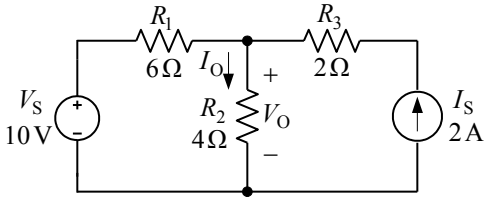
แบบทดสอบก่อนเรียน

หน่วยที่ 7 ทฤษฎีโครงข่ายวงจรไฟฟ้า

จงเลือกคำตอบที่ถูกต้องที่สุดเพียงข้อเดียว

จากรูปที่ 1 จงใช้ทฤษฎีการวางซ้อน วิเคราะห์หาค่า V และ I_O สำหรับคำถามข้อ 1 – 4



จากรูปที่ 1 วงจรใช้สำหรับคำถามข้อ 1– 4

1. ถ้า I_{O1} เป็นผลมาจากแหล่งกำเนิดแรงดันไฟฟ้า 10V แล้ว I_{O1} มีค่าเท่าใด

ก. 0.5 A ข. 1 A

ค. 1.5 A ง. 2 A

2. ถ้า V_{O1} เป็นผลมาจากแหล่งแรงดันไฟฟ้า 10 V แล้ว V_{O1} มีค่าเท่าใด

ก. 1 V ข. 2 V

ค. 3 V ง. 4 V

3. ถ้า I_{O2} เป็นผลมาจากแหล่งกำเนิดกระแสไฟฟ้า 2 A แล้ว I_{O1} มีค่าเท่าใด

ก. 0.6 A ข. 1 A

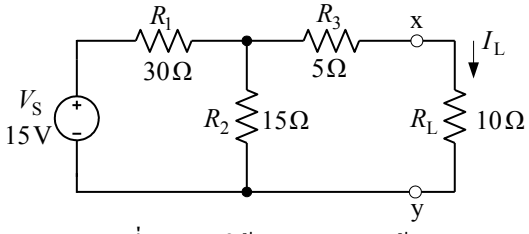
ค. 1.2 A ง. 1.8 A

4. V_O มีค่าเท่าใด

ก. 6.6 V ข. 6.8 V

ค. 8.8 V ง. 9.8 V

จากรูปที่ 2 จงใช้ทฤษฎีเทวินิน วิเคราะห์หาค่ากระแสไฟฟ้า I_L



จากรูปที่ 2 วงจรใช้สำหรับคำถามข้อ 5– 7

5. R_{TH} มีค่าเท่าใด

ก. 10Ω ข. 15Ω

ค. 20Ω ง. 25Ω

6. E_{TH} มีค่าเท่าใด

ก. 3 V ข. 4 V

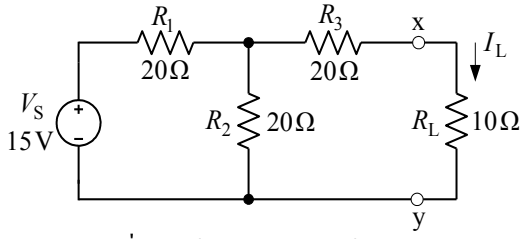
ค. 5 V ง. 6 V

7. กระแสไฟฟ้า I_L ที่ไหลผ่านตัวต้านทาน 10Ω มีค่าเท่าใด

ก. 0.2 A ข. 2 A

ค. 0.3 A ง. 3 A

จากรูปที่ 3 จงใช้ทฤษฎีนอร์ตัน วิเคราะห์หาค่ากระแสไฟฟ้า I_L



รูปที่ 3 ใช้สำหรับคำถามข้อ 8 – 10

8. R_N มีค่าเท่าใด

ก. 10Ω ข. 15Ω

ค. 20Ω ง. 30Ω

9. I_N มีค่าเท่าใด

ก. 0.5 A ข. 0.25 A

ค. 0.125 A ง. 0.185 A

10. กระแสไฟฟ้า I_L ที่ไหลผ่านตัวต้านทาน 10Ω มีค่า เท่าใด

ก. 0.5 A ข. 0.25 A

ค. 0.125 A ง. 0.185 A

หน่วยที่ 7 ทฤษฎีโครงข่ายวงจรไฟฟ้า

สาระสำคัญ

ทฤษฎีการวางซ้อนใช้วิเคราะห์วงจรที่มีแหล่งกำเนิดอิสระมากกว่า 2 ตัว โดยพิจารณาทีละตัว แล้วนำผลที่ได้ มารวมทางพีชคณิตคือ ติดเครื่องหมายและทิศทางด้วย

ทฤษฎีเทวินินเป็นการวิเคราะห์หาวงจรสมมูลย์ของวงจรที่เป็นเชิงเส้นใด ๆ สามารถแทนได้ด้วยแหล่งกำเนิดแรงดัน 1 ตัว และความต้านทานภายใน 1 ตัว

ทฤษฎีนอร์ตันเป็นการวิเคราะห์หาวงจรสมมูลย์ของวงจรที่เป็นเชิงเส้นเช่นเดียวกับทฤษฎีเทวินิน แต่จะแทนด้วยแหล่งจ่ายกระแส 1 ตัวและโหลดภายใน 1 ตัว

เนื้อหาสาระ

7.1 ทฤษฎีการวางซ้อน

7.2 ทฤษฎีเทวินิน

7.3 ทฤษฎีนอร์ตัน

จุดประสงค์การเรียนรู้

จุดประสงค์ทั่วไป เพื่อให้ผู้เรียนมีความรู้และเข้าใจในเรื่อง :

7.1 ทฤษฎีการวางซ้อน

7.2 ทฤษฎีเทวินิน

7.3 ทฤษฎีนอร์ตัน

จุดประสงค์เชิงพฤติกรรม หลังจากเรียนจบหน่วยเรียนนี้แล้ว ผู้เรียนควรมีความสามารถดังนี้

7.1 ใช้ทฤษฎีการวางซ้อนหาค่ากระแสและแรงดันในวงจรไฟฟ้าได้

7.2 หาค่าพารามิเตอร์ของวงจรสมมูลย์เทวินินได้

7.3 ใช้ทฤษฎีเทวินินหาค่ากระแสและแรงดันที่ไหลผ่านและตกคร่อมโหลดได้

7.4 หาค่าพารามิเตอร์ของวงจรสมมูลย์นอร์ตันได้

7.5 ใช้ทฤษฎีนอร์ตันหาค่ากระแสและแรงดันที่ไหลผ่านและตกคร่อมโหลดได้

หน่วยที่ 7 ทฤษฎีโครงข่ายวงจรไฟฟ้า

ทฤษฎีโครงข่าย (Network Theorem) เป็นเครื่องมือที่ช่วยให้การวิเคราะห์วงจรไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ ที่ซับซ้อนได้ง่ายขึ้น บางครั้งที่วงจรหรือโครงข่ายมีขนาดใหญ่ แต่ต้องการทราบแรงดันหรือกระแสเฉพาะจุด เท่านั้น ไม่ต้องทำการวิเคราะห์คำนวณหาทั้งระบบทำให้ลดเวลาลงไปได้มาก

7.1 ทฤษฎีการวางซ้อน (Superposition Theorem)

ถ้าวงจรใดมีแหล่งกำเนิดอิสระมากกว่า 2 ตัว วิธีการที่จะหาค่าแรงดันหรือกระแสก็คือใช้วิธีวงรอบหรือวิธีกระแสเมช และวิธีแรงดันโนด แต่ยังมีอีกวิธีหนึ่งในการหาค่า แรงดันไฟฟ้าหรือกระแสไฟฟ้าจากแต่ละแหล่งจ่ายอิสระที่ละแหล่งจ่าย แล้วรวมผลที่ได้จากแต่ละแหล่งจ่ายเข้าด้วยกัน วิธีการนี้ เรียกว่า ทฤษฎีการวางซ้อน

หลักการของทฤษฎีการวางซ้อนช่วยให้การวิเคราะห์วงจรเชิงเส้นที่มีแหล่งกำเนิดอิสระมากกว่า 1 ตัวได้ง่ายขึ้น โดยการคำนวณหาผลที่เกิดจากแหล่งกำเนิดแต่ละตัว การนำหลักการของ ทฤษฎีการวางซ้อนไปใช้ จะต้องคำนึงถึง ขั้นตอนสำคัญดังนี้

เมื่อขณะกำลังพิจารณาผลจากแหล่งกำเนิดตัวใดตัวหนึ่งอยู่ แหล่งกำเนิดตัวอื่นๆ จะต้องปิด โดยแหล่งกำเนิดแรงดันทำให้เป็น 0 V (ลัดวงจร) ส่วนแหล่งกำเนิดกระแสทำให้เป็น 0 A (เปิดวงจร)

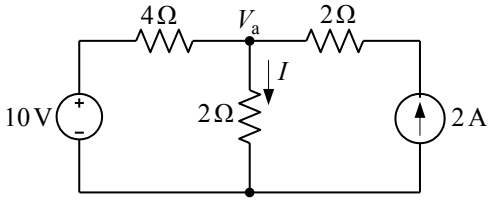
7.1.1 ขั้นตอนของ ทฤษฎีการวางซ้อน มีดังนี้

1. ปิดแหล่งกำเนิดทั้งหมด (แหล่งกำเนิดแรงดันทำการ ลัดวงจร แหล่งกำเนิดกระแส ทำการเปิดวงจร) ยกเว้นแหล่งกำเนิดตัวที่กำลังวิเคราะห์ หาค่าแรงดันไฟฟ้าหรือกระแสไฟฟ้า ที่เป็นผลมาจากแหล่งกำเนิดตัวนั้น

2. ทำซ้ำตามขั้นตอน(1) สำหรับแหล่งกำเนิดตัวอื่นๆ ที่เหลือ จนครบทุกตัว

3. หาผลรวมทั้งหมดจากแหล่งกำเนิดทุกตัว โดยพิจารณาทิศทางของกระแสไฟฟ้าและขั้วของแรงดันไฟฟ้า

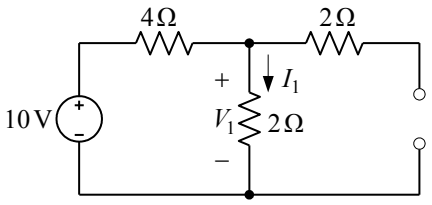
ตัวอย่างที่ 7.1 จากวงจรในรูปที่ 7.1 (ก) จงใช้ทฤษฎีการวางซ้อน หา V_a และ I



รูปที่ 7.1 (ก) วงจรไฟฟ้าที่มีแหล่งจ่าย 2 ชนิด

วิธีทำ จากวงจรมีแหล่งกำเนิด 2 ตัว ดังนั้น $V_a = V_1 + V_2$ และ $I = I_1 + I_2$

ขั้นตอน(1) พิจารณาแหล่งกำเนิดแรงดัน 10 V เขียนวงจรใหม่ดังรูปที่ 7.1 (ข)



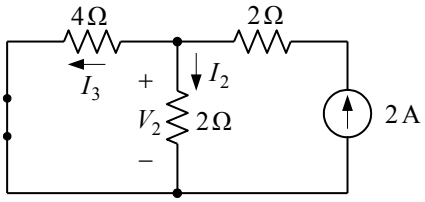
รูปที่ 7.1 (ข) แสดงขณะวิเคราะห์ผลจากแหล่งจ่ายแรงดัน 10 V

ใช้ KVL รอบวงปิด : $6I_1 - 10\,\text{V} = 0$

$$I_1 = \frac{10\,\text{V}}{6\,\Omega} = \frac{5}{3}\,\text{A}$$

$$\therefore \quad V_1 = 2I_1 = 2\,\Omega\left(\frac{5}{3}\,\text{A}\right) = \frac{10}{3}\,\text{V}$$

ขั้นตอน(2) พิจารณาแหล่งกำเนิดกระแส 2 A เขียนวงจรใหม่ดังรูปที่ 7.1 (ค)



รูปที่ 7.1 (ค) แสดงขณะวิเคราะห์ผลจากแหล่งจ่ายกระแส 2 A

ใช้กฎการแบ่งกระแส $I_2 = \dfrac{4\,\Omega}{4\,\Omega + 2\,\Omega}(2\,\text{A}) = \dfrac{4}{3}\,\text{A}$

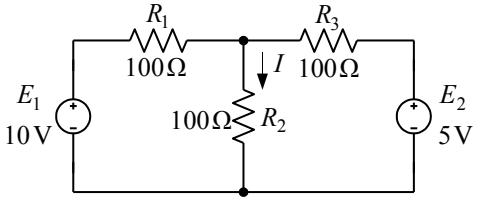
$$\therefore \quad V_2 = 2I_2 = 2\,\Omega\left(\frac{4}{3}\,\text{A}\right) = \frac{8}{3}\,\text{V}$$

ขั้นตอน(3) หาผลรวมจาก 2 แหล่งกำเนิด จะพบว่า V_1 และ V_2 มีขั้วเหมือนกัน ดังนั้น

$$\therefore \quad V_a = V_1 + V_2 = \frac{10}{3}\,\text{V} + \frac{8}{3}\,\text{V} = 6\,\text{V}$$ .....**ตอบ**

และ $$I = I_1 + I_2 = \frac{4}{3}\,\text{A} + \frac{5}{3}\,\text{A} = 3\,\text{A}$$ .....**ตอบ**

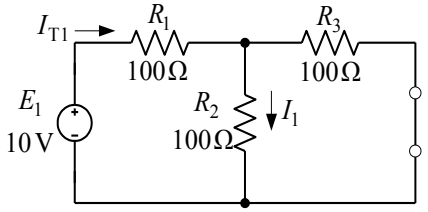
ตัวอย่างที่ 7.2 จากวงจรในรูปที่ 7.2 (ก) จงหากระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่าน R_2 โดยใช้ทฤษฎีการวางซ้อน



รูปที่ 7.2 (ก) วงจรสำหรับตัวอย่างที่ 7.2

วิธีทำ จากวงจรมีแหล่งกำเนิด 2 ตัว ดังนั้น $I = I_1 + I_2$

ขั้นตอน(1) พิจารณาแหล่งจ่าย E_1 แล้วลัดวงจร แหล่งจ่ายไฟ E_2 ดังรูปที่ 7.2 (ข)



รูปที่ 7.2 (ข) แสดงทิศทางกระแส จากแหล่งกำเนิดแรงดันตัวที่ 1

จากวงจรในรูปที่ 7.1 (ข) หาค่าความต้านทานรวมก่อน

ความต้านทานรวม เมื่อพิจารณาจากทางด้านแหล่งจ่ายแรงดัน E_1

$$R_{T1} = R_1 + (R_2 \,||\, R_3)$$

$$R_{T1} = 100\Omega + \left(\frac{100\Omega \times 100\Omega}{100\Omega + 100\Omega}\right)$$

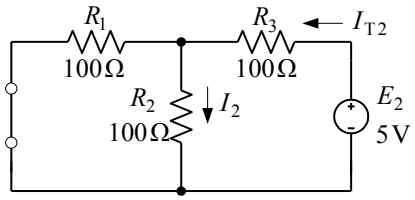
$$R_{T1} = 100\Omega + 50\Omega = 150\Omega$$

ดังนั้น $$I_{T1} = \frac{E_1}{R_{T1}} = \frac{10\,\text{V}}{150\Omega} = 66.7\,\text{mA}$$

ใช้กฎการแบ่งกระแส จะได้

$$I_1 = 66.7\,\text{mA}\left(\frac{R_3}{R_2 + R_3}\right) = 66.7\,\text{mA}\left(\frac{100\Omega}{200\Omega}\right) = 33.3\ \text{mA}$$

ขั้นตอน(2) พิจารณาแหล่งจ่ายแรงดัน E_2 แล้วลัดวงจร แหล่งจ่ายแรงดัน E_1 ดังรูปที่ 7.2 (ค)



รูปที่ 7.2 (ค) แสดงทิศทางกระแส จากแหล่งกำเนิดตัวที่ 2

จากวงจรในรูปที่ 7.2 (ค) หาค่าความต้านทานรวมก่อน

ความต้านทานรวม เมื่อพิจารณาจากทางด้านแหล่งจ่ายแรงดัน E_2

$$R_{T2} = R_3 + (R_2 \,||\, R_1)$$

$$R_{T2} = 100\Omega + \left(\frac{100\Omega \times 100\Omega}{100\Omega + 100\Omega}\right)$$

$$R_{T2} = 100\Omega + 50\Omega = 150\Omega$$

ดังนั้น $$I_{T2} = \frac{E_2}{R_{T2}} = \frac{5\,\text{V}}{150\Omega} = 33.3\,\text{mA}$$

ใช้กฎการแบ่งกระแส จะได้

$$I_2 = 33.3\,\text{mA}\left(\frac{R_1}{R_1 + R_2}\right) = 33.3\,\text{mA}\left(\frac{100\Omega}{200\Omega}\right) = 16.7\ \text{mA}$$

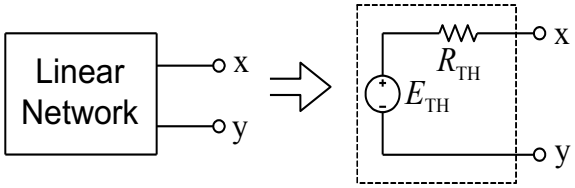
ขั้นตอน(3) หาผลรวมจาก 2 แหล่งจ่ายแรงดันกำเนิด จะพบว่า I_1 และ I_2 มีทิศทางตามกัน ดังนั้น

$$\therefore \quad I = I_1 + I_2 = 33.3\,\text{mA} + 16.7\,\text{mA} = 50\,\text{mA}$$ .....**ตอบ**

7.2 ทฤษฎีเทวินิน (Thevenin's Theorem)

เทวินิน (M.L. Thevenin) ชาวฝรั่งเศสได้พัฒนาทฤษฎีของเขาในปี ค.ศ.1883 ทฤษฎีของเทวินินเป็นวิธีการในการแก้ปัญหาในวงจรที่ยุ่งยากซับซ้อน ทฤษฎีนี้มีสาระสำคัญสรุปได้ว่า วงจรที่มีลักษณะเป็นเชิงเส้น (Linear Circuits) ใดๆ แทนได้ด้วยวงจรสมมูลย์ของแหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้าแหล่งเดียวต่ออนุกรมกับตัวต้านทาน 1 ตัว

วงจรสมมูลย์เทวินิน ประกอบด้วยแหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้าสมมูลย์เทวินิน (E_{TH}) ต่ออนุกรมกับความต้านทานสมมูลย์เทวินิน (R_{TH}) ดังรูปที่ 7.3



รูปที่ 7.3 วงจรสมมูลย์เทวินิน

7.2.1 ขั้นตอนการใช้ ทฤษฎีเทวินินวิเคราะห์แก้ปัญหาวงจรไฟฟ้า

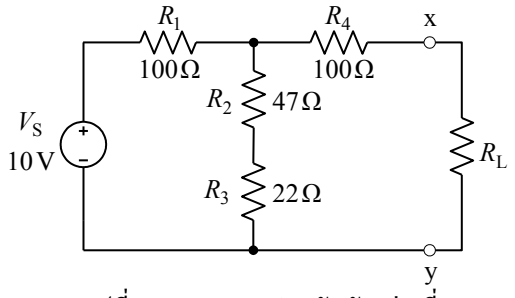
1. เปิดวงจรที่ขั้วซึ่งต้องการพิจารณา เขียนวงจรสมมูลย์เทวินิน โดยปลดส่วนที่ถูกกำหนดให้เป็นโหลดออก เหลือไว้เฉพาะขั้วที่ถูกเปิดวงจร

2. หาค่าความต้านทานสมมูลย์เทวินิน R_{TH} เป็นความต้านทานทั้งหมด เมื่อพิจารณาจากขั้วที่ถูกเปิดวงจรขณะหาค่า R_{TH} นั้น ต้องไม่มีแหล่งจ่ายไฟฟ้าใดๆ ในวงจร โดยลัดวงจรที่แหล่งจ่ายแรงดัน (ถ้ามี) หรือเปิดวงจรที่แหล่งจ่ายกระแส (ถ้ามี)

3. หาค่าแรงดันไฟฟ้าสมมูลย์เทวินิน E_{TH} เป็นแรงดันไฟฟ้าตกคร่อมขั้วที่เปิดวงจร

4. แทนวงจรเดิมด้วยวงจรสมมูลย์เทวินิน โดยขั้วของวงจรสมมูลย์ต้องอยู่ในตำแหน่งเดียวกับขั้วของวงจรเดิม จากนั้นนำส่วนของวงจร ที่ปลดออกไปในขั้นที่ 1 กลับมาต่อไว้ที่ขั้วดังกล่าวอีกครั้ง เพื่อแก้ปัญหาตามที่โจทย์กำหนด

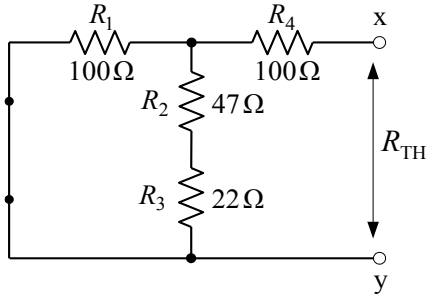
ตัวอย่างที่ 7.3 จากรูปวงจรที่ 7.4 (ก) จงเขียนวงจรสมมูลย์เทวินินเมื่อพิจารณาที่ขั้ว $x-y$



รูปที่ 7.4 (ก) วงจรสำหรับตัวอย่างที่ 4.3

วิธีทำ ขั้นตอนที่ (1) ปลดตัวต้านทานโหลด R_L ออกจากวงจร

ขั้นตอนที่ (2) หาค่าความต้านทานสมมูลย์ เทวินิน โดย ลัดวงจรที่แหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้า 10 V แล้วเขียนวงจรใหม่ ดังรูปที่ 7.4 (ข)



รูปที่ 7.4 (ข) แสดงขณะวิเคราะห์ หาค่าความต้านทานสมมูลย์เทวินิน

รูปที่ 7.4 (ข) หาค่า R_{TH} โดยพิจารณาจากขั้ว x – y :

$$R_{TH} = R_4 + (R_2 + R_3)||R_1$$

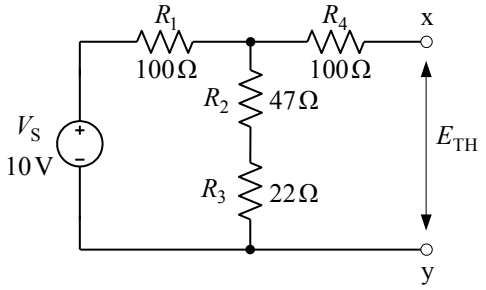
$$R_{TH} = R_4 + \frac{R_1(R_2 + R_3)}{R_1 + R_2 + R_3}$$

$$R_{TH} = 100\Omega + \frac{100\Omega(47\Omega + 22\Omega)}{100\Omega + 47\Omega + 22\Omega}$$

$$R_{TH} = 100\Omega + \frac{100\Omega(69\Omega)}{169\Omega}$$

$$R_{TH} = 100\Omega + 41\Omega = 141\Omega$$

ขั้นตอนที่ (3) หาค่าแรงดันสมมูลย์ เทวินิน พิจารณารูปที่ 7.4 (ข) อีกครั้งหนึ่งโดยนำแหล่งจ่ายแรงดันใส่ในวงจรอีกครั้ง ดังรูป 7.4 (ค)



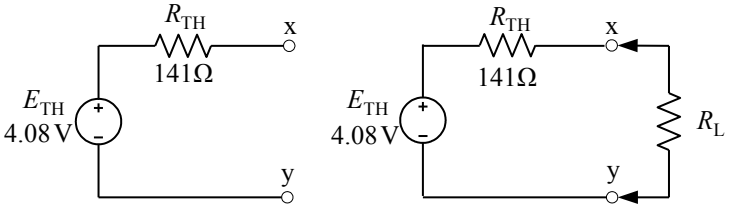
รูปที่ 7.4 (ค) แสดงการวิเคราะห์ หาค่าแรงดันสมมูลย์ เทวินิน

จากรูปที่ 7.4 (ค) จะพบว่ากระแสไฟฟ้าไหลผ่านตัวต้านทาน R_4 มีค่าเท่ากับศูนย์ ทำให้แรงดันไฟฟ้าตกคร่อม R_4 เท่ากับศูนย์ด้วย ใช้หลักการ Voltage Divider มาวิเคราะห์ จะพบว่าแรงดันสมมูลย์ E_{TH} ก็คือ แรงดันที่ตกคร่อม R_2 และ R_3 รวมกัน ดังนั้น

$$E_{TH} = \left(\frac{R_2 + R_3}{R_1 + R_2 + R_3}\right)(V_S)$$

$$E_{TH} = \left(\frac{69\Omega}{169\Omega}\right)(10\,V) = 4.08\ V$$

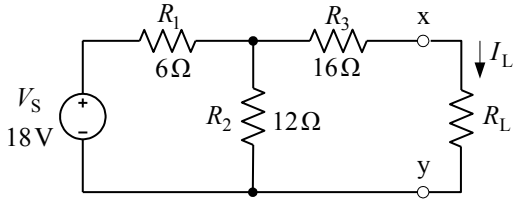
ขั้นตอนที่ (4) เขียนวงจรสมมูลย์เทวินินได้ดังรูปที่ 7.4 (ง)



รูปที่ 7.4 (ง) แสดงวงจรสมมูลย์ เทวินิน

ตัวอย่างที่ 7.4 จากรูปวงจรที่ 7.5 (ก) จงหากำลังไฟฟ้าที่ R_L โดยใช้ทฤษฎีเทวินิน เมื่อ

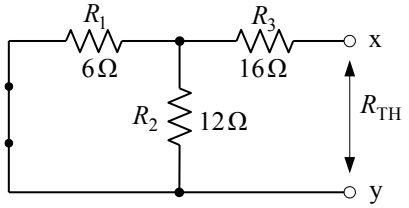
(ก) $R_L = 10\Omega$ (ข) $R_L = 20\Omega$ (ค) $R_L = 40\Omega$



รูปที่ 7.5 (ก) วงจรสำหรับตัวอย่างที่ 7.4

ขั้นตอนที่ (1) ปลดขั้วตัวต้านทานโหลดออก

ขั้นตอนที่ (2) หาค่า R_{TH} เขียนวงจรใหม่ได้ดังนี้



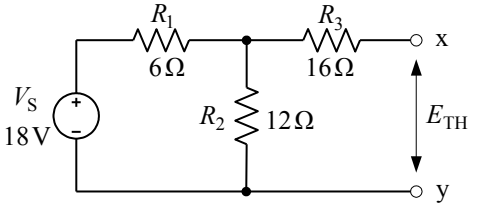
รูปที่ 7.5 (ข) การวิเคราะห์หา ความต้านทานสมมูลย์ เทวินิน

$$R_{TH} = 16\Omega + (6\Omega\,||\,12\Omega)$$

$$R_{TH} = 16\Omega + \frac{(6\Omega \times 12\Omega)}{(6\Omega + 12\Omega)}$$

$$R_{TH} = 16\Omega + \frac{72}{18}\left(\frac{\Omega^2}{\Omega}\right) = 20\Omega$$

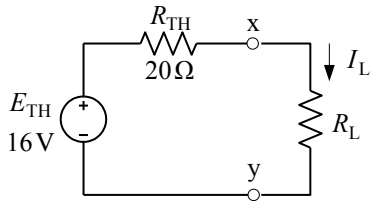
ขั้นตอนที่ (3) หาค่า E_{TH} นำแหล่งจ่ายแรงดันมาใส่ในวงจรอีกครั้ง เขียนวงจรใหม่ได้ดังนี้



รูปที่ 7.5 (ค) แสดงการวิเคราะห์ หาค่าแรงดันสมมูลย์ เทวินิน

ใช้กฎการแบ่งแรงดัน จะได้ $E_{TH} = \frac{12\Omega}{(6+12)\Omega}(18\text{V}) = 12\text{V}$

ขั้นตอนที่ (4) เขียนวงจรสมมูลย์ แล้วนำโหลดมาต่อเข้าที่ขั้วที่ปลดออก



รูปที่ 7.5 (ง) แสดงวงจรสมมูลย์ เทวินิน

คำนวณหากำลังไฟฟ้าที่โหลด R_L

(ก) $R_L = 10\Omega$

ดังนั้น $I_L = \frac{E_{TH}}{R_{TH}+R_L} = \frac{12\text{V}}{20\Omega+10\Omega} = \frac{12\text{V}}{30\Omega} = 0.4\text{ A}$

$P_L = I_L^2 R_L = (0.4\text{A})^2(10\Omega)$

$P_L = (0.16)(10) = 1.6\text{ W}$ .....**ตอบ**

(ข) $R_L = 20\Omega$

ดังนั้น $I_L = \frac{E_{TH}}{R_{TH}+R_L} = \frac{12\text{V}}{20\Omega+20\Omega} = \frac{12\text{V}}{40\Omega} = 0.3\text{ A}$

$P_L = I_L^2 R_L = (0.3\text{A})^2(20\Omega)$

$P_L = (0.09)(20) = 1.8\text{ W}$ .....**ตอบ**

(ค) $R_L = 40\Omega$

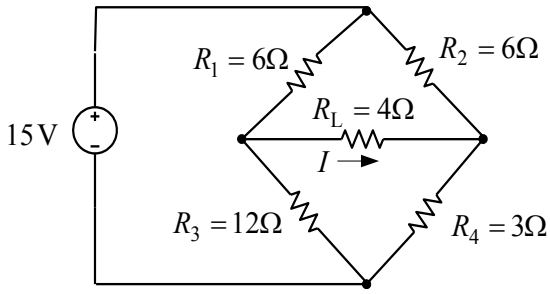
ดังนั้น $I_L = \frac{E_{TH}}{R_{TH}+R_L} = \frac{12\text{V}}{20\Omega+40\Omega} = \frac{12\text{V}}{60\Omega} = 0.2\text{ A}$

$P_L = I_L^2 R_L = (0.2\text{A})^2(40\Omega)$

$P_L = (0.04)(40) = 1.6\text{ W}$ .....**ตอบ**

จะพบว่า กำลังไฟฟ้าที่โหลดจะสูงสุด เมื่อ ค่าความต้านทานที่โหลด เท่ากับ ค่าความต้านทานสมมูลย์ เทวินิน

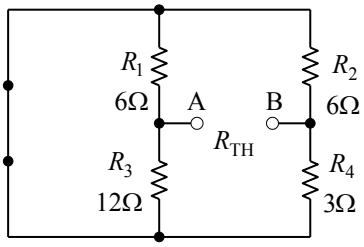
ตัวอย่างที่ 7.5 จากรูปวงจรที่ 7.6 (ก) จงหากระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่าน R_L โดยใช้ทฤษฎีเทวินิน



รูปที่ 7.6 (ก) วงจรสำหรับตัวอย่างที่ 7.5

ขั้นตอนที่ (1) ปลดขั้วตัวต้านทานโหลดออก

ขั้นตอนที่ (2) ลัดวงจรแหล่งจ่ายแรงดันเพื่อ หาค่า R_{TH} เขียนวงจรใหม่ได้ดังรูปที่ 7.6 (ข)



รูปที่ 7.6 (ข) การวิเคราะห์หา ความต้านทานสมมูลย์ เทวินิน

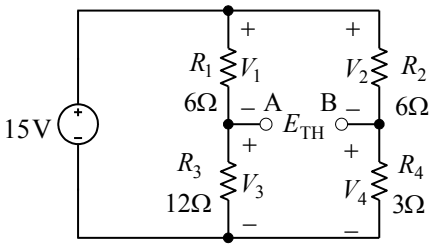
พิจารณาวงจร จะพบว่า R_1 กับ R_3 ขนานกัน และ R_2 กับ R_4 ก็เช่นกัน วงจรขนานทั้ง 2 ชุดนี้ อนุกรมกันอีกครั้ง(มองเข้าที่ขั้ว A – B) ดังนั้น จะได้

$$R_{TH} = \left(\frac{R_1 \times R_3}{R_1 + R_3}\right) + \left(\frac{R_2 \times R_4}{R_2 + R_4}\right)$$

$$R_{TH} = \left(\frac{(6\Omega)(12\Omega)}{6\Omega + 12\Omega}\right) + \left(\frac{(6\Omega)(3\Omega)}{6\Omega + 3\Omega)}\right)$$

$$R_{TH} = \left(\frac{(72\Omega^2)}{18\Omega}\right) + \left(\frac{(18\Omega^2)}{9\Omega)}\right) = 4\Omega + 2\Omega = 6\Omega$$

ขั้นตอนที่ (3) หาค่า E_{TH} นำแหล่งจ่ายแรงดันมาใส่ในวงจรอีกครั้ง เขียนวงจรใหม่ได้ดังนี้



รูปที่ 7.6 (ค) แสดงการวิเคราะห์ หาค่าแรงดันสมมูลย์ เทวินิน

พิจารณารูปที่ 7.6 (ค) ใช้ กฎการแบ่งแรงดันมาวิเคราะห์ จะได้

$$V_1 = \frac{R_1}{R_1+R_3}\times 15\,\text{V} = \frac{6\Omega}{6\Omega+12\Omega}\times 15\,\text{V} = 5\,\text{V}$$

$$V_3 = \frac{R_3}{R_1+R_3}\times 15\,\text{V} = \frac{12\Omega}{6\Omega+12\Omega}\times 15\,\text{V} = 10\,\text{V}$$

$$V_2 = \frac{R_2}{R_2+R_4}\times 15\,\text{V} = \frac{6\Omega}{6\Omega+3\Omega}\times 15\,\text{V} = 10\,\text{V}$$

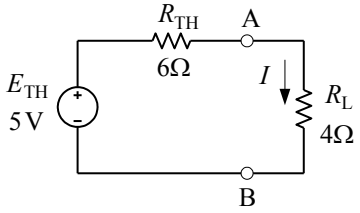
$$V_4 = \frac{R_4}{R_2+R_4}\times 15\,\text{V} = \frac{3\Omega}{6\Omega+3\Omega}\times 15\,\text{V} = 5\,\text{V}$$

พิจารณาที่ขั้ว A – B จะพบว่า ขั้ว A อยู่ด้าน V_3 ให้ขั้ว A เป็นศักย์บวก เนื่องจาก V_3 มีค่า 10 V ซึ่งสูงกว่า V_4 ที่มีค่า 5 V ใช้ KVL รอบวงปิด ขั้ว A – B มา V_4 ตามด้วย V_3 ครบวงรอบที่จุด A

จะได้ $$V_{AB} = +E_{TH}+V_4-V_3 = 0$$

$$E_{TH} = V_3-V_4 = 10\,\text{V}-5\,\text{V} = 5\,\text{V}$$

ขั้นตอนที่ (4) เขียนวงจรสมมูลย์ แล้วนำโหลดมาต่อเข้าที่ขั้วที่ปลดออก



รูปที่ 7.6 (ง) แสดงวงจรสมมูลย์ เทวินิน

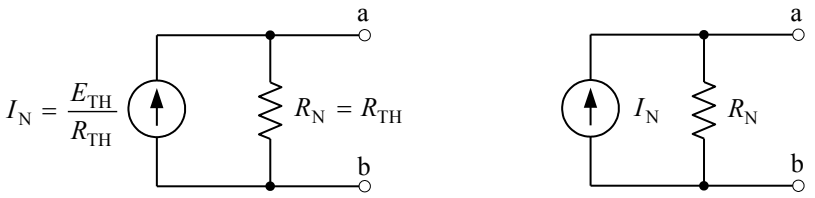
หาค่ากระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่าน R_L ได้ดังนี้

$$I_L = \frac{E_{TH}}{R_{TH}+R_L} = \frac{5\,\text{V}}{6\Omega+4\Omega} = \frac{5\,\text{V}}{10\Omega} = 0.5\ \text{A}$$ .....**ตอบ**

7.3 ทฤษฎีนอร์ตัน (Norton's Theorem)

ในปีค.ศ.1926 E.L. Norton วิศวกรชาวอเมริกัน ได้คิดค้นทฤษฎีขึ้นมาทฤษฎีหนึ่ง ซึ่งมีความคล้ายคลึงกับทฤษฎีเทวินิน คือ ทฤษฎีนอร์ตัน ทฤษฎีนอร์ตันมีใจสำคัญความสรุปได้ ว่า <u>วงจรที่มีลักษณะเป็นเชิงเส้น (Linear Circuits) ใดๆ แทนได้ด้วยวงจรสมมูลย์ของแหล่งจ่ายกระแสไฟฟ้าแหล่งจ่ายเดียวต่อขนานกับตัวต้านทาน 1 ตัว</u>

วงจรสมมูลย์นอร์ตันประกอบด้วย แหล่งจ่ายกระแสไฟฟ้าสมมูลย์นอร์ตัน (I_N) และความต้านทานสมมูลย์นอร์ตัน (R_N) ต่อขนานกันดังรูปที่ 7.6 (ข)



(ก) การแปลงวงจรสมมูลย์นอร์ตันจากวงจรสมมูลย์เทวินิน (ข) วงจรสมมูลย์นอร์ตัน

รูปที่ 7.7 วงจรสมมูลย์นอร์ตัน

จากรูปที่ 7.7 (ก) แสดงการแปลงวงจรสมมูลย์นอร์ตัน จากวงจรสมมูลย์เทวินิน และรูปที่ 7.7 (ข) แสดงวงจรสมมูลย์นอร์ตัน

7.3.1 ขั้นตอนการวิเคราะห์วงจรด้วยทฤษฎีนอร์ตัน

1. เปิดขั้ววงจรที่ซึ่งต้องการเขียนวงจรสมมูลย์นอร์ตัน แล้วปลดส่วนที่ถูกกำหนดให้เป็นโหลดออก เหลือไว้แต่ ขั้วที่ถูกลัดวงจร

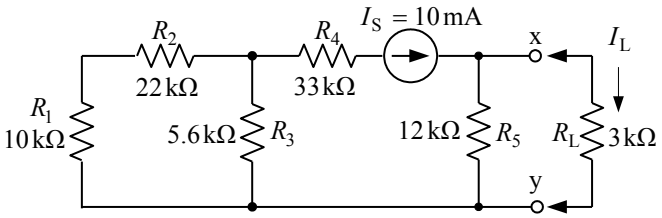
2. ความต้านทานนอร์ตัน (R_N) มีค่าเท่ากับความต้านทานเทวินิน มีขั้นตอนในการหาเหมือนกัน

3. กระแสไฟฟ้าสมมูลย์นอร์ตัน (I_N) เป็นกระแสไฟฟ้าที่ขั้วที่ถูกลัดวงจร กระแสไฟฟ้านี้สามารถคำนวณหาได้จากหลายๆ วิธี จาก ที่ได้ศึกษามาแล้ว

4. แทนวงจรเดิมด้วยวงจรสมมูลย์นอร์ตัน โดยขั้วของวงจรสมมูลย์นอร์ตันต้องอยู่ในตำแหน่งเดียวกับขั้วของวงจรเดิม จากนั้นนำส่วนที่ถูกปลดออกไปในขั้นตอนที่ (1) กลับมาไว้ที่ขั้วเดิมอีกครั้ง เพื่อแก้ปัญหาตามที่โจทย์ต้องการ

<u>สิ่งที่ต้องระมัดระวัง</u> คือ ทิศทางของ I_N ต้องเป็นทิศทางที่สร้างกระแสไฟฟ้าเหมือนกับวงจรเดิม

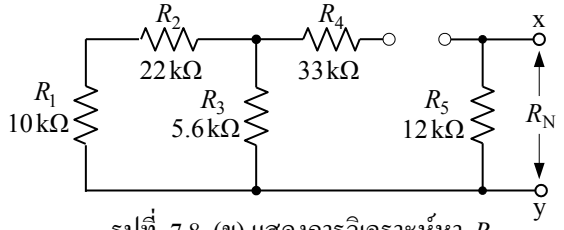
ตัวอย่างที่ 7.6 จากรูปวงจรที่ 7.8 (ก) จงหากระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่าน R_L โดยใช้ทฤษฎีนอร์ตัน



รูปวงจรที่ 7.8 (ก) วงจรสำหรับตัวอย่างที่ 7.6

วิธีทำ ขั้นตอนที่(1) ปลดโหลด ออก

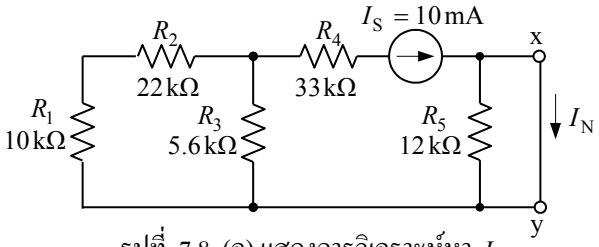
ขั้นตอนที่(2) เปิดวงจรที่แหล่งจ่ายกระแสไฟฟ้าเพื่อหาค่า R_N ได้ดังรูปที่ 7.8 (ข)



รูปที่ 7.8 (ข) แสดงการวิเคราะห์หา R_N

พิจารณารูปที่ 7.8 (ข) จะพบว่า $R_N = 12\,\text{k}\Omega$

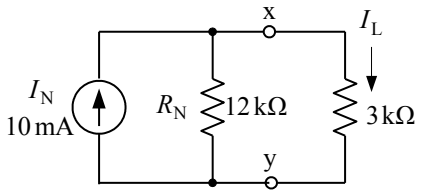
ขั้นตอนที่(3) นำแหล่งจ่ายกระแสไฟฟ้าต่อเข้ากับวงจร แล้วลัดวงจรที่ขั้ว x และ y ดังรูปที่ 7.8 (ค)



รูปที่ 7.8 (ค) แสดงการวิเคราะห์หา I_N

พิจารณารูปที่ 7.8 (ค) จะพบว่า $I_N = I_S = 10\ \text{mA}$

ขั้นตอนที่(4) นำค่า R_N, I_N มาเขียนวงจรสมมูลย์นอร์ตันพร้อมทั้งนำโหลดมาต่อเข้ากับขั้ว x และ y



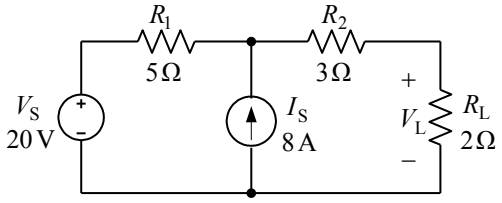
รูปที่ 7.8 (ง) วงจรสมมูลย์นอร์ตัน

ใช้กฎ การแบ่งกระแส มาวิเคราะห์ หา I_L

$$I_L = I_N\left(\frac{R_N}{R_N + R_L}\right) = (10\,\text{mA})\left(\frac{12\,\text{k}\Omega}{12\,\text{k}\Omega + 3\,\text{k}\Omega}\right)$$

จะได้ $$I_L = (10\,\text{mA})\left(\frac{12\,\text{k}\Omega}{15\,\text{k}\Omega}\right) = 8\ \text{mA}$$ .....**ตอบ**

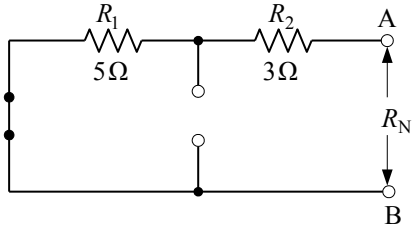
ตัวอย่างที่ 7.7 จากรูปวงจรที่ 7.9 (ก) จงหาแรงดันไฟฟ้าที่ตกคร่อม R_L โดยใช้ทฤษฎีนอร์ตัน



รูปวงจรที่ 7.9 (ก) วงจรสำหรับตัวอย่างที่ 7.7

วิธีทำ ขั้นตอนที่(1) ปลดโหลด ออก

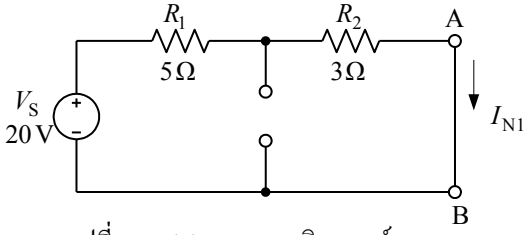
ขั้นตอนที่(2) เปิดวงจรแหล่งจ่ายกระแสและปิดวงจรแหล่งจ่ายแรงดัน เพื่อหาค่า R_N ได้ดังรูปที่ 7.9 (ข)



รูปที่ 7.9 (ข) แสดงการวิเคราะห์หา R_N

พิจารณารูปที่ 7.9 (ข) จะพบว่า $R_N = 3\Omega + 5\Omega = 8\Omega$

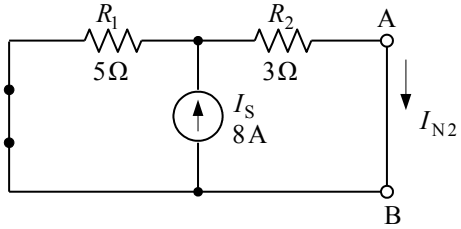
ขั้นตอนที่(3.1) นำแหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้าต่อเข้ากับวงจรแหล่งจ่ายกระแสไฟฟ้ายังเปิดอยู่ แล้วลัดวงจรที่ขั้ว A และ B ดังรูปที่ 7.9 (ค) เพื่อหา I_{N1}



รูปที่ 7.9 (ค) แสดงการวิเคราะห์หา I_{N1}

พิจารณารูปที่ 7.8 (ค) แล้วใช้กฎของโอห์ม จะได้ $I_{N1} = \dfrac{V_S}{R_1 + R_2} = \dfrac{20\,\text{V}}{8\Omega} = 2.5\ \text{A}$

ขั้นตอนที่(3.2) นำแหล่งจ่ายกระแสไฟฟ้าต่อเข้ากับวงจร แหล่งจ่ายแรงดันลัดวงจร แล้วลัดวงจรที่ขั้ว A และ B ดังรูปที่ 7.9 (ง) เพื่อหา I_{N2}



รูปที่ 7.9 (ง) แสดงการวิเคราะห์หา I_{N2}

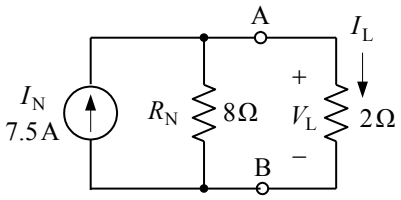
พิจารณารูปที่ 7.8 (ง) แล้วใช้กฎการแบ่งกระแสมาวิเคราะห์ หา I_{N2}

จะได้ $I_{N2} = (I_S)\left(\dfrac{R_1}{R_1 + R_2}\right) = (8\,\text{A})\left(\dfrac{5\Omega}{5\Omega + 3\Omega}\right)$

$$I_{N2} = (8\,\text{A})\left(\frac{5\Omega}{8\Omega}\right) = 5\,\text{A}$$

ดังนั้น $I_N = I_{N1} + I_{N2} = 2.5\,\text{A} + 5\,\text{A} = 7.5\,\text{A}$

ขั้นตอนที่(4) นำค่า R_N, I_N มาเขียนวงจรสมมูลย์นอร์ตันพร้อมทั้งนำโหลดมาต่อเข้ากับขั้ว A และ B



รูปที่ 7.9 (จ) วงจรสมมูลย์นอร์ตัน

ใช้กฎการแบ่งกระแส มาวิเคราะห์ หา I_L

$$I_L = I_N\left(\frac{R_N}{R_N + R_L}\right) = (7.5\,\text{A})\left(\frac{8\Omega}{8\Omega + 2\Omega}\right)$$

$$I_L = (7.5\,\text{mA})\left(\frac{8\Omega}{10\Omega}\right) = 6\ \text{A} \qquad \text{.....}\underline{\textbf{ตอบ}}$$

ดังนั้น $V_L = I_L R_L = (6\,\text{A})(2\Omega) = 12\ \text{V}$ .....**ตอบ**

สรุปสาระสำคัญ

ทฤษฎีการวางซ้อนใช้สำหรับวิเคราะห์วงจรที่ประกอบไปด้วยแหล่งจ่ายอิสระหลายตัว เพื่อหา กระแส หรือ แรงดันไฟฟ้า โดยวิเคราะห์ผลที่เกิดจากแหล่งจ่ายอิสระแต่ละตัว แล้วหาผลรวมทั้งหมดทางพีชคณิต

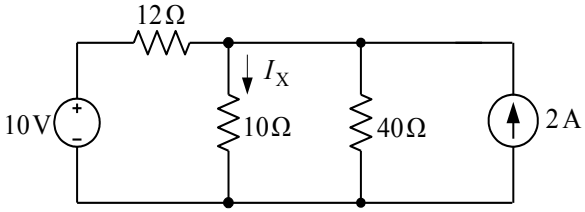
ทฤษฎีเทวินิน เป็นการหาค่าวงจรสมมูลย์ โดยพิจารณาที่ ขั้ว $x-y$ ที่กำลัง วิเคราะห์ โดยการแทนแหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้า 1 ตัว ต่ออนุกรมกับ ความต้านทาน 1 ตัว โดยค่าแรงดัน E_{TH} นี้ เป็นแรงดันที่เปิดวงจรที่ขั้ว $x-y$ และความต้านทาน R_{TH} เป็นความต้านทานเทวินิน จากการมองเข้าที่ขั้ว $x-y$ ที่เปิดวงจร โดยทำให้แหล่งจ่ายอิสระทั้งหมดในวงจรนั้นเป็น ศูนย์ เขียนวงจรสมมูลย์ได้แล้ว จึงนำโหลด มาต่อที่ขั้ว $x-y$ เพื่อแก้ปัญหาต่อไป

ทฤษฎีนอร์ตัน เป็นการหาค่าวงจรสมมูลย์ โดยพิจารณาที่ ขั้ว $x-y$ ที่กำลัง วิเคราะห์ โดยการแทนแหล่งจ่ายกระแสไฟฟ้า (I_N)1 ตัว ต่อขนานกับ ความต้านทาน (R_N) 1 ตัว โดยค่ากระแสไฟฟ้า I_N นี้ เป็นกระแส ที่ไหลตรงขั้วที่ ลัดวงจร ขั้ว $x-y$ และความต้านทาน R_N ก็คือความต้านทาน R_{TH} นั่นเอง เมื่อหาค่า วงจรสมมูลย์ได้แล้ว จึงนำโหลด มาต่อที่ขั้ว $x-y$ เพื่อแก้ปัญหาต่อไป

แบบฝึกหัด

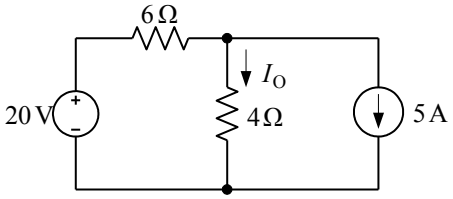
หน่วยที่ 7 ทฤษฎีโครงข่ายวงจรไฟฟ้า

1. จากวงจรในรูปที่ 7.10 จงหากระแสไฟฟ้า I_X โดยใช้ทฤษฎีการวางซ้อน **ตอบ** $I_X = 1.56$ A



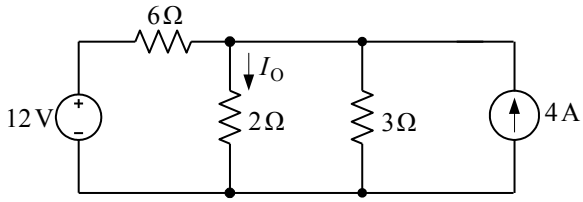
รูปที่ 7.10 วงจรสำหรับแบบฝึกหัดข้อที่ 1

2. จากวงจรในรูปที่ 7.11 จงหา I_O โดยใช้ทฤษฎีการวางซ้อน **ตอบ** $I_O = 1$ A



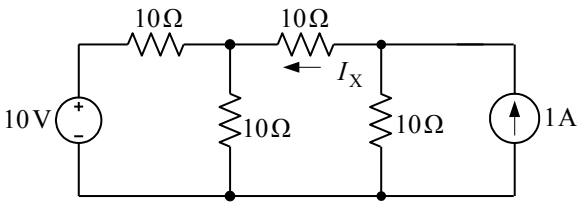
รูปที่ 7.11 วงจรสำหรับแบบฝึกหัดข้อที่ 2

3. จากวงจรในรูปที่ 7.12 จงหาค่า I_O โดยใช้ทฤษฎีการวางซ้อน **ตอบ** $I_O = 3$ A



รูปที่ 7.12 วงจรสำหรับแบบฝึกหัดข้อที่ 3

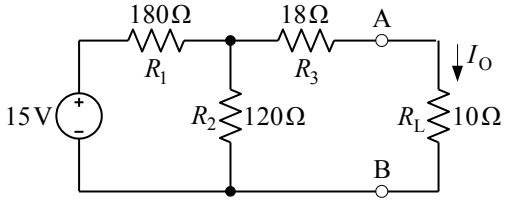
4. จากวงจรในรูปที่ 7.13 จงหาค่า I_X โดยใช้ทฤษฎีการวางซ้อน **ตอบ** $I_X = 0.2$ A



รูปที่ 7.13 วงจรสำหรับแบบฝึกหัดข้อที่ 4

5. จากวงจรในรูปที่ 7.14 จงหาค่ากระแสไฟฟ้า I_O โดยใช้ทฤษฎีเทวินิน

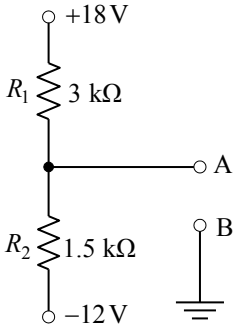
ตอบ $E_{TH} = 6\,V$, $R_{TH} = 90\Omega$ และ $I_O = 0.06$ A



รูปที่ 7.14 วงจรสำหรับแบบฝึกหัดข้อที่ 5

6. จากวงจรในรูปที่ 7.15 จงหาค่าวงจรสมมูลย์เทวินิน เมื่อพิจารณาที่ขั้ว A – B

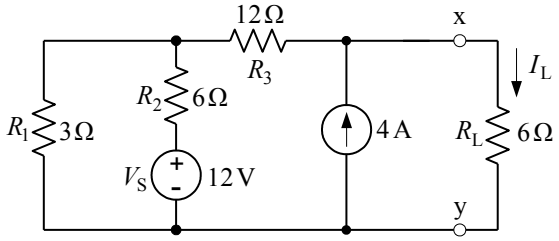
ตอบ $E_{TH} = -2\,V$, $R_{TH} = 1k\Omega$



รูปที่ 7.15 วงจรสำหรับแบบฝึกหัดข้อที่ 6

7. วงจรในรูปที่ 7.16 จงหาค่ากระแสที่ไหลผ่านโหลด R_L โดยใช้ทฤษฎีเทวินิน

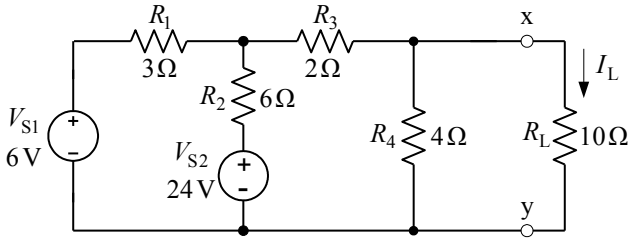
ตอบ $E_{TH} = 60\,V$, $R_{TH} = 14\Omega$, $I_L = 3\,A$



รูปที่ 7.16 วงจรสำหรับแบบฝึกหัดข้อที่ 7

8. วงจรในรูปที่ 7.17 จงหาค่ากระแสที่ไหลผ่านโหลด R_L โดยใช้ทฤษฎีเทวินิน

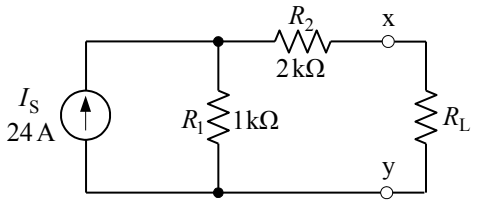
ตอบ $E_{TH} = 6\,V$, $R_{TH} = 2\Omega$, $I_L = 0.5\,A$



รูปที่ 7.17 วงจรสำหรับแบบฝึกหัดข้อที่ 8

9. จากวงจรที่ 7.18 จงเขียนวงจรสมมูลย์นอร์ตัน เมื่อพิจารณาที่ขั้ว x – y

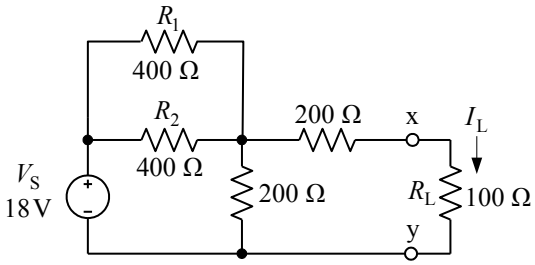
ตอบ $R_N = 3\,k\Omega$, $I_N = 8$ A



รูปที่ 7.18 วงจรสำหรับแบบฝึกหัดข้อที่ 9

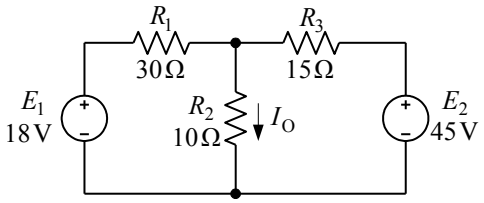
10. จากวงจรที่ 7.19 จงหาค่ากระแส I_L โดยใช้ทฤฎีนอร์ตัน

ตอบ $R_N = 300\,\Omega$, $I_N = 30\,mA$, $I_L = 22.5$ mA



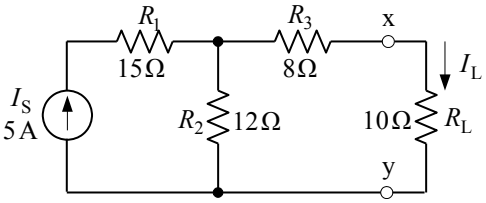
รูปที่ 7.19 วงจรสำหรับแบบฝึกหัดข้อที่ 10

11. จากวงจรในรูปที่ 7.20 จงหากระแสไฟฟ้า I_O โดยใช้ทฤษฎีนอร์ตัน **ตอบ** $I_O = 1.8\,A$



รูปที่ 7.20 วงจรสำหรับแบบฝึกหัดข้อที่ 11

12. จากวงจรในรูปที่ 7.21 จงหากระแสไฟฟ้า I_L โดยใช้ทฤษฎีนอร์ตัน **ตอบ** $I_L = 2\,A$



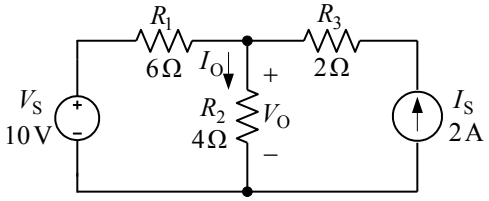
รูปที่ 7.21 วงจรสำหรับแบบฝึกหัดข้อที่ 12

แบบทดสอบหลังเรียน

หน่วยที่ 7 ทฤษฎีโครงข่ายวงจรไฟฟ้า

จงเลือกคำตอบที่ถูกต้องที่สุดเพียงข้อเดียว

จากรูปที่ 1 จงใช้ทฤษฎีการวางซ้อน วิเคราะห์หาค่า V และ I_O สำหรับคำถามข้อ 1 – 4



จากรูปที่ 1 วงจรใช้สำหรับคำถามข้อ 1– 4

1. ถ้า I_{O1} เป็นผลมาจากแหล่งกำเนิดแรงดันไฟฟ้า 10V แล้ว I_{O1} มีค่าเท่าใด

ก. 0.5 A ข. 1.5 A

ค. 1 A ง. 2 A

2. ถ้า V_{O1} เป็นผลมาจากแหล่งแรงดันไฟฟ้า 10 V แล้ว V_{O1} มีค่าเท่าใด

ก. 2 V ข. 1 V

ค. 4 V ง. 3 V

3. ถ้า I_{O2} เป็นผลมาจากแหล่งกำเนิดกระแสไฟฟ้า 2 A แล้ว I_{O1} มีค่าเท่าใด

ก. 0.6 A ข. 1.2 A

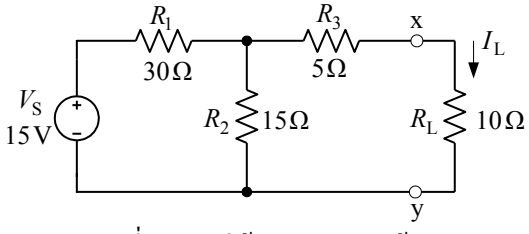
ค. 1.5 A ง. 1.8 A

4. V_O มีค่าเท่าใด

ก. 8.8 V ข. 6.8 V

ค. 6.8 V ง. 9.8 V

จากรูปที่ 2 จงใช้ทฤษฎีเทวินิน วิเคราะห์หาค่ากระแสไฟฟ้า I_L



จากรูปที่ 2 วงจรใช้สำหรับคำถามข้อ 5– 7

5. R_{TH} มีค่าเท่าใด

ก. 20Ω ข. 10Ω

ค. 15Ω ง. 25Ω

6. E_{TH} มีค่าเท่าใด

ก. 5 V ข. 4 V

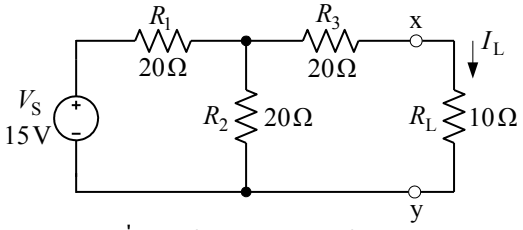
ค. 3 V ง. 6 V

7. กระแสไฟฟ้า I_L ที่ไหลผ่านตัวต้านทาน 10Ω มีค่าเท่าใด

ก. 0.5 A ข. 0.2 A

ค. 0.3 A ง. 1 A

จากรูปที่ 3 จงใช้ทฤษฎีนอร์ตัน วิเคราะห์หาค่ากระแสไฟฟ้า I_L



รูปที่ 3 ใช้สำหรับคำถามข้อ 8 – 10

8. R_N มีค่าเท่าใด

ก. 30Ω ข. 20Ω

ค. 25Ω ง. 15Ω

9. I_N มีค่าเท่าใด

ก. 0.185 A ข. 0.5 A

ค. 0.125 A ง. 0.25 A

10. กระแสไฟฟ้า I_L ที่ไหลผ่านตัวต้านทาน 10Ω มีค่า เท่าใด

ก. 0.5 A ข. 0.25 A

ค. 0.185 A ง. 0.125 A

เอกสารอ้างอิง

มงคล ทองสงคราม. (2540). **ทฤษฎีวงจรไฟฟ้า 1.** กรุงเทพฯ : หจก. วี.เจ.พริ้นติ้ง.

มงคล ทองสงคราม. (2543). **การวิเคราะห์วงจรไฟฟ้า 1.** กรุงเทพฯ : บริษัทรามาการพิมพ์จำกัด.

ไมตรี วรวุฒิจรรยากุล. (2554). **ทฤษฎีวงจรไฟฟ้า เล่ม 2 .** พิมพ์ครั้งที่ 12 กรุงเทพฯ : บริษัท ส. เอเชีย เพรส (1989) จำกัด.

บัณฑิต บัวบูชา. (2540). **ทฤษฎีและการวิเคราะห์วงจรไฟฟ้า เล่ม 1.** กรุงเทพฯ : หจก. สำนักพิมพ์ ฟิสิกส์เซ็นเตอร์.

สุภาภรณ์ แก้วศักดา. (2548). **อิเล็กทรอนิกส์ 1.** พิมพ์ครั้งที่ 9. กรุงเทพฯ : สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัย รามคำแหง.

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.

Thomas L. Floyd. **Principles of Electric Circuits Conventional Current** Version. 7th. Ed. New Jersey. Prentice-Hall. 2003.

Herbert W. Jackson. **Introduction to Electric circuits** (5 th Ed.) Englewood cliffs, New Jersey. Prentice-Hall. 1981.

William H. Hayt , JR. Jack E. Kemmerly. **Engineering Circuit Analysis.** (5 th Ed.) Singapore. McGraw-Hill. 1993.

ภาคผนวก

- เฉลยแบบทดสอบก่อนเรียนและหลังเรียน
- เฉลยแบบฝึกหัดท้ายหน่วย

เฉลยแบบทดสอบก่อนเรียนและหลังเรียน

เฉลยแบบทดสอบก่อนเรียนหน่วยที่ 7

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

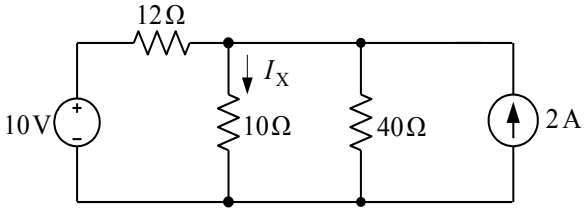
เฉลยแบบทดสอบหลังเรียนหน่วยที่ 7

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

เฉลยแบบฝึกหัด

หน่วยที่ 7 ทฤษฎีโครงข่ายวงจรไฟฟ้า

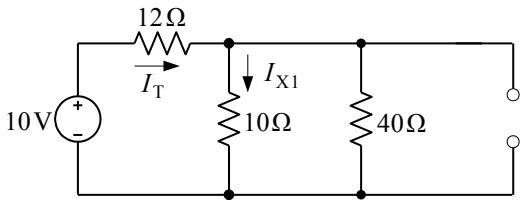
1. จากวงจรในรูปที่ 7.10 จงหากระแสไฟฟ้า I_X โดยใช้ทฤษฎีการวางซ้อน **<u>ตอบ</u>** $I_X = 1.56$ A



รูปที่ 7.10 วงจรสำหรับแบบฝึกหัดข้อที่ 1

วิธีทำ จากวงจรมีแหล่งกำเนิด 2 ชุด ดังนั้น $I_X = I_{X1} + I_{X2}$

1) พิจารณาแหล่งกำเนิดแรงดัน 10 V เขียนวงจรใหม่ได้ดังนี้



หาค่าความความต้านทานรวม มองที่ฝั่งแหล่งจ่ายแรงดัน 10 V

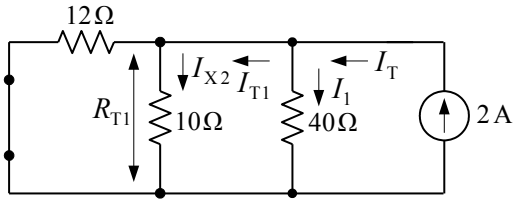
$$R_T = 12\Omega + (10\Omega \,||\, 40\Omega) = 12\Omega + \frac{(10\Omega \times 40\Omega)}{(10\Omega + 40\Omega)}$$

$$R_T = 12\Omega + \frac{(400\Omega^2)}{(50\Omega)} = 12\Omega + 8\Omega = 20\Omega$$

$$I_T = \frac{V_S}{R_T} = \frac{15\,\text{V}}{20\Omega} = 0.75\ \text{A}$$

ดังนั้น $$I_{X1} = \frac{40\Omega}{40\Omega + 10\Omega} \times (0.75\,\text{A}) = \frac{40}{50}(0.75\,\text{A}) = 0.6\ \text{A}$$

2) พิจารณาแหล่งกำเนิดกระแส 2A เขียนวงจรใหม่ได้ดังนี้



หาค่าความความต้านทาน ที่ R_{T1} : $R_{T1} = 12\Omega \,||\, 10\Omega = \frac{120\Omega^2}{22\Omega} = 5.45\Omega$

ใช้กฎการแบ่งกระแส จะได้ $I_{T1} = \frac{40\Omega}{(5.45 + 40)\Omega}(2\,\text{A}) = 1.76\,\text{A}$

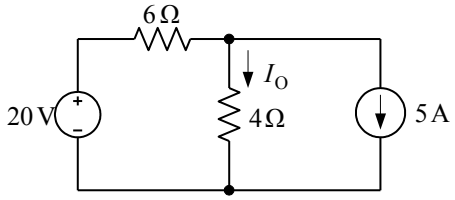
ดังนั้น $$I_{X2} = \frac{12\Omega}{(12+10)\Omega}(1.76\text{A}) = 0.96\text{A}$$

3) หาผลรวมทั้งสองแหล่งกำเนิดดังนั้น

จะได้ $$I_X = I_{X1} + I_{X2} = 0.6\text{A} + 0.96\text{A} = 1.56\text{ A}$$ .....**ตอบ**

---

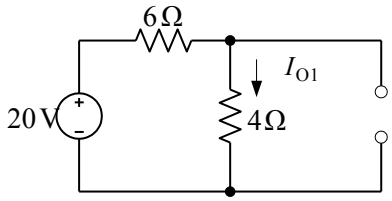
2. จากวงจรในรูปที่ 7.11 จงหา I_O โดยใช้ทฤษฎีการวางซ้อน **ตอบ** $I_O = 1\text{ A}$



รูปที่ 7.11 วงจรสำหรับแบบฝึกหัดข้อที่ 2

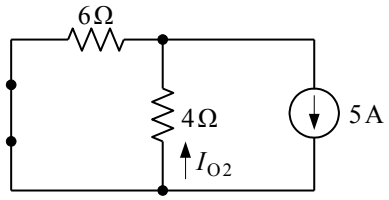
วิธีทำ จากวงจรมีแหล่งกำเนิด 2 ชุด ดังนั้น $I_O = I_{O1} + I_{O2}$

1) พิจารณาแหล่งกำเนิดแรงดัน 20 V เขียนวงจรใหม่ได้ดังนี้



พิจารณาจากวงจร จะพบว่า $$I_{O1} = \frac{20\text{V}}{6\Omega+4\Omega} = \frac{20\text{V}}{10\Omega} = 2\text{A}$$

2) พิจารณาแหล่งกำเนิดกระแส 5 A เขียนวงจรใหม่ได้ดังนี้



พิจารณาจากวงจรใช้กฎการแบ่งกระแส

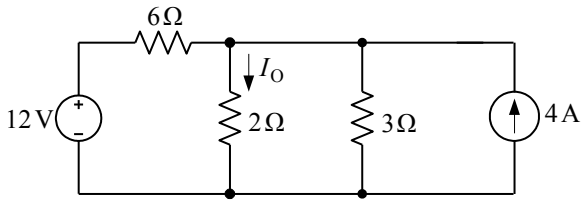
จะได้ $$I_{O2} = \frac{6\Omega}{6\Omega+4\Omega}(5\text{A}) = \frac{6}{10}(5\text{A}) = 3\text{A}$$

3) หาผลรวมทั้งสองแหล่งกำเนิดจะพบว่าทิศทางของกระแสทั้ง 2 สวนทางกัน ดังนั้น

จะได้ $$I_O = I_{O2} - I_{O1} = 3\text{A} - 2\text{A} = 1\text{A}$$ .....**ตอบ**

---

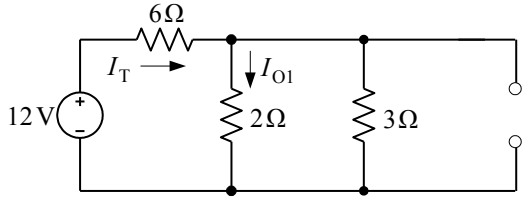
3. จากวงจรในรูปที่ 7.12 จงหาค่า I_O โดยใช้ทฤษฎีการวางซ้อน **ตอบ** $I_O = 3$ A



รูปที่ 7.12 วงจรสำหรับแบบฝึกหัดข้อที่ 3

วิธีทำ จากวงจรมีแหล่งกำเนิด 2 ชุด ดังนั้น $I_O = I_1 + I_2$

1) พิจารณาแหล่งกำเนิดแรงดัน 12 V เขียนวงจรใหม่ได้ดังนี้

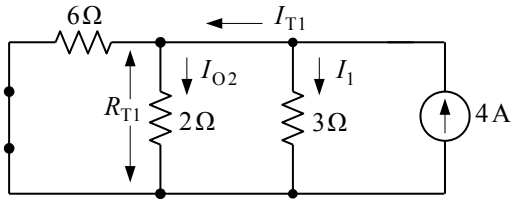


พิจารณาจากวงจร จะพบว่า $R_T = 6\Omega + (2\Omega \,||\, 3\Omega) = 6\Omega + 1.2\Omega = 7.2\Omega$

ดังนั้น $I_T = \dfrac{12\,\text{V}}{7.2\Omega} = 1.67\,\text{A}$

ใช้กฎการแบ่งกระแส จะได้ $I_{O1} = \dfrac{3\Omega}{(2+3)\Omega}(1.67\,\text{A}) = 1\,\text{A}$

2) พิจารณาแหล่งกำเนิดกระแส 4 A เขียนวงจรใหม่ได้ดังนี้



พิจารณาจากวงจร จะพบว่า $R_{T1} = 6\Omega \,||\, 2\Omega = \dfrac{(6\Omega \times 2\Omega)}{(6\Omega + 2\Omega)} = \dfrac{12\Omega^2}{8\Omega} = 1.5\Omega$

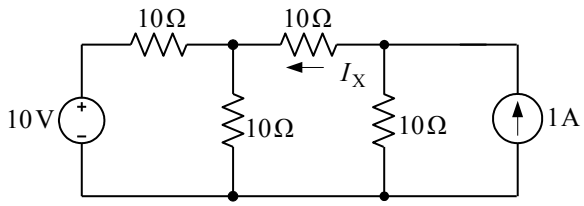
ใช้กฎการแบ่งกระแส ดังนั้น $I_{T1} = \dfrac{3\,\Omega}{1.5\Omega + 3\Omega}(4\,\text{A}) = \dfrac{3}{4.5}(4\,\text{A}) = 2.67\text{A}$

ใช้กฎการแบ่งกระแสอีกครั้ง $I_{O2} = \dfrac{6\Omega}{(6+2)\Omega}(2.67\,\text{A}) = \dfrac{6}{8}(2.67\,\text{A}) = 2\,\text{A}$

3) หาผลรวมทั้งสองแหล่งกำเนิดดังนั้น

จะได้ $I_O = I_{O1} + I_{O2} = 1\text{A} + 2\,\text{A} = 3\,\text{A}$ .....**ตอบ**

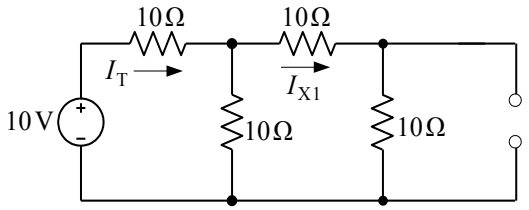
4. จากวงจรในรูปที่ 7.13 จงหาค่า I_X โดยใช้ทฤษฎีการวางซ้อน **ตอบ** $I_X = 0.2$ A



รูปที่ 7.13 วงจรสำหรับแบบฝึกหัดข้อที่ 4

วิธีทำ จากวงจรมีแหล่งกำเนิด 2 ชุด ดังนั้น $I_X = I_{X1} + I_{X2}$

1) พิจารณาแหล่งกำเนิดแรงดัน 10 V เขียนวงจรใหม่ได้ดังนี้



พิจารณาจากวงจร จะพบว่า $R_T = 10\Omega + (10\Omega \,||\, (10\Omega + 10\Omega))$

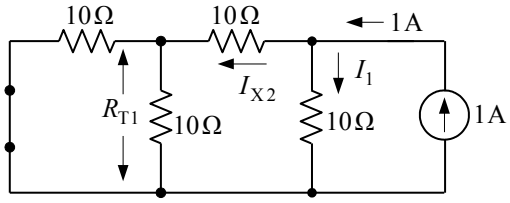
$$R_T = 10\Omega + (10\Omega \,||\, 20\Omega)$$

$$R_T = 10\Omega + 6.67\Omega = 16.67\Omega$$

ดังนั้น $$I_T = \frac{10\,\text{V}}{16.67\,\Omega} = 0.6\,\text{A}$$

ใช้กฎการแบ่งกระแส จะได้ $$I_{X1} = \frac{10\Omega}{(10+20)\Omega}(0.6\,\text{A}) = 0.2\,\text{A}$$

2) พิจารณาแหล่งกำเนิดกระแส 1 A เขียนวงจรใหม่ได้ดังนี้



พิจารณาจากวงจร จะพบว่า $R_{T1} = 10\Omega \,||\, 10\Omega = 5\Omega$

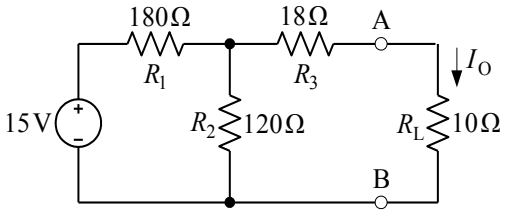
ใช้กฎการแบ่งกระแส จะได้ $$I_{X2} = \frac{10\Omega}{(10+10+5)\Omega}(1\,\text{A}) = 0.4\,\text{A}$$

3) หาผลรวมทั้งสองแหล่งกำเนิดดังนั้น

จะได้ $$I_X = I_{X2} - I_{X1} = 0.4\,\text{A} - 0.2\,\text{A} = 0.2\ \text{A}$$ .....**ตอบ**

5. จากวงจรในรูปที่ 7.14 จงหาค่ากระแสไฟฟ้า I_O โดยใช้ทฤษฎีเทวินิน

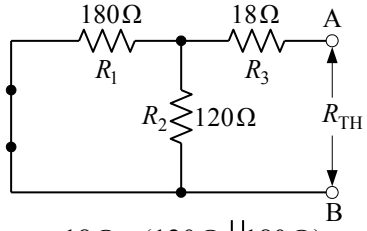
ตอบ $E_{TH} = 6\,V$, $R_{TH} = 90\Omega$ และ $I_O = 0.06$ A



รูปที่ 7.14 วงจรสำหรับแบบฝึกหัดข้อที่ 5

วิธีทำ ขั้นตอนที่ (1) ปลดขั้วตัวต้านทานโหลดออก

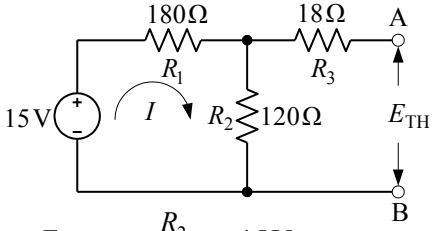
ขั้นตอนที่ (2) หาค่า R_{TH} เขียนวงจรใหม่ได้ดังนี้



พิจารณาจากวงจร จะพบว่า $R_{TH} = 18\Omega + (120\Omega \,||\, 180\Omega)$

$$R_{TH} = 18\Omega + \frac{(21{,}600\Omega^2)}{300\Omega} = 18\Omega + 72\Omega = 90\Omega$$

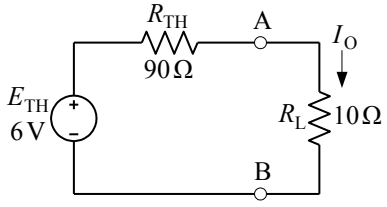
ขั้นตอนที่ (3) หาค่า E_{TH} เขียนวงจรใหม่ได้ดังนี้



พิจารณาจากวงจร จะพบว่า $E_{TH} = \dfrac{R_2}{R_1 + R_2} \times 15\,V$

$$E_{TH} = \frac{120\Omega}{(120+180)\Omega} \times 15\,V = 6\,V$$

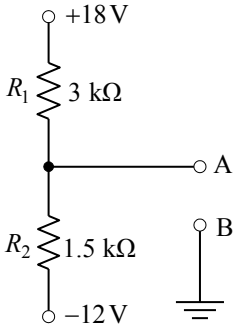
ขั้นตอนที่ (4) เขียนวงจรเทียบเคียง แล้วนำโหลดมาต่อเข้าที่ขั้วที่ปลดออก



ดังนั้น $I_O = \dfrac{E_{TH}}{R_{TH} + R_L} = \dfrac{6\,V}{90\Omega + 10\Omega} = \dfrac{6\,V}{100\Omega} = 60$ mA .....**ตอบ**

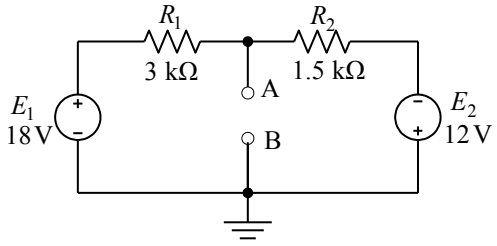
6. จากวงจรในรูปที่ 7.15 จงหาค่าวงจรสมมูลย์เทวินิน เมื่อพิจารณาที่ขั้ว A – B

<u>ตอบ</u> $E_{TH} = -2\,V$, $R_{TH} = 1k\Omega$



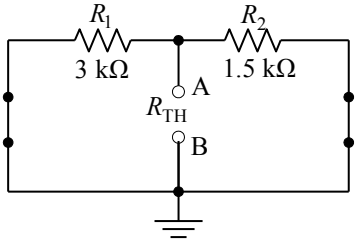
รูปที่ 7.15 วงจรสำหรับแบบฝึกหัดข้อที่ 6

วิธีทำ วาดวงจรใหม่ได้ดังนี้



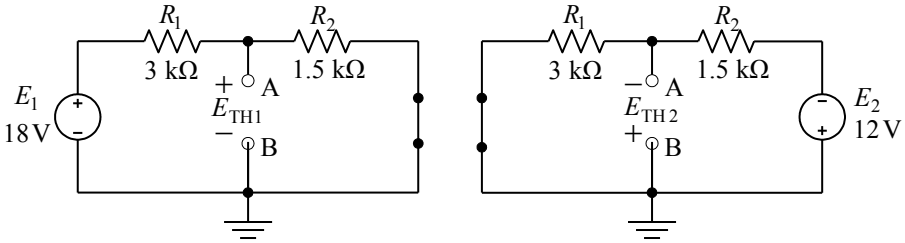
ขั้นตอนที่ (1) ปลดขั้วตัวต้านทานโหลดออก

ขั้นตอนที่ (2) หาค่า R_{TH} เขียนวงจรใหม่ได้ดังนี้



$$R_{TH} = 3k\Omega \,||\, 1.5k\Omega = \frac{4.5}{4.5}\left(\frac{k\Omega^2}{k\Omega}\right) = 1\,k\Omega$$

ขั้นตอนที่ (3) หาค่า E_{TH} เขียนวงจรใหม่ได้ดังนี้

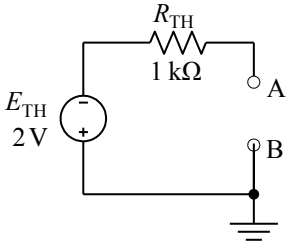


$$E_{TH1} = \frac{1.5k\Omega}{1.5k\Omega + 3k\Omega}(18\,V) = 6\,V$$

$$E_{TH2} = \frac{3k\Omega}{1.5k\Omega + 3k\Omega}(-12\,V) = -8\,V$$

จะได้ $E_{TH} = E_{TH1} + E_{TH2} = 6V + (-8V) = -2V$

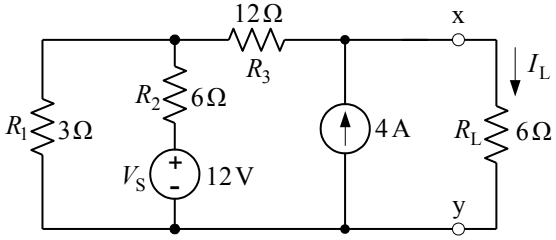
ขั้นตอนที่ (4) เขียนวงจรสมมูลย์



---

7. วงจรในรูปที่ 7.16 จงหาค่ากระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านโหลด R_L โดยใช้ทฤษฎีเทวินิน

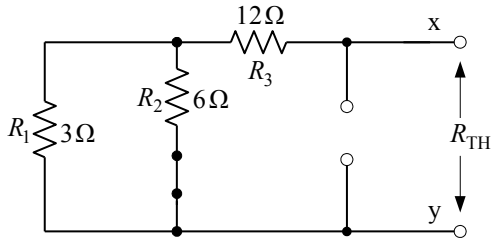
<u>ตอบ</u> $E_{TH} = 60\,\text{V}$, $R_{TH} = 14\,\Omega$, $I_L = 3\,\text{A}$



รูปที่ 7.16 วงจรสำหรับแบบฝึกหัดข้อที่ 7

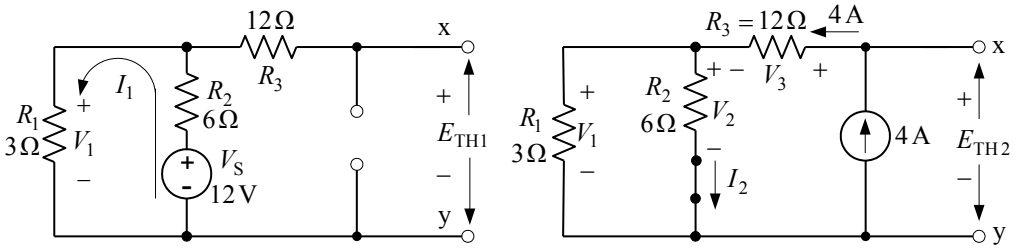
วิธีทำ ขั้นตอนที่ (1) ปลดขั้วตัวต้านทานโหลดออก

ขั้นตอนที่ (2) หาค่า R_{TH} เขียนวงจรใหม่ได้ดังนี้



$$R_{TH} = 12\Omega + (6\Omega \,||\, 3\Omega) = 12\Omega + 2\Omega = 14\,\Omega$$

ขั้นตอนที่ (3) หาค่า E_{TH} เขียนวงจรใหม่ได้ดังนี้



พิจารณา E_{TH1} : $$I_1 = \frac{V_S}{R_1 + R_2} = \frac{12\,\text{V}}{9\,\Omega} = 1.33\,\text{A}$$

$$E_{TH1} = V_1 = I_1 R_1 = (1.33\,\text{A})(3\Omega) = 4\,\text{V}$$

พิจารณา E_{TH2} : $E_{TH2} = V_3 + V_2$

ใช้กฎการแบ่งกระแส หา I_2 จะได้ $I_2 = \dfrac{R_1}{R_1+R_2}(4\text{A}) = \dfrac{3\Omega}{(3+6)\Omega}(4\text{A}) = 1.33\text{A}$

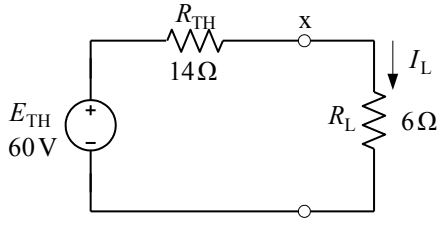
ดังนั้น $V_2 = I_2R_2 = (1.33\text{A})(6\Omega) = 8\text{V}$

และ $V_3 = (4\text{A})R_3 = (4\text{A})(12\Omega) = 48\text{V}$

จะได้ $E_{TH2} = V_3 + V_2 = 8\text{V} + 48\text{V} = 56\text{V}$

$\therefore\ E_{TH} = E_{TH1} + E_{TH2} = 4\text{V} + 56\text{V} = 60\text{V}$

ขั้นตอนที่ (4) เขียนวงจรเทียบเคียง แล้วนำโหลดมาต่อเข้าที่ขั้วที่ปลดออก

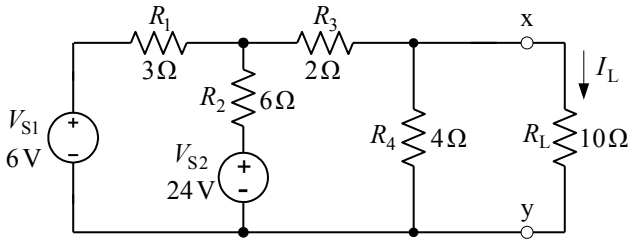


ดังนั้น $I_L = \dfrac{E_{TH}}{R_{TH}+R_L} = \dfrac{60\text{ V}}{14\Omega+6\Omega} = \dfrac{60\text{ V}}{20\ \Omega} = 3\text{ A}$ .....**ตอบ**

---

8. วงจรในรูปที่ 7.17 จงหาค่ากระแสที่ไหลผ่านโหลด R_L โดยใช้ทฤษฎีเทวินิน

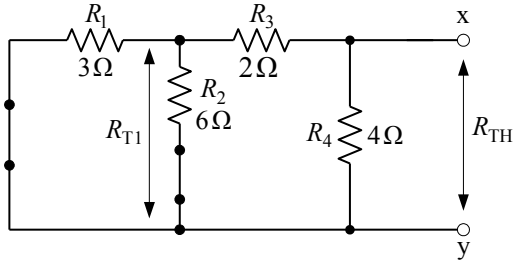
ตอบ $E_{TH} = 6\text{V}$, $R_{TH} = 2\Omega$, $I_L = 0.5\text{A}$



รูปที่ 7.17 วงจรสำหรับแบบฝึกหัดข้อที่ 8

วิธีทำ ขั้นตอนที่ (1) ปลดขั้วตัวต้านทานโหลดออก

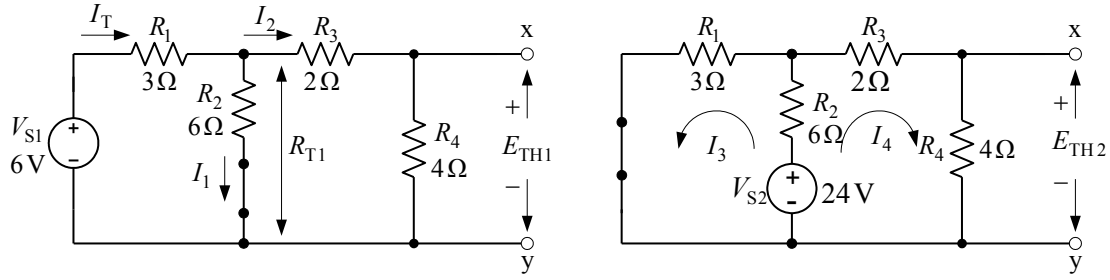
ขั้นตอนที่ (2) หาค่า R_{TH} เขียนวงจรใหม่ได้ดังนี้



$$R_{TH} = (R_{T1}+R_3)\,||\,R_4\ ;\ R_{T1} = \frac{(3\Omega\times6\Omega)}{(3+6)\Omega} = 2\Omega$$

$$R_{TH} = (2\Omega+2\Omega)\,||\,4\ \Omega = 2\Omega$$

ขั้นตอนที่ (3) หาค่า E_{TH} เขียนวงจรใหม่ได้ดังนี้



พิจารณา E_{TH1} : $R_{T1} = R_2 || (R_3 + R_4) = \dfrac{(6\Omega \times 6\Omega)}{(6+6)\Omega} = 3\Omega$

$$R_T = R_1 + R_{T1} = 3\Omega + 3\Omega = 6\Omega$$

$$I_T = \frac{V_{S1}}{R_T} = \frac{6\,\text{V}}{6\Omega} = 1\,\text{A}$$

ใช้กฎการแบ่งกระแส หา I_2 จะได้ $I_2 = \dfrac{R_2}{R_2 + (R_3 + R_4)}(1\,\text{A}) = \dfrac{6\Omega}{(6+6)\Omega}(1\,\text{A}) = 0.5\,\text{A}$

ดังนั้น $E_{TH1} = I_2 R_4 = (0.5\,\text{A})(4\Omega) = 2\,\text{V}$

พิจารณา E_{TH2} : $R_T = R_2 + (R_3 + R_4) || R_1$

$$R_T = 6\Omega + (2\Omega + 4\Omega) || 3\Omega$$

$$R_T = 6\Omega + 2\Omega = 8\Omega$$

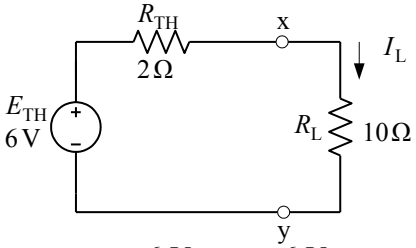
$$I_T = \frac{V_{S2}}{R_T} = \frac{24\,\text{V}}{8\Omega} = 3\,\text{A}$$

ใช้กฎการแบ่งกระแส หา I_4 จะได้ $I_4 = \dfrac{R_1}{R_1 + (R_3 + R_4)}(3\,\text{A}) = \dfrac{3\Omega}{(3+6)\Omega}(3\,\text{A}) = 1\,\text{A}$

ดังนั้น $E_{TH2} = I_4 R_4 = (1\,\text{A})(4\Omega) = 4\,\text{V}$

$$\therefore\ E_{TH} = E_{TH1} + E_{TH2} = 2\,\text{V} + 4\,\text{V} = 6\,\text{V}$$

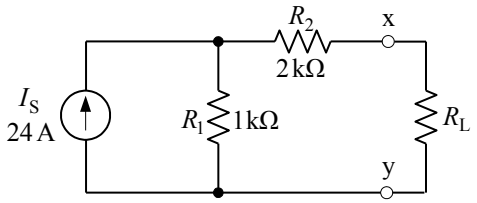
ขั้นตอนที่ (4) เขียนวงจรเทียบเคียงแล้วนำโหลดมาต่อเข้าที่ขั้วที่ปลดออก



$$\therefore\ I_L = \frac{E_{TH}}{R_{TH} + R_L} = \frac{6\ \text{V}}{2\Omega + 10\Omega} = \frac{6\ \text{V}}{12\ \Omega} = 0.5\,\text{A}$$ .....**ตอบ**

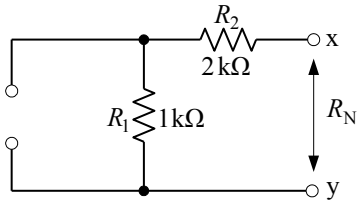
9. จากวงจรที่ 7.18 จงเขียนวงจรสมมูลย์นอร์ตัน เมื่อพิจารณาที่ขั้ว x – y

<u>ตอบ</u> $R_N = 3\,k\Omega$, $I_N = 8$ A



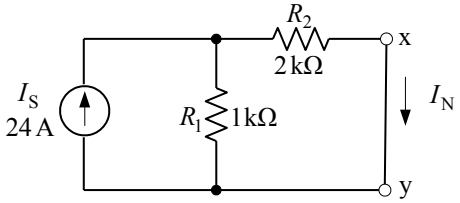
รูปที่ 7.18 วงจรสำหรับแบบฝึกหัดข้อที่ 9

วิธีทำ ปลดโหลด ออกพร้อมทั้งเปิดวงจรที่แหล่งจ่ายกระแสไฟฟ้าเพื่อหาค่า R_N



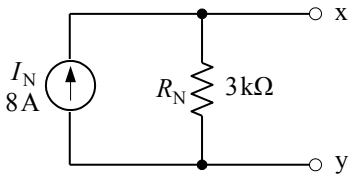
พิจารณาวงจรจะพบว่า $R_N = 1\,k\Omega + 2k\Omega = 3k\Omega$

นำแหล่งจ่ายกระแสไฟฟ้าต่อเข้ากับวงจร แล้วลัดวงจรที่ขั้ว x และ y เพื่อหาค่า I_N



ใช้กฎการแบ่งกระแส จะได้ $I_N = \dfrac{1k\Omega}{1k\Omega + 2k\Omega}(24\,A) = \dfrac{1}{3}(24\,A) = 8$ A

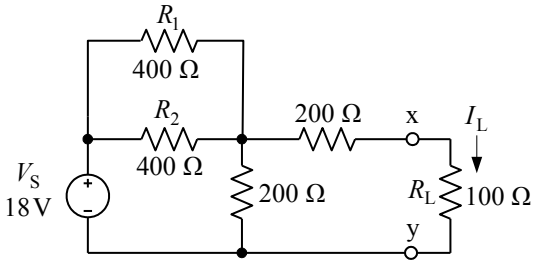
นำค่า R_N , I_N มาเขียนวงจรสมมูลย์นอร์ตัน



.....**<u>ตอบ</u>**

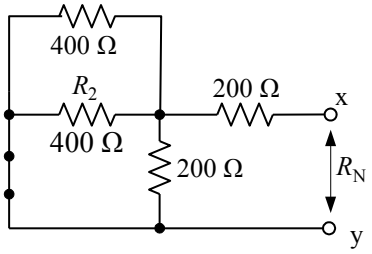
---

10. จากวงจรที่ 7.19 จงหาค่ากระแส I_L โดยใช้ทฤฎีนอร์ตัน



รูปที่ 7.19 วงจรสำหรับแบบฝึกหัดข้อที่ 10

ขั้นตอนที่ (1) ปลดขั้วตัวต้านทานโหลดออก ลัดวงจรแหล่งกำเนิดแรงดัน เพื่อหาค่า R_N

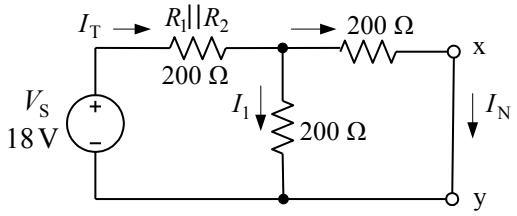


พิจารณาวงจรจะพบว่า $R_N = 200\Omega + [200\Omega \,||\, (400\Omega \,||\, 400\Omega)]$

$R_N = 200\Omega + [200\Omega \,||\, 200\Omega]$

$R_N = 200\Omega + 100\Omega = 300\Omega$

ขั้นตอนที่ (2) หา I_N วาดวงจรใหม่ได้ดังนี้

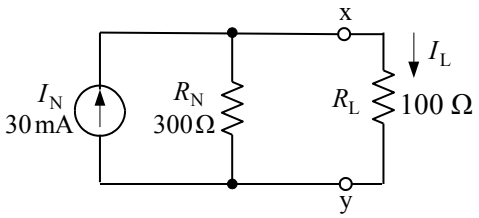


จากวงจรมองเข้าทางแหล่งจ่ายแรงดัน จะพบว่า $R_T = 200\Omega + (200\Omega \,||\, 200\Omega) = 300\Omega$

ดังนั้น $I_T = \dfrac{V_S}{R_T} = \dfrac{18\,\text{V}}{300\Omega} = 60\,\text{mA}$

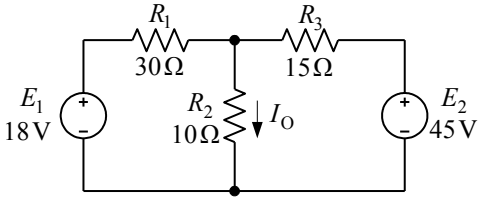
ใช้กฎการแบ่งกระแส $I_N = \dfrac{200\Omega}{200\Omega + 200\Omega}(60\,\text{mA}) = 30\,\text{mA}$

ขั้นตอนที่ (3) เขียนวงจรเทียบเคียง แล้วนำเอาโหลดมาต่อเข้าที่ขั้ว x – y



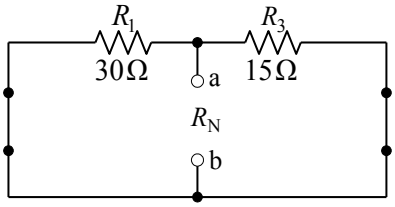
$\therefore\ I_L = \dfrac{R_N}{R_N + R_L}(I_N) = \dfrac{300\Omega}{400\ \Omega}(30\ \text{mA}) = 22.5\,\text{mA}$ .....**ตอบ**

11. จากวงจรในรูปที่ 7.20 จงหากระแสไฟฟ้า I_O โดยใช้ทฤษฎีนอร์ตัน **ตอบ** $I_O = 1.8\,\text{A}$



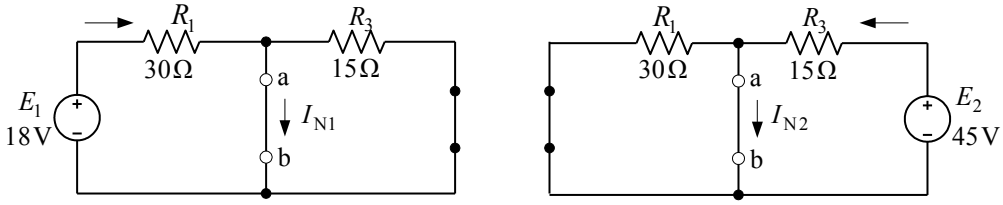
รูปที่ 7.20 วงจรสำหรับแบบฝึกหัดข้อที่ 11

วิธีทำ ขั้นตอนที่ (1) ปลดขั้วตัวต้านทานโหลดออก ลัดวงจรแหล่งกำเนิดแรงดัน หาค่าความต้านทานนอร์ตัน



พิจารณาวงจรจะพบว่า $R_N = 30\Omega \,||\, 15\Omega = \dfrac{(30\times15)\Omega^2}{(30+15)\Omega} = 10\ \Omega$

ขั้นตอนที่ (2) หา I_N ลัดวงจรที่ขั้ว $a-b$ ใส่แหล่งจายแรงดันทีละตัว

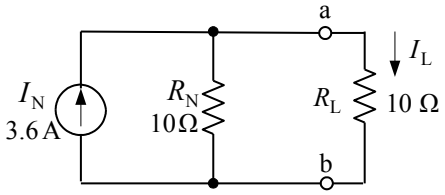


พิจารณา รูปซ้ายมือ จะได้ $I_{N1} = \dfrac{18\,\text{V}}{30\Omega} = 0.6\ \text{A}$

พิจารณา รูปขวามือ จะได้ $I_{N2} = \dfrac{45\,\text{V}}{15\Omega} = 3\ \text{A}$

$$I_N = I_{N1} + I_{N2} = 0.6\,\text{A} + 3\ \text{A} = 3.6\,\text{A}$$

ขั้นตอนที่ (3) เขียนวงจรเทียบเคียง แล้วนำเอาโหลดมาต่อเข้าที่ขั้ว $a-b$

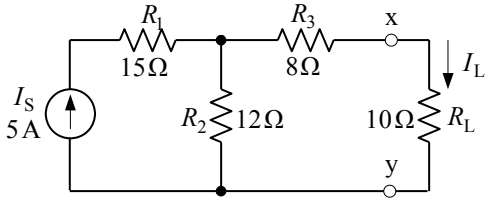


ใช้กฎการแบ่งกระแส จะได้ $I_L = \dfrac{R_N}{R_N + R_L}(I_N) = \dfrac{10\Omega}{10\Omega+10\Omega}(3.6\,\text{A})$

$\therefore\ I_L = 1.8\ \text{A}$ .....**ตอบ**

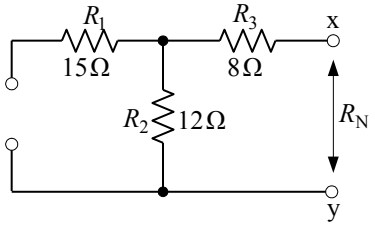
---

12. จากวงจรในรูปที่ 7.21 จงหากระแสไฟฟ้า I_L โดยใช้ทฤษฎีนอร์ตัน **ตอบ** $I_L = 2\,\text{A}$



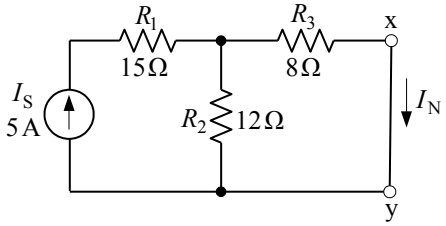
รูปที่ 7.21 วงจรสำหรับแบบฝึกหัดข้อที่ 12

วิธีทำ ขั้นตอนที่ (1) ปลดขั้วตัวต้านทานโหลดออก เปิดวงจรแหล่งกำเนิดกระแส เพื่อหาค่าความต้านทานนอร์ตัน



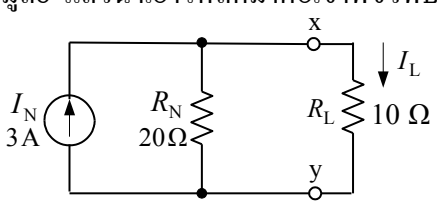
พิจารณาวงจรจะพบว่า $R_N = 8\Omega + 12\Omega = 20\ \Omega$

ขั้นตอนที่ (2) หา I_N ลัดวงจรที่ ขั้ว $x-y$ นำแหล่งจ่ายกระแสใส่วงจรเหมือนเดิม



พิจารณาวงจรจะพบว่า $I_N = \dfrac{12\Omega}{12\Omega+8\Omega}(5\text{A}) = \dfrac{12}{20}(5\text{A}) = 3\text{A}$

ขั้นตอนที่ (3) เขียนวงจรสมมูลย์ แล้วนำเอาโหลดมาต่อเข้าที่ขั้วที่ปลดโหลดออกไป



ดังนั้น $I_L = \dfrac{R_N}{R_N + R_L}(I_N) = \dfrac{20\Omega}{20\Omega+10\Omega}(3\text{A})$

$\therefore\ I_L = \dfrac{20\Omega}{30\Omega}(3\text{A}) = 2\ \text{A}$ .....**ตอบ**