

高等學校教學用書

無線電基礎

上 冊

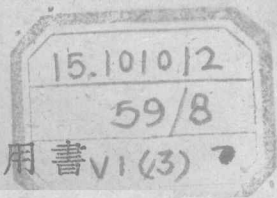
Б. И. 阿謝也夫著

清華大學無線電系教師集體翻譯

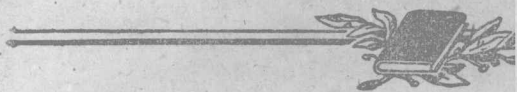
高等教育出版社

TN01

50/1



高等學校教學用書VI(3) 7



無線電基礎

上 冊

B. II. 阿謝也夫著

清華大學無線電系教師集體翻譯



本書係根據 1947 年蘇聯國立電訊書籍出版社(Государственное издательство литературы по вопросам связи и радио)出版的阿謝也夫(Б. П. Асеев)著“無線電基礎”(Основы радиотехники)譯出的。原書經蘇聯高等教育部審定為高等通訊學校用教科書。

全書分上下兩冊出版。

參加本書翻譯和校訂工作的為清華大學無線電系俄文學習小組吳佑壽、孫觀朝、馮子良、楊棄疾、韓麗瑛、夏培肅、陸家和、王傳英、孟昭英、常週、王華儉。

無 線 電 基 礎

上 冊

Б. П. 阿謝也夫著

清華大學無線電系教師集體翻譯

高等教育出版社出版 北京宣武門內承恩寺 7 号
(北京市書刊出版業營業許可証出字第 054 号)

上海市印刷四廠印刷 新華書店發行

統一書號 15010·398 開本 850×1168 1/32 印張 12 12/16

字數 300,000 印數 5,501—7,500 定價 (4) 1.70

1953 年 5 月龍門聯合書局初版

1957 年 3 月第 1 版 1959 年 8 月上海第 4 次印刷

作 者 的 話

無線電——人類最偉大的成就之一——是在半個多世紀以前誕生在我們的國家裏。天才的俄國學者亞歷山大·斯捷潘諾維奇·波波夫發明了無線電。他在1895年5月7日第一次公開地表演了他所發明的無線電接收機(「暴風雨指示器」)。這個接收機是第一個無線電設備。從那時起,無線電技術得到了很大的發展,到了現在,無線電已經非常普遍了。

在發展的第一個階段中,特別是在電子管被廣泛採用以前,「無線電技術」這一概念,雖包括着一切有關電磁波的發送和接收的問題,但這門知識却是這樣的不豐富、甚至用一本只有200—250頁的不太厚的書就能夠闡明全部問題(包括設備的描述)。

由於電子管的應用出現了無線電技術的新範疇,在理論上和實際上就有很多問題需要解決,這使得我們必須將現代無線電技術劃分為許多專門的課程。如無線電發送機、無線電接收機、天線設備、無線電量測、電磁能的傳播等等。現在每一單獨的專門課程的篇幅有時比從前的全部無線電技術(那個時候叫做無線電報學)還要來得多。

在無線電專業技術課程的大綱和方針中,提出了在研究專門課程之前,應該先研究某些一般性的問題。這些問題可以分為兩門功課——電子管和無線電基礎。

暫將電子管這門課程的內容放在一邊,我們只簡短的舉出無線電基礎這門課程中所應該研究的問題。

這裏首先要研究關於振盪迴路的問題。這些迴路是大多數無線電線路的基本部分。

其次是關於具有分佈常數電路的討論：這一部分所研究的問題，是解決天線設備和導體中無線電波的傳播等問題的基礎。

底下一篇——濾波器——的意義，是無需論證的。幾乎在現代無線電技術的所有部門中（整流設備、各種複合線路等等），濾波線路有着非常廣泛的各種各樣的用途。

最後倒數第二編關於非直線性系統是最重要的一部分。

在本書的結束語中，我們介紹了關於構成振盪迴路的元件（如線圈、電容器和電阻器）的一些基本材料。

本書是作者十多年來在蘇聯一些高等學校中講授無線電基礎這門課程的經驗的綜合。

幾年來，作者爲了編這本無線電基礎的單行課本，曾將它的各章作爲教材分別出版。這些分別出版的教材（「振盪迴路」、「非直線性無線電技術基礎」等等）就是本書的基礎。十分明顯，「無線電基礎」這本書不是作者所編寫的上述一些書的簡單的組合或重版，而是這些書補充了一些章節後重新編寫而成的增訂本。

在「無線電基礎」這本書中，作者曾注意到高等通訊學校的教授、教員和學生，以及各企業和科學研究所中的工程技術工作者在和作者談話中所提出的意見和希望；特別應該指出的是莫斯科通訊工程學院無線電基礎教研組同人對作者「振盪迴路」一書所提出的評論。在本書中，作者已經完全接受這篇評論的意見。

在排印工作上，尤其是課本本身，還需加以批評。讀者對於「無線電基礎」這本書如有意見和要求，請函寄通訊出版局（莫斯科，中央區，基洛夫大街 40 號），作者將表示衷心的感謝。 Б. П. 阿謝也夫

目 錄

第一編 緒 論

§ 1. 無線電學發展簡史	1
§ 2. 無線電通訊的一般系統和它的成分	8
§ 3. 無線電技術中使用的頻譜	13
§ 4. 用無線電發送電報信號	20
§ 5. 用無線電傳輸電話信號	24
§ 6. 用無線電傳輸不動的和活動的圖畫	41
§ 7. 無線電通訊時的天電干擾	44

第二編 單振盪迴路

第一章 單迴路的自由振盪

§ 1. 關於振盪迴路元件的概念	56
§ 2. 電容器的振盪放電	60
§ 3. 振盪頻率	71
§ 4. 衰減振盪	75
§ 5. 衰減振盪的激勵	82

第二章 串聯迴路中的強迫振盪

§ 1. 一般概念	83
§ 2. 諧振曲線	89

§ 3. 根據諧振曲線確定 Q 值	99
§ 4. 迴路中的功率	103

第三章 並聯迴路中的強迫振盪

§ 1. 諧振時迴路的等效阻抗	106
§ 2. 諧振時複雜迴路的等效阻抗	111
§ 3. 失調時迴路的等效阻抗	115
§ 4. 並聯迴路的諧振曲線	125
§ 5. 並聯迴路的準確諧振頻率	135
§ 6. 並聯迴路的濾波度	142
§ 7. 並聯迴路中諧波的抑制	148
§ 8. 並聯迴路元件上的電壓和電流	163

第四章 機械振動及其與電振盪的比較

§ 1. 自由振動	167
§ 2. 強迫振動	169

第三編 耦合振盪迴路

第一章 耦合係數

§ 1. 一般概念	174
§ 2. 電感耦合迴路的耦合係數	174
§ 3. 自耦變壓器耦合和電容耦合的耦合係數	177
§ 4. 複雜的電容耦合	178

第二章 耦合振盪迴路的強迫振盪

§ 1. 等效迴路的概念	181
§ 2. 等效迴路的諧振頻率	184

§ 3. 耦合迴路的調諧	193
§ 4. 第一部份諧振和第二部份諧振	195
§ 5. 複諧振	198
§ 6. 全諧振	201
§ 7. 耦合迴路內能量的平衡	203
§ 8. 自耦變壓器耦合和電容耦合電路	206
§ 9. 複雜的電容耦合線路	208
§ 10. 耦合迴路的濾波度	210
§ 11. 耦合迴路的諧振曲線	218
§ 12. 耦合迴路的通頻帶	225
§ 13. 關於諧振波長計的概念	229

第三章 耦合迴路的特殊情況

§ 1. 兩個非週期性迴路的耦合	231
§ 2. 振盪迴路與非週期性迴路的耦合	233
§ 3. 非週期性迴路和振盪迴路的耦合	238

第四章 耦合迴路的自由振盪

§ 1. 電感耦合迴路方程的構成	243
§ 2. 已得方程的解	244

第四編 具有分佈常數的電路

第一章 具有損耗的兩線式傳輸線

§ 1. 一般概念	251
§ 2. 電報方程和它在穩定狀態時的解	252
§ 3. 無限長傳輸線的電流方程和電壓方程	260
§ 4. 傳輸線的特性阻抗	262
§ 5. 衰減常數和相移常數	265

§ 6. 在有限長傳輸線上電波的反射	273
§ 7. 爲高頻率用的兩線式傳輸線	278

第二章 無損耗的兩線式傳輸線

§ 1. 短路線	292
§ 2. 開路線	304
§ 3. 利用兩線式傳輸線的量測	314
§ 4. 不均勻的兩線式傳輸線	318

第三章 垂直接地導線

§ 1. 垂直接地導線的自由振盪	323
§ 2. 垂直接地導線的波長的控制	336
§ 3. 加長或減短的垂直接地導線的諧波	342
§ 4. 垂直接地導線的動態常數	348
§ 5. 頂端連有電容器的垂直接地導線	356

第四章 發射和接收天線

§ 1. 用天線輻射電磁能	363
§ 2. 發射天線	372
§ 3. 定向輻射	378
§ 4. 用天線接收電磁能	384
§ 5. 定向接收	386

第一編 緒 論

§ 1. 無線電學發展簡史

無線電學是電工學的一個部門，研究高頻率交流電的理論及其實際的應用。

偉大的俄國科學家亞歷山大·斯捷潘諾維奇·波波夫 (Александр Степанович Попов) 是無線電的發明者。我們規定 1895 年 5 月 7 日為發明無線電的紀念日，在這一天波波夫在俄國物理化學學會物理組的會議上宣讀了他的發明的論文。第一次的無線電通信也是由 A. C. 波波夫實現的。

一切的無線電通信一定要有兩種基本設備。第一，必須有無線電發送機。它產生高頻率的電振盪，然後把它向空間輻射出去。第二，必須有無線電接收機，接收這高頻率的振盪。

第一個所謂火花式的無線電發送機中，在一幅射導體(天線) A (圖 1.1) 上用火花式的放電器 P 激發起衰減振盪，而這放電器是由感應線圈 H 供給電能。當感應線圈中原線圈線路裏的電鍵 K 關合時，它裏面就有不連續的電流通過。後者又在次線圈裏感應出高電壓的電流。當天線上的電荷達到放電器 P 的擊穿電壓時，就有振盪性的放電發生，同時也就有電磁能向空間輻射出去。利用中介振盪迴路(圖 1.2)間接地產生振盪，是火花式發送機進一步的發展。具有中介迴路的、即用複雜線路的發送機比簡單線路的發送機在天線裏所能激發起的振盪功率

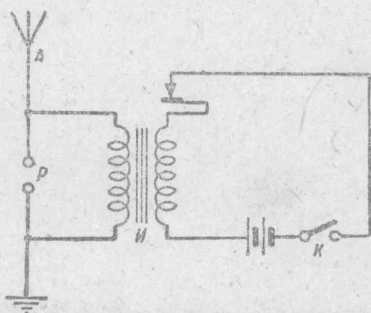


图 1.1

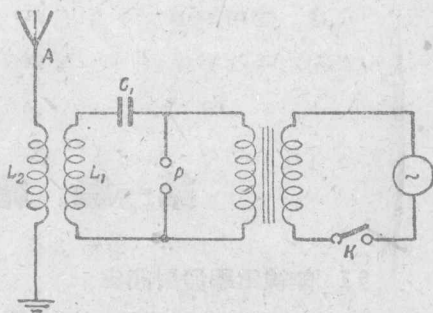


图 1.2

大得多，因为具有很大电阻的放电器已经不接在天线的电路中了。虽然有以上指出的长处，这种复杂的火花式发送机线路却有以下的重要缺点：因为在这种发送机里利用两个相互耦合的振荡回路（中介回路 $L_1 C_1$ 和天线回路 AL_2 ），所以就产生了两个频率（就是所谓耦合回路的振荡频率——见第三编第四章 §1）的振荡。因为接收设备仅仅能调节到一个频率，所以发射两个频率就将使发送机的功率不能有效地利用，并增加对于其他电台的干扰。

上述的缺点可以用特殊构造的火花放电器（如维恩式连续放电器和马克尼式旋转放电器）来免除掉。在这种回路中使用「冲击」法去发生天线的激励，即使用冲击激励法（见第三编第四章 §2）。

火花式发送机的功率随着它的发展和改善而日渐增强。后期建立的一些大的火花式无线电台天线里的电功率曾达到几十千瓦。这样的无线电发送机，由于它们的一切零件都是按照阻尼波的最大振幅而设计，所以是非常笨重的。举一个例来说：1914年在莫斯科建立的火花式无线电台的天线设置就有十一个 120 m 的天线塔；中介振荡回路是由 12,000 伏特的蓄电池来供给直流的，为了这些电池曾建筑了两个特别的电池室；回路的电容器就安放在一个特造的两层楼里等等。

在第一個用於接收火花式信號的無線電接收機中(圖 1.3)電磁波檢波的裝置是非常簡陋的。這個裝置就是所謂粉末檢波器。粉末檢波器 K 是由一個裝滿了金屬屑的小玻璃管組成的。這玻璃管的兩端引入了導電的電極。具有很小導電率的金屬粉末,在由天線 A 接收下來的電磁波的作用下,陡然增加了它的導電率。這樣通過

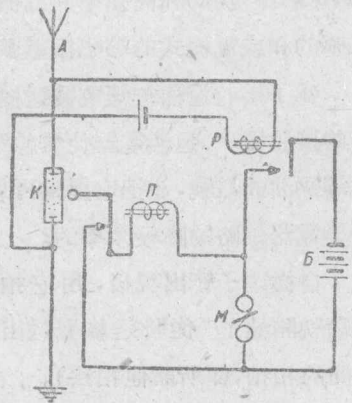


圖 1.3

繼電器 P 使自給電池 B 和莫爾斯收報機 M 起了作用,而把信號記錄在紙條上。與這收報機發生作用的同時,繼電器 R 上的小鎗就也起了作用。它把粉末檢波器的金屬屑震鬆,這樣就又減小了它的導電率而為接收以下的信號作好了準備。

不久,粉末檢波器和莫爾斯收報機就被晶體檢波器和聽筒代替了。這就大大地增高了無線電接收機的靈敏度,並使接收無線電信號成為「可以聽到」的了。

原始的檢波式接收機在最初是由簡單的線路所組成(用一個迴路,即天線迴路)。但是以後的就漸趨複雜(用兩個迴路,即天線迴路和中介迴路)。這樣就使它變成複雜而笨重的儀器。有些特製的檢波式接收機的大小,竟達到和現代 100 瓦的真空管發送機一樣。

用火花式的發送機和檢波式接收機通訊,都是應用中波和長波(見本編 §3)。

與用衰減振盪的火花式發送機的發展和改善的同時,也進行了利用等幅振盪無線電通訊的實驗。為了產生等幅振盪,曾經採用伏特電

弧(保爾遜電弧)和高頻率的電機(伏羅金機、亞利山大遜式機及其他)。電弧的和或電機式的等幅振盪發送機一般地都使用長波。

爲了接收這種無線電發送機的信號，曾利用一種特殊的機械繼電器的接收機。這繼電器使無線電接收機的電路忽斷忽續，因而能夠接收等幅波的信號，並把它變爲可以聽到的聲音。這聲音的頻率是決定於繼電器線路的斷續頻率的。

自從電子管出現後，用「拍法」的檢波式接收機來接收等幅振盪的實驗就開始了（從發送機發送出的振盪和接收機本身所產生的等幅振盪間的相拍，即所謂「拍法」）。

電弧式和電機式發送機雖然和火花式的發送機作了相當有效的競賽；可是由於它們內在的一些缺點，就不能與電子管等幅振盪的發送機相抗衡了。到了功率電子管出世以後，電弧式和電機式的無線電發送機就完全被完善的電子管發送機排擠走了。

所以，電子管的發明可以說是無線電發展中的一個重大而且是劃時代的事件。在現代幾乎沒有一個無線電器械不包含有電子管的。

用於最初的放大器裏的電子管，一共具有三個電極：板極、柵極和鎢絲的陰極。當時的電子管是非常不經濟的。一個用這樣電子管做成的三管放大器，爲了燒熱它們的燈絲所需要的電能，就多到足以供給現代的所謂 1.5 伏特電池式真空管 110 個燈絲之用。

接收式電子管的改良在一方面是增高陰極的效率（敷鈦、塗氧化物和其他陰極），在另一方面是電子管本身的改進。起初出現了特別爲檢波和放大用的管，而放大管又分成專爲高頻放大用的和爲低頻放大用的兩種。

現代的無線電接收管，擁有種類繁多的管名。這些管名或是按照各種不同電源而分的（如電池式、旁熱式、高伏特熱絲管等）；或是按照

滿足在多管接收機中多種不同的功用而分的(如四極管、五極管、五柵管等)。

因為缺乏功率放大的電子管,所以用電子管作為等幅振盪的功率振盪器是比較遲的。在初期,功率為一千瓦的;用電子管做成的無線電話台使用一百個以上並聯的小功率管是常見的事。

功率振盪器的設計和製造方面的進步推進了電子管發送機,使得它變成唯一的、能滿足現代要求的、等幅振盪的電源。

利用電子管振盪器能夠很容易地產生無線電波譜中實際應用的任何頻率的振盪(見本編§3)。在真空管振盪器中所能得到的振盪功率,可以從幾分之一瓦特起,一直到現代無線電通訊和廣播工程中所要求的振盪功率。

在火花式、電弧式和電機式的無線電發送機基本上是用於無線電報的時期,電子管的應用為無線電話和無線電廣播迅速而有效地發展創造了先決條件。

在現在的時代裏,無線電廣播在全世界各個國家裏,都已達到非常廣泛的應用。從無線電廣播電台已經是數以千計,而無線電廣播接收機則是數以億計這一事實,就足以說明這一點。

一直到電子管的出現,無線電通訊主要地都是應用中波和長波。可是電子管就使短波、超短波、甚至於分米和厘米波長的掌握和利用成為可能的了。

電子管在各種無線電工程上的設備和儀器上的廣泛應用就使得:第一,它的運用性能有了顯著的進步,第二,利用無線電通訊系統傳遞不動的圖片(傳真)和動的圖片(電視)成為可能。

電子管還給無線電的一個非常重要的部門——無線電引航的發展產生了很大的影響。現代的無線電引航是引導飛機和船隻的最完善

的方法之一，特別是在天氣情況不好的時候。爲了無線電引航的目的應用着各種不同的波長（包括分米波和厘米波），能引領飛機「盲目」飛行（按照無線電指向儀），或使飛機在視線不好的天氣中依靠儀器盲目着陸，同時還能夠量測出從飛機到地面的距離（所謂絕對高度計）等等。在航海方面，無線電也是居於非常重要的地位，因爲利用無線電儀器就能很準確地定出船隻的方位，在霧裏航行時可以發現不能見的東西，如冰山等。

電子管不僅把無線電技術的應用範圍擴大到有關的通訊部門（有線通訊）；同時不僅應用到有關無線電通訊的技術和知識上，還應用到一般和通訊性質相差很遠的各方面。

將電子管的應用和許多無線電技術上的方法引用到有線通訊方面，就使得電話傳輸的有效距離顯著地增加了，同時使導線的多路應用的可能性基本上也變容易了（如多路電話電報的傳輸）。

許多其他的與無線電沒有直接關係的技術和知識的部門，也應用了無線電的方法和設備，如有聲電影、醫學、探礦、冶金、食品的保藏等。

在有了無線電的 50 年間，無線電技術的每一個部門，以及無線電設備的每一個零件，都經過了重大的、甚至有時是根本的改變。以天線設備爲例：在無線電通信的第一次實驗中，是藉着風箏和氣球之類的東西把一導線提到一定的高度作成天線來用的。這種原始的設備在有了無線電不久以後就基本上改變了。到現在，爲輻射長波就要應用複雜的天線（用幾個調諧的引下線）；爲輻射廣播波段的電波可以很順利地成功地使用免除衰落的塔式天線；而常常爲了獲得單方向的傳播又使用輔助的反射塔式天線；短波天線則大半是有高度的定向作用的天線。這些天線若不是用很多的帶有反射天線的半波天線，就是用導線組成特別形狀的天線（如菱形、V 形及其他天線）；爲超短波（特別是

爲電視)則用特殊結構的天線;複雜的定向天線也應用於超短波裏;爲幾十厘米的電波則常常採用一些附有拋物線性反射體的基本輻射系統(譬如半波天線);而爲輻射幾厘米的電波也是用基本輻射天線,只是在這種情況下,爲了得到定向作用,我們採用一種像喇叭的、特殊的設備。接收的天線按照不同的要求,可以使用各種不同的、從最簡單的到複雜的定向的天線。

所以有這麼多專門的發送和接收天線的類型是因爲:一方面,現代的無線電技術應用了非常寬的頻譜;而在另一方面,現代對於天線設備所提出的要求是日漸增多且愈趨複雜。

無線電技術雖然僅有比較短時期的存在,却已經有了很豐富而有趣的歷史。自然,這簡短的敘述不是打算作爲一個詳盡的說明,即使是無線電技術發展史的基本階段。這略述的目的就是用這簡要的形式給出一些有關這方面的基本報導。熟悉這些的東西在開始學習理論的無線電技術課程時是很必需的。

俄國的無線電技術發展史基本上可以分爲兩個時期:十月革命以前的和蘇聯的時期。

在偉大的十月社會主義革命以前,儘管是在俄國有了無線電報的發明,我們的無線電技術却呈現一幅可憐的景象。技術的落後、墨守成規和沙皇時代的大臣和官員等對於科學的無知,都是無線電報在沙俄時代僅得到微弱的發展和培植的基本原因之一。正如其他一切技術上的新發明一樣,在沙俄時代無線電通訊遇到了鉅大的困難和多方面的阻礙。我們偉大的同胞阿·西·波波夫,爲了證明他的發明的重要與價值,不得不向各種不同的部門請求發給一些爲進行實驗所必需但是微不足道的一點「撥款」。

在沙俄時代,只是在不能用任何其他工具來進行通訊的情況下才

採用了無線電通訊。

可笑的是在俄國應用的第一架無線電台是沙皇政府從法國的「久克萊特」公司訂製的。爲了實現這訂製的計劃，該公司不得不邀請阿·西·波波夫做他們的顧問。因爲當時在無線電報問題上他是最出色的專家和無可爭辯的公認的權威。

年青的蘇維埃共和國從沙俄得到的關於無線電工程的「遺產」是少得這麼可憐，這使我們可以很公正地說俄國在這方面的真正的開端，是與蘇聯的無線電工程的發展同時起始的。

弗·依·列寧在組織和建立第一個無線電技術實驗室、學校和無線電台（尼日哥若德無線電實驗室，莫斯科的第一座無線電話台和其他）的時候直接參加指導，這對於我們蘇聯的無線電技術的發展是有着特殊意義的。他的具有遠見的智慧，立刻就能估計到：對於蘇維埃聯邦和它廣闊的版圖來說，無線電通信，特別是無線電廣播，將有如何的意義！不用紙和沒有距離的報和有億萬聽衆的大會，這是弗·依·列寧說過的話，在那個時候，甚至卓越的專家都認爲這是很遠的將來的事，可是在今日却已經是解決了的問題了。列寧對於無線電的理想已經在約·維·斯大林的直接領導下在實際生活中體現了。

在斯大林五年計劃中，特別是在偉大的衛國戰爭的時期，蘇聯的無線電技術，有着不少的出色的成就，它解決了很多擺在它面前的、爲了加強我們偉大祖國國防上的和技術上的力量的問題。

§ 2. 無線電通訊的一般系統和它的成分

無線電通訊這個名詞應當了解爲：爲了傳輸信號、不用導線來傳輸電能的過程。由於這種傳輸的效率非常低（比百分之一還小很多倍），所以無線電傳輸只是用來傳輸信號。

無線電通訊的方式，可以有下例數種：