แบบทดสอบก่อนเรียน

หน่วยที่ 6 วิธีแรงดันโนด

จงเลือกคำตอบที่ถูกที่สุดเพียง 1 ข้อ

1. ขั้นตอนแรกของวิธีแรงดันโนด คือ ข้อใด

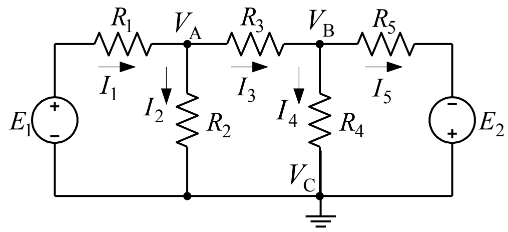
ก. สมมติและกำหนดทิศทางกระแส

ข. สำรวจจำนวนโนดแล้วกำหนดลงในวงจร

ค. เขียนสมการ แรงดันโนด

ง. แก้สมการหาค่าตัวแปรที่ต้องการ

จากวงจรในรูปที่ 1 จงใช้ตอบคำถาม ข้อ 1 – 2



รูปที่ 1 ใช้ตอบคำถาม ข้อ 1 – 2

2. สมการ KCL ที่โนด V_A คือข้อใด

ก. $I_2 = I_1 + I_3$

ข. $I_3 = I_1 + I_2$

ค. $I_1 = I_2 + I_3$

ง. $I_3 - I_1 = I_2$

3. ใช้กฎของโอห์มแทนค่า I_3 ได้เป็นข้อใด

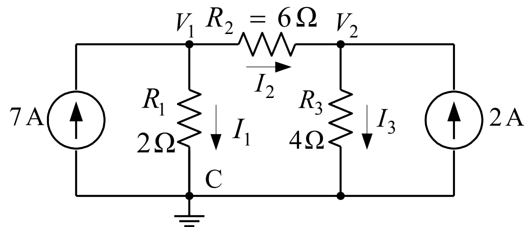
ก. $I_3 = \frac{V_A - V_B}{R_3}$

ข. $I_3 = \frac{V_A + V_B}{R_3}$

ค. $I_3 = \frac{V_A}{R_3}$

ง. $I_3 = \frac{V_B}{R_3}$

จากวงจรในรูปที่ 2 จงใช้ตอบคำถาม ข้อ 4 – 7



รูปที่ 2 ใช้ตอบคำถาม ข้อ 4 – 7

4. สมการ KCL ที่โนด V_1 คือข้อใด

ก. $I_2 - I_1 = 7\,\text{A}$

ข. $7\,\text{A} = I_1 + I_2$

ค. $I_1 + 7\,\text{A} = I_2$

ง. $I_2 + 7\,\text{A} = I_1$

5. V_1 มีค่าเท่าใด

ก. 15 V ข. 8 V

ค. 10 V ง. 13 V

6. V_2 มีค่าเท่าใด

ก. 15 V ข. 8 V

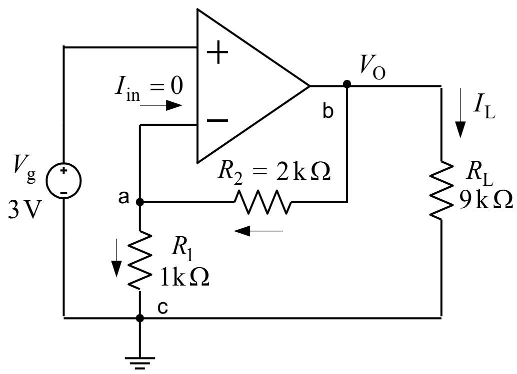
ค. 10 V ง. 13 V

7. I_2 มีค่าเท่าใด

ก. 0.5 A ข. 1 A

ค. 1.5 A ง. 2 A

จากวงจรในรูปที่ 3 ใช้สำหรับคำถามข้อ 8 – 10



รูปที่ 3 วงจรสำหรับคำถามข้อ 8 – 10

8. สมการ KCL ที่จุด a คือข้อใด

ก. $I_1 + 0 = I_2$ ข. $I_2 + 0 = I_L$

ค. $I_1 = -I_2$ ง. $I_1 + I_2 = I_L$

9. V_O มีค่าเท่าใด

ก. 4 V ข. 9 V

ค. 10 V ง. 18 V

10. I_L มีค่าเท่าใด

ก. 3 mA ข. 1 A

ค. 10 mA ง. 1 mA

หน่วยที่ 6 วิธีแรงดันโนด

สาระสำคัญ

วิธีแรงดันโนด เป็นการวิเคราะห์วงจรไฟฟ้าที่มีจำนวนลูปหลายๆลูป โดยจะหาแรงดัน ณ จุดใดๆ บนจุดหรือโนดในวงจร ขั้นตอนที่สำคัญคือ กำหนดจุดหรือโนดลงบนวงจร แล้วสมมุติทิศทางของกระแส จากนั้นเขียนสมการ KVL แต่ละจุดหรือโนด ขั้นตอนสุดท้ายคือแก้สมการหาค่าตัวแปรที่ต้องการทราบโดยใช้ดีเทอร์มิแนนต์และแมททริกซ์

เนื้อหาสาระ

6.1 วิธีแรงดันโนด

6.2 การเขียนสมการแรงดันโนด

6.3 การวิเคราะห์วงจรไฟฟ้าด้วย วิธี แรงดันโนด

จุดประสงค์การเรียนรู้

จุดประสงค์ทั่วไป เพื่อให้ผู้เรียนมีความรู้และเข้าใจในเรื่อง :

6.1 วิธีแรงดันโนด

6.2 การเขียนสมการแรงดันโนด ในวงจรไฟฟ้าและวงจรอิเล็กทรอนิกส์

6.3 การวิเคราะห์วงจรไฟฟ้า และวงจรอิเล็กทรอนิกส์ ด้วย วิธี แรงดันโนด

จุดประสงค์เชิงพฤติกรรม หลังจากเรียนจบหน่วยเรียนนี้แล้ว ผู้เรียนควรมีความสามารถดังนี้

6.1 อธิบายขั้นตอน ของ วิธีแรงดันโนด ได้

6.2 เขียนสมการแรงดันโนด ในวงจรไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ ได้

6.3 วิเคราะห์วงจรไฟฟ้าและวงจรอิเล็กทรอนิกส์ ด้วย วิธี แรงดันโนด ได้

หน่วยที่ 6 วิธีแรงดันโนด

วิธีการของการวิเคราะห์แบบใดๆ ของวงจรที่มีจำนวณลูปหลายๆ ลูป และหาแรงดัน ณ จุดใดๆ บนจุดเชื่อมต่อในวงจร เรียกว่า วิธีแรงดันโนด โนด หมายถึง จุดเชื่อมต่อในวงจร วิธีแรงดันโนด เป็นพื้นฐาน ในการหาแรงดัน ณ จุดแต่ละจุดในวงจรโดยการนำ กฎกระแสของเคอร์ชอฟฟ์มาประยุกต์ใช้ โนดแต่โนดจะต้องมีสาขาที่เชื่อมต่อกัน ไม่น้อยกว่า 2 สาขา จำนวนสมการในวิธีแรงดันโนดจะน้อยกว่า จำนวนสมการในวิธี กระแสเมช อยู่ 1 สมการ เสมอ

6.1 วิธีแรงดันโนด (Node Voltage Method) รายละเอียดของโนด มี ดังนี้

โนด (Node) คือ จุดต่อในวงจรไฟฟ้าที่มีจำนวนสาขาของวงจรต่ออยู่ตั้งแต่ 2 สาขาขึ้นไป

โนดหลัก (Principal Node) หรือจุดเชื่อมต่อ คือจุดในวงจรไฟฟ้าที่มีจำนวนสาขาของวงจรที่ต่ออยู่ตั้งแต่ 3 สาขาขึ้นไปมาต่อรวมกัน

โนดเปรียบเทียบ (Reference Node) หรือจุดอ้างอิง ซึ่งจะกำหนดให้จุดเชื่อมต่อใดจุดหนึ่งเป็นจุดอ้างอิงก็ได้ แต่โดยทั่วไปแล้วจะเลือกจุดอ้างอิงที่ต่อร่วมอยู่กับกราวด์ (Ground) เสมอ เพราะง่ายต่อการพิจารณาและคำนวณ

แรงดันโนด (Node Voltage) คือ ความแตกต่างของระดับแรงดันที่จุดใดๆ ก็ได้ในวงจร เมื่อนำไปเปรียบเทียบกับจุดอ้างอิง

ขั้นตอนการใช้ วิธีแรงดันโนด จะพิจารณาเป็นขั้นๆ ดังนี้

1. สำรวจ จำนวนของโนด กำหนดลงในวงจร ซึ่งจะมีทั้งโนดต่อเชื่อม (โนดหลัก) และโนดอ้างอิง การพิจารณาแรงดันโนดจะให้ระดับของแรงดันไฟฟ้าที่โนดต่อเชื่อม มีค่าสูงกว่าระดับแรงดันที่โนดอ้างอิง

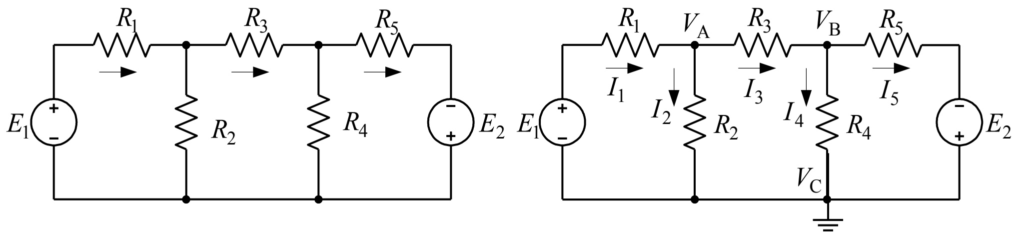
2. สมมติและกำหนดทิศทางของกระแสไฟฟ้าที่โนดต่อเชื่อม การกำหนดทิศทางของกระแสไฟฟ้าที่โนดเชื่อมต่อ จะกำหนดให้กระแสไฟฟ้าไหลเข้าหรือไหลออกก็ได้ โดยใช้หลักธรรมชาติพิจารณา ถ้าค่าที่คำนวณวิเคราะห์ออกมาเป็นค่าลบ แสดงว่า นักเรียนกำหนดทิศทางตรงข้ามกับความเป็นจริง

3. เขียนสมการ แรงดันโนด ในแต่ละโนดหลัก แล้วแทนค่า กระแสที่สมมติขึ้นมา โดยใช้กฎของโอห์ม ลงใน สมการ แรงดันโนด

4. ปรับปรุง พัฒนาสมการ จากขั้นตอนที่ (3) โดยใช้วิธี ของสมการเชิงเส้น แล้วแก้ระบบสมการ หาค่าตัวแปรที่ต้องการทราบค่า โดยใช้ กฎของ คราเมอร์ หรือ วิธีสมการเชิงเส้น ถ้าวงจรที่กำลังวิเคราะห์นั้น มี โนดหลักโนดเดียว

6.2 การเขียนสมการ แรงดันโนด ในวงจรไฟฟ้าและวงจรอิเล็กทรอนิกส์

ในหน่วยที่ 5 นักเรียนได้ศึกษา วิธีการประยุกต์ใช้ KVL มาแล้วในวิธีกระแสเมช ในหน่วยนี้ นักเรียนจะได้ศึกษา การประยุกต์ใช้ KCL ซึ่งเป็นขั้นตอนที่สำคัญ ของวิธีแรงดันโนด



(ก) วงจรไฟฟ้า 3 ลูป (ข) การกำหนด โนด และทิศทางกระแส

รูปที่ 6.1 วงจรไฟฟ้า 3 ลูป 2 โนดหลัก

จาก ขั้นตอนการใช้ วิธีแรงดันโนด ที่ได้กล่าวมาแล้ว รายละเอียดการใช้ วิธีแรงดันโนดมีดังนี้

ขั้นตอนที่ (1) สำรวจ จำนวนของโนด กำหนดลงในวงจร ซึ่ง V_{A} และ V_{B} เป็นโนดต่อเชื่อม และ V_{C} เป็นโนดอ้างอิง ดังรูปที่ 6.1 (ข)

ขั้นตอนที่(2) สมมติและกำหนดทิศทางของกระแสไฟฟ้าไหลเข้า – ออก ที่โนดต่อเชื่อม ดังรูปที่ 6.1 (ข)

ขั้นตอนที่(3) เขียนสมการ แรงดันโนด ในแต่ละโนดหลัก ได้ดังนี้

สมการ KCL ที่โนด V_{A} : $I_1 = I_2 + I_3$

แทนค่า กระแสที่สมมติขึ้นมา โดยใช้กฎของโอห์ม ลงใน สมการ KCL ที่โนด V_{A}

จากกฎของโอห์ม $I_1 = \dfrac{E_1 - V_{\mathrm{A}}}{R_1}$

$$I_2 = \frac{V_{\mathrm{A}} - 0}{R_2} \quad ; \text{ โนดอ้างอิง } = 0$$

$$I_3 = \frac{V_{\mathrm{A}} - V_{\mathrm{B}}}{R_3}$$

ดังนั้น โนด V_{A} : $\dfrac{E_1 - V_{\mathrm{A}}}{R_1} = \dfrac{V_{\mathrm{A}}}{R_2} + \dfrac{V_{\mathrm{A}} - V_{\mathrm{B}}}{R_3}$ …………………(1)

สมการ KCL ที่โนด V_{B} : $I_3 = I_4 + I_5$

แทนค่า กระแสที่สมมติขึ้นมา โดยใช้กฎของโอห์ม ลงใน สมการ KCL ที่โนด V_{B}

จากกฎของโอห์ม $I_3 = \dfrac{V_{\mathrm{A}} - V_{\mathrm{B}}}{R_3}$

$$I_4 = \frac{V_{\mathrm{B}} - 0}{R_4}$$

$$I_5 = \frac{V_{\mathrm{B}} + E_2}{R_5}$$

ดังนั้น โนด V_{B} : $\dfrac{V_{\mathrm{A}} - V_{\mathrm{B}}}{R_3} = \dfrac{V_{\mathrm{B}}}{R_4} + \dfrac{V_{\mathrm{B}} + E_2}{R_5}$ …………………(2)

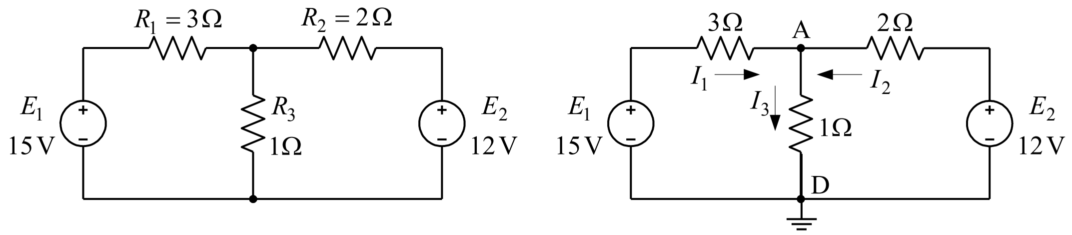
ขั้นตอนที่(4) ปรับปรุง พัฒนาสมการ จากขั้นตอนที่ (3) โดยใช้วิธี ของสมการเชิงเส้น แล้วแก้ระบบสมการหาค่าตัวแปรที่ต้องการทราบค่า โดยการ แทนค่าตัวแปร ตัวต้านทาน แรงดัน จากนั้น เขียนให้อยู่ในรูป สมการเมตริกซ์ แล้วใช้ กฎของคราเมอร์ แก้สมการ หาค่าแรงดัน V_{A} และ V_{B}

6.3 การวิเคราะห์วงจรไฟฟ้า และวงจรอิเล็กทรอนิกส์ ด้วย วิธี แรงดันโนด

วิธีแรงดันโนด สามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการวิเคราะห์ หาค่าแรงดัน ณ จุดเชื่อมต่อใดๆ บนวงจรไฟฟ้า หรือ วงจรอิเล็กทรอนิกส์ เมื่อทราบค่า แรงดัน ณ จุดนั้น แล้ว การจะหากระแสไฟฟ้าหรือ ค่ากำลังงานที่โหลด ตัวนั้น ก็ทำได้ไม่ยาก โดยให้นักเรียน ตั้งใจศึกษาจากตัวอย่าง ดังต่อไปนี้

จากตัวอย่างที่ 5.1 ซึ่งเป็นการวิเคราะห์ หาค่าการแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านตัวต้านทานแต่ละตัว ด้วยวิธีกระแสเมช ในหน่วยนี้เป็นการวิเคราะห์ด้วยวิธีแรงดันโนด

ตัวอย่างที่ 6.1 จากวงจรในรูปที่ 6.2 จงวิเคราะห์หา กระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านตัวต้านทานแต่ละตัวด้วย วิธีแรงดันโนด



(ก) วงจรไฟฟ้า 2 ลูป (ข) แสดงทิศทางกระแส และ โนดหลัก – โนดอ้างอิง

รูปที่ 6.2 วงจรไฟฟ้าสำหรับตัวอย่างที่ 6.1

วิธีทำ

ขั้นตอนที่ (1) สำรวจ จำนวนของโนด กำหนดลงในวงจร ซึ่ง A เป็นโนดต่อเชื่อม และ D เป็นโนดอ้างอิง ดังรูปที่ 6.2 (ข)

ขั้นตอนที่(2) สมมติและกำหนดทิศทางของกระแสไฟฟ้าไหลเข้า – ออก ที่โนดต่อเชื่อม ดังรูปที่ 6.2 (ข)

ขั้นตอนที่(3) เขียนสมการ แรงดันโนด ในโนดหลัก(A) ได้ดังนี้

สมการ KCL ที่โนด V_{A} : $I_3 = I_1 + I_2$

แทนค่า กระแสที่สมมติขึ้นมาโดยใช้กฎของโอห์ม ลงในสมการ KCL ที่โนด A

จากกฎของโอห์ม $I_1 = \dfrac{E_1 - V_{\text{A}}}{R_1}$ (V_{A} หมายถึงแรงดันที่โนด A)

$$I_2 = \frac{E_2 - V_{\text{A}}}{R_2}$$

$$I_3 = \frac{V_{\text{A}} - 0}{R_3}$$

ดังนั้น ที่โนด A : $\frac{V_A}{R_3} = \frac{E_1 - V_A}{R_1} + \frac{E_2 - V_A}{R_2}$ …………………(1)

ขั้นตอนที่(4) ปรับปรุง พัฒนาสมการ จากขั้นตอนที่ (3) โดยใช้วิธี ของสมการเชิงเส้น

แทนค่า ความต้านทานแต่ละตัว และแรงดัน E_1 , E_2 ลงในสมการ(1)

จะได้ $\frac{V_A}{1\Omega} = \frac{15\,\mathrm{V} - V_A}{3\Omega} + \frac{12\,\mathrm{V} - V_A}{2\Omega}$ …………………(1)

สมการที่(1) จะพบว่าเป็นเศษส่วน และ ครน. คือ 6Ω นำ 6Ω ซึ่งเป็น ครน. ของสมการ(1) คูณ สมการ(1)

$$\frac{V_A}{1\Omega}(6\Omega) = \frac{(15\,\mathrm{V} - V_A)(6\Omega)}{3\Omega} + \frac{(12\,\mathrm{V} - V_A)(6\Omega)}{2\Omega}$$

จะได้ $6V_A = 30\,\mathrm{V} - 2V_A + 36\,\mathrm{V} - 3V_A$

จัดรูปสมการ $6V_A + 2V_A + 3V_A = 66\,\mathrm{V}$

$11V_A = 66\,\mathrm{V}$

ดังนั้น $V_A = \frac{66\,\mathrm{V}}{11} = 6\,\mathrm{V}$

เมื่อทราบค่าแรงดัน ณ จุด A แล้ว ต่อไป ก็ใช้กฎของโอห์ม หาค่ากระแสไฟฟ้า ที่ไหลผ่าน ตัวต้านทาน แต่ละตัว ดังนี้ $I_1 = \frac{E_1 - V_A}{R_1}$

$\therefore\ I_1 = \frac{15\,\mathrm{V} - 6\,\mathrm{V}}{3\Omega} = \frac{9\,\mathrm{V}}{3\Omega} = 3\,\mathrm{A}$ ………………….**ตอบ**

$I_2 = \frac{E_2 - V_A}{R_2}$

$\therefore\ I_2 = \frac{12\,\mathrm{V} - 6\,\mathrm{V}}{2\Omega} = \frac{6\,\mathrm{V}}{2\Omega} = 3\,\mathrm{A}$ ………………….**ตอบ**

และ $I_3 = \frac{V_A - 0}{R_3} = \frac{6\,\mathrm{V}}{1\Omega} = 6\,\mathrm{A}$ ………………….**ตอบ**

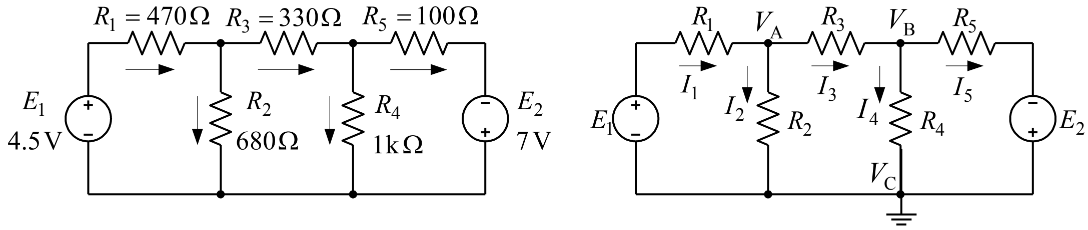
จากวงจร กระแสที่ไหลผ่าน R_1 คือ $I_1 = 3\,\mathrm{A}$

กระแสที่ไหลผ่าน R_2 คือ $I_2 = 3\,\mathrm{A}$

กระแสที่ไหลผ่าน R_3 คือ $I_3 = 6\,\mathrm{A}$ เท่ากันกับวิธีกระแสเมช

จากตัวอย่างนี้ นักเรียนจะพบว่า วิธีแรงดันโนด จะใช้สมการน้อยกว่า วิธีกระแสเมช อยู่ หนึ่งสมการเสมอ คือ ถ้า วงจรใดๆ มีจำนวน n ลูป วิธีกระแสเมช จะใช้สมการ เท่ากับจำนวนลูป หรือ n สมการ แต่ถ้าใช้วิธีแรงดันโนด จำนวนสมการจะเป็น $n - 1$ สมการ ดังเช่น ตัวอย่างที่ 6.1 ซึ่งมีจำนวน 2 ลูป ทำให้มีจำนวนโนดเป็น 1 โนด หรือ 1 สมการ ทำให้การแก้สมการง่ายขึ้น การแก้สมการที่มีเพียง 1 สมการ ก็ใช้วิธีของ การแก้สมการเชิงเส้น ที่นักเรียนได้ทบทวนมาแล้ว ในหน่วยที่ 1 นั่นเอง

ตัวอย่างที่ 6.2 จากวงจรในรูปที่ 6.3 จงวิเคราะห์หา กระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านตัวต้านทานค่า 330Ω ด้วยวิธีแรงดันโนด



(ก) วงจรไฟฟ้า 3 ลูป (ข) แสดงทิศทางกระแส และ โนดหลัก – โนดอ้างอิง

รูปที่ 6.3 วงจรไฟฟ้า สำหรับตัวอย่างที่ 6.2

วิธีทำ

ขั้นตอนที่ (1) สำรวจ จำนวนของโนด กำหนดลงในวงจร ซึ่ง V_A และ V_B เป็นโนดต่อเชื่อม และ V_C เป็นโนดอ้างอิง ดังรูปที่ 6.3 (ข)

ขั้นตอนที่(2) สมมติและกำหนดทิศทางของกระแสไฟฟ้าไหลเข้า – ออก ที่โนดต่อเชื่อม ดังรูปที่ 6.3 (ข)

ขั้นตอนที่(3 – 1) เขียนสมการ แรงดันโนด ในโนดหลัก V_A ได้ดังนี้

สมการ KCL ที่โนด V_A : $I_1 = I_2 + I_3$

แทนค่า กระแสที่สมมติขึ้นมา โดยใช้กฎของโอห์ม ลงใน สมการ KCL ที่โนด V_A

จากกฎของโอห์ม $I_1 = \dfrac{E_1 - V_A}{R_1}$, $I_2 = \dfrac{V_A - 0}{R_2}$; โนดอ้างอิง $= 0$ และ $I_3 = \dfrac{V_A - V_B}{R_3}$

ดังนั้นที่ โนด V_A : $\dfrac{E_1 - V_A}{R_1} = \dfrac{V_A}{R_2} + \dfrac{V_A - V_B}{R_3}$ ....(1.1)

ขั้นตอนที่(4 – 1) ปรับปรุง พัฒนาสมการ จากขั้นตอนที่ (3 – 1) โดยใช้วิธี ของสมการเชิงเส้น

แทนค่า ความต้านทานแต่ละตัว และแรงดัน E_1 ลงในสมการ(1.1)

จะได้ $$\frac{4.5\text{V} - V_A}{470\Omega} = \frac{V_A}{680\Omega} + \frac{V_A - V_B}{330\Omega}$$

จัดรูปสมการ $$\frac{4.5\text{V}}{470\Omega} - \frac{V_A}{470\Omega} - \frac{V_A}{680\Omega} - \frac{V_A}{330\Omega} + \frac{V_B}{330\Omega} = 0$$

$$\left(\frac{1}{470} + \frac{1}{680} + \frac{1}{330}\right)V_A - \left(\frac{1}{330}\right)V_B = \frac{4.5}{470}$$

$$(2.127\times10^{-3} + 1.47\times10^{-3} + 3.03\times10^{-3})V_A - (3.03\times10^{-3})V_B = 9.57\times10^{-3}$$

นำ 1,000 คูณ : $(2.127 + 1.47 + 3.03)V_A - (3.03)V_B = 9.57$

หรือ $6.63V_A - 3.03V_B = 9.57$ ....(1)

ขั้นตอนที่(3 – 2) เขียนสมการแรงดันโนด ในโนดหลัก V_B ได้ดังนี้

สมการ KCL ที่โนด V_B : $I_3 = I_4 + I_5$

แทนค่า กระแสที่สมมติขึ้นมา โดยใช้กฎของโอห์ม ลงใน สมการ KCL ที่โนด V_B

จากกฎของโอห์ม $I_3 = \dfrac{V_A - V_B}{R_3}$, $I_4 = \dfrac{V_B - 0}{R_4}$ และ $I_5 = \dfrac{V_B + E_2}{R_5}$

ดังนั้น ที่โนด V_B : $\dfrac{V_A - V_B}{R_3} = \dfrac{V_B}{R_4} + \dfrac{V_B - E_2}{R_5}$ …………………(2.1)

ขั้นตอนที่(4 – 2) ปรับปรุง พัฒนาสมการ จากขั้นตอนที่ (3 – 2) โดยใช้วิธี ของสมการเชิงเส้น

แทนค่า ความต้านทานแต่ละตัว และแรงดัน E_2 ลงในสมการ(2.1)

$$\frac{V_A - V_B}{330\Omega} = \frac{V_B}{1000\Omega} + \frac{V_B - (-7\,V)}{100\Omega}$$

จัดรูปสมการ $\dfrac{V_A}{330} - \dfrac{V_B}{330} - \dfrac{V_B}{1000} - \dfrac{V_B}{100} = \dfrac{7}{100}$

$$(\frac{1}{330})V_A - (\frac{1}{330} + \frac{1}{1000} + \frac{1}{100})V_B = \frac{7}{100}$$

$$(3.03\times10^{-3})V_A - (3.03\times10^{-3} + 1\times10^{-3} + 10\times10^{-3})V_B = 0.07$$

$$0.00303V_A - 0.01403V_B = 0.07$$

นำ 1,000 คูณ : $3.03V_A - 14.03V_B = 70$ …………………(2)

นำสมการ (1) และ (2) มาเขียนให้อยู่ในรูป สมการเมตริกซ์ ดังนี้

$$\begin{bmatrix} 6.63 & -3.03 \\ -3.03 & -14.03 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_A \\ V_B \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 9.57 \\ 70 \end{bmatrix}$$

หา Δ : $\Delta = \begin{vmatrix} 6.63 & -3.03 \\ 3.03 & -14.03 \end{vmatrix} = +(6.63)(-14.03) - (3.03)(-3.03)$

$$\Delta = -93.0189 + 9.1809 = -83.838$$

หา ΔV_A : $\Delta V_A = \begin{vmatrix} 9.57 & -3.03 \\ 70 & -14.03 \end{vmatrix} = +(9.57)(-14.03) - (70)(-3.03)$

$$\Delta V_A = -134.26 + 212.1 = 77.833$$

หา ΔV_B : $\Delta V_B = \begin{vmatrix} 6.63 & 9.57 \\ 3.03 & 70 \end{vmatrix} = +(6.63)(70) - (3.03)(9.57)$

$$\Delta V_B = 464.1 - 28.997 = 435.103$$

ดังนั้น $V_A = \dfrac{\Delta V_A}{\Delta} = \dfrac{77.833}{-83.838} = -928\text{ mV}$

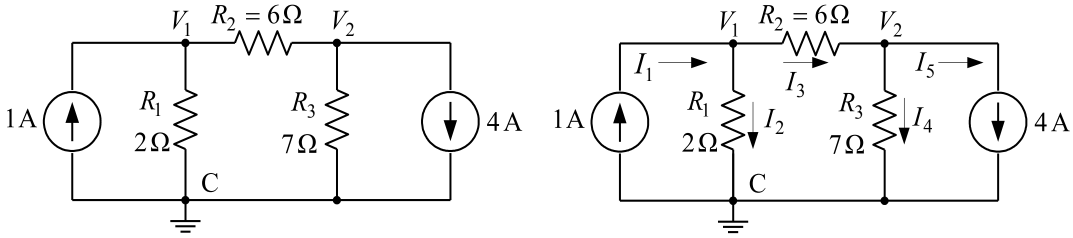
และ $V_B = \dfrac{\Delta V_B}{\Delta} = \dfrac{435.103}{-83.838} = -5.19\text{ V}$

กระแสที่ไหลผ่านตัวต้านทานค่า 330Ω ก็คือ I_3

ดังนั้น $I_3 = \dfrac{V_A - V_B}{R_3} = \dfrac{-0.928\,V - (-5.19\,V)}{330\Omega}$

$$\therefore\ I_3 = \frac{4.262\,V}{330\Omega} = 12.9\text{ mA}$$ ………………….**<u>ตอบ</u>**

ตัวอย่างที่ 6.3 จากวงจรในรูปที่ 6.4 จงวิเคราะห์หาแรงดัน V_1, V_2 ด้วย วิธีแรงดันโนด



(ก) วงจรไฟฟ้าที่มีแหล่งกำเนิดกระแส (ข) แสดงทิศทางกระแส

รูปที่ 6.4 วงจรสำหรับตัวอย่างที่ 6.3

วิธีทำ

ขั้นตอนที่ (1) สำรวจ จำนวนของโนด กำหนดลงในวงจร ซึ่ง V_1 และ V_2 เป็นโนดต่อเชื่อม และ V_C เป็นโนดอ้างอิง ซึ่งโจทย์กำหนดมาให้แล้ว

ขั้นตอนที่(2) สมมติและกำหนดทิศทางของกระแสไฟฟ้าไหลเข้า – ออก ที่โนดต่อเชื่อม ดังรูปที่ 6.4 (ข)

ขั้นตอนที่(3 – 1) เขียนสมการ แรงดันโนด ในโนดหลัก V_1 ได้ดังนี้

สมการ KCL ที่โนด V_1 : $I_1 = I_2 + I_3$

แทนค่า กระแสที่สมมติขึ้นมา โดยใช้กฎของโอห์ม ลงใน สมการ KCL ที่โนด V_1

จากวงจร $I_1 = 1\text{A}$, $I_2 = \dfrac{V_1}{R_1}$ และ $I_3 = \dfrac{V_1 - V_2}{R_2}$

ดังนั้นที่ โนด V_1 : $1\text{A} = \dfrac{V_1}{R_1} + \dfrac{V_1 - V_2}{R_2}$ ....(1.1)

ขั้นตอนที่(4 – 1) ปรับปรุง พัฒนาสมการ จากขั้นตอนที่ (3 – 1) โดยใช้วิธี ของสมการเชิงเส้น แทนค่า ความต้านทานแต่ละตัว ลงในสมการ(1.1)

จะได้ $1\text{A} = \dfrac{V_1}{2\Omega} + \dfrac{V_1 - V_2}{6\Omega}$

นำ 6Ω คูณ (6Ω เป็น ครน. ของสมการ(1.1))

ดังนั้น $(1\text{A})(6\Omega) = (6\Omega)\dfrac{(V_1)}{2\Omega} + (6\Omega)\dfrac{(V_1 - V_2)}{6\Omega}$

จัดรูปสมการ $6\text{V} = 3V_1 + V_1 - V_2$

หรือ $6\text{V} = 4V_1 - V_2$ ....(1)

ขั้นตอนที่(3 – 2) เขียนสมการ แรงดันโนด ในโนดหลัก V_2 ได้ดังนี้

สมการ KCL ที่โนด V_2 : $I_3 = I_4 + I_5$

แทนค่า กระแสที่สมมติขึ้นมา โดยใช้กฎของโอห์ม ลงใน สมการ KCL ที่โนด V_1

จากวงจร $I_5 = 4\text{A}$, $I_4 = \dfrac{V_2}{R_3}$ และ $I_3 = \dfrac{V_1 - V_2}{R_2}$

ดังนั้นที่ โนด V_2 : $\dfrac{V_1 - V_2}{R_2} = \dfrac{V_2}{R_3} + 4\text{A}$ ....(2.1)

ขั้นตอนที่(4 – 2) ปรับปรุง พัฒนาสมการ จากขั้นตอนที่ (3 – 2) โดยใช้วิธี ของสมการเชิงเส้น แทนค่า ความต้านทานแต่ละตัว ลงในสมการ(2.1)

จะได้ $$\frac{V_1 - V_2}{6\Omega} = \frac{V_2}{7\Omega} + 4\,\text{A}$$

นำ 42Ω คูณ (42Ω เป็น ครน. ของสมการ(2.1))

ดังนั้น $$(42\Omega)\frac{(V_1 - V_2)}{6\Omega} = (42\Omega)\frac{V_2}{7\Omega} + (42\Omega)(4\,\text{A})$$

จัดรูปสมการ $$7V_1 - 7V_2 = 6V_2 + 168\,\text{V}$$

หรือ $$168\,\text{V} = 7V_1 - 13V_2 \qquad \text{.........................(2)}$$

นำสมการ (1) และ (2) มาเขียนให้อยู่ในรูป สมการเมตริกซ์ ดังนี้

$$\begin{bmatrix} 4 & -1 \\ 7 & -13 \end{bmatrix}\begin{bmatrix} V_1 \\ V_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 6 \\ 168 \end{bmatrix}$$

หา Δ : $$\Delta = \begin{vmatrix} 4 & -1 \\ 7 & -13 \end{vmatrix} = +(4)(-13) - (7)(-1)$$

$$\Delta = -52 + 7 = -45$$

หา ΔV_1 : $$\Delta V_1 = \begin{vmatrix} 6 & -1 \\ 168 & -13 \end{vmatrix} = +(6)(-13) - (168)(-1)$$

$$\Delta V_1 = -78 + 168 = 90$$

หา ΔV_2 : $$\Delta V_2 = \begin{vmatrix} 4 & 6 \\ 7 & 168 \end{vmatrix} = +(4)(168) - (7)(6)$$

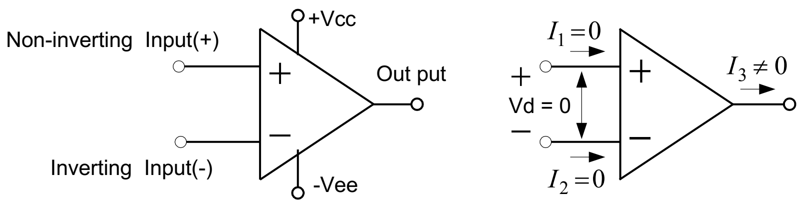
$$\Delta V_2 = 672 - 42 = 630$$

ดังนั้น $$V_1 = \frac{\Delta V_1}{\Delta} = \frac{90}{-45} = -2\ \text{V}$$ ....**<u>ตอบ</u>**

และ $$V_2 = \frac{\Delta V_2}{\Delta} = \frac{630}{-45} = -14\ \text{V}$$ ....**<u>ตอบ</u>**

ออปแอมป์ (Operational Amplifier)

ออปแอมป์ (Operational Amplifier) เป็นวงจรอิเล็กทรอนิกส์ ที่ถูกบรรจุไว้ในตัวถังในรูปแบบไอซี นำไปใช้งานได้สะดวกโดยการต่ออุปกรณ์เพิ่มอีก 2 – 3 ตัว สัญลักษณ์ของออปแอมป์ แสดงดังรูปที่ 6.5 ขั้วใช้งานหลักๆ ของออปแอมป์ มีดังนี้ ขั้วอินพุตมี 2 ขั้ว คือ ขั้วอินพุตกลับเฟส (Inverting Input) ขั้วอินพุตไม่กลับเฟส (Non – inverting Input) ขั้วเอาต์พุต ขั้วต่อแหล่งจ่ายไฟบวก (Vcc) และขั้วต่อแหล่งจ่ายไฟลบ (Vee)



(ก) สัญลักษณ์ของออปแอมป์ (ข) แสดงคุณสมบัติในอุดมคติ

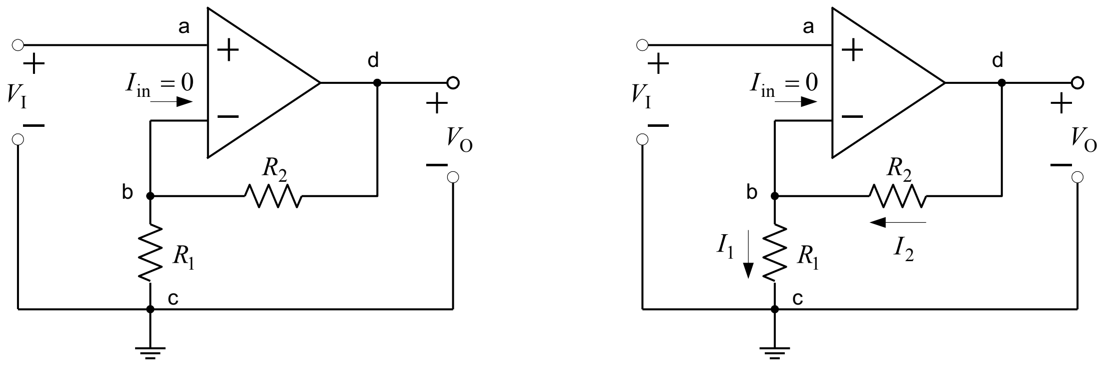
รูปที่ 6.5 สัญญลักษณ์และคุณสมบัติในอุดมคติของออปแอมป์

คุณสมบัติในทางอุดมคติ ที่สำคัญสำหรับกาวิเคราะห์วงจรออปแอมป์ มี 2 คุณสมบัติ คือ

1. กระแสไหลเข้าที่ขั้วอินพุตทั้ง 2 มีค่าเท่ากับ 0 A
2. แรงดันตกคร่อม ขั้วอินพุตทั้ง 2 เท่ากับ 0 V

การวิเคราะห์วงจรออปแอมป์ มีหลายวิธี ด้วยกัน ในหน่วยนี้ จะเน้นวิเคราะห์ด้วย วิธี แรงดันโนด

ตัวอย่างที่ 6.4 จากวงจรในรูปที่ 6.6 จงวิเคราะห์หาแรงดันเอาต์พุต V_O ด้วย วิธีแรงดันโนด



(ก) วงจรขยายไม่กลับเฟส (ข) การกำหนดทิศทางกระแสจากคุณสมบัติทางอุดมคติ

รูปที่ 6.6 วงจรสำหรับตัวอย่างที่ 6.4

วิธีทำ วิเคราะห์วงจรเบื้องต้น จากคุณสมบัติทางอุดมคติของออปแอมป์ จะพบว่า

1) แรงดันที่ ขั้วอินพุตบวก(+) กับขั้วอินพุตลบ(–) เท่ากับ 0 V ดังนั้นจุด a และ b เป็นจุดเดียวกัน(เสมือนเป็นจุดเดียวกัน)

2) แรงดัน ณ จุด bc มีค่าเท่ากับ แรงดันอินพุต V_I

3) กระแส I_1 ไหลลงจาก จุด b มา จุด c เนื่องจากจุด c เป็นกราวด์

4) กระแส I_2 ไหลลงจาก จุด d มา จุด b เนื่องจาก V_O มีศักย์สูงกว่า V_I

<u>ต่อไปเป็นการเป็นการวิเคราะห์ตามขั้นตอนของวิธีแรงดันโนด</u>

ขั้นตอนที่ (1) สำรวจ จำนวนของโนด กำหนดลงในวงจร ซึ่ง จุด b เป็นโนดต่อเชื่อม และจุด c เป็นโนดอ้างอิง ซึ่งโจทย์กำหนดมาให้แล้ว

ขั้นตอนที่(2) สมมติและกำหนดทิศทางของกระแสไฟฟ้าไหลเข้า – ออก ที่โนดต่อเชื่อม ดังรูปที่ 6.6 (ข)

ขั้นตอนที่(3) เขียนสมการ แรงดันโนด ในโนดหลัก จุด b ได้ดังนี้

สมการ KCL ที่โนด b : $I_1 + 0 = I_2$

แทนค่า กระแสที่สมมติขึ้นมา โดยใช้กฎของโอห์ม ลงใน สมการ KCL ที่โนด b

จากวงจร $I_1 = \dfrac{V_\text{I}}{R_1}$ และ $I_2 = \dfrac{V_\text{O} - V_\text{I}}{R_2}$

ดังนั้นที่ โนด b : $\dfrac{V_1}{R_1} = \dfrac{V_\text{O} - V_\text{I}}{R_2}$

$$\frac{V_1}{R_1} + \frac{V_\text{I}}{R_2} = \frac{V_\text{O}}{R_2}$$

$$V_1\left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}\right) = \left(\frac{1}{R_2}\right)V_\text{O}$$

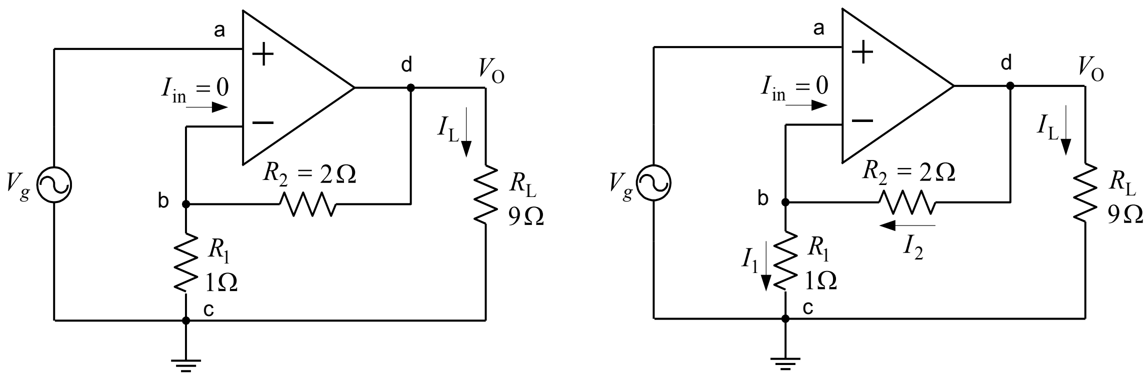
$$V_1\left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}\right)R_2 = V_\text{O}$$

$$V_\text{O} = \left(\frac{R_2}{R_1} + \frac{R_2}{R_2}\right)V_\text{I}$$

หรือ $$V_\text{O} = \left(\frac{R_2}{R_1} + 1\right)V_\text{I}$$ ....**<u>ตอบ</u>**

ซึ่งเทอม $\left(\dfrac{R_2}{R_1} + 1\right)$ ก็คือ อัตราการขยายของวงจรนั่นเอง จากสมการ $A_\text{V} = \dfrac{V_\text{O}}{V_\text{I}} = \left(\dfrac{R_2}{R_1} + 1\right)$

ตัวอย่างที่ 6.5 จากวงจรในรูปที่ 6.7 จงวิเคราะห์หา I_L ด้วย วิธีแรงดันโนด ถ้า $V_g = 12\cos 10t$ V



(ก) วงจรขยายไม่กลับเฟส (ข) การกำหนดทิศทางกระแสจากคุณสมบัติทางอุดมคติ

รูปที่ 6.7 วงจรสำหรับตัวอย่างที่ 6.5

วิธีทำ ขั้นตอนที่ (1) สำรวจ จำนวนของโนด กำหนดลงในวงจร ซึ่ง จุด b เป็นโนดต่อเชื่อม และจุด c เป็นโนดอ้างอิง ซึ่งโจทย์กำหนดมาให้แล้ว

ขั้นตอนที่(2) สมมติและกำหนดทิศทางของกระแสไฟฟ้าไหลเข้า – ออก ที่โนดต่อเชื่อม ดังรูปที่ 6.7 (ข)

ขั้นตอนที่(3) เขียนสมการ แรงดันโนด ในโนดหลัก จุด b ได้ดังนี้

สมการ KCL ที่โนด b : $I_1 = I_2$ และ $V_{bc} = V_g$

แทนค่า กระแสที่สมมติขึ้นมา โดยใช้กฎของโอห์ม ลงใน สมการ KCL ที่โนด b

จากวงจร $I_1 = \dfrac{V_g}{R_1}$ และ $I_2 = \dfrac{V_O - V_g}{R_2}$

ดังนั้นที่ โนด b : $\dfrac{V_g}{R_1} = \dfrac{V_O - V_g}{R_2}$

$$\frac{V_g}{R_1} + \frac{V_g}{R_2} = \frac{V_O}{R_2}$$

$$V_g\left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}\right) = \left(\frac{1}{R_2}\right)V_O$$

$$V_g\left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}\right)R_2 = V_O$$

$$V_O = \left(\frac{R_2}{R_1} + \frac{R_2}{R_2}\right)V_g$$

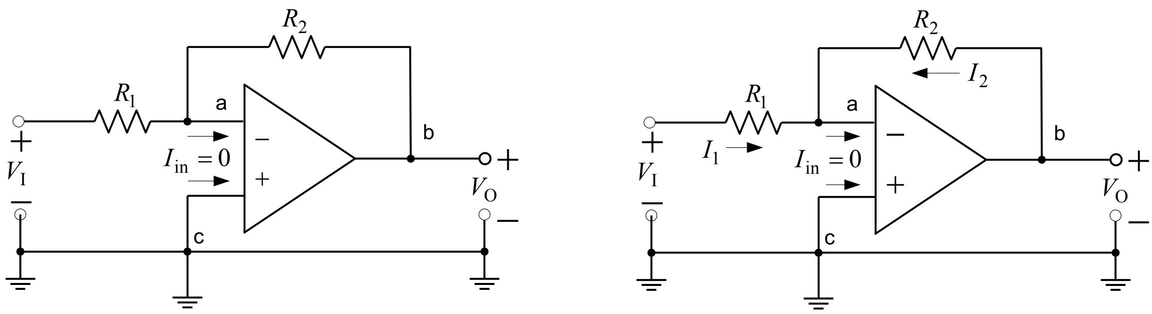
หรือ $$V_O = \left(\frac{R_2}{R_1} + 1\right)V_g$$

แทนค่า R_1 , R_2 : $$V_O = \left(\frac{2\Omega}{1\Omega} + 1\right)V_g = 3V_g$$

ดังนั้น $$I_L = \frac{V_O}{R_L} = \frac{3(12\cos 10t\,V)}{9\Omega}$$

$$\therefore\ I_L = \frac{36\cos 10t\,V}{9\Omega} = 4\cos 10t\ \ A$$ ....**<u>ตอบ</u>**

ตัวอย่างที่ 6.6 จากวงจรในรูปที่ 6.8 จงวิเคราะห์หาแรงดันเอาต์พุต V_O ด้วย วิธีแรงดันโนด



(ก) วงจรขยายกลับเฟส (ข) การกำหนดทิศทางกระแสจากคุณสมบัติทางอุดมคติ

รูปที่ 6.8 วงจรสำหรับตัวอย่างที่ 6.6

วิธีทำ วิเคราะห์วงจรเบื้องต้น จากคุณสมบัติทางอุดมคติของออปแอมป์ จะพบว่า

1) แรงดันที่ ขั้วอินพุตบวก(+) กับขั้วอินพุตลบ(–) เท่ากับ 0 V ดังนั้นจุด a และ c เป็นจุดเดียวกัน ซึ่งต่อลงกราวด์ (ดังนั้น จุด a เป็นกราวด์เสมือน)

2) กระแส I_1 ไหลลงจาก V_I มา จุด a เนื่องจาก V_I มีศักย์สูงกว่า จุด a

3) กระแส I_2 ไหลลงจาก V_O มา จุด a เนื่องจาก V_O มีศักย์สูงกว่า จุด a

<u>ต่อไปเป็นการเป็นการวิเคราะห์ตามขั้นตอนของวิธีแรงดันโนด</u>

ขั้นตอนที่ (1) สำรวจ จำนวนของโนด กำหนดลงในวงจร ซึ่ง จุด a เป็นโนดต่อเชื่อม และจุด c เป็นโนดอ้างอิง ซึ่งโจทย์กำหนดมาให้แล้ว

ขั้นตอนที่(2) สมมติและกำหนดทิศทางของกระแสไฟฟ้าไหลเข้า – ออก ที่โนดต่อเชื่อม ดังรูปที่ 6.8 (ข)

ขั้นตอนที่(3) เขียนสมการ แรงดันโนด ในโนดหลัก จุด a ได้ดังนี้

สมการ KCL ที่โนด a : $I_1 + I_2 = 0$ หรือ $I_1 = -I_2$

จากวงจร $I_1 = \dfrac{V_1 - V_a}{R_1}$ และ $I_2 = \dfrac{V_O - V_a}{R_2}$ ซึ่ง $V_a = 0$

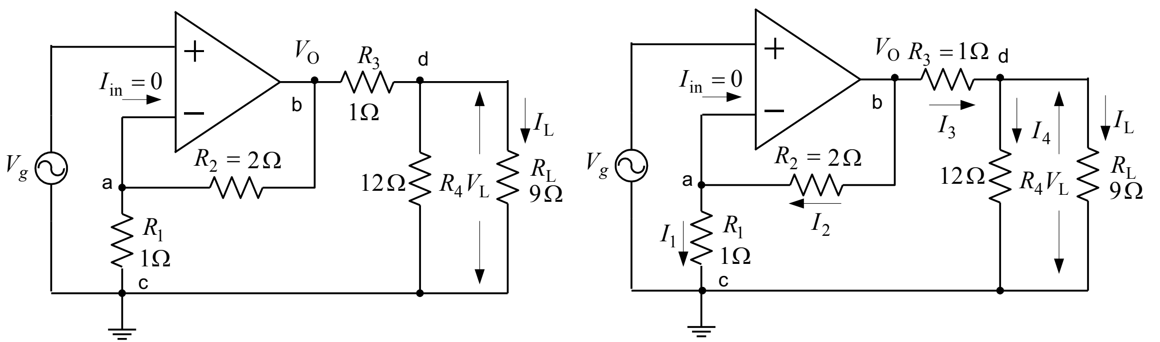
ดังนั้นที่ โนด a : $\dfrac{V_1}{R_1} = -\dfrac{V_O}{R_2}$

$$\frac{V_1}{R_1}(R_2) = -V_O$$

$$\therefore \; V_O = -\left(\frac{R_2}{R_1}\right)V_1$$ ....**<u>ตอบ</u>**

ซึ่งเทอม $-\left(\dfrac{R_2}{R_1}\right)$ ก็คือ อัตราการขยายของวงจรนั่นเอง จากสมการ $A_V = \dfrac{V_O}{V_I} = -\left(\dfrac{R_2}{R_1}\right)$ เครื่องหมายลบข้างหน้าหมายถึง กลับเฟส 180 องศา

ตัวอย่างที่ 6.7 จากวงจรในรูปที่ 6.9 จงวิเคราะห์หาแรงดันเอาต์พุต V_L ด้วย วิธีแรงดันโนด ถ้า $V_g = 4\cos 10t$ V



(ก) วงจรขยายไม่กลับเฟส (ข) การกำหนดทิศทางกระแสจากคุณสมบัติทางอุดมคติ

รูปที่ 6.9 วงจรสำหรับตัวอย่างที่ 6.7

วิธีทำ ขั้นตอนที่ (1) สำรวจ จำนวนของโนด กำหนดลงในวงจร ซึ่ง จุด a เป็นโนดต่อเชื่อม และจุด c เป็นโนดอ้างอิง

ขั้นตอนที่(2) สมมติและกำหนดทิศทางของกระแสไฟฟ้าไหลเข้า – ออก ที่โนดต่อเชื่อม ดังรูปที่ 6.9 (ข)

ขั้นตอนที่(3) เขียนสมการ แรงดันโนด ในโนดหลัก จุด a ได้ดังนี้

สมการ KCL ที่โนด a : $I_1 = I_2$ และ $V_{ac} = V_g$

แทนค่า กระแสที่สมมติขึ้นมา โดยใช้กฎของโอห์ม ลงใน สมการ KCL ที่โนด a

จากวงจร $I_1 = \dfrac{V_g}{R_1}$ และ $I_2 = \dfrac{V_O - V_g}{R_2}$

ดังนั้นที่ โนด a : $\dfrac{V_g}{R_1} = \dfrac{V_O - V_g}{R_2}$

$$\frac{V_g}{R_1} + \frac{V_g}{R_2} = \frac{V_O}{R_2}$$

$$V_g\left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}\right) = \left(\frac{1}{R_2}\right)V_O$$

$$V_g\left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}\right)R_2 = V_O$$

$$V_O = \left(\frac{R_2}{R_1} + \frac{R_2}{R_2}\right)V_g$$

หรือ $$V_O = \left(\frac{R_2}{R_1} + 1\right)V_g$$

แทนค่า R_1 , R_2 : $$V_O = \left(\frac{3\Omega}{1\Omega} + 1\right)V_g = 4V_g$$

สมการ KCL ที่โนด d : $I_3 = I_4 + I_L$

แทนค่า กระแสที่สมมติขึ้นมา โดยใช้กฎของโอห์ม ลงใน สมการ KCL ที่โนด d

จากวงจร $I_3 = \dfrac{V_O - V_L}{R_3}$, $I_4 = \dfrac{V_L}{R_4}$ และ $I_L = \dfrac{V_L}{R_L}$

ดังนั้นที่ โนด d : $\dfrac{V_O - V_L}{R_3} = \dfrac{V_L}{R_4} + \dfrac{V_L}{R_L}$

แทนค่าตัวต้านทานลงไป $$\frac{V_O - V_L}{1\Omega} = \frac{V_L}{12\Omega} + \frac{V_L}{4\Omega}$$

$$\frac{V_O}{1\Omega} = \frac{V_L}{12\Omega} + \frac{V_L}{4\Omega} + \frac{V_L}{1\Omega}$$

นำ 12Ω คูณตลอดสมการ : $12V_O = V_L + 3V_L + 12V_L = 16V_L$

$$\therefore\ V_L = \frac{12}{16}V_O \quad : \quad V_O = 4V_g$$

แทนค่า V_O , V_g $$V_L = \frac{12}{16}(4V_g) = \frac{12}{16} \times 4 \times 4\cos 10t \text{ V}$$

$$\therefore\ V_L = \frac{12}{16} \times 16\cos 10t \text{ V} = 12\cos 10t \text{ V}$$ ....**<u>ตอบ</u>**

สรุปสาระสำคัญ

วิธีแรงดันโนด (Node voltage method) เป็นวิธีการการวิเคราะห์วงจรไฟฟ้า และวงจรอิเล็กทรอนิกส์ โดยการนำ กฎกระแสของเคอร์ชอฟฟ์มาประยุกต์ใช้ โนด หมายถึง จุดเชื่อมต่อในวงจร โนดแต่โนดจะต้องมีสาขาที่เชื่อมต่อกัน ไม่น้อยกว่า 2 สาขา

โนดหลัก (Principal Node) หรือจุดเชื่อมต่อ คือจุดในวงจรไฟฟ้าที่มีจำนวนสาขาของวงจรที่ต่ออยู่ตั้งแต่ 3 สาขาขึ้นไปมาต่อรวมกัน

โนดเปรียบเทียบ (Reference Node) หรือจุดอ้างอิง แต่โดยทั่วไปแล้วจะเลือกจุดอ้างอิงที่ต่อร่วมอยู่กับกราวด์ (Ground) เสมอ

แรงดันโนด (Node Voltage) คือ ความแตกต่างของระดับแรงดันที่จุดใดๆ ก็ได้ในวงจร เมื่อนำไปเปรียบเทียบกับจุดอ้างอิง

สรุปขั้นตอนการใช้ วิธีแรงดันโนด มีดังนี้

1. สำรวจ จำนวนของโนด กำหนดลงในวงจร ซึ่งจะมีทั้งโนดต่อเชื่อม (โนดหลัก) และโนดอ้างอิง

2. สมมติและกำหนดทิศทางของกระแสไฟฟ้าที่โนดต่อเชื่อม การกำหนดทิศทางของกระแสไฟฟ้าที่โนดเชื่อมต่อ จะกำหนดให้กระแสไฟฟ้าไหลเข้าหรือไหลออกก็ได้

3. เขียนสมการ แรงดันโนด ในแต่ละโนดหลัก แล้วแทนค่า กระแสที่สมมติขึ้นมา โดยใช้กฎของโอห์ม ลงใน สมการ แรงดันโนด

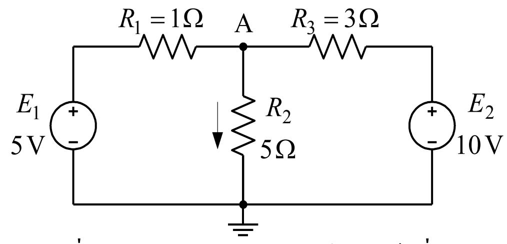
4. ปรับปรุง พัฒนาสมการ จากขั้นตอนที่ (3) โดยใช้วิธี ของสมการเชิงเส้น แล้วแก้ระบบสมการหาค่าตัวแปรที่ต้องการทราบค่า

แบบฝึกหัด

หน่วยที่ 6 วิธีแรงดันโนด

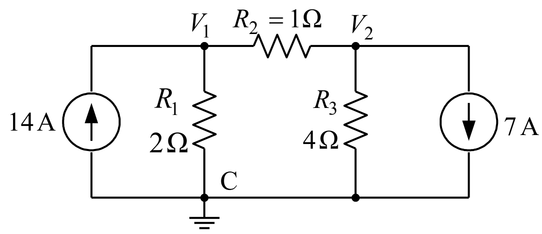
1. จากวงจรในรูปที่ 6.10 จงหาค่าแรงดันไฟฟ้าที่จุด A และกระแสไหลผ่านตัวต้านทานค่า 2Ω

<u>ตอบ</u> $V_A = 5.43\,\text{V}$, $I = 1.088\,\text{A}$



รูปที่ 6.10 วงจรสำหรับแบบฝึกหัดข้อที่ 1

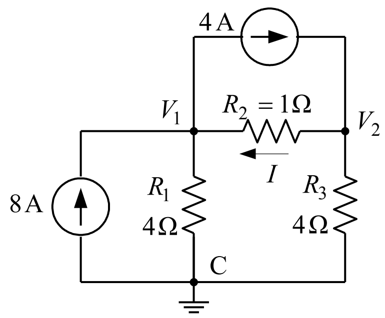
2. จากวงจรในรูปที่ 6.11 จงหาค่าแรงดันไฟฟ้า V_1 , V_2 **<u>ตอบ</u>** $V_1 = 12\,\text{V}$, $V_2 = 4\,\text{V}$



รูปที่ 6.11 วงจรสำหรับแบบฝึกหัดข้อที่ 2

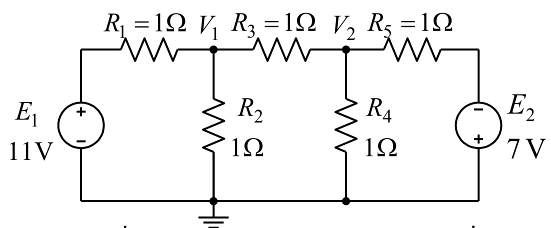
3. จากวงจรในรูปที่ 6.12 จงหาค่าแรงดันไฟฟ้า V_1 , V_2 และ กระแสไฟฟ้า I

<u>ตอบ</u> $V_1 = 16\,\text{V}$, $V_2 = 16\,\text{V}$ และ $I = 0\,\text{A}$



รูปที่ 6.12 วงจรสำหรับแบบฝึกหัดข้อที่ 3

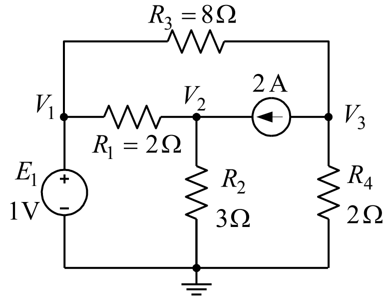
4. จากวงจรในรูปที่ 6.13 จงหาค่า แรงดันไฟฟ้า V_1 , V_2 **<u>ตอบ</u>** $V_1 = 5\,\text{V}$, $V_2 = 4\,\text{V}$



รูปที่ 6.13 วงจรสำหรับแบบฝึกหัดข้อที่ 4

5. จากวงจรในรูปที่ 6.14 จงหาค่า แรงดันไฟฟ้า V_1 , V_2 และ V_3

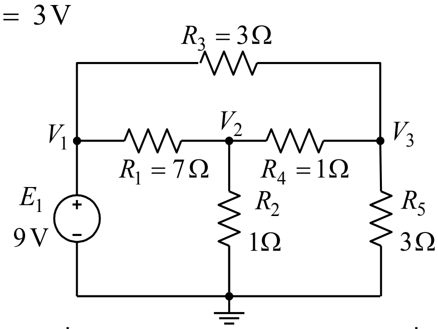
ตอบ $V_1 = 1\text{V}, V_2 = 3\text{V}, V_3 = -3\text{V}$



รูปที่ 6.14 วงจรสำหรับแบบฝึกหัดข้อที่ 5

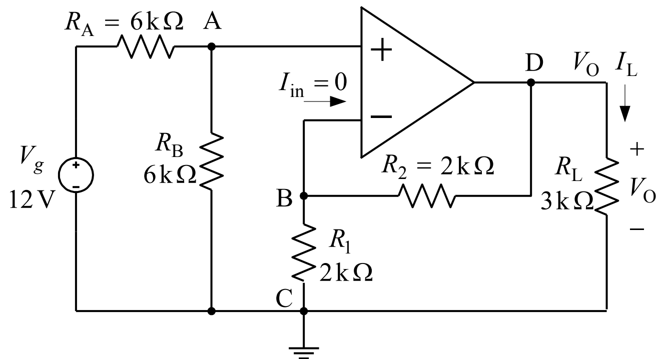
6. จากวงจรในรูปที่ 6.15 จงหาค่า แรงดันไฟฟ้า V_1 , V_2 และ V_3

ตอบ $V_1 = 9\text{V}, V_2 = 2\text{V}, V_3 = 3\text{V}$



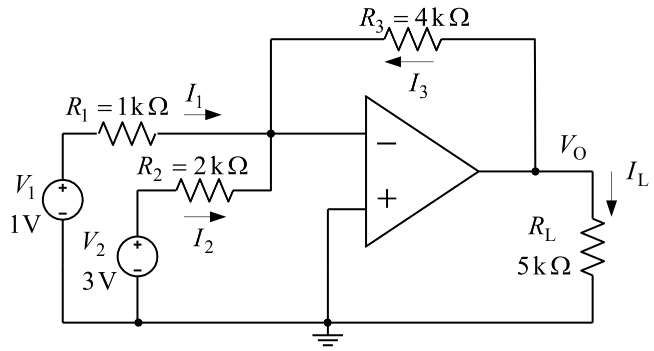
รูปที่ 6.15 วงจรสำหรับแบบฝึกหัดข้อที่ 6

7. จากวงจรในรูปที่ 6.16 จงหาค่า V_O และ I_L **ตอบ** $V_O = 12\text{V},\ I_L = 4\text{ mA}$



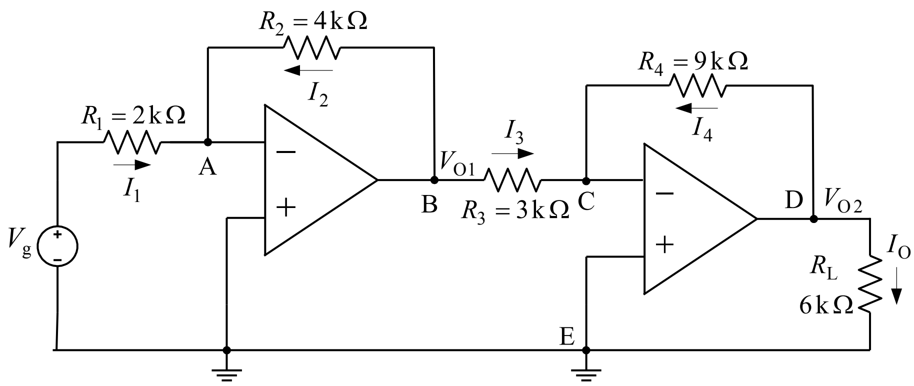
รูปที่ 6.16 วงจรสำหรับแบบฝึกหัดข้อที่ 7

8. จากวงจรในรูปที่ 6.17 จงหาค่ากระแสไฟฟ้า I_L **ตอบ** $I_L = -2$ mA



รูปที่ 6.17 วงจรสำหรับแบบฝึกหัดข้อที่ 8

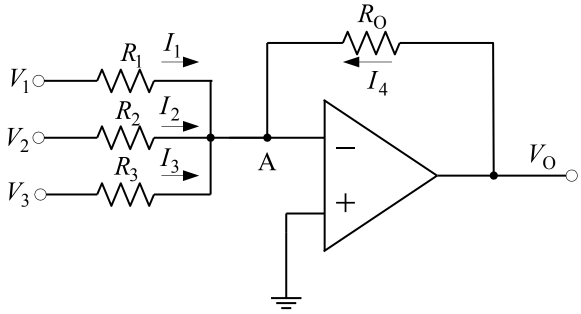
9. จากวงจรในรูปที่ 6.18 จงหาค่า I_O ถ้า $V_g = 2\sin 3000\,t$ V **ตอบ** $I_O = 2\sin 3000\,t$ mA



รูปที่ 6.18 วงจรสำหรับแบบฝึกหัดข้อที่ 9

10. จากวงจรในรูปที่ 6.19 จงหาค่า V_O ในเทอมของ ตัวต้านทาน และแรงดัน V_1, V_2 และ V_3

ตอบ $V_O = -R_O\left(\frac{V_1}{R_1} + \frac{V_2}{R_2} + \frac{V_3}{R_3}\right)$



รูปที่ 6.19 วงจรสำหรับแบบฝึกหัดข้อที่ 10

แบบทดสอบหลังเรียน

หน่วยที่ 6 วิธีแรงดันโนด

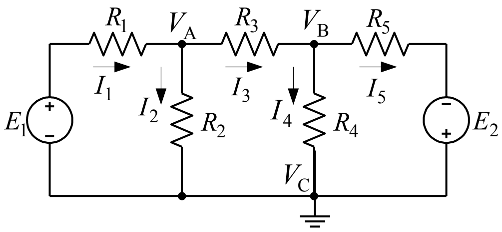
จงเลือกคำตอบที่ถูกที่สุดเพียง 1 ข้อ

1. ขั้นตอนแรกของวิธีแรงดันโนด คือ ข้อใด

ก. สมมติและกำหนดทิศทางกระแส ข. แก้สมการหาค่าตัวแปรที่ต้องกา

ค. เขียนสมการ แรงดันโนด ง. สำรวจจำนวนโนดแล้วกำหนดลงในวงจร

จากวงจรในรูปที่ 1 จงใช้ตอบคำถาม ข้อ 1 – 2



รูปที่ 1 ใช้ตอบคำถาม ข้อ 1 – 2

2. สมการ KCL ที่โนด V_A คือข้อใด

ก. $I_1 = I_2 + I_3$ ข. $I_3 = I_1 + I_2$

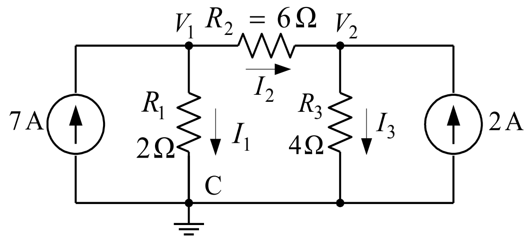
ค. $I_2 = I_1 + I_3$ ง. $I_3 - I_1 = I_2$

3. ใช้กฎของโอห์มแทนค่า I_3 ได้เป็นข้อใด

ก. $I_3 = \dfrac{V_A + V_B}{R_3}$ ข. $I_3 = \dfrac{V_A - V_B}{R_3}$

ค. $I_3 = \dfrac{V_A}{R_3}$ ง. $I_3 = \dfrac{V_B}{R_3}$

จากวงจรในรูปที่ 2 จงใช้ตอบคำถาม ข้อ 4 – 7



รูปที่ 2 ใช้ตอบคำถาม ข้อ 4 – 7

4. สมการ KCL ที่โนด V_1 คือข้อใด

ก. $I_2 - I_1 = 7\,\text{A}$ ข. $I_1 + 7\,\text{A} = I_2$

ค. $7\,\text{A} = I_1 + I_2$ ง. $I_2 + 7\,\text{A} = I_1$

5. V_1 มีค่าเท่าใด

ก. 15 V　　　ข. 8 V

ค. 13 V　　　ง. 10 V

6. V_2 มีค่าเท่าใด

ก. 15 V　　　ข. 8 V

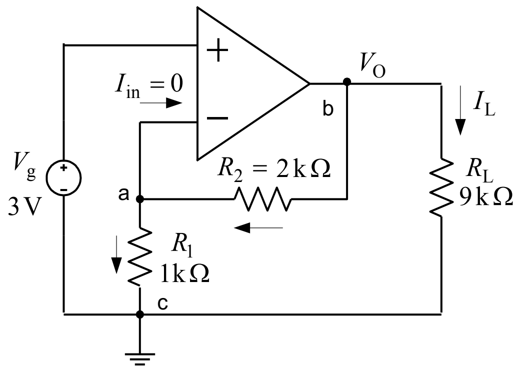
ค. 13 V　　　ง. 10 V

7. I_2 มีค่าเท่าใด

ก. 1.5 A　　　ข. 1 A

ค. 0.5 A　　　ง. 2 A

จากวงจรในรูปที่ 3 ใช้สำหรับคำถามข้อ 8 – 10



รูปที่ 3 วงจรสำหรับคำถามข้อ 8 – 10

8. สมการ KCL ที่จุด a คือข้อใด

ก. $I_1 = -I_2$　　　ข. $I_2 + 0 = I_L$

ค. $I_1 + 0 = I_2$　　　ง. $I_1 + I_2 = I_L$

9. V_O มีค่าเท่าใด

ก. 4 V　　　ข. 10 V

ค. 9 V　　　ง. 18 V

10. I_L มีค่าเท่าใด

ก. 3 mA　　　ข. 1 mA

ค. 10 mA　　　ง. 1 A

เอกสารอ้างอิง

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

มงคล ทองสงคราม. (2543). **การวิเคราะห์วงจรไฟฟ้า 1.** กรุงเทพฯ : บริษัท รามาการพิมพ์จำกัด.

มนัส ประสงค์. (2546). **คณิตศาสตร์ 2.** กรุงเทพฯ : ศูนย์ส่งเสริมวิชาการ.

ไมตรี วรวุฒิจรรยากุล. (2545). **ทฤษฎีวงจรไฟฟ้า เล่ม 2.** พิมพ์ครั้งที่ 4. กรุงเทพฯ : บริษัท ส. เอเชียเพรส (1989) จำกัด.

มนตรี ศิริปรัชญานันท์ , ธนูศักดิ์ อรุณไพร. (2558). **ออปแอมป์และลิเนียร์ไอซี.** กรุงเทพฯ : บริษัท ซีเอ็ดยูเคชั่น จำกัด(มหาชน).

บัณฑิต บัวบูชา.(2540). **ทฤษฎีและการวิเคราะห์วงจรไฟฟ้า 1.** กรุงเทพฯ : หจก. สำนักพิมพ์ฟิสิกส์เซ็นเตอร์.

ประทุม ฉ่ำโสพส. (2549). **วิเคราะห์วงจรไฟฟ้า.** กรุงเทพฯ : บริษัท สำนักพิมพ์เอมพันธ์ จำกัด.

นภัทร วัจนเทพินทร์. (2550). **การประมวลผลสัญญาณด้วย ออปแอมป์และลิเนียร์ไอซี.** กรุงเทพฯ : บริษัท สกายบุกส์ จำกัด.

Alan Jeffrey. **ESSENTIALS OF ENGIEERING MATHEMATICS**. Singapore. Chapman & Hall. 1992.

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.

Kenneth Hardy. **Linear Algebra For Engineers and Scientists.** Pearson Prentice-Hall. Upper Saddle River. New Jersey, 2005.

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

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

ภาคผนวก

- เฉลยแบบทดสอบก่อนเรียนและหลังเรียน
- เฉลยแบบฝึกหัดท้ายหน่วย

เฉลยแบบทดสอบก่อนเรียนและหลังเรียน

เฉลยแบบทดสอบก่อนเรียน

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

เฉลยแบบทดสอบหลังเรียน

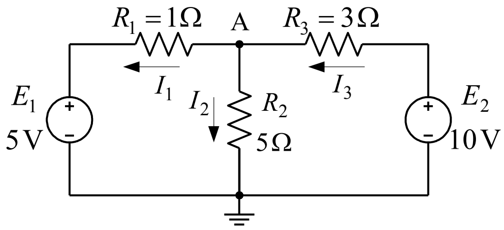
1. ง	2. ก	3. ข	4. ค	5. ค	6. ง	7. ค	8. ค	9. ค	10. ข

เฉลยแบบฝึกหัด

หน่วยที่ 6 วิธีแรงดันโนด

1. จากวงจรในรูปที่ 6.10 จงหาค่าแรงดันไฟฟ้าที่จุด A และกระแสไหลผ่านตัวต้านทานค่า 5Ω

ตอบ $V_A = 5.43\,V$, $I = 1.088\,A$



รูปที่ 6.10 วงจรสำหรับแบบฝึกหัดข้อที่ 1

KCL ที่โนด V_A : $I_3 = I_1 + I_2$

$$\frac{10\,V - V_A}{3\Omega} = \frac{V_A - 5\,V}{1\Omega} + \frac{V_A}{5\Omega}$$

นำ 15Ω คูณตลอดเพื่อกำจัดเศษส่วน :

$$50\,V - 5V_A = 15V_A - 75\,V + 3V_A$$

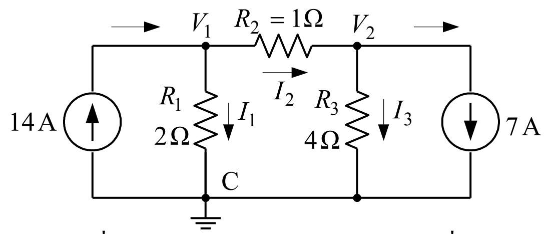
$$50\,V + 75\,V = 15V_A + 3V_A + 5V_A = 23V_A$$

$$V_A = \frac{125\,V}{23}$$

$$V_A = 5.43\,V$$

ดังนั้น $I_1 = \frac{V_A}{5\Omega} = \frac{5.43\,V}{5\Omega} = 1.088\,A$ ....**ตอบ**

2. จากวงจรในรูปที่ 6.11 จงหาค่าแรงดันไฟฟ้า V_1 , V_2 **ตอบ** $V_1 = 12\,V$, $V_2 = 4\,V$



รูปที่ 6.11 วงจรสำหรับแบบฝึกหัดข้อที่ 2

KCL ที่โนด V_1 : $14\,A = I_1 + I_2$

$$14\,A = \frac{V_1}{2\Omega} + \frac{V_1 - V_2}{1\Omega}$$

นำ 2Ω คูณตลอด : $28\,V = V_1 + 2V_1 - 2V_2$

$$3V_1 - 2V_2 = 28\,V \quad \text{…………………(1)}$$

KCL ที่โนด V_2 : $$I_2 = I_3 + 7\,\mathrm{A}$$

$$\frac{V_1 - V_2}{1\Omega} = \frac{V_2}{4\Omega} + 7\,\mathrm{A}$$

นำ 4Ω คูณตลอด : $$4V_1 - 4V_2 = V_2 + 28\,\mathrm{V}$$

$$4V_1 - 5V_2 = 28\,\mathrm{V} \qquad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots(2)$$

เขียนในรูปสมการเมตริกซ์ได้ดังนี้ $\begin{bmatrix} 3 & -2 \\ 4 & -5 \end{bmatrix}\begin{bmatrix} V_1 \\ V_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 28\,\mathrm{V} \\ 28\,\mathrm{V} \end{bmatrix}$

$$\Delta = \begin{vmatrix} 3 & -2 \\ 4 & -5 \end{vmatrix} = -15 + 8 = -7$$

$$\Delta V_1 = \begin{vmatrix} 28 & -2 \\ 28 & -5 \end{vmatrix} = -140 + 56 = -84$$

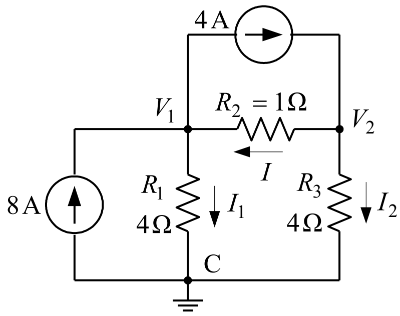
$$\Delta V_2 = \begin{vmatrix} 3 & 28 \\ 4 & 28 \end{vmatrix} = 84 - 112 = -28$$

ดังนั้น $V_1 = \dfrac{\Delta V_1}{\Delta} = \dfrac{-84}{-7} = 12\,\mathrm{V}$ ....**<u>ตอบ</u>**

และ $V_2 = \dfrac{\Delta V_2}{\Delta} = \dfrac{-28}{-7} = 4\,\mathrm{V}$ ....**<u>ตอบ</u>**

3. จากวงจรในรูปที่ 6.12 จงหาค่าแรงดันไฟฟ้า V_1 , V_2 และ กระแสไฟฟ้า I

<u>ตอบ</u> $V_1 = 16\,\mathrm{V}, V_2 = 16\,\mathrm{V}$ และ $I = 0\,\mathrm{A}$



รูปที่ 6.12 (ก) วงจรสำหรับแบบฝึกหัดข้อที่ 3

KCL ที่โนด V_1 : $8\,\mathrm{A} + I - 4\,\mathrm{A} - I_1 = 0$ หรือ $4\,\mathrm{A} = I_1 - I$

$$4\,\mathrm{A} = \frac{V_1}{4\Omega} - \frac{V_1 - V_2}{4\Omega}$$

นำ 4Ω คูณตลอด : $$16\,\mathrm{V} = V_1 - V_2 + V_1$$

$$16\,\mathrm{V} = 2V_1 - V_2 \qquad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots(1)$$

KCL ที่โนด V_2 : $$4\,\mathrm{A} = I + I_2$$

$$4\,\mathrm{A} = \frac{V_2 - V_1}{4\Omega} + \frac{V_2}{4\Omega}$$

นำ 4Ω คูณตลอด : $$16\,\mathrm{V} = V_2 - V_1 + V_2$$

$$16\,\mathrm{V} = -V_1 + 2V_2 \qquad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots(1)$$

เขียนในรูปสมการเมตริกซ์ได้ดังนี้ $\begin{bmatrix} 2 & -1 \\ -1 & 2 \end{bmatrix}\begin{bmatrix} V_1 \\ V_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 16\,\mathrm{V} \\ 16\,\mathrm{V} \end{bmatrix}$

$$\Delta = \begin{vmatrix} 2 & -1 \\ -1 & 2 \end{vmatrix} = 4-1 = 3$$

$$\Delta V_1 = \begin{vmatrix} 16 & -1 \\ 16 & 2 \end{vmatrix} = 32+16 = 48$$

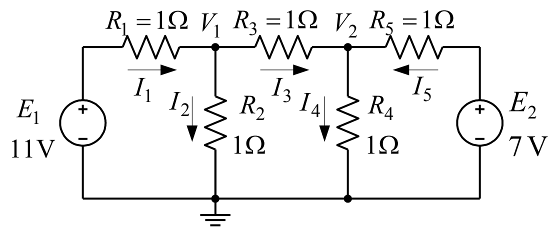
$$\Delta V_2 = \begin{vmatrix} 2 & 16 \\ -1 & 16 \end{vmatrix} = 32+16 = 48$$

จะได้ $V_1 = \dfrac{\Delta V_1}{\Delta} = \dfrac{48}{3} = 16\,\mathrm{V}$ ....**ตอบ**

และ $V_2 = \dfrac{\Delta V_2}{\Delta} = \dfrac{48}{3} = 16\,\mathrm{V}$ ....**ตอบ**

ดังนั้น $I = \dfrac{V_1 - V_2}{4\Omega} = \dfrac{16\,\mathrm{V} - 16\,\mathrm{V}}{4\Omega} = \dfrac{0\,\mathrm{V}}{4\Omega} = 0\,\mathrm{A}$ ....**ตอบ**

4. จากวงจรในรูปที่ 6.13 จงหาค่าแรงดันไฟฟ้า V_1 , V_2 **ตอบ** $V_1 = 5\,\mathrm{V}, V_2 = 4\,\mathrm{V}$



รูปที่ 6.13 วงจรสำหรับแบบฝึกหัดข้อที่ 4

KCL ที่โนด V_1 : $I_1 = I_2 + I_3$

$$\frac{11\,\mathrm{V} - V_1}{1\Omega} = \frac{V_1}{1\Omega} + \frac{V_1 - V_2}{1\Omega}$$

นำ 1Ω คูณตลอด : $11\,\mathrm{V} - V_1 = V_1 + V_1 - V_2$

$$3V_1 - V_2 = 11\,\mathrm{V} \qquad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots(1)$$

KCL ที่โนด V_2 : $I_3 + I_5 = I_4$

$$\frac{V_1 - V_2}{1\Omega} + \frac{7\,\mathrm{V} - V_2}{1\Omega} = \frac{V_2}{1\Omega}$$

นำ 1Ω คูณตลอด : $V_1 - V_2 + 7\,\mathrm{V} - V_2 = V_2$

$$-V_1 + 3V_2 = 7\,\mathrm{V} \qquad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots(2)$$

เขียนในรูปสมการเมตริกซ์ได้ดังนี้ $\begin{bmatrix} 3 & -1 \\ -1 & 3 \end{bmatrix}\begin{bmatrix} V_1 \\ V_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 11\,\mathrm{V} \\ 7\,\mathrm{V} \end{bmatrix}$

$$\Delta = \begin{vmatrix} 3 & -1 \\ -1 & 3 \end{vmatrix} = 9-1 = 8$$

$$\Delta V_1 = \begin{vmatrix} 11 & -1 \\ 7 & 3 \end{vmatrix} = 33+7 = 40$$

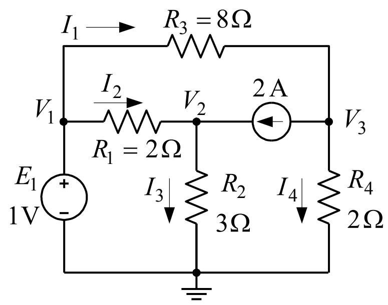
$$\Delta V_2 = \begin{vmatrix} 3 & 11 \\ -1 & 7 \end{vmatrix} = 21+11 = 32$$

จะได้ $V_1 = \dfrac{\Delta V_1}{\Delta} = \dfrac{40}{8} = 5\,\text{V}$ ....**ตอบ**

และ $V_2 = \dfrac{\Delta V_2}{\Delta} = \dfrac{32}{8} = 4\,\text{V}$ ....**ตอบ**

5. จากวงจรในรูปที่ 6.14 จงหาค่า แรงดันไฟฟ้า V_1 , V_2 และ V_3

ตอบ $V_1 = 1\,\text{V}$, $V_2 = 3\,\text{V}$, $V_3 = -3\,\text{V}$



รูปที่ 6.14 วงจรสำหรับแบบฝึกหัดข้อที่ 5

จากวงจร $V_1 = 1\,\text{V}$ ....**ตอบ**

KCL ที่โนด V_2 : $I_2 + 2\,\text{A} = I_3$

$$\frac{1\text{V} - V_2}{2\Omega} + 2\,\text{A} = \frac{V_2}{3\Omega}$$

นำ 6Ω คูณตลอด : $3\text{V} - 3V_2 + 12\,\text{V} = 2V_2$

$$15\,\text{V} = 2V_2 + 3V_2$$

$\therefore\ V_2 = \dfrac{15\,\text{V}}{5} = 3\,\text{V}$ ....**ตอบ**

KCL ที่โนด V_3 : $I_1 = 2\,\text{A} + I_5$

$$\frac{1\text{V} - V_3}{8\Omega} = 2\,\text{A} + \frac{V_3}{2\Omega}$$

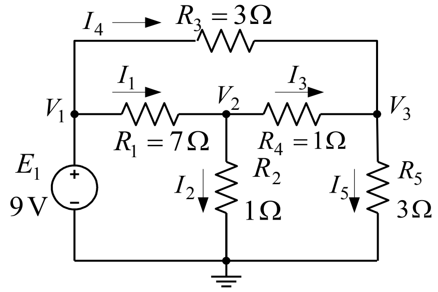
นำ 8Ω คูณตลอด : $1\,\text{V} - V_3 = 16\,\text{V} + 4V_3$

$$-15 = 5V_3$$

$\therefore\ V_3 = \dfrac{-15\,\text{V}}{5} = -3\,\text{V}$ ....**ตอบ**

6. จากวงจรในรูปที่ 6.15 จงหาค่าแรงดันไฟฟ้า V_1 , V_2 และ V_3

<u>**ตอบ**</u> $V_1 = 9\,\text{V}, V_2 = 2\,\text{V}, V_3 = 3\,\text{V}$



รูปที่ 6.15 วงจรสำหรับแบบฝึกหัดข้อที่ 6

จากวงจร $\quad V_1 = 9\,\text{V}$ .... <u>**ตอบ**</u>

KCL ที่โนด V_2 : $\quad I_1 = I_2 + I_3$

$$\frac{9\,\text{V} - V_2}{7\Omega} = \frac{V_2}{1\Omega} + \frac{V_2 - V_3}{1\Omega}$$

นำ 7Ω คูณตลอด : $\quad 9\,\text{V} - V_2 = 7V_2 + 7V_2 - 7V_3$

$$9\,\text{V} = 15V_2 - 7V_3 \qquad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots(1)$$

KCL ที่โนด V_3 : $\quad I_3 + I_4 = I_5$

$$\frac{V_2 - V_3}{1\Omega} + \frac{9\,\text{V} - V_3}{3\Omega} = \frac{V_3}{3\Omega}$$

นำ 3Ω คูณตลอด : $\quad 3V_2 - 3V_3 + 9\,\text{V} - V_3 = V_3$

$$9\,\text{V} = -3V_2 + 5V_3 \qquad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots(2)$$

เขียนในรูปสมการเมตริกซ์ได้ดังนี้ $\begin{bmatrix} 15 & -7 \\ -3 & 5 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_2 \\ V_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 9\,\text{V} \\ 9\,\text{V} \end{bmatrix}$

$$\Delta = \begin{vmatrix} 15 & -7 \\ -3 & 5 \end{vmatrix} = 75 - 21 = 54$$

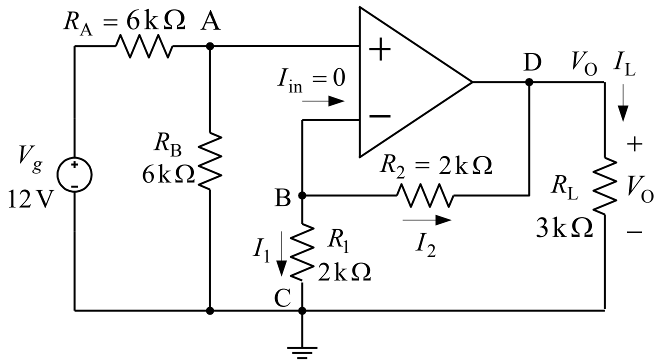
$$\Delta V_2 = \begin{vmatrix} 9 & -7 \\ 9 & 5 \end{vmatrix} = 45 + 63 = 108$$

$$\Delta V_3 = \begin{vmatrix} 15 & 9 \\ -3 & 9 \end{vmatrix} = 135 + 27 = 162$$

จะได้ $\quad V_2 = \dfrac{\Delta V_2}{\Delta} = \dfrac{108}{54} = 2\,\text{V}$ .... <u>**ตอบ**</u>

และ $\quad V_3 = \dfrac{\Delta V_3}{\Delta} = \dfrac{162}{54} = 3\,\text{V}$ .... <u>**ตอบ**</u>

7. จากวงจรในรูปที่ 6.16 จงหาค่า V_{O} และ I_{L} **ตอบ** $V_{\mathrm{O}} = 12\,\mathrm{V}$, $I_{\mathrm{L}} = 4\ \mathrm{mA}$



รูปที่ 6.16 วงจรสำหรับแบบฝึกหัดข้อที่ 7

จากวงจร และกฎการแบ่งแรงดัน $V_{\mathrm{A}} = \dfrac{6\,\mathrm{k}\Omega}{6\,\mathrm{k}\Omega + 6\,\mathrm{k}\Omega}(12\,\mathrm{V}) = 6\,\mathrm{V}$ และ $V_{\mathrm{A}} = V_{\mathrm{B}}$

KCL ที่โนด B : $I_1 + I_2 = 0$

$$\frac{V_{\mathrm{A}}}{2\,\mathrm{k}\Omega} + \frac{V_{\mathrm{A}} - V_{\mathrm{O}}}{2\,\mathrm{k}\Omega} = 0$$

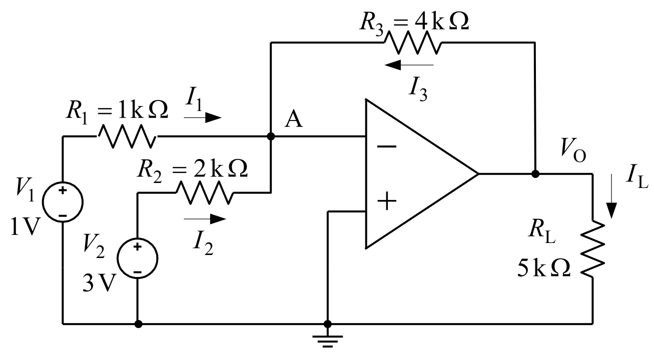
นำ $2\mathrm{k}\Omega$ คูณตลอด : $V_{\mathrm{A}} + V_{\mathrm{A}} - V_{\mathrm{O}} = 0$

$$2V_{\mathrm{A}} = V_{\mathrm{O}}$$

$$\therefore\ V_{\mathrm{O}} = 2(6\,\mathrm{V}) = 12\,\mathrm{V}$$ ....**ตอบ**

ดังนั้น $I_{\mathrm{L}} = \dfrac{V_{\mathrm{O}}}{R_{\mathrm{L}}} = \dfrac{12\,\mathrm{V}}{3\,\mathrm{k}\Omega} = 4\ \mathrm{mA}$ ....**ตอบ**

8. จากวงจรในรูปที่ 6.17 จงหาค่ากระแสไฟฟ้า I_{L} **ตอบ** $I_{\mathrm{L}} = -2\ \mathrm{mA}$



รูปที่ 6.17 วงจรสำหรับแบบฝึกหัดข้อที่ 8

KCL ที่โนด A : $I_1 + I_2 = -I_3$

$$\frac{V_1}{1\mathrm{k}\Omega} + \frac{V_2}{2\,\mathrm{k}\Omega} = -\frac{V_{\mathrm{O}}}{4\,\mathrm{k}\Omega}$$

นำ $4\mathrm{k}\Omega$ คูณตลอด : $4V_1 + 2V_2 = -V_{\mathrm{O}}$

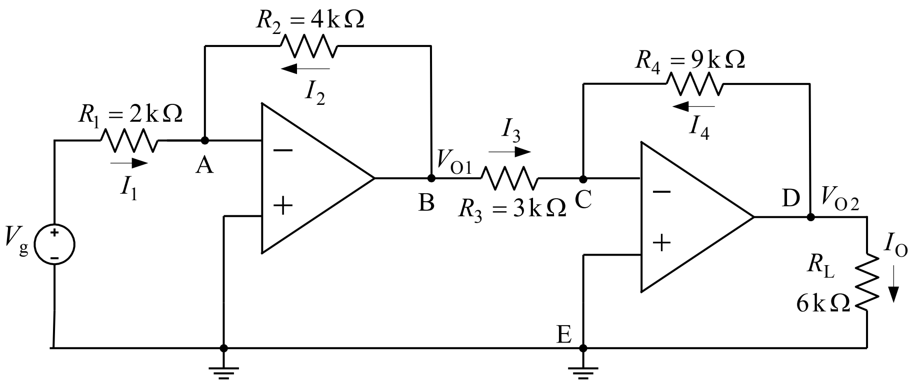
$$V_{\mathrm{O}} = -(4V_1 + 2V_2)$$

$$V_O = -[4(1\,\text{V}) + 2(3\,\text{V})]$$

$$V_O = -[(4\,\text{V}) + (6\,\text{V})] = 10\,\text{V}$$

ดังนั้น $$I_O = \frac{V_O}{R_L} = \frac{-10\,\text{V}}{5\,\text{k}\Omega} = -2\ \text{mA}$$ ....**ตอบ**

9. จากวงจรในรูปที่ 6.18 จงหาค่า I_O ถ้า $V_g = 2\sin 3000t$ V **ตอบ** $I_O = 2\sin 3000t$ mA



รูปที่ 6.18 วงจรสำหรับแบบฝึกหัดข้อที่ 9

KCL ที่โนด A :

$$I_1 = -I_2$$

$$\frac{V_g}{2\,\text{k}\Omega} = -\frac{V_{O1}}{4\,\text{k}\Omega}$$

$$V_{O1} = -\frac{4\,\text{k}\Omega}{2\,\text{k}\Omega}(V_g) = -2V_g$$

KCL ที่โนด C :

$$I_3 = -I_4$$

$$\frac{V_{O1}}{3\,\text{k}\Omega} = -\frac{V_{O2}}{9\,\text{k}\Omega}$$

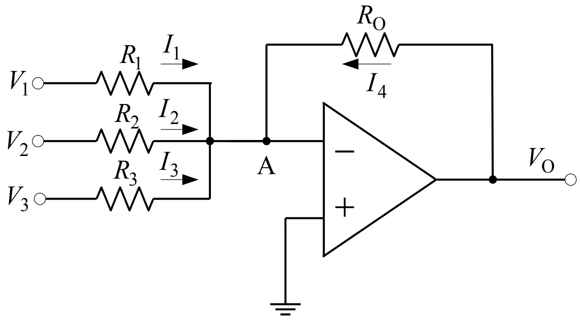
$$-V_{O2} = -\frac{9\,\text{k}\Omega}{3\,\text{k}\Omega}(V_{O1}) = -3V_{O1}$$

$$V_{O2} = -3V_{O1} = -3(-2V_g) = 6V_g$$

ดังนั้น $$I_O = \frac{V_{O2}}{R_L} = \frac{6(2\sin 3000t)\,\text{V}}{6\,\text{k}\Omega} = 2\sin 3000t\ \text{mA}$$ ....**ตอบ**

10. จากวงจรในรูปที่ 6.19 จงหาค่า V_O ในเทอมของ ตัวต้านทาน และแรงดัน V_1, V_2 และ V_3

<u>ตอบ</u> $V_O = -R_O\left(\frac{V_1}{R_1}+\frac{V_2}{R_2}+\frac{V_3}{R_3}\right)$



รูปที่ 6.19 วงจรสำหรับแบบฝึกหัดข้อที่ 10

KCL ที่โนด A : $I_1 + I_2 + I_3 = -I_4$

$$\frac{V_1}{R_1}+\frac{V_2}{R_2}+\frac{V_3}{R_3} = -\frac{V_O}{R_O}$$

$$\therefore\ -V_O = R_4\left(\frac{V_1}{R_1}+\frac{V_2}{R_2}+\frac{V_3}{R_3}\right)$$ ....**<u>ตอบ</u>**