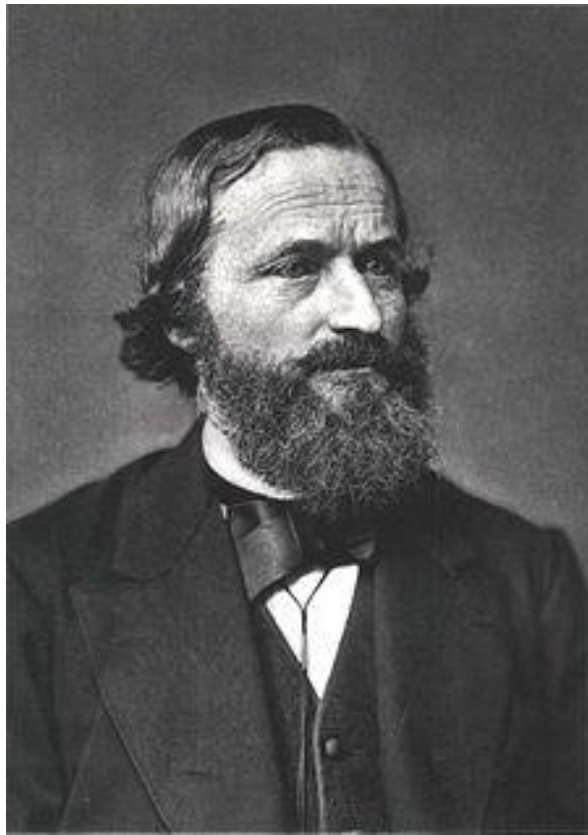


เอกสารที่เกี่ยวข้อง



รูปที่ 1 ภาพของ กุสทาว โรแบร์ท คีร์ชฮอฟฟ์

อ้างอิง: https://th.wikipedia.org/wiki/กุสตาฟ_เคอร์ชอฟฟ์

ประวัติของกุสทาว โรแบร์ท คีร์ชฮอฟฟ์

กุสทาว โรแบร์ท คีร์ชฮอฟฟ์ (เยอรมัน: Gustav Robert Kirchhoff; 12 มีนาคม ค.ศ. 1824-17 ตุลาคม ค.ศ. 1887) เป็นนักฟิสิกส์ชาวเยอรมันผู้มีส่วนร่วมในการทำความเข้าใจพื้นฐานเกี่ยวกับวงจรไฟฟ้า สเปกโทรสโกปี และการแผ่รังสีของวัตถุดำจากวัตถุที่ได้รับความร้อน เขาเป็นผู้กำหนดคำว่า การแผ่รังสีของ "วัตถุดำ" เมื่อปี ค.ศ. 1862 และหลักการสองประการในทฤษฎีวงจรและการแผ่รังสีความร้อน เรียกชื่อว่า กฎของคีร์ชฮอฟฟ์ ซึ่งตั้งชื่อตามนามสกุลของเขา รางวัลบุนเซนคีร์ชฮอฟฟ์ ในสาขาสเปกโทรสโกปีตั้งชื่อตามเขาและเพื่อนร่วมงาน คือ โรเบิร์ต บุนเซน

กฎของเคอร์ชอฟฟ์

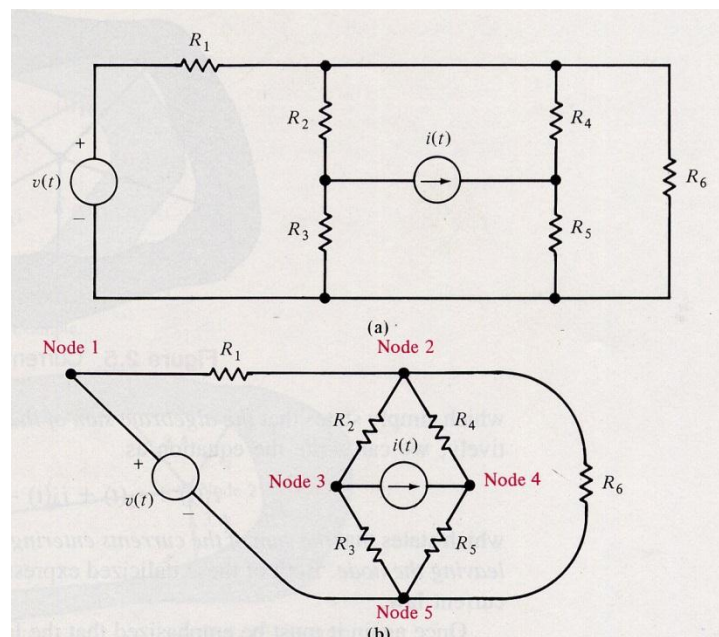
กฎของเคอร์ชอฟฟ์นั้น เป็นการตั้งชื่อเพื่อให้เกียรติแก่ภักฟิสิกส์ชาวเยอรมัน กุสตาฟ โรเบิร์ต เคอร์ชอฟฟ์ (Gustav Robert Kirchhoff)

ก่อนจะพิจารณาเรื่องวิเคราะห์วงจร เรามารู้จัก คำจำกัดความของคำต่อไปนี้

1. **Node** คือ จุดต่อขององค์ประกอบ 2 ตัวหรือมากกว่านั้น
2. **Loop** คือ เส้นทางปิด (closed path) ซึ่ง Node แต่ละตัวจะต้องพบได้ไม่เกินหนึ่งครั้งวนไปจนกระทั่งกลับมาที่เดิม

หรือ การเชื่อมต่อกันเป็นวงปิดโดยเส้นทางการต่อจะผ่าน node ใดๆ เพียงครั้งเดียว

3. **Branch** คือ ส่วนหนึ่งของวงจรประกอบด้วย ชิ้นส่วนตัวหนึ่งของวงจร (Circuit element) และ Node ที่ปลายขององค์ประกอบทั้งสองข้าง



รูปที่ 2 ภาพของวงจรไฟฟ้า และการนับ Node

อ้างอิง: www.rtna.ac.th/departments/elect/Data/EE202/Resistive%20circuit.doc

จากรูปที่ 2 แสดงให้เห็นว่า Node ทั้ง 5 แห่งอยู่ที่ใดบ้าง ซึ่งในรูป (b) จะแสดงให้เห็น Node อย่างชัดเจน และจากรูปนี้ จะมีทั้งหมด 8 branches

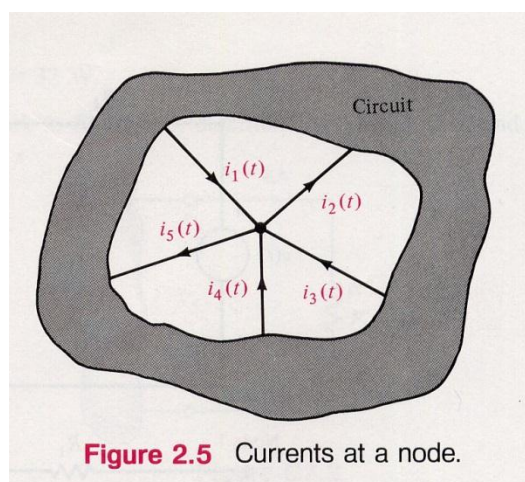
กฎกระแสของเคอร์ชอฟฟ์ (Kirchhoff's Current Law หรือ KCL)

กล่าวไว้ว่า “ผลรวมทางพีชคณิตของกระแสที่ไหลเข้า Node ใดๆ ก็ตามมีค่าเป็นศูนย์” (The algebraic sum of the currents entering any node is zero) ซึ่งสามารถเขียนเป็นสมการได้คือ

$$\sum_{j=1}^N i_j(t) = 0$$

ซึ่ง $i_j(t)$ เป็นกระแสที่ j ซึ่งไหลเข้าสู่ node ที่ branch j

N เป็นจำนวนของ branch ซึ่งต่อกับ node



รูปที่ 3 ภาพของวงจรไฟฟ้า และเขียนทิศทางของกระแส

อ้างอิง: www.rtna.ac.th/departments/elect/Data/EE202/Resistive%20circuit.doc

โดยกำหนด ให้กระแสที่ไหลเข้า Node มีค่าเป็นบวกและ

ให้กระแสที่ไหลออกจาก Node มีค่าเป็นลบ

ถ้านำมาประยุกต์กฎทางไฟฟ้าของเคอร์ชอฟฟ์ จะได้ว่า

$$\sum_{j=1}^N i_j(t) = 0$$

$$i_1(t) + [-i_2(t)] + i_3(t) + i_4(t) + [-i_5(t)] = 0$$

ซึ่งเราสามารถเขียนกฎกระแสไฟฟ้าของเคอร์ชอฟฟ์ได้อีกสองรูปแบบคือ

1. “ผลรวมทางพีชคณิตของกระแสที่ไหลออกจาก node ใดๆ ก็ตามมีค่าเป็นศูนย์”
(The algebraic sum of the currents leaving a node is zero) จากรูปข้างบนเราสามารถเขียนสมการโดยใช้กฎกระแสของเคอร์ชอฟฟ์นี้ได้คือ

$$-i_1(t) + [i_2(t)] - i_3(t) - i_4(t) + [i_5(t)] = 0$$

2. “ผลรวมของกระแสที่ไหลเข้า node จะเท่ากับผลรวมของกระแสที่ไหลออกจาก node”
(The sum of the currents entering a node is equal to the sum of the currents leaving the node)

จากรูปที่ 3 ข้างต้นเราสามารถเขียนสมการโดยใช้กฎกระแสของเคอร์ชอฟฟ์นี้ได้คือ

$$i_1(t) + i_3(t) + i_4(t) = i_2(t) + i_5(t)$$

ในการหาค่า I_1 จะได้ ใช้กฎกระแสของเคอร์ชอฟฟ์ (KCL) ที่ node $\sum_{j=1}^N i_j(t) = 0$

$$I_1 + 5 - 2 - 1 = 0$$

$$I_1 = -2A$$

(เครื่องหมายลบของคำตอบที่ได้ หมายถึงว่าทิศที่กำหนดไว้ในคำถามจะเป็นทิศตรงกันข้าม ซึ่งในที่นี้คือไหลออกจาก Node)

กฎแรงดันของเคอร์ชอฟฟ์ (Kirchhoff's Voltage Law หรือ KVL)

กล่าวไว้ว่า “ในทางเดินวงรอบปิด (Loop) ใดๆ ของข่ายงาน ผลรวมทางพีชคณิตของแรงดันมีค่าเป็นศูนย์”(The algebraic sum of the voltages around any loop is zero) แรงดันบางค่าจะเป็นของแหล่งจ่าย ในขณะที่บางค่าจะเป็นผลมาจากกระแสที่ไหลผ่านชิ้นส่วนแพสซีฟ ที่ทำให้เกิดแรงดันขึ้นซึ่งบางครั้งเราจะเรียกพวกค่าแรงดันเหล่านี้ว่า แรงดันตก ซึ่งสามารถเขียนเป็นสมการได้คือ

$$\sum_{j=1}^N V_j(t) = 0$$

ซึ่ง $V_j(t)$ คือ ค่าแรงดันที่ ตกคร่อม branch ที่ j

N คือ จำนวนแรงดัน

การใช้สัญลักษณ์ V_{ab} หมายถึง แรงดันของจุด a เทียบจุด b ซึ่งจุด a จะมีค่าเป็นบวกเมื่อเทียบกับจุด b (จุด b มีค่าเป็นลบ) และถ้าเขียนด้วยตัวลูกศรนั้น หัวลูกศรจะชี้ไปทางขั้วที่เป็นบวก หรือเขียนสรุปได้ดังนี้ว่า

$$V_{ab} \equiv \begin{array}{c} a \text{ --- } b \\ + \quad \quad - \end{array} \equiv \begin{array}{c} a \longleftarrow b \\ V_{ab} \end{array}$$

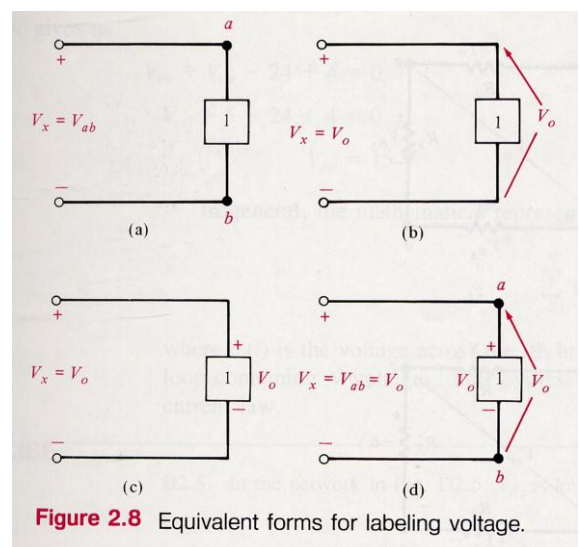
หรือเขียนในรูปแบบฟอร์มได้คือ

รูป (d) เป็นการแสดงถึงแรงดันแบบต่างๆ

(แบบ a,b,และ c รวมกัน)

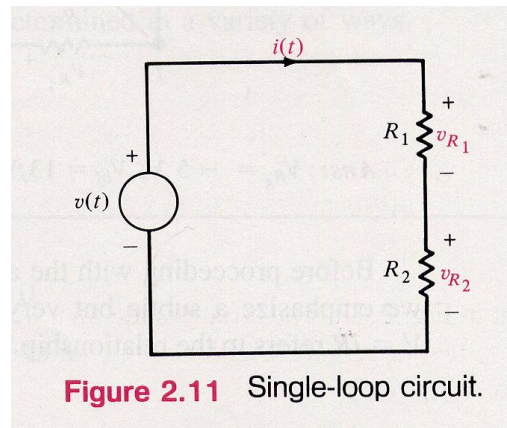
สมมติว่า $V_{ab} = 30 \text{ V}$

เพราะฉะนั้น $V_{ba} = -30 \text{ V}$



วงจรที่มีลูปเดียว (Single-Loop Circuits)

เป็นวงจรที่มีกระแสเท่ากันวิ่งวนตลอดทั้งวงจร หรืออาจกล่าวได้ว่าองค์ประกอบของวงจร (Circuit element) ต่ออนุกรมกัน ดังแสดงในรูปข้างล่างนี้



รูปที่3 ภาพของวงจรไฟฟ้าที่มีลูปเดียว (Single-Loop Circuits)

อ้างอิง: www.rtna.ac.th/departments/elect/Data/EE202/Resistive%20circuit.doc

ทิศทางของกระแส สมมุติกำหนดให้วิ่งวนตามเข็มนาฬิกา ถ้ากำหนดทิศทางถูก ค่าของกระแสที่ได้จะมีค่าเป็นบวก ถ้ากำหนดทิศทางขึ้นมาแล้ว ค่าของกระแสที่ได้มีค่าเป็นลบ แสดงว่าจริงๆแล้วกระแสไหลกลับทิศทางกัน (โดยทั่วไปแล้วการกำหนดให้กระแสวิ่ง จะกำหนดกระแสวิ่งออกจากขั้วบวก)

ใช้กฎ KVL กับวงจร ($\sum V = 0$) เราจะได้

$$+ v(t) - V_{R1} - V_{R2} = 0 \quad \text{หรือ} \quad v(t) = V_{R1} + V_{R2}$$

จากกฎของโอห์ม เราทราบว่า

$$V_{R1} = R_1 i(t) \quad \dots\dots\dots(1)$$

$$V_{R2} = R_2 i(t) \quad \dots\dots\dots(2)$$

$$\text{ดังนั้น} \quad v(t) = R_1 i(t) + R_2 i(t)$$

$$\text{จากสมการข้างบน เราสามารถหาค่า } i(t) \text{ ได้จาก} \quad i(t) = \frac{v(t)}{R_1 + R_2}$$

เมื่อเราทราบค่ากระแสในวงจร และนำไปแทนค่าในสมการ (1),(2) เราก็จะทราบแรงดันตกคร่อมแรงดันตัวต้านทานแต่ละตัว ได้จากสมการข้างล่างนี้

$$V_{R1} = R_1 i(t) = \frac{R_1}{R_1 + R_2} v(t) \dots\dots\dots(3)$$

และ $V_{R2} = R_2 i(t) = \frac{R_2}{R_1 + R_2} v(t) \dots\dots\dots(4)$

สมการ (3),(4) เราเรียกว่า **ตัวหารแรงดัน (Voltage divider)** กล่าวคือ แรงดันจะถูกแบ่งระหว่างตัวต้านทาน R_1 และตัวต้านทาน R_2 ในสัดส่วนที่ขึ้นอยู่กับตัวต้านทานนั้นๆ

จากกำลังงานชั่วขณะ (Instantaneous power) ที่จ่ายโดยแหล่งจ่ายแรงดัน

$$P(t) = v(t) \cdot i(t)$$

เราจะได้กำลังงานชั่วครู่ที่ถูกดูดโดยตัวต้านทาน R_1 และ R_2 คือ

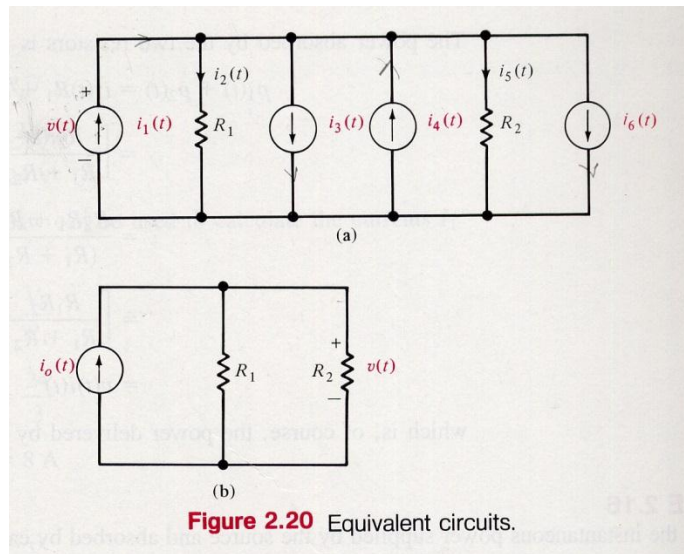
$$P_1(t) = \frac{v_{R1}^2(t)}{R_1}$$

จาก $V_{R1} = \frac{R_1}{R_1 + R_2} v(t)$

เพราะฉะนั้น $P_1(t) = \frac{\left[\frac{R_1 v(t)}{R_1 + R_2} \right]^2}{R_1} = \frac{R_1 v^2(t)}{(R_1 + R_2)^2} \dots\dots\dots(5)$

คิดในทำนองเดียวกันเราจะได้ $P_2(t) = \frac{R_2 v^2(t)}{(R_1 + R_2)^2} \dots\dots\dots(6)$

วงจรที่มีแหล่งจ่ายกระแสและมีตัวต้านทานหลายตัวต่อขนานกัน



รูปที่4 ภาพของวงจรที่มีแหล่งจ่ายกระแสและมีตัวต้านทานหลายตัวต่อขนานกัน

อ้างอิง: www.rtna.ac.th/departments/elect/Data/EE202/Resistive%20circuit.doc

จากรูป (a) เรากำหนดให้ Node บน มีความต่างศักย์มากกว่า Node ล่าง

จากกฎ KCL (ดูที่โน้ตบน) เราจะได้

$$i_1(t) - i_2(t) - i_3(t) + i_4(t) - i_5(t) - i_6(t) = 0$$

หรือ

$$i_1(t) - i_3(t) + i_4(t) - i_6(t) = i_2(t) + i_5(t)$$

ดังนั้น ถ้าให้ $i_0(t) = i_1(t) - i_3(t) + i_4(t) - i_6(t)$ (คือผลรวมของแหล่งจ่ายกระแสทั้งหมด)

$$\text{เราก็สามารถใช้กฎ KVL ได้ว่า } i_0(t) = \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \right) v(t) = \left(\frac{R_1 + R_2}{R_1 R_2} \right) v(t)$$

และมี R อยู่ n ตัว ต่อขนานกัน อย่างในรูปที่4 เราจะได้

$$i_0(t) = \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} + \dots + \frac{1}{R_N} \right) v(t)$$

หรือ

$$i_0(t) = \frac{v(t)}{R_p}$$

$$\text{โดยที่ } \frac{1}{R_p} = \sum_{i=1}^N \frac{1}{R_i}$$

และสามารถเขียนลดรูปได้ดังรูปที่ 4(b)

การหากระแสแต่ละ branch ก็จะใช้กฎของโอห์มได้ โดยกระแสใน branch ที่ j คือ

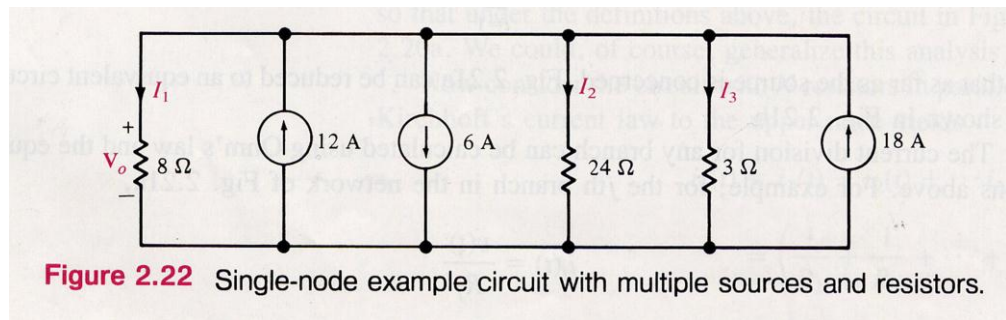
$$i_j = \frac{v(t)}{R_j}$$

R_j คือความต้านทานใน branch ที่ j

ดังนั้น

$$i_j = \frac{i_0(t) \cdot R_P}{R_j}$$

ตัวอย่างที่ 1 จากรูปวงจรข้างล่าง จงหาค่าแรงดัน V_0 , ค่ากระแส I ของตัวต้านทานแต่ละตัวและจงเขียนวงจรสมมูล (Equivalent circuit)



รูปที่ 5 วงจรไฟฟ้าตัวอย่างที่ 1

อ้างอิง: www.rtna.ac.th/departments/elect/Data/EE202/Resistive%20circuit.doc

ใช้กฎ KCL ที่โนดบนเราจะได้

$$-I_1 + 12 - 6 - I_2 - I_3 + 18 = 0$$

$$I_1 + I_2 + I_3 = 12 - 6 + 18$$

$$\frac{V_0}{R_1} + \frac{V_0}{R_2} + \frac{V_0}{R_3} = 24$$

$$\left(\frac{1}{8} + \frac{1}{24} + \frac{1}{3} \right) V_0 = 24$$

$$V_0 = 48 \text{ V}$$

กระแสที่ไหลผ่านตัวต้านทาน 8Ω คือ

$$I_1 = \frac{V_0}{8} = \frac{48}{8} = 6 \text{ A}$$

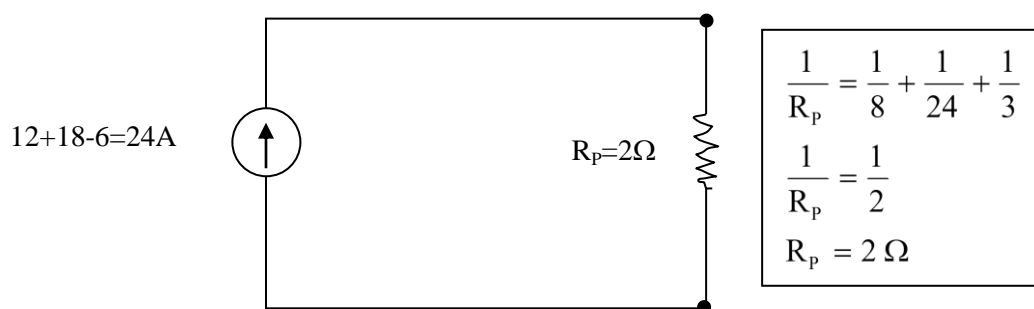
กระแสที่ไหลผ่านตัวต้านทาน 24Ω คือ

$$I_2 = \frac{V_0}{24} = \frac{48}{24} = 2 \text{ A}$$

กระแสที่ไหลผ่านตัวต้านทาน 3Ω คือ

$$I_3 = \frac{V_0}{3} = \frac{48}{3} = 16 \text{ A}$$

วงจรสมมูล (Equivalent circuit) สามารถเขียนได้คือ



ตัวต้านทานที่ต่อผสมกันทั้งอนุกรมและขนาน (Series and Parallel Resistor Combinations)

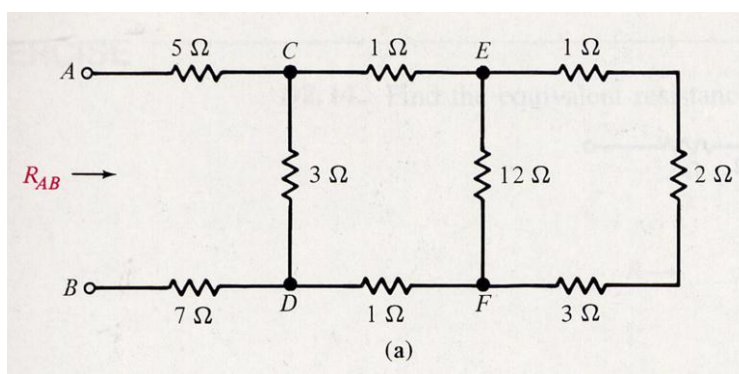
จากตัวต้านทาน n ตัวต่ออนุกรมกัน ความต้านทานรวมที่ได้คือ

$$R_S = R_1 + R_2 + R_3 + \dots + R_N$$

จากตัวต้านทาน n ตัวต่อขนานกัน ความต้านทานรวมที่ได้คือ

$$\frac{1}{R_p} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} + \dots + \frac{1}{R_N}$$

ตัวอย่างที่ 2 จงหาความต้านทานที่ terminal A-B ของรูปโครงข่าย (Network) ข้างล่างนี้



รูปที่ 6 วงจรไฟฟ้าตัวอย่างที่ 2

อ้างอิง: www.rtna.ac.th/departments/elect/Data/EE202/Resistive%20circuit.doc

ในการหาความต้านทานสมมูล (Equivalent resistance) เราจะยุบตัวต้านทานจากทางขวามือก่อนและยุบลงมาเรื่อยๆ จนเหลือตัวต้านทานตัวเดียว

พิจารณา 6 กับ 12Ωซึ่งต่อขนานกัน

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{6} + \frac{1}{12} = \frac{1}{4}$$

$$R = 4\Omega$$

พิจารณา 1Ω, 4Ω, 1Ωซึ่งต่ออนุกรมกัน

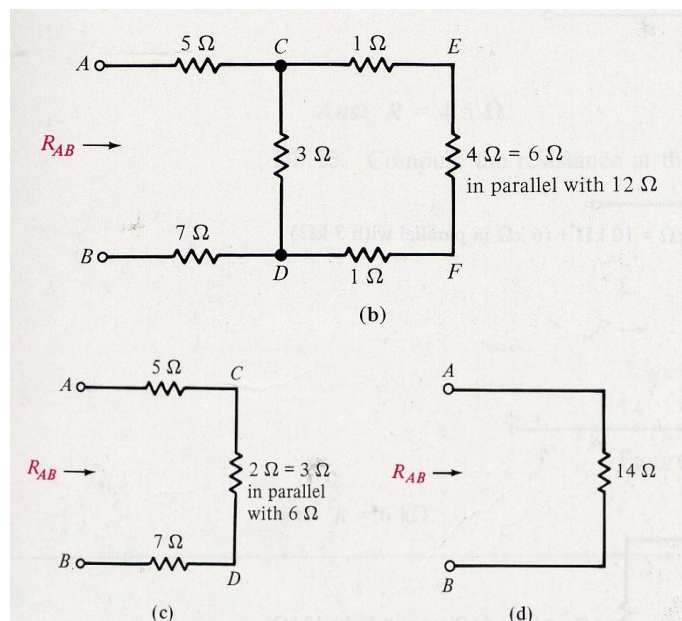
$$R = 1 + 4 + 1 = 6\Omega$$

พิจารณา 6Ω กับ 3Ωซึ่งต่อขนานกัน

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{6} + \frac{1}{3} = \frac{1}{2}$$

$$R = 2\Omega$$

ดังนั้น ความต้านทานที่ ขั้ว A-B (R_{AB}) คือ 14Ω



รูปที่ 7 วงจรไฟฟ้าที่ยุบความต้านทานมารวมกัน

อ้างอิง: www.rtna.ac.th/departments/elect/Data/EE202/Resistive%20circuit.doc

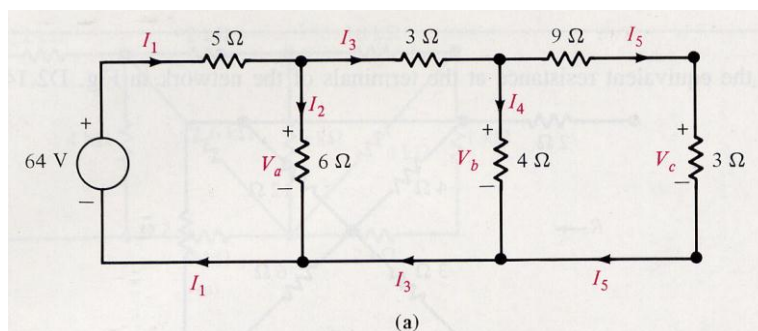
วงจรที่มีตัวต้านทานต่อทั้งอนุกรมและขนาน

(Circuits with Series – Parallel Combination of Resistors)

หลังจากที่เราได้เรียนเทคนิคต่างๆ ของ กฎของโอห์ม, กฎของเคอร์ชอฟฟ์, การหารแรงดัน, การหารกระแส, วงจรรูปเดียว, วงจรโนดคู่เดียว, การรวมตัวต้านทานแบบอนุกรมและขนาน แล้วต่อไปเราจะนำทฤษฎีต่างๆ เหล่านี้มาประยุกต์ใช้หาค่าต่างๆ กับวงจร ไฟฟ้า

ตัวอย่างที่ 2

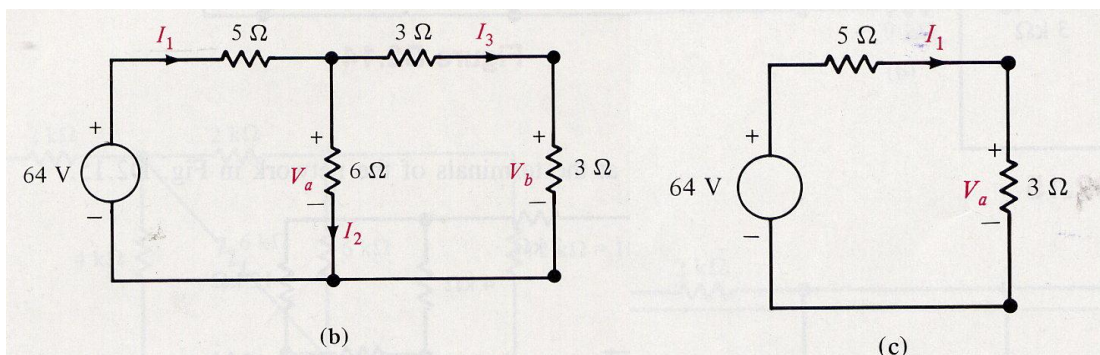
จงหาค่ากระแสและแรงดันทั้งหมดที่เกิดขึ้นในโครงข่ายตามรูปข้างล่างนี้



รูปที่ 9 วงจรไฟฟ้าตัวอย่างที่ 3 ที่ยุบรวมความต้านทานมารวมกัน

อ้างอิง: www.rtna.ac.th/departments/elect/Data/EE202/Resistive%20circuit.doc

ทำการยุบวงจรจนเหลือรูปเดียวเพื่อหาค่า I_1



รูปที่ 9 วงจรไฟฟ้าตัวอย่างที่ 3 ที่ยุบรวมความต้านทานมารวมกัน

อ้างอิง: www.rtna.ac.th/departments/elect/Data/EE202/Resistive%20circuit.doc

จากรูป (c) ใช้กฎ KVL เราจะได้ V_a สามารถคำนวณโดยกฎของโอห์ม

หรือใช้กฎ KVL จะได้ $64 - 5I_1 - V_a = 0$

และจากกฎ KCL จะได้ $I_1 - I_2 - I_3 = 0$

ใช้กฎ KVL จะได้ $V_a - I_3(3) - V_b = 0$

$$24 - (4)(3) - V_b = 0$$

$$V_b = 12V$$

ใช้กฎของโอห์มหาค่า I_4 ที่ตัวต้าน 4Ω

$$V_b = I_4(4)$$

$$I_4 = 3A$$

ใช้กฎ KCL ที่ โหนด 2 นั่นคือ

$$I_3 - I_4 - I_5 = 0$$

$$4 - 3 - I_5 = 0$$

$$I_5 = 1A$$

ใช้กฎของโอห์มหาค่า V_c ที่ตัวต้าน 3Ω

$$V_c = I_5(3)$$

$$V_c = 1(3) = 3V$$

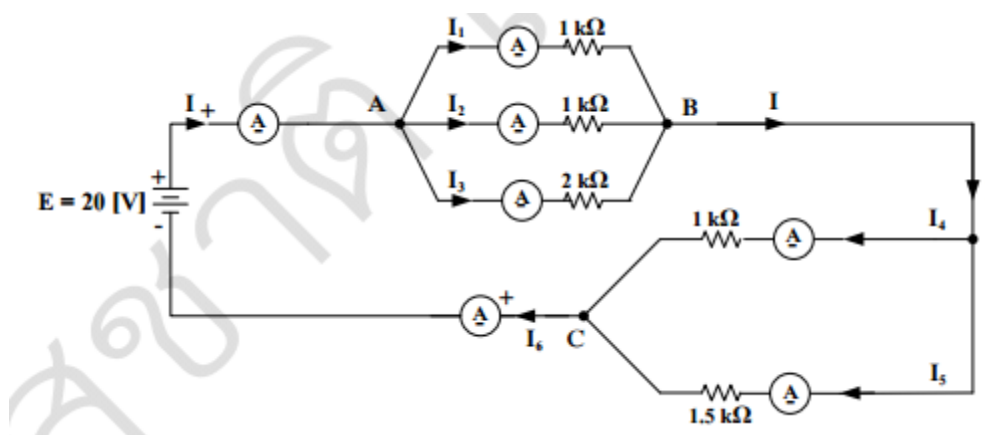
อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

แหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรง (VDC) f ถึง $2f$ [V]	1 เครื่อง
ตัวต้านทาน 0.25 [W] ค่า 1 [k Ω]	3 ตัว
ตัวต้านทาน 0.25 [W] ค่า 1.5 [k Ω] และ 2 [k Ω] อย่างละ	1 ตัว
เครื่องดิจิทัลมัลติมิเตอร์	2 เครื่อง
สายต่อวงจรทดลอง	1 ชุด

การทดลองที่ 1.1: พิสูจน์กฎกระแสไฟฟ้าของเคอร์ชอฟฟ์

4.1 วิธีการทดลอง

- 4.1.1 ต่อวงจรทดลองดังรูปที่ 10 ขณะปิดสวิตช์เพื่อไม่ให้แหล่งจ่ายไฟฟ้าทำงาน
- 4.1.2 ปรับตั้งย่านวัดแอมมิเตอร์ที่ A_{DC} ให้เหมาะสม
- 4.1.3 เปิดสวิตช์เพื่อให้แหล่งจ่ายไฟฟ้าทำงานและทดลองวัดค่ากระแส I กระแส I_1 กระแส I_2 กระแส I_3 กระแส I_4 กระแส I_5 และกระแส I_6 บันทึกผลการทดลองลงในตารางที่ 1
- 4.1.4 ปิดสวิตช์เพื่อไม่ให้แหล่งจ่ายไฟฟ้าทำงาน
- 4.1.5 คำนวณค่ากระแสไฟฟ้า I , I_1 , I_2 , I_3 , I_4 , I_5 และ I_6 ที่ไหลภายในวงจรโดยใช้กฎของโอห์มพร้อมทั้งบันทึกผลการคำนวณลงในตารางที่ 2



รูปที่ 10.1 วงจรความต้านทานต่อแบบผสม

ตารางที่ 1 ผลการทดลองที่ 1.1

กระแสที่จุดเชื่อม A [mA]				กระแสที่จุดเชื่อม B [mA]				กระแสที่จุดเชื่อม C [mA]		
ไหลเข้า	ไหลออก			ไหลเข้า			ไหลออก	ไหลเข้า	ไหลออก	
I	I ₁	I ₂	I ₃	I ₁	I ₂	I ₃	I	I ₄	I ₅	I
19.9	8.2	8.1	4.0	8.2	8.1	4.0	19.9	12.2	7.7	19.9

ตารางที่ 2 ผลการคำนวณสำหรับการทดลองที่ 1.1

กระแสที่จุดเชื่อม A [mA]				กระแสที่จุดเชื่อม B [mA]				กระแสที่จุดเชื่อม C [mA]		
ไหลเข้า	ไหลออก			ไหลเข้า			ไหลออก	ไหลเข้า	ไหลออก	
I	I ₁	I ₂	I ₃	I ₁	I ₂	I ₃	I	I ₄	I ₅	I
20	8	8	4	8	8	4	20	12	8	20

วิธีคำนวณ

จากโจทย์ $R_1 = 1 \text{ [k}\Omega\text{]}$, $R_2 = 1 \text{ [k}\Omega\text{]}$, $R_3 = 1.5 \text{ [k}\Omega\text{]}$, $R_4 = 1 \text{ [k}\Omega\text{]}$ $R_5 = 1.5 \text{ [k}\Omega\text{]}$

$$E = 20 \text{ [V]}$$

หาความต้านทาน R_{123}

$$\begin{aligned} 1/R_{123} &= (1/1000) + (1/1000) + (1/2000) \\ &= (2+2+1)/2000 \\ &= 5/2000 \\ &= 1/400 \\ R_{123} &= 400 \text{ [}\Omega\text{]} \end{aligned}$$

หาความต้านทาน R_{45}

$$\begin{aligned} 1/R_{45} &= (1/1000) + (1/1500) \\ &= (3+2)/3000 \\ &= 5/3000 \\ &= 1/600 \\ R_{45} &= 600 \text{ [}\Omega\text{]} \end{aligned}$$

หาความต้านทาน $R_{รวม}$

$$\begin{aligned} R_{รวม} &= R_{123} + R_{45} \\ &= 400 + 600 \\ &= 1 \text{ [k}\Omega\text{]} \end{aligned}$$

หากระแสไฟฟ้าที่ไหลทั้งวงจร

$$\text{จากกฎโอห์ม } V = IR$$

$$I = 20 / 1000$$

$$I = 20 \text{ [mA]}$$

แรงดันไฟฟ้าที่ตกคร่อม R_{123}

$$\text{จากกฎโอห์ม } V_{123} = IR$$

$$V_{123} = 20 \times 10^{-3} \times 400$$

$$= 8 \text{ [V]}$$

แรงดันไฟฟ้าที่ตกคร่อม R_{45}

$$\text{จากกฎโอห์ม } V_{45} = IR$$

$$V_{45} = 20 \times 10^{-3} \times 600$$

$$= 12 \text{ [V]}$$

หากระแสไฟฟ้าที่ไหล I_1 I_2 I_3 I_4 และ I_5

$$\text{จากกฎโอห์ม } V = IR$$

$$I_1 = V_{123} / R_1 = 8 / 1000 = 8 \text{ [mA]}$$

$$I_2 = V_{123} / R_2 = 8 / 1000 = 8 \text{ [mA]}$$

$$I_3 = V_{123} / R_3 = 8 / 2000 = 4 \text{ [mA]}$$

$$I_4 = V_{45} / R_4 = 12 / 1000 = 12 \text{ [mA]}$$

$$I_5 = V_{45} / R_5 = 12 / 1500 = 8 \text{ [mA]}$$

$$\text{สูตรหาความคลาดเคลื่อน} = |(\text{ผลการวัด} - \text{ผลการคำนวณ}) / \text{ผลการคำนวณ}| \times 100 \%$$

ตารางที่ 3.1 ความคลาดเคลื่อน

ความคลาดเคลื่อนกระแสที่จุดเชื่อม A	
ความคลาดเคลื่อนไหลเข้า	0.5%
ความคลาดเคลื่อนไหลออก I_1	2.5%
ความคลาดเคลื่อนไหลออก I_2	1.25%
ความคลาดเคลื่อนไหลออก I_3	0%

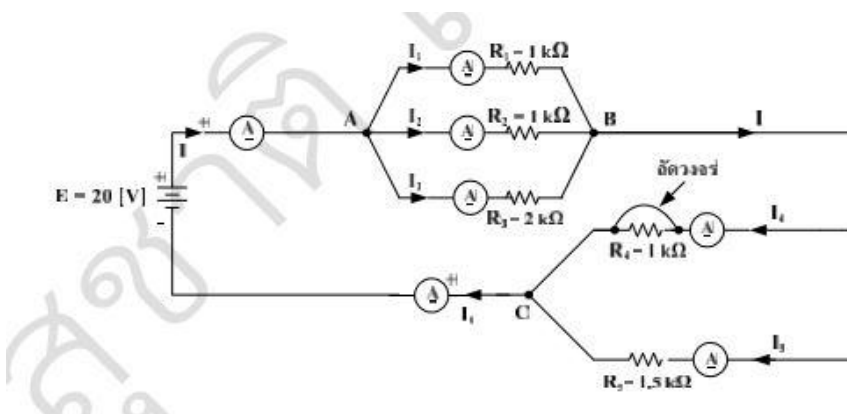
ความคลาดเคลื่อนกระแสที่จุดเชื่อม B	
ความคลาดเคลื่อนไหลเข้า I_1	2.5%
ความคลาดเคลื่อนไหลเข้า I_2	1.25%
ความคลาดเคลื่อนไหลเข้า I_3	0%
ความคลาดเคลื่อนไหลออก	0.5%

ความคลาดเคลื่อนกระแสที่จุดเชื่อม C	
ความคลาดเคลื่อนไหลเข้า I_4	1.66%
ความคลาดเคลื่อนไหลเข้า I_5	3.75%
ความคลาดเคลื่อนไหลออก	0.5%

การทดลองที่ 2 : กฎกระแสไฟฟ้าของเคอร์ชอฟฟ์เมื่อเกิดลัดวงจร

วิธีการทดลอง

1. ต่อวงจรทดลองที่กำหนดให้ลัดวงจรที่ R_4 ดังรูป (ข) ขณะปิดสวิตช์เพื่อไม่ให้แหล่งจ่ายไฟฟ้าทำงาน
2. ปรับตั้งย่านวัดแอมมิเตอร์ที่ A_{DC} ให้เหมาะสม
3. เปิดสวิตช์เพื่อให้แหล่งจ่ายไฟฟ้าทำงานและทดลองวัดค่ากระแส I กระแส I_1 กระแส I_2 กระแส I_3 กระแส I_4 กระแส I_5 และกระแส I_6 บันทึกผลการทดลองลงในตาราง
4. ปิดสวิตช์เพื่อไม่ให้แหล่งจ่ายไฟฟ้าทำงาน
5. คำนวณค่ากระแสไฟฟ้า I , I_1 , I_2 , I_3 , I_4 , I_5 , และ I_6 ที่ไหลภายในวงจรโดยใช้กฎของโอห์ม พร้อมทั้งบันทึกผลการคำนวณลงในตาราง
6. คำนวณค่า R_T , I , V_1 , V_2 , V_3 , V_4 และ I_1 , I_2 , I_3 , I_4 โดยใช้กฎของโอห์มและบันทึกผลการคำนวณลงในตารางที่ . เปรียบเทียบกับผลการทดลองในตารางที่ .



รูป 10.2 วงจรความต้านทานกรณีเกิดลัดวงจร

ผลการทดลองที่ 2

ตารางที่ 4.3 ผลการทดลองที่ 2 เมื่อเกิดลัดวงจรที่ R_4

กระแสที่จุดเชื่อม A [mA]				กระแสที่จุดเชื่อม B [mA]				กระแสที่จุดเชื่อม C [mA]		
ไหลเข้า	ไหลออก			ไหลเข้า			ไหลออก	ไหลเข้า	ไหลออก	
I	I ₁	I ₂	I ₃	I ₁	I ₂	I ₃	I	I ₄	I ₅	I ₆
50.9	20.2	20.6	10.1	20.5	20.4	10.3	50.1	48.5	0	50.1

ตารางที่ 4.4 ผลการคำนวณสำหรับการทดลองที่ 2 เมื่อเกิดลัดวงจรที่ R_4

กระแสที่จุดเชื่อม A [mA]				กระแสที่จุดเชื่อม B [mA]				กระแสที่จุดเชื่อม C [mA]		
ไหลเข้า	ไหลออก			ไหลเข้า			ไหลออก	ไหลเข้า	ไหลออก	
I	I ₁	I ₂	I ₃	I ₁	I ₂	I ₃	I	I ₄	I ₅	I ₆
50	20	20	10	20	20	10	50	50	0	50

วิธีคำนวณ

จากโจทย์ $R_1 = 1 \text{ [k}\Omega\text{]}$, $R_2 = 1 \text{ [k}\Omega\text{]}$, $R_3 = 1.5 \text{ [k}\Omega\text{]}$, $R_4 = 1 \text{ [k}\Omega\text{]}$ $R_5 = 1.5 \text{ [k}\Omega\text{]}$

$$E = 20 \text{ [V]}$$

หาความต้านทาน R_{123}

$$\begin{aligned}
 1/R_{123} &= (1/1000) + (1/1000) + (1/2000) \\
 &= (2+2+1)/2000 \\
 &= 5/2000 \\
 &= 1/400 \\
 R_{123} &= 400 \text{ [}\Omega\text{]}
 \end{aligned}$$

หาความต้านทาน $R_{รวม}$

เนื่องจากเกิดการลัดวงจรที่ R_{45} จึงทำให้ความต้านที่ R_{45} มีความที่น้อยมากซึ่งใกล้เคียง 0 แต่จะไม่เท่ากับ 0

$$\begin{aligned}
 R_{รวม} &= R_{123} + R_{45} \\
 &= 400 + 0 \\
 &= 400 \text{ [}\Omega\text{]}
 \end{aligned}$$

หากระแสไฟฟ้าที่ไหลทั้งวงจร

$$\text{จากกฎโอห์ม } V = IR$$

$$I = 20 / 400.01$$

$$I = 50 \text{ [mA]}$$

แรงดันไฟฟ้าที่ตกคร่อม R_{123}

$$\text{จากกฎโอห์ม } V_{123} = IR$$

$$V_{123} = 50 \times 10^{-3} \times 0$$

$$= 0 \text{ [V]}$$

ค่าที่ได้จะใกล้เคียง 0 แต่จะไม่เท่ากับ 0

แรงดันไฟฟ้าที่ตกคร่อม R_{45}

$$\text{จากกฎโอห์ม } V_{45} = IR$$

$$V_{45} = 50 \times 10^{-3} \times 0.01$$

$$= 50 \times 10^{-5} \text{ [V]}$$

หากระแสไฟฟ้าที่ไหล I_1 I_2 I_3 I_4 และ I_5

$$\text{จากกฎโอห์ม } V = IR$$

$$I_1 = V_{123} / R_1 = 20 / 1000 = 20 \text{ [mA]}$$

$$I_2 = V_{123} / R_2 = 20 / 1000 = 20 \text{ [mA]}$$

$$I_3 = V_{123} / R_3 = 20 / 2000 = 10 \text{ [mA]}$$

$$I_4 = 50 \text{ [mA]} \text{ เนื่องจากมีความต้านทานที่น้อยมากๆ เมื่อ เทียบกับ } R_5$$

$$I_5 = 0 \text{ [mA]} \text{ เนื่องจากมีความต้านทานที่สูงมากๆ เมื่อ เทียบกับ } R_4$$

$$\text{สูตรหาความคลาดเคลื่อน} = | (\text{ผลการวัด} - \text{ผลการคำนวณ}) / \text{ผลการคำนวณ} | \times 100 \%$$

ตารางที่ 3.1 ความคลาดเคลื่อน

ความคลาดเคลื่อนกระแสที่จุดเชื่อม A	
ความคลาดเคลื่อนไหลเข้า	1.8%
ความคลาดเคลื่อนไหลออก I_1	1%
ความคลาดเคลื่อนไหลออก I_2	3%
ความคลาดเคลื่อนไหลออก I_3	1%

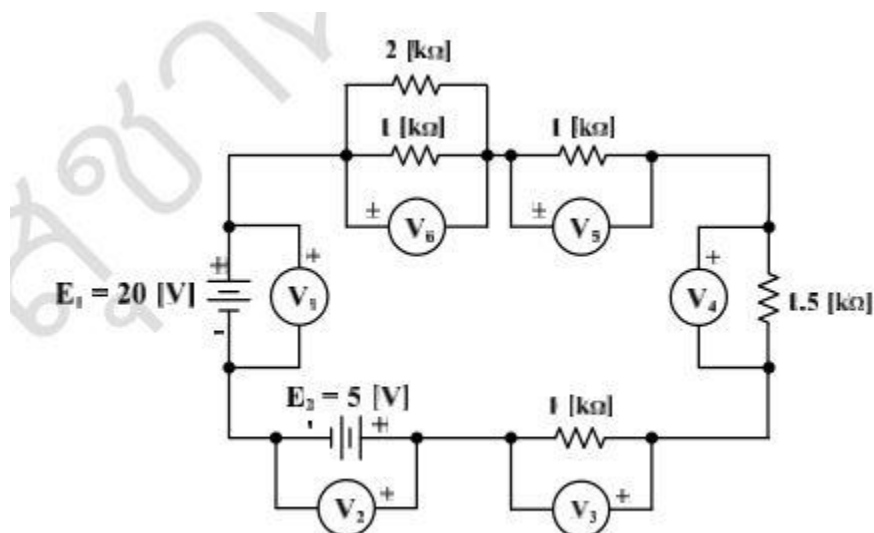
ความคลาดเคลื่อนกระแสที่จุดเชื่อม B	
ความคลาดเคลื่อนไหลเข้า I_1	2.5%
ความคลาดเคลื่อนไหลเข้า I_2	2%
ความคลาดเคลื่อนไหลเข้า I_3	0.3%
ความคลาดเคลื่อนไหลออก	0.2%

ความคลาดเคลื่อนกระแสที่จุดเชื่อม C	
ความคลาดเคลื่อนไหลเข้า I_4	1.6%
ความคลาดเคลื่อนไหลเข้า I_5	0%
ความคลาดเคลื่อนไหลออก	0.2%

การทดลองที่ 3 : พิสูจน์แรงดันไฟฟ้าของเคอร์ชอฟฟ์

วิธีการทดลอง

1. ต่วงจรทดลองดังรูป (ค) ขณะปิดสวิตช์เพื่อไม่ให้แหล่งจ่ายไฟฟ้าทำงาน
2. ปรับตั้งย่านวัดโวลต์มิเตอร์ที่ V_{DC} ให้เหมาะสม
3. เปิดสวิตช์เพื่อให้แหล่งจ่ายไฟฟ้าทำงานและทดลองวัดค่าแรงดัน V แรงดัน V_1 แรงดัน V_2 แรงดัน V_3 แรงดัน V_4 แรงดัน V_5 และแรงดัน V_6 โดยให้ขั้วของมิเตอร์เปิดไปตามที่กำหนดไว้ในวงจรดังรูป (ค) (ถ้าแรงดันไฟฟ้าใดเชื่อมมิเตอร์กลับขั้วให้กำหนดเครื่องหมายของแรงดันนั้นเป็นลบ)
4. บันทึกผลการทดลองลงแถวแรกของตาราง
5. ปิดสวิตช์เพื่อไม่ให้แหล่งจ่ายไฟฟ้าทำงาน
6. คำนวณค่าแรงดันไฟฟ้า V , V_1 , V_2 , V_3 , V_4 , V_5 และ V_6 ที่ไหลภายในวงจรโดยการใช้กฎของโอห์มพร้อมทั้งบันทึกผลการคำนวณลงแถวสองของตาราง



รูป 10.3 วงจรความต้านต่อแบบอนุกรม

ผลการทดลองที่ 3

ตารางที่ 4.5 ผลการทดลองและผลการคำนวณสำหรับการทดลองที่ 3

แรงดันไฟฟ้า [V]	V ₁	V ₂	V ₃	V ₄	V ₅	V ₆
ผลการวัด	22.20	5.0	3.51	5.32	3.56	2.36
ผลการคำนวณ	20	5	3.6	5.4	3.6	2.4

วิธีคำนวณ

จากโจทย์ $R_1 = 2 \text{ [k}\Omega\text{]}$, $R_2 = 1 \text{ [k}\Omega\text{]}$, $R_3 = 1 \text{ [k}\Omega\text{]}$, $R_4 = 1.5 \text{ [k}\Omega\text{]}$ $R_5 = 1 \text{ [k}\Omega\text{]}$

$$E_1 = 20 \text{ [V]} \quad E = 5 \text{ [V]}$$

หาความต้านทาน $R_{รวม}$

$$\begin{aligned}
 R_{รวม} &= R_{12} + R_3 + R_4 \\
 &= (1/1000 + 1/2000) + 1000 + 1500 + 1000 \\
 &= (3/2000) + 1000 + 1500 + 1000 \\
 &= 666.67 + 1000 + 1500 + 1000 \\
 &= 4166.67 \text{ [}\Omega\text{]}
 \end{aligned}$$

หากระแสไฟฟ้าที่ไหลทั้งวงจร

จากกฎเคอร์ชอฟฟ์

$$\begin{aligned}
 0 &= E_1 + IR_{12} + IR_3 + IR_4 - E_2 \\
 E_1 - E_2 &= IR_{12} + IR_3 + IR_4 \\
 15 &= I (R_{12} + R_3 + R_4) \\
 I &= 15 / 4166.67 \\
 I &= 35.99 \text{ [mA]}
 \end{aligned}$$

แรงดันไฟฟ้าที่ตกคร่อม E_1 หรือ $V_1 = 20V$

แรงดันไฟฟ้าที่ตกคร่อม E_2 หรือ $V_2 = -5V$

แรงดันไฟฟ้าที่ตกคร่อม R_5 หรือ V_3

จากกฎโอห์ม $V = IR$

$$\begin{aligned} V_{123} &= 35.99. \times 10^{-3} \times 1000 \\ &= 3.6 \text{ [V]} \end{aligned}$$

แรงดันไฟฟ้าที่ตกคร่อม R_4 หรือ V_4

จากกฎโอห์ม $V = IR$

$$\begin{aligned} V_{123} &= 35.99. \times 10^{-3} \times 1500 \\ &= 5.4 \text{ [V]} \end{aligned}$$

แรงดันไฟฟ้าที่ตกคร่อม R_3 หรือ V_5

จากกฎโอห์ม $V = IR$

$$\begin{aligned} V_{123} &= 35.99. \times 10^{-3} \times 1000 \\ &= 3.6 \text{ [V]} \end{aligned}$$

แรงดันไฟฟ้าที่ตกคร่อม R_{12} หรือ V_6

จากกฎโอห์ม $V = IR$

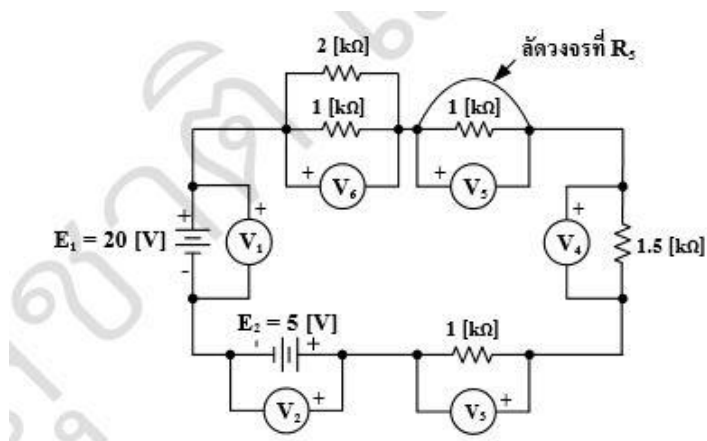
$$\begin{aligned} V_{123} &= 35.99. \times 10^{-3} \times 666.67 \\ &= 2.4 \text{ [V]} \end{aligned}$$

ตารางผลการคำนวณความคลาดเคลื่อน					
V_1	V_2	V_3	V_4	V_5	V_6
1.00%	0.00%	2.30%	1.48%	1.11%	1.67%

การทดลองที่ 4 : กฎแรงดันไฟฟ้าของเคอร์ชอฟฟ์เมื่อเกิดลัดวงจร

วิธีการทดลอง

1. ต่อวงจรทดลองดังรูป (ง) ขณะปิดสวิตช์เพื่อไม่ให้แหล่งจ่ายไฟฟ้าทำงาน
2. ปรับตั้งย่านวัดโวลต์มิเตอร์ที่ V_{DC} ให้เหมาะสม
3. เปิดสวิตช์เพื่อให้แหล่งจ่ายไฟฟ้าทำงานและทดลองวัดค่าแรงดัน V แรงดัน V_1 แรงดัน V_2 แรงดัน V_3 แรงดัน V_4 แรงดัน V_5 และแรงดัน V_6 โดยให้ขั้วของมิเตอร์เป็นไปตามที่กำหนดไว้ในวงจรดังรูป (ง) (ถ้าแรงดันไฟฟ้าใดเข็มมิเตอร์กลับขั้วให้กำหนดเครื่องหมายของแรงดันนั้นเป็นลบ) บันทึกผลการทดลองลงแถวแรกของตาราง
4. ปิดสวิตช์เพื่อไม่ให้แหล่งจ่ายไฟฟ้าทำงาน
5. คำนวณค่าแรงดันไฟฟ้า V , V_1 , V_2 , V_3 , V_4 , V_5 และ V_6 ที่ไหลภายในวงจรโดยใช้กฎของโอห์มพร้อมทั้งบันทึกผลการคำนวณลงแถวสองของตาราง



รูป 10.4 วงจรความต้านทานต่อแบบอนุกรมกรณีเกิดลัดวงจร

ผลการทดลองที่ 4

ตารางที่ 4.5 ผลการทดลองและผลการคำนวณสำหรับการทดลองที่ 4 เมื่อเกิดลัดวงจรที่ R_5

แรงดันไฟฟ้า [V]	V_1	V_2	V_3	V_4	V_5	V_6
ผลการวัด	20.20	5.08	4.72	7.1	0	3.17
ผลการคำนวณ	20	5	4.7	7.05	0	3.13

วิธีคำนวณ

จากโจทย์ $R_1 = 2 \text{ [k}\Omega\text{]}, R_2 = 1 \text{ [k}\Omega\text{]}, R_3 = 1 \text{ [k}\Omega\text{]}, R_4 = 1.5 \text{ [k}\Omega\text{]}, R_5 = 1 \text{ [k}\Omega\text{]}$

$$E_1 = 20 \text{ [V]} \quad E = 5 \text{ [V]}$$

หาความต้านทาน $R_{รวม}$

$$\begin{aligned} R_{รวม} &= R_{12} + R_3 + R_4 \\ &= (1/1000 + 1/2000) + 0 + 1500 + 1000 \\ &= (3/2000) + 0 + 1500 + 1000 \\ &= 666.67 + 0 + 1500 + 1000 \\ &= 3166.67 \text{ [}\Omega\text{]} \end{aligned}$$

หากระแสไฟฟ้าที่ไหลทั้งวงจร

จากกฎเคอร์ชอฟฟ์จะได้ว่า

$$0 = E_1 + IR_{12} + IR_3 + IR_4 - E_2$$

$$E_1 - E_2 = IR_{12} + IR_3 + IR_4$$

$$15 = I (R_{12} + R_3 + R_4)$$

$$I = 15 / 3166.67$$

$$I = 47 \text{ [mA]}$$

จากนั้นหาค่า V จากกฎของโอห์ม $V=IR$

$$V_1 = E_1 = 20 \text{ [V]}$$

$$V_2 = E_2 = 5 \text{ [V]}$$

$$V_3 = 4.7 \times 10^{-3} \times 1000 = 4.7 \text{ [V]}$$

$$V_4 = 4.7 \times 10^{-3} \times 1500 = 7.05 \text{ [V]}$$

$$V_5 = 0$$

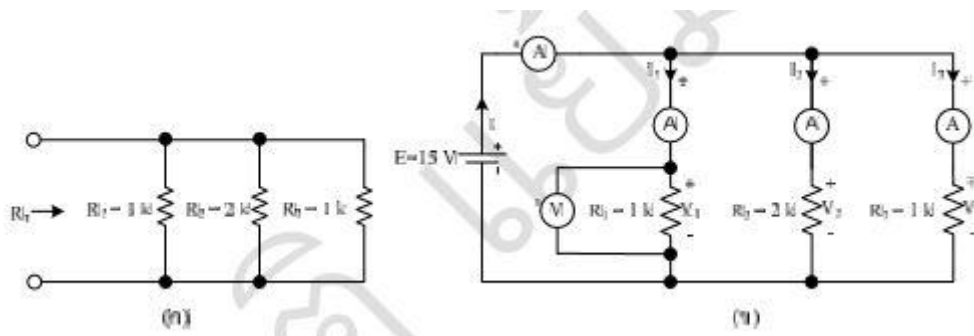
$$V_6 = 4.7 \times 10^{-3} \times 666.67 = 3.13 \text{ [V]}$$

ตารางผลการคำนวณความคลาดเคลื่อน					
V_1	V_2	V_3	V_4	V_5	V_6
1.00%	1.60%	0.43%	0.71%	0%	1.27%

การทดลองที่ 5 : กฎแรงดันไฟฟ้าของเคอร์ชอฟฟ์เมื่อเกิดลัดวงจร

วิธีการทดลอง

1. ปิดสวิตช์เพื่อไม่ให้แหล่งจ่ายไฟฟ้าทำงานและต่อวงจรทดลองดังรูป (จ) ปรับตั้งย่านวัดความต้านทานของมัลติมิเตอร์ให้เหมาะสม ต่อมา วัดค่าตัวต้านทาน R_T , R_1 , R_2 กับ R_3 และบันทึกผลการวัดลงในตาราง
2. ปิดสวิตช์เพื่อไม่ให้แหล่งจ่ายไฟฟ้าทำงานและต่อวงจรใหม่ดังรูป (ฉ) ปรับตั้งย่านวัดกระแสไฟฟ้า I_1 , I_2 , และ I_3 ให้เหมาะสมของมัลติมิเตอร์ตัวที่ 1 พร้อมทั้งปรับตั้งย่านวัดแรงดันไฟฟ้า V_1 , V_2 และ V_3 ให้เหมาะสมของมัลติมิเตอร์ตัวที่ 2
3. เปิดสวิตช์แหล่งจ่ายไฟฟ้าทำงาน ปรับค่าแรงดัน E ให้มีค่าเท่ากับ 15[V]
4. ทำการทดลองวัด บันทึกค่ากระแส I_1 , I_2 , I_3 และแรงดัน V_1 , V_2 , V_3 ลงในตาราง
5. ปิดสวิตช์เพื่อไม่ให้แหล่งจ่ายไฟฟ้าทำงาน
6. คำนวณค่า R_T , I , V_1 , V_2 , V_3 และ I_1 , I_2 , I_3 โดยใช้กฎของโอห์มและบันทึกผลการคำนวณลงในตาราง เปรียบเทียบกับผลการทดลองในตาราง



รูป 10.5 วงจรความต้านทานสำหรับการทดลองที่ 5

ผลการทดลองที่ 5

ตารางที่ 4.7 ผลการทดลองวงจรตัวต้านทานต่อขนาน

ผลการทดลอง											
R_1 [k Ω]	R_2 [k Ω]	R_3 [k Ω]	R_T [k Ω]	I_1 [mA]	I_2 [mA]	I_3 [mA]	I [mA]	V_1 [V]	V_2 [V]	V_3 [V]	E [V]
985	1981	982	398.2	15.3	7.45	14.8	36.9	14.95	14.95	14.95	14.95

ตารางที่ 4.8 ผลการคำนวณวงจรตัวต้านทานต่อขนาน

ผลการคำนวณ											
R_1 [k Ω]	R_2 [k Ω]	R_3 [k Ω]	R_T [k Ω]	I_1 [mA]	I_2 [mA]	I_3 [mA]	I [mA]	V_1 [V]	V_2 [V]	V_3 [V]	E [V]
1000	2000	1000	400	15	7.5	15	37.5	15	15	15	15

วิเคราะห์การทดลองที่ 5

ความคลาดเคลื่อน = $|(ผลการวัด - ผลการคำนวณ) / ผลการคำนวณ| \times 100 \%$

ตารางค่าความคลาดเคลื่อน											
R_1 [k Ω]	R_2 [k Ω]	R_3 [k Ω]	R_T [k Ω]	I_1 [mA]	I_2 [mA]	I_3 [mA]	I [mA]	V_1 [V]	V_2 [V]	V_3 [V]	E [V]
1.25%	1.25%	1.25%	1.25%	1.98%	0.66%	1.98%	2.42%	0.46%	1.13%	0.6%	0%

จากการทดลองพบว่าค่าแรงดันไฟฟ้าของ V_1 , V_2 และ V_3 มีค่าเท่ากัน แต่ค่ากระแสของแต่ละตัวมีค่าต่างกัน เพราะกระแสจะไหลผ่านตัวต้านทานที่น้อยกว่าโดยค่ากระแส I คิดได้จากกฎของโอห์มและกฎของเคอร์ชอฟฟ์

หากระแสไฟฟ้าจากกฎของเคอร์ชอฟฟ์

จะได้ $I = I_1 + I_2 + I_3$ และ จาก $I = V/R$

$I = V_1/R_1 + V_2/R_2 + V_3/R_3$;เนื่องจากเป็นวงจรความต้านทานขนานจะได้ V เท่ากันทั้ง

$$I = 15/1 + 15/2 + 15/1 = 37.5 [mA]$$

หาความต้านทานรวม

$$\begin{aligned} R_t &= (1/R_1) + (1/R_2) + (1/R_3) \\ &= (1/1000) + (1/2000) + (1/1000) \\ &= (5/2000) \\ &= 400 [\Omega] \end{aligned}$$

หาแรงดันไฟฟ้าจากกฎโอห์ม

จาก $V = IR$

$$\begin{aligned} V &= 37.5 \times 400 \\ &= 15 [V] \end{aligned}$$

วิเคราะห์ผลการทดลอง

การทดลอง1;พิสูจน์กฎกระแสไฟฟ้าของเคอร์ชอฟฟ์

เปิดสวิตช์เพื่อให้แหล่งจ่ายไฟฟ้าเข้าวงจร กระแสไฟฟ้าผ่านจุด A B และ C โดยที่แต่ละจุดจะมีการต่อความต้านทานแบบขนานกัน โดยกระแสที่ไหลเข้าจุดA เท่ากับกระแสที่ไหลออกที่จุด B และ จุด C เป็นไปตามกฎเคอร์ชอฟฟ์กระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านจุดจะมีผลลัพธ์รวมเท่ากับ 0

การทดลอง2 :กฎกระแสไฟฟ้าของเคอร์ชอฟฟ์เมื่อเกิดลัดวงจร

เปิดสวิตช์เพื่อให้แหล่งจ่ายไฟฟ้าเข้าวงจร กระแสไฟฟ้าผ่านจุด A B และ C โดยที่แต่ละจุดจะมีการต่อความต้านทานแบบขนานกัน โดยกระแสที่ไหลเข้าจุดA เท่ากับกระแสที่ไหลออกที่จุด B และ จุด C เป็นไปตามกฎเคอร์ชอฟฟ์กระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านจุดจะมีผลลัพธ์รวมเท่ากับ 0 แต่กระแสที่ I_5 จะมีกระแสไฟฟ้าไหลน้อยมากเนื่องจากเกิดลัดวงจรที่ R_4 จึงทำให้มีกระแสไฟฟ้าไหลง่ายกว่าที่จะไป R_5 จึงทำให้ I_5 มีกระแสไฟฟ้าที่มากขึ้น

การทดลองที่ 3 : พิสูจน์แรงดันไฟฟ้าของเคอร์ชอฟฟ์

จากผลการวิเคราะห์พบว่ากฎของเคอร์ชอฟฟ์สามารถนำมาคิดค่าความดันของวงจรได้โดยใช้สมการ KVL และสามารถหาค่ากระแส I ได้จากสมการ KVL โดยจากผลการทดลองและผลการคำนวณมีค่าความ คลาดเคลื่อนต่างกันเล็กน้อย

การทดลองที่ 4 : กฎแรงดันไฟฟ้าของเคอร์ชอฟฟ์เมื่อเกิดลัดวงจร

จากผลการวิเคราะห์พบว่ากฎของเคอร์ชอฟฟ์สามารถนำมาคิดค่าความดันของวงจรได้โดยใช้โดยที่กระแสไฟฟ้าที่ไหลทั้งวงจรนั้นมีค่าที่มากขึ้น เนื่องจากการลัดวงจรที่ ความต้านทาน $1[K\Omega]$ จึงให้ความต้านทานรวมมีค่าน้อยลง จึงให้มีกระแสที่มีขึ้น และแรงดันตกคร่อมความต้านทานแต่ละตัวมากขึ้น ยกเว้นตัวเกิดที่ลัดวงจร

การทดลองที่ 5 : การหาคุณลักษณะของวงจรตัวต้านทานต่อขนาน

จากการทดลองพบว่าค่าแรงดันไฟฟ้าของ V1 , V2 และ V3 มีค่าเท่ากัน แต่ค่ากระแสของแต่ละตัวมี ค่าต่างกัน เพราะกระแสจะไหลผ่านตัวต้านทานที่น้อยกว่าโดยค่ากระแส I คิดได้จากกฎของโอห์มและกฎของเคอร์ชอฟฟ์

สรุปผลการทดลอง

สรุปผลการทดลองที่ 1

จากการทดลองพบว่าการไหลของกระแสไฟฟ้า 20 mA เมื่อไหลผ่านจุด A กระแสไฟฟ้าได้มีการแยกตัวไปยังตัวต้านทานที่มีค่าต่างกัน ทำให้กระแสนั้นมีค่าต่างกันในช่วงนี้ แต่เมื่อผ่านมายังจุด B ได้มีการวัดปรากฏว่ากระแสมีค่าเท่ากับตอนที่ไหลเข้า นั้นแสดงว่ากระแสที่ไหลเข้ามีค่าเท่ากับกระแสที่ไหลออก ซึ่งตรงกับกฎกระแสไฟฟ้าของเคอร์ชอฟฟ์ที่ได้กล่าวไว้

สรุปผลการทดลองที่ 2

จากการทดลองทำเหมือนการทดลองที่หนึ่งเลยแต่ต่างกันตรงที่การทดลองนี้มีการลัดวงจรที่ R4 นั้น หมายความว่ามีความต้านทานใกล้ศูนย์ เมื่อปล่อยกระแสไฟฟ้าเข้าไปในวงจร จากการวัดค่าของ กระแสไฟฟ้าปรากฏว่าตรง I5 มีค่าเท่ากับน้อยมาก นั้นหมายความว่า จะมีกระแสไหลผ่านไหลผ่านตรง I4 เกือบทั้งหมดเลย นั้นแสดงว่า กระแสไฟฟ้าจะไหลผ่านตัวต้านทานที่มีค่าต่ำกว่าได้ดีเสมอ

สรุปผลการทดลองที่ 3

จากการทดลองพบว่าเราสามารถใช้อุปกรณ์ของเคอร์ชอฟฟ์พิสูจน์การไหลของวงจรโดยใช้สมการ KVL และสามารถหาค่ากระแสและความดันจากสมการได้โดยใช้สมการ KVL และ กฎของโอห์มเข้ามาช่วย โดยผลการทดลองได้มีความคลาดเคลื่อนจากการคำนวณเพียงเล็กน้อยซึ่งอาจเกิดจากอุปกรณ์ที่ใช้มานาน

สรุปผลการทดลองที่ 4

จากผลการทดลองพบว่าการลัดวงจรที่ ความต้านที่ $1\text{K}\Omega$ ทำให้กระแสไหลไปในทิศทางที่ลัดวงจรเมื่อเขียนสมการ KVL ของมาแล้วคำนวณก็พบว่าค่าของกระแส และ แรงดันในวงจรจากการคำนวณและการทดลองมีค่า ต่างกันเพียงเล็กน้อยซึ่ง โดยการคำนวณนั้นใช้กฎของเคอร์ชอฟฟ์ และ กฎของโอห์มเข้ามาช่วยเป็นการใช้กฎของเคอร์ชอฟฟ์แบบประยุกต์ จึงสรุปได้ว่าเมื่อเกิดการลัดวงจรสมการกฎของเคอร์ชอฟฟ์ก็ยังเป็นจริง

สรุปผลการทดลองที่ 5

จากผลการทดลองพบว่าการหาคุณลักษณะของวงจรตัวต้านทานต่อขนานโดยการต่อวงจรตามภาพ แล้ววัดค่าความต้านทานแต่ละตัวจากนั้น มาคิดค่ากระแส I จากนั้นนำค่ากระแส I ไปคำนวณหากระแส I_1, I_2, I_3 และ แรงดัน V, V_1, V_2, V_3 แต่เนื่องจากเป็นวงจรต่อขนานจึงได้ค่าความดัน V เท่ากันทั้งวงจร ของโอห์มสามารถหาค่า กระแส I_1, I_2, I_3 ได้โดยค่าที่ได้จากการทดลองและค่าจากการคำนวณใกล้เคียงกับมาก จึงสรุปได้ว่าคุณลักษณะของวงจรตัวต้านทานต่อขนานเป็นไปตามทฤษฎี