

SCR

矽控整流器

原理・應用・實作

歐文雄編著



啟學科技系列

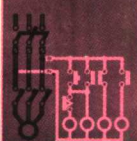
電子計算器

黃國強編著



啟學科技系列 ①

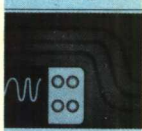
電機接線圖入門



示波器

原理及操作

黃國強編著



電晶體迴路

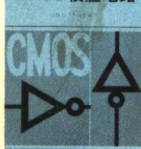
設計與分析

啟學科技系列 ② 黃國強編著



CMOS積體電路

黃國強編著



圖解自動控制

實用版

黃國強編著 啟學科技系列 ③



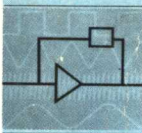
Hi-Fi 擴大器

李金龍編著



電子振盪器

李金龍編著



空調原理與維修

啟學科技系列 ④ 黃國強編著



SCR

矽整流器

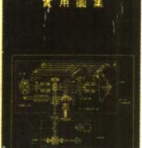
原理・應用・實作

李金龍編著



自動化・省力化

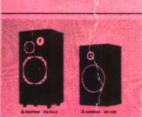
實用圖集



實用

揚聲器技術

陳文龍編著



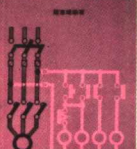
實用自動控制入門

黃國強編著



順序控制回路解題

黃國強編著



示波器

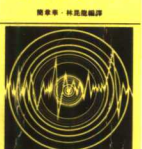
測試與應用

黃國強編著



音・响・技・術

黃國強編著



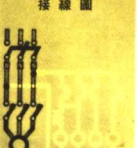
電視調諧器

黃國強編著



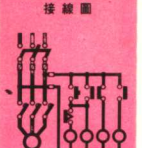
產業控制系統

接線圖



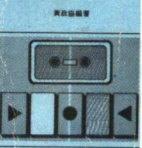
電力控制系統

接線圖



錄音機原理

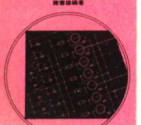
黃國強編著



工業電氣

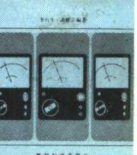
與自動控制實務

黃國強編著



三用電表的應用

黃國強編著



圖解自動控制

黃國強編著



AM-FM 收音機原理

黃國強編著



啟學科技系列
● 香港彌敦道樂德商業大廈808室
● 九龍官塘鴻圖道偉強工業大廈二樓
● 版權所有 請勿翻印

出版者：啟學出版社
承印者：美都印刷公司

PUBLISHED & PRINTED IN HONG KONG

港澳東南亞各大書局均有經售

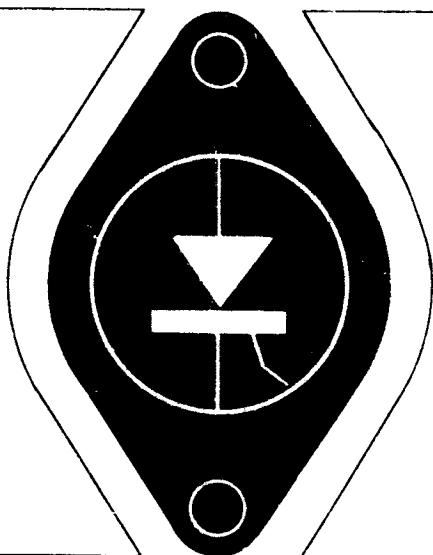
H.K.\$7.00

SCR

矽控整流器

原理・應用・實作

歐文雄 編著



目 錄

第 1 章 SCR的認識	1
第 2 章 SCR的構造與動作原理	7
2-1 SCR 的基本理論	7
2-2 SCR 的構造	10
2-3 SCR 的特性	15
第 3 章 SCR的規格與特性試驗	19
3-1 SCR 的規格與其定義	19
3-2 SCR 規格特性的測量方法	24
第 4 章 SCR的控制作用	29
4-1 SCR 的激發特性	29
4-2 SCR 的激發方法	31
4-3 SCR 的 Turn.off 方法	34
第 5 章 SCR激發用脈波產生電路	37
5-1 UJT 激發元件	38
5-2 UJT 脈波產生電路	41
5-3 PUT 脈波產生電路	45
5-4 其他脈波產生電路	47

第 6 章 SCR的一般性應用	49
<1> 過電壓保護電路	49
<2> 過電流保護電路	52
<3> 點滅電路	52
<4> 電池充電機電路	53
<5> 點火裝置	54
<6> 電燈遠隔操作裝置	55
<7> 遲延熄燈電路	55
<8> 光電控制電路	57
<9> 溫度控制電路	60
<10> 接觸開關電路	64
<11> 緩慢脈波產生電路	65
<12> 音樂彩色圖電路	66
第 7 章 燈光亮度控制電路	69
7-1 電阻性負載調光電路	70
7-2 電阻性負載調光電路的設計要點	73
7-3 日光燈調光電路	78
7-4 日光燈調光器的設計要點	81
第 8 章 直流馬達的速度控制電路	85
8-1 直流馬達速度控制的基本原理	86
8-2 普通馬達轉速控制電路	87
8-3 並激馬達速度控制電路	90
8-4 三相直流馬達之速度控制電路	93
第 9 章 TRIAC	95

9-1 TRIAC的構造	95
9-2 TRIAC 的特性	98
9-3 TRIAC的應用	100
9-4 調光控制電路.....	101
9-5 馬達轉速的控制.....	104
9-6 TRIAC的一般應用	108
第10章 其他矽控閘流體	111
10-1 DIAC.....	111
10-2 SSS	113
10-3 SCS	115
10-4 GTO	118
10-5 LASCR.....	121
10-6 LASCS.....	126
第11章 洗衣機及電扇的無段變速控制.....	129
11-1 洗衣機無段變速控制的基本原理.....	129
11-2 洗衣機無段變速電路.....	131
11-3 電扇無段調速的基本原理.....	134
11-4 電扇無段速度控制電路.....	135
第12章 SCR串聯式變流器的設計.....	139
12-1 動作原理.....	140
12-2 Inverter 的激發電路	143
12-3 串聯 Inverter 的設計	144
12-4 串聯 Inverter 的設計實例	148
12-5 串聯 Inverter 的應用電路	151
附 錄：閘流體規格表.....	153

1

SCR的認識

所謂SCR者，仍是 Silicon Controlled Rectifier（矽控整流器）的簡稱，係美國通用電子（GE）公司於1957年所研究出來的電子元件，十幾年來其進步與發展的神速已是舉世矚目。

目前在市場上的SCR產品，不論在電力容量或外觀型式上均形形色色，可以任君依用途及使用場所而選擇。在電流容量規格上，有100mA至800A，電壓規格亦可高達2000V。外觀型式也有小到和普通電晶體一樣小巧玲瓏，可以適應各種不同的環境需要。目前SCR不論是在軍事方面、工業應用、以及一般機械中均扮演着一個相當重要的角色。一般而言，SCR可以取代閘流管、繼電器、磁性放大器、接觸器、迴轉變流器、真空管及電力用電晶體等電子裝置。尤其是對小功率的電力控制與高速保護系統，SCR更能發揮其特點。

1 一般性的應用

在一般家庭電器用品中，如電燈、電扇、果汁機、洗衣機及電熱器等

2 SCR 原理與應用

均可利用 SCR 構成無段控制裝置。此外在自動乾燥機、烤箱以及小型電動工具等機件亦可使用 SCR 來控制，可以使機件變得更為精巧好用。

舞台燈光控制方面，使用 SCR 替代原有的機械控制裝置，不但操作簡單快速，故障機會小，而且更能精密柔和地控制全場燈光，同時其設備所佔空間亦可節省許多，尤其在日光燈的調光方式上更有其獨特之處。

SCR 還可配合其他察覺元件組成警報系統，防盜設備與遙控系統。

1-2 工業應用

SCR 在工業上的應用非常廣泛，它可以構成相位控制的整流裝置，以調整輸出的直流電壓，適用於化學反應，直流配電系統，金屬處理等方面。

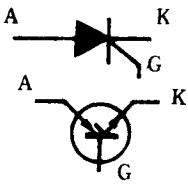
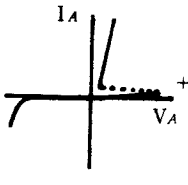
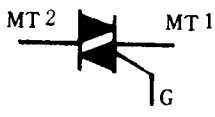
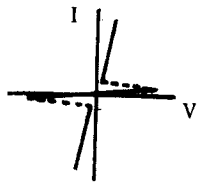
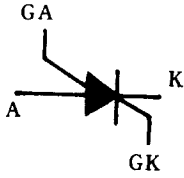
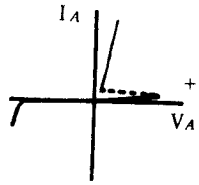
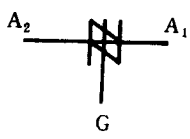
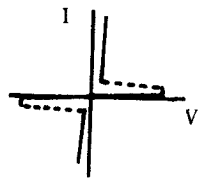
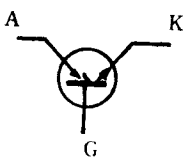
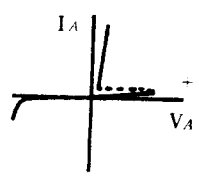
碾紙機，軋鋼機，吊車，電梯等方面的直流電動機速控制均可利用 SCR 來完成，又可使用華德李翁（Ward Leonard）電路來完成三相系統的馬達控制。

大功率脈波應用，例如雷達、測距機中的調變器，亦可利用 SCR 作高速大容量的開關，配合調速管、磁控管作高電力脈波輸出。

近幾年來為適應實際需要，類似 SCR 的其他元件已陸續地應市，因此，國際電氣標準學會（International Electrotechnical Commission，簡稱 IEC）決定以閘流體（Thyristor）為此類元件的總名稱。閘流體種類甚多，除 SCR 外還有 TRIAC，SSS，SCS，SUS，SBS，SAS 及 GTO 等皆屬之，尚有以光線強弱控制其動作的 LASCR 與 LASCS。表 1-1 所示為常用閘流體的電路符號與特性曲線。表 1-2 所示為常用激發元件的特性曲線與基本電路。

激發元件實際上相當於一只開關的作用，係用來促使 SCR 的閘極電流流動，因為當 SCR 的陽極與陰極間施加順向電壓時，並不發生導電作用，必須閘極（Gate）被激發（Trigger）時，才會導電。所以 SCR 等閘流體可以說是一件以小電流（閘極電流）來控制大電流（陽極與陰極間的

表 1-1 閘流體的電路符號與特性曲線

名 稱	電 路 符 號	特 性 曲 線
SCR Silicon Controlled Rectifier		
TRIAC Bidirectional Triode Thyristor		
SCS Silicon Controlled Switch		
SBS Silicon Bilateral Switch		
GTO GATE Turn- off Switch		

4 SCR原理與應用

表 1-2 激發元件的基本電路與特性曲線

名 稱	編 號	基 本 電 路	特 性 曲 線
UJT Unijunction Transistor	2 N 489 A 2 N 489 B 2 N 1671 A 2 N 1671 B 2 N 2417 A 2 N 2646 2 N 2647		
PUT Programmable Unijunction Transistor	2 N 6027 2 N 6028		
DIAC Bilateral Trigger Diode	ST 2		
SUS Silicon Unilateral Switch	2 N 4983 2 N 4984 2 N 4985 2 N 4986 2 N 4987 2 N 4988 2 N 4989		

電流)的裝置元件。

SCR 雖然已廣泛被採用於控制裝置系統中，但是在使用時，仍有許多問題存在，這些問題有優點也有缺點，充分了解這些問題，我們可以盡量發揮其優點，亦可針對缺點設法謀求補救的方法。茲將優缺點分述於後：

優點：

(1) 體積小，且是高效率的控制元件

它可以極小的電流來控制甚大電力的電路，目前各國的產品，有小自 30 V，100 mA，也有大至數仟伏特，數百安培的額定電壓、電流規格。

(2) 壽命長，是一半永久性元件

若電路設計正常，且有適當的保護設備，SCR 是不會損壞，亦不會有特性劣化的現象發生。

(3) 開啓 (Turn on) 與關閉 (Turn off) 動作迅速

一般 SCR 的 Turn on 時間約 $1\mu\text{S}$ 左右，而 Turn off 時間約 $5\sim 30\mu\text{S}$ 。

缺點：

(1) 易受衝擊 (Surge) 電壓的影響

SCR 即使在閘極不加訊號的狀態下，如果受有衝擊電壓，也會發生轉態 (Break Over)，而導致 Turn on。對於這種誤動作，甚難找出有效的補救方法。

有時這種衝擊電壓過高，亦會破壞 SCR，而導致電路電流持續不斷，有燒燬設備的可能。

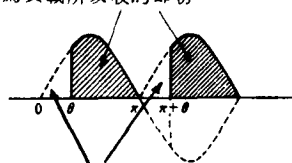
(2) 無法耐高溫

SCR 亦和一般半導體製品一樣，受溫度影響甚大，例如工作於 120°C 的維持電流約為 25°C 時的一半而已。因此，SCR 如果散熱情況不良於工作時常會因溫度變化而促使特性變化，可能產生誤動作的後果，甚至有燒燬 SCR 的情況發生。一般最好工作於 100°C 以下。

(3) 使用於相位控制電路時，電源會產生高諧波干擾

相位控制電路可使 SCR 閘極電壓落後 θ 角度後，才激發 SCR 而開始導電，因此，經 SCR 而供給負載的電力即如圖 1-1 陰影部份所示，形成斷續的現象。在 $0 - \theta$ 角度間的斷流波含有大量的高次諧波，這些高次諧波不為負載所吸收，勢將流進電源電路而造成干擾。

電力公司所供給的
為負載所吸收的部份



電力公司供給
的剩餘能量
(即不為負載所
吸收的部份)

圖 1-1 SCR 的工作電流

因此在較大容量的裝置中，均於電源側裝設有高諧波濾波器。有時還得將整個 SCR 控制裝置以金屬箱子隔離起來，以減少對通信設備的干擾。

2

SCR 的構造與動作原理

2-1 SCR 的基本理論

SCR (矽控整流器) 是一種 PNPN 的四層半導體裝置, 但是, 外型且只有陽極 (Anode)、陰極 (Cathode) 及閘極 (Gate) 的三端引線, 其電路符號如圖 2-1 所示。欲使 SCR 導電必須同時滿足下列條件:

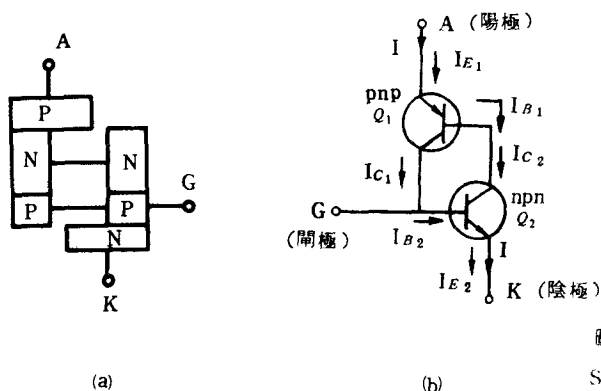
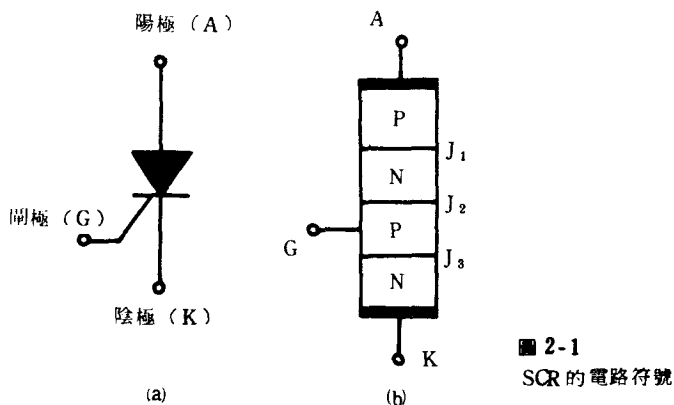
(1) SCR 須工作於順向電壓

SCR 乃為單向導電元件, 當陽極施加正電壓而陰極加負電壓時, 才有可能導電, 此時 J_1 , J_3 兩接合面受有順向電壓, 僅 J_2 接合面處於逆向工作, 故 SCR 仍不導電。

(2) 閘極受有正極性電壓

當 SCR 的 A-K 之間受有順向電壓時, 僅 J_2 接合面處於逆向工作電壓, 若閘極再受有正極性電壓即可使 J_2 接合面導電, 而使 A-K 之間呈短路狀態。

此兩條件必須同時滿足才能使 SCR 發生 Turn on, 兩者缺一不可。



因此控制閘極即能控制 SCR 於何時 Turn on。

下面我們再以圖 2-2 所示的 SCR 電晶體等效電路來進一步說明 SCR 的基本操作理論。SCR 的基本結構可視為由一 PNP 與 NPN 電晶體所構成，其連接方式如圖 2-2 (b) 所示。當閘極開路（不施加電壓）而陽極與陰極間受有順向電壓時，由於電晶體無基極電流 I_B ，因此集極無法產生電流，即 SCR 不導電。

倘若 SCR 的陽極與陰極間受有順向電壓，且閘極施加正極性電壓而產生閘極電流 I_G ，此閘極電流即為 Q_2 電晶體的基極電流 I_{B2} ，因此 Q_2 電晶體

導電而產生 I_{C2} ，此 I_{C2} 即為 Q_1 電晶體的基極電流 I_{B1} ，所以 Q_1 電晶體亦導電，而 I_{C1} 再度作為 I_{B2} 經 Q_2 電晶體放大，如此循環放大使得 Q_1 、 Q_2 均達到飽和，即 SCR 導電。所以 SCR 的閘極有控制 A-K 導電的功用，由圖 2-2 可知一已經導電的 SCR，其閘極即失去了控制能力，因其二只電晶體可構成循環放大，而無須再依靠外加閘極訊號電流，也就是說 SCR 的閘極僅能控制 Turn on 的作用，而無法控制 Turn off 的作用。欲使 SCR 發生 Turn off 必須使陽極與陰極間的電壓降為零或工作於逆向電壓。

圖 2-2 所示電路，若 A-K 間施加一順向電壓，只要兩只電晶體中的任何一只電晶體的基極與射極能構成順向工作，即可使電晶體飽和，而使 SCR 由截止狀態轉變為導電狀態 (Turn on)，這種轉變所須的條件為

$$\alpha_1 + \alpha_2 = 1 \quad \cdots \cdots \cdots (2-1)$$

其 α_1 為 PNP 電晶體的電流傳送率， α_2 為 NPN 電晶體的電流傳送率。依電晶體基本理論而言，集極電流 I_C 應包含由射極進入的電流 αI_E 與漏電電流 I_{CBO} ，所以我們可寫為

$$I_C = \alpha I_E + I_{CBO}$$

或

$$I_B = (1 - \alpha) I_E - I_{CBO}$$

由圖 2-2 所示，可知 Q_1 電晶體的基極電流 I_{B1} 應為 Q_2 電晶體的集極電流 I_{C2} ，即為

$$I_{C2} = I_{B1}$$

且

$$I_{C2} = \alpha_2 I + I_{CBO2}$$

$$I_{B1} = I_{C2} = (1 - \alpha_1) I - I_{CBO1}$$

所以

$$\alpha_2 I + I_{CBO2} = (1 - \alpha_1) I - I_{CBO1}$$

由上式解得 SCR 的導電電流 I 為

$$I = \frac{I_{CB01} + I_{CB02}}{1 - (\alpha_1 + \alpha_2)} \dots\dots\dots (2-2)$$

倘若 $(\alpha_1 + \alpha_2) = 0.9$ ，依 2-2 式所得，SCR 的導電電流 I 即等於兩只電晶體漏電電流 $(I_{CB01} + I_{CB02})$ 的 10 倍，但是，一般矽質製品的漏電電流甚小，如果說 $I_{CB01} = I_{CB02} = 1 \mu A$ ，則 SCR 的導電電流才只有 $20 \mu A$ ，可以說是截止狀態，即 SCR 不導電。

如果設計時使 $\alpha_1 + \alpha_2$ 等於 1，則依 2-2 式，SCR 的導電電流 I 應為無限大。實際上，由於接合面仍有順向電壓降存在，將不致使電流達到無限大，但是 SCR 導電電流甚大是沒有問題，故 SCR 呈短路狀態。所以 $\alpha_1 + \alpha_2$ 等於 1 是 SCR 的導電條件。

2-2 SCR 的構造

SCR 的性能與其可靠性和它的製造法有非常密切的關係。SCR 主要是由 PNP 四層矽質薄板構成，這四層構造的形成方式，可分為熱擴散法、合金法或者兩者兼用。目前大都採用熱擴散法和合金法并用而製成。

所謂熱擴散法，是利用三價或五價的雜質氣體，在高溫之下滲入矽質材料中，使矽質材料變成 P 型或 N 型半導體的方法。熱擴散法的主要優點是容易獲得較大的接合面積；接合情況較均勻，雜質濃度的控制較易。但是製造過程需要長時間的加溫，且設備較昂貴是其缺點。

圖 2-3 所示為使用擴散法來做成的 PNP 四層半導體構造，先使用三價雜質在 N 型矽的兩側作熱擴散，使兩側形成 P 型半導體，即完成 PNP 結構，然後其中一個 P 型半導體再經一次五價雜質的擴散，使部份 P 型矽轉變為 N 型矽即形成 PNP 四層裝置。

圖 2-4 所示為目前最常用的擴散—合金併用法製成的 SCR 結構。先以熱擴散法完成 PNP 三層結構，於其中一 P 型矽上，使用含有五價雜質的金屬與 P 型矽以合金法形成 N 型矽層，而形成 PNP 裝置。如此形成的 SCR，其機械強度不高，僅適用小電流的 SCR。對額定電流容量較

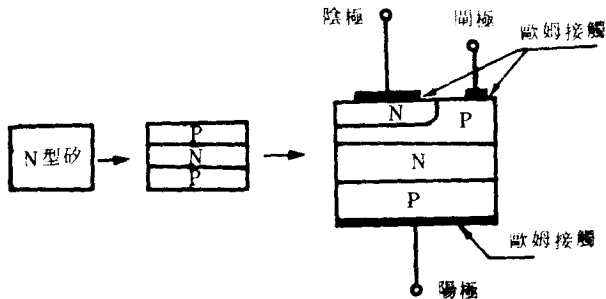


圖 2-3 擴散法製成的 PNP 裝置

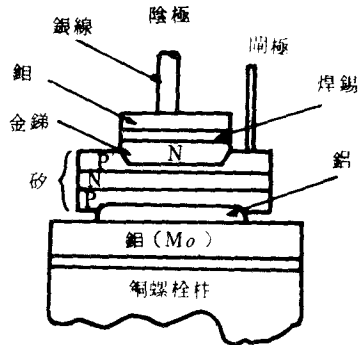


圖 2-4 擴散-合金製成的 SCR 結構

大的 SCR，需如圖 2-4 所示，使用熱膨脹係數和矽相近，且熱傳導性良好，電導性極佳，機械強度亦很大的材料，例如鉬（Mo）或鎢（W）等，夾於矽片兩側作溫度補償板。然後再以硬焊或壓着法將它固定在銅螺柱上，這樣可使接合面所產生的熱能經銅螺柱向外傳遞，再經散熱板加以發散，如圖 2-5 所示。

當然，整個 PNP 裝置需密封於一個閉合容器中，才能避免大氣中所含的水蒸氣與其他氣體使半導體劣化。

SCR 的外型種類甚多，圖 2-6(a) 所示為電晶體型 SCR，其外形與普通電晶體相同，其額定工作電流通常均在 1 安培以下，而額定工作電壓通常均在 200 V 以下者。圖 2-6(b) 所示的型式通常額定電流均在 10 安培以下，