

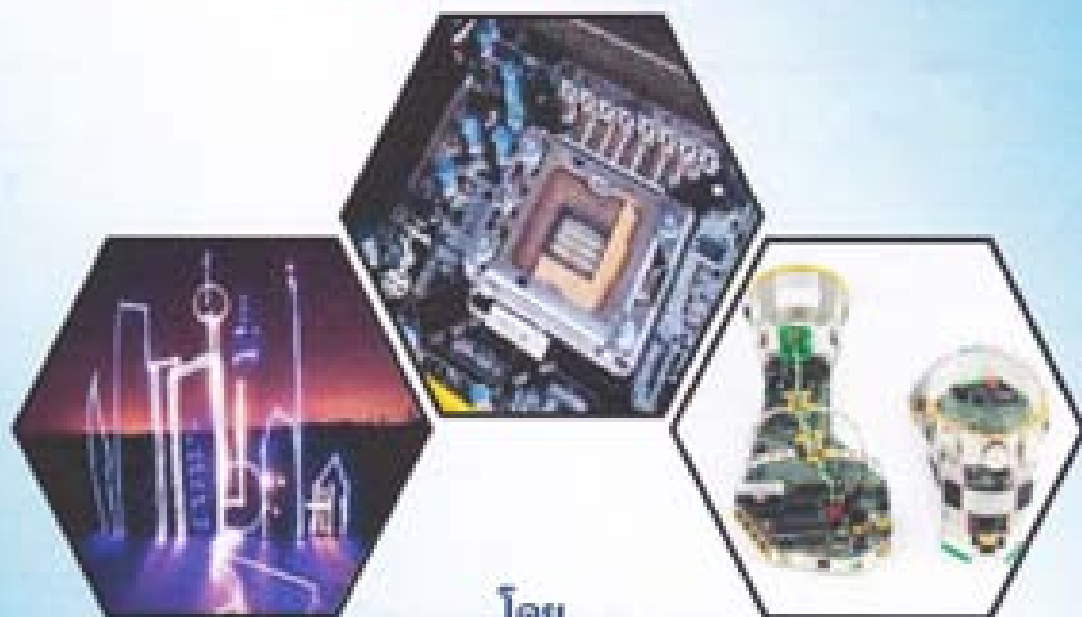
ชุดการเรียนรู้ตามกระบวนการสืบเสาะหาความรู้ 7E

เรื่อง ไฟฟ้ากระแส รายวิชาเพิ่มเติมฟิสิกส์

กลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 6

ชุดที่ 5

การต่อตัวต้านทาน



โดย

นางอมรรัตน์ นามสอน

ครู วิทยาศาสตร์ชำนาญการ

โรงเรียนก้าเพิ่มพิทยา อำเภอภูพาน จังหวัดสกลนคร

สำนักงานเขตพื้นที่การศึกษามัธยมศึกษาสกลนคร เขต 23

สำนักงานคณะกรรมการการศึกษาขั้นพื้นฐาน

กระทรวงศึกษาธิการ

สาระและมาตรฐานการเรียนรู้ ชุดการเรียนรู้ตามกระบวนการสืบเสาะหาความรู้ 7E

หน่วยการเรียนรู้ ไฟฟ้ากระแส ชุดที่ 5 เรื่อง การต่อความต้านทาน

สาระที่ 5 : พลังงาน

มาตรฐาน ว 5.1 เข้าใจความสัมพันธ์ระหว่างพลังงานกับการดำรงชีวิต การเปลี่ยนรูปพลังงาน ปฏิสัมพันธ์ระหว่างสารและพลังงาน ผลของการใช้พลังงานต่อชีวิตและสิ่งแวดล้อม มีกระบวนการสืบเสาะหาความรู้ สื่อสารสิ่งที่เรียนรู้และนำความรู้ไปใช้ประโยชน์

ผลการเรียนรู้



วิเคราะห์และหาปริมาณทางไฟฟ้าในวงจรไฟฟ้ากระแสตรงอย่างง่าย

จุดประสงค์การเรียนรู้



1. ทำการทดลองและตรวจสอบปริมาณทางไฟฟ้า จากการต่อความต้านทานแบบอนุกรมและแบบขนานได้
2. อธิบายปริมาณทางไฟฟ้าซึ่งเกิดจากการต่อความต้านทานแบบอนุกรมได้
3. อธิบายปริมาณทางไฟฟ้าซึ่งเกิดจากการต่อความต้านทานแบบขนานได้
4. เปรียบเทียบปริมาณทางไฟฟ้าซึ่งเกิดจากการต่อความต้านทานแบบอนุกรมและแบบขนานได้
5. บอกประโยชน์ของการต่อความต้านทานแบบอนุกรมและแบบขนานได้

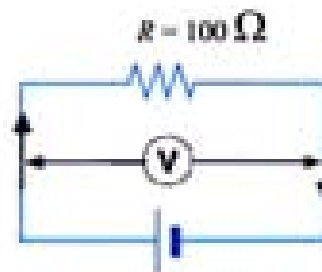


แบบทดสอบก่อนเรียน

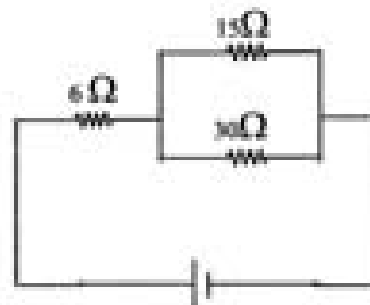
ชุดที่ 5 การต่อความต้านทาน

- คำชี้แจง 1. แบบประเมินตนเองทางการเรียนรู้อัตโนมัติ 10 ข้อ ใช้เวลา 20 นาที
2. ให้ผู้เรียนเลือกคำตอบที่ถูกต้องเพียงข้อเดียว

- ตัวต้านทานมีหน้าที่อย่างไรในวงจรไฟฟ้า
 - ปรับค่ากระแสไฟฟ้าให้คงที่
 - ควบคุมการไหลของกระแสไฟฟ้า
 - ควบคุมการทำงานของเครื่องใช้ไฟฟ้า
 - ด้านการเคลื่อนที่ของกระแสไฟฟ้า
- ในวงจรกระแสตรงดังรูป ถ้าโวลต์มิเตอร์ V อ่านค่าความต่างศักย์ได้ 200 โวลต์ จงหากระแสไฟฟ้าที่ผ่านตัวต้านทาน R
 - 0.70 แอมแปร์
 - 1.41 แอมแปร์
 - 2.0 แอมแปร์
 - 2.8 แอมแปร์

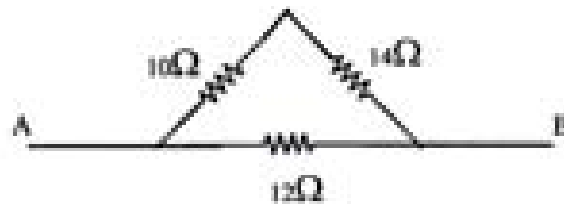


- ความต้านทานชุดหนึ่งต่อกันในวงจรที่มีกระแสผ่าน ดังรูป ถ้าความต่างศักย์ไฟฟ้าของตัวต้านทาน 6 โอห์ม เท่ากับ 12 โวลต์ จงหาความต่างศักย์ไฟฟ้าคร่อมตัวต้านทาน 15 โอห์ม
 - 20 โวลต์
 - 36 โวลต์
 - 48 โวลต์
 - 60 โวลต์



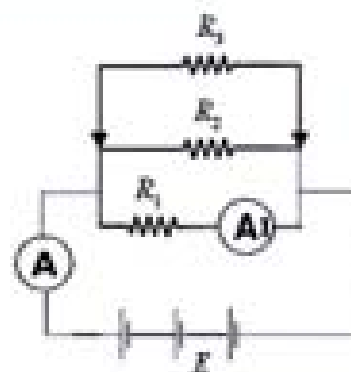
4. ในวงจรที่แสดง จงหาความต้านทานรวมที่ผ่าน จุด A,B

- ก. 0.6 โอห์ม
- ข. 1.2 โอห์ม
- ค. 1.4 โอห์ม
- ง. 1.5 โอห์ม



5. ในการทดลอง วัดกระแสไฟฟ้าและความต่างศักย์ระหว่างปลายของลวดตัวนำที่ต่อกันแบบขนานดังรูป ถ้า E เป็นแหล่งกำเนิดแรงเคลื่อนไฟฟ้าที่มีค่าคงที่ เมื่อนำตัวนำที่ R_1 มาต่อเพิ่มในวงจร ตามรูป ค่ากระแสที่แอมมิเตอร์อ่านได้ใหม่เป็นดังนี้

- ก. A เพิ่มขึ้น A_1 เพิ่มขึ้น
- ข. A ลดลง A_1 คงที่
- ค. A เพิ่มขึ้น A_1 คงที่
- ง. A ลดลง A_1 ลดลง



6. ข้อใดกล่าวถูกต้อง

- ก. การต่อตัวนำขนานแบบอนุกรม ความต้านทานรวมมีค่าน้อย
- ข. การต่อตัวนำขนานแบบขนาน ทำให้มีความต้านทานสูง
- ค. แอมมิเตอร์ที่ดี ควรมีความต้านทานสูง
- ง. โวลต์มิเตอร์ที่ดี ควรมีความต้านทานสูง

7. การต่อหลอดไฟมีไส้รวมค่า 10 W 3 หลอด แบบใดที่ไส้แสงสว่างมากที่สุดเพราะเหตุใด

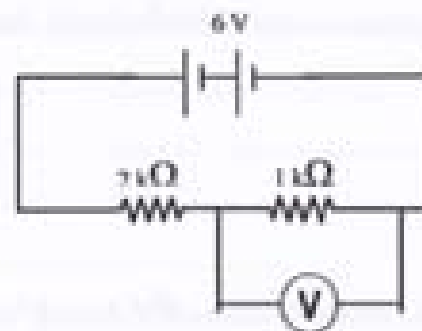
- ก. แบบขนาน เพราะมีความต้านทานรวมน้อย
- ข. แบบขนาน เพราะมีความต้านทานรวมมาก
- ค. แบบอนุกรม เพราะมีความต้านทานรวมน้อย
- ง. แบบอนุกรม เพราะมีความต้านทานรวมมาก

8. ข้อใดกล่าวถูกต้องเกี่ยวกับการต่อต้านทานแบบอนุกรม

- ก. ความต้านทานรวมมีค่าคงตัวไม่ขึ้นกับปัจจัยใด
- ข. กระแสไฟฟ้ารวมเท่ากับผลรวมของกระแสไฟฟ้าที่ผ่านตัวต้านทานแต่ละตัวรวมกัน
- ค. ความต่างศักย์ไฟฟ้าที่ผ่านตัวต้านทานทุกตัวในวงจรเท่ากัน
- ง. กระแสไฟฟ้าที่ผ่านตัวต้านทานทุกตัวในวงจรเท่ากัน

9. วัตต์มิเตอร์ V มีความต้านทาน 1.0 กิโลโห์ม ต่ออยู่ในวงจรที่มีเซลล์ไฟฟ้า 6.0 โวลต์ (ไม่มีความต้านทานภายใน) และตัวต้านทานขนาด 2.0 กิโลโห์ม และ 1.0 กิโลโห์ม ดังรูป วัตต์มิเตอร์จะอ่านค่าได้

- ก. 0.6 โวลต์
- ข. 1.2 โวลต์
- ค. 1.8 โวลต์
- ง. 2.0 โวลต์



10. ตัวต้านทาน 3 ตัว มีความต้านทาน 40 โอห์ม 70 โอห์ม และ 80 โอห์ม ตามลำดับ นำมาต่อกับแบบอนุกรมและต่อกับแบตเตอรี่ 12 โวลต์ จะมีกระแสไฟฟ้าไหลแบบใดเท่าใด

- ก. 0.063 แอมแปร์
- ข. 0.63 แอมแปร์
- ค. 1.60 แอมแปร์
- ง. 1.93 แอมแปร์



ชุดที่

5

การต่อความต้านทาน

(เวลา 4 ชั่วโมง)

ส่วนประกอบ มีดังนี้

- 1 • บัตรคำสั่ง ชุดที่ 5
- 2 • บัตรกิจกรรม ชุดที่ 5
- 3 • บัตรเฉลยกิจกรรม ชุดที่ 5
- 4 • บัตรเนื้อหา ชุดที่ 5
- 5 • บัตรฝึกเสริมทักษะ ชุดที่ 5
- 6 • เฉลยบัตรฝึกเสริมทักษะ ชุดที่ 5

บัตรคำสั่ง

คำชี้แจง ให้ผู้เรียนแต่ละกลุ่มปฏิบัติตามขั้นตอนต่อไปนี้

1. ปฏิบัติกิจกรรมตามบัตรกิจกรรม ชุดที่ 5



2. ตรวจสอบงานกับบัตรเฉลยกิจกรรม ชุดที่ 5



3. ศึกษาบัตรเนื้อหา ชุดที่ 5



4. ทำบัตรฝึกเสริมทักษะ ชุดที่ 5



5. ตรวจสอบงานกับเฉลยบัตรฝึกเสริมทักษะ ชุดที่ 5

บัตรกิจกรรม

ชุดที่ 5 เรื่อง การต่อตัวต้านทาน

ขั้นตรวจสอบความรู้เดิม(Elicitation)

คำชี้แจง ให้ผู้เรียนตอบคำถามต่อไปนี้

1. จงเขียนสัญลักษณ์ของตัวต้านทานต่อไปนี้ และบอกคุณสมบัติของตัวต้านทาน

ตัวต้านทาน	สัญลักษณ์ในวงจร
	
	
	

2. ความต้านทานมีหน่วยเป็นอะไร และใช้สัญลักษณ์อะไรแทนหน่วย

ตอบ

3. เครื่องมือที่ใช้วัดความต้านทานเรียกว่าอะไร

ตอบ

ขั้นสร้างความสนใจ (Engagement)

คำชี้แจง ให้ผู้เรียนตอบคำถามต่อไปนี้

1. การต่อตัวต้านทานแบบอนุกรมและแบบขนานมีผลให้กระแสไฟฟ้าที่ผ่าน เหมือนกันหรือไม่อย่างไร

ตอบ

.....

.....

.....

2. เครื่องมือที่ใช้วัดค่ากระแสไฟฟ้า เรียกว่าอะไร มีสัญลักษณ์อย่างไรในวงจรไฟฟ้า

ตอบ

เครื่องมือที่ใช้วัดค่าความต่างศักย์ เรียกว่าอะไร มีสัญลักษณ์อย่างไรในวงจรไฟฟ้า

ตอบ

3. การต่อเครื่องมือเพื่อวัดกระแสไฟฟ้าและความต่างศักย์ในวงจรไฟฟ้า มีลักษณะเหมือนหรือแตกต่างกันอย่างไร จงอธิบาย

ตอบ

.....

.....



ขั้นการสำรวจและค้นหา (Exploration)

กิจกรรมที่ 5.1 เรื่อง การต่อหัวต้านทาน

จุดประสงค์การเรียนรู้

ผู้เรียนสามารถอธิบายปริมาณทางไฟฟ้าที่ผ่านหัวต้านทานที่ต่อแบบอนุกรมและแบบขนานได้

แนวทางการปฏิบัติ

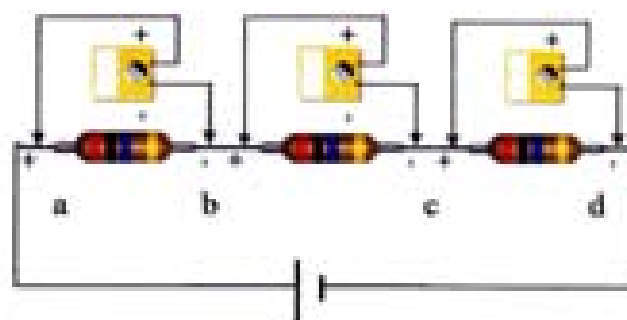
ให้ผู้เรียนช่วยกันออกแบบการทดลอง เพื่อหาสมบัติทางไฟฟ้าของชุดหัวต้านทานที่ต่อแบบอนุกรมและแบบขนานได้ โดยให้อุปกรณ์ต่อไปนี้

1.1 หัวต้านทานที่มีค่าความต้านทานต่างกัน	3	ค่า
1.2 แหล่งกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรง	1	เครื่อง
1.3 สวิตช์เปิด-ปิด	2	คู่
1.4 ไรต์มิเตอร์	1	เครื่อง
1.5 แอมมิเตอร์	1	เครื่อง
1.6 แดงต่อวงจร	1	อัน

ข้อมูลการทดลอง

ตอนที่ 1 การต่อหัวต้านทานแบบอนุกรม

1. ต่อหัวต้านทานกับแหล่งกำเนิดไฟฟ้าตามวงจร ดังนี้

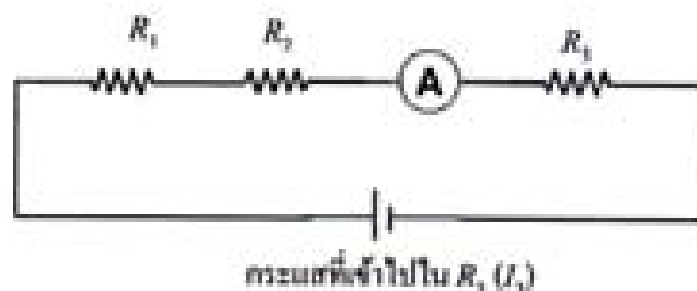
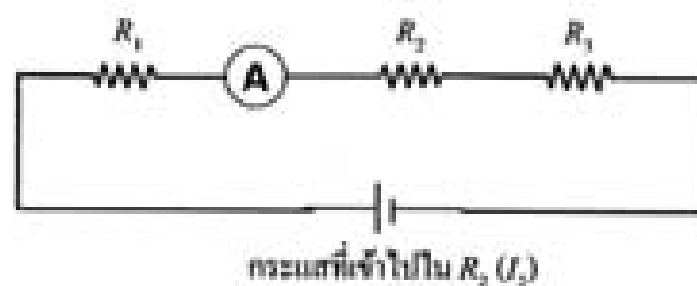


รูปที่ 5.1 การวัดความต่างศักย์ไฟฟ้าของการต่อหัวต้านทานแบบอนุกรม
(ที่มา) ; <http://www.rmutphysics.com/charud/scibook/electric4/topweek8.htm>

2. ใช้โวลต์มิเตอร์วัดค่าของแรงดันตกของศักย์ไฟฟ้า สองตำแหน่งในวงจรไฟฟ้าดังต่อไปนี้

- 2.1 จุด a และ b (ความต่างศักย์คร่อม R_1 หรือ V_1)
- 2.2 จุด b และ c (ความต่างศักย์คร่อม R_2 หรือ V_2)
- 2.3 จุด c และ d (ความต่างศักย์คร่อม R_3 หรือ V_3)
- 2.4 จุด a และ d (ความต่างศักย์รวมของจุดหัวท้ายแทน หรือ V รวม)

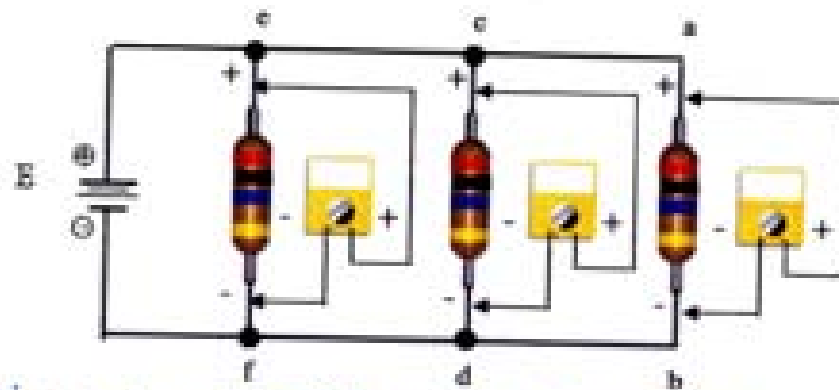
3. นำแอมมิเตอร์ไปแทนที่ตามส่วนต่างๆ จากวงจรไฟฟ้า เพื่อวัดค่ากระแสไฟฟ้าในส่วนต่างๆ ของวงจร ดังนี้



รูปที่ 5.2 การต่อแอมมิเตอร์เพื่อวัดกระแสไฟฟ้า

ตอนที่ 2 การต่อสวิตช์ด้านการขนาน

1. ต่อสวิตช์ด้านหน้าแหล่งกำเนิดไฟฟ้าความถี่ 50 Hz ดังนี้



รูปที่ 3.3 การวัดความต่างศักย์ไฟฟ้าของการต่อสวิตช์ด้านการขนาน

(ที่มา : <http://www.rmutphysics.com/charud/scibook/electric-4/topweek3.htm>)

2. ใช้โวลต์มิเตอร์ เพื่อวัดค่าผลต่างของศักย์ไฟฟ้าของสองตำแหน่งในวงจรไฟฟ้า ดังต่อไปนี้

2.1 จุด a และ b (ความต่างศักย์คร่อม R_3 หรือ V_3)

2.2 จุด b และ c (ความต่างศักย์คร่อม R_2 หรือ V_2)

2.3 จุด c และ d (ความต่างศักย์คร่อม R_1 หรือ V_1)

2.4 จุด g และ h (ความต่างศักย์รวมของชุดสวิตช์ขนาน หรือ V รวม)

3. นำแอมมิเตอร์ไปแทรกบนส่วนต่างๆ จากวงจรไฟฟ้าข้างต้น เพื่อวัดค่ากระแสไฟฟ้า ในส่วนต่างๆ ของวงจรดังนี้

กระแสที่เข้าไปใน R_1 (I_1)

กระแสที่เข้าไปใน R_2 (I_2)

กระแสที่เข้าไปใน R_3 (I_3)

4. บันทึกผลที่ได้ลงตารางบันทึกผล

แบบบันทึกผลการทดลองที่ 5.1
ตอนที่ 1 เรื่อง การต่อความต้านทานแบบอนุกรม

สมาชิกในกลุ่ม

1. ชั้น น. เลขที่
2. ชั้น น. เลขที่
3. ชั้น น. เลขที่
4. ชั้น น. เลขที่
5. ชั้น น. เลขที่

วัตถุประสงค์การทดลอง

.....

.....

สมมติฐานการทดลอง

.....

.....

ตัวแปรที่เกี่ยวข้อง

ตัวแปรต้น

ตัวแปรตาม

ตัวแปรควบคุม

วิธีทำ

1. นำวัสดุที่เตรียมไว้มาเรียงต่อกันเป็นชั้นๆ แล้วใช้ปูนขาวหรือปูนซีเมนต์
 ผสมกับน้ำทาเป็นชั้นๆ เสร็จแล้วใช้ไม้กลึงหรือไม้กวาดเกลี่ยให้เรียบ
 รอจนแห้งสนิทแล้วจึงนำวัสดุที่เตรียมไว้มาเรียงต่อกันเป็นชั้นๆ
 อีกครั้งหนึ่ง ทำซ้ำเช่นนี้จนกระทั่งได้ความหนาตามต้องการ
 รอจนแห้งสนิทแล้วจึงนำวัสดุที่เตรียมไว้มาเรียงต่อกันเป็นชั้นๆ
 อีกครั้งหนึ่ง ทำซ้ำเช่นนี้จนกระทั่งได้ความหนาตามต้องการ

ตารางบันทึกผล

ชื่อผู้จัดทำ :
 (ชื่อ นามสกุล) (ชื่อ นามสกุล) (ชื่อ นามสกุล)

ชื่อกลุ่ม :
 (ชื่อ นามสกุล) (ชื่อ นามสกุล) (ชื่อ นามสกุล)



สรุปและอภิปรายผล

.....

แบบบันทึกผลการทดลองที่ 5.1
ตอนที่ 2 เรื่อง การต่อความก้าวหน้าแบบขนาน

สมาชิกในกลุ่ม

- 1..... ชั้น น..... เลขที่.....
- 2..... ชั้น น..... เลขที่.....
- 3..... ชั้น น..... เลขที่.....
- 4..... ชั้น น..... เลขที่.....
- 5..... ชั้น น..... เลขที่.....

วัตถุประสงค์การทดลอง

- 1.....
- 2.....

สมมติฐานการทดลอง

- 1.....
- 2.....

ตัวแปรที่เกี่ยวข้อง

- ตัวแปรต้น.....
- ตัวแปรตาม.....
- ตัวแปรควบคุม.....

วิธีทำ

จากโจทย์ให้ข้อมูลดังนี้ : 1. สสารคือสิ่งที่มีความยาว, ปริมาตร, และน้ำหนัก
2. สสารสามารถเปลี่ยนรูปร่างได้โดยไม่เปลี่ยนปริมาตร
3. สสารสามารถเปลี่ยนสถานะได้โดยไม่เปลี่ยนปริมาตร

1) การวัด

การบันทึกผล



สรุปและอภิปรายผล

จากการทดลองและการสังเกตพบว่า สสารมีคุณสมบัติที่สามารถเปลี่ยนรูปร่างได้โดยไม่เปลี่ยนปริมาตร และสสารสามารถเปลี่ยนสถานะได้โดยไม่เปลี่ยนปริมาตร

จากการทดลองและการสังเกตพบว่า สสารมีคุณสมบัติที่สามารถเปลี่ยนรูปร่างได้โดยไม่เปลี่ยนปริมาตร และสสารสามารถเปลี่ยนสถานะได้โดยไม่เปลี่ยนปริมาตร

จากการทดลองและการสังเกตพบว่า สสารมีคุณสมบัติที่สามารถเปลี่ยนรูปร่างได้โดยไม่เปลี่ยนปริมาตร และสสารสามารถเปลี่ยนสถานะได้โดยไม่เปลี่ยนปริมาตร

จากการทดลองและการสังเกตพบว่า สสารมีคุณสมบัติที่สามารถเปลี่ยนรูปร่างได้โดยไม่เปลี่ยนปริมาตร และสสารสามารถเปลี่ยนสถานะได้โดยไม่เปลี่ยนปริมาตร

ขั้นตอนอธิบายและลงข้อสรุป (Explanation)

1. ผู้เรียนแต่ละกลุ่มส่งตัวแทนกลุ่มนำเสนอผลการทดลอง เรื่อง การต่อตัวต้านทาน
2. ผู้เรียนอภิปรายเปรียบเทียบผลการทดลองของแต่ละกลุ่ม
3. ผู้เรียนร่วมกันสรุปคำถาม

3.1 ความสัมพันธ์ของกระแสไฟฟ้ารวมและกระแสไฟฟ้าที่ผ่านตัวต้านทานแต่ละตัว
เมื่อต่อตัวต้านทานแบบอนุกรมและแบบขนานเป็นอย่างไร

ตอบ

.....

.....

.....

.....

.....

3.2 ความสัมพันธ์ของความต้านทานรวมและความต้านทานตัวต้านทานแต่ละตัว
เมื่อต่อตัวต้านทานแบบอนุกรมและแบบขนานเป็นอย่างไร

ตอบ

.....

.....

.....

.....

.....

3.3 จงสรุปความสัมพันธ์ระหว่างความต่างศักย์และความเค้นทานไฟฟ้าของตัวต้านทาน
แต่ละตัว เมื่อต่อตัวต้านทานแบบอนุกรมและแบบขนาน

ตอบ

3.4 จงสรุปความสัมพันธ์ระหว่างกระแสไฟฟ้าและความเค้นทานไฟฟ้าของตัวต้านทาน
แต่ละตัว เมื่อต่อตัวต้านทานแบบอนุกรม และแบบขนาน

ตอบ



ขั้นการขยายความรู้ (Elaboration)

คำชี้แจง

1. ให้ผู้เรียนแต่ละกลุ่มศึกษามือหาเพิ่มเติมจากบัตรเมื่อหาชุดที่ 5 การต่อตัวต้านทาน
2. ผู้เรียนทำกิจกรรมเสริม ในบัตรฝึกเสริมทักษะชุดที่ 5 การต่อตัวต้านทาน

ขั้นการประเมินผล (Evaluation)

ผู้เรียนร่วมกันวิเคราะห์ วิจารณ์ และ อภิปรายข้อคำถามนอก เป้าหมายองค์ความรู้ซึ่งกันและกันในเชิงปริศนาเพื่อ ประเมิน ปรับปรุง เพิ่มเติม และพบทวนใหม่ ทั้งกระบวนการและองค์ความรู้

ขั้นนำความรู้ไปใช้ (Extension)

คำชี้แจง

1. ให้ผู้เรียนนำความรู้เรื่อง การต่อตัวต้านทาน ร่วมกันสร้างแผนผังความคิด
2. การต่อตัวต้านทาน นิประ ไชยน์อย่างไร และนำไปใช้ประ ไชยน์ในด้านใด จงอธิบายพร้อม ยกตัวอย่างประกอบ

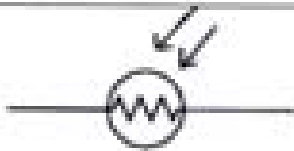


แบบฝึกหัดที่ 5

ขั้นตรวจสอบความรู้เดิม (Elicitation)

1. จงเขียนสัญลักษณ์ของตัวต้านทานในวงจรไฟฟ้าและบอกคุณสมบัติของตัวต้านทาน

แนวคำตอบ ตัวต้านทานมีคุณสมบัติคือ ควบคุมการไหลของกระแสไฟฟ้า

ตัวต้านทาน	สัญลักษณ์ในวงจร
	
	
	

2. ความต้านทานมีหน่วยเป็นอะไร และใช้สัญลักษณ์อะไรแทนหน่วย

แนวคำตอบ ความต้านทานมีหน่วยเป็น โอห์ม ใช้สัญลักษณ์แทนคือ Ω

3. เครื่องมือที่ใช้วัดความต้านทานเรียกว่าอะไร

แนวคำตอบ เครื่องมือที่ใช้วัดความต้านทานเรียกว่า โอห์มมิเตอร์

ขั้นสร้างความสนใจ (Engagement)

1. การต่อตัวต้านทานแบบอนุกรมและแบบขนาน มีผลให้กระแสไฟฟ้าที่ผ่าน เหมือนกับหรือไม่อย่างไร

แนวคำตอบ ไม่เหมือนกัน การต่อตัวต้านทานแบบอนุกรม กระแสไฟฟ้าที่ผ่านตัวต้านทานทุกจุดมีค่าเท่ากัน การต่อตัวต้านทานแบบขนาน กระแสไฟฟ้าที่ผ่านตัวต้านทานทุกจุดมีค่าไม่เท่ากัน

2. เครื่องมือที่ใช้วัดค่ากระแสไฟฟ้า เรียกว่าอะไร มีสัญลักษณ์อย่างไรในวงจรไฟฟ้า

แนวคำตอบ เครื่องมือที่ใช้วัดค่ากระแสไฟฟ้า เรียกว่า แอมมิเตอร์

โดยใช้สัญลักษณ์คือ 

3. เครื่องมือที่ใช้วัดค่าความต่างศักย์ เรียกว่าอะไร มีสัญลักษณ์อย่างไรในวงจรไฟฟ้า

แนวคำตอบ เครื่องมือที่ใช้วัดค่าความต่างศักย์ เรียกว่า โวลต์มิเตอร์

โดยใช้สัญลักษณ์คือ 

4. การต่อแอมมิเตอร์เพื่อวัดกระแสไฟฟ้าและโวลต์มิเตอร์ เพื่อวัดความต่างศักย์ในวงจรไฟฟ้า
มีลักษณะเหมือนกัน หรือแตกต่างกันอย่างไร จงอธิบาย

แนวคำตอบ ไม่เหมือนกัน แอมมิเตอร์ต่ออนุกรมกับวงจร ส่วนโวลต์มิเตอร์ต่อขนานกับวงจร

ขั้นการสำรวจและค้นหา (Exploration)

ตอนที่ 1 การต่อตัวต้านทานแบบอนุกรม

จุดประสงค์การเรียนรู้

ศึกษาปริมาณทางไฟฟ้าที่ผ่านตัวต้านทานที่ต่อแบบอนุกรม

สมมติฐานการเรียนรู้

1. การต่อตัวต้านทานแบบอนุกรมมีผลต่อกระแสไฟฟ้าที่ผ่านตัวต้านทานในวงจร
2. การต่อตัวต้านทานแบบอนุกรมมีผลต่อความต่างศักย์ไฟฟ้าระหว่างปลายของตัวต้านทาน

แต่ละตัวในวงจร

การกำหนดตัวแปร

ตัวแปรต้น การต่อตัวต้านทานแบบอนุกรม

ตัวแปรตาม ปริมาณกระแสไฟฟ้า และความต่างศักย์ไฟฟ้า

ตัวแปรควบคุม เครื่องมือวัด ตัวต้านทานค่าต่างกัน 3 ค่า

ตารางบันทึกผล : ตัวอย่าง

	รหัสสมาชิก	ค่าความต้านทาน (Ω)
R_1	(น้ำตาล คำแดง ทอ4)	(1,000)
R_2	(น้ำตาล เขียว แดง ทอ4)	(1,500)
R_3	(แดง คำแดง ทอ4)	(2,000)

	I (แอมป์)	V (โวลต์)
R_1	(0.0027)	(2.67)
R_2	(0.0027)	(3.9)
R_3	(0.0027)	(5.4)
$R_{\text{รวม}}$	(0.0027)	(12)

ตอนที่ 2 การต่อตัวต้านทานแบบขนาน

จุดประสงค์การเรียนรู้

ศึกษาปริมาณทางไฟฟ้าที่ผ่านตัวต้านทานที่ต่อแบบขนาน

สมมติฐานการเรียนรู้

1. การต่อตัวต้านทานแบบขนานมีผลต่อกระแสไฟฟ้าที่ผ่านตัวต้านทานในวงจร
2. การต่อตัวต้านทานแบบขนานมีผลต่อความต่างศักย์ไฟฟ้าระหว่างปลายของตัวต้านทาน

แต่ละตัวในวงจร

การคำนวณตัวแปร

ตัวแปรต้น การต่อตัวต้านทานแบบขนาน

ตัวแปรตาม ปริมาณกระแสไฟฟ้า และความต่างศักย์ไฟฟ้า

ตัวแปรควบคุม เครื่องมือวัด ตัวต้านทานค่าต่างกัน 3 ค่า

ตัวอย่างตารางบันทึกผล

	I (แอมแปร์)	V (โวลต์)
R_1	(0.012)	(12)
R_2	(0.008)	(12)
R_3	(0.006)	(12)
$R_{รวม}$	(0.026)	(12)

ขั้นตอนการอธิบายและองค์สรุป (Explanation)

1. ผู้เรียนแต่ละกลุ่มตั้งคำถามกลุ่มนำสนผลจากการทดลอง เรื่อง การต่อตัวต้านทาน
2. ผู้เรียนอภิปรายเปรียบเทียบผลการทดลองของแต่ละกลุ่ม
3. ผู้เรียนร่วมกันสรุปคำถาม

3.1 ความสัมพันธ์ระหว่างกระแสไฟฟ้ารวม และกระแสไฟฟ้าที่ผ่านตัวต้านทานแต่ละตัวเป็นอย่างไร

แนวคำตอบ วงจรที่ 1 การต่อแบบอนุกรม กระแสไฟฟ้ารวม เท่ากับกระแสไฟฟ้าที่ผ่านบนตัวต้านทานแต่ละตัว $I_{รวม} = I_1 = I_2 = I_3$

วงจรที่ 2 การต่อแบบขนาน กระแสไฟฟ้ารวม เท่ากับผลรวมกระแสไฟฟ้าที่ผ่านบนตัวต้านทานแต่ละตัว $I_{รวม} = I_1 + I_2 + I_3$

3.2 ความสัมพันธ์ของความต่างศักย์ไฟฟ้ารวม และความต่างศักย์ไฟฟ้าที่คร่อมตัวต้านทานแต่ละตัว เป็นอย่างไร

แนวคำตอบ วงจรที่ 1 การต่อแบบอนุกรมความต่างศักย์ไฟฟ้ารวมเท่ากับผลรวมของความต่างศักย์ไฟฟ้าที่คร่อมตัวต้านทานแต่ละตัว $V_{รวม} = V_1 + V_2 + V_3$

วงจรที่ 2 การต่อแบบขนานความต่างศักย์ไฟฟ้ารวม เท่ากับความต่างศักย์ไฟฟ้าที่คร่อมตัวต้านทานแต่ละตัว $V_{รวม} = V_1 = V_2 = V_3$

3.3 สรุปความสัมพันธ์ ของความต่างศักย์ไฟฟ้าและค่าความต้านทานของตัวต้านทานแต่ละตัว
แนวคำตอบ วงจรที่ 1 การต่อแบบอนุกรม บนตัวต้านทานที่มีความต้านทานมาก
จะมีค่าความต่างศักย์ไฟฟ้ามาก

วงจรที่ 2 การต่อแบบขนาน ความต่างศักย์ไฟฟ้ามีค่ากันทุกจุด

3.4 สรุปความสัมพันธ์ของกระแสไฟฟ้าและค่าความต้านทานของตัวต้านทานแต่ละตัว
แนวคำตอบ วงจรที่ 1 การต่อแบบอนุกรม กระแสไฟฟ้ามีค่ากันทุกจุด

วงจรที่ 2 การต่อแบบขนาน บนตัวต้านทานที่มีความต้านทานน้อย
จะมีค่ากระแสไฟฟ้ามาก



บัตรเนื้อหา

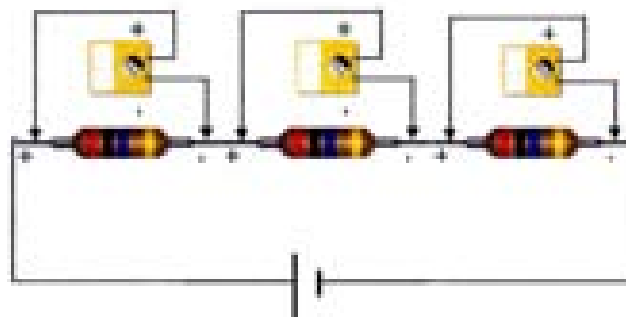
ชุดที่ 5 การต่อตัวต้านทาน

การต่อตัวต้านทาน

การนำตัวต้านทานตั้งแต่สองตัวขึ้นไปมาต่อกัน แล้วนำไปต่อกับแบตเตอรี่ ทำให้ได้ 2 รูปแบบ คือ การต่อตัวต้านทานแบบอนุกรมและการต่อตัวต้านทานแบบขนาน

1. การต่อตัวต้านทานแบบอนุกรม

เมื่อนำตัวต้านทานไปต่อกับแบตเตอรี่ กระแสไฟฟ้าที่ผ่านตัวต้านทานแต่ละตัว และความต่างศักย์ระหว่างปลายของตัวต้านทานแต่ละตัว สามารถสรุปได้ดังนี้



รูปที่ 5.4 การต่อตัวต้านทานแบบอนุกรม

(ที่มา ; <http://www.cmuphysics.com/charud/scibook/electric4/topweek8.htm>)

การต่อความต้านทานแบบอนุกรม

- กระแสไฟฟ้าที่ผ่านตัวต้านทานทุกตัวเท่ากัน

$$I_{\text{รวม}} = I_1 = I_2 = I_3$$

- ความต่างศักย์ไฟฟ้ารวมเท่ากับผลรวมความต่างศักย์ไฟฟ้าย่อย

$$V_{\text{รวม}} = V_1 + V_2 + V_3$$

บัตรเนื้อหา

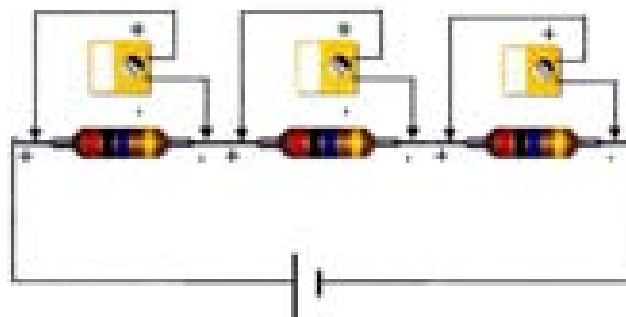
ชุดที่ 5 การต่อตัวต้านทาน

การต่อตัวต้านทาน

การนำตัวต้านทานตั้งแต่สองตัวขึ้นไปมาต่อกัน แล้วนำไปต่อกับแบตเตอรี่ ทำให้ได้ 2 รูปแบบ คือ การต่อตัวต้านทานแบบอนุกรมและการต่อตัวต้านทานแบบขนาน

1. การต่อตัวต้านทานแบบอนุกรม

เมื่อนำตัวต้านทานไปต่อกับแบตเตอรี่ กระแสไฟฟ้าที่ผ่านตัวต้านทานแต่ละตัว และความต่างศักย์ระหว่างปลายของตัวต้านทานแต่ละตัว สามารถสรุปได้ดังนี้



รูปที่ 5.4 การต่อตัวต้านทานแบบอนุกรม

(ที่มา ; <http://www.cmuphysics.com/charud/scibook/electric4/topweek8.htm>)

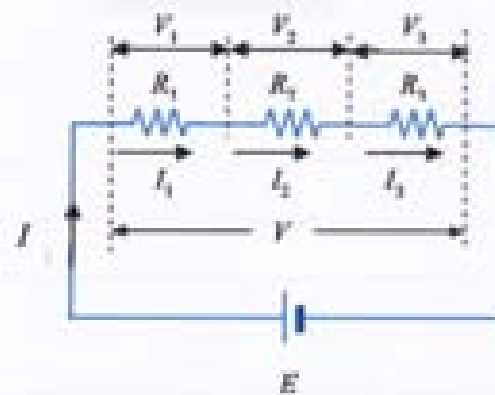
การต่อความต้านทานแบบอนุกรม

- กระแสไฟฟ้าที่ผ่านตัวต้านทานทุกตัวเท่ากัน

$$I_{\text{รวม}} = I_1 = I_2 = I_3$$

- ความต่างศักย์ไฟฟ้ารวมเท่ากับผลรวมความต่างศักย์ไฟฟ้าย่อย

$$V_{\text{รวม}} = V_1 + V_2 + V_3$$



รูปที่ 5.5 วงไฟฟ้าของการต่อตัวต้านทานแบบอนุกรม

จากผลของการต่อตัวต้านทานแบบอนุกรม

ความต่างศักย์ไฟฟ้ารวมเท่ากับผลรวม ความต่างศักย์ไฟฟ้าย่อย

$$V_{\text{รวม}} = V_1 + V_2 + V_3$$

โดยใช้กฎของโอห์ม $V = IR$

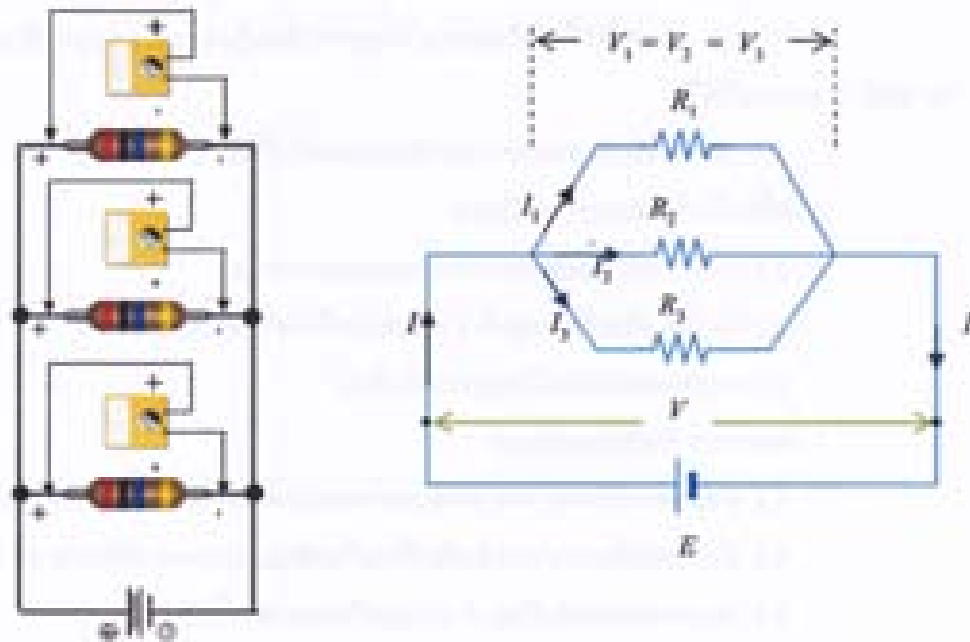
ดังนั้น $IR_{\text{รวม}} = I_1 R_1 + I_2 R_2 + I_3 R_3$

เนื่องจาก $I_{\text{รวม}} = I_1 = I_2 = I_3$

$\therefore R_{\text{รวม}} = R_1 + R_2 + R_3$

เมื่อ $R_{\text{รวม}}$ คือ ความต้านทานรวมของ R_1 , R_2 และ R_3

2. การต่อตัวต้านทานแบบขนาน



รูปที่ 5.6 การต่อตัวต้านทานแบบขนาน

(ที่มา ; <http://www.ematphysics.com/charud/scibook/electric4/topweek8.htm>)

การต่อความต้านทานแบบขนาน สามารถสรุปได้ดังนี้

- ความต่างศักย์ไฟฟ้าผ่านตัวต้านทานทุกตัวเท่ากัน

$$V_{\text{รวม}} = V_1 = V_2 = V_3$$

- กระแสไฟฟ้ารวมเท่ากับผลรวมของกระแสไฟฟ้าย่อย

$$I_{\text{รวม}} = I_1 + I_2 + I_3$$

ความต้านทานรวมของตัวต้านทานที่ต่อแบบขนาน

ผลของการต่อตัวต้านทานแบบขนานทำให้

$$I_{\text{รวม}} = I_1 + I_2 + I_3 \text{ และ } V_{\text{รวม}} = V_1 = V_2 = V_3$$

โดยกฎของโอห์ม $V = IR$ หรือ $I = \frac{V}{R}$

ดังนั้น
$$\frac{V}{R_{\text{รวม}}} = \frac{V_1}{R_1} + \frac{V_2}{R_2} + \frac{V_3}{R_3}$$

$$\frac{1}{R_{\text{รวม}}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3}$$

ในการต่อตัวต้านทานแบบอนุกรม ความต้านทานรวมจะมากกว่าความต้านทานรวมกรณีต่อแบบขนาน จึงทำให้กระแสไฟฟ้าในวงจรที่ต่อตัวต้านทานแบบอนุกรมมีค่ามากกว่ากระแสไฟฟ้าในวงจรที่ต่อตัวต้านทานแบบขนาน

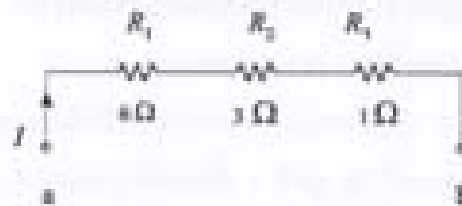
ความรู้เบื้องต้น ช่วยให้เราสามารถเลือกตัวต้านทานหนึ่งตัว หรือมากกว่ามาต่อกัน เพื่อให้ได้ความต้านทานรวมที่ต้องการ ซึ่งนอกจากจะต่อแบบอนุกรมหรือแบบขนานก็ได้แล้ว อาจนำการต่อทั้งสองรูปแบบมาต่อกันได้อีก เรียกว่า **การต่อแบบผสม**



บัตรฝึกเสริมทักษะที่ 5.1

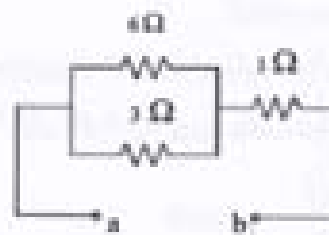
ข้อชี้แจง ให้ผู้เรียนตอบคำถามต่อไปนี้

1. ถ้า $I = 10$ แอมแปร์ จงหาค่าความต่างศักย์บนตัวต้านทาน R_1 , R_2 และ R_3 และค่าความต่างศักย์รวม



ตอบ

2. ถ้า $V_a = 12$ โวลต์ จงหากระแสไฟฟ้าและความต่างศักย์บนตัวต้านทานแต่ละตัว



ตอบ

บัตรฝึกเสริมทักษะที่ 5.2

คำชี้แจง ให้ผู้เรียนตอบคำถามต่อไปนี้

1. จากความสัมพันธ์ของความต้านทานและกระแสไฟฟ้าที่บนตัวต้านทาน 3 ตัว ซึ่งต่อแบบขนาน จงหาความสัมพันธ์ของความต้านทานแต่ละตัว R_1 , R_2 และ R_3 กับความต้านทานรวม $R_{\text{รวม}}$

ตอบ

.....

.....

.....

.....

2. จงหาค่าความต้านทานรวม ($R_{\text{รวม}}$) ของชุดตัวต้านทานต่อไปนี้



ตอบ

.....

.....

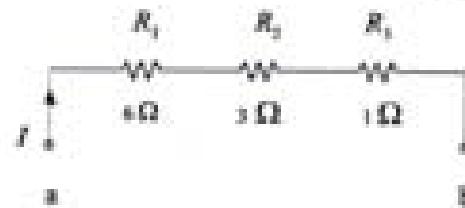
.....

.....

แบบฝึกหัดเสริมทักษะที่ 5.1

1. ถ้า $I = 10$ แอมแปร์ จงหาความต่างศักย์ บนตัวต้านทาน R_1 , R_2 และ R_3 และความต่างศักย์รวม

แนวคำตอบ



จากรูปเป็นการต่อตัวต้านทานแบบอนุกรม $I_{\text{รวม}} = I_1 = I_2 = I_3 = 10\text{A}$

ดังนั้น ความต่างศักย์ $V_1 = I_1 R_1 = (10)(6) = 60\text{ V}$

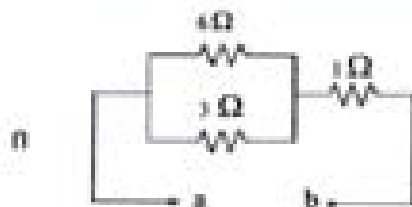
$$V_2 = I_2 R_2 = (10)(3) = 30\text{ V}$$

$$V_3 = I_3 R_3 = (10)(1) = 10\text{ V}$$

$$V_{\text{รวม}} = V_1 + V_2 + V_3 = 60 + 30 + 10 = 100\text{ V}$$

ตอบ ความต่างศักย์ $V_1 = 60\text{ V}$, $V_2 = 30\text{ V}$, $V_3 = 10\text{ V}$ และ $V_{\text{รวม}} = 100\text{ V}$

2. ถ้า $V_{\text{ab}} = 12$ โวลต์ จงหากระแสไฟฟ้าและความต่างศักย์บนตัวต้านทานแต่ละตัว



แนวคำตอบ จากรูปเป็นการต่อตัวต้านทานแบบผสม หากความต้านทานรวมได้ $R_{\text{รวม}} = 3\ \Omega$

$$\text{โดยใช้กฎของโอห์ม} \therefore I_{\text{รวม}} = \frac{V_{\text{ab}}}{R_{\text{รวม}}} = \frac{12}{3} = 4\text{ A} = I_{\text{a}} = I_{\text{b}}$$

$$V_{\text{a}} = I_{\text{a}} R_{\text{a}} = 4(1) = 4\text{ V}$$

$$V_{\text{b}} = I_{\text{b}} R_{\text{b}} = 4(2) = 8\text{ V} = V_{\text{รวม}}$$

$$I_{\text{a}} = \frac{V_{\text{a}}}{R_{\text{a}}} = \frac{8}{6} = 1.33\text{ A} \quad , \quad I_{\text{b}} = \frac{V_{\text{b}}}{R_{\text{b}}} = \frac{8}{3} = 2.67\text{ A}$$

ตอบ กระแสไฟฟ้ารวม เท่ากับ 4 แอมแปร์

กระแสไฟฟ้าที่ผ่านตัวต้านทาน 6 โอห์มเท่ากับ 1.33 แอมแปร์

กระแสไฟฟ้าที่ผ่านตัวต้านทาน 3 โอห์มเท่ากับ 2.67 แอมแปร์

แบบฝึกหัดเสริมทักษะที่ 5.2

1. จากความสัมพันธ์ของความต่างศักย์ และกระแสไฟฟ้าผ่านตัวต้านทาน 3 ตัว ซึ่งต่อแบบขนาน จงหาความสัมพันธ์ของความต้านทานแต่ละตัว R_1 , R_2 และ R_3 กับความต้านทานรวม $R_{\text{รวม}}$

แนวคำตอบ $I_{\text{รวม}} = I_1 + I_2 + I_3 \Rightarrow \frac{V_{\text{รวม}}}{R_{\text{รวม}}} = \frac{V_1}{R_1} + \frac{V_2}{R_2} + \frac{V_3}{R_3}$

$$V_{\text{รวม}} = V_1 = V_2 = V_3 \Rightarrow \frac{1}{R_{\text{รวม}}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3}$$

2. จงหาค่าความต้านทานรวม ($R_{\text{รวม}}$) ของชุดตัวต้านทานต่อไปนี้



แนวคำตอบ จากรูปเป็นการต่อตัวต้านทานแบบขนาน

ดังนั้นหาความต้านทานรวมได้จาก

$$\frac{1}{R_{\text{รวม}}} = \frac{1}{6} + \frac{1}{3} + \frac{1}{3} = \frac{3+2+1}{6} = \frac{6}{6}$$

$$R_{\text{รวม}} = 1 \Omega$$

ตอบ ความต้านทานรวมเท่ากับ 1 โอห์ม



แบบทดสอบหัดเขียน
ชุดที่ 5 การต่อความต้านทาน

- คำชี้แจง 1. แบบประเมินตนเองทางกระบวนการเรียนรู้วิทยาศาสตร์มี 10 ข้อ ใช้เวลา 30 นาที
2. ให้ผู้เรียนเลือกคำตอบที่ถูกต้องที่สุดเพียงข้อเดียว

1. ข้อใดกล่าวถูกต้อง

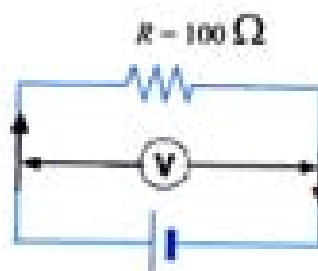
- ก. การต่อตัวต้านทานแบบอนุกรม ความต้านทานรวมมีค่าน้อย
- ข. การต่อตัวต้านทานแบบขนาน ทำให้มีความต้านทานสูง
- ค. แอมมิเตอร์ที่ดี ควรมีความต้านทานสูง
- ง. โวลต์มิเตอร์ที่ดี ควรมีความต้านทานสูง

2. การต่อหลอดไฟมีไส้รวมค่า 10 W 3 หลอด แบบใดที่ให้แสงสว่างมากที่สุดเพราะเหตุใด

- ก. แบบขนาน เพราะมีความต้านทานรวมน้อย
- ข. แบบขนาน เพราะมีความต้านทานรวมมาก
- ค. แบบอนุกรม เพราะมีความต้านทานรวมน้อย
- ง. แบบอนุกรม เพราะมีความต้านทานรวมมาก

3. ในวงจรกระแสตรงดังรูป ถ้าโวลต์มิเตอร์ V อ่านค่าความต่างศักย์ได้ 200 โวลต์ จงหากระแสไฟฟ้าที่ผ่านความต้านทาน R

- ก. 0.70 แอมแปร์
- ข. 1.41 แอมแปร์
- ค. 2.0 แอมแปร์
- ง. 2.8 แอมแปร์

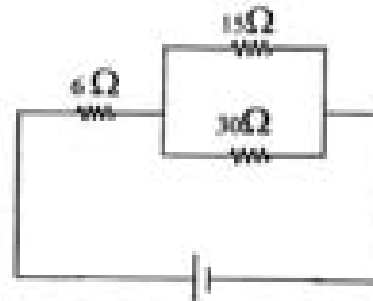


4. ตัวต้านทาน 3 ตัว มีความต้านทาน 40 โอห์ม 70 โอห์ม และ 80 โอห์ม ตามลำดับ ต่ออนุกรมกัน และต่อกับแบตเตอรี่ 12 โวลต์ จะมีกระแสไฟฟ้าจากแบตเตอรี่เท่าใด

- ก. 0.063 แอมแปร์
- ข. 0.62 แอมแปร์
- ค. 1.60 แอมแปร์
- ง. 1.93 แอมแปร์

5. ความต้านทานชุดหนึ่ง ต่อกันในวงจรที่มีกระแสผ่าน ดังรูป ถ้าความต่างศักย์ไฟฟ้าของตัวต้านทาน 6 โอห์ม เท่ากับ 12 โวลต์ จงหาความต่างศักย์ไฟฟ้าที่คร่อมตัวต้านทาน 15 โอห์ม

- ก. 20 โวลต์
- ข. 36 โวลต์
- ค. 48 โวลต์
- ง. 60 โวลต์

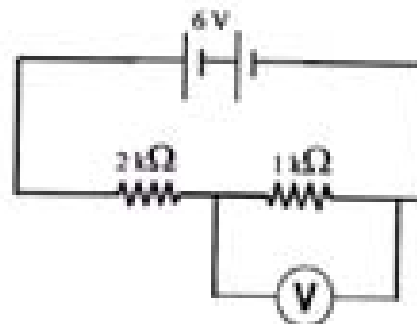


6. ข้อใดกล่าวถูกต้องเกี่ยวกับการต่อสวิตช์ตามแบบอนุกรม

- ก. ความต่างศักย์รวมมีค่าคงตัวไม่ขึ้นกับปัจจัยใด
- ข. กระแสไฟฟ้ารวมเท่ากับผลรวมของกระแสไฟฟ้าที่ผ่านตัวต้านทานแต่ละตัวรวมกัน
- ค. ความต่างศักย์ไฟฟ้าที่ผ่านตัวต้านทานทุกตัวในวงจรเท่ากัน
- ง. กระแสไฟฟ้าที่ผ่านตัวต้านทานทุกตัวในวงจรต่างกัน

7. โวลต์มิเตอร์ V มีความต้านทาน 1.0 กิโลโอห์ม ต่ออยู่ในวงจรที่มีขดลวดไฟฟ้า 6.0 โวลต์ (ไม่มีความต้านทานภายใน) และตัวต้านทานขนาด 2.0 กิโลโอห์ม และ 1.0 กิโลโอห์ม ดังรูป โวลต์มิเตอร์จะอ่านค่าได้เท่าใด

- ก. 0.6 โวลต์
- ข. 1.2 โวลต์
- ค. 1.8 โวลต์
- ง. 2.0 โวลต์

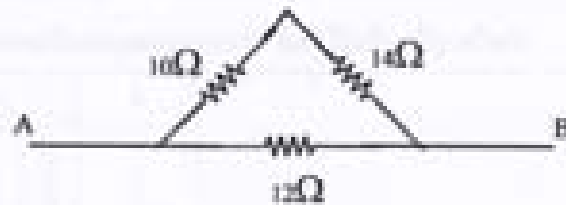


8. ตัวต้านทานมีหน้าที่อย่างไรในวงจรไฟฟ้า

- ก. ปรับค่ากระแสไฟฟ้าให้คงที่
- ข. ควบคุมการไหลของกระแสไฟฟ้า
- ค. ควบคุมการทำงานของเครื่องมือใช้ไฟฟ้า
- ง. สับการเปิดปิดของกระแสไฟฟ้า

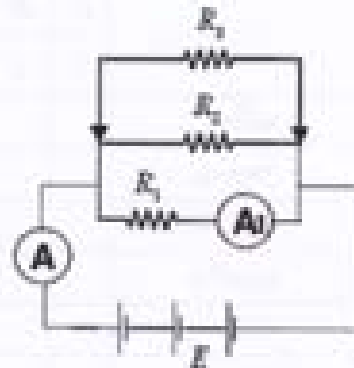
9. ในวงจรที่แสดง จงหาตัวต้านทานรวมที่ผ่าน จุด AB

- ก. 0.6
- ข. 1.2
- ค. 1.4
- ง. 1.5



10. ในการทดลอง วัดกระแสไฟฟ้าที่ผ่านและความต่างศักย์ระหว่างปลายของตัวต้านทาน ที่ต่อกันแบบขนาน ดังรูป ถ้า E เป็นแหล่งกำเนิดของแรงเคลื่อนไฟฟ้าที่มีค่าคงที่ เมื่อนำตัวต้านทาน R_1 มาต่อเพิ่มในวงจร ตามรูป ค่ากระแสที่แอมมิเตอร์อ่านได้ใหม่เป็นดังนี้

- ก. A เพิ่มขึ้น A_1 เพิ่มขึ้น
- ข. A ลดลง A_1 คงที่
- ค. A เพิ่มขึ้น A_1 คงที่
- ง. A ลดลง A_1 ลดลง



แบบทดสอบก่อนเรียน – หลังเรียน ชุดที่ 5

ข้อที่	ก่อนเรียน	หลังเรียน
1	ข	ง
2	ก	ก
3	ก	ก
4	ข	ก
5	ก	ก
6	ง	ง
7	ก	ง
8	ง	ข
9	ง	ข
10	ก	ก

บรรณานุกรม

- ช่วง ทนทีชงศ์. (ม.ป.ป.). คู่มือฝึกทักษะ ม.4-5-6. กรุงเทพฯ: ไสยดีพับลิชชิง จำกัด.
 ประมวล ศิริพันธ์แก้ว. (2527). การพัฒนาหลักสูตรวิชาฟิสิกส์ ใน 12 ปี. กรุงเทพฯ:
 โรงพิมพ์ชวนพิมพ์.
 พัฒนชัย จันท. (2548). หนังสือเรียนสาระการเรียนรู้พื้นฐานฟิสิกส์. กรุงเทพฯ:
 พัฒนาคุณภาพวิชาการ(พว.) จำกัด.
 พิสิษฐ์ วัฒนสุขศักดิ์. (ม.ป.ป.). คู่มือฝึกทักษะ ม.4-5-6. กรุงเทพฯ: รุ่งเรืองสาธนาการพิมพ์.
 พิมพ์นัย เศรษฐบุปผ์. (2548). แผนการจัดการเรียนรู้สอนแนวทางที่เน้นผู้เรียนเป็นสำคัญ. กรุงเทพฯ:
 พัฒนาคุณภาพวิชาการ(พว.) จำกัด.
 _____. (2548). ชุดกิจกรรมการเรียนรู้ที่เน้นผู้เรียนเป็นสำคัญ. กรุงเทพฯ:
 พัฒนาคุณภาพวิชาการ(พว.) จำกัด.
 โรงเรียนคำตันพิทย. (2551). หลักสูตรสถานศึกษาขั้นพื้นฐานโรงเรียนคำตันพิทย
 ชุดสัปดาห์ 2545/ฉบับปรับปรุง พ.ศ. 2551) กลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์.
 ตกลงคร: โรงเรียนคำตันพิทย.
 วรากรณ์ ฉัยศิริ. (2550). การใช้เกมในการเรียนการสอนวิทยาศาสตร์ ระดับมัธยมศึกษา.
 กรุงเทพฯ: ม.ป.ท.
 วราณพิศา รอดวงค์. (2544). การสอนวิทยาศาสตร์ที่เน้นทักษะกระบวนการ. พิมพ์ครั้งที่ 2.
 กรุงเทพฯ: พัฒนาคุณภาพวิชาการ(พว.)จำกัด.
 สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี. (2544). คู่มือครูสาระการเรียนรู้พื้นฐาน
 และเพิ่มเติม ฟิสิกส์ เล่ม 3. กรุงเทพฯ: โรงพิมพ์คุรุสภาลาดพร้าว.
 _____. (2546). คู่มือวัดผลประเมินผลวิทยาศาสตร์. กรุงเทพฯ: ม.ป.ท.
 _____. (2554). หนังสือเรียนรายวิชาเพิ่มเติมฟิสิกส์ เล่ม 4. กรุงเทพฯ:
 โรงพิมพ์คุรุสภาลาดพร้าว.
 _____. (2549). หนังสือเรียนสาระการเรียนรู้พื้นฐานและเพิ่มเติม ฟิสิกส์ เล่ม 3.
 พิมพ์ครั้งที่ 3. กรุงเทพฯ: โรงพิมพ์คุรุสภาลาดพร้าว.
 สมจิต สารนโพนธ์. (2550). การพัฒนาหลักสูตรแผนการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ ช่วงชั้นที่ 4.
 ศูนย์วิทยาศาสตร์ศึกษา: มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ.
 สำนักวิชาการและมาตรฐานการศึกษา. (2551). คู่มือวัดผลและสาระการเรียนรู้แกนกลาง
 กลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์. กรุงเทพฯ: โรงพิมพ์องค์การรับส่งสินค้า
 และพัสดุภัณฑ์.