



無線電原理

中央人民政府
人民革命軍事委員會通信部編印

再 版 說 明

本書原係通信工程學院無線電機務班之教材，曾分發各部作無線電機務人員學習之參考。現根據通信工程學院教學中所發現的問題及各部提出的意見加以修正再版，作為我軍無線電機務人員的教材。

一九五三年一月

幾點說明

- 一、本書是作為通信學校無線電機務班「無線電原理」的教材而編寫的。具體對象是高中一年級以上文化程度，並已學完電學（包括基本電磁學與交直流電路）和應用數學（包括三角與必需的大代數）的學員。
- 二、本書共分十三章，以每週上課五小時計算，大約可供講授一年。其中前七章可在上半年講完，而在下半年講其餘六章。自習與上課時間的比例最好能保證是一比一。
- 三、為照顧學員程度可能的不齊，在取材方面比較富於彈性。書中註有※號的地方表示對程度較低的學員可以略去不講。具體內容的取捨可由教員根據學員實際接受程度靈活掌握。
- 四、在進行教學時，應注意組織示教實驗和實習（包括裝機與測試）的配合。具體內容與時間配備可按照課程進行次序根據現有條件決定之。
- 五、各地在試用中，希望注意收集意見，定期彙交本部。

一九五一年十二月

目 錄

第一章 無線電波的發射與接收

1-1 無線電通信	1
1-2 高頻交流電的產生——自由振盪	2
1-3 無線電波的放射	7
1-4 蜂聲發射機	10
1-5 耳機	11
1-6 最簡單的接收機	12
習題一	15

第二章 二極管與整流器

2-1 熱電放射	17
2-2 電子管陰極與板極的材料及構造	18
2-3 二極真空管的特性與作用	21
2-4 無線電機所用的電源	24
2-5 各種整流電路	25
2-6 整流管	30
2-7 濾波器電路	33
2-8 電壓的穩定	42
2-9 振動子整流器	45
2-10 實用整流器電路舉例	46
習題二	50

第三章 多極管與音頻放大器

3-1 三極管及其特性	53
3-2 三極管的參數或係數	55

3-3	真空管電路中電壓與電流的成分	57
3-4	三極管的等效電路與放大作用	59
3-5	負載電阻線與動特性曲線	63
3-6	音頻放大器	67
3-7	電阻電容耦合放大器	68
3-8	電阻電容耦合放大器的頻率反應與增益	71
3-9	變壓器耦合放大器	74
3-10	放大器的電源	76
3-11	音頻電力放大器	79
3-12	A類電力放大器	81
3-13	真空管的並聯與推挽	90
3-14	五極管與集射管	97
3-15	五極管與集射電力管作音頻放大器	102
3-16	真空管手冊的用法	108
3-17	放大器總增益和頻率反應	112
3-18	雜音、失真與負回授	114
3-19	傳聲器與揚聲器	120
3-20	擴音機(公共講演機)	125
習題三		128

第四章 振盪器

4-1	真空管振盪器	132
4-2	振盪器的板壓與偏壓如何供給	134
4-3	各種實用振盪器電路	138
4-4	振盪頻率與頻率穩定度	141
4-5	晶體控制振盪器	146
4-6	波段變換與線圈設計	150
4-7	簡單發報機	154
習題四		157

第五章 檢波器

5-1 檢波	158
5-2 二極管檢波器	160
5-3 三極管檢波器	162
5-4 連續波(等幅波)的差拍檢波法	166
5-5 再生式檢波	168
5-6 再生式接收機	169
5-7 超再生式接收機	173
習題五	178

第六章 射頻電壓放大器

6-1 射頻放大器	179
6-2 射頻電壓放大器所用真空管	183
6-3 射頻電壓放大器的放大量	185
6-4 A類射頻放大器的工作情形	187
6-5 射頻調諧式接收機	189
6-6 射頻調諧式接收機舉例	193
習題六	198

第七章 射頻電力放大器

7-1 C類射頻放大器	200
7-2 發射真空管	206
7-3 C類放大器性能的計算	209
7-4 C類放大器的槽電路	215
7-5 C類射頻放大器的調節	220
7-6 射頻電力放大器的電源供給	221
7-7 級間耦合電路	223
7-8 射頻放大器的並聯和推挽	225

7-9 中和	227
7-10 寄生振盪	235
7-11 倍頻器	237
7-12 B類射頻放大器	241
7-13 電力振盪器	243
7-14 主振放大發射機	247
7-15 多級發報機與電鍵裝置	249
7-16 波段變換與調諧手續	254
習題七	257

第八章 調幅

8-1 無線電波的調變	259
8-2 已調信號的分析	260
8-3 板極調幅	266
8-4 柵極調幅	270
8-5 其他常用調幅法	273
8-6 無線電話發射機的低電平與高電平調幅	274
8-7 調幅器	275
8-8 簡單無線電話發射機	280
8-9 多級無線電話發射機	282
習題八	287

第九章 超外差式接收機

9-1 緒論	289
9-2 超外差式接收機原理	292
9-3 頻率變換與頻率變換器	294
9-4 中頻放大器	302
9-5 預擇器、檢波器和音頻放大器	306
9-6 自動音量控制	308

9-7 超外差式接收機中其他可能電路	310
9-8 跟蹤問題	314
9-9 接收機修理與校準基礎	321
9-10 超外差式接收機舉例	323
習題九	328

第十章 調頻

10-1 調頻與調幅的比較	329
10-2 調頻制中的干擾與雜音	334
10-3 電抗管調頻器	339
10-4 鑑頻器與限幅器	344
10-5 調頻發射機	351
10-6 調頻接收機	357
10-7 調頻收發機電路舉例	363
習題十	371

第十一章 輸送線與天線

11-1 輸送線的特性阻抗	373
11-2 輸送線上的電流電壓波	377
11-3 天線的放射	385
11-4 諧振輸送線與天線的耦合	388
11-5 非諧振輸送線與天線的耦合	391
11-6 天線的方向性	398
11-7 定向天線	403
11-8 發射機的輸出電路	417
習題十一	423

第十二章 無線電波的傳播

12-1 緒論	425
---------	-----

12-2	游離層對電波的反射與吸收	426
12-3	衰落	430
12-4	天電與人工雜音	433
12-5	超高頻的傳播	435
12-6	無線電波傳播摘要	437
	習題十二	438

第十三章 常用電表與儀器

13-1	伏特表與安培表	440
13-2	歐姆表	442
13-3	真空管電壓表	444
13-4	阻抗電橋	446
13-5	真空管試驗器	447
13-6	頻率表或波長表	448
13-7	信號發生器	448
13-8	陰極射線示波器	451
	習題十三	455

附錄

(一)	諧波分析	456
(二)	名詞對照表	461

第一章

無線電波的發射與接收

1-1 無線電通信 利用電作通信，可以把消息很迅速地傳遞出去，並且能夠達到遠方。電信又可分為有線和無線兩大類。在有線電通信中，發信和收信雙方間用導線聯接起來，依靠在導線中流通的電流把消息傳播出去。比如日常使用的電話就是這樣的。而在無線電通信中，收發雙方間沒有導線聯接，只靠在空中傳播的無線電波（電磁波）來傳遞消息。因此在船、車、飛機等移動物體上無線電就成了和別處通信的惟一工具。又如兩地之間隔着海洋或是崇山峻嶺，不容易架線，用無線電通信也較容易。在需要一個信號同時為許多地方接收的時候，比如廣播，使用無線電也是一個最合於理想的辦法，因為用導線將各接收點與發送點一一接聯起來是太費事了，而用無線電，電波是無處不可以傳去的。

利用無線電通信，依所要傳遞信息的不同可以分成以下幾類：

(1) **無線電報** 將信息變為組成一定電碼的點劃而傳播出去，接收方面依據點劃所組成的電碼而知道它的意義。這就是電報。在無線電報中，點劃是藉無線電波傳出去的。

(2) **無線電話** 用無線電傳播人聲、音樂或其他聲音，就是無線電話。

(3) **無線電傳真** 也可能用無線電傳遞整頁的字跡或圖畫。將要傳的圖片放在發送器具前面，而在接收器具前放一張白紙，利用無線電傳播的電脈衝，就可以在接收端得到原來圖片的真跡。這叫做傳真。

(4) **電視** 這是一種傳遞遠處所發生的事件的連續而立刻可見的影像的手續。在接收方面，和看電影相似，可以“看見”遠處發生的事蹟。而且還伴同一路無線電話，因此和動作同時發生的聲音，也可以聽到。

以後我們只討論前兩種無線電通信方法，就是電報和電話，因為它們是最常用的，而且也是比較容易的。

在任何一種無線電通信制中，都需要以下幾種東西，才能完成通信，這就是發射機、接收機和發發雙方的天線。如圖1-1，發射機產生一種被信號所控制的高頻電流，這電流送到發射天線上就引起無線電波的發射。無線電波在空中傳播到各處，到達接收處時，由接收天線將傳來的電磁波接收下來，變成電流。接收機再將這種高頻電流變成感官所能認識的信息。

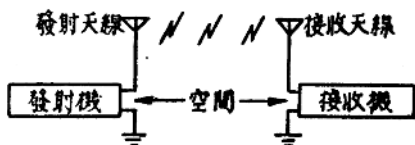


圖 1-1

1-2 高頻交流電的產生——自由振盪 普通利用電磁感應將機械能轉變成電能的旋轉式交流發電機，在50週及其附近工作的時候，能夠有效地產生大量交流電能。但由於它們工作原理的限制，所生交流電的頻率不能很高。而在無線電通信中，要有效地發射電磁波就非用高頻電流不可。因此要產生高頻電流只得另想辦法，就是利用電路自身振盪時所生的振盪電流。

在交流電路中我們曾經學過：假使在任一個由電阻電感及電容組成的電路上接上一個交流電源（例如交流發電機），就會有交流電流在電路各部分中流通。如果這一電源的頻率是50週，那麼在電路中通過的電流，或者跨過電路上任意兩點間的電壓，頻率也是每秒50週。如果電路中電源的頻率是1000kc，那麼它所產生的電流也是1000kc，這就是說，電路中各處的電流（或電壓）的頻率，決定於加在電路上的電源頻率。這種情形叫做“強迫振盪”。在強迫振盪中若電源取去或作用停止，電路中以電源頻率流通的電流也馬上停止。所以要維持電流繼續存在，非加上電源，使不斷激勵電路不可。

自由振盪和強迫振盪剛剛相反。在開始的時候僅僅需要外力加一次衝擊，以後便不再需要任何外力而能夠自己週而復始地作週期性的運動或變化。在力學中擺的振盪便是一個例子。而在電學中，一個由電感電容組成的電路也有這種性質。

圖1-2①中是一個簡單的并聯LC電路。若將開關S擲向左邊，電池

會把電容器上板的電子移到下板而使電容器充電。因此把能量儲藏在電容器的電場中。充電時電容器兩端間的電壓逐漸升高，能量也逐漸增多 ($\frac{1}{2}Cv^2$)，到 C 的電壓與電池的電動勢相等的時候，充電便會停止。充電後將開關擲向右邊，使 C 與 L 接成通路。以後的情形便如圖 1-2②—⑩所示，解釋如下：

充電後的電容器與線圈接通以後，如②，便會經過 L 而放電，即下板上多出的電子經過 L 而回到上板。放電電流在 L 中流過，產生一個磁場，電流愈增加，磁場也愈加強，可以用向外擴張的磁力線代表，如③。這時因電流從無到有，并繼續增加，所以在 L 中產生一個反電動勢。在放電過程中，電容器上電壓因電荷逐漸減少而降低。同時電流的增加愈來愈慢，反電動勢也慢慢減小。但是磁場因為電流還是在增大而繼續加強。這樣通過在 L 裏的增大中的電流與反電動勢間的作用，將電場所儲的能量，轉而儲藏在磁場中。

電容器放電完畢的時候，電場中所儲藏的能量也完全放出；而這時電流最大，磁場所儲能量 ($\frac{1}{2}Li^2$) 也最大，如④。因放電完畢，電流開始減少，但在 L 中這時產生一個電動勢，方向與電流相同，以維持原電流，因此使電容器反向充電。這和物體的慣性要維持運動不變相似。但這電動勢只能緩和電流減少的快慢，所以電流仍舊逐漸減少，磁場也逐漸減弱，放出所儲能量，而將它儲藏在電容器的電場中。這時電容器因充電而電壓逐漸升高，所儲能量也逐漸加多如⑤。到電流減到零的時候，充電完畢，而電容器電壓（隨時和 L 中感應電動勢相等相反）達到最高值，如⑥。

如果電流維持為零（不變），感應電動勢也會消失。但在它剛剛傾向於消失的時候，電容器便重新開始放電，使一板上多出的電子回到另一板。電流因此反向增加，而在 L 中所感應的電動勢，方向與之相反（即和原來相同）。在放電過程中電流增加的速度愈來愈慢，電容器的電壓與 L 中的反電動勢也逐漸降低，如⑦。顯然在 C 將所儲的一切能量都傳與 L 的時候，後者就會以所得到的能再使 C 充電，方向與原來電池充電的方向相同，其經過如⑧，⑨。到充電完畢，如⑩，電路恢復原狀，於是上述過程，又會重複下去。

如果電容器與線圈中都沒有電阻或任何形式的損耗，所成的理想電路就會無休止地交替充電放電下去，因此在 LC 間便有交流電產生。這交流電不受外力的強迫，而由 LC 本身的性質決定振盪的強弱和快慢，所以

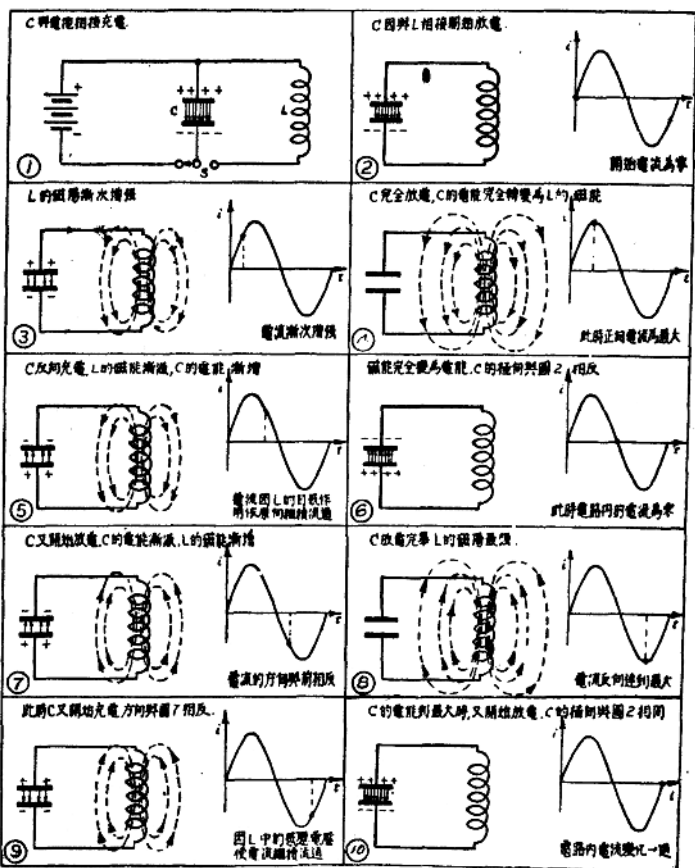


圖 1-2

是自由振盪。

像以上所說的充電、放電、又反向充電、放電，然後回到原狀的過程，就是一週。在這一週中，電流和電壓都反向兩次，電容器所儲的能和線圈所儲的能也交換兩次。由數學證明，純 LC 電路中自由振盪電流(或電壓)是一個時間的正弦波，而每秒發生的來回振盪次數，或每秒週數——振盪頻率為：

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

其中 L 的單位是亨利， C 的單位是法拉。這一頻率又叫做電路的自然頻率。如果 L 的單位用 μh ，而 C 的單位用 $\mu\mu f$ ，那麼

$$f = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} \times 10^9 \sim /sec$$

$$= \frac{10^6}{2\pi\sqrt{LC}} \text{ kc/sec}$$

$$= \frac{10^3}{2\pi\sqrt{LC}} \text{ Mc/sec}$$

或
$$f = 159 \frac{1}{\sqrt{LC}} \text{ Mc/sec}$$

這一頻率的公式，和諧振頻率公式一樣，但意義不同。諧振是屬於強迫振盪的。 LC 電路中電感性電抗和電容性電抗相等相反的時候，其中循環的電流最大，就是諧振，這時電源的頻率(也是循環電流的頻率)就是諧振頻率。而自由振盪不需要電源供給電流，是另外一種情形，所以不能混為一談。

振盪電流的振幅，也可以如下決定：設 V 為電容器充電時的最高電壓(即電池端電壓)，而 I_m 為振盪電流的最大值，由於磁場的最大能量和電場的最大能量相等，即是

$$\frac{1}{2} CV^2 = \frac{1}{2} LI_m^2$$

所以

$$I_m = \sqrt{\frac{CV^2}{L}} = \frac{V}{\sqrt{\frac{L}{C}}}$$

而振盪電流與時間的關係是

$$i = I_m \sin 2\pi f t$$

$$= \frac{V}{\sqrt{\frac{L}{C}}} \sin \frac{1}{\sqrt{LC}} t$$

以上所說的都是理想的情形。實際上任何電路中都會或多或少地有電阻或其他相當於電阻的消耗能量的東西存在。所以在自由振盪的電路中，如不隨時由外面補充能量進來，就會因在電流交替循環時，電阻的消耗能量

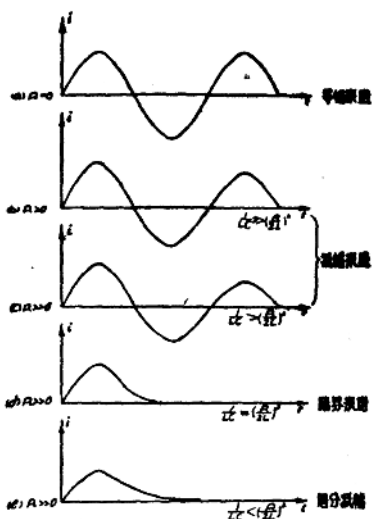


圖 1-3

而使振盪衰減下去。於是振盪電流(或電壓)的波形，將是振幅逐漸減小的減幅波，而且振盪頻率也比純 LC 電路的略低。同時，振盪能不能維持長久，甚至能不能發生振盪，都由電阻的大小決定。由數學證明，

只有在
$$\frac{1}{LC} > \left(\frac{R}{2L}\right)^2$$

或
$$2\sqrt{\frac{L}{C}} > R$$

的時候，才能夠發生振盪；而且 R 愈小，振盪維持愈久。

圖 1-3 是對於各種電阻值電流與時間的關係，只有 (a) 是等幅波。(b) 與 (c) 是減幅波。(d) 是臨界情形，電流消失最快，(e) 中電流雖消失稍慢，但起始時升高不多。

圖 1-4 是將 L 與 C 保持一定，三種 R 值的電流對時間曲線。注意在發生振盪的時候，電流要大得多。

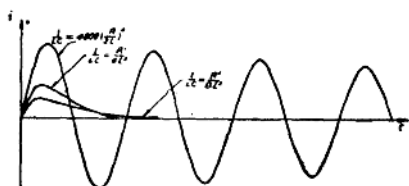


圖 1-4

只要我們適當地採用 LC 的值，就可以發生所需要的任意頻率。在實用上的高頻交流電源總是根據電路自身發生振盪的原理作成的。

1-3 無線電波的放射 在低頻率的電路中，比如 50 週的

供電電路，只有能量藉電流的流動而在電路中傳播與轉換，沒有能量向電路以外的空中放射。當然部分能量也儲藏於伴同電路中電容、電感而存在的電場和磁場內（由電壓和電流所造成）。電流與電壓不停地變化，磁場和電場也不斷增強減弱；有時它們由電源接受能量，而在次一瞬間又將能量送回電源。因此電路與附近的空間，雖然有能量的交換，但儲在附近空間中的能量，仍然可以隨時收回，並不會一去不返，與電路永遠脫離關係。所以低頻電路不會發射什麼能量。

如果頻率很高，電場和磁場由電源中所取去的能量，不能很快地送回電源，而在原有的能量沒有完全送回以前又有新的能量送出來。所以這一部分能量便被放射出去，以每秒 3×10^8 公尺的速度（即光速）前進。天線就是一個伸展在空中的導線，高頻電流由一電源推動在天線中來回振盪，便有能量放射出去。

這裏打算說明一下電能如何會離開導線而在沒有導線、因而沒有電流的自由空間傳播出去的情形。一般說來，放射的機構是很複雜的，任何簡單的圖案只能提供一種粗略的概念，希望讀者不要過於推敲。圖 1-5 代表一個簡單天線（接於高頻電源兩端向上下延伸的兩段金屬線），可以當作一個

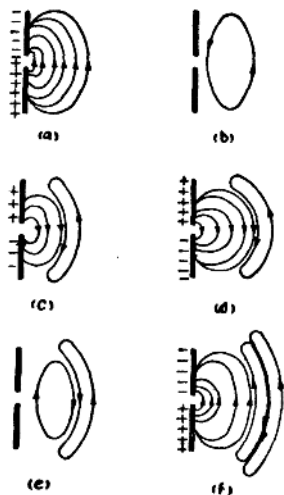


圖 1-5

電容器看。交流電加在上面的時候，便有電流通過。這電流一方面產生磁場（與天線垂直，沒有畫出來，若畫出來，就是以天線為中心軸的許多圓），一方面使導線充電而產生電場。在兩半天線間的電壓達到最大值的時候，電場的分佈如(a)中電力線所示。電壓降低時，電力線終端的電荷便向中心流去，電力線也跟着收縮。不過需要一定的時間才能使它們伸展出去後又收縮回來（它們以光速運動）。因為頻率很高，天線中電壓交變很快，在最外面的一些線完全收縮以前，電壓可能達到零後又在反方向增加了。所以這些電力線沒有收縮成功（即電能沒有完全還給電源）而新的反方向的電力線又要出來了，以一根線為例，如(b)。因為電力線不能相交，最外的來不及收縮的電力線反而被新的線推向外面，並且膨脹開去，如(c)。在下半週中，內部的線又被推出來。經過情形如(d)、(e)、(f)所示。這一手續不停地重複下去，於是一圈一圈的電力線便脫離導線擴張出去而以光速在空中運動。同樣可以想到，伴同這些電力線而與之成直角的，是以光速向外運動的磁力線。它們是圍繞天線的環，隨着向外的運動，磁力線環的直徑也在增加着。由於電力線或磁力線的向外運動，於是能量被傳到遠處。

根據以上所說，若頻率愈高，電路中上下展開的部分愈大，電力線（或磁力線）愈來不及收縮，放射出去的能量也愈多。

電力線和磁力線是代表電場和磁場的。根據上面所說，向遠處運動的電力線和磁力線將能量攜帶出去，因此也可以說能量是由運動的電場和磁場傳播出去的。

在離天線較遠的地方取一個不大的區域，在這裡面互相垂直的電力綫都可以當作直綫看待。如果這些電力綫和磁力綫真的能夠看見的話，它們就會如圖 1-6 所示的形狀一樣。(a)是在任何一點正對天綫望去所能見到的電力綫和磁力綫的分佈圖，而(b)是在通過天綫的任意平面上的電力綫和磁力綫的分佈圖。單就電場來說，在任何瞬間，空間的電場是正負強弱相間地排列着的。換句話說，如果把空間各處的電場強弱，依前進距離的遠近繪成曲綫，這曲綫將是一個正弦波，見(b)。而且，就空間的任何一點來看，將經過它的電場強弱，依時間先後繪成的曲綫也會是一個正弦波（讀者可以用水波傳播的情形對比）。所以在空中傳播的電場，就是一