

現代電子要覽

王秉元 譯

上 冊

臺隆書店出版

翻印必究

現代電子要覽

內政部內版臺業字第三六八
中華民國六十年六月一日初版發

譯者	王 秉 元
發行人	張 宗 河
地址	臺北市衡陽路七五號
發行所	臺 隆 書 店
地址	臺北市衡陽路七五號
電話	三三四八〇七號
郵政劃撥帳戶	一二九三五號
印刷者	紅藍彩藝印刷股份有限公司
地址	臺北市西園路二段281巷5弄3號

上冊定價新臺

譯 者 的 話

二次大戰以後的短短二三十年間，電子科學的進步殊足驚人；電視及人造衛星的發明，不僅縮短了人與人間的距離，電子計算機的發展成功，更實現了人類登月的夢想。在這一方面，美國無疑的是世界的先驅，美國海軍更是個中之佼佼者；試看歷次登陸月球的壯舉中，舉凡發射、追蹤、收回的工作，大部份均由海軍的人員、艦艇擔任，太空人也以海軍軍官爲主要人選，即可獲得證明。

美國海軍爲訓練其官兵，每年均編列大筆預算，聘請學者專家來編寫訓練教材，本書卽爲其最新電子教材之一，其對象爲已具有基本電學及電子基礎之實際從事電子工作人員，故詞句儘量求其簡潔，範圍力求其廣泛，內容則採理論與實際並重。因此本書不僅爲正在學習電子的青年學生之良好讀物，且可供實際從事電子、電腦工作的社會人士之參考。

譯者於日常工作之餘，將其譯出出版，乖謬之處一定很多，尙祈先進君子不吝指正，俾資改正是幸。

王 秉 元

民國六十年三月於臺灣左營

上 冊

第一章 電子管	1-23
I 電子管的構造	3
II 二極管	3
III 陰極的種類	5
IV 陰極的加熱	6
V 電子管物質的物理性質	7
VI 放射的種類	8
VII 三極管	9
VIII 多極管	15
IX 充氣管	20
第二章 半導體	24-64
I 二極半導體	36
II 其他型態的半導體	57
第三章 電子的電源供應	65-101
I 電源整流器	68
II 濾波線路	74
III 半導體整流線路	79
IV 電壓調節	80
V 電壓乘積線路	92
VI 柵極偏壓	94
VII 電子機械系統	97
VIII 靜態換向器	100
第四章 調諧線路	103-144
I 向量的意義及其算法	107

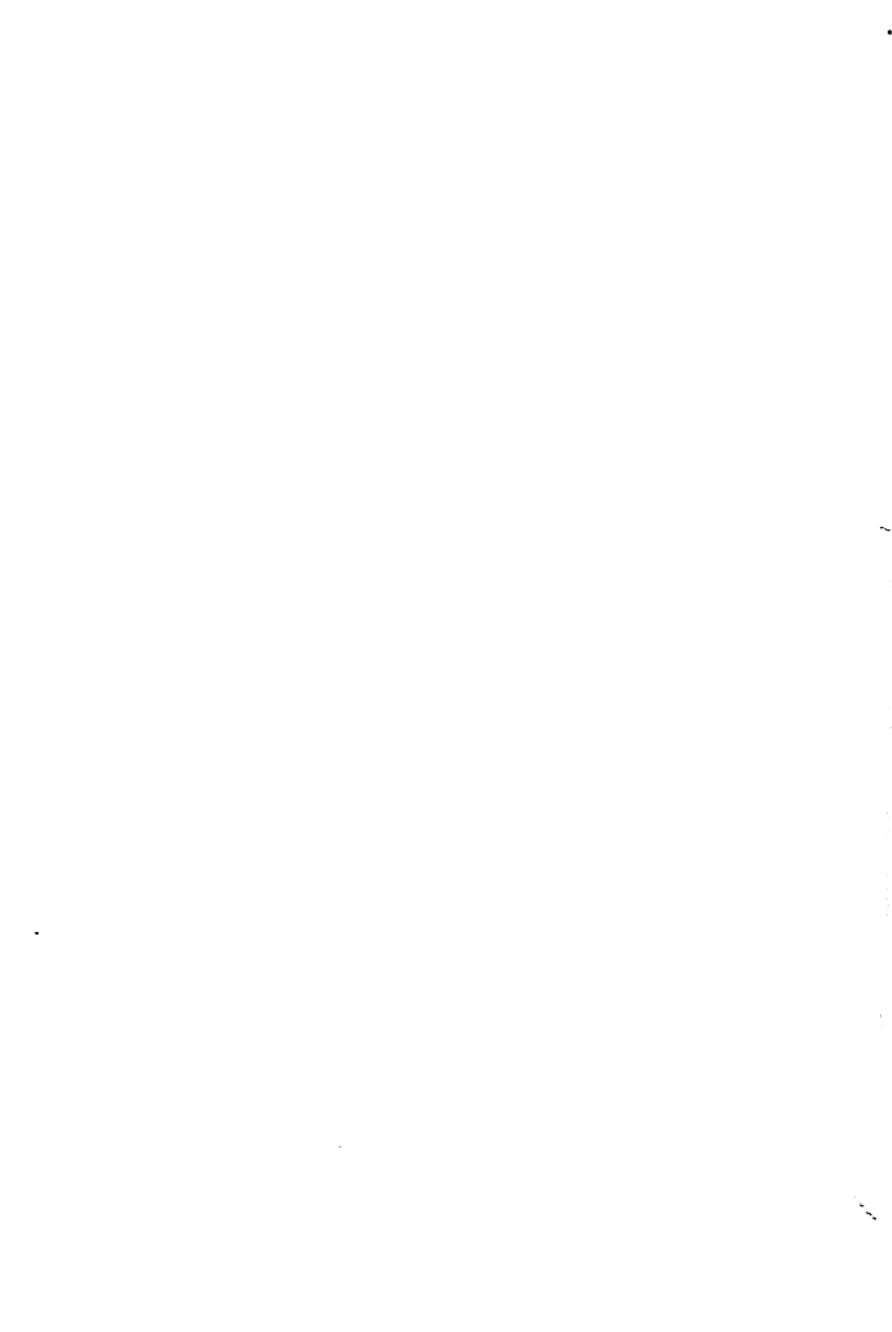
II 串聯諧振.....	113
III 並聯諧振.....	122
第五章 放大器.....	145-181
I 基本的三極管放大器.....	147
II 放大器之種類.....	153
III 放大器之失真.....	159
IV 交連的方法.....	163
V 電晶體放大器.....	174
第六章 電子管放大線路.....	183-227
I 音週放大器.....	185
II 分貝.....	200
III 微音器.....	206
IV 擴大器(喇叭)及耳機.....	210
V 直流放大器.....	211
VI 同授放大器.....	213
VII 調諧放大器.....	217
VIII 視週放大器.....	219
IX 陰極從動放大器.....	221
X 相位轉換器.....	225
第七章 電晶體放大線路.....	228-262
I 工作類型.....	231
II 交連方法.....	231
III 週率補償.....	234
IV 偏壓之穩定.....	235
V 音週放大器.....	240
VI 直接交連放大器.....	254

目 錄

VII 視週放大器	255
VII 電晶體線路之檢查修理技術	256
第八章 振盪器	263-312
I 電感——電容振盪器	265
II 電子機械振盪器	291
III 電晶體 LC 振盪器	296
第九章 特別線路及設備	313-356
I 非正弦波形	315
II 一般線路	317
III 波形成形線路	322
IV 計數線路	340
V 時間延遲線路	343
VI 陰極射線管	348
VII 直接影像儲存管	352
VIII 運波管	356

第一章 電子管

(The Electron Tube)



電子管的構造

電子管是用高度真空的玻璃或金屬管製成，故普通又稱真空管，管的內部裝有許多電極 (Electrodes)，如陰極 (Cathode)、屏極 (Plate)，有些電子管中還裝有一個或數個柵極 (Grid) 和能使陰極加熱的絲極 (Filament)。

電子管因功用的不同，而有很多的名稱和型式，大致說來，電子管的用途有三：(一)將電流和電壓自某種波形 (Waveform)，變為另外一種波形。(二)將微弱的信號放大。(三)產生高週率 (High frequency) 的交流電。

二 極 管 (Diode)

二極管中共有兩個電極，即能夠加熱的陰極，和冷的屏極。當陰極在真空中加熱後，屏極上即產生一相對為正的電位差，此時陰極上有電子放出，而被屏極吸收。圖 1-1A 可以看出二極管內部的結構和二極管的簡圖，這種簡圖在以後各章的線路中非常重要，讀者應予熟記。

圖 1-1B 是一隻裝有絲極的二極管，絲極的作用，是為陰極加熱。

在實際的電子線路裏，二極管的功用就像自來水管上的閥門，故英國人至今仍稱電子管為閥 (Valve)。

工作情形 (Operation)

我們如將一二極管的屏極、陰極和一隻電池串聯，如圖 1-2 所示，當屏極對陰極而言為正時（如圖 A），電流表上即可看出有電流流過。這種從熱物體

上放出電子的現象，是愛迪生於公元一八八三年所發現，故稱愛迪生效應。

如果將電池的極向反轉連接，如圖 B，則屏極對陰極而言為負，電流表上即無電流流過。

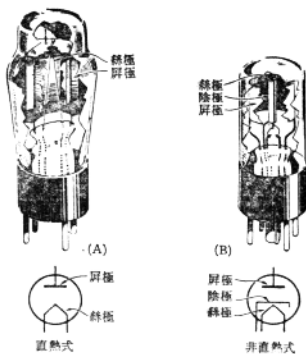


圖 1-1 二極管的剖面圖

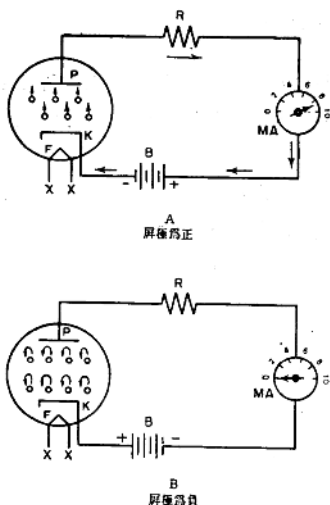


圖1-2 二極管工作情形

最後當屏壓到達某一程度時，所有陰極放出的電子都被屏極吸收，即使再將屏極上的電壓增高，屏極上的電流也不再增大，我們稱此時的電流量為飽和電流

，屏極上的電壓為飽和電壓。

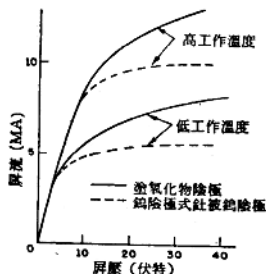


圖1-3 不同工作溫度時，二極管屏流屏壓特性曲線

不論屏極上的電壓如何，只要所用的溫度相同，從熱電極上放出的電子總數都是一樣。這種情況當屏極為負時也是如此，因為由陰極放出的電子既然不能被屏極吸收，就在屏陰兩極之間形成一層電子羣，它們造成負的空間電荷，有排拒電子重新返回陰極的力量。

當屏電壓逐漸轉變為低的正值時，祇有靠近屏極的電子羣中的電子才會被屏極所吸收，因此屏極上的電流非常微弱，如果屏壓慢慢增加（陰極的溫度仍保持不變），較多的電子也將被吸向屏極，此時屏極上的電流也就逐漸增大。

圖1-3的曲線係表示三種質料不同的陰極，在不同的溫度時，屏電流和屏電壓的關係。

在屏電壓甚高時，屏電流隨着陰極的溫度而變化，與屏電壓的大小無關，但當屏壓過低時，屏流則受屏極與陰極間電位差的影響，而與陰極的溫度無關。

換句話說，如果屏壓固定不變，放出的電子數和屏流都將隨着陰極溫度的上升而增加，直到溫度到達某一程度時，屏流受到空間電荷

的限制而止。此時由陰極放出的電子數超過了被屏極吸收數，陰極溫度再升高，屏極上的電流也不會增加。這個時候的陰極溫度叫做飽和溫度。

二極管的型式 (Types of Diodes)

前面所講的二極管，都是屬於高度真空型，此外尚有一些二極管，管中充有低壓的氣體，如用來供給變壓器直流電源的熱陰極水銀蒸氣整流管等便是。

二極管最初僅係指電子管而言，以後科學家又發明另外一些和二極管具有同樣功用的設備，這便是本書後面將討論到的半導體 (Semiconductor)。

二極管的用途 (Uses of Diodes)

由於在二極管中，電流祇能向一個方向流動（即自陰極流向屏極），所以二極管的最基本用途，就是用來當做整流器 (Rectifier)。設如在圖1-2 中，將電池換成交流電源，則在屏極接出的電阻上，僅當交流電使屏壓對陰極電壓為正的半週時，始有電流流過，這種單向特性，使二極管也可當做檢波器 (Detector) 來使用。

陰 極 的 種 類

到目前為止，人類所知道的元素中，祇有少數能夠加熱到產生熱離子放射而不致融化，常被用來當作電子管放射體的質有三種，就是鎢、鈾塗鎢 (Thoriated-Tungsten) 以及氧化物。

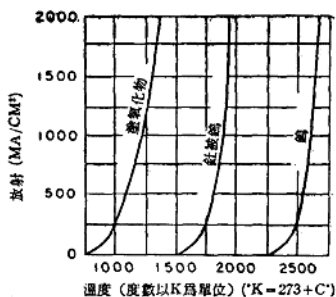
鎢陰極 (Tungsten Cathodes)

鎢製的陰極，性能非常優良，其缺點則為需要大量的熱，和極高的操作溫度，始能產生足夠的放射，這種陰極主要用於高能量的電子管中，如高電力的無線電發射機等。

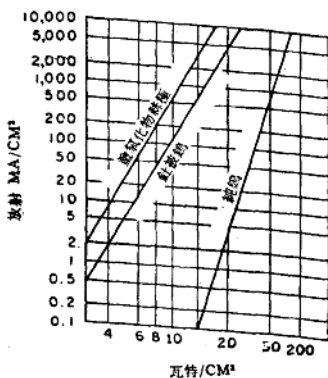
鈾被鎢陰極 (Thoriated-Tungsten Cathodes)

這種陰極是用一層很薄的鈾，塗蓋在鎢的表面上而製成，在甚低的溫度下，這種陰極比純由鎢製成的陰極，可放出更多的電子，普通多用於屏壓由 500 至 5000 伏特的電子管中，放在低電力的無線電發射機中，時常可見。

氧化物陰極 (Oxide-coated Cathodes)



放射隨溫度而變



各種陰極之放射效率

圖1-4 三種不同陰極之放射溫度曲線

通電變熱時，輻射熱使圓筒受熱而放出電子，圖1-5係說明這兩種不同的加熱方法。

直熱式陰極電子管，通常多用於輕便的手提裝備中，其加熱電源，係由電池或電瓶供應，在設計時就已注意到，使絲極的耗電量減至最小。至於間熱式陰極，

氧化物陰極，是在金屬物（如鎢）的表面上，塗以氧化鋇和銦的混合物而製成，此種陰極是所有陰極中，功效最好的一種，在甚低的溫度下，即能工作，因僅需極少的熱能，放射電子的功效大，而壽命長，在所有的接收機電子管中，幾乎都使用。

圖1-4A 顯示本章所討論的三種陰極中，電子放射的情形，圖中開始放出電子時的溫度，叫做正常工作溫度。圖1-4B 則係顯示三種不同的陰極物質的放射效果。

陰極的加熱

(Heating the Cathodes)

使電子管的陰極加熱，以便放出電子的方法有兩種；一為直接加熱，一為間接加熱。

所謂直接加熱，就是直接將熱加於絲極上，使絲極本身成為陰極而放出電子，間接加熱，則是在絲極的外面，套上一個金屬的圓筒當作陰極，圓筒與絲極之間，互相絕緣，當絲極

則需要大量的熱能，其優點則為絲極電流穩定，加熱均勻，故絲極的橫斷面也就比交流電絲極小。交流電的直熱式絲極，需要有較大的橫斷面，使因電源週率影響，而產生的溫度變化，減至最小，一般接收機，當有交流電源可供使用時，都使用間接加熱式陰極

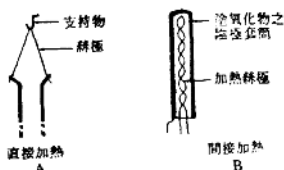


圖1-5 電子管陰極加熱法

，這種電子管所用的陰極電源，都和絲極加熱電源分開，俾消除交流聲。

電子管物質的物理性質

電子管的外殼，是用薄的玻璃，或金屬製成，管子越大，外殼就越厚，因為它們必須要能承受大氣的壓力。

管內必須保持真空的理由有二；第一，避免陰極和加熱體因氧化而燒燬。第二，使電子自陰極流向屏極時，不致和氣體分子互相碰撞。一粒最輕的氣體分子，其重量約為電子的一千八百倍，因此這種撞擊，會使電子改變其流向，而引起不規則的亂流。

將一具做好的電子管外殼，用真空幫浦，抽去其中大部份的空氣，然後在管內燃燒少量的鎂或鋁，就可以獲得高度的真空，燃燒管內的鎂或鋁，是一項有趣的設計；先在管內預先裝置的金屬杯內，放些許火藥，再在管外四週，繞上一層高週率的線圈，當電流通過線圈時，便產生磁場，磁場使管內感應而生渦流，引燃火藥，使鋁或鎂燃燒，燃燒後產生的氣體，與殘留空氣便在管的內壁上，結成一層銀色的附着物，附着物佔的空間，比殘留的空氣為小，因而造成真空。

電子管的下方，是用一種特殊的材料，使其密封，管內各電極的引線便由此引出管外，金屬外殼的電子管，其底座均係用玻璃製成，以保持絕緣。選擇引線的材料時，應注意它的膨脹係數要與玻璃一致，這樣當電子管各部份受熱膨脹時，才不會引起裂痕。

金屬製成的外殼，如設計不良，將會在管內形成一種電的真空，此時感應電

壓會放大若干倍，而引起輸出失真，因此在許多電子裝備中，少數線路上的金屬管和玻璃管，不能隨便互換使用，電工人員應該注意。

電子管內，各電極間的排列距離，受很多因素的影響，其中最重要的兩個，就是週率和電極電壓。

屏極也是用金屬製成，但在正常工作溫度下，它不會因熱而放出電子，通常屏極都是裝在陰極外圍，以便吸收電子，其表面呈黑色，使屏流產生的熱能夠迅速地發散。

每個電子管外，都印有符號，用來識別，這種符號叫做電子管號碼，是由一些數字和英文字母組成，號碼的第一個（組）符號，代表絲極電壓，第二個（組）符號，代表用途，例如整流管是用英文字母的最後幾個字（U, V, W, X, Y 和 Z）來代表。第三個（組）符號，代表使用這個電子管時，有幾個腳架需要連接線路，才能工作，例如電子管號碼為 5U4，即表示絲極電壓為 5 伏特，用途為整流管，八個腳架中必須有四個與線路連接才能工作。極多數電子管的號碼，都是如此編排，唯也有極少數例外，讀者在實際從事電子工作時，可參閱本書後面所附之附錄二。

放射的種類

當一導體的兩端，有電位差存在時，導體內即有電子流動，這些電子，能夠穿過原子的外層，以高速移動，溫度越高，速度越快，在普通溫度下，其速度不能勝過導體本身的吸力，故不能突破導體的表面，如欲突破金屬的表面，電子必須作功以超過導體的吸力，這種為突破表面所作的功叫做某一金屬的工作效用 (Work function)。吾人增加金屬放射物的熱度，即可增加所謂「自由電子」(Free electrons) 的動能。

所謂熱放射，就是電子受熱而獲得足夠的能量後，得以自放射物體的表面逸出的步驟，在電子管中，熱放射是最常用的一種放射法。

光電放射 (Photoelectric Emission)

產生放射的另一種方法，是以光線照射某些金屬的表面，此種方法，稱為光

電放射。當光線照射到金屬表面時，光線的能，便傳到表面的電子上，如果電子所得到的能量足夠勝過金屬的吸力，它們就會脫離金屬而跳出，跳出的速度與光線的輻射速率成正比，因此光的速率越高（波長越短），電子放射的速度也越快，至於放出電子的數量，則與光的強度有關，金屬中如鋅，鉀等，均對光線非常敏感，光電放射的兩種最主要用途，是光電池 (Photoelectric Cell) 和電視照相機中的電子管。

二次放射 (Second Emission)

由電子衝擊一物體的表面，因而引起該物體的電子放射，叫做第二次放射。設有一羣高速度的電子，撞擊一物體，如速度足夠，其力量當可使該物體的電子自表面跳出，第二次放射，通常並不用作獲得電子的手段，不過這種情況，在電子管中時有發生，而必須加以控制，本章後面將討論此一問題。

三 極 管 (Triodes)

三極管的構造，與二極管十分相似，不同的是，在陰極與屏極之間，加上了一層由細金屬線繞成的柵極。這種柵極，使三極管具備了它最有用的功用——放大的能力。通常柵極都是繞成圓螺旋形，或橢圓形，圍在陰極的外圍，間或也有其他形式者，不過其目的，都是在控制屏極電流。柵極線間的空隙要夠大，以免影響電子自陰極流向屏極，但也不能太大，並要盡量靠近陰極，俾有電壓加於屏極之間時，能有足夠的力量來控制屏流。此種柵極，稱為控制柵極 (G_1) (Control Grid) 以別於多極管 (Multielement Tube) 中的其他柵極。

標準的三極管，其構造如圖 1-6 所示，柵極和屏極經由底座腳架和支持線，而與電路連接，屏極套筒與絲極互相絕緣，並與底座上較短的一對腳架相連接。

工作情形

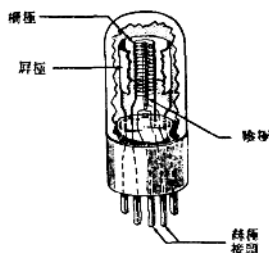


圖1-6 三極管之各部份

二極管的屏流，隨屏極電壓，和陰極溫度而變化，但在三極管內，屏流的變化不僅與上述因素有關，且受柵極與陰極間電壓的影響。少許柵極電壓的變動，即能引起相當大的屏流變化。柵極這種對屏流有效的控制，係因它靠近陰極，和它中間有負空間電荷所致，但同等的屏流變化，如靠屏壓來獲致，則必需大量變動屏壓始可。

控制柵極與屏極間的直流電壓，叫做柵極偏壓，或者簡稱偏壓 (Bias)，任何柵屏間電壓的變動 (可用一直流信號加於柵極上或變動偏壓來造成)，均能在屏

極上引起電流變化，如果柵到屏的電壓增加得足夠，而柵極電壓又較陰極為負，則屏流將停止流動，這種當柵極為負時，使屏流停止流動的最小柵偏壓，叫做截止偏壓 (Cut off Bias)。

圖 1-7 說明使柵極偏壓，對陰極而言，逐漸自負變至零時，屏流的變化；當偏壓為負的最大值時 (圖 1-7A) 因柵極上的負電荷，排斥電子回到陰極，故無屏流產生，如偏壓降低，(圖 1-7B) 少數電子經過柵極的空隙流向屏極。當偏壓為零，柵極對電子流僅有極小的控制力量，甚或不能控制 (圖 1-7C)，此時三極管的作用，和二極管相同，只要柵極對陰極為負的情況繼續存在，柵極線路上即無電流，也就不會消耗任何能量。

如果柵極對陰極為正，空間中的電子，就會加速地流向屏極，其中若干且被吸向柵極，而發生柵極電流，電流的

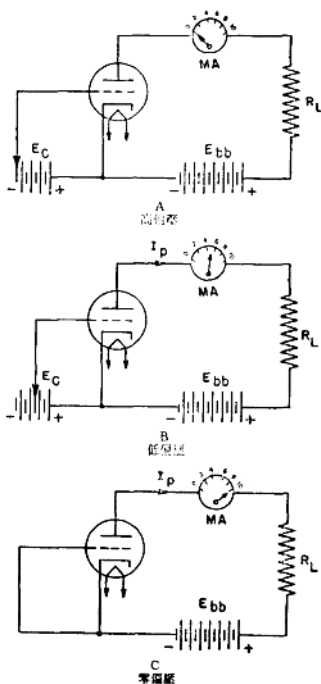


圖 1-7 控制柵極電壓對屏流之影響

大小，依正電位的大小而定，因而形成柵極線路上，能量的損失。此種損失為吾人所不希望者，因此常將偏壓的交流信號，加以限制，使其正值的最大值，對陰極而言仍為負，而制止柵流出現，獲得柵極偏壓的方法，將在本書第三章中討論。

放大 (Amplification)

柵極能控制三極管中電子的流量，和屏極線路中負載 (Load) 上的電流，因此我們可把它當作是一隻電子控制閥門。當一正弦波形 (Sine waveform) 的交流信號，與柵極偏壓串聯時，屏流也將隨着正弦波，作同樣的變化，屏流流過屏路上的負載，又引起屏壓變化。這些變化，便構成這一級 (Stage) 的輸出信號，只要柵極輸入信號，有一點小的變化，便會造成輸出信號相當大的變化，這種情形，我們可以說是柵極信號，在屏極線路中被放大。

三極管特性

陰極溫度不變時，柵極電壓、屏極電壓，和屏流間相互的關係，叫做三極管的特性，為方便起見，上述三者分別以符號代表如下：

e_g = 柵極電壓

e_p = 屏極電壓

i_p = 屏極電流

以後本書各章中， e 即代表任一電壓， i 代表任一電流，另以 Δ 代表值的變化，故

Δe_g = 柵極電壓的變化

Δe_p = 屏極電壓的變化

Δi_p = 屏極電流的變化

以上就是三極管的可變特性。

電子管的特性曲線可分直線和非直線的兩種，前者是表示電子管的靜態，後者則表示其動態；所謂靜態特性 (Static characteristics) 就是電子管、電晶體或其它放大設備中，其他所有的操作電壓維持不變時，兩個可變值（例如電極上的電壓和電流）間相互的關係。動態特性 (Dynamic characteristic) (或稱負