

無線電技術基礎

苏联 И. С. 哥奧洛夫斯基著

人民郵電出版社

И. С. ГОНОРОВСКИЙ

ОСНОВЫ

РАДИОТЕХНИКИ

Связьиздат 1957

內 容 提 要

本書是作者根据在航空学院教学的講稿而写成,考虑到最近几年来無線电技术的迅速发展,这本教科書比一般無線电原理的教科書增加了許多内容,如頻譜分析、电路理論,信号在發送和接收中的瞬变过程等。講述簡明、扼要,也有比較复杂的分析方法,对于培养学生的独立思考有很大的帮助。符合于苏联高教部所制定的教学大綱。本書不仅对無線电系的学生有益,对于从事無線电的科学工作者、專業人員也是一本好讀物。中譯本出版时,作者特为中国讀者写了序言。

無綫电技术基础

著者: 苏联 И. С. 哥 奥 洛 夫 斯 基

譯者: 人 民 邮 电 出 版 社

出版者: 人 民 邮 电 出 版 社

北京东四六条13号

(北京市書刊出版業營業許可証出字第〇二五号)

印刷者: 北 京 市 印 刷 一 厂

發行者: 新 华 書 店

开本 250×1168 1/32

印张 23 8/32 頁数 372

印刷字數 646,000字

1959年9月北京第一版

1959年9月北京第一次印刷

印数 1-6,100册

統一書号: 15045·总 1060-無 287

定价: (10)3.95元

中譯本序

虽然本書是作者根据在莫斯科航空学院講授“無線电理論基础”时按照教学大綱写成的教科書，但可以相信，本書俄文版序言中所提到的在方法和內容方面的安排，对中国無線电系和無線电学院的同学也是有益处的。

当出版“無線电基础”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。

改正了發現的一些錯誤，修改了某些圖，同时也將某些定义和公式加以精确化。

作者承認，虽然經過了上述修正。書中难免仍有缺点。

作者深知中国讀者是热爱知識、热爱劳动和善于鑽研的，因此我相信，由于“無線电基础”中文版的出版，將會收到許多宝贵的意見，使得本書再版时能够消除現有的缺点。

作 者

前 言

这本教科書是根据作者在莫斯科С.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 and 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没有涉及。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，而没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 創造性研討的習慣，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貴意見：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. А. 蒙捷依凡尔和教員 B. И. 依里南提供了許多宝貴意見。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。其中特別是下列同志：И. Н. 高魯勃、B. А. 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

目 录

中譯本序 前 言

第一章 緒 論

§ 1.1	無線電工程的任務·····	1
§ 1.2	無線電工程發展簡史·····	2
§ 1.3	無線電收發信的主要過程·····	11
§ 1.4	線性及非線性系統·····	14
§ 1.5	本課程的任務與內容·····	21

第二章 控制信號

§ 2.1	控制信號的主要特點·····	22
§ 2.2	周期信號·····	23
§ 2.3	周期信號的舉例·····	28
§ 2.4	功率在周期信號的頻譜中的分佈·····	36
§ 2.5	非周期性信號·····	37
§ 2.6	富里哀變換的幾種特性·····	43
§ 2.7	幾種常用函數的頻譜·····	45
§ 2.8	在給定時段內的簡諧振盪·····	50
§ 2.9	等間隔脈沖組的頻譜密度·····	53
§ 2.10	非周期信號頻譜中的能量分佈·····	54
§ 2.11	不規則信號。基本特性·····	59
§ 2.12	具有隨機相角的簡諧振盪的綜合·····	68
§ 2.13	雜亂脈沖串·····	72
§ 2.14	某些實際信號的特性·····	75

第三章 已調制振盪

§ 3.1	一般定義·····	79
-------	-----------	----

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

第 四 章 振盪系統。單諧振槽路

§ 4.1	引言	113
§ 4.2	串聯振盪槽路。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 振盪系統。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	振盪器與雙槽路系統的并聯	179

第 六 章 綫性網絡原理

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

§ 6.3	二端網絡.....	197
§ 6.4	四端網絡。四端網絡傳輸系数的頻率特性.....	207
§ 6.5	無源四端網絡的基本公式.....	215

第 七 章 具有分佈常数的电路

§ 7.1	概論.....	219
§ 7.2	均匀綫路在簡諧激励时的主要方程.....	220
§ 7.3	边际条件的計算.....	226
§ 7.4	均匀綫路的特性阻抗和傳播常数.....	230
§ 7.5	在各种負荷下的無損耗綫路.....	239
§ 7.6	高頻綫路的主要应用.....	250

第 八 章 濾波器及鏈电路，仿真綫路

§ 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	以純电阻作負荷的無損耗均匀鏈电路.....	273
§ 8.6	濾波器，概論.....	275
§ 8.7	低通濾波器.....	278
§ 8.8	高通濾波器.....	283
§ 8.9	帶通濾波器.....	285
§ 8.10	帶阻濾波器.....	289
§ 8.11	复合濾波器.....	292
§ 8.12	仿真綫.....	297

第 九 章 控制信号和已調制振盪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	脉冲信号通过低通濾波器时的情形.....	321

§ 9.5	脉冲电动势作用在振盪槽路上的情形	326
§ 9.6	脉冲电动势作用在耦合槽路上的情形	330
§ 9.7	調幅振盪通过振盪槽路的情形。音频調制	334
§ 9.8	高频脉冲作用在振盪槽路上的情形	340
§ 9.9	研究調幅时諧振系統中瞬变过程的近似法	343
§ 9.10	調頻振盪通过振盪槽路时的情形	349
§ 9.11	具有分佈常数系統中的瞬变現象。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	傳輸綫終端的电波反射	365
§ 9.14	波在有限長度的傳輸綫上的多次反射	370
§ 9.15	波在終端短路的傳輸綫上的建起状态	372
§ 9.16	波在終端开路的傳輸綫上的建起状态	377

第 十 章 振盪的放大, 綫性放大器

§ 10.1	放大器的作用原理。主要放大状态	378
§ 10.2	綫性放大器中的基本关系。电子管板路的等效电路	384
§ 10.3	低频非周期性放大器	391
§ 10.4	电阻耦合脉冲放大器	397
§ 10.5	周期性脉冲羣通过电阻耦合放大器的情况	405
§ 10.6	直流放大器	408
§ 10.7	諧振放大器和頻帶放大器。已調幅振盪的放大	410
§ 10.8	射頻脉冲通过多級諧振放大器和頻帶放大器的情况	418
§ 10.9	共柵放大电路和共板放大电路	421
§ 10.10	超高频放大的特点	425
§ 10.11	晶体管放大器。作用原理	429
§ 10.12	晶体管放大器的等效电路和基本关系	434

第十一章 振盪的非綫性放大

§ 11.1	在大振幅振盪时电子管的工作状态	439
§ 11.2	非周期性功率放大器。推挽电路	444
§ 11.3	諧振功率放大器	447
§ 11.4	諧振功率放大器的电路元件	453

§ 11.5 倍頻.....	457
----------------	-----

第十二章 振 盪

§ 12.1 引言。正絃振盪自激振盪器的普用电路.....	459
§ 12.2 几种主要的高頻自激振盪器电路。同校.....	463
§ 12.3 自激振盪器中振盪的产生.....	466
§ 12.4 稳态自激振盪的幅度和頻率的方程式.....	470
§ 12.5 稳态振幅的确定軟自激状态和硬自激状态.....	475
§ 12.6 自激振盪器中的相位平衡自激振盪的頻率穩定度.....	480
§ 12.7 板極电流的高次諧波对振盪頻率的影响.....	484
§ 12.8 双槽路自激振盪器石英晶体振盪器頻率牽引現象.....	490
§ 12.9 作为負电阻的受激电子管負阻管振盪器 負互导管振盪器.....	496
§ 12.10 电子管自激振盪器中振盪的建起过程。脉冲工作.....	500
§ 12.11 RC 型振盪器	510
§ 12.12 正弦波晶体振盪器.....	516

第十三章 振盪的控制 (調制)

§ 13.1 概說.....	517
§ 13.2 調幅.....	517
§ 13.3 平衡調幅.....	527
§ 13.4 調頻.....	529
§ 13.5 調相.....	536

第十四章 檢波和變頻

§ 14.1 引言.....	539
§ 14.2 幅度檢波。二極管檢波器.....	540
§ 14.3 幅度檢波。柵極和板極檢波.....	551
§ 14.4 頻率檢波.....	555
§ 14.5 相位檢波.....	564
§ 14.6 變頻.....	564

第十五章 外电动势对有回授系统的作用

§ 15.1 再生	569
§ 15.2 正弦电动势对自激振荡器的作用。频率的牵制效应	574
§ 15.3 牵制状态的建立过程	581
§ 15.4 负回授耦合放大器	590
§ 15.5 带回授的放大器的稳定性	594
§ 15.6 带回授系统的稳定性准则	598

第十六章 脉冲技术概要

§ 16.1 引言	611
§ 16.2 多谐振盪器	611
§ 16.3 间歇振盪器	624
§ 16.4 触发电路	629
§ 16.5 脉冲的形成	633

第十七章 脉冲调制

§ 17.1 脉冲调制的概念和主要定义	647
§ 17.2 几个脉冲调制电路	653
§ 17.3 脉冲调制的频谱特性。分析方法	658
§ 17.4 脉冲相位调制和脉冲频率调制的频谱	664
§ 17.5 信号频谱和节拍频率间的关系。柯捷尔尼科夫定理	669
§ 17.6 已调制脉冲的检测	675
§ 17.7 多路无线电通信原理	677

第十八章 无线电通信的抗干扰性

§ 18.1 干扰电平在接收无线电信号时的意义	684
§ 18.2 接收调幅信号和调频信号时正弦波干扰的作用	685
§ 18.3 接收脉冲信号时正弦波干扰的作用	691
§ 18.4 脉冲性干扰对接收设备的作用	696

§ 18.5	接收机的固有噪声.....	701
§ 18.6	杂音干扰对檢波器的作用.....	708
§ 18.7	接收有背景杂音的脉冲信号时的能量关系.....	714

附 录

I	不規則过程写成三角級数的習慣表示法.....	716
II	不規則过程的相关函数.....	718
III	噪声电压包絡綫分佈規律式的推导.....	723
IV	自激振荡器非綫性方程的近似解法.....	728
	参考書籍.....	732

第一章 緒 論

§ 1.1 無線電工程的任务

無線電工程的主要任务是不用導線發送和接收各种电气信号。这个任务是靠無線電發射机的天綫發射电磁波形式的能量，而用接收机天綫接收其中一部分能量而完成的。在發射机及接收机周圍，發射出来的能量以自由电磁波的形式傳播着，其性質和光波特性相同；所不同的只是波長而已。

發射現象是無線電技术最主要的特征。这就是“無線電”这一术语的来由〔因为“無線電”(радио)一語是从拉丁字 radio (發射) 一字得来的〕。

从物理課程中知道，只有当波長与發射設備的几何尺寸相差不大时才能有效地發射电磁能。这就使我們在無線電技术中必需采用高频振盪。因此，虽然天綫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。但無線電基础这一課程的主要内容仍然具有高频技术的特点。

無線電工程的第二个特点是广泛地运用电子器件。

开始时高频技术和电子学是作为無線電發送及接收的机件而發展起来的，但現在由于在工業中、技术中及科学中也运用这些器件来解决許多与电磁波發射無關的任务，所以它們已具有独立的性質了。

現代無線電技术的用途是說不尽的：如無線電报、無線電話、無線電广播、傳真、电视、海空航运、雷达、移动目标的遙控、报时服务、無線电气象等。上述这些例子还远不是全部。

高频技术在工業的应用中有：鋼的表面淬火，木材及其他材料的处理，食物的防腐等。由于不断的發展，还可用高频的方法来測定好些非电气量值（如压力、振动、極小的位移等）。

高频技术不但应用于科学及医学，而且可用于核物理領域中的最

新研究工作中。

無線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。

為了說明無線電工程的基本問題及找出在學習“無線電技術理論基礎”一課中的最根本的問題，簡單地介紹一下無線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 無線電工程發展簡史

1895年5月7日被認為是發明無線電通信的日子。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交

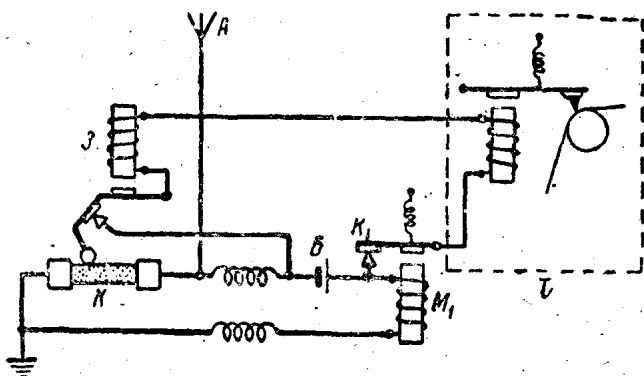


圖 1.1

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

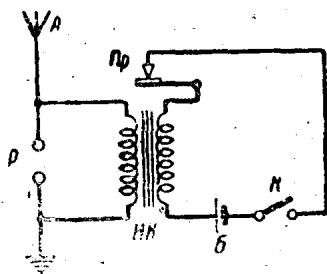


圖 1.2

成：电源(電池 B)、電感綫圈 HR 、火花隙 P 以及發射綫 A (天綫)。在電感綫圈的初級電路中有一斷續器 Πp , 使电源電路能周期地斷續。當每一次閉合時電路中的電流相當慢地增大(由於綫圈的時間常數很大), 而在下次斷路的瞬間在綫圈的磁場中就儲存了很大的能量。

在電路斷開的瞬間, 磁通量很快消失, 因之在圈數很多的電感綫圈中就感應出高電壓。這就使連接在綫圈上端的天綫 A (它與大地之間有很大的電容) 充電。當次級綫圈兩端的電壓高到火花隙的击穿電壓的時候, 在火花隙兩極間就發生火花, 與天綫構成迴路, 而幾乎與已為火花隙的小電阻所短路的綫圈無關。在天綫迴路中發生周期性的電容放電而形成衰減振蕩(圖 1.3 中 $a-b$)。這種振蕩的周期主要決定於天綫導綫的電感及電容。當所有儲存在天綫電容中的能量全部消耗在迴路本身電阻中和發射上時, 火花停止, 振蕩消失, 全部過程就結束。

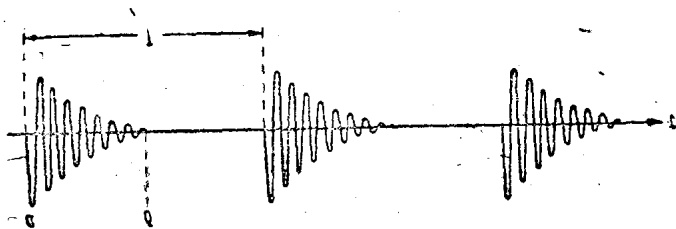


圖 1.3

但由於電路中的斷續器使電路周期地斷開與合上, 故上述過程將不斷重復, 而天綫中的電流將成為一串周期地出現的衰減振蕩(圖 1.3)。

在波波夫的發明後, 大概在 15 年左右的期間內, 唯一為無線電通信所利用的只有衰減振蕩。那時用無線電傳遞的唯一信號是電報信號。

與活動對象進行無線電通信是有特別巨大意義的。因此, 在 1897 年無線電通信為波波夫實際應用於俄國波羅的海艦隊中, 就不是偶然的了。波波夫在相距 5 公里的巡洋艦“阿非利加”號和練習艦“歐羅巴”

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裝备了無綫电报机。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綫线路網，其中也包括海底電綫。由于有綫电报必須架設很貴的电綫，因而很快地导致了电信技术的革命。

到1910年，長距离电报通信已裝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發展中引起了一个革命。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