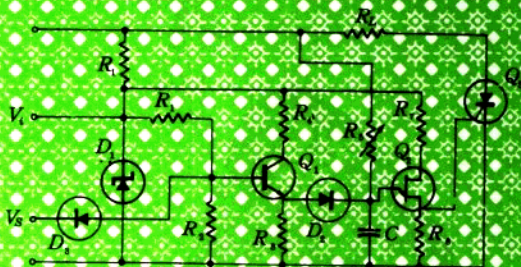


遵照教育部七十二年頒佈課程標準編訂

最新 工業電子

劉春和 編著



中央圖書出版社出版

遵照教育部七十二年頒佈課程標準編訂

最新 工業電子

劉春和 編著

中央圖書出版社出版

行政院新聞局出版事業登記證，
局版台業字第〇九二〇號

最新工業電子
版權所有・翻印必究
實價新臺幣貳佰元整

編著者：劉 春
出版者：中 央 圖 書 出 版 社 和

台北市重慶南路一段一四一號

發行人：林 在 高
發行所：中 央 圖 書 供 應 社

台北市重慶南路一段一四一號

電話：三三一五七二六
郵政劃撥帳戶：九一四號

印刷所：利 康 印 刷 有 限 公 司
三重市民生東街廿六之一號

中華民國七十二年八月初版
中華民國七十三年七月第二刷

編號：2907

編輯大意

- 一、教育部於 72 年對專科學校各科訂定最新課程標準，本書即為根據該標準而編寫，足供工專有關工業電子學教學之用。
- 二、本書所用之專門名辭，均以教育部於 69 年 10 月公布由國立編譯館編訂之電機工程名詞（增訂本）為準。其有未收入該增訂本之名詞，則採用較為通用之譯名。
- 三、本書編寫時曾參考以下各書：

1. Davis : Industrial Electronics - Design and Application
2. Maloney : Industrial Solid-State Electronics - Devices and Systems
3. Tocci : Fundamentals of Pulse and Digital Circuits
4. McDonald and Lowe : Feedback and Control Systems
5. Driscoll and Coughlin : Solid-State Devices & Application
6. Deboo and Burrous : Integrated Circuits and Semiconductor Devices - Theory and Application
7. Boylestad and Nashelesky : Electronic Devices and Circuit Theory

- 四、本書於有關各章，均多舉實例，以熟悉工業電子之原理用於各種工業控制系統中之情形。對於數位順序控制方面，更詳細說明設計步驟與系統方法，俾讀者能對所學實際應用於工業控制問題。目前專科學校有關邏輯設計課程，多着重於如何將組合邏輯與順序邏輯應用於電腦中，本書則介紹各種邏輯電路（包

IV 編輯大意

含正反器、暫存器、解碼器、編碼器等)用於各種控制工程，是為本書重要特點。兩相對照，相位收效更宏。

五、目前在電子方面之進步情形，今日所謂新產品者，明日可能成為過時之物，工業電子方面更非例外。但熟讀本書之各種原理，再注意有關知識的最新發展，當必能隨時代而進步。

六、本書編寫，雖已參考各種有關書籍，但為學養所限，尤其時間匆促，謬誤之處，在所難免。至請方家不吝指教，俾可於再版時補充改正。

目 錄

編輯大意

第一章 半導體裝置

1.1	二極體	1
1.2	電晶體開關	2
1.3	場效電晶體	8
1.4	觸發二極體與三極交流開關	14
1.5	矽控整流器	16
1.6	光電二極體與光電阻	18
1.7	發光二極體	21
習題		24

第二章 主要控制訊號簡介

2.1	正弦波	25
2.2	方波	27
2.3	脈波	28
2.4	鋸齒波	33
習題		33

第三章 對時間、電壓和光度的感測

3.1	電子延時繼電器	37
3.2	阻感繼電器	40
3.3	壓感繼電器	43
3.4	反射光繼電器	44
3.5	快速光繼電器	45

VI 目 錄

3.6	LED光電控制器	47
習題		49
第四章	PNPN元件(閘流體)控制電流	
4.1	PNPN之基本工作(阻斷、觸發、接通、導電、切斷)...	51
4.1.1	阻斷	51
4.1.2	觸發	54
4.1.3	開啓或稱接通	57
4.1.4	導電	61
4.1.5	關閉或稱切斷	66
4.2	SCR電路及觸發電路	68
4.2.1	SCR的反向並聯運用	68
4.2.2	交流電路中 SCR的其他接法	70
4.2.3	SCR的閘極特性	71
4.2.4	典型閘極觸發電路	72
4.2.5	其他閘極觸發電路	75
4.2.6	SCR用於直流電路中	77
4.3	TRIAC電路及觸發電路	78
4.3.1	TRIAC的阻斷	79
4.3.2	TRIAC的觸發	79
4.3.3	TRIAC的導電	80
4.3.4	TRIAC的觸發電路	81
4.3.5	UJT用作TRIAC的觸發裝置	82
4.4	程序單接面電晶體與其應用	91
4.5	肖克來二極體與其應用	96
4.6	矽控交換開關	97
4.7	閘極關閉開關GTO	100
習題		102
第五章	時間延遲的方法	
5.1	被動時間延遲元件與其應用	107
5.2	類比時間延遲電路	107

5.2.1	交流時間延遲電路	110
5.2.2	直流時間延遲電路	111
5.3	定時信號源	114
5.3.1	史密特觸發器	114
5.3.2	非穩定複振器	122
5.4	數位時間延遲電路	133
5.5	時間延遲和定時器的應用	136
5.5.1	儲物箱裝料系統	137
5.5.2	60 秒類比定時器	141
	習題	143

第六章 相移控制

6.1	交流移相電路	149
6.1.1	交流移相控制電路之設計	153
6.1.2	斜波與基壓相位控制法	159
6.2	交流移相控制電路之應用	159
6.2.1	鼓風機用電動機之控制	160
6.2.2	加熱元件的相位控制	161
6.3	數位移相控制電路之設計	162
6.3.1	用指令信號來控制弛緩振盪器	164
6.3.2	用脈衝延遲觸電信號來控制相位延遲角	165
6.4	數位電壓控制的移相電路之構造與應用	170
6.4.1	直流電源供給部分	170
6.4.2	觸發控制信號	171
6.4.3	觸發脈波產生器	173
6.4.4	觸發脈波之同步	174
6.5	SCR 功率控制體	176
	習題	178

第七章 數位順序控制

7.1	數位控制概念	181
7.1.1	數位資訊	181

7.1.2	基本邏輯閘	183
7.1.3	布林代數	186
7.1.4	順序邏輯	188
7.1.5	解碼	194
7.2	繼電器梯形圖	196
7.3	順序系統設計	198
7.3.1	常識判斷法	198
7.3.2	順序表法	203
7.4	固態邏輯於順序系統中的應用	205
7.4.1	輸送帶分類系統——繼電器邏輯電路	206
7.4.2	輸送帶分類系統——固態邏輯電路	210
7.4.3	固態邏輯電路中所使用的輸入裝置	213
7.4.4	固態邏輯電路中所使用的輸出裝置	216
7.4.5	機械工具切槽循環系統的固態邏輯控制電路	218
7.4.6	使用RS正反器的電焊機控制電路	221
7.4.7	使用加時脈波RS正反器的機械鉋床	222
7.4.8	使用移位暫存器的輸送帶檢驗系統	224
7.4.9	使用十進計數器與解碼器的板台運送系統	226
7.4.10	使用時脈波與單擊器的自動注液系統	229
習題		231

第八章 馬達應用控制

8.1	各種馬達之特性	237
8.1.1	分相感應馬達	237
8.1.2	電容式馬達	238
8.1.3	蔽極式馬達	239
8.1.4	通用馬達	240
8.1.5	多相感應馬達	240
8.1.6	同步馬達	240
8.1.7	串繞直流馬達	241
8.1.8	並繞直流馬達	242

8.2	小馬力交流馬達之控制	242
8.2.1	高轉矩速度控制	243
8.2.2	用 TRIAC 控制通用馬達	244
8.3	可調速直流馬達之控制	247
8.3.1	單相直流馬達的速度控制	249
8.3.2	另一單相速度控制系統	250
8.3.3	雙向速度控制	251
8.3.4	小馬力馬達的速度控制	254
8.3.5	3-hp 直流並聯馬達之控制	256
8.3.6	三相馬達驅動系統	260
8.3.7	交流感應馬達的速度控制	264
8.4	數位馬達之控制	267
8.4.1	步級馬達的工作原理	267
8.4.2	步級馬達的種類	268
8.4.3	步級馬達的驅動電路	271
習題		275
第九章	強電流控制	
9.1	概論	279
9.2	固態電阻焊接器	282
9.2.1	焊接順序	282
9.2.2	順序控制電路的方塊圖	285
9.2.3	順序起始電路及階段觸發與闌通電路之詳細說明	289
9.2.4	階段步進電路與解碼器	295
9.2.5	階段定時計數器及階段定時計數器預置電路	298
9.2.6	加熱- 冷卻步進與闌通電路	303
9.2.7	加熱- 冷卻計數器與加熱- 冷卻計數器預置電路	306
9.2.8	焊接電源電路	308
9.3	SCR 接觸器	319
習題		319

第十章 直流電源與控制

10.1	整流電路、濾波和穩壓	323
10.1.1	單相半波整流器	323
10.1.2	中分接頭的全波整流器	327
10.1.3	單相橋式整流器	328
10.1.4	三相半波整流器	328
10.1.5	三相橋式整流器	331
10.1.6	六相星形整流器	332
10.1.7	整流電路的設計	333
10.1.8	濾波與調整	335
10.2	大電流的穩壓電源	338
10.3	直流電源的數位控制	343
10.3.1	運算放大器式電源供給器	343
10.3.2	數位控制的電源供給系統	345
習題		349
附 錄	開流體特性	353

第一章

半導體裝置

在工業控制系統中使用的半導體裝置，除通用的二極體與電晶體（包含接面型電晶體與場效電晶體）而外，尚有二主要種類：其一為閘流體（Thyristor），包含矽控整流器（Silicon-Controlled Rectifier, SCR）。交流觸發三極體（Triac）、觸發二極體（Diac）等等，此為工業電子範圍內的主角。另一為光電元件（Optoelectronic elements），內含發光二極體（Light-Emitting Diode, LED）、光電二極體（Photodiode）、光電阻（Photoresistor）等等。本章將就此二類元件，先加以簡要的說明，作為以後各章討論工業電子控制的原理與應用時的基礎。

1.1 二極體

二極體為半導體裝置內最簡單的元件，其上僅有二端（Terminal）即陽極（Anode）與陰極（Cathode），因其用途之不同而有不同的名稱。茲將其中主要的二極體分述如下：

1. 整流二極體（Rectifier diode）與功率二極體（Power Diode）——整流二極體之典型特性曲線示於圖 1.1。當陽極電壓較陰極電壓為正時，電流即從陽極流向陰極；但當陽極電壓較陰極電壓為負時，無電流可以通過此種二極體，亦即電流僅能有一種方向通過，因此整流二極體可將交流轉變為直流。當二極體用於高功率及高溫度場合時，亦稱為功率二極體，彼時多用矽製成。
2. 曾納二極體（Zener diode）——若曾納二極體之陽極電壓較陰極電壓為正時，其作用與一般整流二極體相同。但在陰極電壓較陽極為正且到達某一規定值時，其通過電流迅速升高，而兩端電壓可維持相當程度的不變如圖 1.2 所示。此規定電壓或稱曾

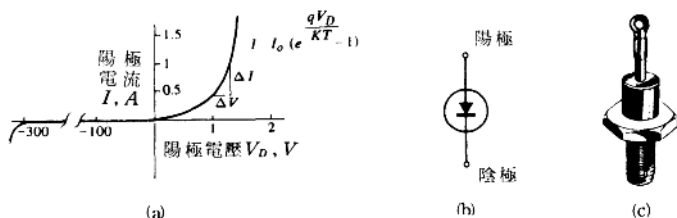


圖 1.1 整流二極體 (a) 特性曲線 (b) 電路符號 (c) 功率二極體外觀

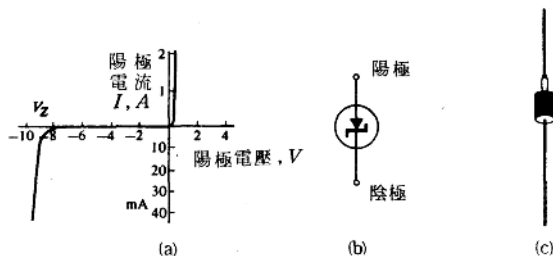


圖 1.2 管納二極體 (a) 特性曲線 (b) 電路符號 (c) 典型的管納二極體

納電壓之大小，由二極體之設計與所用材料而定。

1.2 電晶體開關

在工業控制系統中，接面電晶體之主要用途為放大器與電晶體開關。尤其電晶體開關可代替過去所使用的電磁繼電器 (Relay)，故本節將集中於電晶體開關之討論；至於放大器則略而不提，以免與電子學或電子電路之內容重複。

電晶體開關基本電路示於圖 1.3。負載 R_L 接至電晶體集極，與電晶體主要電流路徑串聯。輸入電壓 V_i 決定此電晶體開關是為斷路 (Open)，而阻止電流經過負載；或為閉路 (Closed) 而電流可以流通。若為矽質電晶體，當 V_i 小於 0.7 V 時，電晶體開關可認為截止。

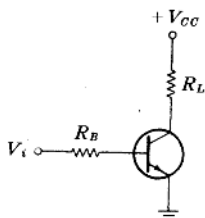


圖 1.3 基本電晶體開關

Cut-off)，因為矽質電晶體的基射接面，需有 0.7 V 方為順向偏壓。為確保截止起見， V_i 應小於 0.3 V 。

欲使負載獲得足夠電能，電晶體必須成為閉合開關；換言之，應提高 V_i 之值而使電晶體飽和。矽質電晶體的 $V_{CE, sat}$ 約為 0.2 V ，在集極電路引用克希荷夫電壓定律，可得

$$I_{C, sat} = \frac{V_{CC} - V_{CE, sat}}{R_L} \quad (1.1)$$

在上式中，若 $V_{CC} \geq 10V_{CE, sat}$ ，則可化簡為

$$I_{C, sat} \approx \frac{V_{CC}}{R_L} \quad (1.1.1)$$

飽和的基極電流 $I_{B, sat}$ 可用下式求得

$$I_{B, sat} = \frac{I_{C, sat}}{\beta} \quad (1.2)$$

式 (1.2) 中 β 為電晶體的直流 β 而非交流 β 。若干電晶體的直流 β 可能與交流 β 相差很大。

再從圖 1.3 的基極或輸入電路，可求得：

$$V_i = I_{B, sat} R_B + 0.7\text{ V} \quad (1.3)$$

若基壓等於或大於式 (1.3) 所示之值，則電晶體可成為閉合開關，而負載 R_L 可獲得充分電源。

圖 1.3 中所示電晶體為 npn 型，且為能耐受高電壓、高電流與

高溫起見，多用功率電晶體。自然，*pnp* 電晶體亦可使用，但遠不及 *npn* 式普通。

例 1.1：參考圖 1.4。(1)欲使此開關閉合（即使電晶體飽和），求通過負載之電流。(2)求基極電流。(3)求輸入電壓 V_i 。

解：(1)從式 (1.1)：

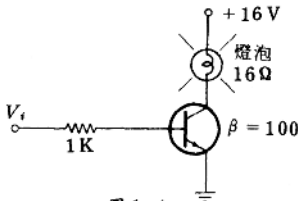


圖 1.4

$$I_{C, sat} = \frac{V_{CC} - V_{CE, sat}}{R_L} \approx \frac{V_{CC}}{R_L} \quad (\because V_{CC} > 10V_{CE, sat})$$

$$= \frac{16V}{16\Omega} = 1A$$

(2)從式 (1.2)：

$$I_{B, sat} = \frac{I_{C, sat}}{\beta} = \frac{1A}{100} = 0.01A = 10mA$$

(3)從式 (1.3)

$$V_i = I_{B, sat} R_B + 0.7V$$

$$= (10mA)(1K) + 0.7 = 10.7V$$

-
1. 電晶體開關與機械開關之比較——雖然在多數場合中， $V_{CE, sat}$ 可以略去不計，但其存在却不可忽視。即雖特種開關電晶體（Switching transistor），其 $V_{CE, sat}$ 亦有 0.1V，且在高負載電流時，尚將略微增加。因此，電晶體開關不適宜用於串聯電路中如圖 1.5 所示。圖 1.5 (a) 中將繼電器等機械接觸點串聯，自可施用；但圖 1.5 (b) 中用電晶體開關串聯即值得考慮，此由於每一電晶體的降壓雖小，而總電壓降却是可觀。不過，若用於



圖 1.5 各種開關之串聯

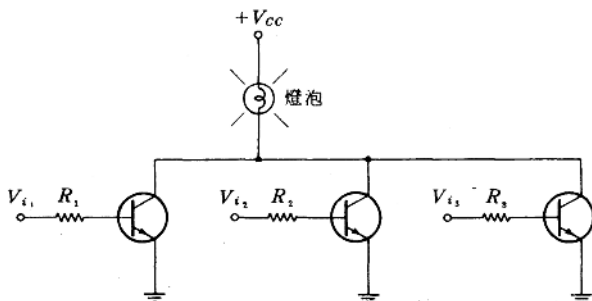


圖 1.6 電晶體開關之並聯

并聯電路如圖 1.6 所示，即無問題。

另一方面電晶體開關優於一般機械開關有下列數點：

- (1) 彼等無移動的零件，自無磨損問題存在，而使用時間極長。一般開關的接觸點會磨損，其可靠使用次數亦僅數百萬次。
- (2) 電晶體無外露接觸點，自不可能有污物積聚其上而使閉合的接觸不良。此一考慮對於普通開關，在污穢環境中即構成問題。
- (3) 電晶體接通時間以微秒計算，而普通開關以毫秒計算，兩相比較，前者遠較迅速。
- (4) 電晶體開關本身無反跳 (Bounce) 現象，而機械開關則有。所謂反跳問題，即在開關接觸點完全閉合前，具有若干次的斷路與閉合，如圖 1.7 所示。
- (5) 電晶體開關用於電感性負載電路中，於斷路時無火花發生。當機械開關欲切斷通過電感負載的電流時，電感器因感應而生之反電動勢，將在接觸點上產生電弧 (Arc)，日久不但使接觸點

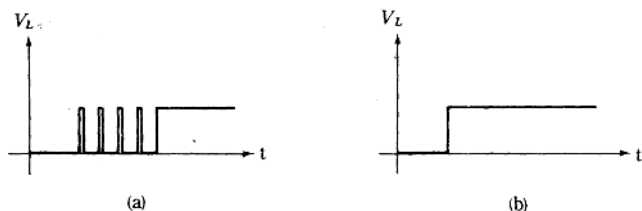


圖 1.7 (a)機械開關接觸點反跳電壓波形(b)電晶體開關的電壓波形無反跳現象

上有小孔，且在若干環境中會造成危害。

2. 圖 1.8 為電晶體開關的另一種接法。電阻器 R_2 接至 $-V_{BB}$ ，其目的為 V_i 在 0.7V 附近時，使電晶體開關不通。茲以下列說明此一觀點。

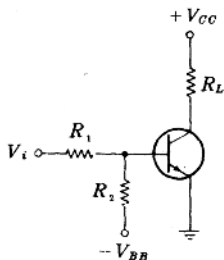


圖 1.8

例 1.2：設在圖 1.8 中， $R_1 = 2.2\text{K}$ ， $R_2 = 6.8\text{K}$ ， $-V_{BB} = -2\text{V}$ ， $V_{CC} = 5\text{V}$ ， $R_L = 100\Omega$ 。若 V_i 為(1) 0.1V ，(2) 0.6V ，(3) 3.5V ；求 V_i 並說明電晶體為接通或斷路。

解：首先利用戴維寧定理，將圖 1.8 化為圖 1.9，其中

$$R_B = R_1 / R_2 \quad (1.4)$$

$$V_B = \frac{V_i + V_{BB}}{R_1 + R_2} R_2 - V_{BB} \quad (1.5)$$