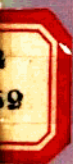
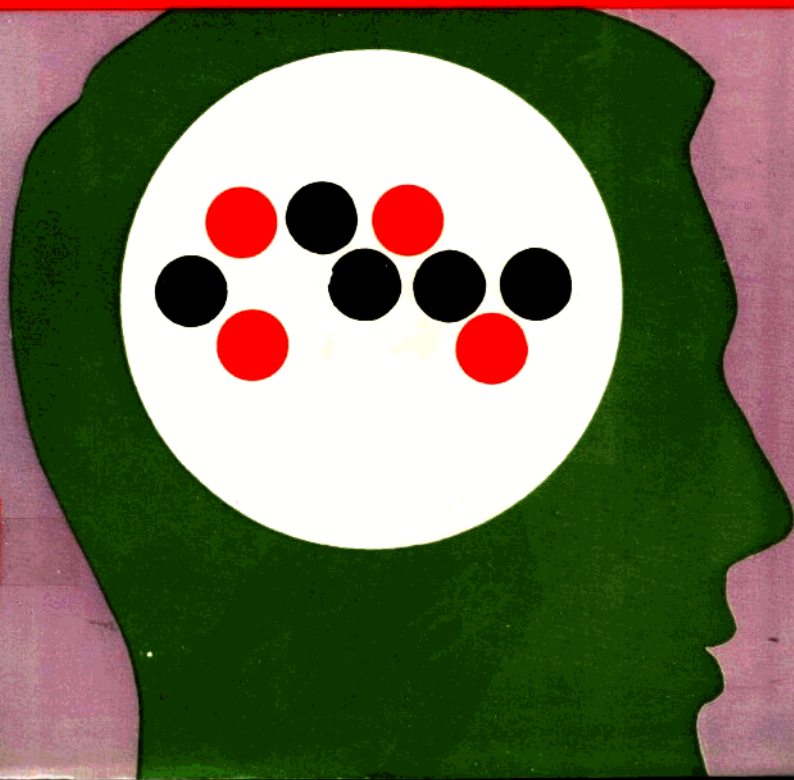


電機機械

黃慶連著

科學技術叢書／三民書局印行



電 機 機 械

(一)

黃 慶 連 著

學歷：日本大阪大學電機研究所碩士

現職：國立成功大學電機系教授

三 民 書 局 印 行

行政院新聞登記局證版業字第〇二〇號

中華民國六十七年九月初版
中華民國七十三年八月再版

◎電機機械(一)

基本定價 叁元

版 權
所 有 人
註 冊

著 者 黃 慶 連
發 行 人 劉 振 強
出 版 者 三民書局股份有限公司
印 刷 所 三民書局股份有限公司

臺北市重慶南路一段六十二號
郵政劃撥九九九八號

電機機械 (一) 目次

第一章 簡易電磁理論

1-1	磁鐵及磁場	1
1-2	單位磁極	3
1-3	磁場線圈	5
1-4	導磁係數	7
1-5	磁勢及磁場強度	8
1-6	電動勢	10
1-7	弗來明右手定則	11
1-8	電磁力	14
1-9	歐姆定律及焦耳定律	18
1-10	磁滯	20
1-11	磁阻和磁路定律	23
	習題	

第二章 直流電機之構造

2-1	電機的主要部份及磁路	27
2-2	極心與極掌	29
2-3	磁場繞線圈	30
2-4	電樞的結構	33

2-5	電樞槽	35
2-6	換向器之構造	37
2-7	電刷及刷握架	39
	習題	

第三章 電機基本原則

3-1	發電機原則及公式	43
3-2	電動機原則及公式	47
3-3	電機的電壓公式	51
3-4	電動機的轉速公式	54
3-5	電機之電功率公式	55
3-6	各種公式的應用	58
	習題	

第四章 電機型式

4-1	外激式發電機	61
4-2	自激式發電機——分激式發電機	63
4-3	自激式發電機——串激式發電機	65
4-4	自激式發電機——複激式發電機	66
4-5	電機的能量轉換	70
	習題	

第五章 電樞繞組

5-1	電樞之各式	73
5-2	疊捲及波捲	79
5-3	導線數、線圈單位數與整流片數	87

5-4	線圈節距、換向片節距與槽節距	88
5-5	短節距線圈	91
5-6	單重疊捲和波捲實例	93
5-7	多重線圈實例	97
5-8	均壓連接	102
5-9	疊捲及波捲之比較	104
	習題	

第六章 電樞反應

6-1	電樞反應	109
6-2	交磁及去磁作用	113
6-3	補償線圈	115
6-4	電刷位置與總磁場分佈	118
6-5	換向作用	119
6-6	換向磁極或中間極	126
	習題	

第七章 發電機的特性曲線及用途

7-1	飽和曲線	131
7-2	磁場電阻直線	134
7-3	分激發電機的飽和曲線和電壓建立	135
7-4	分激發電機的特性曲線	140
7-5	利用飽和曲線求分激發電機的特性曲線	142
7-6	串激發電機的特性曲線	145
7-7	複激發電機的特性曲線	147
7-8	利用飽和曲線求複激發電機的特性曲線	152

7-9	電壓調整率·····	155
7-10	損失·····	158
7-11	效率·····	163
7-12	溫度限制及容量額定·····	165
	習題	

第八章 發電機的運用

8-1	負載接聯·····	171
8-2	分激發電機的並聯運轉·····	172
8-3	分激發電機在並聯運轉中之負載分配·····	176
8-4	複激發電機之並聯運用·····	178
8-5	均壓器·····	180
8-6	並聯運轉中複激發電機的負載移轉·····	181
8-7	電壓控制·····	182
8-8	調整器之並聯運轉·····	185
8-9	三線系統與三線發電機·····	186
	習題	

第九章 電動機各種特性曲線及用途

9-1	分類及用途需要·····	195
9-2	轉矩特性曲線·····	201
9-3	速率調整率及反電動勢·····	204
9-4	速率特性曲線·····	208
	習題	

第十章 電動機的起動和速率控制

10-1	電動機的起動電流	215
10-2	手動起動器	219
10-3	自動起動器	224
10-4	電動機的轉速控制	228
10-5	華德—里歐納德——速度控制法	235
10-6	鐵路用電動機之串並聯速度控制法	238
10-7	利用電子電路做速度控制	239
	習題	

第十一章 特殊電機之構造及應用

11-1	三電刷式發電機	243
11-2	盧森堡式電車用發電機	245
11-3	升電壓機	246
11-4	複場激磁機	248
11-5	旋轉放大機	251
11-6	電動發電機	253
11-7	飛機上的直流發電機	255
11-8	分極發電機	258
11-9	電弧熔接發電機	259
	習題	

第十二章 維護及檢修

12-1	維護及檢修原則	263
12-2	軸承上之潤滑	265

12-3	電刷的火花發生.....	267
12-4	發電機的檢查重點.....	268
12-5	電動機的檢查重點.....	270
12-6	繞組檢修.....	271
12-7	換向器檢修.....	273
12-8	溫度上升和絕緣體損壞之檢定.....	278
	習題	

第一章 簡易電磁理論

1-1 磁鐵及磁場

磁 (*Magnetism*) 於電機工程中佔有極重要之地位，一般電動機、發電機、變壓器、電視、電話及雷達均用及磁性材料，或利用電磁感應等原理。

磁鐵 (*Magnet*) 可分成電磁鐵 (*Electromagnet*) 與永久磁鐵 (*Permanent magnet*) 兩大類。電磁鐵之磁性係依賴電磁的磁化作用，故電流之磁化效應極易影響其磁性；而永久磁鐵能永遠保有其磁性，不須借助電流之激發，其中，除含化學成分為四氧化三鐵 (Fe_3O_4) 之天然磁鐵外，永久磁鐵通常係人造磁鐵 (*Artificial magnet*)，其材料一般為硬性鋼、軟性鋼或鎳鐵鈷之合金，若將此類材料與磁鐵摩擦，或以電流激發，即可獲得磁性。硬性鋼雖難以磁化，然一經磁化，其磁性卻不易消失；而軟性鋼容易磁化，但電流停止後，大部分磁性將消失，致僅保留少量之磁性。是故，製造永久磁鐵時，皆以硬性鋼（或其合金）為主要材料；若需要磁性可依磁化力而變化時，則採用軟性鋼或鐵為材料。

磁鐵因形狀之別可分為：(a) 條形磁鐵 (*Bar magnet*)：製成直條狀者，(b) 蹄形磁鐵 (*Horseshoe magnet*)：製成如馬蹄之彎曲形狀者，(c) 磁針 (*Magnetic needle*)：製成尖細如針狀者，以及 (d) 依使用目的而有磁鐵心 (*Magnet core*) 或環形磁鐵 (*Ring or annular magnet*) 等。

若將磁化後之磁性材料，置於滿佈鐵屑之玻璃板下方，而輕敲玻璃板，即可發現，其磁性係由此材料之某一極區出發而經由另一極區返回。而磁性材料中，磁性出發及返回之區域，顯然有一磁性集中之區域，此稱之為磁極(Magnet pole)。圖 1-1 所示者為一條形磁鐵，其磁性係自左端出發，而經由右端返回。所存在之磁性，均以線狀表示，稱為磁力線 (Magnetic line of force) 或磁場 (Magnetic field)。將此條形磁鐵懸於半空，任意旋轉，最後皆依南北方向靜止；而且，磁性出發端永遠指向北方，故稱為北極 (North pole)，簡稱 N 極；磁性返回端永遠指向南方，故稱為南極 (South pole)，簡稱 S 極；而介於兩極正中央之平面，稱之為中性區 (Neutral zone) 或磁鐵赤道 (Equator)；磁力線所經過之封閉路徑，則稱為磁路 (Magnetic circuit)。在電場中，電力線係自正電荷出發，而停止於負電荷，形成一不連續線；在磁鐵中，磁力線係自 N 極出發至 S 極，再自 S 極經由材料返回至 N 極，以形成一封閉線。磁力線祇可指示磁性之存在及其方向，若賦予量之磁力線，則亦可指示磁性之強弱，此稱為感應線 (Line of induction)。

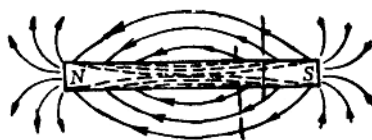


圖 1-1 條形磁鐵周圍之磁場

磁力線自 N 極出發，故 N 極類似於正電荷，而返回至 S 極，則 S 極類似於負電荷，一般依常情判斷，以為：若割開圖 1-1 所示之條形磁鐵，則必分成 N 極與 S 極；然而實際上，所割開之每一斷片

均具有 N 極與 S 極，同時，N 極與 S 極之強度相等，如圖 1-2 所示，原含 N 極之割斷處係呈現 S 極，而原含 S 極之割斷處，則具有 N 極。如圖 1-2(c) 所示，若將條形磁鐵分成三段，則任一斷片上均含有相等而相反之 N 極與 S 極，而且，感應線仍可自一斷片延伸至鄰近之另一斷片，唯鄰近斷片間之感應線並不一定相同；是故，任一斷片之 NS 二極強度，並不一定與其他斷片之 NS 二極強度相等。因此，在磁鐵中 N 極或 S 極皆不可能單獨存在，此為與電荷之最大相異處。

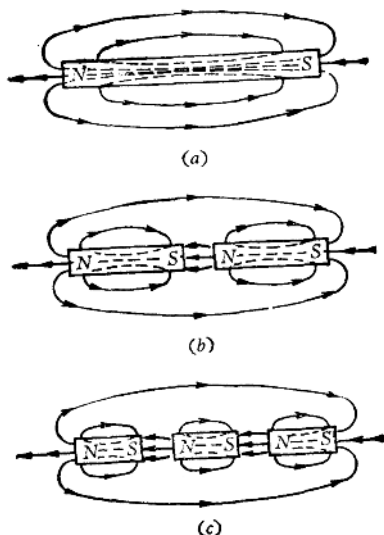


圖 1-2 條形磁鐵割開後之效應

1-2 單位磁極

將一磁棒懸於半空中，而以另一磁棒之 N 極接近其 N 極，則

二者互相排斥；若以 N 極接近其 S 極，則二者互相吸引；然後，若以 S 極接近其 S 極，亦有互相排斥之現象；由此可知，磁極之同極相斥，異極相吸。

庫倫曾以一鉅秤實驗磁極間相斥或相吸之作用力，結果發現，若磁極之尺寸遠小於二磁極間之距離，則二定磁極間相斥或相吸之作用力與二磁極強度 (*Magnetic pole strength*) 之乘積成正比，而與二磁極間距離之平方成反比。亦即作用力為

$$F \propto \frac{m_1 m_2}{r^2} \quad (1-1)$$

式中， m_1 與 m_2 為二磁極之強度， r 為二磁極間之距離，若以等式表示，即

$$F = C \frac{m_1 m_2}{r^2} \quad (1-2)$$

C 表示其比例常數，其值因所用單位不同而有異。如上所述，N 極與正電荷相類似，故假設其磁量為正，而 S 極與負電荷相類似，故假設其磁量為負；當同極相互作用時，其力為正，亦即正值之作用力係排斥力；當異極相互作用時，其力為負，亦即負值之作用力係吸引力。於 M. K. S. (米、公斤、秒) 單位制中，距離之單位為米，力之單位為牛頓 (Newton)；設 C 在真空中之值為 3×10^8 米/秒，則磁極強度之單位為磁極強度，以公式表示如下：

$$F \text{ (牛頓)} = \frac{m_1 \text{ (磁極強度)} \times m_2 \text{ (磁極強度)}}{r \text{ (米)}^2} \quad (1-3)$$

於 (1-3) 式中，若 $r=1$ 米， $m_1=m_2=m$ ，而 $F=1$ 牛頓，於此條件下， m 之磁極強度稱之為一個單位磁強。

1-3 磁場線圈

磁場線圈 (*Magnetic coil*) 又稱為螺管 (*Solenoid*)，如圖 1-3 所示，當線圈通以定方向之電流，則於管軸平面上產生磁場，而此磁場可以磁力線或磁通 (*Flux*) 之分佈表示之。若灑鐵屑於紙片上，再以螺管之繞線匝 (*Turns*) 穿繞其上，而輕輕彈動紙片，即可得圖 1-3 所示者，且其磁力線係一閉合曲線。

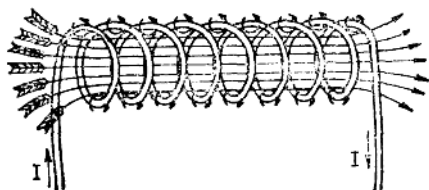


圖 1-3 螺管中電流所產生之磁力線

電流方向與電流所產生磁場之正方向有一定的關係，如圖 1-4 所示，係一簡單單匝之線圈，若依圖形所示之方向通上電流，則可產生一向右面之磁場。

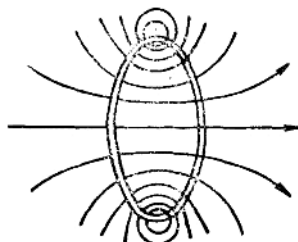


圖 1-4 一匝線圈中電流所產生之磁力線

載有電流之導體，其周圍磁場之方向與電流方向有一定之關係，可依下列之簡單規則說明之：

(1) 右手定則 (*Right hand rule*): 如圖 1-5 所示，以右手握緊導體，若伸直拇指以表電流方向，則環繞導體之其他四指均表磁力線之方向。

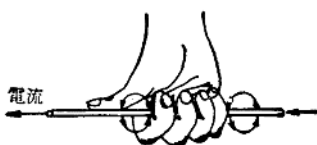


圖 1-5 右手定則

(2) 右螺旋定則 (*Right-handed screw rule*): 一右螺旋，即可決定電流方向與所產生磁場方向之關係；而若欲使右螺旋能沿電流之方向前進，則必須沿磁力線之方向旋轉。

如圖 1-6(a) 所示，與書面成垂直之導體，祇能見其截面，而通常均以 $\otimes$ 符號表示其電流方向係流入書中，猶如箭垂直射入書中，祇見到其羽毛端；而在圖 1-6(b) 中，則以 $\odot$ 表示電流係流出書本，猶如箭垂直射出書本，祇能見其尖端。以此表示電流之方向，亦能表現出磁力線之方向和形狀。

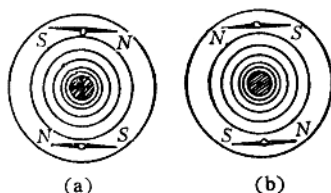


圖 1-6 環繞於一圓柱形導體之磁力線

圖 1-3 及圖 1-4 所示之磁場強度的閉合曲線，即稱為磁力線或

磁通。磁力線係代表磁能量之有無，並無一定之直徑，其數量之多寡，即表示磁能量之大小。設 ϕ 為磁力線， A 為所通過之面積，而 B 為磁力線密度 (*Flux density*)，則

$$B = \frac{\phi}{A} \quad (\text{高斯}) \quad (1-4)$$

式中，1 高斯等於 1 根 / 1 平方公分 (Line/cm^2)； ϕ 的單位為線或馬克士威 (*Maxwell*)，簡稱馬，由於此單位太小，在 M. K. S. 制中，以 10^8 馬或稱韋 (*Weber*) 表示之，即

$$1 \text{ 韋} = 10^8 \text{ 線或馬克士威}$$

所以，M. K. S. 單位制中，磁力線密度之單位為韋 / 平方米。

1-4 導磁係數

一物之導磁係數 (*Permeability*)，即指磁通存在於此物體中之難易程度。在 M. K. S. 制中，導磁係數之單位為亨利 / 公尺，而以希臘字母 μ (讀為 mu) 表示之。在有理化 M. K. S. 制 (*Rationalized M. K. S. system*) 中，定義真空 (*Vacuum*) 之導磁係數 μ_0 為 $4\pi \times 10^{-7}$ ；由於空氣及一般非磁性物之導磁係數與真空者極為接近，故實際應用時，皆亦視其值為 $4\pi \times 10^{-7}$ 。至於商用鋼鐵之導磁係數，通常是真空之導磁係數的數千倍。

一物之導磁係數與真空之導磁係數的比，稱之為此物的相對導磁係數或比導磁係數 (*Relative permeability*)，茲舉例說明比導磁係數之物理意義：將一螺管置於真空中，再通上電流，假設此時螺管中之磁通為 1 個單位，而將一導磁係數為真空之導磁係數 2000 倍之鋼鐵插入螺管，若鋼鐵係充塞於整個螺管，且通一與線圈大小相同之電流，則螺管內的磁通等於 2000 單位。

設磁路內之磁化力及磁路之幾何圖形皆不變，則穿越此磁路之磁通，與此磁路代以真空時，其穿越同一空間之磁通的比值，即稱為比導磁係數。

例題 1-1 將一鐵心放入一環形螺管中，其磁通為 2000 線；若抽出鐵心，則在空氣中之磁通為 10 線，試求此鐵心之比導磁係數。

$$\text{解 } \mu_r = \frac{2000}{10} = 200$$

1-5 磁勢及磁場強度

將一電動勢接入一電路中，則在此封閉電路內有一電流流動著；同理，若將磁勢接在磁路上，則有磁通穿越於磁路中；而電動勢係由電池或其他電源供給，以 e. m. f. 或 E 表示之；磁勢則由圍繞磁路上之線圈匝數與線圈內之安培供給，以 m. m. f. 表示之。電動勢之單位為伏特，磁勢之單位為吉伯(Gilberts)或安匝(Ampere-turns)，本書係採用後者，而安匝等於線圈中之電流數安培與線圈匝數之乘積。例如，線圈若為 500 匝，而通上 2 安培電流時，則磁勢為 1000 安匝。

設 N 為匝數， I 為電流，其單位為安培，則磁勢 m. m. f. 為

$$\text{m. m. f.} = N \times I \text{ 安培匝數 (Ampere turn)} \quad (1-5)$$

將單位 N 極置於磁場中，設 F 為受力，則 F 即表示在此點之磁場強度 (Magnetic field intensity)， F 之方向即於此點磁場之方向，而 H 表其磁場強度，因此，若將強度 m 之磁極置於磁場強度為 H 中，則受力 F 為

$$F = mH \quad (1-6)$$

在 C. G. S. (厘米、克、秒) 單位制中， F 之單位為達因， m 之單位