

大學用書

無線電工程

陸鶴壽編

第一冊

## 本書第二冊目錄

- 第十章 真空管電路的分析基礎
- 第十一章 成音週率放大器(一)
- 第十二章 成音週率放大器(二)
- 第十三章 射電週率放大器(一)
- 第十四章 射電週率放大器(二)
- 第十五章 調波器
- 第十六章 振盪器
- 第十七章 檢波器
- 第十八章 整流器

---

大學用書

無線電工程

陸鶴壽編

---

美國國會圖書館

惠存

中國國會中央圖書館奉  
教育部命敬贈  
以  
廿五年  
月

## 序

今日無線電發展之途徑有三：(一)電視 (Television)、(二)調週 (Frequency Modulation)、及(三)超高週 (Ultra High Frequency)。我國在此方面之進步，遠不如人。現在抗戰期內，困難衆多，研究工作無法推進，自屬實在；抗戰勝利以後，我人自當迎頭趕上，唯國內無線電圖書對此三者，極少著述，本書爲補此缺憾，特別重視此種發展，對於電視、調週、及超高週，均特立專章，詳細介紹，俾國內人士對此新趨勢，可得初步認識。

無線電工程有理論及實用二方面，本書雖不能包括全盡，但在可能範圍內已將二方面之資料盡量採納。討論學理時，書內實用資料可以刪略；實用時，本書亦不失爲重要之參考。

本書對於公式之選擇極爲謹慎，凡非必需者均不列入。但從另一方面言，公式之化導程序，若不加以詳細說明，或不逐步列出，則在教學方面不免多一困難；且課內外之複習及進修，亦須有適當之習題或顯明之實例，方易領悟。凡此諸點（公式之化導、習題、及實例等）將彙編輔導書一種，以資補充。

本書對於設計部份，未加指示，讀者可參閱拙編無線電設計。而無線電設計書中說明較少，讀無線電設計者，亦須對照參考本書，以收事半功倍之效。

編著本書時參攷之西文書籍及論著甚多，所採資料，本應一一註出其來源，以昭信實；唯因現在排版異常困難，西文腳註事實上不可能，故祇得從刪，深引爲憾。將來戰後重排新版時，當逐一補註，以便參考。

無線電工程之著述，有一極大困難，卽真空管電路之代表法。美國 E. F. Terman 教授所著之 Radio Engineering 一書，在我國流行已有多年，其內容完善，確爲難得之善本。然就其電路符號詳細研究後，卽感其與美國無線電工程師學會 (Institute of Radio Engineers) 及美國電機工程師學會 (American Institute of Electric Engineers) 所訂之標準相差極多。Terman 氏對於其著作，有一統之作風，此種符號之不

同，自屬不可避免。美國最近出版 Reich、Eastman、及 Fink 諸氏所編之電子管書籍，對於此點，確有一種新趨勢，一致採用標準符號。我國對於技術標準運動，正在推進，編者平常參考書籍論著，深感符號歧異之不便；本書內關於電子管電路之符號，亦根據新趨勢，實行標準化代表法，符號如此，名詞亦然，希讀者注意。

陸鶴壽識於四川重慶

民國卅三年五月

## 目次

## 序 1

## 第一章 無線電波

|                 |   |
|-----------------|---|
| 1.1 電波及正弦波      | 1 |
| 1.2 正弦波的有效值及平均值 | 2 |
| 1.3 組合波         | 2 |
| 1.4 成音週率與射電週率   | 4 |
| 1.5 無線電波的傳播性能   | 4 |
| 1.6 無線電波發射的條件   | 6 |
| 1.7 調幅波的大意      | 7 |
| 1.8 無線電波接收的條件   | 9 |

## 第二章 電阻及電容

|               |    |
|---------------|----|
| 2.1 電阻概述      | 11 |
| 2.2 有效電阻及皮膚作用 | 13 |
| 2.3 電阻器的種類及特性 | 15 |
| 2.4 電容概述      | 17 |
| 2.5 電容器的種類及特性 | 20 |

## 第三章 電感及磁鐵特性

|               |    |
|---------------|----|
| 3.1 電感概述      | 23 |
| 3.2 線圈Q值改變的因素 | 26 |
| 3.3 空心線圈的種類   | 28 |
| 3.4 鐵心電感圈的特性  | 29 |

|     |                 |    |
|-----|-----------------|----|
| 3.5 | 交直流混合電路中鐵心線圈的特性 | 32 |
| 3.6 | 線圈的隔離           | 34 |

## 第四章 電子及電子發射

|     |              |    |
|-----|--------------|----|
| 4.1 | 電子基本特性       | 37 |
| 4.2 | 運動電子的特性      | 38 |
| 4.3 | 熱游子發射        | 41 |
| 4.4 | 空間電荷         | 45 |
| 4.5 | 二次發射         | 47 |
| 4.6 | 光電發射         | 48 |
| 4.7 | 電子發射體的種類及其特性 | 50 |

## 第五章 電子管(一)

|     |                 |    |
|-----|-----------------|----|
| 5.1 | 基本二極管           | 53 |
| 5.2 | 三極真空管           | 55 |
| 5.3 | 三極真空管的基本常數及特性曲線 | 57 |
| 5.4 | 四極真空管           | 61 |
| 5.5 | 五極真空管           | 64 |
| 5.6 | 集射管             | 65 |
| 5.7 | 可變放大因數管         | 66 |
| 5.8 | 變波管及混合管         | 67 |
| 5.9 | 各種多極多組管         | 69 |

## 第六章 電子管(二)

|     |        |    |
|-----|--------|----|
| 6.1 | 氣體管的特性 | 71 |
| 6.2 | 整流管    | 73 |
| 6.3 | 電柵管    | 75 |
| 6.4 | 陰極射線管  | 77 |
| 6.5 | 光電管    | 79 |
| 6.6 | 電視攝像管  | 80 |
| 6.7 | 特種電子管  | 82 |

## 第七章 電子管規範及分類

|     |              |     |
|-----|--------------|-----|
| 7.1 | 接收管新廠定額的標準   | 85  |
| 7.2 | 發射管基本廠定額的標準  | 87  |
| 7.3 | 優選式接收管及其特性規範 | 88  |
| 7.4 | 電子管規範的運用     | 119 |
| 7.5 | 接收管的分類       | 124 |
| 7.6 | 發射管的分類       | 129 |

## 第八章 基本電路

|     |          |     |
|-----|----------|-----|
| 8.1 | 阻抗及導納    | 137 |
| 8.2 | 基本電路的分析法 | 139 |
| 8.3 | 四端電路     | 141 |
| 8.4 | 基本電路定理   | 143 |
| 8.5 | 串聯諧振     | 145 |
| 8.6 | 並聯諧振     | 148 |
| 8.7 | 諧振銳度     | 152 |

## 第九章 耦合電路

|     |                    |     |
|-----|--------------------|-----|
| 9.1 | 互感                 | 155 |
| 9.2 | 耦合電路的概論            | 156 |
| 9.3 | 調諧耦合電路的初步分析        | 159 |
| 9.4 | 調諧耦合電路的特性          | 162 |
| 9.5 | 單調諧耦合電路與雙調諧耦合電路的比較 | 164 |
| 9.6 | 去諧的影響              | 165 |
| 9.7 | 複式調諧耦合電路           | 167 |



# 第一章 無線電波

## 1.1 電波及正弦波

無線電的傳遞是一種複雜而靈巧的程序。當言語音樂在播音室中發出時，先有聲波，經傳聲器的變換作用，聲波的波動即在發射電路中改成一性質類似的電波(Electric Wave)再發射到空間，傳播到各地。在收發機件之間並無實際的金屬電路。空間電訊的傳遞乃得藉於無線電波(Radio Wave)。在接收方面，經相反的作用，又可使無線電波變回原聲波，從揚聲器傳出。這種波動的變化，在形態上雖有不同，但其基本特性則始終如一。不因變形而失真，且不論在電路中或在空間，各種波動均是電波的一種。所以在討論無線電收發技術之前，電波的基本特性，實應先加研究。

各種電波的實際性質及形態，常須先化到一共同的基礎，再分析其內含。這共同的基礎就是一種週期性單純基本波動的正弦波(Sinusoidal Wave)。若以數學公式表明之，這是：

$$e = E_m \sin(\omega t + \theta)$$

$$(1.1)$$

其中  $e$  是波動的瞬時值(Instantaneous Value)； $E_m$  是波動巔值(Peak Value)； $(\omega t + \theta)$  是波的相位(Phase)； $f = \omega / 2\pi$  是週率(Frequency)； $\theta$  是相角(Phase Angle)。假使電波巔值及週率不變(相角可以是零或任何一固定的正值或負值)，則電波的瞬時值亦將在  $+E_m$  值及  $-E_m$  值間發生對稱性的變動，這種波形(Wave Form)可見圖 1.1。這是代表相角是零的情形。圖中乙及丙是波幅(Amplitude)的最大(正)值及最小(負)值，亦就是正弦波

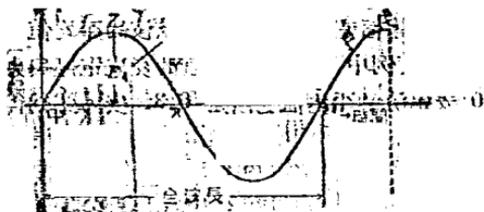


圖 1.1 正弦波的波形圖

波

完全循環，稱為一週波 (Cycle)。所占的距離是波長 (Wave Length)。反過來說，波長是波動循環中位置相同重覆點中的距離，自然這距離不必在原始點開始計算。故在圖 1.1 中，甲及丁的距離固是一全波長，即乙及戊的距離亦是一全波長。週率則表示在一秒鐘中波動或全循環的次數，亦是週期 (Period) 的倒数。

④ 電波的速度 (Velocity) 與光速相同，即每秒鐘 300,000,000 (即 3 億) 公尺或每秒 186,000 英里。根據普通物理關係，波速、波長、及週率的關係應如下式。就是說：

$$V = \lambda f = 3 \times 10^8 \text{ (公尺/秒)} \quad (1.2)$$

其中  $V$  是波速 (公尺/秒)； $\lambda$  是波長 (公尺)； $f$  是週率 (週)。由此可知：電波的波長增加後，必使週率成反比例減低。如果波長是 80 公尺，週率將是 10 兆週 (107)；當波長是 3000 公尺時，週率將是 100 千週 (105)。這種關係雖屬簡單，一切無線電波的特性，均不出這範圍。

## 1.2 正弦波的有效值及平均值

從上節簡單說明可知，電波均是時間的函數。在應用上，各種電波 (波) 的構造、週率、及相位，並不必相同，但亦須能在一個定的基礎上創立一實用的單位，這就是有效值 (Effective Value) 及平均值 (Average Value)。

有效值是一全週波瞬時值的均方根值 (Root-mean-square Value)。從公式 1.1 這種關係不難求得：正弦波的有效值是其巔峰的 0.707 倍。在電學上，正弦波的有效值與直流電流無異。交流電的有效值是 220 伏，其巔峰值是 311 伏。同樣，如果交流電的巔峰電流是 10 安，則其有效值必是 7.07 安。

平均值代表交流電波的等效直流量。純粹正弦波的平均值是其巔峰的 0.636 倍。在上述的實例中，311 伏巔峰值的交流電壓與 198 伏直流電壓相等。同理，10 安電流值的平均值應該是 6.36 安。歸納後可知：有效值比平均值大 1.11 倍。

## 1.3 組合波

組合波 (Composite Wave) 是若干基本正弦波所疊合組成的。

在這組合波中，各部份波的週率、波幅及相角間的相互關係，均可差異不同。因此，組合波可以仍舊保持其正弦波的特性，或者，組合波的波形已改變成複波（Complex Wave）或非正弦波（Non-sinusoidal Wave）。圖 1.2

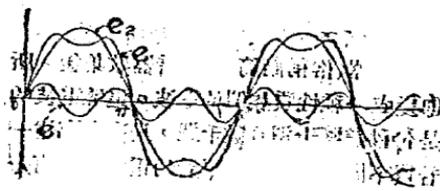


圖 1.2 組合波的波形圖。二部份波的週率及波幅不同。  $c = A_1 \sin \theta + A_2 \sin 3\theta$   
 $e_1 = A_1 \sin \theta$   $e_2 = A_2 \sin 3\theta$

是傅立葉級數（Fourier Series）根據這種級數的特性可知：組合的複波必定仍是一有週期性而繼續不斷的單值函數。再從公式的組織觀之，還可知道複波必是由其基本週率的正弦波，與多數諧波（Harmonics）組合而成。公式 1.3 就是複波基本形式的一種：

$$e = A + A_1 \sin \theta + A_2 \sin 2\theta + A_3 \sin 3\theta + \dots + A_n \sin n\theta \quad (13)$$

其中  $A$  是一固定值； $A_1$  是基本波（Fundamental Wave）的最大值； $A_2 \dots \dots A_n$  是各諧波的最大值。各  $\theta$  值是從同一點計算的電角。普通交流電波的  $A$  值常是零，所以波動在時軸上下成對稱性。

組合波的有效值是各部份波有效值自乘和的平方根。所有各部份波間的相位關係及波動原始點，對於有效值並無關係。組合波的平均值就是傅立葉級數中第一項固定值  $A$ ，其他各項的平均值全是零。

在無線電路中，電波性質屬於複波者最多。電源濾波器的輸出波就是脈動性的單向交流電壓。在電源濾波器輸出端的電壓又係直流電。

圖 1.2

及圖 1.3 所示者是不同的組合波。從該部份波的原質可知，週率、波幅及相位對於組合波的波形有極大的關係。

組合波亦能用數學公式表明。這種公式就

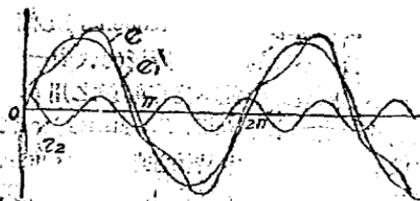


圖 1.3 組合波的波形圖。二部份波的週率、波幅及相位均不同。  $c = 4A \sin \theta + A \sin (3\theta + 90)$   $e_1 = 4A \sin \theta$   $e_2 = A \sin (3\theta + 90)$

波上疊加微小波紋部份的組合波。此外真空管的屏極電流、檢波輸出電壓、及揚聲器的聲圈電阻等，均是性質各異的組合波。

### 1.4 成音週率與射電週率

當言語或音樂在播音室經傳聲器(俗稱話筒)或拾音器收集後，所有代表言語或音樂的聲波，即變成一種性質相似的電波。這種電波的週率不高，有用的範圍通常是每秒幾數十週到幾千週，最高亦有達一萬數千週的。言語或音樂的音質不同，而每一種單音的電波又均有其一定的週率。音調愈尖，電波的週率愈高。所以普通言語或音樂的正確代表必定是一種多數週率互關的波的組合波。當然這種組合波中，各部份波的波幅並不相同。事實上亦是如此，除去最低週率電波性質重要外，其餘各週率電波的波幅均較小，且是最低週率的諧波。這種週率統稱成音週率(Audio Frequency)，簡稱音週，在波譜(Spectrum)上占最低一小段的地位，廣泛的代表一切言語及音樂。

不過成音週率並不能作輻射之用，在實際傳播時，還需利用週率較高的射電週率(Radio Frequency)。就電波的本身說，射電週率波與成音週率波的基本特性並無差異。而這二種週率的界限亦沒有明白的規定。大概言之，在有用的音週範圍以外，先有超音週率(Supersonic Frequency)，大約是5千週到20千週。這種週率雖可改成聲波，可惜人耳沒有感覺。如果求其輻射，設備上亦極不經濟，並不切實用。在超音週段以上，就是射電週率。現在射電週率的最高限度尚未確定。在實驗時，401兆週的通信亦已經利用而成功。這種射電週率範圍最廣，各週率的傳播性能亦各不相同，下節將詳細說明。

### 1.5 無線電波的傳播性能

在空間，無線電波就是射電週率波，這是由互成直角的靜電場(Electrostatic Field)及磁場所組成。在這二部份場中，各有電波中全部電能的半數，所以二者形影相依，缺一不可。

無線電波的週率各不相同，在應用上自有重大的關係。現在不論時候及電離層(Ionosphere)的影響，先作一番簡略的分析。

(一) 低射電速率：這是長波，速率的範圍是10千週到550千週（或30,000公尺到545公尺）。這種無線電波以地波（Ground Wave）最是重要，所能傳遞的距離大約是0到1000英里。天波的傳播範圍則是從590英里到8000英里。長距離的越洋無線電通信就採用這種電波。其部份指向（Direction Finding）電台的邊岸亦在這速率段內。日夜及季節對於這種速率的傳播性能又少影響，通信亦比較穩定可靠。

(二) 廣播速率：這是中波，速率的範圍是550千週到1600千週（或545公尺到187公尺）。地波傳遞的範圍不遠，大約可達100英里。天波的傳遞區域是100英里到1500英里。廣播速率在夜間及冬季傳播性能較佳，所以冬季夜間廣播成績最優。夏季日夜的傳播性能劣。同樣，日間利用天波可傳達幾百里的廣播電台，夜間常遠及千哩以外。廣播速率愈高，種種現象亦愈是顯著。

(三) 高射電速率：這就是短波，速率範圍是由1600千週到30兆週（或187公尺到10公尺）。地波範圍僅達50英里，天波傳遞區域是由50英里到3000英里。所以實際的遠距離通信或廣播，幾乎全賴天波的反射作用，然受到電離層變化的影響，傳播的距離亦隨日夜、及季節循環而有變動（參見第廿三章）。短波應用最廣，不論固定或移動電台多屬之，廣播電台的一部份亦已移在這速率段內，傳遞的距離可以大量的增加。不過在長距離通信時，實用的速率常日夜不同，因為這樣才可確定通信的效能。

(四) 超高速率：這是超短波，速率的範圍是30兆週到300兆週（或10公尺到1公尺）。這種無線電波又全賴地波的傳播，因為天波常不反射，或反射而不能回到地球面上。速率既高，地波衰減甚迅速。傳遞的距離亦僅是視線所及的區域，100英里可說是最高的可能傳達距離，所以應用上亦受到限制。在目前，大部份的用途不外電視（Television）、調週（Frequency Modulation）通信及廣播、航空指向、陸地或移動電台、及警用等等。

(五) 微波速率：微波（Microwave）速率在今日尚在試驗期中。速率範圍是300兆週到3000兆週（或1公尺到10公分），傳遞的距離自然亦是視線所及處。對於電視及調週通信的應用，已有規定。自從導波法（Wave Guide）發明後，將來的發展自然無限，因亦不可忽視這種微波速率。

## 1.6 無線電波發射的條件

無線電發射的基本條件是射電週率無線電波的產生。現在有熱電子真空管(Thermionic Vacuum Tube)可以應用，發射設備已能極度的簡化。先有真空管組成振盪電路(Oscillating Circuit)，利用電感及電容的諧振作用，經正確的設計，已經能夠取得所需要的射電電波，雖不最高及最低週率的極限，亦沒有困難。這種振盪電路的輸出通常較低，不敷發射的需要，於是在發射方面還利用真空管的放大性能，將振盪電路輸出的電力，分級逐漸提高。普通可達50千瓦之巨大發射電力，再高，500千瓦的電台，亦已習見不鮮。

近年來，自從採用壓電石英晶體(Piezo-electric Quartz Crystal)後，振盪電路的構造又略有改良。輸出電波的週率已能維持一固定的數值而少移動。不過振盪輸出的最高週率亦有限制。在這種條件下，發射條件中必定另外加配多級的倍週器(Frequency Multiplier)，不難將振盪器週率加倍提高到實需要，再經普通的放大作用後，發射的電力自然亦能提高。

發射的第二步工作是將已得的射電電波輻射到天空中，傳播到各地。這裏利用天線(Antenna)，就能將電路中的射電電波變換成天空中的電磁波。在這變換的程序中，變換效率最是重要。在普通的情形下，天線的長度與無線電波的波長不能相差過遠。舉例說明：100千週(合80000公尺)的電台，天線長度雖達100公尺，仍舊無濟於事，輻射的可能極其微弱。假使電台的週率是30兆週合(10公尺)，天線雖祇有5公尺長，輻射的效率反而極高。因為很顯然，100公尺與80000公尺相差過遠，5公尺與10公尺反而極相近似。所以欲求輻射的效率，天線的長度必與電台週率成反比例。

電力的輻射量可從天線中的射電電流計算。照基本電力公式，電力必是電阻與電流自乘值的乘積。假使電阻不變，電流愈大，電力的輻射亦是愈大。無線電發射機的天線電路，經過調諧到諧振週率時，天線電路中的阻抗(Impedance)已經減到極小。所以天線上所施的電壓雖小，天線電流仍可較高，電力的輻射效率亦是最高的。

無線電波所須傳遞的是一種有意義的符號，或是言語音樂。前者

是無線電報，而後者方是無線電語。傳遞無線電報時，發射機先產生一種波幅繼續不變的射週電波，文字亦經譯成電碼，根據電碼的組織，無線電波的發射可用電鑰(Key)加以控制，而成脈衝性的等幅波。如果言語或音樂亦須幅射，這亦無困難，僅須先經調幅作用，使發射機的射週等幅波循音週言語或音樂的起仰而變化。最近盛行的調週法是使射週電波的週率照成音週率變化，方法雖不同，意義及功效則相同。至於無線電視的傳遞，則是使射週電波循一種代表影像黑白的像週(Video Frequency)而變化。本書均將陸續加以詳細的分析。

## 1.7 調幅波的大意

電波的調幅是傳遞言語或音樂的主要機能。先有言語或音樂的等值電波，性質與原有聲波完全相同。當發射機產生一射週電波時，調幅的程序就是利用具有輻射性的射週電波擔任傳遞媒介，將成音週率電波載於其上而同時幅射。調幅以前，射週電波是一種繼續波，波幅恆定不變。調幅後，射週電波又照音週電波的波形，發生類似的變化。這種實在性，亦可用數為公式代表。假使射週電波的公式是

$$e = E \sin 2\pi ft + m \sin 2\pi f_1 t \quad (1.4)$$

其中 $E$ 是調幅波的振幅值， $E$ 是射週等幅波的波幅，這等幅波是一種純的正弦波，週率是 $f$ ； $m$ 是調幅度(Degree of Modulation)，也就是調幅後波幅的變化量與射週電波波幅的比率； $m$ 自然代表音週電波的波幅； $f_1$ 是音週率。這公式的第二部份表示二種電波的差拍(Beat)作用，化簡後得：

$$e = E \sin 2\pi ft + \frac{m}{2} E \cos 2\pi (f - f_1) t - \frac{m}{2} E \cos 2\pi (f + f_1) t \quad (1.5)$$

從這公式得知：(一)調幅波是由三部份波組成。(二) $E \sin 2\pi ft$ 是原有的射週電波，工程上的名稱是載波(Carrier)，波幅不隨調幅的形態，所以不論有無調幅，不論調幅量是多少，這載波的波幅總不變。(三)其餘二部份波幅相等，但是其週率則各不相同。一高於載波週率，一低於載波週率。其與載波週率之差數，則是調幅的改音週率。這二部份波實際上代表音週電波，且其位在載波的二旁，所以是旁

波帶(Sideband)。(四)旁波帶必是成雙存在，旁波帶的波幅就是調幅度的代表。圖1.4是調幅作用的圖示。其中(甲)是等幅性的載波，(乙)是音週電波的代表。(甲)及(乙)二圖中亦略以週波數的多少表示射週及音週的差別。當(乙)波疊加於(甲)波上時，即得(丙)圖的波形，這就是調幅波(Modulated Wave)。

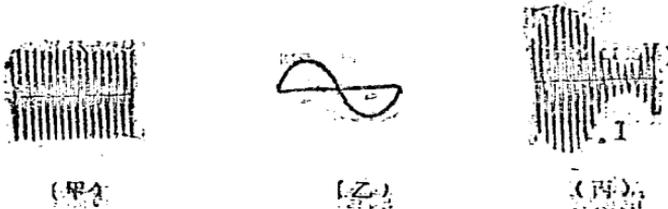


圖1.4 調幅作用的圖示。(甲)載波波形。(乙)音週電波波形。  
(丙)調幅波波形。

假使調幅的收音週率比較複雜，調幅結果亦相似，僅旁波帶內的組織更是複雜。每一收音週率必在上下二旁波帶內各產生一新週率。例如1000週(即1千週)的收音週率在1000千週載波上調幅後，即得999千週(=1000-1)及1001千週(=1000+1)二旁波帶週率。如果在1千週外，還有2千週的收音週率，調幅波的收分必是998千週、999千週、1000千週(載波)、1001千週、1002千週等，並不雜亂。

旁波帶是調幅波中的主要部份，一切言語及音樂的內容，完全包含在旁波帶內，載波祇負傳遞的任務。在實用上，欲得調幅效率高，自然旁波帶的電力部份須達最高的限度；亦就是說，調幅效率達百分之100(全量調幅)，這時調幅波的波幅可達零值。反過來，如果調幅量(或可稱作調幅百分數)不及百分之100，旁波帶的電力必不達最大量，同時調幅波的波幅變化範圍亦對照減小。

照現行的標準，旁波帶的間度是5千週，亦就是說，雙旁波帶無線電訊的波道(Channel)必是10千週，二電台的重疊亦至少10千週。在事實上，這5千週的旁波帶間度亦屬必需，因為言語及音樂乃是由多數週率綜合組成，倘不失真，旁波帶內必須包含所有能代表言語及音樂的收音週率。根據上述分析的結果，這5千週的波間已數倍高過原度(Fidelity)的傳給。波間再增高，音週的傳遞自然可有改

負，但是雜聲亦隨波闊而同增，得不償失，非有特殊理由，波闊照現行標準已能適宜合用。

## 1.8 無線電波接收的條件

在地球上任何一處的空間，均充滿了各種性質的無線電波，週率有高低，強度有大小。其來源固不相同，內容亦各異。總之對於這種複雜交錯的無線電波，在接收之時，第一步必須設法能從波羣中自由選擇所需要的任何一電波，同時其他不需要的電波，又必須不發生干擾現象。這種選波問題，並不難解決。先有天線，使空間無線電波的電磁通量切過導線而產生電壓，這天線電壓就是天線的有效高度與電波場強度的乘積。這裏天線的長度亦須符合發射時的條件，優良的發射天線，自然亦是優良的接收天線。

天線中的感應電壓為數仍多，選波的第二步還在設法保留需要的電訊，而刪去其餘的部份。這種隔離作用是利用電感及電容的並聯諧振電路，經正確調諧後得到。這時祇有與電路諧振週率相同的無線電波能產生較大的電壓。方法簡單而有效。

諧振電路所應的電訊電壓，與電台發射的電波完全相同，除去別週的載波外，還有二旁波帶。不過這種電壓極微弱，大約這弱電訊強的度是50微伏（即0.00005伏）；普通電訊約有5毫伏（即0.005伏）；本地近電訊約達0.1伏；如果這是強電訊，則所應的電壓亦可達2伏之譜。

電波既經選出，次一步工作當是使人耳發生感覺。這程序的第一步名是檢波 (Detection) 或去調幅 (Demodulation)。這是使旁波帶脫離載波的聯繫，而回到波譜上原占的位置。故當外來電訊經過檢波後，如再觀察其電壓波形，已僅有收到電波的半截剩餘。這半截電壓波原是旁波帶性質的代表，其波廓 (Envelope) 亦完全循或週率電波的形態而變化。所以檢波器已將調幅作用除去。

檢波器輸出的電波，雖已將言語或音樂的內容由原週率恢復到或週率的原位上。但這仍是電波，人耳感覺不到。於是第二步的工作是再將電波改變成聲波。普通的變換器就是耳膜或聽筒，因為電波的變化能激勵聽筒的薄膜，空氣及耳膜諧振共鳴時，聲音乃告重生。

現在爲使多人收聽便利起見，還可以用揚聲器 (Loudspeaker) 代替聽筒。

現在無線電波接收的程序業已完成。不過這種重生的聲音，一定極度微弱。欲增收音的成績，顯然這種收到的電訊尚須再加放大作用。在檢波以前是射週放大 (R.F. Amplification)，在檢波以後是音週放大 (A.F. Amplification)。這樣可使電訊的強度增加到任何數量。大型收音機的輸出量亦有達廿瓦左右，能使揚聲器發聲，而聲達遙遠的距離。

## 第二章 電阻及電容

### 2.1 電阻概述

電阻(Resistance)是電路基本常數的一種，因為任何導體總不免有電阻量的存在。導體或電路的實際電阻量，則因導體的電阻係數(Resistivity)及其尺寸而不同。照定義，電阻係數是一呎長及一圓密爾(Circular Mil)截面積導體所具的電阻。金屬導體的電阻係數常較小，其中以銅及銀二種為最。不過銅廉價，僅有銅質導體的應用最是廣泛。普通導體在攝氏20度的電阻係數可見表2.1。如果電阻係數的單位改成「微歐立方公分」，表中各數可用6.0153除之即得。原電阻

表2.1 電阻係數表

| 物質種類 | 電阻係數      | 物質種類    | 電阻係數    |
|------|-----------|---------|---------|
| 銀    | 9.56歐/圓密呎 | 鉅       | 98歐/圓密呎 |
| 銅    | 10.35     | 軟炭鋼     | 96      |
| 硬抽銅線 | 10.60     | 銻鋼      | 115     |
| 金    | 14.6      | 鉛       | 32.35   |
| 鋁    | 17        | 德銀(18%) | 198     |
| 鉍    | 31        | 蒙鋼(合金)  | 252     |
| 鎢    | 31        | 錳鋼      | 264     |
| 銻    | 35        | 德銀(30%) | 294     |
| 黃銅   | 42        | 鈎鐵      | 435     |
| 白金   | 60        | 汞       | 576     |
| 鎳    | 60        | 鎳鈎(合金)  | 575     |
| 純初鐵  | 61        | 石墨      | 4300    |
| 錫    | 69        | 炭       | 22000   |

的基本關係，從電阻係數的定義，每一導體的實有電阻量應是

$$R = \frac{Kl}{A} \quad \text{歐/圓密呎} \quad (2.1)$$

其中R是導體(通常成線狀)的電阻(歐);K是導體的電阻係數(歐/圓密);l是導體的長度(呎);A是導體的截面積(圓密)。所以電阻與電阻係數及長度成正比例,但與截面積成反比例。假使導體的物質不改,導體愈長,或其面積愈小,電阻量亦愈大。反之,如果截面積及長度均固定不加改變,換用導體物質,亦能增減實得的電阻量。應用上的便利,亦可顯見。

無線電的電路中,電流有大小,速率有高低,直流交流亦無限制。所以在應用電阻器時,最須注意二點:(一)電力的消耗不能過量,亦就是說,電流不能超過電阻器的定額。(二)電阻數值必須準確,且須不受溫度、速率、濕度、或壽命的影響。照直流的應用,計算電阻器的消耗時。

$$W = I^2 R \quad \text{瓦} \quad (2.2)$$

其中W是電阻器的電力消耗(瓦);I是通過的電流(安);R是直流電阻(歐)。所以電力消耗的增加是電流平方的函數。舉例說明,電流加倍,消耗量必增加四倍。進一步,電力的消耗,亦就是熱量的產生。在過量的情形下,高熱亦能損壞電阻器。甚之者,對於鄰近物亦有殺毀的可能。為求應用上的安全起見,電阻器中的電流實在不宜過量,溫度亦不宜過高。假使電阻器的額定瓦值是一已知數,所能通過的電流量亦可用公式2.2推算,極其簡單。不過實際的電流,最好僅能達公式2.2所得數的一半。

電阻器溫度的升高,最容易使其電阻數值及導體長度改變,公式2.3及公式2.4對於這二種變量的關係,亦有明白的規定。

$$R = R_0(1 \pm At) \quad \text{歐} \quad (2.3)$$

$$l = l_0(1 \pm Bt) \quad \text{呎} \quad (2.4)$$

其中 $R_0$ 是原有的電阻(歐);R是溫度升高(或減低)後的電阻(歐);A是溫度係數;t是溫度差數(度,攝氏); $l_0$ 是原有的長度(呎);l是溫度升高或減低後的長度呎;B是線脹係數(Coefficient of Linear Expansion)各種質料的溫度係數大都是一正數,所以溫度升高,電阻亦增,僅有極少數質料的電阻與溫度成反比例。普通純金屬的溫度係數約是0.004(請參考抽編無線電設計一書)。線脹係數是一正數,所以

溫度增加的結果，必是導體的長度增長。線脹係數較小，其值大約在0.000015左右，但亦有相當的影響，設計線繞電阻時最應注意。

電阻器在無線電電路中應用時，所能占據的地位常極小。但是實用的電阻數以千計，或以萬計，百萬歐的電阻器並不足奇。除一部份的電阻器由炭質組合而成，其餘都利用一種電阻極大導線繞成管形或其他形狀，並且亦因電流經過而有磁場，於是電阻器同時亦符合電感圈及電容器的構造條件，不免有電感及電容存在。在這種情形下，電阻器所具有的，自然不是純粹的電阻。這種額外電感及電容是有害而無益，極是顯見。普通從電阻器的時間常數(Time Constant)，就可以知道電感或電容的影響是否顯著。時間常數的計算可用下式，就是：

$$T = \frac{L}{R} + CR \quad \text{秒} \quad (2.5)$$

其中T是時間常數(秒)；R是電阻(歐)；L是電感(亨)，這電感量可用普通線圈公式計算(見3.1節)，並不困難；C是電容(法)，數常極小，而可不計。在這種情形下，時間常數公式簡化成

$$T = L/R \quad \text{秒} \quad (2.6)$$

設計良好的電阻器，時間常數極低，大約之數是在 $10^{-7}$ 秒。

## 2.2 有效電阻及皮膚作用

上節討論導體的電阻時，並沒有考慮電流的週率影響。亦就是說上節中所介紹的事實，專指直流電，或低週率交流電通過時的情形。這時導體內部的電流是平均分佈在導體的截面上。不過在無線電機件中，直流電流外向有音週及射週電流存在。現在的問題是：在較高週率(音週或射週暫不加嚴格的規定)的電流通過導體時，導體的電阻是否與直流情形一樣？事實上，電流週率提高後，導體的有效電阻(Effective Resistance)已有增加。這種情形不但對於電阻器關係重大，就是對於電感圈的電阻，亦有同樣的影響，不容忽略。這是由於皮膚作用(Skin Effect)而產生的現象，茲大略分析如下：

皮膚作用的簡單現象是電流集中於導體的一部份，以致實際上導體的有用截面積減小，根據公式2.1可知，電阻的增加亦是必然的結

果。所以在高週率工作時，（在射週工作時尤然），有效電阻與直流電阻不可混為一體。

假使先有一圓導線（見圖 2.1）。在交流電通過時，就有磁通量

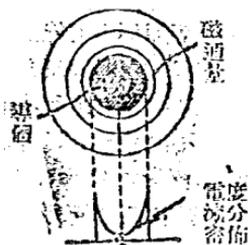


圖 2.1 皮膚作用 圖示導線截面上磁通量及電流密度的分佈情形

產生，環繞導線中心而成同心的圓圈。所以在導線截面積範圍內，一部份的磁通即將導線中心部份的電流環繞起來，對於近導線邊緣的電流，則不能達到。照這種情形推論，電流愈近導線中心，磁通的匝連數亦愈多。反過來，電流愈近導線邊緣，磁通的匝連數愈少。進一步說，由於導線內磁通匝連，由外向內逐漸增加，導線內部的電感亦因之而產生，其量亦由外向內漸增。在高週率電流通過這導線時，這額外的電感，就能使電流受到額外的電抗 (Reactance)，電流的分佈，遂自動集中在皮膚部份。在電流通率大量提高後，導線中心的阻抗極大，以致電流不能通過，導線的有效電阻大增。再研究導線的導電性與有效電阻的關係，導電性優良的導線，直流電阻必定低小，週率增高而使電抗產生時，在對照比較下，電流所受到的影響比較嚴重，皮膚作用亦顯見重要。說到導線截面與皮膚作用的關係，截面積大，自然電阻的增加量較小。但是與直流電阻比較下，有效電阻與直流電阻的比率仍低。歸納起來，當電流的週率增高時，有效電阻與直流電阻的比率亦隨之升高。

皮膚作用在射週率電路中最是重要，導體的有效電阻率另有射週電阻一名稱。在無線電路中，射週電阻總宜減低。實際上，皮膚作用減低的方法亦有多種。例如發射應用的電感線圈，亦有採用扇形導片條，這樣，導線截面積減小，表面面積增加，可使有效電阻減低。還有空心管形導線，內部空虛，截面積減小，有效電阻自然與直流電阻相差無幾。或者可將多數細導線交織編成絞線，使每一線股的磁通匝連均等，這樣電流亦能在各線股平均分佈，有效電阻所增亦有限，這種交織的導線，就是常用的李文線 (Litzwire)。

電感線圈的皮膚作用極是重要，情形亦複雜，將在 3.1 節詳細分析。

### 2.3 電阻器的種類及特性

無線電電路中所用電阻器的種類及程式均極繁多，俾能適合各種不同的用途。簡單的說，電阻器可以分成二類，就是：（一）固定電阻器，及（二）可變電阻器。固定電阻器的用途極多，程式亦有多種。再分類又有線繞（Wire Wound）電阻器，及合質（Composition）電阻器二種。各種電阻器的特點不同，用途亦各異，茲分別介紹如下：

固定電阻器屬於線繞者，是用電阻線（如鎢絲線）在瓷管、陶管、膠木、紙板、或石棉片繞成。應用瓷管、陶管、及石棉片的線繞電阻可以忍受高度的溫度，電流的載量較高，大部份的用途遂在直流供電各部份電路中，如洩放電阻器（Bleeder Resistor）、分壓電阻器、及降壓電阻器均屬此類。這種固定電阻器的繞組（Winding）上塗有保護層，以免繞組移動、受潮、或受到外傷。線繞電阻器的特性全視所用電阻線而異，一般的說，線繞電阻器的溫度係數及電壓係數（Voltage Coefficient）均極微小。這裏電壓係數是說明電阻值與所施電壓的關係，所以電壓的高低，對於電阻值的影響極微。

線繞電阻器加塗層是取保護的功效。優良而可靠的保護層有多種，常用的有（一）玻璃漆（Vitreous Enamel）塗層，及（二）水泥塗層。在普通情形下，線繞電阻有這二種塗層時，可以對受較高的溫度，適合電源供電電路中各種用途。在國內製造的電阻器，常用烘烤塗層方法，（國外出品應用這種塗層者已鮮見不多），自然不能耐受高熱或潮氣。幸而對於繞組的移動及意外的損傷情形，均可以避免，有勝於無。

固定電阻器的另一種就是合質電阻器。其中炭質電阻器用途最廣，所有低額定電力的電阻器大多歸屬於此類，普通有 $\frac{1}{4}$ 瓦、 $\frac{1}{2}$ 瓦、1瓦、2瓦、及3瓦等幾種，電阻值大小均有，最高可達10兆歐左右。價值低廉，體積又小，所以炭質電阻器的普遍性，並不是線繞電阻器可以比擬的。

合質電阻器的特性亦與金屬質（線繞）電阻器不同。主要幾點是：（一）電壓係數是一負值，所以電阻器的外施電壓增高時，電阻有減

低的現象。(二)工作速率增加時，對於高值電阻器，例如電阻值在1兆歐以上者，有電阻值減低的現象。這不是皮膚作用，而由於電阻器的滯佈電容(Distributed Capacitance)、電阻器內填料、及膠料的介質(Dielectric)損失所致。(三)在普通情形下，濕度能使電阻值增加，但不難避免。(四)合質電阻器應用在無線電路時，常有一種額外的雜聲，專門名稱是微音雜聲(Microponic Noise)。這種雜聲是合質電阻器原料的函數，與電阻值成正比，但與體積成反比。

合質電阻器還有一種，在構造上與普通的炭質電阻略不相同。這是玻璃或其他質料的細桿，先烘焙一層導電塗面，由於導電塗面配合成分的變化，不同值的電阻器均可獲得。在電阻器的最外層是保護層。其外形與普通炭質電阻相類似，商業名稱是金屬(Metallized)電阻器。價值略較高，唯電阻值比較正確可靠，應用亦廣。

合質電阻器的電阻值常不用數字表示。照美國無線電製造業的標準，不同的顏色可以代表各種電阻值，推行極普遍，不可不熟記。附錄以供參攷：

表 2.2 合質電阻器的色碼制

| 色 | 碼 | 色 | 碼 | 色 | 碼 | 色 | 碼 | 色 | 碼 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 黑 | 0 | 紅 | 2 | 黃 | 4 | 藍 | 6 | 灰 | 8 |
| 棕 | 1 | 橘 | 3 | 綠 | 5 | 紫 | 7 | 白 | 9 |

每一電阻器必在體部照電阻值最高位數字漆一色。再在其頂頭之一漆一色，代表最高第二位數字。在體部又有一點或一細條，顏色不同，就可代表最高二位數字後的0數。例如，紅體、黑頂、黃點代表200000歐，灰體、綠頂、黑點、代表95歐，橘體、黃頂、綠條代表3.4兆歐(3400000歐)，……應用亦極簡便。

可變電阻器亦有線繞及合質二種。線繞可變電阻器常受到繞組地位的限制，電阻值不能高。合質可變電阻器可從成分配合上得到各種的電阻值。可變電阻器在無線電路中應用時，幾乎全是在膠木或紙質條片上繞線或烘焙電阻化合層，環成圓形，外加金屬套筒。除電阻值在百歐以下的可變線繞電阻器外，其餘各式的可變電阻器全不能耐

受較大的電流，應用時須特別注意。

可變線繞電阻器是用電阻線所繞成，用線極細，俾能得到較高的電阻值。當旋轉接觸臂時，電阻值就能加以繼續性的改變。凡是固定線繞電阻器的特點，這裏亦同樣正確。在真空管絲極電路中應用可變線繞電阻器以調整絲極電壓時，電阻常低，用細較粗，耐流大，熱度亦高。在發射機中，這種情形更是普通，電阻線遂須改繞在陶瓷資料上，外敷水泥或玻璃漆。

可變合質電阻器與固定金屬合質電阻相似，就是，在絕緣薄片上烘焙炭質或石墨質的塗料時，各種電阻值均易獲得。在無線電接收機中，舉凡靈敏度（亦可說是放大量）、音量、音質、輸入、及輸出的人工控制，均不能沒有高值的可變電阻器或電位器（Potentiometer）。可變合質電阻器除一般的特性外，耗損性亦極重要，不然就要影響電阻值，或者引起雜聲的干擾。很明顯，電阻器塗料的堅固程度，以及接觸壓力的均勻程度，對於電阻器的耐用性均有極大的關係。

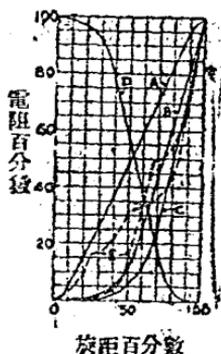


圖 2.2 可變電阻器的電阻變量曲線 (A) 直線性電位器 (B) 音質控制用 (C) 音選控制用 (D) 天線，偏電壓及靈敏度控制用 (E) 低音補償用

可變電阻器或電位器的電阻值常不與旋轉角度成正比例，這樣在應用上方容易適合環境上的需要。圖 2.2 就是各種不同的電阻變量曲線，各有其特種用途，採用得當時，無線電機件的性能，自能充分的發揮。這種曲線可從電阻器製造廠的目錄或說明書查得。這亦是技術進步的結果。

## 2.4 電容概述

電容 (Capacitance 或 Capacity) 是無線電路三大基本常數之一。在二金屬片中，間以絕緣介質，再加施電壓，就能產生電容。這種構造就是電容器 (Condenser 或 Capacitor)。電容器一受電壓就生瀉電作用，至於儲電容荷的能量，與所施電壓及電容器的電容，均有

關係，亦就是

$$Q = CE \quad \text{庫倫} \quad (2.7)$$

其中  $Q$  是電荷(庫倫)； $C$  是電容(法)； $E$  是電壓(伏)。在電容器  
 灌電及放電時，其二導片的電荷就能同量改變，這是電流的流通情形。  
 根據電流的定義：

$$\text{電容器電流} = \frac{dQ}{dt} = C \frac{dE}{dt} \quad \text{安} \quad (2.8)$$

所以電容實在是一種常數，與電壓的變率互乘後就得電流。假使電壓  
 的變率是每秒鐘 1 伏，電流是 1 安，電容就將是 1 法拉 (Farad)，實  
 用單位是微法 (Microfarad)，合  $10^{-6}$  法。

電容器的電容量依其導片的面積、距離、及介質常數 (Dielectric  
 Constant) 而異，基本關係是

$$C = 0.0885 \times 10^{-12} \frac{KA}{d} \quad \text{法} \quad (2.9)$$

其中  $A$  是金屬片的面積(平方公分)； $d$  是介質的厚度(公分)；  
 $K$  是介質常數，各種常用介質的常數見表 2.3

表 2.3 介質常數表

| 介質名稱       | 介質常數  | 介質名稱        | 介質常數      |
|------------|-------|-------------|-----------|
| 空氣         | 1.00  | 雲母          | 4.00-10   |
| 硬橡皮        | 2.8-5 | 玻璃          | 4.10-11.8 |
| 膠木         | 4-7   | 養珍珠         | 4.8-7     |
| 酚層膠木       | 5-6   | 瓷料          | 7         |
| 硬紙板        | 4-6   | 木料          | 3.3-5.2   |
| Mycalex    | 8     | Polystyrene | 2.6       |
| Isolantite | 6.1   |             |           |

由公式 2.9 及表 2.3 可知：介質常數對於電容器影響較大，介質選擇  
 得當，電容量能增加數倍(增加的倍數就是介質常數)。此外，電容  
 的電容量亦與其導片面積成正比例，唯與導片距離成反比例的連繫。  
 各種電容器的設計，均根據這種原則，其重要性亦可概見。

理想電容器在放電時，所有電荷必須放散全盡。事實上並不能如此，因為電容器亦有損失，主要的原因有：

(一) 介質損失——包括絕緣電阻損失、介質吸收、及介質滯後 (Hysteresis)。其中介質滯後是由於分子的摩擦現象，關係最大。結果是介質發熱，消耗不能避免。

(二) 導體損失——包括電容器片及接線的損失。

(三) 在高電壓工作時的電暈 (Corona) 損失。

每一電容器損失的大小，並沒有一定，而上列各種損失，又不能個別計算。所以說到電容器的損失，就是指其總損失，化成電工因數 (Power Factor) 或相角亦無不可，名詞雖不同，意義則一。電容器損失的電工因數是：

$$\text{電工因數損失} = R_1 \omega C \quad (2.10)$$

其中  $R_1$  是等值串聯電阻 (歐)； $C$  是電容 (法)； $\omega$  是  $2\pi f$ ； $f$  是工作週率 (週)。假使這電工因數極小 (事實上就是如此)， $\omega R_1 C$  亦可以直接代表這電容器的相角，單位是弧度 (Radian)。再從上述種種可知，電工因數與所用介質的關係最密切。電容器的電容量、所承受的電壓、以及工作的週率對於電工因數的影響極微。公式 2.10 中， $R_1$  是等值的串聯電阻，亦能單獨代表電容器的損失，數值宜小。純粹而無損失電容器的等值串聯電阻是零。

電容器亦常經由介質及導片面，而有電漏 (Electric Leakage) 現象，結果是額外相角的產生。不過週率提高後，這種影響亦隨之而減微。容電器有電漏時，亦等於一純粹的電容器與一等值電阻並聯，自然電漏亦能用電工因數代表：

$$\text{電工因數 (電漏)} = \frac{1}{\omega R_2 C} \quad (2.11)$$

其中  $R_2$  是等值並聯的電阻 (歐)； $\omega$  及  $C$  的定義與公式 2.10 同。電容器優良而無電漏時， $R_2$  是無限大，電漏電工因數是零。電漏等值並聯電阻視電容器的種類而異，電容器的電漏電阻須在 1 兆歐或 10 兆歐以上，方能認為滿意。唯電解式 (Electrolytic) 電容器並不能用普通的方法測量其電漏電阻，因為所得的結果並無意義。

各種電容器的電容量及耐壓性是應用時的必知數。這耐壓性表示電容器所能耐受的最低電壓，固定電容器的耐壓性由介質的絕緣強度

及厚度等決定。電壓超過限度，電容器就有閃烙而將損壞。在普通情形下，電壓速率增高，電容器的耐壓性反而降低，所以電容器直流電的耐壓性最佳；在交流電路中應用時，電容器的額定工作電壓(Working Voltage)是指電壓的峰值。唯普通電容器對於瞬時的高電壓亦能耐受，而不致有損壞。可變電容器的介質是空氣，導片間的距離控制電容器的耐壓性。在接收機中，電壓較低，電容器的片隙可以減小。但發射機中所用電容器的片隙必須在安全限度內。片隙與耐壓特性請參閱無線電設計。

## 2.5 電容器的種類及特性

無線電路的不能缺少電容器已是公認的事實。普通的電容器可以統分成可變電容式及固定電容式二大類。固定電容式電容器用途最是廣泛衆多，構造亦各異。

可變電容器(Variable Condenser)在無線電機件中幾乎全是用在諧振電路，藉電容器電容的改變，完成調諧的目的。可變電容器電容量並不大，常用的範圍是10微微法到600微微法，僅能適合射週電路的應用。這種電容器共分動片及定片二組。定片固定不動，動片附在轉軸上，可以任意變動。定片及動片的片數，根據電容量計算。二片之間，普通用空氣介質，所以介質的損失極低微。基本半圓形式電容器可用下式計算：

$$C = 0.0885 \frac{KA(N-1)}{d} \times 10^{-12} \quad \text{法} \quad (2.12)$$

其中N是總片數；其餘各項與公式2.0同。在普通情形下，定片比動片多一片，空氣的介質常數是1，上式又形簡化。這種電容器的導片(動片或定片)是採半圓形；動片的旋轉，電容器的電容成正比例變化，所以這是直線電容式(Straight-line Capacity)電容器。這一種電容器並不敷實際上的需要，於是又有直線波長式(Straight-line Wave Length)電容器及直線週率式(Straight-line Frequency)電容器。片形各不相同，而動片的旋轉，分別與波長或週率成正比例。關於各種形式可變電容器的設計公式，請參考無線電設計。

可變電容器的導片可用鍍黃、青銅或黃銅製成。定片的支架可用

任何一種絕緣材料，務使損失減到最小。介質有用雲母、賽璐珞、等代替，自然同樣的電容器，體形必小。在接收機件中，當有多數的調諧電路須同時調諧到同一週率。現在使調諧的程序極度簡化起見，多數(二到四)同形同量同式的電容器可取連軸的構造，不難將各電容器的電容同時變化到相同的數值，這是連軸電容器(Ganged Condenser)嚴格說起來，各個電容器的電容並不能絕對相同，所以在連軸電容器上，每一電容器必另外並聯一極小數的補償電容器 (Balancing Condenser 或 Trimmer)，用雲母(或空氣)介質，其動片普通須用旋整調節，應用上並不感困難。

固定電容器的電容範圍最闊，大約是 10 微微法到 1000 微法。耐壓亦能自 10 伏起，雖高到 40000 伏不足為奇。所以介質可以是紙、油、雲母、氣體、或其他化學藥品。電容器的名稱遂亦有紙質電容器(Paper Condenser)、雲母電容器(Mica Condenser)及電解電容器(Electrolytic Condenser)等多種。其他各製造廠的專用商標名稱，繁多而不勝枚舉。

紙質電容器在無線電機件中應用極廣，價亦低廉，僅其損失及電漏現象比較顯著。所幸在一部份電路中，這種缺點，關係不大。紙質電容器的導片不外是錫、鉛、或銅質的薄片，其中錫箔最普通。所用絕緣用紙，關係極重要，不論其厚薄、質料、成分、粗細、均勻度等，對於電容器的優劣，都有影響。因為用紙不合，不但不能耐受較高的電壓，即在普通情形下，亦容易有損壞現象。普通紙質電容器的一種是紙捲式，形體最小，電容量大約自 0.001 微法到 0.5 微法，耐壓 600 伏，最是普通，適合接收機件中的旁路或斷直流之用。耐壓較高的紙質電容器常裝在金屬殼內，電容量約在 1 微法左右，並可多數電容器合裝於一般內，節省不少材料及裝設的地位。

雲母電容器的介質是雲母，損失極小，最宜用在串調電路中。這種電容器的外殼均是用佳質的膠木壓成，一切外傷或潮濕自然不能侵入，經久耐用，品質優良。電容量並不大，而在 1 微法以下，與紙捲電容器的電容範圍相同。耐壓性視構造而異，低到幾百伏，高到幾千伏以上均有。唯雲母不能捲摺，雲母電容器均由平片導片及雲母片交織疊成。體形亦能極小，可與瓦炭質電阻器大小相比擬。

電容較大的電容器在電路中的應用亦多。在電原濾波(Filter)電

路中，4 微法或 8 微法的電容器幾乎不能或缺，紙質電容器固可應用，但是體積大，占地多，價亦比較高昂。現在以電解電容器最是合用，價值亦極低，電容量在 1 微法以上，耐壓約幾百伏。如電容量極大，而在 10 微法以上時，耐壓性隨之下降，幸已能符合實用上的需要。

電解電容器中利用鋁與適當電解液的化學作用。加施電壓時，鋁在正電極表面產生一種極薄的絕緣皮層，不但能夠耐受較高的電壓，且在每一單位面積，具有較高的電容量。這皮層的厚薄（亦就是電容的大小），與所施的電壓成反比例。電壓低，電容高。電壓高，電容反低。普通電解液的最高電壓是 600 伏。

電解電容器尚有乾電器及濕電器二種。其中乾電解電容器比較流行。濕電解電容器能耐受較高的電壓，但電工因數亦大。同時在濕度變化下，這種電容器的特性變化較大。在經濟立場上說，濕電解電容器的製造，尚不合算。乾電解電容器並無這類缺點，電工因數較小，電容量及耐壓性均可任意設計決定，毫不困難。這種電容器可以在直流及脈動電流路中應用，唯正負極絕對不能顛倒。

電解電容器亦能多枚合併在同一鋁殼（這殼是陰電極），共一陰電極。所用電解液亦能成半乾性的糊狀，最常用的電解液是硼酸（及鐵或鈉的硼酸鹽）溶液。電解電容器對於瞬時高電壓所產生的絕緣破壞現象，有自療作用。亦就是，電容器因所施電壓過高而損壞時，在電壓降低或除去後，所有的破壞部份又能恢復原狀，電容器又能照常工作。這是優點。

電容器亦有浸油或經油煉。結果，不但電容量可以增高，耐壓性亦經提升，適合發射高電壓電路之用。最近亦有將可變電容器置在受壓空氣（Compressed Air）、氫氣、或其他氣體內應用。在高氣壓下，電容器能耐受更高的電壓，同時損失（如電量）可不再存在。這種電容器僅用在高電力的發射機件中，並不常見。

## 第三章 電感及磁鐵特性

### 3.1 電感概述

當一導線帶有電流時，環繞導線就有一磁場產生。這磁場的強度及方向，分別根據電流的強度及方向而異。電流有變化時，磁場亦變。這時導線內就因之而產生一自感 (Self-induced) 或反 (Counter) 電動勢 (E.M.F.)，阻止電流的變化。這種導線的自感現象，就是電感 (Inductance)。換句話說，電感是電路中每一支電流所產生的磁通匝連 (Flux-Linkage)，就是：

$$\text{電感} = \frac{\text{磁通匝連數}}{\text{產生磁通的電流}} \times 10^{-8} \quad \text{亨} \quad (3.1)$$

其中電感的單位是亨利 (Henry)，代表每一秒鐘由於 1 安電流改變而產生 1 伏反電動勢的自感作用。磁通匝連數是每一磁通線 (Line of Flux) 環繞電路電流一次的代表。所以電感與磁通匝連數成正比的關係。導線繞成線圈 (Coil) 形時，每一磁通線所環繞的電流次數 (亦就是指環繞線圈的圈數) 增多，電感作用亦比較顯著。由公式 3.1 化導得

$$L = \frac{N\phi}{I} \times 10^{-8} \quad (3.2)$$

其中  $L$  是線圈的電感 (亨)； $N$  是線圈匝數； $\phi$  是磁通量 (馬克司或稱 Maxwell)； $I$  是電流 (安)。假使再進一步化導得

$$L = \frac{0.4\pi N^2 A}{b} \times 10^{-8} \quad \text{亨} \quad (3.3)$$

其中  $A$  是繞組的面積 (平方公分)； $b$  是繞組的平均長度 (公分)。這公式得自公式 3.2，因為  $\phi = AH$ ；而

$$H = \frac{NI}{10b} \quad (3.4)$$

其中  $H$  是磁化力 (Magnetizing Force)。

無線電電路中所用的電感均得自線圈。在射電週率電路中，這種線圈採空心圓管形的構造。收音週率電路及電源電路中，電感線圈則

在磁鐵貫的軸心上。不但各種線圈電感不同，就是其工作特性亦不相同，本章將有詳細的說明。

空心圓管形電感線圈可用各種不同的公式計算。而這類公式又均從經驗列出，并無算學上的根據。因為在線圈構造的變化下，並不容易正確計算磁通量。基本單層空心圓管形線圈的計算公式可以是

$$L = 0.03948 \frac{a^2 N^2}{b} K \quad \text{微亨} \quad (3.5)$$

其中  $L$  是電感(微亨)； $a$  是線圈的半徑(公分)； $b$  是線圈的長度(公分)； $N$  是圈數； $K$  是常數，由表3-1得之：

表3-1 K 值表

| 2a/b | K     | 2a/b | K    | 2a/b | K    | 2a/b  | K    |
|------|-------|------|------|------|------|-------|------|
| 0.00 | 1.000 | 0.50 | .818 | 1.00 | .688 | 4.00  | .365 |
| 0.05 | .979  | 0.55 | .803 | 1.10 | .667 | 4.50  | .341 |
| 0.10 | .959  | 0.60 | .789 | 1.20 | .648 | 5.00  | .320 |
| 0.15 | .939  | 0.65 | .775 | 1.40 | .611 | 6.00  | .255 |
| 0.20 | .920  | 0.70 | .761 | 1.60 | .580 | 7.00  | .258 |
| 0.25 | .902  | 0.75 | .748 | 1.80 | .551 | 8.00  | .237 |
| 0.30 | .884  | 0.80 | .735 | 2.00 | .526 | 9.00  | .219 |
| 0.35 | .867  | 0.85 | .723 | 2.50 | .472 | 10.00 | .203 |
| 0.40 | .850  | 0.90 | .711 | 3.00 | .429 |       |      |
| 0.45 | .834  | 0.95 | .700 | 3.50 | .394 |       |      |

或者，

$$L = \frac{a^2 N^2}{9a + 11b} \quad \text{微亨} \quad (3.6)$$

其中  $a$  是線圈的半徑(吋)； $b$  是線圈的長度(吋)；其餘各量的定義與公式 3.5 同。在週率增高時，這二公式的準確度略形下降。如線圈在 4 兆週及 25 兆週間工作，用下式計算電感，可得較準確的結果：

$$L = \frac{D N^2}{102S + 45} \quad \text{微亨} \quad (3.7)$$

其中  $D$  是線圈的直徑(公分)； $S$  是線圈長度與直徑的比率(= $b/D$ )。

；其餘各量亦與前同。用任何公式計算時，直徑或半徑的度量必遠繞線的中心。線圈長度指線圈實際的繞長。至於其他各型線圈的電感量，可用無線電設計所列的各公式計算，並不困難。

由上列公式可知：（一）電感與圈數的二次方成正比。（二）電感與半徑（或直徑）的二次方成正比。（三）電感與線圈繞長成反比例。優良線圈的設計，必須將三種可變因數正確配合，大約  $S$  值（或  $b/2a$ ）宜在 0.3 到 0.5 之間。設計時，下列二公式亦極有用，對於用線及繞管的粗細，均有明確的規定：

$$d_o = 0.707b/N \quad \text{公分} \quad (3.8)$$

$$D_o = \left( \frac{10^{12}L(102S+45)}{S^2} \right)^{1/3} \quad \text{公分} \quad (3.9)$$

其中  $d_o$  是最佳的用線直徑（公分）； $D_o$  是最佳的線圈直徑（公分）； $b$  是用線的直徑（公分）；其餘各值的定義見以前各式的說明。

電感線圈是用銅質導線繞成。早知任何導線均有電阻，因此線圈除應有的電感外，總不免有電阻，僅其數有大小不同。在工作速率提高時，上章所討論的皮膚作用亦逐漸重要，以致有效電阻大增。這種皮膚作用對於線圈的關係更是重要而顯著，因為線圈上每一繞圈均產生磁場，使鄰近各圈亦受到匝連，而產生不同的電流分佈。在最惡劣的情形下，這種皮膚作用能使有效電阻高於直流電阻數十倍到數百倍不等。

每一線圈既具有電感及電阻，而這種電感及電阻又因電流速率的不同而異。故欲知線圈的優劣及便於比較起見，惟有確定電感、電阻、與速率的關係，其最適當的關係是電抗與電阻的比數，常用  $Q$  代表之，就是：

$$Q = 2\pi fL/R \quad (3.10)$$

其中  $Q$  是線圈的基本常數； $L$  是電感（亨）； $f$  是速率（週）； $R$  是在速率  $f$  時的有效電阻（歐）。在速率變化不大時， $Q$  值亦能恆定不變。速率相差過多時， $Q$  值的增減無以確定。因為有效電阻的變化量，常不能預知。普通線圈在普通的速率範圍內工作時， $Q$  值約在數十或數百，但不能再行提高。至於  $Q$  值變化的因素，將在下節詳細討論。

線圈的各圈間均有相當的絕緣介質，以免繞組的短路現象。在電壓加到線圈端時，每二繞圈間又有電壓差存在。這與上章所述電容

器的條件恰相符合，間間的電容自然不能避免。事實上，這種現象極其複雜。因為線圈上任何二圈均可形成電容器，結果線圈的總電容常不是一小數量。這是線圈的潛佈電容，可以在線圈的二端並聯一等值電容器代表之。如果多層線圈繞製不當，這種潛佈電容常極大（本已比較單層線圈的電容高），所以多層線圈的設計，必須注意下列幾點：（一）線圈第一圈及最後一圈不可太接近，亦就是，電壓差最大的二圈不宜太近。（二）每層圈數宜少，層數可略多。或（三）增加二層間的距離，使二層間的電容減小。實際的繞法，變化無窮，不必擬於定則。

### 3.2 線圈Q值改變的因素

空心線圈的射週有效電阻，隨週率的增加而起變化。在嚴格的分析下，總括的說，電阻變化的原因有：（一）導線的皮膚作用，這是由於導線內部磁通所產生。（二）鄰近作用（Proximity Effect），這亦是皮膚作用的一種，不過導線截面上電流的不均勻分佈，是由於鄰近線圈的磁場。（三）介質損失，這是由於圈間及導線表面介質的滯後現象。（四）渦流損失，這是由於線圈磁場中金屬導體部份之損失。（五）電磁輻射損失。及（六）潛佈電容損失。結果線圈的Q值受影響而起變化。

圖3.1是用線粗細與Q值的關係。由圖可知每一種線圈形狀（指S

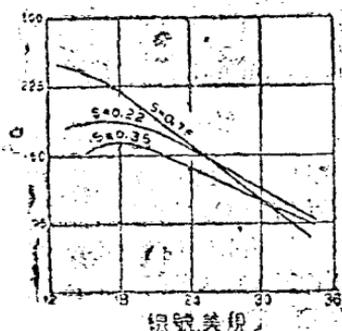


圖3.1 用線粗細與Q值的關係

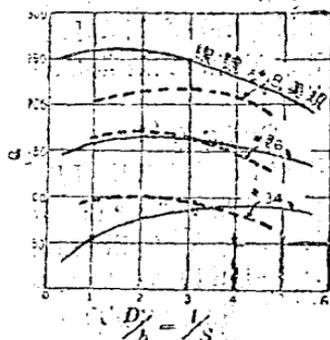


圖3.2 線圈Q值變化的情形 實線代表線圈直徑保持不變，虛線表示圈長及皮保持不變（電感量及週率均不變）

不同)均有其最佳的線號。常用線與最佳者相差一二號時, Q 值的影響尚不顯著。

最適宜的線圈形狀(亦可以說是最適宜的長度直徑比率)極不容易決定。圖 3.2 亦僅表示這種關係的大概情形。圖中實線代表線圈直徑、電感量、及週率保持不變時的 Q 值變化情形。由圖可知,最佳的 S 值約在 0.3 及 0.5 之間。假使線圈長度保持不變(改變直徑),所得的結果亦相類似(圖 3.2 的虛線曲線)。不過很顯然,用線愈細, Q 值亦愈低。

若線圈能保持最佳的導線直徑及適宜的形狀,較高的 Q 值自然容易得到。圖 3.3 是在最佳線徑時,線圈長度及直徑與 Q 值的關係。

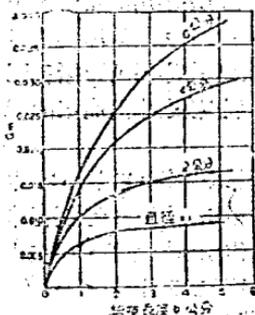


圖 3.3 線圈長度及直徑與 Q 值的關係

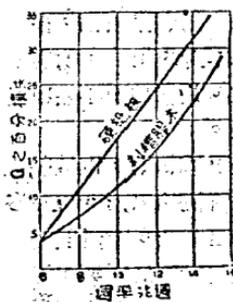


圖 3.4 線圈支架對於 Q 值的關係

根據曲線特性, Q 值與長度共增,但是 Q 值的增加率則逐漸減小。一般說來,線圈直徑的增加,對於 Q 值是有益而無害。

在高週率時,介質損失亦逐漸增加。線圈介質損失的原因有二,就是

:(一)線圈的支架或繞管;及(二)導線的絕緣部份。圖 3.4 用曲線表示刻槽膠木線圈管及刻槽硬紙質線圈管(約厚一公分)對於 Q 值的影響。二線圈的刻槽均深 0.01 公分。另一線圈僅有支架,不用繞管。圖 3.4 就是三線圈比較的結果。週率增高後,損失隨之增加,在 14 兆週, Q 值下降已達百分之廿到百分之卅之多。至於導線絕緣介質的損失,在 5 兆週以下,微而可以不計。即在 20 兆週, Q 值的損失,亦約及百分之六,影響較小,已可顯見。

線圈的隔離罩常受地位的限制,以致影響線圈直徑及長度的選擇。根據學理及實驗的結果,如果隔離罩的直徑大於線圈直徑二倍以上,同時隔離罩與線圈繞組二端的距離大於線圈直徑時,隔離罩對於 Q 值的損失,常可保持在百分之五以下。

### 3.3 空心線圈的種類

空心線圈的電感量不大，最高亦不足 100 毫亨，最低却可達 1 微亨左右。工作的週率亦可自最低的射電週率，而到微波週率。說到載流及耐壓問題，亦常有百萬倍的差別。所以常用的電感線圈必不止一種。在原則上，線圈的形狀可以不同，不過  $Q$  值必須高，滯佈電容必須低，而占地亦須小。

最普通的空心線圈是單層圓管形。自廣播週率起就可應用。現在週率逐漸提高，電感量的需要亦能減低。單層圓管形線圈的構造最簡單，電感量不高，在這種趨勢下，自然能取得更普遍應用的地位。在低射電週率段內，線圈所用導線較細，多繞在圓管上。迨週率提高後，繞線常粗，由於導線本身的硬度，所有超高週段內應用的單層線圈，已能摒棄繞管而自立。用線粗及不用繞管均可補償週率提高後的損失， $Q$  值亦能保持不變。

昔時，在無線電發達的初期，電感線圈的形式極多，或扁、或方、或作環形，且多失去線圈的原形。現在多已在淘汰之列，無須再作詳細的介紹。事實上亦是如此。單層圓管形線圈的效率最高，非在萬不得已的情形下，或因有別種的需要，不必取別種線圈形式。

多層線圈的電感高，可使線圈長度減到適當的範圍內。如欲保持高  $Q$  值及低滯佈電容，多層線圈的繞法最是重要，除第 3.1 節所規定的原則外，還有一種疊繞法 (Bank Winding)，亦可減低滯佈電容 (見圖 3.5)，就大體說，這種疊繞的多層線圈，僅能應用在廣播週率段的接收機件內。雖則中週變壓器 (Intermediate Frequency Transformer) 的繞組亦取多層構造，但不屬此類。在調諧電路 (Tuning Circuit) 以外，亦有時需用較大的電感量 (約在 0.5 毫亨到 50 毫亨)，例如射電扼流線圈 (Choke Coil) 就是。這幾種線圈多取通繞式 (Universal Wound) 或蜂房式 (Honeycomb) 的構造，不但平整美觀 (繞線圈凸凹不齊)，占地極小，滯佈電容亦低。這種線圈的層數多，每層圈數較小，而成格式 (Lattice) 的組織。近年來，磁粉壓製成功。這種通繞式線圈又可以加用鐵心，圈數可以大減， $Q$  值亦能維持不降。有時這種線圈亦



圖 3.5 堆積疊繞法

成幾節，互相串聯，俾潛佈電容能減到最小的限度。

發射機亦須配用各種的電感線圈。在調諧電路中，線圈的損失比例極小，用線常粗，在較大電力的機件內，線圈就已常用銅管繞製。根據皮膚作用的原理（見第2.2節），這一種損失可以極小，較流及耐壓二種條件，自然亦不難適合。大概，發射電力愈高，線圈亦愈大。因有電量損失，設計比較困難。50千瓦電力發射機的調諧電感線圈，亦可以用1英尺的直徑，不過在原則上，這種線圈亦是以單層圓管形的構造最佳。此外亦有用扁條導體代替實心導線，目的亦是在減低皮膚作用的損失。不但如此，發射線圈常僅有支架，不用繞管。發射機內的扼流線圈亦多取蜂房式，僅用線較粗，以配合載流條件。

各種空心線圈，亦有因需不同數值電感量的關係，在繞組上加抽多數的分頭。各分頭間的確實電感，自然亦可根據基本電感公式從線圈的局前繞長、直徑、及圈數計算。假使線圈總長度恰使Q值達最佳值，分頭間的局部線圈，未必符合最佳Q值（或最低損失）的條件。這種分頭法的應用極是普遍，在一部分的電路中，常使分頭線圈的未用部份直接通地，或並聯一短路。這樣至少可以使不必要或不能預知的感應或干擾現象不再發生。

### 3.4 鐵心電感圈的特性

線圈載流後，從線圈圈數及電流量的關係（就是線圈的磁通勢，Magnetomotive Force），就可得一定額的磁通量。假使這線圈的中心加填磁鐵質料，磁通量就將大量增加，結果可從一較小的線圈構造（連鐵心），得到極大的電感。不過鐵心電感線圈的特性已變，不若空心線圈特性的單純，還需詳細的介紹。

無線電電路中應用鐵心線圈，受到多種限制。所以到今日，鐵心線圈（或變壓器）僅能廣泛用在普通及中週電路中。射週線圈還未見有加鐵心者（射週扼流線圈加用粉厚鐵心已很普通）。根據物理，磁鐵的導磁係數(Permeability)與磁通密度(Flux Density)及剩磁特性關係重大，以致鐵心線圈的電感常受電流的影響。又如果這電流中有交流成分，則線圈電感在交流電流變化的範圍內，亦起類似的變化。亦就是說，電流波一週內並不能有同量的電感，電路中的諧失真，亦因此而不能避免。

鐵心線圈的鐵心損失 (Core Loss) 隨週率而增高。這種鐵心損失大部份是渦流 (Eddy Current) 損失，結果線圈的有效電阻亦隨之而大增，不過有效導磁係數反而下降。切實的說，渦流產生一種隔離的作用，使磁通線不能再盡量穿透鐵心的分片 (Lamination)，或粉粒的厚度。假使再進一步研究鐵心中任何一分子受交流磁通量時的情形，這時必有渦流產生，而在鐵心分子的外圍面環流，其流向則與產生這渦流的磁通相反。這種渦流的去磁 (Demagnetizing) 作用，在鐵心分子的中心最是顯著，結果這部份的磁通密度亦是最小。在鐵心分子表面，磁通密度必定是最大，所以磁通的分佈情形，亦與皮膚作用產生時的電流分佈相似。根據定理：磁鐵的導磁係數是磁通密度與磁化力的比率。顯然可見，磁通量的減低等於導磁係數的下降。所以在普通的情形下，因為導磁係數的下降及有效電阻的增加，鐵心電感線圈的Q值，常不及空心線圈Q值。

鐵心的渦流損失與週率的二次乘方及分片厚度二次乘方成正比。所以，週率增高對於鐵心線圈最是不利。同時，普通鐵片又不能薄於0.001吋。在高週率應用時，唯有改用粉粒鐵心，方能增加磁通穿透度，而減低渦流損失，亦就是導磁係數不致下降。

普通電路的電壓不高，所以線圈磁鐵的磁通密度亦低。其關係如下式：

$$E = 4.44fN\phi \times 10^{-8} \quad \text{伏} \quad (3.11)$$

其中E是正弦波電壓的有效值(伏)；f是週率(週)；N是圈數； $\phi$ 是交流磁通量的巔值(線)。在一規定的情形下工作時，f及N是常數。所以，E及 $\phi$ 成一正比例連繫。這公式是變壓器的基本公式，在應用上極是重要。

導磁係數與磁通密度的關係可見圖3.6。圖中最高的導磁係數約在每平方吋35千線，磁通密度最高值是7500。磁鐵不同，這種特性亦略有不同。圖3.6中，B-H曲線亦是磁鐵的重要特性曲線，由這曲線或定義亦能計算導磁係數，其關係是

$$\mu = B/H \quad (3.12)$$

其中 $\mu$ 是導磁係數；B是磁通密度(線/平方吋)；H是磁化力(安匝數/吋)。所以在任何一點，B-H曲線的切線亦就是 $\mu$ 值。

導磁係數與鐵心線圈的電感量關係最密切，這可由下式知之：

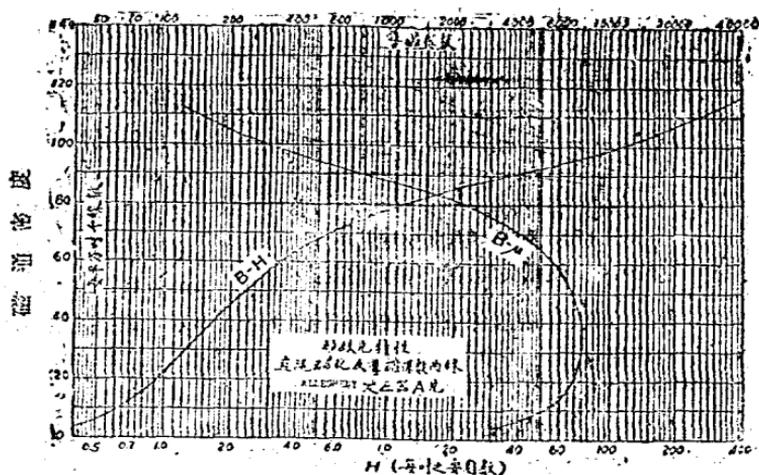


圖3.6 導磁係數與磁通密度的關係

$$L = \frac{0.4\pi N^2 A \mu}{b} \times 10^{-8} \quad \text{亨} \quad (3.13)$$

其中各值定義與公式3.3同。當  $\mu=1$  時，公式3.3 及公式3.13完全符合。所以，空心線圈與鐵心線圈電感量的差別就是軸心的導磁係數。進一步可以歸納說，鐵心線圈的電感量與磁化電流的關係亦與  $B-\mu$  曲線同形。假使這電流是交流性，情形亦類似。僅在電流變化的一週內，電感量亦起變化，結果就是失真。

鐵心線圈的損失較大，因為鐵心損失亦須疊加計算。就是說：

$$W = W_h + W_e + I^2 R \quad \text{瓦} \quad (3.14)$$

其中  $W$  是線圈的總損失(瓦)； $W_h$  是鐵心的磁滯損失(瓦)； $W_e$  是鐵心的渦流損失(瓦)；以上二項是鐵損失。 $I^2 R$  是線圈繞組的銅損失(瓦)； $I$  是電流的均方根值(安)； $R$  是繞組的直流電阻(歐)。圖3.7是鐵損失(包括  $W_h$  及  $W_e$ )、週率、及磁通密度曲線。由圖可知，鐵損失隨週率及磁通密度同增。普通磁通密度約是每方吋5000線到65000線左右。在50週電流工作下，鐵損失亦已達每磅(鐵的重量)0.8瓦到0.5瓦左右。週率再提高，僅有粉壓鐵心可以應用，不然損失太大。

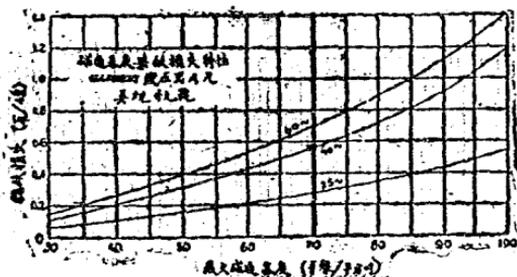


圖3.7 鐵損與週率及磁通密度曲線

普通鐵心均用矽鋼(Silicon Steel)片疊成，適合無線電應用的矽鋼，大多已經過特種的提煉。一方面使鐵損失減小，一方面使增導磁係數(Incremental Permeability)升高(關於增導磁係數的特性見下節)。

近年來，磁鐵合金試驗成功，專用商標名稱多而各異。其中由鐵及鎳合成的有 Permalloy、Hipernik Nicolli 等，優點是在較低的磁通密度，導磁係數極高，鐵損則較低。由鐵、鎳及鈷(Cobalt)合成的有 Perminvar，優點是導磁係數比較恆定少變，磁滯損失亦極低。

粉壓鐵心是射週僅可應用的線圈軸心。粉壓鐵心的特性，就大體上說，與粉粒磁鐵或磁鐵合金的原有特性大致相同。渦流損失從粉粒積積的大小而增減，電能的消耗與絕合料關係比較密切，至於粉壓鐵心的有效導磁係數，亦從配料的成分而定。照各種資料研究，粉壓鐵心的導磁係數(有效值)常極低，在普通情形下常不及80。如果成分配合得當，粉壓鐵心的導磁係數的最高值亦僅及80(粉粒本身的導磁係數可以極高)。這時製造上又不經濟，得不償失。現在實用上粉壓鐵心的有效導磁係數常在5及10之間。不過這種粉壓鐵心的有效導磁係數常極恆定，不受磁通密度的影響。粉壓鐵心的磁滯損失與普通分片鐵心比較，並無不正常的情形，僅有經過適當的熱煉，磁滯損失方能減低。粉壓鐵心應用已經很久，可惜到今日尚無詳細的研究心得發表。

### 3.5 交直電流混合電路中鐵心線圈的特性

無線電應用的點心電感圈及變壓器，常有一較小的交流電流疊加在直流電流上。現在的問題是：究竟這交流電流對於線圈電感有何關係？當然，有效電感與電流(交流及直流)及剩磁均有密切的關係。普通

磁鐵特性可由磁滯迴線(Hysteresis Loop)代表。亦就是，磁通量與磁化力具有一種確定的關係。假使直流電流不變，磁鐵的磁通量亦經固定。在交流電流疊加在直流電流上時，就能使磁通量在既定的磁通密度位置，再循交流電流的週期變化，產生一變相的小磁滯迴線(見圖3.8)。

這種小迴線的斜度完全不同，所以斜線所能代表的導磁係數亦一定不同。公式3.12對於磁滯迴線任何一點的斜度(導磁係數)已有規定，這時磁化力的改變(由於疊加的瞬時交流電流)是 $\Delta H$ ，所得的磁通密度改變必是 $\Delta B$ ，從迴線斜度得：

$$\mu' = \Delta B / \Delta H \quad (3.15)$$

其中 $\mu'$ 就是增導磁係數。所有在這種情形

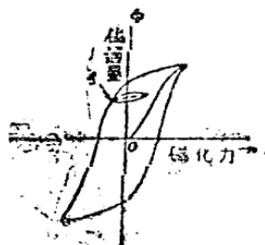


圖3.8 磁滯迴線圖

下的電感，亦就根據這增導磁係數而定。增導磁係數的特點有：(一)直流磁通密度增加時，增導磁係數逐漸減小，鐵心線圈的電感亦然。(二)交流磁化力( $\Delta H$ )增加時，增導磁係數亦隨之提升，鐵心線圈的電感量亦比照增加。(三)增導磁係數通常僅及正常導磁係數的百分之十及百分之廿之間，直流 $B$ 值愈大，二者的差數亦愈多。(四)假使交流電週率不同，情形亦複雜，增導磁係數亦受各週率的交錯干擾。

根據一般磁鐵特性，電流量對於鐵心線圈電感的影響極是顯著。避免的方法是在鐵心磁路中加一空氣隙(Air Gap)。結果，連直流電流對於增電感(Incremental Inductance)(這是從增導磁係數而得名)的飽和現象，亦得到一圓滿的解決。在這種情形下，磁路的磁阻(Reluctance)是磁鐵磁阻及空氣隙磁阻的總和。假使空氣隙的磁阻極大於磁鐵的磁阻，則磁鐵磁阻(或導磁係數)變化的影響亦可減到最小的限度。至於空氣隙的實際長度，亦僅能達磁路總長度的極小一部份。這種空氣隙在鐵片對頭接合(Butt Joint)時，可以用紙板之類或非磁材料填入接頭。否則，在疊合接頭間的鐵片距離，亦有類似的作用，不過有效空氣隙較小，不能耐受較高的電流。在粉屑鐵心中，粉粒間的鐵合料亦有空氣隙相等的效用，對於小量的直流電流不致飽和。補充說一句，在設計正確時，空氣隙對於交流的增電感，反而能有增而無減。因為增導磁係數，已因空氣隙而有增加(應用空氣

隙時，磁滯迴線斜度大減，導磁係數亦低）。

在交直流電流疊加的電路中（比較上，交流電流要小），增電感可用公式 3.13 計算，僅用  $\mu'$  代替  $\mu$ 。表 3.2 是普通磁鐵的二種導磁係數表，可供設計的參考。

表 3.2 導磁係數及增導磁係數表

| B    | $\mu$ | $\mu'$ | B     | $\mu$ | $\mu'$ |
|------|-------|--------|-------|-------|--------|
| 2000 | 5200  | 1248   | 10000 | 7650  | 665    |
| 3000 | 6450  | 1242   | 11000 | 6160  | 520    |
| 4000 | 7500  | 1235   | 12000 | 4740  | 380    |
| 5000 | 8200  | 1195   | 13000 | 2950  | 240    |
| 6000 | 8840  | 1180   | 14000 | 1550  | 120    |
| 7000 | 9650  | 1085   | 15000 | 760   | 50     |
| 8000 | 8200  | 1020   | 16000 | 390   | 20     |
| 9000 | 8200  | 790    |       |       |        |

鐵心線圈增加空氣隙後，公式 3.13 中的面積  $A_1$ 、磁路長度  $b$ 、及導磁係數  $\mu$  或  $\mu'$  須是各部份的總合量。所以公式 3.13 改正後，得

$$L = \frac{0.4 \pi N^2 \times 10^{-8}}{\frac{b}{\mu A_1} + \frac{2g}{\mu_0 A_2}} \quad (3.16)$$

其中  $g$  是空氣隙的長度（公分）； $A_1$  是鐵心截面積（平方公分）； $A_2$  是空氣隙的截面積（平方公分）； $A_1$  必小於  $A_2$ ，因為鐵心薄片間仍有空隙，其餘各項的定義與公式 3.13 同。這公式亦能計算直流電感，僅須將  $\mu$  代替  $\mu'$ （增電感比較重要）。

### 3.6 線圈的隔離

電感圈有電流通過時就產生電磁場及靜電場。照無線電電路工作情形說，除非特殊的需要，線圈的電場及磁場都不能耦合到鄰近的構件。現為保證這種條件起見，線圈都外加適當的金屬隔離（Shielding），使這二種（或其中的一種）磁場及電場，不再產生不必要的干擾現

象。

隔離罩可以用非磁性金屬（如銅、鋁、或黃銅）或磁性金屬（如鐵）製成。在隔離靜電場時，各種金屬隔離罩均可應用，資料的不同，影響尚小。如果隔離罩並沒有空隙或不銜接情形，理想中的隔離性能並不難達到。

電磁場的隔離與電流週率亦有關係。直流及普通電流所產生的磁場，可以用磁阻低微的磁性金屬隔離罩。這種隔離罩對於磁場有短路的效用，磁通線亦不能展出隔離罩外。祇要這種隔離罩不過薄，及隔離罩各部份不產生磁通勢時，完全的隔離並不是難事。

當電磁場的週率增高後，隔離罩的渦流作用極是重要。這種渦流的電能，就得自被隔離的線圈。所以在普通情形下，磁鐵質隔離罩每使線圈的有效電阻改變。當隔離罩的厚度及電阻係數不變時，電磁場週率的增高亦等於隔離效能的增高。假使隔離罩的厚度再有增加，隔離作用亦是增加。在實際上，隔離罩應用後，線圈的有效電阻必較高。在低電週率，非磁性及低電阻係數的隔離罩比較優良。

◎靜電場有時需單獨隔離，同時不影響電磁場。這種隔離設備必須對渦流不供給低阻的通路。這可用一金屬平片，一端通地，就無問題。因為對渦流並沒有通路，對靜電場却是一極好的導體。各種變壓器中，亦常在初次工繞組間加一靜電場的隔離，這亦是金屬片，其面與磁場平行，但不接合。

非磁性隔離罩使線圈的有效電阻及潛能電容增加，但電感却下降。鐵質隔離罩亦有相同的影響，僅電感反面上升。假使隔離罩的形體能正確與線圈配合（見第2.2節），並不太小，隔離罩的影響可以減到最小。不然，隔離罩內的交錯作用過於複雜，決不是簡單的數學公式可以計算，電路的特性亦可有失常的情形。所以應用隔離罩時，不可不特別注意。



## 第四章 電子及電子發射

### 4.1 電子基本特性

物質(Matter)經科學家的精細分析，已知是由分子(Molecule)所組成，而分子又是分別由九十二種原子(Atom)配合而成，最近又經證實，原子的中心是共有陽電的原子核(Nucleus)，一名質子(Proton)。環繞原子核，依照一定的軌道是共有陰電的電子(Electron)。各原子中電子數目，則由一到九十二逐漸遞進。正常情形下，質子的陽電必與各電子陰電的總量相等，而呈中和狀態。在電子數量有額外的增減時，這原子就具有電荷的現象。

根據公元 1986 年最近科學家的研究結果，電子的重要特性應該是：

|            |                           |      |
|------------|---------------------------|------|
| 電子質量 (m) : | $9.115 \times 10^{-28}$   | 克    |
| 電子半徑 :     | $1.9 \times 10^{-13}$     | 公分   |
| 電子電荷 (e) : | $4.803 \times 10^{-10}$   | 靜電單位 |
|            | $= 1.602 \times 10^{-19}$ | 庫    |

其中電子的電荷，業經最近的改正，是最準確的數值，與一般中西文圖書所列者略有不同，希請注意。

原子內部僅有電子及質子二種。電子各個相同，基本常數亦不變，質子則不然。所以原子特性的不同，是由於質子特性及電子數目的不同。當原子或分子的電子數目有減少時，這原子或分子就是荷電體，道稱陽游子(Positive Ion)。這種陽游子的重量就是原子或分子的重量，其電荷則是電子缺少數的電荷總值。所以陽游子亦是各不相同，且比電子重得多。

當原子或分子內部的電子用各種方法分離時，就原子或分子說，原子或分子已經有電子缺少的現象，而成陽游子。但是就電子本身說，電子已經脫離束縛，而成自由電子(Free Electron)。這種現象是游離(Ionization)。在真空管中，這種現象實在是最重要。電子游離的方法亦有多種，簡單的說有：(一)如果有一原子受到一運動極速的

電子(或另外一原子)衝擊，則原子最外軌道上的電子，或可有一部份會受撞力而脫離軌道。結果自由電子(數目則根據撞力而異)隨而產生，原子亦變成陽游子。這是碰撞法，氣體管(Gas Tube)就是利用這種原理工作。(二)金屬物質內部的電子本來沒有受到緊密的束縛，在受到外加電壓時，電子就能在金屬體內各原子間游動。這種電子的運動，就是金屬體的導電作用。假使這金屬物質又受到適當的高熱時，體內的電子運動加速，亦能脫離金屬體而發射到空間。這是熱游子發射(Thermionic Emission)，真空管的工作原理就屬於這一種。(三)X射線或紫外線衝擊物質時，在普通的溫度下，射線內的電力亦能將物質中電子拉出。或者，當普通光線照在鈣、銣(Caesium)等鹼土金屬物質上，亦能得到同樣的結果。這種作用的名稱是光電效應(Photoelectric Effect)，游離後的電子，亦就是光電子。(四)這種游離與(一)類相似。簡單的說，電子的發射亦是由於運動迅速電子與物質(如金屬體)的碰撞。所以電子發射的條件，必先已有運動迅速的電子。這是二次電子發射(Secondary Electron Emission)，在真空管中亦時常發生，但常在避免抑制之例。(五)冷陰極發射(Cold Cathode Emission)或電場發射(Field Emission)是金屬體表面受到強烈電場的結果。對於一部份電弧放電工作，這是一種重要的因素。在普通的溫度下，這種現象並不能用簡單的方法產生。

## 4.2 運動電子的特性

電子有質量，有電荷，亦有靜電場。當電子運動時，傳電現象亦存在，這就叫做電流。但根據新的特性，電子的運動亦必定產生一磁場(電子本已有靜電場)，這磁場的能量及慣量(Inertia)則直接受到電子質量的影響。

當一電子受到靜電場的作用時，電子就在靜電場的反方向移動。因為照慣例，陽電荷才順電場的正方向運動。現在還知道，電子有質量，在受外力 $f$ 的推換而運動時，電子亦循普通牛頓(Newton)運動定律加速移動，這就是

$$a = f/m \quad \text{公分/秒/秒} \quad (4.1)$$

其中 $a$ 是加速度(公分/秒/秒)； $f$ 是力(達因)； $m$ 是電子質量(克)。如果力量不變，且不受電子運動後移位的影響，電子運動的速度亦

可用下式計算

$$v = at \quad \text{公分/秒} \quad (4.2)$$

其中  $v$  是在時間  $t$  (秒) 的速度 (公分/秒)，這速度必低於光速。同樣，如果電子運動的距離是已知數，則運動所需的時間亦可算得出，就是

$$t = \left( \frac{2s}{a} \right)^{1/2} \quad \text{秒} \quad (4.3)$$

其中  $t$  是電子在規定的距離  $s$  (公分) 間，從靜止的狀態起所需的運動時間 (秒)； $a$  是加速度 (公分/秒/秒)。

電子在靜電場中受力而運動時，這推動力是電場強度與電子電荷的乘積。用專門名詞化成數學公式，得

$$f = Ge \times 10^7 \quad \text{達因} \quad (4.4)$$

其中  $f$  是力量 (達因)； $G$  是靜電場的電壓梯度 (伏/公分)； $e$  是電子的電荷 (庫)。

根據運動定律，運動電子亦有動量 (Kinetic Energy)。假使電子在移動的三點間有一電勢差  $E$ ，則這電勢差  $E$  伏所產生電場的功 (Work) 是  $Ee \times 10^7$  爾格 (Erg)；其中  $e$  是電子電荷 (庫)；至於電子所得的能量亦是

$$\text{能量} = Ee = \frac{1}{2} mv^2 \quad \text{爾格} \quad (4.5)$$

其中  $m$  是電子的質量 (克)； $v$  是在電壓在  $E$  伏的速度 (公分/秒)； $e$  是電子電荷 (庫)。由這公式還可以計算在各種規定情形下的速度。(若  $E$ 、 $m$  及  $e$  是已知數)，不過這速度必須近於光的速度。在電子運動時時停止時 (例如真空管內陰極發射的電子碰到屏極上)，這能量隨即變成熱能，真空管屏極在工作時發熱的緣因就是在此。

根據普通物理上的原理，二荷電體必是同性相斥，異性相吸。並且不論在何種情形下，吸力及斥力必與二荷電體的距離有密切的關係。如果二荷電體的電荷分別是  $e_1$  及  $e_2$  (均是靜電單位)，則吸力或斥力 (達因) 將是：

$$f = \frac{e_1 e_2}{S^2} \quad \text{達因} \quad (4.6)$$

其中  $S$  是二電荷間距離 (公分)。不過這公式的距離  $S$  必須絕對大於荷電體的直徑。嚴格的說，這荷電體必須是點電荷 (Point Charge)。

當二平片導體表面上佈有電荷時，二片間的吸力或斥力是導片面上各點電荷所生吸力或斥力的總和。所以二平片距離是  $S$  公分而有一電壓差  $E$  靜伏（1 靜伏 = 300 伏）時，這電壓差可使二平片面上各有電荷的分佈。假使在二平片間置一電荷，照上述的方法計算，得

$$f = \frac{Ee}{S} \quad \text{達} \quad (4.7)$$

其中  $e$  是電荷（靜電單位）；其他各值的定義均已有了說明。簡單的說，這種平片間加電壓的意義是吸力或斥力的產生，使在二片間任何一電子，均將被驅離負極片而趨向正極片。在實用上，這就是真空管內二電極（Electrode）間吸引電子的主要方法。

電子學在實用上常不是一二單獨的電子，而是成千成萬的電子羣。例如，電流是 1 庫倫，電子在 1 秒鐘內的流動量就有  $0.624 \times 10^{19}$  個電子！數目之多，實在可觀。假使在二平行片間的電壓是 1 伏，電流量是 1 安，則所需的電力必定是 1 瓦。照公式 4.7 又知，電能是力（ $f$ ）與距離（ $S$ ）的乘積。每一電子的電能一定是  $Ee$ 。現在電子數量（ $n$ ）是  $0.624 \times 10^{19}$ ，所以在 1 秒鐘內總電力是  $neE$ ，用實際數字代入，得 107 爾格。

在電子羣正常運動路線的垂直方向，如有一靜電場存在（由平行片加電壓組成），電子運動亦就感受到影響。在這種情形下，實際電子所取的運動方向，必定照組合力所定的路線（電子羣所以能向前運動，一定有正電壓吸引）。根據上述的種種關係，靜電場對於運動電子羣所產生的偏向（Deflection），可由下式計算，就是

$$X = \frac{E_2 g y}{2E_1 d} \quad \text{公分} \quad (4.8)$$

其中  $X$  是靜電場所產生的偏向距離（公分）； $E_2$  是靜電場的等值電壓（伏），這電壓就是加在偏向平片間； $E_1$  是電子羣在正常路線所需的電壓（伏）； $g$  是偏向平片的長度（公分）； $y$  是偏向平片中

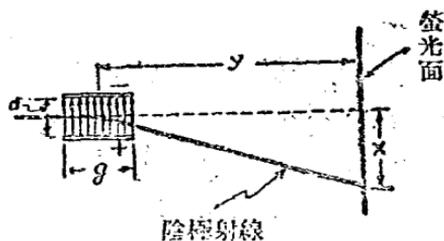


圖 4.1 靜電場對於電子偏向作用的圖示

心點到任何一點間的距離(公分)，在這一點所得的偏向就是  $X$ 。圖 4.1 就是靜電場對於電子偏向的圖示。由公式 4.8 知道：偏向距 ( $X$ ) 與  $E_2$ 、 $g$ 、及  $y$  成正比例，但與  $E_1$  及  $d$  成反比例。所以電壓  $E_1$  愈大 (在陰極射線管中，這  $E_1$  有加速電壓一名稱)，平行偏向片間，靜電場對於電子羣所能發生作用的時間愈短，偏向自然亦愈小。

假使電子羣運動中途所受到的外力，並不得自靜電場，而是由於

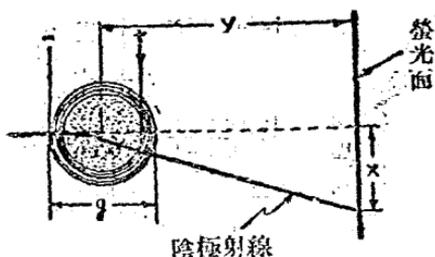


圖 4.2 電磁場對於電子偏向作用的圖示 (磁力線與紙面垂直)

磁場。結果亦是一樣，就是電子羣運動的方向，已有變動而起偏向作用。當這磁場由一線圈產生而很均勻恆定時，磁場方向亦指向紙內 (見圖 4.2) 應用左手定則就能算出電子羣變動的方向。假使磁場的強度是  $H$  高斯 (Gauss)，電子偏向的距離 ( $X$ ) 大

約是

$$X = \frac{0.8 H g y}{(E_2)^{\frac{1}{2}}} \quad \text{公分} \quad (4.9)$$

其中各值的定義與公式 4.8 同。

這二種電子運動方向的變動方法，對於陰極射線管 (Cathode Ray Tube) 的應用極是重要。因為陰極射線 (就是電子羣) 的偏向，就是靜電偏向 (Electrostatic Deflection) 及電磁偏向 (Electromagnetic Deflection) 二種，原理亦就如上述。

### 4.3 熱游子發射

理查森氏 (Richardson) 的熱體電子發射學說，與汽化 (Vaporization) 的能量學說大致相似。簡單的說，金屬物質所具有的熱，不但變成不規則運動的原子或分子的動能，且亦化作自由電子的動能。能量愈大，溫度愈升，運動的速度亦愈增。現在電子、原子、或分子間又不免有碰撞現象，每一電子的運動速度及方向，自然亦在繼續不

斷的變化中。結果電子運動的速度亦高低各不相同，但是大部份電子的運動速度與最近真速度 (Most Probable Velocity) 相差不遠。馬克士威氏照或然率 (Probability) 的學說，將氣體質點 (Gas Particle) 的速度分佈 (Velocity-Distribution) 製成曲線 (圖 4.3)，名馬克士威

分佈曲線。假使這曲線的總面積是 1，則自  $v_1$  到  $v_2$  任何一小條條 (見圖) 的面積，必與速度在  $v_1$  及  $v_2$  二坐標間的電子數目成正比例。坐標的高度與最近真速度成正比例。任何一電子在  $v_1$  及  $v_2$  間所具速度的或然率，亦與這速度範圍內縱坐標所具平均高度成正比例。進一步說，這或然率曲線明白指出，在任何一瞬時，速度極高及

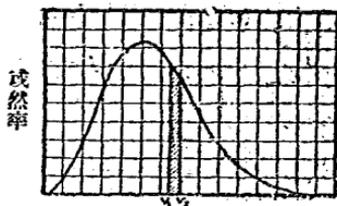


圖 4.3 或然率曲線 馬克士威分佈曲線

極低的電子數必定很少，大部份的電子速度就是最近真速度或其附近 (在曲線上，最高的縱坐標代表最近真速度)。再精細的分析，這最近真速度與平均速度與平均動能所代表的速度均略有不同。假使溫度 (或絕對溫度的平方根值) 有變化，最近真速度亦照比例變化。

假設導體內的自由電子與普通原子一樣，亦在不規則的運動中。根據舊的李查森學說，電子與原子各占熱能的一部份，所以速度的分佈能照馬克士威定律的規定。不過照現在的統計力學 (Statistical Mechanics)，電子速度的分佈完全不同，這是范密 (Fermi) 及達雷 (Dirac) 二氏所倡，而經宋墨墨 (Sommerfeld) 氏等啓發完成。幸在解析熱游子發射時，馬克士威的分佈律已可適合。

金屬導體內，電子速度的分佈情形及其種種定律，實在關係不大。實際上，祇要電子速度與導體表面或垂直部份的動能超過 (或等於) 電子的親和力 (Affinity)，電子就能脫離導體表面。換句話說，電子的動能必須大於一種規定值的功  $W$ ，方能克服金屬導體的約束。這功  $W$  的名稱是熱游子功函數，或簡稱功函數 (Work Function)。用公式 4.5 說明， $1/2mv^2$  就是代表最小的功，其中  $v$  是最低的垂直速度 (與導體面積成垂直)，重寫公式 4.5 得

$$W = \frac{\omega_0 e^2}{800} \quad \text{爾格} \quad (4.10)$$

其中  $W$  是功 (爾格)； $e$  是電子電荷 (靜電單位)； $\omega_0$  是電壓差 (伏)。電子在脫離金屬表面後，動能並沒有損失或缺少，但已改成勢能 (Potential Energy)。至於使電子所具動能能超過親和力的電壓，亦可以用公式 4.16 求得。一絲併金屬導體 (發射體) 的功函數化成的等值電壓可見表 4.1。

表 4.1 普通電子發射體的常數表

| 物質名稱            | A (安/公分 <sup>2</sup> /度 <sup>2</sup> ) | $\omega_0$ (伏) | $b_0 = \frac{\omega}{K}$ (絕對度) |
|-----------------|--|----------------|--------------------------------|
| 鎢 (W)           | 60                                     | 4.52           | 52400                          |
| 鎢鎳 (Th-W)       | 8                                      | 2.63           | 30500                          |
| 鎢鎳氧化鎂 (BaO-SrO) | 10-2                                   | 1.04           | 12000                          |
| 鎢 (Mo)          | 55                                     | 4.15           | 48100                          |
| 鉑 (Pt)          | 17000                                  | 6.26           | 72500                          |
| 鎳 (Ni)          | 1880                                   | 5.03           | 58300                          |
| 鋁 (Al)          | 60                                     | 4.07           | 47200                          |

這表中  $\omega_0$  是溫度在絕對零度的電子親和力 (伏)，亦直接代表電子脫離金屬體的困難程度。(表中所列各常數得自 Fink 之 Engineering Electronics 一書，與 Dow 之 Electronic Engineering 一書所載常數極近，其他各書所列之數字並不全同) 此二書出版最晚，當屬可靠。

當導體的溫度升高時，導體內自由電子的速度分佈亦有變動，以致更多電子的速度能克服導體表面的約束。這種發射出來的電子，隨即便導體表面外的周圍變成陰荷電體 (空間電荷)，產生一靜電場，能使已發射的電子回到導體內，導體則因電子的損失而荷正電。不過在任何一規定的溫度，必有一平衡的狀態。亦就是說，在平衡時，電子發射及退回的數目恰是相等。至於在金屬導體面外電子羣的密度，則大致與溫度及距離 (與導體面的距離) 成正比例。因為在任何一溫度，必有一穩定的電子發射率，不受電子密度的影響。實際上電子退回金屬導體的原因還有一種：電子在脫離金屬導體表面時，既有動能，又有速度。原來這速度是縱向性的，當自由電子在空間運動 (這是

不規則運動)時,不免有碰撞情形,結果電子運動速度又產生一向面的成分。在這速度成分的動能等於(或大於)電子親和力時,電子亦就自然再返回而進入金屬晶體的表面。又如果電子的發射還受電場的全數吸引,則每一單位發射面積,在每一溫度,亦必有一飽和電流。

電子發射與溫度的關係可從麥查孫定律知之,就是表

$$I_s = AT^2 e^{-\frac{\omega_0}{kT}} = AT^2 e^{-\frac{b_0}{T}} \text{ 安/平方公分} \quad (4.11)$$

其中  $I_s$  是每一單位面積的飽和電流(安/平方公分);  $T$  是絕對溫度(度);  $\omega_0$  是電子親和力(伏),代表發功函數;  $k$  是波爾茲曼(Boltzmann)的氣體常數,等於  $0.863 \times 10^{-4}$  伏/度;  $A$  是一常數,各種金屬的理論  $A$  值是 60.2,其餘不純粹金屬的  $A$  值亦各不相同,各金屬的實際  $A$  值可見表 4.1;  $e$  是自然對數(Natural Logarithm)的基數,等於 2.718;  $b_0 = \omega_0/k$ , 見表 4.1。這公式是李查孫氏根據熱力學(Thermodynamics),不計速度分佈的情形而化出,與其原有公式略同。最近又經科學家根據量子學(Quantum Theory),用統計力學加以證實  $\omega_0$  是一正確的發射公式(Emission Equation)。

發射公式中,  $I_s$  與溫度的關係比較複雜。簡單的說,溫度(或功函數)的小量變化,必使電子發射數目變大。假使吸引電子的電壓是  $E_1$  伏(見圖 4.4),當發射體的溫度增高時,電流亦逐漸增高。不過在溫度升高到相當的程度時,空間電荷作用大增,以致溫度的再增,對於電子的發射並無助益。這溫度是飽和溫度。至電子不能隨溫度而同增的情形,亦可以說是溫度的飽和。這飽和點在實際情形下,並不能驟然發生。因為發射體既不能單純,而電場亦不均勻。圖中虛線部份就是這種現象的表示。當電壓增高到  $E_2$  時,飽和現象亦發生在較高的溫度。這種電子發射的效率,亦能加以計算,就是

$$\text{發射效率} = \frac{\text{發射電流(毫安/平方公分)}}{\text{供給電力(毫瓦/平方公分)}} \quad (4.12)$$

所以,每一種發射體必須具有較高的發射效率,同時還須耐久長壽,

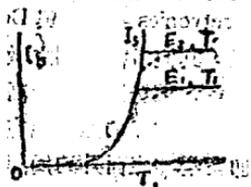


圖 4.4 電壓及溫度對於發射電流的關係

不起損壞現象。在這種立場上說，發射體工作的溫度宜低；或者，發射體的功函數宜低不宜高。

#### 4.4 空間電荷

空間電荷對於發射電流的限制情形，已在上節有簡單的說明。現在再進一步作精密的研究。在這分析中，先假定電子的原始速度是零，發射體表面的電場亦屬單純均勻。

如果在一真空管內，有一陰極發射電子，又有一陽極吸收電子。在理想的條件下，電子經發射後必定立刻全部吸到陽極。事實上並不如如此簡單，陰陽二極的空間還有電子存在。陰極表面所受到的電場，這是陰極吸引電場(或名加速電場)及空間的電荷的阻流電場的總合量。這空間電子的數目(或阻流電場的強度)與發射電流成正比例。當陽極電壓所產生的加速電場與空間電荷的阻流電場相等時，電子發射的數量就有飽和的現象。電子發射量增加，僅能加多退回陰極的電子數目。陽極電流不能再增加，這是平衡狀態。每次陽極電壓增加，必使陰極吸收電子的有效電場提增，陽極電流自然亦高，不過空間電子的密度亦同時增加。結果新的平衡狀態又告成立，發射量再增並不能再增陽極電流。由此可見，陰陽二極間的電壓對於陽極電流的關係極是重要。如用數學分析，這就是查爾特定律(Child Law)或電壓定律(Voltage Law)。

平行片形電極的查爾特定律，可先有下列各種基本的假定條件，就是：(一)陽極電流由空間電荷加以限制；意思就是，陰極的溫度極高，所以陰極發射的電子數多於被吸到陽極的電子數。(二)加速電壓的電場均勻分佈；亦就是說，陰陽二極片的面積大於二者間的距離。(三)陰陽二極的表面都是一等勢面(Equipotential Surface)。(四)陰陽二極間的空間並沒有氣體，故無電子與氣體分子的碰撞現象。(五)發射的電子在發射後的原始速度是零。在這五種條件下，基本化導公式有：

$$\frac{d^2 E}{dx^2} = 4\pi \rho \quad (4.13)$$

$$Ee = \frac{1}{2}mv^2 \quad (4.5)$$

$$\rho v \Delta = i_b \quad (4.14)$$

其中  $E$  是在  $x$  點與陰極間的電壓(伏)； $x$  是陰陽二極間任何一點與陰極的距離(公分)； $\rho$  是在  $x$  點的電子空間電荷(新電單位/立方公分)； $A$  是電極的面積(平方公分)； $i_b$  是陽極電流(安)； $e$ 、 $m$ 、 $v$  的定義已有說明。公式 4.13 是泊松公式 (Poisson's Equation) 的一式，經正確的化導就得查爾特定律

$$i_b = 2.34 \times 10^{-6} \frac{A e_b^{3/2}}{d^2} \quad \text{安} \quad (4.15)$$

其中  $e_b$  是陽極電壓(伏)； $d$  是陰陽二極間的距離(公分)；其餘各項的定義仍如上述。所以陽極電流與陽極電壓的  $3/2$  次方成正比。

假設陰陽二極構成同心圓柱管的排列，陰極在內，陽極在外，同時圓柱管的長度又大於二極間的距離，則用同樣化導，查爾特定律將是：

$$i_b = 14.68 \times 10^{-6} \frac{h e_b^{3/2}}{b r} \quad \text{安} \quad (4.16)$$

其中  $h$  是圓柱管(電極)的長度(公分)； $r$  是陽極的半徑(公分)； $b$  是陰陽二極的半徑比率函數，由下表得之； $a$  是陽極的半徑(公分)。又如果  $r \gg a$  公式 4.16 簡化成：

$$i_b = 14.7 \times 10^{-6} \frac{h e_b^{3/2}}{r} \quad \text{安} \quad (4.17)$$

表 4-2  $b$  值表

| $n/a$ | $b$   | $n/a$ | $b$   | $n/a$  | $b$   | $n/a$  | $b$   |
|-------|-------|-------|-------|--------|-------|--------|-------|
| 1.000 | 0.000 | 3.000 | 0.512 | 7.000  | 0.887 | 12.000 | 1.012 |
| 1.500 | 0.116 | 4.000 | 0.665 | 8.000  | 0.925 | 16.000 | 1.051 |
| 2.000 | 0.275 | 5.000 | 0.775 | 9.000  | 0.955 | 20.000 | 1.072 |
| 2.500 | 0.405 | 6.000 | 0.838 | 10.000 | 0.978 | 30.000 | 1.091 |

所以不論發射體的形狀如何，陽極電流總是陽極電壓的  $3/2$  次方。

查爾特定律亦常與實際情形略不相符。因為在實際上，工作的條件與化導查爾特定律的假說亦間有出入。切實的說，電極的溫度既經固定，則任一選定的溫度，亦有一飽和電壓，以致陽極電壓超過這飽和界限後，電流就受到陰極發射的限制，空間電荷的作用已不再有效。這種電壓飽和現象與上節所述的溫度飽和現象一樣，同時亦受到各

種常數(如溫度、功函數、電場強度等)的變化,以致電壓的飽和亦逐漸發生。圖 4.4 中的虛線曲線就是這種特性的代表。假使查爾特定律的基本假定條件(二)及(三)一點已不真實;例如直熱式的絲極,因為絲極本身的電壓降,必致 $3/2$ 律變成 $5/2$ 律,不過這電壓是陽極與絲極負端間的電壓,較絲極正端電壓低,結果必使 $I_b$ 、 $I_{cb}$ 曲線的下端更是平直。

電子經發射後的原始速度,對於查爾特定律亦有很大的關係。照前述的情形,電子的原始速度是零,所以在平衡的狀態達到時,陰極面的組合有效電場是零。圖 4.5 就是二電極間電場及電勢的分佈圖示。



圖 4.5 二電極間電場及電勢的分佈圖示

(A) 電場分佈  
(B) 電勢分佈, 無空間電荷  
(C) 電勢分佈, 無原始速度  
(D) 電勢分佈, 有原始速度

假使電子還有原始速度(各電子的原始速度皆作相等論), 則本來能回到陰極的電子, 現在將直趨陽極。結果陽極電流及空間電荷密度均將有增加。於是阻流電場可大於加速電場, 在陰極附近的電子速度, 亦將受到影響而下降。當陰極附近的阻流電場已達的一定數值時, 必能使電子在某一距離 $s$ (這是與陰極的距離)靜止不動, 這是新平衡狀態。在這距離 $s$ , 平均電場是零。但是由於瞬時的漲落現象, 亦能使足量的電子流過這屏障而產生所需的陽極電流。這同樣的情形, 亦可在原始速度等於零時得到, 僅須將陰極移到 $s$ 處就可。實際上雖不這樣簡單, 不過從這簡單的大致情形, 亦可以知道原始速度使陽極電流有一小量的增加。換句話說, 在陽極電壓不高時, 這亦等於陽極的加速電壓的小量增加。圖 4.5 中, D 曲線就是原始速度對於電壓分佈影響的圖示。在 $s$ 點, 電壓達最小值, 低於零位。

## 4.5 二次發射

二次發射是電子、游子、或質子與一固體相撞後的結果。在撞擊的過程中, 動能的轉移必大於這固體表面的功函數能量, 這種二次發射的特性, 大約有;

- (一) 導體與絕緣體受撞後均能產生二次電子。
- (二) 每一原始電子所能產生的二次電子，與物體表面性質的關係最密切。
- (三) 原始電子的速度增加後，每一原始電子所能產生的二次電子數目亦可增加。但當原始電子速度超過一相當數值時（約等於幾百伏），二次電子發射數目亦自最大值下降。
- (四) 每一原始電子所能產生的最多二次電子數目亦有相當的差別，最多可達8到10之多。
- (五) 二次電子的速度極低，且向各方面發射。
- (六) 每一原始湯游子僅能產生極少數的二次電子，最高亦僅及原始電子生產量的百分之十到百分之廿。

當二次電子發射後，如果無適當的加速電場吸收到湯極，則二次電子必將重返發射體。在普通的情形下，這種二次發射有害而無益，在避免之列。僅在少數的應用中，例如電子倍增管 (Electron Multiplier Tube) 及電子耦合管 (Dynatron)，二次發射是主要的工作原理。

## 4.6 光電發射

第二種重要的電子發射是光電發射。這是光線內部能量轉移到金屬內電子發生的發射作用。光電效應共有三種：(一) 光電發射 (Photoemission) 效應，這是光照金屬表面後產生的電子發射現象。(二) 光電導電 (Photoconductive) 效應，這是光照半導體表面後產生的電阻變化現象。(三) 光電電壓 (Photovoltaic) 效應，這是在二物體接觸點受光照後，這接觸點產生電壓差的現象。其中光電發射效應的應用最廣。普通光電管 (Phototube) 就屬這一類。

光電發射的原理亦是根據量子論。光線中有能量(或稱量子)，光速率增加後，每一量子內的能量亦隨之增加。這種光電子的能量，可以直接傳達到金屬導體內的自由電子。當電子所受的能大於親和力時，電子亦就能克服表面的約束而脫離導體，光電子內的能量愈大，電子的發射亦愈是容易。自紅外線經可見光到紫外線，速率有增大，能量亦有增大。所以紫外線對於光電子的發射最是有效。假使金屬導

的功函數極低，則在低速率的光線下(光譜的近紅外線部份)，亦能發射大量的電子。

當光照在光電靈敏面上時，發射電子的最大能量與光速率成正比例。光電子從光線取得動能，光速率的關係自然極重要。至於光強度的增加，並不能增加電子的能量，僅電子的發射數目照正比例增加。換句話說，總光電發射是與光強度成正比。進一步，假使光強度不變，光色改變的結果並不簡單。照學理，光色由紫外線向紅外線改變時，每一單位的光能所能發射的電子必將減低。事實上並不盡然，因為一部份光線的光譜響應 (Spectrum Response) 特性，僅照一種經驗 (Empirical) 公式變化。下章討論光電管特性時將再有說明。

低限速率 (Threshold Frequency) 是光電發射面的重要特性。這是發射電子所需的最低光線速率。當光線速率低於這限度時，光電子內所有的能量已低於導體面所需的功函數，電子自然不能解除表面的約束。各種光靈敏金屬的低限速率可見表 4.3。大約金屬的功函數愈小，其低限速率亦愈低。這二者間的關係亦不難求得，假使光量子供給

表 4.3 光靈敏物質的常數表

| 物質名      | 功函數(伏) | 低限速率(週)                | 低限波長(埃) |
|----------|--------|------------------------|---------|
| 鈣(Ca)一薄面 | 1.81   | $3 \times 10^{14}$     | 10000   |
| 鎂(Mg)    | 2.42   | $8.75 \times 10^{14}$  | 3430    |
| 鎳(Ni)    | 5.01   | $9.85 \times 10^{14}$  | 3050    |
| 鉑(Pt)    | 6.26   | $11.70 \times 10^{14}$ | 2570    |
| 鉀(K)     | 2.24   | $4.28 \times 10^{14}$  | 7000    |
| 鈉(Na)    | 2.46   | $5.15 \times 10^{14}$  | 5830    |
| 鐳(W)     | 4.52   | $13.65 \times 10^{14}$ | 2300    |

全部電子的動能，從公式 4.10 得：

$$hf \geq \frac{\omega_e}{360} \quad \text{爾格} \quad (4.18)$$

其中  $h$  是普朗克常數 (Planck's Constant)，等於  $6.54 \times 10^{-27}$  爾格秒； $f$  是光的速率(週)； $\omega_e$  及  $e$  仍同公式 4.10； $hf$  是光量子的能量。低限速率亦可算出，就是

$$f_0 = \frac{\omega_e}{360h} = 2.45 \times 10^{14} \text{ 週} \quad (4.19)$$

其中 $f$ 是低限週率(週)；假使電子所受的能量超過公式4.18的規定則公式4.18必須加以改正，就是

$$hf = \phi_0 + \frac{1}{2} mv^2 \quad \text{爾格} \quad (4.20)$$

這是愛因斯坦(Einstein)公式，其中 $m$ 是電子的質量(克)； $v$ 是電子的最大速度(公分/秒)。

#### 4.7 電子發射體的種類及其特性

金屬導體受熱到相當溫度時，就能發射電子。但是大部份功函數較低的金屬，例如鎂土金屬，並不能用作電子發射體。因為電子的發射數量充足時，發射體本身已在熔化或氧化的狀態。現在僅有鎢及鎢是二種可用的純金屬發射體。鎢的功函數較低於鎂的功函數，不幸鎢容易受剩餘氣體的作用，並且熔點亦較低，大約在絕對溫度3120度。結果可以實用的純金屬僅餘鎢一種。純鎢的熔點是絕對溫度3655度。在高電壓及大電力的真空管內，唯有純鎢發射體可以適用。純鎢發射體的壽命極長。氣體的存在，雖對電子的發射量沒有直接的關係，但是對於壽命却有較大的影響。

當金屬混雜其他物質時，功函數即有顯著的改變。鎢面塗鈾後，就能在表面產生一極強的電場。因為這已是陽極性金屬，功函數亦大降。所以塗鈾鎢(Thoriated Tungsten)亦是實用發射體的一種。製造時，氧化鈾先與鎢混合。當溫度升高時，氧化鈾的一部份還原成金屬鈾而侵到發射體的表面皮層。這發射體表面一層已完全是鈾原子後，電子的發射亦極容易而充足。不過，這種優越的發射性必先經一「賦與射性」(Activation)程序後方能得到。這種程序並不困難，先在極短的時間(大約自1/2分鐘到2分鐘的時間)將發射體的溫度(絕對溫度)升高到2500度及2800度之間(已近熔點)，使一部份的氧化鈾還原成鈾金屬。隨後溫度就可以減低到2200度，使鈾原子擴散到鎢體的表面，占最外的一層。至於實際應用的溫度，係根據氧化及擴散的速度而配合。這種發射體的工作溫度較低，絕不超過2000度，意在避免氧化的過速而損及表面鈾層。假使塗鈾鎢發射體的溫度過高，發射性立刻因鈾層的氧化而下降。不過還可用相似的程序復活。(塗鈾鎢受

熱後，一部分氧化鈣還原而擴散到皮層，其原在皮層的鈣原子則氧化離去。這二種程序達平衡狀態時，塗鈣鎢才在理想的條件下工作）。真空管內的氣體對於塗鈣鎢亦有極大的損害作用，因為，不但有氣化的氧化作用，還受到氣體陽游子的碰撞，而增加氧化的速度。當塗鈣鎢在氫(Hydrocarbon)汽中工作時，這種缺點可以大大的減低，所以碳化發射體的鈣原子的氧化速度大減，自然能在較高的溫度工作得到較高的發射效率。不過氧化面(Oxide-coated)發射體的發射效率更高，壽命亦更長。所以塗鈣鎢的應用亦日益減少。

今日小型真空管中，電子發射體幾乎全是屬於氧化面的一種。這種發射體的軸心，常是用鎢或鎢合金等類的金屬導體做成。表面上塗有一層或多層由銣(Barium)或銣(Strontium)的碳酸鹽。在真空管中，這種發射體的溫度先升達1200度到1500度(絕對溫度)。這時碳酸鹽可變成氧化物，所有二氧化碳則可抽去。次一程序是將發射體的溫度降低，同時陽極加電壓，時間不太久，俾電子的發射能達正常的數量。至於正常的工作溫度則約在1000度及1300度(絕對溫度)之間。這種氧化面發射體的發射效率最高，工作的溫度亦低，功函數約自0.5伏到1.5伏。不過在有氣體存在時，氧化面發射體最容易受到損傷，發射性能亦將下降，而最大的缺點是熱點(Hotspot)的發生，這是由於發射面上各部份發射不均勻，以致塗面各部份的溫度亦有高低。

在熱度最高點，塗面立即受害。在直熱式陰極板上，這種熱點現象，且可產生熔化的破壞。不過當陽極電壓不高時，這種危險性亦大減。

發射體的發射效率亦是一種相當重要的特性。照普通的方法，發射體的熱度全用通電流的一法，所以發射電流必與供熱所需的電力有密切的關係。這可用戴維森(Davison)坐標制曲線表示，圖4.6就是一例。用這曲線

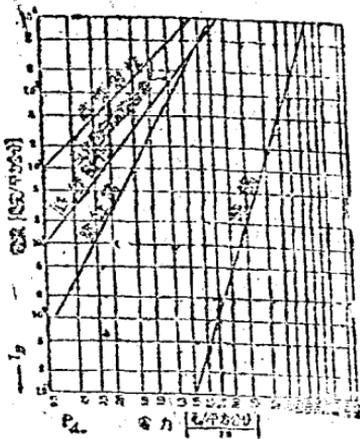


圖4.6 發射特性曲線

繪製發射曲線，能平直無彎曲。如果發射特性曲線向下屈折，原因有：  
：（一）與斯忒藩波爾次曼定律（Stefan-Boltzmann's Law）不符。（二）陽極電壓太低，不能吸收全部電子。（三）電子氣化消耗熱量，其量是  $I_s \omega$  瓦，其中  $I_s$  是發射電流（安）， $\omega$  是功函數（伏）。  
又如果特性曲線向上屈折，原因有：（一）真空不佳，有氣體游離作用。（二）電子電流產生發熱作用。

發射的飽和現象已經一再提出。現在須再根據發射體的資料說明。  
• 普通情形下，由李查森公式（公式4.11）已可以計算最大的電子電流。  
• 純鎢發體的飽和現象比較顯著，但是氫化面發射體却有異常的情形，原因亦很簡單，因為：（一）氫化面發射體的製造方法及壽命對於功函數及A值（見公式4.11）的影響最大，以致數值的變化亦大。（二）當電壓增加時，發射體表面的電場隨之增加。結果氫化面的電解作用亦在繼續不斷之中，純鎢（或鋇）原子因之就能無限供應，電子電流自然隨之增加，飽和現象亦不再發生。在這種情形下，李查森公式實在祇能規定最佳安全的工作限度。

發射體的詳細情形，不是本書篇幅所能包括全盡。所以，如對更高深的學理有特別興趣時，請參閱電子或真空管的書專。

## 第五章 電子管 (一)

### 5.1 基本二極管

電子管(Electronic Tube)是無線電的心臟，一切無線電的通信、廣播、或其他應用，完全賴電子管巧妙而正確的運用。電子管中以真空管(Vacuum Tube)的用途最是廣泛。電子的發射則經陰極加熱後產生。最簡單的真空管中祇有二部份，就是陰極(Cathode)及陽極(Anode)，或名屏極(Plate)。陰極發射電子，陽極吸收電子，這是二極管(Diode)。

在二極管中，陰極占中心位置，外圍是屏極(真空管中，概將以屏極名詞代表陽極)。假使這二極管是傍熱式(Heater Type)，陰極或管形，中心還有絲極(Filament)。絲極通電流後，就能供給陰極所需的熱度。當陰極及屏極間接一電池時，如果電池的正負極配接不錯，電子電流就能自陰極流到陽極。這電流量與陰極的溫度成正比，與屏陰二極間的電壓差亦成正比。所以，溫度不變時，屏陰二極間的電壓差(或可說是屏極電壓，Plate Voltage)，直接就控制屏極電流(Plate Current)。這種特性可用曲線代表。圖5.1就是二極管屏極

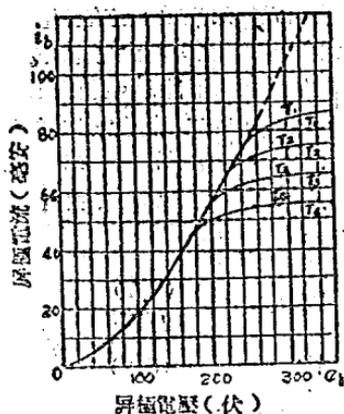


圖5.1 二極管的  $e_b - i_b$  特性曲線

電壓( $e_b$ )及屏極電流  $i_b$  的聯繫圖示。在飽和狀態發生前，不論電壓如何，電流及電壓總是循查爾特定律，照  $3/2$  冪的關係變化。飽和時，(可以由於電壓的飽和或溫度的飽和)，所有陰極發射的電子，已經全被吸引到屏極。純鎢陰極的飽和現象比較顯著，氧化面陰極則不然(見第4.7節)。圖5.1中，各曲線代表各種不同工作情形下的  $e_b - i_b$  特性。陰極熱度的不同，可改變絲極或陰絲極的電流，在正常工作情形下，屏極電壓必低於飽和

值，俾真空管的壽命可不受影響。

二極管所受的電壓幾乎總是交流性。屏極的吸引電子，自然僅能在交流電壓波的半部份，就是說，屏極電壓必須高於陰極。這種單向(Unidirectional)電流或整流(Rectification)特性，對於二極管的應用，關係極大。一切檢波及整流原理均根據這種特性而化出。將分章詳細分析。圖5.2就是整流特性的代表。圖中屏極電流已變成脈動性電流，不論屏極電壓是否正弦波，屏極的輸出電流總是非正弦波。

當二極管同時有直流電壓及交流電壓時，上面三種情形亦必同時配合發生。直流電壓 $E_b$ 產生一直流電流 $I_b$ ，不受交流電壓的影響。如果疊加的交流電壓(週率可高，亦可低)是 $e_p$ ，則在直流電流上必亦疊加一交流電流 $i_p$ 。實用上，交流部份比較重要，直流電壓則決定工作點(Operating Point)的位置，根據這二類的關係，二極管電路的常數亦可求得。

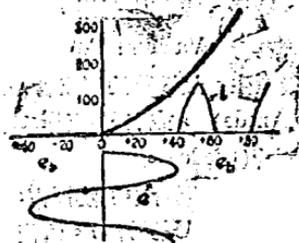


圖5.2 二極管的整流特性圖示

在電路中，二極管有二種重要的常數，就是直流電阻，或名靜電阻(Static Resistance)，及交流電阻，或名動電阻(Dynamic Resistance)。直流電阻是總直流供電電壓與直流電流的比數。這直流電阻並不是一固定值，因為在特性曲線上，電流是電壓的 $3/2$ 冪。直流電壓較低時，直流電阻較高；電壓增高時，直流電阻反而降低。這直流電阻在電路中與二極管串聯。假使這電阻值已知，則二極管所有的直流電流亦能根據基本歐姆定律(Ohm's Law)推算。至於動電阻(或交流電阻)是直流電壓小量變化所產生小量電流變化的等值電阻(直流電壓可用疊加小量交流電壓而變化)。用公式表明，就是

$$R = \frac{E_{bb}}{I_b} \quad \text{歐} \quad (5.1)$$

及 
$$r_p = \frac{de_b}{di_b} \quad \text{歐} \quad (5.2)$$

其中 $R$ 是二極管的直流電阻(歐)； $E_{bb}$ 是加在二極管的直流供電電壓(伏)； $I_b$ 是 $E_{bb}$ 所產生的直流電流(安)； $r_p$ 是二極管的交流電阻(歐)

$di_b$  是微小的電壓變化(伏)； $di_b$  是電流的小量變化(數)。交流電阻亦不是一個固定值，理由亦如上述。工作點(直流電壓)愈低，交流電阻愈大，反之則愈小。交流電阻是二極管對交流電訊電壓(Signal Voltage)的有效電阻值，其值可異於直流電阻。關於這種常數的應用，將在檢波及整流二章中詳細說明。

## 5.2 三極真空管

三極管(Triode)是二極管內增加一柵極(Grid)而成。柵極的位置在屏極及陰極之間，柵極通常維持一負電壓(就是比陰極電壓低)，藉以控制屏極電流。所以柵極應該是控制柵極(Control Grid)的簡稱。柵極本體並不吸收電子，在一般情形下，柵極自然無消耗。

根據上章的學理知道，陰極發射的電子是受到屏極電壓靜電場的作用，而被吸收到屏極。在飽和情形發生前，靜電場愈強，屏極電流亦愈大。現在三極管中的柵極電壓低於陰極，柵極電場亦與屏極電場恰反。結果在二種電場的組合作用下，陰極所受到的有效靜電場亦受到控制。圖5.3 就是真空管內部各極照圓柱形構造的靜電場圖。這

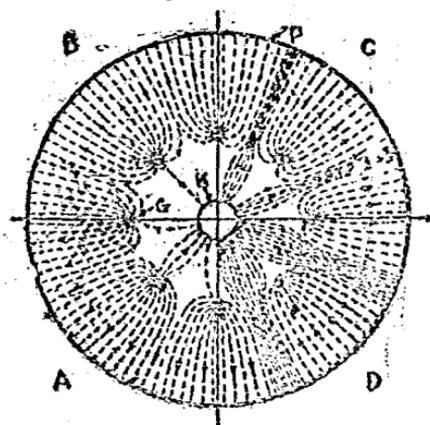


圖5.3 三極真空管內部各極照圓柱形構造的靜電場圖(A)負極電壓極高(B)負極電壓極低(C)負極電壓等於零(D)偏壓是正值

圖分四部份，每一部份代表一種柵極電壓的影響。圖中虛線就是靜電場力線，箭頭代表電子的流向。假使柵極的負電壓極大，所有力線必定止於柵極。屏極及陰極間亦無直接的電場。圖5.3 A就是這種狀態的圖示。陰極各部份的力線，從其箭頭的方向可知電子是在倒流。結果屏極電流必是零值。柵極的負電壓再有增加，屏極的作用仍是零。在屏極電場中止有效的臨界點(Cr-

tical Point)，就是屏極的斷絕 (Cut-off) 值。假使柵極的負電壓降低到較小的數值 (低於斷絕值)，屏極二極間就可有一部份的靜電場力線能越過柵極負電壓的控制，而達到陰極。由於電子的流動，屏極亦可有電流，這是圖5.3 B 所示的情形。柵極負電壓再減時，陰極受屏極電場作用的區域愈增，屏極電流亦能比照增加。當柵極電壓低於陰極時，電子的動能必須能克服柵極上的反電場，電子方能達到柵極。普通情形下，電子的原始速度較低。當柵極的負電壓極近零值時，例如不足1伏時，柵極方始有電流，但仍極小。如果真空管內部仍雜有氣體 (量可極小)，即使柵極電壓是一負值，柵極亦或可在陽游子電流。迨柵極電壓減到零值時 (圖5.3 C)，陰極表面上全無反電場作用。不但屏極的電流可以大增，電子的原始速度還能使少數電子碰撞到柵極而生柵極電流。圖5.3 D 是柵極在正電壓時的電場力線分佈情形。屏極二極所具電場疊加後，陰極所受的加速作用有增而無減。屏極電流大增外，柵極的電流亦已經不再是小數量。假使真空管內部各極的排列不是圓柱形時，靜電場力線的分佈情形亦是一樣，不過化導得之。

三極真空管的空間電流 (Space Current)，因同時受屏柵二極電場的作用，上章所介紹的查爾特定律 (公式4.15或公式4.11) 不加改正即不能適用。改正方法亦很簡單，就是將三極管改成一等值的二極管。在這種方法中，另加一放大因數 (Amplification Factor) 以表示屏極電壓及柵極電壓對於電子吸引的有效程度。根據上段所述的種種，柵極電壓的電子控制程度，比較屏極電壓控制有效。現在暫不討論放大因數 (通常用  $\mu$  代表)。不過可以簡單說，在控制電子立場上，柵極電壓比屏極電壓有效  $\mu$  倍。假使柵極電壓是  $e_b$  伏 (總值)，屏極電壓是  $e_c$  伏，則對於吸收陰極電子的等值有效電壓  $e_e$  (伏)，將是

$$e_e = \frac{e_b + \mu e_c}{1 + \mu} \quad \text{伏} \quad (5.8)$$

其中  $\mu$  是放大因數 (嚴格說， $\mu$  代表屏極放大因數)，代入公式4.15 得

$$I_s = 2.34 \times 10^{-6} \frac{1}{(1 + \mu)^{3/2}} \frac{A(e_b + \mu e_c)^{3/2}}{d_g^2} \quad \text{安} \quad (5.4)$$

其中  $I_s$  是總空間電流 (安)，亦是陰極電流； $d_g$  是柵極及陰極間的距離

公分)；其餘各值分別已有說明。這公式與公式4.15比較， $e_b$ 已由 $(e_b + \mu e_c)$ 代替。此外還有一因數 $1/(1 + \mu)^{3/2}$ ，或者公式5.4可寫成：

$$I_B = 2.84 \times 10^{-6} \left( \frac{\mu}{1 + \mu} \right)^{3/2} \frac{A(e_c + e_b/\mu)}{d_g^2} \quad \text{安} \quad (5.5)$$

結果亦是一樣。公式4.16亦可用公式5.3代替 $e_b$ 值化導， $r$ 亦由 $r_g$ 代替，這 $r_g$ 是柵極繞組的半徑(公分)。所有各公式中的陰極流 $I_c$ 是屏極電流 $I_b$ 及柵極電流 $I_c$ 的總和。當柵極在負電壓時， $I_c = 0$ ，所以不嚴格的說，陰極電流 $I_s$ 亦等於屏極電流 $I_b$ 。

三極真空管中，柵極及屏極對於電流控制程度不同。所以，柵極電壓的小量變化，必能產生較大量的屏極電流變化。這就是三極管最重要的放大(Amplification)特性。一切真空管電路能夠簡化，亦是為此。三極管的用途本極廣泛，不勝枚舉，不過在工作速率增加後，(例如在射電速率)，真空管內各電極間的潛佈電容已不可再忽略。現在，除非另加電容的中和(Neutralization)設備，三極管已不再用作射電放大管，另以四極管(Tetrode)或五極管(Pentode)代替。本章及以後各章均將隨時有補充的說明。

### 5.3.5 三極真空管的基本常數及特性曲線

三極真空管的特性通常可由三種基本常數代表。這三種基本常數為放大因數、動屏極電阻(Dynamic Plate Resistance)、及柵屏互導率(Grid-plate Transconductance)。這種常數對於真空管工作的分析，關係極大，助益最多。不過這種常數因真空管的構造及工作點而異，本節中所討論的各種常數雖專指三極真空管而言，但在事實上，任何一常數均可普遍應用在各種多極(Multigrid)真空管中。

討論放大因數前應先介紹 $\mu$ 因數。 $\mu$ 因數在廣泛的定義下是在電流不變的條件下，真空管內二電極電壓變化的比數，其他各極的電壓則保持在額定值。這是真空管內任何二電極控制電流有效程度的度量。嚴格的說，電壓的變化必須是一種極微的數量，因為電流及電壓並不直線的關係變化。 $\mu$ 因數的定義如用數學公式代表，則是

$$\mu_{jk} = - \frac{e_{j1}}{e_{k1}} \quad (dI_j = 0) \quad (5.6)$$

其中  $\mu_{ki}$  是三電極及屏極間電流控制性能的  $\mu$  數； $e_{c1}$  是控制柵極電壓的小量變化(伏)； $e_{c2}$  是屏極電壓的小量變化(伏)； $i_{p1}$  是屏極的電流(安)則保持不變。公式中一號表示三電極向相反的方向改變。

$\mu$  數最重要的一種是放大因數  $\mu$ 。用在真空管(例如三極管)控制柵極及屏極之間。照公式(5.7)及(5.8)放大因數是屏極電流保持不變時，屏極電壓小量變化與控制柵極電壓小量變化的比數。其他各極的電壓則不加改變。所以這放大因數代表柵極電壓控制屏極電流的有效性。同樣，

$$\mu = -\frac{\partial i_p}{\partial e_{c1}} \quad (d e_2 = 0) \quad (5.7)$$

其中  $\mu$  是放大因數； $e_{c1}$  是屏極電壓的小量變化(伏)； $e_{c2}$  是控制柵極電壓的小量變化(伏)。這二極電壓變化後，屏極電流  $i_p$  (安)仍舊不變。

三極真空管的動屏極電阻(簡稱屏極電阻)與二極管動屏極電阻的意義相同。這就是說，在屏極電壓(伏)保持不變時，屏極電阻是屏極電壓小量變化(伏)與屏極電流小量變化(安)的比數。用公式表示，這是

$$r_p = \frac{\partial e_2}{\partial i_p} \quad (d e_1 = 0) \quad (5.8)$$

其中  $r_p$  是動屏極電阻(歐)。嚴格來說，真空管其餘各極的電壓亦不能有變化。進一步，屏極電阻的倒數是屏極電導(Plate Conductance)。所以，

$$g_p = 1/r_p \quad (5.9)$$

其中  $g_p$  是屏極電導(漢, Mho)； $r_p$  是動屏極電阻(歐)。

在普通情形下，屏極電流對於屏極電阻的影響最大。其他屏極電壓及屏極電流的關係雖亦重要，但不極端的顯著。當屏極電流增加時，屏極電阻反而降低。實用時，屏極電阻亦可從真空管內部各電極的位置及構造計算，因為柵極上靜電場直接就受到各電極位置及構造的影響。

柵屏互導率(簡稱互導率)是三極管屏極電壓(伏)保持不變時，屏極電流小量變化(安)與柵極電壓小量變化(伏)的比數，其他各電極的電壓亦無變化。所以

$$g_m = \frac{\partial i_b}{\partial e_b} \quad (e_c = 0) \quad \text{漢} \quad (5.10)$$

其中  $g_m$  是互導係數(漢)。由公式 5.7 及公式 5.8 亦可寫

$$g_m = \mu / r_p \quad \text{漢} \quad (5.11)$$

其中  $\mu$  是放大因數； $r_p$  是動極屏電阻(歐)。近年來，互導率的應用日益廣泛，因為在正常工作情形下，放大因數常略有不同，互導率則不然，變化幾乎極微。

在大部份的真空管電路分析中，控制柵極並無電流，且除柵極二極外，其他各極的電壓亦維持固定值。所以，上述的三種常數已較一般的應用。當柵極亦有電流，而須計算相關電路特性時，相類似的各種相關常數亦屬需要。同樣得

$$\mu_g = \frac{\partial e_c}{\partial e_b} \quad (i_c \text{ 不變}) \quad (5.12)$$

$$r_g = \frac{\partial e_c}{\partial i_c} \quad (e_b \text{ 不變}) \quad \text{歐} \quad (5.13)$$

$$g_n = \frac{\partial i_c}{\partial i_b} \quad (e_c \text{ 不變}) \quad \text{漢} \quad (5.14)$$

$$g_n = \mu_g / r_g \quad \text{漢} \quad (5.15)$$

其中  $\mu_g$  是柵極放大因數 (Grid Amplification Factor)； $r_g$  是動柵極電阻 (Dynamic Grid Resistance) (歐)； $g_n$  是柵極互導率 (Plate-Grid Transconductance) (漢)； $r_g$  的倒數是柵極電導 (Grid Conductance)  $G_g$  (漢)。這裏  $\mu_g$  並不是  $\mu$  的倒數。

三極管的基本常數  $\mu$ 、 $r_p$ 、及  $g_m$  在工作情形改變時亦有變化。意思就是，屏極及柵極電壓能影響真空管的常數。在普通的情形下，真空管的工作點是其特性規範上的額定值，各常數亦就是特性規範上的已知數。假使真空管的屏極電壓及柵極電壓有單獨或同時變化情形時，或真空管工作的電壓範圍被廣時，特性規範上所列的常數已不再正確。在這種情形下，真空管各種電壓及電流間相互關係的實際表示，已是極其的需要。這是特性曲線 (Characteristic Curves)。凡真空管可能工作的範圍，已完全包括在內。照三極真空管而言，重要的變數可以是屏極電壓  $e_b$ 、屏極電流  $i_b$ 、及柵極電壓  $e_c$  三種。在平面圖上，這三種變數可以繪成三種曲線，各以變量的一種維持在固定的數值。

當柵極電流 $i_c$ 的關係亦是重要時， $i_c$ 的變量亦能與其他的變量(例如 $e_b$ 及 $e_c$ 等)配合組成特性曲線。在普通情形下，這種需要極少，所以真空管規範上常不附柵極特性的曲線。

三種真空管特性曲線共有三種，形式雖不同，意義則完全符合。第一種曲線是 $i_b - e_b$ 曲線， $e_c$ 值保持在各指定的數值。這種曲線應用最廣，通稱屏極特性曲線，圖5.4是三極管6J5的 $i_b - e_b$ 曲線圖。

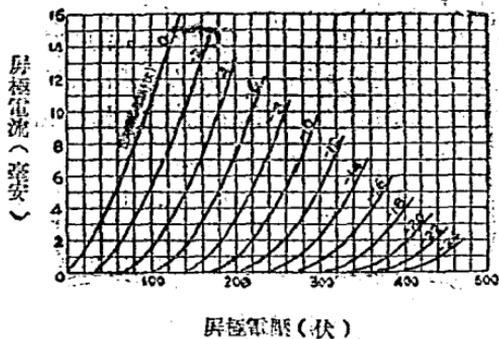


圖5.4 三極管6J5的特性曲線 $i_b - e_b$

第二種曲線的坐標是 $i_b$ 及 $e_c$ ，所以這是在各種 $e_b$ 值下的 $i_b$ 特性平均特性

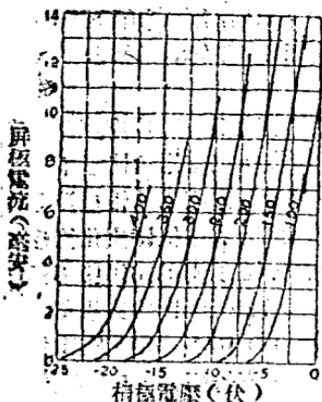


圖5.5 三極管6J5的特性曲線 $i_b - e_c$

電壓自零值逐漸減低(就是負電壓增加)在曲線上任何一點，屏極電壓、屏極電流、及柵極電壓的關係均已明白規定。至於在這指定點上，曲線斜度的倒數(照公式5.8的定義)，就是

在這點的跨屏極電阻 $r_p$ 。照公式5.10的定義，在這曲線上任何一點的斜度，必定是真空管的互導率 $g_m$ 。第三種曲線可見圖5.6。這

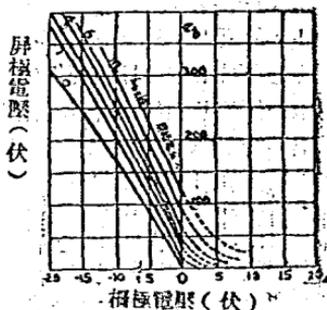
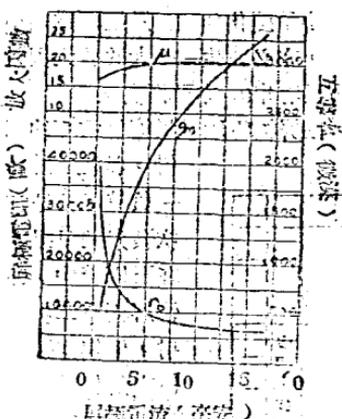


圖5.6 三極管6J5的特性曲線 $e_b - e_c$

是 $e_b$ 的曲線，其保持相同的固定值。在指定點，其斜度即該物價值(即公式5.7的定義)就是放大因數。此種曲線對於接收的用途不廣，但應用在發射管後，對於電路的分析，頗有裨益。即應用

上述各種特性曲線可以用公式5.4 (或其類似的公式)算出靜態實際應用上的度量方法最普遍及簡單(不過這是靜特性曲線(Static Characteristic Curves)不能代表真空管負荷(Load)後的工作特性。這是指真空管在電路中應用時的特性。將在分析真空管電路時再行討論。

歸的下來：(一)三種真空管基本常數是 $A_{v0}$ ,  $E_{p0}$ 及 $\mu_0$ 。(二)三種基本常數是真空管：電極電壓或電流發生小量變化時的綜合性能的代表。其他各電極的電壓(或電流)則保持不變。(三)真空管基本常數可以從真空管特性曲線化算。(四)真空管基本常數並不是固定數，圖5.7平均特性。



5.7 三極管6J5的基本常數曲線

是真空管常數變化的顯示。(五)真空管常數並不各不相關，公式5.11是各常數的連繫式。(六)三極管的常數對於其他多極式真空管亦有同樣的意義。(七)屏極常數與柵極常數間並無密切的關係。(八)所有各種靜特性曲線，形式不一，實在意義盡同。(九)當真空管內各電極的位置及構造不同時，基本常數就有變化。換句話說，真空管常數自然亦可以從電極的位置及構造計算，本書未列其算法。(十)真空管在電路中負荷後的特性，須藉動特性曲線來表示方能真確。

### 5.4 四極真空管

三極真空管的發達是無線電技術的最大進步。但是，不久即應用於音頻，原理三極管已廣泛應用。尤其柵極及屏極間之電阻，其電壓的與電阻率，其電力的關係。足以損失三極管極間的電阻。

有不規則振盪現象發生。補救辦法固可施行中和，但是根本解決的方法，則在四極管的問世。四極真空管就是在原型三極真空管的柵極及屏極間，再加一絲網狀的簾極 (Screen Grid)。所以四極真空管通常亦稱簾極管。

四極真空管中，簾極的功用是在屏極的靜電隔離。在正常工作情形下，簾極電壓略低於屏極電壓，但高於柵極電壓，自然陰極電子的一部分，必被吸到簾極而產生簾極電流，其餘的空間電子，則越過簾極再進入屏極的電場。現在屏極靜電場既幾乎全部止於簾極，屏極及柵極間的極間滑佈電容必將大量減低（二導體間有直接靜電場方能完備電容器的條件）。至於屏極電壓的變化，對於屏極電流影響亦經減低，因為電子吸引又得益於簾極。不過柵極的電流控制有效程度仍舊不變。由此可知，在柵極電壓不變時 ( $de_c = 0$ )，屏極電壓的小量變化 ( $de_b$ )，必僅產生極微量的屏極電流變化 ( $di_b$ )。根據公式 5.8，動屏極電阻  $r_p$  亦一定極高。同理，屏極電壓小量變化 ( $de_b$ ) 及柵極電壓小量變化 ( $de_c$ ) 的比數，照公式 5.7 的規定，亦必產生一極大的放大因數  $\mu$ 。所以真空管構造恰當時，四極管的互導率  $g_m$  亦可極高。

圖 5.8 是四極管 24-A 的特性曲線，在屏極電壓低於簾極電壓的部份，特性曲線是

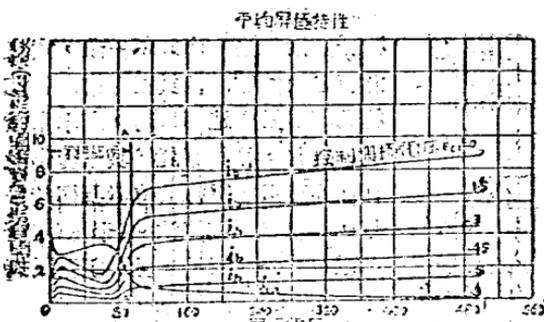


圖 5.8 四極管 24-A 的平均屏極特性曲線  
(簾極電壓 = 0 伏)

外，簾極亦需持高正電壓，情形比較複雜，但在略加說明後，亦不難知其梗概。

假使四極管的簾極及柵極各維持正常的電壓。當屏極的電壓從零逐漸增加時，簾極電壓必定高於屏極電壓（圖 5.8 中，簾極電壓是

一份，特性曲線是負值，這是二次發射的結果。在三極管中，即使屏極有二次發射，但真空管內極至屏極的電壓最高，二次發射的電子，仍將返回屏極。四極管就不同，屏極之

90伏) 簾極可以吸收大部份的電子。即使屏極電壓是零，一部分速度較高的電子亦能越過簾極而到達屏極(這時簾極電壓吸引電子)。所以在圖5.7B中，雖然 $e_b = 0$ ，屏極電流仍不是零。當屏極電壓增加的初期，屏極及簾極間電子的吸收，隨時依照電壓比例調整分配量(這時屏極的二次發射極微)。唯當屏極電壓增到相當的數值時(例如10伏)，二次電子亦大量發射，屏極電流不增而反減。因為簾極電壓較高，二次電子由屏極流向簾極，結果簾極電流大增。在二次發射現象最強時，屏極所發射的電子可以多於吸進的數目，屏極電流反有倒流現象。新式四極管的屏極已經受過處理，可以避免這種極端情形的發生。當屏極電壓將近屏極電壓時，二次發射現象開始衰減，屏極電流又有增加。當屏極電壓略高於屏極電壓時，所有二次電子仍返回到屏極。此後真空管的特性方歸正常，工作亦能穩定。歸納的說，當屏極電壓低於簾極電壓時，這是不穩定區域，不合實用的條件。在穩定區域內，屏極電壓的變化，祇能產生微量的屏極電流變化。極極電壓的改變，可以改變屏簾二極的電流量，但不能改變特性曲線的形態。在一般應用上，四極管確優於三極管，但自五極管問世後，已無新四極管出現，因為五極管有其優點，沒有其缺點，已取回極管的地位而代之。

四極管的基本常數以放大因數 $\mu$ 、動屏極電阻 $r_p$ 、及互導率 $g_m$ 為最重要，定義仍如前述。各常數亦可以由四極管靜特性曲線，根據其定義，用作圖法計算，簡單而無困難，無須贅述。此外簾極的 $\mu$ 因數亦是重要，定義是

$$\mu_{c2} = \frac{\partial e_{c2}}{\partial e_{c1}} \quad (d i_s = 0) \quad (5.16)$$

其中 $\mu_{c2}$ 是簾極的 $\mu$ 因數； $\partial e_{c2}$ 是簾極電壓的小量變化(伏)； $\partial e_{c1}$ 是屏極電壓的小量變化(伏)； $d i_s$ 是總陰極電子電流變化(安)。這是代表福板的電流控制性能。當屏極電流減低近斷絕值時，簾極的 $\mu$ 因數逐漸減低。大約簾極 $\mu$ 因數的數值，約自5至20左右不等。

當四極管的屏極電壓低於簾極電壓時，屏極發生二次電子發射現象，以致屏極電壓增加，反使屏極電流減低，特性曲線的斜度相反(見圖5.8)。故在這種情形下，真空管實在等於一負電阻。利用這種原理工作的四極管，就是負電阻管(Negative Resistance Tube)。這種

與電阻管用在放大倍格時，電路的有效電阻可獲減低，效率還有增加（在振盪電路中，與電阻管同的效能，尤為可貴。）

假使四極管極板及屏極的電壓互相交換，就是說，把極板作屏極，加正電壓，屏極用作柵極加負位電壓。極板上的負電壓，能使柵極附近的空間電荷作用減低。結果屏極電流及互導率均得提高。陰極電子的大部份已被柵極（在正電壓）吸收，其餘則逸到柵極到屏極。這種作用亦等於在三極管內將柵極移近到控制柵極。現在屏極在負電壓，對於電子有斥退的作用，所以屏極的電流狀況改變柵極的負電壓，而有增進。這是空間電荷式四極管（Space Charge Triode）的互導率雖較三極管高，但是柵極極板吸收電流，增加損失量，有利亦有弊，應用不廣。

## 5.5 五極真空管

四極真空管的最大缺點是二次發射，以致在屏極電壓低於柵極電壓時便呈不穩定的狀態（不能利用）。在放大器中，這不穩定雖然可產生少量的失真（Distortion），或起振盪現象（因有效電阻中的有效電阻下降）。換句話說，在沒有上述二種不正現現象時，真空管的電壓或電力輸出必到減低。五極管就有四極管的長處，可以在負電壓工作（因為屏對二極間的潛位電壓已大降），並無二次電子發射的缺點。所以在應用上最是流行。凡是四極管適合的工作，皆已由五極管代替。

五極管是在四極管屏極二極間再加一抑制極（Suppressor Grid）而組成。所以五極管內部有電極，由內向外，依次是：極、屏極（這二極合或陰極）、控制柵極、屏極、抑制極、及屏極。抑制極的電壓極低，常在零位，對於二次發射的抑制，最有功效。

抑制極的作用亦不複雜。根據上述所述，四極管工作原理，屏極電壓低於柵極電壓時，屏極就有二次電子發射現象，電子被吸收到柵極。假使屏極二極間的抑制極能維持極低的電壓（或負位電壓），屏極的二次電子必將受到阻止而斥回屏極，這與屏極電子受到控制柵極的作用一樣。現在二次電子的速度不快，抑制極前電場的斥退作用最為有效。反過來，陰極電子如有充分的動能，能先起退柵極到達屏極，再克服抑制極的阻止而到屏極。

當屏極電壓極低時，情形又不同。因為屏極已不再能吸引極（指在屏極的一面）產生足量的靜電場以吸引電子（除極電流以外）被吸引者在抑制極前結集成空間電荷。這空間電荷的名稱是虛陰極（Virtual Cathode）。屏極電壓愈低，虛陰極的電位愈深，類似的飽和現象乃使屏極電壓下降。換句話說，屏極電壓是屏極電壓及抑制極電壓的函數。柵極電壓及陰極電壓已不再在這部份有直接的影響。至於虛陰極所斥退的電子，又回到陰極（陰極亦吸收一部份電子）。

五極管的一般特性與四極管極是相近。簡單的說，陰極電流的控制，屏極電壓最最重要。屏極電壓的變化或增設，僅能使屏極電流發生極微量的增減。自然五極管的基本常數放大因數  $\mu$ 、動屏極電阻  $r_p$ 、及互導率  $g_m$  均極大。至於柵極的作用，與四極管內陰極作用一樣，使屏柵二極有靜電場隔離的作用，而減低極間電容，一如前述。其他大部份的四極管特性，對於五極管亦同樣正確。

五極管的特性亦可以用曲線代表。圖 5.9 是五極管 6SJ7 的特性曲線。這是四極管改良後的特性曲線，不穩定區域，已不再存在。由圖可見，陰極電流（屏極電流及柵極電流均是如此）與屏極電壓及柵極電壓的關係最是密切。僅在屏極電壓極低時，屏極電壓的影響方始顯著。結果，屏極電流亦照上述的準則而增加。五極管的用途最廣，號式亦日出不窮，但其特性則大略如此。

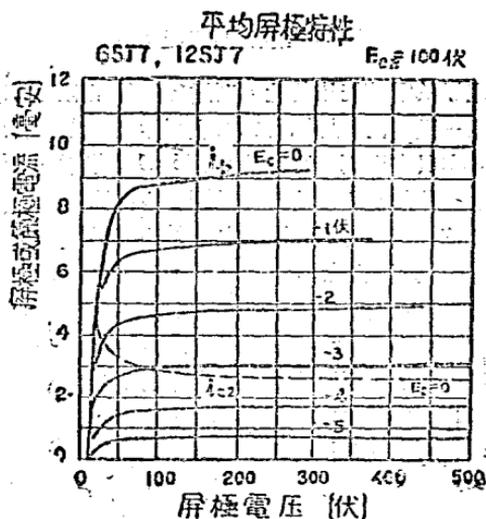


圖 5.9 五極管 6SJ7 的特性曲線

## 5.6 集射管

四極管中的電子二次發射，可利用在負電壓的控制極以斥回屏極。這是五極管的原理，上節已有簡單的介紹。實用上，二次發射亦可不利用抑制極而達到目的。這種真空管就是集射管(Beam Tube)；管中僅有絲極、陰極(或合成陰絲極)、柵極、簾極、集線屏(Beam Forming Plate)、及屏極。圖5.10是集射管的構造草圖。

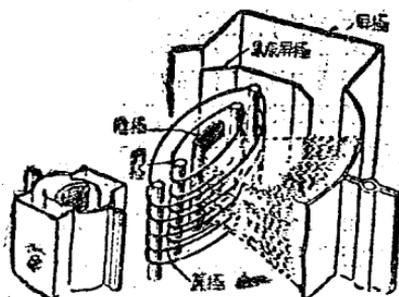


圖5.10 集射管的構造草圖

集射管的工作原理亦很簡單。當電子自陰極發射後，在流向屏極的過程中，因為柵簾二極的特種排列，可以使電子的速度逐漸減低。在某種情形下，電子的流動，且可以在屏極與簾極的中間完全停止，完成空間的荷電現象。

電子的電荷既是負性，則這種傍徨在空間的電荷，完全與抑制極的功能一樣，能將屏極的二次發射斥回原處。所以集射管中，雖無抑制極，亦具有五極管的特性。圖5.11是集射管6V6-GT的特性曲線。

集射管的特性既與五極管的特性相符，集射管的各種基本常數亦不能與四極管或五極管有異。進一步，集射管具有較大的電力靈敏度(Power Sensitivity)，所以同樣的電力輸出量，集射管祇需較小量的推駕電力(Driving Power)。屏極效率亦高，所以集射管最適合電力放大之用。

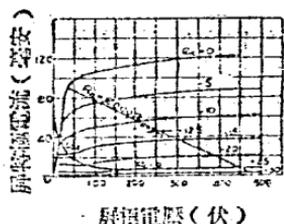


圖5.11 集射管6V6-GT的特性曲線

## 5.7 可變放大因數管

可變放大因數管(Variable- $\mu$  Tube)是四極管或五極管的一種。照普通真空管的原理，空間電流與陰極面上電場 $^2/2$ 成正比。現

在四極管或五極管內靜電場是受到柵極電壓及簾極電壓的控制，控制的程度隨放大因數  $\mu_{e2}$  而異。柵極網愈細， $\mu_{e2}$  因數亦愈大。當柵極的負電壓是公式 5.11 所規定的數值時，屏極電流亦定是零，這就是斷絕值。

$$e_{c1} = -\frac{e_{c2}}{\mu_{e2}} \quad \text{伏} \quad (5.17)$$

其中  $e_{c1}$  是屏極電流斷絕時所需的柵極負電壓(伏)，這電壓的名稱是斷絕偏電壓(Cut-off Bias Voltage)。 $e_{c2}$  是四極管或五極管的簾極電壓(伏)； $\mu_{e2}$  是簾極的  $\mu$  因數。三極管的斷絕偏電壓亦相似，就是

$$e_{c1} = -\frac{e_b}{\mu} \quad \text{伏} \quad (5.18)$$

其中  $e_b$  屏極電壓(伏)； $\mu$  是三極管的放大因數。

普通四極管或五極管的斷絕銳直，柵極偏電壓值亦適中不高。在新式接收機中應用時，自動音量控制(Automatic Volume Control)已是不可缺少的部份。每當自動音量控制發生作用時，一部份放大真空管(指射週放大器)的偏電壓大增，真空管的工作範圍，亦因工作點後移而涉及屏流的斷絕部份。這部份特性曲線最彎，結果調幅失真(Modulation Distortion)及雜跨調幅(Cross Modulation)亦在所不免。避免的方法是將四極管或五極管柵極對於空間電流的控制性能減低，使屏極電流逐漸減小，斷絕點亦能後移。這種特性是遙斷絕(Remote Cut-off)、或可變放大因數、或超控制(Super-Control)。四極管或五極管具有這種特性時，管內柵極網繞製疏密不均(中部較疏)。所以

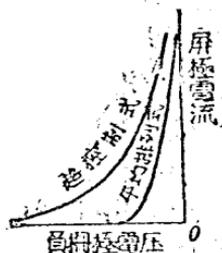


圖 5.12 變放大因數管的遙斷絕特性圖示

，即使柵極偏電壓已增到相當的數值，電子的流通仍較便利。斷絕值自然向後移，放大因數亦隨之變化。今日接收機中，射週放大管、變波管(Converter)及中週(Intermediate Frequency)放大管已全是這種可變放大因數管。圖 5.12 就是遙斷絕特性的圖示。

## 5.8 變波管及混合管

在超外差式(Superheterodyne)接收機中，第一檢波管(First Detector)的任務是將二種不同速率電波混合，而改變成所需要的中週電波。五柵極式(Pentagrid)變波管或混合管(Mixer)最適合這種工作。

五柵極式變波管是二組真空管合併在一管內，以便同時擔任變波及振盪二種工作(請用拙編超外差式收音機的精義)，利用電子耦合原理，以達變波的目的。五柵極式變波管的命名，是因為管內共有五組柵極的特殊構造(見圖5.13)。(其中第一柵極用作振盪柵極，第二柵極用作振盪屏極，於是第一柵極、第二柵極及陰極連成一振盪三極

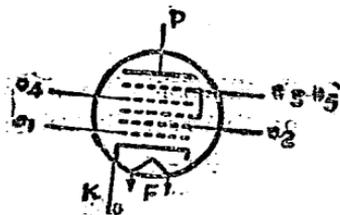


圖5.13 五柵極式變波管6A8的構造

管，不但電子有加速作用，且使第四柵極與其他柵極具有靜電的隔離，具有簾極的功效。

這種五柵極式變波管最宜應用在較低的射電速率，因為工作速率提高後，振盪輸出量則將逐漸減低。工作速率愈高，管內二部份工作的交響作用愈增。所以新式變波管的構造並不相同。在這種管內，第一柵極仍是振盪柵極，第二柵極及第四柵極(簾極)在管內連成一極，管內振盪屏極及變波柵極。第三柵極即為變波柵極，位在第二柵極及第四柵極之間，亦有隔離作用。第五柵極則擔任變波抑極的任務。這種變波管的特點在簾極附近的空間電子，不受外來電訊、靜電場、及電子的影響。因此，不

實際構造亦是如此，這三電極的位置最是接近，占真空管的最內部。管陰極發射電子被吸到屏極(變波屏極)時，即因振盪現象，使電子率照振盪速率發生變化。這電子到達第三柵極(變波控制相極)時，外來電訊又疊加在已有變化的電子羣上，變波的任務亦告完成。管內第三柵極及第四柵極連在一起

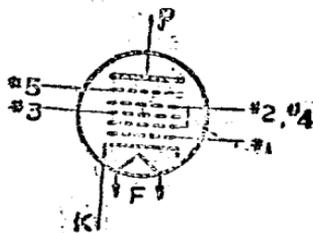


圖5.14 五柵極式變波管6SA7的構造

但控制相極上的射週電壓不能影響空間電子，即損壞輸出週率，亦不因有自動音量控制改變偏電壓而蒙受影響。6SA7就屬這一類，圖5.14是變波管6SA7的代表圖。

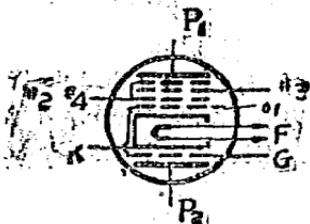


圖5.15 特種變波管6K8的構造

第三種變波專用管是三極管及六極管照特殊構造配合組成（見圖5.15）。在這種變波管中，三極管部份担任振盪工作。其中振盪柵極又與變波混合柵極（第一柵極）在管內連合。六極管中，其他各極的作用分配如下：第二柵極及第四柵極是簾極，第三柵極是控制柵極。此外尚有屏極及柵極（與三極管共一陰極）。至於真空管的內外隔離，且任六極管的抑制極。在這種變波管中，三極管的振盪輸出，能傳達到六極管中的混合柵極（第一柵極），並在電子吸引到屏極路程中，照外來電訊的週率變化，中週電波亦能獲得。這類變波管在振盪屏極電壓變化時，週率的移動較小，亦適合較高射週的應用。

混合管因不担任振盪工作，可以在較高的射週週率段工作。在混合管內亦有五柵極，與普通的五極管比較，僅多一柵極，以便振盪器的輸出量可以導入混合。外來電訊加在第一柵極，振盪電訊加在第三柵極。所以屏極電流能同時照二種電訊的組合週率變化。第二柵極及第四柵極成簾極，第五柵極是抑制極，在管內與陰極聯合。這種真空管有6L7，管內構造可參見圖5.16。

變波管及混合管的工作效能，可藉變波互導率（Conversion Transconductance）以表明。這是中週變壓器初級的中週電流，與加於中週變壓器初級的射週電壓的比數。所以，變波互導率與普通真空管的互導率略有不同。變波互導率通常用 $g_c$ 代表，圖5.17

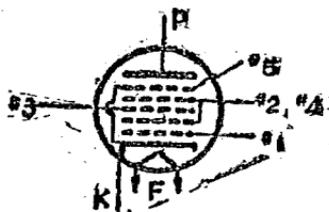


圖5.16 混合管6L7的構造

是變波管6SA7的變波互導率的工作特性曲線。

## 5.9 各種多極多組管

近年來無線電技術的進步，可說是盛極一時。真空管的用途亦與日俱增；各式原型真空管不敷應用，於是又有各種多極式 (Multi-electrode) 真空管的設計。在應用的便利及經濟立場上，亦有將原型管二只以上合成一管，這是多組式 (Multi-unit) 真空管。這種真空管內，

工作特性

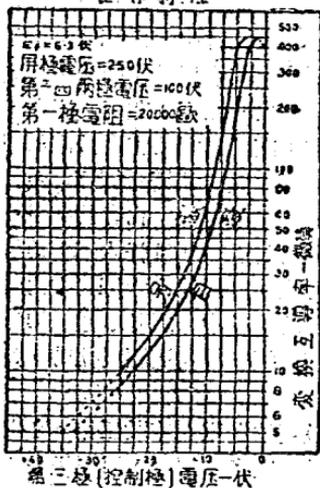


圖 5.7. 變波管 6SA7 變波五極率的工作特性曲線

其餘各種各式的真空管在第 7.6 節詳細列出，可供選用的參考。總之，變化雖多，基本工作原理則不外本章所介紹的各點。

各組的陰極 (或陰絲極) 大多共用，其他各極則名不混。工作時，一管可以同時担任二項以上的職司，不起干擾現象。多極組管的種類管多，現選列幾種，以供參考：

雙二極極 (Twin Diode) — 6H

6 (檢波用)，5U4—G (整流用)

三極管連雙二極管 (Duplex—Diode Triode) — 6SQ7

三極管連二極管 (Diode Triode) — 1H5—G1

六極管連三極管 (Triode—Hexode) — 6K8

八極管 (Octode) — 7A8

五極管連整流管 (Rectifier—Pentode) — 12A7

## 第六章 電子管 (二)

### 6.1 氣體管的特性

在普通的電子管內，氣體的密度已經減低到最低的限度。雖然絕對的真空狀態不能獲得，管內電子與氣體分子碰撞的可能性，實在已經極微，所以真空管的工作很簡單。在氣體管中，情形不同而極複雜。電子及氣體互相碰撞，電荷交錯轉移，以及其他現象，無不使氣體管的工作學理神祕莫測。

當電子在氣體分子間運動時，氣體壓力的影響極大。大約氣壓愈低，碰撞愈烈，亦愈容易。如果在陰陽二極間的電壓或距離增高，結果亦是一樣。所以氣壓、電壓、及距離的調節，能任意改變電子及分子間的碰撞程度。碰撞的結果，顯然是電能的轉移。不過電子的動能，仍須大於通稱的第一臨界電壓 (First Critical Potential) 的數值時，方有這種現象。例如在汞氣中，電子的能量必須是4.66伏。在氬氣中，第一臨界電壓是16.60伏，氣體分子受到電子動能的轉移後，在極短的時期後(約達 $10^{-8}$ 秒)，就放出輻射光(Radiante Light)，波長根據分子放出的能量。迨能量發出後(一次或多次放盡)，分子立刻回復原態，又能再受碰撞。所以這亦說明氣體管發光的原因。

假使電子因碰撞而能轉移的電能極大，情形又有不同。氣體分子的電子，亦可被撞而脫離分子本體，這時分子即成荷陽電的游子。這種游離現象亦需相當的能量，根據實驗及度量，游離所需的電能是：汞氣，19.33伏；氬氣，21.47伏。其他氣體分子游離的電能亦是常數。已知游子是一荷電體，在電磁場中，自然亦能運動，產生電流。不過游子質量極重，運動速度既然很低，電流亦不能大。在普通的真空管中，氣體極微，游子電流亦沒有影響(即使有影響亦很微弱)。

當氣體的游離現象極顯著時，氣體即呈放電狀態，這就是氣體對於電流所具的電阻已經大量減低。這時一定有弧光(Arc)或輝光(Glow)發生。氣體放電本是一種複雜的現象，對於電子管的工作及應用極其重要。放電性質略有不同，普通分湯森放電(Townsend Discharge)、輝光放電(Glow Discharge)、及弧光放電(Arc Discharge)

三種，各有特點，分析如下：

**湯遜放電**的游離程度極小。普通情形下，任何一種中性（未經游離）的氣體受到宇宙射線（Cosmic Rays）或放射性的輻射（Radioactive Radiation）時，就能局部游離，放出一部份的自由電子。這種自由電子就能在氣體中二電極間通電，其量則極微弱，通常不達 1 微安。如果氣體管外由鉛質密封，宇宙射線不能侵入，游離亦不能發生，這時氣體亦幾乎是一種純粹的絕緣體。一般的說來，湯遜放電並不能自己維持，所以亦無實際重要性。

假使在氣體管二電極間加施高電壓，管內本來存在的少數電子，亦將因為動能的增加，碰撞氣體分子，增加游離的程度，電子數目亦隨之有增而無減。於是電子產生游子，游離產生電子。這種程序繼續不斷的演進時，電子及游子的結集密度亦大增。當然同時亦有去游離（De-ionization）的傾向，電子又與游子組合，還原成原型的中性氣體分子。不過游離現象可以極大，去游離還是存在，電子及游子仍能大量產生。

當這種滋生程序繼續到達相當的程度時，每一自由電子就有再生現象（Regeneration），這時氣體管的放電作用亦能自己維持，除去電極間的電場外，不再受其他外界的影響。換句話說，如欲放電能自己維持，電子的滋生必不能取自氣體的游離。通常電極的發射最是重要，供給必需的電子。氣體管中，陰極附近結集的游子，就能使陰極放出自由電子。游子碰撞陰極後，自然能產生二次電子發射。又如果這種碰撞能使陰極發熱到相當程度時，熱游子發射作用亦能產生自由電子。此外如光電效應都是有助於電子的供應。但其數量總須賴電子的再生現象，方能維持放電。在這時，氣體是在通電（Breakdown）的狀態。

假使氣體管放電的電流限制到若干毫安時，這種放電就是輝光放電，特點有：（一）氣體內電阻極高，及（二）陰陽二極間的電壓降亦高，約有幾百伏之數。當放電的電流提高後，游離作用愈趨劇烈，陰極的電子發射亦隨之大增。這時氣體的放電已變成弧光放電，特點是：（一）氣體溫度大增；（二）陰陽二極間的電壓降減低，約達 10 伏到 20 伏左右；（三）電流量可以提高到幾千安之數，全視氣體管外部的電阻量。

氣體通電的電壓，與氣體的壓力有莫大的關係。照物理上原理，減低氣壓可使電子的自由路程 (Free Path) 增加。結果由於電子動能的增加，氣體分子的游離現象必定亦隨之加劇。換句話說，氣壓的降低，直接可以減低氣體通電所需的電壓。不過氣壓再下降後，電子的動能固有增加，分子的數目却有更大量的減少，結果碰撞的機會祇有減少而不見增多，游離程度自然亦隨之下降。所以氣壓極低時，氣體的通電電壓反而需要增加。在增減比例恰當時 (即是說，氣壓減到相當的程度)，氣體通電電壓有一最小點，這就是最小通電電壓。進一步，照潘新定律 (Pascheu's Law)，在任何一種氣體中，不但氣體的種類及發射體的資料對於游離有關係，氣體的通電電壓，實在是氣壓及電極距離乘積的函數。如果二極間的電壓不變，氣壓加倍，電極距離必須減半，方能發生通電狀態。通電電壓，就根據這二種數值的乘積而增減。

氣體管的電流控制法亦有不同。簡單的說，電流是有極變量的函數，而大部份因數間的關係已有介紹。唯當陰陽二極間的電壓達到相當數量時，陰陽二極間的通電現象即可起問題而產生。電壓移去，通電亦告終止。事實上，這種通電的起止亦需要時間，所以有游離時間 (Ionization Time) 及去游離時間 (De-ionization Time) 的存在，普通從 1 微秒到 1000 微秒之久。氣體管應用的範圍，因此亦受到極大的限制。至於柵極控制電流的方法，比較切合實際，唯控制的範圍不大。當柵極電壓相當高於陰極時，自由電子的能量可以達到游離，放電作用亦隨之發生。但是放電狀態成立後，改變柵極電壓，已完全不能控制電流。其他關於氣管的特怪，將在下列二節再有補充的說明。

普通真空管中，不宜有餘剩的氣體。這種餘剩的氣體，對於真空管是有害而無益。陽游子的流向與電子相反，所以總是直趨到陰極柵極。陰極受到碰撞，能使陰面對射性減低或消失，以致真空管的壽命直接受到嚴重的影響。柵極受到游子後，由於柵極電流的發生，以致柵極電路中可以串聯的最大電阻受到限制。至於空間電荷，在游子存在時，亦因其不規則現象而生雜聲。一言蔽之，真空管中不宜有氣體。

## 6.2 整流管

無線電機件中，電源供給是真空管生命的根源。一部份電源的供給，須由交流變或直流，這是整流。整流所用的電子管，可以是真空管，亦可以是氣體管。大體說來，整流管是二極管，管內僅有陰屏二極。電子的發射，則根據熱游子發射原理。在氣體中，構造不變，僅多加汞氣，或其他氣體。

整流管工作的重要條件是電子發射量較大。所以普通整流管的陰極面積亦就較大，屏極是用金屬或石墨製造，俾大量的屏極電流不致發熱過度。陰屏二極間的電壓降，則根據氣體的種類而略有高低。汞氣管中，在不同的溫度下，工作電壓在導電時約自5伏到20伏。氖氣管及氦（Helium）氣管的電壓降約自20伏到25伏。

普通電子管中祇有電流自陰極到屏極。當屏極是在負電壓時，導電現象立刻停止，這是正常的工作現象。假使屏極所受的負電壓極高，雖然屏極不是電子發射體，亦將有導電現象存在。所以電子能由屏極流到陰極。這種現象實際上並不希奇，根據上節所述的事實，早知在氣體中任何二電極在高電壓下總有導電作用。所以在實際應用上，這種現象使屏極所能耐受的負電壓受到限制，最高的負電壓約是二萬伏。嚴格的說，這種反弧（Arcback）通電作用，與氣體亦有關係。氣體管的氣壓必須盡量減低，在陰極的齒離外，不俾屏極亦有同樣的通電作用。在汞氣管中，氣壓本是密度的函數，所以工作溫度的範圍極狹，大約是從攝氏20度到70度左右。這種氣體管的缺點，就是整流工作的限度。

整流管的額定值就是工作的限度。整流管中（氣體管或真空管）所通過的，不是電壓就是電流。所以整流管的主要額定值有：

（一）最大顛反電壓（Maximum Peak Inverse Voltage）是在無反弧現象時，屏極所能耐受的瞬時最大負電壓。在整流電路中，這種顛反電壓與交流輸入電壓的有效值（均方根值）及直流輸出電壓的關係是各整流電路的特徵。實際應用上，電源中的浪濤、電浪（Spurge）或波形失真（Wave Form Distortion）常可使實際的屏極電壓高於正弦波的巔值。所以顛反電壓是指應用時的實際值。

（二）最大顛屏電流（Maximum Peak Plate Current）是在正常導電方向，整流管所能流通的最高瞬時電流的額值。這最高額定值是陰極發射量及電流間的函數。電路的常數亦有變化的影響，不可忽視。

不然，屏極就有熱度過高而損壞的危險。這種額定值亦稱為太瞬時屏極電流。

(三)最大平均屏極電流 (Maximum Average Plate Current) 是整流管的最大可能通過的平均電流，在用固定負荷時，這是指整流後的直流電流。負荷常有變化時，這額定值須取全部工作時間內的平均值，大約平均電流僅及巔值的四分之一。

(四)氣體管的陰極受熱時間 (Cathode Heating Time) 亦是一重要的額定值。假使陰極在未達規定的溫度時，就將屏極高電壓加上。陰極向熱游子發射的電子數目，必定極低而不足夠。結果，由於冷陰極發射及二次發射等作用，游子的碰撞遂能損傷陰極的發射性能，實非所宜。所以氣體管必有陰極受熱時間的規定。這受熱時間大約在幾秒鐘或幾分鐘之譜。在極大的氣體管中，這陰極受熱時間亦可達一小時之久。

汞弧 (Mercury Arc) 整流管是氣體整流管的一種。管內陰極是由水銀(汞)代替。優點有：(一)汞弧陰極不需供熱，節省陰極電力。(二)汞弧陰極幾乎能耐受無限制的過量負荷。(三)載流量可以極大。(四)無折舊作用，無須換新器。所以在極大電流的整流工作，例如10安以至於5000安，汞弧整流管最是適宜。這時整流管亦可不取管形構造，而由鐵殼製成。不過汞弧整流管並不能自動開始，所以常在管內另加一電極或着火器 (Igniter)，輔助電弧的開始。開始所需電壓約可達200伏，電流亦可最高達40安。幸而所需的時間極短促，不及50微秒。因此所需的電力亦不足一瓦。通常汞弧整流管的巔電流極大，可較平均電流大數十倍，唯其顛反電壓極低，常不足1000伏。電弧的電壓降亦大約是10伏。在實用上，汞弧的熱度是整流管的電流限度。現在汞弧整流管的應用日見廣泛，唯本書限於篇幅，不克詳細介紹。

真空整流管的應用亦極多。在小電力的接收機中，電源整流器不少均屬於這一類。真空整流管的工作特性，在大體上與氣體整流管相同。所以一切電壓及電流的額定條件亦同樣的重要。其餘在第十八章內再分析。

### 6.3 電樹管

電樹管 (Thyratron) 亦是氣體管的一種。在無線電通信上的用

途並不極，但是對於近代工業的自動控制，確有極大的助益。電柵管中，除陰屏二極及必需的氣體外，還多一柵極擔任放電開始的控制工作，用途的廣泛，亦就在此。不過一般的特性，與前述的無異。

電柵管中，柵極的功用已經指出，就是放電開始的控制。不過放電現象一經存在，柵極等於廢物，全無用處。柵極的效用大約如下：根據第6.1節所討論的氣體通電原理，管內必須先有充分的游子，從電子的再生現象，就能通電，並且能自維持放電。反過來，游子仍須由電子與氣體分子碰撞後方能游離產生。現在電柵管的柵極電壓，對於陰極面的靜電場有直接的影響，電子的動能，自然能自由控制。所以游離的程度及通電的起始，不難有正確的節制。

當電柵管的游離現象開始時，陽游子就被吸到陰極，對於電子動能有極大的影響。假使柵極亦在負電勢，一部份的游子將在柵極結集。這種結集在柵極四週的游子，不但產生柵極電流，且使柵極與其他部份發生有效的隔離。當柵極負電壓再有增加時，柵極四週的陽游子包層，將愈結愈厚，隔離性能亦將愈加有效，柵極的作用必致消失全盡。唯如柵極維持在正電壓，柵極的游子包層將隨柵極正電壓的增加而減低。在柵極電壓極高時，這種結集游子的現象亦將消失，不能存在。這時柵極的控制作用極微，因為陰極面所集游子的影響較顯著。簡短的說，在電柵管開始放電後，柵極就毫無用處。至於放電的停止方法，是將屏極電壓除去或減至極小（約10伏）。柵極電壓的增減，祇能產生上述的現象，不能停止電柵管的放電。

電柵管在通電前，屏陰二極間的電流極微。唯當柵極電壓達到適當的數值時，屏陰電流驟然大增，放電立刻開始，同時屏陰二極間的電壓亦立刻降低。這種放電開始時，電流驟增的原理並不複雜。在放電開始前，全靠電子得自陰極受熱後的發射作用，與普通真空管的工作情形無異，所以亦是空間電荷限制屏極的電流量。迨游離放電後，游子因其運動速度較低，亦能在電柵管陰極附近中和大部份空間負電荷。當熱電子運動通暢後，屏極電流自然能大量驟增。同時屏陰二極間的電壓降，亦因空間電荷的中和作用而大減。

電柵管在工業控制時所受到的最大的限制是其工作的速度。電柵管游離大約需時50微秒（或不足這數），尚不算多。但是在放電停止時，去游離時間常達1(0)微秒之久。結果高速度工作在每秒5000次以上

時，去游離時間不能不先加考慮。現一電柵管每秒鐘工作次數（完全放電循環數）已可達1000000次，較之真空管的速度（每秒10<sup>3</sup>次）固不如，但是與普通的繼電器比較，實在是一種高速度的自動控制器。

柵極電流亦是電柵管工作的阻礙因素。這種柵極電流是由陰極電子及游子所合併產生，不論在放電前，或放電後，這種電流都是有害的。因為在至少的限度，被電柵管控制的電路必須能供給柵極的額外電力消耗。現在電柵管亦有取無柵管的情造。因為四極電柵管的柵極線小，柵極電流亦能比較微小。至於簾極電壓的改變，亦同樣能改變電柵管的特性，對於新舊電柵管特性的差別，亦能減到最小的限度。

氣體的管的工作額定值（見上節）對於電柵管亦是同樣重要。所以額定電壓（最大反極電壓）及電流（最大峯電流及最大平均電流）的額定值，及陰極受熱時間的規定，都具有同樣的意義。此外，屏柵二極間的最大前向電壓（Maximum Peak Forward Voltage）亦甚重要，這是防止屏柵二極間發生放電作用的安全限度，大約這壓電壓的額定值可自500伏到10000伏左右。

最後補充一句：電柵管的控制效率視屏柵二極的電壓及管本身的構造設計而異。在屏極電壓高時，放電的開始比較容易。在屏極電壓不變時，柵極電壓是實際控制的媒介，關係亦最大，不論控制電壓是正或是負（視電柵管的構造而異），柵極必須達到恰當的電壓，方能使放電起始。這種起始電壓是電柵管特性的一種，控制的有效程度亦取決於此。

## 6.4 陰極射線管

圖6.1是陰極射線管的構造圖。在管頸部先有陰極，受熱後就有電子的發射，與普通電子管的工作情形一樣。第一陽極的電壓極高，



圖6.1 陰極射線管的構造圖

電子被吸引而穿過圓柱形柵極上的小孔。這柵極的電壓可以控制射過的電子數，結果螢光面（Fluorescent Screen）因電子數目不同，亮暗明亮度

亦起變化。柵極最近陰極，控制的靈敏度亦最高。所以柵極電壓的增減量達 20 伏時，螢光面的光點，亦可由最亮改到最暗無光的程度。

電子射線又先後經過第一陽極及第二陽極第一陽極的電壓約達幾百伏，任務是使電子結集，不因各電子負電荷的互斥作用而疏散。第二陽極的電壓更高，常達幾千伏之數，第二陽極的目的是使電子射線加速運動及在螢光面集焦 (Focusing)。螢光面是陰極電子射線最後的目的地。這是在漏斗形玻璃管的擴大端，表面略形彎曲，因此射線在表面任何一點，均能保持固定的集焦距離。當電子射到這白色矽酸鋅 (Willemite) 或其他原料的螢光塗面後，就因螢光作用而生綠光。螢光的明亮程度，則視射線中電子的數目及其能量 (亦是速度) 而有不同，螢光原料不同，光色亦不同。

根據第 4.2 節的原理可知，電子射線可以用靜電場或電磁場將運動的方向略加改變。在陰極射線管中，這種電子射線的偏向極其重要，使電子線能移螢光面上的任何一點。在圖 6.1 中，偏向屏共有平片二對，成直角相交，擔任偏向的任務。在應用電磁偏向法的陰極射線管中，偏向屏就不存在。

螢光面塗層所發光色，在普通的應用時，並無極大的關係。但在電視接收機中，射線管顯影面仍以用黑白二色最是適宜悅目。現在已有一種混合質，能發出白色螢光。說到能量效率，白色不及綠色，因為在光譜上，多數的能量已經消耗在人類感覺不靈敏的波長段內。大約可見光最大的能量發射，僅及電子輸入能量的百分之五。

最後新發明一種放映式 (Projection) 陰極射線管，能作電視放映之用，所得的影像約可達三呎長及四呎寬。光線略帶奶色，不過映面愈大光度愈弱。現在放映式所用的高電壓約達 10000 伏，電子發射亦極強烈。螢光面反而極小 (約是 2.4 吋  $\times$  1.8 吋)，俾所得的影像能放大後映出。這種放映射線管的螢光面不免受到極劇烈的碰撞，壽命較短，這是最大的缺點。

陰極射線管亦可用作接收機調諧指示用。這是利用螢光面電子射線所占面積判別調諧狀況。這類射線管有 6E5、6N5、6U5/6G5 及 6A F6-G 等數種。其中除 6A F6-G 僅配二組指示射線控制電路，並無三極管部份。照這種指示管的構造，螢光面位在正電壓，能吸收電子的發

射，使螢光面發出綠色螢光。在陰極及靶極 (Target) 之間，尚有一射線控制極 (Ray Control Grid)。當控制極的電壓低於靶極時，電子即受到靜電場的阻斥，以致位在控制極後面的螢光面即無電子的衝撞，不能發光，視之則是一暗影。當控制極的正電壓遠不及靶極電壓時，暗影的面積可達 100 度。迨控制電壓增高到靶極電壓值時，暗影面積可以完全消滅。

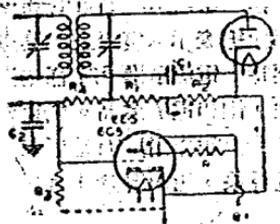


圖 6.2 陰極射線管指示電路

應用時，陰極射線指示管直接與接收機的第二檢波器 (Second Detector) 耦合 (見圖 6.2) 圖中三極管的柵極與自動音量控制柵極相連，所以與檢波器的輸出有密切的關係。至於控制柵的電壓，則取決於柵極電壓，因為每當三極管的屏極電流通過電阻  $R$  時，就能產生控制電壓。事實上，控制電壓增加 (正向) 乃由於屏極電流的增加，致使電阻  $R$  產生較大的電壓降 (控制極電壓遂行下降)，結果暗影展開。反之，柵極電壓下降 (負向)，螢光面的暗影亦必縮狹。在接收機中，負值的自動音量控制電壓直接接到指示管的柵極。在調諧正確時，自動音量控制電壓最大 (這是負電壓)，根據上述的原理，螢光面的暗影必是最小。去諧時，暗影隨增，所以適合調諧指示之用。

## 6.5 光電管

光電發射效應早已在第四章中介紹，現在將實用光電管的工作特性，略加分析。

光電管的陰極亦是電子的發源地，陰極面經氧化塗層，功函數極低，俾光照後能發射電子。這類光電子由屏極吸收，產生極小量屏極電流，擔任各種控制用途。光電管內可以是真空，或含小量的氣體。

陰極最重要的特性是光靈敏度 (Luminous Sensitivity) 及光譜響應。光靈敏度是說明光強度與電子發射量的關係，普通陰極每一流明 (Lumen) 光度的發光靈敏度，大約最小不及 1 微安，最多亦可有 100 微安。這種微小的電流，在應用上即有極大的困難，所以光電管的檢

出，必定先加放大後才能利用。

光電子發射與光色亦有極大的關係。在理想的條件下，光電子的發射量，須不因光色而有高低的差別。事實上，一般的陰極對於紫外線（週率較高）特別靈敏，僅有功函數較低的陰極，對於紅光（週率較低）能有較佳的靈響。

根據藍格意 (Langmuir) 定理：真空光電管屏極電流是屏極電壓  $3/2$  幕的函數。氣體光電管受游離的影響，就無這種簡單的關係，通常光電管的電流及電壓關係，亦可以用曲線表示。實際上，真空光電管受到飽和作用，以致僅在極低的電壓時，電流是順  $3/2$  幕定律。光照的強度亦有極大的關係，就是光愈強，飽和電流愈高。氣體光電管的飽和電管範圍較狹，因為電壓再增後，游離作用反而產生大量的電流。不過電壓過高，亦將產生氣體放電現象，能影響陰極的發射性，應在避免之列。

光強度與光電子電流的關係亦是光電管重要工作特性的一種。簡單的說，在固定的屏極電壓下，真空光電管的電流與光強度（流明）成直線比例。電壓增減，對於電流量的改變極小，且仍不失直線的比例。氣體光電管的特性就不同，屏極電流已不與光強度成直線比例。原因亦很顯然，氣體管除光電發射外，還有二次發射及游離作用等混合的作用。不過在任何情形下，光強度不宜大於2或3流明，以免陰極受傷。

光電管的構造與普通電子管不同。光電管中，陰極須接受光線的照射，所以陰極面積常極大，或成方形，或彎成半圓形。屏極的電流極小，其體形遂可以是一細線。至少屏極不致是陰極的光線障礙。屏陰二極間的絕緣性能極重要，因為屏極電流極微，屏極供電的漏電，自然有嚴重的影響。一部份光電管的發射料是塗在玻璃管內部（僅留一小部份不塗，以便光線能自由射入），俾陰極面積大量增加，屏極則置在管中心，吸收電子。

## 6.6 電視攝像管

剖像管 (Image Dissector) 是范世桓 (Farnsworth) 氏所發明圖 6.3。圖 6.3 就是其解剖圖，影像先經普通的透鏡集焦到陰極面，於是影像上光亮的單位面積，能產生較多的電子發射（見上節）。活

度減弱，光電發射亦照明暗的比率而減少。剖像管屏極的電壓較高，吸收光電發射量。假使在這光電子罩（射線）截取一薄片，則在電子

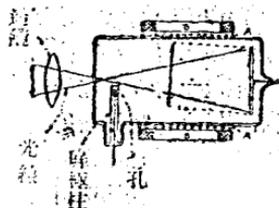


圖6.3 電視剖像管的構造圖

密集的部分，必定是明亮的影像。反之，在電子疏散的部分，一定代表影像的黑暗區域。圖中所示的集焦線圈AA與剖像管體同軸排列，其磁場遠與電子射線方向平行，可以避免電子射線的發散現象，這與陰極射線管第一陽極的功用相同。線圈B

及B'串聯相接，線圈軸則與剖像管相垂直。當這一線圈有電流通過時，就能產生上下偏向作用。此外再有平行線圈一對，與線圈B及B'互成直角，產生左右偏向。當電子組成的影像移近陽極柱時，一部分的電子穿進孔洞而碰撞到屏極柱內的小靶（見圖6.3）產生電訊電流。已知電子羣先經偏向，所以照射到屏極孔的電子像，依次是影像的每一單位面積，這是分像（Scanning），對於傳遞電視影像極重要。這種剖像管的靈敏度極低，改良後的新型剖像管，利用構造特殊的感光嵌面（Mosaic），上有極多小孔。當管內電子發射器（Electron Gun）產生的電子碰撞到這感光嵌面時，引起大量的二次電子，一部分的電子通過嵌面上的小孔而成電訊電流。影像照在嵌面產生陽電荷，所以感光嵌面能控制通過嵌面的電子數目，與三極真空管柵極的功用相似。

電視攝像器的另一種是

茲華錫氏（Zworykin）所

發明的攝影管（Iconoscope）。

主要部份是一嵌面，上面

塗有無數的鍍質感光銀泡，

每成一微小的光電管（見圖

6.4）。所有攝影管的電子

發射、集焦、以及偏向等部

份的構造，與陰極射線管無

異。所以電子射線可以射到

嵌面上任何一點。分像工作

亦就此完成。照現在的標

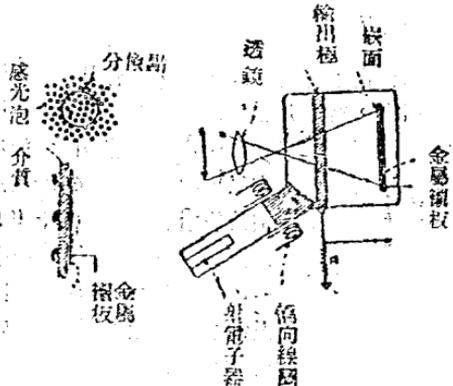


圖6.4 電視攝影管的構造圖

準，一全影像必分成 441 射線小面積，正鑿銜接，需時僅  $1/30$  秒，其速可知。

攝影管產生電流電流的機構程序亦很簡單，影像光經過適當的透鏡，集焦到嵌面。當嵌面受到光線，就有光電子從嵌面上每一小單位面積發射出來，銀泡受光強（指影像在這一部份是明亮部份），電子發射數多。銀泡受光弱（指影像在這一部份是黑暗部份），電子發射數少。現在攝影管內面是一銀質塗面，電勢高於嵌面，所以是陽極，而能吸收電子。假使進一步研究，電子離開嵌面，就能使嵌面的電荷量減少。現在嵌面及金屬板間既有絕緣介質（見圖 6.4），亦是一小電容器。這時自然有充電作用，惟其量則根據在規定時間內電子發射數（亦就是影像的明暗程度）而異。當陰極射線射到嵌面時，每一小電容器亦就依次放電，放電電流量及經電阻  $R$ （見圖 6.4）的電流，則是光照強度的正比例。

褚氏攝影管的靈敏度遠勝基本式的范一氏割像管，因為各微小電容器繼續充電而有蓄電作用。所以割像管的光電電訊電流，祇得自一個單位面積所需的分像時間（約 0.13 微秒）。攝影管則不然，在同樣一個單位面積的分像時間中，攝影管僅將在全部分像時間內所儲蓄的電荷放出。結果攝影管的靈敏度高於割像管至少有幾千倍之多。

• 新型攝影管利用二次發射作用，靈敏度又高十倍以上。

## 6.7 特種電子管

特種電子管的型式衆多，各有其專門的用途或特性，茲將其常用在通信者，略予介紹一二。

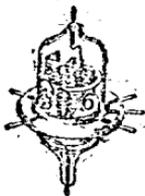


圖 6.5 橡實形真空管外形圖

超高週的應用，近年來已有增而無減，且週率又日益增加，400 兆週的試驗已經沒有困難。但是普通真空管的內極間電容及各種引線的電感關係，均不合超高週率的應用。橡實形真空管（Aerotron Tube）能勝任各種任務，因為其內極電容及電感均極微小。這種真空管的一般特性與普通式真空管相同。現在已有多種橡實形真空管問世，可担任各種工作，其唯一的缺點是電力極小。圖 6.5 就是橡實形真空管的狀態圖。

假使真空管安置在一電場中，在特種的情形下，真空管屏極電流還可以由磁場控制。這種真空管的名稱是電磁管 (Magnetron)，構造亦略有不同。陰極占其中心，屏極環繞在陰極的四週，真空管的外面是電磁線圈，電磁管的組織草圖可見圖 6.6。假設在尋常工作情形下，磁場不存在，電子一定因向直線發射到陽極，電子的多少，視屏

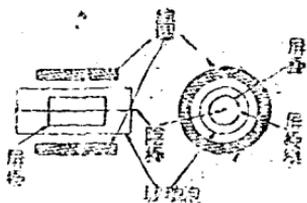


圖 6.6 電磁管的組織草圖

極電壓而定，大概與二極管特性相似。如果電磁場由零逐漸增加，可使電流路線受到磁場之力而有曲折，不過電子仍舊被吸到屏極，屏極電流亦未受到影響，且保持其原有的數量。荷一旦磁場強度大增，超過臨界值，則電子一定受力曲折過甚，仍舊折回陰極。在這種情形下，屏極電流亦降到零。電磁管用途不廣，主要的應用是做超高速電波的發生。

電子倍增管利用電子的二次發射特性。圖 6.7 是電子倍增管的構造草圖。管中有二組電極，就是陽極及陰極。這管中二次發射所得的電子，不但發生倒流或干極現象，且能補助更多電子的產生工作。當電子倍增管各極的電壓正確加上後，每二電極間因有電壓差而產生電子的發射及吸引。不過電子的吸引，受到磁場的控制，並不能連次一屏極，而直趨次一陰極。碰撞的結果是二次電子的發射，於是一而再，再而三，自第一陰極到最後的屏極，電子愈增愈多。至於實在的電子數目，則與陰極特性及倍增的級數有密切的關係。這種電子倍增管的前途遠大，因為極微的電流，可用這樣簡單的方法增加到極大的數值。

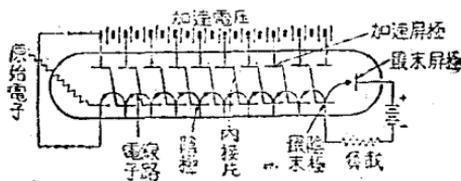


圖 6.7 電子倍增管的構造草圖



## 第七章 電子管規範及分類

### 7.1 接收管新廠定額的標準

電子管的規範是電子管有用限度，各製造廠對於電子管的額定值，亦照一定的標準規定。下列標準是美國無線電製造業協會新規定者，各式接收管（Receiving Tube）均適合這標準。

#### （一）絲極

真空管規範上所規定的絲極電壓，如果未經註明，均是其正常值。所以變壓器或絲極電路中的電阻，必須在平均供電電壓及全負荷工作的條件下，使真空管的絲極（或陰絲極）能達到額定的電壓。真空管內絲極（或陰絲極）在設計時，對於有限量的絲極（或陰絲極）電壓漲落，已經預計在內。所以絲極（或陰絲極）電壓的小量降低，並不致於減低電子的發射而影響工作效率。同樣，供電電壓路高時，絲極（或陰絲極）亦不致於進入不良的狀態，影響真空管的壽命。

（1）1.4 伏電池式真空管——絲極（或陰絲極）供電可以取自乾電池、蓄電池、或市電。當應用乾電池時，如果乾電池的額定端電壓是 1.5 伏，絲極（或陰絲極）就可以直接接到乾電池的二端。或者多數同樣真空管的絲極（或陰絲極）亦可串聯而接到電池組的二端。在任何情形下，加到每一 1.4 伏絲極（或陰絲極）的電壓不能超過 1.6 伏。若用蓄電池或市電供電時，同樣真空管的絲極亦能加以串聯，最重要點是使真空管在規定的工作情形下，每一 1.4 伏絲極（或陰絲極）的電壓降，必須維持在 1.25 伏及 1.4 伏之間，其正常的中心電壓可以是 1.3 伏。在蓄電池供電時，蓄電池每一節的端電壓應是 2.0 伏或 2.2 伏（就是同時又實施充電）。市電供電時，正常的市電電壓應當是 117 伏或 220 伏\*。

（2）2.0 伏電池式真空管——這類真空管的絲極（或陰絲極）的端電壓應當是 2.0 伏。在任何情形下，所用的電壓必須維持在 1.8 伏及

\*吾國各地電廠的電源電壓，大多數是 200 伏到 240 伏之間。現在吾國無線電接收機的標準電壓尚未規定。編者建議，暫以 220 伏作設計及应用的標準。

## 2.2 伏的限度內。

### (二)高壓電壓

供電電壓的變化既不能避免，真空管規範上所列的最高額，乃是根據經驗而酌定的設計中心電壓 (Design Center Voltage)。當這設計中心電壓與各種供電電源配合時，意義如下：

(1) 交流及直流電源——這種電源的設計中心電壓是117伏或220伏。所有規範上的屏極電壓、簾極電壓、消耗量 (Dissipation)、及整流輸出電流的最大定額，都是設計的最大值，不能超過之。

(2) 蓄電池——應用蓄電池時，所有屏極電壓、簾極電壓、消耗量、及整流輸出電流不能超過額定的最大值，而每一節蓄電池的端電壓則是2.0伏。如果同時充電，每一節的端電壓增到2.2伏。所用最大值僅能達上述各款定額百分之九十。

(3) 乙電池組——乙電池組的設計中心電壓就是各乙電池組的正常額定電壓，就是45伏、90伏等。在電池組任何電壓情形下，屏極電壓、簾極電壓、或消耗量，概不能超過規範上各最大值百分之十。

(4) 簾極定額——當簾極電壓得自一串聯的降壓電阻器時，最大的簾極額定電壓可以超過之。但是在各種電訊情形下，最大的簾極消耗仍概不能超過額定值。同時在最大電訊時，最大簾極亦不能超過額定值。所以在這二種條件下，簾極供電電壓亦可提高到最大屏極電壓 (但仍不能大於這額定值)。

(5) 消耗定額——當真空管用作甲類放大管時，最大屏極消耗發生在「無電訊」(Zero-signal)條件下。當輸入電壓的端電壓與偏電壓相等時，簾極消耗方達到最大值。乙類放大管在輸入電訊電壓達最大值的百分之63時，屏極消耗達到最大值。事實上並不盡然，最大屏極消耗點可以發生在任何的輸入電訊電壓，變波管的最大屏極消耗是在「無電訊」條件下，同時由於週率的改變，振盪器的屏電壓必須在最後小值。電訊電壓在相當的範圍內變化時，簾極消耗不能超過額定值百分之十。

(6) 工作規範——每一真空管的規範上均附有工作規範 (Typical Operation) 數值。這種工作規範可以供選用的參攷，並不是最大值。實際上，真空管在最大額定值範圍內可作各種不同的應用，不受工作規範的限制。

## 7.2 發射管基本廠定額的標準

發射管的基本廠定額標準，亦與接收管的廠定額標準相同。簡單地說，正常市電電壓及規定的工作條件下，絲極（或陰絲極）的供電端電壓必須就是額定值。實際上，由於電源電壓的漲落及其他原因的變化，除經特別規定外，均不能超過規定額 $\pm 5\%$ 。

發射管絲極（或陰絲極）的供電，交流或直流均可應用。通常以交流供電比較簡便，這時，柵極回路及屏極回路，均須連接到絲極（或陰絲極）供電變壓器的中心點。直流時，各回路均須接到絲極（或陰絲極）的負端。

如果真空管規範本是根據交流條件而規定，在絲極（或陰絲極）供電改用直流時，這真空管原定的柵極偏電壓，必須減去額定絲極電壓的半數。共同點亦改在絲極（或陰絲極）的負端（用交流時，共同點是絲極變壓器的中心點）。

在發射管的規範上，一部份數值是最大值。如果顧及真空管的壽命及工作性能起見，這種最大值亦應是不能超過的最大限度。所以，在普通的工作情形下，其由於電源電壓、負荷、及製造上所產生的可能變化，必須預先詳知。換句話說，在普通的工作條件下，平均的設計值不能超過規範上的最大值。

每一最大值必須與其他的最大值配合應用，所以在任何情形下，不能有一項數值超過最大的額定值。例如一發射管用作乙類射週於大器時，直流屏極電壓的最大值是 1250 伏，直流屏極電流的最大值是 150 毫安。同時屏極直流滲入的最大值是 150 瓦。由此可見，採用 1250 伏最大屏極電壓時，屏極電流必須減低，這樣滲入電力可以保持在 150 瓦最大值內，同理，屏極電流是 150 毫安時，屏極直流電壓亦須降低。

每一真空管的工作規範並不是其最大值。所以這真空管在其最大值限度內用作其他適合的應用時，亦能得到所辦的輸出電力。在各種情形下，電力的輸出僅是一種約計值。換句話說，這是屏極直流滲入與屏極消耗的差數。計算實際有用的輸出電力，尚須先將電路中的損失量扣除，所以輸出量並不當作額定值論。

三極管及四極管担任乙類及丙類射週於大器時，直流柵極電流及

推壓電力，可因負荷電路中阻抗的不同，而有較大的變化。在高阻抗的電路中，柵極電流及推壓電力必經提高，以得所需的輸出電力。低阻抗電路中，柵極電流及推壓電力亦須減低，但是屏極電路的效率亦低。通常推壓級 (Driver) 屏極中諧振電路的調節 (Regulation) 須良好，輸入電力亦須大於實際的推壓電力。

美國 RCA 公司對於該公司所出的空氣冷式發射真空管，於 1939 年改用雙定額制，以適合各種用途，效率亦能增加。這雙定額是根據起商用 (CCS 或 Continuous Commercial Service) 與業餘及斷續商用 (ICAS 或 Intermittent Commercial and Amateur Service) 二種。

斷續商用制的額定值就是原有的最大定額。優點有 (1) 工作可靠，及 (2) 真空管壽命較長。業餘及斷續商用制的額定值對於輸入直流電力已經提高，有用的輸出電力亦可較高。在這種情形下，真空管的壽命不免受到影響。但是無線電器材的設計，各方面的關係極多，例如最大電力輸出、費用、體積、及重量等項，常須同時兼顧。所以發射機根據 ICAS 制而用較小的真空管時，成績亦可很優。

### 7.3 優選式接收管及其特性規範

美國 RCA 公司鑒於真空管程式日增，製造及選用均感困難，乃於 1949 年選出真空管 31 種 (最初是 26 種) 稱作優選式真空管 (Preferred Tube)。目的在節省物資，增加品質，對於儲備及選用亦能簡化。這種優選式真空管已經足敷各種接收機設計的應用，其號碼是：

#### (一) 整流管

5U4-G 5Y3-G 6X5-GT 25Z6-GT 35Z6-GT

#### (二) 指示管

6U5/6G5

#### (三) 變波管

1A7-GT 6SA7 12SA7

#### (四) 電壓放大器

(1) 單組：1N5-GT 6AB7 6J5 6SF5 6SJ7 6SK7 12SK7

(2) 雙組：6SC7 12SC7

(3) 連二極管：1H5-GT 6B8-G 6SQ7 6SR7 12SQ7

## (五)二極檢波管

6H6

## (六)電力放大管

3Q5-GT 6F6-G 6K6-GT 6V6-GT 25L6-GT 35L6-GT 50L6-GT

優選式真空管的規範詳列如下，以便參攷應用。

## 1A7-GT——五柵極式變波管——1A7-GT

## 特 性

|                               |         |
|-------------------------------|---------|
| 絲極電壓(直流)                      | 1.4 伏   |
| 絲極電流                          | 0.05 安  |
| 控制電容                          |         |
| 第四柵極及屏極電容                     | 0.4*微法  |
| 第四柵極及第二柵極電容                   | 0.25*微法 |
| 第四柵極及第一柵極電容                   | 0.12*微法 |
| 第一柵極及第二柵極電容                   | 1.5 微法  |
| 第四柵極及其他全部電極電容(射週輸入電容)         | 7.5 微法  |
| 第二柵極及其他全部電極電容(第一柵極除外)(振盪輸入電容) | 4.0 微法  |
| 第一柵極及其他全部電極電容(第二柵極除外)(振盪輸入電容) | 3.2 微法  |
| 屏極及其他全部電極電容(變波輸出電容)           | 10 微法   |

(\*緊貼式隔離罩接到絲極的頂端)

## 變波管規範

|                 |           |
|-----------------|-----------|
| 屏極電壓            | 90 伏(最大值) |
| 屏極電壓(第三柵極及第五柵極) | 55 伏(最大值) |
| 燈絲供電電壓          | 90 伏(最大值) |
| 振盪屏極電壓(第二柵極)    | 90 伏(最大值) |
| 燈絲額定電流          | 3 毫安(最大值) |
| 工作規範            |           |
| 屏極電壓            | 90 伏      |
| 絲極電壓            | 45 伏*     |
| 振盪屏極電壓(第一柵極)    | 90 伏      |
| 控制柵極電壓(第四柵極)    | 0 伏       |
| 振盪屏極電阻          | 20000 歐   |
| 屏極電流            | 0.55 毫安   |

|                    |        |
|--------------------|--------|
| 廠極電流               | 0.6 毫安 |
| 振盪屏極電流             | 1.2 毫安 |
| 振盪柵極電流             | 35 微安  |
| 總陰極電流              | 2.4 毫安 |
| 屏極電阻               | 0.6 兆歐 |
| 變波互導率              | 250 微漢 |
| 變波互導率(控制柵極 = -3伏)約 | 5 微漢   |

(1A7-GT 振盪部份的互導率是600微漢。工作條件是：屏極電壓，90伏；廠極電壓，45伏，控制柵極電壓，0伏；振盪屏極電壓，90伏；振盪柵極電壓，0伏)

(\*\* 最好從90伏屏極電源用70000歐降壓電阻器，再配適當的旁路電容器取得這低極電壓。)

### 裝置及應用

1A7-GT 適合標準八腳式管座(G-7Z)。方向位置不受限制。真空管在應用時必須有完全隔離，以免各級間的耦合干擾作用。

1A7-GT 的絲極可以直接接到1.5伏的乾電池端。同式(1,4伏式)真空管的絲極，亦能與1A7-GT 的絲極串聯供電，僅若干絲極須另加並聯電阻器，使其餘真空管的屏極電流經過這部份絲極時，得到適當的通路。在應用並聯電阻器工作時，每一真空管絲極必須維持在1.4伏額定值。顯然，這種並聯電阻器對於絲極電流不同時，亦有調整的功效。至於1,4伏式真空管絲極的並聯串聯接法，並不適宜。因為有一絲極損壞時，其他絲極的電壓有過量的危險。

在超外差電路中，1A7-GT 可以用作變波管。當自給的本地振盪率與射電速率混合時，就可產生所需的中間速率。這管中，二屏極的電壓均須高於廠極電壓。在15兆週以下，1A7-GT 可以配用普通的振盪線圈。振盪柵極所用的電阻亦不受嚴格的限制，但受到廠極電壓及振盪屏極電壓的影響，設計時需要正確的調整。在正常工作情形下，陰極電流必須盡量調節到2.4毫安。至於控制柵極及絲極負載間所需加用的電阻，至少應在1兆歐以上。

第四柵極及屏極間的電容量與屏極負荷中的電容及電感互相並聯，所以屏極負荷中所用的電容必須極大，以免在負荷端產生射週電壓。假使這種條件不加关注，則屏極及第四柵極間的射週回線，能產生去再生(Degeneration)作用。因此實用上，屏極電路中負荷電容量必須大於50微法。

### 1H5-GT—高放大因數三極管連三極管—1H5-GT

特 性

|          |             |
|----------|-------------|
| 絲極電壓(直流) | 1.4 伏       |
| 絲極電流     | 0.05 安      |
| 三極管極間電容  |             |
| 柵極及屏極電容  | 1.0 微微法(約計) |
| 柵極及絲極電容  | 1.2 微微法(約計) |
| 屏極及絲極電容  | 5.0 微微法(約計) |

三極管——甲類放大管規範

|      |           |
|------|-----------|
| 屏極電壓 | 90 伏(最大值) |
| 柵極電壓 | 30 伏      |
| 屏極電流 | 0.15 毫安   |
| 屏極電阻 | 240000 歐  |
| 放大因數 | 65        |
| 互導率  | 275 微漢    |

二 極 管

除陰極外，1H5-GT 的三極管及二極管能各自獨立工作。二極管的屏極位置在絲極的負端。

裝置及應用

1H5-GT 適合標準八脚式管座(G-5Z)。方向位置不受限制，絲極的工作條件見 1A7-GT。

由於高放大因數，這真空管中三極管部份適合電阻電容耦合(Resistance-Capacitance-Coupled) 電路工作。唯這三極管並不能用二極管偏電壓(Diode Bias) 電路。因為，即使在較小的電訊電壓加到二極管電路時，三極管屏極電流有趨向斷絕值的可能。

1N5-GT——射週五極放大管——1N5-GT

特 性

|               |                |
|---------------|----------------|
| 絲極電壓(直流)      | 1.4 伏          |
| 絲極電流          | 0.05 毫安        |
| 極間電容          |                |
| 柵極及屏極電容(遠隔聲罩) | 0.007 微微法(最大值) |
| 輸入電容          | 3.2 微微法        |
| 輸出電容          | 10.0 微微法       |

甲類放大管規範

|      |           |
|------|-----------|
| 屏極電壓 | 90 伏(最大值) |
|------|-----------|

|                  |            |
|------------------|------------|
| 屏極電壓             | 90 伏 (最大值) |
| 柵極電壓             | 0 伏        |
| 屏極電流             | 1.2 毫安     |
| 簾極電流             | 0.3 毫安     |
| 屏極電阻 (約計)        | 1.5 兆歐     |
| 互導率              | 750 微漢     |
| 互導率 (偏電壓 = -4 伏) | 5 微漢       |

### 裝置及應用

1N5-GT 適合標準八脚式管座 (G-5Y)。方向位置不受限制。絲極工作條件見 1A7-GT。

這真空管的屏極電壓及簾極電壓均是 90 伏。在這種工作條件下，1N5-GT 用作射頻或中週放大管時，效率可達最高的限度。在應用自動音量控制的電路中，這種真空管祇能受到較小程度的控制，以免接收機的靈敏度在強大電訊輸入時，有過分的降低現象。

## 3Q5-GT——集射電力放大管——3Q5-GT

### 特 性

|             | 絲極串聯 | 絲極並聯       |
|-------------|------|------------|
| 絲極電壓 (直流)   | 2.8  | 1.4 伏      |
| 絲極電流        | 0.05 | 0.1 安      |
| 屏極電壓        | 90   | 90 伏 (最大值) |
| 簾極電壓 (第二柵極) | 90   | 90 伏 (最大值) |
| 柵極電壓 (第一柵極) | 4.5  | 4.5 伏      |
| 屏極電流        | 7.5  | 9.5 毫安     |
| 簾極電流        | 1.0  | 1.6 毫安     |
| 屏極電阻 (約計)   | 0.11 | 0.1 兆歐     |
| 互導率:        | 1800 | 1100 微漢    |
| 負荷電阻        | 2000 | 1000 歐     |
| 總諧失真        | 7.5  | 7.5 %      |
| 最大電訊電力輸出    | 250  | 270 毫瓦     |

### 裝置及應用

3Q5-GT 適合標準八脚式管座 (G-7AQ)。方向位置不受限制。

這真空管的絲極可以串聯，將第二脚 (+) 及第七脚 (-) 接到二個串聯乾電池的二端。這時，第八脚留空不接。或者，這絲極可並聯接到一個乾電池的

二端，這時第八腳是負極，第二腳及第七腳接合成正極。其他絲極工作條件見 1A7-GT。

3Q5-GT 可以照上列的規範担任單管甲類放大管。唯所用的輸入耦合部份，不能在柵極電路引入大量的電阻。所以，變壓器或阻抗的耦合法比較適宜應用。

### 5U4-G——全波高真空整流管——5U4-G

#### 特 性

|          |       |
|----------|-------|
| 絲極電壓（交流） | 5.0 伏 |
| 絲極電流     | 3.0 安 |

#### 全波整流規範

|  |             |
|--|-------------|
| 最大電壓   | 1550 伏（最大值） |
| 最大屏極電流（每一屏極值）  | 675 毫安（最大值） |
| 工作規範（配電容器輸入式濾波器）                                     |             |
| 每一屏交流屏極電壓（均方根值）                                      | 450 伏（最大值）  |
| 每一屏總有效屏極供電阻抗   | 75 歐（最小值）   |
| 直流輸出電流   | 225 毫安（最大值） |
| 工作規範（配電感器輸入式濾波器）                                     |             |
| 每一屏交流屏極電壓（均方根值）                                      | 550 伏（最大值）  |
| 濾波器輸入電感量   | 3 亨（最小值）    |
| 直流輸出電流   | 225 毫安（最大值） |
| （*當濾波器輸入電容量大於40微法時，屏極供電阻抗必須大於上列的最小值，否則屏極電流可以限制到額定值。） |             |

5U4-G適合標準八腳式管座（GT-5T），真空管應直立，在必需位置時，第一腳及第四腳須在垂直方向。

### 5Y3-G——全波高真空整流管——5Y3-G

#### 特 性

|          |       |
|----------|-------|
| 絲極電壓（交流） | 5.0 伏 |
| 絲極電流     | 2.0 安 |

#### 全波整流管規範

|          |             |
|----------|-------------|
| 最大電壓     | 1400 伏（最大值） |
| 每一屏極屏極電流 | 375 毫安（最大值） |

## 工作規範 (配電容器輸入式濾波器)

|                  |              |
|------------------|--------------|
| 每一屏交流屏極電壓 (均方根值) | 350 伏 (最大值)  |
| 每一屏總有效屏極供電阻抗*    | 10 歐 (最小值)   |
| 直流輸出電流           | 125 毫安 (最大值) |

## 工作規範 (配電感圈輸入式濾波器)

|                  |              |
|------------------|--------------|
| 每一屏交流屏極電壓 (均方根值) | 500 伏 (最大值)  |
| 濾波器輸入電感量         | 5 亨 (最小值)    |
| 直流輸出電流           | 125 毫安 (最大值) |

(\*當濾波器的輸入電容量大於40微法時,屏極供電阻抗必須大於上列的最小值,俾屏極電流可以限制到額定值。)

## 裝置及應用

5Y3-G適合標準八脚式管座(G-5Y)。真空管應直立,在必需橫置時,第二脚及第七脚須在平橫的方向。5Y3-G在應用時必須有良好的通風情形,以免受熱過度。這管絲極可用降壓變壓器供給所需的交流電壓。在市電的平均電壓是117伏或220伏時,絲極端的電壓須是5.0伏。

## 6AB7/1853(金)——電視五極放大管——6AB7/1853(金)

## 特 性

|                |                 |
|----------------|-----------------|
| 絲極電壓 (交流或直流)   | 6.3 伏           |
| 絲極電流           | 0.45 安          |
| 極間電容 (隔離罩接到陰極) |                 |
| 柵極及屏極電容        | 0.015 微微法 (最大值) |
| 輸入電容           | 8 微微法           |
| 輸出電容           | 5 微微法           |

## 甲類放大管規範

|          |              |
|----------|--------------|
| 屏極電壓     | 300 伏 (最大值)  |
| 簾極電壓     | 200 伏 (最大值)  |
| 簾極供電電壓   | 300 伏 (最大值)  |
| 柵極電壓     | -3 伏 (最小值)   |
| 總屏極及簾極消耗 | 4.4 瓦 (最大值)  |
| 簾極消耗     | 0.63 瓦 (最大值) |
| 工作規範     |              |

## 應用固定簾極供電

|      |     |          |       |
|------|-----|----------|-------|
| 屏極電壓 | 300 | 應用簾極降壓電阻 | 300 歐 |
| 柵極電壓 | 0   |          | 0 伏   |

|                |        |           |
|----------------|--------|-----------|
| 陰極供電電壓         | 200    | 300* 伏    |
| 陰極串聯降壓電阻       | —      | 3000Ω 歐   |
| 柵極電壓           | 0.3    | —3 伏      |
| 屏極電阻(約計)       | 0.7    | 0.7 兆歐    |
| 互導率            | 5000   | 5000 微漢   |
| 柵極電壓(互導率=50微漢) | 0.18   | —12.6 伏   |
| 屏極電流           | 12.5   | 12.5 毫安   |
| 柵極電流           | 0.3, 2 | 0.3, 2 毫安 |

(\*當陰極供電電壓高於200伏時，陰極電路中必須用降壓電阻器，使柵極的電壓維持在20伏以內。同時，屏極電流亦保持正常值12.5毫安。)

### 裝置及應用

6AB7適合標準八腳式管座(8N)。真空管宜直立，在必需傾置時，第三脚及第七脚須在垂直的方向。

6AB7的絲極可用交流或直流供電，在任何工作情形下，絲極電壓不能與正常值(6.3伏)相差有±10%以上。在交流供電時，6AB7的陰極最宜經過偏壓而接到絲極變壓器繞組的中心點。在用直流蓄電池(6伏)供給絲極電壓時，陰極須經過偏壓而接到蓄電池的負極。這時絲極及陰極間的電壓降，愈小愈佳。如果陰極及絲極間必須加用高電阻，則適當的濾波電路亦是必需，以免交流雜聲。絲極串聯工作時，絲極電流必須維持0.3安。

(控制柵極的偏電壓可以利用陰極電阻器，或由固定電源供給。屏極電流須在12.5毫安。

6AB7的互導率極高，所以在屏極電流變化時，輸入電容及輸入電導均有大量的變化。當6AB7用作射頻或中週放大管時，如果陰極電阻器的一部份不加旁路作用，這種現象就能避免。但是互導率的有效值即將減低。同時，屏極及柵極有效電容亦有增加。至於避免過量的柵極及屏極有效電容的方法，是使管外部屏極及陰極間的電容盡量減低。這時，柵極及抑制極的旁路電容器須直接通地，不能再接到陰極，因為陰極已不在交流的大地電勢。

在應用自動音量控制的電路中，屏極電流已出一最小的偏電壓限制到12.6毫安。柵極電路則用一3000歐串聯降壓電阻器。這時陰極電阻器可以不加旁路電容器而通地，結果不但這電阻器可担任最小的固定偏電壓，且可避免輸入電容及輸入電導的改變。

應用固定偏電壓的電路中，柵極電路中的直流電阻不能超過0.25兆歐。當6AB7祇用陰極偏電壓電阻器及柵極降壓電阻器時，柵極電路中的直流電阻可高到0.5兆歐。

在射週及中週電路中，抑制極須直接接地（經一旁路電容器），以減低回輸作用。

屏極電壓可以在高電壓電源加用洩放電阻器（Bleeder）或電位器（Potentiometer）獲得。在應用這種固定屏極供電時，屏極電流的新絕特性比較尖銳，不及採用串聯降壓電阻器一法。

6AB7最適宜用作電視機件中傳像的射週及中週放大管，並可加用自動音量控制。

當其空管輸入電容及輸入電路的變化不用局部旁路的陰極電阻器減低時，6AB7宜用電阻及電容組成的重負荷，目的雖能達到，但是放大量却受到影響而略見下降。

6AB7亦能用作混合管，或在低電壓時用作振盪管。

6AB7的控制柵極接到管脚上，對於柵極及屏極的極間電容並無增加。在電路中，這種構造可使接線減短。所以在高週率工作時，電路穩定度增高，回輸作用則較低。

### 6B8-G 五極管連雙二極管—6B8-G

#### 特 性

|                  |               |
|------------------|---------------|
| 絲極電壓（交流或直流）      | 6.3 伏         |
| 絲極電流             | 0.3 安         |
| 極間電容（緊貼式隔離罩裝到陰極） |               |
| 柵極及屏極電容          | 0.01 微微法（最大值） |
| 輸入電容             | 3.6 微微法       |
| 輸出電容             | 9.6 微微法       |

#### 五極甲類放大管規範

|            |     |             |
|------------|-----|-------------|
| 屏極電壓       |     | 300 伏（最大值）  |
| 簾極電壓（第二柵極） |     | 125 伏（最大值）  |
| 簾極供電電壓     |     | 300 伏（最大值）  |
| 柵極電壓（第一柵極） |     | 0 伏（最小值）    |
| 屏極消耗       |     | 2.25 瓦（最大值） |
| 簾極消耗       |     | 0.3 瓦（最大值）  |
| 工作規範       |     |             |
| 屏極電壓       | 100 | 250 伏       |
| 簾極電壓       | 100 | 125 伏       |
| 柵極電壓       | -3  | -3 伏        |
| 屏極電流       | 5.8 | 9 毫安        |

|            |     |      |         |
|------------|-----|------|---------|
| 屏極電流       | 1.7 | 1.5  | 2.3 毫安  |
| 屏極電阻 (約計)  | 0.3 | 0.8  | 0.6 兆歐  |
| 五極率        | 95  | 1000 | 1125 微漢 |
| 斷絕偏電壓 (約計) | -17 | -17  | -21 伏   |

(\* 屏極電路中的電阻值不能超過1兆歐)

### 二 極 管

管中有二極管二組，與五極管共用一陰極。

### 裝置及應用

6B8-G適合標準A脚式管座(G-8E)。方向位置不受限制。絲極及陰極的工作條件見6AB7/1853。

檢波工作時，6B8-G可以接成全波電路或半波電路。半波檢波時，二屏極可以接合，或僅用一屏極。所得的整流電壓，約是全波工作時整流電壓的二倍。整流後的電壓既與射週或中週的載波無關，自動音量控制亦能利用檢波的輸出電壓，控制射週及中週電路的輸出量。6B8-G用作檢波時，隔離須優良，以免與其他部份耦合而引起干擾。

射週或中管放大工作時，6B8-G的五極管可以用在普通的電路中。這管具有遙斷絕特性，所以在陰極偏電壓變化後，亦能取得中量的自動音量控制作用，並不致有雜音調頻現象。當屏極電壓改變時，斷絕點可以移動，較大的電訊電壓亦不致影響電路的穩定度。這種特性可以採用廉價斷絕電阻器自動獲得，並不困難。因為負偏電壓愈大，屏極的供電電定亦能自動升高。

音週放大工作時，6B8-G的五極管可以用在電阻電容耦合放大電路，放大量亦很高。

## 6F6-G——五極電力放大管——6F6-G

### 特 性

|              |       |
|--------------|-------|
| 絲極電壓 (交流或直流) | 6.3 伏 |
| 絲極電流         | 0.7 安 |

### 五種管甲類放大管規範

|             |              |
|-------------|--------------|
| 屏極電壓        | 575 伏 (最大值)  |
| 屏極電壓 (第二組極) | 235 伏 (最大值)  |
| 屏極消耗        | 11 瓦 (最大值)   |
| 屏極消耗        | 3.75 瓦 (最大值) |

|      | 固定偏電壓 |     | 陰極偏電壓 |     |   |
|------|-------|-----|-------|-----|---|
| 屏極電壓 | 250   | 285 | 250   | 235 | 伏 |
| 屏極電壓 | 250   | 285 | 250   | 235 | 伏 |

|             |       |       |      |     |    |
|-------------|-------|-------|------|-----|----|
| 柵極電壓 (第一柵極) | -16.5 | -20   | —    | —   | 伏  |
| 陰極電阻        | —     | —     | 410  | 440 | 歐  |
| 順音週柵極電壓     | 16.5  | 20    | 16.5 | 20  | 伏  |
| 無電訊屏極電流     | 31    | 38    | 31   | 38  | 毫安 |
| 最大電訊屏極電流    | 36    | 40    | 35   | 38  | 毫安 |
| 無電訊簾極電流     | 6.5   | 7     | 6.5  | 7   | 毫安 |
| 最大電訊簾極電流    | 10.5  | 13    | 9.7  | 12  | 毫安 |
| 屏極電阻 (約計)   | 80000 | 78000 | —    | —   | 歐  |
| 互導率         | 2500  | 2550  | —    | —   | 微漢 |
| 負荷電阻        | 7000  | 7000  | 7000 | 000 | 歐  |
| 總諧失真        | 8     | 9     | 8.5  | 9   | %  |
| 最大電訊電力輸出    | 3.2   | 4.8   | 3.1  | 4.5 | 瓦  |

## 三極單管甲類放大管規範

|          |             |
|----------|-------------|
| 屏極電壓     | 350 伏 (最大值) |
| 總屏極及簾極消耗 | 10 瓦 (最大值)  |
| 工作規範     |             |

|             | 固定偏電壓 | 陰極偏電壓 |    |
|-------------|-------|-------|----|
| 屏極電壓        | 250   | 250   | 伏  |
| 柵極電壓 (第一柵極) | -20   | —     | 伏  |
| 陰極電阻        | —     | 650   | 歐  |
| 順音週柵極電壓     | 20    | 20    | 伏  |
| 無電訊屏極電流     | 31    | 31    | 毫安 |
| 最大電訊屏極電流    | 34    | 32    | 毫安 |
| 屏極電阻        | 2600  | —     | 歐  |
| 放大因數        | 6.8   | —     |    |
| 互導率         | 2600  | —     | 微漢 |
| 負荷電阻        | 4000  | 4000  | 歐  |
| 總諧失真        | 6.5   | 6.5   | %  |
| 最大電訊電力輸出    | 0.85  | 0.8   | 瓦  |

## 五極推挽甲類放大管規範

|               |              |
|---------------|--------------|
| 屏極電壓          | 375 伏 (最大值)  |
| 簾極電壓          | 285 伏 (最大值)  |
| 屏極消耗          | 11 瓦 (最大值)   |
| 簾極消耗          | 3.75 瓦 (最大值) |
| 工作規範 (二管推挽裝置) |              |

|             | 固定偏電壓 | 陰極偏電壓   |
|-------------|-------|---------|
| 屏極電壓        | 315   | 315 伏   |
| 簾極電壓        | 285   | 285 伏   |
| 柵極電壓        | -24   | - 伏     |
| 陰極電阻        |       | 320 歐   |
| 嶺音週電壓(柵到柵)  | 48    | 58 伏    |
| 無電訊屏極電流     | 62    | 62 毫安   |
| 最大電訊屏極電流    | 80    | 73 毫安   |
| 無電訊簾極電流     | 12    | 12 毫安   |
| 最大電訊簾極電流    | 19.5  | 18 毫安   |
| 有效負荷電阻(屏到屏) | 10000 | 10000 歐 |
| 總諧失真        | 4     | 3 %     |
| 最大電訊電力輸出    | 11    | 10.5 瓦  |

五極推挽(甲乙)<sub>2</sub>類放大管規範

|              |             |
|--------------|-------------|
| 屏極電壓         | 375 伏(最大值)  |
| 簾極電壓         | 285 伏(最大值)  |
| 屏極消耗         | 11 瓦(最大值)   |
| 簾極消耗         | 3.75 瓦(最大值) |
| 工作規範(二管推挽數值) |             |

|                   | 固定偏電壓 | 陰極偏電壓   |
|-------------------|-------|---------|
| 屏極電壓              | 375   | 375 伏   |
| 簾極電壓              | 250   | 250 伏   |
| 柵極電壓              | -26   | - 伏     |
| 陰極電阻(柵極電壓 = -21伏) |       | 340 歐   |
| 嶺音週電壓(柵到柵)        | 82    | 94 伏    |
| 無電訊屏極電流           | 34    | 54 毫安   |
| 最大電訊屏極電流          | 82    | 77 毫安   |
| 無電訊簾極電流           | 5     | 8 毫安    |
| 最大電訊簾極電流          | 19.5  | 18 毫安   |
| 有效負荷電阻(屏到屏)       | 10000 | 10000 歐 |
| 總諧失真              | 3.5   | 5 %     |
| 最大電訊電力輸出          | 18.3  | 19 瓦    |

三極推挽(甲乙)<sub>2</sub>類放大管規範(簾屏二極接合)

|          |            |
|----------|------------|
| 屏極電壓     | 330 伏(最大值) |
| 總屏極及簾極消耗 | 10 瓦(最大值)  |

## 工作規範(二管推挽數值)

|                   | 固定偏電壓 | 陰極偏電壓 |    |
|-------------------|-------|-------|----|
| 屏極電壓              | 350   | 350   | 伏  |
| 柵極電壓              | -8    | —     | 伏  |
| 陰極電阻(柵極電壓=-36.5伏) | —     | 730   | 歐  |
| 屏極迴電壓(柵到柵)        | 123   | 132   | 伏  |
| 無電訊屏極電流           | 48    | 50    | 毫安 |
| 最大電訊屏極電流          | 92    | 61    | 毫安 |
| 有效負荷電阻(屏到屏)       | 6000  | 10000 | 歐  |
| 總諧失真              | 2     | 3     | %  |
| 最大電訊電力輸出          | 13    | 9     | 瓦  |

## 裝置及應用

6F6-G 適合標準八腳式管座(7S)。方向位置不受限制。這管絲極可用交流或直流供電。當交流供電而用絲極變壓器時，變壓器繞組必須在全負荷及平均電源電壓二種條件下供給規定的電壓。用蓄電池時，這管的絲極可以直接接6伏蓄電池端。假使各6.3伏絲極串聯後供電，6F6-G 絲極須安置在正極端。不過6F6-G 絲極電流是0.7安，其他各串聯後的絲極(大部份是0.3安或0.15安)，必須有一並聯洩放電阻器，使全路電流能一致而符合各真空管的額定值。每一0.3安絲極的洩放電阻器是16歐，每一0.15安絲極的洩放電阻器是11.5歐，各絲極的電壓均是6.3伏。陰極的工作條件見6AB7。

6F6-G 在甲類電力放大工作時，單管或二管推挽均可。當屏極與柵極接合時，6F6-G 亦可改成三極管，各種工作規範已有規定，可資參考。

(甲乙)2類電力放大工作時，6F6-G 可照五極管工作，或改成三極管接法，規範上已有說明。工作時，柵極輸入普通電壓波( Swing ) 的幅都產生小量的柵極電流。同時，又因推挽電路的特性，二次諧波( 氣並不存在 )。

在任何工作情形下，6F6-G 柵極耦合電路不能引入較大量的電阻。所以阻抗耦合或變壓器耦合比較適宜。如果柵極電路中的電阻不低於0.1兆歐，底層網極偏電壓並無問題。否則(就是柵極電路中的電阻高於0.1兆歐)，就需採用陰極電壓，但是柵極電路中的電阻最高亦以0.5兆歐為限。同時絲極電壓不能超過額定值百分之十。

## 6H6(金)——彎二極管——6H6(金)

## 特 性

絲極電壓(交流或直流)  
絲極電流)

6.3 伏  
0.3 安

極間電容 (管殼與陰極接合)

|             |                |
|-------------|----------------|
| 第一屏極及第一陰極電容 | 3.0 微微法        |
| 第二屏極及第二陰極電容 | 3.4 微微法        |
| 第一屏極及第二屏極電容 | 0.05 微微法 (最大值) |

### 整流管規範

|                  |             |
|------------------|-------------|
| 每一屏交流屏極電壓 (均方根值) | 117 伏 (最大值) |
| 直流輸出電流           | 4 毫安 (最大值)  |

### 裝置及應用

6H6適合標準八脚式管座(7Q)。方向位置不受限制。絲極及陰極工作條件見GAB7。

檢波工作條件見6B8-G。僅6H6中每一屏極各有一陰極，應用更是便利。

二極管檢波本無放大作用，所以在電路中，放大量必定得自另一真空管，6SF5、6SJ7、6SK7等均適合這種任務。配用接法與連二極管的五極管或三極管相同。

## 6J5(金)——檢波放大三極管——6J5(金)

### 特 性

|               |         |
|---------------|---------|
| 絲極電壓 (交流或直流)  | 6.3 伏   |
| 絲極電流          | 0.3 安   |
| 極間電容 (管殼接到陰極) |         |
| 柵極及屏極電容 (約計)  | 3.4 微微法 |
| 柵極及陰極電容 (約計)  | 3.4 微微法 |
| 屏極及陰極電容 (約計)  | 3.6 微微法 |

### 甲類放大管規範

|      |              |
|------|--------------|
| 屏極電壓 | 300 伏 (最大值)  |
| 柵極電壓 | 0 伏 (最小值)    |
| 屏極消耗 | 2.5 瓦 (最大值)  |
| 工作規範 |              |
| 屏極電壓 | 90 250 伏     |
| 柵極電壓 | 0 - 8 伏      |
| 屏極電流 | 10 9 毫安      |
| 屏極電阻 | 6700 7700 歐  |
| 放大因數 | 20 20        |
| 互導率  | 3000 2600 微漢 |

( \* 屏極電路的直流電阻不能超過1兆歐 )

### 裝置及應用

6J5 適合標準八腳式管座 (6Q)。方向位置不受限制。絲極及陰極工作條件見6AB7。

放大工作時，6J5 可以在射極或普週電路中，「特性」所列條件是指變壓器耦合電路規範。

檢波工作時，6J5 可用柵漏電阻器及電容器電路或柵極偏壓電路。在柵漏電阻器及電容器檢波電路中，這管的屏極電壓須在 45 伏及 100 伏之間。柵漏電阻器約是 0.1 兆歐到 1.0 兆歐，所配柵極電容器約是 50 微微法到 500 微微法。柵極偏壓檢波電路中，屏極電壓可高達 250 伏，偏壓值約是 -16 伏，可用發極電阻器得到。在無輸入電訊電壓時，屏極電流須維持在 0.2 毫安。

圖 5.4 到 5.7 是 6J5 的平均屏極特性曲線圖及各常數的特性曲線。

## 6K6-GT——五極電力放大管——6K6-GT

### 特 性

|           |       |
|-----------|-------|
| 絲極電壓 (交流) | 6.3 伏 |
| 絲極電流      | 0.4 安 |

### 甲類放大管規範

|           |       |               |
|-----------|-------|---------------|
| 屏極電壓      |       | 250 伏 (最大值)   |
| 柵極電壓      |       | 250 伏 (最大值)   |
| 工作規範      |       |               |
| 屏極電壓      | 180   | (250) 250 伏   |
| 柵極電壓      | 180   | (250) 250 伏   |
| 柵極電壓      | -13.5 | -18 -16.5 伏   |
| 屏極電流      | 18.5  | 32 31 毫安      |
| 柵極電流      | 3.0   | 5.5 5.7 毫安    |
| 屏極電阻 (約計) | 81000 | 68000 65000 歐 |
| 互聯率       | 1850  | 2200 2300 微安  |
| 負荷電阻      | 9000  | 7600 7000 歐   |
| 總諧失真      | 10    | 10 7 %        |
| 電力輸出      | 1.5   | 3.4 3.2 瓦     |

### 裝置及應用

6K6-GT 適合標準八腳式管座 (G-7S)。方向位置不受限制。絲極及陰極工作條件見 6AB7，僅絲極串聯時，其他額定電流較小的絲極須有適當的串聯電阻。

6K6-GT在接收機中用在電力放大工作時，單管及二管推挽均可，在6K6-GT電力放大級前，僅需一級音週放大器，已敷推挽之用。再提高輸入量後，就有產生微音干擾（Microphonic Disturbance）的可能。

6R6-GT耦合電路的工作條件見6F8-G，僅在應用陰極電阻器時，極極電路的電阻可達1兆歐。

### 6SA7(金)——五柵極式變波管——6SA7(金)

#### 特 性

|                       |               |
|-----------------------|---------------|
| 絲極電壓（交流或直流）           | 6.3 伏         |
| 絲極電流                  | 0.3 安         |
| 每相電容（管殼接到陰極）          |               |
| 第三柵極及其他全部電極電容（射週輸入電容） | 9.5 微微法       |
| 屏極及其他全部電極電容（混合輸出電容）   | 12 微微法        |
| 第一柵極及其他全部電極電容         | 7 微微法         |
| 第三柵極及屏極電容             | 0.13 微微法（最大值） |
| 第一柵極及第三柵極電容           | 0.15 微微法（最大值） |
| 第一柵極及屏極電容             | 0.06 微微法（最大值） |
| 第一柵極及其他全部電極電容（陰極除外）   | 4.4 微微法       |
| 第一柵極及陰極電容             | 2.6 微微法       |
| 陰極及其他全部電極電容（第一柵極除外）   | 5 微微法         |

#### 變波管規範

|                 |            |
|-----------------|------------|
| 屏極電壓            | 300 伏（最大值） |
| 屏極電壓（第二柵極及第四柵極） | 100 伏（最大值） |
| 屏極供電電壓          | 300 伏（最大值） |
| 控制柵極電壓（第三柵極）    | 0 伏（最小值）   |
| 總屏極及屏極消耗        | 2.0 瓦（最大值） |
| 屏極消耗            | 1.0 瓦（最大值） |
| 絲極電流            | 14 毫安（最大值） |
| 工作規範            |            |

|          | 自動*   |       | 分期    |       |    |
|----------|-------|-------|-------|-------|----|
| 屏極電壓     | 100   | 250   | 100   | 250   | 伏  |
| 屏極電壓     | 100   | 100   | 100   | 100   | 伏  |
| 控制柵極電壓   | 0     | 0     | -2    | -2    | 伏  |
| 第一柵極電阻   | 20000 | 20000 | 20000 | 20000 | 歐  |
| 屏極電阻（約計） | 0.5   | 1.0   | 0.5   | 1.0   | 兆歐 |

|           |      |      |      |      |    |
|-----------|------|------|------|------|----|
| 變波互導率     | 425  | 450  | 425  | 450  | 微安 |
| 變波互導率(控制) |      |      |      |      |    |
| 柵極=-32伏)  | 2    | 2    | 2    | 2    | 微安 |
| 屏極電流      | 3.3  | 3.5  | 3.3  | 3.5  | 毫安 |
| 簾極電流      | 8.5  | 8.5  | 8.5  | 8.5  | 毫安 |
| 第一柵極電流    | 0.5  | 0.5  | 0.5  | 0.5  | 毫安 |
| 陰極電流      | 12.3 | 12.5 | 12.3 | 12.5 | 毫安 |

(\* 這僅是約計值，且限用哈脫來電路。陰極電路的回輸電壓是2.0伏)

### 裝置及應用

6SA7適合標準八脚式管座(8R)。方向位置不受限制。柵極及陰極工作條件見6AB7。

6SA7的電極全在管座上，這種構造的好處有：(一)不致有柵極相接線常斷及鬆脫的弊病。(二)電路接線可以全部在底板下。(三)底板面上更是美觀。(四)振盪線圈及換波設備可以更趨簡化。(五)變波放大量提高。(六)高週率工作時，週率移動量小。(七)換新真空管容易。

由於6SA7的特殊構造，控制柵極的電壓改變時，陰極電流的變化較小。結果控制柵極上的射週電壓，並不能在陰極電路中的電子電流上有較大的調幅作用。這種特性極重要，因為陰極電路的阻抗，不宜對射週輸入及中週輸出有較大的再生或去再生現象。並且控制柵極對於陰極附近的空間電荷影響較小，自動音量控制的偏電壓，對於振盪管互導率及第一柵極的輸入電容，必僅能產生少量的變化。所以振盪管亦不因自動音量控制的偏電壓而有較大的去諧(Detuning)現象。

圖7.1是6SA7的自勵振盪電路的一種。大約在6兆週以下工作時，屏極及簾極電壓須照規定的數值，陰極及大地間的偏電壓約宜是2伏。假使振盪柵極電阻

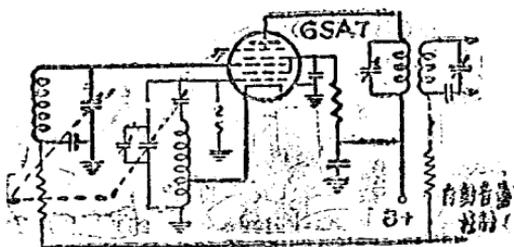


圖7.1 6SA7的自勵振盪電路

器是2000歐時，這振盪柵極電流必須維持在0.5毫安。在低週率及中週率段內，振盪條件不難獲得。但是在6兆週以上的波段中，振盪電路的阻抗極其太低，不能達到振盪的條件。所以在這高週率段內，必須在較低的週率器調節電路常數，使變波放大

量提高到最大值。調節的目標，是使陰極及大地間的電壓約在2伏（額值），同時振盪柵極電流保持在0.20及0.25毫安之間（振盪柵極電阻器仍是1000歐）。

當屏極及陰極接合時（不振盪時），第一柵極及屏極間的互導率約是4500微漢。工作條件是：第一柵極、第三柵極、及管殼電壓是零，屏極（及撥極）電壓是100伏。

圖5.17是6SA7的工作特性曲線二種。

### 6SC7<sub>(金)</sub>——犖三極放大管——6SC7<sub>(金)</sub>

#### 特 性

|              |         |
|--------------|---------|
| 絲極電壓（交流或直流）  | 6.3 伏   |
| 絲極電流         | 0.3 伏   |
| 極間電容（管殼接到陰極） |         |
| 柵極及屏極電容（約計）  | 2.0 微微法 |
| 柵極及陰極電容（約計）  | 2.2 微微法 |
| 屏極及陰極電容（約計）  | 3.0 微微法 |

#### 甲類放大管規範（每一三極管組）

|          |            |
|----------|------------|
| 屏極電壓     | 250 伏（最大值） |
| 工作規範     |            |
| 屏極電壓     | 250 伏      |
| 柵極電壓     | -2 伏       |
| 屏極電流     | 2 毫安       |
| 屏極電阻（約計） | 53000 歐    |
| 放大因數     | 70         |
| 互導率（約計）  | 1325 微漢    |

#### 裝置及應用

6SC7 適合標準八脚式管座(8S)。方向位置不受限制。絲極及陰極的工作極限見 6AB7。

6SC7 的電極亦全部在管座上，優點見 6SA7。

6SC7 最適宜担任反相 (Phase Inverting) 工作。每一三極管的放大因數較高，放大量亦可提高。

### 6SF5<sub>(金)</sub>——高放大因數三極管——6SF5<sub>(金)</sub>

#### 特 性

|             |       |
|-------------|-------|
| 絲極電壓（交流或直流） | 6.3 伏 |
|-------------|-------|

|               |         |
|---------------|---------|
| 絲極電流          | 0.3 安   |
| 極間電容 (管殼接到陰極) |         |
| 柵極及屏極電容 (約計)  | 2.4 微微法 |
| 柵極及陰極電容 (約計)  | 4.0 微微法 |
| 屏極及陰極電容 (約計)  | 3.0 微微法 |

## 甲類放大管規範

|      |               |
|------|---------------|
| 屏極電壓 | 300 伏 (最大值)   |
| 工作規範 |               |
| 屏極電壓 | 100 250 伏     |
| 柵極電壓 | -1 -2 伏       |
| 屏極電流 | 0.4 0.9 毫安    |
| 屏極電阻 | 85000 60000 歐 |
| 放大因數 | 100 100       |
| 互導率  | 1150 1500 微漢  |

## 裝置及應用

6SF5 適合簡單八腳式管座 (GAB)。方向位置不受限制。絲極及陰極工作條件見 5A37。

放大工作時, 6SF5 最適宜於普通電阻電容耦合電路。在這種電路中, 這管柵極電阻的直流電阻不宜超過 1.0 兆歐。當 6H6 的檢波檢出配合 6SF5 放大時, 柵極對採用固定偏壓時, 二極管偏壓法並不適用, 因為即使二極管的輸入電阻電容極小, 6SF5 的屏極電流仍有趨向斷絕值的可能。

## 6SJ7 (金) —— 五極檢波放大管 —— 6SJ7 (金)

## 特 性

|                                 |                 |
|---------------------------------|-----------------|
| 絲極電壓 (交流或直流)                    | 6.3 伏           |
| 絲極電流                            | 0.3 安           |
| 極間電容 (五極接法, 管殼接到陰極)             |                 |
| 柵極及屏極電容                         | 0.005 微微法 (最大值) |
| 陰極電容                            | 6 微微法           |
| 輸出電容                            | 7 微微法           |
| 極間電容 (柵極、抑制柵、與屏極接合或三極管, 管殼接到陰極) |                 |
| 柵極及屏極電容                         | 2.8 微微法         |
| 柵極及陰極電容                         | 3.4 微微法         |
| 屏極及陰極電容                         | 11 微微法          |

## 五極甲類放大管規範

|              |         |            |
|--------------|---------|------------|
| 屏極電壓         |         | 300 伏(最大值) |
| 簾極電壓(第二柵極)   |         | 125 伏(最大值) |
| 簾極供電電壓       |         | 300 伏(最大值) |
| 柵極電壓(第一柵極)   |         | 0 伏(最小值)   |
| 屏極消耗         |         | 2.5 瓦(最大值) |
| 簾極消耗         |         | 0.3 瓦(最大值) |
| 工作規範         |         |            |
| 屏極電壓         | 100     | 250 伏      |
| 簾極電壓         | 100     | 100 伏      |
| 柵極電壓         | -3      | -3 伏       |
| 抑制極          | 在管座接到陰極 |            |
| 屏極電流         | 2.9     | 30 毫安      |
| 簾極電流         | 0.9     | 0.8 毫安     |
| 屏極電阻         | 0.7     | 大於 兆歐      |
| 互導率          | 1575    | 1650 微安    |
| 陰極電流(第一柵極電壓) | -9      | -9 伏       |

## 三極(甲)1類放大管規範(簾極及抑制極與屏極接合)

|      |      |            |
|------|------|------------|
| 屏極電壓 |      | 250 伏(最大值) |
| 柵極電壓 |      | 0 伏(最小值)   |
| 屏極消耗 |      | 2.5 瓦(最大值) |
| 工作規範 |      |            |
| 屏極電壓 | 180  | 250 伏      |
| 柵極電壓 | -6   | -8.5 伏     |
| 屏極電流 | 6.0  | 9.2 毫安     |
| 屏極電阻 | 8250 | 7600 歐     |
| 放大因數 | 19   | 19         |
| 互導率  | 2300 | 2500 微安    |

## 裝置及應用

6SJ7適合於五八脚式管座(6N)。方向位置不受限制。絲極及陰極的工作條件見6AB7。

6SJ7的電極亦全部在管座上，僅參見6SA7。

甲類放大工作時，6SJ7可以照規範接成五極管或三極管。屏五極管工作時，還管極的電壓可以在屏極供電電源用池接電阻器或電位器取得。倘使柵極電壓是用陰極電阻器取得時，簾極電壓亦可以用串聯降壓電阻器接法。但如屏

板供電壓高於300伏，這種接法又不適用。

(二)五極射週放大工作時，如果相極的射週電訊輸入電壓較小（僅及幾伏），6SK7最是適用。在這種情形下，無極接電機背景改變，可以將屏極電壓及控制極電壓單獨或同時改變。當較大的電訊電壓輸入時，超控制式放大管更是適宜。因為跨調偏及調幅失真現象均容易避免。不過6SK7可以用作假電壓式檢波管。輸入電壓雖小，音源輸出電壓却相當大。

### 6SK7(金)——超控制五極放大管——6SK7(金)

#### 特 性

|              |                |
|--------------|----------------|
| 絲極電壓（交流或直流）  | 6.3 伏          |
| 絲極電流         | 0.9 安          |
| 板間電容（管殼接到陰極） |                |
| 瓶極及屏極電容      | 0.005 微微法（最大值） |
| 輸出電容         | 6 微微法          |
| 輸出電容         | 7 微微法          |

#### 甲類放大管規範

|        |            |
|--------|------------|
| 屏極電壓   | 300 伏（最大值） |
| 瓶極電壓   | 125 伏（最大值） |
| 瓶極供電電壓 | 300 伏（最大值） |
| 瓶極電壓   | 0 伏（最小值）   |
| 屏極消耗   | 4 瓦（最大值）   |
| 瓶極消耗   | 0.4 瓦（最大值） |
| 工作規範   |            |

|                |         |         |
|----------------|---------|---------|
| 屏極電壓           | 100     | 250 伏   |
| 瓶極電壓           | 100     | 100 伏   |
| 絲極電壓           | -3      | -3 伏    |
| 抑制極            | 在管座接到陰極 |         |
| 屏極電流           | 8.9     | 9.2 毫安  |
| 瓶極電流           | 2.6     | 2.4 毫安  |
| 屏極電阻（約計）       | 0.25    | 0.8 兆歐  |
| 五週率            | 1900    | 2000 微秒 |
| 瓶極電壓（五週率=10微法） | -35     | -35 伏   |

#### 裝置及應用

6SK7適合標準八脚式管座(8N)。方位位不受限制。絲極及陰極的工作溫度見6AB7。

6SK7的底座亦有特種的隔離構造，主要的部份是二種。一種是錐形隔離罩，一種是圓柱形隔離罩，位置在抽氣管的附近，且均接到底座上第一腳。錐形隔離罩可以減少玻璃頸部(Glass Stem)各接線間的電容量，圓柱形隔離罩可使底座對角電極間的電容量減低。通常屏極及柵極位置在管底座的對角，所以柵極及屏極的極間電容可以減到最小。

6SK7的電極已全部移在管座上，優點見6SA7。

無線電接收機的背景，可以利用柵極偏壓變化法控制，欲得全量的控制性能，偏壓的改變量約須達50伏。實際的數值則視柵極電路的設計及工作條件而異。通常這種電壓可從固定電源上加用電位器，或用可變電阻器與取電。這管的柵極供電可照6SJ7的規定。僅當抑制柵擔任控制工作而有電壓變化時，柵極電路的串聯電阻對於屏極電阻有相當的影響，而能改變屏極電阻。

抑制柵可以直接接到陰極，或可低於陰極電勢。這是將抑制柵接到人工電量或選擇性控制電位器(或濾放電路)，或接到自動電量控制管屏極電路的電阻器。射週或中週放大工作時，由於遮斷絕特性，6SK7最宜用在接收機中，以起遮斷調節作用。不過欲得這種遮斷絕特性，柵極電壓必須維持在固定的電壓。偏壓則可加以大量的改變。雖然應用可變柵極電阻，亦能得到良好的結果。事實上並不然，因為這種電阻值增加時，柵極電流隨之下降，斷絕點不固之內移。所以這種缺點必須利用柵極串聯降電阻器避免後，真空管方才能承受較大的輸入電壓。

由於二次發射現象，四極管通常並不能用串聯電阻器控制柵極電壓。6SK7就不然，抑制柵已能抑制這種現象。祇要供電電壓不高過300伏，柵極串聯電阻器已能普遍應用。不過，柵極及陰極間的電壓將不免受到影響而減低(有時增加)，其變量就是偏壓的變化量。這種柵陰二極間電壓的上升，可高達正常的最大值，並無關係。因為屏極電流及柵極電流已同時有大量的減低，才致得傷害真空管。通常柵極串聯降電阻器及陰極電阻器必用在同一電路中，所以在6SK7應用時已能盡量發揮遮斷絕特性。

## 6SQ7(金)——高放大因數三極管連二極管——6SQ7(金)

### 特 性

|                    |         |
|--------------------|---------|
| 絲極電壓(交流或直流)        | 6.3 伏   |
| 絲極電流               | 0.3 安   |
| 極間電容(三極管部份，管殼接到陰極) |         |
| 柵極及屏極電容(約計)        | 1.8 微微法 |
| 柵極及陰極電容(約計)        | 3.6 微微法 |
| 屏極及陰極電容(約計)        | 3.2 微微法 |

## 三極管——甲類放大管規範

|      |        |            |
|------|--------|------------|
| 屏極電壓 |        | 300 伏(最大值) |
| 工作規範 |        |            |
| 屏極電壓 | 100    | 250 伏      |
| 柵極電壓 | -1     | -2 伏       |
| 放大因數 | 100    | 100 伏      |
| 屏極電阻 | 110000 | 91000 歐    |
| 互導率  | 900    | 1100 微漢    |
| 屏極電流 | 0.4    | 0.9 毫安     |

## 二極管規範

雙二極管各有一屏極。

## 裝置及應用

6SQ7適合標準八腳式管座(8Q)。方向位置不受限制。絲極及陰極的工作條件見0AB7。

6SQ7中二極管的工作特性見1H5-GT及6B8-G

6SQ7的三極管具有高放大因數，僅適宜在電阻電容耦合電路中應用。但不能用二極管偏電壓法。

## 6SR7(金)——三極管連雙二極管——6SR7(金)

## 特 性

|                    |         |
|--------------------|---------|
| 絲極電壓(交流或直流)        | 6.3 伏   |
| 絲極電流               | 0.8 安   |
| 極間電容(三極管部份，管殼接到陰極) |         |
| 柵極及屏極電容(約計)        | 2.4 微微法 |
| 柵極及陰極電容(約計)        | 3.0 微微法 |
| ( ) 屏極及陰極電容(約計)    | 2.8 微微法 |

## 三極管——甲類放大管規範

|      |            |
|------|------------|
| 屏極電壓 | 250 伏(最大值) |
| 屏極消耗 | 2.5 瓦(最大值) |
| 工作規範 |            |
| 屏極電壓 | 250 伏      |
| 柵極電壓 | -9 伏       |
| 放大因數 | 16         |
| 屏極電阻 | 8500 歐     |

|      |         |
|------|---------|
| 互導率  | 1900 微漢 |
| 屏極電流 | 9.5 毫安  |
| 負荷電阻 | 10000 歐 |
| 電力輸出 | 390 毫瓦  |

## 二極管規範

雙二極管各有一屏極。

## 裝置及應用

6SR7適合標準八腳式管座(8Q)。方向位置不受限制。絲極及陰極的工作條件見6AB7。

6SR7中二極管的工作特性見1H5-GT及6B8-G。

6SR7的三極管可以用變壓器耦合法，工作規範已有說明。這管亦能用在電阻電容耦合電路中。但不能用二極管屏電壓法。

## 6U5/6G5——陰極射線指示管——6U5/6G5

## 特 性

|             |                     |       |         |
|-------------|---------------------|-------|---------|
| 絲極電壓        | 6.3 伏               |       |         |
| 絲極電流        | 0.3 安               |       |         |
| 屏極供電電壓      | 250 伏(最大值)          |       |         |
| 絕極電壓        | 250伏(最大值) 100伏(最小值) |       |         |
| 工作規範        |                     |       |         |
| 屏極及柵極供電電壓   | 100                 | 200   | 250 伏   |
| 三極管屏極串聯電阻   | 0.5                 | 1     | 1 兆歐    |
| 柵極電流(變化較大)* | 1                   | 3     | 4 毫安    |
| 三極管屏極電流*    | 0.19                | 0.19  | 0.24 毫安 |
| 三極管柵極電壓(約計) |                     |       |         |
| 暗影角度=0度     | -8                  | -18.5 | -22 伏   |
| 暗影角度=90度    | 0                   | 0     | 0 伏     |

(\*三極管柵極電壓=0伏)

## 裝置及應用

6U5/6G5適合標準六腳式管座(6R)。方向位置不受限制。絲極及陰極的工作條件見6AB7。在一部份工作條件下，這管熱度較高，因之應注意通風條件，以免受熱過度。

6U5/6G5用在無線電接收機中，擔任調諧指示管，這管螢光艱位置在真空管玻璃泡的頂部。暗影部份的變化是從90度到0度(約計)，分別代表零偏電壓或去諧情形，及強載波電訊或諧振情形。事實上，在暗影角度最小時，就是無

線電接收機正確調諧的表示，因為載波電訊已是最強。

6U<sub>5</sub>/6G5是一高真空管，其中三極管是一遙測超管。

圖6.2是指示電路的一種。

## 6V6-GT—集射電力放大管—6V6.GT

### 特 性

|              |        |
|--------------|--------|
| 絲極電壓 (交流或直流) | 6.3 伏  |
| 絲極電流         | 0.45 安 |

### 單管甲類放大管規範

|          |              |
|----------|--------------|
| 屏極電壓     | 250 伏 (最大值)  |
| 燈絲電壓     | 250 伏 (最大值)  |
| 雙屏極及簾極消耗 | 12.5 瓦 (最大值) |
| 工作規範     |              |

|          |       |       |    |
|----------|-------|-------|----|
| 屏極電壓     | 180   | 250   | 伏  |
| 燈絲電壓     | 180   | 250   | 伏  |
| 柵極電壓     | -3.5  | -12.5 | 伏  |
| 線音週期色電壓  | 8.5   | 12.5  | 伏  |
| 無電訊屏極電流  | 29    | 45    | 毫安 |
| 最大電訊屏極電流 | 80    | 47    | 毫安 |
| 無電訊簾極電流  | 3     | 4.5   | 毫安 |
| 最大電訊簾極電流 | 4     | 6.5   | 毫安 |
| 屏極電阻     | 58000 | 52000 | 歐  |
| 互導率      | 3700  | 4100  | 微漢 |
| 負荷電阻     | 5500  | 5000  | 歐  |
| 總諧失真     | 6     | 6     | %  |
| 二次諧失真    | 5.5   | 4.5   | %  |
| 三次諧失真    | 2.5   | 3.5   | %  |
| 最大電訊電力輸出 | 2     | 4.25  | 瓦  |

### 推挽 (甲乙) 1類放大管規範

|               |              |
|---------------|--------------|
| 屏極電壓          | 300 伏 (最大值)  |
| 燈絲電壓          | 300 伏 (最大值)  |
| 雙屏極及簾極消耗      | 12.5 瓦 (最大值) |
| 工作規範 (二管推挽數值) |              |
| 屏極電壓          | 250 伏        |

|            |       |      |    |
|------------|-------|------|----|
| 絲極電壓       | 250   | 300  | 伏  |
| 柵極電壓       | -15   | -20  | 伏  |
| 鐵普週電壓(柵到柵) | 30    | 40   | 伏  |
| 無電訊屏極電流    | 70    | 78   | 毫安 |
| 最大電訊屏極電流   | 79    | 90   | 毫安 |
| 無電訊屏極電流    | 5     | 5    | 毫安 |
| 最大電訊屏極電流   | 12    | 13.5 | 毫安 |
| 負荷極阻       | 10000 | 8000 | 歐  |
| 總諧失真       | 4     | 4    | %  |
| 三次諧失真      | 3.5   | 3.5  | %  |
| 最大電訊電力輸出   | 8.5   | 13   | 瓦  |

裝置及應用

6V6-GT適合標準八脚式管座(G-7AC)。方向位置不受限制。絲極及陰極的工作條件見6AB7及6K6-GT,僅在最大屏極及燈極消耗條件下,絲極電壓的漲落不能超過7.0伏。

甲類電力放大工作時,6V6-GT可照規範上的規定值工作。僅在輸入電訊波盪的任何部份不能有柵極電流。採用推挽電路時,二次諧失真不難對消。採用單管電阻電容耦合電路工作時,二次諧失真亦能減低,還須在前一級的輸出中含有反相的二次諧波。

在任何工作情形下,及在可能的電源電壓變化範圍內,如果柵極採用的是固定偏電壓,所有額定消耗量,就不會有超過的情形發生。推挽工作時,固定偏電壓值可以略有增加,唯不產生額外的失真,增加量最多不超過工作時燈極電壓的百分之十。

耦合條件見6F6-G。僅在固定偏電壓時,柵極電路的直流電阻不能超過5000歐。

圖6.11是6V6-GT的平均屏極特性曲線。

6X5-GT——全波高真空整流管——6X5-GT

特 性

|             |     |         |
|-------------|-----|---------|
| 絲極電壓(交流或直流) | 6.3 | 伏       |
| 絲極電流        | 0.6 | 安       |
| 全波整流管規範     |     |         |
| 燈反電壓        | 125 | 伏(最大值)  |
| 每一屏極電極電流    | 210 | 毫安(最大值) |
| 直流絲極及陰極電壓   | 745 | 伏(最大值)  |

|                   |     |          |
|-------------------|-----|----------|
| 工作範圍 (配電容器輸入式濾波器) |     |          |
| 每一屏交流屏極電壓 (均方根值)  | 325 | 伏 (最大值)  |
| 每一屏總有效屏極供電阻抗*     | 150 | 歐 (最小值)  |
| 直波輸出電流            | 70  | 毫安 (最大值) |
| 工作範圍 (配電感器輸入式濾波器) |     |          |
| 每一屏交流屏極電壓 (均方根值)  | 450 | 伏 (最大值)  |
| 濾波器輸入電感量          | 8   | 亨 (最小值)  |
| 直波輸出電流            | 71  | 毫安 (最大值) |

(\*當濾波器的輸入電容量大於40微法時，屏極供電阻抗必須大於上列的最小值，俾屏極電流可以限制到額定值。)

#### 裝置及應用

6X7-GT 適合標準八角式管座 (6S)。方向安置不受限制。絲極必須在 6.3 伏，在穩態情形下，絲極電壓的滯落不能超過 0.9 伏。

### 12SA7 (金) —— 五柵極式變波管 —— 12SA7 (金)

|              |      |   |
|--------------|------|---|
| 絲極電壓 (交流或直流) | 12.6 | 伏 |
| 絲極電流         | 0.15 | 安 |

規範及額定值、裝置及應用均見 6SA7

### 12SC7 (金) —— 雙三極放大管 —— 12SC7 (金)

|              |      |   |
|--------------|------|---|
| 絲極電壓 (交流或直流) | 12.6 | 伏 |
| 絲極電流         | 0.15 | 安 |

規範及額定值、裝置及應用均見 6SC7

### 12SK7 (金) —— 超控制五極放大管 —— 12SK7 (金)

|              |      |   |
|--------------|------|---|
| 絲極電壓 (交流或直流) | 12.6 | 伏 |
| 絲極電流         | 0.15 | 安 |

規範及額定值、裝置及應用均見 6SK7

### 12SQ7 (金) —— 高放大因數三極管連二極管 —— 12SQ7 (金)

|              |      |   |
|--------------|------|---|
| 絲極電壓 (交流或直流) | 12.6 | 伏 |
| 絲極電流         | 0.15 | 安 |

規範及額定值、裝置及應用均見 6SQ7

### 25L6-GT —— 集射電力放大管 —— 25L6-GT

## 特 性

|              |        |
|--------------|--------|
| 絲極電壓 (交流或直流) | 25.0 伏 |
| 絲極電流         | 0.3 安  |

## 甲類放大管規範

|             |              |
|-------------|--------------|
| 屏極電壓        | 117 伏 (最大值)  |
| 簾極電壓 (第二柵極) | 117 伏 (最大值)  |
| 屏極消耗        | 4 瓦 (最大值)    |
| 簾極消耗        | 1.25 瓦 (最大值) |

## 工作規範

|             |       |          |
|-------------|-------|----------|
| 屏極電壓        | 110   | 110 伏    |
| 簾極電壓        | 110   | 110 伏    |
| 柵極電壓 (第一柵極) | -7.5  | -7.5 伏   |
| 饋音週柵極電壓     | 7.5   | 7.5 伏    |
| 無電訊屏極電流     | 49    | 49 毫安    |
| 最大電訊屏極電流    | 54    | 50 毫安    |
| 無電訊簾極電流     | 4     | 4 毫安     |
| 最大電訊簾極電流    | 9     | 11 毫安    |
| 屏極電阻 (約計)   | 10000 | 1000 歐   |
| 互導率         | 8200  | 8200 伏/安 |
| 負荷電阻        | 1500  | 2000 歐   |
| 總諧失真        | 11    | 10 %     |
| 二次諧失真       | 10    | 3.5 %    |
| 三次諧失真       | 4     | 3.5 %    |
| 最大電力輸出      | 2.1   | 2.0 瓦    |

## 裝置及應用

251G-GT 適合屏極八脚式管座 (7AC)。方向位置不受限制。燈管可用在交流或二用式無線電接收機中 (不用變壓器)。屏極電壓及簾極電壓均較低。電力輸出、電力靈敏度、及效率均高。

絲極電壓的額定值是 25 伏。在電源電壓的正常變化範圍內，真空管的性能可以不受影響。當各 0.3 安絲極電壓供電時，絲極電路的電流在正常供電電壓下，須維持在 0.3 安的額定值。如果 25 伏絲極與 0.3 伏絲極在直流 (串電) 電路中聯工作時，25 伏絲極須位於交流市電的正極端。在這種情形下，各柵極及陰極間的電壓，不能超過下段所額定的電壓值。在交流二用式管中，柵極串聯電路可有 25 伏絲極及 0.3 伏絲極二種，如果串聯管的絲極電壓亦是 25 伏，則較大的絲極二極的偏壓應加在 251G-GT。這是將 51G-GT 的柵極接在供電端。

流與整流管陰極接合的一端，亦就是說，25L6-GT的絲極應接到已整流電壓的正電壓端。至於整流管的絲極(25)伏，及其他必需的降壓電阻器，則串聯接在25L6-GT絲極及供電電線間。

25L6-GT的陰極須直接(或經過一個電壓電阻器)，接到直流屏極供電的負極端。在直流(市電)機中，這就是指負極電線。在交直流二用機中，這是指整流後直流電壓的負極供電端。在這種情形下，25L6-GT絲極負端及陰極間的電壓差，不能超過90伏。單管陰極的偏電壓須加用適當的旁路電路，以免去再生作用。25L6-GT二管推挽工作時，並聯的旁路電容器已可刪而不用。大約推挽電路的陰極電阻值是單管工作時半數。

電力放大時，25L6-GT均照規範工作。在輸入電壓電壓沒設的任何部份，柙極電路中不能有電流。所用的輸入耦合部份，不能在柙極電路引入較大的電阻。因之，變壓器耦合法或阻抗耦合法比較適宜。當柙極電路的直流電阻低於0.1兆歐時，25L6-GT可用固定偏壓。柙極電阻更高時，唯有陰極偏電壓最是適宜。應用陰極偏電壓時，假使絲極電壓的增加量低於百分之十，柙極電路的直流電阻亦可高達0.5兆歐。

## 25X6-GT——倍壓整流管——25X6-GT

### 特 性

|             |       |
|-------------|-------|
| 絲極電壓(交流或直流) | 25 伏  |
| 絲極電流        | 0.3 安 |

### 整流管或倍壓管規範

|                       |                    |
|-----------------------|--------------------|
| 極反電壓                  | 700 伏(最大值)         |
| 每一屏極屏極電流              | 450 毫安(最大值)        |
| 直流絲極及陰極電壓             | 350 伏(最大值)         |
| 工作規範(半波整流管，二相並聯或三相分用) |                    |
| 每一屏交流屏極電壓(均方根值)       | 117 150 235 伏(最大值) |
| 每一屏總有效屏極供電阻抗*         | 0 40 100 歐(最小值)    |
| 每一屏直流輸出電流             | 75 75 75 毫安(最大值)   |
| 工作規範(倍壓管)             |                    |
|                       | 半波 全波              |
| 每一屏交流屏極電壓(均方根值)       | 117 117 伏(最大值)     |
| 總有效屏極供電阻抗*            | 30 0 歐(最小值)        |
| 直流輸出電流                | 75 75 毫安(最大值)      |

(\*當濾波器的輸入電容量大於40微法時，屏極偏電阻必須大於上列)

的最小值，俾顯屏極電流可以限制到額定值。）

### 裝置及應用

25Z6-GT適合標準八腳式管座(7Q)。方向位置不受限制。這管工作時，宜有適當的通風，以免過量受熱。

25Z6-GT在交流電路中是一全波高真空整流管，供給所需的直流電壓。在不用變壓器的機件中(交流或直流二用式)，25Z6-GT尤其適宜，因為這管可以用作半波整流管或倍壓管(Voltage Doubler)。

絲極的工作條件見25I6-GT。

25Z6-GT所配的濾波器最佳是屬於電容器檢入式，因為直流輸出電壓可以提高到最大的限度。半波整流電路的輸入電容器約是16微法；倍壓工作時，電容量再提須高。

## 35L6-GT——集射電力放大管——35L6-GT

### 特 性

|             |            |
|-------------|------------|
| 絲極電壓(交流或直流) | 35 伏       |
| 絲極電流        | 0.15 安     |
| 甲類放大管規範     |            |
| 屏極電壓        | 110 伏(最大值) |
| 簾極電壓(第二柵極)  | 110 伏(最大值) |
| 柵極電壓(第一柵極)  | -25 伏      |
| 磁音週柵極電壓     | 7.5 伏      |
| 無電訊屏極電流     | 40 毫安      |
| 最大電訊屏極電流    | 41 毫安      |
| 無電訊簾極電流     | 3 毫安       |
| 最大電訊簾極電流    | 7 毫安       |
| 屏極電阻(約計)    | 13800 歐    |
| 互導率         | 5800 微法    |
| 負荷電阻        | 2500 歐     |
| 總諧失真        | 6.5 %      |
| 最大電訊電力輸出    | 1.5 瓦      |

### 裝置及應用

35L6-GT適合標準八腳式管座(G-7AC)。方向位置不受限制。絲極及簾極的工作條件見25I6-GT，僅電壓是35伏，而非25伏。電流是0.15安，而非0.3安。

電力放大時，35Z5-GT的工作條件見35I6-GT，僅在用陰極偏壓時，相  
 應電路的直流電阻可以最高達0.75兆歐。

## 35Z5-GT——半波高真空整流管——35Z5-GT

### 特 性

|             |        |
|-------------|--------|
| 絲極電壓（交流或直流） | 35 伏   |
| 絲極電流        | 0.15 安 |

### 半波整流管規範

|                      |             |     |     |     |        |  |
|----------------------|-------------|-----|-----|-----|--------|--|
| 交流屏極電壓               | ±50 伏（最大值）  |     |     |     |        |  |
| 屏極電壓                 | 700 伏（最大值）  |     |     |     |        |  |
| 屏極電流                 | 600 毫安（最大值） |     |     |     |        |  |
| 直流輸出電流（連面板指示燈）       | 60 毫安（最大值）  |     |     |     |        |  |
| 直流輸出電流（連面板指示燈及並聯電阻器） | 100 毫安（最大值） |     |     |     |        |  |
| 直流輸出電流（無指示燈）         | 100 毫安（最大值） |     |     |     |        |  |
| 直流輸出電流               | 70          | 80  | 90  | 100 | 毫安     |  |
| 並聯電阻值                | 800         | 400 | 250 | 150 | 歐（最大值） |  |
| 直流絲極陰極電壓             | 350 伏（最大值）  |     |     |     |        |  |
| 指示燈損壞時指示燈部份的電壓（均方根值） | 15 伏（最大值）   |     |     |     |        |  |

工作規範（配40號或47號指示燈，電容器輸入式濾波器）

|                      |      |      |      |      |      |      |    |
|----------------------|------|------|------|------|------|------|----|
| 絲極電流（第三極及第七極間）       | 0.15 | 0.15 | 0.15 | 0.15 | 0.15 | 0.15 | 毫安 |
| 絲極電壓（第二極及第七極間）       | 32   | 32   | 32   | 32   | 32   | 32   | 伏  |
| 最大局部電壓（第二極及<br>第三極間） | 5.5  | 5.5  | 5.5  | 5.5  | 5.5  | 5.5  | 伏  |
| 交流屏極電壓（均方根值）         | 117  | 117  | 117  | 117  | 117  | 233  | 伏  |
| 有效屏極供電阻抗**           | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 45   | 歐  |
| 直流輸出電流               | 60   | 70   | 80   | 90   | 100  | 60   | 毫安 |
| 並聯電阻                 | —    | 300  | 150  | 100  | 80   | —    | 歐  |

工作規範（無指示燈，普通半波整流管，電容器輸入式濾波器）

|                |            |
|----------------|------------|
| 絲極電流（第三極及第二極間） | 0.15毫安     |
| 絲極電壓（第二極及第七極間） | 32 伏       |
| 局部電壓（第二極及第三極間） | 7.5 伏（最大值） |
| 交流屏極電壓（均方根值）   | 117 伏      |
| 有效屏極供電阻抗**     | 0 歐        |
| 直流輸出電流         | 100毫安      |

( \*全部絲極是第二屏及第七屏。如用面板指示燈時，指示燈與第二屏及第三屏並聯。第二屏及第七屏間的電流仍是0.15安，面板指示燈部份的電壓是7.5伏。 )

( \*\*這是最小。當濾波器的輸入電容量大於40微法時，屏極供電阻抗必須大於上列的最小值，俾屏極電流可以限制到額定值。 )

### 裝置及應用

35Z5-GT 適合標準八腳式，( G-6AD )。方向位置不受限制。絲極工作條件見35L6-GT。

35Z5-GT 應用指示燈時，在接收極間閃時，指示燈的電壓並不超過其工作量。35Z5-GT 的屏極電流亦經過指示燈( 及絲極的指示燈燈份 )。所以接收機在工作時，指示燈的亮度亦有增加。

## 50L6-GT — 集射電力放大管 — 50L6-GT

絲極電壓( 交流或直流 )

50 伏

絲極電流

0.15 安

規範及額定值、裝置及應用均見25L6-GT

### 7.4 接收管規範的運用

上節所列各種優選式接收管的特性規範，對於應用方面可多一參考。各種特性規範有一定的意義，亦有一定的標準，本章已有介紹( 見第7.1 節 )。在實際運用上，還需有補充的說明。

接收管本是採用數碼標號制，例如19、30、56、……等，各管號並無意義。在近年來，除極少數外，已有一定的制度，由數碼及英文字母組合，每一真空管的絲極電壓由第一組數碼代表。例如1.4伏由1代表，2.5伏由2代表，2.8伏由3代表，5伏由5代表，6.3伏由6或7代表，12.6伏由12或14代表，其他高絲極電壓真空管亦直接由絲極電壓值代表，所以25伏由25代表，50伏由50代表，117伏由117代表。第二組標號是用英文字母代表，真空管的性稱。普通由A字起向下推，整流管則由Z字反向上推。大部份接收管的第二組標號僅有一字，現在程式大增，一字制已不敷應用，亦有兼用二字，例如6AB7管的AB二字。不過6SK7加用S字，係代表真空管已不拆極帽，所有電極已全部移在管座上。第三組標號代表有效的電極數目。5Y8-G 的有效電極是三( 絲極及二屏極 )，6H6 有六有效電極。絲

極、陰極、及屏極各二組)。一部份真空管的有效電極可以全部在管座上，例如 5Y3-G 的管座上就有三電極。但亦有一部份真空管的有效電極並不全在管座上，例如 6H6 的管座上祇有五電極(絲極、二陰極、及二屏極)。

真空管構造有金屬管 (Metal Tube) 及玻璃管 (Glass Tube) 二種。凡是新式真空管而採用上述的編號時，幾乎已全是金屬管。通常這種金屬管皆配有特性及構造完全相同(或微有差異)的玻璃管。管號後加一 G 字，以資區別。所以 6F6-G 是金屬管 6F6 的同號玻璃管。近年來，這種玻璃管的構造又見縮小，唯仍保持金屬管的特性，這一類真空管有 1N5-GT，管號上又多加一 T 字。

真空管的管座自四脚到八脚亦有多種。新式真空管(包括金屬管及其相同的 G 式及 GT 式玻璃管)已完全是八脚式。照標準的排列，從管座底面看，第一脚必定位在刻槽的左端，照順時針的 (Clockwise) 方向編號，而達第八脚。各脚間的距離相等，互成 45 度。假使這真空管並無需八脚，管座上僅留空位，並不改變管脚的位置。第一脚常是內部的隔離罩，第二脚及第七脚是絲極的二端，第八脚常是陰極。唯直流管的陰絲極常位在第二脚及第八脚。柵帽則總是控制柵極。

四脚到七脚管座的形式略有不同。絲極二脚較粗，各脚亦平均分佈。從管座的底視，左端絲極(粗脚)是第一脚，採順時針的方向而達最後一粗脚(絲極的負端)。屏極常是第二脚，控制柵極常在管座而移在管頂部。

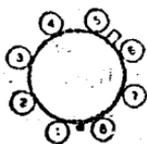


圖 7.2 標準八脚式真空管座圖

圖 7.2 是標準八脚式真空管座圖，表 7.1 是真空管座上電極排列表。由圖及附表可見，各種真空管內部電極變化衆多，應用時不可不特別注意。這種管座圖是管座的底視，上節所列各優選式真空管運用時，可以參考這類圖表。表中真空管各極代表字的意義如下：

|         |                         |            |
|---------|-------------------------|------------|
| F = 陰絲極 | G = 柵極                  | H = 絲極     |
| K = 陰極  | P = 屏極                  | PBF = 集焦屏極 |
| NC = 留空 | S = 管殼                  | TA = 靶極    |
| T = 三種管 | D = 二極管                 |            |
| P = 五極管 | F <sub>m</sub> = 陰絲極中心點 |            |

$T_1$  = 第一三極管       $T_2$  = 第二三極管

$D_1$  = 第一二極管       $D_2$  = 第二二極管

真空管工作規範（見上節所列的數值，常因實際屏極電壓（并非屏極供電電壓）不同，不能維持指定的工作特性及效率。因下了一種變換因數列。從實際屏極電壓及額定屏極電壓的比率（ $F_e$ ），就可利用

$F_i$  曲線，由圖求得屏極電流及簾極電流。利用  $F_p$  曲線求電力輸出，利用  $F_{gm}$  曲線求互導率，利用  $F_r$  曲線求屏極電阻及負荷電阻。至於簾極電壓及柵電壓可以  $F_e$  乘額定值計算，並不困難。這種曲線對於電力放大管最是有用，屏極電壓以外各工作條件有變化時，當然這曲線亦能適用。圖7.3的應用可由下列一例明之。假使 6K6-GT 的屏極電壓由 250 伏改到 200 伏，工作範圍所列的常數一定有變化，而須加以改正。方法很簡單：先求  $F_e$ ，這是  $200/250 = 0.8$ 。根據 6K6-GT 的特性規範及圖7.3得

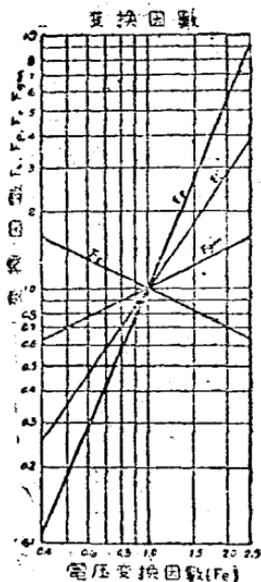


圖7.3 變換因數圖

|      | 原定規範  | 改正因數             | 新工作規範 |    |
|------|-------|------------------|-------|----|
| 屏極電壓 | 250   | 0.8 ( $F_e$ )    | 200   | 伏  |
| 簾極電壓 | 250   | 0.8 ( $F_e$ )    | 200   | 伏  |
| 柵極電壓 | -16.5 | 0.8 ( $F_e$ )    | -13.2 | 伏  |
| 屏極電流 | 34    | 0.7 ( $F_i$ )    | 23.8  | 毫安 |
| 簾極電流 | 5.7   | 0.7 ( $F_i$ )    | 4.0   | 毫安 |
| 屏極電阻 | 65000 | 1.1 ( $F_r$ )    | 71500 | 歐  |
| 互導率  | 2300  | 0.9 ( $F_{gm}$ ) | 2070  | 微安 |
| 負荷電阻 | 1000  | 1.1 ( $F_r$ )    | 1100  | 歐  |
| 電力輸出 | 3.2   | 0.6 ( $F_p$ )    | 1.9   | 瓦  |

例中， $F_i, F_r, \dots$  等項是根據算出的  $F_e$  值從圖7.3求得。

表7.1 真空管座電極排列表  
(底座反視位置)

| 真空管管號   | 座 式       | 電 極 排 列 |    |                    |                                 |                    |                    |                    |   |                |
|---------|-----------|---------|----|--------------------|---------------------------------|--------------------|--------------------|--------------------|---|----------------|
|         |           | 1       | 2  | 3                  | 4                               | 5                  | 6                  | 7                  | 8   | 帽              |
| 1A7-GT  | 標入, G-7Z  | NC      | F+ | P                  | G <sub>3</sub> , G <sub>5</sub> | G <sub>1</sub>     | G <sub>2</sub>     | F-                 | NC  | G <sub>4</sub> |
| 1H5-GT  | 標入, G-5Z  | NC      | F+ | P(T)               | NC                              | P(D)               | 缺                  | F-                 | NC  | G(T)           |
| 1N5-GT  | 標入, G-5Y  | NC      | F+ | P                  | G <sub>2</sub>                  | NC                 | 缺                  | F-, G <sub>3</sub> | NC  | G <sub>1</sub> |
| 3Q5-GT  | 標入, G-7AQ | NC      | F+ | P                  | G <sub>2</sub>                  | G <sub>1</sub>     | 缺                  | F-                 | P, B, F, F <sub>m</sub>                   | —              |
| 5U4-G   | 標入, G-5T  | NC      | F  | 缺                  | P(D <sub>2</sub> )              | 缺                  | P(D <sub>1</sub> ) | 缺                  | F   | —              |
| 5Y3-G   | 標入, G-5T  | NC      | F  | 缺                  | P(D <sub>2</sub> )              | 缺                  | P(D <sub>1</sub> ) | 缺                  | F   | —              |
| 6AB7(金) | 標入, 8N    | S       | H  | G <sub>3</sub>     | G <sub>1</sub>                  | K                  | G <sub>2</sub>     | H                  | P   | —              |
| 6B8 G   | 標入, G-8E  | NC      | H  | P(P)               | P(D <sub>2</sub> )              | P(D <sub>1</sub> ) | G <sub>2</sub> (P) | H                  | G <sub>3</sub> (P), K, G <sub>1</sub> (P) | —              |
| 6F6-G   | 標入, 7S    | NC      | H  | P                  | G <sub>2</sub>                  | G <sub>1</sub>     | 缺                  | H                  | G <sub>3</sub> , K                        | —              |
| 6H6(金)  | 標入, 7Q    | S       | H  | P(D <sub>2</sub> ) | K(D <sub>2</sub> )              | P(D <sub>1</sub> ) | 缺                  | H                  | K(D <sub>1</sub> )                        | —              |
| 6J5(金)  | 標入, 6Q    | S       | H  | P                  | 缺                               | G                  | 缺                  | H                  | K   | —              |
| 6K6-GT  | 標入, G-7s  | NC      | H  | P                  | G <sub>2</sub>                  | G <sub>1</sub>     | 缺                  | H                  | G <sub>3</sub> , K                        | —              |
| 6SA7(金) | 標入, 8R    | SS      | H  | P                  | G <sub>4</sub> , G <sub>2</sub> | G <sub>1</sub>     | K                  | H                  | G <sub>3</sub>                            | —              |

|          |           |    |                    |                    |                    |                    |                |   |                    |
|----------|-----------|----|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|----------------|---|--------------------|
| 6SC7(金)  | 標入, 8S    | S  | P(T <sub>2</sub> ) | G(T <sub>2</sub> ) | G(T <sub>1</sub> ) | P(T)               | K <sub>1</sub> | H | H                  |
| 6SF5(金)  | 標入, 6AJ   | S  | K                  | G                  | 缺                  | P                  | 缺              | H | H                  |
| 6SJ7(金)  | 標入, 8N    | S  | H                  | G <sub>3</sub>     | G <sub>1</sub>     | K                  | G <sub>2</sub> | H | P                  |
| 6SK7(金)  | 標入, 8N    | S  | H                  | G <sub>3</sub>     | G <sub>1</sub>     | K                  | G <sub>2</sub> | H | P                  |
| 6SQ7(金)  | 標入, 8Q    | S  | G(T)               | K                  | P(D <sub>2</sub> ) | P(D <sub>1</sub> ) | P(T)           | H | H                  |
| 6SR7(金)  | 標入, 8Q    | S  | G(T)               | K                  | P(D <sub>2</sub> ) | P(D <sub>1</sub> ) | P(T)           | H | H                  |
| 6S5/6C5  | 標六, 6R    | H  | P                  | G                  | TA                 | K                  | H              | H | —                  |
| 6V6-GT   | 標入, G-7AC | NC | H                  | P                  | G <sub>2</sub>     | G <sub>1</sub>     | 缺              | H | PBF, K             |
| 6X5-GT   | 標入, 6S    | NC | H                  | P(D <sub>2</sub> ) | 缺                  | P(D <sub>1</sub> ) | 缺              | H | K                  |
| 127A7(金) |           |    | 見                  | 6SA7               |                    |                    |                |   |                    |
| 12SC7(金) |           |    | 見                  | 6SC7               |                    |                    |                |   |                    |
| 12SK7(金) |           |    | 見                  | 6SK7               |                    |                    |                |   |                    |
| 12SQ7(金) |           |    | 見                  | 6SQ7               |                    |                    |                |   |                    |
| 25L6-GT  | 標入, 7AC   | NC | H                  | P                  | G <sub>2</sub>     | G <sub>1</sub>     | 缺              | H | PBF, K             |
| 25Z6-GT  | 標入, 7Q    | NC | H                  | P(D <sub>2</sub> ) | K(D <sub>2</sub> ) | P(D <sub>1</sub> ) | 缺              | H | K(D <sub>1</sub> ) |
| 35L6-GT  | 標入, G-7AC | NC | H                  | P                  | G <sub>2</sub>     | G <sub>1</sub>     | 缺              | H | PBF, K             |
| 35Z6-GT  | 標入, G-6AD | NC | H                  | H(燈)               | 缺                  | P                  | 缺              | H | K                  |
| 50L6-GT  |           |    |                    | 5J25L6-GT          |                    |                    |                |   |                    |

## 7.5 接收管的分類

(1) 本節僅列一九四三年RCA公司各式真空管。

(2) 下列各管未列入：00-A, 01-A, 10, 11, 12, 20, 22, 2G, 40, 48, 50  
71-A, 81, 99, 112-A, 876, 886。

(3) 凡有\*號者，絲極可連接到1.4伏或2.8伏。

### (一) 二極檢波管及整流管

(1) 單檢波管：

1.4伏——1A3。

(2) 孿檢波管：

6.3伏——(6H6, 6H6-G/GT), 7A6。

12.6至117伏——12H6。

(3) 半波整流管：

6.3伏——1-V。

12.6至117伏——12Z3, 35Z3, 35Z4-GT, 35Z5-G/GT, 45Z3, 45Z5-GT。

(4) 半波整流管連集射放大管：

12.6至117伏——32I7-GT, 40I7-GT, 117I7-GT/117M7-GT, 117N7-GT,  
117P7-GT。

(5) 半波整流連電力六極管：

12.6至117伏——12A7, 25A7-G/GT。

(6) 真空管全波整流管：

2.5至5伏——(5T4, 5U4-G, 5X4-G, 5Z3), (5W4, 5W4-G/GT, 5Y3-G/  
GT, 5Z4, 5Y4-G, 80), (5V4-G, 83-V)。

6.3伏——(6X5, 6X5-G/GT, 84), 6Y5, 6Z5, 6ZY5-G, 7Y4。

(7) 汞氣全波整流管：

2.5至5伏——82, 83。

(8) 冷陰極全波整流管：——0Z4, 0Z4-G。

(9) 倍壓整流管：

12.6至117伏——(25Z3, 25Z3-G/GT, 25Z5, 25Y5), 50Y6-G/GT, 50Z7-G,  
117Z6-G/GT。

### (二) 二極檢波管連放大管：

(1) 單二極管連高放大因數三極管：

1.4伏——(1H5-G, 1H5-GT), 11H4。

(2) 單二極管連高放大因數三極管及射週五極管：

1.4伏——3A8-GT\*

( 3 )單二極管連三極管及電力五極管：

1.4伏——1D3-GT。

( 4 )單二極管連五極管：

1.4伏——1S5。

( 5 )單二極管連電力五極管：

1.4伏——1N6-G。

( 6 )雙二極管連三極管：

2.0伏——( 1B5, 1H6-G )。

2.5至5伏——55。

6.3伏——( 6SR7, 6R7, 6R7-G, 6R7-GT, 6ST7, 6V7-G, 85 ), 6C7, 1E6。

12.6至117伏——12SR7。

( 7 )雙二極管連高放大因數三極管：

2.5至5伏——2A6。

6.3伏——( 6SQ7, 6SQ7-G/GT, 6Q7, 6Q7-G, 6Q7-GT, 6B6-G, 6T7-G, 75 ), 7B6, 7C6。

12.6至117伏——( 12SQ7, 12SQ7-G/GT, 12Q7-GT )。

( 8 )雙二極管連五極管：

2伏——( 1F7-G, 1F6 )。

2.5至5伏——2B7。

6.3伏——( 6B3, 6B3-G, 6B7, 6B7-S ), 6SF7, 7E7。

12.6至117伏——12C8, 12SF7。

### (三)變波管及混合管：

( 1 )五相變波管：

1.4伏——( 1A7-G, 1A7-GT ), 1R5, 1B7-GT, 1A6。

2伏——( 1C7-G, 1C6 ), ( 1D7-G, 1A6 )

2.5至5伏——2A7。

6.3伏——( 6SA7, 6SA7-G/GT, 6A8, 6A8-G, 6A8-GT, 6D8-G, 6A7, 6A7-S ), 7B8, 7Q7。

12.6至117伏——( 12SA7, 12SA7-G/GT, 12A8-GT )。

( 2 )六相變波管連三極管：

6.3伏——( 6K8, 6K8-G, 6K8-GT )。

12.6至117伏——12K8。

( 3 )七極變波管連三極管：

6.3伏——6J8-G, 7J7。

(4) 八極變波管：

6.3伏——7A8。

(5) 五相極混合管：

6.3伏——(6I7, 6I7-G)。

(四) 電壓放大管、振盪管、及檢波管：

(1) 單三極管：

1.4伏——1G4-G/GT。

2伏——(1H4-G, 30)。

2.5至5伏——27, 56, 485。

6.3伏——(6C5, 6C5-G/GT), (6J5, 6J5-G/GT, 7A4?), (6PN-G/GT, 76), 6I5-G, 6AE5-G/GT, 37。

12.6至117伏——12J5-GT。

(2) 雙三極管：

1.4伏——3A5\*

6.3伏——6C8-G, 6F8-G, 6J6, 6SN7-G。

12.6至117伏——12AH7-GT, 12SN7-GT。

(3) 變屏三極管：

6.3伏——6AE6-G。

(4) 變輸入極三極管：

6.3伏——6AE7-GT。

(5) 三極管連電力五極管：

6.3伏——6AD7-G。

(6) 三極管連二極管及電力五極管：

1.4伏——1D8-GT。

(7) 單高放大因數三極管：

6.3伏——(6SF5, 6SF5-GT, 6F5, 6F5-G, 6F5-GT), 6K5-G, 7B1。

12.6至117伏——(12SF5, 12SF5-GT, 12F5-GT)。

(8) 變高放大因數三極管：

6.3伏——(6SC7, 7F7), 6SL7-GT。

12.6至117伏——12SC7, 12SL7-GT。

(9) 高放大因數三極管連二極管及射週五極管：

1.4伏——3A8-GT\*。

(10) 遙斷紹四極管：

2伏——1D5-GT。

2.5至5伏——35。

## (11) 鉻鋁絕四極管：

2伏——32。

2.5至5伏——24-A。

6.3伏——36。

## (12) 遙斷絕五極管：

1.4伏——1T4, 1P5-GT。

2伏——(1D5-GP, 1A4-P), 34。

2.5至5伏——58。

6.3伏——(6SK7, 6SK7-G/GT, 6K7, 6K7-G, 6K7-GT; 78-), (6S7, 6S7-G); 6SS7; (6U7-G, 6D6, 6E7); 6W7-G, 39/44, 7A7, 6AB7, 6AC7, 7H7, 7B7。

12.6至117伏——(12SK7, 12SK7-GT, 12K7-GT), 14A7/12B7。

## (13) 遙斷絕五極管連三極管：

6.3伏——6F7, 6P7-G。

12.6至117伏——12B8-GT, 25B8-GT

## (14) 半遙斷絕五極管：

6.3伏——6SG7。

12.6至117伏——12SG7。

## (15) 鉻鋁絕五極管：

1.4伏——(1N5-G; 1N5-GT), 114, 11N5。

2伏——(1H5--GP, 1B4-P), 15。

2.5至5伏——57。

6.3伏——6AG5, 6SH7, (6SJ7, 6SJ7-GT, 6J7, 6J7-G, 6J7-GT, 6D7), 77, 6C6, 7C7, 7G7/1232。

12.6至117伏——12SH7, (12SJ7, 12SJ7-GT, 12J7-GT)。

## (16) 鉻鋁絕五極管連二極管及高放大因數三極管：

1.4伏——3A8-GT。

## (五) 電力放大管：

## (1) 單三極管：

2伏——31。

2.5至5伏——2A3, 45, 183/483。

6.3伏——6A3, 6B4-G。

## (2) 雙三極管：

6.3伏——6E6。

## (3) 單高放大因數三極管：

2伏——49。

2.5至5伏——46。

6.3伏——6AC5-G/GT, 6C4。

12.6至117伏——25AC5-G/GT。

(4) 變高放大因數三極管：

1.4伏——1G6-G/GT。

2伏——(1J6-G, 19)。

2.5至5伏——53。

6.3伏——(6N7, 6N7-G/GT, 6A6), (6Y7-G, 79), 6Z7-G。

(5) 集射管：

1.4伏——(1Q5-G/GT, 3Q5-G/GT\*), 1T5-GT。

6.3——(6L6, 6I6-G), (6V6, 6V5-G/GT), 6Y5-G, 7A5, 7C5。

2.6至117伏——(25L6, 25L6-G/GT), 25C6-G, 55A5, 35L6-G/GT,  
50L6-GT。

(6) 集射管連整流管：

12.6至117伏——32L7-GT, 70L7-GT, 117L7-GT/117L7-GT, 117N7-GT,  
117P7-GT。

(7) 單五極管：

1.4伏——1A5-G/GT, (1S1, 3S1\*), 1C5-G/GT, 1PA4, 1IB4, (3A4\*,  
3Q4\*)。

2伏——(1F5-G, 1F4), (1G5-G, 1J5-G), 33。

2.5至5伏——2A5, 47, 59。

6.3伏——(6F6, 6F6-G, 42), (6K6-G/GT, 41), 6G6-G, 38, 6A4,  
89, 7B5。

12.6至117伏——12A5, (25A6, 25A6-G/GT, 43), 25B6-G。

(8) 變五極管：

2伏——1E7-G (即二1F5-G)。

(9) 五極管連二極管及三極管：

1.4伏——1D3-GT。

(10) 五極管連三極管：

6.3伏——6AD7-G。

(11) 五極管連整流管：

12.6至117伏——12A7, 25A7-G/GT。

(12) 檢測五極管 (電視用)：

6.3伏——6AG7。

(13) 直接耦合放大管：

3.3伏——6B5, 6N6-G.

12.5至117伏——(25B5, 25N6-G).

(六) 陰極射線指示管：

(1) 單指示管連遙斷絕三極管：

6.3伏——6AB5/6N5, 6U5/6G5,

(2) 單指示管連鏡斷絕三極管：

2.5至5伏——2E5,

6.3伏——6E5.

(3) 雙指示管：

6.8伏——6AD6-G, 6AF6-G.

(七) 氣體管：

2.5至5伏——2A4-G.

## 7.6 發射管的分類

應用本分類作設計的參考時，注意下列各點：

(1) 本分類限於美國 RCA 公司的出品。

(2) 各額定值均指繼續商用。如有 \* 號的真空管且可作業餘及斷續商用，用法見該管的特性規範。

(3) 最高週率是指真空管在額定最大屏極輸入及電壓工作時的週率。

(4) 凡有 ▲ 號者是用於推挽式電路。

(5) 凡有 △ 號者是甲乙類放大。

(6) 凡最大屏極電壓大於五千伏者不列入。

(一) 甲類音週放大管

| 最大屏極輸入 | 最大屏極電壓 | 最大屏極消耗 | 絲極電壓 | 管式 | 管號        |
|--------|--------|--------|------|----|-----------|
| 12瓦    | 425伏   | 12瓦    | 7.5伏 | 三  | 841/842   |
| 12     | 425    | 12     | 2.5  |    | 843       |
| 20     | 600    | 20     | 7.5  |    | 801-A/801 |
| 75     | 1250   | 75     | 10.0 | 極  | 211       |
| 100    | 1250   | 100    | 10.0 |    | 845       |
| 300    | 3000   | 300    | 11.0 |    | 849       |
| 600    | 2500   | 600    | 11.0 | 管  | 851       |

|     |      |    |      |     |      |
|-----|------|----|------|-----|------|
| 18  | 600  | 18 | 6.3  | 五極管 | 802* |
| 15  | 400  | 15 | 2.5  | 集   | 1619 |
| 75  | 2000 | 75 | 8.0  | 射   | 8001 |
| 225 | 1750 | 70 | 10.0 | 管   | 828* |

## (二)乙類音週放大管

| 最大屏<br>極輸入 | 最大屏<br>極電壓 | 最大屏<br>極消耗 | 絲 極<br>電 壓 | 管<br>式 管 | 號            |
|------------|------------|------------|------------|----------|--------------|
| 25瓦        | 425伏       | 15瓦        | 7.5伏       | 三        | 811          |
| 40         | 425        | 20         | 2.5        |          | 1603         |
| 42         | 600        | 20         | 7.5        |          | 801-A, 801   |
| 75         | 750        | 25         | 6.3        |          | 809*, 1623*  |
| 85         | 1250       | 35         | 7.5        |          | 800          |
| 125        | 1250       | 40         | 6.3        |          | 811*, 812*   |
| 150        | 1000       | 60         | 10.0       |          | 830-B        |
| 150        | 1500       | 50         | 7.5        |          | 803          |
| 220        | 1250       | 100        | 10.0       |          | 203-A, 211   |
| 220        | 1250       | 100        | 10.0       |          | 838          |
| 250        | 3000       | 100        | 10.0       | 極        | 832          |
| 315        | 1500       | 125        | 10.0       |          | 805          |
| 330        | 1350       | 100        | 10.0       |          | 8003         |
| 425        | 2000       | 125        | 10.0       |          | 810*, 1627*  |
| 425        | 2000       | 125        | 10.0       |          | 800*         |
| 500        | 3000       | 150        | 5.0        |          | 803*         |
| 600        | 3000       | 250        | 11.0       |          | 201-A        |
| 825        | 3000       | 300        | 11.0       |          | 849          |
| 1125       | 3000       | 300        | 10.0       |          | 833-A*       |
| 1600       | 4000       | 400        | 10.0       |          | 833-A*       |
| 2250       | 3000       | 750        | 11.0       | 管        | 851          |
| 30         | 400        | 15         | 2.5        | 集        | 1619△        |
| 54         | 600        | 25         | 2.5        |          | 1624△        |
| 60         | 400        | 20         | 6.3        | 射        | 815△*, 816△  |
| 60         | 600        | 25         | 6.3        | 管        | 807△*, 1675* |

## (三)乙種射週電諾放大管

| 最大屏極擴大 | 最大屏極電壓 | 最大屏極消耗 | 極間電壓 | 最高週率 | 管式 | 管號          |
|--------|--------|--------|------|------|----|-------------|
| 13.5瓦  | 400伏   | 15瓦    | 2.5伏 | 6兆週  | 三  | 813         |
| 22.5   | 400    | 15     | 7.5  | 6    |    | 811         |
| 30     | 425    | 10     | 2.5  | 15   |    | 1003        |
| 30     | 600    | 10     | 7.5  | 60   |    | 801-A, 801  |
| 37.5   | 750    | 25     | 6.3  | 60   |    | 802*, 1023* |
| 40     | 1200   | 35     | 7.5  | 60   |    | 800         |
| 60     | 1450   | 40     | 6.3  | 60   |    | 811*, 812*  |
| 65     | 1000   | 60     | 7.5  | 250  |    | 835         |
| 75     | 1200   | 50     | 7.5  | 60   |    | 834         |
| 75     | 1500   | 50     | 7.5  | 60   |    | 803         |
| 90     | 1000   | 70     | 10.0 | 15   |    | 830-B       |
| 100    | 1500   | 100    | 10.0 | 15   |    | 801-A, 211  |
| 100    | 1200   | 100    | 10.0 | 60   | 極  | 835         |
| 100    | 1850   | 160    | 10.0 | 60   |    | 8003        |
| 150    | 2000   | 100    | 10.0 | 60   |    | 852         |
| 185    | 1600   | 125    | 10.0 | 60   |    | 805         |
| 185    | 1000   | 125    | 10.0 | 60   |    | 810*, 1027* |
| 190    | 1000   | 125    | 10.0 | 60   |    | 8000*       |
| 225    | 1000   | 100    | 5.0  | 60   |    | 800*        |
| 400    | 2500   | 250    | 11.0 | 3    |    | 801-A       |
| 450    | 1000   | 300    | 10.0 | 30   |    | 833-A       |
| 600    | 2000   | 400    | 11.0 | 3    |    | 849         |
| 600    | 1000   | 600    | 11.0 | 225  |    | 887, 888    |
| 600    | 4000   | 400    | 10.0 | 60   |    | 833-A*      |
| 1100   | 2500   | 750    | 11.0 | 3    | 管  | 851         |
| 12.5   | 500    | 15     | 2.5  | 15   | 四  | 844         |
| 22.5   | 750    | 15     | 7.5  | 15   |    | 865         |
| 150    | 1250   | 160    | 10.0 | 15   | 極  | 850         |
| 150    | 3000   | 160    | 10.0 | 30   |    | 860         |

|      |      |     |      |       |   |             |
|------|------|-----|------|-------|---|-------------|
| 600  | 530  | 400 | 11.0 | 30    | 管 | 861         |
| 15   | 500  | 10  | 6.3  | 30    | 五 | 805*        |
| 16   | 500  | 12  | 12.6 | 20    |   | 857         |
| 60   | 1250 | 40  | 7.5  | 15    | 極 | 804*        |
| 180  | 2000 | 125 | 10.0 | 20    | 管 | 803         |
| 30   | 400  | 10  | 6.3  | 150   | 渠 | 815*▲       |
| 37.5 | 600  | 25  | 6.3  | 60    |   | 807*, 1625* |
| 37.5 | 750  | 25  | 6.3  | 60    |   | 1625*       |
| 75   | 1250 | 50  | 10.0 | 30    | 射 | 814*        |
| 105  | 1250 | 70  | 10.0 | 30    |   | 828*        |
| 150  | 2000 | 100 | 10.0 | 30    |   | 813         |
| 1500 | 3500 | 800 | 7.5  | 100   | 管 | 827-R       |
| 100  | 2000 | 50  | 6.3  | 300以上 |   | 825○        |

## (四)丙類射頻電話放大管

| 最大屏極輸入 | 最大屏極電壓 | 最大屏極消耗 | 絲極電壓 | 最高週率 | 管式及調幅別 | 管號          |
|--------|--------|--------|------|------|--------|-------------|
| 14瓦    | 350伏   | 10瓦    | 2.5伏 | 6兆週  | 三      | 843         |
| 21     | 350    | 10     | 7.5  | 6    |        | 841         |
| 30     | 350    | 13.5   | 2.5  | 45   |        | 1608        |
| 30     | 500    | 13.5   | 7.5  | 60   |        | 801-A/801   |
| 33     | 800    | 27     | 3.5  | 500  |        | 1628        |
| 50     | 600    | 17.5   | 6.3  | 60   | 極      | 809*, 1623* |
| 75     | 800    | 40     | 7.5  | 250  |        | 826         |
| 80     | 800    | 40     | 10.0 | 15   |        | 830-B       |
| 80     | 1000   | 23     | 7.5  | 60   |        | 800         |
| 100    | 1000   | 55     | 7.5  | 100  | 管      | 831         |
| 105    | 1000   | 27     | 6.3  | 60   |        | 811*, 812*  |
| 135    | 1250   | 35     | 7.5  | 30   |        | 803         |
| 170    | 2000   | 67     | 10.0 | 30   |        | 852         |
| 175    | 1000   | 67     | 10.0 | 15   | 屏      | 203-A, 211  |
| 175    | 1000   | 67     | 10.0 | 30   |        | 838         |

|      |      |     |      |     |    |             |
|------|------|-----|------|-----|----|-------------|
| 220  | 1100 | 67  | 10.0 | 30  | 極  | 803B        |
| 220  | 1250 | 85  | 10.0 | 30  |    | 805         |
| 335  | 1600 | 85  | 10.0 | 30  |    | 810*, 1627* |
| 335  | 1600 | 85  | 10.0 | 30  |    | 809*        |
| 400  | 2000 | 400 | 11.0 | 225 | 調  | 887, 883    |
| 500  | 2500 | 110 | 5.0  | 30  |    | 803*        |
| 550  | 2000 | 167 | 11.0 | 3   |    | 204-A       |
| 700  | 2000 | 270 | 11.0 | 3   |    | 540         |
| 833  | 2500 | 250 | 10.0 | 30  |    | 833-A       |
| 1250 | 3000 | 270 | 10.0 | 20  |    | 833-A*      |
| 1800 | 2000 | 500 | 11.0 | 3   | 極  | 651         |
| 50   | 1000 | 40  | 3.5  | 500 | 三極 | 1628        |
| 65   | 1000 | 60  | 7.5  | 250 | 極  | 826         |
| 185  | 2000 | 125 | 10.0 | 30  | 調  | 816*        |
| 200  | 2000 | 125 | 10.0 | 30  | 管極 | 8000*       |
| 12.5 | 500  | 10  | 2.5  | 15  | 四屏 | 844         |
| 30   | 500  | 10  | 7.5  | 15  | 極  | 806         |
| 150  | 1000 | 70  | 10.0 | 15  | 屏  | 850         |
| 170  | 2000 | 67  | 10.0 | 30  | 調  | 860         |
| 650  | 3000 | 270 | 11.0 | 20  | 管極 | 851         |
| 11.5 | 575  | 7   | 6.3  | 45  | 五屏 | 1613        |
| 16   | 400  | 6.7 | 6.3  | 20  | 極  | 802*        |
| 20   | 400  | 8   | 12.6 | 20  | 極  | 827         |
| 80   | 1000 | 27  | 7.5  | 15  | 調  | 804*        |
| 250  | 1600 | 85  | 10.0 | 20  | 管極 | 803         |
| 15   | 500  | 10  | 6.3  | 30  | 五屏 | 802*        |
| 16   | 500  | 12  | 12.6 | 20  | 極  | 827         |
| 60   | 1250 | 40  | 7.5  | 15  | 管極 | 804*        |
| 150  | 2000 | 100 | 10.0 | 30  | 極  | 813         |
| 180  | 2000 | 125 | 10.0 | 20  | 或極 | 803         |
| 15   | 400  | 15  | 2.5  | 45  |    | 1619        |
| 22   | 400  | 15  | 6.3  | 150 | 集  | 832A        |
| 30   | 400  | 20  | 6.3  | 150 | 射  | 833A*       |

|      |      |      |      |       |              |             |
|------|------|------|------|-------|--------------|-------------|
| 37.5 | 600  | 35   | 2.5  | 60    | 管            | 1624        |
| 60   | 500  | 40   | 6.3  | 200   | 相            | 829△        |
| 75   | 1250 | 50   | 10.0 | 30    | 極            | 814*        |
| 105  | 1250 | 70   | 10.0 | 30    | 調            | 828*        |
| 150  | 2000 | 100  | 10.0 | 30    | 極            | 813         |
| 1200 | 3500 | 300  | 7.5  | 110   |              | 827-R       |
| 20   | 325  | 10   | 2.5  | 40    | 集            | 1619        |
| 22   | 325  | 10   | 6.3  | 150   |              | 832△        |
| * 22 | 325  | 14   | 6.3  | 45    | 射            | 1614        |
| 37.5 | 500  | 16.5 | 2.5  | 60    |              | 1624        |
| 40   | 325  | 13.5 | 6.3  | 150   | 管            | 815*△       |
| 40   | 475  | 16.5 | 6.3  | 60    |              | 807*, 1625* |
| 90   | 425  | 23   | 6.3  | 200   | 屏            | 829△        |
| 120  | 1000 | 34   | 10.0 | 30    |              | 814         |
| 135  | 1000 | 47   | 10.0 | 30    | 極            | 828*        |
| 240  | 1600 | 67   | 10.0 | 30    |              | 813         |
| 240  | 1800 | 65   | 5.0  | 75    | 調            | 8001        |
| 1200 | 3000 | 550  | 7.5  | 110   | 極            | 827-R       |
| 110  | 2000 | 75   | 5.0  | 75    | 集射管抑<br>制極調幅 | 8001        |
| 65   | 2000 | 50   | 6.3  | 300以上 | 相極<br>調幅     | 825○        |

## (五)丙類射過電報放大管

| 最大屏<br>極輸入 | 最大屏<br>極電壓 | 最大屏<br>極消耗 | 絲 極<br>電 壓 | 最 高<br>週 率 | 管 式 | 管 號       |
|------------|------------|------------|------------|------------|-----|-----------|
| 6.2 瓦      | 250 伏      | 5 瓦        | 12.6 伏     | 30 兆週      | 三   | 1626      |
| 18         | 450        | 15         | 2.5        | 6          |     | 843       |
| 27         | 450        | 15         | 7.5        | 6          |     | 841       |
| 40         | 425        | 20         | 2.5        | 45         |     | 1603      |
| 42         | 600        | 20         | 7.5        | 60         |     | 801-A/801 |
| 50         | 1000       | 40         | 3.5        | 500        |     | 1628      |

|      |      |      |      |     |   |                  |
|------|------|------|------|-----|---|------------------|
| 75   | 750  | 25   | 6.3  | 60  |   | 800*, 1623*      |
| 100  | 1250 | 35   | 7.5  | 60  |   | 800              |
| 125  | 1000 | 60   | 7.5  | 250 |   | 826              |
| 125  | 1250 | 50   | 7.5  | 160 |   | 834              |
| 155  | 1000 | 60   | 10.0 | 15  |   | 830-B            |
| 155  | 1250 | 40   | 6.3  | 60  |   | 811*, 812*       |
| 200  | 1500 | 50   | 7.5  | 30  |   | 808              |
| 220  | 1250 | 130  | 10.0 | 15  | 極 | 204-A, 211       |
| 220  | 1250 | 100  | 10.0 | 30  |   | 838              |
| 300  | 3000 | 100  | 10.0 | 30  |   | 852              |
| 315  | 1500 | 125  | 10.0 | 30  |   | 805              |
| 330  | 1350 | 100  | 10.0 | 30  |   | 8003             |
| 500  | 2000 | 125  | 10.0 | 30  |   | 810*, 1627*      |
| 500  | 2000 | 125  | 10.0 | 30  |   | 8000*            |
| 603  | 3000 | 150  | 5.0  | 30  |   | 806 <sup>5</sup> |
| 693  | 2500 | 250  | 11.0 | 3   |   | 204-A            |
| 875  | 2500 | 400  | 11.0 | 3   |   | 819              |
| 1200 | 3000 | 1000 | 11.0 | 225 |   | 887, 883         |
| 1250 | 3000 | 300  | 10.0 | 30  |   | 833-A            |
| 1800 | 4000 | 400  | 10.0 | 20  |   | 832-A*           |
| 2500 | 2500 | 750  | 11.0 | 3   | 管 | 851              |
| 15   | 500  | 15   | 2.5  | 15  | 四 | 814 /            |
| 45   | 750  | 15   | 7.5  | 15  |   | 835              |
| 220  | 1250 | 100  | 10.0 | 15  | 極 | 830              |
| 300  | 3000 | 100  | 10.0 | 30  |   | 869              |
| 1209 | 3500 | 400  | 11.0 | 20  | 管 | 861              |
| 9    | 400  | 6    | 2.5  | 20  | 五 | 1610             |
| 17.5 | 350  | 10   | 6.3  | 45  |   | 1613             |
| 25   | 500  | 10   | 6.3  | 30  | 極 | 802*             |
| 32   | 700  | 12   | 12.6 | 20  |   | 837              |
| 120  | 1250 | 40   | 7.5  | 15  |   | 804*             |
| 350  | 1000 | 125  | 10.0 | 20  | 管 | 803              |
| 30   | 400  | 15   | 2.5  | 45  | 集 | 1619             |
| 37   | 375  | 21   | 6.3  | 45  |   | 1611             |

|      |      |     |      |       |   |             |
|------|------|-----|------|-------|---|-------------|
| 56   | 400  | 15  | 6.3  | 150   |   | 812A        |
| 54   | 600  | 25  | 2.5  | 60    |   | 1024        |
| 60   | 400  | 20  | 6.3  | 150   |   | 815*▲       |
| 63   | 600  | 25  | 6.3  | 61    | 射 | 807*, 1625* |
| 120  | 500  | 40  | 6.3  | 200   |   | 829▲        |
| 180  | 1250 | 50  | 10.0 | 30    |   | 814*        |
| 200  | 1200 | 70  | 10.0 | 30    |   | 823*        |
| 300  | 2000 | 75  | 5.0  | 74    |   | 800E        |
| 300  | 2000 | 100 | 10.0 | 30    |   | 813         |
| 1500 | 3500 | 800 | 7.5  | 110   | 管 | 827-R       |
| 100  | 2000 | 50  | 6.3  | 300以上 |   | 8250        |

## (六) 自整流振盪管 (三極放大管)

| 最大屏<br>極輸入<br>瓦 | 最大屏極<br>均方根值<br>電壓, 伏 | 最大屏<br>極消耗<br>瓦 | 絲 額<br>電 壓<br>伏 | 最 高<br>週<br>率<br>週 | 管 號  | 管 式 |
|-----------------|-----------------------|-----------------|-----------------|--------------------|------|-----|
| 125             | 1500                  | 40              | 6.3             | 60                 | 812  |     |
| 300             | 1500                  | 100             | 10.0            | 30                 | 8003 |     |
| 450             | 2600                  | 125             | 10.0            | 30                 | 8000 |     |

## O 這是電感輸出式管

## (七) 整流管

| 最大屏<br>極平均<br>電流, 安 | 最大價<br>屏極電<br>流, 安 | 最 大 額<br>反 電 壓<br>伏             | 絲 額<br>電 壓<br>伏 | 管 號       | 管 式         |
|---------------------|--------------------|---------------------------------|-----------------|-----------|-------------|
| 0.125               | 0.5                | 5000, 10°-60°                   | 2.5             | 871       | 汞           |
| 0.20                | 1.0                | 5000, 25°-70°<br>10000, 25°-60° | 2.5             | 866-A/866 |             |
| 1.25                | 5.0                | 7500, 10°-60°                   | 5.0             | 872       | 氣           |
| 1.25                | 5.0                | 5000, 20°-70°<br>10000, 20°-60° | 5.0             | 872-A     | 半<br>波<br>管 |
| 2.5                 | 10                 | 20000, 25°-60°                  | 5.0             | 869-A     |             |
| ---                 | 0.6                | 3500                            | 10.0            | 217-A     | 真           |
| ---                 | 0.6                | 7500                            | 10.0            | 2.7-C     | 空           |
| 0.25                | 1.0                | 5000                            | 2.5             | 836       | 半<br>波      |
| 0.13                | 2.5                | 5500                            | 2.5             | 1616      | 管           |

## 第八章 基本電路

### 8.1 阻抗及導納

交流電路中，不論電流的週率如何高低，已不是純粹的電阻。電感線圈及電容器固因性質不同，產生不同的電抗。單就電阻器說，亦有滯佈電容及電感存在，情形比較複雜。無線電電路中既不能避免電阻、電感、及電容的混合應用。基本電路的個別及綜合分析，實在有先加研究的必要。

在純粹電阻的電路中，電流及電壓間的相角等於零，亦就是電壓及電流同相 (In Phase)。籠統的說，這是直流電路中所發生的現象。在電流 (交流) 通過電感時，電感圈二端的電壓比較電流引前 (Leading) 90 度，亦就是說，電壓波及電流波之間有 90 度的相角。在電流 (交流) 通過電容器時，電容器二端的電壓比較電流落後 (Lagging) 90 度，同樣，電壓波及電流波之間亦有 90 度的相角。

假使根據電感及電容的定義，電感圈及電容器的電抗亦不難化導。結果必是

$$X_L = 2\pi fL = \omega L \quad \text{歐} \quad (8.1)$$

$$\text{及} \quad X_C = \frac{1}{2\pi fC} = \frac{1}{\omega C} \quad \text{歐} \quad (8.2)$$

其中  $X_L$  是電感圈的電抗 (歐)，簡稱感抗 (Inductive Reactance)； $f$  是電流或感壓的週率 (週)； $L$  是電感量 (亨)； $\omega$  是  $2\pi f$  的乘積； $X_C$  是電容器的電抗 (歐)，簡稱容抗 (Capacitive Reactance)； $C$  是電容量 (法)。從這二公式可知，電抗與週率總有關係。週率增高，感抗隨增，容抗則降。同時，電抗與電感成正比例，與電容成反比例。

電路中同時有電阻、電感、及電容存在時，情形比較複雜。電阻之外，尚有電抗，同樣對於電流或電壓有作用。合起來說，電阻及電抗成一種混合量，就是阻抗。最簡單的數學式是

$$Z = R + jX \quad \text{歐} \quad (8.3)$$

其中  $Z$  是阻抗(歐)； $R$  是電阻(歐)； $X$  是電抗(歐)。這式中，電阻  $R$  並不與電抗  $X$  同相，所以三者不能直接相加。假使用複數 (Complex Quantity) 正確代表 (嚴格的說，電阻、電抗、及阻抗並不是向量 (Vector))，公式 8.3 應該是

$$Z = R + jX \quad \text{歐} \quad (8.4)$$

其中  $j$  是虛量 (Imaginary Quantity)，代表 90 度相位差。感抗較電阻引前 90 度，公式 8.4 用加號。容抗較電阻落後 90 度，公式 8.4 用減號。所以在電阻及電感的串聯電路中，阻抗是

$$Z = R + jX_L = R + j\omega L \quad \text{歐} \quad (8.5)$$

同樣，在電阻及電容的串聯電路中，阻抗是

$$Z = R - jX_C = R + j \frac{1}{\omega C} = R + \frac{j}{j\omega C} \quad \text{歐} \quad (8.6)$$

當三基本常數在電路中同時存在時，阻抗是

$$Z = R + jX = R + j(X_L - X_C) = R + j\left(\omega L - \frac{1}{\omega C}\right) \quad \text{歐} \quad (8.7)$$

在任何混合電路中，由於各常數的數量配合不同，雖然電阻及電抗的相位關係固定不變，電壓及電流並不能保持固定的相位，這種情形不難從公式 8.7 知之。至於阻抗的絕對值 (Absolute Value) 是

$$|Z| = \sqrt{R^2 + \left(\omega L - \frac{1}{\omega C}\right)^2} \quad \text{歐} \quad (8.8)$$

其中  $|Z|$  是阻抗的絕對值(歐)；基本常數短缺一二種時，這種關係仍舊存在。例如在感抗及容抗的數值恰相等時，電路阻抗的絕對值就是電阻  $R$ ，其他情形亦同。所以公式 8.7 及公式 8.8 是阻抗的適式 (General Equation)。

基本常數並聯時，電路的分析以用導納 (Admittance) 比較簡便，寫成數式就是

$$Y = \frac{1}{Z} = G + jB \quad \text{漢} \quad (8.9)$$

其中  $Y$  是導納； $G$  是電導 (Conductance)； $B$  是電納 (Susceptance)；單位全是漢。導納  $Y$ 、電導  $G$ 、及電納  $B$  與阻抗  $Z$ 、電阻  $R$ 、及電抗  $X$  的關係，可以根據公式 8.7 及公式 8.9 化導。結果是

$$G = \frac{R}{R^2 + X^2} = \frac{R}{|Z|^2} \quad \text{漢} \quad (8.10)$$

$$B = \frac{-X}{R^2 + X^2} = \frac{-X}{|Z|^2} \quad \text{漢} \quad (8.11)$$

其中各值與上述的定義相同。同樣，導納的絕對值亦必定是

$$|Y| = \sqrt{G^2 + B^2} \quad \text{漢} \quad (8.12)$$

當電路中二部份的阻抗或導納串聯或並聯時，總阻抗或總導納不脫下列的關係，就是

$$\text{阻抗串聯：} \quad Z = Z_1 + Z_2 \quad \text{歐} \quad (8.13)$$

$$\text{阻抗並聯：} \quad \frac{1}{Z} = \frac{1}{Z_1} + \frac{1}{Z_2} \quad \text{漢} \quad (8.14)$$

$$\text{導納並聯：} \quad Y = Y_1 + Y_2 \quad \text{漢} \quad (8.15)$$

$$\text{導納串聯：} \quad \frac{1}{Y} = \frac{1}{Y_1} + \frac{1}{Y_2} \quad \text{歐} \quad (8.16)$$

其中  $Z$  及  $Y$  分別代表總阻抗(歐)及總導納(漢)； $Z_1$ 、 $Z_2$  及  $Y_1$ 、 $Y_2$  分別代表二部份的阻抗(歐)及導納(漢)。如果部份阻抗或部份導納較多，公式8.13到公式8.16的關係仍舊可以應用。

## 8.2 基本電路的分析法

分析電路的基本方法，大多不能脫離歐姆定律的簡單關係。照歐姆定律，在直流電路中，電壓、電流、及電阻的關係是

$$\text{電阻}(R) = \frac{\text{電壓}(E)}{\text{電流}(I)} \quad \text{歐} \quad (8.17)$$

其中電阻( $R$ )的單位是歐；電壓( $E$ )及電流( $I$ )的單位分別是伏及安。在交流電路中，情形比較複雜，一如上述。所幸歐姆定律能普遍應用，這時電壓及電壓是與阻抗相聯繫。就是，

$$\text{阻抗}(Z) = \frac{\text{電壓}(E)}{\text{電流}(I)} \quad \text{歐} \quad (8.18)$$

其中阻抗( $Z$ )的單位是歐；電壓( $E$ )及電流( $I$ )的單位仍如公式8.17。假使電壓、電流、或阻抗之一是複量，公式8.18是一向量式，不能

用簡單的算法。如果電流及電壓全是絕對值，自然阻抗亦是絕對值。

當電路的實際組織不是一單獨的串聯構造時，電路的分析尚須應用其他方法，方能收事半功倍之效。這種電路分析法有二種，就是：克希荷夫定律 (Kirchhoff's Law) 及網流 (Mesh Current) 法。這二種方法同樣可以用在直流電路及交流電路，僅在交流電路分析時，各部份電流的方向，均先假定一種瞬時值。

克希荷夫定律共有二條，規定電路中二種穩定工作條件。電路愈複雜，或經路 (Mesh) 愈多，分析所用的公式數目亦愈須增多。照第一條定律：每一交接點之總電流值(代數和)必是零，就是

$$\sum I = 0 \quad (\text{交接點}) \quad (8.19)$$

所以各路電流集合在一點時，不論電路數目多少，在每一瞬時，電流的流入量必定與電流流出量相等。亦就是說，在穩定狀態下，任何一交接點並無集電現象。

克希荷夫定律第二條的定義是：在任何一網路中，全網路的總電壓降(代數和)必定是零。在具有電源的網路中，亦可以說，全網路各部份電壓降的總和必定等於電源電壓。至於經路各部份電流值則不必相同。所以

$$\sum IR = 0 \quad (\text{全網路}) \quad (8.20)$$

$$\text{或} \quad \sum IR = \sum E_0 \quad (\text{全網路}) \quad (8.21)$$

其中  $E_0$  是電源電壓(伏)； $IR$  是電壓降(伏)。

圖 8.1 是比較簡單的電路，共有二網路。照克希荷夫定律就可寫出其公式。圖中各電流集中在甲點，電流方向是假定者。方向如有錯誤，並無關係，因為僅有算出的電流值變成一負數。

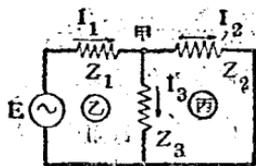


圖 8.1 基本電路的一種

$$\text{甲點照公式 8.19 得:} \quad I_1 - I_2 - I_3 = 0 \quad (8.22)$$

$$\text{乙網照公式 8.20 得:} \quad I_2 Z_2 - I_3 E_3 = 0 \quad (8.23)$$

$$\text{丙網照公式 8.21 得:} \quad I_1 Z_1 + I_3 Z_3 = E_0 \quad (8.24)$$

由上列三聯立方程式(公式 8.22 到公式 8.24) 及各已知數 ( $Z_1$ 、 $Z_2$ 、 $Z_3$ 、及  $E_0$ )，就不難化解各路的電流 ( $I_1$ 、 $I_2$ 、及  $I_3$ )。

網流法與克希荷夫定律亦略相似。圖 8.2 是一比較複雜的電路，

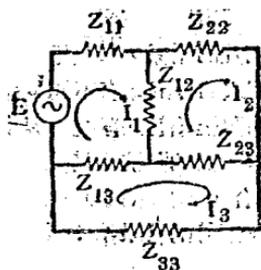


圖8.2 基本電路又一種

$$(Z_{11} + Z_{12} + Z_{13})I_1 + Z_{12}I_2 + Z_{13}(-I_3) = E \quad (8.25)$$

$$Z_{12}I_1 + (Z_{12} + Z_{22} + Z_{33})I_2 + Z_{33}I_3 = 0 \quad (8.26)$$

$$Z_{13}(-I_1) + Z_{23}I_2 + (Z_{13} + Z_{23} + Z_{33})I_3 = 0 \quad (8.27)$$

上列三聯立方程式可用代替法或行列式(Determinate)分解。各網流( $I_1$ 、 $I_2$ 、及 $I_3$ )亦可從各已知數( $Z_{11}$ 、 $Z_{12}$ 、 $Z_{13}$ 、 $Z_{22}$ 、 $Z_{23}$ 、 $Z_{33}$ 、及 $E_0$ )求得。除阻抗 $Z_{11}$ 、 $Z_{22}$ 、及 $Z_{33}$ 的電流分別是 $I_1$ 、 $I_2$ 、及 $I_3$ 外，阻抗 $Z_{12}$ 的電流是 $(I_1 - I_2)$ ， $Z_{13}$ 的電流是 $(I_1 - I_3)$ ， $Z_{23}$ 的電流是 $(I_2 - I_3)$ 。圖中各網流亦是取假定的流向，方向錯誤，算出的電流亦變成負值，不難改正。

### 8.3 四端電路

無線電工程中所用的電路，程式衆多，繁簡不一。假使不將各種複雜的電路化到最簡單的型式，不但分析困難，就是電路的特性，亦不易顯出。又如果不將各種電路化到同一的型式，性能的比較，亦不可能。今日無線電包括的範圍已日益廣泛，電路的正確分析，亦是重要。

最簡單的基本四端電路(Four Terminal Network)可以是T式或π式。圖8.3及圖8.4就是這二種四端電路，圖中僅方框內部是四端電

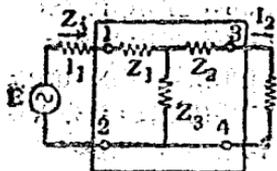


圖8.3 T式電路

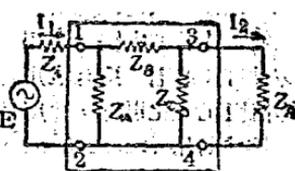


圖8.4 π式電路

路的本身， $Z_R$ 是負荷阻抗， $Z_1$ 是供電的內電阻或輸入電阻， $E$ 是電源。假使在T式電路及 $\pi$ 式電路間樹立一種正確的關係，二式電路的特性固能相同，電流 $I_1$ 及 $I_2$ ，亦將不因電路型式的差異而有不同。這種聯繫並不難建立，先將二電路的電源（連內阻抗或輸入阻抗）及負荷除去，再計算每二端（1—2、1—3、及3—4）間的阻抗，這時其餘二端保持開路（Open Circuit）狀態，不能接合。當二圖中同位二端間的端阻抗相等時，就能列出三聯立公式，解算的結果是：

$$Z_1 = \frac{Z_a Z_b}{Z_a + Z_b + Z_c} \quad \text{歐} \quad (8.28)$$

$$Z_2 = \frac{Z_b Z_c}{Z_a + Z_b + Z_c} \quad \text{歐} \quad (8.29)$$

及  $Z_3 = \frac{Z_a Z_c}{Z_a + Z_b + Z_c} \quad \text{歐} \quad (8.30)$

同樣得  $Z_a = \frac{Z_1 Z_2 + Z_1 Z_3 + Z_2 Z_3}{Z_2} \quad \text{歐} \quad (8.31)$

$$Z_b = \frac{Z_1 Z_2 + Z_1 Z_3 + Z_2 Z_3}{Z_3} \quad \text{歐} \quad (8.32)$$

及  $Z_c = \frac{Z_1 Z_2 + Z_1 Z_3 + Z_2 Z_3}{Z_1} \quad \text{歐} \quad (8.33)$

其中 $Z_1$ 、 $Z_2$ 、及 $Z_3$ 是T式四端電路的各部份阻抗（歐）， $Z_a$ 、 $Z_b$ 、及 $Z_c$ 是 $\pi$ 式四端電路的各部份阻抗（歐）。各阻抗的位置可參見圖8.3及圖8.4。

由此可見，在一單獨的週率，當互緊關係獨立時，任何一電路中的T式及 $\pi$ 式四端電路，就能互相變換，同時電路的特性並無影響。

在若干的情形下，在一單獨的週率，亦可以將複雜的電路簡化到等值的T式或 $\pi$ 式四端電路。圖8.3或圖8.4中方框內部各阻抗，就可代表任何複雜的電路。應用方面，這種情形時常發生，所以簡單的化導方法亦是必需。這是利用幾次簡單的度量，從度量的結果，再計算各等值阻抗。化導時，先度量輸入二端的阻抗，這時其他輸出二端可成開路或短路（Short Circuit）。同樣，輸出二端的阻抗亦能度量，輸入端亦是依次開路或短路（實際上，用三次量已足夠）。等值T式

或  $\pi$  式電路的各部份阻抗，可用下列各公式計算。就是等值 T 式電路（見圖 8.3）

$$Z_1 = Z_{01} - \sqrt{Z_{02}(Z_{01} - Z_{s1})} \quad \text{歐} \quad (8.34)$$

$$Z_2 = Z_{01} - \sqrt{Z_{02}(Z_{01} - Z_{s1})} \quad \text{歐} \quad (8.35)$$

及  $Z_3 = \sqrt{Z_{02}(Z_{01} - Z_{s1})} \quad \text{歐} \quad (8.36)$

等值  $\pi$  式路（見圖 8.4）：

$$Z_a = \frac{Z_{s1} Z_{02}}{Z_{02} - \sqrt{Z_{02}(Z_{01} - Z_{s1})}} \quad \text{歐} \quad (8.37)$$

$$Z_b = \frac{Z_{s1} Z_{02}}{\sqrt{Z_{02}(Z_{01} - Z_{s1})}} \quad \text{歐} \quad (8.38)$$

及  $Z_c = \frac{Z_{s1} Z_{02}}{Z_{01} - \sqrt{Z_{02}(Z_{01} - Z_{s1})}} \quad \text{歐} \quad (8.39)$

其中  $Z_1$ 、 $Z_2$ 、及  $Z_3$ 、是等值 T 式電路的各部份阻抗（歐）； $Z_a$ 、 $Z_b$ 、及  $Z_c$  是等值  $\pi$  式電路的各部份阻抗（歐）； $Z_{s1}$  是輸出端重路時的輸入端阻抗（歐）； $Z_{01}$  是輸出端開路時的輸入端阻抗（歐）； $Z_{02}$  是輸入端開路時的輸出端阻抗（歐）。各阻抗均可以是複量。由此可知，任何四端電路，假使其各部份阻抗是雙向（Bilateral）直線性，則在一單獨的週率，這電路就可以由一簡單的 T 式或  $\pi$  式電路代表。

## 8.4 基本電路定理

無線電路分析時，常須在有意或無意之中，應用各種基本的定理。下列各種定理比較重要，熟悉後，對於電路的理論，自然容易了解。

**色弗林定理 (Thévenin's Theorem)**：在任何電路的二端，假使已經知道這二端間的等值開路電壓及內視的等值端阻抗，則這等值電壓及等值端阻抗串聯後，就能代替原有的電路。不過二端間負荷阻抗的電流，仍舊須保持原值不變。度二端阻抗時，內視電源亦須由其內阻抗 (Internal Impedance) 替代。

圖 8.5 是色弗林定理的圖解。(乙) 圖中  $V_0$  是 (甲) 圖移去後 1-2 端間的電壓。當原電路中電源部份由其內阻抗代替時， $Z_{12}$  就是

(甲)圖1—2二端間的內視阻抗。電路改組後，負荷阻抗 $Z_R$ 的電流 $I$ 仍舊不變。所以照色弗林定理，極複雜的電路，亦能化到最簡的地步。

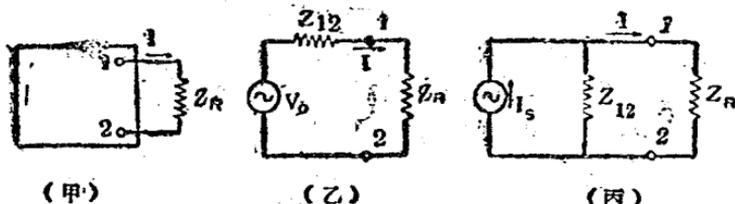


圖8.5 色弗林定理及那敦定理的圖解

那敦定理 (Norton's Theorem)，與色弗林定理相似。定理是：在任何電路的二端，假使已知這二端間的等值短路電流及內視的等值端阻抗，則這等值電流及等值端阻抗並聯後，就能代替原有電路，不過二端間負荷阻抗的電流，仍舊保持原值不變。度量端阻抗時，內部電源亦須由其內阻抗代替。

圖8.5中(丙)圖是那敦定理的圖解。(甲)圖是原形電路。當等值的短路電流( $I_s$ )及等值的端阻抗( $Z_{12}$ )是已知數時，(丙)圖就是一種代表。流過在負荷阻抗 $Z_R$ 的電流 $I$ 亦未變化。顯然，色弗林定理與那敦定理的基本理論完全相同，惟色弗林定理根據恆定電壓 (Constant Voltage) 工作，那敦定理則根據恆定電流工作。實際上，(乙)圖亦與(丙)圖相等。究竟應用何種定理分析，並無關係。

重疊定理 (Superposition Theorem) 亦是一重要的定理，應用極廣泛。定理是：如果在一電路中有多數電源及多數直線性阻抗時，電路任何一點的電流，就是各電源個別產生電流的總和。當各電源個別計算其電流時，其餘各電源必須各由其內阻抗代替。

這定理的正確性亦有一定的限度，就是歐姆定律的直線性必須能維持不變。因為電路中的電流必須與電壓成正比例後，任何位置的電壓增減，方能不因同時有其他電源存在而有影響。這種特點，對於電路的分析工作大有裨益。例如色弗林定理唯有利用重疊定理，方能分解多數電源的電路。在無線電電路中，不但電源的數目可以增多，就是電流速率的增多（這是常事），亦可藉重疊定理，使分析工作簡化。總之，這重疊定理的用途衆多，無須逐一例舉。

無線電工程中，須將電力從電路的一部份遷移到另一部份。照最

大電力遞送定理 (Maximum Power Transfer Theorem)，下列各條件已經明白確定，就是：

定理(一)：當二電路配接時，如果接合二端間的阻抗互成共軛 (Conjugate)，電力的遞送是最大。就是

$$R_1 = R_2 \quad (8.40)$$

及 
$$X_1 = -X_2 \quad (8.41)$$

其中  $R_1$  是阻抗  $Z_1$  中的電阻 (歐)； $R_2$  是阻抗  $Z_2$  中的電阻 (歐)； $X_1$  是阻抗  $Z_1$  中的電抗 (歐)； $X_2$  是阻抗  $Z_2$  中的電抗 (歐)。當電力盡數傳遞到負荷阻抗  $Z_2$  時，負荷阻抗中的電阻必須與供電內電阻相等，同時，電抗  $X_2$  必須與電抗  $X_1$  有 180 度的相位差 (共軛)。意思就是， $X_1$  是感抗 (或容抗) 時， $X_2$  必須是容抗 (或感抗)，而二電抗的數值亦須相等。

定理(二)：當負荷阻抗及內阻抗的絕對值相等時，電力遞送達最大量。這時負荷阻抗的電工因數須固定不變。就是

$$|Z_1| = |Z_2| \quad (8.42)$$

其中  $|Z_1|$  是供電電路內阻抗  $Z_1$  的絕對值 (歐)， $|Z_2|$  是負荷阻抗  $Z_2$  的絕對值 (歐)。所以在最大電力遞移時，二電路配接端的阻抗，必須具有同量的絕對值。

所以，最大電力遞輸量是

$$P = \frac{E^2}{4R_1} \quad \text{瓦} \quad (8.43)$$

其中  $P$  是最大的電力遞輸 (瓦)； $E$  是電路輸出端的開路電壓 (伏)； $R$  是輸出端內視阻抗的電阻部份 (歐)。唯須注意，公式 8.43 應用時，上列定理必須滿足。因為這公式是從原定理所化出。現在任何一複雜電路，已經可用色弗林定理化到簡單的等值電路，再從這等值電路的常數，自然不難能定最大電力的遞輸量及其遞輸條件。嚴格地說，這在阻抗配接法 (Impedance Matching) 的效率，祇有百分之五十。電壓調節 (Voltage Regulation) 亦然，所幸無線電及其他電信電路中，電力較弱，電力的耗費亦不大，同時電壓調節性並不重要。所以這種最大電力遞送條件比較適宜。

## 8.5 串聯諧振

普通的串聯電路中，電阻、電感、及電容時常同時存在。照公式

8.7, 串聯電路的阻抗是電壓週率的一種函數。就是說, 二端間的電壓值保持不變時, 週率的變化就能產生不同的端阻抗。詳細研究公式 8.7 可知, 當電路週率極低時, 感抗極小, 容抗則極大, 因為感抗與週率成正比例, 容抗則與週率成反比例。圖 8.6 中, 感抗  $X_L$  曲線由零點隨週率而增加, 容抗  $X_C$  曲線則由無限大負值漸減。所以電路中實有的電抗必是一負值, 得自電容器。電阻不受週率的影響, 所以始終存在, 且是一固定數。週率增加, 感抗及容抗間的差數亦逐漸減小。當電抗值互相對消中和時, 電路中僅有電阻存在, 這種情形祇能在一

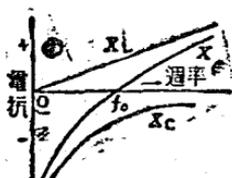


圖 8.6 串聯諧振電路的  
阻抗特性圖

單獨的週率發生。因為週率極低時, 電路中的容抗必大於感抗。週率微增, 相反的情形亦立刻發生, 就是感抗必大於容抗。當週率極高時, 容抗漸近零值, 感抗極大, 占重要的地位。這種現象在無線電工程中極是重要, 所以有再加詳細研究的必要。

照上述的情形, 在一單獨的週率, 串聯電路中感抗必能與容抗中和對消。這是串聯諧振 (Series Resonance) 就是

$$\sum X = 0 \quad (\text{串聯諧振}) \quad (8.44)$$

這是串聯諧振的基本條件。電路中有無電阻並無關係。當公式 8.44 的定義用以解釋公式 8.7 的諧振現象時, 可得

$$\omega L - \frac{1}{\omega C} = 0 \quad (8.45)$$

進一步就知, 發生串聯諧振的週率, 必定與電感  $L$  及電容  $C$  有密切的關係。由公式 8.45 得

$$f_0 = \frac{1}{2\pi \sqrt{LC}} \quad \text{週} \quad (8.46)$$

其中  $f_0$  是串聯諧振週率 (Resonant Frequency) (週);  $L$  是電感 (亨);  $C$  是電容 (法)。電路中電感或電容增加時, 週率下降, 但降率不速, 僅是  $LC$  乘積根值的函數。這是無線電電路的基本特性, 所以公式 8.46 極是重要。在諧振情形形下的特點有:

(一) 電路的阻抗僅餘電阻部份, 從公式 8.7 得

$$Z_0 = R \quad \text{歐} \quad (8.47)$$

其中 $Z_0$ 是諧振時的阻抗(歐); $R$ 是串聯電路中的總電阻(歐)。假使電路中本無電阻,則諧振時的端阻抗亦是零。

(二)電路中電工因數是1,所以電流與所施的電壓同相。

(三)假使電路中僅有線圈的電阻時(這電阻是在諧振週率的交流電阻),線圈端的電壓必大於所施的電壓,與電路 $Q$ 值成正比例。

(四)電容器端的電壓亦大於所施的電壓,這種情形與(三)段現象相同。

(五)電阻量控制電路中的電流。電阻是零時,電流增到無限大。

串聯諧振電路中,電壓及電流間的相位亦與週率有關係。當電壓週率低於諧振週率時,大部份的電壓降是在電容器的二端。容抗極大,所以電流極微。照第8.1節的說明,這電流且較所施電壓引前90度。當電壓週率高於諧振週率時,大部份的電壓降是在電感圈的二端。感抗極大,電壓亦極小,較之電壓落後90度。在諧振週率,電抗中和不存在,所以電壓及電流同相,一如上述。在這三種條件之間,相位亦各相同,逐漸由90(引前或落後)減到零值。實際的相角,可用下式計算,就是

$$\theta = \tan^{-1} \frac{X}{R} \quad \text{度} \quad (8.48)$$

其中 $\theta$ 是相角(度); $X$ 是電抗(歐),隨週率而異。在諧振時, $X=0$ ;  $R$ 是交流電阻(歐)。

實際的串聯諧振電路中,電阻量幾乎全是電感線圈的電阻。在普通情形下,電容器的電阻常極微小。根據第3.1節的說明,線圈的電阻可以用 $Q$ 值代表,這種電路中,亦可同樣利用 $Q$ 值分析電路的特性。不過為保持分析的正確程度起見,公式3.10的 $R$ 應代表整個電路中的總電阻。當然,在電容器的電阻極小時,電感圈的電阻亦就是電路的總電阻(

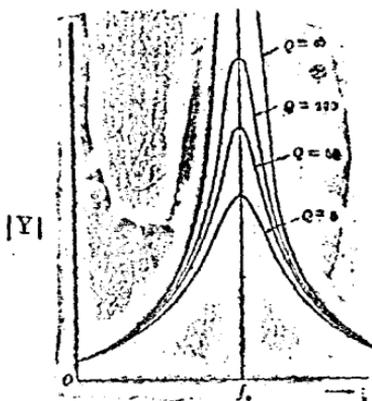


圖8.7 串聯電路的諧振曲線

除非是特殊的情形，電路中不加額外的電阻)。

振諧電路的特性常可藉共振曲線 (Resonance Curve) 表明之。圖 8.7 是串聯諧振電路中導納的絕對值及週率的關係。電流與導納成正比，所以電流及週率的曲線亦是同樣。諧振曲線愈是尖銳，其他非振諧週率所能產生的電流愈小。這種特性是選擇性 (Selectivity)，應用上關係極大。照已知的各種事實可知，串聯諧振電路的選擇性是電路 Q 值的函數。就是，Q 值愈大，選擇性愈佳。嚴格的說，各種情形下的 Q 值，必須不起變化，方能直接繪製諧振曲線。實際上，Q 值雖不是一恆定數，在諧振曲線週率的鄰近區域，可以權作一常數論。第 8.7 節將有詳細的分析。

## 8.6 並聯諧振

並聯諧振 (Parallel Resonance) 是並聯電路中的諧振現象。當這並聯電路由單純的電感及電容組成時，並聯諧振亦與串聯諧振相似。但在實際上，電感圈的電阻總是不可避免的，這種電阻的存在，遂使電路的分析，加倍複雜，本節亦分成三部份討論。

假使照串聯諧振電路的諧振定義 (公式 8.44) 列出並聯電路的諧振條件，這種並聯諧振，必定發生在電路中電納中和互消的情形下，就是

$$\Re B = 0 \quad (\text{並聯諧振}) \quad (8.94)$$

這是並聯諧振的基本條件。

照到 8.8，1-2 二端的導納公式亦可根據第 8.1 節寫出，就是

$$Y = \frac{X_c 2R}{(X_L X_c)^2 + (X_c R)^2} + j \frac{(X_L - X_c) X_L X_c + X_c R^2}{(X_L X_c)^2 + (X_c R)^2} \quad \text{漢} \quad (8.50)$$

其中 Y 是並聯電路的導納 (漢)；R 是電阻 (歐)； $X_L = \omega L$  是感抗 (歐)， $X_c = 1/\omega C$  是容抗 (歐)，L 是電感 (亨)；C 是電容 (法)。公式 9.50 是一通式，當電阻 R 不存在時，導納公式中可令  $R=0$ ，就是

$$Y = j \frac{X_L - X_c}{X_L X_c} \quad \text{漢} \quad (8.51)$$

電導部份已不存在。

(一) 並聯電路中無電阻：

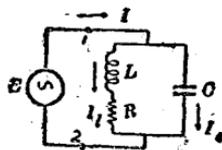


圖 8.8 並聯諧振電路

照公式8.49的定義，電路中的總導納必須是零。公式8.50或公式8.51中的電納部份等於零時，並聯諧振就能發生（應用公式8.50時，令 $R=0$ ）。結果是

$$X_L - X_C = 0 \quad (8.52)$$

這也是串聯諧振的條件，與公式8.45完全一樣。當然發生並聯諧振的週率亦與公式8.45所規定值無異。所以並聯諧振週率亦與LC乘積的根值成反比例。圖8.9就是各部份電抗及電納的圖示，在週率極低時，

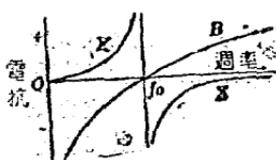


圖8.9 並聯諧振電路的阻抗特性圖

電路1-2兩端的電納是無限小值。週率極高時，電納是無限大值。在諧振週率 $f_0$ 處，電納是零。至於圖中的電抗曲線，對於應用上有極端的重要性，在週率極高（無限大）及極低（零）二種極限上，電抗皆是零。僅在諧振週率上，電抗是無限大，這與串聯諧振時的情形相反。

### (二) 電阻存在，電工因數是1：

圖8.8是這種情形的實際電路圖。照樣在諧振時，電路中的電納必須是零。公式8.50是導納公式，當令其電納等於零時，就得

$$R^2 = X_L(X_C - X_L) \quad (8.53)$$

式中各值的定義仍如公式8.50。當各電流量分別由實際的電感 $L$ 及電容 $C$ 代入後，諧振週率應是

$$f = \frac{1}{2\pi \sqrt{LC}} \sqrt{1 - \frac{CR^2}{L}} = f_0 \sqrt{1 - \frac{CR^2}{L}} \quad \text{週} \quad (8.54)$$

其中 $f$ 是並聯諧振週率（週），這時電路中有電阻存在，同時電路的電工因數是1。 $f_0$ 是串聯諧振週率，或並聯電路中無電阻時的諧振週率（週）； $R$ 是電路中的電阻（歐）； $C$ 是電容（法）； $L$ 是電感（亨）。這公式比較特殊。簡單的說，這種條件下的諧振週率略低，電阻 $R$ 對於諧振週率亦有影響。僅當 $R \ll X_L$ 時， $f$ 方可近似 $f_0$ 。

### (三) 電阻存在，阻抗達最大值：

假使並聯電路的諧振現象，並不是根據上述二種條件獲得時，可先求這種電路最大的阻抗，再在阻抗最大的條件下，改變電感、電容、或週率，亦能達到諧振的狀態。在各種情形下所得的結果，要值不

一。所以電阻存在時，並聯電路的諧振是一種複雜的現象。本節僅介紹其概要。

並聯電路在實際應用時，常取電容調諧方法。由電容量的改變，得到並聯諧振現象。分析時，可從公式 8.50 求阻抗值 ( $Z = 1/Y$ )，所得的結果是 (絕對值的平方)

$$|Z|^2 = \frac{(R^2 + X_L^2)X_C^2}{R^2 + (X_L - X_C)^2} = \frac{R^2 + \omega^2 L^2}{\omega^2 C^2 R^2 + (\omega^2 LC - 1)^2} \quad (8.55)$$

其中各值定義仍如前述 (見公式 8.50 及公式 8.54)。當這公式根據電容  $C$  偏微分 (Partial Differentiation) 時，並聯諧振的條件就是公式 8.53 所規定的條件。自然這電路的諧振週率亦是公式 8.54 規定的數值。如果電阻並不極微小時，並聯諧振的週率亦略低於公式 8.46 的週率。不過，顯然可見，調諧電容以得最大的阻抗時，電路的電工因數亦一定是 1。

假使電路的調諧是改變線圈的電感量，這種情形比較複雜，因為線圈的電感量改變時，電阻量亦有增減。但是電阻的增減，並不絕對與電感的變化成正比例。當然分析這種電路時，可以假定二種條件，就是：(一)電阻隨電感同變化，就是  $Q$  值不變；及(二)電感單獨變化。實際上，這二種條件同樣的重要。假使一單獨線圈的電感改變時，電阻幾乎可以說有同比例的增減，這是第一種條件的實際性。又如果這線圈已經有負荷時，耦合到並聯電路的電阻必定可以極大於線圈的電阻 (均是交流值)。於是每改變電感時，電阻量幾乎可以說是一常數，固定不變，這是第二種條件的實際性。所以在二種可能的情形下，電感調諧的影響亦須申述一遍。

分析電感調諧，在第一種條件下的影響時，可以先將公式 8.55 中  $X_L$  及  $(R^2 + X_L^2)$  值分別變換成  $|Z_L| \sin \theta$  及  $|Z_L|$ 。第二步就可以根據  $|Z_L|$  偏微分公式 8.55，所得的結果很簡單，就是在電路阻抗最大時，這種調諧法的諧振條件，亦如公式 8.45 (或公式 8.52) 的規定。如果電阻不大，諧振時的電工因數亦是 1。諧振週率則與公式 8.54 一樣。

公式 8.55 亦能根據電感  $L$  偏微分，結果在最大阻抗時，諧振條件是

$$L + CR^2 - \omega^2 L^2 C = 0 \quad (8.56)$$

這與上述各種情形完全不同。諧振的週率是

$$f = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{1}{LC} + \frac{R^2}{L^2}} \quad \text{週} \quad (8.57)$$

其中  $f$  是諧振週率(週)；其餘各值的定義仍如以前各式。從這公式可知，諧振週率必較無阻抗時(或串聯諧振時)的週率高。所以這與公式 8.54 並不相同，僅當  $R \ll L$  時，諧振週率方能近於公式 8.45 所定的數值。

假使令週率  $\omega (= 2\pi f)$  變化，以得最大的阻抗時，可用同樣的方法偏微分公式 8.55，所以得的結果比較複雜，其條件是

$$C^2(\omega^2 L^2 + R^2)^2 - 2RCL - L^2 = 0 \quad (8.58)$$

諧振週率亦可從這公式化導。

上列各種條件下的並聯諧振現象既不相同，在精密的研究時，實在須特別注意實際的情形，分析的結果方能正確。假使再概括的研究並聯諧振的特性，不論諧振的條件如何，不外下述各點。

並聯電路中，週率不同，對於電流及阻抗均有關係。在週率低時，電感電路中的電抗較大，但是落後 90 度(或不及 90 度)，根據週率及電阻而異。電容電路中的電流較小，較電壓引前最多 90 度。在週率高時，感抗增大，電容電路中的電流遂較大，亦是引前，最多 90 度。所以在週率高低二極限處，阻抗較小。圖 8.9 中，X 曲線就是這種電路的阻抗變化曲線。在這二種情形之中，二部份電流恰等，但因差 180

度，所以電流乃得中和互消。這時電路中僅餘剩小量的同相電流，自然阻抗極高，這就是並聯諧振時的情形。

並聯電路中的電阻量，在無線電一般的電路中是不能避免的。這種電阻常隨週率變化，照普通的習慣，電路的 Q 值就是表示電阻的成分。Q 值愈高，電路諧振的阻抗亦愈高。假使並聯諧振現象亦用諧振曲線標示，圖 8.10 就是一實例，

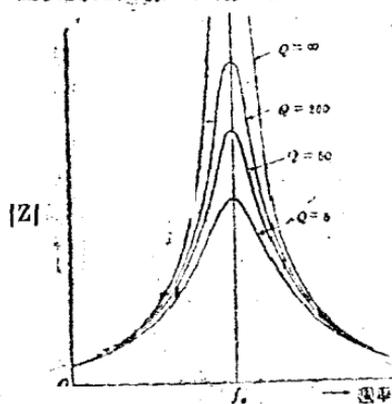


圖 8.10 並聯諧振電路的諧振曲線

曲線的形態與串聯諧振（見圖8.7）無異。自然Q值能控制曲線的尖銳程度。

並聯電路在諧振時的最大阻抗，根據諧振的條件而異（諧振時的電工因數是1，或阻抗是最大）。簡單的求法是將各諧振條件代入公式8.50( $Z=1/Y$ )或公式8.55再分解，各值並不相同，照實際應用上的精密程度，線圈Q值常高，亦就是其電阻極低。當 $R \ll X_L$ 時，並聯諧振時的阻抗是一純電阻，其值是

$$R_0 = \frac{L}{CR} \quad \text{歐} \quad (8.59)$$

其中 $R_0$ 是並聯電路諧振時的阻抗（純電阻）（歐）；L、C及R分別是電路中的電感（亨）、電容（法）、及電阻（歐）。公式8.59在應用上極是重要，電路設計時更是必需。

## 8.7 諧振銳度

諧振的特性常用諧振曲線代表，因為這種諧振曲線，能將諧振週率附近的電路常數，明白的表現。不論是阻抗、導納、電壓、或電流等，均可根據需要，繪成曲線。圖8.7及圖8.10就是二例。照圖示的各曲線可知，諧振的銳度(Sharpness)與電阻或Q值有直接的關係，從已經說明的事實可知，Q值愈高，曲線亦愈尖銳。嚴格的說，諧振的週率亦有相當的關係。因為一種電路在週率不同時，雖各能有諧振的現象存在，但是這電路的諧振曲線，在較低週率工作時，或可極尖銳。迨週率增高後，電路的Q值可以下降，結果諧振曲線亦不再有低週率工作時的尖銳程度。歸納起來，電路的Q值及諧振週率均與諧振的銳度有密切的關係。假使在諧振曲線上，比最高點低3分貝處（亦就是，這點是最高曲線的0.707倍處），度量其曲線闊度時，下列的關係必定正確。就是。

$$\text{諧振銳度} = \frac{f_0}{Q} \quad \text{千週} \quad (8.60)$$

其中 $f_0$ 是諧振週率（千週或週）；Q是電路Q值，諧振銳度代表波闊，單位與諧振週率同。有這種關係後，如果 $f_0$ 及Q是已知數，電路的諧振銳度亦不難推算。或者，已知波闊及諧振曲線，由公式8.60亦能

直接計算電路的Q值，應用上極其便當。

當式8.60的條件成立時，電路中的電阻必定等於電抗。在這點（在諧振曲線二邊，低於最高頂0.707倍），電路阻抗的絕時值（如公式8.8），遠是電路中電阻值的1.414倍。就是

$$|Z| = \sqrt{2} R \quad \text{歐} \quad (8.61)$$

其中 $|Z|$ 是在諧振曲線上低於最高點0.707倍處的阻抗(歐)；R是電阻(歐)。反過來推論，當電路的阻抗是其電阻的1.414倍時，曲線的高度已僅及最高度的0.707倍。這亦是諧振銳度的函數。輔助公式8.60應用時，諧振銳度的意義更容易確定。

諧振曲線不必一定得自串聯諧振現象，亦不必一定得自並聯諧振現象。凡是具有諧振現象電路的特性或常數（例如電壓、電流、及阻抗等）與週率有關係時，均能製成類似的諧振曲線。所謂耦合電路(Coupled Circuits)的特性，亦可運用諧振曲線及諧振銳度表明。



## 第九章 耦合電路

### 9.1 互感

當二線圈放在適當的位置時，電流通過一線圈所產生的磁通線，就能與另一線圈匝連。於是第一線圈中電流變化時，第二線圈中可有一應電動勢產生。這種現象可以用下式說明，就是

$$e_2 = -N_2 \frac{d\phi}{dt} \times 10^{-8} = -M \frac{di_1}{dt} \quad \text{伏} \quad (9.1)$$

其中 $e_2$ 是第二線圈的應電壓(伏)； $N_2$ 是第二線圈的圈數； $\phi$ 是二線圈匝連的磁通量(馬克司威爾)； $M$ 是互感(亨)； $i_1$ 是第一線圈中的電流(安)。所以互感是第一線圈每一安電流對於第二線圈的磁通匝連數。同樣，互感亦是第二線圈每一安電流對於第一線圈的磁通匝連。這種定義可以寫成：

$$M = \frac{N_2 \phi}{i_1} \times 10^{-8} = \frac{N_1 \phi}{i_2} \times 10^{-8} \quad \text{亨} \quad (9.2)$$

其中 $M$ 是互感(亨)； $N_2$ 及 $N_1$ 分別是第二及第一線圈的圈數， $i_1$ 及 $i_2$ 分別是第一及第二線圈中的電流(安)； $\phi$ 是磁通量(馬克司威爾)。

這種互感作用的大小，不但依第一線圈(或第二線圈)的電流量及二線圈的圈數同增減，且與二線圈耦合的距離及磁通線匝連的完密程度有密切的關係。實際上，這類複雜的聯繫可以簡括用二線圈的自感(就是電感)及耦合係數(Coefficient of Coupling)代表，就是

$$M = K \sqrt{L_1 L_2} \quad \text{亨} \quad (9.3)$$

其中 $M$ 是互感(亨)； $L_1$ 及 $L_2$ 分別是二線圈的自感(亨)； $K$ 是耦合係數。耦合最完密時， $K=1$ ，互感亦直接是二線圈自感量的幾何平均值。這是臨界耦合(Critical Coupling)。又如 $L_1$ 與 $L_2$ 相等， $M$ 遂是任何一線圈的自感。在普通情形下， $K$ 總不到1，因為耦合程度並不能達到絕對完密的條件。至於耦合係數 $K$ 的定義，亦已經由公式9.3明確的規定。嚴格的說，這種耦合係數及臨界耦合的意義，尚不完全。因

為在實際耦合電路中，線圈的電阻及其他電阻亦有關係，不能略而不計。所以在分析耦合電路時，另用耦合指數 (Index of Coupling) 等量，以資區別。

當二線圈或多數耦合線圈均通有電流時，甲線圈對於乙線圈能生互感作用，同時乙線圈亦能對甲線圈生互感量。線圈數目增加，相互間的關係亦隨之複雜。各線圈的電流量及流向未必相同，所以每一種配合的有效互感是各線圈間可能發生互感的總和。因此互感亦可以是一負值。

耦合線圈可串聯一起 (見圖9.1)。二線圈的繞向如是順串聯 (Series Adding)，則線圈的磁通線可以順從一種方向，線圈中互感的電動勢亦能取一致的方向，其量較大。如果有一線圈的

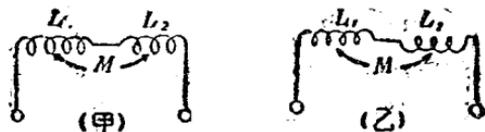


圖9.1 電感線圈的串聯法

(甲) 順串聯 (乙) 逆串聯

繞向相反，線圈的磁通線將取相反的方向，結果線圈中電動勢較小，這是逆串聯 (Series Opposing)。當二線圈耦合串聯後，總電感是

$$L = L_1 + L_2 \pm 2M \quad (9.4)$$

其中  $L$  是總電感 (亨)； $L_1$  及  $L_2$  是二線圈的自感 (亨)； $M$  是互感 (亨)。順串聯時，公式用加號，逆串聯時，公式用減號。式中  $2M$  表示二線圈的電流相等 (事實上確是如此) 所以各生互感，其量亦一定相等。不過，當二線圈耦合而不接連時，第一線圈藉互感在第二線圈所生的電壓，必定與第一線圈的電流相反 (這時二線圈的繞向已無關係)，公式 9.1 的負號就是這種意思。

## 9.2 耦合電路的概論

耦合電路的應用頗廣。耦合的方法各不相同，常採用的有互感、電容、電感、……等。其中互感的耦合最是普通，亦極重要。特性如何？有待詳細的分析。

圖9.2 是利用互感的基本感程電路。其中耦合部份是單純的互感，得自電感  $L_1$  及  $L_2$  的複合作用。所有第一線圈中的電阻、電容、及

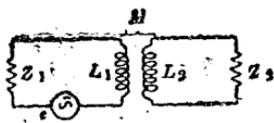


圖9.2 基本耦合電路

電感，併合成初級阻抗 (Primary Impedance)  $Z_1$ ，第二線圈中的電阻、電容、及電感，則併合成次級阻抗 (Secondary Impedance)  $Z_2$ 。公式 8.7 就是各級電路中的阻抗公式，其中電阻  $R$  可包括線圈內部的電阻。至於耦合互感  $M$  的耦合

電抗是  $\omega M$ ，常用  $Z_{12}$  代表， $\omega = 2\pi f$ ， $f$  是週率 (週)。

這種耦合電路的公式可以是 (式中各值均是向量)：

$$\text{初級電路：} \quad e = I_1 Z_1 + Z_{12} I_2 \quad (9.5)$$

$$\text{次級電路：} \quad 0 = I_1 Z_{12} + Z_2 I_2 \quad (9.6)$$

其中  $e$  是初級的電源電壓 (伏)，這是耦合電路中的唯一電源； $I_1$  是初級電流 (安)； $I_2$  是次級電流 (安)； $Z_1$  及  $Z_2$  分別是初級阻抗 (歐) 及次級阻抗 (歐)； $Z_{12}$  耦合阻抗 (歐)，單純互感耦合時，耦合阻抗中無電阻部份。初次二級中的電流還是 (式中各值均是向量)：

初級電流，

$$I_1 = \frac{e}{\frac{Z_1 - (Z_{12})^2}{Z_2}} = \frac{e}{Z_1 + \frac{(\omega M)^2}{Z_2}} \quad (9.7)$$

$$\text{次級電流 } I_2 = \frac{-I_1 Z_{12}}{Z_2} = \frac{-j\omega M I_1}{Z_2} \quad (9.8)$$

研究這二式就可知耦合電路的特性。公式 9.7 規定初級電路的電流。當耦合電路不存在時，根據歐姆定律，電流一定是電壓及阻抗的除數。現在這公式中的阻抗值已不同，除原有的阻抗  $Z_1$  外，尚有  $(Z_{12})^2 / Z_2$ 。這項阻抗完全得自耦合作用，因為  $Z_1$  是次級電路的阻抗， $Z_{12}$  是二級電路的耦合阻抗。當二電器的耦合是利用單純的互感時， $Z_{12} = -j\omega M$ ，所以  $(Z_{12})^2 = -(\omega M)^2$ 。代入公式 9.7 就知，初級電路中的有效阻抗比較原有的阻抗已有增加，增加量就是  $(\omega M)^2 / Z_2$ 。這是反射阻抗 (Reflected Impedance)。假使互感甚極小，就是，二線圈的耦合極疏遠，反射阻抗必定極小。在極端的情形下，次級線圈所受到的磁通量可以極少或等於零。這時，反射阻抗是零，次級電路的存在與否，對於初級電路已無關係。當初級線圈逐漸移近初級線圈，而有耦合關係時，反射阻抗的數量隨之增加，初級電流則比

照下降。假使線圈的耦合程度不變，次級電路的阻抗 ( $Z_2$ ) 對於初級電流亦亦有關係。就是，次級阻抗愈小，初級電路中的反射阻抗愈大。反之，次級阻抗愈大，反射阻抗愈小。這種作用與耦合的疏密能產生相同的結果。所以初級電流是次級阻抗反比的一種函數。歸納起來（互感耦合時）：（一）初級阻抗受到反射阻抗的影響。（二）反射阻抗是  $(\omega M)^2/Z_2$ 。（三）初級電路的有效阻抗是  $Z_1 + (\omega M)^2/Z_2$ 。（四）耦合愈密，反射作用愈著。（五）次級阻抗愈小，反射作用亦愈著。（六）耦合極疏，或次級阻抗極大時，次級電路對於初級電路的影響極微。

如果再精密研究公式 9.7，同時令  $j\omega M$  代替  $Z_{12}$ 。這公式中反射阻抗是次級阻抗的倒數，已知  $(\omega M)^2$  是一個無向量，所以反射阻抗的確實量是

$$Z_x = \frac{(\omega M)^2 R_2}{|Z_2|^2} - j \frac{(\omega M)^2 X_2}{|Z_2|^2} \quad \text{歐} \quad (9.9)$$

其中  $Z_x$  是反射阻抗 (歐)； $R_2$  是次級總電阻 (歐)； $X_2$  是次級總電抗 (歐)； $|Z_2|$  是次級阻抗的絕對值 (歐)； $\omega M$  是耦合阻抗 (歐)。這公式的重要點在反射電抗一部份。簡單的說，就是反射阻抗與次級阻抗間具有共軛的關係。所以，次級電路的感抗，反射後等於容抗。反之亦然。唯當次級電抗等於零時（次級阻抗是一純電阻），反射阻抗亦是一純電阻，其值是  $(\omega M)^2/R_2$ （見公式 9.9），這是次級電路諧振時的情形。由此可知，二線圈耦合後，由於次級產生的反射阻抗，以致（一）初級電阻有有效的增加；（二）初級電抗有局部或最多全部中和的作用；（三）次級電路僅有電阻時，反射阻抗亦是一純電阻。

現在再論次級電路中的情形。次級電路本無電源，由於互感的作用，亦有一等值電壓存在，其量是  $-j\omega M I_1$ ，比較初級電流落後 90 度（ $-j$  代表落後 90 度）。所以次級電路的電流就是公式 9.8，這式中初級電流既已受到耦合的作用，這次級電流  $I_2$  中，亦將上述各種耦合特性全部間接包括在內。換句話說，次級電路分析時不用反射阻抗（由初級反射到次級的阻抗）。理由亦很明顯，就是次級電流實際上亦在初級電路產生一反相電壓。現在分析時用反射阻抗後，就可代表這種感應電壓。假使不照這樣列論，亦是可。這時須將公式 9.7 代入公式 9.8，結果是

$$I_2 = \frac{-j\omega M(e/Z_1)}{Z_2 + (\omega M)^2/Z_1} \quad (9.10)$$

式中各值的定義仍如前述。顯然，這式與公式 9.7 的意義大概相同，僅次級電路中的等值電壓由  $j\omega M(e/Z_1)$  替代，其中  $e/Z_1$  亦代表單獨初級電路的電流。 $Z_1$  既是一複數（向量），等值電壓亦一定是一向量，其與  $Z_1$  詳細的關係，亦無須贅述。

無線電工程中常用的耦合電路中，漏電抗在百分之九十以上的居大多數。結果，實際有效的變壓比率，並不是圈數比率。所以耦合電路的分析，概用耦合阻抗，並不再從圈數比率及漏電抗着手。

### 9.3 調諧耦合電路的初步分析

調諧耦合電路 (Tuned Coupled Circuits) 在實際應用上，常在射週或中週放大電路中。本節專討論耦合電路，所以放大特性暨真空管電路的分析法，均暫從略，不加說明。

公式 9.10 是各式耦合電路的基本公式。現在先令初次二級電路的電抗完全相同，就是

$$L_1 = L_2 \quad \text{及} \quad C_1 = C_2$$

$$\text{所以} \quad X_1 = X_2 = X \quad (9.11)$$

其中各值與上節的規定的定義相同。 $X_1$  及  $X_2$  分別代表初次二級的電抗（歐）； $X$  是  $X_1$  及  $X_2$  的通式。不過須注意， $Z_1$  並不等於  $Z_2$ ，因為初次二級的電阻  $R_1$  及  $R_2$  未必相等。當各值代入公式 9.10 時，次級電路的絕對值將是

$$|i_2| = \frac{\omega M e \left\{ \sqrt{R_1 R_2} \right\}}{\sqrt{R_1 R_2} \sqrt{\left(1 + \frac{(\omega M)^2}{R_1 R_2} - \frac{X^2}{R_1 R_2}\right)^2 + \frac{X^2}{R_1 R_2} \left(\frac{R_1 + R_2}{R_2} + 2\right)}} \quad \text{安} \quad (9.12)$$

其中  $|i_2|$  是次級電流的絕對值（安）； $R_1$  及  $R_2$  分別是初次二級的電阻（歐）。餘值見以前各式。這公式極是複雜，分析特性時尚可簡化。設令

$$s = \frac{\omega M}{\sqrt{R_1 R_2}} \quad (9.13)$$

$$b = \frac{R_1}{R_2} + \frac{R_2}{R_1} \quad (9.14)$$

$$v = \frac{X_s}{\sqrt{R_1 R_2}} = \frac{4\pi L_s}{\sqrt{R_1 R_2}} \Delta f = \frac{X_s L_s}{\sqrt{R_1 R_2}} \frac{2/\omega f}{1} \quad (9.15)$$

其中  $s$  是耦合指數； $b$  及  $v$  是二簡化量。當  $R_1 = R_2$  時， $b = 2$ 。 $L_s$  是初級或次級電感的通式(亨)； $\Delta f$  是任何一指定週率與諧振週率的差數(週或千週)。再令

$$y_2 = 2\sqrt{R_1 R_2} |i_2| / e \quad (9.16)$$

其中  $y_2$  是次級電流公式的簡化函數。代入後，調諧耦合電路的公式可以大量的簡化，結果是

$$y_2 = \frac{2s}{[ (1+s^2)^2 - 2v^2 (s^2 - b/2) + v^4 ]^{1/2}} \quad (9.17)$$

這公式極端的重要，現將逐步加以分析。這式中僅有  $v$  是週率的函數，所以  $v$  是一變量。其餘  $s$  及  $b$  均是固定值，不受週率的影響。公式 9.17 可以繪成曲線，代表次級電流與週率的關係(公式是由  $y_2$  及  $v$  代表)。所以這種特性曲線就是調諧耦合電路的諧振曲線。圖 9.3 是一實例，圖中各曲線代表諧振曲線的一半，其餘一半形態完全對稱，所以時常刪去不繪。事實上用對數(Logarithm)分格紙時，曲線的諧振週率的鄰近區域可以大量展開，一切特性變化，可有極明顯的表現，這是其優點，但是對數分格紙不能反用，諧振曲線亦祇剩餘半面。

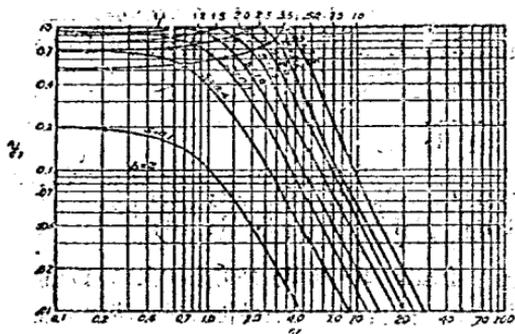


圖 9.3 調諧耦合電路的諧振曲線(一)

圖 9.3 代表  $b = 2$  的特性。這是二電路中電阻  $R_1$  及  $R_2$  相等的情形(見公式 9.14)。調諧耦合電路在實際應用時， $b$  值常不是 2，除非在特殊情形下，例如，中週變壓器(中週變壓器就是調諧耦合電路)後配用二極管檢波器。

$b$ 值亦僅略大於2，公式9.17中， $b$ 仍是一個暫定的固定值， $v$ 及 $y_2$ 又分別是曲線紙上的橫坐標(Abscissa)及縱坐標(Ordinate)，剩餘的變量遂是耦合指數 $s$ 。圖9.3.是各種 $s$ 值的諧振曲線。當 $s$ 值極小時，電路的耦合對於諧振曲線的影響極微。這點與上節所述的情形符合。如果 $y_2$ 代表輸出量，在這種情形下，則 $s$ 值愈小，輸出量亦愈低。增加耦合量，輸出量固有相當的增加，但是諧振曲線的形態仍與單諧振曲線同樣。迨 $s$ 值增加到相當的數值時，例如 $s=1$ ，輸出量亦達最大量，同時曲線的頂部亦比較平坦。這種特性對於無線電接收機的逼真度有最大的助益，因為單調諧電路的輸出量，不難提高到相當的程度。但是尖銳的諧振曲線，對於傳遞言語音樂的調幅波。却不能將各部份速率等量輸出。結果，高音通常被抑制而有失真現象。理想中的諧振曲線的頂部應當完全平坦，在規定的傳遞波段外，曲線銳直下降到零，調諧耦合電路雖不能達到理想的條件，對於逼真度的增加，確有優良的成績（電路的選擇性在這種情形下未受影響；或者這種影響極小）。當調諧耦合電路的耦合指數大於1時（注意：耦合係數 $K$ 不能大於1。耦合指數 $s$ 則不然，因為 $s$ 及 $K$ 的定義不同），曲線的中部反而略向下陷，但是波闊却隨之展廣，這種情形可由圖9.3見到。至於曲線中部下陷的現象，就是代表諧振曲線已經由一峯變成二峯。這種過程情形由耦合量 $s$ 控調且是調諧耦合電路重要特性之一。當 $s=1$ 時，諧振曲線由單峯變成雙峯，這種耦合條件是過程耦合(Transitional Coupling)。至於過程耦合及 $b$ 的關係亦很簡單，可以

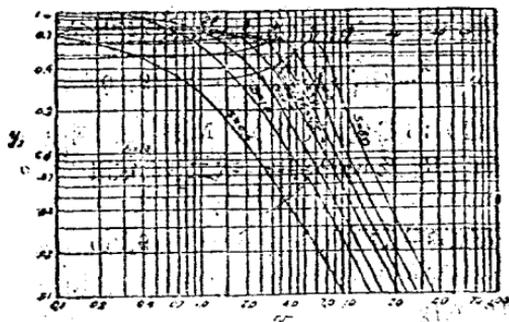


圖9.4 調諧耦合電路的諧振曲線(二)

見公式9.25。所以 $b$ 值增高後( $b$ 的最小值是2)，過程耦合值必定大於1，且亦逐有增加。換句話說，就是當初次二級電路中的電阻不同時，二線圈的耦合程度必須有所增加，方能獲得雙峯曲線。

當耦合電路的電阻相等時，不論  $s$  值如何，各諧振曲線上的最高值必定相同。 $s$  值愈大，中部的下凹部份愈顯著。這種現象在應用上又嫌其凹凸過甚，亦非所宜。當  $b$  值大於 2 時（電阻不等時），各諧振曲線的最大值隨  $s$  值的增加而形下降，圖 9.4 就是一例。假使這時再將次級電流調到最大值，諧振曲線的最高值亦能提高到 1，但是這種諧振曲線已不再具有對稱的特性，雙峯之一已被抑低。這種情形暫緩詳細討論。

### 9.4 調諧耦合電路的特性

調諧耦合電路已經初步的分析，其他各種特性亦須有精密的研究，方能適合應用上的需要。下列各點各有其價值：

#### (一) 雙峯間的距離

如果公式 9.17 關於  $v$  的偏微分值等於零， $v_2$  的最大值亦能推算（見圖 9.3.1）。可能的條件有二，就是

$$\frac{v}{\omega M} = 0 \quad (9.18)$$

$$\text{及 } \frac{v}{\omega M} = \frac{1}{2} \sqrt{s^2 - b/2} \quad (9.19)$$

其中  $v_m$  是雙峯間距離的半數，其餘各值的定義仍係如上。公式 9.18 代表單峯諧振曲線的峯間距離， $v/\omega M = 0$  時，雙峯間的距離等於零。這是代表疏耦合的情形（耦合指數小於 1 或等於 1），實際上雙峯的距離是  $2v$ 。當  $s$  大於 1 時，公式 9.19 方能正確，因為這時  $s^2$  必定大於  $b/2$ 。假使  $s^2 = b/2$  公式 9.18 及公式 9.19 又歸相同。

∴ 公式 9.19 亦可改成週率的函數，這須利用公式 9.15，結果是

$$D = 1/2 \pi L \sqrt{(\omega M)^2 - (R_1^2 + R_2^2)/2} \quad (9.20)$$

其中  $D$  是二峯間的距離（週）， $L$  是電感（亨）， $M$  是互感（亨）， $f = \omega/2\pi$  是諧振週率（週）， $R_1$  及  $R_2$  分別是初、次二級的電阻（歐）。當  $R_1 = R_2 = R$  時

$$D = 1/2 \pi L \sqrt{(\omega M)^2 - R^2} \quad (9.21)$$

其中各值的定義仍如上式

#### (二) 諧振曲線中心點的高度

當  $v = 0$  時，公式 9.7 變成

$$y_2 = 2s/(1+s^2) \quad (9.22)$$

其中各值的定義仍如公式 9.17。所以，諧振曲線中心點的高度純由  $s$  值控制，與  $b$  值無關。當  $s=1$  時，

$$y_2 = 1 \quad (9.23)$$

所以，諧振曲線的最高點是 1，發生在  $s=1$  時。這亦是慣知的臨界耦合。

### (三) 諧振曲線中心點高度相同處的曲線闊度

諧振曲線中心點的高度既有一定，其高度相同處的總距離亦是重要。唯當曲線既有單峯時，這種現象就不再成立。從公式 9.17、公式 9.22、及公式 9.19 得

$$v_0 = v_m \sqrt{2} \quad (9.24)$$

其中  $v_0$  是諧振曲線中心點高度相同處的曲線闊度，這是曲線雙峯間距離的  $\sqrt{2}$  倍（均是距離的半數）。

### (四) 峯的高度

當公式 9.19 代入公式 9.17 時，曲線上的峯高是

$$y_{2m} = \frac{2s}{\sqrt{1+s^2(2+b)-b^2/4}} \quad (9.25)$$

其中  $y_{2m}$  是曲線峯的高度，其餘各項的定義仍如前。假使合併公式 9.25 及公式 9.22，亦能求  $y_{2m}/y^2$  的比率。這是曲線上凸凹的比率，有關這種電路的週率失真（就是，在通過的波段內，各週率不能等量傳遞）。

### (五) 過程耦合及臨界耦合的關係

根據已知的事實，諧振曲線上雙峯的出現，必須符合下列的條件，就是

$$s_0 = \sqrt{b/2} \quad (9.26)$$

其中  $s_0$  是過程耦合。簡化後，得

$$\omega M = \sqrt{(R_1^2 + R_2^2)/2} \quad (9.27)$$

其中各項的定義仍如前。所以在過程耦合時，總耦合電抗等於初次二級電阻的均方根值。當二級電路中的電阻相等時，臨界耦合等於過程耦合。

當二級電路中的電阻不等時，臨界耦合與過程耦合的意義已不相

等。這時，過程耦合仍代表雙峯出現的條件。不論  $R_1/R_2$  值如何，臨界耦合僅是曲線中心點達最高值的條件。

## 9.5 單調諧耦合電路與雙調諧耦合電路的比較

單調諧耦合電路及雙調諧耦合電路的應用均廣，這二種電路的特性有待比較。

單調諧電路的諧振曲線已在上章提出。假使公式9.15的意義略加修改，而令

$$y = \frac{X}{R} \quad (9.28)$$

則公式8.18的絕對值可以化改

$$y^2 = \frac{1}{1 + v^2} \quad (9.29)$$

其中  $y = R|i|/e$ ； $e$  是電壓(伏)； $R$  是電阻(歐)； $X$  是電抗(歐)； $|i|$  是電流的絕對值(安)。這公式繪成諧振曲線，其形態就是習知的單峯曲線。當  $b=2$  及  $s^2 \ll 1$  時，公式9.17簡化成

$$y^2 = \frac{2s}{1 + v^2} \quad (9.30)$$

由此可知， $y_2$  曲線與  $y^2$  曲線相等，亦就是，耦合極疏電路的諧振特性，與二級單調諧電路的特性相等（二級中可間有真空管）。

當雙調諧耦合電路的耦合程度增加後，這種耦合電路的選擇性下降，且能低於二級單調諧電路的選擇性（由諧振曲線代表）。不過，在  $V$  極大時，亦就是週率極遠於諧振週率時，二種特性曲線又歸相等。這可比較公式9.29及公式9.30後知之。

再論二種電路的電訊雜聲比率（Signal-to-Noise Ratio）。假使單調諧電路及初級電路的電阻是  $R_1$ ，次級電路的電阻是  $R_2$ 。在普通的情形下，二種電路中的電壓固是相等，就是輸出端所用的電容器亦是相同。所以二種電路的輸出比率是

$$\frac{E_2}{E_1} = \frac{1}{2} \sqrt{\frac{R_1}{R_2}} \quad (9.31)$$

其中 $E_2$ 是調諧耦合電路的輸出量(伏)， $E_1$ 是單調諧電路的輸出量(伏)； $R_1$ 及 $R_2$ 的定義一如上述。從公式9.31可知：當二電路中的電阻相等時( $R_1 = R_2$ )，耦合電路的輸出電壓僅及單調諧電路輸出電壓的半數，這代表6分貝損失量。唯如初級電阻是次級電阻的二倍，損失量僅有3分貝。如果 $R_1 = 4R_2$ ，損失量亦能降到零值。實際應用上，在射頻或中週放大電路中，常因有真空管屏極電阻的反射，初級的電阻可高於次級的電阻。

在臨界耦合條件的電訊雜聲比率，亦可與普通單調諧電路的電訊雜聲比率比較。照熱擾雜聲(Thermal Noise)的定義，真空管柵極所受的雜聲與陰陽二極間電阻平方根值成正比例。所以耦合電路與單調諧電路的雜聲比率是

$$\frac{N_2}{N_1} = \sqrt{\frac{R_1}{2R_2}} \quad (9.32)$$

其中 $N_1$ 是單調諧電路的雜聲(伏)； $N_2$ 是雙調諧耦合電路的雜聲(伏)； $R_1$ 及 $R_2$ 的定義仍如上述。公式9.31及公式9.32併合後知，不論電阻如何，雙調諧耦合電路的電訊雜聲比率，比較單調諧電路的電訊雜聲比率減低 $1/\sqrt{2}$ 倍，這等於3分貝的損失量(通常以為這種損失達6分貝之多，這說尚待證實)。

## 9.6 去諧的影響

調諧耦合電路在實際應用上，常不能達到完全正確調諧的程度。例如在中週變壓器中，初次二級的調諧電容器，有時因校準不能絕對正確，而有少量去諧現象。結果電路的特性不免受到影響，本節將略加討論。

第9.3節分析時，電路的耦合阻抗是一純電抗，去諧現象如果比較顯著，這種條件已不成立。分析結果固極精密，但亦極端的複雜，不合實際上需要的條件。本節的說明遼限於少量的去諧，同時耦合阻抗是一純電抗。在必需時，下節所討論的結果，亦能合併解析。

實際上去諧的現象是由於電路中電容量不等。如果電感略有不等，

對於本節的影響亦極微小。所以分析條件是

$$C_1 \neq C_2 \text{ 及 } L_1 = L_2 = L \quad (9.33)$$

圖9.5是去諧影響的圖示。圖中除  $y_1 = 0$  外，各曲線全不對稱，二峯有一高一低現象。這點對於週率失真問題極是嚴重。唯如二電路中的電阻相等 ( $R_1 = R_2$ )，這種諧振曲線的不對稱現象，又歸消滅。

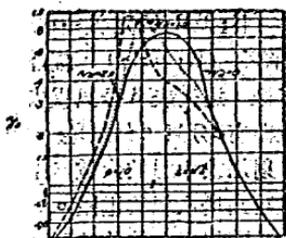


圖9.5 去諧影響的圖示

詳細研究圖中各曲線可知，去諧對於曲線對稱性的影響外，尚有一特點，這是曲線高度的提升，因為去諧後，電路可達最佳的諧振條件（但失去耦合電路的特性）。當諧振現象在正確的最佳值時，不論這二耦合電路中的電阻是否相等，或二電路是否有去諧現象， $y_2$  曲線的高度亦能在一單獨的週率增到最高度（縱坐標等於1）。

調諧耦合電路的去諧現象，能使諧振曲線的雙峯有升抑的現象。表9.1詳列在各種條件下，曲線雙峯起抑的規則。

表9.1 去諧影響表

| 電阻差異  | 週率差異 | 次級電路的諧振週率高 | 初級電路的諧振週率高 |
|-------|------|------------|------------|
| 次級電阻大 |      | 高週率峯被抑低    | 低週率峯被抑低    |
| 初級電阻大 |      | 低週率峯被抑低    | 高週率峯被抑低    |

再觀察圖9.4可知，諧振曲線的不對稱現象，可以在普通的情形發生。即使二級電路中的電阻差異達百分之五十時，雙峯起抑的現象已經顯著，所以表9.1中的電阻差異，並不是指較大量的差數。在實際電路中，屏極電阻或負荷作用常能產生百分之五十的差異（亦就是  $b = 2.167$ ）。所以去諧現象存在時，電路的特性即將蒙受影響，不可不加以注意。

補充幾點：（一）當二電路的去諧達到相當的程度時，不論耦合的疏密，諧振曲線總有雙峯存在。（二）去諧發生後，去諧程度對於曲線

峯的位置亦有影響。去講愈大，峯頂點愈向外移，但亦愈高。(三)去講能增加耦合程度，但是仍不及增加耦合指數有效。

## 9.7 複式調諧耦合電路

討論至此，二電路的耦合阻抗始終是一單純的互感電抗。假使這種耦合電路的耦合部份，已不是單純的電抗，而有電阻存在時，電路特性又不相同。本節的說明，雖不詳盡，亦已有概括切實的分析。

在複式調諧耦合電路中， $Z_{12}$ （見公式9.7或公式9.8）已不再等於 $\omega M$ ，所以這時須令

$$Z_{12} = r + j\omega M \quad (9.34)$$

其中 $r$ 是耦合電阻(歐)。再令 $t = r/\sqrt{R_1 R_2}$ ，代入公式9.8後，就能用同樣的方法化出 $y_2$ 公式。這是

$$y_2 = \frac{2\sqrt{s^2 + t^2}}{[(1 + s^2 - t^2)^2 + 4s^2 t^2 - 4stv\sqrt{b+2} - 2v^2(s^2 - t^2 - b/2) + v^4]^{1/2}} \quad (9.35)$$

其中各值的定義仍如公式9.17。式中 $4stv\sqrt{b+2}$ 一項使諧振曲線亦趨不對稱形態，雖初次二級電路的電阻相等，亦不能避免這種作用。惟若電阻不等，其影響更增，所以耦合部份如有電阻成分，對稱的諧振曲線就無法出現。圖9.5就是複式調諧耦合電路的諧振曲線，這曲線是根據電容耦合的結果算出，公式9.35中， $s$ 是一負數。假使 $s$ 是一正數(用互感耦合)，圖9.6中的低週率峯下降，高週率反經提高。唯這類諧振曲線最可注意點即在 $y_2$ 值大於1。因為 $R_1$ 及 $R_2$ 本來就包括耦合阻抗中的電阻部份，所以在 $t=0.2$

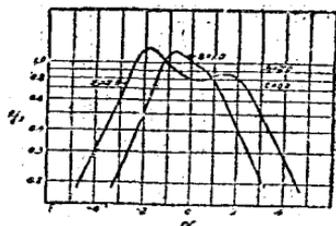


圖9.6 複式調諧耦合電路的諧振曲線

時， $R_1$ 及 $R_2$ 各將增加百分之廿五。同時在某一週率，電流將不經耦合電抗部份。所以總電阻下降， $y_2$ 值(次級電流的函數)亦能大於1(這

這解釋並不絕對的正確，但對於  $r$  的影響，已可顯見。

如果電路的耦合得自純粹的電阻，而無電抗存在。公式 9.85 中的  $s$  值亦將等於零，諧振公式 ( $y_2$  公式) 亦能簡化 (僅須令  $s=0$ )。特點有：  
 (一) 諧振公式中已無  $4stv\sqrt{b+2}$  ( $4s^2t^2$  亦不存在) 一項，所以諧振曲線回復成對稱式。  
 (二) 式中各項全是正數，所以不論  $b$  值如何，諧振曲線祇有一單峯 ( $t$  必小於 1)。  
 (三) 當  $v=0$  時 (就是在諧振週率)， $y_2$  值可以大於 1，理由已有說明。  
 (四) 當  $t$  極小時，公式 9.85 尚能簡化，所得的簡式與公式 9.17 在抗耦合 ( $s$  極小) 時的簡式一樣。所以二種情形下的諧振曲線亦能完全相符。  
 (五) 當二電路在疏耦合時，次級電流的諧振曲線與耦合阻抗的數值有關，但不受相角的影響。這與密耦合的情形完全不同。



# 勘 誤 表

| 頁   | 行     | 誤                               | 正                               | 頁   | 行      | 誤                                 | 正                               |
|-----|-------|---------------------------------|---------------------------------|-----|--------|-----------------------------------|---------------------------------|
| 108 | 13    | 輸出                              | 輸入                              | 138 | 末6     | Admit-                            | Admit-                          |
| 110 | 6     | 100伏                            | 100                             |     |        | tauce                             | tance                           |
| 118 | 8     | 極限                              | 電阻                              | 141 | 圖8.2   | —                                 | I <sub>2</sub> 箭頭               |
| 113 | 末3    | 125                             | 1250                            |     |        |                                   | 反向                              |
| 116 | 10    | 電電電                             | 電訊電                             | 141 | 公式8.26 | Z <sub>22</sub> +                 | Z <sub>22</sub> +               |
| 116 | 16    | 26X6-                           | 25Z6-                           |     |        | Z <sub>33</sub> )I <sub>3</sub>   | Z <sub>23</sub> )I <sub>2</sub> |
|     |       | GT                              | GT                              | 141 | 公式8.26 | Z <sub>33</sub> I <sub>3</sub>    | Z <sub>23</sub> I <sub>3</sub>  |
| 117 | 10    | 漢                               | 法                               | 141 | 公式8.27 | Z <sub>33</sub> )                 | Z <sub>33</sub> )I <sub>3</sub> |
| 117 | 19    | -25                             | -7.5                            | 141 | 16     | -I <sub>2</sub> , -I <sub>3</sub> | +I <sub>2</sub> ,               |
| 118 | 末6    | 第二                              | 第七                              |     |        |                                   | +I <sub>3</sub>                 |
| 121 | 4     | 下了                              | 7.8                             | 142 | 公式8.29 | Z <sub>2</sub>                    | Z <sub>2</sub>                  |
| 121 | 11    | 柵                               | 柵極                              | 141 | 公式8.30 | Z <sub>3</sub>                    | Z <sub>3</sub>                  |
| 122 | 末1    | SG5                             | S, G <sub>5</sub>               | 143 | 末1     | 量已足                               | 量度已                             |
| 123 | 1     | P(T)                            | P(T <sub>1</sub> )              |     |        | 夠                                 | 夠                               |
| 123 | 1     | K <sub>1</sub>                  | K                               | 143 | 6      | 路                                 | 電路                              |
| 124 | 20    | 真空管                             | 真空                              | 143 | 末7     | There-                            | Thève-                          |
| 127 | 21    | 1H5-                            | 1E5-                            |     |        | nin's                             | nin's                           |
|     |       | GP                              | GP                              | 143 | 末2     | Z <sub>r</sub>                    | Z <sub>R</sub>                  |
| 130 | 末1    | 1625*                           | 1625*△                          | 146 | 公式8.45 | ω <sub>c</sub>                    | ω <sub>C</sub>                  |
| 131 | 24    | 833-A                           | 833-A                           | 146 | 末2     | 形形                                | (形)                             |
| 132 | 1     | 5300                            | 3500                            | 148 | 公式8.49 | (8.94)                            | (8.49)                          |
| 132 | 12    | 100                             | 110                             | 148 | 末6     | ω <sub>c</sub>                    | ω <sub>C</sub>                  |
| 134 | 末6    | 6.2                             | 6.25                            | 150 | 公式8.55 | XL )2                             | XL 2)                           |
| 136 | 11    | 8250                            | 8250                            | 162 | 公式9.19 | v <sub>m</sub>                    | v <sub>m</sub>                  |
| 137 | 公式8.2 | f <sub>c</sub> , ω <sub>c</sub> | f <sub>C</sub> , ω <sub>C</sub> | 168 | 18     | y <sub>2</sub>                    | y <sub>2</sub>                  |
| 137 | 末8    | 感壓                              | 電壓                              | 164 | 公式9.30 | y <sub>1</sub>                    | y <sub>2</sub>                  |
| 137 | 末8    | 享                               | 享                               | 164 | 末6     | V                                 | V                               |
| 138 | —     | ω <sub>c</sub>                  | ω <sub>C</sub>                  | 164 | 3      | V <sub>a</sub>                    | V <sub>d</sub>                  |

---

---

參考必備

陸續出版

## 作者最近著作

電信工程(正中書局基本工業叢書) 陸鶴壽編著

電工數學(大學用書) 劉宜倫 陸鶴壽編著

無線電(國立編譯館職業指導叢刊)

(一)職業概況

張 煦  
編著

(二)技術指導

陸鶴壽

超外差式收音機的精義 陸鶴壽編著

(二)試驗及修理

(三)選購及維護

(四)設計及製造

電視工程初階

陸鶴壽撰譯

---

---

---

重要無線電參考書

# 無線電設計

陸鶴壽編

—特點—

- 一、本書為無線電設計及修造之唯一手冊
- 二、本書尤宜於一般之日常參攷或作教本
- 三、無線電業餘家採用本書後一切困難均易解決
- 四、內容準確體裁簡潔應用便捷
- 五、本書中介紹多種不易多得之最新資料
- 六、設計方法以公式為根據輔以說明及插圖易於應用

—內容—

- |     |            |      |               |
|-----|------------|------|---------------|
| 第一章 | 週率標準       | 第九章  | 電源電路之設計       |
| 第二章 | 輻射及天線設計    | 第十章  | 收發機之設計        |
| 第三章 | 傳遞線之設計     | 第十一章 | 儀器電路之設計       |
| 第四章 | 真空管之選用法    | 第十二章 | 各種網路之設計       |
| 第五章 | 音週放大電路之設計  | 第十三章 | 電阻器電容器及電感圈之設計 |
| 第六章 | 射週放大電路之設計  | 第十四章 | 鐵心電感圈及變壓器之設計  |
| 第七章 | 振盪電路之設計    |      |               |
| 第八章 | 調波及檢波電路之設計 |      |               |

——請向本書經售處洽購——

---

# 超外差式 收音機的精義

內容

錫壽鶴

說明

新穎  
豐富  
正確

## (一) 原理及特性

- 第一章 無線電收發的基本原理
  - 第二章 超外差式收音機的基本原理
  - 第三章 射電週率放大器
  - 第四章 變波器
  - 第五章 振盪器
  - 第六章 中間週率放大器
  - 第七章 第二檢波器
  - 第八章 自動音量控制
  - 第九章 成音週率放大器
  - 第十章 電源濾波器
  - 第十一章 特種電路分析
- 附 錄

淺顯  
真實  
透澈

請向本書經售處洽購

---

---

# 收音機 標準試驗法

陸鶴壽譯

【本書係就美國無線電工程師學會在公元1938年新定標準中關於無線電收音機試驗法之一部份編譯而成。收音機在用者為數極多，標準試驗法實有首先介紹之必要，因譯此書以供國內人士之參考。……】

【本書內容切實，可供學校、工廠以及實驗室中修理、檢驗、設計、或研究之參考。對於推行技術標準及業餘愛好者，本書亦極適用。……】

## 第一編 基本試驗規範

包括：專門名詞的定義、基本試驗電路、試驗儀器的特性、輸入的試驗規範、輸出的試驗規範……等

## 第二編 特性的試驗

包括：週率調諧段、靈敏度、選擇性、逼真度、諧失真、最大不失真輸出、最大輸出、自動音量控制特性、人工音量控制特性、調諧特性、週率移動、自動週率控制特性……等項試驗

## 第三編 雜聲及干擾的試驗

包括：假應響、不規則雜聲、交流雜聲、交流雜聲失真、隨聲調幅、二電訊雜跨調幅干擾……等項試驗

請向本書經售處洽購

---

---

---

---

# 無線電工程

全四冊 第一冊

中華民國三十三年六月重慶出版

第一冊 定價國幣四元

(外埠酌加運費匯費)

編著者 陸 鶴 壽

發行者 陸 鶴 壽

四川北碚蔡錫路覺廬

印刷者 軍事委員會政治部印刷所

重慶磁器口斧頭岩五號

---

版權所有·翻印必究

---

——售書處——

世界書局 商務印書館 中華書局

重慶民生路暨各地

重慶白象街沙坪壩暨各地

重慶民權路暨各地

正中書局 開明書店 文信書局

重慶中一路民生路暨各地

重慶保安路暨各地

重慶保安路

及其他全國各大書局

---

---

中央圖書雜誌審查委員會免審證第三百號

本書第一冊定價四元  
困難期間照例加歲發售