

高等学校教学用书



无綫电物理学导論

WUXIANDIAN WULIXUE DAOLUN

上 册

B. И. 卡利宁 著
Г. М. 格尔什欽

李 洛 童 譯

人 民 教 育 出 版 社

高等学校图书馆

无线电物理学导论

WUXIANDIAN WULIXUE DAOLUN

上册

B. H. 卡利宁 著

T. M. 格尔什钦

李洛章 译

人民教育出版社

72

高等学校教学用书



无线电物理学导论

WUXIANDIAN WULIXUE DAOLUN

下 册

B. II. 卡利宁 著
I. M. 格尔什欽
高 煜 译

人民教育出版社

此书系根据苏联技术理论书籍出版社(Гостехиздат)出版的卡利宁(В. И. Калинин)、格尔什钦(Г. М. Герштейн)合编的“无线电物理学导论”(Введение в Радиофизику)一书1957年版译出的,原书曾经苏联高等教育部审定为国立大学的数学参考书。

中译本暂分上、下两册出版。上册内容包括:绪论及闭合振荡回路、具有分布常数的电路、波导管和空腔谐振器等三编。可供高等学校物理系、无线电系参考。

无线电物理学导论

上册

В. И. 卡利宁 Г. М. 格尔什钦 著

李洛宣 译

(北京市书刊出版业营业许可出字第2号)

人民教育出版社出版(北京景山东街)

中央民族印刷厂印、装

新华书店北京发行所发行

各地新华书店经售

统一书号 13010·873 开本 850×1168 $\frac{1}{32}$ 印张 10 $\frac{12}{16}$

字数 249,000 印数 00001—10,000 定价(6) 1.00

1961年12月第1版 1961年12月北京第1次印刷

本书系根据苏联国立技术理论书籍出版社(Гостехиздат)出版的卡利宁(В. И. Калинин)、格尔什钦(Г. М. Герштейн)合著的“无线电物理学导论”(Введение в Радиофизику)一书1957年版译出的,原书曾经苏联高等教育部审定为国立大学的教学参考书。

中译本暂分为上、下两册出版。下册内容包括:电磁振荡的发生和放大、超高频的产生和放大的问题、无线电信号的主要非线性变换、无线电接收的一些问题等四编。可供高等学校物理系、无线电系参考。

无线电物理学导论

下 册

В. И. 卡利宁 Г. М. 格尔什钦 著

高 煜 译

北京市书刊出版业营业许可证出字第2号

人民教育出版社出版(北京景山东街)

人民教育印刷厂印装

新华书店北京发行所发行

各地新华书店经售

统一书号 K13010·1059 开本 850×1168 1/32 印张 11¹³/₁₆

字数 234,000 印数 000,1—3,000 定价(6) 1.10

1962年6月第1版 1962年6月北京第1次印刷

序 言

我們偉大的前輩、無線電技術和無線電物理學的創始人和奠基者，A. C. 波波夫(1859—1906)，按理應當稱為第一個無線電物理學家(照這個名稱的最新涵義來理解)。他的研究工作為一系列最重要的現代問題(包括雷達的物理原理)奠定了基礎。但是，很久以後，才詳細探討了那一整套複雜的問題，這些問題使得無線電物理學能夠分出成為獨立的科學，並使它在物理科學這一廣闊系統中具有深刻的、有原則意義的重要性。

作為一門獨立學科，無線電物理學是在最近二三十年內建立起來的。這門年青科學的內容主要決定於電磁振蕩技術的物理基礎；由於無線電物理學和物理學以及力學-數學的其它科學部門之間存在着強烈的“相互作用”，這個內容在戰後年代里曾大大擴展，並在繼續擴展着。這裡只需指出無線電頻譜學和無線電天文學等新部門的建立和發展就夠了。特殊的無線電物理器件和研究方法，使實驗技術得以革新，並使現代物理學的各個部門(特別是原子物理學)能夠獲得巨大的成就。利用超高頻振蕩的方法解決了基本粒子加速問題，就是一個明顯的例子。另一方面，一系列最重要的無線電物理學問題提出來了，並且要解決這些問題，這就使得人們必須在改進數學儀器方面，在解決許多重要的機械性質的問題方面，特別是在振蕩理論方面，進行認真的研究。這裡只需指出下列事實：由於蘇聯無線電物理學家 Л. И. 曼杰里什坦院士和 Н. Д. 巴巴列克西院士這一著名學派的工作，現在不僅發展了許多研究各種各樣的無線電物理學問題的集體，而且這些集體已經成為許多研究自動調整、遠動學、自動學等理論問題的獨立學派(例如在高爾基大學和科學院的 А. А. 安德羅諾夫院士學派)。

苏联无线电物理学家在这門科学的各个发展阶段中所进行的工作，其特点都是理論和实际有机地联系。現在，无线电物理学在深入到物理科学的各个部門时，除了引入实验方法以外，还要引入无线电物理学的概念。无线电物理学的語言和術語越来越深入到普通物理学的術語之中，創造出了十分方便的，在許多問題上都极为明确的“振蕩理論的国际語言”（已故院士 И. И. 曼杰里什坦的說法），也就是对所有振蕩現象（机械振蕩，声振蕩，电磁振蕩，包括古典光学）的統一解釋。从这种“普通物理学”观点来研究无线电物理学，是培养“从物理方面思考”的习惯的最正确的道路；而这种习惯对每一个物理学家，不論他是实验家还是理論家，都是必要的。

无线电物理学对发展苏联文化、国民經济和国防的作用和意义，可以从苏联共产党二十次代表大会的一些指令中明显地看出。在这些指令中，十分重视发展无线电通信、无线电广播和电视中的新技术，在苏联国民經济中采用先进无线电方法，以及培养相应专业的专家等問題。因此，对无线电物理学教学書籍的需要，也就必定增长。在苏联的書籍中，有許多很好的无线电技术教学参考书和有关无线电技术中某些专业的教学参考书，但是实质上却没有一本无线电物理学教学参考书（如果不算 1932 年出版的 K. A. 列昂齐耶夫著“无线电技术的物理基础”那本早已陈旧的書的話）。

本书是編写这种教学参考书的一个尝试。它自然不能包括現代无线电物理学的所有方面，而且也沒有抱定这样的目的。这本书是根据作者近十五年来在薩拉托夫大学講授“无线电物理学講座”中一系列課程的材料編写而成，它的目的在于叙述无线电物理学中某些主要的一般性問題，闡明它們之間的关系，并根据需要用研討各种不同設備中所发生的过程的方法來說明这些問題。因此，这本书取名为“无线电物理学导論”。借此以強調指出，本书所談許多問題的进一步發揮和具体化，讀者可以在专业課程

的手册中以及专门论文中找到。

必须指出,本书不论在材料的选择上或是在叙述这些材料的顺序上,都有某些特点。在叙述电磁振荡理论、线性系统和信号变换、振荡和非线性变换一般理论等“古典”材料的同时,对超高频问题也给予很大的注意。无疑地,这不但符合于无线电物理学的现代情况,而且符合于它今后的发展趋势。超高频物理学和原子物理学、天文学、频谱学等密切相关。因此,除了研究超高频传输系统和振荡系统、由于场和电子的惰性所引起的特殊问题以及产生超高频振荡的新原理之外,还注意到超高频在研究物质电气特性方面的应用,注意到带电粒子加速器中的主要过程以及无线电天文学中的某些问题。

为了能广泛利用对无线电信号的频谱观念,和在研究最简单系统时广泛利用频谱概念,在绪论中简短地叙述了调制问题(即获得无线电信号的过程)以及反向过程(检波)的原理。这样,作者多少打破了过去的传统,即“在离开头很远的地方”,和其他非线性变换一起来叙述调制问题。这些非线性变换是已有的“现成”无线电信号通过非线性系统时所发生的过程,我们把它分出写成独立的一编(第六编)。振荡和放大问题,由于它们的物理实质相同,因而综合成为两编:第四编叙述“古典的”振荡和放大设备,第五编叙述超高频振荡和放大的问题。第七编简短地叙述噪声和超高频接收的问题,这些问题在现代无线电物理学的各个部门中,特别是在无线电天文学中,具有很大的意义。

考虑到必须使读者,特别是大学生读者养成独立工作的习惯,作者尽量避免过分详细地叙述某些个别问题;在某些情况下,建议读者自己去分析某些问题,并在每编之末列出主要教学参考书和专门文献。进行叙述时,假定读者除学过普通物理学的课程之外,还学过无线电工学的课程,并具有关于电子器件的基本概念。

本书第1—22章由B. И. 卡利宁编写, 第24—38章由Г. М. 格尔什钦编写, 第23章由二人合写。由B. И. 卡利宁对材料作总的加工整理。书中有若干章曾在我們无綫电物理学科学討論会上討論过。作者謹向所有参加討論的人表示深摯的謝意, 感謝他們的热烈討論和珍貴的意見; 并深深感謝参加編写本书手稿的同人和同学(A. И. 施迪罗夫, Г. Л. 維捷里斯, И. Д. 赫麦里科夫, A. B. 卡利宁娜, B. И. 塔塔布林)。此外, 作者还要向莫斯科大学的M. Д. 卡拉謝夫表示衷心的謝意, 感謝他仔細审閱本书初稿, 并提出許多宝貴的意見。

作者将本书看作为編写无綫电物理学教学参考书的一个嘗試, 因而一切批評意見和評論均將竭誠接受, 并在以后的著作中对这些意見和評論加以考虑。

B. И. 卡利宁 Г. М. 格尔什钦

目 录

序言	vii
緒論	1
第一章 无綫电路中的振荡过程	1
§ 1.1 引言·諧振荡过程	1
§ 1.2 瞬变过程	7
§ 1.3 能量关系	17
§ 1.4 振荡过程在相位平面中的表示法	19
第二章 振荡过程的頻譜	26
§ 2.1 福里哀級数和福里哀积分	26
§ 2.2 脉冲过程及其分析	30
§ 2.3 电路的主要特性	35
§ 2.4 綫性电路对复杂信号的反应(信号的綫性变换)	40
第三章 調制原理	45
§ 3.1 概述	45
§ 3.2 調幅	48
§ 3.3 調相	50
§ 3.4 調頻	53
§ 3.5 檢波原理	55

第一編 閉合振荡迴路

第四章 单閉合迴路中的强迫振荡	58
§ 4.1 自由振荡和强迫振荡·諧振現象	58
§ 4.2 串联振荡迴路中的諧振現象	64
§ 4.3 并联迴路的諧振頻率 and 等效阻抗	72
§ 4.4 并联迴路在諧振附近的情况	76
§ 4.5 諧振迴路的頻譜特性	82
第五章 耦合迴路中的振荡过程	88
§ 5.1 关于振荡迴路耦合的一般概念	88
§ 5.2 两耦合迴路中的自由振荡的分析	92
§ 5.3 耦合迴路中的强迫振荡	101
§ 5.4 耦合迴路中的諧振現象	104
§ 5.5 次級迴路中的电流情况的分析	109

§ 5.6 耦合迴路的諧振曲綫和頻譜的特性	116
§ 5.7 耦合迴路系統中的能量关系	125
緒言和第一編的补充資料	128

第二編 具有分布常数的电路

第六章 长綫理論基础	128
§ 6.1 引言	128
§ 6.2 电报方程	135
§ 6.3 长綫中波的反射現象	139
§ 6.4 綫路的輸入阻抗和波阻抗	143
§ 6.5 电磁波在长綫中傳播的特点	148
第七章 超高频下的长綫	156
§ 7.1 基本关系	156
§ 7.2 几个特殊情况	161
§ 7.3 利用綫路来变換和匹配阻抗	169
第八章 傳輸系統圓图基本原理	175
§ 8.1 基本关系式	175
§ 8.2 直角坐标圓图	176
§ 8.3 极坐标圓图	180
§ 8.4 应用圓图的几个例子	183
第九章 作为振蕩系統的长綫	189
§ 9.1 长綫的固有波长	189
§ 9.2 諧振綫的等效阻抗和品质因数	194
§ 9.3 具有分布常数的耦合系統	204
第十章 滤波电路原理	212
§ 10.1 滤波电路的一般等效电路	212
§ 10.2 滤波器的通頻条件	218
§ 10.3 多节滤波电路的一些特性	224
第二編的补充資料	229

第三編 波导管和空腔諧振器

第十一章 用波导管傳輸电磁能的物理基础	230
§ 11.1 波导管的一般概念	230
§ 11.2 波在波导管中傳播的物理状况	233
第十二章 矩形截面的波导管	239
§ 12.1 一般关系式	239

§ 12.2 矩形波导管中的电波	241
§ 12.3 矩形波导管中的磁波	245
§ 12.4 矩形波导管中的纵向波	251
第十三章 圆形截面波导管	253
§ 13.1 一般关系式	253
§ 13.2 圆形波导管中的电波	254
§ 13.3 圆形波导管中的磁波	260
第十四章 波导管中的损耗和衰减	264
§ 14.1 波导管中损耗的来源	261
§ 14.2 波导管壁有限电导(σ)的影响	264
§ 14.3 矩形波导管中的损耗	266
§ 14.4 圆形波导管中的损耗	270
§ 14.5 波导管中的介质的影响	273
第十五章 作为传输系统的波导管	277
§ 15.1 波导管的激励	277
§ 15.2 波导管和传输线相比较的条件	279
§ 15.3 “带状波导管”	287
第十六章 空腔谐振器	290
§ 16.1 超高频振荡系统的特点	290
§ 16.2 空腔谐振器的基本特性	294
§ 16.3 矩形空腔谐振器	298
§ 16.4 圆柱形谐振器	305
§ 16.5 球形空腔谐振器	311
第十七章 复杂形状的空腔谐振器和它们的应用	314
§ 17.1 实际应用的谐振器的主要型式	314
§ 17.2 复杂形状谐振器的计算方法	316
§ 17.3 用“等效代换法”对环形和同轴空腔谐振器的近似计算	318
§ 17.4 空腔谐振器的激励方法	322
§ 17.5 空腔谐振器的“等效参数”	326
§ 17.6 应用空腔系统来研究物质的电特性	329
第三编的补充资料	333

下册目录

第四編 电磁振蕩的发生和放大

第十八章 自振和自振系統	335
§ 18.1 自振系統的一般性質	335
§ 18.2 負电阻	338
§ 18.3 負电阻的静态和动态伏安特性曲綫	341
第十九章 电子管振蕩器的理論基础	353
§ 19.1 最簡單的自振系統和它的綫性閡釋	353
§ 19.2 电子管振蕩器的綫性微分方程	355
§ 19.3 “未截流的振蕩”	360
§ 19.4 用折綫表示电子管的特性曲綫	365
§ 19.5 电子管振蕩器在阳极电流为余弦脉冲时的工作	369
第二十章 电子管振蕩器理論的非綫性方法	374
§ 20.1 利用“振蕩特性曲綫”研究电子管振蕩器	374
§ 20.2 把平均互导表示为激励电压振幅的函数的計算	381
§ 20.3 利用平均互导曲綫研究电子管振蕩器	384
§ 20.4 具有下降特性曲綫的自激振蕩器的准綫性閡釋	390
§ 20.5 电子管振蕩器的非綫性方程	393
§ 20.6 求解电子管振蕩器非綫性微分方程的近似法	396
§ 20.7 自激振蕩器中的过程的稳定条件	402
第二十一章 張弛自振	407
§ 21.1 自振的波形	407
§ 21.2 張弛系統的最簡單例子	410
§ 21.3 具有气体放电管的自激張弛振蕩器	415
§ 21.4 多諧振蕩器	419
§ 21.5 間歇振蕩器	426
§ 21.6 断續振蕩的同步	428
第二十二章 电磁振蕩的参数激励	434
§ 22.1 参数振蕩的一般知識	434
§ 22.2 参数調制系数的初步計算	439
§ 22.3 参数諧振	441

§ 22.4 参数发电机	443
第二十三章 自激振荡器的通用线路和稳定频率的问题	448
§ 23.1 维持等幅振荡的通用条件	448
§ 23.2 自激振荡器的通用线路	449
§ 23.3 双回路振荡器	451
§ 23.4 正弦振荡的阻-容振荡器	455
§ 23.5 回授式振荡器稳定频率的理论基础	460
§ 23.6 增大频率稳定性的方法	465
第二十四章 放大器线路的分析	469
§ 24.1 概述	469
§ 24.2 放大器的等效线路	472
§ 24.3 共阴极线路	476
§ 24.4 共栅极线路	480
§ 24.5 共阳极线路(“阴极输出器”)	484
§ 24.6 晶体管放大器线路	487
§ 24.7 分析某些具体放大器线路的例子	489
第二十五章 放大器的回授和稳定性	495
§ 25.1 一般关系	495
§ 25.2 回授的个别情况的分析	498
§ 25.3 回授对谐振式放大器的选择性的影响	500
§ 25.4 回授放大系统的稳定性	506
第四编的参考文献	512
第五编 超高频的产生和放大的问题	
概述	514
第二十六章 电子流与电场相互作用的一般问题	517
§ 26.1 电子与电场相互作用的能量效应	517
§ 26.2 感应电流	521
§ 26.3 感应电流定理	523
§ 26.4 总电流的确定	528
第二十七章 电子间隙在超高频上的响应	532
§ 27.1 概述	532
§ 27.2 二极管总电流的确定	533
§ 27.3 二极管阻抗的确定	534
第二十八章 电子流静态控制的振荡器	541
§ 28.1 回授振荡器	541

§ 28.2 分瓣阳极磁控管	547
§ 28.3 超高频二极管振荡器	552
第二十九章 电子流动态控制的原理	554
§ 29.1 引論	554
§ 29.2 在断續相互作用设备中电子流的动态控制	555
§ 29.3 在連續相互作用设备中电子流的动态控制	557
§ 29.4 在超高频器件中确定对流电流的方法	558
§ 29.5 分析质点与高频电场相互作用过程的方法	561
第三十章 断續相互作用的超高频器件	563
§ 30.1 速調管	563
§ 30.2 磁控管	577
§ 30.3 基本质点加速器	584
第三十一章 連續相互作用设备中的慢波系統	589
§ 31.1 概述	589
§ 31.2 充填介质的波导管	590
§ 31.3 由选定边界条件所造成的慢波系統	591
§ 31.4 計算不均匀慢波綫的方法	601
第三十二章 連續相互作用的超高频设备	604
§ 32.1 概述	604
§ 32.2 作为电场函数的对流电流的确定	606
§ 32.3 取决于对流电流交变分量 $i \sim$ 的波的电场的确定	608
§ 32.4 电子运动方程和场的方程的联立求解	610
§ 32.5 利用增长波的放大。正向波和反向波放大器	613
§ 32.6 利用增长波产生振荡。正向波和反向波振荡器	618
§ 32.7 行波磁控管	625
第五編的参考文献	630
第六編 无线电信号的主要非线性变换	
第三十三章 檢波	632
§ 33.1 小振幅的檢波(平方律檢波)	632
§ 33.2 大振幅的檢波(直綫性檢波)	637
§ 33.3 檢波綫路	640
§ 33.4 利用具有可变参数的綫性系統的檢波。同步檢波	644
第三十四章 再生	650
§ 34.1 再生理論	650
§ 34.2 再生对增益和选择性的影响	654

第三十五章 超再生	661
§ 35.1 正弦形辅助电压的一般关系	661
§ 35.2 超再生时的增益和选择性	666
§ 35.3 矩形辅助电压的一般关系	668
第三十六章 变频	673
§ 36.1 一般关系	679
§ 36.2 多栅管变频	676
§ 36.3 变频的某些实际应用	679
第六編的参考文献	682

第七編 无綫电接收的一些問題

概述	683
第三十七章 噪声	685
§ 37.1 电路的起伏噪声	685
§ 37.2 电子管的噪声	693
§ 37.3 大气来源和宇宙来源的外部噪声。无綫电天文学	696
第三十八章 超高频上的接收問題	699
§ 38.1 接收放大管中电子惯性的出現	699
§ 38.2 在超高频上放大和变频的問題	701
§ 38.3 超外差和超再生接收法在超高频上的应用	704
第七編的参考文献	705

第四編 电磁振蕩的发生和放大

第十八章 自振和自振系統

§ 18.1. 自振系統的一般性質 現在,我們来研究“自振”和“自振系統”。前面已經指出,“自振”这一术语是指在沒有周期性的外力作用时产生并进行的振蕩过程。穩定的自振的頻率、振幅和形状只决定于自振系統本身的性質,而与起始条件无关。

时鐘就可以作为自振系統的例子,它是一个能将絞紧了彈簧或举高了的重錘中的固定能量轉变为鐘摆的振蕩能量的机构。在时鐘里,由于任何足以使时鐘启动的冲击的結果,都会或快或慢地使鐘摆振动起来,而鐘摆振动的頻率和振幅只决定于机构的內在性質。

再看一下电磁自振系統,可以发现也有这样的特点,各种电磁振蕩发生器就是电磁自振系統的代表,它們所产生的振蕩的頻率决定于构成系統的振蕩迴路。显然,为了維持一个具有与起始条件无关的某一“穩定”振幅的等幅振蕩,就要求完全补偿系統的全部电路里的損耗。在自振系統中,起补偿損耗的作用的那一部分,有一慣用术语,叫做“負电阻”。在描述和研究自振过程时,广泛采用着負电阻的概念,这概念可以初步解釋如下。具有欧姆电阻的任何导体均要吸收能量,我們把这种导体的电阻看作是正电阻。如果某一导体或导体系統,它本身能够輸出能量的話,那末我們就称这个系統为負电阻。当然,类似的极其簡化了的定义是需要詳細規定的,这在以后的敘述中再來說明。而这里最重要的是強調指出决定自振的穩定状态的一个基本情况:在系統中应当达到能量平衡,就是說,振蕩系統中因損耗而消費掉的能量 $\mathcal{Q}_+$ 应当等于由