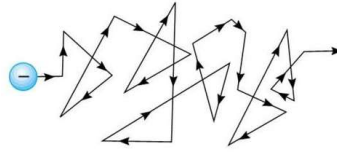


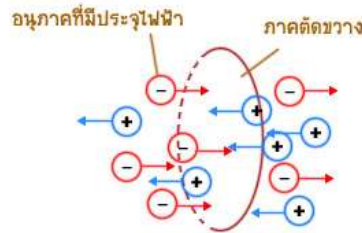
## ใบความรู้ที่ 1 กระแสไฟฟ้าในตัวนำ

ในตัวนำที่เป็นโลหะ อิเล็กตรอนบางส่วนไม่ได้ถูกยึดติดกับอะตอมใดอะตอมหนึ่ง แต่จะเคลื่อนที่ได้อย่างอิสระ เรียกว่า อิเล็กตรอนอิสระ (free electron) ซึ่งมีทิศทางการเคลื่อนที่ไม่แน่นอน



รูป 1 การเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอนอิสระที่มีทิศทางไม่แน่นอน

การทำให้เกิดกระแสไฟฟ้าในตัวนำ อิเล็กตรอนอิสระจะมีการเคลื่อนที่โดยเฉลี่ยไปในทิศทางใดทิศทางหนึ่ง ซึ่งการจะทำให้อิเล็กตรอนเคลื่อนที่โดยเฉลี่ยไปทางเดียวกันต้องมีแหล่งพลังงานที่ทำให้เกิดความต่างศักย์ระหว่างจุดสองจุดในตัวนำได้



รูป 2 การเคลื่อนที่ของประจุไฟฟ้าผ่านภาคตัดขวางของตัวกลาง

เขียนสมการได้ว่า

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

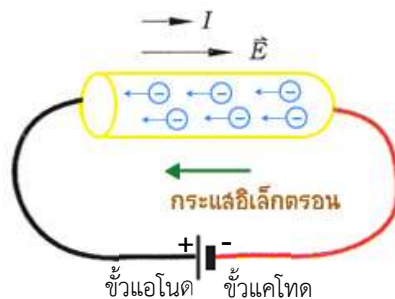
- เมื่อ I คือ กระแสไฟฟ้าในตัวกลาง มีหน่วย คูลอมบ์ต่อวินาที หรือ แอมแปร์ (A)
- Q คือ ขนาดประจุไฟฟ้าที่เคลื่อนที่ผ่านภาคตัดขวางของตัวกลาง มีหน่วย คูลอมบ์ (C)
- t คือ เวลาที่ประจุเคลื่อนที่ผ่านภาคตัดขวาง มีหน่วย วินาที (s)

นักวิทยาศาสตร์ได้กำหนดขนาดและทิศของกระแสไฟฟ้างี้

ขนาดของกระแสไฟฟ้าในตัวกลางใด ๆ เท่ากับปริมาณประจุไฟฟ้าที่ผ่านพื้นที่ภาคตัดขวางของตัวกลางในหนึ่งหน่วยเวลา

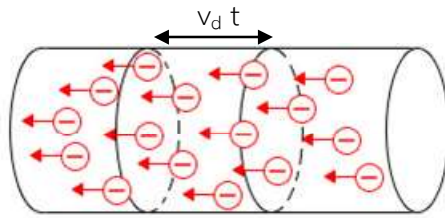
ทิศทางของกระแสไฟฟ้า กำหนดให้มีทิศตามการเคลื่อนที่ของประจุบวก หรือมีทิศเดียวกับสนามไฟฟ้า หรือมีทิศจากตำแหน่งที่มีศักย์ไฟฟ้าสูงไปยังตำแหน่งที่มีศักย์ไฟฟ้าต่ำ

จากนิยามของกระแสไฟฟ้าสามารถแสดงได้ดังรูป



รูป 3 กระแสอิเล็กตรอนมีทิศทางการเคลื่อนที่ตรงข้ามกับทิศของกระแสไฟฟ้า

ความเร็วเฉลี่ยของอิเล็กตรอนอิสระที่เคลื่อนที่ในลวดตัวนำมีชื่อเรียกเฉพาะว่า **ความเร็วลอยเลื่อน (drift velocity)** แทนด้วย  $v_d$



รูป 4 อิเล็กตรอนอิสระเคลื่อนที่ผ่านพื้นที่ภาคตัดขวางของลวดตัวนำ

ถ้ากำหนดให้อิเล็กตรอนทุกตัวเคลื่อนที่ด้วยขนาดความเร็วลอยเลื่อน  
ในช่วงเวลา  $t$  อิเล็กตรอนจะอยู่ในส่วนของตัวนำยาว (s) เท่ากับ  
ถ้าพื้นที่ภาคตัดขวางของลวด คือ

$$v_d$$

$$v_d t$$

$$A$$

ดังนั้น ในช่วงเวลา  $t$  อิเล็กตรอนจะอยู่ในลวดที่มีปริมาตร เท่ากับ

$$v_d t A$$

ถ้าให้ปริมาตรของลวด 1 หน่วย มีจำนวนอิเล็กตรอน

$$n \quad \text{ตัว}$$

ดังนั้น ลวดปริมาตร  $v_d t A$  หน่วย จะมีจำนวนอิเล็กตรอน

$$n v_d t A \quad \text{ตัว}$$

และ อิเล็กตรอน 1 ตัว มีประจุ  $e$

ดังนั้น อิเล็กตรอนจำนวน  $n v_d t A$  ตัว มีประจุ  $en v_d t A$

ดังนั้น  $Q = en v_d t A$

จาก  $I = \frac{Q}{t}$

$$I = \frac{en v_d t A}{t}$$

$$I = n e v_d A$$

เมื่อ  $I$  คือ กระแสไฟฟ้าในลวดตัวนำ มีหน่วย แอมแปร์ (A)

$n$  คือ จำนวนอิเล็กตรอนอิสระในหนึ่งหน่วยปริมาตร มีหน่วย อนุภาค/ลูกบาศก์เมตร ( $m^{-3}$ )

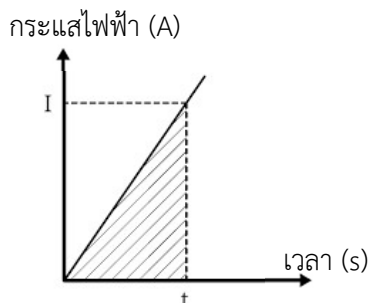
$e$  คือ ประจุของอิเล็กตรอน มีค่า  $1.6 \times 10^{-19}$  คูลอมบ์

$v_d$  คือ ความเร็วลอยเลื่อน มีหน่วย เมตร/วินาที (m/s)

$A$  คือ พื้นที่ภาคตัดขวางของลวดตัวนำ มีหน่วย ตารางเมตร ( $m^2$ )

**เพิ่มเติม!!**

เมื่อกระแสไฟฟ้ามีการเปลี่ยนแปลงอย่างสม่ำเสมอสามารถเขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกระแสไฟฟ้ากับเวลาดังกราฟ



พื้นที่ใต้กราฟ = ปริมาณประจุไฟฟ้า (Q)

## ใบกิจกรรมที่ 1 กระแสไฟฟ้าในตัวนำ

1. ถ้ามีกระแสไฟฟ้า 1.25 แอมแปร์ ในเส้นลวดหนึ่ง ประจุไฟฟ้าทั้งหมดที่ผ่านพื้นที่หน้าตัดของเส้นลวดในเวลา 5 นาที มีค่าเท่าใด



.....

.....

.....

.....

.....

2. ตัวนำไฟฟ้ามีอิเล็กตรอนอิสระเคลื่อนที่จากขั้วแคโทดไปยังแอโนดจำนวน  $2 \times 10^{20}$  อนุภาคในเวลา 4 วินาที จะมีกระแสไฟฟ้าผ่านตัวนำเท่าใด



.....

.....

.....

.....

.....

3. ลวดตัวนำมีพื้นที่หน้าตัด 3 ตารางมิลลิเมตร ถ้าอิเล็กตรอนอิสระในลวดตัวนำเคลื่อนที่จะทำให้มีประจุไฟฟ้า 0.05 คูลอมบ์ ผ่านพื้นที่หน้าตัดในเวลา 10 วินาที จะมีกระแสไฟฟ้าในลวดตัวนำเท่าใด



.....

.....

.....

.....

.....

.....

4. ขนาดความเร็วลอยเลื่อนของอิเล็กตรอนอิสระ  $2 \times 10^{-3}$  เมตร/วินาที ในลวดโลหะที่มีพื้นที่หน้าตัด 1 ตารางมิลลิเมตร และมีอิเล็กตรอนอิสระจำนวน  $5 \times 10^{29}$  ต่อลูกบาศก์เมตร จงหากระแสไฟฟ้าในลวดตัวนำนี้ กำหนดให้ ประจุไฟฟ้าของอิเล็กตรอนอิสระ  $1.6 \times 10^{-19}$  คูลอมป์



-----

-----

-----

-----

-----

-----

-----

5. ขณะมีกระแสไฟฟ้า 1 แอมแปร์ ผ่านลวดทองแดงที่มีพื้นที่หน้าตัด 1 ตารางมิลลิเมตร อิเล็กตรอนอิสระมีขนาดความเร็วลอยเลื่อนเท่าใด กำหนดให้ ประจุไฟฟ้าของอิเล็กตรอนอิสระ  $1.6 \times 10^{-19}$  คูลอมป์ และทองแดงมีอิเล็กตรอนอิสระ  $8.4 \times 10^{28}$  ต่อลูกบาศก์เมตร



-----

-----

-----

-----

-----

-----

-----

6. ลวดตัวนำพื้นที่หน้าตัด 1 ตารางมิลลิเมตร มีกระแสไฟฟ้า 0.5 แอมแปร์ โดยโลหะที่ใช้ทำลวดตัวนำมีอิเล็กตรอนอิสระ  $4 \times 10^{28}$  ต่อลูกบาศก์เมตร จงหาความเร็วลอยเลื่อนของอิเล็กตรอนอิสระ



-----

-----

-----

-----

-----

-----

-----

7. ลวดโลหะเงินมีอิเล็กตรอนอิสระจำนวน  $5.86 \times 10^{28}$  ต่อลูกบาศก์เมตร มีพื้นที่หน้าตัด 4 ตารางมิลลิเมตร เมื่ออิเล็กตรอนอิสระเคลื่อนที่ด้วยความเร็วลอยเลื่อน  $3.8 \times 10^2$  เมตร/วินาที ในช่วงเวลา 30 วินาที จะมีอิเล็กตรอนอิสระเคลื่อนที่ผ่านพื้นที่หน้าตัดนี้จำนวนเท่าใด



.....

.....

.....

.....

.....

.....

8. ลวดโลหะชนิดเดียวกัน 2 เส้น เส้นแรกมีพื้นที่หน้าตัดเป็น 2 เท่าของเส้นที่สอง และมีกระแสไฟฟ้าเป็น  $\frac{1}{2}$  เท่าของกระแสไฟฟ้าในลวดเส้นที่สอง จงหาว่าความเร็วลอยเลื่อนของอิเล็กตรอนอิสระในลวดเส้นแรกเป็นกี่เท่าของเส้นที่สอง



.....

.....

.....

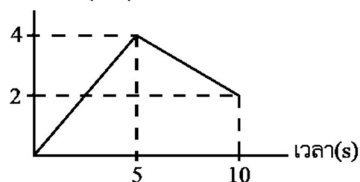
.....

.....

.....



9. กระแสไฟฟ้า (mA)



กระแสไฟฟ้าที่ผ่านตัวที่เวลาต่างๆ เป็นดังกราฟ ประจุไฟฟ้าที่ผ่านพื้นที่หน้าตัดของตัวนำในเวลา 10 วินาที มีค่าเท่าใด



.....

.....

.....

.....

.....

## ใบความรู้ที่ 2 กฎของโอห์มและความต้านทานไฟฟ้า

Georg Simon ohm นักฟิสิกส์ชาวเยอรมัน พบว่า เมื่อทำให้ปลายทั้งสองของลวดโลหะมีความต่างศักย์ไฟฟ้า จะมีกระแสไฟฟ้าผ่านลวดโลหะนี้ ซึ่งจากการทดลองจะได้รับความสัมพันธ์คือ กระแสไฟฟ้าจะมีค่าแปรผันตรงกับความต่างศักย์ไฟฟ้า ดังสมการ

$$I \propto V$$

จะได้ว่า  $I = kV$  , k คือ ค่าคงตัวของการแปรผัน

และเมื่อให้ R เป็นค่าคงตัวอีกค่าหนึ่ง ซึ่งมีค่า  $k = \frac{1}{R}$

ดังนั้น  $I = \frac{1}{R}V$  หรือ  $V = IR$

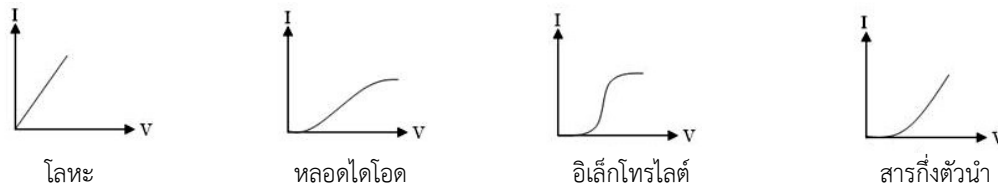
ค่าคงตัว R เรียกว่า **ความต้านทาน** (resistance) มีหน่วย โวลต์ต่อแอมแปร์ หรือ โอห์ม ( $\Omega$ )



**กฎของโอห์ม (Ohm's law)** มีใจความสำคัญว่า

เมื่ออุณหภูมิคงตัว กระแสไฟฟ้าในตัวนำโลหะจะแปรผันตรงกับความต่างศักย์ระหว่างปลายของตัวนำนั้น

เมื่อศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างกระแสไฟฟ้ากับความต่างศักย์ของตัวนำชนิดต่างๆ โดยให้อุณหภูมิคงตัวเป็นดังรูป



รูป 5 กราฟระหว่างกระแสไฟฟ้า (I) กับความต่างศักย์ไฟฟ้า (V)

### ความต้านทานไฟฟ้า

การบอกคุณสมบัติของสารในการต้านกระแสไฟฟ้าที่จะผ่านได้มากหรือน้อยเพียงใด โดยสารที่ความต้านทานมาก กระแสไฟฟ้าจะผ่านได้น้อย ส่วนสารที่มีความต้านทานน้อย กระแสไฟฟ้าจะผ่านได้มาก

#### ตัวต้านทาน

เป็นอุปกรณ์ที่ช่วยปรับความต้านทานให้กับวงจรไฟฟ้า เพื่อปรับค่ากระแสไฟฟ้าหรือความต่างศักย์ไฟฟ้าให้เหมาะสมกับวงจร สามารถแบ่งได้หลายประเภท ดังนี้

##### 1. ตัวต้านทานค่าคงตัว (fixed resistor)

ตัวต้านทานที่มีค่าความต้านทานคงตัว ทำมาจากผงคาร์บอนอัดแน่นเป็นรูปทรงกระบอก โดยค่าความต้านทานจะบอกด้วยแถบสีที่ปรากฏบนตัวต้านทาน



รูป 5 สัญลักษณ์ตัวต้านทาน และตัวอย่างตัวต้านทานค่าคงตัว

2. ตัวต้านทานแบบปรับค่าได้ (variable resistor)

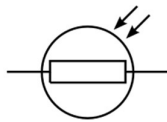
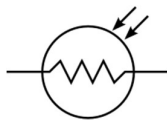
ตัวต้านทานที่สามารถเปลี่ยนค่าความต้านทานได้ด้วยการหมุนปรับตำแหน่งสัมผัส



รูป 6 สัญลักษณ์ตัวต้านทานแบบปรับค่าได้ และตัวอย่างตัวต้านทานแบบปรับค่าได้

3. ตัวต้านทานที่เปลี่ยนค่าตามปริมาณแสง (light dependent resistor)

ตัวต้านทานที่สามารถเปลี่ยนค่าตามปริมาณแสงที่ตกกระทบ นำไปใช้ในวงจรเปิดปิดไดโอดส่องสว่างอัตโนมัติ



รูป 7 สัญลักษณ์ตัวต้านทาน LDR และตัวอย่างตัวต้านทานที่เปลี่ยนค่าตามปริมาณแสง

4. ตัวต้านทานที่เปลี่ยนตามอุณหภูมิ (thermistor)

ตัวต้านทานที่มีค่าความต้านทานเปลี่ยนไปตามอุณหภูมิ นำไปใช้ในวงจรวัดอุณหภูมิ เครื่องควบคุมให้วงจรทำงานและหยุดทำงานในช่วงอุณหภูมิที่กำหนด



รูป 8 สัญลักษณ์ตัวต้านทานที่เปลี่ยนตามอุณหภูมิ และตัวอย่างตัวต้านทานที่เปลี่ยนตามอุณหภูมิ

**สภาพต้านทานไฟฟ้าและสภาพนำไฟฟ้า**

จากการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างความต่างศักย์ไฟฟ้ากับกระแสไฟฟ้า ทำให้ทราบว่า

1. ความต้านทาน (R) ของลวดโลหะแปรผันตรงกับความยาว (l) ของลวด เมื่อพื้นที่หน้าตัด (A) มีค่าคงตัว

2. ความต้านทาน (R) ของลวดโลหะแปรผกผันกับพื้นที่หน้าตัด (A) ของลวด เมื่อความยาว (l) ของลวดคงตัว

เขียนเป็นความสัมพันธ์ได้ว่า  $R \propto \frac{l}{A}$

จะได้ว่า  $R = \rho \frac{l}{A}$  ,  $\rho$  คือ ค่าคงตัวของลวดการแปรผัน

ค่าคงตัว  $\rho$  เรียกว่า สภาพต้านทานไฟฟ้า (electrical resistivity) มีหน่วย โอห์ม เมตร หรือ  $\Omega \cdot m$  ซึ่งเป็นสมบัติเฉพาะของสารชนิดต่างๆ

ตาราง 1 สภาพต้านทานไฟฟ้าของสารบางชนิดที่อุณหภูมิ 20 °C

สาร	สภาพต้านทานไฟฟ้า ( $\Omega \text{ m}$ )
เงิน	$1.59 \times 10^{-8}$
ทองแดง	$1.72 \times 10^{-8}$
อะลูมิเนียม	$2.65 \times 10^{-8}$
เหล็ก	$9.71 \times 10^{-8}$
ตะกั่ว	$2.20 \times 10^{-7}$

เมื่อลวดตัวนำที่ทำจากโลหะชนิดเดียวกันเมื่อเทียบกับแบตเตอรี่ จะได้ความสัมพันธ์ดังนี้

- กระแสไฟฟ้า (I) จะแปรผกผันกับความยาว (l) ของลวดโลหะ เมื่อลวดมีพื้นที่หน้าตัด (A) ของลวดคงตัว
- กระแสไฟฟ้า (I) จะแปรผันตรงกับความยาว (l) ของลวดโลหะ เมื่อความยาว (l) ของลวดคงตัว
- กระแสไฟฟ้า (I) จะแปรผันตรงกับความต่างศักย์ (V) เมื่ออุณหภูมิของลวดคงตัว

เขียนเป็นสมการได้ว่า

$$I \propto \frac{A}{l} V$$

จะได้ว่า

$$I = \sigma \frac{A}{l} V \quad , \quad \sigma \text{ คือ ค่าคงตัวของการแปรผัน}$$

ค่าคงตัว  $\sigma$  เรียกว่า **สภาพนำไฟฟ้า (electrical conductivity)** มีหน่วย (โอห์ม เมตร)<sup>-1</sup> หรือ ( $\Omega \text{ m}$ )<sup>-1</sup> ซึ่งเป็นสมบัติเฉพาะของสารชนิดต่างๆ และสามารถเขียนความสัมพันธ์ระหว่างสภาพต้านทานไฟฟ้ากับสภาพนำไฟฟ้าได้ดังสมการ

$$\sigma = \frac{1}{\rho}$$

### ผลของอุณหภูมิที่มีต่อความต้านทาน

1. **ตัวนำ** โลหะบริสุทธิ์ เช่น เงิน ทองแดง พบว่า ความต้านทานจะแปรผันตรงกับความยาว (เคลวิน) สำหรับโลหะผสมจะมีสภาพต้านทานสูงกว่าสภาพต้านทานของโลหะบริสุทธิ์ และเมื่ออุณหภูมิเปลี่ยนแปลงสภาพต้านทานจะเปลี่ยนไปน้อยมาก จึงทำให้นิยมนำโลหะผสมสร้างตัวต้านมาตรฐาน เช่น ตัวต้านทานที่ทำด้วยแมงกานีส (ทองแดง ผสม แมงกานีสและนิกเกิล)

2. **สารกึ่งตัวนำ** เช่น ซิลิกอน แกรไฟต์ เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นพบว่า สภาพต้านทานจะลดลงอย่างรวดเร็ว จึงนิยมนำมาใช้ในเครื่องใช้ไฟฟ้า

3. **ฉนวน** เป็นวัสดุที่มีสภาพต้านทานสูงมาก เช่น แก้ว ยาง พีวีซี เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นพบว่า สภาพต้านทานจะลดลงเล็กน้อย และถ้านำไปต่อกับความต่างศักย์ไฟฟ้าสูงมากๆ วัสดุเหล่านี้สามารถกลายเป็นตัวนำได้



## ใบกิจกรรมที่ 2 กฎของโอห์มและสถานต้านทานไฟฟ้า

1. ลวดตัวนำเส้นหนึ่งต่อกับแบตเตอรี่ที่ให้ความต่างศักย์ไฟฟ้าระหว่างปลาย 12 โวลต์ วัดกระแสไฟฟ้าผ่านลวดตัวนำได้ 2.4 แอมแปร์ จงหาความต้านทานของลวดตัวนำนั้น



.....

.....

.....

.....

.....

2. ข้อ 1 หากเพิ่มความต่างศักย์ระหว่างปลายเป็น 18 โวลต์ จะวัดกระแสไฟฟ้าที่ผ่านลวดตัวนำนั้นได้เท่าใด กำหนดให้อุณหภูมิของลวดตัวนำคงตัว



.....

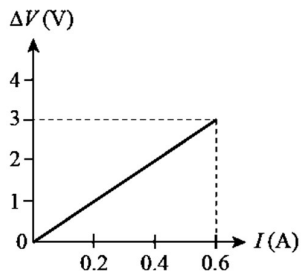
.....

.....

.....

.....

3.



จากการทดลองวัดความต่างศักย์ไฟฟ้าระหว่างปลายของตัวต้านทาน และกระแสไฟฟ้าที่ผ่านตัวต้านทาน เขียนกราฟได้ดังรูป จงหาความต้านทานของตัวต้านทาน



.....

.....

.....

.....

.....

4. พิจารณาข้อความต่อไปนี้ เขียนเครื่องหมาย ✓ หรือ ✗

- .....A. ที่อุณหภูมิคงตัว ความต้านทานของตัวนำโลหะมีค่าคงตัว  
 .....B. ถ้าลวดตัวนำมีความยาวมากขึ้น ความต้านทานของลวดตัวนำจะมากขึ้น  
 .....C. สำหรับโลหะบริสุทธิ์ เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น จะทำให้สภาพต้านทานเปลี่ยนไปน้อยมาก  
 .....D. สารกึ่งตัวนำ เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น ทำให้สภาพนำไฟฟ้ามีค่าลดลงอย่างรวดเร็ว

5. ลวดเงินยาว 5 เมตร พื้นที่หน้าตัด 2 ตารางมิลลิเมตร ลวดเงินมีความต้านทานเท่าใด กำหนดให้ สภาพนำไฟฟ้าของเงินเท่ากับ  $6.14 \times 10^7$  (โอห์ม เมตร)<sup>-1</sup>



.....

.....

.....

.....

.....

.....

6. ลวดโลหะชนิดหนึ่ง มีสภาพต้านทานไฟฟ้า  $6 \times 10^{-8}$  โอห์ม เมตร มีพื้นที่หน้าตัด 0.5 ตารางมิลลิเมตร ต้องใช้ลวดยาวเท่าใดจึงมีความต้านทาน 2.5 โอห์ม



.....

.....

.....

.....

.....

.....

7. สายไฟ 2 เส้น ทำด้วยโลหะ 2 ชนิด เส้นแรกมีสภาพต้านทานไฟฟ้าเป็น 4 เท่าของเส้นที่สอง ถ้าความยาวและความต้านทานเท่ากัน จงหาอัตราส่วนพื้นที่หน้าตัดของเส้นที่หนึ่งต่อเส้นที่สอง



.....

.....

.....

.....

.....

.....

8. ลวดโลหะเส้นหนึ่งมีความต้านทาน 8 โอห์ม ถ้านำลวดเส้นนี้มาริดทำเป็นลวดเส้นใหม่ที่มีความยาวเป็น 4 เท่าของความยาวเดิม ความต้านทานของลวดโลหะจะเพิ่มขึ้นหรือลดลงเป็นเท่าใด



Blank writing area for problem 8, featuring a dashed border and horizontal dotted lines.

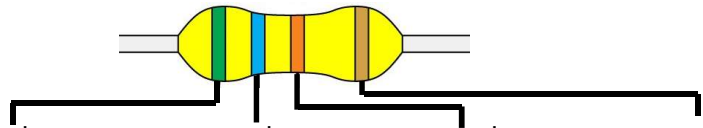
9. ถ้าต้องการลวดสายไฟที่มีความต้านทาน 5 โอห์ม จากโลหะซึ่งมีสภาพต้านทาน  $8 \times 10^{-8}$  โอห์ม เมตร โดยมีปริมาตรของลวดเป็น 12 ลูกบาศก์เซนติเมตร จงหาความยาวและพื้นที่หน้าตัดของลวดเส้นนี้



Blank writing area for problem 9, featuring a dashed border and horizontal dotted lines.

### ใบความรู้ที่ 3 การอ่านค่าแถบสีบนตัวต้านทาน

ตาราง 2 ความหมายของแถบสีบนตัวต้านทาน



แถบสี	แถบที่ 1	แถบที่ 2	แถบที่ 3	แถบที่ 4
แถบสี	แทนเลข	แทนเลข	คูณด้วย	ความคลาดเคลื่อน
ดำ	0	0	1	น้ำตาล = ± 1%
น้ำตาล	1	1	10 <sup>1</sup>	แดง = ± 2%
แดง	2	2	10 <sup>2</sup>	ทอง = ± 5%
ส้ม	3	3	10 <sup>3</sup>	เงิน = ± 10%
เหลือง	4	4	10 <sup>4</sup>	ไม่มีสี = ± 20%
เขียว	5	5	10 <sup>5</sup>	
น้ำเงิน	6	6	10 <sup>6</sup>	
ม่วง	7	7	-	
เทา	8	8	-	
ขาว	9	9	-	
ทอง	-	-	10 <sup>-1</sup>	
เงิน	-	-	10 <sup>-2</sup>	

#### วิธีการอ่านค่าจากแถบสี

- แถบสีที่ 1 อยู่ใกล้ขาข้างใดข้างหนึ่งมากที่สุด บอกตัวเลขแรก
- แถบสีที่ 2 บอกตัวเลขที่ 2
- แถบสีที่ 3 บอกเลขยกกำลังของสิบที่ต้องนำไปคูณกับเลขสองตัวแรก
- แถบสีที่ 4 บอกความคลาดเคลื่อนของค่าความต้านทานที่อ่านได้จากสามแถบแรก โดยบอกค่าเป็นร้อยละ

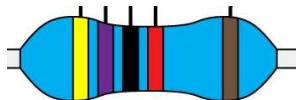
#### ตัวอย่างการอ่านค่าแถบสีจากตัวต้านทาน

1. ตัวต้านทานมี 4 แถบสี



แถบสีที่อ่านได้ เรียงตามลำดับคือ เขียว , น้ำเงิน , ส้ม และ ทอง  
 ค่าความต้านทานที่อ่านได้  
 $= (56 \times 10^3) \Omega \pm 5\%$   
 $= 56,000 \pm \left(\frac{5}{100} \times 56,000\right)$   
 $= 56,000 \pm 2,800 \Omega$

2. ตัวต้านทานมี 5 แถบสี



แถบสีที่อ่านได้ เรียงตามลำดับคือ เหลือง , ม่วง , ดำ , แดง และ น้ำตาล  
 ค่าความต้านทานที่อ่านได้  
 $= (470 \times 10^2) \Omega \pm 1\%$   
 $= 47,000 \pm \left(\frac{1}{100} \times 47,000\right)$   
 $= 47,000 \pm 470 \Omega$

**ใบกิจกรรมที่ 3 การอ่านค่าแถบสีบนตัวต้านทาน**

1.



แถบสีที่อ่านได้ ..... , ..... , ..... และ .....  
ค่าความต้านทานที่อ่านได้

.....  
.....  
.....

2.



แถบสีที่อ่านได้ ..... , ..... , ..... และ .....  
ค่าความต้านทานที่อ่านได้

.....  
.....  
.....

3.



แถบสีที่อ่านได้ ..... , ..... , ..... และ .....  
ค่าความต้านทานที่อ่านได้

.....  
.....  
.....

4.



แถบสีที่อ่านได้ ..... , ..... , ..... และ .....  
ค่าความต้านทานที่อ่านได้

.....  
.....  
.....

5.



แถบสีที่อ่านได้ ..... , ..... , ..... , ..... และ .....  
ค่าความต้านทานที่อ่านได้

.....  
.....  
.....

6. ตัวต้านทานขนาด 560 กิโลโอห์ม และมีความคลาดเคลื่อน 5% จะมีแถบสีแบบสีแถบ และแบบห้าแถบ  
อย่างไร

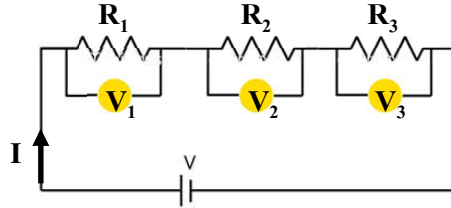


.....  
.....  
.....

## ใบความรู้ที่ 4 การต่อตัวต้านทาน

### 1. การต่อตัวต้านทานแบบอนุกรม

เป็นการนำตัวต้านทานมาต่อเรียงกันให้อยู่ในสายเดียวกันโดยใช้ปลายหนึ่งของตัวต้านทานต่อกับปลายตัวต้านทานที่ 2 ต่อเรียงกันแบบอนุกรม



รูป 7 ตัวอย่างการต่อตัวต้านทานแบบอนุกรม

#### ผลของการต่อตัวต้านทานแบบอนุกรม

1. กระแสไฟฟ้า ( $I$ ) ผ่านตัวต้านทานทุกตัวเท่ากัน

$$I_{\text{รวม}} = I_1 = I_2 = I_3$$

2. ความต่างศักย์ไฟฟ้ารวม เท่ากับ ผลรวมของความต่างศักย์ไฟฟ้าย่อย

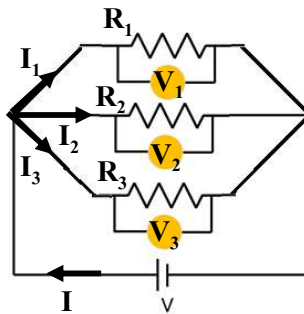
$$V_{\text{รวม}} = V_1 + V_2 + V_3$$

3. ความต้านทานสมมูล หาได้จากสมการ

$$R_{\text{รวม}} = R_1 + R_2 + R_3$$

### 2. การต่อตัวต้านทานแบบขนาน

เป็นการนำตัวต้านทานมาต่อรวมเป็นกลุ่มเดียวกัน โดยใช้ปลายหนึ่งของตัวต้านทานแต่ละตัวไปต่อรวมกันที่จุดหนึ่ง



รูป 8 ตัวอย่างการต่อตัวต้านทานแบบขนาน

#### ผลของการต่อตัวต้านทานแบบขนาน

1. กระแสไฟฟ้ารวม ( $I$ ) เท่ากับ ผลรวมของกระแสไฟฟ้าที่ผ่านตัวต้านทานแต่ละตัว

$$I_{\text{รวม}} = I_1 + I_2 + I_3$$

2. ความต่างศักย์ไฟฟ้ารวม เท่ากับ ความต่างศักย์ไฟฟ้าระหว่างปลายของตัวต้านทานแต่ละตัว

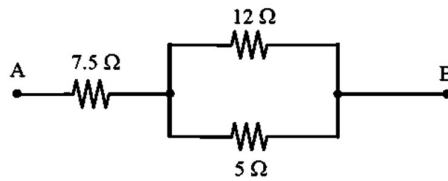
$$V_{\text{รวม}} = V_1 = V_2 = V_3$$

3. ความต้านทานสมมูล หาได้จากสมการ

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

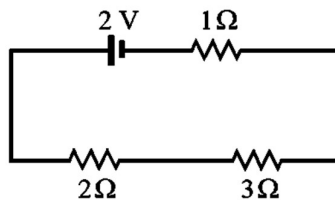


3. จากรูป ถ้าความต่างศักย์ไฟฟ้าระหว่างปลายของตัวต้านทานขนาด 12 โอห์ม เท่ากับ 18 โวลต์ จงหาความต่างศักย์ไฟฟ้าระหว่าง A กับ B



Blank area for writing the solution to problem 3, featuring horizontal dashed lines for text entry.

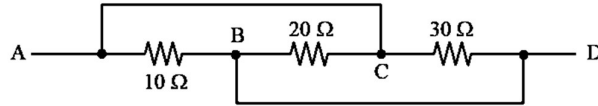
4. วงจรไฟฟ้างดังรูป จงหาความต่างศักย์ไฟฟ้าระหว่างปลายตัวต้านทาน 3 โอห์ม



Blank area for writing the solution to problem 4, featuring horizontal dashed lines for text entry.

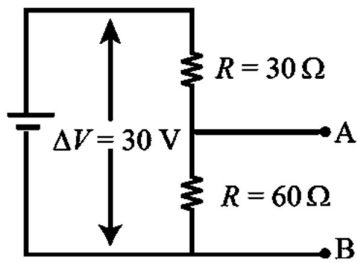


5. จากรูป จงหาความต้านทานสมมูลระหว่างปลาย A กับ B



Blank area for writing the solution to problem 5, featuring horizontal dashed lines for text entry.

6.

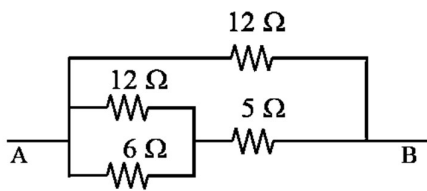


จากรูป ความต่างศักย์ระหว่างจุด A และ B มีค่าเท่าใด  
และถ้านำตัวต้านทาน 30 โอห์ม ต่อระหว่างจุด A และ  
B ความต่างศักย์ไฟฟ้าระหว่างจุด A และ B ในครั้งหลังมีค่าเท่าใด



Blank area for writing the solution to problem 6, featuring horizontal dashed lines for text entry.

7. รูปแสดงการต่อตัวต้านทาน เมื่อนำปลาย A และ B ต่อเข้ากับความต่างศักย์ไฟฟ้า 10 โวลต์ จงหา



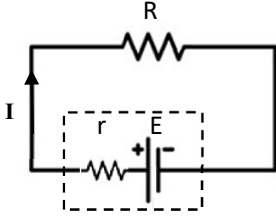
- ก. ความต้านทานสมมูล
- ข. กระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านในวงจร
- ค. กระแสไฟฟ้าที่ผ่านตัวต้านทานขนาด 5 โอห์ม
- ง. ความต่างศักย์ไฟฟ้าระหว่างปลายตัวต้านทาน 5 โอห์ม



A large rectangular area with a dashed border and horizontal dotted lines, intended for student answers.

## ใบความรู้ที่ 5 แรงเคลื่อนไฟฟ้า

อีเอ็มเอฟ (electromotive force หรือ e.m.f.) หรือ แรงเคลื่อนไฟฟ้า ( $\mathcal{E}$  หรือ  $E$ ) คือพลังงานไฟฟ้าที่แหล่งกำเนิดไฟฟ้าจ่ายให้กับประจุไฟฟ้าหนึ่งหน่วยที่เคลื่อนที่ผ่านแบตเตอรี่



รูป 9 แสดงความต้านทานภายในเซลล์ไฟฟ้า (แบตเตอรี่)

จากรูป  $E$  คือ แรงเคลื่อนไฟฟ้าของเซลล์ไฟฟ้า  
 $r$  คือ ความต้านทานภายในของเซลล์ไฟฟ้า  
 $R$  คือ ความต้านทานภายนอกที่ต่อกับเซลล์ไฟฟ้า  
 จะได้ว่า

$$E = V_R + V_r$$

เมื่อ  $V = IR$  ;  $E = IR + Ir$

$$E = I(R + r)$$

ได้ว่า

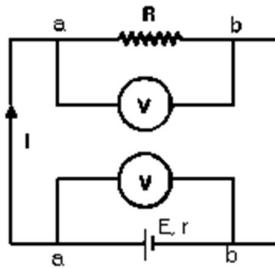
$$I = \frac{E}{R+r}$$

ถ้ามีเซลล์ไฟฟ้าหลายเซลล์ สามารถเขียนเป็นสมการได้ดังนี้

$$I = \frac{\sum E}{\sum(R+r)}$$

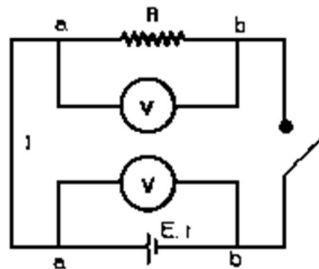
### ความต่างศักย์ระหว่างขั้วเซลล์ไฟฟ้า

เมื่อบังคับ ความต่างศักย์ไฟฟ้าระหว่างขั้วเซลล์ไฟฟ้า จะมีค่าเท่ากับความต่างศักย์ไฟฟ้าภายนอกเซลล์ไฟฟ้า ( $V_R$ )



รูป 10 ความต่างศักย์ไฟฟ้าระหว่างขั้วเซลล์ไฟฟ้า เมื่อบังคับ

เมื่อบังคับ ความต่างศักย์ไฟฟ้าระหว่างขั้วเซลล์ไฟฟ้า จะมีค่าเท่ากับแรงเคลื่อนไฟฟ้า



รูป 11 ความต่างศักย์ไฟฟ้าระหว่างขั้วเซลล์ไฟฟ้า เมื่อบังคับ

## ใบกิจกรรมที่ 5 แรงเคลื่อนไฟฟ้า

1. แบตเตอรี่มีอีเอ็มเอฟ 3 โวลต์ และความต้านทานภายใน 1 โอห์ม ต่อกับตัวต้านทานแล้วพบว่า มีกระแสไฟฟ้าในวงจร 0.5 แอมแปร์ จงหาความต่างศักย์ระหว่างปลายของตัวต้านทาน



.....

.....

.....

.....

.....

.....

2. แบตเตอรี่มีอีเอ็มเอฟ 6 โวลต์ ต่อใช้งานกับเครื่องใช้ไฟฟ้าพบว่าความต่างศักย์ที่เครื่องใช้ไฟฟ้าได้รับมีค่า 4.5 โวลต์ จงหา

ก. ความต่างศักย์ที่ความต้านทานภายในเป็นเท่าใด

ข. ถ้าในวงจรไฟฟ้ามีกระแสไฟฟ้า 0.5 แอมแปร์ ความต้านทานภายในของแบตเตอรี่มีค่าเท่าใด



.....

.....

.....

.....

.....

.....

3. เมื่อเอาลวดตัวต้านทาน 6 โอห์ม และ 3 โอห์ม ที่ต่อขนานกัน แล้วต่อเข้ากับเซลล์ไฟฟ้าขนาด 1.5 โวลต์ , 1 โอห์ม จะเกิดความต่างศักย์ระหว่างขั้วเซลล์ไฟฟ้าเท่าใด



.....

.....

.....

.....

.....

.....

4. เมื่อนำหลอดไฟมาต่อกับแบตเตอรี่ขนาด 9 โวลต์ ที่มีความต้านทานภายใน 2 โอห์ม พบว่า มีกระแสไฟฟ้าผ่านหลอด 0.7 แอมแปร์ และเมื่อเปลี่ยนเป็นหลอดไฟอีกหลอด พบว่า มีกระแสไฟฟ้าผ่านหลอด 1.2 แอมแปร์ จงหาความต่างศักย์ระหว่างขั้วของหลอดไฟแต่ละหลอด



Blank writing area for problem 4, featuring a dashed border and horizontal dotted lines for text entry.

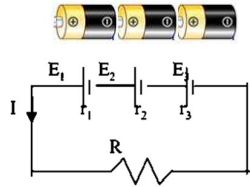
5. เมื่อเซลล์ไฟฟ้าต่อเข้ากับตัวต้านทาน 6 โอห์ม มีกระแสไฟฟ้าไหลผ่าน 0.5 แอมแปร์ แต่เมื่อเซลล์ไฟฟ้านี้ต่อเข้ากับตัวต้านทาน 14 โอห์ม จะมีกระแสไฟฟ้าไหลผ่าน 0.25 แอมแปร์ จงหา แรงเคลื่อนไฟฟ้าของเซลล์ไฟฟ้า และความต้านทานภายในของเซลล์ไฟฟ้า



Blank writing area for problem 5, featuring a dashed border and horizontal dotted lines for text entry.

## ใบความรู้ที่ 6 การต่อเซลล์ไฟฟ้า

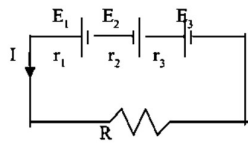
1. การต่อแบบอนุกรม เป็นการนำเซลล์ไฟฟ้ามาต่อเรียงกันเป็นเส้นเดียวกัน



จากรูป

$$\begin{aligned} \sum E &= E_1 + E_2 + E_3 \\ \sum r &= r_1 + r_2 + r_3 \end{aligned}$$

รูป 12 แสดงการต่อเซลล์ไฟฟ้าแบบอนุกรม (ตามกัน)

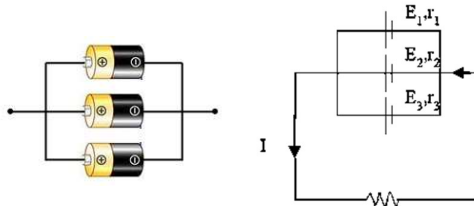


จากรูป

$$\begin{aligned} \sum E &= E_1 + E_3 - E_2 \\ \sum r &= r_1 + r_2 + r_3 \end{aligned}$$

รูป 13 แสดงการต่อเซลล์ไฟฟ้าแบบอนุกรม (ขัดกัน)

2. การต่อแบบขนาน เป็นการนำเซลล์ไฟฟ้ามาต่อให้ขั้วชนิดเดียวกันเข้าด้วยกัน



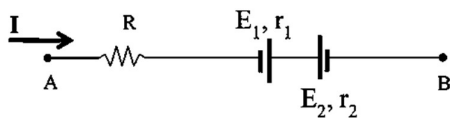
จากรูป

$$\begin{aligned} \sum E &= E_1 = E_2 = E_3 \\ \sum r &= \frac{r}{n} \end{aligned}$$

เมื่อ n คือ จำนวนตัวที่ต่อขนานกัน

รูป 14 แสดงการต่อเซลล์ไฟฟ้าแบบขนาน

### การหาความต่างศักย์ไฟฟ้าระหว่างจุด 2 จุด ที่มีเซลล์ไฟฟ้าแทรกอยู่ในวงจร



สามารถหาค่า  $V_{AB}$  จากสมการ

$$V_{AB} = I \sum (R + r) - \sum E$$

รูป 15 วงจรไฟฟ้าที่มีเซลล์ไฟฟ้าแทรกอยู่

### การกำหนดเครื่องหมายของ I และ E

1. ทิศทางตามกระแสไฟฟ้าจริง I เป็นบวก ส่วนกระแสไฟฟ้าจริง I เป็นลบ

$$\text{หาขนาดกระแสไฟฟ้าจากสมการ } I = \frac{\sum E}{\sum (R+r)}$$

2. ทิศทางผ่านเซลล์ไฟฟ้า

- เข้าทางขั้วลบ ออกทางขั้วบวก E เป็น บวก
- เข้าทางขั้วบวก ออกทางขั้วลบ E เป็น ลบ

3. ความต้านทานเป็นบวก

**ใบกิจกรรมที่ 6 การต่อเซลล์ไฟฟ้า**

1. นำแบตเตอรี่ขนาด 1.5 โวลต์ ความต้านทานภายใน 0.2 โอห์ม จำนวน 4 อันมาต่อแบบอนุกรม  
จงหาอีเอ็มเอฟสมมูล และความต้านทานภายในสมมูลของแบตเตอรี่



.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

2. นำแบตเตอรี่ขนาด 3 โวลต์ ความต้านทานภายใน 0.3 โอห์ม จำนวน 3 อันมาต่อแบบขนาน  
จงหาอีเอ็มเอฟสมมูล และความต้านทานภายในสมมูลของแบตเตอรี่



.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

3. เมื่อนำแบตเตอรี่สี่ก้อนมาต่อกันแบบอนุกรมไปต่อกับตัวต้านทานขนาด 5.6 โอห์ม กระแสไฟฟ้าในวงจรมีค่าเท่าใด ถ้าแบตเตอรี่แต่ละก้อนมีแรงเคลื่อนไฟฟ้า 1.5 โวลต์ และความต้านทานภายใน 0.1 โอห์ม



.....

.....

.....

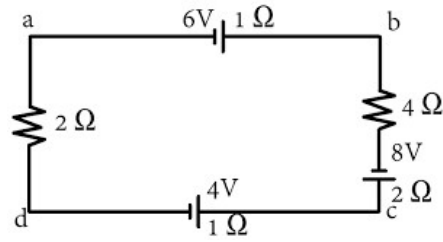
.....

.....

.....

.....

4. จากรูป จงหาความต่างศักย์ไฟฟ้าระหว่างจุด ab , ระหว่างจุด cd และระหว่างจุด bc



A large rectangular area with a dashed border, containing horizontal dotted lines for writing the answer.



## ใบความรู้ที่ 7 พลังงานและกำลังไฟฟ้า

**กำลังไฟฟ้า** (Electric power) หมายถึง งานที่ประจุไฟฟ้าทำได้ในหนึ่งหน่วยเวลา หรือ พลังงานไฟฟ้าของประจุไฟฟ้าที่ถ่ายโอนไปยังส่วนต่างๆ ของวงจรในหนึ่งหน่วยเวลา

สมการ

$$P = \frac{W}{t}$$

มีหน่วย จูล/วินาที หรือ วัตต์ (Watt , W)

W (พลังงานไฟฟ้า) มีความสัมพันธ์กับความต่างศักย์ระหว่างขั้วของเครื่องไฟฟ้างี้

$$W = QV$$

และปริมาณประจุไฟฟ้า คือ

$$Q = I \times t$$

ดังนั้น

$$P = \frac{ItV}{t}$$

จะได้ว่า

$$P = IV$$

หรือ  $P = I^2 R$  หรือ  $P = \frac{V^2}{R}$

เมื่อ P คือ กำลังไฟฟ้า มีหน่วย วัตต์

I คือ กระแสไฟฟ้า มีหน่วย แอมแปร์

V คือ ความต่างศักย์ไฟฟ้า มีหน่วย โวลต์

R คือ ความต้านทาน มีหน่วย โอห์ม



รูป 15 ตัวอย่างกำลังไฟฟ้าของเครื่องใช้ไฟฟ้า

### ความรู้เพิ่มเติม

#### หน่วย (unit)

เนื่องจากพลังงานไฟฟ้าที่เครื่องใช้ไฟฟ้าในหน่วย จูล มีค่าค่อนข้างสูง ดังนั้นในทางปฏิบัติ จึงได้พิจารณาหน่วยของพลังงานไฟฟ้า เป็น กิโลวัตต์ ชั่วโมง (kw h) หรือเรียกว่า หน่วย (unit)

ดังนั้นจะเห็นได้จากใบแจ้งค่าไฟฟ้า ที่ระบุหน่วยของพลังงานไฟฟ้าเป็น หน่วย

**ใบกิจกรรมที่ 7 ผลงานและกำลังไฟฟ้า**

1. เมื่อต่อมอเตอร์ไฟฟ้าเข้ากับวงจรไฟฟ้าพบว่า ความต่างศักย์ระหว่างขั้วของมอเตอร์มีค่า 10 โวลต์ มีกระแสไฟฟ้าในวงจร 2 แอมแปร์ มอเตอร์นี้มีกำลังไฟฟ้าเท่าใด



.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

2. เครื่องเป่าผมมีกำลังไฟฟ้า 800 วัตต์ ใช้กับไฟฟ้าบ้าน 220 โวลต์ ถ้าใช้เครื่องเป่าผมนี้ 2 นาที ปริมาณประจุไฟฟ้าที่เคลื่อนที่ผ่านเครื่องเป่าผมมีค่าเท่าใด



.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

3. หลอดไฟของไฟฉายมีกำลังไฟฟ้า 20 วัตต์ ใช้กับแบตเตอรี่ที่มีอีเอ็มเอฟ 9 โวลต์ จงหา

ก. กระแสไฟฟ้าที่ผ่านหลอดไฟ

ข. ถ้าใช้งานไฟฉายเป็นเวลานาน 10 นาที ไฟฉายนี้ใช้พลังงานไฟฟ้าไปกี่จูล



.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

4. เตารีดไฟฟ้าเครื่องหนึ่งเมื่อต่อกับความต่างศักย์ไฟฟ้า 220 โวลต์ ทำให้มีกระแสไฟฟ้าผ่านเตารีด 6 แอมแปร์ มีผลทำให้เกิดความร้อนในเตารีดในเวลา 1 ชั่วโมงเท่าใด ถ้าร้อยละ 80 ของพลังงานไฟฟ้าเปลี่ยนเป็นพลังงานความร้อน



Blank area for solving problem 4, featuring a dashed border and horizontal dotted lines for writing.

5. เต้าไฟฟ้ามีกำลังไฟฟ้าและความต่างศักย์ไฟฟ้า 600 วัตต์ และ 220 โวลต์ ถ้านำเต้าไฟฟ้ามาใช้กับความต่างศักย์ไฟฟ้า 200 โวลต์ กระแสไฟฟ้าที่ผ่านลวดของเต้าไฟฟ้าจะลดลงร้อยละเท่าใด



Blank area for solving problem 5, featuring a dashed border and horizontal dotted lines for writing.

6. บ้านหลังหนึ่งใช้หลอดฟลูออเรสเซนต์ขนาด 40 วัตต์ จำนวน 5 หลอด เป็นเวลานาน 6 ชั่วโมง ใช้เตารีดกำลัง 1,200 วัตต์ นาน 2 ชั่วโมง เครื่องซักฟอกกำลัง 1,000 วัตต์ เป็นเวลา 2 ชั่วโมง จงหาพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในบ้านเป็นกิโลวัตต์ ชั่วโมง



A large rectangular area with a dashed border, containing several horizontal dotted lines for writing the solution to the problem.