

科技用書

電子裝置及電路原理

ELECTRONIC DEVICES
AND CIRCUIT THEORY

Robert Boylestad / Louis Nashelsky

楊開南 譯

(上冊)

大行出版社印行

TN1
Y214

科技用書

電子裝置及電路原理

ELECTRONIC DEVICES
AND CIRCUIT THEORY

Robert Boylestad

江苏工业学院图书馆

藏书章

楊開南

譯

(上册)

TN1

Y214

大行出版社印行

原 著 序

本書主要係作一學年兩學期或一學年三學期之基本電子學教本。期望本書之讀者曾修習直流分析之課程，與曾經或正在修習交流分析之課程。研讀本書所需之數學基礎與交流分析課程所需者類似。

爲幫助讀者瞭解，本書包括甚多之例題以提綱契領的強調每一章之重點。當介紹觀念或技術時，則以大量之圖解幫助讀者瞭解。並以加方格之方程式或粗字體顯示重要之結論，以便引起讀者之注意。

本書乃作者聚幾年教習電子課程所得之結晶。然而全書十五章所包括之材料却超出一學年所能研習之材料。在本序言中，將提供作者如何編排本書之指導。

在甚多領域上，爲適應新材料的發展，因此出此第二版，本第二版主要的改變部份是前七章，但其基本的原理，則仍保持一樣。由於分析技術的改進，提供了更清礎更有用的發展，並增添了新元件方面材料的介紹。

在前六章中提供電子裝置之基本課程——其中包括單級之構造，偏壓與工作原理。本部分之材料主要係包括於第一學期之課程中，老師可選擇教授之材料，其中有些部分甚至可略去。本課程由兩端裝置之理論與工作開始，並強調半導體二極體。由理論課程與實驗相配合，故在編排中亦提供能於實驗室內操作之實用電路。並且加入 LED，LCD 與太陽電池方面的新材料。

第二章探討二極體整流器與濾波器，並闡釋二極體在基本電子領域中能源供應方面之應用。其他書籍均將此部分材料安排於書末。然而由實驗知此種實用之研習在各章之基本裝置理論中扮演中間角色，並提供有價值之實驗。改進電容濾波器的材料，而刪除一般的濾波器電路。

第三章研習BJT電晶體裝置，構造與工作原理。如前所述，本章可安排於第一章之後。電晶體之工作能以數學及圖解等方式描述。本章並定義及闡釋電晶體之放大作用。本書使用實際的電流方向，因作者的教學經驗知道學生初學時比較容易了解此一觀念。

作者由經驗獲知若將直流偏壓與交流工作分別教授時，學子往往較易於瞭解BJT電晶體之作用。因此在第四章中探討電晶體與真空管之直流偏壓，其他有關共基極，共射極，共集極（射極追蹤器）及各種偏壓電路之構造均依據此方式加以編排。所提述之理論亦以實例幫助證明。同時尚包括設計問題在內。

第五章係最重要之基本範疇之一，本章中任一部分課程均需足夠之時間。本章中詳細闡釋等效交流電晶體之電路模型後，緊接著研習完整小信號電路之交流作用分析。本章與第四章一樣均以數學方式從事研討。然而此等數學式皆為簡單而扼要者，為使讀者完全瞭解所提述之觀念，故亦舉出甚多實例。並清楚介紹電晶體之折合電路，然後再簡化交流電路分析，以提供更有意義之研討。同時亦介紹等效電路之技術，如此則在往後諸章所提及之各種電路組態即得相當程度之簡化矣！

若可能的話，則應將場效電晶體（FET）包括於電子學之第一學期課程內。當介紹並研討電晶體（與真空管）之直流偏壓與交流分析之觀念後，再於第六章討論若干實用之FET電路。若將FET之直流偏壓討論包括於第四章中，交流分析則包括於第五章中，則由教學經驗知，如此則需花費相當多之時間，且讓學生誤以為FET僅為一次要裝置，故將FET專列一章，以強調其重要性並闡釋其工作原理。本章修改後包含有圖解法，以使學者能直接獲得FET的直流準位。

第七章係第二學期之第一論題，本章中包括複級電晶體之工作，FET（與真空管）之電路，各級負載與總增益計算，並應用分貝單位。同時提供甚多之例題以強調本章之重點。本修訂版更著重於多級

放大器分析技術的使用方法。

第八章包括一些基本功率放大電路中之功率電晶體之工作原理。最重要者為推挽電路之工作。電晶體推挽電路包括一變壓器，亦有不含變壓器之推挽電路者，更增加了半互補式推挽放大器，B類放大器效率等的介紹。

第九章總論所有之PNPN裝置——包括其構造，工作與電路應用。本章可迅速教授，仍不失本書之連貫性。本版更介紹了VFET及其高功率的應用。

第十章簡述積體電路（IC）之製造與結構，其中大部分可指定學生閱讀。

第十一章包括兩個極重要之論題，應視第二學期課程之重要部分。由於線性IC單元之普遍化，故視訊差與運算放大器為基本單元，並如同電子電路中之電晶體般加以探討。根據已知之每一論題及例題與實際之應用，使本章之安排令人易於瞭解。

第十二章探討反饋放大器與振盪器，第二學期中至少教完其中之一部分。本材料亦可挪為電子通信之課程。本章內容豐富，倘時間有限，則不需全教。

第十三章討論數位電路，並詳細研討各種重要之數位電路。在目前之電子領域中，本章相當重要，讀者需澈底瞭解。若在讀者課程中並無專門講授計算機電路與邏輯者，則本章需詳細教授。

第十四章包括電壓調整器，此章包括於第二學期課程中。並提供各種電路讓讀者自己作實際研習，以激發其興趣。

第十五章可在兩學期中之任一學期教授均可。依作者之授課中，係將此章包括於第一學期之課程內，以介紹基本電子量度裝置——陰極射線示波器（CRO）。本章強調CRO之基本工作原理與其應用。並以甚多例題強調本章之重點。陰極射線示波器之作用與測定極為重要。雖然本章編排於書末，然而授課時仍需加以強調重視。

為使老師與學生均能利用本書，因此在每一章中皆提供大量之實

例。書末之習題亦依節提出。

吾人極感激 Queensborough Community 學院 ET 學系之 Aidala 與 Katz 兩位教授，多年來不斷的幫助與鼓勵，並且提供最佳之課程與學習環境。吾人亦感謝 Staten Island Community 學院之 Kosow 教授，對原稿提供無價之協助與無數之建議與批評。

吾人亦感謝 Queensborough Community 學院之 Helene Rosenberg 與 Doris Topel 兩位秘書，對此修訂版的協助。最後感謝同仁間之愉快合作。

ROBERT BOYLESTAD / LOUIS NASHESKY

Bayside, N. Y.

電子裝置及電路原理

(上 冊) 目 錄

第一章	兩端裝置	1
1-1	緒 論	1
1-2	理想二極體	2
1-3	真空二極管	5
1-4	半導體二極體	10
1-5	半導體二極體之製造	23
1-6	負載線與靜態條件	31
1-7	靜態電阻	35
1-8	動態電阻	35
1-9	平均交流電阻	40
1-10	等效電路	41
1-11	截波器與定位器	49
1-12	曾納二極體	56
1-13	透納二極體	63
1-14	功率二極體	66
1-15	變容二極體	67
1-16	蕭基能障 (熱載體) 二極體	69
1-17	光電管	72
1-18	半導體光導管與光電二極體	75
1-19	發光二極體 (LED)	78

2 目 錄

1-20	液晶顯示.....	81
1-21	太陽電池.....	85
1-22	熱阻器.....	89
	習 題	90
第二章 二極體整流器與濾波器		98
2-1	二極體之整流	98
2-2	全波整流	101
2-3	一般濾波器之探討	106
2-4	簡單電容濾波器	110
2-5	RC濾波器.....	126
2-6	π 型濾波器	135
2-7	L型濾波器	141
2-8	電壓倍增電路	142
	習 題	146
第三章 電晶體與真空管.....		150
3-1	緒 論	150
3-2	電晶體之構造	151
3-3	電晶體之工作	152
3-4	電晶體之放大作用	155
3-5	共基極組態	156
3-6	共射極組態	160
3-7	共集極組態	167
3-8	電晶體之偏壓	169
3-9	電晶體之最大額定值.....	170
3-10	電晶體之製造	174

3-11	電晶體外殼與端點之關係	177
3-12	電晶體之測試	177
3-13	三極管	179
3-14	五極管	185
	習 題	187
第四章 直流偏壓		191
4-1	緒 論	191
4-2	工作點	192
4-3	共基極 (CB) 偏壓電路	194
4-4	共射極 (CE) 電路連接——一般偏壓之討論	199
4-5	固定偏壓電路之偏壓討論	201
4-6	固定偏壓電路之偏壓點計算法	202
4-7	偏壓穩定之需要	206
4-8	具射極電阻之直流偏壓電路	213
4-9	與 β 無關之直流偏壓電路	216
4-10	電壓反饋電路之直流偏壓計算	219
4-11	共集極 (射極追蹤器) 直流偏壓電路	222
4-12	直流偏壓之圖解分析	225
4-13	真空管電路之直流偏壓	232
4-14	直流偏壓電路之設計	238
4-15	各種偏壓電路	245
	習 題	249
第五章 小信號分析		254

4 目 錄

5-1	緒 論	254
5-2	電晶體之併合等效電路	257
5-3	h 參數之圖解確定法	261
5-4	電晶體參數之變動	266
5-5	應用併合等效電路之基本電晶體放大器之小信號分析	268
5-6	應用併合等效電路與其相關方程式之近似法	268
5-7	近似基極集與射極等效電路	299
5-8	替代法	311
5-9	集極反饋	327
5-10	摘要表	334
5-11	三極管之小信號等效電路	334
5-12	三極管參數之變動	343
5-13	五極管之小信號等效電路	343
	習 題	346
第六章 場效電晶體		355
6-1	緒 論	355
6-2	JFET 之構造及特性	360
6-3	JFET 之直流偏壓	360
6-4	MOSFET 之構造及特性	367
6-5	MOSFET 之直流偏壓電路	372
6-6	直流偏壓—應用通用之 JFET 偏壓曲線	374
6-7	交流小訊號放大工作	380
6-8	FET 之高頻與低頻效應	388
6-9	鞋帶式源極追蹤器電路	392
6-10	FET 放大電路之設計	395

6-11	FET 作為壓變電阻器.....	399
	習 題	401
附 錄 A		404
附 錄 B		407
附 錄 C		417
附 錄 D		419

第一章 兩端裝置

1.1 緒 論

本章之主要目的在於介紹極重要之兩端裝置——二極體 (Diode) 。二極體係目前所使用之各種電路之一基本構造單位，彼為整流器 (Rectifier) ，雙倍器 (Doubler) ，限制器 (Limiter) ，定位器 (Clamper) ，截波器 (Clipper) ，調變器 (Modulator) ，解調器 (Demodulator) ，波型電路 (Waveforming Circuit) 與換頻器 (Frequency Converter) 等系統之基本應用。二極體具有各種大小且隨其應用之模式不同而有各種形式。本章中將探討真空二極管 (Vacuum Diode) ，及半導體二極體 (Semiconductor Diode) 。於最後諸節將簡述曾納二極體 (Zener Diode) ，變容二極體 (Varicap Diode) ，透納二極體 (Tunnel Diode) ，光電二極體 (Photo Electric Diode) 矽功率二極體 (Silicon Power Diodes) 及蕭克二極體，並研討對溫度極靈敏之熱阻器 (Thermistor) ，LED 及 LCD 等發光顯示 而太陽電池在能源的探討是相當引入的。

所謂弗萊銘管 (Fleming's Valve) 之第一個二極管係弗萊銘 (J. Ambrose Fleming) 於 1902 年率先研製成功者。其基本構造與近世高真空二極管類似，係由在真空玻璃管內裝上絲極與金屬板兩元件所構成。直至 1930 年以後，其重要性方為半導體二極體所取

2 電子裝置及電路原理（上）

代。此固態裝置遠小於真空二極體，同時其特性較接近於理想開關之特性，因而導致貝爾實驗室中之巴登（J. Bardeen）與布頓（W. Brattain）於 1948 年發展成電晶體放大器（見第三章）。

近年來幾完全致力於發展半導體二極體。除在極高頻或高功率應用方面外，固態二極體已完全取代真空二極體矣！此顯示在未來之設計與發展上，日漸重要之固態裝置將完全取代真空二極管。

在討論真空二極管，充氣二極管與半導體二極管之基本工作原理之前，茲先描述理想二極體之作用，作為往後與實際二極體比較之基礎。理想一詞所表示者為吾人技術上努力求取的目標。

1.2 理想二極體

理想二極體為雙端裝置，其符號與特性曲線分別如圖 1.1a 與 b 所示。

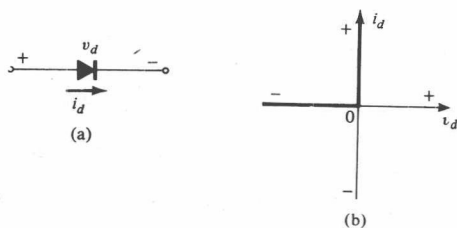


圖 1.1 理想二極體之(a)符號，(b)特性曲線。

為往後描述此等元件簡便起見，須先明確定義其各種文字符號，電壓極性與電流方向。若外加電壓之極性如圖 1.1a 所示，則於圖 1.1b 中所探討之特性曲線部分在垂直軸之右側。若外加反向偏壓，則所探討之特性曲線在左側。若流經二極體之電流方向如圖 1.1a 所示，則所探討之特性曲線部分在水平軸之上方，當電流反向時，則在水平軸之下方。本書中所有裝置特性曲線皆以縱軸表電流軸，以橫軸

表電壓軸。

二極體之一重要參數為在工作點或工作區之電阻。當吾人探討圖 1-1b 所明定之電流方向 i_d 方向與電壓 v_d 極性之區域，（在圖 1-1b 之第 I 象限）時，由歐姆定律知其順向電阻（Forward Resistance） R_f 為：

$$R_f = \frac{V_f}{I_f} = \frac{0}{2, 3 \text{ mA}, \dots\dots, \text{或在一正值}} = 0 \Omega$$

其中 V_f 表跨於二極體兩端之順向電壓， I_f 表流經二極體之順向電流。
 因此理想二極體係在順向導電區（ $i_f \neq 0$ ）之一短路。

茲探討圖 1.1b 中之負外加電位區（第 III 象限），則

$$R_r = \frac{V_r}{I_r} = \frac{-5, -20 \text{ 或任一反向偏壓}}{0}$$

= 極大值，茲視為無限大（ ∞ ）

其中 V_r 表跨於二極體兩端之反向電壓， I_r 表流經二極體之反向電流。因此在不導電之區域中（ $i_r = 0$ ），理想二極體為斷路。

圖 1-2 所述的情況是對的。

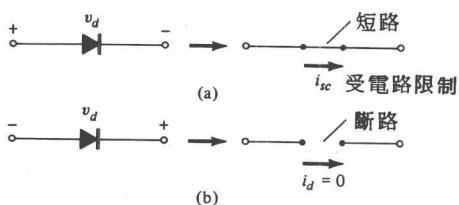


圖 1.2 (a) 導電及 (b) 非導電狀態（由理想二極體外加偏壓而定）

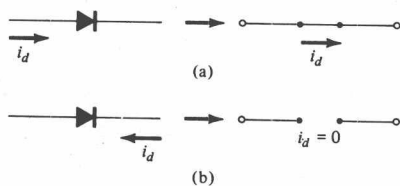


圖 1.3 (a) 導電及 (b) 非導電狀態（由理想二極體外加網路的電流方向而定）

4 電子裝置及電路原理（上）

通常藉由電流 i_d 之方向即能簡易地決定二極體在導電或非導電區。就慣用電流（與電子流動方向相反）而言，當二極體之總電流方向與二極體符號所示之方向相同，則二極體在導電區工作。

茲介紹將平均值爲零之交流電壓轉換成直流電壓或電壓值大於零之整流程序之實用例題，圖 1-4 表應用理想二極體，整流所需之電路。

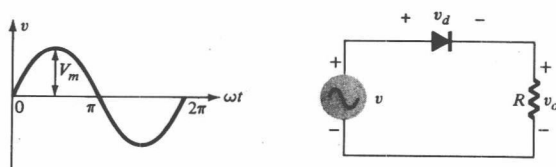


圖 1.4 基本整流電路

在正弦輸入電壓 v 之 $0 \rightarrow \pi$ 區域間，其跨於二極體兩端之壓降極性，使二極體能以短路表示，如圖 1-5a 所示。在 $\pi \rightarrow 2\pi$ 區域間，二極體爲斷路，如圖 1-5b 所示。

爲往後之參考簡便起見，茲注意每一電路之輸入 v 之極性。就正弦輸入而言，所示之極性爲圖 1-4 所示正弦波形之正部分。

於圖 1-5a 所示之情況下，只要二極體受順向偏壓，則輸出電壓 v_o 與輸入電壓完全相同。於圖 1-5b 中，由於在外加電壓 v 由 π 至 2π 區域間，理想二極體爲斷路，故輸出電壓 v_o 爲零。於是就整個正弦輸入而言，其總輸出電壓如圖 1-5c 所示。每當輸入電壓 v 經一週期， v_o 之波形亦將重複一次，故兩波形之頻率相同。詳細探討每一圖形，則將發現外加 emf v 與 v_o 同相（in phase）；即每一波形之正脈波在同一時間呈現。當吾人探討電晶體及真空管放大器時，相位關係極爲重要。

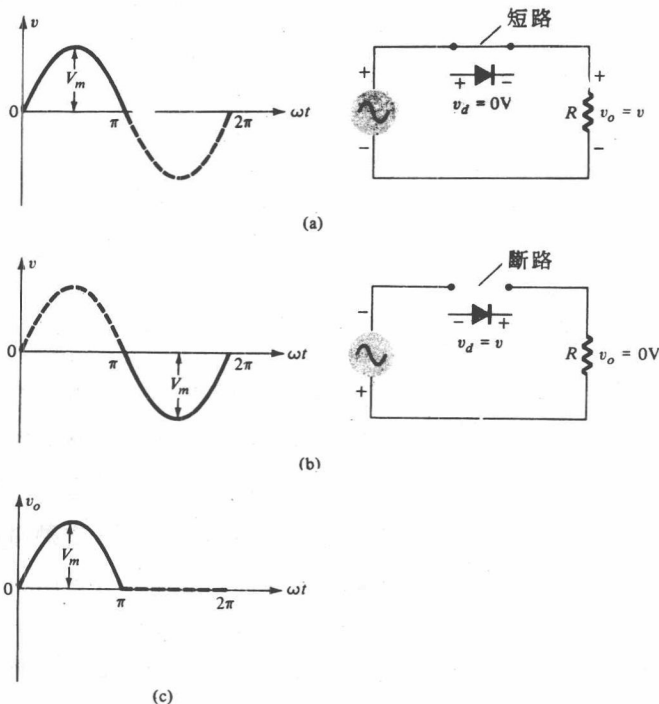


圖 1.5 圖 1.4 所示電路之整流作用

1.3 真空二極管

基本真空二極體係由真空管中之陰極與陽極（金屬板）所構成，其相對位置如圖 1-6 所示。

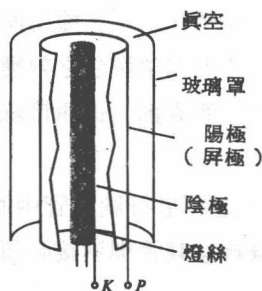


圖 1.6 真空二極體之基本構造

6 電子裝置及電路原理（上）

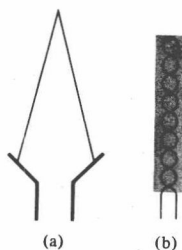


圖 1.7 陰極：(a)直熱式；(b)間熱式

陰極提供陰極與陽極區間之大量自由電子。不論應用直熱式或間熱式，均藉將特定加熱電壓跨接於加熱燈絲兩端，以使陰極達到電子發射之溫度。外加電位使電流 I 流經燈絲，因此與烤麵包之加熱元件相同，有 I^2R 之熱損失。當燈絲之溫度升高時，電子之熱激動亦增大，終使電子具有足夠動能以脫離陰極表面，並達到其自由狀態。此種發射型式稱為熱游子發射（Thermionic Emission）。吾人將玻璃管抽成真空之目的在於避免陰極受空氣中之氧所氧化，並增加電子之遷移率（Mobility）。

在直熱式圖 1-7a 中（燈絲即為陰極），電子直接由燈絲材料發射。在間熱式中，電子係由並不與燈絲（或加熱器）連接之表面發射，此表面受絲極之輻射熱作用而升高至其發射溫度。兩者中吾人通常皆應用間熱式。當將 60 赫之交流電壓外加至直熱式陰極時，由於流經燈絲之電流受外加信號之瞬時值所決定，故由熱所產生之自由電子數隨時變化，此種電子發射之變動將在系統之輸出產生 60 赫之交流聲。若採用間熱式，則可避免此種不期望發生之效應。間熱式之第二優點係整個陰極之電位相當固定，而直熱式則隨燈絲上各點位置變動。

圖 1-8 顯示間熱式真空二極管之圖形符號。管中並無特殊標記指明那一管腳連接至屏極，陰極或燈絲。其管腳連接必須參考真空管手