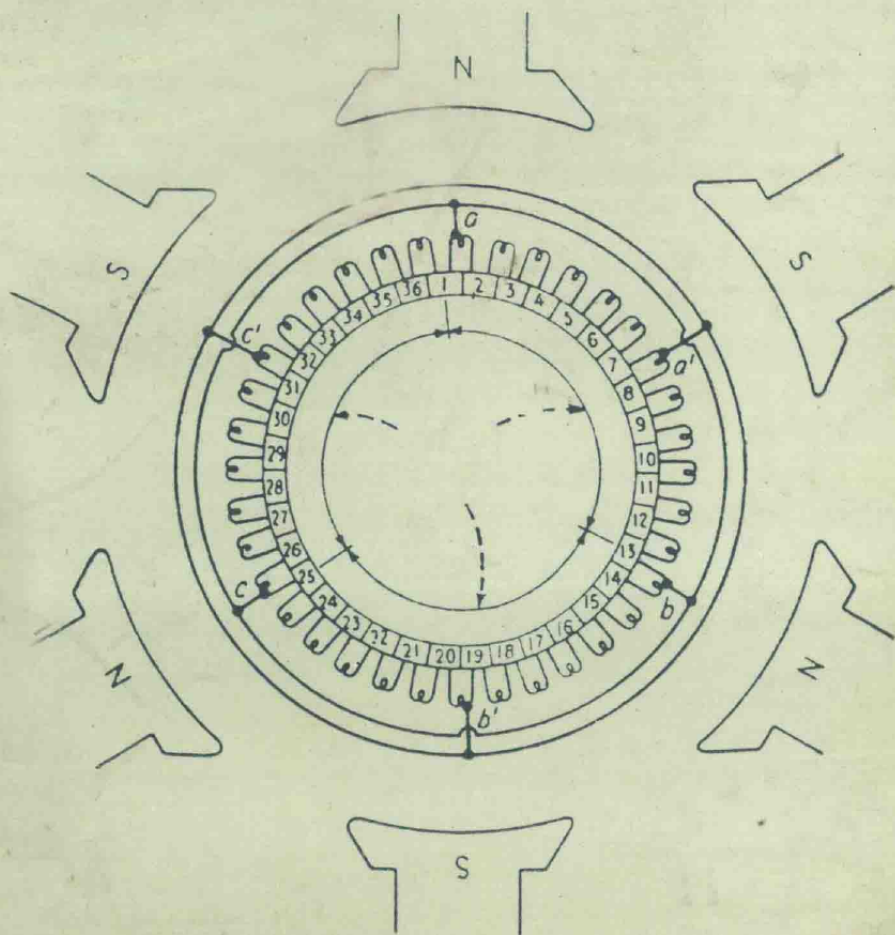


國家科學叢書

直流電機

陳建富 編著



直 流 電 機

陳建富 編著

國家書店有限公司印行

有著作權
不准翻印

直流電機

定價：新台幣貳佰壹拾元整

編著者：陳建富

總策劃：林洋慈

發行人：林大坤

發行者：國家出版社

總經銷：國家書店有限公司

郵撥：一〇四八〇一帳戶

公司：台北市新生南路一段126之8號三樓

電話：3912425・3926748-9

印刷所：東遠印刷廠

1983年7月初版

行政院新聞局局版台業字第零陸叁貳號

序

- 一、本書內容以直流電機原理為主，除了可供專科及其同程度學校教學之用外，亦可供電工從業人員自修參考之用。
- 二、本書編輯由淺入深，循序漸進以簡明之原理敘述，導入實用的知識，力求避免繁雜艱澀之公式或過深數學之演算，以利初學者之吸收了解，並且提供已學習此課程者的複習與參考。
- 三、本書插圖搜集豐富，精確詳明，可補文字說明之不足，各章中亦皆附有例題與習題，供讀者練習以把握要點，加深對內容之瞭解。
- 四、本書所採用之單位，以實用單位（公制）為主，如有涉及英制與其它單位，目的是在於便利讀者參考比較。書中所用之名詞，皆以教育部公佈之電機工程名詞為準，如有出入之處，乃為配合一般慣用之便，但皆附註原文，避免曲釋誤解。
- 五、本書編撰校核，力求嚴謹，但疏漏之處恐仍難免，懇乞學人先進賜予指正幸！

編者 謹識

電機機械 (上册)

目 錄

第一章 簡易電磁理論

1-1	磁鐵及磁場·····	1
1-2	單位磁極·····	4
1-3	磁場線圈·····	5
1-4	導磁係數·····	8
1-5	磁勢及磁場強度·····	9
1-6	電動勢·····	11
1-7	弗來明右手定則·····	13
1-8	電磁力·····	14
1-9	歐姆定律及焦耳定律·····	11
1-10	磁滯·····	18
1-11	磁阻和磁路定律·····	20
	習題	

第二章 直流電機之構造

2-1	電機的主要部分及磁路·····	27
2-2	極心及極掌·····	29
2-3	磁場繞組·····	32
2-4	電樞的結構·····	33

2. 目 錄

2-5	電樞槽	37
2-6	換向器之構造	33
2-7	電刷及刷握架	42
	習題	

第三章 電機基本原則

3-1	發電機原則及公式	46
3-2	電動機原則及公式	53
3-3	電機的電壓公式	62
3-4	電動機的轉速公式	63
3-5	電機的電功率公式	64
3-6	各種公式的應用	66
	習題	

第四章 電機型式

4-1	外激式電機	72
4-2	自激式電機—分激式	73
4-3	自激式電機—串激式	75
4-4	自激式電機—複激式	76
4-5	電機的能量轉換	79
	習題	

第五章 電樞繞組

5-1	電樞形式	83
5-2	疊繞及波繞	88
5-3	導線數、線圈單位數與換向片數	95
5-4	線圈節矩、換向器節矩與槽節矩	97

5-5	短節距線圈·····	99
5-6	單式疊繞組和波繞組實例·····	101
5-7	多重式繞組·····	119
5-8	複合線圈的電樞繞組·····	128
5-9	均壓線連接·····	134
5-10	蛙腿式繞組·····	140
5-11	疊繞組及波繞組之比較·····	147
	習題	

第六章 電樞反應及換向作用

6-1	電樞反應·····	154
6-2	交磁及去磁作用·····	156
6-3	電刷位置與總磁場分佈·····	162
6-4	補償電樞反應·····	166
6-5	換向作用·····	171
6-6	換向磁極·····	180
	習題	

第七章 發電機的特性曲線及用途

7-1	飽和曲線·····	187
7-2	磁場電阻磁線·····	188
7-3	分激發電機的飽和曲線和電壓建立·····	189
7-4	分激發電機的特性曲線·····	194
7-5	利用飽和曲線求分激發電機的特性曲線·····	198
7-6	串激發電機的特性曲線·····	201
7-7	複激發電機的特性曲線·····	203
7-8	利用飽和曲線求複激發電機的特性曲線·····	210

4 目 錄

7-9	電壓調整率	212
7-10	損失	213
7-11	效率	214
7-12	溫度限制及容量額定	217
	習題	

第八章 發電機的運用

8-1	負載接聯	223
8-2	分激發電機的並聯運轉	225
8-3	分激發電機在並聯運轉中之負載分配	232
8-4	複激發電機之並聯運轉	233
8-5	均壓器	237
8-6	並聯運轉中複激發電機的負載移轉	239
8-7	電壓控制	241
8-8	調整器的並聯運用	247
8-9	三線發電機	248
8-10	直流無刷發電機	252
	習題	

第九章 電動機的各種特性曲線及用途

9-1	分類及用途需要	256
9-2	轉矩特性曲線	257
9-3	速率調整率及反電動勢	258
9-4	速率特性曲線	271
	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·····	287
10-2	手動起動器·····	294
10-3	自動起動器·····	298
10-4	電動機的轉速控制·····	303
10-5	華德—里歐納德制——速率控制法·····	310
10-6	鐵路用電動機之串並聯速率控制法·····	312
10-7	利用電子電路做速率控制·····	315
	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·····	322
11-2	盧森堡式電車用發電機·····	325
11-3	升壓機·····	327
11-4	複場機磁機·····	329
11-5	旋轉放大機·····	333
11-5	電動發電機·····	338
11-6	飛機上的直流發電機·····	339
11-8	分極發電機·····	341
11-9	電弧熔接發電機·····	344
	習題	

第十二章 直流電機的維護及檢修

12-1	維護及檢修原則·····	349
12-2	軸承上之潤滑·····	351
12-3	電刷的火花發生·····	353
12-4	發電機的檢查重點·····	354
12-5	電動機的檢查重點·····	355

6 目 錄

12-6	繞組檢修.....	357
12-7	換向器檢修.....	362
12-8	溫度上升與絕緣損壞之檢定.....	365
	習題	

第一章

簡易電磁理論

1-1 磁鐵及磁場

磁鐵 (Magnet) 之名，原自磁石 (Lodestone) 而來。磁石爲一種氧化鐵 (Fe_3O_4)，即今所謂之天然磁鐵 (Natural magnet)。此物早已被人發現有吸引鋼鐵細屑及指向南北之特性，吾人稱此特性爲磁性 (Magnetism)。

最簡單之磁鐵爲直棒形，故謂之條形磁鐵。若將此磁鐵投入鐵屑中，則鐵屑大多附著於兩端，中間甚稀，磁性集中在磁鐵兩端稱之曰磁極 (Magnetic pole)。遠在二千年前，中國人即觀察到條形磁鐵浮在水桶內的軟木片上，磁棒之軸必靜止指出南北之位置。條形磁鐵指北之端稱爲北極 (North pole) 或正極 (Positive pole)，指南之端稱爲南極 (South pole) 或負極 (Negative pole)。若將二條形磁鐵懸掛相互移近，則見同極性者相斥，異極性者相吸。

地球本身爲一大磁鐵，其磁極位於北極圈 (Arctic circle) 及南極圈 (Antarctic circle) 內，惟與地球迴轉軸並不一致，尚須注意；視地球爲一磁鐵時，則地理上之北極實際爲負極，此乃地理學與電工學之慣用名詞，略有出入之處，但並非矛盾。

除天然磁鐵外，人類在十九世紀以表皮絕緣之導線纏繞在鐵塊或銅塊上，導線中通以電流，則此銅塊或鐵塊即被磁化 (Magnetized)，此即人造磁鐵 (Artificial magnet)。人造磁鐵除由上述之方法製得外，尚可利用一磁鐵順一固定之方向在另一未磁化之鐵或銅上摩擦數次而得，前者由電流激發而使鐵或銅擁有磁性，謂之電磁鐵，後者

則稱之爲感應磁鐵。

人造磁鐵復以磁性之久短，分爲暫時磁鐵及永久磁鐵。暫時磁鐵常用軟鋼或鐵所製成，其雖容易受磁化，但電流一中斷，大部份磁性亦隨即消失。永久磁鐵係用特殊的硬鋼（如鈷鋼、新KS鋼及Alnico）所製成，雖不易磁化，但一經磁化後，其磁性較爲持久。永久磁鐵之用途甚廣，例如儀表、電話耳機、小型發電機之磁場，皆用永久磁鐵；磁針亦用永久磁鐵製成。

磁鐵因形狀不同可分爲：(1)條形磁鐵：製成直條狀者，(2)蹄形磁鐵（Horseshoe magnet）：製成如馬蹄之彎曲形狀者，(3)磁針（Magnetic needle）：製成尖細如針狀者，以及(4)依使用目的而有磁鐵心（Magnet core）或環形磁鐵（Ring or annular magnet）等。

當一磁鐵置近鐵屑時，鐵屑即因感應作用而磁化，而發生相異之二極。其靠近感應磁鐵之一端者，與感應磁極相反，故發生吸力。其在另一端者，則發生斥力。但後者距感應磁極之距離，較前者爲遠，故在受感應磁鐵後之合力，仍爲吸力。

在磁鐵周圍的區域內有上述現象者，謂之磁場（Magnetic field）。但前述磁性現象，僅及一磁鐵對於另一磁鐵之作用，及對於尋常鋼鐵之感應磁性。奧斯特（Oersted）於1820年發現電流亦足影響指南針，可見電流通過導線，其四周亦即生一磁場。此種事實，可用以解釋鋼鐵因電流線圈而成磁鐵之原理。

置一北極於磁場內之某一點，則此極受一力驅動，使其有向一定方向移動之趨勢，若將南極置於此點，則所受之力有使其向反方向移動之趨勢。如將一小磁針置於祇有條形磁鐵之磁場中，如圖1-1所示，則磁場將使磁針自成一方向，其正極所指者爲一自由正極行將移動之方向，負極所指者爲一自由負極行將移動之方向，如由任意點出發，依磁針正極所指之方向而移動，其路徑必爲一平滑曲線，而以條形磁鐵之負極爲終點，嗣後將磁針復歸原處再沿負極所指之方向移動，則曲線可全部作成，此時之路徑必止於磁鐵之正極。在磁鐵二極間依

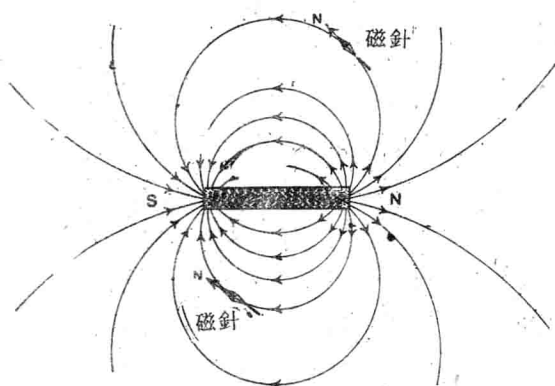


圖 1-1 條形磁鐵之磁場

此法作成之曲線稱為磁力線 (Magnetic line of force)。調換磁針在磁場中之最初位置，以同樣之手續行之，則此磁鐵之磁場即可繪出如圖 1-1 所示。此圖所示之磁力線，指示在各點之磁力方向，而自任一磁鐵依此方法可繪得磁力線條數之多寡並無限制。磁場方向係規定為自由正磁極在磁場中行將移動之方向。

導體載有電流時，其周圍即產生磁場，此磁場亦可由上述之磁針方法繪得之，並知其為以導體為中心之許多同心圓，如圖 1-2 所示。

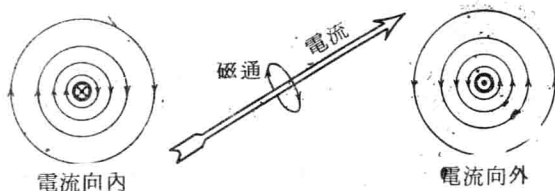


圖 1-2 載電流導體周圍之磁場

普通習慣在導體截面上畫一“ $\times$ ”字代表箭尾，表示電流自讀者流進紙面，畫一“ $\cdot$ ”代表箭尖，表示電流向讀者流來。電流方向與其所生磁場之方向的關係，同於右旋螺絲釘之前進與其扭轉之方向的

關係。

磁力線自 N 極出發，故 N 極類似於正電荷 (Positive charge)，而返回至 S 極，則 S 極類似於負電荷 (Negative charge)。一般依常情判斷，似乎若割開圖1-1所示之條形磁鐵，則必可分成 N 極與 S 極，但事實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1-3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1-3(c)

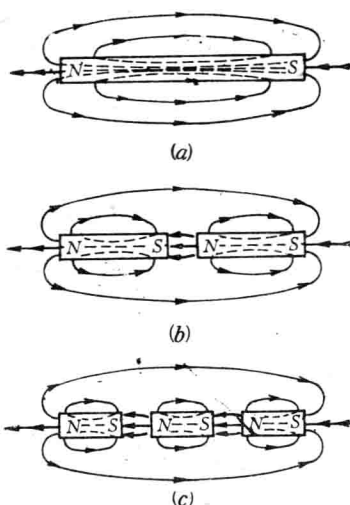


圖 1-3 條形磁鐵割開後之效應

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 N S 二極強度，並不一定與其他斷片之 N S 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，讀者必須區分清楚。

1-2 單位磁極

將一磁棒懸於半空中；而以另一磁棒之 N 磁接近其 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。

庫倫氏曾以一鈕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，則二固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。磁極強度的單位為單位磁極，其定義如下：一磁極在真空中作用於相距 1 米而強度與之相同的另一磁極之力為 $1/4 \pi \mu_0$ 牛頓，則此磁極為一個單位磁極。此處之 μ_0 為真空或空氣中之導磁係數（Permeability），其值為 $4\pi \times 10^{-7}$ 亨利/米或 $4\pi \times 10^{-7}$ 牛頓/（安培）²。如無特別聲明，通常恒假定單位磁極為北極，即正極。

如某一磁極之強度為 m_1 個單位磁極，另一磁極之強度為 m_2 個單位磁極，在真空或空氣中兩磁極相距 r 米，則兩磁極間之相互作用力為

$$F = \frac{1}{4 \pi \mu_0} \frac{m_1 m_2}{r^2} \text{ 牛頓} \quad (1-3)$$

此力為斥力或吸力，端視兩磁極相同或相異而定，通常此亦稱為磁的庫倫定律。

1-3 磁場線圈

將一導線沿一定軸繞成螺旋形之長管，或一多匝線圈所繞成之管狀線圈，稱為螺線管或簡稱螺管（Solenoid），如圖 1-4 所示。當線圈通以定方向之電流，則在管軸平面上磁場分佈的情形，以磁力線表

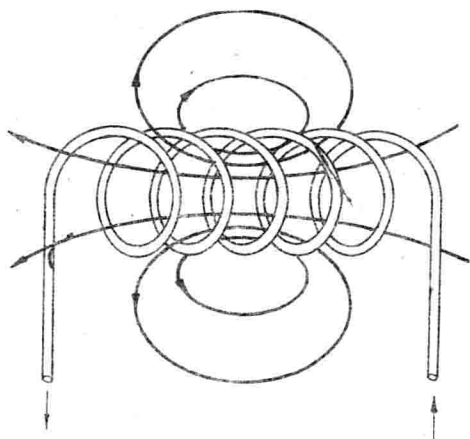


圖 1-4 螺管中電流所生之磁力線

示約如圖 1-4 所示。此可由實驗證實；若灑鐵屑於紙片上，而以螺管之線匝（Turns）穿繞其上，輕輕將紙片彈動，則可得圖 1-4 所示者。任何平面經過線圈之軸者，均可得同樣情形之磁力線分佈。由此可注意到磁力線皆為閉合曲線，且每一閉合曲線均與通電之線圈相鏈（Link）一匝或數匝。

磁力線與通電線圈匝相鏈之情形，以圖 1-5 表示更為清楚。圖中示導線一匝及數磁力線彼此相穿，宛如一鏈條，鏈（Linkage）之名稱，即由此而來。

電流之方向與電流所生磁場之正方向有一定之關係；磁場之正方向，即指一自由正磁極，置於磁力線上時所受作用力之方向。設有一右旋螺絲釘，以釘帽之旋轉依電流之方向，則釘尖移動之方向即磁力線之正方向。尚有他法以決定磁

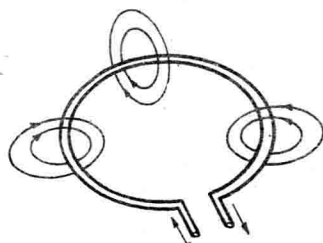


圖 1-5 單匝線圈中電流所生之磁力線

力線與電流方向之關係者如下：(1)若以右手掌握住線圈，使四指順電流之方向，而將拇指伸直，則拇指所指之方向，即磁力線之正方向，即指向 N 極如圖 1-6 所示；(2)若將右手握住導線，拇指順電流之方向，則四指即依磁力線之正方向與導線相鏈，如圖 1-7 所示。此二種法則稱之為安培右手定則 (Ampere's right-hand rule)。

在圖 1-4 中所示之磁力線甚稀少，但已可窺見磁力線之在螺管中者較兩端及四周之空氣中者略多。依試驗結果，螺管內部之磁場強度亦較兩端及外面為大。故由空氣中磁力線之密度，亦可量得磁場之強度。磁場之磁力線可畫無數，但為便利起見，可僅畫數條。

圖 1-4 及圖 1-5 所示之磁場強度的閉合曲線，即稱為磁力線或磁通 (Flux)。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。今設 ϕ 為磁力線 (磁通)， A 為所通過之面積，而 B 為磁力線密度 (Flux density)，則

$$B = \frac{\phi}{A} \quad (\text{高斯}) \quad (1-5)$$

式中，1 高斯等於 1 線 / 1 平方厘米 (Line/cm²)； 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 10⁸ 馬或稱韋 (Weber) 表示之，即

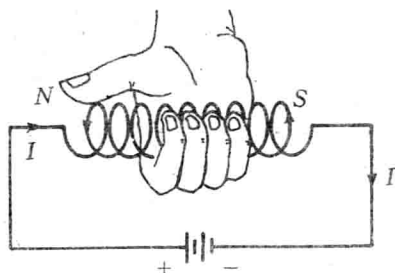


圖 1-6 以安培右手定則判別線圈以電流與其周圍磁場之方向



圖 1-7 以安培右手定則判定長直導線中電流與其周圍磁場之方向