電機機械

編著者

施博豐 蘇炎坤

（全一册）

興業圖書股份有限公司

電機機械

編著者

施博豐 蘇炎坤

興業圖書股份有限公司

版權所有・翻印必究

中華民國六十六年五月二版
中華民國六十七年八月三版

電機機械

編著者：施博豐　蘇炎坤

發行人：王志康

本公司登記證局版台業字第０４１０號

出版版者：興業圖書股份有限公司

發行者：興業圖書股份有限公司

台南市勝利路一一八號

電話：三七三二五三號

郵撥南字三一五七三號

定價壹佰貳拾元

學校團體採用購買另有優待

電機機械

目　錄

第一章　電磁理論簡介

1－1　引　言……1
1－2　磁鐵、磁極及磁性……1
1－3　庫侖定律及磁場強度……2
1－4　磁力線及磁通密度……2
1－5　電流所引起之磁場……3
1－6　磁勢、磁阻及磁路定律……5
1－7　磁化曲線……6
1－8　磁滯及磁滯迴線……7
1－9　電磁感應……8
1－10　載電流導體在磁場所受到之作用力……10
1－11　磁場中之能……10
1－12　磁鐵間之吸引力……11

第二章　直流電機之構造

2－1　概　說……14
2－2　電　樞……15
2－3　磁　極……16
2－4　整流子……17
2－5　電刷與電刷座……18
2－6　轉軸及軸承……19
2－7　雜　項……20

第三章　電機基本原理及電機型式

3－1　發電機之工作原理……21
3－2　電動機之工作原理……24
3－3　電機之型式種類……27

第四章　電樞繞組

4－1　概　說……31
4－2　環狀繞組……31
4－3　鼓狀繞組……32
4－4　搭疊繞組……33
4－5　波狀繞組……38
4－6　均壓連接……43
4－7　多元件繞組……44
4－8　疊繞法與波繞法之比較……48
4－9　蛙腿式繞組……49

第五章　整流及電樞反應

5－1　整　流……54
5－2　直線整流……55
5－3　過速整流與欠速整流……56
5－4　電阻整流……58
5－5　電勢整流……58
5－6　電樞反應……60
5－7　正交磁效應及電樞磁通分佈……61
5－8　閃　絡……62
5－9　去磁電樞反應……63
5－10　電樞反應之對策……65

第六章　直流發電機之特性及應用

此为试读，需要完整PDF请访问：www.ertongbook.com

6－1 發生電勢與端電壓…… 72
6－2 無載飽和曲線…… 74
6－3 場電阻線…… 76
6－4 分激發電機電壓之建立程序…… 76
6－5 臨界電阻及臨界速率…… 77
6－6 發電機電壓建立失敗之原因…… 78
6－7 直流發電機之外部特性…… 79
6－8 電壓調整率…… 84
6－9 圖解法求外部特性…… 85
6－10 各類發電機外部特性之比較…… 92
6－11 轉速對發電機運轉之影響…… 94
6－12 各種發電機之應用…… 95

第七章 直流發電機之運轉

7－1 自激發電機之極性…… 99
7－2 分激發電機在有負載時之電壓成長……100
7－3 負載特性……101
7－4 發電機之並聯運用……104
7－5 分激發電機之並聯運轉……104
7－6 複激發電機之並聯運轉……109
7－7 發電機之電壓控制……110
7－8 具有電壓調節器之發電機並聯運用……113
7－9 三線系統……113
7－10 三線發電機……118
7－11 三線複激發電機之並聯連接法……119

第八章 直流電動機

8－1 發電機與電動機作用之比較……123
8－2 電動機之分類……124
8－3 直流電動機之運用理論……125

8－4 電功率與機械功率……127
8－5 轉矩特性……129
8－6 速率特性……131
8－7 速率調整率……135
8－8 電動機之電樞反應……136
8－9 圖解法求電動機轉速……138
8－10 電動機之不穩定……139
8－11 電動機之最大功率與最大轉矩……140

第九章 直流電動機之控制

9－1 直流電動機之起動……144
9－2 手起動器……146
9－3 起動電阻之決定……150
9－4 控制器……153
9－5 自動起動器……156
9－6 直流電動機之速率控制……157
9－7 直流電動機之轉向控制……162
9－8 直流電動機之制動……164

第十章 直流電機之損失、效率及容量

10－1 電機之功率損失……171
10－2 損失之度量……172
10－3 電機之效率……174
10－4 最大效率……175
10－5 電動機效率之直接量度……178
10－6 全日效率……180
10－7 電機效率之重要性……181
10－8 熱及溫昇……182
10－9 電機之溫度測量……183
10－10 電機之定額……184

10－11 電機之分類……185

第十一章 特殊直流電機之構造及應用

11－1 三刷發電機……188
11－2 盧森堡發電機……189
11－3 旋轉放大機……191
11－4 旋轉控制機……192
11－5 電動發電機……194

第十二章 變壓器

12－1 變壓器之基本原理及功用……196
12－2 變壓器之工作理論及相量圖……197
12－3 變壓器之等效電路……208
12－4 等效電阻及電抗……210
12－5 變壓器常數之測定……213
12－6 變壓器之效率及調整率……216
12－7 變壓器之型式……220
12－8 變壓器之冷却系統……222
12－9 自耦變壓器……223
12－10 變壓器之極性……224
12－11 單相變壓器之連接……226
12－12 變壓器之三相連接……227
12－13 三相變壓器……236

第十三章 多相感應電動機

13－1 序 言……241
13－2 多相感應電動機之原理……242
13－3 二相感應電動機之旋轉磁場……243

13－4　三相感應電動機之旋轉磁場……246
13－5　同步速率與轉差率……249
13－6　轉子頻率與感應電勢及電流……251
13－7　感應電動機之等效電路……253
13－8　性能之計算……257
13－9　運轉轉矩、起動轉矩及最大轉矩……260
13－10　三相感應電動機之無載試驗及堵轉試驗……265
13－11　三相感應電動機之起動……269
13－12　感應電動機之速率控制……273

第十四章 交流發電機

14－1　交流發電機的基本原理及型式……278
14－2　頻　率……281
14－3　電樞構造……283
14－4　磁場構造……285
14－5　電樞線圈……286
14－6　電動勢之產生……295
14－7　節距因數……297
14－8　分佈因數……298
14－9　交流發電機之特性……301
14－10　電樞反應……304
14－11　交流發電機相量圖與電壓調整率之計算……307
14－12　電壓調整率……309
14－13　損失及效率……310
14－14　損失及效率……311

第十五章　同步電動機

15－1　序　言……315
15－2　同步電動機之構造……316

15－3　工作原理……316
15－4　位移角……317
15－5　直流激磁之效應……322
15－6　同步電動機之相量圖……323
15－7　同步電動機之V型曲線……326
15－8　同步電動機之追逐現象及防止法……328
15－9　同步電動機之起動法……329
15－10　以同步電動機改善功率因數……330

第十六章　單相電動機

16－1　單相感應電動機……339
16－2　單相感應電動機之原理……339
16－3　單相感應電動機之起動法與運轉……341
16－4　交單相串激電動機……350
16－5　單相串激電動機之相量圖及運用特性……354
16－6　單相同步電動機……356

第一章

電磁理論簡介

1—1 引言

奧斯特（Oersted） 於公元1820年發現電流的磁效應，翌年即造出第一部原始電動機；而在1831年，法拉第（Faraday） 發現了電磁感應現象，建立了電磁理論之基礎、導致發電機之發明及各種現代電機機械之產生，儘管電機機械有各種不同之形式，但其一般原理仍不外基本電磁理論之擴充與應用而已，因此在學習電機機械之前，先複習電磁理論，將有助於了解。

1—2 磁鐵、磁極及磁性

能吸引鐵屑之物質，稱爲磁鐵，磁鐵依形成方式可分爲天然磁鐵及人造磁鐵；依保有磁性之久暫可分爲永久磁鐵及暫時磁鐵；依外表形狀則可分爲條形磁鐵、馬蹄形磁鐵及磁針；天然磁鐵之主要成分爲四氧化三鐵（Fe_3O_4），而人造磁鐵則爲鐵條磁化而成，用軟鐵所製磁鐵，易失去磁性，爲暫時磁鐵，若用鎢鋼所製磁鐵，可保持磁性較久，則爲永久磁鐵；將磁鐵插入鐵屑中，取出後可見兩端附有鐵屑最多，稱爲磁極（magnetic pole）；將磁鐵懸掛於空中自由旋轉時，其兩極恆靜止於南北方向，指北之極稱爲北極，指南之極稱爲南極；二磁鐵靠近時，有同極相斥，異極相吸之性質，故吾人可將地球視爲一大磁鐵，其磁南極位於地球北極附近，磁北極則位於地球南極附近；將磁鐵分割，其各單元仍爲磁鐵，可見磁極永遠南北極成對產生，磁極不能單獨存在。

在磁鐵之四周，受磁力作用之範圍稱爲磁場（magnetic field），奧斯特發現，電流通過導線，可影響附近磁針之指向，可知電流通過導線時，其周圍產生磁場。

此为试读，需要完整PDF请访问：www.ertongbook.com

1—3 庫侖定律(Coulomb's law)及磁場強度

庫侖於1800年使用細長之條形磁鐵及扭秤做實驗後，推定：「兩磁極間之相斥或相吸之作用力與兩磁極磁量之乘積成正比，與其相互間距離平方成反比」，稱爲庫侖定律，可以下式表示

$$f=\frac{m_1 m_2}{4\pi\mu r^2} \text{ 牛頓} \qquad (1\cdot1)$$

上式中，m_1 與 m_2 爲磁極之磁量，單位爲韋伯(Weber)，r 爲距離，以公尺計算，μ 爲導磁係數(permeability)，其大小視兩極所在之介質而定，在眞空中，其值爲 $\mu_0=4\pi\times10^{-7}$ 亨利／公尺。設兩極在眞空中時其作用力爲 f_0，在其他介質時作用力爲 f，則取 f_0 與 f 之比值稱爲該介質之相對導磁係數(relative permeability) μ_r，即

$$\mu_r=\frac{f_0}{f}=\frac{m_1 m_2}{4\pi\mu_0 r^2}\Big/\frac{m_1 m_2}{4\pi\mu r^2}=\frac{\mu}{\mu_0} \qquad (1\cdot2)$$

在磁場中某點，單位磁量所受到之作用力稱爲該點之磁場強度，設在磁量 M 所造成之磁場中，m 單位磁量所受到之作用力爲 f，則該點之磁場強度 H 爲

$$H=\frac{f}{m}=\frac{M}{4\pi\mu r^2} \text{ 牛頓／韋伯 或 安培／公尺} \qquad (1\cdot3)$$

磁場強度爲向量，其方向爲磁北極之受力方向。

1—4 磁力線及磁通密度

磁場之狀態可用磁力線表示之，磁力線爲在磁場中，甚小磁針之北極自由運動之軌跡，軌跡上某點之切線方向，即爲該點磁場強度之方向，在該點垂直磁力線方向單位面積上所通過磁力線之多寡，可表示該點磁場強度之大小，磁力線之概念爲法拉第所首創，假設有如下之特性：

(1) 磁力線爲封閉之廻線，由 N 極發出，經外部空間，抵達 S 極，再由 S 極經磁鐵內部回到 N 極。

(2) 磁力線本身有縮短之趨勢，線與線間有排斥之作用，故磁力線永不相交。

(3) 磁力線垂直於所遇鐵質物質之表面。

(4) 磁場強度較強處，磁力線較密；磁力線上各點之切線方向，爲各該點磁場強度之方向。

磁量M之磁極在空間所發出通過某面積之磁力線總數，稱爲該面積上之磁通量，以ϕ表示之，某處在單位面積上垂直通過之磁力線數，稱爲該處之磁通密度（flux density），以B表示之，則

$$B=\frac{\phi}{A}\quad \text{韋伯／平方公尺} \tag{1·4}$$

磁通密度與磁場強度有關，其比值即爲導磁係數，故

$$B=\mu H=\mu_0\mu_r H\quad \text{韋伯／平方公尺} \tag{1·5}$$

磁量M之磁極，在全空間所發出之總磁通量數爲

$$\phi=BA=\mu HA=\mu\cdot\frac{M}{4\pi\mu r^2}\cdot A=M\quad \text{韋伯} \tag{1·6}$$

1－5 電流所引起之磁場

(1) 電流與磁場之方向關係：

通有電流導體之周圍，必建立一磁場，該磁場成漩渦狀，以導線爲中心之圓周上各點，均有相同大小之磁場強度，磁場方向與電流方向可用安培右手定則決定，即以右手握導線，以拇指表示電流方向，則其餘四指之指向，即爲磁力線方向，其關係如圖1－1所示。

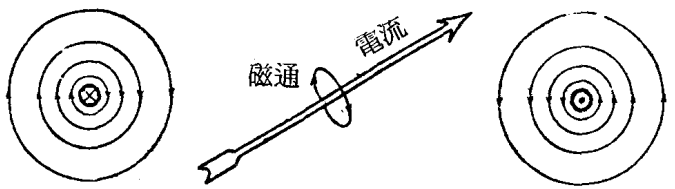

圖1－1　電流與磁場之方向關係

(2) 白奧特薩發爾定律（Biot-Savart Law）：

電流與磁場之關係式，首由白奧特（Biot）及薩發爾（Savart）二氏所創，以數式表出，此定律稱：一導線若通有I安培電流時，其上之一小段元件dl在空間某一點P產生之磁場強度dH_P爲

$$dH_P = \frac{Idl\sin\theta}{4\pi r^2} \text{ 安培／公尺} \qquad (1\cdot7)$$

式中 r 爲 dl 至 P 點之直線距離，θ 爲 dl 與 r 間之夾角，dH_P 之方向爲環繞 dl 軸之圓狀指向，依從安培右手定則。

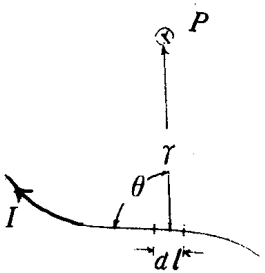

圖 1－2　白奧特薩發爾定律

【例 1·1】 設一直導線通有電流 I，如圖 1－3所示，求距該導線 a 處之磁場強度？

解：由圖 1－3知，

$$dl\sin\theta = rd\alpha$$

$$\frac{a}{r} = \cos\alpha$$

故（1·7）式可改寫爲

$$dH_P = \frac{I\,rd\alpha}{4\pi r^2} = \frac{I\cos\alpha d\alpha}{4\pi a}$$

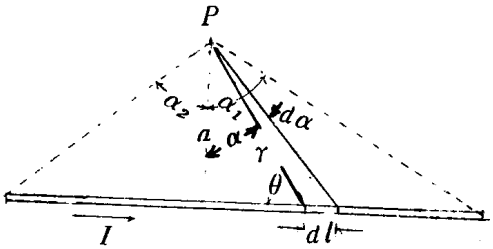

圖 1－3

由上式知，磁場強度爲 α 之函數，設導體右端之 α 爲正，則左端之 α 爲負，故

$$H_P = \int_{-\alpha_2}^{\alpha_1} dH_P = \frac{I}{4\pi a}(\sin\alpha_1 + \sin\alpha_2) \text{ 安培／公尺}$$

若導體甚長，則 $\alpha_1 = \alpha_2 = 90°$，故

$$H_P = \frac{I}{4\pi a}(\sin 90° + \sin 90°) = \frac{I}{2\pi a} \qquad (1\cdot8)$$

【例 1·2】 設半徑爲 a 公尺之圓形電路中，通有 I 安培之電流，試求產生於圓心之磁場強度。

解：$H_P = \oint \frac{Idl\sin 90°}{4\pi a^2} = \frac{I2\pi a}{4\pi a^2} = \frac{I}{2a}$

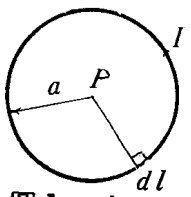

圖 1－4

(3) 安培廻路定律（Ampere's circuital law）：

設有磁量爲m韋伯之磁極，在磁場中受到f牛頓之力，沿磁場方向發生dl公尺之位移，則所作之功dW爲

$$dW=f\cdot dl$$

今定義單位磁極在二點間移動所作之功爲該二點間之磁位降，則

$$du=\frac{dW}{m}=\frac{f}{m}dl=Hdl \text{ 安匝}$$

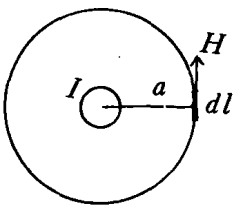

圖 1－5

對單一導體而言，單位磁極繞距導體a之圓周一周所作之功爲

$$u=\oint du=\oint Hdl=H\oint dl=H2\pi a$$

與(1·8)式合併可得

$$\oint H\cdot dl=I \qquad (1\cdot 9)$$

由（1·9）式知，單位磁極環繞一周時，所作之功卽爲該磁極所繞過包圍之電流值，若繞過之電流值爲I_1，I_2，I_3，……，則

$$\oint H\cdot dl=I_1+I_2+I_3+\cdots\cdots=\Sigma I \qquad (1\cdot 10)$$

上式稱爲安培廻路定律。

對一長l具有N匝之螺管，若通以電流I時，由(1·10)式，可得其內之磁場強度爲

$$H=\frac{NI}{l} \qquad (1\cdot 11)$$

1－6 磁勢、磁阻及磁路定律

磁力線之源，稱爲磁動勢（magneto-motive force），磁勢可維持磁力線之存在；磁力線通過之路徑，稱爲磁路；物體反抗磁力線通過之特性稱爲磁阻（magnetic reluctance）。

線圈導線通過電流，可建立磁場，維持磁力線之存在，而磁場強度之大小，則和所通過電流之大小及匝數之多寡有關，因此磁動勢之大小，常以電流大小及線圈匝數之乘積量度之，卽

$$F=NI \text{ 安匝} \qquad (1\cdot 12$$

磁路中之磁通，磁動勢及磁阻之關係類似於電路中之電流、電動勢電阻之關係。由（1·11）式，可得通過螺管之磁通爲

$$\phi = BA = \mu HA = \frac{\mu A}{l} NI = \frac{\mu A}{l} F = \frac{F}{R} \quad \text{韋伯} \qquad (1\cdot13)$$

式中，$R = \dfrac{l}{\mu A}$與電路中之電阻 $R = \dfrac{\rho l}{A}$相似，稱爲磁阻。

（1·13）式之關係可廣泛應用於磁路之計算，稱爲磁路定律。因 $R = \dfrac{F}{\phi}$，故磁阻之單位可寫爲安匝／韋伯。

磁路與電路雖極相似，但仍有其相異之處，其主要者有下列二點：

(1) 電路中之電流，由運動之帶電質點所構成，而於磁路中，則無運動之物質存在。

(2) 在電路中，不論電流之穩定與否，恆有熱能產生於導體中，而在磁路中，當磁通穩定時，並無熱量產生。

(3) 在電路中，可用良絕緣體阻止電流之通過，而磁路中，則無特佳之絕緣體阻止磁通之通過，故磁通甚難限制於某磁路內。

1—7 磁化曲線

圖1—6表示磁化力與磁通密度之關係曲線，因其表示鐵磁物質之磁化性質，故稱爲磁化曲線（Magnetization curve），磁化力爲單位長

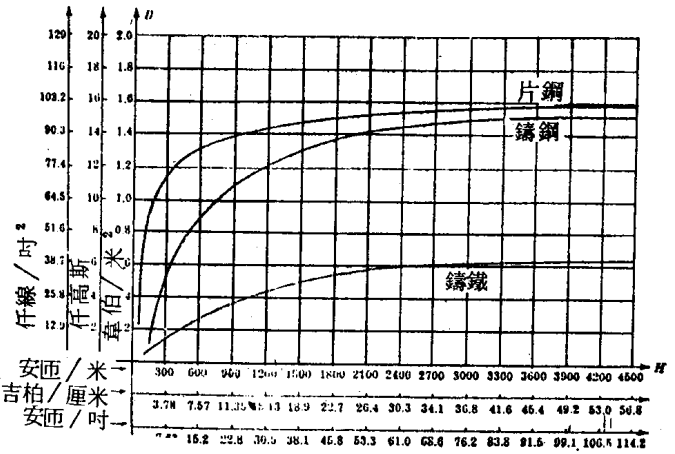

圖1—6 磁化曲線

度之磁通勢，又稱爲磁場強度H，故磁化曲線又稱爲$B-H$曲線，在鐵磁物質中，磁通密度不與其磁通勢成正比，在低磁通密度時，磁通密度隨磁通勢之增加甚速，爲直線關係，在高磁通密度時，雖磁通勢增加，但磁通密度增加極緩，則謂該物質已近飽和狀態，所有鐵磁物質均有飽和現象。至於在空氣及其他非磁性物質中，磁通密度與磁通勢成正比例，故其磁化曲線爲一通過原點之直線。

1—8 磁滯及磁滯廻線

如圖1—7所示，施一磁化力於完全去磁之磁性物體上，當磁化力由零增至oa'時，磁通密度沿oa線上昇，今若減低磁化力，則磁通密度不沿ao線減低，僅沿ab線降落，此種磁通密度變化較磁化力變化遲緩之現象，稱爲磁滯（hysteresis），當磁化力減至零，其磁通密度並不降至零，此剩餘之磁通密度ob謂之剩磁（Residual magnetism），若欲剩磁降至零，必須施以反反向之磁化力oc，此oc稱爲矯頑磁力（Coercive force），若反向磁化力續增至d'點時，磁通密度沿cd線變化，此時將負磁化力減低，則磁通密度沿de變化，oe稱爲反向剩磁，必須施以正向之矯頑磁力of，則可去此反向剩磁，當正磁化力達oa'時，磁通密度又重返原值$a'a$，此一磁化循環所得之磁化廻路$abcdefa$，稱爲磁滯廻線（hysteresis loop），磁滯之現象係由分子間之摩擦引起，故可表示能量之損耗，廻線之閉合面積可表示每一循環所消耗之能量，磁滯損失可用史坦美茲（Steinmetz）實驗方程式求得。設P_h爲磁滯損失，則

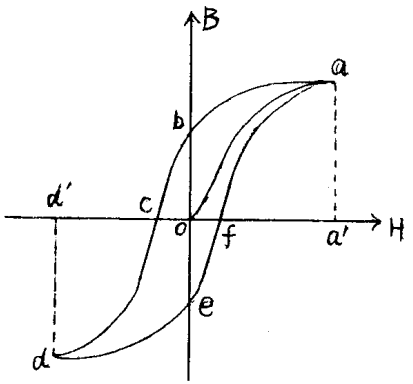

圖1—7　磁滯廻線

$$P_h = K_h f B_m^{1.6} V \qquad (1\cdot14)$$

式中，K_h爲一常數，其值視鐵磁物質之化學成分及其熱處理及機械處理之情況而定。

此为试读，需要完整PDF请访问：www.ertongbook.com