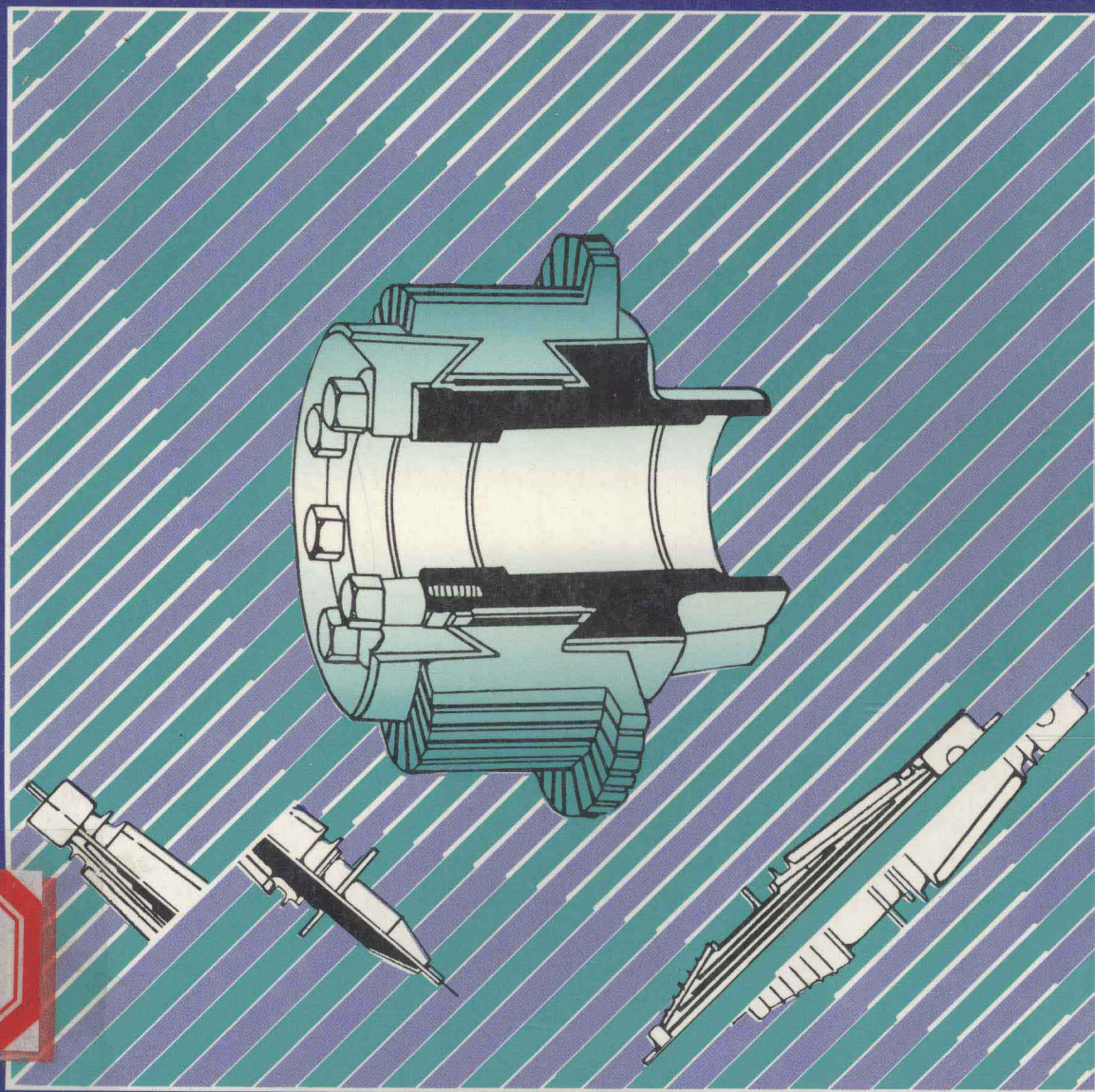


電機設計

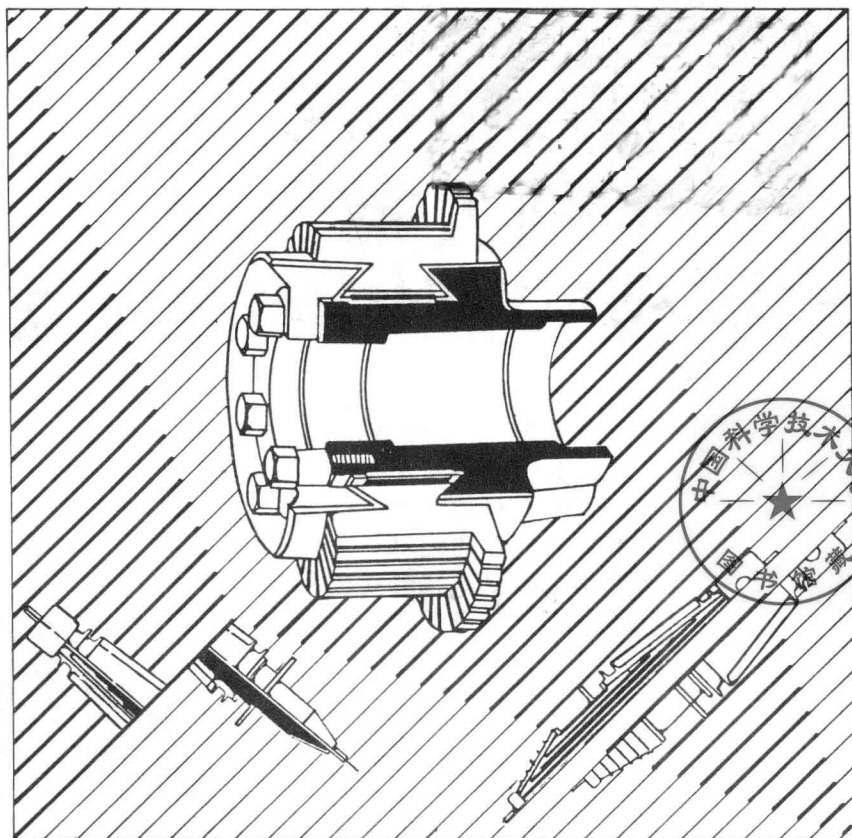
何清佳 編著



全華科技圖書股份有限公司 印行

電機設計

何清佳 編著



全華科技圖書股份有限公司 印行



全華圖書

法律顧問：陳培豪律師

電機設計

何清佳 編著

出版者 全華科技圖書股份有限公司

地址 / 台北市龍江路76巷20-2號2樓

電話 / 5071300 (總機)

郵政特准掛號 / 0100836-1號

發行人 陳 本 源

印刷者 宏懋打字印刷股份有限公司

電話 / 5084250 • 5084377

門市部 全友書局(黎明文化大樓七樓)

地址 / 台北市重慶南路一段49號7樓

電話 / 3612532 • 3612534

定 價 新台幣 225 元

二版 / 78年11月

行政院新聞局核准登記證局版台業字第〇二二三號

版權所有 翻印必究

圖書編號 0221871

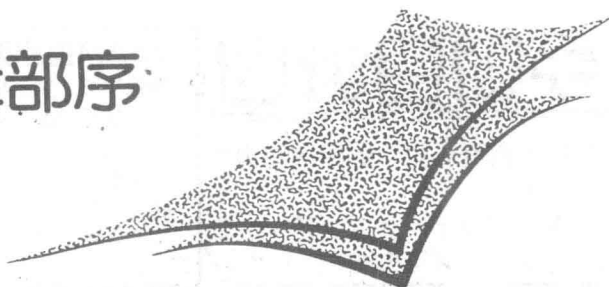
我們的宗旨：

提供技術新知
帶動工業升級
為科技中文化再創新猷

資訊蓬勃發展的今日，
全華本著「全是精華」的出版理念
以專業化精神
提供優良科技圖書
滿足您求知的權利
更期以精益求精的完美品質
為科技領域更奉獻一份心力！

為保護您的眼睛，本公司特別採用不反光的米色印書紙！！

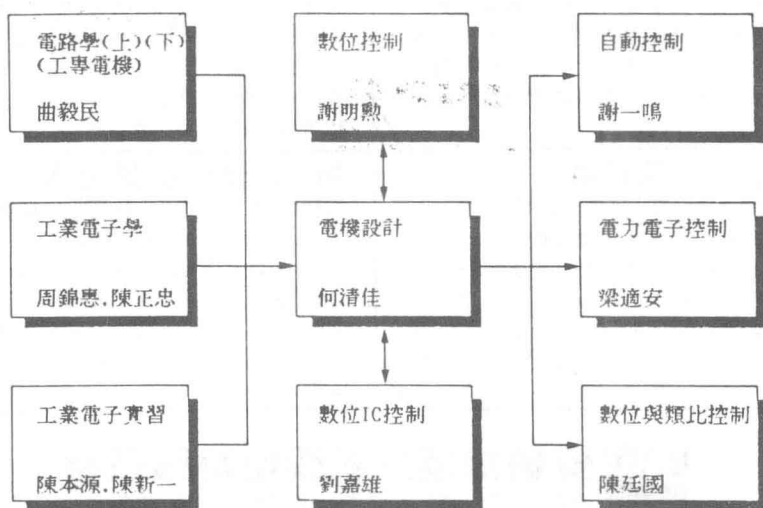
編輯部序



「系統編輯」是我們的編輯方針，我們所提供給您的，絕不只是一本書，而是關於這門學問的所有知識，它們由淺入深，循序漸進。

瞭解電機設計，必須瞭解電機的原理，而從事設計工作更有助於原理的瞭解。爲了幫助初學者瞭解原理之來源與意義，本書在重要應用式上儘可能以引導的方式做一詳盡的說明，內容包含電機材料、變壓器設計、單相感應電動機設計、直流機設計及同步機設計等，讀者讀完本書，必能對電機設計得到一全盤的瞭解。

同時，爲了使您能有系統且循序漸進研習這一方面的叢書，我們以流程圖方式，列出各有關圖書的閱讀順序，以減少您研習此門學問的摸索時間，並能對這門學問有完整的知識。若您在這方面有任何問題，歡迎來函連繫，我們將竭誠爲您服務。



電子新書介紹

- 郵購九折、書友八折、郵撥請附掛號費以免遺失
- 購書一本加寄20元、2本30元、3本40元、4本以上50元掛號費

RS-232C技術詳解與應用

編號1810 白中和 編譯/190元

本書特色為理論與實際並重；以實例來輔助說明，使讀者易於掌握重點；對RS-232-C的優缺點及其對策有詳細的解說，並進而提出解決問題的新方式。適合高工、大專學生及微電腦通信人員研讀。

大易中文輸入精解

編號1902 陸麗花 編著/180元

本書乃國內第一本詳解大易中文輸入法，融合了MS-DOS及中文系統，列舉PE2操作實例，並檢附大易字典檔，還附錄有關電腦公會檢定要項和範例練習數篇；是您學習中文輸入的最佳良伴。

IBM PC BASIC程式設計

編號1879 陳文淵 編著/260元

本書加強了BASIC之各種功能、指令、函數及結構化觀念，從硬體架構到BASIC程式設計皆有詳盡的介紹，於每個指令和繪圖功能介紹後，均附有範例說明，適合初學者及程式設計者做為參考書籍。

Prolog入門與應用

編號1829 林明政 編著/260元

本書是以邏輯程式設計觀念介紹Prolog的應用，並說明其基本資料結構、語意語法，及利用Prolog表示語意網路、框架及物件為主程式之設計方法。適合已熟知一種以上高階語言及對人工智慧有興趣的讀者研讀。

VSAM指引與技術手冊

編號1535 吳榮樹 編譯/240元

VSAM是一個優越的檔案管理系統，它提供了多種設備、選擇性參數與特性。本書除介紹VSAM的基本功能外，更包含DOS及OS兩種作業環境，並附有程式範例，適合學生及資料庫設計人士使用。

線性放大電路(II)

編號1884 吳顯堂 編譯/160元

本書除了剖析實用的振盪電路和AM、FM、PM調變及其解調原理外，並介紹聲音多重廣播和光纖通訊等較先進的電子技術。適合從事電子的工作者和高工電子相關科系學生，做為入門的學習資料。

8051單晶片微電腦

編號1839 陳瑞龍 編譯/220元

本書詳盡介紹8051單晶片的內部結構、指令集、程式規劃技巧及一些硬體電路設計實例；並附錄Intel 8051族系元件之規格，以供讀者從事實際設計時的參考。適合從事各類控制及電路設計者使用。

計算機導論

編號1891 楊正甫 編著/220元

楊博士乃是國立技術學院資訊管理系主任，楊博士將其多年來對計算機方面的鑽研及教學經驗凝聚成本書，內容除了探討電腦基本概念外，並介紹目前電腦最新發展趨勢，理論與實際並重，是電腦初學者最佳的入門參考書籍。

數位計算機原理與設計

編號1794 張文村、林國仁 編譯/260元

本書是由M. Morris Mano 所著「Computer Engineering Hardware Design」一書編譯，內容附有大量的圖表與範例，深入淺出的闡述數位邏輯基礎理念與應用技術，對於初學者而言，是最佳的入門好書。



全華科技圖書股份有限公司

台北市龍江路76巷20-2號2樓(台北總公司)

電話:5071300 FAX:506-2993 郵撥:0100836-1

目 錄



1

緒 論 1

1-1	電機設計概說	1
1-2	電機材料	2
1-2-1	導電材料	2
1-2-2	等磁材料	4
1-2-3	絕緣材料	25
1-3	絕緣材料之性質	41
1-3-1	絕緣耐力	41
1-3-2	介質常數與介質損失	42
1-3-3	絕緣電阻與洩漏電阻	43
1-3-4	絕緣劣化與溫度	44
1-4	電機絕緣安全之近似值	46
	習題一	51

2

變壓器設計 53

2-1	概 說	53
2-2	鐵芯與繞組之設計	57
2-2-1	磁通密度與鐵損	57
2-2-2	鐵芯形狀與尺寸	59
2-2-3	電流密度與銅損	62
2-2-4	鐵芯窗與銅線體積率	64
2-2-5	體積與容量之關係	68

2-3	激磁電流與漏磁電抗	69
2-3-1	激磁電流	69
2-3-2	漏磁電抗	71
2-4	電壓變動率	75
2-5	損失與效率	77
2-5-1	損失	77
2-6	套管、冷卻方式、變壓器之由來	79
2-6-1	套管	79
2-6-2	冷卻方式	81
2-6-3	變壓器油	84
2-7	溫升與油節、油量設計	85
2-7-1	溫升限度	85
2-7-2	油箱設計	87
2-7-3	油量計算	90
2-8	捲鐵型鐵心設計實例	94
	習題二	105

3

感應電動機設計 107

3-1	感應機分類、構造及材料	107
3-1-1	感應機分類	107
3-1-2	感應電動機之構造材料	118
3-2	輸出與轉速之標準化	121
3-3	電動機裝荷之分配	123
3-4	定子磁極及其繞組之設計	129
3-4-1	定子內徑與積厚	129
3-4-2	槽、線徑與氣隙寬	135
3-4-3	定子外徑	141
3-5	各型轉子及其繞組設計	142
3-5-1	線繞式轉子繞組設計	142
3-5-2	鼠籠式轉子繞組設計	143

3-5-3	轉子鐵芯設計	146
3-6	等效電路 - 阻抗與損失	151
3-6-1	等效電路	151
3-6-2	線繞式電動機之繞組電阻與銅損	152
3-6-3	鼠籠式電動機之繞組電阻與銅損	153
3-6-4	繞組漏抗	155
3-6-5	激磁電流	157
3-6-6	鐵損失	157
3-6-7	機械損失	160
3-6-8	零載有功電流	160
3-7	溫升與散熱	163
3-8	啓動電阻器	164
3-9	利用圓線圖估量感應電動機之特性	166
	習題三	169

4

同步機設計 171

4-1	同步機之構造	171
4-1-1	同步機之分類	171
4-1-2	電 樞	172
4-1-3	磁 極	172
4-1-4	場 幅	174
4-2	電樞及其繞組設計	174
4-2-1	電樞繞組設計	174
4-2-2	繞組匝數與電樞尺寸	179
4-2-3	電樞槽與等線	183
4-2-4	電樞外徑	186
4-3	磁極與磁場繞組設計	187
4-3-1	氣隙寬度	187
4-3-2	激磁安匝	189
4-3-3	磁極鐵芯	192

4-3-4	磁場繞組	196
4-4	損失與溫升及效率之計算	200
4-4-1	同步機之損失	200
4-4-2	溫升計算	201
習題四		203

5

直流機設計 205

5-1	直流機構造	205
5-1-1	磁極	206
5-1-2	換向器	207
5-1-3	電樞與電樞繞組	208
5-2	設計之步驟	222
5-3	主要尺寸之決定	223
5-3-1	極數 P 之決定	223
5-3-2	每極磁通量之決定	224
5-3-3	電樞繞組串聯導體數之決定	226
5-3-4	百流機中電比裝荷 (ac) 與磁比裝荷 (Bg) 取值之大小	227
5-3-5	電樞直徑 D 與鐵芯積厚 l 之決定	227
5-4	電樞及其繞組之設計	230
5-4-1	電樞導體截面積與電流密度	230
5-4-2	導體與槽絕緣	231
5-4-3	槽形狀與槽尺寸	232
5-4-4	電樞內徑 D_i	233
5-4-5	換向器之構造與碳刷	235
5-5	主磁極及其繞組之設計	236
5-5-1	主磁極通	236
5-5-2	電樞反應及氣隙氣長度	237
5-5-3	激磁安匝	238
5-5-4	磁極尺寸	240

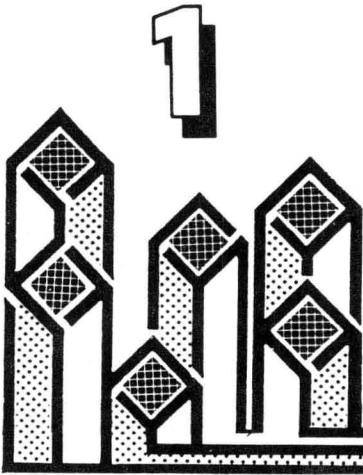
5-5-5	磁場繞組設計	242
5-6	換向磁極及補償繞組設計	245
5-6-1	換向磁極	245
5-6-2	補償繞組之設計	248
5-7	損失效率與溫升之計算	248
5-7-1	損失與效率	253
5-7-2	溫升	253
	習題五	255

6

單相感應電動機設計 257

6-1	繞組佈置方式	257
6-1-1	磁通分佈	257
6-1-2	繞組分配	260
6-2	主磁極繞組設計	265
6-2-1	主繞組設計	265
6-2-2	定子鐵芯設計	268
6-3	轉部設計	270
6-3-1	氣隙長度可依 Kuhlman 數較提出之換算公式計算之	270
6-3-2	轉子設計	271
6-4	啓動繞組設計	273
6-4-1	電阻分相式電動機啓動繞組設計	273
6-4-2	電容啓動式電動機輔助繞組設計	274
6-5	漏磁電抗與磁化電流	275
6-5-1	磁化電抗	275
6-5-2	漏磁電抗	277
6-6	等效電路與運轉特性	277
6-6-1	等效電路	277
6-6-2	定子繞組電阻	278
6-6-3	轉子繞組電阻	279

6-6-4	運轉特性	280
6-7	啓動特性	281
	習題六	283



緒 論

1-1 電機設計概說

隨著動力設備之多樣化，電機設備之應用範圍不斷擴充，電力設備之使用環境遂不斷複雜化。因環境之變化，使用條件之改變，電機設備之性能要求也就更不一致；設計之電機也就不能滿足各項條件，而只能以常態要求做為考慮。對特定要求之性能只能根據經驗，以及實作試驗之性能，加以修正，使其符合現實之需要，遂行設計之目的。

隨著新材料的不斷問世，使用者對電機性能要求的態度，產生了以性能取勝或成本至上的不同概念。當然，要求較低的成本，必致性能因而降低；如欲提高性能，則成本必致上升。電機設備除供動力電力之應用外，也供應給許多小工具及電器使用，這些小器具如供給家庭用，則性能要求為其次，降低成本為其追求之目標。效率，對一般家庭實不具甚大之意義，而不必修理，用壞即丟的觀念逐漸形成，因此成本之降低，才是此方面應考慮的方向。但對動力用及大型電具，應在效率上及壽命方面着手。

初期電機材料不甚發達，欲遂行其運轉之目的，常使用較多的導電材料及導磁材料，使其以較低的損失或發熱量運轉，因其具有較笨重的體型而有較佳的散熱能力，且使用耐溫能力較差的纖維材料為其絕緣，因此運轉中的電機外殼，呈現較低之溫度，可謂之冷電機。

2 電機設計

現今絕緣材料及清漆之耐溫能力大為提高，容許在較高溫度之環境下使用，導磁材料與導電材料性能之提昇，有助於縮小電機尺寸，散熱效果減低，使運轉中之電機外殼呈現出較高溫度，可謂之熱電機。

此種電機尺寸之小型化，如無適當之規範，易導致尺寸之混亂，減低電機之互換性，使機械設備所需電動機之備份增加，致庫存量增加、成本提高。故電機尺寸之規格化或標準化，乃促成國際化之動力。況且標準化之動機，其型式統一、種類單純化，得以大量生產，降低成本。

對效率之追求，各國並無硬性之規定。原則上效率愈高愈佳，但如效率之增加，需由大量的工料來替代，以致成本大增，殊無意義，故效率之高低，仍得以成本為考量之依據。

過去的電機設備對電壓調整率力求降低，但因調壓裝置之普遍化，也就不太過份要求，甚至要求有稍高之電壓調整率，何以故？

過去因線路容量小，阻抗大，短路故障電流較小；隨著工業蓬勃發展，用電能量激增，用電設備及線路容量大增，阻抗減小，如線路發生短路故障，造成極大之短路電流，使線路保護設備之短路容量也應隨之增大，如以稍高之電壓調整率當可獲得某些優點。

1-2 電機材料

1-2-1 導電材料

導電材料中最重要要數銅了。銅的導電率高、抗張力大、質柔軟富延展性，最適合電機繞組。繞組用銅料常作成圓銅線、扁平銅線以及銅帶。一般銅線銅質必須精純，雜質愈多，導電能力即有顯著的下降。一般將採自銅礦之粗銅，利用電解精煉法獲得99.98%~99.99%之電解銅，加熱到800°C，以有溝滾筒抽伸成7~25mm之線材，以硫酸溶液浸漬去除氧化銅後，在常溫下以銅模拉伸成細線，是為硬銅線；將硬銅線加熱到450°C~600°C而冷却者是為軟銅線。電機線圈即採用軟銅線繞製。

鋁線也常被用在電機繞組中，如感應電動機中鼠籠型轉子導體，或變壓器繞組也常使用鋁線繞成。鋁線之導電率及抗張強度雖比銅差，但其比重僅及銅線之 $\frac{1}{3}$ ，因此成本比銅要低。可惜鋁質太過柔軟，膨脹係數大，焊錫困難，使其不能廣泛的應用。

線圈多用直徑 3.2 mm 以下的圓銅線，或厚度 3.2 mm 以下的扁銅線繞成。圓型銅線都施以不同絕緣材料之皮膜處理，多用在小型電機之中。大型電機常用扁平銅線繞成，繞製前需先另用紙、棉紗、絲、石棉、雲母或玻璃纖維包紮處理，且必須包紮二層以上。漆包扁平銅線最小漆膜厚度為 0.03 mm 以上，作為繞組使用時，應再包以如上述所列的絕緣物。

繞組用銅線分類如下：

一、有機質包絕緣線：

- (1) 紗包線 (cotton covered wire) 係於軟銅線上以棉紗線緊密纏繞單方向一層 (S.C.C) 或順逆雙方向二層 (D.C.C) 而成，為 A 級絕緣線。
- (2) 絲包線 (silk covered wire) 與紗包線同。
- (3) 油質漆包線 (oleoresinous enamelled wire) 為 1950 年代使用的漆包線，有較高的佔積率、優良的電氣性能、價格低廉，然因合成樹脂的出現，其地位一落千丈，現今仍運用在低壓小容量的通訊機械，電機機械及電氣儀表。屬 A 級絕緣線。

二、合成樹脂漆包線 (synthetic enamelled wire)

合成樹脂漆包線是近年來漆包線的一大革新。具有皮膜堅韌耐磨、耐熱、耐化學性等優點，導線佔積率大，運用溫度高，提高電機輸出能力，促進電機設備小型化的目的、體積縮小、成本降低。

- (1) PVF 漆包線 (polyvinyl formal enamelled wire) 呈金黃色，耐磨耗性、耐油性、附着力強、不易剝落，適合於高速繞線作業的繞組，屬 E 級絕緣 (120°C)。
- (2) PU 漆包線 (polyurethane enamelled wire) 呈金黃色，亦稱 UEW 漆包線，耐潮濕，在高頻時之介質常數較他種漆包線為低；而且具有直焊性，即加焊上可不用剝皮加焊油，即可直接加焊，但加焊溫度稍高約 340°C ~ 360°C，省工省料，且可避免多餘焊油所引起之機械故障，適用於小型電機機械及通訊機線圈，屬於 E 級絕緣 (120°C)。
- (3) PE 漆包線 (polyester enamelled wire) 耐熱性、耐化學性、耐熱劣化性，均較 PVF 漆包線為佳，目前廣泛的被應用在 E、B、F 級絕緣的電機線圈，幾乎可以取代 3 PVF 線的地位了。
- (4) PVB 漆包線 (自熔着漆包線) 係在 PVF、PE 或 PU 線之外被覆一層 (

4 電機設計

polyvinyl butryal) 樹脂，此樹脂具有熱塑性，當電流通過已繞好的線圈時所產生的熱量可使線圈各匝自行熔著，該表層樹脂也可被某此熔劑活化，再經繞成線圈後也可自行熔着，常被用在電子業界電視機的偏向線圈，馳返變壓器，中頻變壓器及揚聲器之移動線圈等。

- (5) PEW-H 漆包線 (polyester-amide-imide enamelled wire) 是美國杜邦公司首先開發的新產品，皮膜具有優良的伸屈性及耐磨性，適合於高速繞線作業，對於熱的安定性極佳，屬於 *H* 級絕緣 (耐熱高達 180°C)。
- (6) poly-imide enamelled wire (聚硫亞胺漆包線) 可屬於 *C* 級絕緣 (耐溫高達 220°C)。

三、無機質包絕緣線：

玻璃纖維包銅線 (glass covered wire) 係在軟銅線上以玻璃纖維緊密纏單方向一層 (S.G.C) 或順逆雙方向二層 (D.G.C) 而成。再以 *B* 級或 *H* 級清漆含浸處理，可分別適用為 *B* 級或 *H* 級之絕緣線。

漆包線之皮膜厚度分成 0 種、1 種、2 種等三種。其中 0 種最厚，2 種最薄。各種導線漆膜厚度如表所示。導線愈粗，漆膜厚度也應增加，以應付導線彎曲時所增加之應力。

各種絕緣銅線之規格請參考表 1-1 至表 1-6。

1-2-2 導磁材料

電機機械是轉換能量的機械，不論是電能與機械能的轉換或者是電能與電能間之轉換，都必需透過一種中間的能量才能達成目的，此中間能量即是磁能，為使此種能量轉換的效果良好，則必需將能量密度提高，原則上磁通的能量密度取自於磁性體 (即導磁材料) 轉變成其他形態，若與其他如電場相比較，是容易得到甚高之值。

一般較適宜的磁性材料有鐵、鈷、鎳三種，但因電機機械需有較高的能量密度，故採用多量的磁性材料，即鐵芯重量很重，因此如考慮經濟因素時，則鐵材應為最理想的磁性材料了，因此磁路材料常稱做是鐵芯。

鐵芯材料所要求的特性有(1)容易磁化者，(2)鐵損少者。前者要求能以低磁化力而能得到高的磁通密度，其目的可以減少激磁電流與小型化。亦即有高的

飽和磁通密度及高的透磁力。後者則與鐵芯的溫升及效率有關，包括渦流損失與磁滯損失。

表 1-1 (a) Plain Oleoresinous Enamelled Wire (type 1)
1 種油性樹脂瓷漆包線規格 (1 EW)

導體直徑 mm	許可差 mm	1 種		最大導體電阻 (20°C) Ω/km
		最小漆膜厚度 mm	最大完成外徑 mm	
3.20	± 0.04	0.034	3.338	2.221
3.00	± 0.03	0.034	3.128	2.514
2.90	± 0.03	0.034	3.028	2.692
2.80	± 0.03	0.034	2.928	2.890
2.70	± 0.03	0.034	2.828	3.134
2.60	± 0.03	0.034	2.728	3.357
2.50	± 0.03	0.034	2.628	3.634
2.40	± 0.03	0.033	2.526	3.948
2.30	± 0.03	0.032	2.422	4.303
2.20	± 0.03	0.032	2.322	4.709
2.10	± 0.03	0.031	2.220	5.175
2.00	± 0.03	0.030	2.118	5.713
1.90	± 0.03	0.030	2.018	6.406
1.80	± 0.03	0.029	1.914	7.150
1.70	± 0.03	0.029	1.814	8.032