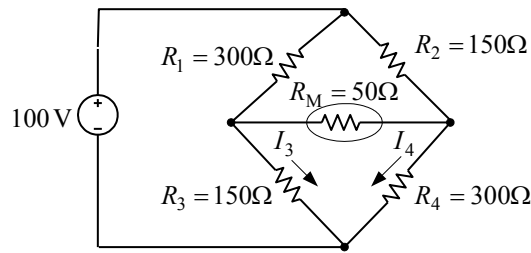
$$R_3 = \frac{(3\Omega)(5\Omega) + (5\Omega)(4\Omega) + (4\Omega)(3\Omega)}{3\Omega}$$

$$R_3 = \frac{15\Omega^2 + 20\Omega^2 + 12\Omega^2}{3\Omega}$$

$$\therefore R_3 = \frac{47\Omega^2}{3\Omega} = 15.66\Omega$$

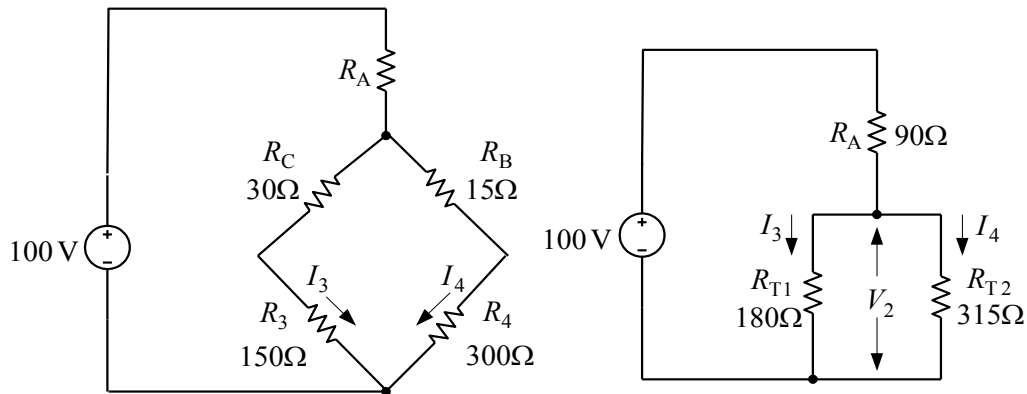
.....ตอบ

9. วงจร วิทสโตนบรีดจ์ ดังรูปที่ 2.15 ถ้ากัลป์วานอมีเตอร์มีค่าความต้านทานภายใน(R_M) เป็น 50Ω จงหากระแสไฟฟ้าที่ผ่าน R_3 และ R_4



รูปที่ 2.15 วงจร วิทสโตน บรีดจ์สำหรับแบบฝึกหัดข้อที่ 9

วิธีทำ แปลงส่วนวงจร เดลตา คือ R_1, R_2, R_M ให้เป็นวงจรสตาร์ ดังรูปที่ 2.15 (ข)



รูปที่ 2.15 (ข)

$$R_A = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2 + R_M}$$

$$R_A = \frac{(300\Omega)(150\Omega)}{300\Omega + 150\Omega + 50\Omega}$$

$$\therefore R_A = \frac{45000\Omega^2}{500\Omega} = 90\Omega \quad \dots\dots\dots\text{ตอบ}$$

$$R_B = \frac{R_1 R_M}{R_1 + R_2 + R_M}$$

$$R_B = \frac{(300\Omega)(50\Omega)}{300\Omega + 150\Omega + 50\Omega}$$

$$\therefore R_B = \frac{15000\Omega^2}{500\Omega} = 30\Omega \quad \dots\dots\dots\text{ตอบ}$$

$$R_C = \frac{R_2 R_M}{R_1 + R_2 + R_M}$$

$$R_C = \frac{(150\Omega)(50\Omega)}{300\Omega + 150\Omega + 50\Omega}$$

$$\therefore R_C = \frac{7500\Omega^2}{500\Omega} = 15\Omega \quad \dots\dots\dots\text{ตอบ}$$

$$R_{T1} = R_C + R_3 = 30\Omega + 150\Omega = 180\Omega$$

$$R_{T2} = R_B + R_4 = 15\Omega + 300\Omega = 315\Omega$$

$$R_{T3} = R_{T1} // R_{T2}$$

$$R_{T3} = \frac{(180\Omega)(315\Omega)}{180\Omega + 315\Omega} = \frac{56700\Omega^2}{495\Omega} = 114.54\Omega$$

$$\therefore R_T = R_A + R_{T3} = 90\Omega + 114.54\Omega = 204.54\Omega \quad \dots\dots\dots\text{ตอบ}$$

จะได้ $I_T = \frac{E}{R_T} = \frac{100\text{V}}{204.54\Omega} = 0.488\text{A} \quad \dots\dots\dots\text{ตอบ}$

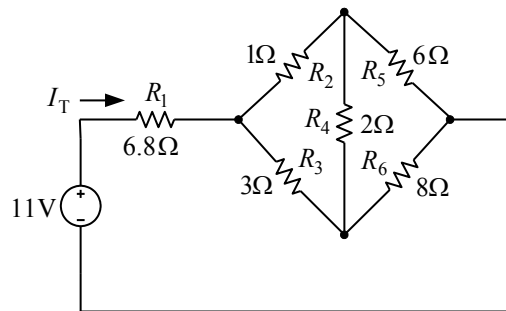
$$V_2 = I_T R_{T3}$$

$$V_2 = (0.488\text{A})(114.54\Omega) = 56\text{V}$$

จะได้ $I_3 = \frac{V_2}{R_{T1}} = \frac{56\text{V}}{180\Omega} = 0.311\text{A} \quad \dots\dots\dots\text{ตอบ}$

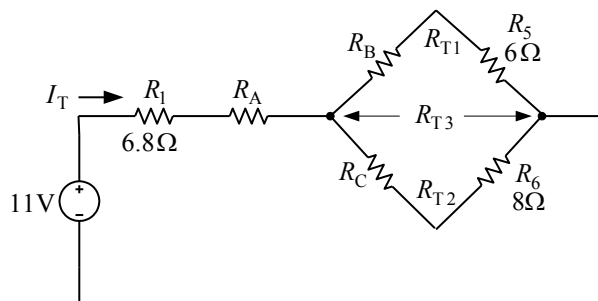
และ $I_4 = \frac{V_1}{R_{T2}} = \frac{56\text{V}}{315\Omega} = 0.177\text{A} \quad \dots\dots\dots\text{ตอบ}$

10. วงจรไฟฟ้าดังรูปที่ 2.16 จงหากระแสไฟฟ้ารวมของวงจร



รูปที่ 2.16 วงจรบริดจ์สำหรับแบบฝึกหัดข้อที่ 10

วิธีทำ แปลงส่วนวงจร เดลตา คือ R_2, R_3, R_4 ให้เป็นวงจรสตาร์ ดังรูปที่ 2.16 (ข)



รูปที่ 2.16 (ข)

$$R_A = \frac{R_2 R_3}{R_2 + R_3 + R_4}$$

$$R_A = \frac{(1\Omega)(3\Omega)}{1\Omega + 3\Omega + 2\Omega}$$

$$\therefore R_A = \frac{3\Omega^2}{6\Omega} = 0.5\Omega \quad \dots\dots\dots\text{ตอบ}$$

$$R_B = \frac{R_2 R_4}{R_2 + R_3 + R_4}$$

$$R_B = \frac{(3\Omega)(2\Omega)}{1\Omega + 3\Omega + 2\Omega}$$

$$\therefore R_B = \frac{6\Omega^2}{6\Omega} = 1\Omega \quad \dots\dots\dots\text{ตอบ}$$

$$R_C = \frac{R_3 R_4}{R_2 + R_3 + R_4}$$

$$R_C = \frac{(1\Omega)(2\Omega)}{1\Omega + 3\Omega + 2\Omega}$$

$$\therefore R_C = \frac{2\Omega^2}{6\Omega} = 0.33\Omega \quad \dots\dots\dots\text{ตอบ}$$

$$R_{T1} = R_C + R_5 = 0.33\Omega + 6\Omega = 6.33\Omega$$

$$R_{T2} = R_B + R_6 = 1\Omega + 8\Omega = 9\Omega$$

$$R_{T3} = R_{T1} // R_{T2}$$

$$R_{T3} = \frac{(6.33\Omega)(9\Omega)}{6.33\Omega + 9\Omega} = \frac{56.97\Omega^2}{15.33\Omega} = 3.7\Omega$$

$$\therefore R_T = R_1 + R_A + R_{T3} = 6.8\Omega + 0.5\Omega + 3.7\Omega = 11\Omega \quad \dots\dots\dots\text{ตอบ}$$

จะได้

$$I_T = \frac{E}{R_T} = \frac{11V}{11\Omega} = 1A \quad \dots\dots\dots\text{ตอบ}$$