

# บทที่ 6

## กฎของฟาราเดย์

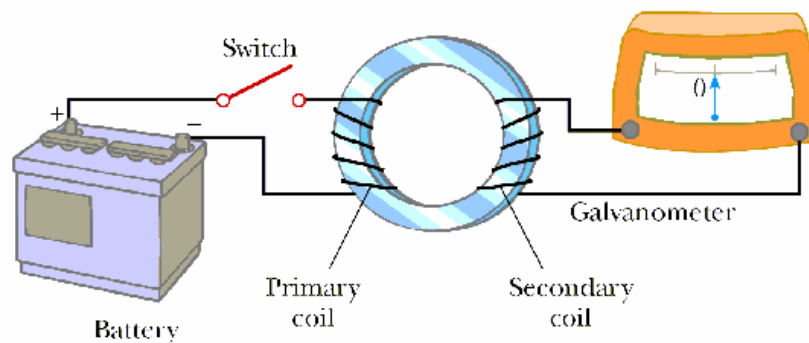


ส่วนสำคัญที่สุดของเครื่องเล่นเทปคาสเซ็ท แผ่น CD หรือเครื่องเล่น MP3 คือลำโพง โดยหน้าที่สำคัญที่สุดของลำโพงคือ เปลี่ยนสัญญาณทางไฟฟ้าที่ได้มาจากเครื่องขยายเป็นสัญญาณเสียง ลำโพงที่ดีจะต้องสร้างเสียงให้เหมือนกับต้นฉบับเดิมมากที่สุด โดยมีการผลิตเพียงน้อยที่สุด [อ่านต่อครับ](#) 🌟

บทที่ผ่านเราได้ศึกษาเกี่ยวกับสนามไฟฟ้า สนามแม่เหล็ก ตลอดจนแหล่งกำเนิดสนามแม่เหล็กมาแล้ว ในบทนี้จะมุ่งความสนใจไปสู่ผลของสนามแม่เหล็กที่เปลี่ยน และการเปลี่ยนฟลักซ์แม่เหล็กที่มีต่อแรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำ และกระแสเหนี่ยวนำในวงจรไฟฟ้า โดยพิจารณาจากกฎการเหนี่ยวนำของฟาราเดย์

### 6-1 กฎของฟาราเดย์

กฎของฟาราเดย์เกี่ยวกับการเหนี่ยวนำทางแม่เหล็กไฟฟ้า (Faraday's law of induction) เป็นปรากฏการณ์เกี่ยวกับการเหนี่ยวนำแม่เหล็กไฟฟ้า ซึ่งเป็นผลจากการทดลองของไมเคิล ฟาราเดย์ ในปี ค.ศ. 1831 และโดยโจเซฟ เฮนรี ในเวลาใกล้เคียงกัน บางทีจึงได้กล่าวถึงกฎของการเหนี่ยวนำนี้เพื่อเป็นเกียรติแก่บุคคลทั้งสองว่า กฎฟาราเดย์-เฮนรี จากการทดลองของฟาราเดย์และเฮนรีสรุปได้ว่า “ถ้าให้มีการเปลี่ยนแปลงสนามแม่เหล็กในบริเวณขดลวด จะเกิดแรงเคลื่อนเหนี่ยวนำในขดลวดดังกล่าว”



รูป 6-1 การทดลองของฟาราเดย์



ไมเคิล ฟาราเดย์ (Michael Faraday) ได้ทดลองเพิ่มเติมเกี่ยวกับสนามแม่เหล็กที่ทำให้เกิดกระแสไฟฟ้าและสรุปว่า “ขนาดของแรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำเป็นปริมาณโดยตรงกับอัตราการเปลี่ยนแปลงฟลักซ์แม่เหล็กที่ผ่านพื้นที่ในวงจรมานั้น” หรือ

$$\varepsilon = \frac{d\phi_B}{dt} \quad (6-1)$$

$\phi_B$  เป็นฟลักซ์แม่เหล็กที่ผ่านวงจร ถ้ามีขดลวดซึ่งล้อมรอบพื้นที่  $A$  วางอยู่ในสนามแม่เหล็ก  $\vec{B}$  ฟลักซ์แม่เหล็กที่ผ่านขดลวดคือ

$$\phi_B = \int \vec{B} \cdot d\vec{A}$$

เมื่อ  $d\vec{A}$  เป็นเวกเตอร์ที่ตั้งฉากกับผิวที่มีขนาดเท่ากับพื้นที่น้อยๆ  $dA$  พิจารณากรณีถ้าสนามแม่เหล็กสม่ำเสมอตั้งฉากกับพื้นที่หน้าตัด

$$\phi_B = \int B dA \cos 0^\circ = B \int dA = BA \quad (6-2)$$

เราใช้สมการ (6-1) กับขดลวดที่มี  $N$  รอบจะเกิดแรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำในขดลวดทุกๆ รอบ ถ้าขดลวดถูกพันไว้อย่างหนาแน่น เราอาจคิดว่าแต่ละรอบมีเส้นผ่านศูนย์กลางหรือพื้นที่หน้าตัดเท่ากัน ดังนั้นฟลักซ์แม่เหล็กที่ผ่านขดลวดแต่ละรอบเท่ากัน ฟลักซ์ที่ผ่านขดลวดแต่ละรอบของโซเลนอยด์อุดมคติก็มีค่าเท่ากัน ในกรณีนี้แรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำคือ

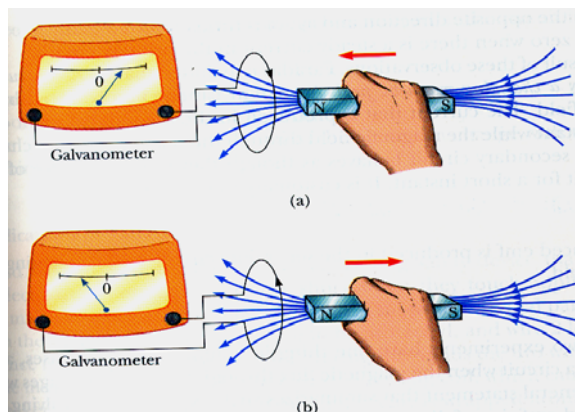
$$\varepsilon = N \frac{d\phi_B}{dt} = \frac{d(N\phi_B)}{dt} \quad (6-3)$$

โดย  $N\phi_B$  เรียกว่า flux linkage

ฟลักซ์  $\phi_B$  อาจเปลี่ยนแปลงได้จากสาเหตุหลายอย่าง เช่น

1. พื้นที่ของวงจรมีเปลี่ยนแปลง ( $A$ )
2. ขนาดของสนามแม่เหล็กเปลี่ยนแปลง ( $B$ )
3. ทิศทางของ  $B$  เปลี่ยน
4. ทิศทางของ  $A$  เปลี่ยน

เราทราบมาแล้วว่าเมื่อฟลักซ์แม่เหล็กที่ผ่านวงจรมีการเปลี่ยนแปลง จะเสมือนมีแรงเคลื่อนไฟฟ้าตามที่เรียกว่า แรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำ (Induced current) การทดลองเพื่อแสดงให้เห็นว่าสนามแม่เหล็กทำให้เกิดกระแสไฟฟ้าทำได้ง่ายๆ โดยนำแท่งแม่เหล็กเคลื่อนที่เข้าหาหรือเคลื่อนที่ออกจากขดลวดที่ต่อเข้ากับกัลวานอมิเตอร์ดังรูป 6-2



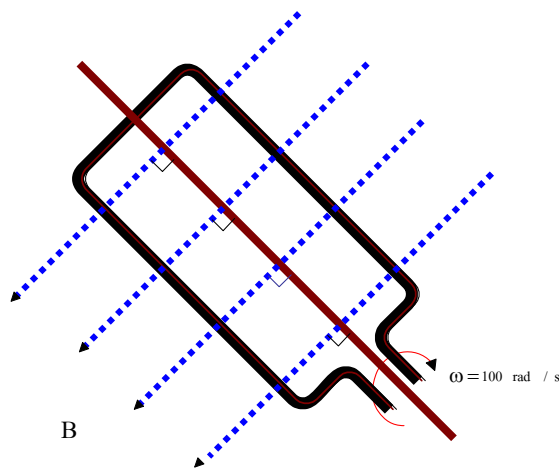
รูป 6-2



จากรูป 6-2 เมื่อเคลื่อนแท่งแม่เหล็กเข้าหรือออกจากขดลวดจะเกิดกระแสไฟฟ้าในขดลวด หรือถ้าให้แท่งแม่เหล็กอยู่นิ่งแล้วเคลื่อนขดลวดก็จะได้ผลการทดลองเช่นเดียวกันแต่ทิศทางของกระแสไฟฟ้าที่เกิดจะมีทิศตรงข้ามกันเมื่อเคลื่อนแม่เหล็กเข้าหรือออก โดยปกติจะเรียกกระแสไฟฟ้าที่เกิดในขดลวดนี้ว่า “กระแสไฟฟ้าเหนี่ยวนำ (induced current)”

**ตัวอย่าง 6-1** ขดลวดรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้าขนาด  $(5 \times 10)$  cm จำนวน 10 รอบ หมุนรอบแกนกลางตั้งรูป 6-3 ด้วยความเร็วเชิงมุม  $100 \text{ rad/s}$  ความต้านทานของขดลวดเท่ากับ  $50 \Omega$  มีสนามแม่เหล็กตั้งฉากกับแกนหมุนมีค่า  $2 \times 10^{-2} \text{ W/m}^2$

- จงหา ก) กระแสไฟฟ้ามากที่สุดในขดลวด  
ข) มุมของลวดเมื่อได้กระแสไฟฟ้ามากที่สุด



รูป 6-3

**หลักการคำนวณ** พื้นที่ของขดลวด  $A = 5 \times 10^{-3} \text{ m}^2$  ขณะใดๆ ให้  $\vec{A}$  ทำมุม  $\theta$  กับ  $\vec{B}$   
ฟลักซ์ที่ผ่านพื้นที่ 1 ขด

$$\phi_B = \int \vec{B} \cdot d\vec{A} = BA \cos \theta$$

ฟลักซ์ที่ผ่าน  $N$  รอบ คือ

$$\phi_B = NBA \cos \theta$$

จาก

$$\begin{aligned} \varepsilon &= \frac{d\phi_B}{dt} \\ &= NBA \sin \theta \frac{d\theta}{dt} \\ &= \omega NBA \sin \theta \end{aligned}$$

เมื่อ

$$\omega = \frac{d\theta}{dt} = 100 \text{ rad/s}$$



จะได้กระแสไฟฟ้าในวงจร

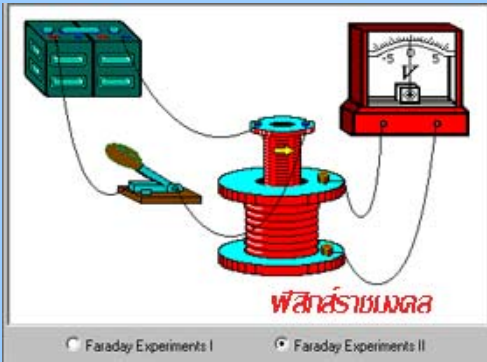
$$i = \frac{\varepsilon}{R} = \frac{\omega NBA \sin \theta}{R}$$

ก) กระแสไฟฟ้ามากที่สุดเมื่อ  $\sin \theta$  มีค่ามากที่สุดเท่ากับ 1

$$\begin{aligned} \text{ดังนั้นกระแสไฟฟ้ามากที่สุด} &= \frac{\omega NBA}{R} \\ &= \frac{(10) \left( 2 \times 10^{-2} \frac{\omega}{m^2} \right) (5 \times 10^{-3} m^2) (100s)}{5 \Omega} \\ &= 20 \text{ mA} \end{aligned}$$

ข) หาก  $i = NBA\omega \sin \theta / R$  จะเห็นว่า ค่า  $i$  จะมากที่สุดเมื่อ  $\theta = \pm 90^\circ$  คือเมื่อระนาบของขดลวดขนานกับ  $\vec{B}$

การทดลองเสมือนจริง



การทดลองของฟาราเดย์ คุณสามารถใช้เมาส์ จับคอยล์หรือแม่เหล็ก เคลื่อนที่ขึ้นหรือลงได้ ให้เลื่อนเมาส์ไปที่แม่เหล็ก กดค้างไว้ แล้วจับแม่เหล็กใส่เข้าไปในขดลวด สังเกตดูว่า อะไรเกิดขึ้นกับกัลวานอมิเตอร์ ลูกศรสีเหลือง แสดงทิศทางของกระแสไฟฟ้าเหนี่ยวนำ

[คลิกเข้าสู่การทดลองครับ](#)

## 6-2 กฎของเลนซ์

ปัญหาของแรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำอีกอย่างหนึ่งคือ ทิศทางของแรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำเป็นเช่นใด โดยปกติทิศทางของแรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำจะเป็นไปตามกฎของเลนซ์ (Lenz's law) ที่กล่าวว่า "ทิศทางของแรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำจะมีทิศเพื่อให้เกิดกระแสไฟฟ้าเหนี่ยวนำไหลไปในทิศที่ทำให้เกิดผลต่อต้านการเปลี่ยนแปลงของฟลักซ์แม่เหล็ก"



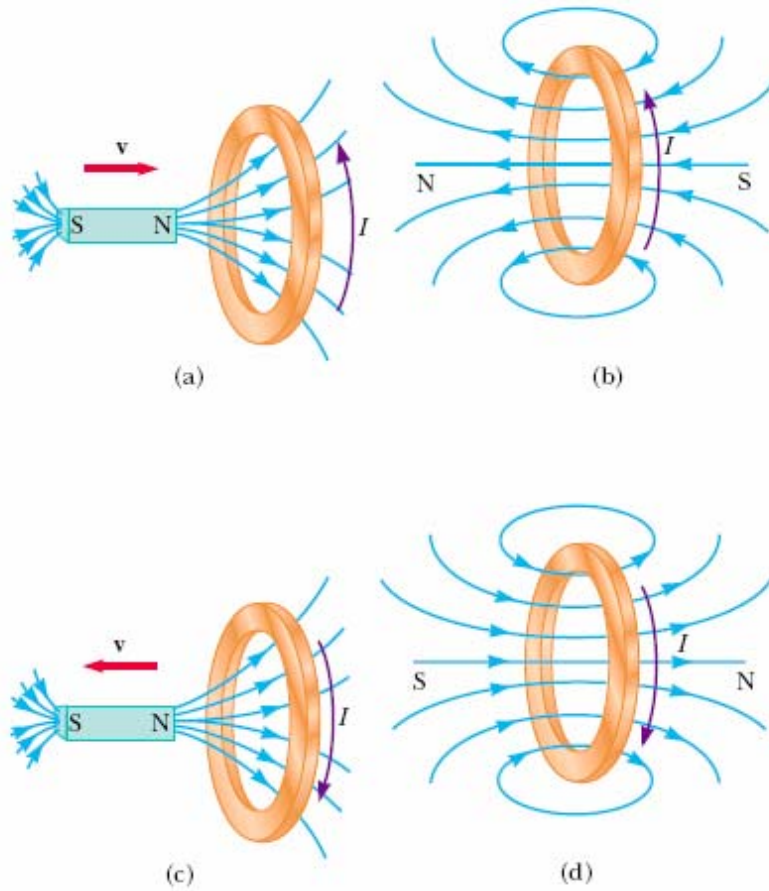
เมื่อรวมกฎของฟาราเดย์และกฎของเลนซ์เข้าด้วยกันจะได้

$$\mathcal{E} = -\frac{d\phi_B}{dt} \quad (6-4)$$

เครื่องหมายลบที่เพิ่มเข้ามาแสดงให้เห็นว่าแรงเคลื่อนไฟฟ้าที่เกิดขึ้นมีทิศต่อต้านการเปลี่ยนแปลงของฟลักซ์แม่เหล็ก ในกรณีที่ขดลวดประกอบไปด้วยลวดทั้งหมด  $N$  รอบจะได้

$$\mathcal{E} = -N\frac{d\phi_B}{dt} \quad (6-5)$$

การพิจารณาหาทิศของแรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำตามกฎของเลนซ์อาจพิจารณาได้ จากรูป 6-4



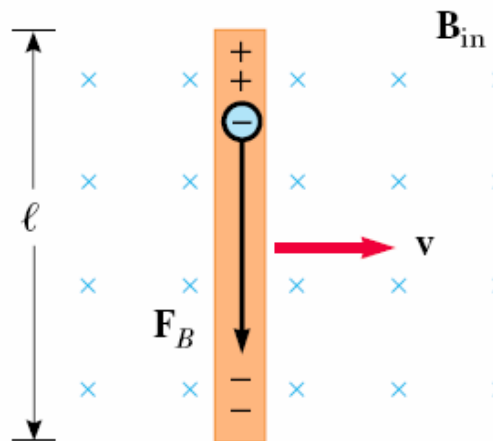
รูป 6-4

จากรูป 6-4 จะเห็นว่าเมื่อเราผลักแท่งแม่เหล็กเข้าหาขดลวด จะเกิดกระแสเหนี่ยวนำขึ้น ตามกฎของเลนซ์การผลึกนี้ก็คือการเปลี่ยนแปลงซึ่งจะทำให้เกิดกระแสเหนี่ยวนำ และจากกฎนี้กระแสเหนี่ยวนำจะต่อต้านการเปลี่ยนแปลง นั่นคือถ้าผลักขั้วเหนือเข้าหาขดลวดจะเกิดขั้วเหนือขึ้นทางด้านขวาของขดลวด เพื่อพยายามผลักขั้วเหนือของแท่งแม่เหล็ก ในทางกลับกันถ้าดึงขั้วเหนือของแท่งแม่เหล็กให้ออกห่างจากขดลวด ขดลวดจะพยายามต้านการเคลื่อนที่นั้นโดยการสร้างขั้วใต้ขึ้นทางด้านแท่งแม่เหล็กเพื่อดูดแท่งแม่เหล็กเอาไว้ ดังนั้นไม่ว่าเราจะผลักแท่งแม่เหล็กเข้าหาหรือดึงแท่งแม่เหล็กออกจากขดลวด การเคลื่อนที่ของมันจะถูกต่อต้านโดยขดลวดเสมอ



### 6-3 แรงเคลื่อนไฟฟ้าเชิงเคลื่อนที่

ที่ผ่านมาเราได้พิจารณาแรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำในวงจร อันเป็นผลจาก สนามแม่เหล็กที่เปลี่ยนแปลงไปตามเวลา โดยใช้ความสัมพันธ์ตามกฎฟาราเดย์ อย่างไรก็ตามยังมีแรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำอีกลักษณะหนึ่งที่เกิดขึ้นในตัวนำซึ่งเคลื่อนที่ผ่านสนามแม่เหล็ก โดยเราเรียกแรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำในลักษณะนี้ว่า แรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำเชิงเคลื่อนที่ (Motional electromotive force)



รูป 6-5

สมมติตัวนำตรงแท่งหนึ่งซึ่งยาว  $l$  เคลื่อนที่ด้วยความเร็ว  $v$  ตัดตั้งฉากกับสนามแม่เหล็กสม่ำเสมอ  $B$  ดังรูป 6-5 เราสามารถอธิบายลักษณะที่เกิดขึ้นได้ดังนี้ ขณะที่แท่งตัวนำเคลื่อนที่อยู่นั้น อิเล็กตรอนในแท่งตัวนำซึ่งมีประจุไฟฟ้า  $e$  ย่อมได้รับแรงแม่เหล็กกระทำตามสมการ  $\vec{F} = q\vec{v} \times \vec{B}$  โดยมีขนาดเป็น  $evB$  ผลคืออิเล็กตรอนจะเคลื่อนที่ตามทิศทางของแรงแม่เหล็กที่กระทำ ไปสู่อีกปลายหนึ่งของแท่งตัวนำ กล่าวคือเคลื่อนที่จากปลายบนสู่ปลายล่าง ทำให้ปลายบนของแท่งตัวนำมีศักย์ไฟฟ้าสูงกว่าปลายล่าง จึงเกิดสนามไฟฟ้าขึ้น แล้วมีผลสืบเนื่องทำให้เกิดแรงไฟฟ้ากระทำกับอิเล็กตรอน ที่ภาวะสมดุล จะได้

$$eE = \frac{eV}{l} = -\frac{e\varepsilon}{l} = evB$$

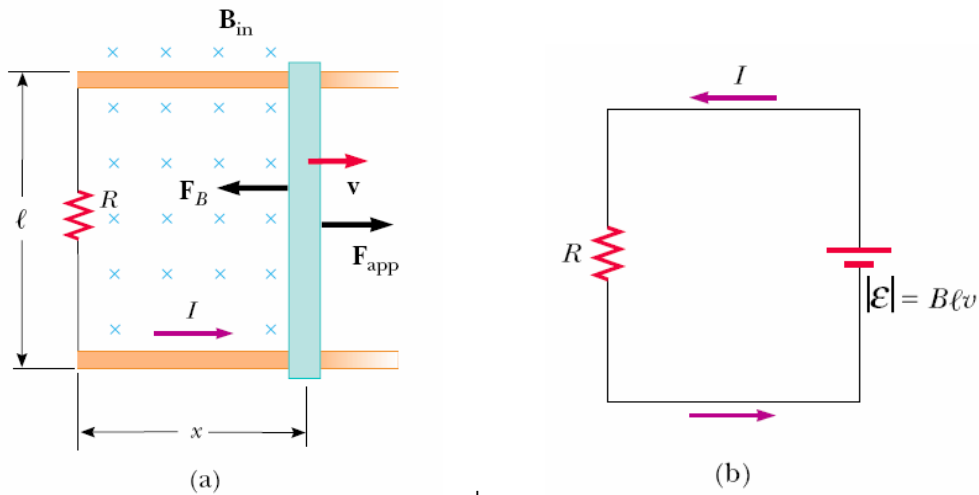
หรือ

$$\varepsilon = -vlB \quad (6-6)$$

สิ่งที่น่าคิดจากกระบวนการดังกล่าวนี้คือ จะเปรียบเสมือนว่ามีกระแสไฟฟ้า หรือประจุไฟฟ้าบวกเคลื่อนที่จากปลายล่างสู่ปลายบนของแท่งตัวนำ อันเนื่องจากการเคลื่อนที่ของแท่งตัวนำนี้



สมมติให้แท่งตัวนำตรง ซึ่งเป็นส่วนเคลื่อนที่ เป็นส่วนหนึ่งของวงจรรปิด ที่จะมีการเปลี่ยนแปลงฟลักซ์แม่เหล็ก โดยพิจารณาแท่งตัวนำตรงซึ่งยาว  $l$  มีความต้านทานน้อยมากๆ เทียบกับความต้านทาน ( $R$ ) ของส่วนที่ประกอบเป็นวงจรรเคลื่อนไปตามรางขนานตรงยาว  $x$  ด้วยความเร็วคงตัว  $v$  ในบริเวณที่มีสนามแม่เหล็กสม่ำเสมอ  $B$  ภายใต้อิทธิพลของแรงที่กระทำ ( $F_{apply}$ ) ดังรูป 6-6 a



รูป 6-6

ขณะที่ออกแรงดึงแท่งตัวนำแล้วแท่งตัวนำเคลื่อนที่ด้วยความเร็ว  $v$  นั้นประจุอิสระในแท่งตัวนำนั้นจะอยู่ภายใต้อิทธิพลของแรงแม่เหล็ก ตามความสัมพันธ์  $\vec{F} = q\vec{v} \times \vec{B}$  ผลคือประจุจะเคลื่อนที่ตามความยาวของตัวนำซึ่งต่อครบเป็นวงจรรปิดจึงมีกระแสเหนี่ยวนำเกิดขึ้น ณ ขณะหนึ่งพื้นที่ที่ระนาบของวงจรรเท่ากับ  $lx$  จะได้ฟลักซ์แม่เหล็กภายนอกเท่ากับ  $\phi_B = Blx$  และแรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำ ซึ่งเป็นแรงเคลื่อนไฟฟ้าเชิงเคลื่อนที่

$$\begin{aligned} \mathcal{E} &= -\frac{d\phi_B}{dt} = -\frac{d(Blx)}{dt} \\ &= -Bl\frac{dx}{dt} = -Blv \end{aligned} \quad (6-7)$$

กระแสไฟฟ้าเหนี่ยวนำ  $I = \frac{|\mathcal{E}|}{R} = \frac{Blv}{R}$  ดังรูป 6-6 b

ขณะที่มีกระแสเหนี่ยวนำ  $I$  ไหลตามแท่งตัวนำซึ่งยาว  $l$  นั้น ย่อมจะมีแรงแม่เหล็ก  $F_B$  ที่มีขนาด  $IlB$  และเนื่องจากแท่งตัวนำเคลื่อนที่ด้วยความเร็วคงตัว  $v$  แสดงว่า  $F_B + F_{app} = 0$  หรือ

$$F_{app} = F_B = IlB \quad (6-8)$$

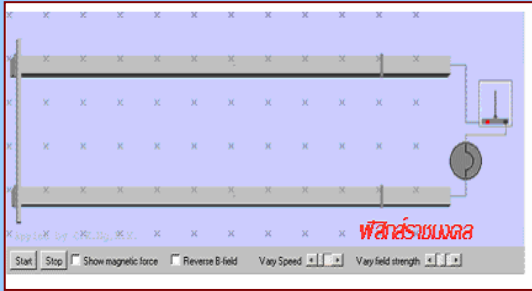
ถ้า  $P$  แทนกำลังที่ใช้สำหรับแรงภายนอก  $F_{app}$  นั้นจะได้

$$P = F_{app}v = IlBv = \frac{(Blv)^2}{R} = I^2R = \mathcal{E}I \quad (6-9)$$

สมการนี้แสดงให้เห็นว่า กำลังที่ใช้ไปเป็นอัตราของพลังงานที่ตัวต้านทาน ( $I^2R$ ) และเท่ากับกำลังของแรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำ ( $\mathcal{E}I$ )



**การทดลองเสมือนจริง**

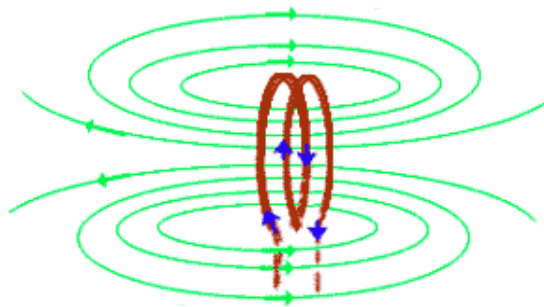


ไฟฟ้าที่เกิดจากแม่เหล็ก

เมื่อกดปุ่ม "Start" แท่งโลหะจะเคลื่อนที่กลับไปมาติดกับสนามแม่เหล็ก หรือเมื่อคุณกดปุ่ม "stop" คุณก็สามารถลากแท่งโลหะด้วยตนเอง [คลิกเข้าสู่การทดลองครับ](#) 🌟

**6-4 การเหนี่ยวนำตนเอง**

การเหนี่ยวนำตนเองของขดลวด เมื่อมีกระแสไฟฟ้าไหลในวงจร จะมีสนามแม่เหล็กเหนี่ยวนำ  $B$  เกิดขึ้นรอบๆ ตัวนำในวงจรมัน ขนาดของสนามแม่เหล็กจะเป็นสัดส่วนโดยตรงกับขนาดของกระแสไฟฟ้า  $I$  ในวงจร



รูป 6-7

ดังนั้นฟลักซ์แม่เหล็ก  $\phi_B$  ทั้งหมดที่ผ่านวงจรจึงเป็นปฏิภาคตรงกับกระแสไฟฟ้าด้วย นั่นคือ

$$\phi_B = LI \tag{6-10}$$

เมื่อ  $L$  คือ ค่าคงที่ซึ่งขึ้นกับลักษณะทางเรขาคณิตของวงจร และเรียกค่าคงที่นี้ว่า “ค่าความเหนี่ยวนำตัวเอง” ในระบบ SI ค่า  $L$  มีหน่วยเป็น เฮนรี่ (Henry) ใช้ตัวย่อเป็น H โดยที่

$$1H = 1WA$$





เมื่อกระแสไฟฟ้า  $I$  ในวงจรเปลี่ยนแปลงฟลักซ์แม่เหล็กเหนี่ยวนำก็จะเปลี่ยนแปลงด้วย ทำให้เกิดแรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำตัวเองขึ้นเรียกลักษณะเช่นนี้ของวงจรว่าเกิดการเหนี่ยวนำตนเองแรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำตัวเอง หาได้จาก

$$\varepsilon = -\frac{d\phi_B}{dt}$$

หรือ

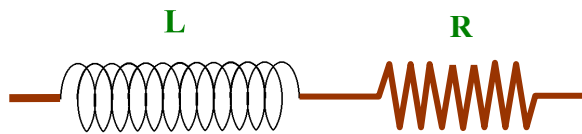
$$\varepsilon = -L\frac{dI}{dt} \quad (6-11)$$

เครื่องหมายลบ แสดงว่าแรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำมีทิศทางกับทิศการเปลี่ยนแปลงของกระแส เป็นไปตามกฎของเลนซ์ แรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำจะมีทิศตรงข้ามกับกระแส ถ้า  $dI/dt$  มีค่าเพิ่มขึ้น และจะมีทิศเดียวกับทิศของกระแส ถ้า  $dI/dt$  มีค่าลดลง จากสมการ (6-11) จะได้

$$L = -\varepsilon\frac{dt}{dI} \quad (6-12)$$

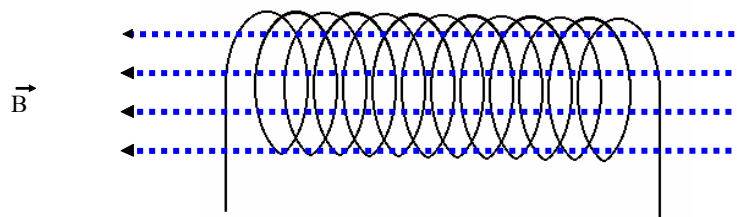
หน่วยของ  $L$  คือ เฮนรี (H)

ในวงจรที่กระแสไฟฟ้าเปลี่ยนแปลงขนาดเหนี่ยวนำจะประพุดิตัวเหมือนเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่มีแรงเคลื่อนไฟฟ้า เป็น  $-LdI/dt$  และมีความต้านทานภายใน  $R$  ในวงจรทางไฟฟ้ามักแทนขนาดเหนี่ยวนำในวงจรเป็นความเหนี่ยวนำแท้ๆ  $L$  ต่ออนุกรมกับความต้านทาน  $R$  ดังรูป 6-8



รูป 6-8

สมมติขดลวดโซลินอยด์ยาว  $l$  มี  $n$  รอบต่อหน่วยความยาวดังรูป 6-9 ถ้าขดลวดแต่ละรอบอยู่ชิดกัน และความยาวของขดลวดมากกว่าเส้นผ่าศูนย์กลางมากๆ โดยคิดว่าโซลินอยด์นั้นมีความยาวมากเป็นอนันต์ มีความเหนี่ยวนำเป็น  $L_\alpha$  ให้กระแสไฟฟ้า  $I$  ไหลผ่านขดโซลินอยด์นี้และให้พื้นที่หน้าตัดของขดลวดเท่ากับ  $A$  สนามแม่เหล็กภายในขด  $B = \mu_0 nI$



รูป 6-9



ฟลักซ์ที่ผ่านพื้นที่หน้าตัดของขดลวด 1 ขด คือ

$$\phi_B = \mu_0 n I A \quad (6-13)$$

จำนวนขดลวดทั้งหมด  $n$  ขด ดังนั้นฟลักซ์ที่ผ่านขดลวดทุกขด คือ

$$\phi_B = \mu_0 n^2 I A$$

แต่

$$\begin{aligned} \phi_B &= L I \\ L &= \frac{\phi_B}{I} = \mu_0 n^2 I A \end{aligned} \quad (6-14)$$

ให้  $N$  เป็นจำนวนรอบทั้งหมดของโซลินอยด์

$$N = n l$$

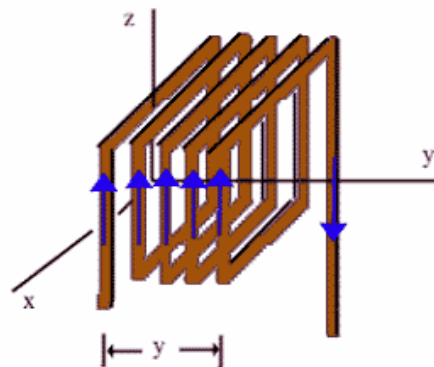
หรือ

$$n^2 = \frac{N^2}{l^2}$$

ดังนั้น

$$L = \mu_0 N^2 \frac{A}{l} \quad (6-15)$$

**ตัวอย่าง 6-2** ขดลวดพันเรียงเส้นจำนวน  $N$  รอบ มีความยาว  $y$  มีกระแสไหลผ่านเท่ากับ  $I$  สนามแม่เหล็กที่เกิดจากกระแสไฟฟ้ามี่ค่าเท่ากับ  $\mu_0 N I / y$  จงหาความเหนี่ยวนำของขดลวด  $L$  หลักการคำนวณ



รูป 6-10 ขดลวดพันเรียงเส้นจำนวน  $N$  รอบ ยาว  $y$

$$\begin{aligned} \phi_B &= B A \\ &= \frac{\mu_0 N I A}{y} \\ L &= \frac{N \phi_B}{I} \\ &= \frac{\mu_0 N^2 A}{y} \end{aligned}$$



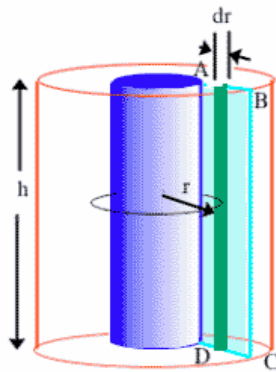
ถ้าขดลวดมีจำนวน 1 รอบ

$$L = \frac{\mu_o A}{y}$$

จะเห็นว่าสูตรนี้มีลักษณะคล้ายค่าความจุไฟฟ้า

$$c = \frac{\mu_o A}{d}$$

**ตัวอย่าง 6-3** จงหาค่าความเหนี่ยวนำตัวเองของวงจรถูกประกอบด้วยทรงกระบอกโลหะกลวง 2 อัน มีแกนร่วมกัน มีรัศมีเป็น  $a$  และ  $b$  ตามลำดับ แต่ละทรงกระบอกมีกระแส  $I$  ผ่าน แต่มีทิศทางตรงกันข้าม ช่องว่างระหว่างทรงกระบอกมีสารมีสภาพขาศิมได้เป็น  $\mu$



รูป 6-11 ความเหนี่ยวนำตนเองจาก  
ทรงกระบอกโลหะกลวง

**หลักการคำนวณ** หาสนามแม่เหล็กกระยะรัศมีใดๆ โดยอาศัยกฎของแอมแปร์

$$\oint \vec{B} \cdot d\vec{l} = \mu I$$

$$B 2\pi r = \mu I$$

$$B = \frac{\mu I}{2\pi r}$$

ต้องการหาความเหนี่ยวนำต้องหาฟลักซ์แม่เหล็กที่ผ่านระหว่างตัวนำทรงกระบอกได้แก่พื้นที่สี่เหลี่ยมผืนผ้า ABCD โดยแบ่งเป็นพื้นที่เล็กๆ ขนาด  $dr$  ยาว  $h$  พื้นที่เล็กๆ ที่สนามแม่เหล็กพุ่งผ่าน คือ  $hdr$  ฟลักซ์แม่เหล็กที่ผ่านพื้นที่ทั้งหมด

$$\phi_B = \int_{ABCD} \vec{B} \cdot d\vec{s}$$

$$= \int_a^b \frac{\mu I}{2\pi} h \frac{dr}{r} = \frac{\mu I h}{2\pi} \ln\left(\frac{b}{a}\right)$$

ความเหนี่ยวนำตนเอง คือ

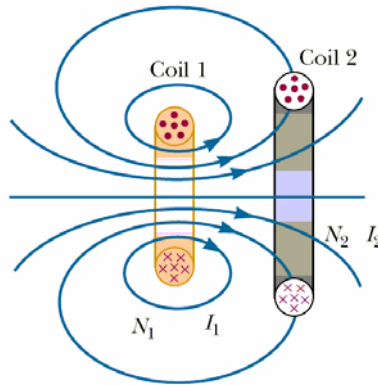
$$L = \frac{\phi_B}{I} = \frac{\mu h}{2\pi} \ln\left(\frac{b}{a}\right)$$



## 6-5 การเหนี่ยวนำต่างร่วม

การพิจารณาความเหนี่ยวนำตัวเอง จะต้องตระหนักว่า กระบวนการและการเปลี่ยนแปลงต่างอยู่ในวงจรเดียวโดด ๆ คือจำเป็นจะต้องเป็นวงจรไฟฟ้าที่อยู่โดยอิสระ

อย่างไรก็ตาม ในทางปฏิบัติพบว่า อัตราการเปลี่ยนแปลงฟลักซ์แม่เหล็กที่ผ่านวงจรหนึ่งเป็นผลจากการเปลี่ยนแปลงของกระแสไฟฟ้าในอีกวงจรหนึ่งที่อยู่ใกล้ ผลคือ เกิดแรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำขึ้น และมีผลสืบเนื่องเกี่ยวกับความเหนี่ยวนำ ที่ขึ้นกับอันตรกิริยาระหว่างวงจรทั้งสอง ด้วยเหตุนี้ จึงเรียกความเหนี่ยวนำตามกรณีดังกล่าวว่า ความเหนี่ยวนำร่วม (mutual inductance)



รูป 6-12 การเหนี่ยวนำร่วมระหว่าง 2 วงจร

จากรูป 6-12 ขดลวด 2 ขด เมื่อมีกระแสไฟฟ้า  $I_1$  ไหลในวงจรที่ 1 ทำให้เกิดฟลักซ์  $\phi_{B2}$  ขึ้น ณ ตำแหน่งซึ่งวงจรที่ 2 วางอยู่ ค่า  $\phi_{B2}$  จะเป็นปฏิภาคตรงกับกระแสไฟฟ้า  $I_1$  นั่นคือ

$$\phi_{B2} = M_{12}I_1$$

เมื่อ  $M_{12}$  เป็นค่าคงที่สำหรับวงจรทั้ง 2 เรียกว่า ค่าความเหนี่ยวนำต่างร่วม (มีลักษณะเหมือนกับค่า  $L$  ในเรื่องความเหนี่ยวนำตัวเอง) และมีหน่วย H

ในทำนองเดียวกันถ้ามีกระแสไฟฟ้า  $I_2$  ไหลในวงจรที่ 2 ก็จะทำให้เกิดฟลักซ์  $\phi_{B1} = M_{21}I_2$  ที่ขดที่ 1 จะได้

$$\phi_{B1} = M_{21}I_2$$

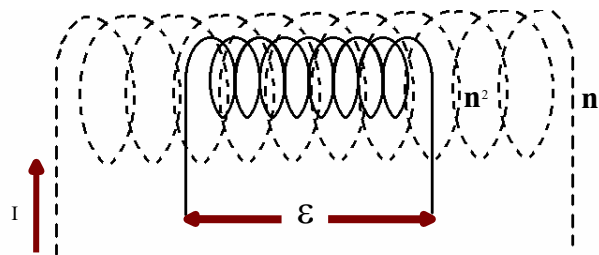
ค่า  $M_{12}$  และ  $M_{21}$  นี้มีค่าเท่ากับ  $M$  ถ้ากระแสไฟฟ้าในวงจรที่ 1 เปลี่ยนแปลงจะทำให้เกิดแรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำขึ้นที่วงจรที่ 2 จะได้

$$\varepsilon_2 = -\frac{d\phi_2}{dt}$$

$$\text{หรือ} \quad \varepsilon_2 = -M \frac{dI_1}{dt} \quad (6-16)$$



**ตัวอย่าง 6-4** ขดลวดวงนอกมี  $n_1$  รอบ/หน่วยความยาว วงในมี  $n_2$  รอบ/หน่วยความยาว มีพื้นที่หน้าตัด  $A$  และยาว  $l$  ดังรูป 6-13 จงหาความเหนี่ยวนำร่วม



รูป 6-13

**หลักการคำนวณ** สนามแม่เหล็กภายในขดลวดนอก

$$B = \mu_0 n_1 I$$

ฟลักซ์แม่เหล็กที่ผ่านขดใน 1 ขด

$$\phi_1 = BA = \mu_0 n_1 IA$$

ระนาบขดลวดขดในเท่ากับ  $n_2 l$  ดังนั้นฟลักซ์ที่ผ่านขดลวดในทุกขด

$$\phi_B = \mu_0 I A n_1 n_2 l$$

จาก

$$\phi_B = MI$$

$$M = \frac{\phi_B}{I}$$

ดังนั้น

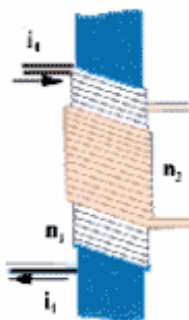
$$M = \mu_0 I A n_1 n_2 l$$

ถ้ากระแสไฟฟ้า  $I$  เปลี่ยนแปลงก็จะทำให้เกิดแรงเคลื่อนไฟฟ้า  $\varepsilon$  ขึ้นที่ขดใน ซึ่ง

$$\phi_B = -M \frac{dI}{dt} \quad (6-17)$$

การเหนี่ยวนำร่วมเป็นปรากฏการณ์ที่แสดงให้เห็นว่าเมื่อกระแสที่ผ่านวงจรถดลวดแปรเปลี่ยนตามเวลา จะมีการแลกเปลี่ยนพลังงานระหว่างวงจรทั้งสอง

**ตัวอย่าง 6-5** โซลินอยด์สองอันสวมทับกัน โดยอันที่หนึ่งมีจำนวนขดลวด  $n_1$  รอบ/หน่วยความยาว มีกระแสไฟฟ้า  $i_1$  ส่วนโซลินอยด์อันที่สองมีจำนวนขดลวด  $n_2$  รอบ/หน่วยความยาว จงหาความเหนี่ยวนำร่วม



รูป 6-14 ขดลวดโซลินอยด์ 2 ขดสวมทับกัน



## หลักการคำนวณ

สนามแม่เหล็กของโซลินอยด์มีค่าเป็น

$$B = \mu_0 n_1 i_1$$

ให้พื้นที่หน้าตัดของโซลินอยด์เท่ากับ  $A$  ฟลักซ์แม่เหล็กคือ

$$\begin{aligned}\phi_{B_{n_1}} &= BA \\ &= \mu_0 n_1 i_1 A\end{aligned}$$

ฟลักซ์แม่เหล็กที่ผ่านขดลวดชั้นนอกจะมีค่าเท่ากับ  $\phi_B$  เช่นกัน แต่ขดลวดชั้นนอกมี  $n_2$  รอบ ดังนั้น ฟลักซ์แม่เหล็กที่ขดลวดชั้นนอก รูป 6-14 จึงมีค่าเท่ากับ

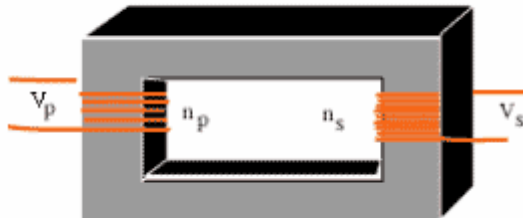
$$\begin{aligned}\phi_{B_{n_2}} &= n_2 \phi_{B_{n_1}} \\ &= \mu_0 n_1 n_2 i_1 A\end{aligned}$$

ความเหนี่ยวนำร่วม

$$\begin{aligned}M &= \frac{\phi_{B_{n_2}}}{i_1} \\ &= \mu_0 n_1 n_2 A\end{aligned}$$

**ตัวอย่าง 6-6** จากรูป 6-15 จงหาความสัมพันธ์ระหว่างแรงเคลื่อนไฟฟ้ากับจำนวนรอบของขดลวดของหม้อแปลงไฟฟ้า

**หลักการคำนวณ** หม้อแปลงไฟฟ้าประกอบด้วยขดลวดปฐมภูมิ (Primary) จำนวน  $n_p$  และขดลวดทุติยภูมิ (Secondary) จำนวน  $n_s$  รอบพันอยู่บนแกนเหล็กแกนเดียวกันดังรูป 6-15 ให้แรงเคลื่อนไฟฟ้าแก่ขดลวดปฐมภูมิเท่ากับ  $V_p$



รูป 6-15 หม้อแปลงไฟฟ้า

ฟลักซ์แม่เหล็กผ่านขดลวดปฐมภูมิ  $n_p$  รอบจะเป็น

$$V_p = -n_p \frac{d\phi}{dt}$$

ฟลักซ์จำนวนเดียวกันนี้จะผ่านขดลวดทุติยภูมิจะเกิดแรงเคลื่อนไฟฟ้าในขดลวดทุติยภูมิเช่นกัน

$$V_s = -n_s \frac{d\phi}{dt}$$

ดังนั้น

$$\frac{V_s}{V_p} = \frac{n_s}{n_p}$$



แรงเคลื่อนไฟฟ้าที่เกิดขึ้นบนขดลวดทฤษฎีขี้นอยู่กับแรงเคลื่อนไฟฟ้าที่ใส่เข้าไปในขดลวดปฐมภูมิและเป็นสัดส่วน  $n_p/n_s$  เมื่อมีกระแสขนาด  $I$  ไหลผ่านขดลวดเหนี่ยวนำ การเปลี่ยนแปลงของกระแสคือ  $dI/dt$  จะเกิดแรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำเท่ากับ  $LdI/dt$  กำลังไฟฟ้าที่จ่ายให้แก่ตัวเหนี่ยวนำคือ

$$\begin{aligned} P &= \varepsilon I \\ &= LI \frac{dI}{dt} \end{aligned} \quad (6-18)$$

งานที่ส่งให้ขดลวดในเวลา  $dt$  วินาทีคือ  $dw = Pdt$  ในช่วงกระแสไฟฟ้าเปลี่ยนแปลงตั้งแต่ศูนย์ถึง  $I$  คือ

$$\begin{aligned} w &= L \int_0^I IdI \\ &= \frac{1}{2} LI^2 \end{aligned} \quad (6-19)$$

ตัวอย่างเช่นต่อขดลวดที่ค่าเหนี่ยวนำ 1 H กับแหล่งจ่ายไฟขนาด 12 V ขดลวดมีความต้านทาน 10  $\Omega$  กระแสสูงสุดที่ไหลในวงจร คือ  $12/10 = 1.2$  A พลังงานศักย์ที่สะสมไว้ในขดลวดคือ  $1 \times (1.2)^2 / 2 = 0.72$  J พลังงานนี้จะยังคงอยู่ตลอดเวลาที่ราบเท่าที่ยังมีกระแสไฟฟ้า 1.2 A ไหลในขดลวด แต่ถ้าตัดวงจร กระแสจะลดค่าจาก 1.2 A เป็นศูนย์อย่างรวดเร็ว จะเกิดแรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำสูงมาก เพราะ  $\Delta t$  มีช่วงสั้นๆ พลังงานที่สะสมไว้จะเปลี่ยนรูปเป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า เช่น คลื่นวิทยุ หรือทำให้เกิดประกายไฟที่หน้าสัมผัสของสวิตช์

## บทความออนไลน์



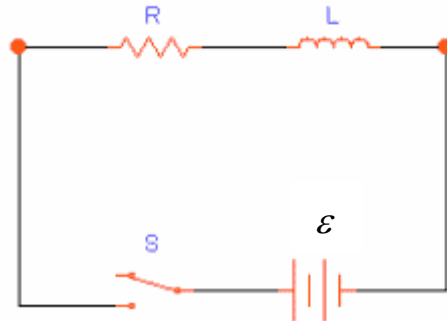
### อแดปเตอร์แปลงไฟขนาดเล็ก

อุปกรณ์จ่ายไฟขนาดเล็กที่ติดมาพร้อมกับเครื่องใช้ไฟฟ้าตัวโปรดของคุณ รูปร่างแตกต่างกันไป เครื่องใช้ไฟฟ้าบางชิ้นมีอแดปเตอร์ประกอบเป็นชิ้นเดียวอยู่ภายใน ฟิสิกส์ราชมงคลจะแกะ ภายในของอแดปเตอร์ ให้คุณได้ทราบ [อ่านต่อครับ](#) 🔥



## 6-6 ขดลวดเหนี่ยวนำในวงจรกระแสตรง

เมื่อนำขดลวดเหนี่ยวนำต่อในวงจรกระแสตรง ซึ่งมีความต้านทาน  $R$  รวมอยู่ด้วย ความต้านทาน  $R$  นี้เป็นความต้านทานรวมทั้งวงจรเป็นความต้านทานภายในของแบตเตอรี่และความต้านของขดลวด  $L$  ด้วย



รูป 6-16 วงจร  $RL$  สำหรับกระแสตรง

$L$  และ  $\mathcal{E}$  เป็นค่าความเหนี่ยวนำของขดลวด และแรงเคลื่อนไฟฟ้าของแบตเตอรี่ตามลำดับ เมื่อใช้กฎของเคอร์ชอฟเขียนสมการความต่างศักย์ไฟฟ้าในวงจรจะได้เป็น

$$L \frac{dI}{dt} + IR = \mathcal{E} \quad (6-20)$$

จัดรูปสมการใหม่โดยแยกตัวแปร  $I$  และ  $t$

$$\frac{dI}{\mathcal{E} - IR} = \frac{dt}{L}$$

อินทิเกรตทั้งสองข้าง โดยเริ่มตั้งแต่  $t = 0$  ถึง  $t$  ใดๆ กระแสไฟฟ้าเริ่มต้นจากศูนย์ถึงค่า  $I(t)$  ใดๆ เช่นกัน

$$\int_0^I \frac{dI}{\mathcal{E} - IR} = \frac{1}{L} \int_0^t dt$$

จะได้กระแสไฟฟ้าในวงจร

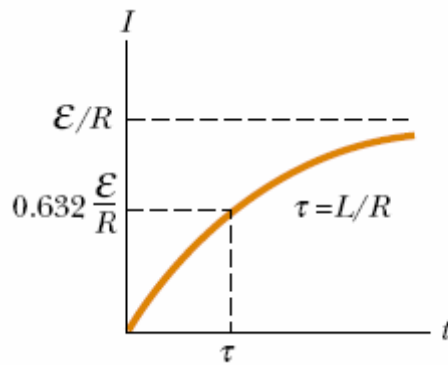
$$\int_0^I \frac{dI}{\mathcal{E} - IR} = \frac{1}{L} \int_0^t dt \quad (6-21)$$

เมื่อพล็อตกราฟระหว่าง  $I$  กับ  $t$  จะได้ดังรูป 6-17 ค่า  $e^{-Rt/L}$  จะมีค่าน้อยลงถ้าเวลาเพิ่มขึ้น เมื่อเวลาผ่านไปนานๆ ( $t \rightarrow \infty$ ) กระแสไฟฟ้าจะมีค่ามากที่สุดคือเท่ากับ  $\mathcal{E}/R = I_0$  กำหนดให้ค่าคงที่ของเวลา (time constant,  $\tau_L$ ) ของวงจรคือ  $L/R$  เมื่อแทน  $\tau_L$  ลงในสมการ (6-21) จะได้

$$I(\tau_L) = 0.632 \frac{\mathcal{E}}{R} \quad (6-22)$$

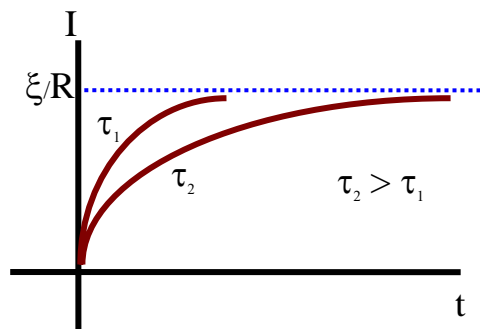






รูป 6-17 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง  $I$  กับ  $t$

ค่าคงที่ของเวลาของวงจรคือ เวลาที่กระแสไฟฟ้าเพิ่มจากศูนย์จนถึง 0.632 เท่าของค่ากระแสสูงสุด ถ้าค่า  $\tau_L$  ของวงจรมีค่ามาก กระแสจะเพิ่มขึ้นอย่างช้าๆ ถ้า  $\tau_L$  มีค่าน้อยๆ กระแสจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วดังรูป 6-18



รูป 6-18 การเปลี่ยนค่าของกระแสในวงจร  $RL$  มีค่าต่างกัน

ถ้าไม่มีขดลวดเหนี่ยวนำในวงจร ( $L = 0$ ) สมการที่ได้จะเหลือเพียง  $I = \xi / R$  ซึ่งเป็นสมการของวงจรไฟฟ้าที่มีเฉพาะตัวต้านทานนั่นเอง

จากรูป 6-16 เมื่อยกสวิตช์  $S$  ออกจากวงจร ในขณะที่ยังมีกระแสไฟฟ้าไหลในวงจรเท่ากับค่าสูงสุดคือ  $I_0$  ถ้าไม่มีขดลวดเหนี่ยวนำ กระแสไฟฟ้าจะลดลงเป็นศูนย์ทันที แต่ถ้ามีขดลวดเหนี่ยวนำต่ออยู่ด้วย กระแสไฟฟ้าจะค่อย ๆ ลดลง ดังนี้

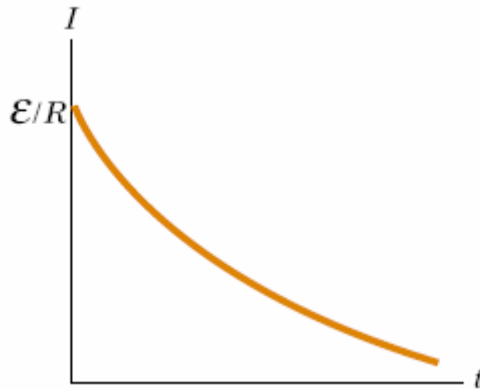
$$L \frac{dI}{dt} + IR = 0$$

$$\int_{I_0}^I \frac{dI}{I} = -\frac{R}{L} \int_0^t dt$$

$$I(t) = I_0 e^{-Rt/L}$$

กระแสไฟฟ้าจะค่อย ๆ ลดลงจากค่าสูงสุด  $I_0$  แบบเอ็กซ์โพเนนเชียล เพราะขดลวดเหนี่ยวนำจะต้านการลดของกระแส เมื่อ  $t$  เท่ากับค่าคงที่เวลา จะได้  $I(\tau_L) = 0.368I_0$  เมื่อเวลาผ่านไปเท่ากับค่าคงที่ของเวลา กระแสไฟฟ้าในวงจรจะลดลงเหลือเพียง 36.8 % ของค่าสูงสุด





รูป 6-19 ความสัมพันธ์ระหว่างกระแสไฟฟ้ากับเวลา เมื่อตัดสวิตช์  
ขณะที่มีกระแสไฟฟ้าไหลคงที่ในวงจร

**ตัวอย่าง 6-7** ขดลวดมีความต้านทาน  $200 \Omega$  มีความเหนี่ยวนำเท่ากับ  $0.5 \text{ H}$  เมื่อต่อกับแหล่งจ่ายไฟ  
ตรง  $12 \text{ V}$  จงหา

- ก) สมการแสดงการเปลี่ยนแปลงของกระแสที่เวลาใดๆ
- ข) กระแสไฟฟ้ามีค่า  $63.2\%$  ของค่าสูงสุด
- ค) กระแสไฟฟ้าเมื่อเวลาผ่านไป  $1 \text{ s}$

#### หลักการคำนวณ

- ก) สมการการเปลี่ยนแปลงของกระแสไฟฟ้า คือ

$$I(t) = \frac{\xi}{R}(1 - e^{-Rt/L})$$

แทนค่า  $\xi = 12 \text{ V}$ ,  $L = 0.5 \text{ H}$  และ  $R = 200 \Omega$

$$I(t) = 0.06(1 - e^{-400t})$$

- ข) กระแสไฟฟ้าจะมีค่า  $63.2\%$  ของค่าสูงสุดเมื่อเวลาผ่านไปเท่ากับค่าคงที่ของเวลา

$$\begin{aligned} t &= \tau_L \\ &= \frac{L}{R} \\ &= 2.5 \times 10^{-3} \text{ s} \end{aligned}$$

- ค) เมื่อเวลาผ่านไป  $1 \text{ s}$  กระแสไฟฟ้าในวงจรมีค่าเท่ากับ

$$\begin{aligned} I &= 0.06(1 - e^{-400t}) \\ &= 0.06 \text{ A} \end{aligned}$$

เมื่อเวลาผ่านไป  $1 \text{ s}$  กระแสไฟฟ้ามีค่าเท่ากับกระแสไฟฟ้าสูงสุดของวงจร



## 6-7 สมการของแมกซ์เวลล์

ในบทนี้และบทก่อนๆ เราได้ศึกษาถึงกฎและสมการที่เป็นพื้นฐานที่อธิบายปรากฏการณ์ทางไฟฟ้าและแม่เหล็ก เจมส์ เคลิร์ก แมกซ์เวลล์ (James Clerk Maxwell) ได้รวบรวม กฎ และสมการต่างๆ ที่สำคัญ 4 สมการ ที่ใช้อธิบายพฤติกรรมทางแม่เหล็กไฟฟ้าเรียกว่า สมการของแมกซ์เวลล์ (Maxwell's equations) ซึ่งเป็นหัวใจของวิชาแม่เหล็กไฟฟ้า สมการของแมกซ์เวลล์ที่ประยุกต์ใช้ในปริภูมิเสรี (free space) มีดังนี้

$$\oint \vec{E} \cdot d\vec{A} = \frac{q}{\epsilon_0} \quad (6-23)$$

$$\oint \vec{B} \cdot d\vec{A} = 0 \quad (6-24)$$

$$\oint \vec{E} \cdot d\vec{\ell} = -\frac{d\Phi_B}{dt} \quad (6-25)$$

$$\oint \vec{B} \cdot d\vec{\ell} = \mu_0 I + \epsilon_0 \mu_0 \frac{d\Phi_E}{dt} \quad (6-26)$$

สมการ (6-23) เรียกว่า กฎของเกาส์ในสนามไฟฟ้า หมายความว่า ฟลักซ์ไฟฟ้าสุทธิที่พุ่งผ่านผิวปิดใดๆ มีค่าเท่ากับประจุที่อยู่ภายในผิวปิดนั้นหารด้วยค่าคงที่  $\epsilon_0$

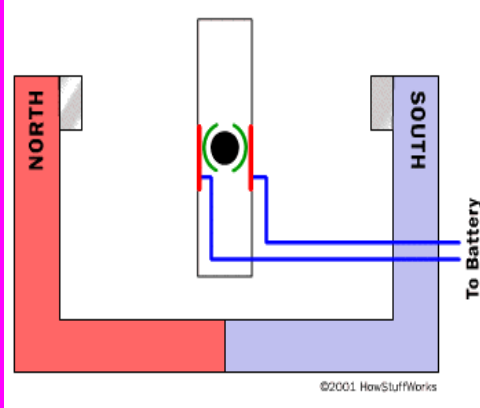
สมการ (6-24) เรียกว่า กฎของเกาส์สำหรับสนามแม่เหล็ก หมายความว่า ฟลักซ์แม่เหล็กสุทธิที่พุ่งผ่านผิวปิดใดๆ มีค่าเท่ากับศูนย์ อีกนัยหนึ่งคือ แม่เหล็กต้องมีสองขั้วเสมอ

สมการ (6-25) เรียกว่า กฎของฟาราเดย์ หมายความว่า แรงเคลื่อนไฟฟ้าหรืออินทิกรัลเชิงเส้นของสนามไฟฟ้าที่วนรอบเส้นปิดใดๆ มีค่าเท่ากับอัตราการเปลี่ยนแปลงของฟลักซ์แม่เหล็กที่ผ่านพื้นที่ผิวที่ล้อมรอบด้วยเส้นปิดนั้น

สมการ (6-26) เรียกว่า กฎของแอมแปร์-แมกซ์เวลล์ หมายความว่า อินทิกรัลเชิงเส้นของสนามแม่เหล็กที่วนรอบเส้นปิดใดๆ มีค่าเท่ากับผลรวมของกระแสไฟฟ้าสุทธิที่ไหลผ่านเส้นนั้นคูณกับค่าคงที่  $\mu_0$  กับอัตราการเปลี่ยนแปลงของฟลักซ์ไฟฟ้าคูณกับ  $\epsilon_0 \mu_0$  ที่ผ่านพื้นที่ผิวที่ล้อมรอบด้วยเส้นปิดนั้น แมกซ์เวลล์ได้เพิ่มพจน์ที่ 2 ลงไปในกฎของแอมแปร์เพื่ออธิบายการเกิดขึ้นของสนามแม่เหล็กจากสนามไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้า ความสัมพันธ์ของ  $\epsilon_0$  และ  $\mu_0$  คือ  $c = 1/\sqrt{\epsilon_0 \mu_0} = 3.00 \times 10^8$  m/s เมื่อ  $c$  คือ ความเร็วแสงในสุญญากาศ ซึ่งจะได้อธิบายอย่างละเอียดต่อไปในเรื่องคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า



## บทความออนไลน์



### มอเตอร์ไฟฟ้า

ภาพข้างบนนี้ คุณจะเห็นเป็นแท่งแม่เหล็ก 2 แท่ง โดยแท่งในเป็นแม่เหล็กไฟฟ้า เรียกว่า อาร์มาเจอร์ (Armature) ขณะที่แม่เหล็กด้านนอกเป็นแม่เหล็กถาวรรูปเกือกม้า(หรือจะเป็นแม่เหล็กไฟฟ้าก็ได้สำหรับมอเตอร์ขนาดใหญ่ แต่ถ้ามอเตอร์ขนาดเล็ก จะใช้แม่เหล็กถาวรเพื่อประหยัดพลังงาน) อาร์มาเจอร์จะหมุนไปได้เนื่องจากการผลักของแม่เหล็ก [อ่านต่อครับ](#) 🔴

## บรรยายลงในกระดานฟิสิกส์ราชมงคล



เมื่อต้องการซ่อมสายไฟฟ้าแรงสูง ที่พาดผ่านหุบเขา หรือในบริเวณสูงๆ ซึ่งค่อนข้างเป็นอันตรายมาก และปัจจุบันการซ่อมแซมไม่สามารถจะปิดไฟได้ เพราะการปิดไฟครั้งหนึ่ง ไฟฟ้าจะต้องดับทั้งเมือง เกิดผลเสียมากมายมหาศาล เช่นไฟในเมืองใหญ่ของอเมริกาดับแค่ชั่วโมงเดียว ผลเสียหายอาจจะประมาณได้เท่ากับรายจ่ายของประเทศต่อพัฒนาหนึ่งปีเต็มๆ ดังนั้นการแก้ไขจะต้องทำในขณะที่ไฟยังเปิดอยู่ ดังรูป ช่างไฟจะออกจากเฮลิคอปเตอร์ เพื่อจะไปเปลี่ยนตัว สเปคเซอร์ (spacer) บนสายไฟแรงสูงขนาด 500,000 V ผู้ทำจะต้องมีความเชี่ยวชาญสูง เพราะผิดพลาดเพียงเล็กน้อยหมายถึงชีวิต ถ้าสงสัยว่าเขาทำได้ [อย่างไร](#) [คลิกอ่านต่อครับ](#) 🔴 จากนั้นให้นักศึกษา ลองวิจารณ์ลงใน [กระดานฟิสิกส์ราชมงคล](#) 🔴



## ทดสอบก่อนและหลังเรียน

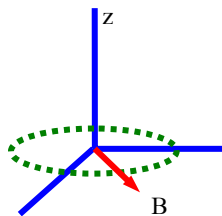
วิธีทำให้ใส่ชื่อ สกุล เลือกวิชาที่สอบ และจำนวนข้อ แต่ต้องไม่เกินจากที่กำหนดไว้ เช่น กำหนดไว้ 10 ข้อ เวลาเลือกจำนวนข้อ ให้เลือก 5 และ 10 ข้อไม่เกินจากนี้ เป็นต้นเมื่อทำเสร็จสามารถดูคะแนนจากรายละเอียดผู้ทำข้อสอบได้ที่

เรื่องกฎของฟาราเดย์

คลิกเข้าสู่ [การทดสอบก่อนและหลังเรียนค่ะ](#) 🌟

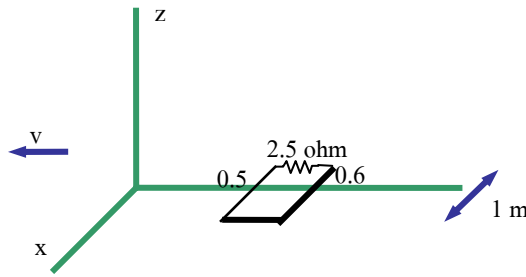
## แบบฝึกหัดเรื่องกฎของฟาราเดย์

1. ขดลวดจำนวน 500 รอบที่เหมือนกัน ต่างมีพื้นที่ของระนาบ  $60 \text{ cm}^2$  มีความต้านทานทั้งหมด  $5 \Omega$  และอยู่ในบริเวณสนามแม่เหล็กสม่ำเสมอ ที่มีทิศตั้งฉากกับระนาบของขดลวด ถ้าฟลักซ์แม่เหล็กที่ผ่านระนาบของขดลวดเพิ่มขึ้น  $2 \times 10^{-4} \text{ T}$  ในเวลา  $1 \text{ s}$  จงหากระแสเหนี่ยวนำในขดลวดนี้ ขณะที่มีการเปลี่ยนแปลงสนามแม่เหล็กดังกล่าว [ตอบ  $20 \text{ mA}$ ]
2. ขดลวดจำนวน 400 รอบ ระนาบขดลวดมีรัศมี  $0.10 \text{ m}$  สนามแม่เหล็กมีขนาดสม่ำเสมอ  $0.2 \text{ T}$  หมุนขดลวดจากตำแหน่งเดิม ซึ่งระนาบ ขดลวดตั้งฉากกับสนามแม่เหล็กไปเป็นมุม  
ก)  $90^\circ$  ภายในเวลา  $0.20 \text{ s}$  จงหาแรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำ  
ข)  $180^\circ$  ภายในเวลา  $0.50 \text{ s}$  จงหาแรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำ  
ค)  $360^\circ$  ภายในเวลา  $0.50 \text{ s}$  จงหาแรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำ
3. แท่งโลหะยาว  $1 \text{ cm}$  วางขนานในแนวแกน  $z$  หมุนเป็นวงกลมรัศมี  $25 \text{ cm}$  ด้วยความเร็วเชิงมุม  $1,200 \text{ rad/s}$  จงหาแรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำที่เกิดขึ้นบนแท่งโลหะ ถ้ามีสนามแม่เหล็กที่มีความหนาแน่นฟลักซ์  $\vec{B} = 0.5 \hat{r} \text{ T}$  ในบริเวณนี้ [ตอบ  $-5.0 \times 10^{-2} \pi \text{ V}$  โดยที่ขั้วลางเป็นบวกเมื่อเทียบกับขั้วบน]

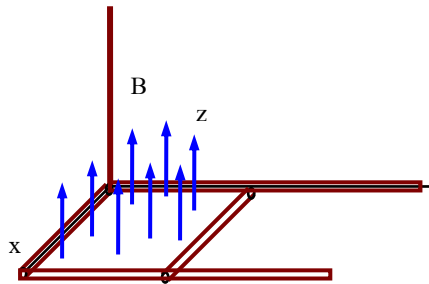


4. ขดลวดรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้าเคลื่อนที่เข้าหาจุดกำเนิดด้วยความเร็ว  $\vec{v} = -250 \hat{j} \text{ m/s}$  ในสนาม  $\vec{B} = 0.8e^{-0.5y} \hat{k} \text{ T}$  จงหากระแสเหนี่ยวนำที่เกิดขึ้นในขดลวด เมื่อขดลวดอยู่ที่ตำแหน่ง  $y=0.5 \text{ m}$  และ  $y=0.6 \text{ m}$  ดังรูป ให้ความต้านทานของขดลวดเท่ากับ  $2.5 \Omega$  [ตอบ  $3.04 \text{ A}$  ทิศตามเข็มนาฬิกา]

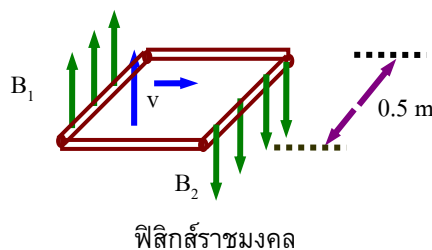




5. ตัวนำเคลื่อนที่ขนานกับแกน x บนรางขนานดังรูป
- ก) จงหาแรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำที่เกิดขึ้นบนแท่งตัวนำ เมื่อวางอยู่หนึ่งที่ตำแหน่ง  $y=0.05$  m และ  $\vec{B} = 0.3 \sin 10^4 t \hat{k}$  T [ตอบ  $-7.5 \cos 10^4 t$ ]
- ข) ถ้าแท่งตัวนำเคลื่อนที่ด้วยความเร็ว  $\vec{v} = 150 \hat{i}$  m/s จงหาแรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำที่เกิดขึ้น [ตอบ  $\vec{B} = -7.5 \cos 10^4 t - 2.25 \sin 10^4 t$ ]



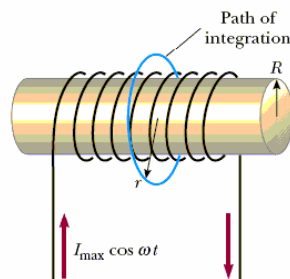
6. ตัวนำทรงกระบอกรัศมี 7 cm สูง 15 cm หมุนด้วยความเร็ว 600 รอบ/นาที มีสนาม  $\vec{B} = 0.3 \hat{i}$  T จงหาแรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำที่เกิดขึ้นที่ปลายบนและปลายล่างทรงกระบอก [ตอบ 0.13 V, ขั้วล่างเป็นบวก]
7. จานโลหะกลมของฟาราเดย์ รัศมี  $a$  วางอยู่ในระนาบ  $xy$  หมุนด้วยความเร็วเชิงมุม  $\omega$  rad/s ในสนามแม่เหล็กที่มีความหนาแน่นฟลักซ์  $\vec{B} = B \hat{k}$  จงหาแรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำที่เกิดขึ้นที่ขอบจานโดยวัดเทียบกับจุดศูนย์กลาง
8. ขดลวดรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้าเคลื่อนที่ไปทางขวามือด้วยความเร็ว 2.5 m/s ด้านซ้ายมือของขดลวดติดกับสนามแม่เหล็กในทิศพุ่งขึ้น และตั้งฉากกับขดลวด  $B_1 = 0.3$  T ด้านขวามือของขดลวดติดกับสนามแม่เหล็ก  $B_2$  มีขนาดเท่ากับ  $B_1$  แต่มีทิศพุ่งลง จงหาขนาด และทิศของกระแสที่เกิดขึ้นในขดลวด [ตอบ 15 mA, ทวนเข็มนาฬิกา]



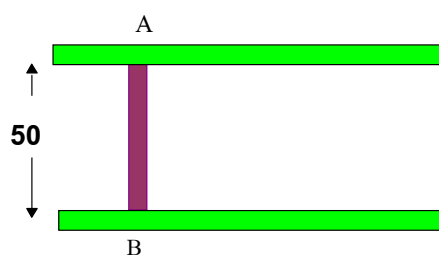
ฟิสิกส์ราชมงคล



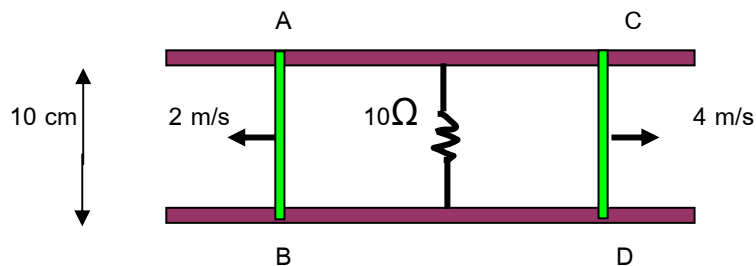
9. ขดลวดโซลินอยด์ รัศมี 2.5 cm มีจำนวนรอบ 400 รอบ ยาว 20 cm  
 ก) จงหาความเหนี่ยวนำของขดลวดโซลินอยด์  
 ข) อัตราการเปลี่ยนแปลงของกระแสไฟฟ้าต้องมีค่าเท่าใด จึงจะเกิดแรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำบนขดลวดเท่ากับ 75 mV  
 ค) ขณะที่ขดลวดมีแรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำ 75 mV จงหาอัตราการเปลี่ยนแปลงของฟลักซ์ผ่านพื้นที่หน้าตัดของขดลวดโซลินอยด์ [ตอบ  $1.88 \times 10^{-4} \text{ T}\cdot\text{m}^2/\text{s}$ ]
10. วงจร RL ประกอบด้วยแบตเตอรี่ขนาด 6 V ต่ออนุกรมกับตัวต้านทานและขดลวด มีค่าคงที่ของเวลาเท่ากับ 600  $\mu\text{s}$  กระแสสูงสุดในวงจรเท่ากับ 300 mA จงหาค่าความเหนี่ยวนำของขดลวด [ตอบ 12.0 mH]
11. ลวดตัวนำเส้นตรงยาวมาก 2 เส้น วางอยู่ในอากาศขนานกันห่างกันเป็นระยะ  $d$  ลวดแต่ละเส้นมีรัศมี  $a$  จงหาความเหนี่ยวนำที่เกิดขึ้น [ตอบ  $\frac{\mu_0 I}{\pi} \ln(d/a)$  H]
12. ขดลวดมีจำนวน 450 รอบมีรัศมี 50 mm วางขดลวดไว้ในสนามแม่เหล็กสม่ำเสมอและทิศตั้งฉากกับระนาบขดลวดถ้าสนามแม่เหล็กเพิ่มขึ้นในอัตรา 0.5 T/s จงคำนวณหาแรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำที่เกิดขึ้น [ตอบ -0.89]
13. โซเลนอยด์ยาวมีรัศมี  $R$  มีพันด้วยขดลวดจำนวน  $n$  รอบ มีกระแสไฟฟ้าไหล  $I = I_{\max} \cos \omega t$  เมื่อ  $I_{\max}$  คือกระแสไฟฟ้าสูงสุด และ  $\omega$  เป็นความถี่เชิงมุมของแหล่งกำเนิดตั้งรูป จงหาสนามไฟฟ้าเหนี่ยวนำนอกขดลวดที่ระยะ  $r > R$   
 [ตอบ  $E = \frac{\mu_0 n I_{\max} \omega R^2}{2r} \sin \omega t$ ]



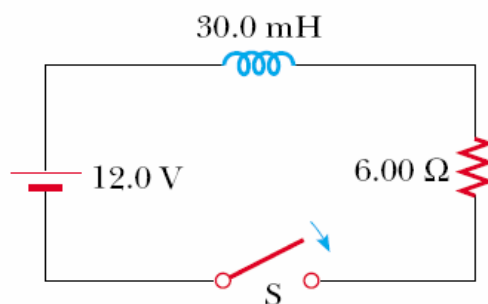
14. ท่อนตัวนำ AB วางบนรางตัวนำในสนามแม่เหล็ก 500 mV/m<sup>2</sup> จงหาขนาดและทิศของแรงเคลื่อนไฟฟ้า ถ้า AB วิ่งไปทางขวาด้วยความเร็ว 4 m/s [ตอบ 1 V จาก B ไป A]



15. หัวทองเหลืองกลมรัศมี  $a$  ความต้านทาน  $R$  วางให้ระนาบของหัวตั้งฉากกับสนามแม่เหล็กซึ่งมีขนาดเปลี่ยนแปลงตามสมการ  $B = B_0 \sin \omega t$  จงหากระแสไฟฟ้าเหนี่ยวนำในขดลวด  
[ตอบ  $I = \pi^2 a \omega D_0 \cos \omega t / R$ ]
16. AC เจเนอเรเตอร์ประกอบด้วยขดลวด 20 รอบ แต่ละรอบมีพื้นที่เท่ากัน  $0.01 \text{ m}^2$  ถ้าขดลวดทั้งหมดมีความต้านทาน  $120 \ \Omega$  และหมุนอยู่ในสนามแม่เหล็ก  $0.2 \text{ T}$  ด้วยความถี่  $40 \text{ Hz}$  จงหา  
ก) แรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำสูงสุด [ตอบ  $90.4 \text{ V}$ ]  
ข) กระแสเหนี่ยวนำสูงสุด [ตอบ  $0.75 \text{ A}$ ]
17. รางโลหะขนานและไม่มี ความต้านทานวางห่างกัน  $10 \text{ cm}$  ถ้าต่อเข้ากับ ความต้านทาน  $10 \ \Omega$  และนำแท่งโลหะที่มีความต้านทาน  $10$  และ  $15 \ \Omega$  วางตั้งรูป ถ้าสนามแม่เหล็กมีขนาด  $0.01 \text{ T}$  พุ่งออกตั้งฉากกับกระดาษ จงหากระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านตัวต้านทาน  $10 \ \Omega$  ถ้าทำให้แท่งโลหะเคลื่อนที่  
[ตอบ  $160 \ \mu\text{A}$ ]



18. ทอรอยด์ขดหนึ่งมีอากาศเป็นแกนกลางพันด้วยลวดจำนวน 200 รอบ มีพื้นที่ภาคตัดขวาง  $20 \text{ cm}^2$  และมีรัศมีเฉลี่ยเท่ากับ  $20 \text{ cm}$  จงหาค่าความเหนี่ยวนำตนเอง
19. จากรูป ก) จงหาค่าคงที่เวลาของวงจร [ตอบ  $5.00 \text{ ms}$ ]  
ข) ถ้าปิดสวิตช์ ที่  $t = 0$  จงคำนวณหากระแสในวงจรที่  $t = 2 \text{ ms}$  [ตอบ  $0.659 \text{ A}$ ]







20. กระแสในวงจร RL วงจรหนึ่งมีค่าเพิ่มขึ้นถึง  $1/3$  ของค่ากระแสสูงสุดในเวลา  $5 \text{ s}$  จงหาค่าคงที่เวลาของวงจรนี้ [ตอบ  $12 \text{ s}$ ]





<b>หนังสืออิเล็กทรอนิกส์</b>	
ฟิสิกส์ 1(ภาคกลศาสตร์(	ฟิสิกส์ 1 (ความร้อน)
ฟิสิกส์ 2	กลศาสตร์เวกเตอร์
โลหะวิทยาฟิสิกส์	เอกสารคำสอนฟิสิกส์ 1
ฟิสิกส์ 2 (บรรยาย(	แก้ปัญหาฟิสิกส์ด้วยภาษา C
ฟิสิกส์พิศวง	สอนฟิสิกส์ผ่านทางอินเทอร์เน็ต
ทดสอบออนไลน์	วิดีโอการเรียนการสอน
หน้าแรกในอดีต	แผ่นใสการเรียนการสอน
เอกสารการสอน PDF	กิจกรรมการทดลองทางวิทยาศาสตร์
แบบฝึกหัดออนไลน์	สุดยอดสิ่งประดิษฐ์
<b>การทดลองเสมือน</b>	
บทความพิเศษ	ตารางธาตุ(ไทย1) 2 (Eng)
พจนานุกรมฟิสิกส์	ลับสมองกับปัญหาฟิสิกส์
ธรรมชาติมหัศจรรย์	สูตรพื้นฐานฟิสิกส์
การทดลองมหัศจรรย์	ดาราศาสตร์ราชมงคล
<b>แบบฝึกหัดกลาง</b>	
แบบฝึกหัดโลหะวิทยา	แบบทดสอบ
ความรู้รอบตัวทั่วไป	อะไรเอ่ย ?
ทดสอบ)เกมเศรษฐี(	คติปริศนา
ข้อสอบเอนทรานซ์	เฉลยกลศาสตร์เวกเตอร์
คำศัพท์ประจำสัปดาห์	
<b>ความรู้รอบตัว</b>	
การประดิษฐ์ของโลก	ผู้ได้รับโนเบลสาขาฟิสิกส์
นักวิทยาศาสตร์เทศ	นักวิทยาศาสตร์ไทย
ดาราศาสตร์พิศวง	การทำงานของอุปกรณ์ทางฟิสิกส์
การทำงานของอุปกรณ์ต่าง ๆ	

 <b>การเรียนรู้การสอนฟิสิกส์ 1 ผ่านทางอินเทอร์เน็ต</b> 	
1. การวัด	2. เวกเตอร์
3. การเคลื่อนที่แบบหนึ่งมิติ	4. การเคลื่อนที่บนระนาบ
5. กฎการเคลื่อนที่ของนิวตัน	6. การประยุกต์กฎการเคลื่อนที่ของนิวตัน
7. งานและพลังงาน	8. การดลและโมเมนตัม
9. การหมุน	10. สมดุลของวัตถุแข็งเกร็ง
11. การเคลื่อนที่แบบคาบ	12. ความยืดหยุ่น
13. กลศาสตร์ของไหล	14. ปริมาณความร้อน และ กลไกการถ่ายโอนความร้อน
15. กฎข้อที่หนึ่งและสองของเทอร์โมไดนามิก	16. คุณสมบัติเชิงโมเลกุลของสสาร
17. คลื่น	18. การสั่น และคลื่นเสียง
 <b>การเรียนรู้การสอนฟิสิกส์ 2 ผ่านทางอินเทอร์เน็ต</b> 	
1. ไฟฟ้าสถิต	2. สนามไฟฟ้า
3. ความกว้างของสายฟ้า	4. ตัวเก็บประจุและการต่อตัวต้านทาน
5. ศักย์ไฟฟ้า	6. กระแสไฟฟ้า
7. สนามแม่เหล็ก	8. การเหนี่ยวนำ
9. ไฟฟ้ากระแสสลับ	10. ทรานซิสเตอร์
11. สนามแม่เหล็กไฟฟ้าและเสาอากาศ	12. แสงและการมองเห็น
13. ทฤษฎีสัมพัทธภาพ	14. กลศาสตร์ควอนตัม
15. โครงสร้างของอะตอม	16. นิวเคลียร์
 <b>การเรียนรู้การสอนฟิสิกส์ทั่วไป ผ่านทางอินเทอร์เน็ต</b> 	
1. จลศาสตร์ (kinematic)	2. จลพลศาสตร์ (kinetics)
3. งานและโมเมนตัม	4. ซิมเปิลฮาร์โมนิก คลื่น และเสียง
5. ของไหลกับความร้อน	6. ไฟฟ้าสถิตกับกระแสไฟฟ้า
7. แม่เหล็กไฟฟ้า	8. คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้ากับแสง
9. ทฤษฎีสัมพัทธภาพ อะตอม และนิวเคลียร์	

