

科學圖書大庫

電子組件及電路原理

編譯者 褚冀良

徐氏基金會出版

科學圖書大庫

電子組件及電路原理

編譯者 褚冀良

徐氏基金會出版

美國徐氏基金會科學圖書編譯委員會

科學圖書大庫

監修人 徐銘信 科學圖書編譯委員會主任委員
編輯人 林碧鏗 科學圖書編譯委員會編譯委員

版權所有

不許翻印

中華民國六十三年八月一日初版

電子組件及電路原理

基本定價 八元

編譯者 褚冀良 國立交通大學工學博士

內政部內版臺業字第1347號登記證

出版者 財團法人臺北市徐氏基金會出版部 臺北郵政信箱53-2號 電話785250號
發行人 財團法人臺北市徐氏基金會出版部 林碧鏗 郵政劃撥帳戶第15795號
印刷者 大興圖書印製有限公司 三重市三和路四段一五一號 電話979739號

我們的工作目標

文明的進步，因素很多，而科學居其首。科學知識與技術的傳播，是提高工業生產、改善生活環境的主動力，在整個社會長期發展上，乃人類對未來世代的投資。從事科學研究與科學教育者，各就專長，竭智盡力，發揮偉大功能，共使科學飛躍進展，同把人類的生活，帶進更幸福、更完善之境界。

近三十年來，科學急遽發展之成就，已超越既往之累積，昔之認為絕難若幻想者，今多已成爲事實。人類一再親履月球，是各種科學綜合建樹與科學家精誠合作的貢獻，誠令人有無限興奮！時代日新又新，如何推動科學教育，有效造就科學人才，促進科學研究與發展，允爲社會、國家的基本任務。培養人才，起自中學階段，學生對普通科學，如物理、數學、生物、化學，漸作接觸，及至大專院校，便開始專科教育，均仰賴師資與圖書的啓發指導，不斷進行訓練。從事科學研究與科學教育的學者，志在貢獻研究成果與啓導後學。旨趣崇高，至足欽佩！

科學圖書是學人們研究、實驗、教學的精華，明確提供科學知識與技術經驗，本具互相啓發作用，富有國際合作性質，歷經長久的交互影響與演變，遂產生可喜的收穫。我國民中學一年級，便以英語作主科之一，然欲其直接閱讀外文圖書，而能深切瞭解，並非數年所可苛求者。因此，本部編譯出版科學圖書，引進世界科技新知，加速國家建設，實深具積極意義。

本基金會由徐銘信氏捐資創辦，旨在協助國家發展科學知識與技術，促進民生樂利。民國四十五年四月成立於美國紐約。初由旅美學人胡適博士、程其保博士等，甄選國內大學理工科優秀畢業生出國深造，前後達四十人，返國服務者十不得一。另贈國內大學儀器設備，輔助教學頗收成效；然審度衡量，仍嫌未能普及，乃再邀承國內外權威學者，設置科學圖書編譯委員會，主持「科學圖書大庫」編譯事宜。主任委員徐銘信氏爲監修人，編譯委員林碧鐸氏爲編輯人，各編譯委員擔任分組審查及校閱。「科學圖書大庫」首期擬定二千冊，凡四億言，叢書百種，門分類別，細大不捐；分爲叢書，合則大庫。從事翻譯之學者五百位，於英、德、法、日文中精選最新基本或實

II

用科技名著，譯成中文，編譯校訂，不憚三復。嚴求深入淺出，務期文圖並茂，供給各級學校在校學生及社會大眾閱讀，有教無類，效果宏大。賢明學人同鑑及此，毅然自公私兩忙中，撥冗贊助，譯校圖書，心誠言善，悉付履行，感人至深。其旅居國外者，亦有感於爲國人譯著，助益青年求知，遠勝於短期返國講學，遂不計稿酬菲薄，費時又多，迢迢乎千萬里，書稿郵航交遞，報國熱忱，思源固本，僑居特切，至足欽慰！

今科學圖書大庫已出版七百餘冊，都一億八千餘萬言；排印中者，二百餘冊，四千餘萬字。依循編譯、校訂、印刷、發行一貫作業方式進行。就全部複雜過程，精密分析，設計進階，各有工時標準。排版印製之衛星工廠十餘家，直接督導，逐月考評。以專業負責，切求進步。校對人員既重素質，審慎從事，復經譯者最後反覆精校，力求正確無訛。封面設計，納入規範，裝訂注意技術改善。藉技術與分工合作，建立高效率系統，縮短印製期限。節節緊扣，擴大譯校複核機會，不斷改進，日新又新。在翻譯中，亦三百餘冊，七千餘萬字。譯校方式分爲：(1)個別者：譯者具有豐富專門知識，外文能力強，國文造詣深厚，所譯圖書，以較具專門性而可從容出書者屬之。(2)集體分工者：再分爲譯、校二階次，或譯、編、校三階次，譯者各具該科豐富專門之知識，編者除有外文及專門知識外，尚需編輯學驗與我國文字高度修養，校訂者當爲該學門權威學者，因人、時、地諸因素而定。所譯圖書，較大部頭、叢書、或較有時間性者，人事譯務，適切配合，各得其宜。除重質量外，並爭取速度，凡美、德科學名著初版發行半年內，本會譯印之中文本，廢卽出書，欲實現此目標，端賴譯校者之大力贊助也。

謹特掬誠呼籲：

自由中國大專院校教授，研究機構專家、學者，與從事科學建設之工程師；

旅居海外從事教育與研究學人、留學生；

大專院校及研究機構退休教授、專家、學者。

主動地精選最新、最佳外文學科學名著，或個別參與譯校，或聯袂而來譯校叢書，或就多年研究成果，撰著成書，公之於世。本基金會樂於運用基金，並藉優良出版系統，善任傳播科學種子之媒介。祈學人們，共襄盛舉是禱！

序

編者工作於電子工程界已二十年，兼任教職亦將十年，因鑒於近年來電子組件之日新月異，深感坊間對取材新穎、內容豐富有關組件之中文書籍，甚為缺乏，乃不揣淺陋，依照以往工作心得及講授課程之經驗，搜集最新資料，編成此書。

本書由淺而深，凡理論上的計算，均詳附例題，並逐步解說，期使讀者能徹底明瞭。因之，本書除可供大學或專科之電機、電子工程及相關科系用作課本之外，亦可供電子工程從業人員自修或參考之用。

本書內容多取自下列各書，尤以(A)，(E)，(H)，三本為多。謹向各該書著者表示謝意。

- (A) "Electronic Devices and Circuit Theory" by Robert Boylestad.
- (B) "Directory of Electronic Circuits" by Matthew Mandel.
- (C) "Vacuum and Semiconductor Electronics" by Jacob Millman.
- (D) "Elementary Electronics" by D. Hywel White.
- (E) "Semiconductors Physics, Devices, and Circuits" by Michael m. Cirovic.
- (F) "Electronics In Industry" by George M. Chute.
- (G) "Encyclopedia on Cathode-Ray Oscilloscopes and Their Uses" by John F. Rider.
- (H) "Integrated Circuits and Semiconductor Devices: Theory and Application" by Gordon J. Deboo.

本書係初版，疏誤自是難免，深盼讀者能不吝指正為幸。

褚冀良 於中山科學研究院

徐氏基金會

科學圖書大庫

引介世界科技新知
協助國家科學發展

發行編號 735

目 錄

序

第一章 二接端組件

1.1	引言.....	1
1.2	理想二極體.....	2
1.3	二極真空管.....	4
1.4	氣體二極管.....	9
1.5	半導體二極體.....	12
1.6	負載曲綫和靜態狀況.....	33
1.7	靜態電阻值.....	37
1.8	動態電阻值.....	37
1.9	平均交流電阻值.....	39
1.10	等效電路.....	40
1.11	截波與定電位電路.....	43
1.12	曾納 (ZENER) 二極體.....	48
1.13	透納 (TUNNEL) 二極體.....	51
1.14	功率二極體.....	55
1.15	變容 VARICAP (變抗 VARACTOR) 二極體.....	57
1.16	二極體之各額定值.....	59
1.17	熱電阻體 THERMISTORS.....	59
	習 題.....	60

第二章 二極體整流和濾波電路

2.1	引言.....	64
2.2	全波整流.....	67
2.3	一般濾波電路應注意事項.....	71
2.4	單一電容器濾波電路.....	74
2.5	電阻電容器濾波電路.....	82

2.6	π 型濾波電路	89
2.7	L 型濾波電路 (阻抗綫圈濾波電路)	95
2.8	電壓倍增電路	105
2.9	多相整流電路	108
2.10	選擇頻率用之濾波電路	111
習題		120

第三章 電晶體和真空管

3.1	引言	124
3.2	電晶體結構	125
3.3	電晶體工作情況	126
3.4	電晶體之放大作用	131
3.5	共基極連接法	131
3.6	共射極連接法	134
3.7	共集極連接法	141
3.8	電晶體最大額定數值	142
3.9	電晶體之製作	143
3.10	電晶體的封殼和接端之識別	146
3.11	三極管	147
3.12	四極管	152
3.13	五極管	154
習題		157

第四章 直流偏壓

4.1	概論	159
4.2	工作點	160
4.3	共基極 (CB) 偏壓電路	162
4.4	共射極 (CE) 電路連接法——一般偏壓的考慮	166
4.5	固定偏壓電路的偏壓情況	168
4.6	在固定偏壓電路中計算其偏壓點	169
4.7	偏壓穩定性的要求	173
4.8	使用射極電阻之直流偏壓電路	179
4.9	與 β (BETA) 值無關之直流偏壓電路	184

4.10	β 值變動之電路穩定的設計	188
4.11	電壓反饋電路之直流偏壓計算	197
4.12	共集極（射極耦合電路 Emitter-Follower）直流偏壓電路	203
4.13	直流偏壓之圖解分析	206
4.14	真空管電路之直流偏壓	214
4.15	直流偏壓電路的設計	219
4.16	其他偏壓電路	226
習題		229

第五章 微小信號之分析

5.1	引言	234
5.2	電晶體斷續性綫性等效電路	236
5.3	電晶體混值等效電路	241
5.4	決定 h 參數的圖解法	245
5.5	實驗方法決定之參數值	249
5.6	電晶體參數的變動	252
5.7	基本電晶體放大電路使用混值等效電路之微小信號分析	254
5.8	使用混值等效電路及其有關的方程式之近似法	271
5.9	近似的基極、集極、與射極等效電路	290
5.10	單級電晶體放大電路各種連接法之典型特性的比較	299
5.11	三極管斷續性綫性等效電路	302
5.12	三極管的微小信號等效電路	304
5.13	三極管參數的變動	311
5.14	五極管微小信號等效電路	312
習題		314

第六章 場效電晶體 (FETs)

6.1	概論	322
6.2	FET 與一般電晶體特性的比較	322
6.3	接面場效電晶體 (FET 或 JFET)	322
6.4	習用電壓及電流的方向	325
6.5	各種不同的 FET 結構	328

6.6	FET的偏壓情況	330
6.7	自給偏壓工作情況	334
6.8	低頻交流等效電路：共源電極連接法	341
6.9	高頻交流等效電路：共源電極連接法	344
6.10	共洩電極（源電極耦合電路）之放大電路	349
6.11	JFET放大電路之設計	352
6.12	MOSFET放大電路之設計	358
6.13	FET/雙極端電晶體電路	359
6.14	FET用於電壓控制之可變電阻	366
6.15	FET之非線性電路	368
習題		372

第七章 多級電路系統，分貝 (b B) 以及工作頻率的考慮

7.1	引言	375
7.2	串接連接系統的一般性能	375
7.3	RC 耦合放大電路	377
7.4	變壓器耦合電晶體放大電路	391
7.5	直接耦合電晶體放大電路	393
7.6	疊接放大電路 Cascode Amplifier	396
7.7	達琳頓 Darlington 組合連接法	399
7.8	五極管與三極管之串接放大電路	403
7.9	分貝 (dB)	405
7.10	對於頻率一般性的考慮	411
7.11	低頻率響應度—RC 耦合電晶體放大電路	414
7.12	高頻率響應度—RC 耦合電晶體放大電路	422
7.13	多級頻率效應	428
7.14	串接 FET 放大電路之頻率響應	431
7.15	串接三極管與五極管放大電路之頻率響應	433
習題		436

第八章 大信號放大電路

8.1	概論	441
8.2	串給式 A 類放大電路	444

8.3	變壓器耦合聲頻功率放大电路	444
8.4	放大电路的分類	453
8.5	推挽式放大电路	461
8.6	推挽式电路的進一步分析	465
8.7	各種不使用變壓器电路之推挽式电路	478
8.8	功率電晶體之承熱體	483
習題		487

第九章 PNP N與其他組件

9.1	引言	490
9.2	矽質控制整流體 (SCR)	496
9.3	基本的矽質控制體 (SCR) 之工作情況	496
9.4	SCR 之特性曲線及其額定數值	500
9.5	SCR 之結構及其接端之識別	502
9.6	SCR 之應用	504
9.7	矽質控制開關 (SCS)	508
9.8	閘控極斷閉開關 (GTO)	510
9.9	蕭克萊二極體 Shockley Diode	512
9.10	DIAC 雙向二極閘流體	513
9.11	TRIAC 雙向三極閘流體	514
9.12	單一接面電晶體 Unijunction Transistor	517
9.13	閘流管 Thyatron	523
9.14	束射功率管 Beam Power Tube	526

第十章 積體电路 (ICs)

10.1	引言	529
10.2	單石積體电路	530
10.3	單石电路元件	532
10.4	光罩 Masks	540
10.5	單石積體电路—“反及” NAND 閘电路	540
10.6	薄膜與厚膜積體电路	551
10.7	混合積體电路	552

第十一章 差別與運算放大電路

11.1	基本的差別放大電路	554
11.2	差別放大電路	560
11.3	共同型式排除性	572
11.4	實用的差別放大電路單元— IC 電路	575
11.5	運算放大電路之基本性質 (OPAMP)	584
11.6	OPAMP 電路	587
11.7	可資使用之運算放大電路的類型	593
11.8	OPAMP 的應用	607
習題		611

第十二章 反饋放大與振盪電路

12.1	反饋概念	615
12.2	反饋連接型式	619
12.3	實用的電壓串聯負反饋放大電路	624
12.4	其他實用的反饋電路之連接法	630
12.5	反饋放大電路之穩定性—相位與頻率的討論	636
12.6	反饋電路作為振盪之用的工作情況	642
12.7	相位偏移振盪電路	644
12.8	LC 調諧振盪電路	649
12.9	調諧輸入——調諧輸出振盪電路	651
12.10	柯耳匹茲振盪電路	654
12.11	哈特萊振盪電路	661
12.12	晶體振盪電路	667
12.13	OPAMP 振盪電路	671
12.14	單接面振盪電路	674
12.15	透納二極體正弦波振盪電路	678
習題		679

第十三章 脈衝波與數位電路

13.1	概論	683
13.2	二極體邏輯開控電路——“及”“或”電路	684

13.3	電晶體轉換電路.....	690
13.4	邏輯“反及”與“反或”閘控電路.....	693
13.5	積極電路（IC）邏輯組件.....	696
13.6	雙穩定複級振盪電路.....	704
13.7	單穩定與不穩定之複級振盪電路以及舒密特 Schmitt 激發電路.....	712
習題		725

第十四章 光電組件 Electro-Optic Devices

14.1	光學之基本物理性質.....	729
14.2	光檢測體之基本參數.....	737
14.3	光電倍增管.....	738
14.4	本體光電導體.....	740
14.5	光電二極體.....	746
14.6	崩潰式光電二極體.....	756
14.7	太陽光電池.....	757
14.8	光敏電晶體.....	763
14.9	光敏場效電晶體.....	766
4.10	光電閘流體.....	769
4.11	紅外線檢測體.....	771
14.12	紫外綫檢測體.....	778
14.13	各類檢測體的比較.....	780
14.14	特殊的光檢測體.....	783
14.15	發光二極體 Light-Emitting Diode (LED).....	787

第十五章 穩定電路及其他實用電路

15.1	引言.....	796
15.2	穩定電路的定義.....	796
15.3	曾納二極體與熱電阻電壓穩定電路.....	798
15.4	電晶體電壓穩定電路.....	804
15.5	完整的電源供應電路（使用電壓穩定電路）.....	808
15.6	電流穩定電路.....	809
15.7	光源——檢測體組合（光子耦合配對 Photon-Coupled）.....	

	Pairs)	810
15.8	同步放大電路 (鎖定方法)	818
15.9	電容放電點火系統	820
15.10	樂聲示色電路	821
15.11	減光電路 Light Dimmer (馬達速率之控制)	822
15.12	單接面電晶體電碼練習振盪電路	824
15.13	電晶體測試器	826
15.14	高阻抗FET電壓表	826
15.15	單接面晶體之室內信號系統	828
	習題	829

第十六章 陰極射線示波器

16.1	概論	830
16.2	陰極射線管——理論與結構	832
16.3	陰極射線示波器 (CRO) ——使用與控制	843
16.4	CRO ——偏向與掃描工作	845
16.5	同步與觸發	853
16.6	為測量用經校準之CRO分劃	862
16.7	方形波測試法	873
16.8	利沙爵士圖形 Lissajous Figures	878
16.9	示波器之特種性態	887
	習題	892

附錄一	混值參數變換方式	896
-----	----------------	-----

附錄二	漣波因數與電壓的計算	898
-----	------------------	-----

附錄三	常用符號，對數表等	901
-----	-----------------	-----

附錄四	基本波林關係	905
-----	--------------	-----

索引	910
----------	-----

第一章 二接端組件

1-1 引言

本章主要是介紹一種非常重要的二接端組件，二極體。二極體是現今各種電子電路中之基本組合元件之一。它也是下列各種具有代表性的電路系統中必需要使用到的，例如：整流電路、倍壓電路、限制電路、定電位電路，截波電路、調制及解調電路、波形成形電路，以及變頻電路等。按使用的情況不同，二極體可以有許多不同的尺寸和形狀。在本章中將要討論到的有：二極真空管，氣體二極管以及半導體二極體。在最後一節裏尚將對曾納 Zener，變容 Varicap，透納 tunnel，及矽質電力二極體等，作一簡單地介紹。末了也要略為討論溫度敏感電阻和熱感二極體。至於矽質控制整流 SCR 及光電二極體則將在第九和第十四章裏討論。

西元 1902 年 Ambrose Fleming 發明了第一只二極管，稱之為“佛來明真空管”。它是由燈絲和金屬板兩個電極裝在一只玻璃封套內的，與今日所使用之高度真空二極管極為相似。到 1930 年代時，才有一種完全新型的半導體二極體開始被人們所重視。此類固態組件不但體積甚小於二極真空管，其特性也更接近理想的交換特性。因而使 J. Bardeen 和 W. Brattain 兩位先生於 1948 年間在貝爾實驗室發展出一種電晶體放大電路。（見第三章）。

近年來，對於半導體二極體的發展已跡近完成階段。除了在高頻率及高功率的使用上之外，在市場上的競爭則固態二極體幾乎已完全替代了二極真空管的地位。其更可預見的是，由於人們對固態組件上日益增進的興趣，而終將使二極真空管在以後的設計及發展的考慮中完全匿跡。

在討論真空，氣體及半導體二極體的基本理論之前，先用理想二極體來解說二極體的基本工作特性，然後再以此概念和實際二極體的特性作一比較。

1-2 理想二極體

理想二極體是一種兩接端組件，其表示符號及工作特性分別如圖 1.1 (a) 和 (b) 所示：

為了以後的解說方便起見，各種英文字母符號，電壓極性和電流方向等，必需加以明確的規定。如果外加電壓的極性與圖 1.1 (a) 所示者相同，則其所顯示的特性是位於圖 1.1 (b) 的垂直座標的右方。若加的是反向電壓，則所示的工作特性應在座標的左方。當流經二極體的電流方向正如圖 1.1 (a) 中所示，其特性是在水平座標的上方。反向電流則使用座標下方的特性。在本書中所有組件的特性曲線皆以橫座標作為電流座標，縱座標作為電壓座標。

二極體工作點或工作範圍的電阻值是其重要的參變數之一。如所討論的工作範圍中的電流(i)方向及電壓(v)極性恰似圖 1.1 (a) 所示〔在圖 1.1 (b) 中的右上方象限〕，則顯示出的是順向電阻， R_f ，正如歐姆定律所示者

$$R_f = \frac{V_f}{I_f} = \frac{0}{2, 3 \text{ mA}, \dots, \text{或任何正值電流}} = 0 \Omega$$

式中 V_f 表示跨接於二極體之順向電壓，而 I_f 是流經二極體的順向電流。因而理想二極體在順向導電區域內是一短路電路 ($i_f \neq 0$)

至於在所加電位反向時之區域，如圖 1.1 (b) 中之第三象限

$$R_r = \frac{V_r}{I_r} = \frac{-5, -20, \text{或任何反向偏壓電位}}{0} \\ = \text{得數非常大，在本節所述情況下可認為是無限大} (\infty)$$

式中 V_r 是跨接於二極體之反向電壓， I_r 是流經二極體之反向電流。因此理想二極體在不導電時呈斷路電路 ($i_r = 0$)。

一般來說，祇要視察電流 i 之方向如何，即可很簡單的決定二極體是在導電區域抑或在非導電區域。當電流是採用常用的流向（與電子流動方向相反）時，如二極體所顯示之電流方向與二極體符號上的箭頭同方向時，則二極體工作於導電區域內。

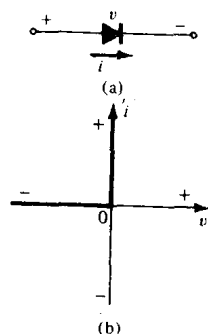


圖 1.1 理想二極體。
(a) 表示符號；
(b) 特性曲線。