

職業學校叢書

無線電學

ALMSTEAD · DAVIS · STONE

合著

周夢鑾譯

龍門聯合書局發行



無線電學

基本原理與實踐

RADIO

Fundamental Principles and Practices

by

F. E. Almstead, K. E. Davis

G. K. Stone

周夢塵譯

龍門聯合書局發行

弁 言

無線電波自馬克士威(Maxwell)預言其存在，經赫芝(Hertz)用實驗證實，復由柏柏夫(Popov)及馬可尼(Marconi)付諸實用以後，短短不過數十寒暑，而今已無遠不屆，無時不存。應用繁多，不勝枚舉。其朝夕共處而不為吾人所覺察者，非無線電波而何！

無線電者即利用無線電波以供通訊之技術也。此種技術之發展已使世界之面目為之一新。舉凡商業，交通，文化，教育各方面幾無不已領受其深刻之影響。先進各國，無線電收音機殆已成爲家庭必需之設備，可藉之以娛樂身心，接受新知。反動統治者每利用無線電廣播以作虛偽宣傳，欺騙大衆，從而延續其政治生命之工具；革命者亦視之爲革命鬥爭之一種最進步與最鋒銳之武器。關於無線電之研究，已不限於此一方面之專家，所謂業餘無線電家亦與日而俱增。吾國一切落後，對此自亦不能例外。惟世事無常，落後者又何敢斷言其不能超前。蘇聯之鑑，前車未遠。憂患頻年，光明已啓，中國之新生既已在望。今後拔脚前進，或急起直追，或迎頭趕上，繁榮與進步，未嘗非指日可期。無線電與交通，教育等之關係既如此之密切，在未來之若干年中，在人民民主的新中國內，無線電事業之發達，自在意中。爲未雨綢繆，亦爲促進其進展起見，本局緣有編印無線電叢刊之意。但以人力財力所限，不能同時並舉。此所以先集中其全力於無線電職業用書一部門也。

國內關於無線電教材之出版，近年以來，亦所在多有。惟或則取材羅雜，豈無所不包，而未能深入；或則太嫌簡略，難應所需。本書為富有教學經驗之美國 F. E. Almstead, K. E. Davis 與 G. K. Stone 所合著，出版於 1944 年，對於無線電理論與實踐之闡明，簡潔而扼要，極適於無線電職業學校及各種電訊訓練班之用。另有同一作者所撰之“無線電實驗”，現亦由本人譯出，如能與本書配合教學，當可得更好之效果。

書中各項專詞之譯名，除少數例外（如 close 之譯關通，open 之譯開斷，wire 之譯線，而非線），均以國立編譯館頒佈之物理學名詞，電機工程名詞（電訊部與電力部）為標準。遇兩書所未載者，則參考范鳳源等編之無線電大辭典及 Cooke & Markus 之 Electronics Dictionary 自行釐訂。

原版中訛誤之處，其經譯者發現者，譯本中均已訂正。索引部分原書似嫌太過繁瑣，譯本中亦略有刪節，以便檢閱。

譯者學力有限，又無實地工作經驗，舛誤之處，在所難免，敬祈教者學者不吝賜教，俾此譯本得時有改進，甚至超出原本而上之，幸甚或甚！譯者認為欲求一書之完善，絕非作者或譯者一人所能為力，亦非一朝一夕所能達成，必須集合無數讀者（已有修養的專家，甚至於毫無修養的初學者）之心力，對其內容，編制等加以客觀的指示，俾可依以改進，然後方能日臻於至善。無線電學之發展，既方興而未艾，其有待於訂正充實之處正多，以上向讀者所提出之要求，絕非抄襲舊例，故作客套，幸垂察焉。

原 序

本書開始於六年之前，曾以油印之形式，在若干高級學校班級，成人教育夜班，以及海軍新兵之訓練中，充無線電原理與實踐一學程教學之用。其內容自草創以來即迭經改訂，為企圖使其內容，在可能做到之範圍內，成為有用，精審而易教之形式起見，曾試作若干不同之結構計劃，而文字方面亦曾重寫多次。

此項長期試驗與改訂之結果，遂成為簡而扼要之一書。故此書實無意於詳盡討論每一主題，竭力避免時間消耗於在主要知識方面並無貢獻之偏題上。是即置首要之事為第一，而不離要旨之道耳。

欲用本書之普通學員均假定已習高等學校物理學，且對於初等代數學亦已具有可以活用之知識。惟此項先決條件亦非絕不可少者，因每一主題之展開固均自基本概念著手也。其對於高級無線電工程人員方有意義之若干方面，在敘述與討論中均避而不談。

書中附圖，亦正如其正文，乃仔細試驗與實驗之結果。所有各圖均由作者親自繪製，并均曾由實驗與應用而予以考驗。在插圖與討論之間咸存有極密切之關係，此乃應行注意者。事實上，

圖即係文之一部，所有各圖在文中均曾述及。此等插圖均毋寧謂為設計圖，而不必為圖畫式者，可使學者一開始即可獲得處理標準記號良有價值之經驗。

本書之目的在輔助學者於無線電基本及實踐一道獲得一堅實之根底，以作為接受高深訓練或立即付諸實用之基礎。故極適用於以無線電作為物理學下一學程之高等學校中，亦適用於先修班以及為訓練無線電與電訊隊人員之軍事學校中。無線電之應用既日在擴展之中，是本書在訓練戰時既急切需要而平時亦同樣需要之若干專門人員方面或將大有貢獻。

Francis E. Almstead,
Kirke E. Davis,
George K. Stone.

目次

弁言

原序

第一章 電子論.....	1
原子微粒之性質(2), 原子之電的性質(3), 原子之能場(5).	
第二章 直流.....	9
電路之分類(9), 電路之特性(10), 串聯電路(13), 並聯電路(14), 串並聯結合電路(16), 歐姆定律之概要(19).	
第三章 交流.....	21
正弦曲線(23), 向量解法(30).	
第四章 能與功率.....	34
直流電路中之功率(34), 交流電路中之功率(36), 功率因數(39).	
第五章 真空管.....	43
兩極管(43), 三極管(49), 真空管之作用(52), 屏極管(55), 五 極管(60).	
第六章 直流電計與交流電計.....	64
達松靈爾電流計之原理(64), 直流安培計(65), 直壓伏特計(68), 交流電計(69).	
第七章 電感.....	75
感抗(77).	

第八章 電容.....	79
容電器之作用(79)。測量之單位(80)。合電容(81)。	
第九章 諧振.....	83
串聯諧振電路(83)。並聯諧振電路(86)。電路阻抗(87)。槽路電路(88)。	
第十章 耦合電路.....	90
互感(90)。變壓器耦合(94)。	
第十一章 電能供給.....	96
半波整流(97)。全波整流(100)。充氣整流管之工作(101)。鋼化銅整流器(102)。濾波電路(103)。紋波(105)。紋波電路之調整率(105)。分洩電壓分配器(107)。槽路電壓(111)。	
第十二章 聲音及其在無線電方面之應用.....	114
頻率(114)。拍音(115)。波(116)。波之計算(117)。單鈕微音器(118)。雙鈕微音器(120)。晶體微音器(120)。容電器微音器(121)。速度與電動力微音器(122)。磁力拾音器(123)。晶體拾音器(125)。括聲濾除器(125)。聲浪(126)。揚聲器與收話器(127)。	
第十三章 接收機電路.....	130
晶體接收機(130)。真空管接收機(133)。兩極管檢波器(135)。調諧射頻接收機(135)。超致差接收機(137)。	
第十四章 振盪器電路.....	141
反饋線圈之反饋振盪器(141)。調槽調板振盪器(144)。晶體振盪器(146)。	
第十五章 真空管放大器.....	148
放大器之分類(151)。電壓放大器(152)。射頻放大器之平衡(154)。放大器耦合(155)。聲頻功率放大器(157)。功率放大器中之諧波畸變(158)。板極電路中偶諧波之消除(164)。倒相(166)。功率放大器之工作點(168)。	

第十六章 發送機.....	170
調諧振盪器(172), 主控振盪器-功率放大器發送機(174), 多級發送機(177), 振幅調制(182), 頻率調制(183), 圖像之傳遞(184), 電視(185).	
第十七章 電波傳播.....	188
無線電波之特性(188), 游離層中之各層(188), 電波在不同頻率下之行爲(191),	
第十八章 天線.....	194
半波諧振天線之長度(194), 電壓分佈(196), 天線電線之阻抗(197), 輻射電阻(198).	
第十九章 傳遞線路.....	201
開端與短路線路(201), 傳遞線路之調諧(203), 同軸電纜(204),	
索引.....	207

無線電學

——基本原理與實踐——

第一章 電子論

一切物質殆均由極微小之電的微粒構成。此等微粒之周遭均存有能場 (energy field)，而能場則對於一切電磁現象不能卸其責任。無線電 (radio) 所涉及者既爲此種能之利用與控制，故需對於物質之基本構造與電的性質有一清晰之了解。

一片銅由肉眼觀之未嘗不似一片實心之物質。然此一小片物料固非確爲實心者也；若能將之充分放大，則當可見其乃若干微小之微粒，其間間有廣闊之空間者矣。再若能將此一小片銅分而再分，歷無數次後則人當可得一最小塊之實體；此最小塊實體仍保留原來一片之一切物理性質與化學性質。科學家特爲此項由元素瓜分而成之最小塊物質選定一名，謂之曰原子 (atom)。元素如鐵，銅，鉛，鋁，氫與氧之類實際均爲原子之集團。元素中每一原子均具有該元素之一切特性。而原子之集團則又爲原子之天然構造也。

物理學家曾研究許多原子之構造，而發現一切原子在此一方面殆均相似。各原子之中心均爲由若干物質微粒造成一集團，即所謂核。原子核中之物料比較沉重，且具有一合成之正電荷。

正電荷單獨一個則稱為一個質子 (proton)。在一定路線上繞核而行者則為藐小之物質微粒。原子核四周軌道中之物料比較輕



使電子作功的途徑之一。照片中所示者為美國陸軍通訊隊在前哨所用之輕便無線電話收發機 (walkie-talkie)。

而具有一負電荷。單獨一個負電荷即所謂電子 (electron)。此二種荷電不同之物料均為構造一切物質之基石。

原子微粒之性質 關於此等帶電微粒之大小，如欲得一完善之觀念，試作一比較即可。假定將原子核四周之電子軌道放大，使

之等於地球繞行太陽的軌道，則原子核之直徑當僅為 $3\frac{1}{2}$ 哩左右，而電子所具之直徑則約為 6500 哩。電子之直徑約為質子之 1800 倍，雖屬事實，然其重量固又僅為質子者之 $1/1800$ 左右也。質子既均在原子核中，故原子之大部分重量殆均集中於其核。

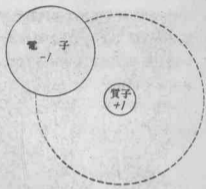


圖 1. 氫原子。

元素全部有 92 種，各有其本身之物理性質與化學性質。每一元素之異於其他一切元素即在其電荷之數目與排列。造成氫原子之電荷，其排列如圖 1 所示。

氫原子包含僅有一個正電荷（質子）之核，與繞此核而行之個負電荷（電子）。此數既為一原子所能包含之帶電微粒之最小數目，故氫實為一切元素中之最輕者。重量次一高於氫者為氦。一個氦原子，其核中有二質子，復有二電子繞此二質子而行。繼此而起之每一元素亦均由相似之途徑，加多電子與質子而成。

原子之電的性質 在一自由而未受擾動之情況中，所有原子因所含質子數與電子數相同之故，在電的方面殆均屬平衡者。每一原子又均有其雅量，在其周圍每一層軌道上容納一定數目之電子。例如第一層軌道容納 2 個，第二層者容納 8 個，第三層軌道可保持 8 個，或就較重之原子言，18 個，而第四層可含 32 個電子。一軌道如已保有其所能容之若干電子時，此軌道即謂之為業

已滿額。

若干研究家曾發現銅原子最少含有 29 個自由質子，密集於一核中，另有 29 個電子，排列於此核外圍之數層軌道上。故在一銅原子中（圖 2），所有之正電荷與所有之負電荷，為數相同。若斯一類之原子可謂為在電的方面業已平衡。銅原子核中之質子均重而緊密縛結於一起，因此，遂不易以任何方法擾亂之。

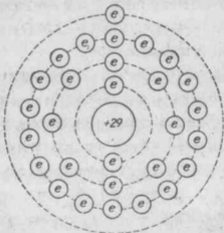


圖 2. 銅原子。

惟欲推翻一原子之電的平衡則比較不難，加減其周圍軌道中之電子即可。軌道中電子數之任何變動均可造成一個帶有正電荷或負電荷之原子。由軌道中取走數電子，結果即得帶正電之原子，即所謂游子 (ion)。負游子則由加電子於原子而改。

金屬之原子每不難將其最外一圈中之電子放棄，給予另一原子。此事若竟實現，此金屬原子即變為正游子。在非金屬類之

元素（諸如氧，氮與硫）中，則較易吸取電子，以充實其外層軌道。此事實現時，若斯一類之非金屬原子即具有超額之電子，變而為負游子焉。

依電子論 (electron theory) 言，電流 (electric current) 者即電子之流也。如有若干電子在一預先確定之路線上，由一處流至他處，電路 (electric circuit) 即告形成。在某數種物料中，需要極大之力，方可將自由電子逐出。若斯一類之物料即所謂絕緣體 (insulator)。一種物料之電的活動，則胥視易否用一種電力 (electric force) 由其中驅出電子而定。

原子之能場 電子乃一塊物質，此一塊雖確為非常微小之一塊，但亦仍須遵從一切關於物質之物理定律。由一個電子之質量的移動而完成之功的數量，即或此一質量乃以光速進行者，仍屬不大。惟電子之數量若甚巨大，則所生之動能，其數量即不可忽視。在此動能之外，電子復具有原子能 (atomic energy)，殆可與各種物體之位能相比擬。原子能所藉以表現之形式則為電子周圍之電場 (electric field) 與磁場 (magnetic field)。

如圖 3 所示，此二種能場互成直角。如電場在水平面中，則磁場即在垂直面中。此二種能場對於電路中一切磁的與電的活動，殆

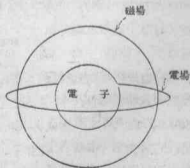


圖 3. 電子周圍之能場。

均不能卸其職責。在電磁感應 (electromagnetic induction) 一情況中 (閱圖 4)，相似之能場相互推斥。如一磁場橫截一線圈 (coil of wire)，此磁場即推斥線圈中自由電子之磁場。

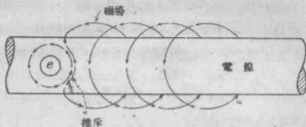


圖 4. 由相似磁場之推斥而引起之電子運動。

當電子運動時，磁場即行發生。此際，若推拒力甚大，足以克服電子之慣性，則沿線即有一電子流 (electron flow) 形成。其合成磁場之強度則視電子運動之程度而定。

在電磁感應之外，電子運動之另一效應則為靜電感應 (electrostatic induction)。在圖 5 中，發自電池組之電子沿電線由負電極 (有電子積聚之處) 向容電器板 A 流動。由一切個別電場合成之總靜電場遂展佈於容電器絕緣部分中，且推拒 B 板上電子周圍之能場。其推拒力即將電子驅向電池組之正側，如此乃造成容電器板 B 上電子之

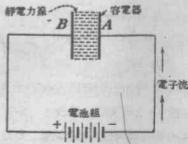


圖 5. 容電器正由一電池組充電。

缺點。合成之電荷可為負亦可為正，在電子過剩之 A 板上為負而在電子缺歎之 B 板上為正。

若無原子能之能場，電子或不可能產生其若干種效應。無線電亦以磁場與電場二者之存在為基礎。電子雖不可能沿絕緣物料流動，但能場則仍能，且亦實行，施出一力通過絕緣物料。無線電機中之容電器，變壓器以及耦合線圈之活動即以此等能場為基礎。

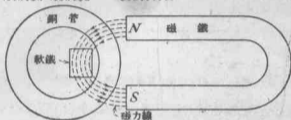


圖 6. 銅管對於磁場無影響。

有時需要阻止能場進入某一區域，無線電儀器可由屏蔽物料之適當選擇與裝置而將此等能場阻蔽。例如，圖 6 中示有一根

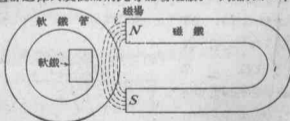


圖 7. 軟鐵管可引導磁場，因而遂能屏蔽管中間之軟鐵。

銅管，一支磁鐵與一塊鐵。銅管將磁鐵與鐵分開，但磁鐵之磁場仍可向前伸展，通過銅管，因此，鐵遂由此磁場之作用而被固着於原處。

在圖 7 中，有一鐵管，代替銅管。此鐵管對於磁力線具有高度之導磁性，因而能場中之能遂被局限於在此鐵管中之一路徑上，管中央之空間中既僅有少數幾條磁場力線，因此，鐵塊遂不受磁鐵所影響。鐵管乃為鐵塊將磁場屏阻於外。導磁係數 (permeability) 即指示一種物料易否磁化之程度者也。

問 題

1. 物質由何種電的微粒組成？
2. 在室溫下，一塊鐵是否為實心的？試釋明之。
3. 作一圖示最小數量的，具有銅之一切性質的物料。
4. 作一原子之圖解，此原子中含有四個質子與四個電子。
5. 電子如何有異於質子？
6. 電子在何種方面與質子相似？
7. 在一電路中有何種電荷移動？何種穩定不動？
8. 就電的性質比較金屬與非金屬。
9. 原子中之能位於何處？
10. 何謂電流？
11. 說明電子之各種能。
12. 分別電磁感應與靜電感應。
13. 電子不能順著一種絕緣物料通過，則在若斯一類之物料中可感覺電子之影響否？試釋明之。
14. 討論銅與鐵用作屏蔽材料時之相對的能力。
15. 若一線與磁力線相交，則沿線即有一電流形成。試說明所含之原理。

第二章 直流

歐姆定律 (Ohm's law) 為分析電路時所用之基本定律。此定律經縮為最簡單之辭句後，所述者即存在於電動勢，電流與電阻間之關係；可表明電路中電子之活動。

一個電子所完成之功，量雖不大，但無數百萬電子於經過一導體時則可作成鉅量之功矣。欲利用彼等所能做之功，則必須將彼等引導，順沿一所需之路線進行不可。在若斯一路線中，電子之流動率即所謂電流。而此路線即所謂電路。電路必須周全，以供電子回至其出發點。如欲有一電流順電路流動，則尚需一推動之力。自由電子與推動力均可由電池組與發電機供給。

電路之分類 電路可將之分類，歸隸於三種一般型式之下：串聯式，並聯式與串並聯結合式。串聯電路 (圖 8) 者，僅有一條周全而閉合路線之電路也。電路

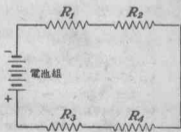


圖 8. 串聯電路。

中之一切機件，其連接也，殆均以能使之形成一不斷之路線為準。無叉路可供電流選擇。並聯電路 (圖 9) 者，電路中數種機件之連接能使電流可順沿一條以上之支路流動者也。至於串並聯結

合電路(圖 10)則所含之機件,有一部分串連,另有一部分並聯。

電路之定量的研究(quantitative study)需要數學計算之應用。關於以上所舉各種電路之數學解答,於此將詳加解釋。請研究各個插圖,俾對於所含之基本定律可獲一清晰之了解。對於各個解答,不必試圖牢記,惟須努力啓發對於各項基本定律之了解,如此乃可使君能以分析與討論一個問題以達一完滿之答案。

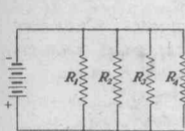


圖 9. 並聯電路。

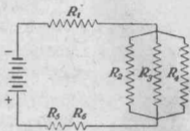


圖 10. 串並聯電路。

電路之特性 在每一電路中,無論其類型為何,均呈有數個因素。電動勢,電阻與電流即此等因素中之三個。

一電路中之電動勢 (emf) 通常恆由一電池組或一發電機供應。電位差 (電動勢) 乃推動電子順導體前進之力。計量此項推動力者為伏特。伏特者即驅一安培之電流順一歐姆之電阻進行時所需之力也。

導體之電阻視其所由構成之材料以及其長度,截口與溫度而定。電子於順沿一導體移動時所遭遇之阻難即所謂電阻。計量電阻者為歐姆。在 0°C 下,一 106.3 厘米長而所具之截口面積為 1 平方毫米之水銀柱,其電阻即為 1 個歐姆之標準尺度。

順沿一導體流動之電流即電子之流動率。在一秒鐘內，電路上一點如有六十億個十億的電子通過，則其時流動者即為一個安培之電流。安培者乃電子流動率之尺度也。

電導 (G) 亦為電路中之一特性，指示電子在該電路中易否移動之程度；用數學方法，可用一公式表之：

$$\text{電導} = \frac{\text{電流}}{\text{電動勢}}$$

歐姆定律所示者亦即此數因素間之關係。如使電動勢保持一定之值，則電流之值即隨電阻值之減少而增加。亦有謂，假定電動勢不變時，電流與電阻成反比，則此事之另一說法也。

此數因素亦可表作一方程式(歐姆定律)。

$$\text{電動勢} = \text{電流} \times \text{電阻}$$

若吾人再用電阻一除此方程式之兩端，則得

$$\text{電流} = \frac{\text{電動勢}}{\text{電阻}}$$

關於電阻之方程式則可用電流除第一方程式之兩端而得。

$$\text{電阻} = \frac{\text{電動勢}}{\text{電流}}$$

因此，歐姆定律遂可述之如下：在一電路中流動之電流與電動勢成正比而與電阻成反比。此項說法，對於若干特殊情況以及用於全部電路或一電路之任何一部分時，均可無誤。惟如應用歐姆定律於全部電路時，則於每一事例中均須應用各項總值方可。但如計算僅涉及電路之一部分時，則所用之值即應為僅可應用於該一部分之諸值焉。

在圖 11 中，總電動勢之伏特數即 A 與 B 兩點間之電位差，即 4.5 伏特。總電阻之歐姆數即各個別電阻之和，即 45 歐姆。至於總電流之安培數，就串聯電阻言，即流動於此電路任何部分中之電流。在 4.5 伏特電池組中進出之電子，其數量殆無差異；事實上，在此電路每一段中流動之電子數因均相同也。

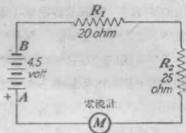


圖 11. 相同數目之電子正在此一串聯電路之每一部分中流動。

$$\begin{aligned} \text{電流} &= \frac{\text{電動勢}}{\text{電阻}} \\ &= \frac{4.5 \text{ 伏特}}{45 \text{ 歐姆}} \\ &= 0.1 \text{ 安培} \end{aligned}$$

歐姆定律可應用電路中諸因素之名字表之，或亦可應用代表此項因素之字母表之。

$$\begin{aligned} \text{電阻} &= \frac{\text{電動勢}}{\text{電流}} \\ R &= \frac{E}{I} \end{aligned}$$

此處 R 即電阻， E 即電動勢，而 I 即電流也。

測量時所用單位之名稱亦往往可以引用，如

$$\text{歐姆} = \frac{\text{伏特}}{\text{安培}}$$

串聯電路 串聯電路中所有各部分之電流均同。此點之所以真確無誤，殆因其間唯有一條通路可供電子流動耳。其中總電壓即各個別電阻之和。總電動勢則為此電路各部分上各個別電壓降落之和。

在圖12中有一標準之串聯電路。應用所舉關於此一電路之諸值，求 R_1 上之電壓，電路沿線之電流與 R_2 之電阻。

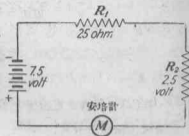


圖 12. 總電動勢為電路各部分上各個個別電壓降落之總和。

1. 應用關於串聯電路之定律，從總電壓中減去 R_2 上之電壓，即得 R_1 上之電壓。

$$7.5 - 2.5 = 5.0 \text{ 伏特}$$

2. 應用歐姆定律，就 R_1 求電流。

$$\begin{aligned} \text{電流} &= \frac{\text{電動勢}}{\text{電阻}} \\ &= \frac{5 \text{ 伏特}}{25 \text{ 歐姆}} \\ &= 0.20 \text{ 安培} \end{aligned}$$

因所欲求者乃此電路中一特定部分之一值，故所用者遂亦為關於該一部分電路之諸因素。惟如所用者即或為總值，相同之答案亦仍可獲得，因在一串聯電路中，總電流固與其任一部分中之電流相同也。

3. 應用歐姆定律，就電路之該一部分求 R_1 之電阻。

$$\begin{aligned} \text{電阻} &= \frac{\text{電動勢}}{\text{電流}} \\ &= \frac{2.5 \text{ 伏特}}{0.20 \text{ 安培}} \\ &= 1.25 \text{ 歐姆} \end{aligned}$$

在(2)中算得之電流值之所以能於採用者，亦因串聯電路中各處電流均相同之故耳。

並聯電路 在一並聯電路中，所有電阻器均為連於二電位點 (potential point) 之間者。因此，所有電阻器上之電位(即電壓)

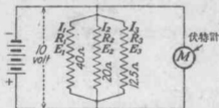


圖 13. 在各電阻器中，電流均與電阻成反比。

遂均相同。並聯電路之第一定律即各並聯電阻器上之電壓相同。圖13中之伏特計可顯示各電阻器上之電位差與電池組上之電位差之值無異。

並聯電路之第二定律則為：總電流為各個別電流之和。

$$I_t = I_1 + I_2 + I_3$$

沿各電阻器流動之電流均與其各個電阻成反比。如 $R_1 = 40$ 歐姆， $R_2 = 20$ 歐姆， $R_3 = 12.5$ 歐姆，則各個別電流即可用歐姆定律定之。

就 R_1 言，

$$\begin{aligned} \text{電流} &= \frac{\text{電動勢}}{\text{電阻}} \\ &= \frac{10 \text{ 伏特}}{40 \text{ 歐姆}} \\ &= 0.25 \text{ 安培} \end{aligned}$$

就 R_2 言，

$$\begin{aligned} \text{電流} &= \frac{\text{電動勢}}{\text{電阻}} \\ &= \frac{10 \text{ 伏特}}{20 \text{ 歐姆}} \\ &= 0.5 \text{ 安培} \end{aligned}$$

就 R_3 言，

$$\begin{aligned} \text{電流} &= \frac{\text{電動勢}}{\text{電阻}} \\ &= \frac{10 \text{ 伏特}}{12.5 \text{ 歐姆}} \\ &= 0.8 \text{ 安培} \end{aligned}$$

總電流可如下算之：

$$\begin{aligned} I_t &= I_1 + I_2 + I_3 \\ &= 0.25 + 0.5 + 0.8 \\ &= 1.55 \text{ 安培} \end{aligned}$$

並聯電路之第三定律則可容許計算並聯中所有電阻器之相當總電阻。此總電阻即各個別電阻之倒數之和的倒數。

$$\frac{1}{R_t} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3}$$

或

$$R_t = \frac{1}{\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3}}$$

其計算法如下：

$$\begin{aligned}
 R_t &= \frac{1}{\frac{1}{40} + \frac{1}{20} + \frac{1}{12.5}} \\
 &= \frac{1}{0.025 + 0.05 + 0.08} \\
 &= \frac{1}{0.155} \\
 &= 6.45 \text{ 歐姆}
 \end{aligned}$$

如此算得之總電阻，可應用各個總值與歐姆定律加以核驗。

$$\begin{aligned}
 R_t &= \frac{E}{I_t} \\
 &= \frac{10 \text{ 伏特}}{1.55 \text{ 安培}} \\
 &= 6.45 \text{ 歐姆}
 \end{aligned}$$

串並聯結合電路 此種型式之電路則結合串聯電路與並聯電路中所用之一切定律與原理。但在從事關於串並聯結合電路之

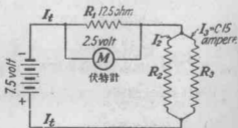


圖 14. 串並聯結合電路。

計算時有一重要之事必須切記心頭。總值與各個別之值均應用之於需要之處，但在同一方程式中，二者不得混用。

圖 14 中所示者為 R_1 之串聯於 R_2 與 R_3 ，而 R_2 與 R_3 又相互並聯。一電路在未開始從事數學解答之前，恆應將其串聯與並聯部分加以區分（圖 15）。

應用所舉關於圖 14 中之電路的各值，吾人即可求得 R_2 與 R_3 上之電壓，總電流， R_2 沿路之電流， R_2 與 R_3 各別之電阻， R_2 與 R_3 之總電阻，及全電路之總電阻。

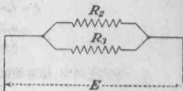


圖 15. 圖 14 中並聯電阻器部分。

1. R_2 上之電壓：

$$E_1 = E_1 + E_2$$

$$E_2 = E_1 - E_1$$

$$= 7.5 - 2.5$$

$$= 5.0 \text{ 伏特}$$

並聯電路中一切電阻器既具有相同之電位，故 R_2 與 R_3 上之電壓同。

2. 總電流：

$$\text{電流} = \frac{\text{電動勢}}{\text{電阻}}$$

$$= \frac{2.5 \text{ 伏特}}{12.5 \text{ 歐姆}}$$

$$= 0.20 \text{ 安培 } (I_1)$$

故沿 R_1 電阻器進行之電流為 0.20 安培。在此項計算中所用伏特與歐姆之值僅為關於 R_1 之值。串聯電路中各處之電流既均相同，故總電流亦為 0.20 安培。

3. R_2 沿線之電流：

$$I_1 = I_2 + I_3$$

$$I_2 = I_1 - I_3$$

$$= 0.20 - 0.15$$

$$= 0.05 \text{ 安培}$$

在一並聯電路中，總電流即各個別電流之和。

4. R_2 之電阻：

$$\text{電阻} = \frac{\text{電動勢}}{\text{電流}}$$

$$= \frac{5 \text{ 伏特}}{0.05 \text{ 安培}}$$

$$= 100 \text{ 歐姆}$$

5. R_3 之電阻：

$$\text{電阻} = \frac{\text{電動勢}}{\text{電流}}$$

$$= \frac{5 \text{ 伏特}}{0.15 \text{ 安培}}$$

$$= 33\frac{1}{3} \text{ 歐姆}$$

6. R_2 與 R_3 之總電阻：

$$R_1 = \frac{1}{\frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3}}$$

$$= \frac{1}{\frac{1}{100} + \frac{1}{33.3}}$$

$$= \frac{1}{0.01 + 0.03}$$

$$= 25 \text{ 歐姆}$$

7. 此電路之總電阻：

$$\begin{aligned} R_t &= R_1 + R_{2,3} \\ &= 12.5 + 25 \\ &= 37.5 \text{ 歐姆} \end{aligned}$$

8. 此電路之電導：

$$\begin{aligned} G_t &= \frac{I_t}{E_t} = \frac{1}{R_t} \\ &= \frac{0.2 \text{ 安培}}{7.5 \text{ 伏特}} = 0.026 \text{ 安培/伏特} \\ &= \frac{1}{R_t} \\ &= \frac{1}{37.5 \text{ 歐姆}} = 0.026 \text{ 姆歐} \end{aligned}$$

歐姆定律之概要 在初等電學中，普通僅有三種電路：串聯，並聯及串並聯者。控制此等電路之定律如下：

[串聯電路]

1. 相同之電流流經各電阻。
2. 電動勢為電路中各電阻所瓜分。欲定總電壓，將各個個別之電壓降落相加即可。
3. 總電阻則可由各個別電阻之相加而定。

[並聯電路]

1. 相同之電動勢加於一切電阻之上。
2. 電流之分配則按照各電阻之值而定。總電流則可由數個支路中各個別電流之相加定之。
3. 總電阻為各個別電阻之倒數之和之倒數。

〔串並聯結合電路〕 如需要將此電路之串聯與並聯兩部分分清時，於是即應用串聯與並聯諸定律以求解可也。

歐姆定律可用以下諸公式表之：

$$(1) \quad \text{電動勢} = \text{電流} \times \text{電阻}$$

$$(2) \quad \text{電流} = \frac{\text{電動勢}}{\text{電阻}}$$

$$(3) \quad \text{電阻} = \frac{\text{電動勢}}{\text{電流}}$$

$$(4) \quad \text{電導} = \frac{\text{電流}}{\text{電動勢}}$$

問 題

1. 在圖 15 中，如 $R_1 = 20$ 歐姆， $R_2 = 25$ 歐姆，而 10 安培正由電池組中流出，則各電阻器上之電壓為何？
2. 假定在圖 15 中有一 8 安培之總電流正沿各支路流動，如 R_1 之電阻為 50 歐姆而 R_2 沿線之電流為 2.25 安培，則 R_2 之電阻為何？
3. 如 $I = 3$ 安培而 $R = 40$ 歐姆，則 E 之伏特數為何？
4. 如 $E = 220$ 伏特而 $R = 456$ 歐姆，則有多少電流流動？
5. 如電壓為 5 伏特時，電流為 0.25 安培，則一 201A 型無線電管燈絲之電阻應如何？
6. 一動力式揚聲器有一 3200 歐姆之線圈置於一 120 伏特之電路上，則流於其線圈中之電流有若干安培？
7. 如電流為 2.75 安培，則一 12 伏特動力式揚聲器磁場線圈應具若干之電阻？
8. 在一地鐵車中，如將各為 243 歐姆之五盞電燈串連，跨於 550 伏特之上，則有若干電流流動？
9. 使 75, 42, 38 與 146 歐姆之諸電阻串聯，則能代替此諸電阻之單一電阻為何？
10. 如設計一無線電接收機供一 120 伏特電路之用，而此機能使 1.54 安培流動，則其所耗之功率為若干？

第三章 交流

交流之特性，如欲明確了解，將之與直流之特性一加比較即可。在一 d. c. 電路中 (圖 16)，電流之極大值乃由電路中之電壓與電阻而定。此值於電池組未失去能力，照所需之率 (rate) 輸能時，均可保持不變。其電壓保有一確定而不變之極性，結果乃使電流恆在同一方向中流動。

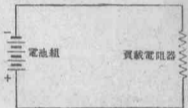


圖 16. 直流電路。

然在一 a. c. 電路中，能源之極性及其電壓均屬不定，與電池

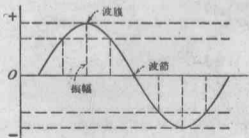
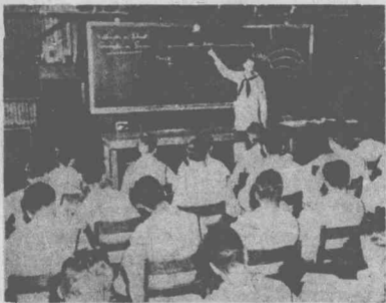


圖 17. 正弦曲線(一週)。

組之電壓，情形不復相同。電流先在某一方向流動，漸漸增強，由

零達至其極大值，然後再漸漸降落，復歸於零。其極性於是逆轉，而此電流乃以一相似之方式在反對方向中流動矣。

此點已用圖解法示於圖 17 中。每作一回完全之活動即演成一週(cycle)。注意在任一週中均有兩個半週(alternation)。在



教師在設備實驗室中演講電學，學生在該處可利用設備工作而獲得直接的知識。

通常每秒 60 週之交流中，每秒有 120 個半週。電流之極大值，電動勢，電波之形式以及電波之頻率均為重要之項目。波形可能有無窮多之類別；圖 18 中所示者為其中的一部分。

交流之發生往往由於在一磁場中轉動一導體而起。假定有一

合理地均勻的磁場，且有一導體正以一不變之速率轉動，即可見：在任一時刻所生之電流之值皆視此導體交割磁力線之率而定。當導體在磁場中轉動之際，即發生一切值的電動勢與電流，在正負二方向中均可由零達至極大值。

正弦曲線 關於交流之一完全的敘述必須將波形，電流值以及電波之頻率示明方可。在交流之基本研究中，唯有正弦波方予

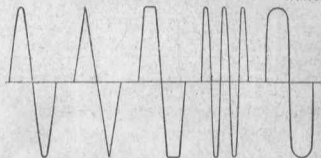


圖 18. 若干可能之波形。

以論及。其他複雜之電波則視為具有適當振幅與頻率之各正弦波之結合。

假設有一圓，以其半徑代表一交流之極大值。當此半徑由 A 點(圖 19)出發，繞行 360 度後，即完成一週之行。此一半徑即所謂向徑。若今打開此圓，將其周界在一直線上放下，而因圓周為 360 度之故，遂再將此線分為 360 度，於是，若此一轉動需時 1 秒，則每度即代表 $\frac{1}{360}$ 秒。

當向徑在 A 之位置時，則在水平線上方之角為零，而時間亦復為零。而當此向徑在 B 之位置時，則其與水平線所成之角為

90度而時間為 $\frac{1}{4}$ 秒。當向徑在 C 之位置時，則對於水平線所成之角為0度而時間為 $\frac{1}{2}$ 秒。一次交替，即 $\frac{1}{2}$ 週，遂爾告成。故

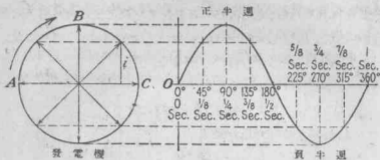


圖19. A. c. 發電。

若向徑以此種方式轉動時，在1秒之時間中即可完成單獨之一週。因是，此一正弦波之頻率即係每秒1週。欲產生一正弦曲線，其

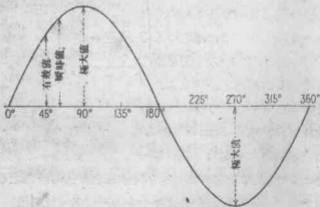


圖20. 正弦曲線，示有瞬時值有效值與極大值。

唯一途徑即以上述之方式轉動一向徑是也。

向徑尖端超出水平線之距離 (i) 謂之交流之瞬時值。波在其極大位移處之瞬時值則稱為極大值。將所有各瞬時值平方相加,求得其平均數(或均值)後,再求此平均數之平方根時而得之值即所謂均方根值(root mean square (rms) value)或有效值。此值亦即 45 度處之瞬時值也(圖 20)。

欲求有效值可應用方程式

$$\text{有效值} = 0.707 \times \text{極大值}$$

欲求極大值可應用方程式

$$\text{極大值} = \frac{\text{有效值}}{0.707}$$

由上一方程式決定之有效值所代表者乃用普通安培計所能指明之電流之值。交流之此項有效值在數值上適等於能產生相同熱效應之一直流。一切效應之涉及電流者,對於電壓亦復有效,因電流乃施加電動勢後而得之一結果也。

在無線電中,一切種類之電阻,電感與電容之結合,無論為串聯,並聯與串並聯者均可尋得。在若斯一類之結合中,感應一電路之具有任何數目或作任何排列之電阻,電感與電容者之一正弦波在各支路中亦均可引起一正弦波。圖 21 所示即若斯一類之一電路。討論正弦波時,以下數規則,當可覺其有用也:

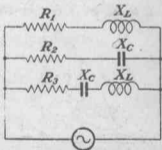


圖 21. 並聯中電感電容電阻之結合。

1. 頻率相同之正弦波可以相加。此事，如將相同角度或相同時刻之振幅相加即成。

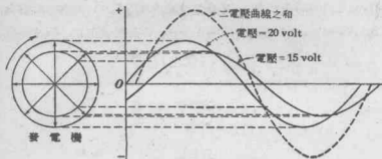


圖 22. 異相之電動勢正弦波。

2. 頻率相同之正弦波可以相乘。此事如將相同角度之振幅相乘即可。

3. 凡頻率相同之正弦波相加或相乘後，其結果仍為一正弦波。

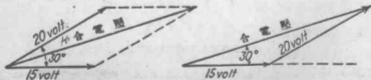


圖 23. 相圖(左)與向量圖(右)。

4. 當電路有變壓器耦合(coupling)時，副線圈中由感應而生之電動勢，所取之波形即原線圈上所感受之正弦波之波形。

一向量所表者如非一有效值，即為一極大值。此等值或可用圖解法加之。在圖 22 中，長劃曲線所表者即二電壓波之和。圖 23

一則表明相圖與向量圖。其中合成向量即二極大電壓之向量和也。

二波或數波同相時，則彼等於經過極大，極小及一切中間值時，相互間即同其步調。交流電壓施於純電阻時，其情形恆屬如此(圖 24)。如二波或數波并不同相，則彼等當即在不同之時刻

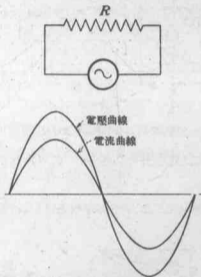


圖 24. 純電阻電路中電壓與電流間之相位關係。

經過任一已知之值(如極大值)。二波間之此項差異即所謂相位關係(phase relation)。此一關係通常均以二向量間角之度數表出而稱之為相角(phase angle)。試認此二正弦波乃由在不同時間開始轉動之二轉動向量產生：例如，在圖 25 a 中向量 A 之開始其轉動在向量 B 之前 90 度。於是可見：此二正弦波上之相當點，其出現之時間恆不相同，即在水平之基準軸上恆有 90 度之差。

斯即謂此二波有 90 度之異相 (out of phase), 相角為 90 度而相

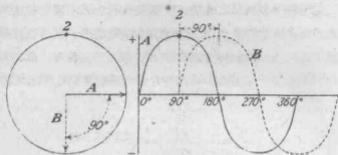


圖 25 a. 具有 90 度相角之二正弦波。

移 (phase shift) 亦為 90 度。在圖 26 中, 二向量則有 180 度之異相。若此二波所表者為電壓或電流之值, 則兩者之效應即行抵消。

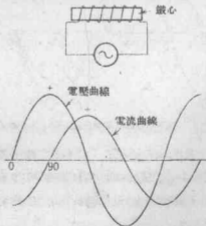


圖 25 b. 純電感電路中電壓與電流間之相位關係。

電感者乃線圈之一特性, 能阻止在該線圈中流動之電流發生

變化者也。如線圈中電流之值正在減低，則由變動中之磁束感應而生之電壓即具有相反之極性，因而乃有阻止電流變化之趨向，其與此相反之情形亦復無誤。電感愈大，則線圈中對於電流變化之反抗亦愈大。電感 (L) 之單位為亨利，一線圈，當其上有一每秒 1 安培之一定變率的電流變化而此項電流變化復感應而生

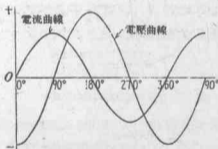
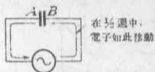


圖 25 c. 純容電路中電壓與電流間之相位關係。

1 伏特之電壓時，其所具之電感即 1 亨利。在一僅含純電感（無 d. c. 電阻）之電路中，電流恆較電動勢落後 90 度（圖 25 b）。但若將 d. c. 電阻引入此電路中，則相角即不足 90 度矣。相角固隨電阻之增大而減小也。

電容者，則一容電器（隔有一介體之兩導體）中儲藏電能之性質也。如將一容電器連於一電池組上，相當時間後，兩板即行荷

電，一板有過剩之電子，而另一板則電子不足，於是在此介體中遂由此等電荷引起一機械的應力。供應位能之貯藏所者即此介體中之電也。此構件之電容遂由介體之性質，介體之厚度，板數與板之大小而定。電容 (C) 之單位則為法拉 (farad)，當 1 秒鐘內流過 1 安培之電流，產生 1 伏特之電荷時，所造成之電容即為 1

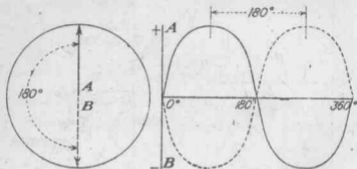


圖 26. 具有 180 度相角之二正弦波。

法拉。在一僅含純電容 (無 d. c. 電阻) 之電路中，電流可在電動勢之前 90 度 (圖 25 c)，相角亦隨電阻之增加而減小。

在一切無線電電路中幾全部具有若干電感，電容與電阻；其結果遂使電動勢與電流往往不能同相。至其合成之相角則可由向量解法定之。

向量解法 為說明向量解法起見，吾人且假定有一假設



圖 27. 假設中具有純電感，電容與電阻之電路。

電路(圖 27),其中支路 A 為純電感者,支路 B 為純電容者,而支路 C 為純電阻者。支路 A 既為純電感之電路,故電流較電壓落後 90 度;但支路 B 乃純電容之電路,因此,其中之電流又較電壓領前 90 度。支路 C 中之純電阻則不引起相移。

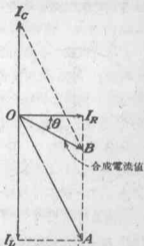
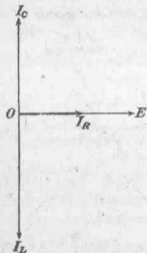


圖 28. 圖 27 中各電流值之向量表示, 圖 29. 圖 27 中所示各值之向量解法。

由原點 O (圖 28) 起, 畫向量 I_L , 使其長為 20 單位(安培), 并較基準電壓(可用一水平線表示)落後 90 度。此向量所表者即電感支路中之電流。電容支路中之電流則由向量 I_C 表之, 此向量 I_C 較基準電壓領前 90 度而長為 15 單位。電阻支路中之電流則與電壓 E 同相, 現以 10 單位長之 I_R 表之。

欲得合成向量(圖 29), 可構作平行四邊形 $O I_L A I_R$, 并在其中畫出向量 $O A$ 。再由平行四邊形 $O A B I_C$ 得向量 $O B$, 而此即

問題之解答也。角 θ 即其向角，表明電流較電壓落後27度，而向量 OB 之長所表明者，則為由11.25安培一能源而來之總電流也。

在上一例中，各支路乃假設為純電感，純電容與純電阻者。

但較合實際之情況則為圖30中所示之電路。在此一情況中，支路A有一巨大之電感，一微小之電容與一電阻。因此，此支路遂為電感所主宰，而由之引起電流之落後將近30度。在此支路中量得之電流為20安培。

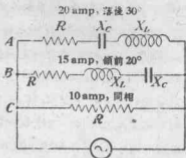


圖30. 在支路A、B與C中具有不同電感，電容與電阻之值的電路。

支路B有一巨大之電容，一微小之電感與一電阻。因此，電容乃為此支路之主宰，而促使電流較電壓領前將近20度。在此支路中之電流量得為15安培。



圖31. A、B與C三支路(圖30)中電流之向量加法。

支路C僅有一純電阻，故不引起相移。在此支路中流動之電流則為10安培。

根據以上所舉之數據，此三路電流之合成電流與其相角即可求得。凌駕各支路上之電壓既屬相同，故可用之作一基準線。此

水平電壓基準線 AB 隨即畫出，如圖 31 所示。在此線上可選任一點 O ，再由此點，按照某一方便之比例尺度，就一 30° 度之落後角，作一向量至電壓線，以其長代表電流。再由此一向量之頭部，作另一向量，以表支路 B 中之電流。作此向量時須使其較電壓領前 20° 度。支路 C 中之純電阻既不引起相移，故畫此支路中之電流時，仍可按照相同之比例尺，由前畫之一向量頭起畫去，與水平電壓線作零度之角，而具有一 10 安培之大小。於是，連結第一次所畫向量尾部與後一次所畫向量頭部之一直線即此三電流之合成電流之圖示，而此線與水平電壓線間之角所表者即其相角也。

問 題

1. 一交流之極大值為 35 安培，其有效值為何？
2. 如一交流之有效值（安培計讀數）為 15 安培，則此一電流之最大瞬時值為何？
3. 如一 a. c. 線路中之伏特計顯示一 120 歐姆之電壓，則由電壓正弦曲線之振幅所示之極大電壓為何？
4. 一 220 伏特之極大電壓可在伏特計上能出何值？
5. 某一 a. c. 線路中有一 115 歐姆之電阻器，其電壓在一伏特計上讀得為 1200 伏特，此器中之極大電流為何？
6. 在一 a. c. 電路中，如伏特計之讀數為 120 伏特，則其電壓之 rms 值為何？試說明之。
7. 如電壓之 rms 值為 950 伏特（在一 500 歐姆之電阻器上），其極大電流為何？
8. 如經過一 200 歐姆燈中之電流的 rms 值為 5 安培，則極大電壓為何？
9. 如曲線落至零線（zero line）以下，其所指示者為何？
10. 吾人當如何確定一交流與一直流何時相等？

第四章 能與功率

在一電路中，如無電能，即無功(work)可以完成。確定其可能完成之功的數量者即電源處之能也。電能往往以焦耳，瓦秒，瓦時與仟瓦時計之。仟瓦時為其最通用之單位；指明耗能之率為每小時 1000 瓦。

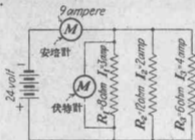


圖 32. 總功率之決定可用此電路之各項總值，亦可將各電阻之個別功率定額加於一起而得。

通常確定電路中之能的方程式為

$$\text{能} = \text{功率} \times \text{時間}$$

直流電路中之功率 功率(power)乃耗能之率。若 1 伏特引起一 1 安培之電流，則其時耗能之率為每秒 1 瓦，即 1 焦耳。

常用之功率方程式均導自歐姆定律，其式為

$$\text{功率} = \text{電動勢} \times \text{電流}$$

$$W = E \times I$$

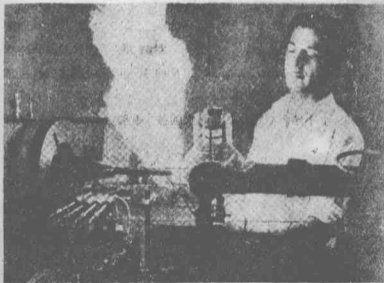
及 功率 = (電流)² × 電阻

$$W = I^2 \times R$$

或 功率 = $\frac{(\text{電動勢})^2}{\text{電阻}}$

$$W = \frac{E^2}{R}$$

在一串聯電路或一並聯電路中，欲定功率，均可將各個別電阻器或負載之值應用於以上諸方程式中之一而得。總功率之確定，



生產前線之“火焰噴射器”(flame thrower)。高功率無線電發送管之封端工作正在 Westinghouse 電燈部由此一“礮式爐”(cannon burner)完成。當此一巨管在一車床上轉動時，超過 1000°F 以上之氣焰即將玻璃管端磨化而製成一全不漏氣之封口。

則或用關於此電路之各項總值，亦或將有關各個電阻之個別的功

率定額相加，均無不可。以下各功率方程式均以圖 32 中所舉之數據為根據。

功率**能**就 R_1 言，

$$\begin{aligned} P &= I \times E \\ &= 3 \times 24 \\ &= 72 \text{ 瓦} \end{aligned}$$

如 R_1 工作 30 分鐘，

$$\begin{aligned} e &= P \times t \text{ (小時)} \\ &= 72 \times \frac{1}{2} \\ &= 36 \text{ 瓦時} \end{aligned}$$

就 R_2 言，

$$\begin{aligned} P &= I \times E \\ &= 2 \times 24 \\ &= 48 \text{ 瓦} \end{aligned}$$

如 R_2 工作 30 分鐘，

$$\begin{aligned} e &= P \times t \text{ (小時)} \\ &= 48 \times \frac{1}{2} \\ &= 24 \text{ 瓦時} \end{aligned}$$

就 R_3 言，

$$\begin{aligned} P &= I \times E \\ &= 4 \times 24 \\ &= 96 \text{ 瓦} \end{aligned}$$

如 R_3 工作 30 分鐘，

$$\begin{aligned} e &= P \times t \text{ (小時)} \\ &= 96 \times \frac{1}{2} \\ &= 48 \text{ 瓦時} \end{aligned}$$

就此電路總計之，

$$\begin{array}{r} 72 \\ 48 \\ 96 \\ \hline 216 \text{ 瓦} \end{array}$$

$$\begin{array}{r} 36 \\ 24 \\ 48 \\ \hline 108 \text{ 瓦時} \end{array}$$

或

$$\begin{aligned} P &= I \times E \\ &= 9 \times 24 \\ &= 216 \text{ 瓦} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} e &= P \times t \text{ (小時)} \\ &= 216 \times \frac{1}{2} \\ &= 108 \text{ 瓦時，或 } 0.108 \text{ 仟瓦時} \end{aligned}$$

交流電路中之功率 在一 a. c. 電路中，電壓與電流之值既永不穩定，故不能應用以前所舉之 d. c. 功率方程式，而不加以改變。

惟如電壓與電流同相(圖 33)時,則以上之功率方程式仍可用以確定瞬時之功率值。任一時刻之電流與電壓相乘,所得者即該時之功率。如依此方式,就 360 度之每一度,決定其功率,再將各值描出如圖 34 所示,即可見功率曲線并不摹擬他二曲線。代之而起者乃二正的波峯。因二正數或二負數之積固成爲一正數也。而

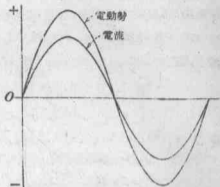


圖 33. 當電壓與電流同相時,功率方程式可用以確定功率之瞬時值

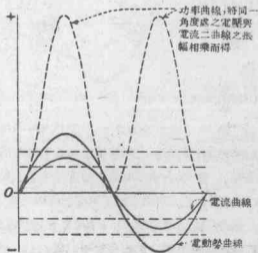


圖 34. 同相電流與電壓之功率曲線。

因此之故，兩個半週所造成者均為有用之能焉。在一純電阻之電路中，電壓與電流同相，故有效功率即極大值與 0.5 之積。有效之電流與電壓則為 0.707 乘其極大值，而功率為電流與電壓之積，或 $0.707 \times 0.707 = 0.5$ ，乘其極大值。

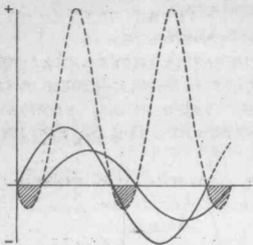


圖 35. 異相電流與電壓之功率曲線。用平行線劃出之部分表示平均功率。

在一有抗電路中，電壓與電流異相，因而乃得一不規則之功率曲線。二正數或二負數可生一正積，此仍如前；但一正數與一負數則可生一負積。圖 35 中所示曲線之陰影部分即一負電流與一正電壓相乘之結果。此其所表者即不能應用而輸回電源之位能。如欲決定此一情況下之真實功率，則可應用以下之方程式：

功率 = 電動勢 × 電流 × 功率因數

$$W = E \times I \times F$$

功率因數 功率因數 (power factor) 即相角之餘弦函數。其數值介於 0 與 1 之間。如電壓與電流有 90 度之異相，則功率因數為 0。如電壓與電流同相，則相角為 0 度，而 0 度之餘弦為 1，因此，E 與 I 之積遂須以 1 乘之。功率因數為 1 乃一切 a. c. 電路之理想情形，因功率因數為 1 時所表現者乃一種情況，在此情況中，電路中可毫無未經用過之能失去也。

第 40 頁表中所示者為功率因數與相角二者之對應值。為說明此表之用法起見，吾人可假定有一電容電路，其中之電流較電壓居前 30 度。30 度之餘弦為 0.866。故此電路之功率因數為 0.866。如有效電壓與電流分別為 110 伏特與 2 安培，則此電路之功率為

$$\begin{aligned} \text{功率} &= \text{電動勢} \times \text{電流} \times \text{功率因數} \\ &= 110 \times 2 \times 0.866 \\ &= 190.52 \text{ 瓦} \end{aligned}$$

若在此一電路中插入適當之電感，而此電感如單獨應用於一電路中，即可使電流較電壓落後 30 度時，則此二效應即相互抵消。相角於今乃為 0，而功率因數為 1。此電路之功率於是為

$$\begin{aligned} \text{功率} &= \text{電動勢} \times \text{電流} \times \text{功率因數} \\ &= 110 \text{ 伏特} \times 2 \text{ 安培} \times 1 \\ &= 220 \text{ 瓦} \end{aligned}$$

電容電路中之負功率 (即損失之功率) 為

$$220 - 190.52$$

即 29.48 瓦。此其所示者，即在 a. c. 電路中，電感電容 (LC) 比

相角與功率因數之值

相 角	功率因數 (餘弦函數)	相 角	功率因數 (餘弦函數)
1°	0.9998	46°	0.6947
2°	0.9994	47°	0.6820
3°	0.9986	48°	0.6691
4°	0.9976	49°	0.6561
5°	0.9962	50°	0.6428
6°	0.9945	51°	0.6293
7°	0.9925	52°	0.6157
8°	0.9903	53°	0.6018
9°	0.9877	54°	0.5878
10°	0.9848	55°	0.5736
11°	0.9816	56°	0.5592
12°	0.9781	57°	0.5446
13°	0.9744	58°	0.5299
14°	0.9705	59°	0.5150
15°	0.9665	60°	0.5000
16°	0.9623	61°	0.4848
17°	0.9580	62°	0.4695
18°	0.9535	63°	0.4540
19°	0.9489	64°	0.4384
20°	0.9442	65°	0.4226
21°	0.9395	66°	0.4067
22°	0.9347	67°	0.3907
23°	0.9298	68°	0.3746
24°	0.9248	69°	0.3584
25°	0.9197	70°	0.3423
26°	0.9145	71°	0.3259
27°	0.9092	72°	0.3094
28°	0.9038	73°	0.2928
29°	0.8983	74°	0.2759
30°	0.8928	75°	0.2588
31°	0.8872	76°	0.2417
32°	0.8815	77°	0.2245
33°	0.8757	78°	0.2072
34°	0.8699	79°	0.1900
35°	0.8640	80°	0.1726
36°	0.8580	81°	0.1554
37°	0.8519	82°	0.1382
38°	0.8457	83°	0.1210
39°	0.8394	84°	0.1045
40°	0.8330	85°	0.0872
41°	0.8267	86°	0.0698
42°	0.8203	87°	0.0523
43°	0.8138	88°	0.0349
44°	0.8072	89°	0.0173
45°	0.8006	90°	0.0000

(inductance-capacitance ratio)之所以如此重要之緣由。 而由

此可知：一諧振電路 (resonant circuit)——其中電感與電容平衡之電路——之相角為 0，而功率因數為 1。

在相角為 ϕ 之處，功率方程式有時可寫為

$$\text{功率} = \text{電動勢} \times \text{電流} \times \cos \phi$$

在一 a. c. 電路中，其視功率 (apparent power) 可由安培計與伏特計之讀數定之。

$$\text{視功率} = \text{電動勢} \times \text{電流}$$

真功率 (true power) 則為電路之真實或實際功率。欲計此真實或實際之功率可用功率因數，即 $\cos \phi$ ，乘其視功率而得。

$$\text{真功率} = \text{視功率} \times \text{功率因數}$$

$$\text{瓦} = \text{伏特} \times \text{安培} \times \cos \phi$$

問 題

1. 表示電能所用之單位為何？此等單位中何者最為通用？
2. 一 47 號真空管所用之陰極電阻器，工作 2 小時，其耗能之率為 0.61 瓦。計算此管工作期間所耗之能。
3. 同一電阻器在工作期間，具有 450 歐姆之電阻，並通過 37 ma 之電流。其耗能之率(功率)為何？
4. 47 號管所用之陰極電阻器，其上之電位降落如何？此管之標稱電壓又為何？
5. 如一電阻器或一線圈在其正常工作期中受熱過度，則應如何改正此項錯誤？
6. 定額 160 ma 與 100 伏特之一抗流線圈，在一以 25 瓦之率耗能之電路中，是否能正常工作？
7. 已知在一正常工作之電路中，一定額 10 瓦之 500 歐姆電阻器即可成為過度受熱之器。其時，電路中之電流為 0.173 安培，而電動勢為 86.7 伏特。如用二只 250 歐姆之電阻器，仍各定額為 10 瓦者，代換該一電阻器，則此過熱現象是否即可改正？

8. 方程式 $W = IE$ 何故不能用以計算 a. c. 電路中之功率?
9. 如在一電容電路中，有 300 ma 之電流，較 1500 伏特之電動勢領先 22 度，則其有效功率為何?
10. 如將適當之電感置於問題 9 內之電路中，則相角即變為 0 度，而電流變為 0.55 ma，試計其功率。
11. 在天線電路中何故必需有一單位功率因數?

第五章 真空管

顧名思義可知一真空管 (vacuum tube) 卽一已抽盡其中空氣之管。但爲簡便起見，此名亦可加於充有鈍氣 (inert gas) 之管。此種管中，在空氣尙未抽盡之前，卽已置有二個或二個以上之電極。其極數，或氣體之種類，則由管之用途決之。

兩極管 真空管每按其所含之極數予以分類。最簡單之真空管爲兩極管 (diode)，或稱二元管 (two-element tube)，如圖 36 所示。此種真空管之兩極乃由一燈絲 (filament，卽電子發射體) 與一板極 (plate，卽電子接收體) 組成。燈絲卽所謂陰極，而板極謂之陽極。在第一章中曾經說明：金屬之原子在其外圍中均有未受緊牢約束而能使之脫離此圍之電子。激發電子且能使之脫離其本圍者，其原動力之一爲熱。



圖 36. 兩極真空管。

若干實體，如鈷之類，在一比較不高之溫度下，卽可釋去其電子。但另有若干實體，如鎢之類，則需有一高溫度，然後方能釋卸任何一個電子。故真空管之陰極每塗以某種在低溫度下卽可釋卸電子之實體。來自一電池組或一變壓器之電流，如使之流過燈絲，則燈絲之溫度卽可被提高至發射點。惟因低溫發射金屬在結構上

既不堅強，故往往與一較強之金屬混合使用。由低溫金屬供給電子而由高溫金屬供給力量。



四種通用電氣公司出品之發送管，蒸汽整流器。

就通常情形言，電流原不能在一斷路中流通。但真空管對於此一規則，則為一例外，因吾人若將一真空管之板極，一毫安培計，一電池組與此真空管之陰極串聯（假設陰極適在發射溫度下）後，吾人即可發現有一電流流動，如圖 37 所示也。欲電子由陰極出發，通過空間，而達陽極則必獲有下列諸條件方可。

1. 陰極(即電子發射體), 必須使之工作於一定溫度下, 此溫度之高適足以任之驅出其電子。

2. 陽極不得發射電子, 且如其正欲收集電子時, 則其極性勢應與電子之極性相反方可。此二條件, 如欲達成, 可設法保持其溫度之低下, 并加一正電位於陽極(對陰極而言)即可。

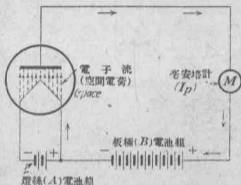


圖 37. 兩極管之板極與燈絲電路。

3. 使陰極與陽極均在真空中工作, 以增進電子流動之等速性 (uniformity) 以及其管制方面之穩定性 (stability)。

在兩極管中, 電子流過兩極間空間地帶所需之條件均已具備, 因此遂有電流(板極電流)流動。至於通過此空隙之電子數, 則須由陽極電位, 陰極溫度以及此二極間之距離定之。組成電池組所供應之電流者即此一電子流耳。於此復須切記, 電流之流動實際乃由陰極至陽極, 而非如習俗假設, 由陽極而至陰極也。

板極電流隨燈絲溫度變化而起之改變, 可由圖 38 中所示之簡

單實驗明之。增加變阻器(rheostat)之電阻值以減低燈絲溫度，直至板極電流為零而止。現再以不大之階程逐步增加燈絲電壓，觀讀每一步之板極電流。此項板極電流如以燈絲電壓為對象將之畫出，即可得一曲線，適如圖 39 之所示者焉。

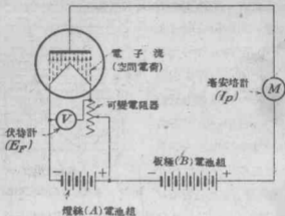


圖 38. 板極電流-燈絲電壓之測驗用電路。

於此可見，在一定值之上，燈絲溫度之變化僅能使板極電流稍許增加或竟無增加。此一曲線之形式亦不難說明。一切電子既均為負的，故電子恆互相排斥。因此之故，燈絲周圍空間中之電子遂有反對燈絲再釋出更多電子之趨勢。此項存在於兩極中間中之電子雲 (cloud of electrons) 謂之空間電荷 (space charge)。如因此種負的空間電荷之故而竟不容有更多之電子離開燈絲，則板極電流亦即難因燈絲溫度之增加而增加焉。

由板極電壓增加而造成之板極電流變化亦可用實驗定之。裝

一兩極管於一電路中，如圖 40 所示。使燈絲溫度保持不變，變動板極電壓，使之由零達一極大值，以與板極電流相一致。再以數個負載之值重複試之。於是即就所用之各次負載，以板極電壓為對像，畫板極電流，所得者當即如圖 41 所示之一羣曲線。而由是可見，板極電壓增加時，板極電流亦復增加。此種情勢一直維持直達一點，至燈絲中發出之一切電子於被發射而出後均全被拉往陽極時為止。此後，板極電壓即或再有所增加，結果亦僅能使板極電流微有改變，或竟毫無改變焉。

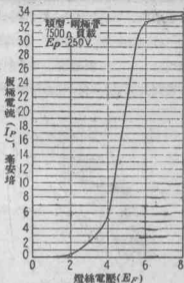


圖 39. 板極電流對燈絲電壓之曲線。

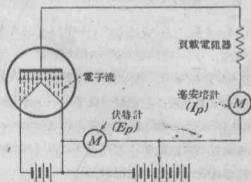


圖 40. 板極電流-板極電壓之測驗用電路。

是即所謂電壓飽和 (voltage saturation) 之情況也。

[用兩極管作整流器] 兩極管普通多當作整流器 (rectifier) 使用, 大小不等, 由量電儀器中所用之小兩極管直至發送站中當作電力整流器使用之大兩極管止, 均在其範圍之內。

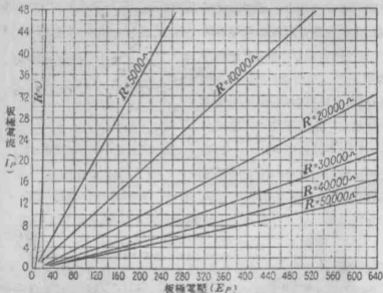


圖 41. 不同負載下兩極管之板極電流對板極電壓曲線。

兩極管已普遍地為人採用為交流之整流器。連接於一 a. c. 電源上之一兩極管, 其工作可由圖 42 明之。在某一時刻, 變壓器副線圈與板極相連之一端為正, 而此副線圈之另一端則為負。在此一時期中, 電子乃被引向板極, 而電流在電路中流過, 適如箭頭之所示。然後, 在所用 a. c. 之另一半週中, 線圈之極性逆轉, 板

極上之負電位遂排斥來自燈絲中之電子，因而電路中遂無電流流動。於是可見，兩極管之所以能當作整流器，即因其僅容電流在一方向流動，而不容其在另一方向流動之故耳。

三極管 真空管之含有三個電極者稱為三極管(triode)。通用之若干真空管中，往往在其燈絲與板極之間再加一第三電極，即所謂控制柵極(control grid)。構成之者為一線圈，圍繞燈絲，但

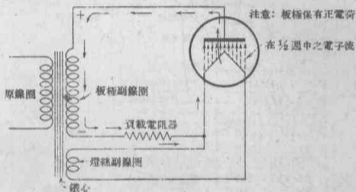


圖 42. 兩極管整流器，示有正半週期間中之 I_p 。

不與燈絲相觸，亦不與板極相觸。發自燈絲中之電子必須通過此種柵極之網眼方可抵達板極。此項通路則為柵極上電位之性質，柵極線之大小，柵極中諸線之間隔，及其與燈絲或板極間之間隔所左右。因柵極對於燈絲較其對於板極為近之故，故柵極電位之變化較之板極電位之相當變化對於板極電流有較多之影響。板極上電壓變化與控制柵極能在板極電流上產生相等效應之變化二者之比即所謂此管之電壓放大因數(voltage amplification factor)。

此一因數通常往往以希臘字母 μ (讀如 mu) 表之。因微小之柵極電壓變化能產生巨大之板極電流變化，故亦不妨謂柵極之作用與一舌門 (valve) 相似。

三極管之靜態特性曲線與兩極管者大有差異，此乃因控制柵極影響板極電流之故。此項靜態特性曲線乃以柵極伏特作橫標

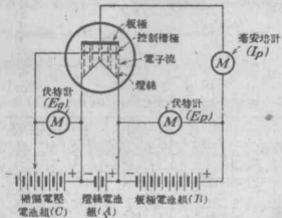


圖 43. 三極真空管之測驗用電路。

與板極電流作縱標之一種曲線。燈絲溫度與板極電壓均保持不變，且此管亦不輸能於其他任何電路。圖 43 所示者為一測驗用電路。由此項測驗而得之一標準曲線則示於圖 44 中。

柵極上所受之任何電壓，正的或負的，均可在橫軸上一零點處之適當的一旁畫出，而板極電流則按縱軸標度畫出。於是，由此項曲線可見，負柵極電壓有一值，能排斥一切電子，不容板極電流流過。此值即所謂負柵極電壓之截止值 (cutoff value) 也。

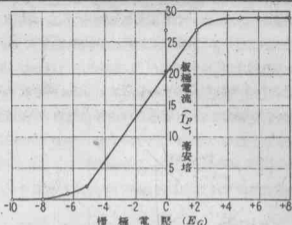


圖 44. 標準三極真空管之 $I_P - E_G$ 曲線。

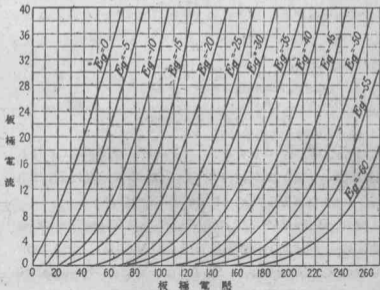


圖 45. 各個柵極電壓下之 $E_P - I_P$ 曲線族。

在各個不同之柵極電壓下，因板極電壓增加，結果而成之板極電流變化可如下定之。圖 43 中之測驗用電路，如予以修正，使之能容板極電壓變化時，即可採用。由是所得之曲線如圖 45 所示。此等曲線於確定一管之工作點 (operating point)* 時甚為有用。

當柵極電壓變為正值時，柵極即將由燈絲出發，向板極進行途中之一部分電子截留，而電流乃在柵極電路 (grid circuit) 中流動。板極電流與柵極電流之和則受燈絲發射電子之能力所限制，而所須採用之柵極電壓究應為何種極性與何值則須取決於一管之用途。

真空管之作用 為使板極電流能以作功起見，則必須使之在一負載中流動方可。因此之故，遂須置一電阻或阻抗與板極相串聯。於是，在負載上發生之電壓乃可施於另一別種構件，如真空管或揚聲器之上。

圖 46 所示者為板極電路中有一負載電阻器 R 之三極管。流經此電阻器中之板極電流在此電阻器上造成一電壓降落 E ，而抵達板極之電壓較之板極電池組電壓所少之量即屬此數。

如使柵極之為負稍減 (less negative)，則板極電流即行增加。如此即使電阻器上之電壓降落亦行增加。反之，如使柵極之為負益甚 (more negative)，則板極電流即行減少，而此電阻器上之電壓降落亦同樣減少。故知柵極電壓之變動在負載電阻器之電壓降落方面亦可造成相似之變動。

柵極電壓乃偏電壓 (bias voltage) 與信號所產生之交流電壓

* 亦稱爲靜態點 (quiescent point)。——譯者。

二者之代數和。此偏電壓固定不變，因而在板極電流方面不能引起變動。信號可使柵極電壓有一變動，而此信號電壓之再現即負載電阻上電壓變動之一放大的複製品。

此一過程因施於板極上之電壓亦有變更而益趨複雜。在板極電路中僅有一個電壓之源，即板極電池組是也。當負載電阻器上之電壓降落有變動時，板極電壓既為該電池組電壓與負載電阻器上電位降落之差，故亦有變動，在板極電流增加時變小，由是遂

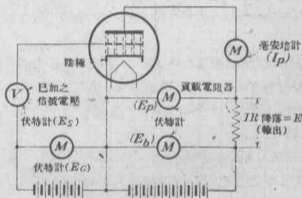


圖 46. 三極管之作用。

有反對放大之傾向。

靜態與動態特性曲線 (圖 47) 之差異即在動態曲線包含板極負載電阻器中電壓降落之影響。故動態曲線較之靜態曲線，在描畫實際之工作情況上可愈益接近其真相。

如使柵極多加正點，則板極電流即行增加。為探求柵極與板極電壓對於板極電流之相對影響起見，可減小板極電壓，使板極電流復回到其原值。由此可知，柵極電壓之向正變動 (change

to positive) 對於板極電流之效應正與其向負變動 (change to negative) 對於板極電壓之效應相同。如使柵極電壓為負益甚，則對於板極電壓即必須使之多加正點，方可使板極電流恢復其本來之狀況。由此可見，柵極電壓與板極電壓對於板極電流之影響，

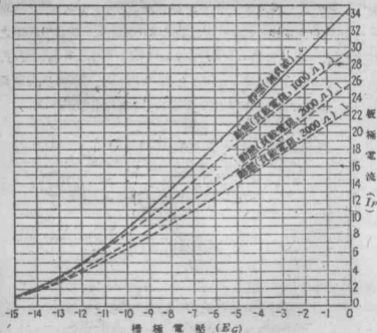


圖 47. 各個不同負載電阻值下之柵極電壓對板極電流曲線。

二者適互有 180 度之異相。在板極負載電阻上出現之信號與此三極管柵極上所感受之信號遂亦有 180 度之異相。

在低頻率時，一三極真空管可由諸電極之作適當間隔而設計

之以應付幾乎任何之 μ ，即放大因數。放大因數者，即假定板極電流與其他諸極電壓保持不變時，板極電壓變化與控制電極之電壓（在反對方向之柵極電壓）變化二者之比也。

屏柵管 如將柵極更移近陰極，即可造成一具有高度放大因數(μ)之管。然由是陰極至控制柵極間之電容遂爾增加。板極至控制柵極間之電容則可在控制柵極與板極間加一靜電屏而使之幾近消滅。此點如藉一屏柵(screen grid)之助即可付之實行。若斯之管即所謂屏柵管(screen grid tube)也。板極既為屏柵所屏蔽，則其可取自陰極周圍空間電荷中之電子數遂極少焉。

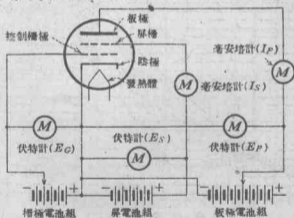


圖 48. 四極屏柵管之 $E_P - I_P$ 測驗用電路。

為欲使此屏能自空間電荷中取得電子起見，可給以一多少較板極正電荷稍低之正電荷。如由燈絲至屏與板極之電子流的控制保持不變，則此屏柵之作用即與一附加之板極相似。板極之電位既較屏之電位為高，因此，已抵達此屏之大多數電子遂仍具有充

分之速度，可攜之過屏而達更加正點的板極，然自亦有少數之電子爲此屏所截留而永不能抵達板極也。

屏柵管亦有其靜態與動態特性曲線。一簡單之檢驗用電路(圖 48)即可用以顯示板極電壓變化，而屏與控制柵極電壓不變時板極電流之動態。在板極電壓與屏電壓幾近相同時，板極電流即突然斜降(dip)，如圖 49 所示。

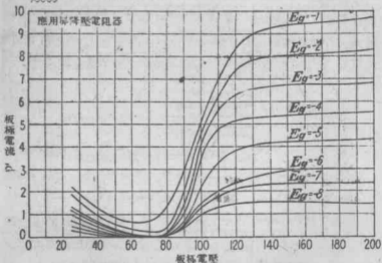


圖 49. 24A 型管之板極電壓對板極電流曲線族。

此項電流降落一部分可由一事釋之，即屏柵較板極更接近陰極，因而遂亦吸引較多之電子耳。其通過屏柵後之電子可仍具有充分之速度足以將電子由板極擊出。此即所謂第二次發射(secondary emission)，在屏柵電壓大於板極電壓時尤極顯著。板極所已發出之電子，其一部分可回返至屏，引起一種電流，由板極

流動至屏，其方向正與板極陰極間電流之方向相反。此項由板至屏之電流，如將之由陰極至板極之電流中減去，則有一較正常稍小之板極電流出而使此項斜降加劇。

一管之板阻抗 (plate impedance) 者乃描述板極電路中反對交流電流流動之趨勢時所假之詞也。此一因素在放大器設計上具有極大之重要性。在屏柵管之工作範圍中，需要一巨大之板極電壓變化方可得一微小之板極電流變化，如圖 49 所示。板極之 a. c. 輸出阻抗 (Z_p) 即將板極電流由 I_{p1} 增加至 I_{p2} (此處 I_{p1} 與 I_{p2} 為任意確定之板極電流之值，如欲得精確之結果，則應代表一無窮小之變化) 時所需增加之電壓的比率。

$$Z_p = \frac{E_{p1} - E_{p2}}{I_{p1} - I_{p2}}$$

在一屏柵管正常之工作範圍中，板極電池組電壓之巨大變化輒伴以板極電流之一微小變化。分母既較分子增加更緩，因而 Z_p 遼闊甚大，而往往常能有一數十萬歐姆之阻抗焉。

屏柵管板極上之電壓變化絕不可達至一值，致使負的巔值降落 (peak drop) 低於屏柵電壓。若屏柵較之板極變為更多正點之時，此屏柵即賦有板極之機能而失去其本身之機能，因此在輸出方面遂致引起畸變 (distortion)。圖 50 中之測驗用電路可用之以分析各種不同屏電壓與板極電壓情況對於屏柵管特性曲線之效應。

圖 51 中曲線 A 所表者為此種管之靜態 (即無負載) 特性曲線。曲線 B, C, D 則為各個不同之固定屏電壓與一 30000 歐姆負載電阻下之特性曲線。曲線 E 表一動態特性曲線，乃用一 250

伏特之電源電壓 E_B ，一 30000 歐姆之板極負載電阻器與由一連接於板極電源之 100000 歐姆的串聯電阻供給之屏電壓而得。圖 52 中所示者即曲線 E 之測驗用電路。經由一串聯電阻供應屏電壓之法在實用上極其普通。在屏電路與板極電路中均有串聯電阻後，偏電壓一經改變，則總的陰極發射即瓜分於屏極與板極之間，而引起板極電壓與屏電壓二者之變更。屏電壓之值不高——

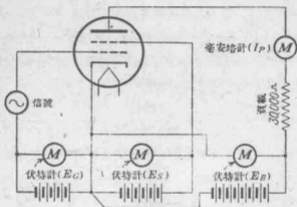


圖 50. 有負載屏極管之測驗用電路。

就板極電壓言不高——時，屏柵管之動態特性曲線與三極管之各曲線殊相似。

在實用上，通常選用之板極電阻器常二、三倍於三極管當作功率放大器應用時之板極電阻之值，而於此管被當作電壓放大器應用時，則十倍於其板極電阻之值。惟如用一屏柵管以完成此事時，則板極負載電阻器之電阻即為足以使此電阻器上之 IR 降落過大者焉。因在實際上，一 30000 歐姆之負載電阻器可容許一管工作

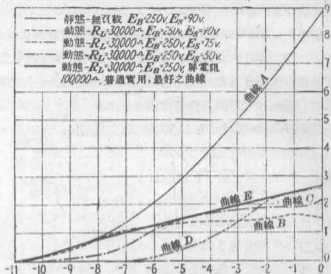


圖 51. 各種不同情況下屏柵管之特性曲線。

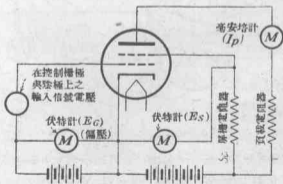


圖 52. 屏柵電壓, 由串聯電阻器上之電位降落而得。

於若斯之情況之下, 即能賺得一大部分之放大因數者之情況下, 故

吾人在實驗中所取用者即該值也。

五極管 屏柵管雖已近於消去真空管之柵極板極間之電容，因而較之三極管容許作更高度 μ 值之設計，但令人棘手之第二次發射則仍為一有害之因素。為阻止此第二次發射起見，可在屏柵管中再加一電極。若斯一五極之管即所謂五極管(pentode)也。為欲造成五極管而增加之電極則稱為遏止柵極(suppressor grid)，處於板極與屏柵之間。遏止器或連結於陰極上，或給以一將近與陰極電位相等之電位。而此遏止器之目的則在延緩電子之速度（在電子未碰擊板極之前），以及阻止任何因抵達屏與控制柵極間之區域後而可



圖 53. 五極管之電極分佈。

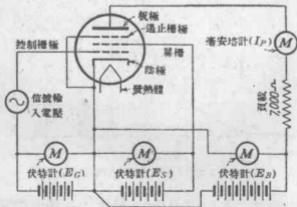


圖 54. 有負載五極管之測驗用電路。

發出之二次電子 (secondary electron), 由此以減低二次發射。如是, 屏柵管中因二次發射而起之限制遂告解除焉。

圖 53 所示者為一五極管之電極分佈。此種真空管之板極電壓對板極電流曲線及柵極電壓對板極電流曲線 (靜態或動態) 亦不難繪出, 殆與其他任何一種真空管者同其容易。圖 54 所示者即一測驗用電路, 而圖 55 則就二種不同之負載電阻器所作之柵極

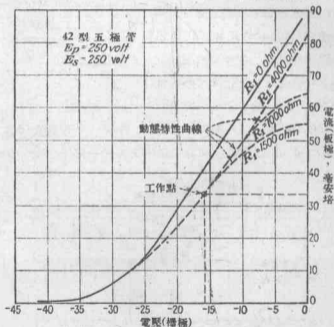


圖 55. 五極管之柵極電壓對板極電流曲線。

電壓對板極電流之靜態曲線與動態曲線也。— 42 型五極管之板極電壓對板極電流之曲線族則示於圖 56 中。

本章中所已討論之各種真空管均可用作放大器，整流器，或檢波器，射頻與聲頻發生器，以及調制器 (modulator) 或解調制器 (demodulator)。

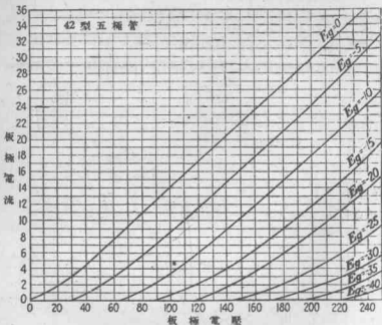


圖 56. 五極管之板極電壓對板極電流曲線。

問題

1. 真空管中陰極之機能為何？
2. 在何種情形下真空管中即有電流由陰極流向板極？
3. 藉一般性曲線之助，說明板極電壓變化對於板極電流之影響。
4. 在何種情形下，在一真空管中可達到板極電流飽和狀態？
5. 兩極管普通可用之以担負何種任務？

6. 說明三極管中控制柵極之作用。
7. 試述靜態特性曲線一詞之定義。
8. 說明柵極電位變化何故較板極電位變化對於真空管板極電流之影響為大。
9. 說明一真空管之 μ 意何所指。
10. 同一真空管之動態特性曲線與靜態特性曲線二者有何不同?
11. 說明四極管中屏極之作用。
12. 真空管中之遏止柵極,其作用為何?
13. 說明何故需要減低一真空管之極際電容 (interelectrode capacitance)。

第六章 直流電計與交流電計

d. c. 電流計所用之原理即所有 d. c. 與大多數 a. c. 安培計與伏特計之基礎。懸於一永久磁鐵(圖 57)兩極之間者為一可在水平平面中自由轉動之線圈。此線圈中，如有電流流過，則此圈之一端即變為一磁北極，而其另一端即變為一磁南極。故連接此線

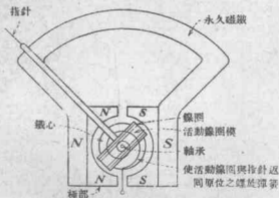
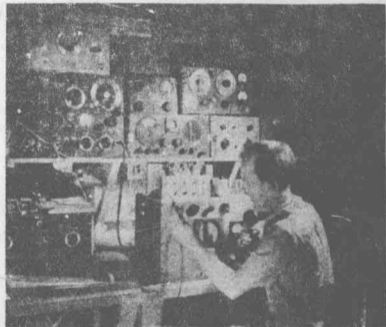


圖 57. d. c. 電流計之原理。

圈時，必須能使其北極與南極分別與一永久磁鐵之北極與南極相鄰方可。

達松發爾電流計之原理 相同之磁場相拒而不同之磁場相吸，因此，一線圈中如有電流流過時，此線圈即有徘徊於兩端間之

趨勢。一永久磁鐵之磁場強度可認為并不改變。但線圈之磁場強度則隨其中線之匝數以及流經其中之電流之值而定。永久磁鐵之磁場與線圈中線之匝數既屬固定，故唯一變動之因素遂為流經此導圈之電流的強度。



檢驗一無線電接收與發送兩用機。

線圈乃用精細之絕緣銅線繞於一輕而無磁性之模上而成。而此模之支持須使其能在一與其身長平行之中心軸上作自由之轉動方可。模上復附有一螺旋彈簧，能控制自零位算起之轉動度數。線圈中之電流能繞緊彈簧；但電流一經停止而轉動力消解後，此彈

簧則又能將線圈轉回至其原位(圖 58)。

在此線圈上復附一指針，移行於一定好度數之標度尺上。線圈上之轉矩與通過線圈中之電流成正比。此活動線圈之重量不

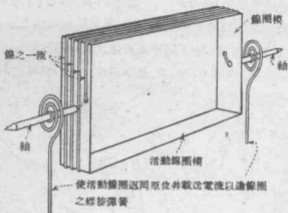


圖 58. 迪松登爾電流計之線圈。

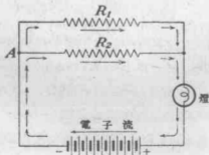


圖 59. R_1 與 R_2 中電流之比保持不變。

可太大，庶幾其慣性對於微小之電流變化方不致引起一種遲延的反應。

達松發爾電流計(D'Arsonval galvanometer)僅可用以指示微量電能之存在，故其用途頗為有限。惟亦可能加以佈置，將一電流區分，以便應用此項儀器測量較大之電流。在圖 59 中，沿電路流動之諸電子在 A 處分手。一部分沿 R_1 進行，另有一部分沿 R_2 而行。在一已知支路中之電流，其數量則視該支路中之電阻而定。惟無論如何，各支路中電流之比則始終不變也。

直流安培計 在圖 60 中， R_1 所表者為電計中線圈之電阻，而

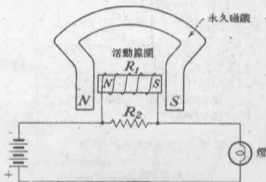


圖 60. 1 c. 安培計之圖解，所揭示之電阻與圖 59 中所示者相當。

R_2 則為橫跨此線圈上之分路 (shunt) 的電阻。如 R_2 之電阻較線圈之電阻為低，則大部分電流即沿 R_2 流動。 R_1 中之電流對於電路中之總電流以及對於 R_2 中之電流均有一定之比率。故電計上之標度尺寧可藉流於電路中之總電流而不藉線圈中實際流動之電流，定其度數。

如採用數個與 R_2 相當之電阻器，則一電計即可具有數種不同之測量範圍。若斯一類之儀器即所謂多種測量範圍安培計(mul-

tirage ammeter)。圖 61 所示者即一應用數條分路之安培計，安培計之使用既常為測量在一電路中流動之總電流，故必須始終令之與負載串聯，而此電路中所有之電流必須通過電計線圈與分路組合方可。

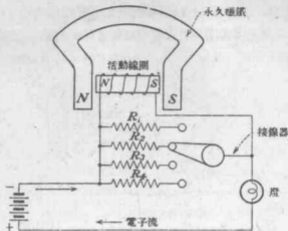


圖 61. 多種測量範圍安培計。

直流伏特計 此同一儀器，如稍加改變，即可用以測量電動勢。是即稱為伏特計之一種儀器。伏特計之連接必須橫跨於欲測其電位之負載(如圖 62 中 R_1 所代表者)上。惟如將一電流計之線圈連接，跨於電壓源上，則此線圈因其載流量容(current-carrying capacity)與電阻均低之故，遂即毀壞。故需

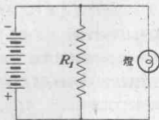


圖 62. 伏特計必須始終連接橫跨於負載之上。

有一電阻器，與線圈相串聯，使流過電計電路之電流減至一與驅其流動之電動勢成比例之微小值。因而其標度尺遂亦可依伏特而分割之。若一極其微小之電流即可引起一巨大之偏轉，此電計即謂為具有高度靈敏度 (sensitivity)，而為一極有效之儀器。定額為每伏特 1000 歐姆之一伏特計即若斯之一種儀器也。

沿線圈與電阻器進行之電流殆與電動勢成比例。欲量高電

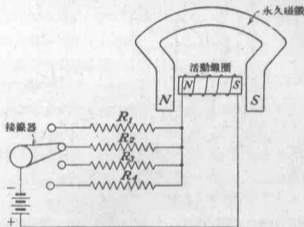


圖 63. 多種測量範圍之伏特計。

壓則須用一大值之電阻器。欲測一小電壓則須用一小值之電阻器。圖 63 所示者為應用數個電阻器之一多種範圍伏特計。在此等儀器中，對於一切電壓範圍均須維持一已知之每伏特若干歐姆之固定比率，正如一單範圍電計機件中之用一固定之靈敏度也。此項電阻器即所謂伏特計測量範圍擴展器 (multiplier)。

交流電計 交流電流之普遍應用使無線電工作者勢須熟諳

a. c. 儀器方可。圖 64 中線圈內之軟鐵塊，當電流流過線圈時，即變為一磁鐵。此磁棒之極性可由電流在線圈中流動之方向定之。如線圈中之電流逆轉，鐵棒之極性即行反轉，而如用一交流電流

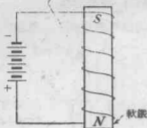


圖 64. 鐵棒之極性由繞原圈進行之電流的方向定之。

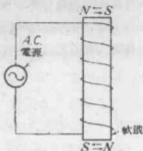


圖 65. 鐵棒之極性電流每逆轉一次亦逆轉一次。

調換電池組如圖 65 所示，則每次電流逆轉時，此軟鐵棒之極性亦即隨之逆轉。

在此單棒之地位，亦可改懸二軟鐵棒於線圈中，懸時須使二棒於有反對之二力發生時能自由轉動而分開（圖 66）。在此種電計中，電流一經逆轉，鐵塊之極性亦即逆轉。二鐵塊之相鄰二極殆恆屬相同者。磁場既恆屬相同，故二者輒相互推拒。至磁場之強度則視電計線圈中流動之電

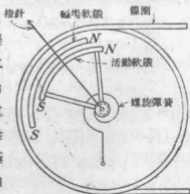


圖 66. 推斥度依線圈中電流之強度而定。

流的數量而定。

電流之數量既能確定此二軟鐵棒之伸展範圍，故排斥之程度遂視沿線圈之電流強度而定，其標度尺遂亦由是而得以劃分。如圖 66 所示，有一鐵塊固着於線圈之上，而另一塊之裝置則須能繞此線圈之縱長軸轉動。此活動之一塊上復載一指針，能在業已劃定之標度尺上滑過。在流過線圈之交流電流造成相同之能場時，二者即互相推拒。活動之鐵塊依順鐘向之方向活動。當電路斷開後，螺旋彈簧即將活動之鐵塊轉回至其原位。分路與電阻器往往與 a. c. 電流計結合應用以造成 a. c. 安培計或伏特計。

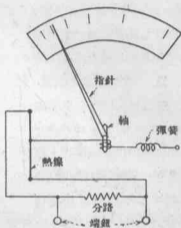


圖 67. 熱線安培計。

有時，a. c. 量電儀器亦應用整流原理。能改變交流為單方向之小型氧化銅全波整流器往往為人採用。惟此等儀器每因整流器特性之故，在超過某一頻率時即行失效。故在測量高頻率電流時常用熱電法 (thermo method)。此法所根據之事實，即單純電阻之不能辨別頻率，以及某數金屬在受熱時之實際膨脹。

在圖 67 之熱線安培計 (hot-wire ammeter) 中，電流為分路所瓜分，因而僅有一部分通過熱線。當電線有電流經過而變熱且膨脹之時，彈簧即拉緊連接於熱線上之細線。此細線一動，則裝

置指針之軸亦即轉動，從而指明有電流流動。此項儀器所具之標度尺，在低值之一端極細密而難辨。僅能抗禦微小之過載(overload)，且易於焚燬。在運用上又頗遲鈍，需要不時調整至無電流流經其中時之零位。其精確度亦欠佳。

熱電安培計既有此種種缺陷，熱偶安培計(thermocouple ammeter)遂為人廣泛採用。如置兩種金屬(如銀與鐵之類)，使之互相接觸，再加熱後，即有一微小之電流產生，其量則與所加之熱成比例。

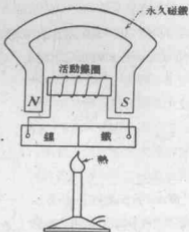


圖 68. 熱偶安培計原理。

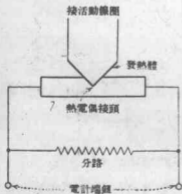


圖 69. 熱偶安培計。

若斯之一種組合即所謂熱電偶(thermocouple)，見圖 68。此一原理適可應用於高頻率電流之測量(圖 69)。在實際應用上往往將熱電偶銲接於一發熱器之線或片上。通過此發熱器線之高頻電流使二金屬受熱，轉而使熱電偶產生一微小之電流，可以一電流計測之。熱電偶所生之電流既與發熱器線所生之熱成比例，

故其標度尺可依安培劃分之。如欲擴大此項儀器之測量範圍亦可利用分路。

伏特計有一與電流計串聯之電阻，往往與欲測之負載或電路並聯或跨於此負載或電路之上。在圖 70 中，有一伏特計跨接於發

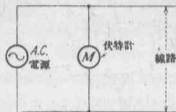


圖 70. 橫跨線路上之伏特計。

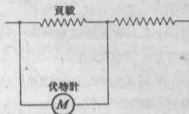


圖 71. 橫跨負載上之伏特計。

電機上，以測發電機之電動勢。在圖 71 中，伏特計則跨接於一電阻上，以測此電阻上之電位降落。

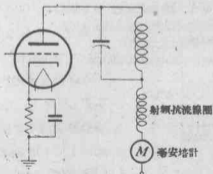


圖 72. 接 d. c. 毫安培計以量電源發出之電流。

安培計有一電阻器，與電流計分連，可用以測量流經導體中之電流。此時必需置測量機件於欲測其電流之線路中。圖 72 所示

者即為一 d. c. 毫安培計 M ，連之以測由電源中發出之電流者也。其指示天線系統中之射頻電流者，則為射頻電計 (radio-frequency meter)。

問 題

1. 說明達松發爾機件本身何故不能用為一測量 a. c. 之儀器。
2. 說明 d. c. 安培計與伏特計之主要差異。
3. 試述分路之作用。
4. 說明何故一巨值之伏特計串聯電阻與一微小之全標度 (full-scale) 電流計相合即可構成一良好之伏特計。
5. 如何用一附有數種標度尺之量電機件即可構成一多種標度安培計?
6. 如何用一附有數種標度尺之量電機件即可構成一多種標度伏特計?
7. 說明如何用一整流器即可將一 d. c. 機件轉變成一 a. c. 量電儀器?
8. 化 d. c. 儀器為 a. c. 儀器時何種整流器最為通用?
9. 熱線安培計工作時，所根據之原理為何?
10. 安培計在電路中恆應如何連接? 試說明之。
11. 伏特計在電路中恆應如何連接? 試說明之。
12. 說明一熱電偶安培計之工作。
13. 達松發爾機件中螺旋彈簧之作用何在?

第七章 電感

如將圖 73 中之接線器 S_1 關通(close),同時將 S_2 斷開(open),當即有一電流,由電池組流出入線圈中。此時,若電路僅含有電阻,則此一電流并不瞬即達到由此電路之電阻及電池組發出之電壓所確定之值,反而在一短促之時期中,電流由零升至歐姆定律預示之值,并保持此值直至電路中出現某項變動為止。



圖 73. 說明電感之電路。

每一電流均有一磁場與之結合。當流經導體中之電流強度增加時,磁場即行擴張。此一活動之磁場橫割導體,并在其中感生一電壓,與電池組之電壓相反,由是減低電路中流動之電流,使其不再保有此一反電動勢 (counter emf) 不存在時所能獲得之值。其轉化為磁型(magnetic form)之能亦并不失給電路,如電阻器中能轉化為熱之情形。

當磁場已達極大值，即流動於電路中之電流所能支持之值時，由歐姆定律所定之全部電流即行流動。如將接線器 S_1 斷開，而同時將 S_2 關通，則電池組電流即立刻降至於零。通過線圈之電流一經停止，圍繞線圈之磁場即行瓦解。此一活動之磁場在線圈中生一與電池組電壓極性相同之電壓。於是有一電流流過線圈及 S_2 之電路，其方向與原電流之方向相同。此一電流所代表者即 S_1 關通時構造磁場所用之能。因此，此能遂以與其原有者相同之形式與強度復回至此電路。

線圈將能由電型 (electrical form) 化爲磁型後復回返爲磁型，此一性質即所謂電感 (inductance)，可用一稱爲亨利 (henry) 之單位計之。一亨利之義即在一電路中，於電流以每秒 1 安培之率變動時，能引起一 1 伏特之應電動勢 (induced emf) 之電感。

一線圈之電感，直接測量，雖可令人更加滿意，但對於具有一圓截面之一單層線圈 (single-layer coil) 之電感，亦可能由計算得之，其公式爲

$$L = \frac{0.0395 a^2 n^2}{b} k$$

此處 L = 電感，以微亨利計。

a = 線圈之半徑，以厘米計。

n = 匝數。

b = 線圈長度，以厘米計。

k = 線圈之波形因數 (shape factor)。

波形因數 k 可由下表得之，其中之比率爲線圈繞組 (coil winding)

之直徑除以其長度後所得之商。

比率	波形因數
0.00	1.00
0.25	0.90
0.50	0.82
0.75	0.75
1.00	0.69
1.50	0.60
2.00	0.53
3.00	0.43
4.00	0.37
5.00	0.32
10.00	0.20

感抗 如使流經一電感中之電流不斷變動，猶如用交流電流時之情況，則電感效應益加顯著。此時若電流之變率（頻率）十分之高，則電流即永不能達到歐姆定律所示之值。在此等情形之下，此電路之 d. c. 電阻即失其控制之能力。而在此種情況中用以代換電阻之一種特性即所謂感抗 (inductive reactance) 是也。感抗以歐姆計，其記號為 X_L 。在一純電阻之電路中，歐姆定律 $I = E/R$ ，不論所用者為交流抑為直流，均可通用。但在一僅含電感之電路中，如用交流電流時，則歐姆定律即須修改，讀為 $I = E/X_L$ 焉。求一電路中之感抗可用代數式

$$X_L = 2\pi fL$$

此處 X_L = 感抗，以歐姆計。

f = 頻率，以每秒週數計。

L = 電感，以亨利計。

$2\pi f$ 一式往往用希臘字母 ω 表之，因此，感抗遂可表為

$$X_L = \omega L$$

問 題

1. 在圖 73 中，接線器 S_1 開通後，電流何故不立即達到其極大值？
2. 在 S_1 斷開而 S_2 開通時，圖 73 中之電路有何作用發生？
3. 給下列各詞以定義：反電動勢，電感，亨利，感抗。

第八章 電容

容電器之定義可曰為一絕緣體或介體 (dielectric) 隔開之二導體。空氣，紙張，雲母與陶瓷均為最通用之介體材料。在圖 74 所示之簡單容電器中， A 與 B 為二非鐵質的金屬片。非鐵質金屬之應用乃所以避免磁效應也。容電器兩板，裝時須兩者之面平行相對且僅隔一極短之距離。

容電器之作用 如將一電池組連接，橫跨於圖 74 中容電器兩板之上， B 板連於電池組之陰極，因電池組將

額外之電子強加於此板上之故，遂爾變為荷負電者。而 A 板因其自由電子被吸往電池組正極之故則變為荷有正電者。如此，此容電器乃在一板上負有正電荷，而在另一板上負有負電荷。容電器 B 板上相互之電子能場斥力 (mutual electron-field repulsion) 一經與電池組之上者相同，電流即不再流動，而此容電器遂謂之為業已充電 (charged)。此時若即撤開其與電池組之連接，容電器即仍始終充電。但如以一導體連接其兩板，則 B 板上之超額電子即衝向 A 板上之質子，從而使此容電器放電 (discharged) 焉。



圖 74. 容電器作為一電荷儲藏桶而活動。

容電器中所儲之能稱為靜電(static electricity),乃以一電場或一應力之形式而儲於介體之中者。容電器上電荷之數量則由容電器之電容與充電電壓二因素定之。而決定電容者則為此容電器之本身構造,板之面積,兩板間之空間以及介體之性質。

測量之單位 一容電器所能保有之電荷之量可以庫侖計之,其公式可表之如下:

$$\text{電荷} = \text{電容} \times \text{電動勢}$$

或

$$\text{電容} = \frac{\text{電荷}}{\text{電動勢}}$$

如將一庫侖之電儲於一容電器中,而此容電器具有1伏特之充電力(charging force)時,其電容即為1法拉。在無線電電路中,1法拉太大,不適用於任何實際的應用。1法拉之百萬分之一稱為1微法拉(mf),1微法拉之百萬分之一稱為1微微法拉(mmf)。此二單位在無線電中則甚通用。

電子向容電器之流動稱為充電電流(charging current),在充電電流,總電荷與時間之間存有如下之關係:

$$\text{電流} = \frac{\text{電荷}}{\text{時間(秒)}}$$

在給一容電器充電時所成之功被作為位能儲存於容電器中,欲確定之,則可用下一公式:

$$\text{能(焦耳)} = \frac{\text{電容} \times (\text{電動勢})^2}{2}$$

焦耳乃移動1庫侖之電通過1歐姆電阻時所需之能的單位。焦耳實等於一瓦秒(watt-second)。

如電容以法拉計而電動勢以伏特計，則功率即為作功之率或耗能之率。

$$\text{功率(瓦)} = \frac{\text{電容} \times (\text{電動勢})^2}{2T(\text{秒})}$$

如電容以法拉計而電動勢以伏特計，則

$$\text{功率(瓦)} = \frac{\text{電容} \times (\text{電動勢})^2}{2T(\text{秒})}$$

容電器之電容由其本身構造定之。在關於確定電容之諸公式中，下列諸詞均須應用：

C = 電容，以法拉計。

A = 相互面對之總的金屬表面，以平方厘米計。

K = 介體之介質常數。

D = 介體之厚度，以厘米計。

電容，如欲算得其法拉數，可用公式

$$C = \frac{885 AK}{10^{10} D}$$

電容，如以微法拉計，則計算時可用公式

$$C = \frac{0.0885 AK}{D}$$

合電容 並聯中數容電器之總電容乃各個個別電容之和，計算時，可用公式

$$C_t = C_1 + C_2 + C_3 + \dots + C_n$$

串聯中數容電器之總電容的計算則與並聯中數電阻器電阻計算之情形相仿，為

$$C_t = \frac{1}{\frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_3} + \dots + \frac{1}{C_n}}$$

在串聯時，各容電器上之電壓與電容成反比，且恆小於整個組合上之電壓。容電器之串聯可獲得一較高之阻斷電壓 (break-down voltage) 之值。

在一純電容電路中之容電器對於交流之流動呈有抗拒之勢。此即所謂容抗 (capacitive reactance)，與此電路中電流之頻率成正比者。容抗 X_C 可以歐姆計之。歐姆定律之公式現遂變為

$$\text{電動勢} = \text{電流} \times \text{容抗}$$

欲求容抗則可應用代數式

$$X_C = \frac{1}{2\pi f C} \quad \text{或} \quad X_C = \frac{1}{\omega C}$$

此處 X 以歐姆計， f 以每秒週數計而 C 以法拉計。

問 題

1. 何謂容電器？
2. 試舉容電器中最通用之三種介體之名稱。
3. 在容電器中何故須用非鐵質金屬？
4. 一容電器之電荷用何種單位計量？
5. 一容電器有一 4 mf 之電容與一 4000 伏特之充電電壓，則其中可儲藏若干焦耳之能？
6. 一容電器有一 2 mf 之電容與一 500 伏特之充電電壓，則在 0.001 秒中此容電器可消耗若干瓦之功率？
7. 一容電器具有各為 100 平方厘米且相隔 0.1 厘米之二板，如其中介體為空氣，介質常數為 1，試求此容電器之電容。
8. 三容電器所具之電容分別為 0.02, 0.001 與 0.1 mf，如三者串聯，試求三者之總電容。
9. 問題 8 中所述之三容電器如並聯，試求三者之總電容。
10. 解釋微法拉與微微法拉二詞。

第九章 諧振

時鐘之擺，如陸續加以輕微之推動，而每一推動均確在振動週 (oscillation cycle) 中之適當時間與適當地點發出時，即可使之擺動不停。此項裝置殆與無線電調諧電路 (tuning circuit) 極其相似。在接收電路中，由天線中無線電波發動之電流即從事於“推”之工作者。此項電路之電的長度 (electrical length) 必須加以調整，使其能與輸入波之微推合拍。而此一情況所表現者即諧振 (resonance) 也。

串聯諧振電路 諧振可以在其中出現之電路凡有二種——串聯者與並聯者。圖 75 所示者即一串聯諧振電路 (series resonant circuit)。

欲定此電路之特性曲線可使用一每秒 60 週之 110 伏特之能。再用一具有 4 至 8 mf 之電容的容電器，一具有可移鐵心并能供應一將近 3 亨利之極大電感的可變電感，以及一 a. c. 安培計。圖 75 中所示之電阻則代表線圈與容電器之固有的電阻。加能於電路，再量其電流。當觀讀安培計時，並緩緩將鐵心導入線圈中。

電路中原來之電流甚小，然電感一經增加，此電流即增至一極大值。而當鐵心自線圈中移去後，電流亦即回降至原來之值。線圈之電抗等於容電器之電抗，即電路已調至諧振時，電流最大。而

諧振情況之存在則為容電器之充電時間與線圈周圍磁場趨向毀滅所需之時間相同之時。其時感抗與容抗之效應適可抵銷，因而流動之電流與僅有有效電阻呈現時所能流動者遂具有相同之值。

除諧振頻率外，在任何頻率下，能均可受一串聯諧振電路之妨礙，因電路阻抗 (circuit impedance) 於非諧振之頻率下均甚大

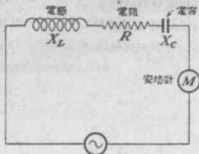


圖 75. 串聯諧振電路。

也。在諧振頻率下，感抗 X_L 適與容抗 X_C 相等，而阻抗遂可由電阻定之。計算一電路之阻抗，可用公式

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

如

$$X_L = X_C$$

則

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

$$= R$$

有效電阻為諧振時一電路中之唯一電流控制因素 (current-controlling factor)。一微小之電阻可容許一巨大之電流流動。

[串聯諧振電路之曲線] 圖 76 中所示者為一串聯電路之一標準諧振曲線。現加一可變頻率之電動勢於此串聯電路上，再測

量在各種頻率下流動之電流。此項曲線之銳度 (sharpness) 則隨此電路中有效電阻之減低而增高。故諧振曲線之形式可作為一電路辨別諧振頻率兩側各頻率之能力的一種尺度。而諧振頻率則可由公式

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

定之，此處之 f 即頻率，以每秒週數計， L 為電感，以亨利計，而 C 為電容，以法拉計。

實際上，應用串聯諧振電路時，慣例往往認容電器僅微有損失或竟無損失。電感或任何串聯電阻中損失之大小均可認為乃限制諧振下最大可能電流之決定因素。電感之真值則可用一線圈之感抗與其電阻之比計算。現以記號 Q 表之。求 Q 之公式為

$$\text{線圈之 } Q = \frac{2\pi fL}{R}$$

此處之 L 為電感之亨利數， f 為頻率之每秒週數，而 R 為線圈之有效電阻。

為說明 Q 之意義起見，吾人可假定有二線圈，各具相同之電感(以亨利計)，惟一則由粗線繞成而另一由細線繞成。由細線繞成之線圈所具之電阻可為由粗線繞成者之十倍。如以 Q 表之，即

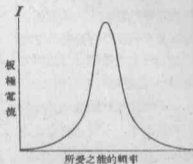


圖 76. 串聯諧振電路之特性曲線。

粗線線圈之 Q 應十倍大於用細線繞成之線圈的 Q 。

現設用此二線圈於具有相同之諧振頻率與相同之實施電動勢之二串聯諧振電路中。此時除線圈之電阻外，實際既無其他電阻，故唯一之電流限制因素即線圈之電阻。因此，在含有粗線線圈之電路中較之在含有細線線圈之電路中，可有十倍多之電流流動。而在線圈與容電器上發生之電壓既等於電抗乘電流，故在應用較高 Q 之線圈的電路中較之在應用較低 Q 之線圈的電路中，電壓亦可有十倍之大。

串聯諧振電路常用於接收天線電路中。其比較巨大之電流在線圈之周圍產生一比較巨大之磁場。在此磁場中儲存之能則可傳入另一電路中而加以利用。

並聯諧振電路 圖 77 所示者為一並聯諧振電路 (parallel-resonant circuit)，其中 L 為電感， R 為電路之電阻而 C 為電容。此電路之特性曲線，可加一交流電壓橫跨於此 LC 組合之上而得。用一約有 10 亨利電感之線圈，數只容電器 (0.25 至 4 mf) 及二只 a. c. 毫安培計。測量此電感上跨有 0.25 至 4 mf 之容電器值時此電路諧振部分與外路部分中流動之電流。於是所得之數據可見：此電路諧振部分中之電流雖小，但如電容一經加多，電流即增至一極大值，然後再行減低，恢復本來之電流。外路電流雖大，

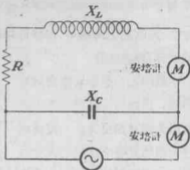


圖 77. 並聯諧振電路。

但於電容增加時即減小至一極小值，然後再增加，復達其原來之值。故當諧振電流大而外路電流小時，此電路即在諧振中。

[並聯諧振電路之曲線] 欲得數據以作諧振曲線時，可加一可變頻率之電壓於電路上，再記錄其外路中流動之電流。圖 78 所示者即根據如此求得之數據而導出之一標準曲線。

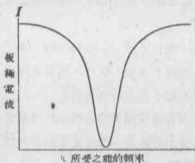


圖 78. 並聯諧振電路之特性曲線。

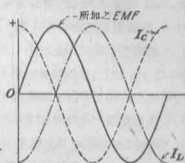


圖 79. 在一純電感中，電流較電壓落後 90 度，而在一純電容中，電流較所施之 emf 領前 90 度。

電路阻抗 感抗，容抗與有效電阻構成電路阻抗(circuit impedance)。在一並聯電路中，可引一實施電動勢橫跨於電感與電容組合之上。此一實施電動勢亦可表之為一正弦曲線。在一純電感(圖 79)中，電流較電壓落後 90 度，而同理，在電容支路中，電流則較實施電動勢領前 90 度。故如對此二曲線一加觀察即可知電感中之電流與電容中之電流恆有 180 度之異相。而因兩曲線相互抵消之故，其電流遂爾為零。

阻抗可來自關係式

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

此處之 I 即線路電流。

在以上所舉之情況中， I 為零，故 $Z = E/0$ ，即無限大。然如加電阻於任一支路，則領前角 (angle of lead) 或落後角 (angle of lag) 即不足 90 度，電感與電容支路中之電流即不再完全互相抵消，而有若干線路電流流動焉。

諧振頻率在諧振電路中引起一振盪電流 (oscillatory current)，此乃因容電器與線圈使電流變更其相 180 度，而容電器充電所需之時間又與線圈四周磁場瓦解所需之時間相同也。

積蘊電路 並聯諧振電路常用為發送機與接收機中之積蘊電路 (tank circuit)。在圖 80 中即示有若斯一種積蘊電路在發送

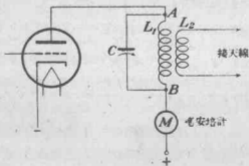


圖 80. 積蘊電路。

機之最後放大級 (amplification stage) 中之情況。此一電路須加調諧，使發送機頻率即為諧振頻率方可。在 A 與 B 二點上，有一巨大之電壓發生。而此巨大之磁場即將 r-f 能 傳入天線線圈中。

如無能取自積蘊錄圈中時，則電計 M 即指示一極小之電流；但如有能取自此錄圈中時，即有一較大之電流流動。而此乃在電路中欲維持適度之能時所必需者也。

諧振頻率兩側之一切頻率均可通過此電路。其超出諧振頻率之頻率可尋得容電器為一低阻抗之路徑，而低於諧振頻率者則順錄圈走過。

問 題

1. 一容電器具有一 0.002 mf 之電容，試求其在每秒 1000 週時之容抗。
2. 一錄圈之電感為 30 亨利，試求其在每秒 60 週之頻率下之感抗。
3. 在何種條件下，一電路可在一已知之頻率下諧振？
4. 一電路具有一 0.2 亨利之電感與 0.1 mf 之電容，此電路可調整至如何之頻率？
5. 一電路具有一 2 歐姆之 d. c. 電阻，一 30 歐姆之容抗與一 5 歐姆之感抗，試求此電路之阻抗。
6. 作一電流對頻率之標準串聯諧振曲線。
7. 作一電流對頻率之標準並聯諧振曲線。
8. 說明何故可用電壓向量作一基準以顯示一並聯電路內電感與電容支路中電流之向量關係。
9. 說明何故可用電流向量作串聯電路中電感與電容兩支路中電壓間之向量關係中之基準向量。

第十章 耦合電路

由電感之研究可令人想起線圈中之電流常與磁場相結合。線圈之在此類磁場勢力之中者，其中往往可感應而生一電動勢。兩隻或兩隻以上之線圈，如由一線圈中出來之磁力線為另一隻線圈所截割，則此等線圈即謂之為耦合線圈(coupled coils)。在圖 81 中，原線圈創立之磁場在副線圈中感生一電壓。而依照楞次定

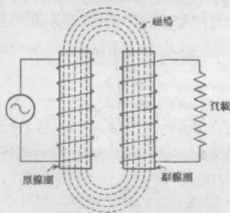


圖 81. 電磁感應。

律 (Lenz's law)，此副線圈中之新電流復造成一磁場，此磁場又轉而在原線圈中感生一反電動勢，由是復增加負載下之原電流。

互感 由原線圈至副線圈之電磁感應之量，即互感 (mutual

inductance), 視以下四個主要因素而定。

1. 二線圈間之距離。二線圈愈接近一起, 則為副線圈所割之磁力線, 其數愈大。

2. 二線圈之相對位置。原線圈與副線圈間之角常影響於耦合。

3. 二線圈間介質之導磁係數。磁力線須由其中經過之磁路 (magnetic path) 愈佳, 則耦合亦愈佳。鐵較空氣可好至數千倍。

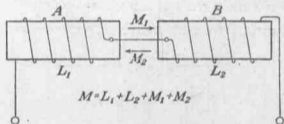


圖 82. 同向串聯之二線圈。

4. 二線圈之大小與形式。小線圈可有更加集中之磁場。圓截面線圈之磁場在線圈周圍之分佈, 較之截面為橢圓形或某種其他形式者, 更為均勻。

副線圈中感生之電壓視原電流之變率及互感而定。副線圈電壓實等於互感係數乘原電流之變率, 因此, 遂有理由可以預期: 應電壓 (induced voltage) 亦隨電流變率 (頻率) 之增加而增加。此事信然, 惟須牢記: 就一已知之電感言, 電抗乃隨頻率而增加, 以及為欲保持一已知之電流起見, 當電抗 (頻率) 升高時, 必須使電動

勢亦行增加耳。

將二線圈串聯并使二線圈之繞或依同一方向進行時，即謂連接此二線圈成同向串聯 (series aiding)。在圖 82 中，線圈 A 之電感為 L_1 而線圈 B 之電感為 L_2 。 L_1 與 L_2 間之互感為 M_1 ，而 L_2 與 L_1 間之互感為 M_2 。 M_1 與 M_2 亦可認之為總互感 M 。欲計算互感，勢須牽涉本書範圍以外之數學操作，惟亦未嘗不可由一簡單之實驗得之。

用一電感橋 (inductance bridge) 測定 L_1 與 L_2 各別之電感。

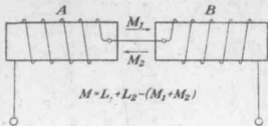


圖 83. 反向串聯之二線圈。

將此二測得之值加於一起。再將 L_1 與 L_2 連接於一同向串聯之電路中，復測此組合之電感。注意 L_1 與 L_2 各別取得之值，其和並不等於 L_1 與 L_2 依同向串聯連接時之總電感。此二值之差即互感 M 。

現再將 L_1 與 L_2 連接，使一線圈中之繞卷 (turn) 在方向上與另一線圈相反(圖 83)。二線圈雖仍串聯，惟其中一線圈之磁場則能抵消另一線圈之磁場。於是互感即趨近於零，從而總電感亦趨近於零。依此方式連接之二線圈則可謂之為反向串聯 (series

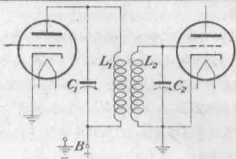


圖 84. R-f 變壓器。

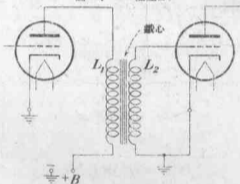


圖 85. A-f 變壓器。

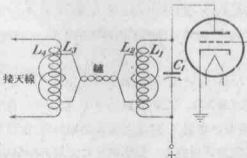


圖 86. 鏈耦合——射電頻率。

opposing) 者。

變壓器耦合 變壓器往往用以耦合 (couple) 二電路。能藉電磁感應之助由變壓器之原線圈傳至其副線圈。變壓器之用以傳遞 r-f 能者可無需鐵心，而往往稱之為空心變壓器 (air-core transformer)，見圖 84。

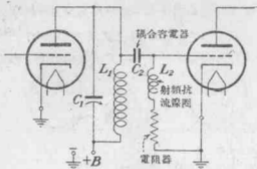


圖 87. 電容耦合——射電頻率。

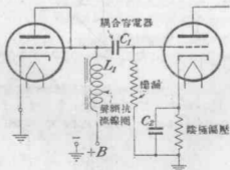


圖 88. 阻抗耦合——成聲頻率。

鐵心變壓器 (iron-core transformer) 則用以移轉成聲頻率

(a-f) 之能。鐵心之所以必需乃因較低頻率之能需要一較佳之磁路，而鐵心適可供給較大之導磁係數之故耳(圖 85)。

鏈耦合 (link couple, 圖 86) 可認之為一特殊場合，其中有二變壓器，連接於一起，以移轉 r-f 之能，可用之以供給極鬆之耦合，而容許對於一不經調整即將或高度危急之電路作更加穩定之調整。電容耦合亦可用以將能由一電路移轉至另一電路。圖 87 所示者即供作此項耦合之一容電器，置於 r-f 電路中一真空管之板極與另一真空管之柵極之間。圖 88 則說明若斯一種耦合之用於一 a-f 電路中。

問 題

1. 試述楞次定律。
2. 在何種情形下，方可謂兩線圈耦合？
3. 兩線圈間耦合之程度視何種因素而定？
4. 在何種情形下兩線圈之耦合方為同向串聯者？
5. 在何種情形下兩線圈之耦合方為反向串聯者？
6. 兩線圈之互感如何可由實驗測定？
7. 具有相同電感且作同向串聯之二線圈，能望其所具之總電感為一線圈電感之雙倍乎？何故？
8. 二線圈具有相同之電感并有一公用之鐵心，則其所具之互感，較之二者以同一方式連接但其間為一空心時，可較多抑較少乎？
9. 反相串聯之二等同線圈可有一為零之總電感否？試解釋之。

第十一章 電能供給

吾人最易取得之電源即 110 伏特 60 週之交流電流，分配於吾人家屋與工場中之能也。惟交流電壓，如以之作為真空管之板極電位，則殊無效。故須尋求方法，將交流電壓變為具有一定值之

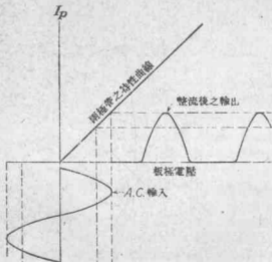
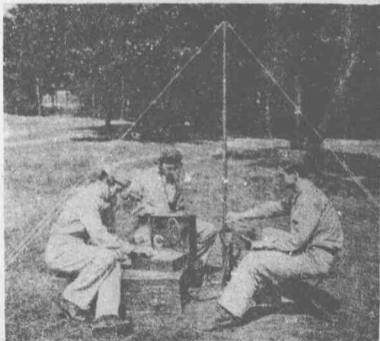


圖 89. a. c. 輸入電壓與整流後輸出間之關係的圖解。

直流電壓方可。其中一法即應用一種機件，僅於電壓具某一極性時始能任電流通過。若斯之一種機件即所謂整流器(rectifier)是也。圖 89 所示者即一真空管整流器之工作，此整流器在其工作

範圍中具有一線性之特性曲線。

兩極管爲電能供給 (power supply) 方面最通用之真空管。此項真空管可設計以供高電壓 (數千伏特) 與低電流 (毫安培) 之用，亦可設計以供低電壓 (10 至 30 伏特) 與高電流 (5 或 6 安培)



用手運轉之電能供給。

之用。第一種往往用於接收機與發送機之電能供給組中，而後者則用於電池組充電器 (battery charger) 中。

半波整流 圖 90 中所示者爲一標準之電力整流器 (power-

rectifier) 電路, 其中有一交流電壓, 加於兩極管之上。在正半週

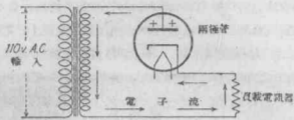


圖 90. 板極為正時之半波整流。

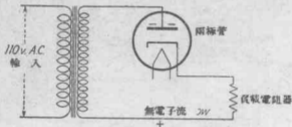
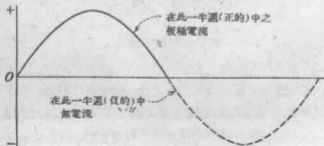


圖 91. 板極為負時之半波整流。



h.c 圖 92. 半波整流後之正弦波。

之期間中, 真空管之板極為正, 而電子由陰極流向板極, 如箭頭之所指。在負半週之期間中(圖 91), 此兩極管之板極為負, 因而這

無電子由陰極流往板極。故電流在負半週中遂被斷去，而在正半週中則一無減損。圖 92 所示者即整流後之波形也。

整流波 (rectified wave) 之形式視加於整流器上之電波的形式與兩極管之特性曲線而定。理想之整流器，其作用於電壓具某一極性時須類似用一斷開接線器 (open switch)，而於極性逆轉時則類似一關通接線器 (closed switch)。惟此事應用真空管實際上并不能達到，因在傳導方向 (conducting direction) 中對於

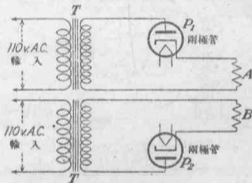


圖 93. 二半波整流器。

電流之流動恆有若干阻力也。

整流管既為電能供給之主要部分，故務需了解對之可具有何種期望。其燈絲必須能供應充分之電子，庶可維持應付頂高要求 (peak demand) 時所需之電流之值。如板極為正時，燈絲發出之電子不足，則整流波之形式即較坦平。真空管之電阻宜低，俾使其由電能供給中吸收之能儘可能地微小。同時，如此亦可減低真空管內部之變熱。燈絲與板極間之絕緣程度亦宜充分，方可防止

破壞或招致過多之漏洩電流 (leakage current)。

全波整流 直至此時，吾人所已論及者，尙僅限於 a. c. 正半週之利用。惟如能將兩個半週均予採用，自可由 a. c. 電源取得更多之能。**二隻半波整流器 (half-wave rectifier)**，若將之并列一處，如圖 93，且爲之作適當之連接，則兩個半波即均可以利用。此二隻半波整流器於此乃交替工作以形成一**全波整流器 (full-wave**

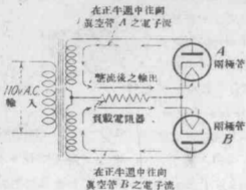


圖 94. 全波整流器。

rectifier) 焉。圖 94 所表者即此一組合，箭頭則指各週中電流之路徑。

修改普通整流管，即可給之以新特性，而使其用途大爲增加。此項修改有一種即在玻璃外殼內已抽空之空間中充以一種鈍氣。此充氣之兩極管，其優點即在其能於比較巨大之電流通過時，使真空管電阻上之電位降落甚低。通常所用之氣體爲汞汽 (mercury vapor)，惟氬亦可用於若干微小之真空管中。

充氣整流管之工作 在一未充氣之兩極管中，電子每有叢集於燈絲附近，形成一個集團，即空間電荷之勢。於是燈絲發出之電子在其往板極之路上遂不獲通過。惟若此種兩極管含有一種鈍氣，如汞汽之類時，則此種氣體之一部分原子即進入燈絲與板極間之空間中（圖 95），而一部分由燈絲發出之電子遂猛然衝入此項鈍氣之原子內，碰撞之結果乃將一部分電子由氣體分子外圍各層中擊出，而由是使氣體游離。被逐出之電子於是借其他發射電子繼續行向板極，而鈍氣之正游子又可由燈絲周圍之負的電子團（mass of electrons）中獲取若干電子，從而又能由不易通行之地帶將過多之電子移開。

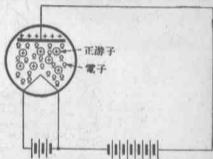


圖 95. 充氣之兩極管中之電子流。

燈絲周圍之電子團既經減小，發射電子通行之阻力遂亦減小，其結果復使加熱作用變小，管中之電位降落變低，而電壓調節轉好。汞汽之游離作用可由一淡藍色之光輝而自行表明，此光輝則每因有更多之電流通過管中而愈趨明亮。若斯一類之管較之真空式者甚至可通過多至一千倍以上之電流。此充氣管上之電壓降落，不論所引之電流如何，恆屬一定，因電流愈大，則氣體之游離作用亦愈大也。

充氣管似可解決一切整流管之問題，但亦仍有若干嚴重之缺點。其輸出較之由真空管發出者更難以過濾，因在管內有出現

r f 振盪之趨勢也。此等振盪每在電能供給組所接之接收機或放大器之輸出中作為噪音而呈現。惟此項困難往往可在管之板極導線 (plate leads) 中插入一微小之 r-f 抗流線圈 (choke) 而避免其發生。

氧化銅整流器 雖然真空管整流器已流傳極廣，但亦仍有其他型式之整流器為世所通用，且更適於彼等所需完成之一類工作。

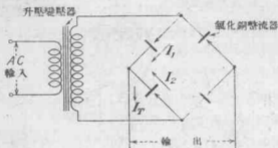


圖 96. 氧化銅整流器。

氧化銅整流器 (copper oxide rectifier)，在應用 d. c. 機件之處，如以之作為電力整流器可與其用於 a. c. 電計中時，同樣大有用處。此種整流器含有一銅片，銅片之一側則置有一層氧化低銅。此項氧化低銅對於電流在某一方向中之流動具有較低之電阻，而對於其在另一方向中之流動則具有較高之電阻。氧化銅整流器不能抗禦高電壓，故通常恆串聯運用之。

氧化銅整流器之耐久性 (durability) 使其應用在需要長時間工作之處，更特別有效。據某一實驗室之報告，其電流輸出經繼續使用 $3\frac{1}{2}$ 年後僅降低百分之 20。氧化銅整流器亦甚有助於電

橋式整流器(bridge rectifiers)與易濾作用(easy filtering)。而供應直流電流於磁鐵以及為電池組充電，固亦可用此等整流器以從事也。

濾波電路 任何整流器(全波的或半波的)之輸出均為脈動的(pulsating)，故須求得一法，填實兩波峯間之谷，而將此種脈動電流改變為具有一定振幅之電流。完成此事之一可能途徑可由電容與電感之特性見之。容電器對於一定振幅之直流電流，其作用如一斷開電路，但對於交流電流則呈獻一與頻率成反比之電抗。

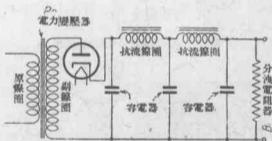


圖 97. 半波整流器與濾波體系。

在圖 97 所示之標準濾波電路(filter circuit)中，電位乃跨加於容電器之上者。於是，在電壓跌落時，容電器即放電入電路中。因此，當整流器電壓跌落至零後復行上升，以至能以使容電器重行充電為止時，乃始終有一電壓保持於此電路之上。故容電器之作用實似一電的飛輪，在充電時將位能儲積，而當充電電壓跌落時再將所儲之能放棄。

於此須牢記：一良好之容電器對於直流電流幾可給以一無限

大之阻力。事實上，容電器即或跨於高電壓上，實際上可仍無直流電流通過其中。而對於整流器輸出中之 a. c. 成分，容電器所給予之阻力則甚低，因而其一大部分遂經由容電器而決流 (short-circuited)。在圖 98 所示之輸出波中，脈動電壓高峯間之低谷即如此而被部分填實者。

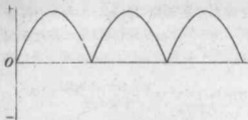


圖 98. 全波整流器整流後之輸出波。

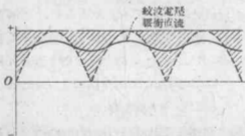


圖 99. 過濾後，全波整流器整流後之輸出波。

電流沿電路進行時，往往與電感相邂逅。電感固反對電流作任何之改變者。此項對於電流變化之反對遂附降低脈動之高峯而填實了低谷，因此，電流或電壓曲線遂益加向外直展，直至與圖 99 所示相似而後已。故加入更多之容電器與更多之電感，則低谷與高峯平緩 (smoothing) 之勢即可繼續，最後乃可達一比較不變

之振幅焉。

紋波 上節所述之平緩趨勢，在一接收機中，究應達如何之程度，此則視可以容許之哼聲 (hum) 總量以及放大器與揚聲器之低頻響應 (low-frequency response) 而定。就高電壓放大言，其容許通過以達於負載之脈動直流之量必須極端之低下方可。最後獲得通過之脈動直流，即所謂紋波 (ripple)，可以百分數計之。紋波所佔之百分數等於脈動直流電壓之 rms 值佔直流電壓之成數 (百分數)。

$$\text{紋波所佔百分數} = \frac{\text{脈動(rms)電壓}}{\text{直流電壓}} \times 100$$

就發送機言，有百分之 0.5 的紋波即可令人滿意，但對於放大器與接收機，則波紋即必須在百分之 0.02 以下。在極惡劣之紋波情況下，當直流尚以數百安培計時，交流僅應為若干毫安培。紋波有時亦可藉變壓器與抗流線圈間之電感耦合而潛入輸出電壓之中。此種困難之顯然的解決即利用遮磁法 (magnetic shielding) 或將各部分作一較佳之佈置耳。

濾波電路之調整率 調整率 (regulation) 可定義為全負載下輸出之電壓與無負載時輸出者之比率。當電能供給系統中之電流增加時，整流器與濾波器各組成部分之電阻值即造成一較大之 IR 降落。電壓損失在管中，變壓器中，以及抗流線圈中均可發生，死因此等構件均具有電阻也。

管中之損失往往較此系統中之其他部分大多。變壓器之電壓每半週中均由零變至極大，而在板極之正電壓未高出第一濾波

容電器上由前一工作週 (cycle of operation) 中剩餘之電壓以前無電流通過管中。但電壓一經變得足夠之大後，電流即迅速升高。此項巔值電流 (peak current) 可數倍於負載電流。

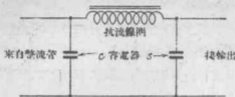


圖 100. 容電器輸入濾波系統。

整流器輸出處之容電器，其作用猶如 a. c. 成分之一局部捷路 (partial short circuit)，而有助於維持直流於一定之電壓下。容電器 (圖 100) 最初對於充電電流給予甚少之阻力，但容電器一

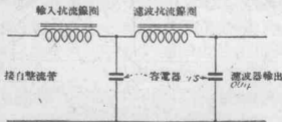


圖 101. 抗流線圈輸入濾波系統。

經充電，即行增加。在初充電時，有高電流通過管中，結果在整流管上於短時期中遂造成一重大之負載。此時，變壓器亦受召喚以應付一高度巔值電流。

若濾波器有一抗流線圈輸入 (choke input, 圖 101)，此抗流

線圈即可抵抗電流之任何突然的變化，因而在變壓器與管中對於顛值電流的需求遂不太大，而此項調整遂得以改進焉。對管之需求愈少，則其壽命愈長，因在顛值電流下，對於由燈絲發出之電子的需求實較大於其對於負載之需求也。

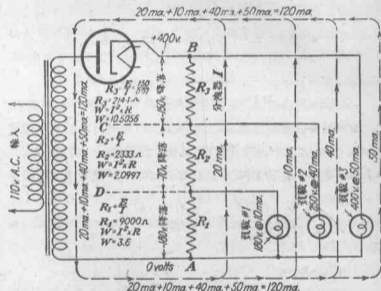


圖 102. 標準半波電能供給系統。

分洩電壓分配器 圖 102 中所示者為一標準半波電能供給系統。整流器與濾波器，即使設計時甚為仔細，亦仍可具有不良之電壓調整。電流與電壓高峯可變大而在整流管與濾波容電器上引起過度之應變 (strain)。如欲限制此等高峯，其法可在此系統上始終保持一負載。至於欲保持若斯之一種負載，則可應用一分

洩電阻器 (bleeder resistor)。此種分洩電阻器之值則取決於電源之電壓。充分的熟練可使分洩電流 (bleeder current) 大致為全負載時對此系統所要求之電流之百分之 10。

圖 102 中示有電流由變壓器起經過電壓分配器各部分與負載時之路線。此項電能系統之構造可供給一放大器以 400 伏特之電壓，20 ma 之電流；250 伏特之電壓與 40 ma 之電流；及 180 伏特之電壓與 10 ma 之電流。此項分洩器如再加負分配電壓之義務，即變為一分洩電壓分配器 (bleeder voltage divider)。

一切由變壓器引出之電流必出現於點 A ，電流乃於此劃分，其 20 ma 之分洩電流通過 R_1 ， R_2 與 R_3 後，復經點 B 而復回變壓器中。在點 A 處，總電流中有 10 ma 通過負載 1， R_2 與 R_3 ，再與 20 ma 之分洩電流在點 D 處聯合。其次， A 處總電流中復有 40 ma 通過負載 2 與 R_3 ，再與 20 ma 之分洩電流與經過負載 1 之 10 ma 在點 C 處聯合。 A 處總電流之剩餘 (50 ma) 則通過負載 3 後即直向點 B 進行。由此可見：在 R_1 中有 20 ma，在 R_2 中有 30 ma，而在 R_3 中有 70 ma。

在電阻器所有各部分中流動之電流使電壓由 B 點處之 400 伏特降落至 A 點處之 0 伏特。沿電阻器既有一連續之電壓降落，故必有其處電壓分別為 180 伏特與 250 伏特之點。試檢圖察看此諸電位降落實際之值。由 400 至 250 伏特，其間必有一 150 伏特之降落，而由 250 至 180 伏特，其間必有一 70 伏特之降落。此即謂由點 B 至點 D 有一 $150+70$ 即 220 伏特之總降落。然若由 B 至 D 之降落為 220 伏特，則降落達至點 A 處之零電壓，此事即

指明須更降落 400-220, 即 180 伏特焉。現將此數次降落加於一道, 得 $150+70+180=400$ 。各電阻器上之電位降落及各電阻器中之電流既均為已知者, 故分洩電壓分配器各部分之電阻值遂可應用歐姆定律算得。

$$\begin{aligned} R_1 &= \frac{E}{I} \\ &= \frac{180 \text{ 伏特}}{0.02 \text{ 安培}(20 \text{ ma})} \\ &= 9000 \text{ 歐姆} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} R_2 &= \frac{E}{I} \\ &= \frac{70 \text{ 伏特}}{0.03 \text{ 安培}(20+10 \text{ ma})} \\ &= 2333 \text{ 歐姆} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} R_3 &= \frac{E}{I} \\ &= \frac{150 \text{ 伏特}}{0.07 \text{ 安培}(20+10+40 \text{ ma})} \\ &= 2144 \text{ 歐姆} \end{aligned}$$

故此分洩電壓分配器之總電阻遂為 $9000 + 2333 + 2144$ 即 13477 歐姆。欲算分洩電阻器各部分之瓦特數可用公式

$$W = I^2 R$$

在 R_1 一段中, $R = 9000$ 歐姆

$$I = 20 \text{ ma, 即 } 0.02 \text{ 安培}$$

$$W = I^2 R = (0.02)^2 \times 9000 \text{ 即 } 3.6 \text{ 瓦}$$

故一 5 瓦特之電阻器即可應用。

在 R_2 一段中， $R = 2333$ 歐姆

$$I = 30 \text{ ma, 即 } 0.03 \text{ 安培}$$

$$W = (0.03)^2 \times 2333 = 2.1 \text{ 瓦}$$

故一 5 瓦之電阻器即可應用。

在 R_3 一段中， $R = 2144$ 歐姆

$$I = 70 \text{ ma, 即 } 0.07 \text{ 安培}$$

$$W = (0.07)^2 \times 2144 = 10.6 \text{ 瓦}$$

故一 20 瓦之電阻器即可應用。

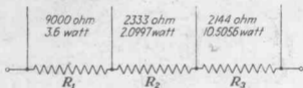


圖 103. 分洩電壓分配器。

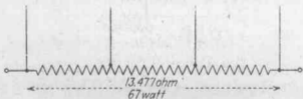


圖 104. 在適當處所可以分接之單電阻器。

裝成此種分洩電壓分配器可有二種機械的方法。其第一種即將三隻具有適當電阻與瓦數定額之電阻器串連裝置(圖 103)。此種方法代價較低，因電阻器之價格乃隨功率定額之減小而減少者。

其第二法則須用一備有滑動接頭之單電阻器，以便可作適當之電壓調整（圖 104）。在此一情況中，2144 歐姆 (R_1) 即必須能消耗 10.6 瓦。此數約為總電阻之六分之一，故整個單位應可能消耗 65 瓦以上。而 3 隻分離之電阻器，其總的功率定額則應為 16.3 瓦。

柵偏電壓 往往需要為數管由電能供給中獲取柵偏電壓 (grid-bias voltage)。在圖 105 所示之簡單偏壓系統 (bias system) 中，最大之負電位在點 A 處而最大之正電位在點 E 處。故

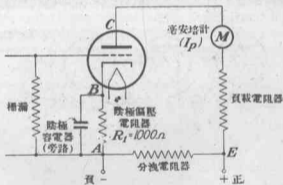


圖 105. 陰極偏壓系統。

在經過此路線 $ABCE$ 時，使電壓由零電壓進展至極大之正電壓。點 B 較點 A 之負性稍小，其所少之量適等於 R_1 上之電位降落。點 B 所代表者為陰極，而點 A 為柵極。柵極連接於 A ，因此遠較點 B 之負性為多，而其所多之量亦適等於 R_1 上之電位降落。柵極既視陰極為負，故真空管即如此而受有偏壓。其 R_1 上電壓降落之量則可選取適當之電阻值而控制之。

如在圖 105 中，通過真空管之板極電流為 20 ma，則欲得—20 伏特之降落所必需之電阻值可如下求得：

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

$$= \frac{20}{0.02}$$

$$= 1000 \text{ 歐姆}$$

一 1000 歐姆之偏壓電阻器 (bias resistor) 在板極電流為 20 ma 時可供給—20 伏特之電壓降落。此一型式之偏壓電阻器

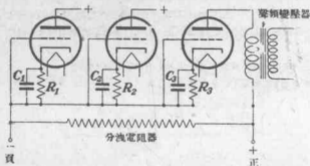


圖 106. 數管之陰極偏壓。

可試為自動的調整，因柵偏電壓乃由板極電流決定之故也。如板極電流有增加之勢，則偏壓即自動增加而板極電流減少。任何數目之管，如選取偏壓電阻之適當值即均可用此種方法賦以偏壓(圖 106)。偏電壓自必須由電能供給電壓中減去以得施於板極與陰極上之電壓。

僅知偏壓電阻器之電阻值尚不充分。瓦數定額亦須加以確

定。至於欲定此電阻器中之功率可照前應用方程式

$$瓦 = (\text{安培})^2 \times \text{歐姆}$$

問 題

1. 一電能供給組在 200 ma 之 rms 下發送 500 伏特，試計算此供給組之輸出中紋波之百分數。
2. 試為應用於電能供給組方面之調整率一詞下一定義。
3. 在一電能供給組中有三種通用之方法以造成電壓損失，此三種方法為何？
4. 說明在一濾波系統中何故應用抗流線圈輸入可較優於應用存電器輸入。
5. 說明在一濾波系統之輸出上一分洩器之用途。
6. 一分洩電阻器中所消耗之功率應如何計算？
7. 一整流濾波器之輸出電壓，如欲由此系統獲得偏壓時，何故必須較高？
8. 一容電器輸入對於一濾波系統是否有任何優於抗流線圈輸入之點？試說明之。
9. 在一電能供給組中由何者決定可容許之紋波百分數？
10. 說明充氣整流管優於真空整流管之點。

第十二章 聲音及其在無線電方面之應用

物質可見其乃處於兩種狀態——靜與動之下者。無線電方面所利用者則為其動力的運動 (dynamic motion), 即循環振動 (recurring vibration)。在鞦韆架上往返運動之人即依一一定之振動率而如此行事者。依定義言, 振動者即一物在週期運動中所作之往返旅行也。

頻率 在一單位時間中, 往返旅行之次數, 即振動之次數, 稱爲此運動之頻率。而一次往返所需之時間則稱爲週期, 普通往往以一秒之幾分之幾表之。故週期即頻率之倒數。

$$\text{週期} = \frac{1}{\text{頻率}}$$

如一次完全振動完成於 $\frac{1}{25}$ 秒中, 則此同一之振動在 1 秒鐘內即可完成 25 次之往返旅行。若斯之一種振動即可謂具有一每秒 25 週之頻率。

懸於繩上之一重球可緩緩輕擊之, 使之振動, 惟此等輕擊之發生, 其振動之率須與擺之自然頻率 (natural frequency) 相同方可。在一薩克梭風 (saxophone)* 上所作之樂音可使鋼琴上頻率相當之一絃發生振動。

* 一種管管絃樂器。——譯者。

在實驗室中，此等現象謂之共振 (sympathetic vibration)，普通可用裝於共振箱上之音叉證示之。置二共振箱於一起，使兩隻之開端相對。於是擊一音叉，使其產生相當大之聲能，迨數秒鐘後，緊握此音叉之兩股，再傾聽另一音叉，即可見此第二音叉之振動產生與第一音叉所生相同之樂音，雖則能之移轉并不完全，而結局之樂音亦并不具有相同之響度。

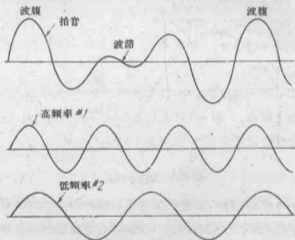


圖 107. 由頻率不同二波之交替干涉與加強而引起之拍音。

現附一重量於第一音叉之一股上，俾此音叉之自然頻率微有改變。然後使此一音叉振動如前，再握叉股以消解振動。於是即無音可聞自另一音叉。蓋二者之頻率既不復相同，此二音叉遂不再造成共振也。

拍音 若同時使頻率不同二音叉振動，即可聞一拍音 (beat-note)。在某一時刻，二音叉之叉股如正在同一方向中移動，二

者即互相加強。在另一時刻，二者運動之方向如相反，則相互間之影響即行抵消，如圖 107 所示。一拍音即由二波之此種交替干涉與加強而引起者。設有二波，分別具有每秒 256 次振動與每秒 220 次振動之頻率，如使二者在一非線性 (nonlinear) 之偵察機構 (如人耳之類) 前一起發聲，則合成之波即可具有四種頻率：二者原有之頻率，此二者之差及此二者之和。就此一實例言，其頻率應

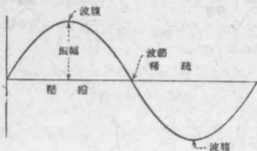


圖 108. 波之各要素。

為 220, 256, 36 與 476。其中和頻率 (sum frequency) 實際上極少應用，但差頻率 (difference frequency) 在聲學與無線電學二方面，則均甚重要。

波 為簡明起，現可將聲波表作正弦波。一波之振幅 (amplitude) 可用零準線 (zero reference line) 線上或線下之最大距離代表 (圖 108)。而決定一波之振幅者則為隱藏於能源後之能。振幅可予變更，而不致引起波中之任何其他變化。

波長乃波在一次完全振動所需之時間中進行之距離。是即一波之任何二相當部分在空間中之距離。聲波之一個波長則由

一壓縮部分 (compression) 與一稀疏部分 (rarefaction) 構成。在空氣中，波腹 (antinode) 處之壓力若非極大，即屬極小，但在波節 (node) 處之壓力則正常而不變。極大壓力處之波腹為壓縮部分之中心，而最小壓力處之波腹為稀疏區域之中心。

波之計算 聲波以一特殊之速率或速度由振動源向外進行。波既在一單位之時間中進行一確定之距離，故在每一時間單位中恆有一確定數目之波長。若某一波之頻率為每秒 300 週，而每一波之長為 4 呎，則於 1 秒鐘內，此波即可進行 4×300 呎而稱為具有一每秒 1200 呎之速度。

應用於一切波動計算 (wave-motion calculation) 之公式為

$$\text{速度} = \text{頻率} \times \text{波長}$$

$$V = N \times \lambda$$

λ 即希臘字母 lambda。

近代廣播之可能即因聲能 (sound energy) 可轉化為電能，經放大，傳送，接收，再以極小之畸變 (distortion) 化轉為聲能之故。聲音既恆為振動之結果，故運動中之物體遂激動此物在其中運動之介質而引起壓縮與稀疏。此等壓縮與稀疏由運動體向外進行，其速率則視介質之性質與溫度而定。在空氣之場合中，在 0°C 時之速率約為每秒 1090 呎。聲波中之能可能激動一稱為微音器 (microphone) 之轉化機構。

在無線電傳遞中，此項微音器可用於活才拾音 (live-talent pick-up) 方面，而樂曲複奏 (transcription reproduction) 則須用留聲機拾音器 (phonograph pickup) 以從事。此微音器與留聲機

拾音器二者均具有二重要之特性：靈敏度與頻率響應(frequency response)。兩器之靈敏度均隨不同之種類與型式，同樣亦隨語言或其上所受別種聲音之性質而有異。聲音之強度既與其離開聲源之遠近成反比，故聲源與微音器間之距離遠亦不可忽視。再則室中之交混回響(reverberation)亦每可使微音器拾取回聲，有時造成不需要之效果。

如欲微音器或留聲機拾音器重現一切加於其上之聲音頻率，則其對於一切聲音頻率，即必須具有同等反應之能力方可。由各種不同之聲音製造者所發出之頻率，以每秒振動數或週數表之，其例大致如下：

廣播(振幅調制)，25至7500

動力式揚聲器，25至5500

有聲電影，40至8000

留聲機，60至5500

舊式留聲機，250至3000

男人聲(平均頻率)，128

婦人聲(平均頻率)，256

尼加拉式瀑布，40至50

雷，20至40

如在微音器或拾音器之工作頻率範圍中，響應之變異不大，此器即謂之具有一坦平之頻率響應(flat frequency response)。

單鈕微音器 炭粒微音器(carbon microphone)之作用以空氣中聲波壓力之變異為基礎，此項變異可在相互輕觸之諸炭粒間的壓力與電阻方面引起相似之變動。各炭粒間在接觸點處之

力愈大，電流亦愈大。反之，減低壓力，則電流亦即減小。

單鈕炭粒微音器 (single-button carbon microphone, 圖 109) 有一金屬杯，其中附有一鬆鬆裝置之柱塞與一膜片。膜片與杯之四邊絕緣，在其周邊將之撐牢。由膜片之中心連一不易彎曲之連桿 (link) 以達活塞。於是，當聲波擊膜時，能即耗費於其上，而使之振動。其運動復傳於柱塞，使之在杯中前後移動，由是乃施一變動之壓力於炭粒之上。此項壓力之變動即引起一變動之電流，由電池組流出。

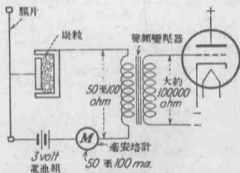


圖 109. 策動三極管柵極之一單鈕微音器之電路。

在有些微音器中，由一 3 伏特電池組發出通過各炭粒之電流可變動於 50 與 100 ma 之間。一良好之單鈕微音器在 50 至 100 歐姆阻抗上發出之輸出可由 0.1 至 0.3 伏特。因一輸入管之柵極至陰極之阻抗約為 100000 歐姆，故 50 至 100 歐姆之微音器輸出遂不能有效地連接於管之輸入上。故須應用一微音器變壓器 (microphone transformer)，此變壓器有一微音器繞組，其阻抗在 50

與 100 歐姆之間，及一有數千歐姆之副繞組，可更密切地接近真空管之輸入阻抗。單鈕微音器之頻率響應甚為適當，惟可引起較之在若干用途方面可容許者更多之畸變。

雙鈕微音器 雙鈕微音器 (double-button microphone) 乃由背對背相連之二單鈕微音器組成。變壓器中之直流保持不變，原線圈兩個半段中之電流在反對之方向中流動，與此二電流相結合之一定磁場遂互相抵消。當膜片在有一方向中移動時，經過一鈕之電流增加，而另一鈕者則減小。此等電流之變化結果乃引起

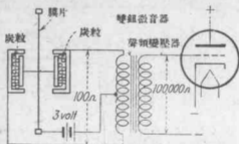


圖 110. 策動一三極管柵極之雙鈕炭粒微音器。

在變壓器原繞組中相加之磁場亦生變動。如此乃容許一種設計，較之由單鈕式中所得者，可獲得較大之電壓上升與較少之畸變。一良好之雙鈕微音器 (圖 110)，在 200 歐姆上，有一 5 至 50 ma 之電池組電流時，可給予一 0.02 至 0.07 伏特之輸出。因此變壓器之升壓比 (step-up ratio) 之故，在輸入管之柵極上，遂有 0.4 至 0.5 伏特可供利用。

晶體微音器 有幾種晶體，如酒石酸鈉鉀結晶體 (Rochelle salts) 之類，當將之置於兩金屬板間并加一壓力時，可產生微小之

電壓。此時，晶體本身既為一發電機，因此，電池組遂非必需之物，而因輸出阻抗甚高之故，從事連接時遂直接將之連接於輸入管之柵極上，而無需變壓器焉。至此種晶體微音器 (crystal microphone, 圖 111) 之優點則為高的再現保真度 (fidelity of reproduction), 比較低的成本以及微音器變壓器兩繞組所拾取之哼聲的減少。

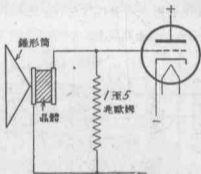


圖 111. 策動三極管柵極之晶體微音器。

一良好之晶體微音器的輸出在 6 至 7 呎長微音器纜索之末端為 0.01 至 0.03 伏特。此種型式之微音器具有一廣闊之頻率範圍，多少可由負載電阻器之值控制之。當電阻值變小時，低頻率之響應即行減弱。此種微音器較之炭粒微音器所具之電壓輸出雖較少，但具有一較廣闊且較坦平之頻率響應，而又無需乎電池組與變壓器。

容電器微音器 容電器微音器 (condenser microphone, 圖 112) 在運用上以容電器作用 (condenser action) 為根據。B 板

乃一固定之厚板，而 A 板為一薄而緊張之金屬膜片，置於接近 B 板之處。聲波使 A 振動， A 又轉而改變容電器之電容。電容一經改變，則由電池組發出之充電電流亦復改變。順沿 R_1 流動之充電電流在 R_1 上引起一變動之電壓。此變動之電壓復經由容電器 C 而使用於輸入管之柵極。聯結之導線必須令之甚短，庶可使導線間之電容不致太大。此種微音器之靈敏度約為雙鈕炭粒微音器者之 $\frac{1}{100}$ 至 $\frac{1}{10}$ ，惟具有一優越的頻率響應。然在近代設備中究已罕用矣。

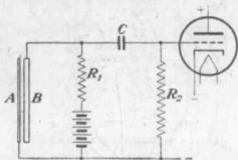


圖 112. 策動三極管柵極之容電器微音器。

速度與電動力微音器 凡一導體在磁場中截割力線之際，此導體中即有一電動勢感生。速度微音器 (velocity microphone, 圖 113) 所用者即此一原理。在一強力之永久性磁鐵之兩極間，懸置一極薄之鋁合金帶。當聲波擊中此帶時，聲波即使帶發生振動。永久性磁鐵兩極間之磁力線於是被割，而帶中乃有一電動勢感生。此帶之阻抗既僅為 1 或 2 歐姆，故須用一變壓器以配合輸入管柵

極之 100000 歐姆。速度微音器在變壓器之原線圈中發生 0.03 至 0.05 伏特，而副線圈之電動勢為 0.4 至 0.5 伏特。其靈敏度或增益 (gain) 則視磁場之強度而定。頻率響應極佳。

電動力微音器 (dynamic microphone) 與速度微音器極相類似，僅金屬帶換為附於一膜片上之一小線圈。其頻率響應極佳。其靈敏度則視磁場之強度，線圈之匝數與線圈之慣性而定。

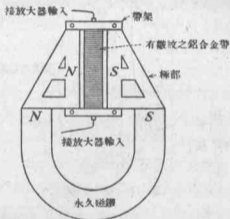


圖 113. 速度(薄帶)微音器。

磁力拾音器 樂曲傳遞 (transcribed transmission) 現已廣泛應用，因此對於留聲機拾音器之原理即勢非了解不可。此項拾音器凡有二大類，磁力式與晶體式，二者均可運用，以之作為一微小電壓之發生器。

在磁力拾音器 (magnetic pickup) 中，指針由唱片上之溝紋引之振動，且固着於電樞桿 (armature bar) 之上，此桿又轉而平

衡於一強力之磁場中。隱藏於磁鐵極部中之空間內者則有二微小之線圈，各有若干匝細絕緣線（圖 114）。

就正常情形言，電樞桿恆懸於兩極間之中心處所，由兩極發出力線逕直地通過其間之空隙。當指針振動時，電樞在軸承周圍由一側移向另一側。磁力線則選取總空氣隙最短之路線，縱長地（lengthwise）經過電樞行至相反之一極。經如此擾動後之磁場

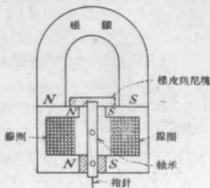


圖 114. 磁力拾音器。

使力線為線圈繞組所割，由是乃生一電壓。此電壓，在良好之磁力拾音器中，在一約為 5000 歐姆之高阻抗線圈之上，約為 1 伏特。然欲造成 1 伏特之電壓，則磁場必須極強而電樞桿較輕方可。重的電樞桿具有高度之慣性，因而對於較高之頻率遂不能好好響應。此一型式之拾音器可直接連於一柵極上，或經由一變壓器而耦合於其上。

為欲產生一更堅固之儀器起見，一種約為 200 歐姆之低阻抗拾音器已應運而生。此器之電樞桿較輕；線圈之匝數較少，因而遂

可發出較少之電壓輸出與較佳之頻率響應。任何拾音器之頻率響應均取決於其振動系統之特性。所具之諧振頻率均介於每秒3000週與5000週之間。此項能引起困難之諧振頻率，如將對着電樞指針之一端埋於一具有阻尼作用之軟橡皮塊中，即可將之減少。橡皮塊柔軟可屈，因而對於微小之電樞在其頻率範圍中之運動遂給予輕微之阻力，惟對於與諧振相結合之大運動，則能加以阻尼。

為欲減少唱片上指針之損蝕起見，正確之指針壓力遂爾應予維持。當指針駕御於唱片溝紋底上，而壓力為4或5溫司時，指針在廣闊之擺動中，并不被拋出溝紋之外，而磨損亦不致太過。

晶體拾音器 晶體拾音器 (crystal pickup) 之作用，其原理與晶體微音器同。惟變動之晶體壓力則得之於一指針之運動而非由一膜片之運動。此一類型之微音器具有若干極合需要之特性。往往可有一每秒30至8000週之平坦頻率響應，而其再現之保真度僅受唱片、放大設備及揚聲器之性質所限制。頻率則可藉一約為0.5兆歐姆之並聯電阻器之助，在限度內有所改變。因晶體具有一高阻抗之故，故此器可直接連接於輸入管之柵極上。在一0.5兆歐姆之電阻器上可能希望得一2伏特之電壓輸出。

括聲濾除器 御於唱片溝紋上之針頭常產生一種噪聲，名為針頭括聲 (needle scratch)。如拾音器對於高頻率具有良好之響應，針頭括聲即通過此器而達放大器。為減除此項令人嫌厭之噪聲起見，可在電路中插入一括聲濾除器 (scratch filter)。括聲濾除器含有一200毫亨利之抗流線圈，與一0.005 mf之容電器串連後跨接於拾音器上。此項電路在5000週時為諧振電路，而在

該項頻率之下，不僅能兼盡括聲，且亦能及於任何之樂音。惟在音值 (tone value) 方面之損失則不若現有針頭括聲之顯著。

變強 將電能轉化為聲能之機件有收話器(磁力式或晶體式)與無線電揚聲器(永久磁鐵式，電動力式與活動電樞式)。此等機件之設計必須能適合人耳之特性方可。人耳對於各種不同強度之聲波均具有一非線性之響應 (nonlinear response)。斯即謂，一聲之強度即或加倍時，然在耳聞之，似仍大遜於兩倍之響亮耳。吾人已知，頻率如在每秒 16 至 20 週之下時，則聲音即毋寧謂為覺知而非聽得者，而在高於每秒 20000 週之頻率，則聲音即既不能聽得，亦不能覺知焉。人耳所最敏感者乃頻率介於每秒 1000 至 3000 週間之聲音。

比較聲音高低所用之實用單位稱為分貝 (decibel, db)，為一貝爾 (bel) 之十分之一。命名為貝爾乃紀念電話發明人亞歷山大·葛拉漢·貝爾 (Alexander Graham Bell) 之故。貝爾即功率輸出與功率輸入之比的對數。故分貝即十倍於此同一之對數。

$$\text{db} = 10 \times \log_{10} \frac{\text{功率輸出}}{\text{功率輸入}}$$

分貝常用以表示 a-f 放大系統中功率，電壓或電流之對數比 (logarithmic ratio)。聽覺正常之人可能覺察聲音高低變動 1 db 時，一單獨的持久音之聲強的變化。故分貝可定義為一正常耳朵所能覺察之聲強的最小變化。然因收話器與揚聲器乃電的聲音轉換器 (electrical sound converter)，而耳乃此項輸出性質之最後裁判官，故此項設計恆為耳之活動所控制。

揚聲器與收話器 磁力式收話器 (magnetic telephone receiver) 含有一電磁鐵，繞於原為永久磁鐵之鐵心上。另有一軟鐵膜片，懸近極部，如圖 115 所示。此等極部既為永久性之磁鐵。



聲音經由光線而傳遞。裝於 Broadway 1440 號 WOR 播音室頂上之指向發送機與接收機，推準 Madison Avenue 444 號 W71NY 發送機傍邊之一光電池。故膜片恆被拉向極部。線圈中電流之任何變化均可使永久磁鐵之強度變化，因而使膜片振動。膜片之振動復激動在其前方之空氣而聲波於焉產生。

如置一導體於一強磁場內，再通電流經過此導體，則導體即有移出磁場之勢。在永久磁鐵式揚聲器 (permanent-magnet speaker, 圖 116) 中，有一強有力之磁場，在一用絕緣線繞於輕錄

圈模上而成之小線圈四周。此一線圈，謂之口聲電流線圈(voice coil)，接於揚聲器之錐形筒上，並運動於永久磁鐵之強磁場中。再因放大器之板極輸出電路有高度之阻抗，而線圈有低阻抗之故，遂須應用一匹配用之變壓器(matching transformer)，能將口聲電流線圈移出磁場之力與口聲電流線圈中之電流成比例。接於口聲電流線圈上之揚聲器錐形筒，作用與一柱塞相似，可激動其周圍之空氣。

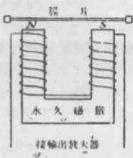


圖 115. 磁力式收話器。

分勵式揚聲器 (separately excited speaker)，除其強磁場乃由一電磁鐵而非一永久磁鐵產生者外，其餘均與永久磁鐵式揚聲

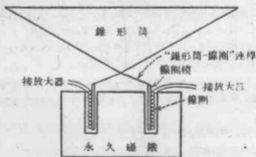


圖 116. 永久磁鐵動力揚聲器。

器恰確相似。送往電磁鐵之電流可由其本身之小型電能供給組供給，亦可由放大器之電能供給器或由一蓄電池供給。如其磁場有一高電阻(7000 至 10000 歐姆)，則可置此器橫跨於電能供給

之輸出上。如此器屬於低電阻式(500至2000歐姆)，則通常往往使之與放大器電能供給串聯，而作用如一濾波抗流線圈(filter choke)。

問 題

1. 到達一微音器之聲音，其強度如何隨發音者對於微音器之距離而變化？
2. 一微音器，如欲用之於廣播工作中，則在何種頻率範圍內，此器實際上可無變化？
3. 一良好廣播接收機之頻率範圍應如何？
4. 一良好之留聲機唱片播音者之頻率範圍應如何？
5. 試舉五種微音器之名稱，并舉示每一種之特殊用途。
6. 略述問題5中所述各微音器之特性。
7. 單錫炭粒微音器何故能如此普遍地應用於有線電話工作中？
8. 在公開演講裝置(public address system)中，晶體微音器優於炭粒式者之點何在？
9. 晶體微音器何故比炭粒式者更需要先行放大(preamplification)？
10. 薄帶微音器，或速度微音器，在室外工作方面之缺點何在？
11. 試舉無線電與公開演講工作中所用量度聲音高低之實用單位的名稱。
12. 給問題11中所述之單位下一定義。
13. 吾人如何可將分貝之定義變為數學的語言(mathematical language)？
14. 如聲音之聲壓功率(audio power)加倍，人耳能否聽得兩倍強度之聲音？試說明之。
15. 普通人耳之頻率範圍如何？

第十三章 接收機電路

因要求有更佳之成就而額外之需要又行增加之故，接收機之電路遂已益趨於複雜。接收機最簡單之一種即人所熟知之晶體收音機 (crystal set)；然此機仍結合了欲了解接收機電路諸原理時所必需之一切要素。

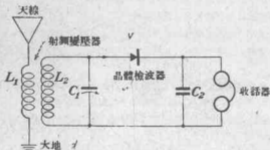


圖117. 晶體接收機電路。

晶體接收機 在圖 117 所示之晶體接收機電路 (crystal receiver circuit) 上，來自發送機之無線電波加一電動勢於天線線圈 L_1 上。線圈 L_1 中之能遂感生於 L_2 中。含 L_2 與 C_1 之並聯電路，可應用適當值之電感與電容使之對所需之頻率諧振。在諧振頻率下發生於調諧電路 (tuned circuit) 上之電壓較大。晶體及聽筒既均與諧振電路並聯，故二者上所受之電壓相同。晶體將所

用之交流 (r-f) 整流, 因而遂有一脈振直流 (pulsating d. c.) —— 調幅等幅波 (modulated continuous wave) 之聲頻成分 (audio component) —— 流過聽筒。

晶體式接收機可用於接收如圖 118 中所示之調幅等幅波 (mcw)。載波 (carrier wave) 之射電頻率 (radio frequency) 即



無線電機件指揮軍用犬。美國軍事設備之最近革新。一種應用遠距離控制，向戰場上軍用犬發給指令之短波機件。

無線電台據以工作之頻率。在發送機處 a-f (口語或樂音) 波與載波結合。此項增加之能即增減載波之振幅以與發出之聲頻 (audio frequency) 相應。此一手續即所謂 振幅調制 (amplitude

modulation).

廣播發送機所用之載波的頻率範圍介於每秒 500 kc (每秒 550000 週) 與每秒 1500 kc (每秒 1500000 週) 之間。此等頻率均在可聞範圍 (range of audibility) 以上。

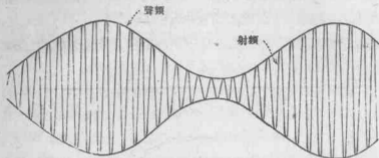


圖 118. 已調幅之載波。

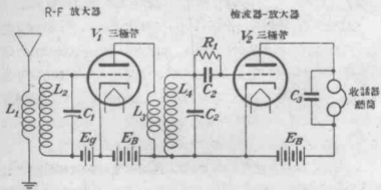


圖 119. 應用 r-f 放大與槽漏檢波之兩管接收機電路。

如將一調幅波 (modulated wave) 整流，即有一脈動之 d. c. 電能流於一接收機之輸出電路中。在已整流之輸出中，電流強度

隨調幅波之振幅變動。於是在接收機——此處即晶體——中遂須用一檢波器(detector)將 mcw 整流,而聽筒遂可響應與調幅相應而起之電流強度之變化。在圖 119 中, C_1 為一 r-f 旁路容電器 (by-pass condenser), 可供給一低阻抗之路線予任何抵達聽筒線圈上之 r-f 能。此項旁路容電器對於成聲頻率有一巨大之電抗, 因而調幅波之業經整流部分, 即 d. c. 成分, 遂得通過聽筒而使膜片依原用以調制 (modulate) 載波之成聲頻率振動。

真空管接收機 在一真空管接收機 (vacuum-tube receiver) 中, 於未涉及天線之時, 所用之原理亦復相似。第一真空管之目的普通在放大來波 (incoming wave) 之 r-f 電能。在圖 119 中, 調諧電路 (L_1 與 C_1) 之輸出電壓乃被加於真空管之柵極與陰極之上者。此電路中之一電池組則用以供給必需之柵偏電壓 E_c 。

因來訊 (incoming signal) 乃一高頻率之 a. c. 波, 故柵極電位遂為偏壓與來波電壓之代數和。如後者在施於柵極時為負, 則此管之實際柵極電壓遂為偏壓加來波之電壓。如來波之電壓為正, 則柵極上之實際電壓即為來波電壓與柵極偏壓之差。通過管中以達板極之穩定電流原由柵極偏壓所控制。來波電壓既為交變者, 故結局之板極電流遂為一種脈動的, 或起伏的直流。

電感 L_1 置於板極電路中, 因而其磁場遂隨通過其繞組中之電流的變化而升降。線圈 L_3 與 L_4 作磁性之耦合。若將此第二調諧電路 (L_4 與 C_2) 加以調諧, 使其就電路頻率諧振, 則 L_1 周圍之變動的磁場即在 L_4 中引起一比較巨大之感應電動勢。此一感應電壓復影響於控制板極電流之柵極電位。板極電路中之能每大於

柵極電路中之能，此迨因真空管有放大之性質也。

應用二調諧電路更可使接收機之靈敏度(記錄弱信號之能力)與選擇性(辨別不同頻率各波之能力)大為增加。當調諧此二電路，使之能在一個頻率下諧振時，二者即可供應一增加之電壓給予以下諸管之柵極。如使第二調諧電路諧振，而其諧振頻率并非第一調諧電路之諧振頻率時，即無電壓或僅有少許電壓發生且加於第二管之柵極上。因此，板極電流遂亦僅有微小之起伏或竟無起伏，而聽筒中遂亦無信號可聞焉。其間對於不類於調諧電路之諧振頻率的任何頻率均有一區別之力。此即無線電接收中能容許吾人選取一電台之作用也。

真空管乃一電壓運用之機件。在圖 119 中，真空管 V_2 乃當作一柵漏檢波器 (grid-leak detector) 應用者。如柵極之負電位甚大，即無電流通過電阻器 R_1 ；但如柵極對陰極或燈絲言，具有一正電位時，即有一電流通過焉。此一電流在電阻器 R_1 上造成一電位降落。其結局之電壓乃使容電器 C_1 充電。當 R_1 與 C_1 之值結合無誤時，容電器 C_1 電容之大，足以僅讓此容電器上微量之電荷，於輸入信號電壓 (input signal voltage) 每經一次 r-f 半週 (alternation) 時，經由 R_1 漏去。容電器中之電荷緊隨調幅信號振幅中較慢之成聲頻率變動。在此等條件之下，加於柵極與陰極間之電壓遂為信號電壓與柵漏中由呈現於容電器與電阻器組合中之柵極電流所引起之電壓降落之和。

經此管放大後之 r-f 成分在未達聽筒之前即為旁路容電器 C_1 移去，留下可聞者遂僅為 a-f 信號。故作為一柵極整流器與一

三極管放大器之組合而服役者即此一種型式之檢波器也。 柵漏檢波器(圖 120)，於其造成畸變之趨勢能為其對於弱信號電壓之較大的響應超過之處，普通常用以接收弱信號電壓。

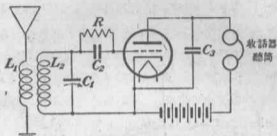


圖 120. 一管接收機電路。

兩極管檢波器 大多數新式接收機均用兩極管檢波器(diode detector, 圖 121)。 在若斯一類之檢波器中，在串聯於兩極管陰極電路中一電阻器上出現之電壓復被加於一獨立之聲頻放大管(audio-amplifier tube)中之柵極上，或則亦可用一雙重用途管(dual-purpose tube)，乃將兩極管與聲頻放大器合併裝於一泡中之管也。 在若斯之兩極管檢波器中，容電器乃置之跨於負載電阻器 R 之上者。 此器除其能在 $r-f$ 半週間儲藏電能一機能外，復可用之作一旁路以供 $r-f$ 成分之用。

容電器在射電頻率下之容抗極低，但對於與來波振幅變動相應之成聲頻率則甚高。 通過電阻器之 $a-f$ 電流產生一電壓 (IR 降落)，可用之以激勵聲頻放大器(在大多數接收機中，居於兩極管後之一管)之柵極。

調諧射頻接收機 圖 119 中所示之一種接收機即所謂調諧射

頻 (t-r-f) 接收機 (tuned radio-frequency receiver)。欲得所需程度之選擇性以供無線電接收時，在未達檢波器前調諧射電頻率實需有一級 (stage)* 或數級。各級普通均可用機械地耦合控制器 (mechanically coupled control) 調諧之。在各個不同之調諧級 (tuned stage) 中均恆有輕微之變異，因此遂須應用補償機械，俾可在接收之全部頻率範圍中得保持一高度之選擇性。若

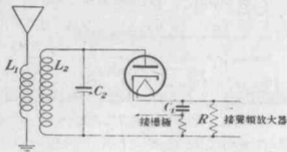


圖 121. 兩極管檢波器電路。

斯之補償器 (compensator) 即通常稱為修整容電器 (trimmer condenser) 之一種容電器，此器經由電容之輕微變化即可用以改正調諧電容器 (tuning condenser) 之值。檢波器級之後，可接以聽筒，惟通常則需要用一揚聲器，而在若斯之一種情況中，遂需要一級或數級之 a-f 放大焉。圖 122 為應用一級 r-f 放大，柵漏檢波與二級 a-f 放大之一隻 t-r-f 接收機之方框略圖 (block diagram)。關於調諧與響度之各種控制器均已示於圖中。其

* 級 (stage) —— 乃含有一單一真空管之電路。惟在一多管之電路中，則指連接於一管極極與次一管控制極極間之一切部分。——譯者。

響度控制 (volume control) 可用一能調整輸入電壓給予聲頻放大管之可變電阻器以完成之。

超致差接收機 為欲獲得較高度之選擇性與靈敏度起見，可用一超致差接收機 (superheterodyne receiver)。圖 123 所示者即此項超致差接收機主要特點與控制之方框路圖。此種接收機之工作可就等幅波 (cw)，即 A-1，發射與等幅調幅波 (mcw)，即 A-2 與 A-3，發射說明之。僅有射電頻率之波謂為 A-1 型發射。

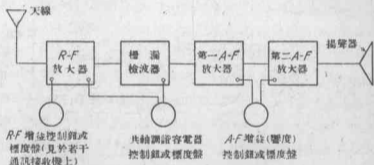


圖 122. 表明 t-r-f 無線電接收機各級與各控制器之方塊路圖。

利用 A-1 型發射之傳遞即可應用無線電碼發佈電訊。其業已調幅後之波則具有 A-2 或 A-3 型之發射。如用一聲頻振盪器將發送機之載波予以調幅，結果即得一 A-2 型之發射；此乃應用無線電碼發送電訊之另一法。如用口語或音樂以調幅載波，即得一 A-3 發射。A-2 與 A-3 發射均具有 r-f 與 a-f 二成分，咸可視為調幅等幅波。

在討論超致差接收機時，容吾人先論 A-2 與 A-3 型之發射。

若具有一 1000 kc 射電頻率之一等幅調幅波交割天線時，此波之 r-f 成分即由 r-f 放大器 (amplifier stage) 予以放大。其放大量則由 r-f 增益控制整定 (gain-control setting) 控制之。在第一隻檢波器處，1000 kc 之波與來自局部振盪器 (local oscillator) 之 1500 kc 頻率之波相會。此二波相互衝拍 (beat)，結果得一 500 kc 之第三頻率。試一回憶他拍原理 (principle of heterodyne)，此原理固謂形成之第三頻率應等於二反衝波 (reacting wave) 之

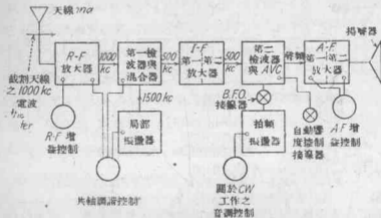


圖 123. 超致差接收機之方塊略圖。

二頻率之差也。於是，此 500 kc 頻率遂進入中頻放大器 (intermediate frequency amplifier) 中。中頻放大器所能接受之頻率恆有一定；在本例中，不論來波之頻率如何，均須為 500 kc。如來波有一 660 kc 之頻率，則局部振盪器應產生一 1160 kc 之頻率，俾使其差仍為 500 kc。r-f 放大器，檢波器與高頻振盪器中諸容

電器應協同行動，調整之以產生一 500 kc 之中頻。

離中頻放大器後，此波復被傳入第二隻檢波器而受整流。斯即謂：a. c. 波已被變為脈動之 d. c. 波，而原波之 r-f 成分已由一旁路逸去。於是，此波之 a-f 成分遂得進入 a-f 放大器。其放大度則可由 a-f 增益控制器(響度)控制之。

現再一考察僅有射電頻率之等幅波的工作。一切電路之活動與 mcw 至第二檢波器級前之工作相同。因無成聲頻率呈現(如 mcw 之情形)，故來自 cw 之射電頻率當可由旁路通過，而 a-f 放大器遂得不受驅動。如此，就 cw 之工作言，遂必須將拍頻振盪器 (beat frequency oscillator, BFO) 之接線器轉至接通位置 ("on" position)。此一振盪器傳給第二隻檢波器一種頻率，可衝拍中頻波，以形成一在聲頻範圍內之第三頻率。進入 a-f 放大器者即此第三頻率。由 a-f 放大器發出之成聲頻率的音調 (pitch) 則由音調控制器 (pitch control) 控制之。而調整聲頻響度 (audio volume) 者自為 a-f 增益控制器。

問 題

1. 在接收機之天線電路中何故須用串聯調諧 (series tuning)?
2. 一廣播接收機之天線電路應能包含如何之頻率範圍?
3. 對於簡單晶體接收機作充分之了解，此事在研究新式接收機時是否有任何價值? 何故?
4. 檢波管之柵極應如何加以偏壓? 何故?
5. 說明 r-f 放大器之柵極電路何故應串聯調諧而不必串聯調諧。
6. 說明一 r-f 放大器何故應為一電壓放大器。
7. 作一 r-f 放大器與一聲頻放大器之方塊略圖，並將各方塊分別註明。

8. 作一超致差接收機及其 a-f 放大器之方塊略圖，並將各方塊分別註明。
9. 超致差接收機中 r-f 振盪器之機能如何？
10. 略述超致差接收機中中頻放大器之機能。
11. 試述二種檢波器。

第十四章 振盪器電路

真空管可用以將直流轉變為交流。如此應用時，此真空管即稱為一振盪器 (oscillator)。當真空管放大器輸出之一部分復反饋入此放大器之輸入中時，此真空管放大器實際上即足能“自行策動”(drive itself)。輸出電能中反饋入輸入中之一部分對於欲造成之振動必須具有適當之相位關係。

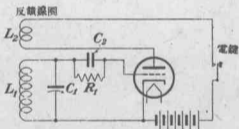


圖 124. 反饋線圈反饋振盪器電路。

通用之自激式振盪器 (self-excited oscillator) 凡有數種。其所應用之原理均為將板極電路之電能反饋入柵極電路中，此事可用電感，或用電容器具將一電路耦合於另一電路而達成。在超致差接收機中，往往用反饋線圈之反饋電路 (tickler feedback circuit) 作振盪器。此種振盪器既為標準之品，故將仔細討論之。

反饋線圈之反饋振盪器 為欲獲得所需頻率之一 a. c. 輸出起

見，應使用一諧振電路以調諧振盪器至所需之頻率。在圖 124 中，當電鑰開通後，即有一電流流過板極電路，亦流過線圈 L_2 而使磁力線與 L_1 鏈交(link) 并在 C_1 之兩端感生電壓。當繞組之方向選取適當時，此感應電壓即使柵極變負而減低板極電流之流動。至



此乃一電能供給組，調諧單位與變頻放大器。其裝置使各各個別電路均可置於檢驗之下，而所有構成部分均為可移動者。全為家庭工業之產品。

此，力線即行瓦解，而如此進行時，此等力線在 L_1 中復感生一極性相反之電動勢，使柵極具有一正電位，并使板極電流再流動一次。

此項活動繼續進行，其速率則可由 L_1 與 C_1 之組合發生諧振時之頻率定之。在此類型式振盪器最新式之一種內，更有有柵漏容電器組合 (R_1 與 C_2)，而應用此項偏壓控制法之結果，遂使無輸入電壓時柵極偏壓為零。當柵極為正時，柵漏上有一電位降落，其作用正如一偏壓。

如使柵極偏壓之負性更加增多，即可達一偏壓之值，所謂截止值，此時板極電流即停止不流矣。在自激式振盪器 (C 類放大器)

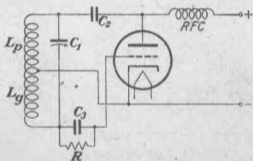


圖 125. 哈特來振盪器電路。

中，因偏壓適逢截止值之故，遂有若干板極電流為零之周期。此事即指明，若斯一類振盪器之輸出，其波形并非一正弦波。然諧振電路之具有低損失者固均有一種普通稱為飛輪效應 (flywheel effect) 之性質。此一效應之發生乃由一調諧電路在其電感周圍之磁場與其容電器之電場間往返傳能之能力。在板極電流截止期中電的振盪仍繼續不停，因而遂填塞了否則即可發生之空隙。為欲使波形儘可能近於所需之純粹正弦波起見，故調諧電路中與機蕊電路中之損失必須使之維持於一低值之下方可。然若此事

如不能達成，則此等損失即可將電路中之能耗去十足之一部分，而使出現於工作截止期中之振盪的振幅減小。

圖 125 中之哈特來振盪器乃一改良之反饋線圈之反饋電路，用一隻分接線圈 (tapped coil) 而不必用二隻線圈。

調柵調板振盪器 在反饋線圈反饋振盪器中，板極電路與柵極電路間之耦合乃經由二電感之磁力線的鏈交 (linkage) 而建立者。然亦可製成利用輸入與輸出電路間電容耦合之振盪器。調

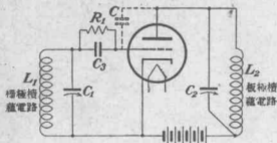


圖 126. 調柵調板振盪器電路。

柵調板振盪器 (tuned-grid-tuned-plate oscillator, 圖 126) 即若斯之一種電路。

一三極管之柵極與板極亦可認之為隔有一介體之二導體，由是以形成一容電器。此即圖 126 中以虛線畫出之容電器 C_4 ，比較巨大，且具有一相當的較之電路其他諸要素均不甚重要之電抗之值。故此一容電器，除用以供給偏壓予管外，在其他一切用途上，遂均可棄而不用。

如板極電路完全無缺，電子即由電池組流向陰極，通過空間而達板極，復經由電路 $L_2 C_2$ 而回至電池組。板極與陰極間之任何

電壓亦均可加於 C 及串聯之調諧電路 $L_1 C_1$ 上。一部分電壓在 C 上，一部分在調諧電路上。

就三極管言，此一柵板電容 (grid-plate capacitance) 十分之大，足使經由此電容而加於調諧電路上之電壓的大小以及板極



軍中技師在戰地修理無線電。

與柵極電路中諸電壓之相位關係適足以引起振盪。板極積蘊電路 $L_2 C_2$ 在振盪頻率下，則供給一高阻抗以造成該頻率下之極大電壓并使反饋電壓增高。

爲欲利用一振盪器之輸出起見，往往將輸出電路(板極積蘊電路)電容地或電感地耦合於負載之上。選定確當之電感與電容之

值，即可使能於轉移時損失極低。

當自激式振盪器中之輸出電路耦合於負載之上時，板極積蘊電路之諧振頻率即有變化。此項頻率之變化必須變更積蘊電路之調諧 (tuning) 以補償之。在無線電發送機中，頻率穩定 (frequency stability) 可僅用一小部分振盪器發出之能，並將振盪放大至所需之能的水準，而予以維持。

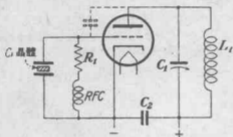


圖 127. 晶體振盪器電路。

晶體振盪器 在需要極端之頻率穩定時，可在振盪器中應用石英晶體。石英板及其支持函可認為乃一具有極高 Q 之諧振電路。最通用之晶體振盪器 (crystal oscillator) 與調板調柵自激振盪器大致相同，僅柵極電路中之電感與電容已為晶體及其支持函所代 (圖 127)。若認此晶體與一具有極低損失之調諧電路相當，則此項電路之作用即與調柵調板電路相同。

若干晶體板之振盪頻率常隨溫度而微變。此一性質正可用以維持振盪於一確實之頻率下，運用晶體於一能使晶體維持一定溫度之恆溫控制爐 (thermostatically controlled oven) 中即可。

問 題

1. 說明一管之本身何故非一 r-f 發生器。
2. 說明 r-f 槽路電路之幾論作用一詞的意義。
3. 一管之電路在何種條件下即行振盪？
4. 說明 r-f 振盪器可耦合於一負載上之二法。
5. 過載 (overloading) 對於振盪器有何效應？
6. 說明 r-f 振盪器中石英晶體之作用。
7. 說明廣泛之溫度變化對於石英晶體振盪器頻率之效應。
8. 說明一高 Q 電路在一 C 類放大器槽路電路中何故居主要之地位。
9. 說明一 r-f 放大器之 LC 比率何故必需正確。
10. 如何能確定 C 類 r-f 放大器偏壓之確值？

第十五章 真空管放大器

真空管可用為放大器，因表現有些微電能或毫無電能加於此管柵極上之電壓，對於發自一電能供給器而流於其板極電路中之一比較巨大之電流有能力加以控制之故。

在圖 128 所示之電路中，其真空管即當作一放大器而應用者。一放大級乃由一真空管及與其相結合之諸電路所構成，若斯一類

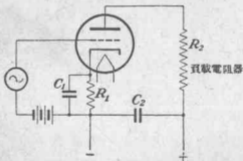
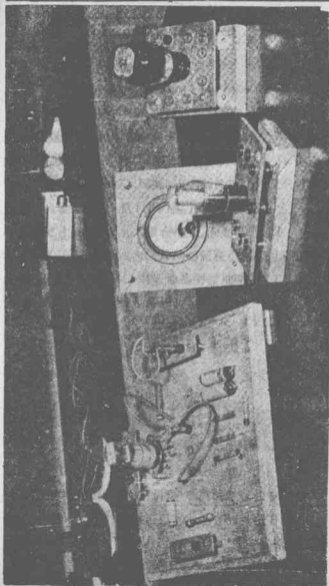


圖 128. 真空管放大器電路。

之放大器可佈置之，使其能在板極負載電阻器上發生一極大之電壓降落而對於此一電阻器中所消耗之功率不作任何之考慮，或則亦可佈置之使其能在板極負載電阻器中發生最大之功率。在第一種情形下，此項放大器即稱為電壓放大器 (voltage amplifier)，而在第二種情形下，則稱為功率放大器 (power amplifier)。



如何展佈設備。由左至右所示者為一隻真空管伏特計（此器應用一隻 6J5 型真空管，可加偏壓以得三種伏特範圍）；一隻 0-1 毫安培計；一塊“管板”（由 masonite 製成，各項連接均與“手冊”圖解相似）。

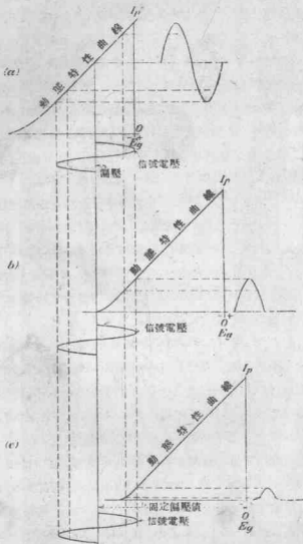


圖 129. A 類 B 類與 C 類放大器中信號電壓與板極電流間之關係。

放大器之分類 在圖 128 所示之電路中，真空管與電路可以稱為 *A* 類，*B* 類與 *C* 類之數種不同方式，加以此數種工作型式之若干種結合而發生作用。圖 129 所表者，即在 *A* 類，*B* 類與 *C* 類放大器中，信號電壓與板極電流間之關係。當放大器以 *A* 類 之方式工作時，柵極所受偏壓可使在信號電壓之全週 (entire cycle) 中均有電流流動。此類放大器可適於作無諧振之板極電路之聲頻放大器之用。板極電流在信號電壓全週中既均有流動，故無需一諧振電路之電的慣性 (electric inertia) 以維持其輸出。

在一 *B* 類 放大器中，柵極所受之偏壓使板極電流僅能在信號電壓週之一半中流動。故用此種放大器作聲頻放大器時，遂需有二隻推挽式 (push-pull) 之真空管，庶可將信號電壓週之兩半均可予以利用。惟在射頻放大器中，有單獨一管作 *B* 類放大器即可，此殆因諧振槽蘊電路在信號電壓之負的半週中有電的慣性之故。而聲頻放大器固無若斯之諧振槽蘊電路也。

在一 *C* 類 放大器中，柵極所受之偏壓，距截止甚遠，因而使板極電流僅在不足信號電壓週之一半中流動。柵極被驅而往正。此種放大器僅可用於有諧振槽蘊電路之電慣性供能而無板極電流流動之 r-f 放大器中，而絕不能用於 a. f. 放大器中，因於無板極電流流動時即缺少一諧振槽蘊電路可使之繼續活動也。

當一放大器所受之偏壓介於 *A* 類與 *B* 類者二值之間時，此放大器即稱為 *AB* 類 放大器。如此加以偏壓時，板極電流流動之時間即不足信號電壓週之全部，但超過其一半。*AB* 類放大器可用為聲頻放大器，且可為一已知之管，在犧牲一部分畸變下，發生高

的功率。其前驅策動級 (driving stage) 必為一功率級 (power stage)，可於柵極電路中在此等條件之下有電流流過，而驅柵極變正時，供應功率，而因此遂亦即功率消耗之處。

線性 r-f 放大器 (linear r-f amplifier) 為改良之 *C* 類放大器，乃調整後能使輸出電壓與輸入電壓成比例者。此項放大器可用以放大調幅信號而無畸變。

放大器亦可按其用途予以分類。有聲頻放大器，射頻放大器與見像信號頻率放大器 (video-frequency amplifier) 之分。見像信號頻率放大器用於電視中，如放大器能通過其頻帶 (frequency band) 中任何一極狹窄之部分，此器通常即為已調諧的。如此器能通過一比較廣闊之頻帶，則此器即為不調諧的。

電壓放大器 如欲為一負載獲取一大於一單獨真空管所能輸出者之功率輸出，可將數管貫聯 (in cascade) 應用。斯即謂，將第一管之輸出饋至第二管之柵極，再將此第二管之輸出饋至第三管之柵極，直至獲得充分之放大為止。每一後繼之管均可將前一管之輸出放大。因發生於板載電阻器上之電壓為柵極電壓之函數，而不必定為柵極功率之函數，故貫聯放大器中之各級，除最後一級外，均應為電壓放大器。最後之一級則必須能發出功率，因其恆須連接至一功率消耗構件，使之轉而從事有用之工作也。

欲一管之作用一如一真的 *A* 類放大器，則此管即必須具有一儘可能地筆直的動態特性曲線方可。因此，其所受之信號電壓遂絕不可大至足以驅柵極為正或將之驅向動態特性曲線過度彎曲部分。圖 129 中之 *A* 類曲線指明，如在最大負值下之柵極電壓能達

特性曲線之過度彎曲部分，則此項放大當受畸變，而若柵極變正時，功率即消耗於柵極電路上，此亦畸變之證據。

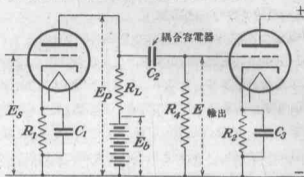


圖 130. 應用三極真空管之電阻耦合放大器。

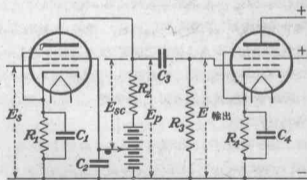


圖 131. 應用五極真空管之電阻耦合放大器。

當真空管依此一方式(真的 A 類)工作時，即必須將其輸出饋至依同一方式工作之第二管之柵極。此時有一適宜而經濟之方法即利用圖 130 與 131 中所示之電阻耦合(resistance coupling)是也。此項方法可使畸變達於極小之境。

電阻耦合級在一廣泛之聲頻範圍中可有一平坦之響應。換言之，即其能將一廣泛之聲頻範圍均勻地放大是也。其響應在極低與極高之聲頻下均可迅速退落。

射頻放大器之平衡 三極真空管在電路中如當作 r-f 放大器應用時，除非經由此管柵板電容之 r-f 反饋有法防止，當即發生振盪。容電器乃由隔有一介體時二金屬片所構成，故真空管中之金屬柵極，金屬板極與真空管當亦形成一容電器；此項容電器確屬不大，但頗有力。於是由此柵板容電器作用之充電與放電遂可引起輸入電路中之反饋。欲防止真空管諸要素之容電器作用 (condenser action) 可有數種方法；最通用者為應用一外路容電器於柵極與板極之間。此外路容電器可用一與充電於真空管諸要素之電壓有 180 度異相之電壓將之充電。是時，如外路容電器上之電壓適等於柵板電容上已發生之電壓，後者即完全為其平衡。

平衡容電器效應之第二法為應用一稱為屏柵 (screen grid) 之第二柵極於柵極與板極之間。屏柵受一正電荷，其功效足以阻止板極充電與放電。

前二法中無論何法均使真空管欲在一種自激的情況 (self-excited condition) 中工作近於不可能。此等方法僅可與 r-f 放大器同用於發送機與接收機兩方面。通常單獨有屏柵管雖已足可應付，惟在高頻與超高頻發送機中之相當條件下，則需再用一平衡容電器 (neutralizing condenser) 方可。

此二種平衡三極真空管之方法現示於圖 132 與 133 中。圖 132 說明柵極平衡法 (grid neutralization)。圖 133 示板極平衡

法 (plate neutralization).

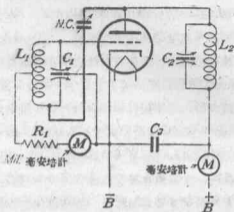


圖 132. 標準柵極平衡電路。

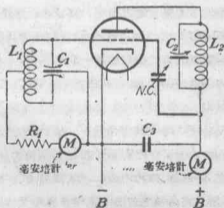


圖 133. 標準板極平衡電路。

放大器耦合 應用五極管時之電路佈置與應用三極管時僅微有不同。供屏柵一正電位，使之為正，但較板極之正稍差。由此

屏至地面之一旁路容電器則供給一通向地面之低電抗之路線。遏止柵極通常製造廠恆將之繫於管內之陰極上。在二電路中， R_L 均為輸出電壓發生於其上之板載電阻器。隔直流容電器(blocking condenser)，或耦合容電器常用以防止板極電池組之直流電壓加於以下一管之柵極上。柵漏電阻 R_C 須為一高極之值，方可使板載電阻器之電阻值不致因在耦合容電器之電抗與其上之柵漏電阻間加分路而受擾動，達於任何巨大之範圍。耦合容電器之電容亦應巨大，足以供給一低電抗於欲待放大之最低頻率。

在實際設計一電阻耦合放大器時，有若干因素必須加以考慮，其中最要者厥為真空管之選擇。五極管因能提供較高度之放大且對於高聲頻響應良好之故，往往為人所樂用。如用三極管則寧採高 μ 型者。在此二情況之任一情況中，每級之放大均永不能高出所用真空管之 μ 。耦合電阻器（板載電阻器）之值則必須能使其上由變動中板極電流所引起之 IR 降落足以推動次管之柵極方可。如板載電阻器上發生之交流電壓大於下一管之偏壓，柵極即行往正，柵極電流即行流動，而畸變即行產生。當板載電阻之值增加時，其上之 IR 降落亦增加。而因此項降落必須由板極電源電壓 (plate supply voltage) 中減去以得板極電壓之故，故可達一電阻值，能使板極電壓減至一點，不足以使其好好工作，而畸變亦於焉造成。但能應用而不致使板極電壓變為太低之電阻之值愈高，畸變即愈小。

在應用五極管之聲頻放大器中，依慣例，對於板極電壓之供應往往為電源電壓 (supply voltage) 之百分之 25 至 50。如用三極

管，則耦合電阻視該管之 μ 而定。用高 μ 管時，耦合電阻與該管之板極電阻大致相同。用中 μ 管時，板極負載電阻可二倍乃至四倍於此管之板極電阻。

聲頻功率放大器 在甫經討論之電壓放大器中，電壓輸出較功率更為重要。一隻A類放大器實際上可無需由策動源 (driving source) 取得功率，可認之為乃一電壓運用之機件。主動管 (driver tube) 之板極電路亦無需供給功率給予從動管 (driven tube) 之柵極。但每一發聲之聲機 (acoustic device) 固無不需要功率者。故在一功率放大器級中，板極電路設計時，遂須注意須使之能輸能至聲機方可。

功率放大器之特性，如追索由一電壓放大器以達一功率放大器之變遷，即不難了然。在一A類之電壓放大器中，有一微不足道之電流在柵極電路中流動，故前一管之板極電路遂無需輸送電能於此柵極。然如有一磁力式揚聲器或任何其他耗能之機件起而代替圖134中之柵極電路時，則此磁力式揚聲器之電磁鐵即需要有能，方足以激動揚聲器之電樞與膜片。此時， V_1 之板極電路即必須能發出功率方可。 V_1 本身既無能力可以發生任何功率，故其所能為力者，僅作為一可由電能供給中將能解放之舌門活動而已。

揚聲器電磁鐵具有若干匝之電線與一鐵心，故對於 V_1 板極電路中所出現之頻率可給予一高大之電抗，而因此遂可用以代替板極負載電阻器。一管由板極至陰極之電阻，可視流經其中者為直流抑交流而認之為一電阻或一阻抗。電磁鐵之電抗對於加諸其

上之頻率雖則較高，但其 d. c. 電阻則較為微小，而失於此管板極之電位降落亦屬不大。其功率之轉移，在負載之阻抗與此管板極之阻抗相等時為最大。

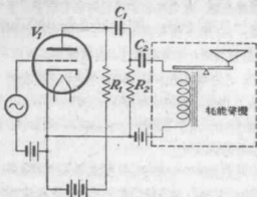


圖 134. 功率放大器電路。

功率放大器中之諧波畸變 最大之功率轉移，雖可於板極負載電阻或阻抗等於真空管板極電阻或阻抗之時獲得，但若斯一低板極負載電阻往往產生一屈曲太甚之動態特性曲線而生畸變。故為獲取足夠之功率轉移且同時獲取一頗為平直之動態特性曲線起見，遂須使所選之板極負載電阻器具有約大於真空管兩倍之電阻。然如欲在真空管板極電路與一動線圈揚聲器 (moving-coil loudspeaker) 之間獲得一滿意之耦合，即必須應用某種阻抗匹配機件 (impedance-matching device)，將兩倍於真空管阻抗之阻抗變換至 10 歐姆左右。若斯之一種阻抗匹配機件可用一變壓器充之。變壓器如此應用時，下列關係即可成立：

$$\frac{(\text{原線圈匝數})^2}{(\text{副線圈匝數})^2} = \frac{\text{原線圈阻抗}}{\text{副線圈阻抗}}$$

在用一 56 型真空管與一 9500 歐姆之板極阻抗時，變壓器原線圈之阻抗應為 19000 歐姆。副線圈之阻抗則應與口聲電流線圈之阻抗（即 10 歐姆）相同。如將此等適當之值代入，原方程式即變為

$$\frac{N_p^2}{N_s^2} = \frac{Z_p}{Z_s} \quad \frac{N_p}{N_s} = \sqrt{\frac{Z_p}{Z_s}}$$

$$\frac{N_p}{N_s} = \sqrt{\frac{19,000}{10}} = \sqrt{1,900} = 43.5$$

故此時須用一匝比 (turns ratio) 為 43.5 對 1 之變壓器。

如欲製造一真空管，使其能給予一完全筆直之特性曲線，無論為靜態的抑為動態的，均屬不可能之事。此項曲線一經脫離直線，是時板極電路中即有諧波 (harmonics) 發生。最惱人之諧波為第二諧波。如第二諧波之振幅多於第一諧波百分之 5，則其保真度就一般用途言，即不能令人滿意。

圖 135 中所示者為由一真空管特性曲線之過分彎曲所產生之一種諧波畸變 (harmonic distortion) 的情況。反射曲線 (reflected curve) 顯示信號電壓因特性曲線斜率之巨大差異所引起之不成比例的放大。如將板極電流曲線加以分析，即可見其乃由一基本正弦波，一極顯著之第二諧波與數個其他更加其小的偶諧波 (even harmonics) 與奇諧波 (odd harmonics) 所構成。特性曲線若一如理論上之平直時，其不呈畸變則示於圖 136 中。

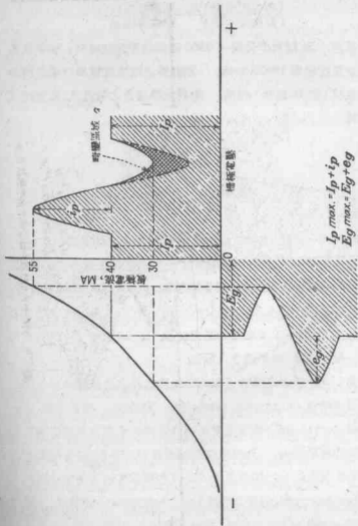


圖 135. 由一彎曲之特性曲線造成之畸變.

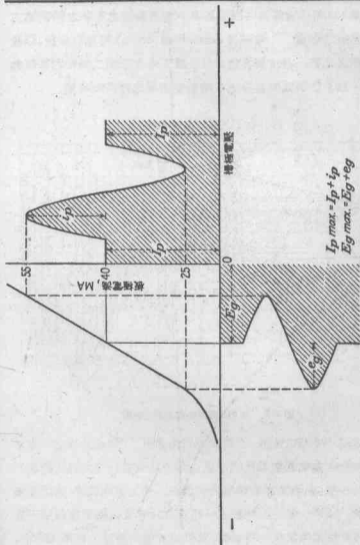


圖 136. 用一平直之特性曲線而得之無畸變放大。

圖 137 所示者為由一振幅為第一諧波振幅之百分之 50 的第二諧波造成之畸變。畸變波 (distorted wave) 可加以分析，以發現其所含之第一諧波與其他諧波。圖 138 表示第二諧波之振幅如為第一諧波之振幅的百分之 5 時所能出現之實際的畸變。

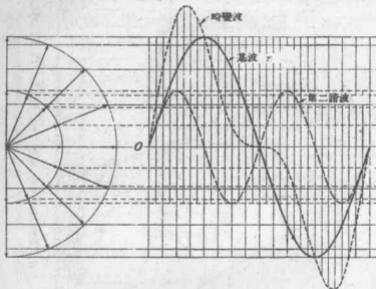
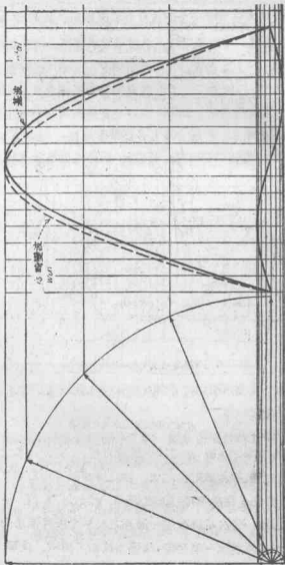


圖 137. 因第二諧波呈現而生之畸變。

欲減少畸變之成數，必須減少諧波方可。完成此事之一途或即增加板極負載電阻或阻抗之值，如此以減低特性曲線之曲率。但如此一來，未免使功率轉移減低過多。然如運用二管，使之背與背相對，以致一管在某時輸送一最高之功率至板極電路而另一管則完成此項工作於次一時刻時，諸偶諧波即可消滅。在圖 139 中，



98.

圖 136, 於第二階波之振幅為第一階波之振幅百分之 5 時所得之畸變。

of

二信號電壓發生器乃假定其能將有 180 度異相之極大電壓施於 G_1 與 G_2 之上者。加於各柵極上之諸電壓與偏壓之代數和使 G_1 對於其陰極有一 -1 之電壓， G_2 對於其陰極有一 -10 之電壓。而在此等情形之下， V_1 即有一巨大之電流流過其板極電路，在 R_1 上給子一巨大之電壓降落 E_1 。同時， V_2 受有高度偏壓之柵極則僅容一微小之電流流過 R_2 ，引起一微小之電壓降落 E_2 。而在次一時刻，則 G_1 即有一高偏壓，而 G_2 有一低偏壓，於是情況遂爾相反。

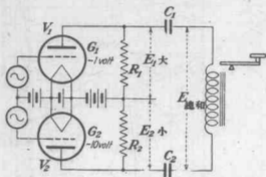


圖 139. 背與背相連接之二功率放大器。

由板極電壓來源引出之電流實際保持不變，因二管板極電流之和為一不變之值也。

板極電路中偶諧波之消除 圖 140 所示者為板極電路中第二諧波（最惱人之諧波）及其他較小偶諧波之如何消除。在變壓器整個原線圈中流動之總的交流乃來自 V_1 之板極電流與來自 V_2 之板極電流之和（圖 139）。如吾人將代表此二電流之二曲線相加，吾人即可發現綜合之結果乃一不具偶諧波畸變之曲線。惟亦仍

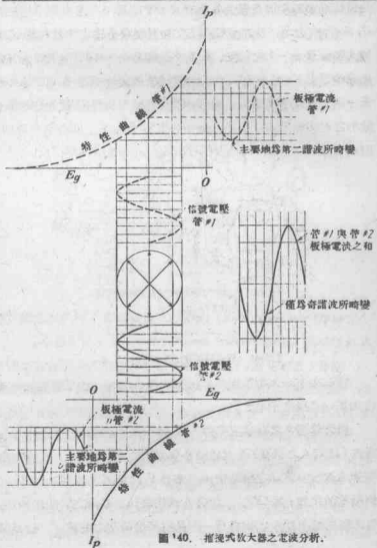


圖 140. 推挽式放大器之波形分析。

可有一些畸變產自奇諧波中也。

在圖 141 中，可注意者為 Z_1 中之板極直流在一方向而 Z_2 中者在另一方向。斯即謂：由此二電流所生之磁場，如二管及其電路等同，即相等而相反，且將互相抵銷，因此呈現於變壓器心中唯一之有效磁場遂為由 a. c. 成分所發生者。如此遂減少變壓器心

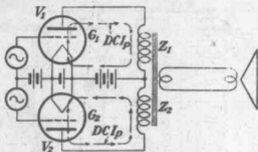


圖 141. 用變壓器原線圈代換板極電阻。

上之磁載 (magnetic load)，因而推挽式變壓器上所用鐵心遂可較單端變壓器 (single-ended transformer) 上所用者為小。

倒相 迄至此處， V_1 與 V_2 中之柵極仍認為乃由二發電器所策動，而此二發電器輸送至某一柵極之電壓與送至另一柵極之電壓有 180 度之異相。但實際工作時，亦可用二真空管代替此等理論上之發電器。在圖 142 所示之電路中， V_1 及其電路乃一慣用之電阻耦合電壓放大器，可以策動 V_1 之柵極。 V_2 同於管 V_1 ，其連接適可使之與 V_1 具有相同之板極電壓與柵偏壓。

假定信號正施一負電壓於 V_1 之柵極，使其板極電流減小。於是由於板極電流變化而引起之 R_1 上之結局的電位降落，在 R_1 接

板極之一端遂為正，而在接電能供給之處為負，此項供給 C_2 之正電壓在 $C_2 = R_2$ 組合中引起一電位降落，而同時加一正的信號電壓（對地面而言）於 V_1 之柵極，因 R_2 上之電壓降落在 C_2 接柵極之一側為正，而在接電能供給之處（地面）為負，故 R_2 上之點 A 對地面而言即可有一正的電位，此一電位之值可由點 A 之位置

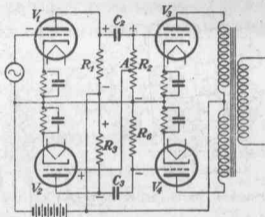


圖 142. 倒相。

決定，並可使其值等於 V_1 柵極上所受之信號電壓，如此遂加一正電位（對陰極而言）於 V_2 之柵極上。

V_1 與 V_2 之柵極現即受有相等但有 180 度異相之電位，此二電壓可認為與圖 141 中二發電器所供應者相同，此項設計即所謂倒相 (phase inversion)，僅為造成所需結果數法中之一法。

倒相亦可藉一輸入變壓器完成，圖 143 中之曲線所示者即沿一輸入變壓器副線圈之信號電壓分佈，此項電壓分佈指明 V_1 與

V_2 之柵極正受有等值但有 180 度異相之二信號電壓。

因藉電阻器完成倒相與用變壓器從事時可獲相同之結果，又因其便宜甚多，再因電阻器之應用可消除變壓器繞組與鐵心所拾取之可能的哼聲之故，電阻器法遂較為通用。

功率放大器之工作點 特性曲線上欲功率放大器在其處工作之一點稱為工作點 (operating point)，大半由可用之板極電壓來源與板載電阻器定之。此點須在動態特性曲線上決定。其所以

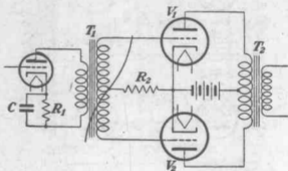


圖 143. 藉輸入變壓器而成之倒相。

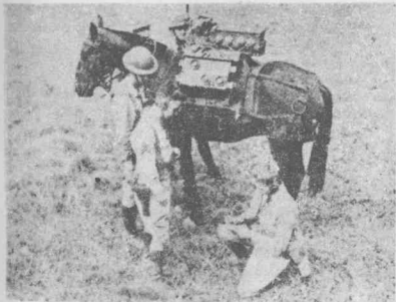
寧用動態而不用靜態曲線之故，即因動態曲線所代表者方為板極電路實有一板載電阻或阻抗之處的實際工作情勢。此動態特性曲線可在實驗室中畫成，在正待試驗之一管的板極電路中插入選好之板極負載電阻器，維持一固定之板極電壓供給，再畫出板極電流對柵極電壓之曲線即成。若就若干板極負載電阻之值作出此一曲線，即可見板極負載電阻器之值若增加，動態曲線即更加近乎水平，亦更平直。選用板極負載電阻器時此實應予記憶之一點也。

問 題

1. 放大器如何分類?
2. 用一組曲線說明放大器如何工作? 可選用各種放大器中之任何一種。
3. 每一放大器所完成之工作為何?
4. 何種放大器僅能用之於射電頻率?
5. B 類放大器可用於何種頻率?
6. 線性 $r-f$ 放大器可用於何處?
7. 畸變有何意義?
8. 畸變最普遍之成因何在?
9. 何故需使一功率放大器平衡?
10. 一 $r-f$ 放大器中之一五極管或一四極管需要平衡否?
11. 作一圖示板極之平衡。
12. 用何法耦合放大器?
13. 聲頻放大器需要調諧否? 試釋其故。
14. 用何法消除偶諧波。
15. 說明倒相之義。

第十六章 發送機

發送機 (transmitter) 乃一能在射電頻率下產生波形之能，并能將此種能向外輻射之機件。最簡單之發送機為一 r-f 發生器或振盪器，與一幅射系統或要素。在第十四章中曾述一事，即



馬在近代軍隊中仍屬有用；圖示美軍在 Arkansas 軍事演出中所用之輕便無線電收發機。

振盪器或 r-f 發生器有两大类。一即晶體振盪器或稱外路控制

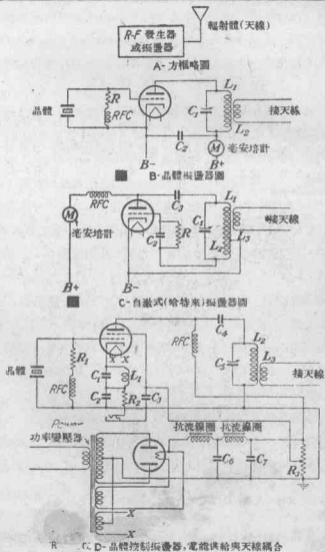


圖 144. 各型發送機。

振盪器 (externally controlled oscillator), 用於信號之穩定大為重要之時, 而另一為自激振盪器 (self-excited oscillator), 用於具有多種用途之器械中。在需要頻率迅速變化時可用自激振盪器。

如將一電鍵接於圖 144 內無論晶體或自激振盪器之陰極電路中, 發送機即可用以發報, 而一 cw 信號亦即可被輻射而出。在此種類型之發射(A-1)中, 發送機乃實際啓用與停閉者。如將一調幅變量器 (modulation transformer) 之副線圈接於圖 144 內 *B* 或 *C* 之板極電路中, 再以口聲頻率 (微音器) 或一 a-f 振盪器或純音發聲器 (電鍵) 發出之純音頻率策動此變量器之原線圈, 運用 mcw 之工作即可達成。前者之發射, 其類型為 A-3, 而後者為 A-2。

調諧振盪器 自激振盪器 (圖 144, *C*) 可將之調諧達一廣大之頻率範圍。每整定一次可變容電器 C_1 即可得一不同之頻率。振盪器可用不同之線圈組合 (L_1) 而使之更加易於改變 (得較大之頻率範圍)。欲使振盪器在一已知之頻率下工作, 勢需有一便於應用之調諧表 (tuning chart) 或訂正表 (calibration chart), 由之方可獲知各種不同頻率所須應用之容電器整定與線圈。在調諧手續完成後, 報務員對於振盪器是否正在發生所需之頻率并無確實之保證。欲核驗調諧之是否正確, 尙需應用一種頻率標準, 諸如頻率指示器 (frequency indicator) 之類。頻率標準往往為一穩定之晶體振盪器。晶體諧波, 一如其基波, 均可供利用。

晶體振盪器 (圖 144, *B*) 可藉板極電路中之毫安培計調諧之。

在燈絲與板極電壓業已加上後，即調整可變容電器 C_1 ，直至毫安培計指示最小之板極電流為止。惟如用一略大於極小值之一板極電流以使振盪器工作，亦未嘗不好。如此即可防阻振盪器於

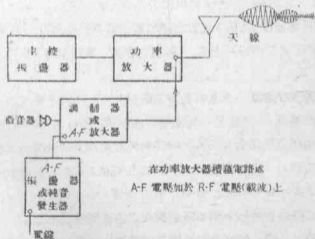
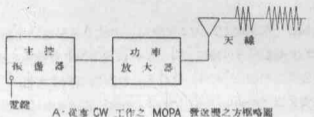


圖 145. MOPA 發送機。

發報時不致停止振盪。槽蘊電路 (L_1 與 C_1) 於板極電流在斜降處 (微微大於極小之電流值) 即在晶體頻率下諧振。

在輻射器與耦合系統中，並需建立適當之電的形勢 (electrical condition)，方可獲最佳之輻射。天線長度之計算容於第十八章中討論之。

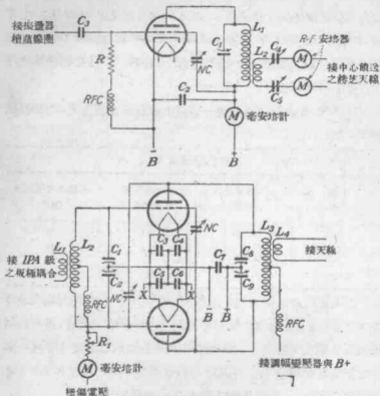


圖 146. 按 C 類(上)與 B 類(下)工作之功率放大器。

主控振盪器-功率放大器發送機 主控振盪器-功率放大器
(master-oscillator-power-amplifier, MOPA) 型之發送機常用

於需要中度功率與易變性(flexibility)之時。圖 145 所示者即若斯一種發送機之方框略圖。由振盪器單獨產生一約為 5 瓦之低功率信號。為欲將振盪器之能放大起見，可將信號電壓加於功率放大器級之柵極與陰極之上。功率放大器可使之依 *B* 類，亦可依 *C* 類特性曲線工作。圖 146 所示者為可耦合於圖 144 中諸振盪器之一上的一隻簡單功率放大器之電路圖。主控振盪器往往作自激振盪器之設計。

MOPA 發送機通常可藉一調諧表或訂正表調諧之，下即調諧表之一例：

應用範圍線圖 *B*

頻率 (仟週)	振盪器標度盤 整定	功率放大器 標度盤整定	天線負載標度盤 整定
4,000	15	42	38
4,235	23	50	46
5,025	40	74	50
5,875	63	92	64

在電壓已加於發送機之後即需調整功率放大器與天線負載標度盤之整定。此項標度盤雖可依調諧表作準確之整定，但內部情況仍可改變此項整定。故須調整功率放大器標度盤直至此一級中之板極電流為極小，并調整天線負載標度盤之整定直至 r-f 電流為極大而止。振盪器標度盤之整定則應勿改變。

三極真空管如用於功率放大器級中時，即需調整平衡容電器以使此級平衡。^{*} 然欲平衡一三極管放大器，首須截斷通至放大

^{*} 參閱第十五章。

器之 B+ 電壓，持一 r-f 指示器，諸如有一線圈相耦合之一 r-f 毫安培計，近板極電路，調整平衡容電器，直至毫安培計讀數為極小為止。在一推挽式放大器之場合中，各管乃分別使之平衡者，現可施用 B+ 電壓，再核驗板極電流極小而天線電流極大時之整定。

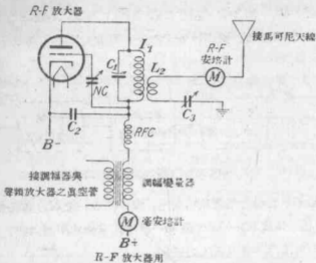


圖 147. 具有一接於 r-f 放大器積蘊電路上之調幅變量器之板極調制。

在某數種情勢之下，往往需要使發送機在振盪器諸諧波頻率之一上工作。情況若果如斯，可將功率放大器之積蘊電路調諧，以達所需之諧波。至於其他一切工作，則仍相同，惟通常因柵極與板極電路正在不同之頻率下工作，遂無需將此級平衡耳。

MOPA 發送機，可在諸級中有一級（通常為放大器）上加鍵，保證振盪器之穩定性，而由之使其得以 A-1 發射 (cw) 而工作。

惟如將調幅變量器之副線圈連接於放大器之板極積蘊電路之上時(如圖 147 所示),即可得 A-2 或 A-3 之發射。

多級發送機 多級發送機 (multistage transmitter) 有三級或數級:振盪器,緩衝器 (buffer) 或中介功率放大器 (IPA),及末級功率放大器。附加之一級或數級 (IPA) 乃用以增加發送機之輸出,或信號強度者。圖 148 所示即此一型放大器中之功率分佈。

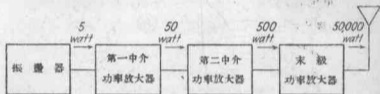


圖 148. 指明多級發送機中可能之功率分佈之方框略圖。

實際之功率值自視所用之電路而定。圖 149 示一標準之多級發送機,其中用一振盪器,一 IPA 級與一推挽式末級功率放大器。此一發送機可能有 500 瓦左右之輸出。

圖 149 中之發送機可依應用於 MOPA 上之一般原理將之調諧。各級之標度盤整定均可得之於一調諧表中。各標度盤一經調整後,即需將各級(除自激式振盪器場合中之振盪器)均行調諧以達最小之板極電流與天線中之最大 r-f 電流,而核驗其精確度。所有 d. c. 電計,除用於柵極電路中之諸計外,亦均須調諧以達極小之電流。惟柵極電路則須調諧之,以得極大電流。末級放大器真空管之柵極,因屬於 C 類工作特性曲線之故,有需巨大之電流值也。

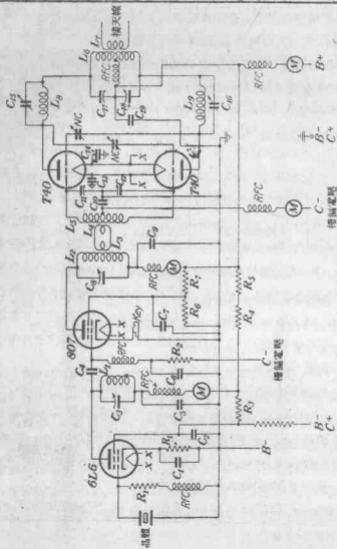


圖 149. 多級真空機。

C_{15} 與 C_{16} 二容電器之用於末級功率放大器電路中乃所以減少寄生振盪 (parasitic oscillation)。查驗此種情況之手續如下：減低末級放大器之柵偏電壓，這柵極電流在未受前級激勵下，增加約規定值百分之 75 左右。將 C_{11} 與 C_{12} 調整數次，轉動 C_{17} 與 C_{18} 二容電器通過其標度範圍，再仔細留意板極電流之突然變化。調整 C_{15} 與 C_{16} 以減小適所見及之板極電流的變化。如板極電流於 C_{17} 與 C_{18} 二容電器轉動之際，在 C_{11} 與 C_{12} 二容電器具各個不同之整定時，并無變動，此放大器即無寄生振盪。於是即恢復正常之工作情況，而此發送機即可按照所需之頻率靜待輻射矣。

圖 149 中之 IPA 級，因所用之管為一四極管之故，遂無需平衡。^{*} 但末級功率放大器則需平衡。前述關於 MOPA 之方法亦可應用；然如在功率放大器中有一柵極電計 (grid meter)，則亦無妨實施以下之步驟：將諸級調諧後，即截斷末級功率放大器之 B+ 電壓，再調整末級中各管之平衡容電器，直至板極積蘊容電器之轉動不再使柵極電計之指針運動為止。在平衡後并需作微度之調諧調整 (tuning adjustment)。

此 IPA 級有時亦稱為頻率倍增器 (frequency multiplier) 或倍頻器 (doubler)。在若斯之情況中，可將板極積蘊電路調諧，以達所需屬於基波之諧波，同時亦將末級調諧以達該一諧波。例如，振盪器可調諧至 5 mc，IPA 可至 10 mc，功率放大器亦至 10 mc。在此一情勢下，功率放大器即需平衡矣。

從事 cw 工作 (A-1) 時，可在 IPA 級之陰極電路中置一電

* 參閱第十五章。

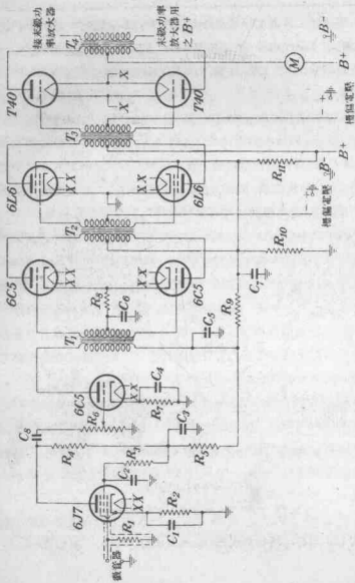


圖 150. 能與圖 149 中所示發音機同用之語音放大器與調幅器。

鍵。關通後之電鍵可使發送機從事輻射，而一開斷之電鍵則可阻其輻射。末級中諸管，較之從事 mcw 工作時，可使之在一較大之能值(功率輸出)下工作，因諸管并不連續工作也。

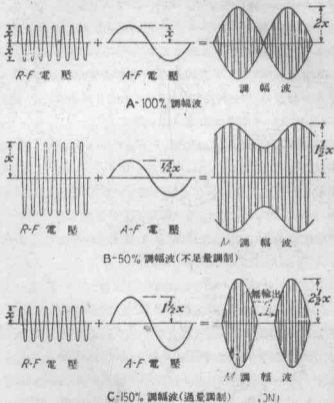


圖 151. 100% 之調制; 不足量與過量調制。

圖 150 示有一語音放大器 (speech amplifier), 一調幅器 (mo-

dulator) 與一調幅變量器 (modulation transformer)。後者接於末級之積蘊電路上。此調幅變量器接受來自調幅器之輸出，並加 a-f 電壓於末級積蘊電路處之 r-f 電壓上。調幅器則可用一加鍵 a-f 振盪器 (純音發生器) 或用一微音器策動之。所示之調幅器施於末級積蘊電路上之一 a-f 電壓可調制載波百分之 100。如此項 a-f 電壓太大，即造成過量調制 (overmodulation) 之現象。如 a-f 電壓過小，即造成不足量調制 (under modulation) 之現象。調制之百分數可應用一示波器 (oscilloscope) 作圖計量之。圖 151 示有 100% 調制，不足量調制與過量調制。

天線鏈交與耦合以及阻抗匹配 (impedance match) 中如應用正確之匝數，天線即可由末級功率放大器中取得適當數量之能。適當數量之板極電流則為所用各管之規定的板極電流。如天線負載後，僅有 150 ma 之板極電流流動，而原管應具有 200 ma 之規定的板極電流時，負載即未完全。於是遂須再作附加之天線耦合調整，以使板極電流達 200 ma。

振幅調制 在圖 147 所示板極調制之簡圖中，*C* 類級中板極電路之直流必須通過調幅變量器之繞組。聲頻放大器之輸出可在此變量器之繞組上感生一電壓。當一 *C* 類放大器經適當調整時，其 r-f 輸出電壓與板極電壓成正比。而板極電壓乃由變量器而來之 a-f 電壓與電能供給之直流電壓之代數和。如變量器電壓等於板極電源之電壓，則板極電壓於此二電壓極性相反時即變化於零之間，而於二極性同向時，則雙倍於正常電壓。故實際上，須作一種調整，使真空管能在稍小於此全部範圍之範圍中工作。

頻率調制 頻率調制乃無線電廣播中新成就之一。圖 152 中所示之電路含有一真空管振盪器，與調板調柵電路相似。調整板極積蘊容電器 C_1 ，置工作頻率於所需之點。此一型式之振盪器工作時之頻率，由板極積蘊電路之 LC 值決定。如容電器 C_1 之電容變動，則電容減少時，振盪器之頻率增加，而於電容增加時減少。微音器容電器 C_2 含有二極薄之金屬板，中間隔有空氣，以作介體。此二板間之問隔，從而其電容，均可因膜片上所受聲波引起之空氣

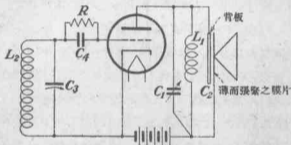


圖 152. 容電器微音器電路。

壓力而變化。容電器 C_1 與板極積蘊容電器並聯，因此，發送機之頻率遂可隨正發送之口聲頻率而變化。

在信號之接收中，往往應用一項事實，即一調諧電路之響應在諧振時最大，而於頻率脫離諧振之值時減少。一接收機，如將之調諧，使未經調制之頻率正在調諧電路之諧振曲線之中途，則頻率之變動在板極電壓與板極電流上即可造成相似之變動。此項響應頻率調制信號 (frequency-modulated signal) 而起之變動復可藉適當之真空管電路將之轉化，以控制一 a-f 放大器之輸出。惟

在實踐上，此處所述之方法並不應用。所用者乃一需要若干真空管之一更加複雜之方法，惟前述者仍可作為使人明瞭此一型式發送之各要素之助。由此可知，頻率調制乃改 a-f 電壓變化為載波頻率變化之一種方式。

圖像之傳遞 在用無線電作圖像，印件，及其他圖解資料之電傳真跡(fascimile transmission)中，須用一光電管(photoelectric tube)與一光學系統(與圖 153 中所示相類者)相接。

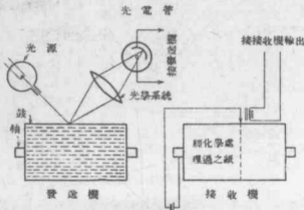
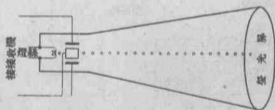
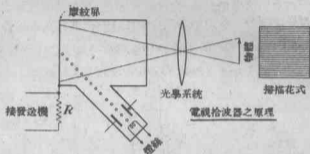


圖 153. 電傳真跡及其接收。

電傳真跡方面所用之發送機與一標準無線電話發送機相似。當發送機處之鼓(drum)轉動時，圖像上之明亮部分與黑暗部分使所生之純音得按光強而變動。光電管在一螺旋裝置上活動，而圖像掃描(scan)於一連續之螺旋線中。兩鼓均可由一精妙之制度使之在同一速率下轉動，其描畫針(stylus)與光電管之相對位置在兩鼓上亦復相同。當光電管由圖像之黑暗部分無反射波可

接收時，即無電流流動。此事如竟出現，有一種裝置即可使描畫針壓於敏化紙 (sensitized paper) 上，在其處作一記號。明亮之處所則引起一電流流動，而描畫針則不留記號。所有有記號以及



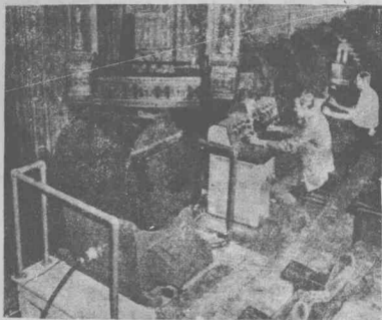
電視拾波器與接收機原理

圖 154. 電視拾波器與接收機原理。

未有記號各部分之和，經適當安置，即可將此圖像再現矣。

電視 無線電最新應用之一為電視 (television, 圖 154)。在發送機處將正欲電視 (televise) 之物照亮，而其像 (image) 即落在一稱為光電發像管 (iconoscope) 之特殊電子管 (electron tube) 中之一屏上。此屏即所謂摩紋屏 (mosaic)，其表面曾用化學藥品作特殊處理，以致分裂成無數微小而活動之部分，此事亦即摩紋面

一名之所從出也。製造此屏之材料乃光射的 (photoemissive)，意即激之以光時即可拋出電子之謂。此項電子損失於是使各個微粒均具一渺小之正電荷。而此項電荷則與微粒由正待電視之物之一微小部分所獲之照度成比例。如是，反射於摩紋屏上之一



裝置於紐約大戲院洋台上之電視投射設備，可將 15×20 呎之圖像投射於 60 呎遠處之幕上。有鋼罩之投射器在前，而其右為圖像與聲音之控制檯。

圖像遂可使此衆多藐小之微粒所具之電荷與擊中各個分離微粒之光成比例。光電發像管之電子注 (electron beam) 接於一真空管振盪器上，此振盪器可使之在—一定之花式中前後進行，以致在

已知之一段時間中，此電子注可前後曲折而行，且由上至下，直至遍歷全部圖像而止。此項動作即所謂掃描(scanning)是也。

圖像上密佈一條條之線。當電子注擊中摩紋面時，摩紋面即拋出其電荷，給予光電發像管之板極，而此項電荷即在耦合於光電發像管之板極，而用以調制發送機之 R 上產生一電位降落。在調制中，同時亦包含整步脈衝 (synchronizing impulse)，使發送機與接收機中之電子注整步 (synchronize)。接收用陰極射線管屏上之光強受發送機處摩紋屏上各個微粒所放棄之脈衝所控制。因此，圖像在接收機處遂分裂成爲成千成萬個微小之微粒，而結果在接收機上復被綜合於一處。

問 題

1. 何故所有新式廣播發送機均爲石英晶體控制式者？
2. 說明緩衝放大器 (buffer amplifier) 之意義。
3. 吾人對於設計良好之 B 類 $r-f$ 放大器之效率可有如何之期望？
4. 吾人對於設計良好之 C 類 $r-f$ 放大器之效率可作如何之期望？
5. 功率放大器之效率的意義爲何？
6. 說明調制一詞。
7. 作一簡圖表明頻率調制之基本理論。
8. 說明槽極調制與板極調制之分別。
9. 試述調制器中畸變之一種來源。
10. 說明一 C 類單端式放大器在 $a-f$ 放大器中何故不能令人滿意。

第十七章 電波傳播

天線乃用以將 r-f 能輸入電場與磁場或電波中之一種構件。此等電波自天線出發，以每秒 300000 km (300000000 米) 或 186000 哩之速率進行，通過空間。彼等亦可遭受反射或折射一如電磁譜 (electromagnetic spectrum) 中他種之波。

無線電波之特性 一電波中之能常等分於電的與磁的成分之間；此二成分互成直角。而波之進行方向又與此二者均成直角。電波之強度通常則由與磁的成分成直角而屹立之導體中所感生之電壓以計量，並可以每米長導體之微伏特 (microvolt) 表之。

偏極化學說 (theory of polarization) 即環繞此等磁成分與電成分而創立者。一波偏極化之方向則決之於力線之方向。如電場之方向為水平方向，則此波即為橫偏極化者。另一方面，如電場之方向為垂直方向，則此波即為縱偏極化者。至於波之偏極化究取何途則由發送天線之位置定之：對地面作水平狀之天線可發射一橫偏極波。

當在低頻率下發送時，順地面進行之電波可保持其據以傳播之偏極化作用；但在高頻率下，當電波離天線前進時，偏極化作用即行改變。

游離層中之各層 由天線出發，沿地面進行之波即所謂地波

(ground wave)。而在地面上空以一種角度向上進行之波則稱為天波 (sky wave)。天波之方向恆受大氣上層中有一層氣體所影響；此一層氣體具有變化無定之游子密度，稱為懇涅勒-赫維賽德層 (Kennelly-Heaviside layer)。擊中地球上空高處之空氣的太陽輻射 (solar radiation) 可將空氣游離，意即將空氣中各種氣體原子外層中之電子打出之謂。此等自由電子即形成一層，能以

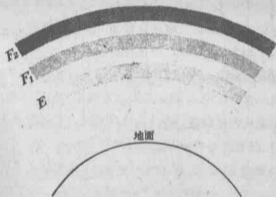


圖155. 游離層中之各層。

折射無線電波。在晝間較之夜間，上層空氣可暴露於更多之太陽輻射之前，因而游離化之一層在日間透較厚，且距地球亦較近。

此種游離化之氣體區域即所謂游離層 (ionosphere)，由不同之數個層次構成。諸層次中，最重要者有 E 、 F_1 與 F_2 諸層 (圖 155)。 F_2 層，因其離地之高度較大之故，在三者中為最高度游離化了之一層。各層游離化之程度對於前來與彼等相遇之電波的行爲具有決定性之影響。游離化之程度愈高，一波之被折射也亦

愈甚。就一已知之游離密度 (density of ionization) 言，折射度亦隨波長而變化。

E 層保持一近乎不變之高度，在 65 與 75 哩之間，其每日變化與季節變化均微乎其微。 F_1 層經常高 125 至 150 哩，亦僅有一微小之日變或季變。 F_2 層在 150 至 215 哩高度之間，頗有變動巨大

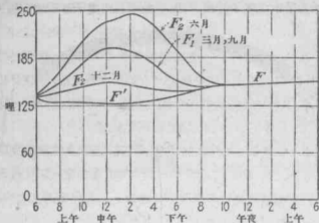


圖 156. 恩涅勒-赫頓賽德層之高度變化。

之日變或季變。夜層 (night layer) 即 F' 層，通常之高度為 150 哩，僅顯有中度之日變與季變。

E 層與 F_1 層之密度亦依照有規則之日變與季變之週期而變化，中午最大，早晚各時下跌。夏季較冬季，此二層亦似有一較大之密度。 F_2 層之最大密度亦顯示一更大之每日與季節之變化。游離化之程度亦隨季節，隨每日之時間而變化。圖 156 所示者即高度對時間之曲線。

在每日變化與季節變化之外，電子密度復有一長時間之變動，似與 11 年之太陽黑子週期有密切之關係。最大之電子密度出現於太陽黑子最活動之時期。惟各層之高度則不似受有太陽黑子週期之影響，雖則 F_1 層時或失蹤不見。

電波在不同頻率下之行爲 一波之頻率足以決定其在一已知之電離層情況下之所作爲。在低頻率，15 至 550 kc 之下，地波因其衰減 (attenuation) 不高之故遂大有用處。因此，在普通之可達範圍 (coverage) 內，遂採用低頻率與中頻率。較低頻率之天波在不過輕微地穿入電離層並受有輕微之損失後，即遭受折射，復回地球。但地面對於此一範圍之頻率，其作用又猶如一優良之反射鏡，復將此項天波反射，驅之復返電離層。

頻率一經增加，地波之衰減亦行加甚，因而其用途遂受限制。在頻率範圍介於 500 與 1500 kc 時，天波在白晝可以完全衰滅。此即長距離廣播訊號白天接收不良之故。然此項天波之衰減固隨電離層之情況而變動甚大也。

在 1500 至 30000 kc 高頻率之下，地波之衰減甚劇。在此一範圍中，通訊幾全部依仗天波與游離層折射天波返回地球之能力。地球之作爲反射體，對於高頻率與對於極低之頻率雖則并不一般的良好，惟信號在抵達遠方一接收機之前，在地球與游離層之間仍可作數次之“漫遊” (hop)。

在超高頻率之下，地波即歸於無用。日間在大於 25000 kc 之頻率下，而夜間在 10000 至 20000 kc 頻率下，電波可通過游離層而不受折射。故就此等頻率言，可用之距離遂爲切線距離 (tangent

distance), 有時亦可稱之為視線距離(line-of-sight distance)。地平線既受地球之彎曲所限, 故發送天線或接收天線, 甚或二者一起之高度遂須增加, 俾可為視線傳遞(line-of-sight transmission) 獲得較大之距離(圖 157)。在地面上, 達於地平線之距離可用方程式

$$D = 1.32\sqrt{h}$$

計算之; 此處 D 為切線距離之哩數, 而 h 為發送點高度之呎數。

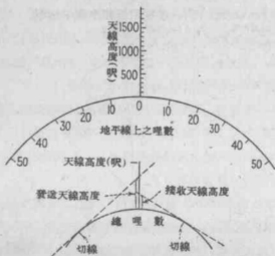


圖 157. 決定至地平線之光徑長度與超高頻率傳遞之可能抵達範圍的方法。

超高頻率之電波偶爾在地面上 10000 呎左右高度之處亦可遭受輕微之折射。此項折射雖小, 仍可使電波返回地球上一大於視線距離甚多之距離處。此種低水平折射 (low-level refraction) 咸信其乃由各種大氣情況而不必由於一種游離層情況所生。

問 題

1. 無線電波之本質如何?
2. 無線電波傳播之速率如何?
3. 說明偏極化一詞之意義。
4. 試舉輻射天線周圍能場兩成份之名。
5. 試舉游離層中各帶之名,并以地球為準,確定其位置。
6. 游離層中之氣體在何種情況之下? 造成此種情勢者又屬於何種能源?
7. 在無線電工作中,那一帶之頻率視為低頻率?
8. 一高頻率天線有 75 呎高,試計算其電波傳播之切線距離。
9. 說明游離層在一 24 小時之期間中的變化。
10. 說明游離層在一 1 年之期間中的變化。

第十八章 天線

天線系統可由一單獨之導體起變達一組衆多之導體，且可設於遠離地面之高處，亦可設於地面之上。型式最簡單之一種天線即一其長足容電荷於一個 r-f 週期中，由一端行至另一端，再復返於該端之導體。故此種天線系統即一半波導體 (half-wave conductor)，具有感抗，容抗與電阻。此諸常數分佈於其全部長度之上，而不必如在一積蘊電路中之集中於一點。在若斯一種導體中之電流於感抗與容抗相等且相反，即諧振之際為最大。諧振時，導體周圍之 r-f 能場最強。此乃用天線從事良好輻射時必需條件之一。

現時無線電中所用之天線有兩大類別。赫芝天線 (Hertz antenna) 乃不接地之天線 (ungrounded antenna)，通常即一電線，其長等於欲待輻射之電波的波長之一半。馬可尼天線 (Marconi antenna) 則為一接地之天線 (grounded antenna)，通常為一長為欲待輻射之電波的波長之四分之一的電線。赫芝天線又往往為一水平輻射體，而馬可尼天線為一垂直輻射體。此項不接地之天線，於頻率等於半波倍數 (half-wave multiple) 時諧振，而接地天線則於頻率等於四分之一個半波長之奇數倍時諧振。

半波諧振天線之長度 假定有一發送機，工作於某一已知之

頻率下，則在此頻率下之波長 λ 當為波之速度除以頻率之每秒週數。無線電波之速度既為每秒 300000000 米，故

$$\lambda_{\text{米}} = \frac{300000000}{\text{頻率(每秒週數)}}$$

因“能”在電流之每一週中均由電線之一端行向其另一端後，復返於此端之故，用作一已知頻率之諧振天線之電線，其長遂可用 2 一除波長而得。欲求半波諧振天線長為幾呎，可用下舉之步驟：

$$\begin{aligned} \lambda_{\text{米}} &= \frac{300000000}{\text{頻率(每秒週數)}} \\ &= \frac{300}{\text{頻率(兆週)}} \end{aligned}$$

用 3.28 呎作 1 米之長，於是

$$\begin{aligned} \lambda_{\text{呎}} &= \frac{300 \times 3.28}{\text{頻率(兆週)}} \\ &= \frac{984}{\text{頻率(兆週)}} \end{aligned}$$

但最短之諧振電線 $= \lambda/2$ 。

$$\frac{\lambda_{\text{呎}}}{2} = \frac{984}{\text{頻率(兆週)}} \times \frac{1}{2}$$

$$\text{長度(呎)} = \frac{492}{\text{頻率(兆週)}}$$

惟此值僅於天線高懸於自由之空間 (free space) 中，且具有完全之絕緣狀態時，方屬有效。然此等情勢在實踐中既無法實現，故訂正之舉遂不可少。已受支持之天線，其末端處之絕緣體適與

一容電器之行徑無異，天線之作用如一導體而天線支柱之作用如另一導體。因此，天線末端處之電流遂不降至零點，其電流入末端電容 (end capacitance) 中之電流也。此項由絕緣體引起之效應即所謂末端效應 (end effect)。末端效應可使半波諧振天線較之在自由空間中之同一天線縮短約百分之 5 (以有形長度為準)，於是方程式現遂變為

$$\begin{aligned} \text{長度(呎)} &= \frac{492 \times 0.95}{\text{頻率(兆週)}} \\ &= \frac{468}{\text{頻率(兆週)}} \end{aligned}$$

此值在所有實際工作方面均已足夠精確矣。

電壓分佈 天線準備就緒後，即須將之耦合於發送機之板極積蘊電路上。此項發送機發生 r-f 能，並將之放大。當天線系統受適當饋電時，此能即輻射而出，成無線電波之狀。

在一串聯 d. c. 電路中，通過任一點之電流，其值均與其他任一點處之電流等同。此事即就僅有電阻之一電路中之交流言，亦復無誤。惟對於一具有感抗或容抗之 a. c. 電路則不復真確矣。

半波天線在其兩端處所具之電流為零，因如不為零而將之維持於高於零之一值，則須有一物事可容電流流入也。電流在天線中點處最大，而如由電線之電阻，輻射，或由通達鄰近物體之平行電容路徑并未獲得若何之損失時，其分佈當即如一正弦波焉 (圖 158)。

電壓在理想之情況下亦當取一正弦波狀之分佈。天線上之電

壓與電流應有 180 度之異相，在一具有集總 (lumped) 電感與電容之電路的場合中即屬如此。於是，在電流為零之兩端處，電壓達為一極大，而在電流為極大之中點處，電壓為零 (圖 159)。

極大電流

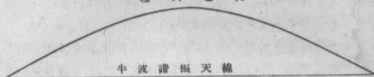


圖 158. 半波諧振天線中之電流分佈。

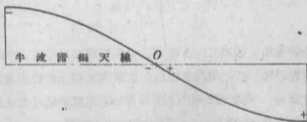


圖 159. 半波諧振天線中之電壓分佈。

天線電線之阻抗 任何電路之屬於集總型 (lumped variety) 者，其阻抗之求取，均可用通過其中之電流除跨於其上之電壓而得 ($Z = E/I$)。在一具有各項分佈常數 (distributed constant) 之電路中，吾人實無法使電路不受測量設備所擾動達一能使其結果高度不正確之境地，而量得此等電壓與電流。再加以若斯一類之報告在實際工作方面事實上亦并無大用，故吾人遂不妨多多注意，求取天線中某一特殊點處之阻抗。

在天線之兩端處，電壓均極大而電流為零。故如有一確定之

電壓無力產生一相當之電流時，則顯然可見，其阻抗必須為無限大方可。電線之中心，如愈益接近，電壓即愈變愈小，而電流愈變愈大。此即含有阻抗變小之意，因一較小之電壓竟可能產生一較大之電流也。在天線之中心處，阻抗中之電抗部分即形消失，而電路之活動遂猶如其僅為一電阻者然。

將天線在其中點處耦合，此乃一普通之習慣，因將天線（負載）匹配於發送機（能源）時，僅需考慮其電阻成分之故。惟在天線上其他某一地點作成耦合非僅完全可能，有時亦有此需要，不過，若斯之一種安排需要阻抗中之電阻成分與電抗成分能同時接受匹配方可。

輻射電阻 天線有一最重要之特性即其輻射電阻（radiation resistance）是也。用以克服輻射電阻之能在天線之週遭產生一有用之能場。此一因素之呈現與其相當之功率值可用一振盪器示之，此振盪器須能輸送 25 或 30 瓦之 r-f 功率，并有二根與一線圈，一容電器及一 r-f 安培計相串聯之電線與之耦合。是項組織之長度須使之能被調諧與振盪器諧振方可（圖 160）。電流於電路與振盪器諧振時可升至極大值。

假設在此等條件之下，r-f 安培計指明 1 安培。使二根電線分開，至二者立於相反之位置為止。當移動二線，使之更加遠離時，須調整功率，保持一 1 安培之電流，使之不變，并由振盪器中引出更多之能。現電路既為諧振電路，其感抗與容抗遂爾中和。至電阻成分則無變更，惟已加之輸入能正消耗於克服某一新電阻之中。換言之，即此一系統之有效電阻業已變更耳。於二線完全散

開時，如由振盪器中引出兩倍多之能以維持 1 安培之電流，則有效電阻亦即增高一倍。此一部分之電阻，加上此系統之固定電阻，即所謂天線電阻 (antenna resistance) 也。一切能加於發送天線上之特性對於接收天線亦復有效。

凡一導體為一運動中之磁場所截時，在該導體中即有一電動勢感應而生，此電動勢又轉而發生一第二能場，亦圍於導體之四周。

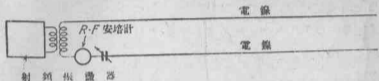


圖 160. 兩電線平行而散開時，決定輻射電阻之方法。

若此導體成一天線之形式，且離開從動天線 (driven antenna) 之距離適可使其能場與發自從動天線之能場同相，則輻射之方向即可加以控制。如斯之非從動天線 (non-driven antenna) 即所謂寄生天線 (parasitic antenna) 是也。

問 題

1. 一半波諧振天線在一已知頻率下之長應如何？
2. 在天線中何種條件之下，一輻射天線之四周方可發生一最大之能場？

3. 寫出一數學式子，將波長用頻率與速度表出。
4. 寫出一數學式子，可用以決定諧振半波天線長度之吸數。
5. 作一草圖表明一諧振半波天線上之電流分佈。
6. 作一草圖表明一諧振半波天線上之電壓分佈。
7. 說明覆波天線 (multiple-wave antenna) 一詞。
8. 為一天線之輻射電阻下一定義。
9. 解釋寄生天線一詞。
10. 吾人將“調相” (phasing) 一詞應用於從動天線與寄生天線之上時，作何意義？

第十九章 傳遞線路

傳遞線路 (transmission line) 之唯一功用為以一極小之損失，由一 r-f 發生器將能傳達一天線。前在第十八章中曾假定天線乃處於自由空間之中者。但在實際施行時，如欲將一天線直接耦合於一發送機上，而同時須使天線遠離鄰近之物體(包括發送機在內)，幾為不可能之事。故天線之懸置於空中，唯有儘可能地遠離四周各導體，并用一傳遞線路將之連接於發送機上。此項傳遞線路之型式雖有數種，但可歸入二大類，調諧的與不調諧的。不調諧之線路有時又稱為無駐波線路 (non-resonant line)，而調諧線路稱為有駐波線路 (resonant line)。此二者之差別大半在調整方面。

開端與捷路線路 任何數目之相鄰電線對於所受之電動勢均呈有一特性阻抗 (characteristic impedance)。此項阻抗乃諸電線之直徑及其間之間隔的函數。在一切實際設施上，一雙線線路 (two-wire line) 之特性阻抗可表之如下：

$$Z = 276 \log_{10} \frac{b}{a} \text{ 歐姆}$$

此處 a 為各導體之半徑而 b 為各導體中心間之間隔。因 b/a 所表者僅為一比率，故量度單位可為厘米，亦可為毫米，或吋，僅須 b 與

a 二者以同一單位計量即可。

當加一 r-f 電位於一開端傳遞線路 (open-end transmission line) 之一端時，此線路沿線之電壓在此開端處最高。在圖 161 中，在四分之一波 (quarter wave) 之偶數倍 0, 2, 4, 6 與 8 處均有電壓波腹 (voltage loop) 即最大電壓點。而在四分之一波之奇數倍 1, 3, 5 與 7 處均有一電壓波節 (voltage node) 即最小電壓點。反之，四分之一波之偶數倍 0, 2, 4, 6 與 8 處則為電流波

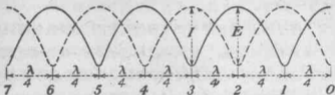


圖 161. 在四分之一波之偶倍數處之電壓波腹。



圖 162. 在四分之一波之奇倍數處之電壓波腹。

節 (current node)。四分之一波之奇數倍 1, 3, 5 與 7 處則為電流波腹 (current loop)。若線路之末端加有捷路時，其電壓與電流之變動亦如在開端線路中然，惟將移轉 180 度耳 (圖 162)。

波腹與波節在一導體中之此種分佈謂之為一駐波 (standing wave)，乃由波自此線路遠方一端反射回至波源及其由波源可能

再度反射回至線路中而成。在一低度損失之電路中，對於高電壓與高電流之發生無可卸職者，即波之此項前後往返之旅行也。當線路經適當調諧時，此等波復相互同相，因而其效應遂為併合的 (additive)。

無線電波之反射與光波之反射遵從同一之定律，在其中均需要傳遞介質 (transmission medium) 有一明確之變化。此項變化，在光波方面，可由鏡供給，而對無線電波呈現相似之變化者則為一線路之開端。

在加有捷路之線路 (short-circuited line) 之場合中，吾人可認電波從一線走下，再在另一線上回轉。在位於對面一線上之電波亦復通過，以遵從此同一之規則之地點，二電壓必須為零，方足以阻止局部捷路電流之流動。因此，此項線路遂須就此一場合作不同之調諧，以提供一電壓波節於此線路加有捷路之一端。

或則，換用一法，即用一斷路 (open circuit) 或開路 (closed circuit) 作若斯一種傳遞線路之末端。將其兩遠端連接經由一具有此線路之特性阻抗數值之電阻，則在此線路中進行之電波中的能即消耗於此電阻中而電波即不受反射焉。如此進行時，所得之工作特性曲線 (operating characteristics) 即可與此線路擴展達一無限長度時所可得者相同。在此一情況中，即無駐波之可言，而電壓與電流之值在此線路之全長中當即固定而不變。

傳遞線路之調諧 在天線上欲供之以能之處所的電阻業經算得後，即可設計一傳遞線路，此線路須具有一特性阻抗，等於此天線在該點處之純粹電阻。於是，在電壓與電流之間，因匹配有誤

之故，一經現有任何相角之際，此線路即開始顯有諧振特性，其活動趨於複雜，而傳遞之效率減退。

一有駐波即調諧之線路，其效率往往較一無駐波之線路為小，因其輻射較多之能故也。惟通常因天線位置之自然環境以及使之工作容易之故，仍可用有駐波之線路。

同軸電纜 圖 158 與 159 中所示之電流與電壓之分佈僅涉及線路中之一線。單獨之一線雖輻射有能，但此種輻射之大部分則遭遏止，因有另一線含有作 180 度異相之能，從而二能場遂相互抵消也。輸電線 (feeder) 之輻射，其全部遏止雖不能實現，但若斯之一種輻射，在應用同軸或同心之管狀線路 (coaxial, or concentric, tube lines) 并不困難之處，仍可使之降低以達一值。

同軸線路幾恆由軟銅管系 (soft-copper tubing) 作成。在其中兩導體不再相互并列，代之而起者，乃一導體置於另一導體之內部。因外層導體，可將之接地，且能完全掩護內層導體之故，輻射遂無由發生。此二導體可均作管狀，一管在另一管中，或則，一同軸線路亦可將一電線置於一管內而成。惟電線須與管絕緣，且須居於管之中央。管內尤不可任濕氣侵入，方可獲最佳之結果。

同軸電纜 (coaxial cable) 可埋入地下，亦可懸於地面上空。為避免濕氣凝結於此線路之內壁起見，普通實行時，往往將此線路中充以乾燥之氮氣，并使之達一將近每平方吋 35 磅之壓力。鄰近之金屬物體不致引起損失，因此，此項電纜儘可在水管或在升降機軸中通過。而外部絕緣體 (outside-insulator) 問題則可不必考慮矣。

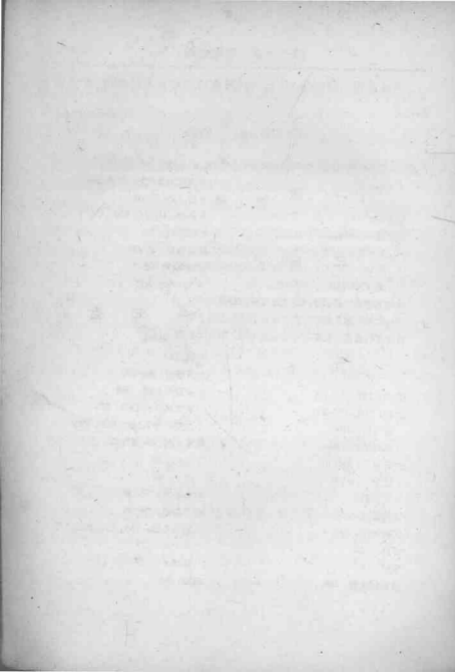
同軸電纜之特性阻抗，如欲計算至可以實用之精確度，可應用方程式

$$Z = 138 \log_{10} \frac{D}{d} \text{ 歐姆}$$

此處 D 為外層導體之內直徑，而 d 為內層導體之外直徑。

問 題

1. 說明一傳遞線路之功用。
2. 解釋調諧傳遞線路與未調諧傳遞線路二詞。
3. 寫出一數學式子，可用以計算一開端雙線傳遞線路之阻抗。
4. 推述三種通用之傳遞線路。
5. 一同軸傳遞線路之阻抗如何可用數學決定？
6. 作一草圖表明一有駐波半波天線中阻抗之分佈。
7. 說明決定一未調諧開端傳遞線路之長度者為何。



索 引

二 畫

- 二次發射, 56
- 二次電子, 61

三 畫

- 工作點, 52, 168
- 三極真空管, 49, 50, 51, 119-122, 153
- 三極管放大器, 135
- 口聲電流線圈, 128

四 畫

- 天波, 189
- 天線, 188, 194-200
 - 赫茲 \times , 194
 - 馬可尼 \times , 194
 - 寄生 \times , 199
 - 從動 \times , 199
 - 非從動 \times , 199
- 天線線圈, 130
- 天線電源, 197
- 分貝, 126
- 分路, 67
- 分流電阻器, 108

- 分流電壓分配器, 107, 108
- 分體, 29, 79, 80
- 五極管, 60, 62, 153, 156
- 切線距離, 191
- 反電動勢, 75, 90
- 反向串聯, 92
- 中介功率放大器, 177

五 畫

- 匝比, 159
- 半週, 22
- 半波整流, 97-100
- 半波雷振天線, 194
- 半波電能供給系統, 107
- 半波整流器與濾波系統, 103
- 功率, 34, 36, 37, 81
 - 真 \times , 41
 - 視 \times , 41
- 功率曲線, 37, 38
- 功率因數, 39, 40
- 功率放大器, 158, 164, 168, 177
 - 中介 \times , 177
 - 聲頻 \times , 157
- 瓦時, 34

瓦秒, 34, 80
 仟瓦時, 34
 正弦波, 25-30, 98, 116
 正弦曲線, 23
 末端效應, 196
 末端電容, 196
 主控極邊器, 174
 永久磁鐵式動力揚聲器, 127

六 畫

交流, 21 33, 96-113
 交流電路, 36
 交流電計, 69-74
 交混回響, 118
 互感, 90, 92
 共振, 115
 安培, 11
 安培計
 毫 \times , 74
 直流 \times , 67
 熱敏 \times , 71
 多種測量範圍 \times , 67
 伏特, 10
 伏特計, 73
 直流 \times , 68
 真空管 \times , 149
 地波, 188
 曲線
 功率 \times , 37, 38
 正弦 \times , 21, 34
 屏槽管 \times , 59

曲線, 並聯諧振電路之 \times , 87
 串聯諧振電路之 \times , 85
 板極電流對燈絲電壓 \times , 47
 板極電流對板極電壓 \times , 48, 51, 56, 62
 板極電流對槽極電壓 \times , 51, 54, 61
 各個槽極電壓下之一羣 E_p-I_p \times , 51
 同相, 27
 同向串聯, 92
 同軸電纜, 204, 205
 同軸(或同心)管狀線路, 204
 有效值, 25
 有抗電路, 38
 有駐波線路, 201
 全波整流, 100, 104
 成聲頻率, 94
 充電電流, 80
 充氣整流管, 101
 光電發像管, 185
 多級送費機, 177
 汞汽整流管, 44

七 畫

亨利, 29, 76
 貝爾, 126
 均方根值, 25
 串聯電路, 9, 13, 19
 串聯電阻器, 58
 串聯諧振電路, 83, 84
 串並聯結合電路, 9, 16, 20
 抗流線圈, 102, 106

抗流線圈輸入濾波系統, 106

見像頻率放大器, 152

八 畫

波

駐 \times , 202

天 \times , 189

地 \times , 188

畸變 \times , 162

正弦 \times , 25, 26, 98, 116

無線電 \times , 188

調幅載 \times , 131

調幅等幅 \times , 131

四分之一 \times , 202

整流後之輸出 \times , 104

波長, 116

波速, 117, 202

波節, 117, 202

波形因數, 76

法拉, 30, 80

阻抗, 84, 86, 197, 201, 205

阻抗匹配, 182

直流, 9-20

脈振 \times , 131

直流電路, 34

直流電計與交流電計, 64-74

板極(陽極), 43

\times 電路, 45, 164

\times 電流, 45, 62

\times 電壓, 53, 64

板極, \times 阻抗, 57

\times 調制, 176

\times 平衡法, 154

\times 負載電阻器, 52-54, 58, 166

放大器, 157

A類 \times , 151

AB類 \times , 151

B類 \times , 151

C類 \times , 151

射頻 \times , 152, 154

功率 \times , 148, 157-164, 168, 177

語音 \times , 181

電壓 \times , 148, 152

三極管 \times , 135

真空管 \times , 148-169

中介功率 \times , 177

聲頻功率 \times , 152, 157

線性 $r-f$ \times , 152

電阻耦合 \times , 153

見像信號頻率 \times , 152

放大級, 88, 138

放大因數, 55

奇諧波, 159

兩極管, 43-49, 97-100

充氣 \times , 101

\times 整流器, 48

\times 檢波器, 135

空間電荷, 46, 101

空氣心變壓器, 94

並聯電路, 9, 14

並聯電阻器, 14

並聯諧振電路, 86, 87, 88

九 畫

相角, 27, 39, 40

相移, 28

相位關係, 27, 28, 29

權極

屏×, 55, 154

控制×, 49

遏止×, 60

×電路, 52

×電位, 133

×平衡法, 154

權偏電壓, 111

權漏檢波, 132

權板電容, 145

權板電容器, 154

屏權, 55, 154

×電壓, 59

屏權管, 55

保真度, 121, 159

訂正表, 175

拾音器

晶體×, 125

磁力×, 123

錄音器×, 118

留聲機×, 117, 118

飛輪效應, 143

括聲濾除器, 125

炭粒錄音器, 118, 119

氫化銅整流器, 102

哈特來振盪器, 143

十 畫

原子, 1, 3, 4

原子核, 1

原子能, 5

原子能場, 5

原線圈, 90

衰減, 166, 191

能場, 1, 5

倒相, 166, 167

紋波, 105

車倉, 80

容抗, 82

容電器, 7, 79, 80, 81, 82

·旁路×, 133

修整×, 136

耦合×, 156

平衡×, 154, 175

隔直流×, 156

容電器收音器, 121, 183

容電器輸入濾波系統, 100

振幅, 26

振幅調制, 131, 182

振盪器, 141, 146, 172

晶體×, 146, 170

自激式×, 141, 172

哈特來×, 144

外路控制×, 172

調播調板×, 144

反饋線圈反饋×, 141

真空管, 43, 52, 152
 三極×, 49-51, 119-122, 153
 五極×, 153
 ×放大器, 148
 ×伏特計, 149
 ×接收機, 133
 倍頻器(頻率倍增器), 179
 針頭括聲, 125
 射電頻率, 131
 射頻放大器, 154
 射頻(*r-f*)變壓器, 93
 速度微音器, 122
 馬可尼天線, 194

十一畫

異相, 28
 貫聯, 152
 掃掠, 184, 187
 防極(燈絲), 43
 陰極偏壓系統, 111
 偏極化, 188
 偏電壓, 52
 偏壓電阻器, 112
 偽諧波, 159, 164
 接收機
 晶體×, 130
 真空管×, 133
 超致差×, 137
 調諧射頻×, 135
 ×電路, 130-140
 副線圈, 90

控制權極, 49
 寄生耦合, 179
 寄生天線, 199
 留聲機拾音器, 117, 118
 動態特性曲線, 53, 61

十二畫

週, 22
 週期, 114
 游子, 4
 游離層, 189
 焦耳, 34
 陽極(板極), 43
 晶體
 ×微音器, 120
 ×振盪器, 146, 168, 170
 ×拾音器, 125
 ×接收機, 130
 揚聲器, 127
 分動式×, 128
 永久磁鐵式×, 127
 發送機, 169
 多級×, 177
 主控振盪器-功率放大器×, 174
 絕緣體, 5, 79
 循環振動, 114
 超高頻率, 192
 無線電波, 188, 203
 無駐波線路, 201
 視線距離, 192
 開端線路, 202

- 單磁微音器, 118
 超致差接收機, 137
 推挽式放大器, 165, 166

十三畫

- 畸變, 57, 117, 135
 畸變波, 162
 感抗, 77
 載波, 131
 電子, 2, 5
 ×發射體, 43
 ×接收體, 43
 電子圈, 101
 電子雲, 46
 電子注, 186
 電場, 5, 79
 電計, 64
 電導, 11
 電視, 185
 電視拾波器, 185
 電流, 9
 直流 \times , 9-20
 交流 \times , 21-33
 振盪 \times , 88
 洩漏 \times , 100
 脈動 \times , 103
 分洩 \times , 108
 電阻, 10
 純 \times , 27
 天線 \times , 199
 輻射 \times , 198
 電阻器
 偏壓 \times , 112
 分洩 \times , 107
 板極負載 \times , 52-54, 58
 電阻耦合放大器, 153
 電壓
 ×飽和, 48
 ×放大因數, 49
 電壓調節, 101
 電壓放大器, 148, 152
 電感, 28, 75-78
 純 \times , 29, 87
 電感電容比, 39
 電容, 29, 79-82
 純 \times , 30
 電容耦合, 94
 電路
 直流(d. c.) \times , 21
 交流(a. c.) \times , 2, 21
 並聯 \times , 9, 14-16, 19
 並聯諧振 \times , 86
 串聯 \times , 9, 13, 19
 串聯諧振 \times , 83
 串並聯結合 \times , 9, 20
 濾波 \times , 103
 純電阻 \times , 29
 純電容 \times , 29
 純電感 \times , 28
 功率放大器 \times , 168
 晶體振盪器 \times , 146
 兩極管檢波器 \times , 136

電路，反饋線圈反饋振盪器×，141
 電動勢，10
 電位差，10
 電能供給(電源)，95-113
 電磁感應，6, 90
 電傳真跡，184
 電動力微音器，122
 微法拉，80
 微音器，117
 晶體×，120
 單鈕×，118
 雙鈕×，120
 炭粒×，118
 速度×，122
 容電器×，121
 電動力×，123
 微微法拉，80
 極大值，25
 落後角，88
 傳遞線路，201, 202, 203
 楞次定律，90
 遏止槽極，60
 逸松發爾電流計，64, 67

十四畫

傾前角，88
 截止值，50, 143
 赫芝天線，194
 語音放大器，180

十五畫

質子，2, 3
 駐波，202
 復現，117
 磁場，5-7, 75
 磁力拾音器，123
 磁力式收話器，127
 歐姆，10, 77
 歐姆定律，9, 11, 12, 14, 19, 34, 76,
 82, 109

耦合

鏈×，94, 95
 電容×，95
 電感×，105
 電阻×，153
 阻抗×，94
 變壓器×，94
 放大器×，155

耦合線圈，7

耦合電路，90 95

調制

振幅×，131, 182
 頻率×，183
 過量×，182
 不足量×，182
 百分之100×，182

調諧(tuning)

×振盪器，172
 ×發送機，175
 ×傳遞線路，203

調諧表，172, 175

調諧電路，83, 130

調諧射頻接收機, 135
 調整率, 105
 調幅器, 180, 181
 調幅載波, 131, 132
 調幅等幅波, 131
 調幅變壓器, 172, 182
 調幅調板振盪器, 144
 摩紋屏, 185
 遮磁法, 105
 緩衝器, 177
 熱電偶, 72
 熱量安培計, 71
 熱偶安培計, 72
 線性射頻 ($r-f$) 放大器, 152

十六畫

靜電, 80
 靜電感應, 6
 靜態特性曲線, 50, 53, 61
 整步, 187
 整流, 71
 半波 \times , 97
 全波 \times , 100
 整流器, 48, 96
 全波 \times , 100
 半波 \times , 100
 電力 \times , 97, 102
 汞汽 \times , 44
 氯化銅 \times , 71, 102
 兩極管 \times , 48
 電橋式 \times , 103

整流器, 真空管 \times , 96
 整流波, 99
 諧振, 83-89
 諧振電路, 41
 諧波, 159
 諧波畸變, 158-164
 燈絲(陰極), 43
 燈絲溫度, 45
 頻率, 91, 114, 116-118, 194
 和 \times , 116
 差 \times , 116
 口聲 \times , 172
 純音 \times , 172
 自然 \times , 114
 成聲 \times ($a-f$), 94, 131
 射電 \times ($r-f$), 94, 131

頻率調制, 183
 頻率響應, 117
 頻率指示器, 172
 頻率倍增器, 179
 輻射電阻, 189, 199
 輸入電壓, 167
 輸入變壓器, 96, 167

十七畫

線圈, 6, 64, 76, 83, 85, 86
 原 \times , 90
 副 \times , 90
 耦合 \times , 7
 口聲電流 \times , 128
 線圈繞組, 76

檢波, 133
 檢波器, 133
 槽漏 \times , 134
 兩極管 \times , 135
 瞬時值, 25
 應電壓, 91
 應電動勢, 76
 聲頻變壓器, 93
 聲頻功率放大器, 157
 恩涅勒-赫維賽德層, 189, 190

十 八 畫

濾波, 18
 濾波電路, 103
 瞬時值, 25
 雙線線路, 201

雙銀微音器, 201

十九畫以上

總耦合, 94, 95
 柵極電路, 88
 變壓器, 7
 聲頻 \times , 93
 射頻 \times , 93
 空心 \times , 94
 鐵心 \times , 94
 單端 \times 166
 調幅 \times , 182
 推挽式 \times , 166
 變阻器, 46
 靈敏度, 60, 117
 巔值降落, 57