

大學用書選譯

電子管電路

方重壽譯

教育部出版
正中書局印行

大 學 用 書 選 譯

電
子
管
電
路

方 重 壽 譯
SAMUEL SEELY 著

正 中 書 局 印 行
教 育 部 出 版



版權所有

翻印必究

中華民國六十年五月臺初版

大學用
書選譯

電子管電路

(Electron-Tube Circuits)

全一冊 基本定價 平裝陸元壹角
精裝柒元壹角

(外埠酌加運費滙費)

著者 SAMUEL SEELY

譯者 方重壽

出版者 教育部

發行印刷 正中書局

(臺灣臺北市衡陽路二十號)

發行人 李潔

海外總經銷 集成圖書公司

(香港九龍亞皆老街一一號)

海風書店

(日本東京都千代田區神田神保町一丁目五六番地)

內政部登記證 內版臺業字第〇六七八號 (6336) 裕

(1000)

譯 者 序

本書原文名“Electron Tube Circuits”，著者爲撒姆耳·西里博士，一九五八年再版於紐約麥克勞圖書公司。本書約一半內容屬於無線電工程方面之電路，其餘部份則廣泛用於雷達、電視、電子控制與儀表，及計算機等方面。

本書重要內容大致可分爲下列五大部份：

一、電子裝置之基本性質及其基本電路用途。

二、各種非調諧放大器電路之討論：

(一) 利用直線特性者，包含簡單電壓放大器，視頻放大器，功率放大器，及電子計算電路。

(二) 利用非直線特性者，作電子開關用途之討論。

三、各種調諧放大器之討論。

四、各種振盪器及同步波形產生器之討論。

五、調幅與解調及調頻與檢波之原理。

本書倉促譯成，錯誤或不當之處在所難免，尤以專門名詞無標準譯名可資參考，殊難求其完全恰當。至希讀者不吝指教，以便再版時予以改正。

譯 者 謹 識

48.12.17

原 序

「電子管電路」一書之再版業經廣泛修訂。初版中認為需要加強之某數章，已予擴充，並經加入許多新節目，如電晶體之理論與應用，俾使本書合乎時代需求。惟本書仍保留與初版相同之一般宗旨：(1)使學生對電子管電路之研究有一明確之分析方法，此處「電子管」一詞可代表許多用以策動網路之電子裝置；(2)研究各類有廣泛應用之電路；(3)舉例說明如何合併各式電路以完成一種或多種工作。本書不欲包羅萬象，或為達到一特殊結果而研究所有之電路與方法，僅將有代表性之電路加以研究，而希望讀者能從中發現某種指示，對彼在某一特殊研究方面有所助益。

本書欲說明，大多電子系統乃為各種基本電子支系統所組成，各支系統完成特定之工作，並常對一定之時基遵循一定之時間程序。此類支系統為電路設計者所用之基本單位，實際上為電網路。有些網路或包含主動元件，但必須認明，支系統之基本作用，較之可能裝於電路中之電子裝置，尤為基本。對於已通用之各式電路，其主要重點在此。

本書內容大約一半為無線電工程性質，其餘材料則廣泛用於雷達、電視、電子操縱與儀表，及計算機。對於無線電工程電路或非無線電電路之課目，均有充份之資料。教師選擇章節有充份之伸縮性，幾可滿足任何課目之需求。然而，資料敘述之程序大多依據分析之性質，雖然完成某類工作之電路已儘可能置於一處。因此，應用不同且常不相關之電路，可於同一章中發現。

本書很自然地分為許多主要部份。第一部份概述電子裝置的基本性質及其基本電路的應用。第二部份討論各種帶反饋及不帶反饋之非調諧放大器。由於電子調節器之反饋狀態，故整流器及電源留

待本書稍後章節中討論。在一部份非調諧放大器電路中，電子裝置係在直線區域內工作，在其他電路中，其非線型能力亦被利用。前者包括簡單電位放大器，視頻放大器，功率放大器，及電子計算電路，後者則討論電子裝置用作開關之用途。本書之次一部份討論有諧振電路之放大器，調諧電壓放大器及調諧功率放大器。振盪器之討論兼含反饋式與弛張式二者，此二者均有反饋迴路，雖然其策動裝置工作範圍廣闊，幾可在任何情況下用作非線型元件，但在弛張式則用作開關。本書其次討論各種同步波形產生器——產生方波，鋸齒電壓波形，鋸齒電流波形，及其他特定形狀。最後主要部份則廣泛討論調幅與解調及調頻與檢波。

電路分析儘可能分為兩個步驟。首先對電路之工作予以物理的解說，然後，可能時予以數學分析。此項數學分析之目的有三：(1)說明分析的技術（事實上常併列別法，藉以說明各種不同之分析方法）；(2)推演得一解答，藉可描述電路之工作；(3)檢討各參數對電路工作之影響，在一切電路圖中對於電壓極向，電流方向，及變壓器線繞方向等之基準情況，均經注意編入，蓋因其對爾後之分析甚為重要也。

對本書之大部資料來源作一正式誌謝，殆屬不可能。一部分內容主要屬無線電工程性質者，來源廣泛已歷多年，其根本來源似已為大眾所忽視。許多引用於雷達方面之電路，其主要來源為麻省理工學院放射研究所。二次大戰期間著者曾任該所研究員。但其中許多電路取自各方面之現成電路，一部份來自其他研究所包括英國研究所在內。祇有少數情形，作此項工作之團體可以確定。凡資料之直接來源經採用者，均經表明。

本書承多人協助，本人能在此表示謝意，深感欣慰。對於以前同事，鄭鈞教授，葛拉斯福教授，侯拉曼教授，以及苟德斯理夫教授之協助討論及校對，著者深致謝意。感謝通用電氣公司及RCA製造公司儘量供給許多照相圖及真空管特性圖表。著者得能在早期

教本「電子學」中自由採用資料，亦表謝意。（密爾曼與西里合著，再版，紐約麥克勞圖書公司，1951）

撒姆耳·西里

目 次

譯者序	1
原序	2
第一章 電子裝置之特性	1
第二章 真空三極管及電晶體用作電路元件	64
第三章 基本放大器原理	95
第四章 非調諧電壓放大器	123
第五章 放大器中之反饋	162
第六章 整流器	216
第七章 電源	241
第八章 電子計算電路	276
第九章 特殊電子電路	316
第十章 非調諧功率放大器	352
第十一章 調諧電壓放大器	382
第十二章 調諧功率放大器	417
第十三章 振盪器	455
第十四章 高偏壓弛張電路	516
第十五章 鋸齒波拂掠產生器	579
第十六章 特殊拂掠產生器	605
第十七章 調幅	626
第十八章 解調	658
第十九章 調頻與檢波	688
第廿章 電子儀器	736
附錄A 網路定理	758
附錄B 真空管之屏極特性	760

附錄C	發射管之特性·····	777
附錄D	第一類 <u>貝賽耳</u> 函數表·····	779

第一章

電子裝置之特性

近十年來電子學之廣大範圍已有驚人之擴展，其原因一部份由於新式電子裝置之發明，一部份由於電子電路更為廣泛之應用。此等應用，或可稱為電子系統，却不能予以概括之定義，除非可當作電子支系統的集合體，各支系統對於某一制定之時基，遵循特定之時間程序，執行某種特定之工作。殊饒趣味者，基本電子支系統為數甚少，而即為此等支系統，常被採作任一特定之用途。偶有新的基本電子支系統被發明時，即加於百科全書中，以供電子界大多工作人員參考，用作彼等所欲研究之整個結構中之基本元件。

最重要者，須知此等基本構成單位，實為電網路。該項電網路，或為被動裝置，或為主動裝置，常為一電子裝置所策動，如真空管，電晶體，磁力放大器，含氣管，光電管，熱電變換器，或其他獨立或非獨立之可能電源。通常所欲完成之基本工作，較之用以策動網路之特殊裝置尤為基本。例如，調幅為產生一種波的方法，此波之幅度隨另一調幅波之瞬值之函數而變。欲完成此項工作，即需一非線型的電路元件。誠然，此特殊非線型裝置將影響有關電路其餘部份之細節，但此為一細節問題，而非為一基本效應。因此，須強調者，所討論之大多電路中，若用一真空管作為有關電網路之激勵元件時，亦可能對電晶體電路作一般比較的研究。由於該項研究之重要性，有時對電晶體策動電路以及真空管策動電路均作一電路分析。但須注意，基本重要者為物理的過程，而電路元件之細節通常乃屬次要。故「電子管」一詞廣義的用於一切型式之電子裝置——各式真空管，半導體裝置，含氣管，等等。

1-1 緒言 本書主要限於研究完成基本工作之各種電路。此等電路即為電子系統之構成單位，由此形成巧妙之組合，而作各式各樣

之用途。一部份係研究討論連合各種此等單位之方法，用以完成一種特定程序之工作。

一特殊電子系統或需求電子電路以完成多種不同之工作。例如，一較簡單之系統，可能需要產生正弦波，方波，三角波，實用上無畸變之放大器，能控制其畸變之放大器，產生能控制其休止之放大器，及其他多種工作，其中一部份構成單位或含有較簡單之電路，一部份則需較複雜之配件組合以達到需求之目的。

爲使本書資料編纂合乎條理，以下各章中分析各種電子電路之工作時，並不顧慮其特殊之應用，但主要依據其工作及分析之方法。因此，一章中所含電路可能有甚多不同之用途。例題及習題之選擇，多少顯示具有代表性之用途。爲欲達到某種特定之要求，某一電路較優於另一電路之實際理由，本書亦將討論及之。

1-2 關於電子管的基本問題 吾人在從事研究含有電子裝置之電路以前，先須考查該項裝置之實際工作原理，有關此項裝置之重要基本問題有二。其一爲電子之確實來源及其放射；其二爲電子流之控制。茲將此等問題簡單討論如下。^{1*}

電 子 之 放 射

1-3 電子之來源與控制 根據現代理論，一切物質在本質上均屬電。原子爲一切物質之基本構成單位，含一中央核心或核。核帶正電且具有幾乎全部原子之質量，帶有充份負電之電子圍繞此核，因此原子在正常情況下乃屬中和而不帶電。因一切化學物質含有此等互相束縛之原子羣，則一切物質，無論其爲固體，液體，或氣體狀態，均爲電子之可能來源。事實上，物質三態確均用作電子之來源。使電子解放有甚多不同之方法，其中對電子管重要者爲(1)熱游子放射，(2)二次放射，(3)光電放射，(4)高場放射，(5)游離，及(6)半傳導。此等方法將詳述於後。

* 字角數字參閱本章末之引證。

電子解放時，必須具有控制之之法。此項控制係利用外控制電場或磁場，或二者兼用。該場完成下述作用之一種或二種：(1)控制離開放射體附近區域之電子數；(2)控制電子離開放射體後之行徑。控制法(1)較為普通，該項控制法，（而電磁場偏轉式則除外），幾用於一切電子管。所謂電磁場偏轉管之一極重要實例即陰射管為極線。然而，即使電磁場偏轉管，仍用(1)式控制以控制電子管電流，唯控制其後之運動，係利用電場或磁場或二者兼用。

1-4 熱游子放射 就金屬狀態之物質而論，金屬多半通用線狀，帶狀或細絲狀者。若該項細絲含有電子，且能在金屬中作相當自由之運動（事實如此，例如若在金屬線兩端施一小電位差，即生電流），則可想像一部份電子可能自動「漏」出金屬之外。然而，事實並不如此容易。

今就電子企圖脫離金屬時之情況而論，此脫離之帶負電荷之電子將在金屬上感應一正電荷。於是在感應電荷與電子間乃有吸引力，除非此脫離之電子具有充份之能量，能脫離此影像吸引力之影響區域，該電子仍將返回金屬。使電子脫離此吸引力所需之最小能量，稱為該金屬之工作函數。該項最小能量可由許多不同之方法供給。其中最重要者即為將金屬加熱至高溫，因而供給金屬之熱能之一部份，即由被熱之金屬晶體格子，將之變為電子之動能。

對於熱游子放射電流密度與金屬溫度之關係，可導出一明確公式¹，其形如

$$J_{th} = A_0 T^2 e^{-b_0/T} \quad (1-1)$$

此處 A_0 為一切金屬之常數，其數值為 120×10^4 安培/(米²) (°K²)， b_0 為金屬之特性常數。 b_0 與金屬之工作函數 E_w 之關係為

$$b_0 = 11,600 E_w \quad ^\circ K \quad (1-2)$$

由實驗結果知公式(1-1)，確能代表大多數金屬電流之變化與溫度之關係，雖然所得 A_0 之數值與理論值 120×10^4 安培/(米²) (°K²) 可能有顯著之不同。

表 1-1

重要熱游子放射體及熱游子放射常數

放 射 體	A_0 安培/(米 ²)(°K ²)	$E_w, \text{ev.}$
鎢 絲	60×10^4	4.52
加 鈦 鎢 絲	3×10^4	2.63
塗 氧 化 物 放 射 體	0.01×10^4	1

由公式 (1-1)，可知金屬之工作函數低者，在中度低溫時可供豐富之放射。但可惜者，在使熱游子放射豐富所必需之溫度，此低工作函數之金屬往往被熔解，甚且沸騰。現今應用之重要放射體為純鎢絲，加鈦鎢絲，及塗氧化物陰極。此等放射體之熱游子放射常數，經書列於表 1-1 中。

鎢絲被廣泛用作熱游子燈絲，而不顧其高值工作函數。事實上，鎢絲之特別重要性，實因其為能圓滿用作高電壓管燈絲之唯一材料。鎢絲用於高電壓 X-射線管，高電壓整流管，及作無線電通信用之高功率放大管。其缺點為陰極放射效率小。陰極放射效率之定義為：放射電流毫安數與加熱功率瓦特數之比值。除此，鎢絲可工作於極高之溫度，2600 至 2800°K，以供豐富之放射。

經發現鎢絲上若塗以薄層之低工作函數材料，可顯著降低其結果表面之工作函數。在抽絲前加少許氧化鈦於鎢絲上即得一種加鈦鎢絲。該項燈絲如經適當加熱，可於約 1800°K 時作為一有效之放射體。該項放射體必須加以炭化，因如此可減低燈絲上鈦層之蒸發率至其六分之一。加鈦鎢絲限用於中度電壓約 10,000 伏以下之管。高電壓管則用純鎢絲。

塗氧化物陰極之效率極高（約當鎢絲之二十倍），且可於較低溫度 1000°K 供給高放射電流。該陰極含康納耳（一種鎳、鈷、鐵及鈦之合金）或其他金屬製成之金屬套筒，上塗以氧化鋇及氧化

鎢，該陰極因種種原因限用於低電壓管，約 1,000 伏以下，然在脈動狀況及較低頻率之高電壓，仍能工作滿意。該項陰極幾全部用於接收管，其工作效率高而壽命長。

比較鎢絲，加鈦鎢，及氧化物陰極之陰極效率之曲線如圖 1—1 所示。由此可見鎢絲之效率遠低於其他二放射體。

熱游子放射體在電子管中之實際形狀，可為直接加熱式即燈絲式，或為間接加熱式，而在含氣管與含蒸氣管中之陰極或為熱屏蔽式。典型燈絲式陰極如圖 1—2 所示。此等燈絲式陰極或為純鎢絲，或為加鈦鎢絲，或為塗氧化物型。

用於真空管中之間接加熱式陰極如 1—3 圖所示。加熱器線裝於一瓷質絕緣體內，然後封閉於金屬套筒中，套筒上再塗以氧化物塗料。此式陰極之熱容量甚大，故其溫度在用交流電時，不隨加熱器電流之瞬時變化而改變。

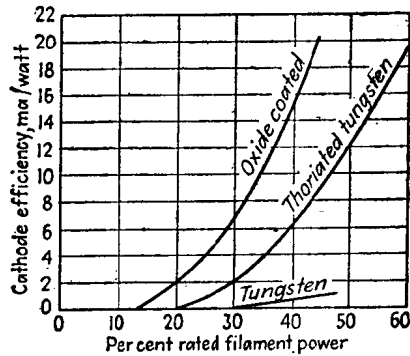


圖1—1 陰極效率曲線

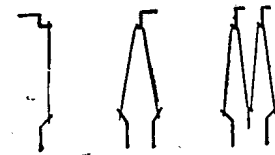


圖1—2 典型直接加熱式陰極

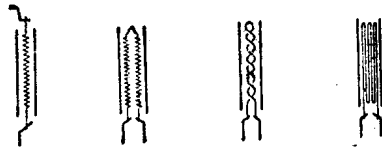


圖1—3 典型間接加熱式陰極

熱屏蔽式陰極，僅能用於含氣電子管中，其理由於第 1—31 節

中討論之。該式陰極之設計係為減少由陰極輻射之熱能。於是陰極效率乃顯著增加。數種不同之熱屏蔽式陰極如圖 1—4 所示。

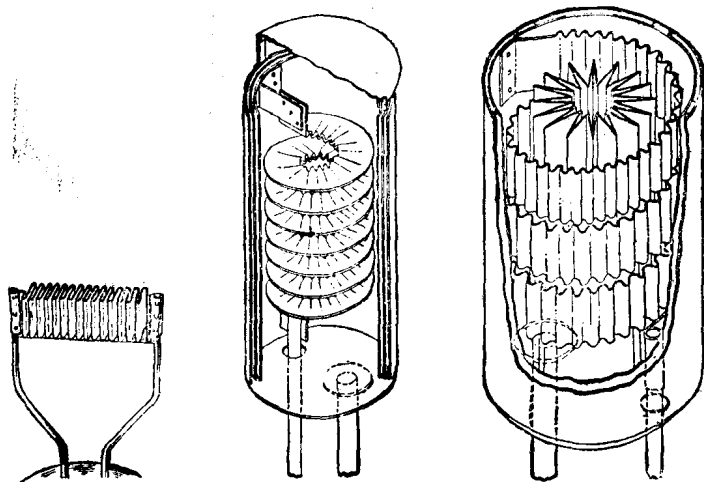


圖1—4 各種熱屏蔽式陰極

1-5 光電放射 使一電子脫離一金屬面所需之能，可由光照射表面供給之。該項電子放射因表面之性質與照射光之頻率而有某種限制。換言之，僅當照射光之頻率超過某一臨界數值時，電子放射始有可能。此臨界值隨表面之工作函數 E_w 而變，其關係為

$$f_c = \frac{eE_w}{h} \quad (1-3)$$

此處 e 為電子之電荷， h 為勃蘭克 (Planck) 氏常數。其相當之臨界波長 (超越此數即不能作光電放射) 為

$$\lambda_c = \frac{ch}{eE_w} = \frac{12,400 \text{ A}}{E_w} \quad (1-4)$$



此處 A 為單位埃(10^{-8} 厘米)，在全部可見光範圍，4,000至8,000 A 中，感光表面之工作函數必須小於1.54伏。

光電管之主要元件為感光陰極表面與一集光電極，封閉於一玻璃管中，管內或為真空，或含一種低壓惰性氣體。該項光電管之照相圖如圖1—5所示。感光陰極每平方毫米面積上之光電子為數甚少，通常採用較大面積之感光陰極，如圖所示。若以光之照度為參數，當陰極與集合陽極間之集合電位不同時，該項光電管之電流特性如圖1—6所示。該圖顯示一真空光電管以光之照度為參數時之曲線。注意在外加電壓數值極低時之電流即已達飽和數值。

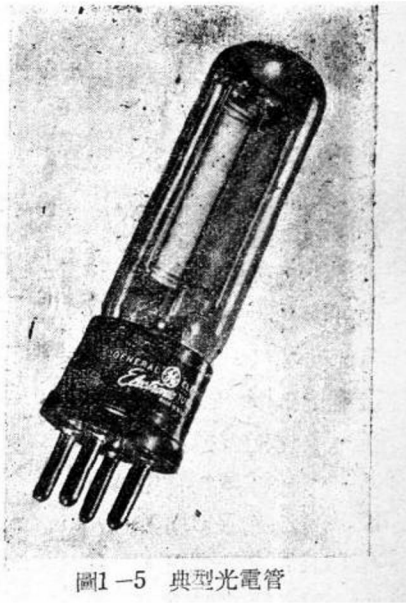


圖1—5 典型光電管

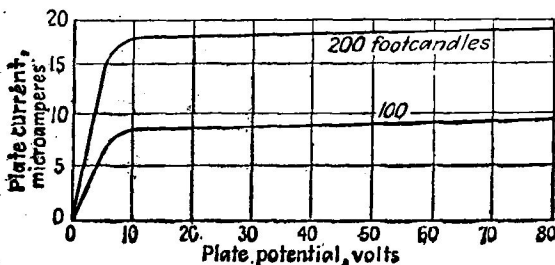


圖1—6 PJ-22 式真空光電管之伏——安特性，以光之強度為參數

Plate current, microamperes 屏流，微安 foot-candles 呎燭光。 Plate potential, volts 屏壓，伏

玻璃管中惰性氣體如氖或氬之存在，在低壓時顯著改變此伏—安曲線。氣體光電管之一組特性曲線如圖1—7所示。光電管中氣體之存在，增加光電管之靈敏度，在光之照度一定時，電流輸出隨

屏極電壓之增加而增加，而在真空光電管中其輸出則幾乎不變。

圖 1—8 中顯示兩種光電管輸出之比較，一為真空式，另一為充氣式，管之其他特性均相同。注意真空光電管之光電流為照度之直線函數，而在充氣管中當照度較大時則偏離直線。但充氣管顯然有較大之靈敏度。

1-6 二次放射 若有一質點，或為一電子，或為一正游子，衝擊一金屬表面，則可能於碰撞中將其一部份或全部動能傳遞給一個或多個內部電子。若此質點具有足夠高之能量，則一部份內部電子可能被撞出而放射。數種真空管中設計有二次放射面，作為裝置之一部份，而高度靈敏之光電管中亦有此項輔助元件。通常二次放射乃屬一種有害現象。此問題將在解釋四極管之特性時討論之。

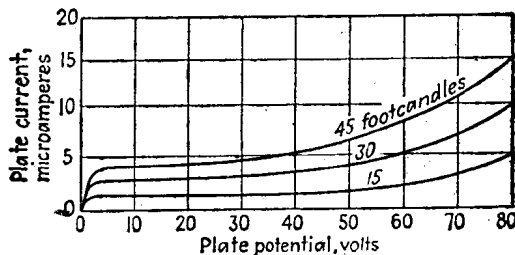


圖1—7 PJ-23式充氣光電管之伏——安特性，以光之強度為參數

Plate current, microamperes 屏流，微安
footcandles 呎燭光 Plate potential, volts 屏壓，伏

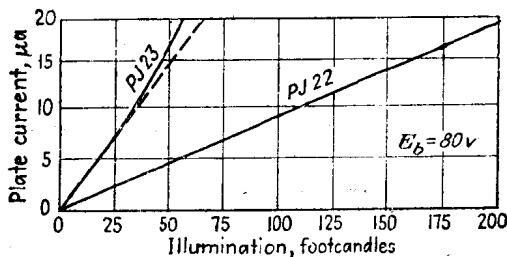


圖1—8 PJ-22 真空光電管及 PJ-23 充氣管之光電流為照度之函數

plate current, μa 屏流，微安 Illumination, footcandles 照度，呎燭光

1-7 高場放射 金屬表面上極強電場之存在將促使電子放射。通常一般電子管中之電場甚弱，不能導致此項電子放射。此法曾被建議用以解釋水銀整流器中，從