

高等学校教学用书

無線电技术基础

WUXIANDIAN JISHU JICHU

上 册

И. С. 哥諾洛夫斯基著

人民教育出版社

高等学校教学用书



无 线 电 技 术 基 础

WUXIANDIAN JISHU JICHU

上 册

И. С. 哥諾洛夫斯基著

人民邮电出版社译

人民教育出版社

本书系根据苏联国立邮电书籍出版社 (Связьиздат) 1957年出版的哥诺洛夫斯基 (Н. С. Гоноровский) 所著“无线电技术基础” (Основы радиотехники) 译出。原书经苏联高等教育部多科性高等工业学校和机械制造高等学校总局审定, 为无线电高等学校和无线电系用的教学参考书。

本书是作者根据在莫斯科航空学院教学的讲稿而写成, 原由人民邮电出版社翻译出版, 现改由我社分两册出版, 上册包括第一章至第九章, 第十章以后为下册。

本书首先叙述由无线电电路发送和接收的信号, 然后叙述无线电设备的各种基本电路以及其中所发生的一些现象和变换。本书用了比较多的章节讲述频谱分析, 无线电信号在发送和接收中的瞬变过程及电路理论, 并有不规则过程和无线电接收中抗干扰性的基本概念; 但本书未列入无线电电路元件、波导、空腔谐振器、电波发射与传播等内容。

本书可作为高等工业学校无线电类专业“无线电技术基础”课程的教学用书, 也可供从事无线电的科学技术人员参考。中译本出版时, 作者特为中国读者写了序言。

无线电技术基础

上册

И. С. 哥诺洛夫斯基著

人民邮电出版社译

(北京市书刊出版业营业登记证出字第2号)

人民教育出版社出版(北京景山东街)

民族印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行

各地新华书店经售

统一书号 15049·1931 开本 850×1168 1/32 印张 12 2/16

字数 331,000 印数 13,001—21,000 定价(7) 7.40

1961年5月第1版 1961年10月北京第2次印刷

中譯本序

虽然本书是作者根据在莫斯科航空学院讲授“无线电理論基础”时按照教学大纲写成的教科书，但可以相信，本书俄文版序言中所提到的在方法和内容方面的安排，对中国无线电系的同學也是有益处的。

当出版“无线电技术基础”中文版之际，作者曾仔細审閱了第一版（俄文版），并作了許多修正。

改正了发现的一些錯誤，修改了某些图，同时也将某些定义和公式加以精确化。

作者承认，虽然经过了上述修正，书中难免仍有缺点。

作者深知中国讀者是热爱知识、热爱劳动和善于钻研的，因此我相信，由于“无线电技术基础”中文版的出版，将会收到許多宝贵的意見，使得本书再版时能够消除現有的缺点。

作 者

1959

前 言

这本教科書是根据作者在莫斯科C.奥尔瓊尼克茲航空学院無線电系講授的講义而編写的。本書符合苏联高等教育部制訂的無線电工程系用“無線电工程原理”課程的教学大綱。

本書的內容和叙述程序是考虑到最近几十年来的一些变化而写成的，这些变化是在訓練無線电專業人員的教育計劃中不断积累起来的，也是由于無線电技术的迅速发展的一系列新的無線电技术及無線电电子学部門的产生而引起的。

本書的叙述次序是首先研究由無線电电路發送和接收的信号，然后叙述無線电設備的各种元件以及其中所發生的一些現象和变换。

和以前苏联出版的一些無線电工程原理教科書相比較，本書所不同的地方是用了比較多的章节講述頻譜分析，無線电信号在發送和接收中的瞬变过程以及电路理論，第一次放进了不規律过程(随机过程)和無線电接收中的抗扰性的基本概念。

此外，也有在某些無線电工程原理的課程中講到的一些內容在本書中却沒有涉及。这些內容就是：波导和空腔諧振器，無線电波的發射与傳播以及超高频电子学等。

最近几年来的經驗說明，如果在無線电工程原理課程中包括这些內容，將只会使課程分量过重，而且与一些近似課程如电磁場原理、天綫饋电綫設備、电子管与离子管等有不必要的重复。

为了使無線电工程原理与上述一些課程的一些講解內容划分清楚起見，在本書中講述分佈常数电路原理时是以長綫理論为基础的，而沒有采用电动力学方程。

在整个書中，作者力求扼要而簡明地叙述一些初学的基本概念，但为了培养学生在發展如此迅速的学科——無線电技术中养成独立思考 and 創造性研究的習慣，也有比較复杂的分析方法。

作者希望本書对無線电系学生們有益，同时对广大的从事無線电

或与無線电近似部門的科学工作者、研究生和專業人員也有帮助。

手稿承下列各同志审閱并提出宝贵意見：B.B. 奥吉耶夫斯基教授、E.И. 孟納耶夫教授、H.Ф. 伏列尔涅夫教授、科学技术碩士A.И. 依凡諾夫——采岡諾夫和科学技术碩士B.H. 杜林。此外，講師Ю.A. 蒙捷依凡尔和教員B.И. 依里南提供了許多宝贵意見。莫斯科航空学院無線电工程原理教研組的同志和研究生协助加工和修改，对于本書的出版有很大帮助。其中特别是下列同志：И.Н. 高魯勃、B.A. 柯尔涅耶娃、И.И. 梅津采夫、Ю.В. 特朗宁、B.П. 焦明、B.И. 薩莫依連科和И.И. 安德列耶夫。

上述同志及其他同志的协助，使本書的質量得以提高，作者謹致以衷心的感謝。

作 者

上册目录

中譯本序

前言

第一章 緒 論

§ 1.1 无綫电工程的任务	1
§ 1.2 无綫电工程发展简史	2
§ 1.3 无綫电收发信的主要过程	11
§ 1.4 綫性及非綫性系統	14
§ 1.5 本課程的任务与內容	21

第二章 控制信号

§ 2.1 控制信号的主要特点	22
§ 2.2 周期信号	23
§ 2.3 周期信号的举例	28
§ 2.4 功率在周期信号的頻譜中的分布	36
§ 2.5 非周期性信号	37
§ 2.6 富里哀变换的几种特性	43
§ 2.7 几种常用函数的頻譜	45
§ 2.8 在給定时段內的簡諧振蕩	50
§ 2.9 等間隔脉冲組的頻譜密度	53
§ 2.10 非周期信号頻譜中的能量分布	54
§ 2.11 不規則信号。基本特性	59
§ 2.12 具有随机相角的簡諧振蕩的綜合	68
§ 2.13 杂乱脉冲串	72
§ 2.14 某些实际信号的特性	75

第三章 已調制振蕩

§ 3.1 一般定义	79
------------	----

§ 3.2	已調幅振蕩	80
§ 3.3	已調幅振蕩的頻譜	82
§ 3.4	調角。調頻和調相的關係	90
§ 3.5	簡諧角調制時的振蕩頻譜	96
§ 3.6	複雜信號角調制時的振蕩頻譜	105
§ 3.7	混合調制(調頻和調幅)時的振蕩頻譜	111

第 四 章 振蕩系統。單諧振槽路

§ 4.1	引言	113
§ 4.2	串聯振蕩槽路。電壓諧振	113
§ 4.3	串聯槽路的諧振曲綫和相位特性曲綫	116
§ 4.4	串聯槽路的通過頻帶	127
§ 4.5	諧振時的能量關係	130
§ 4.6	并聯槽路電流諧振	132
§ 4.7	并聯槽路的諧振曲綫和相位特性曲綫。通過頻帶	140
§ 4.8	并聯槽路的代換電路	144

第 五 章 振蕩系統。耦合電路

§ 5.1	耦合類型。耦合係數	147
§ 5.2	耦合槽路中各電流之間的關係。 第一槽路的替換電路圖	154
§ 5.3	雙槽路系統的諧振頻率	158
§ 5.4	耦合槽路的調諧	162
§ 5.5	雙槽路系統中的能量關係	167
§ 5.6	雙槽路系統的諧振曲綫	168
§ 5.7	雙迴路系統的通過頻帶	176
§ 5.8	振蕩器與雙槽路系統的并聯	179

第 六 章 綫性網絡原理

§ 6.1	複雜網絡中確定電流和電壓的方法	186
§ 6.2	能量函數	191

§ 6.3 二端网络	197
§ 6.4 四端网络。四端网络传输系数的频率特性	207
§ 6.5 无源四端网络的基本公式	215

第 七 章 具有分布常数的电路

§ 7.1 概論	219
§ 7.2 均匀线路在簡諧激励时的主要方程	220
§ 7.3 边界条件的計算	226
§ 7.4 均匀线路的特性阻抗和傳播常数	230
§ 7.5 在各种負荷下的无損耗线路	239
§ 7.6 高频线路的主要应用	250

第 八 章 滤波器及鏈电路, 仿真线路

§ 8.1 均匀鏈电路的基本方程	258
§ 8.2 方程式的解法	260
§ 8.3 終端帶匹配負荷的鏈电路的輸入阻抗	265
§ 8.4 均匀对称鏈电路的傳輸常数和特性阻抗	266
§ 8.5 以純电阻作負荷的无損耗均匀鏈电路	273
§ 8.6 滤波器, 概論	275
§ 8.7 低通滤波器	278
§ 8.8 高通滤波器	283
§ 8.9 帶通滤波器	285
§ 8.10 帶阻滤波器	289
§ 8.11 复合滤波器	292
§ 8.12 仿真线	297

第 九 章 控制信号和已調制振蕩通过綫性系統的过程

§ 9.1 引言	303
§ 9.2 福里哀积分在复变数中的推广、拉普拉斯变换	303
§ 9.3 脉冲信号通过微分电路和积分电路的情形	316
§ 9.4 脉冲信号通过低通滤波器时的情形	321

§ 9.5	脉冲电动势作用在振荡槽路上的情形.....	326
§ 9.6	脉冲电动势作用在耦合槽路上的情形.....	330
§ 9.7	调幅振荡通过振荡槽路的情形。音频调制.....	334
§ 9.8	高频脉冲作用在振荡槽路上的情形.....	340
§ 9.9	研究调幅时谐振系统中瞬变过程的近似法.....	343
§ 9.10	调频振荡通过振荡槽路时的情形.....	349
§ 9.11	具有分布常数系统中的瞬变现象。基本方程式.....	356
§ 9.12	接入任意电压时的第一个入射波.....	359
§ 9.13	传输线终端的电波反射.....	365
§ 9.14	波在有限长度的传输线上的多次反射.....	370
§ 9.15	波在终端短路传输线上的建起状态.....	372
§ 9.16	波在终端开路的传输线上的建起状态.....	377

第一章 緒 論

§ 1.1 無線電工程的任務

無線電工程的主要任務是不用導線發送和接收各種電氣信號。這個任務是靠無線電發射機的天線發射電磁波形式的能量，而用接收機天線接收其中一部分能量而完成的。在發射機及接收機周圍，發射出來的能量以自由電磁波的形式傳播着，其性質和光波特徵相同；所不同的只是波長而已。

發射現象是無線電技術最主要的特徵。這就是“無線電”這一術語的來由〔因為“無線電”(радио)一語是從拉丁字 radio (發射) 一字得來的〕。

從物理課程中知道，只有當波長與發射設備的幾何尺寸相差不大時才能有效地發射電磁能。這就使我們在無線電技術中必需採用高頻振盪。因此，雖然天線的發射及工作問題以及無線電波傳輸問題是其他課程的內容，而在本書中沒有討論。但無線電基礎這一課程的主要內容仍然具有高頻技術的特點。

無線電工程的第二個特點是廣泛地運用電子器件。

開始時高頻技術和電子學是作為無線電發送及接收的機件而發展起來的，但現在由於在工業中、技術中及科學中也運用這些器件來解決許多與電磁波發射無關的任務，所以它們已具有獨立的性質了。

現代無線電技術的用途是說不盡的：如無線電報、無線電話、無線電廣播、傳真、電視、海空航運、雷達、移動目標的遙控、報時服務、無線電氣象等。上述這些例子還遠不是全部。

高頻技術在工業的應用中有：鋼的表面淬火，木材及其他材料的處理，食物的防腐等。由於不斷的發展，還可用高頻的方法來測定好些非電氣量值（如壓力、振動、極小的位移等）。

高頻技術不但應用於科學及醫學，而且可用於核物理領域中的最

新研究工作中。

無綫電技術之所以廣泛地為各種科學及技術領域所採用，是由於它在研究及運用瞬變過程（高頻振蕩、脈沖）中積累了很多經驗的緣故。

為了說明無綫電工程的基本問題及找出在學習“無綫電技術理論基礎”一課中的最根本的問題，簡單地介紹一下無綫電工程從它誕生起一直到今日止所歷經的道路是有好處的。

§ 1.2 無綫電工程發展簡史

1895年5月7日被認為是發明無綫電通信的日子。在那天亞歷山大·斯捷潘諾維奇·波波夫在彼得堡俄羅斯理化協會的會議上作了他的著名報告“金屬粉末與電波的關係”，並表演了他所發明的“雷電指示器”。這個雷電指示器正象發明者所指出的那樣：“可以用來遠距離傳遞信號。”在這消息發表以前，波波夫及其同事們研究電磁波已好多年了。

必須指出，A. C. 波波夫的這一天才的發明是在以前所發展的電和電磁場科學的基礎上獲得的。首先要提到的是英國學者法拉第對電磁場所進行的研究。他於1831年所發現的電磁感應定律奠定了電磁場及電磁波傳播理論。麥克士威爾出色地解決了這個理論，並於1864年提出了電磁場的一般理論。1873年刊出了麥克士威爾的論文。麥克士威爾理論的主要原理是電磁波服從光的規律，這一事實曾遭到人們的懷疑。在1888年Γ. 赫茲用實驗發現了電磁波，但仍未能使它付諸實際應用。

1895年波波夫在俄國理化協會做報告時所表演的卓越發明是由導線 A （天線）、盛滿金屬粉末的管子 K （粉末檢波器）及電報機 T 所組成（圖1.1）。其中的電報機是用來使所收到的信號記錄在紙條上的。

由天線 A 自空中收到的電磁波在天線——檢波器——大地的電路中激發出高頻電流。當此高頻電流流經粉末檢波器時使粉末發生變

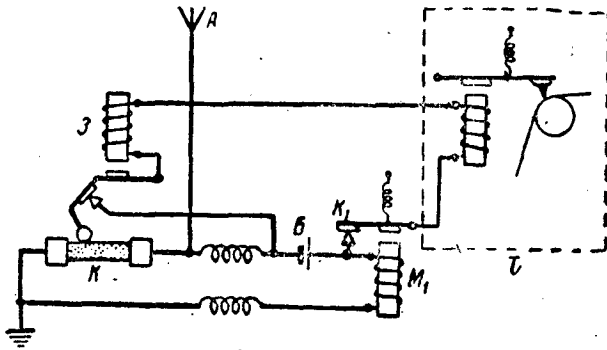


圖 1.1

化，而使粉末檢波管中兩電極間導電率增大。這就使流經電磁鐵 M_1 線圈的直流電流增大，並閉合接點 K_1 ，使電報機 T 及蜂鳴器 3 接入電源。蜂鳴器小錘周期地敲擊粉末檢波器，使粉末發生抖動而恢復它的電阻。在電報機的紙條上印下一條條的黑道，它的長度與檢波器中高频電流的作用持續時間成比例。

由這裡可看出波波夫的雷電指示器包括無線電接收裝置的全部零件：用來吸取電磁波能量的天線；將高频電流變成信號的儀器及用以記錄信號的裝置。

1896 年，A. C. 波波夫曾用如圖 1.1 那樣的收報機在俄羅斯理化協會的會議上來表演接收相距 250 米的無線電報信號。第一封電報的電文為：“亨利·赫茲”(Генрих Герц)。由於 A.C. 波波夫完成許多重大的工作，才使電磁波作為通信工具有實際的意義。這些工作中包括：提高粉末檢波器的靈敏度；發明了天線；組成靈巧的電路以保證接收極其微弱的信號。

作為第一個高频振蕩源的是火花發報機。這個為波波夫所採用的最簡單的火花發報機（圖 1.2）由下列各部分組

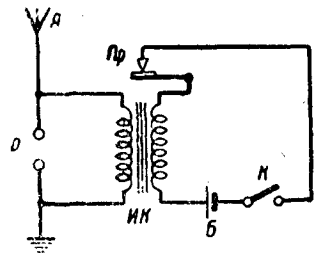


圖 1.2

成：电源（电池 B ）、电感线圈 HK 、火花隙 P 以及发射线 A （天线）。在电感线圈的初级电路中有一断续器 Πp ，使电源电路能周期地断续。当每一次闭合时电路中的电流相当慢地增大（由于线圈的时间常数很大），而在下次断路的瞬间在线圈的磁场中就储存了很大的能量。

在电路断开的瞬间，磁通量很快消失，因之在圈数很多的电感线圈中就感应出高电压。这就使连接在线圈上端的天线 A （它与大地之间有很大的电容）充电。当次级线圈两端的电压高到火花隙的击穿电压的时候，在火花隙两极间就发生火花，与天线构成回路，而几乎与已为火花隙的小电阻所短路的线圈无关。在天线回路中发生周期性的电容放电而形成衰减振荡（图1.3中 $a-\delta$ ）。这种振荡的周期主要决定于天线导线的电感及电容。当所有储存在天线电容中的能量全部消耗在回路本身电阻中和发射上时，火花停止，振荡消失，全部过程就结束。

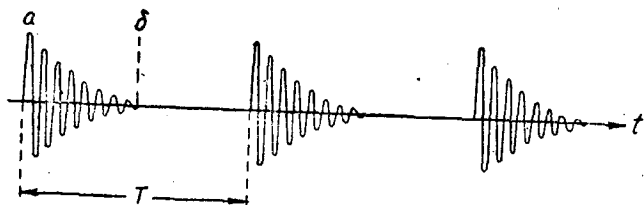


图 1.3

但由于电路中的断续器使电路周期地断开与合上，故上述过程将不断重复，而天线中的电流将成为一串周期地出现的衰减振荡（图1.3）。

在波波夫的发明后，大概在15年左右的期间内，唯一为无线电通信所利用的只有衰减振荡。那时用无线电传递的唯一信号是电报信号。

与活动对象进行无线电通信是有特别巨大意义的。因此，在1897年无线电通信为波波夫实际应用于俄国波罗的海舰队中，就不是偶然的了。波波夫在相距5公里的巡洋舰“阿非利加”号和练习舰“欧罗巴”

号間进行無綫电通信。不久，在波罗的海艦队及黑海艦队中都开始装备了無綫电报机。与此同时，俄国及外国学者和工程师們开始很快地在許多城市之間、国家之間甚至洲与洲之間建立起無綫电报通信。这是由于在前世紀末，电报通信已获得了很大發展并建立了極其發达的電纜綫路網，其中也包括海底電纜。由于有綫电报必須架設很貴的電纜，因而很快地导致了电信技术的革命。

到1910年，長距离电报通信已装备了大大改善了的火花發报机和晶体收报机。收报則都用耳听了。

在那一时期，衰减波接收和振蕩的理論已有發展。在A. A. 彼得罗夫斯基、Д. А. 罗然斯基及其他俄国以及世界学者的努力下，已了解了当时無綫电通信的基本原理，并已提出了火花式無綫电报的局限性和缺点。

其主要缺点是：由于衰减振蕩的頻譜太寬而引起的相互干扰；發射机發射出的振蕩平均功率和最大功率之比不适当，难以良好地进行無綫电通話。

至1910年后，由于出現了电弧式發射机，才有丟棄火花發射机的可能。电弧式發射机的功率足可达1500千瓦，这才使無綫电通信有可能用于远距离（达10000公里）。

其后电弧式發射机又为構造方面曾达極好效果的电机式發射机所代替。在20年代，B. П. 伏罗琴和Э. 亞历克山大尔松（美国）的高頻發电机获得很高的声望。

由B. П. 伏罗琴所做成的高頻交流發电机可發出頻率穩定度及效率都很高的高頻正弦形振蕩。此种高頻交流發电机的頻率約为20—40千赫，可用来作長波無綫电通信（波長約7.5—15千米）。

上面已講过，在这些年中衰减振蕩波是用晶体檢波接收机（矿石收报机）来接收的。为了能听出音調，則采用机械断續器，这断續器周期地將电路切断。

电子管的采用在無綫电技术发展引起了—个革命。有了电子管（几乎是一个理想的完善的繼电器）后才有下述可能：第一是有可能

在很寬的頻帶內進行放大和有效的振盪；第二是有可能發送任何形狀及複雜的信號。

用現代的術語來說就是：電子管是慣性極小的電氣器件，可傳送隨便多寬頻譜的信號。只要所傳送的頻帶小於用來發射的載波頻率就可以了。這是不用奇怪的，在極短時期內就掌握了無線電話（商業的及業務的無線電話）及音樂的發射與接收，這就是無線電廣播的開始，然後傳送固定影像（傳真電報）以及其他方式的通信。

在革命前的俄國無線電技術及無線電工業是非常薄弱的。沙皇政府對 A. C. 波波夫的發明不加重視，而且也沒有對當時俄國無線電技術方面的學者給予應有的支持。雖然沒有這些支持，但是於 1917 年在俄國還是設立了規模很大的無線電專業學校，它們自己的研究成果常常超出外國的科學思想。可是由於當時缺乏工業基礎，所以不能製造及廣泛採用無線電機件。

只有在十月革命以後無線電技術及工業才開始蓬勃地發展。其中蘇維埃政府及 B. И. 列寧對組織無線電廣播事業及無線電工業的各種措施是起了很大作用的。在 M. A. 蓬奇—布魯耶維奇及當時其他蘇聯無線電專家的領導下形成了科學中心（尼熱哥羅德城無線電實驗室）。

為了了解無線電技術今後的主要發展方向，必須考慮下述兩點：
1) 熟悉新的波段和 2) 各種波段的無線電波的傳播特性。

第一點與電子器件的發展有很密切的關係，以致使高频技術所應用的範圍幾乎被擴展到無限大。

與無線電傳遞信息（無線電通信）的同時，高频技術也開始滲入有線電信、工業、科學、醫學以及其他部門中了。

第二點只是對無線電通信才有重要意義，他限制了選擇傳送信號的方法。在所有傳遞信號的許多方法中，最好的只是能保證有利於無線電傳播以及能在傳播時保持信號結構的那一種。

這些問題我們將比較詳細地來討論。當無線電波在地面大氣中傳播時會發生吸收、折射、反射、繞射及干涉現象。所有這些光波傳播時所固有的現象，在這情況下具有一系列和長波及地面大氣結構有關

的特点。

从现在的观点看来，地面大气只有在贴近地球表面的那一層才是很好的电介質。在太陽光及自太空中来的其它射綫的作用下，上層大气被游离并开始具有半导体的特性。游离最厉害的是發生在所謂“电离層”的上層大气。虽然电离的程度在不同高度上是極不均匀的，界限也很模糊，而且随着季度、晝夜、地理环境以及其他因素而变化，但围着地球終究还可分成好几層。根据各种不同波長無綫电波的發射条件和采用專門的“电离層”电台来进行的無数次研究的結果，終于將电离層分成下列几个主要的層：高度为 50 公里左右的 D 層；高度为 100—150 公里的 E 層和高度在 200—500 公里左右的 F 層。

D 層只有白天才存在。 E 層的电离密度在夜間也減弱得很厉害，所以 E 層主要也只有在白天对無綫电波的傳播有影响。在白天， F 層分成 F_1 及 F_2 兩層。 F_1 層的高度約为 200 公里，而 F_2 層則为 300 到 400 公里。

在所有电离層中以平均电离密度最大的 F_2 層最为稳定。

如上面所指出的，各層电离層的高度和厚度以及电离程度是随着太陽及其它射綫的作用而变化，其变化規律是比較复杂的。因此上述的电离層的情景不过是一种假設而已。可是根据这个电离層位置，已可以推求不同波長無綫电波傳播的主要特点了。

在長波段 ($\lambda = 3000$ 米或以上)，由于發射天綫的尺寸比这样長的波長小得多，故天綫的發射一般都是沒有方向性的，并且發射出去的电波在地球表面（地面波）上的傳播几乎在所有方向上都是相同的。長波的主要特性是它能沿地面繞射。

当無綫电波沿着地面傳播时，它的能量会被大地所吸收，其吸收的程度則随着地面地形和土壤的电气特性而異。当無綫电波在导电率很好的地面上傳播时，它的吸收作用很小，电波的衰减也就很小。在为半导体的一般土壤上傳播时，波場就会使土壤中形成傳导电流及位移电流，这些电流將导致能量的損耗。降低頻率可以很快地減小土壤中的損耗。因为地面波几乎不受上層电离層的影响，所以長波通信