

普通無線電工程學

Г. В. ВОЙШВИЛЛО 著

鮑 惟 三 譯
曲 宗 耀 校
陳 亞 希

中國人民解放軍軍事工程學院

一九五四年十二月

目 錄

序言	1
緒論	3
1. 無線電工程學課目	3
2. 海軍中的無線電工程設備	9
3. 基本定義	10
4. 無線電通訊圖	13
5. 無線電訊號的分類	19
6. 射頻訊號的頻譜	24
第一章 電振盪系統	31
1. 高頻振盪迴路的線路和元件	31
2. 串聯振盪迴路的諧振	41
3. 並聯振盪迴路的諧振	50
4. 超高頻振盪系統	53
5. 迴路中的自由振盪	59
9. 耦合振盪系統	62
7. 振盪迴路同電子管的耦合	75
8. 頻率的測量	83
第二章 電真空器件	89
1. 電真空器件的分類	89
2. 熱電子發射	96
3. 二極管	99

4. 電子管電壓表、功率整流器	103
5. 三極管	104
6. 電振盪的放大	111
7. 四極管和五極管	118
8. 多極電子管	124
9. 電子射線器件	126
10. 電子示波器	129
11. 氣體放電管	133

第三章 電子管振盪器 141

1. 電子管振盪器的分類	141
2. 電子管振盪器的自勵	144
3. 自勵高頻振盪器	150
4. 超高頻三極管自勵振盪器	156
5. 超高頻調速管振盪器	166
6. 超高頻磁控管振盪器	169
7. 非正弦波振盪器	173

第四章 無線電發射設備 183

1. 無線電發射機的方塊圖	183
2. 發射機頻率的不穩定性	184
3. 發射機頻率的晶體穩定	188
4. 發射機放大級的工作狀態	193
5. 發射機放大級的線路和工作原理	202
6. 控制	205
7. 調幅	209
8. 調頻和調相	218
9. 發射機的調諧和調節	226

第五章 饋電設備	231
1. 二線式饋線的種類和參數.....	231
2. 無限長線.....	233
3. 以波阻抗短接的二線式饋線.....	237
4. 二線式開路線.....	239
5. 二線式短路饋線.....	245
6. 二線式饋線同負載及同振盪器的匹配.....	252
7. 波導管.....	260
8. 波導管的臨界頻率.....	265
9. 波導管內電磁波的羣速度和相速度.....	268
10. 波導管中電磁場力線的分佈.....	269
11. 電介質波導.....	275
12. 波導管內的耦合和匹配.....	276
第六章 天線設備	285
1. 半波天線.....	285
2. 無線電波的輻射.....	287
3. 天線的方向性作用.....	296
4. 由振盪子組形成的天線.....	298
5. 地面反射的影響.....	304
6. 有拋物面反射器的天線.....	308
7. 喇叭型天線.....	311
8. 電介質天線.....	313
9. 開縫天線.....	315
10. 垂直接地天線.....	316
11. 開展的接地天線、地網.....	322
12. 閉路天線.....	326
13. 無線電測角器.....	329

14. 在長波和中波上的單向接收	334
第七章 無線電波的傳播	337
1. 表面波和空間波	337
2. 表面波的傳播	339
3. 電離層中無線電波的傳播	343
4. 長波的傳播	347
5. 中波和中短波的傳播	348
6. 短波的傳播	351
7. 超短波的傳播	361
第八章 無線電接收設備	367
1. 無線電波的接收	367
2. 無線電接收機的性能指標	373
3. 直接放大式接收機	379
4. 與接收天線的耦合	381
5. 高頻放大	387
6. 超高頻的放大	397
7. 檢波	405
8. 再生	411
9. 超再生	418
10. 音頻的預先放大	423
11. 音頻的終端放大	429
12. 負回輸	434
13. 視頻的放大	439
14. 超外差式接收機	445
15. 調頻訊號的接收	458
16. 無線電接收機的調節	464

序 言

本書是普通無線電工程學教程，它可作為高等學校內無線電工程學教程對於他們有實用意義的各系學員的參考書。

普通無線電工程學同時對於其業務與無線電工程設備有關的那些人的自學也是有用的。

書中敘述了現代無線電技術的基本問題，在緒論和第一、二和七章中說明振盪系統，電真空器件和無線電波傳播的一般原理；其它各章則研究振盪器、發射機、饋電線、天線和接收機。

除了此書的獨立意義外，同時它也可使學員對無線電定位、無線電導航等的學習作好準備。

屬於超高频無線電工程領域的無線電定位技術的出現及其迅速的發展對普通無線電工程學的內容提出新的要求，因此與戰前年代中出版的書不同，在本書中特別注意到最新的技術（諧振腔，超高频的產生和接收，波導管，特種類型的天線）和某些現實問題（射頻二線式饋線，非正弦波振盪器，調頻訊號的發射和接收）。

為了使學員能夠正確地使用無線電工程儀器，在書中研究了最重要的無線電測量儀表的構造和工作原理並說明了發射機，天線和接收機的調諧和調節方法。

在講述過程中特別注意物理現象，這些現象是各個元件及整個設備工作的基礎。

作者乘此對H. B. 布列聶夫，H. IO. 包萊克，B. H. 包斯特亞可夫很多寶貴的指示和建議及M. П. 多魯哈諾夫對底稿的排編表示衷心的感謝。

——作者——

緒 論

1. 無線電工程學課目

從事研究和實際使用電磁振盪以進行通訊、確定目標的位置和利用輻射出去的無線電波進行遠距控制的科學部門叫作無線電工程學。

偉大的俄國科學家，無線電發明者 A.C. 波波夫奠定了無線電工程學成爲一鉅大的科學和技術部門的基礎。

1895年5月7日在俄國物理化學學會上波波夫表演了他所發明的世界上第一個無線電接收機，因此無線電通訊技術是誕生在俄國。

1895年波波夫任克朗史達特水雷軍官班的教員。就在那裏在 П. H. 雷布金的參加下製造出了第一個海軍直接需要的無線電台。

因此，在俄國海軍系統中產生了無線電工程，並且在它發展的最初幾年是與海軍密不可分的。

在陸軍，空軍以及在人民生活中無線電設備相繼得到廣泛的使用。

俄國的偉大發明，它的創造者和俄國的科學得到了不朽的光榮，但這發明沒有得到沙皇政府應有的支持，從 A.C. 波波夫逝世以後，在1905年末，直到偉大的十月社會主義革命前無線電的發展一直受着執政集團的阻撓，而外國資本主義竭力使偉大俄國科學家的發明變爲自己發財的來源，而成爲無線電工業的壟斷者。

那時為數不多的俄國無線電工程學方面的專家 M. B. 樹列金, A. A. 彼得羅夫斯基, H. H. 其格林斯基, B. II. 伏羅格金和 B. H. 伏林金渴望建立祖國無線電工程的技術基地, 於1908年組織了「海軍部無線電供應所」, 這對於使俄國從外國無線電工程的優勢之下解放出來起着顯著的作用。

偉大的十月社會主義革命從根本上改變了祖國無線電的命運。蘇維埃政權使 A. C. 波波夫的偉大發明大規模地實現了, 並擴大了它的使用範圍。

蘇維埃國家的創造者和組織者列寧和斯大林一開始就預見到無線電作為向羣衆宣傳鼓動的工具和向人民羣衆介紹文化成就的巨大可能性。社會主義革命使無線電變為布爾什維克宣傳的有力工具。

1918年7月列寧所簽署的「關於集中無線電工程事業」的人民委員會的法令給蘇聯無線電的建設打下了基礎。這個法令規定了從軍事部門到郵電人民委員部的一些強力電台的建立及某些製造無線電設備的工廠的國有化。這個法令及與其相繼的關於發展無線電的法令是蘇聯無線電長期建設的綱領。

1918年秋根據列寧的倡導, 在著名的科學家 M. A. 班赤——布魯耶維奇, A. Ф. 淑林和 B. II. 伏羅格金的領導下組織了成為國家性的科學研究機關的著名的「尼日城無線電實驗所」。在這裏製造了無線電電子管, 高頻電機, 水銀整流器, 建立了世界上第一個無線電廣播電台。在尼日城無線電實驗室中蘇聯科學家的工作大大地超過了外國無線電工程的水平。

在1922年曾組織了聯合所有無線電工廠和其他同類企業的弱小電流工廠的電工托拉斯, 在列寧格勒有了電真空工業, 並建立了中央無線電實驗所。

1928年電子管的生產轉到「斯維特藍工廠」。

還是在二十年代中或者更晚, 根據列寧和斯大林的倡導, 根據草案, 在蘇聯科學家和工程師 A. И. 明次, З. И. 莫傑利和

И.Г. 克萊次金等的參加下，在我國建立了舉世無匹的無線電廣播電台。

爲了滿足蘇聯人民不斷增長着的文化上的需要和鞏固國防力量所建立起來的蘇聯工業，在偉大衛國戰爭年代中發展到應有的高度，在我們黨和政府的領導下，蘇聯無線電工業對完成斯大林同志的歷史性的指示保證了必需的基礎，指示說明在現代的運動戰中無線電是指揮部隊的主要工具和最可靠的通訊方式。

在過去的戰爭中，在殲滅德國法西斯和日本帝國主義的勝利戰爭中，蘇聯無線電的作用是不能評價的。

三十年來蘇聯無線電工程巨大的成就是蘇聯科學家，工程師——實踐家共同努力的結果。蘇聯科學家和專家們的主要成就在這短短的緒論中不可能列舉。

特別要注意的是很多大的發明和無線電工程問題得到解決的優先地位是屬於對世界科學和技術發展有極大貢獻的祖國的科學家。

В.М. 列別傑夫，М.А. 班赤——布魯耶維奇，В.П. 伏羅格金，А.И. 別爾格，А.Л. 明次，З.И. 莫傑利和很多其它科學家的著述爲大功率的無線電發射電台的建設奠定了基礎。

在整個階段上都優越於外國成就的蘇聯無線電發射設備技術的特點是始終竭力給予工程的計算以科學的改進。А.И. 別爾格，И.Г. 克萊次金，А.Л. 明次，С.И. 耶夫佳諾夫，И.Х. 諾瓦日斯基，В.Н. 索蘇諾夫和其他人的著作使得發射機中產生的很複雜現象的計算化爲最簡單的工程運算。

В.И. 西弗洛夫，Л.Б. 斯列潘，Н.Н. 克雷洛夫，П.Н. 庫克先科，В.А. 高傑里尼柯夫等在無線電接收方面的著作是盡人皆知的。

無線電創始人 А.С. 波波夫的卓越工作給祖國無線電接收技術奠定了基礎。

А.С. 波波夫發明了記錄接收機，而他的助手 П.И. 雷布金

發現了耳聽接收的可能性。

祖國科學家對於無線電接收機中和各個元件中所產生之複雜物理現象的質量上和數量上的研究及其以後的著作對世界的科學有着很大的貢獻。

首先必須提到的是И.Г.弗列依曼，А.И.別爾格，Л.Б.斯列潘在檢波理論方面的研究，В.А.高傑里尼柯夫，А.Н.樹金，Н.Н.克雷洛夫，В.И.西弗洛夫，В.И.布尼莫維奇關於干擾對無線電接收設備的影響的研究，В.Г.莫莫特關於選擇檢波和同步接收的研究，Г.В.布拉烏傑和О.Б.魯里耶關於電視放大器的研究等。

科學家Н.Д.巴巴列克西和Л.И.曼德爾史達姆同他們很多的學生在理論無線電工程方面有着卓越的貢獻。

М.В.樹列金，А.А.彼斯多里哥爾斯，М.С.聶衣曼，И.Г.克萊次金，В.В.塔塔林諾夫和Г.З.阿堅別爾格在天線技術方面的著作享有應有的光榮。

在各種類型新天線系統的研究和創造中，蘇聯科學家有着極大的功勳。М.В.樹列金，Л.А.羅然斯基和И.Г.克萊次金是天線一般理論的創造者，他們不僅科學地創立了天線的工程計算，同時深深地鑽透了電磁波輻射過程的實質。

在很多情況下都大大超過和優越於外國的研究的В.В.塔塔林諾夫，А.А.彼斯多里哥爾斯，М.С.聶衣曼，В.В.布拉烏傑，С.И.那堅聶科和Г.З.阿堅別爾格的著作中，這個理論繼續地向前發展了。

М.В.樹列金，М.А.班赤——布魯耶維奇，В.А.弗維堅斯基，А.Н.樹金，В.А.弗克，А.Г.阿林別爾格，В.Н.格先尼，М.П.多魯哈諾夫等對於各種波段的無線電波傳播問題的研究在科學上有着很大的貢獻。

在無線電波傳播方面，М.В.樹列金是一個大的學派的建立者。他研究了地波的輻射理論並比萬得坡早八年就給出了無線

電波沿地面傳播的計算公式。M. B. 樹列金比外國學者早四年於1920年就給出了電離層中無線電波折射的理論基礎。

B. A. 弗維堅斯基院士的著作及其研究超短波傳播規律的學派，以及給予電磁波傳播以綜合理論的 B. A. 弗克院士的理論著作都得到全世界的公認。

在短波傳播理論的研究方面，蘇聯科學家起着領導作用。由 A. H. 樹金所創造的能夠進行短波無線電通訊計算的新理論起着很大的作用。

在研究諧振腔和波導管方面的優先地位是屬於祖國科學家。

這裏只須指出人所周知的 B. A. 弗維堅斯基，M. C. 聶衣曼，A. Г. 阿林別爾格，П. E. 克拉斯奴史金，Г. B. 基遜科等的著作也就夠了。這些著作對解決公分波波段的問題無疑是大大地推進了一步。

蘇聯無線電的先鋒 M. A. 班赤——布魯耶維奇還在1919年就創造了放大級的理論，首次實現了大功率電子管的水冷卻，他創造了第一個可拆卸的電子管，在1931年提出柵極接地的三極管放大線路。

M. A. 班赤——布魯耶維奇在世界上第一個提出了主要的公分波振盪器——多腔磁控管，他的同志 H. Ф. 阿列克謝耶夫和 Д. E. 馬萊洛夫在1938年詳細地研究了此管。

A. A. 切爾那舍夫院士在世界上首先創造了電子管的旁熱式陰極。

現代電視的創造者是俄國科學家 Б. Л. 羅金格教授，他在1907年就倡議在接收機中利用電子射線管來產生影像（用來在接收端產生影像的管子稱為「電子顯影管」）。

在1931年 С. И. 卡達耶夫得到具有光電陰極的電子發送器（攝像管）的申請後，Б. Л. 羅金格的倡議才可能實現，後來 С. И. 卡達耶夫和 П. B. 史馬科夫與 П. B. 基莫弗耶夫又共同對攝像管進行了改善。原本的電視系統是 Г. B. 布拉烏傑所倡議的。

爲了提高發射管的靈敏度，有名的蘇聯工程師 Л. А. 庫別茨基提出從來未有的電子倍增原理。

創造第一個利用檢波器偶代替電子管的放大器和振盪器，即所謂晶體放大器的優先地位是屬於 М. А. 班赤——布魯耶維奇的助手之一——О. В. 魯謝夫（1923年）。

引射天線方面的優先地位屬於還在1912年就提出了這概念的俄國科學家。

在結束對祖國革新者在世界科學和技術發展中的作用的很不完全的敘述時，我們還應該談談第一個榮獲 А. С. 波波夫教授金質獎章的蘇聯科學院通訊院士 В. П. 伏羅格金的卓越活動。

在 В. П. 伏羅格金積極地從事科學活動的四十年中，他給世界無線電工程的發展事業帶來極珍貴的貢獻。

在1912年 В. П. 伏羅格金創造了世界上第一批中之一個功率爲2仟瓦頻率爲60仟赫的高頻電機。В. П. 伏羅格金的關於這一電機以及更大功率的高頻電機的設計工作是具有世界性的名望的。1920年 В. П. 伏羅格金研究並製造了世界上第一個供電給大功率無線電報台用的有液體陰極的高伏水銀整流器。В. П. 伏羅格金對於將無線電工程應用在工業方面的功績特別大。在1930—1935年他研究並運用了感應爐到工業上用高頻電流熔化金屬。

В. П. 伏羅格金是應用高頻電流進行金屬的熱處理的發明者和組織者，在此方面他是從1935年開始工作的。

循着無線電發明家 А. С. 波波夫的光榮傳統的道路，我國無線電工程方面的科學家和專家證實了蘇聯元帥斯大林的話是正確的：

「我相信，如果給予我們的科學家以應有的幫助，在最短時間內他們不僅可以趕上並能超過外國科學的成就」。

2. 海軍中的無線電工程設備

海軍中的無線電設備主要是用來通訊和觀測。

無線電通訊設備與別的通訊設備比較有以下優點：

- 1) 可在任何距離內進行聯絡；
- 2) 可以同活動的目標進行聯絡（軍艦、飛機等）；
- 3) 可以同不知道所在的目標進行聯絡；
- 4) 可以進行循環聯絡。

在耳聽或自動接收的情況下電報通訊是無線電通訊最普遍的一種。自動接收是將接收的訊號按摩爾斯電碼記錄在帶子上，或者是直接地打印出字母來。自動接收（和發射）能大大提高通報的速度。

無線電話通訊同樣被廣泛地應用，進行通話不需要訓練很好的無線電員。以發射不活動影像的傳真電報來通訊在無線電通訊岸線上很方便。

最常碰到的無線電通訊線是單訊道的和單路的。只能用在電報通訊的單訊道多路系統的特點是，在一個發射機和一個接收機的情況下可同時發射達九個電報訊號。

多訊道系統在一個發射機和一個接收機的情況下可以同時發射數個電報內容，其數目幾乎沒有限制；同樣，同時發射很多電話也是可能的。多訊道系統是較完善的，但與多路系統比較起來其構造是非常複雜的。

無線電工程觀測設備能利用接收到的被目標所輻射和反射的無線電波進行探索和定向。

最簡單的觀測形式是探索，即確定被觀測目標，在空間某處的存在。較完整的無線電觀測方法是定向，定向是確定無線電波的方向的，也就是無線電發射台和裝有電台的目標的方向。進行了兩個地點的定向後，就可確定發射電台所在的位置。

另一種確定目標位置的方法是以定向接收由觀測儀器本身所

輻射出去而被目標反射回來的無線電波為基礎，稱為無線電定位方法。

無線電定位方法使我們能找到反射無線電波的被觀測目標的方向，並且可利用測量時間間隔的方法確定目標的距離，在此時間間隔中無線電波以光的速度經過從設備到目標並由目標返回設備的路程。這種方法能確定各種物體的位置：船艦，飛機，潛水艇的瞭望鏡，飛行的砲彈，水的飛濺等等。

利用最完善的無線電定位方法可以從指示器的螢光屏上（例如裝在飛機上的）觀測地面的情況，地面上的對無線電波反射很好的目標（艦，橋，鐵路，建築物）與反射較弱的目標（淡水湖，河，乾燥土壤等）顯然不同。

海軍中的無線電通訊和觀測設備不僅可用於作戰目的（戰鬥，指揮，偵察等），而且可以用來解決一些戰術上的問題——校正艦砲的射擊，引導驅逐機或高射砲指向目標以及用來導航和識別。

無線電工程設備也是各種遠距操縱設備中所不可缺少的一部份。

3. 基本定義

無線電工程學是以廣泛利用高頻電磁振盪作表徵的，所有振盪的週期性是由週期和頻率來確定，而對於無線電波還要用波長。

一週期性變量從某一起始值到下一與他相等的值，這之間所經過的連續變化的總體叫作週；再繼續變化，則與開始時完全相同。圖 1 中的劃線部分表示週。

進行一個週所經過的時間作叫週期，用 T 表示。

週期性振盪的週進行的快慢用頻率來表示，頻率等於每秒中所完成的週數。因此頻率與週期的關係為

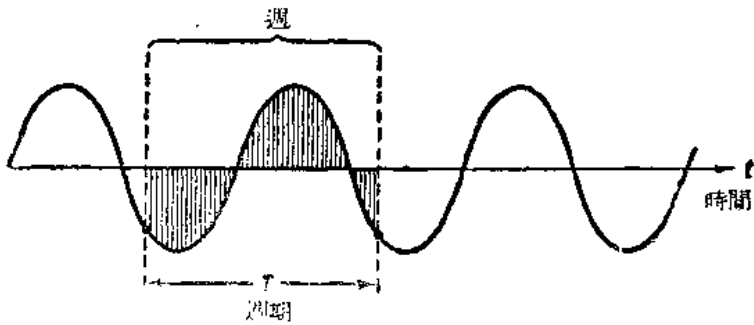


圖 1 週和週期的圖示

$$f \cdot T = 1 \text{ 或 } f = \frac{1}{T}$$

頻率以赫為單位：每秒鐘一週等於一赫，對高頻使用大的單位較方便，即用千赫和兆赫（百萬赫）。

1 千赫 = 1000 赫；

1 兆赫 = 1000 千赫 = 10^6 赫。

因為電的擾動在自由空間的傳送速度等於光速 C ，即接近於 3×10^8 公尺/秒，那麼週期性的擾動將以波的形式傳播。波長等於一週期中振盪所經過的距離，即：

$$\lambda = c \cdot T \text{ (秒)},$$

或是

$$\lambda \text{ (公尺)} = \frac{c}{f} = \frac{3 \times 10^8}{f \text{ (赫)}} \quad (1)$$

每一頻率值只相當於一定波長值，反之亦然；因此週期性可以用 f ，也可用 λ 來表示。

但是需要注意 (1) 式是對自由空間而言的，在其他情況中電磁能的運動速度等於某一值 v 。如果此空間充滿了一種介質，它的介電係數 $\epsilon \neq 1$ ，並具有導磁係數 $\mu \neq 1$ 的磁特性，那麼 v 和 c 之間的關係是

$$v = \frac{c}{\sqrt{\mu\epsilon}} = \frac{3 \times 10^8}{\sqrt{\mu\epsilon}},$$

所以由一般公式 $\lambda = \frac{v}{f}$ 確定之波長與介質的特性有關。

因此也由於以後所提到的其他原因，在無線電工程中都以頻率作為表示週期性的基礎，僅僅在個別的情況下為了參考起見才容許提到波長（在真空中或空氣中）。

在職業性的設備中採用固定波號制，下列關係為此制的基礎：

固定波號 $N = 25$ 千赫

因此以千赫表示的任意頻率 f 與其相當的固定波號 N 可用下式表示：

$$N = \frac{f \text{ (千赫)}}{25} = \frac{12000}{\lambda \text{ (公尺)}}$$

為了參考，引用反關係式

$$f \text{ (千赫)} = 25N = \frac{3 \times 10^8}{\lambda \text{ (公尺)}};$$

$$\lambda \text{ (公尺)} = \frac{12000}{N} = \frac{3 \times 10^8}{f \text{ (千赫)}}.$$

例如，如果 $f = 5000$ 千赫，那麼 $N = 200$ 和 $\lambda = 60$ 公尺；

如果 $N = 120$ ，那麼 $f = 3000$ 千赫 和 $\lambda = 100$ 公尺。

10000 赫的 ($\lambda = 30000$ 公尺) 頻率認為是高頻範圍的低限；而高限是在擴大着的，在目前已超過 3×10^{10} 赫即 30000 兆週 ($\lambda = 1$ 公分)。

可以利用電子管產生所有頻率的振盪。射頻的頻段規定分為若干段，在蘇聯採用下列的頻段劃分法：