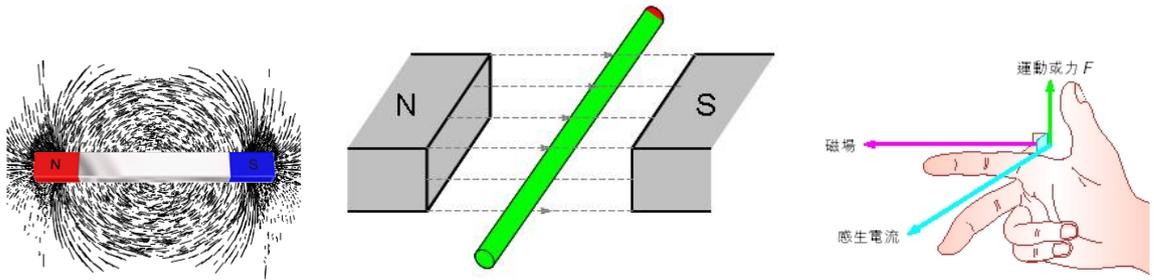




電學及電子學基礎原理

Electrical and Electronic Principle Fundamentals

T02A01~T02A03 合訂本



姓名： _____

班別-班號： _____



【電磁學】

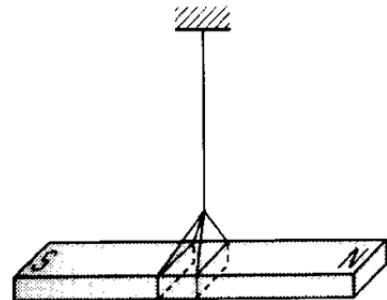
本筆記用途：

學習此單元後，學生應能

1. 認知磁通、磁通密度、磁動勢和磁場強度
2. 認知磁通、磁通密度、磁動勢和磁場強度的關係
3. 認知磁通密度(B)和磁場強度(H)間的比例就是磁導率
4. 認知相對磁導率及列寫常用鐵磁材料的相對磁導率數值
5. 以右手握拳法和螺絲旋轉法認定磁場的方向
6. 顯示帶電流的導線在磁場中會產生力矩
7. 認知電動機的基本操作原理
8. 認識右手握拳法和應用佛林明左手定則

磁場 Magnetic Field

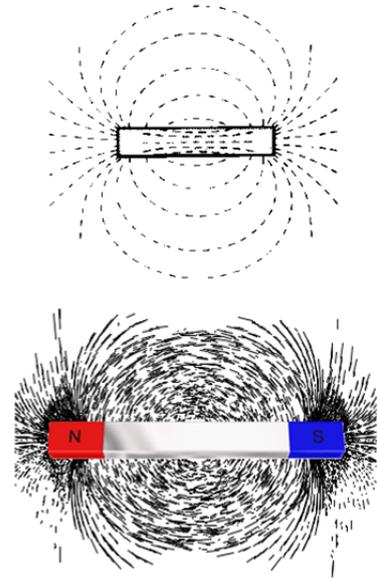
將一條矩形磁鐵水平地懸掛，當磁鐵平定下來的時候，磁鐵的一端會指向地球的北方，另一端指向地球的南方，指向北方的一端叫做北磁極，指向南方的一端叫做南磁極。



當磁性物體（如：鐵、鋼等）靠近磁鐵時，物體會感受一鼓來自磁鐵的力量，此力量會意圖將物體吸至磁鐵其一的磁極；物體離開磁極較近時，感受的磁力較強，離開磁極較遠時，則感受的磁力較弱。當將兩磁鐵靠近時，磁力會兩磁鐵吸引或排斥，同性磁極互相排斥，異性磁極互相吸引。

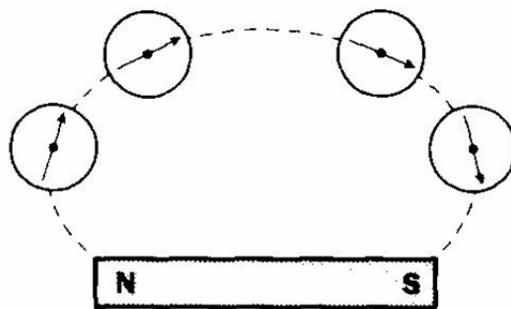
磁鐵的周圍，可使其他磁性物體感受到磁力的空間，叫做磁場。

將一硬咭紙 (或薄膠板) 放於磁鐵上，再將鐵粉均勻地撒下咭紙上，輕敲咭紙後，鐵粉會在磁鐵的兩極間組成鏈狀的曲線，這些鏈狀曲線的形狀和濃密程度，表示了磁鐵周圍的磁場形態。從鐵粉組成鏈狀曲線的形狀，引入磁通(磁力線)的概念。實際上，磁通是沒有實質和是不看見的，磁通是假想的，不過，我們可以利用磁通的概念，描述磁場的強弱和方向。



磁通的符號是 ϕ ，量度單位是韋伯 (Wb)

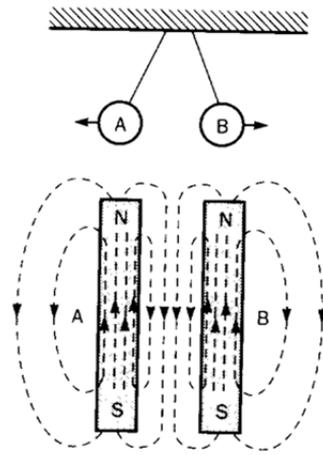
磁通是有方向性的。在磁場放置許多的小磁針 (如：指南針)，依照小磁針的指示方向一個跟一個地排列，小磁針除可顯示磁通的形狀外，也可指示磁通的方向。指南針北極所指的方向，就是磁通的方向。根據指南針的指示方向，可假設磁通是由磁鐵的北磁極發出，並且歸於南磁極。



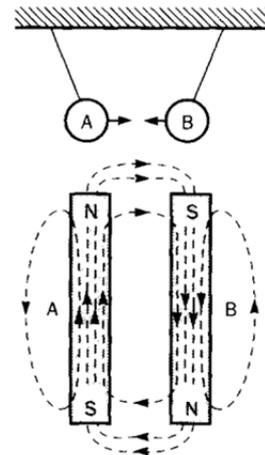
磁通的特性

1. 在非磁性物質，如空氣，磁通的方向是由北磁極指向南磁極；
2. 每條磁通必組成閉合的迴路；
3. 磁通永不交叉；

4. 磁通有如被拉長的橡根圈，永遠企圖縮短；
5. 同方向的磁通會互相排斥。



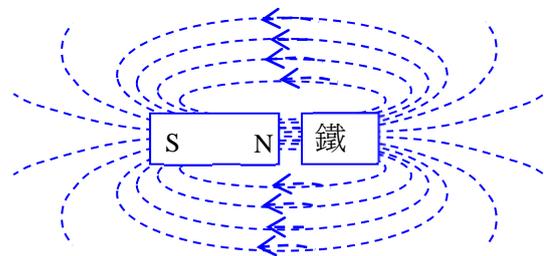
同性磁極相拒



異性磁極相吸

磁路 Magnetic Circuit

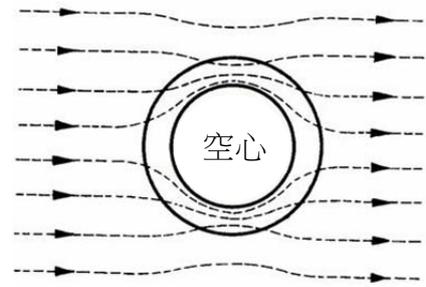
- 磁通所循的路線，叫做磁路；
- 磁路是閉合的，磁通由磁鐵的北極發出，經過磁鐵周圍的空間，然後歸於南極；
- 磁路中當有磁性物質(如鐵、鋼)時，磁通會意圖集中地通過該等物質。



磁屏蔽

磁場中放置一個鐵環，磁通會順著鐵環穿過這段空間，鐵環中間形成沒有磁場的地帶。

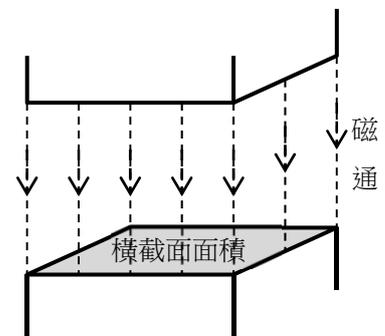
將物體放置在一個閉合的鐵盒內，鐵盒把外磁場隔開，盒內的物體不受磁場影響，鐵盒為盒內的物體中做成磁屏蔽。



磁通密度

磁場中磁通越密的地方，那裏的磁場越強，磁效應越大。我們可以磁通密度表示磁場的強弱。

每單位面積的磁通量叫做磁通密度
磁通密度的符號是 B ，量度單位是 泰斯拉 (T)



$$\text{磁通密度 } B = \frac{\text{磁通}}{\text{面積}}$$

$$B = \frac{\phi}{a}$$

當面積 a 是 1 m^2 ，磁通量 ϕ 是 1 Wb 時，則磁通密度 B 是 1 T 。

例題 一

在一有效面積是 4 cm^2 的空氣隙中，有磁通 0.25 mWb ，計算空氣隙的磁通密度。

$$\begin{aligned} \text{空氣隙面積 } a &= 4 \text{ cm}^2 \\ &= 4 \times 10^{-4} \text{ m}^2 \end{aligned}$$

$$\text{磁通 } \phi = 0.25 \text{ mWb}$$

$$\begin{aligned} 1 \text{ cm} &= 0.01 \text{ m} \\ 1 \text{ cm}^2 &= 1 \text{ cm} \times 1 \text{ cm} \\ &= 0.01 \text{ m} \times 0.01 \text{ m} \\ &= 0.0001 \text{ m}^2 \\ &= 1 \times 10^{-4} \text{ m}^2 \end{aligned}$$

$$= 0.25 \times 10^{-3} \text{ Wb}$$

$$\text{磁通密度 } B = \frac{\phi}{a} = \frac{0.25 \times 10^{-3}}{4 \times 10^{-4}}$$

$$= 0.625 \text{ T}$$

例題 二

某變壓器的鐵芯是由寬 32mm 的硅鋼片疊厚至 32mm 做成。EI 硅鋼片的最高磁通密度是 0.9 T，計算鐵芯的最大磁通量。

$$\text{鐵芯面積 } a = 32 \text{ mm} \times 32 \text{ mm}$$

$$= 32 \times 10^{-3} \text{ m} \times 32 \times 10^{-3} \text{ m}$$

$$= 1024 \times 10^{-6} \text{ m}^2$$

$$\text{磁通} = \text{磁通密度} \times \text{面積}$$

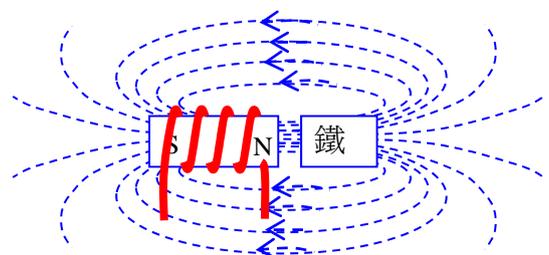
$$= 0.9 \times 1024 \times 10^{-6}$$

$$= 921.6 \times 10^{-6} \text{ Wb}$$

$$= 921.6 \mu\text{Wb}$$

電磁鐵

- 將導線繞成線圈，當線圈通以電流時，線圈芯的物質(鐵)便會被磁化，有著磁鐵一樣的特性。
- 線圈帶有電流時，產生磁場，做成一個磁路，維持磁通在線圈的周圍出現。線圈通以電流時，產生磁動勢，維持磁通。情況有如電路的電動勢維持電流的一樣。



- 磁路中當有其他導磁物質(如鐵、鋼)時，磁通會意圖集中地通過該等物質改變磁路。

磁動勢 Magnetomotive Force

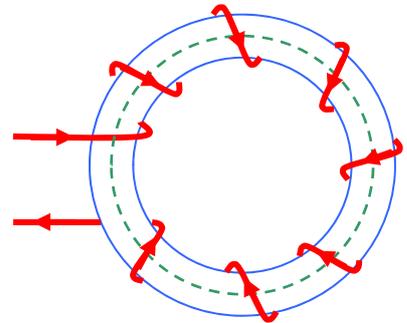
磁動勢的簡寫是 m.m.f.

量度單位是安培 (A)

$$\text{m.m.f.} = IN$$

I = 線圈的電流

N = 線圈的匝數(圈數)



當 1A 的電流通過 1 匝的線圈時，便會產生 1A 的磁動勢

例題 三

如果需要有1000A的磁動勢，

在一個祇有1匝數的線圈中，電流 $I = 1000 \text{ A}$

當線圈有1000匝時，電流 $I = 1 \text{ A}$

當線圈的電流是2.5A時，據 $\text{m.m.f.} = IN$

$$1000 = 2.5 \times N$$

$$\text{匝數 } N = 1000 \div 2.5 = 400 \text{ 匝}$$

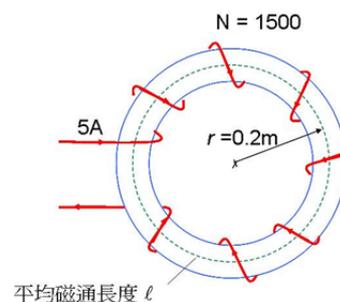
磁場強度 Magnetic Field Strength

在鐵環上繞有線圈，線圈通以電流時，鐵環被磁化，成為一磁環，磁通集中在鐵環內出現。將線圈芯物質磁化的力量叫做磁化力，或叫做磁場強度。

每單位磁路長度的磁動勢稱為磁場強度，量度單位是 安培/米 (A/m)

$$\text{磁場強度} = \frac{\text{磁動勢}}{\text{磁通長度}}$$

$$H = \frac{IN}{\ell} \text{ (A/m)}$$



例題 四

在平均半徑 0.2m 的鐵環上繞上線圈 1500 匝，線圈的電流是 5A ，計算磁場強度。

$$\begin{aligned} \text{平均磁通長度 } \ell &= 2\pi r \\ &= 2\pi \times 0.2 = 1.25 \text{ m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{磁場強度 } H &= \frac{IN}{\ell} = \frac{5 \times 1500}{1.25} \\ &= 6000 \text{ A/m} \end{aligned}$$

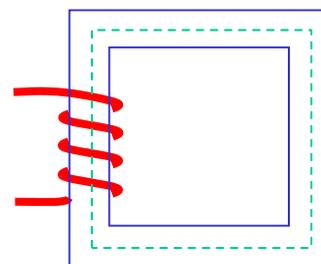
例題 五

如果要在 900 匝線圈的鐵芯內產生 8 000 A/m 的磁場強度，鐵芯的平均長度是 16cm ，計算磁動勢和線圈的電流。

$$\text{磁通長度 } \ell = 16 \text{ cm} = 0.16 \text{ m}$$

$$\begin{aligned} \text{磁動勢 m.m.f} &= IN = H\ell \\ &= 8000 \times 0.16 = 1280 \text{ A} \end{aligned}$$

$$\text{電流 } I = \frac{\text{m.m.f.}}{N} = \frac{1280}{900} = 1.42 \text{ A}$$



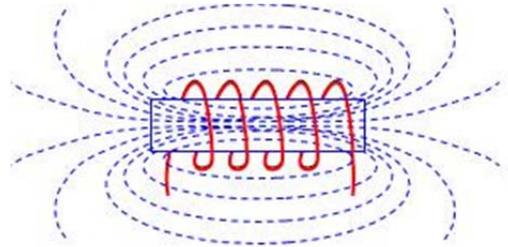
磁導率 Permeability

當線圈通以電流時，線圈芯被磁化，產生磁場強度 H 。線圈芯的磁通密度 B 越高，磁力越強。

磁導率就是每單位磁場強度能產生的磁通密度。

$$\text{磁導率} = \frac{\text{磁通密度}}{\text{磁場強度}}$$

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

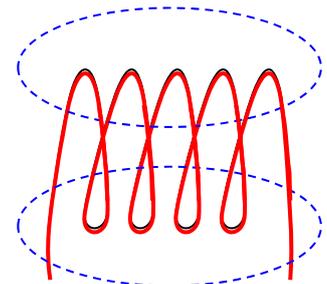


磁導率的量度單位是 亨利/米(H/m)

各種物質有著不同的磁導性能，同一的線圈，通以相同的電流，但以不同的材料做成線圈芯，它可以產生不同的磁力。以木、銅等物質作為線圈的線圈芯時，線圈可被視為空芯線圈。因為空氣、木、銅等物質的磁導性能與真空的相約，約是真空的 1 倍。如以鐵類物質作為線圈芯時，它便可以產生很強的磁力。一些合金的磁導能力較真空的高越十萬倍。

真空磁導常數 Permeability of Free Space

放置空芯線圈於真空中，通以勵磁電流，當它產生的磁場強度 H 是 1 A/m 時，磁路的磁通密度 B 則是 $4\pi \times 10^{-7}$ (T)。



真空磁導常數的符號是 $\mu_0 = \frac{4\pi \times 10^{-7}}{1} = 4\pi \times 10^{-7}$ 亨利/米(H/m)。

相對磁導係數 Relative Permeability

相對磁導係數是以物質的磁導能力 μ 與真空的比較，其倍數就是該物質的“相對磁導係數” μ_r 。

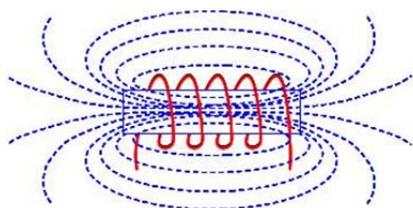
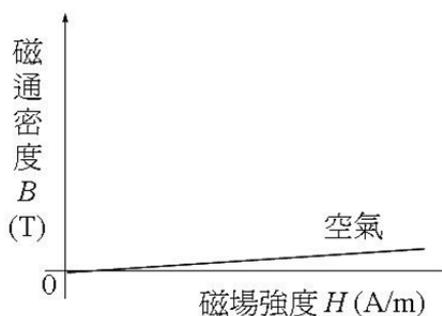
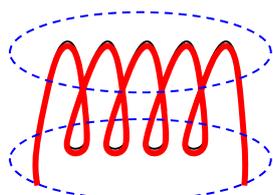
$$\text{相對磁導係數 } \mu_r = \frac{\mu}{\mu_0}$$

相對磁導係數是一個倍數，所以是沒有量度單位的。

$$\text{磁導率 } \mu = \mu_0 \mu_r ; \mu = \frac{B}{H} \quad \therefore \mu_0 \mu_r = \frac{B}{H}$$

B/H 曲線

B/H 曲線顯示物質的在磁化過程中的磁性能，物質的磁通密度與磁場強度間的變化。供電至空芯線圈，線圈的電流增加時，磁場強度增強，磁通密度作線性地增加，惟增幅很少，磁場強度 H 升高 1A/m 磁通密度 B 祇有 $4\pi \times 10^{-7}$ 的增幅。

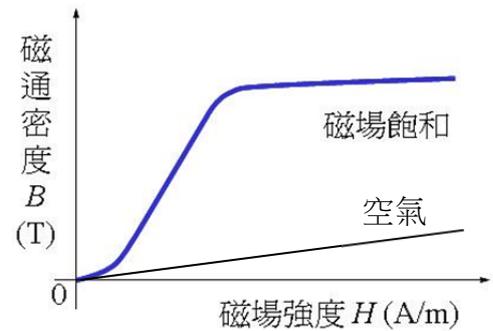


當線圈芯是鐵磁物質，在同樣的磁場強度下，可以產生較高的磁場密度，鐵磁物質的相對磁導係數較空氣的高很多。

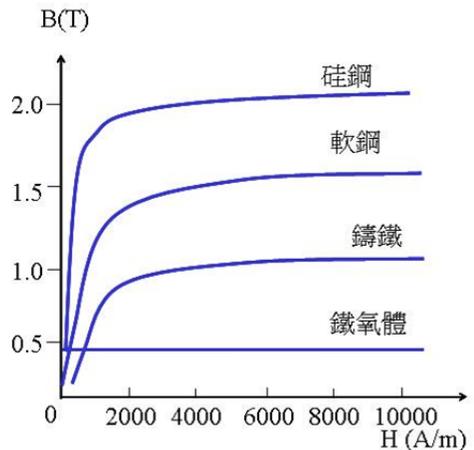
不過，鐵磁物質的磁通密度並非是隨磁場強度作線性地增加的，它的相對磁導係數並不是固定不變的，鐵磁物質的磁通密度除受磁場強度的影響外，也與磁場變化過程有關。

當線圈通電，開始時，勵磁電流增加，線圈的磁場強度增強，線圈芯的磁通密度增加很快，磁通密度與磁場強度是成正比的。

接著，勵磁電流繼續增加，磁場強度繼續增強，但磁通密度的相應增加較少，甚至幾乎保持不變；這時磁場稱為到達飽和狀態。



圖中物質比較，在較低的磁場強度，硅鋼已達飽和，且有較高的磁通密度，這表示硅鋼的磁導能力較佳。



因此大部份變壓器和電動機的鐵芯是由硅鋼造成。

例題 六

某線圈的鐵芯是由闊25mm的硅鋼疊厚至25mm造成，磁路的平均長度是150mm，線圈有1600匝，當電流是0.109A時，鐵芯有磁通 0.5 mWb。計算

- 磁動勢
- 磁場強度
- 磁通密度
- 相對磁導係數

解： a) 磁動勢 $m.m.f. = IN$
 $= 0.109 \times 1600 = 174.4 \text{ A}$

$$\text{b) 磁場強度 } H = \frac{IN}{\ell} \text{ (A/m)}$$

$$= \frac{174.4}{150 \times 10^{-3}} = 1163 \text{ A/m}$$

$$\text{c) 磁通密度 } B = \frac{\phi}{a} \text{ (T)}$$

$$= \frac{0.5 \times 10^{-3}}{25 \times 10^{-3} \times 25 \times 10^{-3}} = 0.8 \text{ T}$$

$$\text{d) 磁導率 } \mu_o \mu_r = \frac{B}{H} \text{ (H/m)}$$

$$4\pi \times 10^{-7} \times \mu_r = \frac{0.8}{1163}$$

$$\mu_r = 547$$

例一

有一截面面積是 600mm^2 ($600 \times 10^{-6} \text{m}^2$) 的鐵圓環，它的平均周長是 300mm ($300 \times 10^{-3} \text{m}$)，鐵環上繞有線圈 200 匝，如果鐵環的相對磁導係數 μ_r 是 1500，計算

在圓環中產生 $800\mu\text{Wb}$ ($800 \times 10^{-6} \text{Wb}$) 磁通所需的電流；

$$\text{解： 磁通密度 } B = \frac{\phi}{a} = \frac{800 \times 10^{-6}}{600 \times 10^{-6}} = 1.33 \text{ T}$$

$$\text{磁導率 } \mu_o \mu_r = \frac{B}{H}$$

$$\text{磁場強度 } H = \frac{B}{\mu_o \mu_r} = \frac{1.33}{4\pi \times 10^{-7} \times 1500} = 705.59 \text{ A/m}$$

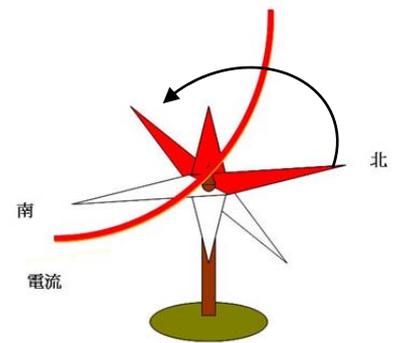
$$\text{磁場強度 } H = \frac{IN}{\ell} \text{ (A/m)}$$

$$\text{電流 } I = \frac{H\ell}{N} = \frac{705.59 \times 300 \times 10^{-3}}{200} = 1.06 \text{ A}$$

電磁效應

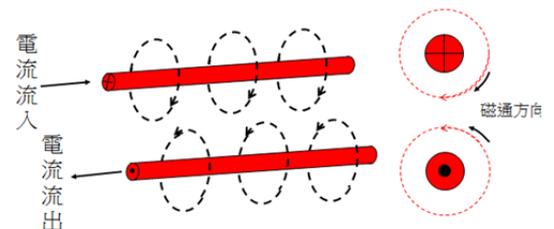
1820 年丹麥科學家奧斯特 Orsted 發現指南針靠近帶電流的電線時，指南針會出現擺動，不再如常地指著北方和南方。

法國科學家安培 Ampere 解釋奧斯特的發現，並證明電流會產生磁場，電線的電流增加時，環繞電線的磁場增強，離電線越近的磁場越強，反之，離電線較遠的磁場較弱。



電磁場

當有電流流經導線時，便會產生磁場，磁通環繞著導線，如果是電流流入導線，導線的周圍會出現順時針方向的磁通；如果電流是由導線流出，導線的周圍會出現反時針方向的磁通。

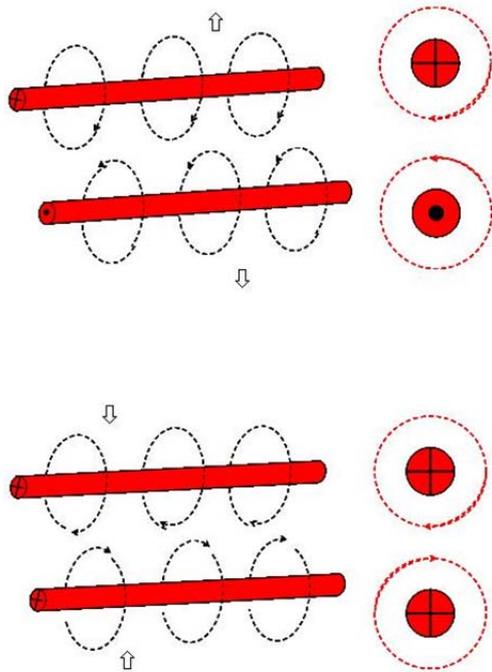
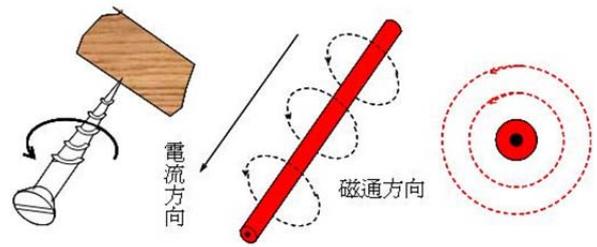


螺絲規律

有如將螺絲上入牆內，要以順時針方向扭轉螺絲一樣，當電流流入導線時，導線產生順時針方向的磁通。



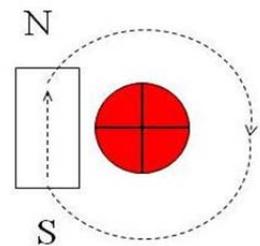
如果將螺絲由牆內鬆出，要以反時針方向扭轉螺絲，當電流流出導線時，導線產生反時針方向的磁通。



將兩根電流方向相反的導線靠近，分隔兩線中間的部份，磁通方向相同，根據磁通的一項特性，方向相同的磁通會互相排斥，此一排斥的力量，將兩導線分開。

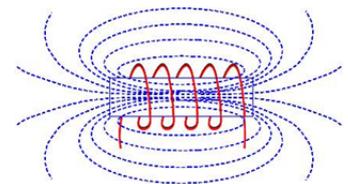
將兩根電流方向相同的導線靠近，分隔兩線中間的部份，磁通方向相反，兩磁通會合成為一，環繞導線，根據磁通的一項特性，磁通永遠企圖縮短，磁通縮短時產生力量，將兩導線推在一起。

將一塊鐵片放近一根帶電流的導線，鐵片會被充磁，變成磁鐵；右圖的情況下，鐵片的上端成北極，下端成南極。



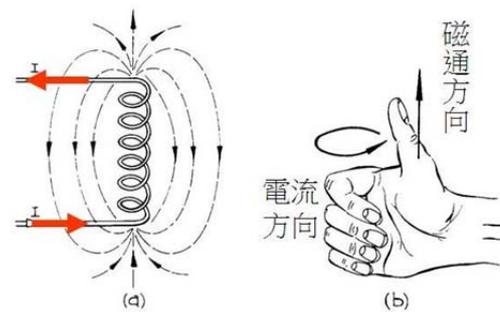
螺線管的磁場

螺線管就是空芯的線圈。當螺線管通以電流時，它會如棒形磁鐵一樣，螺線管的周圍出現磁場，增大導線的電流或增加線圈的匝數，均能增強線圈芯的磁力，應用右手握拳法，則可以幫助確定磁場的方向（北極的位置）。



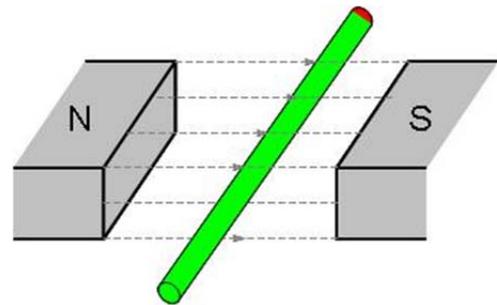
右手握拳法

右手握線圈，姆指向外伸出，當手指指示電流方向時，則姆指指示磁通（北極）的方向。



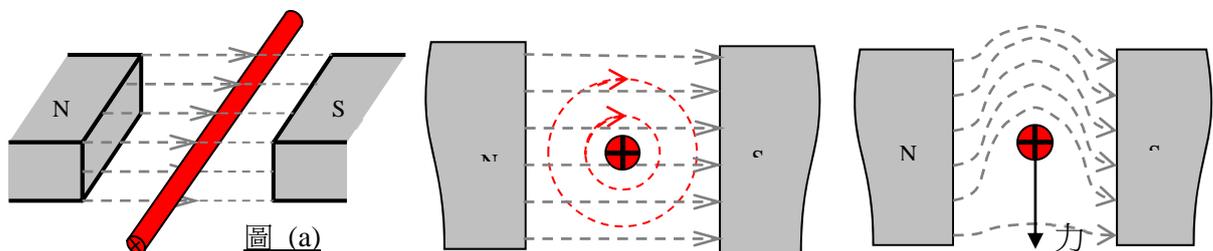
帶電流的導線在磁場中所受的力

在磁場中放置一根導線，如果導線是沒有電流時，磁場中的磁通會如常地由北極穿過空氣隙，甚至是穿過導線，而歸向南極，導線是不會受磁場力的影響，仍然停留在磁場中。



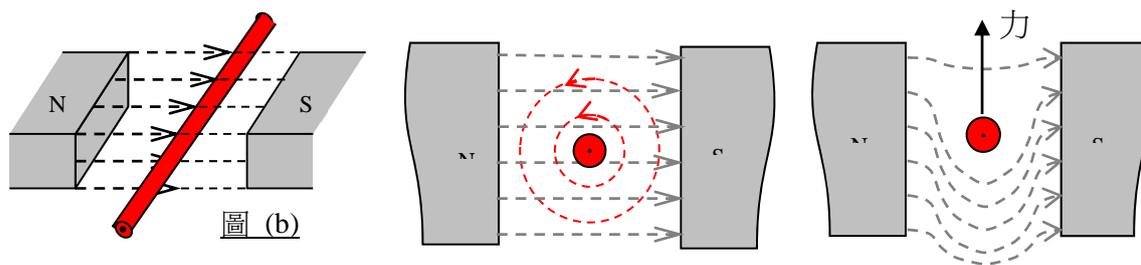
但是，當導線帶有電流時，導線便會受到力量的推壓，被拋出磁場。

導線所受力的方向，是決定於磁場中的磁通和導線的電流方向，圖(a)的導線被放置在一磁場中，導線帶有電流：



原有的磁場方向是由左至右，電流是由前方流入導線，此電流產生了順時針方向的磁通，兩磁通合成的應是使導線上半部的磁場加強，下半部則被削弱，結果是磁場產生了作用力，把導線向下推離磁場。

圖(b)的導線被放置在一磁場中，導線帶有電流：



原有的磁場方向是由左至右，電流是由導線前方流出，此電流產生了反時針方向的磁通，兩磁通合成的應是使導線下半部的磁場加強，下半部則被削弱，結果是磁場產生了作用力，把導線向上推離磁場。

導線所受到力量的大小 F ，與導線所帶的電流，磁場的磁通密度和導線在磁場中的長度有關： $F = BI\ell$

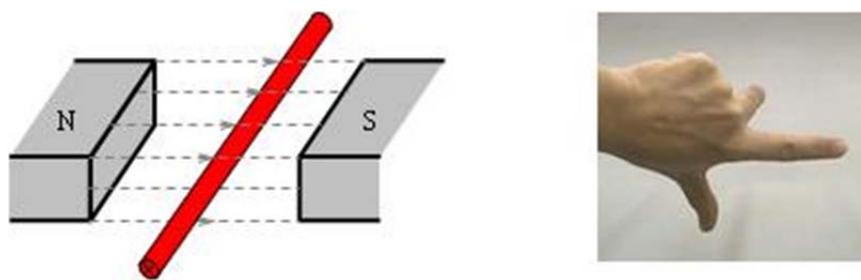
F = 力 (牛頓)

B = 磁通密度 (泰斯拉)

I = 電流 (安培)

ℓ = 導線在磁場中的長度 (米)

佛林明左手定則

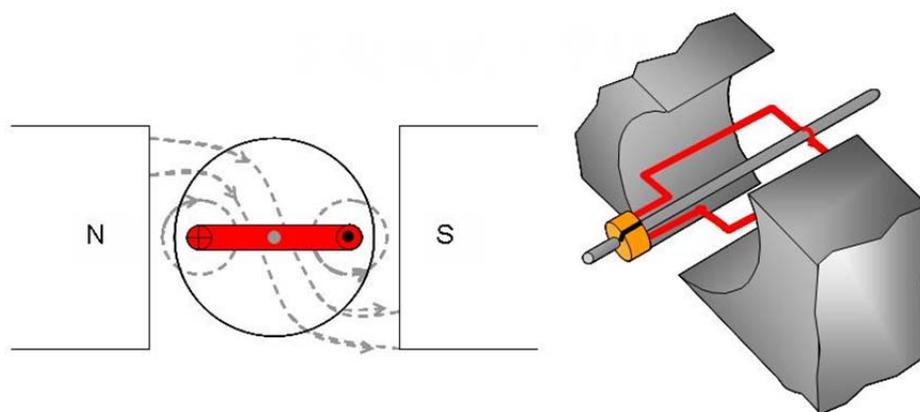


左手的姆指、食指和中指向外伸出，姆指、食指和中指互成直角，當食指指示磁通的方向，中指指示電流的方向時，則姆指指示導線運動的方向。

應用佛林明左手定則，可幫助認定電動機的轉動方向。

電動機的工作原理

在磁場的中央放置一可自由轉動的軸心，將導線繞成線圈並裝配在軸心之上，設：左旁的是北磁極，右旁的是南磁極，線圈通以電流，電流由左邊流入，右邊流出；受磁場力的影響，左邊的導線向下移動，右邊的導線則向上移動，合成的力量使線圈以逆時針方向旋轉，這就是電動機的工作原理。



思考題

1. 問： 怎樣可使線圈以順時針方向旋轉？

答： _____

2. 問： 怎樣可增強電動機的扭力？

答： _____

3. 問： 增長電樞(摩打芯)導線的長度，使它的長度長於磁場的厚度，可否增加電動機的扭力？

答： _____

小結

電流流經線圈產生磁場，磁動勢 $m.m.f. = IN(A)$

線圈芯和周圍被磁化，磁場強度 $H = \frac{IN}{\ell} (A/m)$

線圈周圍可感受磁力，磁力所循的路線，叫做磁通 $\phi (Wb)$

磁通密度越高，磁力越強，磁通密度 $B = \frac{\phi}{a} (T)$

磁通密度與磁場強度間的比，叫做磁導率 $\mu_o\mu_r = \frac{B}{H} (H/m)$

電流流經線圈產生磁場，可以應用右手握拳法測試磁通方向：右手握線圈，姆指向外伸出，手指指示電流的方向，姆指指示磁通的方向。

應用佛林明左手定則，可幫助認定電動機的轉動方向



【電磁感應】

本筆記用途：

學習此單元後，學生應能

1. 認知法拉第電磁感應定律
2. 認知磁通變化率的意義
3. 實踐與法拉第電磁感應定律有關的簡易計算
4. 應用佛林明右手定則測試感應電流的方向
5. 認知楞次定律(Lenz's law)
6. 認知發電機和變壓器的基本操作原理

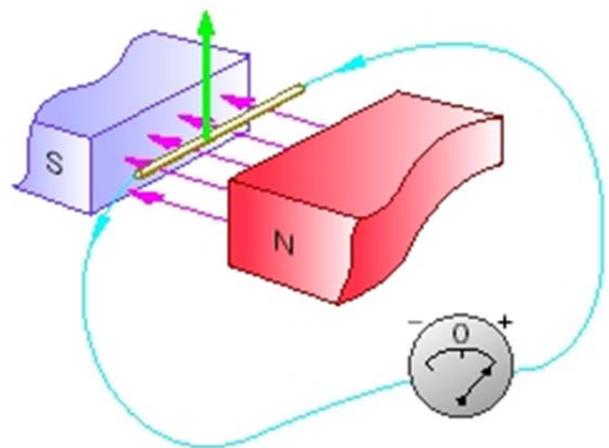
法拉第電磁感應第一定律

導體中感應電動勢(E)的大小，與導體切割磁力線的速率成正比。

即感應電動勢數值與磁場的磁通密度、導線在磁場中的長度、和導線切割磁通的速度有關。

當導線是垂直切割磁場時，導線的平均感應電動勢

$$E = Blu$$



E = 平均感應電動勢 (V)

B = 磁通密度 (T)

l = 導線在磁場中的長度 (m)

u = 導線切割磁場的速度 (m/s)

例題 一：

某汽車在公路上的行駛速度是100 km/h，設汽車的輪軸長2米和地面垂直成份的磁通密度是 $40\mu\text{T}$ ，計算輪軸的平均感應電動勢。

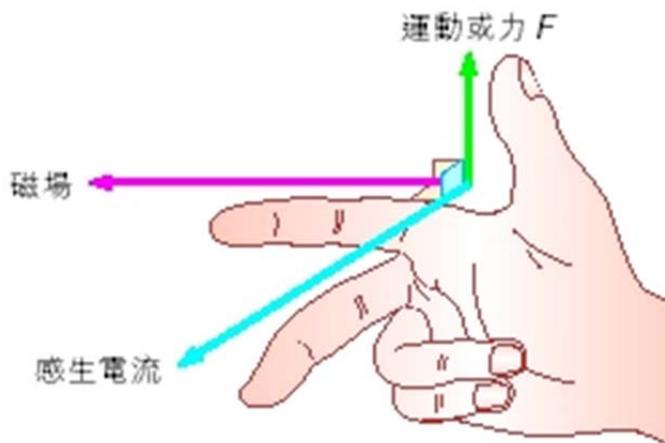
$$\text{以每秒計的速度 } u = 100 \times \frac{1000}{60 \times 60} = 27.8 \text{ ms}^{-1}$$

$$\begin{aligned} \text{平均感應電動勢 } E &= Bl u = 40 \times 10^{-6} \times 2 \times 27.8 = 2.22 \times 10^{-3} \text{ V} \\ &= 2.22 \text{ mV} \end{aligned}$$

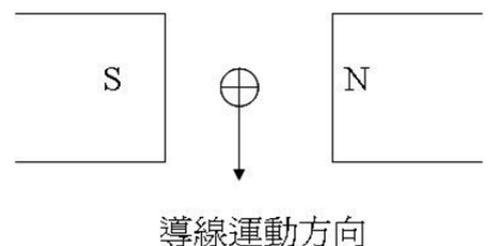
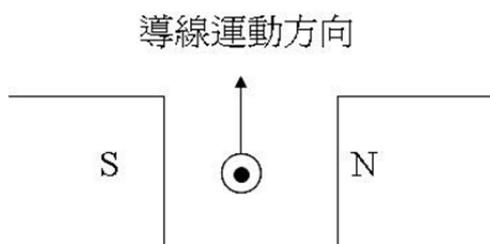
右手規律

利用「佛林明右手定則」可測試導線切割磁通時的感應電流方向。

右手定則可幫助測試發電機的電壓或電流的方向。



右手的姆指、食指和中指互成 90° 向外伸出，當姆指指示導線的運動方向，食指指示磁通的方向時，則中指指示感應電流的方向。

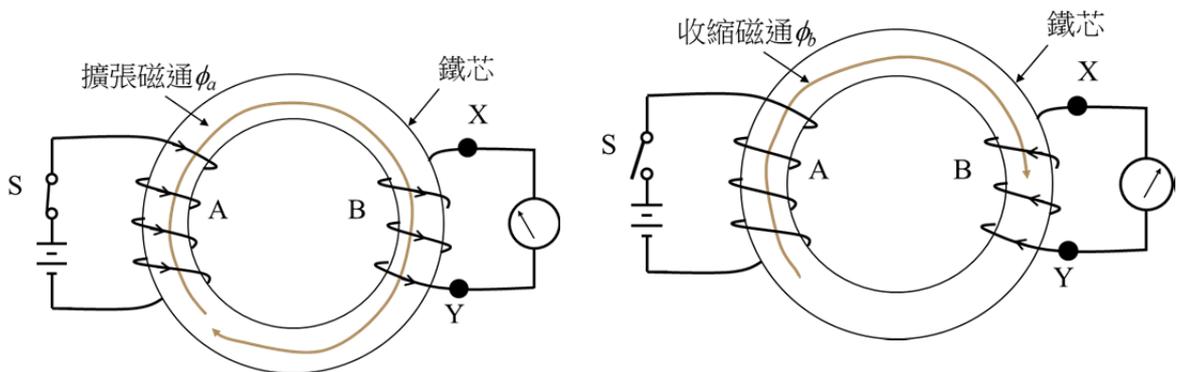


法拉第電磁感應第二定律

線圈內的磁通擴張或收縮時，線圈便會產生感應電動勢。

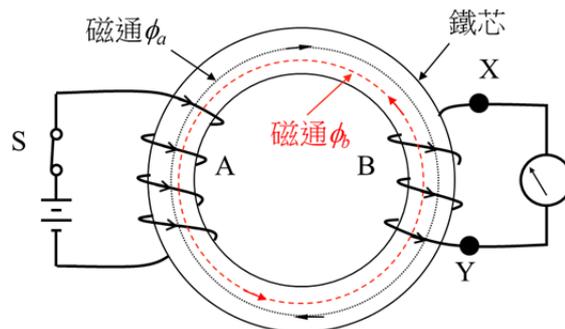
感應電動勢的數值與磁通的變化率成正比，磁通的變化速度越快，感應電動勢越高。

$$\text{感應電動勢 } E \propto \frac{\Delta\phi}{\Delta t}$$



楞次定律 (Lenz's law)

感應電動勢意圖推動電流產生一反抗性的磁通，以抵抗原有磁場的變化。



當電制剛關上，電流流入A線圈時，據右手握拳法，鐵環內出現一順時針方向的擴張性磁通，此磁通切割B線圈的導線；為反抗此一順時針方向的擴張性磁通，B線圈推動電流，意圖產生一反時針方向的磁通，再據右手握拳法，B線圈的電流會由Y點流出，經電錶流向X點做成迴路。

當電制剛打開時，鐵環內的磁通以反時針方向收縮，此磁通切割B線圈的導線；為反抗此一反時針方向的收縮性磁通，B線圈推動電流，意圖產生一順時針方向的磁通，再據右手握拳法，B線圈的電流會由X點流出，經電錶流向Y點做成迴路。

綜合法拉第電磁感應定律和楞次定律

$$\begin{aligned} \text{整個線圈的平均感應電動勢 } E &= -N \frac{\Delta\phi}{\Delta t} \\ &= -N \frac{\phi_2 - \phi_1}{t_2 - t_1} \end{aligned}$$

負號代表感應電動勢產生的磁場相反於原有的磁場

N = 線圈的匝數

$\Delta\phi = \phi_2 - \phi_1$ ϕ_1 = 原來的磁通 ϕ_2 = 經變化後的磁通

$\Delta t = t_2 - t_1$ t_1 = 原來的時間 t_2 = 經變化後的時間

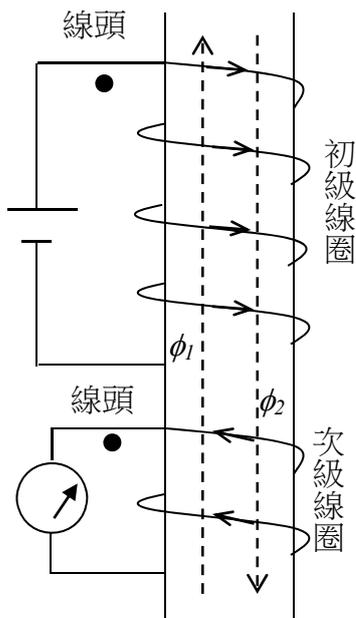
例題 二

某線圈有 1600 匝，在 0.01 秒的時間內，穿過線圈的磁通由零增加至 625×10^{-6} Wb，計算線圈的平均感應電動勢。

$$\begin{aligned} \text{解：} \quad E &= -N \frac{\phi_2 - \phi_1}{t_2 - t_1} = -1600 \times \frac{625 \times 10^{-6}}{0.01} \\ &= -100 \text{ V} \end{aligned}$$

法拉第電磁感應定律和楞次定律

由 EI 矽鋼片疊成鐵芯的變壓器，初級和次級線圈是以同一的方向繞製在中間的鐵柱上。



如將一電芯接至初級線圈，正極接線頭 (如圖)，在圖中畫上箭咀，指示初級線圈電流的方向；

據右手握拳法，測試初級電流產生的磁通方向，在圖中的鐵芯內，畫上虛線箭咀，以表示初級電流產生的磁通方向，並加上 ϕ_1 的標記；

當電芯剛接入初級線圈時，鐵芯內出現一個由下向上的擴張性磁通，此磁通切割次級線圈，為反抗此一磁通，次級線圈意圖產生一由上向下的磁通，再在鐵芯內以畫上虛線箭咀，以表示次級電流產生的磁通，並加上 ϕ_2 的標記；

再以右手握拳法，測試次級線圈需感應的電流方向，在次級線圈的導線上畫上箭咀，指示次級電流的方向；

次級電流將由次級線圈的線頭流出，經電錶流向線尾；

當初級線圈的線頭是高電位 (電流流入線圈) 時，次級線圈的線頭也是高電位，電流由線圈的線頭流出。

例題 三

某變壓器的鐵芯是由寬 32mm 的硅鋼 EI 片疊厚至 32mm 而做成，硅鋼 EI 片的最高磁通密度 B 是 1 T。

- 計算鐵芯的最高磁通量；
- 如鐵芯內的磁通於 0.01 秒時間內反轉，線圈需要的平均感應電動勢是 12 V，計算線圈的匝數。

解：a) 鐵芯的面積 $a = 32 \times 10^{-3} \times 32 \times 10^{-3} = 1024 \times 10^{-6} \text{ m}^2$

鐵芯內的最高磁通量 = $Ba = 1 \times 1024 \times 10^{-6} = 1024 \times 10^{-6} \text{ Wb}$

b) 線圈的平均感應電動勢 $E = -N \frac{\phi_2 - \phi_1}{t_2 - t_1}$

$$12 = -N \frac{-1024 \times 10^{-6} - 1024 \times 10^{-6}}{0.01}$$

$$N = \frac{12 \times 0.01}{2048 \times 10^{-6}} = 58.59 \doteq 59 \text{ 匝}$$



【電感】

本筆記用途：

學習此單元後，學生應能

1. 認知線圈的自感
2. 認知電感的單位
3. 簡述影響線圈電感的因素
4. 實習與電感有關的簡易計算
5. 認知電磁感應之應用

電感 Inductance

電流流過線圈時會產生磁場。當線圈的電流增加或減少時，線圈中磁場會隨之增強或減弱，正在變化中的磁場切割線圈的導線，線圈會產生感應電動勢。據法拉第電磁感應定律和楞次定律 (Lenz's law)，線圈的平均感應電動勢 E

$$E = -N \frac{\Delta\phi}{\Delta t} \text{ (V)}$$

任何電路，如當電流改變而會產生感應電動勢的，此電路便稱為電感電路。

線圈的電流增加或減少時，會使線圈有感應電動勢，所以線圈是電感性元件。

因本身線圈的電流變化，使本身線圈有感應電動勢，這線圈便被帶有自感，或稱帶有電感。

電感 L 的量度單位是 亨利 (Henry)，簡寫 H

電流的變化速度越快，線圈的感應電動勢越高。

如果某電路有電感 L ，它的電流於 t 秒的時間內由 i_1 增加至 i_2

$$\text{電路的平均電流變化率} = \frac{i_2 - i_1}{t_2 - t_1} \text{ (A/s)}$$

$$\text{線圈的平均感應電動勢 } E = -L \cdot \frac{i_2 - i_1}{t_2 - t_1} \text{ (V)}$$

$$E = -L \cdot \frac{\Delta I}{\Delta t} \text{ (V)}$$

當流經線圈的電流其變化是 1 安培每秒 (1 A/s)，使線圈能感應 1 伏特 的電動勢，此線圈便有電感 1 亨利。

例題一

某線圈有電感 0.2 亨利，線圈的電流在 0.015 秒內由 2A 增加至 5A，計算線圈的平均感應電動勢。

$$\begin{aligned} E &= -L \cdot \frac{i_2 - i_1}{t_2 - t_1} \\ &= -0.2 \times \frac{5 - 2}{0.015} = -40 \text{ V} \end{aligned}$$

例題二

一個電感量是 12H 的線圈接於 220V 的電源時，它的電流是 0.4A，電路斷開時，在 0.005 秒的時間內電流下降至零，計算線圈的平均感應電動勢。

$$E = -L \cdot \frac{i_2 - i_1}{t_2 - t_1} = -12 \times \frac{0 - 0.4}{0.005} = 960 \text{ V}$$

例題三

電路中接有一個鎮流器，線圈的電流由零增加至 0.25A 須時 0.01 秒，線圈的平均感應電動勢是 200V。計算線圈的電感。

$$E = -L \cdot \frac{i_2 - i_1}{t_2 - t_1}$$

$$200 = -L \cdot \frac{0.25 - 0}{0.01}$$

$$L = 8 \text{ H}$$

影響線圈電感量的因素

假如一個有 N 匝的線圈，它的電流變化是 $\Delta I(\text{A})$ 時，產生了 $\Delta\phi$ (Wb) 的磁通變化，考慮兩條計算感應電動勢的公式

$$E = -N \cdot \frac{\Delta\phi}{\Delta t} \quad (\text{V})$$

$$E = -L \cdot \frac{\Delta I}{\Delta t} \quad (\text{V})$$

因此
$$-L \cdot \frac{\Delta I}{\Delta t} = -N \frac{\Delta\phi}{\Delta t}$$

$$L \cdot \Delta I = N \cdot \Delta\phi$$

$$L = N \frac{\Delta\phi}{\Delta I}$$

影響線圈電感量的因素包括有

1. 線圈的匝數 N
匝數增加一倍，線圈的電感量是原來的四倍
2. 線圈芯物質的磁導性能 $\mu_0 \mu_r$

採用磁導性能良好的物質造成線圈芯，可得到較高的電感量

3. 線圈芯的橫切面面積 a

線圈芯直徑越大，橫切面面積越大，可有較高的電感量

4. 磁路的長度 ℓ

較短的線圈，電感量較高

例題四

供電至一個線圈，線圈的電感是 1.2H，匝數是 1400，若接入電流時線圈產生磁通 25×10^{-3} Wb。計算線圈的電流。

$$L = N \frac{\phi}{I}$$

$$1.2 = 1400 \times \frac{25 \times 10^{-3}}{I}$$

$$I = 29.2 \text{ A}$$

例題五

一個有電感 0.5 亨利(H) 的線圈若在 0.01 秒(s)的時間內，電流增加 2.5A，線圈的磁通變化量為 5 毫韋伯 (5×10^{-3} Wb)

計算線圈的 a) 感應電動勢

b) 匝數

$$\text{解： a) } E = -L \cdot \frac{i_2 - i_1}{t_2 - t_1} = -0.5 \times \frac{2.5}{0.01} = -125 \text{ V}$$

$$\text{b) } L = N \frac{\phi}{I} \quad 0.5 = N \times \frac{5 \times 10^{-3}}{2.5}$$

$$N = 250 \text{ 匝}$$