

無 線 電 初 步

E. E. Burns

孫 克 銘 譯

中 國 科 學 圖 書 儀 器 公 司

上 海

無 錄 電 初 步

E. E. BURNS 著

孫 克 銘 譯

楊 孝 述 校

中 國 科 學 圖 書 儀 器 公 司 印 行

上 海 冷 陽 路 (郵 政 碼) 六 四 九 號

初版原序

無錄電的普遍興趣所發生的一種可驚特色，便是一般青年們已吸收了技術上的大量知識。

幾年前有一位很有聲望的電機工程師跟作者在某次談話中，批評中學校中講授共振原理的不適宜，認為這是電機工程學中最難懂的原理之一。現在則正有成百萬的人，調諧着它們的無錄電收音機，應用着電共振的原理。兒童們也多少明白了這個艱難的工程原理。他們調整着電感錄卷和容電器以求適合所欲得的振盪頻率。他們能隨意談說着微亨利和微法拉，以及別種專門名詞，這些在以前祇有大學教科書中才能見到。他們對於柵極電路漏阻中有電子流過，錄卷中的電浪湧，容電器的放電等，都已明白了些。更由於他們急切的想知道收音機中真空管裏究竟有些什麼作用，因而對於電子的理論也多少明白了。

無錄電的普及化正值物理學家陳述原子新理論成功之時，這是值得我們注意的。晚近的研究已經引到物質的電子說。電和物質已經互相融會一體。原子物理學界的新發見已經開闢了研究的新園地。電子的控制已經在工程界引起新發展，例如同步換流機已為高功率電子真空管所代替。這些發展仍在繼續前進着。

原子物理學中新發見所開闢的工作，既需要未來的科學家和工程師去擔任推進，所以電子理論的廣普應用已經獲得空前機會

去訓練他們。誠然，他們大都是自己訓練自己的，可是學校大有利用此種訓練的機會。把學生的興味集中於某一科學問題，在科學教學史上從未曾有如今日之濃烈的。

通用雷器公司 (G.E.) 和 美國無錄電公司 (R.C.A.) 的顧問工程師 亞歷山得森 (Mr. E.F.W. Alexanderson) 先生說得好：

『我們把無錄電認為是現今有用的通訊方法和令人快樂的一種遊藝，但是它的將來的最高意義，却是在教育上的勢力。無錄電將是教育數百萬工程師，發明家和科學家的未來學府。』

本書目的，在以簡潔而明白的文字，將電學的基本原理應用於無錄電。我深信無錄電在教育上的價值必將增加，它將在學校課程中佔得重要的地位，因之一本能把基本原理解釋簡明的教本是需要的。作者又希望這本書對於有意明瞭無錄電理論的實驗者，和在實驗方面已很有經驗而想溫習基本原理的人，能夠有些幫助。

一本基本的無錄電學必得包含直流和高低兩種頻率的交流的原理。本書中關於電現象的一切解釋均以電子說為基礎。這樣的解釋比教科書中通用的別種解釋同樣容易明瞭，它的優點是在能與物質和電的公認理論相貫通，而使讀者能造成這種理論的觀念。

本書祇採用最簡單的算學公式，並且是隨在理論的討論之後的。作者着意於先令學者對於無錄電電路中的作用有一個概念，而後他對於算學公式能格外明瞭。本書大部份的材料都是作者數年來教授十六歲至十八歲的青年們所用的講材。

在 1923 年十一月，美國無錄電替續聯合會 會刊 Q. S. T. 中曾

有下列的記載：

『不論是什麼機械，隨便它是怎樣複雜，祇要先懂了基本的事實和原理，那麼全部的動作就不難明白。基本的原理熟悉後，可以依照性質的重要，依次把每一部分弄明白，至各部分的動作能互相配合一致。這也就是要得到整個無線電學識者應取的途徑。』

上面這一段話所啓示的方法，也就是這本書的方法，先讀基本的原理，再引到無線電電路的實際應用。能完全實現自己理想的人，恐怕是極少的。作者也沒有做到，但深信這本書以審慎的態度和充分的準備寫來，必能佔得一個有用的地位。

增訂再版原序

在增訂本書之時，作者仍舊抱着初版序中所述的願望。基本的原理照舊不變。應用的方法則是變更了。超致拍電路已列爲所有接收電路的前茅。至於屏柵管，五極管和可變放大管等的出現，幾乎對於電子流的控制已臻完美的程度。短波的特性也已格外明瞭。電視之眼——光電管——也已有長足的進步。作者對於上舉的幾項新發展，均以力求簡明的文字，敘述其初步原理。對於無線電量法一章也有新材料添入，希望這些補充可增進該章的用處。

本書讀法

學生開始讀本書時，最好是從自己興趣所在之處讀起。大多數的學生們和無線電發生興趣的，總是先喜歡構造無線電收音機。本書的目錄雖有教授無線電的基礎，而不是一本製作手冊，不過最先所注意者，却是在基本無線電電路的製作。學生應製作這些電路。如因上課的時間有限，那麼教授可把另件裝在木板上，先準備好製作的一部份而後由學生按圖接線。學生做了這次實驗後，他便會明白同一另件可應用於不同的電路中，更有那許多名稱複雜繁冗的接收電路，原來不過是幾種簡單的基本電路所湊合而成的。

學生們接着就想了解他所用的電池中究竟有些什麼玩意兒，這樣就得再進一步，去讀電池的一課。他在初作試驗後，就會慢慢的明白收音機在使用時，那線卷間有某種磁的效應，於是他便想去研究磁場和電磁。歐姆定律是一切電工的根基，就應該在這時候去研究。電池，電磁和歐姆定律等的理論，可以在學生們正在製作收音機和使用的時候講授。就是第一章中所概述的製造工作，可以作為實驗課程，而與第二，三，四等章的講授同時進行。

學生們接下去可以做第五章所述的真空管的試驗。他們可以照這一章所講的方法，自己製作試驗用的電路。當他們正在做着真空管試驗時，他方面可以讀着交流的理論。於是他們才會知道所製作的收音機中，某些部份的電流不是恆定地祇朝一方向流行，却是

往返地衝盪着，並且令他們知道這種電流與直流怎樣分別。第五章中的真空管試驗可以在讀第六章時作為實驗室的課程。

學到這一步，學生們對於電子的理論已大致明瞭，就可再進一步，以詳悉電子管作為檢波器和放大器時的作用。其次是對於接收機電路作進一步的了解。這一部份包含接收電路的一般理論和若干種電路，如超致拍電路之類，都是比第一章中所講的格外複雜些。讀到這一步，學生們便明白了再生的意義，可接下去讀和再生接收電路具有同樣原理的振盪器和發送機。第七，八，九等章可以在續行第五章的真空管試驗和實施第十一章若干量法時學習之。

無錄電量法一課放在最後一章，這完全是為本書材料排列的方便起見。量法一章不必等其餘各章都講過了才去講，却應隨時在他章講授中插進去。所選用的部份應依學生的需要而定。

按照上述簡要的大綱做去，學生們製作和實驗的工作就可以和無錄電原理的討論齊步並進，而收互相輔益之功。

叙 言

民國三十年春間，孫克銘君託友人將本書全部譯稿給我，請我設法出版。這本書學理與實用並重，做教科書固然是最好，做無線電初學者的自修書也最適用，所以我就欣然接受。

恰好當時在上海有許多朋友，連我在內，接受國立編譯館委託，正在審查電訊工程名詞，先後開會已歷三四個月，看看全部名詞不久即可整理出來，所以就把這譯稿暫時擱置，以便盡量採用新定名詞。

到是年年底，我開始把這譯稿細閱一番，覺得名詞方面要改的固然很多，就是從譯文信達方面着想亦有宜修正之處。惟時間上不容許我一氣呵成，且時局已發生了大變化，本來不預備出書，所以樂得從容些，決計每月修改一些，即在科學畫報上擇要刊載。到現在不覺又已二年餘，全書十一章亦已校閱完竣，故決計把它出版。好在此書所講的都是基本原理和基本電路，出版雖延遲二三年，不致影響到本書價值的。

原譯稿大半曾由孫君在 Q.S.P., 中華無線電和實用無線電等雜誌零散發表過，但現經一番修改，插圖亦經重繪，且已由孫君照原書1940年最新版本增入新資料，故與發表過的譯文相較，絕不是本來面目了。

本書譯名概參照教育部公布，國立編譯館出版的物理學名詞，電機工程普通部名詞及電訊工程名詞審查本。但有幾個本書所用的繁要譯名必須在此特別聲明一下。Wire 和 Line 二名根本不同，向來都譯作「線」，Loop 和 Coil 二名意義也不同，向來都譯作「線圈」，以致在電學寫作裏弄得混淆不清。電訊名詞審查本已將 Wire 一名譯作「線」，但仍將「線」字並列；Coil 一名譯作「線卷」，也仍將「線圈」二字並列；這種不徹底的作風，不過是恐怕有人堅執舊譯，藉此敷衍而已。最近在中國科學社迭次舉行的電工技術叢書編譯會議中，才決定上列幾個譯名必須嚴格劃清，這對於電工學術的前途實在是一件重要貢獻；就是

Wire 線（不作線）；Line（一）線，（二）線路；Circuit 電路（不作線路）；Coil 線卷（不作線圈）；Loop of Wire 線圈

這樣一字有一字的一定意義，尤其在這幾字聯用時，就不致混淆了。還有幾個字爲物理學名詞和電訊名詞審查本所決定，而爲本書所採用的，也須聲明一下，就是 Plate 譯作板極（不稱屏極），Screen 作屏極，Frequency 作頻率（不稱週率），Autodyne 作自拍（自差），Heterodyne 作他拍（外差），等等，不及細述。

本書插圖因製版較早，圖中 Coil 一字仍作「線圈」，應一律改爲「線卷」，此時不能重行製版，只好待將來改正，幸讀者注意。

本書譯筆雖力求信達，但疏漏不妥之處仍在所難免，尙望海內專家指教，以便再版時修正，幸甚。

目 錄

第一章

簡單的接收電路..... 1

- (1.1) 晶體檢波器——(1.2) 單管檢波電路——(1.3) 訊號放大——
(1.4) 檢波前的放大——(1.5) 組合電路。

第二章

電池..... 11

- (2.1) 電池的用途——(2.2) 製造電池所需的材料——(2.3) 簡單的
伏打電池——(2.4) 電池內部的作用——(2.5) 電流的理論——
(2.6) 電動勢和電流——(2.7) 伏電池——(2.8) 極化——(2.9) 蓄電
池——(2.10) 蓄電池的養護——(2.11) 安培小時。

第三章

電流的磁作用..... 22

- (3.1) 磁力綫和磁場——(3.2) 直線內電流的磁作用——(3.3) 線卷
中電流的磁作用——(3.4) 使鐵磁化和去磁的功率損失。

第四章

電路和歐姆定律..... 28

- (4.1) 電動勢，電流和電阻的單位——(4.2) 導體和絕緣體——(4.3)
歐姆定律——(4.4) 歐姆定律的幾個例子——(4.5) 電功率的單位
——(4.6) 串聯電路——(4.7) 並聯電路——(4.8) 安培計——(4.9)
熱線和熱耦安培計——(4.10) 伏特計——(4.11) 電阻量度，伏特計
安培計法——(4.12) 電阻量度，惠斯登電橋法——(4.13) 電阻箱
和特種惠斯登電橋。

第五章

電子管	45
(5.1) 熱燈絲發出的電子——(5.2)兩極管——(5.3)三極管——	
(5.4) 鉍電壓和鉍電流——(5.5)柵電壓和鉍電流——(5.6)放大因數——(5.7)鉍路電阻——(5.8)柵電壓和柵電流——(5.9)燈絲電流和鉍極電流——(5.10)功率放大——(5.11)剛性管和柔性管——(5.12)交流真空管——(5.13)四極管——(5.14)五極管——(5.15)多極管和多組管——(5.16)特性曲線的應用。	

第六章

交流	68
(6.1) 磁場變動所生的電流——(6.2)兩極發電機的電動勢——(6.3)交流電的磁場——(6.4)互感應——(6.5)磁力綫——(6.6)應電動勢——(6.7)應電流的方向和楞次定律——(6.8)電感——(6.9)電感的單位——(6.10)電抗——(6.11)相和相角——(6.12)用力學說明相和相角——(6.13)有效電流——(6.14)熱曲綫——(6.15)有效電壓——(6.16)容電器——(6.17)容電器的電容量——(6.18)電容的單位——(6.19)電容對於電流的效應——(6.20)容抗——(6.21)有容電路中的阻抗——(6.22)並聯和串聯的容電器——(6.23)歐姆定律和交流——(6.24)功率因數——(6.25)渦流和推斥效應——(6.26)變壓器——(6.27)變壓器的功率損失——(6.28)電子管用作整流器——(6.29)電解整流器——(6.30)振簧整流器——(6.31)乾鉍整流器——(6.32)共振——(6.33)串聯共振方程式——(6.34)共振電路的波長——(6.35)串聯共振電路中的電感——(6.36)串聯共振電路中的電子——(6.37)共振曲綫——(6.38)並聯共振——(6.39)並聯共振電路中的電子——(6.40)並聯共振的方程式——(6.41)各種電路的頻率——(6.42)低頻和高頻率的比較——(6.43)介質中所損失的功率——(6.44)皮膚作用。	

第七章

檢波器與放大器	121
---------	-----

(7.1)電訂聽筒——(7.2)微音發送器——(7.3)在無線電接收中爲何須先將電流整直——(7.4)電子管用作檢波器——(7.5)柵極容電器的效應——(7.6)柵極容電器對於鋸流的效應——(7.7)調幅電波對於柵極和鋸極的作用——(7.8)電子管檢波作用的概要——(7.9)晶體整流器——(7.10)電子管用作放大器——(7.11)互導與跨導——(7.12)再生放大——(7.13)經電容耦合而得的再生現象——(7.14)功率放大。

第八章

接收電路的基本原理..... 146

(8.1)接收電路的主要部份——(8.2)天綫電路——(8.3)環形天綫——(8.4)天綫的基本波長——(8.5)電容和電感對於天綫基本波長的效應——(8.6)調諧的和調諧的天綫電路——(8.7)諧波——(8.8)各式天綫的波長——(8.9)再論環形天綫——(8.10)柵極電路——(8.11)板極電路——(8.12)燈絲電路——(8.13)聽筒旁路容電器——(8.14)簡單的電子管檢波電路——(8.15)再生——(8.16)音頻放大——(8.17)推挽放大器——(8.18)放大器至檢波器之接法——(8.19)射頻放大——(8.20)平衡電路——(8.21)回復電路——(8.22)屏柵管的用途——(8.23)五極管——(8.24)可變放大因數管——(8.25)他拍原理——(8.26)自拍法——(8.27)超致拍電路——(8.28)接收電路或濾波器——(8.29)旁帶——(8.30)通頻帶濾波器——(8.31)屏蔽——(8.32)旁路容電器——(8.33)電能供給——(8.34)短波——(8.35)短波接收電路——(8.36)超短波。

第九章

振盪器與發送電路..... 190

(9.1)電子管怎樣會振盪？——(9.2)典型的發送電路——(9.3)實驗用振盪器——(9.4)發送電路概論——(9.5)晶體控制——(9.6)短波發送機——(9.7)調幅——(9.8)蜂音器調幅——(9.9)語聲調幅——(9.10)發送天綫——(9.11)大衆擾動——(9.12)傳遞單位。

第十章

光電管與輝光管..... 205

(10.1)光電流——(10.2)光電管的靈敏度——(10.3)光電管電路
——(10.4)變導光電管——(10.5)輝光管。

第十一章

無線電量法..... 211

(11.1)波長計——(11.2)備有電流指示器的波長計——(11.3)振盪
波長計——(11.4)標準容電器——(11.5)高音蜂音器——(11.6)音
頻振盪器——(11.7)容電器電容的量法——(11.8)線卷電感的量法
——(11.9)用阻抗法求線卷的電感——(11.10)兩線卷的互感——
(11.11)波長計的校準,電感電容法——(11.12)量度收音機的波長
——(11.13)量度振盪器或發送器的波長——(11.14)用波長計量度
線卷的電感和容電器的電容——(11.15)量度一線卷的高頻電阻
——(11.16)量度天線的基本波長——(11.17)量度一天線的電感和
電容——(11.18)量度電子管的電容——(11.19)其他電子管檢驗
——(11.20)檢驗電子管的電橋法——(11.21)變壓器的電壓比率
——(11.22)信號的可聞度——(11.23)極小射頻電流的量法——
(11.24)製作一個有規定電感的線卷——(11.25)真空管電壓計。

附錄..... 239

1. 並聯電阻的方程式
2. 容電器方程式
3. 有用公式

附錄二..... 245

1. 無線電用器符號
2. 無線電的算學符號

附錄三..... 247

大陸電碼

英漢名詞索引..... 249

無線電初步

第一章

簡單的接收電路

無線電收音機並不難做，祇要先從最簡單的電路做起，再進而至於比較高深些的。基本的電路並不多，把這些基本的電路學會了，更明白了它們的作用，那以後研究高深的電路時，就不甚困難了；高深的電路也是從基本的電路轉變而來的。所以初學做時要愈簡單愈好，用晶體檢波器的收音機是最簡單不過的。

1.1. 晶體檢波器 (Crystal detector) —— 用一個錄卷，一塊晶體 (俗稱礦石) 和一付聽筒，再接了天地線，就能夠做成一隻收音機。繞錄卷的時候，每幾圈要接出一個分接頭，如圖 1.1。

天線 (Antenna) 是用粗銅錄的，或者是幾根細銅錄絞成的。天線兩頭須縛在兩個絕緣器 (Insulator) 上，如瓷夾之類；和建築物碰到的地方，外面都要用磁管套護。天線用橡皮包錄，或者用電鈴錄也可以。天線既已張好，另

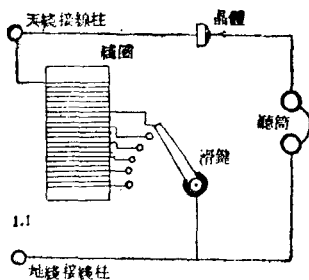


圖 1.1 簡單的晶體檢波收音機接線法
(圖中「線圈」應作「錄卷」)

用一根導線，一頭接天線，一頭引進室內，和收音機相接。天線也可以裝在戶內，把它張在樓板底下或是張在屋內的四週；不過，戶外天線要比較好得多，因為可以裝得高些長些。室內天線 (Indoor antenna) 有時要受牆壁遮蔽電波的影響。假使牆壁中導電體的成份很多，那就要遮去電波，使它不易通過；假使不是導電體的，電波就很容易通過，像在空氣中一樣。木造的牆壁不會截斷電波，乾燥的磚石造成的也是這樣。金屬質的牆壁可以完全把電波截斷。磚石造的牆壁假使濕了，也成為很好的導電體，可以把電波的強度減弱，最多可減去百分之九十。

接地 (Ground connection) 祇要用一根銅線，外面不一定要包絕緣物，縛到任何通地的東西上，自來水管就是很好的通地物；若把鐵條插到地中潮濕的地方，再把地線接上去，效果也是一樣。

線卷的做法，可用 22 號紗包銅線繞在一隻三吋直徑的硬紙筒上，先繞 25 圈接出一個分接頭，以後每五圈接一個頭，繞到 50 圈

為止。別種粗細的銅線，像 18 號到 26 號都可以用。硬紙筒的直徑比三吋大些小些都不妨。假使比較的小，就多繞幾圈，大就少繞幾圈。照這樣做法所成功的收音機是收廣播的，波長在 200 到 600 米之間。

線卷，天地線，都預備好了，就可照第 1.1 圖的樣子連接，它的電

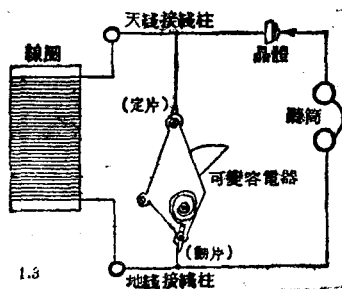


圖 1.2 晶體檢波收音機電路圖
(圖中「線卷」應作「線卷」)

路如第 1.2 圖。這種電路的調諧方法，祇要把滑鍵在分接頭上移動到聽得聲音為止。

比較改進的晶體收音機，是加用一隻調諧用容電器 (Tuning condenser)。假使錄卷是繞有 45 匝錄的，那容電器的電容量就應有 0.0005 微法拉 (Microfarad, 即百萬分之一的法拉。) 它的意義，讀了第四章和第七章中容電器的作用後，就會明瞭。在用了可變容電器之後，錄卷就可以不必有分接頭，它的接線法如圖 1.3, 電路如圖 1.4。

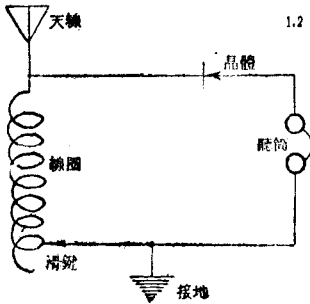


圖 1.3 添加調諧用容電器的晶體檢波器

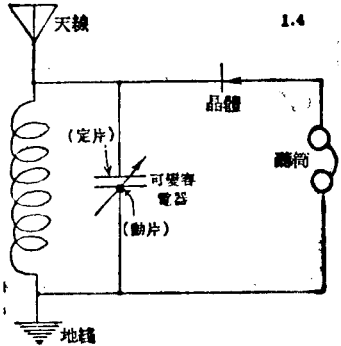


圖 1.4 有調諧容電器的晶體檢波器電路圖

再比較改進一些，可用兩個錄卷，一個是主錄卷，一個是副錄卷。主錄卷繞 15 匝，一端接天線，一端接地；副錄卷繞 45 匝，一端接晶體，一端接聽筒，如圖 1.5 和 1.6。主錄卷也可以直接繞在副錄卷的面上。

用了主副錄卷之後，天線上所感受的電訊便因磁作用從主錄卷傳到副錄卷上。

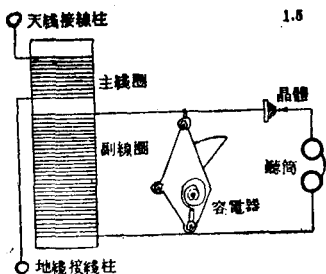


圖1.5 有主副線卷的晶體檢波器
(圖中「線圈」應作「線卷」)

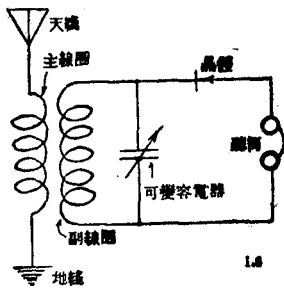


圖1.6 有主副線卷的晶體檢波電路圖

1.2. 單管檢波電路——用一隻真空管檢波的簡單線路接線法如圖 1.7; 圖 1.8 是它相當的電路。試驗時可把各部份都裝在一塊板上, 或者把變阻器, 容電器和聽筒插口等裝在另一塊面板上。所用線卷和可變容電器可以和晶體檢波器電路中所用的同一。主線卷是在天線電路中, 接到天線和地; 副線卷是在真空管柵極電路中, 接在柵極和絲極之間。鉅極電路包含聽筒和鉅極電池即“B”電

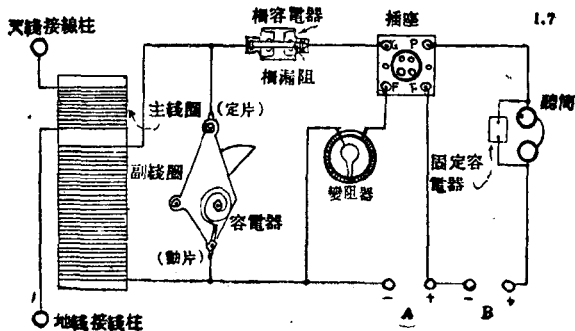


圖1.7 簡單的電子管檢波器接線法

池組。接“B”電池組時，應小心照圖上連接，不可接錯。照圖 1.1 和 1.2 中晶體檢波電路所用的一單個線卷也可以用。用一單個線卷和一個可變容電器聯合，就成爲一單個電路調諧器。然

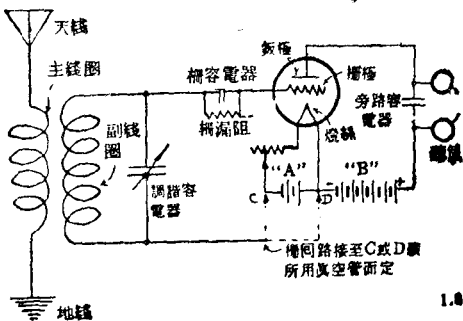


圖 1.8 電子管檢波器電路

而，最好用主副兩個線卷，因爲這種電路的調諧，選擇性比較敏銳。

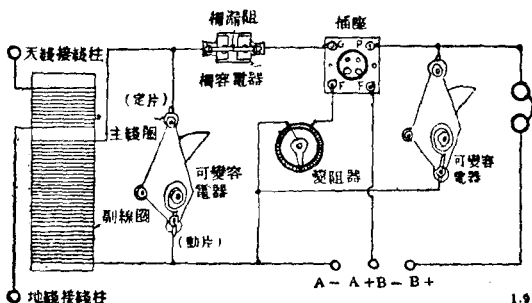


圖 1.9 再生式電路

我們可使上面所舉的一種電路更加靈敏，即是說，它可以收聽更遠的距離，祇要在板極電路和柵極電路之間再接一隻可變容電器，如圖 1.9 和 1.10 所示。這種電路叫做再生式電路 (Regenerative circuit)。再生的意義將於第八章中說明。

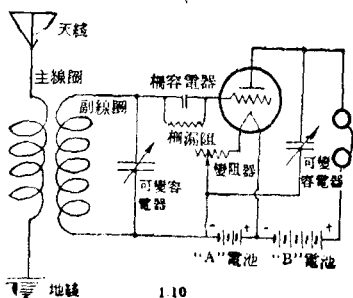


圖 1.10 再生式電路圖

1.3. 訊號放大

——以前所講的電路祇可用抱頭聽筒收聽，假使要用喇叭，就非先把訊號放大不可。放大的方法可再加上一個

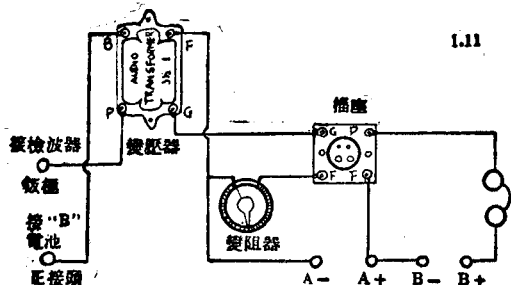


圖 1.11 放大器部份

真空管，和一第管的電路相偶接。假使廣播電台很近，即用一管放大器 (One tube amplifier)，喇叭也儘能發出很響的聲音。廣播電台的距離大概要在一英里之內，但也要看這電台的電力和當時的大氣情形而定。圖 1.11 所示

的，單是放大器的接線部份。檢波器和放大器最好先分開，各自接

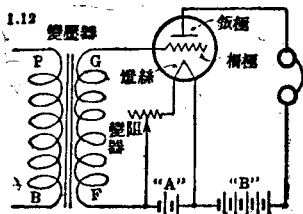


圖 1.12 放大器電路

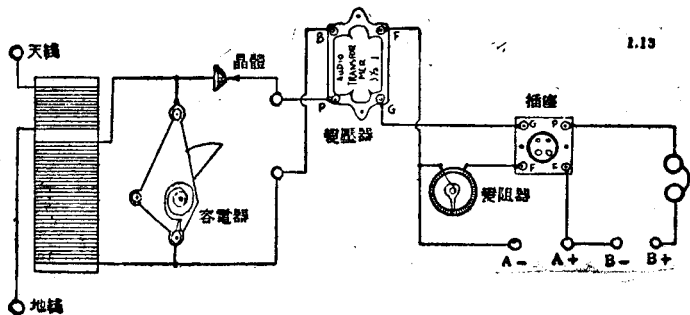


圖 1.13 晶體檢波器和放大器合用

錄，然後再把兩部合併，這樣，檢波和放大的關係就格外明顯。圖 1.12 是放大器的電路圖。

圖 1.11 和 1.12 所示的放大器也可同晶體檢波器合用，如圖

1.13 和 1.14。任何式樣的真空管檢波器電路也能與此器合用。有一個要點須記住的，就是檢波器的輸出電路須接到放大器的柵極

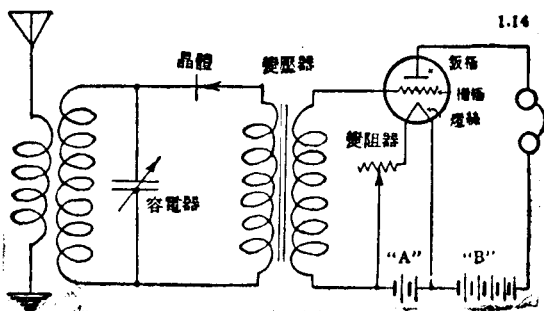


圖 1.14 晶體檢波器和放大器接連後的電路

電路。若用變壓器如圖 1.15 中所示的，則主線卷和檢波器的鈹極電路相接，通常接在真空管的鈹極端(記號是 P)和“B”電池組的正極之間。變壓器副線卷的一端接到放大管的柵極(記號是 G)，另一端接到“ A ”電池組的負極(記號是 F-)。放大管的變阻器接在“ A ”電池的負極和絲極的一端之間。

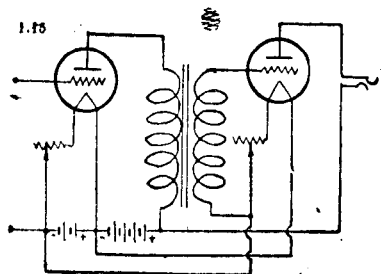


圖 1.15 兩管放大器電路

再加一隻放大管也可以，這樣，就成為三管的電路。兩級放大的電路如圖 1.15。

1.4. 檢波前的放大——外來的電訊號可以在未曾檢波之前先放大。這種放大叫做射頻

放大 (Radio frequency amplification), 其理由以後再講。波長 200 到 600 米的兩管射頻放大器 (Two tube radio frequency

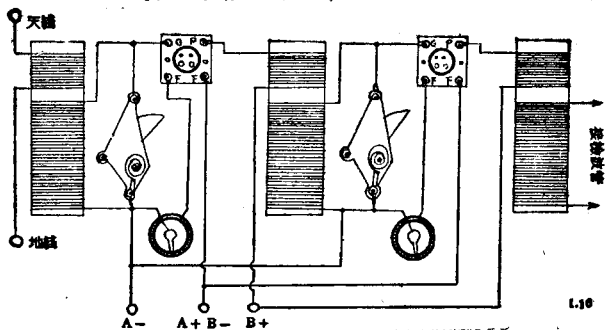


圖 1.16 兩管射頻放大器

amplifier) 如圖 1.16 到 1.17。這種放大器上用的變壓器祇不過是繞在硬紙筒上的線卷, 直徑三吋, 主線卷 15 匝, 副線卷 40 匝。用 22 號或 24 號紗包線。每一變壓器的副線卷都接上一隻 0.0005 微法法的可變容電器。從圖中可見到射頻放大器的輸出, 即第三個射

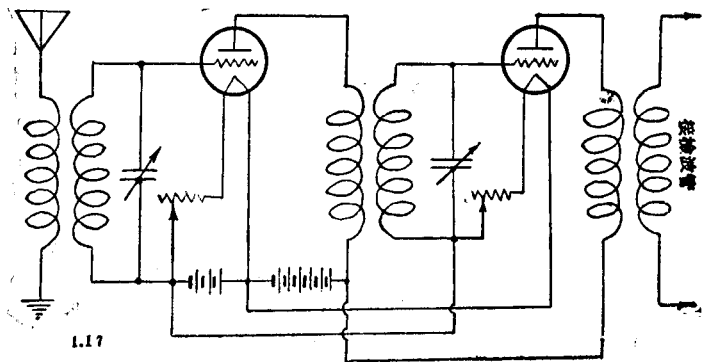


圖 1.17 射頻放大器電路

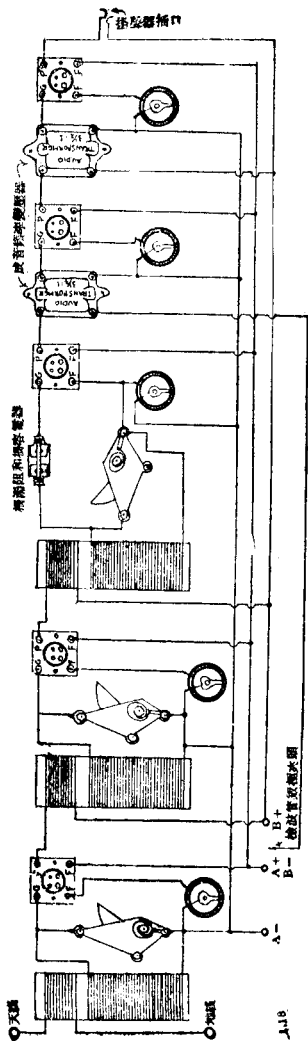


圖 1.18 五管收音機

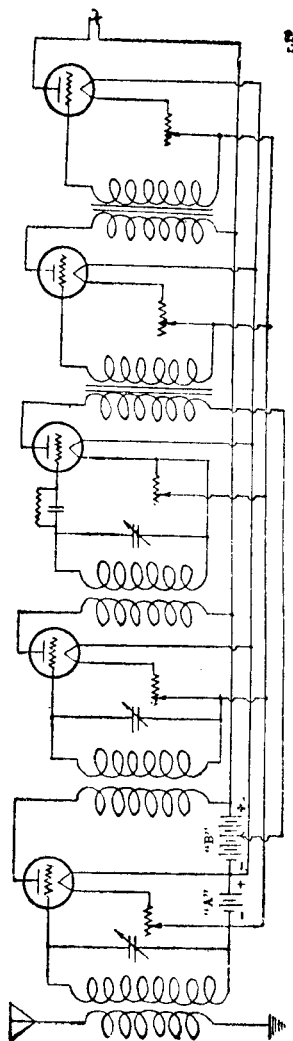


圖 1.19 五管收音機電路

類變壓器的副線卷，是接到檢波管電路原來接天地線的兩個線頭，檢波管接得的訊號，本來是直接從天線上傳來的，現在却是已經放大過了。這種裝置的優點在能收聽微弱的訊號，換一句話說，就是能收得遠距離的訊號。

1.5. 組合電路——以上講過的任何電路，假使是以試驗為目的的，都可裝在底板上，或者裝在一隻箱子裏，成為一隻完整的收音機。第 1.4 節所講的射頻放大器可以同第 1.3 節的三管電路聯合成為一個五管收音機。這是值得去一試的收音機。圖 1.18 是接線的圖，圖 1.19 是它的電路圖。

以前所講過的都是基本的電路。這些電路都可以用各種方法接聯。譬如，先用兩級射頻放大，再用晶體檢波，隨後又是兩級音頻放大，就成為四管和晶體檢波的電路。

綜上所述，可有簡單的晶體檢波器，再生和不再生的單管檢波器，晶體檢波而有音頻放大器的，兩種三管的電路，四管和晶體的電路而兼有射頻和音頻放大器的，以及普通稱為射頻調諧式的五管電路。

問 題

1. 試畫一張簡單的晶體檢波器電路圖。
2. 試畫一張一管不再生式的電路圖。
3. 試畫一張再生式的電路圖。
4. 試畫一張三管的電路圖。
5. 試畫一張兼有射頻和音頻放大的電路圖。
6. 廣播收音機用戶外天線有什麼好處？

第二章

電池

我們現在要研究構成一個無錄電收音機的各项要件的作用和用途。徹底了解無錄電收音機運用所賴的原理，是工程和科學工作的良好基礎。我們應當首先研究供給電流於收音機的各种電池。

2.1. 電池的用途——若祇須短時用電，或是用時較長而需電流較弱，或者用電必須穩定而無漲落，通常都是用電池組(Electric battery)來供給電流。在無錄電路中，那絲極電池(Filament battery)，普通叫做“A”電池，供給電流使電子管的燈絲燃熱。初期出品電子管的絲極需電流很大，所以祇用蓄電池(Storage battery)來供給；後來發明了絲極祇需很小電流的電子管，所以現在乾電池(Dry cells)也可以應用了。用了這種省電的電子管，一個乾電池組能用到一百多小時。乾電池價格比蓄電池便宜，並且可以避免充電等等的麻煩，對於便攜式的收音機，尤其非用乾電池不可。但對於需用強電流的電子管，乾電池便不合用，這是指各管所取電流的總數有一安培(Ampere)或更多而言。安培是電流的單位。

在電鈴電路以及某種警鈴裝置中，有時也用到乾電池。在這種電路，電流流過的次數不頻繁，每次祇需幾秒鐘。在別種警鈴電路

中，有用一種濕電池的，可以長時間的供給小量的電流。電池可用以供給弱電流，也可以在短時間內供給強電流。電池在短時間內供給極強電流的例子，便是在起動一輛汽車的電動機時所用的電流。像這樣也要用蓄電池了。使引擎開始發動的幾秒鐘內，那蓄電池給出 200 至 500 安培的電流，差不多有家常所用電燈裏所經過的電流的二百多倍。

像電燈或他種電路，需要長時間的強電流的，電池便不適用，須用發電機來供電了。

2.2. 製造電池所需的材料——一個簡單的試驗，可以說明一個電池的構成。在一枚銀毫和一枚銅幣之間，夾着一片在普通鹽水裏面浸過的吸墨紙或其他有細孔的紙張。再用一付靈敏的電話聽筒，把它的一個錄頭觸着銀毫，另一個錄頭觸到銅幣上去，便可在聽筒中聽到『格勒』的一聲響，這便是表示有電流產生了。的確，它是很微弱的，但對於聽筒却是影響有餘了。從井中或湖中汲取的水往往含有礦物質的溶液，所以也和鹽水有同樣的作用。

在這個試驗中用着兩種不同的金屬。銀毫含的大部分是銀，銅幣含的大部分是銅。除這兩種金屬外再加一種溶液，使與金屬起一種化學作用，而且溶液溶解銅質要比溶解銀質快得多。這個例子就可以說明所有電池的原理。一個電池是由兩片不同的金屬，或者是碳質和另一金屬質，再加上酸或其他混合物的溶液而成的，此種溶液對於一金屬片的化學作用比他一片為強。

2.3. 簡單的伏打電池 (Voltaic cell)——用一片銅皮和一條

鋅棒浸在稀硫酸溶液中就成功一個最簡單的電池了。這種電池是1800年意大利人亞歷山大伏打(Alexander Volta)最先做成的。這是產生電流最初知道的方法。我們對於電流的知識,也就從伏打的發明後開始,因此這樣的電池便叫做伏打電池。

在伏打電池中(圖 2.1),酸液對於侵蝕鋅板比侵蝕銅板多。電池產生電流時,鋅板便被很快的蝕去。這種化學變化與電流的產生有密切關係。假使我們用銅線把鋅銅二板接連體來,電流便流通了。氣泡都圍集在銅板上,便是有電流的明證。我們稱銅板上荷有陽電,鋅板上荷有陰電。平常總是想像電流從銅板經外電路到鋅板,再從鋅板經電池中的溶液回到銅板。

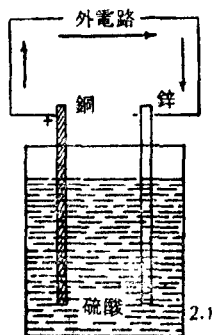


圖 2.1 簡單的電池

一個電池的主要部

份是兩片不同的金屬,或者是一金屬板及一碳板,和一種溶液。這種溶液對於一板的化學作用比另一板為強。所以電池的兩極可以是任何兩片金屬或者是任何一金屬板和一碳板,硫酸之外也可用別種溶液。當然,某幾種質料比別的好。例如同一電路,碳和鋅所生的電流比銅和鋅所生的較強。

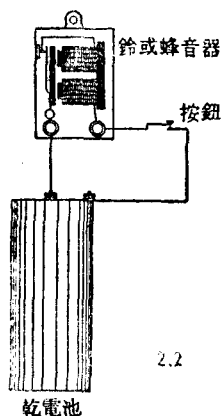
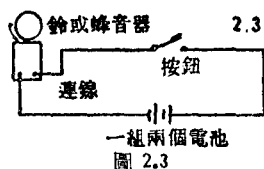


圖 2.2

假如照圖 2.2 和 2.3 情形,把一個乾電池,

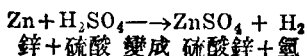


一個電鈴和一個按鈕連接起來，按下按鈕時，鈴便會響。因為按下按鈕，電路便連通。於是電流得有完全的路可以流通。這裏所示的電路，是由電池的極板 and 溶

液，電鈴中的線卷和其他導體，按鈕以及連線等所組成。按鈕未按下時，電路截斷，電流不能跳過那間隙。要從一個電池取得電流，必須用導電性的物質來構成一個通路。

2.4. 電池內的作用——伏打電池作用時，可見到銅板上集有許多氣泡。這些氣泡是由氫氣組成。氫在電池液體之內以一種肉眼所看不見的微粒，自鋅流向銅板。這種看不見的微粒叫做離子 (ion)，離子是載有電荷的一個原子或是一羣原子。電池產生電流時，有一流陽離子流到銅板，同時有一流陰離子流到鋅板。

酸對於鋅的化學作用由下列方程式表明：



任何其他電池都與此種變化相仿。溶液中的物質稱為電解質 (Electrolyte)。電解質的分子分裂做陽離子和陰離子。陽離子集於一極上，陰離子集於另一極上。陰離子所集的那個極，便是被蝕得更快的一極。

2.5. 電流的理論——科學家都相信電流 (Electric current) 是由一流極小的陰電荷叫做電子 (Electron) 的所組成。我們欲研究無線電或電學的任何一門，對於電子的作用都須知道一些。

原子雖然已是很小，即使用高倍放大率的顯微鏡也看不出，而電子比原子更小得多。一個原子的構造是許多陰性電子，圍繞着一顆陽性的核(nucleus)。電子繞着原子核旋轉極快。想像原子的內部很像太陽和行星，原子核在中心，電子環繞着核，好像地球和其他行星環繞着太陽而運行一樣。

電子是一顆極小的陰電荷。也有一種極小的陽電荷叫做質子(Protons)。原子核含着質子數比電子數多，所以是陽性的。每一顆原子中都有繞着核的電子。假使繞核的電子數適足以平衡原子核的陽電荷，那末這原子是中和的；即是說，它的作用完全像沒有電荷時一樣。假如這原子所有的電子數比用以平衡原子核陽電荷所需的為多時，便成陰性；假使所有電子數比核所需的較少時，便成為陽性的了。

在電池中，氫離子是陽性的，因為氫原子已放出了一部份電子的原故。

一條導線中的電流便是一流電子。有些電子從一原子流到他原子，有些電子流於原子之間，更有些竟可穿過原子，像彗星可以穿過太陽系一樣。電子可以在原子表面衝進衝出而不和原子黏着。不管個別的電子行為是怎樣，導線中的電流，便是流過這導線的一流電子。這是物理學家所持的理論，也就是因這個理論，使我們研究關於無線電或電學其他方面各種電的作用，都能明瞭。

我們把一個伏打電池的銅鈹和鋅鈹用導線連接起來，就可說電流是從銅鈹經導線而到鋅鈹。但實在的情形，是一流電子從鋅鈹

經導線而流到銅板。在電子理論尚未發明之前，物理學家以為電流經導線的是陽電，故常說電流是從銅板流到鋅板的。這個習慣不容易改正，所以我們仍舊說電流是從電池的陽極流到陰極；但要切記着，導線中實在流着的東西是一流陰性的電子，從電池的陰極流到陽極去。

2.6. 電動勢和電流——在電路中，譬如說是電鈴電路，電池產生一個勢力使電子在電路中流動。這個勢力，約翰密爾斯 (Mr. John Mills) 稱它做電子動勢 (Electronmoving force)，即平常所稱的電動勢 (Electromotive Force)。未有沒有電動勢而有電流的。

電動勢是用「伏特」來計量的。那簡單的伏打電池，約產生一伏特，乾電池大約有一個半伏特。別的名詞如電壓和電位差，有時用來替代電動勢。

電流的強度是用「安培」來計量的，一安培 (Ampere) 是電子的一個流動速率。假使電流是二安培，那末電路中每秒鐘流過的電子數便兩倍於一安培的。舉一個實例：某一檢波管 (Detector tube) 需一安培的燈絲電流，另一電子管祇需四分之一安培，那末第二管燈絲中每秒鐘所流過的電子數，祇有第一管的四分之一那麼多。

在一電路內，電動勢愈大，電流也愈大。我們可以用另一種說法，便是使電子行動的勢愈大，電路中每秒鐘流過的電子數也愈多。

2.7. 乾電池——乾電池在無線電工程中尤其重要，因為它可

作為安培數較低電子管的鈹極電路電池和燈絲電路電池。乾電池不論式樣和大小，都有一個半伏特的電動勢。手電筒和鈹極電池組中所用的小型乾電池，和較大的乾電池有相同的電壓。一個三伏特手電筒便需要兩節乾電池。要做成 224 伏特的電池組，便得用十五節乾電池。圖 1.4 示一個乾電池的構造。

若把一個門路電路或燈絲電池組所用較大的乾電池，直接接到一個安培計 (am-

meter)，便可量得有二十至三十安培的電流，手電筒和鈹極電路電池組所用小的乾電池，則祇有四或五安培。其理由將於第四章第 4.3 和 4.4 節中說明。

2.8. 極化 (Polarization)——在乾電池中，氫氣都集在碳極上，正像伏打電池中氫氣集在銅板上面一樣。當氫的離子已經把它們的陽電荷給了碳極之後，它們對於電流的流動已沒有什麼用處了。實際上它們倒是電流的阻礙物。氫使電流減弱的效應，便叫做極化。要把碳極上的氫移去，便得用一種黑色的粉末，叫做二氧化錳。

2.9. 蓄電池——蓄電池和其他各種電池一樣，都包含有兩片不同質的金屬鈹和一種侵蝕一鈹比他一鈹為甚的溶液。它的陰極鈹是鉛，陽極鈹是過氧化鉛，電解質 (參閱第 2.4 節) 是一種稀硫酸溶液。當蓄電池放電時，便放出了電流，陰極鈹上即有硫酸鉛生成。

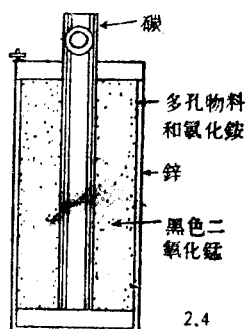
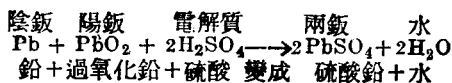


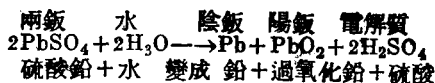
圖 2.4 乾電池的構造

陽極板上的作用比較的複雜，但結果也是轉變為硫酸鉛。結果是電池放電，兩極板都慢慢的變為硫酸鉛了；這是說，每一板面上都有一層硫酸鉛組成。當電池充電時，則生相反的作用。

電池放電所起反應的結果，可用化學方程式來表示如下：



充電時電池的化學作用如下：



兩個方程式之一，恰是其他一個的逆行。蓄電池所以異於其他電池者，便是它的作用能逆行的。蓄電池放電後，可另將電流送過它，使它的兩極板 and 電解質回復原狀。此種作用在其他電池是不可能的。

從第一個方程式，可以知道電池在放電時，其電解質變為水，

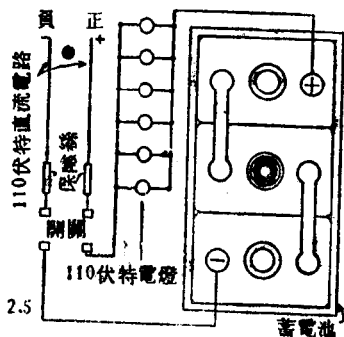


圖 2.5 蓄電池充電時之接線法

而在充電時，仍變為硫酸。既然硫酸比水密些，所以從溶液的密度，可以測得充電和放電的程度。

將蓄電池充電時，電流送入的方向，須與放電時電流的流向相反；就是說，電池的正端一定要接到線路的正線，負端接到負線。圖 2.5 示一蓄電池充電時的接法。

線路中的電流是直流。假如是交流，便需用一隻整流器(Rectifier)來整直，說明見第六章，第 6.29, 6.30, 6.31 節。

2.10. 蓄電池的養護——蓄電池不可任令它放電殆盡。假使無意間使它完全放電了，那麼不能讓它留在此種情狀。理由是正負兩板面上都有了一層硫酸鉛，若令那東西停留着，便要結為晶體。硫酸鉛一結晶，電池便一些沒有用了。

蓄電池須時時用比重計(Hydrometer)去測定它的充電程度。此種比重計指示電解質的比重。握手處有一個橡皮球，把它一擠一放，溶液便有一小部份被吸入玻璃管。在玻璃管中有一個小的比重計在溶液中浮定。溶液愈密，比重計被升愈高。如電池已完全放電時，那比重計會沉到管底。比重計面上有標度，表示溶液的比重。假如電池充電充足時，那麼刻着 1.280 的一條線，正好指在液面上。這便指示那時溶液的比重是 1.28；換句話說，即溶液某一體積之重，比同體積的水重 1.28 倍。對於汽車上發火花用的蓄電池，1.300 的比重是妥當的。在無線電用的蓄電池，那比重可不要超過 1.28。當蓄電池比重跌到 1.185 時，最好便去充電。

鉛蓄電池遇捷路(Short circuit)時，會發生 200 至 500 安培的電流。蓄電池不可用普通試驗乾電池的小安培計來量，因為很強的電流，恐怕要把那儀器燒壞。特種安培計能量 200 或更大安培數的，才可用以試驗蓄電池。

鉛蓄電池組的電壓在斷路時，每一電池約有 2.2 伏特。這個電壓在電池充電充足或不充足時，差不多沒有什麼變更，所以用電壓

的高低來測定蓄電池的充電程度，是不準確的。

無線電蓄電池所需要的主要特性，便是要它放電時發生恆定的電壓，因為在無線電電路中即使電壓改變很小，在聽筒中也將發出噪聲。在有幾種無線電用的蓄電池，使電壓恆定的方法，係使電解質能在極板表面上環流通暢，並且須將極板構造得使它的化學組成十分均勻。無線電用的蓄電池若用比重計量得有 1.250，便可認為充電已足。這樣比 1.280 更好，因為比重計記錄較低的電池，放電時更為恆定。

蓄電池如擬幾星期不用，那末必須把它先完全充電，否則雖放電未盡，那極板上也將產生硫酸鉛的結晶。這樣，電池的電阻會增加，電壓將減低，而電池的壽命也就短促了。

蓄電池如擬長期不用，譬如說幾個月，那麼應用濕藏 (Wet Storage) 的方法。先把電池充電充足，然後放在乾燥地方的木條架，使新鮮空氣能周流電池的各面。所有露出的金屬，都要用凡士林塗滿。最好能用一種緩流充電 (trickle charge) 的方法，便是把電池連一個電阻接到充電線路，使電池充電連續，而充電率則極低，譬如說半安培。如此種方法不能用，便應使電池組充電到每一電池發生氣泡，每兩月施行一次。時時添加蒸餾水，使溶液的水平面常浸沒極板。

2.11. 安培小時——蓄電池是以安培小時數 (Ampere hours) 來定額量 (Rating) 的。例如一具 80 安培小時發火花用電池組，便能發出十安培的電流，歷八小時之久。但此種電池却不能發出八十

安培的電流歷一小時。放電率假如太快，那電池可能的安培小時量便會減低。放電率很快的一個例子，便是汽車蓄電池在供電於開動電動機之時。那時這電池實際上是以捷路供電的。依美國電器製造業協會所定的規則，“A”電池的安培小時定額，是根據那電池組放電 100 小時，至每電池的電壓降至 1.75 伏特的放電率，電池的溫度是華氏 80 度。“B”蓄電池的安培小時定額根據同樣情形，不過時間是改爲 200 小時。蓄電池必須依額定量發電，經過三次充電和放電。否則認爲定額不正當。

問 題

1. 爲什麼乾電池可連續供電於某種無線電真空管的燈絲歷許多小時，而不能連續用在警鈴的電路中？
2. 離子和電子有什麼分別？
3. 用壞了的乾電池，有時還能在電路接通之後用一會兒，不過時間極短以後就不起作用了。爲什麼？
4. 鉛蓄電池的充電程度何以可用比重計來測定？
5. 爲什麼鉛蓄電池不可讓它完全放電？
6. 爲什麼適宜於汽車發火用的蓄電池，不適用於無線電路？

第三章

電流的磁作用

我們已知道，電流是流過導線或他種導體的一流電子。讀者必須將這種觀念，時時記着，庶幾對於一個電路中發生的情形可以理解。

凡有電流的地方，便有一種磁力 (Magnetic force)，環繞於這電流。運動的電子老是產生磁力。假使流過電話聽筒中的電流，不生磁力，我們就不能收得無線電訊號。假使沒有電流的磁作用，便沒有無線電傳送，也沒有電力供給於電動機了。

3.1. 磁力線和磁場 —— 若把鐵屑洒在一條磁鐵的周圍，那些鐵屑便會在磁鐵的周圍排列出一定的線條花樣。這些線條顯示出磁力的方向。假使拿一個小指南針放近那磁鐵，指針的指向便會與鐵屑線平行。

指南針祇不過是放在一支針尖上能自由轉動的一條小磁鐵。任何一條吊着的磁鐵，會自行停止於近乎南北向的位置。磁鐵所指的方向，在地球上各處並不相同。在有幾處地方，它的確指着南北，而在別處則和南北線相差頗多。總之，一條吊空的磁鐵，總要使它的一頭指着地球的北磁極，而另一頭指着南磁極。那指北磁極的一頭，便叫做磁鐵的指北極，另一頭叫做指南極。這兩個名稱，通常簡

稱做磁鐵的北極和南極。地球作用如個一大磁體，那吊着的磁鐵便要沿着地球的磁力線而靜止下來。

3.2. 直線內電流的磁作用——把一根有電流流着的導線豎立着，再把幾個小的指南針放在線的周圍，那些磁針會自行排列成一個圓圈。假使用右手握着線，姆指指着電流的方向，其餘四指的方向便是那些磁針北極所指的方向。這好像是電子流過導線時，產生了一種環繞於導線的力（圖 3.1）。

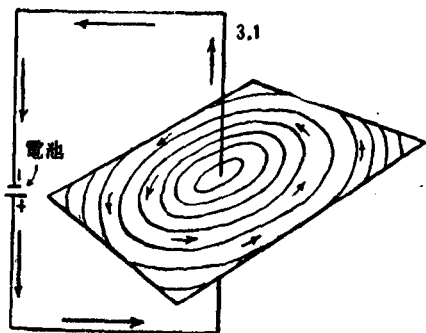


圖3.1 電子在流動時，產生一種環繞於導線的力。

一種環繞於導線的力（圖 3.1）。假使電流反向流行，那些磁針便都回轉頭來，指示着與原來相反的方向。那力的旋轉仍舊存在着，不過已換了向。

3.3. 線卷中電流的磁作用——把銅線繞成一個線卷，穿繞於每一匝線的磁力線便聯合為一直線，貫穿在線卷裏面。在線卷外面，這些磁力線亦成一直線，從線卷的一端繞到另一端（圖 3.2）。

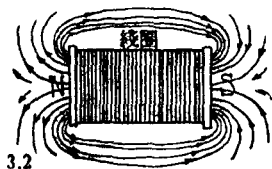


圖 3.2 環繞於載流線卷的磁力

線卷本身已好像成爲一條磁鐵，一端爲北極，一端爲南極。線卷的北極會吸引指南針的南極，那南極則吸引指南針的北極。

若用右手將線卷握住，則四指指着

電流流行的方向，那姆指便指着錄卷的北磁極。

把一條鐵棒放在這有電流流行的錄卷裏面，那鐵棒便被磁化。這樣便成爲電磁鐵 (Electromagnet)。錄卷中插入鐵心後所生的磁力強度，比單是錄卷所生的強得多。

依照磁的分子說，鐵的每個分子都有北極和南極。當鐵棒磁化後，其中大部份分子的排列與前不同，它們的北極，都指着同一個方向了。當全部分子排列得把北極一律指向一方向時，那磁鐵便說是飽和了。它的磁力便不能再增。

不同種的鐵質對於磁化程度變更的難易相差很大。硬鋼磁化後，假使小心運用，它的磁性可保存很久，但韌煉的矽鋼，磁性極易失去。

磁性物質受磁力線改變其磁性的性質叫做導磁性 (Permeability)。軟鐵比硬鋼的導磁性大得多。

若在錄卷中放一條鐵棒，電流通過這錄卷時，即發生磁力而使

鐵中的各分子轉過頭來，把所有的北極指着同一個方向。要證明這種現象，可在錄卷中放着許多小指南針。錄卷中一有電流通着，各指南針的同極便都指向錄卷的一頭。當電流流行方向逆反時，各指南針便都轉過身來，改指着與原先相反的一頭，這便表明錄卷的磁極已改變了。同樣，若錄卷中有一根鐵棒，電流改向

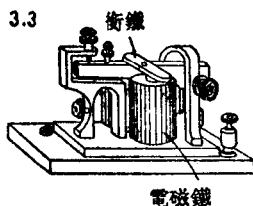


圖3.3 當電流一通過一隻電報發聲器時，錄卷和鐵心即被磁化，將銜鐵吸下，便生「答」的一響。

時，鐵的分子會轉過身來。

線卷的磁作用，在無線電工程中是一件極重要的事。在接收機和變壓器的線卷中，那電流極快地改變着它的方向，故這種電流的磁效應很是重要，以後再詳細討論。

3.4. 使鐵磁化和去磁的功率損失——譬如我們有一條像圖3.4

所示的電磁鐵，那線卷裏面有電流流行於實線箭頭所指的方向。這時N端是北極而S端是南極。當電流增強時，鐵的磁力也增強起來而止於某限度。若我們逐漸把電流減少，

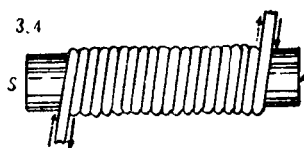
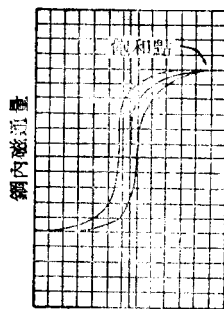


圖3.4 一條電磁鐵

鐵就失去其一部分磁力。但繼續將電流減小到零時，那條鐵却仍有一部分磁力留存。現在，把電流的方向反逆，使它流行於虛線箭頭所指的方向，等到電流增至某強度時，鐵的磁力方才是零。這樣說來，那條鐵經一方向的磁力磁化之後，需要一反方向的磁力使它去磁，才能回復原狀。若使這電流繼續流於虛線箭示的方向，那條鐵又被磁化，不過它的極性是改變了。若我們使這電流減至零，那條鐵一樣的也留着磁力；要使它去磁，又得將電流的方向反逆。可見鐵的磁力滯於電流之後。鐵的分子不容易改變它們的位置，需要某一個力來使它們改變。電能的一部分便費在改變鐵的磁性上面。



3.5 磁化力

圖3.5 矽鋼的磁滯曲線

軟鐵和韌煉的矽鋼對於改變磁性的反抗，比硬鋼和各式硬鐵為小。所以軟鐵和矽鋼比他種鐵質對於電能的消耗較小。這一點在製造變壓器中是重要的，尤其是無錄電所用的變壓器。

鐵的磁力的滯後叫做磁滯現象 (hysteresis)。因改變鐵的磁性所耗去的電能，稱做磁滯損失 (hysteresis loss)。這祇是變壓器，電動機和發電機中電能損失的一種。

圖 3.5 示韌煉矽鋼的磁滯曲線。這張圖上橫座標代表電流的強度，縱座標代表鐵的磁力。換句話說，橫座標代表加在鐵上的磁化

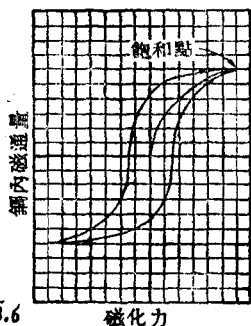


圖3.6 硬鋼的磁滯曲線

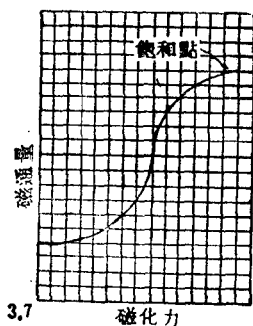


圖3.7 理想的磁滯曲線

力，因為在任何錄卷中，那磁化力總是同電流成正比的；那縱座標代表鐵裏本身所流過的磁力線，叫做「磁通量」。圖 3.6 是硬鋼的磁滯曲線。從這條曲線可以見出硬鋼比韌煉鋼需要更強大的反向電流，才使它的磁性回復到零，也就是在硬鋼中所損失的電能比韌煉鋼中損失的為多。硬鋼的那條曲線所包圍的面積較大，便是說明較大

的電能損失。

圖 3.7 是一條理想的磁滯曲線。假使有一種一些沒有磁滯損失的鋼或鐵，那才能得到這樣的曲線。在這情形下，假使把磁化用的電流減小到零，鐵的磁強也同時跌落到零，便無需另加什麼力去將鐵去磁了。

問 題

1. 何謂磁力線？何謂磁場？
2. 在有電流流行的直線周圍，磁力線的形狀如何？
3. 在有電流流行的線卷的周圍，磁力線的形狀如何？
4. 電磁鐵是什麼？
5. 在一個磁鐵中功率如何損失？
6. 何謂磁滯？
7. 無線電路所用變壓器的鐵心內的磁滯現象，是否是一種適宜的質性？

第四章

電路與歐姆定律

在試驗電路時，若沒有量法的智識，那末對於研究無線電學就不能有所深造。無線電電路和其他電路一樣，裏面有許多量是要加以量度的。要做成和運用一隻無線電接收機或發送機有兩種方法：一種祇是把各種線卷和容電器加以試湊，等到有一種配合情形最好時便是對了；另一種則是知道了應該用那一種，於是用自己的或他人已做成的可靠的量法，來求得各種數值。這第一種是一個湊着做的方法，好像測量員要量一方地，不用儀器來量度，却用脚步去量距離。決沒有人願照這種粗陋的方法去買一方地的。第二種則是準確的科學方法，好像那測量員用羅盤儀來定方向，用十字杖來定路線，用捲帶尺來量距離，從基線算得土地的面積。祇有這種準確的工作，才使一件事得到永久的價值。

在本章裏面，我們祇討論應用於直流的量法，像量從電池中所產生的電流。關於無線電電路中高頻率電流的量法，以後再論。若不通曉直流的量法，那高頻率電流的量法便不能明瞭。

4.1. 電動勢，電流和電阻的單位——電動勢的單位是伏特 (Volt)，約等於一隻簡單伏打電池的電動勢。乾電池的電動勢約為 1.5 伏特，鉛蓄電池約 2.2 伏特。

電流的單位是安培(Ampere)。一安培是電的某一流量。譬如水在管子中流行的快慢，是每秒鐘一加侖，於是每秒一加侖便是水流的強度。加侖是水量的單位，那每秒一加侖便是水流的單位。同樣，一安培是在一秒鐘內某電量的流行。電量的單位叫做庫倫(Coulomb)。一安培便是每秒鐘一庫倫的流量。在電學計算中，庫倫不像安培那麼應用得多。流量是一件比較重要的事。

我們已經知道，電流便是一流的電子。所以，安培是量度一流電子的單位。電子的觀念最好常常記在腦中，因為它對於無線電電路的了解是極關重要的。電子是極小的，比原子還小得很。假如我們把一隻電子管的絲極點亮，用一安培的電流，那麼電子流過那絲極的快慢，大約每秒鐘有六垓之多，用數字寫出便是6,000,000,000,000,000,000。這個數目是怎樣計算出的？這裏篇幅不允許加以說明。我們祇能說，我們已量得一個組成電子的電荷量，若在一秒鐘內有六垓這樣的電荷流過，那末這電流便是一安培。

電路中的電阻(Resistance)是阻礙電流流行的東西。它是用歐姆(Ohm)做單位的。一伏特的電動勢若能使一安培的電流流過一導體，那導體的電阻便是一歐姆。156呎長的18號銅線約有一歐姆的電阻。

4.2. 導體和絕緣體——在電路中須用某種材料傳導電流，這種材料叫做導體(Conductors)。他種材料用來阻止電從導線或他種導體上逃去的叫做絕緣體(Insulators)。銅線是導體中一個熟悉的例子；家裏電燈線外面包着的橡皮是絕緣體中一個熟悉的例

子。沒有一種材料是完全導體，也沒有一種是完全絕緣體；有幾種材料只讓很少量的電逃漏，所以在實用上可認為是絕緣體。一切金屬和大多數的其他材料相比，可以說都是良導體，不過有好幾種金屬比他種導體更好，銀是最好的導體，但因為很貴，當然不合實用。下面是幾種普通材料，依它們的導電率排列的表。銀有最高的導電率，所以排在最先。其餘材料的導電率都是同銀相比較的。例如銅的導電率是銀的 92/100。

銀	100	鉑	13
銅	92	軟鋼	12
金	67	鉛	7
鋁	56	水銀	7
黃銅(銅和鋅)	28%41	鎳鋼	5
鋅	27	德銀(銅,鋅和鎳)	3.5—7.5
鎳	21	錳銅(銅,錳和鎳)	3.5
錫	14		

4.3. 歐姆定律——要使一個電子管燈絲發光加亮，須把電路中變阻器(rheostat)的電阻減少。要使燈絲減暗，須把變阻器的電阻加大。這是改變電流強度的方法之一。電阻增加，電流便減小；電阻減小，電流便增強。電流的減小同電阻的加大是互成比例的。

另一種使電流強度改變的方法，是增減電動勢。例如在一電路中，我們增入更多的串聯電池，那電流便會增加。初學無線電的人往往浪費了許多金錢，才知道這個事實。對於電子管的燈絲，祇可用四至六伏特電動勢的，他們有時妄用 90 伏特“B”電池接上去，

結果，那非常強的電流立即把燈絲燒斷。

若電路中的電阻不變，而把電勢加倍，那電流也就加倍。假如把電動勢減半，那電流也就減半。

我們可以把這定律用水流的譬喻來加以說明。水在管子中流動時，一定有使水流動的壓力，同時也有阻止水流的阻力。假如壓力加大，水流的速率必加快，好比救火車上的引擎加大壓力，使帶管中的水流增強。反之，如阻力強大，例如把那帶管的嘴差不多全閉起來時，水流便減弱。

$$\text{流速} = \text{壓力} / \text{阻力}。$$

電路中的情形也是如此。假如電壓加大，電流便加強，電阻加大，電流便減弱。

用文字來表明：

$$\text{電流} = \frac{\text{電壓}}{\text{電阻}} \quad \text{或安培} = \frac{\text{伏特}}{\text{歐姆}}。$$

用符號表明： $I = E/R$

很明顯地，從上面那個方程式中，假如我們知道了電路中的電動勢和電阻，我們便能算出流行的電流。我們也能算出要多大電動勢才能使某一已知電流流過某一已知電阻，或者我們可以先量得了一電路的電流和電動勢，再算出它的電阻。總之這歐姆定律 (Ohm's law) 在無錄電中以及其他電工中是最有用的原理之一。

4.4. 歐姆定律的幾個例子——讓我們把無錄電接收機中單管白燈絲電路 (Filament circuit) 來檢視一下。如圖 4.1，電路中包

含燈絲，電池，變阻器和連線。譬如在燈絲兩端 D 至 B 間的電壓是 5 伏特，又電流是 1 安培，於是燈絲的電阻便是 5 被 1 除，得 5 歐姆。假如電壓在燈絲和變阻器聯合後的兩端間是 6 伏特，電流是 1

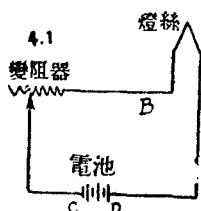


圖 4.1 燈絲電路

安培，那末燈絲和變阻器的聯合電阻便是 6 歐姆。如是，變阻器的電阻此時是一歐姆。現在譬如另有一電子管，把變阻器先校正到燈絲有正當電壓，當 5 伏特時燈絲用電流 $\frac{1}{2}$ 安培，於是那燈絲的電阻便是 5 被 $\frac{1}{2}$ 除，得 20 歐姆。假如把燈絲和變阻器聯合後，用一具 6 伏特的電池加

在兩端間，此兩端間的電壓降便是 6 伏特，那燈絲和變阻器的聯合電阻便等於 6 被 $\frac{1}{2}$ 除，即 24 歐姆，這時變阻器的電阻便是 4 歐姆。從這一例子看來，用 $\frac{1}{2}$ 安培的電子管，比用一安培的電子管，需要更高電阻的變阻器。

注意在上例中求燈絲的電阻，我們祇量燈絲兩端的電壓和流經燈絲的電流。求燈絲和變阻器的聯合電阻，則須統量聯合電阻上的電壓。這個規則在應用歐姆定律時必須注意。如應用歐姆定律於電路的一部，我們祇須量那電路中該一部份的電壓，電流和電阻。如應用歐姆定律於整個電路，就須量全電路中的電壓，電流和電阻。

歐姆定律也可以應用於一個電池，和應用於其他任何電路一樣。譬如我們要求一個乾電池的內電阻。先用一個電壓計量得電壓，譬如 1.5 伏特。於是再用一隻可以指示 25 安培或更大的電流計直接在那電池的兩端間，譬如量得是 20 安培。那電流計簡直

就是加在電池兩端間的捷路。換句話說，外電阻實際是等於零，電池本身的電阻，實際上就是全電路的總電阻。依照歐姆定律，電池的電阻是 $1.5/20 = 0.075$ 歐姆。如將手電筒用的小乾電池經同樣試驗，在捷路時所量得的電流祇有四或五安培，但電壓的大小則和以前相同。所以電池愈小，內電阻愈大。

4.5. 電功率的單位 —— 我們可以把電力和水力作一比較。譬如利用瀑布沖下的水轉動水車，所生功率的大小全視水的壓力，即瀑布的高低，和每秒鐘多少的流水量。在美國有一處水力發電廠，水壓比較的很低，那瀑布祇有三十呎高，但因為每秒鐘有大量的水流過水車，所以仍舊可以產生極大的功率。反之，在挪威有一處瀑布，水流極小，但因為水源很高，幾乎有九百多呎，所以一樣也產生了很大的功率。同樣，強大的電功率亦可用任一種方法產生，就是增高電壓或是加強電流。

電功率是用瓦特(watt)或仟瓦特(kilowatt)來計量的。如有一伏特的電動勢使一安培的電流流過導體，這功率便是一瓦特。電路中功率的瓦特數，祇將伏特和安培數相乘即得。

$$\text{瓦特} = \text{伏特} \times \text{安培}$$

$$\text{或 設 } P \text{ 代表功率, } P = EI.$$

仟瓦特便是一千瓦特，西文中的『Kilo』便是一千的意義。通常電燈或電力線路，因瓦特單位太小，使用不便，所以要用仟瓦特計算。

這電功率方程式(Power equation)為便於使用之故，另有兩

個公式。從歐姆定律，

$$I = \frac{E}{R} \text{ 和 } E = IR,$$

如將 I 代入上面那個功率公式，便得第二功率公式：

$$P = EI = E \cdot \frac{E}{R} = \frac{E^2}{R}$$

又將 E 代入第一功率公式，得第三功率公式：

$$P = I^2R$$

從這一公式，可知在一電路中，如電阻不變，所消耗的功率與電流的平方成正比。假如功率的消耗全費於生熱，譬如電爐之類，那所生的熱與電流的平方是成正比的。

4.6. 串聯電路——在一管接收機的燈絲電路中(圖 4.1)，那電池，變阻器，電子管的燈絲及連線等是串聯着的，祇有一條路可給電流通。此種電路便叫做串聯電路(Series Circuits)。

電路的每一部份，對於電流各有某一電阻。譬如，那燈絲燃熱後有 5 歐姆的電阻，電池有 0.05 歐姆，所有連線有 0.1 歐姆，那變阻器調整在有 2.5 歐姆的一點，於是全電路的電阻，便是各部電阻的和數，即

$$5 + 0.05 + 0.1 + 2.5 = 7.65 \text{ 歐姆。}$$

關於串聯電路，還有一個重要事實，便是電路中各部份的電流都是相等的。如在圖 4.1 電路中，D, B 和 C 等處各接入一個電流計，那麼各電流計所指示的電流一定完全相同。

串聯電路中各部份的電壓，要看各部份本身的電阻而定。假如

在那電池的兩端間(圖 4.1 的 DC 二點間)接一伏特計,便可知道那電池的端電壓(Terminal voltage)。若再用兩個伏特計,一個跨接在 DB 兩點,以示燈絲上有多少電壓,另一個跨接在 BC 兩點,以示跨於變阻器的電壓降有多少,結果,兩個伏特計所指示電壓的和數,必等於第一個伏特計所指示電壓數。燈絲上所受的電壓,不是電池的全電壓;跨於燈絲的電壓加上跨於變阻器的電壓,才等於電池兩端間的電壓。這就說明了串聯電路中電壓的一個定律;便是電路的全電壓,等於各部導體上個別電壓的總和。

再有一個重要的事實,是電流流經串聯的高電阻和低電阻時,那跨於高電阻的電壓,比跨於低電阻的大得多。舉個例說,假如那高電阻是 1000 歐姆,那低電阻是 5 歐姆,若有一安培的電流流過那串聯的兩個電阻時,大的一個有 1000 伏特,小的一個僅有 5 伏特。圖 4.1 中,假如燈絲有電阻 5 歐姆,變阻器有 2.5 歐姆,那麼跨於燈絲的電壓必定是跨於變阻器的電壓的兩倍。假如跨於燈絲和變阻器的全電壓有 6 伏特,那麼燈絲所受的電壓將分得 4 伏特,電阻器分得 2 伏特。譬如我們把變阻器的觸點轉到 5 歐姆的電阻,於是,既然燈絲和變阻器的電阻大家都是相等的,那末電壓也便是大家均分,各得 3 伏特的電壓了。

現在把串聯電路的各定律綜括如下。

1. 全路電阻等於部分電阻的總和。
2. 串聯電路各部的電流都是相等。
3. 串聯電路的全電壓等於各部個別電壓的總和。

4. 串聯電路中跨於高電阻的電壓，大於跨於低電阻的電壓，電壓之比等於電阻之比。

4.7. 並聯電路——在無錄電收音機中，所有真空管的燈絲電路通常是並聯的，例如一電路中有一個檢波管和兩個放大管如圖 4.2。如每管所費的電流是四分之一安培，那末電池所供給的全電流是四分之三安培。並聯電路(Parallel Circuits)中的總電流，等

於各分部電流之和。

圖 4.2 中電池的正端接至每一絲極的一端。這一條線叫做正匯流線。另一線自電池的負端經各變阻器接至絲

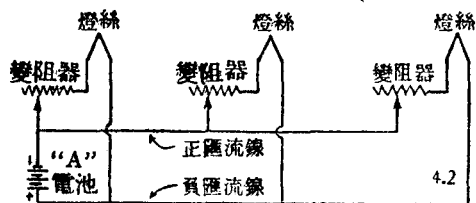


圖 4.2 並聯的燈絲

極的另一端。這一條線叫做負匯流線。各燈絲上的電壓都是相等的，並且那電壓同電池上所量得的電壓也是相等的。假如連線的電阻是極低的話，這個事實是不能錯的。任何多少電子管上的電壓，都和一管上所受的電壓是相等的。

歐姆定律可應用於每一燈絲。流經每一燈絲的電流，等於兩匯流線間的電壓被該燈絲和其變阻器的聯合電阻所除得的商數。燈絲各有變阻器，以便易於獨自控制其電流。

並聯電路的定律可概述如下：

1. 總電流等於電路中各部分電流的總和。
2. 並聯電路各部的電壓相等。

3. 聯合電阻比電路中任何部分的電阻為小。

4.8. 安培計 —— 在普通量度直流用的安培計 (Ammeters)

中，那錄卷裝在一條支在寶石軸承上的軸上：像錶的軸承一樣，所以那錄卷轉動時摩阻極小。錄卷與支軸的兩端各連一個像錶內一樣的彈簧（圖 4.3）。裝置錄卷使和磁鐵的磁力線成一個斜角。當有電流流經錄卷時，那錄卷所發生的磁力線同磁鐵的磁力線因互相吸引而趨於平行，使錄卷轉動，但彈簧却把它拉回。經過錄卷的電流愈強，那錄卷就能抵住彈簧的拉力而轉過愈多遠。錄卷上連着一枚指針，在一指示電流強弱的標度尺上移動。為使磁場均勻起見，在錄卷內支着一個軟鐵圓柱。這鐵柱是不動的，錄卷就在這鐵柱和磁極間的微隙內轉動。

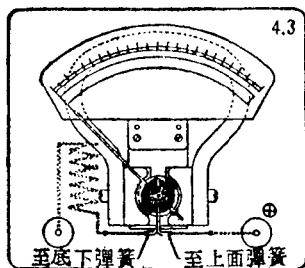


圖4.3 毫安培計的構造

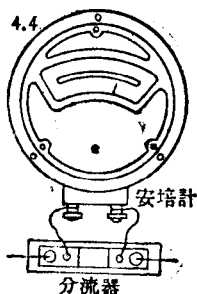
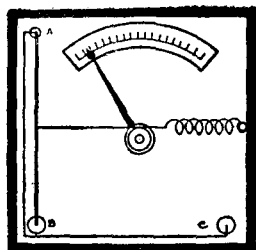


圖4.4 外附分流器的安培計

安培計中錄卷的錄是極細的，祇能載着極小的電流，所以必須另加一分流器，俾能量出大電流。分流器和錄卷並聯時，大部份的電流便流經分流器，祇有一小部份流過錄卷。假定分流器的電阻祇有錄卷電阻的九分之一，那末分流器中流過的電流便比流過錄卷的強九倍。換言之，那分流器中流過總電流的十分之九，錄卷中是十分之一。



4.5

圖 4.5 示熱線安培計的原理，
AB 是鉑線，B 和 C
是外邊的接頭。

安培計的分流器常裝合在計器之內，雖然有幾種是用外部分流器的（圖 4.4）。安培計面上的標度，常指示流經線卷和分流器的總電流。

電流計 (Galvanometer) 是安培計的特種，非常靈敏，通常量出一安培的百萬之一，即微安培。毫安培計 (Milliammeter) 量度千分之一的安培。毫安培計

加以適當的分流器，即可用作安培計。

安培計既是用以量電流的，所以必須把它接在欲量電流之線路中，務使全部電流流過它。安培計總是接入線路的一邊內，決不跨接線路。

4.9. 熱線和熱耦安培計
——無線電工程中常用的一種熱線安培計 (Hot wire

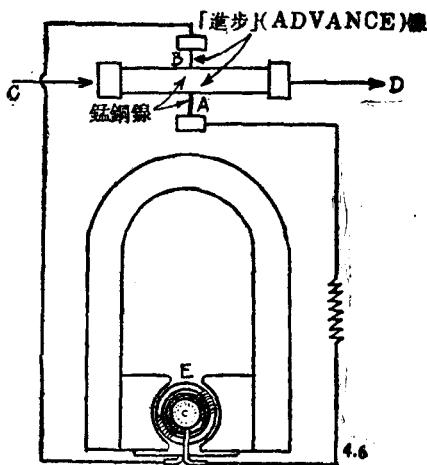


圖 4.6

示熱耦安培計的原理，A 和 B 代表兩個熱偶。電流從 C 流到 D，使 A 和 B 兩條平行線發熱，因此使那個接合點產生了一電流，流經那毫安培計。

份是一條鉑線，經過它的電流使它發熱而膨脹。它的伸長便把一個

給彈簧牽着的指針在刻度尺上轉動。電流愈強，那鉛線愈伸長，指針也移動愈遠。

在熱耦安培計(Thermocouple ammeter)中，靈敏的部份是兩種不同金屬的接合處(圖 4.6)。熱耦的原理可用下法說明：把一條鐵線的一端和一條銅線的一端接合起來，二線的另一端接到一隻毫安培計上。於是在接合處用火加熱，毫安培計的指針便能移動，這便表示在接合點上加熱，能產生電流的現象。反過來做也是對的，使電流流過兩不同金屬的接合點，便發生了熱。有幾種金屬祇需極微弱的電流，就有很明顯的這種效應。收音機的天線電路中，在收得強訊號時所流行的電流，能由一個電子管和一毫安培計量得(參閱第 11.23 節)。

4.10. 伏特計——伏特計(Voltmeters)用以量一電路中任何兩點間的電位差。電位差普通叫做電壓。『電壓降』(Voltage drop)一名詞也是常用的。在無線電中，檢驗燈絲電壓和鈹極電壓都是很重要的。量燈絲電壓的時候，伏特計必須跨接在燈絲兩端之間(圖 4.7和4.8)。量鈹極電壓的時候，伏特計必須接在鈹極端和燈絲負端

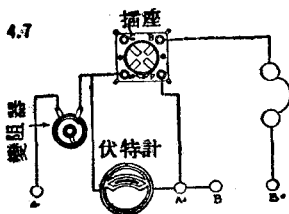


圖4.7 測驗燈絲電壓伏特計的接法

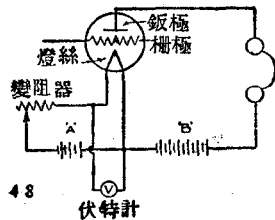


圖4.8 測驗燈絲電壓的電路

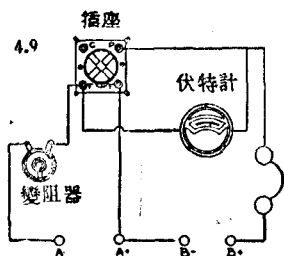


圖4.9 檢驗板極電壓時伏特計的接法

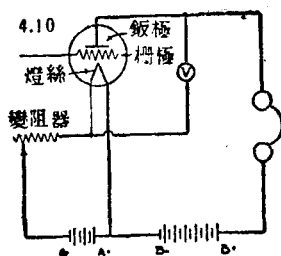


圖4.10 檢驗板極電壓時的電路

之間(圖 4.9 和 4.10)。

接伏特計的規則是：欲量全線路的電壓，須將伏特計跨接於該線路；如祇量線路中某兩點間的電壓降，則把它跨接在該兩點上。

假如把一個毫安培計跨接在線路上，那流經這安培計的電流將強得立刻把它的錄卷燒壞。要避免這種損毀，便得用一個高電阻器同這錄卷串聯。連着高電阻的毫安培計便可跨接在線路上，用以量電壓了。伏特計不過是一個有高電阻串聯着的毫安培計，而它的標度則用伏特數。

譬如毫安培計的錄卷，祇能載一安培的百分之一，而這個儀器要能量到 120 伏特的電壓，那麼必須要串聯着足量的電阻，務使跨接在 120 伏特時所流過的電流，不大於百分之一安培。從歐姆定律

$$E = IR$$

$$120 = 0.01R$$

$$R = \frac{120}{.01} = 12,000 \text{ 歐姆。}$$

那高電阻通常接在伏特計之內，同錄卷串聯着。在標度尺上指

針所指示者，是跨於線卷和電阻的電壓，也就是那伏特計兩端的電壓。

有種伏特計備有外部的電阻器，名叫倍加器(Multiplier)。有了一個額外的電阻串聯着，要指針移動一格，就得更高的電壓，那伏特計也就能量較高的電壓了。例如，一伏特計原來的設計是當指針在最高度時兩端間的電壓是 120 伏特。假如增加電阻，使它的總電阻十倍於前，那末要指針指到最高度時非也要有十倍於前的電壓，即 1200 伏特不可。有了這個額外電阻或倍加器，這伏特計便可量高至 1200 伏特的電壓了。

當然，伏特計中也有電流流過，但因它的電阻很高，那電流祇是總電流的極小一部分，因此，對於試驗燈泡或其他電機是沒有什麼影響的。

4.11. 電阻量度—伏特計安培計法 (Voltmeter ammeter method)——量度電阻最簡單的方法，便是用一個伏特計和一個安培計。假如已量得一導體兩端間的電壓和流行其中的電流，那祇要簡單地應用一下歐姆定律，便可求出它的電阻。例如，我們知道流於某電子管的絲極的電流是 0.25 安培，絲極兩端間的電壓是 5 伏特，則由歐姆定律求得電阻

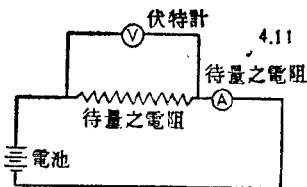


圖 4.11 用伏特計安培計量電阻法的電路

$$R = \frac{E}{I}$$

$$R = \frac{5}{0.25} = 20 \text{ 歐姆。}$$

4.12. 電阻量度——惠斯登電橋法——上節所述的是一種草率而

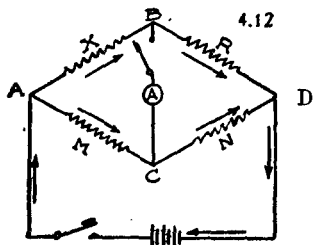


圖4.12 惠斯登電橋

容易的方法，如不需十分精密時頗有用處。如精密是重要的話，那就要用惠斯登電橋法 (Wheatstone bridge method) 了。

普通的惠斯登電橋包含四個電阻，接法見圖 4.12。從電池來的電流在 A 處分開，一支經 ABD，一支經 ACD，兩支在 D 處會合後仍流回電池。假如 B 點和 C 點都在同電位，即同電壓，那麼，當按下電鍵時，毫安培計中不會有電流通過。

假定流過 ABD 一支的電流是 I_1 ，流過 ACD 的是 I_2 。依歐姆定律，電路中任何部分的電壓降等於電流乘該部分的電阻。因之，A 至 B 的電壓等於 $I_1 X$ ，B 至 D 的電壓等於 $I_1 R$ ，A 至 C 的電壓等於 $I_2 M$ ，C 至 D 的電壓等於 $I_2 N$ 。現在既然 A 至 B 的電壓等於 A 至 C 的電壓，應得方程式

$$I_1 X = I_2 M。$$

同樣理由，

$$I_1 R = I_2 N。$$

現將第一等式給第二等式除，得

$$\frac{I_1 X}{I_1 R} = \frac{I_2 M}{I_2 N}$$

約去 I_1 和 I_2 , 得

$$\frac{X}{R} = \frac{M}{N}$$

由此式得

$$X = R \cdot \frac{M}{N}。$$

這是惠斯登電橋的公式。X 是待量的未知電阻, R 是已知電阻, 而 M 和 N 兩電阻則已知它們的比率。M 和 N 叫做電橋的比率臂(ratio arms)。

4.13. 電阻箱和特種惠斯登電橋 — 在惠斯登電橋量法中, 通常用電阻箱(Resistance box)做已知電阻; 箱中包藏着許多不同的線卷, 每個有一已知電阻。那些線卷都分別接到匣頂的幾排銅塊上。銅塊之間由圓錐狀塞子互相連接起來, 拔去那些塞子是很容易的。每一塞子塞在兩銅塊間之時, 就使其間一個線卷有捷路。把塞子拔去, 就使一個線卷加入在電路之中。電阻可以隨意配成任何值, 祇要移去不同的塞子。

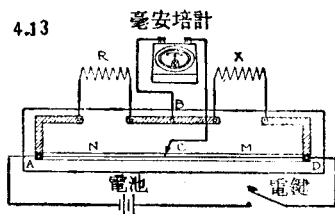


圖4.13 惠斯登電橋, 滑線式。

惠斯登電橋最簡單的一種是滑線電橋(Slide wire bridge) (圖 4.13)。C 點是在 ACD 電阻線上移動的一個滑觸, 移動到毫安培計沒有偏轉的一點就對了。M/N 的比率就是那電阻線兩部分長短的比率。

惠斯登電橋的一種，運用準確而迅速者，是標度盤電橋 (dial bridge)，兩個比率臂由一個標度盤所控制。轉動那度盤，相當於移動滑線電橋的滑觸。普通標度盤電橋中的比率是 1:1, 1:10, 1:100, 1:1000, 10:1, 100:1, 1000:1。已知電阻 R 是用四個標度盤來調準的。假如 R 是一歐姆， X 可以小至 0.001 歐姆， R 如高到 1111 歐姆，那 X 可以 1000 倍於 R 。用了此種電橋，任何電阻自 0.001 歐姆至 1,111,000 歐姆都可以量了。

問 題

1. 某電子管的絲極，接到兩隻串聯的乾電池時，取用電流 0.06 安培。問絲極的電阻若干？
2. 如該管用三個乾電池串聯供電，問所用變阻器內需電阻若干？
3. 一45伏特的鈹極電路電池，在捷路時輸出電流 5 安培，問它的內電阻若干？
4. 問題 1 和 2 中的電子管各消耗若干瓦特的電功率？
5. 問題 2 中全電路的電阻若干？
6. 如問題 1 的電子管有三個串聯起來，那末絲極電壓須用多少？如三管並聯時需電壓若干？
7. 安培計常應如何接法？
8. 伏特計常應如何接法？
9. 試述熱線安培計和熱耦安培計的原理。
10. 說明惠斯登電橋的原理。

第五章

電子管

前面已講過，電流就是流在一個導電體中的一流電子。假使沒有分子或祇有極少分子阻擋去路，一流電子也可流過自由空間。換言之，便是電子能容易通過真空。電子既是陰性的，那麼在真空中它們就從陰極流向陽極去。這是電子管作用所根據的重要原理。

5.1. 熱燈絲發出的電子——電流便是一流的電子。電流在導線中通行時，電子便在線裏向前衝，打擊原子，或是把裏邊其他的電子撞了出來，或是躲避着原子，或竟在原子之間穿了過去。電子比原子小得多。就是最小的氫原子還比電子重 1,800 倍。電子是現今已知的最小電荷。原子是陰電荷和陽電荷所組成。原子的核是陽性的，其周圍環繞着若干電子，就是陰電荷。原子老是在運動，但導線中如有一流電子通過時，原子的運動便格外增快。如將一導線接到一只電池的兩端，那線裏的電子原是自由的，便開始發動，衝向電池的正極去。當它們衝過這導線時，便撞擊着若干原子，把一部的能傳給原子而增加其振動。原子所增加的振動便是熱。導線接於電池後的發熱，便是由於電子的作用，電子在導線中移動時所損失的能，便轉變為熱能。電子流愈大，原子的振動也愈大。換言之，電流愈強，熱效應愈高。這一點可為讀者進一步明瞭真空管作用之

助。

不論用電流或其他方法，使一線發熱時，那原子便振動得更快，因此使若干電子自線中逃出。從線中逃出的電子數，在該線未達紅熱程度時是很少的。假使這線的周圍有空氣或任何他種氣體存在着，那麼這逃出的電子便不能跑得很遠。大多數仍舊即刻被迫而回進線裏去。

家用電燈泡的燈絲是鎢質製成的，燈泡裏的空間幾乎是完全真空。當燈絲給電流加熱後，從絲上逃出的電子在實際上不受氣體的阻擋，所以電子便連續逃出，直至泡內滿貯了在此種燈絲溫度下所能容的電子數。此種情狀已達到之後，雖繼續還有電子從燈絲中逃出，但是有多少出來便有多少回進燈絲去。所以燈泡內所含的電子數實際上是恆定的。這時候燈泡內的空間便說是『已經飽和』。如再使燈絲熱一些，從燈絲上逃出的電子數便比回進去的多一些，直至電荷在較高溫度時的空間再飽和為止。燈絲四周積聚的電子，在無線電學中稱做『空間電荷』(Space Charge)。以上所說的電子從燈絲中逃出，是不問燈絲用什麼方法加熱的；當然，在真空管中使燈絲加熱的唯一實用方法是電流。

5.2. 兩極管 (Two-electrode tube, 或 diode)——假定在電子管中，除了發熱的燈絲之外，再加入一塊鈹(金屬之板)，鈹上連導線一根，以便從封沒的玻璃中通到外面。假如這鈹極接至一電池的正端，而將電池的負端接至燈絲如圖 5.1，那麼管內的電子便被吸引到鈹極上去，因為極是陽性的，而電子則是陰性的。這時候管

內燈絲中逃出的電子不再像以前那樣四處分散，却是向鈹極一方向移動了。這樣，從鈹極到電池正端的連線，電池，再自其負端至燈絲這一路中，便也有一流電子在通行着了。換言之，便是有了電流，而管內自燈絲至鈹極去的電子流便是這電流的一部份。這一種電流叫做鈹極電流(Plate current)。

此電流所經的電路包括電池，電池至燈絲的連線，燈絲，管內燈絲和鈹極間的空隙，以及鈹極至電池的連線等。這一個電路稱做鈹極電路(Plate circuit)。

因鈹極是在低溫度的，實際上沒有電子放出，所以若將鈹極電池的兩端反接，使鈹極為負而燈絲為正，則鈹極電路中不會發生電流。這電路便說是斷路，因為電子不能從鈹極流向燈絲去。

兩極管既然祇許電流走一個方向，故可用以使交流整為直流，其說明在第六章。

5.3. 三極管 (Three-electrode tube 或 triode)——無錄電發送和接收的電路中所用的真空管裏面，還有第三個電極，叫做柵極(grid)。這是位於燈絲和鈹極之間的一個格子構物，或者是一個用細錄疏鬆地繞成的錄卷。柵極如荷陽電，它便像鈹極一樣會從燈絲吸引若干電子。假定有一個電路如圖5.2。現在有三組電池。那燈絲電池供祇熱燈絲之用。鈹極電路中的電池係使鈹極為陽極，而

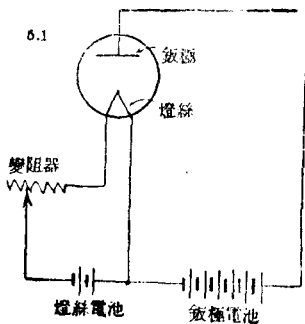


圖5.1 兩極管的電路

使電子流自燈絲流向鈹極去。今若在圖 5.2 所示的柵極電路中接入一組電池，使柵極為陽極，於是柵極將自燈絲吸引更多的電子。柵極靠近燈絲的地位既比鈹極為近，它對於電子的吸引力自比鈹極為強。於是管內的電子流便大為增加。可是，柵極的構造既是疏鬆的，它所吸引的電子流，大部份都穿過了它，飛向鈹極去，自己却祇捕得很少的電子。這樣，使柵極為陽極時，鈹電流便增加了。

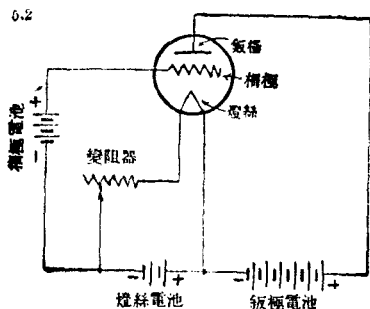


圖5.2 三極管電路，柵極為陽極。

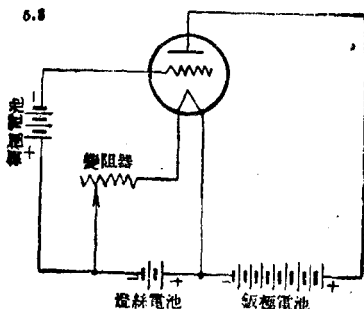


圖5.3 三極管電路，柵極為陰極。

今假定把柵電路中的電池反接，使柵極為陰極(圖 5.3)。這柵極便將電子推斥，要驅逐他們回到燈絲去。因之鈹電流便變弱了。若柵上有充分的負電勢，竟可以使鈹電流抑小至零。換言之，若柵極的負性頗足，將把所有從燈絲中逃出的電子都趕回去。然而，負電位的柵極，却不能使鈹電流倒逆，因為上面已經說過，鈹電流是祇能朝一個方向流的。

我們若在鈹電路中接入一付靈敏的電話聽筒(如圖 5.4)，那麼鈹電流便也流經這付聽筒。今若將柵電池反接一下，那鈹電流中因

此所起的變動，便在聽筒中發出「格勒」的一聲響。把柵極電位自正變至負，或自負變至正，均將促使鉍電流發生變動，而在聽筒中發出一個響聲。或者

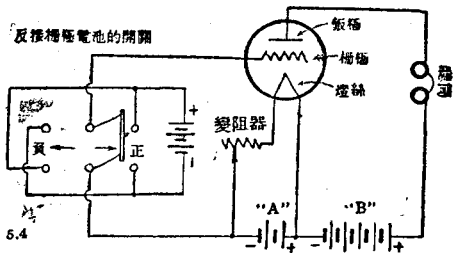


圖5.4 用以反接柵極電池的電路

把柵極電池的電路或斷或通，使柵極的電位自零增至某一正值，復又回至零，聽筒中也可發出一響聲。

5.4. 鉍電壓和鉍電流——上面已講過，假使鉍極為正的，它便吸引從燈絲射出的電子。鉍極的電位愈高，它吸引的電子便愈多，而鉍電流也就愈強。做一個簡單的實驗便可證明這個事實。讀者假使做了這次和以後幾次的試驗之後，那麼對於電子管在收音機電路中的工作情況，要比用任何其他方法去研究都明白。

照圖 5.5 接成一個電路。那燈絲電池當然必須具有所用電子

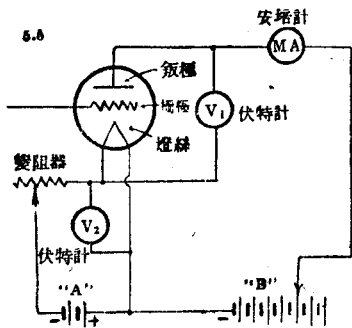


圖5.5 試驗鉍電壓和鉍電流用的電路

管的正當電壓。柵極方面空着不接，鉍極電池可以用手電筒中所用的小乾電池聯成。這些小電池須用短線銲接，互相串聯起來，每一電池的鋅殼和後一電池的碳棒相接，而後順聯下去。串聯的電池須有足夠的數目，俾其電壓得達 90 伏特。一組 45 伏特的 B 電池

和另一組 22½ 伏特的串聯，再加上 15 個小乾電池，已足夠供這個試驗中所需不同電壓之用。圖中在 B 處所示的箭頭，是一個可移動的夾頭，用一個小的電池夾頭銲住在一根線上便行了。這個夾頭可以夾在這一串乾電池的任何一個分接頭上，使鉍電壓可以逐步毫加，每次 1½ 伏特。MA 是一隻毫安培計。鉍電流大概不會比 10 毫安培再高。V₁ 是一隻指示鉍極電壓的伏特計。

這個試驗用的電路圖就是無線電接收電路的一部份。這裏祇應用燈絲和鉍極兩電路，並備有毫安培計和伏特計，以便測得鉍極電流和電壓，此外更有一種簡單的裝置，用以變更鉍極電壓。先調

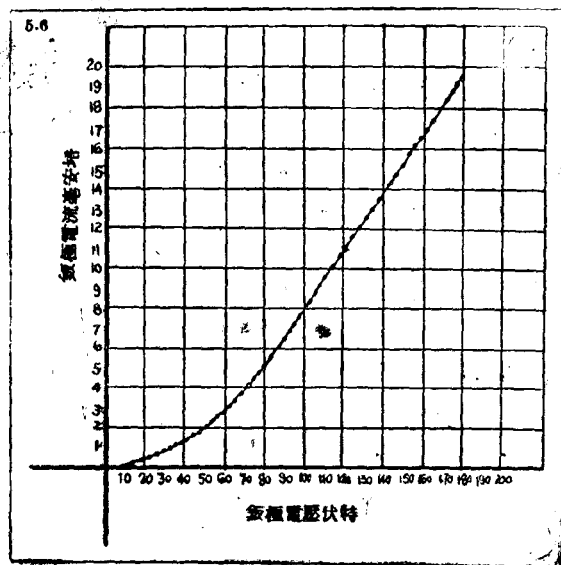


圖5.6 鉍電壓，鉍電流曲線圖

整燈絲變阻器，使燈絲電流之值與電子管若在收音電路時所用之值相同，或者更妥當些，把燈絲兩端間的電壓 V_2 校正至廠家製造該電子管時所規定的應用電壓。燈絲電壓既已調準，鉍極電路中的毫安培計和伏

特計的讀數即可記下，先將夾頭夾定於鉅極電壓為1½伏特，而後依每步1½伏特逐步增加。鉅極電壓慎勿超過所試電子管的規定最高限度。從這種試驗所得的結果，可製成曲線如圖5.6。

鉅極電流的增加有一個限度，超過了這個限度，無論怎樣把鉅電壓增高，這電流是不會再增的。要達到這個限度，或需將電壓超過這電子管所規定的電壓限度。但果真要超過的話，則在此高壓下不可延持過久，祇在試驗之時暫加，否則管必損毀。鉅電流所以會有這種限度，是因為鉅極在某一電壓時已將燈絲所有的電子完全吸引過去之故。

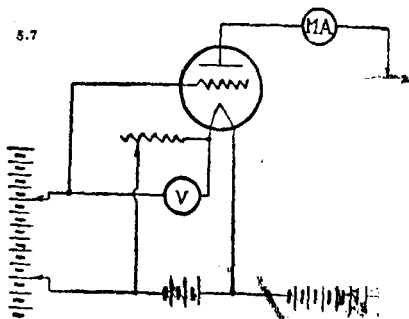


圖5.7 試驗鉅電壓和鉅電流用的電路

在較低電壓時，它祇能吸引這些電子的一部份。在試驗時，若把燈絲上的電壓減低些，就是將燈絲變阻器的觸臂旋轉至燈絲暗淡些的一步，那麼鉅電流會在此前為低的電壓下達到它的限度。這是因為燈絲的溫度減低後，發出的電子數也減少些；所以鉅極可以在比前為低的電壓下吸引一切的電子。

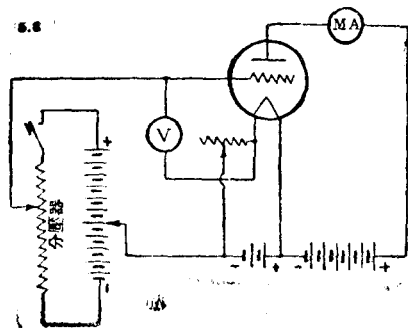


圖5.8 用分壓器試驗鉅電壓和鉅電流的電路

5.5. 攝電壓和鉅電流——

現在要更進一步研究電子管。在上面已講過，柵電壓一有改變，將促使鉍電流發生改變。電子管在收音機電路中的作用就靠柵電壓和鉍電流間的關係。所以，使透徹明瞭這種關係是很重要的。

圖 5.7 和 5.8 是試驗柵壓和鉍流間關係的兩個電路。在圖 5.7 中用一組串聯的乾電池以變動柵壓。在圖 5.8 中是用分壓器改變柵壓。兩種方法都可以獲得良好的結果。分壓器電路中加入一個電鍵，以免在高電壓下分壓器過於發熱。將鉍極電池的電壓固定於一值，一如電子管在收音機電路中所用者，並在試驗的過程中保持這值不變。將柵電壓變動，自零降至一負值，使鉍電流減至零，於是再

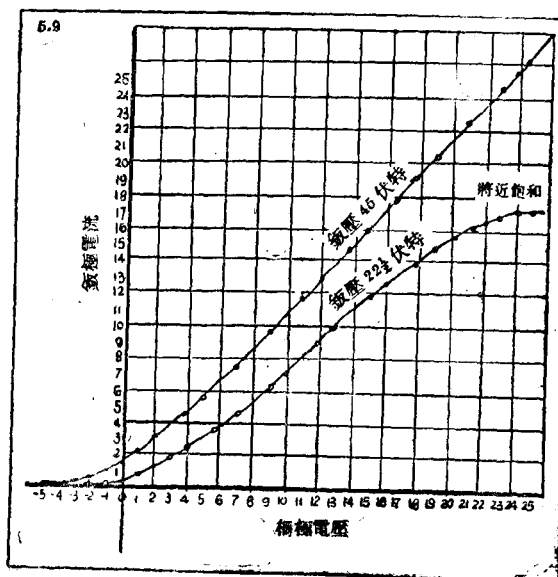


圖 5.9 柵電壓，鉍電流曲線圖

增高至一實用的正值。對於柵壓各值的鉍電流讀數一一記下。假使為手頭的儀器所許，那麼這個試驗可以做到某一柵壓之值，使鉍電流達到一限度，此時柵壓就是再加高，也不能使鉍電流再行增多。

這個電子管的試驗又可畫成一張曲線圖(圖 5.9),以示柵壓和鉅流間的關係,這種曲線叫做電子管的特性曲線。我們可將鉅電壓改換,於是可得另一組柵壓和鉅流的讀數,繪成另一曲線圖。如以若干不同的鉅電壓做多次這種相仿的試驗,畫成許多的曲線,如圖 5.9 所示,那麼我們對於電子管的作用也可格外明瞭。將不同電子管的曲線圖在同一軸線上畫出來,便可比較出各管間的特異點。關於檢波管和放大管的特性將在第七章中討論,不過大概的說來,對於一個優良放大真空管,其曲線的面線部份應該峻峭,至於檢波管,則其曲線的下部愈彎曲愈好。

5.6. 放大因數(Amplification factor)——由上面幾個試驗看來,可知柵極上加一某電壓所引起的鉅電流的變更,比鉅極上加同電壓所致的大得多。柵極上加一伏特所改變的鉅電流,在鉅極上却要加許多伏特才能獲得同樣的效應。鉅壓的變更,與使鉅電流發生同一效應的柵壓的變更,這二者的比率,叫做這電子管的放大因數。例如:鉅極上要增加六伏特才能和柵極上增加一伏特得到一樣多的鉅流變動,那麼這放大因數便是六。

量度一電子管放大因數所需的電路,見圖 5.10 和 5.11。圖 5.10 中所用的

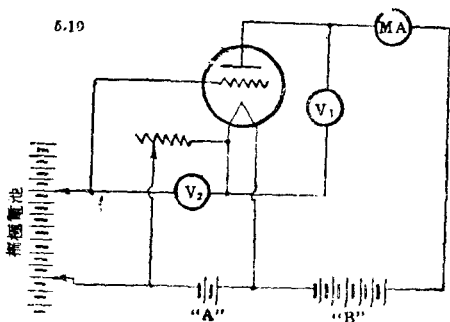


圖 5.10 測定一個電子管的放大因數的電路

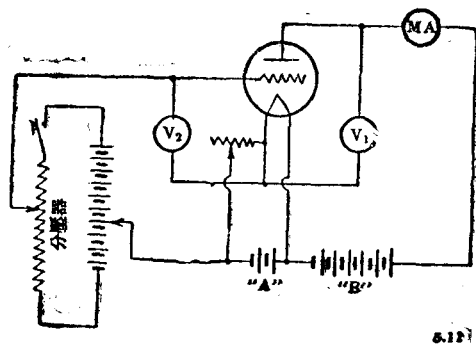


圖5.11 用分壓器求測電子管放大因數的電路

電池和第 5.4 節所用者相同。在圖 5.11 中，用一個分壓器來變動柵極電壓。在無線電工程中常應用分壓器調整電壓的方法。電路裏有 V_1 和 V_2 兩個伏特計，用以量鉍壓和柵壓。又有一個毫安培計 MA 用以量鉍電流。

鉍極電池可以像以前試驗中所用的小乾電池，或者買普通電池也可。開始試驗時，可令柵壓為零。所用的鉍電壓應使鉍電流的值比它的最高值略低，以便在特性曲線的直線部份上做這試驗。現在將鉍電路中毫安培計讀數記下。再將鉍極電壓減低若干，說十二伏特，又記下毫安培計的讀數。這時候鉍電流必已減低若干毫安培。至此，令鉍極電壓勿變動，將柵壓增加，即能使鉍電流增高至它的初值。柵壓只需有比較很小的變動。這柵壓的變動雖小，却能使鉍極電流產生一大變動，和以較大鉍壓變動而使其發生者相同。放大因數就可以從鉍壓之改變值，以柵壓之改變值除之而得。比較各種電子管的放大因數是一件很有趣味的事。

5.7. 鉍路電阻 (Plate circuit resistance) —— 一個電子管內絲極與鉍極之間的電阻，對於測定這管的工作性是一個重要的因數。量度這個電阻所用的電路和試驗鉍壓鉍流間關係所用者相

同(圖 5.5)。將柵極保持於零電壓，於是在鈹極上加以某一電壓，譬如三節乾電池，即 4.5 伏特，並記下鈹電流的示值。例如：假定 4.5 伏特加在鈹極上後，產生 0.45 毫安培，即 0.00045 安培。我們應用歐姆定律求得

$$R = \frac{E}{I} = \frac{4.5}{0.00045} = 10,000 \text{ 歐姆},$$

這是在管內鈹極與絲極之間的直流電阻。這個鈹路電阻隨所加鈹壓之值而不同。故這電阻應在不同鈹壓之下加以測定，每次可增加 3 伏特；若是檢波管，可繼續遞加至 45 伏特，放大管可遞加至 90 伏特。比較各種電子管的電阻是很值得做的一件事。

將一電子管在不同的鈹壓值下的各電阻求得

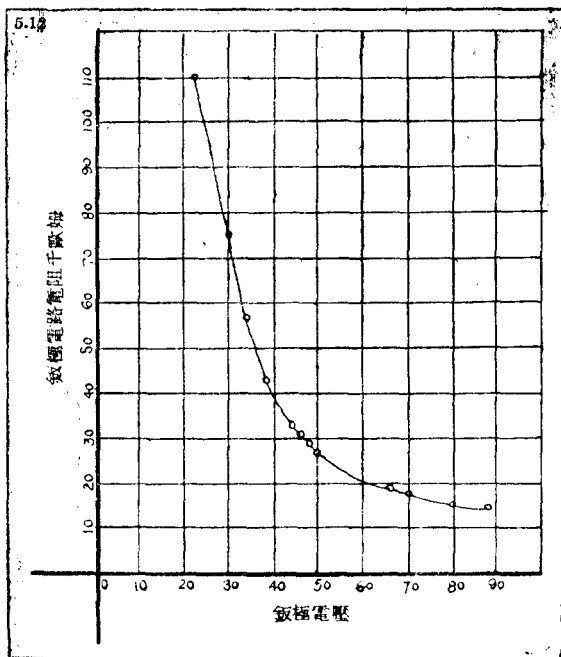


圖 5.12 鈹電壓，鈹電阻曲線

之後，便能畫成一張曲線圖，以橫座標為鉅路電壓，縱座標作鉅路電阻(圖 5.12)。從這圖上可見，當鉅壓增加時，那電阻便減小至某一限度。這是一個當然的結果，因為在以前繪製鉅壓和鉅流的曲線時，我們已經知道，若將鉅壓自零起增加時，鉅流起初增加慢而後來較快。換言之，一個較高電壓所生的電流，它們的比率比一個較低電壓所生者為大。例如鉅極上有 20 伏特時的鉅流是大於有 10 伏特時電流的兩倍。這也是依照歐姆定律的，因鉅極上有 20 伏特時的電阻比有 10 伏特時為小。

量度一個電子管的交流電阻，須將鉅流的變更除鉅壓的變更。選取鉅壓的變更值宜小，約 1 或 2 伏特。

5.8. 柵電壓和柵電流——一個電子管在作用時便有一流電子自燈絲射向鉅極去。柵極既然係網形或是一個疏鬆的線卷，那末大部份的電子便都從柵極中穿起而過。然而假如柵極不具非

常的陰性而把所有的電子全部拒斥的話，終有一些電子被柵上留住。假如柵極是在零位或是正電位，它便可截留若干電子，於是自柵極至燈絲的柵極電路中，便也有電子流了。

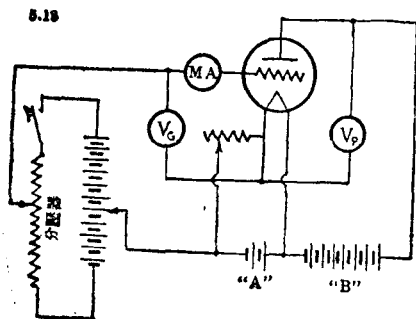


圖 5.13 試驗柵極和柵流用的電路

柵流通常總是比鉅流小得多。量度時須用一個靈敏度達於十分之一毫安的毫安培計。試驗

柵壓和柵流間關係的電路見圖 5.13。MA 是一個靈敏的毫安培計。 V_G 是量柵壓的伏特計，此計的零度須在標度的中央，否則電壓反向時，伏特計也必須反接了。 V_P 是量鉍壓的伏特計。鉍壓須固定於某一值，並在試驗進行中始終維持於此值。記下對於不同柵壓值的各柵流值；柵壓可以隨意用分壓器變更，每變更一次，將毫安培計和伏特計 V_G 的讀數各記下一次。於是可製成曲線如圖 5.14，將橫

座標表示柵壓，縱座標表示柵流。其次可將鉍壓換值，再做上項試驗而記下一組柵壓和柵流的讀數，並用前圖所用的座標，另繪一條曲線。

這樣的一組曲線圖可使應用電子管的人對於它的作用非常明瞭。例如，由此可

以見到柵流要看柵壓，也要看鉍壓而定。從這種試驗所發現的一件有趣的事，便是用較高鉍壓時，所得的柵流比較的小。這個解釋是

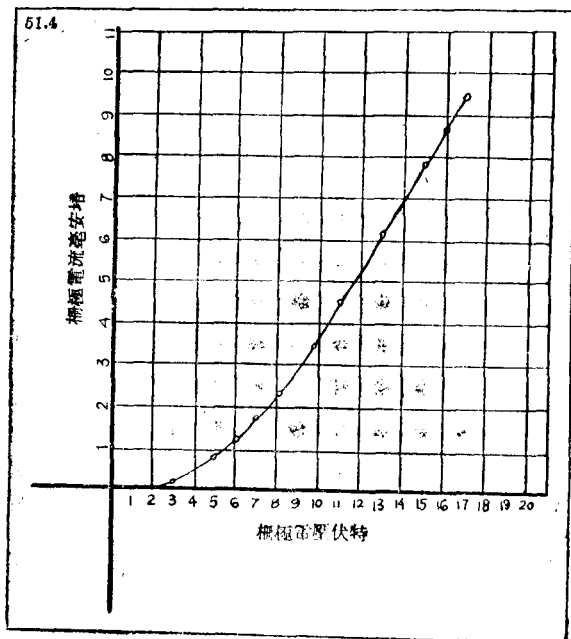


圖 5.14 柵壓，柵流曲線圖。

這樣的：當鉍極在較高電位時，即是更陽性些，它將吸引大部份從柵極中穿越的電子，因此給柵極留下的電子便比較少了。這種試驗又顯示：對於微陰性的柵極電位，假使鉍極電位充份的低，也可以有柵流發生；可是，即使對於低的鉍極電位，也可使柵極具充份的陰性而阻止任何柵流的發生。

5.9. 燈絲電流和鉍電流——假使在燈絲電路中接入一個安培計，在鉍極電路中接入一個毫安培計，如圖 5.15 所示，那末對於

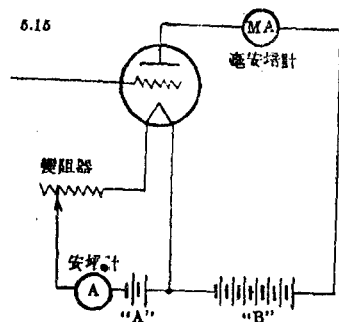


圖5.15 試驗燈絲電流和鉍電流

不同燈絲電流值的鉍路電流值便可量得而製成一條曲線圖，用橫座標代表燈絲電流，縱座標代表鉍極電流。圖中 A 是量燈絲電流用的安培計，或者是一個足以量最大電流值的毫安培計；MA 是量鉍極電流的毫安培計。做這個試驗時，鉍極電壓

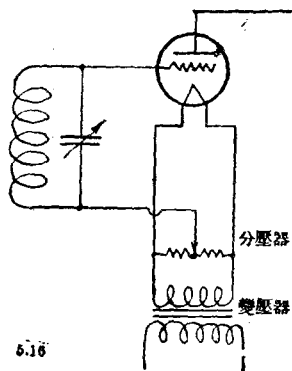
須保持不變，所加之值應與該電子管在無線電電路中實用時之值相同。將燈絲電流增加時，燈絲放出的電子數較多，因而鉍極電流也就增加了。

5.10. 功率放大 (Power amplification)——電子管能將所接收的功率加以放大；就是，能使鉍極電路中的功率比柵極電路中所有的大。讀者應明白真空管自身是決不能創造電能的，那鉍路中所增益的功率全是從鉍極電池中取來。柵路祇是用以控制鉍路中的功率而已。柵路中消耗的功率叫做輸入功率。鉍路中消耗的功率當

做輸出功率。輸出功率總是大大於輸入功率。

5.11. 剛性管和柔性管 —— 真空管內部真空度很高的管叫做剛性管(hard tubes)。柔性管(Soft tubes) 是內部含有若干量氣體的管。柔性管的作用，因為有氣體的存在，便和剛性管大不相同。若管中氣體已完全被抽盡，那麼電子從燈絲流向鈹極去便毫無阻礙；但如有若干量氣體含於管內，那末電子在進行時便將撞擊着若干氣體的分子了。若電子運動得很快，在衝撞之後，氣體的分子便被擊破，那被擊分子中的一部分電子即脫出而變為自由。因此那氣體分子便變做陽離子(positive ion)，這種作用就叫做游離作用(ionization)。從氣體分子中放出的電子即加入到燈絲所發出的電子隊伍裏去，於是鈹路電流便增加了。電子必須具有某一速度，才能從氣體分子中擊出電子來。在柵極和鈹極的電位抵達這一點，而使電子有此速度時，鈹流便突然激增，因為有氣體分子所放出的電子加入之故。因衝撞而成的游離作用開始時，鈹路中的聽筒中即可聽得淅瀝聲或油炸聲，就因為游離作用；柔性管的作用有時是很乖僻的。

5.12. 交流真空管(Alternating current tube) —— 任何電子管的燈絲都可用交流電加熱，只需用一只變壓器來獲得燈絲用的正確電壓。可是若把柵極回路接到燈絲電端之一，交變電壓便已加在柵極上，致收音機中發出交流之營營聲。但如在燈絲兩端之間跨接一個分壓器，即電位計，而將柵極回路接到這分壓器的觸臂，再調整這臂以減低營營聲，即可使它大部分消除(圖 5.16)。此時柵



5.16

圖5.16 交流真空管用的燈絲電路

極回路已接在分壓器的中和點上，即電位不變的一點。假使交變電壓是照正弦曲線而變動的(圖 61)，就可在分壓器上找得這個不變的中和點。可惜交變電壓的曲線是不規則的，所以這中和點也是不斷移動的。這就是說，即使電位已是正確的調準了，仍得有些少變更的電壓加在柵極上。由這作用所起的營營聲，在檢波管比放大管更為顯著。用低的燈絲電壓所設計的真​​空管做放大管時，其營營聲幾乎可以聽不出。此類真空管叫做粗絲(heavy filament)管。若燈絲兩端間所加的電壓低，那末在中央點上電壓的變更是很微的。

若用作檢波管，消除其營營聲的設計，在使燈絲熱起另一個叫做陰極(Cathode)的電極。這種管叫做發熱器式(heater type)真空管。那燈絲叫做發熱器。在普通三極管中，燈絲自身便是陰極；但在發熱器式交流真空管中，燈絲便變成一個發熱器而已。陰極是環繞在燈絲外邊的一個圓筒(圖 5.17)。構成一部分鉍極電流的電子流已不是為燈絲所發出，而是由燈絲所熱的陰極發出了。柵極回路便可接到這個陰極去；陰極上既沒有交流電通過，就不發生交流的營營聲。交

極回路已接在分壓器的中和點上，即電位不變的一點。假使交變電壓是照正弦曲線而變動的(圖 61)，就可在分壓器上找得這個不變的中和點。可惜交變電壓的曲線是不規則的，所以這中和點也是不斷移動的。這就是說，即使電位已是正確的調準了，仍得有些少變更的電壓加在柵極上。由這作用

5.17

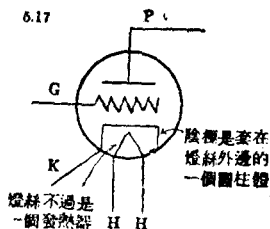


圖5.17 發熱器式的交流真空管簡圖

流電祇用以使發熱器發生充份的高溫度，以加熱於陰極。圖 5.18 是一張用一個真空管式檢波器，和兩個「粗絲式」真空管作放大器的電路圖。

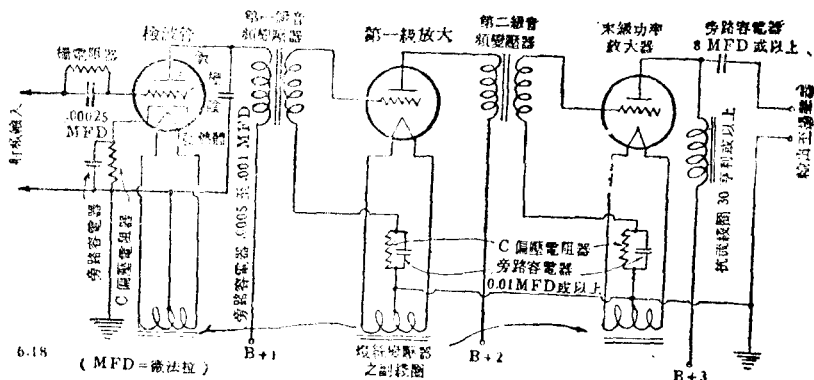


圖 5.18 應用交流真空管的接收電路

在使用交流管時，最好把燈絲的二根引線互相絞合，儘量與電路中的其他線避開，以免流經燈絲引線的交流電和線卷或柵路引線發生磁感應而引起微響聲。在燈絲引線上加一屏蔽套，也可以避免這種感應。

5.13. 四極管——在任何電子管中，那環繞在燈絲周圍的電子有阻礙其他電子從燈絲射出的傾向。在燈絲周圍的電子的積聚叫做「空間電荷」。消除空間電荷的一個方法是在控制板流的柵極和燈絲之間插入第二個柵極。若使這個內柵極——即靠近燈絲的柵極——帶陽電，它便從燈絲吸引電子。這種裝置如圖 5.19 所示。這內柵極叫做「空間電荷柵」，因為它的用途係在抑低燈絲周圍的空

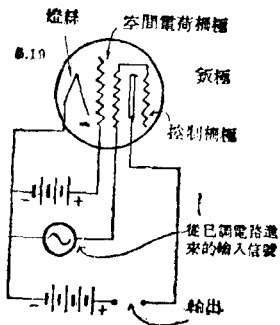


圖5.19 「空間電荷柵」式真空管簡圖

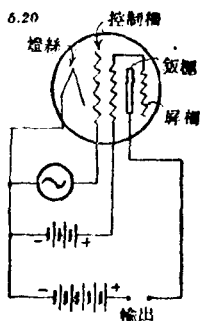


圖5.20 「屏柵」式真空管簡圖

間電荷。那個外柵極叫做「控制柵」(Control grid)，因為它是用來控制鉸極電流的。控制柵當然是接至調諧電路的。空間電荷柵的接法祇在真空管作音頻放大時用到，並且應用者也不多。

若把接法更改，變成把調諧電路接至靠近燈絲的內柵極，而將罩在鉸極周圍的外柵極加以正電位（圖 5.20），那末這外柵極便變

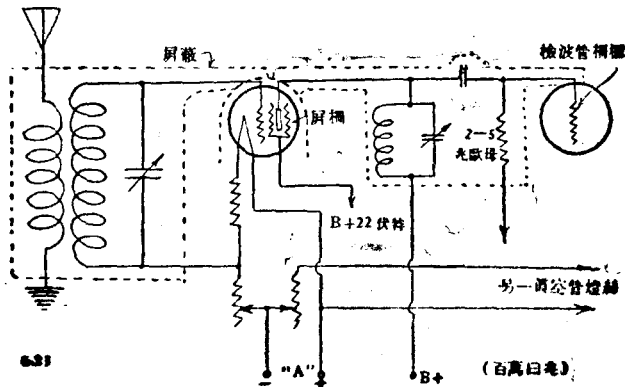


圖5.21 應用屏柵管作射頻放大器的電路

成一個屏極 (Screen), 可防止變動的鉍電壓反應到燈絲發出的電子流。這種真空管有許多優點, 其中最主要的一點是消除經過鉍柵 (控制柵) 電容的反餽, 因而無需再用中和裝置。(關於此點, 容於第 8.19, 8.20, 8.22, 8.23 節說明。這種「屏柵」管 (Shielded grid tube) 通常是用做射頻放大的, 有時也可作音頻放大之用。圖 5.21 是一張應用屏柵管作射頻放大器的接收電路圖。

5.14. 五極管 (Pentodes)——在任何電子管中, 假如那撞在鉍極上的電子有相當高的速度, 就要從鉍極中擊出些電子來。在兩極或三極管中, 這些漫遊的電子是不會出什麼亂子的, 因為管裏除了鉍極本身是陽極之外, 再沒有別的陽極去吸引它們的。因此這些電子還是給鉍極收了回去。鉍極給陰極 (或燈絲) 發出的電子撞擊後所發射的電子叫做第二次發射 (Secondary emission), 以別於陰極的最初發射的電子。在屏柵管 (四極管) 中, 正電位的屏柵既貼近鉍極, 那末對於這種第二次發射的電子自然要用強力去吸引着, 結果便將鉍電流減低。

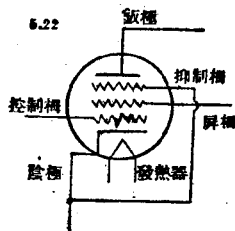


圖5.22 五極管

為免除上述的效應起見, 可在屏柵和鉍極之間插一個叫做抑制柵 (Suppressor grid) 的第五個電極 (圖5.22)。抑制柵通常總與陰極相聯。因為它對於鉍極是處於負電位的, 所以把第二次發射的電子趕回鉍極去, 不許它們出來搗亂。

5.15. 多極管和多組管——最早應用電子管時, 都是一種簡單的管——三極管, 却是什麼角色都要担任, 例如做射頻放大器, 中頻放大器, 音頻放大器, 振盪器或檢波器等。顯然的, 像這樣應用是決不會有良好的成績的。

後來，製造技術進步，便產生『專家式』的電子管了。一般的說，凡電子管需用三極以上，以適合特殊環境者，通稱之曰多極管 (Multi-electrode tube)。

多組管 (Multi-unit tube) 實際上便是一個包含着兩個或多個電子管的管，譬如一個雙兩極管 (duplex diode) 和一個三極管合成一個雙兩極三極複合管，或是和一個五極管合成一個雙兩極五極複合管等等。此類電子管的陰極（或者是燈絲）都是合用的。普通有兩個板極和一個燈絲的全波整流管 (Full-wave rectifier tube)，可以說是最早的複合管的例子，因其中包含着兩個兩極管。

5.16. 特性曲線的應用 —— 以前所講過的真空管的特性都是在某一特殊情況下的特性。每次試驗祇安排着一種情況，這些都不是電子管在接收電路或發送電路中實際運用時的情況。

譬如將一條表示柵極電壓和板極電流間關係的曲線做個例子。這曲線上的各點，如圖 5.9 中所示曲線的讀數，都是在板極電壓保持定值下所取的。這不是電子管在實際運用時所有的情狀。當柵極變成較大陽性時，板流增加，而同時板壓却降低。柵壓的增加，對於電子從燈絲到板極的路徑格外方便些，換句話說，燈絲和板極間的電阻——板路電阻——是減低了。電阻既然減低，在燈絲和板極間的電壓自然也隨之減低，因為在任何串聯電路中，較低電阻上的電壓降總是比較高電阻上為小的。這時候板極電路中的外電阻倒是比較的見高了。

結果是電子管先在某特性曲線上開始工作，及至柵電壓增加時，電子管的作用就移到了另一條曲線上，又再移到了別一曲線

上,如圖 5.23 所示。及至柵電壓減小時,電子管的作用又回到原先的出發點,但却是循另一路徑回去的。這時候因為柵壓減低,板流也就減小。圖 5.23 中的虛線說明電子管在運用時,板流和柵壓變動的實際情況。這叫做動態特性 (Dynamic charac-

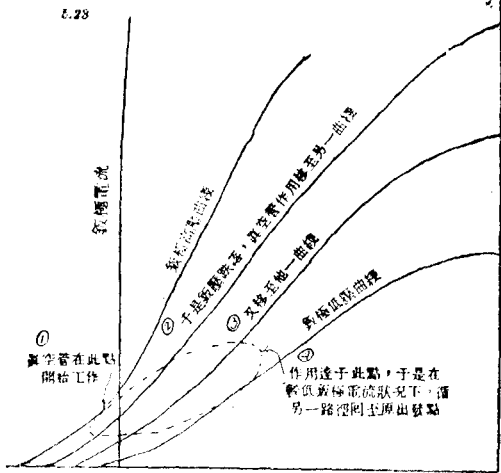


圖 5.23 一個電子管的動態特性
(柵極電壓每完全振盪一次,上述情況即發生一次)

teristic)。以前所講過的曲線叫做靜態特性 (Static characteristic)。

這裏祇舉柵壓板流曲線做個例子。至於其他曲線也是如此,即是電子管在實

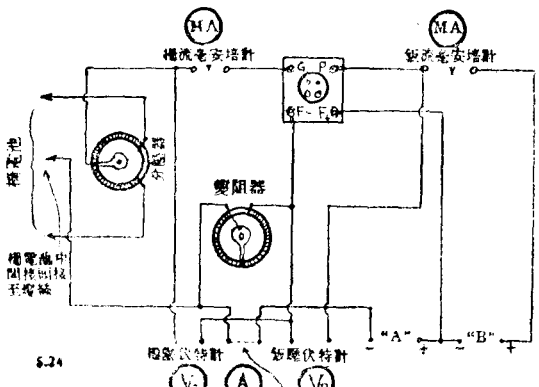


圖 5.24 試驗電子管用的電路

用時的曲線都是和原來的不一樣，動態特性和靜態特性是不相同的。但這不是說靜態特性是一些沒有用處。它們能表示若干有關電子管的重要點，而且靜態特性比較的簡單，對於動態特性的檢討，可供參考之助。靜態特性在事實上頗為重要，不過在應用時，要記得它們並不指示電子管的實際運用的情況便是了。

圖 5.24 表示本章電子管試驗所應用的電路，但動態特性不在其內。

在這種試驗用的電路中，量度柵壓和鉞壓的伏特計應選用具有高電阻者，大概每伏特須有一千歐姆。

問 題

1. 電子是什麼？電子對於原子的關係怎樣？
2. 一導體兩端間的電位差對於這導體中電子的作用有什麼影響？
3. 電子的作用和電流的熱效應有什麼關係？燈絲的溫度對於燈絲射出的電子有什麼關係？
4. 在普通的家用電燈泡中，阻止電子從燈絲中射出的是什麼？
5. 在電子管中，為什麼電子祇從燈絲流向鉞極，却不從鉞極流向燈絲？
6. 柵極上的正電勢何以能使鉞極電流增加？何以柵極上的負電勢不能使鉞流倒逆？
7. 假如你在鉞極電路中接入一付聽筒，又在柵極電路中接入一個電池，於是把柵路迅速地一斷一通，你能聽到些什麼？試說明其故。
8. 設有某一電子管，在其柵極上加乾電池電壓 $1\frac{1}{2}$ 伏特所引起的鉞流變更，與在其鉞極上加 50 伏特所引起的相同。問此管的放大因數若干？
9. 再試一電子管，在柵極上加 $1\frac{1}{2}$ 伏特和在鉞極上加 12 伏特所起的鉞流

變更相同。問放大因數是多少？

10. 若將題 8 和 9 中兩個電子管用於接收電路中，每管的鈹極電路各接到一個變壓器，問那一個電子管將在變壓器的電端上產生較高的電壓？

11. 某一電子管，在鈹極和燈絲間有 10 伏特時，得 0.5 毫安培的鈹流。問鈹極和燈絲間的電阻若干？同上電子管，在鈹電壓加到 90 伏特時，可得鈹流 9 毫安培。問此時鈹路電阻為若干？

12. 爲什麼柵流比鈹流小？柵流爲零時，是否可有鈹流？

13. 燈絲較亮時何以鈹流會增加？

14. 電子管的輸出功率何以比輸入功率大？這是否說電子管能創造電能？

15. 爲什麼一個柔性管的鈹電流有時候會突然的激增起來？

16. 五極管中的柳止柵有什麼用處？

第六章

交流

第二章中已講過，在一個電池電路中，電子總是在一個方向內流動的。這是直流的一個例子。假使電子既向一個方向流着，並且流量不變，這種電流就稱做恆流 (Constant current)。在許多電路中，電子不老是向着一個方向流，而是先朝一方向，後又反一個方向，這種電流是交流 (Alternating currents)。交流在電燈和電力方面的用處，比直流普通。譬如要把電力傳送到遠距離，就用交流。在無線電發送中，也要用到交流。本文討論交流的基本原理，為了解無線電電路中的電流所必需者。

6.1. 變動磁場所產生的電流——各種發電機都基於一個簡單的實驗的事實，也是用以了解交流電的基礎；就是：當一個導體橫截磁場時，導體中就感生了一個電動勢。這一原理可用一個極簡單實驗來說明；若把一根銅線的两端接於一隻毫安培計，把線在一隻馬蹄形強磁鐵的两端間移動，那毫安培的指針就會擺動，表示出這導線中有電流經過。這種電流只有在導線移動時候才發生。把導線在磁鐵兩極間上下移動時，毫安培計的指針也就左右擺動，表示經過的電流是交流的。電流流動的方向全視導線割截磁場的方向。假使把導線不斷的上下動着，那電流也每次隨着導線運動方向的改

變而改變它的方向。不論是導線或磁鐵移動都可以，祇要那導線要割截過磁力線。

不用單根線而換用一個有好幾匝的線卷，把這線卷在磁鐵的兩磁極間轉動，那麼線卷每轉一週，毫安培計的指針，就向左右各擺動一次。這是因為線卷每轉半週，改變運動方向而把磁力線割截一次所致。

磁場一有改變，導體中就生了一個電動勢。這就是電流的磁作用的逆行。電子在導體中流動的時候，就在導體的周圍發生了磁力線。導體周圍的磁力線有變動時，就會使導體中的電子流動。

因磁場作用而產生的電流叫做應電流(Induced current)。記憶應電流的方向，有一個簡易的方法，名叫佛來銘定則(Fleming's rule)，或稱右手定則。把右手的拇指，食指和中指伸出，互成直角。想像它們是在磁場裏面，那食指就指示磁力線的方向，拇指指示導線移動的方向，於是中指所指示的就是應電勢（自正至負）的方向。但須記住，上述定則中所說電勢的方向是正電所欲流的方向，而電子確是流於反對方向的。

6.2. 兩極發電機的電動勢——上面已講過，一個線卷在兩個磁極間轉動時，線卷裏就發生了一個電動勢，並且每轉一週，這電動勢變更方向二次。譬如線卷是轉動於一個強度均勻的磁場中(圖6.1)。那條畫在線卷中心而垂直於磁力線的線叫做零位線(Zero line)。當線卷經過這條線的位置時，應電勢就等於零，因為在這一霎時，線卷平行動過而不割着磁力線。正切在圓周上 0° 處的一個

箭頭表示在這一黑的運動的方向；箭頭是和磁力線平行的。轉過了

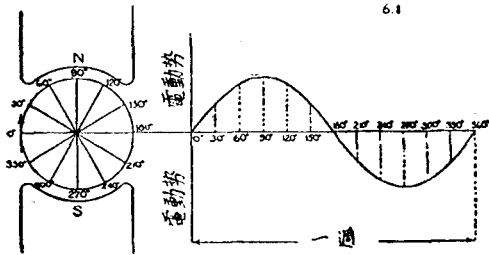


圖6.1 一週中電動勢的理想曲線

這一處，錄卷又要割截磁力線了。假使一切條件都如理想的情形，磁場均勻，速度也均勻，那麼錄卷經過任一點時所感生的電動勢，就正比於自該

一點引到零位線的垂直線。若從圓周上各點畫許多垂直線到零位線上，各垂直線就代表錄卷在各該位置時的電動勢。這樣就可以畫成一張曲線圖如圖 6.1，橫坐標代表錄卷所轉的角度，縱坐標代表其所感生的勢電動。我們也可用從圓周引到零位線的垂直線做縱坐標，因為各電動勢是和各垂直線成正比的。結果就得到一條代表錄卷轉過一週的電動勢曲線了。圖 6.1 所示的曲線是『正弦』曲線 (Sine curve)。在實際發電機中，這曲線並不是真正的像正弦曲線。電子管所產生的高頻率交流和這種正弦曲線的形狀相差甚遠。

從這條曲線上，可以看出電動勢起先增加很快，後來比較稍慢，至錄卷達 90 度的位置時電動勢最大。於是又慢慢減小，後來減落較快，快到錄卷達於 180 度的位置時才止。於是電動勢反向，因為在第二半週中，錄卷割截磁力線的方向跟前一半相反，所以在曲線的後半中，縱標線就畫在零位線之下，代表負的電動勢。

這條曲線代表一週 (Cycle)。一週是電動勢的改變的一全組。

在一週之末，線卷回復到它開始時的情形；若線卷繼續轉動，每轉一轉，重演一週。

每秒鐘所生的週數就是頻率(Frequency)。在兩極發電機中，其頻率等於每秒鐘的轉數。商用發電機都有好多對磁極。線卷每經過一對磁極就產生一週。所以在一轉之中，有多少對極，就產生多少週。在通常家用電燈線路內，頻率常是 50。在 50 週的電流，每秒鐘變向一百次，因為每一週電流變向二次。

6.3. 交流電的磁場——第三章中已講過，導線中一有電流通過，它的周圍就立刻發生一個磁場。還有，電流改變方向時，磁力線也同時改變方向。交流電路中的情狀正是這樣。譬如在圖 6.2 中，把下面的一個線卷接到交流電源上，這線卷中就有交流經過，因此就發生了一個磁場。當電流向某一方向流動時，上端是北磁極，電流反向時，上端就變為南磁極了(見第 3.3 節)。如果線卷中是五十週的電流，那麼在一秒鐘內，上端就有五十次是北極，五十次是南極。所以這一端在一秒鐘中，就有了 100 次的改變。那麼線卷周圍的磁場是怎樣呢？它在電流每次改向時也就改向。每次改向以後，磁力線就因電流逐漸增至最大值而逐漸增強。待電流減低下去，磁力線也減到零。所以繞着線卷的磁力線，不斷地在改變——擴大，縮小和反向。

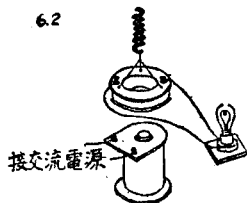


圖 6.2 互感應

6.4. 互感應(Mutual induction)——圖 6.2 中，假如在第一個線卷上面再加一個線卷，那上面的線卷，就在下面一個的磁場

中。我們曾說過，凡在磁力線割過一個線卷時，線卷中就會感生電動勢。下面線卷中的電流既然是交流的，它的磁力線也就不停的割過上面的線卷。因此上面的線卷中就感生了電動勢，這個應電勢也是交變的，因為下面的磁場是不斷在改變它的方向的。設把一個交流伏特計接於上面的線卷，就可以指示出一個電動勢。

把一個電燈泡接於上面的線卷，假使電壓適當，就會發光。例如下面的線卷有 300 匝，中心放一條直徑約二吋的軟鐵心，再用鐵包圍以集中磁力線，但仍留上部以開放磁場；上面的線卷無鐵心，有 100 匝，直徑同下面的一樣；若用一個七伏特的小電燈泡接到上面的線卷，就會發光，即使二線卷之間相距有一吋之遠。這是因為下面線卷的交變磁場使上面線卷中感生了電流，才使燈泡點亮的。假使兩線卷相距很近，燈光就格外明亮；假使相距較遠，燈光就會暗下去。在無線電學中，前者的情形叫做密耦合 (Close coupling)，後者叫做疏耦合 (Loose coupling)。耦合愈密，所生應電流愈強。一個有趣的試驗是用一條鋼彈簧把上線卷懸起，使它上下運動。燈光亮度的變更很活躍地說明了密耦合與疏耦合的區別。做這個試驗時，下面的一個線卷直接到通常家用的 50 週電燈線路。那接到電源的一個線卷，叫做主線卷 (Primary)，發生應電勢的一個線卷叫做副線卷 (Secondary)。

假使主線卷中的電流是直流而又是恆定強度的，那麼副線卷就不受一點影響，因為磁場是不變動的；可是，若把主線卷的電路一通一斷，使磁場變動，那麼副線卷中也會感生電動勢。一個線

卷的磁場，感起另一個線卷中的電流，這種作用叫做互感應。應用互感應之原理而見諸實用的，有盧姆考夫 (Ruhmkorff) 感應線卷，汽油引擎中發火用的電花隙線卷，變壓器和無線電路中的耦合器 (Coupler) 等。

6.5. 磁力線——第三章中已說過，磁力線是指示磁場中力的方向的線。現在再把它定義引伸一下。一條磁力線也是用以量磁場中力的強度的一個單位。我們說磁場的強度是每方吋或每方厘米多少磁力線，好比是說汽車胎中的壓力是每方吋多少磅一樣。至於磁力線的單位究竟是怎樣大，在這裏可以不必討論，不過却要記住磁力線是用來指示兩件事——磁力的方向和強度。

6.6. 應電動勢 (Induced E.M.F.)——在副線卷中所感生的電動勢，要看它割截磁力線的速率而定，可用下面的一個公式來表明：

$$E.M.F. = \frac{N}{t}$$

E.M.F. 是電動勢，N 是給線卷所割的磁力線數，t 是經過時間的秒數。因此 $\frac{N}{t}$ 就是每秒鐘所割截的磁力線數。假使副線卷每秒鐘割截 100,000,000 磁力線，感生的電動勢是一伏特。因此，要求出電動勢是多少伏特，須將上面方程式所得的結果再除以 100,000,000。

$$E.M.F. (\text{伏特}) = \frac{N}{t} \cdot \frac{1}{100,000,000}$$

副線卷割截磁力線的速率要看幾種情形。第一：要看主線卷中電流改變的速率，主電流變動愈快，磁場改變也愈快。換一個說法，主電流的頻率愈高，副線卷中所感生的電動勢就愈大。例如，若其他的情形都是相同，那麼每秒 50 週的電流所感起的電動勢比每秒 25 週的爲大。應電勢和頻率是成正比的，這一點在無線電電路中很是重要。第二：要看主電流的強度怎樣；因爲主電流愈強，割過副線卷的磁力線數愈多。第三：要看副卷中所繞線的匝數。假使有十匝在磁場中割過，那末比有一匝在同磁場中割過所得的效應就大十倍。

6.7. 應電流的方向和楞次定律——在圖 6.2 中，假使把下面線卷的電路接通，上面的線卷就被推斥。表演之法，我們可把上線卷用一彈簧懸起，並將其兩個線頭互接，使成捷路。假使主電流是交流的，只要那電路接通，這種推拒現象便繼續不斷。假使主電流是直流，而電路中接有一個電鍵，那末當電鍵接通之頃，副線卷就被推拒，電鍵放開，則被吸引。這個試驗說明副線卷中電流的磁作用。這應電流反抗它所由產生的這個磁作用。這個原理叫做楞次定律 (Lenz's Law)。

先講主線卷中是直流時的情形。當那電路接通之頃，發生了磁場，磁力線隨即向上行經副線卷，而副線卷中感生了電流。副線卷中於是有了自己的磁場，而這磁場與主線卷的磁場相拒。因此兩線卷間就發生推拒現象。當電路截斷之頃，作用相反，因此兩線卷間就互相吸引。在每種情形下，副線卷的磁場反抗主線卷的作用。在

主線卷中若為交流，則主磁場伸展時生推拒，縮小時則生吸引。但推拒的力比吸引的力大，所以結果是互相推拒，它的理由述於第 6.25 節。

要在磁場中轉動一個生有應電流的線卷，例如在發電機中，可以覺到有一種相反的力推着這線卷。結果是轉動一個有應電流的線卷比沒有應電流時需要更大的動力和更多的能。這種事實可用一隻小電動機策動的發電機來證明。先使它的電樞 (Armature) 在斷路時轉動，而後在電樞電路中接入一個相當的電阻，把電路接通，使有電流而轉動。當電樞電路一通之頃，那機器的營營聲就減低了許多，這就顯出發電機磁場的反推力已把電動機的速度減低了。從這個實驗，很明顯地看出在發電機輸出電流時，電動機須做更多的功。倘使不是這樣，豈不是不必耗費相當的能而發電機就可以產生電能了嗎？換句話說，這機器所給出的功要比所資入的多，這是不可能的事。楞次定律是『能量不滅』的一種特況。假使把兩個線卷固定了，像變壓器中的一樣，使它們對於彼此不能移動，那末副線卷的磁場便反作用於主線卷，反抗主電流的變動。

從電子說的觀點，可把副線卷中電流的反對作用看做下面的情形：譬如將

一組電池經一個電鍵接到一個主線卷如圖 6.3。把電鍵按下時，電子開始在主線卷中流通，從 D 流到 C。當電子流增強時，它就使副線卷中的電子從 A 流到 B，和主線卷中的方向相反。這副線卷中

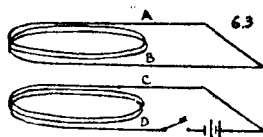


圖 6.3 互感應中電子的作用

的電子流此時就加反推力於主線卷的電子流，要使它們停止流動。假使把主電路斷了，DC 中電子流便衰下，而 AB 中的電子便反變它的方向。總之，DC 中的電流有任何變動，AB 中的電子流便反抗這變動。這種電子流互相作用着的力，就叫做磁力。

6.8. 電感(Inductance)——把一個在鐵心上繞有一個約 300

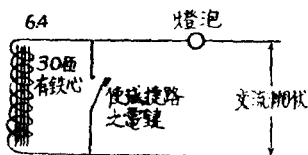


圖6.4 交流電路中的電感
(圖中鐵心線卷有線 300 匝)

匝或更多匝線的線卷和一盞電燈串連以後，接到 110 伏特的交流電燈線路上，先用一個電鍵或導線使那使線卷捷通(圖 6.4)，那燈就會點得很亮。今若把那捷路用的電鍵板脫，使線卷加

進到電路裏面去，燈光就會暗弱。假使把這串聯着的線卷和電燈接到 110 伏特的直流電源上，燈光就不會變暗。這個實驗說明交流電路中有『自感應』(Self induction)現象，並說明交流電路中的自感應的效應是減弱線卷中的電流。

在上面的一個實驗中，用直流時，似乎沒有自感應的效應可見。其實在電路一斷或一通之頃，直流也有這種效應的。下面的實驗可以顯示在截斷電路時的自感應。如圖 6.5 的電路，一個六伏特的小電燈泡，並聯着一個在鐵心上繞有 600 或更多匝的線卷，一組電池，一個觸鍵或開關和一個電阻器。把電阻調準到使燈光暗淡。把電路一斷時，燈光會忽然一亮。這就說明在截斷電路之頃，線卷的自感應

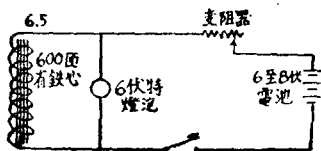


圖 6.5 直流電路中的電感

有維持電流繼續流行之趨勢。

要明瞭直流和交流電路中自感應的最好方法是把它和互感應的效應相比。若把圖 6.6 中的線卷接到交流電源上，就有電流從

D 到 A，而後再從 A 到 D。那線卷的任何兩部間的作用是相同的，好像是兩個分離的線卷。譬如，電子流開始從 A 流到 D，而強度增加，則在 AB 中動着的電子就產生一種力，要把 BD 中的電子從 D 逐回到 B。這就像第 6.4 節互感現象中兩個線卷的情形一樣。當磁

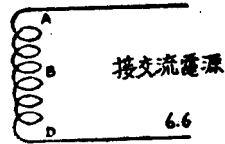


圖 6.6 說明具有電感的一電路中電子的作用

場在增強時，它就感起一個反抗電流增強的電動勢。在電流經過過其最大值而開始減低以後，那線卷一部份中的電子就發生一個力，要把別一部份中的電子向前推進；就是說，增強其電流。

一個線卷中因自己的磁場而感生的電動勢，叫做自感應電動勢。一電路所具產生自感應電動勢的性質，叫做電感。

自感應電動勢反抗正在增強的電流，援助正在減弱的電流。這樣說來，那電流最後所得之值，豈不是同沒有自有感應的要一樣了嗎？但是並不如此。一個有交流通的線卷對於電流，抑強的效應大於扶弱的效應，所以結果還是把電流減弱。

6.9. 電感的單位——電感的單位是亨利(henry)。一亨利的定義是一電路中在電流每秒鐘改變一安培而感生一伏特電動勢時所具的電感。我們應該要明白，一電路的電感和它的電動勢不是一樣的東西。一線卷中無論有何種性質的電流流過，電感是不變的，但

自感電動勢却隨着電流的變率而改變。譬如一個線卷有一亨利的電感。若這線卷中的電流以每秒鐘一安培的速率而增強，那麼所生自感應電動勢是一伏特。假使這同一線卷中的電流是以每秒鐘二安培的速率增強的，那麼自感電動勢是二伏特，但它的電感却仍是一亨利。

在無線電計算中，用亨利做單位太大，甚不方便。所以在實際工作中用兩個較小的單位，一個是毫亨利 (Millihenry)，是一亨利的千分之一；一個是微亨利 (Microhenry)，是一亨利的一百萬分之一。

一個線卷的電感，要看線的匝數，匝的大小和式樣，以及線周圍介質的導磁係數 (Magnetic permeability) 而定。例如在一個非磁性的管子上，如圓紙筒，直徑 5 吋，長 5 吋，繞成一個 150 匝的單層線卷，它的電感約為 1.1 毫亨利。線卷電感的求法將於第十章中述及。

亨利的定義可用下面的代數式來表出：

$$L = \frac{E}{I/t}$$

式中 L 是電感，以亨利計， E 是應電動勢伏特數， I/t 是每秒鐘電流的改變率。

6.10. 電抗 (Reactance) —— 直流電路中反對電動勢的祇有該電路中的電阻。可是反對交流電動勢的，除了電阻以外，還有自感電動勢。自感應在障礙電流的意義下，其作用一如電阻。若把圖

6.4 中錄卷的錄放開成一單圈而接於那電路中，電燈就會點得很亮。這錄圈的電阻本來或許只有一、二歐姆，但若把它的錄在鐵心上繞成一個錄卷後，便能使電流減低，好像添了許多歐姆一樣。

一個自感應電動勢的效應是相當於電阻的某一歐姆數。自感應阻礙電流的效應叫做電抗，也是用歐姆來量計的。

電抗在一種意義上雖是像電阻，但在有幾處却是十分不同的。一條錄，無論是直的或繞成卷的，它的電阻是一樣的。但錄若繞成卷，電抗較大。錄卷無論有鐵心，或是空氣心，在低頻率時的電阻總是一樣。但是有鐵心的錄卷電抗就較大。在低頻率時，不論電流的變率如何，電阻總是一樣。但電抗則是隨着頻率而增的。電抗的方程式是：

$$X_L = 2\pi fL$$

X_L 是電抗，以歐姆計； f 是頻率，每秒鐘的週數； L 是電感，以亨利計。如用文字說明，就是感抗 (Inductive reactance) 等於 2π 乘頻率，再乘電感的亨利數。

在交流電路中，要求得對於電流的阻礙總量，不但要知道電抗的計算法，並且要知道怎樣去連合計算電抗和電阻。電抗和電阻的聯合效應叫做阻抗 (Impedance)。在未討論阻抗以前，須先將『相位差』(Difference of phase) 的意義說明一下。

6.11. 相和相角 (Phase and Phase angle)——參閱圖 6.1，可以知道電壓是隨錄卷所轉的角度而改變的。電壓經過不同的『相』，相應於錄卷經過不同的角度。電流曲線同電壓曲線相似。電

流也像電壓一樣經過各相。這『相』的一個名詞，不論是用在電壓或電流上，意思就是一週內的位置。

若電路中祇有電阻而無電感，那末當電壓在零之頃，電流是零，在電壓達到最高之時，電流也是最高。電流隨着電壓經過不同的相。我們稱這電流和電壓是『同相』的 (in phase)。通俗的說，它們是同步而行。

若電路中有了電感，電流和電壓就不能同步。主要的關鍵就在自感應電動勢全視電流的變率而定。電流改變愈快，自感應電動勢

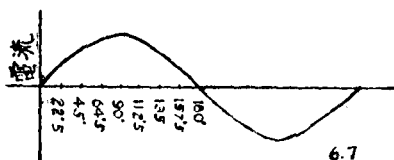


圖 6.7 電流曲線

愈大。電流經過零位時改變最快，從圖 6.7 中可以看出。這條曲線在經過橫坐標上的零位時斜度最峻峭。在 90 度相的一霎時，電流不變動。

因此，自感應電動勢在電流為零時最大，在電流最大時最小。這就是說自感應電動勢和電流之間有一個 90 度的相位差。

自感應的效應是使電流落到電動勢之後。當電流在增加時，自感應就阻礙它，使它達到最大值時比沒有自感應時稍遲。這就是所謂電流滯後 (Current lagging)。

假如電路中祇有電感而沒有電阻，則外施的電動勢就不必去克勝電阻，祇要克勝自感電動勢。因此外施電動勢是與自感電動勢直接反對的，這就是說外施電動勢和自感的電動勢之間有一個 180 度的相位差。所以電流和外施電動勢之間，有一個 90 度的相位差。

電流滯後於電壓 90 度。但這是一個理想的情形，因為電路中的電阻決不會等於零的。然而也有差不多是這樣的，像有種變壓器的線卷，其中電阻極低，而電抗極高。圖

6.8 表示一個祇有電感而沒有電阻的理想電路中的電流，外施電動勢和自感電動勢三者間的關係。

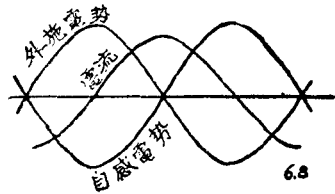


圖 6.8 表示電流，外施電動勢和自感電動勢的關係

假使在電路中祇有電阻而沒有電感，那末，電流和外施電動勢完全

同相。增加了電阻，祇不過把電流減低，而不變其相，不使其達到最大值時或遲或早。所以我們說電阻和電流作用於同相。既然電阻和電流同相而自感電動勢和電流異相 90 度，那末電阻和電感便好像是互成直角的兩力。因此我們就要應用到力學中力的三角形原理。

6.12. 用力學說明相和相角——我們試作一個簡單的說明。譬

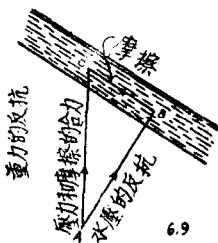


圖 6.9 相角

如像圖 6.9 中在一條傾斜的管子裏有水流下。水之所以往下流，因為有地心引力即重力；但也要有兩種反對的力，一種是水和管子間的摩擦力，是直接反對水流的，一種是管子對於水的壓力，這是反對地心引力而其方向則與水流垂直。摩擦力相當於電阻，而壓力則相當

於電抗。這兩種力協同作用而阻抗着地心引力。在圖 6.9 中，AB 代表加在水流上的管子壓力，BC 代表摩擦力。這兩力的合力，並不是它們的和數而是以 AB 和 BC 做兩邊的三角形的弦。因此，這合



圖6.10 表示阻抗，電抗和電阻的關係

力等於兩力平方之和的平方根。關於電阻和電抗也應用此同一原理。電阻和電抗的聯合效應是阻抗 (Impedance)，等於電阻平方加電抗平方後的平方根。令 Z 代表阻抗， R 是電阻， X 是電抗，那麼

$$Z = \sqrt{R^2 + X^2}$$

舉一個例說：某線卷有 3 歐姆的電阻和 4 歐姆的電抗，那末阻抗不是 7 歐姆而是 $3^2 + 4^2$ 的平方根，就是 5 歐姆。

6.13. 有效電流 (Effective current) —— 若把一個直流安培計接在交流電路中，那指針不會移動，或者不過輕微振動，因為電流反復太快了，使指針先移向一邊，隨後又向那邊。所以在交流電路中，必須用一種安培計，要不論電流流向那一個方向時，指針祇向一方面移動。

交流是不斷地在變值的，從零增到最大，減下到零，再反向進行。那末在這一切改變中，交流安培計究竟指示那一值呢？譬如這安培計指示一安培。那末一安培對於電流所經一週的改變有什麼關係呢？這答案可用下面的簡單試驗來啓示。譬如一盞電燈接在 220 伏特的直流電燈線路上，並有一隻直流安培計串連着，指示一安培。若把同一電燈

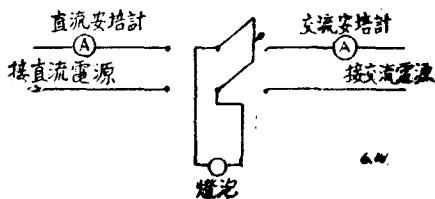


圖 6.11 交流的有效值的意義

接到 220 伏特的交流電路上，用一只交流安培計來量，也會指示一安培。無論接在那個電路裏，電燈發光一樣亮。交流所生的熱效應 (Heating effect) 和直流所生的相同。交流安培計指示出產生相同熱效應的恆電流之值，這就叫做交流的『有效值』。

6.14. 熱曲線——圖 6.12 中的曲線表示一週內電流和它的熱效應 (Heat effect) 間的關係。熱曲線的縱標等於電流曲線縱標的平方。熱曲線的縱標都是正的，所以這曲線完全在 X 軸之上，因為任何數量的平方值總是正的，不問這數量是正是負。平均熱效應是熱曲線縱標的平均值。今若有一個產生同樣熱效應的恆定電流，這電流就和熱效應的平方根成正比。所以交流的有效值也和平均熱效應的平方根成正比。但是平均熱效應就是電流各平方值的平均數。所以有效電流是一全週中電流平方值的平均數之方根。這不論電流曲線的形狀如何，都是一樣。簡明地說：有效電流是平均平方值的方根。這就是交流安培計上所指示的電流。在無線電工程中所用的簡寫是『方均根』(r.m.s. = root mean square)。

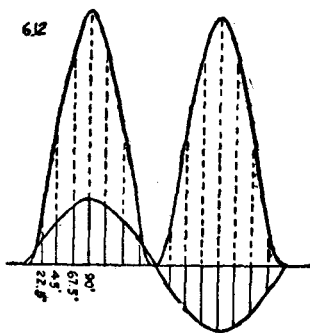


圖 6.12 熱曲線

所要注意的，有效電流不是平均電流。這可以繪一條電流曲線，把電流縱標的平均值同它們平方值平均數的平方根一比，就可看出。對於平均電流可以不必注意，因在電學計算中很少用着的。

6.15.有效電壓(Effective voltage)——應用於電流的定則，同樣應用於電壓。有效電壓是一全週中電壓各平方值平均數的方根。不論電壓曲線的形式如何，這總是對的。有效電壓也等於最高電壓被 2 的平方根所除的商數。要求得最高電壓，須將交流伏特計的讀數乘以 2 的平方根。這個公式祇能用在電壓曲線為正弦曲線的一種理想情形。在實際發電機中，磁場是不會均勻的，電壓曲線也不是一條正弦曲線。在無線電振盪電路 (Oscillation circuit) 中，那曲線同正弦曲線差得很遠。在這種實際電路中，這個公式就不能應用了。不過無論怎樣，最高電壓總是大於有效電壓的。

有一個實際的結果，就是在同一電壓下，一個線卷的絕緣上所受的脅變 (Strain) 對於交流要比對於直流大。例如在線卷的兩電端間加一個 100 伏特的交流電壓，那線卷絕緣必須耐受的脅變不是 100 伏特，而是 141 伏特，有時更高。

6.16. 容電器——容電器 (Condenser) 在交流電路中的作用，

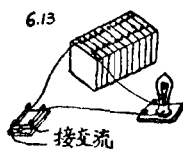


圖 6.13 電燈和容電器
串聯，若接在
交流電路上會
點亮。

可用下面的實驗來說明。把十二個或更多的一微法拉 (Microfarad) 容電器，像電話電路中所用的，聯接起來，再把這一組容電器，串聯了一個 110 伏特的電燈泡，接到 110 伏特交流電燈線路上 (圖 6.13)，這電燈會亮起，不過若把這同樣的裝置接到直流電路上，就不會亮了。

參照圖 6.14，假使電燈和容電器接在直流電路上，電子要走一個方向，譬如說是從 A 到 B。結果是電子聚

集在 C 的一組片子上。相同數目的電子離去 D 的一組片子。於是 D 就缺少電子，而 C 上却有過量電子。這樣就造成一個勢力，欲迫使電子從 C 越過到 D，不過兩組片子之間的絕緣質却阻止它們穿過。它們要穿通這絕緣質是很難的。於是電子就立刻停止行動。祇在電路接通時才有一霎時的流動。

假使同樣的線路有了交流。像上面一樣，就有電子流入 C 而離開 D。後來因為電動勢反了向，電子就離開 C 而流入 D，使 D 上電子過量，C 上電子缺少。隨後電動勢又反向，這過程又重演了。如此電子不斷地往復流過電燈和連線。所以電燈中就有交流經過，雖然實際上在容電器的兩組金屬片之間是有斷路的。電流並不流過容電器，不過是電子進入和離出容電器而已。

6.17. 容電器的電容量——容電器的電容量 (Capacity of Condenser) 有三個條件：

第一，片子的面積。片子的面積愈大，能容的電子愈多，因此，對於一所與電動勢，容量器片上的電荷就較大。就是面積愈大，電容量也愈大。

第二，片間的距離。片間的距離愈小，電容量愈大，因為正片和負片相去愈近，吸引的力就愈大。這較大的力能使各片容受更多的電子，因此，對於一所與電動勢，片上的電荷就愈大。

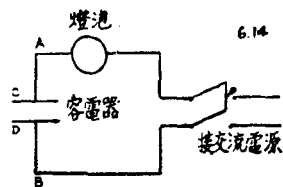


圖 6.14 在電路中電子對於容電學的作用

第三，片間絕緣材料的性質。容電器片子間的絕緣叫做介質 (Dielectric)，因為電力的作用是經過它的。在正負片之間，有幾種材料比別種更容易給電力通過。例如用雲母片做介質的容電器，它的電容量比用空氣的為大。使電子積聚到負片的力量，通過雲母比通過空氣容易四倍。其中道理還未曾完全明瞭。一物體使電荷的勢力通過它的本領，叫做該物體的介質常數 (Dielectric constant，亦稱 Specific inductive capacity)。介質常數在某幾點相當於導磁係數，就是一種物體使磁力線通過它的本領。介質常數之對於電力場猶之導磁係數之對於磁力場。容電器中最常用材料的介質常數如下：

空氣	-----1.00	雲母	-----4.6 到 8.0
玻璃	-----2.8 到 9.9	石蠟紙	-----2.8 到 3.8

介質常數不可同一個物質的介質強度或迅裂強度 (Disruptive strength) 相混錯。後者一個名詞是指電荷穿破這物質所需的電壓，因此是指該物質絕緣的強度。例如，要一個電花穿過一厘米的空氣約需 800 伏特，一厘米的玻璃需 6,000 到 8,000 伏特，要穿破一厘米的雲母片需 17,000 到 28,000 伏特。

6.18. 電容量的單位——電容量的單位是法拉 (Farad)。假使一個容電器的兩片間，在電位差為一伏時，積容了一庫倫的電荷，那末這個容電器就有一法拉的電容量。若用伏特和安培二名詞來講，那末法拉的定義是一隻容電器的電容量，其中片子間的電動勢以每秒鐘一伏特的變率而使一安培的電流流動。法拉這單位太大，

不適實用。微法拉 (microfarad), 即百萬分之一法拉, 是常用的單位, 尤其是在電話和無錄電工程中。講到電子管的電容量, 就要用更小的單位, 百萬分之一的百萬分之一法拉, 即微微法拉 (Micro-microfarad)。

6.19. 電容量對於電流的效應——前面已講過, 電感使電流落在電壓之後。電容的效應恰正和它相反。電容使電流越在電壓之前。在電路中有了電容, 電流就要越在電壓之前達到其最大值。關於這種情形, 用電子作用來說明, 最容易明白。譬如電壓從零點開始, 便很快的增高起來, 把電子驅入一組片子, 又從另一組片子趕出。因為路途中沒有什麼阻礙, 就有一道很强的電子流流過。及至電動勢趨近它的最大值時, 多數的電子已經積聚在負片內, 因而要推拒後來的電子。所以雖然電動勢近乎它的最大值, 電子却不能像從前那般快速地流入片子, 因為已有別的電子阻礙了它們。這就是說, 當電壓趨近其最大值時, 電流就變小了。電流, 即電子的流量, 在電壓近零點的時候是最大, 當電壓近乎它的最大值時減落到零。假使電路裏祇有電容而沒有電阻或電感, 那末當電壓經過零點之際, 電流正達到它的最大值。換一句話說, 便是電流越在電壓之前 90 度。

6.20. 容抗——容電器對於電流也有一種抵抗, 叫做容抗 (Capacitive reactance)。我們已講過, 容電器的電容愈大, 電流愈多。換句話說, 電容愈大, 電抗愈小。還有, 電動勢變得愈快, 進入和離去電容器的電子流愈大。換言之, 就是頻率愈高, 電流愈強, 所

以電抗愈小。從上面這兩點關係看來，就可知道容抗的作用恰正和感抗 (inductive reactance) 相反，因為不論電感或是頻率增加了，感抗也增加了。感抗和容抗有相反的效應，必須時時記住。設 X_c 代表容抗， f 是頻率， C 是電容以法拉計，那末

$$X_c = \frac{1}{2\pi f C}$$

(例) 一個 0.01 微法拉電容的容電器，對於頻率為每秒 60 週的電壓，其電抗是

$$\frac{1}{2\pi f C}$$

記住 0.01 微法拉等於 0.000,000,01 法拉，上面的公式就等於

$$\frac{1}{6.283 \times 60 \times 0.000,000,01} = 265,000 \text{ 歐姆左右。}$$

同樣的容電器對於每秒 600,000 週的頻率，其電抗是

$$\frac{1}{6.283 \times 600,000 \times 0.000,000,01} = 26.5 \text{ 歐姆。}$$

從上面這個例子看來，就可以明白一樣一個容電器，對於高頻率電流流動的阻礙比對於低頻率電流為小。這一點在無線電電路中特別重要。

6.21. 有容電路中的阻抗——既然容抗和電流異相 90 度，而電阻和電流是同相的，那麼，容抗和電阻間的相位差當然也是 90 度。應用關於感抗的同一推理，我們也可以求得容抗和電阻的聯合效應等於它們平方之和的方根。令 Z 代表阻抗， X_c 的容抗， R 是電阻，那末

$$Z = \sqrt{X_c^2 + R^2}$$

圖 6.15 示容抗, 電阻和阻抗間的關係。習慣上總是把代表容抗的一條線畫在電阻線的下面, 代表感抗的一條線在電阻線的上面, 因為兩者的作用恰是相反的。假使一電路中的容抗和感抗大小相等, 則合成電抗便等於零, 因為一個電抗中和了另一個。例如, 感抗會使電流滯後 30 度, 而容抗會使電流越前 30 度, 則兩者互相中和而電流會和電壓同相。在這種情形下, 假使感抗是 10 歐姆, 容抗便是 -10 歐姆。圖 6.16

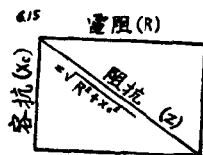


圖 6.15 容抗, 電阻, 和阻抗的關係。

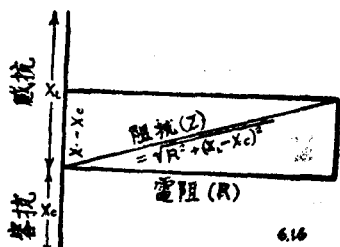


圖 6.16 感抗, 容抗, 電阻和阻抗間的關係。

是一個有感抗, 容抗和電阻的電路的圖解。在這圖中, 感抗大於容抗, 其合成電抗是兩者的差數。再把這合成電抗和電阻聯合, 用直角三角形法求出阻抗。

在如圖 6.16 的圖中, 那滯後角 (angle of lag) 是阻抗線和電

阻線所成的角。假使這角是在電阻線的下面, 如圖 6.15 中所示的, 這是越前角 (angle of lead)。

6.22. 並聯和串聯的容電器 —— 兩個或更多容電器並聯以後的電容量等於它們個別電容量的總和。假使把兩個同電容的容電器並聯 (圖 6.17) 結果是好像把片子的面積加倍了一樣。因

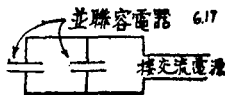


圖 6.17

此把同樣的電動勢加在它們的兩電端之間，這兩個容電器所受的電荷比一個容電器大二倍（即乘 2）。假使以任何數的容電器在交流線路上並聯了，那末線路中的電流等於分流在跨接於同線路上各個容電器的電流之和。

將容電器串聯了（圖 6.18），就等於增加了介質的厚度，因而減

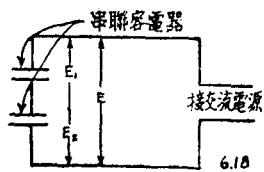


圖 6.18

小其電容量。若把兩個同電容的容電器相串聯，那末兩者的合電容是其中之一所具電容的一半。假使把任何電容量的幾只容電器相串聯了，它們的合電容將比其中任何一個容電器的電容為小。

一個實用的例子，是無線電電路中一個容電器和天線的串聯。這容電器有減低天線電容量的效應，因而將波長減短。

6.23. 歐姆定律和交流 —— 交流電路中電流的總障礙叫做阻抗。前面已經講過，電路中含有電阻和感抗的，那阻抗就等於電阻平方和電抗平方之和的平方根。

$$Z = \sqrt{R^2 + X_L^2}$$

若一電路中含有電阻和容抗，我們有相似的方程式。

$$Z = \sqrt{R^2 + X_C^2}$$

若一電路中含有電阻，感抗和容抗，須先將容抗由感抗中減去，求得合成電抗。這合電抗的平方加上了電阻的平方，等於阻抗的平方。於是將阻抗開方：

$$Z = \sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2}$$

在直流電路中，電流等於電阻除電動勢。在交流電路中，電流等於阻抗除電動勢。

$$\text{對於直流： } I = \frac{E}{R}$$

$$\text{對於交流： } I = \frac{E}{Z}$$

把 Z 值代入，

$$I = \frac{E}{\sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2}}$$

【例】某一變壓器的主線卷有電阻 2 歐姆，其感抗在 50 週時是 100 歐姆。假使把這線卷接到 120 伏特的直流電路上，有多少電流經過？

$$I = \frac{E}{R} = \frac{120}{2} = 60 \text{ 安培}$$

假使把這同一線卷接在 50 週同電壓的交流電路上，有多少電流經過？

$$I = \frac{E}{Z} = \frac{E}{\sqrt{R^2 + X_L^2}} = \frac{120}{\sqrt{2^2 + 100^2}} = 1.2 \text{ 安培(約值)}$$

【例】一交流電路有 120 伏特的電動勢，2 歐姆的電阻，100 歐姆的感抗，80 歐姆容抗，問有多少電流通過？

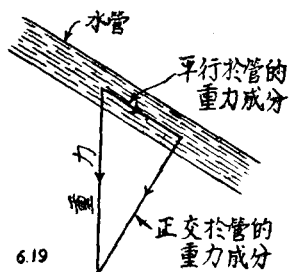
$$I = \frac{E}{\sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2}} = \frac{120}{\sqrt{2^2 + (100 - 80)^2}} = 5.7^+ \text{ 安培。}$$

6.24. 功率因數——若在一條有電感或電容的電路中接一個伏特計和安培計，把讀得的伏特數和安培數相乘，它的結果並不是

電路中實用的有效功率(True power), 而不過是視在功率(Apparent power)而已。我們試看何以如此。

前面已講過, 電阻和電抗有一個 90 度的相位差。它們的作用好像互成直角的兩個力。它們合成的效應不是它們的和數, 而是它們的平方之和的平方根。

現在再來說明水在斜管中流下的情形。使水往下流的力是地心引力。若水管是直立的, 水的全重使生水流。若水管是平放的, 水



6.19

圖6.19 功率因數的意義

的重量, 也就是因重力而生的壓力, 不能使水流行。若把水管斜放, 可把那因重力而生的壓力分做兩個分力, 一分力沿着水管和水流同向, 另一分力同水管垂直, 觀圖 6.19。後一力是水加在水管上的壓力。因為這一分力是和水管垂直的, 所以不能使水流行, 也就不能產生功率。只有和水流同向的一分力才能產生功率。水流的功率正像電流的功率一樣, 等於壓力乘流速, 但此處所謂壓力, 我們須用在水流方向內的重力的分力。在這比擬中, 外施電壓相當於地心引力, 即水的重量。電壓的一部分和電流同相的, 相當於重力沿着水管的那個分力。電壓的另一部分和電流有 90 度異相的, 就是和電抗直接反對的, 便相當於重力垂直於水管的那個分力。

對於直流:

$$\text{瓦特} = \text{伏特} \times \text{安培}。$$

$$P = EI。$$

在交流電路中也有這種相似的關係，不過不是用外施電壓，而是用外施電壓與電流同相的那一部分。

這裏也可以用一個三角形來代表外施電壓和它的兩個部分，與一個代表阻抗，電阻和電抗的三角形相仿。

外施電壓和它兩部分間的關係與阻抗，電阻和



圖 6.20

電抗間的關係是相同的。圖 6.20 就表示這幾個三角形。電流和電壓的乘積是視在功率。電流和電流同相的電壓部分的乘積是有效功率，就是實際用在發熱，點燈和策動電動機的功率。從上面的探討和圖 6.20 中的三角形看來，這是很明顯的，有效功率與視在功率的比率，等於電阻與阻抗的比率。

$$\frac{\text{有效功率}}{\text{視在功率}} = \frac{\text{電阻}}{\text{阻抗}}。$$

$$\text{有效功率} = \text{視在功率} \times \frac{\text{電阻}}{\text{阻抗}}。$$

這 $\frac{\text{電阻}}{\text{阻抗}}$ 的一個因數，叫做功率因數 (power factor)，因為必須用它來乘視在功率以求得有效功率。視在功率是用『伏特安培』數來量的，與用瓦特數來量的有效功率有別。設 P 是有效功率， F 是功率因數，就得下面的公式：

$$P = EIF$$

若電路中沒有電抗，功率因數便等於 1，上面的公式就成爲

$$P = EI。$$

直流電路的情形就是這樣。

在無線電電路的線卷中，功率因數可以很小，因爲是高頻率電流之故。

功率因數，即電阻與阻抗的比率，是一個滯後角的餘弦。在直角三角形中，一個角的餘弦就是斜邊除鄰邊的商數。這是電學計算中常用的一個角的函數。

【例】一交流電路中有一個伏特計跨接在一個線卷，指示出 100 伏特，一個安培計指示出有 5 安培電流經過這線卷。滯後角是 60 度。問這個線卷消耗多少瓦特的電功率。

【解】既然滯後角是 60 度，電動勢的有效部分就等於外施電動勢的一半（餘弦 $60^\circ = \frac{1}{2}$ ）。那功率因數便是 $\frac{1}{2}$ ，於是

$$P = 100 \times \frac{1}{2} \times 5 = 250 \text{ 瓦特。}$$

【例】一個線卷的電阻是 150 歐姆，電抗是 200 歐姆，外施電壓是 250 伏特，問線卷中的有效電功率是多少？

【解】阻抗， $Z = \sqrt{200^2 + 150^2} = 250$ 歐姆，

$$\text{電流， } I = \frac{E}{Z} = \frac{250}{250} = 1 \text{ 安培，}$$

$$\text{功率因數， } F = \frac{R}{Z} = \frac{150}{250} = \text{百分之 } 60，$$

$$\text{功率， } P = EIF = 250 \times 1 \times 0.60 = 150 \text{ 瓦特。}$$

6.25. 渦流和排斥效應——如圖 6.21 中，在一個有交流經過的

線卷上放置一塊銅片，或是其他非磁性的金屬片，則因線卷的磁力線的變動，就有電流感生於這金屬片中。這電流叫做渦電流



圖6.21 排斥效應

(Eddy currents)。它們不過是金屬片中的電旋渦。若線卷的磁場相當強的話，金屬片就被強烈地向上拋起，因為它自己的磁場和線卷的磁場互相排斥之故。假使在這金屬片上開了許多小縫，差不多把它分做許多狹條，渦流就大為減少，因為它們不能越過狹條間空隙之故。

這裏所生排斥的原因，同兩線卷間互感應實驗中的一樣。第6.7節中已談過，在一週的一部份時互相吸引，在另一部份時互相推拒。因為電流滯後的緣故，所以推拒比吸引要佔着一週中的大部份時間。

6.26. 變壓器 (Transformer)——變壓器由兩個線卷組成，一個是主線卷，一個是副線卷，作用的原理是互感應。主線卷中的交流使副線卷中感生一個交變電動勢。要主線卷的磁場在副線卷上發生最大可能的效應，所以把兩個線卷都繞在同一鐵心上。這鐵心是分層的，就是用薄鐵片層疊做成的，使鐵心中感生的渦流可以減到極小。層片間的氧化薄膜，對於這種電流是一個絕緣物。

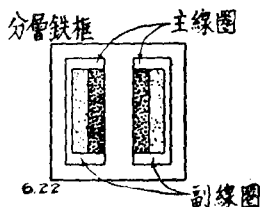


圖6.22 鐵殼變壓器式
(圖中「線圈」應作「線卷」)

變壓器普通有兩式，即鐵殼式和鐵

心式。在鐵殼式中，鐵把線卷包圍(圖 6.22)。鐵心式又分兩種，如圖 6.23。照通則說，鐵殼式較好，因為漏磁比鐵心式少。無線電用的變壓器，兩種都有。

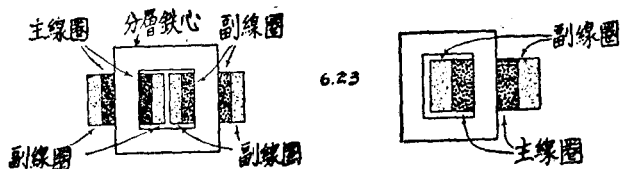


圖6.23 鐵心式變壓器的二種式樣(圖中「線圈」應作「線卷」)

變壓器的主要用處，是在以比所受電壓較高或較低之電壓輸出電流。在長距離輸電線路上，發電廠用變壓器把電壓『變高』。理由是用高電壓輸電，比用低電壓時損失功率小。在輸電線的消費者的一方，則用變壓器把電壓『變低』以適應點燈和電動機之需。電鈴變壓器是用來把電燈線路的電壓變低到電鈴所需的電壓。無線電電路中所用變壓器的運用原理，和其他一切變壓器的原理相同。

變壓器副線卷的電壓和主線卷的電壓之比，等於副線卷匝數和主線卷匝數之比。更簡單些說，電壓是和匝數成正比的。但這個比例，嚴格地說，只有在主線卷的全部磁力線作用在副線卷上，就是沒有漏磁的時候，才是對的。實際上變壓器的漏磁很小，因此這個比例是很切近的。例如，要設計一隻變壓器，用以接受電流於 6000 伏特，而輸出電流於 60,000 伏特，它的副線卷的匝數，一定要比主線卷的多十倍。若一隻電鈴變壓器接受電流於 220 伏特，而輸出電流於 10 伏特，它的副線卷的匝數一定是主線卷匝數的二十二

分之一。

普通的電壓和電流變量器(註)並不使頻率改變。副電流的頻率和主電流的頻率相同。專為改變頻率而造的特種變量器也有時用到。

6.27. 變壓器的功率損失——變壓器雖然把電壓變高,但並不增加電功率。若把電壓變高了,電流就會變小。例如一座變壓器把電壓從 6,000 伏特升高到 60,000 伏特,輸出的電流不會超過輸入電流的十分之一。事實上因為有若干功率在變壓器中損失了,所以輸出的電流總是比十分之一少些。沒有一種機械,能輸出功率比輸入的多,變壓器當然也不能例外。可是變壓器的效率常比其他機械和別種電器都高。大多數變壓器能給出輸入功率的百分之94到98。

功率在變壓器中損失的原因有三種。第一種是因為鐵心中的渦流。主線卷的交變磁場使鐵心中感生電流,毫無用處,不過使鐵質發熱,徒費功率。層疊片能使這種損失減少,說明見第 6.25 節。第二種,是因磁滯(hysteresis)而損失功率,就是因改變鐵的磁性而損失的(見第 3.4 節)。第三種是因線卷發熱而損失功率。這種損失有時叫做 I^2R 損失,因為它是從電流的平方乘線卷的電阻而求得的。(見第 4.5 節功率方程式)。

(註)關於 Transformer 一名詞,在教育部公布之「電訊工程名詞」中譯作變量器;通稱變壓器者,實指電壓變量器(Voltage transformer)而言。倘有改變電流量的稱做電流變量器(Current transformer),改變頻率的稱做頻率變量器(frequency transformer)。若一律譯為變壓器,則電流變壓器和頻率變壓器為無意義了。

6.28. 電子管用做整流器——第五章中已講過，電子在電子管中祇能向一方向流——從絲極到鈹極。這種電子管可以被利用來使交流變成直流。凡是使交流變直流的一種器械，叫做整流器 (Rectifier)。整流器最普通的用途，為在祇有交流的地方充電於蓄電池。電子管整流器祇具兩個電極，是佛來銘管所改進的，後來又改成現在無線電中用的三極管。

電子管整流器的電路如圖 6.24。在交流電源上接一個變壓器。

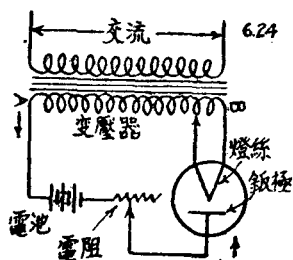


圖 6.24 用電子管整流器充電於蓄電池的電路

燈絲跨接在副線卷的兩個分接頭上，以供給燈絲適當的電壓。蓄電池接到鈹極電路中一個分接頭上，以供給充電用的適當電壓。在半週內，電流從 B 流向 A 時，就是電子從 A 流向 B 時，有電流流過電池。當另一半週內，電流從 A 到 B 時，就沒有電流流過電池，因為電子不能從鈹極流到燈絲去。因此

電流祇能朝一方向流過電池。在沒有電流流過蓄電池的一半週內，似乎是白費了功率的；但實在並不如此，因為沒有電流流過電子管時，除點熱燈絲和激發變壓器所需的那一小部份外，電源上並不耗費電功率。

6.29. 電解整流器 (Electrolytic rectifier)——若一種電池用一塊鋁鈹和鉛鈹浸在碳酸鈹 $[(NH_4)_2CO_3]$ 或磷酸鈹 $[(NH_4)_2HPO_4]$ 的溶液中，電流祇能朝一個方向流過這電池。在鋁鈹面上發

生一層氧化物薄膜，使電子祇能從鋁流到溶液中，却不能反向。因此電流祇能在鋁鉍為負的時候流過電池。假使用四個這樣的電池，照圖 6.25 的電路，同蓄電池接連，那末一週波的兩半都可利用來充電於電池了。實線箭頭表示半週內電流的方向，虛線箭頭表示另一半週內電流的方向。同電池串連的有燈泡變阻器，以調節電流的強度。

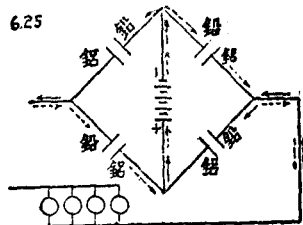


圖 6.25 用電解整流器充電於蓄電池的電路

比上面一種多若干優點的電池是用鉍(Tantalum)極和鉛極，浸在硫酸中而成的。鉍整流器較鋁整流器不受溫度改變的影響。圖

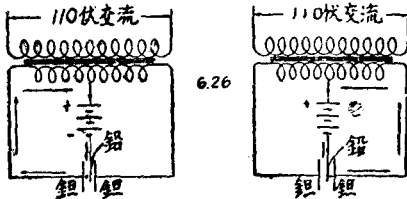


圖 6.26 鉍極整流器圖

6.26 是用一個有兩鉍極和一鉛極的鉍整流器充電的電路，其中用一隻變壓器來供給適當電壓於蓄電池。鉍鉛電池也可以用四隻接連，像圖 6.25 中

的鋁鉛電池一樣，鉍電極的接法和圖中鋁電極的接法相同。

電解整流器用在不過 2 或 3 安培的小電流，成績很好，但不適用於大電流，因為電極處會發熱和發氣之故。

6.30. 振簧整流器 (Vibrating reed rectifiers)——圖 6.27 所示的整流器是用一個磁鐵來動作的，其一極為永久磁鐵，另一極

為交流電磁鐵。當交流磁鐵中電流的方向是使它的極性和永久磁鐵的極性相同時，則兩個磁場合在一起，把銜鐵吸了過來。於是這



圖 6.27 振簧整流器

銜鐵使觸點觸合而使電流通過電池。當交流磁鐵中的電流反向時，它的極性和永久磁鐵的極性相反，兩磁場就

互相中和，把吸着的銜鐵釋放，由彈簧片把它拉回，接觸斷脫。因此這銜鐵祇許電流在半週中流過電池。但祇有在彈簧振動的固有頻率和交流的頻率相同時，這動作才可滿意。有一個校準螺旋可用以調準彈簧的張力，使與電流同步而振動。

振簧整流器像電解整流器一樣，適用於以低流率充電於電池，而不適用於重電流。對於重電流，最好用電動機發電機組，係用一架交流電動機驅動一架直流發電機，在適當的電壓下給出電流，以供電池充電。

6.31. 乾板整流器(Dry plate rectifiers)——已經發現某幾種材料以乾板形狀而相接觸時，祇許電子向一方流過接觸面，但是阻礙或竟完全阻止其反向流動。銅片和氧化銅片就可作為一個例子。電子流入氧化銅片比流入銅片更為容易。因此就可以用銅和氧化銅片交疊而做成一種整流器，銅片是負極而氧化銅是正極。這一種整流器可用以充電於蓄電池，其接法和電解整流器相同。

乾板整流作用的原因還未曾明瞭。或者這種作用和電解整流器作用之間有一定的關係。這原因大概是在分子的構造，一種物質

的分子有阻礙電子運動的性質，另一種却讓電子自由運動。

6.32. 共振 (Resonance)——前已講過，感抗使電流滯後(第 6.11 節)，而容抗使電流越前(第 6.19 節)。假定把一個使滯後十度的感抗和一個使越前十度的容抗串聯了，它們就互相中和，而電流也就和電壓同相。一個錄卷和一個電容器串聯了，我們可把它們調準到使一個的效應恰正和別一個的中和，那時電流和電壓的相就不滯後也不越前。

感抗和容抗串聯後會互相中和的一事實，可由下面實驗來顯示：一個有 12 微法拉或較少電容的容電器，一個至少有 0.6 亨利的可變電感和一個電燈相串聯。關於容電器可用電話中所用的並聯容電器，至於電感是一個用 18 號錄繞 300 匝的錄卷，中有直徑 2 吋的鐵心，並配有可動的鐵框。把這電路接到 110 伏特 50 週的普通交流電燈線路上，如圖 6.28。當把這電感錄卷或是容電器加以捷路時，電燈就變暗，這就表示不論感抗或容抗都使電流減少。今把捷路撤去，若把錄卷在鐵心上移進移出，就可使電感慢慢的改變(註)。到了某一個電感值時，那電燈就會點得很亮，表示錄卷的電抗和容電器的電抗互相中和了。若把頻率改變了，那電燈重復暗下，表示感抗和容抗

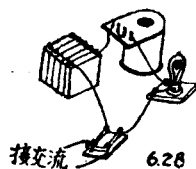


圖 6.28 50週家用電燈線路裏的共振

(註)這實驗中用的電感可以自製。在一隻硬紙筒上繞一個錄卷，並用一個切合這紙筒的鐵心。把鐵心在紙筒中移出移進，電感量就可變更。紙筒長 12"，直徑 3"，繞錄 1000 匝，用錳鐵或是矽鋼做鐵心。

在某一頻率中和，而在另一頻率則不中和。今再可把電感調準到與容抗中和，以適合這一類的頻率。若交流是發生於一個換流機 (Converter) 或發動機發電機組，連有速率控制的，就能把頻率改變。

上面這個實驗也就說明了收音機的調諧 (tuning) 情形。調諧不過是調準電感或電容，使對於某一頻率獲得共振而已。

把等量的一個容抗和一個感抗串聯或是並聯以後，就得到一個共振的情形。

6.33. 串聯共振 (Series resonance) 的方程式——我們試看，

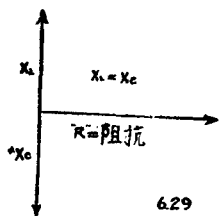


圖 6.29 感抗和容抗相等時，阻抗便等於電阻

當兩種電抗互相中和時，頻率是怎樣。當感抗和容抗恰正互相中和時，電流的僅有的障礙是電阻。這時電路裏的阻抗就等於電阻，如圖 6.29。這兩種電抗相等而相反。它們的代數和是零，我們得下面的公式。

$$X_L = X_C$$

或

$$X_L - X_C = 0.$$

X_L 是感抗， X_C 是容抗，都用歐姆計算。 L 是電感以亨利計， C 是電容以法拉計， f 是頻率以每秒鐘的週數計算。

第 6.10 和 6.20 節所得 X_L 和 X_C 的值是

$$X_L = 2\pi fL$$

又

$$X_C = \frac{1}{2\pi fC}$$

代入上式中，

$$2\pi fL - \frac{1}{2\pi fC} = 0$$

去分數，

$$4\pi^2 f^2 LC - 1 = 0$$

移項得，

$$4\pi^2 f^2 LC = 1$$

各用 $4\pi^2 LC$ 除，得

$$f^2 = \frac{1}{4\pi^2 LC}$$

兩邊開方，得

$$f = \frac{1}{2\pi \sqrt{LC}}$$

這一個公式，可以叫做無線電中的基本方程式。從這個方程式導出許多方程式，用以計算柵極和鈹極電路調諧時的振盪電路的波長，以及波長計，濾波器和天線電路的波長。

6.34. 共振電路的波長——在任何形式的波動中，一波的長度乘每秒鐘的波數等於速度，即一秒鐘內波所行的距離。每秒鐘的波

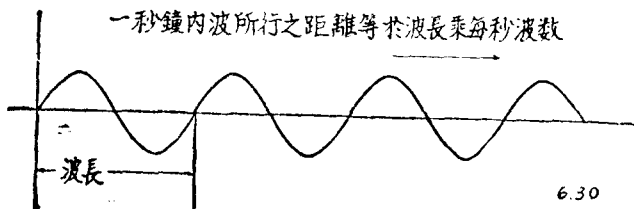


圖 6.30

數就是頻率。因此波長乘頻率就等於速度(圖 6.30)。我們可用方程式來表出。令 λ (希臘字母, 讀音勒姆達 Lambda) 代表波長, v = 速度, f 頻率, 於是

$$f\lambda = v$$

$$\lambda = \frac{v}{f}。$$

電磁波的速度是每秒三萬萬米。將此數代 v 得,

$$\lambda = \frac{30,000,000}{f}$$

今代入 f 之值, 得

$$\lambda = \frac{300,000,000}{1/2\pi\sqrt{LC}}$$

將此分數式簡化得,

$$\lambda = 300,000,000 \times 2\pi\sqrt{LC}$$

2π 的近值為 6.28,

$$\lambda = 1,884,000,000\sqrt{LC}$$

1,884,000,000 這個數目是一個近值。

式中的 L 是以亨利計算, C 以法拉計算的。為更便利起見, 可將 L 改為微亨利, C 改為微法拉。但改了以後, 切不可將上式右方的值改變。要把 L 變為微亨利, 須用一百萬來乘, 把 C 變為微法拉, 也須用一百萬來乘。所以在根號下的數目就須用一百萬乘一百萬來乘。現在這數目既在根號之下, 就相等於用一百萬來乘那公式的右邊。今要使值不變, 我們須將這一邊用一百萬來除, 即把六個零

劃去就得。由此得

$$\lambda = 1,884 \sqrt{LC}$$

這是計算波長的公式，L 是以微亨利計算，C 是以微法拉計算的。

【例】 將一個和 12 微法拉容電器串聯的線卷接到 60 週的電路，問要多少電感，才能發生共振？

【解】 12 微法拉 = 0.000,012 法拉

將 f 和 C 的值代入下面的公式

$$f = \frac{1}{2\pi \sqrt{LC}}$$

得

$$60 = \frac{1}{2\pi \sqrt{0.000,012L}}$$

解上式得

$$L = 0.6 \text{ 亨利(近值)}$$

【例】 一無線電路中的一個電感是 1,000 微亨利，電容是 0.001 微法拉。問這電路將在那一個波長發生共振？

【解】 $\lambda = 1,884 \sqrt{LC}$

$$\lambda = 1,884 \sqrt{1,000 \times 0.001} = 1,884 \text{ 米}$$

【例】 波長是 300 米，問要多少電感與一個電容為 0.001 微法拉的容電器串聯，才能發生共振？

【解】 $\lambda = 1,884 \sqrt{LC}$

$$300 = 1,884 \sqrt{0.001L}$$

解 L 得，

$L = 26$ 微亨利(近值)。

6.35. 串聯共振電路中的電壓——在一串聯電路中,其線卷上或電容器上的電壓,都比施於該電路的電壓大得多,這是一件極有趣味的事。例如在共振試驗(第 6.32 節)所用的電路裏,電感是 0.6 亨利。若將這 L 的值代入下式,

$$X_L = 2\pi fL$$

就得感抗 X_L 約等於 226 歐姆。這電路既在共振情形下,容抗當然也是 226 歐姆。假如電路中的電阻是 10 歐姆,而在外面兩電端間施以 100 伏特的電壓,此時因線卷和容電器的兩電抗互相中和,電流所受的有效阻礙只有電阻,由歐姆定律,得

$$I = \frac{E}{R} = \frac{100}{10} = 10 \text{ 安培}$$

既然這是一個串聯的電路,各部份的電流當然是相同的。任何一部分上所受的電壓就等於電流乘該部分的阻抗。線卷中的阻抗,因為電阻很小,實際上就等於線卷的電抗。因此該線卷上的電壓等於

$$226 \times 10 = 2260 \text{ 伏特。}$$

加在容電器上的電壓當然也是 2260 伏特。這個電壓是有效電壓。最大電壓還要高些。雖然線卷和容電器上有這樣很高的電壓,但容電器的電壓無時無刻不同線卷的電壓抵抗着。換句話說,這兩電壓的相是相反的。

6.36. 串聯共振電路中的電子——在共振電路中,電子的情形

是怎樣呢？一流電子在全路中往復的湧着。只須在電路外端加一小電壓，就可保持這流電子的浪湧。因為線卷有電抗的緣故，要電子湧過線卷，就需要極大的電壓，幸而線卷的兩端間有着很大的電壓如上節所述。容電器因為有電抗，所以它的兩端間也有很大的電壓。所以線卷和容電器之間有大量的電能往復遷移。這種浪湧一經發動之後，祇要很小的外力，就可使它繼續不息。這所需的外力只要能尅勝電阻已足。我們說這由線卷和容電器所構成的電路部份是在振盪着。

我們試用力學上的情形來作譬喻。譬如有一個很重的大孩子要盪鞦韆，叫一個年幼的小孩去把他推動。這幼孩不能一推就把這大孩推得很遠，但鞦韆的動盪却有其固有的頻率。假使這幼孩子照着動盪的節拍把鞦韆推動起來，就可每次推遠一些，直到推得很遠為止。當這幼孩做到這一步程度時，以後他祇要費一點很輕微的力，只要勝過摩擦力，就可使那大孩子動盪不息。在這樣動作時，那大孩子動盪中所有的能要比小孩子推動中的能大得多了。

鞦韆動盪的固有頻率相當於電路的共振頻率。大孩子的動能相當於線卷和容電器的振盪能。幼孩的輕微推力相當於藉以維持振盪不息的微小外施電壓。幼孩的推力祇要尅勝摩擦力，外施電壓就祇要尅勝電阻。

再像上面的譬喻，假使那幼孩使大孩動盪的推力太快或太慢，就相當於進求信號的頻率不和線卷與容電器電路的固有頻率相同。因此我們就要把鞦韆繩子的長度改變，直到它的振動率和幼孩

推動的頻率一樣。這就相當於把電感或電容量改變，就是把電路調諧，使它固有頻率和收受信號的頻率相合。

6.37. 共振曲線 (Resonance curves) —— 圖 6.31 表示兩條

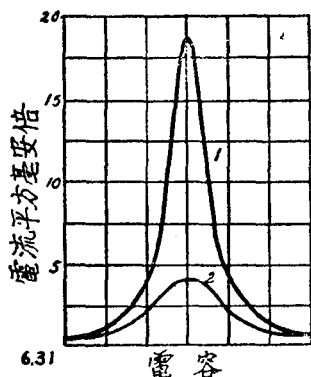


圖 6.31 單個已調諧電路的共振曲線。曲線 2 表示增加電阻後的效應。

曲線，縱坐標代表電流的平方，橫坐標代表電容量。欲求此種曲線，可先調諧一收音機電路使與某一頻率的訊號發生共振，即用一毫安培計量度鈹極電流，而後在相近共振點之時，變更電器之值多次，每次量出鈹極電流。曲線 1 是一有電感和電容而電阻極低時的電路情狀。這條曲線在共振時有一個尖銳的峯頂，頂的兩邊跌落得很急。這就顯出敏銳的調諧 (Sharp tuning)。曲線 2 所示的電路具有曲

線 1 相同的電感和電容，不過其電阻很高。這條曲線顯出電阻的增加使共振時的電流減低。也可看出這條曲線的峯頂，並不峻峭，而是慢慢的平坦下來的。這就表示缺少了調諧的銳度。技術上的結論，便是調諧用電路的電阻必須很低。

6.38. 並聯共振 (Parallel resonance) —— 若把第 6.32 節所述串聯共振實驗所用的線卷和容電器並聯了，再把它們和一電燈泡串聯，而後接到一個 110 伏特 50 週的線路上，那燈泡便將變暗或竟熄滅。同值的電感和電容，在串聯時使燈點得很亮，而在並聯

時却把燈熄滅。這是共振的另一種情形。若把頻率變換了，那燈仍會再亮。電路裏現在所用的電感和電容量固然把 50 週的電流截斷了，但不能截斷一個不同頻率的電流。例如，將這原來接於 50 週電源的電路接到 100 週的電源上，電流就會通過。這一個實驗說明無線電電路中所用濾波器(filter)的作用，使某一頻率的信號濾去而讓其他頻率的信號通過。

3.39. 並聯共振電路中的電子——前已講過，在串聯共振電路中，感抗和容抗互相中和，因此使線路電流和電壓同相而線路電流之值也就和沒有電抗時的值相同。有一流電子浪湧過線卷，出入於容電器，並且浪湧過線路。在串聯共振電路中的燈點得很亮，因為它是在電子

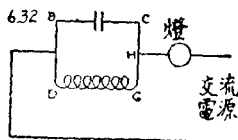


圖 6.32 並聯共振

流的路徑裏。假使照圖 6.32 把線卷和容電器並聯了，它們便自成一個通路 CBDG。電子往復浪湧過線卷，並出入於容電器，像在串聯時的情形一樣，但現在那盞燈却不在電子流的路徑中。電子繞着 CBDG 電路而往復浪湧，便阻礙着有同頻率的任何電子流流過線路。在線卷和容電器的連接點，電壓高而位相相反，像在串聯時的情形一樣。

在任何一霎時，除了在換向之頃，一流電子或從 C 流到 G，或從 G 流到 C。姑假定是從 C 流到 G。這時在 H 處有一些電子從容電器流出到線路中去。同時約有同數的電子從線路依 HG 的方向流入這並聯電路中。結果是從並聯電路流到線路去的電子流極小。

線卷的電抗和容電器的電抗愈近於相等，流在線路中的電流愈小。因此在線卷和容電器電路中的電流要比線路中的電流大許多倍。假使共振電路的電阻為零，那末在感抗和容抗相等之時，線路電流也變為零。

假使線卷和容電器以及所有連線的電阻 都能真的等於零，那末在共振的頻率時，容電器中的電流可以確正等於線卷中的電流，而線路中沒有電流。這樣就成爲一個完善的濾波器。事實上電阻當然不能減低至零，但在無線電電路中，却能使電阻在和電抗相比時顯得很小，這樣，離理想的共振情形也差得不多了。

6.40. 並聯共振的方程式——在並聯共振電路中，線卷和容電器的電抗相等而相反，像串聯共振中的情形一樣。因此並聯共振也可以用串聯共振所用的方程式(第6.33節)。這在電阻極小時是對的。

$$f = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$$

及
$$\lambda = 1884\sqrt{LC}$$

【例】 和一個電容爲 0.0005 微法拉的容電器並聯的電感要多
少，才能在 300 米的波長時起共振？並求感抗和容抗。

【解】
$$300 = 1884\sqrt{0.0005L}$$

解上式，得
$$L = 50 \text{ 微亨利 (近值)}。$$

$$50 \text{ 微亨利} = \frac{50}{1,000,000} \text{ 亨利}。$$

$$f = \frac{v}{\lambda} = \frac{300,000,000}{300} = 1,000,000$$

$$X_L = 2\pi fL = 6.28 \times 1,000,000 \times \frac{50}{1,000,000}$$

由此得 $X_L = 314$ 歐姆

$$X_C = \frac{1}{2\pi fC} = \frac{1}{6.28 \times 1,000,000 \times \frac{0.0005}{1,000,000}}$$

由此得 $X_C = 318$ 歐姆

上面所得兩個電抗之值略有不同，因為 50 微亨利是一個近似值。假使用準確的值來算，兩電抗的值是相等的。

6.41. 各種電路的頻率——交流電因用途的不同，所用頻率的差別很大。市上點燈和電力用的頻率照例都是每秒 50 週。25 週電流有時用於電力，但不宜於點燈，因為用了這樣低的頻率，燈光就有些閃爍不定，兩次換向間的時間是一秒的五十分之一，當電流減到零時，已足以使燈絲冷卻，而燈光也不免減暗些。若用較快的交變，燈光是恆定的。使電話聽筒動作的交流具有成音頻率 (audio frequency)，低音唱歌者的最低音每秒鐘振動不到一百次，而女高音的頻率可以在 1000 以上。人類口聲的頻率範圍從 80 到 1096，而人耳所能感覺聲音的頻率，高的可以到 20,000，低的可以到 30 左右。這種頻率是成音頻率的限度了。可是人耳對於 10,000 到 20,000 頻率的靈敏性是微弱的，在無線電工程中，成音頻率常以 10,000 為上限。無線電收音機的天線所收得的振盪太快，以致在電話聽筒中不能成音。這樣快的頻率可說是射電頻率 (radio frequency)，射頻的範圍通常是每秒 20,000 週以上，高至 20,000,000 或

更高。頻率20,000的波長是15,000米(見第 6.34節), 頻率20,000,000的波長是 15 米。

6.42. 低頻率和高頻率的比較 — 交流的原理可應用到各種頻率的電流。然而, 有幾個效應在射頻電流比在較低頻電流格外顯著。這種差異是由於高頻電流所經電路的感抗比低頻電流的較大, 而容抗却較小之故。在無線電電路中, 就是很少幾匝線的電感也應重視的。射頻電流會流進一個能阻止低頻率電流流過而電容量很小的容電器。

我們知道感抗是依磁力線的變率而定。頻率愈高, 磁力線的變更愈快, 因此感抗是和頻率成正比的。例如, 一個線卷有 1000 微亨利或 0.001 亨利的電感, 假使頻率是每秒 500 週, 感抗便是

$$X_L = 2\pi fL = 2\pi \times 500 \times 0.001 = 3 \text{ 歐姆}$$

但頻率若為 500,000 時, 同一線卷的電抗就變成 3000 歐姆。

一個容電器的電抗是和頻率成反比的。換句話說, 頻率愈高, 流進某一容電器的電流愈大。例如, 有一個 0.001 微法拉或 0.000,000,001 法拉電容量的容電器, 假使頻率是每秒 1000 週, 其容抗是

$$X_C = \frac{1}{2\pi fC} = \frac{1}{2\pi \times 1000 \times 0.000,000,001}$$

$$= 100,000 \text{ 歐姆左右。}$$

但頻率若為 1,000,000 時, 同一容電器的電抗却祇有 160 歐姆。

線卷間的互感應對於射頻電流比對於低頻電流大, 理由是互感應同自感應一樣, 都要看磁力線的變率而定的。同樣的原理也可

應用於渦流。任何一塊金屬，像銕鏈，放在收音機高頻部份的一個錄卷的磁場中，這金屬裏就感生了渦流，結果能的損失很大，而調諧也減少選擇性了。假使這金屬是在音頻部份中，失能就小得多，因為頻率減低之故。

對於射頻電流，一個小錄卷的作用可以好像是有一個電容量很低的容電器和它並聯着的。錄卷的錄匝就作用如容電器的金屬片，錄的絕緣質作用如介質。這種電容量叫做錄卷的分佈電容 (distributed capacity)。分佈電容有時也能夠使錄卷在收音電路中調諧到共振而不必另用容電器。

高低頻率之間的另一個不同點，可在一個有分接頭的錄卷中見之。若把分接頭接到高頻率電路上，使在錄卷端的幾匝錄不包含在電路中，則在電路外的錄卷部份內可以感生振盪。事實上，因為它有分佈電容之故，它對於某一頻率可起共振。在這錄卷的死端內的振盪發生很大的功率損失。

6.43. 介質中所損失的功率——無錄電電路中，容電器片間絕緣質的作用，因為高頻率電流之故，是極重要的。在荷電的導體之間的絕緣質就是介質。電力作用過絕緣質或介質。介質的作用最好用一個力學的例子來說明。譬如有一隻圓筒裝滿着水，中間用橡皮膜片隔開，如圖 6.33, 6.34 和 6.35。

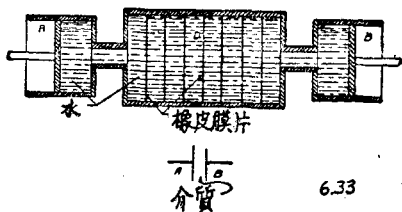
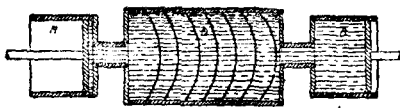


圖 6.33

一隻圓筒裝滿着水，中間用橡皮膜片隔開，如圖 6.33, 6.34 和 6.35。



電子欲從A流到B

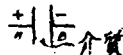
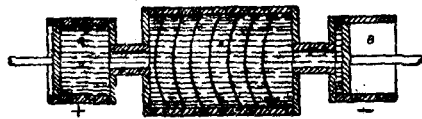


6.34

圖 6.34

有兩個較小的圓筒和第一個相接，每個小圓筒都裝着一個活塞。中間的一個圓筒代表介質，兩邊的小圓筒當做容電器的兩個片子。圖 6.33 表示沒有荷電時的情形，在橡皮膜上沒有脅變。圖 6.34

中，活塞 A 已經推進，把水壓入中間的圓筒，同時將等量的水排出而入於 B 筒裏。這就代表一個容電器的 A 片是負而 B 片是正。有一個電動勢迫使電子從 A 流到 B，這個勢力使介質發生了脅變，猶之水壓力使橡皮膜發生脅變一樣。假使把壓力從活塞 A 上移去，橡皮膜就向後把活塞 A 推回到原來的地位。今若把壓力在 B 到 A 的方向內加在膜片上，則膜片在相反的方向內受到脅變，如圖 6.35 的情形。假使把這樣的動作重演着，活塞上就交番的受着壓力，猶之容電器片子受着交變電動勢



電子欲從B流到A

6.35

圖 6.35

一樣。假使橡皮膜片的彈性完善，又沒有磨摩擦力的話，它們會給回被伸張時所用去的一切能量，但實際上不免有些磨阻，因此就得耗損些能了。同樣，容電器中的介質也耗費了電路中一部份的能量。這能量是為改變介質脅變的方向而用去的，就叫做介質損失

(dielectric loss)。這種效應可以和交流電磁鐵的效應相比，所用的能是為改變鐵磁性的方向而損失的。

假使把一個毫安培計同一個電池和容電器串聯了(圖 6.36)，當電鍵按下時，安培計上指針會突然偏轉，但立刻又回到零點。這就表示因片上荷電而有一霎那的電流經過。圖 6.36 中，電子欲從 B 流到 A，在介質中就產生了一個電的脅變。這是一種電的位移，那一霎時的電流就叫做『位移電流』(displacement current)或『介質電流』。

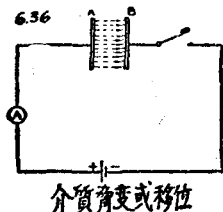


圖 6.36

在介質中失能的另一原因是漏電。沒有一種介質是完善的絕緣質，最好的絕緣質不過是漏電慢些而已。就用上面裝滿水的圓筒來說，這是很明白的，假使橡皮膜片內有微小的孔，使水慢慢的漏過，就會有失能；因為假使有充分的時間讓水慢慢漏過，足以使膜片上所受一切的壓力解除，那膜片就不能把活塞推回了。像這種情形，所有的能會完全耗失在中間的圓筒中。同樣是很明顯的，假使在電流的兩個反向間，有充份的時間給所有過餘的電子漏過介質，就沒有能夠回來，所有的能量都在介質中損失了。頻率愈高，兩反向間給電子漏過的時間愈短，因此能的損失也愈小。這種是漏電的損失。真正的介質損失的耗費在改換介質脅變方向的電功率，它是隨着頻率而增加的。但實驗所示，容電器的總損失和頻率無關，而與電壓有關，大致隨電壓的平方而增加。

6.44. 皮膚作用(Skin Effect)——前面已講過，電流產生一個和它流動方向垂直的磁場。當電流從零增加到最大時，這磁場隨之伸展。圖 6.37 表示一段導線的斷面。譬如有一個電動勢使電流依着軸線上長箭頭所指的方向進行，應用右手定則，就可知道磁力線是從軸上方的紙中出來，向着軸下方的紙裏進去。當磁場增強時，在導線中就感生了一個反對這樣變更的電動勢。例如，在 ABCD 一段中，感生的電動勢欲在虛線箭頭所示的方向內產生磁力線，從這一段紙中進去而從 EFGH 一段紙中出來，換句話說，欲減弱線

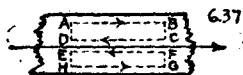


圖 6.37

中電流所生磁場的強度。這感應電動勢阻礙在線的中心處的電流而幫助近於表面的電流，因此，電流在線的外層就先中心部份而達到它的最高值。電流過了它的最高值以後而慢慢減低到零的當兒，感應電動勢先使電流在線的表面達到零。這種情形可以應用右手定則和楞次定律來證明，感應電動勢的方向祇不過是同上面所說的相反。結果，在導線中心的電流比在表面上的滯後，頻率愈高，磁場改變得愈快，在導線中心的電流滯後也愈甚。這滯後效應發生於導線的全部，不過愈趨中心愈為增加。這種效應在常用頻率的電流中是不大的，但在射頻電流，近於線中心的電流的滯後甚大，在電動勢反向以前，它不能達到其最大值。結果，在表面的電流比在中心的強。頻率如果極高，電子流差不多完全近於線的表面，這種高頻率電流的作用叫做皮膚作用。

既然一切射頻電流都在表面附近流行，所以導線的表面愈大

愈好，尤其在天線電路中。因為這個理由，導體常用細的線股絞成。各線股都要塗瓷漆，否則電流就要流過接觸點，使電能變為熱而損失。這樣反有增加導線電阻的作用。沒有塗漆的絞股纜或許反而比同粗細的實心線效率低遜。薄銅管，或者不良導體，如鐵線，面上鍍一層銅，很適用於射頻電流。射頻電流幾乎全由銅層裏流過。

線的直徑愈大，皮膚作用也愈大，因為在電動勢反向以後，到導線中心感到這種效應止，需要經過較長的時間。還有，導電性愈佳，皮膚作用愈大，因為表面上的電流是隨導電係數而增加的。

皮膚作用的一個效果是增加導線的有效電阻。既然實際上一切電流都在近表面流行，結果就好像是線的截面積減小了一樣。導線的有效電阻對於射頻電流或許比直流電的電阻大許多倍。求有效電阻可以用電功率公式，

$$P = I^2 R$$

若把電功率的瓦特數除以電流的平方，結果就得有效電阻。

上面這幾種結果對於無線電電路中所用線卷的繞製有重要的實際應用。增粗導線，對於高頻電流所減少的電阻，並不像對於低頻電流或直流所減少的程度一樣。例如在低頻率電流(50週)用28號線繞的線卷，比用22號線繞成同樣直徑和同樣匝數的線卷，電阻大約要大四倍。如果電流的頻率是500千週(500,000週)或更多，那末第一個線卷的電阻比第二個所增者極微。一個線卷用了較粗的線雖稍微好些，但不得不把各匝擠緊，以求適合所限定的線卷大小。不過這樣却增加了線卷的自感應或電抗的效應。間隙繞法可以

把這種效應減低。實際上對於某一個大小的錄卷，用較細的錄，例如 26 號，間隙繞製，匝間的空隙約等於錄的直徑，結果比用粗錄而緊繞的好。

問 題

1. 一個錄卷在兩磁極的磁場中轉動時，為什麼電動勢是每半轉而反向的？
2. 週的意義是什麼？頻率的意思是什麼？2 週的電流每秒鐘交變多少次？
3. 交流電所生的磁場和直流電的磁場有什麼不同？
4. 若一個普通感應式或電化式錄卷的主線卷中的電流是直流，副錄卷中怎樣能感生電動勢？假使主電流不流時，會不會感生電動勢？
5. 若一個變壓器的副錄卷所感生的電動勢是 220 伏特，問副錄卷在何速率下截割磁力線？
6. 假使第 5 題中主電流的頻率是 60，若頻率減到 25 時，副錄卷電動勢有什麼改變？
7. 副錄卷中應電變的速率和主錄卷中電流的速率比較如何？
8. 策動發電機的電樞，在通路時為什麼要比斷路時需要更大的力？
9. 假使把一隻 6 伏特的電燈泡，一個錄卷和一組電池並聯了，當電路斷時，會有電流浪湧過燈泡。若用一條和卷錄同粗細和同長度的直線代替錄卷的位置，可有這種現象嗎？為什麼？
10. 在一個有一毫亨利電感的錄卷中，若電流的頻率是每秒 1 安培，問感生的電動勢是多少？若電流的頻率是每秒 5 安培，又為多少？
11. 在一個有 1 毫亨利電感的錄卷中，若頻率是 1000，其電抗為多少歐姆？若頻率是 1,000,000 呢？射頻變壓器比音頻變壓器的電感照例為少。試述

一個理由以說明這個差別。

12. 什麼是相位差？在何種情形下，電流和電壓異相？在何種情形下，電流和電壓同相？

13. 一個線卷有 2 歐姆的電阻和 10 歐姆的電抗，問它的阻抗多少？

14. 交流的有効值是什麼意義？

15. 交流為什麼比同電壓的直流需要更好的絕緣物？

16. 說明與一個容電器串聯的燈泡在交流線路上也能點着之故。

17. 兩個容電器用同面積的金屬片做成，片間的距離也都相等，但一個是用空氣作介質，另一個是用雲母片。問那一個的電容量較大？又那一個的介質強度較高？

18. 一個 0.001 微法拉電容量的容電器在頻率為 1000 時的電抗多少？在頻率為 1,000,000 時又多少？

19. 電路中有一個 100 歐姆的容抗和一個 5 歐姆的電阻，問阻抗是多少？

20. 假使容抗是 100 歐姆，感抗 150 歐姆，電阻 5 歐姆，問阻抗多少？

21. 兩個 0.001 微法拉電容量的容電器並聯了，問它們的聯合電容量多少？假使串聯了，它們的電容量又多少？

22. 一個 0.001 微法拉容電器和一個 0.002 微法拉容電器並聯了，問它們的合電容是多少？假使串聯了是多少？

23. 一電路中有 100 伏特的電動勢，10 歐姆的電阻，250 歐姆的感抗和 200 歐姆的容抗，問電流有多少安培？

24. 試求 23 題中的有效電功率，視在電功率和功率因數？

25. 一個線卷和一個 0.0005 微法拉的容電器串聯，要多少電感才能在波長 200 米成一個共振電路？在波長 800 米是多少？

26. 一個 30 微亨利的固定電感和一個可變容電器合用，如要能調諧於

200 至 550 米的波長範圍，問最大和最小的電容重要多少？

27. 一根導線爲什麼對於高頻率的電阻比直流電的大？一根導線爲什麼對於射電頻率的電阻比成音頻率的大？

28. 共振電路中加在容電器上的電壓爲什麼比電源線路的電壓大？

29. 共振電路中電阻的效應如何？

30. 220 米波長的頻率是多少？

31. 頻率 550 仟週的波長是多少？

32. 兩個線卷的互感應爲什麼在射電頻率電流時比在成音頻率電流時大？

33. 爲什麼使電路中的射電頻率部份與金屬物質隔離，比電路中的成音頻率部份更爲重要？

34. 何謂『皮膚作用』？

第七章

檢波器與放大器

人們在電話中說話時，在電話線上所傳過的不是語聲而是電流。這電流是交變的，電流中的變動與發話機邊語音的變動相應。在收話機中，電流所產生的聲音變動正和發話機端所生者相似。收話機的作用因此便等於一具檢波器(Detector)，將電流的『能』轉變為聲的變動。

語聲由無線電發送時，傳過空中的並非是語聲，而是電磁的振動，即電波。電波的行爲和電流通過電話線中時極相像。電波中的變動和發送機端的聲的變動相應，如此『調制過的』(Modulated)電波便在無線電收音機的共振電路(Resonating circuit)中產生電脈衝，而作用於電子管上。電子管將這些電脈衝變為音頻(audio frequency)電流，即在聽筒中或揚聲器中發出聲音。

7.1. 電話聽筒 (Telephone Receiver)——電話聽筒或受話器的構造見圖 7.1。所用磁鐵是鋼質的永久磁鐵。磁鐵的每一極上繞有一個以很細的絲包線或漆包線繞成的線卷。膜片是軟鐵製的。電流在線卷中流行時即發生磁力線。此磁力線的方向如和磁鐵所有者同向，那末磁鐵的強度便增高；如電流取相反的方向流行，磁鐵的強度便減低。如流行於線卷中的不是直流而是交流，那末當電

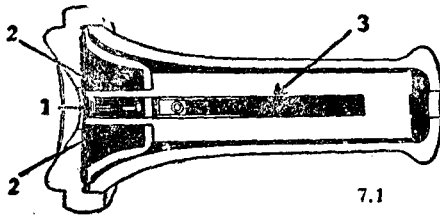


圖 7.1 電話聽筒的構造：1.膜片 2.線卷 3.磁鐵。

流過波的前一半時，磁場被加強，在後一半時磁場被減弱。磁場加強時，膜片被磁鐵所吸引，減弱時膜片被釋放而彈回。所以膜片對於每一

週波便振動一次。電話線中電流交變的頻率與發話機中使膜片振動的音調相應，而電流強度的變更則與聲波振幅的變更相應。如是，電流使聽筒膜片起振動，與話筒膜片的振動合拍，因而使空氣振動而發出聲音。

電話聽筒與任何電磁鐵一樣，它的磁化力係與線卷的匝數和電流的強度成正比的。所以要增加聽筒的靈敏度，可增加其磁極線卷的匝數。無線電收音用的頭戴聽筒，一般都比有線電話用的聽筒有較多匝數。線卷中的匝數愈多，電阻自然就增加，不過要記住，靈敏度的增加並非由於電阻的增加，而是不顧電阻的增加。電阻的增加固然是一種阻礙，但加多匝數是無法避免的。

聽筒是檢探電流用的一種非常靈敏的器具。據肯納萊 (Kennelly) 的實驗所得，祇要有 .044 微安培的電流 (約一安培的四萬萬分之一) 在聽筒線卷內流過，便能在聽筒中聽出聲響。故聽筒內所耗的電能極為微小，只有數千萬萬分之一瓦特。

7.2. 微音發送器 (Microphone transmitter) —— 圖 7.2 示一簡單的微音器，由兩塊碟片夾着碳屑而成，與一付聽筒和一個乾

電池相串聯。當碳片被壓攏之際，碳層的電阻減低，電流的強度便增高。當壓力釋放時，碳層的接觸電阻加增，於是電流便減小。如是電流的變動便在聽筒中發生格勒一響。聽筒所發的聲響比直接磨擦兩碳片而得者響得多，這便是微音器與聽筒連接時能放大微小聲響的一個證明。

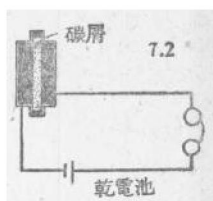


圖7.2 簡單微音器

這也就解釋了廣播用微音器 (Broadcasting microphone)



圖7.3 標準廣播用微音器的剖面

的原理。聲波使膜片振動。振動的膜片調制一個電流，使電流的頻率與聲調相應，而電流強度的改變與聲波的振幅相應。此電流經一變壓器而

作用於調制管(modulator tube, 說明見第九章第 9.9 節)的柵極上,使產生電壓的變更。如果畫一張圖出來,便會表示電流的變動與聲的變動相應,如圖 7.4 所示。

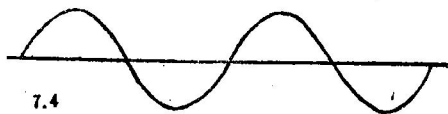


圖7.4 電流的變動與聲的變動相應

7.3. 在無線電接收中
為何須先將電流整直 ——

在有線電話中，我們已知道聽筒的膜片是由交流電所振動的。這電流交變的頻率與作用於發話機上聲波的頻率相同。聽筒的膜片便依這線路電流的頻率而振動，於是在空氣中發出的聲波，與作用於發話機上的聲波有一樣的音調和音品。

在無線電中，因為射電振盪的高頻率之故，情形便不同了。如將聽筒直接在天線電路中，那膜片因為它的慣性之故，將不能依照天線電流的頻率而振動。即使它能依照這樣高的頻率而振動，並使空氣也產生相應的振動，可是人們的耳朵仍舊聽不出這種聲音，因為這已遠超出人耳靈敏度所及的最高音調了。

在無線電的發送中，不論是電話或是等幅波的電報，先是由一個振盪器產生等幅波 (Continuous waves)，就是如圖 7.5 所示有



7.5

圖7.5 振盪器產生等幅波

振幅相等的電波。其次是設法將這些電波加以『調幅』(Modulate)，就是使無線電波取聲波的形式。如有一圖代表已調幅的無線電波，而將

這些電波的頂點連接起來，那末所成的一條曲線，便代表聲波的形狀。在無線電報中，射電波有時是用蜂音器來調幅的。在無線電話中，作用於發送機上的聲波將射電波調幅，使它們的最大振幅在聲波的波頂，最小振幅在聲波的波底，如圖 7.6 與圖 7.7 所表示。假如被調幅的電波直接作用在聽筒上，不能使膜

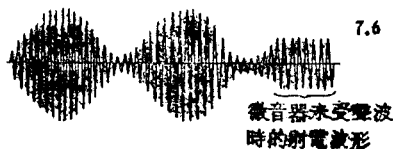


圖7.6 被聲波調幅後的射電波

片起振動，因為它所生的電脈衝是相等而反對的。要了解這一點，可舉一個簡單的比喻。比如有某一長度的擺，它的固有頻率是每秒鐘擺動

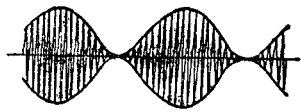


圖 7.7 將射電波各項點連成的曲線即代表聲波的形狀

7.7

一次。假定這擺的兩邊各有一個小槌子在擊着，擊力相等，且每秒鐘各擊一千次。這擺不會起振動，因為兩邊槌子的擊力恰好對消。這與等幅波作用於聽筒膜片的情形相當。現再假定這兩個槌子，仍舊是每秒鐘擊一千次，不過打擊的力量先一記是極重的，下一記是極輕的，但兩方面老是合拍一致。這樣，仍舊不能使擺起振動，因為這兩個槌子的擊力又是互相抵消。這與已調幅的等幅波加於聽筒膜片上的作用相當。射頻電流即使其振幅已被改變到如聲波的形狀，可是在膜片上祇產生相等而相反的脈衝，急速到使膜片不能響應。

圖 7.5, 7.6, 7.7 中的波曲線代表聲波和電磁波的振幅。再要明白些可閱圖 7.8。這音叉的確是在 a 和 b 兩點間往來振動。空氣的分子也跟着音叉而同樣前後的振動。那波曲線 c-d-e 的一段係表明空氣分子運動的狀態。波曲線升

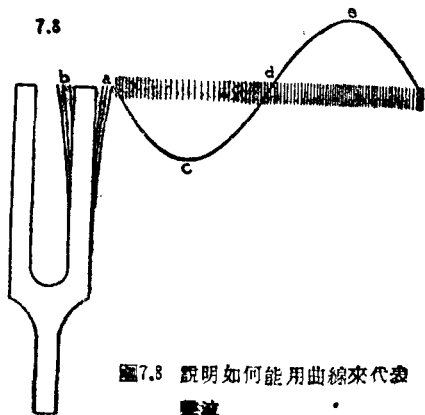


圖 7.8 說明如何能用曲線來代表聲波

7.8

起落下，而空氣的分子則在前後運動，所以這曲線並非是聲波的實際形狀，祇是說明這種運動在某一瞬間的振幅而已。波頂 e 是空氣分子所動最遠之處。波底 c 表示在相反方向內的最大運動。在 d 點沒有運動，此時空氣分子的地位與在靜止時相同。關於電磁波曲線的觀念也應如此，並非是一種實際的圖形，祇是說明一週間各點振幅的大小而已。

爲便於討論起見，在上述的解釋中，係暫時假定射頻電流經過聽筒或揚聲器中磁鐵的錄卷的。實際上，因爲有感電抗係與頻率成正比之故，這錄卷的電抗甚大，因而射頻電流早被磁鐵錄卷所抗止了。若在揚聲器上跨接一容電器，或採用磁鐵錄卷的分佈電容，這種電流就容易通過。

回頭來說上面那個比喻，假定那兩個槌子之一停着不動，另一個則連續地每秒鐘擊一千下，不過每一秒鐘內總是前半秒擊得很重，後半秒輕到幾乎衰滅。這擺就會起振盪，因爲重擊輕擊所起的脈衝和擺的固有振率（每秒鐘振動一次）相應。這一個比喻就說明



7.9

調幅的等幅波在整流之後，虛線
示經過電話聽筒的平均電流

圖 7.9

了調幅過的電流在被整流後所遇的情狀。它所加於聽筒膜片上的脈衝祇在一個方向內，輕的和重的脈衝與膜片的振率相應。整流作用不一定要完全的。調幅過的電流，祇要它的脈衝在一方向比他一方向爲強時，即能使膜片振動。圖 7.9 表示一個已調幅的射頻電流在整流後的情形。

7.4. 電子管用作檢波器——對於用作檢波器的三極管的作用必須透澈明白，因為這是無線電工程中的基礎。我們先從簡單的步驟研究起。

開始需從表示柵壓與鉅流間的特性曲線(閱圖 7.10)說起。我們應時時記住自燈絲射至鉅極的電子流的作用。如使柵極為正極，它便幫着鉅極從燈絲吸引電子。於是流到鉅極去的電子流就格外強大。內中有若干電子進入柵極，但是大部份是穿過柵極而至鉅極的。若把柵極維持於某一定值的正電位，那末老是有恆定不變的電子流到鉅極。茲假定此際的柵電位是 e_0 ，如圖 7.10 所示。那末 i_0 便代表此際的鉅流。如把柵壓增高至 e_1 ，則鉅流即增至 i_1 ，此際電子流較前為強。現將柵壓減低至 e_2 ，即低於 e_0 之值恰等於 e_1 高於 e_0 之值。此際鉅流便減低至 i_2 了。這時電子流較前為小。這裏最緊要的一點便是鉅流降落時所減之值，正等於增高時所加之值。鉅流的平均值是 i_0 。鉅流雖有變更，但祇要把柵電位保持於 e_0 值， i_0 即是鉅流的恆值了。

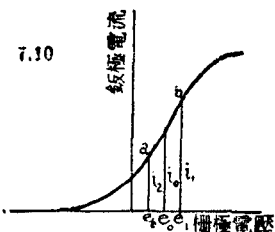


圖 7.10

假設鉅流流過聽筒。那末鉅流的變更對於聽筒有何影響呢？若柵極上為無線電訊號所作用，這柵壓將以每秒鐘幾十萬或幾百萬週的射電頻率而變更。我們已經知道，聽筒的膜片決不能跟上這種急速的變更，即使射頻電流能通暢流過聽筒的線圈。在現在我們所討論的情形中，平均電流是不變的。所以聽筒中所受的效應，與有

一恆定電流流過這錄卷時的情形相同。

平均電流所以會不變更，係因它的作用是在特性曲線的直線部份上發生之故。在圖 7.10 中，曲線的 ab 一段實際上與直線無異。 ab 段既是直線，那末鋇流的變更在 ab 二值之間者，即直接與柵壓的變更成正比。

現利用圖 7.10 的特性曲線，可畫成圖 7.11 中的兩條代表鋇流

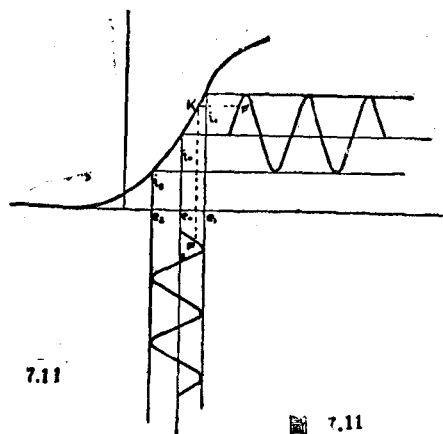


圖 7.11

和柵壓變更的曲線。下面一條曲線表示柵壓的變更。此曲線自 e_0 出發至 e_1 ，回至 e_2 ，繼續複演至若干週；在圖中畫着的是兩週又半。右邊的一條曲線表示鋇流的相應變更，自 i_0 升起至 i_1 ，降下至 i_2 ，繼續複演。對於柵壓曲線上的任何一點，在鋇流曲線上

即有一相應點。如此在柵壓曲線上任取一點 P ，自 P 點引一線（圖中虛線）向上至特性曲線相交於 K 。自 K 點引一線向右。此線與鋇流曲線的相交點 P' 便是相應點。若 P 點在柵壓曲線的第二週波上，那末 KP' 線就應引至鋇流曲線的第二週波上。

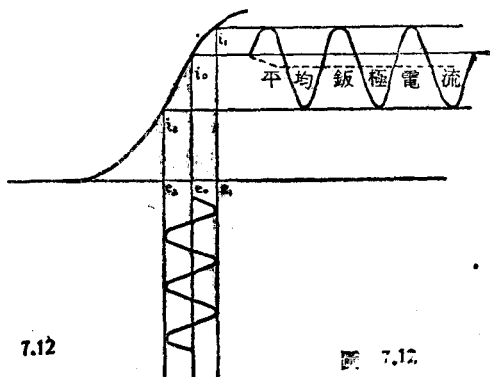
我們現再假定，柵壓在特性曲線上開始於較高的一點，如圖 7.12 中的 e_0 。柵壓仍像以前自 e_0 升至 e_1 ，降落到 e_2 ，繼續重演若干

週。這就使鉅流自 i_0 增至 i_1 ，又降至 i_2 ，繼續重演。這圖表示鉅流降至 i_0 下之值比增至 i_0 上之值為大，即 i_0 與 i_2 間之差大於 i_1 與 i_0 間之差。

我們用電子來解釋這現象。柵壓開始於某一值 e_0 ，靠近曲線的頂部。當柵壓增高之際，電子流祇有微小的增加，因為它已近於飽和點（閱第 5.5 節）。柵壓於是反向而減落到 e_0 之下。此時，電子流大為減小。故柵壓的變更足以減小鉅流。茲假定柵壓振盪於 e_1 和 e_2 二值之間歷若干週，鉅流即振盪於 i_1 與 i_2 兩值間而將平均鉅流減低，即平均鉅流小於 i_0 。

我們試再想像外面來的電波係為頻率為每秒鐘一千次的蜂音器所調幅。如是便有一串串的波列發生。

若干波列歷時僅為一秒鐘的一個分數時，便成為電碼中的一個點子。可是這個點子係由幾千個電磁波所組成。電訊輸入之際，



7.12

圖 7.12

鉅流即降至如圖 7.12 中虛線所示的『平均電流』值。在波列間斷之際，鉅流仍回復至 i_0 值。對於每一波列，流鉅中即有一降一升。這種鉅流的變動是緩慢的，足以使聽筒動作。結果，每逢一個點子時，聽筒中便發生一個短而高的聲音。

假定訊號的輸入是每秒鐘一千個波列，當然間隔也有一千次。每一波列使柵壓發生振盪，說是每秒鐘一百萬次。柵極上起振盪時，鉅流便降到『平均值』，每秒一千次，因為電子管是運用於特性曲線上部接近彎曲處之故。當波列間斷之際，鉅流仍升至原值 i_0 ，每秒一千次。所以鉅流振盪於二值之間，每秒鐘升降各一千次。這

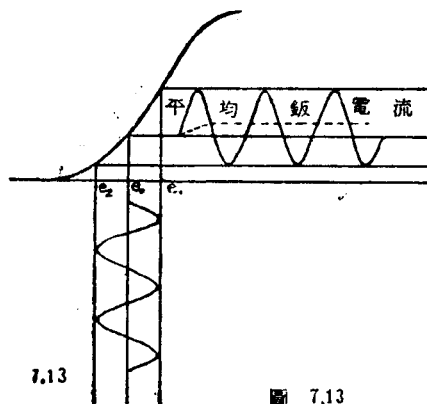


圖 7.13

迅速變動着的電流流過聽筒，使膜片起每秒鐘一千次的完全振動，而發生高音調的樂音。假定這聲音只歷時十分之一秒鐘。這便成為電碼中的一個點子。這個點子係由鉅流的一百次完全振動所組成。

其次，我們要討論電

子管作用於特性曲線下部彎曲時的情形(圖 7.13)。圖示柵壓增加時所起鉅流的變更，大於柵壓減低時所致者。結果，在柵壓振盪於 e_1 和 e_2 二值之間時，鉅流是大於柵壓停在 e_0 時所得之值。換言之，即柵極上的振盪使平均鉅電流增加。現再假定如前，有一串串波列輸入。當振盪電壓加於柵極之際，鉅流增加。遇波列間斷之際，鉅流減小。如此種電脈衝每秒鐘發出一千次，則鉅流會每秒鐘升降一千次，於是聽筒中發出一個高音。聽筒的膜片像以前一樣，每逢一波列，振動一次；每秒鐘內既有一千個波列，膜片亦每秒鐘振動一千

次。由此我們已明了，電子管不論運用於特性曲線的上部彎曲或下部彎曲處，聽筒中均發生聲音，但若運用於曲線的直線部份，就不發生聲音了。要電子管運用於曲線的上部彎曲處，須用高的鉅壓；要運用於下部的彎曲處，則用低的鉅壓，或在柵路中加入電池，以給予柵極正當的負電位。為鉅極電路電池的經濟起見，還是以運用於曲線的下部彎曲處較好。

若遇零電位柵壓將鉅流升至下部彎曲之上，則可在柵路中接入若干串聯的乾電池，將其負電端接於柵極，使柵極變負。不用電池亦可使柵極變負，只要在燈絲電路中接入一電阻即得，如圖 7.14。若將這電阻接在燈絲與燈絲電池的負端之間，並將柵極回路接至電阻上靠近電池的一邊，那末因為電阻中電壓降之故，柵極對於燈絲便是負的了。例如，設圖 7.14 中的 E 和 F 為一 6

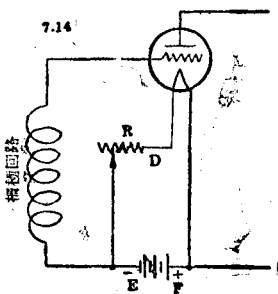


圖 7.14

伏特電池的兩端，那末經過燈絲與電阻 R 的電壓，在實際上也是 6 伏特。又假定燈絲的電阻是 5 歐姆， R 是 1 歐姆，那末電壓降既與電阻成正比，在燈絲上降落的，即自 F 至 D ，將為 5 伏特；在 R 上降落的，即自 D 至 E 則為 1 伏特，因此柵極對於燈絲言，有一伏特的負電位。在實際的電路中，這電阻 R 便是燈絲的變阻器。末了要記住的是這種調準的目的，係在使電子管運用於特性曲線的正當部份。

7.5. 柵路容電器的效應——以上所講的是檢波管的柵電路內

不用容電器時的作用，茲再討論在柵極串連了一個電容器後的效應。其電路如圖 7.15。假定進來的電訊由錄卷 L 和可變容電器 C_2 共振而收得。現在先研究在電波的一週內，電子管與容電器中的情形怎樣。（此時假定柵漏阻並未接上）。在起始半週內，電子從錄卷 L 的 D 端流至 E 端，當然同時有電子從二只容電器的極片 1 流出，經過錄卷 L（由 D 至 E），流入的容電器 C_2 的極片 2 和真空管的燈絲中。這時柵路容電器的極片 1 為正，因為它已失去若干電子了。此時電子為極片 1 所吸引，從柵極衝入極片 2。一部分電子從燈絲上發出，流入柵極。容電器中的絕緣體阻止電子從極片 2 流到極片 1。

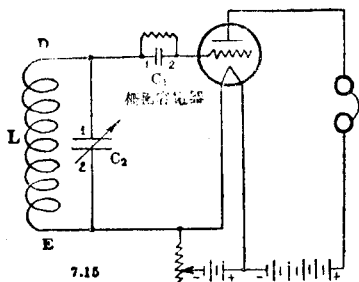


圖 7.15 電子在接有柵路容電器的電路中的作用

在下半週內，電子由錄卷 L 的 E 端流向 D 端，再流到柵路容電器的極片 1，但是極片 2 上的電子却不能退回到燈絲去，因為燈絲也有電子發到柵極，把它們擋回。所以極片 2 在上半週內所收到的電子，此時仍堆積在極片上。在下一週中，同上的情形又要重演，但是此時極片 2 上的電子堆積得更多一些了。如此經過數週之後，極片 2 上的電子愈聚愈多，因此柵極電位愈變愈負，最後阻止電子再從燈絲流到柵極。真空管便因此阻塞，倘不設法使極片 2 上的電

子漏去，就不能再加作用於柵極了。使極片 2 上電子漏去的方法是應用一個極高的電阻，接在燈絲和柵極之間。電阻既高，電子流過極慢，此種電阻便稱做柵漏阻 (Grid leak)，因為它是用來漏去電子到燈絲的。但最好稱它做柵極電阻器 (Grid resistor)。柵漏阻應當有恰好足量的電阻，務使在第二次電脈衝到來之前，適把上次多餘的電子漏去。在普通接收機中，約在一百萬歐姆以上。

上述的全部動作是非常迅速的。在電子堆積在極片 2 上的時間內的一串循環歷時不過千分之一秒鐘，而在此千分之一秒鐘內，已有數百或數千以上的振盪。

7.6, 柵路容電器對於鋇流的效應——我們已知道，當外來訊號不斷衝入時，柵極即逐漸變負。柵極愈負，鋇流愈減。在一整串波輸入之中，平均鋇流即逐漸減小。請閱圖 7.16，即可知柵壓的振盪，已不像沒有柵路容電器時的振盪於 e_1 和 e_2 之間（觀圖 7.11—7.13），而是升至 e_1 ，降至 e_2 ，於是再升至比 e_1 略低之值，降至比 e_2 略低之值，仿此繼續下去。每一週波中，平均柵壓是減小了。結果，鋇流並不像圖 7.11—7.13 中那麼變動於兩個固定值之間，而

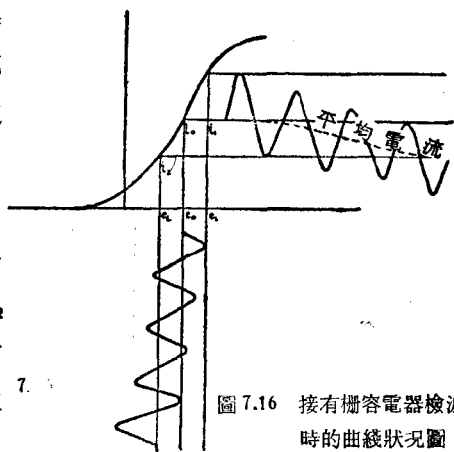


圖 7.16 接有柵容電器檢波時的曲綫狀況圖

是逐週變小的。平均鈹流的變更比沒有柵路容電器時大得多。換言之，即聽筒中的膜片將受更大的效應。

圖 7.16 中所示的作用，係在鈹流曲線的直線部份上。在此使平均鈹流起變動的原因，是變動着的柵壓，而非鈹流曲線的彎曲部份。的確，用了柵路容電器，俾曲線應用於鈹流特性的直線部份是比較有益的。請再參閱圖 7.13，此圖表示不用容電器而柵極上的電振盪使平均鈹流增加，而另一方面，當電子管用了容電器之後，則使平均鈹流減少。如是，電子管如應用於較低的彎曲處，並添加了容電器之後，兩者的效應便可互相中和了。

上面關於電子積聚在柵極上，並由柵漏阻漏去等的討論，都是假定有電子進到柵極裏去的。若柵極比燈絲為負時，便沒有電子會到柵極上去了。欲得柵路容電器的效應，柵極至少須在週波的一部份時為正電位。要柵極為正，不應在柵路中接入電池，而可將柵極回路接至燈絲的正電端。可是這檢波管的柵極可接至燈絲的負端，但應接在變阻器的燈絲方而非電池方。照這樣接法，柵極便與燈絲處於同電位；當訊號輸入時，在每一週的一部份期內，這柵極會變正的。這法則應用於普通作檢波用之剛性管。若以一柔性管連同柵路容電器作檢波之用時，柵極回路便應接到電池一方的燈絲負端。管內因氣體的游離作用，將產生充分的柵流（觀第 5.11 節）。

柵極的起點電壓原是要電子管應用於柵壓柵流曲線的較低彎曲部份（見第 5.8 節）。用了柵路容電器之後，則訊號的檢得，即在這曲線的彎曲處，而不在鈹流曲線的彎曲部份了。

7.7, 調幅電波對於柵極和板極的作用——為便於比較之故，

先論不用柵路容電器時的已調幅電波，對於一個運用於板流柵壓曲線較低部份上的電子管，可有什麼作用。在此也用圖解來顯示一全週內電

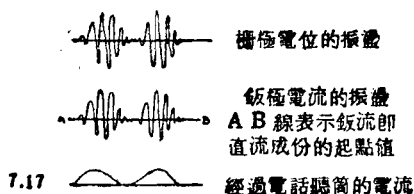


圖 7.17

位變動的情狀(圖 7.17)。為聲波所調幅過的高頻振盪使柵電位在某一起點值上下振盪着，如圖中上部所示者。第 7.4 節中已講過，板流的增加大於減少，板流強度的變更情狀有如圖中中部所示。高頻振盪並不作用在聽筒上，但已如第 7.3 節所述，其電脈衝在一方向大於在反對方向，於是聽筒中便有成音頻率的電流經過，如圖中下部所示。

圖 7.18 表示柵路中有了容電器後的檢波作用。輸入的訊號仍聽和前圖一樣。當此輸入的振盪增強時(圖中 a 至 b)，柵極逐漸變負，有如前述。當輸入振盪減弱時(b 至 c)，柵極便失去了它的負電

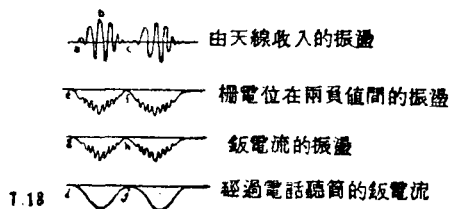


圖 7.18

位。柵極電位的變動如圖 7.18 中第二部的 e 至 f。同時板流則降至起點值之下而再回至原值，如圖中第三部的 g 至 h。板流自 g 至 h 的一串變

動即變成一個成音頻率波，如圖中第四部的 i 至 j。

7.8. 電子管檢波作用的概要——電子管不用柵路容電器也可作檢波用，不過須運於柵壓釵流曲線的上部或下部的彎曲處，而以運用於曲線的下部彎曲處比較好些。用了柵路容電器和柵漏阻之後，便可使它在柵壓釵流曲線的直線部份上檢波。這時電子管就運用於柵壓柵流曲線的下部彎曲處了。對於某一強度的訊號，用了柵極容電器的檢波作用比不用時強些。

接收微弱的訊號時，可將電子管調整到與振盪點相近。如是柵路的電阻可減低，而柵上的作用可以大增，其說明將在第 7.12 節述之。

收受未調幅的等幅波的電報訊號時，可把檢波管調整至振盪，於是與外來訊號產生拍音，其說明述於第 8.26 節。這叫做自差或自拍 (Autodyne) 接收法。若將一管用作振盪器與外來訊號發生拍音，同時另以一管作檢波器，這便叫做外差或他拍 (Heterodyne) 接收法。

7.9. 晶體整流器 (Crystal rectifier) —— 將某種結晶體與金屬導體接觸時，電子經過這接觸點而流行，就有一方向比他一方向更為容易。電子從晶體流到金屬去，比從金屬流到晶體去方便得多。還有一種說法，是接觸點的電阻有一方向比他一方向為高。某種晶體與他種晶體接觸，能產生同一效應。這種組合可作為射電頻率振盪的整流器，因之也即可作為檢波器。可作為檢波器的幾種晶體是方鉛礦 (galena)，黃鐵礦 (iron pyrites)，輝鉬礦 (molybdenite)，黃銅礦 (chalcopyrite)，紅鋅石 (zincite)，斑銅礦 (bornite)，

和金剛砂(carborundum)。

晶體整流器的特性曲線如圖 7.19。由此曲線，可知電流在零點右邊是陡然直上的，在左邊則是近乎零點。換言之，當電壓變遷於零點的左右時，在正電壓下電流非常的強，在負電壓下，電流便很微弱。用品體檢波，聽筒中的情狀與電子管運用於特性曲線的下部彎曲部份時相仿。



圖 7.19

7.10. 電子管用作放大器——第 7.4 節中已講過，電子管用作檢波器能將收入的訊號放大，其板流比柵流強。但檢波管的輸出還可以經另一電子管的作用而更放大。在這過程中，第一管的板流必須作用在第二管的柵極上。一種方法是將第一管的板流導入一變壓器的主線卷中，而將變壓器的副線卷接入第二管的柵路中，如圖 7.20 所示。變壓器主線卷中的交流電使副線卷中感起一個同一頻率的交流電動勢，此電動勢即作用於放大管的柵極上。放大管板極

電路中的輸出電流是由柵極的振盪所影響的，見第 7.4 節。

放大管的作用和檢波管相仿，所不同

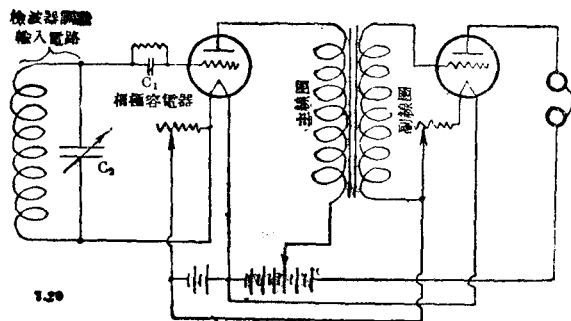
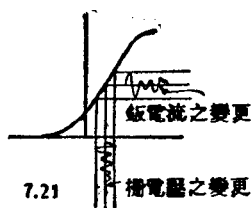


圖 7.20



者，檢波管的作用必須發生於柵壓板流曲線或柵壓柵流曲線的彎曲處。這在放大管就不然。放大要不失真，必須作用於這些曲線的直線部份。理由是檢波管祇要整流出一電流以作用於聽筒便行，但放大管所發出的振盪必須與輸入者同一形式，而振幅較大。圖 7.21 表示若電子管的作用發生於

圖 7.21 板流的變更相應於柵流的變更

曲線的直線部份，那末板流的變動即與柵壓的變動相應。

曲線的直線部份的坡度愈峭，則放大愈大，因為較峭的坡度便是板流對於一已定值的柵壓變動有更大的變動。總之，

如比較兩電子管，其特性曲線的直線部份中有較峭坡度者作放大用較好，如下部彎曲處的彎度愈銳者作檢波用較好。

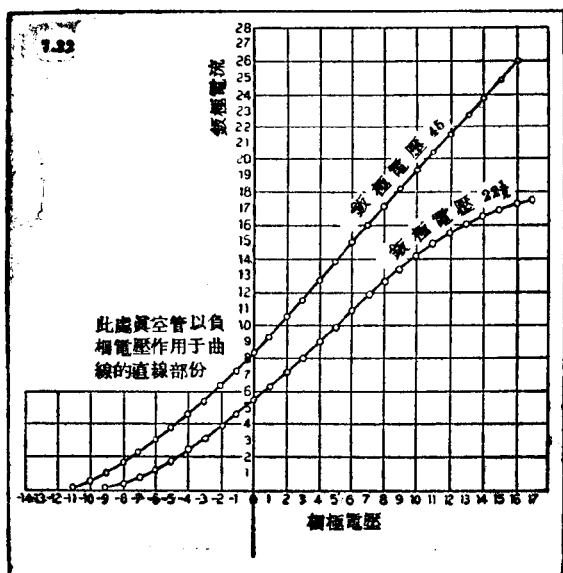


圖 7.22

放大管的柵極回路須接於燈絲的負端。所以使柵極為負之故，係為減低柵流而免功率有所損失。使柵極對燈絲處於負位之法，可在柵電路中接入一個電池，或即利用燈絲變阻器的電壓降，如第4.6節所述。放大管所用的鉅壓比檢波管所用者為高。較高的鉅壓使特性曲線的位置變更，如圖7.22所示，如是即使用一負柵電壓，電子管仍作用於曲線的直線部份上。

放大管的柵極可耦接於天線電路。於是在射頻電訊未曾作用於檢波管之前，便先已被放大了。此種檢波前的放大可用至若干級。電路的討論將於下章述及。檢波前的放大可有許多好處。例如訊號本來因為太微弱而不能作用於檢波管者，即可被放大而檢得。還有，檢波管的輸出在正常工作狀況下，約可與輸入電壓的平方成正比。例如，一射頻放大管將電壓放大至五倍，那麼檢波管的輸出電流約可比不用放大管時增強二十五倍。但這不過是對微弱的訊號而言。假如是強大的訊號，會使檢波管運用到近於它的極限，而無需用放大管。

7.11. 互導 (Mutual Conductance) 與跨導 (Transconductance)——互導對於電子管的運用方面是一個極重要的量，因為這是柵電位對於鉅電流所生效應的一種量度。要瞭解互導的意義，請先一述電導 (Conductance) 的定義。電導是傳導電流的本領。換言之，便是允許電子流動的本領。反之，電阻的意義是電子流動的阻礙。電路中的電阻愈高，它的電導便愈低。電導便是電阻的倒數。

$$\text{電導} = \frac{1}{\text{電阻}} = \frac{1}{R}。$$

從歐姆定律的公式代入 R 的值，得

$$\text{電導} = \frac{I}{E/I} = \frac{I}{E}。$$

電導等於電壓除電流。至於一個無錄電的電流和電壓，都是迅速地變更着的，它的電導是電壓的變更除電流的變更；更因這種電導是相互的，就是，有關於柵壓和鈹流的，所以就應將柵壓的變更除鈹流的變更。

$$\text{互導} = \frac{\text{鈹流的變更}}{\text{柵壓的變更}}。$$

互導愈高愈好，因為互導愈高，則柵電位對於鈹電流的效應愈大。

其次是要說明互導，放大因數和鈹路電阻間的關係。若真要把其間的關係演算出來，勢必致牽涉到高深的數學，這是不屬於本書的範圍的。我們的目的祇要得一個解釋，以便初學者在腦中留得一個關於電子管作用的印象而已。

放大因數的解釋已見第 5.6 節中。這個因數通常用希臘字母 μ (讀如繆) 來代表。

$$\mu = \frac{\text{鈹壓的變更}}{\text{柵壓的變更}}。$$

這公式中兩種電壓的變更都會產生相等的鈹流變更。

鈹路電阻的解釋已見第 5.7 節中，

$$\text{鈹路電阻} = \frac{\text{鈹壓的變更}}{\text{鈹流的變更}}。$$

現如將鈹路電阻除 μ ，則得

$$\frac{\text{鈹壓的變更}}{\text{柵壓的變更}} \div \frac{\text{鈹壓的變更}}{\text{鈹流的變更}}。$$

這等於

$$\frac{\text{鈹壓的變更}}{\text{柵壓的變更}} \times \frac{\text{鈹流的變更}}{\text{鈹壓的變更}}。$$

將鈹壓的變更互相消去，即得

$$\frac{\text{鈹流的變更}}{\text{柵壓的變更}}。$$

這個末一量便是互導。如是，互導就等於電子管的放大因數被鈹路電阻除之數。用通用的符號 G_m 代互導， μ 代放大因數， r_p 代鈹路電阻，便得如下的公式：

$$G_m = \frac{\mu}{r_p}。$$

【例】某電子管的鈹路電阻為 4950 歐姆，放大因數是 3.8。問互導若干？

【解】 $G_m = \frac{3.8}{4950} = 0.000767$ 歐姆 = 767 微姆歐。

（姆歐的原文是 mho，是電阻單位歐姆 ohm 三個字母的倒寫，以示和電阻相反的單位。）

【例】某電子管的鈹路電阻是 10,000 歐姆，互導是 900 微姆歐。問放大因數若干？

【解】 900 微姆歐 = 0.0009 姆歐。

$$\mu = 0.0009 \times 10,000 = 9。$$

『跨導』這一個名詞的使用，是因屏柵管（Screen grid tube）而起的。它和互導有相同的意義。應用於屏柵管時，它是關於鈹流

和控制柵的電位的。 S_m 是跨導的符號，在公式中與 G_m 的意義相同。

7.12. 再生放大 (Regenerative amplification)——在同時兼做放大器和檢波器的電子管所生的放大作用叫做再生。再生作用

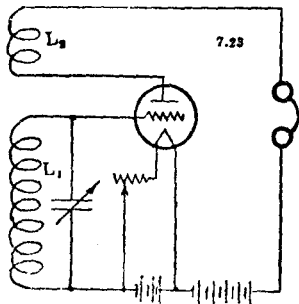


圖 7.23

可解釋如下：參閱圖 7.23 的電路，那銲路中的振盪電流流過錄卷 L_2 ， L_2 和柵路中的錄卷 L_1 靠近，使 L_2 的磁場能作用於 L_1 上。收入的訊號如在柵上加以微弱的振盪，由於電子管自身的放大作用，在銲路中便產生較強的振盪（見第 5.6 節）。銲流流經 L_2 ，即由磁感應作用於 L_1 上。如兩錄卷的位置是

使銲路中的振盪與柵路中的振盪相同的話，柵路中的電壓便增高了。這結果猶如作用於柵上的訊號強度是加強了一樣。這種增強的電壓變動又在管內產生更強的振盪於銲路之中，而這些振盪又再作用於錄卷 L_1 上，使柵上的振盪又加強。這樣反來覆去，直至銲流增高至某一限度，由管的特性所決定而止。

錄卷 L_2 和 L_1 愈相近，且兩錄卷的位置愈相平行，則磁感應愈大。錄卷的愈相平行和接近，便稱為密耦合。如錄卷間愈遠隔或互成直角位置時，磁感應最微，即稱之為疏耦合。

收入訊號對於柵上的效應，可由減小柵路中的電阻而增加。電阻減少後，來自天線的電脈衝可產生較高的效應。銲路的電能「反

餽』(feed back)到柵路，使柵壓增強的效應，與柵路中電阻減少的效應相同。所以對於再生的另一看法是『反饋』的作用在柵路中產生了一個負電阻，與其正電阻對抗或中和。如這反的或負的電阻能使柵路中的總電阻等於零的話，電子管便可不藉外來電能而繼續其振盪，換言之，即電子管發出持續振盪。這裏有一點要注意的，便是這種所謂負電阻，對於減低柵極所接的錄卷和容電器的實際電阻的必要，並不能免除。

如耦合頗密，鉸流的振盪使柵路中產生一比原來訊號為高的電動勢，則在訊號停止之後，振盪仍舊繼續着。於是這電子管便產生着振盪電流了。上述的負電阻是由鉸路反饋電壓的效應。

用電子管作振盪器，將於第九章中討論。此處所要提出的，即振盪器的原理，主要是和再生收音電路的原理相同。然在收音中，鉸路或反饋錄卷(tickler coil)和柵路調諧錄卷的耦合，須保持在電子管剛要發生振盪的一點之下。

錄卷 L_1 和 L_2 的接法，務使 L_1 由 L_2 的振盪所感應得的電動勢，能幫助訊號的電動勢，而非予以反對。如果不起再生作用，即是說在收音機中祇能聽得微弱的聲音，這或許是指示這兩個電動勢的位相相反，在此情形下，須將反饋錄卷的接頭對調，或將它轉過 180 度的角。

7.13. 經電容耦合的再生作用 —— 可使鉸流反作用於柵極的另一方法，係用一容電器來替代反饋錄卷。欲解釋此種效應，可假定在鉸柵兩電路的公共回路中接入一個容電器，如圖 7.24 所示。

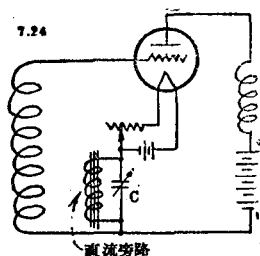


圖 7.24 經電容耦合之再生作用

飯流的振盪作用在這容電器 C 上，這容電器即產生電壓振盪。容電器既然也在柵路中，那麼這些振盪當然也作用於柵極，而使柵振盪得新生之力，益發增大了飯流的振幅。因柵路和飯路的耦合係由一容電器而成，故稱電容耦合 (Capacity coupling)。

電子管自身內部的電容量一樣也可以作耦合之用，使飯路的振盪反作用於柵極上。柵極和飯極的金屬體就好像容電器的一對金屬片。如何消除由管電容量所起的再生作用的方法，將於第八章中討論之。

7.14. 功率放大 (Power amplification) —— 電子管不論用作檢波器或放大器，輸出的功率總比輸入者為大。換言之，即電子管在飯路中發出比柵路中更大的功率。管自身並不能產生電能，這增大的電能還是從飯極電路電池中取給的。柵極振盪僅用以控制這功率，說明已見第 5.5 節。

飯路中的功率可以比柵路中大至幾千倍。使柵極在負電位，則柵路中所消耗的功率就可減到非常之小。

問 題

1. 為何無線電用聽筒的電阻比有線電話用聽筒的電阻大？為何前者靈敏度勝於後者？

2. 試說明微音器的作用。

3. 爲何無銀電收音，必須將外來電訊加以整流？至少說出兩個理由。
4. 電子管作用於特性曲線的直線部份時何以不能檢波？
5. 試說明一電子管運用於特性曲線上部彎曲處和下部彎曲處時的作用。

爲何用在下部彎曲處比較的好？

6. 柵極不用電池時如何可予以負電位？
7. 試說明用柵極容電器時檢波管的作用。
8. 試說明檢波器接收調幅電波時的作用。
9. 爲何放大管的作用應發生於特性曲線的直線部份？
10. 如何由兩管的特性曲線而斷定孰者宜於作放大器，孰者宜於作檢波器？
11. 如何能使一個電子管作用於曲線的直線部份？
12. 檢波前放大訊號的利益爲何？
13. 試述再生作用。
14. 電子管輸出功率大於輸入者，問其來源爲何？

習 題

1. 一電子管的板路電阻爲 13,000 歐姆，放大因數爲 9.3 求互導。
2. 某一屏柵管的互導爲 505 微姆歐，板路電阻爲 1,150,000 歐姆。求放大因數。
3. 某一功率放大管的板路電阻，在柵偏電壓(Grid bias) 爲 -50 伏特時，是 1900 歐姆，放大常數是 3.5。問互導若干？ (答：1842 微姆歐)
4. 如以 -33 伏特的柵偏電壓加在第 3 題中的同一電子管上，板路電阻是 1950 歐姆，放大常數照舊。問現在的互導若干？ (答：1794 微姆歐)

第八章

接收電路的基本原理

把各種收音機彙攏來一分析，總不過是幾種型式。本章中不預備羅列各種接收電路的摘要，而着重在這些電路的原理。將有幾種主要的電路，隨時作為說明時的例子。讀者如熟習了這幾種標準的電路和它們的原理後，便能自己設計，選擇相當的電路，以適合所欲製作的收音機。

8.1. 接收電路的主要部份——各種無線電的發送都是在發送地點用一個振盪器(oscillator)來產生電磁振盪，即電磁波，而後以光的速度，即每秒鐘約 186,000 英里或 300,000,000 米突的速率在空中進行。這些電波給天線或正確設計的線環(環形天線, loop)所收得之後，就在這天線或線環之中發主了振盪，即電子的往復浪湧。

假如有一條天線和地相接，那末這天線和地便構成了一個容電器，天線相當於容電器的一片，地又是一片。當電磁振盪給天線所收得時，天線中的電子便在天線和地之間往復浪湧。換言之，在天線與其相接的導線中已產生了振盪。假如把收音機中調諧用線卷的一端和天線相接，他一端和地相接，那麼振盪就通過了這調諧線卷。

上述原理對於環形天線也是一樣。自空中射來的電磁波，即振盪，一樣的在錄環中引起了電子的振盪。錄環的本身上再跨接了一個容電器，便可作為收音機電路的調諧用件，或者把這錄環兩端與另一錄卷和容電器組成的調諧用件相接也可。

檢波器必須接於天線電路，或與它耦合。檢波器或為一個晶體，或為一個電子管。

若用晶體檢波器，可有兩種不同的電路：

(1) 天線電路。

(2) 檢波器電路，由調諧用件，晶體檢波器和電話聽筒所組成。如用電子管則可有四種不同的電路。

(1) 天線電路或錄環，其中振盪由電磁波所產生。

(2) 柵極電路，其中振盪由天線電路的振盪所感生。

(3) 鈹極電路，其中較大振幅的電流由柵極電路的振盪電動勢所產生。

(4) 燈絲電路，用以供熱於燈絲。

8.2. 天線電路——天線電路(Antenna circuit) 實在便是一個容電器。如將一錄張於空中，這條錄便成為容電器的一片，地是另一片。假定此錄張擡的情狀如圖 8.1，依地平方向前進的電磁波即在懸直方向內產生電振盪；即是說，它們在天線和地之間產生電動勢。這電動勢振盪着，並作用於一方向，而後於反對方

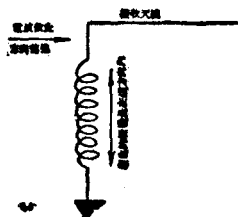


圖 8.1

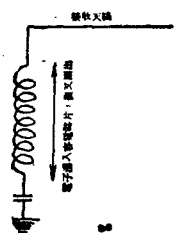


圖 8.2

向。因之天線對於地而言，一會兒是正的，一會兒是負的。這便是圖 8.1 中雙箭頭所表示的意義。每一電波既產生一個振盪，因此天地線間的振盪電動勢的頻率便和收入電波的頻率相同。振盪着的電動勢使電子行動。如在圖 8.1 的天線電路中接入一個線卷，那麼電子便在天地線間往復地湧過

這個線卷。如再接入一個容電器如圖 8.2，那麼電子便在這容電器中湧進湧出。

天線電路接地的一端可接至一根張在離地上數呎而且與地絕緣的線或一個線網。這種線網叫做衡網(Counterpoise)。衡網作用如容電器的一片，天線如另一片。這作用是和上述的一樣，不過這裏衡網代替了地。張着的線和衡網也可用兩塊金屬板或兩張銅線網來替代。

8.3. 環形天線——將導線繞成一個環或是線卷，便可用以替代天線和地。環祇是一個扁平的大線卷如圖 8.3。當電波經過線環之際，在 A 和 B 之間便感得一振盪電動勢，C 和 D 之間也是如此。假定環形天線的平面是東西向，而電波進行的方向是南北向，那麼電波進行的方向便正交於環形天線的平面了。電波的波峯會在同時抵達 AB 和 CD。電波經過這線環時，AB 和 CD 中同時都感生電動勢，但兩者強度相同而彼此反對。詳細說明如次：當半週期內，兩方面的電動勢



圖 8.3

都向下作用，在次一週期內都向上作用。顯而易見的，若 AB 和 CD 中的電動勢同時向上作用，又同時向下作用，則兩邊所送的電流在反對方向，錄環中便沒有電流流行了。

反之，假定電波前進的方向與錄環的平面相平行，那麼一個波峯經過時，總有一邊比他邊先遇到(圖 8.4)。於是錄環兩邊所感得的電動勢將有位相之差，因而得一合成電動勢，使電流通於錄環之中。又假定錄環 BC 的距離是外來電波波長的一半，那麼在任何時點，AB 和 CD 中的電動勢都正是互相反對的，一個波的波峯經過 CD 時，那波谷却正經過 AB。於是兩電勢合作，使電流通行於錄環之中。在實用上，BC 的闊度比一半波還小得多，但仍有一個合成電動勢。錄環的懸直邊是有用部份，用來接收電訊的，水平部份祇是做兩懸直邊間的電連接而已。

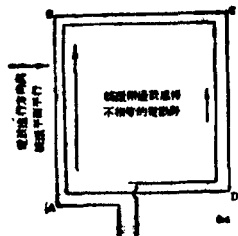


圖 8.4

由此可以明白，若錄環的平面正交於電波的進行方向時，收得的訊號最弱，如平面與電波的進行方向平行時，收得的訊號最強。若將錄環對於電波方向自平行位置轉至正交位置時，訊號強度便逐漸減弱，終至幾乎聽不到。因為環形天線有這種效應，故可用以測定訊號所由來的方向。如此使用的錄環，有時便稱為射電羅盤 (radio compass) 或射電探向器 (radio direction finder)。

8.4. 天線的基本波長——在第 8.2 節中已述及天線和地兩者等於一個容電器。我們又知道一條直線達到高頻電流時也有電感

(見第 6.44 節)。所以天線是兼具着電感和電容的。電容與電感勻佈於這直線的全長。

天線的基本頻率便是天線電路中未有線卷或容電器插入，即祇有天線本身的電容和電感時，允許最大可能的電流通行的那個頻率。

任何電路的基本頻率是該電路在共振時的頻率，即感抗和容抗的總和為零時的頻率(見第 6.32 及 6.39 節)。在高等算學中可證明一根單線天線不論是懸直的或是 L 式的，在其長度約為波長的四分之一時，即有基本頻率。L 式天線的長度為水平部份的長加引入線的長。

例：假定要張一根基本波長有 200 米 (200 米約等於 600 呎) 的倒 L 式天線，自地面起，經接地引線和天線引線，再沿天線的平頂部份至天線終端，便應有 150 呎左右的長度。實施時這長度和這約算頗有出入。

8.5. 電容和電感對於天線基本波長的效應——任何共振電路欲增加其波長，祇要把該路的電感或電容擇一增加便可。所以，在天線電路中串接一個線卷，便可增加其波長。一天線欲調諧於同一波長，但已有電感線卷在其電路中者，此天線的確實長度，必須較前節所述者減短。此時線卷和天線兩電感的總和才是天線電路的電感。在另一方面，若天線電路中串接了一個容電器便把波長減短，理由是這種接法的容電器與天線本身的電容是相串聯的，兩容電器串聯後所得的電容量總是比任何一個為小的(見第 6.22 節)。

如將與天線電路串聯的容電器的電容量減低，天線電路的波長便也被減短。如將這串聯的容電器的電容量繼續減低至容電器最低可能的電容量，即是零，那麼波長自然也格外減短。如是這天線的下端便等於空掛着。這時候天線電路的基本波長將為天線接地時的二分之一。換句話說，天線長度如不變，那麼當天線接地時，基本波長是天線長度的四倍，但一端空掛時，基本波長便祇有天線長度的兩倍了。在實用上，用一個串聯的容電器，可將這波長減短至接地天線的基本波長的三分之一。這一段事實可與共振空氣柱相比。在一個一端閉塞的管中，共振空氣柱是波長的四分之一。這相當於接地的天線。在一個兩頭開口的管中，共振空氣柱是波長之半。這就相當於不接地的天線。

8.6. 調諧和不調諧的天線電路——天線電路如可調諧於各種頻率或波長，只要在電路中串接一個有可變電感的線卷；如欲調諧較短的波長，則可串聯一個可變電容的容電器。

天線電路中或許只有一個匝數很少的線卷，所以電感是很小的。這樣一個電路是不調諧的，但毋寧說是廣泛的調諧，因為天線電路的電阻比其電感和電容為甚大之故。換言之，共振電路中的電阻加高，調諧便將變泛（見第 6.37 節），電阻成份之所以會高，是因為電路中感容二量都減小之故。這種天線電路稱做非調諧的 (Aperiodic)，即是說沒有一定的周期或頻率。

8.7. 諧波 (harmonics)——一個電感線卷和一個容電器組合的電路，如電阻極低的話，就祇能共振於一個一定的頻率。可是

天線電路却能共振於許多不同的頻率。原因是電容和電感不是在容電器和線卷上集中着，而是分佈於天線的全長，並且有效電阻，電感和電容隨頻率而變更之故。基本頻率是電流達於最大時的一個最低的頻率。對於一個接地的天線，其電路中沒有感應線卷或容電器的，電流達最大時的其餘幾個頻率都是基本頻率的畸倍數。設基本頻率是 f ，其餘的共振頻率是 $3f, 5f, 7f$ 等。這些較高的共振頻率叫做諧波。假如天線是不接地的，則可運用於偶倍數，如 $2f, 4f$ 等。諧波的波長便是基本波長的 $\frac{1}{3}, \frac{1}{5}, \frac{1}{7}$ ，其餘可類推。串聯的電感線卷或容電器可以變更諧波，像變更基本波長一般。通例，基本波稱做第一諧波，順下去的較高頻率便是第二諧波，第三諧波等等。

8.8. 各式天線的波長——以上所講的還不過是單根線的倒 L 式天線。假如一個有多根線分開着的天線，則其波長將比單根線者

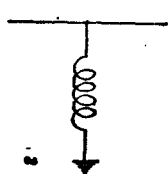


圖 8.5 T 式天線

為長。至於 T 式天線(圖 8.5)，其基本波長的求法，為它的高度加上頂的長度的一半，而後乘以 4 即得。低矮的水平天線比較高張的波長為長，因為地位愈低，電容量愈增之故。然而，較高的天線比低矮者收得更多的電能。

環形天線總有一個跨接的容電器。線環的分佈電容比到容電器的電容是很小的，因之線環的電容量可以忽視不計，線環和容電器的共振波長即可由基本波長的公式求得，

$$\lambda = 1884 \sqrt{LC}$$

L 是線環的電感，C 是容電器的電容量。

8.9. 再論環形天線 —— 環形天線的特長是在它能夠將天電的干擾大為抑低。天電是因為地面上的空間和地面間有變動的電位差所致。此種電位的變動很容易影響及一半頂的天線，因為這種天線猶如容電器的一片，而以地面為另一片。環形天線可不然，並不與地相接，所以對於任何與地面有關的電位變動是不受影響的。

環形天線的短處便是訊號的強度比用天地線的弱得多，故需要多級的放大。

8.10. 柵極電路 —— 標準的柵極電路是由一個線卷和一個容電器組成，有兩連線分別接至電子管的柵極和燈絲（圖 8.6）。在這裏，線卷和容電器組成了一個振盪電路。在第 6.38 節中，我們知道在共振電路中，線卷和容電器的相接處（圖 8.6, E 和 F）產生極高的電壓。這高壓作用於柵極，在柵極上發生振盪的電動勢，有外來訊號的同一式樣和頻率。第 6.38, 6.39, 6.40 各節中關於並聯共振的

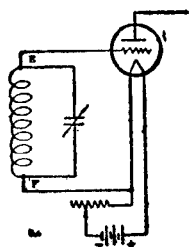


圖 8.6 柵極電路

討論都應用於柵極電路的線卷和容電器，它們構成了收音機的調諧用件。這調諧用件的電阻既然常是小的，故可應用頻率和波長的公式，見第 6.40 節。

【例】：柵路的調諧用件包含一最高電容量為 0.0005 微法拉的可變容電器和一個 150 微亨利電感的線卷。問該電路調準至 480 米的波長時，容電器的電容量應為若干？

【解】 $\lambda = 1884 \sqrt{LC}$

$$480 = 1844 \sqrt{150C}$$

解此公式，即得

$$C = 0.00043 \text{ 微法拉。}$$

關於錄卷電感的求法以及有某一電感的錄卷製法，將述於第十一章中。

柵極電路須和天線電路相耦合，俾天線的振盪在柵路準確調諧時會在柵路中感生振盪。用來耦合的是兩個錄卷，主錄卷在天線電路中，副錄卷在柵極電路中。疏耦合比密耦合的選擇性為大。

所用不祇一管時，柵路所用的原理還是一樣的；第二管的柵路和第一管的鈹路耦合着，仿此聯貫下去。

8.11. 鈹極電路——圖 8.7 示一檢波管的鈹極電路。此電路由鈹極電路電池，電子管的鈹極和燈絲以及兩者間的電子流 聽筒和

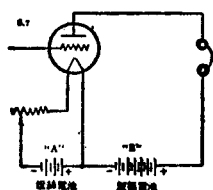


圖 8.7 鈹極電路

連線組成。鈹極電池的接法須使鈹極帶正電，即是把電池的正電端接至鈹極。

假如鈹極電池的負電端和燈絲電池的正電端相接，那麼鈹極的電壓便是這兩電池電壓之和。若將鈹極電池的負電端接於燈絲電池的負電端，那麼鈹極電壓就不過是鈹極電池的電壓。

是故鈹極電池的負電端可以隨便接在燈絲的那一端，所差者祇在鈹極電壓有些上下。用一伏特計跨接於鈹極和燈絲兩電端之間，即可見其差異。說明鈹極電壓時，即是指鈹極對於燈絲負電端的電壓而言。

在檢波管之後，如再加一放大管，那麼在檢波管鉸極電路中的聽筒須易以可資耦合的器件。如用變壓器耦合，那麼變壓器的主線卷接在鉸路中，副線卷則接在下一電子管的柵路中。

8.12. 燈絲電路——燈絲電路祇是由燈絲，變阻器，燈絲電池和連線所組成。變阻器之用乃在控制燈絲兩端間的電壓（見第 4.3 及 4.4 節）。一種有電阻能隨溫度而增加的電阻器，常應用於燈絲電路中。這種電阻器能自動的調節燈絲電流。對於交流式電子管，係由電源部變壓器的低壓線卷來替代燈絲電池的。

8.13. 聽筒上的旁路容電器 (By-pass condensers)——在任何收音電路中，聽筒或揚聲器上均宜跨接着一個定固容電器。此種容電器的電容量約在 0.001 微法拉左右。旁路容電器的目的係在給高頻率振盪一條容易通行的旁道。我們已知道，線卷對於高頻率振盪的阻抗，比對低頻率者為大。成音頻率的振盪能夠便利的通過聽筒中的線卷，但高頻率振盪却不能通過。反之，容電器給與高頻振盪的阻礙却比音頻振盪為少。如無旁路容電器，射頻振盪固然也能從聽筒線卷和聽筒線繩所成的分佈電容而通過，不過這些線卷所有的電容量總是不夠大，因而不是一條通暢的路。結果，如不備一條有效的旁路，那麼訊號總是要失真的。

8.14. 簡單的電子管檢波電路——在第一章中已講過幾種簡單的收音電路。學者已知道這些電路的運用原理，現在更要進一步的研究收音電路了。茲為簡便起見，先論應用電池的電路，而後再講用交流供電的電路。

重溫第一章中的圖 1.8，這是一種最簡單的電子管的檢波電路。在這電路中，我們祇不過把第 8.1 節中所述四種電路要件聯合起來而已。那天線電路最簡單，祇是有幾匝錄的錄卷，接在天線和地之間。天線電路中的錄卷是主錄卷。假定這個電路準備接收 550 至 1500 仟週的訊號，那麼主錄卷可繞 15 至 20 匝，副錄卷繞 75 至 80 匝，兩個錄卷一同繞在二吋直徑的硬紙管或膠木管上，兩錄卷間相距約四分之一吋。調諧柵極電路用一個可變容電器，有電容量 0.00035 微法拉的。上述各項的值並非是不可變更的。硬紙板管或膠木管可大可小，直徑小些的便多繞幾匝，大些的便少繞幾匝。最好這錄卷的副錄卷要比自己認為已夠的匝數再多繞幾匝。於是調諧至一極近 550 仟週的低頻率的電台。假如這匝數是對的，那容電器的轉動片差不多已是完全與靜止片對合了。若不如此，那麼每次退去一匝，再試調諧，直至使用容電器的最高電容量為止，即動片完全旋入為止。

計算一指定電感錄卷所需的直徑和匝數的方法，將述於第 11.24 節。關於接收短波用錄卷和容電器的說明，將述於第 8.35 節。

燈絲電路中必須備有一正確數值的電阻器，以配合所用電子管的絲壓。鉅極電路中祇須具有配着旁路容電器的聽筒和鉅極電池“B”就夠了。

如是我們已將電子管收音電路的四要件合成最簡單的可能方式之一了。在這種電路中，所放大者祇是電子管自身內的電壓放大。

8.15. 再生 (Regeneration)——再生放大已述於第 7.12 和 7.13 二節中。前曾說過，再生係由鈹路和柵路的耦合而得，使振盪的鈹極電流增加柵極振盪的振幅。這兩電路的耦合可以有多種方法。

最簡單的一種方法便是感應耦合。在鈹極電路中串接一個少數匝的錄卷，把它置近柵路中調諧用錄卷的一端(圖 7.23)。這個錄卷通稱為反餽錄卷(Tickler coil)。鈹極電流現在流經這反餽錄卷，於是藉磁的作用，使那調諧錄卷中感生一電動勢。這種作用有時叫做『反餽』(Feed back)。欲得再生，則此感得的電動勢必須和訊號所產生的電動勢相加。換言之，即兩電動勢必須同相。如不能獲得再生，必因這兩電動勢是異相，校正之法須將反餽錄卷的接線對調。此式電路祇要將圖 1.8 中的檢波電路添加反餽錄卷便成。

再生也可由電容耦合而得，如圖 7.24。如是鈹極電路的振盪經一容電器而反作用於柵極電路。此種反餽作用多利用於振盪器中，在第九章中便將講到。

電子管內自身的電容量也可用以產生再生作用。我們已知道一電子管的柵極和鈹極便組成一容電器，其電容量當然是極小的(約自 7 至 14 微微法拉)，可是也足以使鈹路振電反作用於柵極。

若這種作用能增加柵極上的電動勢，那麼結果便等於使柵路的電阻減低一樣。這種情形祇在鈹路的電抗為有感性的才發生，並且這電抗要超出某一值，俾將電阻和阻抗間的相角充分增大。若此種效應大得足以中和柵路的電阻，即是把柵路的總電阻變為零或

竟是負的，那麼振盪一發動之後，便可無需外加的電動勢而也能繼續下去。電子管將近振盪點而尚未振盪之際，靈敏度最高，對於極弱訊號也會響應。

8.16. 音頻放大(Audio frequency amplification)——訊號的振盪經檢波管整流後，可由一管或多管加以放大。現在要討論的便是應用的方法。

檢波管的鈹極電流，即輸出，須使作用於第一放大管的柵極電路。

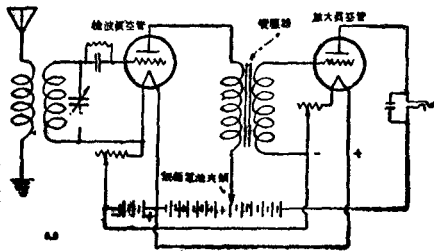


圖8.8 變壓器耦合電路

這可用一個變壓器來擔任。主線卷接在檢波管的鈹路中，副線卷接在放大管的柵路中(圖 8.8)。主線卷中鈹流的振盪使副線卷中感得同一波形與頻率的振盪。副線卷的線匝比

主線卷的多，所以電壓便升高了。這升高的電壓再在放大管中經過放大，因而放大管的電壓輸出將比檢波管的大許多倍。功率的輸出同樣也增大，放大管自鈹極電池取用的電流也比檢波管用的多。在柵極上須加以充分的負電位，俾在接收訊號時，柵極仍可維持它的負位，因為若柵極變正，必致產生若干柵電流而陷訊號於畸變的狀態中。要避免畸變，必須使放大管運用在柵壓鈹流曲線的直線部份上。柵極既須是負的，而作用須在曲線的直部，那麼這直部必須在曲線的負的一方面。這就需要比檢波管鈹電壓更高的鈹電壓。參閱

圖 5.9 柵壓與鉅流曲線，便可明瞭增加鉅壓也就是將曲線遷移到負方去。音頻變壓器的鐵心具有最上品的鐵質或是韌煉矽鋼，俾能追隨音頻振盪而迅速倒逆其磁性。

兩電子管間可用電阻來耦合，如圖 8.9 所示。這是電導耦合的一種。檢波管的鉅極電路振盪直接作用於放大管的柵極電路。在這情形下，所得的放大比用變壓器耦合的為小，因為在電阻耦合中並無放大，只有電子管的放大而已。

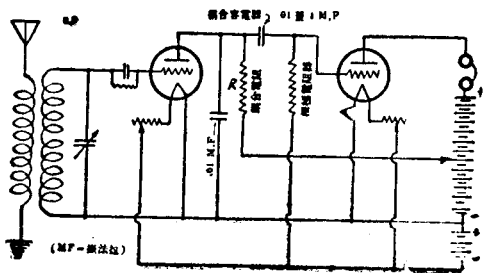


圖 8.9 電阻耦合電路

圖 8.9 中的耦合電阻 R 可用一抗流線卷 (Choke coil)，或一電感來代替。這樣便成為電感耦合的放大器了。在這情形下的放大係視線卷的電抗與鉅路的總阻抗之比而定。線卷的電抗既然隨頻率而增加，那麼對於較高頻率的放大將比低者為強。

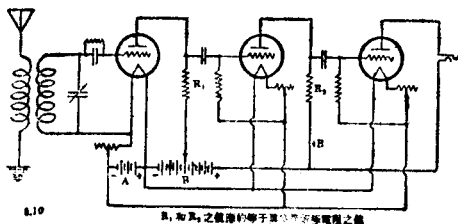


圖 8.10

欲得電阻耦合的第二級放大，可將第一放大管的輸出電路用一個電阻和一個容電器耦合至另一電子管，如圖 8.10 所示。

檢波管的輸出既然是一種振盪於成音頻率的電流，故上述諸放大電路便叫做音頻放大器。再加第三和第四級的放大也可以，不過通例除用推挽式放大器外，鮮有超過兩級者。

8.17. 推挽放大器(Push-pull amplifier)——這是一種能完全不生畸變的放大器。它原用於長途電話線路中作轉發器的，後來無線電中也採用了。發明人是西電公司的可比次(E. H. Colpitts)先生。從圖 8.11 中，可見到推挽電路中從兩電子管來的輸出電流

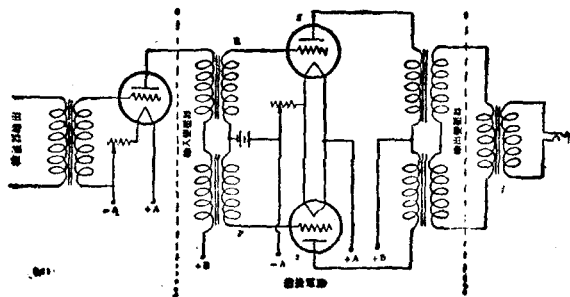


圖 8.11 推挽放大器

是流過輸出變壓器主線卷的二部分，方向相反。又可見到其輸入方面總是使一管的柵極為正而他一管為負。你若在輸入變壓器中追跡一單個電脈衝的作用，就可明瞭此點。譬如在某一霎時，副線卷中的一個電脈衝是作用於 E 至 F 的方向。這樣，管 1 的柵極是負的，管 2 的柵極則是正的。因之兩管鉅極上所受的作用也是在相反的方向。當一管的鉅流增加時，他一管的鉅流便在減少。輸出變壓器的二個主線卷中的磁作用是這樣的：在一管中的電流

減少時，便使他一管的電流增加。因此所得的磁場可比僅用一管者為大。流入揚聲器的電流是由兩管的合作電壓所致。這電流比任一管單獨所生者為大。如祇用一管，便將發生畸變，因為磁流的減低比增加為略少之故。這個作用在兩管中都是一樣。若將兩管連接如圖，便不會畸變了，因為一管中的增加，便將補助他一管所減少者，這樣所得的電流曲線是十分對稱的。

8.18. 放大器接至檢波器之法 —— 將任何式樣的放大器接至任何檢波器電路是一件簡單易行的事。例如在圖 8.12 中，有一個檢波器電路和一個放大器電路，接頭上都註明何者應相接。將檢波器鉸路

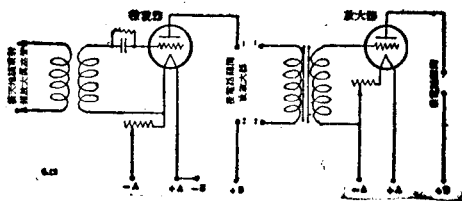


圖 8.12

中的聽筒移去，而將這兩個接頭接至變壓器的主線卷。聽筒則改接於放大管的鉸路中。放大管的燈絲接頭接至燃熱檢波管燈絲的同一電池。鉸路則接至另加的“B”電池的正端，該電池的負端則與檢波管“B”電池的負端相接。電阻耦合放大器的接法也與此相似。兩級放大之後，尚可添加一推挽放大電路，以作第三級的音頻放大。

8.19. 射頻放大(Radio frequency amplification) —— 無線電訊號也可在未達檢波管之前，先行放大於射電頻率。原理和音頻放大是相仿的，不同者係在所用的變壓器耦合或別種耦合的方法。射頻變壓器通例是空心的。要在天線和檢波管之間插入一級射頻

放大器，祇需把放大器的柵路 and 天線電路相耦合，並把輸出電路即

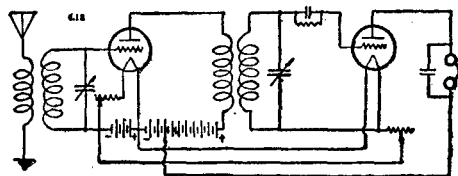


圖8.13 射頻放大電路

鉸路和檢波管的柵路相耦合。即是說：如用變壓器耦合，那麼第一個變壓器的主線卷接於天線電路，其副線卷則接在

放大管的柵路中，整個的電路見圖 8.13。

若射頻級是調諧的，成績更佳。在每一變壓器的副線卷上跨接一可變容電器。於是用其容電器，把每一電子管的柵路，調諧至與外來電訊共振。

添加第二級的射頻放大，可將第二個變壓器的主線卷和第一管的輸出電路相接，其副線卷則與第二管的柵路相接。兩級射頻放大和一個檢波管的電路見圖 8.14。這種電路裏的射頻變壓器是容易製造的。祇要用一個三吋直徑的硬紙管，把主副兩線卷都繞上。

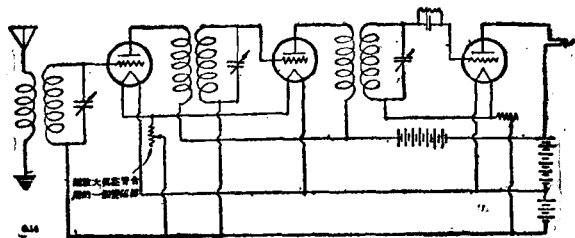


圖 8.14 兩級射電頻率放大和一級檢波的電路。

主線卷大概 10 至 15 匝，副線卷約 40 至 60 匝。所用線的粗細是

26 號。如用 15 匝和 60 匝，那麼所用的容電器須有 250 微微法拉的電容量。如副線卷祇有 40 匝，那麼這容電器便應有 500 微微法拉的電容量上。上述各值是用以調諧於 500 至 1500 仟週的頻率。

前在第 7.12 節中曾講過，在某種條件下電子管會振盪，就是產生持續的振盪。鉸路是反餽於柵路的，於是兩電路便調諧至同一頻率而共振。我們也知道，鉸路藉鉸柵間的電容量而反作用於柵路。這鉸柵間的電容量便作用如兩電路間的耦合。在調諧的射頻放大器中，如將鉸路和柵路都調諧至振盪點，則所生振盪便將干涉電訊的接收了。

若把主線卷的匝數比照副線卷的減小，電子管便不容易發生振盪。可是，若主線卷僅有數匝，電能的損失將非常之大，而電子管的效率便被減低。所以我們必須調諧於振盪點之下，或者祇有繞少數匝線在主線卷上。這兩種方法都不能將電子管運用於最高的效率。在柵路中接入電阻也能阻止振盪，可是這又是一個失效率的方法。這樣便引起了下面的討論，便是如何將電子管鉸柵間電容量所生的振盪加以平衡。

8.20. 平衡電路——使鉸柵間電容效應平衡的著名方法之一是黑斯爾汀(Hazeltine)所發明的平衡電路(Neutrodyne circuit)在此電路中發生振盪的電壓，也就是柵極和鉸極間的電壓，是由一反對的電動勢來平衡，參閱圖 8.15。這裏，容電器 C_1 和線卷 L_1 ，跟 C_2 和 L_2 並聯着。假定有一電動勢促使電流自 A 流向 B，如圖中實線箭頭所示。若電流自零值開始而增強起來，便產生一增強的磁

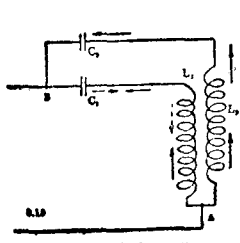


圖 8.15

平衡電路的原理

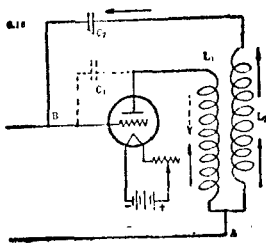


圖 8.16

場。現在假定 L_2 的磁場在 L_1 中感應起一個電動勢，恰是相等而相反的，如圖中虛線箭頭所示。這樣， L_1 和 C_1 中便不能有電流通行，因為兩電動勢恰巧互相平衡了。這個平衡作用發生於一週的一半中。在這週的一半期內，所有電動勢都反向了，結果仍是互相平衡。假定 C_1 是圖 8.16 中一電子管的柵鉞間的電容量。那麼 L_2 中如有足量的電流通過時，它的磁場便在 L_1 中感起一個確能與柵鉞間電動勢相平衡的電動勢。 C_2 的電容量須調整至恰許 L_2 中通過正當量的電流。這所需的電流極微，所以 C_2 必須是一個極小的電容量。平衡電路中的平衡作用，是由於一個線卷的電磁感應。平衡容電器的目的在控制流經線卷的電流量。平衡線卷和容電器的作用，有時稱為反反饋 (Reverse feed back)。

在普通所用的平衡電路中，副線卷是有分接頭的，將分接頭接至容電器 C_2 ，這樣 L_2 便是副線卷的一部份了。圖 8.17 的電路有兩級被一反反饋電路所平衡的調諧射頻放大，一個檢波管和兩級音頻放大。這是五管平衡式電路。

在平衡電路中，振盪既為反反饋所阻止，輸入和輸出兩電路便

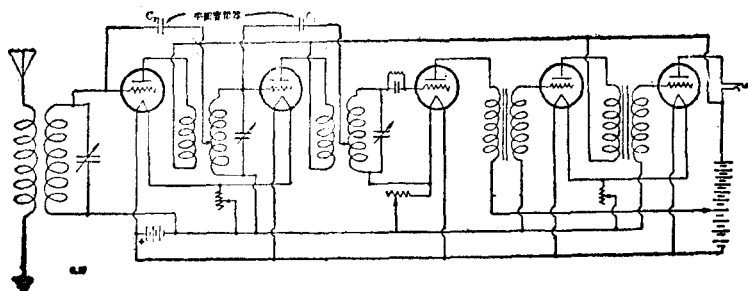


圖 8.17 平衡電路

可調諧至共振點了。電子管便可運用於它的最高效率。

8.21. 回復電路——在有射頻放大器的收音機中，外來電訊在經過檢波管後，尚可引回至放大管，再加以放大，不過第二次的放大祇限於成音頻率。這樣，同一電子管把射電頻率和成音頻率都加以放大了。射電頻率和成音頻率的兩種振盪都經過這放大管。這種電路叫做回復電路(Reflex circuit)。

回復電路的原理係在利用不同的線卷和容電器，而把兩種放大的振盪分開。像音頻變壓器的主線卷或副線卷便能讓音頻電流通暢地通過，可是對於射頻電流便與以很高的電抗，一些不讓它們通過。線卷的電抗是隨所遇頻率而變更的，所以對於高頻率便發生很高的電抗。在他方面，射頻振盪却很容易通過一個低電容的容電器，可是音頻振盪却被它阻住了。這是因為容電器的電抗在較高頻率時，可以減得非常小之故。

試分析上述原理如何應用於一回復電路中。圖 8.18 示一兩管電路，第二管是檢波管，第一管則兼作射頻和音頻放大器。外來的

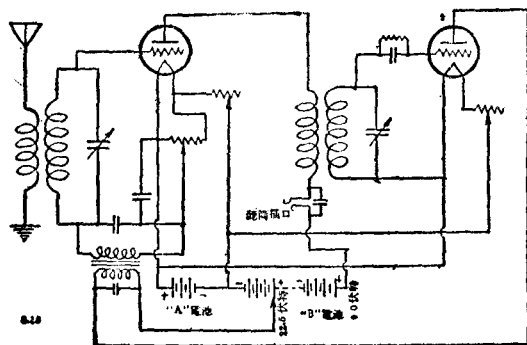


圖 8.18 回復電路

射頻訊號先在第一管中經過放大，轉入鈹路，而後經第二管柵路的調諧，便在第二管整流而抑為成音頻率。這檢波管的輸出電流折回來通過一音頻

變壓器的主線卷。於是在第一管柵路中接着的副線卷，便感得成音頻率的振盪而加在該電子管的柵極上。經這電子管放大的成音頻率便通過鈹路中的聽筒，如是聽得的訊號便格外地響亮了。射電頻率不能通過變壓器的線卷，却能很容易地從容電器上過去。音頻振盪對於這容電器則是通不過的，所以兩種頻率各有自己應走的路。在第一管的輸出路中，射頻振盪不能通過聽筒，因為它的電抗高，所以便從容電器中過去。另一方面，音頻振盪却很容易地通過聽筒中的線卷，但不能通過容電器。

8.22. 屏柵管的用途——若在射頻級中用了屏柵管 (Screen grid tube)，就無需乎平衡的設備。我們已在第 7.12 和 7.13 節中講過，一個電子管的鈹極和柵極好比一容電器的兩片，鈹壓有所變動即反作用於柵極上，等到這種反餽作用超過某一限度時，便產生振盪了。可是在屏柵管中，這種從鈹極至柵極的反餽作用已被阻止了，因此獲得高度放大而不發生振盪。

在屏柵管中，那接受電訊脈衝的柵極叫做控制柵。屏柵有三部份，一部份是在控制柵和鈹極之間，係用細線繞成的螺旋網，一部份是圍在鈹極外面的另一個螺旋形細網，第三部份是連接上兩者而位於鈹極上的一塊扁平金屬圓鈹。如是屏柵幾乎完全把鈹極罩在裏面。絲極，控制柵和鈹極和普通三極管中三個極的作用一樣。參看圖 8.19，可見到鈹極上電位的變更不能使控制柵上的電位感受變動，因為有屏柵插在中間之故。鈹極上的電力線祇有極微部份能穿過屏柵。屏柵上的直流電位比鈹極電位略低，並且在屏柵和地之間，接着一個電容量較大的旁路容電器，這樣以交流電壓而論，那屏柵的電位差不多就是等於地的電位。所以對於鈹極上的交流電壓，那屏柵就是處

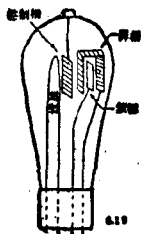
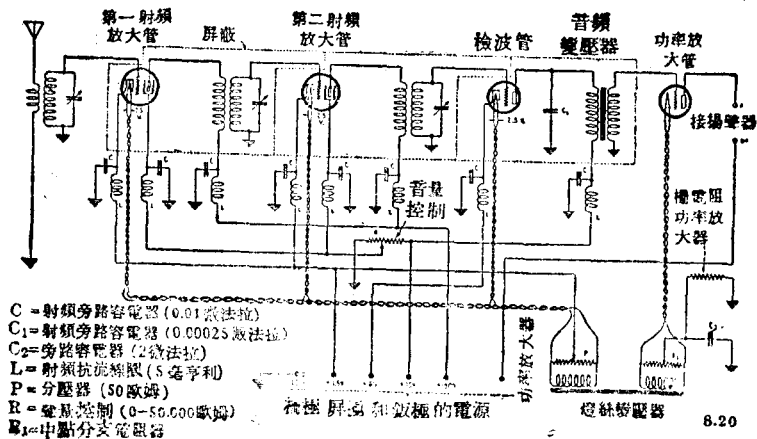


圖 8.19 屏柵管的原理



- C = 射頻旁路容電器 (0.01 微法拉)
- C₁ = 射頻旁路容電器 (0.00025 微法拉)
- C₂ = 旁路容電器 (2 微法拉)
- L = 射頻抗流線圈 (5 毫亨利)
- P = 分壓器 (50 歐姆)
- R = 音量控制 (0-50,000 歐姆)
- M₁ = 中點分支電阻器

8.20 利用交流式屏柵管作射頻放大的標準電路

於地電位的一個屏蔽。

屏柵管中的鈹電路電阻非常高，在有些電子管中竟高至一百萬歐姆以上。放大因數既等於鈹路電阻乘互導，所以屏柵管有很高的放大因數。屏柵管有交流直流兩式，交流式的含有發熱體和陰極，所以共有六個接頭。在管底有五個腳，兩個供發熱體，其餘供鈹極，陰極和屏柵各一，至於供控制柵用的接頭，一如直流式屏柵管，是在管的頂上的。

8.23. 五極管——在屏柵管中有若干電子穿過柵極而至鈹極，衝撞鈹極很猛，以致從極上擊出些電子來。這種情形叫做二次發射(Secondary emission)。在三極管中也有二次發射的，不過沒有像屏柵管的那麼關係重大，因為對於三極管是並不企求極高的放大的。在屏柵管中，從鈹極上擊出來的電子就在管裏面飄留着。它們阻礙着從燈絲到鈹極有一定路徑的電子，並且假如它們跳離

鈹極太遠時，就要衝到屏柵上去，變成搗亂份子了。假如我們想增加屏柵管的放大到超出某一限度時，那些從鈹極上擊出的電子將格外大肆其搗亂。換句話說，二次發射限制了屏柵管的放大。

這就是五極管所以應運而生之

故。在這一種管中，有一個第三柵，叫做極抑制柵(Suppressor grid)，位於屏柵和鈹極之間。抑制柵直接接地，所以就在地的電

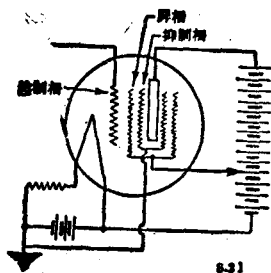


圖8.21 五極管的原理

位。電子管中有這第三柵極，那麼從鉍極上擊出的電子要想衝到屏柵去時，便在途中被截住了。抑制柵因在地的電位，所以是不吸引電子的，但鉍極却是能吸引的。結果是這種乖張的電子不能離鉍極太遠，祇好退了回去，對於屏柵的工作也無從去攪亂了。所以五極管對於電子流的控制比屏柵管強得多。在五極管中，控制柵接受訊號的脈衝，屏柵消除了鉍柵間電容量的反餽作用，更有抑制柵以阻止二次發射的電子所致的干擾，對於電子流的操縱差不多已是極盡能事，同時獲得極高度的放大。

8.24. 可變 μ (放大因數)管(Variable μ tube)——用三極管或屏柵管接收近處電台發來的訊號，因為有很高的訊號電壓加在天線上，將有若干畸變。這畸變的原因，由於強大的訊號電壓增高了柵極的負電位，於是促使電子管作用於它的特性曲線的彎曲部份上。這對於有高度放大因數的電子管特別靈驗，屏柵管就是一個例子。可變 μ 管的設計，就在收強訊號時，放大因數變低，收弱訊號時放大因數變高。這樣，上述的畸變就大為減少了。

可變 μ 管有多種，但可資說明原理的一種，則如圖 8.22 所示。在控制柵中間有一個間隙。當收受普通強度的訊號時，電子穿過這柵極的線網，也穿過這間隙，但這時這間隙可沒有什麼效應。當收受高度強訊號而柵極偏電壓變得極負時，柵極的線網便阻止了電子流，但電子仍能流過這間隙。這時候柵電位的變更祇能控制間隙邊緣上的電子流。

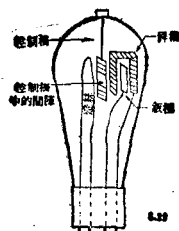


圖 8.22 可變 μ 管的原理

這使柵電位對於板電流的效應大為減小，換言之，便是把放大因數減小了。所以電子管的放大因數，即 μ ，對於強訊號要低。

8.25. 他拍(外差)原理(Heterodyne principle) — 作用於柵極上的恆定振幅的振盪(等幅波)，使板極電流變到較高的平均值，祇要柵極上的振盪連續不間斷，便可一直維持着這電流值。茲假定這電子管係運用於特性曲線的下部彎曲處(見第 7.4 節)。這樣，聽筒中便不能聽出這射電頻率的等幅波訊號，祇在每列電波的開始和終了時聽得格勒一聲。如將這等幅波訊號和另一列頻率稍差的電波相合，便產生拍 (beats)。拍的頻率可以在聽筒中發出聲音。

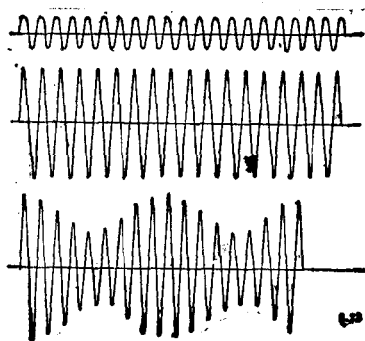


圖 8.23 兩列頻率略異的波所生的拍。

要說明這原理，可用兩個略微不和諧的音叉來做個比喻。譬如一個是每秒鐘振動 64 次，另一個是每秒鐘 60 次。當兩者都被擊發聲後，兩種聲音混合的結果，是一會兒高，一會兒低，這就叫做拍。當兩列聲波同步時，就是在同相的時候，它們互相協助，發聲較響。當他們不同步或異相的時候，它們都要互相中和，因之發聲就較低了。在這個例子中，這兩個波列每秒鐘有四次同步，四次不同步。於是每秒鐘內就有四拍。拍的頻率等於兩波列的頻率之差(圖 8.23)。

再舉一個更簡單的譬喻。譬如有兩排木柵如圖 8.24。一柵中的木條比另一柵中的闊些，且柵條間的距離也略為寬些。每一條柵木好比是一個波的峯，柵條間的隙好比一個波的谷。在圖的上部是一排柵，下部又是一排柵，從圖中央兩柵相疊部份便可發現一種和拍相仿的效應。在一處，一柵的柵條與另一柵的柵條成直線。在又一處，一柵的柵條與另一柵的柵隙成直線。將圖中這兩部合看起來，便和一個拍相仿。

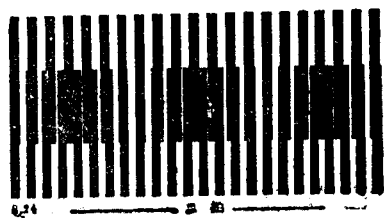


圖 8.24 上下二組木柵，一組中的柵木比另一組中的闊些，用以說明拍的情形。

無線電波也適用這同一原理。假使有兩列不同頻率的電波同時加在收音機上，便將發生一個拍音，拍音的頻率即等於兩列電波的頻率的差數。

在拍接收法中，係用一個備有調諧電路的振盪器，使它的振盪頻率可由使用者加以控制。這一種電路如圖 8.25 所示，所需各值亦經註出，以例讀者自行構造這一電路。當等幅波電訊輸入之際，同時把振盪器調諧至

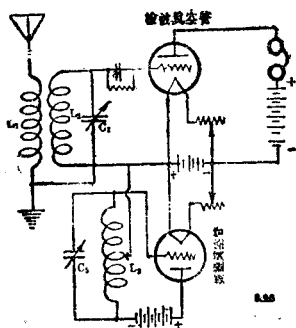


圖 8.25 他拍收音電路
 L_1 是一個特種材料製成的 100 微亨利。 L_2 也是 100 微亨利，能與 C_2 並聯。 C_1 和 C_2 各為 600 微法法蘭。

使收音機中聽得訊號，於是這振盪器和輸入訊號兩種頻率的差數

便是在成音頻率程界中的一數了。

振盪器的錄卷 L_1 耦合於收音機的錄卷 L_2 相當密。在調諧時，須將調諧器與振盪器的兩容電器同時操縱，這是一種頗難的手法。那振盪器容電器應有屏蔽，或者裝在收音機內須與收音人的身體相隔若干距離。一經調準時，拍音的頻率即不被電容的小變更（例如因天線搖動所致的）所變更。這種接收機祇適用於接收等幅波電報訊號。

8.26. 自拍(自差)法 (Autodyne method)——不用分立的振盪器，就在收音機本身電路內也能產生局部的振盪。這樣，成爲自拍電路。自拍電路不過是一個再生電路，利用容電器或反餽錄卷直接反餽電能。這樣的一個電路已見圖 7.24。當調諧訊號的時候，須把可變容電器調準至電子管近乎振盪點。

8.27. 超致拍(超外差)電路 (Superheterodyne circuit)——在他拍電路中所成的拍有成音頻率。在超致拍電路中所生拍音的頻率，比外來的訊號頻率固較低，但仍在成音頻率之上。

假定我們接收一每秒 1030 仟週的訊號。又假定有一個振盪器運用於 1000 仟週的頻率，於是這後者的振盪和外來的訊號混合後，即發生一每秒 30 仟週，即 30,000 週的拍音。振盪器和外來訊號的電脈衝都加在第一檢波管上。換言之，即該管的柵極電路是同時和振盪器的輸出及天線電路相耦合的。當從振盪器來的以及從天線上來的兩組振盪，一同作用於柵極上時，便產生一個振盪，它的頻率是前兩者之差。這與第 8.25 節所述拍的原理相合。如此產生

的振盪頻率叫做中間頻率(Intermediate frequency),因為它是介於外來訊號(射電頻率)和成音頻率之間的。若把天線所收入的訊號調幅,這調幅作用會自動的轉變成中間頻率振盪。

那第一檢波器在實質上是一個混合管,將兩組振盪聯合而產出一拍音頻率。第一檢波器的輸出電流流經第一中間頻率變壓器的主線卷,而在副線卷中感生一同頻率的振盪電動勢。這些振盪通常多經過兩級或三級的放大,再受第二檢波管的作用,由該管整流而將訊號變成音頻率,像在任何無線電電路中的檢波管的作用一樣。

超致拍電路的主要部份有四:振盪器,第一檢波器,中間頻率放大器和第二檢波器。通常附加成音頻率放大,但并不認為是這種電路的主要部份,因為若用一個聽筒直接接在第二檢波管的鈎極電路中,也能收聽訊號。收入的訊號在未與發自振盪器的電脈衝聯合之前,可以先行加以放大。這樣在第一檢波管之前就有一個訊號頻率放大器。這種電路的概況如圖 8.26 所示。

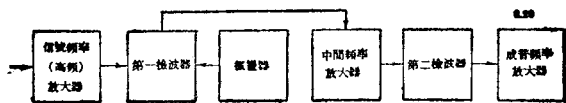


圖8.26 超致拍電路概況

將訊號轉成中間頻率可以大為增進收音機的選擇性。理由是這樣的:譬如接收兩個電台的訊號,它們的載波頻率是1000和1010仟週。兩者相差10仟週,僅佔一載波頻率的百分之一。今假定用一有頻率為900仟週的振盪器的超致拍電路來接收上述兩訊號。

那所生的拍音頻率就有 100 和 110 仟週兩種。這兩種中間頻率的差數是 10 仟週，佔那較低一頻率的百分之十。至此，兩訊號的分隔有百分之十而不是百分之一了。所以，轉成了中間頻率之後，對於祇有 10 仟週相隔的訊號更容易分開了。爲欲使『10 仟週分隔』正確起見，又須在載波頻率兩邊 5 仟週處加以急速割絕。這在第 8.29 節中將有更詳盡的說明。

任何振盪器的頻率都能夠和兩種不同的訊號頻率產出一樣的拍音。例如：若振盪器的頻率是 1000 仟週，那麼或是 1030 仟週或是 970 仟週的訊號的頻率，均將產生一 30 仟週的拍音。換句話說，訊號頻率可以在振盪器頻率之上 30 仟週，或之下 30 仟週，都會產生一個 30 仟週的拍頻。（訊號頻率更換時，可將振盪器調整至有 30 仟週之差）。在上述情形，假如中頻級已調諧於相差 30 仟週處的共振，那麼就可聽到兩家電台，一家是 970 仟週，另一家是 103 仟週。這種情形叫做『對像頻率』(Image frequency) 干擾。選擇一個能免除這種干擾的中間頻率是一件重要的事。因此最好選用一個高的中間頻率，因爲可以發生干擾的兩訊號頻率之差等於中間頻率或拍頻率的兩倍之故。比如在上例中，那兩個干擾頻率的差數是 60 仟週，而拍頻率則是 30 仟週。我們可選用一個高的中間頻率，使在廣播範圍(550 仟週至 1,550 仟週)內沒有兩電台能發生對像頻率的干擾。不過，若所選的中間頻率太高，它的諧波 (harmonics) 可與輸入的訊號發生干涉拍音。經實用知道，175 仟週的中間頻率是這兩種條件間滿意的折衷數。

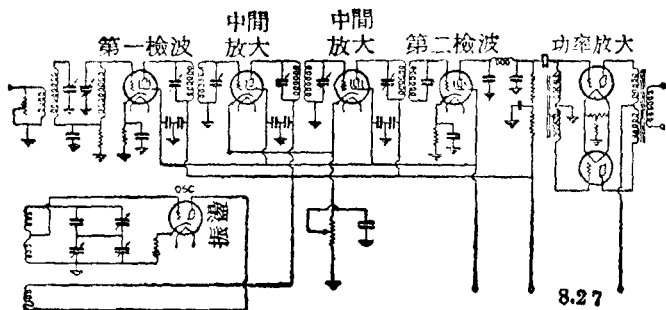


圖8.27 用屏柵管的超致拍電路

圖 8.27 示一用屏柵管的超致拍電路，為簡單化起見，圖中未將電源部份畫出。

8.28. 吸收電路 (Absorption circuit) 或濾波器 (Filter) —— 割絕干擾訊號用的濾波器不過是一個具有線卷和容電器的共振電路圖 8.28 示一濾波器，串聯於收音機。欲濾除 500 至 1500 仟週內的電波，須用一個在 1 吋徑圓管上繞着 80 匝線的線卷和有 0.00035 微法拉電容的容電器。把濾波器對某一頻率調諧至共振時，該頻率的訊號就不能進入收音機。這是應用並聯共振原理的另一例子。這

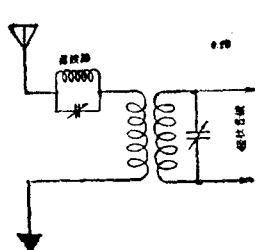


圖8.28 串聯濾波器

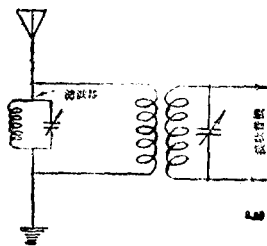


圖8.29 並聯濾波器

共振電路對於所調諧的頻率有無限大的阻抗。若把這濾波器跨接於天地線接頭之間(圖 8.29), 那麼祇有調諧於這濾波器的訊號會經過收音機, 其餘的訊號都借濾波器作分路而入地去了。濾波器如與天線電路以感應法相耦合, 那麼調諧時將格外敏銳。耦合的方法可在濾波器的線卷上再繞一個5匝線的線卷, 而後將這 5 匝線卷接在天線電路中。

圖 8.30 所示的濾波器叫做通低頻濾波器(Low pass filter)。

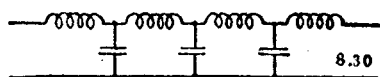


圖8.30 通低頻濾波器

第 6.10 節中已講過線卷的電抗是隨頻率而增加的, 所以, 這些線卷允許低頻率振盪通過, 但

在某一頻率之上時, 電抗變成非常大, 實際上沒有振盪能夠通過。

那些容電器是為較高頻率所備的旁路。最高限度的頻率叫做截止頻率(cut-off frequency)。若無電阻的話, 那麼在這一頻率的截止情狀是非常急驟的。但事實上總有若干電阻, 所以在截止頻率以上時, 電流就迅速減低。一個通高頻濾

波器(High pass filter), 如圖 8.31。

容電器的電抗在高頻率時比在低頻率時為低(見第 6.20 節)。因此, 這些容

電器允許高頻率通過而截止低於某一頻率者, 同時那些線卷則為低頻電流開一旁路。

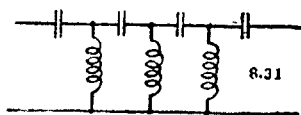


圖8.31 通高頻濾波器

8.29. 旁帶(Side bands)——載波被調幅時(見第 7.3 節), 就產生了一個複合波(Composite wave)。複合波可由數學的方法,

解析為一個有若干不同頻率的波形；複合波的最低頻率等於載波頻率減調幅的最高頻率，而其最高的頻率則為載波頻率加調幅的最高頻率。例如，假定一廣播電台的頻率是 1000 仟週，作用於微音器上的語音頻率最高到 5000 週或 5 仟週。那麼，依照旁帶的理論，那調幅波的頻率將自 995 仟週至 1005 仟週。那些加於載波頻率的或自它減去的調幅用頻率，就叫做旁帶。

物理學家和無線電工程師之間有一個差別的意見，便是究竟旁帶是實在的呢，還是不實在的。理論的相反是因為調制用的波僅使載波變更它的振幅而不是它的頻率。若以電波確是經過空間而言，兩者的理論都是對的，但我們為實用起見，還是把旁帶認做確有其物的為是。對於每一廣播訊號，必須予以一頻率帶。通常的廣播訊號規定有一個 10 仟週的帶闊，因此調制頻率可以高至 5 仟週。

8.30. 通頻帶濾波器(Band pass filters)——用以接收普通廣播訊號的理想的收音電路，最好是能夠在 10 仟週程界內對於所有頻率有相等的響應，而在頻帶的兩邊急銳地截止。像這樣一架接收 1000 仟週用的理想的收音機，應在 1005 仟週時仍有完滿的響應，而在 1006 仟週時，則毫無響應。

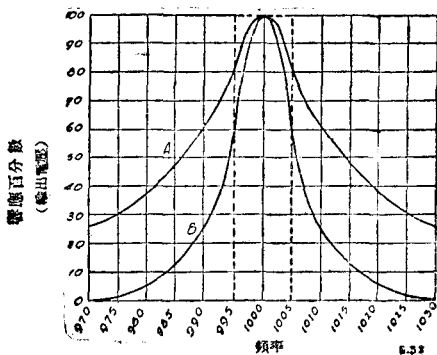


圖8.32 響應曲線

這種理想收音機的響應曲線 (Response curve) 由圖 8.32 中的虛線表示。圖中的曲線 A 是在祇有一級射頻放大而沒有通頻帶濾波器或其他相似設備的收音機中所確呈的響應。若把這響應曲線 A 的峯頂稱做百分之 100，那麼這峯的兩邊各 10 仟週處仍還有頗高的響應 (在此例中是百分之 60)，照理是不應該有的。又在兩邊各 5 仟週處則有百分之 80 的響應。假如收音機用三級放大，那麼這曲線便比較峻峭些，如圖中曲線 B 所示。換句話說，便是調諧比較敏銳些，但現在在 5 仟週處祇有百分之 60 的響應，照理是應該有百分之 100 的。這種情形叫做截去旁帶。換言之，是訊號的畸變。較高的頻率被截去了，因而齒音像字母 S 的，便不能很清晰的響出了。

要在 10 仟週帶內獲得完美的響應而在每邊急銳截止，在實際上是不可可能的，但是用了通頻率濾波器便可接近這個條件。這裏祇

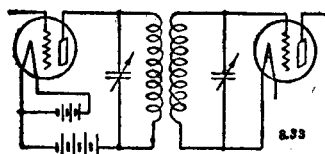


圖 8.33 通頻帶濾波器電路

預備簡單地講述這種濾波器的基本原理。假定有兩個調諧器，各有一個線卷和一個容電器而調諧於同一頻率。現如將兩器相耦合，就是將兩線卷互相靠近，俾兩者間產生互感應 (圖 8.33)。再將兩器一同調諧，它們會調諧於兩個不同的頻率，這時這響應曲線將如圖 8.34 那般的有兩個波峯了。茲假定兩者各別調諧於 1000 仟週，於是互相耦合，使兩線卷間的互感有每線卷單獨時電感的百分之一。譬如每線卷各有 250 微亨利的電感，那互感便是 2.5 微亨利。兩峯之間因之便有 10 仟週的分離。照法則，兩峯間

的距離對於共振頻率的比率，和互感對於錄卷之一的互感的比率（假定兩錄卷的電感相等）是相同的。這種配置叫做通頻帶濾波器，能產生近於理想的響應曲線。

旁帶理論有一個有趣味的應用，便是載波的遏制 (Suppression of the carrier wave)。所用的一個振盪器電路

如圖 8.35 所示。兩個電子管都當振盪器用。讀者細看這電路，便可

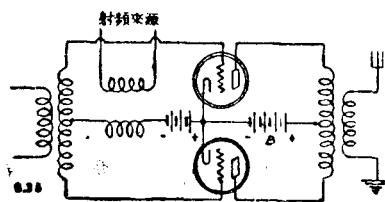


圖8.35 遏制載波的電路

明白由調幅產生而作用於兩管的柵極上的旁帶，所生的效應在鉍極電路中是相加的，因而在天線電流上的效應也是相加的。但鉍極電路中的載波頻率電流，對於天線電流的效應而言，却是互相中和的。因之載波是被遏制了，除了在調幅發生時，將沒有電流發送出去。在收音機端必須添用一振盪器以重生載波。這種方法多應用於商業通訊中。它的好處在把衰落減小，且發送所需的電力較小。

8.31. 屏蔽(Shielding) —— 在無錄電收音機中，錄卷的電磁場或容電器的靜電場都可反作用於收音機中的別部份而致損失大量電能。屏蔽便是減小這種作用的一個方法。

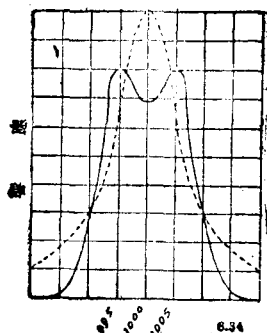


圖 8.34 有兩波峯的響應曲線

明自由調幅產生而作用於兩管的柵極上的旁帶，所生的效應在鉍極電路中是相加的，因而在天線電流上的效應也是相加的。但鉍極電路中的載波頻率電流，對於天線電流的效應而言，

假定有一個錄卷(圖 8.36, 錄卷 A), 內有交流電流過, 它的磁

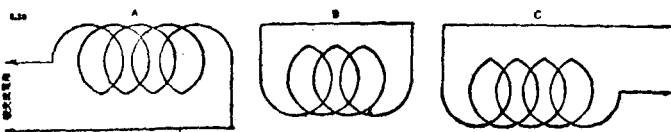


圖 8.36

場也就不斷地變更着。若在此磁場之內加入了另一個錄卷(圖 8.36 錄卷 C), 那麼這第二個錄卷便感得電動勢。今若在上兩錄卷之間插入另一個通路錄卷(圖 8.36, 錄卷 B), 那麼這第三錄卷就感生交流電。這感生電流的磁場, 正和錄卷 A 的磁場相反對, 多少阻止錄卷 A 的磁場穿過它去作用於錄卷 C 上。若用一塊金屬片替代錄卷 B, 結果也是一樣(圖 8.37)。這金屬片中感生電流, 便由其所產生的磁場來阻礙錄卷 A 的磁場穿過, 這金屬片便成為錄卷 C 的一個屏蔽。

屏蔽的效應是由渦流(eddy currents)所成, 這是重要之點。

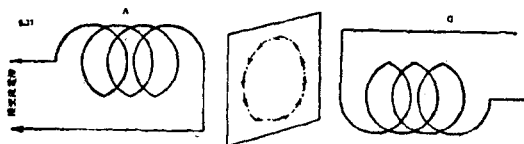


圖 8.37

完善的屏蔽便是渦流的通行無阻之意。假如一屏蔽可用毫無電阻的金屬質做成, 並完全把

錄卷 A 包閉, 這種屏蔽才是完善的。但無論何種金屬都有若干電阻, 所以不是一個完善屏蔽。在屏蔽之外, 總有若干磁效應, 因為屏蔽物中的電阻妨礙了渦流, 致渦流不能完全反抗所包錄卷的磁作用。然而, 我們能減低屏蔽物的電阻來增加屏蔽的效應。在某限度

以內，可增加金屬的厚度來減低電阻。不過在無線電中，頻率是很高的，所有電流都趨向於導體的一層極薄表面上（見第 6.44 節），所以屏蔽物的厚度超過某一限度時，也是徒勞的。

不能做到完善屏蔽的又一理由，是錄卷的未能完全被包圍，因在接錄之處，必定有些少隙口。就是極小的隙口，電磁場也能通過。假如屏蔽是分幾段拼成而銲合的，那麼銲接未善之處，因為增加了渦流通行時的電阻，屏蔽的效率就要減損。

在屏蔽物中也有電能的損失。既然屏蔽的效應是由渦流而成的，屏蔽物又有若干電阻，當然一定要消耗若干電能。電流流過一電阻時，便消耗電能。屏蔽物中消耗的電能係由被屏蔽錄卷中電流的電能所供給的。結果便等於增加了這錄卷中的電阻。因之這錄卷的有效電阻便因加了屏蔽物而加高。屏蔽物須不和電路的任何部份相接，否則這屏蔽物便變成荷電體，而電阻更將增高。

頻率愈高，屏蔽效應愈大。交流電的頻率愈高，磁場的變動愈快。磁場的變動愈快，屏蔽物中感生的渦流愈強，因之屏蔽的效應也愈好。然而，當頻率變成極高時，屏蔽的效應也將達一限度。理論上說，一個低電阻而非磁性的屏蔽物，在頻率變得非常高時，屏蔽的效率可達百分之 100。

雖然無論那一種屏蔽都不是完善的，且被屏蔽錄卷的電阻比不受屏蔽時為大，但屏蔽總是有益的。它把收音機中各錄卷的磁場的相互作用減除了許多，因此產生更正確的音。它也增高了收音機的選擇性。

8.32. 旁路容電器 (Bypass condensers)——收音電路中用旁路容電器的目的，係在對於某種電流開出一條短捷回路，以防它們與

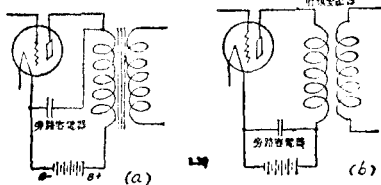


圖8.38 旁路容電器的用途

載着訊號前進的所要電流發生干擾。在第一個音頻變壓器主線卷上跨接的旁路容電器是重要的。它把經過檢波管的任何射頻電流從旁洩去。這個容電器既然祇旁洩射頻電流而決不洩去任何音頻電流，那麼它的電容量必須很低。一個適宜的值是 0.00025 微法拉。這種容電器的接法應如圖 8.38a 所示。在射頻級“B”電池上，也應跨接一個旁路容電器。這個容電器係用以洩去音頻電流，防止它們經過“B”電池。所以這種容電器須有大的電容量。適宜的值是 1 微法拉。圖 8.38b 示這種容電器的正當接法。在交流式的收音機中也同樣應用這法則。在電源部接至射頻級之處，最好跨接一個 1 微法拉的容電器。

8.33. 電源供應——供應交流式收音機鉍絲間電壓的電源部，包含三個主要部份：變壓器，整流器和濾波器。變壓器的副線卷須能供給所需的最高電壓。

低壓線卷供給燈絲用的電流。鉍極電壓須用直流，所以整流器是必需的。一般都用電子管整流。圖 8.39

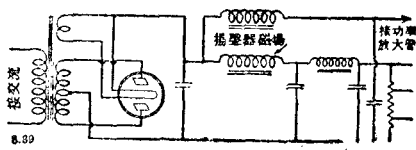


圖8.39 電源供應電路(供應其他電子管燈絲電流的線卷未曾繪入)

中所示的整流管有兩個鈹極，使每一週的兩半波均被整流。這叫做全波整流器(Full wave rectifier)。管內的電子是從燈絲流到鈹極。在管外的電路裏，電子是從鈹極流向燈絲。所以從管外的電路講，鈹極是負的而燈絲則是正的。從整流管出來的直流電壓是漲落不定的，每一週中有兩次從最高點落至最低點。因此便需用一個濾波器來使電壓平定。濾波器已如第 8.28 節所述，由抗流線卷和容器組成。容器須有大的電容量，2 微法拉或更大，因為這種容器是用以旁洩音頻脈衝的。假使濾波器不完善，那麼電壓的漲落將在揚聲器中發生一種營營的交流聲。濾波器的輸出端跨接一個電阻器，器上備有分接頭，以供不同電壓之用。

8.34. 短波——『一個短波有多少長？』這個問題沒有一定的回答。普通廣播所用的波長是 200 至 550 米。在 200 米以下的電波有時候稱為短波，實則祇有在 100 米左右或更短的電波才具有和廣播段電波顯著不同的特性。

短波最顯著的特性就是所謂『跳越距離』(Skip distance)的效應。這個效應隨懇赫層的作用而變更，這是離地面若干距離的一層游離的空氣，由懇涅勒、赫維賽德 (Kennelly-Heaviside) 兩氏發現，所以稱做懇赫層。游離的空氣是含有自由電子或帶電質點或二者俱有的空氣。短波射入空間後，遇到這游離層而反射至地上。結果那電波

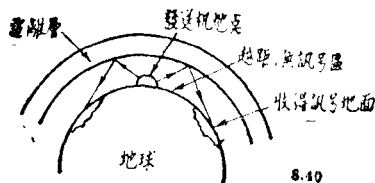


圖8.40 跳越距離效應

跳越某距離而在離發送點很遠的地點被收到。圖 8.40 示這種效應的大概情狀。跳越距離隨頻率或波長和一日時刻而變更，對於一年中的季節也有若干影響。經若干年經驗和不斷的觀察，工程師們把各項記錄和圖表彙集起來，就能夠決定在什麼季節，白天或晚上的什麼時候，應用何種頻率才能獲得所欲通達的地點。

8.35. 短波接收電路——短波接收電路有兩種主要式樣，即超

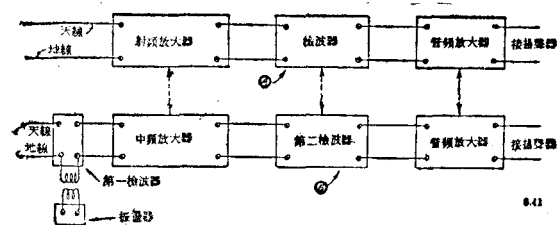


圖 8.41 短波檢波器配置

致拍式和再生式。接收無線電話宜用超致拍式，因為它的靈敏度高。

電報訊號一定要用再生式，因為祇有產生拍音的方法，才能接收等

接收等幅波的

幅波，所以必須用一個能發生振盪的電路。超致拍式收音機，若把它的第二檢波器改成再生式後，也可用以接收等幅波。

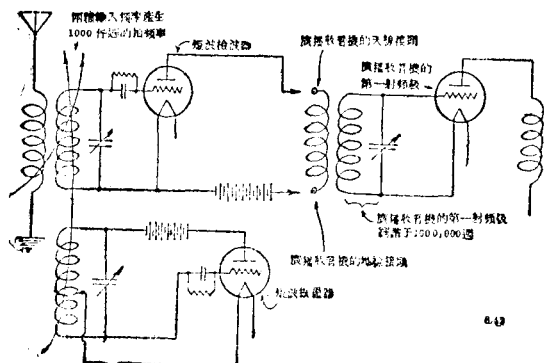


圖 8.42 短波檢波器的電路

普通的廣播

收音機，若添上了一個含有一個振盪器和第一檢波器的兩管機，即可改成短波收音機。原來收音機中的射頻級擔任了中頻放大器。這種換波器 (Converter) 的配置如圖 8.41 和 8.42。製作一具完善的超致拍式短波收音機，在換波器中須加入中

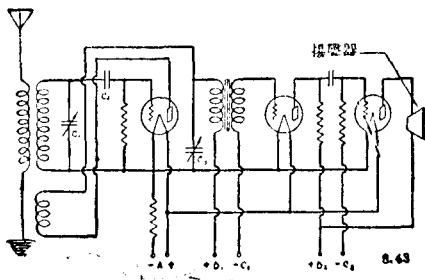


圖8.43 再生式短波收音機

頻放大器，第二檢波器和音頻放大器，後三部和廣播收音機中的構造一樣。再生式短波收音機電路的一例如圖 8.43。

8.36. 超短波 (Ultra short waves) —— 波長在 7 米以下的電波有若干特殊的性質，和 7 米以上的電波迥然不同。一個特點是超短波的作用猶如光線。接收機須在發送的視界以內，若在地平線以外，就不能收到電波了。通訊的距離可因發送機的高度的增加而增加。超短波容易穿過霧和煙塵。

應用了超短波，就容易獲得傳播電視所必需的廣闊頻率帶。原因如下：以 200 至 600 米的波長帶而論，—— 比廣播波帶略寬些 —— 200 米的頻率是 1,500,000 週，600 米的頻率是 500,000 週，相差 1,000,000 週。5 米波的頻率是 60,000,000 週，4 米波的是 75,000,000 週。如是在 4 米和 5 米兩波之間的頻率的程界已比廣播帶中頻率的全程大 15 倍。

第九章

振盪器與發送電路

9.1. 電子怎樣會振盪？——第7.12和8.15節中論再生的時候，曾講過若鈹路和柵路內各有一個錄卷，而將兩者互相移近的話，那麼鈹路的磁場便將作用於柵路的錄卷上。鈹流在變動時，即在柵路錄卷中感起電動勢。柵路錄卷是和天線電路耦合着的，所以此時該錄卷中有二個電動勢，一由鈹流而生，另一個來自天線電路。假如兩錄卷間互相發生正當的關係，那麼這兩電動勢便合增合減。兩者會互相同步或同相。如果這樣，這兩電動勢便相加而合成一個更大的電動勢。柵極上的振盪因此也就增強。此柵壓在每一周波中的振盪，比僅受天線振盪時為大。鈹流原是跟柵壓的變動而變動的。柵壓的變動既然增高，鈹流的變動自然也增高。所以，在鈹極電路中便有一增強的即放大的輸出。

這是一個累積的方法。鈹路中一部份的能反饋到柵路去，結果更增強了鈹路的能。假如能的反饋是充分而且有正當的位相關係，那麼柵路和鈹路的振盪便可由電子管本身的作用，自己來持續着。這時候便無需乎天線或電能的其他來源。在發動振盪之際，必須有一次略高的鈹流浪湧，但一經發動了，振盪便能自己持續。發動時所需的浪湧，常由燈絲發出的電子流驟生一變動而起。

請用蒸汽機來做個譬喻。汽筒中一部份蒸汽的能，係用以推動滑動閥，而此閥則又轉以控制進入汽筒的蒸汽。在某種意味上，可以把柵路的振盪比作滑動閥的作用。這閥控制着汽筒中蒸汽的能，正和柵路振盪控制着鈹流的能一般。蒸汽機的活塞以機械的方法與閥耦合，俾汽筒中一部份的蒸汽能，用以推動滑動閥。鈹路則以電的方法與柵路相耦合，俾鈹路中一部份的電能用以維持柵路的振盪。蒸汽機必須從蒸汽取得能的供給。電子管則須從鈹極電路電池取得能的供給。

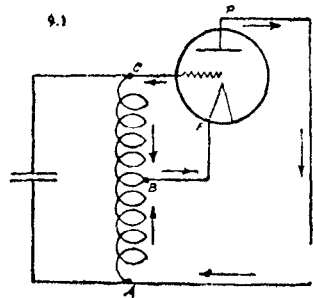


圖9.1 哈特萊電路的原理

圖 9.1 示一產生持續振盪的電路。這個振盪器電路由三個電路組成：鈹路，柵路和具有線卷 CA 和容電器的振盪電路。圖中應該還有一個鈹極電源和一個燈絲電源，茲為簡單起見，便都省略了。當鈹極為正時，電子在管內從燈絲流向鈹極；在管外的電路中，從鈹極流向燈絲，如圖中箭頭所示，從 P 至 A 而至 B 和 F。當柵極為正時，它就使鈹流增大，同時柵路中也將有些少電子流從柵極經 C, B 而至燈絲，如箭頭所示。當柵極為負時，即將鈹流減低。鈹流既然是決不會反向的，那麼它就祇得變動於平均值的上下，如第 7.4 節所述，因此那鈹流曲線就和交流的曲線相像。若將圖 7.11 中的鈹流曲線與圖 6.7 中的交流曲線相比，即可知道。當變動的鈹流流經一線卷時，就產生一變動的磁場，引起

自感應，正和交流的效應一般。因為要討論到這一點，所以我們就將銻流認為是交變的。

現在可以分析一下組成這振盪器的三電路中電動勢和電流間的

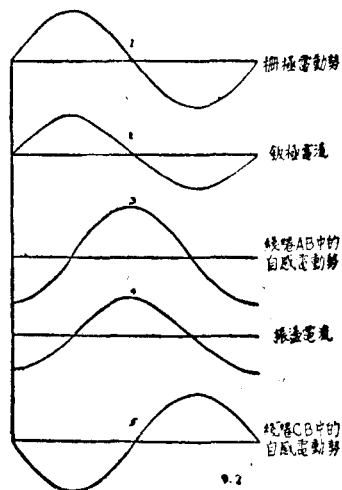


圖 9.2 哈特萊電路中的相的關係

的相的關係。圖 9.2 所示便是這些電動勢和電流的曲線。假定曲線 1 代表加於柵絲間的交變電動勢或電壓。這個電動勢使銻極電路中產一交流，如曲線 2 所代表者。一望這兩條曲線，便可知道管內的銻流和柵壓是同相的（見第 16.11 節）。交變的銻流經過線卷 AB，由自感應而在这線卷中產生一電動勢。這自感電動勢落後於銻流 90 度，如曲線 3 所示（見第 6.11 節）。線卷 AB 中的自感電動

勢使電流通於整個線卷 ABC 和容電器所組成的振盪電路中。這振盪路既然已調諧於銻流的頻率，它的容和感兩電抗自然是相等而相反的，因此在振盪電路內的電流就和主動的電動勢同相而不落後或越前。振盪電流既然和線卷 AB 中的自感電動勢同相，和銻流自然就有 90 度的差相。振盪電流如曲線 4 所代表。振盪電流和銻極電流當然都在 AB 中通過，在線卷這一部份中的實際電流即是兩者的合成值。但是振盪電流到了 B 點就和銻流分手，單獨

的流入柵路中的錄卷 CB。如是在 CB 中又產生一自感電勢，落後於振盪電流 90 度，如曲線 5 所示。如上所述，那柵路中由振盪電流所感生的電動勢（曲線 5）和鉍流（曲線 2）有一 180 度的異相。是故當鉍流中的電子在 AB 方向行進之頃，柵路中的感生電動勢却力促電子依 CB 方向流於柵路中。這就是說，在鉍流增加之際，柵極上的感生電動勢是正的。換言之，由這電路的感應作用所產生於柵極上的電動勢是在有助於鉍流的正當位相。這樣在電子管內感生的柵壓是和鉍流同相的。曲線 5 和曲線 2 所示感生柵壓和鉍流的相的關係，是對振盪電路的錄卷而言；曲線 1 和曲線 2 所示感生柵壓和鉍流的相的關係，是對管內的電子流而言。由鉍流的感應作用產生於柵極上的一電動勢，是在有助於鉍流的正當位相。如是電子管的振盪就變成自己持續了。

9.2. 典型的發送電路——基本的發送電路有兩種。別種發送訊號的電路大都從這兩種變化而來。

第一種發送電路是用錄卷，即感應耦合，把電能從鉍路反饋至柵路。哈特萊式就屬這一種。這個線路是斐耳電話實驗所的哈特萊 (R. V. L. Hartly) 發明的。圖 9.1 便是說明哈特萊電路原理之圖。AB 是鉍路中錄卷的一部份，BC 是柵路中的一部份。B 點可以用一個夾子來移動，以變更這錄卷兩部分間的匝數比率。容電器可以在 A 和 C 兩點間任取兩點接上。在這一典型的圖中，就接在 A 和 C 兩點上。

第二種發送電路是用容電器（電容耦合）將電能反饋。西電公

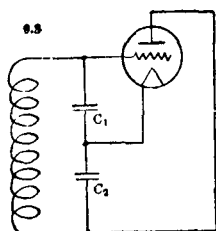


圖9.3 柯耳畢茲電路的原理

司柯耳畢茲(E. H. Colpitts)發明的柯耳畢茲電路便是典型的電容耦合電路。圖 9.3 說明此一電路的原理。電能經容電器 C_1 和 C_2 自鉸路反饋至柵路。這兩個容電器串聯後接在鉸極和柵極之間，燈絲則接在兩容電器之間。

柏林德律風根公司買斯納博士(Dr. A. Meissner)發明的買斯納電路(圖 9.4)也屬

感應耦合的一種。圖示天線電路同時磁耦合於鉸柵兩電路。電能的反饋經過鉸路線卷和柵路線卷的耦合。

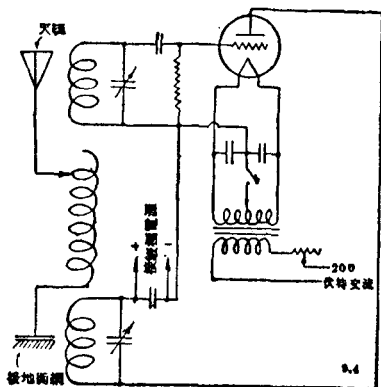


圖9.4 買斯納電路

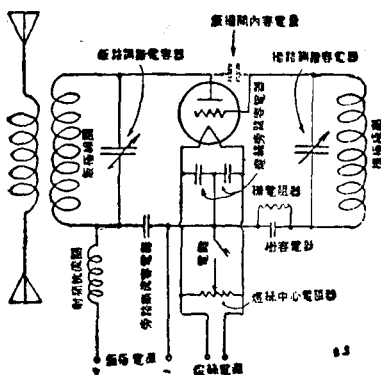


圖9.5 飯柵調諧電路

鉸路的電源可利用變壓器，整流器和濾波器，而由普通的電燈線路上取得。變壓器的副線卷須供給電子管所需的正當電壓。整流器把交流變成直流(見第 6.28—6.31 節)。濾波器由抗流線卷和容

錄卷，並須將其正錄接於容電器的向鈹極的一面。

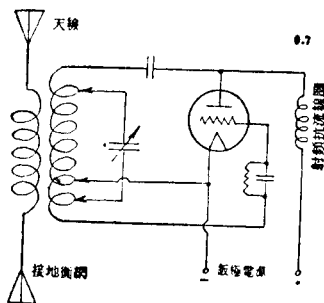


圖9.7 並饋法

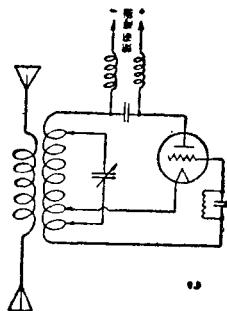


圖9.8 串饋法

飯 電 的 供 給

9.3. 實驗用的振盪器——圖 9.9 示一 5 瓦特哈特萊式振盪器的電路。

圖中所註各值適用於 200 至 550 米突的波長範圍。假如把

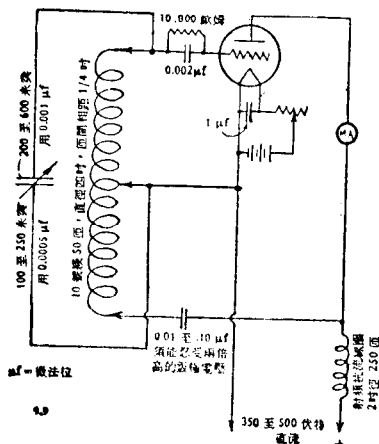


圖9.9 一個五瓦特振盪器

那個 0.001 微法拉(μf)的可變容電器改用 0.0005 微法拉的，那麼這振盪器的範圍便在 100 至 250 米之間了。錄卷處三個箭頭代表可以在錄卷上移動的夾子。鈹極電路中的那個固定容電器須有良好的雲母絕緣，俾能支持兩倍高的鈹電壓。振盪器如用交流供給，其接錄法應如圖 9.10。

振盪器的校準方法如下：

先調諧一收音機至一家已知波長的廣播電台的訊號。而後調諧這振盪器至收音機中聽得哼聲。假如從這廣播電台和振盪器兩處發來的訊號同時在收音機中收到，那麼或許會聽到一個拍音。這時把振盪器調整到拍音消失或是非常微弱。捻轉標度盤到了這一位置，就使振盪器的波長和這廣播電台的相同。照上方法換聽不同波長的其他廣播電台，便可在標度盤上記出各該電台的波長或頻率。標度盤上其他各點的波長可用內推法決定，也還準確。例如：標度盤置在 75 上時，波長是 300 米，在 65 上時，波長是 280 米，那麼在 70 上，波長常有 290 米。但這方法只有在所用的容電器所轉的角度正比於波長者是對的。這種容電器叫做「波長標度正比」容電器 (Straight line wave length condenser)，因為如將橫座標代表標度盤的讀數，縱座標代表波長，將各點聯成的線圖是一條直線。上舉的例子就說明內推法的應用。實施時的結果並不是這樣簡單，但方法是相同的。由拍音的方法求得了對於度盤兩個讀數的波長，就可假定這兩讀數間的平均讀數即是這兩波長間的平均波長了。兩測定讀數愈相近，推出的平均讀數愈準確。假如所用的容電器的標度是比例於頻率的，那麼推算平均值時，必須用頻率而不用波長。

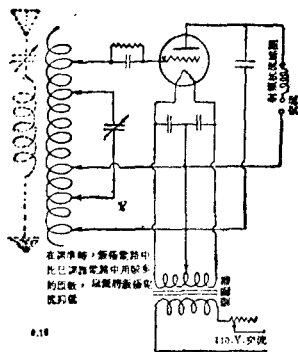


圖9.10 用交流的一個 5 瓦特振盪器。此線路中所用的各值與圖9.9 相同

振盪器可用一個由乾電池供電的電子管(圖 9.11)。這對於許

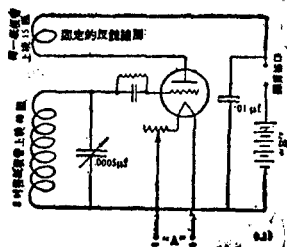


圖9.11 小電力的振盪器

多試驗頗見方便，尤其用以校核收音電路。這種小振盪器在自身校準以後，可轉以校準一收音機的标准盤。或在板極電路中插入一副聽筒，便可檢聽發送訊號的聲調如何。至於其他用途，將在『無線電量法』一章中講到。

9.4. 發送電路概論 —— 發送等幅波電報的電路是一個振盪器，係用電鍵來發出與停止天線振盪。前述兩式典型的簡單電路都很合用，各有一個電感和電容以定其波長。那個調諧用電路包含調諧容電器和跨接在這容電器上的線卷的一部份。在哈脫萊電路中，調諧電路的線卷一部份是在板路中，一部份在柵路中。假如祇有線卷的板路部份跨接於調諧容電器，就有一個調諧的板極電路。假如祇有線卷的柵路部份跨接於容電器，就有一個調諧的柵極電路。

賈斯納電路頗有伸縮性，容易把它調整到輸送最高電功率於天線，但此式電路不適用於波長一百米以下的發送。

無論用那一種電路，將電能輸至天線電路的必是感應耦合法而非傳導耦合法。就是說，已調諧電路的線卷切不可直接接至天線電路，而必須由磁感應作用於天線電路的線卷。傳導耦合是法律所禁用的。

9.5. 晶體控制 —— 振盪器的頻率可用一塊致振盪的晶體來保

持恆定。設 ABCD (圖 9.12) 是一塊晶體，夾在兩金屬板之間。如將金屬板荷以正負電如圖所示，那麼這晶體的作用就好像給很大的壓力所壓緊着似的。它在 AB 的方向裏變短些，而在 AC 的方向裏變長些。假如金屬板上

的電荷降低至零，那麼這晶體便立刻彈回，且彈過零位，反而在 AC 方向變短，在 AB 方向變長了。於是彈來彈去，振盪於射電頻率。假如把電極性反逆了，它所受的荷變也就與前相反。假如所受交流的頻率與晶體的固有頻率相近的話，這晶體便繼續的振盪了。晶體的固有頻率要看它的厚度而定。晶體愈薄，它的固有波長愈短，也即是它的頻率愈高。

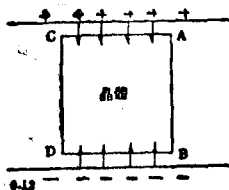


圖 9.12

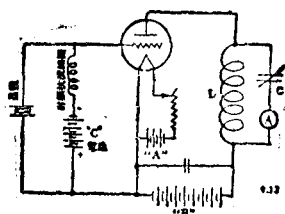


圖 9.13 試驗晶體振盪用的電路

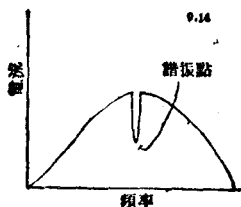


圖 9.14

試驗晶體用的電路如圖 9.13，鉍電壓須略高，“C”電池的電壓為 -1.5 至 -10 伏特。當調諧容電器 C 被調整到近晶體頻率時，那毫安培計（熱線式或熱偶式的）A 便顯示一電流。及調準至晶體的頻率時，這電流便突然跌落，如圖 9.14 所示，因為這時候晶體已把電能吸收了。從 L 和 C 的值，即可求得晶體的固有頻率。事實上 L 和

C 也可以就是一個已校準的波長計中的線卷和容電器。在發送機中，L 和 C 所調諧的波長總比晶體的固有波長略為小些。另一試驗晶體用的電路如圖 9.15。第 9.3 節中所講的振盪器可用以與這個試驗中的線卷相耦合。

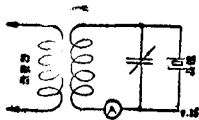


圖 9.15 另一試驗晶體振盪用的電路

一個有正常厚薄，適合所欲波長的晶體，可用於發送電路中以控制振盪器的頻率。在發送電路中即使有些微變動，例如由於天線的搖曳，線卷的脹縮等，均因晶體的作用，就不致影響於發送機的頻率。晶體控制住電路於恆定波長。

因為晶體只能控制極有限的電能量，故在晶體控制振盪管和天線電路之間最好接入一個放大管。振盪管的電能必須在晶體所規定的限度之內，至於必需輸入到天線上去的電能應由放大管供給之。一個有

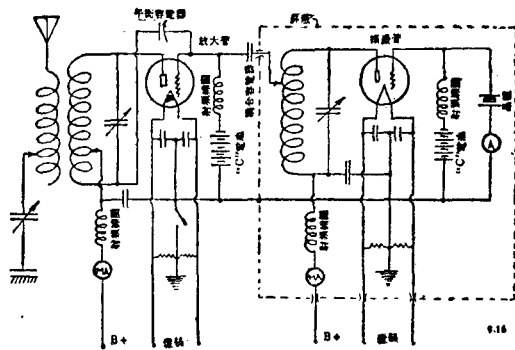


圖 9.16 主控振盪器線路

放大管在振盪管和天線之間的電路叫做主控振盪器電路 (Master oscillator circuit)。圖 9.16 所示者是用晶體控制的這種電路。

9.6. 短波發報機——把共振電路的電感或電容，或二者都減

低了，那麼共振電路的波長便也減短了。短波發報機中的電感和電容都是很低的。所以接線時須十分留意，務求減小接線中的電感和電容量。基本電路的任何一式都可用於短波工作，祇要把電感和電容盡量減低，以求得所欲的波長。

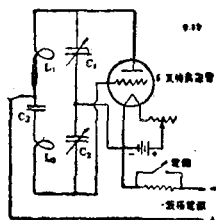


圖9.17 超短波發報機

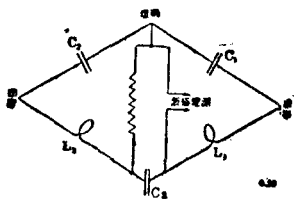


圖9.18 表示圖9.17的電路相等於惠斯登電橋電路

圖9.17和9.18是適用於短波的良好電路。那電感是一匝線，在中間割斷，其兩部份由一個.003微法拉的隔直流容電器(blocking Condenser)連接。這個容電器須能耐受最高的鉅極電壓。圖中的那兩個可變容電器實是一個可變容電器的兩部份，每部份祇有一個定片。這個電路是超短波電路的一例，發送的波長約在3米至5米之間。若增加了它的電感和電容，這同一電路可用於100米以下的波長。

9.7. 調幅 (Modulation) ——

假如能把唱片上盤旋的凹紋引直了，並加以放大，就可以看見它是由不規則的凹陷所組成。這些起伏不平的形狀相應於聲波的形狀。對於

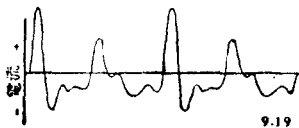


圖9.19 “Father”一字中“A”聲的波形

“father”一字中母音 a 的發音，其槽紋大致如圖 9.19 模樣。這也就是發送這一音時在電話輸送線路中電流的波形。唱針在唱片上的起伏也是與此波狀一般。在製造唱片的時候，那收音針就在蠟盤

上刻出如此形狀的槽紋。

現在假定有圖 9.20 那般的一列高頻振盪，係由一振盪管所產生。若將一個微音器接在振盪管

的輸入電路中，而後向微音器說一『a』字音，那麼這一聲音的波形就疊在高頻波上了。高頻波的峯頂在這時候便不是一齊達到同高。它們的振幅已被修改，換句話說，已被聲音的低頻波所調制過或調幅過了。調過幅的波形如圖 9.21 所示。假如把圖中高頻波的峯頂用線連接起來，便得一條不規則的曲線，和聲波的形狀是一樣的。低頻率的聲波加在高頻波上，正像聲波加在唱片蠟盤上一樣。這個譬喻雖不十分確切，但也可以幫助讀者對於射頻電波如何給聲波調幅的情狀在腦中留下一個印象。發送到空間去的便是這種被調幅過的射頻電波。這調幅過的電波到了接收方面，便將它們的振盪加在收音機中。

被調幅的射頻電波叫做載波 (Carrier wave)。這個名詞一望便可知曉，因為射頻電波作用如一種載具，靠了它才能把音頻電波

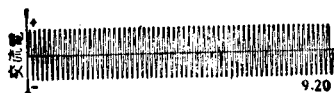


圖 9.20 高頻振盪

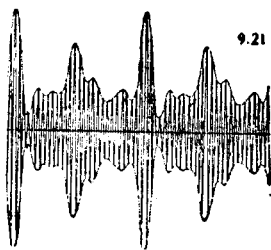


圖 9.21 發送“Father”一字中
“a”聲的已調幅的波形

載送出去。如這高頻波的輪廓線在最低點時恰正觸着零位線，那這載波便可稱為完全被調幅或是有百分之 100 的調幅。

9.8 蜂音器調幅 (Buzzer modulation) —— 若把一個蜂音器，電鍵與電池所組成的蜂音器電路接於一只變壓器的主線卷，而把變壓器的副線卷接於振盪管的柵路中，則由蜂音作用於變壓器所致之電流變動乃引起振盪管柵極上的電壓變動，而電流便被調幅。振盪器由此法所產生的電波名叫斷續等

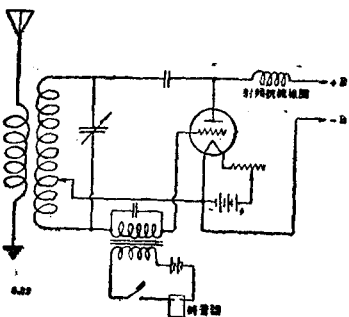


圖9.22 用蜂音器調幅的哈特萊電路

幅波 (Interrupted continuous wave)。在收音機中所聽到的聲音和蜂音器所發出的是一樣的。任何振盪電路均能用此法調幅。圖 9.22 所示者是用蜂音器調幅的哈特萊電路。

9.9. 語聲調幅 (voice modulation) —— 在蜂音器的地位用一

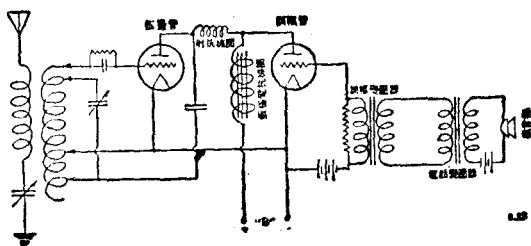


圖9.23 語聲調幅的電路

個微音器替代，如圖 9.23，那麼微音器受聲波擊動而發生的電流變動，即經變壓器而在柵極上產生相應的電壓變

更。柵極電壓變更時即使鉅流調幅，如第 9.7 節所述。

聲波也可經另一電子管而作用於振盪管上（圖 9.23）。這第二個電子管就叫做調幅管。語聲的變更先作用於調幅管的柵極上。調幅管的輸出轉輾而調制振盪器的鉅流。茲再詳細考查其作用如下：參照圖 9.23，聲波擊在微音器上使其膜片振動。這樣，經電話變壓器而使調幅變壓器的主錄卷中發生漲落電流。轉輾而在副錄卷中感生一交變電壓。這交變電壓作用於調幅管的柵極而使該管的鉅流隨語聲頻率而變更。鉅極電池供給於調幅和振盪兩管的電流是恆定的。換言之，便是兩管鉅流之和是恆定的。因此，當調幅管的柵極變為更陽性而使該管鉅流增加之際，振盪管的鉅流却減少了。反過來也是一樣。如調幅管的柵極變為更陰性，它自己的鉅流是減少，而振盪管的却增加了。因此，振盪管的輸出電流發生變動，其頻率為語聲頻率。這種振盪作用於天線電路而使送出的射頻電波調幅。“B”電池電路中的抗流錄卷阻止音頻電流回過鉅電池。振盪管鉅極端的射頻抗流錄卷祇許音頻電流通過，但從天線回來的射頻電流却在此擋住了。上述的調幅方法叫做海心式或恆流式調幅法，是西電公司的海心先生（Mr. R.A. Heising）所發明而施諸實用的。

9.10. 發送天線——建立發送天線應比接收天線更要小心，天線的長度應能發送其基本波長。天線的基本波長應比所欲發送的波長略為長些，這樣，在天線電路中串聯了一個容電器，便可把天線的波長減至所欲發送之值。例如，若發送的波長是 80 米，那麼天

線的基本波長可約為 90 米。天線在各波長應用的長度可從圖 9.24 中查得。對於 90 米的波長，天線和引入線的總長應有 70 英尺。

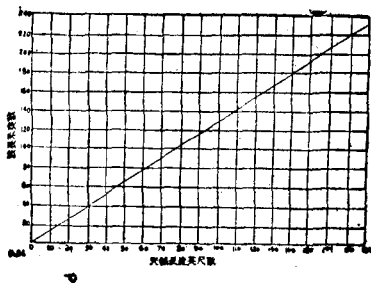


圖 9.24 天線長度與波長

發送天線最好配用一個衡網 (Counterpoise) 以代接地。

所謂衡網是一條單線，懸張於離地上數呎的絕緣物上。衡網的長度連它的引入線應和天線之長相等。這一種叫赫芝 (Hertz) 式天線，因為這是赫芝在試驗電磁波時所採用的。馬可尼 (Marconi) 式天線是接地的。用此式天線，接地必須良好，通常都用一塊大銅片埋在四五呎深的地中，俾能與潮濕的地土相接觸。

如欲加長天線的基本波長，可用一個可變的電感線卷與天線串聯，而後調整電感的匝數至得正確的波長。天線的波長可用第

11.16 節所述的方法來量出。天線電路中若串聯電感則增加波長，串聯容電器則減短波長 (見第 6.8 及 6.22 節)。



圖 9.25 表
示沿天線上各點
的電壓和電流

假如天線的基本波長是 80 米，也可把它用在 40 米的發送而無需什麼改動，祇要把發報機的調諧電路調整到 40 米就行。這樣，便說這天線是應用於它的第二諧波上。那基本波長叫做第一諧波；其他諧波都可應用第一次諧波的天線。

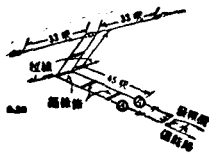


圖9.26 電流饋給式

分佈的強弱狀況。若發送於基本波長，而將發報機耦合天線的中心點，如 9.26 圖，那麼電流就饋入於天線上電流最大的一點。這一種是電流饋給式 (Current feed system)。電壓饋給式 (Voltage feed system) 是用一根單線將振盪電路接在天線上電壓最高點，如圖

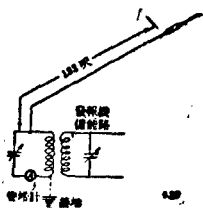
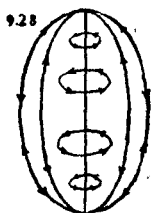


圖9.27 電壓饋給式

9.27。單根線的倒“L”式天線是最容易張掛的發報天線，對於業餘發報所用波段中各波長的發送完全合用。

天線中的振盪交番地產生着電場和磁場；電場和天線平行，磁場則垂直於天線 (圖 9.28)。這些電場和磁場相間地發生着，便組成了發送於空間的電磁波，就是通稱的『無線電波』。



從天線發出的波由電力場和磁力場組成。磁場圍繞天線，電場沿天線之長為伸張

圖9.28 天線周圍的電場和磁場

9.11. 天電擾亂——空中的天電擾亂 (Atmospheric disturbances) 產生振盪，妨礙訊號的接收。遠處或近處的電閃放電，或因低的浮雲行過而在空中發生的劇變電壓等，都是這種振盪最普通的來源。天電擾亂由於不同的原因而有好

幾種。第格羅 (De Groot) 把它們分成三類：

- 一，響亮而突發的喀噠聲。這類是電閃放電所致的。
- 二，接收機中一種恆定的噓噓聲，是由帶電的雲行過時所致。
大氣中的電荷直接進入天線時也產生與此相仿的聲音。
- 三，一種連續的急銳聲，原因尚未全曉。

9.12. 傳遞單位 (Transmission unit) —— 人們的耳朵不是一個極靈敏的器官。假如有一音樂隊演奏的聲音低至人們的耳朵剛能聽到，忽而增加音樂的音量至一百萬倍大，但人們的耳朵却祇覺得比原先聽聞的響了六十倍而已。換言之，假如每步增加的響度能為入耳所辨出，那麼音量增加一百萬倍，也只能分成六十步。傳遞單位代表一般人耳能聽得出的音量的最小增益。這個單位的名稱是「分裴耳」(Beci-bel)，「裴耳」是較大的單位，由發明電話的裴耳 (Alexander Graham Bell) 而得名。分裴耳是十分之一裴耳，符號是 db。

若音量的增益為 20「分裴耳」，那麼音量已增加十的平方，即 100 倍了。若增益是 30「分裴耳」，則音量已增 $10 \times 10 \times 10$ 即 1000 倍。如是「分裴耳」的數目就等於欲得音量增益時 10 所應乘的冪數再乘 10。如上例中音量增 1000 倍，即 10^3 倍，就將這冪數 3 乘 10 便得 30「分裴耳」。這數字 3 也就是 1000 的對數。對數便是 10 上應有的冪數。音量的增益實質上是電功率的增益。人們的耳朵對於音量增益的辨覺是依照對數步序的。現在我們可知道，為什麼一百萬倍的音量增益，在入耳聽來，響度只增 60 倍，因為 1,000,000 即是

10 自乘六次，即 10^6 呀。

電功率增益和分表耳間的關係可用一個簡單的定則記住。從電功率的比率折成分表耳，先從對數表中查得該比率的對數，而後乘以 10 便是。從分表耳折成電功率比率，先將分表耳數除以 10，除得的商數便是電功率比率的對數。而後再從對數表上查得這對數的相關數。對數表的用法在對數表中均附有說明。

1. 畫一張哈特萊式振盪電路。
2. 畫一張柯耳畢茲式振盪電路。
3. 振盪器怎樣校準？
4. 調幅的意義是什麼？
5. 試述振盪器用蜂音器調幅的方法。
6. 試述發送機內獲得口聲調幅的方法。
7. 主控振盪器發送電路是什麼？

第十章

光電管與輝光管

10.1. 光電流 (Photoelectric current) —— 電視 (Television) 和有聲電影都有賴於感光發電的光電管。在普通的無線電管中，電子是從受熱後的陰極發出的。這一種叫做熱游子發射 (Thermionic emission)，意即由熱的作用而發射電子。但有些物質則是由光的作用而發射電子的。這類物質便是鹼金屬。這類金屬中最著名的是鉀和鈉，它們和氫與氧化合後便組成了鹼性的氫氧化鉀和氫氧化鈉，通常稱做苛性鉀和苛性鈉。另一種通常用於光電管中的鹼金屬是銫 (Caesium) 銫和氧化銫塗在一塊銀板上，便組成一種普通光電管中的感光素。也有用氯化鉀光電管的。

如在一真空管內的金屬片上塗一層銫膜 (圖 10.1)，並投射一注光線在這層膜上，電子便發射出來。如在管內再加入一電極，使它對於銫膜為陽性，電子便流向這陽極；銫膜是陰極。如有圖 10.2 那麼一條電路，那電子便流通於這電路中了。換言

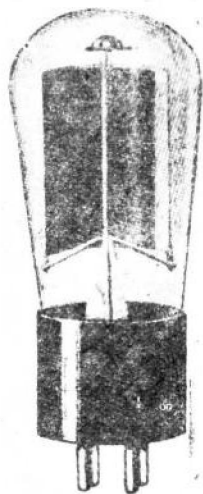


圖10.1 光電管

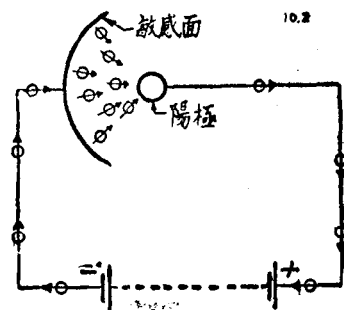


圖10.2 說明光電管原理的電路

之，便是有了電流，管內的電子流即是這電流的一部份。如將光線截斷，陰極便停止發射電子，於是電流減低至零。所以電流是給絕膜上所受的光作用所控制着的。

10.2. 光電管的敏感度。——電流的強弱視陰極的敏感面上所受光的強度而定。光愈強，電子射

出愈多。實際上從感光面上每秒鐘發射出的電子數和投射於感光面上的光線強度是成正比的。這是說，假如沒有干擾的話，這電流是正比於照度的。這句話在電子未達飽和點之前是不錯的。

光電管對於光譜中各色的敏感度比人們的眼睛更近一致。例如，人們的眼睛對於藍色比紅色或紫色要敏感得多。光電管對於紅色和紫色比感藍色祇略敏些。光電管對於人眼所不感的紫外光是非常靈敏的。

據確實試驗，若把火花放電所發出的霎時閃光投在光電管上，那電子便在三十萬萬份之一秒鐘內發出。光線一斷，電子便立即停止發射。所以這種反應在實際上是立時的。

光電管的電流非常弱小，祇有一安培的一百萬份之幾。有一種光電管含有極微量的鈍氣如氦 (Helium)，氬 (Argon)，或氖 (Neon)。從陰極射出的電子擊在氣體的原子上，會碰出其他的電子來，換言之，這氣體給陰極發出的電子所游離了。這些增出的電

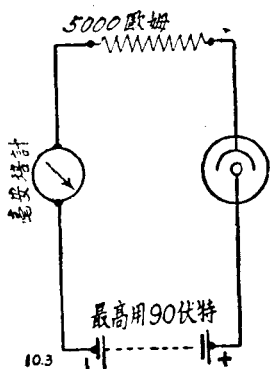


圖10.3 試驗燈光強度的光電管電路

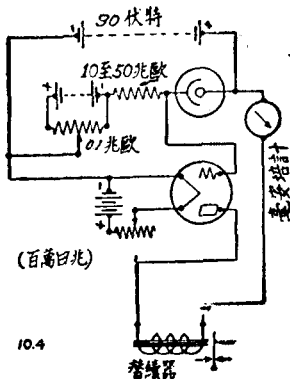


圖10.4 有放大器和管線器的光電管電路

子流向陽極去，於是電流便增加了。這種情形在真空式的電子管中是沒有的。含氣電子管的靈敏度因此便比真空式的高；然而，它的作用情狀却不如真空式的恆定。

10.3. 用於光電管的電路——圖 10.3 示一試驗燈光強度的電路。電流計偏轉的多少可顯出投射到電子管上照度的強弱。因為光

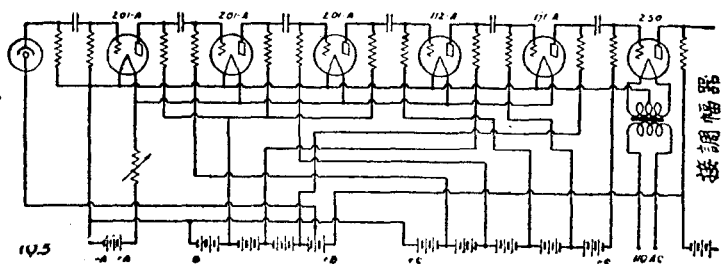


圖10.5 有聲電影中所用的光電管電路

電管所生電流微弱之故，所以須用一放大器。圖 10.4 示一光電管連放大器之電路，用以運用一個替續器。圖 10.5 示一用於電視和有聲電影中的光電管和它的放大器的電路。在電視中，末級管的輸出係用以調制發送機的。圖中單個光電管可代以多個並聯的光電管。如此可使發送電視活動圖像之視界得以增大。

10.4. 變導光電管 (Photoconductive cells) —— 又有一種感光電管，它的導電性隨光的作用而變更。這種光電管通常用硒 (Selenium)。光線照到硒上時，它的電阻便減低了。這種現象的解釋是光使硒原子中的電子釋放。據實驗，光作用於硒質的深度是 0.0014 厘米。因此硒膜應該非常之薄。流過硒光電管中的電流和照度的平方根成比例。所以對於同一照度，硒光電管的電流變更比光電管的小。但硒光電管所載電流却比光電管的為強。事實上，硒光電管可不用放大器而它的電流已足以運用一替續器。

硒光電管的缺點在遲滯。當光線照在這一種光電管時，電流的增加相當快，但沒有像光電管那麼快。但當將硒光電管上的光線截斷時，電流減少極慢，不能立刻降落至零。若將硒膜減至非常之薄，這一點缺點就可免除。所以現在這種硒光電管已能應用於有聲電影的放映中。

10.5. 輝光管 (Glow tubes) —— 電視發送也用光電管。光線從被發送的人物返射到光電管上，使發生電脈衝，隨即作用於調幅管的柵極上。這管的作用和發音廣播中的調幅管一樣。在電視的接收中，必須使電脈衝發生光的變動。這是用輝光管而成功的。這種

管含有在低氣壓下的氖氣。有高電壓加在這管時，這氣體便發出光輝來，光的強度隨電壓而變更。這管的地位相當於收音中的揚聲器。

另一種輝光管是陰極射線管(Cathode ray tube)。若在一高度真空管內兩電極上加以高電位，便有電子流從陰極流到陽極。陰極射線是這電子流的別名。行動着的電子，不論是在真空管中或一導線中，總是產生一磁場的。就因有這磁場，所以陰極射線管中的電子流能被另一磁場所偏向，正和載有電流的導線在磁場中運動的理由一樣。既然陰極射線是由陰電荷所組成，所以也能被一靜電場所偏向。這種靜電場的發生，係在陰極射線的兩邊各置一金屬板，並使一板為正，他一板為負。這樣就使射線偏向一邊。若使電荷相反時，那射線即偏到對方去了。

電視中所用陰極射線管的簡圖如圖 10.6 所示。組成陰極射線的電子流係從塗有氧化物的燈絲上射出。這一注電子經過陰性控制電極(Control electrode)——控制陰極射線強度的電極——的狹小出口，於是再經過有低電位的第一陽極。電子到這一點時的速度並不很高，大概為每秒鐘三百萬米。而

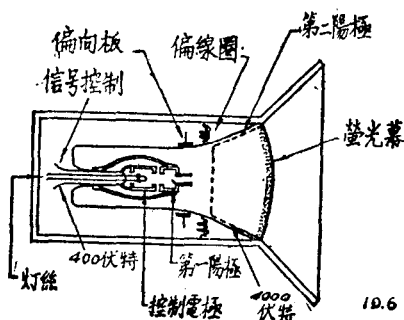


圖10.6 陰極射線管

後再經第二陽極，這極有高得多的正的電位，因此給予電子較高速

度。在陰極射線的上下各置有一塊致偏板。射線偏上或偏下，視兩板上的電位而定。在射線的左右兩邊各置一個致偏錄卷，視流行於錄卷內電流所生磁場的方向而使射線偏左或偏右。這兩錄卷中流過的交流和發送機方面的掃描光注 (Scanning beam) 的水平移動同步。所以陰極射線是和掃描光注同步而左右移動着。要產生一圖像，陰極射線不但要能左右移動，並且還要能上下移動，這是由變更兩塊控制板，即致偏板上的電位而成的。這些板上的電位則由發送機所控制的，其方法是將兩板接至一容電器，而以恆速率使這容電器充電，這樣，板的電位就在所需時間內將陰極射線從像區底部向上移過，待到達頂點時，即由發送方的一個電脈衝將容電器放電，因此射線便又落到像區的底部。如是便給這射線縱橫二種運動了。它的強度也依着發送機方光電管所受光的強度而變更。如是射線便在陰極射線管廣面的一端描出圖像。在這一端的內部塗有一層叫 willemite 的螢光物質，其發輝的強度相應於陰極射線的強度。如是圖像便現於管的廣端。這是電的掃描法 (Electric scanning)。

第十一章

無錄電量法

11.1. 波長計 —— 無錄電量法的基本儀器是波長計 (Wave-meter)。波長計根據於共振原理 (見第 6.32 節)。這儀器包含一個並聯着的錄卷和容電器。錄卷的電感和容電器的電容必須選用得能發生所欲之波長程界者。它們的關係如波長公式。

$$\lambda = 1884 \sqrt{LC}$$

電感的單位是微亨利，電容的單位是微法拉，(見第 6.33 節)，我們也可用相應的頻率公式，

$$f = \frac{1}{2\pi \sqrt{LC}}。$$

在這個頻率公式中，電感的單位是亨利，電容的單位是法拉。用較小的單位，微亨利和微法拉更方便些。要把公式中的電感換做微亨利和電容換做了微法拉，右項分數須以 1,000,000 乘之。這樣便是

$$f = \frac{1,000,000}{2\pi \sqrt{LC}}。$$

若以 2π 或 6.2832 除 1,000,000 便得

$$f = \frac{159,154}{\sqrt{LC}}。$$

我們要用到這波長和頻率的公式於許多試驗中。

初次嚐試波長或頻率量度的時候，可在一個 3 吋徑的紙板管繞 40 匝線，跨接於一個 0.0005 微法拉的可變容電器，而把線卷耦合於一個振盪着的收音機。這樣一個線卷和容電器便構成了一個簡單的波長計。耦合的方法可將 4 匝或 5 匝線繞在這線卷上，而後將這幾匝線串聯於天線(圖 11.1)。接線的方法應使電阻很低。於是把收音機調諧於一家已知波長的廣播電台的訊號。而後變動波長

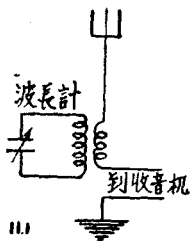


圖 11.1 波長計與一收音機相耦合

計的容電器至收音機中聽得格勒一響。把容電器在聽得格勒聲時的讀數記下。這個讀數便是輸入訊號的波長。如度盤旋動時聽得格勒聲不止在一點，那麼必須把耦合減疏，即是把接在天線電路中的副線卷移去一匝或數匝。格勒聲須在同一點聽得，不論電容量是在增或在減。若用一隻再生式收音機，恰好調諧到振盪點，可獲得正確的結果。此時波長計的副線卷可以取消，祇

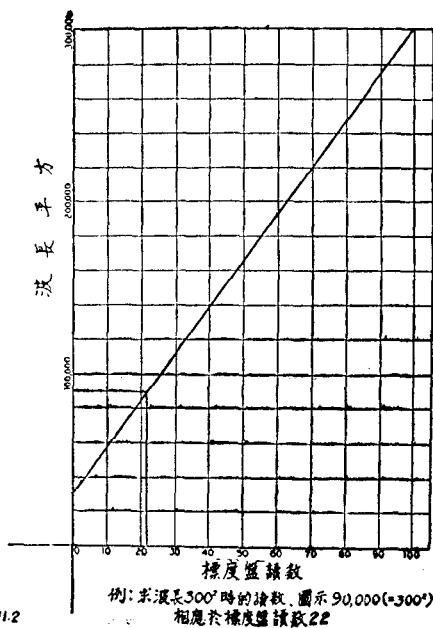
要把波長計置近收音機。於是把波長計移開，直至無論怎樣增減電容量，祇在同一點聽出格勒聲為止。這時候波長計作用如一種吸收電路，當調諧至與收入訊號共振時，便吸收若干電能，因之發生格勒聲。上述的校準方法可以復做幾次，每次更換一家波長不同的電台的訊號。有了若干記錄，便可畫出一張曲線圖，將橫座標代表波長計中容電器的讀數，縱座標代表波長。

若用一容電器，其波長正比於動片所轉的角度，則所畫的曲線

成一條直線。這種容電器叫做波長標度正比容電器（見第 9.3 節）。

從上述波長公式中可以見出，波長係與電容量的平方根成正比的，換言之便是電容量係正比於波長的平方。所以在波長標度正比容電器中，其片子的形狀在使電容量正比於動片自零位起所轉角度的平方。

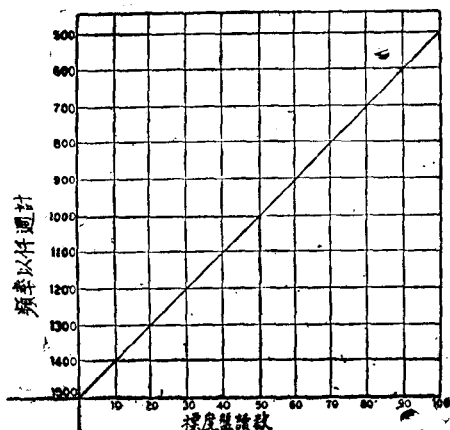
若一隻容電器的電容量是正比於動片所轉的角度的，其結果就不同。所得的曲線將是一條拋物線，須從試驗中



11.2

圖 11.2 容電器讀數與波長平方曲線圖

得到許多點子才可將這曲線繪得正確。故最好用下列方法繪這曲線：令橫座標代表容電器讀數，縱座標代表波長的平方，於是繪出的是一條直線了。有二次波長試驗就足以標定這條直線，若多做幾次，結果當然更好。要從這曲線上，求出對於某一波長的容電器轉片的位置，先將波長平方，而後在曲線上求出以此平方值為縱座標的一點。相應於此點的橫座標便是所求的容電器轉片位置。一個例子如圖 11.2 所示。



11.3 例：頻率1000仟週相應於標度盤讀數50

圖11.3 容電器讀數與頻率成反比的曲線圖

要在曲線圖上求出對於某一波長的容電器讀數，可先將波長除 300,000，求得頻率的仟週數（見第 6.34 節），而後從圖上求相應於這頻率的容電器讀數。圖 11.3 中是一個說明的例子。

11.2. 備有電流指示器的波長計——波長計是一種共振電路。當它調諧於輸入振盪的頻率時，流於波長計的線卷和容電器間的電流是最大。這時這波長計係處於與輸入訊號的頻率共振的狀態

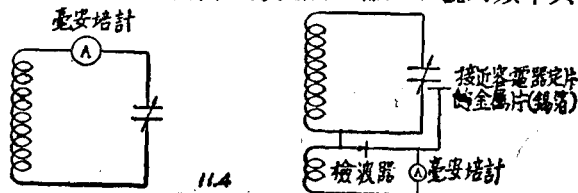


圖11.4 指示波長計中共振的兩種方法

另一種容電器，它的片子形狀使頻率與容電器刻度盤的讀數成反比。這種容電器也發生一條直線圖，將容電器讀數作為橫座標，頻率作為縱座標。頻率的單位最好用仟週，取用兩三個標準波長電訊的讀數已足以繪出這條線。

要在曲線圖上求出對於

中。足見凡能指示波長計中電流的任何器具都可探知波長計的共振。最簡單的指示器是一個熱鎳毫安培計。另一件是晶體檢波器和聽筒。圖 11.4 卽示這兩種方法所用的電路。

又一方法，由一線卷和容電器組成的電路在共振時，容電器兩端間的電壓是最高，所以也可用一跨接於容電器的一個電壓指示器來指示波長計的共振。一個極方便的方法是用一個氖氣管跨接於波長計，如圖 11.5

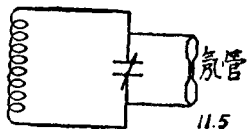


圖 11.5 利用氖管以示共振

11.3 振盪波長計 —— 波長已校準的振盪器在許多試驗中是很有用的。圖 11.6 示此種振盪器的一個電路。這是一個哈特萊電路，用乾電池式電子管。容電器的電容量有 0.001 微法拉。線卷所用的電感視所欲波長而不同，大概須和收音機中用相同容電器時所用者相仿。所有的零件，除電池外，最好都裝定於一個硬橡膠屏上。電池須夾定於一塊底板上，因為電池位置如有變更，會變更振盪計的調諧。

這種振盪波長計可用標準波長的訊號來校準。先將收音機調諧於那個訊號。於是把振盪波長計置在收音機近旁三或四呎處，慢

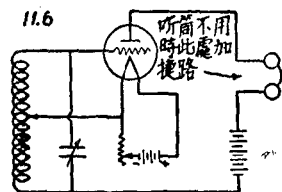


圖 11.6 振盪波長計

慢的把刻度盤轉動。當振盪器幾乎與輸入訊號調諧時，收音機中便發出尖叫聲。這是一個拍音，它的頻率便是輸入訊號和振盪波長計振盪的兩種頻率的差數。把刻度盤再旋過些，那拍音便逐漸變低，

直至完全消滅。再把刻度盤旋過些。那拍音又出現了，而音也漸漸高起來。這中間完全不聞拍音之點便是輸入訊號的波長的所在點。上述方法稱為零拍法。如是繼續選用不同的波長複演幾次，便可畫成一張曲線圖，以橫座標代表刻度盤讀數，縱座標代表波長或頻率。振盪波長計有時也稱做勵振器(driver)。

11.4. 標準容電器——我們現在要討論量度電容與電感的方法，其次用波長計來做若干試驗和量法。

要量度一容電器的電容量，必須先有一個標準以與被量的容電器比較。一個標準容電器可以買現成的，或者由自己用二塊厚銅片或鋁片，中間隔以幾片小玻璃製成。只要使金屬片互相平行，玻璃愈少用愈佳。金屬片應有十或十以上平方呎的面積。把它們切成方便大小的若干片，再以均勻厚薄的玻璃隔開。玻璃的厚度可用測微器來測量以保證其均勻性。交互的片子，1,3,5等聯成一組，2,4,6等聯成另一組。由下式求得電容量：

$$C = \frac{A}{4\pi d}$$

式中 A 為一組片子的面積，以平方厘米計；d 為片子間的距離，即隔開片子用玻璃的厚度，以厘米的分數計。所得結果必須以 88,500 除，以變成微法拉數。

11.5. 高音蜂音器(High pitch buzzer)——下面所講的若干試驗中，常要使用一個高音蜂音器或一音頻振盪器。這種蜂音器很不容易在市上買到，讀者可以照這裏所講的方法來自己做。構造的

大概如圖 11.7。磁鐵的心是一條直徑八分之一吋的軟鐵線。

線卷是用 32 號漆包線繞成的。最好在未繞之前，為每個線卷各做一個紙管。製管之法，可在與鐵心同大小的一條線上，用一條薄紙捲上而成。紙上塗

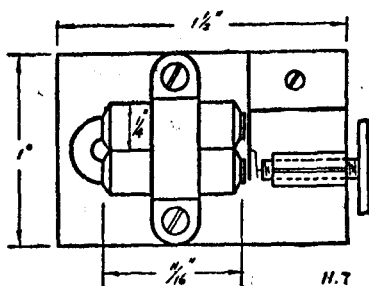


圖 11.7 高音蜂音器

過膠，把線繞在這管上，蟲膠隨繞隨塗。然後把線抽出，將線卷套在磁鐵的心上。用一條銅皮把磁鐵固定。振動的銜鐵是一條八分之一吋寬最薄的機製洋鐵皮，用銼刀或砂紙把外面一層錫質擦去。斷觸點用白金線做成，適用的粗細是 30 號。彈簧也是用白金線製成，在接觸的一端敲扁，另一端則鐸在銜鐵上。鐸接烙鐵要用尖頭的，鐸藥越少用越好。銜鐵的一端繫定於一塊銅板上，如圖所示。當然，線卷的連合法須使極性正確，一切接線須使電流正常通過線卷和各接觸點。

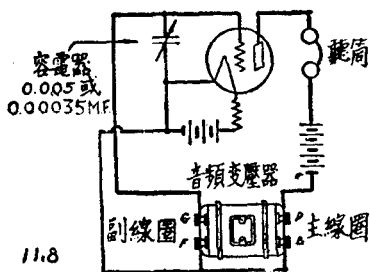


圖 11.8 音頻振盪器

11.6. 音頻振盪器——在下列量法中，本來用高音蜂音器的，都可換用音頻振盪器代替。祇須將振盪器耦合於試驗電路，和蜂音器的接法是一樣的。在第 11.2 節中所講的振盪器振盪於射電頻率，而現在所要講

的在性質上是十分不同的。

這個音頻振盪器是一個哈特萊電路，利用着一個音頻變壓器的錄卷(圖 11.8)。主錄卷接在鈹極電路中，副錄卷接在柵極電路中，公共的接線接至燈絲的負端。假使要振盪時振時停，那麼可以在柵極電路中插入一個電鍵。如用較高電容量的容電器，譬如如是 0.001 微法拉，那麼振盪就較慢，或許還能數出它的頻率。

11.7. 容電器電容的量法 —— 量度容電器電容量的一個簡單

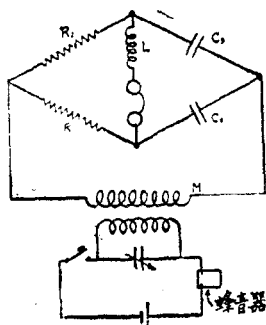


圖 11.9 惠斯登電橋量度電容法

的方法是惠斯登電橋。電橋的四個臂包括兩個電阻箱 R_1 和 R_2 ，一個標準容電器 C_1 和待量的容電器 C_x ，如圖 11.9 所示。供給於電橋的交流係由錄卷 M 而來，這錄卷是與蜂音器電路耦合的。也可用電話中的感應錄卷，將副錄卷與電橋的兩電端相接，主錄卷則接在蜂音器電路中；或者在一個紙板管上簡單地繞主副兩個錄卷，也可以用。電橋中可用一個電話聽筒當做電流測量器。與聽筒串聯的一個小電感錄卷 L 可作精細調整至最低聲音之助。把電阻 R_1 和 R_2 調準至不聞聲音或者是儘可能地微弱。於是電容量 C_x 便可由下面的比例式中求得。

$$\frac{C_x}{C_1} = \frac{R_2}{R_1}。$$

這是一個反比例。理由是，若電阻增加，電流便減低，而在他方面，

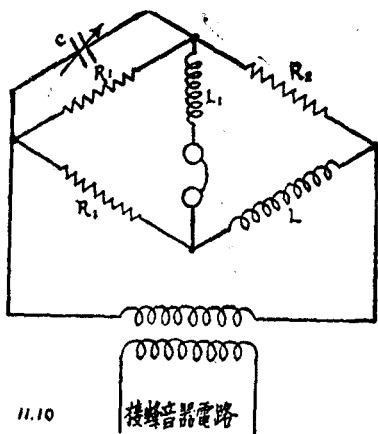
若電容增加，電流也增加。這樣，由電流強度所受的影響看來，電容和電阻的作用是相反的。

假如被量的是一個可變容電器，那麼它的電容量須在若干不同的設置上測定。將度盤讀數作橫座標，電容量作縱座標，便可畫成一張曲線圖。

要這種試驗做得正確，室內必須幽靜，因為雜聲是會干涉的。

11.8. 線卷電感的量法 —— 線卷的電阻須先用應用直流的惠斯登電橋來測定。今將電橋平衡於直流電阻。所有四個電阻須不加更動，以供其餘試驗之用。於是將直流源的電池易以交流電源，並照第 11.7 節用蜂音器和電感線卷。

R_1 上跨接一個已經校準的可變電容器(圖11.10)。待量的電感 L 成爲電橋的一臂，如圖所示。將一個小電感卷 L_1 和聽筒串聯，以便對於最微弱的聲音獲得精細調準。今將容電器 C 調準至聽得的聲音儘可能地微弱。做到了這一步，電橋才算對於交流獲得平衡。 L 的電阻可以略去不算，因爲這個已爲其餘三個電阻所平衡去



11.10

圖 11.10 惠斯登電橋量電感法

了。電橋中對於交流有關的四臂是 L, C, R_2 和 R_3 。 L 可由下列公式中求得。

$$\frac{L}{R_2} = \frac{R_3}{1/C}$$

或 $L = CR_2R_3,$

必須用 $1/C$ 這個數量的理由，已在第 11.7 節中解釋過。 R_2 和 R_3 之值須在容電器的範圍內使 CR_2R_3 的乘積等於 L 的電感。例如，假定 C 的電容量可自 0.00005 變至 0.005 微法拉，於是當 R_2 和 R_3 各等於 100 歐姆時，能測的最小電感，便是

$$L = 100 \times 100 \times 0.00005 = 0.5 \text{ 微亨利。}$$

這種量電感的方法適用於小線卷。

11.9. 用阻抗法求線卷的電感——大型線卷電感的求法，最好先量它的電阻和阻抗。電阻用應用直流的伏特計安培計的方法量得（見第 4.11 節）。量阻抗須用已知頻率的交流。線卷電壓用交流伏特計來量，電流則用交流安培計。電路的接法和量電阻時一樣，祇是儀器都改用交流式的。阻抗等於伏特數被安培數除。求得阻抗後，即由阻抗的平方減去電阻的平方，而後將差數開方，便得感抗之值。

$$X_L = \sqrt{Z^2 - R^2}.$$

既求得了感抗，電感便可由下面的公式中算出，

$$L = \frac{X_L}{2\pi f}.$$

11.10. 二線卷的互感——若兩個線卷所置的地位，為其中之一的電流對於另一個並無任何電感效應，那麼，若將這兩線卷相串聯了，它們的聯合電感便是它們各個電感之和。

$$L = L_1 + L_2$$

若二線卷的位置互相平行，繞線的方向相同，那麼把它們串聯後，兩者之間便有互感。第一個線卷中的電流，在第二個中感應起某一電動勢，第二個線卷中的電流一樣也在第一個中感起同一電動勢。假定 M 是一個線卷對於另一個的效應，那麼它們的聯合效應便是 $2M$ ，二線卷的總電感便是 $2M$ 加上它們個別的電感。 M 的單位也是亨利。

$$L = L_1 + L_2 + 2M。$$

兩線卷的聯合電感可用第 11.8 節所述量單線卷的方法來量得。若二線卷耦合得非常緊密，那麼上式中測得的 L 值便是這兩個線卷的最大電感，我們可用 L_{\max} 代表這值。兩線卷的聯合電感有最小值；便是在兩線卷中的電流流行於相反方向時所測得的電感。

$$L_{\min} = L_1 + L_2 - 2M$$

因為每一線卷在他線卷中感生的電動勢反抗着自感應的電動勢，因此這互感量 $2M$ 便也反抗着 L_1 和 L_2 的電感。現如將第二次所得結果從第一次中減去，便成

$$L_{\max} - L_{\min} = 4M,$$

這樣， M 值便很容易的求得了。

11.11. 校準波長計，電感電容法——若線卷的電感和容電器的電容在各標度的讀數為已知的，那麼波長計便可應用一個公式來校準。假定線卷的電感已用第 11.8 節所述方法而測得，容電器已應用第 11.7 節中的方法測定，而可從曲線圖中求得對於度盤上

任何讀數的電容，於是波長的計算便可用下列公式，

$$\lambda = 1884 \sqrt{LC}.$$

L的單位須是微亨利，C的單位是微法拉。 λ 是波長的米突數。現在便可就容電器度盤讀數 10, 20, 30, 等一直到末一讀數，算得波長。於是為波長計畫出一張曲線圖，將橫座標代表度盤讀數，縱座標代表波長。

也可將縱座標改做頻率，繪成一張頻率曲線圖，祇要將算出的各波長除 300,000,000，便得每一度盤讀數的頻率（圖 11.3）。所以波長計有時亦稱頻率計，因為它或量頻率或量波長，全視如何算出結果，如何使用圖表而定。

波長計用途甚多，可以測知一收音機所要調諧的波長，振盪器或發送機的波長，自遠距電台發來的訊號的波長，以及測量錄卷的電感和容電器的電容量。此外亦可用以量天線和錄卷在高頻率時的電阻。以下將依次的說明波長計的各種用途。

11.12. 量度收音機的波長——在這一種量度中可用一個有蜂音器調幅的振盪波長計。先將收音機對最長電波調諧，就是將容電器的動片完全旋入於定片中。於是將振盪波長計調諧至收音機中聽得訊號。波長計和收音機的耦合應儘量的疏遠。這時波長計的波長讀數便是收音機中調諧着的波長。次將收音機對最短波長調諧，於是再調諧波長計至收音機中聽得訊號。這兩個讀數所示的波長或頻率，便是這收音機能夠調諧或收到的電波程界。

11.13. 量度振盪器或發送機的波長——在這種量度中，應用

一個有電流指示器的波長計。若振盪器的頻率是在波長計的程界以內，只須將波長計耦合於振盪器；即是說將波長計置近，俾振盪器的磁場能作用於波長計，於是旋轉波長計度盤至指示出最大電流。這樣那波長計所讀得的波長便是振盪器的波長。

量度自遠處電台發來訊號的波長係將振盪波長計與輸入訊號調諧至零拍，便可從波長計的讀數求得波長。

11.14. 用波長計量度線卷的電感和容電器的電容——電感和電容可以用一個極簡單的方法量得，祇需一個振盪波長計和一個振盪收音機。後者或者便是一個振盪器而在鉅極電路中接入一付電話聽筒（注意：不可用強力振盪器，以免危險）。波長計和振盪器同時開始至振盪，並調準至零拍。記下波長計的容電器讀數，而後將待量的容電器和波長計中的容電器並聯，如圖 11.11。於是再調準波長計容電器至零拍，這樣，

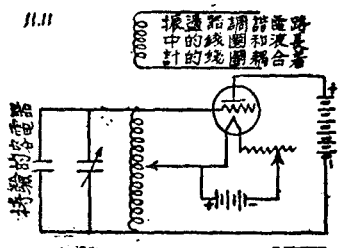


圖11.11 用波長計量度容電器的電容量

波長計容電器兩讀數間的差數便是被量容電器的電容量。

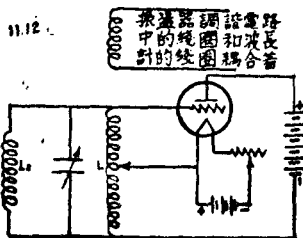


圖11.12 用波長計量度一線卷的電感

波長計容電器兩讀數間的差數便是被量容電器的電容量。

一線卷的電感可用與此相似的方法量得。將波長計像上面一樣先和收音機共振。將波長計中容電器的電容量記下，叫它是 C_1 。次將待測

的錄卷與波長計中的錄卷和容電器相並聯，如圖 11.12。於是再調準波長計至零拍，並記下容電器第二次的電容量，叫它是 C_2 。於是這未知的感電 L_x 可由下列公式中算出：(註)

$$L_x = \frac{LC_1}{C_2 - C_1}$$

式中的 L 是波長計錄卷的電感。

11.15. 量度一錄卷的高頻電阻——第 6.44 節中已講過，一導錄的電阻，對於高頻電流比低頻電流或直流為大，所以平常量直流電阻的方法不能用來量高頻電阻。

(註)這個公式的導來基於下列一事實：對於一所與波長，電感和電容的乘積是恆定的。這是容易從波長公式證明的，

$$\lambda = 1884\sqrt{LC}$$

今在這實驗中， LC 的乘積既是不變的，我們就得

$$LC_1 = \frac{L_x L}{L_x + L} \cdot C_2$$

這分數 $\frac{L_x L}{L_x + L}$ 是並聯二電感的總電感。這原理與並聯二電阻的原理相同。

解第二式就得

$$LC_1(L_x + L) = L_x L C_2$$

去括號並移項，

$$L L_x C_1 - L_x L C_2 = -L^2 C_1$$

$$\text{解} \quad L_x (LC_1 - LC_2) = -L^2 C_1$$

以 $L(C_1 - C_2)$ 除之，便得

$$L_x = \frac{LC_1}{C_2 - C_1}$$

我們先舉一個頗為簡單的量高頻電阻的方法，雖不十分準確，但在許多應用上已屬準確的。這一種稱為代替法 (Substitution method)。應用的儀器是一個標準電阻，一個振盪器和一個波長計。將波長計疏耦合於振盪器。或者就用一個『拾波線卷』 (Pick-up coil) 作耦合物，這線卷祇有三四匝，與波長計的線卷相串聯，接線很長，約有 3 呎 (圖 11.13)，置在振盪器線卷的相近處。待量的電阻 R_x 和波長計的線卷和容電器串聯着。調準容電器的電容量到共振，再記下安培計的示值。當安培計的讀數為最大時，波長計是在共振中。這安培計可用熱線式或熱偶式的，最大標度為 2 毫安培。

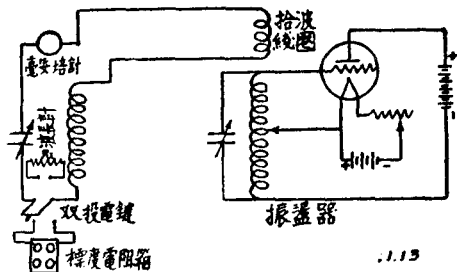


圖 11.13 量度一線卷的高頻電阻，代替法

第二步是將標準電阻接於波長計電路中，以代替電阻 R_x 。於是變動電阻箱中的電阻至安培計顯示振盪時所得與前相同的電流值。如是，這未知電阻便等於標準電阻箱的電阻。

另一個方法比上一個更準確的名叫電阻變更法 (Resistance variation method)。波長計自己的電阻須先行量得。可將波長計由一拾波線卷耦合於振盪器如圖 11.14。將標準電阻箱的度盤指在零電阻上。於是將波長計調諧至共振，記下電流的示值。波長計電路中的感抗和容抗既然在共振時互相中和了 (見第 6.32 節)，那麼

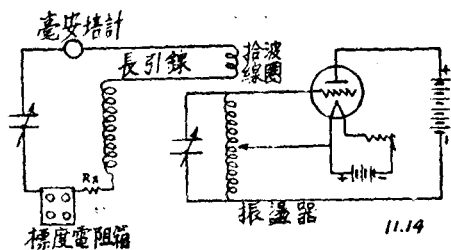


圖11.14 量度一線卷的高頻電阻，電阻變更法

對於電流的僅有阻力便是電路內的電阻，應用歐姆定律，

$$I = \frac{E}{R}。$$

此時可將電阻箱的阻位變更，使電路內有若干

電阻，叫它做 R_1 。再調準至波長計至共振，並記下電流值。如是

$$I_1 = \frac{E}{R + R_1}。$$

解上兩公式求 R ，使得，

$$R = \frac{R_1}{\frac{I}{I_1} - 1}$$

R_1 ， I 和 I_1 都是已知的， R 之值便可算出。

若用一個『電流平方』安培計（指針的偏度正比於電流的平方），那麼公式中 I 值可用 \sqrt{d} 代替， d 是指針的偏度。於是求 R 的公式便成爲

$$R = \frac{R_1}{\sqrt{\frac{d}{d_1}} - 1}。$$

若選用 R_1 之值使 $d_1 = \frac{1}{4}d$ ，那麼 $\sqrt{\frac{d}{d_1}} = 2$ ，而 $R = R_1$ 。所以，把電

阻箱的電阻調準到使安培計第二次的偏轉度爲第一次的 $\frac{1}{4}$ 時，波

長計中的電阻便立刻可以知道，計算工作大為簡易了。

知道了波長計的電阻後，便可接入待量的電阻 R_x （比如是一錄卷的高頻電阻等），如圖 11.14。將電阻箱的度盤指在零位，而後調準波長計至共振，並記下電流值。變更電阻箱度盤位置使有若干電阻如前，再記下電流值。用前述同一公式求得 R 值，但此時的 R 係包括波長計的電阻與未知電阻。所以 R 的二值間之差便是未知電阻之值。

在上述討論中是假定電動勢是不變的。這祇要在任何電路中，除變更電阻外，沒有什麼變動，才是對的。接未知電阻的那二個接錄柱應該互相靠近，這樣在不接未知電阻時，便可用一條短錄接於二柱之間。電阻箱須是在任何頻率有恆定電阻的一種。特種無線電用電阻箱市上有現成的可購。任何情形下，所用的電流要小，不逾一或二毫安培。

11.16. 量度天線的基本波長——天線既然是兼有電感和電容的，它便成爲一個對某一波長或頻率的共振電路。量天線基本波長的原理是將振盪供給天線，並變更振盪的頻率至天線起共振，而後量它的波長。

做這試驗的一個簡單的方法如圖 11.15。一個錄卷 3 吋直徑，約有 35 匝，每隔一匝接出一個分接頭。把這錄卷接在天線電路中，一端接地，一端經一個可移動的夾子接至天線。這錄卷的電感今已加到天線的電感，因此便

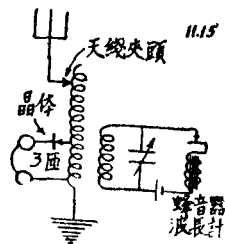
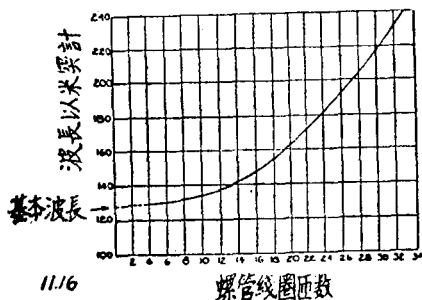


圖 11.15 量一天線的基本波長

增加其波長。一個由礦石和聽筒組成的檢波器跨接在錄卷的末端三匝上。再將一個備有蜂音器的波長計疏耦合於天線電路中的錄卷。將波長計中的容電器調準到檢波器中聽得最響的聲音。此時天線便已起共振。它的波長可從波長計上讀得。於是將天線的夾頭移下兩匝，複演上項手續，求得其另一波長。這時波長必已減短，因為電感已被減少。將天線夾頭再移下每次兩匝，另作試驗如前，直至



11.16

螺管線圈匝數

圖11.16 求天線基本波長的曲線圖

不能再得清晰共振點時才止。於是可畫出如圖 11.16 的一張曲線圖，橫坐標代表天線電路中錄卷的匝數，縱坐標代表波長。將這曲線延展到與 Y 軸相交，這個交點所示之值，便是

天線的基本波長。在試驗中若可把錄卷減至僅有四匝，則在這一點的波長實際上已和天線的波長相同，因為四匝的電感和天線的電感相比較是極小的。蜂音器波長計也可用音頻振盪器來替代。

11.17. 量度一天線的電感和電容——由上節所述方法求得了天線的基本波長後，它的電感和電容也就可以容易地求得。用一個電感比上述那個爲大的錄卷，用一個夾子把它接在天線電路中，而後增加其電感至波長有天線固有波長的四倍。那接在天線電路中的一段錄卷的電感必須是已知的或者已測定的。我們可認爲這一段電感爲天線電路的整個電感，因為天線本身的電感比較的極

小，可以不計。這電路中所具一切的電容量便是天線本身的電容量，因為線卷的電容量比較的很小。所以我們可用波長公式計算出天線的電容量，

$$\lambda = 1884 \sqrt{LC}$$

式中 λ 是天線電路中加入線卷後量得的波長， L 是線卷的電感， C 便是天線的電容量。

現在既知道了天線的電容量，我們就可用天線的基本波長，並由同一波長公式算出天線的電感。現在 λ 是天線本身的基本波長， L 是天線的電感量， C 是天線的電容。在上面計算中， L 的單位都用微亨利， C 的單位都用微法拉。

天線的電容量也可以用電橋方法（第 11.7 節）量得。將天線和地線接入電橋的一臂，當做一個電容器的兩片（圖

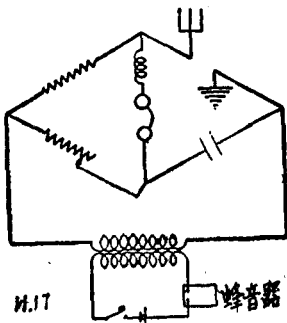


圖 11.17 量度天線電感和電容

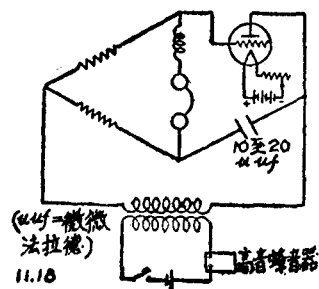


圖 11.18 量度一電子管的電容量

11.17)。若天線的基本波長已經由上述方法量得而電容又由這電橋方法量得，那麼電感便可從波長公式中算出了。

11.18. 量度一電子管的電容量——當高頻率振盪作用於一電子管時，鉅極和柵極便好像是一個小容電

器的兩片，因而振盪乃得從電子管中通過，或是由柵至鉍，或是自鉍至柵，正像通過任何容電器一般。鉍柵間的電容量可用電橋的方法(第 11.7 節)量得，與測量一個小容電器一樣(圖 11.18)。鉍絲間和柵絲間的電容量也可用同一方法量得。接上燈絲電池，用熱燈絲和冷燈絲各做一次試驗。

11.19. 其他電子管檢驗——在第五章中已講過電子管的幾種檢驗，但尚有他種檢驗，對於測定電子管的特長頗有價值。電子管最重要特性之一便是互導 (Mutual conductance)。互導是鉍

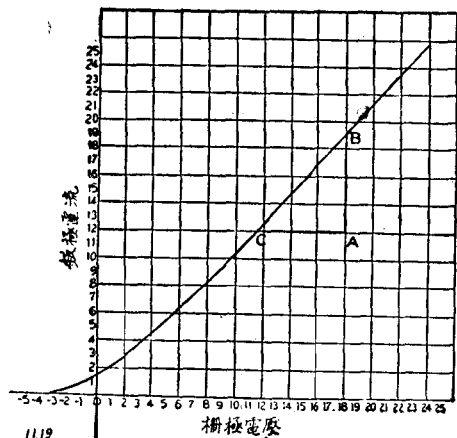


圖 11.19 電子管的互導曲線圖

流變更被柵壓除得之商數。

如一電子管已製有柵壓鉍流曲線(第 5.5 節)，則其互導便可容易檢得。選用曲線的直線部份，繪一條縱線和一條橫線如圖 11.19。AB 代表被柵壓變更 AC 所引起的鉍流變更。將

AC 除 AB，便得這電子管的互導。

一電子管對於鉍壓鉍流的鉍極電路電導 (Plate conductance)，可自鉍壓鉍流曲線(第 5.4 節)檢得。在圖 11.20 中，AB 是鉍壓變更 AC 所引起的鉍流變更。電導便等於 AC 除 AB 之數。電

子管的鉅路電阻是鉅路電導的倒數。所以，鉅路電阻便等於 AB 除 AC 。

11.20. 檢驗電子管的電橋法——圖 11.21 是量度電子管放大常數 (Amplification constant) 的電路叫做密勒電橋 (Miller bridge)。 R_2 是固定電阻，約 10 至 100 歐姆。 R_1 是一個可

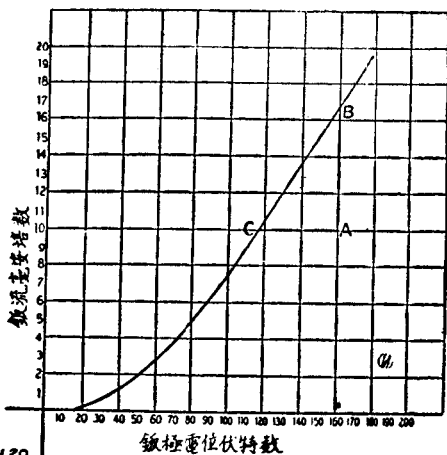


圖 11.20 鉅電導和板電阻曲線圖

變電阻，是一個十進的電阻箱。這電路的佈置一望而知是柵鉅兩極上加有相反的電位。例如，當電源使 A 點為正時，便使 B 點為負。電阻 R_1 須調準至聽筒中聽得最微弱的聲音。這時候鉅極上所加的電壓恰與柵極上所加的電壓相平衡。處此情形下那鉅電壓與柵電壓的比率便是放大常數。但這兩個電壓是與兩電阻成正比的。因此，放大常數便等於 R_2 除 R_1 ，即

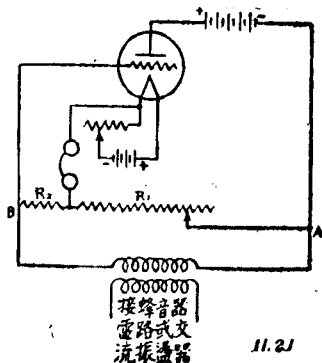


圖 11.21 密勒電橋

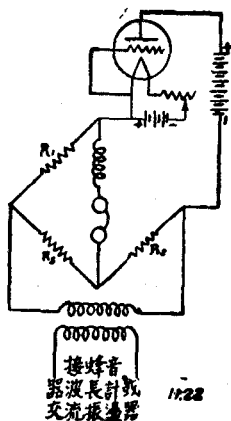


圖11.22 用惠斯登電橋
法量電阻

$$\mu = \frac{R_1}{R_2}$$

鉅路電阻也可以用惠斯登電橋量得，電流的來源是一個有蜂音器的波長計，或者最好是一個音頻振盪器。電路見圖 11.22。R₂ 和 R₃ 是電橋的比率臂，適當的值是 R₂ = 100 歐姆，R₃ = 1000 歐姆。R₁ 是一個可調準電阻，最好用標度盤式。R₁ 須調準至聽筒中聽得最小的聲音。於是鉅路電阻 r_D 可由下列的比例求得

$$\frac{r_D}{R_1} = \frac{R_2}{R_3}$$

既然電源是交流，電路中所用的電池便不影響於電橋的運用。

11.21. 變壓器的電壓比率——用於這種檢驗的電路見圖 11.23，蜂音器電路是由變壓器或者祇是一個電話用的電感線卷而耦合於檢驗電路。待測的變壓器 T 用它的副線卷須倒接。C₁ 和 C₂ 須是已經校準的可變容電器。兩容電器調準至聽筒中聽得最低的聲音。假定 N₂ 是副線卷的匝數，N₁ 是主線卷的匝數，便得下列公式，

$$\frac{N_2}{N_1} = \frac{C_1}{C_2}$$

這個比率便是變壓器的電壓放大

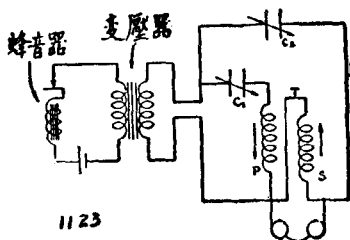


圖11.23 求一變壓器的電壓比率

(Voltage amplification)。

11.22. 訊號的可聞度(Audibility)——從同一收音機中比較各電台發來訊號的可聞度有如下法。將一可變電阻與聽筒並聯。這可用一個接做變阻器的電位計(圖 11.24)。於是將電阻調準至可聞度的極限,即是說,到聽見的聲音儘可能地微弱。於是應用並聯電路的定律。假定 I 是總電流, I_t 是通過聽筒的電流, s 是分流器對於訊號頻率的阻抗, z 是聽筒的阻抗,於是

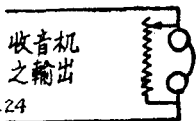


圖 11.24 量度——訊號的可聞度

$$\frac{I}{I_t} = \frac{s+z}{s}$$

這一數量 $\frac{s+z}{s}$ 叫做可聞度。如僅作簡略的計算,可將電阻代替阻抗。

要比較兩副聽筒的靈敏度,可把它們串聯於同一收音機電路中,每一副聽筒上各跨接一個分路電阻,於是把每個電阻調準至聽筒中聽得最微弱的聲音。假定 I_1 是第一副聽筒中通過的電流, R_1 是第一副聽筒的電阻, S_1 是第一副聽筒的分路電阻,又 I_2, R_2, S_2 是第二副聽筒的各相應值, I 是總電流,於是應用並聯電路定律,便得,

$$I_1 = I \frac{S_1}{S_1 + R_1}$$

$$I_2 = I \frac{S_2}{S_2 + R_2}$$

聽筒的靈敏度愈高，檢聽的電流愈小。所以兩聽筒的靈敏度是與 I_1 和 I_2 兩電流成反比的。

$$\frac{\text{第一聽筒的靈敏度}}{\text{第二聽筒的靈敏度}} = \frac{I_2}{I_1} = \frac{S_2}{S_2 + R_2} \cdot \frac{S_1 + R_1}{S_1}$$

11.23. 極小射頻電流的量法——我們能用電子管來量極小射頻電流，例如振盪式收音機在天線中產生的電流。所用電路如圖

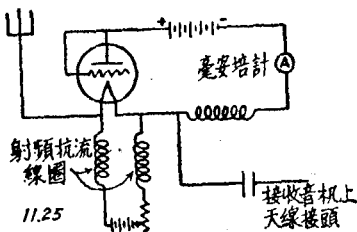


圖11.25 一極小射頻電流的量度

11.25. 那被測的電流經過電子管的燈絲。結果是增加鉍極電流，因為交流或振盪電流的熱效應是和直流的熱效應一樣的。在被測電流未加入前與已加入後，從毫安培計讀出鉍極電流。於是，從所用

電子管的絲流鉍流曲線圖中可檢得所增加的燈絲電流值。

11.24. 製作一個有規定電感的線卷——在無線電工程中製作一個有某一電感的線卷，頗為重要。高頻電感因為皮膚作用之故，要隨頻率而變更。可是這種變更是小的。在高頻率的有效電感對於線卷的分佈電容也有若干影響，這種分佈電容通常是不能算出的。

關於單層的線卷可用下列公式對某一電感約略求得其直徑，匝數和長度。

$$L = \frac{0.03943a^2n^2}{b} K.$$

在這個公式裏， a 是線卷的半徑， n 是匝數， b 是線卷長度， K 是一個係數，由下列一張表中查得。在表內第一柱中是直徑與長度的比

率，第二柱是K值。表中所列第一個值是用於直徑等於長度四分之一之線卷。最後一個K值是用於直徑三倍於長度的線卷。應用這公式時，線卷的直徑和長度均以厘米計。如用英寸量，應乘以2.54，化作厘米。這個公式叫做那高卡(Nagaoka)公式。用這公式來製作線卷，最好先選定所要線卷的直徑，於是再估計匝數和長度，以便算出所欲的電感。長度當然是要隨所選線的粗細而定的。

直徑 長度	K	直徑 長度	K
0.25	0.9016	0.50	0.5950
.30	.8338	1.55	.5871
.35	.8665	1.60	.5795
.40	.8499	1.65	.5721
.45	.8337	1.70	.5649
0.50	0.8181	1.75	0.5579
.55	.8031	1.80	.5511
.60	.7885	1.85	.5444
.65	.7745	1.90	.5379
.70	.7609	1.95	.5316
0.75	0.7478	2.00	0.5255
.80	.7351	2.10	.5137
.85	.7228	2.20	.5025
.90	.7110	2.30	.4918
.95	.6995	2.40	.4816
1.00	0.6884	2.50	0.4719
1.05	.6777	2.60	.4626
1.10	.6673	2.70	.4537
1.15	.6573	2.80	.4452
1.20	.6475	2.90	.4370
1.25	0.6381	3.00	0.4292
1.30	.6290		
1.35	.6201		
1.40	.6115		
1.45	.6031		

11.25. 真空管伏特計 (Vacuum tube voltmeter) —— 直流電

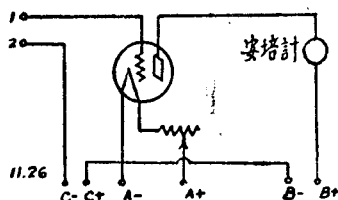


圖11.26 一個簡單的真空管伏特計

壓或在任何頻率的交流電壓都能用電子管量得。它無需電流，所以不會變更所量的電壓。一個簡單的真空管伏特計如圖 11.26。那毫安培計的最高標度應不逾 1 毫安培。鉅電壓應低，譬如 22 伏特。

柵電壓應調準至毫安培計的讀數近於零，譬如 $\frac{1}{10}$ 毫安培。這時電子管便運用於其特性曲線的下部彎曲處。任何直流電壓加在電端 1 (正) 和 2 (負) 之間，就使鉅流增加。將已知電壓逐步加上，記下每一次的讀數，就可畫出一張曲線圖，橫座標或是 X 軸上的分格代表毫安培計的示值，縱座標或是 Y 軸上的分格代表所施的電壓。這一曲線可與真空管伏特計用來量未知電壓。由這些已知電壓的讀數畫成一張曲線圖，這手續叫做校準一個伏特計。那伏特計即使未曾被校準過，也可用以比較未知的電壓。如以交變電壓加在電端 1 和 2 之間，那麼增加的鉅極電流係比例於每一週的最高電壓，即電壓巔值。故用真空管伏特計來量交流電壓，所得者是巔值，即最高值而不是有效電壓。

若干特種式樣的真空管

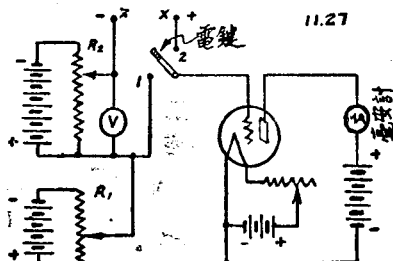


圖11.27 量低電壓的真空管伏特計

伏特計見下面數圖。圖 11.27 是量低電壓的。將未知電壓接在 X- 和 X+ 之間。把電鍵放在 1 上，而後慢慢的滑動觸點 R_1 至毫安培計剛跌落到零。次將電鍵放在 2 上，而後慢慢的滑動觸點 R_2 ，至毫安培計又剛正跌落到零。那

未知的電壓就等於伏特計 V 所示之值。如量高電壓，最好是利用電子管的放大因數。在柵極上一個小的負電壓可防止鈹極上的較大電壓引起

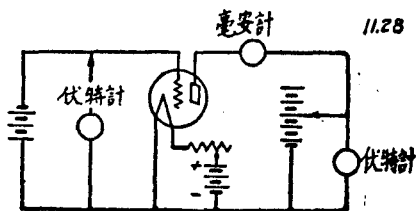


圖11.28 量高電壓的真空管伏特計

電流流過真空管。放大因數的求法已述於第 5.6 節。把待量的未知電壓接在鈹極和燈絲之間。若這電壓是交變的，那麼隨便把那一端接至鈹極，沒有關係。若是直流電壓，當然須把正電端接至鈹極。於是在柵極上加加以必需的負電壓，使鈹極電流減低至零。將這負柵電壓之值乘以電子管的放大因數，便求得未知電壓。電路見圖

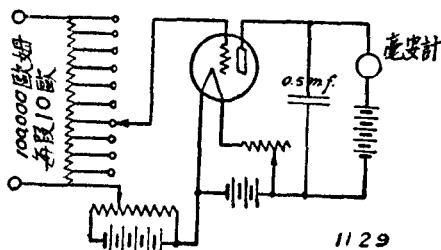


圖11.29 又一量高電壓的真空管伏特計

11.28。

又有一種量高壓的真空管伏特計如圖 11.29 所示。把未知電壓跨接在那個 100,000 歐姆的電阻上。稱這未知電壓為 E。用一個夾子將柵極接在那

100,000 歐姆電阻的一個分接頭上。稱這一部份在柵極電路中的電

阻為 r 。於是調準伏特計，即是將跨接在柵電池上的電位計調準至板極電流減低至零。這樣，在 r 上的電壓便等於電位計的移動觸點和柵電池正電端間的電壓。稱這一電壓為 e 。於是未知電壓 E 可由下式算出，

$$E = \frac{100,000 e}{r}$$

附 錄 一

1. 並聯電阻的方程式

若將三個真空管的燈絲照圖 4.2 並聯了，可求它們的聯合電阻如下：設 E 是線路的電壓， i_1, i_2, i_3 是三管中的各別電流， r_1, r_2, r_3 是三燈絲連變阻器的各別電阻。由歐姆定律得下式，

$$i_1 = \frac{E}{r_1},$$

$$i_2 = \frac{E}{r_2},$$

$$i_3 = \frac{E}{r_3}$$

若令 I 代表電池所輸出的總電流， R 是三管的聯合電阻，則

$$I = \frac{E}{R}。$$

總電流是三個燈絲中的電流之和。故

$$I = i_1 + i_2 + i_3。$$

將上式中各電流之值代入，得

$$\frac{E}{R} = \frac{E}{r_1} + \frac{E}{r_2} + \frac{E}{r_3}。$$

上式每一項中的 E 都是相同的。這樣，將兩邊都用 E 除，就得如下的方程式，

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{r_1} + \frac{1}{r_2} + \frac{1}{r_3}。$$

這數量 $\frac{1}{R}$ 叫做電導。這是電阻的倒數。從上面的方程式給我們一個原理，就是一並聯電路的電導是各個分電導之和。假如祇有兩個導體並聯，這方程式便成

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{r_1} + \frac{1}{r_2}。$$

將右項分數通分母，得

$$\frac{1}{R} = \frac{r_1 + r_2}{r_1 r_2}。$$

依數理，若兩個分數相等，則兩者的倒數必相等，故，

$$R = \frac{r_1 r_2}{r_1 + r_2}。$$

用文字說明，若兩電阻相並聯，它們的聯合電阻等於它們的乘積被它們的和數除。

2. 容電器方程式

容電器電容量的法拉數等於電荷量的庫侖數被電動勢的伏脫數除。

$$C = \frac{Q}{E}。$$

上式可改成 $E = \frac{Q}{C}。$

若兩個容電器相串聯（圖 6.1⁹），則線路電壓等於各容電器兩

端間電壓之和。

$$E = E_1 + E_2。$$

若 Q 是在電壓從零增高至 E 值時流入兩容電器的荷電，那麼 Q 也是流入每個容電器的電荷，正像在任何串聯電路中，流過任何一導體的電流與流過全電路的電流相同的一樣。

對於第一個容電器，

$$E_1 = \frac{Q}{C_1}。$$

對於第二個容電器，

$$E_2 = \frac{Q}{C_2}。$$

對於兩個容電器一起，

$$E = \frac{Q}{C}。$$

C 是兩容電器的聯合電容量。

因為 E 等於 E_1 和 E_2 之和，故

$$E = \frac{Q}{C} = \frac{Q}{C_1} + \frac{Q}{C_2}。$$

各以 Q 除，得

$$\frac{1}{C} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2}。$$

解求 C 值，得

$$C = \frac{C_1 C_2}{C_1 + C_2}。$$

這個方程式和並聯電阻的方程形式相同。

3. 常用公式

I. 歐姆定律

$$I = \frac{E}{R}, \quad E = IR, \quad R = \frac{E}{I}。$$

II. 導體的電阻

$$R = K \frac{l}{d^2}。$$

R = 電阻歐姆數, l = 長度呎數, d = 直徑密爾(mil)數, K = 導線或他種導體每密爾呎(mil-foot)所具的歐姆數。一密爾是千分之一吋。一密爾呎指直徑為千分之一吋的線一呎長。 d^2 是線的截面積「圓密爾」(Circular mil)數。一圓密爾是一個有直徑等於一密爾的圓。

III. 串聯電阻

$$R = r_1 + r_2 + r_3。$$

IV. 並聯電阻

$$R = \frac{1}{\frac{1}{r_1} + \frac{1}{r_2} + \frac{1}{r_3}}。$$

V. 感抗

$$X_L = 2\pi fL。$$

X_L = 感抗歐姆數; f = 頻率每秒鐘週數; L = 電感亨利數。

VI. 容抗

$$X_C = \frac{1}{2\pi fC}$$

X_C = 容抗歐姆數; C = 電容量法拉數; f = 頻率。

VII. 總抗

$$X = X_L - X_C \text{ 或 } X = 2\pi fL - \frac{1}{2\pi fC}$$

VIII. 阻抗

$$Z^2 = X^2 + R^2 \text{ 或 } Z = \sqrt{X^2 + R^2}$$

Z = 阻抗歐姆數; X = 總抗; R = 電阻。

IX. 應用於交流的歐姆定律

$$I = \frac{E}{Z}$$

I = 有效電流, 安培數; E = 有效電動勢, 伏特數; Z = 阻抗。

X. 交流電路中的功率

$$P = EI \cos \theta$$

P = 功率瓦特數; E = 伏特數; I = 安培數; θ = 滯後角。

$$\cos \theta = \frac{\text{電阻}}{\text{阻抗}}$$

XI. 有電阻, 電感和電容的一電路的阻抗。

$$Z = \sqrt{R^2 + \left(2\pi fL - \frac{1}{2\pi fC} \right)^2}$$

XII. 共振時的波長

$$\lambda = 1884 \sqrt{LC}$$

λ = 波長米突數; L = 電感微亨利數; C = 電容微法拉數。

XIII. 共振時的頻率

$$(a) \quad f = \frac{159,200}{\sqrt{LC}}$$

f = 頻率，每秒週數； L = 電感，微亨利數 (μh)； C = 電容，微法拉數 (μfd)。

$$(b) \quad f = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$$

f = 頻率每秒週數； L = 電感亨利數 (h)； C = 電容法拉數 (fd)； $\pi = 3.1416$ 。

$$(c) \quad f = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} \times 10^6$$

f = 頻率每秒仟週數； $2\pi = 6.28$ ， L = 電感微亨利 (μh) 數； C = 電容微微法拉 ($\mu\mu fd$) 數。

XIV. 化波長為頻率或頻化為波長





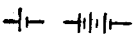

















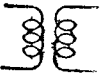












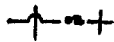
$$\lambda = \frac{300,000,000}{f}$$

$$f = \frac{300,000,000}{\lambda}$$

λ = 波長米數。 f = 頻率每秒週數。300,000,000 = 無線電波速度，每秒米數。化頻率週數為仟週數，應除以 1,000。

附錄二

1. 無錄電用器符號

安培計		可變感應器	
天線		可調準感應器	
電池組		觸鍵	
電池組 (示極性)		電鍵	
蜂音器		固定電阻器	
環形天線		可變電阻器	
固定容電器		壓電晶體	
屏蔽容電器		電話聽筒	
可變容電器		揚聲器	
變容電器 (示動片)		電話發送器 (發音器)	
銜網		發熱件	
感應耦合 (固定互感)		鐵心變壓器	
感應耦合 (可變耦合法)		空心變壓器	
晶體檢波器		三極真空管	
頻率計 (波長計)		二極真空管	
接地		伏特計	
感應器		連接線	
鐵心感應器		交叉而不相接之線	

2. 無錄電的數學符號

(無錄電工程師學會採用)

量	數	符 號
柵極電位	Grid potential	E_g, e_g
柵路電流	Grid current	I_g, i_g
柵路電導	Grid conductance	$g_g = \frac{\text{柵路電流變更}}{\text{柵路電壓變更}}$
柵路電阻	Grid resistance	$r_g = \frac{1}{g_g}$
柵偏電壓	Grid bias voltage	E_c
板極電位	Plate potential	E_p, e_p
板路電流	Plate current	I_p, i_p
板路電導	Plate conductance	$g_p = \frac{\text{板流變更}}{\text{板壓變更}}$
板路電阻	Plate resistance	$r_p = \frac{1}{g_p}$
板路電源電壓	Plate supply voltage	E_b
發射電流	Emission current	I_s
互導	Mutual conductance	$g_m = \frac{\text{板路電流變更}}{\text{柵路電壓變更}}$
放大因數	Amplification factor	$\mu = \frac{g_m}{g_p}$
燈絲端電壓	Filament terminal voltage	E_f
燈絲路電流	Filament current	I_f
燈絲電源電壓	Filament supply voltage	E_a
柵板間電容	Grid-plate capacity	C_{gp}
柵絲間電容	Grid-filament capacity	C_{gf}
板絲間電容	Plate-filament capacity	C_{pf}
柵電容	Grid capacity	$C_g = C_{gp} + C_{gf}$
板電容	Plate capacity	$C_p = C_{gp} + C_{pf}$
燈絲電容	Filament capacity	$C_f = C_{gf} + C_{pf}$

附 錄 三

大 陸 電 碼

字母或訊號	電 碼	發 音
A	·—	底大
B	—...	大底底底
C	—·—·	大底大底
D	—··	大底底
E	·	底
F	··—·	底底大底
G	— — — ·	大大底
H	····	底底底底
I	··	底底
J	· — — — —	底大大大
K	— · — —	大底大
L	· — — ··	底大底底
M	— — —	大大
N	— ·	大底
O	— — — — —	大大大
P	· — — — ·	底大大底
Q	— — — · — —	大大底大
R	· — ·	底大底

S	...	底底底
T	—	大
U	..—	底底大
V	...—	底底底大
W	.— — —	底大大
X	— .. —	大底底大
Y	— . — —	大底大大
Z	— — ..	大大底底
1	. — — — —	底大大大大
2	.. — — — —	底底大大大
3	... — — —	底底底大大
4	.... — —	底底底底大
5	.....	底底底底底
6	—	大底底底底
7	— — — ...	大大底底底
8	— — — — ..	大大大底底
9	— — — — .	大大大大底
0	— — — — —	大大大大大
• 句號；句點	.. .. .	底底 底底 底底
' 讀號；逗點	. — . — . —	底大底大底大
; 分號；半支點	— . — . — .	大底大底大底
: 總號；支點	— — — — ...	大大大底底底

？問號	..—.....	底底大大底底
！感歎號	———.—.....	大大底底大大
’省略號	.....—.....	底大大大大底
—連字號	———.....	大底底底底大
/分數斜劃	———.....	大底底大底
()夾註號；括弧	———.—.....	大底大大底大
『』“”引號	.....—.....	底底底底底底
—底線	.....—.....	底底大大底大
==雙劃；換行	———.....	大底底底大
分隔號	.....—.....	底底底底大
發報前預告	.....—.....	大底大底大
每一電文完畢(+)	.....—.....	大底大底大底
發報完畢	.....—.....	底底底大大大
請發報	.....—.....	大底大
求救呼叫	.....—.....	底底底大大底底底
一般呼叫	.....—.....	大底大底 大大底大
從；發自	.....—.....	大底底 底
暫停；等待	.....—.....	底大底底底
預告	.....—.....	底底底大底
打錯	.....—.....	底底底底底底底
收到無誤	.....—.....	底大底

一劃之長，等於三點。

每字母內訊號之空間，等於一點。

兩字母間之空間，等於三點。

兩字之空間，等於五點。

英漢名詞索引

(整數數字指章數,小數數字指節數。)

Absorption circuit, 吸收電路 8.28
Alternating current, 交流
 magnetic field of, - 的磁場 6.3
 tubes, - 真空管 5.12
Ammeters, 安培計 4.3
Ampere, 安培 2.6, 4.1
Amplifier, 放大器
 connecting to detector, - 至檢
 波器接法 8.18
 electron tube, 電子管- 7.10
 one tube, 一管- 1.3
 push-pull, 推挽式- 8.17
 radio frequency, two tube, 兩管
 射頻- 1.4
 two tube, 兩管- 1.3
Amstrong circuit, 阿姆司特郎電路
 9.2
Antenna, 天線 1.1
 circuit, - 電路 8.2
 circuits, tuned and untuned, 調
 諧和不調諧- 電路 8.6
 electric and magnetic field of
 - 的電場和磁場 9.10
 fundamental wave length of,

 - 的基本波長 8.4
 indoor, 室內- 1.1
 loop, 環形- 8.3, 8.9
 measuring fundamental wave
 length of - 基本波長的量法 11.16
 inductance and capacity of,
 - 的電感和電容 11.17
 wave length for different typ
 es, 各式 - 的波長 8.8
Antennas, transmitting, 發送天線
 9.10
Atmospheric disturbances, 天電擾
 亂 9.11
Audibility of signal, 信號的可聞度
 11.22
Audio frequencies, 成音頻率 6.41
Audio frequency amplification, 音
 頻放大 8.16
Audio frequency oscillator, 音頻振
 盪器 11.6
Autodyne circuit, 自拍電路, 自差電
 路 8.26
Band pass filters, 通頻帶濾波器 8.30

circuit, - 電路 8.30

Battery, electric, 電池組 2.1
 charging, 充電於- 6.28
 experiment to illustrate principle of, 說明一原理的實驗 2.2
 filament, 燈絲- 2.1

Beats, 拍 8.25

Bridge method of testing tube, 檢驗真空管的電橋法 11.20

Broadcasting microphone, 廣播用
 微音器 7.2

Buzzer modulation, 蜂音器調幅 9.8

Bypass condenser, 旁路容電器 8.13,
 8.32

Capacitive reactance, 容抗 6.20
 equation for, - 方程式 6.20

Capacity, 電容
 coupling, - 耦合 7.13
 effect of on current, - 對於電流的效應 6.19
 of antenna, 天線- 11.17
 of condenser, measuring, wave-meter method, 用波長計方法測量容電器的- 11.14
 of condensers, 容電器的- 6.17
 of electron tube, 電子管的- 11.18
 unit of, - 的單位 6.18

Cell, 電池
 chemical action of, - 的化學作

用 2.4

voltaic, 伏打- 2.3

Charging storage battery, 於充電
 蓄電池 2.9

Circuit for tube tests, 檢驗真空管用的
 電路 5.14

Coil, 線卷
 for receiving circuit, 接收電路的- 1.1

Colpitts circuit, 攻爾比次電路 9.2

Condenser, 容電器
 action of in alternating current circuit, 交流電路中的一作用 6.16
 equations, - 方程式 附錄 1,
 measuring capacity of, bridge method, - 電容的量法, 電橋法 11.7
 standard, 標準- 11.14
 straight line capacity, 電容標度正比- 11.1
 straight line frequency, 頻率標度正比- 11.1
 straight line wave length, 波長標度正比- 9.3, 11.1
 telephone bypass, 聽筒旁路 8.13
 tuning, 調諧用- 1.1
 variable, 可變- 1.1

Condensers, 容電器
 capacity of, - 的電容量 6.17
 in series, law of, 串聯一的定律 6.22

- measuring, 一量法 11.7
- parallel and series, 並聯和串聯的— 6.22
- Conductance, table of, 電導表 4.2
- Conductors, 導體 4.2
- Continental code, 歐陸電碼 附錄 3,
- Coulomb, 庫侖 4.1
- Crystal control, 晶的體控制 9.5
- Crystal controlled circuit, 晶體控制的電路 9.5
- Crystal detector, 晶體檢波器 1.1
- Crystal rectifier, 晶體整流器 7.9
- testing an oscillating, 檢驗一個振盪— 9.5
- Current, 電流
- effective, 有效— 6.13
- electric, 電流 2.5
- feed 饋流 9.10
- induced, 應— 6.1
- Curves, characteristic, uses to be made of, 特性曲綫的應用 5.16
- Cycle defined, 週之定義 6.2
- Detector action of tube, 電子管的檢波作用 7.8
- Detector circuit, 檢波電路
- electron tube, 電子管— 8.14
- one tube, 一管— 1.2
- Detector, 檢波器
- crystal, 晶體— 1.1
- electron tube, 電子管— 7.14
- Dielectric 介質 6.17
- constant, —常數 6.17
- power lost in, —中的功率損失 6.43
- Dry cell, 乾電池 2.1, 2.3, 2.7
- resistance of, —的電阻 4.4
- Dry plate rectifier, 乾板整流器 6.31
- Dynamic characteristic of tube, 真空管的動態特性 5.16
- Eddy currents, 渦流 6.25
- Effective current, 有效電流 6.13
- Effective voltage, 有效電壓 6.15
- Electric battery, 電池組 2.1
- Electric current, theory of, 電流的理論 2.5
- Electrolytic rectifier, 電解整流器 6.29
- Electromotive force, 電動勢 2.6
- ideal curve for, —的理想曲綫 6.2
- oscillating, 振盪— 8.2
- Electrons, 電子 2.5, 4.1
- action of in condenser, 容電器中的一作用 6.16
- action of in mutual inductance, 互感中的一作用 6.7
- from a heated filament, 從熱燈絲發出的— 5.1
- in parallel resonant circuit, 並聯共振電路中的— 6.39

- in series resonant circuit, 串聯共振電路中的— 6.36
- magnetic force produced by, — 所生的磁力 3.1, 3.2
- Electron tube, 電子管 5.1
- amplifier — 用作放大器 7.10
- detector circuit, — 檢波電路 8.14
- measuring capacity of, — 電容的
量法 11.18
- rectifier, — 用作整流器 6.28
- Farad, 法拉 6.18
- Filament circuit, 燈絲電路 4.4, 8.12
- Filament current and plate current, 燈絲電流和板極電流 5.9
- Filament, resistance of, 燈絲電阻 4.4
- Filter, 濾波器 6.39, 8.28
- band pass, 通頻帶— 8.30
- high pass, 通高頻— 8.28
- low pass, 通低頻— 8.28
- Five tube receiver, 五管收音機 1.5
- Frequency, 頻率 6.2
- in various electrical circuits, 各種電路中的— 6.41
- low and high compared, 低—和
高—的比較 6.42
- Galvanometer, 電流計 4.8
- Generator, two-pole, 兩極發電機 6.2
- Grid, 柵極, 柵路
- action of, — 的作用 5.3
- condenser, effect of, — 容電器的
效應 7.5
- current, — 電流 5.8
- leak, — 漏阻 7.5
- resistor, — 電阻器 7.5
- voltage, — 電壓 5.5
- voltage and grid current, — 電
壓和柵電流 5.8
- voltage and plate current, — 電
壓和板電流 5.5
- Ground connection, 接地 1.1
- Harmonics, 諧波 8.7
- Hartley circuit, 哈特萊電路 9.1
- Heat effect of alternating current, 交流的熱效應 6.14
- Henry, 亨利 6.9
- defined, — 的定義 6.9
- Heterodyne, 他拍, 外差
- principle, 他拍原理, 外差原理 8.25
- reception — 接收 8.25
- High frequency resistance, 高頻電阻
- measured by resistance variation method, 用電阻變更法量度— 11.15
- measured by substitution me-

thod, 用代替法量度— 11.15

High pass filters, 通高頻濾波器 8.23

High pitch buzzer, 高音蜂音器 11.5

Hot wire ammeter, 熱線安培計 4.9

Hysteresis, 磁滯現象 3.4

Impedance, 阻抗 6.12, 6.21, 6.23

Induced current, direction of, 應電
流方向 6.7

Induced electromotive force, equa-
tion for, 應電動勢方程式 6.6

Inductance, 電感 6.8

 constructing a coil having a
 specified, 製作一個有預定一的線
 卷 11.24

 in alternating current circuit
 交流電路中的— 6.8

 in direct current circuit, 直流
 電路中的— 6.8

 mutual, 互感 6.4, 6.42, 11.8

 of antenna, 天線的— 11.17

 of coil, measuring, impedance
 method, 線卷一的量法, 阻抗法 11.9

 of coil, measuring by wave-
 meter method, 線卷一的量法, 波
 長計法 11.14

 unit of, —的單位 6.9

Insulators, 絕緣體 1.1, 4.2

Kilowatt, 仟瓦(特) 4.5

Lag, 滯後

 angle of, 一角 6.21

 of current, 電流的— 6.11

Lead, angle of, 超前角 6.21

Lenz's law, 楞次定律 6.7

Line of force, definition, 力線的定
義 6.5

Loop antenna, 環形天線 8.3, 8.9

Low pass filters, 通低頻濾波器 8.28

Magnetic action of current in
coil, 線卷中電流的磁作用 3.3

Magnetic field, 磁場 3.1

Magnetism, molecular theory of,
磁的分子說 3.3

Maximum voltage, 最高電壓 6.15

Meissner circuit, 賈斯納電路 9.2

Microfarad, 微法拉 1.1, 6.18

Microhenry, 微亨利 6.9

Microphone transmitter, 微音器發
送器 7.2

Miller bridge, 密勒電橋 11.20

Milliammeter, 毫安培計 4.3, 4.10

Millihenry, 毫亨利 6.9

Modulated waves, 已調幅電波 7.3

 action on grid and plate, —對
 於柵極和板極的作用 7.7

Modulation, 調制, 調幅 9.7

Multi-electrode tube, 多極管 5.15

- Multi-unit tube, 多組管 5.15
- Mutual conductance of tube, 電子管的互電導 11.19
- Mutual conductance and transconductance, 互導與跨導 7.11
- Mutual inductance, 互感 6.42, 11.10
action of electrons in, - 中的電子作用 6.7
- Neurodyne circuit, 平衡式電路 8.20
- Ohm, 歐姆 4.1
- Ohm's law, 歐姆定律 4.3
and alternating currents, - 和交流 6.23
- Oscillator, wave length of, 振盪器的波長 11.13
- Oscillators for experimental work, 實驗用的振盪器 9.3
- Parallel circuit, 並聯電路 4.7
- Parallel resonance, 並聯共振 6.38
equation for, - 方程式 6.40
- Pentode tube, 五極管 5.14, 8.23
- Permeability, 導磁係數 3.3
- Phase angle, 相角 6.11, 6.12
- Phase, 相
difference of, - 之差 6.11
mechanical illustration of, - 的機械的解釋 6.12
- Photoconductive cells, 變導光電管 10.4
- Photoelectric cells, 光電管
sensitivity of, - 的靈敏度 10.12
circuits for, - 電路 10.8
- Photoelectric circuit, 光電電路 10.1
- Plate circuit, 板極電路 8.11
- Plate circuit resistance, 板路電阻 5.7
- Plate conductance, 板路電導 11.19
- Plate current, 板路電流 5.11
- Plate power supply, 板極電源 9.2
- Plate resistance of tube, 真空管的板路電阻 11.19, 11.20
- Plate voltage, 板電壓 5.4
circuit for testing, 檢驗一的電路 4.10
- Polarization of dry cell, 乾電池的極化 2.8
- Power amplification, 功率放大 5.10, 7.14
- Power equation, 功率方程式 4.5
- Power factor, 功率因數 6.24
- Power lost in dielectric, 介質中的功率損失 4.3
- Power supply, 電能供給 8.33
- Push-pull amplifier, 推挽式放大器 8.7
- Radio frequencies, 射電頻率 6.41

- Radio frequency amplification, 射頻放大 8.19
- Radio frequency currents, measuring very small, 極小射頻電流的量法 11.23
- Radio symbols, 無線電用器符號, 附錄 2,
- Radio symbols, mathematical, 無線電的算學符號, 附錄 2,
- Reactance, 電抗 6.10
 and frequency, 一和頻率 6.42
 capacitive, 容抗 6.20, 6.42
 capacitive, equation for, 容抗方程式 6.20
 inductive, 感抗 6.10, 6.42
 inductive, equation for, 感抗方程式 6.10
- Receiver, five tube, 五管收音機 1.5
- Receiving circuit, essential parts, 接收電路的主要部份 8.1
- Receiving set, wave length of, 收音機的波長 11.12
- Rectifier, 整流器
 crystal, 晶體— 7.9
 dry plate, 乾板— 6.31
 electrolytic, 電解— 6.29
 vibrating reed, 振簧— 6.30
- Reflex circuit, 回復電路 8.21
- Regeneration, 再生 8.15
 through capacity coupling,
- 經電容耦合的— 7.33
- Regenerative circuit, 再生電路 1.2
- Repulsion effect, 推斥效應 6.7, 6.25
- Resistance, 電阻 4.1
 boxes, 一箱 4.13
 coupled circuits, 一耦合電路 8.16
 effective, 有效— 6.44
 effect of on resonance curve, 一對於共振曲線的效應 6.37
 measuring, voltmeter ammeter method, 一量法, 伏特計安培計法 4.11
 measuring by Wheatstone bridge method, 一量法, 惠斯登電橋法 4.12
 of coil, measuring high frequency, 量度線卷的高頻— 11.15
 radio frequency, 射頻— 6.44
 parallel, equations for, 並聯— 方程式
- Resonance, 共振 6.32
 curves, 一曲線 6.37
 parallel, 並聯— 6.38
 parallel, equation for, 並聯— 方程式 6.40
 series, equation for, 串聯— 方程式 6.33
- Resonant circuit, 共振電路
 series, voltage in, 串聯— 中的電壓 6.35

- wave length of, 一的波長 6.34
 Response curve, 響應曲線 8.30
 Screen grid tube, use of, 屏柵管的用途 8.22
 Series circuits, 串聯電路 4.6
 Series filter, 串聯濾波器 8.28
 Series resonance, 串聯共振 6.33
 Shielded grid tube, 屏柵極管 5.13
 Shielding, 屏蔽 8.31
 Short wave circuits, 短波電路 8.35
 Short wave transmitters, 短波發送機 9.6
 Short waves, 短波 8.34
 ultra, 超- 8.36
 Shunt filter, 分路濾波器 8.28
 Side bands, 旁頻帶 8.29
 Silicon steel, 矽鋼 3.3, 3.4
 Sine curve, 正弦曲線 6.2
 Skin effect, 皮膚作用 6.44
 Sound waves, 聲波 7.3
 Space charge, 空間電荷 5.1, 5.13
 Specific inductive capacity, 介質常數 6.17
 Static, 天電 9.11
 Storage battery, 蓄電池組
 care of, 一的維護 2.10
 rating in ampere-hours, 一的安培小時定額 2.11
 Storage cell, 蓄電池 2.9
 Superheterodyne circuit, 超致拍電路, 超外差電路 8.27
 Telephone receiver, 電話聽筒 7.1
 Telephone bypass condenser, 聽筒旁路容電器 8.13
 Thermocouple ammeter, 熱電偶安培計 4.9
 Three-electrode tube, 三極管 5.3
 Transformer, 變量器, 變壓器 6.26
 for radio frequency amplification, 射頻放大用- 1.4
 power loss, 一的功率損失 6.27
 voltage ratio of, 一的電壓比率 11.21
 Transmission unit, 傳遞單位 9.12
 Transmitter, 發送機
 wave length of, 一的波長 11.13
 ultra short wave, 超短波- 9.6
 Transmitting antennas, 發送天線 9.10
 Transmitting circuit, Hartley, 哈特萊發送電路 9.2
 Transmitting circuits, 發送電路
 general discussion, 一概論 9.4
 typical, 典型的- 9.2
 Tube, 電子管, 真空管
 bridge method of testing, 檢驗一的電橋法 11.20
 dynamic characteristic of,

—的動態特性 5.16
 hard and soft, 剛性和柔性— 5.11
 heater type, 發熱式— 5.12
 oscillation of, —的振盪 9.1
 tests, —檢驗 11.18
 tests, circuit for, —檢驗用的電路 5.16
 alternating current, 交流— 5.12
 with two grids, 兩柵— 5.13
 Tuning condenser, 調諧用容電器 1.1
 Two-electrode tube, 兩極管 5.2
 Ultra short wave transmitter, 超短波發送機 9.6
 Useful formulas, 有用公式, 附錄 3,
 Vacuum tube voltmeter, 真空管伏特計 11.25
 Variable μ tube 可變放大因數電子管 8.24
 Vibrating reed rectifier, 振簧整流器 6.30
 Voice modulation, 語音調幅 9.9
 Volt, 伏特 4.1, 6.6
 Voltage, 電壓
 effective, 有效— 6.15
 feed, 饋壓 9.20
 in series resonant circuit, 串聯共振電路中的— 6.35
 maximum, 最高— 6.15
 ratio of transformer, 變壓器的

—比率 11.21
 Voltmeter, 伏特計 4.10
 Watt, 瓦特 4.5
 Wave length of antenna, 天線波長 8.4, 9.10
 effect of inductance and capacity on, 電感和電容對於—的效應 8.5
 measuring, —的量法 11.16
 Wave length of oscillator, 振盪器的波長 11.13
 Wave length of receiving set, measuring, 收音機波長的量法 11.12
 Wave length of resonant circuit, 共振電路的波長 6.34
 Wave length of transmitter, 發送機的波長 11.13
 Wavemeter, 波長計 11.1
 calibrating by inductance and capacity method, —的校準, 電感和電容法 11.11
 oscillating, 振盪— 11.3
 with current indicator, 備有電流指示器的— 11.2
 Waves, (電)波
 Wheatstone bridge, 惠斯登電橋 4.12
 special forms of, 特種— 4.13
 Wire 線
 Zero best method, 零拍法 11.12