

特殊電機

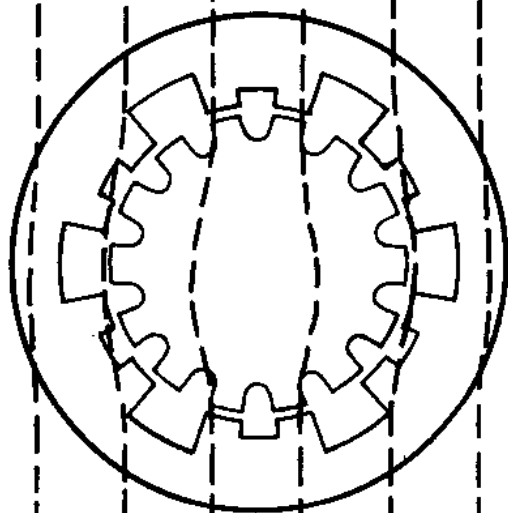
許溢适 編譯



全華科技圖書公司印行

特殊電機

許溢适 編譯



全華科技圖書公司印行



全華圖書 版權所有 翻印必究
局版台業字第0223號 法律顧問：陳培豪律師

特殊電機

許溢造 編譯

出版者 全華科技圖書股份有限公司
北市龍江路76巷20-2號
電話：581-1300・564-1819
581-1362・581-1347
郵撥帳號：100836

發行者 蕭 而 鄭
印刷者 欣瑜彩色印刷廠
定價 新臺幣 120 元
再版 中華民國71年7月



序

電子與自動控制最近的進步非常快，不用說這些機器所使用的精密小型電動機技術也有很大的進步。本書就是寫這些方面的教材。

過去大學、專科學校及工業學校電機機械的課程，重點放在大型的動力用機器。但今日這些學生畢業後所遭遇的問題大都為電子機械用的小型電動機。

小型電動機及其控制的高度技術所採用的方面為太空、軍事及航空方面。相對轉向工商界方面使用於計測器，電子計算機周邊端末部，事務機械及情報機器等使用很多精密小型的電動機。這些技術將更為普通化，相信廣用於家庭電氣機器為期不遠。在日本相當一家庭的小型電動機使用數已達四、五十台。其中包括磁帶錄音機，如VTR 的高度控制技術應用機器已可看出發展的傾向，不久的將來其傾向會更加顯著。

傳統的教科書皆以電機機械的理論或設計方面的理論為主來說明。本書針對使用方面與學生諸君讀者的大半來執筆。因此除第六章，電動機及其理論不依照數式作定性上的說明。

現在所利用的小型電動機種類很多，主要有永久磁鐵式的直流電動機、交流電動機（同步及非同步式）的一部，無電刷電動機以及步進電動機。按其順序說明到第四章。第一章的後半由控制理論方面，說明直流電動機的轉移函數與各種時間常數的解說。此將電動機利用作系統的一部分時，基本上非常重要的事項。如跳過讀到第四章，安排使能理解小型電動機技術的全貌。

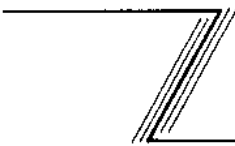
第五章為電動機的速度控制，解說使用位置控制時系統設計法的具體例。

本書電動機作用的轉動力，利用磁力線彎曲的想法作定性上的說明。但年輕的學生中，相信有欲定量上的完全說明。第六章電動機的電氣力學就是針對此點來寫的。此為著者過去10年間完成理論的一部分，也許與普通的說明法不同。但按照此種能良好說明磁滯或飽和的種種影響，相信對設計的專家也許可作為參考。

脫稿的現在，因時間的限制與著者力量的不足一些不得不省略掉。例如現在基礎研究階段，具有將來實用化可能性的電動機，又系統設計的溫度上升問題，各種噪音問題等。有關這些希望將來有機會說明。

1977年4月

著者



譯 者 序

近年科技的進步非常驚人，工程人員所負的責任也愈來愈重大，譯者曾在日本三菱電機，三菱重工研究實習一段時間，覺得日本的讀書風氣很盛，研究精神值得國人效法，平時閱讀一些有關日文的科技書籍選擇一些較好者試譯成中文供我國工商界及學生參考閱讀，如能對國家社會有一點貢獻就達到譯者的願望。

本書如原著者所述重點並非放在大型的動力用機器。而是近年發展使用很多用於電子與自動控制的小型精密電動機。目前市面上有關這些資料不多，相信對國內的工程界有相當參考的價值。

譯者所用名詞皆為工程界常用之名詞，或教育部公佈的標準電機工程名詞，有些為譯者試譯。

譯者所知有限，大膽試譯疏誤之處在所難免，尚祈學者先進賜予指正

許淦适 謹識於台北

目 錄

第一章 直流電動機

1-1 直流電動機的基本構造與種類	1
1-1-1 轉子與定子	1
1-1-2 磁場與電樞	1
1-1-3 電磁鐵電動機	2
1-1-4 永久磁鐵電動機	3
1-1-5 槽形	5
1-1-6 無槽形	5
1-1-7 動圈形	6
1-1-8 盤形	6
1-1-9 印刷形	7
1-2 直流電動機的原理	9
1-2-1 左手定則	9
1-2-2 轉矩常數	10
1-2-3 反電動勢常數與右手定則	10
1-2-4 轉矩對速度特性	12
1-2-5 電刷與換向器	13
1-2-6 轉流與整流	14
1-3 選定與實裝諸問題	14
1-3-1 緒言	14
1-3-2 電樞、電感與電氣時間常數	14

1-3-3	減磁	15
1-3-4	電樞構造與電感	16
1-3-5	黑鉛電刷與換向器表面	17
1-3-6	貴金屬電刷	19
1-4	直流電動機的轉移函數與諸常數	19
1-4-1	電氣時間常數	19
1-4-2	機械時間常數	21
1-4-3	轉移函數的諸形式	24
1-4-4	包含負載的轉移函數	26
1-4-5	機械時間常數小較好	27
1-4-6	功率比率	27
1-4-7	靜特性與轉移函數	28
1-4-8	諸係數比較	29

第二章 交流電動機 35

2-1	基本構造	35
2-1-1	內轉子形	35
2-1-2	外轉子形	35
2-1-3	定子的作用——產生轉動磁場裝置	36
2-1-4	同步速度	37
2-1-5	轉子的各種構造與電動機的名稱	38
2-2	轉矩發生的原理	40
2-2-1	只BIL不充分	40
2-2-2	磁化產生轉矩及其性質	42
2-2-3	磁力線產生張力的統一解釋	43
2-3	非同步電動機	44
2-3-1	鼠籠形感應電動機	44
2-3-2	塊狀鐵心電動機	46
2-3-3	表面導體電動機	48

2-3-4 套杯電動機	49
2-3-5 混合形	50
2-4 同步電動機	50
2-4-1 磁阻電動機	50
2-4-2 永久磁鐵電動機	52
2-4-3 磁滯電動機	53
2-5 轉動磁場的形成與運轉方式	63
2-5-1 利用直流電源與反用變流器的運轉	63
2-5-2 單相電容器運轉	69
2-6 感應電動機的轉移函數	72

第三章 無電刷電動機 75

3-1 無電刷電動機	75
3-2 3相電橋形電動機	76
3-3 跟直流電動機的關係與比較	78
3-3-1 動圈形式的無電刷電動機	78
3-3-2 轉矩特性的比較	79
3-3-3 轉矩常數與反電動勢常數	79
3-3-4 轉流的機構	80
3-3-5 位置檢出的方法	82
3-4 一方向通電形電動機	84
3-5 霍耳電動機	85
3-5-1 霍耳元件與霍耳效應	85
3-5-2 霍耳電動機的基本原理	86
3-5-3 附速度控制機構的霍耳電動機	89

第四章 步進電動機 93

4-1 步進電動機	93
4-2 原理與基本形式	95

4-2-1	VR形步進電動機	96
4-2-2	步進角使小	97
4-2-3	VR形電動機的定量性研究	99
4-2-4	monofilar 捲與 bifilar 捲	102
4-2-5	單層分佈形與多段形	103
4-2-6	hetero-polar 形與 homo-polar 形	104
4-2-7	PM形步進電動機	104
4-2-8	混合形步進電動機	105
4-2-9	線形步進電動機	106
4-3	各相步進電動機的運轉方式與應用	108
4-3-1	激磁方式	108
4-3-2	運轉迴路	112
4-4	步進電動機的閉環運轉	117
4-5	步進電動機特性有關名詞	120
4-6	VR形與混合形及直流電動機的比較	121
4-6-1	直流電動機的步進驅動	122
4-6-2	直流電動機的PLL控制與步進電動機	126
4-6-3	發生轉矩的比較	127

第五章 小形電動機的反饋控制 131

5-1	直流伺服電動機的速度控制	131
5-1-1	方塊圖的考慮法	131
5-1-2	定量性的表示法	134
5-1-3	速度如何確定	136
5-1-4	有關速度變動	137
5-1-5	波德線圖的研究	140
5-1-6	載波頻率的影響	144
5-1-7	伺服系統的安定判別	145
5-1-8	相位補償	145

5-1-9 伺服迴路的改善	146
5-2 感應電動機的速度控制	149
5-3 直流伺服電動機的位置控制	149
5-3-1 基本的考慮法	149
5-3-2 利用速度反饋的安定化	151
5-3-3 運轉迴路的一例	152
5-4 頻率控制與相位控制 (PLL) 的比較	153

第六章 電動機的電力學 155

6-1 電磁學上的力	156
6-1-1 基本式	156
6-1-2 線形與非線形	158
6-1-3 式 6-1 包含所有的非線形	159
6-1-4 電磁電動機與靜電電動機	159
6-1-5 磁分極 (磁化) 產生力的表示	160
6-2 轉矩的表示	161
6-2-1 基本式	161
6-2-2 非凸極形的轉子	162
6-2-3 線形的情形	163
6-2-4 凸極形轉子的處理法	164
6-3 轉矩的面力表示	165
6-3-1 體積力與面力	165
6-3-2 磁力線傾斜產生轉矩	168
6-3-3 橡皮繩的原理需要注意	169
6-4 利用 Poynting 向量的研究	169
6-4-1 Poynting 向量 $E \times H$	169
6-4-2 Poynting 定理的適用	170
6-4-3 迴轉轉子的情形	171
6-4-4 轉矩的面力表示 (包含靜電力時)	173

6-4-5 輸送機械能的能量向量	174
6-5 利用 Stieltjes 積分磁化轉矩的解析	174
6-5-1 Stieltjes 積分	174
6-5-2 週期 Stieltjes 積分的應用	176
6-5-3 磁滯電動機	178
6-5-4 步進電動機	182
附錄 I 單位換算表	189
附錄 II 實用計算式	191

1

直流電動機

1-1 直流電動機的基本構造與種類

1-1-1 轉子與定子

電動機不問其種類必定由轉子與定子所組成。轉子 (rotor) 如文字指轉動部分。相對靜止側為定子 (stator) 。電動機為機器的一部分使用時，定子利用螺絲固定在機器。

1-1-2 磁場與電樞

直流電動機的基本構成，如圖 1-1 所示由磁場 (field) 與電樞 (armature) 所組成。轉子與定子為機械上的關係，負電氣上的任務為磁場與電樞。

磁場也稱為激磁，有為要得到轉矩供給必要磁通的任務。電樞由一種的線圈組成。線圈的導體配置於圓筒狀鐵心 (core) 的周邊，或埋入槽中

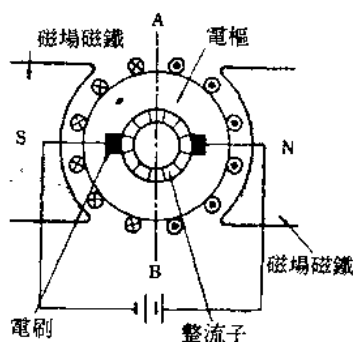


圖1-1 磁場與電樞

。電樞導線所流的電流與磁場磁通的互相作用產生轉矩，電樞轉動。

直流電動機有下列的關係：

磁場……………定子

電樞……………轉子

但第三章的無刷電動機，此種關係變相反：

磁場……………轉子

電樞……………定子

1-1-3 電磁鐵電動機

磁場使用電磁鐵的方式。圖1-2表示實例。與下面所述的永久磁鐵電動機比較有如下之優點：

○無滅磁的憂慮

相反有下列的缺點：

×磁場消耗電力

×電氣上的時間常數大（參照1-4-1項）



圖1-2 直流電動機的分解照片

1-1-4 永久磁鐵電動機

磁場使用永久磁鐵作成的方式小形電動機以及電子用電動機的大半漸漸改用永久磁鐵電動機。所用永久磁鐵材料主要如Alnico 的鑄造磁鋼肥粒鐵（氧化物磁鐵）以及釷（Sm）· 鈷（SmCo₅）所代表的稀土類磁鐵。

此3系統的磁材料如圖1-3所示，B-H 特性有很大的差別。故依各磁鋼，其形狀與電動機內的配置不同。茲舉出其代表性者。

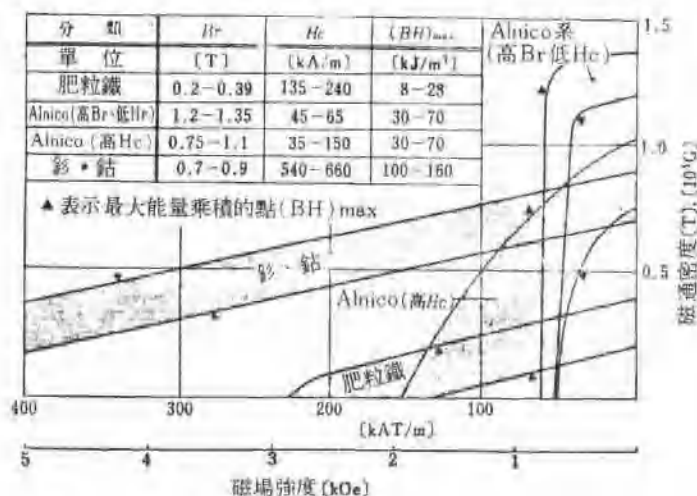


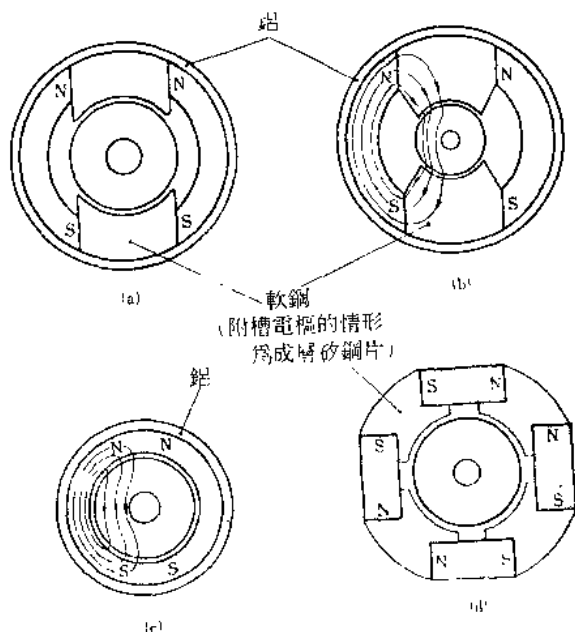
圖1-3 各種磁鋼群的磁化特性

- (1) Alnico 合金磁鐵：此種磁鋼的特色為可得高磁通密度，相反頑磁力

H_c 低。因此長的方向着磁使用。圖 1-4 表示磁場系統的代表性例。
(a)~(c)爲 2 極，(d)爲 4 極的例。

- (2) 肥粒鐵：此種磁性材料的特色代替低磁通密度，頑磁力高。又因價錢便宜故爲普及品。頑磁力高的關係厚度方向的着磁可能，如圖 1-5 所示的磁場系統。
- (3) 釷 (Sm) 鈷：此種磁性材料，剩磁與頑磁力雙方皆高爲其最大的特色，符合經濟的最高級材料。但初期的價錢並非十分便宜，最初開發作爲飛機用及軍事用的伺服電動機以及電子計算機用的電動機，其後利用範圍慢慢變廣。

稀土類磁鐵因極高的頑磁力，能比肥粒鐵更薄的形狀。又爲要得高磁



- (a) 使用分段軟鋼的例
(b) 轉子轉動量小的情形
(c) 使用環狀磁鋼的微電動機例
(d) 使用直方體形磁鋼的 4 極構造

2 極構造

註：轉子如爲槽形以外者，絕緣成層部分，使用塊狀軟鋼也可以。

圖 1-4 使用 Alnico 磁場系統例

通密度，後面所述的電樞能如同 Alnico 時的考慮法來設計。

跟肥粒鐵電動機比較，釷・鈷電動機的基本性能為同一形狀，能得下面的改善。

轉矩……………約 1.5 倍
 最大輸出……………約 2 倍
 機械上時間常數……………約 0.5 倍
 電氣上時間常數……………約 0.7 倍 (參照 1-4 節)

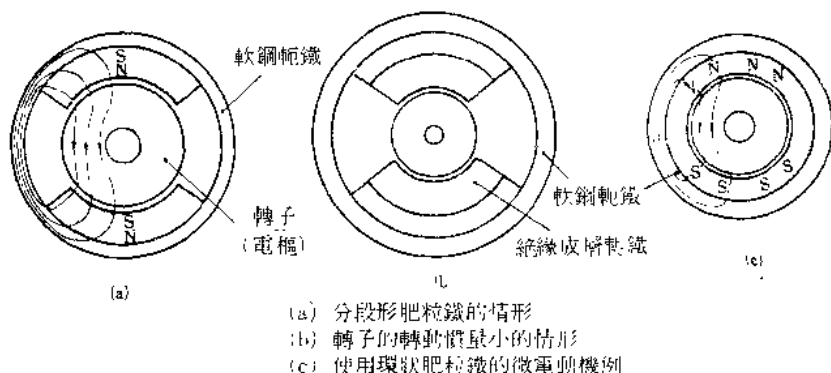


圖 1-5 使用肥粒鐵的磁場構造例

1-1-5 槽形 (Slotted type)：其次說明電樞的構造

古時的構造最容易工作者如圖 1-2 所示，其截面圖如圖 1-6(a) 所示槽中納入線圈。

- (1) 依迴轉中的磁阻變化有迴轉損失，此稱為 Cogging。
- (2) 電氣上的時間常數大 (參照 1-4-1 項)
- (3) 電刷與整流子間容易發生火花 (參照 1-3-3)。

1-1-6 無槽形 (Slotless type)：其實例如圖 1-7 所示

截面如圖 1-6(b) 所示圓筒形絕緣成層鐵心的圓周導體用樹脂封住。也有電樞使細而成無槽形而稱為小慣性電動機者 (圖 1-7)。