

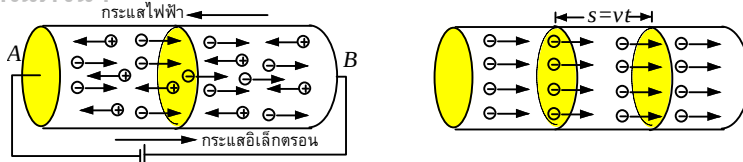
เอกสารประกอบการสอน วิชาฟิสิกส์

Student Channel

ติวเข้ม เต็มเต็มความรู้

1. สรุปสิ่งที่ควรทราบในไฟฟ้า

✍ กระแสไฟฟ้าในตัวนำ



ขนาดของกระแสไฟฟ้าในตัวนำ คือ ปริมาณประจุไฟฟ้าทั้งหมดที่เคลื่อนที่ผ่านไป ใน 1 วินาที และทิศของกระแสไฟฟ้ากำหนดให้ทิศตามการเคลื่อนที่ของประจุบวกและตรงข้ามกับการเคลื่อนที่ของประจุลบ

$$I = \frac{Q}{t}$$

หน่วยของกระแสไฟฟ้า คือ แอมแปร์ (A)

➢ ถ้ามีทั้งประจุบวก (q_+) และประจุลบ (q_-) เคลื่อนที่ ในทิศตรงกันข้าม จะทำให้ $Q = q_+ + q_-$ และทิศของกระแสไฟฟ้าจะมีทิศตามทิศการเคลื่อนที่ของประจุบวก

✍ การหาประจุไฟฟ้าที่เคลื่อนที่ผ่านตัวนำจากกราฟของกระแสไฟฟ้า

ประจุไฟฟ้า Q = พื้นที่ใต้กราฟระหว่างกระแส I กับเวลา t

✍ กระแสไฟฟ้าที่ไหลในโลหะตัวนำ

ถ้า n เป็นจำนวนอิเล็กตรอนอิสระต่อหนึ่งหน่วยปริมาตรของตัวนำ หรือ **ความหนาแน่นอิเล็กตรอนอิสระ**

e เป็นประจุไฟฟ้าของอิเล็กตรอน = $1.6 \times 10^{-19} \text{ C}$

A เป็นพื้นที่หน้าตัด

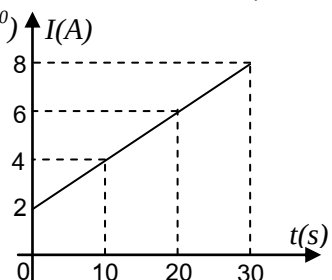
จะหากระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านโลหะ จาก

$$I = vAne$$

มาฝึกโจทย์กันหน่อย

Ex.1 ลวดโลหะเส้นหนึ่งมีพื้นที่ภาคตัดขวาง 1 ตารางมิลลิเมตร ถ้ามีกระแสไฟฟ้าจำนวนหนึ่งไหลผ่านลวดนี้ในเวลา 4 วินาที โดยขนาดความเร็วลอยเลื่อนของอิเล็กตรอนเท่ากับ 0.02 เซนติเมตร/วินาที กำหนดให้ความหนาแน่นอิเล็กตรอนอิสระของโลหะชนิดนี้เท่ากับ 1.0×10^{29} ต่อลูกบาศก์เมตร จงหาปริมาณประจุไฟฟ้าที่เคลื่อนที่ผ่านลวดเส้นนี้ในเวลาดังกล่าว

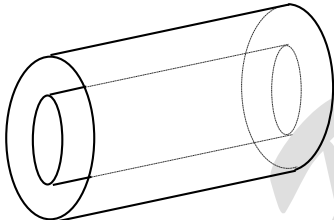
Ex.2 กระแสไฟฟ้าไหลผ่านเส้นลวดเส้นหนึ่ง เปลี่ยนแปลงไปตามเวลาดังกราฟ ในระหว่างวินาทีที่ 10 ถึง 20 จะมีประจุไฟฟ้าผ่านเส้นลวดกี่คูลอมบ์และมีจำนวนอิเล็กตรอนเคลื่อนที่ผ่านไปกี่อนุภาค ($50, 3.125 \times 10^{20}$)



Ex.3 เมื่อเริ่มเปิดไฟกระแสไฟฟ้าจะไหลตามสมการ $I = \frac{4}{5}t$ ไปจนกระทั่ง $t = 5$ วินาที แล้วจึงไหลคงที่ตลอด จงหาจำนวนอิเล็กตรอนที่ไหลผ่านตั้งแต่เริ่มต้น จนถึง $t = 10$ วินาที (1.875×10^{20})

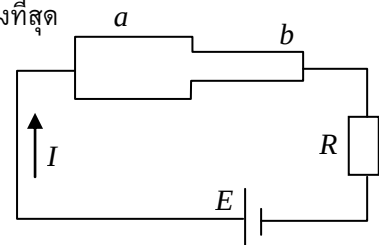
Ex.4 หลอดบรรจุก๊าซหลอดหนึ่งเมื่อทำให้ขั้วทั้งสองของหลอดมีความต่างศักย์สูงพอ ก๊าซในหลอดจะแตกตัวเป็นไอออนโดยอิเล็กตรอนจะเคลื่อนที่เข้าหาขั้วบวกจำนวน 3.1×10^{18} อนุภาค และโปรตอน (ไอออนบวก) เคลื่อนที่เข้าหาขั้วลบ 1.1×10^{18} อนุภาค โดยพื้นที่หน้าตัดของหลอดคงที่ จงหาว่าใน 1 วินาที จะมีกระแสไฟฟ้าไหลผ่านหลอดกี่แอมแปร์ (0.672)

Ex.5 รูปที่แสดง คือ ภาคตัดขวางของสายไฟฟ้าเส้นหนึ่ง ซึ่งประกอบด้วยตัวนำ 2 ชนิด วงในมีรัศมี R วงนอกมีรัศมี $2R$ ถ้าปริมาณกระแสไฟฟ้าในตัวนำทั้งสองเท่ากันและความหนาแน่นของอิเล็กตรอนอิสระในตัวนำทั้งสองเท่ากัน จงหาอัตราส่วนของความเร็วลอยเลื่อนของอิเล็กตรอนในตัวนำเส้นในต่อเส้นนอก (3/1)



Ex.6 วัสดุนำไฟฟ้าความหนาสม่ำเสมอตัดเป็นแผ่นดังรูป ปลายวัสดุด้าน a มีความกว้างเป็นสองเท่าของปลายด้าน b ปลายทั้งสองต่อกับแรงเคลื่อนไฟฟ้า E และความต้านทาน R ข้อความใดต่อไปนี้ถูกต้องที่สุด

1. กระแสด้าน a เป็นสองเท่าของด้าน b
2. กระแสด้าน b เป็นสองเท่าของด้าน a
3. ความเร็วลอยเลื่อนของอิเล็กตรอนด้าน a เป็นสองเท่าของด้าน b
4. ความเร็วลอยเลื่อนของอิเล็กตรอนด้าน b เป็นสองเท่าของด้าน a



การคำนวณหาความต้านทานที่ขึ้นรูปร่างของวัตถุ

ถ้าให้ R เป็นความต้านทานของวัตถุ

L เป็นความยาวของวัตถุ

A เป็นพื้นที่ภาคตัดขวางของตัวนำที่ตั้งฉากกับกระแส

ρ เป็นสภาพต้านทานของวัตถุ

$$R = \rho \frac{L}{A}$$

สูตรที่เกี่ยวข้องกับการคำนวณ

1. ความหนาแน่น $D = \frac{m}{V}$

2. ปริมาตร $V = A \cdot L$

3. พื้นที่วงกลม $= \pi r^2 = \frac{\pi d^2}{4}$ เมื่อ d คือเส้นผ่านศูนย์กลาง

การยืดเส้นลวดตัวนำ

เมื่อนำเส้นลวดตัวนำเส้นหนึ่งมารีดให้ยืดออก ในการคำนวณหาความต้านทานยืดหลักต่อไปนี้

1. สภาพต้านทานของลวดก่อนยืดและภายหลังยืดจะมีค่าคงเดิม เพราะเป็นเนื้อโลหะเดิม
2. ถ้ายืดโดยไม่มีการตัดเนื้อโลหะออก ปริมาตรของเส้นลวดก่อนยืดจะเท่ากับปริมาตรของเส้นลวดภายหลังการยืดเสมอ
3. ความต้านทานของเส้นลวดหลังการถูกยืดแล้ว จะมีค่ามากกว่าความต้านทานของเส้นลวดเมื่อก่อนยืด

มาฝึกโจทย์กันหน่อย

Ex.7 ลวดตัวนำเส้นหนึ่งมีขนาดไม่เท่ากันตลอดทั้งเส้น ตอนที่มืขนาด

เล็กมีพื้นที่หน้าตัด a และตอนที่มืขนาดใหญ่มีพื้นที่หน้าตัด A

ดังรูป ถ้ามีกระแสไฟฟ้าไหลผ่านลวดตอนเล็กเป็น I แอมแปร์

กระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านลวดตอนใหญ่จะเป็นกี่แอมแปร์



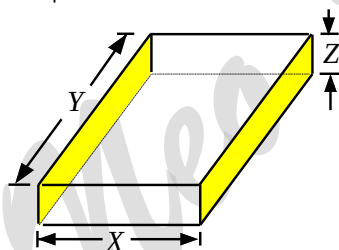
1. I

2. $\frac{Ia}{A}$

3. $\frac{IA}{a}$

4. $I\sqrt{\frac{a}{A}}$

Ex.8 วัสดุชิ้นหนึ่งมีขนาดกว้าง X ยาว Y หนา Z มีสภาพต้านทาน ρ ความต้านทานระหว่างผิวที่แรงจะมีค่าเท่าใด



1. $\frac{\rho X}{YZ}$

2. $\frac{\rho Y}{XZ}$

3. $\frac{\rho Z}{XY}$

4. $\frac{X}{\rho YZ}$

Ex.9 ลวดเส้นหนึ่งยาว 90 เมตร หนัก 270 กรัม มีความต้านทาน 9 โอห์ม ถ้าลวดนี้มีสภาพต้านทาน 30×10^{-8} โอห์ม.เมตร โลหะนี้มีความหนาแน่นเท่าใด (1,000)

Ex.10 สายไฟ 2 เส้น ทำด้วยโลหะ 2 ชนิด เส้นแรกมีสภาพต้านทานเป็น 3 เท่าของเส้นที่สอง ถ้าความยาวและความต้านทานเท่ากัน อัตราส่วนพื้นที่หน้าตัดของเส้นที่หนึ่งต่อเส้นที่สองมีค่าเท่าใด (3:1)

Ex.11 ลวดทองแดง เส้นหนึ่งยาว L มีเส้นผ่านศูนย์กลาง d และความต้านทาน R ถ้านำลวดทองแดงอีกเส้นหนึ่งยาว $2L$ ต้องการให้มีความต้านทาน R จะต้องมีความพื้นที่หน้าตัดเท่าใด $(\frac{\pi d^2}{2})$

Ex.12 ลวดโลหะ 2 ชนิด A และ B มีความต้านทานไฟฟ้าเป็น 5 และ 3 โอห์มตามลำดับ เส้นลวด A มีความยาวเป็น 2 เท่า แต่มีขนาดของพื้นที่หน้าตัดเป็นครึ่งหนึ่งของเส้นลวด B จงหาอัตราส่วนของสภาพต้านทานไฟฟ้าของโลหะ A ต่อโลหะ B

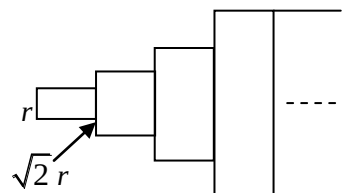
1. $\frac{5}{3}$

2. $\frac{5}{12}$

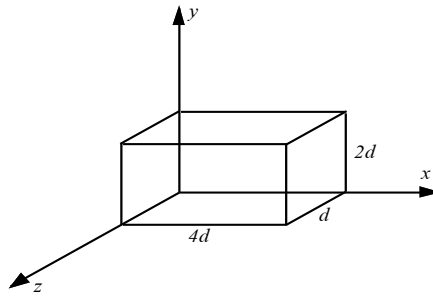
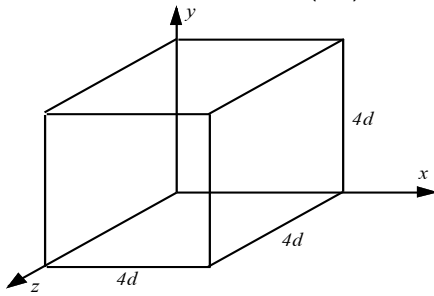
3. $\frac{3}{5}$

4. $\frac{12}{5}$

Ex.13 ความต้านทานอันหนึ่งประกอบด้วยลวดตันหลายเส้นซึ่งต่อเข้าด้วยกันดังรูป ลวดแต่ละเส้นทำด้วยทองแดงชนิดเดียวกัน และยาวเท่ากันทุกเส้น แต่มีพื้นที่หน้าตัดต่างกัน โดยเส้นที่อยู่ติดกันถัดไปทางขวานั้นโตกว่า และมีรัศมีเป็น $\sqrt{2}$ เท่าของอันซ้ายมือ (เช่นรัศมีของ A โตเท่ากับ $\sqrt{2}$ เท่าของรัศมีของ B) อยากทราบว่าความต้านทานแบบนี้ เราสร้างให้มีค่าความต้านทานสูงสุดได้เท่าใด โดยหลักการนี้ถ้าอันซ้ายมือสุดมีความต้านทานเป็น 1 โอห์ม (2)



Ex.14 ในรูปคือผลึกชนิดหนึ่ง ซึ่งมีความต้านทานเมื่อมีกระแสไฟฟ้าไหลผ่านตามแนวแกน x, y, z เท่ากับ $r, 2r, 4r$ โอห์ม ตามลำดับ ถ้าผลึกถูกตัดให้เป็นแท่งที่มีขนาด $4d \times 2d \times d$ ดังแสดงในรูป จงหาความต้านทานในรูปหลัง เมื่อมีกระแสไฟฟ้าผ่านตามแกน x ($8r$)



Ex.15 ลวดทองแดงเส้นหนึ่งยาว 2 เมตร มีพื้นที่หน้าตัด 1 ตารางมิลลิเมตร และมีสภาพต้านทาน 1.6×10^{-8} โอห์ม.เมตร ปลายทั้งสองของลวดเส้นนี้ต่ออยู่กับความต่างศักย์ 0.0512 โวลต์ จงคำนวณหาว่าในเวลา 10 วินาที จะมีอิเล็กตรอนเคลื่อนที่ผ่านลวดเส้นนี้กี่อนุภาค (10^{20})

Ex.16 ลวดซึ่งมีความต้านทาน 6 โอห์ม ถูกรีดออกให้ยาวเป็นสี่เท่าของความยาวเดิม ถ้าสภาพต้านทานและความหนาแน่นของลวดนี้มีค่าคงเดิม จงหาความต้านทานใหม่ในหน่วยโอห์ม

Ex.17 ถ้าลวดความต้านทานเส้นหนึ่งถูกยืดให้ยาวกว่าเดิม 10 % ความต้านทานของลวดเส้นนี้จะเปลี่ยนแปลงไปกี่ % (21%)

Ex.18 ลวดโลหะขนาดสม่ำเสมอ ยาว 50 เซนติเมตร วัดความต้านทานได้ 0.4 โอห์ม ถ้าลวดถูกกรีดให้เป็นเส้นเล็กลง ขนาดสม่ำเสมอ และมีความยาวเป็น 4 เท่าของความยาวเดิมแล้ว ความต้านทานไฟฟ้าของลวดโลหะเส้นเล็กจะมีค่าเท่าใด

Ex.19 ลวดทองแดงรูปทรงกระบอกเส้นหนึ่งยาว 10 ซม. ถ้านำลวดเส้นนี้มาตีจนพื้นที่หน้าตัดเป็นสี่เหลี่ยมด้านเท่าตลอดเส้น ถ้าวัดความยาวหลังตีแล้วได้ 11 ซม. อยากทราบว่าความต้านทานของลวดเส้นนี้จะเพิ่มขึ้นเป็นกี่เท่า

1. 1.25 เท่า
2. 1.21 เท่า
3. 1.15 เท่า
4. 1.10 เท่า

Ex.20 ลวดตัวนำเส้นหนึ่งมีพื้นที่หน้าตัด A ยาว L ถ้านำมารีดให้มีขนาดพื้นที่หน้าตัด $\frac{A}{2}$ ค่าความต้านทานของลวดเส้นใหม่ เมื่อเทียบกับเส้นเดิม

1. ความต้านทานเพิ่มขึ้นเป็น 4 เท่า
2. ความต้านทานลดลงเป็น 4 เท่า
3. ความต้านทานเพิ่มขึ้นเป็น 2 เท่า
4. ความต้านทานลดลงเป็น 2 เท่า

Ex.21 ลวดทองแดง หน้า 1 กิโลกรัม นำมารีดให้เส้นผ่านศูนย์กลางลดลงครึ่งหนึ่ง ความต้านทานที่ปลายทั้งสองของ ลวดทองแดงจะเพิ่มขึ้นหรือลดลงเป็นกี่เท่าของเดิม (เพิ่มขึ้น 16 เท่า)

Ex.22 แท่งโลหะรูปทรงกระบอกตันเส้นหนึ่งยาว 5 เซนติเมตร ถ้าเจาะรูตรงกลางตามความ ยาวโดยตลอด โดยให้มีเส้นผ่านศูนย์กลางของรูเป็นครึ่งหนึ่งของเส้นผ่านศูนย์กลางของแท่งโลหะ ความต้านทานของแท่งโลหะที่เจาะรูจะเป็น

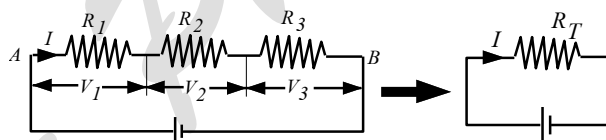
1. ลดลง 25%
2. ลดลง 50%
3. เพิ่มขึ้น 25%
4. เพิ่มขึ้น 33%

Ex.23 ลวดเส้นหนึ่งมีพื้นที่หน้าตัดเท่ากันตลอดเส้น ถูกยืดออก กให้เล็กลงแล้วตัดทิ้งบางส่วน ปรากฏว่าลวดที่เหลือมีความต้านทานเป็น 12 เท่าของเส้นเดิม และมีปริมาตรเป็น 0.75 เท่าของปริมาตรเส้นเดิม จงหาว่าลวดเส้นใหม่จะยาวเป็นกี่เท่าของเส้นเดิม (3)

Ex.24 ลวดโลหะ เส้นหนึ่งมีความต้านทาน 10 โอห์ม เมื่อนำลวดเส้นนี้มายืดออกให้ยาวขึ้นแล้วตัดออกไปบางส่วน ทำให้ปริมาตรตอนหลังเหลือเป็น 1 ใน 4 ของปริมาตรตอนแรก แต่ความยาวตอนหลังยาวเป็น 4 เท่าของความยาวเดิม จงหาความต้านทานของลวดหลังจากถูกยืดแล้ว (640)

✍ การต่อความต้านทานแบบอนุกรมและแบบขนาน

(1.) การต่อแบบอนุกรม มีหลักดังนี้



1. I เท่ากัน (กระแสไม่มีการแยกไหล)

2. V จักรวมกัน ($V_{\text{รวม}} = V_1 + V_2 + V_3 + \dots$)

สูตรหาความต้านทานรวม เมื่อต่อความต้านทานแบบอนุกรมเป็นดังนี้

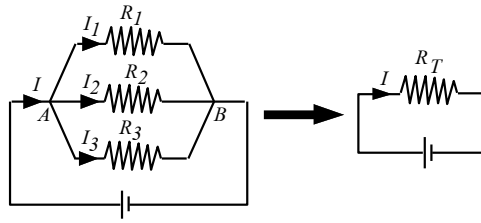
$$R_T = R_1 + R_2 + R_3 + \dots$$

☞ ถ้าแต่ละตัวมีค่าความต้านทานเท่ากันหมด เท่ากับ R และต่ออนุกรมกันอยู่ทั้งหมด n ตัว จะได้ว่า

$$R_T = nR$$

😊 การต่อความต้านทานแบบอนุกรม _____

2.) การต่อแบบขนาน มีหลักดังนี้



1. V เท่า ($V_T = V_1 = V_2 = V_3$)

2. I จับรวมกัน ($I = I_1 + I_2 + I_3$)

จะได้สูตรหาความต้านทานรวม เมื่อต่อความต้านทานแบบขนานเป็นดังนี้

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

☞ ถ้าแต่ละตัวมีความต้านทานเท่ากันหมดเท่ากับ R และต่อขนานกันอยู่ทั้งหมด n ตัว จะได้

$$R_T = \frac{R}{n}$$

☞ ถ้ามีความต้านทาน 2 ตัว คือ R_1 และ R_2 ต่อขนานกัน จะได้

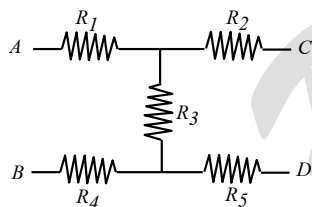
$$R_T = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2}$$

😊 การต่อแบบขนาน

การต่อความต้านทานที่ไม่มีกระแสไฟฟ้าไหลผ่านความต้านทาน

หลัก ถ้าความต้านทานตัวใดไม่มีกระแสไหลผ่าน ให้ตัดทิ้งจากวงจรได้เลย

1. ความต้านทานต่อไม่ครบวงจร



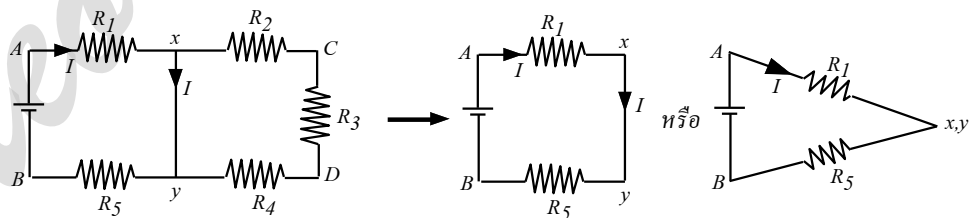
ถ้าหาความต้านทานรวมระหว่าง AB ให้ตัด R_2 และ R_5 ทิ้งได้

จะได้ $R_{AB} = R_1 + R_3 + R_4$

ถ้าหาความต้านทานรวมระหว่าง CD ให้ตัด R_1 และ R_4 ทิ้งได้

จะได้ $R_{CD} = R_2 + R_3 + R_5$

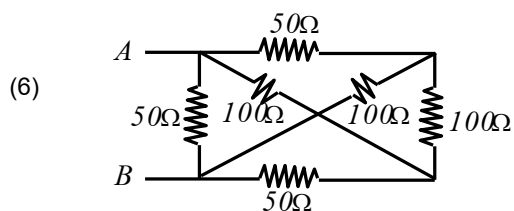
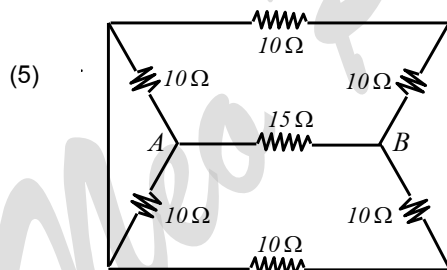
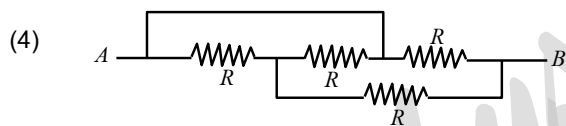
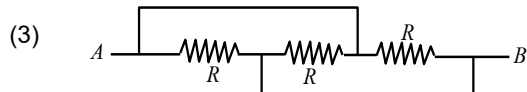
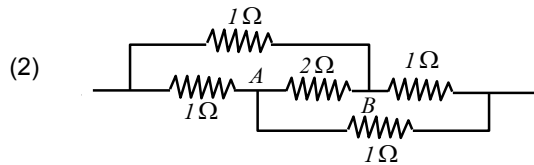
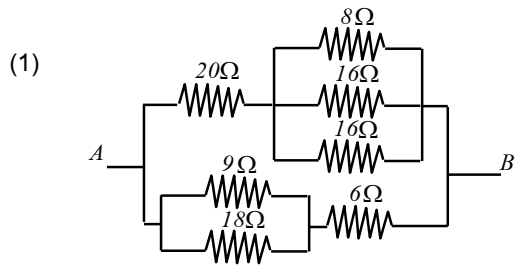
2. ความต้านทานต่อลัดวงจร คือ การนำลวดตัวนำที่ไม่มีความต้านทานมาต่อระหว่าง 2 จุดใด ๆ



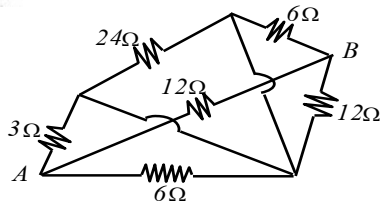
จะได้ว่า $R_{AB} = R_1 + R_5$

มาฝึกโจทย์กันต่ออีกหน่อย

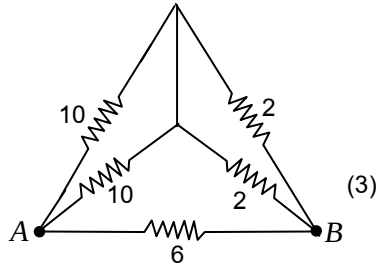
Ex.25 จงหาความต้านทานรวมระหว่างจุด A และ B จากรูปต่อไปนี้



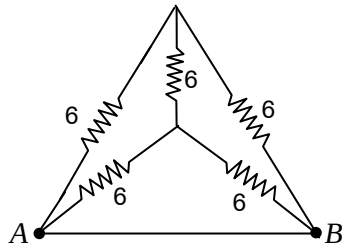
(7)



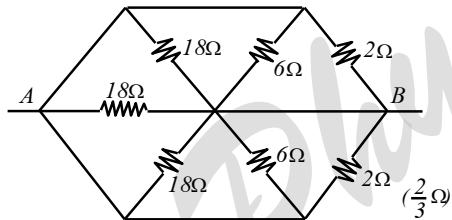
(8)



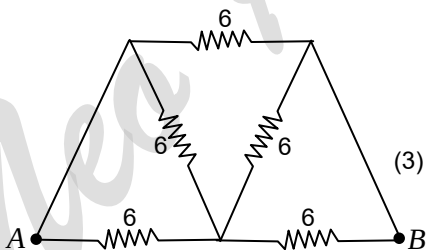
(9)



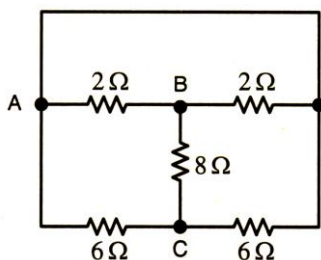
(10)



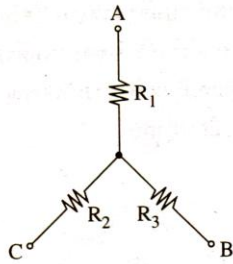
(11)



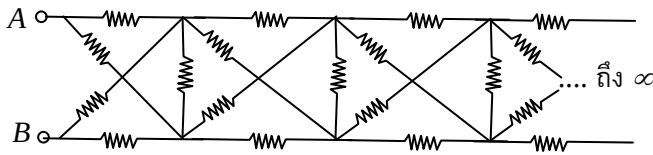
Ex.26 จงหาความต้านทานรวมระหว่างจุด A และ C



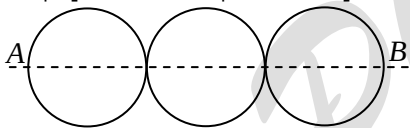
Ex.27 ตัวต้านทาน 3 ตัว R_1 , R_2 และ R_3 ต่อกันในรูปแบบวายแสดงดังรูป ถ้าวัดความต้านทานระหว่างขั้ว A และ B ได้ค่า 10 โอห์ม ถ้าวัดระหว่างขั้ว B และ C ได้ค่า 18 โอห์ม และถ้าวัดระหว่างขั้ว A และ C ได้ 16 โอห์ม ถ้านำขั้ว A และ C ต่อเข้าด้วยกัน และวัดค่าความต้านทานระหว่างขั้ว B กับขั้วที่ต่อเข้าด้วยกัน จะได้ค่าความต้านทานกี่โอห์ม



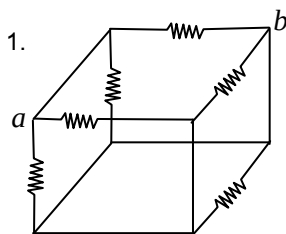
Ex.28 จงหาความต้านทานรวมระหว่าง AB ถ้าตัวต้านทานแต่ละตัวมีค่า 60 โอห์ม (60)

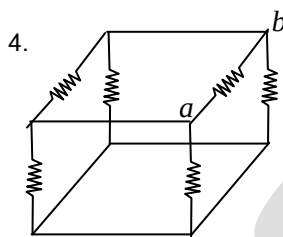
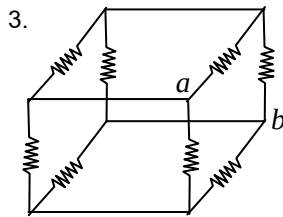
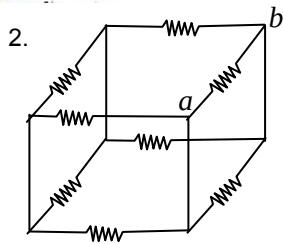


Ex.29 ลวด 3 เส้นขนาดสม่ำเสมอมีพื้นที่หน้าตัด a และมีสภาพต้านทาน ρ เท่ากัน งอเป็นวงกลมรัศมี R แล้วนำมาต่อกันโดยให้จุดศูนย์กลางของทุกวงกลม อยู่ในแนวเส้นตรงเดียวกัน ดังรูป จงหาค่าความต้านทานรวมระหว่าง AB ($3\pi\rho R/2a$)

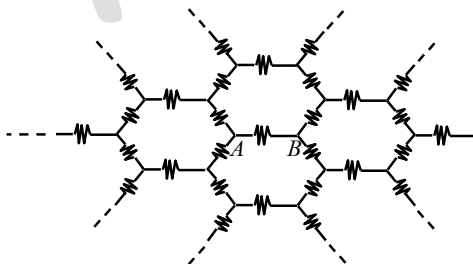


Ex.30 ความต้านทานรวมระหว่างจุด a และ b ในรูปใดที่มีความต้านทานรวมน้อยที่สุด ถ้าความต้านทานทุกตัวในรูปทุกรูปมีค่าเท่ากัน (1)

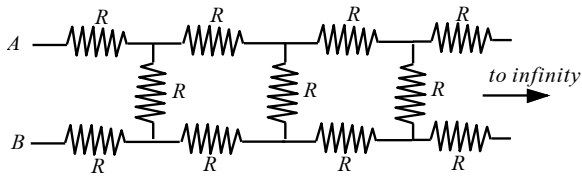




Ex.31 สำหรับวงจรโครงข่ายร่างแหซึ่งแผ่กว้างไปทุกทิศทางไม่มีสิ้นสุดในรูปต่อไปนี้ ตัวต้านทานทุกตัวมีค่าเท่ากับ R และวัดความต้านทานรวมระหว่างจุด A และ B ได้มีค่าเท่ากับ $\frac{2R}{3}$ อยากทราบว่าถ้าดึงตัวต้านทานที่เชื่อมระหว่าง A และ B ออกไป ค่าความต้านทานรวมใหม่ระหว่าง A และ B จะเป็นเท่าใด($2R$)

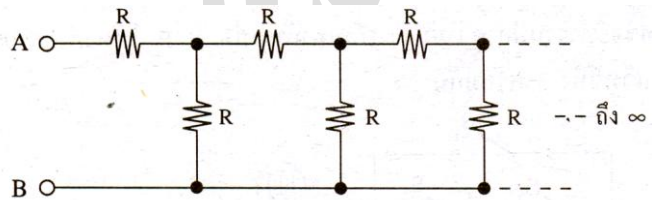


Ex.32 จงหาความต้านทานรวมระหว่าง AB

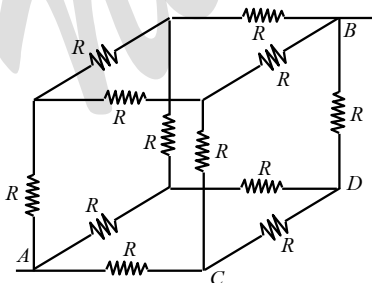


Ex.33 จงหาค่าความต้านทานที่ขั้ว AB

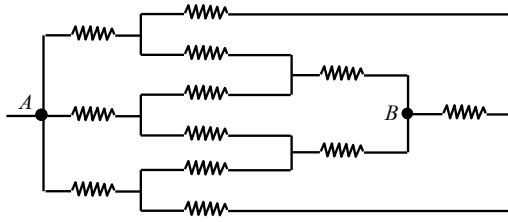
1. $\frac{3}{2}R$
2. $\frac{5}{3}R$
3. $\left(\frac{1+\sqrt{3}}{2}\right)R$
4. $\left(\frac{1+\sqrt{5}}{2}\right)R$



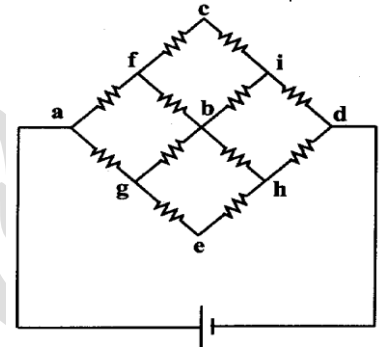
Ex.34 จงหาความต้านทานรวมระหว่าง AB



Ex.35 จงหาความต้านทานรวมระหว่างจุด A และ B เมื่อกำหนดให้ความต้านทานแต่ละตัวมีค่าเท่ากับ R



Ex.36 ตัวต้านทานทุกตัวมีความต้านทาน 2 โอห์ม และต่อกับแบตเตอรี่ 12 โวลต์ จะมีความต่างศักย์ไฟฟ้าระหว่างจุด a และ b กี่โวลต์



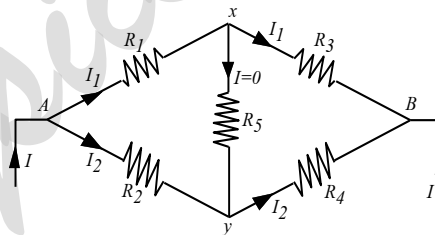
การต่อความต้านทานแบบวีตสโตน

คือการต่อความต้านทานดังรูป

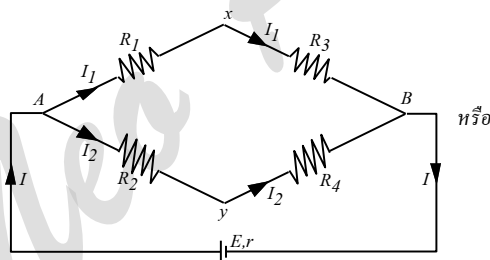
ถ้า
$$\frac{R_1}{R_2} = \frac{R_3}{R_4}$$

จะทำให้ไม่มีกระแสไฟฟ้าไหลผ่านความต้านทาน

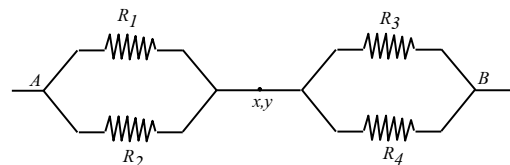
บริดจ์อยู่ในสภาวะสมดุล จึงสามารถตัดความต้านทาน R_5 ที่ไปจากวงจรไฟฟ้าได้ จะเขียนรูปใหม่ได้ดังนี้



R_5 เรียกว่า



หรือ

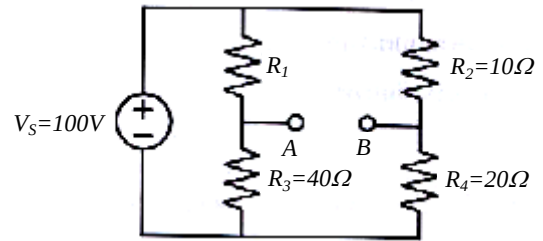


ในการหาความต้านทานรวม ก็ใช้หลักการต่อความต้านทานแบบอนุกรมและแบบขนานที่ได้ศึกษาไปแล้ว

มาฝึกโจทย์กันต่อ

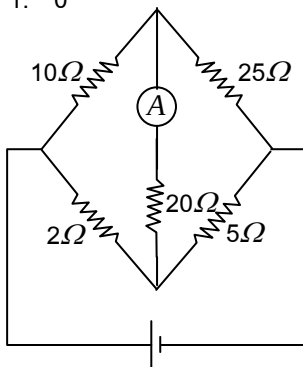
Ex.37 จากภาพวงจรไฟฟ้ากระแสตรงดังแสดงในรูปด้านล่าง จงคำนวณหาค่าความต้านทาน R_1 ว่ามีค่าเท่าไรที่ทำให้แรงดันที่จุด AB มีค่าเท่ากับศูนย์โวลต์

1. 10Ω
2. 20Ω
3. 30Ω
4. 40Ω

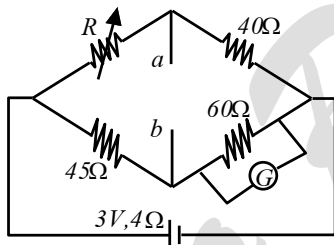


Ex.38 จากรูป แอมมิเตอร์จะอ่านค่าได้กี่แอมแปร์

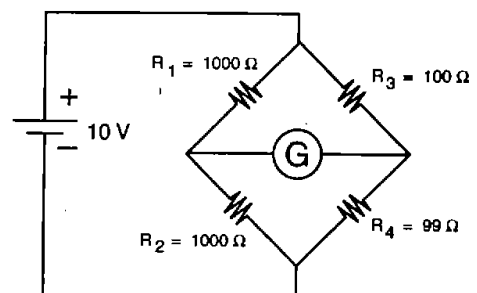
1. 0
2. 0.2
3. 1.4
4. 2.9



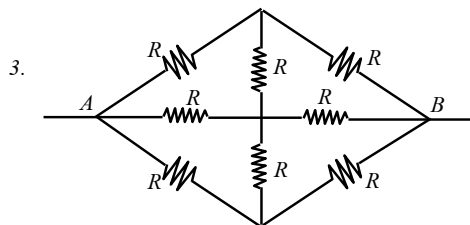
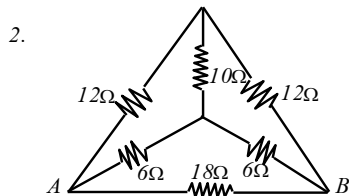
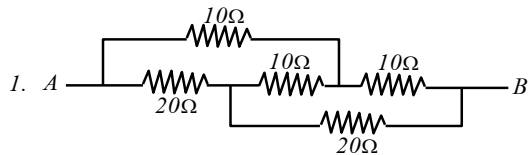
Ex.39 วงจรดังรูป เมื่อปรับค่าความต้านทาน R จนกระทั่งความต่างศักย์ระหว่าง a และ b มีค่าเป็นศูนย์ (ศักย์ไฟฟ้าที่จุด a และ b เท่ากัน) ปรากฏว่าวัดความต้านทาน R ได้ 90 โอห์ม จงหาค่าความต้านทานของกัลวานอมิเตอร์ (30)



Ex.40 จากวงจรบริดจ์กระแสตรงดังรูป ถ้าต้องการให้บริดจ์อยู่ในสภาวะสมดุล โดยการต่อความต้านทาน ที่ปรับได้ขนาด R_3 จงคำนวณหาค่าความต้านทานที่ต้องการเป็นโอห์ม



Ex.41 จงหาความต้านทานรวมระหว่างจุด A และจุด B จากรูปต่อไปนี้



วงจรไฟฟ้า

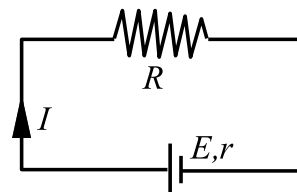
- ในขณะที่ความต้านทานยังต่อกับขั้วทั้งสองของเซลล์ไฟฟ้า จะมีกระแสไฟฟ้าไหลผ่านอยู่ในวงจร เรียกววงจรไฟฟ้า ขณะนี้ว่า **ขบจรปิด**
- ถ้าปลายหนึ่งของเส้นลวดหลุดออกจากขั้วของเซลล์ไฟฟ้า กระแสไฟฟ้าจะหยุดไหลทันที เรียกววงจรไฟฟ้าในลักษณะนี้ว่า **ขบจรเปิด**

การหากระแสไฟฟ้าที่ไหลในวงจร คำนวณจากสูตร

$$I = \frac{E}{R + r}$$

$$V_{\text{ระหว่างขั้วเซลล์}} = V_{\text{ภายนอก}} = IR$$

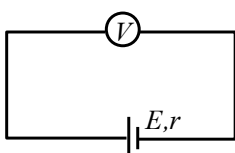
$$V_{\text{ภายในเซลล์}} = Ir$$



- แรงเคลื่อนไฟฟ้า E และความต้านทานภายในเซลล์ จะมีค่าคงที่สำหรับเซลล์นั้น ๆ เสมอ

เราจะได้ว่า แรงเคลื่อนไฟฟ้า E = ความต่างศักย์ระหว่างขั้วเซลล์ V ได้เมื่อ

1. $I \approx 0$ คือ ไม่มีกระแสไฟฟ้าไหลในวงจร หรือวงจรเปิด
- หรือ 2. $r \approx 0$ คือ ความต้านทานภายในเซลล์ไฟฟ้ามีค่าน้อยมาก



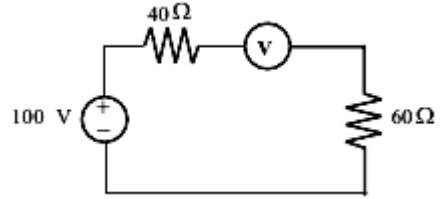
ถ้านำโวลต์มิเตอร์ที่มีความต้านทานสูงมากมา ต่อระหว่างขั้วทั้งสองของเซลล์ไฟฟ้า กระแสไฟฟ้าที่ไหลในวงจรจะน้อยมาก จะได้ว่า

ค่าที่โวลต์มิเตอร์อ่านได้ $V =$ แรงเคลื่อนไฟฟ้า E

มาฝึกโจทย์กันต่อ

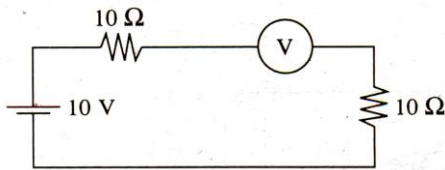
Ex.42 จากวงจรที่กำหนดให้ จงหาค่าแรงดันที่โวลต์มิเตอร์อ่านได้

1. 0 โวลต์
2. 1 โวลต์
3. 10 โวลต์
4. 100 โวลต์



Ex.43 โวลต์มิเตอร์ในรูปจะอ่านค่าได้เท่าไร

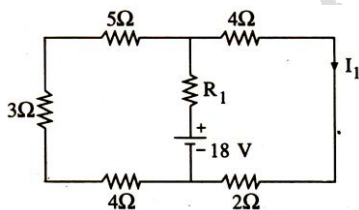
1. 0 V
2. 2.5 V
3. 5 V
4. 10 V



Ex.44 เซลล์ไฟฟ้าเซลล์หนึ่งเมื่อเอาลวดความต้านทาน 8.5 โอห์ม ต่อระหว่างขั้วทั้งสองของเซลล์ จะเกิดความต่างศักย์ไฟฟ้าที่ขั้วของเซลล์เท่ากับ 2.125 โวลต์ เมื่อทำให้วงจร เปิดความต่างศักย์ไฟฟ้าที่ขั้วของเซลล์เปลี่ยนเป็น 2.5 โวลต์ จงหาความต้านทานภายในเซลล์ (1.5)

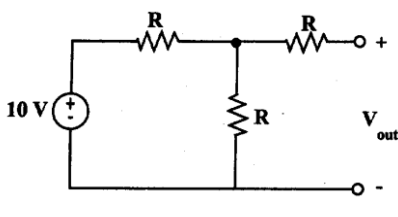
Ex.45 จากวงจรที่กำหนดให้ ถ้า I_1 มีค่า 2A R_1 จะมีค่าเท่าใด

1. 5 Ω
2. 4 Ω
3. 3 Ω
4. 2 Ω



Ex.46 จากรูป จงหาว่า V_{out} มีค่าเท่าใด

1. 10 โวลต์
2. 5 โวลต์
3. 2.5 โวลต์
4. $\frac{5R}{3}$ โวลต์



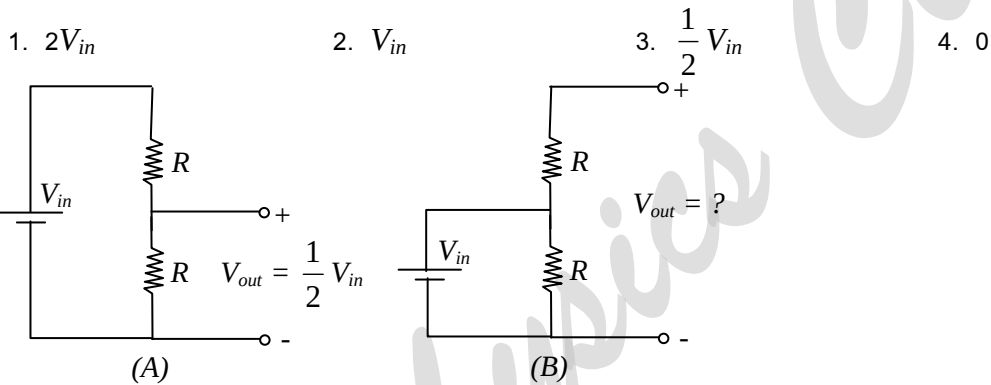
Ex.47 ในการทดลองเกี่ยวกับความต่างศักย์ไฟฟ้าระหว่างขั้วเซลล์ได้ผลดังนี้

ความต้านทาน ระหว่างขั้วเซลล์ (Ω)	ความต่างศักย์ ระหว่างขั้วเซลล์ (V)
∞ (ไม่ต่อ)	1.55
10	1.50
2	x

จงหาว่า x ควรค่าเท่าใด

1. 1.45 V
2. 1.40 V
3. 1.33 V
4. 1.23 V

Ex.48 จากวงจร (A) จะได้ $V_{out} = \frac{1}{2} V_{in}$ ตามกฎการแบ่งแรงดัน จงหา V_{out} ของวงจร (B) (2)



☞ การต่อเซลล์ไฟฟ้า

หมายถึง การนำเซลล์ไฟฟ้าหลาย ๆ อัน มาโยงต่อเข้าด้วยกันเป็นกลุ่ม แยกเป็นการต่อแบบอนุกรม แบบขนาน และแบบผสม

จะคำนวณหากระแสไฟฟ้าจากการต่อเซลล์ทุกแบบ ได้ดังนี้

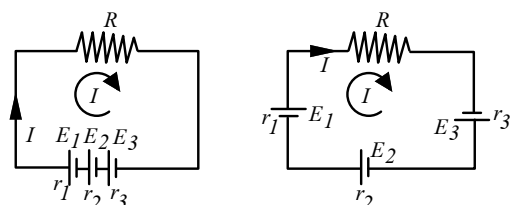
$$I = \frac{\Sigma E}{\Sigma R + \Sigma r}$$

เมื่อ ΣE = ผลรวมของแรงเคลื่อนไฟฟ้าตามชนิดของการต่อเซลล์
 ΣR = ผลรวมของความต้านทานภายนอก
 Σr = ผลรวมของความต้านทานภายใน

① การต่อเซลล์ไฟฟ้าแบบอนุกรม แบ่งเป็น 2 แบบ

1. การต่อเซลล์อนุกรมตามกัน ต่อเซลล์โดยให้ขั้วบวกของเซลล์หนึ่ง
 ต่อกับขั้วลบของอีกเซลล์หนึ่ง

จะได้ $\Sigma E = E_1 + E_2 + E_3$
 $\Sigma r = r_1 + r_2 + r_3$



2. การต่อเซลล์อนุกรมขัดกัน จะมีบางเซลล์หันขั้วเซลล์ตรงข้ามกับ

เซลล์อื่น ๆ กระแสไฟฟ้าที่ไหลในวงจรจะมีทิศตามที่ของ ΣE

$$\Sigma E = E_1 + E_2 - E_3$$

$$\Sigma r = r_1 + r_2 + r_3$$

➢ ถ้าเซลล์ที่ต่อขัดกันมีแรงเคลื่อนไฟฟ้าเท่ากันทุกตัว จำนวนเซลล์ที่ใช้ไม่ได้จะเป็น 2 เท่าของจำนวนเซลล์ที่ต่อกลับขั้ว เช่น มีเซลล์ไฟฟ้าอยู่ 5 เซลล์ ถ้าต่อกลับ ขั้วอยู่ 2 เซลล์ จำนวนเซลล์ที่ใช้ไม่ได้จะมี 4 เซลล์ ดังนั้นจะเหลือเซลล์ที่จ่ายกระแสไฟฟ้าออกมาได้แค่ 1 เซลล์ เท่านั้น

สรุปได้ว่า ถ้ามีเซลล์เหมือนกัน n เซลล์ ต่อกลับขั้วอยู่ x เซลล์ จะได้แรงเคลื่อนไฟฟ้ารวมเป็นดังนี้

$$\Sigma E = (n - 2x)E$$

➢ การต่อเซลล์อนุกรมไม่ว่าจะต่อเซลล์ตามกัน หรือขัดกัน ความต้านทานรวมทั้งวงจรจะมีค่าคงที่เสมอ

2 การต่อเซลล์ไฟฟ้าแบบขนาน

การต่อเซลล์ไฟฟ้าแบบขนานเป็นการต่อเซลล์หลายแถว โดยขั้วบวกรวมกันอยู่ที่จุดหนึ่ง และขั้วลบรวมกันอยู่ที่อีกจุดหนึ่ง

➢ เซลล์ทุกเซลล์ที่นำมาต่อแบบขนานจะต้องมีแรงเคลื่อนไฟฟ้าเท่ากัน ส่วนความต้านทานภายในของเซลล์จะมีค่าเท่ากันหรือไม่ก็ได้

จะได้ว่า $\Sigma E = E$ ของ 1 เซลล์เท่านั้น

$$\Sigma r = r_1 // r_2 // r_3$$

3 การต่อเซลล์ไฟฟ้าแบบผสม

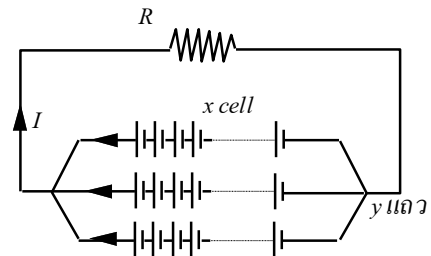
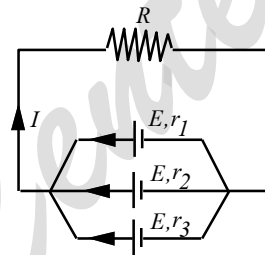
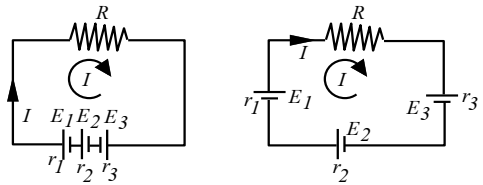
เป็นการต่อเซลล์หลายแถวขนานกัน และในแถวหนึ่งมีหลายเซลล์ต่อกันอย่างอนุกรม กระแสไฟฟ้าจะไหลออกมาจากแต่ละแถวแล้วรวมกันไหลผ่านความต้านทานภายนอก

➢ แต่ละแถวต้องมีแรงเคลื่อนไฟฟ้าเท่ากัน โดยที่จำนวนเซลล์ในแต่ละแถวไม่จำเป็นต้องเท่ากัน

➢ ความต้านทานภายในรวมกันของแต่ละแถวจะมีค่าเท่ากันหรือไม่ก็ได้

จะได้ว่า $\Sigma E = E$ ของ 1 แถว

Σr หาได้จากรวมความต้านทานภายในของแต่ละแถวก่อน แล้วนำมาขนานกันทุกแถว

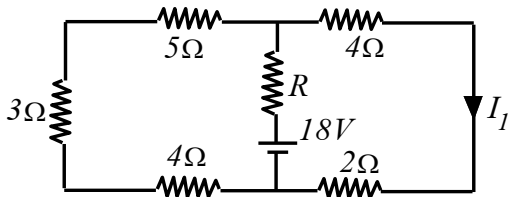


มาฝึกโจทย์กันต่อ

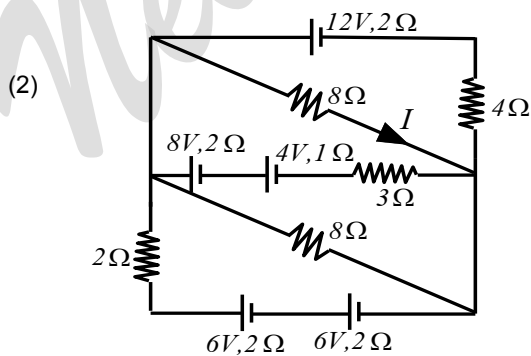
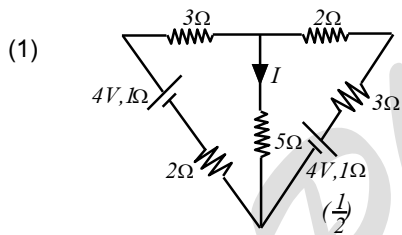
Ex.49 เซลล์ไฟฟ้าจำนวนหนึ่งมี 100 เซลล์ ต่ออนุกรมแล้วต่อเป็นวงจรกับความต้านทานค่าหนึ่ง ปรากฏว่ามีกระแสไฟฟ้า ผ่านความต้านทานเพียง 4 แอมแปร์ สงสัยว่ามีบางเซลล์ต่อกลับขั้ว จึงเอาเซลล์จำนวนนั้นต่อกลับขั้วอีก 10 เซลล์ แล้วต่อกับความต้านทานเดิมคราวนี้กระแสไฟฟ้าไหลเพียง 3 แอมแปร์ จงหาว่าตอนแรกเซลล์ไฟฟ้าต่อผิดไว้กี่เซลล์ (10)

Ex.50 เซลล์ไฟฟ้าขนาด 2 โวลต์ ความต้านทานภายใน 1 โอห์ม จำนวน 10 เซลล์ เมื่อต่อเซลล์ไฟฟ้าทั้งหมดแบบขนานแล้วต่อเข้ากับ ความต้านทาน 4.9 โอห์ม จะเกิดกระแสไหลเท่ากับเมื่อนำเซลล์ไฟฟ้าทั้งหมด ต่อกันแบบอนุกรมแล้วต่อเข้ากับ ความต้านทาน 10 โอห์ม จงหาว่าในขณะที่เซลล์ต่อกันแบบอนุกรมอยู่นั้น มีเซลล์ไฟฟ้ากี่เซลล์ที่ต่อกลับขั้ว

Ex.51 จากวงจรที่กำหนดให้ ถ้า I_1 มีค่า 2 A จงหาค่าของ R (2)



Ex.52 จากวงจรที่กำหนดให้ จงหาค่ากระแสไฟฟ้า I

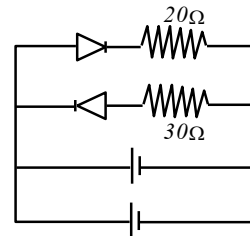


Ex.53 เซลล์ไฟฟ้า 2 เซลล์ต่างก็มีแรงเคลื่อนไฟฟ้า E โวลต์ และมีความต้านทานภายใน r โอห์ม เหมือนกัน เมื่อนำเซลล์ทั้งสองไปต่อกับตัวต้านทานภายนอกขนาด R โอห์ม พบว่าไม่ว่าจะต่อเซลล์แบบอนุกรมหรือแบบขนาน ก็จะได้กระแสผ่าน R เท่ากัน จงหาว่าความต้านทานภายใน r ต้องมีค่าเป็นกี่เท่าของ R

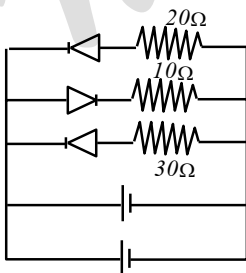
1. 1.0 2. 0.5 3. 0.25 4. 0.12

Ex.54 เซลล์ไฟฟ้า 4 ตัว ต่างมีแรงเคลื่อนไฟฟ้า E โวลต์ และมีความต้านทานภายใน r โอห์ม เท่ากัน นำเซลล์ไฟฟ้านี้ไปต่อกับเป็นวงจรกับความต้านทานภายนอก R พบว่าเมื่อต่อเซลล์ไฟฟ้าอย่างขนานจะให้กระแสไฟฟ้าผ่านความต้านทาน R เป็น 1.5 เท่า ของกระแสไฟฟ้าเมื่อต่อเซลล์อย่างอนุกรม ความต้านทานภายใน r มีค่ากี่โอห์ม ($2R$)

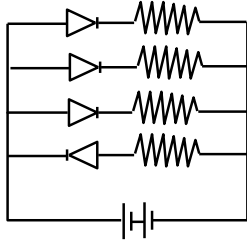
Ex.55 ความต้านทาน 20 และ 30 โอห์ม กับเซลล์ไฟฟ้าสองตัวที่มีแรงเคลื่อนไฟฟ้า 12 โวลต์ และมีความต้านทานภายใน 10 โอห์ม เท่ากัน ต่อเป็นวงจรดังรูป กระแสที่ไหลผ่านความต้านทาน 20 โอห์มมีค่ากี่แอมแปร์ (0.48)



Ex.56 จากวงจรไฟฟ้าในรูป ความต้านทาน 10, 20 และ 30 โอห์ม ต่อกับเซลล์ไฟฟ้า 2 ตัว ที่มีแรงเคลื่อนไฟฟ้า 12 โวลต์ และมีความต้านทานภายใน 5 โอห์ม เท่ากัน จงหาว่ากระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านความต้านทาน 10 Ω มีค่าเท่าใด (0.96)

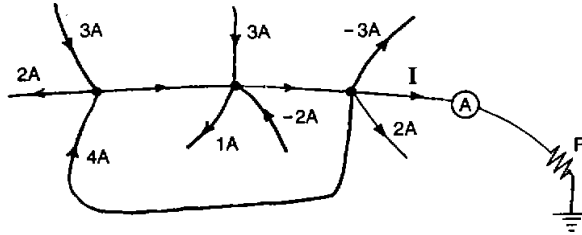


Ex.57 ตัวต้านทานสี่ตัวมีค่าความต้านทานแต่ละตัว 30 โอห์ม ต่อเป็นวงจรกับไดโอดสี่ตัว และเซลล์ไฟฟ้าสองตัวดังรูป ถ้าเซลล์ไฟฟ้าแต่ละตัวมีแรงเคลื่อนไฟฟ้า 6 โวลต์ และไม่มีความต้านทานภายใน กระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านเซลล์จะมีค่าเท่าใด (1.2)

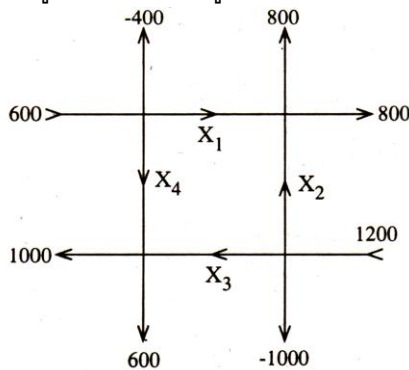


Ex.58 แอมมิเตอร์ (A) อ่านค่าได้เท่าใด

1. -2 A
2. 0 A
3. 2 A
4. 5 A



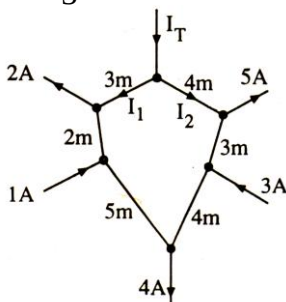
Ex.59 ถ้าถนนมีเส้นทางรถเข้าและออกตามลูกศร (รถเดินทางเดียวตามลูกศร) โดยมีปริมาณรถเข้าและออกเป็นตัวเลขที่ให้ไว้ ดังรูป ข้อใดต่อไปนี้ถูกต้อง



1. ถ้าปริมาณรถในเส้นทาง $X_1 = 100$ คัน ปริมาณรถในเส้นทาง X_4 จะมากที่สุด
2. ถ้าปริมาณรถในเส้นทาง $X_1 = 300$ คัน ปริมาณรถในเส้นทาง X_3 จะน้อยที่สุด
3. ถ้าปริมาณรถในเส้นทาง $X_1 = 100$ คัน ปริมาณรถในเส้นทาง X_3 จะน้อยที่สุด
4. ถ้าปริมาณรถในเส้นทาง $X_1 = 300$ คัน ปริมาณรถในเส้นทาง X_4 จะมากที่สุด

Ex.60 จากรูป ให้หากระแส I_1 และ I_2 ในหน่วย Ampere ตามลำดับ

1. $\frac{4}{3}$, 1
2. 1 , $\frac{4}{3}$
3. $\frac{3}{4}$, $\frac{2}{3}$
4. $\frac{4}{3}$, $\frac{2}{3}$



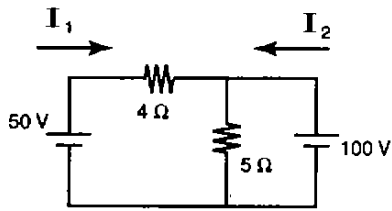
Ex.61 วงจรไฟฟ้าดังรูป จงคำนวณหาค่ากระแส I_2

1. 10 A

2. 12.5 A

3. 20 A

4. 37.5 A



Ex.62 จากระบบวงจรไฟฟ้าที่กำหนดให้

เมื่อความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันและกระแสไฟฟ้าของวงจรเป็น

$$\begin{bmatrix} V_S \\ V_R \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} A & B \\ C & D \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_S \\ I_R \end{bmatrix}$$

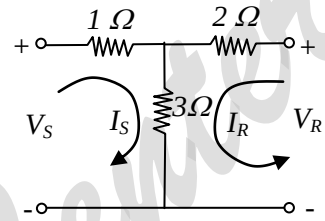
จงหาค่าที่ A , B , C และ D ตามลำดับ

1. 4, 3, 3, 5

2. 4, -3, 3, 5

3. 4, 3, -3, 5

4. 3, -3, 4, 5



Ex.63 ถ้ากำหนดวงจรเป็นดังรูป และกำหนดให้

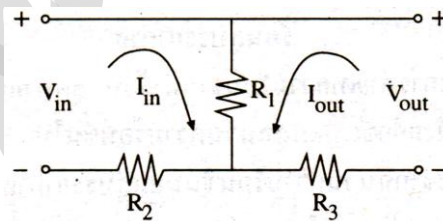
$$\begin{bmatrix} V_{in} \\ V_{out} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_{in} \\ I_{out} \end{bmatrix}$$

จงหา R_1 , R_2 และ R_3 เป็นเท่าใด

1. $R_1 = 1$, $R_2 = 2$, $R_3 = 0$ 2. $R_1 = 1$, $R_2 = 0$, $R_3 = 2$

3. $R_1 = 0$, $R_2 = 1$, $R_3 = 2$

4. $R_1 = 2$, $R_2 = 1$, $R_3 = 0$



Ex.64 นำเซลล์ไฟฟ้า 2 ก้อน มีแรงเคลื่อนไฟฟ้าก้อนละ 1.5 โวลต์ ไม่มีความต้านทานภายใน มาต่ออนุกรม และทั้งหมดต่ออนุกรมกับ หลอดไฟฉายที่มีอักษรเขียนกำกับไว้ว่า 2V 1W ขณะที่หลอดไฟฉายยังไม่ขาด กระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านหลอดไฟเท่ากับ กี่แอมแปร์

1. 0.5

2. 0.75

3. 1.0

4. 2.0

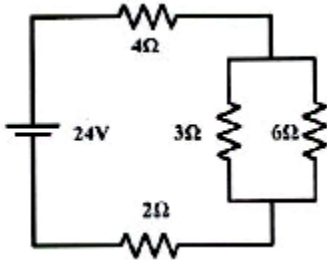
Ex.65 จงหาค่ากำลังไฟฟ้าสูญเสียไปในตัวต้านทาน 3 โอห์ม

1. 3 วัตต์

2. 6 วัตต์

3. 12 วัตต์

4. 24 วัตต์



Ex.66 ในการต้มน้ำในกาอลูมิเนียม น้ำมีปริมาตร 1 ลิตร กา น้ำมีมวล 0.5 กิโลกรัม และไม่ปิดฝา ถ้าใช้เตาไฟฟ้าซึ่งให้ความร้อนแก่กา น้ำได้ 60% ปรากฏว่าหลังจากต้มน้ำอยู่นาน 5 นาที น้ำซึ่งเดิมมีอุณหภูมิ 30°C จะเดือดและเหลือน้ำอยู่ในกา น้ำ 0.8 ลิตร จงหาว่าเตาไฟฟ้ามีกำลังเท่าใด กำหนดความจุความร้อนจำเพาะของอลูมิเนียมเป็น $0.9 \times 10^3 \text{ J/Kg.K}$ และความร้อนแฝงจำเพาะของการกลายเป็นไอของน้ำเป็น $2200 \times 10^3 \text{ J/Kg}$ (4252.78 W)

Ex.67 เต้าไฟฟ้าขนาด 1200 วัตต์ เต้าอบไมโครเวฟขนาด 900 วัตต์ และหม้อหุงข้าวไฟฟ้าขนาด 600 วัตต์ ถ้าใช้ทั้งสามเครื่องกับไฟฟ้า 220 โวลต์ พร้อมกันจะใช้กระแสไฟฟ้าเท่าใด

1. 8 A

2. 10 A

3. 12 A

4. 15 A

Ex.68 เต้าปิ้งขนมปังอันหนึ่งใช้พลังงานไฟฟ้า 800 วัตต์ เมื่อใช้กับไฟฟ้า 200 โวลต์ ขดลวดความร้อนทำด้วยลวดนิโครม มีพื้นที่หน้าตัด 0.2 ตารางมิลลิเมตร และมีสภาพต้านทานไฟฟ้า 1×10^{-6} โอห์มเมตร จงหาว่าต้องใช้ลวดนิโครมยาวกี่เมตร

1. 10 เมตร

2. 5 เมตร

3. 1 เมตร

4. 0.1 เมตร

Ex.69 กาต้มน้ำไฟฟ้าใบหนึ่งใช้กับความต่างศักย์ไฟฟ้า 220 V เพื่อใช้ต้มน้ำ 100 cc. ให้เดือดในเวลา 3 นาที อยากทราบว่าถ้าใช้กาต้มน้ำใบนี้กับความต่างศักย์ 110 V ในการต้มน้ำปริมาณเท่าเดิม น้ำจะเดือดภายในเวลากี่นาที (12)

Ex.70 ตัวทำความร้อนสองอัน ทำให้น้ำเดือดภายในเวลา t_1 และ t_2 วินาที ตามลำดับ ถ้านำตัวทำความร้อนทั้งสองอันนี้มา ต่ออนุกรมกัน จะทำให้น้ำปริมาณเดิมเดือดภายในเวลาเท่าใด ($t_1 + t_2$)

Ex.71 ตัวทำความร้อนสองอัน ทำให้น้ำเดือดภายในเวลา t_1 และ t_2 วินาที ตามลำดับ ถ้านำตัวทำความร้อนทั้งสองอันนี้มาต่อขนานกัน จะทำให้น้ำปริมาณเดิมเดือดภายในเวลาเท่าใด ($\frac{t_1 t_2}{t_1 + t_2}$)

Ex.72 เมื่อต่อความต่าง ศักย์ไฟฟ้าให้กับหลอดความร้อนเส้นหนึ่ง เพื่อใช้ความร้อนที่เกิดขึ้นในการต้มน้ำ ปรากฏว่าน้ำเดือดในเวลา 5 นาที ถ้าตัดหลอดเส้นเดิมให้เหลือเพียงครึ่งหนึ่ง (ถ้าทำได้) และนำไปต่อกับความต่างศักย์ไฟฟ้าเท่าเดิม เมื่อต้มน้ำในภาชนะเดิม ปริมาณเท่าเดิม จะได้ผลอย่างไร (1)

1. น้ำเดือดเร็วขึ้น แต่เสียค่าไฟฟ้าเท่าเดิม
2. น้ำเดือดเร็วขึ้น แต่เสียค่าไฟฟ้าเพิ่มขึ้น
3. น้ำเดือดช้าลง แต่เสียค่าไฟเท่าเดิม
4. น้ำเดือดช้าลง แต่เสียค่าไฟลดลง

Ex.73 บ้านหลังหนึ่งใช้ไฟฟ้าที่มีความต่างศักย์ 220 โวลต์ ถ้าใช้เครื่องใช้ไฟฟ้าดังต่อไปนี้ หม้อ อุ่นข้าวขนาด 600 วัตต์ ใช้งานวันละ 30 นาที เครื่องปรับอากาศขนาด 2000 วัตต์ เปิดใช้งานวันละ 12 ชม. สมมุติว่าคอมเพรสเซอร์ทำงานวันละ 4 ชม. และหลอดไส้ขนาด 100 วัตต์ 2 ดวง เปิดใช้งานวันละ 2 ชม. จงหาพลังงานไฟฟ้าที่บ้านหลังนี้ใช้ใน 1 เดือน

1. 741 กิโลวัตต์ชั่วโมง
2. 261 หน่วย
3. 741 จูล
4. 261 จูล

Ex.74 เครื่องกำเนิดไฟฟ้าสามารถส่งกำลังไฟฟ้าได้ 110 กิโลวัตต์ หากกำหนดให้เครื่องกำเนิดไฟฟ้าเครื่องนี้ส่งกำลังไฟฟ้าด้วยความต่างศักย์ 220 โวลต์ ผ่านสายไฟฟ้าที่มีความยาว 200 เมตร เป็นเวลานาน 50 วินาที โดยที่สายไฟฟ้ามามีค่าความต้านทานเท่ากับ 0.2 โอห์มต่อกิโลเมตร จงคำนวณหาค่าพลังงานความร้อนที่สูญเสียในสายไฟฟ้า

1. 500 กิโลจูล
2. 800 กิโลจูล
3. 2500 กิโลจูล
4. 8000 กิโลจูล