

รหัสวิชา 20104-2105



หม้อแปลงไฟฟ้า



โดย
สุธน แก่นตัน



หน่วยที่ 1

วงจรแม่เหล็ก

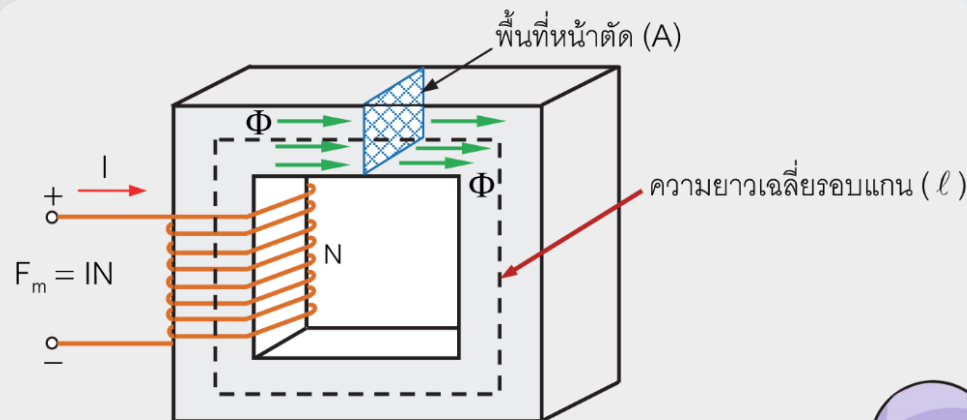
และการเหนี่ยวนำแม่เหล็ก



1.1

ส่วนประกอบของวงจรแม่เหล็ก

เครื่องกลไฟฟ้ากระแสตรงและเครื่องกลไฟฟ้ากระแสสลับ จะทำงานได้เมื่อเกิดการแปรสภาพพลังงาน จากพลังงานกลไปเป็นพลังงานไฟฟ้าหรือจากพลังงานไฟฟ้าไปเป็นพลังงานกล ซึ่งจะเกี่ยวข้องกับแม่เหล็กทั้งสิ้น



ขดลวดพันรอบแกนเหล็กมีจำนวน N รอบ เมื่อจ่ายกระแสไฟฟ้าเข้าไปจะทำให้เกิดแรงดันแม่เหล็ก (F_m) และมีจำนวนเส้นแรงแม่เหล็ก (Φ) เดินทางผ่านแกนเหล็กที่มีพื้นที่หน้าตัด (A) จำนวนหนึ่ง



หัวข้อเรื่อง



1.1.1

ความหนาแน่นของเส้นแรงแม่เหล็ก

ความหนาแน่นของเส้นแรงแม่เหล็ก หมายถึง จำนวนของเส้นแรงแม่เหล็กต่อหน่วยพื้นที่อักษรย่อที่ใช้แทนความหมายของความหนาแน่นของเส้นแรงแม่เหล็กคือ B หน่วยความหนาแน่นของเส้นแรงแม่เหล็กคือ เทสลา (Tesla หรือ T) ความหนาแน่นของเส้นแรงแม่เหล็กจำนวน 1 เทสลา คือ จำนวนของเส้นแรงแม่เหล็ก 1 เวเบอร์ต่อพื้นที่ 1 ตารางเมตร เขียนเป็นสมการได้ดังนี้

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

B = ความหนาแน่นของเส้นแรงแม่เหล็ก หน่วยเป็นเวเบอร์ต่อตารางเมตร

$$\left(\frac{\text{Wb}}{\text{m}^2}\right) \text{ หรือ เทสลา (T)}$$

Φ = เส้นแรงแม่เหล็ก หน่วยเป็น เวเบอร์ (Wb)

A = พื้นที่หน้าตัดที่เส้นแรงแม่เหล็กผ่าน หน่วยเป็น ตารางเมตร (m^2)



1.1.2

แรงดันแม่เหล็ก

แรงดันแม่เหล็ก หมายถึง แรงดันซึ่งทำให้เกิดเส้นแรงแม่เหล็ก โดยหน่วยของแรงดันแม่เหล็กคือแอมแปร์-เทอน (**At**) เมื่อแอมแปร์คือหน่วยของกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านขดลวดและเทอนคือจำนวนรอบของขดลวด เขียนเป็นสมการได้ดังนี้

$$F_m = IN$$

F_m = แรงดันแม่เหล็ก หน่วยเป็น แอมแปร์-เทอน (At)

I = กระแสไฟฟ้า หน่วยเป็น แอมแปร์ (A)

N = จำนวนรอบของขดลวด หน่วยเป็น เทอน (t)



1.1.3

ความเข้มของสนามแม่เหล็ก

ความเข้มของสนามแม่เหล็ก หมายถึง แรงดันแม่เหล็กที่ทำให้เกิดเส้นแรงแม่เหล็กต่อระยะทางเฉลี่ยที่เส้นแรงแม่เหล็กเดินทางผ่าน โดยหน่วยความเข้มของสนามแม่เหล็ก คือ แอมแปร์-เทอนต่อเมตร เขียนเป็นสมการได้ดังนี้

$$H = \frac{F_m}{l}$$

$$H = \frac{IN}{l}$$

H = ความเข้มของสนามแม่เหล็ก หน่วยเป็น แอมแปร์-เทอนต่อเมตร

F_m = แรงดันแม่เหล็ก หน่วยเป็น แอมแปร์-เทอน (At)

l = ระยะทางเฉลี่ยที่เส้นแรงแม่เหล็กเดินทางผ่าน หน่วยเป็น เมตร (m)



1.1.4

ความซาบซึ่มได้

ความซาบซึ่มได้ หมายถึง คุณสมบัติของตัวกลางที่ยินยอมให้เส้นแรงแม่เหล็กผ่านไปได้มากหรือน้อยเพียงใด ซึ่งใช้สัญลักษณ์ μ (เป็นอักษรกรีกอ่านว่ามิว) (ไชยชาญ หินเกิด, 2552: 14) หรือบางครั้งค่าความซาบซึ่มได้เป็นค่าอัตราส่วนระหว่างความหนาแน่นของเส้นแรงแม่เหล็กต่อความเข้มของสนามแม่เหล็ก เขียนเป็นสมการได้ดังนี้

$$\mu = \frac{B}{H}$$

$$B = \mu H$$

โดยความซาบซึ่มได้ของสารแต่ละชนิด ประกอบด้วย

1. ความซาบซึ่มได้ของอากาศ
2. ความซาบซึ่มได้สัมพัทธ์



1.1.5

ความต้านทานแม่เหล็ก

ความต้านทานแม่เหล็ก หมายถึง ค่าแสดงความต้านทานในการที่จะให้เส้นแรงแม่เหล็กผ่านไปได้มากหรือน้อยเพียงใดในวงจรแม่เหล็ก ซึ่งใช้สัญลักษณ์ $\mathcal{R}_m$ โดยความต้านทานแม่เหล็กจะมีค่ามากหรือน้อยนั้นขึ้นอยู่กับสารที่นำมาใช้เป็นทางเดินของเส้นแรงแม่เหล็ก สารที่ไม่มีอำนาจแม่เหล็ก ได้แก่ อากาศ ไม้ ทองเหลือง พลาสติก เป็นต้น สารที่มีอำนาจแม่เหล็ก ได้แก่ เหล็ก โคบอลต์ นิกเกิล เหล็กกล้าซิลิคอน เป็นต้น โดยความต้านทานแม่เหล็กมีหน่วยเป็น แอมแปร์-เทอนต่อเวเบอร์ คำนวณได้จากสมการดังนี้

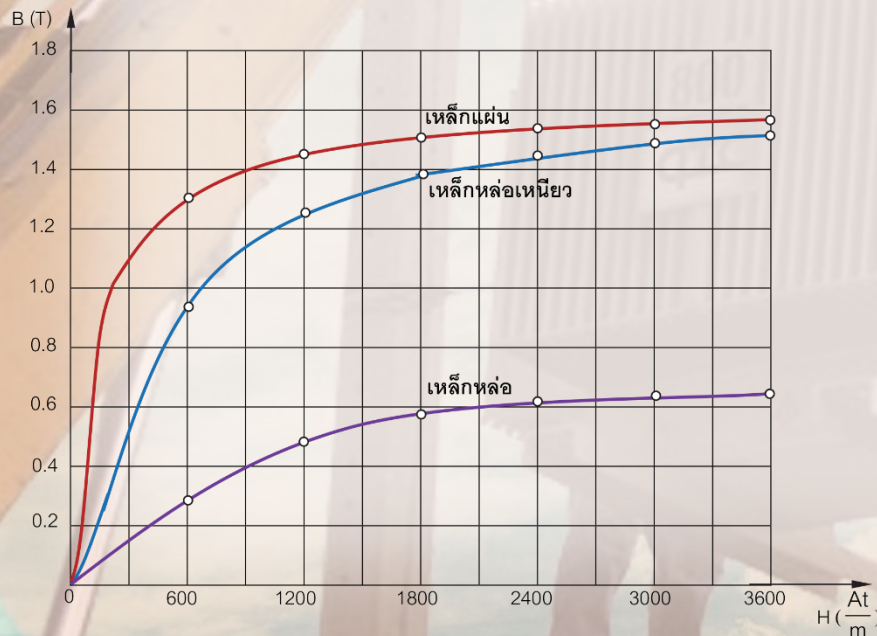
$$\begin{aligned}\mathcal{R}_m &= \frac{F_m}{\Phi} = \frac{IN}{\Phi} \\ &= \frac{IN}{BA} = \frac{IN}{\mu_H A} \\ &= \frac{IN}{\mu_o \mu_r \frac{IN}{\ell} A} \\ \mathcal{R}_m &= \frac{\ell}{\mu_o \mu_r A}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\mathcal{R}_m &= \text{ความต้านทานเส้นแรงแม่เหล็ก หน่วยเป็น แอมแปร์-เทอนต่อเวเบอร์ } \left(\frac{\text{At}}{\text{Wb}} \right) \\ \ell &= \text{ระยะทางเฉลี่ยที่เส้นแรงแม่เหล็กเดินทางผ่าน หน่วยเป็น เมตร (m)} \\ A &= \text{พื้นที่หน้าตัดที่เส้นแรงแม่เหล็กเดินทางผ่าน หน่วยเป็น ตารางเมตร (m}^2\text{)} \\ \mu_o &= \text{ความซาบซึมได้ของอากาศซึ่งเท่ากับ } 4\pi \times 10^{-7} \text{ หน่วยเป็น เฮนรีต่อเมตร } \left(\frac{\text{H}}{\text{m}} \right) \\ \mu_r &= \text{ความซาบซึมได้สัมพัทธ์}\end{aligned}$$

1.2

เส้นโค้งความสัมพันธ์ระหว่าง B กับ H

วัสดุแต่ละชนิดที่เป็นสารแม่เหล็กจะมีลักษณะเส้นโค้ง B-H ที่คล้ายคลึงกันแต่มีความหนาแน่นของเส้นแรงแม่เหล็กต่างกันโดยที่ความเข้มของสนามแม่เหล็กเท่ากัน ทั้งนี้เพราะวัสดุที่เป็นสารแม่เหล็กมีค่าความซาบซึมได้ไม่เท่ากัน ถ้าสารชนิดใดมีค่าความซาบซึมได้มากกว่าก็จะให้ความหนาแน่นของเส้นแรงแม่เหล็กมากกว่าด้วย



แสดงเส้นโค้ง B-H ของเหล็กแผ่น เหล็กหล่อเหนียว และเหล็กหล่อ จะเห็นว่าที่ค่าความเข้มของสนามแม่เหล็กเท่ากันความหนาแน่นของเส้นแรงแม่เหล็กของเหล็กแผ่นมากกว่าเหล็กหล่อเหนียว และเหล็กหล่อเหนียวก็มากกว่าเหล็กหล่อตามลำดับ ทั้งนี้เพราะค่าความซาบซึมได้ของเหล็กแผ่นมากกว่าเหล็กหล่อเหนียว และค่าความซาบซึมได้ของเหล็กหล่อเหนียวมากกว่าเหล็กหล่อตามลำดับ

1.3

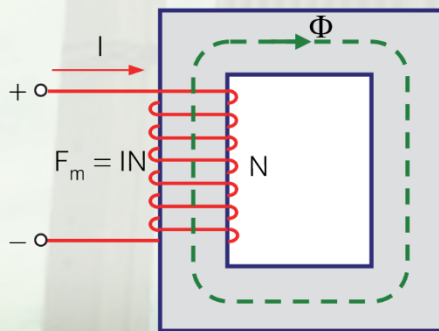
วงจรแม่เหล็กแบบอนุกรม

วงจรแม่เหล็กแบบอนุกรม หมายถึง วงจรแม่เหล็กที่มีทางเดินของเส้นแรงแม่เหล็กที่ครบวงจร เพียงเส้นทางเดียว ซึ่งพิจารณาได้ 2 แบบ คือ

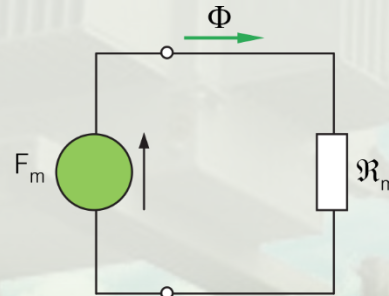
1.3.1

แบบไม่มีช่องอากาศ

ลักษณะแบบนี้แกนเหล็กจะเป็นเนื้อเดียวกันทั้งหมด โดยไม่มีช่องอากาศเป็นทางเดินของเส้นแรงแม่เหล็ก ดังรูป (ก) และวงจรเทียบเท่าดังรูป (ข)



(ก) วงจรแม่เหล็ก



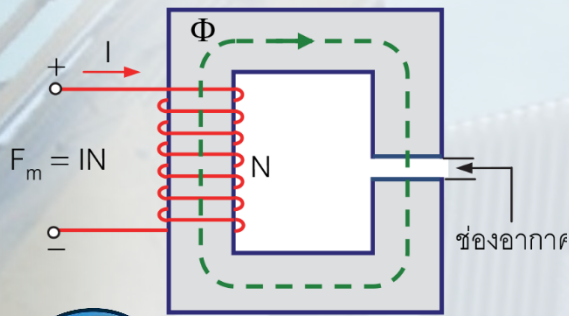
(ข) วงจรเทียบเท่า



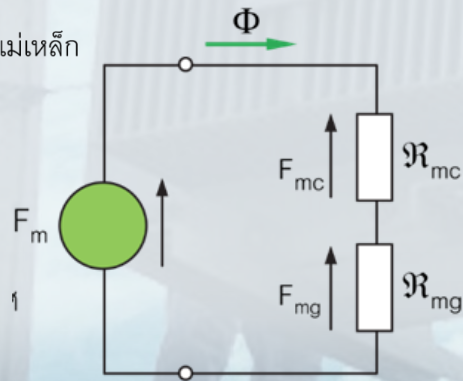
1.3.2

แบบมีช่องอากาศ

ลักษณะแบบนี้แกนเหล็กจะไม่เป็นเนื้อเดียวกันแต่จะมีช่องอากาศ (Air gap) เป็นทางเดินของเส้นแรงแม่เหล็กด้วย ดังรูป (ก) และวงจรเทียบเท่าดังรูป (ข)



(ก) วงจรแม่เหล็ก



(ข) วงจรเทียบเท่า

$$\mathcal{R}_m = \mathcal{R}_{mc} + \mathcal{R}_{mg}$$

$$F_m = F_{mc} + F_{mg}$$

$$= \Phi \mathcal{R}_{mc} + \Phi \mathcal{R}_{mg}$$

$\mathcal{R}_m$ = ความต้านทานแม่เหล็กทั้งหมด

$\mathcal{R}_{mc}$ = ความต้านทานแม่เหล็กของแกนเหล็ก

$\mathcal{R}_{mg}$ = ความต้านทานแม่เหล็กของช่องอากาศ

F_m = แรงดันแม่เหล็กทั้งหมด

F_{mc} = แรงดันแม่เหล็กที่แกนเหล็ก

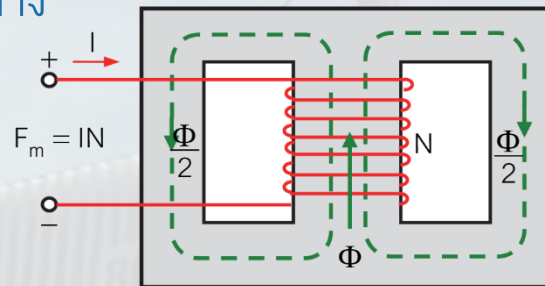
F_{mg} = แรงดันแม่เหล็กที่ช่องอากาศ



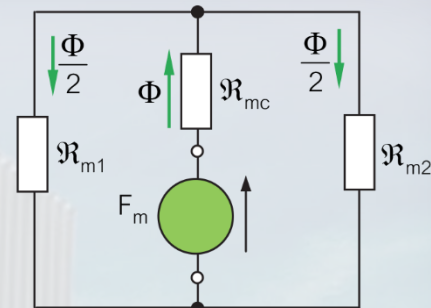
1.4

วงจรแม่เหล็กแบบขนาน

วงจรแม่เหล็กแบบขนาน หมายถึง วงจรแม่เหล็กที่มีทางเดินของเส้นแรงแม่เหล็กที่ครบวงจรมากกว่าหนึ่งเส้นทาง

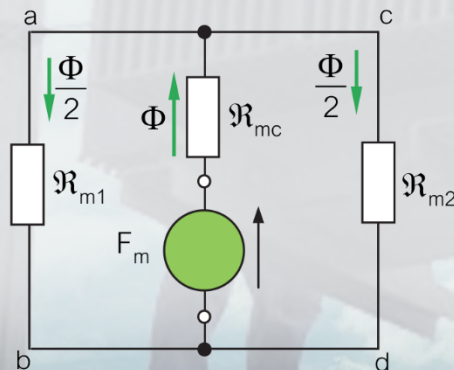


(ก) วงจรแม่เหล็ก



(ข) วงจรเทียบเท่า

จะได้แรงดันแม่เหล็กที่จุด ab เท่ากับแรงดันแม่เหล็กที่จุด cd

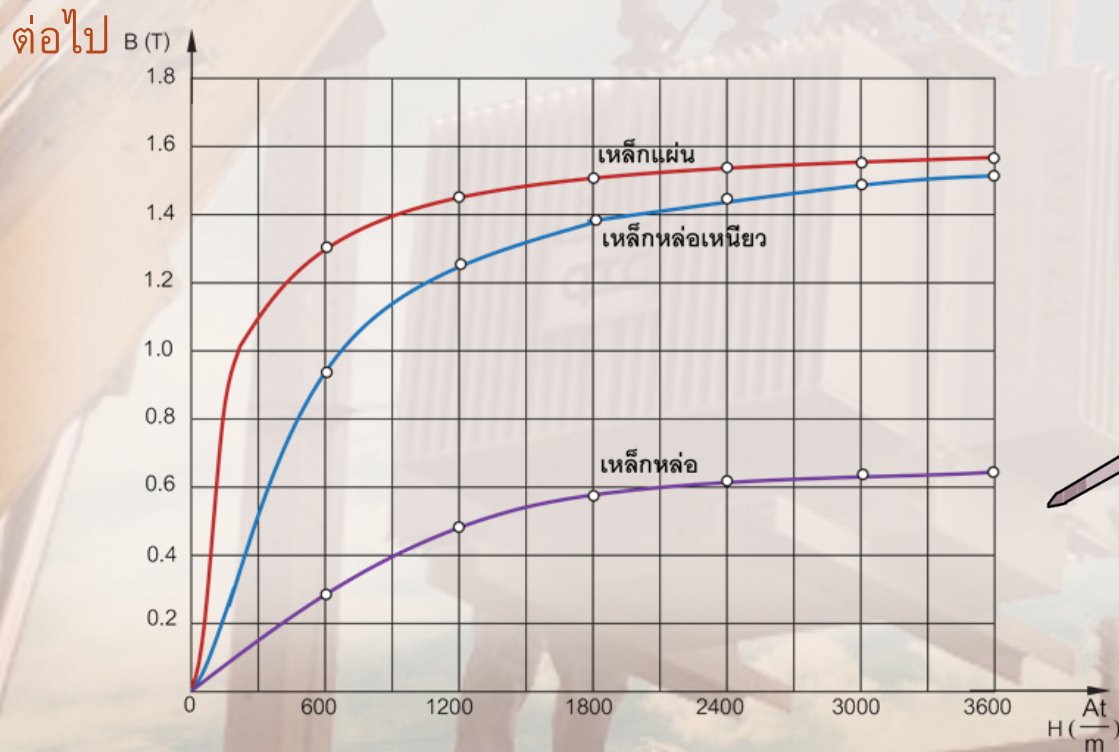


$$\begin{aligned}
 F_{mab} &= F_{mcd} \\
 \frac{\Phi}{2} \mathcal{R}_{m1} &= \frac{\Phi}{2} \mathcal{R}_{m2} \\
 \text{และ} \quad F_{mc} &= \Phi \mathcal{R}_{mc} \\
 \text{ดังนั้น} \quad F_m &= F_{mc} + F_{mab} \\
 \text{หรือ} \quad F_m &= \Phi \mathcal{R}_{mc} + \frac{\Phi}{2} \mathcal{R}_{m1} \\
 &= \Phi \mathcal{R}_{mc} + \frac{\Phi}{2} \mathcal{R}_{m2}
 \end{aligned}$$



1.5 การคำนวณหาค่าต่าง ๆ ในวงจรแม่เหล็ก

การคำนวณในวงจรแม่เหล็กของหน่วยนี้จะใช้กราฟของเส้นโค้งความสัมพันธ์ระหว่าง B กับ H ของรูป ซึ่งเป็นการคำนวณขั้นพื้นฐานเพื่อเป็นแนวทางในการศึกษาในขั้นสูงต่อไป



1.6

การเหนี่ยวนำแม่เหล็ก

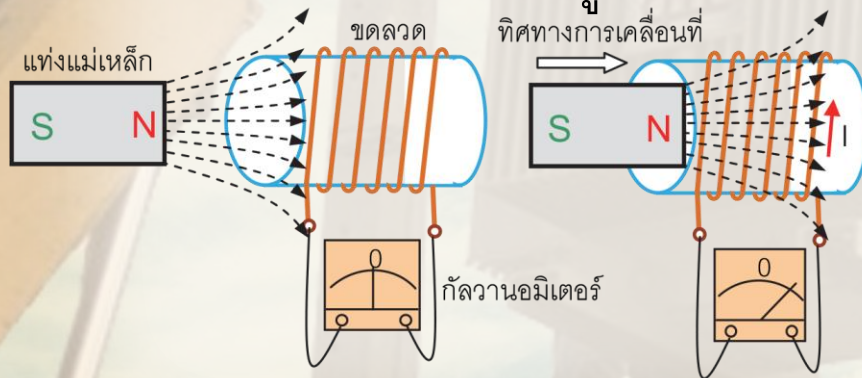
ตัวนำหรือตัวนำที่พันเป็นขดลวดเมื่อมีกระแสไฟฟ้าไหลผ่านจะทำให้เกิดเส้นแรงแม่เหล็กรอบตัวนำและรอบขดลวด ถ้ามีการเปลี่ยนแปลงของกระแสไฟฟ้าจะเป็นผลให้เส้นแรงแม่เหล็กเกิดการเปลี่ยนแปลงไปด้วยและตัดกับตัวนำ เรียกแรงดันไฟฟ้าที่เกิดขึ้นนี้ว่า **แรงดันไฟฟ้าเหนี่ยวนำในตัวเอง** หากเกิดการเปลี่ยนแปลงของเส้นแรงแม่เหล็กจากขดลวดหนึ่งไปคล้องตัดกับอีกขดลวดหนึ่ง จะทำให้เกิดแรงดันไฟฟ้าเหนี่ยวนำขึ้นกับขดลวดที่ไปคล้อง เรียกแรงดันไฟฟ้านี้ว่า **แรงดันไฟฟ้าของการเหนี่ยวนำร่วม**



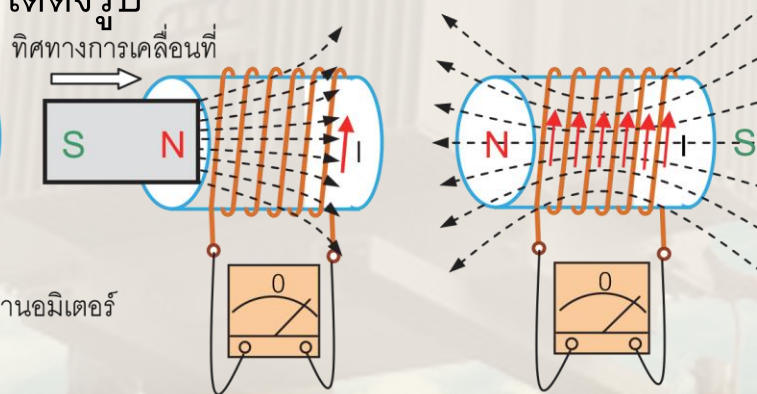
1.6.1

กฎของเลนซ์

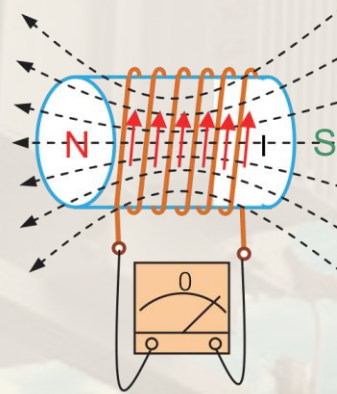
ซึ่งกฎของเลนซ์ตั้งขึ้นเพื่อใช้หาทิศทางของแรงดันไฟฟ้าเหนี่ยวนำหรือกระแสไฟฟ้าเหนี่ยวนำที่เกิดขึ้นจากตัวนำหรือที่ขดลวดตัวนำ กล่าวว่า **ในวงจรปิดใด ๆ ที่สร้างขึ้นด้วยตัวนำ จะเกิดกระแสไฟฟ้าเหนี่ยวนำไหลในวงจรลวดในทิศทางที่ทำให้เกิดสนามแม่เหล็กต่อต้านกับสนามแม่เหล็กที่มีการเปลี่ยนแปลง** ซึ่งอธิบายได้ดังรูป



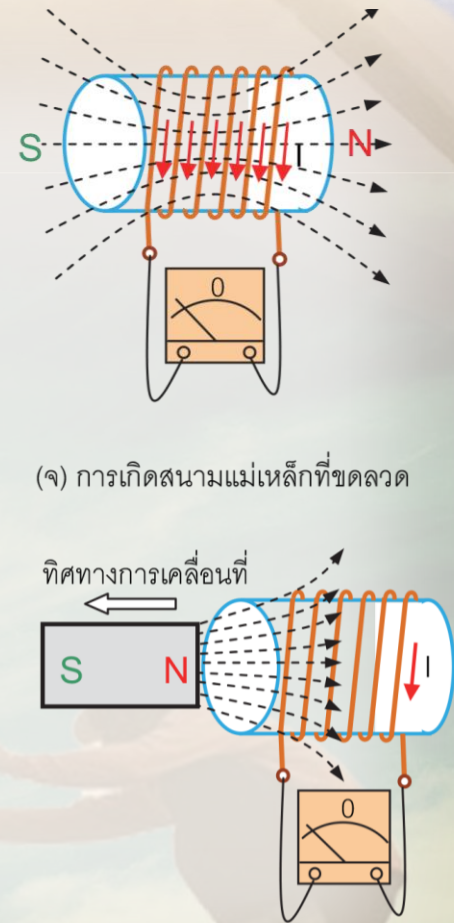
(ก) เมื่อขั้วแม่เหล็กยังไม่เคลื่อนที่



(ข) เมื่อขั้วแม่เหล็กเคลื่อนที่ไปทางขวา



(ค) การเกิดสนามแม่เหล็ก



(ง) เมื่อขั้วแม่เหล็กเคลื่อนที่ออกไปทางซ้าย

(จ) การเกิดสนามแม่เหล็กที่ขดลวด

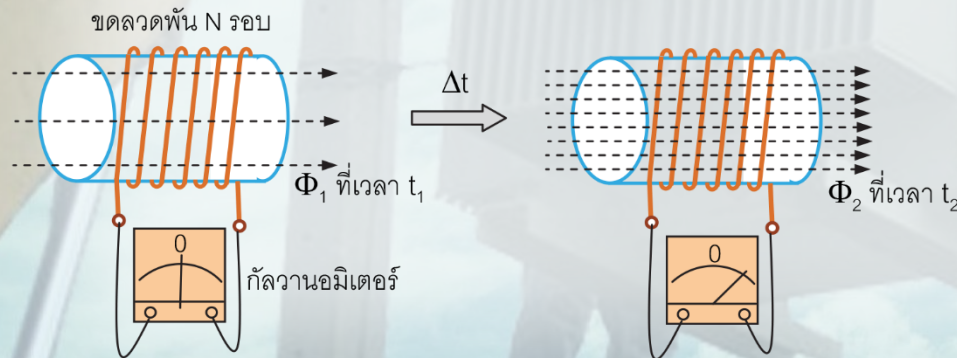
1.6.2

กฎของฟาราเดย์

จากหลักการเหนี่ยวนำแม่เหล็กไฟฟ้า ดังนั้นในปี ค.ศ. 1851 ไมเคิล ฟาราเดย์ได้ทำการทดลองและค้นพบเกี่ยวกับการเหนี่ยวนำซึ่งทำให้เกิดแรงดันไฟฟ้าเหนี่ยวนำขึ้นกับขดลวดตัวนำวิธีการดังนี้

1. เมื่อตัวนำเคลื่อนที่ตัดผ่านสนามแม่เหล็กซึ่งอยู่กับที่
2. เมื่อสนามแม่เหล็กเคลื่อนที่ตัดผ่านตัวนำซึ่งอยู่กับที่
3. เมื่อเปลี่ยนแปลงปริมาณเส้นแรงแม่เหล็กที่ตัดผ่านขดลวดตัวนำซึ่งอยู่กับที่

ในวงจรปิดใด ๆ ที่สร้างขึ้นด้วยตัวนำจะเกิดแรงดันไฟฟ้าเหนี่ยวนำขึ้นเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงเส้นแรงแม่เหล็กที่ผ่านวงจรปิดนั้น



(ก) เส้นแรงแม่เหล็กยังไม่เปลี่ยนแปลง

(ข) เส้นแรงแม่เหล็กเปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้น

$$e_{\text{ind}} = N \frac{\Delta \Phi}{\Delta t}$$

$$e_{\text{ind}} = \text{แรงดันไฟฟ้าเหนี่ยวนำ}$$

$$N = \text{จำนวนรอบของขดลวด}$$

$$\Delta \Phi = \text{อัตราการเปลี่ยนแปลงของเส้นแรงแม่เหล็ก}$$

$$\Delta t = \text{อัตราการเปลี่ยนแปลงของเวลา}$$