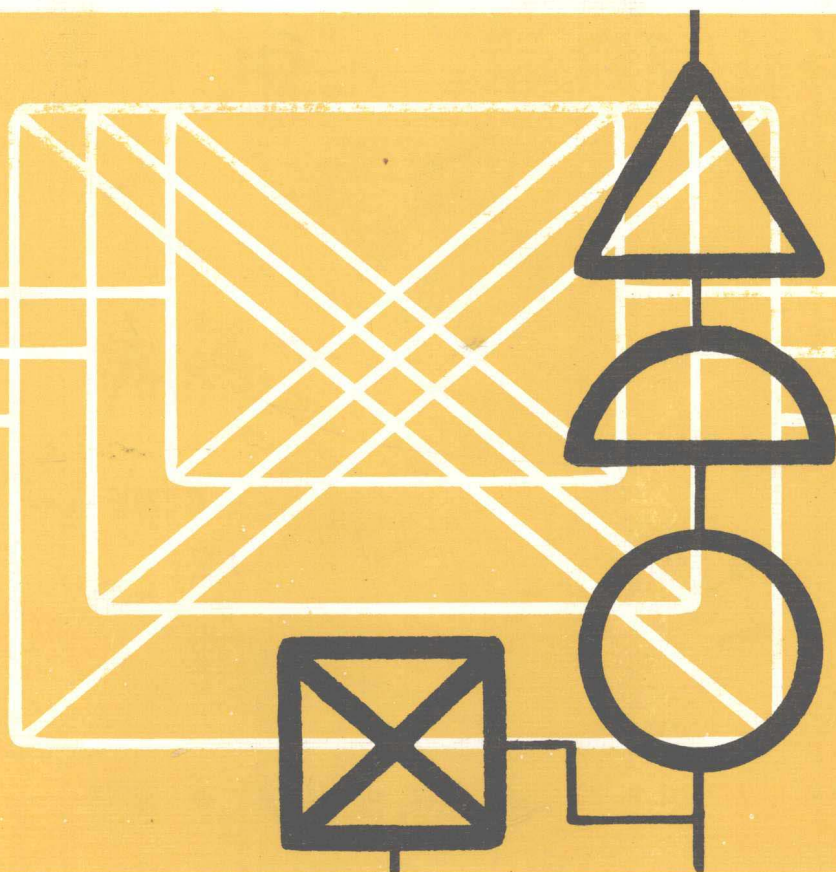


教育部審定 高工適用

工業電子學

再版 林繁勝・陳本源 編著

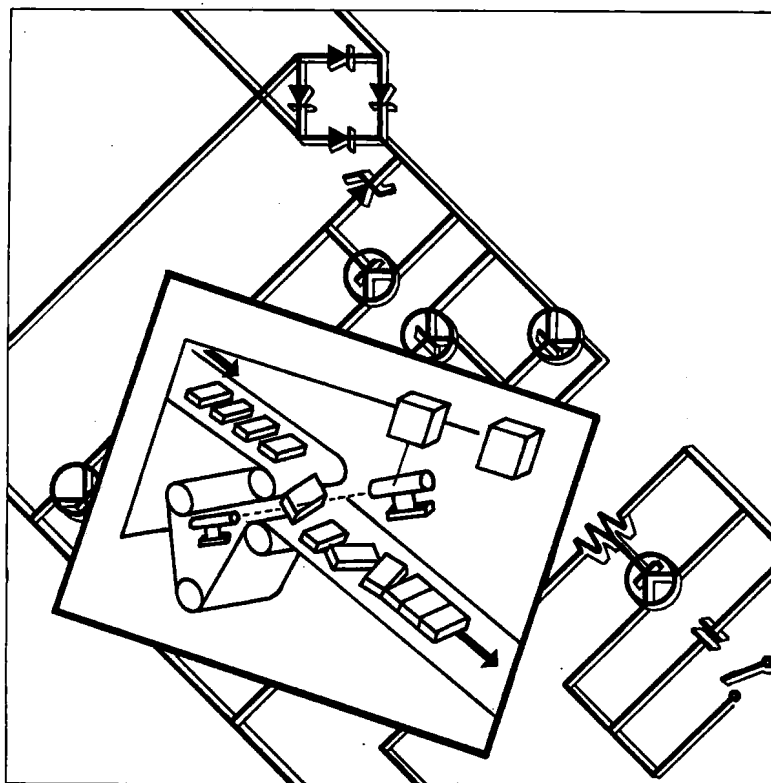


全華科技圖書公司印行

最新部訂課程標準

工業電子學

林繁勝·陳本源 編著



全華科技圖書股份有限公司 印行



全華圖書

法律顧問：陳培豪律師

工業電子學

林繁勝・陳本源 編著

出版者 全華科技圖書股份有限公司

地址 / 台北市龍江路76巷20-2號2樓

電話 / 5 8 1 1 3 0 0 (總機)

郵撥帳號 / 0 1 0 0 8 3 6 - 1 號

發行人 陳 本 源

印刷者 華 一 彩 色 印 刷 廠

門市部 全友書局(黎明文化大樓七樓)

地址 / 台北市重慶南路一段49號7樓

電話 / 3 6 1 2 5 3 2 • 3 6 1 2 5 3 4

基 價 3.15 元

二版 / 76年12月

行政院新聞局核准登記證局版台業字第〇二二三號

版權所有 翻印必究

圖書編號 042101

編輯大意

1. 本書係遵照教育部最新修訂公佈的工業職業學校電機電子群工業電子學課程標準編輯而成。
2. 本書所用名詞，悉依照教育部公佈之電機工程名詞為準，並附有英文原名，以資對照。
3. 本書之取材，乃編者參考美日等國資料經審慎選擇與安排後，編輯而成，各章之後，另附習題，以供學者練習。
4. 本書雖經悉心校訂，仍難免有瑕疵之處，敬祈諸先進不吝指正幸！

目 錄

第一章 控制信號與基本元件概述	1
1-1 概要	1
1-2 主要控制信號簡介	1
1-2.1 正弦波	2
1-2.2 方 波	2
1-2.3 脈 波	3
1-2.4 鋸齒波	5
1-2.5 信號畸變	6
1-3 基本元件介紹	7
1-3.1 真空管與充氣管	7
1-3.2 二極體	12
1-3.3 電晶體	19
1-3.4 閘流體	20
1-3.5 光電元件	71
1-4 邏輯電路簡介	77
第二章 功率電晶體概要	97
2-1 功率電晶體的特性	97
2-1.1 輸出特性	98
2-1.2 輸入特性	103
2-1.3 放大因數	104
2-1.4 高頻特性	106

2-1.5	電力增益	107
2-1.6	飽和特性	108
2-1.7	轉換特性	110
2-2	功率電晶體的最大額定值	113
2-2.1	最大集極電壓	114
2-2.2	最大射極—基極電壓	116
2-2.3	最大集極電流	117
2-2.4	最大基極電流、射極電流	117
2-2.5	最大集極接合面溫度	118
2-2.6	最大保存溫度	118
2-2.7	最大集極損失	118
2-2.8	安全工作範圍	120
2-3	功率電晶體的溫度特性	121
2-4	功率電晶體的附屬元件	125
2-5	開關用電晶體功率損耗簡易求法	126
第三章	基本實驗電路	133
3-1	用交流矽控整流器 (TRIAC) 的低壓控制電路	133
3-2	用矽控整流器與直流電源控制交流馬達	135
3-3	用觸發二極體・交流矽控制流控整器的馬達控制基本電路	138
3-4	在馬達控制電路中用電晶體當爲固定開關	140
3-5	熱電阻控制電路	141
3-6	光能馬達控制電路	143
3-7	使用 SCR 的光電繼電器	145
3-8	一小時的定時開關	146
3-9	光矽開關的基本實驗電路例	146
第四章	應用實例	149

4-1	超音波機器實例·····	149
4-2	電源裝置·····	156
4-2.1	直流安定電源裝置·····	156
4-2.2	直流—交流轉換裝置·····	166
4-3	照 明·····	184
4-3.1	閃光燈·····	184
4-3.2	電池式螢光燈·····	186
4-3.3	汽車用電子照明·····	188
4-4	溫度調整器·····	190
4-5	定時電路及繼電器·····	191
4-6	電池充電器·····	194
4-7	光電自動開關及接觸開關·····	196
4-8	調光裝置及控制電路·····	208
4-9	停電照明控制電路·····	218
4-10	液位控制電路·····	219
4-11	電動機的電子控制電路·····	221



控制信號與基本元件概述

1-1 概 要

現代的日常生活，常接觸到的收音機、電視機、電影、擴音系統、長途電話，可以說假如不是有了電子學，這些電子器具及裝備便不會發展到今天這個地步。這些熟悉的裝備大多數是用來傳遞信息，所以信息的傳遞是電子學的主要目的。

在工業界中，應用電子技術與設備以尋求更快速及更精確的生產方法。在近20年間，電子技術的高速發展和卓越的成就，使工業生產大量引入先進的電子技術，並漸漸形成了一個完整的學科——工業電子學。

1-2 主要控制信號簡介

工業界所採用的電子裝置，其動作的控制，往往是利用信號去驅使或是利用一定信號的程序去控制裝置，使其按照信號的程序動作。

記錄器亦是工業界常用到的裝備，其目的是將生產的情況，轉換成信號波形，再用電子裝置將其記錄下來，當超出常規的情況發生時，則會發出警告信號或再利用控制器糾正之。茲將幾種常用的控制信號，分別說明如下。

1-2.1 正弦波

在開始學習無線電的時候，一切計算都是以正弦波為起始，其波形如圖 1-1 所示。正弦波之所以有這樣的權威，不僅它是交流發電機磁生電的波形，亦不僅它是理想 L-C 振盪器的輸出波形，具體地說，它是這樣的一

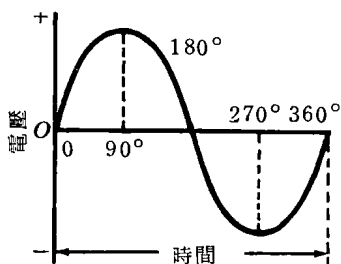
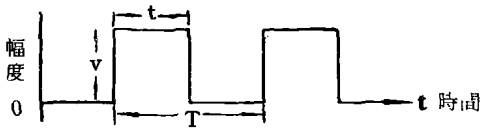


圖 1-1 正弦波波形

個波形，當通過任何線性的電路，其輸出波形並無改變。不是正弦波的其他波形，當通過線性電路，其輸出波形將會發生改變。

1-2.2 方波

圖 1-2(a) 是一方形波的波形，在這個理想的方形波上，電壓由零值上升，以達於一個比零值為高的正電位，所需的時間是很少很少的，同理，這個電位下降至零所需的時間也是很少很少的，這就造成方形波的上下平坦而兩旁邊緣陡直。圖 1-2(a) 可見每個方形波的上頂和下底長度相等，我們叫它做對稱方形波；圖 1-2(b) 上每個方形波的上頂比下底減短，這樣的就叫做不對稱方形波，又稱為矩形波。在這兩個波形上，由一個波形的上升起點至下一個波形的上升起點，其間所需的時間 T 叫做脈波重覆週



(a) 對稱方形波



(b) 不對稱方形波・矩形波

圖 1-2 各類的方波波形

期，而波形上頂寬度的相應時間 t 叫做脈波持續時間。持續時間和重覆週期的比率 (t/T) 叫做持-張比 (Mark-Space)，如果在對稱方形波則持一張比為 $1/2$ 。

1-2.3 脈 波

脈波 (Pulse) 即是含有像脈搏、心臟鼓動之意，換句話說，即用以表示電流像脈搏那樣作間歇性流動的情形。它只是一種在極短時間流動 (出現) 隨後又停止流動 (消失) 的波形，因而它不像正弦波，而是屬於圖 1-3 那樣的波形。

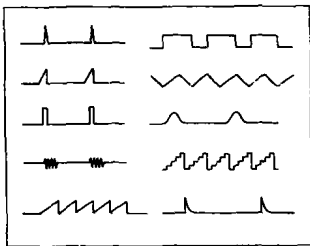


圖 1-3 各類脈波的波形

鑑別一個脈波時，我們只需注意脈波波幅、持續時間、重覆週期。事實上在許多情況下，脈波只是無規則地偶而發生或重複出現，其時間並無固定規律。脈波可以比零值大一正脈波，也可以比零值小一負脈波。

任何屬於週期性的脈波，即波形在一定的時間重覆出現，此類波形的分析可應用傅立葉級數 (Fourier Series)，乃用基本頻率 (Fundamental frequency) 的正弦波與其整數倍的正弦波，亦稱諧波成份 (Harmonic Component) 的和加以描述，表示各種週期性脈波的方程式為

$$f(t) = A_0 + A_1 \sin(\omega t + \theta_1) + A_2 \sin(2\omega t + \theta_2) + A_3 \sin(3\omega t + \theta_3) + A_4 \sin(4\omega t + \theta_4) + \dots \quad (1-1)$$

此處 $f(t)$ 為一時間函數表示的週期性脈波。

A_0 為一常數表示直流項。

A_1 為基本波的峰值。

A_2 、 A_3 、 A_4 ……等表示各較高諧波的峰值。

θ_1 為基本波的相角。

θ_2 、 θ_3 、 θ_4 ……等表示各較高諧波的相角。

ω 為基本波的角頻率。

在分析非正弦波時，就是計算表該波形的傅立葉級數中的各項。表圖 1-4(a) 方波電壓的級數式如下

$$V = \frac{4}{\pi} V_m \left(\sin \omega t + \frac{1}{3} \sin 3\omega t + \frac{1}{5} \sin 5\omega t + \dots + \frac{1}{n} \sin n\omega t \right) \quad (1-2)$$

如將基本波和三次諧波相加，結果將如圖 1-4(a) 所示。祇有首兩項相加，波形看上去已經很像一個方波，若再加上第 3 次、第 5 次諧波部份，

波形將如圖 1-4(b) 所示，若連續將奇數諧波相加，最後合成波愈接近於方波。

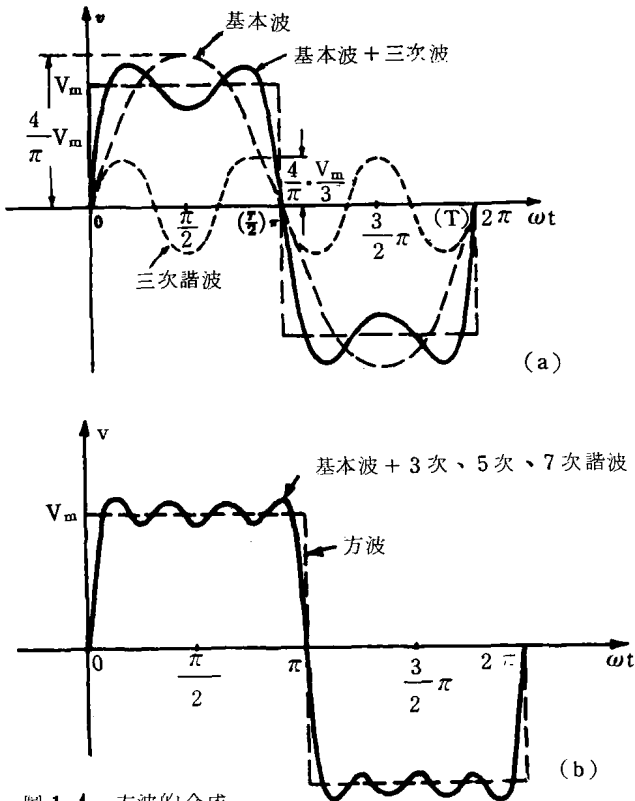


圖 1-4 方波的合成

1-2.4 鋸齒波

鋸齒波又稱為三角形波，波形如圖 1-5 所示，這是示波器時基線的波形，加至示波器的水平偏向極時，把示波器上的陰極射線管電子束以一定的速度由一端橫掃到另一端，然後以極高的速度把電子束帶回起點重複下去。

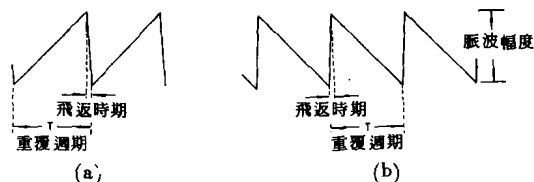


圖 1-5 鋸齒波波形

鋸齒波的電流流過電感器時，在飛返時期，以極短時間產生很大的電流變化，而感應一極高的電壓，使空氣游離產生火花放電。

1-2.5 信號畸變

上述的方形波與鋸齒波都含有大量諧波，理想的波形其上升或下降的變化部份是陡直的，在轉變為平頂部份時，是一個尖銳轉角，如此的波形會包含有無限高頻的諧波成份。事實上這轉角的地方多少總會變為圓角，而上升的直變情況總會帶有多少斜度。即使是如此，脈波中所包括的頻率仍是一個相當廣闊的頻帶，要一絲不苟的來處理脈波，則脈波電路應具有相當寬的頻率響應才可勝任。但由於放大器的極際電容，交連電容的影響，使得各次諧波的放大倍數並不相同，因而使控制信號的輸出發生變形，此種的信號畸變又稱為頻率失真 (Frequency distortion)。另外一種信號畸變是由於放大电路的工作點取得不當，以及過大的輸入信號所致，使得輸出波形不能與輸入波形相對應，如圖 1-6 所示，此種信號畸變又稱為振幅失真 (Amplitude distortion)。

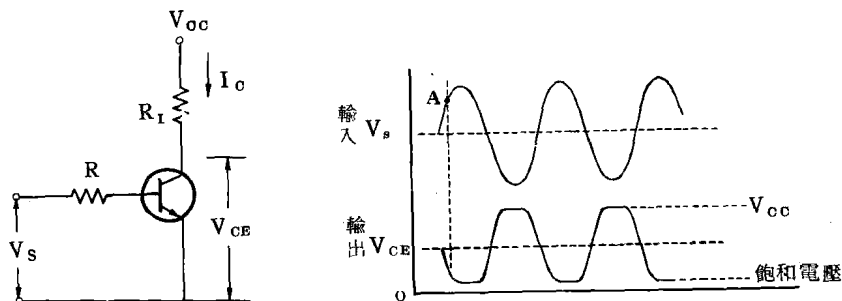


圖 1-6 大信號正弦波輸入使輸出為矩形波

1-3 基本元件介紹

1-3.1 真空管與充氣管

電子管分為兩大類，第一類的管子，是把管內的空氣都已經抽出而加以密封，所以管內是高度的真空，此類管子稱為真空管，其特性已於上學期基本電子學的第二章中介紹過，在此不再重複。第二類的管子，是在管內的空氣抽出以後，在密封之前放進一定量的某種氣體或蒸氣，此類管子稱為充氣管。

充氣管有兩種形式，即熱陰極充氣管與冷陰極充氣管，充氣管符號如圖 1-7 所示。管子內多加上的小黑點是表示管內加有氣體（氫、氬、氖或水銀蒸氣）。在玻璃罩內有屏極與陰極，熱陰極管有燈絲，冷陰極管則沒有燈絲裝置。冷陰極與熱陰極充氣二極管的特性十分相似，如圖 1-8 與 1-9 所示。熱陰極充氣二極管的特性與普通二極管在低的屏壓下特性非常相似，見圖 1-8。

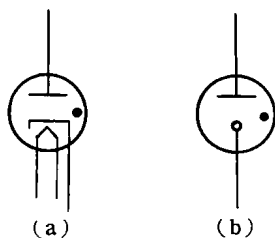
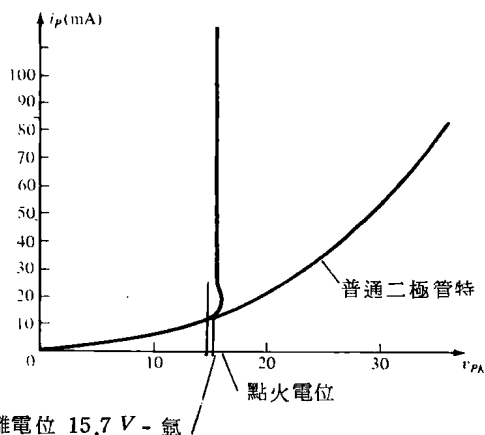


圖 1-7 充氣二極管符號

(a) 熱陰極 (b) 冷陰極



游離電位 15.7 V - 氬

圖 1-8 熱陰極充氣二極管特性。

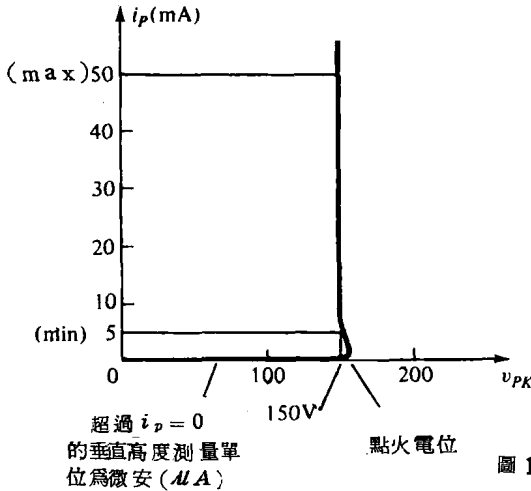


圖 1-9 冷陰極充氣二極管特性。

一般而言，真空管通常並沒有用盡陰極發射出來的全部電子，許多多餘電子聚集在陰極表面附近，形成空間電荷而阻止其他電子流向屏極。當管內含有氣體時，則帶有充份動能 ($mv^2/2$) 流向屏極的電子，以很大的力量與氣體分子碰撞，而使氣體分子中的電子釋放出來。這種從氣體分子移出負電荷並形成正游子的過程稱為游離 (Ionization)，每一種氣體均有不同的游離電位 (Ionization potential)，如水銀蒸氣約為 10.4V；氫為 15.7V；氬為 21.5V；氖為 24.0V。一旦游離發生後，則在屏極與陰極周圍區域的自由電子與正游子數目將會增加，而正游子將減少負空間電荷對負電荷電子的阻礙效應 (Retard effect)，故有多數的自由電子可在不受影響的情況下行進到屏極，而此時電流流動僅受外部電阻或該管額定電流值的限制。在圖 1-7 中，點火電勢 (Firing potential) 通常較游離電勢高。於此須特別注意的是，當達到點火電勢時，電流特性幾乎是垂直上升，而其電壓維持在游離電勢，此特性與理想二極體十分相似。

冷陰極二極管管內無加熱裝置，故在屏極與陰極之間沒有負空間電荷。當屏極電壓從 0V 開始增加，則屏流由自然原因 (溫度) 所造成的自由電

子來決定其最大值，此電流大小限制在微安內。欲使電荷流動超過此數值，則屏極電勢必須增至某點，此時由自然原因所造成的自由電子受屏極電場吸引，使電子具有充份的動能，在高速奔往屏極途中與氣體分子相碰產生正游子與負游子，此結果所造成的正游子受陰極電場吸引而移動與陰極相碰撞，其所具有的高動能（正游子質量大），將使陰極表面產生足夠的熱能而造成熱游子放射，同時在正游子碰撞到陰極時將釋放出電子，此釋放出來的電子具高動能使管內氣體游離而產生累積游離（如圖 1-10 所示），而使流至屏極的電流增大至某一數值，此數值僅受外部電路或該管額定電流的限制，此可由圖 1-9 的特性曲線中，在 150V 處垂直上升來證實。

點火電壓的大小受使用氣體的種類、極間距離與管內氣體壓力所控制。一般情形，冷陰極二極管的點火電勢高於游離電勢若干伏特。若屏極至陰極電勢低於游離電勢時，充氣二極管將成斷路狀態。

熱陰極充氣二極管由於壓降小，故常用於大電流的整流電路中。冷陰極充氣二極管常用於電壓調整電路，如圖 1-11 所示。圖 1-12 為圖 1-11

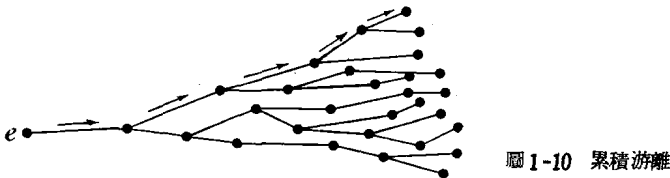


圖 1-10 累積游離

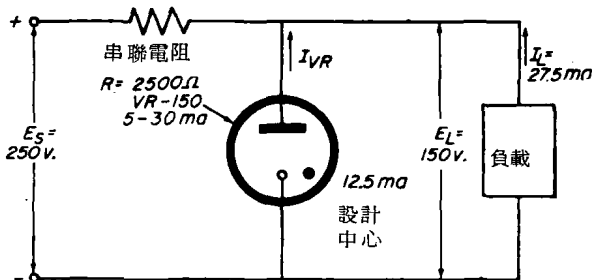


圖 1-11 電壓調整電路

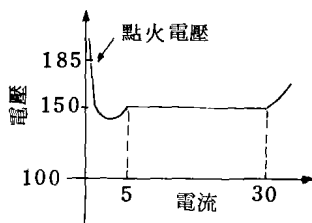


圖 1-12 VR-150 穩壓管特性區綫

充氣管的特性曲線。若一負載電壓為 150 V 時，電流為 27.5 mA，充氣管的電流取在最小與最大值的中間數值，此值稱為設計中心數值。

在輸入電壓為 250 V 時，所須串聯的電阻

$$R = \frac{E_s - E_L}{I_{VR} + I_L} = \frac{250 - 150}{12.5 + 27.5} = \frac{100 \text{ V}}{40 \text{ mA}} = 2.5 \text{ K}\Omega$$

電壓是 150 V 的電壓調整管表作 VR - 150，同理，VR - 90，VR - 105 分別代表電壓為 90 V、105 V 的電壓調整管。

電壓調整管可以串聯使用，例如 VR - 150 和 VR - 90 相串聯可得 240 V 的穩定電壓。

氖燈 (Neon lamp) 的工作原理和上述原理相同。例如氖燈在 AC 110 V 當做指示器使用時，須串聯一電阻器來限制電流。

在充氣管屏極與陰極之間，置一控制柵極是為閘流管 (Thyratrons)。此類管子目前已被 SCR 所取代。

圖 1-13 是一充氣數字管之結構簡化圖解，管內包括有 10 個陰極，其形狀如阿拉伯數目字形（亦可彎成其他形式），其最前端為網狀陽極，其後則為各陰極，逐一接疊。管內充的是氖氣，當所需輝光之數字接至地端（經繼電器、電晶體等外加電路）而在陽極加上所需電壓，氖氣便被兩