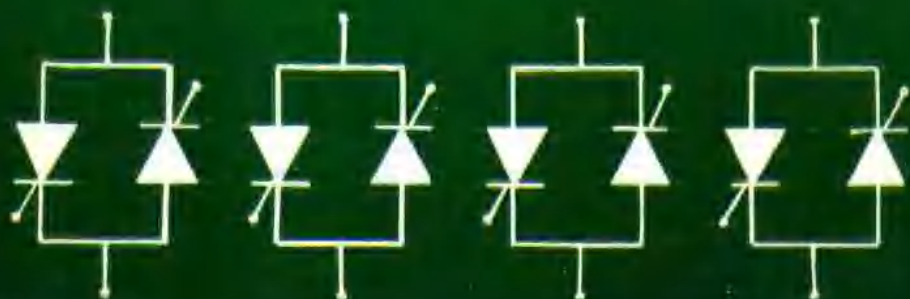


工業電子

原理應用・實驗製作

INDUSTRIAL ELECTRONIC
APPLICATION & EXPERIMENT

林益海 著



羅拔書局印行

Industrial Electronic
Application & Experiment

工 業 電 子

原理應用、實驗製作

林益海 著

羅拔書局印行

工業電子

原理應用、實驗製作

編著者：林 益 海
出版兼發行：羅 拔 書 局

澳門大馬路 381 號二樓 F 座

印刷者：振興印刷公司
澳門龍崙街 152 號地下

定價：港幣 \$ 30.00

序

1. 本書十二章，由零件介紹、特性說明、電路實例、電路改良實例問答、實驗製作、資料參考等依序介紹。
2. 應用本書可作工業電子實習教材，內容充裕，可不必再參考理論課本。
3. 本書適用於工業電子課程、實習、參考閱讀。
4. 本書撰寫本著拋磚引玉的教育目標，疏漏之處盼乞隨時惠予指正。

林益海

目 錄

第一章 半導體元件的種類及應用

1-1 電晶體	2
1-1-1 平面型電晶體	2
1-1-2 晶膜平面型電晶體	4
1-1-3 低雜音電晶體	6
1-1-4 功率電晶體	7
1-1-5 光電晶體	9
1-2 場效電晶體	10
1-2-1 接合型場效電晶體	11
1-2-2 MOSFET	12
1-3 二極體	13
1-3-1 點觸式二極體	15
1-3-2 接合型二極體	16
1-3-3 齊納二極體	17
1-3-4 變容二極體	18
1-3-5 發光二極體	20
1-3-6 江崎二極體	22
1-3-7 甘恩二極體	24
1-4 閘流體	27
1-4-1 觸發元件: UJT, PUT	29

1-4-2	UJT觸發電路	33
1-4-3	SCS矽控制開關	39
1-4-4	SSS矽控制對稱開關	40
1-4-5	DIAC雙向觸發二極體	41
1-4-6	SBS矽雙向開關	42
1-4-7	SUS矽單向開關	44
1-4-8	TRIAC矽控雙向整流器	45
1-4-9	SCR矽控整流器	46
1-5	光電元件	48
1-5-1	太陽電池 (Solar cell)	48
1-5-2	光二極體 (Photo diode)	50
1-5-3	光電阻 (CdS)	52
1-5-4	光電晶體 (Photo TRANSISTOR)	55
1-5-5	光電場效電晶體	57

第二章 SCR

2-1	SCR特性簡介	59
2-2	SCR之特長	61
2-3	SCR一般應用	63
2-4	SCR工業應用	64
2-5	SCR原理及構造	64
2-6	SCR開關方法	71
2-7	SCR的特性研究	71
2-8	SCR的觸發	75
2-9	電感性負載觸發控制	79
2-10	SCR電路中暫態電壓之發生及其抑制方法	88

2-11 交流電力控制	94
2-11-1 交流 on-off 開關	95
2-11-2 電磁開關保護電路	97
2-11-3 移相控制電路	97
2-11-4 典型移相控制	99

第三章 單接合面電晶體UJT

3-1 單接合面電晶體 (Unijunction Transistor)	105
3-2 UJT弛張振盪器工作原理	108
3-3 UJT弛張振盪器頻率設計	113
3-4 UJT控制 SCR	115
3-5 UJT脈波產生電路	117

第四章 PUT預定 η 值單接合電晶體

4-1 PUT應用介紹	125
4-2 PUT基本原理	129
4-3 PUT振盪電路	132
4-4 PUT脈波產生電路	133
4-5 PUT定時器電路設計	138

第五章 SCR、UJT、TRIAC、PUT等研究問題

Q ₁ 請介紹各種半導體元件符號、名稱及靜態特性曲線	145
Q ₂ 畫圖說明閘流體觸發元件之特性、構造、符號	149
Q ₃ 閘流體與 SCR有何關係？	151
Q ₄ 閘流體 SCR短時間內超過接合面最大溫度 $T_{j\max}$ 10°C	

- 有何影響？若連續超過此溫度又有何影響……………152
- Q₈ 如果將 SCR 冷却使之被用於低溫，試問信賴度可否提高？……………152
- Q₉ 2SF568 之 R_{GK} 電阻 $10K\Omega$ ，被應用於高感度檢出器，外加電壓為 110V，若有耐壓不夠之二極體混入其中，試問有何對策？……………154
- Q₇ 2SF568 SCR 在每一日 24 小時內皆加以 50V 直流電壓，做為火災警報器觸發警報繼電器 (Relay) 之用。試問何時可能發生誤動作？如何解決？……………155
- Q₉ TRIAC 之 V_{BO} 點弧轉態電壓應如何方可維持正常壽命……156
- Q₉ 100V 200W 直流馬達速度控制用之 SCR，選購時 A 公司 3A 之產品，較 B 公司 5A 之製品價格可能為高，何故？…156
- Q₁₀ 單流體之額定湧浪電流， I_{TSM} 之容許範圍如何？……………157
- Q₁₁ 50A 之 SCR 用於鐵類壓延馬達之速度控制，2 年後就發生劣化現象，問題何在？……………157
- Q₁₂ 常溫下應用於變流器之 SCR，置於低溫中轉流失敗之原因為何？……………158
- Q₁₃ 欲防止閘極感應雜訊之誤動作，加上 $0.1\mu f$ 電容器，在相位控制中之控制情形不平滑，是何原因？……………160
- Q₁₄ SCR 做為交流半波開關，閘極電路簡單，以電池為激發電源是否可能？……………161
- Q₁₅ SCR 閘極特性試驗如何作法？如閘極電壓及電流如何測量？……………162
- Q₁₆ 有一 5A SCR 做 I_{GT} 檢查， R_L 為 100Ω ，仍用圖 5-16 電路檢查，發現示波器顯示不良曲線，原因何在？……………164
- Q₁₇ 利用示波器觀看 SCR 之 G_K 間波形，Turn on 時湧浪電壓

之變化影響 SCR之壽命嗎？	164
Q ₁₈ 測量 SCR 之 $\frac{dv}{dt}$ 變化，電壓高達 500 V/ μ s 需要加以 CR 吸收湧浪電壓電路嗎？ $\frac{dv}{dt}$ 電壓較小時可否考慮不接？	165
Q ₁₉ TRIAC 驅動負載 L ，當觸發導通一次之後，重新觸發則閘極電壓較第一次觸發的少 2~3%，原因何在？有何對策？	167
Q ₂₀ SCR 置於直流部份做相位控制，當開關閉合 SCR 導通 Turn on，開關放開後，SCR 交流無接點開關 OFF，斷流，原因何在？有何對策？	168
Q ₂₁ 2 SF 658 之 SCR 可否作記憶保持之元件？	169
Q ₂₂ 若 SCR 觸發電路並聯觸發，試問 Turn on 之時間約為多少？	170
Q ₂₃ SCR 之 Turn on 時間 t_q ，與陽極電流，周圍溫度 T_a 等條件有何變化關係？	171
Q ₂₄ 脈波激發 SCR 導通之時間與電壓之關係如何？又脈波之電壓大小影響如何？	173
Q ₂₅ 試舉例說明可用於 SCR 觸發電路的弛張振盪器有那些？	173
Q ₂₆ 如何利用 RC 移相電路電路觸發閘流體？	174
Q ₂₇ 舉一實例說明利用 UJT 的基本相位控制	176
Q ₂₈ 說明三相相位控制	178
Q ₂₉ 介紹三種簡單 RC 相位控制電路	178
Q ₃₀ 閘極激發電路設計不良常導致 SCR、TRIAC 等動作不完全，請就下列各項予以檢查	179
Q ₃₁ SCR 串並聯之作用，係使電流增大，耐電壓提高，說明應注意問題	181

- Q₃₂ 若二只 SCR 串聯其均壓電路使用電阻電容平衡法，則其分擔之波形為何？…………… 184
- Q₃₃ 兩只 SCR 並聯分擔電路電流，試說明使用電感平衡法之情形…………… 185
- Q₃₄ 請介紹 SCR 之各種冷卻方法…………… 187
- Q₃₅ 串聯聯法之 SCR 如何激發…………… 189
- Q₃₆ 並聯之 SCR 如何激發…………… 191
- Q₃₇ 交流相位控制電路，主電路結線方法有那些？…………… 192
- Q₃₈ 單相橋式相位控制電路來控制串激電動機之速度，但發生轉速無法控制使之安定，應如何修改電路…………… 193
- Q₃₉ 閘流體 TRIAC 作電感性負載之相位控制，而 TRIAC 無法導通 on，試問有何對策？…………… 194
- Q₄₀ 脈衝變壓器激發 TRIAC，在閘極部份串聯二極體之作用為何？…………… 196
- Q₄₁ TRIAC 之激發有 4 種模式，何種最佳？…………… 198
- Q₄₂ $I_T(\text{平均值}) = 10A$ ，耐壓 600V 之 SCR 用於三相橋式整流電路作半週之 SCR 控制，控制 200V 之直流馬達的速度，使用於 3-5A 輕載電常有 SCR 短路，何故？…………… 199
- Q₄₃ TRIAC 與 DIAC 之調光，電熱控制電路，改成吸塵器電動機之控制，應如何？…………… 200
- Q₄₄ 電源濾波電路 (Line filter) 常用的有那些？效果如何？…………… 201
- Q₄₅ 如何決定變壓器線間之湧浪吸收 CR 電阻電容之計算方法…………… 202
- Q₄₆ 三相交流電力控制之主電路部份常用的有那些？…………… 203

Q ₄₇ 閘流體，突變電壓 ($\frac{dv}{dt}$ 變化很快) 產生之原因有那些？	
並列舉代表性之電路	204
Q ₄₈ DIAC 與 TRIAC 之相位控制電路元件之改良	207
Q ₄₉ UJT 輸出脈波控制 20 A SCR 之激發使用如圖 5-92 之電路，試就設計上要點予以修正	208

第六章 SCR 等應用電路實習製作

1. 觸控電路實習	211
1-1 達林頓電路	211
1-2 觸控電路(1) FET + 電晶體	213
1-3 電晶體觸摸開關(2)	214
1-4 觸摸開關(3) SCR + 電晶體	216
1-5 觸摸開關(4) SCR + FET	218
1-6 FET 觸摸開關(5)	219
1-7 PUT 觸摸開關	220
2. 計時電路 (Timing Relay) 電路實習	221
2-1 電晶體計時電路	221
2-2 電晶體限時繼電器	222
2-3 UJT 計時電路	224
2-4 PUT 計時電路	227
3. 非穩定的諧振盪器電路實習	231
3-1 非穩定的諧振盪器驅動蜂鳴器	232
3-2 非穩定的諧振盪器驅動燈泡 (閃光燈)	233
3-3 非穩定的諧振盪器作方波產生器	235
3-4 非穩定的諧振盪器作正弦波振盪器	235
4. 單穩態多諧振盪器實習	236

4-1 單穩態多諧振盪器驅動 Relay 繼電器	237
4-2 One Touch (一碰) 限時繼電器	237
4-3 單穩多諧振盪器作方波產生器	238
5. 施密特激發電路實習	238
5-1 施密特觸發電路實驗	240
5-2 施密特電路 (正弦波一方波變換)	243
6. 溫度計測電路	245
6-1 電子溫度計	245
6-2 熱敏電阻控制高靈敏度溫度繼電器	247
6-3 精密溫度調整器 (UJT、TRIAC)	248
6-4 PUT、TRIAC 溫度控制電路	249
6-5 SCR 溫度開關	251
7. 電晶體應用電路實習	252
7-1 電子小鳥	252
7-2 警報器	253
7-3 物件受知器	255
7-4 SCR 優先競爭電路	256
7-5 聲音動作繼電器	257
8. 光電開關、控制電路實習	258
8-1 光電開關原理	258
8-2 光電開關之應用例	261
8-3 光電開關電路	270
8-3-1 光電阻控制電晶體電路	270
8-3-2 光電蜂鳴器	271
8-3-3 光電繼電器	272
8-3-4 光電晶體控制電磁開關	272

8-3-5 光電阻控制自動點滅器	277
8-3-6 IC光電控制開關	279
8-3-7 光電池光電開關	280
8-3-8 光電晶體光電開關	280
8-3-9 SCR光電開關	281
8-3-10 PUT光電警報器	282
8-3-11 燈泡調光、自動點滅與交流馬達之控制	283
9. TRIAC交流開關	283
9-1 IC電路激發TRIAC	283
9-2 磁簧開關控制TRIAC開關	284
9-3 遙控電路	284
10. 液面控制電路	285
10-1 液面控制電路	285
10-2 液位控制電路	288
10-3 TRIAC液位控制	289
10-4 電晶體式水位檢出器	290
10-5 電晶體液位控制繼電器	290
10-6 SCR液位控制	291

第七章 UJT測量實習

7-1 UJT之特性資料	293
7-2 UJT之特性測試	299
7-2-1 內基極電阻比 R_{BB} 測量	299
7-2-2 V_D 電壓之測量	301
7-2-3 射極特性測量	302
7-2-4 UJT參數測量	304

7-2-5 內基極特性測量	305
7-2-6 V_r 溫度穩定度	306
7-3 UJT 弛張振盪器	308
7-4 UJT 相位控制脈波產生電路	311
7-4-1 相位控制脈波電路	311
7-4-2 單一脈波移相電路	312
7-4-3 雙電充電式脈波產生電路	313
7-4-4 具有控制作用 UJT 移相控制電路	314
7-4-5 UJT 脈波產生電路作 SCR 相位控制	315

第八章 PUT 應用電路實習

8-1 TRIAC、PUT 相位控制電路	321
8-2 PUT 弛張振盪器設計	322
8-3 PUT 弛張振盪器應用實例	325
8-4 汽車倒車閃光警報器	325
8-5 PUT 弛張振盪器電路	326
8-6 PUT 相位控制電路	329
8-7 定電壓二極體與 SCR 過電流檢出電路	332

第九章 順序控制電路實習

9-1 燈光順序控制	335
9-2 SCR 環計數器順序控制	336
9-3 環形計數電路	337

第十章 交流電力控制實習

10-1 調光電路	339
-----------------	-----

10-2 動作時間可調整之調光器	343
10-3 串激電動機速率控制	343
10-4 串激電動機移相調速電路	347
10-5 UJT 定速馬達控制	350
10-6 直流馬達速度控制及轉向控制	352
10-7 馬達速度控制與調光兩用半波控制電路	354
10-8 TRIAC 作單相感應電動機之正逆轉控制	355
10-9 TRIAC 作為單相感應電動機之離心起動開關	357
10-10 電動機控制	358
10-11 三相交流電動機速率控制	361
10-12 三相感應電動機環計數器速度控制	366

第十一章 SCR 直流開關

11-1 信號檢出記憶	369
11-2 信號檢出動作後復歸	370
11-3 直流開關之應用	370
11-4 過電壓電驛	373
11-5 過電流電驛	375
11-6 漏電斷路器	377
11-7 電晶體式漏電斷路器	379
11-8 電晶體放大 SCR 驅動式漏電斷路器	380
11-9 Op-Amp IC 式漏電斷路器	380

第十二章 工業電子自動化參考電路

12-1 交流放大電路	383
12-2 偏壓穩定度	384

12-3 交流放大參考電路	385
12-4 直流放大電路	387
12-5 電源電路	388
12-6 穩定化電源電路	391
12-7 直流交流變換電路	393
12-8 繼電器控制	395
12-9 振盪電路	398
12-10 光繼電器電路	399
12-11 CR 電路	400
12-12 電晶體計時電路	402
12-13 多諧振盪器電路	403
12-14 SCR 應用電路	404
12-15 差動變壓器	407
12-16 霍爾效應半導體	408
附錄一 一般用途日製電晶體規格表	411
附錄二 功率電晶體資料	412
附錄三 場效電晶體（日製）規格表	420
附錄四 SCR、TRIAC、UJT、PUT 等規格表	422

第一章 半導體元件的種類

電子電路使用之半導體元件種類繁多，構造互異，應使用上之需要，吾人應充分熟悉半導體元件發揮其長處，以完成“電路之設計”，故而先說明半導體元件之種類及特徵如下：

半導體之構成材料以矽（Silicon）及鍺（Germanium）為主，但使用化合物半導體等材料可製成熱敏電阻（Thermistor）與變阻體（Varistor）。依半導體接合面之數量而區分半導體種類如圖 1 所示。

接面數	激 發 源			
	電 壓、電 流	溫 度	光	磁 通
0	變阻體	熱阻體，熱敏電阻	CdS	霍爾元件
1	二極體 齊納二極體 變容二極體 UJT, FET 等		光二極體 發光二極體 (LED)	
2	合金接合型電晶體、晶膜平面型電晶體等		光電晶體	
多接合	SCR, TRIAC SSS, SBS, SUS 等		光激發 SCR 等	

圖 1-1 以接合數分類之半導體元件

吾人通稱二極體為具有一個接合面者，電晶體為具有二個接合面者。