

職業教科書委員會審查通過

無線電工程學

陳章編著



商務印書館發行



中華民國二十三年一月初版
中華民國三十五年八月增訂十四版

⊕(3210.2)

職業學校
教科書
無線電工程學一册

基本定價壹元柒角

印刷地點外另加運費

* 版 翻 *
* 權 印 *
* 所 必 *
* 有 究 *

編著者 陳 章

發行人 陳 懋 解

印刷所 商務印書館

發行所 商務印書館
各地

(本書校對者 李家超 王煊蕃)

雲

四 版 增 訂 弁 言

本書三版增訂發行以來，各方之採作教本或參考書者，接踵而起，行銷頗廣，而二三年來無線電技術顯然又有長足之進展。欲使本書得與時俱進，爰有四版訂正之舉。此次增訂材料，最重要者凡二：其一為特式真空管，另立一章；其二為超短波，與原有之短波，共列一章。又以真空管收發機件電源供給方法之繁多與重要，擴充而彙集之，又自成一章。又如收發所用電容量，與自感量之原理與構造，線圈天線定向原理及石英晶體控制週率等等，復有較詳明之敘述。其他補充增訂之材料，幾乎每章均有，讀者自能辨之。編訂之後，嘗覺無線電學術進展之速，園地之廣，為近代他種學術所僅見，而欲以簡短篇幅之內，提綱挈領鉅細靡遺，同時又須求其不失時效，不炫新奇，其難能可見。茲編之作，編者非敢自詡有成，不過據其所見，盡力以行之，以求比諸二版三版時之更進一步。至於參證而光大之，是在於讀者。本書所譯名詞，仍本其舊，一俟國立編譯館對於電工學名詞，頒佈標準，自當遵改。此次承閔華同學襄助整理，並書此誌謝。

陳章識於國立中央大學工學院。二十四年四月一日

三 版 增 訂 弁 言

民國十五年，余編『無線電工程概要』一書，由商務印書館出版印行。數年來無線電技術，突飛猛進，舊編材料，遂日見陳腐而簡略，不愜於懷者久矣。十八九年間，於講授之暇，將原稿增訂，內容幾什九更新，改爲今名，復交商務發行。中間因館方印務忙迫，轉輾遷延，於二十一年之初，排版方竣，出版有日，「一二八」淞滬之役，與全館同付一炬。年來將殘稿重加整理，材料又復增加，始成今編，已煞費經營矣。本編先後在浙大工學院高工電機科及南京軍部技術教練所，作爲無線電講義，尙稱適當。其理論數學方面，似不適於工科學，而因其應用國文，說理淺顯，或亦可爲參證之助歟。本編之成，承中央黨部廣播電臺，國際無線電臺，德律風根公司，美國無線電合組公司等，供給照片。所有圖形，二次增訂，全由浙大工學院同學朱國棟君獨任。三次增訂，則由技術教練所諸同學任之，其中尤以勞兆來，尤佳選，顏本豪三君工作爲最多；勞君又任最後核閱之職。凡此皆使此編成功之由，謹書此誌謝。

陳章識於南京中央大學工學院。二十二年四月十五日

編 輯 例 言

一、本書適用於高級職業學校電機科，及各級報務工務人員訓練學校，而於收音業務人員，亦可作有價值之參考。

二、研讀本書，學者必須於基本學科如代數，三角及物理等，有相當根基。如已讀過電磁學及電機工程，尤易瞭解。

三、已習過電磁學者，本書第一章，可以刪去不教。

四、本書材料，可供一年每星期四小時至五小時之課程，此外教授者可以酌添參考資料，以資伸縮。

五、本書所用度量衡制，均採用標準制。

六、本書內所用專門名詞均採現今已經通用者，將來國立編譯館頒佈標準電機工程名詞後，其不符者，當於再版時，加以修正。

七、無線電工程，日新月異，故此項書籍貴能隨時代以俱進，編者願於每三數年，修正一次，以求時效。

目 錄

四版弁言

三版弁言

編輯例言

第一章 電學基本原理概要	1
1. 電子學說	1
2. 電流與電壓	4
3. 電阻及歐姆定律	5
4. 串聯及並聯電路	7
5. 電流之測量	9
6. 電壓之測量	10
7. 電阻之測量	11
8. 熱線電流表	14
9. 電能力與電工率	15
10. 磁場	17
11. 電磁感應	18
12. 自感應與互感應	18
13. 磁感量與自感量	19
14. 磁感量之計算	21
15. 電力線與電場	22
16. 電容量與電容器	22

17. 電容量之計算.....	25
18. 電容器之串聯及並聯.....	27
19. 通感常數與絕緣能力.....	30
20. 變壓器.....	31
21. 效率.....	33
22. 電池.....	33
23. 蓄電池.....	35
24. 蓄電池之容量.....	37
25. 愛迪生蓄電池.....	40
26. 鉛電池與愛迪生電池之比較.....	41
27. 電極概說.....	41
第二章 無線電交通大意.....	43
1. 無線電波.....	44
2. 聲波光波與無線電波之關係.....	45
3. 波長.....	45
4. 週率與波長之關係.....	46
5. 無線電波之分類.....	48
6. 電磁波之放射與推進.....	51
7. 發射機之要素及種類.....	52
8. 接收機之要素及分類.....	53
9. 無線電交通之障礙.....	54
10. 無線電通信距離與電工率.....	55
11. 無線電之用途.....	57
12. 無線電通信之缺點.....	60
第三章 振盪電路及諧振.....	63
1. 磁感量內儲蓄之能力.....	63
2. 電容量內儲蓄之能力.....	64
3. 磁感週阻與電容週阻.....	65
4. 總阻及交流電之歐姆定律.....	66
5. 高週率之實效電阻.....	69
6. 集膚作用.....	69

7. 振盪電路	74
8. 自由振盪與強迫振盪	75
9. 機械界之振盪	76
10. 減幅波與等幅波	77
11. 自然週率及自然波長	78
12. 減幅率之計算	82
13. 諧振	83
14. 串聯諧振	83
15. 並聯諧振	88
16. 交連之種類	91
17. 交連電路之諧振	94
18. 配諧之重要	96
19. 交連寬緊之影響	96
20. 波長表之原理及應用	97
21. 無線電電容器	102
22. 電解質電容器	107
23. 電容器之工率損失工率因數及相差	108
24. 無線電磁感圈	109
25. 線圈之分佈電容量	111
第四章 減幅波無線電報	114
1. 機械界之交連	114
2. 交連電路之現象	115
3. 減幅波發生之方法——火花	119
4. 火花式發報機之使用方法	121
5. 火花隙之作用	123
6. 減幅波之接收	124
7. 聽筒	125
8. 檢波器之需要	126
9. 晶體檢波器	127
10. 晶體接收機	130
11. 晶體接收機之種種線路	130
12. 單路與雙路之比較	133

13. 天線電容量之改變及配置.....	133
14. 晶體檢波器接收等幅波之作用.....	134
15. 減幅波之弊害.....	137
16. 無線電路所用之圖號.....	139
第五章 等幅波無線電報.....	144
1. 等幅波發射機.....	144
2. 亞氏高週率交流發電機.....	145
3. 哥氏交流發電機.....	148
4. 弧光.....	150
5. 等幅波發報機之電鍵裝置.....	154
6. 等幅波發射機之核定工率.....	156
7. 各式等幅波發射機利害之比較.....	158
8. 等幅波電信之接收法.....	160
9. 差週率接收法.....	163
10. 差週率接收法之利益.....	166
11. 差週率接收方法之解析.....	170
12. 斷續等幅波電信.....	174
第六章 電能發射與天線.....	175
1. 電磁能力之放射.....	175
2. 垂直天線放射之理論.....	178
3. 天線之各種方式.....	180
4. 地線.....	184
5. 收報臺之天線與地線.....	185
6. 地網.....	186
7. 裝置天線之要點.....	186
8. 天線電阻.....	189
9. 天線之電容量與自感量.....	191
10. 天線之實效高度.....	192
11. 放射電阻.....	193
12. 天線之定向性.....	195
13. 長波之推進.....	196

14. 線圈天線	198
15. 無線電定向器	201
16. 線圈天線之設計	205
17. 線圈天線之配製	208
18. 電波強度之測量	209
19. 定向天線及其他	210
第七章 三極真空管	214
1. 熱體散射電子之現象	216
2. 立卻特遜氏之定律	217
3. 二極真空管	218
4. 二極真空管之檢波作用	221
5. 真空管內之遊離作用	222
6. 二極真空管在無線電界以外之應用	223
7. 三極真空管	226
8. 三極真空管之特性曲線	226
9. 屏流之公式	231
10. 真空管之常數	232
11. 三極真空管之檢波作用	237
12. 三極真空管之放大作用	239
13. 三極真空管之振盪作用	241
14. 真空管內電容量	243
15. 真空管之構造	245
16. 電子之二次散射	250
17. 真空管之復活法	251
18. 真空管之校驗	252
第八章 真空管放大器	259
1. 三極真空管之活動特性曲線	259
2. 電阻負荷於屏極電流之影響	263
3. 總阻負荷於屏極電流之影響	265
4. 電壓放大	265
5. 電工率放大	267

6. 輸入電路之總阻	268
7. 連續放大	270
8. 連續放大方法之種類	270
9. 成音週率放大器之種類	272
10. 電阻交連之成音週率放大器	273
11. 總阻或磁感量交連之放大器	276
12. 變壓器交連成音週率放大器	279
13. 電阻交連射電週率放大器	283
14. 總阻交連之射電週率放大器	283
15. 變壓器交連射電週率放大器	284
16. A, B, C, 三類放大器	284
17. 放大器內雜音之原因及防止法	286
18. 放大器之失真	288
19. 其他放大線路	289
20. 回授放大之原理	289
21. 推挽式之成音週率放大器	292
第九章 真空管接收機	296
1. 屏極檢波	296
2. 柵極檢波	300
3. 自差及外差接收機	303
4. 自差接收線路	303
5. 超等回授放大接收線路	307
6. 外差接收線路	311
7. 平差接收線路	312
8. 超等外差接收線路	314
9. 信號強度之簡單控制方法	319
10. 濾波器	320
11. 收音器	325
12. 接收機品質之標準	329
第十章 真空管發射機	331
1. 真空管振盪作用之解析	331

2. 真空管發射機線路之種類	334
3. 振盪之主要條件	336
4. 真空管振盪線路之週率	339
5. 振盪振幅與交連程度之關係	340
6. 振盪振幅與柵壓之關係	341
7. 輸出工率與屏極電壓之關係	343
8. 真空管之核定工率及效率	343
9. 多次波之振盪	345
10. 哈得雷氏實施發報線路	346
11. 米字爾氏實施發報線路	347
12. 克爾畢子氏線路	349
13. 並聯及串聯饋電法	350
14. 奧斯德郎氏線路	351
15. 主管振盪線路	352
16. 石英及壓電現象	354
17. 石英控制主管發射線路	358
18. 真空管並聯使用法	362
19. 真空管發射機之使用法	363
20. 真空管發報機內之電鍵裝置	365
21. 真空管發射機弊病之搜求與矯正	366
22. 真空管發報機線路舉例	367

第十一章 特式真空管及其應用 371

1. 簾柵管或四極真空管	372
2. 簾柵管內之屏流公式	374
3. 簾柵管內之電子流	375
4. 簾柵管之特性曲線	376
5. 簾柵管之應用	379
6. 簾柵管與三極管之比較	381
7. 空間電荷極管	383
8. 五極管	383
9. 變 μ 管	385
10. 孛生二極三極管	387

11. 孿生二極五極管.....	389
12. 二柵管與三柵管.....	389
13. 五柵管.....	390
14. 其他特式三極管.....	393
15. 利用特式真空管之音量控制.....	394
16. 音調控制.....	399
17. 交流配諧射電週率收音機線路舉例.....	400
18. 交流式最新超等外差收音機線路舉例.....	402
第十二章 真空管收發機之電源供給.....	406
1. 燈絲電源之供給.....	407
2. 屏極電壓之供給.....	410
3. 自整流線路.....	410
4. 'B'電池免除器.....	411
5. 電源變壓器.....	412
6. 整流器.....	413
7. 強力發射機之整流線路.....	415
8. 濾波器之應用.....	417
9. 分壓器.....	418
10. 電源電壓調節.....	418
11. 柵極電壓.....	419
第十三章 無線電話.....	421
1. 音樂語言之週率.....	421
2. 調幅之需要.....	422
3. 無線電話之傳話器.....	422
4. 調幅之程度.....	425
5. 調幅波之成分.....	427
6. 調幅之種種方法.....	435
7. 單邊帶無線電話.....	438
8. 越洋無線電話.....	439
9. 廣播電臺之設備.....	440
10. 商用廣播發射機舉例.....	445

第十四章 短波及超短波無線電	448
1. 短波與長波無線電交通之比較	449
2. 短波之推進	451
3. 短波收發天線	455
4. 短波發射機	459
5. 短波收報機	463
6. 短波無線電報通信之距離	466
7. 超短波之特性	467
8. 超短波振盪之發生	469
9. 超短波發射機實施線路	473
10. 超短波接收機實施線路	474
附錄一 習題	477
附錄二 無線電發達史年鑑	487
附錄三 國際協定無線電報號碼	493
附錄四 國際協定無線電臺呼號分配表	495
附錄五 無線電報縮語表	498
附錄六 國際協定萬國週率分配表	505
附錄七 <u>美規</u> 實心銅線表	509
附錄八 <u>英文</u> 無線電學參考書目一斑	511
附錄九 本編專門名詞 <u>英華</u> 對照表	515

無線電工程學

第一章 電學基本原理概要

(Elementary Principles of Electricity)

電為能力之一種，而其表現方式，在在相同，為吾人所熟知者，如發光電燈之電，收發電報電話之電，以及轉動機械之電。而無線電其實亦不過電所表現方式之一種，於根本性質及原理，與上述各種之電，本無差異，徒因無線電之導引，自此方達於彼岸，有如雷電之射出，並不藉銅線或任何金屬導體而推進，故稱之曰無線電。本章即先探討電究為何物，及其主要性質及名稱，略予解釋，而使讀者對於下幾章之閱讀，便於了解。

1. 電子學說 電之究為何物，至今尚無定論。然在此時比較更適當之學說未發現以前，電子學說，足稱為唯一的電的理論，茲將電子學說略述之：

吾人於基本化學及物理上，已知世間萬物之有三態 (three

states of matter), 謂之氣體(gas)液體(liquid)及固體(solid)。因溫度及壓力之異同, 則物體於氣液固三體可遞嬗變更, 如水之為汽為水為冰; 氧在尋常溫度為氣體, 去熱至相當溫度可變為液體及固體; 鐵在尋常溫度為固體, 加熱至相當溫度時, 可化為液體及氣體。而在化學上根本分析之宇宙萬物, 不論動植礦氣體固體之別, 俱為九十餘種不同之元素 (elements) 組成。此種元素或獨立如金銀硫磷之類, 成為本物, 或與他元素, 如鈉與氯化合而成之食鹽, 如此而成之化合物 (compound) 皆得稱為物質。每一元素其最小分子謂之原子(atoms), 而此原子已不能再行化學之分析。同種物質之原子各個相同, 故萬物之基本單位均為原子。此為原子學說 (atomic theory) 之大概, 化學家用以解宇宙之謎, 世人奉之而不疑, 已百餘年, 直至近三十年, 學者始將原子學說推演, 電流學說推翻, 而倡所謂電子學說。

世間科學家以各種物質之氣液固三體, 可互相變更之公共性質, 早疑各種原子之究竟仍為相同, 及得真切之試驗結果, 始下肯定之斷語, 電子學說之大意乃謂原子之結構, 並非原始單位, 尚有分析之餘地, 每一原子在其中心有質量 (mass), 此質量包含正電子 (protons) 故常荷正電, 謂之原子核 (nucleus), 原子核之四圍有兩個或數個以上之負電子 (electrons), 或簡稱電子, (按尋常所用之電子二字, 若不冠以正或負時, 其意均指負電子), 向之環繞運行, 速度甚高, 所有每一原子內之正電量, 適等於其餘負電子之負

電量之和，故平時正負二電適相抵消而成中和，向外並無電力表現。負電子不論在同一原子，或他原子間，均相同無異，且為在可能中所得之最小負電荷 (negative charge of electricity)，其形狀大約如圓球，間接測得其直徑為 2×10^{-13} 或 $\frac{1}{5,000,000,000,000}$ 公分 (即生的米達 centimeter)，質量為 8.8×10^{-28} 克 (即克蘭姆 gram)。氫原子尚較大 60,000 倍，其微渺可知，每一電子之所負電量為 1.59×10^{-19} 庫倫 (coulomb 為電量之實用單位)，電子各個之環正電子而行，各有軌道，不相隕越，其全部結構，頗似宇宙間之太陽系 (solar system)，太陽處中央，羣星環繞而行，其異處則行星各個不同，而電子各個間毫無差異，各原子之所以成為九十餘種者，只因其環繞而行之電子數目，及軌道位置之不同，故原子重量不一，性質亦異，例如氫只有一個電子最輕，而鈾有九十二電子，故甚重也。

觀上述電子論，可知物質究竟為電子所構成，電子則為物質之本，宇宙之中，無往而非電，無一而非電，其理雖覺玄妙，事實亦簡單，平常物質之不表現電力作用者，乃每個原子中，正電荷之力，適與負電荷之力相抵消，假若該原子或該物質，被奪去其原有負電荷之一部或全體，則此原子或物質，即能表現正電荷性質，反之，若其負電子數多於其尋常所有之數，則此原子或物質，即能表現負電荷性質。又於下述之電流，即為電子在該物質內繼續流動之現象，至於其他電之現象，罔非電子論所能解釋。自三極真空管發明

以來，電子論之基礎，益為強固。本書重在研究電之應用，對於電子論不及詳論。

在電子論未成立以前，學者對於電流之現象，均謂電流係自正至負，故在指點電流進行方向時，永以自正至負為標準，自電子論發明以後，始悉電流係電子之流行，自負至正，適與以前假定之方向相反，惟歷來沿習已久，未便更改，故現今科學界，仍採用自正至負為電流行進之方向也。

2. 電流與電壓 電流 (electric current) 之最淺顯易明者，莫如供給門鈴之電池電流，設以一銅 (或其他金屬) 線，將電池之兩極連接以後，線上即有電通過，倘欲電流繼續流通，兩極連接以後，必須將是線首尾通連不斷，全路內不得有一處之間隙或折斷，方稱為通電路 (closed circuit)。換言之，電流在此路中始能自電池之一端流出，經過銅線，往他極返入電池，若銅線有一部斷折，或一端未接電池之極，則電流不能通行，謂之斷電路 (open circuit)，意謂電流不能經過之路也。

如電鈴及電池，照上圖銜接，則電流之路由，將自電池之正極 (+)，經銅線而至電鈴，復返入電池之負極 (-)。若銅線在電池之正負互相調換，則電流之路由，因之亦反，線中之按鈕 (push button) 即用以控制鈴之響寂，蓋若按

第一圖



電流之通路

之，電路即通，電流通行，鈴自能鳴，不按時，線路折斷，電流爲之阻隔，鈴即寂然，此理易知，不必詳論也。

電流最佳之譬喻，莫如鐵管中之水流，鐵管必須處處銜接，略無阻塞，水流方能通過，電流亦然。水流之多少，可用水流量量之，電流亦可以電流表 (ammeter) 測之。電流之單位爲安培 (ampere)，其千分之一爲千分安培 (milliampere)，其百萬分之一爲兆分安培 (microampere)。

電流與水流相似，而水流之能在鐵管中，繼續流動不息者，必有壓力使之行動，如打水機是；若鐵管垂直，水流自上而下，因有地心吸力助之行動。而能使電流繼續流動自如者，謂之電壓 (electric voltage)，電池即爲供給此種電壓之一種簡單物品，若欲增高電壓，可將電池連接多只，電池電壓既高，電流可大，有如打水機，增加壓力，水流可大，正同此理。量電壓之表，謂之電壓表 (voltmeter)，電壓之單位以伏脫 (volt) 計，家常電燈之電壓爲 110 或 220 伏脫，鉛片蓄電池每只電壓爲 2 伏脫，常用之乾電池，每只電壓約爲 1.5 伏脫。

3. 電阻及歐姆定律 吾人在物理學上，知水流之壓力，在鐵管之盡頭處，較在近打水機一端爲低小，此消耗之壓力，乃由於管內之阻力，妨礙流水之故，又如吾人可將水管活塞之洞口任意增減水流之數量。電流在導體中亦有阻力，稱爲電阻 (electric resistance)，電阻實爲導體阻礙電流之反動力，其數量之大小，全恃導體之性

質、溫度、長度、及截斷面積而有關係，例如銅與銀，電阻極微，故適用為導體 (conductor)，鐵之電阻則較大，玻璃與瓷電阻極高，故用以為絕緣體 (insulator) (即斷絕電緣之謂)，金屬體電阻與溫度同升同降，非金屬則隨溫度增高而減少，白瓷燒至紅熱則變為良導體。導體愈長，則電阻愈大，成正比例，導體截斷面積愈小，電阻亦愈大，成反比例，其理可由上述水流之譬喻得之。

電阻之單位，為歐姆 (ohm)。測算電阻之方法，全恃電學中之歐姆定律 (Ohm's law)。此基本定律若以公式表之則如下式：

$$R = \frac{E}{I}, \dots\dots\dots \text{公式(1)},$$

$$\text{或 } E = IR, \dots\dots\dots \text{公式(2)},$$

$$\text{又或 } I = \frac{E}{R} \dots\dots\dots \text{公式(3)}。$$

以上三公式，I代電流安培數，R代電阻歐姆數，E代電壓伏脫數，均為歐姆定律，三者表示同一關係，不過為計算之便利，列為三式。觀上公式，凡電流在一導體內流動，若上三數已知其二，則不難推算其第三者。用此公式，即能得導體之電阻數量。例如某電路電壓表所量之電壓為10伏脫，電流表所量之電流為2安培，則以上公式(1)算之，即得

$$R = \frac{E}{I} = \frac{10}{2} = 5$$

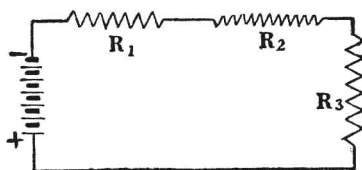
故得電阻為5歐姆。

反之，若電流及電阻已知，或電壓及電阻已知，則第三未知數，均可按公式(2)及(3)計算而得之。

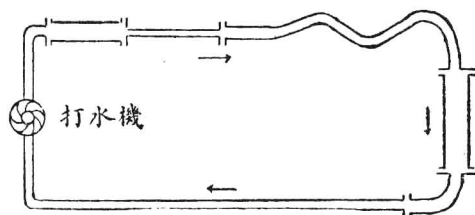
4. 串聯及並聯電路 在應用電學中，電機或電路之各部分，可以連接成串聯 (series) 式或並聯 (parallel) 式。在串聯式中，所有電流均須流過電路各部，而各部電壓不同。在並聯式中，所有電流

第 二 圖

(a)



(b)

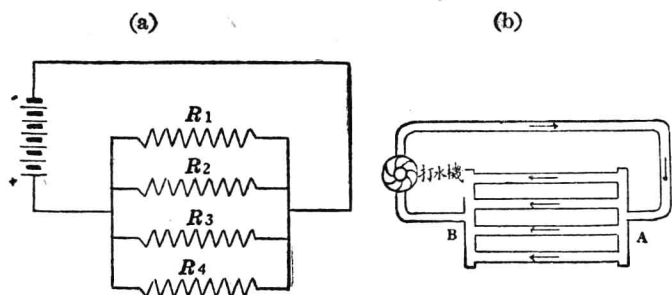


電 阻 串 聯 之 聯 接 法

分入電路各部，而各部之電壓相同，電流之分出多少與並聯各部阻力之強弱，成反比例。上述兩種連接電路之方法，可以水管喻之。（見第二圖及第三圖）

串聯後及並聯後之電流電壓及電阻之計算，均可按歐姆定律以及其方式而得之，例如串聯電阻 R_1 , R_2 及 R_3 (如第二圖 a) I 為共同電流，於是各電阻所得電壓為 IR_1 , IR_2 , 及 IR_3 , 其當量

第三圖



電阻並聯之聯接法

電阻 (equivalent resistance) 假定為 R ，其總電壓必為 IR ，吾人得

$$IR = IR_1 + IR_2 + IR_3 = I(R_1 + R_2 + R_3)$$

$$\therefore R = R_1 + R_2 + R_3 \dots\dots\dots \text{公式(4)}$$

由此可見串聯電阻之當量電阻，適等於各個電阻之和。

又設四電阻並聯 (如第三圖 a) I_1, I_2, I_3 ，及 I_4 各為電阻內通過之電流， E 為各電阻間之共同電壓差，亦即等於總電壓。按歐姆定律， $I_1 = \frac{E}{R_1}$ ， $I_2 = \frac{E}{R_2}$ ， $I_3 = \frac{E}{R_3}$ ， $I_4 = \frac{E}{R_4}$ 又假若定 I 為總電流， R 為並聯後之當量電阻，於是：

$$\begin{aligned} I = I_1 + I_2 + I_3 + I_4 &= \frac{E}{R_1} + \frac{E}{R_2} + \frac{E}{R_3} + \frac{E}{R_4} \\ &= E \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} + \frac{1}{R_4} \right) \end{aligned}$$

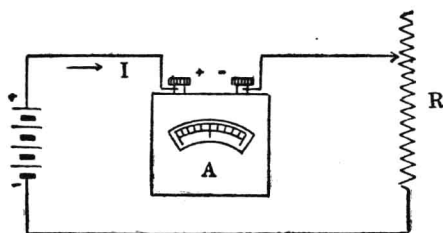
$$\text{但 } I = \frac{E}{R} \quad \therefore \frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} + \frac{1}{R_4} \dots\dots\dots \text{公式(5)}$$

於是可見並聯後之當量電阻之倒數 (reciprocal) (例如 $\frac{1}{10}$ 爲 10 之倒數) 即等於各個電阻倒數之和也。

5. 電流之測量 吾人於電路中，常欲測其全部或局部之電流、電壓、電阻三者之一，其測量方法約述如下：

電流表或譯稱安培表，其構造暫不論，外爲裝盒式，盒面有二繫柱 (binding post) 一標正 (+) 號，一標負 (-) 號，(如第四圖)。正號繫線柱爲電流入表之處，負號繫線柱爲電流出表之端。若測

第 四 圖



電 流 表 之 應 用

量爲交流，則不分正負連接之。第四圖盒面嵌一扇形玻片，片上刻有分劃，代表所測之安培數值，繫以活動靈敏之指針。當無電流通過時，指針指於零位；若有電流通過時，指針即移動，其停止之位置，即爲通過電流之安培數。

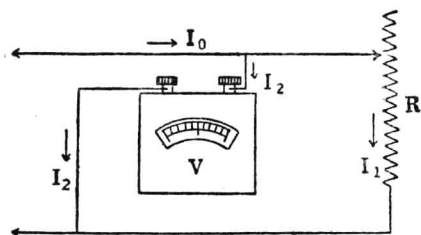
測量電流時，電流表必須串聯在電路中，換言之，即所測量之電流，務使其全部通過表內，表內之電阻，必需極小。否則當電流表接入電路內，電流將因電阻之增，而減低其數量，致所測得之安培

數小於所欲測得之安培數。因吾人欲測之電流，係電流表未接入之電流，而非已接入後之電流也，是以各種電流表之構造，皆設法使電阻減低至極小，幾等於零。

6. 電壓之測量 電壓表或譯稱伏脫表，其內部構造及外觀與電流表相似，因按歐姆定律，電流之多少，與電壓成正比例，故電流表若加以適當之校勘，即可作為電壓表，但電壓表與電流表之接法，迥然不同。以電流表測量電流時，必須拆開電路而後以電流表接入其中，故電流表成為所測電路之一部而成串聯關係。以電壓表測量電壓時，無須妨及所測之電路，只須另以導線一自電壓表之正號繫柱，聯接所測電路之電壓較高之一端，一自負號繫柱聯接所測電路之電壓較低之一端，易言之，電壓表與所測之電路成並聯關係也（見第五圖）。由歐姆定律，電壓表兩端間之電壓必發生一電流 I_2 （第五圖）通過表內，此電流 I_2 必通過電路內除所測電路一部外之其他各部；如是 I_2 必然消耗一部分之電壓若干（ $E = IR$ ）而使所測電路兩端間之電壓降低，遂使表上所示之電壓小於所欲測之數。因吾人所欲測之電壓，乃電壓表未接入時之電壓，而非電壓表已接入後之電壓也。故所有電壓表均需含有極高電阻，常在數千歐姆以上，以使上述原因之差誤甚微，而不影響於實際測量結果也。

因電壓表之電阻極大，若誤接入串聯電路之中，其弊僅使電流驟降，與電壓表之失其效用，並無其他之危險。反之，若以一電流

第 五 圖



電 壓 表 之 應 用

表，接如一電壓表，並聯於相當電壓之下，其弊則不僅使其失去效用，且將發生短路之危險，使電流表即刻毀壞。短路（short circuit）者（俗名碰線）一極微細之電阻處於適當電壓之下，使電流驟增至極大數量，導體發生巨熱。其禍害所及，小則電表燒毀，大則損害發電機，故須極力避之。

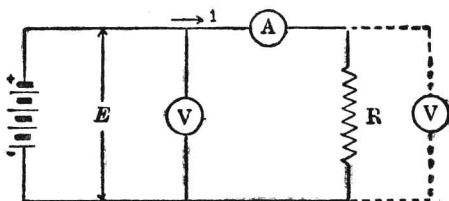
7. 電阻之測量 電阻之測量方法甚衆，大概視所測電阻之大小及所需結果之準確程度而異，最要各法約可分為下列三種：

(一)電流表電壓表合用法(ammeter and voltmeter method)

若欲測電阻 R 之價值，接電流表電壓表及電源如第六圖。如所得電壓記錄為 E ，電流記錄為 I ，按照歐姆定律，則 $R = \frac{E}{I}$ ，電阻之值，即可得知。惟因電壓表本身亦有電流通過，故測量巨大電阻，接電壓表如實線。測微小電阻，接電壓表如虛線，如是則差誤較微。

(二)電壓降落法(drop of voltage method) 電路內任何兩點聯接後，有電流動以後，電流沿導體，遇得電阻，所稱電阻實即電

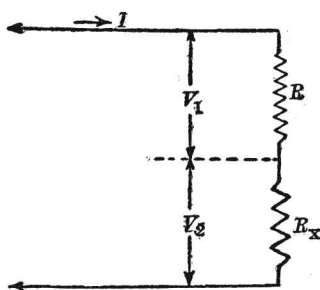
第六圖



電 流 表 電 壓 表 合 作 法

子行動與他電子互相撞擊之結果，電壓漸次向下降落，其降落之數量，按照歐姆定律即等於電流電阻二者相乘之積。故電壓之降即電壓之差，(difference of electric voltage)。例如第七圖 R 為已知價值之電阻，為測量未知值之電阻 R_x 之用，按圖二電阻所經過

第七圖



電 壓 降 落 法

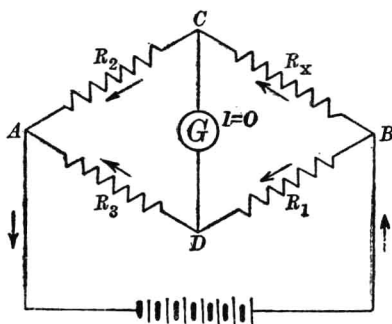
之電流相同，若以電壓表測其電壓之降，先得 V_1 ，後得 V_2 ，電流既相等，故

$$\frac{V_2}{V_1} = \frac{IR_x}{IR} \quad \text{於是} \quad R_x = \frac{V_2 R}{V_1} \dots\dots\dots \text{公式(6)}$$

R 既為已知， V_1 及 V_2 係測驗而得，則未知值之 R_x ，可按此公式以計算之。

(三) 惠斯登橋 (Wheatstone bridge) 測量電阻方法之較便捷者，厥為惠斯登橋，該橋實不過四電阻與一測電儀器，如測電表 (galvanometer) 特別聯接以為測量電阻用之一種佈置耳。如第八圖電流自電池正極出，而至 B 分出二路，一經未知值之 R_x 及已知值之 R_2 ，而至 A 復返於電池負極；又一經已知值之 R_1 及 R_3

第 八 圖



惠 斯 登 橋

而至 A 亦返電池。測電表 G (按測電表其原理及構造與電流表無大異，惟其主旨在測電之存在或比較率，故不以安培計。) 接於 O 及 D 兩點，若將 R_1 , R_2 及 R_3 變值配置，使測電表記錄零點，即無電流通過，則 C 及 D 二點即無電壓之差之存在。換言之， B 至 C 及 B 至 D 之電壓降落必相等， C 至 A ，及 D 至 A 之電壓降落亦

必相等，否則測電表不能無電流通過。若 I_1 為經 R_x 及 R_2 之電流記錄， I_2 為經 R_1 及 R_3 之電流記錄，於是得

$$I_1 R_x = I_2 R_1 \dots\dots\dots (1)$$

$$I_1 R_2 = I_2 R_3 \dots\dots\dots (2)$$

若以數式(2)以除(1)，則

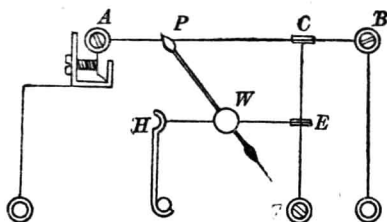
$$\frac{I_1 R_x}{I_1 R_2} = \frac{I_2 R_1}{I_2 R_3} \quad , \quad \frac{R_x}{R_2} = \frac{R_1}{R_3}$$

$$\therefore R_x = R_1 \frac{R_2}{R_3} \dots\dots\dots \text{公式(7)}$$

上列公式為惠斯登橋之基本公式。

8. 熱線電流表 電流表種類甚多，原理及構造亦復各異，無線電路所用電流表，大都屬熱線電流表 (hot-wire ammeter)，因他種電流表之準確程度均受週率影響。準確於此週率，差誤於他週率，而熱線電流表，則於相當限度之下幾與週率無關也。熱線電流表之構造及原理，俱極簡單，可以第九圖表之，熱線電流表按其名稱，即可知利用電流，經過導線發熱效驗，AB 為熱漲係數較高之鉑銀合金細絲，CF 為另一金屬線，EH 為絲線，自鋼片H繞過滑車W而繫於CF線上E點，常為H之彈力拉緊，電流通過AB時，AB熱漲而放寬CF，H之彈力拉絲線向左移動，使滑車帶指針轉動，以指示電流之強度；電熱亦不因電流之方向而異，故熱線安培表能兼測交直流也。

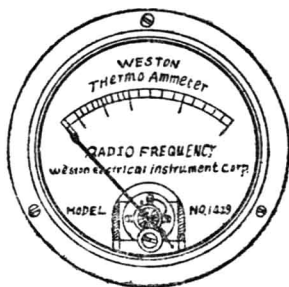
第 九 圖



熱線安培表內之構造

9. 電能力與電工率 按物理學定理，物質之任何時間有做工作之能力者，此物質即稱為具有能力 (energy)，例如煤可以燃燒，即有熱能，機械能轉動，即有機械能 (mechanical energy)，發電機能發出電流，即有電能 (electric energy)，故電能乃能力表現之

第 一 〇 圖



熱線安培表

一種方式。每單位時間 (如每秒) 內能力表現之多寡，即稱為工率 (power)，能力與工率實有區別，蓋能力為總量，而工率則為每

一時間單位內之能力，從率字意義上可以得之。

大凡所有電機，其目的無非欲將電能化成熟能，光能，機械能及化學能 (chemical energy) 耳。而電流者即吾人用之以傳導電能自發電處至用電處者。電流之異於尋常物質，因其難由人之耳目直接覺察，而其存在之證明，只可從其發生結果以知之。例如電動機 (electric motor) 之轉動，吾人即知電流之存在於電動機，電燈之放光，吾人即知電流之存在於電燈，及其電路內。電動機吸收電能而發出機械能，電燈吸收電能，而發出光能。吾人見電燈之光亮非見電流，所見者乃燈絲因電流通過發熱而射出之光波，電能在燈絲先轉熱，繼而熱能變為光能；又吾人聞電話聽筒中之振盪音節，所聽者非電流，乃聽筒內鋼膜之振盪。因電流在聽筒內，已自電能而轉變為機械能也。凡導體內通過電流，導體發出熱能，揆之能力不滅定律亦所當然，蓋電流經過導體，電壓降低；亦即能力消耗之謂，此熱力必有所往，蓋即發生熱能也。此熱能之數量視下列公式而變值，

$$H = .24I^2Rt \dots\dots\dots \text{公式(8)}$$

內H為熱能，單位為加路里 (calorie)，I為電流，單位為安培
R為電阻，單位為歐姆，t為時間，單位為秒。

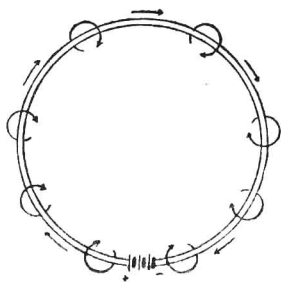
電工率之數量，全恃電流與電壓相乘之積，任何數增大，電工率亦隨之增大，故電工率有下列之重要公式：

$$P = EI = RI = \frac{E^2}{R} \dots\dots\dots \text{公式(9)}$$

吾人自上節已知電流 I 之單位為安培，電壓 E 之單位為伏脫，電阻 R 之單位為歐姆，而工率之單位為瓦特 (watt)。

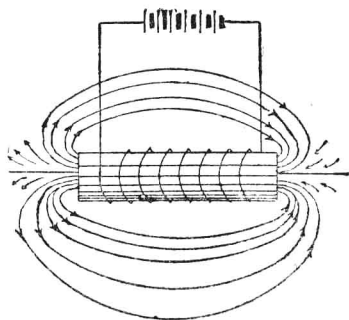
10. 磁場 吾人皆知磁鐵(俗名吸鐵石)能將鋼鐵片吸引，又若將鐵屑佈散於磁鐵四周，鐵屑之排列形式顯出有規則之路線，凡屬此空間，即名為磁場，為磁鐵吸引力所及之地。此種磁場之存在，又可以小磁針測之，當指南針引近磁場以內，針即轉入一定方向，此在淺近物理試驗中，類多見之。至若電機工程中，所用磁鐵，大都非天然磁鐵，或永久磁鐵，而為電磁鐵。此種電磁鐵之性質為暫時的，即有電流通過於包紮磁鐵上之銅(或他種金屬)線，則發生磁性，電流一斷，磁性即失。又如一條銅線如通電流，則其磁場如第一一圖所示形狀。如銅線繞於鋼鐵上，則鋼鐵亦成磁性，如第一二圖。電磁性之作用最為廣大，舉凡電報電話之運用，電動機發電機之轉動發電，以及其他種種，莫不恃此，是以電機之肇始，實

第一一圖



載電流之導線所產生之磁場

第一二圖



鐵心導體載電流後所產生之磁場

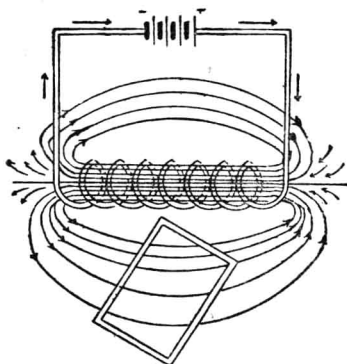
起於電磁性之發明，其重要可知矣。

11. 電磁感應 由磁場而感生電流，是爲電磁感應 (electromagnetic induction)。凡一導體如銅線之類，有定量不變之電流通行，則其所發生之磁場之強度亦不變更，反之若電流數值隨時變更；則磁場強度亦因之而變，是以若銅線上之電流爲交流，則其所發生之磁場強度，亦必因之而時時變更，其理甚明，其磁場吸引力之方向，亦隨交流之方向而變換。是以此種磁場，不特其價值隨時變換，其方向亦在變更。假使在一靜止磁場中，有一導體在內，使之行動，或使磁場在導體之旁行動，則此導體內，即發生電壓。設該導體兩頭銜接，則發生電流。此種取得之電流，即稱爲感應電流 (induced current)。由磁場與導體相互動作，而能發生電壓之性質，即謂之電磁感應。

例如第一三圖，電池供給電流，使發生磁場，旁有方圈之導體，在磁場中轉動。在此方圈導體中即發生電壓，而電流因之流動。反之如使磁場轉動，或供給磁場之電流改變，則在行動或改變數值時，電壓即行發生。凡需巨量之電力，大都均用此種方法以取電，如發電機，變壓器等，而無線電工程中之天線，所以能接收電波者，亦未嘗不恃此感應，詳解見後。

12. 自感應與互感應 上述感應現象，乃發生於各不相連之導體，如發生磁場之導體爲甲，因之感應得電壓之導體爲乙，甲與乙，並無金屬之聯絡或接觸。但在導體中，如將其電流減少或增加

第一三圖



導體於磁場中之感應

其所發生之磁場強度，因之亦爲之減少或增加，則在此導體之內，於減少或增加電流之頃刻，即發生一種反電壓(counter voltage)。此種反電壓之方向，適當阻止電流之增減，此定律稱爲林慈定律(Lenz's law)。此種因同一導體磁場之變值，而能感應電壓之性質，謂之自感應(self-induction)。感應既有阻止電流運行之效，故常應用之爲阻止高週率電流之通過，而使低週率電流安然通過之法。此種線圈，稱爲阻流圈(choke coil)，常用於無線電工程收發線路之中。於不相觸之兩線圈發生之感應現象如下述變壓器內，謂之互感應(mutual induction)，其相當之磁感量，謂之互感量(mutual inductance)。

13. 磁感量與自感量 上述二種感應之數量，稱之爲磁感量(inductance)與自感量(self-inductance)，其單位爲亨利(henry)。

凡導體有磁感量一亨利者，即該導體電流之增減速率，為每秒鐘一安培，而能發生一伏脫電壓之謂也。是以感應電壓數量之多少，與磁感量及電流增減速率為正比例，甚為明瞭。若以公式表之，當為

$$E_{av} = L \frac{I_1 - I_2}{t} \dots\dots\dots \text{公式(10)}$$

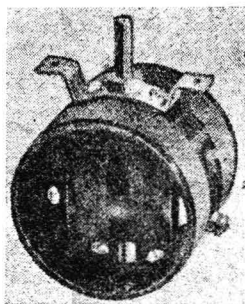
公式內 E_{av} 為感應電壓平均值，單位為伏脫， I_1 為未變前之電流值， I_2 為已變後之電流之值，單位為安培， t 為自 I_1 變至 I_2 所佔之時間，單位為秒， L 為自感量，單位為亨利。

例如某線路內有自感量 2.4 亨利，問當電流值 12 安培降至 4 安培於 0.10 秒時，感應電壓若干？

按公式
$$E_{av} = L \frac{I_1 - I_2}{t} = 2.4 \times \frac{(12 - 4)}{.10} = 1920 \text{ 伏脫}$$

上公式係感應電壓與自感量之關係。至於導體本身之磁感量之強弱，全恃該導體之方式而定，如導體之直長者其磁感量小，螺

第 一 四 圖



變 量 互 感 圈

繞者磁感量大，導體本身之大小粗細，無大關係。故在無線電工程中，欲得高磁感量者，均將導體繞成螺旋狀，圈數愈多磁感量愈大。因亨利之單位太大，常用之磁感量單位為千分之亨利，稱為千分亨利 (millihenry)，及百萬分之單位稱為兆分亨利 (micro-henry)，亨利之單位，互感量及自感量均適用之。

14. 磁感量之計算 導線之磁感量之巨細，其成因甚多，例如導線繞繫之方式，導線之圈數及長短，以及導線旁有否磁性物體之存在，設有存在，則其磁化強度 (intensity of magnetization) 若何，均有關係，公式極為繁複。除下列之最簡單公式外，學者有志深造，請參閱交流電各書。

尋常長螺形線圈之自感量，可以下列公式計算之。

$$L = \frac{1.26N^2A\mu}{10^8 \times l} \dots\dots\dots \text{公式(11)}$$

公式內 L 為平均之磁感量，其單位為亨利， N 為圈數， A 為圈心之截斷面積，單位為平方公分， μ 為圈心之磁感比率，(permeability) 空氣為 1，鐵則隨磁化強度而異，約為數千， l 為線圈長度 (非導線之長度)，單位為公分，其應用可以下列例明之。

求變壓器正圈之平均磁感量，設該圈長為 100 公分，鐵心截斷面積為 300 平方公分，共繞 400 圈，鐵之磁感比率為 3000。

$$L = \frac{1.26N^2\mu A}{10^8 \times l} = \frac{1.26 \times 400 \times 400 \times 3000 \times 300}{10^8 \times 100} = 18.1 \text{ 亨利}$$

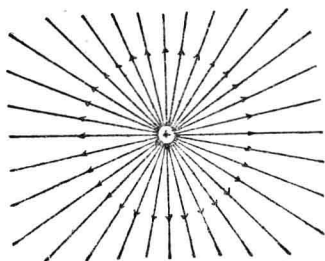
互感量之計算，亦得適用此公式，但須假定兩圈繞同一鐵心或

空氣心，且將公式內之 N^2 ，代以 N_1 及 N_2 ，內 N_1 及 N_2 為兩個線圈之圈數。若不繞同一心上，距離與方式至有關係，公式較繁，故不錄。

15. 電力線與電場 凡物體內原子損失其固有電子一個或一個以上，此物體即荷正電，反之若獲得額外一個或一個以上之電子，即荷負電。而異性相吸，同性相拒，為靜電現象中，最基本之原理，而吸拒力之表現，亦似磁力線，可以電力線 (electric lines of force) 表之。如第一五圖 Q 為一正電量，四周無他電量存在，則 Q 之電力線均向外發射如半徑式 (radially) 之射出，頗似圓形果之帶有芒刺者。凡在此電力線力量所能達之空間謂之電場 (electric field)。第一六圖示兩同性電量之力線分佈，第一七圖為兩異性電量之力線分佈現狀。

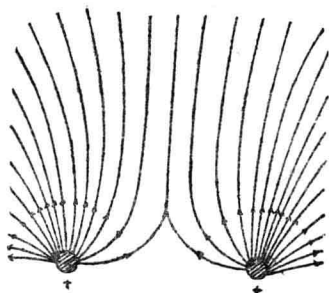
16. 電容量與電容器 在無線電工程上與磁感量並重者厥惟電容量，可以下圖 (第一八圖) 明之。假如有導體兩片 如 A 與 B

第一五圖



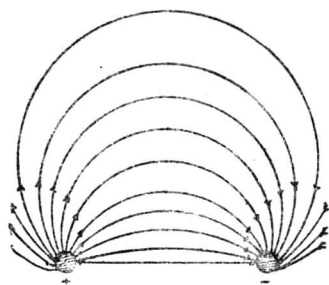
四周無電量之正電之力線分佈

第一六圖



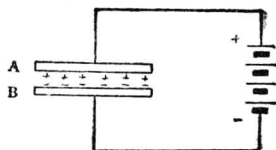
兩同性電量之力線分佈

第一七圖



兩異性電量之力線分佈

第一八圖

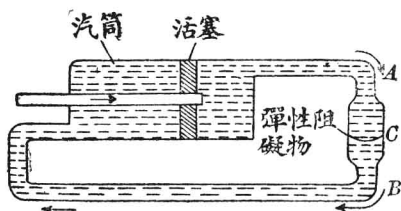


電容器之充電

間夾以一絕緣體，（如空氣，紙或玻璃），將電池兩極連接如第一八圖，則A片上荷正電，B片上荷負電，於是A與B之間，即發生電壓之差。此因電池連接至該兩片後，A片上一部游離之負電子，即離去經電池而至B片，故A片荷正電，而B片荷負電。當負電子自A至B之際，有頃刻之電流通過電路。此電流通過之數量，由大而小，直至兩片間之電壓與電池電壓相等而止。假如以一交流電源代電池，則兩片上之電壓正負，隨電源而改，蓋交流電之正負兩極，既在變更，而其數量，亦在變換，由是兩片上之電壓，不能獲得與電源電壓相等之穩定時期，是以來往游移之電子，永久移動，在直流中雖有最初之瞬息電流，然以其為時太暫，故於尋常之電表中有時亦不能察見，交流則能之。此種儲蓄電量於兩導體與一絕緣體之間之容量，謂之電容量 (electric capacity)，而此兩導體及一絕緣體合名之曰電容器 (condenser)。

電容器之作用，又可以水流喻之，例如第一九圖為一水筒及水管，中間在C處置有一具彈性之阻礙物，當活塞向右進行，水流由A而下時，該彈力片自向下彎，使水向B而流，反之如活塞向左

第一九圖



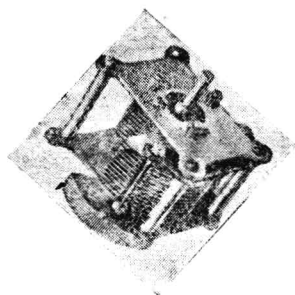
以水流比喻電容器之作用

進行，彈力片迫水向A而流，是以水雖未自A處而流至B處，但管中之水，確在前後鼓盪，宛如流水，彈性物有如電容器內之絕緣體，如活塞祇向一方進行，則水流僅作一次之鼓盪而止，如電容器之接至直流電源是也。若活塞繼續進退不已，水流之鼓盪亦復隨之不已，如電容器之接至交流電源是也，以此譬喻，合之上述原理，學者當能理會電容器之作用矣。

電容器之電容量數值，全恃絕緣體之種類，兩導體中間所隔之距離，及兩導體相互對合之面積。假若同一絕緣體，則電容量之大小，與中間距離為反比例，與兩導體相互合罩之面積成正比例。電容量之單位為法拉特 (farad)，因其價值太大，常用之單位為法拉特之百萬分之一，稱為兆分法拉特 (micro-farad)。電容器之構造，

種類甚多，有定量者，有變量者（如第二〇圖），導體大都金屬，如銅、鋁等類，絕緣體大都空氣，亦有用油、玻璃、紙及雲母片者。

第 二 〇 圖



變 量 電 容 器

此種因電容器兩片電壓變化而發生電流，即電容量之性質也。

若以公式表之，宛如自感量，所異者，電流與電壓交換是也。

$$I_{av} = C \frac{E_2 - E_1}{t} \dots\dots\dots \text{公式(12)}$$

公式內 I_{av} 為電流平均值，單位為安培， E_2 為未變前之電壓， E_1 已變後之電壓，單位為伏脫， t 為變值時所佔之時間， C 為電容量，單位為法拉特。

17. 電容量之計算 電容器之較簡單而適用於無線電工程者，可以下列各公式計算之。

(1) 完全隔離之圓球。

$$C = r \dots\dots\dots \text{公式(13)}$$

公式內 C 為電容量，單位為電容量之絕對靜電單位 (electro-

static unit of capacity), 若欲以兆分法拉特計之, 可除之以 0.9×10^6 之數, r 為該圓球之半徑, 單位為公分。

例如地球半徑為 4000 哩, 其電容量當為

$$C = \frac{4000 \times 5280 \times 12 \times 2.54}{0.9 \times 10^6} = 710 \text{ 兆分法拉特}$$

(2) 雙片平行電容器。

$$C = \frac{KA}{4\pi d} \text{ 靜電單位}$$

如以實用單位表之, 則

$$C = \frac{KA}{4\pi d} \times \frac{1}{0.9 \times 10^6}$$

$$= \frac{8.84KA}{10^8 \times d} \text{ 兆分法拉特} \dots\dots\dots \text{公式(14)}$$

公式內 C 為電容量, 單位為兆分法拉特, K 為通感常數(dielectric constant), 其價值視兩片間之通感物體 (dielectric) 而定, 詳見下第19節。 A 為兩片互相罩合之面積, 單位為平方公分, d 為通感體之厚度, 即兩片導體間之距離, 單位為公分。

(3) 多片變量電容器。

無線電路中所用電容器, 頗多變量式者, 計算是種電容器之電容量, 仍可用公式(14), 但須乘以因數 $(n - 1)$ 即得, 內 n 為固定及移動片之總數, 因斯種電容器, 固仍為數個雙片平行電容器合組而成, 但電容器個數, 必較片數少一也。

應用公式(14),可以下例明之。設有面積為6平方吋,固定6片,移動5片之電容器一具,片係半圓式,片與片之間為空氣0.05吋,求兩片完全罩合時之最大電容量。

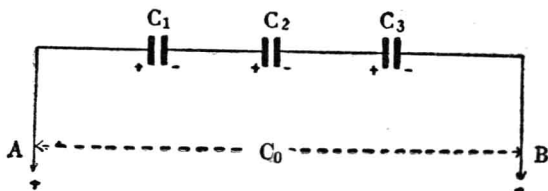
$$C = \frac{8.84KA(n-1)}{10^8 \times d} = \frac{8.84 \times 1 \times (11-1) \times 6 \times 2.54^2}{10^8 \times 0.05 \times 2.54}$$

$$= 0.00027 \text{ 兆分法拉特。}$$

18. 電容器之串聯及並聯 若一個電容器之電容量,適用時感覺太多或嫌少,則可如電阻之串聯或並聯,以減少或增加其電容量,茲分述如下:

(1) 串聯 設有 n 電容器組成串聯,即第一電容器之負極接連至第二電容器之正極,後以第二電容器之負極,接連至第三電容器之正極,最後以第 n 電容器之負極接至充電電源之負極,而以第一電容器之正極接至電源之正極,如第二一圖所示,惟電容器正負極,並非固定,固視接於電源上之正負而異也。此 n 個電容器連成串,故名串聯,充電後各器所蓄電量 Q 相等,而各器兩片

第 二 一 圖



電 容 器 串 聯 接 法

間電位差之和，爲此串聯組之總電位差，即

$$V_0 = V_1 + V_2 + V_3 + \dots + V_n$$

但
$$V_1 = \frac{Q_1}{C_1}, \quad V_2 = \frac{Q_2}{C_2}, \quad V_3 = \frac{Q_3}{C_3} \dots$$

$$\therefore V_0 = \frac{Q_1}{C_1} + \frac{Q_2}{C_2} + \frac{Q_3}{C_3} + \dots + \frac{Q_n}{C_n}$$

因
$$V_0 = \frac{Q_0}{C_0}, \quad Q_0 = Q_1 = Q_2 = Q_3 = \dots = Q_n$$

故此串聯組總電容量爲

$$\frac{1}{C_0} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_3} + \dots + \frac{1}{C_n} \dots \text{公式(15)}$$

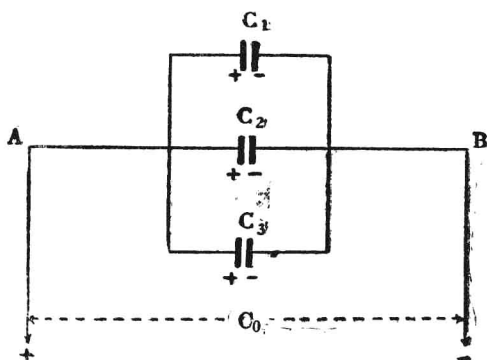
以文字表述之：即凡 n 個電容器串聯後，其總電容量之倒數，等於各電容量各倒數之和。若串聯電容量相等之電容器，則其總電容量爲各電容器之電容量幾分之一，即

$$C_0 = \frac{C}{n} \dots \text{公式(16)}$$

從上二式，可見串聯後之電容器其電容量較原有之任一電容量爲小，故串聯效果實爲減少電容器之電容量也。

(2) 並聯 聯合所有電容器之相同電性之極板爲一組，如所有正極板均接於電源之正極，負極板均接於電源之負極，如第二二圖所示，以行充電，充電後，各電容器兩板間之電位差均相等，而總蓄電量爲各器所蓄電量之和，故總電量

第 二 二 圖



電 容 器 並 聯 接 法

$$Q_0 = Q_1 + Q_2 + Q_3 + \dots + Q_n$$

但 $Q_1 = C_1 V_1, Q_2 = C_2 V_2, Q_3 = C_3 V_3, \dots$

$$\therefore Q_0 = C_1 V_1 + C_2 V_2 + C_3 V_3 + \dots + C_n V_n$$

因 $C_0 = \frac{Q_0}{V_0}$ 故此並聯組之總電容量為

$$C_0 = C_1 + C_2 + C_3 + \dots + C_n \dots \dots \dots \text{公式(17)}$$

若以文字表之：即凡 n 個容電器並聯後，其總電容量等於各電容器之電容量之和，如並聯之各電容器之電容量相等，則其總電容量為各電容量之幾倍，即

$$C_0 = nC \dots \dots \dots \text{公式(18)}$$

從上兩公式，可見各電容器並聯後之總電容量較原有之任一電容量為大，故並聯之效果為增加電容量。

故欲用較大電容量可並聯得之，欲用較少電容量則串聯之可

也，綜上電容器串聯並聯之效果，實與電阻相反者。

例題 今有三電容器，其電容量為 $100 \mu\text{mf.}$ ， $350 \mu\text{mf.}$ ， $750 \mu\text{mf.}$ ，試求總電容量，(a)串聯，(b)並聯。(μmf. 為兆分法法拉特之縮寫)

$$\begin{aligned} \text{解：(a)} \quad \frac{1}{C_0} &= \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_3} = \frac{1}{100} + \frac{1}{350} + \frac{1}{750} \\ &= \frac{105 + 30 + 14}{10500} = \frac{149}{10500} \end{aligned}$$

$$\therefore C_0 = \frac{10500}{149} = 70 \mu\text{mf.}$$

$$(b) \quad C_0 = C_1 + C_2 + C_3 = 100 + 350 + 750 = 1200 \mu\text{mf.}$$

19. 通感常數與絕緣能力 電容器二導體中間之絕緣體，亦名通感體，意謂電流雖不能行，而電力線卻能通過而生感應現象也。若於一電容器，首以空氣為通感體，量其電容量為若干，再易以他種絕緣物質，如雲母、紙、油之類而量其電容量，則所得必多於空氣為通感體，此倍數稱曰通感常數。下列表即為最普通應用通感體之通感常數。

又若於前第一八圖內電壓加增至相當數量，通感體之絕緣能力 (dielectric strength) 將為損壞而變為導體，有如水管中壓力過巨，橡皮緊張過甚而破裂，不能復原。空氣每公分長之絕緣能力為30,000伏脫，他項絕緣體高低不等，故每一電容器兩導體間距離不變，其最高電壓不能逾越。但若以空氣作絕緣體，破裂以後電壓

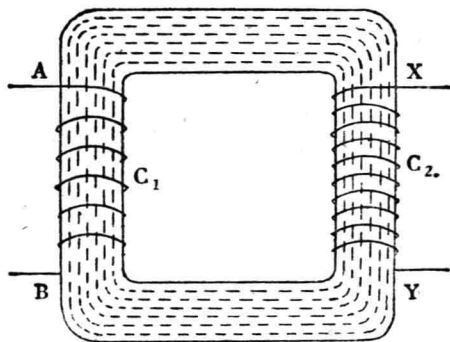
通感體	通感常數	通感體	通感常數
空氣	1	石英	4-5
玻璃	4-10	橄欖油	3
雲母	4-8	貝母子油	4-5
紙	1.5-3	石油	2-3
瓷	5-7	硬橡皮	2-4

改低，有立即復原狀之利，他物質則破損以後，非易以新者不能應用矣。

20. 變壓器 變壓器 (transformer) 爲利用電磁感應原理之最重要電具中之一。變壓器之應用，自其名稱，即可知其爲變換電壓之用。高壓之自高而低，稱爲下階變壓器 (step-down transformer)，反之，自低而高者，稱爲上階變壓器 (step-up transformer)。而同一變壓器，上階或下階可以互相調用，全恃電源地位而定。變壓器原理頗繁，茲簡述之如下：

例如第二三圖，AB 爲一組線圈（銅或其地金屬）XY 爲另一組線圈，各環繞於鐵心 C_1C_2 之上，二圈之間無電的接觸，設 AB 引至一交流電源，如發電機或任何交流電源，則在 AB 中流動之電流生出磁力線於鐵心 C_1C_2 內因而發生磁場。依前述感應原理，此互相往來常在變值之交流電磁場，即能影響及於 XY 線圈中，而發生同週率之交流電壓。如將 XY 兩端連接至電燈，電燈可燃，接至電動機，機可運轉，其供給電能與發電機無異。電工率輸進之

第二三圖



簡單式變壓器

線圈，謂之正圈 (primary coil)，輸出之線圈，謂之副圈 (secondary coil)。

變壓器之傳受電能，既如上述，今將述其所以能將電壓變換之故，吾人須先知電磁感應所發出之電壓之數量，與導體在磁場以內之多寡，適成正比例。在上圖中，如 AB 之圈數，較 XY 為多，而以 AB 接至高電壓之源，則電壓傳至 XY 為遞減，是為下階變壓器。反之，若 AB 圈數較 XY 為少，則電壓自 AB 至 XY 為增加，成上階變壓器，如 AB 與 XY 圈數不變，而易其電源接至 XY，則上下階之關係，適與上述相反，故變壓器之電壓進電與出電之比率適為圈數之比率。例如 E_1 及 E_2 為 AB 與 XY 之電壓， N_1 及 N_2 為 AB 與 XY 之圈數，則

$$\frac{E_1}{E_2} = \frac{N_1}{N_2} \dots\dots\dots \text{公式(19)}$$

變壓器在電機工程界，極佔重要位置，結構種類不一，在無線電工程中發報臺所用變壓器與電廠所用，無甚大異；而在接收機內所用變壓器，大概甚小，其兩線圈所繞成之或為鐵心，或為空氣，至其感應發電因而變壓之原理，固無分別也。

21. 效率 凡屬電機電器，不能無電阻，能力即有一部分消耗於熱，除電器之專以取熱而特製者外，此類熱量，即屬損失，其他尚有種種損失，如滯磁 (hysteresis)，渦流 (eddy current) 及一切機械損失，不及詳論。故所有機器，其輸出能力或工率必少於輸進能力或工率，而所以測量其輸出輸進之工率比例者，謂之效率 (efficiency)，故

$$\text{效率 } \varepsilon = \frac{\text{輸出工率 (output power)}}{\text{輸進工率 (input power)}} \dots\dots\dots \text{公式(20)}$$

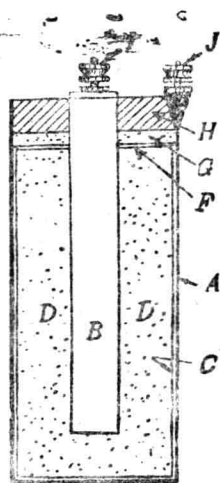
$$\begin{aligned} \text{效率 } \varepsilon &= \frac{\text{輸出工率}}{\text{輸出工率} + \text{損失工率}} \\ &= \frac{\text{輸進工率} + \text{損失工率}}{\text{輸進工率}} \dots\dots\dots \text{公式(21)} \end{aligned}$$

22. 電池 除感應發電以外，取電之最簡單最普遍者，當推電池 (electric cells)。電池之原素，為不同兩片金屬片，及一種化學液體所組成；亦有所稱熱電池者以兩種不同金屬相接觸，其兩端溫度不等，可得電壓差於其兩端，為值微細。凡以兩種不同金屬片，與液體之不同，有電壓極微細而不易覺察出者，有電壓極顯著因以實用者，種類繁多。凡以同種電池串聯或並聯成組而應

用者，謂之電池組(electric battery)。

在無線電界中電池之最普通者，即為乾電池(dry cell)，該項電池乃李克蘭舍電池(LeClanchè cell)之變形，以其輕便易於攜帶，故人多樂用之以代替他種電池。該項電池並不真乾，不過其所用之化學液汁，頗似糊狀物，又於外面妥為封固，致無傾覆之虞。第二四圖表示一約 15 公分高之標準乾電池，其負極為一鋅筒 A，兼作化學液汁之容器。筒裏襯以富於吸收性之紙 C (如吸水紙)，以防短路。筒之中央置一較筒稍短之炭精棒 B 以為正極。各極之頂，裝以螺絲 I 及 J，以為引線。正極周圍充以二氧化錳及焦炭之粉末，以防電池之極化作用 (polarization)。電池之極化云者，乃電池內由化學作用所生之氫泡附着於正極上致使電流衰減之現象也，亦有加入少許石墨以減低電池之內電阻(internal resistance)者，二氧化錳及吸水紙等皆飽浸以氯化銻 (sal ammoniac) 之溶液，即成電解質 (electrolyte)。其上蓋以皺紋之紙 F，舖以細砂 G，最後更以熔融之瀝青 (pitch) 或火漆 (sealing wax) H 密封筒口，以防瓶內電解質之蒸發。

第二四圖



乾電池之截面

瓶內所起之化學作用，可以下式表之：



由此可知，瓶內發生化學作用之結果有二：(1) 鋅筒日趨消蝕，致使瓶內溶液漸漸漏出而變真乾；(2) 當二氧化錳用罄之日，即電池極化開始之時，電流因之銳減。二者皆以促短電池之壽命。

電池之電壓祇視其所用之質料而定，而與其自身之大小無關，此為吾人熟知之事。故新乾電池之電壓，每個約為 1.5 伏脫，初次應用後，漸次遞減，故欲保持此電壓或較高之電壓，當用若干個電池串聯以得之。

試驗乾電池之放電情況良否，可用一低電阻（小於 0.01 歐姆者）安培表跨接於兩極頃刻，量其短路電流。當全新時其值可有 25 至 35 安培。舊者內電阻增高，短路電流則不及此值。但若其值小於 5 安培時，此電池即歸無用。

乾電池之用途甚廣，如門鈴，電報，電話，蜂音器 (Buzzer) 及內燃機之導火線等。其於無線電方面之用途，如“A”電，“B”電，及“C”電，則更普通矣。

23. 蓄電池 電池之常用於無線電收發機件中，除乾電池外，當為蓄電池 (storage cells)，蓄電池之原理，異於乾電池及其他電池者，因乾電池等之電能，出自電池本身內之化學作用，無須外界協助，而蓄電池則不然，蓄電池須先將外界電能（直流）輸進，蓄於電池中為化學能力，然後於應用時，再自化學能力，變為電

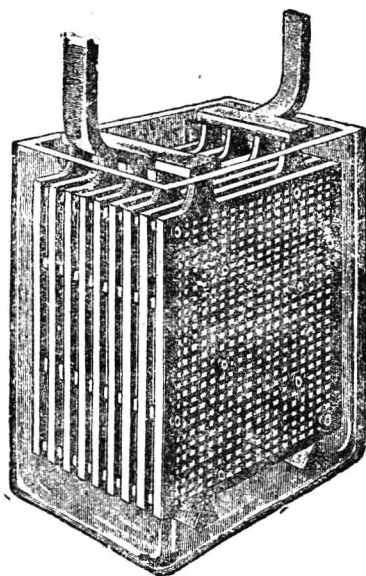
能，此其所以名爲蓄電池也。蓄電池在無線電工程上之地位，異常重要，不厭求詳，概述於下。

蓄電池最重要之種類凡二：一爲鉛蓄電池(lead storage cell)，又一爲愛迪生蓄電池(Edison storage cell)。

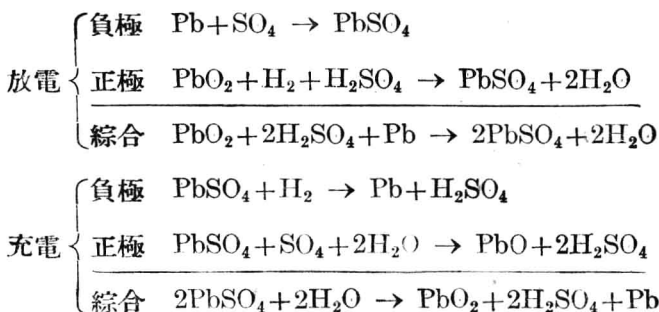
現代最普通之蓄電池爲鉛蓄電池，鉛蓄電池中以純鉛(Pb)爲負極，狀如海綿，色深灰；以二氧化鉛(PbO_2)爲正極，醬色硬質，電解質爲硫酸(H_2SO_4)之水溶液。鉛與二氧化鉛，俱非良好導體，且質不易成片，故必須嵌入較硬之良好導體之結構，藉以支持，此種結構大概以鉛及錫之合金，取其與他物俱不起化學作用。鉛與二氧化鉛，常稱之活動質料(active materials)，以別於支持之結構。將活動質料嵌入結構，共有二法，鉛蓄電池之分類，亦基於此。第一爲勃郎得氏法(Plante process)，前述之結構，在電池外用電解方法，將鉛或二氧化鉛，附着於表面以成正負極，第二爲法來氏法(Faure process)，結構表面鑄以小孔，將活動質料用壓力嵌入，勃郎得式片同工量較重而昂於法來式片，但較堅實而持久，孰取孰舍，當視業務情形而別。祇用二片而成之電池，因其浸沈表面有限，工量不大，故欲得巨大工量，必須增多鉛片；欲得高電壓，必須將多電池串聯，名蓄電池組(storage battery)。無線電收音機所用“A”電池組，常係三電池串聯，共得電壓約爲6伏脫左右。

鉛蓄電池充電放電時之內部化學作用，可以下式表之：——

第 二 五 圖



鉛 片 蓄 電 池



24. 蓄電池之容量 蓄電池容量單位為安培小時 (ampere hour) 例如 100 安培小時之蓄電池可供給 12.5 安培於 8 小時間。

依理論言之，該電池當能供給 25 安培於 4 小時或 50 安培於 2 小時，但實際上則放電速度愈快則容量縮減，其故無非由於片內小孔附近硫酸易盡，只餘純水，不及自外補充，於是有效面積減少，容量因低。若同一放電速率上，蓄電池之容量，視鉛片與電解質相觸之面積，及活動質料之數量而大小。電解質之溫度，亦有影響，溫度低則內阻增，容量以跌，溫度太高，有效壽命將低，故過高過低之溫度均宜避免之，平常以 40°C 之溫度為標準也。

使用蓄電池之注意：從上述理論，吾人可推論使用時所宜注意之點，下列各點務宜避免，以得最高效率之業務也。

(1) 充電太速 充電時間之標準為 8 小時，例如 100 安培小時之蓄電池，平均充電電流將為 $\frac{100}{8} = 12.5$ 安培，雖可較長或較短，然 8 小時之速率，最足保證高大效率及有效壽命，若充電稍速，其容量因落，過速則氣泡發出特快，溫度驟升，活動質料不及積增於鉛片上而沈澱於池底，若不除去有使二極成短路之虞。

(2) 電解質不純潔 此點常為蓄電池最大之弊病所在。除最純潔之硫酸與蒸溜水外，切不可亂用他物替代。電解質中若有不潔如他種金屬，積增於極上，與鉛片成局部作用 (local action) 消耗能力而不能使用。

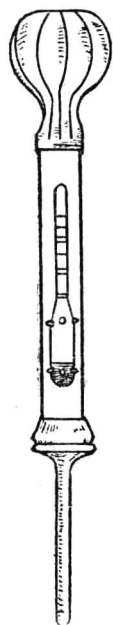
(3) 電解質太濃厚或太稀薄 各種蓄電池電解質之比重 (specific gravity) 視該電池所負之業務而異。如蓄電池之用於繼續業務，比重較高，用於間斷業務，比重較低，在可能範圍中，電解

質之比重以高爲宜，因比重高則內阻減而電壓高。比重與電解質在池內所佔空間之多少，又有關係：如空間寬裕比重有時在充電滿足低至 1.200，否則有高至 1.300 者。且電解質之濃度與充電放電程度有顯著之效，是以欲知該蓄電池之充電或放電程度，可以比重表 (hydrometer) 浸沈於質內以測之。充電滿足時，比重當在 1.200 至 1.300 間，放電時最低比重不得過 1.17。關於比重及電壓之絕對數量，應用蓄電池者，須參照各製造家之說明書遵行之。

(4) 過量充電或過量放電 充電時若所有活動資料俱已轉變爲鉛及二氧化鉛，即宜停止，否則過量充電 (over charge) 徒然消耗電能，蓄電池充電已否滿足，可以下列三事測之。(a) 當以普通速率，充電時二極發出巨量氣泡，如同沸滾，充電已滿足；(b) 比重已到相當數量，且維持一小時，其數未增，充電已滿足；(c) 外加電壓一小時內保持常數不變，充電已滿足。

學者於此注意蓄電池之斷路電壓之數量，絕對不能指示吾人以該電池之充電放電程度，因電池之斷路電壓，全視二種不同金屬及一電解質而定，與片之面積重量均無關。鉛與二氧化鉛在比重 1.20 硫酸內

第二六圖



比重表

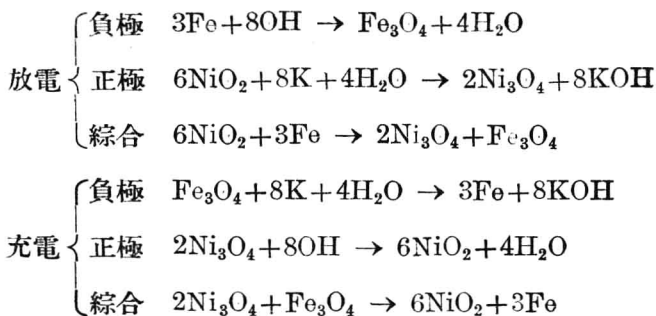
之斷路，電壓永爲 2.05 伏脫左右而不變，是以測蓄電池之電壓當於其在普通速率 (normal rate) 充電或放電時間方足爲憑也。

過量放電 (over discharge) 爲害於蓄電池之弊病尤甚，其效乃使 PbSO_4 積貯太多，內阻增，硫酸薄，電壓因跌，且促進硫酸鉛硬化，故凡一蓄電池在普通速度放電，其電壓已降至 1.75 伏脫者切不可使其繼續放電。若蓄電池儲藏不用，須先充電，置於涼爽乾燥之地。池內電解質量，以越過片頂半吋爲度，水經蒸發，宜時時加蒸溜水以滿之。

(5) 充電方向之注意 充電方向錯誤是猶過分放電，促進硫酸硬化或竟使主要物料崩壞脫落，設電池兩極與電源兩極得以識別者，當不致有此錯誤，設或兩極性質不易辨識，則可以兩極接線浸入淡鹽水溶液，視有氣泡發現之線，必爲負極。

25. 愛迪生蓄電池 愛迪生蓄電池之正極爲鋼質，含有氧化鎳 (nickel oxide) 混雜其中，其負極爲純粹鐵片，鐵質異常細勻易於化合。浸沈之溶液爲氫氧化鉀 (potassium hydroxide)，盛器亦爲鋼質。故爲避免正負兩極之與盛器相觸，用絕緣體之橫凸物以阻之。愛迪生蓄電池之電壓，每個約爲自 1.45 至 1.52 伏脫之間，惟輸出電流後，降落頗速，至 0.9 伏脫則該池所蓄電力即罄，若欲應用，必須再輸入電力矣。因電壓降低較速之故，若用以燃燒真空管燈絲，愛迪生電池稍遜於鉛電池，愛迪生電池應用時大都亦成組以增電壓。

愛迪生蓄電池之內部化學作用，衆說不一，今以美國愛迪生蓄電池公司之考定記錄如下：



26. 鉛電池與愛迪生電池之比較 兩種蓄電池之異點，可以下列各項比較之：

(1) 放電之平均電壓 鉛蓄電池 1.95 伏脫，愛迪生蓄電池 1.20 伏脫。

(2) 電池重量每磅之瓦特小時 鉛蓄電池 8.5，愛迪生蓄電池 16.8。

(3) 內阻 愛迪生蓄電池較高，效率因之而低。

(4) 儲藏 不論於放電充電狀態中，愛迪生電池可儲藏不用，而鉛蓄電池於放電狀態中，不宜久儲，充電狀態中止限數月，久則損壞。

(5) 應用溫度 愛迪生蓄電池最宜應用於 70°F 左右，過於不及，將大減效率，而鉛蓄電池之溫度，限制較寬。

27. 電機概說 由動力而得電力，為發電機 (electric genera-

tors), 由電力而得動力, 爲電動機, 統稱之曰電機(electric machines), 凡一電機有二重要部份, 一曰電樞(armature), 卽感應電壓所在之鐵心及線圈。二曰場磁鐵(field-magnets), 卽發生磁場之電磁鐵, 此外尙有整流環(commutator)或滑環(slip rings)以引直流或交流於外路。普通電機均爲固定場磁鐵(stationary field), 旋轉電樞(rotating armature)。然爲得巨量高壓電流, 亦有相反者。場磁鐵或爲一雙, 或爲多雙, 其雙數之多寡, 因設計之不同而各異。電機又分交流機與直流機。交流機有單相(single-phase)及多相(polyphase)之別, 直流亦有自勵(self-excited)及他勵(separately-excited)之區。關於電機之原理構造及應用, 非本書所能論, 學者當自可參考各電機專書也。

第二章 無線電交通大意

(General View of Radio Communications)

無線電之傳導能力，以成交通，全恃電波作用。而電波之發生，乃由於發射臺藉電機或真空管之作用，變信號或言語音樂為電流，輸至天線藉電磁放射於空中，成為電波以達於接收臺。接收臺更藉電波之作用，化成機械動作。於是信號及言語音樂之傳達，得以成功。是故無線電之交通，實借力於電波之放射，及發射臺接收臺之轉變機械能力與電能力。使兩地雖遠隔重洋大海，仍可暢通無阻也。而此種電波之發射，乃藉空中以太(ether)以傳導，故曰無線電。其專治此學之科學為電學之一種，即稱之曰無線電學。其專治此種建設，使用及製造之工程，為人類社會之用者，曰無線電工程(wireless engineering)；又有因此類之電，係能力之放射，又名之曰射電(radio)。其治此之科學及工程，又名之曰射電學及射電工程(radio engineering)。本章略述無線電波之性質及收發情況之概要，俾學

者於無線電略知門徑，然後閱讀以下各章時，易於領會。

1. 無線電波 無線電之散射，全恃電波。電波之發射四方，與聲波光波，頗多相同之處，例如聲波之放射，向空間四處散出，凡在聽覺所及之地，皆能聞及。光波亦然。所不同者，乃尋常聲波與光波之發現，皆可藉吾人耳目察得之，而無線電波 (radio wave)，則非有極精巧靈敏之接收機，不能發覺。

至於無線電波之如何發生，如何在空間傳導，尙爲科學界爭論之問題。關於解釋無線電波之學理，雖極繁複，而其最重要者，厥惟電磁波學理 (electro-magnetic wave theory)。其說即凡有電流更動其量，即發出電磁波，藉以太之傳導，以及於四週空間。而以太之存在，尙屬假定，自德國學者愛因斯坦 (Einstein) 氏相對論發明以後，以太存在之假定，爲之動搖。然爲解釋各種電波現象，以太存在之學說，通常仍多用之。

以實用言之，既不求高深學理，以太存在與否之問題，暫可置之不理。吾人須知無線電之發報機，於使用時，發射出一種電磁波浪。此種電磁波浪，除波之長度及週率數量不同外，與光波相同。其速率同爲每秒鐘 3×10^8 公尺 (metre)。惟其波長與光波相差甚遠。例如光波長度約爲千萬分之一公分。而無線電波之長度，用於越洋大電臺者，長至 25,000 公尺。用於廣播電臺者，亦在 200 公尺以上。最近雖漸知短波之利益，而能實用者，尙在 20 或 10 公尺以上。換言之，光波與無線電波週率之相殊，亦正相同。（關於波長及週

率之解說，見後）。此種無線電波，與光波不同者，尚有穿過各種物質之能力。凡石牆高屋樹林湖山，無不能經過。其他金屬品之建築，如鋼橋、貯油塔、高大鋼屋、稍稍吸收無線電波。但若距收發電臺較遠，亦不妨礙。

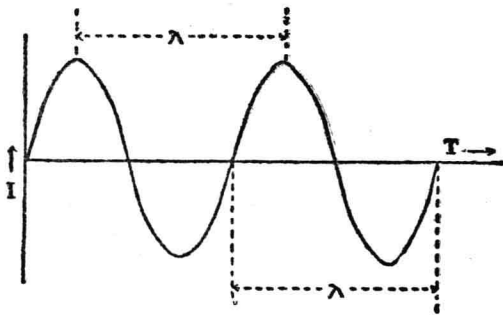
無線電波，在今日世界，隨時隨地，已滿佈空間。其熱鬧喧嘩，幾與大城繁市之人物聲音相仿。吾人以耳目知覺之有限，不能覺察。而接收者能選擇一臺以注聽之，不致為羣波所擾亂者，全因各臺所用電波長度之不同，與接收機選擇性質之優越耳。

2. 聲波光波與無線電波之關係 無線電之能供人類傳達消息：音樂言語及照片形景之用者，全係於無線電波與聲波(sound wave)光波(light wave)之互相變換。即如有線電話，由人聲而更變電流量，更由電流量之變換使鋼膜振動變為聲波，以及於耳。無線電報亦然。在發射機由聲波變為無線電波，至接收機復由無線電波變為聲波。收電報者以聲音所佔時間之久暫，以辨號碼。而譯成文字。音樂或語言，即可直接聞之。無線電照相(radio-photo)及傳形(tele-vision)，乃藉光電池(photo-electric cell)易光之深淺，為無線電波之強弱，復用氖氣管(neon bulb)將電流之強弱易為光之明暗。所異於有線電交通者，其要點乃在導體傳導電流，易以以太之推進電波耳。

3. 波長 無線電波之長度(wave length)，(以後簡稱為波長)為無線電學中最重要之名詞。其意義可以聲波或水波喻之。假使吾

人以石投池中，即見水波向外四射，以及於遠。而其一波之高尖部〔此高尖部謂之陵(Crest)，其大小謂之波幅(Amplitude)。〕離次波之高尖部，常有一相等之距離。此相等之距離，即為水波波長。又如聲波，假如吾人擊鐘一下，鐘面受激而震盪，遞次而傳達及於吾人之耳。而以鐘聲震盪之交相內外，空氣密度亦因之交相厚薄，成為波浪作用。一波之某點至次波相似一點之距離，即為聲波之長度。電流在導體中交互升降，在旁之以太即發生一種波浪作用，其理亦復相同。此波之陵與次波之陵之距離，或自此波之一點至次波之類似一點，即為波長。(見第一圖)波長以公尺計算。在公式內常以希臘字母 λ 代之。

第一圖



波長之解釋

4. 週率與波長之關係 凡波浪自一波起始之點，至次波起始之點，謂之一週 (cycle)，即週而復始之意。而每秒鐘時間中，所發生之週數，謂之週率 (frequency)。每週所需之時間謂之週期

(Period)。波長為每波之距離，週率為每秒鐘所發生波浪之次數，因得下列最重要之公式：

$$V = f \times \lambda \dots\dots\dots \text{公式(1)}$$

內 V 為電波推進速度，單位為每秒鐘公尺數。 λ 為波長，單位為公尺。 f 為週率，單位為每秒鐘週數。公式(1)又可變化方式如下列二式：

$$f = \frac{V}{\lambda}$$

或
$$\lambda = \frac{V}{f} = VT$$

內 T 為週期，單位為秒，等於 $\frac{1}{f}$ 。

電波之推進速度，即為光之速度，等於每秒 186,000 哩，或 3×10^8 公尺，已如上述。吾人若已知週率，即可從上列公式，以求波長。反之亦然。在先無線電界中，常以波長表示發射電臺之區別，近則有改用週率之趨勢，所用單位為基羅週 (kilo-cycles) 及兆週 (meg-cycles)，即每秒鐘千週及百萬週是也。

波 浪 性 質	波 長	週 率
無 線 電 波	$3 \times 10^6 - 6 \times 10^{-1}$	$1 \times 10^4 - 5 \times 10^{10}$
熱 波	$6 \times 10^{-1} - 3 \times 10^{-2}$	$5 \times 10^{10} - 1 \times 10^{12}$
低 度 紅 光	$3 \times 10^{-2} - 8 \times 10^{-5}$	$1 \times 10^{12} - 3.75 \times 10^{14}$
七 色 光	$8 \times 10^{-5} - 4 \times 10^{-5}$	$3.7 \times 10^{14} - 7.5 \times 10^{14}$
紫 外 光	$4 \times 10^{-5} - 1.5 \times 10^{-6}$	$7.5 \times 10^{14} - 2 \times 10^{16}$
X 光	$1.5 \times 10^{-6} - 5 \times 10^{-11}$	$2 \times 10^{16} - 6 \times 10^{20}$

無線電波與光波相似，若以波長表之更形明顯。上表以波長與週率範圍之異同分析各種波浪之區別，波長單位為公分，週率單位為每秒鐘週數，蓋無線電波與光波熱波僅有波長之差，而關於折射 (refraction) 反射 (reflection) 及分極 (polarization) 等等之現象，類皆相同也。

5. 無線電波之分類 無線電波之分類，或根據其波長，或根據其應用，或視其波幅與時間變化之情形，至稱複雜。按照 1929 年海牙所開國際無線電會議之技術委員會所擬，無線電波按其波長，可分為下列各波長帶：——

超短波	10公尺以下
短波	10—50公尺
中間波	50—200公尺
中等波	200—3000公尺
長波	3000公尺以上

若以應用業務言，電波之波長，按照國際無線電會議所分配至為複雜。詳見本編附錄第六。若以通信距離言之，可如下述：

越洋通信	10,000—20,000公尺
500至2000公里通信	1,000—10,000公尺
100至500公里通信	450—1,000公尺
100公里以下短距離通信	450公尺以下

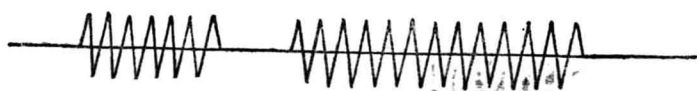
上述波長與通信距離之關係，係指數年前短波通訊，尚未發展

之情況。現則遠距離如數千公里以上之越洋通信，亦多用數十公尺之短波。最短之實用短波約在 5 公尺之譜，且有再趨更短之勢，其詳見本編第十四章。廣播業務則分配於 230 至 545 公尺之間，即週率 550 至 1300 基羅週之間。各臺所用週率至少 10 基羅週之差，偶有相同，在相近區域內，亦必須受時間上之限制，所以防止互相擾亂，而減少收音者之困難也。

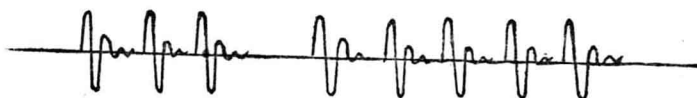
若以性質言，無線電波又可分作四種，以適合各項不同之通信設備。以點畫作字碼之通信，於電鍵 (key) 按下之時，天線連接至高週率電源，電波之形狀，將如第二圖內之(a)，圖內橫座標示時間之前進，縱座標示電波之幅。若此電波之週率為 500 基羅週，信號每點佔 0.1 秒，每畫佔 0.3 秒，於是每點與每畫各佔 50,000 及 150,000 週，此種電波謂之連續波 (continuous waves)。或稱等幅波 (undamped waves)。因各週之振幅並不因時間而遞減，且於電鍵按下時，電波繼續而不停止之謂也。在昔無線電報所用電波，多屬火花機之減幅波 (damped waves)。如同圖之(b)所示。該種電波每秒鐘常有 1000 波羣，是以信號之每點約佔 100 羣，每畫約佔 300 羣，每羣波幅依時間逐漸減縮，前羣波消滅之後與後羣波起始之前，內有空暇，並無電波之存在，此種電波，因使用上之缺點，已被淘汰。同圖之(c)，示斷續等幅波 (interrupted continuous waves) 之電報通信。高週率電源供給天線，每秒鐘斷續次數約為 500 次，於是每點及每畫各包含 50 及 150 羣之等幅波，波羣與波羣間之空暇，約等

於每波羣之時間。設週率為 500 基羅週，於是每波羣共佔 500 週。此種通信電波，與火花機之減幅波，頗多相似，所不同者，繼續等幅波之振幅保持定值，不若減幅之瞬息即滅也。電話所用之電波，謂之語言調幅波(voice modulated waves)，如同圖之(d)所示。天線

第 二 圖



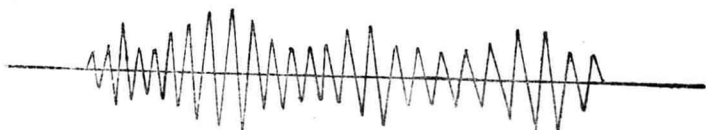
(a)



(b)



(c)



(d)

各種性質不同之無線電波

與高週率電源永久連接而不斷路。機械線路之設備，在使電波之幅隨語言音樂疾徐緩速成一包覆線 (envelope) 而放射於空間。

6. 電磁波之放射與推進 商用電力，尋常均以導線傳達。此等導線大可傳導萬千基羅瓦特之工率於百數十公里之外，如大電力廠之輸送巨量工率。小則傳導不到一瓦特之工率於數千公里之遙，如海底電線。兩者其導線限制能力於導線本體，而引導之以進行。所用週率極低，例如海底電線週率，約為每秒鐘 15 週。強力電廠電能力之傳導，週率為 25, 50 或 60 週，長途電話線或用至每秒鐘 3000 週為限。用此等週率以傳導電工率，電能力發出若干，實際上全數達到接收地點，雖因導線發熱而損失，究為少數也。

但若以週率大加增高，情形大異。電能力之一部，將自導體軼出而散射空間，永不回復至本線路之內，此種電能力，謂之放射能力 (radiated energy)，其電工率謂之放射工率 (radiated power)。自離去導線以後，電能力即在空間向各方放射，有如光波之自燈放射，音樂之自樂器散傳，日光之自日放射者然。

實則任何導線有交流電流動其中，必有一部份能力放射於外。顧於尋常週率及電路中，此能力至為微渺，不易測驗。然設增加週率，電流不變，放射能力隨之遞增甚速，直至週率至百萬週以上，放射能力之多，可使遠處檢收之。實驗證明，若電流保持原值不變，放射能力與週率之二乘方成正比例。反之若週率不變原值，而增減其電流，吾人亦可以試驗證明放射能力與電流之二乘方，亦成正比例。

若以公式表之

$$Pr = KI^2 f^2 \dots \dots \dots \text{公式(2)}$$

公式內 Pr 為放射電工率，單位為瓦特。 I 為電流，單位為安培， f 為週率，單位為每秒鐘週數。 K 為一常數，視線路方式大小而定。

無線電波既自發射天線放射以後即向空間推進，其強度隨距離遞減，最初甚速，厥後稍緩，其現象頗似磚石之投入水面。當磚石入水以後，浪花四濺，波浪逐漸半徑式向外張大。波之圓周愈大，波之高度代表波之強度亦漸低。無線電波浪亦然。但尚有一原因水波所無者，即無線電波漸次推進，一部份能力損失於地球表面樹林房屋，以及一切路線中之障礙物。氣候時間，海面陸地，亦有影響，因其原因之複雜，故信號強度與距離究成若何之關係，非一二簡單公式所能表示。此種電波強度，因距離而轉弱之現象，謂之衰減現象 (attenuation)。其他涉及能力放射等問題，學者可閱第六章。

7. 發射機之要素及種類 欲得放射，必須得高週率交流電源，而高週率交流之來，又必有所自。或取之於電池，或取之於商用低週率交流電源，或取之於各式原動機驅轉之直流或交流發電機。高週率電源取得以後，又必須有天線或任何方式放射能力之結構，使此高週率之交流電能，可以轉為無線電波，藉以太之媒介，而達於彼岸。故每一無線電發射機，至少包含下列主要部份：——(一)放射電能之天線、引線、及地線、或地網屬之。(二)高週率交流電路或稱振盪電路。(三)電源設備。若該項發射機作為發音之用，則

於前三部之外，尚須加入一使高週率電流隨聲音週率變化之調幅設備也。

發射機之分類，根據於其取得高週率交流之方法而定。其大別如下：——

(一) 火花發射機(Spark transmitter)。

(二) 高週率交流發電機(High frequency generator)。

(甲) 亞氏高週率交流發電機 (Alexanderson's high frequency generator)。

(乙) 哥氏高週率交流發電機(Goldschmidt's alternator)

(三) 波爽氏電弧(Poulsen's arc)。

(四) 真空管(vacuum tubes)。

在上述四類中，第一種火花機所發為減幅波，餘則均為等幅波。火花機近幾完全廢除，其次兩種，亦以不合工程經濟，漸遭摒棄。蓋今日之無線電通信之域中，已成為真空管獨霸之勢矣。各式發射機之原理及使用，均詳見以下各章。

8. 接收機之要素及分類 任何無線電接收機，至少包含下列各部：——

(一) 天線，以吸收以太間之電波，引線、地線、或地網屬之。

(二) 配諧器，使接收機之自然週率或波長，等於外來信號之週率或波長以得最大之效驗。配諧器內之主要部份為磁感量及電容量內至少一種須變量以便配置之用。(三) 檢波器，使高週率之感應

交流降低成低週率交流，聽筒受到影響，而人耳得聞其信號。若信號強度嫌低，可加入放大器以擴展之。(四)聽筒或放音器，以低週率之電流變化，變為低週率之機械震動，擊入耳鼓，供人記錄信號或聆聽言語音樂之用。

接收機通常以檢波器之性質，分為二大類，即晶體及真空管接收機是也。晶體接收機，又視其線路之數，分為單路與雙路二種。真空管接收機之種類，大率依其接收及放大之方法以為分別。種類繁多，不及於此詳列。各種接收機，亦均見以下各章。

9. 無線電交通之障礙 無線電交通日常所遇之障礙，不外下列三種：(一)他家電臺之騷擾。(二)天電。(三)衰落現象。請得而分述之如下：——

隨時隨地吾人在接收機中可聞無數電臺之音訊，欲選擇某臺而避免他臺之干擾，各臺之波長，須有一最低限度之差。若波長相差太微，擾亂必甚。然若電波之銳鈍各異，或用定向發射 (directional transmission)，接收方面應用富於選擇性之接收機，則雖波長近似或竟相同，干擾可免，是在設計者知所從事耳。

☞ 無線電交通所受騷擾，要以天電 (static) 為最。天電之原因不一，大概由於接收臺附近天空大氣電位之變化，或靜電之放電如雷電等，間接或直接感應及接收天線發生強迫振盪以生極不規則之煩雜聲響，或如石擊，或如蟲鳴，甚無一定。天電冬日較弱，夏日為烈，溫帶較微，熱帶為強，無非因大氣中靜電狀態所致。避除天電

方法殊多，而有效者少。能將音訊與騷擾比率 (Signal to interference ratio) 提高，接收因易，已屬佳事。近來短波發報盛行，天電騷擾大減，因天電性質近於長波，故長波接收易遭天電之擾，而短波則否。真空管放大器應用漸廣。接收天線改用線圈天線，或戶外天線之短而低者，天電已不復如昔日之可畏矣。

衰落現象 (fading)，亦為無線電收發障礙之一，其劇烈或不如天電，而其非人力所能控制，殆又過之。例如於收發進行中收發各臺之電力設備配置，以及一切情形如常，而接收方面之音訊忽高忽低，有時竟低至不能聽聞。其高低變化斷續之時間或長至一二小時，短至數分鐘或數秒鐘，久暫至無一律，此種現象謂之衰落。衰落現象最著於波長三四百公尺以下之各短波長。故廣播電音受影響甚烈，發報近地衰落不顯，在距發報臺二三百公里以外為最劇。其原因雖未大白，而天空海氏層之升降無定，與地面波天空波於接收天線地點之忽助忽消，大概可作為衰落現象之起因所在，詳見短波無線電一章。

10. 無線電通信距離與電工率 無線電收發交通，究須若干電力以達若干距離，往往為不可斷定之問題，因各種原因之影響於距離者甚多，不易確定。其最顯著之原因，足以增減無線電通信之距離者，則如發射機及接收機之工率及種類，一年中之月季，一日中之時間，及該時之天氣以及其他附因等。例如夜間以此接收機可接千公里以外之電音，而以此同一接收機往往日間只能收二百公

里。日間交通距離之縮短，因日光有電離空氣之作用，電波能力，爲之吸收之故。夏日大氣中，天電騷擾甚劇，植物茂盛，電波能力略被吸收，無線電交通常爲之減少距離。當雷雨交作時，交通往往阻斷，因天電在接收機聽筒中，發生繁亂雜聲。所有交通電音，全被混雜。雖用放大器，亦不克奏效，放大器固將電音放大，而天電亦同時放大，其混亂不能聞，仍如故也。春秋二季，天電較少，無線電通信距離，因而較遠。冬日則天電更少，無線電音距離既增，而音調亦更清晰。故就享受無線電廣播娛樂而言，以冬日爲最佳。

無線電交通所需要之電工率，自視距離遠近而異，而收報收音地點之天電之劇烈與否，亦至有關係。世界各地，有得每公尺二兆分伏脫（無線電信號強度以每公尺若干伏脫爲標準見第六章放射與天線）之信號強度，已可接收滿意。有時雖得每公尺 500 兆分伏脫之信號強度，尙不足以敵天電之騷擾。試將現代無線電交通實況舉之，最足以資借鑑。歐美間越大西洋無線電報通信應用強力低週率電臺，最大電臺之十二臺其發射週率均在 15 至 25 基羅週之間，其天線輸進工率自 100 至 500 基羅瓦特(kilowatt)，通信距離自 4500 至 9000 公里，天線高度自 100 至 300 公尺，天線電流自 200 至 600 安培，其概況如此。此等強力大電臺爲試驗其常用之波長與短波長傳導效率之比較，同時將其信號發射於短波，似覺於半週地球之長距離通信，長波不如短波之適宜。小工率自 5 至 50 基羅瓦特短波長高週率如 20,000 基羅週以上已證明比較可靠，故目今國際間長距

離之無線電交通，莫不趨向此途。

廣播無線電話情形，又稍不同。每一電臺之發射工率與週率，俱為政府所規定。廣播週率限定在550至1300基羅週之間，其工率尋常為數個基羅瓦特以上。聽收此等廣播電音於千公里之外，於冬季夜間雖常可能，而此等電臺發射之可靠距離，不論冬夏日夜，祇及百餘公里。學者須知用同量工率於同時同天線，其可靠通信距離電報當比電話有數倍之多。其理由詳見第十三章無線電話。無線電音接收滿意與否，似為廣漠，難有標準，而用尋常廣播收音機接收五基羅瓦特電臺之播音，其可靠距離不能在百餘公里以外，則為無線電工程界所公認之事實。美國政府當局曾將廣播電臺之工率與距離之關係列成一表，是表為經無數試驗後平均之結果，表中工率為天線輸進工率，距離為可靠滿意交通之哩數。

工 率 (瓦 特)	距 離 (公 里)
50	15
500	45
5000	150
50000	450

上表所示，極為謹飭。蓋按照該表美國大多數收音者處於最近電臺150公里以外，於收音將得極不利地位。實際情形，固不然。但為設計着想，上列關係，在安全方面也。

11. 無線電之用途 無線電之用途，近年來益見重要而繁多。

其便利勝於有線電話，其普遍勝於報紙。即在交通界中，與有線海陸電報，有並駕齊驅之勢。而在航海界及飛行界，無線電尤有最可貴之協助。在危險之時，其功尤著。若無線電廣播事業，則其功效之偉大，更為社會所公認，因其在娛樂上教育上貢獻之巨，遂使無線電成為當世最普遍有趣之事業也。

無線電之用途，概述之可分下列各項：——

(一) 無線電廣播 (radio broadcasting)。

(二) 航海及航空之應用 (applications to marine & aerial navigation service)。

(三) 越洋通信 (trans-oceanic service)。

(四) 陸地通信 (land service)。

(五) 其他不屬通信範圍之各項應用 (miscellaneous)。

以上各項應用之內，以無線電廣播事業，最為新鮮而又最重要。現在各國如美英德法等，此事業尤見發達。我國近亦繼起提倡，中央黨部在首都所設之75基羅瓦特之廣播電臺，工率之強大，在東亞莫與倫比。全國各地居民，祇須備簡單易用之收音機，在家庭即可聽得國內外重要新聞，名人演說，音樂娛樂。此等節目，均在散處各地之發報臺所散佈。自有放大器，及收音器應用以後，此種音樂談話，遍聞全室，無須各人戴一聽筒矣。除上述節目外，世界各地之廣播電臺發出者，尚有天氣預測，商品價格，交易所股票行市，時間報告，宗教宣傳，戲院劇目，教育演講等。此外凡人事之能藉聲音以傳

達，而爲普通民衆所樂聞者，無不可以應用。其用途之廣，尙增進未已也。

利用無線電於航海，爲無線電最初之用途。卽至今仍極重要。除海陸上之傳遞消息外，無線電用於航海者，爲天文臺發出天氣預測，及海面情形警告。船舶在海洋中之經緯度地位，可由陸地電臺測定之。以無線電報告航行者，隨時隨地，使航行者可定地位及時間。按美國法律規定，凡船載乘客滿五十人者，須備有相當無線電收發機件，以保護旅客生命財產，沿海洋均設有國立電臺以爲航海界之助。觀此則無線電效用於航海界之巨，可以知矣。

無線電之用於航空界，亦已普遍。飛機或飛船在迷霧中，其需要無線電之助，不亞於海洋中之船舶。無線電之保護行旅於航空界，正與航海界相同。近年之所謂盲目飛行，其停降進退左右，莫不由無線電信號所指示而進行。家庭中置有尋常電話者，可以經電臺而與空中飛機或海洋中船舶，直接談話，試驗早已成功，歐美數國之電話公司已有此設備矣。

越洋通信之無線電，與海底電線，各居重要地位，常在競爭之中。而無線電之利益，在於收發電臺，不特可以號碼通報，且可直接談話問答，其通信更爲親切正確。故各國之先進者，莫不亟亟設備強力越洋大無線電臺，以謀國際通信。其裨益於國際友誼，國家權威，國際貿易，殊非淺鮮。然無線電雖勝於海底電線，尙不能將後者盡取而代之，蓋因無線電力四射各地，有接收機者，可任意接收，信息之須祕密者，易致暴露，不若有線電報之舍收發兩處外，無人

能知之，能收祕密之效。

無線電通信各臺，同時收發，常有擾亂之虞，故陸地兩處之交通，有線電仍較無線電為可恃。但如大沙漠及高山叢林之處，無線電又較合宜。此外陸地交通之用無線電者，如業餘試驗是已。美國無線電試驗學者，遍滿國中，往往一消息，可用此業餘電臺，從大西洋至太平洋之沿岸，經各臺轉達，費時僅數分鐘而已。故有線與無線電報固各有其利弊，相輔而其利益顯焉。

除上述無線電應用於交通事業外，其他屬於非交通者，層出不窮，大有日新月異之概。其最著者，如應用無線電自動發出信號，以為航海標識，有如燈塔之功用。又如以無線電駕駛飛機及船艦，用以開關遠處電力機器，均有成效，今已有實行之者。無線電傳達照相已告成功，無線電傳影亦已實現，其他種種應用之多，與日俱增，無人能知其止境也。

12. 無線電通信之缺點 無線電通信，應用之繁多、利便、及普遍，既詳述於前，至於其缺點，又不可不一及之。無線電所發出之消息，向空間各方散射，在一方面言之，固是其長處，從又一方面言之，實有缺點。因消息向各方射出，凡有相當之接收機者，均可接收，不能使其祕而不洩。若有線電，則除收電人外，無人能知之。戰時所發電報尤貴祕密。雖有暗號密碼可代，究欠嚴密。此無線電之缺點一也。

無線電交通之又一缺點，為發出能力之不經濟。例如甲臺發電，

乙臺收電，依理言，如電能力能注集於自甲臺至乙臺之一定方向，則電力不必過大。然實際上，甲臺所發出之電力，向四面八方射出，乙臺所收電力，止甲臺所發千千萬萬分之一以下，其餘電力，均屬無效。效率之小，蓋可想見。（至於廣播電臺之專以備普遍接收爲主，方向自宜向多方射出，自當別論）。近來對於此缺點之彌補方法，研究甚衆，其方法即所謂定向發射，今日以 20 基羅瓦特左右之工率與全球任何各地，可以通信全受其賜。此外近年最重要之短波試驗，進步甚速，以短波發電，可以小電力而傳至遠處。如是則強力大電臺，已非必需，而效率之大小如何，自不致成一重大問題矣。

無線電通信之可靠程度，視時間氣候而異，亦爲其缺點之一，不可諱言。天電及衰落之強弱，日光寒暑之變易，一年之四季，一日之時間，在在均有影響，遂使其通信距離之遠近，常無一定，而莫由準繩，短波通訊雖可以小工率及遠距離，但對於時間天氣之變化，更形複雜。科學進步，日進無疆，此類困難，已漸入工程界人力控制能力範圍以內，不復如昔日嚴重矣。

此外無線電能否傳送巨量電力，以燃燈或轉動機器，代今日之長途高電壓線，亦爲電工界至有趣味之問題。（此種傳送巨量電力，與用無線電之控制一繼電器，以開閉遠處電路，而巨量電力，仍在遠處者，截然二事，讀者切勿誤會。）證以無線電進化之速，與世界各國研究者之衆，則無線電輸送巨量能力，未嘗無此期望。但據多數科學家與發明家之意見，則以無線電輸送電力，空間中消耗太大

接收機能接收電力又至微小，至少在現時，尙無可能之現象或暗示。至於年復一年，科學日益昌明，不可能之事，漸成可能，證於以往，推及將來，則以無線電輸送巨量能力，自大水力電廠，或位置煤礦左近之蒸汽機電廠，供遠至千百公里外繁市大城之用，能否實現實難預測也。

第三章 振盪電路及諧振

(Oscillating Circuits and Resonance)

無線電工程收發機件之電路，其主要者均為振盪電路 (oscillating circuits)。振盪電路之所以異於尋常交流電路者，無非因週率相差懸殊之故。商用交流週率非 25 即 50 或 60，而無線電路內之週率，低至 10,000 高至 300,000,000。因其週率之差，性質迥異。在直流中，阻礙電流者，祇為電阻；電能力之變化，在本路內祇屬由電能化熱能；而於振盪電路內，則情勢大不相同。振盪電路欲得最大效率，最高靈敏度 (sensitivity) 及選擇性 (selectivity)，又莫不使之處於諧振狀態 (resonance) 中。不論收發機件，又不論何式線路，莫不皆然。是以振盪電路與諧振現象所處於無線電工程地位之重要，從可知矣。

1. 磁感量內儲蓄之能力 學者習知力學中之惰性矣，凡物體自行動至靜止，或靜止至行動時，非外加能力無由得此變化；而在

物體行動以後，該物體即已得到運動能力 (kinetic energy)，此運動能力之數量為等於 $\frac{1}{2}MV^2$ ，內M代物體之質量，V代該物體行動之速率；若將此物體制止運動狀態，此儲蓄之能力，由是釋放，可得利用。凡機件之利用動能以作工者，如槌之擊釘入木，蒸汽機飛輪(fly-wheel)之用以平穩旋轉速度皆是。電路內有與此惰性相似之性質，即磁感量是也。當導體載有電流通過於內，此電流即挾有能力儲蓄於此導體周圍之磁場內，謂之電磁能力(electromagnetic energy)，其數量為 $\frac{1}{2}LI^2$ ，內L為導體之磁感量，I為電流，其方式與前述之力學運動能力頗屬相似。此項能力在電流數量變化之時，即可釋放而表現。吾人開關電鑰時所得之火花，即此電能之消失也。至於導體之磁感量之多少，視該導體圈數之平方與圈心 (core) 截斷面積為正比例，圈之長度為反比例。是以無線電路中欲得大磁感量，必須將導線繞成密而多之線圈，至尋常之直線導體，則磁感量甚微也。

2. 電容量內儲蓄之能力 電容量之能儲蓄能力一如磁感量。

吾人試將彈簧伸張或壓迫，此彈簧因其具有彈性 (elasticity)，有若干能力，即儲蓄於此彈簧中；若將外力移去，此彈簧即能彈回，將能力釋放，做有用工作。機械界利用彈簧以為關鍵者，指不勝屈。電容量即電路內之彈性也。當電容器兩片之接至正負電源以後，其周圍空間即處於緊張狀態 (state of strain) 中，有能力儲蓄於周圍之電場中，稱之為靜電能力 (electrostatic energy)。其數量可證明為

$\frac{1}{2}CE^2$ ，內 C 代表電容量，E 代表該電容器所升高之電壓（磁場內儲蓄能力為 $\frac{1}{2}LI^2$ 及電場內儲蓄能力為 $\frac{1}{2}CE^2$ ）此能力可於電源移去後，兩片以導線接觸之後釋放之。吾人於此名之謂電容器之放電。放電時所發之火花，亦即儲蓄能力之表現於外也。

3. 磁感迴阻與電容迴阻 論述至此，有二名詞不能不乘時一為論列者，厥為磁感迴阻 (inductive reactance)，與電容迴阻 (capacitive reactance) 是也。在前所述歐姆定律，阻止電流之流動，為純屬消耗能力之電阻，故電流之值，為電壓被電阻所除之商數；然此乃單指直流電而言，至於交流電因其價值與方向，頃刻間千變萬化，而電路中因磁感量與電容量之存在，因是阻止電流進行之性質，不止單純電阻一種，情形較為複雜。故在交流電中，其足以阻止電流之前進者，除純粹之電阻外，尚有磁感迴阻電容迴阻二種。請先述磁感迴阻。

導體之有磁感量者，由於電流更改數量之際，發生反電壓以阻之之勢，已如上述。故其對於交流電之影響，與純粹電阻相似。其藉磁感量以阻止交流電之阻力，謂之磁感迴阻，其單位亦為歐姆。因其所發生之阻力，視交流電變更方向之遲速而定，故其數值與所加交流電之週率成正比例。其公式為：

$$X_L = 2\pi fL \dots\dots\dots \text{公式(1)}$$

以上 X_L 為磁感迴阻，單位為歐姆， f 為週率，單位為每秒鐘週數， L 為磁感量，單位為亨利。故若電路中僅含磁感迴阻，則電路中之電

流,可用下列公式算之:

$$I = \frac{E}{X_L} \dots\dots\dots \text{公式(2)}$$

以上 I 爲電流,單位爲安培, E 爲電壓,單位爲伏脫, X_L 爲磁感迴阻,單位爲歐姆。

其次爲電容迴阻,其影響及於電流,大有異同之點。其相同之點,則爲電容迴阻愈大,則電路中電流愈小,例如:

$$I = \frac{E}{X_C} \dots\dots\dots \text{公式(3)}$$

以上 I 爲電流, E 爲電壓, X_C 爲電容迴阻,各種單位均如前。其相異之點,則爲電容迴阻之大小,與交流之週率及電路中之電容量適成反比例。即週率或電容量愈大,則同一電容器,其發出之迴阻愈小;反之週率或電容量愈小,迴阻愈大,可於下列之方程式見之:

$$X_C = \frac{1}{2\pi fC} \dots\dots\dots \text{公式(4)}$$

以上 X_C 爲電容迴阻,單位爲歐姆, f 同前, C 爲電容量,單位爲法拉特,所以電容迴阻與磁感迴阻二者與週率關係適成相反,可於上二方程式明之。

4. 總阻及交流電之歐姆定律 從上文各節,可知於交流電路中,有阻擋電流運行之性者,不僅電阻一種,尚有所謂磁感迴阻與電容迴阻者。是以若將歐姆定律應用於交流電方面,必對其公式中之分母修改;凡在交流電路中,合電阻磁感迴阻及電容迴阻之總性,而有阻抗電流之通行者,謂之總阻 (impedance)。單位亦爲

歐姆。故若將歐姆定律，應用於交流電路，其公式當如下：

$$\text{電流(交流)} = \frac{\text{電壓}}{\text{總阻}} \dots\dots\dots \text{公式(5)}$$

或
$$I = \frac{E}{Z}$$

以上 I 為電流， E 為電壓， Z 為總阻，單位有如上述。

但總阻如何可以從電阻及二種迴阻計算交流電壓與電流之關係，須涉及交流電壓與電流相位差別 (phase difference) 問題。略嫌複雜，非本編所能詳述，茲單述其所用之串聯公式如下。假定 X_L 為磁感迴阻， X_C 為電容迴阻， R 為電阻， Z 為總阻，單位均為歐姆，則：

$$Z = \sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2} \dots\dots\dots \text{公式(6)}$$

簡言之，電阻之二次乘方，加以二迴阻之差數之二次乘方，復求其和之平方根，即得總阻。上述公式之應用方法，可以下列例題解釋之。

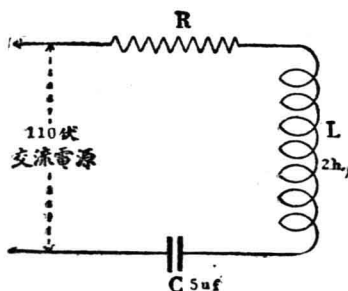
例如有一電路如第一圖；有電阻 R 為 100 歐姆，磁感量 L 為 2 亨利，電容量 C 為 5 兆分法拉特，若加以 60 週率之 110 伏脫電壓之交流電，該電路中之電流當為若干？

從公式(1)及(4)，吾人先可計算二種迴阻之數如下：

$$X_L = 2\pi fL = 2 \times 3.1416 \times 60 \times 2 = 756 \text{ 歐姆}$$

$$X_C = \frac{1}{2\pi fC} = \frac{1}{2 \times 3.1416 \times 60 \times 5/1,000,000} = 529 \text{ 歐姆}$$

第一圖



交流電路

(按兆分法拉特為法拉特之百萬分之一，故以 $\frac{5}{1,000,000}$ 代入公式中)。

於是 X_L 為756， X_C 為529，則可知總阻為：

$$Z = \sqrt{100^2 + (756 - 529)^2} = 269 \text{ 歐姆}$$

既知總阻為269，則電流之數量，可自公式5計算得之。

$$I = \frac{E}{Z} = \frac{110}{269} = 0.409 \text{ 安培}$$

於是知該電路中之電流，為0.409安培。

讀者於此須注意之點凡三：第一交流電流之總阻，其成分為電阻及迴阻所組成，但在無線電路中電阻常為極微，幾可不論，而迴阻則往往較巨；第二磁感迴阻與電容迴阻二者因為相角之關係（關於交流電路之相角關係，學者可參閱交流電書本），其影響於電路之效驗，彼此相反，故其結果亦為二者之差，但對於電阻之關

係各箇仍同，因公式中不論正負二數之平方，固爲同數也；第三磁感迴阻與週率爲正比例，電容迴阻與週率爲反比例，電阻與週率可稱無大關係（關於此見後節），故若將電路內之週率自小而大，逐漸變化，兩種迴阻，亦可循序變化，但其進退適相反耳。

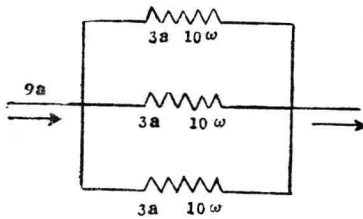
5. 高週率之實效電阻 導體之電阻，全視該導體之質料，及其長度與粗細以爲斷，已於前章提及。惟此乃指直流電或低週率交流電通過爲言。若週率加高，如通常振盪電路所用者電流之分佈於導體截斷面積，不如直流電通過之平均，大部電流趨於表面，而使導體中心載電流極微，或竟等於零。換言之，在交流導體截斷面積之電流密度（current density），即每一單位面積之電流數量，愈近表面爲愈巨。此種高週率電流，趨集於表面之特性，謂之集膚作用（skin effect）。集膚作用之影響，最重要者，爲增加電阻，此增加之百分數，雖不成比例，卻與週率俱增；導體之粗者，其集膚作用爲劇。在高週率時所量得之電阻，謂之高週率實效電阻（high frequency effective resistance），以別於尋常之直流電阻（direct current resistance）或歐姆電阻（ohmic resistance）。

6. 集膚作用 無線電路導體之實效電阻之值，較同導體載尋常直流所得者爲大，其原因如導線旁他電路及磁體之存在，電路內電容器內工率之損失，電暈或放射之工率損失等等，而要以集膚作

用之影響為最劇。集膚作用之所以使導線之電阻增加者，因其電流運行於導體，並不均勻，而反集中於其表皮也。凡電流之運行，不均勻分佈於其截面面積者，不論其如何分配，俱足以引起電阻之激增，此可以下列說明解之。

例如第二圖為三個10歐姆電阻相並聯，每線載電流3安培，總得9安培，設吾人從其損失工率而不加尋常並聯電阻以求其當量電阻。

第 二 圖



均 勻 電 流 分 配

$$\text{損失工率} = P = 3 \times (3^2 \times 10) = 270 \text{ 瓦特}$$

$$\text{故 } R = \frac{P}{I^2} = \frac{270}{9^2} = 3.33 \text{ 歐姆}$$

設因任何原因而電流之分佈，並不如前之均勻；而外線各載4安培，中線祇載1安培，總電流雖仍為9安培，但工率損失則已增至：

$$\text{損失工率} = P = 2 \times (4^2 \times 10) + 1 \times (1^2 \times 10) = 330 \text{ 瓦特}$$

$$\text{故 } R = \frac{P}{I^2} = \frac{330}{9^2} = 4.08 \text{ 歐姆}$$

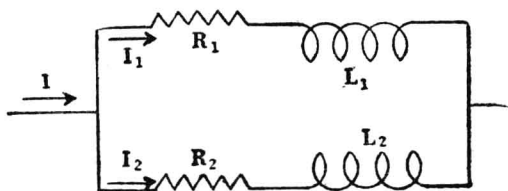
於此可見因各支路電流不均勻之故，電阻因之增加。而高週率電路內導體固可理想之為多數細絲導線所合組成者，若各細絲

載流不均，電阻自必按上述規則以增進，可無疑也，此種導線實效電阻之增加，自隨不均程度而增進。

集膚作用之解釋，可以電流之流行於感應電路得之。例如第三圖表示兩並聯電路，其電阻相等，而磁感量則否，各路內電流當為：

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

第三圖



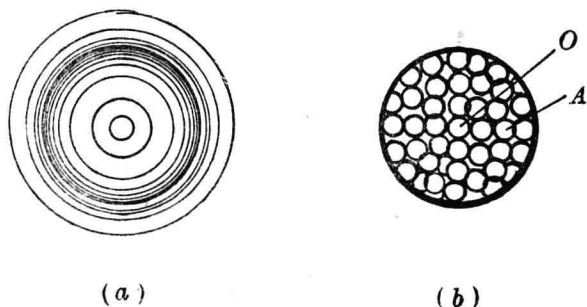
電阻與磁感量並聯電路

設週率甚低， X_L 之值甚微，可以忽而不計，則電流將單純與電阻成反比。電阻既相同，電流自相等。反之，若週率甚高，電阻比磁感量微小可以忽視，而電流之分佈將單純與磁感量成反比。此乃交流在感應電路內之常態，吾人即用以說明集膚作用者也。

第四圖(a)示普通導線截面上磁力線分佈情形。於(b)設 O 為導線中心， A 為此截面上與中心相距 r 之一點。當該導線載電流以後，自導體中心有同心圓式之磁力線向外展開，如圖(a)細線所示，所有磁力線 ϕ ，皆包圍中心點 O ；一部分磁力線 ϕ_2 ，即在以 r 為半徑之圓之外之磁力線，包圍 A 點。設理想導線為無數相似之並行細條

繫成，如圖(b)每條之電阻為 R 。如通以電流，則在中心細條，除為其自身所生之磁力線包圍外，復為其他各點，如 A 點等所生之磁力線包圍，故包圍中心細條之磁力線獨多，距離中心愈遠則愈少。因磁感量與磁力線之多寡成比例，故中心細條之磁感量最大，距中

第 四 圖



集膚作用之解釋

心漸遠漸小。設吾人於導線兩端加以正弦方式之交流電壓 E ，於是每絲所得之電阻降 IR 與迴阻降 IX_L 之矢量和必等於 E 。各細條如 O 及 A 所得電位降如下：

$$E^2 = (I_1 R)^2 + (I_1 X_{L_1})^2$$

$$E^2 = (I_2 R)^2 + (I_2 X_{L_2})^2$$

內 I_1 及 I_2 為流過細條 O 及細條 A 之電流， X_{L_1} 及 X_{L_2} 各為其磁感迴阻。在高週率時 IR 降可忽而不計，故

$$E^2 = (I_1 X_{L_1})^2$$

$$E^2 = (I_2 X_{L_2})^2$$

即

$$\frac{I_1}{I_2} = \frac{X_{L_2}}{X_{L_1}} = \frac{L_2}{L_1}$$

即導體任何細條所載之電流與其自身之磁感量成反比。由前所述，導體中心之磁感量最大，表面最小，故導體內部所載電流極小，甚至為零，而大部分或全部之電流則羣趨於其表面，成功所謂集膚作用之現象也。

集膚作用現象視週率之高與導線之粗而增劇；因集膚作用而電阻之增加，亦視週率與導線面積之積數而激增。下列一表，頗可得其大意焉：——

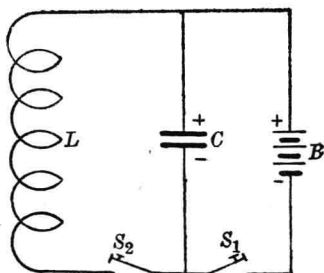
週率×導線面積 (圓千分寸)	實效電阻與直流電阻比例
10,000,000	1.003
20,000,000	1.012
100,000,000	1.30

例如美規 10 號銅線，面積為 10,000 圓千分寸 (circular mil)，於 2000 週率時，實效電阻大於直流電阻 1.2%，而在 10,000 週率時，實效電阻竟大至 30%。

集膚作用既足以增加實效電阻，而無線電路又不宜有多量電阻之存在，故集膚作用之宜設法避免，彰彰明甚。最普通方法，為利用多數導線，往復繞絞，而互相絕緣，使其總面積等於相當之獨根導線，如是使電流被迫而均勻分配，集膚作用大為減少。若電流量過大，非絞線所能載，則用大導線而空其心，或用扁寬之銅片，電阻雖未大減，而銅重可以經濟，無線電發報線路內常用之。

7. 振盪電路 學者既略知振盪電路各部性質之異於直流電路及低週率電路，可進而推求振盪電路之本體。此種電路與尋常不同處，可以第五圖明之。例如圖內 L 為磁感量線圈， C 為電容

第 五 圖



振盪電路

器， B 為電池組， S_1 及 S_2 為電鍵，所以通斷電路者，假如 S_2 啓斷， S_1 接通，則電池之電壓即能使該電容器之兩片荷電，正負如圖。其所以能使各片荷電者，即恃其前述之電容量。當電容器二片間之電壓與電池電壓相等時，充電電流即止，而成一平衡狀態。此時能力儲蓄於電場為靜電能力。隨後設將 S_2 接通，而 S_1 啓斷，此電容器之電壓即輸送電流經過 L ，遂因而放電，此與水管中二頭壓力不等，有路可通，即得流水，使二方壓力得以相等之理正同。但因 L 圈，有磁感量，其現象遂以複雜，此磁感量有延遲電流改變之影響；林慈 定律，已有所講及。磁感量線圈一方延長電容器解放電荷之時間，使之逐漸遞減，一方發生反電壓，使電容器復行荷電。而電容器解電淨盡之頃，正放電電流數值最高之時，此時電路內之能力，又易

爲電磁能力而儲蓄於磁場之內，因此反電壓之存在，電容器亦復荷電，因電壓方向相反之故，電容器之二極與前乃亦相反。至電容器荷電至最高度時，磁感量線圈之反電壓所生之充電電流方告消滅，而該電容器乃又繼續放其電荷，如是周而復始，成爲振盪現象。每次電流及電荷方向與前一次適爲相反，而電流及電荷之數量，亦漸次損失，此種循環周而復始，直至電能力完全消耗於電阻爲熱能爲止。故凡一電路中包含磁感量與電容器，迨輸入頃刻之電能力，而能成此振盪作用者，謂之振盪電路。

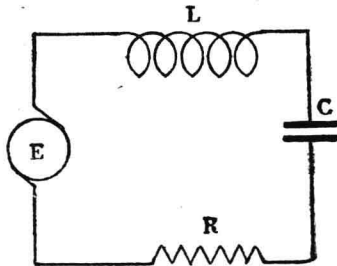
於是種電路中，電能力忽爲電磁能力，忽爲靜電能力，如是往返轉換不已。假如該電路內絕對無電阻之存在，則電磁能力必等於靜電能力，無絲毫損失，電流電壓之交流各週其最大數量謂之幅 (maximun amplitude)，可爲常數而不變，而是種振盪可以維持至於無窮。但實際上無線電路內設計時，雖用盡種種方法以減少電阻，然電阻究不能盡免，是以此種振盪，若不於每週補充其一部被消耗於電阻內之能力，則每週之幅必漸次遞減，至若干週後，振盪完全中止而後已。觀上可知若無磁感量則無反電壓，電容量無由再行充電；若無電容器，則不放電，無磁感量無由生反電壓。二者實相生相滅缺一不可，振盪電路之要素在此，讀者慎勿忽之。

8. 自由振盪與強迫振盪 上節所述之振盪謂之自由振盪 (free oscillations)，蓋因其振盪之緩速疾徐及其振幅均視本電路內性質而異，外界除最初充電時之電源外，並無他項振盪電源。今若如第

六圖 L, C 及 R 合組成一振盪電路，外路接以一交流電源，此交流電源，其週率及電壓振幅均有定值，電路內之電流雖限制於路內 L, C ，及 R 之數值如前所述，但若電源電壓振幅不變，振盪幅亦可不變，其振盪之遲速，完全與電源相同，非電路性質所能控制，故是種振盪謂之強迫振盪 (forced oscillations)。

9. 機械界之振盪 前述之電振盪現象，若以機械振盪 (mech-

第 六 圖



振 盪 電 路

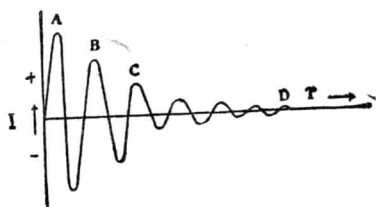
anical oscillations) 喻之，必更為明瞭。機械振盪極多，而尤以鐘擺為最著。在鐘擺擺動中，其擺動速率猶振盪電路內之振盪電流，鐘擺高度，猶電容器內之電壓。當鐘擺在最高位置時，其速率為零，所有能力俱儲蓄為位置能力 (potential energy)，是猶電容器之電壓最高，而電路中無電流，所有能力，俱儲蓄為靜電能力也。鐘擺擺動後其位置漸低，而速度漸大，是猶使電容器放電，電壓漸低，而電流漸增也。鐘擺至最低位置時，其速度最大，且乘勢向另一方向前進，所有能力俱儲蓄為運動能力，是猶電路內電容量無電壓時電流

最大，而仍繼續前進，所有能力俱儲蓄為電磁能力也。鐘擺至異方最高度後，取原道擺回，其動向雖異，而速度與位置間之變換與前相同，猶電容器之重復充電，而其兩片之正負性與前相反，故電流方向亦與前相反。若鐘擺在真空中，且無他種阻力，則此種擺動可維持至於無窮。但實際上則空氣或其他阻力如支點阻力，永久存在，故此擺動之幅，若不補充其能力，必漸次縮減，至靜止而後已，猶振盪電路之電阻，必不能免，而振盪電流終必消滅淨盡也。

10. 減幅波與等幅波 在上述之振盪電路中，其振盪究能延長至多久，為一有意義之問題。設使該電路中，絕無電阻，此種振盪將繼續至於無窮；因電阻之存在，足以消耗電能，而磁感量及電容量僅能使電能激盪，變換其方式，而不能消耗之。但凡有電路必有電阻，既有電阻，不論大小，則此等高週率之電流流過，即發生熱能，散傳至外，而電路中之能力，因消耗於電阻內，變成熱能，漸次減縮，而振盪之幅，遂至漸微，以至於零值而止。假使電阻愈大，振盪之減幅益速，在實際上自然欲振盪之持久，因此在電路中務令電阻愈小愈佳。但雖令電阻極小，振盪仍不能久，電路中振盪之能延長至數百次者，已屬甚佳。此等振盪所發出之電波，其幅遞次縮減者，謂之減幅波。例如第七圖內電波，各週之幅，漸次遞減，B 小於 A，C 小於 B，至D時，振盪幾完全停止。電路中之能力，至此已消耗盡矣。

減幅波為無線電發報機最初應用者，因其幅漸減，流弊良多，不甚可恃。後遂改為等幅波，以避免減幅波之弊害。現今無線電界

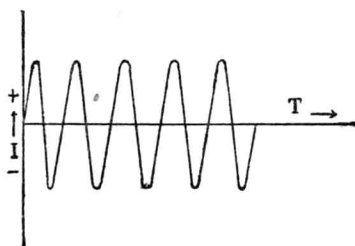
第七圖



減幅波

中所用電波，已全用等幅波矣。等幅波者，振盪所發之波浪，其幅不致漸次遞減之謂也。电路中電阻，既為不能免者，而所以能使波幅保持其原有狀態者，無非使其機器之配置能於每週振盪之間，輸入能力，以補償其電阻消耗之量。故其振盪時間之久暫，可隨吾人之意志而定。其式見第八圖。今能發出此種等幅波浪之機器，有前述之亞氏高週率發電機，哥氏發電機，電弧式制，以及真空管，均詳述於以後各章中。

第八圖



等幅波

11. 自然週率及自然波長 在無線電工程中，上述之振盪電

路，其振盪之週率，極爲敏速，出於常人意想之外。例如電容器之改變兩極，而回復於起始狀態，常至十萬或百萬分之一秒鐘以下，其速可知。然則此等振盪週率之高低，究恃何者爲衡乎？答曰，經試驗及理論結果係於三因：第一，係於磁感量之多少，磁感量愈大，則其阻電流能力愈大，需時較久，反之則較速；第二，係於電容量之多寡，電容量愈大，則需時較久，反之則較速；第三，假使電阻數量甚大，則亦關係於電阻之大小，但如電阻甚小，則可以忽視之，不生影響，且因無線電電路中電阻均甚微小，故第三層可不加入計算之中。換言之，一振盪電路之週率，即其每秒鐘循環次數，全恃該電路中所包含之磁感量、電容量二者數量相乘後之平方根。二者之與週期既爲平方根之正比例關係，是以二者之與週率之關係，爲平方根之反比例。是以吾人若欲將該電路之週率增加，只須將磁感量或電容量削減其一，或並減之。反之，欲將該電路之週率減少，可將磁感量或電容量增加其一，或並加之。此等振盪週率，雖其初由外界充電之結果，但因其後來之振盪完全出於該電路本體之自然趨勢，不受外界之激盪，故名之曰自然週率（natural frequency）。從自然週率而算出之波長，名曰自然波長（natural wave length）。簡言之，自然週率或自然波長，爲一電路固有之數量（其大小視磁感量及電容量之數而定如上述），而與外界充電的激盪無關。其與聲學試驗中之音叉，若擊動之，即能振盪，其振盪之每秒鐘次數，爲其固有之性質，頗爲相似。凡略知聲學者，類能道

之。

自然週率之解釋既明，次及其計算方法，吾人自上述週率與磁感量及電容量之關係，已知為平方根之反比例，經數學之解答（用微積分方程式算法非本書所及），自然週率 f 可以下列公式表之：——

$$f = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{1}{LC} - \frac{R^2}{4L^2}} \dots\dots\dots \text{公式(7)}$$

上公式內 f 為自然週率（每秒鐘週數）， L 為磁感量單位為亨利， C 為電容量，單位為法拉特， R 為電阻，單位為歐姆。設該電路內之所包含之常數使 $\frac{R^2}{4L^2}$ 大於或等於 $\frac{1}{LC}$ 之時，則 f 為理想的或零。其意該電路為非振盪的 (aperiodic)，電流在該路發生以後，不及半週即為消滅，無由復起，但實際上無線電路不特鮮有此種現象，因電阻之微細， $\frac{R^2}{4L^2}$ 一數常遠遜於 $\frac{1}{LC}$ 之巨，其相差之巨，可以將 $\frac{R^2}{4L^2}$ 一項忽視之，不生關係。是以通常所用之自然週率公式為：

$$f = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} \dots\dots\dots \text{公式(8)}$$

假設振盪路內無 R ，即不耗能力，依振盪電路所講線圈內之磁場能力等於電容器內之靜電能力，即 $\frac{1}{2} LI^2 = \frac{1}{2} CE^2$ ，依此亦可求得公式(8)，

$$\text{即 } \frac{E}{I} = \sqrt{\frac{L}{C}}, \quad \text{而 } I = 2\pi f CE, \quad \text{則 } \frac{E}{I} = \frac{1}{2\pi f C},$$

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

既 $T = \frac{1}{f}$

故 $T = 2\pi\sqrt{LC} \dots\dots\dots$ 公式(9)

上公式內 T 為週期，單位為秒。

既 $\lambda = \frac{V}{f}$

故 $\lambda = 2\pi\sqrt{LC} \times V \dots\dots\dots$ 公式(10)

上公式內 λ 為自然波長，單位為公尺，V 為電波速度，即光之速度，亦為每秒鐘 300,000,000 公尺。

自公式(7)至公式(10)，應用至廣，可用以計算振盪電路之週率及波長。設磁感量及電容量為已知，反之亦可以定數之波長或週率，以配置磁感量或電容量。其應用可以下述例題解釋之。

今有一振盪電路包含磁感量 1 千分亨利，電容量 0.001 兆分法拉特，試求其自然週率，波長，及週時。

$$1 \text{ 千分亨利} = \frac{1}{1000} \text{ 亨利} = \frac{1}{10^3} \text{ 亨利}$$

$$0.001 \text{ 兆分法拉特} = \frac{1}{1,000,000,000} \text{ 法拉特} = \frac{1}{10^9} \text{ 法拉特。}$$

$$\begin{aligned} \text{從公式(8)} \quad \therefore f &= \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} = \frac{1}{2\pi\sqrt{\frac{1}{10^3} \times \frac{1}{10^9}}} = \frac{1}{2\pi \times \frac{1}{10^6}} \\ &= 159,312 \text{ 週/秒} \end{aligned}$$

$$\text{又從公式} \quad \lambda = \frac{V}{f} = \frac{300,000,000}{159,312} = 1883 \text{ 公尺。}$$

又按公式 $T = \frac{1}{f} = \frac{1}{159,312} = 0.000006$ 秒。

是以該振盪電路之週率為 159,312 週，波長為 1883 公尺，週期為 0.000006 秒鐘。

12. 減幅率之計算 關於自由振盪除週率及波長之計算外，尚有減幅率 (decrement) 一端，值得注意。減幅波每週振幅漸次遞減，其遞減之遲速，以減幅率表之。

減幅率者，減幅振盪同一方向前幅與次幅之比率也。如第七圖 A 幅與 B 幅，或 B 幅與 C 幅之比率。為數學上便利起見，此減幅率常以其比率之自然對數 (natural logarithms) 以表之 (關於自然對數等理論，學皆可參考代數學)，謂之對數減幅率 (logarithmic decrement)。此對數減幅率，可以證明，等於下列公式：

$$\delta = \pi R \sqrt{\frac{C}{L}} = \frac{R}{2fL} \dots \dots \dots \text{公式(11)}$$

公式(11)內 δ 代對數減幅率，R、C、及 L 所代各如前。從公式可知欲使減幅率低小，可將 R 及 C 減小或 L 加大，於此又可見無線電路中電阻之不宜巨大也。

等幅波之對數減幅率，依上述定義必等於零，而其所以等於零值之故，並不因電阻之真等於零，實則每週外路補充其消耗之能力，而得使各週振幅之保持不變也。

減幅波電流振盪，其振幅至最大之 1% 時，通常認作停止，

若
$$I_n = I_1 e^{-(n-1)\delta}$$

內 δ 爲對數減幅率， n 爲週數， I_1 及 I_n 爲最初與 n 週時之最大電流，當振盪減至 1 % 時之週數 n ，求法如下：

依題意
$$\frac{I_n}{I_1} = \frac{1}{100},$$

$$\frac{I_n}{I_1} = e^{-(n-1)\delta}$$

故
$$e^{-(n-1)\delta} = \frac{1}{100}$$

兩端各取自然對數，得

$$-(n-1)\delta = -\log_e 100$$

即

$$-(n-1)\delta = -4.6$$

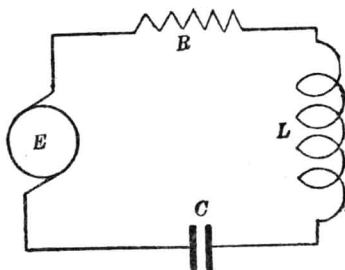
解出 n ，
$$n = \frac{4.6 + \delta}{\delta}$$

13. 諧振 在聲學中，吾人皆知諧振之現象。設有二音叉，每叉之每秒鐘自然振動次數相同，而同置於相近地位，以微力擊其一，使其自然振動，不一時，其二即起始振動。其第二叉所以能振動者，純爲空氣激動。二者同性，故能得此共鳴或諧振之現象。在無線電中，恰有此相同現象。所不同者，音叉代以包含磁感量及電容量之振盪電路，媒介物以以太代空氣耳。明此相似之點，請述無線電諧振之現象。

14. 串聯諧振 諧振現象有串聯與並聯之分，視振盪電路內之磁感量及電容量相互聯接而定。其理論雖相似而實各有別，請先

述串聯諧振 (series resonance)。從前述各節，吾人已知在高週率振盪電路中，電流之被限制，不祇電阻一端，尚有磁感迴阻及電容迴阻，而二項迴阻數量之巨與電阻之小，大相懸殊，而不知兩項迴阻在某週率之下，可以適相抵消，而電流因得甚大，所謂諧振狀態者即此。串聯諧振之現象，可以第九圖解之。譬如 E 為交流發電機， L 為磁感量， C 為電容器， R 為電阻。在此情況中，當然有交流電流動其中，此電流之數量大小，視 R 、 C 、及 L 之大小，為前述各公式(5)及(6)所限定。但從公式(1)及(4)觀之，磁感迴阻及電容

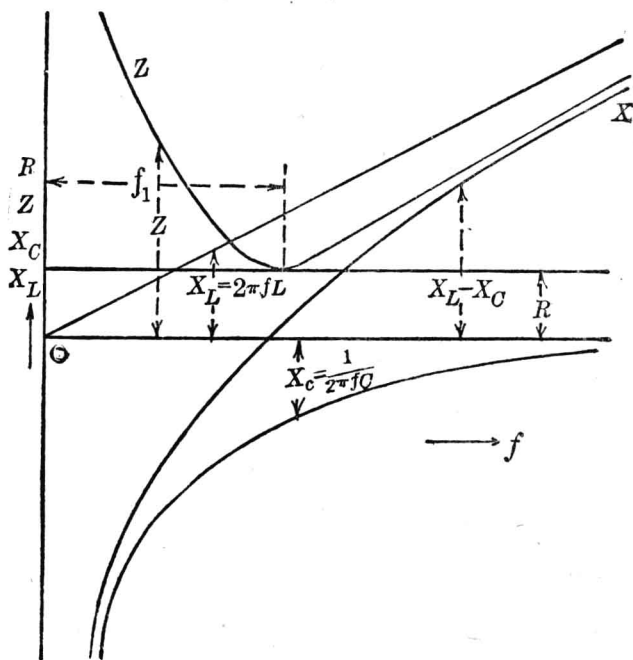
第九圖



串聯諧振

迴阻所發生阻撓電流運行之影響，與該電流週率之關係，前者為正比例，後者為反比例，故若週率甚高，磁感迴阻甚大，而電容迴阻則甚小，若週率甚低，則情形適反，此二種情形中，兩種迴阻之差仍大，然在極大極小週率之間，必有一週率，能使兩迴阻相等，而使結果之迴阻為零，則該時電流所遇阻力祇為電阻（因迴阻為零，總阻即等於電阻也）。此又可以曲線表之。例如第一〇圖 R 曲線為一水平

第一〇圖



串聯電路總阻與週率之關係

直線，表示其價值不因週率而變。 X_L 為磁感迴阻等於 $2\pi fL$ ，為一斜直線而經過 O 點，蓋與週率為正比例。 X_C 為電容迴阻，等於 $\frac{1}{2\pi \cdot C}$ ， X 為二項迴阻之差，等於 $2\pi fL - \frac{1}{2\pi fC}$ 。可見在週率等於 f_1 時，迴阻適等於零，此時之總阻 Z 即等於電阻 R ，小於或大於此週率 f_1 時，總阻均較大。此使二項迴阻互相抵消而使總阻即等於電阻之週率，謂之諧振週率(resonance frequency)。而欲得此諧

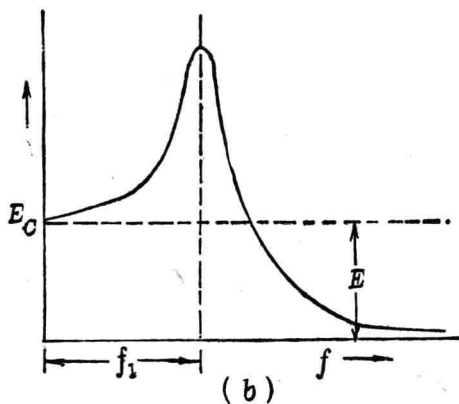
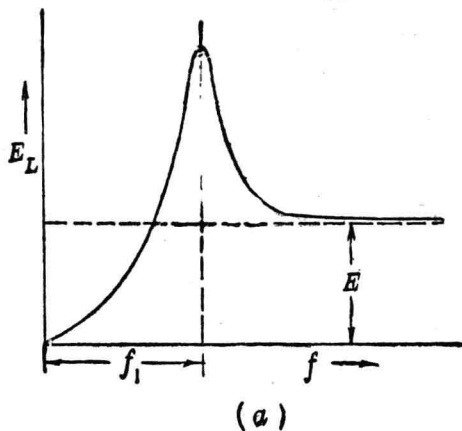
振現象，可使發電機 E 之週率，由小而變大，磁感迴阻由小而大，電容迴阻由大而小，至一點兩種迴阻抵消時，即謂之諧振點。此時電流為最巨，過此週率再增，則電容迴阻反較磁感迴阻為小，而電流數量復縮減矣。此週率可以下列公式求之：

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

解之則得 $f = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$ 即公式(8)

觀此公式，即知此諧振週率，即等於該電路之自然週率。假使 E 之週率不能改變，則吾人欲使同樣情形發生，可以變換 L 或 C 之數值，使二種迴阻相消。換言之，即變換該電路之自然週率，等於發電機之週率，是以凡一電路，其磁感量及電容量之配置，使於某週率時，二種迴阻相消，而電流增至最大值者，即謂之諧振；蓋謂電路之性質，於此週率時使輸進之電流，得達最大點，而與固有週率互相和諧之意也。最後跨電容器 C 及磁感量 L 之電壓為 $E_C = \frac{I}{2\pi fC}$ 及 $E_L = 2\pi fLI$ 與電流 I 及週率 f 有關。若以一變週率之交流電壓加於此串聯電路，此兩電壓之變化將如第一一圖(a)及(b)。於此可見跨磁感量之電壓 E_L 於低週率時，數值甚小，至諧振點為最大，過此則又減退，直至等於外加電壓為止。至於跨電容量之電壓 E_C ，其變化適又相反。在低於諧振週率時幾等於外加電壓，高於此週率時，又趨等零。是以在諧振點時，兩電壓莫不達最大值，其值大於外加電壓可至數十倍。故須高電壓者，即可跨磁感量或

第一一圖



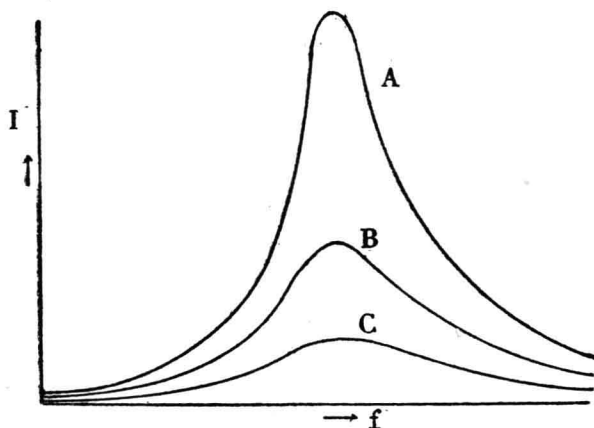
振盪電路跨 L 及跨 C 電壓與週率變化之關係

電容量引出接線以得較高電壓焉。

上述之配置磁感量及電容量，使電路之自然週率等於輸進電源之週率之步序，謂之配諧 (tuning)。為使用無線電收發報機最

重要之步驟。例如第一二圖為諧振曲線，橫標代週率，縱標代電流，可見週率漸高，電流隨高。但至頂點時，電流為最高，在此週率時，電路適成諧振。過此則週率雖加，電流又降矣。但從三諧振曲線中，A 為最高，B 次之，C 又次之，因電流之被阻，既純為電阻（因二種

第一二圖



電阻對於諧振銳度之影響

迴阻於諧振時相消故），如電阻大（如 C 線），則電流在諧振時必小，電阻小（如 A 線），則電流最大，B 則適為中間，於此又可見電阻之不宜太高也。

15. 並聯諧振 並聯諧振 (parallel resonance) 之所以異於串聯諧振者，乃將磁感量與電容量並聯，跨接於電源之間也。例如第一三圖 L 及 C 並聯跨接於電源交流發電機 E 之間，設 I_L 為磁感量電流， I_C 為電容量電流，但因相角關係，此二電流方向彼此相

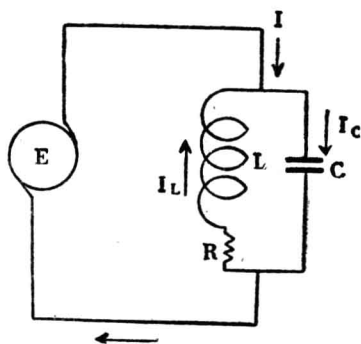
反，故交流發電機所供給之電流， I 為 I_L 及 I_C 之差，暫置電阻 R 於不論，按前公式

$$I_C = 2\pi f C E$$

及

$$I_L = \frac{E}{2\pi f L}$$

第一三圖



並聯諧振

於是 $I = I_L - I_C = \frac{E}{2\pi f L} - 2\pi f C E$ ，若將發電機週率逐漸遞增， I_C 漸增而 I_L 漸減，至 $I_L = I_C$ ，則 $I = 0$ ，此週率當在 $\frac{E}{2\pi f L} = 2\pi f C E$ 之時；

解
$$f = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} \dots\dots\dots \text{公式(8)}$$

於此可見此並聯諧振之週率亦即等於該路內之自然週率，與串聯諧振相似。就其本電路內電容量與磁感量之關係，固為串聯

也。於此並聯諧振週率時，發電機並不供給絲毫電流，而電容量及磁感量內，反有極大電流振盪於內，設無電阻，此自由振盪可繼續不已，但在實際上電阻 R 為不能免，故發電機尚須供給一部分電流

I_R 以補償其消耗，其值等於 $\frac{E}{R_e}$ ， R_e 為實效電阻。如第一四圖 (a)，

設 I_L, I_C 為通過 L, R ，及 C 之電流，其相角關係如同圖 (b)，並聯諧

$$\text{振時} \quad I_L' = I_C \qquad I_L' = I_L \sin \theta$$

$$\therefore I_C = I_L \sin \theta \qquad I_L = \frac{E}{\sqrt{R^2 + X_L^2}}$$

$$I_C = \frac{E}{X_C} = 2\pi f C E, \quad L \text{ 及 } R \text{ 既為串聯,}$$

$$\text{故} \quad \sin \theta = \frac{X_L}{\sqrt{R^2 + X_L^2}}, \quad \frac{E}{\sqrt{R^2 + X_L^2}} \times \frac{X_L}{\sqrt{R^2 + X_L^2}} = 2\pi f C E$$

$$\text{即} \quad \frac{1}{R^2 + X_L^2} = \frac{C}{L}, \quad \text{再從 (b) 圖得}$$

$$I_R = I_L \cos \theta = \frac{E}{\sqrt{R^2 + X_L^2}} \times \frac{R}{\sqrt{R^2 + X_L^2}} = ER \times \frac{C}{L}$$

$$\text{即} \quad I_R = \frac{E}{\frac{L}{RC}} \quad \text{以} \quad R_e = \frac{L}{RC} \quad \text{即} \quad I_R = \frac{E}{R_e} \dots\dots\dots \text{公式(12)}$$

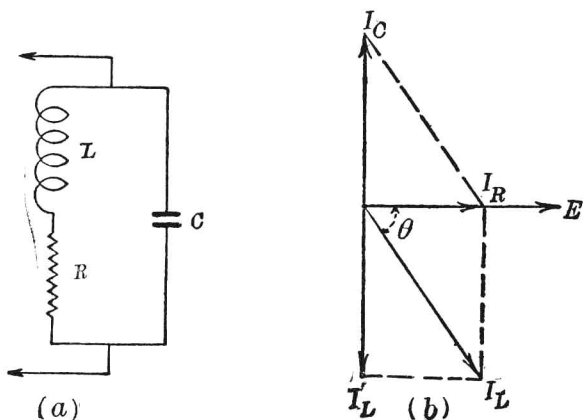
關於並聯諧振，讀者尚有注意者，即二項迴阻之如何變化也。

$$X = \frac{E}{I} = \frac{1}{\frac{1}{2\pi f L} - 2\pi f C}$$

當 $\frac{1}{2\pi fL} = 2\pi fC$ 之時，

$$X = \frac{E}{O} = \infty$$

第一四圖



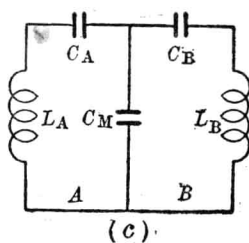
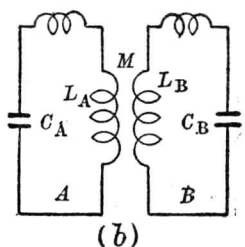
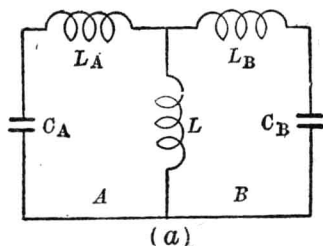
並聯諧振之電路及矢量圖

可見並聯諧振給發電機一無限之迴阻，而使電流等於零也。利用此並聯諧振而應用於無線電路最重要者，厥惟所稱濾波器 (electric wave filters)。濾波器者，實不外乎適當之電容量及磁感量並聯於電源及電路之間，使相當週率之電流，不得通過，而其他週率之電流通過無阻也。濾波器常用於無線電收發電路內以驅除擾亂及增加選擇性之用，暫不詳述。

16. 交連之種類 設兩電路有一部共在同一磁場或電場之內，此兩電路謂之處於交連 (coupled) 地位。電路欲得交連狀態，其方法甚多，最要者不外下列三種：第一為直接交連 (direct coupling)

或稱電導交連(conductive coupling)。如第一五圖之(a)，內磁感量 L 為A及B兩路所共有，設此磁感量而易以電阻，則為電阻交連(resistance coupling)。第二為磁感交連(inductive coupling)如同圖之(b)，內 M 為共同所有之互感量，而並無導體之接觸，無線電路內應用最繁。第三為電容交連(capacitive coupling)如同圖之(c)，內 C_M 為兩路共同之電容器，應用較前二者為少，以電能

第一五圖



各種方式之交連

力之輸入輸出之程序，往往分兩路之名為正路及副路，電能力輸入之路，謂之正路(primary circuit)，輸出之路，謂之副路(secondary circuit)。其大概與變壓器相似，蓋變壓器實一磁感交連也，設某路

之電流變化能與他路發生劇烈影響者，此兩路之交連，名爲緊交連 (close coupling)。反之，某路內電流之變化，僅發生細微之影響者，謂之寬交連 (loose coupling)。通常磁感交連之寬緊，可以兩路線圈間之距離，磁感量大小及方位以配置之。例如距離近，則交連緊，反之則寬。又如兩線圈並行，則交連緊，兩線圈垂直，則交連寬，交連之寬緊程度又可以交連係數 (coefficient of coupling) 表之。所謂交連係數者，即兩交連電路彼此實在交連所共有之迴阻或電阻，與正副兩路內之迴阻或電阻之積之平方根之比，即

$$K = \frac{X_M}{\sqrt{X_P X_S}} \dots \dots \dots \text{公式 (13)}$$

上式中，K 爲交連係數， X_M 爲正副兩路實在交連所共有之迴阻， X_S 爲副路內所有迴阻之和， X_P 爲正路內所有迴阻之和，例如磁感量交連第一五圖 (a) 之

$$K = \frac{2\pi f L}{\sqrt{2\pi f(L_A + L) 2\pi f(L_B + L)}} = \frac{L}{\sqrt{(L_A + L)(L_B + L)}}$$

如同圖 (b) 之

$$K = \frac{2\pi f M}{\sqrt{(2\pi f)^2 (L_A L_B)}} = \frac{M}{\sqrt{L_A L_B}} \quad (L_A \text{ 及 } L_B \text{ 爲各路之}$$

總磁感量)

若爲電容量交連則同圖 (c) 之

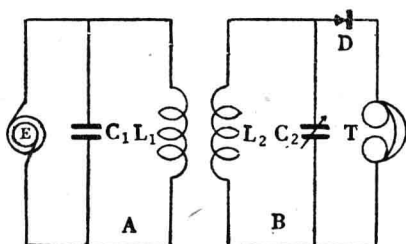
$$K = \frac{\frac{1}{2\pi f C_M}}{\sqrt{\left(\frac{1}{2\pi f C_A} + \frac{1}{2\pi f C_M}\right) \left(\frac{1}{2\pi f C_B} + \frac{1}{2\pi f C_M}\right)}}$$

$$= \sqrt{\frac{C_A C_B}{(C_A + C_M)(C_B + C_M)}}$$

交連愈寬，則 K 減小至零爲止，交連愈緊， K 加大至整個 (unity) 爲止。

17. 交連電路之諧振 上述之諧振現象，爲限於本電路以內，而無線電之能力收發，均發生於交連電路之間。故交連電路內諧振現象之探討，尤爲重要。

第 一 六 圖



磁 感 交 流 電 路

諧振之在交連電路內之現象，可以第一六圖解釋之。假使 A 與 B 各包含磁感量 L_1 及 L_2 與電容器 C_1 及 C_2 之電路。雖爲交連而並無金屬之相接觸，E 爲交流發電機，或振盪電流之源。故 A 電路發生強迫振盪電流，配置 E 之週率適等於該路之自然週率。

$$f_1 = \frac{1}{2\pi\sqrt{L_1 C_1}}$$

惟因 B 電路與 A 電路交連之關係，藉感應作用 B 路內發生電壓，其

週率亦爲 f_1 ，蓋此種感應作用與變壓器相似，週率不變。但吾人知 B 路內電流被阻於 B 之總阻：

$$Z_2 = \sqrt{R_2^2 + \left(2\pi f_1 L_2 - \frac{1}{2\pi f_1 C_2}\right)^2}$$

若欲令電流達最高度（即欲得最強之電流），可將 L_2 及 C_2 配置得當，使

$$2\pi f_1 L_2 - \frac{1}{2\pi f_1 C_2} = 0$$

$$\text{則 } Z_2 = R_2$$

$$\text{而 } I_2 = \frac{E_2}{R_2}$$

（按 I_2 及 E_2 爲 B 路之電流及電壓）。換言之，電路 B 之自然週率，等於 A 之自然週率，A 與 B 成諧振之現象。因上節中已謂自然週率與外來電流之週率相等，即爲諧振現象也。以算式表之，則

$$f_1 = f_2$$

$$\frac{1}{2\pi\sqrt{L_1 C_1}} = \frac{1}{2\pi\sqrt{L_2 C_2}} \dots\dots\dots \text{公式(14)}$$

$$\text{簡言之， } L_1 C_1 = L_2 C_2 \dots\dots\dots \text{公式(15)}$$

上列公式以文字表之則爲：凡二電路在極寬交連之關係下，自然週率相等者，振盪時即成諧振。易言之，甲乙兩交連電路之磁感量與電容量之乘積若相等者，其振盪即成諧振。

爲配諧計，無線電路中之磁感量及電容器，大都爲變量者。例

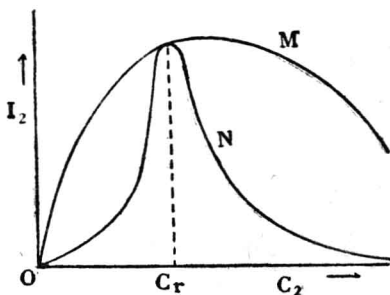
如 B 路中，將 C_2 逐漸變值，至某值時（電容器普通分成度數）電流最大，即成諧振。其偵察諧振之法，可用電流表，表上記錄最大時，或串聯於電路內之小電燈泡光度最強時，即為諧振。亦有用聽筒 T，附以晶體檢波器 D（或真空管），聽筒得聲最高時，即電流最高，是即諧振點也。在上圖中，如 L_2 為變量， C_2 為定量，或二者均為變量，若配諧得當，諧振可得。又若 L_2 及 C_2 為定量， L_1 及 C_1 為變量，諧振亦得。最重要者，乃在 $L_1C_1 = L_2C_2$ 。換言之，即自然週率相等是也。

18. 配諧之重要 配諧為無線電收發步驟最重要之一步。凡一無線電臺所發電波必有一定週率。若能將接收機配諧適當，使接收機之自然週率，等於所收電波之週率，則收得電音力強而清晰；同時且將不欲收之電波，屏除不聞，而專注於欲收之一波，是以各電臺之週率或波長，各不相同，正所以使各臺同時收發，不相擾亂。若無諧振現象，則各臺雖有各別週率，仍將騷亂，因接收機將無棄取之能力也。配諧又如處一室中，羣聲雜作，吾人將耳如何配置，使可屏除他聲，而專注於欲聽之一聲，且得其最強力量。今者無線電臺林立，若無配諧之方法，無線電交通，勢屬不可能。讀者對於諧振及配諧方法，務於本章明瞭透澈，否則以下各章不易了解也。

19. 交連寬緊之影響 在配諧時，兩電路既在交連狀態中，則第二（即 B 電路）電路中所感生電流之強弱，自必與二電路相距之遠近有關。如距離近，感應力強，電壓隨高。距離遠，適為相反。在平

常測之，當以為欲發強電壓於B路中，是以交連愈緊愈佳。而不知交連太緊，B路之電流將生反感應作用於A路中，遂致B之電路電能減少，效率低劣。且交連太緊，在B路所發生之諧振曲線，極為平闊。蓋若此則B路電容器之刻度盤上，有極寬闊之地位，皆能接收該波，若欲聽他波，此波即擾亂不已。例如第一七圖，曲線M為B路緊交連時所得之諧振，可見 C_2 變值電流 I_2 影響極小，欲聽他波時，此波必起阻礙，二聲並作，不易辨別。曲線N為寬交連時之諧振，止在 C_2 等於 C_r 時，電流最強，他處則甚微細，不致妨礙他電波之接收。此種諧振，謂之尖銳諧振(sharp resonance)，最為合宜。但同時交連不能太寬，太寬則B路中之電流又必縮減，聲音低弱不能聞。是以交連之寬緊程度，當以得到尖銳諧振，而不令電流過於減低為度。

第一七圖



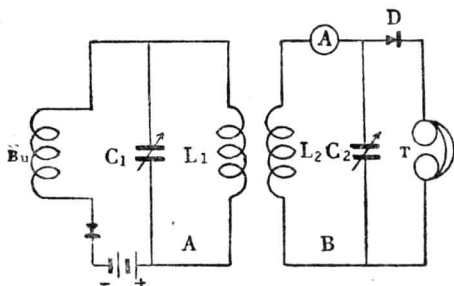
交流寬緊對於諧振銳度之影響

20. 波長表之原理及應用 利用上述諧振現象，以造成之一

種儀器，名曰波長表(wave meter)，可供測量電波長度或振盪週率之用。測量波長之法則不一，而要以用波長表為最簡捷容易。其理論可藉第一八圖明之。假定A電路為波長表，內含變量電容器 C_1 及磁感圈 L_1 ，蜂音器 Bu 及電池如圖。蜂音器者，乃一件使電容器迅速充電放電而合磁感圈以成振盪現象之器。其結構與使用頗似電鈴之振動，一俟蜂音器起始振動，即能發出一種似蜂音之聲，蓋是器之振動速率，在成音週率範圍以內，迨蜂音器發出振動，A 電路即成振盪現象，預備為測量波長之用。設 B 電路內為吾人欲測量電波之電路，假定 C_2 及 L_2 為該路內之電容器及磁感圈皆為定量，D 為晶體檢波器，T 為聽筒，A 為熱線電流表，按照前述各節，B 電路有其自然週率，其值為：

$$f_B = \frac{1}{2\pi\sqrt{L_2 C_2}}$$

第一八圖



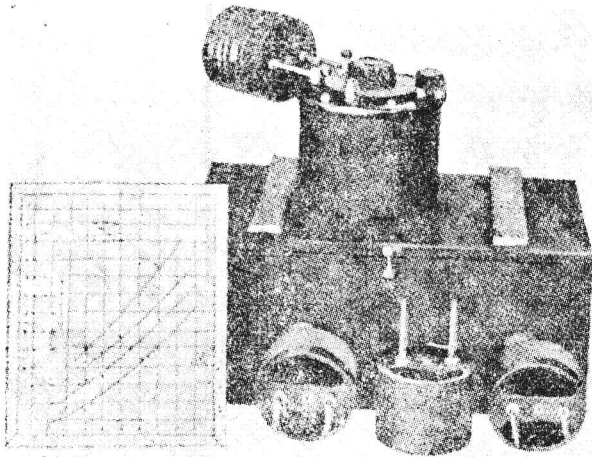
波長表之應用

A 電路亦有其自然週率，其價值為：

$$f_A = \frac{1}{2\pi\sqrt{L_1 C_1}}$$

今則 L_1 及 C_1 皆為已知， f_B 內 L_2 及 C_2 均為未知。假若將 f_A 及 f_B 相等，則成諧振現象。其法祇須將 C_1 緩緩變值，自零以至最大，或自最大以至零。將 B 電路移近 A 電路（不可移至太近，蓋太近則

第一九圖



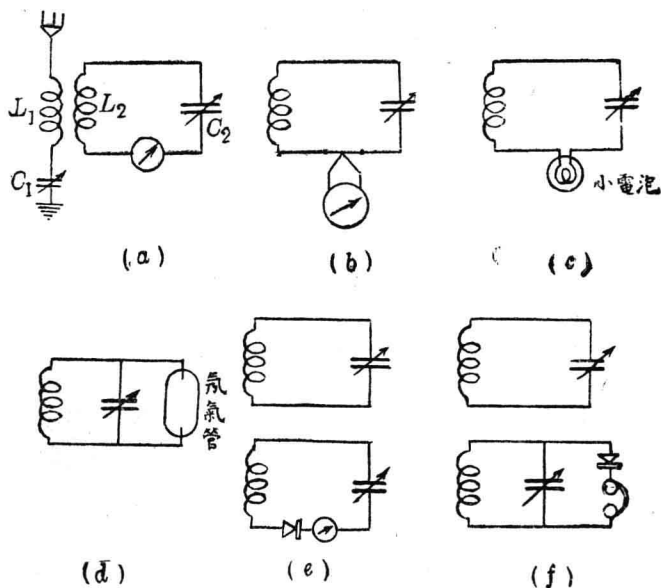
波長表之一種

B 路之能力，將返入 A 路，情形更複雜也）。至某值時，電流表 A_2 顯出最大數量，可見該時之兩路成為諧振。易言之， f_A 即等於 f_B ， C_1 及 L_1 既為已知，於是 f_A 即 f_B 自易算得矣。

上述為測量自身電路之波長。設欲以測定外來波長時，如第二〇圖(a)， L_1 及 C_1 為天線路內之自感量及電容量，當使用時，配置之使與外來波長諧振。諧振之法，變更 C_1 ，當電流表中之電流或

聽筒中之聲音最大時，即為諧振。若所欲配諧之波長太長或太短時，可加一串聯電容器或加一串聯自感量以調整之，而後以波長表移近，使 L_2 與 L_1 處於寬交連之狀況下，變更 C_2 以諧振之。指示諧振之器；以其運用方法之不同，分為二類：其與 L_2, C_2 串聯者，為電流式指示器 (current-operated device)；其與 L_2, C_2 並聯者，為電位式指示器 (potential-operated device)。前者如熱線電流表，熱電測電表 (thermo-junction with galvanometer) 及小電池；後者如氬氣管，礦石及聽筒等是也。

第 二 〇 圖

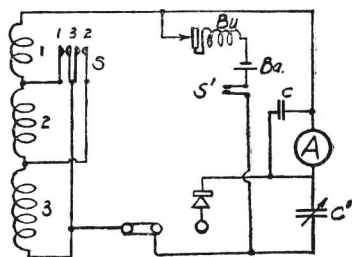


各種諧振器之接法，有置於 L_2, C_2 線路內者，亦有置於與 L_2, C_2 交連之線路外者，如第二〇圖各圖所示。

以上諸法，以熱電測電表，磁石及聽筒爲最靈敏。熱線電流表及小電泡祇能用於電流較大之線路內，如振盪器及發報臺之類是也。

常用之波長表，磁感圈爲定量，惟往往有價值參差之線圈二三枚，以備測量長短各波之用，電容器則爲變量，其度數即註以波長之公尺，以其便於直接查閱也。第二一圖爲一商用蜂音器波長表 (buzzer wavemeter)。除普通振盪線路及一指示諧振器外，尙有

第 二 一 圖



蜂音器波長表線路

一與電池 E 串聯之蜂音器 B 跨接於變量變容器 C 之兩端，蜂音器銜鐵 (armature) 之開合與振盪電路以週期的衝擊 (impulses)，因而振盪電路內發生一組減幅波羣，其羣數依蜂音器之週率而定。每羣內之振盪週率可藉 L 與 C 以控制之。由此觀之，一蜂音器波長表作用，實不啻一小電力之發射臺也。

當此表用以測量發射臺之波長時，其作用宛似一接收機。運用開關 S_1 ，使變量電容器 C 與一適宜之線圈相連，以成振盪線路，其諧振點可觀察熱線電流表中之電流知之。此時之波長，即於表上直接讀出。若用聽筒偵察諧振，當使波長表之線圈與天線線路內線圈之交連適足使聽筒內之聲音可以聞見為度，然後變更 C 以得最高聲音。此種測量法係指自火花機發出之電波或減幅波而言。否則聽筒之鋼膜既不能響應射電週率而震動，人耳亦無法能聞。故測量等幅波之波長時多用熱電測電表為諧振指示器。

當用此表測量接收機之波長時，其法相反，即波長表之作用如一發射機，其線圈與接收天線線路之線圈寬交連，調節波長表之電容器，以求得諧振。

波長表除上述之主要用途外，更可用以測量電容量，自感量高週率電阻及諧振曲線等。故波長表實為射電週率測量中應用最廣之儀器也。

21. 無線電電容器 無線電振盪電路內主要分子為電容器與磁感圈。關於二者雖於第一章已有簡單之敘述，但因其於振盪電路內之使用頻繁，尚有重加敘述之必要。請先述電容器。無線電機械內所用電容器，可按其應用分為接收及發射兩種。後者因其所支電壓，動輒千萬伏脫，亦稱強力電容器 (power condensers)。接收電容器之絕緣體，變量者均為空氣，定量者則為紙及雲母等物。變量片數自 7 片至 43 片，其數值約自 $.00015 \mu\text{f}$ 至 $.001\mu\text{f}$ 。接收電

容器之轉片方式不一，尋常半圓片之電容器其電容量與相罩之面積成正比，亦即與旋轉角度成正比。若以公式表之則為

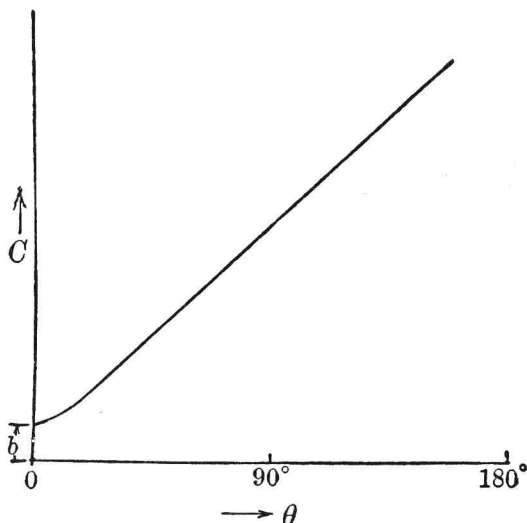
$$C = a\theta + b \dots \dots \dots \text{公式(16)}$$

內 θ 為自片間不相罩位置後旋轉之角度， a 為比例常數， b 為電容器在零度時之殘餘電容量，若以曲線表之將如第二二圖。若以半圓片電容器與磁感圈組成波長表，而以波長之公尺數直接刻劃於電容器轉盤上，以代角度，則此波長刻度，將不均勻，擁擠於大角度方面，而分散於小角度方面。其故乃因波長與電容量之平方根為正比，亦即與角度之平方根成正比。若以公式表之，則

$$\text{既 } C = K_1\theta$$

$$\text{又 } \lambda = K_2\sqrt{C}$$

第 二 二 圖

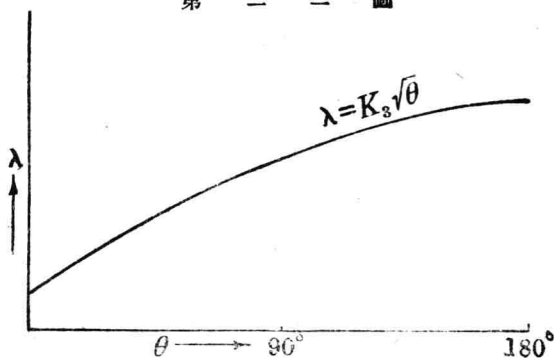


半圓片電容量與角度之關係

於是 $\lambda = K_2 \sqrt{K_1 \theta} = K_3 \sqrt{\theta}$ 公式(17)

內 K_1 、 K_2 及 K_3 為比例常數， θ 及 C 如前， λ 仍代波長公尺數。若以曲線表之，則如第二三圖。可見在 20° 一帶角度稍變，波長變化太大，記錄實欠準確。 80° 以上則反是，地位又不經濟。補救之法，在設計電容器片之方式，使其波長記錄與旋轉角度成正比。但因波長與電容量之平方根成正比，故電容器之電容量與角度之平方，當為正比。若以公式表之，既欲得

第 二 三 圖



半圓片電容器波長與角度之關係

$$\lambda = K_1 \theta$$

$$\text{但 } \lambda = K_2 \sqrt{C} = K_1 \theta$$

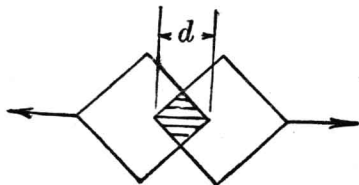
$$\sqrt{C} = K_3 \theta \quad \left(K_3 = \frac{K_1}{K_2} \right)$$

$$\text{或 } C = a \theta^2 \quad \left(a = K_3^2 \right) \dots \dots \dots \text{公式(18)}$$

若欲得電容量與角度之平方成正比，電容器旋轉片與固定片必須有適當之方式。此種關係，可以兩正方形片得之。如第二四圖所示，

若二片往復移動，則所罩之面積適與移動之距離之平方成正比，亦可得均勻波長刻度。但以此構造適當電容器，卻不甚易，故須另易方式。

第 二 四 圖



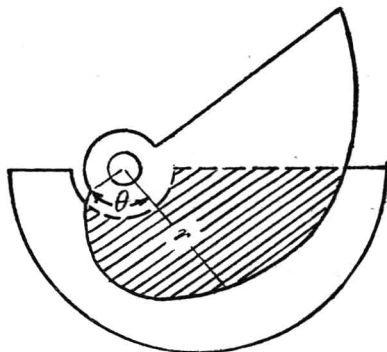
正 方 形 片 電 容 器

以微積分可證明若固定片為半圓形而旋轉片週圍曲線可使半徑與角度得下列之關係，即可達到上述條件。此關係維何，即

$$r = \sqrt{4a\theta} \dots\dots\dots \text{公式(19)}$$

內 r 為旋轉片任何角度之半徑， θ 為角度， a 為比例常數。該種電

第 二 五 圖



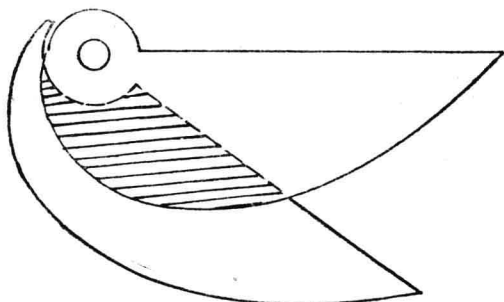
直 線 波 長 式 電 容 器

容器兩種片面之方式，當如第二五圖。此種電容器之方式可使波長與角度成正比，刻度均勻，故謂之波長直線式 (straight line wave length type)。若以半徑與角度成下列之關係，

$$r = \frac{K_1}{\sqrt{4a\theta}} \dots\dots\dots \text{公式(20)}$$

即可得直線週率 (straight line frequency type) 方式。即週率與刻度成直線關係也。其轉動片之方式約如第二六圖，公式內 K_1 為一常數。

第 二 六 圖



直 線 週 率 式 電 容 器

強力電容器與接收電容器，其主要異點約有三端：第一，強力電容器較接收者器件為巨，因一則發射線路中，所得工率，往往億萬倍於接收線路。二則在發射線路中為高電壓，電壓既高，片間距離自宜加增，以免絕緣破裂，此又使器件巨大原因之一。絕緣體通常用油為多，間或用玻璃雲母。小工率之移動發射機內，則幾多用空氣。第二，強力電容器電容量數值亦大。在同量工率內，吾人可證

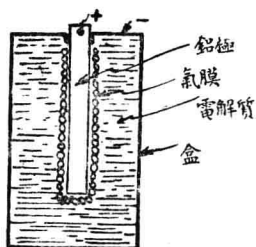
電容量與電壓之二乘方爲反比 ($W = \frac{1}{2}CE^2$)，若將電容量增加，電壓降低甚多，自屬經濟之道。第三，強力電容器其構造毋須連續變量，如接收電容器然。其故乃因發射線路使用之波長爲規定，卽有更易，亦屬不多，能配置得三數不同波長結果已足。

22. 電解電容器 除前述數種電容器外，又有所謂電解電容器(electrolytic condenser)者。此種電容器之理論甚多，其最普通者大要如下：當一直流電壓，加於二鋁製極板，則正極板上卽有氧化鋁或氫氧化鋁之薄膜生成，同時因化學作用所生之氫氧亦附着於此膜上，此二者乃構成電解電容器之通感體。此膜極薄，但能受數百伏脫之高電壓，電容器容量之大小卽與此膜之厚薄成反比。因鋁片之面積甚大，故每平方吋所能得之電容量亦大。市上所售之溼電解電容器爲一盒形，內盛電解質，此盒兼作電容器負極之用。晚近接收機之新製，多有採用此種電容器者，固因其佔地小而容量大，而其成本低廉，通感體之自療性質等亦爲其應用較廉之重要原因也。

乾電解電容器亦如乾電池，以電解質製成糊狀物置於二純鋁薄片之間。其一爲正極，正極之表面爲由化學作用生成之氧化鋁或氫氧化鋁及氧氣之薄膜所被，此二者亦爲電容器之通感體，其一爲負極，不過僅充導電之用而已。負極與通感體之間，爲一層富於吸收性之網狀物，如第二八圖。此物曾經被溶液所飽和，其作用乃用以減低電容器之內阻。乾電解電容器亦具有溼電容器之

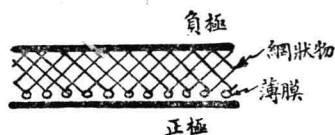
優點，其勝於後者之處，即電解質無傾覆之虞，故汽車飛機及廉價之接收機多採用之。

第二七圖



溼電解電容器

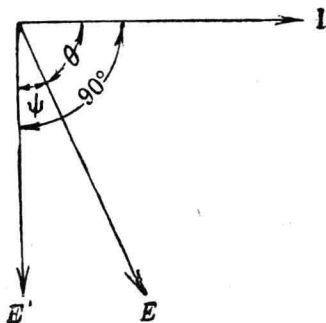
第二八圖



乾電解電容器

23. 電容器之工率損失工率因數及相差 理想完美之電容器，其電流與電壓之相差永為 90° ，而絕不消耗絲毫工率。但事實上因通感體性質之不完美及導線導片之不能避免電阻，加以滯電 (electric hysteresis) 漏電 (leakage) 電暈 (corona) 等等之現象，工率損失為不能免，故常以之測驗電容器優劣程度。工率損失表示

第二九圖



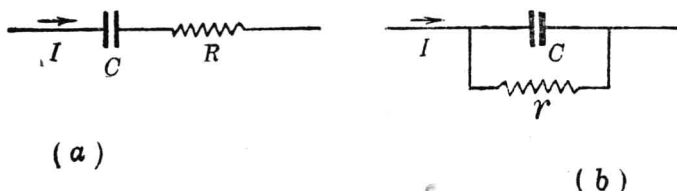
電容器之相角及相差

方法不一，或以相角，或以電阻。例如第二九圖因工率之損失交流與電壓導前不及 90° 而為 θ ，此 θ 角謂之電容之相角，而 $90 - \theta = \psi$ 之角謂之相差。相差愈大，電容器之品質愈劣，反之則佳。尋常相差約在 0.2° 以下。相角之餘弦 ($\text{Cos}\theta$) 即為工率因數。故工率損失

$$P = EIC\text{os}\theta$$

$$= EIS\text{in}\psi \dots\dots\dots \text{公式(21)}$$

第 三 〇 圖



電 容 器 之 串 聯 及 並 聯 當 量 電 阻

電容器之工率損失，又可以串聯或並聯電阻表示之。例如第三〇圖(a)及(b)示電容器工率損失之當量串聯及並聯電阻。如電容器相差甚小，吾人可以證明

$$I^2R = (2\pi fCE)^2R = \frac{E^2}{r}$$

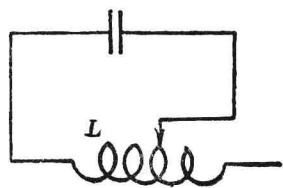
$$\text{故 } r = \frac{1}{(2\pi f)^2 C^2 R} \dots\dots\dots \text{公式(22)}$$

內 R 及 r 代串聯及並聯當量電阻。

24. 無線電磁感圈 無線電收發線路內所用磁感線圈，尋常為螺形(solenoid)或旋形(spiral)之銅線或銅片圈。其磁感量或為定值或為變值。在接收線路內，此種線圈形狀大都甚小，因其所得

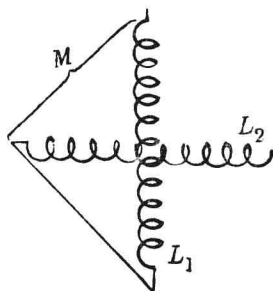
電工率與電壓均稱微弱。爲避免集膚作用起見，發射線路磁感圈常爲絞線或薄片組成。接收線路磁感圈之變量方法最簡單者乃用一滑接以得全部線圈之任何一部，如第三一圖所示。但此法足以引起其餘不聯接在內各圈之『死線圈效驗』(dead-end coil effect) 其解釋詳後。變量磁感圈之最佳方法莫如用一固定與一活動線圈組成變量互感圈(varion eter) 如第三二圖所示。如各圈之自感量爲

第三一圖



變量自感量

第三二圖



變量互感量

L_1 及 L_2 而其互感量爲 M 亨利，於是此二線圈串聯後之總磁感量 $L = L_1 + L_2 \pm 2M$ 。內 M 之符號視二圈磁場之相助或相抗。在前吾人已知二線圈 M 之最大值爲 $\sqrt{L_1 L_2}$ ，是以此二線圈合組之磁感量其變值範圍約自 $(\sqrt{L_1} - \sqrt{L_2})^2$ 至 $(\sqrt{L_1} + \sqrt{L_2})^2$ 或自 0 至 $4L$ 如 $L_1 = L_2 = L_0$ 兩線圈平面相並行時，磁感量爲大(或正或負)，相垂直時磁感量爲零。欲得任何數值可隨意移動其活動線圈，其變化步序至爲精微。

第一章內公式(11)所示計算螺形線圈之磁感量實爲約數。因

該公式假定各圈所發出之磁力線無不穿過其他各圈，而實則在空氣心線圈磁力線有一部並不穿過所有各圈，而先行經空隙漏去。是以欲得螺形線圈磁感量之準確數值，尚須乘以更正因數名之謂 (Nagaoka's Constant)，其數視線圈之半徑 r 與長度 l 比例而異，有如下表：——

r/l 比 例	K	r/l 比 例	K
0.025	0.98	0.70	0.61
0.05	0.96	0.80	0.58
0.10	0.92	0.90	0.55
0.20	0.85	1.00	0.53
0.30	0.78	2.00	0.37
0.40	0.74	3.00	0.29
0.50	0.69	4.00	0.24
0.60	0.65	5.00	0.20

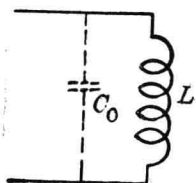
發射機內與接收機內磁感圈之異同，正與電容量相仿；簡言之，發射機磁感圈方式巨大，並無連續變量設備，及其亨利數值為小，其理學者可推而得之。

25. 線圈之分佈電容量 吾人早知若二導體中間隔一絕緣體即組成一電容器，故凡線圈各圈間亦復有電容量之存在，此種電容量並不集中一處，而卻分佈於全圈各圈之間，故名謂線圈之分佈電容量 (distributed capacity)。此種分佈電容量在低週率時，影響甚微，而在射電週率，則其效顯著，無非因電容量之充電電流與週

率成正比例之故。

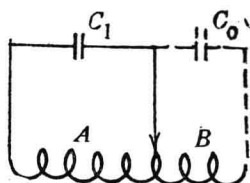
線圈之分佈電容量，在解析其作用時，可視作存在於跨接線圈兩頭之電容量如 C_0 之於 L （第三三圖）。是以在極高週率時，磁感圈之作用宛如一電容器。線圈在兩頭斷路時，自身亦組成一振盪電路，並有其自然波長與週率，一如普通振盪電路然。

第三三圖



線圈分佈電容量

第三四圖

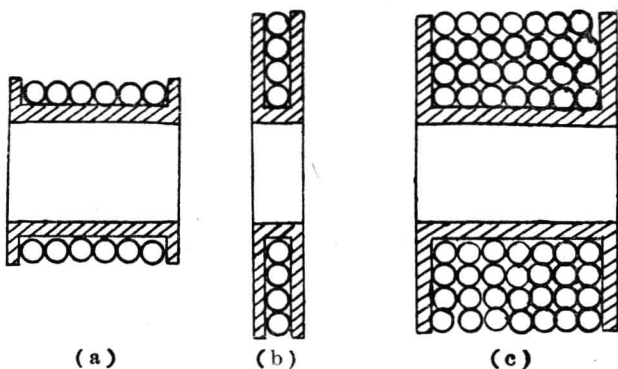


死線圈效驗

線圈之分佈電容量，常足以引起無線電線路種種不良之現象，所稱線圈之『死線圈效驗』，僅其一端。例如第三四圖之變值自感量 L ，當其利用滑接使一部跨接於 C_1 而其餘不用一部與其分佈電容量 C_0 復組成一振盪電路 B ，與利用之線圈一部分與 C 組成之振盪電路 A 成交連狀態，其惡果則一方使線路可以在二週率成諧振（見後）并如二路之週率適相近，能力被吸收，增加線圈之實效電阻焉。

無線電接收線路中磁感圈所繞方式最普遍者如第三五圖所示。（a）及（b）磁感量較少，（b）則最稱靈便。（c）則可得巨大磁感量，而方式並不太大。惟其分佈電容量則比（a）及（b）為巨大，其故因在（a）及（b）貼鄰各圈之電位差為全電位差之 $\frac{1}{n}$ ， n 為完全圈數，

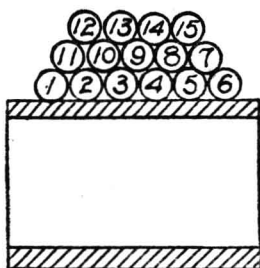
第 三 五 圖



自感圈各種繞法

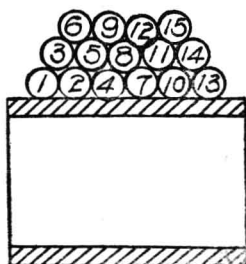
而在(c)則各圈次序如第三六圖電位差極高之各圈，將互相貼鄰，形成高度電容量作用。補救之法雖可於圈與圈間隔以少許空隙，惟

第 三 六 圖



堆集繞法之一

第 三 七 圖



堆集繞法之二

最善之道莫如用第三七圖堆集繞法 (bank winding)。各圈如依次序而繞，貼鄰各圈之電位差極微，分佈電容量為之減退非尠。除上述之磁感圈之繞法，尚有蜂房式 (honey-comb type)，蛛網式 (spider web type) 及籃式 (basket type) 等，不及詳述。

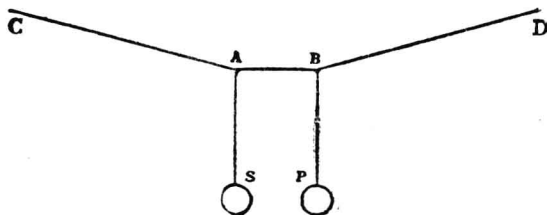
第四章 減幅波無線電報

(Damped Wave Radio Telegraphy)

火花式無線電報，幾為惟一發生減幅波之機件。徒因效率低下，騷擾甚劇，已在廢止之列。但其理論頗多與等幅波無線電相同之點，或足為瞭解後者之助。是以減幅波無線電應用雖已淘汰，而其理論卓然不滅，不可偏廢。本章即敘述減幅波無線電收發機件之原理與構造兼及其應用，讀者幸勿以其時代落後，而忽視之。

1. 機械界之交連 第三章曾略述交連電路之諧振。但為明瞭收發報機線路進一步起見，非將交連電路作較詳之探討不為功。今試以機械界之交連為喻，例如第一圖以線一繫支於C及D二點，而於A及B二點繫以同長同重之擺S及P。設吾人先將P擺振盪，不一刻P之振盪幅度漸次遞減，但同時P一部之能力逐漸傳達至S擺，S擺起始振盪。P及S既為同重同長，故其週期相同。P振盪完全停止之頃，適為S振盪最劇之際。此時P之能力已完全傳達

第一圖



機械交連

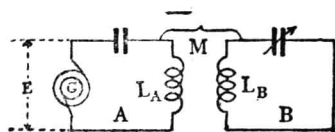
至 S。但不多時 S 振盪復作，傳達其能力復回至 P。如是循環週而復始，直至所有能力，盡耗於兩擺所受之空氣及支點阻力等而後已。此為機械界之交連。P 及 S 猶交連電路，A B 之距離，猶交連電路之寬緊程度也。

2. 交連電路之現象 設有二電路如第二圖之 A 及 B，其自然波長配置同為 λ 。交連後，各路將有不同之振盪波長，是二波長可以下公式表之：

$$\lambda_1 = \lambda \sqrt{1+K} \dots\dots\dots \text{公式(1)}$$

$$\lambda_2 = \lambda \sqrt{1-K} \dots\dots\dots \text{公式(2)}$$

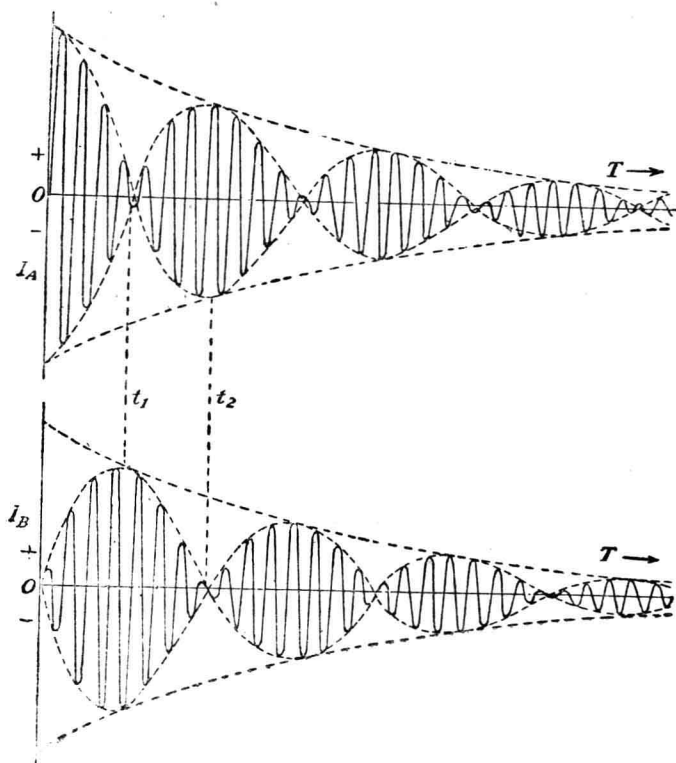
第二圖



交連電路

公式內 λ 為未交連前共同之波長， λ_1 及 λ_2 為二結果波長， K 為交連係數，表示交連之寬鬆程度，其定義已見第三章。從上公式可見 λ_1 及 λ_2 兩波長之差，視兩路之交連係數 K 而定。兩路交連寬，即使 M 小或使 $L_A L_B$ 大，可使兩波長相差甚微。如 K 等於零，即 A 及 B 兩路無絲毫交連關係，即 A 路內之能力不能感應及於 B 路內，

第 三 圖

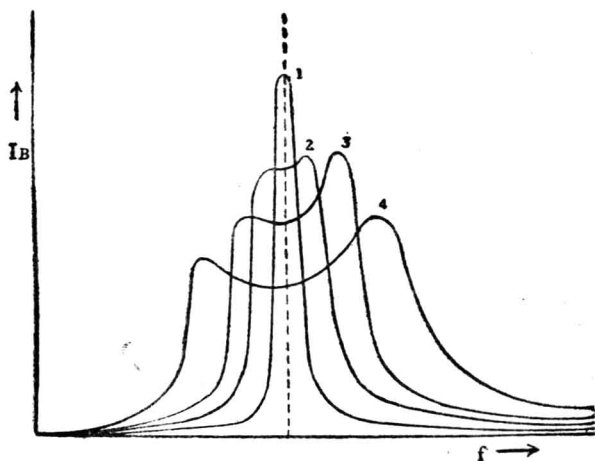


交 連 電 路 之 電 流

兩波長歸而爲一，等於原來諧振波長。若將兩路交連增緊，即將M大或使 $L_A L_B$ 小，可將兩波長相差愈遠，於是此二電路內同時有二振盪波長或週率如第三圖，電能力在兩電路內往復振盪，宛如前述機械擺球（即A路最大值時B路值最小，B路值最大時A路值最小，觀第三圖 t_1, t_2 兩時間之情形即知）每路內有兩波長或週率；故發生週率差（beats）之現象（關於週率差之詳解見後）。如是循環振幅漸縮，直至所有能力，耗盡於兩路內，化爲熱能而後已。

第四圖即表示是種交連電路內之諧振曲線。曲線1交連最寬，

第 四 圖



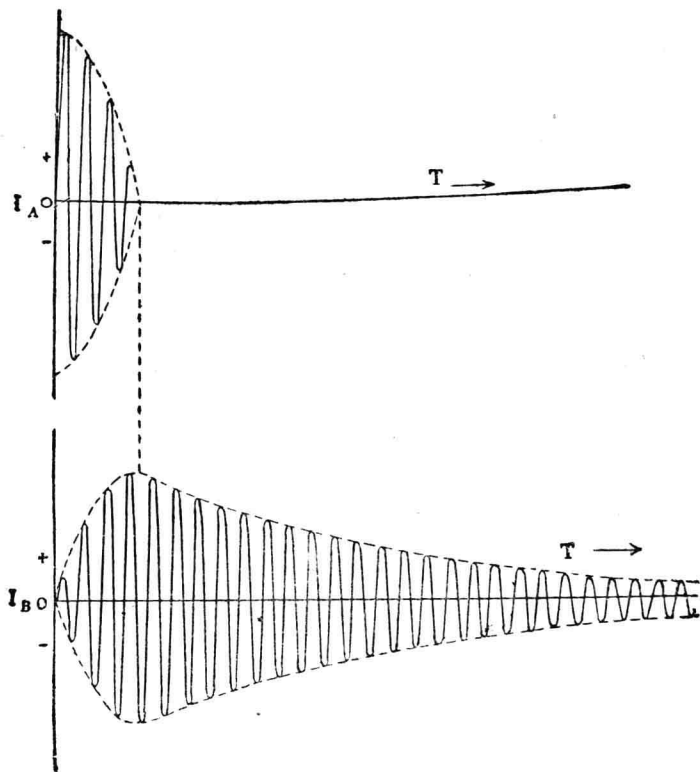
交 連 電 路 內 之 諧 振 曲 線

止得一波長。曲線2及3交連稍緊，諧振曲線有兩最高點，隱約

可見。曲線4交連最緊，兩最高點益為顯然。此諧振曲線可以一波長表於旁而測得之。於此可見欲得純粹單波長於交連電路內，其交連程度固以緊為宜，但以不逾發生雙峯點 (two peaks) 為度，此不可不注意及之。

若欲利用此能力為放射電波之用，決不可使其往復循環如前，

第 五 圖

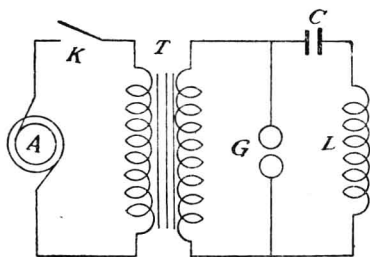


無反應交連電路之電流

必使 B 路得能力之後，設法使之不復還至 A 路，然後振盪減幅率可小，而振盪時間能久。例如第三圖在 t_1 時，A 路內之火花隙 (spark gap) (火花隙之作用詳述於以下各節)，可使其用相當方法停止傳電。換言之，即使 A 路內加入一極高電阻，或竟成斷路，於是無由吸引 B 路能力，而 B 路得以自由振盪，其週率及減幅率全視本路性質而異。A 路振盪即止於 t_1 時，有如已不在其側。其情形宛如兩擺之俟 P 擺動後，傳至 S 擺，S 擺在振盪最劇之時，將 P 擺剪去，於是 S 擺振盪可久，其情形正復相同。觀第五圖便益瞭然。關於如何使 A 路忽斷忽通以實現上述現象，隨述於後。

3. 減幅波發生之方法——火花 從上述之磁感量、電容量、及電鍵三者，固可以發生減幅波之振盪，以傳無線電交通。但因每

第 六 圖



火花發出減幅波之電路

一次振盪延時不及萬分之一秒鐘，若欲其延長，必須將電鍵迅速開閉，至一秒鐘萬次，方能使其延續不停。故非製成一機件能自行動作至一秒鐘萬次，勢所不能。而能自動的發生減幅波者，其惟火花。

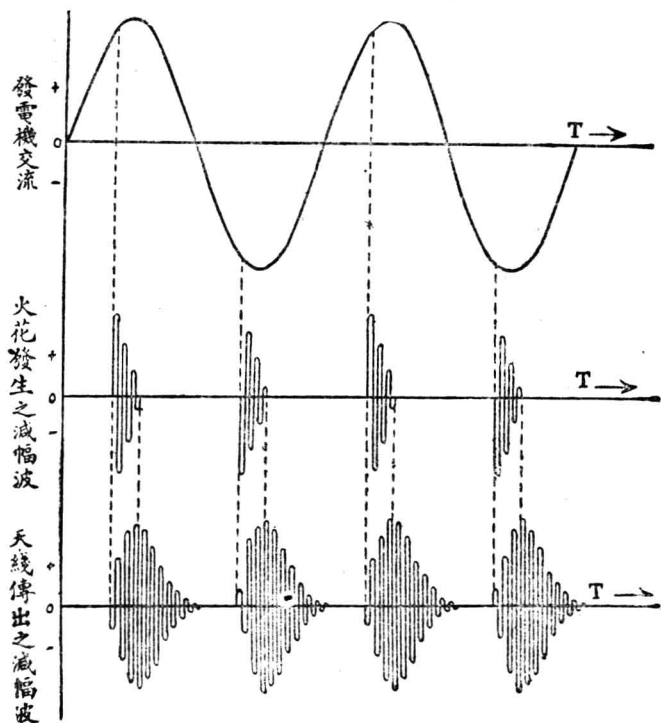
以火花發生減幅波之電路，略如第六圖。A 為交流發電機，發出低電壓之電流，用變壓器將低電壓變升高。G 為火花隙，為兩金屬圓球或圓片製成，中間距離可以移動，使配置適度。C 為電容量，L 為磁感量，其使用步驟可解釋如下：

當自變壓器之交流電壓，由小至大，電容器即漸次荷電，而二片即發生電壓。此電壓同時存在於火花隙之兩球上，至電壓漸高，此火花隙因空氣分子遊離，即為電壓所躍過，發出火花，至於應至若干電壓，始發生火花，須視兩球之距離而定，距離長則電壓高，而振盪工率大，反之則否。火花既躍過此隙，隙中空氣成為導體，電容器即因之而放電。放電之時，電路 L, G, C, 發生振盪電波，恰如前述。俟電容器完全放電，於是振盪即止，還復至原來狀態。但變壓器之電源，既為交流，至下半週，電壓又漸增，不過方向與前相反，電容器又荷電，火花隨又躍過隙間。及電容器放電，則與磁感量發生振盪電波如前。如此循環不絕，減幅波因之陸續發出。每秒鐘究能發生若干次火花，則全視發電機之週率。假使發電機週率為 500（此為火花式所用發電機極通行之週率），每週發生二次火花如上述，則每秒鐘共有火花 1000 次。但該電路於每次火花躍隙之後所發生之振盪電波，其週率與火花次數完全無關，而全恃電容量 C 與磁感量 L 之數，為公式

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

所限定。至於火花次數，發電機週率及振盪之關係，可參看第七圖。

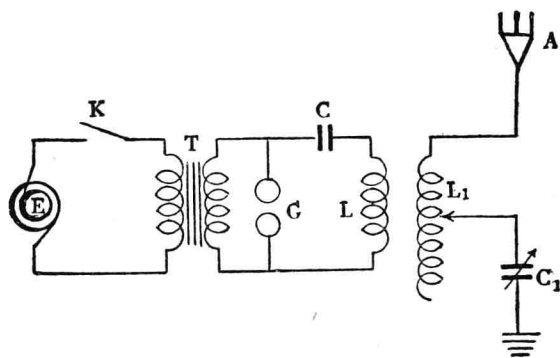
第七圖



火花散射電波之步序

4. 火花式發報機之使用方法 上節已解釋減幅波如何可由火花而發生之法，然則如何再可以將此減幅波發射至外界，而成無線電交通。可觀第八圖，如將C與L移去，一頭直接至天線，又一頭接至地線。因天線本身有磁感量，而天線與地線，二者合為一電容

第八圖



火花發報之機器佈置

器，而成一振盪電路。如是則每次火花躍過間隙之後，天線電路內，即發生減幅波，振盪散射而至空間。是波之週率，即為該天線之自然週率。如欲將該波傳出信號，則可於低電壓路中，加一電鍵，按鍵之久暫，可分點畫之別。此法雖可應用，徒因火花隙之存在於天線路內，增加巨量之電阻，結果遂使所發電波振幅速即減小，使接收者不能得尖銳之諧振（見後），影響於接收者殊巨。故欲免除上述困難起見，多用第八圖之線路。按是圖與前所異者，即後者天線路並不直接連入變壓器高壓方面，而用 L 及 L_1 交連之。如是天線所發出之電波，並非直接得之於變壓器，而間接得之於 L 及 L_1 感應之結果。其週率視 C 及 L 之數值而定。惟為增高發報機效率，及使接收者得到較尖銳之諧振起見，天線路內之自然週率，宜配置使與 CL 電路之週率相等。其法可以接一電流表於天線電路

內，然後變化路內之 L_1 或 C_1 使天線電流最大時，斯時吾人確知天線電路之與C及L路已成諧振現象而發出純粹之電波矣。

5. 火花隙之作用 前節略述火花隙之作用，而未及詳，茲復述之。火花隙之中間為空氣，空氣在尋常狀態下，為一絕佳之絕緣體。每公分距離可抵30,000伏脫而無恙。但若電壓過此高度，此絕緣性質即告破裂 (break down)。換言之，此絕緣體霎時變為導體也。此時之空氣分子處於遊離狀態 (dissociated condition)。其分子分為正負兩種離子，荷正電者謂之正離子或陽離子 (positive ions)。又一種荷有負電，謂之負離子或陰離子 (negative ions)。各因正負兩極之吸引飛奔兩極，如是此隙即成導體，而電容器既充滿電壓，而又跨接於此隙，此電容器遂即放電，經過此電路之磁感量，而成上述之振盪現象矣。讀者於此可參閱第八圖。

但若此火花隙保持其導體性質，其間空氣保持其處於遊離狀態中，電能力將自A路感應至B路以後，復自B路回感至A路，如是往復循環，一如上述。電能力將消耗於本路內，無復能放射外出，以作通信之用者。避免能力反應至原路之法，謂之息滅 (quenching)。有此息滅作用之火花隙，謂之息滅火花隙 (quenched gap)。息滅之意，即將隙中空氣於電容器放電以後，瞬息之間回復原來絕緣狀態，而解去其遊離 (deionization)。如是一方使A路成斷路，B路能力不致反應至A，一方使高電壓得以於下半週重復充電，預備下次之振盪。蓋不如是，高電壓將得一短路，並跨於電容器兩極之間，

而電容器無由充電也。

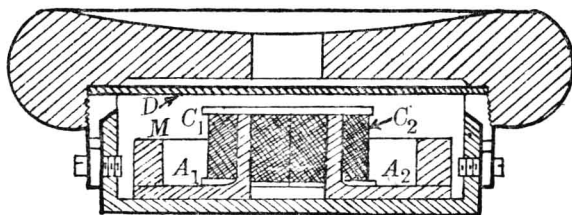
息滅火花隙之方式不一，其最簡單者，即為普通之球與球之間，而加以打風機 (blower)，使隙間空氣，迅速調換，將已成遊離之舊空氣分子，易以中和性之新空氣分子。如是隙間空氣分子，永在變易，火花發生後，迅速息滅，B 路能力不致反應至 A 路。或將一隙化作數小隙，成串聯，電極為圓形薄片，使隙間熱能於短時間內，藉傳導及放射於外，而使空氣迅速解去遊離狀態。此外尚有旋轉隙 (rotating gap)，極與極之間有旋轉之齒輪，使齒與槽輪流飛轉於隙間，以達其驟導驟滅之情形。凡此種種已非重要，不及詳述。

6. 減幅波之接收 減幅波既由發報天線散射，藉以太以傳達至收報天線，後者因磁場之變化，感應得同性質之振盪，而以相當之儀器配合記錄或聽收其振盪，完成電信之交通。此收報天線電路與發報天線電路，相隔雖數十百公里或數千公里，實即與上述交連電路無異。故為得巨量能力最高效率避免騷擾起見，收報天線必須與發報天線兩者之週率或波長配置相等，成諧振狀態。是以最簡單之無線電接收線路至少須包含一電容量或磁感量配置之成諧振及一精細靈敏之測電儀器。收報天線之感應電壓及電流至為微弱，尋常電流表或竟兆分安培電流表 (micro-ammeter) 所難顯見，因電流表之針有慣性，萬不能隨振盪電流而行動，故最習用以聽收電波音信者用聽筒。聽筒之利，在靈敏與耐用二者皆有其長。

在未述減幅波接收理論之前，請先述聽筒之構造及其作用。

7. 聽筒 第九圖表示一聽筒之正面截面圖。 C_1 及 C_2 為二捲銅線，繞於鐵心 A_1 及 A_2 之上，使之成為二電磁鐵。 D 為極薄之鋼質薄膜 (steel diaphragm) 離鐵心有空隙少許，而圓邊嵌入外殼如圖。 M 為永久磁鐵，若二捲銅線無電流通過時，吸引鋼膜之磁力，祇屬於 M ，有電流時，則於 M 磁力之外，又加入 A_1 及 A_2 之磁力。故若

第 九 圖



聽 筒 構 造

C_1 及 C_2 內之電流，時在增減如交流，則 A_1 及 A_2 之磁力，亦隨之變換其強弱。於是 D 離二鐵心之距離，亦隨之增減無疑。設該電流之週率，為每秒鐘60次，如商用電力交流，則鋼膜離鐵心之距離，每秒鐘亦變換60次，成為一種機械振動，傳至空氣，再由空氣而傳入吾人耳鼓，因得聞其聲矣。

無線電接收所用聽筒，與有線電話聽筒，結構大概相同。惟前者大多每套一雙以便帶於耳上，且鐵心上所繞銅線較長。因無線電流微弱，欲使靈驗，圈數宜多。是以無線電聽筒之良美程度常以電

阻（因線愈長電阻愈大）之大小為衡。故聽筒有 1000, 2000 及 3000 等等歐姆之稱。除電阻強大之外，各部構造，亦至關緊要，茲不詳述。

第一〇圖



無線電聽筒

8. 檢波器之需要 依上論聽筒原理，讀者將以為欲得無線電音，只須將聽筒接在天線與地線之間，即可收得電音，不知有二重困難在焉。此二重困難為何？其一為聽筒機械上之限制。自上節聽筒發聲作用言，似乎無論大小週率之電波，皆能使鋼膜振動作聲。實則週率太高之電波，於前半週時將膜外拒，於十萬分或百萬分之一秒之後，後半週將膜內吸，而鋼膜雖薄而輕，亦具抵抗動作之惰性，使保守原狀。是以假如電波週率太大，鋼膜不能發聲，而無線電波之週率均大，既如前述，則雖以無線電之振盪電流，直接通過聽筒，仍不能作聲也。其二為人類耳鼓之缺憾。吾人在聲學中，皆知音之作，均由於物質分子之振動，每秒鐘振動次數之不同，遂生出聲音之銳鈍之別。據試驗證明，人類耳鼓能聞之聲，止限於每秒

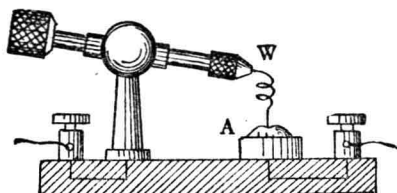
鐘振動次數十五次至二萬次。換言之，聲音之振動次數，若高至二萬次以上，如極尖銳之音，低至十五次以下，雖實有此聲，人耳仍不能聞。故即使聽筒鋼膜無惰性之阻礙，而能振動如意，以人耳之不靈，仍無效驗，蓋無線電波週率，均在每秒鐘十萬次以上，相差太遠。以此兩種困難，可知在天線收得電波以後，聽筒發聲以前，必有一種器具，使此極高週率之無線電波，降為鋼膜能依之振動，而人耳得以聽聞之低週率運動。此種器具即謂之檢波器(wave detector)，意謂利用此器可以檢查無線電波之存在與否。若無此器，收報臺雖或已在天線內接得電音，吾人亦無由知之。至於檢波器種類繁多，請在本章先述晶體檢波器(crystal detector)。

9. 晶體檢波器 檢波器之種類繁多(三極真空管之第一應用，即為檢波，詳論見以下各章)，最初馬可尼氏所應用者，為凝屑檢波器(coherer)，動作遲滯，久已不用。現除真空管外，用以檢波者，要稱晶體檢波器為最通用，茲述其原理如下：

自上文已知聽筒之不能振動作聲，乃因電波之為高週率之交流電，變換方向太速，鋼膜因有惰性之阻，遂不能依此週率振動。是以檢波器欲免除此種困難，至少須將高週率之電波，變為低週率之有效電流，則聽筒之鋼膜可以應波作聲。經試驗結果，發現有多種礦質結晶體，最普通者為鉛硫礦(lead sulphide, PbS)，此外如矽石(silicon)、矽炭(carborundum)、鐵硫礦(iron sulphide)、及我國藥店所售之自然銅等，均有此種作用。例如第一一圖為一檢

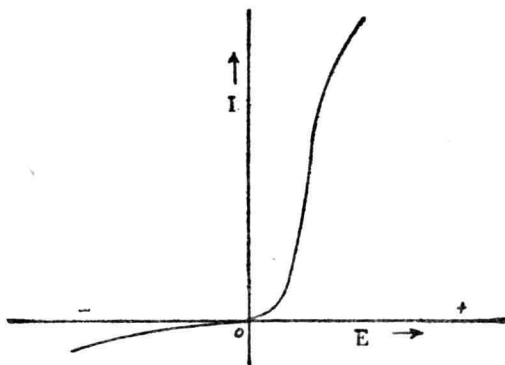
波器，A 爲鉛硫礦結晶體，W 爲有彈性之銅線，如將交流電壓加於其間，此晶體表現一種單方向之傳導(unilateral conductivity)，即電流自一方向流動，電阻甚小，電流甚大。自他一方向流動，電阻甚大，電流幾至於零。此理可以第一二圖表明之。觀此圖可知電壓如爲正方向，電流甚大，在負方向，電流幾等於零。換言之，此種結晶體能將交流電波除去下半部，而存其上半部，成爲單方向電流。此種作用謂之整流(rectification)。凡有此種性質之器謂之整流器

第一一圖



晶體檢波器

第一二圖

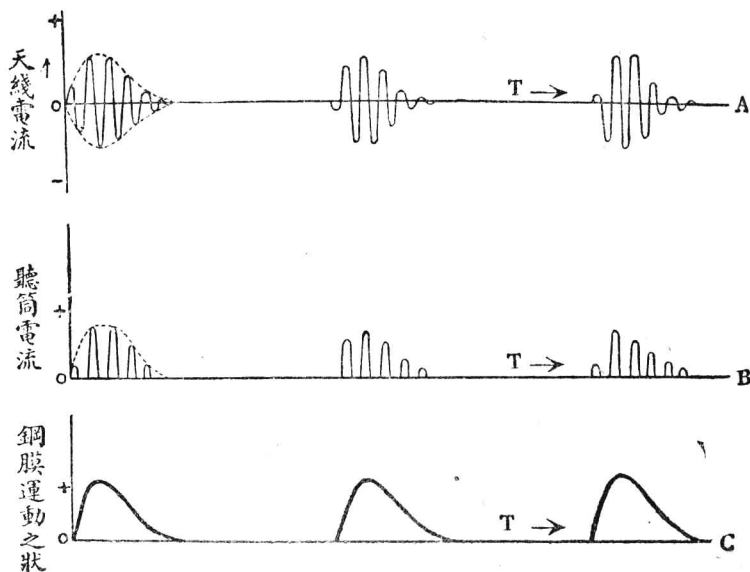


檢波晶體之特性曲線

(rectifier)。整流器用於無線電工程者甚多，晶體特其一種耳。

因結晶體有此種整流作用，故接在聽筒所在電路之內，即能使聽筒發聲人耳能聞，二種困難，同時消去。此種作用可以第一三圖表之。A 為天線電路中收得之振盪電流，假定為減幅波。B 為經過晶體檢波器及聽筒之電流。讀者注意其下半週俱已截去，即由於結晶體之整流作用，但因各細波中之同樣半週，為時甚速，鋼膜不受影響。惟全組電波之實效電力，如虛線所表者，足以振動鋼膜而發聲。C 為表示鋼膜離去原位振動之狀，由此可知檢波器之作用，

第 一 三 圖



晶體檢探減幅波之作用

實不啻變高週率之電波爲低週率電波，俾減少鋼膜振動之次數。故電波一羣，鋼膜止振動一次，而每秒鐘電波之羣數，又在人耳成音範圍以內，此人耳之所以能聞其音也。

10. 晶體接收機 無線電接收機中線路最簡單，價格最便宜者，首推晶體接收機，俗稱鑛石機。即接收機之應用鑛石結晶體以偵檢電波者。常用之晶體爲硫化鉛 (galena) 色爲銀灰結晶分子爲立方體，面光亮如鏡。應用只須小塊。惟因其靈效程度，在同一面上，各點不同，且與針線W (見第一一圖) 在晶體面上之壓力有關，故W針必須有彈性，而能移動，使在接收時，可以隨意移動W，直至得最高電音而止。但若W受外界振動影響，針之地位變更，電音強弱隨之而變。故一俟強力電音接到後，須將晶體檢波器，安置妥貼，勿使受外界振動之影響 (按此爲結晶體接收機缺點之一，真空管無之)。否則在接收之際，時時配置，接收電音有中斷之患。

11. 晶體接收機之種種線路 晶體接收機線路簡單，而亦有種種不同之配置，影響於接收電音之強弱。若接收鄰近之強力電臺，其異同自不甚顯也。

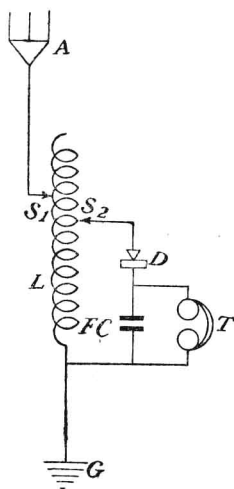
晶體接收機線路之最簡單者見第一四圖。A爲天線，D爲晶體檢波器，T爲聽筒，G爲地線。此種線路之自然週率純爲天線本身之電容量與磁感量所成，其價值爲不能改變者，故無配諧之可能。蓋此路之自然週率，既不能變動，即無選擇之可能也。在此電路中天線之感應電流，至晶體檢波器，轉爲顫動直流，然後經過聽筒以

成聲。特此路無配諧之可能，故接收除極近之電音外不甚適宜。

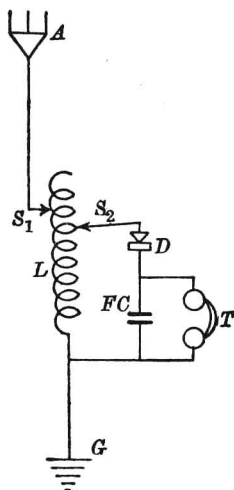
第一四圖



第一五圖



第一六圖



晶體接收機線路之一

晶體接收機線路之二

晶體接收機線路之三

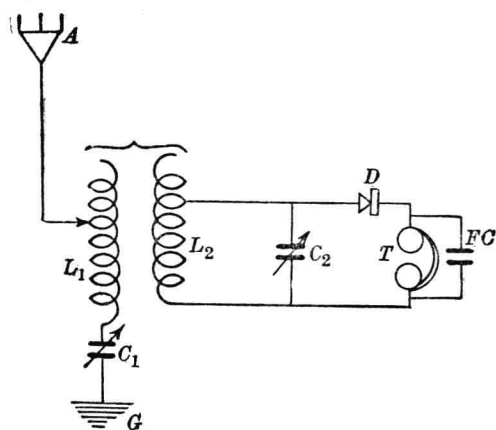
較上述電路稍複雜者，有第一五圖。A, G, T, 及 D 所表示各件，一如上述。L 為磁感圈，其製法往往為一包含多圈單層之裸線（無包皮之謂），其接頭處 S，須有推移之可能，以改變其磁感量而為配諧之用。欲變磁感量之數值，可將 S 移動，便可得最強電音之一點較上述線路自較完善。

第三電路見第一六圖實與上述第二路無甚大異。所不同者，其接頭處有兩處可以推移。其優點則配諧更佳。先將 S_1 移動，得一最

強電音之點，然後將 S_2 照樣移動。電流則自 A 至 G 為交流，經過 D 路為顫動直流。FC 為小電容器。因聽筒之磁感量極大，其磁感迴阻亦極高，欲增加聽筒中之電流，非得用極高之電容迴阻抵消之不可，惟欲得極高之電容迴阻，故分接一小電容器於其旁。此路因配諧精密接收更能滿意。

第四電路見第一七圖，為晶體接收機較為複雜而精緻者。線路為兩路互相交連之振盪電路，A, G, T, D, F, C, 所示，與前相同， L_1

第 一 七 圖



雙路晶體接收線路

及 L_2 為各路之磁感量，處於相互感應交連狀態中。 C_1 及 C_2 為變量之電容器。配諧手續，先將 L_1 改變，直至得一強度電音，然後將 C_2 變值，得一更強之電音而止。如是配諧較為準確，電音較強，且能避

免同時散射不同波長之電音，即富有選擇性之謂也。此種電路謂之雙路晶體接收電路 (double circuit)，所以別於前三種之祇含單路 (single circuit) 也。

12. 單路與雙路之比較 欲比較上述晶體接收機單路與雙路之優劣，必先溫習配諧之應用（見第三章）。簡言之，配諧之第一要務，為配置第一電路（即天線通至地線之路）之電容量與磁感量，使其週率，等於所收電波之週率。第二要務使第一路之能力，得藉變壓器感應作用，盡量輸入第二路。在單路中此種配諧祇能改變磁感量及電容量而已。若雙路中則除去改變磁感量與電容量外，尚可配置兩路交連之寬緊程度。換言之，即變更兩磁感圈 L_1 與 L_2 相互之位置。讀者當猶憶交連程度寬者，即兩圈遠離，或兩圈平面互相垂直者，其諧振尖銳。交連程度如緊，即兩圈接近，或兩圈平面並行，則其諧振鈍。閱第三章，吾人知諧振尖銳，則選擇性較強。故雙路接收機除改變 C 及 L 外，尚可配置交連程度，以期得尖銳之諧振。此乃雙路之優點，但單路比較雙路電音響亮，因雙路雖得尖銳諧振，而以能力輸送，多一階級，損耗殊多，欲除去此弊，惟有將 L_2 圈數增加，使增電壓，此乃雙路之短。讀者如設置時能斟酌其利害，兼以附近電波之多少，一一研究之宜用何路，必能判斷無誤。

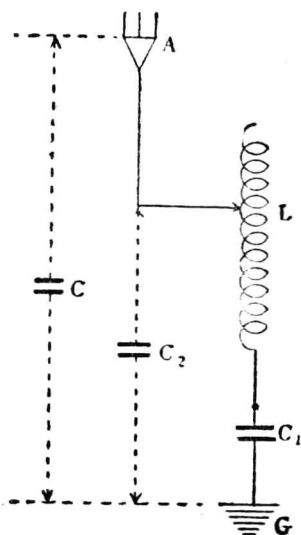
13. 天線電容量之改變及配置 吾人既知天線之自然週率，全恃其固有之磁感量與電容量，而為收發配諧之用，往往吾人需用之週率，與自然週率，不相符合。欲將天線能備配諧之用，非使

其磁感量與電容量任何一值或兼二值，有改動之可能性不可。上述電路中與天線及地線串聯之 L_1 即所以備變動週率之用。如 L_1 圈數多，則週率減，反之則增。但有時將 L_1 全行除去，週率尚太低，或 L_1 全行接入，週率尚太高時，欲得相當之週率，惟有聯接電容量於中，以為調濟之方。

於第一章內既說明電容器串聯並聯之作用，又知天線與地成一電容器，即可明瞭下述用串聯或並聯電容器以配諧之方法。欲得極高之週率（即極短之波長）可以電容器 C_1 接如第一八圖中之實線。因此電容器 C_1 與天線與地所成之電容器 C 為串聯，總電容量為之減少，有增加週率之效。欲得極低之週率（即極長之波長），可加入電容器 C_2 接如虛線。因如此則 C_2 與天線及地所成之電容器 C 為並聯，總電容量為之增加，有減少週率之效。所用電容器價值不宜太大，太大則反不易配置。此項附加電容器，宜以其動片連於接近地面之低壓電路，或逕與地面相連，以免人手遷動時，發生增減電容器之影響。

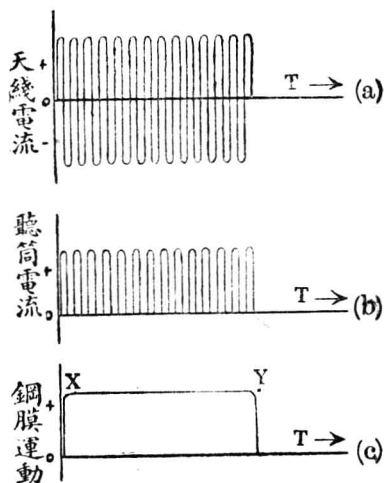
14. 晶體檢波器接收等幅波之作用 本章所述火花式發報機，所發出之電波，成間斷之組。其速度為每秒鐘一千次，故此種電波，在接收機經晶體檢波器整流以後，人耳即能聞其聲，因振動每秒千次，在人耳能聽範圍之內，此理經本章上文，詳細講明，不必再贅。但如用不間斷之等幅波，如第一九圖(a)在發報臺之電鍵按下時所送出之等幅波，並不間斷，經晶體檢波器整流後，電波如

第一八圖



地線與天線成一電容器

第一九圖



等幅波對於聽筒鋼膜之作用

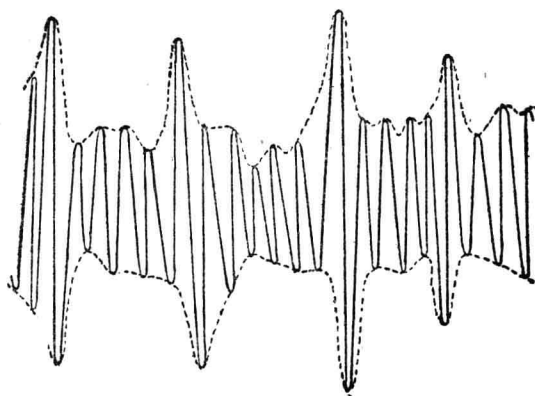
(b)。聽筒之振動如(b)。吾人耳鼓所聞者，止聽得在X及Y時有滴滴小聲，勢不能辨別號碼之長短，更無論其信息。故晶體檢波器，單獨不能接收等幅之電報電波。而於無線電話及廣播電音，則晶體檢波器，仍可接收，可以解釋如下。譬如發報臺在未發音樂及談話之時，發出電波，恰如第一九圖之(a)不過中間並無一段空閒，因永無關鍵之時。假如人口作英文首字母A字，該字母振動之波狀有如第二〇圖。此時即影響於所發出之等幅波之振幅，如第二一圖無線電話及廣播電音之電波，均類如此圖。一俟此種波浪經過晶體，檢波器即將下節截去。聽筒固因惰性之限制，不能

第二〇圖



英文字母 A 之振動波狀

第二一圖



英文字母 A 影響於等幅波之狀

振動如高週率之等幅波，但可依虛線所表之振幅以振動。此種振動，既依 A 字母而行，於是吾人耳鼓中，當然亦聞得 A 字母矣。至於等幅波之電信接收，如何免除上述之困難，另有機件輔助，使聽筒能發聲以傳消息，不在本章範圍之內。俟於以下各章中詳解

之。

15. 減幅波之弊害 讀者於此當已略知減幅波無線電報收發之大概，可見減幅波之利益則在機件簡單，而其弊害實不一而足其所以日就淘汰，使人羣趨於等幅波者，亦無非以其弊害甚多之故。減幅波之弊害，其反面即等幅波之利益，最大者約可分析為下列四項：

(1) 選擇性不高

振盪線路諧振曲線之銳度視本線路內減幅率之大小而定。減幅波之減幅率雖可於設計時使其微小，而終不能如等幅波之等於零。是以減幅波之放射，其能力並不集中於一波長而散佈在一波長帶 (wave band)，使接收方面將接收線路配置與發報波長相諧振，固可得最大之效驗，即最高之電音。而若將接收線路波長略差若干，亦可接收稍弱之音。此乃諧振曲線平扁之故，其弊害所屆，使接收者於二臺，同時發射減幅電音時，受極大之騷擾，不能聚精會神於所欲收之音。不若等幅波之減幅率即等於零，諧振曲線尖銳異常，其能力之發射，幾可稱集中於單一波長內。接收者配置接收機與發報波長相諧振時，得最高聲音。稍差細微，即不復聽得，所謂選擇性甚高，不若減幅波之接收者對於他電臺音有不能避免之苦。此種減幅波之弊害，在船舶電臺之發射 SOS 乞救信號，亦有特用。蓋乞救時，意在普遍使人聽聞，不論其為誰何也。

(2) 發射距離不遠

無線電通信之距離，其成因甚多，若將收發線路氣候年時不計，其距離自與發射天線之能力俱增。減幅波之發射能力，分佈於一波長帶而不集中於一波長，已如前節所述。故雖於一最強波長上，其能力不充，發射距離當為銳減。若以等幅波，則能力集中於一波長，效率大增，距離以遠。換言之，在同距離之通信，等幅波較減幅波所需工率為小也。

(3) 天線電壓太高

減幅波之發射，並不連續（等幅波之發射為連續不斷故又名連續波）而成為斷續之波羣（wave trains）已見本章第七圖及說明各節。設火花電源為 250 週率之交流，則每秒鐘共有 500 次之波羣，每羣所占之時間，往往小於羣與羣間之時間。例如發射在 1200 公尺波長或 250,000 週率，每週時為 $\frac{1}{250,000}$ 秒。設經過 20 振盪而

止，則每羣共須時間 $20 \times \frac{1}{250,000} = \frac{1}{12,500}$ 秒。而羣與羣之間

將為 $\frac{1}{500} - \frac{1}{12,500} = \frac{24}{12,500}$ 秒。易言之，在每秒鐘天線停止發

射能力之時間，竟 24 倍於發射能力之時間，其效率之低，可以概

見。天線每次充電輸進之能力，既等於 $\frac{1}{2}CE^2$ ，內 C 為天線之電容量，

E 為天線之電壓，每秒鐘內設有 n 波羣，既充電 n 次，故輸進工率

爲 $\frac{1}{2}nCE^2$, n 代火花週率 (spark frequency), 爲發電機週率及接收音節所限制, 不能過高, 天線電容量雖可將天線設置高大以得之, 但價格過巨, 亦有相當之限制。故爲彌補火花減幅波間斷發射之缺憾, 惟有將天線電壓增高, 以償工率之不足。是以在同一工率之電臺, 減幅波之天線電壓, 必較等幅波爲高。反之, 若天線電壓相等, 則減幅波之工率必遜於等幅波。至於天線電壓過高, 一切絕緣設備, 自宜特加精良, 使機械複雜, 價值昂貴, 若危及人畜猶其餘事耳。

(4) 接收音節不能配置

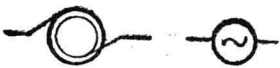
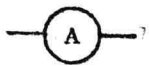

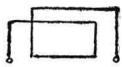



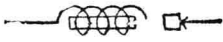

觀前各節, 可知火花減幅波之接收音節, 全視火花週率爲斷。週率設爲 500, 即每秒鐘發射 500 波羣, 接收方面之聽筒, 亦每秒振動 500 次。若火花週率爲 1000, 接收方面之聽筒, 亦每秒鐘振動 1000 次。在接收者無絲毫控制之可能。若用等幅波則不然。接收方面用外差法 (外差法原理及應用詳述於後), 可以變易同一電臺波長之音節, 藉是可以避免騷擾, 萬非減幅波所能者。





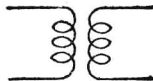
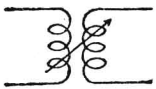

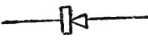

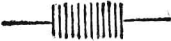


此外減幅波之火花音節, 粗雜幾類天電, 最易爲後者所擾。而等幅波之音節, 尖銳清脆悅耳如音樂, 往往能於巨量天電中辨出, 接收因是便易。又如無線電話之發射與接收, 在減幅波實爲不可能。觀上述種種, 讀者對於是二種電波之利害比較, 當思過半矣。

16. 無線電路所用之圖號 讀者至此, 所遇電路圖表, 均尙

簡單極易檢尋。自下章起，接收機比較繁雜，宜於此時將圖表所用機件之圖號略一記憶，為助不淺。此種圖號，集於下頁。並附以所代機件名稱，讀者當知所遵循焉。

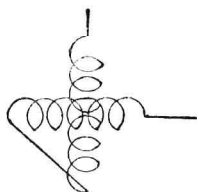
無線電機件圖號表

英名	譯名	
Alternator	交流電機	
Ammeter	電流表	
Aerial or antenna	天線	
Loop antenna	線圈天線	
Arc	電弧	
Battery	電池組	
Binding post	接線柱	
Buzzer	蜂音器	
Condenser fixed	定量電容器	

Condenser, variable	變量電容器	
Connection of wires	二線相接	
No connection	二線未接	
Counterpoise	地網	
Coupled coils	交連線圈	
Variable coupling	變量交連圈	
D. C. Generator	直流發電機	
Detector crystal	晶體檢波器	
Galvanometer	測電表	
Gap quenched	熄滅火花隙	
Ground	地線	
Inductor or radio frequency choke	磁感量或高週 率磁感迴阻	

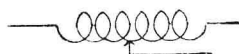
Continuously
variable inductor

連續變量磁感
圈



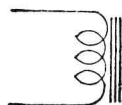
Inductor, variable

變量磁感圈



Audio frequency
inductor or A.
F. choke

成音週率磁感
迴阻



Key

電鍵



Lamp

電燈



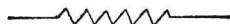
Potentiometer

電位器



Resistor

電阻器



Resistor, variable

變量電阻器



Switch S.P.S.T.

單極單向開關



Switch S.P.D.T.

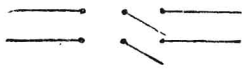





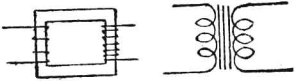
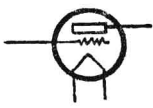
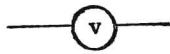
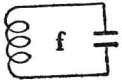
單極雙向開關



Switch D.P.S.T.

雙極單向開關



Switch D.P.D.T.	雙極雙向開關	
Switch, reversing	反轉開關	
Telephone receiver	聽筒	
Microphone transmitter	傳話器	
Jacks	插座開關	
Switches	聽筒插座	
Transformer	變壓器	
Vacuum tube	真空管	
Voltmeter	電壓表	
Wavemeter	波長表	

第五章 等幅波無線電報

(Undamped Wave Radio Telegraphy)

在第四章減幅波無線電報中，已論及是種無線電波之弊端及其漸歸淘汰之趨向，起而代之者，爲等幅波無線電報。此種電波能避除減幅波之四大弊，即等幅波之四大利也。本章詳述等幅波之發射方法，及接收方法。

1. 等幅波發射機 等幅波之發射機重要者有三：

(1) 高週率交流發電機(high frequency generator)。

(a) 亞氏高週率交流發電機(Alexanderson high frequency A. C. generator)，

(b) 哥氏高週率交流發電機 (Goldschmit high frequency A. C. generator)。

(2) 電弧機(arc)。

(3) 真空管振盪器 (vacuum tube oscillator)。

前一種應用於越洋國際電臺較多；第二種工率強弱均有，在昔頗為通行；第三種最為重要，有全行庖代前二者之勢，除真空管將於以下各章詳論外，茲分述各式等幅波發射機於下：

2 亞氏高週率交流發電機 無線電發射，需要高週率之交流，若應用通常商用交流發電機，例如旋轉電樞(revolving armature)或旋轉磁場(revolving field)式，必須有特製之機械結構，然後可得無線電所需要之週率。例如商用交流發電機之週率 f ，與磁極數 P ，及每分鐘旋轉數(R.P.M.) N 之關係有如下列之公式：

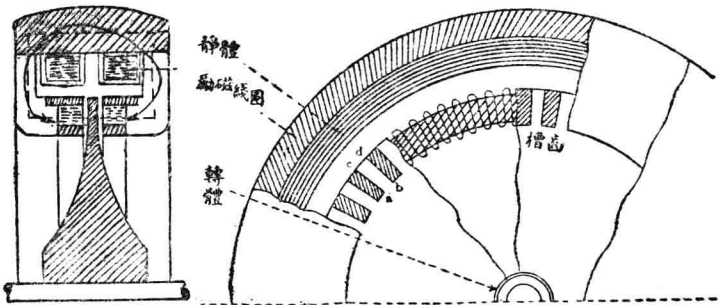
$$f = \frac{P}{2} \times \frac{N}{60} \dots\dots\dots \text{公式(1)}$$

上式理論，凡稍習發電機原理者，類多知之。若欲得 100,000 週率之交流於 3000 R. P. M. 機上，須有 4000 磁極。若轉體(rotor)直徑為 0.5 公尺，則極距 (pitch 即前極之中心線至次極之中心線之距離) 祇得 0.038 公分，以此侷促之地位，尚須繞以勵磁線圈，可見實不可能。若將旋轉速度增高，轉體將不能抵抗離心力之摧折，亦屬不易。亞氏高週率交流發電機，乃利用特別構造，以應付上述困難而得之高週率交流也。其特色乃在磁場與電樞，俱為靜止，而以一槽與齒相間之轉體，旋轉於磁路之間，以變化磁阻之數值，俾感應電產生於靜止發電子線圈內。此機根本原理，與普通發電機雖無大異，而構造則大不相同。故稱曰感應式交流發電(inductor type alternator)。

第一圖示一亞氏發電機截面構造正側式樣。轉體為一特製之

鋼盤，其邊齒槽相間，能抗巨大速率 20,000 R.P.M. 之強力。槽內常塞以非磁性質料（如磷之合金），使得一光整之鋼邊，以減少風力損失（windage loss）。靜體包含機軛（yoke）及磁極相合如圖，而繞以勵磁線圈，使磁力線通達如箭頭所示。勵磁線圈灌以直

第一圖



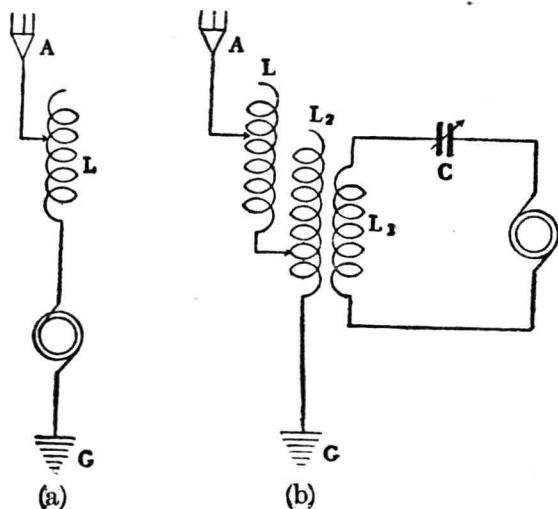
亞氏高週率發電機構造

流，其繞法與機軸為同圓式（concentrical）。電壓感應所在之電樞導線，裝置如半徑式。靜體向轉體之凹處成曲折形，如 a, b, c, d。當轉體之齒在磁極對面之中央時，磁阻最小，磁力線最多。轉體既在旋轉，瞬息之後，槽佔此位，磁阻最大，磁力線最少。如是，磁力線之數，自最多以至最少，永久在變值之狀態。發電子導線既在此變值之磁場內，故雖在靜止狀態之下，交流亦得感應於其中。此種發電機之週率，約在 100,000 至 200,000 週之間。其輸出工率，小則 1 至 50 基羅瓦特，最巨者已到 200 基羅瓦特，裝置在美國諸越洋國際電臺。其旋轉速度甚高，小機高至 20,000 R. P.

M., 係利用 10 比 1 之減速齒輪(reduction gear), 得自 2000 R. P. M. 之電動機。

亞氏高週率交流發電機, 接至天線之線路, 可極簡單。例如第二圖(a)發電機, 直接串聯於天線電路內, 或如同圖之(b)發電機線路與天線電路為磁感交連。在任何佈置中, 發電機所發電流之週率, 必須與配置之天線週率相同, 即使之處於諧振狀態, 以得

第 二 圖



亞氏發電機發射線路

較高效率。但若此發電機旋轉速度, 稍形變值, 週率隨變, 諧振即失。可見驅使此種發電機之速度, 有絕對不變之需要。而在電鍵按下釋回以發信號之頃, 使發電機負荷變化甚速, 非有特種控制速

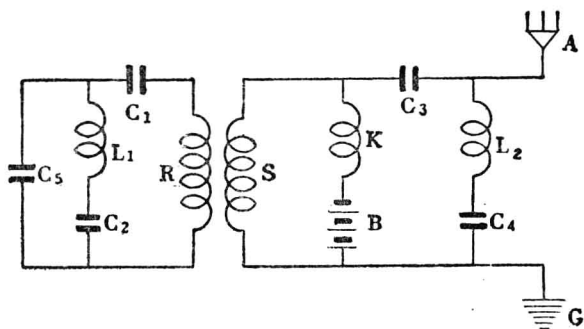
度之設備，不能得常數之放射波長。又因其旋轉速度之高，軸承 (bearing) 發熱甚大，必須用強迫潤滑法 (forced lubrication)，以散消其熱量，否則發熱不散，易致焚如也。

3. 哥氏交流發電機 哥氏交流發電機之使用及構造原理，與亞氏高週率交流發電機迥殊，其大意可略述之如下。讀者在研究商用交流發電機，已知若將直流灌於雙極磁場勵磁線圈內，而旋轉於每秒鐘 f 次數，此磁極之旋轉，因電磁感應之原理，發電子導體即得感應週率為 f 之交流電壓。若此發電子外路得有負荷，發電子內即發生 f 週率之電流，轉輾又發生 f 週率之磁場。此磁場與磁極上之勵磁線圈，又處於相互感應關係。電壓又因之產生，此電壓之週率，可用數學證明為 $2f$ ，即發電子電流週率之兩倍。 $2f$ 週率之電流在勵磁線圈內流動以後，因發生 $2f$ 週率之磁場；發電子又因感應得 $3f$ 週率之電壓。如是連環感應，可得奇偶次週率 (odd and even harmonic frequencies)，以至無窮。但在尋常交流發電機內，是種多次週率之電壓，因磁感迴阻之隨週率以增，故被遏止不及顯現，即使存在亦可忽視。而在哥氏交流發電機此種多次週率之電流，不特不限制之，反以相當之磁感量電容量聯接，利用諧振原理以張大之，其佈置可視第三圖明之。

圖中靜體 (stator) S 聯接至電池組 B ，以得直流。 K 為一高週率阻流圈，以阻高週率交流之通過電池組。此靜體之磁場感應 f 週率之交流電壓於轉體 R 之內。磁感量 L_1 以及電容量

C_1 與 C_2 配置其值，使與 R 內 f 週率之電流成諧振。於是此 f 週率之電流，復感應 $2f$ 週率之電流於 S 內。若以磁感量 L_2 電容量 C_3 及 C_4 配置其值，使與 S 內 $2f$ 週率之電流成諧振，復感 $3f$ 週率之電流於 R 內，而以電容量 C_1 及 C_5 諧振之。此 $3f$ 週率之電流，復感應 $4f$ 週率於 S 內，而以電容量 C_3 及天線 AG 諧振之。如此放射之週率，為 $4f$ 週率之電能也。

第 三 圖



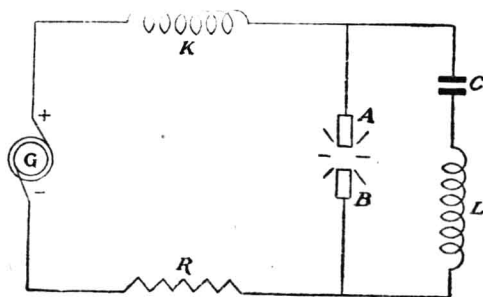
哥氏交流發電機之發報線路

基本週率 10,000，約為此類交流機所能任，經 4 次之連環感應，靜體電流之週率將為 40,000，但週率之如此培增，並非無限，因欲得某次週率之電流，必須先產生其次週率以下基本週率以上各週率之電流，此各週率之電流均發生渦流滯磁以及電阻等之能力損失（渦流滯磁之能力損失隨週率以增甚速）。多一次感應，能力多損失一部，直至其次週率能力損失殆盡，結果所餘無幾，蓋可忽視矣。

4. 電弧 前述二種高週率交流發電機，均將機械能力化為電能力，而振盪電弧 (oscillating arc)，卻將直流電能轉變為高週率交流電能。電弧之作用，實可稱之謂一種負電阻效驗 (negative resistance effect)。電弧無線電報，為丹麥人波爽 (Poulsen) 氏所發明，故又稱波氏電弧 (Poulsen arc)。

在未述電弧無線電發射線路以前，試先辨明電弧與火花之異同。在前章已說明絕緣空間，經極高電壓之緊張，空氣絕緣破裂隨後之瞬息巨大電流，謂之火花。是火花僅因空氣暫時游子化之故，藉以通過電流，同時發光與聲之現象。空氣絕緣破裂以後，在此低電壓降落之下而得之穩流 (steady current) 謂之電弧。電弧所經之路為兩極間一極窄狹之徑，不似火花之比較均勻分佈。是以於侷促一偶之間發生過量熱能，時間稍久，電弧轉白熱 (incandescence)，使金屬製之兩極鎔解蒸發，飛揚於弧間，而兩極中之正極漸漸消蝕矣。

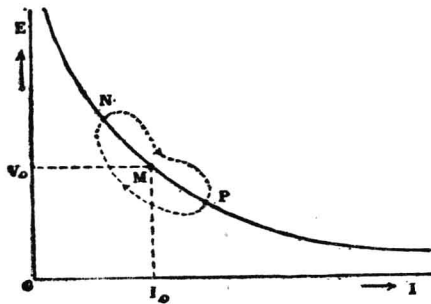
第 四 圖



電弧振盪電路

電弧所用之兩極，尋常均為炭精。當兩極相觸，通以相當之直流而漸離之，即得電弧。其線路約如第四圖，弧間滿佈游子化與傳導之炭精氣體分子，游子化及傳導之程度，視電弧內通過電流之量以為斷，反言之，弧間電流之多寡，又視游子化程度深淺而定。如游子化極為微弱，弧間電阻甚巨，若欲維持弧間電流必須較高電壓。如游子化極為劇烈，即以極低之電壓，亦能驅使甚大電流於弧間。可見電弧間之電壓與電流關係，亦不遵歐姆定律而為正比例之變化，反為反比例之變化。蓋電流增，電壓減，電流減，電壓反增故也。弧間電壓電流兩者相互之關係，表示如第五圖。

第 五 圖



電 弧 特 性 曲 線

電流大時，電壓甚低。電流小時，電壓甚高。設弧間電流變值自P點至N點，電壓隨之變值，但變值之方向，適與電流相反。易言之，兩者變值之比例 dE/dI 為負，所稱弧間有負電阻之謂也。蓋電阻之定義，本為相當電壓與電流之比例。

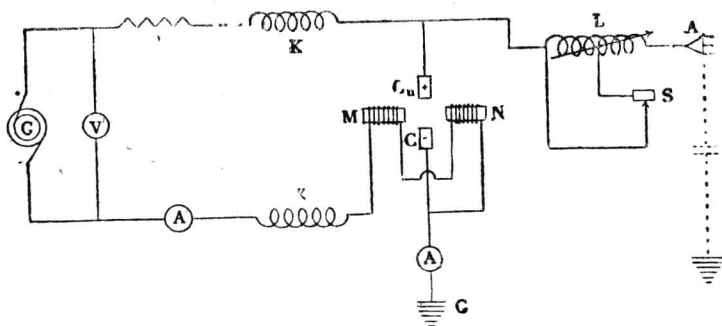
無線電振盪電弧之線路簡示之，約如第四圖。直流發電機 G ，經過阻流圈 K ，跨接於電弧兩炭精極 A 及 B ，電容器 C 及磁感圈 L 串聯後，與電弧及發電機，共成三並聯線路。在研究電弧振盪作用之前，先假定 C 及 L 一路不聯，而電容器 C 處於放電狀態中， C 之兩極電位相等。俟 C 接入電路後，電弧間電壓經磁感圈 L 加在電容器上，而電容器始漸充電。易言之，充電電流經 L 而入電容器。但發電機 G 所發出之總電流為不變常數，因為阻流圈之存在，足以阻止電流之瞬息變值。此新發生之充電電流，必取之於電弧間電流。故弧間電流，因以減少。但從電弧之特性曲線以觀，電流減少，電壓增高。電壓之於 C 及 L 串聯間，亦隨增高，充電電流當然更大。然電容器充電滿足時，充電電流始停，而弧間電流又增高。蓋此時發電機總電流並不分為兩路，而將羣集於電弧間也。仍按電弧特性曲線，此弧間電流之增加，必引起電壓之降落。於是 C 及 L 一路所加之電壓即減，而電容器 C 隨以放電，發出放電電流於弧間。因發電機一路復為阻流圈 K 所阻而不通，在弧間電壓更形降落，直至電容器 C 放電淨盡而還至初始狀態為止。如是循環週而復始以成振盪焉。

第五圖之曲線，謂之電弧靜止特性曲線 (static characteristic curve)，因其電壓電流之值，為電容器 C 及磁感圈 L 未接入電路未至振盪以前之穩值 (steady value)。例如 I_0 及 V_0 為弧間電流電壓起始之穩值， M 為其使用點 (operating point)，當 CL 電路

聯入以後，弧間電流減退，電壓升高至曲線之N點以充電。俟電容器電壓與外加電壓相等時，遂又放電，弧間電流增加，電壓減退，於是此使用點，復自N點移動至P點（P點為放電淨盡時之使用點）。但在實際應用時，情形稍有不同。當放電終止之頃，使用點在P，炭精熱度極高，兩極周圍之空間，富於導性，振盪週率既高，電流電壓之變值，瞬息萬變，電流減退，兩極不及散熱還復至於溫冷狀態。故弧間電阻不及尋常之高而稍低下，弧間電壓隨以稍低。易言之，自P點至N點，使用點之行動路徑，較靜止特性曲線為低。如虛線所示。同樣，當電流增加時，使用點自N點至P點，兩極不及加熱至尋常高溫度。弧間得一較尋常為高之電阻。故其使用點路徑較靜止特性曲線為高，亦如虛線所示。結果使用點之路徑為一成圈之虛線，名之為活動特性曲線 (dynamic characteristic curve)。電弧振盪之遵守活動特性曲線以運用者，振幅不能過大，週率不得過高，約在每秒鐘數千週。是以欲將電弧振盪應用於無線電報，必須有相當之更張。

第六圖表示一振盪電弧線路之接至天線預備發射之用。G為直流發電機，V及A為電壓及電流表。R為無感應電阻，用以阻直流之於起始時過量之流出，K為阻流圈，一則維持發電機之發出常數電流，一則阻止高週率振盪電流之返入發電機以損害其絕緣。蓋阻流圈為繞於鐵心之磁感圈，於直流幾無影響，而於高週率交流阻力甚大，幾如斷流，因磁感迴阻與週率成正比例。MN為二串

第 六 圖



波 爽 氏 電 弧 發 報 線 路

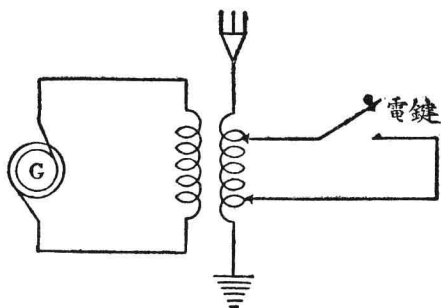
聯之磁感圈藉以發生極強磁場於弧間。用以驅散火花息滅時之游離空氣分子，弧之兩極為不同質料，正極為銅 (Cu)，因其富於導性使熱易於發散。負極為炭精，銅中空，內有流動冷水。弧間又儲以氫氣。凡此種種均以使此振盪電弧得一更大之負電阻。換言之，使振盪振幅增大，週率增高，以適合於商用電報。現代各臺之用波氏電弧者，其設備大率類此。

電弧之接至天線或以直接如前圖所示，或以磁感交連二者均能應用。若用磁感交連，應注意交連程度不宜太緊，免得顯著二個不同波長於放射之電波，以發生騷擾而減低其效率也。

5. 等幅波發報機之電鍵裝置 等幅波發報機內之電鍵裝置，較減幅波之火花式發報機，微有不同。等幅波發報機，大都工率強大，故電鍵不宜直接串聯於天線電路內。又如高週率交流發電機發報線路內，發報之電鍵，若置於發電子串聯線路內，電鍵之乍

開乍關，使發電機負荷於瞬息之間，變值自滿負荷至零負荷，繼之自零負荷至滿負荷。必至該機之旋轉速度有劇烈之影響，而致發射之波長有變動之虞。電鍵若置於磁場勵磁線路內，加以相當電阻可以應用。惟最普通者，為解諧法 (detuning method 或稱 compensated method)。如第七圖，該圖表示一高週率交流發電機之應用解諧法，以使用電鍵發報之線路。當電鍵按下時，此電鍵使天線電路內磁感圈之數圈成短路，易言之，使天線自然週率稍形增加，故電鍵釋還時，發射週率與電鍵按下時不同。且發電機之旋轉速度，配置適當，使其週率與電鍵按下時之天線週率相諧振。故電鍵釋還時，即發報點與畫間之空間，雖不停止發射，而其振幅因失去諧振，實極微小。且收報方面可使接收機與發報電鍵按下時發射之週率成諧振，則電鍵釋還時發射之電波，即使振幅大小相類，亦不致受擾。第六圖振盪電弧發報機線路，其電鍵裝置亦

第 七 圖



解 諧 法 電 鍵 裝 置

即利用此解諧之法。因電弧如經發電機斷路後不能重燃。故不能用電鍵在發報機線路內，以解諧法為最普通也。解諧法，又可以一雙線圈之鐵心以得之，內線圈之一與天線為串聯，又一經電鍵而灌以直流。電鍵之啓閉，足以變化該鐵心之磁化程度 (degree of magnetization)，因以變化天線電路內之磁感量，更及其週率。如是電鍵不必在振盪主路內，得以極小之直流電工率控制巨量之高週率電工率。強力電臺之電鍵裝置，常以此法應付之。

除上述法外，又有吸收法 (absorption method)。此法所以避免發報時電鍵按下及釋還時之發射兩個不同之波長。其大要乃在電鍵按下時，使振盪電源接至天線，而在電鍵釋還時，使振盪電源接至不放射之電路 (non-radiating circuit)，或稱人造天線 (artificial antenna)，此不放射之線路，包含與天線相同之電容量及磁感量及相當之電阻（此電阻之價值，配置使其所得振盪電流與電鍵按下時，天線所得電流相等為度）。如此不論電鍵之按下或釋還，在振盪電源而論，情形無異。電鍵按下時，放射一波長，電鍵釋還時，並不放射，較前述之解諧法騷擾為鮮。

6. 等幅波發射機之核定工率 減幅波火花式發射機之核定工率 (power rating)，基於變壓器之輸出工率。例如所稱 5 基羅瓦特火花式發射機，意謂變壓器高壓方面輸出工率，亦即等於火花振盪電路輸進工率 $\frac{1}{2} NCE^2$ 為 5 基羅瓦特也。等幅波發射機之核定工率，則微有不同，視其方式種類而異，其詳可得而述之如下。

無線電交通設計之至要問題，乃在如何以最廉之代價，於某距離內得一可靠之交通。是以欲達此目的，發報機工率自以在可能範圍內，愈低愈佳。發射機交通之距離，往往以發射機輸進工率為標準，實際則有不然者。例如美國奧斯丁氏，經歷久之試驗，得下列關於發射之公式：

$$I_r = \frac{188h_s h_r I_s}{R\lambda d} \dots\dots\dots \text{公式(2)}$$

公式內 I_r 代接收天線電流， I_s 發射天線電流，單位均為安培。 h_r 及 h_s 代接收及發射天線之實效高度。單位為公尺。 R 代接收天線之電阻，單位為歐姆。 λ 代發射波長，單位為公尺。 d 代兩電臺間之距離，單位亦為公尺。上公式僅示平均夜間兩水平天線在海面上發射情況，非可普遍應用。譬如日光與四季之影響，地面情形，反射波浪，及衰落現象，均不在包括之內，若以發射電臺方面而論，接收方面情形，可作為不變，於是公式(2)可寫作

$$I_r = Kh_s I_s \dots\dots\dots \text{公式(3)}$$

公式內 K 為一常數，餘如前。從此可見接收天線之電流，與發射天線之實效高度，及發射天線之電流，兩者相乘之積數成正比例。此積數稱之為公尺安培 (meter-amperes)，常用以為發射電臺發射距離之表示。若在同一波長即可作比較兩電臺發射距離之標準。若以兩發射機輪流連接於同一天線上，如可得同一電流數於同一波長，不論其為真空管或為電弧或其他，經試驗及上述理論證之，則接收電臺可得同量能力，或可及同遠距離。反之若一真空

管及一電弧發射機，輸出同量工率於天線，因各個天線效率之不同，接收電臺，未見能得同量能力。是以若欲比較發射機之對於發射效率，須將天線除外，而單純以該發射機輸進輸出工率之比例，若尋常之電機然。例如某電弧發射機輸進 50 基羅瓦特，輸出 20 基羅瓦特於天線，比之於一真空管發射報機輸進 100 基羅瓦特，輸出同量之 20 基羅瓦特於天線，則前者之為一效率較高之發射機此固甚明。

高週率交流發電機及真空管，用作發射機時，其核定工率永為其輸出工率（即等於天線電路之輸進工率）。而電弧發射機之核定工率，永為其輸進之直流工率。此點最易誤會，讀者務宜辨明。是以 200 基羅瓦特之高週率交流發電機與 350 基羅瓦特之電弧發射機，在發射能力而言，或能相同。上述核定工率標準之異，全因測量上之便利。電弧發射機之輸進方面之工率為直流，其工率為電壓電流之積，極易測量。反之電弧方面工率不易計算。真空管及高週率交流發電機，則以輸入工率不易估計，故又以輸出工率作準繩，蓋亦有由。

7. 各式等幅波發射機利害之比較 各式等幅波發射機之原理，及構造與核定工率之何以標準，既明以後，始可言其利害之比較，請將各式分三類，說明如後。

（一）亞氏及哥氏高週率交流發電機 亞氏高週率交流發電機之發射週率，完全視其旋轉速度而定。速度偶逸出常率之外，將

使天線電路失去諧振。是以主體發射線路雖稱簡單，而因旋轉速度之須絕對不變，用以控制速度之機電設備，往往繁複異常，需要嚴密管理。發射波長之變易，固可以將驅轉發電機之電動機改變速度，或更易電動發電兩機交連之齒率 (gear ratio)。但實際上殊少迴翔餘地，因週率愈高，速度愈迅，不能過高而逾機械方面離心力之所限制。現今最巨之機為 200 基羅瓦特，波長自 11500 至 25000 公尺。25 基羅瓦特之機，波長可低至 6000 公尺。哥氏交流發電機，速度固無須如亞氏發電機之高。但因其高週率之由轉轆諧振而得，速度稍變，諧振全失，可見絕對不變之速度亦是必要。各路之磁感量及電容量，又須配置萬分準確。微疵足以將諧振解去。若欲得高週率於哥氏發電機，諧振階段必增，能力之損失於磁場內益多，效率因以驟跌。目今此種發電機之應用實際裝置作發射機者，比較最鮮。凡此種種，皆此二種發電機之用作發射機之弊害。線路簡單，機身堅實，維持費與修理費俱可低廉，則又屬兩種發電機之利益，非可一筆抹煞也。

(二) 振盪電弧發射機 電弧發射機之利益，最要者凡二點。電弧發射之波長，全視其跨接振盪電路電容量 C 及磁感量 L 而定。若欲變換波長，祇須變換 C 及 L 或兩者極為簡捷，不若高週率交流發電機之困難。現今所用波長小電臺者可低至 1000 公尺，強力電臺可高至 25,000 公尺，此其一。電弧發射機之維持，亦極簡易。偶然負荷過量，不致即毀，此其二。世界各電弧電臺所用工率，

自 2 基羅瓦特至 1000 基羅瓦特。惟使用理論，稍涉深奧，機械微嫌繁複，創辦費比較昂貴。自真空管發射機通行以來，幾已失去等幅波界中固有之優越地位矣。

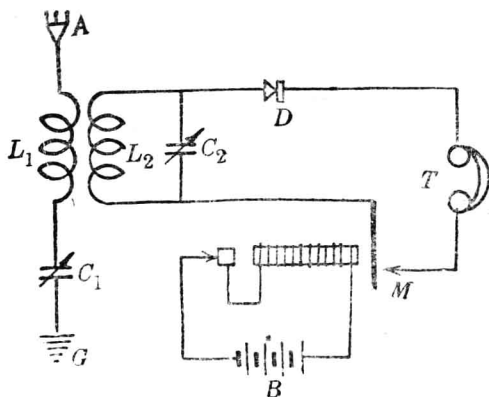
(三) 三極真空管發射機 三極真空管發射機之週率範圍極廣，可自 300,000,000 以至一週，變換亦至便利，一如電弧發射機，其利一。真空管發射機之構造較簡，攜帶便捷，自利用短波之反射作用，以設計發射機以後，用極小工率之發射機，以相當波長，於相當時間以內可為長短距離交通，創辦與維持費俱以大省，非任何其他式發射機所能比擬，其利二。此其瑩瑩大者。他如使用方法與維持，比他項發射機較難，需要精密管理，及真空管壽命不長，偶一過量負荷，易遭焚如，皆其弊點。但究以弊不敵利，真空管用作發射機之前途，仍未可限量也。以上三項發射機之電效率，高週率交流發電機及電弧發射機，均在 50% 以下，真空管可高自 95%，低至 25%，視外路配置而定（燈絲所耗工率不計）。故若以效率而論，三式中優劣點不相上下也。

8. 等幅波電信之接收法 讀者當已知電弧式及亞氏哥氏高週率發電機及真空管所發出之電波，均為連續之等幅波。因等幅波之特質與其連續不斷之情形（與火花式電波之斷續成羣者不同），使接收機即使用尋常檢波器檢出以後，因週率之高，聽筒鋼膜不能震動，人耳仍無從收受其電信。前章論述甚詳，讀者當早領會。是以欲接收等幅波發報機，如真空管振盪器，不如接收減幅波之火

花電信簡單，必須有特備之器件，加入於接收機內，以解除上述之困難。

等幅波電信之不易接收，既因其波週連續不斷，遂致聽筒不能響應。故其最顯然之免除困難方法，當然為於接收機內備一斷續器 (interrupter)，使此等幅電波成斷續波 (interrupted waves)，而此斷續之速率，為成音速率，然後聽筒得以振動，人耳得以辨音也。第八圖，表示利用此種斷續器之設置。M 為一種尋常蜂音器，此器在成音速度將經過聽筒之電波路由，乍開乍閉。如此蜂音器之震動數，配為每秒鐘 500 或 1000 次。於是聽筒中所經過之電流斷續次數，亦為 500 或 1000 次。上述之週率，既在成音範圍以內，故電信即可因之而接收。

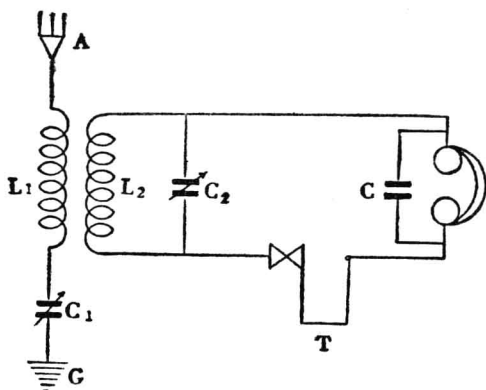
第 八 圖



斷續器之接收等幅波法

第二方法之接收連續等幅波電信，乃用截波成聲器 (ticker) 例如第九圖，線路中不用任何檢波器，單用一特機械能力振動之截波器 T，而將一電容器並聯接於聽筒之間。當該器振動接觸相遇之時，外來之電波，即向電容器 C 輸進電荷；當接觸相離時，電容器 C 所受電荷，即由聽筒輸出。於是聽筒受電力振動而發聲。如截波器接觸之振動速度在成音速率以內，則電容器 C 之充電放電，足使聽筒振動成音。此種截波器之結構，頗似前法所用之蜂音器，其主要乃在使電路之一部接觸，用極快之速度忽續忽斷也。

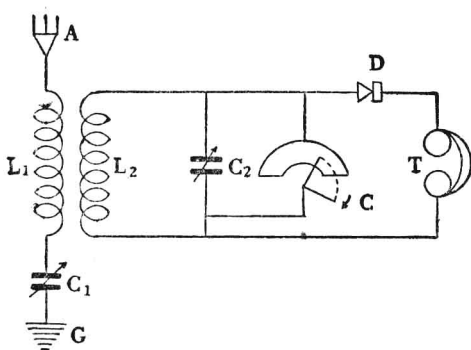
第 九 圖



截波成聲器之接收等幅波法

第三法乃應用解諧法，例如第一〇圖，其接收線路與尋常接收減幅波電信相仿，所異者，用以配諧之二電容器之 C_2 ，旁用另一小電容器 C，並聯相接。該電容器 C 之所有轉動片，在所有固定片

第一〇圖



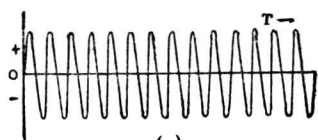
利用解諧作用接收等幅波法

之間，應用小電動機能力而急轉，其急轉速度，適在成音範圍以內。使用之前，電動機停止，C之轉動片暫停轉動。乃用C₂配諧如常法，得一銳利之諧振點，然後將電動機開動，C之轉動片，因之急轉。每次旋轉至原來固定之位置，則諧振甚銳，聽筒聲朗。除此位置以外之時間，諧振不銳，換言之，即處解諧狀態中，聽筒寂然。即不完全寂止，聲必極微，聽者自能辨出。如是則連續之等幅波，因解諧作用，使之成音。以上三種方法，均利用原有連續等幅波，截為斷續波浪之原理，因之成音。其害為減少接收所得之能力，間接影響接收之靈敏與強度，非最佳之法。且均須藉他種機件配用，尤增麻煩。故自真空管發明以來，上述三法，已漸歸淘汰，無樂用之者。

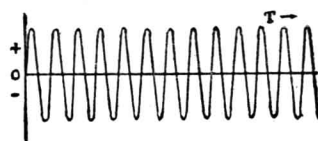
9. 差週率接收法 上述接收等幅波各種方法，不切實用，現

今通用者，厥惟差週率 (heterodyne) 接收法。自真空管盛行以來，此法更見普遍。其理論大要可解釋如下：聲學中指示吾人若以二音叉其震動次數設稍相差，例如每秒鐘 250 及 255 次，於是可得一乍高乍低之聲浪，其乍高乍低之速率適為二震動次數之差，即為 $255 - 250 = 5$ 次，此音節謂之音之週率差 (beats)。電路亦然。若電路內電流其週率相差若干，例如第一圖 (a) 為一電流，其週率設為每秒鐘 1,000,000 次。(b) 為又一電流，其週率為每秒鐘 999,000 次，較前稍低。則其線路內之結果電流 (resultant current)，

第 一 一 圖



(a)



(b)

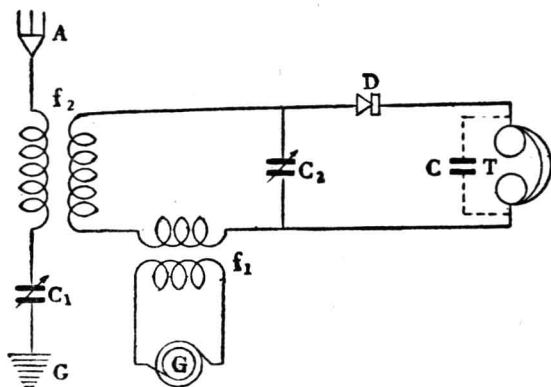


(c)

兩不同週率之等幅波所成之差週率

適為二電流各瞬時之代數和 (algebraic sum)。若同為正電或負電，則為兩者之和。若一為正電，又一為負電，則結果為二者之差，正負依大者為定。是以結果電流如(C)，而其乍升乍減之週率適為二者週率之差，等於 $1,000,000 - 999,000 = 1000$ 也。如以此週率 1000 之電流經過晶體檢波器，或他項檢波器，整流以後，將下半截消去，於聽筒內發出 1000 週率之音節。設上述兩週率之電流，一為外來電波之感應電流，一為局部發生之電流，即為差週率接收法。設局部電流與外來電波之感應電流，其振幅相等時，謂之相等差週率 (equal heterodyne)。應用時局部電流常較接收電流為巨。第一二圖表示一差週率接收線路，線路內各部均如晶體檢波器接收減幅波線路。惟 G 為一交流發電機，機內電流週率 f_1 ，與外來電波週率 f_2 ，經磁感交連而發生 $(f_1 - f_2)$ 週率之差週率電流。此電流

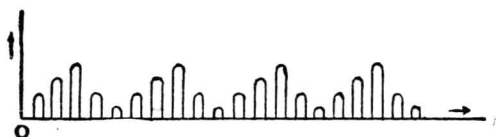
第 一 二 圖



差 週 率 接 收 線 路

如第一三圖(a)，經檢波器整流以後，發聲於聽筒。其故學者可以理會。在真空管接收機中，此發生局部電流之發電機則易以真空管焉。

第一三圖



a. 整流後之電流



b 聽筒震動

10. 差週率接收法之利益 差週率接收法重要之利益凡四。

第一，接收之音節，可以由接收者自行配置，使最適合於局部情況。聽筒鋼膜有其自然震動速率，若以差週率電流之週率，配置相等，得機械諧振之利，使正音清朗明晰，而雜音遏止不揚。此正音既合於鋼膜自然震動，其聲清脆悅耳，最宜抄錄電報信號之用。第二，接收之音節，既為接收者所能控制，可以避免他電臺之擾亂。例如同時發射，甲臺為意欲接收者乙臺為不欲接收者，若無法避除乙臺，將成騷擾。今若甲臺電波為3000公尺，即每秒鐘100,000次之週率，乙臺電波為2985公尺，即每秒鐘100500次之週率。電波相差

15 公尺，週率相差 500 次。若用普通線路接收，必遇騷擾。今若用此差週率線路，而配置局部電流週率為每秒鐘 101000 次，則該線路內兩結果電流將各為 $101000 - 100500 = 500$ ，及 $101000 - 100000 = 1000$ 兩週率。而兩週率中，前者為後者之半，在聽筒發音大殊，人耳極易辨別。即不然者，局部電流週率設配置為每秒鐘 100500 次，則結果電流之週率一為 $100500 - 100500 = 0$ ，又一為 $100500 - 100000 = 500$ 次。前者週率為零，完全靜寂。祇餘週率 500 次之電音，自然更佳。此種利益，為減幅波無線電報所無。蓋音節為火花週率所限定，非接收者所能控制，已詳前章。第三，接收之靈敏度，較高於任何他種接收方法。尋常接收機中之可聽或成音程度 (audibility)，可證明與外來音信高週率電壓之二乘方為正比例，而在差週率接收法音信之成音程度，卻與外來音信高週率電壓之一次方為正比例。例如外來電波電壓減小二倍時，尋常接收機，音節將減輕四倍，而應用差週率之接收機，祇減小二倍。故於接收遠臺及微弱之電音，此法尤見其佳。單座檢波與振盪真空管之差週率接收機，其靈敏度可與尋常三座真空管（一座檢波二座成音週率放大）接收機相埒。又若天電劇烈，其強度增至二倍於信號時，天電將四倍強烈於尋常接收機聽筒內，而不過仍二倍於差週率接收機聽筒內。其能不受天電騷擾之能力又如此。第四，外差接收方法，對於信號有放大作用。若簡單解釋之，則因局部振盪之能力，復加之於接收外來振盪能力之故。例如 i_1 及 i_2 代局部及外來振盪

之電流，接收機內之結果電流，當為

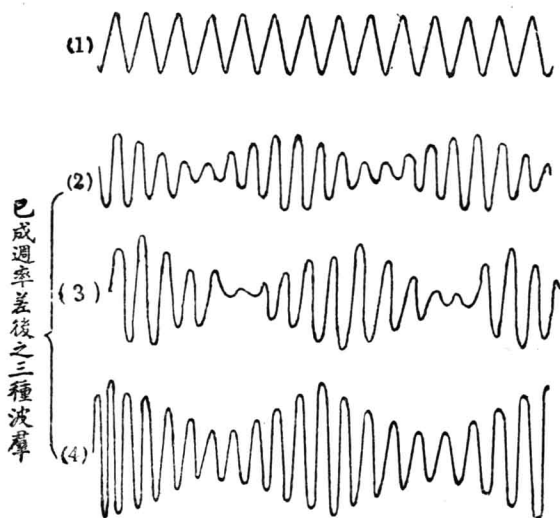
$$i = i_1 + i_2$$

而在聽筒之效驗，並不與結果電流之一次方成正比例，卻與其二次方成正比例。所以

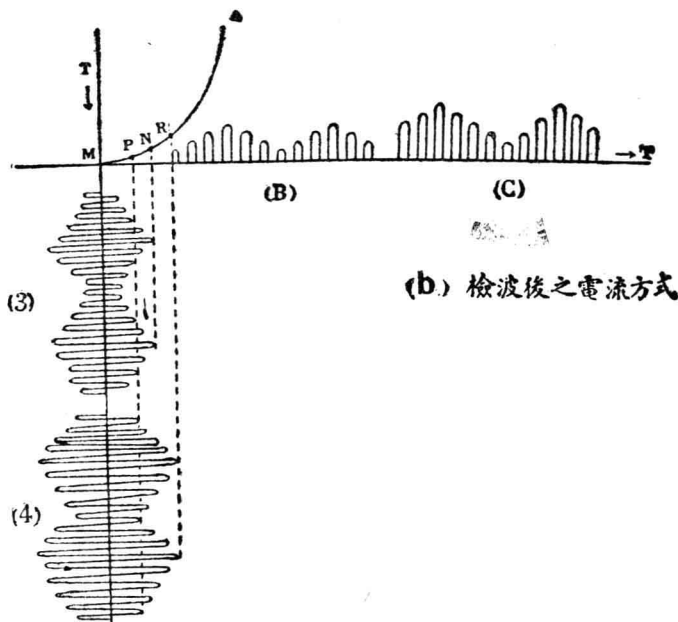
$$i^2 = (i_1 + i_2)^2 = i_1^2 + 2 i_1 i_2 + i_2^2$$

內第一項 i_1^2 ，為外來電流之二乘方，其週率在成音週率範圍以外，故無實用。第三項 i_2^2 為局部振盪電流之二乘方，其無效驗，正復相同。是以接收機內信號強度，乃為第二項 $2 i_1 i_2$ 所代表。若外來信號強度保持不變，吾人自可以增大局部振盪電流，以得放

第一四圖



(a)



大效驗焉。但學者卻勿以為增進局部振盪電流，可以隨吾人意志以得無限制之放大效能。在此一點，檢波器之特性所關甚鉅。例如第一四圖 (a) 曲線 (1) 示一等幅波信號。若以此信號與較弱相等及較強之週率稍差之局部振盪電流，經過差週率現象以後，可得結果振盪電流如曲線 (2) (3) 及 (4)。於是可見振幅之變值，隨局部振盪電流而同增，直至局部振盪電流與外來振盪電流相等時 (曲線 3) 為止。是時結果電流振幅之變值範圍，為自零值以至任何單獨振幅之二倍，過此則局部振盪增強，僅足以使此振幅變值，行使於較大之平均電流強度，而並不能增進振幅變值之範圍，觀於曲

線(4),甚為明顯。但聽筒之作聲,既全恃此差週率調幅作用,局部振盪電流自宜配置,至少等於外來振盪電流。因不如是,不能得最大之調幅作用也。而局部振盪電流,若與外來振盪電流相等或較強,既發生同樣程度之調幅,則局部振盪電流是否需要比外來振盪電流更強或相等,是一問題。其答案之是非,全恃所用之檢波器特性曲線之形式而定。例如同圖(b)曲線A,代表一通常檢波器之特性曲線,最大之信號,乃為局部振盪電流較強於外來振盪電流曲線(4)。曲線(B)及(C),各代表曲線(3)及(4)之檢波後電流之方式。在曲線(3)檢波時,特性曲線MN部份之斜度,遠遜於曲線(4)檢波之PR部份之斜度,是以檢波後之結果電流,當然曲線(3)較小於曲線(4)也。

其他差週率接收機之控制簡捷,線路單純,使接收機得靈敏度選擇性於平易之道,尙其餘事也。關於如何用真空管以達到差週率接收方法,詳見第九章。

11. 差週率接收方法之解析 設一接收天線,其線路配置使可接收外來電報,其週率為 $f_1 = \frac{\omega_1}{2\pi}$, 而同時於局部得一電流其週率為 $f_2 = \frac{\omega_2}{2\pi}$ 。結果電流之週率,將為 $\frac{f_1 + f_2}{2}$ 即等於 $\frac{\omega_1 + \omega_2}{2\pi}$, 而其最大振幅,將變值於一低週率 $f_1 - f_2 = \frac{\omega_1 - \omega_2}{2\pi}$ 。吾人可配置 $\frac{\omega_1 - \omega_2}{2\pi}$ 近於每秒 1000 週,以備接收聽筒之用。其數學證明如下

設外來振盪爲 $i_1 = A \sin \omega_1 t$, 而局部振盪爲 $i_2 = B \sin \omega_2 t$

$$\text{又令 } \omega = \frac{1}{2}(\omega_1 + \omega_2), \quad p = (\omega_1 - \omega_2) \text{ 故 } \omega_2 = \omega - \frac{1}{2}p$$

$$\omega_1 = \omega + \frac{1}{2}p$$

於是結果電流之瞬值

$$i = i_1 + i_2 = A \sin \left(\omega + \frac{p}{2} \right) t + B \sin \left(\omega - \frac{p}{2} \right) t$$

若以三角方法解之吾人得

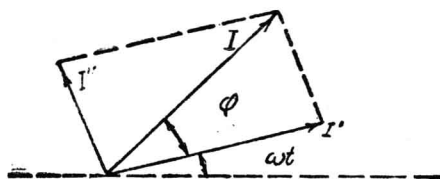
$$i = (A+B) \sin \omega t \cos \frac{p}{2} t + (A-B) \cos \omega t \sin \frac{p}{2} t$$

若以 i' 代 $(A+B) \sin \omega t \cos \frac{p}{2} t$

i'' 代 $(A-B) \cos \omega t \sin \frac{p}{2} t$

而以矢量 I' 及 I'' 代表其最大值, 吾人得如第一五圖:

第一五圖



差週率接收方法內之電流相角關係

而其結果電流 i 公式又可寫作

$$i = I \sin (\omega t + \phi) \dots\dots\dots \text{公式(4)}$$

$$\text{公式內 } I = \sqrt{(A+B)^2 \cos^2 \frac{p}{2} t + (A-B)^2 \sin^2 \frac{p}{2} t}$$

$$= \sqrt{A^2 + B^2 + 2AB \cos \phi}$$

$$\phi = \tan^{-1} \frac{A-B}{A+B} \tan \frac{p}{2} t$$

從該公式可知結果電流之週率，為兩週率之平均值 $\left(\frac{\omega}{2\pi} = \frac{\omega_1 + \omega_2}{4\pi} \right)$ ，而其最大值之變化，則於低週率等於兩週率之差 $\frac{p}{2\pi} = \frac{\omega_1 - \omega_2}{2\pi}$ ，即所稱週率差是也。振幅變值最大最小之範圍如下：

$$I(\text{最大}) = \sqrt{A^2 + B^2 + 2AB \cos 0^\circ} = (A+B)$$

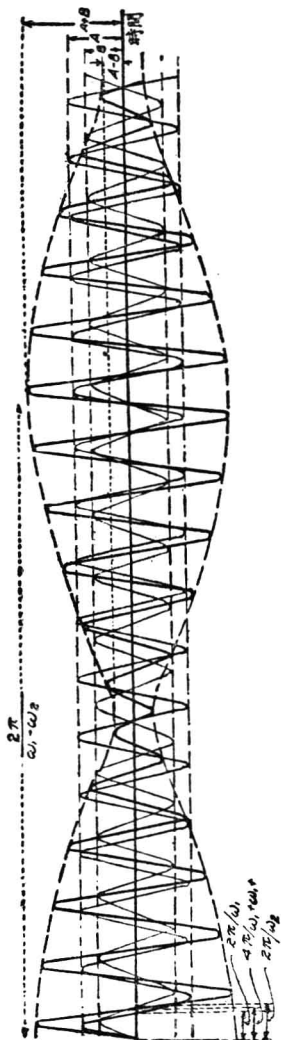
$$I(\text{最小}) = \sqrt{A^2 + B^2 + 2AB \cos \pi} = (A-B)$$

$$\text{若 } A=B \quad \text{則 } I(\text{最大}) = 2A \quad I(\text{最小}) = 0$$

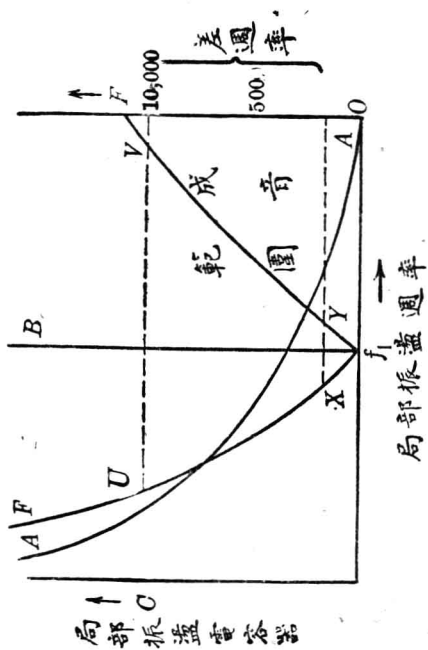
公式(4)之圖式當如第一六圖。圖內之粗線，其值係自兩細線之瞬值相加而得，外罩之虛線，係將其最大值聯接而得。

差週率接收法之音節，既視外來與局部週率之差而定。故任何外來音訊，共有二個不同之局部週率，可以發生相同音節。例如 F 為差週率， f 為外來振盪週率，其可以發生相同之音節之局部振盪週率，將為 $f + F$ 及 $f - F$ 。又參閱第一七圖，設 AA 曲線示局部振盪器內電容量與週率之關係， FF 曲線為差週率與局部振盪週率之關係。設外來振盪週率為 f_1 於是在局部振盪電容量價值甚小即週率甚高時，差週率甚高。至 U 點成音時約每秒 10,000 次，接收者方能聽收，若將局部週率漸減，音節漸低。至 X 點過成音範圍，音節寂然，直至 Y 點局部週率較小於外來週率，其差大至成音

第一一六圖



第一一七圖



程度，音節復顯。故XY一段，音信靜寂，謂之靜區 (silent zone)。至V點以後，週率太高又入靜寂之境，故UX及YV二段曲線，為接收成音境地。接收者可隨意配置，以得最悅耳易聽之音節，而避免近似之騷擾焉。

12. 斷續等幅波電信 上述各種方法，其主要點，均在設法將所收等幅波電音，在聽筒中發音而得電信。此同一目的可於發射臺得之。其法即在發射線路中設一斷續器，使所發等幅波於成音週率速度中，時斷時續。於是在接收臺對於聽筒發音，即不發生任何困難。尋常晶體接收機，亦可接收此種所發電信，謂之斷續等幅波電信 (interrupted continuous wave telegraphy 簡稱 I. C. W. Telegraphy)。故為便利接收者起見，電臺往往所辦機器，有能發尋常等幅波或斷續等幅波之選擇。惟此種發射機，因能力散射間斷，電波能力減弱，亦非法之最善。故長途如越洋電臺鮮有用之者。

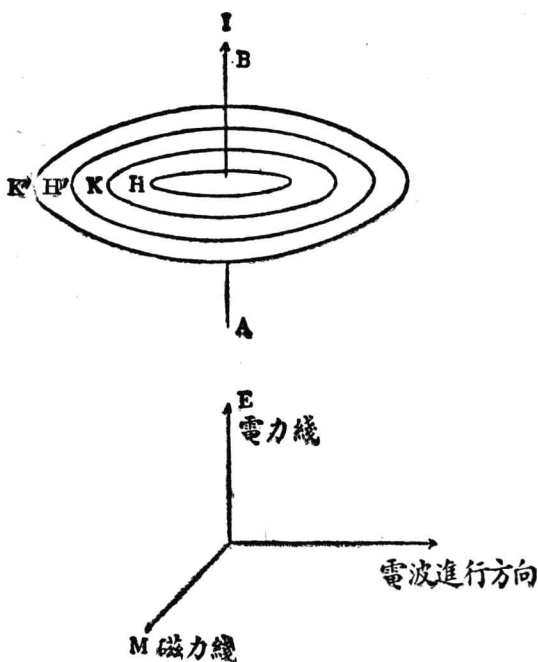
第六章 電能發射與天線

(Energy Radiation and Antenna Systems)

凡波浪之發生必須有振動物體，其振動乃藉一媒介物以達於外，而成波浪。例如物質分子振動藉空氣而成聲波，藉以太而成光波與熱波。電波與光波性質既相類，其需要一振動物體亦正相同。天線即發生振動之物體，而藉以太以散射電波者也。電波之如何發生 (production) 及如何推進 (propagation)，學說深奧，議論繁富，若詳論之，雖十萬言不能盡，非本編範圍所及。本章首先述電能力之如何藉以太發射遠處，及長短波之異點，理論以簡單概括為主。次論天線之各項常數，各式收發天線之異同，地線地網及線圈天線之裝置及略理，俾學者對此無線電工程比較最為玄深之問題，具相當之觀念焉。

1. 電磁能力之放射 如第一圖於垂直導線上有電流 I 流動；自下而上，如箭頭所示， H 及 K 為因此電流而發生之二磁力線圈， K

第一圖



電能放射之解釋

圈直徑較H稍大，按之電學理論，磁力當然較弱。今設電流自I而增至I'，磁場有相當比例之增強，與原有K及H磁力線圈成爲H'及K'；H'及K'之直徑較H及K者爲大如圖。無論電流變值之自I至I'之速度遲速如何，H及K之伸張至H'及K'所需之時間，與I至I'所需之時間必相同。但H線之起始伸張及停止伸張，必有細微時間之先於K線之同樣作用。此時間之遲緩乃由於電磁場在空間或以太中行進之故，其前進需要之速度，從理論及實驗上證

明爲光之速度。此磁波之放射可以水波作喻；但電波之推進形狀略如球，平面與立體之不同耳。

上述現象，當然適用於電流自 I' 減至 I 值之時， H' 及 K' 收縮至 H 及 K 所需時間，與 I' 減至 I 之時間相同。但 H' 線之收縮動作略早於 K' 。

從前述理論，吾人知除磁力線外， $A B$ 導線四週空間任何一點，尚有電力線之存在。此等電力線之方向與磁力線圈爲垂直，即與 $A B$ 爲平行。其方向與數量隨電流數值之增減而變化，正與磁力線相同。此二種磁場及電場謂之感應場 (induction field)，其強度與距離成二乘方之反比例，故距電流較遠之點，此感應場已微弱不堪；尋常商用變壓器，完全應用此感應場以得電壓，故商用之交流電路，其電壓或甚高，電流或甚巨，因其週率之低，能力俱蓄於感應場，往復於電場磁場之間，而不能放射及遠處也。

在 $A B$ 導線，電流維持原值 I 或 I' 時，導線內電子行動，其速度爲不變常數。此發生電流之原動電壓，適以抵消導線內電阻之阻滯作用，故電子行動於導體內，有一常數速度，宛如火車之行於路軌，其推進力適足以抵消所有阻力之和時，火車前進得一常數不變之速度也。

電流之變化，即電子行動速度之變化，必須加以加速力或減速力 (accelerating or decelerating force)，以抵消此固有之動力以得之（此新生之電壓力，與電阻作用，或助或反）。此力既能使電

子移位，必做工作。此工作代表電磁場能力之變化，而電磁場能力變化，必以光之速度而放射四週空間。此放射能力之場，名為放射場 (radiation field)，此放射場之所以異於感應場者，乃在放射場與距離為一次乘方之反比例，不若感應場與距離為二次乘方之反比例。至遠距離空間，感應場已微渺不能辨覺，而放射場尚有相當之強度，足以檢取而放大焉。不特此也，此放射場之能力，視電流變化之速度而異。換言之，與交流之週率為正比例。是以無線電交通，全恃放射場而成立，故非高週率交流電莫辦。

2. 垂直天線放射之理論 觀前述理論，可見欲得放射，祇須設法得一高週率振盪電流。則電容器磁感圈電路中，電容器放電，電流為一振盪電流，已為前章所證明，似乎任何電容器磁感圈電路，均可用以為放射之用，實則不盡然。例如第二圖 C 及 L，成一振盪電路，在電路內任何時間，電流在 AB 及 A'B' 兩部間方向必相反。若電流 A 至 B，必然由 B' 至 A'，反之亦然。於是在 P 點 (任何空間一點) 之電磁場，由於 AB 者，必與由於 A'B' 者，適相抵消，即因

第 二 圖

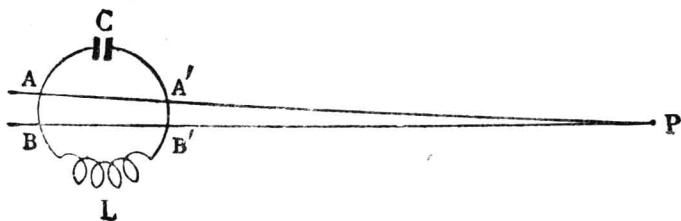


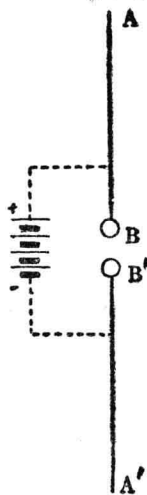
圖 線 圈 線 路 之 放 射

AB 與 A'B' 不定在一直線上，不完全消滅，亦必殘留無幾，此其所以必須用天線也。

例如第三圖，為一最簡單之單線垂直天線，又名赫志振盪器 (Hertzian oscillator)，以紀念發明人赫志氏。

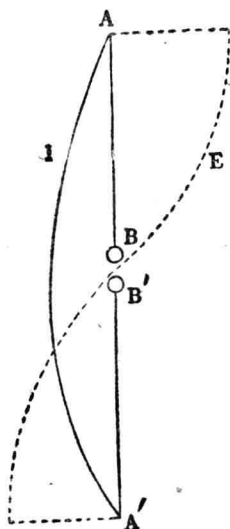
此種天線 AB 與 A'B' 相當於電容器之兩片，同時有分佈磁感量，自成一振盪電路，實為通路，不能視為斷路也。設接一直流高壓電源如圖，於是有若干電能，儲蓄於此電容器，其數量等於 $\frac{1}{2}CE^2$ ，如前所述。但若此電壓過高，超越 BB' 間之絕緣能力，火花即可由此發生，電容器因以放電。復因磁感量之存在，此火花即變為振盪電流，其作用如何，已詳述於第三章，茲不復贅。惟有可述之點凡三：第一為垂直天線上電壓與電流之分佈情形。導線中電子經此振盪作用，每半週時間經過 BB' 空隙一次，但前後方向二次

第三圖

赫志振盪器

相反，故得電流電壓分佈情形如第四圖，即電流在中間為最巨，而電壓則在兩端為最高。第二觀是圖可見該式天線適等於波長之半。但為實際應用便利計，祇用其一半如 AB，而置空隙一端，近地面而接至地線，如第五圖使地為電容器之一面。故尋常垂直天線之自然波長，常等於其高度之 4 倍。發報時以能應用此基本波長或週率 (fundamental wavelength or frequency) 為最佳，因吾人雖能

第四圖



郝志式天線之電壓電流分佈狀態

第五圖

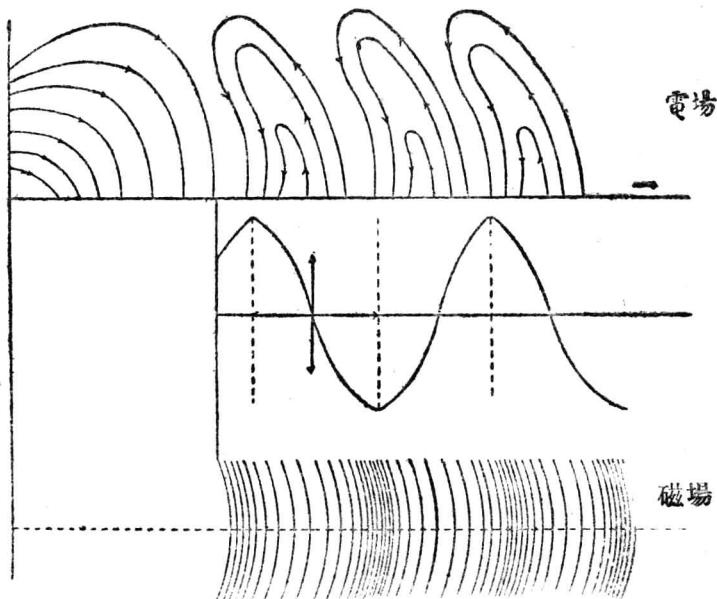


垂直天線

加入磁感量或電容量，以引長或縮短此波長，但所得效率為低劣也。第三電子既在天線內加減速度，按之前述原理，即有放射能力，其磁場及電場之方式，約如第六圖。電場之方向，在任何時間與磁場為垂直，其強度之遞減，隨距離以增，至收報天線時，因磁場及導體相互間之動作，感應同週率之振盪電壓。設此收報天線，其自然週率之配置，使與外來週率相等，則經諧振作用，得最大之效果也。

3. 天線之各種方式 單線垂直天線雖簡單，但因其限制於短波長之用。且欲得高度，裝置困難，故不得略有改變。最普通者，為“倒L”形。即所有導線，係平架於離地若干距離之上，而在任何一

第 六 圖



電 磁 波 推 進 之 方 式

端，繫以引線，引入電臺機器。成一倒置英文“L”字母。此類天線最爲普通，目今電臺用此式者最多，其方式如第七圖。但爲增加天線之電容量及工率起見，導體往往不止單線，而爲數線平行。如此則高度既減，電容量因距離地面較近而增加，其自然波長，較垂直

第 七 圖

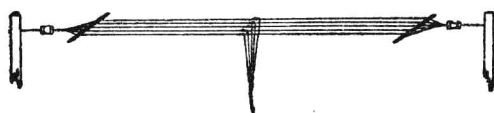


倒“L”式天線

天線爲長矣。

又次爲“T”形。此式與“倒L”式無大差異，所不同者，“T”式之引線，繫於天線之中部而入電臺。故成“T”字如第八圖。在發報距離言之，以同一電臺能力，則“T”形傳出電波，距離兩端相等，而“倒L”形，則向引線一方面，距離所及較他方面爲遠。至於與導線作垂直之兩方向，則距離所及，均較短少，是爲該兩式天線之定向性。

第 八 圖



“T” 形 天 線

籠形天線 (cage antenna) 如第九圖，實與上二式均無大異，其導線排置有如鳥籠，故名，應用此式天線之電臺不多。

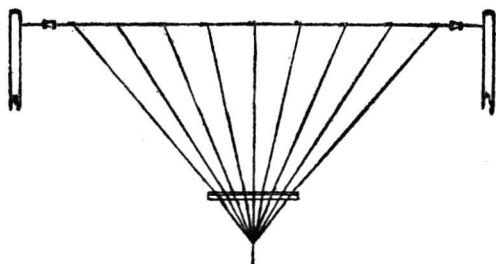
第 九 圖



籠 形 天 線

扇形天線 (fan antenna) 如第一〇圖，因其狀如扇，故名，採用者亦鮮。

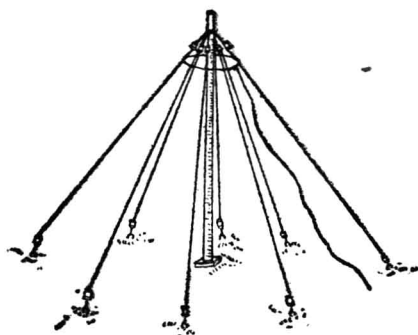
第一〇圖



傘形天線

傘形天線(umbrella antenna)如第一一圖。因其狀如傘，故名。大都為強力電臺所用，其散射作用，各方均勻，因此種天線電容量甚大，故工率可增，然以建築之貴，小臺無力建之。

第一一圖



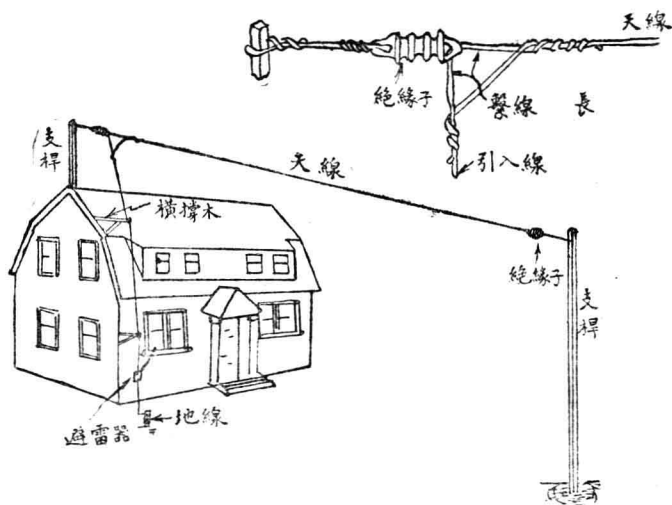
傘形天線

此外從各式中變化而得者，如將兩“倒L”形合併，使平空兩線成一“V”形天線。又如將倒“L”形延長向外，中間每段連以地線，成為複諧天線(multiple tuned antenna)，為強力電臺所用

者，不及詳論。

4. 地線 不論建立天線為發報臺或收報臺之用，泰半須有地線(ground)之通接，否則此振盪電路不能完全。此地線之銜接，係

第一二圖



接收天線裝置之一法

連至收發報機件之一端，天線接至又一端，完成此振盪電路。讀者或將疑此種電路為中斷之路，電流如何通過？不知天線與地面適成一電容器，已如前述。導線為一極，地為又一極，空氣為其中間物。直流電固不能通行，然振盪電路之電流，適為交流，故能通行，是以發電機天線與地面所成之電容器，所異於尋常電容器者，乃該器兩片距離甚遠，使其發射電波之距離愈遠，或接收電波之力愈強也。

發報臺天線所用之地線，設置頗多變化，有將天線狀之導線，依樣平埋地下者，有以巨銅片，或他種金屬導體埋入地層者，有以導線埋入地下，成一極大網制者，有單以鋼管插入地中，而另以導線引鋼管入臺內者，全恃電臺工率及局部情形而殊。其最重要之原則，則為埋地線之處之泥土，務擇潮溼陰潤者為妥。因地潮則電阻減少，電阻小則電力自強。若地土乾燥而多砂石，地線雖深埋土中，亦不能獲滿意之結果，宜力避之。

5. 收報臺之天線與地線 收報臺所用之天線，規模可以較小，其設置自以戶外為最佳，因電波雖能穿牆越樹，究竟耗損能力。其方式最普通簡單者，為倒“L”形及“T”形。通常以單線 75 呎至 100 呎長，離地 20 呎至 50 呎。離地當以愈高愈佳，但以設置艱難，似可不必。如地面狹窄不能得 75 呎之長，則可以較短之雙線並聯代之亦可。至於用以支天線之架，全視局部情形而定。有兩端並繫於屋簷者，有一端繫於屋簷，他端繫於樹幹者，有一端繫於樹幹他端繫於牆籬者，並無一定。

然如所用接收機，異常靈驗，或所收電波之發報臺特近，電波強烈，則天線裝在戶內，無所不可，其方式更無一定。或將數線橫掛於平空，或在屋內將導線繞屋數圈均可。平常之鋼絲牀墊，亦可用之，更為便捷。

收報臺所用之地線，亦較易置備。可將接收機通地之引線，接至自來水管，或蒸汽爐管上。如無自來水或蒸汽爐管，則以線接至

鋼或銅管而後，以管埋入溼土內，大都靈驗。如初次不成，則稍易地位，或改變埋入深淺之程度，必能成者。至於埋入地內之深淺，則 3 呎以至 6 呎為度。引線接至鋼管之處，必須緊貼，切忌鬆懈，以鉚錫鉚固尤佳。

6. 地網 不論收發電臺天線，如因地質乾燥多石，缺乏完善地線（即不能得相當低電阻地線之謂）。或在高樓離地太遠，不易連接，則可以地網（counterpoise）代之。地網者何？蓋代地線而與天線成一電容器也。其結構為金屬導線，其所佔面積至少與天線所佔面積相埒。其地位在天線與地面之間，離地面及天線之距，視局部情形而定。此體與地面絕緣，不相通接。此種地網之應用，發報臺較收報臺為多。有時發報臺之天線，兼有地線及地網，視使用情形之變化而擇用之，以鋼絲牀墊以代地線，實即地網之作用。

7. 裝置天線之要點 裝設發報臺天線，往往建築高大，電壓鉅萬，工程浩繁，須經鄭重之計劃，自不待言，本書以篇幅有限，不及詳述。即裝設純為收報臺之天線，亦有要點多則，偶不注意，則禍害所及，小則收報不靈，大則感觸天電，損傷器物人畜，是不可不留意者也。

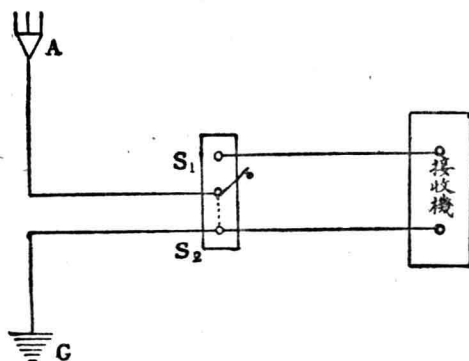
茲先述天線之材料。此種天線，大概應用純銅質，或七根絞合磷銅錫合金（phosphor bronze）美規 No. 22 之導線，但實心之 No. 14 銅線應用亦佳。該種銅線不宜有何種絕緣物質（如橡皮及紗線）包紮於上。惟為免除生銹，而致接頭鬆懈之弊，能用塗漆之

銅線最佳，或用各種有絕緣包皮銅線，但價稍貴耳。絞線之集膚作用較微，且拉力 (tensile strength) 頗強，故天線單線較少。

次為絕緣體之應用，凡天線與房屋或樹木相連之處，均須隔以絕緣體，以防電流之洩漏，而減損接收之電能。凡物質之易於吸收水分者，不宜為絕緣體，因水分一入，即變導體，木質即其一例。又所用絕緣體，務宜堅固而能抵抗天線所受之伸張力，不致因風雨冰雪而損毀。通常用之絕緣體以 pyrex 絕緣子為最佳，玻璃及瓷質者次之。

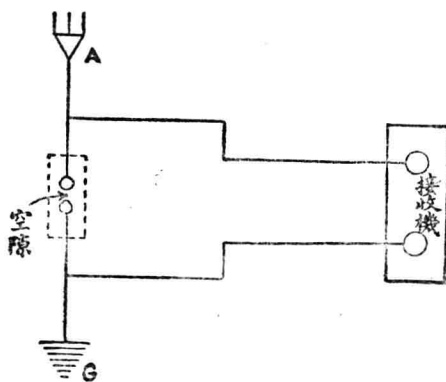
最重要之一點，則為避雷之設備，收報臺雖自身無高壓強力之電力發出，而因其天線之露置戶外，近處如有雷電發生，此種天線往往感應強大電壓，損害儀器，灼傷人畜。故為避免此種危險起見，應有避雷之設備。至於天線之被直接雷擊者，其機遇甚少，有如平常之電燈電話線煤氣管，不必過慮（但發報臺之天線高至百呎以至四五百呎者，較易受直接雷擊，又當別論）。收報臺所用之避雷器 (lightning arrester)，共有二種。可以單用或兼用，其一即為單路雙關電鍵，例如第一三圖接在天線與地線之間。在平常使用接收之時，電鍵向上，在 S_1 上，電流經過接收機而入地。在不接收時，或雷電大作之時，電鍵向下，在 S_2 上，使受雷電感應之電流，不過接收機，直接入地，以避雷擊。第二種避雷器，僅為一空隙，在平時接收電音時，電壓甚低，空隙絕緣，電流不能經過，祇能經接收機而入地，如第一四圖。至萬一受雷電感應時，電壓必高，空隙即摧，而

第一三圖



避雷器之一

第一四圖



避雷器之二

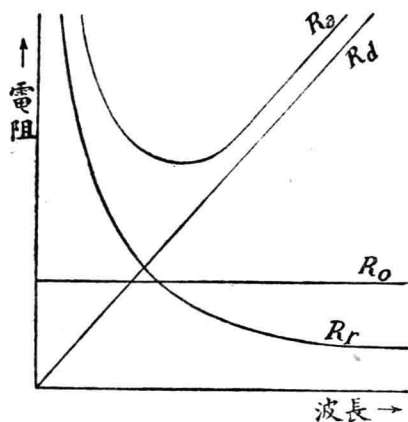
變成導體，電流經隙直接入地，不致損及儀器。如二者兼用，則於第一三圖中，將避雷器置於 S_2 之中間，如虛線所指，更為周密，使接收機使用時，亦有相當保護。此種設備，最好裝在戶外牆上，較為安全。且所用電線宜較粗，俾免為巨量電流所燒毀，仍受損失。天線之裝在戶內者，無需避雷設備。

此外尚有一點，為欲得接收靈效所不能忽視者，凡在接收線，以至地線，所有接頭，均須妥以鉚錫鉚固，使全路電阻，保持最小限度，電流因得暢行。最要者，尤在天線與地線兩處。因該兩處，若有貼切不佳，最足以減損接收之靈效。即如接頭之須隨時上下，而不能鉚定者，亦宜設法緊貼。凡螺釘帽均須緊固。因在無線電接收電路，電流甚弱，不能多受電阻，與平常電燈電力之電路不同。

收報及收音天線設備，實為相同，近來國內裝置廣播收音機者漸多，故不殫詳述如前。

8. 天線電阻 天線電阻 (antenna resistance) 與尋常電阻稍異。第一，電流經過天線導體，發生熱量，損失於外，此損失等於 I^2R_0 。此 R_0 即尋常之所謂歐姆電阻，若忽視因高週率增加部分，其價值幾與天線波長無關。故若以該項電阻值與波長關係以曲線表之，約可為一水平線，如第一五圖所示。第二，能力之一部由放射至四週空間，此損失藉電磁波放射，實即天線之輸出能力。此放射能力與週率之二乘方為正比例，即與波長之二乘方為反比例，又與天線電流之二乘方成正比例，等於 I^2R_r 方式，此 R_r 與歐姆電阻相似，

第一五圖



天線電阻與波長之關係

可名之謂放射電阻 (radiation resistance)，此放射電阻以愈高愈佳，以其放射愈有效也。放射電阻與天線波長關係為二乘方之反比例，如圖。第三，因天線四周空間物體並非完全絕緣體，能力一部即由此被吸收。例如房屋樹木，天線木柱或鐵塔，以及天線四旁，其他種種均有吸收此能力之可能，天線之宜建於曠野者以此。代表此能力之損失，謂之通感電阻 (dielectric resistance)。此通感電阻 R_d 與波長之關係為簡單之正比例，如圖。

天線之有效電阻實為上述三種電阻之和，故實非常數，而與波長變化如曲線 R_a 所示。可見此電阻在某一波長為最小，即三者之和為最小也。

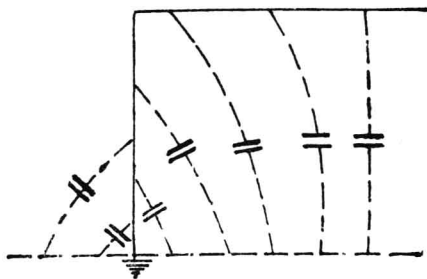
天線電阻又可以下列方程式以表之：

$$R_a = A + B\lambda + \frac{C}{\lambda^2} \dots\dots\dots \text{公式 (1)}$$

公式內 R_a 爲天線電阻， λ 爲波長， A, B 及 C 爲常數。第一項爲歐姆電阻，第二項爲通感電阻，第三項爲放射電阻。此公式表明天線電阻與波長之關係，正與曲線同。

9. 天線之電容量與自感量 天線與地線合成一具電容器，空氣爲其絕緣體。此種線路不祇包含電容量，并有磁感量，與尋常振盪電路之有其自然振盪週率或波長者同。所異者天線之電容量及磁感量俱爲分佈性質，而並非集中在線路任何局部。第一六圖示一

第 一 六 圖



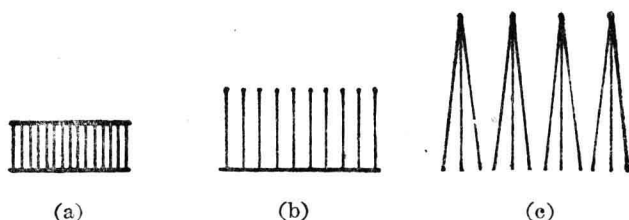
天 線 之 分 佈 電 容 量

“倒 L”式天線之電容量之分佈狀態。此種分佈電容量，驟視之固不若並行片電容器之電容量如第一七圖 (a) 之巨，因上片如改爲導線以後如天線，其電力線之分佈將如同圖之 (b)。但若增加導線與地之距離，電力線將展開如同圖之 (c)，電容量又復增加，故天線電容量之與天地線間距離，無反比例減退之速。例如：

$$C = 0.4\sqrt{S} + 8.85 \times 10^{-2} \frac{KS}{d} \dots\dots\dots \text{公式(2)}$$

爲奧斯丁博士(Dr. L. W. Austin)關於天線自然電容量之公式，內 C 爲電容量，單位爲兆兆分法拉特， S 爲平項天線所佔之面積，單位爲平方公分， d 爲平項天線距地之平均高度，單位爲公分， K 爲空氣之通感比率，常依氣候而變 ($K=1$)。引線與地所組成之電容量，該公式並不包含在內。

第 一 七 圖

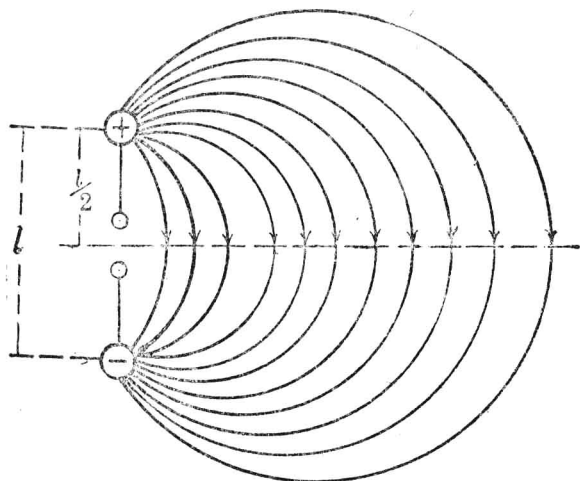


天 線 與 並 行 片 電 容 器 之 比 較

天線各部均爲直線，故其自然磁感量甚小。但於引線中可接入集中磁感量之線圈以增加之，此磁感量有時稱之爲負荷磁感量 (loading inductance)。天線之電阻，自然電容量，磁感量及週率均可以試驗測得之。

10. 天線之實效高度 天線方式不一，高度亦各部不等，而用以計算及比較之高度爲實效高度 (effective height)。天線之實效高度者，爲郝志式振盪器之半長，而能於相等距離之外發生相等強度之電磁場。例如第一八圖示一長凡 1 公尺之郝志式振盪器，其電力線之分佈於其等距平面 (equatorial plane)，有如圖示。但若以此平面

第一八圖



天線實效高度之解釋

易以一完美之導性平面，其力線可以不變，下部可稱為上部之投影，振盪器之下部半長，可以移去而不發生任何影響。可見若以半長之振盪器，樹立於一完美導性之平面，其所發生之電磁場，可與一全長之郝志式振盪器相當。在尋常應用各式天線，地面即此等距平面，其電力線之分佈，可稱與有下部半長存在時相同。但因天線之平頂部份，足以減損發生之電磁場，故其實效高度常較實際高度為低。此外如天線旁之鐵塔、鐵拉線、樹木房屋之存在，均足以減損天線之實效高度。實效高度雖有時可以公式計算，但尋常多以試驗測得之，其值約為自 40% 至 90% 之實際高度，平均約合 60%。

11. 放射電阻 放射場在天線方面，係代表一種工率之損失，

因其所儲蓄之能力，不若感應場之能回復振盪電路，而以光之速率離去電路，永不復返，能力之一半，儲蓄於電波之磁場，其又一半，儲蓄於電波之電場。在無線電交通方面而言，放射能力，不特不當視為一種工率損失，實為天線輸進總工率中之惟一有用部份，得以利用於遠處使無線電交通得以成功。

放射工率 P_r 者，實代表工率之脫離天線，而向空間放射之工率也。假定天線或線圈之周圍，有一理想的圓球式面積，於是所有放射工率即等於奔赴該面積之總工率。此工率可與天線或線圈之電流之平方成正比例。是以放射工率頗有似電阻消耗能力為熱能之處。此假電阻若加入該天線內可以發生與放射等量工率之損失者，謂之放射電阻 R_r ，已如上述。故放射工率等於放射電阻與天線電流實效值之平方之積數。換言之：

$$P_r = I_s^2 R_r \dots\dots\dots \text{公式 (3)}$$

公式內 P_r 及 R_r 如前，單位為瓦特及歐姆， I_s 代天線電流實效值，單位為安培。

放射電阻之大小，示該天線或電路放射效能之高低，是以在可能範圍中，當設法使之達最高值，而同時使其他電阻減至最小值。放射效率既等於放射工率與天線輸進總工率之比率，亦必等於放射電阻與天線總電阻之比率，於某一波長或週率上。

天線所發射之放射場，於遠處接收有效者祇屬於流動於垂直部份之電流。在此放射場部份之天線放射電阻，可以下列公式計算

之。

$$R_r = 160\pi^2 \left(\frac{h_e}{\lambda} \right)^2 \dots\dots\dots \text{公式(4)}$$

$$\text{或 } R_r = 1.58 \times 10^3 \left(\frac{h_e}{\lambda} \right)^2$$

內 R_r 爲放射電阻，單位爲歐姆， h_e 爲天線之實效高度， λ 爲波長，單位均爲公尺。從上公式可見天線之放射電阻與天線之實效高度之二乘方成正比例，而與放射波長之二乘方成反比例，即與放射週率之二乘方爲正比例。但此公式祇適用於天線放射之波長，遠長於自然波長之上，因在此情形之下垂直部分之電流，方稱均勻。

$$\text{但 } P_r = I_s^2 R_r \dots\dots\dots \text{公式(3)}$$

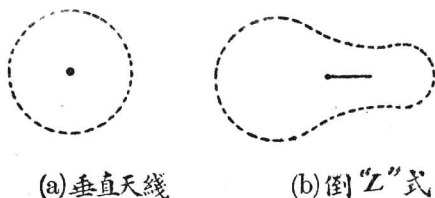
若以公式(4)內之放射電阻代入，

$$P_r = 1.58 \times 10^3 \left(\frac{I_s h_e}{\lambda} \right)^2 \dots\dots\dots \text{公式(5)}$$

內 P_r 爲天線放射工率，單位爲瓦特， I_s 爲天線實效電流，單位爲安培，餘如前。

12. 天線之定向性 天線之定向特性 (directional characteristic) 者，天線放射或接收電能於相當方向，較有效驗於其他方向之特性也。垂直天線，其放射或接收電能，半徑式任何方向均相同，定向性可稱絕無，亦其劣點之一。至若其他天線大都有相當定向性。例如倒“L”式，則引線一端放射特遠，如第一九圖所示。此種圖式係得自實際試驗。設將接收機在該天線圓周各角度之地位，求各接收強度相同之點，以線聯絡之，即得線圈天線之定向性。定向特性有最大利益凡兩端：若用於專行互相通訊之兩臺，則可以最

第一九圖



(a) 垂直天線

(b) 倒“Z”式

天線之定向性

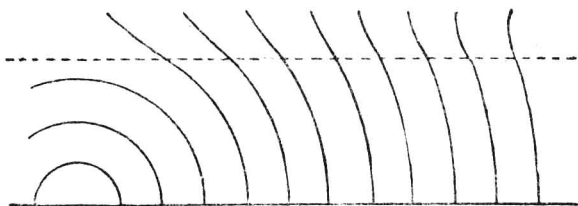
小之電工率，得最大之效驗，此其一。若於羣臺騷擾之際，天線定向特性可以免除他臺之干擾，因各臺之與收報臺關係，不致都在一直線上也，此其二。欲明定向特性之略理，必先明此無線電波推進之狀況，而電波推進之狀況，長短波有不同之點，請於本章先述長波。

13. 長波之推進 無線電工程所稱長波短波並無絕對界限，例如二三百公尺之波長，用以播音，昔時稱為短波，今則列為長波。現通常所指短波約在 150 公尺以下。長短波之界限，既非絕對，下述電波推進狀況之變化，自亦甚漸，讀者不宜拘泥。

在前各節已說明電波之放射，自天線如圓球式向空間散發。但此係假定此發報天線設置在完善理想之通感體或絕緣體而言。但在實際上，無線電波推進經過，為包圍地面之大氣。此大氣約可分為上下兩層，下層約自地面起至 150 公里高度，密度較厚，絕緣較良。150 公里以上為上層，稱開氏海氏層 (Kennelly-Heaviside layer)，或簡稱海氏層 (Heaviside layer)，以紀念首先主持此理論諸子。海氏層空氣密度較薄，經強烈日光及他種放射，其空氣分子，在游離

化狀態中。游離化者，使分子成爲各荷正或負之電荷，而成爲半導體之狀態也。當電波之自天線放射而出，初則固爲圓球，但因地球表面，既非絕佳導體，又非理想絕緣，電波在地面感應電流，一部能力即被吸收（若在海面推進，鹽水爲極良導體，此弊較微）。在地面波之速度較遲，使波之波前線(wave front)有傾斜之勢，如第二〇圖所示。且因地面之吸收能力，電波消蝕甚速，其吸收能力之多寡

第二〇圖

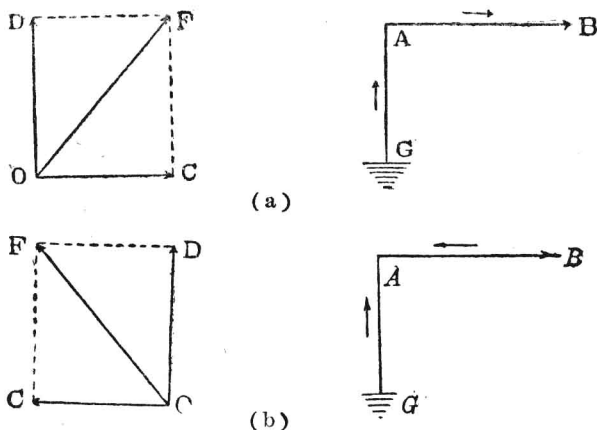


電波前線之傾斜

與週率成正比例，即與波長爲反比例。故爲遠距離通訊以用長波爲佳，越洋大臺之波長，在數千至萬餘公尺以外者以此。海氏層之爲導體既佳於下層，是以在海氏層推進之電波，前進較速，波之前線全體俱向地面傾斜，如是電波隨地球表面曲度以進，而使地球任何遙遠兩點，得以通訊焉。

此電波之推進學說，且可以解釋天線之定向性。例如第二一圖(a)之倒“L”形天線。假定電波由左而右向天線推進，根據上述理論，其波之前線傾斜如OF，此OF力線，依據力學規則，分爲分力線如OC及OD。於是此垂直及水平分力，感應電壓於天線之垂

第二一圖

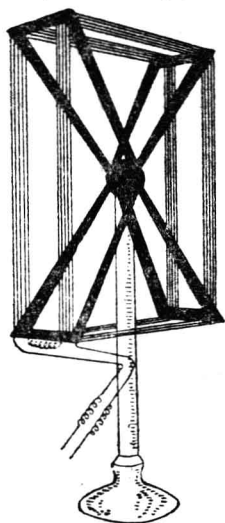


倒“L”式天線定向特性之解釋

直及水平部份，其方向為同一方向，故其電壓為相增，反之，如同圖 (b) 電波之自右至左，其兩分力線，在天線垂直及水平部份，其方向蓋相反，故其電壓為相消。雖不全滅，殘餘已少。倒“L”形所以有特殊定向性質者，固在於此。

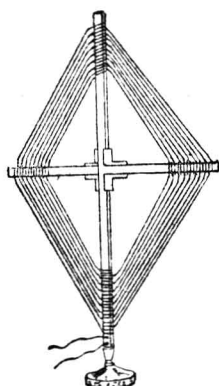
14. 線圈天線 自真空管放大法盛行以後，接收能力可以較微而得相等音訊強度，天線之高度，長度，可以無須前此之巨大，因有所稱線圈天線 (coil antenna, loop antenna, or loop) 之應用。該種天線，係將導線數圈繞成正方，或長方，或其他幾何形式均可，形如圓帶，此種天線製造簡單，尺寸短小，最合自製，其式樣有如第二二圖及第二三圖。天線所出二頭，即可接至接收機上，既免戶外之設備，又省去地線之銜接，減少裝置手續。且此種天線尚有一極佳

第二二圖



線圈天線之一式

第二三圖



線圈天線之又一式

之點，即其接收電音，有定向性質。例如將天線之平面，與發報臺之方向並行，則所收電音最強，反之，若使之與該方向垂直，所收電音最弱。因是之故，用線圈天線接收者，即使兩發電臺發同波長電音，因其相對方向之異，仍可擇其欲聽者，不相妨礙。且用此天線，欲測所收電音之所自來，即可將天線平面，轉動至電音最強時，即可略知電音之來自何方。故所有線圈天線，均裝在架上，架可自由轉動。海船飛機之應用無線電，與陸地臺互相交通以定方位，即根此理。

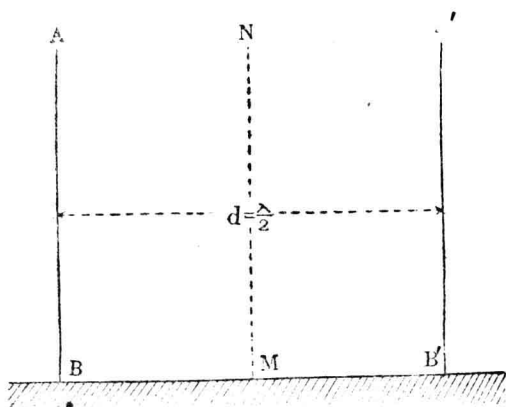
線圈天線之所以有此特殊定向性質者，可以述其理論如下。例如有兩種垂直天線 AB 及 $A'B'$ 高度相等，其相隔距離為 $\frac{\lambda}{2}$ ， λ 為該天線上電振盪之波長。先論 AB 之作用，暫置 $A'B'$ 不論。吾人

於前已知此垂直天線 AB，於其四周空間放射電磁場，於距天線 $\lambda, 2\lambda, 3\lambda$ ，或其他波長 λ 倍數之地點，其力線變化與天線電流之變化，必為同步 (in synchronism)，即其變化之速度與方向適相符合也。

在 $\frac{\lambda}{2}, \frac{3\lambda}{2}, \frac{5\lambda}{2}$ 等各點適與 AB 內電流之變化反相 (相差 180°)。

設將 A'B' 內之電流與 AB 內之電流配置適亦反相，於是此兩垂直天線所放射之電磁場於兩天線所在之平面內各點，恰為合相而相加，此所以在此方向放射電能為最強。反之，如第二四圖在與兩天線垂直而處於中央之平面 MN 內各點，AB 與 A'B' 所發生之電磁

第 二 四 圖



線圈天線定向性之解釋

場適相抵消，此所以在該平面內放射電能為零。設兩天線之距離較 $\frac{\lambda}{2}$ 為小，其結果仍相似，所異者其最大電磁場較小於前者耳。線圈天線亦即前述兩垂直天線聯合而成，其定向性質理論正與前同。

若不爲事實所限制，此種線圈天線兩垂直導體之距離當適爲 $\frac{\lambda}{2}$ ，蓋如是方能得高效率之放射也。收報線圈天線之有同樣定向性質，其理論相仿，學者可以舉一反三，不及詳述。

上述線圈天線之定向性質，爲雙方向 (bi-lateral)，蓋可測定來音之方向，而不能決定其來自何端，若欲其改爲單方向 (unilateral)，可以線圈天線與一垂直天線合用之，其理論詳見下節。

線圈天線尙有二種優點，以其形式之小，攜帶之便，使無線電接收之使用，旅行時，置在舟車汽車上，異常便捷。又以其幅員之小，大都在戶內應用，其他戶外天線所遇之天電騷擾，又可稱爲完全避免，於接收時，音節更爲純粹清晰。然此種天線，亦有其弊。因其所佔面積之小，在空中所收電波之力極微弱，若接極近之電音，自無困難，然若接較遠或極遠電音，必用極靈敏之接收機，包含三數放大階級，然後能聽音清晰。換言之，天線方面，固然簡單，而接收機電路，隨之而複雜，價值亦自然因之增高。此所以最近收音機之精緻靈效（能接遠至數百公里以至千公里電音之謂）者，類皆昂貴，加以裝璜美麗，使用便利，宛然一家用娛樂器具也。

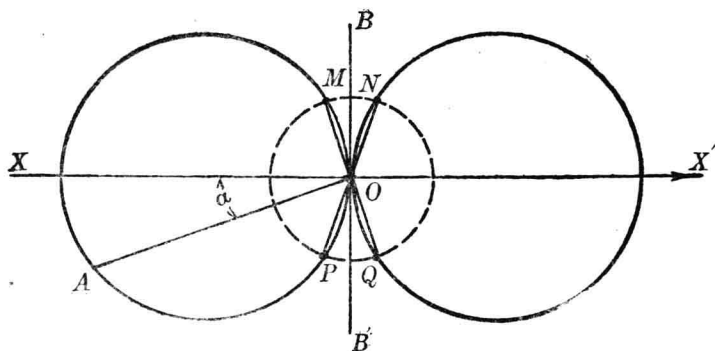
15. 無線電定向器 線圈天線與其附屬設備用於海陸空電臺，以測定外來電波之方向者，謂之無線電定向器 (radio compass or direction finder or goniometer)。吾人在前已解釋線圈天線接收之信號強度，在其他情形固定之下，視線圈平面與信號前進方向而異。從基本電學，吾人已知接收配諧電路內之實效電壓與電

流與線圈所包含之磁線變化速度成正比，此實效電壓與線圈平面及信號前進方向相交角度之餘弦成正比。若以公式表之，實效電壓：

$$E = a \cos \alpha \dots\dots\dots \text{公式(6)}$$

內 a 為一比例常數， α 即為上述之角度。第二五圖用極座標示上列公式之關係。內 XX' 示電波前進之方向， OA 為線圈平面，同時代表接收信號強度。角度 α 等於零時，信號最大。 α 等於 90°

第 二 五 圖



雙 向 定 向 器 之 說 明

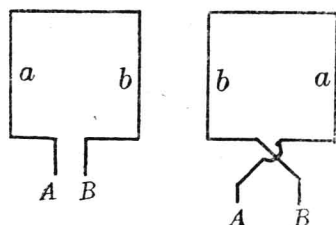
時，信號等於零。接收信號時，若將線圈平面旋轉得最大音響時，吾人即可知此平面方向所指即係電波所自來。若以此方向記錄於簿，而與固定地點他臺聯絡作同樣試測，則可以極簡易之三角方法，決定發出某信號電臺之位置。接收臺若為飛機或船舶，轉動線圈以試測三固定電臺，亦可測定本身之位置。航海與航空利用此以定方向，日形普及。

然觀該曲線可見在一同值變角度 α 之下，在近 90 度時比近 0 度，信號強度變化較小。換言之，此器若配置為無聲，比最大聲為靈驗。且人類聽覺之決定聲音之有無，比孰為最大聲亦較為容易。是故通常應用時，常旋轉線圈，使信號全寂，如是線圈平面與電波前進方向成垂直關係。但此說僅於一完美無缺無限靈敏之聽筒為然。尋常聽筒必須有一最低限度之電流或信號強度，方能發聲。若信號強度弱於此最低限度時，無聲可聞。在前圖如 OM 代表此發聲之最低信號強度，於是此線圈如佔據位置在 OM 及 ON 之間與 OP 及 OQ 之間，無聲可聞。換言之，如線圈平方面依次旋轉，從初始位置 OX 信號強度逐漸遞減直至佔 OM 位置時，聲音轉寂，在 OM 及 ON 之間聲音全寂。遇 ON 聲音復現，至 OX' 時，聲音又達最大。OM, ON, OP, OQ 四位置之折衷位置如 BB' 遂為信號強度等零之位置。此最小限度之信號強度可以用多級放大之接收機以減低至任何範圍而增加定向器之靈敏度焉。

按上述各節，線圈天線之定向性，係屬雙向，蓋線圈平面指定發射電臺得信號強度最大以後，若將線圈旋轉 180° 時，仍得最大信號強度。是以若用此雙向定向器，雖可測定發射臺之二方向，而究不能知此二方向之中，孰是孰非。若一垂直天線與一線圈天線合用成一單方向定向器，可以彌此缺憾，其理論可約述如下。當線圈平面旋轉 180° 前後兩位置時，信號強度均屬最大，雖未變更，而線圈內所接收之電流與電壓之相位，適為相反。換言之，旋

轉線圈 180° 有如不變位置而僅易其通外路之接頭如第二六圖所示。

第二六圖

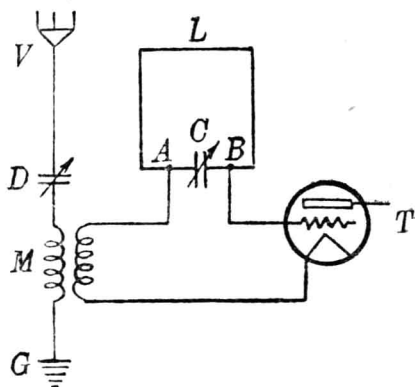


線圈天線旋轉 180°

假如此線圈內所感應之電流與電壓與一垂直天線內所感應之電流與電壓，同時作用於一接收機，於是在其某位置兩電流與電壓相加，則在其又一位置，兩電流與電壓相減，以得最大及零值之信號強度，單方向之接收於以完成。

欲得前敘作用，必須使線圈與天線所得之電壓電流適為合相（或適為反相），或用適當補救辦法，兩者得以直接加減，但線圈內感應電壓最大時，係在電波之磁場變值最巨時，即磁場經過零值之瞬（按電磁感應電壓與磁場變值速度成正比例，見任何基本電學教本）。而垂直天線所感應之電壓與電波電場為合相，故與線圈電壓相差 90° （電波磁場與電場時間相差為 90° ）。如兩者均與外來電波配諧，則二者之相差亦為 90° 。欲得二者直接相加或相減，則此 90° 之相差必須矯正。其法見第二七圖接收機直接通至線圈跨電容器 C 之兩點 A 及 B ，而與垂直天線 VG 經過一磁感交連 M 。圖內 D 為天線配諧電容器， C 為線圈配諧電容器，接收機祇示其第一輸進真空管。如是接收機內由 M 感應而來之電壓與垂直天線電流復相差 90° ，而於線圈電壓將成合相（或適為反相），若將 M 之交連係數變化在一位置時，信號最強，在又一位置時信號寂然。以得

第二七圖



單向定向器之線路

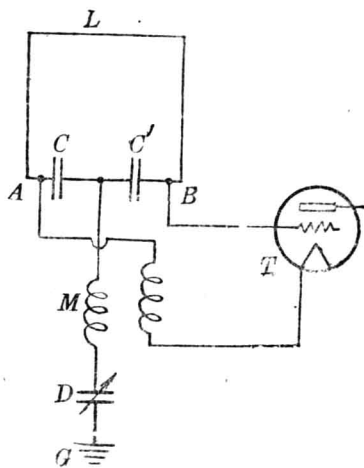
成一圈，垂直天線電流經 LACM DG 及 LBC'MDG 兩並聯線路而入大地。餘與前圖相同，不贅述。以一線圈而兼垂直天線之功用，其簡單不言而喻。

16. 線圈天線之設計 線圈天線圈數大小及方式，須視接收或發射波長而定。其設計理論根據頗有檢討之價值。設令 N 代圈數， A 代線圈面積。 H 代磁場強度， f 代週率， E 代感應電壓之實效值，吾人根據電磁感應原理，極易

完美之單向性。

第二八圖示一簡單化之單向定向器線路。內線圈同時作為垂直天線線圈配諧電容器折裂為二，如 C 及 C' ，裝在同一軸上同時配置。電容器中間共同點經過變壓器 M 及電容器 D 而至大地。線圈天線之電流經 LACC'BL 自

第二八圖



單向定向器之又一線路

證明

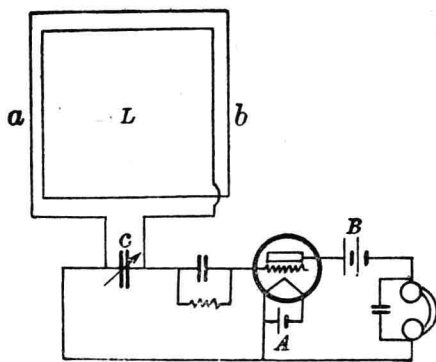
$$E = \sqrt{2} \pi f N A H \dots \dots \dots \text{公式(7)}$$

若此線路配諧至 f 週，此電壓 E 即可引起電流

$$I = \frac{E}{R} = \frac{\sqrt{2} \pi f N A H}{R} \dots \dots \dots \text{公式(8)}$$

內 R 為該線路之實效電阻，因在諧振時，兩項迴阻相消，所餘阻礙電流運行者祇屬電阻也。若以一電容器跨接於線圈天線二頭而即以此電壓加到檢波真空管之柵極如第二九圖所示者，信號強度與之成正比。此電壓

第 二 九 圖



線 圈 天 線 之 設 計

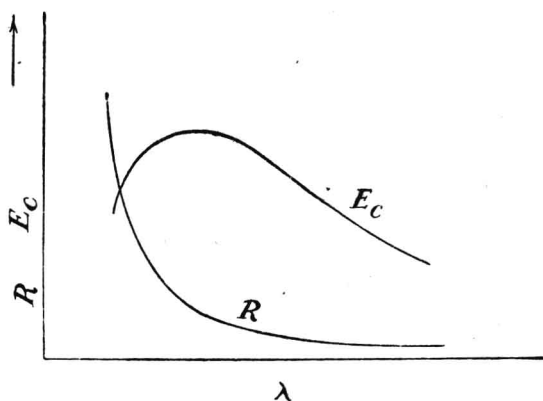
$$E_c = I X_c = \frac{\sqrt{2} \pi f N A H}{R} \times \frac{1}{2 \pi f C} = \frac{1}{\sqrt{2}} \times \frac{N A H}{R} \times \frac{4 \pi^2 V^2 L}{\lambda^2}$$

$$= K \frac{N A H L}{\lambda^2 R} \dots \dots \dots \text{公式(9)}$$

公式內 V 為光之速度， L 為線圈自感量， λ 為諧振波長及 K 為

常數，餘如前。於此公式內可見用一現成線圈天線，以接波長不同之信號，跨電容器電壓亦即信號強度，將因波長減短而增加；但在另一方面言之，線圈之實效電阻反因週率增高即波長減短而增加，信號強度將因之而轉弱，兩者效驗互相抵觸，故波長漸短時，信號強度可經過一最大值。上述關係，最佳之表示，如第三〇圖之曲線。

第 三 〇 圖



線圈天線接收強度與波長之關係

大概此最大值常發現於線圈自然波長二三倍間。所謂線圈之自然波長者，即線圈本體藉其分佈自感量與分佈電容量所得之自然振盪波長也。是以線圈天線之設計，當以使其自然波長等於接收波長之半或三分之一為最佳。

從公式(9)吾人又可知信號強度與線圈面積，圈數及自感量均成正比。但增加線圈面積適足以減少自感量，欲增加自感量，圈

數必多，導線必長，又使實效電阻及分佈電容量增加，信號強度未必能如何增進，此又設計線圈天線者所不可不知者。依一般情形言之，接收短波之天線，面積應大而圈數須少，如三或四圈，以得較小之自感量電容量及實效電阻。接收長波則以圈數可多至二三十圈。

17. 線圈天線之配製 凡一振盪電路，必須有磁感量及電容量，既如上述，戶外戶內之各式天線，兩者均備。惟線圈天線，純係磁感量，雖有細微分佈電容量，究不足用，故為完成振盪電路，使能接收電波起見，線圈天線必另有電容器以配之（此種電容器只須與天線並聯）。電波之長短，既全恃電容量與磁感量二數相乘之積，故如電容器變化價值不巨，則如欲收長波，線圈天線圈數宜多。接短波，圈數宜少。下列數值，俾欲自製此種天線者，知所措置。

如線圈為 2 公尺正方形，每圈相離 $1\frac{1}{4}$ 公分，則線圈天線之製造，有如下述：——

（甲）變量電容器最大電容量數為 0.00065 兆分法拉特，最小電容量數為 0.00004 兆分法拉特。

4 圈	可接	200 至 400 公尺
8 圈	可接	350 至 700 公尺
16 圈	可接	500 至 1000 公尺

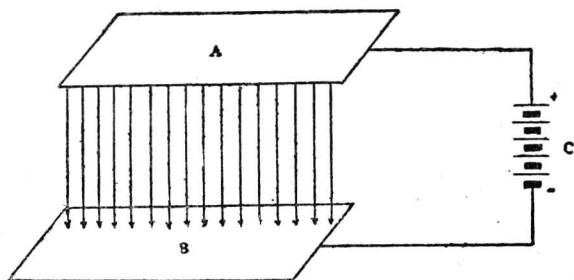
（乙）變量電容器最大電容量數為 0.0014 兆分法拉特，最小數為 0.00004 兆分法拉特。

8 圈	可接	400 至 950 公尺
16 圈	可接	675 至 2300 公尺

讀者須知，現在廣播無線電臺所用之波長為 200 至 550 公尺，即可知所需圈數多少，從事設置矣。收報線圈天線用裸線或包皮線均可。其號頭大小，與上述之戶外所用相仿。

18. 電波強度之測量 電磁波之放射遠出於每秒鐘 3×10^8 公尺之速度，有磁場及電場同時射出，因衰減現象逐漸衰弱。測量其強度，以電場強度為標準。電場之方向與地面關係幾成垂直。測量之單位為每一單位長度之電壓數，如每公尺若干伏脫 (volts per meter)。欲明其理由，可參閱第三一圖。圖內 A 與 B 為二金屬片，相距假定為一公尺，以 8 伏脫之電池 C 充電之如圖。於是此電容

第 三 一 圖



電 波 強 度 測 量 之 解 釋

器二片上電位差為 8 伏脫。但兩片間有電力線之存在為一電場。其電場強度為每公尺 8 伏脫，因在此電場內經過一公尺始有 8 伏脫之電位差也。若兩片移遠至 2 公尺距離，於是其電場強度當然為

$8/2=4$, 即每公尺 4 伏脫, 若移近至 $1/4$ 公尺距離, 其強度將為 $8/1/4 = 32$, 即每公尺 32 伏脫也。但通常無線電波之電場強度, 比較甚弱, 每公尺若干伏脫之單位太大, 則以每公尺千分伏脫 (millivolts per meter), 或每公尺兆分伏脫 (microvolts per meter) 量之。

按照專家估計各種不同滿意程度之收音業務, 所需要之電場強度約如下表:

信號電場強度 (每公尺千分伏脫數)	業務優劣程度
0.1	劣 等
1.0	普 通
10.0	優 等
100.0	超 等
1000.0	特等強度

天電騷擾之電場強度殊無規則, 約自每公尺數兆分伏脫至數百兆分伏脫之間, 故欲於接收機得可以聽錄之信號強度, 平均須在每公尺 5 千分伏脫左右。如是則信號正音, 方不致為雜聲所蔽。設某處接收某臺電音, 其強度為每公尺 5 千分伏脫, 而天線高度為 8 公尺, 於是此電波將感應 $8 \times 5 = 40$ 千分伏脫或 0.04 伏脫之電壓於天線內。設接收員配置諧振, 使兩種迴阻相消而等於零, 天線電阻假定為 16 歐姆, 於是此天線電路內將有 $0.04/16 = 0.0025$ 安培之高週率交流電流通於中矣。

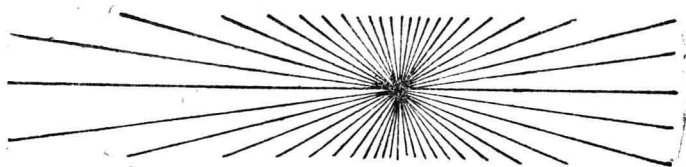
19. 定向天線及其他 此外有定向性特著之拋物線反射器

(parabolic reflector) 天線，係將垂直天線置於拋物線之焦點(focus)而以無數導線垂直置於拋物線上，電波遇導線反射，向單一方向前進，據試驗結果效率甚高，研究發展，已告成功。

定向電臺之原理，甚難明瞭。茲就淺近之意義言之，則無線電波一如光波。我人可利用鏡子以聚光，使其光度增強熱度加高。故我人亦可用反射器以聚波，使成一線而前進。反射器之構造，可用金屬品，因電磁波遇有配置合度之金屬品，即得反射。如第三二圖，為尋常電臺電波之四射，第三三圖發報電臺之電波，羣聚於 10 度之角內，電波強度，因以大增。第三四圖，表示尋常收報臺僅得外來電波之極少部份，第三五圖收報臺裝有反射器，故電波之來得以折迴凝聚於一點，而強度加大。換言之，第三二圖與第三三圖之差，為強度三十六倍。第三四圖與第三五圖之差亦為三十六倍，以三十六自乘，得一千二百九十六倍，即扣除一切損失而計算之，其差當在百倍以上，定向電臺之效能，有無待贅言者矣。

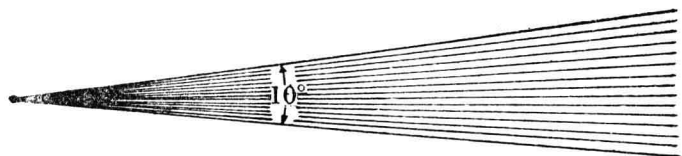
其他如飛機無線電天線，機後曳一線於後，或在機翼張線為之，而即以機身為地網。潛水艇之無線電天線，附於船底鋼板之上，不及細述。即陸地天線為收音起見，有借鐵籬為之，有以導線繞門而藉門之轉移以得定向作用者，有將導線埋入土中數十呎至數百呎之長，與地線絕緣，另裝地線接收結果甚佳者。總之，凡能將導體張佈空間，使能接收電波得感應作用，而自身復為振盪電路之一部份者，皆可作為無線電天線。至於何者宜於接收，何者宜於發射，其導

第三二圖



尋常發報臺電波之四射

第三三圖



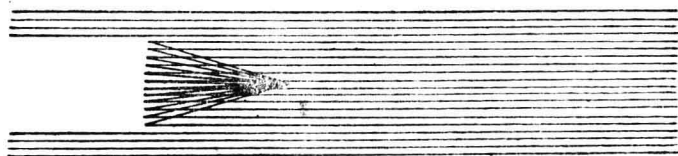
用反射器發報臺電波之外射

第三四圖



尋常收報臺電波之經過情形

第三五圖



用反射器後收報電波之經過情形

體之數量與高度，宜如何方適於任何局部之情形，使接收靈敏，發射遙遠，須視局部之情形，非可以一概論之。關於天線與全體收發機件之關係，以及種種連接方法，容於下列各章中述之。用於短波收發之天線方式及理論，當於第十四章短波及超短波無線電詳論之。

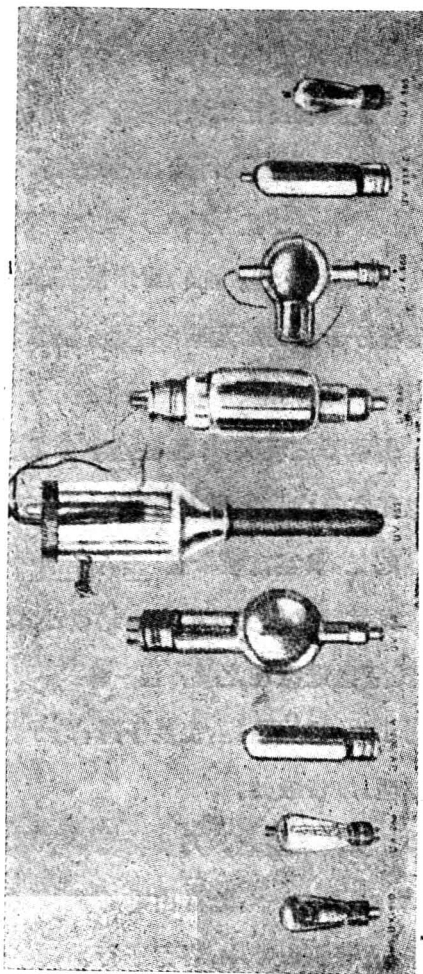
第七章 三極真空管

(Three Electrode Vacuum Tubes)

近數年無線電工程進步之速，應用之遍，可稱全受三極真空管發明之賜。即將來無線電所藉以進化之道，亦舍此末由。三極真空管於無線電工程事業之重要，自可想見。本章所述為三極真空管之作用原理，詳述其所以能作為無線電之檢波器、放大器、及振盪器三大應用。至於其如何應用於實際收發電路中，將於以下各章分述之。

三極真空管之發明程序，可分為三大階段。第一步為美人愛迪生 (T. A. Edison) 氏之發明電子在真空流動現象。第二步為英人佛來銘 (J. A. Fleming) 氏發明二極真空管用為無線電檢波器。第三步為美人德福勒斯特 (Lee de Forest) 氏發明三極真空管，不特成為無線電檢波器，並可用以為放大器及振盪器。為有統系之

第一圖



各種真空管之一斑

介紹，使讀者能循序漸進，本章所述，亦按是序。

1. 熱體散射電子之現象 吾儕在基本物理學中，即知不論何種物質，其分子或原子永久在自由行動之中，謂之分子運動。此種運動之速度，全視該物質之溫度而異。例如在絕對零度（即攝氏 -273° ）物質之分子運動完全停止，溫度愈高，分子運動愈速，直至沸點，速度最高，遂令分子離原物而入空間。水及液體之蒸發，即此現象。此為吾人日常遇見者。而物質之散射電子於空間，亦正如其到沸點後之蒸發分子。例如元素中之鐳、鈾等，在普通溫度中散射電子，而其他元素如鎢、鉑及炭精之絲，於高溫度時，方發射電子於空間。此種發射電子之現象，不論在空氣中或真空中均有，但因電子體微小渺忽在空氣中易遭阻礙，散射不能遠而自如。故為協助電子之自由行動起見，真空自較合宜。美人愛迪生氏首先發現此種電子散射現象，其試驗乃以另外一金屬導體小片加入其真空電燈泡中，然後以電流通過電燈泡之絲，溫度漸高，即發見有電子離絲而達所置之金屬小片，電流斷絕，溫度下降，電子行動亦止，從此無線電真空管之原理，方告肇始。

依電子學說所稱導體者，乃其物質分子中有多數自由電子（free electrons）行動於中。此自由電子，遇較小吸力，即可由一分子移至他分子。在任何溫度中，各電子行動，有一平均速度。溫度愈高，此平均速度亦愈高，而各箇電子之各箇速度，則較此平均速度有高有低。該導體之表面，多數電子不能離越，如水面之有水面拉

力 (surface tension) 之阻止水分子之向外蒸發。但若有電子其速度高出於某速度以外者，得以越此表面而至空間，此速度謂之臨界速度 (critical velocity)，約為每秒鐘 1×10^8 公分。其電子速度小於此者不能越出表面。設表面以上之空間為真空（按真空云者不過言該空間內之空氣分子，經抽氣作用，存留氣體極少，尚非絕對真空。在平常氣壓中，每立方公分內之分子數為 27×10^{18} ，而目前最佳之真空，其壓力為 10^{-8} 公厘之汞，即每立方公分內尚有 1×10^8 之空氣分子存在也），則不久此空間將為電子所瀰漫，但此電子互相衝突擊撞，若干電子被擊復穿過表面，而入導體，且空間電子均荷負電，互相抵拒一部分又被迫入於導體，直至散射之數等於迫還之數。空間電子之數方能固定，若須增減此數量，非變更溫度不可。

2. 立卻特遜氏之定律 關於散射電子數量與溫度之關係有立卻特遜氏定律 (Richardson's Law)。該定律可以下列公式表之：

$$i = a \sqrt{T} e^{-\frac{b}{T}} \dots \dots \dots \text{公式(1)}$$

公式內 i 為物體每平方公分 (S. C.) 內散射之電子，單位為安培。

T 為絕對溫度 (absolute temperature) 等於攝氏溫度加 273° 。

e 為自然對數之基數，等於 2.71828。

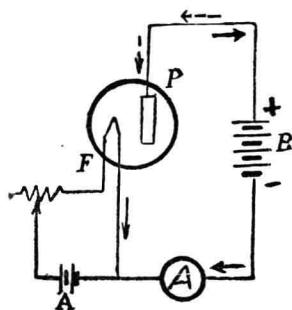
a 及 b 均為常數，因各種導體而異。

通常所用於真空管散射電子之燈絲，為鎢所製。但若將鎢質與

元素鈾(thorium)和合成一合金散射電子之數量在同一溫度下,較純鎢為多。又若塗氧化鋇(barium oxide)、氧化鋇(strontium oxide)、氧化鈣(calcium oxide)於鎢,可得相同結果。在公式上表之,實即 a 及 b 常數之異。是以鈾鎢合金或塗以氧化鋇、氧化鋇之燈絲,可於極低之溫度(即較小之電流)得純鎢燈絲於較高之溫度(即較大之電流)相等之散射。現今真空管燈絲之用乾電池燃燒者,均屬此種性質。

3. 二極真空管 讀者既明凡物燃至極高溫度即能散射電子,同時並見第一章內所論電子學說,乃可以了解二極真空管(two electrode vacuum tube)之理論及作用。二極真空管之製造方法與常用之電燈泡,無甚大異。所不同者,除燈絲(filament)外尚有一金屬於燈絲相絕緣之屏極(plate)。屏極式或如薄片,或如圓筒,置燈絲之旁,共封固於真空玻璃管中。設吾人通燈絲以電流如第二圖,燈絲溫度漸升,始散射電子。因電子奔繞於分子內之速度益加,直

第 二 圖



二極真空管之電子流

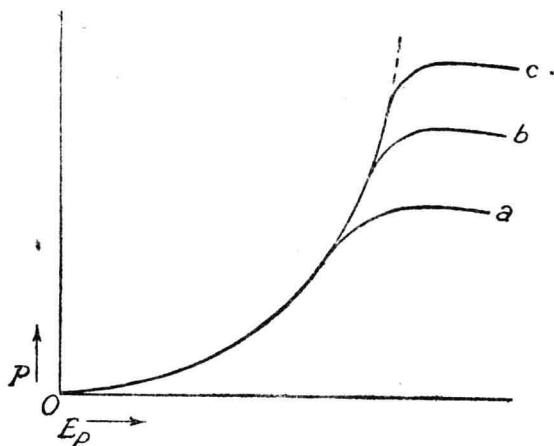
至有分離分子之趨向。因在真空之中，此種活動電子，能進行自如。設再將旁置之屏極荷以正電，如接以電池之正極如圖，此時電子既為負性，當然被此正電荷所吸收，而在真空中流至屏上，可接入電表A以證之。電流表之記錄，即為電子越過真空自燈絲而至屏之證，不然者屏與燈絲既為絕緣，通常直流萬不能通過也。讀者須知電子為負性，其流動方向既如實線箭頭，則於表示普通電流方向，當如虛線箭頭。

吾人若將B電池之負極，接至屏上，電子既為負性，屏又負性，同性相拒，燈絲之電子，即使為高溫度所驅使外射，一遇拒力，即退入本位。是以電子之行動為單向的(uni-directional)。蓋即由燈絲而至屏極，永不能由屏極而至燈絲。此即為整流作用與前章晶體檢波體相似，而二極真空管之能為無線電檢波器及他種應用者，即根據此理。

吾人既明二極真空管之原理，可進而研究屏極電壓數量與燈絲溫度高低二者如何影響及於電子流。設如第二圖將B電池組電壓變值由小至大，將屏之正電壓步步提高，同時令燈絲溫度不變。然後每步用電流表A測電子流之數量結果，吾人可得曲線如第三圖。 E_p 代表屏壓， I_p 代表屏流。設a為燈絲燃燒方至暗紅，c為至白熱，溫度最高，b為中間（燈絲溫度可以變量電阻器司變之），從圖上曲線可見在同一燈絲溫度，屏之正電壓愈高，電子流愈大。但至屏電壓高至虛線時，電子流即停止加增。此電流限制向上謂之

飽和電子流(saturation electron current)。俟電子流至飽和狀態以後，吾人除非增加燈絲溫度，不能再加增屏流。此種飽和狀態，可以

第 三 圖



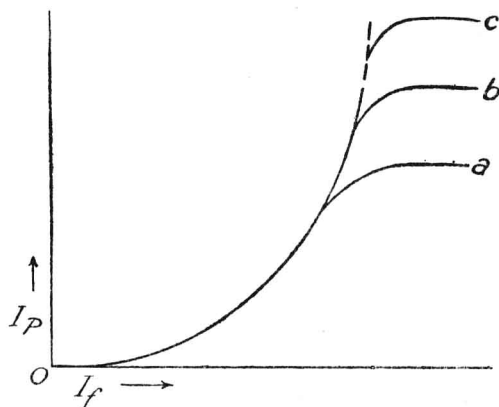
屏電壓變值對於電子流之影響

解釋如下：在一定燈絲溫度時間，燈絲所散射電子之速度(及數目)，亦有定值，即每秒鐘為若干電子，為公式(1)所規定，但若屏之正電壓逐漸遞加，吸引力加增，在燈絲電子定數內，自然被吸愈多，電表記錄之電流，因以加大。至屏之正電壓至極高時，將散射之電子吸盡以後，不能再增，因燈絲在該溫度散射電子不能加多。欲加屏電流，除非增高燈絲溫度不可。

若在同一屏電壓而變化其燈絲溫度，則吾人可得曲線如第四圖。I_f 代表燈絲電流。

每線上屏壓不變，而燈絲溫度以變量電阻器以變之。觀曲線亦有似飽和之一境。此可以空間電荷(space charge)現象解釋之。蓋

第 四 圖



燈絲溫度變值於電子流之影響

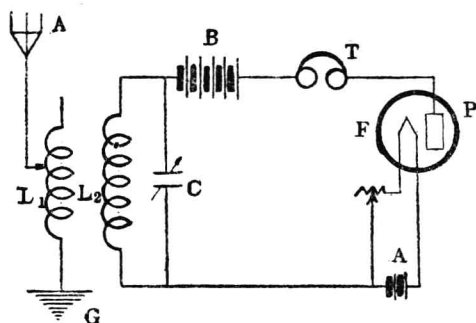
當燈絲溫度既高，散射電子速度之高，有勝於屏正電壓所吸收之力於是有無數電子滯留於屏與燈絲之空間，稱之謂空間電荷。此羣電荷亦即電子，與繼續放射之電子，既屬同性，自有相拒之力。空間電荷漸增，拒力益大。燈絲散射電子速度，增至屏所能吸為止，飽和現象由此。欲加電子流，自非加屏極電壓不可，此理甚顯。

4. 二極真空管之檢波作用 觀第三圖可知交流在二極真空管所發生之影響與晶體檢波體同，蓋二者均能使交流電變為直流電。晶體檢波之作用為物質特性。現在雖以有熱電理論 (thermo-electricity) 解之，然未能滿意。真空管之檢波作用，則惟有電子理論可

以明之。簡言之，若屏電荷為正，正負相吸，電流因生，屏電荷為負，負負相拒，電流自不能生矣。

第五圖表示二極真空管用於無線電為檢波器之線路。A 為天線，G 為地線， L_1 為天線內之磁感量， L_2 為第二路內之磁感量，

第 五 圖



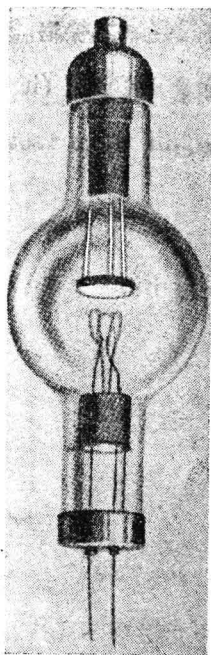
二極真空管之檢波作用

C 為電容器。 L_1 及 L_2 互相交連，C 以備配諧之用。當外界無線電波影響時，第二路內既無感應作用，屏路 P 內雖有電流通過，然係定值定向，聽筒不能發聲。一俟電波傳來，感應作用，使屏與燈絲間發生振盪電壓。而以真空管之檢波作用之存在，凡振盪之半週，使屏為正電荷而燈絲為負電荷者，屏電流即生，其又一半週，使屏為負電荷而燈絲為正電荷者，屏電流即止，此振盪交流之所以變為顫動直流，聽筒 T 因是震動成聲，而無線電通信於是成矣。

5. 真空管內之遊離作用 上述種種，係指真空情形極為完美而言。但若管中留有細微氣體分子，情況大異。在屏與燈絲間之氣

體分子，受電壓之壓力，而有趨於遊離作用之途。即使氣體分子絕然分爲自由電子及荷正電之離子，各向屏及燈絲，背道而馳，如是助進電子之流動。故在真空不佳之管中，因遊離作用之故，於同燈絲溫度及屏電壓之下，屏電流爲高且較無規則，不能循先述之曲線以進。其弊爲氣體離子向燈絲敏速擊撞，發生巨大熱量，燈絲毀損加速有效壽命以減。且管之使用特性不易整齊，難於並聯使用。故近今以來，管中真空極盡注意，務使氣體分子存留者至最低限度而後已。真空高者尋常謂之硬管 (hard tube)，真空低者尋常謂之軟管 (soft tube)。凡真空管之作爲放大，振盪及調幅之用者，必須硬管，而爲檢波作用者，有時利用軟管之氣體游離作用，以增其靈敏度焉。

第 六 圖

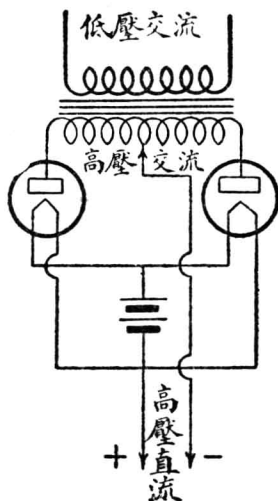


高電壓二極管

6. 二極真空管在無線電界以外之應用 二極真空管雖有檢波作用，但不如三極真空管遠甚，故在無線電界應用不廣。惟因有改變交流爲直流之性質，在電力工業上爲用頗多。其最著者即爲整流器，用以改變商用交流爲直流，以爲各種需用直流之助。此種利用，即在無線電界之需用直流者，類多用之。例如無線電真空管發報機

之屏極需要高壓直流，雖可以直流發電機供給之，但價格高貴，不及應用交流而整向之便利。第七圖示以二極真空管兩管將交流整向為直流之線路。讀者既明其特性，對此線路當能理會。若用單管則為半波整流 (half wave rectification)。今為雙管，則為全波整流 (full wave rectification)。惟所用雙管所得結果，雖係單向，然

第七圖



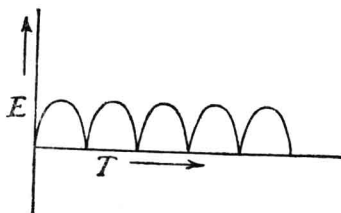
二極真空管之整流作用

仍非絕對之直流電，而為顫動電流，如第八圖所示。以之直接發報機仍不滿意，則可以電容器磁感量並聯以濾去其顫動部分，而得一單向變值比較甚小之直流電。

二極真空管除上述應用外，且能用為自勵發電機 (self-excited

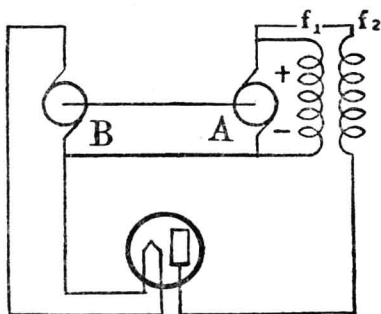
generator) 之電壓自制器 (voltage regulator), 例如第九圖。

第 八 圖



整 流 後 之 電 流

第 九 圖

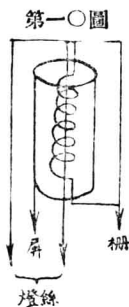


三極真空管之用作發電機之電壓自制器

發電機 A 之原有自勵磁場 f_1 外, 再加以一逆聯磁場 (differential field) f_2 串聯於二極真空管之屏極。發電機除電樞外。有兩互相絕緣之線圈, 即 A 與 B。B 為低壓用以燃燒燈絲。萬一驅動發電機之原動機, 因任何原因而轉動速度超出尋常數值時, 電樞 A 所發電壓, 有軼出範圍之趨向。但同時 B 電壓亦高, 燈絲溫度增進屏電流隨加, 逆流磁場變強, 將使結果磁場因以趨弱, 其影

響於電壓，適足以使之保持原值。反之，如原動機速度忽減，其影響反是，發電機電壓亦可不變。

7. 三極真空管 三極真空管為二極真空管之變相。除原有燈絲及屏極外，又加一柵極 (grid) 為第三極以此得名。其燈絲常為鎢製細絲，位於全管中央。屏為鎳質圓筒體，包圍燈絲，與二極真空管同。柵則為鋼質細絲，盤旋如螺，或往返如柵籬甚密，適置於屏與燈絲之間。全管有四頭外出，二則通於燈絲，一則通屏，又一則通柵如第一〇圖。



屏柵及燈絲之裝置

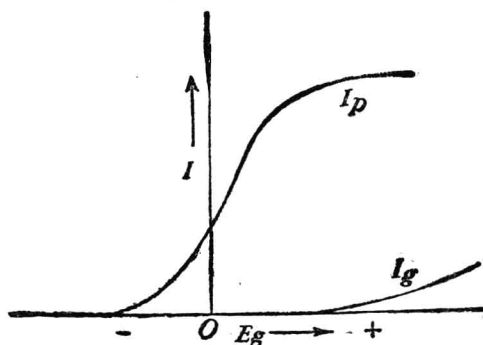
其構造之規則，如三極相互之距離，三極所用之物質，及所塗化學物質，則各製造家不同，又因其應用而殊焉。

茲在未論其作用之前，先略述加入柵極之用意。在上數節中，已知欲變化屏流之方法有二，一為變化燈絲溫度，一為變化屏極上正電壓。但以上二法，變化遲鈍。若用一柵置在二者中間，吾人可以變化柵極電壓，以得屏流之變化，其影響遠勝上述二法。同時屏電壓與燈絲溫度毋庸更變。其最顯著之利益，乃在用極微細之工率，可得控制極強大之屏路工率，因以發生檢波放大及振盪之功用，關於上述三種作用，當於以下各節詳述之。

8. 三極真空管之特性曲線 凡一三極真空管必有其特性曲線 (characteristic curve)。特性曲線者，乃表示該管之柵電壓與屏流互相變化關係之曲線也。不明特性曲線之意義，無由明真空管 (以

後真空管均指三極)之理論與應用,其重要可知。真空管之特性曲線有如第一一圖,橫座標為柵電壓,縱座標為屏電流。此線之燈絲溫度不變。觀此線可知在柵電壓為負值(-)時,屏流極微,至正值(+)時,屏流約依直線規則增進。但至柵電壓正電極高時,又復遲增,入飽和狀態,此其變化情形之大概也。每管因其構造與工率之不同,特性曲線不能相符,而其方式形狀則彷彿相類。

第一一圖

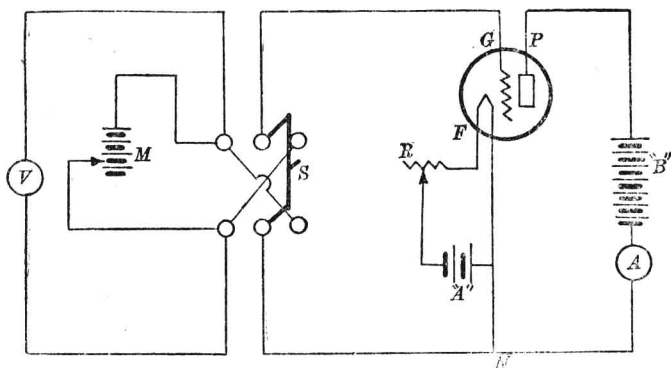


三極真空管之特性曲線

第一二圖表明求取真空管特性曲線之試驗,P 為真空管之屏,G 為柵,F 為燈絲,“B”為使屏極荷正電之電池組,稱為“B”電池組,此類電池大概以乾電池充之,其電壓常為 $22\frac{1}{2}$ 伏脫以上,視各管之特性而異。A 為燃燈絲之電池,稱為“A”電池組,用蓄電池或乾電池 5 至 6 伏脫或 3 伏脫(按“A”及“B”電池組祇用於

接收器，若發報機則工率強大，均用發電機代之)。R 爲變量電阻器，正所以使燈絲受適當之電壓，M 爲一電池組，S 爲雙極反向開關用

第 一 二 圖



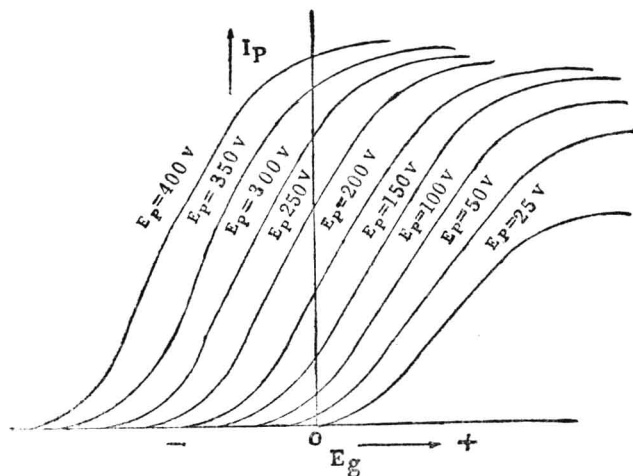
求取真空管特性曲線之線路

以改變柵極電壓之正負。若將箭頭上下移動，可使柵壓自大至小，而 S 可使柵壓變其正負。A 爲千分安培電流表 (milli-ammeter)，因屏流甚小，非平常安培電流表所能測定。量屏電壓可引線在 P 點至 N 點以得之。量柵電壓可引線在 G 點至 N 以得之。求取特性曲線之法，可先將 S 置左位，M 點移至最低點，如是 G 爲極端正電壓，依次步步向上，直至 M 之最高點 G 之電壓等於零爲止。再將 S 置在右位，如法將 M 電壓由零至極端負數。每次試五六步，可得十餘步。每步記錄柵電壓與屏電流之數值，然後按數記於縱橫座標圖上，將各點連以光順之曲線，即可得第一一圖之特性曲線矣。

從此特性曲線可以略爲解釋真空管內電子之作用。從上文可

知凡燈絲燃至高溫度時，散射電子於四周空間，一部分被荷正電之屏極所吸引，又一部分受空間電荷之拒阻，仍返燈絲。今有柵處於中間，假定使柵為正電荷，則此正電荷當然發生一種對於電子吸引力，同時減除空間電荷之拒阻電子之趨向。於是燈絲發射之電子數量中，多數為屏與柵所吸引，而屏電流以增。如柵極正電荷愈增，屏流愈大，直至燈絲所射電子總數量（在固定溫度時）盡為吸收後，乃入於飽和狀態。同時柵既為正電荷，當然亦能吸引電子，然而此類電子為數殊渺。反之，若使柵為負電荷，兩負相拒，空間電荷之阻拒加強，屏正電荷之吸引趨弱，於是燈絲所散射之電子，鮮能達屏上，惟有退入本體之一路。故屏電流微渺，漸至為零。此乃三極真空

第一三圖



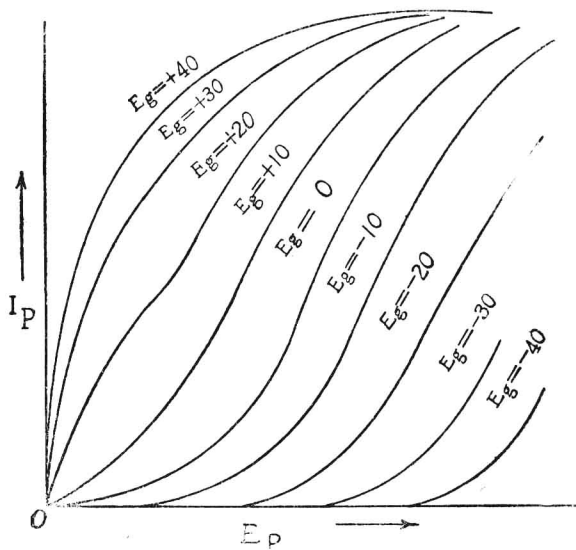
不同屏電壓下之特性曲線

管柵極作用，而亦為特性曲線之所以有此樣式之原因。

屏極電流既隨燈絲溫度及屏極電壓而變化，故測量以求曲線時，須將此二者固定不變，而僅將柵極電壓變更，以觀屏流之變化。此種曲線稱為靜止特性曲線。第一三圖即表示某種真空管在各種屏極電壓時之靜止特性曲線。各曲線形頗相似，且在中部有互相平行之勢。惟屏壓愈高，則曲線愈向左方行動。此種情形，讀者須詳察其故，因於下述作用有重大之關係也。

今若將柵極電壓及燈絲溫度固定不變，而觀屏極電流之變化，則如第一四圖所示。可見欲應用真空管之前，必先將各極電壓確定，

第一四圖



不同柵電壓下之特性曲線

然後知其在某曲線上運用其變化，大概不難推想而定。製造家每於真空管附以說明書，俾用者知所遵循焉。

9. 屏流之公式 真空管內之屏流，自燈絲而至屏極，其值視屏柵二極之電壓柵極之稀密與大小，各極之面積與相互間之距離而異。其值可以下列公式表之：

$$I_p = K(E_p + \mu E_g)^x \dots\dots\dots \text{公式(2)}$$

公式內 I_p = 屏流，單位為安培。

K = 常數，視真空管之構造而異。

E_p = 屏電壓，單位為伏脫，量自屏極至燈絲之負極一端。

E_g = 柵電壓，單位為伏脫，量自柵極至燈絲之負極一端。

μ = 真空管之放大因數。

x = 乘方，約為 2.0。

公式內之屏電壓 E_p 為屏極之實得電壓。若屏路內並無他項負荷，則 E_p 即等於“B”電池組之電壓。否則為“B”電壓減去因負荷而得之電位降之差。如在後述之電阻交連放大器內，屏路內之電阻有時竟消耗“B”電壓之半，柵極電壓之影響於屏流有 μ 倍（放大因數）於屏電壓以得同值之屏流變值，故以 μE_g 表之。公式(2)之應用，可以一實例解釋之。例如最通用作為檢波放大之 UX-201A 真空管，有屏電壓 90 伏脫，若以柵極直接至燈絲負極，於是屏極實效電壓 E 等於 $E_p + \mu E_g = 90 + 8.5 \times 0 = 90$ 伏脫（該管之 $\mu = 8.5$ ），該時之屏流為 6.0 千分安培。若柵路內加以“C”電池組，

而將其負極接至柵極，設其值為 4.5 伏脫，此時屏路“B”池電壓雖未減少，而屏極實效電壓 E ，實已減至 $E_p + \mu E_g = 90 + 8.5 \times (-4.5) = 90 - 39.2 = 51.8$ 伏脫，屏流隨即減至 2.0 千分安倍，自屬當然，因屏極之實效電壓已縮小也。反之若“C”電池組之正極接至柵極，於是公式中之 μE_g 變成正號，與原有屏電壓相加，屏極實效電壓隨之而加。在此情形下，柵極吸引電子，柵流甚大，工率損失，用作放大器時之效率，因以低下也。

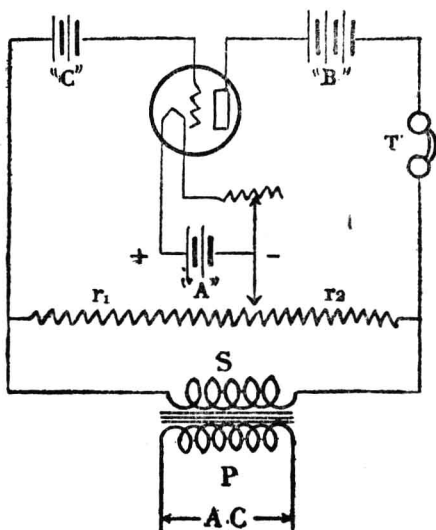
10. 真空管之常數 真空管使用狀況及其性質，又可以數字之。此數字稱為真空管常數 (vacuum tube constants)。常數之重要者凡四。一為放大因數 (amplification factor)，二為內路電阻 (internal resistance) (一譯為直流電阻)，三為微分電阻 (differential resistance) (一譯為交流電阻)，四為互導 (mutual conductance)，請依序而論述於下。

(一) 放大因數 三極真空管之放大因數者，即變換等量之屏極電流，所需要之屏極電壓之變值與柵極電壓之變值之比率 (即 $\frac{\Delta E_p}{\Delta E_g}$)。欲增減屏極電流，可以變化屏極電壓或柵極電壓以得之。但因柵極處於屏極燈絲之間，其控制電子流至屏極之效力較強。例如某真空管三極，得相當溫度或電壓以後，屏極電流為若干，今如須將屏極電流增加 15 千分安倍，可以屏極電壓增加 30 伏脫以得之，或增加柵壓 5 伏脫以得之，餘均固定不變。於是放大因數 $\mu = 30/5 = 6$ ，意即柵極控制屏流之效用，6 倍於屏極直接控制屏

流也。真空管之放大因數，常在 10 左右，然亦高至數十者，全視三極之面積形狀及相互距離而異。

第一五圖為測定真空管之放大因數之線路圖。圖中 A, B, C, 電池組之效用，已如前述。聽筒 T 串聯於屏路，“C”及“B”電池組之二端，而接於電位器。再以從變壓器所得之交流電源，加於電位器。如是接聯後，柵極所得交流電壓適與屏極所得者相反，或稱之為

第一五圖



求取真空管放大因數之線路

180°相角差。今如將電位器之活動接頭，左右移動，待至某點時，聽筒中完全靜寂。蓋此時因以作聲之屏極交流電壓（所生之效用）適為柵極所得之交流電壓（所生之效用）完全抵消。於是此真空

管之放大因數 μ ，可從下列關係計算之。即

$$\mu = \frac{r_2}{r_1} \dots \dots \dots \text{公式 (3)}$$

(二) 內路電阻 欲使屏流繼續不息，須用一“B”電池以維持屏極之正電荷。假使屏極無此“B”電池聯接，則屏極上之正電荷與荷負電之電子，即完全中和，而電流即停。設“B”電池組之電壓愈高，屏極電流愈大，此電壓與電流之比率 $\left(R_{DC} = \frac{E_p}{I_p} \right)$ 極似普通之電阻，故稱真空管之內路電阻。吾人在電子學說已說明自由電子經電壓之壓制行動，增加速率，遇他原子於途，擊撞而後，將運動能力傳至原子，升其溫度而促進其震動。在真空管中，此自由電子所經之行程，為燈絲與屏極間之空氣。電子之行動速率，高出尋常，往往達每秒鐘數千公里之巨。此行動至速之電子，至遇屏極時，擊撞之後，將所有運動能力，完全傳給屏極，增高其溫度，而使之紅熱焉。此能力為“B”電池組所供給，其數量等於

$$W = E_p I_p t = R_{DC} I_p^2 t = \frac{E_p^2 t}{R_{DC}} \dots \dots \dots \text{公式 (4)}$$

上公式內 W 為能力，單位為求爾 (Joule)， I_p 及 E_p 為屏極電流及電壓， R 為內路電阻，均為實用單位。

內路電阻既為屏極電壓與屏流之比例，而屏電流又與柵電壓有關。故內路電阻之數值亦視柵壓而有所變化。從特性曲線而觀，若使屏壓保持不變，當屏流為零時，內路電阻大至無限度。俟屏流漸增，內路電阻值始漸減。至飽和點以後，內路電阻愈減而保持一最小值。是以同管之內路電阻，其值亦非常數。在尋常使用狀況下，

內路電阻常為數萬歐姆之大。

(三) 微分電阻 上述之內路電阻為真空管在某柵極電壓及屏極電壓之直流電阻。但三極真空管在應用時，其屏流為一變值不變向之顫動電流。由一直流與一交流相加之結果。此二電流在真空管中存在原因不同。故交流電阻與直流電阻，亦無聯帶關係。交流電阻即微分電阻，其定義即為保持柵極電壓固定，以極微之屏極電壓變值所得相當之屏極電流之比率。換言之，微分電阻

$$r_p = \frac{\Delta E_p}{\Delta I_p} \dots\dots\dots \text{公式 (5)}$$

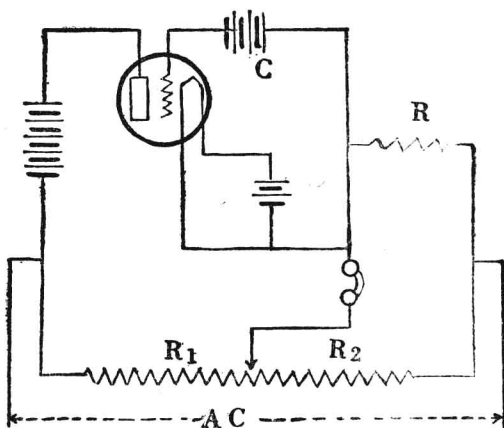
公式內 r_p 為微分電阻， ΔE_p 及 ΔI_p 為極微之屏壓及屏流之變值，均為實用單位。例如某真空管之屏極電壓變值 1 伏脫時，屏極電流變值 1 千分安培時，於是該時微分電阻為 $1/0.001 = 1000$ 歐姆。

今設不變屏壓而變柵壓，使得同量之屏極電流變值， ΔI_p 所需之柵壓變值 ΔE_g ，因有放大性質之存在，即與不變柵壓而直接從屏壓變值 $\mu \Delta E_g$ 相等也。故微分電阻

$$r_p = \mu \frac{\Delta E_g}{\Delta I_p} \dots\dots\dots \text{公式 (6)}$$

公式(6)即由公式(5)推演而得。微分電阻又即為屏壓及屏流曲線上之斜度(slope of curve)之倒數，其變化趨向，可以概見，亦非絕對不變之常數也。如欲測量某真空管之微分電阻，可依第一六圖之線路以得。該圖係應用著名之威斯頓橋原理，以測定某真空管在某屏極及柵極電壓時之微分電阻。R 為已知電阻，變更 R_1 與

第一六圖



測驗真空管微分電阻之線路

B_2 兩電阻之比率，待聽筒內靜寂為止，於是微分電阻

$$r_p = R \frac{R_1}{R_2} \dots \dots \dots \text{公式 (7)}$$

(四) 互導 除上述放大因數，內路電阻及微分電阻三常數外，尚有互導常數，亦為真空管所有。互導乃表示屏極電流變值與柵極電壓之比率。換言之，互導

$$g = \frac{\Delta I_p}{\Delta E_g} \dots \dots \dots \text{公式 (8)}$$

公式因 g 為互導，實用單位為姆歐 (mho)，餘如前述。就前例而言，柵壓增 5 伏脫時，屏流增至 15 千分安培。故柵壓每變值一伏脫時，屏流變值 $15/5=3$ 千分安培，即互導為 0.003 姆歐。觀第一圖可見屏流柵壓曲線之斜度，即等於互導。其值隨曲線點而異，

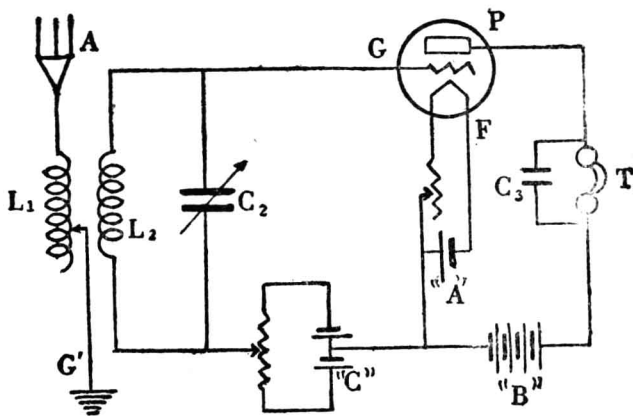
非絕對常數。

由前述各節得放大因數微分電阻及互導之相互關係如下：

$$\mu = r_p \times g \dots \dots \dots \text{公式(9)}$$

11. 三極真空管之檢波作用 三極真空管之檢波作用如上所述，一如結晶體檢波器。其用法如第一七圖。

第一七圖

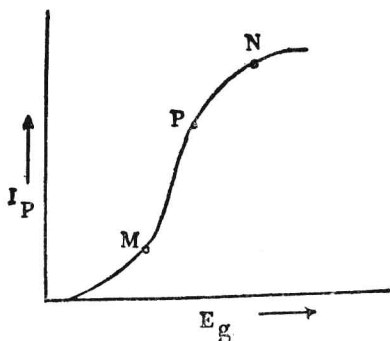


三極真空管之檢波線路

此圖為用三極真空管收受無線電信最簡單之線路，A為天線， L_1 為天線內磁感量， G' 為地線， L_2 及 C_2 為第二路內配諧所用之磁感量與電容量，G為柵極，P為屏，F為燈絲，“A”“B”及“C”為三電池組，“C”所以改易柵之正負及數值，T為聽筒， C_3 為電容器，用以助聽筒收音。如是A電池燃燈絲而發射電子，屏極因B電池負正電荷，柵經 L_2C_2 之一端而至燈絲之一端，如柵壓經分壓器

之配置適在第一八圖特性曲線之M點上，M點稱為曲線之膝，M點以下屏流變化極小，M點以上變化極大。當無外界電波入天線時，

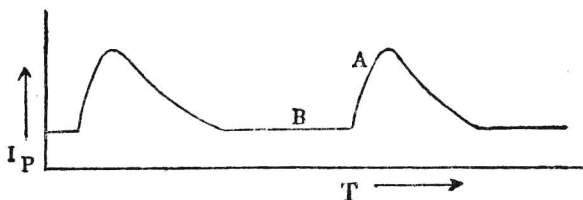
第一八圖



三極管檢波作用之解釋

有 I_p 流動於屏極內，設天線受外界電波感應而至 L_2C_2 ，則柵極電壓因此振盪交流而忽增忽減，每週上下半週增減雖同量，而屏流相當變化則不同。故在聽筒內之電流如第一九圖之結果。

第一九圖



檢波後之屏流

A 檢波作用後之屏電流 B 檢波作用前之屏電流

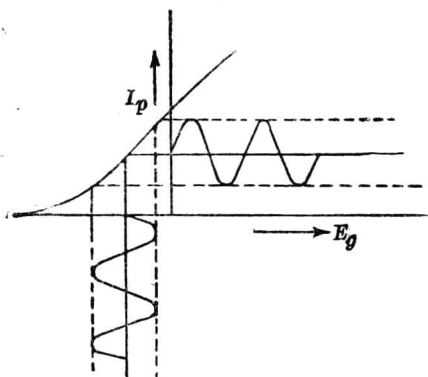
再觀第一八圖，設使柵壓增高至屏流至N點時，即特性曲線上之第二膝點。真空管之能檢波仍如前（惟相反而已），但以當不受

外界電波感應時，屏流為數仍大，故消耗“B”電池電流，甚至屏極燒壞，且亦不宜於聽筒，故不如M點為佳。如遇特性曲線之第一膝點，恰在柵壓等於零時，則“C”電池可以免去。以上所述，僅指示吾人以三極真空管藉不對稱傳導性 (asymmetrical conductivity) 而得以檢察振盪之大意。至於其詳，俟在接收機一章內詳述之。

12. 三極真空管之放大作用 在三極真空管用為檢波器時，振盪電波每週之上下兩半週，並不同時放大，蓋一則放大，一則減少，至於消滅，因之起整流作用，故使柵壓配在特性曲線之膝點上。若用為放大器 (amplifier) 時，則將振盪波上下兩半週均依樣放大，則須配柵電壓使在特性曲線上之P點 (第一八圖)，蓋在該點所在為直線部分，而柵壓稍為增減，使屏流大為損益，且因上下變化之相等，放大之電波形狀如舊，不過較原形加大而已。可於第二〇圖明之。蓋所得為極弱之柵電壓，而輸出為較強之屏電流，所稱放大作用即指此。

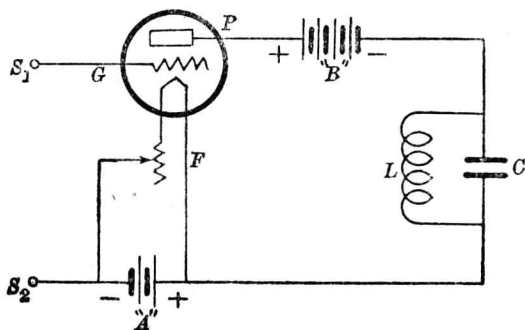
如第二一圖振盪電波自 S_1S_2 而來，真空管之P, F, 及G配置，當柵壓為零時，使使用點 (operating point)，恰在特性曲線之直線部分上，則真空管有放大作用，使如吾人再以L及C配諧，使屏路內振盪電流與外界電波諧振，則LC振盪電路內所流動之電流最大，而跨L或C之兩端電壓亦為最大。設以此電壓引至次一真空管之柵極，則影響自較此管所受更大，而此管所經過謂之一級。欲收遠處或弱力電波，可將電波照式放大連續數級，其方法有成音週率及

第二〇圖



柵壓對於屏流之放大影響

第二一圖



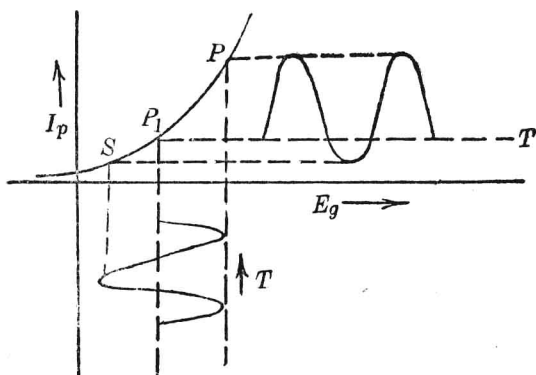
真空管之放大線路

射電週率放大法二種，應用各異，俟下章述之。

失真放大 (distortion)，如吾人配置柵壓(或構造時 P.F.G 之配置大小遠近)，不在特性曲線之 P 點，而在 P_1 上，如第二二圖，則

P_1P 爲直線，而 P_1S 爲曲線，如是 E_g 之變化必與 I_P 之變化不同。而失去真面目，吾人接收無線電話時，某種聲音清晰，某種聲音模糊，即失真放大所致也。

第 二 二 圖



放大器使用點誤移後發生失真放大之情形

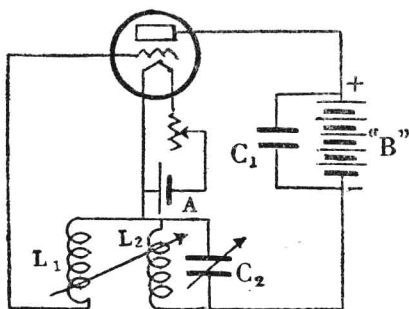
13. 三極真空管之振盪作用 除上述之檢波放大以外，三極真空管若連接於適當電路內，可以發生及維持一等幅交流振盪。是種振盪之週率，可以用簡單方法配置，自每秒一週至每秒數千萬週之週率範圍之內。尋常用作放大與檢波之真空管，雖可用以作振盪器(oscillator)，但爲得較大輸出工率計，非用特製真空管不可。

真空管之振盪原理可用機械動作說明之。譬如蒸汽鎚(steam hammer)之動作，受制於汽門，汽門因一小柄之移動以閉納蒸汽而運用，於是汽鍋之汽壓遂得以施之於汽鎚，此種動作，若配置使汽鎚至行程(stroke)底點時，用槓桿或凸輪(cam)使汽門啓閉得宜，可

以自動循環不已，如振盪之周而復始然。又如鐘表之振動，鐘擺每擺一次，同時及擒縱機（escapement）發動，使彈簧輸一次新鮮動力，其方向適足以維持鐘擺因阻力損失漸次減縮之振幅。在三極真空管振盪狀態之下，柵極有如汽鎚之汽門，鐘表之擒縱機，屏路電壓有如汽鎚之汽鍋汽壓及鐘表彈簧之彈力。而因屏路柵路之交連關係，屏路內之振盪電流引起柵路電壓變化之反應，此柵極電壓又因真空管之控制作用，使屏流隨之變化，此屏流變化，又復因交連關係引起柵壓變化之反響，如是周而復始，振盪之幅漸次增大，直至屏路電源所供給之能力與放射或發熱損失相等為止。

最簡單之真空管振盪線路有如第二三圖。線路中 L_2 及 C_2 之值，配置使其自然週率等於意欲振盪之週率。 L_2 或 C_2 ，均可變量以配置其週率。磁感量 L_1 與 L_2 處於相互交連關係，受到振盪電路 L_2C_2 內細微之能力， L_1 與 L_2 兩線圈之交連關係，必須使柵路內之電壓變化協助，而非阻礙屏路電流之變化，交連寬緊程度以必須至少使柵極所得之電能，經過真空管之放大作用後，足以維持振盪電流而使屏流之振盪繼續而不輟，最初之屏流變值或得之於因線路內任何部分，分佈之電容量變值或由於“A”或“B”電池組電源之成通路。此細微之振盪電流，因感應作用在 L_1 內感應得交流電壓，而加到柵極，復由柵極之控制屏流，影響及之於屏路內之振盪電流。如交連關係方向與寬緊程度相當，最初之振盪經逐週之激盪鼓動而增進。其振幅在始或甚微小，但因轉輾回授作用，在極短時

第 二 三 圖

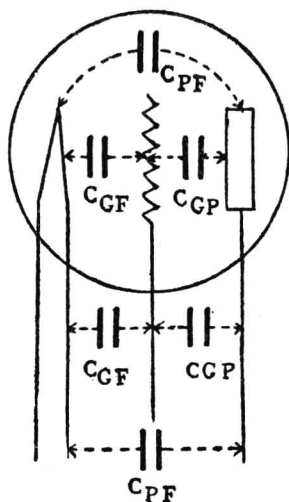


三極真空管簡單振盪之一

間內可達到相當數量，直至發出能力足夠維持該電流數量為止。若振盪電路內電阻甚小，屏路內電流與 L_2C_2 所受電壓相差 90° ，但 L_2C_2 內電流與電壓為合相，因在此振盪情形中此電路可作為無迴阻電路(non-reactive circuit)。此振盪電流經屏柵兩路之交連影響，在柵路 L_1 圈感應得與電流相差 90° 之電壓，如是經過振盪與交連之關係，柵路電壓與屏路電流為合相，而等幅振盪遂得以起造也。

14. 真空管內電容量 吾人在電學大綱中，已知任何兩導體中間隔以絕緣體，或稱通感體，即可成為電容器之兩極，而有電容量之存在。真空管內屏柵燈絲三極，俱為導體，而真空又為極良絕緣體，故真空管內實有電容量多起，稱之為管內電容量(tube internal capacity)。其主要電容量有如第二四圖所示。各個電容量均示以虛線，與兩極相聯。例如 C_{GP} 為柵屏間， C_{GF} 為柵與燈絲間， C_{PF} 為屏與燈絲間之電容量。除管內各極間之電容量以外，尚有聯接各

第二四圖



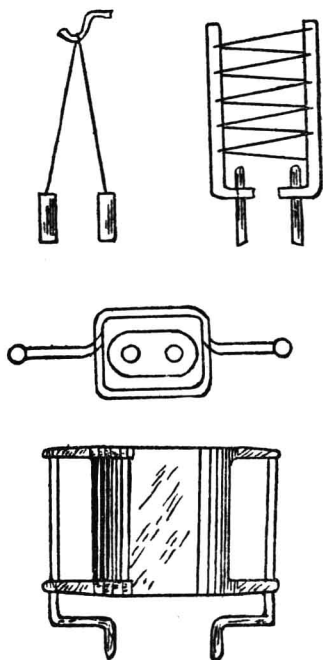
真空管內之電容量

極至管外接頭線間之電容量。例如屏柵間之電容量，不獨盡屬於屏柵兩極之間，亦且包括屏柵二極之接線與接頭，餘亦類是。電容迴阻與週率既成反比，故此等管內細微電容量對於高週率電流，供給低迴阻之支路，使一部電流不遵應行路徑，而致真空管使用控制不能盡如人意。內電容量之最稱弊害者，要推屏柵間之電容量，因能力可以由屏到柵，得一直接回授路徑而引起不易控制之振盪。在某種振盪電路，反利用此電容量以得回授，而促振盪之成立，自當別論。此等內電容量數量並不甚大，例如在一尋常放大管，柵與燈絲間約自 5.0 至 $7.0 \mu\text{mf}$ ，屏與燈絲間約自 5.0 至 $6.5 \mu\text{mf}$ ，屏與柵間

約自 3.0 至 6.0 μf , 或 7.0 至 11.0 μf , 視燈絲有否接大地而定。

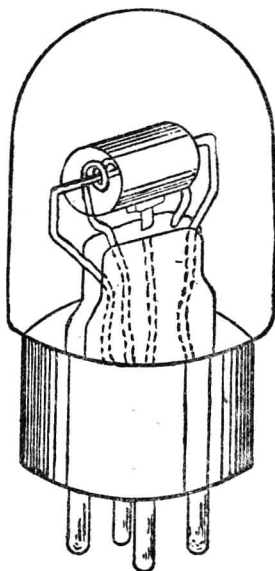
15. 真空管之構造 真空管因有檢波, 放大, 振盪作用之不同, 工率之強弱, 及製造者自出心裁之異點, 故市上及電臺應用者, 種種不同。若將所有各種之構造盡舉而論之, 勢所不能。以下所述, 僅其大概。第二五圖所示, 係通常用作接收, 放大及小工率發射之需。其燈絲爲一倒 V 形之導線, 罩以圓筒籬式之柵極及方筒式之屏極。

第二五圖



真空管內各部構造

第二六圖



真空管之另一方式

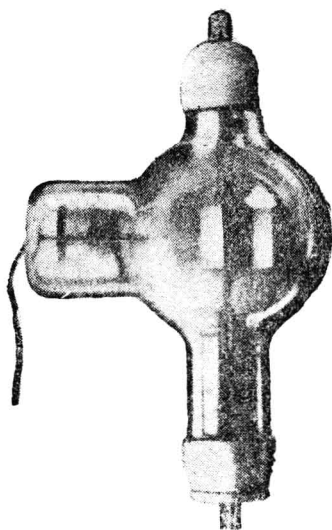
或如第二六圖之水平裝置與垂直者頗相同，似較堅實。三極均導入玻璃片內然後引出管外，成四接頭，以便插入插座(socket)。此等接收所用之管，屏極電壓大都為 20, 40, 60 或 80 伏脫，燈絲電壓自 2 到 4 伏脫。屏極為鎳或鉑片所製，柵極為同質導線鎢製燈絲約需電流 $1/2$ 至 1 安培。若鎢與鈦合金製成，需要電流較小，約自 60 或 200 千分安培，發光暗紅。飽和屏流在接收管約自 10 至 50 千分安培，發射管自 100 至 200 千分安培。

上述各式雖簡單而堅固，然亦有其弊，即各極接頭相離太近，增加靜電電容量，使短波應用發生困難（三極間之靜電電容量於短波之影響見後各章），且足以限制屏電壓之過高。因較強之發射真空管常須極高屏電壓，而是種構造，因屏與燈絲極相去太近，若電壓逾 300 或 400 伏脫者有火花躍過之慮，極不相宜。

上述弊端，若用第二八圖之構造即可避免。屏柵及燈絲三極相互之地位關係，與前無異，但插座間接頭減而為二，引至燈絲，其餘屏柵二極另向玻泡二角引出，如是可減少電容量至最小限度，極合宜於接收短波音訊。工率較大者可用作發射管，屏電壓高逾 1000 伏脫，不致有任何弊害。

若為極大工率發射之用，真空管之構造有時與尋常者，大相懸殊。前述各式管中，因電子衝擊所發生之熱量，除放射而外，無他路可以消散，因是屏電壓不能甚高，而每管之工率，同時受其限制。大工率真空管構造主要之點，即在利用一銅瓶為屏極，而以柵及燈絲

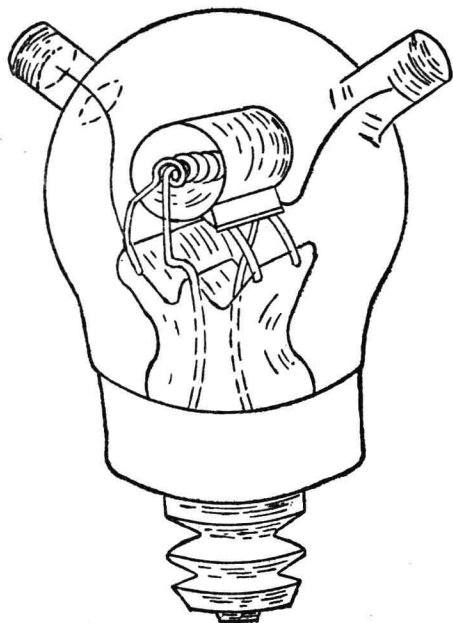
第 二 七 圖



uv-831 號

兩極儲於瓶內而隔離之。銅瓶四週繞以流動之水，藉以散熱。柵與燈絲另由玻璃瓶頂側引出，管內係極佳真空，玻璃管引出細孔，須極端緊密以防漏氣。此種真空管構造大意可參閱第二九圖以得之。銅瓶 A 即為屏極，其開口處支一玻璃罩 B 在 S 點與屏凝封，G 為柵極，狀如懸袋，圍繞 U 字式之燈絲。燈絲之接頭 F，F 經玻璃柱 C 而引出，柵極由另一銅圈 D，附着於玻璃柱支持而由側孔 E 引出。尖頭 N 為抽氣盡後封固。在使用時圓筒式之屏極浸儲於水桶 H，冷水自 K 而進，熱水由 M 而出。真空管之應用此構造原理者，其工率自 5 至 100 基羅瓦特不等。歐美各國，利用此種構造之 10 基羅瓦特之真空管

第二八圖



特種真空管構造之一方式

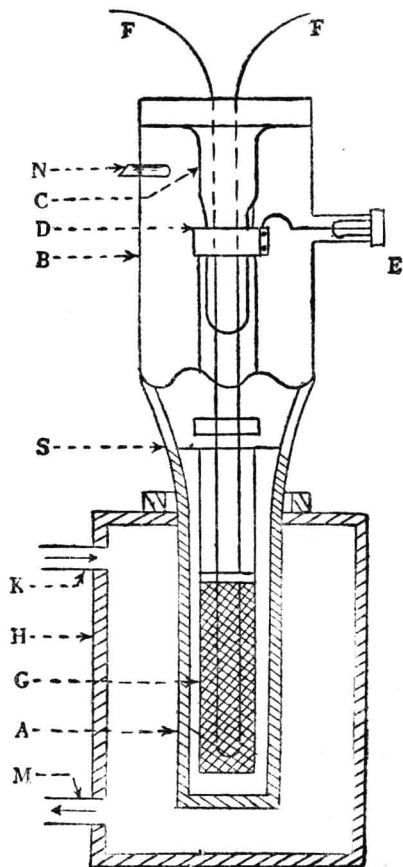
幾成標準。此種真空管屏電壓約為 10,000 伏脫，燈絲電壓自 30 至 40 伏脫，燈絲電流約為 3 安培，屏電流自 5 至 8 安培，其使用概況，大概如此。

真空管製造對於抽氣須異常精細，將所有空氣及他種氣體，在管中空間及各極與玻泡，去除淨盡，俟三極裝就後將玻泡封固，祇留一小孔連至抽氣機與製造尋常白熱燈泡相同。先將泡置熱窰，烘熱至攝氏 500 度，然後起始抽氣，同時維持其溫度不變，如此管內

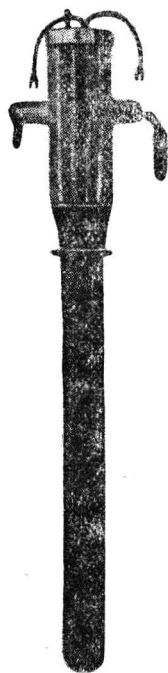
之玻壁氣體，得以驅除，繼將電流通過燈絲，同時加柵屏二極以正電壓以去除燈絲表面氣體，直至管內真空達到一最低限度而止。真空管之用玻泡盛置三極者，尤是以鈦鎢合金製燈絲之玻泡之內面，

第二九圖

第三〇圖



強力振盪真空管之構造



uv-862

最大之發射真空管

100 基羅瓦特

常塗以薄層之鎂 (magnesium)，在製造時用蒸發法，使之黏於玻面，如是使氣體之附於玻面未盡驅除者，不致於應用時，復入空間，常用之接收燈泡所見之銀灰薄膜即此。

16. 電子之二次散射 真空管內電子自燈絲至屏極，其流動速度，至為巨大，常在每秒鐘數千公里之巨。此速度視屏壓而同增。換言之，屏壓愈高，速度愈大。此等速度極高之電子，帶有巨量之動能（此動能工率等於屏壓屏流二者相乘之積數），於衝擊屏極時，不獨將所帶之動能，傳抵屏極，并有使屏極固有電子，受劇烈衝擊脫離屏極而散射至空間之可能。此種受電子衝擊而散射電子之現象，謂之二次散射 (secondary emission)。

二次散射現象在 X-光管中，最為顯著，因 X-光管內之電壓最低至 50,000 伏脫，高至 300,000 伏脫，電子速度高至每秒鐘數萬公里，屏極受震後，除二次散射電子外，并有極短波之 X-光輻射於外。在尋常接收三極管內電壓不高，X-光輻射極微，不能覺察，且因管內除屏極外，並無荷正電體足以吸引電子。故二次散射之電子，僅在屏極四旁略為流連，無他往之可能，最後仍復返入屏極。但若於柵屏之間另加一極而荷以正電壓，如另章所述之四極管，則此二次散射之電子，除返屏極外，尚有入此額外極之一途。且若一次電子 (primary electrons) 達到某臨界速度後，每箇一次電子，可以衝擊一箇以上之二次電子 (secondary electrons)，脫離屏極，若此額外極之正電壓竟比屏極為高，則脫離屏極之二次電子將多

於趨附屏極之一次電子，於是乎屏流之方向，將與尋常狀態時相反矣。關於二次散射電子之影響及於多極管之使用，詳見特式真空管一章。

17. 真空管之復活法 真空管燈絲之以鈦鎢合金製成者，經過長時間應用，或偶受過量電壓，以致散射電子太少因以失其效用者，可以適當方法補救之，使之還復原有散射能力。此種方法，謂之真空管之復活法或復原法(reactivation or restoration)。尋常鈦鎢合金燈絲之作用，約略可如下述。鈦鎢合金之鈦，其方式為氧化鈦混合於鎢質內，當燈絲燃燒時，一部之氧化鈦化成純鈦而漸侵至表面。此純鈦隨電子之散射而蒸發，同時內部鈦質逐漸外侵以補償所失。設燈絲電壓忽逾常度，致溫度增高數百度，內部鈦質不及補償，使表面僅餘純鎢，以致散射力大減，至是真空管全失效用。其復活方法約有二道：第一法若燈絲所受過量電壓，並不過巨，可加以高過核定電壓之 20% 至 50% 於燈絲，凡 30 分鐘，然後試其放射能力。若仍不濟，可再三為之，至 $1/2$ 或 $1\frac{1}{2}$ 小時之久。若仍無結果，惟有試行第二法。第二法則將燈絲加以比核定電壓高出二至三倍之電壓，凡 10 至 20 秒鐘，同時並不加任何電壓於屏或柵上。如是使燈絲內部鈦質加速至表面還復原來狀態。後再加以第一法之電壓約 30 分鐘。每次測驗其散射力，如經過二小時後，仍無進步，則該管可以斷定廢棄不能復活矣。復活手續詳見下節。

18. 真空管之校驗 欲知一真空管良好與否，通常需做下列

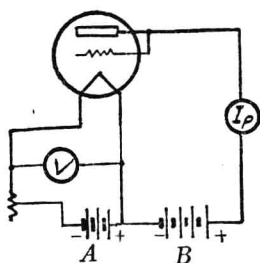
三種試驗：

1. 各極之試驗 試驗各極是否相觸之法，可用一電池及一聽筒與所欲試之二極串聯，如聽筒內有咯咯之聲，即示相通，除絲極外，各極皆不應相通，否則即為觸極，此真空管即已無用。燈絲是否斷路，亦可以此法測之。

2. 散射試驗 有時各極雖不相觸，然其運用情形並不良好，則可作一散射試驗 (emission test)，其法如下：

先將真空管之柵極接至屏極，如第三一圖，然後將絲屏二極各接於規定電壓上，如第一表所示，視其散射電流達廠家所規定之數值否，如不及規定散射電流而係屬塗鈹燈絲，則施行復活法。復活之手續如下：

第三一圖



真空管之散射試驗

(a) 去除屏柵電源。

(b) 加上規定肅清電壓 (flashing voltage) 於此真空管之

燈絲，以驅除燈絲表面之殘餘電子，其時間約為 10 至 20 秒（見表一）。

(c) 再加規定之益壽電壓 (aging voltage) 於燈絲，其時間為 30 分（見第一表）。

(d) 再作散射試驗，察其散射電流得達規定價值與否。不然，可繼續益壽時間。

復活法亦有一定之次數，如真空管所用之時間已超過其規定時數，則真空管之壽命已終。雖加以復活法，亦無能為力矣。

第一表

塗 鈦 燈 絲

真空管號數	散 射 試 驗			復 活 法			
	燈絲 電壓	屏極 電壓	最小散 射電流	肅 清 益 壽			
				燈絲 電壓	時 間	燈絲 電壓	時間
UX-199 CX-399	3.3V.	50V.	6 ma.	12V.	10-15秒	4V.	30分
UX-120 CX-320	3.3V.	50V.	15 ma.	12V.	„	4V.	„
UX-201A CX-301A	5.0V.	50V.	20 ma.	16V.	„	7V.	„
UX-200A CX-3.0A	5.0V.	50V.	14 ma.	16V.	„	7V.	„
UX-240 CX-340	5.0V.	50V.	14 ma.	16V.	„	7V.	„
UX-210 CX-310	6.0V.	100V.	85 ma.	無 須 肅 清		9V.	„
UX-216B CX-316B	6.0V.	125V.	85 ma.	無 須 肅 清		9V.	„

塗氧化物燈絲 (不能施行復活法)

WD-11 WX-12 C -11 CX -12	1.1V.	50V.	6ma.
UX -112A CX -112A	散 射 電 流 不 能 記 錄		
UX -226 CX -326	1.5V.	50V.	35 ma.
UX -227 CX -327	2.5V.	50V.	35ma.
UX -281 CX -381	7.5V.	150V.	200ma.
UX -250 CX -350	7.5V.	250V.	560ma.

3. 互導之測驗，真空管在接收機上之作用，乃以信號電壓傳至柵極，而使屏流起昇降之變動，此變動愈大，則發音愈響，故以柵極電壓每伏脫能引起之屏流變動數代表其互導能力之大小，由此真空管之互導愈大愈佳，各式真空管之互導率見本章末附表。

第 二 表

1. 振盪管

管 式	額 定 輸 出 (瓦)	最 大 耗 屏 (瓦)	最 大 直 流 屏 壓 (伏)	最 大 直 流 屏 流 (千分安)	燈 絲				放 大 因 數	冷 却 法
					原 料	電 壓 (伏)	電 流 (安)	工 率 (瓦)		
210	7 1/2	15	425	60	鈦鎢	7 1/2	1.25	9	8	空氣
203-A	50	100	1,250	175	鈦鎢	10	3.25	32	25	空氣
852	75	100	3,000	100	鈦鎢	10	3.25	32	12	空氣
204-A	250	250	2,500	275	鈦鎢	11	3.85	42	25	空氣
206	1,000	350	15,000	100	純鎢	11	14.75	162	350	空氣
207	20,000	10,000	15,000	2,000	純鎢	22	52	1,144	20	水
862	100,000	100,000	20,000	10,000	純鎢	23	207	6,831	48	水

2. 檢波及放大管

管式	種	用	C	Et	I _r	S	F _b	P _a	F _a	I _p	Ep	gm	r _p	P
UX112-A	G.I. Det.	OF	3.0	0.25	D.C.									
	Amp.					90	4.5			5.2	5,600	1,500	8.5	5,600 30
	Amp.					135	9.0			6.2	5,300	1,600	8.5	8,700 115
UX199	G.L. Det.	TF	3.3	0.06	D.C.	45	+F							
	Amp.					90	4.5			2.5	15,500	425	6.6	15,500 7
UX200-A	Det.	TF	5.0	0.25	D.C.	45	-F			1.5	30, 00	666	20	
UX201-A	G.L. Det.	TF	5.0	0.25	D.C.	45	+F							
	Amp.					90	4.5			2.5	11,000	725	8.0	11,000 15
	Amp.					135	9.0			3.0	10,000	800	8.0	20,000 55
UX222	A.F.A.	TF	3.3	0.132	D.C.	180	1.5	22.5	0.3	2,000,000	175	350	250,000	
	R.F.A.					135	1.5	45	1.5	850,000	350	300		
	R.F.A.					135	1.5	67.5	3.3	650,000	480	230		
UY224	B. Det.	OH	2.5	17.5	A.D.C.	275	5	20.45	0.1				250,000	
	A.F.A.					250	1.0	25	0.5	2,000,000	500	1,000	200,000	
	R.F.A.					180	1.5	75	4.0	400,000	1,050	450		
	R.F.A.					180	3.0	90	4.0	400,000	1,000	400		
	R.F.A.					250	3.0	90	4.0	600,000	1,025	615		
UX226	Amp.	OF	1.5	1.05	A.D.C.	90	5.0			3.8	8,600	955	8.2	9,800 30
	Amp.					135	8.0			6.3	7,200	1,135	8.2	10,500 80
	Amp.					180	12.5			7.4	7,000	1,170	8.2	10,500 180

UY227	G.L.Det.	OH	2.5	1.75	A.D.C.	45	Cath						
	B.Det.					275	3.0		0.2				50,000
	Amp.					90	6.0		2.7	1,000	820	9.0	14,000 30
	Amp.					135	9.0		4.5	9,000	1,000	9.0	13,000 80
	Amp.					180	13.5		5.0	9,000	1,000	9.0	18,700 165
	Amp.					250	21.0		5.2	9,250	975	9.0	34,000 300
UX230	G.L. Det.	OF	2.0	0.06	D.C.	45	+F						
	Amp.					90	4.5		1.8	13,000	700	9.3	15,000 16
UX232	B.Det.	OF	2.0	0.06	D.C.	175	6		67.5	0.2			100,000
	A.F.A.					180	1.0		22.5	0.25			250,000
	R.F.A.					135	3.0		67.5	1.4	1,150,000	505	580
UY235	R.F.A.	OH	2.5	1.75	A.D.C.	180	1.5		75	5.8	350,000	1,100	385
	R.F.A.					250	3.0		90	6.5	350,000	1,050	370
UY236	R.F.A.	OH	6.3	0.3	D.C.	90	1.5		55	1.8	200,000	850	170
	R.F.A.					135	1.5		67.5	3.0	300,000	1,050	315
UY237	G.L.Det.	OH	6.3	0.3	D.C.	45	Cath						
	Amp.					90	6.0		2.6	11,500	780	9.0	17,500 30
	Amp.					135	9.0		4.3	10,000	900	9.0	14,000 80
UY239	R.F.A.	OH	6.3	0.3	D.C.	90	3.0		90	4.4	275,000	960	360
	R.F.A.					135	3.0		90	4.4	540,000	980	530
	R.F.A.					180	3.0		90	4.5	750,000	1,000	750
UX240	Volt A.	TF	5.0	0.25	D.C.	135	1.5		0.2	150,000	200	30	250,000
	Volt A.					180	3.0		0.2	150,000	200	30	250,000

3. 強力放大管

UX112-A	A.F.P.A.	OF	5.0	0.25	A.D.C.	135	9.0	6.2	5,300	1600	8.5	6,700	115	
	A.F.P.A.					180	13.5	7.6	6,000	1700	8.5	10,800	260	
UX120	A.F.P.A.	TF	3.3	0.132	D.C.	90	16.5	3.0	8,000	415	3.3	9,600	45	
	A.F.P.A.					135	22.5	6.5	6,300	525	3.3	6,500	110	
UX171-A	A.F.P.A.	OF	5.0	0.25	A.D.C.	90	16.5	12.0	2,250	1330	3.0	3,200	125	
	A.F.P.A.					135	27.0	17.5	1,960	1520	3.0	3,500	370	
	A.F.P.A.					180	40.5	20.0	1,850	1620	3.0	5,350	700	
UX210	A.F.P.A.	TF	7.5	12.5	A.D.C.	250	18.0	10.0	6,000	1330	8.0	13,000	400	
	A.F.P.A.					350	27.0	16.0	5,150	1550	8.0	11,000	900	
	A.F.P.A.	?				425	35.0	18.0	5,000	1600	8.0	10,200	1600	
UX231	A.F.P.A.	OF	2.0	0.13	D.C.	135	22.5	6.8	4,950	760	3.8	9,000	150	
UY233	A.F.P.A.	OF	2.0	0.26	D.C.	135	13.5	335	14.0	50,000	1500	75	7,000	700
UY238	A.F.P.A.	OH	6.3	0.3	D.C.	135	13.5	135	9.0	102,000	975	100	13,500	525
UX245	A.F.P.A.	OF	2.5	1.5	A.D.C.	180	33.0	27.0	1,900	1850	3.5	3,500	780	
	A.F.P.A.					250	48.5	34.0	1,750	2000	3.5	3,900	1600	
	A.F.P.A.					275	54.5	36.0	1,670	2100	3.5	4,600	2000	
UY247	A.F.P.A.	OF	2.5	1.75	A.D.C.	250	15.0	250	32.0	35,000	2500	90	7,000	2500
UX250	A.F.P.A.	OF	7.5	1.25	A.D.C.	250	41.0	28.0	2,100	1800	3.8	4,300	1000	
	A.F.P.A.					350	59.0	45.0	1,900	2000	3.8	4,100	2400	
	A.F.P.A.					400	66.0	55.0	1,800	2100	3.8	3,670	3400	
	A.F.P.A.					450	80.0	55.0	1,800	2100	3.8	4,350	4600	

- 註：C —— 頁極式樣
- TF —— 鈦鎢燈絲
- OF —— 氧化物塗燈絲
- OH —— 氧化物燃熱體
- E_f —— 燈絲電壓
- I_f —— 燈絲電流
- S —— 燈絲電流性質
- D.C. —— 直流
- A.D.C. —— 交流或直流
- E_b —— 屏極電源電壓
- E_c —— 頁柵壓以燈絲頁端或頁極為標準
- E_s —— 簾柵電壓
- I_p —— 屏流(千分安)
- r_p —— 屏極交流電阻
- G —— 互導(兆分姆歐)
- μ —— 放大因數
- R —— 屏極負荷或交連電阻(歐姆)
- P —— 最大不失直輸出工率(千分瓦特)
- Amp. —— 放大器
- A.F.A. —— 成音週率放大器
- R.F.A. —— 射電週率放大器
- DET. —— 尋常檢波器
- G.L.Det. —— 柵漏檢波器
- B.Det. —— 屏極檢波器
- Volt. A. —— 電壓放大器

第八章 真空管放大器

(Vacuum Tube Amplifiers)

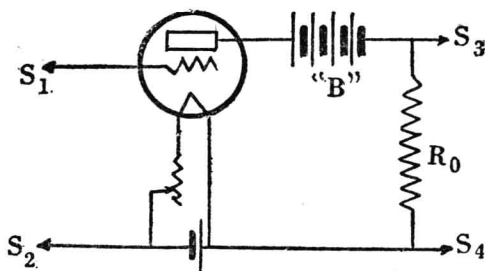
前章已述及三極真空管之屏電流，屏電壓，及柵電壓相互間之關係；並真空管固有之放大因數。本章繼述放大作用之原理，電壓放大及電工率放大之異同，最後並詳論各式成音週率及射電週率放大器之原理及線路。

在解釋放大因數時，吾人已明瞭用柵電壓以控制屏電流，實較用屏電壓以控制為有效，其倍數即為放大因數。能力不生不滅，此工率之放大必取之有自。其所自乃為與屏極串聯之“B”組電池，而非無中生有之真正放大作用，彰彰明甚，此則為欲明放大器之重要前提也。

1 三極真空管之活動特性曲線 前章所述之特性曲線，為靜止特性曲線；即在不變屏電壓情形之下，以視屏電流之如何恃柵電壓而變化。因屏極與燈絲極之間，祇有“B”組電池串聯於內，故屏

電壓永久等於“B”組電池之電壓也。但在真空管應用作為放大器時，情形並不若是簡單。例如第一圖為三極真空管用作放大器之線

第 一 圖



放大真空管之輸入路與出路

路， S_1S_2 為振盪來路。跨真空管之柵極與燈絲，謂之輸入路(input circuit)。 S_3S_4 為屏電流所往。跨真空管之屏極與燈絲，謂之輸出路(output circuit)。假定 S_3 及 S_4 之間，接一電阻 R_0 串聯如圖，設 E_B 為“B”組電池之電壓， E_g 為柵極與燈絲間之電位差， I_P 為屏路內之電流。當 I_P 流經電阻 R_0 時，必引起一電壓之降落，等於該電流與電阻兩者相乘之積 $I_P R_0$ 。於是結果之屏電壓，將小於“B”組電池之電壓 E_B ，其差即等於 $I_P R_0$ 。換言之，

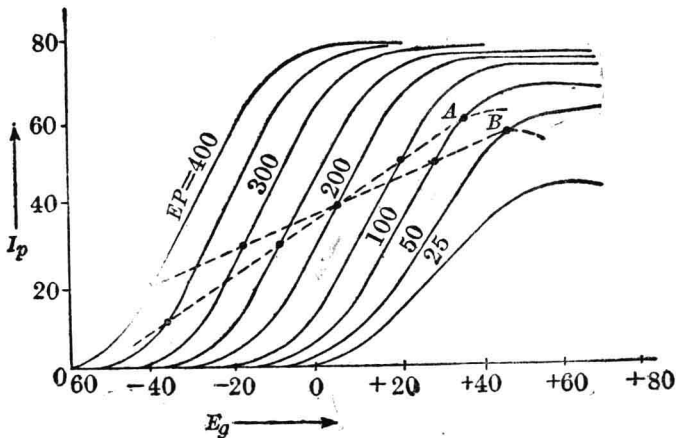
$$E_R = I_P R_0$$

$$\therefore E_P = E_B - E_R = E_B - I_P R_0 \dots\dots\dots \text{公式(1)}$$

公式內 E_P 為屏極電壓， E_R 為跨電阻 R_0 間之電壓降落。設將柵極電壓變化 dE_g ，使發生屏電流增加 dI_P ，於是此電阻 R_0 間之電壓降落亦增 $R_0 dI_P$ 。反之如屏電流減少 dI_P ，電阻 R_0 間

之電壓降落，亦減 $R_0 dI_p$ 。可見真空管之使用點，此時並不依靜止特性曲線，此使用點同時移位，自一靜止曲線，而至另一靜止曲線，如第二圖所示。A 曲線為 $R_0 = 5000$ 歐姆；B 曲線為 $R_0 = 10000$ 歐姆。此二線謂之三極真空管之活動特性曲線。真空管之使

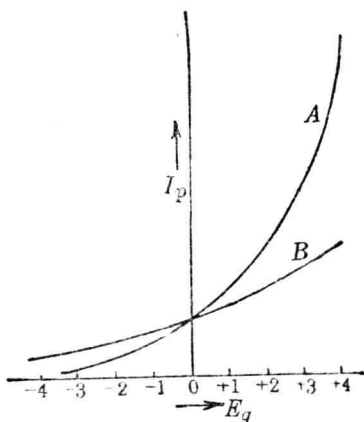
第 二 圖



真空管之活動特性曲線

用如放大器，其情形適依之而變化也。又如第三圖所示之靜止與活動特性觀之，曲線 A 為某真空管之靜止曲線，但若於屏路內加入電阻 R_0 ，約等於真空管之交流電阻 r_p ，并同時增加“B”電池組電壓，使屏流於零伏脫柵壓之下，得相等價值。則如柵壓自 -4 伏脫至 0 伏脫時，曲線 B 幾成一直線，是以若將柵極電壓配置在 -2 伏脫上，則該真空管之放大作用，庶能滿意。但吾人驟視之，曲線 B 在柵壓 0 伏脫以上至 $+2$ 或 3 伏脫，亦尙稱直線，若柵壓配

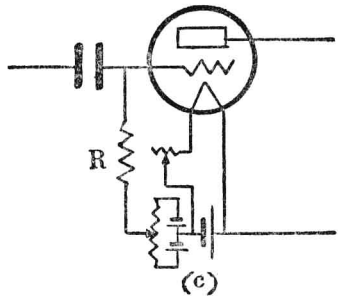
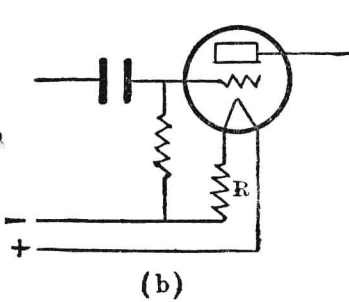
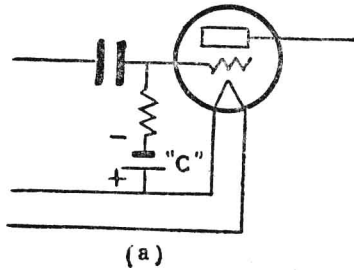
第三圖



放大真空管之靜止與活動特性曲線

置在 0 伏脫或竟 +2 伏脫，未嘗不可。而不知柵極為負壓時，柵流甚微，或可稱零。柵壓趨正，柵流因生。放大效能，為之大損。故凡真空管之用作放大者，其柵極對於燈絲極之負端，常配置於較低之電壓。在接收機中，約為 2 至 4 伏脫之值。其接法約如第四圖(a)(b)及(c)所示。在(a)應用一“C”電池組與一柵漏電阻串聯，而使電池負極接至柵極。在(b)則將燈絲變阻器R接至燈絲負端，復引柵極經柵漏電阻而達“A”電池組之負極，如是柵極電壓比燈絲負端電位更低，其值等於燈絲電阻器內之電位降。在(c)則於燈絲負極接一電位器，使柵極所受負電位可隨意配置。三者均通用於各式放大器。

第 四 圖



放大真空管配置負柵壓之方法

2. 電阻負荷於屏極電流之影響 據前所述，柵極所受交流電

壓 E_g ，在屏極上可發生 $\frac{\mu E_g}{r_p}$ 之屏電流。同時屏電壓 E_p 在屏極上又可發生 $\frac{E_p}{r_p}$ 之屏電流。內 μ 為放大因數， r_p 為屏極微分電阻。是以屏極所受柵屏兩極電壓之合併效驗，所得屏流為：

$$I_p = \frac{\mu E_g}{r_p} + \frac{E_p}{r_p} \dots \dots \dots \text{公式(2)}$$

上公式僅指屏電流之變值，不超出屏流柵壓曲線之直線部分而言。從前節已知屏路內之電阻足以減低屏極電壓，是以此跨電阻之電壓降落，其效驗適與柵極電壓相反。換言之，若柵極所受電壓使

其趨於更高之正電位，屏流因增，同時跨電阻 R_0 之電壓降落亦大，而屏電壓因之減低。反之，若柵極所受電壓，使其趨於更高之負電位，屏流因減，同時跨電阻 R_0 之電壓降落亦減，而屏電壓因之增高。是以若將 $I_p R_0$ 代入上列公式，得一負號如下：

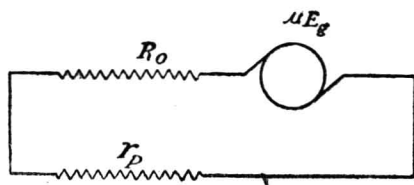
$$I_p = \frac{\mu E_g}{r_p} - \frac{I_p R_0}{r_p}$$

移項，吾人得

$$I_p = \frac{\mu E_g}{r_p + R_0} \dots \dots \dots \text{公式(3)}$$

公式(3)意義殊為重要。若易以文字表之，當如下述：三極真空管內之屏極交流於一定值之柵極交流電壓上，其數值等於一尋常簡單交流電路內之電流。其電壓等於 μ 倍之柵電壓。其電阻為屏極微分電阻 r_p 與外加電阻 R_0 兩電阻串聯。若以圖表之，可如第五圖。 μE_g 為交流電壓， R_0 為外加電阻， r_p 為屏極微分電

第 五 圖



放大真空管之相當電路

阻。至於各項電流電壓之相角之關係，若屏路內包含純粹電阻，極為簡單。因電子之微渺易動，屏路內電壓 μE_g 與原來柵極電壓 E_g

成爲合相。蓋真空管內電子流動之速，幾可稱無時間性之存在。電路內既爲純粹電阻， I_p 與 μE_g 當然亦爲合相。但屏極所得電壓既爲“B”電池組電壓與跨電阻 R_0 電壓降落之差，故與屏流相差爲 180° ，所以屏極電壓與柵極電壓相差亦爲 180° 也。

3. 總阻負荷於屏極電流之影響 前節所述屏極負荷爲一純粹電阻。但若負荷爲一自感量 L 及電阻 R_0 合組成之總阻 Z ，如收音機或聽筒。其影響於屏流一切情形，亦可以按前理推演而得。設屏極微分電阻仍爲 r_p ，於是屏路總阻 $Z = \sqrt{(r_p + R_0)^2 + (2\pi fL)^2}$ ，若以之去除 μE_g ，則得 $I_p = \frac{\mu E_g}{\sqrt{(r_p + R_0)^2 + (2\pi fL)^2}}$ 於此可見屏路內之總阻，與週率至有關係，而屏流卻滯後於電壓，凡 θ° ，其 $\tan\theta = \frac{2\pi fL}{r_p + R_0}$ 。若屏路內再包含一電容量 C 串聯於內，依交流電路規則，其理亦復相仿。

4. 電壓放大 依公式(3)若柵極所受電壓爲依正弦曲線之交流電壓 $e_g = E_{gm} \sin \omega t$ 。加上於“C”電池組之定值電壓，於是屏流除原有定值直流以外，又加上一交流 $I_p = \frac{\mu E_g}{(r_p + R_0)}$ 在此情形之下，跨外路電阻 R_0 之電壓降落，將爲

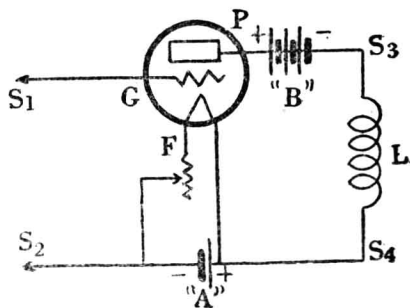
$$R_0 I_p = \left(\frac{R_0}{r_p + R_0} \right) \mu E_g \dots\dots\dots \text{公式(4)}$$

此電壓降落在真空管放大器線路中，除最後一級以使用聽筒或收音器時，自以愈大愈佳。即所稱電壓放大(voltage amplification)。

觀上公式可知下列各點：（一）若 R_0 等於零，即前章所述“B”組電池，直接串聯至屏極，則柵極電壓，雖有變化，公式右項亦等於零。屏極電壓絕對不致有絲毫變化。斯時之活動特性曲線，與靜止特性曲線，適相符合。（二）當 R_0 等於無限制之大數時，於是公式右項中 $\frac{R_0}{r_p + R_0}$ 等於整個。此電阻 R_0 間之交流電壓適等 μE_g 。即等於柵極電壓之 μ 倍。而在實際上無限制大之電阻 R_0 為不可能，然可使之極大以得電壓放大倍數之多。（三）欲得電壓倍數愈大，必須得一極大電阻 R_0 串聯於屏路內。其理想最大倍數為 μ 。（四）但以極高電阻串聯於內，以得電壓放大，須用較高電壓之電池組串聯於屏路。然耗費過甚，且多不便。

欲補救用大電阻需要高電壓之弊，可以磁感迴阻 X_L 以代之。如第六圖可得相同之效果。實際則欲使此磁感迴阻所合成之總阻

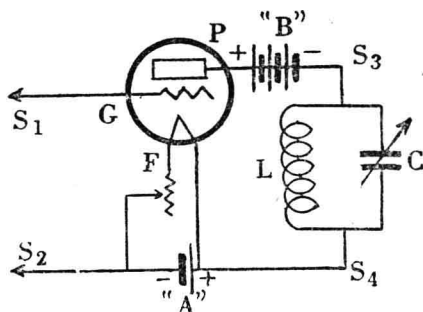
第 六 圖



磁感量負荷之放大屏路

等於無限制大，祇須接一電容器與一磁感圈並聯如第七圖。並配置 C 及 L 之數值，使其自然週率適等於柵極所受電壓之週率，成

第七圖



總阻負荷之放大屏路

前述之並聯諧振。如是則屏電路並無交流行動，而在 LC 電路內卻有柵電壓 μ 倍之電壓發生於其間。依上理論，可見若將電容器 C 變值自零至最大值，在 LC 本身之自然週率等於輸入電壓之週率，電壓放大為最大。過此以下電壓放大，又將減小矣。

5. 電工率放大 當真空管用作放大器，其主旨在控制聽筒或其他器械時，則其目的不在求最大電壓放大，而在求最大之電工率放大 (power amplification)，然後可使聽筒發音洪亮。設此器為一純粹電阻 R_0 ，於是消耗於內之工率：

$$P = I_p^2 R_0 \dots \dots \dots \text{公式(5)}$$

公式內 P 為工率，單位為瓦特， I_p 為通過電阻 R_0 之有效交流，均為實用單位。

但
$$I_p = \frac{\mu E_g}{r_p + R_0}$$
 見公式(3)

$$\therefore P = \left(\frac{\mu E_g}{r_p + R_0} \right)^2 R_0 \dots\dots\dots \text{公式(6)}$$

當 $r_p = R_0$ ，換言之，即外路電阻適等於放大真空管之微分電阻時，則在電阻 R_0 內消耗之工率為最大。可以微分數學或圖表以解之。是以欲得最大電工率放大，外路電阻與真空管之微分電阻，宜配置適當，以得最高效率及滿意之使用。

當 $r_p = R_0$ ，從公式(6)可見任何真空管最大之輸出電工率將為

$$P_M = \frac{\mu^2 E_g^2}{4r_p} \dots\dots\dots \text{公式(6A)}$$

若以柵壓之最大值 E_{gm} 表之，公式(6A)將如

$$P_m = \frac{\mu^2 E_{gm}^2}{8r_p} \dots\dots\dots \text{公式(6B)}$$

6. 輸入電路之總阻 柵極與燈絲間之內路總阻 (input impedance)，影響於輸入電流與電壓之相角，在連續放大器中，關係至屬重要，從以前各節，吾人已知若將柵極電壓，加以穩值直流電壓，其值為負時，柵極既不能吸引電子，柵流不通，其電阻可稱為等於無限大。但若加以交流電壓，因管內柵極燈絲及屏柵組成之二具電容器之存在，柵屏間亦有交流通行。此電流與燈絲散射之電子，不相關涉，故不論燈絲燃燒與否，均可存在。此電流為量雖

小，而在放大線路內，終究為耗蝕電能所在，自以保持至最小限度以增加放大之效率也。此交流之值 I_{g-p} 等於電容器 C_{g-p} 之充電電流，即等於屏柵間電壓之差，與 C_{g-p} 之電容迴阻之比率。換言之

$$I_{g-p} = \frac{E_g - E_p}{\frac{1}{2\pi f C_{g-p}}} = 2\pi f C_{g-p} (E_g - E_p)$$

但 $E_p = \left(\frac{R_0}{r_p + R_0} \right) \mu E_g$ 見公式(4)

代入可得 $I_{g-p} = 2\pi f C_{g-p} E_g \left(1 - \frac{\mu R_0}{r_p + R_0} \right)$ 公式(7)

因柵屏兩極交流電勢之相位差為 180° ，即彼此消長相反，故公式內負號常為正也。在計算時，可按下公式

$$I_{g-p} = 2\pi f C_{g-p} E_g \left(1 + \frac{\mu R_0}{r_p + R_0} \right)$$

同理柵極與燈絲間之交流

$$I_{g-f} = 2\pi f C_{g-f} E_g \text{ 公式(8)}$$

設 I_g 代該兩電容器之總充電電流，於是

$$I_g = 2\pi f C_g E_g$$

同時， $I_g = I_{g-f} + I_{g-p}$

$$= 2\pi f C_{g-f} E_g + 2\pi f C_{g-p} E_g \left(1 + \frac{\mu R_0}{r_p + R_0} \right)$$

可見 $C_g = C_{g-t} + C_{g-p} \left(1 + \frac{\mu R_0}{r_p + R_0} \right) \dots \dots \dots$ 公式(8A)

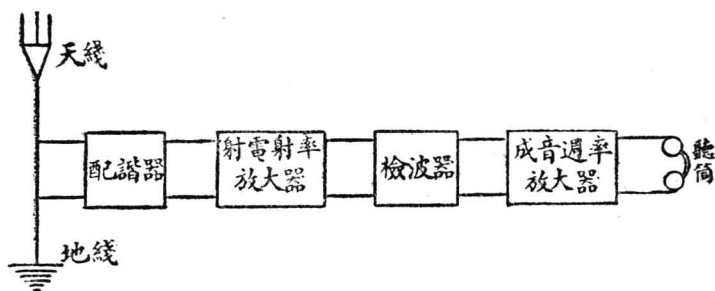
換言之，柵路於使用時之實效電容量，比該路對於屏及燈絲因形式方位而得之總電容量為大。且此值並非十分固定，須視該管使用情形而定。

7. 連續放大 三極真空管之有放大作用，已經詳論在前。簡言之，每一管之柵極，受到極微細電壓變化，於屏路中可引起巨大之電流變化。故吾人即可因此推想將第一管屏流之變化，輸進第二管之柵極，第二管則輸進第三管。如此繼續推演，經一管即得一次放大作用。經過數管以後，所得之電音，響亮宏大，遠勝於原有之電波。如此經過每一管之放大，稱之為一級放大 (one stage of amplification)，一管以上類推。大概真空管之應用為放大電音者，所須“B”電池組電壓，較用為檢波器者為高。至於此“B”電池組電壓，究須多高，則視真空管之種類及該管在本線路內之位置。例如真空管用作接收機內放大器者，“B”電池組電壓或為 45 伏脫者，或者 90 伏脫，或更高者。凡無線電振盪經前座真空管之屏路，復入後座真空管之柵路，如是轉輾以得放大作用者，謂之連續放大 (cascade amplification)，或多級放大 (multi-stage amplification)，常用於真空管接收機及他種放大線路中。

8. 連續放大方法之種類 無線電用真空管放大電音之方法，共分兩種。其一曰成音週率放大法 (audio frequency amplification)，此種放大法應用在電波檢出以後；其二曰射電週率放大法

(radio frequency amplification), 此種放大法應用在電波未檢出以前。二種方法之原理, 根本相同, 所差異者, 乃在所放大電波週率高低之不同, 因之其結構線路亦稍有出入。第八圖表示兩種放大方法應用之位置, 與全接收機各部之關係。觀此則上述兩種放大方法地位之不同, 益可顯然。

第 八 圖



兩種放大階級在全接收機之地位

吾人在前章已明在電波未到檢波器之前, 其週率甚高, 爲吾人耳鼓所不能覺察, 故在檢波以前之放大法, 卽稱之爲射電 (卽無線電之謂) 週率放大法。電波一經檢波器以後, 不特電波由交流電而轉爲直向之顫動電流, 且此種顫動週率較小, 爲人耳所能聞, 故在檢波以後之放大法, 稱爲成音週率放大法。意卽所放大之電波能成音節, 而人耳所能聽聞之謂也。在接收機應用放大法, 不特主在放大收得電音, 且欲將極遠極微之電音, 使之成聲。成音週率放大法之應用, 限制於收得電波比較高強, 使經過檢波真

空管後，在聽筒中略能成聲者。設使收來電波，本極微細，經過幾級成音週率之放大仍無效果者，則射電週率放大法尚矣。因檢波管檢波作用之效率，與波幅之二乘方成正比例，故對於微弱之振盪，當然以在未令檢波以前，先行射電週率放大為佳。例如將一弱波於檢波前，先行射電週率放大 20 倍，則結果之成音響度，將比先檢波再成音週率放大高 400 倍，其效可見。是以欲得遠臺或較近力弱之電臺，在檢波以前必先經過一級或一級以上之射電週率放大。至於射電週率與成音週率放大兩法之究以何者為佳，則全視局部情形而定。惟以射電週率放大法，柵極與屏極間發生電容量之作用，影響於放大程度甚大，且不易配置，故不若成音週率放大法之應用普遍。然成音週率放大法雖較易控制，但因其同時將線路內之局部雜聲與天電騷擾，加以放大，其最多級數限制在二或三級，仍未可稱為完全無缺之方法也。

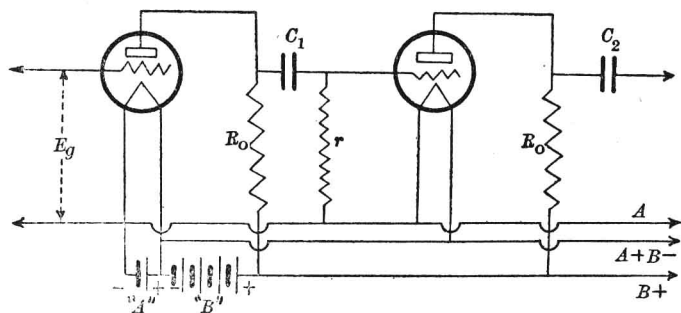
9. 成音週率放大器之種類 上文曾論放大電波，即將屏路輸出之電工率，轉而輸進次管之柵路。但在實際上，不能將第一管之屏極，直接連至第二管之柵極。其故蓋以屏路內之直流電壓太高，且柵路之作用，乃在電壓之變值，而不利於多量電流之運行。故在第一管屏路之後，第二管柵路之前，必需有一器件使屏路之電流變化，轉為柵路之電壓變化。此種器件，即所以使第一管與第二管成交連之關係，此器凡有多種，而放大器之別類，即以此交連器件異同而定。成音週率放大器共分下列三種：

- (一) 電阻交連(resistance coupling)
- (二) 磁感量交連(inductance coupling)
或稱總阻交連(impedance coupling)
- (三) 變壓器交連(transformer coupling)

至於上述三種成音週率放大法之詳細線路及應用方法，請依次論列於下：

10. 電阻交連之成音週率放大器 此種成音週率放大方法，可以第九圖表明之。圖為二級成音週率之放大器，其作用全恃前管屏電流之變化，發生電阻 R_0 兩端之變值電壓，此電壓加於後管之柵極間，依次再及於更後一管。電容器 C_1 及 C_2 為阻隔電容器(blocking condenser)，用以阻隔“B”電池組之正極直接至柵極而成正電荷。因直流遇電容器即為阻止，高週率交流則仍可暢行無阻也。欲使柵極受負電壓并使柵極少數積聚電子得以漏去，故

第 九 圖



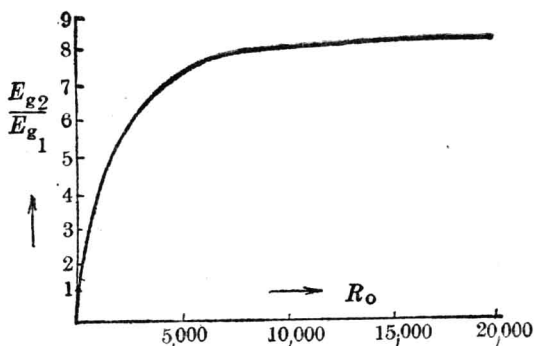
電阻交連之二級成音週率放大器

用另外電阻 r 接於柵及燈絲之間，或接一“C”電池組以代之均可。關於電阻交連成音週率有數點足以敘述者，第一，電阻之值，從前公式(4)吾人已知屏路內負荷電阻之電位降 $R_0 I_p$ ，與柵路電壓 E_g 之比，即等於 $\frac{\mu R_0}{r_p + R_0}$ 而此比率實即真空管用作放大器時輸出路電壓與輸入路電壓之比率，或謂之電壓放大比率 (voltage amplification ratio)。若以 $\frac{E_{g_2}}{E_{g_1}}$ 代之，則得

$$\frac{E_{g_2}}{E_{g_1}} = \frac{\mu R_0}{r_p + R_0} \dots\dots\dots \text{公式(9)}$$

從上公式(9)可見欲得巨量電壓放大，交連電阻愈高愈妙。但在實際上而言，電阻增高過某值後，電壓放大比率，增進甚少。例如第一〇圖示真空管 UX-201A ($\mu=8$ 及 $r_p=10,000$) 及電壓放大比率與交連電阻變化之關係。觀此可見交連電阻增至 50,000 歐姆以後電壓放大比率增進極微。第二，屏路“B”電池組之電壓價值須增。其故因第一〇圖之電壓放大比率，根據公式(9)計算而得。但因屏流通過交連電阻以後，發生電位降，屏極實效電壓將小於“B”電池組之電壓而等於“B”電池電壓與電位降之差，然交流電阻 r_p 於低屏壓時，增進甚巨，實際所得電壓放大，將形減小。故為維持原有電壓計，“B”電池組電壓，必須加高。尋常接收用之放大管，屏流平均值約為 0.5 千分安培，故交連電阻每 10,000 歐姆，須增加“B”電池組電壓為 5 伏脫。屏路需要高“B”電池組電壓為電阻交連放大弊害之一。第三，成音週率範圍內之放大效能。收

第一〇圖



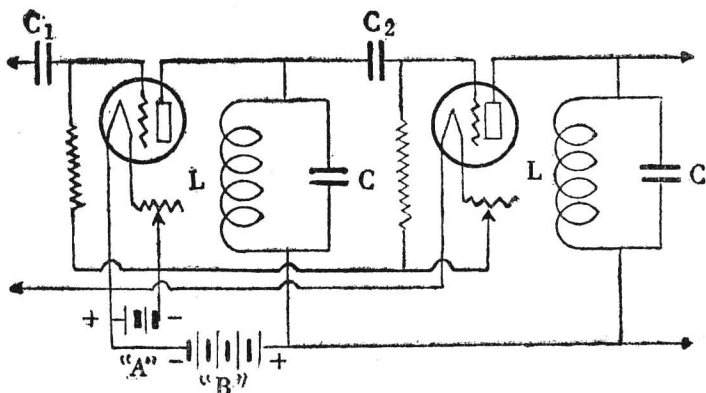
UX-201 A 管之電壓放大比率與交連電阻之關係

報機之用自差法接收電訊之成音週率放大，週率範圍較狹，而在收音機之成音週率放大，週率範圍異常廣大。例如人類言語週率每秒鐘高至 1000 次，低至 60，音樂則高至 8000 低至 25。可見良美之收音機，其接收與放大效能，於此週率範圍(25-8000)必須相等。電阻交連放大因屏柵間包含純粹電阻，無諧振現象，故可得比較勻整之放大。此乃電阻交連放大於成音週率之最大利益。於週率太低時，例如 30 週以下，阻隔電容器所供電容迴阻將大增，影響電壓放大，則以可用較大電容器如 0.1 至 1.0 μf 以補救之。在高週率如 5,000 週以上，因管內電容量之存在，效能亦減，然為值亦不大也。此種放大方法，其利則放大能力之作用，並不因電波週率之高下而異。其弊則在週率較高時，管中各極發生極強電容量作用，電阻幾成短路，效驗因減，且因電阻之強，非用極高壓“B”電池組不可，不獨不經濟，且應用亦欠滿意。以此數因，用電阻交連之成音

週率放大方法，應用較鮮。

11. 總阻或磁感量交連之放大器 第一一圖表示一總阻交連之放大線路，其作用與原理，與前述之電阻交連放大方法，頗多相仿。例如線路內柵漏電阻及斷流電容器等等。所異者，前管屏極電流之變化，傳遞至後管柵極之電壓變化，所經過者，並非電阻而為磁感量與電容器並聯之總阻。磁感量交連之電壓放大比率

第 一 一 圖



總阻交連之二級成音週率放大器

其計算方法，可得而述之如下。設該磁感量之磁感迴阻於某應用週率時，其值為 X ，而電阻值為 R ，於是從前述各節，可得屏電流

$$I_p = \frac{\mu E_g}{\sqrt{(k + r_p)^2 + X^2}}$$

但尋常所用磁感線圈，其電阻甚小可以不計，於是

$$I_p = \frac{\mu E_g}{\sqrt{r_p^2 + X^2}}$$

電壓放大比率當然爲

$$\frac{E_{g_2}}{E_{g_1}} = \frac{\mu X}{\sqrt{r_p^2 + X^2}} = \frac{\mu}{\sqrt{1 + \left(\frac{r_p}{X}\right)^2}} \dots\dots\dots \text{公式(10)}$$

從公式(10)可見若磁感迴阻比較屏路微分電阻甚大，則電壓放大比率，將等於該真空管之放大因數 μ 。

欲得一較高電壓放大比率，磁感交連較易於電阻交連。其故凡二：第一，磁感線圈之迴阻甚大，而同時電阻甚小，故“B”電池組之直流電壓幾完全加諸於屏極之上，而無須如電阻交連之增高電池組電壓。第二，放大輸入次管柵極之電壓即等於屏流與交連電阻或迴阻之積數。在磁感交連放大方法，屏路內加入迴阻後之總阻。比諸加入同量電阻後之總阻爲小（因 $Z = \sqrt{r_p^2 + X^2}$ ），故屏流亦較大，跨交連迴阻之電位降亦即輸入後管之電壓自亦較高，其證如下：

設 $X_L = R_0 = a$ 則 $I_p R_0 = \frac{\mu E_g R_0}{r_p + R_0} = \frac{\mu E_g a}{r_p + a}$

$$I'_p X_L = \frac{\mu E_g X_L}{\sqrt{r_p^2 + X_L^2}} = \frac{\mu E_g a}{\sqrt{r_p^2 + a^2}}$$

因 $r_p + a > \sqrt{r_p^2 + a^2}$

$\therefore I_p R_0 < I'_p X_L$

總阻交連，通常皆以一磁感圈與一電容器並聯合組而置於屏路之內。所有情形與前述之並聯諧振相符。若磁感圈與電容器所含電阻不大，並聯路內抵抗電流運行者幾全屬迴阻。故

$$I = E \left(\frac{1}{2\pi f L} - 2\pi f C \right)$$

$$\text{或 } X = \frac{E}{I} = \frac{1}{\frac{1}{2\pi f L} - 2\pi f C} = \frac{2\pi f L}{1 - (2\pi f)^2 LC}$$

可見此迴阻在離諧振週率極低之週率，幾作用如一純粹磁感圈。若週率漸增至諧振，迴阻漸大，至諧振點時，迴阻為無限大。外路電流趨最小點。但若將週率繼續增高，迴阻又減，最後作用如一純粹電容器。在諧振時，全總阻作用宛如一電阻，其值等於

$$R_e = \frac{L}{CR} \dots\dots\dots \text{公式(11)}$$

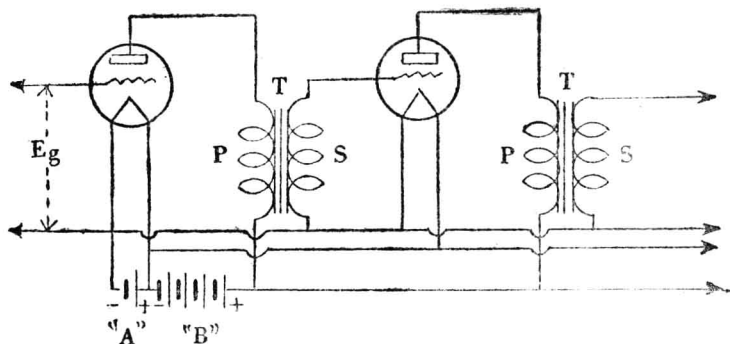
吾人若欲得高大電壓放大比率，自宜於任何週率之下，得一大值實效電阻 R_e 。但在公式(11)，可見欲得大值之 R_e ，須用巨大之 L ，微小之 C 及 R 。如是於各週率之下，方可得平均之放大。反是，則放大效能，祇適合於近諧振各週率，而於其他週率，則效能減小甚大。於接收電訊尙無大礙，接收電話，則殊非所宜也。

總阻交連式之放大器，從上述理論，其最大利益，在於選擇性之特高，因其放大效能在諧振週率為特強，而於其他週率則甚弱，此在多級放大器更顯著。例如有三級總阻放大，諧振週率之振盪，放大比率為 6，而其他任何騷擾振盪之週率為 3，經三級以後，諧振週率振盪放大凡 $6 \times 6 \times 6 = 216$ 倍，而騷擾週率振盪放大祇 $3 \times 3 \times 3 = 27$ 倍，兩者之響度相差凡 $216/27 = 8$ 倍，自無被擾之慮矣。但若欲接收各項不同週率，電容或磁感量必須使之

變量，配置太多，構造因之複雜，亦其弊端。此外因屏路內電阻之少，頗易趨於自生振盪之路，常為放大器內本體騷擾之源，此又其較遜於電阻交連之一端也。

12. 變壓器交連成音週率放大器 第一二圖表示二級變壓器交連之成音週率放大器。變壓器 T 共有兩圈線路，P 為正路，S

第 一 二 圖



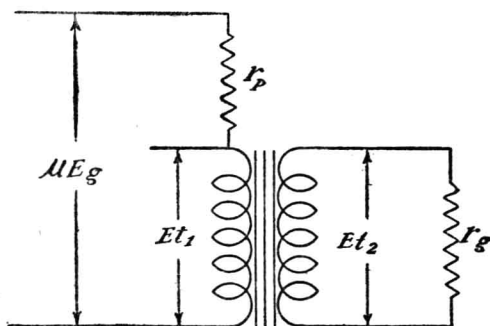
變壓器交連之成音週率二級放大器

為副路，共繞於鐵心上面，而各相絕緣。副路所有圈數，多於正路，正所以使電壓升高。電壓上升前後之比例，適等於副路與正路圈數之比例。平常比例，約自為 1 與 2 至 1 與 8 之比，是以檢波管之屏極連至變壓器之正路。放大管之柵極連至變壓器之副路，如更加一級亦可類推，其他理論與前述二式放大器，頗多相似，不必贅述。

變壓器交連放大器之電壓放大比率，及變壓器之電壓升降比

率，至有研討之價值。用於無線電放大器內之變壓器之應用與構造，與尋常電力變壓器，頗多不同之點。其最甚者，如放大線路內之變壓器之正圈常在屏路內與一高電阻，即屏路微分電阻相串聯，故正圈之總阻宜得大值，然後可得適當電壓。不若電力變壓器之直接接至電源，且其副圈負荷係一高電阻即次管之柵極燈絲間之無感應電阻，亦不若電力變壓器之負荷，往往為一適當價值之迴阻與電阻。如第一三圖所示電壓 μE_g ，為自柵極電壓 E_g 而

第一三圖



放大變壓器之線路

得之相當屏極電壓，屏路交流電阻 r_p 與變壓器跨接於其間。設 r_g 為副圈所接通之次管柵極燈絲間之電阻， E_{t_1} 及 E_{t_2} ， I_p 及 I_s 為變壓器正副圈之電壓及電流， n 為電壓升高比率，於是

$$I_s = \frac{E_{t_2}}{r_g} = \frac{n E_{t_1}}{r_g}$$

但 $P_1 = E_{t_1} I_p$ $P_2 = E_{t_2} I_s$ $E_{t_2} = n E_{t_1}$; $P_1 = P_2$,

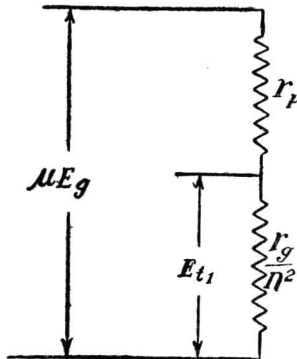
$$\therefore E_{t_1} I_p = E_{t_2} I_s = n E_{t_1} I_s,$$

$$\therefore I_p = n I_s;$$

$$\therefore I_p = \frac{n^2 E_{t_1}}{r_g} = \frac{E_{t_1}}{\frac{r_g}{n^2}}$$

是以若將此變壓器正副線圈化作尋常相當線路，則可如第一四圖所示。於是

第一四圖



放大變壓器之相當線路

$$E_{t_1} : \mu E_{g_1} = \frac{r_g}{n^2} : \left(r_p + \frac{r_g}{n^2} \right).$$

$$\therefore E_{t_1} = E_{g_1} \frac{\mu r_g}{r_g + n^2 r_p}$$

但次管柵極所受之電壓 E_{g_2} 為 $n E_{t_1}$ 故電壓放大比率

$$\frac{E_{g_2}}{E_{g_1}} = \frac{\mu n r_g}{r_g + n^2 r_p} \dots \dots \dots \text{公式 (12)}$$

從公式(12)，可知電壓放大比率與真空管之放大因數 μ 為正比例，且與 r_g 同增。故 r_g 當然以愈大愈佳，柵極之常加以一負電壓者以此。 r_g 之值在尋常狀態之下，常在百萬歐姆以上，至少亦在數十萬歐姆左右。再從公式(12)可知欲得最大電壓放大比率，

須將 $r_g = n^2 r_p$ ，或 $n = \sqrt{\frac{r_g}{r_p}}$ ，若是則放大比率為 $\frac{\mu n}{2}$ 但以實際

變壓器構造上之缺憾，此理論之價值，不能實現也。

以上所述理論，係假定變壓器正圈並無迴阻存在，但在事實上此迴阻為不能免，可稱與相當電阻 $\frac{r_g}{n^2}$ 相聯成一正路總阻。欲得比較高值電壓於副路，此正路總阻比諸屏路交流電阻，自以高值為宜，故正圈之圈數均係極大，副路自更無論，圈數既多，導線自細。是以放大器所用變壓器，均為極細導線製成者以此。變壓器之正圈迴阻既大，又富於分佈電容量，故亦有如前述之總阻交連放大之並聯諧振現象，即於諧振週率之左近，放大效能甚大而於其他週率，則放大效能甚小。變壓器升降比率愈高，副路分佈電容量愈大，諧振週率之放大效能固更強，而平均放大之範圍反為狹窄。對於接收固定週率電報音訊，雖無妨害，而於電話則為害最著，因如此足以使言語音樂之各週率得到不相等之放大，音節性質 (quality) 因之全失。故純從此點而言，變壓器電壓比率，固不能儘高而無限制也。

用變壓器交連以達成音週率放大方法之優劣若何，可得而言

之如下。論其優點：則（一）接連便易，因變壓器均係製造家設計製就，用者祇須按圖連接，無須自行配置。（二）“B”電池組電壓無須太高。其缺點則如變壓器計畫不週，製造不精，往往其放大效能，在因週率之大小而異。但此種弊端在極佳之變壓器中可以免之。蓋諧振現象不甚顯著，在一週率帶之中放大效能，可以均勻。故在成音週率放大器中，仍以變壓器交連法應用最廣。

13. 電阻交連射電週率放大器 射電週率放大器，亦可以其前後各級交連放大之方法分爲三類。今請先述電阻交連之射電週率放大器。其線路與成音週率放大器，並無二致，故有時亦可互相調用。所異者約有下列各點：因振盪週率太高電容迴阻低減之故，柵與燈絲間之迴阻大減，同時阻隔電容器之迴阻減小，則電容量可以較小，約 $200 \mu\mu\text{f}$ ，結果可使次管燈絲與柵極之電壓尙不致降低，足以維持放大效能。此其一。電阻 R_0 之分佈電容量，愈小愈佳，因分佈電容量能使 R_0 之總阻減損，亦足以影響及放大效能，此其二。柵與燈絲間之電容量在高週率下，變成一短路，大大減損放大效能，非有特種線路不爲功。此則不特電阻交連之射電週率放大器爲然也，此其三。

14. 總阻交連之射電週率放大器 迴阻或總阻交連之射電週率放大器，一切理論與實施，均屬相同。惟因週率太高之故，交連磁感迴阻圈有分佈電容量之存在，使放大效能，特殊強大於諧

振週率，殊未能稱為滿意。若以一變量電容器配置之成爲一總阻交連，則此弊可免矣。

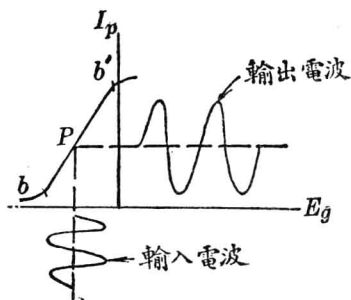
15. 變壓器交連射電週率放大器 變壓器交連用於射電週率放大法，漸次普及。其理由不外如下：如所用變壓器計畫至周，製造至精，則放大能力極強，此其一。高電壓之“B”電池組可免，此其二。線路簡單，使用簡易，此其三。射電週率放大法應用變壓器交連之線路，與成音週率大致相同，茲從略。此種變壓器或爲空氣心或爲特殊鐵質鐵心均可。但在射電週率，空氣心實較合宜，因在高週率下，渦流與滯磁損失能力均異常劇烈。此外關於射電週率放大之三方法，線路之變化百出，勢難盡述，而其理論與大體，則不離上述，要在讀者舉一反三，依理推解而已。

16. A. B. C. 三類放大器 真空管放大器若以其使用情形分類，又可分爲 A. B. C. 三類放大器。其主要差別乃各種放大器在 $E_g - I_p$ 特性曲線之使用點不同耳。茲將三類放大器之運用方法及其利弊，扼要述之如下：

(一) A類放大器(class A amplifier) A類放大器亦即前述之尋常放大器，其使用點須配置在 $E_g - I_p$ 曲線之直線部分之中點，如第一五圖所示。故其屏路輸出波形與柵極輸入波形，完全相似，而無失真，斯爲可貴。但若柵極輸入信號太大，致使屏流之值超過真空管 $E_g - I_p$ 特性曲線之上膝點 b' 及下膝點 b 時，失真仍所難免，故 A類放大器所能放大之能力，亦屬有限，此其弱點也。又

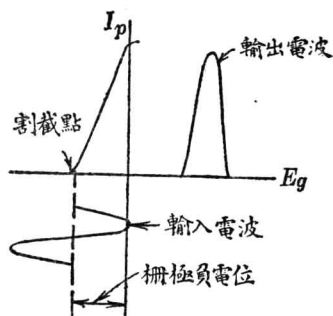
察同圖，知柵極無信號輸入時，其屏流甚大，故能力消耗亦大，屏路效率欠佳。

第一五圖



A 類 放 大 器

第一六圖



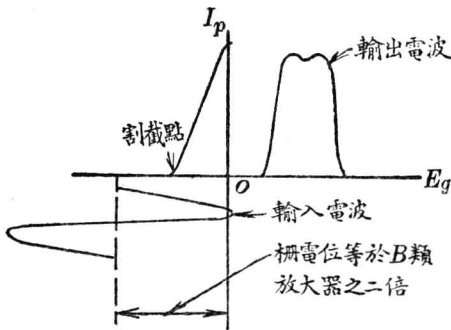
B 類 放 大 器

(二) B類放大器 (class B amplifier) 爲補救 A類放大器之弱點，又有所謂 B類放大器之產生。此類放大器，其負柵電位之配置，比較 A類稍高，使使用點恰在 $E_g - I_p$ 特性曲線之下膝，如第一六圖。當柵極無信號輸入時，屏流爲零，故不消耗電力。及真空管運用時，柵極有信號輸入，僅屏流之正半週有電，負半週完全截去。故 B類放大器所放大者，僅輸入信號之正半週而已。故其應用祇限於射電週率放大，若用於成音週率放大，勢必發生失真，然亦可用下述之推挽式線路以爲補救之策。B類放大器之輸出電壓與柵極之輸入電壓之平方成比例，此其特點也。

(三) C類放大器 (class C amplifier) C類放大器與 B類

放大器同，且須有較B類更高之負柵電位，其使用點須配置在兩倍割截點之處，如第一七圖，故此類放大器多用以放大比較A，B二類更大之輸入信號，且此信號之電壓，其正半週最高點，須足使屏流達於飽和點C而有餘，故以同一信號電壓加於A，B，C三類放大器之柵極，其輸出當以C類為最大，因此其效率亦為最佳。但觀其輸出電波之形態，完全偏枉，故C類放大器不堪作為成音週率放大，然近日廣播機之射電週率放大多用之，以高週率之輸出電壓，祇須求其外罩線不失輸入之原形足也。

第一七圖

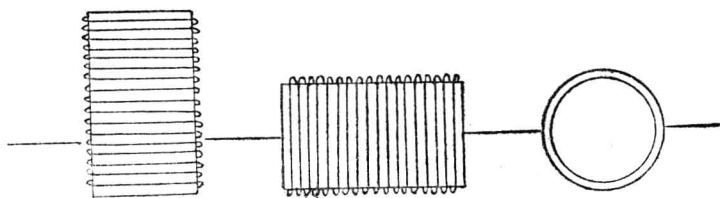


C類放大器

17. 放大器內雜音之原因及防止法 放大器內除所收電音以外，偶或聞得種種雜聲有如蟲鳥，在遠處亂鳴，或斷或續，過劇則有擾正音。此種雜聲發現之原因極多。或因（一）放大器內線路及各部排置之欠妥，最普通者，乃為各管線路相離太近，或相連太密，以致後管之柵極或屏之振盪，返感至任何前管之柵或屏極，

成一複雜之回授作用。此種回授之波既不相同，則發雜聲以擾正音矣。回授作用之起因，有因電磁感應者，有因電容量交連作用者，有因電阻交連者，除有特種線路或四極管外，補救之法甚多。例如器內接線，均以短為貴，不相等電位之導線佈置，相離宜遠。萬一須交叉時，亦宜垂直而越。線路內部之不需要磁感交連者，可將各磁感圈排置方位以去之。例如若將前後三線圈排置使其軸均為垂直，如第一八圖所示。或將各圈排置並行與公共底線成 58° 角，

第 一 八 圖



三線圈互相垂直以避防回授作用

則各圈間之互感量亦可避免。惟若以各圈圍罩於銅匣內，銅罩不能離圈太近，與圈成絕緣而通以機身或地線，如是不特線圈間之磁感關係可以避免，即各圈間之靜電電容交連影響可以除淨，精細之收音機大都如此。此種自生振盪之弊害，在成音週率放大器固足以發生雜聲，但在高週率放大器內，雖不發聲而消耗能力，減損放大效能則同。（二）真空管本體之機械振動，尤其在最前放大各級。因管體振動，影響及於三極相互地位，屏流自亦隨之變化，聽筒內雜聲自作。補救方法，當以設法免除機械振動為上策。

否則支於彈簧插座，使外界振動，不致侵入，亦屬良法。(三)各電池組至放電將盡之時，化學作用，至無規則，因之內阻，常在變化，每次變值，引起聽筒雜聲。故電池組宜常保持在適當使用情況中，亦屬重要。此外各接線均宜銲接堅實，不宜震搖，尤不可忽視者也。

18. 放大器之失真 理想中之放大器，其輸出波形須與輸入波形絕對相似，方無失真。但實際上之放大器，未克如此完善，考其原因，約有數端：

(一)高週率放大器之 $I_p - E_g$ 特性曲線非為一直線，則屏極輸出波與柵極輸入波，不能完全相似，如第一七圖所示，加於柵極之信號電壓原為正弦調幅波，但因 $I_p - E_g$ 曲線不成直線，結果屏極輸出波已生偏枉，此種輸出波可認為由一基本波與許多次波所組成，此種多次波經放大作用後亦由放聲器放出，致生失真。

(二)檢波管負荷過量 柵極檢波適用於弱小信號，屏極檢波適用於較強信號，此為吾人熟知之事。如接收機之柵極檢波法，以接收強大信號，則因真空管之負荷過量，柵極被驅於正，發生柵流，致輸出波不與原波相似而生失真。

(三)柵流之影響 真空管之柵極不能有電流，已如上述。但近今之接收機用推挽式放大者，其柵極電流則甚大，但因線路之接法，反使最易發生失真之二次附波消去，此又當別論也。

(四)高週率放大配譜過於尖銳 接收機之選擇性良好與否，

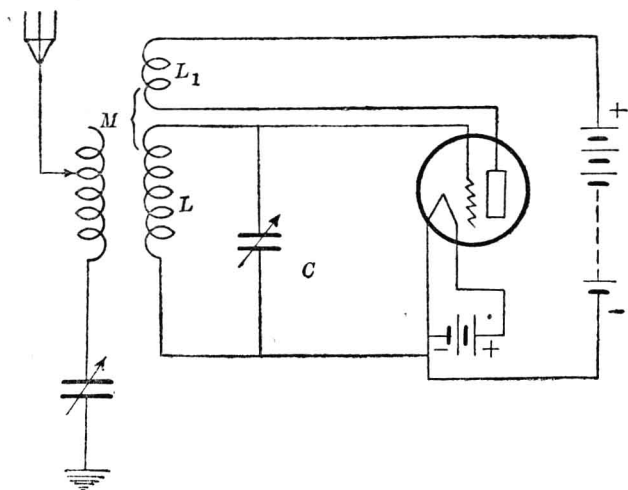
端賴其配諧尖銳與否，然配諧過於尖銳，祇使所接收之一週率放大，其餘附近之週率完全棄去，對於接收電報，固無不利，對於廣播，則將發生失真。故廣播接收機除選擇性須良好外，其放大器須能將所接收之週率甚近週率同樣放大，如吾人所接收之電波為1000 kc. 則此接收機須能將 955 kc. - 1005 kc. 之電壓同樣放大，庶幾失真之弊可免，故理想中之放大器其作用幾為一選界濾波器，其理論詳見無線電話一章。

19. 其他放大線路 除上述各種普通線路，應用兩種放大接收機外，尚有多種特殊接收線路極為廣用，除平差線路 (neutrodyne receiving circuit)，及超等外差線路 (superheterodyne receiving circuit)，詳述於第九章外，尚有不振盪回授放大 (non-oscillating regenerative amplification)，推挽式放大 (push pull amplification) 二種線路先在本章敘述。

20. 回授放大之原理 若用單座真空管配置使回授放大 (regenerative amplification)，外來振盪，可以大量放大。其線路約如第一九圖所示。L 及 C 所組成之線路與外來振盪成諧振，於 L 線圈內感應得相當電壓；屏路內有線圈 L_1 稱之謂回授圈 (feedback coil or tickler)，與 L 線圈有互感應關係，其互感量為 M。回授放大之作用約如下述：線圈 L 內之電壓引起振盪電流，流動於電容器 C 內，而使柵極與燈絲極之間感受電壓，設其值為 E_g ，此電壓使屏極受影響而得一交流流動其中。但線圈 L_1 既在屏路之內，為

交流所必經，於是由其與L線圈之交連關係，復感電壓於L線圈。若交連得當此感應電壓與原有電壓 E_g ，頗近合相，故有累增之效。此累增之電壓使 LC 電路內電流增加，更及於柵極所受電壓與屏

第 一 九 圖



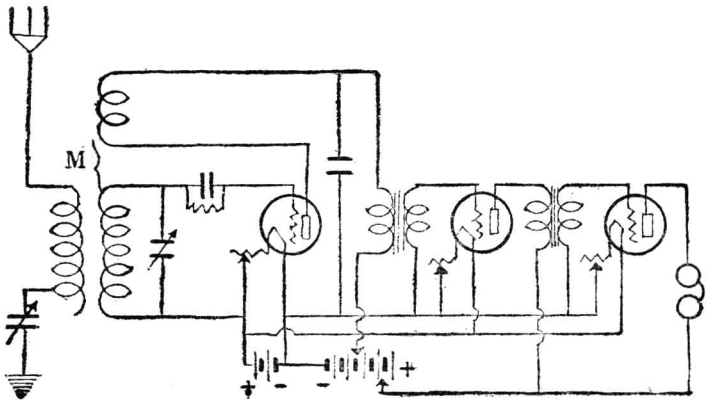
回 授 放 大 之 線 路

路交流，回授電壓復為積增。如此循環不已，至極短時間內，全路各部電壓電流之值，將比無此回授作用增大甚巨。若交連程度 M ，並不甚緊，而第一次線圈回授之電壓，較原有之電壓為小，則穩定狀態可以立至。設此值為 $\frac{1}{2}E_g$ ，於是第一次回授後之總電壓將為 $E_g + \frac{1}{2}E_g$ 。第二次此增值之半，再行回授，總電壓將為 $E_g + \frac{1}{2}E_g + \frac{1}{4}E_g$ 。依此級數 $E_g + \frac{1}{2}E_g + \frac{1}{4}E_g + \frac{1}{8}E_g \dots$ ，其最後總值為 $2E_g$ 。如是最後之電壓將增一倍。

但若將 L_1 與 L 之互感量 M 增加，即將交連加緊，電流電壓之積增，亦有加無已。至第一次回授之電壓與原有電壓 E_g 相等時，於是級數 $E_g + E_g + E_g + E_g + \dots$ 之最後值將為無限大。穩定狀態，似為不可能。此時真空管之屏柵交連已達到自生振盪之境界，電壓電流積增之趨勢，雖似無限，實則將受制於真空管本體特性，而達到一最後穩值。

第二〇圖示一不振盪回授放大與二級變壓器交連成音週率放

第 二 〇 圖



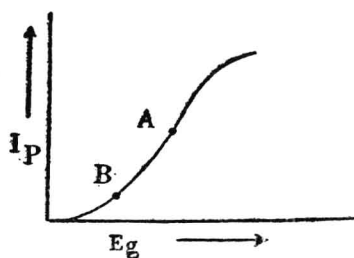
回授放大二級成音週率放大接收線路

大之接收線路。此種線路在接收機中最為通用，其理論固已詳於前毋待贅述。而其線路，亦並不複雜，學者須熟記之。讀者又須知利用自差法之振盪回授線路，與不振盪者一切相同，惟回授線

圈與副路線圈之交連，更緊一步而已。利用自差法之回授振盪線路，將於第九章內詳論之。

21. 推挽式之成音週率放大器 在使用真空管放大器，如欲得放大後之振盪方式與放大前之振盪絲毫無異，無偏枉失真之弊，須使屏路中之電壓變化與柵路所受電壓完全相似，但真空管之使用點，非在其特性曲線之直線部分不可。例如第二一圖之特性曲線如英文字母“S”式，A點乃在直線部分之中間。設外路電壓尚未輸入前，三極之“A”“B”及“C”組電池，配置其值適在A點然

第 二 一 圖



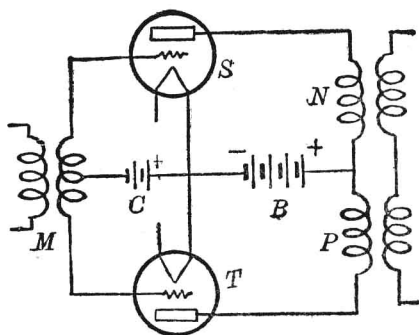
三極管之特性曲線

後外路電波之交流電壓，至柵極時，吾人可以得絕對成正比而放大之屏電流。不然如在B點，一方向之柵電壓，可發生極巨之屏流變化，又一方向之同值柵電壓，祇能發生極微之屏流變化。於是放大作用即不準確，而致失真。接收電報音訊，此不相似之放大，無甚影響。而於接收無線電話無線電廣播則所關甚巨，若不校正，則音樂談話勢必失真，或竟費解。吾人尋常可將真空管三

極電壓，配置適當未始不可。但事實上往往不易措施，即勉強得此屏極之放大電流，變化亦屬有限。蓋屏極電流變化如越出膝點 B 以外，結果亦不滿意，即屏極之電壓變化與柵極電壓變化不能酷似也。補救上述放大器放大失真之弊，則有所稱推挽式放大器(push-pull amplifier)。

第二二圖示一推挽式放大器之線路，可見其所包含者為二箇相似特性之真空管 S 及 T。各管三極電壓配置相等，蓋使其使用點同在其特性曲線之某一點，而不必定在第二一圖上之 A 點。但對於外路經變壓器 M 之電壓，兩管柵極所得適為相反，或稱 180°

第 二 二 圖

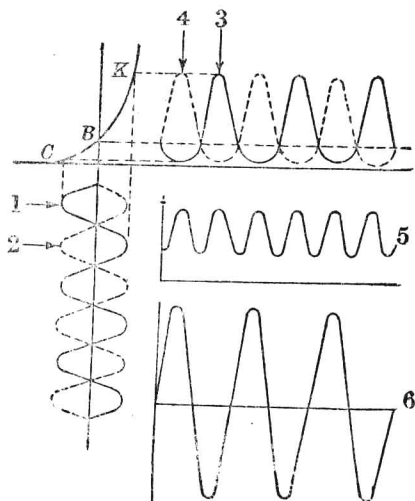


推 挽 式 放 大 器 之 線 路

之相角差。即 S 管柵極得正電時，彼 T 管柵極得負電。M 副圈之中心點，經過“C”組電池至燈絲以配置柵極電壓，有時亦可不用之。兩管之屏路俱接至一公共之“B”組電池，各經過輸出變壓器之正圈 P 及 N 如圖。燃點燈絲之“A”組電池，亦可公用，圖中刪路。當

變壓器M之正圈受外來之電壓由感應而入副圈，使兩管之柵極忽正忽負，但因接聯之情形，此柵正時，彼柵為負，此兩管柵極所受之電壓可以第二三圖曲線1及2以表之。KBC 為該真空管之特性曲線，使用點B，並不在特性曲線直線部分之中間。於此兩管所得之屏電流，則如曲線3及4所示。可見因使用點不在適當電壓，致各筒屏流曲線與原來柵壓失真甚劇，但兩管之屏路經過P及N兩變壓器之正圈，視其兩副圈相聯接之關係而變其作用。例如第二二圖P及N之電壓因柵極電壓之關係，亦為相反或 180° 之相角差。若將P及N之副圈聯接如第二四圖(a)，則內所感應電壓相抗，任何瞬息之總值為兩電壓瞬值之差。若將P及N之副圈，聯

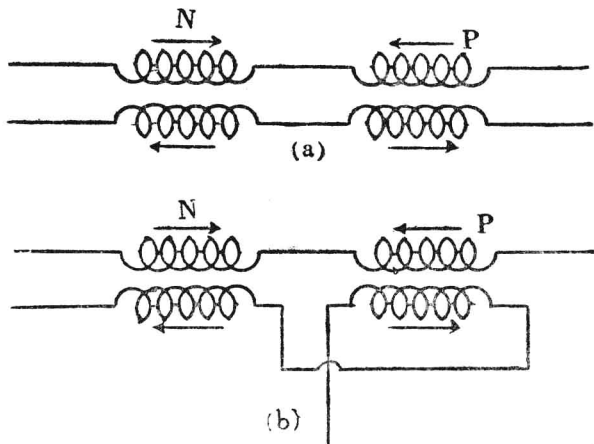
第 二 三 圖



推挽式放大器內柵電流與屏電流之關係

接如第二四圖 (b)，則內所感應電壓相輔，任何瞬息之電壓總值為兩電壓瞬值之和（此乃變壓器內線圈並聯時所必要之理論，讀者可參考交流電教本，即可明瞭，不及詳述）。若將 P 及 N 變壓器之副圈，聯接如第二四圖之 (b)，電壓相輔，從第二三圖可見，若將曲線 3 及 4 瞬值各各相加，吾人得其和如曲線 5，此曲線為一顫動直流包含一直流及一加倍週率之交流，此可應用為週率雙倍器 (frequency doubler)。而在推挽式放大器內 P 及 N 變壓器之副圈，

第 二 四 圖



變壓器副路線圈二種串聯方法

聯接如第二四圖之 (a)，電壓相抗，從第二三圖，可見若將曲線 3 及 4 瞬值，各各相減，吾人得其差如曲線 6，此曲線一望可見，為柵電壓之絕肖放大，無絲毫失真偏枉之弊。其理論廣播無線電發報機內之放大器，及精密無線電收音機內之放大器，大都利用之。

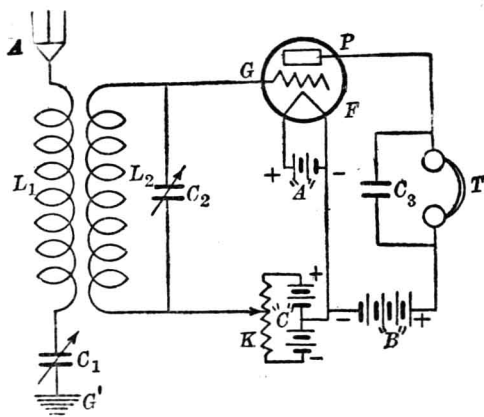
第九章 真空管接收機

(Vacuum Tube Receivers)

讀者既明真空管之特性大概及其放大作用，可進而推求其如何應用於無線電接收機之原理及構造。無線電接收機以應用而言可分為二種：一為收報機 (telegraph receivers)，又一為收音機 (broadcast receivers)。基本理論及構造大概，本無出入。所異者，內部佈置及線路繁簡而已。故統譯之曰接收機。接收機中，除天線引線，地線及電源等外，包含配諧，檢波，放大，收音等階級。如以交流代電池作供給電流用，尚須整流及濾波一級。除配諧理論及真空管放大作用已於前各章論及外，本章先述兩種檢波方法之原理，次及各式簡複之接收機線路，最後並略述濾波器之設施。

1. 屏極檢波 讀者在上文，既略明真空管作用之概況，即可繼續研究其如何能檢波，一如結晶體檢波器。欲明此理論，同時並參看第一圖。該圖為用三極真空管接收無線電信最簡單之線路，稱

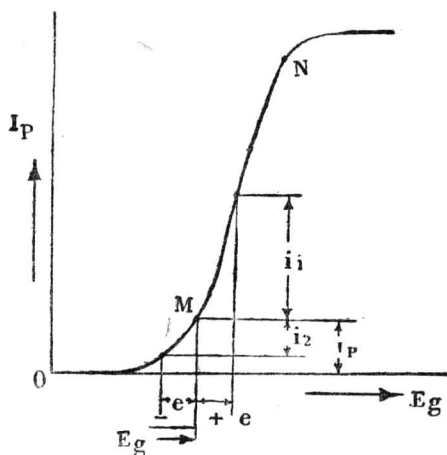
第一圖



三極管屏極檢波法

之為屏路檢波 (plate detection)，因其檢波作用全恃屏流之變化。A 為天線， L_1 及 C_1 為天線電路內配諧所用之磁感量與電容器， G' 為地線， L_2 及 C_2 為第二路內配諧所用之磁感量與電容器。如何應用配諧之法，詳述於前。K 為電位器，合“C”電池組，以改易柵電壓之正負及數值。T 為聽筒， C_3 為小電容器，用以助聽筒之收聲，稱為聽筒電容器。如是燈絲為“A”電池組所燃，發射電子。屏為“B”電池組所連，為正電壓（屏之接頭，永遠連至“B”電池組之正極）。柵則經 C_2 ， L_2 ，及電位器，而至燈絲之一端。假定柵極 G 之電壓，經電位器之配置，適在特性曲線（見第二圖）之 M 點上，M 點適在該曲線之膝。M 下屏流變化甚小，M 上變化極大。當外界無電波感應及天線時，按照特性曲線該真空管在此等狀態

第二圖

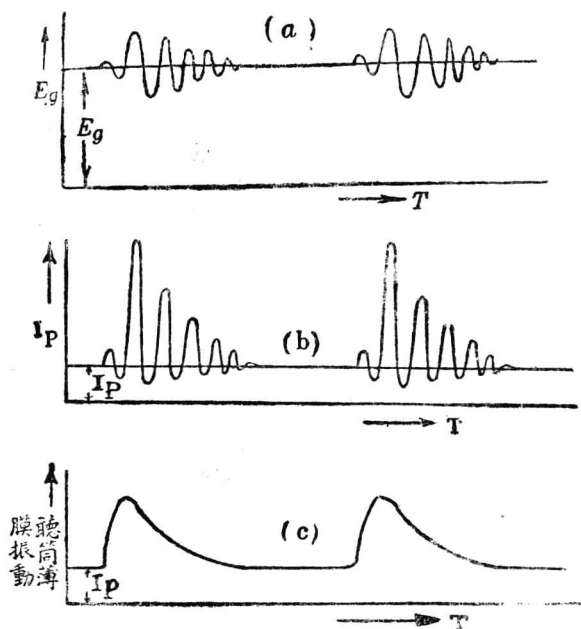


屏極檢波之解釋之一

之下，當有屏電流 I_p 流動於第一圖 F“B”TPF 線路內，自無疑義。此 I_p 在柵電壓屏電壓燈絲溫度不變時，其值亦不變。此時設使天線受得外界電波，隨即感應至 L_2 及 C_2 。此感應所得之電壓，既為振盪交流電，當然柵之電壓變化，忽增忽減，隨交流之波週而變。假定其所增之電壓為 $\pm e$ ，於是從特性曲線上，可見如柵電壓 $+e$ 時，屏流所加為 i_1 ，柵電壓 $-e$ 時，屏流所減為 i_2 ，柵電壓之上下，相差雖同，而屏流所受之變化，因特性曲線之膝點屈折，增減大異。管之檢波原理，蓋即係於此整流作用也。

欲更明瞭以上所述，可觀第三圖。橫為時間，假定所受電波為淺顯計，屬於火花式之減幅波。(a)圖表示柵電壓受外界感應後之

第 三 圖



屏極檢波之解釋之二

變化， E_g 為本來所有之柵電壓，其增減上下相同，但因特殊曲線之膝點屈折，屏電流之增減不等，如圖(b)。聽筒鋼膜之震動，自按屏電流之價值而動，其動作方位有如圖(c)，於是擊入耳鼓而成電信矣。

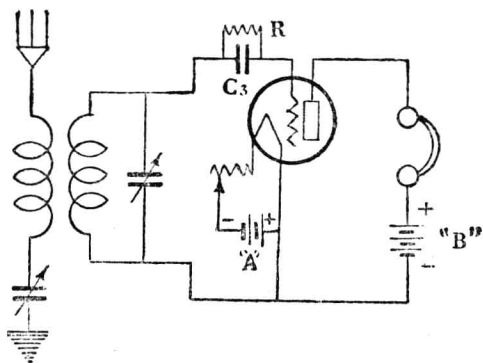
再觀第二圖，假使以電位器配置，使柵電壓之價值遞高，至屏電流至N點時，真空管仍能檢波，其所以不常用之理，亦於第七章述及，茲不重贅。電位器K及“C”電池組，如遇特性曲線之膝點，

恰在柵電壓等於零之時，亦可免去。而各真空管有其特殊情形，故為免除電位器之配置，并能普用於多數真空管起見，遂有下節所述檢波法之線路。

因真空管之有放大作用，當外來電波經三極真空管之檢波特性而生效驗於屏電流時，其放大作用，同時並作，故即無放大器，檢波時已有一級放大，此其所以勝於尋常晶體檢波器及二極真空管也。

2. 柵極檢波 免除電位器之法，可用線路如第四圖，此線路之異於第一圖者，止在柵路內接有柵路電容器 (grid condenser) C_3 及柵漏電阻 (grid leak resistance) R 。而將柵極經柵漏電阻接至燈絲電池組之正極，使柵極與燈絲正端處於相等電位，而比其他部分為高（見第四圖）。此線路之作用可參看第五圖，解釋之如

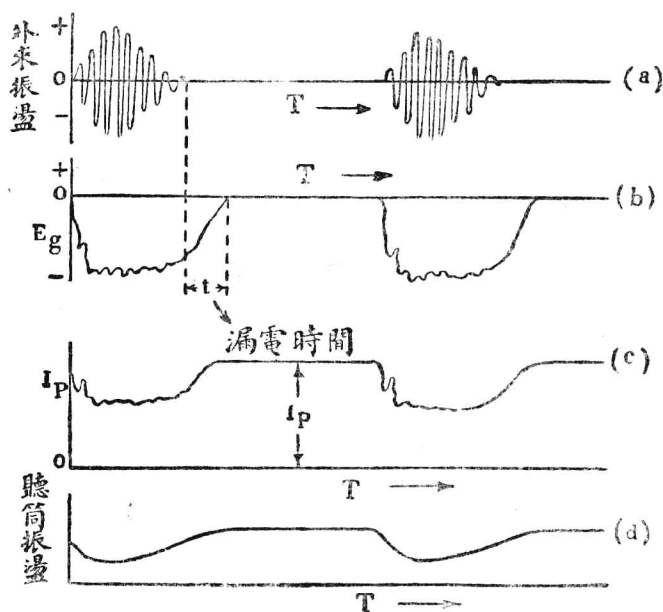
第 四 圖



柵 極 檢 波 法

下。當外界無電波影響時，在相當屏電壓燈絲溫度，自有一定量屏流 I_p 流動於屏路之中，與前正同。柵路中因被 C_3 之阻與燈絲為絕緣，電子不能成流。但設外界電波進器後，經感應而至柵極，電波既為振盪交流性質，是以柵之電壓，亦隨之振盪。於每一週時，正負兩易。在柵電壓為正之上半週，因異性相吸之理，柵能吸收一部分由燈絲散射之電子。此一部分電子，被吸收在柵極以後，阻於柵路電容器不能他流，停留柵上，因柵極體溫冷不能散射，待下半週使柵為負電壓時，電子數漸次堆增，如此經幾週以後，屏電流受堆增之負柵電壓之影響，為之減少，屏流減少之能使聽筒薄膜振動，正與加多相同。但若此堆積電子永不他漏，將使真空管遲鈍不能檢波。故在下一羣電波未到時，使所堆積在柵極上之電子，全行漏去。漏去所經之路，即為柵漏電阻 R 。此電阻數值極高，約為一至五兆歐姆。可以鉛筆劃路於絕緣體兩接頭之間，或用中國墨應之。或用市上所售之現成高電阻。故柵路電容器 C_3 及柵漏電阻 R 二者，雖用在一處，而作用卻適相反。前者阻電子之他去，後者引電子之漏出。結果則電子留在柵極片刻，然後漏散，以完成檢波作用。第五圖表示真空管用柵路電容器及柵漏電阻檢收火花式減幅波之各步之作用，讀者當能理會。此種檢波方法，免除柵電壓之配置（使適符於特性曲線之膝點），較前法便利甚多。故三極真空管之檢波，大概用之。至於柵路電容器之值，在普通接收真空管，約為 0.0001 兆分法拉特至 0.0003 兆分法拉特左右，亦有稍大

第五圖



柵極檢波之解釋

或稍小者。此種檢波方法因其利用柵流與柵壓之關係，故稱柵極檢波 (grid detection)。

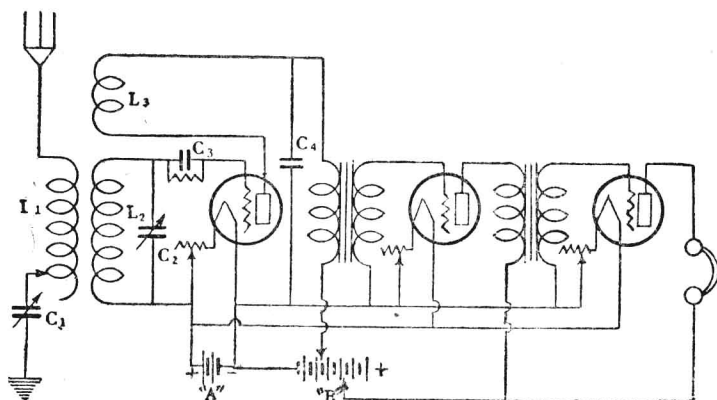
關於柵極檢波方法，尙有下述各點，值得注意：第一，柵極經過柵漏電阻接至燈絲正端，而不接至燈絲負端，如放大或屏極檢波，其故因柵極檢波係利用柵流柵壓之變化關係，於同量柵壓變化可得最大柵流變化，卻在柵壓得些微正電壓之時，換言之， $I_g E_g$ 曲線之膝點乃在 E_g 爲正不在 E_g 爲負時也。第二，柵漏電阻價值宜大，因柵漏電阻與柵路電容器係處於並聯地位。外來高週率振

盪宜經過小迴阻之電容器而不宜經過電阻，致發生電位降而減損柵極所得電壓。第三，柵路電容器之電容量，價值宜適當，如過大或過小，均非所宜。因過小則迴阻太大，電位降亦高，減損柵極實得電壓，過大則充電放電，需要大量電荷，使柵極電壓所受外來振盪之影響趨小，亦非得計。上述數量範圍約為實際應用之平均值。第四，若用軟管檢波，則柵漏電阻，可以無需，因軟管內之氣體，自然成一漏電小徑。第五，柵極檢波之最大利益，厥為免除柵壓之電位器之配置，蓋如用柵極檢波，則三極真空管在特性曲線任何一點均可作用（若柵壓負值太大時，柵流停止，當然失效）。其實最靈效點，卻在 $I_g E_g$ 曲線之直線中間部分，因柵壓變值，最足以引起巨大之屏流變值也。第六，聽筒發聲在屏極檢波，係由屏流之由穩值而增高，在柵極檢波，則屏流由穩值而減退。蓋聽筒電流不論增減，俱足以使鋼膜振動而成聲也。

3. 自差及外差接收機 利用兩不同之週率，互相消長而成差週率以接收等幅波之理論，已詳敘於等幅波一章內。至於利用此法，以接收電訊，其檢查外來電波與發生局部電波一職，有用兩真空管分任者，有祇用一真空管兼任者。前者名外差法 (separate heterodyne)，後者名自差法 (self-heterodyne 或 autodyne) 線路。請先述自差接收機。

4. 自差接收線路 可參閱第六圖。局部電波之波長配置，用 C_2 或 L_2 或兩者兼用。屏路與柵路之交連，由 L_2 與 L_3 相互感應

第 六 圖



自 差 回 授 接 收 線 路

之關係而成，餘部讀者可以理會。此接收路線之使用原理，大概如下述。當外來電波擊天線，天線電路用 L_1 及 C_1 配置，使與外來電波成諧振。於是在天線電路內，即發生一與外來電波同波長之波。再因感應作用而至 L_2 及 C_2 之線路中，同時在此線路中，因 L_2 與 L_3 之交連作用，自行發波。兩波交相增消，遂生一差週率電流。此電流之週率，適為外來與局部電波兩週率之差，於是此差週率電流，復經真空管一步檢波作用，而至成音週率變壓器。電容器 C_4 與成音週率變壓器及“B”電池組為並聯接成，正所以使此高週率之局部電波，免除巨量電阻，因電容器所生迴阻於高週率電波為極低，而同時電容器所生迴阻於低週率電波極高，故經真空管檢出以後之成音週率電流，不經電容器，而經變壓器。經過兩節成音週率放大而達聽筒。

關於本線路，尚有數點，學者當注意及之。第一，線路 L_3 之將工率回授至 L_2 ，其效果足使 L_2C_2 路內之振盪波幅增大。而該線路內振盪波幅之所以限制而漸次遞減，全因本線路內之有電阻成減幅現象。今原線路絲毫未變，僅將屏路線圈 L_3 與 L_2 成交連而回授以後波幅因以增大，換言之，即減幅率縮小。則此回授作用，不啻將原線路內之電阻減少。或者吾人可理想此係加入一負電阻。此負電阻之數量，雖小於原有之正電阻，但相互抵消以後，已足使原有之正電阻減退若干，遂得增加波幅之結果也。此負電阻之數量與交連之寬緊同增。交連愈緊，負電阻愈大，交連愈寬，負電阻愈小。是以將 L_3 與 L_2 交連由寬而緊，負電阻逐漸增大，即結果電阻逐漸減小，振幅之減幅率隨之而小，直至某相當交連程度時，負電阻大至等於正電阻，結果電阻等於零，即減幅率等於零，波幅維持不變。若過此則負電阻大於正電阻，結果電阻將為負，減幅率亦為負，真空管已入於振盪狀態矣，其波幅將漸次增進，直至被限於該管之工率及特性曲線，不能再擴。是以柵屏兩路交連在適當程度及相互方向以下，真空管即能振盪而發波，惟於回授放大線路中，其交連程度，常控制之使負電阻不致大於正電阻，徒有單純之放大作用，而尚未達振盪狀態，故稱不振盪回授，而於自差線路則屏柵間交連程度，須使負電阻等於或大於正電阻，不獨有放大作用，并起振盪。是以自差線路又名振盪回授 (oscillating regeneration)。

第二， L_2 及一相互之交連關係除程度問題外，尚有方向。兩線圈相

互之方向，當然凡二，其一，結果可使 L_2C_2 路內之正電阻增加，其二，結果可使同路內加一負電阻。若二者相互方向誤接如前者，祇須將兩線圈中任何一圈接頭互易，即可得後者。此雖可以數學證明，而必須實驗得之。

自差接收線路之大利，乃在使用之容易及構造之簡單，故幾為接收機中最通用之線路。但亦不無弊端，其最顯著者凡二：第一，為得到差週率起見，局部發出之電波，必須與外來波長稍現差異，否則不能得到差率現象。然接收線路與外來電波因失去絕對諧振狀態，減低音訊強度。第二，此真空管既作檢波，又處於振盪狀態中，與天線又相互交連，則此接收臺又不啻一弱力之發射臺。此發射波長，雖力量薄弱不足以遠方，而在近處則騷擾殊甚。於大城市中居戶密處，接收廣播電音，此弊最為顯明。上述二弊俱可以裝設一二級射電週率放大器，於天線及振盪管之間以免之。蓋射電週率放大器可放大音訊於檢波之前，可彌補因失諧音低之害，復因真空管放大器幾可稱單方向之電閥(electric valve)，換言之，天線方面之外來電波得以傳至檢波線路，檢波線路內之局部振盪電波無由傳至天線而發射，如是二弊俱免仍不失為完美線路也。第三，若以第六圖內 L_2 與 L_3 之交連程度維持固定不變，而以電容器 C_4 改為變量，於是變 C_4 之值，亦足以控制回授之數量，因 C_4 與 L_3 對於高週率部分之電流係串聯關係， C_4 變值此電流隨之而變，係正比例關係， L_2 與 L_3 之交連雖固定，回授之數量，亦

被控制，蓋按互感應原理，在副路所感應之電壓不獨與互感量或交連係數成正比，與正路電流，亦成正比（ $E_2 = 2\pi f MI$ ，見電學基本各書）。此種線路，稱之謂磁感回授之靜電控制法（electrostatic control of magnetic feedback），控制比較精密，常用於收發報機。

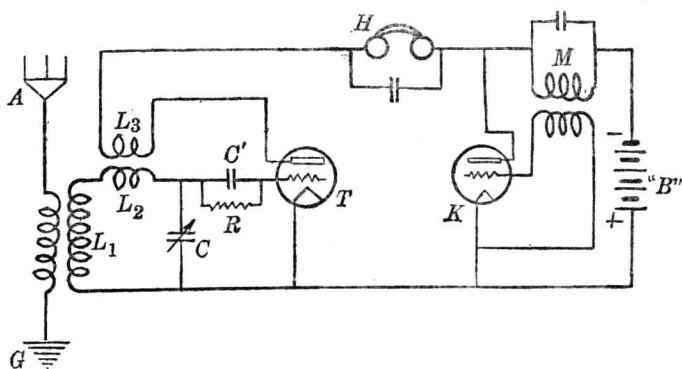
5. 超等回授放大接收線路 從上節吾人知在回授線路中因恐負電阻超過正電阻之價值發生振盪，其放大程度，不能隨意無限增大。但若佈置其線路成所謂超等回授放大（super-regenerative amplification）接收線路，此弊可免。換言之，在此線路內負電阻可以超越正電阻而仍不致引起振盪，強烈之放大，於焉以成。

按前述之原理，如配置之負電阻小於正電阻，結果電阻為正，如外來振盪感應於線路內，其振幅甚小，如外來振盪停止，線路內電流因減幅率之存在而遞縮極速。但若配置其正負電阻相等使結果電阻等於零，外來振盪足以引起線路內巨大之振幅，惟因減幅率之小，在最初之 50 或 100 週電流仍微。最後若負電阻配置大於正電阻甚大，使結果負電阻甚大，外來振盪感應一自由振盪於線路內，振幅之由小而大，完全遵照其結果負電阻相稱之減幅率（其價值為正，或可稱為增幅率），直至被遏於真空管之特性範圍為止。達到此範圍之遲速，視減幅率之價值為衡。明乎此，可廣續敘述超等回授線路。

超等回授線路實為回授線路而加一線路佈置，使其結果電阻

忽正忽負變化於一適當週率。此適當週率比接收信號之調幅週率為高而遠低於信號本身之射電週率，尋常在 10,000 至 30,000 週之間。如此聽筒內成音部分之發生，不致受擾，而在電阻為負時，此高週率之電流，得以從容增幅。此使電阻變化之週率，可以多種方法以得之。其最普通者，莫如於屏路內加入一上述週率之振盪，使屏壓變化於此週率以得或正或負之結果電阻。第七圖示超等回

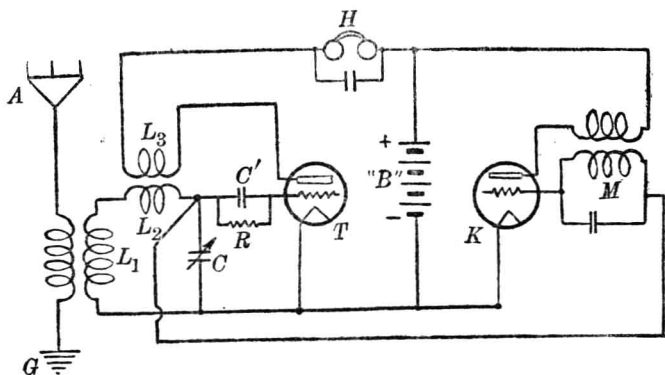
第 七 圖



超等回授接收線路之一

授線路，內屏壓之變化係得自另一串聯之振盪管，此管係屏諧振盪（關於振盪見第十章）而與 T 管共同應用一屏路“B”電池組。跨 M 之振盪電壓週率約為 10,000-30,000 週，與屏極“B”電池組電壓忽相減相增以變化 T 管之屏極實效電壓，間接使結果電阻之或正或負。第八圖示超等回授線路之又一方式。內特殊佈置之振盪不如前之加於屏路而加於柵路。振盪 K 管接如柵諧線路，如振盪半

第 八 圖



超等回授接收之又一線路

週時使管K之柵為正，跨 L_1L_2 之外來振盪將發生柵流於管K，T管因能力分散，信號電流因以減退；反之，外來振盪使K管之柵為負，柵流即止，信號電流不致受損，經T管而放大。如此T管之電阻亦為之忽正忽負，正如前一線路無異。

其次吾人將解釋此超等回授線路之作用。如接收線路之電阻為大量正值，信號在線路內引起小電流，於短時間內達到其限度，此限度與信號之強度成正比例。因局部振盪之存在，此正電阻逐漸降低而趨零值，外來振盪繼續使電流振幅增高，但因電阻既小，時間常數（time constant 等於線路內L與R之比）遂大，故振幅之增大甚遲。俟線路電阻至負極時，原有電流將為發生自由振盪之開動激勵，而按照負電阻相等之減幅率迅速增加振幅。但因線路之負電阻時間極短，電流不致大至真空管特性限度。其振幅

停止增加，電阻至正值時，振盪遂止。如此週而復始，成就超等回授放大之使命。在增幅時，自由振幅與開始激勵之電流成正比，故在負電阻之最後振幅亦與信號強度成正比，因以重生信號調幅週率焉。第九圖表示是種線路內各級電波之變化，讀者根據前述理論或可以理會。

第 九 圖

(a) 信號



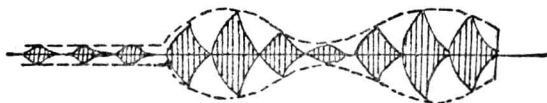
(b) 屏極電壓



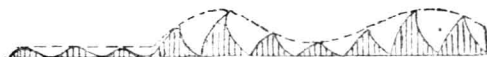
(c) 實效電阻



(d) 跨 C 之電壓



(e) 整流後之輸出



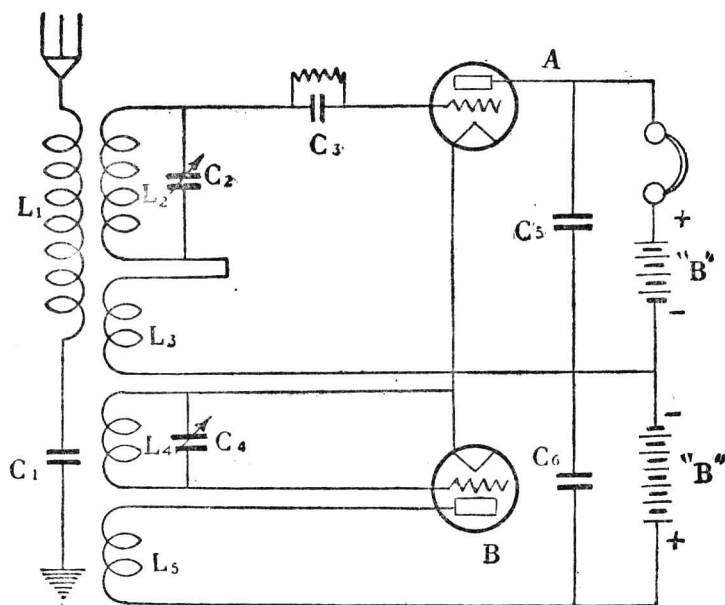
超等回授接收電話之電流經過步序

超等回授線路特殊適宜於短波及超短波之接收。因每次負電

阻之變化，信號電流之能漸行增幅，必經若干週，如信號週率過低即波長過長，則在每次電阻為負之時，祇餘極少數週數可以便信號增幅，自由振盪結果之幅亦不能大，其使用與尋常回授線路將無大異，利益盡失矣。

6. 外差接收線路 外差線路與自差線路之異點，即在檢波與局部振盪之分職。觀第一〇圖便知。圖中A管檢波，B管振盪， L_1L_2 $C_1C_2C_3$ 等其作用無待說明。 L_3 為檢波路，用以接受局部振盪管

第 一 〇 圖

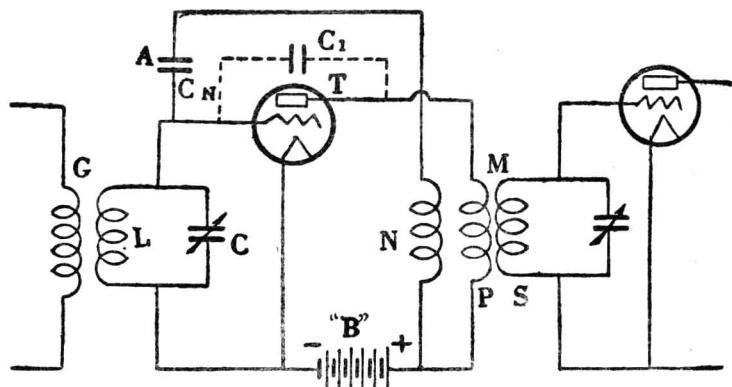


外 差 線 路 之 一

發出波浪能力之用。 L_4 及 L_5 爲振盪路內柵屏兩路內交連線圈。 C_4 用以配置局部振盪之波長。 C_5 及 C_6 供給一短路與高週率電波，與前所述略同。其他類是而稍異之外差線路甚多，大致無甚出入，恕從略。外差之勝於自差線路，要在局部波長之配置與檢波線路內之諧振不相牽涉，不若自差之易此即變及其他也。

7. 平差接收線路 平差接收線路 (neutrodyne receiving circuit) 可稱無線電真空管接收線路中最精密之一，常作高等收音機之用。在未述及本線路之前，讀者猶記及於放大器章內所述射電週率放大之弊害。其弊害維何？乃因真空管屏極與柵極間之電容量足以引起局部振盪而與放大正聲騷擾也。此電容量之存在，可以使凡屏電流變值時感應電壓返入柵路內，若不慎防，則於高週率時放大幾無用處。補救此弊，方法甚多。最簡易者莫如每一放大真空管柵路內增置一高電阻約 1000 歐姆或較多（柵路內電阻增加後，可以阻止振盪，已見前）。但此法足以減低音訊強度，並不見佳。或使柵極得一比較燈絲負極爲正之電壓，如是柵極電路之實效電阻加增，亦足以停止振盪。惟此正電壓之價值，須隨接收週率之高低，常加配置，使用未見便捷。是以最通用之方法，厥爲平差接收線路。平差線路係利用一額外小電容器，用適當接法，使屏流變值時，經屏與柵間之固有電容器與此額外接入之電容器，感應兩相等而相反之電壓於柵極電路之內。換言之，即將額外電容器與固有電容器兩者在柵路內效驗互相抵消淨盡。第一一圖示平差線

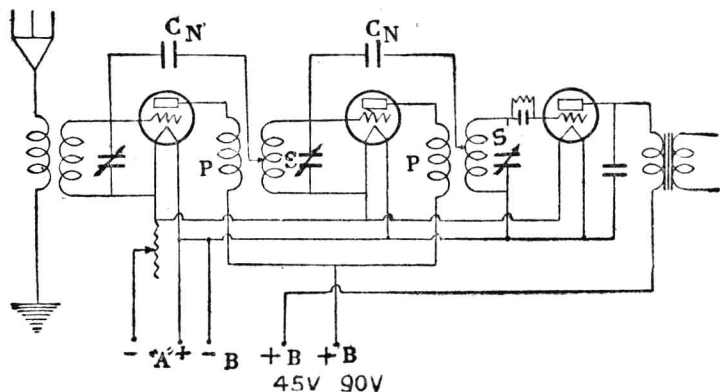
第 一 一 圖



平差接收線路之一方式

路佈置之法。內 C_1 為臆想之柵屏間固有電容器， C_N 為額外接入之電容器，數值相等。線圈 N 為變壓器 M 正副線圈 P 及 S 以外之線圈，當屏電流起變化時，感應電壓於柵路內者凡有二路。一則經 C_1 ，又一則經 C_N 。但因接法之特殊，此兩電壓方向適相反， C_1 既等於 C_N ，兩電壓值復相等，故得相消，電流無由產生，騷擾得免。第一二圖示一平差收音機完全線路圖，其中所用抵消屏柵間電容量之方法稍異。每個射電週率變壓器之 S 圈上，引出一路，中間加一電容器 C_N 而通至柵極。按 P 圈之電壓，與感應於 S 圈內之電壓，本為相反方向，故 S 圈內引出經 C_N 之電流，可與因柵屏間電容量作用而發生之電流，互相抵消。若 C_N 之價值相當，則此二電流可以完全抵消。若是則收音機中，除外來電音外，雜聲全止。所受音節，清晰異常，最宜於收受廣播音樂或演講之用。

第一二圖

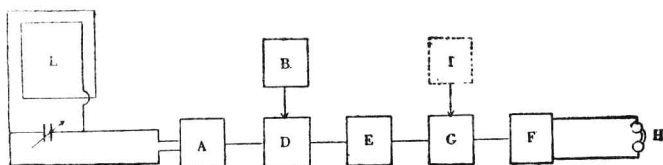


平 差 式 接 收 線 路

8. 超等外差接收線路 無線電真空管接收機之最複雜最精密者，要推超等外差接收線路(super-heterodyne receiving circuit)。其聯接較為繁瑣，其理論較為深湛，請得而述之。讀者於以前各章已明差週率接收之基本觀念及其如何應用於真空管接收機中，并知放大器之如何不宜於高週率電波。例如 1000 基羅週之放大器極易自生振盪，而 50 基羅週之放大器則穩定殊甚，製造較易。故若能將外來電波，設法改低其週率，而不失其真相，然後以連續放大擴大之，則既得放大之利，復無自生振盪之弊，最為得計。

此超等外差線路，即應用差週率線路以避除上述之困難也。第一三圖表示該種線路之簡略步序。L 為一尋常線圈天線，用以收集外來電波。B 為局部設備之真空管振盪器，外來電波至 A 經過

第一三圖

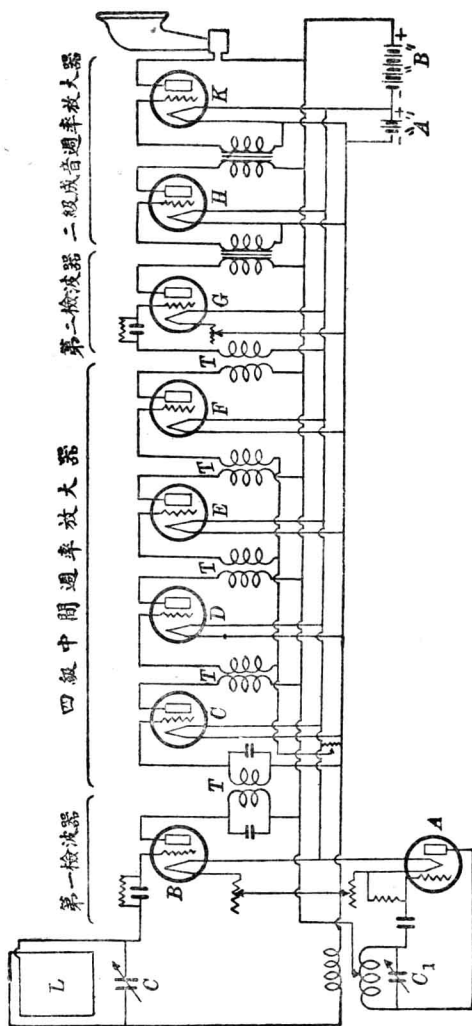


超等外差接收方法之程序

射電週率放大一級至D，則外來與局部電波發生交相加減，成差週率作用，而成第一次檢波作用。其結果電波之週率，為兩電波週率之差，一如前述。E為中間週率放大一級，此級放大性質特別，詳述於下節，G為第二次檢波器，將此經過中間放大級以後之電波檢出，成為成音週率之電波。至F則為成音週率之放大。H為收音器或聽筒，由電波而變為音節矣。設該機用以收報，則於階級E之後G之前尚須一局部振盪器I，以與中間週率之電波成差週率現象，然後至G級第二次之檢波。因是時週率仍高，雖經檢波入耳仍不能聞。若收音則該中間週率之電波，已為語言音樂所調幅，一經檢波即能成音也。

上節所述D部之中間週率放大級，為本線路之特點，不得不詳為解釋。此級放大，其設計專配合於某一週率帶，大概在每秒鐘15,000至200,000週之間。假定此週率為N，而外來之電波週率為 N_1 ，假如在接收時將局部電波週率配置至 N_2 ，同時 $N_1 - N_2 = N$ ，則該放大器之放大效力特大。第一四圖表示超等外差收音之詳細線路。該路共用A, B, ……H, K等九管，A管供局部發波，B

第一四四圖



超等外差收音機線路

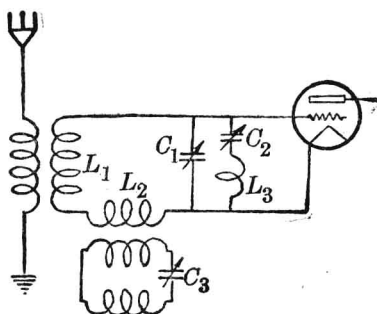
管供第一次檢波，發生差週率作用。C,D,E 及 F 四管中間週率放大，G 管第二次檢波，使中間週率化爲成音週率，H 及 K 二管爲成音週率放大。故在收音時，祇須將與天線並聯之電容器 C 固定位置，然後將局部振盪器內電容器 C_1 變值至二波週率之差，適等於中間週率各級放大預計之週率相等，音節宏亮清切。本線路之最大利益，共有下述各端：（一）可以避免他臺騷擾，其理已如上述。（二）因放大級數之多，以極小之線圈天線，可接極遠音信。（三）接收使用，步驟簡單。止須將兩電容器轉動至得音爲止，雖無特識，亦能按法使用。（四）因週率太高所生種種之弊，可以避免。且中間週率放大各級，因限於某一週率，計畫較易，使用更能滿意。

關於超等外差接收線路，尙有下敘各點，值得注意：第一，超等外差線路，其內容步序，雖有一定，而真空管究須幾座，則極活動。其故因差週率或用外差法或用自差法。前者則檢波振盪二管分任，後者則檢波與振盪合於一管。且第二次檢波以後之電波，或用回復方法還至中間週率放大器以得成音週率放大，省去成音週率放大各管。他如第一次檢波以前，或用一級射電週率放大，中間及成音週率放大之級數，俱有增減之餘地。故必謂須真空管八九座始得超等外差接收線路者，不足信也。第二，應用超等外差接收線路，不論外來電波週率之爲若干，祇須配置局部振盪週率使兩者之差等於預計之週率，然後得靈效之放大。中間週率放大器之設

計，須使其盡量放大此某週率，而不放大其他任何週率。跨接線圈天線之電容器及局部振盪線路內之電容器爲便於使用起見，往往連在一軸，同時旋轉，故配諧時，實祇此動作，其簡易可知。第三，超等外差線路之選擇性，極爲佳美，可以證之如下。例如有一欲收電訊其週率爲 1,000,000 週，與一騷擾電訊週率爲 1,005,000 週同來。兩者之百分差爲 0.5%，極爲微細。若非用多級連續放大，分別匪易。若用超等外差線路，其局部振盪週率爲 1,040,000 週。經第一次檢波以後，兩者之差週率各爲 40,000 及 35,000 週。其百分差爲 12.5%。若欲選擇而聽，自屬易事。第四，超等外差線路內有所謂影像週率 (image frequency) 之存在，其理論及如何去除之方法，值得討論，約如下述。設中間週率配置爲 100 kc.，而外來信號爲 1000 kc.，局部振盪若爲 1100 kc. 或 990 kc.，均能得 100 kc. 之週率差，彰彰明甚。但若局部振盪爲 1100 kc.，外來振盪 1000 kc. 或 1200 kc. 亦均能得 100 kc. 之週率差。此兩週率有如影物之相互對照，故一週率爲又一週率之影像週率。若不設法去除，俱足以增進收音機之騷擾。但若局部與外來振盪利用直線週率式同軸電容器 (gang condenser) 以配諧，并使局部週率永高於外來週率凡 100 kc.，則前弊可免。外差管以前加以高週率放大器一級而使之配諧於比局部週率 100 kc. 之外來週率，則另一影像週率因選擇作用，即不致侵入，後弊可除。但若前述之 1000 kc. 之電波，自 1000 公里外傳來，在收音地帶之電場強度祇每公尺三數

兆分伏脫，而 1200 kc. 之電波，卻自近地傳來，其電場強度反有每公尺數十千分伏脫，則此時高週率放大器已無能為力，騷擾為不可免。補救方法可以如第一五圖於射電週率放大管柵與燈絲之間接一直線週率式電容器 C_2 及自感量 L_2 串聯使其配譜永高於 $L_1L_2C_1$ 所配譜凡 200 kc.，如是此影像週率即被陷於此捷路而不致為患於柵極。電容器 C_1, C_2 ，及 C_3 須為同軸。

第一五圖

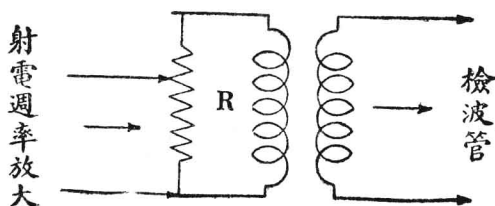


超等外差線路去除影像週率之一法

9 信號強度之簡單控制方法 接收無線電報，其目的在能辨點畫以成文字，固無需乎高聲。接收廣播電音廣播發射臺工率與距離各異，電音之遠而弱者須盡量放大，近而強者僅些微放大，或已足夠。可見在接收機中必須有相當設備或方法，可以控制音訊之強度，方可使用滿意。其道約如下敘三種。第一，用誤諧法 (mistuning)。其法將電容器，或磁感圈配諧時配置不在諧振點而略偏側，如是信號可以低弱。但此法祇宜於比較靜寂之環境中，否

則稍一誤諧，即將不欲聽之騷擾電音攙入，反使正音不能聞及矣。第二，配置放大管之燈絲電流。此法最為便捷，實用亦最廣。若音訊不強，用此法不致妨及音質，故宜用於射電週率放大階級，而不宜於成音週率放大階級。第二，最善之法為使各管均得核定電流，而在放大器適當處使一部分電流分入跨接之支路，以控制其音訊強度。此支路往往亦為可變值之電阻，常置於射電週率放大之最後一級。其接法約如第一六圖。R 為一支路電阻，其值可變以控制其音訊。此為三法中最完善，似稍複雜耳。其餘利用新式管控制音量之方法，詳見特式真空管一章。

第一六圖

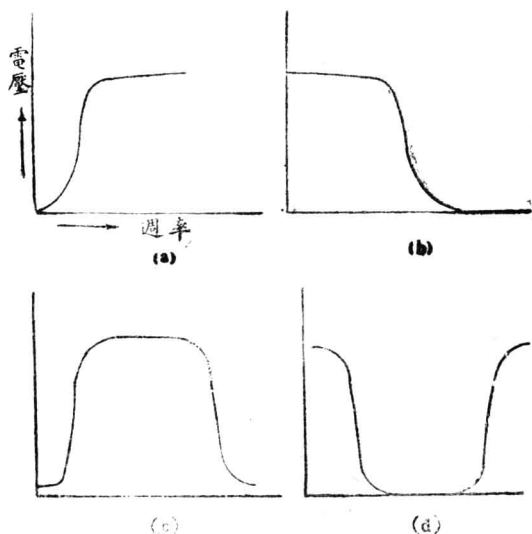


接收音訊強度控制法

10. 濾波器 濾波器者實為電阻，電容量及磁感量三者之集合佈置，其數值及方式使直流交流分途而行，或使某週率之交流通過自如，而使其他某週率之電流遇極大總阻被遏止而無由通過也（關於濾波器之理論及計算稍涉深奧，本編所及，僅其概略）。分析直流交流之濾波器，理論構造，均極簡單。蓋以直流不能通過電容器，而能通過電阻較小之磁感線圈。反之，交流可通過電容器，

而得大迴阻於磁感線圈也。此種應用，以前各種線路中，數見不鮮，毋待再述。在交流方面，濾波器可分為四種：第一，如界上濾波器 (high pass filter)，容納某週率以上之各週率之電流通過而阻遏某週率以下之各週率之電流。第二，如界下濾波器 (low pass filter)，其作用適與第一種相反，容納某週率以下之各週率之電流通過，而阻遏某週率以上之各週率之電流。第三，為界內濾波器 (band pass filter) 與前二種各有不同，容納某二週率範圍以內各週率之電流通過，而阻遏該二週率範圍以外各週率之電流。第四，為界外濾波器 (band exclusion filter) 適與第三種相反，容納某二週率範圍

第一七圖



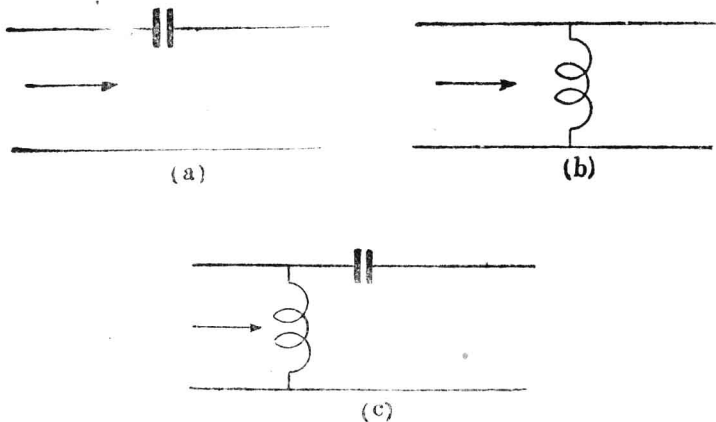
各式濾波器輸出電壓與週率之關係

以外各週率之電流。而阻遏某二週率範圍以內各週率之電流。各式濾波器之大意，可觀第一七圖。輸入電壓方面，若為常數而以之通過各種濾波器，其輸出電壓方面之週率，約如圖示。(a)，(b)，(c)，及(d)依次表示前述四種濾波器之輸出電壓與週率之關係。觀此對於各式濾波器之種別，當更明晰。

關於以上四種濾波器之理論，其基礎無非建立於並聯及串聯之現象，可得而述之如下。

請先論界上濾波器。設交流線路內阻以電容器如第一八圖(a)，則高週率比低週率易於通過，但若以磁感量跨接於線路如同圖(b)，則低週率將經此捷徑以回而不致向前再進。而高週率則仍繼續外流。故若以一適當價值之電容量及磁感量聯接如同圖(c)，即成

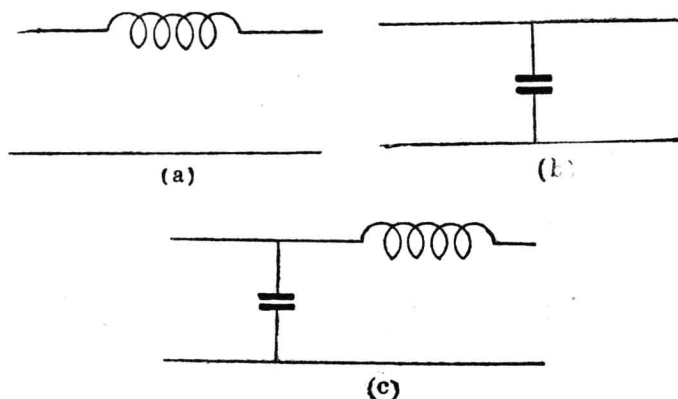
第一八圖



一界上濾波器。但此器僅一單位，各週率被濾與通過之界限，並不清晰。欲求界限分明，此種濾波單位，可以重複排置，然後濾波效驗益可增進。

其次述界下濾波器。界下濾波器之理論，與界上濾波器，相仿而適相反，讀者參以上述理論及第一九圖，可以推及，毋待贅述。

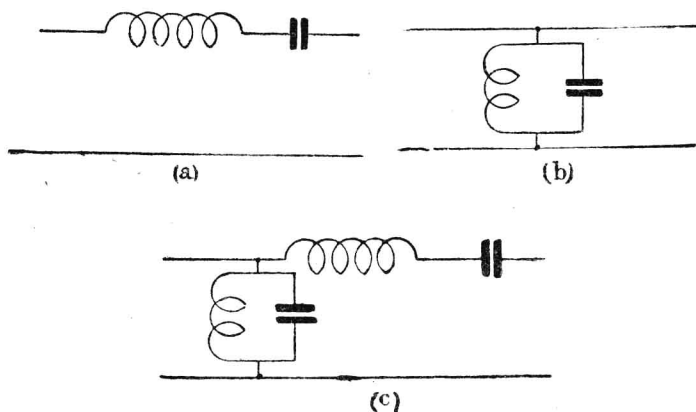
第一九圖



界下濾波器之解釋

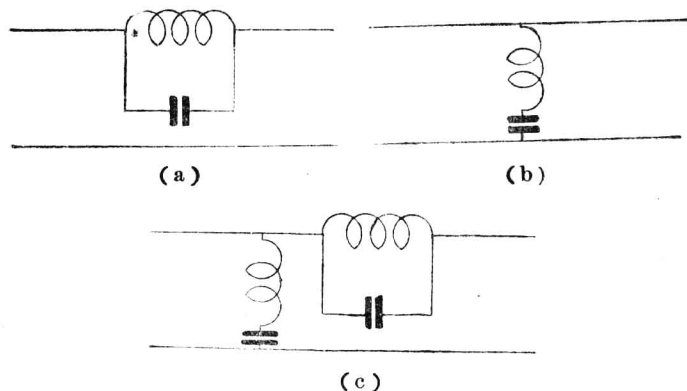
界內界外濾波器，係利用諧振原理。例如第二〇圖(a)若以一電容量與磁感量串聯於電路內，成串聯諧振則此佈置對於某週率（即諧振週率）之電流，供給總阻極微，而於其他週率，則總阻甚大。又若以一電容量及一磁感量並聯跨接如同圖(b)，成並聯諧振，對於某週率之電流，供給幾為無限大總阻，而於其他週率，則總阻甚小。若以(a)與(b)所接，合併之成同圖(c)，即成

第二〇圖



界內濾波器之解釋

第二一圖



界外濾波器之解釋

一界內濾波器，此種濾波作用，欲求界限分明，亦須重複，正與前同。
 界外濾波器之理論與界內濾波器，相仿而適相反，讀者亦可以推

論得之。

界上界下濾波器，常用以交流電源供給收音機之屏柵燈絲各極電壓，及無線電收發線以內避免各種騷擾，界內濾波器之應用，已於射電週率總阻交連放大器內見之。所稱各式之除波器 (wave trap)，實皆界內界外濾波器之應用也。

雙座二極管整流後之顫動直流，若用波浪分析法解析之，可得一部為直流，其值為交流最大値之 63.6%。假定交流為 60 週，又可得 42.2% 之 120 週交流，8.5% 之 240 週，3.6% 之 360 週等等。故若以界下濾波器將以上各週率之交流濾去之，即可得純粹直流電壓，以加於全接收機各真空管屏柵網等各極。各項設備線路，整流濾波設備，有時合裝成一集體，稱為電池免除器 (battery eliminator)。其詳見第十二章。

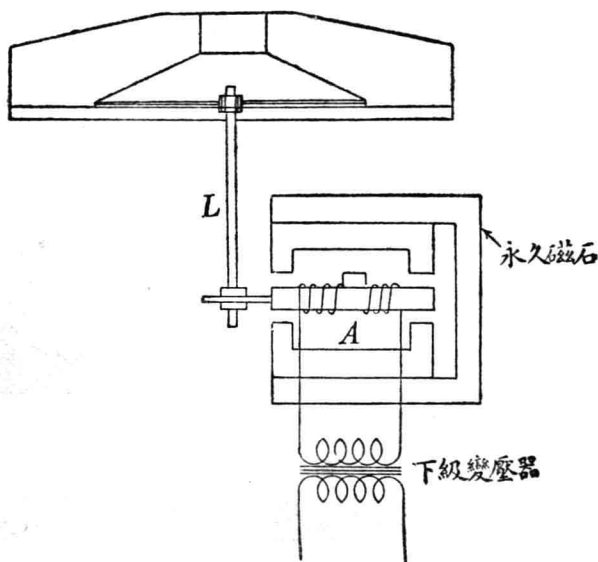
11. 收音器 關於無線電收音機有一附帶之機件，可乘便敘述者。此器維何？即收音器 (loud speaker) 是也。

無線電所收得之音信，由電波轉為聲音，多用聽筒。但因聽筒發聲，祇限於耳戴聽筒之人。自無線電廣播事業盛行以後，所收音樂談話，往往須能使全室羣衆享受，故聽筒而外，又有所謂收音器之製造也。

收音器之構造原理，大致與聽筒相同，蓋皆利用電波之振盪，轉為鋼膜之機械振動，以發音節。惟因其達此種目的之步驟，略有不同。故收音器，大致可分三種：第一種，為普通電磁式，與平常

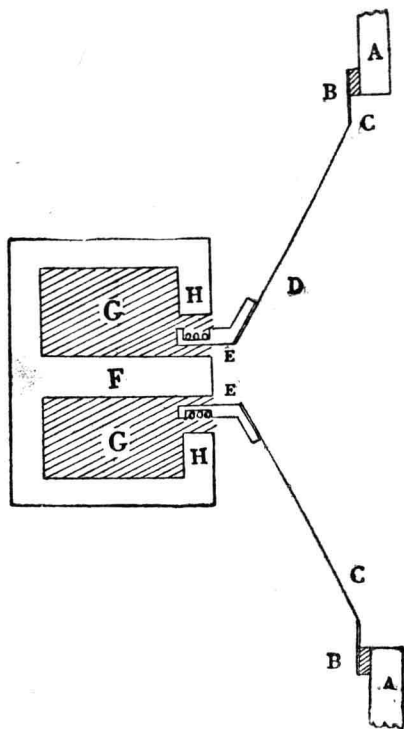
聽筒構造正同。惟另有機械使鋼膜與磁極距離，可視電音之強弱而配置。蓋電波強，則空隙宜大，鋼膜不致與磁極相擊而生雜聲；電波弱，則空隙宜小，使鋼膜易於振動以發聲音。此種放音器，因其構造簡單，使用便易，往往用於成音週率放大二級以後，極稱適當，人最樂用之。第二種，為應用電力與機械力原理者。其理論可用第二二圖說明之。自接收機來之電流經過磁場，而使鐵心 A 振動，惟此振動並不直接發聲。由此鐵心經過槓桿 L 以振動薄膜，應用機械放大能力。此種磁場仍由永久磁鐵得之。鐵心與震膜間之槓桿距離，大多能任意配置，以便得到最佳之情況。

第 二 二 圖



第一種之放音器形如牛角，故稱角式(horn type)，俗譯喇叭。第二種放音器，其輔助震動之紙片，多裝成圓錐體，故又稱圓錐式(cone type)。其使用情況，當然後者較勝於前者，而二者均有低週率範圍之弊。蓋聲音週率之低於每秒鐘 100 次者，此二種放音器之效率，幾等於零。易言之，低於 100 次週率之音節將被放音器所汨沒。若用以放大音樂言語，必使子音及低音喪失，而不能得忠實之放大。現今最滿意之放音器，當推第三種之電動式(dynamic type)，特詳解之如下。其構造如第二三圖所示。HH 爲一壳式磁鐵(shell-shaped magnet)，有圓筒式鐵心 F，爲線圈 G 所勵磁。磁鐵之空隙爲環式。壳式磁鐵之底片 H 幾觸 F 而留些微餘空，爲線圈 E 所繞如圖。線圈 G 爲極多細線所組成，其電流爲供給收音機真空管整流後至屏極之直流。實則 G 同時爲整流時，需要濾波磁感量之一。E 爲約及百圈之細線，語音電流由此通過。E 線圈附着之絕緣環展開於外，而與紙圓錐體 D 相黏。圓錐體 D 之頂角，約爲 140° 。而其底圓直徑約爲 25 公分。底圓與一小羊皮製之環 C 相貼。環 C 復與輕質金屬環 B 固牢。環 B 外尙有板 A。當語音電流流過線圈 E，更易空隙間之磁場強度，致線圈 E 依其軸而移動，傳動作至圓錐體 D，因以發聲。板 A 阻止空氣流動，於圓錐體之底邊，所以助低週率之聲波震動。電動式放音器發音最爲均勻，能自每秒鐘 40 次以上，以至最高，完全無異。線圈 G 約需工率 10 瓦特，線圈 E 約需工率 1 瓦特，線圈 E 祇有總阻 10 歐姆，故爲與放大管屏路

第二三圖



電動一、放音器構造

相接起見，必須再串聯一高大總阻於內（電工率放大，需一大量總阻，其第八章）。其法以線圈 E 經過一變壓器而至屏路。設變壓器之比率為 30 比 1，則 10 歐姆之放音器可得 9000 歐姆於屏路也（因總阻大部為磁感迴阻，而磁感迴阻與圈數之二乘方成正比例也）。

12. 接收機品質之標準 接收機品質優劣之標準，以三項性質爲斷。此三項性質維何？選擇性，靈敏度與忠實性 (fidelity) 是也。請略述此三項之意義如下：——

凡一接收機必須將欲收與不欲收電臺之信號加以分析選擇性即屬品定此種能力之一種權衡。理想完美之接收機，其選擇性之高，可使吾人配諸某電臺信號時，不論其他電臺信號強度如何之高或週率如何之近，仍可不受絲毫騷擾。此理想之選擇性雖不易達到。近代精密之接收機，其選擇性之高，已足敷事實之需要。選擇性常以曲線表之。

接收機之靈敏度乃屬全接收機自天線起以迄放聲器止之完全放大比率。此比率愈大，接收機愈爲靈敏，信號發音可強，接收里程可遠，自爲一種可以寶貴之性質。但若靈敏度甚高而無選擇性，接收機仍無價值，蓋如此則各臺信號將同時入，主客不分，無復能辨別信號之爲何矣。選擇性與靈敏度在接收機各級放大中，常處於衝突之地位，凡各種設施之足以增進靈敏度者，選擇性必爲損失；反之，凡各種設施之足以增進選擇性者，靈敏度必遭減退；故通常接收機之設計，常爲二者之一種折衷調劑。接收機之靈敏度常以得到強力放大器若干定量工率所需要於天線感應之高週率電壓以計之。例如現今最靈敏之接收機其靈敏度約爲數兆分伏脫以得強力放大標準輸出工率 0.05 瓦特。

除上述二項性質爲接收機必備者外，凡屬廣播收音機尙需要

第三性質稱爲忠實性。收音機欲得音樂語言之忠實重生，必須將天線所收到信號波式及週率均勻放大，否則卽有失真之虞。欲保佳美之忠實性放大階級內之諧振不能太銳，最佳者能於 10 kc. 範圍內放大極形均勻。忠實性亦常與選擇性同以曲線表之。

至於上述三項性質之如何增進以及其他相互關係。散見本章及放大器一章。

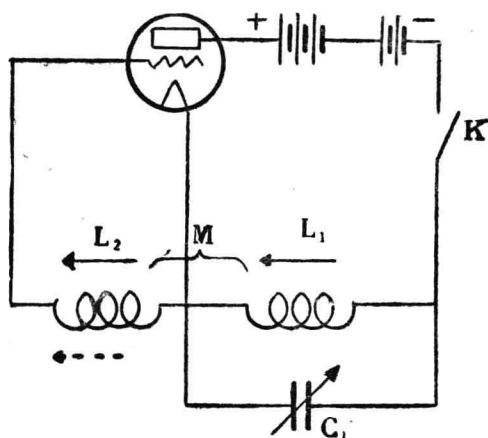
第十章 真空管發射機

(Vacuum Tube Transmitters)

三極真空管藉其振盪之作用，可作為發生交流之電源。其週率範圍，低至每秒一週，高至每秒 300 兆週，或竟更高，而並不需複雜之機械設備。凡利用三極真空管之振盪作用，以發生高週率交流，放射能力，為通信之種種機器設備，統譯稱之為發射機。專為電報通信者為發報機，而專為電話及廣播者為發音機，以示區別。實則發報發音機二種原理，實無二致。所異者發音機較發報機除去發報電鍵，代以將語言音樂之振動，加之於高週率振幅所稱調幅階級耳。本章先述真空管振盪之數理，次敘振盪線路之各項方式，與其實施於發報機之設備。最後並殿以關於發射機之線路舉例。

1. 真空管振盪作用之解析 真空管之可以發生振盪作用，已在第七章敘及。茲再進而解析其振盪之步序如下：例如第一圖示

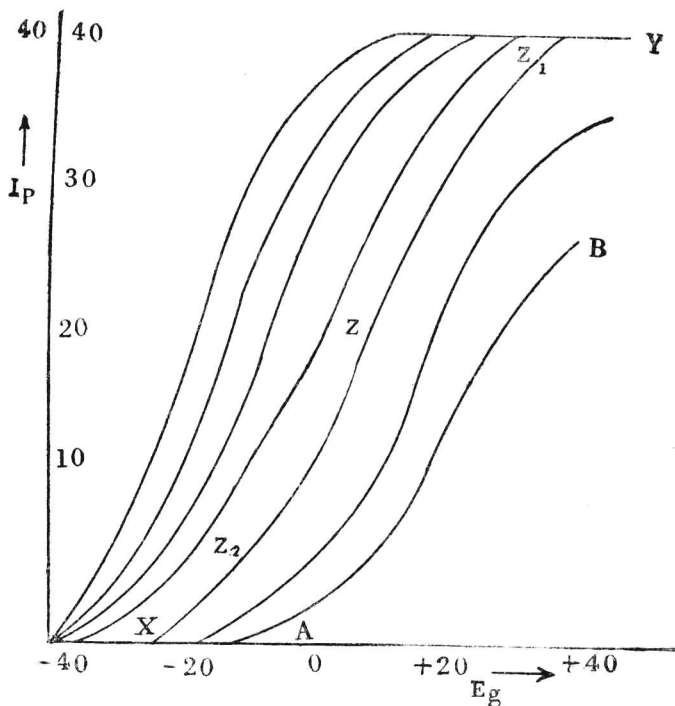
第一圖



真空管振盪線路

一最普通之三極管振盪線路。屏路內線圈 L_1 ，與柵路內線圈 L_2 ，除接觸外，有適當之互感關係。設柵極配置在零伏脫電壓，將電鍵 K 關下，使屏路成通路。按照第二圖之特性曲線，屏流當升至 Z 點。但正在增值之瞬息間， L_1 線圈發生一反電壓，其趨向為阻遏屏流之增值，如實線箭頭所示。其結果使屏極實效電壓，並不按照原有曲線 XY ，而自一低電壓，逐漸升高，至 XY 曲線所代表之電壓而止（因屏極實得電壓為“B”電池組電壓與反電壓之差，而反電壓在電鍵初關之瞬為最高，厥後逐漸減退也）。但因 L_1 與 L_2 交連之關係， L_2 內感應電壓，其方向亦如實線箭頭所示，適使柵極得正電壓（設感應電壓而得負值，則振盪不能發生，即未得適當之互感量方向）。屏流因增至 Z_1 ，超出其穩值

第 二 圖



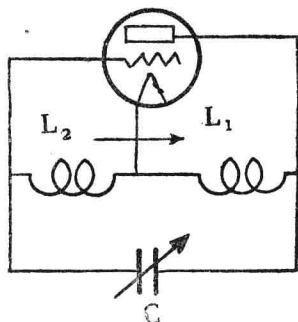
真 空 管 特 性 曲 線

Z。柵極既得正電壓，燈絲散射之電子，被其吸引，而生柵流。此柵流之方向，係自柵至燈絲經 L_2 而返柵極。其方向與 L_2 內之感應電壓相同，而與屏路內電流方向相反，如虛線箭頭所示。是以不久，兩線圈 L_1 及 L_2 之磁力線，完全抵消。屏流有歸返穩值 Z 之趨向。但屏流減退之瞬， L_1 立刻發生反電壓，以阻遏其變值，即維持其原值，一切步序與前次同，所異者各電壓方向均適

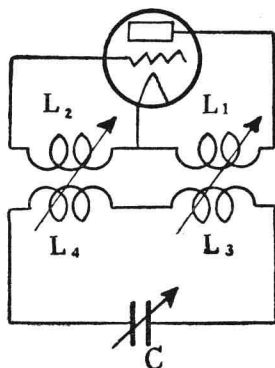
相反，屏流之減值又過穩值而至 Z_2 ，柵極又得負電壓。柵壓既為負，柵流變零或甚微小。 L_2 本體發生之磁力線，隨之消滅。 L_1 之磁力線亦因屏流下降而衰微。 L_2 內之感應電壓，亦至零值，柵極復回至零電壓，屏流又復增高。此種作用，又復起始。如是循環不息，在 L_1 兩端即有一振盪電壓存在，若以電容器 C 跨接如圖，巨量振盪電流即能流動。若以適當放射線路交連之，即可為發射之用。

2. 真空管發射機線路之種類 從前各節可見欲將真空管振盪，繼續不息，必須使該管之屏路與柵路，用任何方法處於互相交連地位。使柵極之電壓變化，影響至屏極，引起屏流之變化。屏路與柵路，交連之方法，各有不同。真空管發射機線路之分類，多以其特殊交連方法為據，而復冠以最初發明者之姓氏。例如用磁

第 三 圖

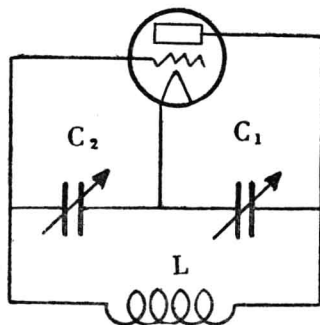
哈得雷氏電路

第 四 圖

米字南氏電路

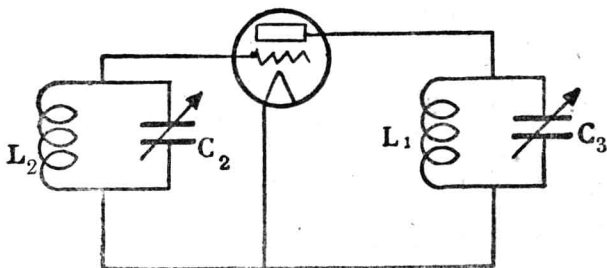
感量交連者：有哈得雷氏線路 (Hartley's circuit)，及米字南氏線路 (Meissner's circuit)。電容量交連：有克爾畢子氏線路 (Colpitt's circuit)，及奧斯德郎氏線路 (Armstrong's circuit)，其他尚有屏諧電路 (tuned plate circuit) 及柵諧電路 (tuned grid circuit)，皆以上各線路之變相。各式線路佈置，可參閱第三圖至第八圖。

第 五 圖



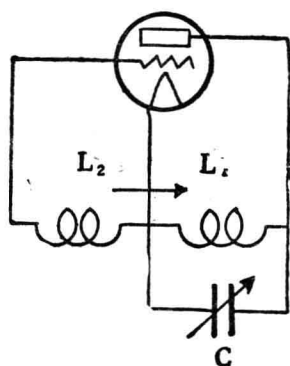
克 爾 畢 子 氏 電 路

第 六 圖



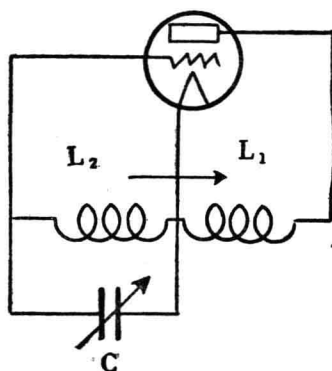
奧 斯 德 郎 氏 電 路

第七圖



屏諧電路

第八圖



柵諧電路

3. 振盪之主要條件 真空管成功振盪之主要條件凡二：第一，柵極電壓與屏流之交流部分，必須合相或近合相，第二，柵屏二路間之交連程度，必須到達或超過一相當最低限度。此二點以前二章，均有敘及，今更為進一層之探討如下：

今若以第八圖之振盪線路而解釋之，假定初時振幅甚微，而 L_1 之磁感迴阻，較真空管之屏路交流電阻 r_p 極小，可以不計，於是屏流

$$I_p = \frac{\mu E_g}{r_p} \quad (\text{見前})$$

但柵路內因 L_1 及 L_2 之互感量 M 之作用，其感應電壓

$$E = I_p \times 2\pi f \times M = I_p \omega M$$

若以 I_p 之前式代入，吾人得

$$E = \frac{\omega M \mu E_g}{r_p}$$

於是在諧振柵路內，得

$$I = \frac{E}{R} = \frac{\omega M \mu E_g}{R r_p}$$

設 R 為該線路內電阻，此回授電流所發生之電壓，再加柵極，將為

$$E'_g = I \times 2\pi f L_2 = I \omega L_2$$

或

$$E'_g = \frac{I}{2\pi f C} = \frac{I}{\omega C}$$

若以前二式中消除 I ，於是

$$E'_g = \frac{M \mu E_g}{r_p R C} \dots\dots\dots \text{公式(1)}$$

但如以前所述，此回授所得加於柵極之電壓，至少等於或超出原有柵極電壓，振盪始足以維持，廣續不輟。可見

$$\frac{E'_g}{E_g} \geq 1, \quad \text{或} \quad \frac{M \mu}{R r_p C} \geq 1$$

為振盪必要條件之一。換言之，交連程度之互感量 M ，必須等於或超過 $\frac{R r_p C}{\mu}$ 之值。又可見在一真空管振盪線路內，增加 R ， r_p 或 C ，均足以遏止振盪之發生。而增加 M 或 μ 則反是，甚為明顯。

振盪線路內之屏流，為一直流及一交流部分所合組。維持振盪而加電壓於柵極者，為交流部分而非直流部分，所以在屏流至最高正值之頃，其交連互感量方向，必須適足使柵壓同時到最高

正值。反之則回授不能成就，振盪不能繼續。在實驗時，若因此謬誤，而不能發生振盪；將屏路線圈或柵路線圈之兩引入線相互易位以得之。

若欲以數學證明互感量之方向，祇有一方可以發生振盪，亦未嘗不可。今試以第七圖證之。該線路 L_1C 有電阻，在一自由振盪而並不接入真空管，則單純控制其作用。但在本圖內，以高等數學，可證明當量電阻為

$$R_e = R + \frac{L_1 + \mu M}{C r_p} \dots\dots\dots \text{公式(2a)}$$

及

$$R_e = R + \frac{L_1 + \mu M}{C r_p} + 2 \sqrt{\frac{L_1}{C} \left(1 + \frac{R}{r_p}\right)} \dots\dots \text{公式(2b)}$$

可見此振盪電路內之當量電阻，比原有電阻為增加。其所增之值為 $\frac{L_1 + \mu M}{C r_p}$ 。但各數中 L_1, μ, C ，及 r_p 永為正值，而 M 或正或負，視兩線圈繞法及相互方向而定。設 M 而為正值，則當量電阻增加，其減幅之速，更駕尋常自由振盪線路而上之。自生振盪，將不可能。設 M 為負值，則當量電阻減損，可使之或等於零或小於零。

若欲將 $\frac{L_1 + \mu M}{C r_p}$ 之值等於 $(-R)$ ，則互感量 M 之絕對價值，必須等於或大於 $\frac{C r_p}{\mu} \left(R + \frac{L_1}{C r_p} \right)$ ，此為維持振盪之最小限度，而

$$\frac{C r_p}{\mu} \left[R + \frac{L_1}{C r_p} + 2 \sqrt{\frac{L_1}{C} \left(1 + \frac{R}{r_p}\right)} \right] = M \text{ 為屏柵間之最密交連，即}$$

維持振盪之最大限度也。設當量電阻小於零而趨於負值，振盪之

幅將累增，直至被限於特性曲線。觀此讀者於真空管振盪之所謂負電阻效驗者，當更瞭然矣。

4. 真空管振盪線路之週率 應用高等數學，吾人可證真空管振盪線路，如第七圖之屏諧線路，嚴格當為

$$f = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{R+r_p}{r_p L_1 C}} \dots\dots\dots \text{公式 (3)}$$

但實際上，因 R/r_p 為值甚微，故其振盪週率與一自由振盪線路相似，而為

$$f = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{1}{L_1 C}} \dots\dots\dots \text{公式 (4)}$$

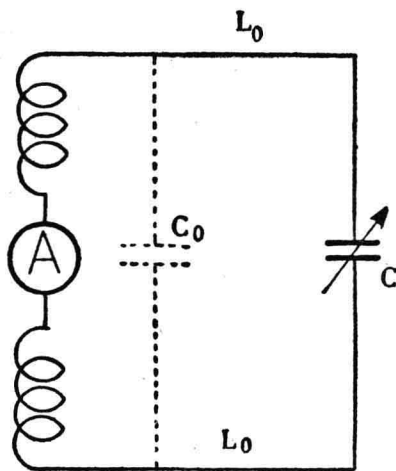
若以第三圖之哈得雷氏線路計之，其振盪週率當為

$$f = \frac{1}{2\pi \sqrt{(L_1 + L_2 + 2M)C}} \dots\dots\dots \text{公式 (5)}$$

其他各線路之振盪週率，均可類推。是以真空管振盪線路之週率，全視線路內之磁感量和電容量而定。欲得極高週率即極短波長，管內電容量及接線磁感量即足應付，故管內電容量及管外最短接線之磁感量等，適為限制該管所能產生之最短波波長之主要條件。

有時真空管振盪，忽然躍到一甚高週率，不復為以上各公式所限制。如第九圖電路內電流表A記錄等於零。其故因線圈L之分佈電容量，及真空管內路電容量 C_0 ，及接線之分佈磁感量 L_0 ，組成一振盪線路。在此高週率振盪之下，原有之磁感量L變成斷路，原有之電容量成一短路。此弊於第五圖之克畢子氏線路，及第三圖

第九圖



分佈電容量及磁感量

之哈得雷氏線路無之，因在前者線路分佈電容量，及管內電容量與配諧電容器成並聯關係；在後者管內電容量與配諧電容量亦成並聯關係，其振盪週率不致躍高。

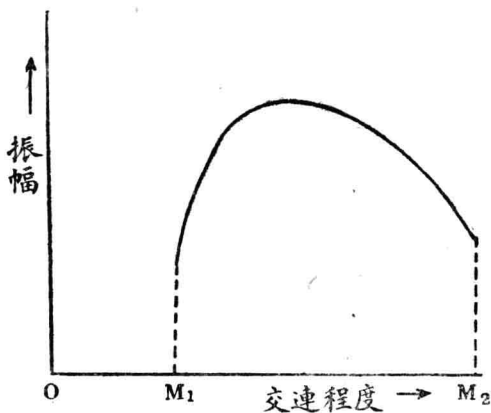
5. 振盪振幅與交連程度之關係 例如第七圖內所示之屏諧振盪線路，若將已得振盪之交連程度，由緊轉寬，即將 L_1 與 L_2 間互感關係減疏；欲維持同值柵壓， L_1 內振盪電流必須增，換言之，柵屏交連愈寬，欲保持一相當柵壓，振盪電流必須愈大。直至被制於特性曲線之上下膝點而止。若交連趨寬更進一步，振幅不能再增，柵壓不能維持，振盪即止。但若將交連程度增進，振盪電流減損，直至不足以補償振盪電路內所消耗之能力，振盪亦停。可

見欲得振盪繼續不輟，柵屏間交連程度，必須在適當範圍以內。讀者可參考第一〇圖見之。

6. 振盪振幅與柵壓之關係 從前第三節，可見欲維持真空管於振盪狀態中，

$$M \cong C \frac{r_p}{\mu} \left(R + \frac{L_1}{Cr_p} \right)$$

第 一 〇 圖



振盪振幅與交連程度之關係

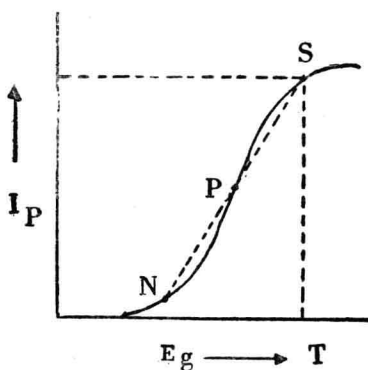
為必要之條件，移項而以 g 代 $\frac{\mu}{r_p}$ ，吾人得

$$g M \cong \left(CR + \frac{L_1}{r_p} \right)。$$

是可知欲令真空管振盪，必須 g 與 M 之積，必須超過或等於一最小限度，今若以柵壓配置在第一〇圖之特性曲線之 P 點，此點之

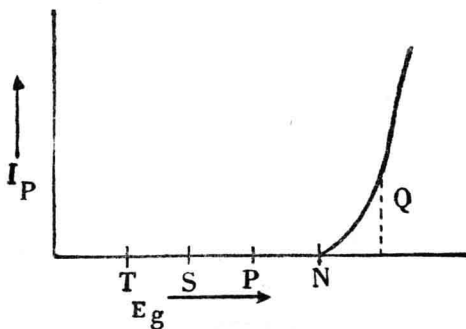
互導 g 價值最巨；若 M 值適當，振盪即能起始。於是柵壓屏流振盪於 N 及 S 兩點之間，至是振盪後之平均互導並不等於 P 點斜度之正切，而等於 NS 直線之正切。其價值減損，積數 gM 當然亦小。至等於公式右項時，振盪即入於穩定狀態。

第一一圖



真空管特性曲線

第一二圖



特性曲線之下部

但若柵壓配置在特性曲線任何膝點上，如第一二圖特性曲線 Q 點上， g 值甚微，如 g_M 之數尚未降至最小限度，振盪仍可起始，但如不足，則非增加屏柵間之交連係數 M 不可。又如柵壓配置在 P 點， g 等於零。設柵壓變值僅及於 S 及 N 二點之範圍，不足以引起屏流之變化，振盪無由發生。但若柵壓變值巨大，在 Q 及 T 二點範圍以內，真空管祇於一週之一部分供給能力於振盪電路。如交連尚緊，或足以引起振盪而至於穩定。但此種巨量柵壓常非實際可得，振盪大都不能發生也。

7. 輸出工率與屏極電壓之關係 如真空管之設計，屏極不致過熱，及真空程度高超，則其輸出工率僅被制於屏極電壓與燈絲散射之總和。設屏壓適當，燈絲散射之電子，有效者僅其一部分，餘則徘徊於燈絲左近或復返燈絲，則屏壓愈高，其有效部分亦愈大，但自另一方面言，在一適當燈絲散射電子數量下，屏壓愈高，輸出工率愈大，幾無限制；只須該管能不致為高電壓而破損耳。是以強力振盪管之屏壓，常高至數萬伏脫以上。若用純鎢燈絲，則又將被限於燈絲所射電子，此所以塗料燈絲之應用日廣也。

8. 真空管之核定工率及效率 真空管用作放大器或振盪器時之核定工率，常以其輸出工率為標準；其輸入工率瓦特數，為屏電壓與有效屏電流兩數相乘之積。燈絲燃燒之工率，往往忽而不計。例如真空管 UV-203A，為一 50 瓦特之真空管，屏電壓為 1000 伏脫，直流實效屏流為 125 千分安培或 0.125 安培。是以其

$$\text{輸入工率} = 1000 \times 0.125 = 125 \text{ 瓦特。}$$

真空管之輸出工率，即為天線之輸入工率，而後者乃等於天線電流之二乘方與天線電阻之積，已如前述。今若天線電阻為 12.5 歐姆，而電流為 2 安培。於是真空管之

$$\text{輸出工率} = 2^2 \times 12.5 = 50 \text{ 瓦特。}$$

於是可見由真空管將直流變為交流電，即有 75 瓦特損失於屏柵兩極之發熱。輸出工率與輸入工率之比例，即為真空管之效率。可見該真空管

$$\text{效率} = \frac{50}{125} = 40\%。$$

真空管之柵壓，如配置在特性曲線直線部分之中間，不振盪時，其工率等於屏極電流 I_p 與屏路“B”電池組電壓 E_p 之積數，完全消耗於屏極極面，化為熱量。在振盪時，屏流加上一交流部分，而其平均值並不更改，故工率之平均值，亦不更改。但工率之一部分，消耗於振盪電路內，輸出成為振盪能力，若配置得當，使振盪電路內之實效電阻，等於管內之交流電阻。輸出工率為最大，而效率等於 50%，其情形與電池及發電機正復相同。若將柵壓配置在曲線下部膝點左近，效率雖可增進，而輸出工率，反銳減，亦非使用所宜。

小工率之振盪真空管，效率在 20% 至 25% 之間，中號，40% 至 60%，強力約及 85%。而在同一真空管，效率亦須視振盪電路內之實效電阻配置而變化焉。

9. 多次波之振盪 交流電波形理想上當為正弦曲線，而事實上因機械之不完美，波形常非絕對正弦方式。若加以分析，此種非正弦曲線，皆為一基本波 (fundamental wave)，與短於基本波之多次波 (harmonic waves) 所併合組成。其週率亦謂之基本週率 (fundamental frequency) 與多次週率 (harmonic frequency)。凡波長之短於基本波長，或週率之多於基本週率，其倍數為奇數者，謂之奇數次波 (odd wave harmonic) 或奇數次週率 (odd harmonic frequency)，偶數者亦然 (even harmonics)。例如：

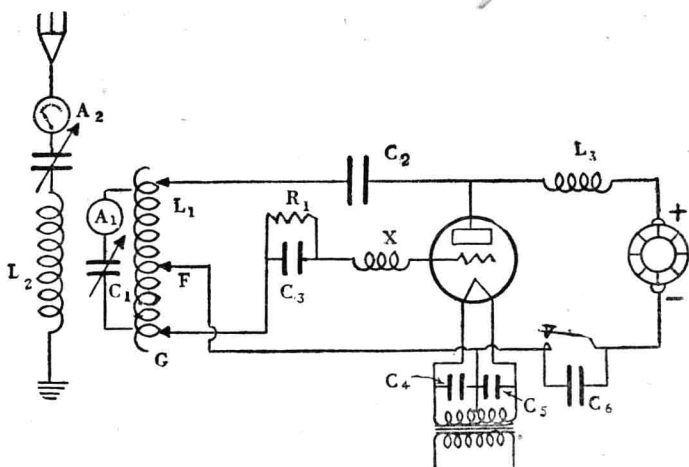
基本週率(基羅週)	二次週率(基羅週)	三次週率(基羅週)
1000(299.8 公尺)	2000(149.9 公尺)	3000(99.9 公尺)
350(856.6 公尺)	700(428.5 公尺)	1050(285.5 公尺)
210(1428 公尺)	420(713.9 公尺)	630(475.4 公尺)

餘依此類推。

真空管特性曲線，即在飽和點以下，亦非一絕對直線，是以柵極所受電壓雖為正弦方式，而屏極電流則不然，常為一基本與多個多次週率合併之振盪。例如某真空管振盪，其週率配置為 500 基羅週(600 公尺)，若以波長表移動，於 1000 基羅週(299.8 公尺)時，吾人亦可得一最大記錄。是即證明二次週率之存在也。此外二次三次以上之週率振盪，或亦存在，但為力薄弱，不易檢出，此種多次週率之振盪，足以消耗基本週率之放射能力，及增加接收方面之騷擾，故宜在可能範圍內避免或減損之。

10. 哈得雷氏實施發報線路 第一三圖示一哈得雷氏實施發報線路。今試解釋其各部職司於下，天線電路各部，與前無異，無庸贅述。 L_1 及 L_2 處於感應地位，電容器 C_1 所以配置週率或波長至極準確之程度，而令之振盪。柵極至 L_1 線圈之接頭，可用以變更週率之價值。例如將柵接頭離去燈絲接頭愈遠，週率降低。

第一三圖



哈得雷氏實施發報線路

反之則高。電容器 C_2 所以阻高壓直流電源之被 L_1 圈成短路（因該圈之電阻甚微），而同時仍令高週率電流得以自屏路至 L_1 圈。電容器 C_3 用以阻隔高壓直流之負電荷達到柵極，但高週率電壓卻不為所扼。電阻 R_1 接入，蓋欲令柵極得相當之負電荷，使柵流減退。電容器 C_4 及 C_5 使高週率電流得一捷路，而不致經過燈

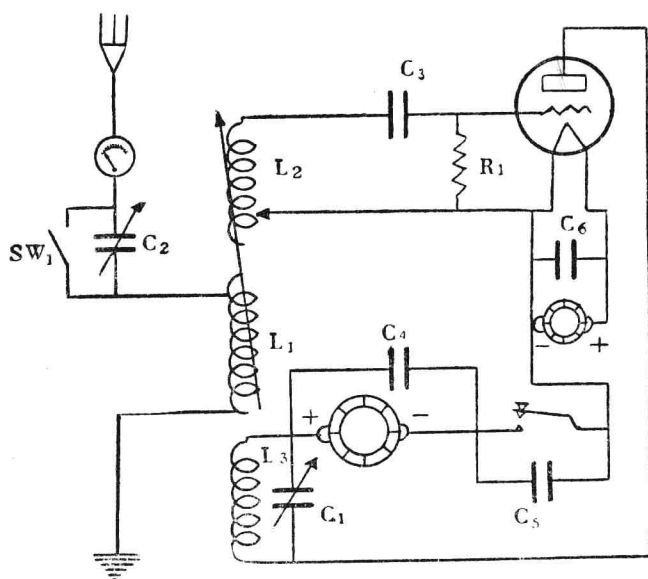
絲變壓器之線圈，以免損害。電容器 C_6 跨接於電鍵，所以防止強烈之火花於鍵片。高週率阻流圈 L_3 用以阻高週率交流之流入高壓直流發電機，而損壞其線圈。 X_1 為一小高週率阻流圈，用以防避本真空管發生極高週率之振盪，致增騷擾而加損失。哈得雷氏線路之利，在比較易於發生振盪，故應用最普遍。如接收器所用之局部振盪器及強力發射機內之主管線路。

11. 米字南氏實施發報線路 讀者可參閱第四圖示米字南氏基本振盪線路，該真空管內屏極線路，有線圈 L_1 ，柵極線路內有線圈 L_2 ，二線圈均互相交連於振盪線路 L_3L_4C 。如線圈 L_3L_4C 內發生振盪，因交連之關係， L_2 線圈之二端感有振盪電壓。此電壓加於柵極，則使屏極電流時增時減，而線圈 L_1 所生磁線亦時多時少；又因 L_1 與 L_3 之交連，而感應振盪於 L_3 ，如交連之方向及程度適當，則此電壓適可維持 L_3L_4C 線路中振盪。蓋 L_3L_4C 線路內之振盪，本因電阻而損失其工率，當成減幅。惟得屏路內中“B”電池組之能力供給，由 L_1 傳入而補足，故得維持不減。而屏極線路中能力之傳入 L_3L_4C 線路，實由 L_2 之電壓控制之；而 L_2 電壓之高下，仍由 L_3L_4C 線路中之振盪電流控制之，故“B”電池組供給能力，以彌補因電阻之損失，而維持不至停息。

第一四圖為米氏之線路實施佈置，天線電路為一諧振電路，而屏路與柵路則均非是。如是該線路中振盪週率或波長，全被天線路內磁感量與電容量之多寡所控制。故為維持不變週率計，天線

及引線之支點須十分固定，勿因風動而搖曳，致變天線電容量，而因及其波長。線路各部職司，讀者根諸以前所知，可自理會。惟電容器 C_1 雖跨接於屏路內線圈 L_3 ，卻並非為配諧，乃為配置該管負荷之用，此其一。屏與柵電流之巨細，全視各該路磁感圈圈數，故圖內該兩圈之接頭均可推移活動，使於最小屏柵電流之下，得最大之輸出工率，此其二。此線路之利在其配置活動，即以任何真空管於任何負荷之下，可得最大電工率之輸出，於飛機上各式天線變化最繁情形之下，最為適宜。其弊則在固定電臺天

第一四圖

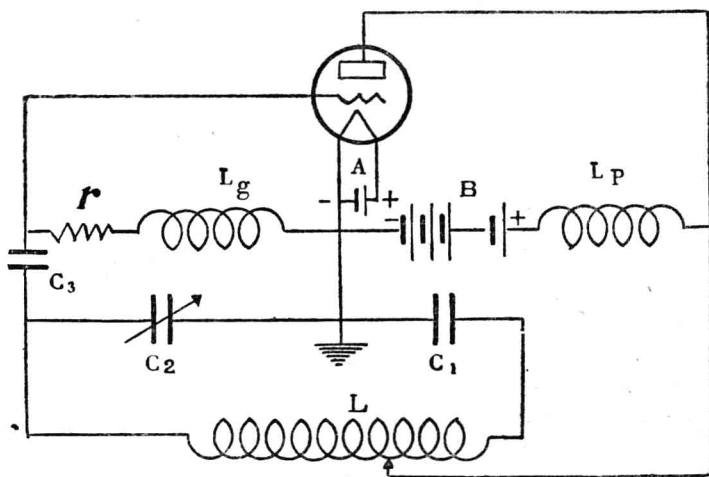


線之搖曳，足使其週率變換不定，然於相當審慎之下，自可防止之。

12. 克爾畢子氏線路 再參閱第五圖示一克爾畢子氏基本線路， LC_1C_2 為振盪線路，藉 C_2 以與柵極線路交連，藉 C_1 以與屏極線路交連，其柵與屏之交連，全恃電容器以達之，所以別於前二種線路者也。

第一五圖示同線路之實施線路，柵極與燈絲間之電容器為 C_2 ，屏極與燈絲間之電容器為 C_1 。柵極之電荷，得自跨電容器 C_2 之電壓。欲得適當之柵極電壓，可變 C_2 之值以應之。電容器 C_1 控

第 一 五 圖



克爾畢子氏 實施線路

制該管振盪之週率；若將 C_1 變值以後，須復將 C_2 變值以得最佳之情況，讀者須注意該兩電容器，均直接跨於高壓直流之源，其構造自必堅實，足以抗此高電壓而不致破裂。柵漏電阻在克爾畢子氏線路直接至燈絲如圖，而不跨接 C_3 。蓋若跨接於 C_3 直流之負電荷，將被阻於電容器 C_1 ，而不能達到也。如不用交連電路，則 C_1 之電容量，以天線代之。

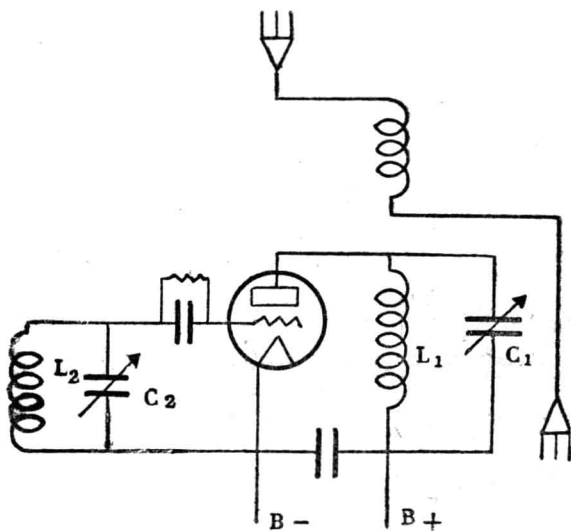
13. 並聯及串聯饋電法 在前列各線路中，屏極電壓供給方法凡二。第一三圖之哈得雷氏線路及第一五圖之克爾畢子氏線路為並聯饋電法 (shunt feed)。第一四圖之米字南氏線路為串聯饋電法 (series feed)。兩者之異同，讀者可細按各圖而得之。其同點在高週率及直流電流，俱連至屏極，而屏流在達到高壓直流電源以前，兩種電流分途；在並聯饋電法對於真空管，屏極電源與屏圈為並聯關係。而在串聯饋電法，則屏極電源與屏圈為串聯關係。然兩電流必仍於燈絲點聚集，於兩法固無二致。

於並聯饋電法，須接一高週率阻流圈於高壓直流之正極導線，以防高週率電流之竄入直流電機，而損其電樞線圈。但為防直流高壓之被線圈成短路起見，斷流電容器又不能省。如是則直流高壓既被阻，而高週率電流仍得流通自如。此二點於解釋哈得雷氏線路時，已經述及，讀者覆按便知。以應用言，並聯饋電法，較為適當。在利用串聯饋電法，須令高壓直流之正極，絕對與地隔離絕緣。否則燈絲變壓器正副圈之間，將得直流高壓而禍害隨之。

讀者按之圖示，當知所警惕也。

14. 奧斯德郎氏線路 奧斯德郎氏線路之異於前述各線路者，乃在其柵路之回授，不自真空管外之磁感或電容量關係，而在本真空管內屏極與柵極二者相互之電容量關係。此可以一理想電容器以喻之。振盪之週率，為柵路內之 C_2 及 L_2 所控制，回授之強弱，視屏柵間之管內電容量而定。因此電容量數量甚小，故尤宜於短波發射機。第一六圖示一奧斯德郎氏實施發射機線路。圖內 L_1 及 C_1 為屏極線路中磁感量及電容量， L_2 及 C_2 為柵極線路之磁感量及電容量。 L_1 及 L_2 與 C_1 及 C_2 之間，並無交連關係，柵

第 一 六 圖

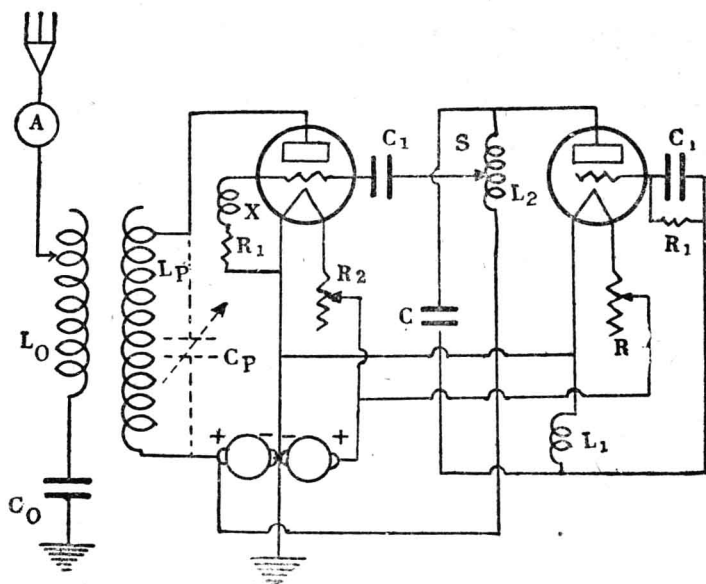


奧 斯 德 郎 氏 實 施 線 路

與屏路之交連，純由管內本身屏與柵間之電容量。線路內其他各部與前相仿，自無再述必要。此線路因屏極及柵極線路，均互成諧振，亦稱屏諧柵諧線路(tuned plate, tuned grid circuit)。然有時止二者之一成諧振，得稱為屏諧或柵諧線路。此種由真空管屏柵兩極間電容量之存在，而引起振盪，在射電週率放大器，常為騷擾之源，平差接收機即所以設計防免，其方法種種，已見第九章接收機平差線路一節，讀者可以覆按，以得貫通。

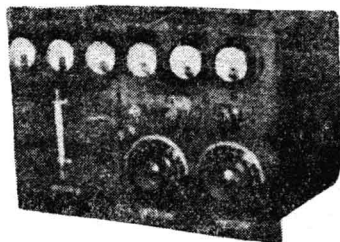
15. 主管振盪線路 前述各氏線路，柵極之電壓，均得自本管之屏極線路，故稱之謂自勵制 (self-excited system)。有如直流電機之自勵然。若柵極之電壓係得自另一獨立真空管之屏極，謂之他勵制 (separately excited system)，或稱主管振盪制 (master oscillator system)。有如直流電機之他勵然。此獨立之真空管，謂之主管振盪器 (master oscillator)，或簡稱主管。主管外其他之管實用作射電週率放大管。其數或一或三四，視需要發射工率而定。第一七圖示一主管振盪發射機線路，該主管之振盪線路，為一哈得雷氏線路。 L_2 及 L_1 為屏柵各路磁感圈， C 所以配置確定週率之電容器，放大管接如射電週率放大器。如一管不敷，可多接數管並聯以充之。電容器 C_p ，助放大級之諧振，可免可須。而振盪週率之高低，俱為 L_2L_1 及 C 所制定，放大階級及天線電路於發射週率，無任何影響。此線路能維持一比較穩定之週率，不若其他自勵制之各線路，週率常受天線及附屬各線路之牽制而變。此

第一七圖



主管振盪發射機線路

第一八圖



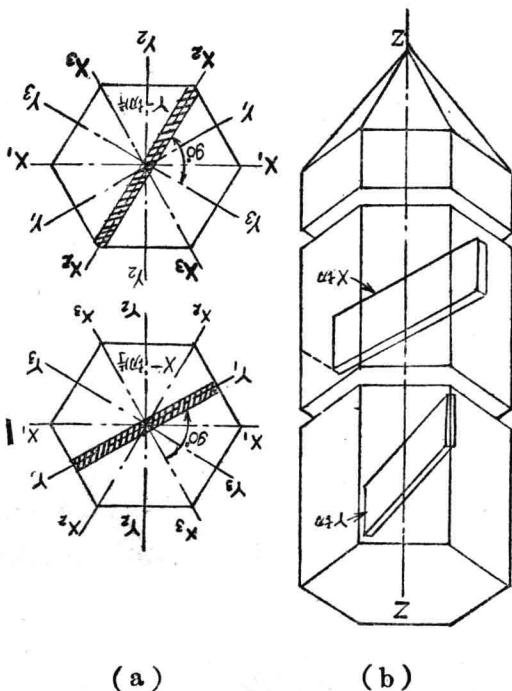
石英晶體振盪器

爲主管線路之最大利益。但自業餘無線電家言之，主管線路於尋常真空管之外，復需額外一管，經濟上不無弊害，然以其使用之

穩定而論，則又覺所得究足以償所失也。

16. 石英及壓電現象 利用主管線路發射之不變週率而擴大之，則為石英控制主管發報線路 (quartz crystal controlled master oscillator circuit) 在未述本線路之前，請先述石英晶體之壓電現象 (piezo-electricity)。壓電現象，從石英結晶體由機械壓力而得電壓之現象也。用於振盪器上之石英片，其來源為一六角形端尖

第一九圖



石英及其切法

之柱體如第一九圖(a)。此石英之性質，可以三軸表之。連接柱體兩端之Z軸，謂之光軸(optical axis)。如在此軸兩端加以機械壓力，並無壓電現象發生。經過截面之三對角線且垂直於光軸之三軸X, X'及X'',如第一九圖(b),謂之電軸(electrical axis)。垂直於柱體表面之三軸Y, Y'及Y'',謂之機械軸(mechanical axis)。如沿任一Y軸之方向切一薄片，使切成之二面垂直於電軸，此種切法，謂之X切。當此片Y軸之方向受一機械壓力時，則在其X軸之方向，即二面上，可得數伏脫之電壓。如所加之機械壓力，時為拉力，時為壓力，則電壓之性質(polarity)，亦響應而變，或正或負。反之，在X軸方向加一電壓，在Y軸方向亦有一機械壓力產生，此機械壓力之方向，亦隨電壓之性質而變。此種電與機械相互連帶之關係，即吾人所謂之壓電現象，實晶體特具之性質也。同樣，沿X軸方向，切一薄片，使切成之二面，垂直於機械軸，謂之Y切。此種切法所得之薄片，亦具有壓電之特性。

當一交流電壓加於一石英薄片之X軸上，在Y軸之方向產生一交換機械壓力，此壓力將使石英振動。如加於石英上電壓之週率等於其機械諧振週率時，石英之振幅最大。在此週率時，石英所吸收之電能，正與一電阻，自感量及電容量三者構成之串聯電路所吸收者相等。石英之諧振週率，即其相當電路之諧振週率也。

欲明石英之電的性質，須研究其相當之電路。石英片之相當電路，當如第二〇圖(b)所示。 C_1 為夾持金屬片間之靜電容量(即

晶體不振動時之電容量), C_0 爲石英片自身之電容量, $R-L-C$ 爲石英片之振動特性電當量, 卽:

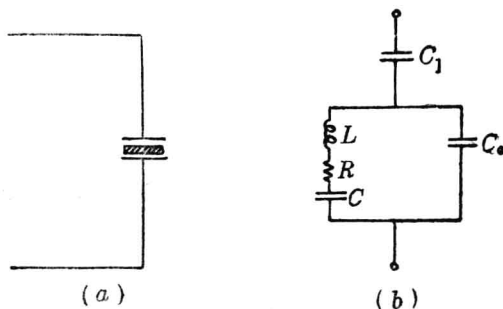
L = 由石英之質量而生之相當自感量 (electrical equivalent inductance)

C = 由石英之機械彈性而生之相當電容量 (electrical equivalent capacitance)

R = 由石英之內抵抗而生之相當電阻 (electrical equivalent resistance)

由 $L-C-R$ 所決定之諧振週率與機械諧振週率相等。 $L-C-R$ 電路所吸收之電流, 卽用以維持石英繼續振盪之電能。因石英片之切法及其大小厚薄之不同, 各片之 $L-C-R$ 互異, 其自然震動週率亦相懸殊。石英片之自然震動週率與其厚薄之關係, 可以下式表之:

第 二 〇 圖



石 英 及 其 相 當 電 路

$$fT = K \dots\dots\dots \text{公式(6)}$$

內 f 爲振動週率之每秒鐘週數， T 爲石英厚度之公釐數， K 爲一常數，其值在 2×10^6 至 3×10^6 之間，依石英片之來源而異。通常 200 kc. 以下之振盪器，其所用之石英，爲長方形薄片，多由 Y 切而得。在 400 kc. 以上之振盪器，其所用之石英片，爲橢圓狀如眼鏡所用之片，亦由 Y 切而得者。前者在其長之方向振動最劇，故其長度須準確；後者在其厚之方向震動最劇，故其片之相反兩面，須絕對並行，使其厚度一致。

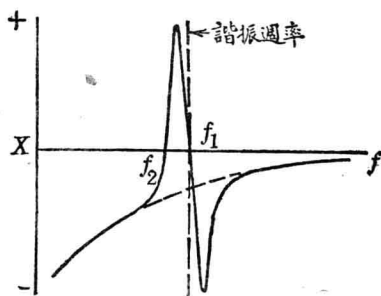
曾有人計算 1 公釐厚銀角大小之石英片之相當電路，其壓電效驗爲 3000 伏脫（直流）之電壓，使其厚度縮小 6×10^{-7} 公分，其餘之常數爲 $C = 0.06 \mu.\mu.f.$ ， $L = 0.5$ 亨利， $R = 100$ 歐姆，

$C_0 = 1 \mu.\mu.f.$ ， $C_1 = 0.06 \mu.\mu.f.$ 由此可知其減幅率 $\delta = \frac{R}{2fL}$ 當爲

10^{-4} ，即在諧振時，石英之相當迴阻，大於其相當電阻之 31,000 倍。在最優良之無線電路內，其迴阻亦不過大於其電阻之 300 倍。故石英之機械諧振曲線當比較最優良之無線電路猶尖銳百餘倍，石英控制電路之勝於其他電路者，於此可知矣。

第二一圖示一石英片之迴阻週率曲線，觀圖知在某週率之界內，石英之作用正如一線圈，其迴阻爲正，在其餘週率時，其作用則如一電容量，其迴阻爲負。其諧振週率有二， f_1 及 f_2 ，在 X 切法所得之晶片，較高之諧振週率 f_1 與片之厚度成反比例， f_1 與厚

第二一圖



石英之週阻週率曲線

度之關係為

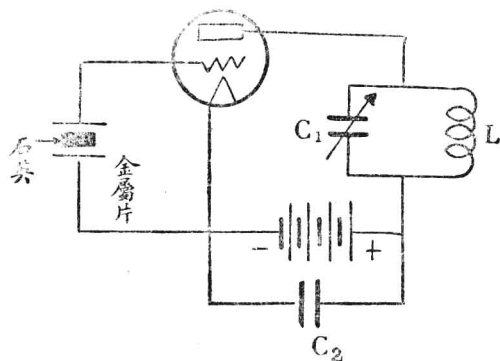
$$f_1 = \frac{2.860 \times 10^6}{t}$$

其較低之週率，可將上式 t 換成 w (闊) 即得，因此週率與闊成反比例也。在 Y 切法所得之晶片， f_1 與寬度成反比，而 f_2 與厚度成反比，其關係為

$$f_2 = \frac{1.96 \times 10^6}{t}$$

17. 石英控制主管發射線路 第二二圖示如何以石英得不變週率之振盪線路。石英一小塊，大小如銀毫，為二金屬片夾持，宛如一小電容器。此片石英，有其特殊之機械震動週率。設將屏路內之磁感量 L 及電容量 C_1 配置得當，使石英片之相當電路內之電阻最小，則其振盪週率等於該片之機械震動週率，而其振盪，殊為猛烈。由石英振動壓電效應所生之電壓，加於真空管之柵極上，

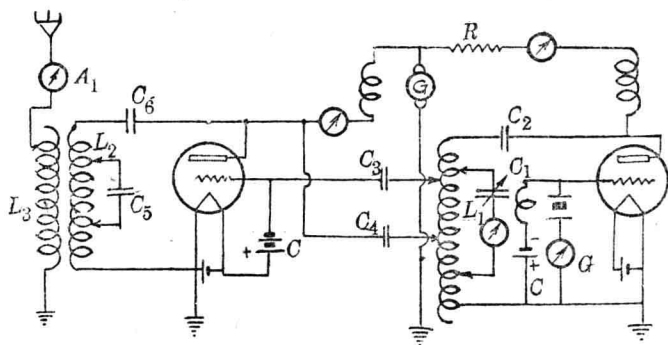
第 二 二 圖



石 英 標 準 週 率 振 盪 器

因真空管之放大作用，因得較大之電壓。一部分被放大後之能力，藉屏柵間管內之電容量復反輸至柵極，以維持石英之振盪。換言之，屏路之諧振，僅為擴展振幅之用，並非必需。其週率已為製造者所固定，而無由變更也。尋常乾電池接收真空管，屏路加以 20 伏脫，即可支持振盪不輟。此種石英振盪器，常用以校核電臺發射週率之是否準確，不致軼出政府指定週率範圍以外，或用以控制電臺之週率。若為前者，則祇須另用接收機收聽電臺發射週率與石英振盪器發射週率二者之差週率，而設法控制電臺發射週率以使差週率為零（即差週率接收機之音響寂然），如是電臺發射週率，即等於石英振盪週率矣。關於後者，可觀第二三圖，圖中各部作用，讀者可於前習各節，舉一反三，不必細述。惟 C_1 及 L_1 須配置適當，以引起石英之振盪。 C_2 及 C_6 為斷流電容器，以

第二三圖



石英控制主管振盪線路

防高壓直流之成短路。兩管柵極之負電壓，得之於“C”電池組如圖。與“C”電池組串聯，有高週率阻流圈，以阻高週率電流之流入。C₅及L₂，所以使放大階級內之週率與石英週率成諧振。以上等等，微與以前各線路不同，不可不注意耳。

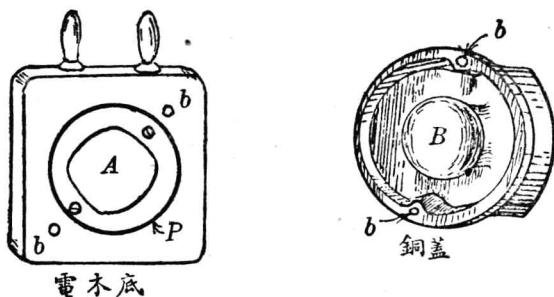
石英雖能用以控制振盪器，然其運用亦有一定之範圍。蓋片之週率，為其厚度所定，過厚則其振動甚微，過薄則質脆易裂。故其運用之範圍，下自 25 kc. 起，上達 4000 kc. 止。4000 kc. 以上之石英過薄不易製，實用上無用之者。欲得更高之週率，可利用低週率石英片之多次波。

石英振盪器所能發生之能力，在高週率時，為其振動所生之熱限定；在低週率時，為其分子間之伸張力 (strain) 所限，蓋劇烈之振動，易使切片破裂也。又石英片之面積大者，其發生之電力亦大，然以面積較大之石英片，磨琢匪易，故鮮見諸實用。平常

之石英片用以驅使—5 至 10 瓦特之真空管，殆屬易事，而在高週率時，更可利用以驅使—50 瓦特之真空管也。

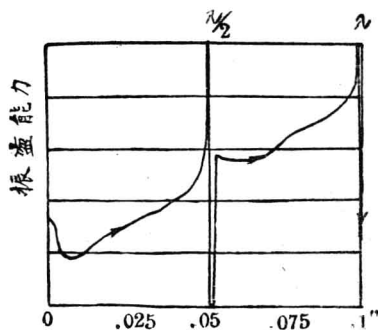
普通石英片多裝嵌於一盒內，此盒之底有一較晶片稍大之淺槽，如第二四圖 A，二磨光之銅片 P，一置片下，一覆片上，當盒蓋蓋上時，銅片幾與晶片接觸，然二銅片互相絕緣，每片通一插頭

第 二 四 圖



小 石 英 片 之 鑲 嵌 法

第 二 五 圖



空 氣 振 動 波 長

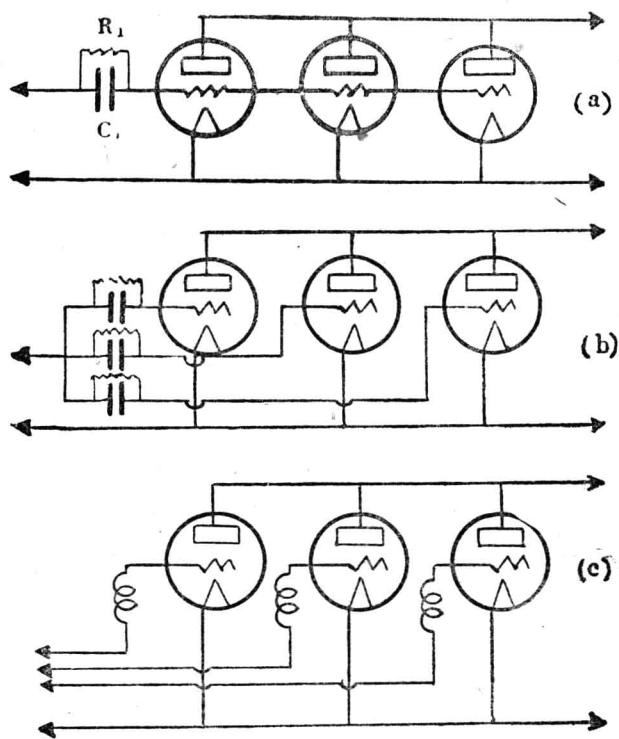
空 氣 隙 長 度 與 振 盪 能 力 之 關 係

(plug)，以備插入電路之用

亨特氏嘗研究晶片之振盪與空隙 (air gap) 之關係，其結果如第二五圖所示。此圖之解釋如下：當石英振盪時，其上空隙間之空氣，亦起振盪，此空氣波之波長甚短，故如空隙之長短，恰等於空氣振動波長之半或其整倍數時，空氣振動最烈，不啻與石英片以過量之負載，欲其繼續振盪，此實難矣。因此之故，石英片之需絕對保持一不變之週率者，鑲嵌竣事，尚須重校正其週率，而後封固之，更有置石英片於一溫度器 (thermostat) 中，使其週率無由變更。

18. 真空管並聯使用法 無線電報或無線電廣播，有時因單管工率太弱，欲得強力，須用多管並聯使用，其理與發電機變壓器並聯使用相同。其工率總數，為各管所有工率之和。為使用完善起見，最妙各管能一律相同。並聯多管使用，有二管以上以至八管十管者。其各管相互間之連接法，大概如第二六圖。即屏與屏相連，柵與柵相連，燈絲與燈絲並聯而連。為配置各管所得負荷相等，各管燈絲中宜各有一電流表與變量電阻器，務使各管可以獨立控制，不使與他管有相互牽制之弊。有時管與管之間，發生互相振盪，損失工率，而生騷擾，可加高週率阻流圈於各個柵極線路中以防之。學者於此須注意管數加倍，天線電流不能加倍，蓋若效率不更，工率固加倍，而天線電流與工率為平方根之關係，（因 $P = I^2 R$ ，故 $I = \sqrt{\frac{P}{R}}$ ），祇能增加 $\sqrt{2} = 1.414$ 倍也。

第二六圖



真空管之並聯使用

19. 真空管發射機之使用法 使用真空管發射機，未曾發出信號以前，全機各部均須妥為配置，使發出信號工率，俱集於單純波長之上，既增傳送效率，又除去接收時騷擾之阻難；且須以定量之工率，散射最大之電力，而得最高之效率。其配置之步驟，可述之如下：（參看第一三圖）初使天線斷路，或使該路與真空管

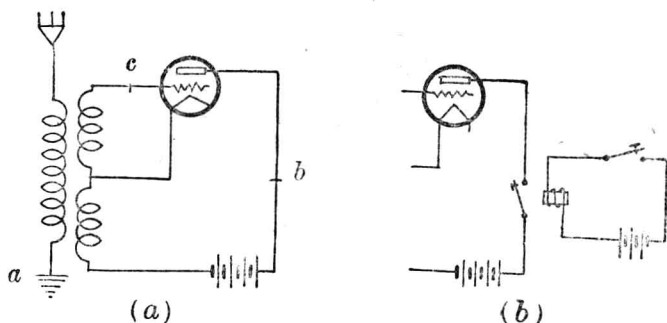
線路之交連，極為微弱，使真空管所發出之能力，不致被吸受，一若無天線然。屏路接有熱絲電流表 A_1 ，所以測該管之輸出工率，今第一步在燈絲電流及屏電壓未加上以前，先用一波長表，配置屏路之波長，等於所欲發射之波長。配置波長，止須將 C_1 變值，直至電流表 A_1 顯出最大之電流量為止，至是將波長表移去。第二步將電源加上，為審慎計，只加屏極應得電壓之半數，以防線路有疵時，損及機件。然後配置屏柵間之回授作用，則將線圈上之 P 及 G 接頭移動，F 接頭尋常多接在該線圈之中央，F 至 P 之圈數當多於 F 至 G 之圈數，約為二三倍之數。變量電容器 C_1 之接頭，當在 P 與 G 接頭之內，如是可得穩定之使用。第三步乃將天線路通接，然後將天線路 L_2 與 L_1 兩線路配諧，其法可將天線路內之磁感量 L_1 或電容量 C_1 ，或二者並行變值，直至電流表 A_1 指點一最小之值，而電流表 A_2 指點一最巨之值。因 A_1 在真空管振盪線路內， A_2 在天線路內，前者最小，後者最大，乃天線從真空管因感應而吸收最大工率之明證。第四步為配置天線路，與真空管線路交連之寬緊；其寬緊程度，當使 A_2 得一最高之值為適當，其法乃在移動 L_1 與 L_2 之距離與方位，所須謹慎者，交連太緊，諧振不能尖銳，有時 A_2 指點二個最高值，如是發出波長，不能單純，既妨接收，又損效率。交連太寬，諧振果然銳利，但 A_2 指點之最高值，又太低下，發射不強，亦減發送距離。故其交連程度之寬緊，須使得最大之天線電流，同時保持單純波長之發

射。是乃使用發報機所須牢記者。一俟此四步畢事，則此發報機已準備使用，然後將電鍵時啓時閉，即可將電信向外傳送矣。

學者須知上節所述使用發射機步驟，雖特宜於哈得雷氏線路，但若佐以無線電常識及本線路之特色，於其他線路不難舉一反三，應付裕如也。

20 真空管發報機內之電鍵裝置 於前論各線路中，不加電鍵，則收報者止收得一連續不斷之電流。無由分明信號，故於線路之任何一段，必須加入一發報鍵，將鍵按下，使線路連通之時，電波散射。將鍵放鬆，則使線路中斷之時，電波停斷。以按下時間之長短，分別一畫或一點，因以辨號碼而譯成文字。此種發報鍵置放之處甚多。其一電鍵即置於天線電路內，第二七圖之 a 點。如是則電鍵之啓閉，即可控制天線上振盪之斷續。此種裝置方法，

第 二 七 圖



發 射 機 之 電 鍵 裝 置

效率不佳，小電工率之發射機多用之。其二可置在屏路內如 b 點，鍵向上時，屏極電源斷絕，振盪即止，但因發射機之屏電壓，往往在千伏脫以上，如此高壓，忽啓忽閉，不特危險，且易燃毀鍵之接觸部分。然可增一遙控線路 (remote control circuit) 用繼電器 (relay) 以司電鍵之啓閉。其線路如第二七圖 (b) 所示，發報者祇須啓閉電鍵 K 以斷續繼電器之電流，如是則 K 啓 b 亦啓，K 閉 b 亦閉。此種裝置，除繼電器必須靠近 b 外，K 及電池皆可置於遠離發報機之處，不特上述之弊可免，即發報者亦可在遠離發報機之處發報，近日各種新式發報臺類多如是。其三置在柵路內之 C 點，如是鍵向上時，振盪即停。但因屏電流，並不因之停止，柵體上漸堆積電子，在鍵按下以後，必有些微時間，使此負電荷，漸次漏遺，方能回復至原狀。因此發出信號，不能為純粹單波長。此弊可以接一高電阻，與鍵並聯，俾此負電荷於下次鍵按下之前，早先漏去。上述三法，均利用於鍵向上時電波停射，以為號碼之空間。鍵接下時，電波放射，以為號碼。此外尚有解諧法等等，詳述於等幅波一章，亦能應用於真空管發報機。不必再論。

21. 真空管發射機弊病之搜求與矯正 真空管發射機弊病之最普通者，為真空管不起振盪，其現象可以下列數事測之。(一) 屏路電流太強或為零。(二) 屏極驟然過度發熱，尋常使用時，屏極僅發暗紅，若成淡紅或白熱，即知過熱。此稍有使用真空管經驗

者，類能辨之。(三)柵極無電，(四)將波長表移近屏路線圈，不生影響，(五)天線電流表經諧振後，不得記錄。其原因及補救之法，約如下述：

(一)如電鍵按下後，屏路電流不見記錄，或屏極無光不熱，即屏極不得電之證。其故甚多，如電流表損壞或斷路，如為斷路則該電路之電流為零，如係着地或短路則電流必過強。電容器或有短路或絕緣破裂，均足以使屏極不得相當電壓。

(二)柵極斷路，或由柵漏電阻或柵路阻流圈，宜將各管單獨試之，再易新件。

(三)回授力量不足，可將屏及柵接頭移動於線圈之上，直至得到振盪為止。但須注意屏與燈絲間之圈數必多於柵與燈絲間之圈數。每次移動時，可將電容器變值，自最大至最小，以試振盪。

(四)真空管本體損壞，真空管內部有時現黃白焰燼，為空氣漏入，真空已毀之證。若經過量負荷，各極上氣體蒸散太多，於屏極電壓加上之時，管內發出紫色，亦為損壞之兆。但真空管使用過久，或負荷常過量，燈絲散射速率驟低，此可於屏流之縮減度之。如遇真空管有上述弊害，宜易新者代之。

(五)線路任何部份着地或斷路或短路。此種弊病，最為普遍，不論線路任何部份，均易遭遇。用者惟有以適當試驗方法，搜求其跡，然後設法修理或更易，非可一一縷述者。

22. 真空管發報機線路舉例 真空管發報機線路設計，要視

波長，工率，電源，及其他種種問題而異，千變萬化，勢難一一盡述於此。第二八圖爲一短波(45-14 公尺或 6670-21500 KC) 強力(50-23 基羅瓦特)發報機線路，略述之以概其餘。全機共分兩部。第一部爲激勵部分(exciter unit)包含晶體振盪器，緩衝放大器，倍週率器，強力放大器，輸出工率爲1基羅瓦特。若爲低工率發射應用可以從此直接至天線而放射。第二部爲水冷真空管之強力放大階級。二部之間用一短輸送線聯接以減除強力放大大部分之騷擾激勵部分。各真空管之次序如下：——

1. $7\frac{1}{2}$ 瓦特三極管晶體振盪(A管)
2. 75 瓦特簾柵管緩衝放大(B管)
3. 75 瓦特簾柵管倍週率器(C管)
4. 75 瓦特簾柵管倍週率器(D管)
5. 500瓦特簾柵管倍週率器(E管)
6. 2,500瓦特雙座推挽式簾柵管強力放大(F及G管)
7. 4座強力水冷真空管推挽平差式(H及I管餘二座刪略)

晶體振盪器置於保持不變溫度之箱中，以求振盪週率之穩定。緩衝放大階級所以使振盪週率不受外界影響而有所遊移。至於電源共分三部。晶體振盪器及緩衝放大之電源得自單相雙座汞氣整流管。激勵部分之其他屏路電源又得自另一三相全波汞氣整流管。500 瓦特放大管所得爲 3000 伏脫直流，其他各管爲 1500 伏脫

直流。強力放大管之屏路電源又得自另一供給 12,000 伏脫直流之十二管三相全波汞氣整流器，圖中刪略未示。電鍵之作用係在第一倍週率器屏路內，鍵按下時，50 瓦特並聯之電鍵管 (keying tubes) 得一甚高之負柵壓，電鍵管屏路不通電流，第一倍週率屏流，得一尋常屏壓，放射得以進行。鍵向上時，電鍵管柵壓除去，屏流增加，此屏流與倍週率器之屏路係並聯，通過電鍵電阻發生電位降，倍週率器之屏壓銳減放射遂為停止。此發報機詳細線路及使用方法，須參考製造家說明書，茲不贅述。線路內其他各部記號如下：

RFC = 高週率阻流圈

R = 分壓電阻

KR = 電鍵電阻

KT = 電鍵管

T₁ = 晶體振盪屏路電源整流管

T₂ = 倍週率器及激勵強力放大屏路電源變壓管

第十一章 特式真空管及其應用

(Special Types of Vacuum Tubes and their Applications)

真空管由二極而三極，其應用大增，則由三極而成多極，以得各種特殊之使命，更爲發展自然之趨勢。且以單座三極管，而應付檢波振盪及各種放大調幅之用，往往適於此，而不合於彼，多極特式管正足以彌此缺憾。況自廣播事業普遍宇內以來，收音者以最低之價格，求最高選擇性，靈敏度，忠實性收音機之需要益亟，製造家欲減少管數，簡化線路，亦惟有趨於製造單管多極之一途。凡此種種，皆爲促進各種特式真空管實現之重要主因也。

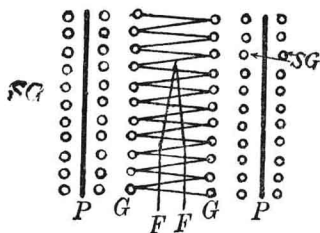
特式真空管最近銷行於市場者，不下數十種，勢不能逐一說明。茲僅擇其最重要而最通用者，略述一番。除四極管等少數，可以用作振盪外，餘均爲接收之用。又因收音比收報業務之艱難嚴格，故特式管幾完全適用於收音。顧特式真空管種類雖多，而其主要作用，仍不免恃真空管內電子流之運行，與三極管之理論，基

本實無二致，故以上各章所述，大體固仍適用。

特式真空管用於無線電通信者，大別之約可分為二類：其一為多極單管式 (multi-electrode single-unit type)，其二為多極複管式 (multi-electrode multi-unit type)。前者管內極數雖多於三，而其在線路之作用，固仍如單管，效用方面，自勝於尋常之三極管。且因極數之多，常可以在管外調換接法，以得各項不同之使用，例如四極管五極管等。後者不獨極數多於三，而在線路內之應用，實負有二管以上之使命。每管之線路自較複雜，而在全收音機言之，簡單多多，例如三柵五柵管等等。本章先擇各式重要特式真空管，述其理論並及應用，次殿以利用特式真空管之收音線路。

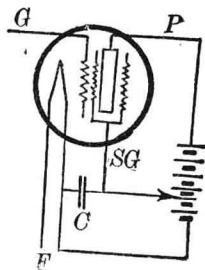
1. 簾柵管或四極真空管 為便於高週率放大起見，可於三極之外，再加一極於真空管內，成一所稱四極真空管 (four-electrode vacuum tube)，第四極形式亦與柵相似，成一簾，籠罩於柵與屏及

第一圖



簾柵管之構造

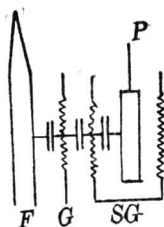
第二圖



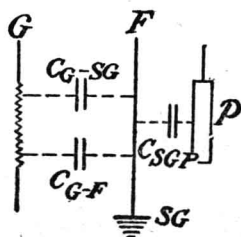
簾柵管之圖號

屏與玻璃泡之間，如第一圖所示，故又稱簾柵管 (screen grid tube)，第四極稱為簾柵 (screen grid)。簾柵管之用於線路圖號，有如第二圖所示。SG 為簾柵極，F, P, G，如前。若令簾柵管之屏極，留置不接通至任何部分，而以簾柵極接至電源正極，則簾柵管之作用，一如尋常之三極管。三極管內柵與燈絲及柵與屏兩電容器間回授作用，在高週率放大時，時感騷擾。吾人欲除去或抵消此種回授，須用特殊之線路。若用簾柵管，則特種線路可以無需，因簾柵管之構造，足以防免屏路電壓變化之影響及於柵路也。如此放大作用，可以大進。譬如第三圖所示，係四極管內各極間之電容量，簾柵極於應用時，直接通至“B”組電池之正極間接經一大電容器而至于地或燈絲極，對於高週率而言，可作為直接通地，故四極間之電容量，又可分析如第四圖。 C_{G-F} 為柵與燈絲間之電容量，而屏與柵間之電容量，為屏與地（或燈絲） C_{SG-P} 及柵與簾柵二電容量 C_{G-SG} 之串聯電容量所組成。而簾柵與柵間之電容量，又為兩電容

第 三 圖 第 四 圖



四極管內各極間之電容量



四極管內各極間之結果電容量

器(C_{G-SG} 及 C_{G-F})並聯,如是屏與柵間之電容量大為減少,因串聯電容量之結果電容量比任何各箇電容量為小也。屏與柵間之電容量,在一尋常簾柵管內約在 $0.01 \mu\text{mf}$. 左右,其回授作用自亦減少,四極管之主要利益在此。

2. 簾柵管內之屏流公式 簾柵管特性曲線因極數之多,甚為繁複,而其最重要者,厥為示屏流與柵壓及屏壓之變化二種。若欲解釋,可有二道。或藉公式,或藉物理現象,均得以測其變化。例如 E_{G_1} 及 E_{G_2} 各代控制柵 (control grid 即原來柵極) 與簾柵之電壓, E_p 代屏壓如前,於是各柵之放大因數將為

$${}_1\mu_0 = \frac{dE_p}{dE_{G_1}} \quad \text{及} \quad {}_2\mu_0 = \frac{dE_p}{dE_{G_2}}$$

按照三極管前例,屏流

$$I_p = K ({}_1\mu_0 E_{G_1} + {}_2\mu_0 E_{G_2} + E_p)^x$$

內 K 及 x 所代均如前。若以簾柵視作三極管之屏極,而以控制柵為柵,則此管之放大因數為

$$\mu_0 = \frac{dE_{G_2}}{dE_{G_1}} = \frac{{}_1\mu_0}{{}_2\mu_0}$$

而簾柵旁所得之實效電壓將為

$$E_{G_2} = \mu_0 E_{G_1} + E_{G_2} = \frac{{}_1\mu_0}{{}_2\mu_0} E_{G_1} + E_{G_2}$$

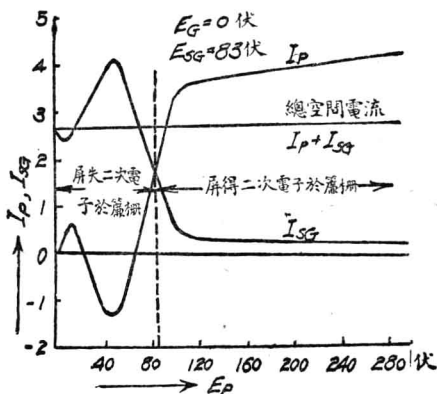
此實效電壓,即因雙柵均荷電壓,而使簾柵所得之當量電壓。若以之表示於屏流,吾人得

$$I_p = K [2\mu_0 \left(\frac{1\mu_0}{2\mu_0} E_{G_1} + E_{G_2} \right) + E_p]^x \dots \dots \dots \text{公式(1)}$$

按此公式，雖未嘗不足以預測屏流之變化，但因各放大因數之非絕對常數，簾柵之吸引電子，二次電子之散射等等，屏流之變化，有非該公式所能盡括，故欲明簾柵管內屏流之變化，從研究其物理現象，似較容易。

3. 簾柵管內之電子流 簾柵管內空間電流，在屏與簾柵之分配情形，因負極（即散射電子之燈絲）所散出之一次電子外，在衝撞兩極之後，又發生二次電子，甚形複雜。此二次電子，將為二極中正電壓最高之一極所吸收，使屏與簾柵間除負極發出之電子流以外，復多此二次電子之行動。是以較高正電壓之一極，必比無二次電子時，得更多之電子，而較低正電壓之一極，得較少之電子。

第 五 圖

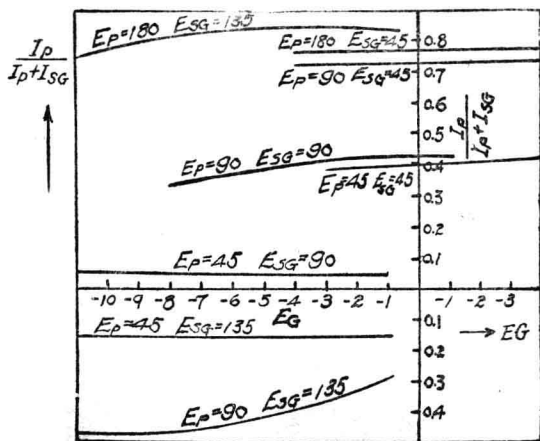


簾柵管屏流與屏壓之關係

此種效驗有時過度，使此較低正電壓之一極，可以損失電子較多於其得到電子。第五圖示二次電子之影響及於簾柵及屏極對於總空間電流之分配情形。圖中表示屏壓對於屏流及簾柵流之變值，同時以柵與簾柵保持零及相當不變電壓。當屏壓低於簾柵電壓時，簾柵吸收大量二次電子，故佔空間電流之極大部分。簾柵電壓較低時，情形適得其反。屏壓在某一範圍內，屏流為負，意即結果屏流方向為自屏至簾柵，與原來屏流方向相反。蓋每箇一次電子擊撞時所發生之二次電子，反多於一箇也。屏流與簾柵流相加在任何情形下等於總空間電子流。

4. 簾柵管之特性曲線 第六圖至第八圖示簾柵管之特性曲線之一部。驟視之，似甚繁複，實則其所恃變化之因數，並不過多。若

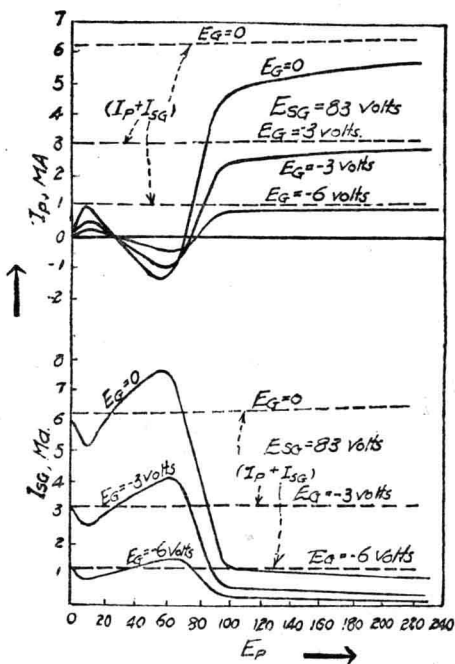
第 六 圖



屏流與總空間電流比例與柵壓之關係

根據下述理論，尚不難瞭解。一次電子之運動，由負極直線進行，屏與簾柵所得適與其表面面積為正比。是以任何簾柵管內各極所得電子為一常數比例，而與各極電壓及總空間電流無關。故每極所得一次電子數與總空間電流成正比例也。

第七圖

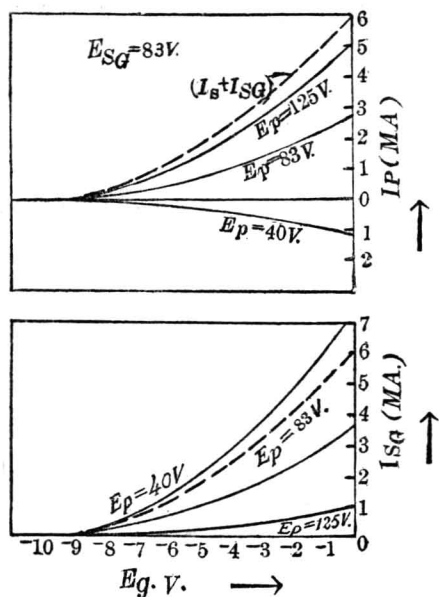


屏流及簾柵流在各種柵壓下與屏壓之關係

至於二次電子則不然，簾柵及屏受一次電子衝撞之二次電子，與所受一次電子數成正比(故與總空間電流亦成正比)，及各極電壓，均成正比。二次電子發生後，究將何往，將取決於二極之電壓。若簾

柵電壓高於屏極甚多，屏極所生之二次電子，幾全趨簾柵。但當屏壓較高於簾柵時，簾柵所生之二次電子祇有極小部分被吸至屏。其故蓋因簾柵極之二次電子大都發生於向柵極之一面，被簾柵隔離，不易為屏極所影響也。當屏壓較高時，僅能吸引少數簾柵旁之二

第 八 圖



屏流及簾柵流與屏壓之關係

次電子，其數目與屏壓同增。根據上述種種原因，若屏及簾柵電壓不變，則兩極所得電流之比例與總空間電流（此數柵壓控制最靈）無關。但每極究得若干百分數，猶須視相互電壓而定。第六圖即所以表示此理。以上所述，若以下列各簡單原則以觀察之，必更瞭然。

第一，總空間電流 $I_p + I_{sg}$ 與屏壓無甚關係，而與柵及簾柵電壓之變化適與三極管屏流之與柵屏二壓相同。

第二，總空間電流之分配於屏及簾柵與各極之電壓成正比，而與柵極電壓無關。但柵壓對於屏及簾柵電流變化之影響，正與其在三極管之於屏流同。所以第七圖上各曲線在不同柵壓之下，祇有數量之差，而無方式之別。

第三，當屏壓高於簾柵電壓時，屏極吸收二次電子於簾柵。故簾柵電流甚小（然不至於負），而屏流乃極大，僅稍小於總空間電流。

第四，當簾柵電壓高於屏極時，簾柵吸收二次電子於屏極，故屏流極小或竟至於負，而簾柵電流乃極大。此二電流之和，必適等於總空間電流。但若屏壓有相當數值，每箇一次電子至屏極時平均由擊撞而生之二次電子，將不止一箇，是以簾柵電壓高於屏壓時，屏流有時為負，且簾柵電流之值超過總空間電流，觀各特性曲線，可以參證。

5. 簾柵管之應用 四極管因屏柵間電容量之減少，回授自生振盪之害得以避免，故特宜於射電週率之放大。UX-222 號真空管為一最普通之接收簾柵管，屏極電壓為 90 或 135 伏脫，簾柵電壓為 45 伏脫。柵極接頭，係從玻泡頂點引出，其餘三極與三極管同，可用尋常燈座。因簾柵極之存在，柵極電壓變化之於屏流比較屏壓，有效程度更大。換言之，簾柵管之放大因數及屏路交

流電阻均甚大（參看第七章美製真空管特性表），是以屏流之變量不致因負荷電阻而受大影響。因按前

$$I_p = \frac{\mu E_G}{r_p} - \frac{R_0 I_p}{r_p}$$

若 r_p 比 R_0 甚大，而 μ 亦甚巨，則 I_p 幾等於

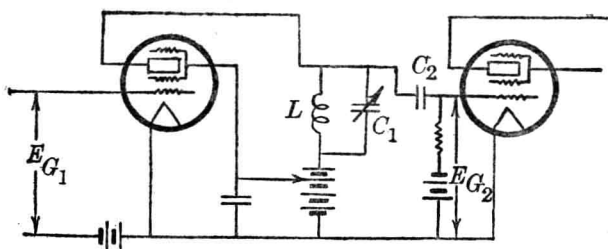
$$I_p = \frac{\mu E_G}{r_p}$$

則電壓放大比率

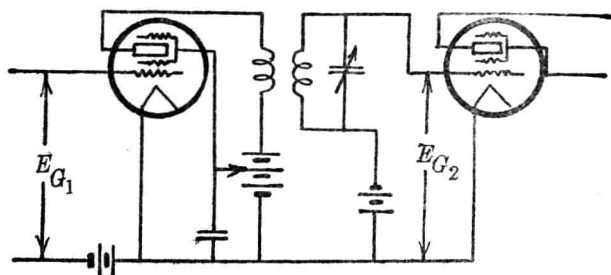
$$\frac{I_p R_0}{E_G} = \frac{\mu R_0}{r_p} = g R_0 \dots\dots\dots \text{公式(2)}$$

可見在四極管內電壓放大比率，與負荷電阻成正比，用大電阻以得高電壓放大比率之利益更顯。是以四極管之每級電壓放大比率可得約自 25 至 50 之鉅，而在三極管則僅每級約 5 至 12。簾柵管之最大應用為射電週率放大器，其接法如第九圖所示。圖(a)為總阻交連，(b)為變壓器交連，一切均與三極管相似。所異者，簾柵管之屏極交流電阻甚高，屏路負荷不易得相稱之總阻，故簾柵管之放大因數雖大，然不能全部利用。例如四極管之放大因數，雖有 300 至 400 之鉅，而每級放大比率僅數十而已。簾柵管亦可作為成音週率放大器，其接法與射電週率放大器相仿，惟在變壓器及總阻交連放大線路內正路或副路線圈宜跨接一大量電阻，其目的在使其總阻在一羣波長帶內，均勻放大，避免因各圈與其分佈電容量成並聯諧振現象。

第 九 圖



(a)

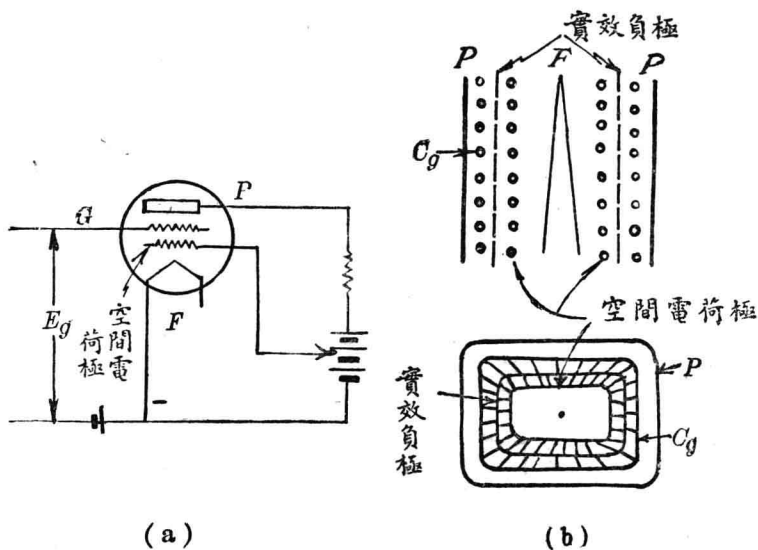


(b)

簾 柵 管 放 大 線 路

6. 簾柵管與三極管之比較 在射電週率放大，簾柵管已逐漸侵佔三極管固有之位置。其主要利益為三極管所不及者，乃在屏柵間內路電容量之減退，例如尋常接收簾柵管之屏柵電容量約在 0.01 至 0.05 μmf . 之間，比三極管小至數百倍。故其回授振盪作用，亦為遏止，但因放大因數之大，在極高週率時，回授作用，固未嘗盡滅也。其第二利益，則在每級放大比率之增加。每一管簾柵放大往往可以抵三極管之二三階級，接收機之價格及維持費，俱為降

第一〇圖



空間電荷極管之接法及構造

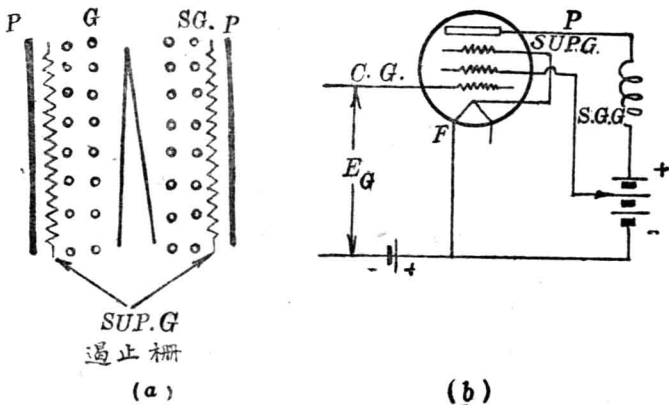
落。其弊則凡二，第一，簾柵管構造複雜，線路內亦因之增多零件若干。第二，簾柵管因二次電子散射之效驗，屏電壓低於簾柵電壓時，不獨屏流為之大減，竟至易其方向，即結果電子流在屏與簾柵間為自屏至簾柵。其所引起放大失真之劇烈，自不待言。是以屏壓變值範圍既有限制，欲得強大之工率放大，簾柵管正與三極管相同，不易成就。五極管之肇興，亦始於此。簾柵管美製者，用直流者，可以 RCA-22, 32, 36 等為代表。用交流熱管式者，可以 RCA-24, 35, 36 等為代表。

7. 空間電荷極管 空間電荷極管 (space charge grid tube)

者，實一尋常之三極管之三極以外，加以輔助極（即空間電荷極）於負極（即燈絲）及控制柵之間，使之荷適當之正電壓。其構造及接聯方法，約如第一〇圖(a)及(b)。有時此種真空管即係簾柵管改接而成。若將簾柵管之柵極接至比屏較低之正電壓，簾柵接如控制柵，即得空間電荷極管。此空間電荷極，因帶正電，將瀰滿於負極柵極間之空間電荷吸收，而在離屏較近之地位，而成一實效負極於空間電荷極之後，控制極之前。換言之，空間電荷之正電位，適足以抵消原來空間電荷之負電位，而使電子自離負極後，不致被拒於空間電荷，而易於直趨屏極。是以在此種管中其交流電阻極小，因之每級放大比率甚高。其使用特性曲線與尋常三極管無甚大異。所不同者，第一，在其每級放大比率之大。第二，其特性曲線曲度較大，欲得忠實放大，工率不能過巨。此種真空管之利益平庸，其作用多為他式管所有，故應用甚鮮。

8. 五極管 五極管因各極在管外接法不同，遂有各種相異之應用方式。其最要者莫若強力五極管(power pentode)。強力五極管者，實一簾柵管或稱四極管內加一額外極，其位置處於屏簾兩極之間，而在管內永久接至燈絲極之中間。此第五極之作用，在遏止屏極二次散射電子，故常名為遏止柵 (suppressor grid)。因其聯接至帶負電之燈絲，故又稱負柵 (cathode grid)。第一一圖(a)示一強力五極管各極之相互地位，(b)示此管在線路聯接之

第一圖



五極管之構造及接法

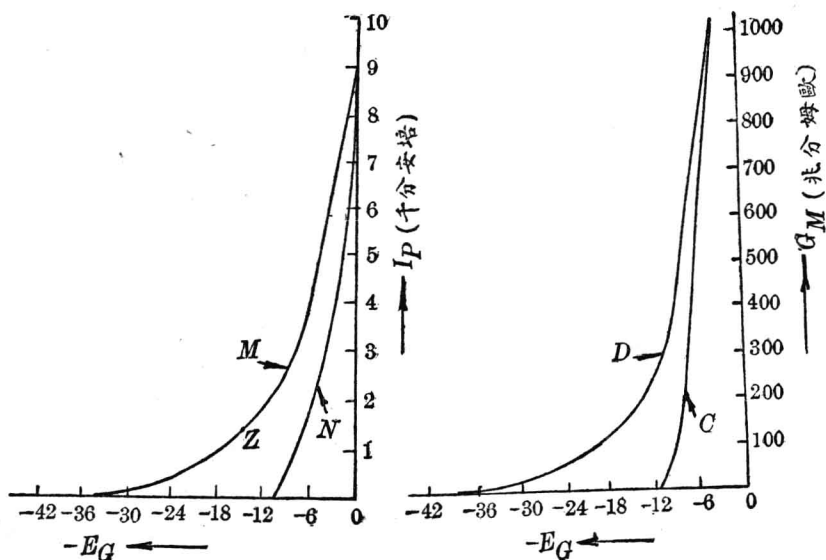
方法。Sup. G. 爲遏止柵，餘如前。第五極聯接燈絲當然常帶負性，與二次散射之電子，發生抵抗作用，使屏壓低於簾柵壓時，二次電子不致達到簾柵，但同時仍得使高速度之一次電子進行至屏，不生阻礙。此遏止極特此作用除去尋常簾柵管不能輸出巨大工率之主要原因，故雖在巨值屏流變化中，不致發生失真，強力五極管之得名以此。

五極管之特性曲線與簾柵管大致相同。例如屏流祇被制於柵及簾柵兩電壓而與屏壓幾無若何關係。但屏壓過低時，則在遏止極旁造成空間電荷，屏流自減，失真因起。五極管之交流電阻與放大因數當然甚高，而互導卻仍屬尋常價值。五極管比諸三極管，其利在同一屏壓於總空間電流之時五極管可輸出較大之不失真工率。

換言之，祇須三分之一之輸進電壓，五極管可輸出與三極管相同之工率。所以單座五極管可代所有成音各級放大。比諸四極管則屏壓可較低與簾柵壓可相同，供電方面問題較簡，且屏柵兩路之隔離情形，更為嚴密，用之於射電週率放大，自必滿意。其弊則極數太多，構造複雜，氣體不易抽盡，其使用往往有出常軌，但此可以在製造及試驗時矯正之。美製強力五極管，可以 RCA-38, 33, 47 等為代表。

9. 變 μ 管 尋常真空管之放大因數 μ 在使用狀態中，其數無大變動。例如第一二圖 (a) 內曲線 N 示一 I_p-E_G 曲線在尋常使用柵壓範圍內，該曲線幾完全為一直線，屏流變化與柵壓變化成正比，但柵壓負性增強時，曲線曲度加大，直至某柵壓時，屏流停止，真空管作用完全阻塞。同圖 (b) 內曲線 C 示該管互導之變化。屏流停止時，互導數值小至零。此種真空管之柵極之結構係完全均勻圍罩燈絲，如第一三圖 (a) 所示。故柵極全部對於控制屏流作用有同等效力。但若柵極結構中部稀，而兩端密如同圖 (b)。在柵極負壓甚低時，電子穿越柵極一如他管，若負柵壓增強時，因柵極結構之特殊，電子雖不能如前之易於通過，然尚能於 (c) 圖內 1 與 2 兩點間流行，真空管使用至此點時，放大因數 μ 與互導突形降值，因此時兩端間電子不能通過，柵壓變化不足以引起巨大屏流變化也。柵壓負值更高時，祇留圖 (d) 內 3 及 4 兩點間可以流通電子，最後始完全阻塞。其屏流與柵壓之變化，見第一二圖 (a) 曲線 M，互導與柵壓，見同圖 (b) 曲線 D。從 M 曲線，可見放大因數 μ 降低甚

第一二圖



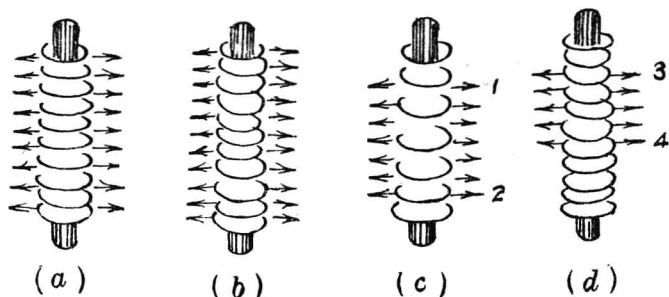
(a)

(b)

不變 μ 管與變 μ 管特性之比較

大，過此則下降愈速，此種真空管放大因數，在使用範圍內變值甚大，故稱變 μ 管 (variable- μ tube)。例如美製 RCA-35 管為一變 μ 簾柵管，屏壓凡 250 伏脫，簾柵電壓 90 伏脫，柵壓為 -50 伏脫時，互導為 1 兆分姆歐，柵壓 -40 伏脫，互導為 15 兆分姆歐，柵壓 -3 伏脫，互導為 1050 兆分姆歐。其變化情形，可見一斑。變 μ 管大都用於接強烈信號時，自動減弱放大因數，以控制音量在適當範圍以內，可用作射電或中間週率放大器或超等外差線路之差

第一三圖

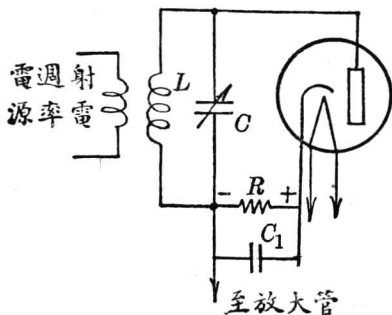


不變 μ 管與變 μ 管之構造

週率混合管。其詳細應用將於以下特式管線路內敘及之。

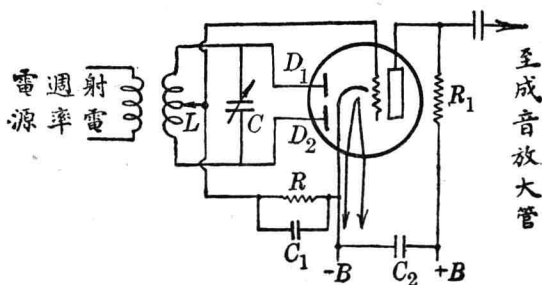
10. 孛生二極三極管 二極管可以檢波在第七章已經說明。雙座二極管二屏並聯，可得半波整流，若以二屏對稱聯接，可得全波整流，其理極顯。若將雙座二極管合併一座三極管於一燈泡內，即得所謂孛生二極三極管(duplex-diode triode)。二極管之檢波

第一四圖



交流二極管之檢波

第一五圖

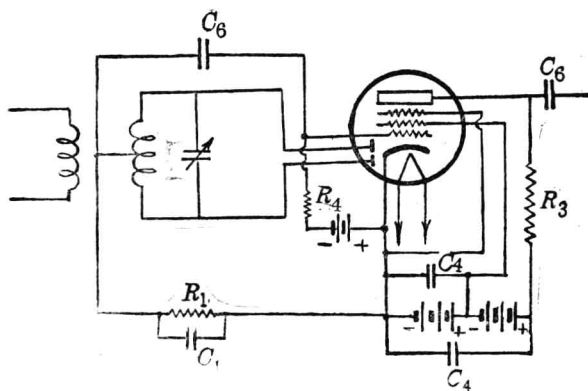


孛生二極三極管全波檢波放大線路

線路，有如第一四圖，其理論已見前文，無待贅述。檢波後之成音週率電壓，得之於跨接電阻 R 之間，可以自此加至放大管輸入線路。此種二極管檢波之利益，在屏路交流電阻之較小，負荷電阻較易配置，以得適當不失真之輸入。若將二座二極合併聯接得一全波檢波後之成音週率電壓，仍還諸本管內之三極部分以放大，如是於單管之內得全波檢波及放大。例如第一五圖示一孛生二極三極管之全波檢波及放大線路。 D_1 及 D_2 為孛生管之二極部分之雙屏，接如全波整流。整流後之成音週率電壓經 R 而加至三極部分之柵及燈絲間，依尋常方法放大。此放大管之柵極負電荷，須得自跨 R 之直流電位降， C_1 及 C_2 係高週率電流之捷路電容量，其餘讀者可以理會。孛生二極三極管之檢波，尙可得自動音量控制之利，其說明詳後，故常為新式超等外差之第二檢波管。美製可以 RCA-55 號為代表。此種檢波方法與前述之屏極柵極檢波，合為接收機內三種檢波方法。

11. 孛生二極五極管 若以雙座二極管合併單座五極管於一燈泡，即得一孛生二極五極管(duplex-diode pentode)。其應用與前述之二極三極管相仿，可同時用作檢波及放大管，其線路之一約如第一六圖。此線路內五極管部分之柵壓係定值。但亦可佈置自動音

第 一 六 圖

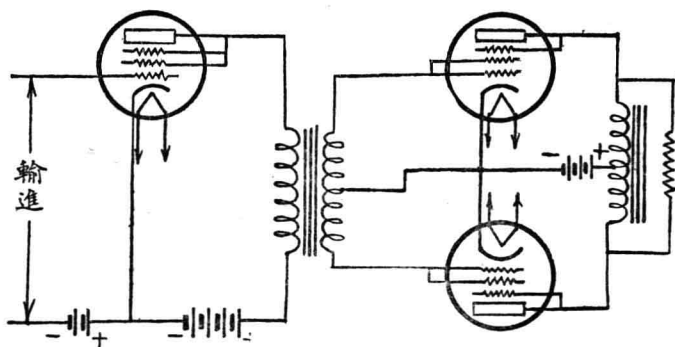


孛生二極五極管全波檢波放大線路

量控制，其詳亦見後音量控制一節。美製者以 RCA-2B7 號為代表。

12. 二柵管與三柵管 為增加真空管應用活動性起見，管內之柵極可多至二或三之數。各柵可以管外隨意聯接以得各種不同之使用。例如美製 RCA-46 號為二柵管，若二柵互相聯接成一柵極，則放大因數甚大，可以無須負柵壓以作 B 類放大，若近屏之柵與屏聯接則放大因數較小，負柵壓為必須，以作 A 類放大。RCA-59 為一三柵管。作 A 類三極管放大，則近屏之二柵與屏聯接；作 A 類五極管放大，則第一柵為控制柵，第二柵為簾柵，第三柵為遏止柵，

第一七圖



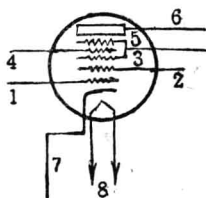
三座三柵管放大線路

與尋常五極管相同；作B類三極管放大，則第三極與屏聯接，第一二兩極互聯成一三極管。第一七圖示一三座三柵真空管，先作A類放大，後作B類放大之線路，讀者可以理會。

13. 五柵管 超等外差式收音機為目前廣播收音機最盛行最精密之一種，惟每機需管數太多，致製造不易，成本奇重，誠為美中不足。自五柵管出，此種缺憾，漸為去除，其重要可知。五柵管為最近（一九三三年下半年）美人所發明，英文原名為 pentagrid converter，意為五柵變週率管。因此五柵管之特點，在於一單獨之真空管中，同時具有振盪與檢波兩種之功用，不獨能供給本電路中之振盪，且能將此振盪與外來之射電週率波相混合調幅，以發生吾人所需要之中間週率振盪，而完成外差任務。其混合調幅之所在，不似單管自差式之在線路而在真空管內之空間電子流，其法至妙。五柵管除燃熱燈絲外，共有七極，其構造約如第一八圖。內因3及

5 兩柵在管內聯接合併祇有 8 接頭。8 係燃熱燈絲，7 係散射電子之負極，6 係屏極與尋常交流管相同。1 為第一柵極，介於 7 及 2 之間，因其作用同振盪管之柵極，故名振盪柵 (oscillating grid)。2 為第二柵極，實際上並無線網，僅具金屬桿一雙，其作用恰如三極

第一八圖



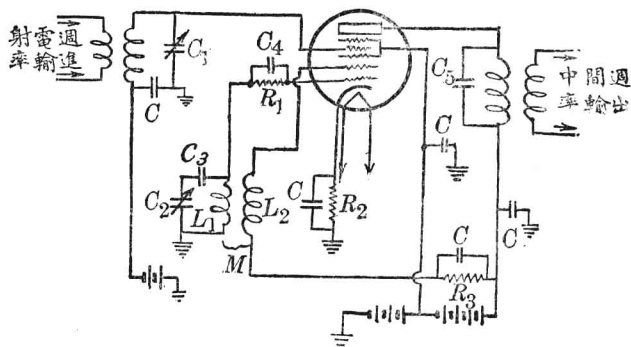
五柵管之各極

振盪管之屏極，故又名之為屏柵 (anode-grid)。4 為第四柵極，具有四極管控制柵之功用，故嘗名之為控制柵。3 及 5 為第三及第五兩柵，聯接而成，具有四極管內簾柵之作用，故又名之曰簾柵。

吾人於五柵管內部之作用，可分二部解釋。第一部包括負極 7，柵極 1 及 2。第二部包括柵極 4，3，5 屏極 6 及第一部合併作第二部之實效燈絲。在應用時，負極 7 及第一第二兩柵為一振盪管，電子之自負極流至屏柵 2，可為振盪柵 1 所調幅或控制。故若振盪柵之電壓變值於任何週率，則其被控制之電子流，自必被調幅於該週率也。此被調幅之電流，更被負有正電荷之屏柵 2 所吸引，而加速度穿過屏柵 2 及簾柵 3。至此電子因控制柵之荷有負電，滯遲於柵極 3 及 4 之間，不復前進。此項雲集於兩柵間之電子負有極重要

之使命，即以之供給第二部 4, 5 及 6 各極之用。故第一部實可稱第二部之事實上燈絲，而原有散射電子之 7，及燃熱燈絲，與其他各極，初無十分關係也。以上所述，屬於第一部。外來射電週率振盪加諸於柵極 4，如此於電子流奔向屏極 6 之時，又被此外來振盪週率所調幅，於屏極 6 之屏流，其週率將為第一部分局部振盪與此外來振盪共同調幅後之結果週率，以得週率差之現象。此週率差即為中間週率，依此前進作中間週率之放大。以上所述，屬於第二部。第一九圖示一五柵管用於超等外差收音機內線路。其振盪部分為柵諧電路， L_2 為屏圈， L_1 為柵圈， C_2 為配諧之用振盪電壓加於第一柵。外來振盪經 C_1 配諧以後，加於第四柵，電子流經過二次調幅以入屏極作中間週率之放大。圖內 C_1 及 C_2 為連軸電容器以備得一恆

第一九圖



五柵管之線路

定之中間週率。 C_4 及 R_1 為柵漏電容器及電阻， R_2 使第一柵得相當之負電壓。 C_5 及 C 均為高週率捷路電容器，餘從略。

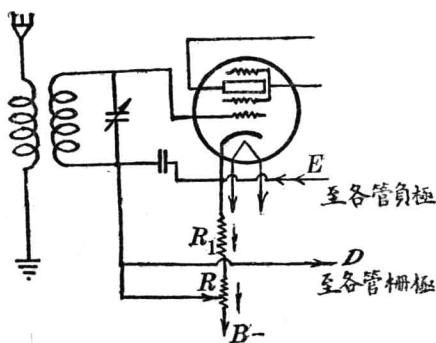
五柵管之利益，簡述之約有下述各點。第一，單座管得雙管之用。第二，高週率與中間週率因簾柵之作用，互相隔離，無相互作用之弊。第三，自動音量控制可以達到，其理詳後。第四，因振盪與檢波兩項作用，同時發生於一管之內，可用電子交連，以免去自感量或電容量之採用，結果凡一切不良之互感作用，可以減少，電路之聯接，愈形簡單，振盪之情形亦更爲穩定。凡此種種五柵管利益之犖犖大者，宜乎發明不及一載，已不經而走，遍地採用。真空管發展至此，雖不能謂已登峯造極，卻已可嘆觀止矣。美製五柵管，可以 RCA-2A7 及 6B7 兩號爲代表。

14. 其他特式三極管 除上述各種特式多極管比較重要外，尙有其他特式管應用於各項收發線路內。例如簾柵管如屏壓低於簾柵壓時，其負電阻效驗可以利用作爲發生振盪或抵消正電阻之需，簾柵管處於如此聯接情形時，謂之帶那特龍管 (dynatron)。此其一。三極管內屏柵二極地位互易，則成爲倒接三極管 (inverted vacuum tube)，輸入輸出兩路，位置與尋常接法相反，可爲降低電壓之用。此其二。管內電子流由燈絲至屏不爲柵壓所控制，而爲管外線圈所發生在管內之磁場所管束，謂之磁空管 (magnetron)，可作檢波振盪之用。此其三。三極管之燈絲極，罩以絕緣物質，鑿以小孔，使電子得以散射自如，而燃燈絲之熱量，可以保持不散，因而減少燈絲所需工率比尋常真空管 10 至 100 倍之多，管內儲以適當數量之水銀蒸氣，遊離化以後，正離子與空間負電子抵消而中

和，屏極電阻大減，屏流大增，成所謂電閘管 (thyatron)，在電力事業上有無限前途。此其四。利用少數特殊質料如鉀，鈉，等等受強弱不同之光波，因以變化散射電子數量之原理，所組成之光電管(photo-electric cell or tube)，為電傳形像，有聲電形及其他種種應用光電關係器件之主要關鍵。此其五。本編以篇幅有限，不及縷述，此外尚有電子振盪管，詳見短波及超短波一章。

15. 利用特式真空管之音量控制 第九章內曾敘入接收機內控制放音器內音音量最簡單方法。目下收音機愈見精密，特式真空管應用愈廣，發射電臺遠近與工率大小，愈見紛歧，音量控制之設置，益增重要。其設置目的，無非使收音機輸出音量，不以電臺

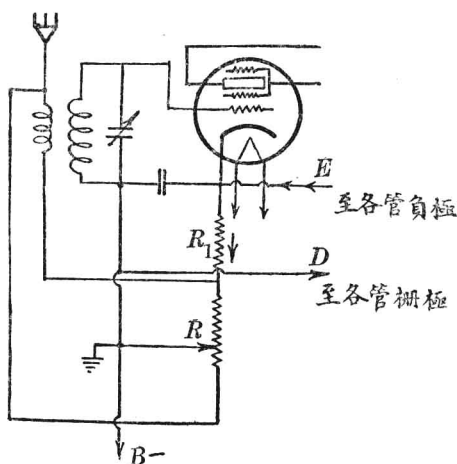
第 二 〇 圖



人工音量控制之一

之遠近或工率大小而有所軒輊，而同時對於收音機之選擇性，忠實性等等不致有絲毫損失。方法種類殊多，茲特簡述新式收音機最通用幾種音量控制方法，以概其餘。人工音量控制方法之最普

第 二 一 圖

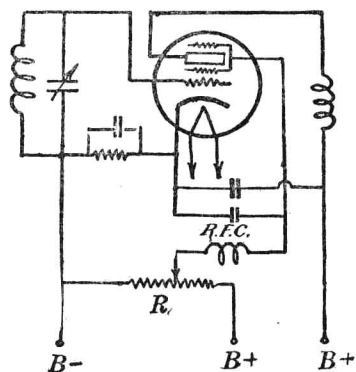


人工音量控制之二

通者，爲於強烈信號時，設法將射電放大管之柵極負壓以減少其互導及放大因數，然後輸出屏極工率，自然隨之減退。第二〇圖即爲依此原理而設計之音量控制線路。電阻 R 及 R_1 均在負極線路內，屏流自屏至負極，由負極還屏極電源負端，必須經過此兩電阻，因得電位降，而使柵處於較負地位。滑接移下，柵壓愈負，放大愈小，音量愈降。滑接移上，則音量較大。電阻 R 爲定量，使柵壓保持一最小負電壓，以得放大作用。第二一圖係根據同理而稍加精進之音量控制線路。內滑接移下，不獨柵壓愈負，而天線與地間電壓之輸進收音機部分亦愈形減少，可得範圍較大之音量控制。此兩種音量控制方法，最宜用變 μ 管作射電週率放大管，因是種特式管，於巨大負柵壓範圍以內，可得適當放大效能之變值也。

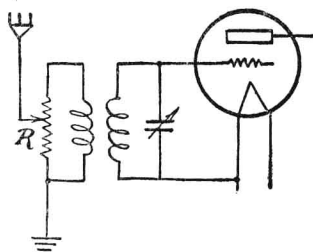
應用尋常簾柵管放大管之音量控制方法，常以變化簾柵電壓以得之。簾柵減損，放大因數亦小，此法可以第二二圖線路得之。電阻 R 爲一 50,000 歐姆之變位器。滑接移動，可使簾柵電壓變化，放大因數隨變，因以控制其音量。此法之弊在接收巨工率近距離信號時，柵壓低至曲線膝點，失真隨之。最好天線輸進同時控制，顧又太複雜耳。此外人工音量控制，尙可利用於天線輸進，如第二三圖即其一法。音量控制，可移動跨 R 滑接，其理甚顯，無待說明。此方法最稱簡單，但有二弊。若非收音機射電部分以金屬片將機外靜

第 二 二 圖



人工音量控制之三

第 二 三 圖

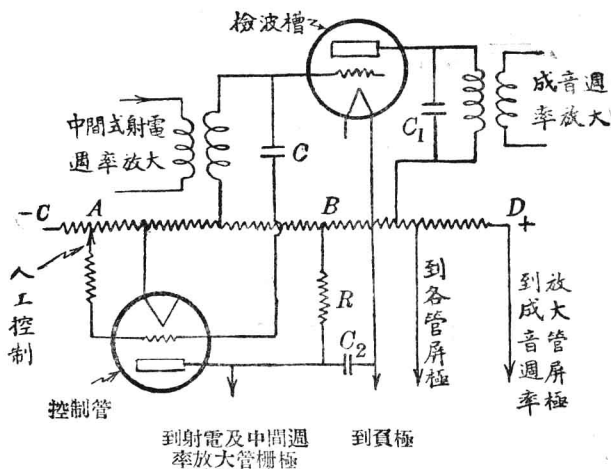


人工音量控制之四

電隔離，則強大之信號不因滑接 R 在最低位而仍侵入收音機甚烈，此其一。機內發生之噪聲，並不因音量控制在最低位而低下，是以信號與騷擾比率將因之降落，收聽不佳，此其二。有此二弊，故此種音量控制方法，已在淘汰之列矣。

除人工音量控制以外，最新式收音機均置有自動音量控制方法 (automatic volume control)。最普通者凡二種。第一種利用 RCA-35 式變 μ 管，而以另一三極管作為自動音量控制管，其屏流輸出隨檢波管輸入柵壓之大小而變化，以控制各射電或中間週率放大各管之柵極負壓。觀於第二四圖可見信號未到時，兩管柵壓俱取決於變位器 CD 上之人工控制點 A。當信號已到後，控制管經 C 而受到影響。信號愈強，柵壓變值範圍愈巨，屏流平均值亦愈大，跨

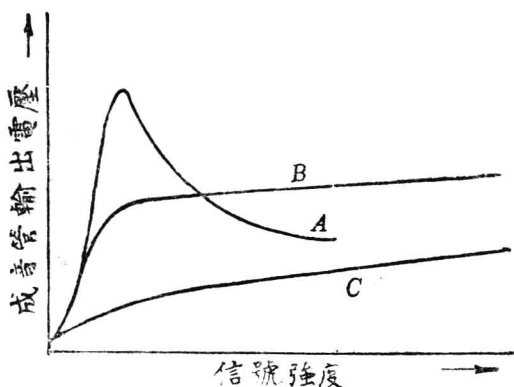
第 二 四 圖



專用一管之自動音量控制線路

電阻 R 之電位降落亦愈大，轉輾而增加各射電或中間週率放大管之負電壓，放大減少，檢波管之輸進電壓，因之自動降落。若信號太弱，一切情形適相反。第二五圖示用自動控制信號強度與成音輸出比較。A 為無控制，B 與 C 之別，乃在 B 之人工控制點配置在高聲

第二五圖

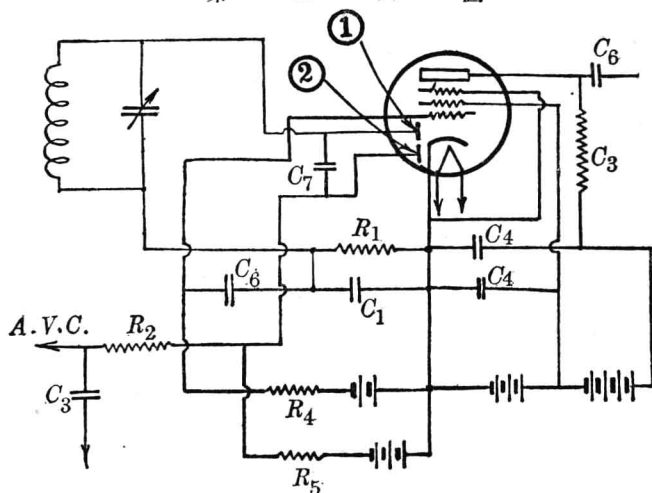


自動音量控制之效驗

點，C 則在低聲點。此種控制，弊在須專用一管，以司音量控制，殊不經濟。

自動音量控制法之第二種，即利用單座孛生二極三極管或孛生二極五極管，同時司檢波及自動音量控制之職。利用二極管檢波後，屏流之跨電阻電位降以加增高週率放大管之負柵壓，已略見孛生二極三極管一節。第二六圖示一單座孛生二極五極管，同時作檢波放大及自動音量控制三職之線路。外來信號加於孛生二極之一極①及負極間，作屏極減波作用。其輸出經 R_1 及 C_6 而至控制柵以放大，此放大部分柵極負壓，係由 R_4 及電池所配置。其孛生二極之另一極②係作自動音量控制作用。信號經 C_7 而至是極，其輸出經 R_5 發生電位降而加於各高週率變 μ 放大管之柵極及五柵管之控制柵，以得自動音量控制。其他簾柵遏止柵及屏極之接法，讀者

第 二 六 圖

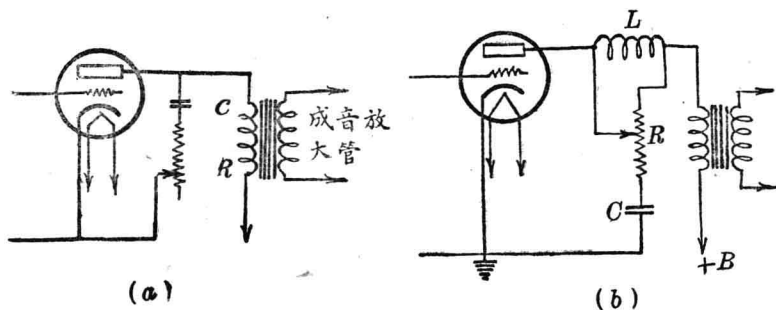


孳生二極五極管之自動音量控制

可以理會。 C_4 為捷路電容器， C_6 為斷路電容器， C_1 亦為捷路電容器， R_3 為交連電阻。利用孳生管以得檢波及自動控制音量，聯接方法甚多，上述者僅其一利。

16. 音調控制 除人工及自動音量控制外，新式收音機多裝有音調控制(tone control)。言語音樂，高低不同，為適應收音機之環境及個人之興趣起見，故有音調控制之設。音調控制，大都為一種高週率或低週率之濾波器，裝在檢波管屏路或成音週率放大管柵路，藉以減少成音高週率之放大而調整其音律。第二七圖示音調控制之兩方法。(a)最簡單而通用，包含一大電容量約 $0.002 \mu\text{f}$ 。與一變量電阻 $500,000$ 歐姆串聯，共同並聯跨接於檢波管屏路如圖，或跨接於成音週率放大管之柵路，作用亦復相同。圖內滑接下移，

第二七圖

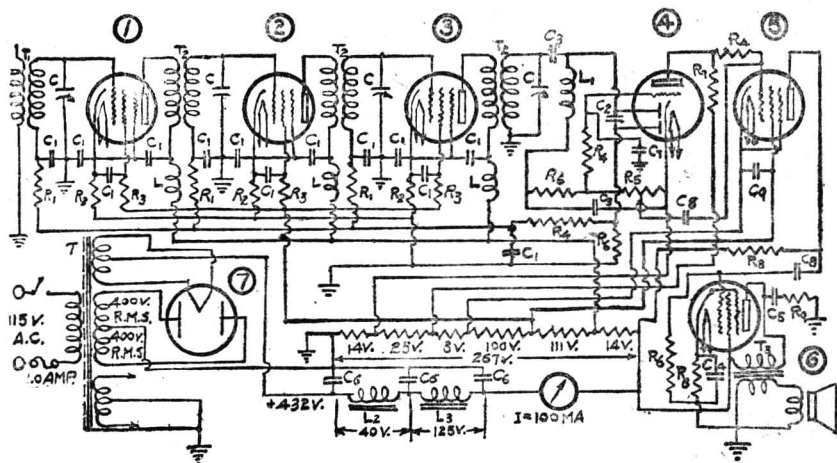


音調控制線路

減少電阻，使高週率部分得一捷路，語言及音樂之音調，爲之低降。反之，如滑接上移，結果適得其反，音調爲之提高。同圖(b)較(a)之音調控制更爲滿意。內L約爲2亨利，1,300歐姆之鐵心線圈，R爲40,000歐姆之變量電阻，C約自0.025至0.05 μf 。此種音調控制之利益，在不論成音高低週率，均可遏止。例如滑接在R下移，高週率捷路電阻降低，放大爲之減少，音調趨低。反之，如滑接上移，低週率跨自感量L之並聯捷路電阻減退，放大亦爲之減少，如是音調控制之範圍較爲廣大。音調控制雖應用頗廣，但實爲一種人爲失真，使所收音節，與所發懸殊，若干學者，嘗非議其使用也。

17. 交流配諧射電週率收音機線路舉例 目下市上收音機之較精密者，其線路不外兩種，一爲配諧射電週率 (tuned radio frequency)，又一爲超等外差。其電源設備除特殊設計用直流外，大都用城市110或220伏脫60或50週之商用交流。配諧射電週率收音機線路理論簡單，僅用三或四級簾柵管射電週率放大

第 二 八 圖



交流配諧高週率接收線路

階級，以後則檢波及成音週率放大隨之。特式管通用後，回復，平差及回授等收音線路，已可無需，簡單配諧射電週率收音機之盛行者以此。第二八圖示一七管配諧射電週率收音機線路。內除一全波整流管外，三管係射電週率放大變 μ 五極管，一管係檢波及自動音量控制孛生二極三極管，一管係三柵成音週率放大管，一管係成音週率放大強力五極管。所有四級射電週率放大級內之配諧電容器，一律裝在同軸，使各器轉片同時轉動，以得前後完全諧振之利。各管之柵壓，經跨 R_4 之電位降，以得自動音量控制。其餘各部，讀者可以理會。線路內各器數值列後：——

$R_1 = 250,000$ 歐姆

$C =$ 連軸電容器

$R_2 = 300$ 歐姆

$C_1 = 0.1 \mu f.$

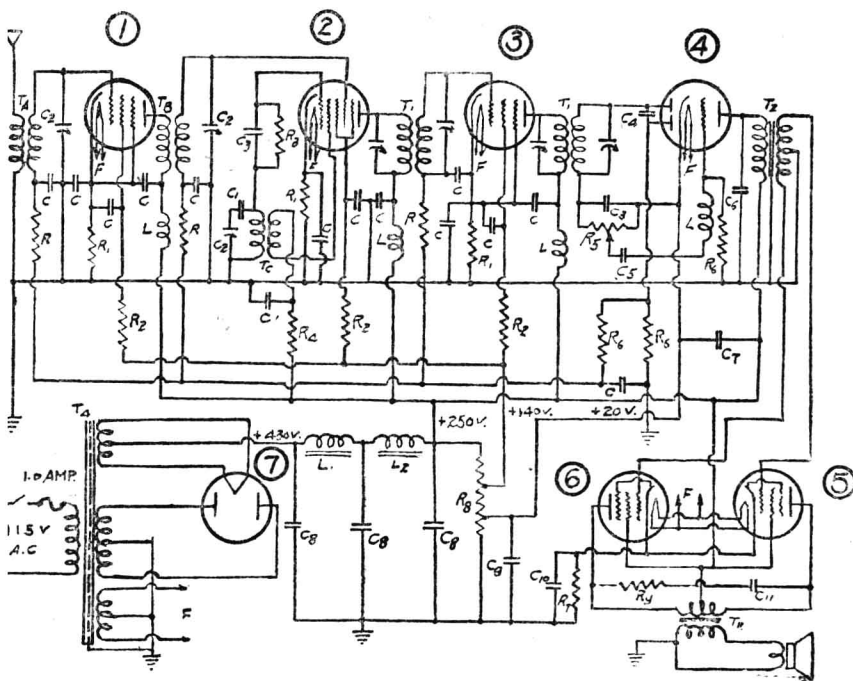
$R_3 = 20,000$ 歐姆	$C_2 = 0.00005$ μf .
$R_4 = 1.0$ 兆歐姆	$C_3 = 0.0001$ μf .
$R_5 = 300,000$ 歐姆	$C_4 = 8-16$ μf .
$R_6 = 500,000$ 歐姆	$C_5 = 0.03$ μf .
$R_7 = 500,000$ 歐姆	$C_6 = 8.0$ μf .
$R_8 = 410$ 歐姆 (2 瓦特)	$C_7 = 0.05$ μf .
$R_9 = 10,000-20,000$ 歐姆	$C_8 = 0.01$ μf .
$L = 60\mu\text{h}$	$C_9 = 0.5$ μf .
$L_1 = 65\mu\text{h}$	$T =$ 電源變壓器
$L_2 = 400$ 歐, 30h	T_1 及 T_2 及 C 之價值視週率範圍設計而定
$L_3 = 1, 250$ 歐姆	$T_3 = 7, 000$ 歐姆正路總阻

真空管次序如下：——

1. R.C.A. - 58
 2. R.C.A. - 58
 3. R.C.A. - 58
 4. R.C.A. - 55
 5. R.C.A. - 57
 6. R.C.A. - 2A5
 7. R.C.A. - 5Z3 (整流)
18. 交流式最新超等外差收音機線路舉例 第九章所示超等

外差線路，各極電源均用直流，且管數甚多，使用未見滿意。自特式真空管盛行以來，超等外差式於使用及管數有顯著之進步，成本亦爲之大減，是以較精密之收音機，幾非超等外差不辦。第二九圖係最新式真空管之超等外差線路之一種。內真空管凡七，第一爲五極管用作高週率放大，第二爲五柵管用作振盪及首次檢波，第三爲五柵管中間週率放大，第四爲孳生二極三極管，同時作二次檢波，自動音量控制，及成音週率放大之用，第五及第六爲五極強力放大，接成推挽式，作成音強力輸出之用，第七係一全波整流管。該線路內整流，濾波，分壓，外差，檢波，及自動音量控制等等，均在以前各節詳加解釋，毋待贅述於此。所可敘述者，約有下列各點。第一，音量控制除利用孳生二極管以外，尚有在 R_6 之人工配置，移動該滑接，可將該三極放大部分之柵壓變值，以得不同之成音週率輸出。第二，圖內各電容器 C_2 ，均係連軸電容器，其轉體部分，接至燈絲負端或大地，以減少人體電容量之影響。第三，中間週率放大管前後屏柵兩路之電容器，用以使該級放大配諧於中間週率 175KC 之數，裝配時校核確定，使用時無須變動。第四，射電及中間週率放大管，均爲變 μ 式，以得自動控制音量之利益。第六，電容器 C_1 與局部振盪柵路內 C_2 相串聯，以減少配諧電容量，使各路內 C_2 均爲同值，而在任何角度位置上，得一 175KC 之週率差。第七，除推挽式放大管外，各管之負極電位因 R_1 之電位降均高於大地，信號來時，負極電位將比柵更高，亦即柵極電位將更低，因 R_6 之電位降存在

第二九圖



交流超等外差收音機線路

之故。第八， C_3 及 R_3 為振盪部分之柵漏電容器及電阻。第九，成音輸出管之 C_1 及 R_9 串聯，所以使高週率雜聲去除，若改為變量，即可為音調控制之用。第十，濾波線路內 L_1 即借用收音器內之勵磁線圈，以求經濟。線路各部數值列表於後，以備業餘者之自裝。

$$R = 250,000 \text{ 歐姆}$$

$$C_3 = 0.00025 \text{ } \mu\text{f.}$$

$$R_1 = 300 \text{ 歐姆}$$

$$C_4 = 0.006 \text{ } \mu\text{f.}$$

$R_2 = 20,000$ 歐姆	$C_5 = 0.01 \mu\text{f.}$
$R_3 = 10,000-50,000$ 歐姆	$C_6 = 0.0005 \mu\text{f.}$
$R_4 = 25,000$ 歐姆	$C_7 = 1.0 \mu\text{f.}$
$R_5 = 500,000$ 歐姆	$C_8 = 8.0 \mu\text{f.}$
$R_6 = 1.0$ 兆歐姆	$C_9 = 8.0 \mu\text{f.}$
$R_7 = 205$ 歐姆 (5 瓦特)	$C_{10} = 0.25 \mu\text{f.}$
$R_8 = 25,000$ 歐姆 (10瓦特)	$C_{11} = 0.02 \mu\text{f.}$
$R_9 = 14,000$ 歐姆	$T_1 = 175\text{KC}$ 中間週率變壓器
$L =$ 高週率阻流圈	$T_2 =$ 推挽式成音週率變壓器
$L_1 = 1,000$ 歐姆	$T_3 =$ 輸出變壓器
$L_2 = 600$ 歐姆, 20-30 亨利	$T_4 =$ 電源變壓器
$C = 0.1 \mu\text{f.}$	餘視使用週率範圍而定

真空管次序如下：——

1. R.C.A. = 58
2. R.C.A. = 2A7
3. R.C.A. = 58
4. R.C.A. = 55
5. R.C.A. = 2A5
6. R.C.A. = 2A5
7. R.C.A. = 5Z3

第十二章 真空管收發機之電源供給

(Sources of Power For Operating Vacuum Tubes)

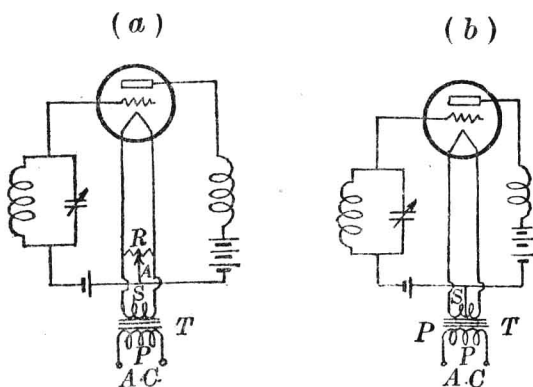
前此各章所述之收發機電源供給，爲簡明計，皆爲運用乾電池或蓄電池組以爲“A”電“B”電者。近數年來，情勢大變。收發機之新製，幾全用交流電源以代乾電池或蓄電池。大概因受二種影響：一爲使用簡捷問題，乾電池應用稍久，乾涸隨之，蓄電池時需充電，家庭頗感煩瑣。二爲電力價格問題，例如收音機內 UX-112A 強力放大真空管燈絲須 0.25 安培於 5 或 6 伏脫電壓上，價格尙不生問題，但若收音機之用強力真空管如 UX-250 以驅使放音器者，其屏極須 55 千分安培於 450 伏脫上，至少需電池 300 隻，每次易新，所費不貲。故近世收音機，除爲攜帶式 (portable type) 及無電源處而外，多用交流以代直流焉。其於發射機，則屏極通常需要直流電壓自 350 伏脫以至 2000 伏脫，強力發射機有高至 20,000 伏脫者，燈絲電流交流或直流，自 2 安培至 15 安培，尙有更高者。

屏極電壓於無線電話機須絕對不變，無絲毫游移。於無線電報機雖無絕對不變之必要，亦以維持常數為宜。在近代都市中，最普通之基本電源，為 50 週或 60 週，110 伏脫或 220 伏脫之交流電，應用此基本電源，變換其方式，使合用於真空管發射機，屏極及燈絲之用，方法甚多，利弊亦頗參差，以下各節，可運用於接收機亦可運用於發報機，其所異者，所需之量不同耳。

1. 燈絲電源之供給 真空管之燈絲所以須燃燒者，無非欲增高其溫度，使其能散射電子耳，故燈絲電源不論直流或交流均可。若以燈絲毀壞速率而言（實即指真空管之壽命而言，因真空管之毀損，什九由於燈絲之折斷與散射力之消失也）。交流善於直流，因用直流則燈絲一部分之熱度必較他部為高。其毀損速度，因之亦殊。其故乃因電子在燈絲上流過，逐漸向空散射，而至屏極，電子初到之燈絲部分，必較後到之部分為多。若用交流，則每週二部分之地位交換一次，熱度相等，毀損速率，因之減半，是真空管之壽命，亦因之倍增焉。且商用交流電光電源，家庭大都裝置，取用既便，代價又廉，所可慮者，如用 50 週之交流，以供給放大管之燈絲電流，則放大管之輸出，將發現每秒 100 次交流雜聲 (a.c.hum)，騷擾殊甚。故除燈絲須特為設計，使適用於交流電源上，尚須用相當線路之更張，然後交流方可使用滿意，交流雜聲可使回至屏柵之接頭連於燈絲之中點，以得電位均衡。其法如第一圖。圖內 T 為變壓器，其正電路 P 之電壓，或為 110 伏脫，或為

220 伏脫，依交流電源為準，至副電路 S 之電壓，須視真空管所需燈絲電壓之高下而定。如圖 (a) R 為一電阻，跨接於燈絲電路上，A 為一滑動接頭。俟接收機使用時，將 A 移動至適當地位，直至交流噪聲最小或寂靜為止。若為檢波管，即使用上述電路，噪聲亦不

第 一 圖

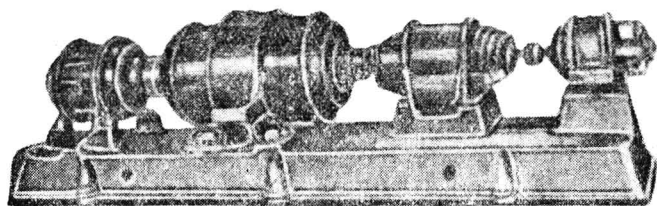


免 除 交 流 雜 聲 法

能全止，非另用特種真空管不可。圖 (b) 乃用一有中央接頭之變壓器，回至屏柵之接頭，須接於此變壓器低壓方面之中央接頭，以得燈絲兩部電壓之平衡，不過此種接法，常使柵極電位較大，以柵極回路線之電位較電絲之負電位為高也。

若發報機之用直流或蓄電池，或用發電機，往往裝在供給屏電壓之直流發電機之同軸，以成三機連軸，如第二圖。用直流時，最好備一反向開關，將燈絲上直流正負兩端，時常調換，亦可助

第 二 圖



發 射 機 之 電 動 發 電 機

長真空管之壽命。無線電報發射機之真空管，近來多用交流以燒熱其燈絲，電話發射機，則因商用低週率之雜聲，足以阻礙音節之純粹，須用濾波器以防之，較為繁複，故仍以直流為佳。

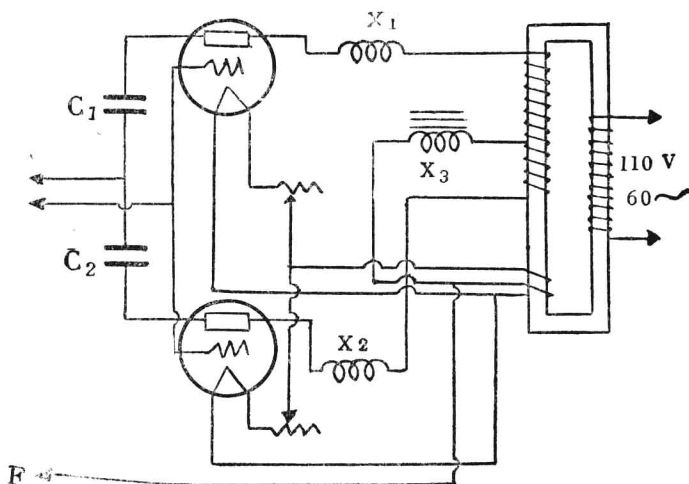
真空管之壽命，既為其燈絲壽命所限制，故燈絲之使用，宜十分注意。強力發射真空管，價值頗鉅，尤當慎用。燈絲之持久與否，胥視其燃燒溫度而異，而溫度自以電流所發熱量為衡。電熱與電流之二乘方及電阻之積為正比例，但燈絲燃燒漸久，其絲愈細，電阻漸高。若使用燈絲而以不變電流為標準者，則熱量將隨使用時日而增加速率，益促其壽命。是以通用燃燒燈絲當以不變電壓為標準，因 $H = KI^2R = \frac{KE^2}{R}$ 。燈絲之壽命，將因電阻增加而延長，觀於上式而益明。商用發射機所以必備燈絲電壓表而非電流表者以此。真空管製造家嘗言，若將燈絲之電壓，逾越核定數量之 5% 者，壽命將減半，反之如在核定數量之下 5% 者，壽命將加倍。學者於此，當知燈絲電壓之當如何控制，而達適當之數量矣。

2. 屏極電壓之供給 屏極所需之直流高電壓，供給方法，約分為三。第一用電動發電連軸機 (motor-generator set)，即以普通商用交流，輸入電動機，使驅轉直流發電機。此直流發電機發出之高壓電流，即以供給屏電路之用。此法當然最為簡捷可靠及活動，為各種固定及移動電臺所樂用，但因價格昂貴，業餘電臺往往無力措辦，不得不求他法。有時用電動機發電機合併於一發電子之所稱電動發電機 (dynamotor)，以求簡捷。第二法所稱「自整流法」(self-rectifying method)，法簡值廉，固其長處，而在信號以外，復雜以 50 或 60 週之噪音，無線電話決不可用，於電報亦非相宜，其線路及說明詳下節。第三法，用上級變壓器，整流器及濾波器三者之組合，所稱整流器或為熱電式 (thermionic)，或為汞氣管 (mercury vapor vacuum tube)，或為化學式 (chemical)，或為機械式 (mechanical)，殊不一致，要皆比第一法為廉，其使用結果亦不相上下，為業餘者所樂用焉。

3. 自整流線路 所稱「自整流線路」，實即利用交流，直接加諸屏極之上，因真空管固有之整流性質，使交流每週之半截（使屏極為負之半截）不生影響也。但此乍生乍滅之音節，必隨信號而至接收機之聽筒內，電話之所以必為所擾者以此。

自整流線路可分二種，一則利用單座真空管，每週交流祇留其半截，又一則利用雙座真空管，每週交流完全保留。第三圖示一單座真空管自整流線路，T 為變壓器，正圈灌以低壓交流，副圈有

第 四 圖



雙座真空管自整流線路

動存在其間，但前節所述之法，雖用成音週率阻流圈，亦不能使所得電壓完全為一平穩電壓，故近數年來優良接收機之屏壓，皆藉變壓器整流器及濾波器三者合組之裝置以得之。即目下無線電話發射機之在 5 基羅瓦特以上及較強之無線電報發射機，幾均應用此法，以供給屏電壓。

5. 電源變壓器 “B”電池免除器之主要部分為電源變壓器，整流管，濾波器及分壓器四者，電源變壓器通常有一正圈及數副圈，同繞於一切片鐵心 (laminated iron core) 上，副圈之一，其圈數比正圈為多，用以升高電壓，經整流作用後，以供屏極之需，其

餘圈數較少之副圈，用以供整流管燈絲電流之用。但放大管檢波管之燈絲亦可由電源變壓器之副圈供給。故一電源變壓器可用以供給數個真空管之燈絲電流及屏極電壓。變壓器鐵心，通常用矽鋼 (silicon steel) 製成，矽鋼性脆硬，而電力損耗甚小，且不易發熱，此其可貴之處也。

6. 整流器 合組裝置中之次要部分為整流器。整流器乃將變壓器升高之交流電壓變為顫動直流，整流器有半波式及全波式二種，但全波整流器亦可用二半波管接成。其種類又有熱電式，化學式，汞氣管等。然以近年來熱電式及汞氣管之進步，整流器所用之真空管，多屬此二者。熱電管即二極真空管，其理論及線路已於真空管一章中說明，毋庸再詳。至於汞氣管以其構造稍殊，故有詳述之必要：汞氣管亦如熱電管有燈絲與屏極，不過其屏形如一盤狀甚小，且懸於燈絲之上，屏與燈絲之距離較熱電管為大，且燈絲所需電壓頗低（不過 5 伏脫），故在大汞氣管亦用空氣冷卻，蓋因此管內之電壓降甚低，屏極之損耗小也。故此類管雖用於高壓上，其效率亦極佳。

此管之燈絲亦為一倒 V 式，且為塗氧化物者。其特性乃其屏極比燈絲電位高十餘伏脫時，即可吸引燈絲所散射之電子。蓋因燈絲燒熱時，散射電子被吸至屏極，同時有一層汞之原子廬集於燈絲週圍，此汞原子受燈絲散射電子突擊，因而電離，電離之結果，發生多量電子，此電子亦被吸至屏極，屏流大增。換言之，汞氣管能

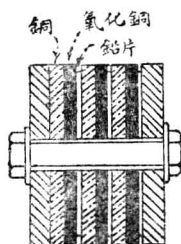
供給較平常整流管為多之電流也。

用汞氣管者，須注意下列二事：第一，汞氣管整流器之屏壓不能超過定值，此定值謂之反高峯屏電壓 (inverse peak voltage)。所謂反高峯電壓者，乃汞氣管所能受之最高電壓，而不使管內發生電弧及各極短路之電壓也。第二，管之最大屏電流不能超過一定之值，此電流謂之最高峯屏流 (maximum peak plate current)。

除上述之熱電管及汞氣管外，尚有氧化銅及電解質整流器二種。分述如下：

氧化銅整流器 (copper oxide rectifier) 乃利用一氧化銅之單向電流特性而造成之整流器。此氧化物之電阻對於某一方向之電流特大，而對於其相反方向之電流則甚小，故具有整流作用。此種氧化物大都生成於銅之表面成一薄膜。此薄膜所能抵抗之電壓甚小，故通常多以數片串聯，如第五圖所示。氧化銅與鉛片 (washer) 相間疊就，以螺絲釘旋緊。此種整流器對於低電壓頗屬相宜，但

第 五 圖



氧化銅整流器之構造

電源電壓之高於 100 伏脫者，則已屏棄不用矣。

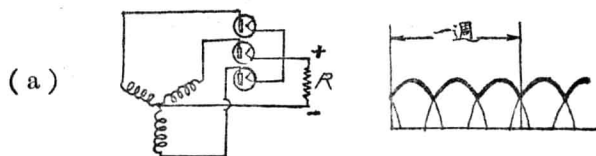
電解質整流器 (electrolytic rectifier) 之製造原理與氧化銅整流器同，即利用金屬氧化物之單向電導特性。金屬之通用者為鋁，鐵，鉛等。將此等金屬之任何一種作成大小相等之二片，以為極板而置於適當之化學溶液中，因金屬與溶液之化學作用極板之表面即有氧化物之生成。此種整流器之安全電壓甚高，可達數百伏脫。但電流之大小，則為溶液之熱度所限。又此種整流器若串聯多個，足以供給一中等電工率之發射機，昔時業餘家多用之。

7. 強力發射機之整流線路 前此所述之單相整流器其輸出波形，波紋甚大，故濾波器裝置頗為重要，若用三相交流電源，則輸出波形較單相者自更平穩。如第六圖(a)之裝置，即為三個半波整流器所合成。此種整流器每相祇 $\frac{1}{3}$ 週時間有電流通過，故其輸出波形，每週顫動三次，如(a)圖所示。其所用之電源變壓器須為三相式者，以免整流後之直流電通過變壓器副圈，致使變壓器之鐵心漸漸飽和也。

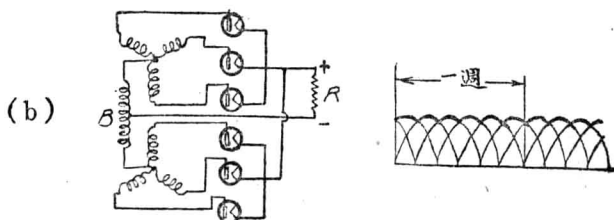
如第六圖(b)所示乃一三相全波整流器，由六個單相半波整流器構成。當變壓器之一相輸出電壓最小時，其他一線圈之輸出電壓最大，由此種抵償作用所得之直流電壓，則甚平穩。二變壓器之間須用一平衡線圈 (balancing coil) 相連，則每單位方可單獨應用。若無此圈，每管之應用時間變為 $\frac{1}{6}$ 週，有此圈，則每管之應用時間為 $\frac{1}{3}$ 週，且同時有二管可以發電，時間之經濟自不待言。

第六圖

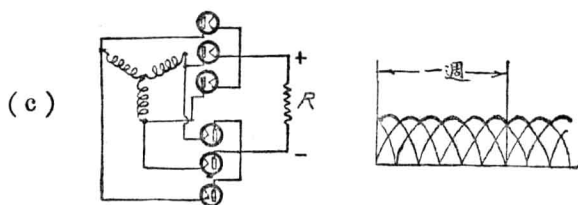
三相整流線路



(a) 三相半波整流線路



(b) 三相半波雙 Y 整流線路

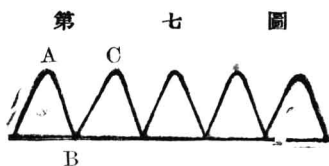


(c) 三相全波整流線路

第六圖 (c) 示另一全波整流器之接法，其輸出波形完全與 (b) 相似。所不同者祇須變壓器一只，且變壓器之每一相線圈上可得一全波電流，頗為經濟，但燈絲變壓器又需四副圈線矣。

普通小電工率之接收機及發射機多用單相整流法。若發射機之電工率大於一基羅瓦特者，自以三相整流法較為便捷而經濟。

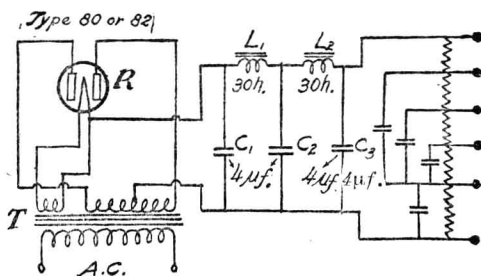
8. 濾波器之應用 濾波器之理論，已詳於真空管接收機一章中，然未及於應用之法，故有再述之必要。整流器之輸出電流，其波形如第七圖所示。A 時最大，B 時最小，C 又最大，如此顫動頗甚之直流，絕不能作為供給屏壓之用，故濾波器不可缺焉。濾波器為電容器與自感量之合組，二者相輔，濾波之功用方顯，缺一則其作用不能完全。第八圖示一全波整流器之線路，電容器 C_1 之作



整 流 器 輸 出 波 形

用如一電壓調節器，當整流管之輸出電壓最大時， C_1 則充電；當其最小時， C_1 則放電。蓄最大之電流，以補二峯間之谷 (valley)，此 C_1 之目的也。第一阻流圈 L_1 ，以其有極高之自感量(30 亨利)，當電流通過時，能發生一反電壓力，以阻整流管輸出電流之急劇變化，故當輸出電流達最大值時，將電能變為磁能，貯於磁場內，俟電流減低時，復將磁能變為電能，輸至線路中，此 L_1 之功用也。若一電容器及一阻流圈尚不能使輸出電壓變平，可增加另一電容器 C_2 及另一阻流圈 L_2 。最後一電容器 C_3 ，乃用以預防強力電信輸入接收機內致使屏壓降低之用。故其電容量甚大 (3-10 μf .)，但在平時亦有

第八圖



全波式整流器線路

不用 L_2 及 C_3 者，亦有借用電動式之收音器中之勵磁圈以為阻流圈者，且後述之法可利用經過勵磁圈之電流，以為收音器勵磁之用焉。

9. 分壓器 收發機所用之真空管形式不一，所需屏壓，高下頗不一致。欲使前述之合組裝置能供給各管屏壓，則分壓器 (voltage divider) 亦不可缺。分壓器乃許多電阻組成，其原理不過歐姆氏定律之應用。觀第八圖，當電流經過電阻時，即發生一電位降，此電位降即用以加於需要之各線路上。

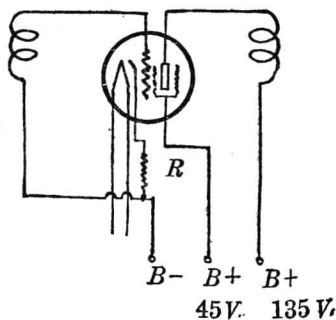
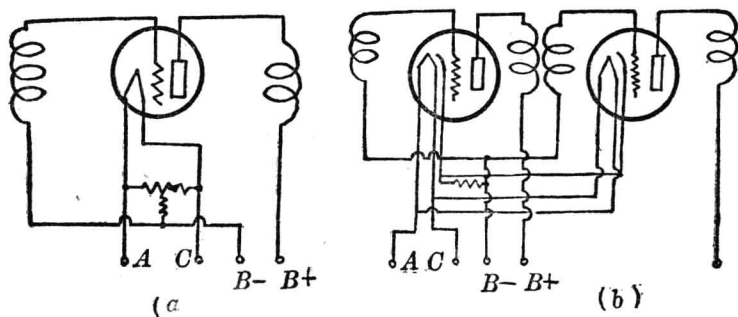
10. 電源電壓調節 上述之電池免除器，尚未臻於完善之境，蓋城市之電源電壓，除業務特佳者外，一日之間，變化殊大，晨午則電壓甚高，而夜晚則甚低。如是則用收發機者，甚感困難，蓋過高之電壓，足使管之壽命變促；而過低之電壓，又不能使真空管之運用滿意。故電源電壓調節器，亦為電池免除器中之一重要設備。電壓調節器有用電阻順接於變壓器之正圈內者，亦有用維壓管 (ballast tube) 或輝管 (glow tube) 者。但電阻調節器祇能將高

壓調節稍低，而不能輔助 (boost) 低壓使高。故多用維壓管及輝管以代之。維壓管為一含鐵絲燈絲之氫氣管，順接於變壓器正圈線路內，當電壓變更時，此管之燈絲電阻亦自動變化，使管內之電壓降變低，以維持變壓器正圈之電壓不變。不過此管之管內電壓降頗大，約 40 伏脫，電力損耗亦巨，且電池免除器之用維壓管者，變壓器之正圈，更須特為設計，增加圈數，以為維壓管內電壓降之用，此其稍欠便利之處也。

11. 柵極電壓 為減少柵極電流及助進振盪作用起見，真空管之柵極，常設法使之對燈絲為負性，其法凡二：一則接一電容器，串聯於柵路內，並以高電阻跨接之，二則接一“C”電池組於柵路內，“C”電池組之負極接至柵極，其理論其接法，俱見前各章，其電源則如電壓低下，往往以乾電池或蓄電池應用。電壓過高，如強力真空管，柵極負電壓有高至數百伏脫者，則以用發電機為便，須視真空管之工率而定。

收音機之利用交流管以放大者，其柵壓之配置，殊有足述者。第九圖 (a) 示一尋常燈絲式交流真空管利用交流電源之柵壓配置，(b) 示交流管或熱管之柵壓配置。(c) 示一交流簾柵管之柵壓配置。此圖內之電阻 R 可利用作為控制信號音量之用。此電位降與屏流之平均值成正比。故當輸入信號過強時，屏流大增，IR 亦增，即柵極負電壓隨信號強度增加，以抑制屏流之驟增，波浪不致過分加重，當信號過弱時，屏流銳減，柵極負電壓亦減少，使屏流不致

第九圖



交流管柵壓配置方法

過分減少，而致聲浪減低，可知此種電阻兼有制盪作用 (damping effect)。惟高週率或成音週率電流，經過此電阻時，損失甚大，因而減低放大器之效力，殊不經濟，欲免此弊，可跨接一容量甚大之電容器於R之兩端，以爲之回路，C之值在成音週率放大時爲 $0.1 \mu\text{f.}$ ，在高週率放大時爲 $1 \mu\text{f.}$ ，R之值可用歐姆定律算出，如 RCA-47 之柵電壓爲 -16.5 伏脫，屏流爲 31 千分安培，簾柵電流爲 6 千分安培，則 $R = 16.5 \div \frac{31+6}{1000} = 450$ 歐姆。

第十三章 無線電話

(Radio Telephony)

學者於以前各章，對於無線電報，已有相當認識，可進而研求無線電話，原無線電話之原理及應用，與無線電報基本實同，所異者在發射機方面，加一使振盪電波之振幅，隨語言音樂聲浪之變化而增減，即所稱調幅(modulation)階級是也。至於收音方面，與收報更無二致。凡收報機均能收音，若竟有異點，則結構之精密程度耳。本章先述聲音之特性及應用無線電話之概念，次述傳話器之原理構造及種類，調幅之意義及各種調幅方法之線路，最後並及廣播發射臺之佈置，以為學者得一較普遍之觀念也。

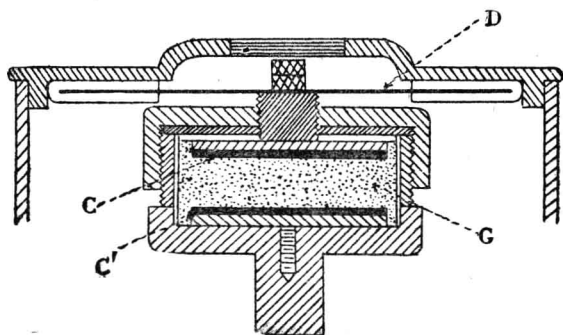
1. 音樂語言之週率 聲音為物質分子震動之結果，復藉物質而傳達，夫人皆知。故在真空聲不能達，而無線電波於真空，傳佈更利，此其異處。純音之波狀，雖非純一正弦曲線，而卻為基本波與各種多次波之合併，故尚有規則。雜聲(noise)則不然，其振

幅高低次數，俱無一定。人類言語，男子則其週率約自每秒鐘 100 次至 6000 次，女子則自 200 次至 8000 次，嬰孩聽覺較銳，可聽至每秒鐘 20,000 次之音，而成人大都於每秒鐘 10,000 次之音，已不能聞。可見成音週率之範圍，固極狹窄也。

2. 調幅之需要 在無線電收報機，聽筒薄膜之震動，其週率經檢波以後，為一定數，故只有一音，以發聲時間之或長或短，而別點畫，以成電碼。今如欲使聽筒發聲成為音樂語言，則其薄膜之震動，亦必有強弱疾徐之不同，一如聲浪之震動，即聽筒中所經電流，亦當有時強時弱之數值，忽疾忽徐之變化。惟收音方面並無控制之能力，其如何使電波振幅按聲浪而變化，端在發射方面。調幅者，即所以使電波隨聲浪以增減其振幅之步序也。在未述調幅方法以前，請先述傳話器。

3. 無線電話之傳話器 無線電話傳送之原理，與電報本無大異，已如上述。所不同者，電報之調幅，乃係於機械的動作，而電話乃係於人聲或音樂之震動。後者自較前者為複雜，而無規則。故此轉變機械震動而至電流震動之機件，自不能如一電報鍵之簡單，是器名之曰傳話器 (microphone)。其結構與原理，大要與有線電話之傳話器，大致相同。例如第一圖為炭精傳話器，D 為鋼膜，C 及 C' 接至電流來往兩路，G 為炭精細粒。當人聲或樂聲震及鋼膜 D 上，此震動由 D 而及於 C，由 C 復及於 G，於是炭精細粒為之忽擠忽鬆，電流由 C 至 C' 所經之電阻，亦為之改變。電

第一圖

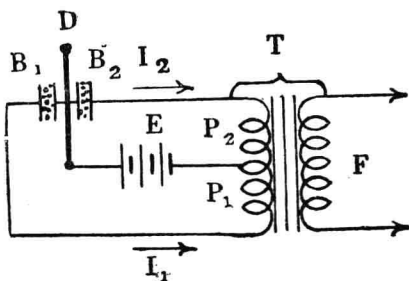


傳話器之構造

流量既與電阻為反比例，則此電流之變化，與音節之震動相符合。人聲樂聲之變為電流變化，大概如是。若為傳送巨量工率之用，則可用數傳話器並聯接成，或用一大傳話器，用流水經炭精細粒，以防後者之受熱過量，或用流水環經炭精盒外，則為力較易焉。

上述之炭精傳話器，其弊在電流值不能經過太大，過大則炭精屑間發出微細電弧，觸點發熱，即失功效。加以薄膜所受聲浪壓力，不能過巨，過巨則發出電流變化，有失去聲浪真相，而生偏枉之弊。欲彌上述缺憾，乃有雙路傳話器 (double button microphone) 之發明。第二圖示一雙路炭精傳話器，D 為鋼膜，緊張於炭精室 B_1 及 B_2 之間，T 為一變壓器，其正線圈具有一中點引線，鋼膜接至電池之正極，炭精室則接至正圈之兩端，各經正圈之半而通電池負極。設聲波擊動薄膜，薄膜震動，使一室炭精所受壓力增加，他

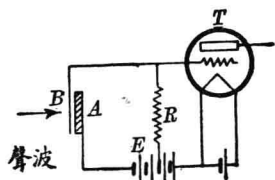
第二圖



雙路傳話器

室之壓力減少，因此一面炭精電阻減少，電流增加，又一面炭精電阻增加，電流減少。但因二者與電池及變壓器連接之關係，此兩種電流增減之效驗，使副圈之電壓相加而不相消。是以一倍之力，而得兩倍之功，偏枉之弊，因是亦微。在無聲擊膜時， P_1 及 P_2 內電流，其磁性適相抵消，故電池之電壓價值，無維持絕對常數之必要，使副圈生感應電壓者，乃為電流 I_1 及 I_2 之變值。此類傳話器，其

第三圖

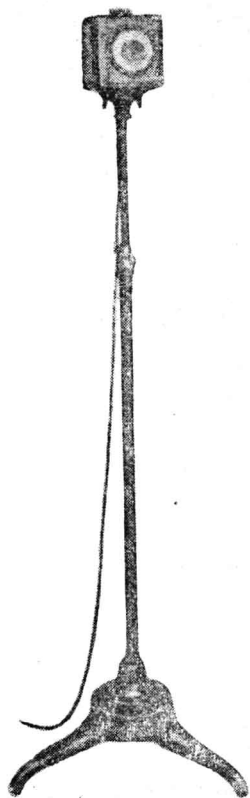


電容傳話器

週率特性(frequency response)在 1000—6000 週間頗佳，故其應用甚廣。

傳話器之最完美者，厥推電容傳話器 (condenser microphone)，其構造可觀第三圖。A 爲厚鋼片，對面距離極近，約 0.0025 公分爲一薄膜 B，與 A 爲絕緣。故 A 及 B 實爲一電容器，以空氣爲通感體，約爲若干兆兆分法拉特。E 爲數百伏脫之電池組，用以將電容器充電。R 爲高電阻，與電池組爲串聯，跨 R 之電位降 IR ，加之於真空管之輸入路，即柵與燈絲之間。當聲浪擊撞薄膜，使薄膜震動，A 與 B 間之距離因以忽增忽減，電容量隨以變化，加於柵極燈絲間之電壓，當然亦依聲浪以變化。此真空管爲連續放大之第一級，尋常以乾電池燃燒之小管充之。此類傳話器作用雖佳，頗艱於維持，亦其弱點。

第 四 圖

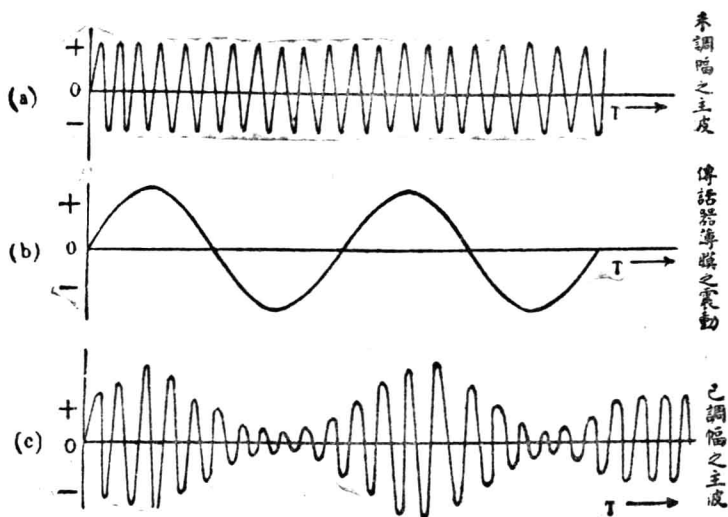


電 容 傳 話 器

4. 調幅之程度 語音之週率，極無規則，已如上述。但爲解析簡明計，假定爲一正弦曲線。語音調幅波 (voice-modulated

wave) 者，波之振幅，隨語音之聲壓(sound pressure) 而增減之波也。設語音為純粹之正弦曲線，於是此語音調幅波之振幅，亦將隨正弦曲線而進退。第五圖 (a) 示未調幅之主波。(b) 示傳話器薄膜之震動，設依正弦方式而變值。(c) 示該主波被調幅後之

第 五 圖



正 弦 調 幅 波

電波之形狀，波之週率固仍為高週率，而其調幅週率乃極低。例如波之週率為 1,000,000 週，而調幅週率或竟低至 500 週，往往有之。英文字母 A 字之聲波及其語音調幅波，見第四章第二〇及二一圖。

然則調幅之程度，果何所依據乎？答曰：調幅之程度，視振

幅之離去未調幅前波幅之變值以爲斷。例如第五圖所示之電波，其調幅已稱完全。因其調幅後最小振幅爲零，故可稱其調幅程度爲 100%。關於調幅程度，吾人得下列公式：

$$M = \frac{I - I_0}{I} \times 100\% \dots\dots\dots \text{公式(1)}$$

公式內 M 爲調幅百分比 (percentage of modulation)，I 爲未調幅前天線電流之振幅， I_0 爲調幅後之天線電流最小振幅。通常調幅程度，約爲 50% 至 60%，逾此則反有失真之害。是調幅雖以大爲貴，顧亦有其範圍也。

無線電話主波雖爲高週率發射距離甚大，而言語音樂之聲音週率之所能達，卻不如遠甚，後者須視調幅程度而同增減。但因檢波器特性曲線之非簡單直線，吾人可以數學證明，由此以引起之失真程度，亦隨調幅而高。換言之，欲求通話距離遠，則調幅宜深；欲免失真，則調幅宜淺。故實在應用若干調幅，當爲二者之折衷。上述度數爲通常應用之平均值。

5. 調幅波之成分 設吾人以數學解析主波經語言音樂調幅後所包含之成分，將發見爲一原週率之主波及無數不同週率不同振幅之多次波所合組。而收音機方面諧振之不能過銳，亦正以此。今設主波電流之公式爲

$$a = I_0 \sin \omega t$$

內 a 爲該電流之任何瞬值， I_0 爲最大值， ω 爲矢量旋轉速度。

設調幅振動之矢量旋轉速度爲 ω_1 ，而其最大值爲 I_0' ，於是調幅後之電流變值，將在 $I_0 + I_0'$ 及 $I_0 - I_0'$ 之間，而其結果電流公式將爲

$$i = (I_0 + I_0' \cos \omega_1 t) \sin \omega t$$

若將上式以三角方法化之，吾人可得

$$\begin{aligned} i &= I_0 \sin \omega t + I_0' \sin \omega t \cos \omega_1 t \\ &= I_0 \sin \omega t + \frac{I_0'}{2} \sin \omega t \cos \omega_1 t + \frac{I_0'}{2} \sin \omega t \cos \omega_1 t \end{aligned}$$

若將 $\frac{I_0'}{2} \cos \omega t \sin \omega_1 t$ 加減各一次，方程式原值不變。

$$\begin{aligned} i &= I_0 \sin \omega t + \frac{I_0'}{2} \sin \omega t \cos \omega_1 t + \frac{I_0'}{2} \cos \omega t \sin \omega_1 t \\ &\quad + \frac{I_0'}{2} \sin \omega t \cos \omega_1 t - \frac{I_0'}{2} \cos \omega t \sin \omega_1 t \end{aligned}$$

或
$$i = I_0 \sin \omega t + \frac{I_0'}{2} \sin (\omega + \omega_1) t + \frac{I_0'}{2} \sin (\omega - \omega_1) t$$

若將 $f = \frac{\omega}{2\pi}$ $f_1 = \frac{\omega_1}{2\pi}$ 於是

$$\begin{aligned} i &= I_0 \sin 2\pi f t + \frac{I_0'}{2} \sin 2\pi (f + f_1) t \\ &\quad + \frac{I_0'}{2} \sin 2\pi (f - f_1) t \dots\dots\dots \text{公式(2)} \end{aligned}$$

從此可見以正弦曲線方式電流調幅後之等幅振盪，爲下列振幅與週率之電流所組成：

	振幅	週率
1.	I_0	f
2.	$\frac{I'_0}{2}$	$(f+f_1)$
3.	$\frac{I'_0}{2}$	$(f-f_1)$

故假定 $f=300000$ ($\lambda=1000$ 公尺) 及 $f_1=1000$,

此三電流之週率將為

300,000 301,000 299,000

蓋最小與最大週率之差凡 2000, 約及於未調幅前振盪週率之 0.667%。但若

$f=20,000$ ($\lambda=15,000$ 公尺) 及 $f_1=1000$

該三電流等之週率將為

20,000 21,000 19,000

蓋最大與最小週率之差, 適等於未調幅前振盪週率之 10%。

以言語音樂調幅後電流所包含之電流, 除主波之週率 f 外, 尚有

$$(f+f_1)(f-f_1)(f+f_2)(f-f_2)(f+f_3)(f-f_3)\dots\dots(f+f_n)(f-f_n)$$

內 $f_1, f_2, f_3, \dots, f_n$ 為言語音樂之週率。

言語音樂之週率愈高, 及主波週率愈低, 則結果最大最小週率之差所佔主波週率之百分數亦愈大, 此可從上述理論理解得之。

從上解析, 吾人至少可以得下列結論:

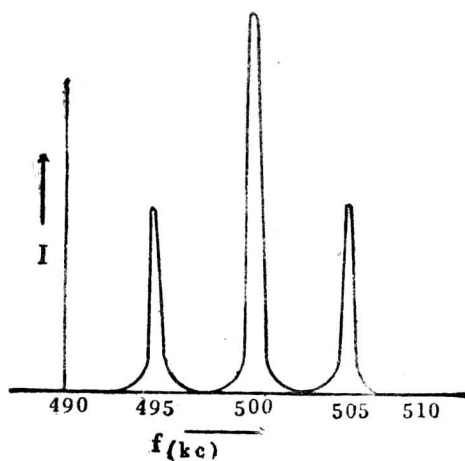
(1) 欲得忠實電話傳音，收音天線與發音天線電流，必須絕肖。故各週率電流皆須存在。可見收音電路不能專對某一週率成諧振，而失去其他週率之電波。故收音機之諧振曲線，須相當平闊，而於一週率帶範圍內，得均勻之強度。

(2) 若用諧振尖銳之收音機，則主波之週率須高，至少在 500,000 週 (600 公尺) 以上。

(3) 如收音機諧振有相當尖銳程度，則尖高之音節比之於低鈍之音節易於汨沒。

以上所述，若再以諧振曲線說明之，更易明瞭。設吾人假定第五圖之波週率為 500 基羅週，調幅週率高尖樂聲為 5 基羅週。若

第 六 圖

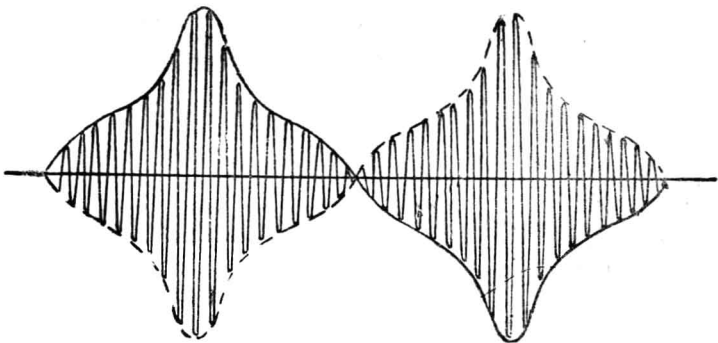


調 幅 電 流 之 諧 振

以此電流經過之線圈，以波長表量之，可得三諧振銳點如第六圖在原週率 500 基羅週諧振點最高，餘二諧振點較低，一為 $500-5=495$ 基羅週，又一為 $500+5=505$ 基羅週。線圈中宛有三電流之存在。原來未調幅之 500 基羅週電流或電波謂之主流或主波 (carrier current or carrier wave)，其餘二電流 505 基羅週謂之上邊帶電流或電波 (upper side band)，及 495 基羅週下邊帶電流或電波 (lower side band)。

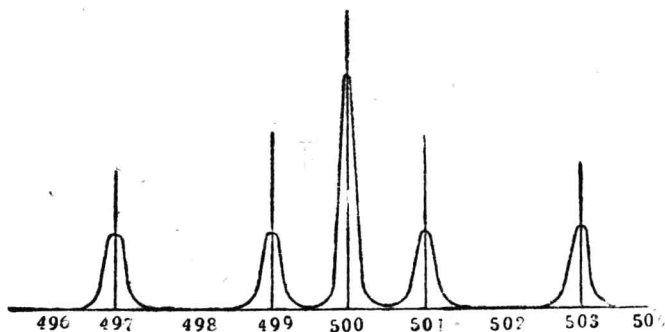
但以上所論，係指最純粹最簡之音樂調幅而言，實際所得，尚有十百倍較複雜者。例如上述之調幅波，易為 1000 週之基本波和以其三次波之 3000 週。調幅後之波狀將如第七圖所示。諧振解析將如第八圖所示。讀者可見該曲線共有五諧振點， $500-3=497$ ， $500-1=499$ ， $500+1=501$ ， $500+3=503$ ，均為基羅週。

第七圖



複雜調幅後之電流

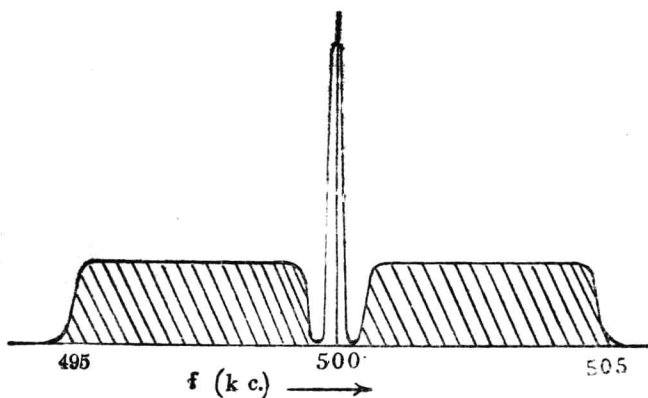
第八圖



複雜調幅電流之諧振

設該波為更複雜之樂隊音樂所調幅，樂隊音樂週率約自每秒鐘 50 至 5000，諧振曲線將如第九圖所示。上邊帶週率將自 500,050 至 505,000 週，下邊帶週率將自 499,950 至 495,000 週。如非波長

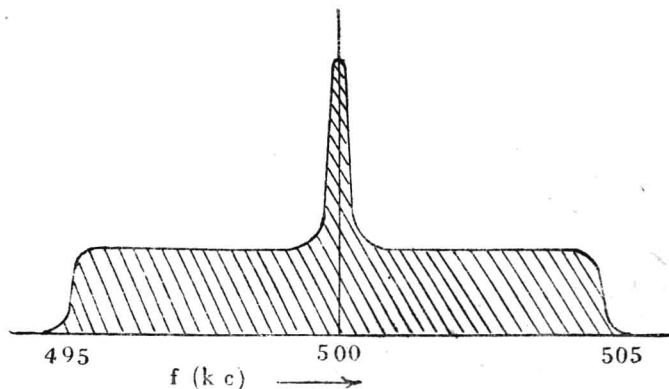
第九圖



音樂調幅電流之理論諧振曲線

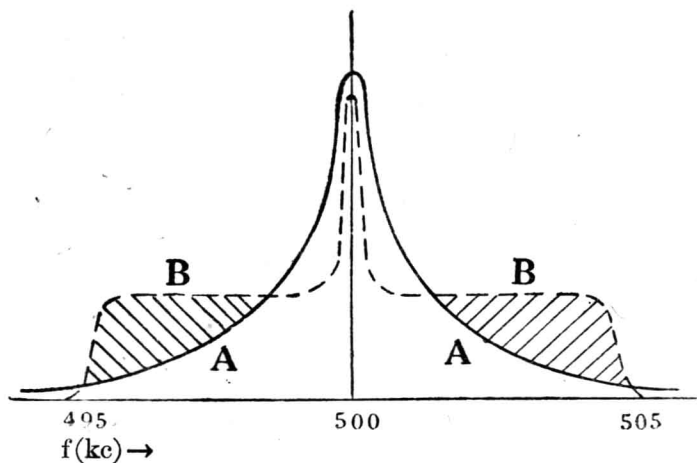
表（或週率表）之諧振配置絕端尖銳，諧振曲線將如第一〇圖。因近主波之凹處，將被波長表之電阻抹去也。若以語音而言，人類聲音週率自 100 至 8000 週，已如前及。假如主波為 1000 基羅週（300公尺波長），於是天線電流將包含人類聲週率自 992 至 1008 基羅週。欲完全接此等語言音樂之收音機，各諧振線路，不能配諧太過尖銳，否則將不能同樣滿意接收，自 992 至 1008 基羅週之電波，最高及最低若干週率電波，必遭淘汰，此可以第一〇圖觀之自明。曲線 B 為樂隊音樂調幅後波狀，曲線 A 為收音機線路之諧振曲線。可見塗黑一帶之週率電波，俱為收音機諧振特性所阻拒。但此高週率調幅波係音樂中之高音及言語中子音。以此結果電流通入放聲器或聽筒，樂隊音樂之高音，語言之子音，將致杳然無聞，或混淆不清，全失發音臺未發前音樂語言之真面目矣。是

第一〇圖



音樂調幅電流之實際諧振曲線

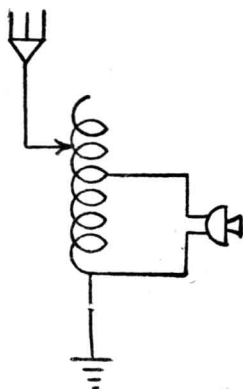
第一一圖



諧振太銳收音機不能均勻接收之解釋

可見收音機線路之諧振固宜尖銳，然亦不可太銳，以致有失真之弊也。

第一二圖

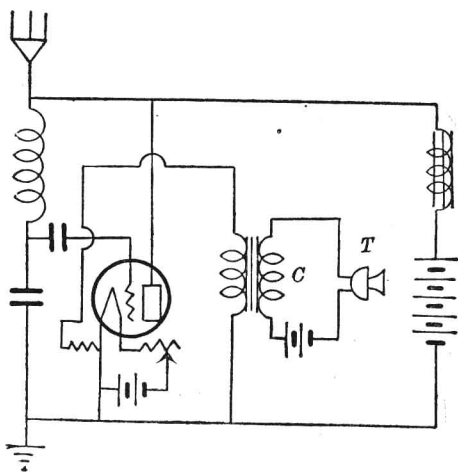


簡單無線電話調幅法

6. 調幅之種種方法 無線電話調幅方法，原理略同。而其線路之結構，全視電源之種類，電力之強弱而定。例如第一二圖，利用於小電力電臺，其法最為簡單。且不論電源之屬於何種，其作用皆同，其理亦顯而易見。最初人聲影響傳話器，轉而變動天線路之電阻，遂使與人聲符合之電波散射四方（該路未畫電源所在，蓋為省略故）。

用三極真空管以調幅，其第一法可如第一三圖。傳話器 T 之動作，經變壓器 G 而及於柵路，於是柵電壓之變化，隨人聲或音樂而殊，轉而影響及於真空管所發之電波。此法因柵電壓之變值過巨，管內震動，或竟停止，不能稱為善法。此法之天線電流之隨

第一三圖

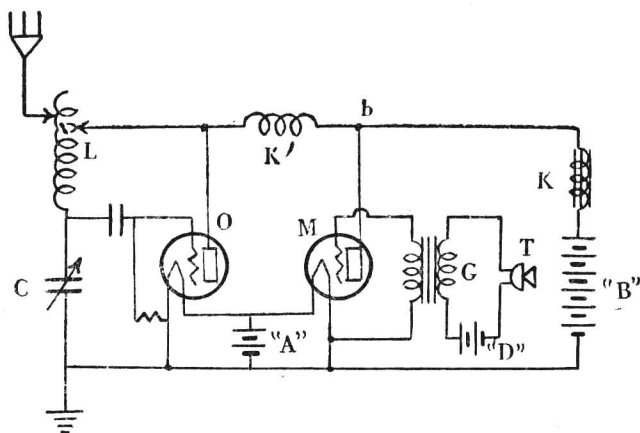


柵 極 調 幅 線 路

聲波變化，係由柵極而來，故名柵極調幅法 (grid modulation)。

其次法如第一四圖，稱海信氏調幅法 (Heissing's system of modulation)，或稱屏路調幅法 (plate circuit modulation)，詳解如下：“B”電池組與K串聯而接，K為磁感量極巨之鐵心線圈，如是外界電阻雖有變化，而電池組供給二管屏路之電流，不致增減其值。易言之，“A”，“B”，K，b為一固定價值之直流電流。二真

第一四圖

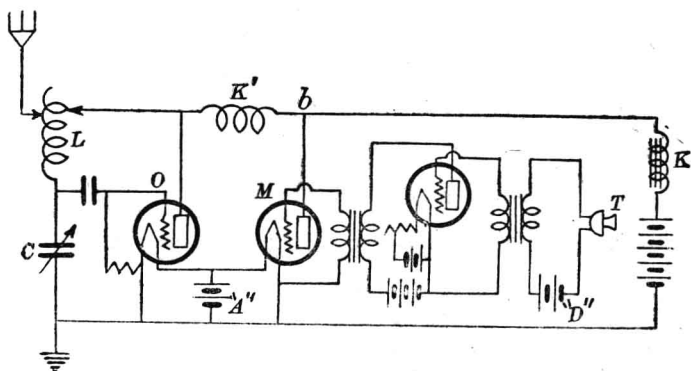


屏極調幅線路

空管性質畢肖，連接如圖，如是二管各得之直流適與各管屏路電阻成反比例。M管用為調幅之用，其柵路經變壓器G之交連及於傳話器T。當聲音之傳入傳話器，“D”電池所發之電流，為之瞬息變化，由感應而變柵路電壓間接影響及於屏路之電阻。於是“B”電池組所供給於二管電流之比例亦變。O管用以發送電波，屏路

與柵路之交連，由於磁感圈 L ，電容器 C 及天線與地線所成之電容器。磁感圈 K' 之圈數極少，磁感量與電阻均微，用以阻止 O 管所發出之高週率電流，使 M 管不受 O 管之影響。其餘各部作用，讀者可以理會。此路之使用原理，大要可如下述： O 管發出等幅電波，此波長之長短，受天線路情形之規定。波幅之大小，與“ B ”電池組所發給與 O 管之直流量成正比例，人之言語向傳話器發出後， M 管之柵電壓及內部電阻，均為變化，於是由屏至燈絲之直流，亦為之變值。吾人既知 O 管所得直流之量為“ B ”電池組發出電流與 M 管所得之差， M 管所得既殊， O 管所得自亦隨異。其變化之規則，適與言語音樂符合，無線電話遂得以完成。上述海信氏調幅法，為諸法中最為有效，利用於軍事及各式巨力無線電話臺，讀者宜注意之。

第一五圖



屏極調幅放大線路

假若所用真空管M及O，工率較巨，單用傳話器及變壓器力或嫌太微，則可加入真空管一級或二級於內，以放大之。如第一五圖，該座真空管之作用，與前述真空管放大原理正同，茲不贅述。

關於海信氏調幅法，尙有以下各點，學者須注意，第一，海信氏調幅法之作用，全恃鐵心阻流圈K。該阻流圈在語音週率之下，有極大之磁感迴阻，調幅管與振盪管兩屏路之電流，均須經過此圈，因其富有迴阻，有遏阻電流變值之效驗。故當調幅管屏流增加時，惟有取償於振盪管，調幅管屏流減退時亦惟有還給於振盪管。而“B”電池組供給之電流，始終不變，故又名定量電流調幅法 (constant current modulation)。第二，以需要真空管座數而論，此法不及柵極調幅法效率之高。因前法振盪調幅二作用，合於一管，而此法振盪調幅，二管分任，似見繁複，業餘者不無困難，而在強力無線電話發射機，調幅管及振盪管有各二或各四者，調幅四管振盪二管，視計畫而異。第三，前圖線路中所繪供給燈絲屏柵各極電流之源，雖為電池組，實際則大多用交流或直流發電機，其詳可參看發射機章內電源一節，第四，線圈K'為高週率阻流圈，所以阻止振盪管供給一部高週率能力於調幅線路中，而使注其全力於天線電路也。

7. 單邊帶無線電話 在所述之尋常無線電發射與接收中，除上下兩邊帶週率以外，尙有主波亦同時收發。但欲得通話，此主

波在發射機與聲波相合成兩邊帶以後，即可在發射方面用濾波器濾去，遏止其發射，而在接收方面設法得一與主波合相同週率之局部電流。此種電話謂之遏止主波發射方法 (suppression carrier-current transmission method)。此接收方面之主波 f 與上邊帶 $(f+f_1)$ 及下邊帶 $(f-f_1)$ 經差週率作用，得聲音週率 f_1 。惟欲使此上下兩邊帶所發生週率差累增起見，接收方面之主波與發射方面之主波，必須絕對合相，此非尋常收音機所能辦到，是以此法雖有節省發射工率之利益(因主波電流約佔全調幅波電流之半)，卻並不為一般無線電話所通用。

從前節可知在接收方面欲得聲音週率之重生，任何兩邊帶之一，已能與主波發生週率差而得聲音週率，故兩邊帶之發射實不必需。此種在發射方面上下邊帶之一與主波同時遏止之通話方法，謂之單邊帶無線電話 (single side-band telephony)。單邊帶無線電話現在通用於越洋電話，其主要利益凡二大端。第一，通話所佔週率帶闊度或範圍既縮為半，則在有限週率帶範圍以內，同時交通之電臺數量可以加倍。在今日無線電交通日益發展之際，此利不可漠視。第二，電話所佔週率帶範圍狹窄，收音機各級諧振性質可以比較尖銳，而不致汨沒高音發生失真，保持忠實性於相當程度。上述二種特殊無線電話收發方面之實際設施，本編限於篇幅，不及敘述，讀者可閱他書參證。

8. 越洋無線電話 1929 年以來，歐美二洲可以無線電話互相

通話，其設備爲世界工程界之創舉，可得而概述之如下：先由相當陸線將語音電流傳至無線電話發射臺，放大之，用以調幅大振盪管。此高週率調幅後之電流輸入濾波器，將高週率（即主波）及一邊帶週率濾去，只留又一邊帶週率，經過強力連續放大器，直至最後一級，以 200 基羅瓦特之單邊帶調幅工率，由天線越大西洋而至對岸。在對岸之收音臺，先將單邊帶之音訊採收，而與收音臺本臺局部發射之主波併合。此局部之主波，不特其週率與對岸被遏之主波絕對相同，其振幅亦配置得當，使與對岸主波設不被遏，經傳導損失後，當得之振幅相等。此局部主波及單邊波經相當之檢波及放大後，再經陸線傳至內地接話之人。大洋兩岸收音臺與發射臺俱相離有數千公里之遙，天線俱爲定向及富有選擇性。電話來往同時均用一週率，但以機械設計精密，不相騷擾，因天線之選擇性，主波之去除，收音臺地點選擇天電稀少之結果，此等無線電話發射臺，比較尋常廣播電臺，其效率之勝有 30,000 倍之巨。換言之，此 200 基羅瓦特之定向電話，其效率與 6,000,000 基羅瓦特之廣播電話，於收音方面，其效力之巨，可想見矣。兩方通話所用之週率，尋常時爲 60 基羅週（即 5000 公尺波長），但爲時間及氣候變遷起見，短波較利於傳達時，另備有高週率 1,360 基羅週（即 22 公尺波長），同時發射收音時，收音者比較其強度而選取之。

9. 廣播電臺之設備 廣播無線電，實即無定向之無線電話也。

其理論設備與無線電話，大致相同。所異者，無線電話，二方問答，交通始稱完成。而廣播方面，祇主發射，使各方羣衆按時聽收，爲單方向之交通。廣播電臺之設備，可概括分之如下：

(一) 音樂室(studio)包含傳話器及語音放大器。

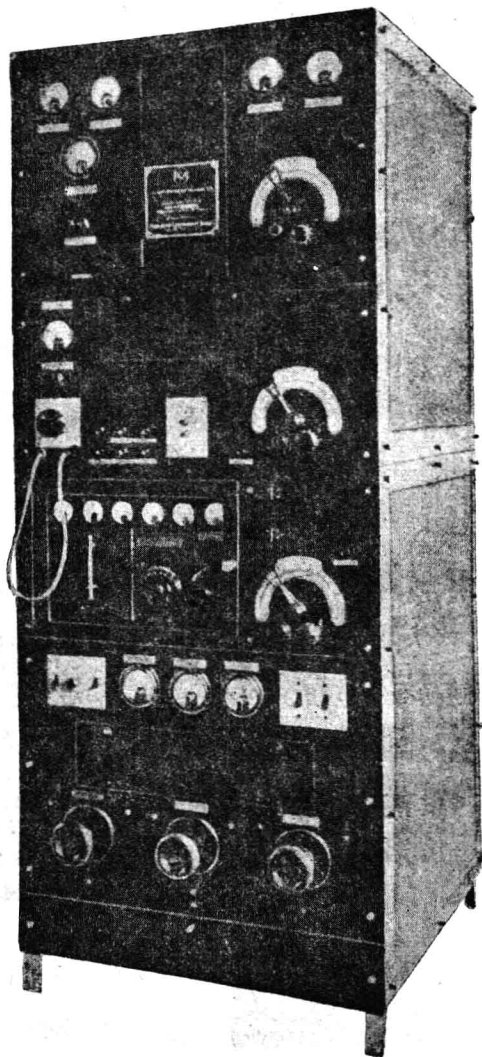
(二) 高週率設備包含振盪器及調幅器。

(三) 電源設備(power equipment)。

(四) 控制設備(control equipment)。

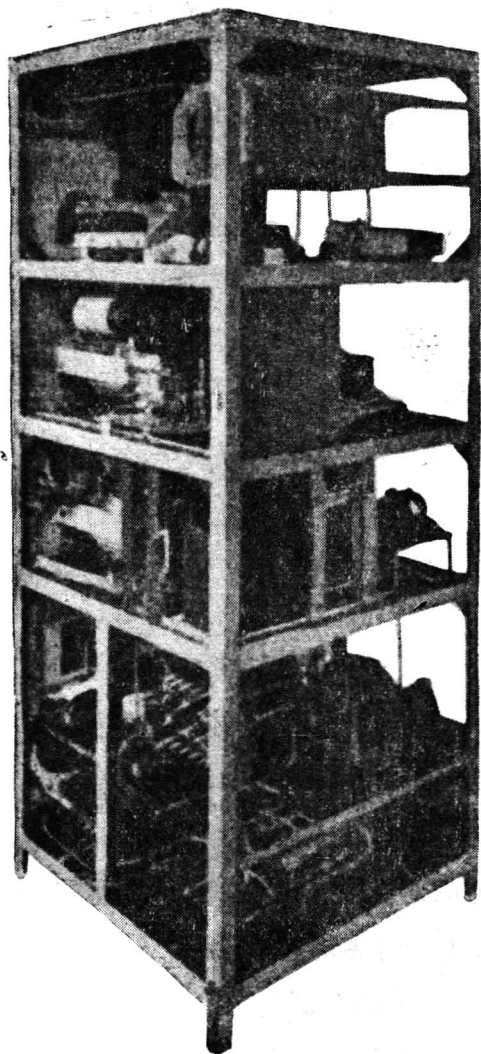
音樂室大小無定，最要者其室內佈置須避免回聲(echo)。蓋回聲與原聲時間有差次，足以擾正音之故。避之之法，可用氈毯鋪地，綢布掛牆，室之上面，用絨綢質料，或用特製紙磚，均所以令其吸收聲音，不致反射，而成回聲。傳話器往往支於鋼柱頂端之彈簧上，可以隨意移動，以合演者之高度及地位。傳話器之輸出接頭，通至語音放大器(speech amplifier)。語言放大器爲較精密之成音週率放大器，輔以適當聲波巨細之控制。其控制方法，大都用電阻器或電位器於真空管輸入方面，詳見第九章接收機內，茲不再詳。通常樂隊發出音樂聲浪之工率，變化殊巨，有時有 100,000 與 1 之比，但若非用極大資本廣播電臺設計，使極強極弱之音，得相等之音節，於收音機內，幾爲難能之事。然通常若能使 1000 比 1 之工率之聲，得同等之收音，實際上於收音方面，已可滿意。注意音樂節奏中之高低，以控制放大器之放大能力，以得滿意之發射及接收，斯則爲司控制者之職責所在也。

第一六圖



一百瓦特廣播發射機正面

第一七圖



一百瓦特廣播發射機反面

高週率設備包含振盪器，調幅器，及強力放大器各若干，及電容器磁感圈電表與其他測驗及保護器件。往往聚裝於一電鍵板上，自成單位。此外標準壓電石英振盪器，亦不可缺。或用以直接控制本臺所發射之週率，或用差週率法聽收後矯核本臺發射之週率，以期本臺發出週率永久不逸出政府核准應用週率範圍之外。

電源設備，視廣播電臺工率強弱而異。一箇基羅瓦特以下各臺，大都用一電動機驅轉二直流發電機，一則發出 1500 至 2000 伏脫為屏極供給正電荷，又一則發出 15 至 20 伏脫以燃燒各管之燈絲。電壓之多寡，以適當之變阻器於磁場電路中控制之。電流之波紋，以濾波器濾淨之。一箇基羅瓦特以上之電臺，則往往用水涼真空管 (water-cooled vacuum tubes)。其屏極需要之 10,000 至 20,000 伏脫之直流電，則得自一羣之二極管組成之整流器，其佈置頗多，以商用三相電源，經變壓器轉成六相，用六座二極管整流經過濾波以達各三極管之屏極。至於柵極之負電壓，往往另以小發電機供給之。關於電源供給，伸縮活動殊多，上述略舉一例，學者不可拘泥。

除前述之磁場電路電阻器及放大控制外，控制設備尚有混合鍵板，控制員可以將發射機接至遠近各傳話器之一。水涼三極管須用抽水機以得流水，此種抽水機，自然以電動機驅轉，其開動及停止電鍵，亦置於控制機關中。他如起始及停止發射各步驟，如燃點各管燈絲，起始供給流水，柵極加電屏極加電等等，均有一

定秩序，控制員當注意之不使紊亂。天線屏路及柵路皆有電流表以記錄隨時之電流，調幅管屏流之變化，隨語音高低銳鈍而異。控制員觀此可以略知調幅程度之深淺。調幅太淺，使收音弱，太深，則音質易變，諧振太銳，又非收音所宜，是貴乎適中而已。近來廣播電臺往往以同一節目，用二波長同時發射，天線與發射機各別不同，而語音放大器則合用。長波為二百公里左右之聽客，短波為數千公里以外之聽客，以期收音佳妙，各得其所也。

10. 商用廣播發射機舉例 廣播發射機實一單向精密之電話發射機。為使用裝置便利計，各公司出品大多將全副機械真空管集中架設在一鋼架之上。第一六圖及第一七圖示一美國 RCA 公司出品之 100 瓦特之廣播發射機之正面及背面圖。第一八圖示該機之簡略線路圖。該項發射機亦分為三大部分解釋之。第一部分為振盪，各級真空管次序如下：

1. 7.5-瓦特三極石英晶體振盪管(A 管)
2. 7.5-瓦特簾柵緩衝放大管二級(B 及 C 管)
3. 7.5-瓦特簾柵 C 類放大管一級(D 管)
4. 雙座並聯 7.5 瓦特被調幅 C 類放大管(E 及 F 管)
5. 250 瓦特直線式放大管(G 管)

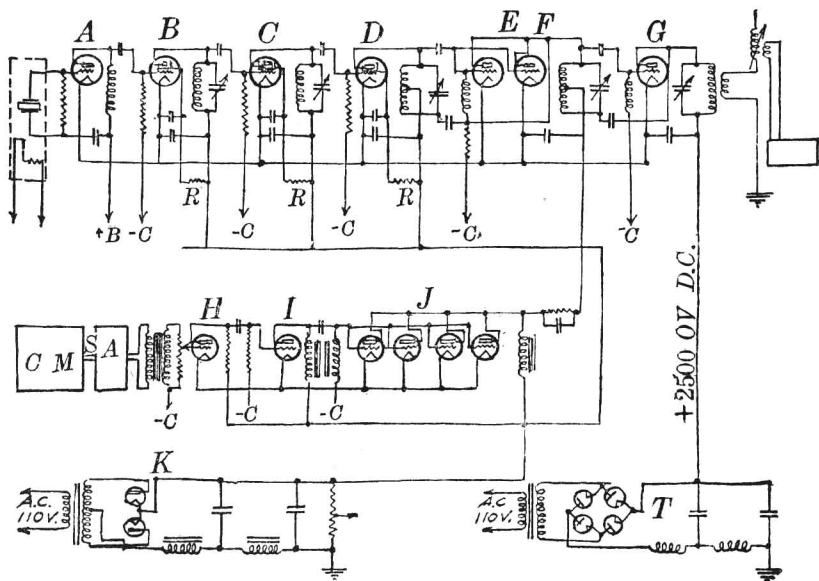
石英晶體置於自動溫度控制之爐箱內，以求振盪週率之穩定。其次三級緩衝放大，升高其電壓以備調幅之用。被調幅並聯兩管及直線 250 瓦特放大管均有平差設備以防寄生振盪之產生，讀者

可以兩具電容器 C_N 接在屏路與柵圈之間。第二部分為成音調幅部分，內包含下列各階級：——

1. 電容傳話器(C.M.)
2. 成音週率三級放大器(S.A.)
3. 7.5 瓦特成音週率二級放大器(H及I管)
4. 四座並聯強力調幅管(J管)

內所用調幅方法係利用海信氏屏極調幅，其共同低週率迴阻鐵心線圈串聯接於調幅及被調幅管屏極電源上如圖。第三部分為

第一八圖



廣播發射機線路

電源供給。圖中所示共有二部，一為四座二極管 T 整流濾波以後，供給 2500 伏脫於 250 瓦特強力放大管屏極，又一為雙座二極管 K 整流濾波以後供給 420 伏脫於其他各管之屏極。其餘所有燈絲及柵極均加以適當電源，圖中刪略。

第十四章 短波及超短波無線電

(Short Wave and Super-short Wave Radio)

無線電交通通行以來凡三十載，而在 1924 年以前，所用波長均在 200 公尺以上。其時羣以爲 200 公尺以下波長，在地面上推進，能力被吸收太巨，不適用於長途通信之用，而特劃爲業餘者試驗之需，固未料其有任何實際價值也。不圖 1924 年以後經業餘羣衆之合作，竟以之於小電工率之下，成功長距離之通訊，數年之間，波長愈趨愈短，自 200 公尺以降，漸至 100 公尺左右，後又低至 80,40,20 公尺，5 公尺之通信，已告成功。現在 5 公尺以下之超短波，經證明有相當利益，正在發展中。國際間長途通信，除原有長波外，均輔以短波。1926 至 1928 年我國國民革命軍興，軍用短波無線電通信，屢獻奇功，今則商用軍用短波無線電臺，已遍滿全國。短波無線電發展之迅速與重要，蓋可見矣。

原短波無線電與長波無線電在學理上，本無基本之懸殊。以

前各章適用於長波之理論及應用，大部仍適用於短波。其差異者，短波在空間之推進，所憑藉以達彼岸者，與長波似有不同，以及收發機械，因波長太低，即週率太高，需要更精密更周到之機件及線路之佈置耳。本章所述，注重短波之異於長波各點，凡長波短波共同適用各說，自無庸再贅。先概說其異點次及短波推進之理論及短波適用之天線，然後略示短波及超短波收發機器一二線路以爲代表。

1. 短波與長波無線電交通之比較 短波無線電在長距離短距離固定或移動業務，在在有起而代長波之勢，其特長之點有如下列：——

(一)短波收發機構造簡單——波長既短，週率自高。在往時頗難措手，今則應用真空管產生極高週率之振盪電流，頗爲易易。真空管發報機本較他種發報機爲簡單。若波長減短，則所用磁感圈電容器更可減小，蓋波長常與電容量及磁感量之平方根成比例也。天線組織又爲簡單，大抵用極短而少數之導線架於適中之高度，已堪應用，不若長波機所用天線長達數百公尺，高架於鐵塔之上，其建築所費動輒巨萬者可比。短波接收機亦較長波接收機爲簡單，以檢波管一座，低週率放大管二座，已足收千餘公里外之電訊，高週率放大器及其他一切複雜線路均非必需，用之亦未必能增高音訊，反加損失而多干擾。接收天線可張於室內，地線可不必用，其便捷可知。

(二)接收干擾不劇，接收機中欲免除干擾，則利用週率之諧

振現象。週率與波長之關係，由第二章公式 $\lambda f = 3 \times 10^8$ 表明之。

今試舉數例列表以明之：

波長（公尺）	週率（週）
30	10,000,000
31	9,677,419
3000	100,000
3001	99,668

觀上表，可見波長 30 公尺與 31 公尺相差僅一公尺，週率相差三十二萬餘。波長 3000 公尺與 3001 公尺，相差亦一公尺，週率相差僅三百餘。是以短波波長稍差，則週率相差甚巨，在收報機上諧振甚銳。故不易互相擾亂。長波波長稍差，則週率僅差少許，諧振因是不能尖銳，故仍不免被他臺相擾。近以短波通信各電臺所用波相差或僅一公尺之分數，而竟可各不相擾，是為短波特具之優點。至於天電之騷擾亦以長波接收機為甚。短波機所用接收天線甚小，可不受天電之擊盪，且天電性質近乎長波，短波接收機，所受影響極微。

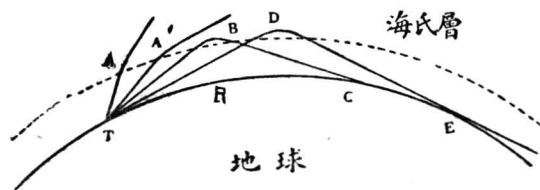
(三)短波以小工率通信距離遙遠依試驗結果觀之，若用短波通信則波長時間與距離三者，似有一定關係。如用 90 至 200 公尺間之波長以數瓦特之電工率，欲與數百公里外相通信，只能於夜間為之。如波長減至 45 公尺左右，則同強度之電工率於日間可通信至一千五百公里內外。夕陽之後，千五百公里之內或不能聞，即聞

或以細弱不能聽錄，而數千公里外反可聞其信號。由是以觀，短波通信在適當情形之下，可用極小電工率而達極遠距離。惟欲得此種結果，須將波長時間及距離配置得當。據一般學者意見，短波之所以能達遠者，似由於天空上層之海氏層反射。此層之組織即其厚薄及高度，視日光情形而定。而反射之角度又與波長有關，故距離因異，是以波長時間與距離三者，實有聯帶關係存在也。近六七年來，新建長距離國際通信之多趨於 20 至 50 基羅瓦特之短波無線電，不為無因也。

2. 短波之推進 第六章所述長波之推進，係利用電波之沿地面前進之一部，該部可稱為電波之地面分力 (ground component)，若用短波則因週率之高，此地面分力被地面吸收能力殊速。故未及遠處，已經微弱，不利於接收。是以如第一圖在發報臺下所發之電波，至 R 地點已衰微至不能辨。但電波之向天空直射之一部分謂之天空分力 (sky component)，其能力不易損失，直擊上述之海氏層。海氏層既為半導體，有反射電波之可能（電波與光波性質類似，光波可反射，電波亦然）。從光學試驗，吾人知欲得光波之反射完善，必使此反射表面面積與光之波長比較為大。例如尋常玻璃鏡反射甚清，若用一鏡狹至 0.01 公分闊之鏡面反射，異常模糊，海氏層為反射表面，其面積非收發報機所能控制，其反射能力當然短波較長波為佳。是以長波雖能及遠，而以反射不佳，又反不如短波矣。

第一圖發報臺 T 發出電波之天空分力 A 及 A' 等，因直射之

第一圖



短波之反射

結果，深進海氏層，略改速度，永不返還，能力消耗於無窮。但如 B 則反射至 C，電音至是復強。RC 一段距離，地面分力早已消滅，而反射之天空分力，尙未能及，電音遂杳。故名爲越程 (skip distance) 意謂電波在該距離內，乃如越躍而過也。CE 一段距離，電音甚強。至如電波分力 D 反射至 E，掠地面而過，復入空際，作第二次之反射，如是者可數次，直至能力消耗淨盡爲止。

地面分力所及最遠之距離如 TR 及越程 RC，均與波長有關係，前者與波長同增，後者增減相反。易言之，長波長地面分力所及甚遠，越程反短。短波長地面分力所及甚近，越程反長。是以在某一波長時，地面分力所及過遠，越程已不存在。在此 TR 及 CE 互相籠罩之境界中，可同時接收直射 (direct) 波及反射 (reflected) 波。此二分力所經之路程既不同，到達收報臺時或爲合相 (in phase) 或不合相 (out of phase)，合相則電音甚強，不合相則電音甚弱，或竟寂然。電訊之在相近兩地，一強一弱者，莫非由此。

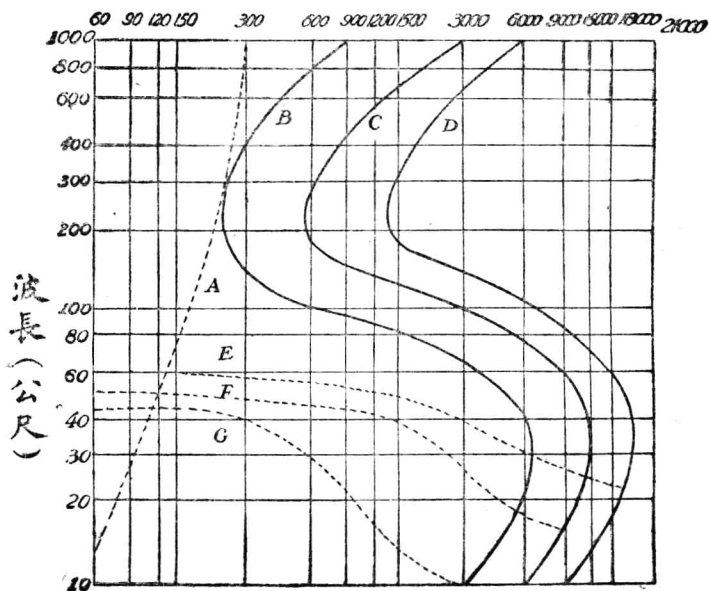
反射電波之現象，除上述之波長外，尙與此海氏層高度有深切

之關係。緣此海氏層之高度，並無一定，隨時隨地，常有變化。在白晝間日光強烈，此使空氣游子化之放射，深入空氣海氏層離地面最近，在深夜則日光已無，即有或自月反射所得，游子化之空氣較少，海氏層離地最遠，所稱 150 公里者，約為平均高度而已。是以利用短波反射分子之通訊距離夜間較白晝為遠。晝夜晦明變化之交，空氣游子化之程度，忽深忽淺，海氏層亦遂忽高忽低，在電訊強烈或寂杳之區域，亦復游移不定。是以欲得短波交通之最高業務，非將距離時間與波長三者妥為配置不可。不特此也，海氏層與下層空氣之相交處，亦非一絕對平面或圓球面，常為風雲或大氣中，種種現象所影響，而發生恆久而無規則之變化，間接及於接收音訊之強度。若在近處為直射波及反射波並及之地，尤為顯著。此種因電波在空間推進情形，而發生接收音訊，強度劇烈，而無規則之變化，號稱「衰落」者，久為科學家之謎，而今於短波推進理論方得之。

第二圖曲線除 A 曲線外，虛線表示天空波波長與最小距離之關係，其餘實線指天空反射電波與距離之關係。例如曲線 A 表示地面波之通信距離，B 表示日間最大之通信距離，C 表示夏夜最大之通信距離，D 表示冬夜最大之通信距離，E 表示冬夜天空波最小之通信距離，F 表示夏夜天空波最小之通信距離，G 表示日間天空波之通信距離。地面波與時季無關係，而天空

第 二 圖

通信距離(公里)



短波長與通信距離之關係

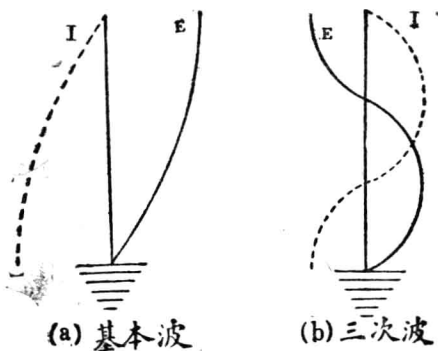
波與時季之關係絕巨。地面波通信距離不若天空波之遠，今如欲知地面波之某種波長，能通若干距離，則在虛線以左查得其波長，再向上查得其里數，即其能通信之距離也。例如 30 公尺長之電波，其通報距離，無論何時，可達 90 餘公里，如欲測定天空波某種波長可達之距離，則須用實線，同時並須決定其時間，例如電波之波長為 30 公尺時，在白晝至少可達 600 公里（查 G 曲線），其最大通信距離則為 6000 公里（查 B 曲線），但在 90 餘公里至 600 公里之間為

越程，則信號不能接聽。如在夏季黑夜，此 30 公尺之電波，最小距離可達 2800 公里(查 F 曲線)，最大則為 15,000 公里(查 C 曲線)，而 90 公里至 2800 公里之間乃越程也。又若在冬季黑夜，凡波長 30 公尺之信號在 6000 公里(查 E 曲線)與 19,000 公里(查 D 曲線)之間，均可接聽，而在 90 公里至 6000 公里中，其信號則不可得聞。照此類推，吾人即可預知在何地何時，應用何種波長最為適宜。此圖乃 5000 瓦特無線電發報機試驗之結果，然對於各種發報機均可推用，雖不能說十分準確，但相去當亦不遠。

在短波通信界，尚有一富有興趣之現象謂之回聲信號 (echo signals)。發射電波之自發射臺推進而達接收臺，其所取路徑，除最短路由外或經該路由前進環繞地球一週後，還至原處，或經相反方面經地球他方面而至接收臺。此種短波信號因海氏層轉輾反射，工率損失不大，回至接收臺，與取捷徑之信號發生與聲學內回聲相似之現象者，謂之回聲信號。信號之環繞經過地球兩次半者，曾以攝波器 (oscillograph) 顯示。其強度有時因時間相差之故，尚足以為接收者之擾。回聲信號最顯著在週率 8,700 至 28,000 基羅週之間，時間則春秋與早晚更易測驗。直接波與環繞地球一次後之回聲波，其達接收天線在同一方向，僅遲後 0.137 秒。此時間內信號沿離地面 150 至 300 公里之海氏層環繞地球一週。換言之，回聲波之滯後，等於其環繞地球海氏層一週之時間也。

3. 短波收發天線 短波接收天線至為簡單，凡用作發射之天

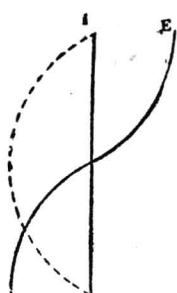
第三圖



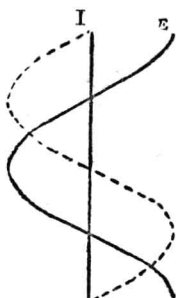
馬可尼式天線之電壓電流分佈狀態

線，均堪應接收之需，不必多論。短波發射天線，其理論及設施頗多足述者。短波所用發射天線因其利用天空反射波，故多用與地絕緣之郝志式天線，而不用有地線之馬可尼式天線。在天線一章，吾人已知通地之馬可尼式垂直天線，當其在使用基本波長時，天線之電流電壓分佈如第三圖(a)所示。其基本波長適為天線高度之四倍。馬可尼式天線除基本週率外亦可振盪於其奇次波，同圖(b)示該式天線振盪於三次波之電壓電流分佈狀態。可見不論為基本波與多次波，馬可尼式天線之頂點，電壓必為最大，電流必為最小。振盪於五、七、九次波等等，電壓電流分佈狀態依此類推。郝志式天線除振盪於基本波外，不論奇次偶次波均能振盪。第四圖(a),(b)及(c)表示郝志式天線振盪於基本，二次，及三次波之電壓電流分佈狀態。

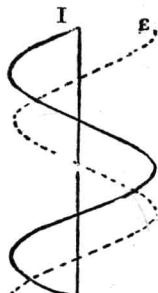
第 四 圖



(a) 基本波



(b) 二次波

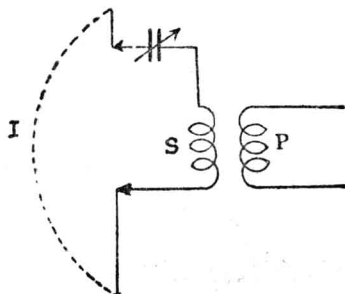


(c) 三次波

郝志式天線之電壓電流分佈狀態

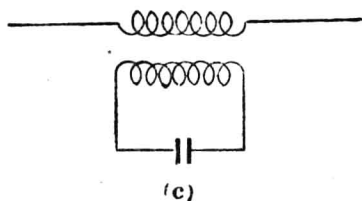
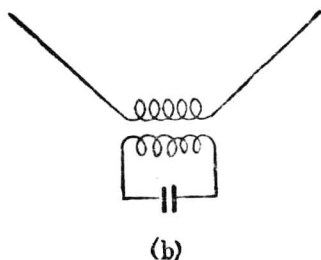
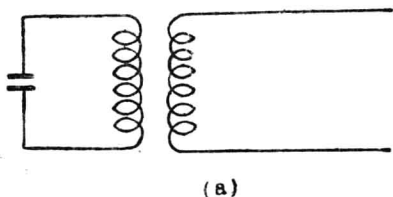
郝志氏天線之饋電方法有二，即電流饋電式 (current feed) 及電壓饋電式 (voltage feed) 是也。二者之孰當，須視電臺之性質及局部情形以為定，第五圖示一最普通之電流饋電之方式。天線之中間 X X 裂為空隙，而接以跨發射機 S 線圈之電源變量電容器之作用，在防其振盪於較基本波更長之波長。電流饋電接入之

第 五 圖



電 流 饋 電 郝 志 式 天 線

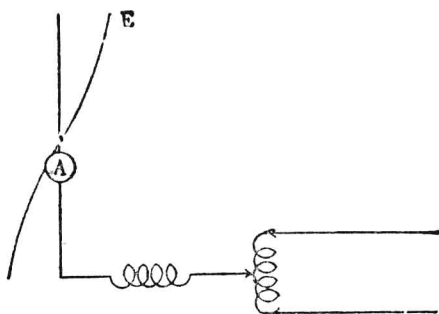
第 六 圖



電 流 饋 電 之 天 線 佈 置

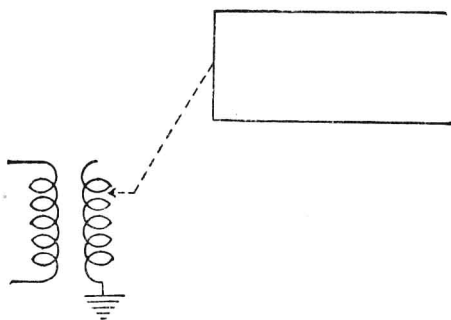
點，必須天線電流分佈最強之處，振盪於基本波時，固為其中心點。於多次波時，則為離天線盡頭之 $\frac{\lambda}{4}$ ， $\frac{3\lambda}{4}$ ， $\frac{5\lambda}{4}$ 等等。觀第四圖各圖可知電流饋電之天線兩端之佈置，有如第六圖(a)，(b)及(c)所示。圖(a)上下兩翼組成天線地網，因發射電磁場之互相抵消，不如圖(b)及(c)之佳。第七圖示一電壓饋電式之郝志式天線。此種單線饋電必須聯接至天線之電壓分佈最高之點。其弊在天線之波長不能更變，且係直接交連，多次波混入最易。改良之法，如第八圖所示，則與尋常之長波天線饋電方法，相差無幾矣。其他應用於強力短波發射與接收之定向天線，最近推行甚廣，

第七圖



直接交連之電壓饋電

第八圖

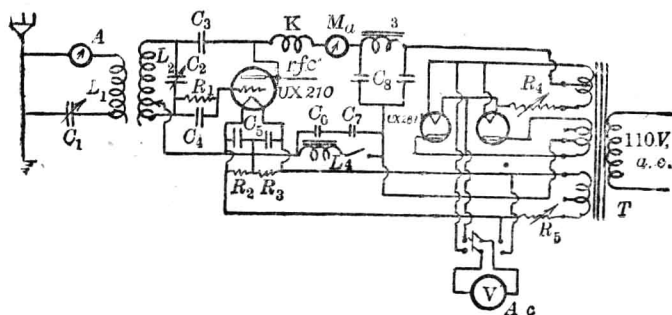


磁感交連之電壓饋電

其理論極形深奧，非本編所能盡述，祇能割愛焉。

4. 短波發射機 第十章所論真空管發射機各式之線路，稍加因週率過高之注意，無一不可適用於短波發射。若逐一復加說明，自可不必。茲將短波發射業餘最通用之哈脫雷氏線路，詳論之以

第九圖



短波發報機線路之一

概其餘。第九圖示一 $7\frac{1}{2}$ 瓦特真空管 UX-210 之哈脫雷氏線路佈置。從圖可見屏極電壓係得自整流及濾波後之交流電源。整流管為二座 UX-281 二極管以得全波之整流。為得發射於各波長帶便利起見， L_2 因波長而調換，有 5 線圈，其分配如下表：

波長帶	週率帶	圈數
80 公尺	3,500 - 4,000 基羅週	13
40 公尺	7,000 - 7,300 基羅週	5
20 公尺	14,000 - 14,400 基羅週	3
10 公尺	18,000 - 30,000 基羅週	2
5 公尺	56,000 - 60,000 基羅週	1

各圈以直徑 0.65 公分之軟銅管繞於直徑 6 公分之空氣心上，與電容器 C_2 配諧。其他各部特性如下：

C_1-500 $\mu\mu.f.$ 變量電容器

C_2-500 $\mu\mu.f.$ 變量電容器

C_3-500 $\mu\mu.f.$ 定量電容器

C_4-250 $\mu\mu.f.$ 定量電容器

C_5-2000 $\mu\mu.f.$ 定量電容器

C_6-2 $\mu\mu.f.$ 定量電容器

C_7-1 $\mu\mu.f.$ 定量電容器

C_8-4 $\mu\mu.f.$ 定量電容器

K—高週率阻流圈（用 160 圈之 No.28 雙層紗包繞於 1.9 公分之木棍上）

$R_1-10,000$ 歐姆柵漏電阻

$R_2-50,100$ 或 200 歐姆定量電阻

R_3-2 歐姆 2 安培容量之定量電阻

R_4-2 歐姆 4 安培容量之定量電阻

A—(0—1) 安培電流表

MA—(0—200) 千分安培電流表

L_1 —與 L_2 同式之 7 圈及 3 圈爲各波長帶之用

L_2 —見前表

L_3 —30 亨利 300 千分安培阻流圈

L_4 —30 亨利阻流圈(300 千分安培)

T —75 瓦特 110—550/750/20 伏脫變壓器（三副圈燃各管

之屏及燈絲)

V_{AC} 爲 0-10V. 或 0-15V. 之交流伏脫表

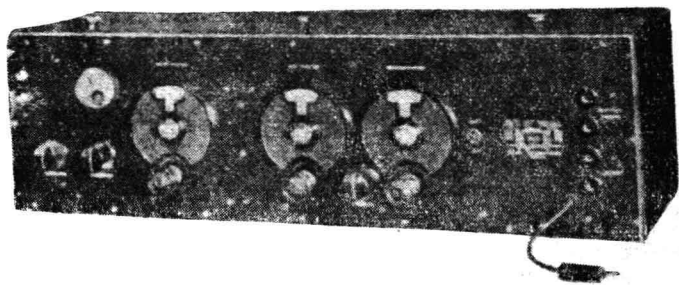
線路內各部職司，學者必能理會。若有興趣可在試驗室集各小部而自製之，最能得益。惟關於短波收發機器有特別注意之點，不可不乘便述及。第一，人體電容器之避免。變量電容器往往因人手貼近，而改變其電容量，人手移去電容量又變。在短波機中，此弊尤爲顯著。若將轉體接至地或低電壓方面，此弊可免。故在短波收發機中，變量電容器之轉體及靜體接連時，宜加分別。通常圖中轉片附以箭頭，以別於靜體。第二，各線路之設計及各器之部位，當設法使各線行最短之路徑，同時又勿使二線並行，或相去太近，均所以減少其電容量也。銅線宜裸，並充分粗大。在發射機中，電流較強，可以銅管爲之。柔軟之銅線切勿應用，因銅線搖移，則電容量改變而影響及於波長也。天線本體及引線又須固定，不可震移。第三，電容器附近有電場，磁感圈附近有磁場。勿使互相太近，致生干擾，而起感應作用。蓋感應作用，足以使能力損失，而使音節不純也。學者於此可見短波發射機之簡單。工率較巨，管數或多稍加複雜，但亦有限。

既述其各部之詳，繼論其如何配諧之法。當全部發射機整集之後，先將各接頭旋緊，使其堅實固定。遂將屏電及燈絲燃點，但其屏壓可核減至 200 伏脫（該管核定屏壓爲 350-425 伏脫）左右，得半數屏流約爲 30 千分安培（核定屏流爲 60 千分安培）

為度，以求安全。此時天線電路須令斷路或遠離不生影響。柵與燈絲間與屏與燈絲間線圈數之比率約為 1 比 4 或 5。以波長表配置正路得相當波長之諧振，然後將天線線路或稱副路，接通而與正路交連之，約距 10 或 14 公分。以天線電路之電容器配諧，使天線電流最大或用小燈泡，其燈絲燃燒最熾時，可知正副二路，已成諧振。至此可將屏極電壓加至常度，再將正副二路之交連改寬，至天線電流至最大之 75% 至 85% 為止。於是此發射機已準備發射。用者若疑其週率之是否在核准波長範圍以內，可以波長表重測之。

5. 短波收報機 短波無線電業餘家貢獻最多。收報機之線路，變化百出，正與發報機同。而基本原理與長波相同，無大出入。本編僅能舉其一二以為例。尋常業餘者所備短波收報機能收波長約自 5 至 90 公尺，業餘核准電報波長及短波廣播波長均在其內。短波收報機普通多用回授自差線路，加以一或二級成音週率放大器。

第 一 〇 圖

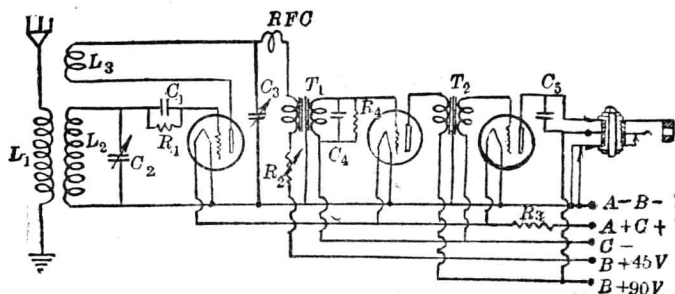


短 波 收 報 機

(12-80, 80-250 公尺)

或在回授管以前，加一四極管射電週率放大器。因若用尋常三極管作短波之射電週率放大器，有自生振盪之虞，超等外差接收線路，亦可用以接收極遠弱之短波音訊，但在尋常距離似無需乎此耳。第一一圖示一三管短波接收線路。圖內線圈凡三， L_1 為天線

第一一圖



三管短波收報機線路

路內正路線圈，可以電鈴線三數圈應之。 L_2 為副路線圈， L_3 為回授線圈，俱可以導線繞於已損壞之接收真空管之管底 (tube base)。其線圈構造規定，詳列下表，備學者自製之便。

波長帶	副 圈		回 授 圈	
	圈數	導 線	圈數	導 線
80	37	No. 28 雙層紗包	25	30 雙層紗包
40	16	22 雙層紗包	20	30 雙層紗包
20	7	22 雙層紗包	10	30 雙層紗包
10	3	20 雙層紗包	5	30 雙層紗包
5	1	20 雙層紗包	3	30 雙層紗包

其他各部如下：

C_1 -100 μ . μ .f. 定量電容器

C_2 -15 μ . μ .f. 變量電容器

C_3 -15 μ . μ .f. 變量電容器

R_1 -10 兆歐姆柵漏電阻

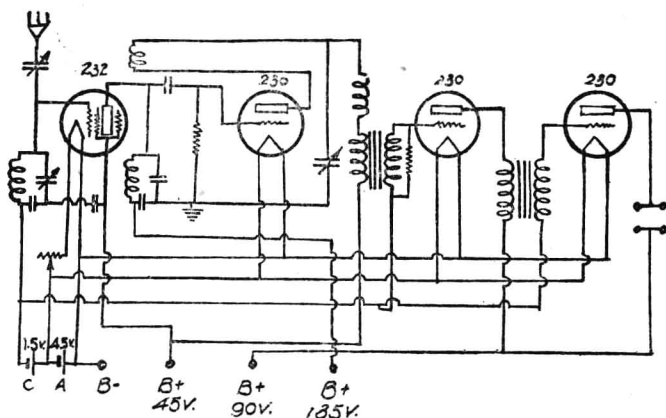
R_2 -0-50,000 歐姆變量電阻器

R_3 -20 歐姆變量電阻

R_4 -100,000 歐姆柵漏

圖內各部作用與前長波回授接收機相同，惟有下列各點，可以注意。長波回授作用之控制，往往得自回授圈與副圈間交連之寬緊，即變化其兩圈相互間之距離及方位。而在短波接收機，此法控制微嫌太不精細，故多用電容器如 C_3 以控制之。 R_2 為變量電阻，所以助回授之控制，故此線路，殊見伸縮，此其一。兩管燈絲在聽筒取出後，即不燃燒，由於聽筒插座之構造，觀圖自明，此其二。真空管於回授作用至振盪起始時，往往發吼聲，騷擾正音，可跨接電阻 R_4 於成音變壓器副圈如圖以免之，此其三。如此接收機專備收報，則變壓器本體諧振可尖銳，若欲收音，則變壓器之構造，須使其得一平扁諧振曲線，可得均勻放大，於每秒鐘 30 至 7000 週之週率範圍以內，此常可在市上購得之，此其四。短波配諧精細，將 C_2 變量，或嫌過大，音訊有遺漏之虞，可接一約百兆兆分法拉特之微分電容器 (vernier condenser)，並聯於 C_2 ，則接

第一二圖



四管短波收報線路

收更佳，此其五。第一二圖示四管短波收報線路。內第一管為四極射電週率放大管，第二管為回授檢波合用管，第三、四管為成音週率放大管，各部均以鋁片隔離，防自生振盪之弊。此線波與三管線路大同小異。所須注意者，射電週率放大之配諧電容器，必須與檢波之配諧電容器，同時配置，方可得滿意之音訊。此種配諧，熟練後極易措置。該線路之弊在多加配置器件，尋常情形下似可不必，而在收遠弱之音信，固大有帮助也。

6. 短波無線電報通信之距離 短波之推進藉海氏層之反射作用，通信距離，在越程以外，往往有驚人之記錄，萬非長波之用同工率所可及，徒以時間、波長及工率三者之相互關係，其可靠通信距離，更難規定。例如應用單座 UX-199 之接收管用乾電池供

給 .06 安培於燈絲數千分安培於 100 伏脫於屏極，輸入工率僅及 1 瓦特，1500 公里以外之相當可靠距離，曾見記錄。下表示短波工率與通信距離之關係。其結果係根據無數業餘家聯合試驗統計之。平均數雖非絕對準確，有時竟相差數倍，但大致可靠，頗可供設計者之參考。表中距離係指等幅波電報而言，若應用於電話，其距離約小 5 倍，可以照算也。

電 工 率	天 線 電 流	通 信 距 離
5 瓦特	0.45 安培	650 公里
10 瓦特	0.64 安培	1100 公里
50 瓦特	1.40 安培	2500 公里
100 瓦特	2.00 安培	3500 公里
250 瓦特	3.00 安培	7000 公里

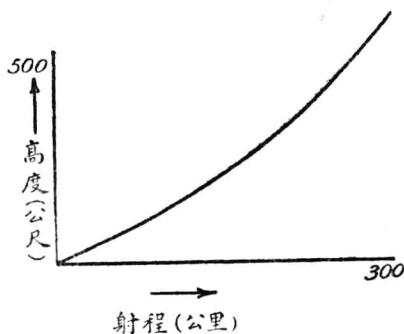
表中天線電流之計算係根據天線電阻 14 歐姆，振盪效率 50%。

7. 超短波之特性 最近數年來歐美日本無線電專家鑒於短波之利益，羣作更短波長之試驗，先後均有若干成功，此種 10 或 5 公尺（30 或 60 兆週）以下之波長，謂之超短波（super-short wave）。最短波長曾達數公分。若更超短，已侵入紅內熱光線境內。此種超短波因其週率之特高，其在空間推進狀態，與尋常短波迥殊。其異點約如下述：——

(1) 超短波因其週率之高，地面波幾被吸收淨盡，反射波穿透

海氏層不返地面，其可利用為通訊之用者，僅其直射一部。因地球表面曲度之存在，直射波通訊距離遂不能遠，故欲增加超短波之通訊距離，可架設收發天線於高空以得之。第一三圖示 40 兆週以上超短波接收或發射臺高度與射程之關係。可見此種超短波若不將收發臺架設山巔或高空，最易為樹木房屋及地面一切障礙所吸收，祇適用於兩方可望見之距離，至多不逾數十公里至一百公里之通

第一三圖



超短波收發高度差與射程之關係

訊。75 公分(400 兆週)以下之超短波，似又可以沿地球表面曲度而目前推進以得較長之距離。馬可尼氏以特殊接收機會得 65 公分波長於 200 公里通訊之成功。

(2)超短波因利用直射部分，絕無衰落現象。天電騷擾比尋常短波更為微弱。

(3)因波長之短，超短波之定向發射更為有效。且波長既短，收

發之定向天線，量度可小，易於裝設。

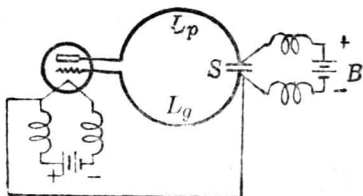
(4) 超短波收發機器，設計與使用均比較困難。電力方面之騷擾，如輸送線電車電話線，X-光機器以及汽車飛機之着火裝置在在足以引起干擾，然均非不可設法避免者。

觀上述超短波特性各端，可見在最近將來中，超短波之週率帶雖寬闊，尚不能盡量利用為較長距離之交通。但在短程中，如飛機之與升降站，高山之與平原，其効尤顯。因其週率帶之寬，尤適於傳影，將來城市電話之改用無線電話或亦在此。可見整個超短波園地，尚待開闢，其發展未能限量也。

8. 超短波振盪之發生 郝志氏於 1887 年已用火花發射機得短至 50 公分超短波，但此種短波，係屬減幅。其後雖無線電技術益加精進，但羣趨長波，超短波更無人注意及者。目今等幅波之超短波發生方法，最重要者，不外二道：一為回授振盪，二為真空管電子振盪。分述之於下：

回授振盪之發生超短波之原理與尋常短波相同，例如第一四

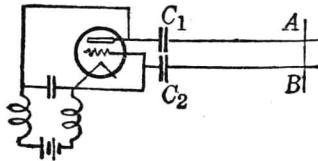
第 一 四 圖



單管回授超短波振盪線路

圖係利用單管之回授振盪以得超短波。 L_p 與 L_g 為屏路線圈與柵路線圈各佔圓形線圈半個。屏柵間之管內電容量與線圈合成超短波諧振週率。求週率穩定起見， L_p 及 L_g 均為極粗而短之銅管，電容器 S 及與“ A ”及“ B ”電池串聯之阻流圈均所以使高週率電流循振盪電路而運行，不致走入歧途。如 L_p 及 L_g 為 1 呎長，超短波基本週率可達 80 兆週。第一五圖為前述線路之變相。內屏

第一五圖

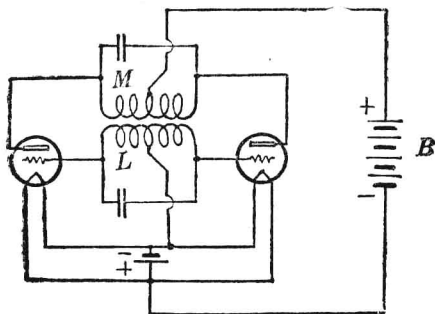


單管回授超短波之又一線路

柵線圈易以所稱萊鵠氏橋(Lecher's bridge)。蓋屏柵兩極各經小電容器 C_1 及 C_2 至二平行同長之導線，另以導線 AB 滑接跨於其上。因二導線之有分佈電容量及磁感量之存在，移動 AB 可以得適當之配諧。餘如前不必贅述。

利用雙管推挽式之超短波線路則如第一六圖所示。此圖所示適用於短波及超短波，所異者，在電容量及磁感量之數量之不同耳。線路方式為屏諧柵諧線路，各管之屏柵接至 L_1 及 L_2 之兩端，成 180° 之反相，以得推挽作用。 L_1 與 L_2 之交連為負，電源雖指明係電池，亦可變易，視真空管特性而異。若須更短之波長，或更

第一六圖

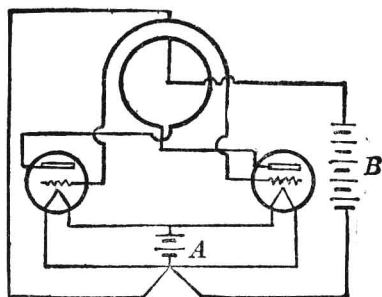


雙管推挽式超短波振盪線路

高之週率，則電容量可以管內屏柵電容量以代之。磁感量祇須各十數公分直徑之半圈如第一七圖所示，波長可短至 1.2 公尺，惟不甚穩定耳。其他利用回授作用以得超短波之振盪線路尚多，不及逐一詳述。讀者可參閱他書。

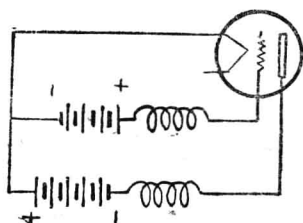
真空管電子振盪之超短波完全利用與回授原理不相同之理論。

第一七圖



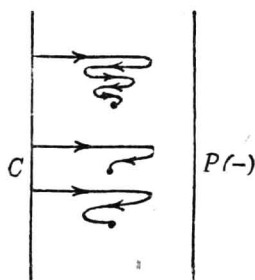
雙管推挽超短波之又一線路

第一八圖



柏氏式超短波振盪線路

第一九圖



柏氏式振盪電子之行動

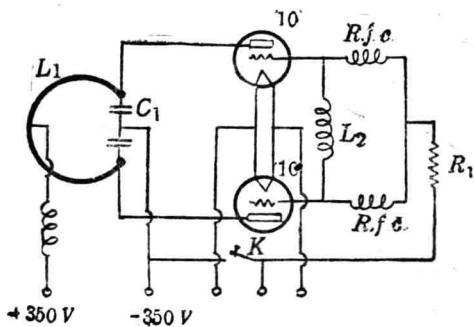
最著者爲柏氏式 (Barkhausen type)。其理論與實施可參閱第一八圖及第一九圖。柏氏式振盪器內柵極得荷 100 至 200 伏脫之正電壓。而屏極反荷較低之負電壓，如圖所示。如此在燈絲或負極四週因柵極正電壓之吸力不致有空間電荷之存在，故電子自脫離燈絲後，儘速向柵極飛奔而至。但在最後入柵極之前往往經過一二次之往復振動如第一九圖所示。此種振動引起極高週率之振盪，其週率視柵壓而異，其他如屏壓及各極構造，亦不無關係。電子質量既微渺不可思議，故週率可自 60 兆週 (5 公尺) 以至 1000 兆週 (30 公分)。如應用特殊真空管其週率可升高至 3000 兆週 (10 公分)。此種柏氏振盪週率與外路之常數無關。但在某種情形下，其波長並不完全與外路無關，而其變化可隨 LC 或直接關係，且柵壓在某值時，可得極強之超短波振盪，其波長則以柵屏兩極間所速接之萊鵠橋之長度規定。此種變相柏氏振盪謂之傑氏摩

氏式(Gill Morell type)振盪。

此外尚有用磁空管以得超短波振盪，波長可短至數公分以下。其理論與實施，茲不詳述。

9. 超短波發射機實施線路 超短波發射最大困難，為週率之不易穩定。尋常石英晶體，其標準週率約為 3500 及 7000 基羅週，若欲得 5 公尺(即 60 兆週)須用若干階級倍週率器，以得此高週率，否則用特殊(Toumaline)晶體，價格奇昂。故尋常均用自勵式之振盪線路，其週率略嫌不穩定，故接收方面非尋常之自差線路所能應付。發射機因週率之不甚穩定，多用已經調幅之屏壓，使利於超等回授線路之接收。第二〇圖示一雙管推挽式 5 公尺發射線路，其佈置毋庸詳述。所須注意者其屏極電源或接於 350 伏脫之直流電正極或接於調幅管之屏極以得調幅波信號。振盪線路為

第 二 〇 圖



五公尺超短波發射機實施線路

屏諧式。天線方式與前述短波同，惟以波長之超短，可用堅固之銅管，或用尋常短波半波式而便用於其多次波上。該線路內各部常數如下：——

L_1 = 單圈之 0.65 公分之銅管，10 公分直徑，接於二電容器之固定片上。

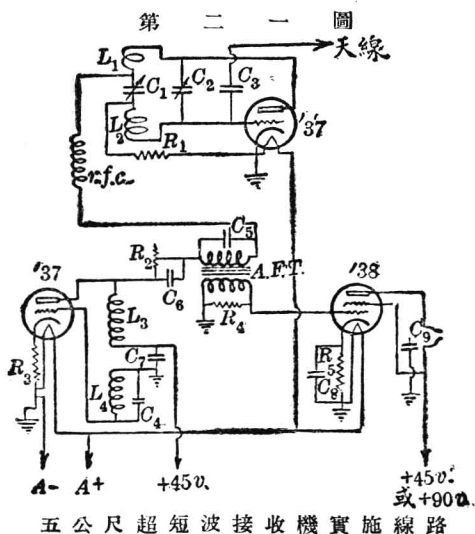
L_2 = 4 圈之 No.14 線繞於 2.54 公分直徑 5.08 公分長之圓筒上。

C_1 = 固定裂片式 100 $\mu\mu\text{f}$. 變量電容器。

RFC = 18 圈 No.24 雙層紗包線繞於 1.25 公分木筒上，圈與圈距離凡 0.16 公分。

R_1 = 10,000 歐姆柵漏電阻。

10. 超短波接收機實施線路 超等回授線路特殊適宜於超短



波在第九章內已說明其故。第二一圖示一 5 公尺接收機實施線路。內共三管，第一為尋常回授振盪檢波管，第二為一簾柵成音週率放大管，第三為一低週率振盪管，所以發生局部振盪於第一管之屏路，以得超等回授之作用。第一管之振盪係一串聯配諧之哈得雷氏式， C_1 為主要配諧及 C_2 為微分配諧電容器， R_1 為漏電阻， R_2 為配置回授程度之電阻。第二管之成音放大管，除 R_3 為自動柵壓配置電阻以外，無他特點。第三管之振盪係柵諧電路，跨 L_3 所得之低週率電壓，串聯於第一管屏路內。線路內各部常數如下：——

$$C_1 = 105 \mu\text{mf} \quad \text{變量電容器}$$

$$C_2 = 15 \mu\text{mf} \quad \text{變量電容器}$$

$$C_3 = \text{定量天線交連電容器用二片 } 0.95 \times 1.25 \text{ 公分之鋁片相距 } 0.16 \text{ 公分組成。}$$

$$C_4 = .0025 \mu.\mu.\text{f.} \quad \text{定量電容器}$$

$$C_5 = .004 \mu.\mu.\text{f.} \quad \text{定量電容器}$$

$$C_6, C_8 = 1 \mu.\mu.\text{f.} \quad \text{定量電容器}$$

$$C_7 = 1 \mu.\mu.\text{f.} \quad \text{定量電容器}$$

$$C_9 = .001 \mu.\mu.\text{f.} \quad \text{定量電容器}$$

$$R_1 = 2 \text{ 兆歐姆}$$

$$R_2 = 500,00 \text{ 歐姆}$$

$$R_3, R_5 = 2000 \text{ 歐姆}$$

$$R_4 = 150,000 \text{ 歐姆}$$

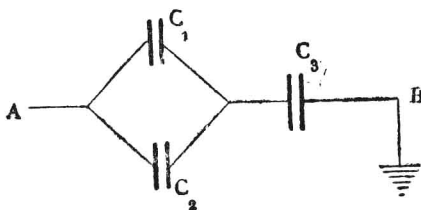
$L_1, L_2 = 7$ 圈 No.16 線繞於 0.95 公分內直徑圓筒佔 0.95 公分長。

$L_3, L_4 = 1400$ 及 900 圈 No.34 絲包線繞於 0.95 公分直徑紙圓筒, 兩圈相距 0.65 公分。

附錄一 習題

第一章

1. 試答 1c.c. 水內共有 (a) 分子若干? (b) 活動電子若干? (c) 設須使此水荷 1 庫倫之陽電問欲失去活動電子若干?
2. (a) 三電阻串聯, 其電位之比如 1:3:5, 設最大電阻為 450 歐姆, 求其他二電阻。(b) 三電阻並聯所載電流之比如 1:3:5, 設最大電阻為 150 歐姆, 求其他兩電阻之值。
3. 某發電機輸給 50 安培電流於一電動機。電動機輸出工率為 15 馬力, 其內阻為 .25 歐姆。發電機內阻為 .15 歐姆, 導線電阻為 .2 歐姆。(a) 求發電機之感應電壓及外端電壓, 電動機之感應電壓及外端電壓, (b) 求發電機之輸入工率及輸出工率, 電動機之輸入工率及輸出工率, 導線之損失工率 (電動機之機械損失等概忽而不計)。
4. 一磁感量 125 兆亨利之電磁鐵線圈。勵磁電流為 16 安培。磁流為 400000 馬克斯威爾 (Maxwell)。(a) 問導線圈數, (b) 設此電流限於 .001 秒內消滅, 求自感電壓之平均值。
5. 一變量電容器有金屬片 23 片。片為半徑 $1\frac{1}{2}$ 吋之半圓形。兩片相距 $\frac{1}{16}$ 吋, (a) 試求此電容器以空氣為絕緣體, 可得最大電容量為若干? (b) 設欲增加其電容量至 2 倍或 3 倍, 則有何方法?
6. 如圖一電容器之聯接法。 $C_1=250$ 兆兆分法拉特。 $C_2=750$ 兆兆分法拉特。 $V_3=.004$ 法拉特。 C_3 之電位差為 100 伏脫。試求下列各數值
 - (a) A B 間總電容量
 - (b) A B 間總電位差
 - (c) 各電容器所蓄電量
 - (d) 各電容器所貯電能



第一圖

7. 今有 15 馬力電動機一架，滿負荷時效率為 80% (a) 求滿負荷時電動機內部之熱損失。(b) 設欲自備發電機以供給電流，所購該機之核定工率至少須若干？

第二章

1. 何謂率及波長，二者之關係若何？
2. 問 25, 315, 450 及 1,200 公尺之波長時，其週率各若干週？
3. 問在 30 公尺及 1,000 公尺之波長時，每差一公尺，其週率各差若干週？
4. 廣播電臺之波長，限止於 200 至 550 公尺之間。問若以基羅週表之，其範圍當為若干？
5. 設在某區域內電臺與電臺間週率之差，至少為 5 基羅週，(a) 問在 4 與 5 公尺波長間至多可設電臺若干？(b) 設改為 1,000 與 2,000 公尺間之波長，至多可設電臺若干？
6. 某 1,000 公尺波長火花發報機，每秒鐘發射 500 波羣，設信號每點佔 0.1 秒，每畫佔 0.3 秒。問各佔若干波羣？
7. 某電臺用 1000 公尺波長時，天線電流為 1.5 安培，放射工率為 50 瓦特，(a) 設令電流不變，改用 100 公尺波長發射，問放射工率若干？(b) 設用原有波長而增加天線電流四分之一，放射工率又若干？

第三章

1. 有 500 兆分亨利之磁感量及 0.005 兆分法拉特之電容量。接成串聯，問當 60, 100, 700 及 1,000,000 週之電流通過時，其週阻各為若干？
2. 某振盪電路磁感量為 320 兆分亨利，電容量為 0.02 兆分法拉特，電阻為 2 歐姆合成串聯，試用準確及約計公式，求自然波長及自然週率。
3. 某振盪電路包含磁感量 1.88×10^{-4} 亨利，及電容量 0.005 兆分法拉特，問該線路內之自然週率為若干？求下列各週率時之週阻，並證諧振週率，即為其自然週率：

100,000; 135,100; 150,000; 164,200; 180,700; 230,800; 300,000。

4. 設有振盪電路電容量為 0.002 兆分法拉特，磁感量為 320 兆分亨利，其自然週率為若干？若加電阻 10 歐姆以後，問週率為若干？至少須加若干電阻，方可使該電路成為不振盪電路？

5. 交流電路電阻 20 歐姆，磁感量 0.3 亨利，電容量 20 兆分法拉特，(a) 問於何週率可得串聯諧振？設電流為 5 安培，求 (b) 外加電壓，(c) 跨自感量電壓，(d) 跨電容量電壓，(e) 電工率，(f) 畫一矢量圖。

6. 串聯電路有電阻 2 歐姆，自感量 0.0191 亨利，電容量 2 兆分法拉特，(a) 在 500 週時總阻若干？(b) 若欲得諧振，問須加入電容量若干，以並聯於原有電容量？(c) 諧振後，總阻為若干？

7. 串聯電路有電阻 1.2 歐姆，自感量 0.02 亨利，問欲於 1000 週時得諧振，須加入電容量若干？

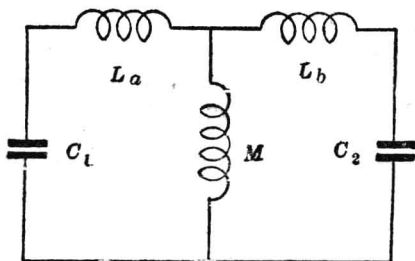
8. 電阻 40 歐姆及磁感迴阻 20 歐姆串聯，與電阻 30 歐姆及一不知量之電容迴阻串聯後，互相並聯，若欲得並聯諧振，該電容迴阻，當為若干？若加以 100 伏脫電壓，問可得電流若干？

9. 若以前題內與電容量串聯之電阻撤去，於 100 伏脫電源下，其最小電流為若干？

10. 自感量 0.1 亨利，電阻 10 歐姆串聯及電容量 70 兆分法拉特，電阻 15 歐姆串聯後互相並聯，求該路之諧振週率。

11. 有一標準變量電容器其最大值为 0.001 兆分法拉特，今欲備三磁感量線圈成一波長表，以量 500, 2000 及 10000 公尺之波長，問該三線圈當各有磁感量若干？

12. 交連電路如附圖二。



第 二 圖

$$L_a = 56 \times 10^{-6} \text{ 亨利}$$

$$L_b = 209 \times 10^{-6} \text{ 亨利}$$

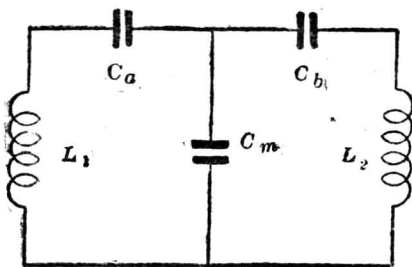
$$M = 241 \times 10^{-6} \text{ 亨利}$$

$$C_1 = 0.0023 \times 10^{-6} \text{ 法拉特}$$

$$C_2 = 0.00093 \times 10^{-6} \text{ 法拉特}$$

求交連係數及各路波長。

13. 交連電路如附圖三。



第 三 圖

$$C_a = 0.00025 \text{ 兆分法拉特}$$

$$C_b = 0.00041 \text{ 兆分法拉特}$$

$$C_m = 0.00035 \text{ 兆分法拉特}$$

$$L_1 = 297 \times 10^{-6} \text{ 亨利}$$

$$L_2 = 450 \times 10^{-6} \text{ 亨利}$$

求交連係數及各路週率。

第 四 章

1. 二交連電路其交連係數為 35%，自然週率均為每秒 60,000 週，問其結果週率為若干？

2. 於上題中，若欲使其結果週率相差，不逾各路原來自然週率之 20%，問其交連係數為若干？

3. 二交連諧振電路，結果週率為每秒 150 及 185 基羅週。問該路之交連係數及自然波長為若干？設交連緊至理想之 100% 時，結果波長及週率各為若干？

4. 有 0.5 基羅瓦特 12,000 伏脫之火花發報電臺。其火花週率為每秒 1000 次，問其電容量當為若干？

5. 有一火花發報機，電容器為 8 隻萊頓瓶串聯組成，每隻凡 0.002 兆分法拉特，火花破裂電壓為 12,000 伏脫，火花週率為 1000，求該發報機之核定工率。設該變壓器為 110 至 20,000 伏脫之電壓比率，效率為 80%，正路工率因數為 75%，求變壓器之正路電流。

6. 設前題內發報機有磁感量 16 兆分亨利，求 (a) 該線路內之振盪週率，(b) 設天線之自然電容量為 0.0015 兆分法拉特，自然磁感量為 10 兆分亨利，必須再加若干額外磁感量方得諧振？(c) 設天線有效電阻為 45 歐姆，而 60% 之電工率由交連至接至天線。問天線電流當為若干？

7. 有一聽筒及 8000 歐姆電阻接成串聯，其二端電壓為 50 伏脫，聽筒繞線為 1000 轉，電阻為 500 歐姆，今設以聽筒內繞線易為舊線 $\frac{1}{4}$ 截斷面積之銅絲繞成，因線細圈數可增至 4 倍，外路電阻與電壓俱不變，試求前後聽筒線圈之磁化力（安培圈）之比率。

8. 某火花發報機發射波長為 1000 公尺。對數減幅率 0.08，問每次火花躍過後經若干週及時間，振盪始告停止？若電源係 500 週交流，求每週中振盪延續與停止時間之百分比率。

第 五 章

1. 有亞氏高週率發電機速度為 20000 R.P.M. 設鋼盤轉體，每轉一週，能使磁場強度改變 1200 次。問所得交流週率若干？

2. 哥氏高週率發電機，基本週率為 12,000。問經四次迎環感應後所得週率若干？並每次感應之週率各若干？

3. 無線電發射機之放射電流公式，依美國奧斯丁氏，試驗為 $I_r = \frac{188 h_s h_r I_s}{K \lambda d}$ ，設有同 70 公尺天線高度之放射臺與接收臺，各含電阻 8 歐姆，相距 10 基羅公尺。接收臺於 1000 公尺波長時，得 50 千分安培之天線電流。問放射臺放射電流若干？

4. 若前題放射情形不變，接收臺增高天線高度四分之一時，所得天線電流若干？

5. 某弧光發射機核定工率 200 基羅瓦特，效率 25%，及一真空管發射機核定工率 30 基羅瓦特，效率 55%。求二者放射能力之比。

6. 某亞氏高週率發電機在 20,000 R.P.M. 下得 100,000 週之週率，設因配置不良，致該機速度遊移於 20,100 與 19,900 R.P.M. 之間，問所發射之週率生若何影響？

7. 某接收機用差週率接收法接收 200,000 週外來電波，問如何可得 3000 週成音週率於聽筒？

第六章

1. 某天線接收 1000 公尺電波時，得天線總阻 18 歐姆，內歐姆電阻為 4 歐姆，通感電阻與放射電阻之比為 3:5，問 1500 公尺時之總阻為若干？
2. 某天線接收 200,000 週之電信，測得歐姆電阻為 6 歐姆，通感電阻 4 歐姆，放射電阻 8 歐姆，問於 150,000 週時之各電阻及總阻若干？
3. 某發射天線實效高度 70 公尺，設固定天線電流為 5 安培，問用 50 公尺波長放射比之用 1000 公尺放射能力若何？
4. 某放射工率 150 瓦特，天線高度 70 公尺之發射電臺，設在振盪電路中自感量 .6 兆分亨利，電容量 2.5 兆分法拉特，問此天線最小應預期能載若干電流？
5. 某倒 L 式天線垂直部分每公尺感應 4.5 千分伏脫，水平部分每公尺感應 1.2 千分伏脫電壓，求此電波之強度及推進斜度。
6. 某天線實效高度 150 呎，天線電阻 16 歐姆，問在每公尺 5 千分伏脫之電波強度下，該天線感應電流若干？
7. 一天線高 30 呎，在 1000 基羅週實效電阻得 16 歐姆，若接收 1000 基羅週之信號每公尺得 2 千分伏脫，則天線電流若干？

第七章

1. 電子散射數量為立卻特遜氏公式所限定 $I = a\sqrt{T} \epsilon^{\frac{b}{T}}$ 內 I 為電子流，單位為安培， T 為絕對溫度， $\epsilon = 2.718$ ，若用鎢製燈絲， $b = 52500$ ， $a = 15.2 \times 10^7 \times$ 燈絲表面面積（平方吋），今有燈絲 2 吋長 0.002 吋直徑，溫度 2200°A 。求最大電子流。
2. 按照立卻特遜氏公式，燈絲在尋常溫度下，散射電子極微，此可以計算前題燈絲於 100°C 散射電子量證之。
3. 立卻特遜氏定律內鎢之常數 $a = 23.6 \times 10^6$ ， $b = 5.25 \times 10^4$ 。鈷之常數 $a = 196 \times 10^6$ ， $b = 3.90 \times 10^4$ 。設燈絲為純粹鎢鈷所製，求兩種燈絲在尋常使用溫度 2200°A 散射電子之比率。
4. 電子在場中之速度依照公式 $V = \sqrt{\frac{2QE}{m} \times 10^7}$ （公分/秒）而變動。設電子之 $m = 8.8 \times 10^{-28}$ 克， $Q = 1.6 \times 10^{-19}$ 庫倫，試求電子遇屏時之速度。在尋常檢波放大管（ $E = 45$ 伏脫）及發射管（ $E = 1000$ 伏脫）。
5. 二極管內在一定數燈絲電流時，屏流屏壓在飽和點以前為公式 $i = KE_p^{3/2}$ 所限定，內 i 為電流， E_p 為屏與燈絲間之平均電壓，設“ A ”電池為 6 伏脫“ B ”電池為 45 伏脫，試比較“ B ”電池負極接至“ A ”電池正極與負極之屏流比率。

6. 真空管 UX-201A 在核定燈絲電壓及 $E_p=90$ 伏脫, $E_g=-4.5$ 伏脫時, $I_p=2.05$ 千分安培, 若將 E_g 增至 -5.5 伏脫, I_p 減至 1.50 千分安培, 欲將 I_p 還復至原值 E_g 保持在 -5.5 伏脫, 須將 E_p 增至 98.2 伏脫, 問該真空管之放大因數為若干?

7. 某真空管之屏極電壓自 45 減至 35 伏脫, 屏流自 1.6 減至 0.95 千分安培, 求屏極微分電阻若干?

8. 某真空管屏極電壓 45 伏脫, 屏流 1.70 千分安培, 求直流電阻。設微分電阻等於直流電阻之半, 求微分電阻。

9. 真空管 UX-199 在曲線某點有直流電阻 $19,500$ 歐姆, 問屏極電壓 45 伏脫時當得屏流若干。

10. 下列記錄為測驗真空管 UX-210A 之特性曲線時所得, 試以分格紙畫成 I_p/E_g 曲線, 並求下列各點之互導 (兆分姆歐) $E_g=-1$, $E_g=+2$ 伏脫。

$E_f=5.00$ 伏脫 $I_f=0.25$ 安培 $E_p=45.00$ 伏脫

E_g (伏脫)	I_p (千分安培)	E_g (伏脫)	I_p (千分安培)
-6	0.0	3	3.5
-5	0.1	4	4.2
-4	0.2	5	5.0
-3	0.4	6	5.8
-2	0.7	7	6.6
-1	1.1	8	7.4
0	1.6	9	8.3
+1	2.1	10	9.2
+2	2.8		

11. 真空管 UX-201A 之屏極配置在 45 伏脫, 及柵極於 -2.5 伏脫時, 屏流得 0.6 千分安培, 柵極於 $+2.5$ 伏脫時, 屏流得 3.2 千分安培, 求該真空管在零伏脫柵壓時之互導 (以兆分姆歐為單位)。

12. 真空管 WD-11 在適當使用點時, 互導為 340 兆分姆歐, 放大因數為 65 , 求屏路微分電阻。

13. 真空管 UX-213 為雙屏二極真空管, 試繪圖示如何聯接以得全波整流。

14. 真空管 UX-210 之屏壓為 350 伏脫, 屏流最大值為 16 千分安培, 求該管於此使用點時之直流電阻, 與屏極所受電子擊撞之工率。

15. 柵極與燈絲間之交流電阻當柵壓為負時, 其值為無限大, 但在柵壓為正時, 其值甚大, 柵壓柵流曲線之任何點切線斜度之倒數, 即代表此值, 設某真空管, 柵壓變值 $.02$ 伏脫時, 柵流變值為 $.072$ 兆分安培, 求柵路交流電, 電阻及電導。

第八章

1. 真空管 UX-240 之屏路微分電阻為 150,000 歐姆，放大因數為 30，設有屏路外路電阻 200,000 歐姆，所受柵壓設為 1.2 伏脫（實效值）問屏流交流部分為若干？設使用點之直流屏流為 0.15 千分安培，問屏路內電流之最大最小值為若干？
2. 某真空管柵壓零伏脫屏流為 1.00 千分安培，若加入電阻 200,00 歐姆於屏路，而欲於柵壓零伏脫時得同值屏流，問“B”電池組電壓須增若干伏脫。
3. UX-120 號強力放大管之負柵壓當為 16.5 伏脫，“A”電池組電壓 4.5 伏脫，燈絲電流 0.132 安培，燈絲電阻為 25 歐姆，問若以變阻器接於燈絲之負極，再以柵極經柵漏電阻而接至“A”電池組負極，問尚須“C”電池若干（用乾電池，每只電壓 1.5 伏脫）。
4. 電阻交連放大器內之真空管放大因數為 10，屏極交流電阻為 40,000 歐姆，設交連電阻為 80,000 歐姆，試求電壓放大比率。
5. 設於前題內之電阻交連易以同值之磁感迴阻交連，問電壓放大比率為若干？較電阻交連時增加百分之幾？
6. 某真空管之柵屏間內電容量為 14.4 兆分法特，屏路交流電阻為 500,000 歐姆，放大因數為 5，設外路電阻得 100,000 歐姆，問於接收 8,000 及 400 公尺時之輸進電路柵屏間之充電電流為若干？設柵壓為 1 伏脫。
7. UX-240 放大管 $\mu=8$ ， $r_p=10,000$ 歐姆，試計算並以比例紙畫曲線示電壓放大比率與外路電阻之關係（自 0 起每 25,000 歐姆至 200,000 歐姆止）。
8. 真空管 UX-210 號用作強力放大管，其放大因數為 7.7，交流電阻為 7000 歐姆，試計算及用比例紙畫圖示外阻與輸出工率之關係，並證內阻等於外阻時，輸出工率為最大（計算各點自 0 起至 10,000 歐姆止，每 2,000 得一點）。設柵壓為 15 伏脫。
9. 總阻交連係一 $\frac{1}{1000}$ 亨利磁感圈，與一 0.002 兆分法特電容器所阻成，磁感圈之歐姆電阻為 1 歐姆。求 (a) 諧振週率及波長，(b) 在此諧振週率下之實效電阻。
10. 在第 9 題內，若真空管之放大因數為 8，微分電阻為 20,000 歐姆，問電壓放大比率為若干？
11. 設將題 10 內磁感圈改為 200 千分亨利，電容量改為 10 兆分法特，餘如前，諧振週率將不變，求實效電阻。設仍用 11 題所述之真空管求在 1000 公尺及 9000 公尺下之電壓放大比率。從此題又可得何種結論？
12. 真空管 UX-112A 之放大因數為 8，屏極交流電阻為 5300 歐姆，設柵路電阻配置為 500,000 歐姆，問於理想狀態下得最大放大效能，變壓器變壓升高比率及每級放大比率應為若干？若有照樣三級放大，所收音訊共放大若干倍？

13. 今有電壓比率1:6之變壓器用於真空管 UX-210A 作放大, ($\mu=8$, $r_p=18,500$ 歐姆), 每級放大比率得 10 倍, 問柵極燈絲間電阻 r_g 爲若干歐姆?

14. 若將前題真空管易以 UX-222 四極管 ($\mu=300$ 及 $r_p=850,000$ 歐姆) r_g 與 r_p 之關係保持不變, 問每級放大比率增進至若干?

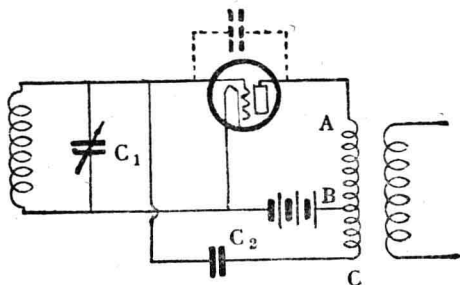
第 九 章

1. 某天線實效高度 40 呎, 接收某信號得每公尺 2 千分伏脫之強度, 天線本身電阻 25 歐姆, 第一級放大天線部分週阻 500 歐姆, 天線電流若干? 消耗於天線之工率及供給於第一級放大器之工率各若干?

2. 某天線同時接收 A, B 二信號, 未檢波前 A 與 B 強度之比爲 3:2, 設該接收機爲一級檢波及三級成音週率放大而成, 放大因數爲 8, 求放大後一信號強度之比例。

3. 設 1 題之放大管易爲晶體及一聽筒, 聽筒之實效電阻在此週率時爲 5000 歐姆及吸收配諧電路電能百分之二, 問經過聽筒之電流若干? 又設聽筒發生音波效率爲百分之五, 問發生聲音之工率若干?

4. 某平差接收機如下圖。A B 圈數爲 25, B C 圈數爲 10, 設屏柵內路電容量爲 9 兆兆分法拉特, 問 C_2 須電容量若干?



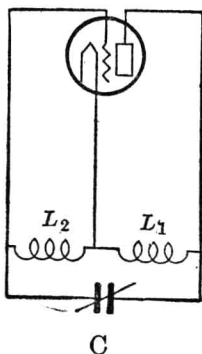
第 四 圖

5. 一超等外差接收機, 中間週率配置 50 基羅週, 接收 950 基羅週之信號時受一鄰近信號擾亂於同一度數, 求此鄰近信號之週率。

第 十 章

1. 如一柵諧振盪電路, 其柵路電阻 .2 歐姆, 電容量 250 兆分法拉特, 設用 UX-210 真空管, 交流電阻 7000 歐姆, 放大因數 7.7, 問如何配置其交連程度, 始得振盪?

2. 哈得雷氏線路(附圖五) $L_1=0.64$ 千分亨利, $L_2=0.36$ 千分亨利, $C=0.001$ 兆分法拉特(此為 C 之最大值), 問欲得 2000 公尺之波長時, 如何配置其交連?



第五圖

3. 某屏諧振盪電路中, 電阻為 2 歐姆, 自感量 L_1 為 320 兆分亨利, 電容 C 為 0.02 兆分法拉特, 所用真空管之交流電阻 8000 歐姆, 試求其嚴格之週率及約計之週率。
4. 求兩瓦特真空管四管並聯使用時之輸出工率, 設天線電阻為 12 歐姆。

第十三章

1. 一傳話器電阻 50 歐姆, 與一 40 歐姆電阻及 12 伏脫電池相串聯, 電池內阻可略去, 設傳話器音流可使其自身電阻變化百分之十, 問發生交流之最大值。

2. 某無線電話機主波天線電流振幅 3.5 安培, 調幅後天線電流最小 0.7 安培, 求調幅百分比?

3. 某電路主波電流公式為 $i_1 = 4.3 \sin(\omega_1 t)$, 其週率為 200,000, 今加以正弦曲線之調幅波電流公式為 $i_2 = 3.1 \sin(\omega_1 t)$, 週率 3500 及 $i_3 = 1.8 \sin(\omega_3 t)$, 週率 150, 求結果週率及強度?

4. 設基本波 1000 基羅週; 求經 25, 1000 及 1500 三種週率調幅後之結果週率?

5. 上題之主波, 經順序五個奇次波之調幅後, 其結果週率若何?

第十四章

1. 甲電臺用 30 公尺波長被 31 公尺波長之鄰近電臺所騷擾, 乙電臺用 1000 公尺波長, 亦被 1001 公尺之鄰臺擾亂, 求甲乙二臺被騷擾之百分率之比。

附錄二 無線電發達史年鑑

(以西歷年代爲序)

- 一八三一 法拉第(Faraday)氏發現電磁感應性於完全分離之兩線路間。
- 一八三八 斯泰因亥爾(Stein)氏發現應用地土爲電路回線。
- 一八四〇 亨利(Henry)氏首先發明電容器放電爲振盪之原理，及用機器發生高週率之電振盪。
- 一八四二 模斯(Morse)氏藉水體爲無線電交通之試驗。
- 一八四五 林最(Lindsay)氏試驗無線電交通於臺河，不用金屬導體，而以水之傳導以達成功。
- 一八六二 海和士(Heyworth)氏發明以非人造導體交換電信之法，而得專利。
- 一八六七 馬克斯維爾(Maxwell)氏於皇家學會宣讀關於電磁波理論之論文。於該文中馬克斯維爾氏預測電磁波之存在；並於一八七三年推論之於其『電與磁』之宏著中。
- 一八七九 郝志茲(Hertz)氏發明凝屑檢波器，厥後由馬可尼(Marconi)氏實用之。
- 一八八〇 哈佛大學教授特洛布利治(Trowbridge)氏發現電之交通，可應用於兩地，不藉任何傳導體而用水或地土爲代。
- 一八八二 倍爾(Bell)氏應用特洛布利治之方法，於頗陀馬克河偵察一哩半外之音信。波斯頓突夫英大學教授陶爾伯(Dolbear)氏博得無線電機之專利權，氏謂以該機通報，相隔哩半以上，已不成問題。惟更遠若干，則未能斷定。其後馬可尼氏，卽由此推演以奏完成之功。
- 一八八五 愛迪生氏得極里老特(Gilliland)氏，斐爾普斯氏斯密斯氏之助，不用電線於一火車站與一遊行火車之間，以感應作用，互通消息。嗣於一九零一年，領

- 得關於是項通信方法之專利權。一年後即轉售其權於馬可尼無線電公司。
- 一八八七 郝志氏發明空中電磁波之發射，測得其波長及速率，並指明其振盪之性質，與光波及熱波相符。
- 一八九一 特洛布利治氏謂以兩絕緣電路，遠遠分離，可以由電磁感應，互通信息。
- 一八九二 泊里斯(Preece)氏將傳導與感應合用，電流由一電路影響於他電路。由是於布里斯拖河與蘇格蘭之羅希耐斯(Louchness)之間互通音信。布蘭利(Branly)氏創造凝屑檢波器，以探取電波，並發明電磁波能影響金屬之粉屑，變不傳電者為傳電。
- 一八九五 馬可尼氏研究郝志氏所稱之電磁波，決定無線可以通報，並在意大利作種種重要之試驗。
- 一八九六 馬可尼氏得第一次之無線電報專利權。並試驗一又四分之三哩之無線電通信成功。
- 一八九七 三月，馬可尼氏當眾試驗四哩之無線電交通。首次應用汽球以系天線。
七月，馬可尼氏成功十哩以外之無線電報。
九月，英國巴斯地方，裝設接收機，電碼由索爾茲巴立傳來，計程三十四哩。
十一月，馬可尼氏在尼特爾斯(Needles)地方建築破天荒之無線電臺一座，通信範圍十四哩又半。
十二月，該電臺與一汽船通信，計程十八哩。
十二月，第一艘船舶電臺成立。
- 一八九八 七月，將競賽遊艇新聞，由汽船(Flying Huntress)號，逐日以無線電報告刊登愛爾蘭首都都柏林日日新聞。
- 一八九九 四月，法國軍艦第一次裝置無線電。
七月，英國海軍操演，軍艦三艘裝設馬可尼機，互通消息，至七十四海哩(約合陸哩八十五)之遠。
- 一九〇〇 二月，德國第一商用電臺在布爾幹島通信，計程六十哩。
十一月，比利時第一無線電陸站成立臺址。
美國得福勒斯脫氏自一九零零至一九零五年，得美國及其他各國，關係無線電之專利權甚多。
- 一九〇一 一月，小汽船梅度拉(Medora)號在拉打爾江中(Ratal Bank)失火，以無線電報告警，設法施救。
一月，暴風消息，由克勒門提鄒號發出，傳達於俄斯坦德，未有間阻。後該船遇災擱淺，仍以無線電報告俄斯坦德，派船施救。
美國麻省柯特灣(Cape Cod)大電臺成立。

二月，尼頓(Niton) 及里蘭(Lizard)兩電臺成立，相隔一百九十六哩，通信無阻。

三月，檀香山羣島設立公眾通用之電臺五處，以利交通。

十月，第一次裝設扇式天線於樸爾度(Poldhu) 及紐芬蘭之間，以資試驗。

十二月，馬可尼氏在紐芬蘭接收樸爾度電臺所發之S電碼，中間相隔距離一千八百哩之遠，爲越洋無線電交通成功之嚆矢，匹茲堡大學教授斐森登氏對於無線電之收發，多所改良，是年九月向美政府請領專利權。其中最重要之機件係高週率交流發電機。其週率爲每秒鐘 50,000 週。無線電話，亦由是漸臻美備。斐氏在一八九九至一九零五間，曾獲得無線電專利權多種。

一九〇二 美國汽船費城號接收一五五一哩外傳來之電信，並由樸爾度電臺收到電碼，計程二〇九九哩。

七月，馬可尼氏在意大利巡洋艦 Carlo Alberto 號，接收電音，來自樸爾度，計程八〇〇哩；後又遠駛收受，計程一六〇〇哩。

十二月，越大西洋第一次之無線電信，試驗成功，馬可尼氏由新蘇格蘭之布勒頓海角(Cape Breton) 致電英王愛德華第七。

一九〇三 一月，美羅斯福氏致電英王愛德華第七經柯特海角及樸爾度二電臺。

三月，倫敦時報登載第一次越大西洋之無線電報。

八月，國際無線電協會開第一次會議於柏林。波爽(Poulsen) 氏發明弧光機，流水灌氣，並用磁場以夾持之。

一九〇四 一月，第一次以無線電拍發，越大西洋之國際新聞。

八月，英國國會通過無線電法令。

十一月，英人佛來銘氏發明二極真空管。

一九〇六 一月，美國得福勒斯特氏發明三極真空管並得專利權。

一月，國際無線電協會開第二次會議於柏林，世界各大國均簽字於其約章。美國將軍鄧武臺(Dunwoody) 氏發明矽炭晶體之整流作用，及畢卡特氏發現同樣之性質於矽礦，此種發現即爲後此利用晶體檢波之基礎。

一九〇七 十月，克利夫登及葛雷斯灣(Glace Bay) 越大西洋之電臺正式開幕。

一九〇八 二月，英國與加拿大各重要城鎮，開始無線電交通。

斐森登(Fessenden) 氏製造高週率交流發電機，電力爲 2.5 基羅瓦特，225 伏脫，週率每秒鐘 70,000 週。未幾斐氏在麻省與華府，以無線電話互通消息，相隔六百哩，結果甚佳。

一九〇九 汽船共和號與佛羅利達號在美國口岸外，互相觸撞，連續以無線電告難。結果船員及乘客，全數遇救。

- 一九一〇 汽船 Principessa Mafalda 號接收克利夫登電臺之電信，日間相距四千哩，夜間六千七百三十五哩。
- 六月，美國兩院，通過無線電條例，強制載客汽船裝置無線電收發機器，以重人命。
- 一九一一 七月，美國農工部設無線電公司，以管理船隻之無線電裝設。
- 一九一二 美國聯合無線電報公司為美國馬可尼公司，接收歸併。
- 二月，馬可尼公司購得柏利泥氏及託西(Tosi)氏之專利權，內有無線電定向器。
- 二月，奧大利亞政府電站成立。
- 四月，世界大郵船鐵達尼號於初次出發時，途次觸遇冰山沈沒。旅客藉無線電呼救之力，未遭沒頂，生還者七百人。
- 六月，國際無線電協會開會於倫敦訂立關於劃一報務之協定。
- 七月，美國兩院加訂一九一〇年所頒無線電條例，限令貨船裝設無線電機器，及某種客船，須雇無線電收發員，至少二人。
- 八月，美國兩院通過法令，限令無線電發報臺及收發員，須領執照。
- 一九一三 柯爾斯德(Kolster)氏，上書美政府歷舉燈塔燈船及救生局，裝用無線電機之利益，尤以迷霧天氣為最有用。
- 六月，加拿大國會提出無線電議案，一致通過，名曰加拿大無線電法規。
- 十月，郵船服爾圖爾諾號，在大西洋中被焚，卒因無線電之呼救，十艦同時來救，得慶更生者，五百二十一人。
- 十一月，首次美國鐵路利用無線電於列車間。馬加利島電臺，專作澳洲探險家毛森博士(Dr. Mauson)與外界通信之用。
- 一九一四 試驗無線電話於大海中，排列船隻距離一哩之八分之五，以尋常收音機亦可聽收。復於相隔十八哩半之兩戰艦間，試之亦驗。復以限量之電力，兩艦距離四十哩試之，仍能通話。
- 八月，歐戰大作，無線電機器之工程及進化，各國皆嚴守祕密。
- 八月，使用大電力之電臺，如卡那賁，威爾斯，勃爾馬(Belmar)，檀香山，三藩市等處，皆次第落成。檀香山三藩市二臺，於九月開始公共通信之用。其他塔克登·愛爾維斯(Tuckerton-Eilvese)，賽維亞·腦恩(Sayrille-Nauen)等處電臺，亦皆於此時相繼成立。
- 十月，美國阿姆斯特郎取得其所發明回授線路之專利權。
- 一九一六 二月，美國大雪，電線吹斷，無線電報應用於鐵路至上至夥。
- 以無線電測算巴黎，華盛頓兩地經度之差數，自一九一三年至本年止，所得

結果之準確程度約在 .01 秒左右。

美日二國，爲慶祝越太平洋無線電報通信之成功，於十一月五日，兩國元首交換電信致賀。

一九一七 六月，爲英國創辦無線電報二十一週紀念。

一九一八 自本年起，無線電發報機之進步，一日千里，最顯著者，爲弧光機，三極真空管等。約言之，即等幅波之用途，大爲增加。真空管不但可以收報，且可以產生等幅波，作爲傳送之用。無線電話亦因此而得擴大通話範圍，穩妥耐用。法國波爾多附近克羅亞定地方(Croix d'Hins)，由美國包工，建築大電臺，六閱月工竣，歸法國收管。

南美阿根廷京城建築大電臺，與北美洲直接通信。

七月，美國全國陸地電臺，除少數大臺仍由商界管理外，全數收歸政府管轄。

九月，澳洲悉尼電臺接收卡那真電臺電信二十二份，中間相去一萬二千哩。卡臺同時發出海底電報，俾資參證，而收到在數小時以後。那威政府建立大電臺於斯達完格地方於本年開幕，與美國直接通報。

一九一九 大戰時，美國無線電公司收併美國馬可尼公司。

歐戰期內，關於私人及試驗電臺之禁令，美政府至此取消之。

一九二〇 等幅波之應用，逐漸進步，逐漸發展，真空管發報機是年實施爲商界之用。南美阿根廷蒙德葛蘭德(Monte Grande)之大電臺成立通報。

法國波爾多大電臺開幕。

一九二一 由二月十二月兩月之實驗，英美二國無線電研究家，能以短波橫越大西洋作英美二國直接之通信，爲無線電界之大進步。初次試驗失敗。迨第二次試驗時，英國無線電研究家，及美國無線電接力聯合會特派赴英之代表聽收，多數美國業餘電臺之電碼，毫無差誤，即荷蘭國亦聞之。

美國無線電接力聯合會第一次在支加哥集會，無線電研究家共到數千人。

九月，美國政府第一次頒給廣播臺之執照。

美國紐約中央大電臺在長島開幕。

一九二二 因藝術之興趣，是年美國廣播電臺之數大增。

六月，美國奧斯得氏在無線電工程師學會演講收音機，及自生局部電波之極品外差新法，並博得該項發明之專利權。

由水至陸試驗無線電話，水陸相隔四百哩，可以對談，係在船舶「亞美利加」號實地試驗所得之成績。

一九二三 三月，美國斯提份茲工業學校教授海市爾汀氏在美國無線電俱樂部演講配諧平差射電週率接收法。未幾，領得關於該發明之專利權。

三極真空管本年大爲進步，短波之利益，漸見顯著，應用愈廣。麥克米倫 (Macmillan) 氏坐汽船波敦號赴北極探險，與美國相隔數千哩，在冰天雪地中，能以極微弱之電力短波，直接與美國多處電臺通信，在長夜漫漫中，聽聆美國廣播臺之歌曲。是年起除美國以外，各國方起始對無線電廣播事業發生興趣。

- 一九二四 一月，美國大湖一帶暴風，電線被摧，鐵路藉無線電爲傳遞行車消息之用。
 二月，美國西屋公司廣播臺 KDKA 發送歌曲演說，英國接收之後，重發一次，爲英國公衆娛樂之用。
 同月，同電臺之廣播節目，英國繼電重發之後，爲印度加爾各塔地方收得。
 十一月，無線電照相，由發明家來權氏在紐約倫敦作公開之試驗，可稱首次之成功。
- 一九二五 美國本年無線電製造工業所出之貨品，約值五萬萬美金之鉅。
- 一九二六 英美兩國間之無線電照相事業，正式營業。紐約時報首先登載該種照片爲新聞之用。
- 一九二七 有線與無線傳形實現。
- 一九三〇 雙方交通之傳形與傳聲公開試演。
- 一九三一 束射定向交通 (42 公分波長 4 瓦特)。

附錄三 國際協定無線電報號碼

凡 例

- (一)每畫之時間,等於三點。
- (二)前字與後字之空隙,等於五點。
- (三)每字之內,前字母與後字母之空隙,等於三點。
- (四)本字母畫與點相互間,等於一點。

(甲)字母

A	. —	B	— . . .
C	— . — .	D	— . .
E	.	F	. . — .
G	— — .	H	. . . .
I	. .	J	. — — —
K	— . —	L	. — . .
M	— —	N	— .
O	— — —	P	. — — .
Q	— — . —	R	. —
S	. . .	T	—
U	. . —	V	. . . —
W	. — — —	X	— . . —
Y	— . — —	Z	— — . .

(乙)數目大寫

1	. — — — —	2	. . — — —
---	-----------	---	-----------

3 . . . — —

5

7 — — — . . .

9 — — — — .

4 —

6 — . .

8 — — — — .

0 — — — — —

數目小寫

1 . —

3 . . . — —

5

7 — — — . . .

9 — .

2 . —

4 —

6 —

8 — .

0 —

(丙)句讀標記

.

; — . — . — .

, . — . — . —

: — — —

? . . — — . . .

! — — — . . — — —

" "

, . — — — — .

—

() — . — — — —

- — —

-- — —

附錄四 國際協定無線電臺呼號分配表

(一九二七年華盛頓萬國無線電會議修正)

國	名	呼 號
Chile	(智利)	C A A-C E Z
Canada	(加拿大)	C F A-C K Z
Cuba	(古巴)	C L A-C M Z
Morocco	(摩洛哥)	C N A-C N Z
Bolivia	(波立維亞)	C P A-C P Z
Portuguese Colonies	(葡萄牙屬地)	C R A-C R Z
Portugal	(葡萄牙)	C S A-C U Z
Roumania	(羅馬尼亞)	C V A-C V Z
Uruguay	(烏拉圭)	C W A-C X Z
Monaco	(蒙乃哥)	C Z A-C Z Z
Germany	(德意志)	D
Spain	(西班牙)	E A A-E H Z
Ireland	(愛爾蘭)	E I A-E I Z
Liberia	(利比利亞)	E L A-E L Z
Estonia	(愛斯當利亞)	E S A-F S Z
Ethiopia	(愛索比亞)	E T A-E T Z
France and Colonies and Protectorates	(法蘭西及附屬地保護國)	F
Great Britain	(英國)	G
Hungary	(匈牙利)	H A A-H A Z

Switzerland	(瑞士)	H B A-H B Z
Ecuador	(依閣杜)	H C A-H C Z
Haiti	(海甸)	H H A-H H Z
Dominican Republic	(杜密尼樓共和國)	H I A-H I Z
Colombia	(哥倫比亞)	H J A-K K Z
Honduras	(抗杜刺斯)	H R A-H R Z
Siam	(暹邏)	H S A-H R Z
Italy and Colonies	(意大利及屬地)	I
Japan	(日本)	J
United States of America	(美利堅合衆國)	K
Norway	(挪威)	L A A-L N Z
Argentine Republic	(阿根廷共和國)	L O A-L V Z
Bulgaria	(布加利亞)	L Z A-L Z Z
Great Britain	(英國)	M
United States of America	(美利堅合衆國)	N
Peru	(祕魯)	O A A-O B Z
Finland	(芬蘭)	O H A-O H Z
Czechoslovakia	(捷克斯拉夫)	O K A-O K Z
Belgium and Colonies	(比利時及屬地)	O N A-O T Z
Denmark	(丹麥)	O U A-O Z Z
Netherlands	(荷蘭)	P A A-P I Z
Curacua	(克刺古)	P J A-P J Z
Dutch East Indies	(荷屬東印度羣島)	P K A-P O Z
Brazil	(巴西)	P P A-P Y Z
Surinam	(蘇令門)	P Z A-P Z Z
Abbreviation	(縮語)	Q
U. S. S. R.	(蘇維埃俄國)	R A A-R Q Z
Persia	(波斯)	R V A-R V Z
Republic of Panama	(巴拿馬共和國)	R X A-R X Z
Lithuania	(立索尼亞)	R Y A-R Y Z
Sweden	(瑞典)	S A A-S M Z
Poland	(波蘭)	S P A-S P Z
Egypt	(埃及)	S U A-S U Z

Greece	(希臘)	SVA-SZZ
Turkey	(土耳其)	TAA-TCZ
Iceland	(愛斯蘭)	TFA-TFZ
Guatemala	(閣脫馬刺)	TGA-TGV
Costa Rica	(閣斯脫立加)	TIA-TIZ
Territory of the Saar Basin	(薩培新)	TSA-TSZ
Hedjaz	(海枷)	USA-UHZ
Dutch East Indies	(荷屬東印度羣島)	UIA-UKZ
Luxembury	(盧森堡)	ULX-ULZ
Kingdom of Serbs, Croats and Slovenes	(疏勃克路士, 斯路文王國)	UNA-UNZ
Austria	(奧國)	UOA-UOZ
Canada	(加拿大)	VAA-VGZ
Australia	(澳大利亞洲)	VHA-VMZ
Newfoundland	(紐芬蘭)	VOA-UOZ
British Colonies and Protectorates	(英屬地及保護國)	VPA-VSZ
British India	(英屬印度)	VTA-VWZ
United States of America	(美利堅合眾國)	W
Mexico	(墨西哥)	XAA-XAZ
China	(中華民國)	XGA-XUZ
Afghanistan	(阿富汗)	YAA-YAZ
New Hebrides	(新希伯來)	YHA-YHZ
Irak	(依刺克)	YIA-YIZ
Latvia	(臘德維亞)	YLA-YLZ
Danzig	(旦西噠)	YMA-YMZ
Nicaragua	(尼加刺枷)	YNA-YNZ
Republic of El Salvador	(愛薩伐度共和國)	YSA-YSZ
Venezuela	(文耐緒刺)	YVA-YVZ
Albania	(愛爾彭尼亞)	ZAA-ZAZ
New Zealand	(紐西蘭)	ZKA-ZMZ
Paraguay	(帕刺加愛)	ZPA-ZPZ
Union of South Africa	(南非洲聯邦)	ZSA-ZUZ

附錄五 無線電報縮語表

(一)各項業務通用縮語

縮 語	問 句	答 句 或 通 話
Q R A	貴臺何名?	本臺名……。
Q R B	貴臺距本臺遠近如何?	本臺距貴台約……海里。(……公里)
Q R C	貴臺報費歸入何公司(或何管理處)區內?	本臺報費應歸……公司。(或……管理處)
Q R D	貴臺何往?	本臺往……。
Q R E	貴臺屬於何國?	本臺屬於……國。
Q R F	貴臺來自何處?	本臺來自……。
Q R G	請將本臺準確波長為若干公尺,(或週率為每秒若干基羅週)告知本臺。	貴臺準確波長為……公尺。(或週率為……基羅週)
Q R H	貴臺準確波長為若干公尺?(或週率為若干基羅週)	本臺準確波長為……公尺。(或週率為……基羅週)
Q R I	本臺聲調惡劣否?	貴臺聲調惡劣。
Q R J	貴臺收報困難否?本臺信號太弱否?	本臺不能收到貴臺電報,貴臺信號太弱。
Q R K	貴臺收報尚易否?本臺信號尚佳否?	本臺收報尚易,貴臺信號尚佳。
Q R L	貴臺忙否?	本臺忙甚,或,(本臺忙於……)請勿騷擾
Q R M	貴臺被騷擾否?	本臺現被騷擾。
Q R N	貴臺被天電騷擾否?	本臺現被天電騷擾。

QRO	本臺須增電力否?	請增電力。
QRP	本臺須減電力否?	請減電力。
QRQ	本臺須拍發稍速否?	請拍發稍速。(或請每分鐘拍發……字)
QRS	本臺須拍發稍慢否?	請拍發稍慢。(或請每分鐘拍發……字)
QRT	本臺須停止發報否?	請停止發報。
QRU	貴臺對本臺有事傳遞否?	本臺對貴臺並無何事傳遞。
QRV	本臺須拍發一串V字否?	請拍發V字一串。
QRW	須本臺轉臺…以貴臺現正相呼否?	請告……以本臺現正相呼。
QRX	本臺須待否? 貴臺何時再呼本臺?	請待本臺與……通訊之完畢, 本臺即呼貴臺。(或於……點鐘時呼喚貴臺)。
QRY	本臺應輪第幾?	貴臺應輪第……。(或用他項表示)
QRZ	本臺為誰所呼?	貴臺為……所呼。
QSA	本臺信號強度如何? (1至5)	貴臺信號強度為……。(1至5)
QSB	本臺信號強度時時變遷否?	貴臺信號強度常變。
QSC	本臺信號有時完全消滅否?	貴臺信號有時完全消滅。
QSD	本臺發報手法惡劣否?	貴臺發報手法惡劣, 貴臺信號全不能讀。
QSE	本臺信號明白否?	貴臺信號混淆。
QSF	本臺自動發報尚佳否?	貴臺自發報, 發生衰落現象。
QSG	本臺發報, 須以五份或十份為一次否? (或用他項表示)	貴臺發報, 請以五份或十份為一次。(或用他項表示)
QSH	須本臺每次祇發一電, 並重拍二次否?	請每次祇發一電, 並重拍二次。
QSI	本臺得更換發報, 不須重拍否?	請更換發報, 不須重拍。
QSJ	發往……電報, 貴臺及陸線電費, 每字共須若干法郎?	發往……電報, 本臺及陸線電費, 每字共須……法郎。
QSK	本臺須中止通信否? 貴臺何時再呼本臺?	請中止報務, 本臺於……(點鐘)再呼貴臺。
QSL	貴臺能給收報憑據於本臺否?	茲發收報憑據於貴臺。
QSM	貴臺收到本臺收報憑據否?	本臺未收到貴臺之收報憑據。
QSN	貴臺現能收到本臺電報否? 本臺仍須繼續注聽否?	本臺現尚不能收到貴臺電報, 請繼續注聽。

Q S O	貴臺能與……直接(或經……而)通信否?	本臺能與……直接(或經……而)通信。
Q S P	貴臺能免費代轉……否?	本臺能免費代轉……。
Q S Q	每字或每組祇須拍發一次否?	每字或每組請祇拍發一次。
Q S R	貴臺曾注意來自……之遇險呼號否?	自……發來之遇險呼號,曾經……加以注意。
Q S U	本臺須用A1. A2. A3. 或B種……公尺(……基羅週)之電波發報否?	請用……公尺(或……基羅週)之A1. A2. A3. 或B種電波發報,本臺現正注聽貴臺電報。
Q S V	本臺須移子……公尺(或……基羅週)之電波,以拍發此後電報否?於拍發V字一串後,是否繼續使用。	請移至……公尺(或……基羅週)之電波,以拍發此後電報,並於拍發V字一串後,繼續使用。
Q S W	請用……公尺(或……基羅週)之A1. A2. A3. 或B種電波發報。	本臺將用……公尺(或……基羅週)之A1. A2. A3. 或B種電波發報,請繼續注聽。
Q S X	本臺波長(或週率)常變否?	貴臺波長(或週率)常變。
Q S Y	本臺須用……公尺(或……基羅週)之電波發報,而不變波長否?	請用……公尺(或……基羅週)之電波發報,而不必變波長。
Q S Z	每字每組須拍發二次否?	每字或每組請發二次。
Q T A	須刪去第……號電報,作為未發否?	請刪去第……號電報,作為未發。
Q T B	所計算字數與貴臺符合否?	本臺所計字數,與貴臺不符,茲特重拍每字之第一字址,及每數字第一數碼。
Q T C	貴臺有若干電報須發?	本臺有電……份拍至貴臺(或拍致……)。
Q T D	承認貴臺字數計算之通知,業已收到否?	承認本臺字數計算之通知已收到。
Q T E	本臺準確方向何如?(或)本臺對於……之準確方向何如?	貴臺之準確方向為……度。(或)貴臺對於……之準確方向為……度,時在……。(點鐘)
Q T F	請根據貴臺轄下各測向電臺所測方向將本臺位置見示。	根據本臺轄下各測向電臺所測方向,貴臺現在緯度……經度……。
Q T G	請用……公尺(或……基羅週)之電波,拍發貴臺呼號一分鐘。以便本臺測定貴臺方向。	本臺現用……公尺(或……基羅週)之電波,拍發本臺呼號一分鐘,以便貴臺測向。
Q T H	貴臺現在何經緯度?(或用他項表示)	本臺現在為緯度……經度……。(或用他項表示)。
Q T I	貴臺準確駛行方向何如?	本臺準確駛行方向為……度。
Q T J	貴臺速率如何?	本臺速率為每小時……海里。(或公里)。
Q T K	……對於貴臺之準確方向如何?	……對於本臺之準確方向為……度,時在……。(點鐘)
Q T L	請發無線電信號,以便本臺測定對於射向電臺之方向。	本臺現發無線電信號以便貴臺測定對於射向電臺之方向。

Q T M	請發無線電信號及水底傳聲信號，以便本臺測定方向及距離。	本臺現發無線電信號及水底傳聲信號以便貴臺決定方向及距離。
Q T N	貴臺能測定本臺（或……）對於貴臺之方向否？	本臺不能測定貴臺（或……）對於本臺之方向。
Q T P	貴臺即將入港（或船塢）否？	本臺即將入港。（或船塢）。
Q T R	現在準確時刻何如？	現在準確時刻為……。
Q T S	貴臺對於本臺之準確方向何如？	本臺對於貴臺之準確方向為……度。時為……。（點鐘）
Q T U	請示貴臺之通信時間？	本臺收發電報自……起至……止。

(二)航空無線電用縮語

Q A A	貴臺何時可抵……？	本臺抵……約在……。（點鐘）
Q A B	貴臺係往……否？	本臺係往……。（或）請往……。
Q A C	貴臺係回……否？	本臺係回……。（或）請回……。
Q A D	貴臺何時離……。（始航地名）	本臺離……。（始航地名）時為……。（點鐘）
Q A E	貴臺有……（航空電臺之呼號）之消息否？	本臺未得……（航空電臺之呼號）之消息。
Q A F	貴臺何時駛經……？	本臺駛經……，時為……。（點鐘）
Q A H	貴臺高度若干？	本臺高度為……公尺。（或用他項表示）。
Q A I	本臺附近飛機有發信號者否？	貴臺附近飛機無拍發信號者。
Q A J	須搜求本臺附近之另一飛機否？	請尋貴臺附近之另一飛機。（或）請尋……，（航空電臺呼號）該機前曾飛近……，（或飛向……）時為……。（點鐘）
Q A K	貴臺用何項波長，拍發氣象警告電報？	本臺將用……公尺（或……基羅週）之電波，拍發氣象警告電報。
Q A L	貴臺將於……降落否？	本臺將於……降落。（或）請於……降落。
Q A M	貴臺能將……（觀象臺所在地名）最近氣象報告之關於晴雨者，通知本臺否？	此為（觀象臺所在地名）最近氣象報告之關於晴雨者。
Q A N	貴臺能將……（觀象臺所在地名）最近氣象報告之關於表面風者，通知本臺否？	此為（觀象臺所在地名）最近氣象報告之關於表面風者。
Q A O	貴臺能將……（觀象臺所在地名）最近氣象報告之關於上層風者，通知本臺否？	此為（觀象臺所在地名）最近氣象報告之關於上層風者。
Q A P	本臺須繼續注聽貴臺（或……）在……公尺（或……基羅週）之電波否？	請繼續注聽本臺（或……）之……公尺（或……基羅週）之電波。
Q A Q	貴臺急欲第……號電報（或用其他表示）之覆電否？	本臺急欲第……號電報（或用他項表示）之覆電。

QAR	須本臺為貴臺答覆否？	請代本臺答覆……。
QAS	本臺須發第……號電報（或用他項表示）於……否？	發第……號電報（或用他項表示）於……。
QAT	本臺須繼續發報否？	發報前請注聽以貴臺現被騷擾也。（或）發報前請注聽以貴臺與……同時發報也。
QAU	貴臺收得……之最後電報如何？	本臺收到……之最後電報為……。
QAV	貴臺現呼本臺否？（或）貴臺現呼……（航空電臺呼號）否？	本臺現呼貴臺。（或）本臺現呼……（航空電臺呼號）
QAW	本臺於……（點鐘）前不須注聽否？	……（點鐘）前，請不必注聽。
QAX	貴臺收到……（航空電臺之呼號）之緊急信號否？	本臺曾收到……（航空電臺呼號）之緊急信號，時為……（點鐘）。
QAY	貴臺收到……（航空電臺呼號）之遇險信號否？	本臺曾收到……（航空電臺呼號）之遇險信號，時為……（點鐘）。
QAZ	值此風雨，貴臺能收報否？	現值風雨，本臺不能收報，暫停注聽。

(三) 縮語拾零

縮語	意	義
C	不誤，然	
N	誤，否	
P	移動電臺私電標識（用於電前）。	
W	字。	
AA	『凡……以後』（用於問號後，以請求重拍。）	
AB	『凡……前』（用於問號後，以請求重拍。）	
AL	『方拍出者』（用於問號後，以請求重拍。）	
BN	『凡在……問者』（用於問號後，以請求重拍。）	
BQ	請求更正之覆電標識。	
CL	『本臺現停收發』。	
CS	呼號（用以請求重拍呼號者）。	
DB	『貴臺不在本臺測量範圍內，故不能測定貴臺方向。』	
DC	『貴臺最低信號，即可測定方向。』	

D F	貴臺在……(點鐘)之方向為……度,但在本臺測量儀器之可疑範圍內,恐有兩度之錯誤。
D Q	貴臺如發見所測方向有誤,請即通知本臺。
D I	貴臺信號不良,所測方向恐有錯誤。
D J	現有騷擾,所測方向恐有錯誤。
D L	貴臺在……(點鐘)時之方向為……度,但在本臺之測量儀器之可疑範圍內。
D O	方向恐誤,稍遲(或於……點鐘)請通知本臺,再行測定。
D P	距離五十哩以上,定向恐有兩度之誤。
D S	貴臺最低信號太寬,請調配發報機。
D T	貴臺最低信號太寬,本臺不能測定貴臺方向。
D Y	本臺係兩邊的(bilateral),貴臺對於本臺之方向約幾度。
D Z	貴臺方向係相互的(reciprocal)(此祇供無線電定向總臺通知轄下分臺之用)。
E R	『此為……』(……為移動電臺之名,用以指示電報路由者)。
G A	『請恢復發報』(多用於固定業務)。
J M	如本臺可發報,請送書串為號,欲本臺停止發報請發點串『不得用於六百米突(即五百基羅週)之電波』。
M N	分鐘(用以表示等待之時間)。
N W	『本臺恢復發報』(多用於固定業務)。
O K	『我等符合』。
R Q	請求更正標識。
S A	航空電臺名之標識(用以拍發航行表示)。
S F	通空電臺名之標識。
S N	海岸電臺名之標識。
S S	船航電臺名之標識(用以拍發航行表示)。
T R	發出(或請求發出)關於移動電臺表示之標識。
U A	『我等符合否?』
W A	『……後之一字』(用於問號後,以請求重拍)。

WB	『……前之一字』（用於問號後，以請求重拍）。
XS	天電
YS	『請參看貴臺業務通知』。
ABV	『請用國際縮語以縮短電文』，或『請（或本臺）用短式，重拍數碼』。
ADR	住址（用於問號後，以請求重拍）。
CFM	『請承認』，或『本臺承認』。
COL	『請校對』，或『本臺校對』。
ITP	『標點符號，計入字數內。』
MSG	關於船舶業務電報之標識（用於電前）。
PBL	報頭（用於問號後，請求重拍）。
REF	『關於……』或『請參考……』
PRT	『請重拍』，或『本臺重拍』（用於請求重拍，或自行重拍全部或部分電報，而置通信標識於縮語後）。
SIG	具名（用於問號後，請求重拍）。
SVC	私人電報之業務通知標識（用於電文前）。
TFC	報務
TXC	電文（用於問號後以請求重拍）。

附錄六 國際協定萬國週率分配表

(一九二七年華盛頓萬國無線電會議協定)

週 率 每秒之基羅週 (Kilocycles/Sec.)	波 長 公 尺 (Meters)	業 務 類 別
10—100	30,000—3,000	固定業務
100—110	3,000—2,725	固定與移動業務
110—125	2,725—2,400	移動業務
125—150 ¹	2,400—2,000 ¹	海上公眾通信之移動業務
150—160	2,000—1,875	移動業務
161—194	1,875—1,550	(1) 廣播業務 (2) 固定業務 (3) 移動業務 應用此波帶時應遵照下項地域分配辦法 現有 300Kc/S 以下 (1,000 M. 以上) 之廣播臺均歸此帶 } 廣播 其他各地 { 固定業務 { 移動業務 地域分配辦法應承認其他各地在此波帶內之權利

		(1) 移動業務 (2) 固定業務 (3) 廣播
		應用此波帶時，應遵照下項地域分配辦法
194—285	1,550—1,050	歐洲 { (1) 關於航空移動業務 (2) 關於航空固定業務 (3) 非公眾通信之固定業務在 250—285 Kc/S (1,200—1,050M.) 以內 (4) 廣播業務在 194—224Kc/S (1550—1340M.) 以內
		其他各地 { (1) 非商用船舶之移動業務 (2) 關於航空之固定業務 (3) 非公眾通信之固定業務
285—315	1,050—950	射向電臺
315—350 ²	950—850 ²	關於航空移動業務
350—360	850—830	非公眾通信之移動業務
360—390	830—770	{ (1) 測向業務 (2) 其他不妨礙測向之移動業務
390—460	770—650	移動業務
460—485	650—620	移動業務(減幅波及無線電話除外)
480—51 ³	620—580 ³	移動業務(遭難, 呼叫等)
515—550	580—545	非公眾通信之移動業務
550—1300 ⁴	545—230 ⁴	減幅波及無線電話除外, 廣播
1,300—1,500	230—200	{ (1) 廣播 (2) 1,365 Kc/S (220m.) 專用於海上移動業務
1,500—1,715	200—175	移動業務
1,715—2,000	175—150	{ 移動業務 固定業務
2,000—2,250	150—133	業餘 移動與固定業務

2,250—2,750	133—109	移動業務
2,750—2,850	109—105	固定業務
2,850—3,500	105—85	移動與固定業務
		移動業務
3,500—4,000	85—75	固定業務
		業餘
4,000—5,500	75—54	移動與固定業務
5,500—5,700	54—52.7	移動業務
5,700—6,000	52.7—50	固定業務
6,000—6,150	50—48.8	廣播
6,150—6,675	48.8—45	移動業務
6,675—7,000	45—42.8	固定業務
7,000—7,300	42.8—41	業餘
7,300—8,200	41—36.6	固定業務
8,200—8,550	36.6—35.1	移動業務
8,550—8,900	35.1—33.7	移動與固定業務
8,900—9,500	33.7—31.6	固定業務
9,500—9,600	31.6—31.2	廣播
9,600—11,000	31.2—27.3	固定業務
11,000—11,400	27.3—26.3	移動業務
11,400—11,700	26.3—25.6	固定業務
11,700—11,900	25.6—25.2	廣播
11,900—12,300	25.2—24.4	固定業務
12,300—12,825	24.4—23.4	移動業務
12,825—13,350	23.4—22.4	移動與固定業務
13,350—14,000	22.4—21.4	固定業務
14,000—14,400	21.4—20.8	業餘
14,400—15,100	20.8—19.85	固定業務
15,100—15,350	19.85—19.55	廣播
15,350—16,400	19.55—18.3	固定業務
16,400—17,100	18.3—17.5	移動業務
17,100—17,750	17.5—16.9	移動與固定業務
17,750—17,800	16.9—16.85	廣播

17,800—21,450	16.85—14	固定業務
21,450—21,550	14—13	廣播
21,550—22,300	13.9—13.45	移動業務
22,300—23,000	13.45—13.1	移動與固定業務
23,000—28,000	13.1 —10.7	未定
28,000—30,000	10.7 —10	業餘與試驗
30,000—56,000	10—5.35	未定
56,000—60,000	5.35—5	業餘與試驗
60,000—	5—	未定

1. 143Kc/S(2,100 m.)是連續長波移動電臺之呼叫電波
2. 333Kc/S(900m.)為國際航空移動業務呼叫電波
3. 500Kc/S(600m.)為國際船舶呼叫與遇險呼號,若不妨礙呼叫與遇險呼號,亦可用於其他業務
4. 550—1,300Kc/S(545—230m.)帶如不妨礙一國之廣播業務,亦可用於移動業務。

(註)一週率自 6,000 至 23,000Kc/S(即波長自 50 至 13m.)之短波,最宜於長距離通信之用,故該波帶宜保留為長距離固定業務之需。

附錄七 美規實心銅線表

美規(A. W. G. 亦即 B. & S.) 導線任何連續兩號之直徑之比爲一常數。任何號與其
次一號直徑之比爲 1.123, 橫截面積之比約爲 1.25 或 $\frac{5}{4}$ 。

美規 導線號數	米耳直徑	圓米耳 面積	每吋長所繞圈數			歐姆電阻 每千呎	安培荷量 電流頁
			單紗包	雙紗包	漆包		
0000	460	211,600	2.14	2.10	.....	0.0499	211.6
000	409.6	167,800	2.39	2.34	.....	0.0630	167.8
00	364.8	133,100	2.68	2.62	.....	0.0794	133.1
0	324.9	105,509	3.00	3.00	.....	0.1002	105.5
	289						
1	289.3	83,690	3.33	3.25	.....	0.1264	83.7
2	257.6	66,370	3.75	3.64	.....	0.1593	66.4
3	229.4	52,630	4.18	4.03	.....	0.2009	52.6
4	204.3	41,740	4.67	4.51	.....	0.2533	41.7
5	181.9	33,100	5.21	5.00	.....	0.3195	33.1
6	162.0	26,250	5.84	5.62	.....	0.4028	26.3
7	144.3	20,820	6.54	6.25	.....	0.5080	20.8
8	128.5	16,510	7.35	7.05	7.7	0.6405	16.5
9	114.4	13,090	8.26	7.87	8.6	0.8077	13.1
10	101.9	10,380	9.25	8.85	9.6	1.0180	10.4
11	90.74	8,234	10.30	9.80	10.8	1.2840	8.2
12	80.81	6,530	11.50	10.90	12.1	1.6190	6.5

13	71.96	5,178	12.80	12.20	13.5	2.0420	5.2
14	64.08	4,107	14.30	13.50	15.1	2.5750	4.1
15	57.07	3,257	.....	.....	16.9	3.2470	3.3
16	50.82	2,583	17.90	16.70	18.9	4.0940	2.6
17	45.26	2,048	.....	.....	21.3	5.1630	2.0
18	40.30	1,624	22.20	20.40	23.8	6.5100	1.6
19	35.89	1,288	.....	.....	26.5	8.2100	1.3
20	31.96	1,022	27.00	24.40	29.7	10.3500	1.0
21	28.46	810.1	.....	.....	.....	13.050	0.81
22	25.35	642.4	33.90	30.00	37.2	16.46	0.64
23	22.57	509.5	.....	.....	.....	20.76	0.51
24	20.10	404.0	41.50	35.60	46.5	26.17	0.41
25	17.90	320.4	.....	.....	.....	33.00	0.31
26	15.94	254.1	50.20	41.80	58.5	41.62	0.25
27	14.20	201.5	.....	.....	.....	52.48	0.20
28	12.64	159.8	60.20	48.60	73.5	66.17	0.16
29	11.26	126.7	.....	.....	.....	83.44	0.13
30	10.03	100.5	71.40	55.60	91.7	105.20	0.10
31	8.928	79.70	.....	.....	.....	132.7	0.079
32	7.950	63.21	83.40	62.90	115.0	167.3	0.630
33	7.080	50.13	.....	.....	.....	211.0	0.500
34	6.305	39.75	97.10	70.00	145.0	265.0	0.039
35	5.615	31.52	111.00	.....	.....	335.5	0.032
36	5.000	25.00	111.00	77.00	180.0	423.0	0.025
37	4.453	19.83	.....	.....	.....	533.4	0.020
38	3.965	15.72	125.00	83.30	227.0	672.6	0.016
39	3.531	12.47	.....	.....	.....	848.1	0.012
40	3.145	9.888	141.00	90.30	286.0	1069.0	0.009
41	2.75	7.5625	.....	.....	.....	1323.0	0.008
42	2.50	6.2500	.....	.....	.....	1667.0	0.006
43	2.25	5.0625	.....	.....	.....	2105.0	0.005
44	2.00	4.0000	.....	.....	.....	2655.0	0.004
45	1.75	3.0625	.....	.....	.....	.....	.....
46	1.50	2.2500	.....	.....	.....	.....	.....

附錄八 英文無線電學參考書目一斑

(一)通俗類

1. "Practical Radio", by J. A. Moyer, McGraw Hill Book Company, Inc., New York, N. Y., U. S. A.
2. "Fundamentals of Radio", by James L. Thomas, D. Van Nostrand Co., New York, N. Y. U. S. A.
3. "Radio-phone Receiving", by E. Hansman D. Van Nostrand Co., New York, N. Y., U. S. A.
4. "Practical Wireless Telegraphy", by E. E. Bucher, Wireless Press, New York, N. Y., U. S. A.
5. "Radio for Everybody", by A. C. Lescarbourea, Scientific American Publishing Co., New York, N. Y., U. S. A.
6. "Radio Handbook", by Dellinger & Wittmore, Lefax Inc., Philadelphia, Pa., U. S. A.
7. "Radio Receiving for Beginners", by Anodgrass, & Camp, the Macmillan Co., New York, N. Y., U. S. A.
8. "An Introduction to Radio", Wireless Press, Inc., New York, N. Y., U. S. A.
9. "Radio Reception", by A. J. Marx, Wireless Press, Inc., New York, N. Y., U. S. A.
10. "Wireless Telegraphy and Telephony Popularly Explained", by W. W. Mansil, and C. R. Underhill, D. Van Nostrand Co., New York, N. Y., U. S. A.

(二)初學類

1. "Robinson's Manual of Radio Telegraphy and Telephony", by U. S. Naval Institute, Anapolis, Ma., U. S. A.
2. "Radio Telephony for Amateurs", by Stuart Ballantine, David Mackay Co., Philadelphia, Pa, U. S. A.
3. "Principles of Radio Communications" by the Bureau of Standards, Government Printing Office, Washington, D. C., U. S. A.
4. "Elements of Radio Communications", by E. W. Stone, D. Van Nostrand P., New York, N. Y., U. S. A.
5. "Wireless for the Amateur", by J. Roussel, D. Van Nostrand Co., New York, N. Y., U. S. A.
6. "The Radio Amateurs Handbook", by American Radio Relay League, Hartford, Comm., U. S. A.
7. "Elements of Radio Communications", by J. H. Morecroft, John Wiley and sons, New York, U. S. A.
8. "Radio Engineering Principles", by Henry Lauer and H. L. Brown McGraw-Hill Book Co. Inc., New York, N. Y., U. S. A.
9. "Radio Receiving Tubes", by Moyer and Wostrel, McGraw-Hill Book Co. Inc., New York, N. Y., U. S. A.
10. "Practical Radio-telegraphy", by Nilson and Harning, McGraw-Hill Book Co. Inc. N. Y., U.S. A.
11. "Radio Operating Questions and Answers", by Nilson and Harning, McGraw-Hill Book Co. Inc., N. Y., New York.
12. "Experimental Wireless Stations", by P. E. Edleman, Norman W. Henley Publishing Co. New York, N. Y., U. S. A.
13. "Radio Telephony", by A. N. Goldsmith, Wireless Press, Inc., New York, N. Y., U. S. A.
14. "Prepared Radio Measurements", by R. R. Batcher, Wireless Press, Inc., New York, N. Y. U. S. A.
15. "The Elements of Radio Communication", by O. F. Brown, Oxford University Press, England
16. "Henley's 222 Radio Circuit Designs", by Andersen, Lewis V Mills, Norman

- W. Henley Publishing Co., New York, N. Y., U. S. A.
17. "Henley's Workable Receivers", by Andersen, Lewis and Mills, Norman W. Henley Publishing Co., New York N. Y., U. S. A.
 18. "Wireless Telegraphy", by R. D. Bangay, The Wireles Ltd., London, England
 19. "Elements of Radio Telephony", by W. C. Ballard, Jr., McGraw-Hill Book Co., Inc., New York, N. Y., U. S. A.
 20. "1001 Radio Questions and Answers" by Radio News.
 21. "Radio Physics Course", by A. R. Ghiradi, Radio Publishing Co. N. Y. C. U. S. A.

(三)高深類

1. "Radio Manual", by G. E. Sterling, D. Van Nostrand Co., New York, N. Y., U. S. A.
2. "Modern Theory and Practice in Radio Communications", by G. D. Robinson, U. S. Naval Institute Anapolis Md., U. S. A.
3. "Radio Instruments and Measurements", by Bureau of Standards Circular No. 74, Government Printing Office, Washington, D. C. U. S. A.
4. "Wireless Valve Transmitters", by W. James, Jlife & Sons, Ltd., London, England.
5. "Principles of Radio-Telegraphy", by Cyril M. Jansky, McGraw-Hill Book Co., Inc., New York, N. Y., U. S. A.
6. "Principles of Radio Communications", by J. H. Morecroft, John Wiley and Sons, Inc., New York, N. Y., U. S. A.
7. "Wireless Telegraphy", by Rupert Stanley, Longmans, Green and Co., London England, Vol I, General Theory and Practice, Vol. II, Valves and Valve Apparatus.
8. "Radio Communication", by John Mills, McGraw-Hill Book Co., Inc, New York, N. Y., U. S. A.
9. "Principles and Practice of Wireless Transmission", by G. Parr, D. Van Nostrand Co., New York. N. Y., U. S. A.
10. "Wireless Telegraphy and Telephony", by W. H. Eccle. D. Van Nostrand Co., New York, N. Y., U. S. A.
11. "Wireless Telegraphy", by J. Zenneck translated into English by A. E.

- Seelig, McGraw-Hill Book Co. Inc., New York, N. Y., U. S. A.
12. "The Thermo-ionic Vacuum tube and its Applications", by H. J. Van der Bijl, McGraw-Hill Book Co., New York, N. Y., U. S. A.
 13. "Direction and Positions Finding by Wireless", by R. Keen, Wireless Press Ltd., London, England.
 14. "The Principles of Electric Wave Telegraphy and Telephony", by J. A. Fleming, Longmans, Green Co., London England.
 15. "Electric Oscillations and Waves", by G. W. Pierce, McGraw-Hill Book Co., New York, N. Y., U. S. A.
 16. "The Radiotron Manual", by Radio Corporation of America, New York, N. Y., U. S. A.
 17. "Short Waves" by Charles R. Lentz and Robert B. Gable, C. R. Lentz, Inc., Altoona, Pa., U. S. A.
 18. "Wireless Principles and Practice" by L. S. Palmer, Longmans Green Co., London.
 19. "Radio Engineering" by F. E. Terman, McGraw-Hill Book Co. N. Y. C. U. S. A.
 20. "Experimental Radio Engineering" by J. H. Morecroft, J. Wiley & Sons, N. Y. C. U. S. A.
 21. "Theory of Thermo-ionic Vacuum tube" by Chaffee, McGraw-Hill Book Co. N. Y. C. U. S. A.
 22. "Communication Engineering" by Everett, McGraw-Hill Book Co. N. Y. C. U. S. A.
 23. "The Radio Engineering Hand Book" by K. Henney. McGraw-Hill Book Co. N. Y. C. U. S. A.
 24. "Short Wave Wireless Communication" by A. W. Ladner and C. R. Stoner, Chapman & Hall, Ltd, London.

附錄九 本編專門名詞英華對照表

A

Absolute temperature	絕對溫度
Absorption method	吸收法
Accelerating force	加速力
Active materials	活動質料
Actual height	正確高度
A. C. hum	交流雜聲
A. C. tube	交流管
Aging voltage	益壽電壓
Air gap	空氣隙
Alexanderson's high frequency generator	亞氏高週率交流發電機
Algebraic sum	代數和
Alternator	交流發電機
Ampere	安培
Ampere hour	安培小時
Ammeter	安培表
Amplification factor	放大因數
Amplifier	放大器
Anode grid	屏柵
Antenna resistance	天線電阻
Antenna systems	天線

Aperiodic	非振盪的
Applications to marine & aerial navigation service	航海及航空之應用
Arc	電弧
Armature	銜鐵
Armature	電樞
Armstrong's circuit	奧斯得 <u>耶</u> 氏線路
Artificial antenna	人造天線
Assymetrical conductivity	不對稱傳導性
Atom	原子
Attenuation	衰減現象
Atomic theory	原子學說
Audibility	成音程度
Audio frequency amplification	成音週率放大器
Autodyne	自差法
Automatic volume control	自動音量控制

B

Ballancing coil	平衡線圈
Ballast tube	維壓管
Band exclusion filter	界外濾波器
Band pass filter	界內濾波器
Bank winding	堆集繞法
Barium oxide	氧化鋇
Barkhausen type	<u>柏</u> 氏式
Basket type	籃式
Battery eliminator	電池免除器
Bearing	軸承
Beat	週率差
Bi-lateral	雙方向
Binding post	繫柱
Blocking condenser	阻隔電容器
Blower	打風機
Boost	輔助

Break-down	破裂
Broadcast receivers	收音機
Buzzer	蜂音器
C	
Cage antenna	籠式天線
Calcium oxide	氧化鈣
Calorie	加路里
Cam	凸輪
Capacity	電容量
Capacitive coupling	電容交連
Capacitive reactance	電容迴阻
Carborundum	矽炭
Carrier current	主流
Carrier wave	主波
Cascade amplification	連續放大
Cathode grid	負柵極
Characteristic curve	特性曲線
Chemical	化學的
Chemical energy	化學能力
Choke coil	阻流圈
Class A amplifier	A類放大器
Class B amplifier	B類放大器
Class C amplifier	C類放大器
Closed circuit	通路
Close coupling	緊交連
Coefficient of coupling	交連係數
Coil antenna	線圈天線
Colpitt's circuit	克爾畢子氏線路
Commutator	整流環
Compensated method	解譜法
Compound	化合物
Concentrical	同圈式

Condenser	電容器
Condenser microphone	電容傳話器
Conductive coupling	電導交連
Conductor	導體
Cone type	圓錐式
Constant current modulation	定量電流調幅法
Continuons wave (C. W.)	連續波
Control grid	控制柵
Copper oxide rectifier	氧化銅整流器
Core	鐵心
Corona	電暈
Coulomb	庫倫
Counter voltage	反電壓
Coupling	交連
Crest	高光部
Cross sectional area	截斷面積
Crystal detector	晶體檢波器
Critical velocity	臨界速度
Current density	電流密度
Current feed	電流饋電式
Current operated device	電流式指示器
Cycle	週

D

Damped wave	減幅波
Damping effect	制盪作用
Decelerating force	減速力
Degree of magnetization	磁化程度
Deionization	游離
Decrement	減幅率
Dead end coil effect	死線圈效驗
Detuning method	解諧法
Dielectric	通感體
Dielectric constant	通感常數

Dielectric strength	絕緣能力
Dielectric resistance	通感電阻
Difference of electric voltage	電壓差
Differential field	逆聯磁場
Differential resistance	微分電阻
Direct coupling	直接交連
Direct current resistance	直流電阻
Directional characteristic	定向特性
Directional transmission	定向發射
Dissociated condition	游離狀態
Distortion	失真放大
Distributed capacity	分佈電容量
Double button microphone	雙路傳話器
Double circuit	雙路
Dr. L. W. Austin	奧斯汀博士
Drop of voltage method	電壓降法
Dry cell	乾電池
Duplex-diode pentode	孛生二極五極管
Duplex-diode triode	孛生二極三極管
Dynamic characteristic curve	活動特性曲線
Dynamotor	電動發電機

E

Echo	回聲
Echo signal	回聲信號
Eddy current	渦流
Effective height	實效高度
Effective resistance	實效電阻
Efficiency	效率
Eienstien	安斯坦氏
Elasticity	彈性
Electric battery	電池組
Electric cells	電池

Electric current	電流
Electric field	電場
Electric generator	發電機
Electric hysteresis	電滯
Electric lines of force	電力線
Electric machine	電機
Electric motor	電動機
Electric resistance	電阻
Electric valve	電閥
Electric voltage	電壓
Electric wave filters	電濾波器
Electrical axis	電軸
Electrolyte	電解質
Electrolytic condenser	電解電容器
Electrolytic rectifier	電解整流器
Electromagnetic energy	電磁能力
Electromagnetic induction	電磁感應
Electrons	電子
Elements	原質
Electro-magnetic wave theory	電磁波原理
Electro-static energy	靜電能力
Emission test	散射試驗
Energy	能力
Energy radiation	電能放射
Envelope	外罩
Equal heterodyne	等差週率
Equivalent resistance	當量電阻
Equatorial plane	等距平面
Equivalent	當量
Escapement	擒縱機
Ether	以太
Even harmonics frequency	偶數次週率
Exciter unit	激勵部分

F

Fading	衰落現象
Fan antenna	扇形天線
Farad	法拉特
Faure process	法來氏法
Feed back coil	回授圈
Fidelity	忠實性
Field magnets	場磁鐵
Filament	燈絲
Flashing voltage	肅清電壓
Fly-wheel	飛輪
Focus	焦點
Forced lubrication	強迫潤滑法
Forced oscillation	強迫振盪
Four-electrode vacuum tube	四極真空管
Free electrons	自由電子
Free oscillation	自由振盪
Frequency	週率
Frequency doubler	週率加倍器
Full wave rectification	內波整向
Fundamental frequency	基本週
Fundamental wave	基本波
Fundamental wave-length	基本波長

G

Galena	硫化鉛
Galvanometer	測電表
Gas	氣體
Gang condenser	同軸電容器
Gill Morell type	傑氏摩氏式
Goldschmidts high frequency A. C. generator	哥氏高週率交流發電機
Grid	柵極

Grid condenser	柵路電容器
Grid Detection	柵極檢波
Grid leak resistance	柵漏電阻
Grid modulation	柵路調幅法
Ground	地線
Ground component	地面分力

II

Half wave rectification	半波整向
Honey comb type	蜂房式
Hard tube	硬管
Harmonic frequency	多次週率
Harmonic wave	多次波
Hartley's circuit	哈得雷氏線路
Heater tube	熱管
Heaviside layer	海氏層
Henry	亨利
Heissing's system of modulation	海信氏調幅法
Hertzian oscillator	郝志振盪器
Heterodyne	差週率
High frequency effective resistance	高週率實效電阻
High pass filter	界上濾波器
Hot wire ammeter	熱線電流表
Hydrometer	比重表
Hysteresis	滯磁

I

Image frequency	影像週率
Impedance	總阻
Impedance coupling	總阻交連
Impulses	衝擊
Induced current	感應電流
in phase	合相

Input circuit	輸入路
Input impedance	內路總阻
In synchronism	同步
Incandescence	白熱
Inductance	磁感量
Inductance coupling	磁感交連
Induction field	感應場
Inductive reactance	磁感迴阻
Inductor type alternator	感應式交流發電機
Insulator	絕緣體
Intensity of magnetization	磁化強度
Internal resistance	內路電阻
Interrupted continuous wave telegraphy or I. C. W. telegraphy	斷續等幅波電信
Interrupter	斷續器
Interrupter wave	斷續波
Inverse peak plate current	反高峯屏流
Inverted vacuum tube	倒用真空管
Iron sulphide	鐵硫磺

J

J. A. Fleming 佛來銘氏

K

Kennelly-Heaviside layer 開氏海氏層
 Key 電鍵
 K. C. 基羅週
 Kilo-cycle 基羅週
 Kinetic energy 運動能力

L

Laminated iron core 切片鐵心
 Land service 陸地通信
 Lead cells 鉛片蓄電池

Lead sulphide	鉛碲礦
Leakage	漏電
Lecher's bridge	萊鵠氏橋
Lee de Forest	德福勒斯特氏
Light wave	光波
Lightning arrester	避電器
Liquid	液體
Loading inductance	負荷感量
Local action	局部作用
Loop	線圈
Loop antenna	線圈天線
Loose coupling	寬交連
Loud speaker	放音器
Low pass filter	界下濾波器
Lower side band	下邊帶
M	
Magnesium	鎂
Magnetron	磁空管
Mass	質量
Master oscillator	主管振盪器
Master oscillator system	主管振盪制
Maximum peak plate current	最大高峯屏流
Mechanical energy	機械能力
Mechanical oscillation	機械振盪
Mechanical axis	機械軸
Me ₃ -cycle	兆週
Meissner's circuit	米字南氏線路
Meter	公尺或米突
Meter amperes	公尺安培
Micro-ammeter	兆分安培電流表
Microphone	傳話器
Microvolts per meter	每公尺兆分伏脫

Milli-ampere	千分安培
Milli-henry	千分亨利
Milli-ammeter	千分安培表
Millivolts per meter	每公尺千分伏脫
Micro-ampere	兆分安培
Micro-farad	兆分法拉特
Micro-henry	兆分亨利
Miscellaneous	各項應用
Mistuning	誤諧法
Mho	姆歐
Modulation	調幅
Motor generator set	電動發電連軸機
Multiple stage amplification	多級放大
Multiple tuned antenna	複諧天線
Mutual inductance	互感量
Mutual induction	互感應

N

Natural frequency	自然週率
Natural logarithm	自然對數
Natural logarithmic decrement	自然對數減幅波
Natural wave length	自然波長
Negative charges of electricity	負電荷
Negative ions	負(陰)離子
Negative resistance effect	負電阻效驗
Neon bulb	氖氣管
Neutrodyne	平差接收線路
Noise	雜聲
Non-oscillating regenerative amplification	不振盪回授放大
Non-radiating circuit	不放射電路
Non-reactive circuit	無迴阻電路
Neucleus	核心

O

Odd and even harmonic frequencies	奇偶次週率
Odd harmonic frequency	奇數次週率
Odd wave harmonic	奇數次波
Ohm	歐姆
Ohm's law	歐姆定律
Ohmic resistance	歐姆電阻
One stage amplification	一級放大
Open circuit	開路
Operating point	使用點
Optical axis	光軸
Oscillating grid	振盪柵
Oscillograph	攝波器
Oscillating arc	振盪弧
Oscillating circuit	振盪電路
Oscillating regeneration	振盪回授
Oscillator	振盪器
Output circuit	輸出路
Out of phase	不合相
Over-charge	過量充電
Over-discharge	過量放電

P

Parabolic reflector	拋物線反射器
Parallel	並聯
Parallel resistance	並聯電阻
Pentagrid converter	五柵變週率管
Pentode	五極管
Percentage of modulation	調幅百分比
Period	週時
Photo-electric cell	光電池
Phosphor bronze	磷銅錫合金
Pitch	極距
Plate	屏極

Plug	插頭
Piezo-electricity	壓電現象
Plante process	勃郎德氏法
Plate circuit modulation	屏極調幅法
Plate detection	屏極檢波
Polarization	分極
Poly-phase	多相
Portable type	攜帶式
Positive ions	正(陽)離子
Potential energy	位置能力
Potential operated device	電壓式指示器
Poulsen's arc	波爽氏電弧
Power	工率
Power amplification	電工率放大
Power condensers	強力電容器
Power equipment	電源設備
Power pentode	強力五極管
Power rating	核定工率
Primary circuit	正路
Primary coil	正圈
Primary electrons	一次電子
Production	發生
Propagation	推進
Protons	正電子
Push button	按鈕
Push pull amplifier	推換式放大器

Q

Quality	性質
Quartz crystal controlled master oscillator circuit	石英控制主管振盪電路
Quenching	熄滅
Quenched gap	熄滅火花隙

R

Radiated power	放射功率
Radial	半徑式
Radiated energy	放射能力
Radiation of efficiency	放射效率
Radiation field	放射場
Radiation resistance	放射電阻
Radio	射電
Radio broad-casting	無線電廣播
Radio compass	無線電定向器
Radio engineering	放射工程
Radio frequency amplification	射電週率放大法
Radio photo	無線電照相
Radio telephony	無線電話
Radio wave	無線電波
Reactivation	復原法
Reciprocal	反數
Receiver	接收機
Rectification	整流
Rectifier	整流器
Reduction gear	減速齒輪
Reflection	反射
Refraction	折射
Reflex amplification	回復放大法
Reflex circuit	回復線路
Resonance frequency	諧振週率
Restoration	復原法
Resultant current	結果電流
Reversible	還元
Revolving armature	旋轉動電子
Revolving field	旋轉磁場
Richardson's law	<u>立卻特遜氏定律</u>
Rotating gap	旋轉隙
Rotor	轉體

S

Saturation electron current	飽和電子流
Screen	網管
Screen grid	網柵
Secondary circuit	副路
Secondary coil	副圈
Secondary electrons	二次電子
Secondary emission	二次散射
Selectivity	選擇性
Self-excited generator	自勵發電機
Self-excited system	自勵制
Self-heterodyne	自差法
Self-induction	自感應
Self-inductance	自感量
Self-rectifying method	自整流法
Separate heterodyne	外差法
Separately-excited system	他勵制
Sensitivity	靈敏度
Series	串聯
Series feed	串聯饋電法
Sharp resonance	尖銳諧振
Shell-shaped magnet	殼式磁鐵
Short circuit	短路或碰線
Short wave radio	短波無線電
Signal to interference ratio	信號與騷擾比率
Silent zone	靜區
Silicon	矽石
Silicon steel	矽鋼
Single circuit	單路
Single phase	單相
Single side band telephony	單邊帶電話
Skin effect	集膚作用

Skip distance	越程
Sky component	天空分力
Slope of curve	曲線斜度
Slip rings	滑接環
Soft tube	軟管
Solar system	太陽系
Solenoid	螺圈
Solid	固體
Sound pressure	聲壓
Sound wave	聲波
Space charge	空間電荷
Space charge grid tube	空間電荷極管
Spark frequency	火花週率
Spark gap	火花隙
Spark transmitter	火花發射機
Speech amplifier	語音放大器
Spiral	旋形
State of strain	緊張狀態
Static	天電
Static characteristic curve	靜止特性曲線
Stationary field	固定磁鐵
Steady current	穩流
Steady value	穩值
Steam hammer	汽錘
Steel diaphragm	鋼質薄膜
Storage cells	蓄電池
Straight line frequency type	直線週率式
Straight line wavelength type	直線波長式
Stroke	行程
Strontium oxide	氧化鋇
Studio	音樂室
Super-regenerative amplification	超等回授放大
Super-short waves	超短波

Superheterodyne receiving circuit	超等外差接收線路
Suppressor grid	遏制柵
Suppressed carrier current transmission method	遏制主流發射法
Surface tension	水面拉力

T

T. A. Edison	愛迪生氏
Telegraph receiver	收報機
Telegraphy	等幅波無線電報
Television	傳形
The control equipment	控制設備
Thermal inertia	熱量惰性
Thermoionic	熱電式
Thermo-electricity	熱電
Thermo-junction twith galvanometer	熱電測電表
Thermostat	制溫器
Thimble	圓筒
Thorium	鈾
Three electrode vacuum tubes	三極真空管
Three states of matter	機質之三狀態
Thyratron	電閘管
Tikker	截波成聲器
Time constant	時間常數
Tone control	音調控制
Trans-oceanic service	越洋通信
Transformer	變壓器
Transformer coupling	變壓器交連
Tube amplifiers	真空管放大器
Tube-base	真空管管底
Tube internal capacity	管內電容量
Tube transmitters	真空管發射機
Tube receivers	真空管接收機
Tuned grid circuit	柵諧電路

Tuned plate circuit	屏諧電路
Tuned plate tuned grid circuit	諧屏諧柵電路
Tuned radio frequency	配諧高週率
Tuning	配諧
Two electrode vacuum tube	二極真空管
Two peaks	雙尖點

U

Umbrella antenna	傘形天線
Undamped wave	等幅波
Undamped wave radio telegraphy	等幅無線電報
Unilateral conductivity	偏傳導
Upper side band	上邊帶

V

Vacuum tube constant	真空管常數
Vacuum tube oscillator	真空管振盪器
Valley	谷
Variable μ tube	變 μ 管
Variometer	變互感圈
Vernier condenser	微分電容量
Voice modulated wave	語音調幅波
Volt	伏脫
Voltmeter	電壓表或伏脫表
Volts per meter	每公尺伏脫
Voltage amplification	電壓放大
Voltage amplification ratio	電壓放大比率
Voltage divider	分壓器
Voltage feed	電壓饋電式
Voltage regulator	電壓自制器

W

Water cooled vacuum tube	水涼真空管
--------------------------	-------

Wave band	波長帶
Wave detector	檢波器
Wave front	波前
Wave length	波長
Wave meter	波長表
Wave train	波羣
Wave trap	波圈
Watt	瓦特
Wheatstone bridge	惠斯頓橋
Windage loss	風力損失
Wireless engineering	無線電工程

Y

Yoke	轅輻
------	----