

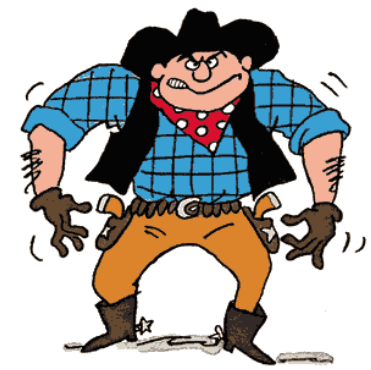
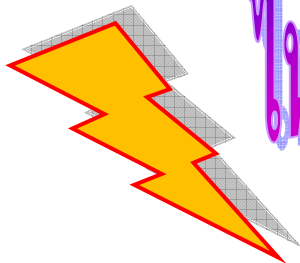
# โรงเรียน ดีดี



ที่พึ่งทางการศึกษา ช่วยไขปัญหาให้ทุกคน [SchoolDD.com](http://SchoolDD.com)

บทที่ 16

## ไฟฟ้าและแม่เหล็ก 1



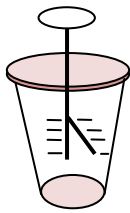


## บทที่ 16

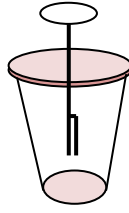
# ไฟฟ้าและแม่เหล็ก 1

### 16.1 กระแสไฟฟ้า

กระแสไฟฟ้า (electric current) เกิดขึ้นเมื่อมีประจุไฟฟ้าเคลื่อนที่ในตัวนำ

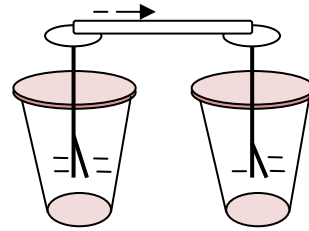


อิเล็กโทรสโคปที่มีประจุ



อิเล็กโทรสโคปที่เป็นกลาง

รูป ก.



รูป ข.

เมื่อนำอิเล็กโทรสโคปสองชุด มาวางใกล้กัน ชุดหนึ่งมีประจุไฟฟ้าโดยการเหนี่ยวนำ อีกชุดหนึ่งมีสภาพเป็นกลางทางไฟฟ้า ดังรูป ก. นำลวดโลหะวางพาดบนจานโลหะทั้งสอง จะพบว่าแผ่นโลหะบางของอิเล็กโทรสโคปที่เป็นกลางกางออกเล็กน้อย ส่วนแผ่นโลหะบางของอิเล็กโทรสโคปที่มีประจุหุบลงเล็กน้อย ทั้งนี้เนื่องจากมีความต่างศักย์ระหว่างอิเล็กโทรสโคปทั้งสอง จึงมีการเคลื่อนที่ของประจุจากอิเล็กโทรสโคปที่มีประจุ ผ่านลวดโลหะมายังอิเล็กโทรสโคปที่เป็นกลางดังรูป ข. เกิดกระแสไฟฟ้าขึ้นในลวดโลหะ

กระแสไฟฟ้าในลวดโลหะดังกล่าว เกิดขึ้นในช่วงเวลาอันสั้นเพราะความต่างศักย์ที่เกิดขึ้นในลวดโลหะ เกิดในช่วงเวลาสั้นมาก เมื่อศักย์ไฟฟ้าระหว่างอิเล็กโทรสโคปทั้งสองเท่ากัน ประจุจะหยุดถ่ายเท กระแสไฟฟ้าจะหมดไป ถ้าต้องการให้เกิดกระแสไฟฟ้าในตัวนำอย่างต่อเนื่องต้องสร้างแหล่งกำเนิดไฟฟ้า ให้มีความต่างศักย์ตลอดเวลา

**แหล่งกำเนิดไฟฟ้า** คือแหล่งกำเนิดที่ทำให้เกิดความต่างศักย์ไฟฟ้าระหว่างปลายทั้งสองของตัวนำ อยู่ตลอดเวลา ทำให้เกิดกระแสไฟฟ้าไหลผ่านตัวนำได้ตลอดเวลา ได้แก่ แบตเตอรี่ ถ่านไฟฉาย เครื่องกำเนิดไฟฟ้า เป็นต้น

#### 16.1.1 การนำไฟฟ้า

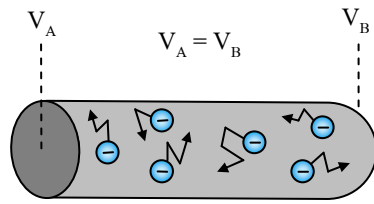
การนำไฟฟ้า เกิดขึ้นเมื่อมีกระแสไฟฟ้าในตัวกลางใดๆ และเรียกตัวกลางนั้นว่า ตัวนำไฟฟ้า

##### การนำไฟฟ้าในโลหะ

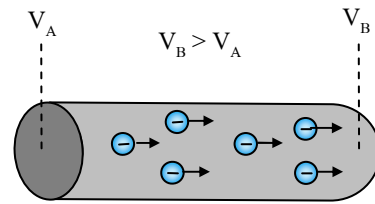
โลหะเป็นตัวนำไฟฟ้าที่ดี เนื่องจากมีอิเล็กตรอนอิสระ (free electron) ซึ่งจะหลุดจากอะตอมได้ง่าย และมีการเคลื่อนที่อย่างไร้ระเบียบไม่มีทิศทางแน่นอน เรียกว่าการเคลื่อนที่แบบบราวน์ (Brownian motion) ดังนั้นความเร็วเฉลี่ยของอิเล็กตรอนอิสระ แต่ละตัวจึงเป็นศูนย์



เมื่อทำให้ปลายทั้งสองของแท่งโลหะมีความต่างศักย์ จะเกิดสนามไฟฟ้าภายในแท่งโลหะนั้น แรงเนื่องจากสนามไฟฟ้า จะทำให้อิเล็กตรอนอิสระเคลื่อนที่ โดยมีความเร็วเฉลี่ยไม่เป็นศูนย์ คือมีความเร็วลอยเลื่อน (drift velocity) ทำให้มีกระแสไฟฟ้าในแท่งโลหะ ดังนั้น กระแสไฟฟ้าในโลหะจึงเกิดจากการเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอนอิสระ



การเคลื่อนที่แบบบราวน์ ของอิเล็กตรอนอิสระในแท่งโลหะ ถ้าไม่มีความต่างศักย์ไฟฟ้า ( $V_A = V_B$ )

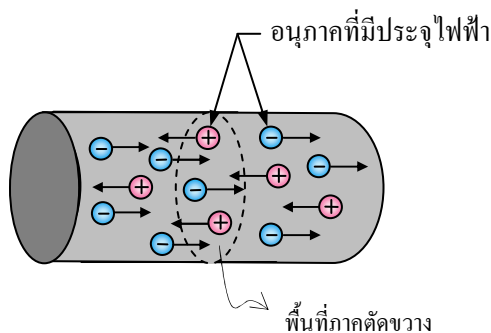


อิเล็กตรอนอิสระเคลื่อนที่ด้วยความเร็วลอยเลื่อน เมื่อปลายสองข้างของแท่งโลหะมีความต่างศักย์ไฟฟ้า ( $V_B > V_A$ ) เกิดกระแสไฟฟ้าในแท่งโลหะ

### 16.1.2 กระแสไฟฟ้าในตัวนำไฟฟ้า

เนื่องจากกระแสไฟฟ้า ในตัวกลางใดๆ เกิดจากการเคลื่อนที่ของอนุภาคที่มีประจุไฟฟ้า ได้แก่ อิเล็กตรอน ไอออนบวก ไอออนลบ จึงกำหนดขนาด และทิศทางของกระแสไฟฟ้าดังนี้

ขนาดของกระแสไฟฟ้า มีค่าเท่ากับ ปริมาณประจุไฟฟ้า ที่ผ่านพื้นที่ภาคตัดขวาง ของตัวกลางในหนึ่งหน่วยเวลา เป็นปริมาณสเกลาร์ มีหน่วยเป็นคูลอมบ์ ต่อวินาที หรือแอมแปร์ (A)



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

$I$  = กระแสไฟฟ้าในตัวกลาง (A)

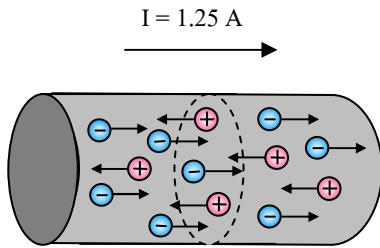
$Q$  = ปริมาณประจุทั้งหมด (บวก และลบ) ที่ผ่านภาคตัดขวางของตัวกลาง (C)

$t$  = เวลาที่ประจุเคลื่อนที่ผ่านภาคตัดขวาง (s)

ทิศทางของกระแสไฟฟ้า “ $I$ ” มีทิศทางเดียวกับทิศของสนามไฟฟ้า “ $E$ ”

#### ตัวอย่างที่ 1

ถ้ามีกระแสไฟฟ้า 1.25 แอมแปร์ ในเส้นลวดโลหะเส้นหนึ่ง ประจุทั้งหมดที่ผ่านพื้นที่ หน้าตัดของเส้นลวดโลหะเส้นนั้นในเวลา 5 วินาที จะมีค่าเท่าใด



เมื่อ  $t = 5$ ,  $Q = ?$

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

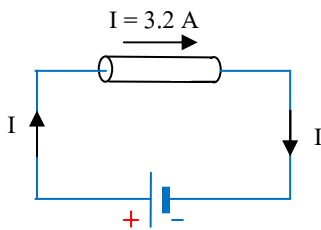
$$Q = It$$

$$= 1.25 \times 5.0$$

$$\therefore Q = 6.25 \text{ C } \text{ Ans}$$

### ตัวอย่างที่ 2

ถ้าต่อเส้นลวดโลหะ กับแบตเตอรี่ ปรากฏว่ามีกระแสไฟฟ้าผ่านเส้นลวดนี้ 3.2 แอมแปร์ จงหาจำนวนอิเล็กตรอนอิสระ ที่ผ่านพื้นที่ หน้าตัด ของลวดโลหะนั้นในเวลา 5.0 วินาที (อิเล็กตรอนมีประจุไฟฟ้า  $1.6 \times 10^{-19}$  คูลอมบ์)



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

$$Q = It$$

$$Q = 3.2 \times 5.0 \text{ C}$$

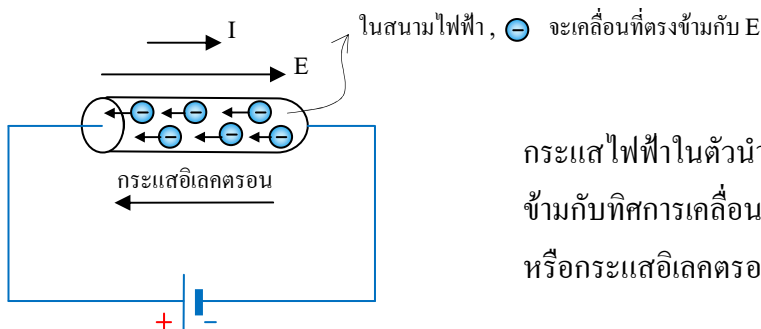
แต่อิเล็กตรอน 1 ตัวมีประจุ  $1.6 \times 10^{-19} \text{ C}$

$$\therefore \text{จะมีจำนวนอิเล็กตรอน} = \frac{3.2 \times 5.0}{1.6 \times 10^{-19}}$$

$$= 1 \times 10^{20} \text{ ตัว } \text{ Ans}$$

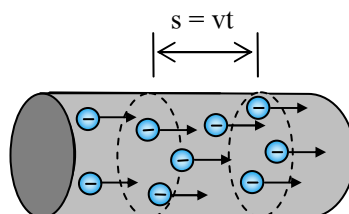
### กระแสไฟฟ้าในตัวนำโลหะ

เมื่อต่อตัวนำโลหะเข้ากับแบตเตอรี่ จะมีกระแสไฟฟ้าในตัวนำโลหะ ซึ่งเกิดจากการเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอนอิสระ ดังรูป



กระแสไฟฟ้าในตัวนำโลหะ (I) จะมีทิศทางตรงข้ามกับทิศการเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอนอิสระ หรือกระแสอิเล็กตรอน

### พิจารณาที่ตัวนำโลหะ





จากนิยามกระแสไฟฟ้า  $I = \frac{Q}{t}$  และประจุไฟฟ้า  $Q = Ne = (nAs)e = (nAvt)e = nevA$

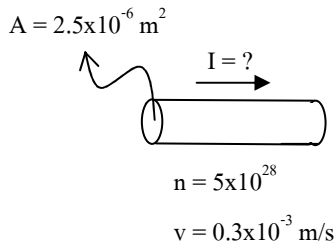
ดังนั้น  $I = \frac{nevA}{t}$  ↙  
จน.อิเล็กตรอน

$I = nevA$

- โดยที่  $n$  = ความหนาแน่นของอิเล็กตรอนอิสระ (อนุภาค /  $m^3$ )  
 $e$  = ประจุของอิเล็กตรอน ( $1.6 \times 10^{-19}$  C)  
 $v$  = ความเร็วลอยเลื่อนของอิเล็กตรอน (m/s)  
 $A$  = พื้นที่ภาคตัดขวางลวดตัวนำ ( $m^2$ )

### ตัวอย่างที่ 3

ลวดเส้นหนึ่งมีอิเล็กตรอนอิสระ  $5.0 \times 10^{28}$  ตัวต่อลูกบาศก์เมตร ลวดมีพื้นที่หน้าตัด 2.5 ตารางมิลลิเมตร ถ้าอิเล็กตรอนแต่ละตัวเคลื่อนที่ ด้วยขนาดความเร็วลอยเลื่อน 0.30 มิลลิเมตรต่อวินาที จะมีกระแสไฟฟ้าเท่าใดในเส้นลวดนี้



จาก  $I = nevA$

$$= 5 \times 10^{28} \times 1.6 \times 10^{-19} \times 0.3 \times 10^{-3} \times 2.5 \times 10^{-6}$$

$\therefore I = 6.0 \text{ A}$  **Ans**

## 16.2 ความสัมพันธ์ระหว่างกระแสไฟฟ้า (I) และความต่างศักย์ (V)

### 16.2.1 กฎของโอห์ม และความต้านทาน

กระแสไฟฟ้าที่ผ่านลวดโลหะ มีค่าแปรผันตรงกับความต่างศักย์ไฟฟ้าระหว่างปลายทั้งสองของลวดโลหะ

$$I \propto V$$

$$\therefore I = KV \quad (\text{เมื่อ } K = \text{ค่าคงที่ของการแปรผัน})$$

$$\frac{V}{I} = \frac{1}{K}$$

$$\frac{V}{I} = R \quad (\text{เมื่อ } \frac{1}{K} = R)$$

หรือ

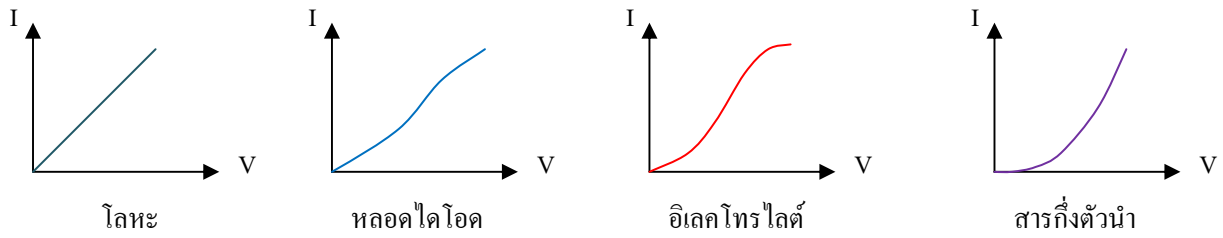
$$V = IR$$

กฎของโอห์ม

เมื่อ  $R$  = ความต้านทาน มีหน่วยเป็น โวลต์ ต่อแอมแปร์ หรือโอห์ม ( $\Omega$ )

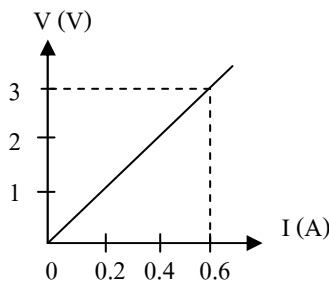


- เมื่ออุณหภูมิคงตัว เฉพาะตัวนำโลหะเท่านั้น ที่มีค่าความต้านทานคงตัว และเป็นไปตามกฎของโอห์ม



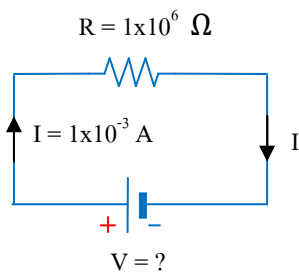
**ตัวอย่างที่ 4**

กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความต่างศักย์และกระแสไฟฟ้า เป็นดังรูป จงหาความต้านทานของตัวต้านทาน



**ตัวอย่างที่ 5**

จะต้องต่อตัวต้านทาน 1.0 เมกะโอห์มกับความต่างศักย์เท่าใด จึงจะมีกระแสไฟฟ้า 1.0 มิลลิแอมป์ ผ่านตัวต้านทานดังกล่าว

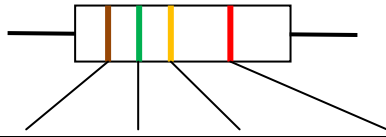


จากกฎของโอห์ม  $V = IR$   
 $= 1 \times 10^{-3} \times 1 \times 10^6$   
 $\therefore V = 1 \times 10^3 \text{ V } \underline{\text{Ans}}$

**ตัวต้านทาน (Resistor)**


ตัวต้านทาน เป็นอุปกรณ์ที่ช่วยปรับความต้านทานให้กับวงจร เพื่อปรับกระแสไฟฟ้า หรือความต่างศักย์ไฟฟ้า ให้พอเหมาะกับการใช้งานนั้นๆ ตัวต้านทานมี 2 แบบ คือ

1. **ตัวต้านทานคงตัว (Fixed resistor)** ทำจากผงคาร์บอนอัดแน่นเป็นรูปทรงกระบอกเล็กๆ มีค่าความต้านทานคงตัว ใช้สัญลักษณ์ ในวงจรไฟฟ้า และใช้แถบสีบอกค่าความต้านทาน

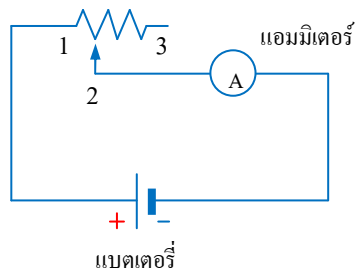


แถบสี	แถบที่ 1 แทนเลข	แถบที่ 2 แทนเลข	แถบที่ 3 คูณด้วย	แถบที่ 4 ความคลาดเคลื่อน
ดำ	0	0	1	-
น้ำตาล	1	1	$10^1$	$\pm 1\%$
แดง	2	2	$10^2$	$\pm 2\%$
ส้ม	3	3	$10^3$	-
เหลือง	4	4	$10^4$	-
เขียว	5	5	$10^5$	-
น้ำเงิน	6	6	$10^6$	-
ม่วง	7	7	-	-
เทา	8	8	-	-
ขาว	9	9	-	-
ทอง	-	-	$10^{-1}$	$\pm 5\%$
เงิน	-	-	$10^{-2}$	$\pm 10\%$

แถบสี 4 แถบ บนตัวต้านทาน มีความหมายดังนี้  
 แถบที่ 1 บอกเลขตัวแรก  
 แถบที่ 2 บอกเลขตัวที่สอง  
 แถบที่ 3 บอกเลขยกกำลังที่นำไปคูณกับ เลขสองตัวแรก  
 แถบที่ 4 บอกความคลาดเคลื่อนเป็นร้อยละ  
 ตัวต้านทานดังรูป มีแถบสี น้ำตาล เขียว ส้ม และแดง จะมีความต้านทาน  $15 \times 10^3$  โอห์ม และมีความคลาดเคลื่อน  $\pm 2\%$  หรือเท่ากับ 15,000 โอห์ม  $\pm 300$  โอห์ม หรือมีค่าระหว่าง 14,700 โอห์ม ถึง 15,300 โอห์ม


2. **ตัวต้านทานแปรค่า (Variable resistor)** เป็นตัวต้านทานที่สามารถปรับค่าความต้านทาน มาก น้อยได้ เพื่อควบคุมปริมาณกระแสไฟฟ้าในวงจร ตัวต้านทานแปรค่า ประกอบด้วยแถบความต้านทาน ซึ่งอาจทำด้วยแกรไฟต์ หรือลวดพันต่อกับขา 1 และ 3 และหน้าสัมผัสต่อกับขา 2 ใช้สัญลักษณ์  ในวงจรไฟฟ้า

ตัวต้านทานแปรค่า

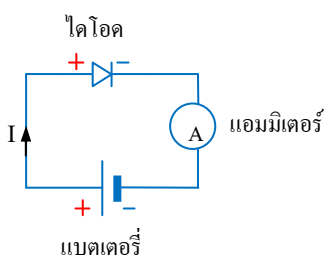


ความต้านทานจะเพิ่มขึ้นเมื่อเลื่อนหน้าสัมผัส 2 จากตำแหน่ง 1 ไปยังตำแหน่ง 3 และถ้าเลื่อนไปในทิศตรงข้ามความต้านทานจะลดลง

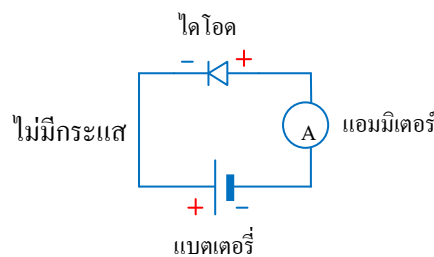
### ไดโอด (Diode)

ไดโอด เป็นอุปกรณ์ชนิดหนึ่งที่ใช้ในวงจรอิเล็กทรอนิกส์ต่างๆไปทำจากสารกึ่งตัวนำใช้สัญลักษณ์  ในวงจรไฟฟ้า ไดโอดมีขั้วไฟฟ้าบวก และขั้วไฟฟ้าลบ

การต่อไดโอดในวงจรไฟฟ้ามี 2 แบบคือ



ต่อแบบ ไบแอสตรง มีกระแสไฟฟ้าในวงจร




ต่อแบบ ไบแอสกลับ ไม่มีกระแสไฟฟ้าในวงจร

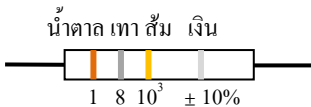


- ไดโอดยอมให้กระแสไฟฟ้าผ่านได้ทิศทางเดียว จึงใช้ไดโอดแปลงไฟฟ้ากระแสสลับ เป็นไฟฟ้ากระแสตรง

### ตัวอย่างที่ 6

ตัวต้านทาน a มีแถบสีส้มดำ แดง และทอง ตัวต้านทาน b มีแถบสี น้ำตาล เทา ส้ม และเงิน และตัวต้านทาน c มีแถบสีเขียว น้ำเงิน เหลือง และทอง ตัวต้านทานแต่ละตัว มีความต้านทานเท่าใด

ตัวต้านทาน a  มีความต้านทาน =  $30 \times 10^2 \Omega \pm 5\%$

ตัวต้านทาน b  มีความต้านทาน =  $18 \times 10^3 \Omega \pm 10\%$

ตัวต้านทาน c  มีความต้านทาน =

### 16.2.2 สภาพต้านทาน และสภาพนำไฟฟ้า

สภาพต้านทานไฟฟ้า “ $\rho$ ” เป็นสมบัติเฉพาะของสารชนิดหนึ่งๆ สารต่างชนิดกัน จะมีสภาพต้านทานไฟฟ้าต่างกัน สารชนิดเดียวกันสภาพต้านทานจะมีค่าขึ้นอยู่กับอุณหภูมิของสารดังกล่าว สภาพต้านทานไฟฟ้ามีหน่วยเป็น โอห์มเมตร

จากการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างความต่างศักย์ไฟฟ้า (V) และกระแสไฟฟ้า (I) เพื่อหาความต้านทานของลวดโลหะ (R) ที่มีขนาดลวดต่างๆกันพบว่า

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

↖ ความยาวลวดโลหะ  
↘ พท.หน้าตัดลวดโลหะ

หรือ  $R \propto \frac{\ell}{A}$

ดังนั้น  $R = \frac{\rho \ell}{A}$       เมื่อ  $\rho$  คือค่าคงตัว หรือสภาพต้านทานไฟฟ้า

ตัวอย่างเช่น  $\rho_{\text{เงิน}} = 1.6 \times 10^{-8} \Omega \text{ m}$ ,  $\rho_{\text{ทองแดง}} = 1.7 \times 10^{-8} \Omega \text{ m}$   
 $\rho_{\text{แก้ว}} = 10^{10} - 10^{14} \Omega \text{ m}$ ,  $\rho_{\text{พรีช}} = 10^{14} - 10^{18} \Omega \text{ m}$

### ตัวอย่างที่ 7

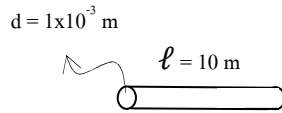
ลวดทองแดงขนาดสม่ำเสมอ ยาวเส้นละ 10 เมตร เส้นหนึ่งมีเส้นผ่าศูนย์กลาง 1 มิลลิเมตร อีกเส้นมีเส้นผ่าศูนย์กลาง 2 มิลลิเมตร ความต้านทาน ของลวดแต่ละเส้นเป็นเท่าใด และเปรียบเทียบความต้านทาน ของลวดทั้งสองเส้น (กำหนด  $\rho_{\text{ทองแดง}} = 1.7 \times 10^{-8} \Omega \text{ m}$ )





เส้นแรก

หาความต้านทานจาก



$$A = \frac{\pi d^2}{4} = \frac{3.14 \times (1 \times 10^{-3})^2}{4} = 7.85 \times 10^{-7} \text{ m}^2$$

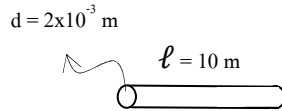
$$R = \frac{\rho l}{A}$$

$$R_1 = \frac{1.7 \times 10^{-8} \times 10}{7.85 \times 10^{-7}}$$

$$\therefore R_1 = 0.216 \ \Omega \text{ Ans}$$

เส้นที่สอง

หาความต้านทานจาก



$$A = \frac{\pi d^2}{4} = \frac{3.14 \times (2 \times 10^{-3})^2}{4} = 3.14 \times 10^{-6} \text{ m}^2$$

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

$$R_2 = \frac{1.7 \times 10^{-8} \times 10}{3.14 \times 10^{-6}}$$

$$\therefore R_2 = 0.054 \ \Omega \text{ Ans}$$

เปรียบเทียบ  $\frac{R_1}{R_2} = \frac{0.216}{0.054} = 4$

$\therefore$  ลวดทองแดงขนาด 1 มิลลิเมตร มีความต้านทานมากกว่าขนาด 2 มิลลิเมตร อยู่ 4 เท่า **Ans**

ความนำไฟฟ้า “G” เป็นส่วนกลับของความต้านทานไฟฟ้า มีหน่วยเป็น(โอห์ม)<sup>-1</sup> หรือ ซีเมนส์ (S)

$$G = \frac{1}{R}$$

สภาพนำไฟฟ้า “σ” เป็นสมบัติเฉพาะตัวของสาร และเป็นส่วนกลับของสภาพต้านทานไฟฟ้า มีหน่วยเป็น (โอห์มเมตร)<sup>-1</sup> หรือ ซีเมนส์ต่อเมตร (S/m)

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

### 16.2.3 ผลของอุณหภูมิที่มีต่อความต้านทาน

**ฉนวน** เป็นสารที่มีสภาพต้านทานสูงมาก เช่น แก้ว ยาง พลาสติก

เมื่อ T เพิ่มขึ้น ---> R ลดลง

**สารกึ่งตัวนำ** มีสภาพต้านทานอยู่ระหว่างตัวนำและฉนวน เช่น ซีลีคอน แกรไฟต์

เมื่อ T เพิ่มขึ้น ---> R ลดลง

**ตัวนำ** เป็นสารที่มีสภาพต้านทานต่ำ เช่น เงิน ทองแดง แพลทินัม

เมื่อ T เพิ่มขึ้น ---> R เพิ่มขึ้น

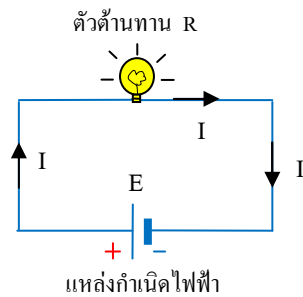


**สภาพนำยวดยิ่ง (Superconductivity)** หมายถึง สภาพที่สารมีสภาพต้านทานไฟฟ้าเป็นศูนย์ ( $\rho = 0$ ) ที่อุณหภูมิค่าหนึ่งและเรียกอุณหภูมินี้ว่า **อุณหภูมิวิกฤติ (critical temperature)** และเรียกวัสดุ หรือสารนี้ว่า **ตัวนำยิ่งยวด (Superconductor)**

### 16.3 พลังงานในวงจรไฟฟ้า

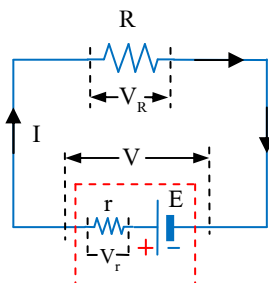
#### 16.3.1 แรงแเคลื่อนไฟฟ้า (E) และความต่างศักย์ (V)

เมื่อต่อแหล่งกำเนิดไฟฟ้า (เช่น ถ่านไฟฉาย แบตเตอรี่) เข้ากับตัวต้านทานเช่น หลอดไฟ ให้ครบวงจร มีกระแสไฟฟ้าไหลผ่านตัวต้านทาน และแหล่งกำเนิด กระแสไฟฟ้าเกิดขึ้นเนื่องจากการเคลื่อนที่ของประจุไฟฟ้า หรืออิเล็กตรอนที่ได้รับพลังงาน จากแหล่งกำเนิดไฟฟ้างดรูป



อิเล็กตรอนวิ่งสวนทางกับ I

เมื่อพิจารณาวงจรที่ประกอบด้วยตัวต้านทานที่มีความต้านทาน R ต่อกับแบตเตอรี่ ที่มีแรงเคลื่อนไฟฟ้า E และมีความต้านทานภายใน r ซึ่งมีค่าน้อย กระแสไฟฟ้า I จะผ่านทั้งตัวต้านทาน และ แบตเตอรี่ ดังรูป



พลังงานไฟฟ้าจากแหล่งกำเนิดไฟฟ้า (แบตเตอรี่) ที่ปล่อยออกมาจะมีค่าเท่ากับประจุไฟฟ้า Q คูณกับแรงเคลื่อนไฟฟ้า E และถูกใช้ไปเมื่อผ่านตัวต้านทาน r และ R ซึ่งมีค่าเท่ากับ ประจุไฟฟ้า Q คูณกับความต่างศักย์ระหว่างปลายของตัวต้านทานทั้งสอง

ให้  $W_E$  = พลังงานไฟฟ้าจากแหล่งกำเนิด

$W_R$  = พลังงานไฟฟ้าที่ผ่านตัวต้านทาน R

$W_r$  = พลังงานไฟฟ้าที่ผ่านตัวต้านทาน r

จากกฎการอนุรักษ์พลังงานจะได้ว่า

$$W_E = W_R + W_r$$

$$QE = QV_R + QV_r$$

จะได้

$$E = V_R + V_r$$



$$\text{หรือ } E = IR + Ir$$

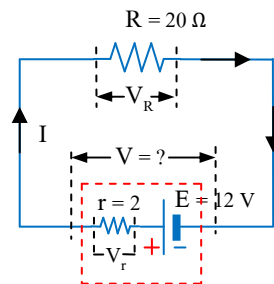
$$\text{จะได้ } I = \frac{E}{(R+r)}$$

จากรูปวงจร ถ้า  $V$  คือความต่างศักย์ระหว่างขั้วแบตเตอรี่ จะได้  $V = V_R$

และ ถ้าวัด  $V$  โดยไม่มีความต้านทาน  $R$  ต่ออยู่เลย จะได้  $V \cong E$  ถือได้ว่า  $V = E$

### ตัวอย่างที่ 8

แบตเตอรี่ก้อนหนึ่ง มีแรงเคลื่อนที่ไฟฟ้า 12.0 โวลต์ และความต้านทานภายใน 2.0 โอห์ม ต่อกับตัวต้านทาน 7.0 โอห์ม จงหาความต่างศักย์ระหว่างขั้วของแบตเตอรี่ ค่าที่คำนวณได้นี้ จะแตกต่างกับค่าที่วัดด้วยโวลต์มิเตอร์ ที่มีความต้านทานสูงมาก โดยไม่มีตัวต้านทานต่ออยู่หรือไม่เพราะเหตุใด



$$\text{หา } I \text{ จาก } E = V_R + V_r$$

$$E = IR + Ir$$

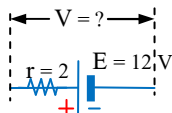
$$I = \frac{E}{(R+r)} = \frac{12}{(70+2)} = \frac{1}{6} \text{ A}$$

$$\text{จากรูป } V = V_R = IR$$

$$= \frac{1}{6} \times 70$$

$$\therefore V = 11.67 \text{ V } \underline{\text{Ans}}$$

ถ้าไม่มีความต้านทานต่อ

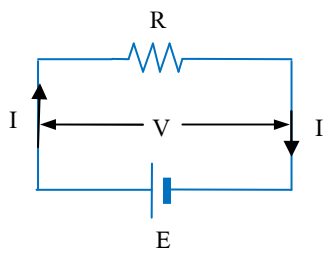


$$\text{จะได้ } V \cong E = 12 \text{ V } \underline{\text{Ans}}$$



### 16.3.2 พลังงานและกำลังไฟฟ้า

พิจารณาวงจรไฟฟ้างดังรูป



ให้  $Q$  = ประจุไฟฟ้าที่เคลื่อนผ่านตัวต้านทานในเวลา  $t$  (C)

$I$  = กระแสไฟฟ้าที่ผ่านตัวต้านทาน (A)

$V$  = ความต่างศักย์ของตัวต้านทาน (V)

$W$  = พลังงานไฟฟ้าที่ตัวต้านทานใช้ไป (J)

ดังนั้น

$$W = QV$$

จาก  $I = \frac{Q}{t}$  หรือ  $Q = It$  และ  $V = IR$

$$\therefore W = ItV = I^2Rt = \frac{V^2t}{R}$$

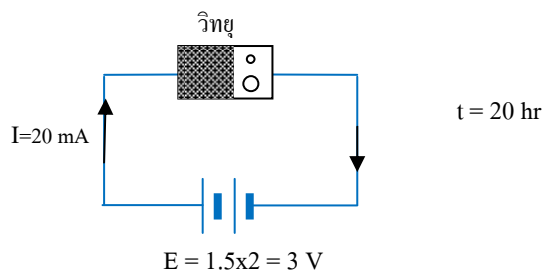
กำลังไฟฟ้า “P” หมายถึง พลังงานไฟฟ้าที่ใช้ไปในหนึ่งหน่วยเวลา มีหน่วยเป็น จูลต่อวินาที หรือวัตต์ (W)

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

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

#### ตัวอย่างที่ 9

แบตเตอรี่แอลคาไลน์ 1.5 โวลต์ 2 ก้อน แบบอนุกรม ทำให้สามารถจ่ายกระแสไฟฟ้า 20 มิลลิแอมแปร์ กับวิทยุขนาดเล็กได้ นาน 20 ชั่วโมง ถ้าแบตเตอรี่ ราคาก้อนละ 15 บาท จงหาค่าไฟฟ้าต่อพลังงานไฟฟ้า 1 หน่วย



หาพลังงานไฟฟ้าที่วิทยุใช้ไป จาก  $W = QV$

$$= ItV$$



$$= 20 \times 10^{-3} \times (20 \times 60 \times 60) \times 3$$

$$\therefore W = 4320 \text{ J}$$

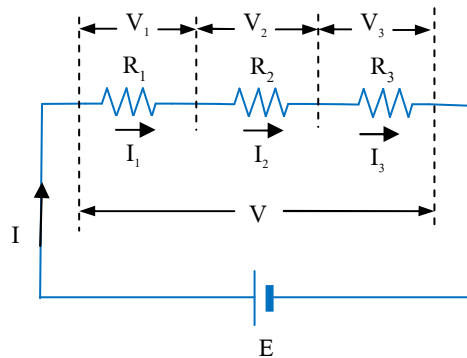
$$\text{ค่าไฟฟ้าต่อพลังงานไฟฟ้า 1 หน่วย} = \frac{15 \times 2}{4320} = 0.007 \text{ บาท/จุล} \quad \text{Ans}$$

## 16.4 การต่อตัวต้านทาน และแบตเตอรี่

### 16.4.1 การต่อตัวต้านทาน

#### 1. การต่อแบบอนุกรม

เป็นการต่อโดยนำตัวต้านทาน มาต่อเรียงกันให้อยู่ในสายเดียวกันดังรูป



การต่อแบบอนุกรมดังรูปสรุปได้ว่า

- กระแสไฟฟ้าผ่านตัวต้านทานทุกตัวเท่ากัน

$$I = I_1 = I_2 = I_3$$

- ความต่างศักย์ไฟฟ้ารวม = ผลรวมความต่างศักย์ไฟฟ้าย่อย

$$V = V_1 + V_2 + V_3$$

$$\text{จาก } V = V_1 + V_2 + V_3$$

$$\text{และ } V = IR \quad (\text{กฎของโอห์ม})$$

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

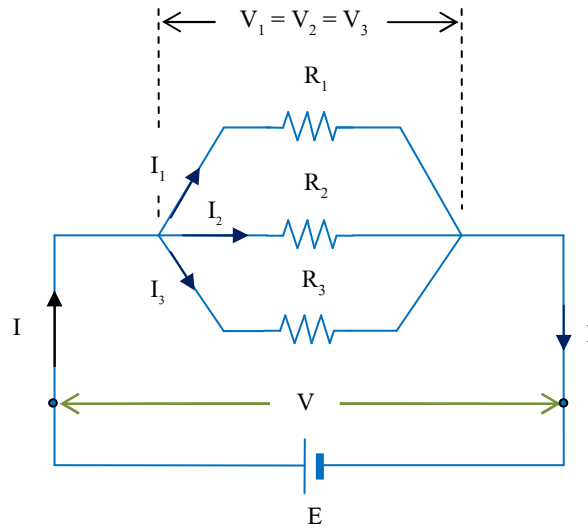
$$\boxed{R_{\text{รวม}} = R_1 + R_2 + R_3}$$

$$(I = I_1 = I_2 = I_3)$$

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

#### 2. การต่อแบบขนาน

เป็นการต่อโดยนำตัวต้านทานหลายๆตัว มาต่อรวมเป็นกลุ่มเดียวกันดังรูป



การต่อแบบขนานดังรูปสรุปได้ว่า

- ความต่างศักย์ที่ตกคร่อมตัวต้านทานแต่ละตัว = ความต่างศักย์ไฟฟ้ารวม

$$V = V_1 = V_2 = V_3$$

- กระแสไฟฟ้าที่ผ่านทั้งหมด = ผลรวมของกระแสไฟฟ้าที่ผ่านตัวต้านทานแต่ละตัว

$$I = I_1 + I_2 + I_3$$

จาก  $I = I_1 + I_2 + I_3$

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

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

$$\boxed{\frac{1}{R_{รวม}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3}} \quad (V = V_1 = V_2 = V_3)$$

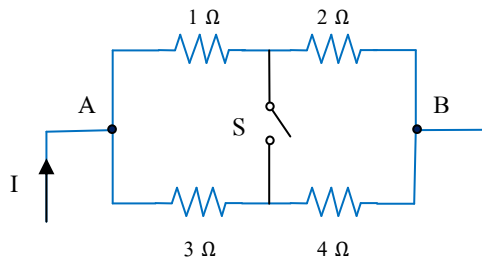
เมื่อ  $R_{รวม}$  = ความต้านทานรวมของ  $R_1$ ,  $R_2$  และ  $R_3$

- การต่อตัวต้านทานแบบอนุกรม ความต้านทานรวมจะมากกว่า ความต้านทานรวมกรณีต่อแบบขนาน ทำให้กระแสไฟฟ้าในวงจร ที่ต่อตัวต้านทานแบบอนุกรม มีค่าน้อยกว่า กระแสไฟฟ้าในวงจร ที่ต่อตัวต้านทานแบบขนาน
- การต่อตัวต้านทานแบบผสม เป็นการต่อตัวต้านทานแบบอนุกรม ปนกับการต่อแบบขนาน

### ตัวอย่างที่ 10

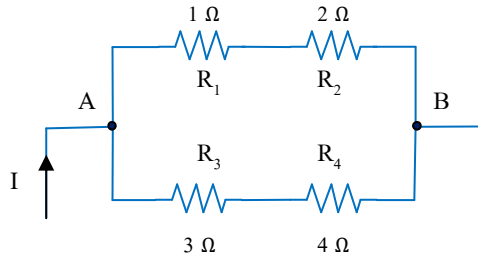
จากรูปความต้านทานรวมมีค่าเท่าใดเมื่อ

- ก. สวิตช์ S เปิด      ข. สวิตช์ S ปิด



ก. สวิตช์ S เปิด

จัดรูปแบบใหม่จะได้



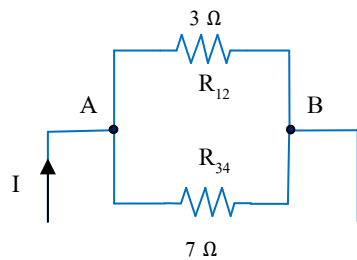
ความต้านทาน  $R_1$  และ  $R_2$  ต่อกันแบบอนุกรม

จะได้ความต้านทานรวม  $R_{12} = R_1 + R_2 = 1 + 2 = 3 \Omega$

ความต้านทาน  $R_3$  และ  $R_4$  ต่อกันแบบอนุกรม

จะได้ความต้านทานรวม  $R_{34} = R_3 + R_4 = 3 + 4 = 7 \Omega$

เขียนรูปใหม่ได้ดังนี้



จากรูปความต้านทาน  $R_{12}$  และ  $R_{34}$  ต่อกันแบบขนาน

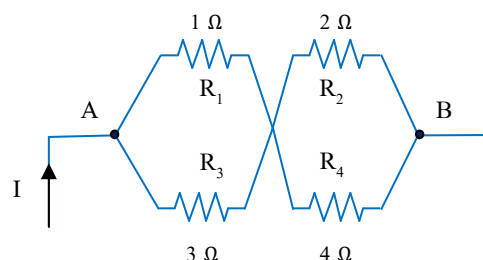
$$\text{จะได้ความต้านทานรวม } \frac{1}{R_{\text{รวม}}} = \frac{1}{R_{12}} + \frac{1}{R_{34}} = \frac{1}{3} + \frac{1}{7} = \frac{7+3}{21}$$

$$\frac{1}{R_{\text{รวม}}} = \frac{10}{21}$$

$$\therefore R_{\text{รวม}} = 2.1 \Omega \quad \text{Ans}$$

ข. สวิตช์ S ปิด

จัดรูปแบบใหม่จะได้



ความต้านทาน  $R_1$  และ  $R_3$  ต่อกันแบบขนาน

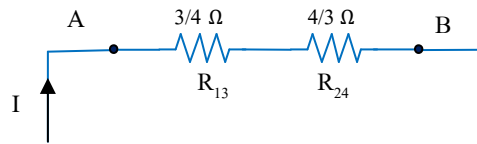


จะได้ความต้านทานรวม  $\frac{1}{R_{13}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_3} = \frac{1}{1} + \frac{1}{3} = \frac{3+1}{3}$   
 $\frac{1}{R_{13}} = \frac{4}{3}$   
 $\therefore R_{13} = \frac{3}{4} \Omega$

ความต้านทาน  $R_2$  และ  $R_4$  ต่อกันแบบขนาน

จะได้ความต้านทานรวม  $\frac{1}{R_{24}} = \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_4} = \frac{1}{2} + \frac{1}{4} = \frac{2+1}{4}$   
 $\frac{1}{R_{24}} = \frac{3}{4}$   
 $\therefore R_{24} = \frac{4}{3} \Omega$

เขียนรูปใหม่ได้ดังนี้



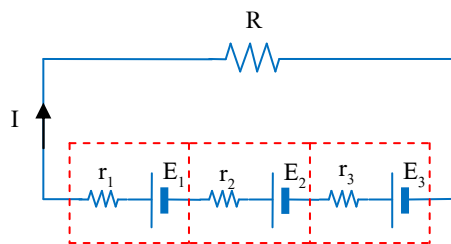
จากรูปความต้านทาน  $R_{13}$  และ  $R_{24}$  ต่อกันแบบอนุกรม

จะได้ความต้านทานรวม  $R_{รวม} = R_{13} + R_{24}$   
 $= \frac{3}{4} + \frac{4}{3} = \frac{9+16}{12}$   
 $= \frac{25}{12}$   
 $\therefore R_{รวม} = 2.08 \Omega$  **Ans**

### 16.4.2 การต่อแบตเตอรี่

#### 1. การต่อแบบอนุกรม

เป็นการต่อโดยนำขั้วตรงข้ามของแบตเตอรี่ มาต่อเรียงกันให้อยู่ในสายเดียวกัน



การต่อแบบเตอรี่แบบอนุกรมจะได้ว่า

- แรงเคลื่อนไฟฟ้ารวม = ผลรวมของแรงเคลื่อนไฟฟ้าย่อย

$$E_{รวม} = E_1 + E_2 + E_3$$

ความต้านทานภายในรวมหาได้จาก การต่อตัวต้านทานแบบอนุกรม

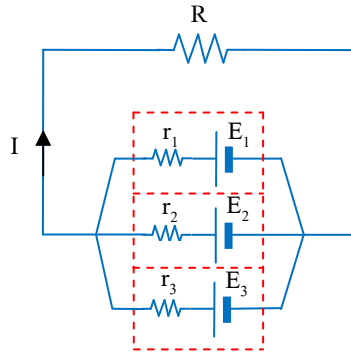




$$r_{\text{รวม}} = r_1 + r_2 + r_3$$

## 2. การต่อแบบขนาน

เป็นการต่อ โดยนำขั้วชนิดเดียวกันของแบตเตอรี่แต่ละก้อนมาต่อกัน



เมื่อให้แรงเคลื่อนไฟฟ้าของแบตเตอรี่แต่ละก้อนเท่ากัน  $E_1 = E_2 = E_3$

จะสรุปการต่อแบตเตอรี่แบบขนานได้ว่า

- แรงเคลื่อนไฟฟ้ารวม = แรงเคลื่อนไฟฟ้าย่อยของแบตเตอรี่แต่ละก้อน

$$E_{\text{รวม}} = E_1 = E_2 = E_3$$

- ความต้านทานภายในรวมหาได้จากการต่อตัวต้านทานแบบขนาน

$$\frac{1}{r_{\text{รวม}}} = \frac{1}{r_1} + \frac{1}{r_2} + \frac{1}{r_3}$$

- การต่อแบตเตอรี่แบบอนุกรม จะให้แรงเคลื่อนไฟฟ้าเพิ่มขึ้น ส่วนการต่อแบบขนานแรงเคลื่อนไฟฟ้าจะยังคงเท่าเดิม

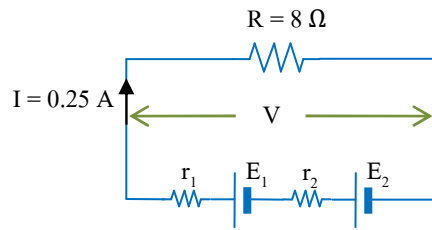
### ตัวอย่างที่ 11

เมื่อนำแบตเตอรี่ เหมือนกันสองก้อน มาต่อแบบอนุกรมจะมีกระแสไฟฟ้า 0.25 แอมแปร์ ผ่านตัวต้านทาน 8 โอห์ม ถ้าต่อแบตเตอรี่ แบบขนาน จะมีกระแสไฟฟ้า 0.16 แอมแปร์ จงหาแรงเคลื่อนไฟฟ้า และความต้านทานภายใน แบตเตอรี่

ให้แรงเคลื่อนไฟฟ้า และความต้านทานภายใน ของแบตเตอรี่แต่ละก้อนเท่ากับ E และ r ตามลำดับ



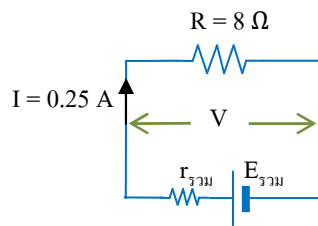
### ต่อแบบอนุกรม



หาแรงเคลื่อนไฟฟ้ารวม  $E_{รวม} = E_1 + E_2 = E + E = 2E$

และความต้านทานภายในรวม  $r_{รวม} = r_1 + r_2 = r + r = 2r$

เขียนรูปใหม่จะได้



จากรูป  $V = E_{รวม} - I r_{รวม}$

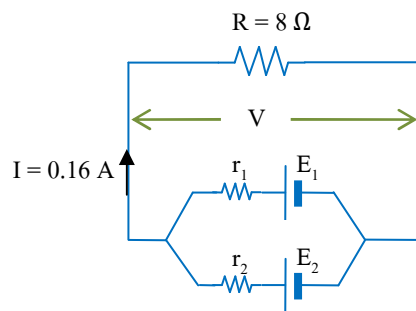
และ  $V = IR$

จะได้  $IR = 2E - I(2r)$

$$0.25 \times 8 = 2E - 0.25(2r)$$

$$E - 0.25r = 1 \quad \text{--- ①}$$

### ต่อแบบขนาน

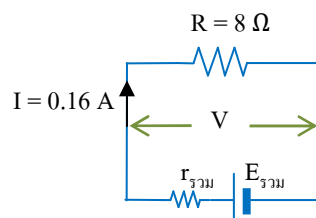


หาแรงเคลื่อนไฟฟ้ารวม  $E_{รวม} = E_1 = E_2 = E$

และความต้านทานภายในรวม  $\frac{1}{r_{รวม}} = \frac{1}{r_1} + \frac{1}{r_2} = \frac{1}{r} + \frac{1}{r} = \frac{2}{r}$

$$r_{รวม} = \frac{r}{2}$$

เขียนรูปใหม่จะได้





$$\text{จากรูป } V = E_{\text{รวม}} - I r_{\text{รวม}}$$

$$\text{และ } V = IR$$

$$\text{จะได้ } IR = E - I\left(\frac{r}{2}\right)$$

$$0.16 \times 8 = E - 0.16\left(\frac{r}{2}\right)$$

$$E - 0.08r = 1.28 \quad \text{--- ②}$$

$$\text{②} - \text{①}, -0.08r + 0.25r = 0.28$$

$$0.17r = 0.28$$

$$\therefore r = 1.7 \, \Omega \quad \text{Ans}$$

$$\text{แทนค่า } r \text{ ใน ② จะได้ } E - 0.08(1.7) = 1.28$$

$$\therefore E = 1.41 \, \text{V} \quad \text{Ans}$$

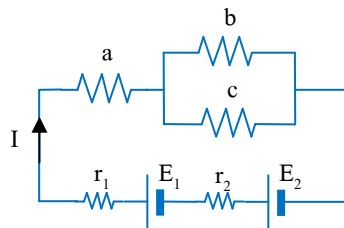
### 16.5 การวิเคราะห์วงจรไฟฟ้ากระแสตรงเบื้องต้น

นำกฎพื้นฐานทางไฟฟ้า กฎการอนุรักษ์พลังงาน กฎการอนุรักษ์ประจุไฟฟ้า การต่อตัวต้านทาน และการต่อแบตเตอรี่ มาประยุกต์ใช้ในวงจรไฟฟ้าพื้นฐาน

#### ตัวอย่างที่ 12

จงหากระแสไฟฟ้าที่ผ่านตัวต้านทาน a, b และ c ในวงจรไฟฟ้าดังรูป

กำหนดให้  $E_1 = 6 \, \text{V}$ ,  $E_2 = 6 \, \text{V}$ ,  $r_1 = 1 \, \Omega$ ,  $r_2 = 1 \, \Omega$ ,  $R_a = 7 \, \Omega$ ,  $R_b = 4 \, \Omega$ ,  $R_c = 12 \, \Omega$



#### พิจารณาที่ตัวต้านทาน

ตัวต้านทาน b และ c ต่อขนานกัน แล้วต่ออนุกรมกับตัวต้านทาน a

$$\begin{aligned} \text{หาความต้านทานรวมของ b กับ c} \quad \frac{1}{R_{bc}} &= \frac{1}{R_b} + \frac{1}{R_c} = \frac{1}{4} + \frac{1}{12} \\ &= \frac{3+1}{12} = \frac{4}{12} = \frac{1}{3} \end{aligned}$$

$$\therefore R_{bc} = 3 \, \Omega$$

หาความต้านทานรวมของ a กับ bc  $R_{\text{รวม}} = R_a + R_{bc}$

$$= 7 + 3$$

$$\therefore R_{\text{รวม}} = 10 \, \Omega$$

#### พิจารณาแบตเตอรี่

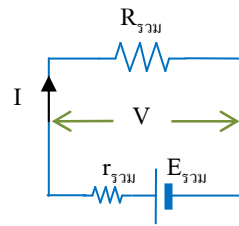
แบตเตอรี่  $E_1$  และ  $E_2$  ต่ออนุกรมกัน

$$\text{หาแรงเคลื่อนไฟฟ้ารวม} \quad E_{\text{รวม}} = E_1 + E_2 = 6 + 6 = 12 \, \text{V}$$



หาความต้านทานภายในรวม  $r_{รวม} = r_1 + r_2 = 1 + 1 = 2 \Omega$

เขียนรูปใหม่จะได้



จากรูป  $V = E_{รวม} - I r_{รวม}$

และ  $V = I R_{รวม}$

จะได้  $I R_{รวม} = E_{รวม} - I r_{รวม}$

$$I \times 10 = 12 - I \times 2$$

$$\therefore I = 1.0 \text{ A}$$

กระแสไฟฟ้าที่ผ่านตัวต้านทาน a,  $I_a = I = 1.0 \text{ A}$  **Ans**

จะรูปเดิมจะได้  $I_a = I_b + I_c$

$$1.0 = I_b + I_c$$

$$I_c = 1.0 - I_b$$

และ  $V_b = V_c$

$$I_b R_b = I_c R_c$$

$$I_b R_b = (1.0 - I_b) R_c$$

$$I_b \times 4 = (1.0 - I_b) \times 12$$

$$\therefore I_b = \frac{12}{16} = \frac{3}{4} = 0.75 \text{ A} \quad \text{Ans}$$

และ  $I_c = 1.0 - I_b = 1.0 - 0.75 = 0.25 \text{ A}$  **Ans**

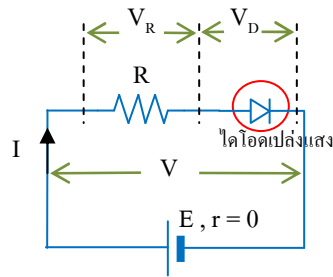
### ตัวอย่างที่ 13

ไดโอดเปล่งแสงตัวหนึ่ง จะเปล่งแสงเมื่อมีกระแสไฟฟ้า 10 มิลลิแอมแปร์ ผ่านขณะต่อไบแอสตรง และความต่างศักย์ระหว่างขั้ว 1.2 โวลต์ ถ้านำไดโอดตัวนี้ ไปต่อกับแบตเตอรี่ 6 โวลต์ ที่มีความต้านทานภายในน้อยมาก จะต้องนำตัวต้านทาน ค่าเท่าใดมาต่ออย่างไร เพื่อไม่ให้ไดโอดเสียหาย

วิธีคิด ถ้าไดโอด ต่อไบแอสตรง กับแบตเตอรี่ ไดโอดจะเสียหายได้ เนื่องจากแบตเตอรี่มีแรงเคลื่อนไฟฟ้า 6 V. ซึ่งสูงกว่า ความต่างศักย์ระหว่างขั้วของไดโอดที่ยอมให้คือ 1.2 V. ดังนั้นจะมีกระแสไฟฟ้าผ่านไดโอดมากกว่า 10 mA.



การแก้ไขต้องแบ่งความต่างศักย์ เพื่อให้เหลือค่าความต่างศักย์ ที่ขั้วของไดโอดตามกำหนดโดยการนำความต้านทาน R มาต่ออนุกรมกับไดโอดดังรูป



จากรูป  $V = V_R + V_D$   
 และ  $V = E - I \cdot 0 = E$   
 จะได้  $E = V_R + V_D$   
 $V_R = E - V_D = 6 - 1.2$   
 $\therefore V_R = 4.8 \text{ V}$

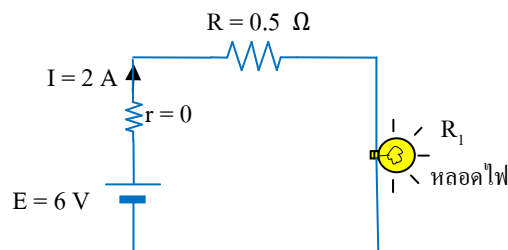
พิจารณาที่ตัวต้านทาน

จาก  $V_R = I R$   
 $R = \frac{V_R}{I} = \frac{4.8}{10 \times 10^{-3}}$   
 $\therefore R = 480 \text{ } \Omega \quad \underline{\text{Ans}}$

#### ตัวอย่างที่ 14

วงจรไฟฟ้าดังรูป มีกระแสไฟฟ้า 2 แอมแปร์ ผ่านตัวต้านทาน ถ้าไม่คิดความต้านทานภายใน แบตเตอรี่ จงหา

- ก. กระแสไฟฟ้าที่ผ่านหลอดไฟ
- ข. ความต่างศักย์ระหว่างปลายของตัวต้านทาน
- ค. ความต้านทานของหลอดไฟ
- ง. พลังงานไฟฟ้าที่ถูกใช้ไปใน 10 วินาที
- จ. กำลังไฟฟ้าที่สูญเสียไปในตัวต้านทาน



ก.

กระแสไฟฟ้าที่ผ่านหลอดไฟ จะเท่ากับกระแสไฟฟ้าที่ผ่านตัวต้านทาน เพราะต่อกันแบบอนุกรม

$\therefore I_{\text{หลอดไฟ}} = I = 2 \text{ A} \quad \underline{\text{Ans}}$



ข.  $V_R = ?$

จากกฎของโอห์ม  $V = IR$

$$V_R = 2 \times 0.5$$

$$\therefore V_R = 1.0 \text{ V } \underline{\text{Ans}}$$

ค.  $R_1 = ?$

จากรูป  $E = Ir + IR + IR_1$

$$6 = 2 \times 0 + 2 \times 0.5 + 2 \times R_1$$

$$R_1 = \frac{6-1}{2}$$

$$\therefore R_1 = 2.5 \text{ } \Omega \quad \underline{\text{Ans}}$$

ง.  $W = ?$  เมื่อ  $t = 10 \text{ s}$

จาก  $W = QV$

$$= QE$$

$$= ItE \quad \left( I = \frac{Q}{t} \right)$$

$$= 2 \times 10 \times 6$$

$$\therefore W = 120 \text{ J } \underline{\text{Ans}}$$

จ.  $P_R = ?$

จาก  $W = QV$

และ  $P = \frac{W}{t}$

ดังนั้น  $P = \frac{QV}{t}$

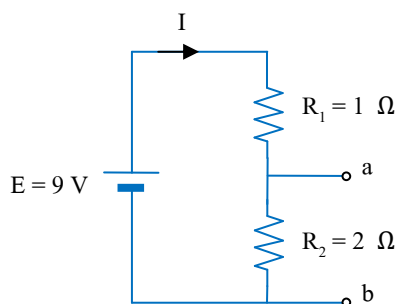
$$P_R = \frac{QV_R}{t} = \frac{It(IR)}{t}$$

$$= I^2R = 2^2 \times 0.5$$

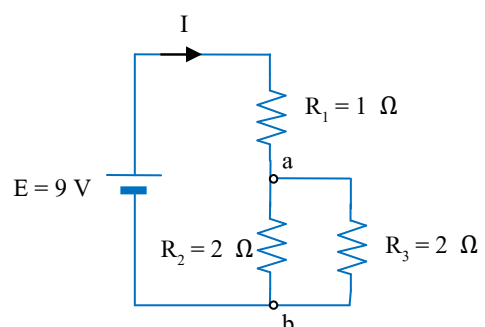
$$\therefore P_R = 2 \text{ W } \underline{\text{Ans}}$$

**ตัวอย่างที่ 15**

วงจรดังรูป ก และ ข จงหาความต่างศักย์ระหว่างจุด a และ b



รูป ก.



รูป ข.



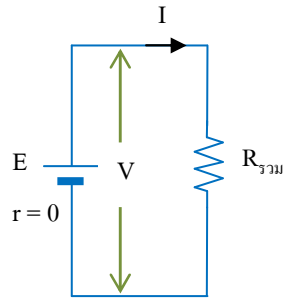
รูป ก.  $V_2 = ?$

หา  $V_2$  จาก  $V_2 = IR_2$

รู้  $R_2$  หา  $I$  โดย

รวม  $R_1$  กับ  $R_2$  จะได้

$$R_{\text{รวม}} = R_1 + R_2 = 1 + 2 = 3 \Omega$$



จาก  $V = IR$

และ  $V = E - I r$

จะได้  $E = IR_{\text{รวม}}$

$$9 = I \times 3$$

$$\therefore I = 3 \text{ A}$$

$$V_2 = IR_2 = 3 \times 2$$

$$\therefore V_2 = 6 \text{ V } \underline{\text{Ans}}$$

รูป ข.  $V_2 = ?$

$R_2$  และ  $R_3$  ต่อขนานกัน

$$\text{หาความต้านทานรวม } \frac{1}{R_{ab}} = \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} = \frac{1}{2} + \frac{1}{2}$$

$$\therefore R_{ab} = 1 \Omega$$

$R_1$  และ  $R_{ab}$  ต่ออนุกรมกัน

$$\text{หาความต้านทานรวม } R_{\text{รวม}} = R_1 + R_{ab} = 1 + 1 = 2 \Omega$$

จาก  $V = IR$

และ  $V = E - I r$

จะได้  $E = IR_{\text{รวม}}$

$$9 = I \times 2$$

$$\therefore I = 4.5 \text{ A}$$

$$V_{ab} = IR_{ab} = 4.5 \times 1$$

$$\therefore V_{ab} = 4.5 \text{ V } \underline{\text{Ans}}$$

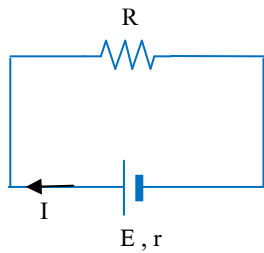
## 16.6 เครื่องวัดไฟฟ้า

เครื่องวัดไฟฟ้าเบื้องต้น เช่น แอมมิเตอร์ โวลต์มิเตอร์และโอห์มมิเตอร์สร้างขึ้นจากการดัดแปลงจาก แกลแวนอมิเตอร์ (galvanometer) ชนิดขดลวดเคลื่อนที่ ซึ่งประกอบด้วยขดลวดวางระหว่างขั้วแม่เหล็ก ที่ขดลวดมีเข็มชี้ติดอยู่

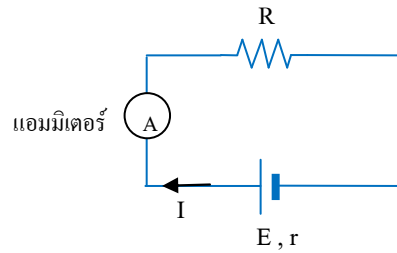


### 16.6.1 แอมมิเตอร์

เป็นเครื่องวัดปริมาณกระแสไฟฟ้า โดยการต่ออนุกรมกับวงจรที่ต้องการวัดค่ากระแสไฟฟ้า

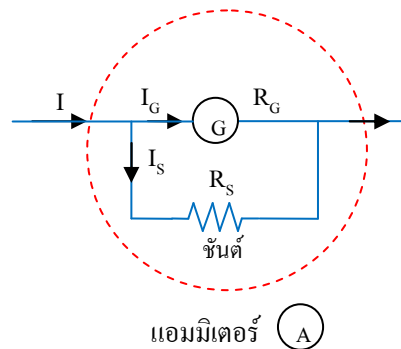


วงจรไฟฟ้าเบื้องต้น



ต่อแอมมิเตอร์แบบอนุกรมเข้ากับ  
วงจรไฟฟ้า เพื่อวัดค่ากระแส I

การดัดแปลงแกลแวนอมมิเตอร์ เป็นแอมมิเตอร์ ทำได้โดยนำตัวต้านทานที่เรียกว่าชั๊นต์ (shunt) ซึ่งมีความต้านทาน  $R_s$  มาต่อขนาน กับแกลแวนอมมิเตอร์ (G) เพื่อแบ่งกระแสที่ต้องการวัด I เป็นสองส่วน คือส่วนหนึ่งผ่านแกลแวนอมมิเตอร์เท่ากับ  $I_G$  ส่วนที่เหลือผ่านชั๊นต์เท่ากับ  $I_s$



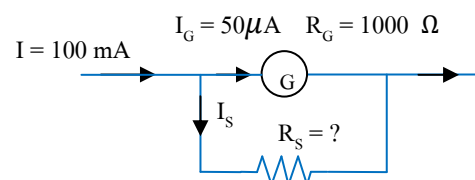
จากรูปแกลแวนอมมิเตอร์ และชั๊นต์ต่อขนานกัน ดังนั้นความต่างศักย์ระหว่างปลายของชั๊นต์ จะเท่ากับความต่างศักย์ระหว่างขั้วของแกลแวนอมมิเตอร์

$$\begin{aligned} V_s &= V_G \\ I_s R_s &= I_G R_G \\ \text{จะได้ } R_s &= \frac{I_G R_G}{I_s} \\ \text{และ } I &= I_G + I_s \end{aligned}$$

#### ตัวอย่างที่ 16

ถ้าต้องการนำแกลแวนอมมิเตอร์ที่มีความต้านทาน 1000 โอห์ม และทนกระแสไฟฟ้าสูงสุด 50 ไมโครแอมแปร์มาสร้างเป็นแอมมิเตอร์ เพื่อวัดกระแสไฟฟ้าได้สูงสุด 100 มิลลิแอมแปร์

- ก. จะต้องใช้ชั๊นต์ที่มีความต้านทานเท่าใด
- ข. ความต้านทานของแอมมิเตอร์เป็นเท่าใด







ก.  $R_S = ?$

จากรูป  $I = I_G + I_S$

$$I_S = I - I_G$$

$$I_S = 100 \times 10^{-3} - 50 \times 10^{-6} \text{ A}$$

และ  $V_S = V_G$  (ต่อขนานกัน)

$$I_S R_S = I_G R_G$$

$$R_S = \frac{I_G R_G}{I_S}$$

$$= \frac{50 \times 10^{-6} \times 1000}{100 \times 10^{-3} - 50 \times 10^{-6}} = \frac{1000}{2 \times 10^3 - 1}$$

$\therefore R_S = 0.5 \text{ } \Omega$  **Ans**

ข.  $R_A = ?$

จากรูป  $\frac{1}{R_A} = \frac{1}{R_G} + \frac{1}{R_S}$  (ต่อขนานกัน)

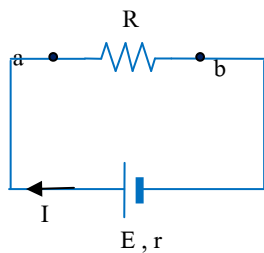
$$\frac{1}{R_A} = \frac{1}{1000} + \frac{1}{0.5} = \frac{1+2000}{1000} = \frac{1}{0.5}$$

$\therefore R_A = 0.5 \text{ } \Omega$  **Ans**

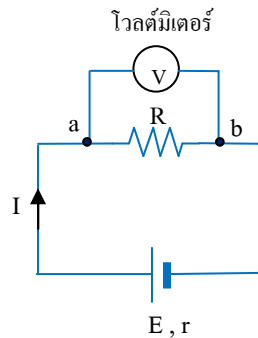
- แอมมิเตอร์ที่ดีต้องมีความต้านทานน้อยมาก เมื่อเทียบกับความต้านทานในวงจร เพื่อให้กระแสไฟฟ้าในวงจรเปลี่ยนไปน้อยที่สุด

### 16.6.2 โวลต์มิเตอร์

เป็นเครื่องวัดความต่างศักย์ไฟฟ้า ในวงจรไฟฟ้าโดยการต่อขนานกับวงจรที่ต้องการวัด ความต่างศักย์ไฟฟ้า

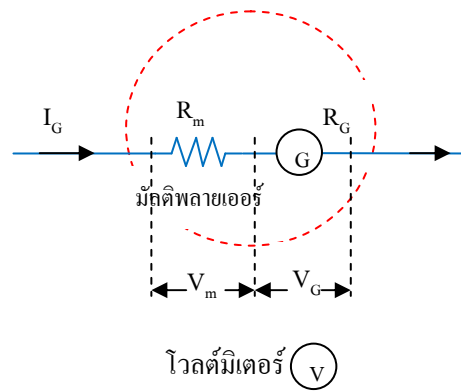


วงจรไฟฟ้าเบื้องต้น



ต่อโวลต์มิเตอร์ (V) แบบขนานกับตัวต้านทาน R เพื่อวัดความต่างศักย์ไฟฟ้าที่ปลายทั้งสองของตัวต้านทาน

การดัดแปลงแกลแวนอมิเตอร์ เป็น โวลต์มิเตอร์ทำได้โดย นำตัวต้านทานที่เรียกว่ามัลติพลายเออร์ (multiplier) ที่มีความต้านทาน  $R_m$  มาต่ออนุกรมกับแกลแวนอมิเตอร์ (G) เพื่อแบ่งความต่างศักย์ระหว่างปลายของมัลติพลายเออร์  $V_m$  อีกส่วนหนึ่งเป็นความต่างศักย์สูงสุดระหว่างขั้วของแกลแวนอมิเตอร์  $V_G$



$$V = V_m + V_G$$

$$V = I_G R_m + I_G R_G$$

$$V = I_G (R_m + R_G)$$

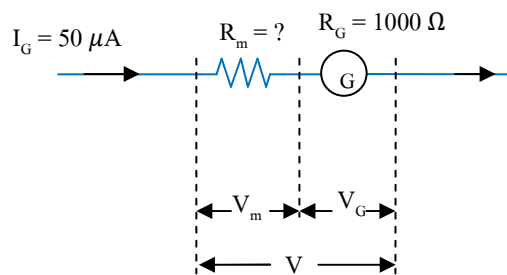
$$R_m = \frac{V}{I_G} - R_G$$

จากรูปแกลเวนอมิเตอร์ และมัลติพลายเออร์ต่ออนุกรมกัน ดังนั้นความต่างศักย์ที่ต้องการวัด จะเท่ากับความต่างศักย์ระหว่างปลายของมัลติพลายเออร์ บวกกับความต่างศักย์ระหว่างขั้วของแกลเวนอมิเตอร์

### ตัวอย่างที่ 17

ถ้านำแกลเวนอมิเตอร์ในตัวอย่างที่ 16 มาสร้างเป็น โวลต์มิเตอร์ เพื่อวัดความต่างศักย์ได้สูงสุด 10 โวลต์

- จะต้องใช้มัลติพลายเออร์ ที่มีความต้านทานเท่าใด
- ก่อนต่อมัลติพลายเออร์ แกลเวนอมิเตอร์ สามารถวัดความต่างศักย์สูงสุดได้เท่าใด
- ความต้านทานของโวลต์มิเตอร์มีค่าเท่าใด



ก.  $R_m = ?$

จากรูป  $V = V_m + V_G$

$$V = I_G R_m + I_G R_G$$

$$10 = 50 \times 10^{-6} \times R_m + 50 \times 10^{-6} \times 1000$$

$$R_m = \frac{10 - 0.05}{50 \times 10^{-6}}$$

$$\therefore R_m = 200,000 \, \Omega \quad \text{Ans}$$



ข. ถ้า  $R_m = 0$ ,  $V_G = ?$

$$\begin{aligned} \text{จากรูป } V_G &= I_G R_G \\ &= 50 \times 10^{-6} \times 1000 \\ \therefore V_G &= 50 \times 10^{-3} \text{ V } \text{ Ans} \end{aligned}$$

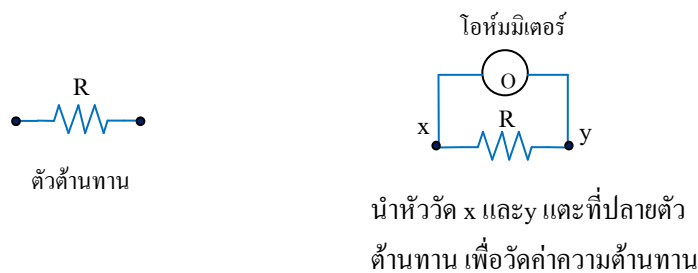
ค.  $R_V = ?$

$$\begin{aligned} \text{จากรูป } R_V &= R_m + R_G \quad (\text{ต่ออนุกรม}) \\ &= 200.000 + 1000 \\ \therefore R_V &= 201,000 \text{ } \Omega \text{ Ans} \end{aligned}$$

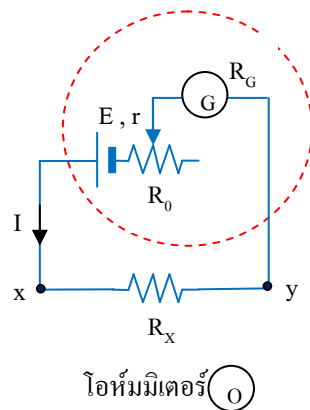
- โวลต์มิเตอร์ที่ดีต้องมีความต้านทานสูงมาก เมื่อเทียบกับความต้านทานในวงจรเพื่อให้กระแสไฟฟ้าในวงจรเปลี่ยนไปน้อยที่สุด

### 16.6.3 โอห์มมิเตอร์

เป็นเครื่องวัดความต้านทาน โดยนำหัววัดไปแตะที่ปลายของตัวต้านทานนั้น



โอห์มมิเตอร์ประกอบด้วยแกลเวนอมิเตอร์  $\text{G}$  ต่ออนุกรมกับตัวต้านทานแปรค่า  $R_0$  และแบตเตอรี่  $E$  เมื่อต้องการวัดความต้านทาน  $R_x$  ใดๆให้นำหัววัด x และ y ไปแตะที่ปลายของตัวต้านทาน ทำให้ครบวงจร และมีกระแสไฟฟ้าผ่านโอห์มมิเตอร์ มีผลทำให้เข็มของโอห์มมิเตอร์เบนไปซึ่งอ่านค่าเป็นความต้านทานได้



จากรูปเป็นวงจรไฟฟ้าแบบอนุกรม จะได้ว่า

$$E = V_r + V_{R_X} + V_{R_G} + V_{R_0}$$

$$E = I r + I R_X + I R_G + I R_0$$



$$E = I(r + R_x + R_G + R_0)$$

$$I = \frac{E}{(r + R_x + R_G + R_0)}$$

- เมื่อนำหัววัด x และ y แตะกัน ขณะนี้ความต้านทาน  $R_x = 0$  กระแสไฟฟ้าจะมีค่ามากที่สุด เข็มจะเบนมากที่สุด (เต็มสเกล)คือชี้ที่ 0 โอห์ม ในการใช้โอห์มมิเตอร์วัดความต้านทานต้องนำหัววัด x และ y เพื่อตรวจสอบว่าเข็มชี้ที่ 0 โอห์มหรือไม่ ถ้าเข็มไม่ชี้ที่ 0 โอห์ม ต้องปรับความต้านทานของ  $R_0$  จนกระทั่งเข็มชี้ที่ 0 โอห์ม ก่อนนำไปวัดความต้านทาน

## 16.7 ความสัมพันธ์ระหว่างกระแสไฟฟ้า และสนามแม่เหล็ก

### 16.7.1 แม่เหล็ก และสนามแม่เหล็ก

แม่เหล็ก (Magnet) หมายถึง วัตถุที่สามารถดูดเหล็กได้ มีทั้งแม่เหล็กธรรมชาติและแม่เหล็กที่สร้างขึ้นเองซึ่งมีรูปร่างต่างๆกัน เรียกว่าแท่งแม่เหล็ก

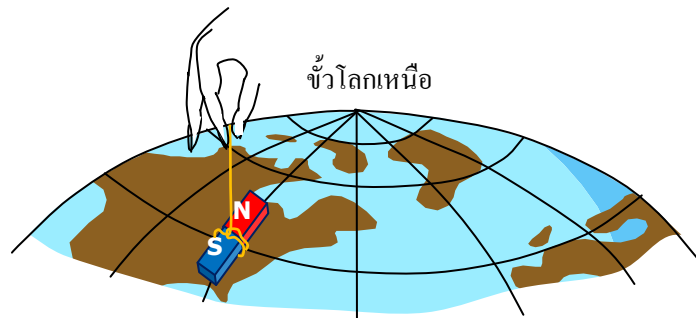
แท่งแม่เหล็กมีสมบัติดังนี้

1. ขั้วแม่เหล็ก (magnetic pole)

ขั้วแม่เหล็กอยู่บริเวณปลายทั้งสองของแท่งแม่เหล็ก มีอำนาจแม่เหล็กแรงมากสามารถดูดผงตะไบเหล็กได้มากกว่าบริเวณอื่น

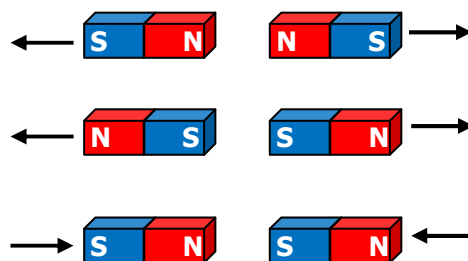
2. ชนิดของขั้วแม่เหล็ก

ปกติแม่เหล็กจะมี 2 ขั้ว คือขั้วเหนือ (north pole) และขั้วใต้ (south pole) ขั้วเหนือของแท่งแม่เหล็กจะชี้ไปทางทิศเหนือ ส่วนขั้วใต้จะชี้ไปทางทิศใต้เสมอ



3. แรงกระทำระหว่างขั้วแม่เหล็กมี 2 แบบ

- แรงดึงดูดกัน เกิดจากการนำขั้วแม่เหล็กต่างชนิดกันมาวางใกล้กัน
- แรงผลักกันเกิดจากการนำขั้วแม่เหล็กชนิดเดียวกันมาวางใกล้กัน



“ขั้วเหมือนกันผลักกัน ต่างกันดูดกัน”

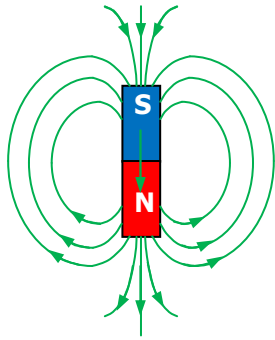
ทิศของแรงแม่เหล็ก



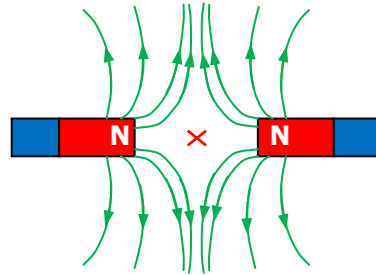
### สนามแม่เหล็ก (magnetic field)

สนามแม่เหล็ก หมายถึง บริเวณที่แม่เหล็กส่งแรงกระทำไปถึง และเรียกเส้นแนวแรงกระทำ อันเนื่องมาจากสนามแม่เหล็กว่า เส้นสนามแม่เหล็ก

- เส้นสนามแม่เหล็ก ภายนอกแท่งแม่เหล็กจะมีทิศจากขั้วเหนือไปยังขั้วใต้
- เส้นสนามแม่เหล็ก ภายในแท่งแม่เหล็กจะมีทิศจากขั้วใต้ไปยังขั้วเหนือ



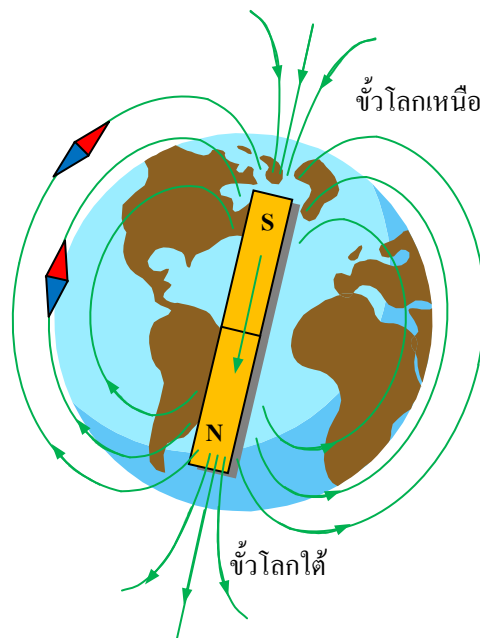
เส้นสนามแม่เหล็ก



จุดสะเทิน x ไม่มีเส้นสนามแม่เหล็กผ่าน  
∴ เป็นตำแหน่งที่สนามแม่เหล็กเป็นศูนย์

### สนามแม่เหล็กโลก

ทำไมเข็มทิศซึ่งเป็นแม่เหล็กขนาดเล็ก ถึงวางตัวอยู่ในแนวเหนือใต้ตลอดเวลาไม่ว่าจะอยู่ที่ใดบนโลก ที่เป็นเช่นนี้แสดงว่า โลกประพุดิตัว เหมือนกับมีแท่งแม่เหล็กขนาดใหญ่อยู่ใจกลางโลก เรียกว่าแท่งแม่เหล็กโลก โดยขั้วเหนือของแท่งแม่เหล็กโลกอยู่ใกล้ขั้วโลกใต้ทางภูมิศาสตร์ และขั้วใต้ของแท่งแม่เหล็กโลก อยู่ใกล้ขั้วโลกเหนือทางภูมิศาสตร์



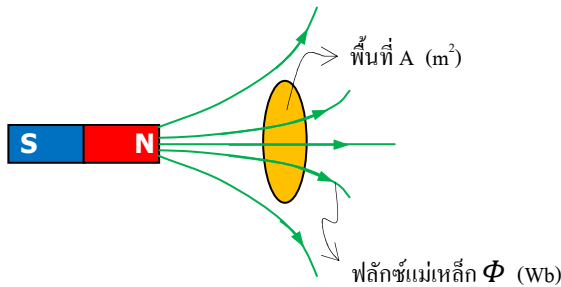
เส้นสนามแม่เหล็กโลก



## ฟลักซ์แม่เหล็ก

ฟลักซ์แม่เหล็ก “ $\Phi$ ” หมายถึง จำนวนเส้นแรงแม่เหล็กที่ทะลุผ่านพื้นผิวในแนวตั้งฉากกับพื้นผิวนั้น มีหน่วยเป็นเวเบอร์ (Wb)

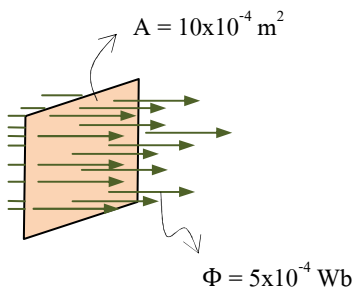
ความหนาแน่นฟลักซ์แม่เหล็ก หรือขนาดของสนามแม่เหล็ก “B” หมายถึง ฟลักซ์แม่เหล็กต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่ในแนวตั้งฉาก มีหน่วยเป็นเวเบอร์ ต่อตารางเมตร หรือ เทสลา (T)



$$B = \frac{\Phi}{A}$$

### ตัวอย่างที่ 18

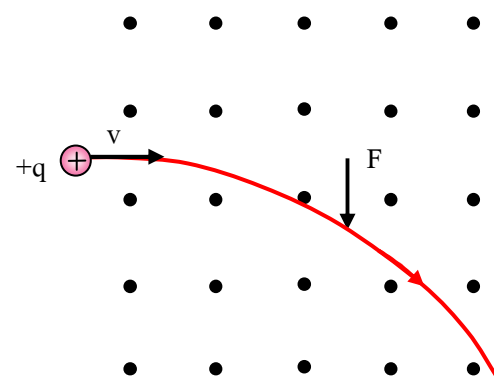
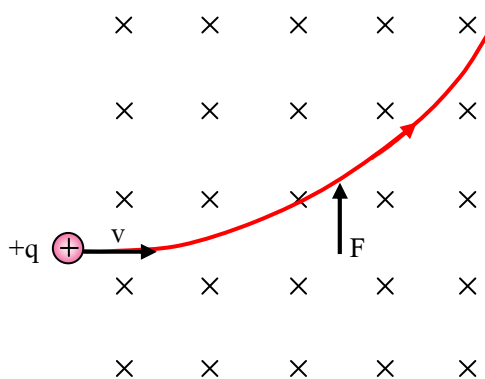
เมื่อฟลักซ์แม่เหล็กขนาด  $5 \times 10^{-4}$  เวเบอร์ พุ่งผ่านพื้นที่ 10 ตารางเซนติเมตร ซึ่งวางตั้งฉากกับฟลักซ์แม่เหล็ก จงหาความหนาแน่นฟลักซ์แม่เหล็ก



$$\begin{aligned} \text{จาก } B &= \frac{\Phi}{A} \\ &= \frac{5 \times 10^{-4}}{10 \times 10^{-4}} \\ \therefore B &= 0.5 \text{ T } \underline{\text{Ans}} \end{aligned}$$

## แรงกระทำต่ออนุภาคที่มีประจุไฟฟ้าในสนามแม่เหล็ก

เมื่ออนุภาคที่มีประจุไฟฟ้า เคลื่อนที่เข้าไปในบริเวณที่มีสนามแม่เหล็ก จะมีแรงเนื่องจากสนามแม่เหล็กกระทำต่ออนุภาคนี้ เรียกว่าแรงแม่เหล็กซึ่งจะทำให้ทิศทางการเคลื่อนที่ของอนุภาคเปลี่ยนไปจากเดิม



× แทนสนามแม่เหล็กมีทิศตั้งฉากเข้าหากระดาษ

• แทนสนามแม่เหล็กมีทิศตั้งฉากออกจากกระดาษ



หาขนาดของแรงแม่เหล็กได้จากความสัมพันธ์

$$\mathbf{F} = q\mathbf{v}\mathbf{B}$$

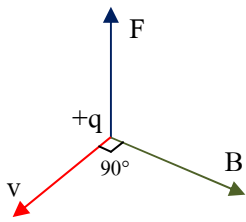
โดยที่  $F$  = แรงแม่เหล็กที่กระทำต่อประจุ  $q$  (N)

$q$  = ประจุไฟฟ้าบนอนุภาคที่เคลื่อนที่ผ่านสนามแม่เหล็ก (C)

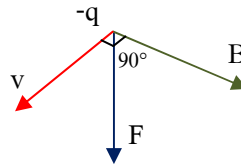
$V$  = ความเร็วของอนุภาค (m/s)

$B$  = สนามแม่เหล็ก (T)

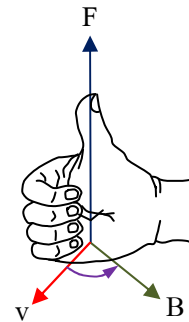
หาทิศทางของแรงแม่เหล็ก ( $F$ ) ได้โดยใช้กฎมือขวา ใช้มือขวาหันนิ้วทั้งสี่ไปในทิศของความเร็ว ( $v$ ) วนนิ้วทั้งสี่ไปหาสนามแม่เหล็ก ( $B$ ) นิ้วหัวแม่มือ จะชี้ไปทางทิศของแรง ( $F$ ) ที่กระทำต่ออนุภาคที่มีประจุบวก ( $+q$ ) ในกรณีอนุภาคมีประจุลบ ( $-q$ ) เช่นอิเล็กตรอน ทิศของแรง ( $F$ ) จะตรงข้ามกับทิศชี้ของนิ้วหัวแม่มือ



อนุภาคที่มีประจุไฟฟ้าบวก

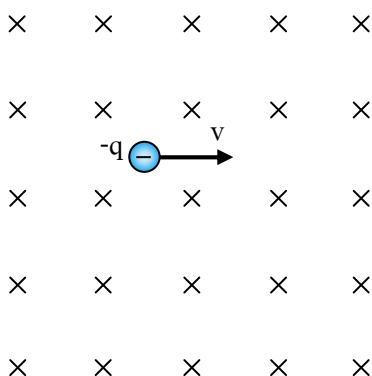


อนุภาคที่มีประจุไฟฟ้าลบ



### ตัวอย่างที่ 19

อิเล็กตรอนมีประจุ  $-1.6 \times 10^{-19}$  คูโลมบ์เคลื่อนที่ด้วยความเร็วคงตัว  $1.0 \times 10^7$  เมตรต่อวินาที ในทิศจากซ้ายไปขวา เข้าไปในสนามแม่เหล็กสม่ำเสมอ ขนาด  $5.0 \times 10^{-3}$  เทสลา และสนามมีทิศทางตั้งฉากเข้าหากระดาษ จงหาขนาดและทิศของแรงแม่เหล็กที่กระทำต่ออิเล็กตรอน



จาก  $F = qvB$

=

$\therefore F =$

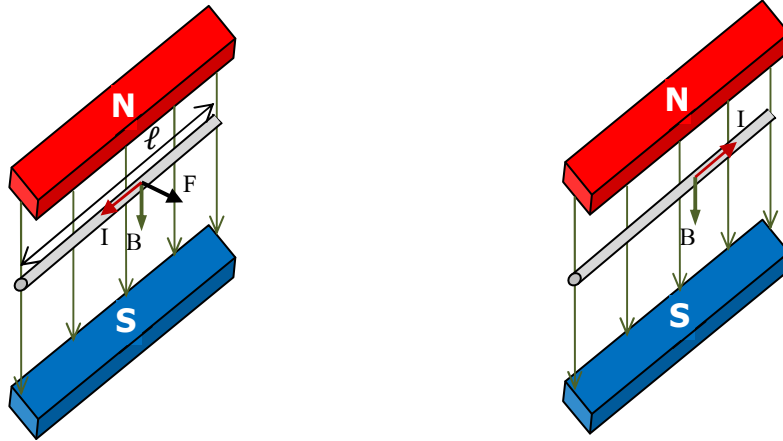
มีทิศ

Ans



## แรงกระทำต่อลวดตัวนำที่มีกระแสไฟฟ้าผ่าน และอยู่ในสนามแม่เหล็ก

เมื่อลวดตัวนำมีกระแสไฟฟ้าผ่าน ขณะอยู่ในสนามแม่เหล็กจะมีแรงเนื่องจากสนามแม่เหล็กกระทำต่อลวดตัวนำ ทั้งนี้เพราะกระแสไฟฟ้าในลวดตัวนำ เกิดจากการเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอนอิสระด้วยความเร็วลอยเลื่อน ดังนั้นเมื่อลวดตัวนำวางตั้งฉาก กับสนามแม่เหล็ก จะเกิดแรงกระทำต่ออิเล็กตรอนอิสระเหล่านี้ ตามสมการ  $F = qvB$  เนื่องจากอิเล็กตรอนอิสระ อยู่ภายในลวดตัวนำ ดังนั้นแรงที่เกิดขึ้น จึงทำให้ลวดตัวนำเคลื่อนที่ในทิศของแรงนั้น



แรงกระทำต่อลวดตัวนำที่มีกระแสไฟฟ้าผ่าน ขณะอยู่ในสนามแม่เหล็ก

หาขนาดของแรงกระทำต่อลวดตัวนำ ได้จากความสัมพันธ์

$$\text{จาก } F = qvB \quad \text{--- ①}$$

$$\text{จากนิยามของกระแสไฟฟ้า } I = \frac{q}{t} \quad \text{ดังนั้น } q = It$$

$$\text{และความเร็ว } v = \frac{s}{t} = \frac{l}{t}$$

แทนค่า  $q$  และ  $v$  ใน ①

$$\text{จะได้ } F = It\left(\frac{l}{t}\right) B$$

$$\boxed{F = I\ell B}$$

โดยที่  $F$  = แรงกระทำต่อลวดตัวนำ (N)

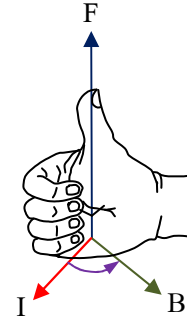
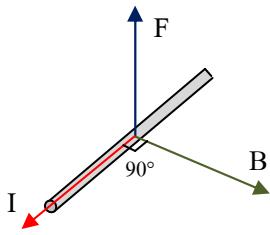
$I$  = กระแสไฟฟ้าที่ผ่านลวดตัวนำ (A)

$\ell$  = ความยาวลวดตัวนำ (m)

$B$  = สนามแม่เหล็ก (T)

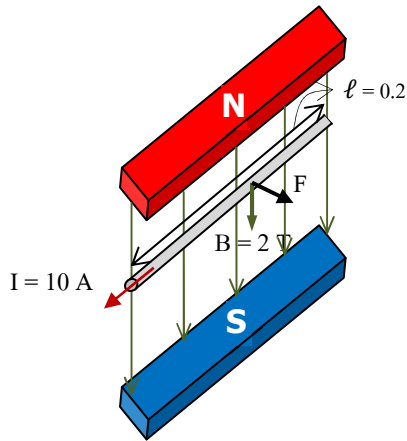
หาทิศทางของแรงกระทำกับลวดตัวนำ ( $F$ ) ได้โดยใช้กฎมือขวา เช่นเดียวกับกรณีแรงกระทำต่ออนุภาคที่มีประจุ เนื่องจากการเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอนซึ่งมีประจุลบ จะมีทิศทางตรงข้ามกับทิศทางของกระแสไฟฟ้า ดังนั้นถ้ากำมือขวาให้นิ้วทั้งสี่ชี้ทิศของกระแสไฟฟ้า (เสมือนทิศของประจุ +) นิ้วหัวแม่มือจะชี้ทิศของแรงดังรูป





### ตัวอย่างที่ 20

ลวดตัวนำยาว 20 เซนติเมตร มวล 50 กรัมวางตั้งฉากกับสนามแม่เหล็กสม่ำเสมอ 2 เทสลา ถ้ามีกระแสไฟฟ้า 10 แอมแปร์ผ่านลวด แล้วมีผลให้ลวด เคลื่อนที่ในแนวราบ จงหาความเร่งของลวดตัวนำ(ไม่คิดแรงโน้มถ่วงของโลก)



$$\text{จาก } F = I\ell B$$

$$= 10 \times 0.2 \times 2$$

$$F = 4 \text{ N}$$

หาความเร่งจากกฎข้อ 2 ของนิวตัน

$$\Sigma F = ma$$

$$4 = 50 \times 10^{-3} \times a$$

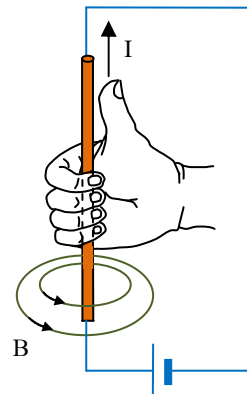
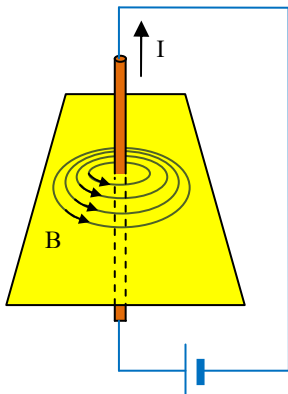
$$a = \frac{4}{0.05}$$

$$\therefore a = 80 \text{ m/s}^2 \text{ Ans}$$

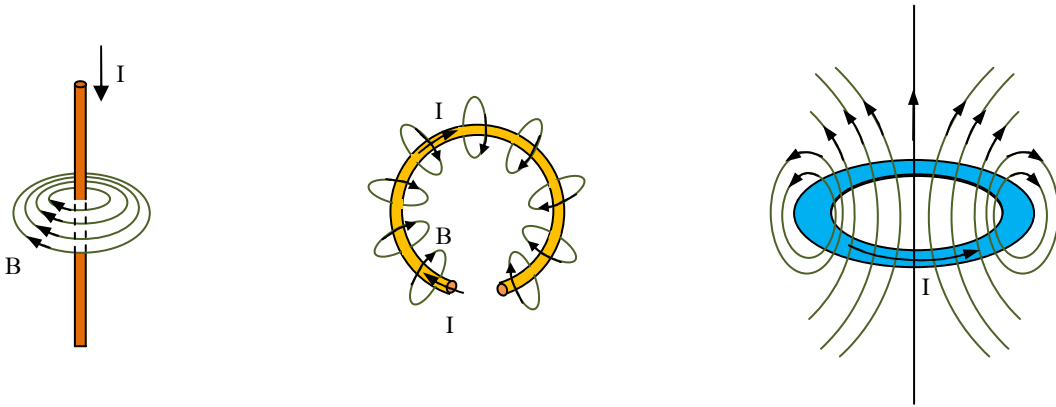
### 16.7.2 กระแสไฟฟ้าทำให้เกิดสนามแม่เหล็ก

#### ก. สนามแม่เหล็กของลวดตัวนำตรง

เมื่อให้กระแสไฟฟ้าผ่านลวดตัวนำตรง จะเกิดสนามแม่เหล็กรอบตัวนำทิศของสนามแม่เหล็กหาได้จาก กฎมือขวา โดยกำมือขวารอบลวดตัวนำตรง ให้นิ้วหัวแม่มือชี้ไปทางทิศของกระแสไฟฟ้า ทิศการวนของนิ้วทั้งสี่ คือทิศของสนามแม่เหล็ก



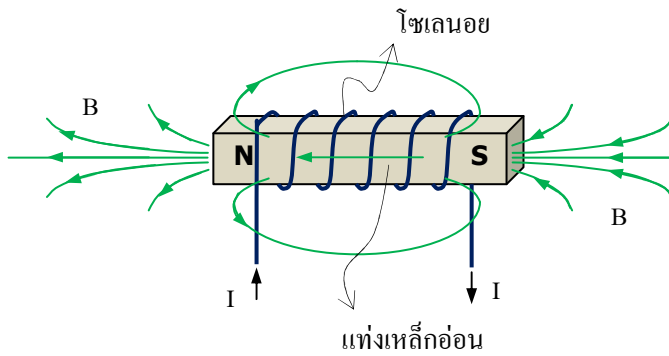
การใช้กฎมือขวา หาทิศของสนามแม่เหล็กของลวดตัวนำตรง



สนามแม่เหล็กของลวดตัวนำรูปร่างต่างๆตามกฎมือขวา

**ข.สนามแม่เหล็กของลวดโซเลนอยด์**

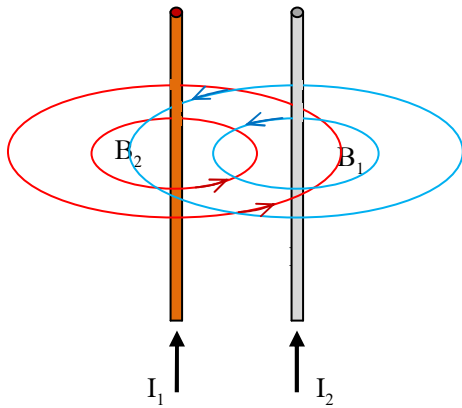
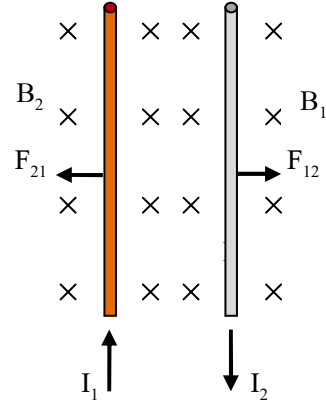
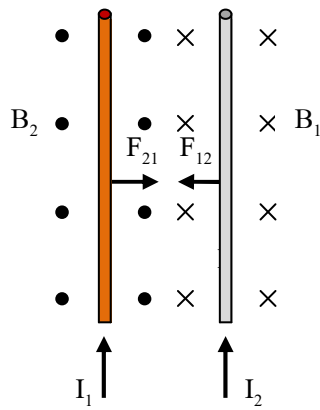
ขดลวดโซเลนอยด์ เป็นขดลวดที่ขดเป็นรูปร่างคล้ายสปริง เมื่อผ่านกระแสไฟฟ้า ผ่านขดลวดโซเลนอยด์ จะมีสนามแม่เหล็กเกิดขึ้น ซึ่งหาทิศทางได้จากกฎมือขวา ถ้าใส่แท่งเหล็กอ่อนไว้ที่แกนกลางของโซเลนอยด์ เมื่อกระแสไฟฟ้าผ่านโซเลนอยด์ แท่งเหล็กอ่อนจะมีสมบัติเป็นแม่เหล็กไฟฟ้า แต่เมื่อไม่มีกระแสไฟฟ้าแท่งเหล็กอ่อนจะหมดสภาพแม่เหล็กทันที



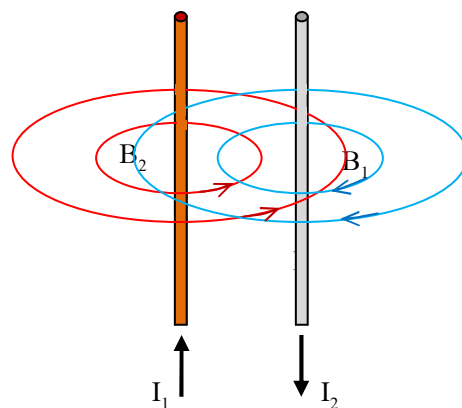


### 16.7.3 แรงระหว่างลวดตัวนำสองเส้นที่ขนานกันมีกระแสไฟฟ้าผ่าน

เมื่อนำลวดตัวนำเส้นตรง 2 เส้น มาวางขนานกัน แล้วผ่านกระแสไฟฟ้าเข้าไปในลวดทั้งสอง จะเกิดแรงกระทำต่อเส้นลวดทั้งสอง เนื่องจากสนามแม่เหล็กที่เกิดขึ้นจากกระแสไฟฟ้าผ่านลวดตัวนำ แต่ละเส้น



ก. กระแส I ทิศเดียวกัน



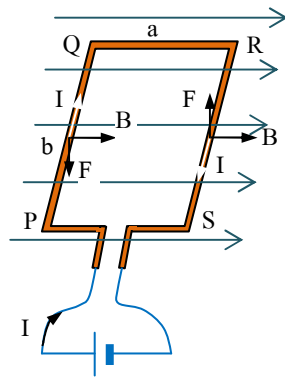
ข. กระแส I ทิศสวนกัน

เมื่อให้กระแสไฟฟ้าผ่านลวดตัวนำทั้งสองเส้น พิจารณาลวดตัวนำเส้นที่ 1 จะมีสนามแม่เหล็ก  $B_1$  เกิดขึ้นรอบลวด ดังนั้นลวดตัวนำเส้นที่ 2 จะอยู่ในสนามแม่เหล็ก  $B_1$  เกิดแรง  $F_{12}$  กระทำต่อลวดตัวนำเส้นที่ 2 ขณะเดียวกันเมื่อพิจารณาที่ลวดตัวนำที่ 2 จะมีสนามแม่เหล็ก  $B_2$  เกิดขึ้นรอบลวด และลวดตัวนำเส้นที่ 1 จะอยู่ในสนามแม่เหล็ก  $B_2$  เกิดแรง  $F_{21}$  กระทำต่อลวดตัวนำเส้นที่ 1

จะสังเกตว่าถ้าให้กระแสไฟฟ้าผ่านลวดตัวนำขนานในทิศเดียวกัน แรงระหว่างลวดทั้งสองจะเป็นแรงดึงดูด และถ้าทิศทางของกระแสไฟฟ้า สวนทางกันจะเป็นแรงผลักกัน ดังรูป

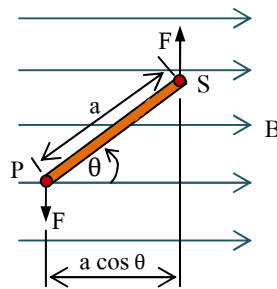
### 16.7.4 แรงกระทำต่อขดลวดที่มีกระแสไฟฟ้าผ่าน และอยู่ในสนามแม่เหล็ก

เมื่อนำขดลวดตัวนำรูปสี่เหลี่ยม วางในสนามแม่เหล็ก แล้วผ่านกระแสไฟฟ้าเข้าไปในขดลวดตัวนำ จะเกิดแรงกระทำกับขดลวดดังรูป



จากรูปขนาดแรง  $F$  หาได้จากสมการ  $F = I\ell B = IbB$  เนื่องจากแรงทั้งสองมีขนาดเท่ากัน แต่ทิศทางตรงข้ามกัน และขนานกัน จึงเป็นแรงคู่ควบ ทำให้ขดลวด เกิดการหมุนรอบ แนวศูนย์กลางระหว่างขดลวดสองด้าน

ถ้ากำหนด ความยาวลวดด้าน  $PS$  และ  $QR$  ยาว =  $a$   
 ความยาวลวดด้าน  $PQ$  และ  $SR$  ยาว =  $b$   
 เมื่อมองรูปตัดด้านหน้าของลวดจะได้



จากนิยามของโมเมนต์คู่ควบ = แรง  $\times$  ระยะทางตั้งฉากระหว่างแนวแรงทั้งสอง

$$M = F (a \cos\theta) = IbB (a \cos\theta)$$

$$M = IAB \cos\theta \quad (\text{เมื่อ } A = axb = \text{พื้นที่ของขดลวด})$$

ถ้าขดลวดมีลวดพันจำนวน  $N$  รอบจะได้

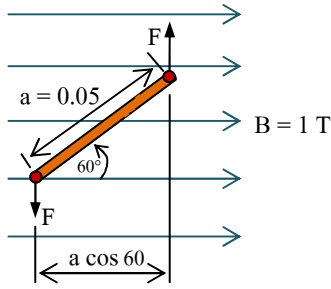
$$M = NIAB \cos\theta$$

จากสมการจะเห็นว่า  $M_{\max}$  เมื่อ  $\cos\theta = 1$  หรือ  $\theta = 0^\circ$

และ  $M_{\min}$  เมื่อ  $\cos\theta = 0$  หรือ  $\theta = 90^\circ$

### ตัวอย่างที่ 21

ขดลวดตัวนำรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า มีจำนวน 1000 รอบ มีความกว้าง 5 เซนติเมตร และยาว 8 เซนติเมตร อยู่ในสนามแม่เหล็กสม่ำเสมอ ขนาด 1 เทสลา ถ้ามีกระแสไฟฟ้า 2 แอมแปร์ ผ่านขดลวด จงหาโมเมนต์ของแรงคู่ควบที่เกิดขึ้น เมื่อระนาบของขดลวดทำมุม  $60^\circ$  กับสนามแม่เหล็ก



หาโมเมนต์ของแรงคู่ควบ  $M = F (a \cos 60)$

$$= I\ell B (a \cos 60)$$

$$= 2 \times 0.08 \times 1.0 \times (0.05 \times 0.5)$$

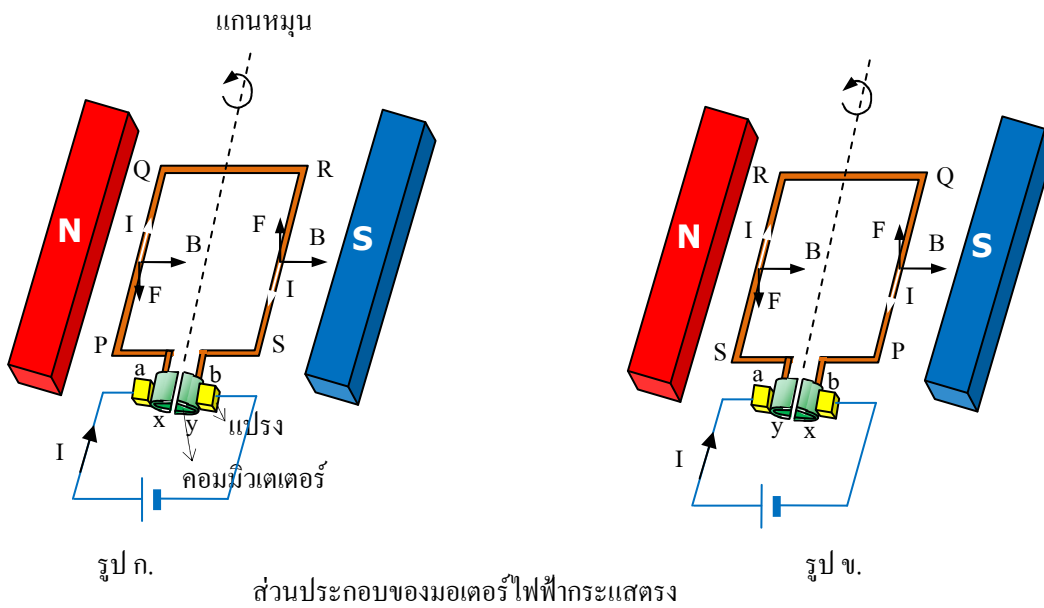
$$= 4 \times 10^{-3} \text{ N}$$

จำนวนขดลวด  $N = 1000$  รอบ

$$M_{\text{ทั้งหมด}} = NM = 1000 \times 4 \times 10^{-3}$$

$$\therefore M_{\text{ทั้งหมด}} = 4.0 \text{ N-m Ans}$$

### 16.8 มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง



มอเตอร์ไฟฟ้าเป็นเครื่องมือที่ใช้เปลี่ยนพลังงานไฟฟ้าเป็นพลังงานกล โดยอาศัยหลักการของการเกิดโมเมนต์ของแรงคู่ควบหมุนขดลวดเมื่อผ่านกระแสไฟฟ้าเข้าไปในขดลวดที่ตั้งฉากกับสนามแม่เหล็ก ทำให้มอเตอร์ไฟฟ้าหมุนรอบแกนหมุน

จากรูป ก. กระแสไฟฟ้าในขดลวดผ่านตามแนวระนาบ PQRS ทำให้เกิดโมเมนต์ของแรงคู่ควบหมุนขดลวดทวนเข็มนาฬิกา เมื่อขดลวดหมุนไปจนระนาบของขดลวดตั้งฉากกับสนามแม่เหล็ก ความเฉื่อยจะทำให้ขดลวดหมุนต่อไปอีกเล็กน้อย มีผลทำให้แปรง a และ b เปลี่ยนตำแหน่งจาก x และ y ไปสัมผัสกับคอมมิวเตเตอร์ y และ x ตามลำดับ ทำให้กระแสไฟฟ้าในขดลวดมีทิศตามแนว SRQP และโมเมนต์ของแรงคู่ควบที่เกิดขึ้นในตอนนี้จะทำให้ขดลวดหมุนในทิศทางเดิมต่อไป ดังรูป ข.

- โมเมนต์ของแรงคู่ควบจะมีค่ามากที่สุดเมื่อระนาบของขดลวดขนานกับสนามแม่เหล็ก และมีค่าน้อยที่สุด ( $M=0$ ) เมื่อระนาบของขดลวดตั้งฉากกับสนามแม่เหล็ก (ตามสมการ  $M = F (a \cos \theta)$ )