

工業電子

附題解

設計・應用

陳進福

王清泉

合譯

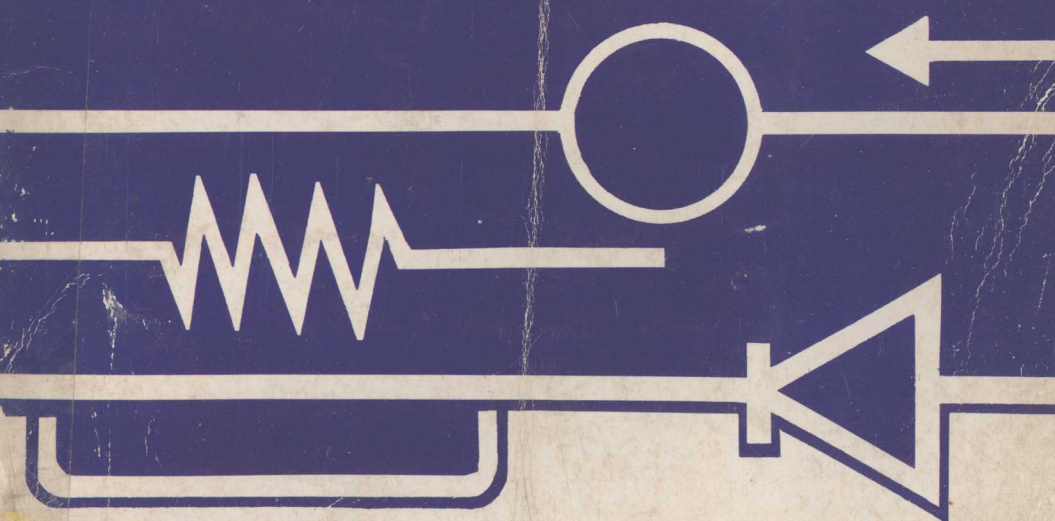
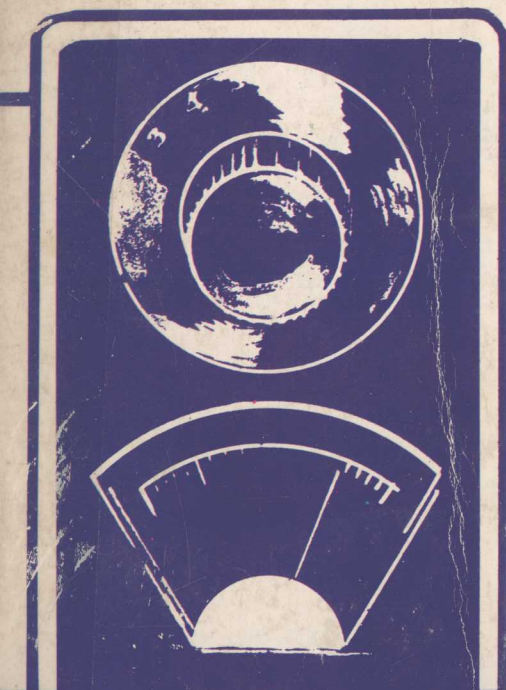
葉世長

校訂

Industrial Electronics

Design and Application

Charles A. Davis



工業電子

設計應用

附習題精解



陳進福

合譯

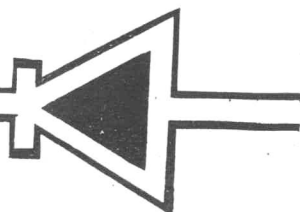
吳世英 校訂

Industrial
Electronics

Design and Application

Charles A. Davis

羅拔書局印行



工業電子 (設計及應用)

編著者：陳進福・王清泉

出版兼：羅拔書局

澳門大馬路 381 號二樓 E 座

印刷者：振興印刷公司

澳門龍崙街 152 號地下

H. K. \$ 30.00

原序

本書對工業用電子裝置、電路及系統的認識提供了一連串近似的設計基礎。所有工業上的固態裝置都在適當的應用下列出了設計的方法。

此書的資料是作者在西密西根大學擔任“工業電子學”課程中所講授和課堂測驗編輯而成，結果發現在設計上若使用近似法，則能使電子學的觀念更加徹底。它包括了類比式和數位式電子學，並且包含了商用機器的外觀和電路圖。

學本書之前，讀者須對基本代數的理解和使用直流及交流負載線的半導體電路圖形分析有個詳盡的認識。

第一章複習了固態裝置的端點特性；第二章對於半導體電路的設計提出了詳細的方法與例題，讀者若在這方面有強烈的基礎則可省略之；第三章討論了幾種工業上的控制繼電器；由作者經驗知最令人混淆的工業用電子零件為電容器，故第四章完全說明電容性電路；第五章陳述了整族的 $PNPN$ 四層半導體裝置；設計者所要控制的參數為時間，所以第六章討論定時和時間延遲電路；第七章說明了相移控制的重要題材；深怕讀者沒有數位電子學的底質，因此第八章介紹了數位電路的觀念；第九章包含了數位時序控制的設計與應用，它以繼電器階梯圖為起點，最後進行至近代化的可程式化控制機；第十章對於各種馬達的特性作個複習，因為這資料在電子學教科書上很難以發現且為許多電子人員較弱之處。在本章也說明各種馬達的不同電子控制方式；第十一章分析了一部商用電焊機。它特別加強可用於其他電子系統的電焊技術；第十二章包括了類比式和數位式控制的直流電源供給器之設計。假設讀者對於半導體物理

沒有相當的了解，可參考附錄A。

在每章之後都有習題，以使讀者能將教材應用到問題，且有選題解答，可供參考之用。

作者將對提供資料和閱讀部份手稿的以下公司和人員致十二萬分的謝意！

Bodine 電氣公司；通用馬達公司的 *Delco* 通用馬達公司；電子工程期刊社；*Fairchild* 公司；奇異公司；*ITT* 半導體公司；*Kepco* 公司；*Lambda* 電子公司；*Loyola* 工業公司；*McGraw-Hill* 圖書公司；*Modicon* 公司；*Motorola* 公司；美國無線電公司（*RCA*）；*Reliance* 電氣公司；*Robotron* 公司；*Signetics* 公司；*Superior* 電氣公司 and 技術書版社。特別要感謝對大部份稿件進行打字的 *Ruth Barrett* 女士。

Charles A. Davis

目 錄

第一章 半導體裝置

1—1 概說.....	1
1—2 二極體.....	1
1—3 雙向接合電晶體.....	4
1—4 場效電晶體.....	8
1—5 矽控整流器.....	12
1—6 PNP N 矽控開關.....	17
1—7 單接合電晶體.....	19
1—8 摘要.....	21
習 題.....	21

第二章 半導體電路設計

2—1 概說.....	23
2—2 整流二極體電路.....	23
2—3 齊然二極體電路.....	35
2—4 電晶體開關.....	38
2—5 電晶體放大器.....	52
2—6 場效電晶體電路.....	65
2—7 摘要.....	72
習 題.....	72

第三章 電晶體化的工業控制繼電器

3—1 概說.....	81
3—2 電晶體化的光電控制.....	81
3—3 光射二極體光電控制.....	84
3—4 阻敏繼電器.....	87
3—5 摘要.....	91
習 題.....	91

2 目 錄

第四章 時間延遲的被動性元件

4-1 概說.....	93
4-2 電容器之能量儲存.....	93
4-3 直流電路中之電容器.....	97
4-4 當作電流源及電壓線之電容器.....	105
4-5 多迴路之直流電容電路.....	111
4-6 交流電路中之電容器.....	116
4-7 電感器之能量儲存.....	119
4-8 直流電路中之電感器.....	121
4-9 交流電路中之電感器.....	124
4-10 時間延遲被動性元件之應用.....	126
4-11 摘要.....	128
習 題.....	128

第五章 PNP控制電路

5-1 概說.....	137
5-2 SCR 電路.....	137
5-2-1 間歇狀態.....	138
5-2-2 觸發.....	140
5-2-3 SCR 之導通.....	144
5-2-4 SCR 之傳導狀態.....	148
5-2-5 SCR 之斷路.....	152
5-2-6 SCR 之反向並聯工作.....	155
5-3 TRIAC 電路.....	157
5-3-1 間歇.....	157
5-3-2 觸發.....	158
5-3-3 傳導狀態之 TRIAC	159
5-4 矽控開關.....	160
5-5 程序單接體.....	165
5-6 蕭克萊二極體.....	168
5-7 SCR 與 TRIAC 的觸發電路.....	169
5-7-1 鬆弛振盪器.....	170
5-7-2 SCR 與 TRIAC 觸發電路中的 PNP 裝置.....	174
5-8 摘要.....	175
習 題.....	176

第六章 定時與主動性時間延遲

6—1 概說.....	181
6—2 類比時間延遲.....	181
6-2-1 AC時間延遲.....	182
6-2-2 DC時間延遲.....	185
6—3 定時源.....	188
6-3-1 史密特觸發電路.....	188
6-3-2 不穩態多諧振盪器.....	192
6-3-3 振盪器.....	195
6—4 數位時間延遲.....	199
6-4-1 頻率分割.....	199
6-4-2 數位計數器.....	201
6—5 時間延遲與定時的應用.....	203
6-5-1 60秒類比定時器.....	203
6-5-2 一個二進制電焊定時器.....	207
6—6 摘要.....	211
習 題.....	211

第七章 相移控制

7—1 概說.....	213
7—2 交流相移電路.....	213
7—3 交流相移控制的設計.....	217
7—4 交流相移控制的應用.....	224
7-4-1 風箱馬達的控制.....	224
7-4-2 相移控制加熱元件.....	226
7—5 數位式相移控制.....	228
7—6 數位式相移電路的設計.....	229
7—7 數位式電壓控制的相移電路.....	236
7-7-1 直流電源供給部份.....	237
7-7-2 觸發控制信號.....	237
7-7-3 觸發脈波產生器.....	239
7-7-4 觸發脈波的同步.....	240
7-7-5 SCR功率控制機.....	242
7—8 摘要.....	244
習 題.....	245

4 目 錄

第八章 數位控制觀念

8—1 概說	247
8—2 二進制數目系統	247
8—3 數位邏輯	249
8—4 電子邏輯閘	252
8-4-1 和閘 (AND)	252
8-4-2 或閘 (OR)	254
8-4-3 反閘 (NOT GATE)	255
8-4-4 反和閘 (NAND) 及反或閘 (NOR)	256
8—5 布氏代數	258
8—6 電子邏輯裝置	263
8-6-1 正反器	263
8-6-2 計數器	266
8-6-3 解碼器	268
8—7 邏輯函數的完成	270
8-7-1 文字陳述的轉換	270
8-7-2 減少閘及輸入端	273
8-7-3 電子邏輯閘的負載	274
8—8 摘要	276
習 題	276

第九章 數位式時序控制

9—1 概說	279
9—2 繼電器階梯圖	280
9—3 時序系統的設計	282
9-3-1 近似常識	283
9-3-2 時序表	287
9—4 固態邏輯在時序系統中的應用	291
9-4-1 奇異電子電晶體化的靜態控制	292
9-4-2 迪及特設備公司的K級邏輯	297
9—5 可程式化的控制器	301
9-5-1 Modicon 084 控制器	301
9-5-2 以可程式化的控制器來做為時序控制的設計	304
9-5-3 使 084 控制器程式化	305
9—6 摘要	310
習 題	305

第十章 馬達的電子控制

10-1	概說	315
10-2	馬達和它的特性	315
10-2-1	分相感應馬達	316
10-2-2	電容性馬達	318
10-2-3	蔽極馬達	318
10-2-4	通用馬達	319
10-2-5	多相感應馬達	320
10-2-6	同步馬達	320
10-2-7	串繞直流馬達	320
10-2-8	分繞直流馬達	321
10-2-9	數位式的階梯馬達	322
10-3	分數馬力交流馬達的控制	324
10-3-1	高轉矩轉速控制	324
10-3-2	通用馬達的雙向三極開流體控制	326
10-4	可調整轉速的直流馬達控制	329
10-4-1	小型的分數馬力馬達的轉速控制	332
10-4-2	3馬力的直流分繞馬達控制	335
10-5	數位馬達的控制	340
10-6	用電池工作的直流馬達控制	342
10-6-1	分數馬力電池工作車輛的轉速控制	344
10-6-2	較高馬力電池工作車輛的控制	345
10-7	摘要	347
	習題	348

第十一章 大電流控制

11-1	概說	351
11-2	固態電阻式電焊機	354
11-2-1	電焊時序	354
11-2-2	Robotron 固態電阻式電焊機	355
11-2-3	起燃電路	358
11-2-4	時序起動電路	360
11-2-5	壓縮過程的計時	364
11-2-6	電焊程序的計時	366
11-2-7	維持過程的計時	368
11-2-8	移去程序的計時	369

6 目 錄

11-2-9 熱控制電路.....	370
11-2-10 起燃電焊電流電路.....	372
11-3 SCR 接觸器.....	375
11-4 摘要.....	376
習 題.....	377

第十二章 直流電源供給器

12-1 概說.....	379
12-2 整流電路.....	379
12-2-1 單相半波整流器.....	381
12-2-2 中心抽頭全波整流器.....	384
12-2-3 單相橋式整流器.....	384
12-2-4 三相半波整流器.....	385
12-2-5 三相橋式整流器.....	388
12-2-6 六相星形整流器.....	390
12-2-7 整流電路的設計.....	391
12-3 濾波及調整.....	392
12-3-1 濾波.....	393
12-3-2 電源供給器的調整.....	395
12-4 大電流調整直流電源供給器.....	396
12-5 直流電源供給器的數位控制.....	401
12-5-1 運算放大器的電源供給器.....	401
12-5-2 數位控制電源供給器系統.....	404
12-6 電子的保護棒.....	408
12-7 摘要.....	409
習 題.....	409

題 解

第一章 半導體裝置.....	413
第二章 半導體電路設計.....	416
第三章 電晶體化的工業控制繼電器.....	434
第四章 時間延遲的被動性元件.....	437
第五章 PNP 控制電路.....	456
第六章 定時與主動性時間延遲.....	473
第七章 相移控制.....	482
第八章 數位控制觀念.....	490

第九章	數位式時序控制	498
第十章	馬達的電子控制	507
第十一章	大電流控制	513
第十二章	直流電源供給器	517

附錄 A 基本的半導體物理

A—1	物質的結構	522
A-1-1	原子模型	522
A-1-2	能帶	523
A—2	物質的電特性	524
A-2-1	導體、絕緣體和半導體	524
A-2-2	本質矽	525
A-2-3	矽的摻雜	527
A—3	PN接合面裝置	529
A-3-1	二極體接合面	529
A-3-2	雙向性電晶體	531
A-3-3	場效電晶體	532
A-3-4	PNPN裝置	534

附錄 B 常用工業電子零件的特性與規格

一、圖B—1	DIAC的特性	536
二、圖B—2	C106 SCR的特性	537
三、圖B—3	PUT特性	538
四、圖B—4	C-145 SCR特性	540
五、圖B—5	C180, C181, C185, SCR特性有效值 為235安電壓至1300伏的SCR	541
六、圖B—6	SCR特性	542
七、圖B—7	TRIAC特性	544
八、圖B—8	TRIAC特性	545
九、圖B—9	單接合電晶體特性	547
十、圖B—10	雙向性電晶體特性	549
十一、	元件的曲線工作紙	551

附錄 C	556
------	-----

附錄 D	558
------	-----

索 引	559
-----	-----

第一章 半導體裝置

1-1 概 說

吾人對於現代工業電子的探討，將從討論多數設計電路中之半導體裝置開始。讀者可能從已學過之課程，或週遭所接觸到的素養，對這些裝置中的某一部份有所認識，但我們仍將假設自己在實驗室測量過，來研討有關這些裝置的端電壓和電流。同時會發現此種簡單的方法，非常適用於下一章要討論的設計和應用。

目前市面上的半導體裝置，若一一列成表，勢必佔滿不少頁數，吾人不打算像衆多條款式地列出，取而代之者，吾人將致力於一些在工業電子中，可能遇到且亦能代表其類型特性之裝置。一些最常用的裝置符號列表於附錄D。

1-2 二極體

二極體是一種最簡單的半導體裝置，係依其不同的應用而製造，它具有兩個端點，一端爲陽極(anode)，另端爲陰極(cathode)。以下我們將討論一些不同類型的二極體及其特性：

(一) 整流二極體(Rectifier diodes)

如圖 1-1 (a)所示，爲整流二極體之典型特性。當陽極電壓高於陰極電壓約略小於 1 伏時，電流由陽極流向陰極。而在二極體兩端

2 工業電子

供給50伏或更高之負壓時（陽極對陰極），特性圖中仍無電流流動。

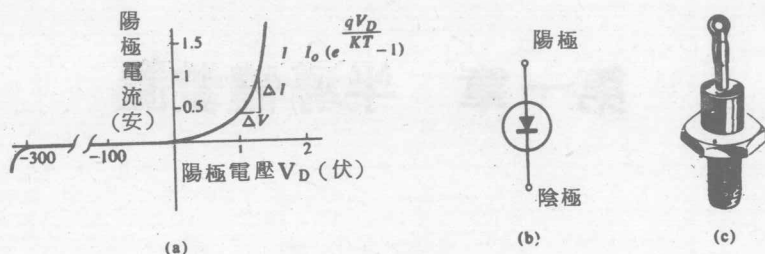


圖 1-1 (a)整流二極體的特性；(b)電路符號；
(c)典型的工業用二極體

(二)齊納二極體 (Zener diode)

當齊納二極體之陽極電壓更正於陰極電壓時，其特性類似於整流二極體；而若使陽極電壓更負於陰極電壓，直到某一預置電壓值為止仍無電流流通。如圖1-2所示，到達預置電壓值以後，陽極電流很快地上升而電壓仍保持不變。此預置電壓值或稱“齊納電壓”(“zener voltage”)係由二極體的設計和使用的材料而決定。

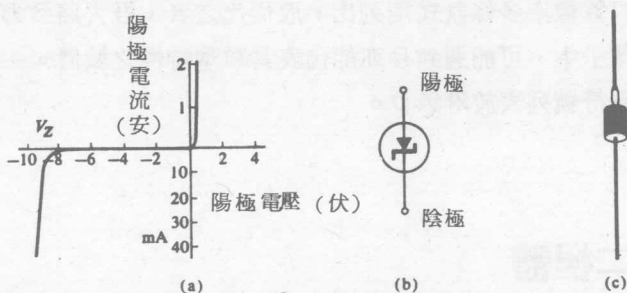


圖 1-2 (a)齊納二極體特性；(b)電路符號；(c)典型的齊納二極體

(三)雙向齊納二極體 (間流二極體, Thyrector diode)

當雙向齊納二極體的陽極電壓比陰極電壓低時，其特性類似於齊納二極體；而當陽極電壓高於陰極電壓時，亦具有相同的特性。換句話說，雙向齊納二極體的工作情形，就像兩只陰極串接在一起。

的齊納二極體。如圖 1-3 所示，不管雙向齊納二極體外加的電壓極性為正或負，在未達預置電壓值前，則無電流經過該二極體。

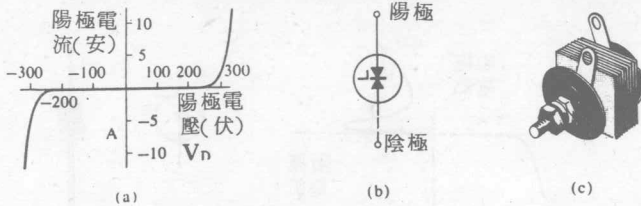


圖 1-3 (a)雙向齊納二極體的特性；(b)電路符號；
(c)典型的雙向齊納二極體

(四) 雙向二極體 (DIAC)

雙向二極體 (DIAC) 的特性類似於雙向齊納二極體，而最明顯的差別如圖 1-4 (a) 所示，為 DIAC 的特性，當供給電壓達到預置電壓值時，其電流迅速上升，而兩端的電壓却下降到約 10 伏左右。

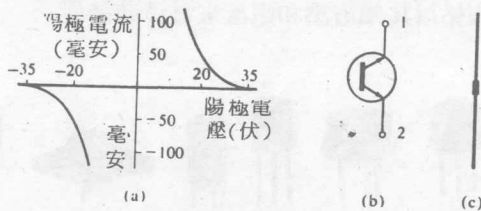


圖 1-4 (a)DIAC 特性；(b)電路符號；(c)商業用的 DIAC

(五) 蕭克萊二極體 (Shockley diode)

蕭克萊二極體 (Shockley diode) 是一種四層的 PNP 裝置，具有兩個穩定狀態，如圖 1-5 (a) 所示，I 區和 III 區分別表示高電阻的 “off” 狀態及低電阻的 “on” 狀態。此種二極體稀有的特性，如圖 1-5 (a) II 區所示，此區域的負電阻特性係分佈在 “on” 與 “off” 狀態之間。由於此種負電阻特性，使得蕭克萊二極體在振盪器電

4 工業電子

路中，用途非常廣泛。當正陽極電壓超過預先設計的電壓值時，該二極體轉變為“on”狀態，而且只要陽極電流在持續電流位準(holding current level)之上，則恒保持在“on”的狀態。

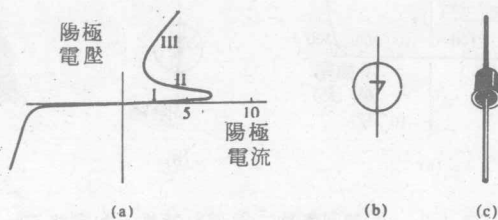


圖 1-5 (a)蕭克萊二極體的特性；(b)電路符號；
(c)典型的蕭克萊二極體

1—3 雙向接合電晶體

雙極接合電晶體是最普遍的三端點半導體裝置，如圖 1-6 所示最有力的方法係以其端電壓和電流來敘述該裝置。

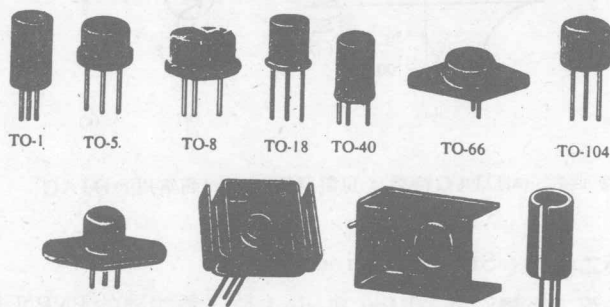


圖 1-6 商業用的雙向接合電晶體

PNP 和 NPN 係兩種雙向接合電晶體的型態，而電晶體的型態是依該裝置結構中的半導體材料來決定。如圖 1-7 和圖 1-8 顯示出這兩種型態的電晶體，使用在集極、基極和射極區域的半導體材料。以後我們將以基極電流 (I_B)、基極—射極電壓 (V_{BE}) 和集極—射極電壓 (V_{CE}) 來敘述雙向接合電晶體的端點特性。如圖 1-9 所示的電路，可用於實驗室作度量 I_B , I_C , V_{BE} , 和 V_{CE} 的實驗。圖 1-10 表示兩種工業上大多數設計和應用範疇內必要的 x-y 圖表。該二曲線圖務必將測量值繪製於其上。由於基極和射極通常為電晶體的輸入端，故 $I_B - V_{BE}$ 特性曲線又稱為輸入特性曲線；同理，集極和射極常為電晶體的輸出端，所以 $I_C - V_{CE}$ 曲線圖稱為輸出特性曲線。如圖 1-11 和圖 1-12 所示，係介紹於產品手冊中，商用電晶體之輸出和輸入特性曲線。而順向電流轉移特性曲線 (forward current

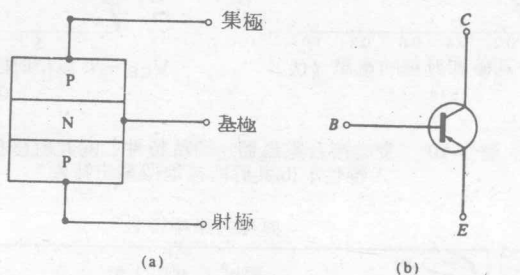


圖 1-7 (a) PNP 電晶體的接合情形；(b) 電路符號

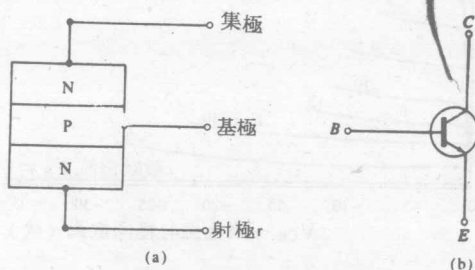


圖 1-8 (a) NPN 電晶體的接合情形；(b) 電路符號