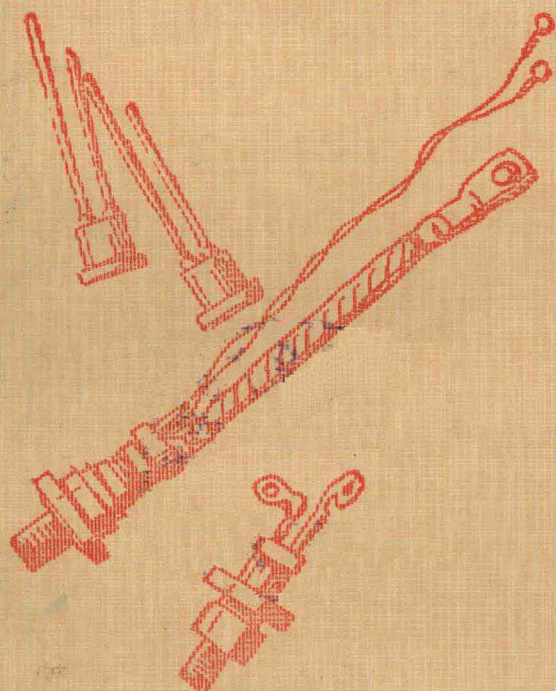


路電控制

歐文雄編著



大中國圖書公司印行

矽控電路

原理・設計・應用

歐文雄 編著

大中國圖書公司印行



版權所有・翻印必究

編著者：歐文雄
發行人：薛瑜
出版者：大中國圖書公司

台北市重慶南路一段66號
電話：3111487 郵撥：2619號

登記證：局版台業字第0653號

中華民國六十八年一月再版

基本定價四元二角

編號：704

編輯大意

- 一、由於 SCR 等矽控元件的神速發展，已在工業電子學上扮演相當重要的角色。目前矽控元件不但是工業自動控制應用上的寵兒，更普及至家庭電器控制上。坊間有系統地介紹矽控元件的書籍很少，有鑑於此，乃編輯此書以供讀者參考。
- 二、本書以淺顯易懂的漸近方式，介紹矽控元件的特性、電路設計與應用。全書以物理觀念之闡明為主，而輔以實用的數學公式以爲設計之根據，並附例題說明設計原則，使理論與實用配合，俾利讀者易於了解。
- 三、本書共分 12 章，第 1 章介紹矽控元件。第 2 章說明 SCR 的動作原理與結構。第 3 章詳細分析 SCR 及電路設計原則。第 4 章介紹另一重要矽控元件“TRIAC”。第 5 章分析 UJT 弛張振盪器及其電路設計。第 6 章介紹各種激發用脈波產生電路。第 7 章詳細討論交流相移控制的電路及其電路設計。第 8 章介紹燈光控制電路。第 9 章分析馬達轉速控制方法與電路。第 10 章討論 SCR 變流器（Inverter）電路。第 11 章係討論溫度、交流穩壓、警報系統、延時電路等一般性應用電路，同時亦介紹廣告應用上的 Chaser 電路及一些趣味性的應用電路。第 12 章介紹 SCS、SSS、SAS、SBS、SUS、ATS 及 LASCR、LASCS 等其他矽控元件的特性與應用。
- 四、本書適用於三、五及二年制工專電機工程科的“矽控電路”教學課程之用，及電子、電機“工業電子學”之教學與參考。本書所

列舉的應用電路，非但範圍廣泛，包括各類應用電路，而且極為實用，因此本書亦極適合工廠工程師、技術人員的參考之用。

五、本書之編撰立意雖宏，奈學養欠深，力有未逮舛誤之處恐所難免，尚祈先進隨時賜教指正，俾再版時得以更正。

歐 文 雄 於台北工專

中華民國六十五年六月

矽控電路

目次

第一章 矽控元件的認識

1-1 概述.....	1
1-2 矽控元件的應用.....	2
1-3 矽控元件的特性.....	3
1-4 常用的矽控元件.....	6

第二章 SCR的動作原理與構造

2-1 SCR的動作原理	10
2-2 SCR的特性曲線	13
2-3 SCR的構造	16
2-4 SCR的外形種類與結構	18
習 題.....	27

第三章 SCR的規格與特性

3-1 SCR的規格定義	28
3-2 SCR的規格特性	31
3-3 SCR的激發特性	38
3-4 SCR的激發方法	42

3-5	SCR的開啓 (Turn on)	49
3-6	導電中的 SCR	53
3-7	SCR的關閉 (Turn off).....	58
3-8	SCR的串聯與並聯	62
3-9	SCR的靜態測試	66
習 題		69

第四章 TRIAC

4-1	TRIAC的構造.....	71
4-2	TRIAC的特性	75
4-3	TRIAC的激發特性	78
4-4	導電中的TRIAC	79
4-5	TRIAC的激發電路	80
4-6	TRIAC的靜態測試	82
習 題		84

第五章 UJT弛張振盪電路

5-1	UJT激發元件.....	86
5-2	UJT的特性	89
5-3	UJT弛張振盪器	94
5-4	UJT弛張振盪器的設計	98
5-5	用於激發閘流體的UJT振盪電路設計	107
5-6	各種UJT激發脈波產生電路	111
5-7	UJT開—關控制電路	117
習 題		119

第六章 激發脈波產生電路

6-1	PUT脈波產生電路	120
6-2	PUT脈波產生器的設計	123
6-3	DIAC弛張振盪電路	126
6-4	蕭克雷二極體弛張振盪電路	128
6-5	其他脈波產生電路	130
習 題		134

第七章 交流相移控制

7-1	相移控制的基本電路	135
7-2	相移控制的分析	138
7-3	交流相移控制電路的設計	150
7-4	交流相移控制的應用	157
7-5	數位相移控制	162
7-6	控制振盪器的數位相移電路	163
7-7	產生延遲脈波的數位相移電路	169
7-8	數位電壓控制的商用相移電路	172
習 題		180

第八章 燈光亮度控制電路

8-1	基本調光控制方式	182
8-2	電阻性負載的調光電路	183
8-2-1	小電力調光控制電路	184
8-2-2	大電力調光系統	190
8-3	電阻性負載調光電路的設計要點	194

8-4	大電力調光系統的操作	199
8-5	日光燈調光電路	204
8-6	日光燈調光電路的設計要點	208
習題		210

第九章 馬達轉速控制

9-1	各型馬達的特性認識	212
9-1-1	通用馬達	212
9-1-2	直流串激馬達	213
9-1-3	直流並激馬達	213
9-1-4	直流複激馬達	216
9-1-5	分相式感應馬達	216
9-1-6	蔽極式馬達	218
9-1-7	多相感應馬達	219
9-1-8	同步馬達	219
9-1-9	數位步進馬達	220
9-2	通用馬達控制電路	222
9-3	直流分激馬達控制電路	229
9-3-1	中馬力級的分激馬達控制電路	231
9-3-2	大馬力級的直流分激馬達控制電路	236
9-4	馬達旋轉方向控制	240
9-5	直流三相馬達轉速控制	243
9-6	步進馬達的控制	245
9-7	電池操作的直流馬達控制電路	247
9-7-1	中馬力級電池操作車輛的速度控制	249
9-7-2	大馬力級電池操作車輛的速度控制	251

習 題.....	255
----------	-----

第十章 SCR變流器

10-1 並聯變流器的動作原理.....	256
10-2 轉流改良型並聯變流器.....	258
10-3 串聯變流器.....	265
10-4 變流器的激發訊號源.....	267
10-5 變流器的電壓調整.....	269
10-6 變流器輸出波形的改善.....	270
10-7 串聯變流器的設計.....	272
10-8 變流器的應用.....	277
10-8-1 無停電電源裝置.....	278
10-8-2 直流無停電電源裝置.....	281
10-8-3 其他應用電路.....	282
習 題.....	293

第十一章 其他應用電路

11-1 溫度控制電路.....	294
11-2 交流穩壓電路.....	303
11-3 電池充電器電路.....	309
11-4 警報裝置電路.....	311
11-5 延時電路.....	314
11-5-1 直流延時電路.....	314
11-5-2 交流延時電路.....	317
11-5-3 延時電路的應用.....	321
11-6 閃光電路.....	322

11-7	開關式閘流體穩定電源供給電路	328
11-7-1	閘流體相位控制電源供給器	329
11-7-2	直流斬斷式的閘流體穩壓電路	333
11-8	一般性應用電路	335
習題		351

第十二章 其他矽控元件

12-1	SCS	354
12-1-1	SCS的構造與動作特性	354
12-1-2	SCS的規格與特性	358
12-1-3	SCS的應用	359
12-2	SSS	363
12-2-1	SSS的結構與動作特性	363
12-2-2	SSS的激發方法與電路	367
12-2-3	SSS的應用	371
12-3	SUS	373
12-4	SBS	377
12-5	SAS	380
12-6	ATS(ASBS)	382
12-7	GTO	384
12-8	LASCR	388
12-9	LASCS	396
習題		399

附錄一	矽控元件的特性資料	401
-----	-----------	-----

附錄二	日本製SCR規格一覽表	418
-----	-------------	-----

附錄三	日本製TRIAC規格一覽表	437
-----	---------------	-----

矽控電路

1

矽控元件的認識

1-1 概述

矽控元件是一種矽質（Silicon）半導體開關元件，其主要動作係依PNPN四層半導體的再授再生來完成。自1957年美國GE電子公司研究出矽控整流器（Silicon Controlled Rectifier，簡稱SCR）後，半導體元件即又開創了另一個新的領域。發展到今日，它已是工業控制應用上的寵兒，而且爲了適應工業應用的需要，其類似的控制元件已不斷地問市。國際電氣標準學會（International Electrotechnical Commission，簡稱爲IEC）將此類矽控元件定名爲“**閘流體（Thyristor）**”。

閘流體種類甚多，其元件有二端子、三端子及四端子裝置；有適於單向工作者亦有適於雙向工作者。已問市的閘流體元件除最具代表性的SCR外，還有TRIAC、SCS、SUS、SBS、SAS、SSS及GTO等皆屬之，此外尚有以光線強度來控制其動作的LASCR與LASCS等光動作元件。

目前在市場上的矽控元件產品，不論在電力規格或外觀型式上均形形色色，可依用途及使用環境而任意選擇。在電流量規格上有高達800A者；電壓規格亦有高達2500V者。近年來，由於半導體製造技術的進展與熱擴散處理技術的進步，使得快速動作的矽控元件亦

有相當驚人的成效。目前矽控元件不論是在軍事應用方面、工業控制、家庭電器控制以及一般機械中均扮演着一個相當重要的角色。

1-2 矽控元件的應用

一般而言，矽控元件可以替代閘流管、繼電器、磁性放大器、真空管及電力用電晶體等電子元件，而應用於靜態轉換系統、截波器、充電機、變流器、馬達控制、電路保護系統、溫度控制、相位控制系統及超聲波控制系統等裝置。

(1) 一般性的應用

一般家庭電器用品中，如電扇、洗衣機、果汁機、攪拌機、電燈、電子毛毯及電熱器等均可利用矽控元件來完成自動控制裝置，使得使用上更為方便。此外自動乾燥機、烤箱及自動電氣機械亦可使用矽控元件來作控制，以使機件變得更為精巧方便。

舞台或攝影棚的燈光控制使用矽控元件來替代舊式的機械控制裝置，非但有體積小、操作簡便、故障率小，而且更能精密地控制全場氣份與情調，尤其在日光燈的調光裝置系統更有其獨特之處。

矽控元件還可配合其他感測器（Sensors）、諸如光電晶體、熱敏電阻器、熱電偶（Thermocouples）及微音器（Microphones）等，來完成各式自動控制系統、警報系統、防盜設備與遙控系統等裝置。

閘流體亦可應用於電視接收機中，例如B電源穩定電路、水平偏向電路、鋸齒波振盪電路等。

(2) 工業應用

吊車、軋鋼機、碾紙機及電梯等方面的直流電動機均可利用矽控元件來完成自動調速控制，三相直流電機亦可應用華德李翁（Ward Leonard）控制電路來完成三相系統的馬達控制。交流電機與數位式

馬達亦可控制良好。

矽控元件亦可完成開關式直流穩壓裝置，可適用於直流配電系統、金屬處理與化學反應方面。對小電力的交流穩壓裝置更有其方便之處。

在雷達、測距機中的調變器亦可利用矽控元件來作高速大容量的開關，以配合調速管或磁控管作高功率的脈波輸出。

在汽車廢氣污染嚴重地影響人類生存的今天，明日必定是無空氣污染的電動汽車之天下，而電動汽車之變速與速度控制方面，矽控元件更是獨具特點。

閘流體亦可製造各種不同頻率的交流電源裝置，例如 50 Hz 、 400 Hz ，甚至高至 20 KHz 的電源裝置亦輕易可得。

1-3 矽控元件的特性

雖然閘流體已廣泛地應用於工業控制系統裝置中，但是該類元件在使用時仍有許多問題存在，這些問題有優點亦有缺點，能充份了解元件的特點即可充份發揮其優點，亦可針對其缺點謀求補救的設計。茲將其優缺點分述如下：

優點：

(1) 體積小、效率高

閘流體係以小電流來控制高電力的電路，其元件本身的消耗並不大，故效率極高。目前市場上的產品規格種類極多，容易選用。

(2) 壽命長

若電路設計正常，且有適當的保護裝置，諸如散熱裝置、 dv/dt 保護裝置等，閘流體是不易損壞，亦不會發生特性劣化的現象。

(3) 交換時間短，動作迅速

一般製造廠商均需提供閘流體的開啓 (Turn, on) 與關閉 (Turn

off) 時間，以利設計工程師選用產品之參考。就 SCR 而言，其典型的交換時間為：開啓時間約 $1\ \mu s$ 左右；關閉時間約 $5 \sim 30\ \mu s$ 。

缺點：

(1) 受工作溫度影響甚大

矽控元件亦如同一般半導體製品一樣受溫度影響甚大，因此使用矽控元件須有良好的散熱設備，才不會產生特性變化而發生錯誤動作。例如工作於 $120^\circ C$ 的 SCR，其維持電流約只有 $25^\circ C$ 時的一半而已。故設計時，對散熱問題與工作環境需有周詳的考慮，以免燒燬閘流體。一般的閘流體最好工作於 $100^\circ C$ 以下。

(2) 易受衝擊 (Surge) 電壓的影響

一般閘流體即使在閘極 (Gate) 無外加訊號的情況下，如陽極與陰極間受有過大的衝擊電壓，亦會發生轉態 (Break Over) 現象。有時這種衝擊電壓過高亦會燒燬閘流體，而導致電路電流持續不斷，可能造成設備的重大損壞。

(3) 用於相位控制電路時，會產生高次諧波的干擾

一般閘流體均

以閘極訊號來控制閘流體的激發角度 θ ，也即閘流體在交流電壓每一半週落後 θ 角時才開始導電。就 SCR 矽控元件而言，其工作於電阻性負載時

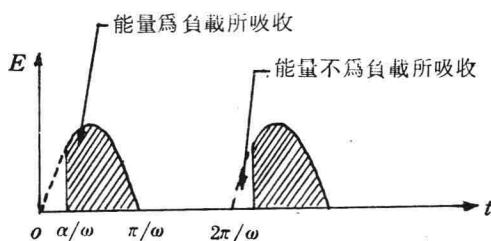


圖 1-1 SCR 的工作電流

的電流波形如圖 1-1 所示。因此，經由 SCR 導電而供給負載的能量即如圖中陰影部份所示；而每一半週在 $0 \sim \theta$ 角度間 SCR 截流，電源

能量不為負載所吸收。如此斷流波將產生大量的 高次諧波進入電源電路而造成干擾其他電子設備。因此，在容量較大的 SCR 控制裝置中，均於電源側裝設有高頻濾波器，以減少對同一電源系統的通信設備之干擾。

圖 1-1 所示電壓或電流可以下列數學函數表示

$$f(t) = \begin{cases} E \sin \omega t & \alpha < t < \pi/\omega \\ 0 & \text{其他角度} \end{cases}$$

此電壓或電流波形所含的高次諧波可依下列數學通式求得

$$\begin{aligned} a_k &= \frac{\omega}{\pi} \int_{\alpha/\omega}^{\pi/\omega} E \sin \omega t \cos k \omega t dt \\ &= \frac{\omega E}{2\pi} \int_{\alpha/\omega}^{\pi/\omega} \left[\sin (1+k) \omega t + \sin (1-k) \omega t \right] dt \end{aligned}$$

$k = 1$ 時，積分為零，即 $a_1 = 0$

$k = 2, 3, 4, \dots$

$$\begin{aligned} a_k &= \frac{\omega E}{2\pi} \left[-\frac{\cos (1+k) \omega t}{(1+k) \omega} - \frac{\cos (1-k) \omega t}{(1-k) \omega} \right]_{\alpha/\omega}^{\pi/\omega} \\ &= \frac{E}{2\pi} \left(\frac{\cos (1+k) \alpha - \cos (1+k) \pi}{1+k} \right. \\ &\quad \left. + \frac{\cos (1-k) \alpha - \cos (1-k) \pi}{1-k} \right) \dots\dots\dots (1-1) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} b_k &= \frac{\omega}{\pi} \int_{\alpha/\omega}^{\pi/\omega} E \sin \omega t \sin k \omega t dt \\ &= \frac{\omega E}{2\pi} \int_{\alpha/\omega}^{\pi/\omega} \left[-\cos (1+k) \omega t + \cos (1-k) \omega t \right] dt \end{aligned}$$

$k = 1$ 時， $b_k = b_1$

$$\begin{aligned}
 b_1 &= \frac{\omega E}{2\pi} \int_{\alpha/\omega}^{\pi/\omega} \left[-\cos 2\omega t + 1 \right] dt \\
 &= \frac{E}{4\pi} \left[-\sin 2\omega t \right]_{\alpha/\omega}^{\pi/\omega} + \frac{\omega E}{2\pi} \left[t \right]_{\alpha/\omega}^{\pi/\omega} \\
 &= \frac{E}{2\pi} \left[\pi - \alpha + \frac{\sin 2\alpha}{2} \right] \dots\dots\dots (1-2)
 \end{aligned}$$

$k = 2, 3, 4 \dots\dots\dots$

$$\begin{aligned}
 b_k &= \frac{\omega E}{2\pi} \int_{\alpha/\omega}^{\pi/\omega} \left[-\cos (1+k)\omega t + \cos (1-k)\omega t \right] dt \\
 &= \frac{E}{2\pi} \left[-\frac{\sin (1+k)\omega t}{1+k} + \frac{\sin (1-k)\omega t}{1-k} \right]_{\alpha/\omega}^{\pi/\omega} \\
 &= \frac{E}{2\pi} \left[-\frac{\sin (1+k)\pi - \sin (1+k)\alpha}{1+k} \right. \\
 &\quad \left. + \frac{\sin (1-k)\pi - \sin (1-k)\alpha}{1-k} \right] \dots\dots\dots (1-3)
 \end{aligned}$$

式中 E ：電源電壓之峯值

α ：每一半週中不導電的角度

k ：常數，代表諧波， $k = 1$ 即代表一次諧波。

a_k, b_k ： k 次諧波之振幅。

1-4 常用的矽控元件

閘流體的種類甚多，為便於讀者比較其特性，仍將較常用的閘流體元件的電路符號、特性曲線與主要用途列於表 1-1 以供參考。表 1-2 所示為常用的激發元件之特性曲線與其基本電路。

激發元件係用來產生脈波訊號而促使閘流體導電的，因為一般的閘流體當其陽極與陰極受有順向電壓時仍然不導電，必須閘極受有激