

高等学校教材

无线电基础

上册

栗玉瑄 编

高等教育出版社

13.45
261
1
高等学校教材



无 线 电 基 础

上 册

栗 玉 瑄 编

高 等 教 育 出 版 社

本书是根据作者前几年在山东大学物理系所編写的讲义改写而成的。

本书着重讲解无綫电基础知識和基本原理，并在重要的地方給出一定的設計知識。全书以放大器、电子管和脉冲电路等三部分为重点。

全书共十五章，分上、下两册出版。可供高等学校理科物理系“无綫电基础”課程作教学参考书。

无 线 电 基 础

上 册

栗玉瑄编

北京市书刊出版业营业許可証出字第 119 号

高等教育出版社出版(北京沙滩后街)

大东集成联合印刷厂印装

新华书店上海发行所发行

各 地 新 华 书 店 經 售

統一书号 K13010·1210 开本 850×1168 $\frac{1}{32}$ 印张 7

字数 139,000 印数 0,001—9,500 定价(7) 半0.80

1966 年 4 月第 1 版 1966 年 4 月上海第 1 次印刷

序 言

本书是根据作者前几年在山东大学物理系所编写的讲义改写而成的。本书着重讲解基础知识和基本原理；并在重要的地方给出一定的设计知识。现将本书各部分的内容简单介绍如下：

第一编：绪论及交流电路——这部分是学习本课程的预备知识。

第二编：电子管——这部分包括电子管的基本特性、基本放大作用、基本分析方法和基本运用知识。这些都是课程中的重要基础知识（其中特别是“三极管及放大的基本原理”一章），故这部分是本书的一个重点。

第三编：放大器——这部分是电子电路方面的基础；它本身在实际上也极为重要（其中特别是音频 RC 耦合电压放大、音频功率放大和反馈放大），故这部分是本书的主要重点。

第四编：振荡器及脉冲电路——本编讲解了几种常见的正弦形振荡器和脉冲产生及变换的基本电路。由于在近代科学技术中，脉冲技术的应用日益广泛，故将脉冲电路列为本书的一个次重点。

第五编：电源供给——这部分包括整流、滤波及稳压。

第六编：发射和接收——物理系学生学习无线电的目的，并不是为了通讯，所以这部分不是重点，故仅作一般原理的讲解。但其中超外差式接收机对物理系学生来说应该算是普及知识，故编写时仍占一定篇幅。

第七编：微波简介——这部分是作为本学科的近代知识而加以简单的介绍。如感到学时紧时，这部分可以不讲。

在附录中介绍了几种常用的电子仪器。

为了便于学生复习，凡是重要的地方，编写时力求写得详尽些。另

外,在每章之后都有小结,在那里主要是指出重点和基本要求。

根据少而精的原则,书中的小体字部分可以不作课堂讲授。这部分内容大体上可分为以下三种类型:

(1)是学习本课程的预备知识,但在内容上和普通物理的电学有较多重复者,例如交流电路的计算方法(§ 2.2, § 2.3),这部分供学生复习时参考,可以不作课堂讲授。

(2)有一定的参考价值,但不属于课程内容的的基本要求者,例如电子管的阴极(§ 3.2)、音频电压放大中的变压器耦合放大器(§ 6.4)、增益的分贝表示方法(§ 7.10)等。这部分仅供学生课外参阅,可以不作课堂讲授。

(3)对于初学本课程的学生来说,在内容上属于进一步要求者,例如几种放大器的设计[§ 6.3, § 7.3(五), § 7.6(四), § 7.9]。这些内容最好也不作正课讲授,让学生对基本原理有一定程度理解后,再把这些设计知识作为阶段复习的钻研内容。这样既会帮助学生把已学过的基本原理融会贯通,同时也有利于学生独立工作能力的提高。

当然教师在具体授课时,还要从实际情况出发,根据少而精的原则,更进一步地精选教学内容。

山东大学物理系和无线电电子学系教师冯传海、朱健、张仲渊、高智明、廖世范、叶耀珠、刘延伟、熊慎勋、何东光等同志参加了本书初稿的讨论,侯永埏同志参加了本书的绘图工作,在此向他们深致谢忱。

限于编者的水平和时间的仓促,书中错误和遗漏的地方一定会很多,诚恳希望用到这本书的老师和同学给予指正和批评,以便今后改正。

编者

于山东大学无线电电子学系

1965年8月。

电子管电路的符号表

物理量 量值	栅压 (从阴极到栅极的升高为正)	板压 (从阴极到板极的升高为正)	板流 (经外电路流入板极为正)	负载压降 (沿正向板流的压降为正)
总量的瞬时值	u_g	u_p	i_p	u_L
总量的瞬时最大值	$u_{g\text{最大}}$	$u_{p\text{最大}}$	$i_{p\text{最大}}$	$u_{L\text{最大}}$
总量的瞬时最小值	$u_{g\text{最小}}$	$u_{p\text{最小}}$	$i_{p\text{最小}}$	$u_{L\text{最小}}$
静止值	$U_{gQ} = E_{cc}$	U_{pQ}	I_{pQ}	U_{LQ}
交流分量的瞬时值	u'_g	u'_p	i'_p	u'_L
交流分量的振幅复量	$\dot{U}_{gm}$	$\dot{U}_{pm}$	$\dot{I}_{pm}$	$\dot{U}_{Lm}$
交流分量的振幅值	U_{gm}	U_{pm}	I_{pm}	U_{Lm}
交流分量的有效值复量	$\dot{U}_g$	$\dot{U}_p$	$\dot{I}_p$	$\dot{U}_L$
交流分量的有效值	$U_g = \frac{U_{gm}}{\sqrt{2}}$	$U_p = \frac{U_{pm}}{\sqrt{2}}$	$I_p = \frac{I_{pm}}{\sqrt{2}}$	$U_L = \frac{U_{Lm}}{\sqrt{2}}$

上册目录

序言	vii
电子管电路的符号表	ix

第一编 绪论及交流电路

第一章 绪论	1
§ 1.1 无线电电子学的发展简史	1
§ 1.2 无线电电子学在各方面的应用	2
第二章 交流电路	4
§ 2.1 无线电电路的基本元件	4
§ 2.2 交流电基本知识的复习	8
§ 2.3 正弦形电压作用在直线性电路的稳态解	12
§ 2.4 串联谐振	16
(一) 谐振的定义	16
(二) 串联谐振的特征	16
(三) 串联回路的频率响应	18
§ 2.5 并联谐振	21
(一) 并联阻抗	21
(二) 并联谐振的特征	21
(三) 并联回路的频率响应	23
(四) 电源内阻对并联谐振电路选择性的影响	25
(五) 特殊接法的并联谐振电路	27
§ 2.6 耦合电路及变压器	28
(一) 耦合电路的一般分析	28
(二) 变压器的阻抗匹配作用	29
§ 2.7 等效发电机定理(戴维宁定理)	32
§ 2.8 本章小结	33

第二编 电子管

前言	34
第三章 两极管	35
§ 3.1 电子发射	35
§ 3.2 电子管的阴极	36
§ 3.3 两极管内的空间电荷效应	37

08608

§ 3.4 两极管的静态特性	41
(一) 二分之三次方定律	41
(二) 板极静态特性曲线	42
(三) 静态参量	42
§ 3.5 本章小结	43
第四章 三极管及放大的基本原理	44
§ 4.1 三极管栅极的控制作用	44
§ 4.2 三极管的二分之三次方定律	46
§ 4.3 三极管的静态特性曲线	48
§ 4.4 三极管的静态参量	51
(一) 板阻	51
(二) 互导	52
(三) 放大因数	52
(四) μ 、 g_m 和 r_p 间的关系	52
(五) 运用状态对参量数值的影响	53
§ 4.5 负载为纯电阻时放大作用的图解分析	55
(一) 动态运用的基本电路	55
(二) 直流负载线与静止点	59
(三) 通过直流负载线由输入波形求输出波形	61
(四) 纯电阻负载时输入与输出间的相位关系	62
(五) 动态转移特性曲线	64
(1) 动态转移特性曲线的作法及意义	64
(2) 动态曲线的运用	65
§ 4.6 直流负载电阻不等于交流负载电阻时放大作用的图解分析	67
(一) 交流负载线	67
(二) 负载 $\bar{R}_L \neq \bar{R}_L$ 和 $\bar{R}_L = \bar{R}_L$ 情况的比较	69
§ 4.7 三极管的自生栅负偏压	70
§ 4.8 三极管动态运用在直线范围时的数学分析——交流等效电路	72
(一) 交流等效电路基本方程的导出	72
(二) 交流等效恒压板路	74
(三) 交流等效恒流板路	76
(四) 关于交流等效电路的小结	76
(五) 电压放大率复量	77
§ 4.9 极间电容对三极管输入阻抗的影响	79
§ 4.10 本章小结	85
第五章 多极管及充气管	86
§ 5.1 四极管	86

(一)四极管的基本工作原理——帘栅极的作用	86
(二)四极管的静态曲线	88
(三)四极管的优缺点	90
§ 5.2 五极管	91
(一)五极管的构造与抑止栅的作用	91
(二)五极管的静态曲线	94
(三)五极管的静态参量及二分之三次方定律	95
(四)高频五极管与低频五极管的差别	96
(五)纯电阻负载时五极管的动态运用	97
(六)五极管电路及输入阻抗	99
(七)五极管的优缺点	99
§ 5.3 电子注功率管	100
(一)利用空间电荷来抑止二次电子逆流	100
(二)电子注功率管的构造特点	101
(三)静态特性曲线	102
(四)电子注功率管的优缺点	103
§ 5.4 可变互导管	104
§ 5.5 混频管和变频管	105
§ 5.6 复合管	105
§ 5.7 调谐指示管	106
§ 5.8 充气管	107
(一)冷阴极充气两极管	107
(二)热阴极充气两极管	109
(三)闸流管	110
§ 5.9 本章小结	112

第三编 放大器

前言	113
(一)学习放大器的重要性	113
(二)放大器的分类	113
(三)放大器的失真	116
第六章 音频电压放大器	119
§ 6.1 音频电压放大器的一般特点	119
§ 6.2 电阻电容(RC)耦合电压放大器	120
(一)RC 耦合电路	120
(二)电路工作的分析	121
(三)频应曲线和相移曲线	127
(四)电路常数对放大器频率响应的影响	129

(五) RC 耦合电压放大器某一级的质量因数和电子管的优良度	133
(六) 多级电压放大器的通频带与单级元的通频带之间的关系	135
(七) 多级 RC 耦合放大器的电源供给	136
(八) 小结	138
§ 6.3 RC 耦合电压放大器的设计	139
(一) 电子管选择和运用的一般考虑	139
(二) 设计程序	140
(三) 设计举例	143
§ 6.4 变压器耦合放大器	148
§ 6.5 直接耦合放大器	153
§ 6.6 本章小结	156
第七章 音频功率放大器	157
§ 7.1 引言	157
§ 7.2 电子管甲 ₁ 类直线性运用板极回路内的功率关系 功率管的一般特点	159
(一) 甲 ₁ 类直线性运用板极回路内功率关系的数学分析	159
(二) 甲 ₁ 类直线性运用板极效率的图解分析	162
(三) 功率管作甲 ₁ 类近直线性运用时所需要的限制条件	164
(四) 功率管的一般特点	166
§ 7.3 三极管甲 ₁ 类功率放大器	167
(一) 最佳输出条件	167
(二) U_{pQ} 取值的影响	174
(三) 三极管甲 ₁ 类功率放大器的板极效率	174
(四) 甲 ₁ 类运用时的非线性失真	176
(五) 三极管甲 ₁ 类功率放大器的设计	181
§ 7.4 五极管甲 ₁ 类功率放大器	184
(一) 五极管甲 ₁ 类功率放大器的优点	184
(二) 五极管甲 ₁ 类功率放大器的非线性失真和最佳负载的确定	186
(三) 五极管甲 ₁ 类功率放大器的设计	190
§ 7.5 电子管的并联运用	194
§ 7.6 推挽式甲 ₁ 类功率放大器	195
(一) 推挽式的基本线路和工作原理	195
(二) 甲 ₁ 类推挽运用在限制范围内的近似分析	197
(三) 甲 ₁ 类推挽非线性失真的分析	199
(四) 甲 ₁ 类推挽功率放大器的设计	203
§ 7.7 乙类和甲乙类推挽功率放大器	204
§ 7.8 电子管倒相器	206
§ 7.9 扩音器的设计	207
§ 7.10 放大器增益的分贝表示方法	211
§ 7.11 本章小结	213

第一编 绪论及交流电路

第一章 绪论

§ 1.1 无线电电子学的发展简史

(一) 发展简史

当前无线电正在飞跃的发展,它的应用早已不限于通讯,而是渗透到各个生产和科学领域中去,所以比较能代表当前实际情况的命名应该是“无线电电子学”。虽然人们现在有时还习惯地称它为“无线电”,但实际上人们的心目中在这个名称下已包含有更广泛的内容了。

无线电电子学研究的主要对象是:电子器件及利用电子器件控制电子电路或产生电磁波等方面的理论和应用。

现在我们简要地回顾一下无线电电子学的发展过程。

麦克斯韦在 1864 年总结了电磁理论,并预言电磁波的存在,接着赫兹在 1888 年在实验上获得了电磁波。1895 年波波夫发明了世界上第一部无线电接收机,1899 年马可尼实现了 45 公里的无线电通讯。最早的无线电发射机是火花式放电器,效率很低;最早的接收机是用粉末式检波器,灵敏度也很差。只有当发明电子管以后,才给无线电技术带来划时代的变革。1904 年出现了两极管,不久就被用到检波和整流设备中去了,1908 年发明了三极管,到 1913 年它就被用为发射的振荡和接收的再生检波,无线电有了电子管的装备就迅速地发展起来。接着,1924 年制出了四极管,1930 年制出了五极管,以后又为超外差接收机的需要制出了多栅变频管,于是超外差式接收机就成为目前性能优异的接收机了。

在二次大战期间,制出了大批的超高频用管,如橡实管、灯塔管、金陶管、调速管、磁控管、行波管、回波管等等,把无线电带进了微波领域。

此后,无线电技术广泛地应用到科学研究和生产技术的各个领域中去,成为无线电电子学时代的开端,并发展成现在的局面。

(二)发展的几个方向

现在无线电电子学正沿着几个明显的方向发展:

第一是提高频率。这不仅为了扩大通讯中的频率领域,同时也是为定位、波谱学和高能质点加速器所必需的。目前正向微波领域中的毫米和亚毫米波段发展。

第二是超小型化。1948年发明晶体三极管以后,半导体管的发展极快,再配以印刷电路和其他电路元件的小型化,就使得整个电子仪器体积小、轻便,坚固耐振,耗能少,寿命长。

第三是向固体电子学方向发展。诸如介质放大器,量子放大器和铁钽氧电路元件的采用等等。

(三)我国的情况

在解放以前,我国无线电事业可以说是一穷二白,所有电子器件几乎全部依赖进口。自建国以来,由于党和政府的重视和正确领导,迅速地改变了这种落后面貌。现在,各种电子管、离子管、半导体管、电路元件和电子仪器都能够大量生产。本着自力更生,发奋图强的精神,逐步来建立我们自己的无线电工业生产体系。我国的广播事业也有巨大的发展。我国无线电电子学工作者的队伍也空前壮大,他们正为工农业生产 and 国防服务。

§1.2 无线电电子学在各方面的应用

目前无线电电子学的应用对科学技术和国民经济起着重大的作用,现简述如下:

(1)通讯——如电报、传真、无线电话、多路载波电话等,

(2)文教——如广播和电视都是政治文化教育的有力宣传工具,成为人民文化生活中不可缺少的一部分;

(3)工业——如高频加热、高频冶炼、超声波加工、超声波清洗和探伤、自动控制、遥控和遥测等;

(4)国防——如雷达等;

(5)交通运输——如导航和定位等;

(6)天文和气象——如石英钟、无线电望远镜和气象雷达等;

(7)医疗——如诊脉仪和高频电疗等;

(8)科学研究——如各种测量仪器、电子显微镜、电子计算机、高能粒子加速器、无线电波谱学对物质结构的研究以及在此基础上发展起来的量子电子学等等。

由于无线电电子学能够多方面地与生产和科学研究相结合,并为它们服务,反过来生产和科学研究又向无线电电子学提出大量的课题,并提供物质技术条件,来促使它更迅速地发展。

第二章 交流电路

§ 2.1 无线电电路的基本元件

无线电电路中所用的元件是多种多样的，但其基本元件不外乎电阻、电容、电感和电子管等。电子管待以后专讲，本节只简单地介绍一下电阻、电容和电感。最复杂的无线电电路也是由这几部分元件组成的，要了解和掌握这些电路，首先应熟悉一下每种元件的性能及作用。

(一) 电阻器

电阻器的主要作用是：(1)串联限流；(2)并联分流；(3)降压或分压；(4)消耗功率等。

对一个电阻我们需要知道它的：(1)电阻值(以欧为单位)及容许的最大百分误差；(2)功率耗散定额；(3)两端容许的最大电压差；(4)频率特性(阻抗值随频率的变化)；(5)稳定性(电阻值随温度、湿度、外加电压及时间等的变化)；(6)噪声电平等。

根据构造，可将电阻分为三类：

(1)线绕电阻器：线绕电阻器是由金属或合金的电阻线绕在绝缘体上制成的。电阻值以线的质料、粗细和长度来决定，一般在0.1欧到1兆欧的范围之内，误差约在1%到10%之间。它的优点是比较稳定，随温度、湿度、电压及时间的变化很小，噪声亦小；同时线绕电阻能够耐热，功率耗散可以很大。这类电阻器的缺点是电阻需要的体积大、成本高，故电阻值不能太高；潮湿地方易生锈；高频率使用时变化情况比较

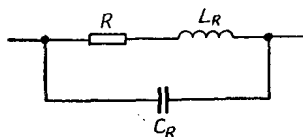


图 (2.1-1)

复杂，这是因为线绕电阻器在实际构造中，不可避免地有少量的电感及分布电容存在。它在高频时的等效电路如图(2.1-1)所示，

(2)复合电阻器(碳质电阻器): 复合电阻器是用炭粉或其他金属导体的粉末和绝缘质料及结合剂混合后压缩而成。这类电阻器的电阻值决定于导体与绝缘体的混合比例, 其范围约在 10 欧至 22 兆欧之间, 误差约在 5% 至 20% 之间。这类电阻的优点是制造简单, 成本低, 受频率影响小, 它在相当大的频率范围内是近于一个纯电阻。它的缺点是稳定性差, 电阻值不大准确, 在接收机中使用易生杂音。

(3)薄膜电阻器: 薄膜电阻器是附在绝缘体上的金属膜、炭质膜或其他导电薄膜而制成的。其电阻值由薄膜的质料及面积决定, 电阻值的范围比较大, 约自 1 欧至百兆欧以上, 误差可小于 1%。这类电阻器在各方面的特性都比复合电阻有所改进, 可以使用到较高温度而不致损坏。

(二)电容器

电容器在电路中的主要作用大致有以下几项: (1)作为谐振电路元件; (2)作为滤波元件; (3)隔断直流电压; (4)产生交流压降。

电容量的实用单位是法拉, 但 1 法拉的电容量太大了, 故一般实际应用的单位是微法($1 \mu\text{F} = 10^{-6}\text{F}$)或微微法($1\text{pF} = 10^{-12}\text{F}$)。

对于一个电容器, 我们需要知道它的: (1)电容量的大小(对于可变电容器应知其最大及最小的电容量); (2)最大可能的百分误差; (3)两极间能耐的最大电压及工作电压; (4)介质是何种物质及电容的损耗角(若是电解电容器还需知道其正负极)。

实际电容器都具有损耗, 并不是理想的纯电容, 它具有等效电阻, 其等效电路如图 (2.1-2) 所示, 这种损耗是由于介质漏电及介质中的滞后现象等所造成的。这种损耗可视为一个等效电阻与电容的串联, 电容器损耗功率的平均值为:

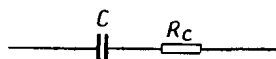


图 (2.1-2)

$$P_{\text{平均}} = UI \cos \varphi,$$

其中 U 是加到电容两端的电压的有效值, I 是流过电容的电流的有效

值, φ 是电流与电压间的相差, 若是理想的纯电容, φ 应等于 90° , 即无功功率损耗。但由于介质的不理想, 当有电流通过时必然有损耗产生, 故电流与电压间的相角 φ 比 90° 小某一角度 δ , 这个角度 δ 表示出电容器内损耗功率的大小, 因而名为损耗角。由于 δ 一般很小, 故有:

$$P_{\text{平均}} = UI \cos(90^\circ - \delta) \approx UI\delta. \quad (2.1-1)$$

电容器内的介质(绝缘体)只能在一定的电场强度下工作, 若超过额定值, 介质就会打穿(变成导体), 所以在使用各种电容器时应注意耐压问题。一般耐压的数值随介质的质料及其厚度而定。

按电容器构造的不同, 可以作如下分类:

(1)云母电容器: 介质为云母片, 为多片平行板式用电木封固成小方块状。这种电容器质量比较好, 在精密仪器内或电路的重要部分常被使用。云母电容器的耐压一般在 600 伏以上, 其电容量较小。

(2)纸质电容器: 是以两条长锡箔, 中间用蜡纸绝缘然后卷成圆棒状, 再用蜡纸或火漆封固。这种电容器成本低, 体积亦不大, 性能较云母为差。耐压自 200 伏至 1000 伏不等, 电容量自几十个微微法至几个微法。

(3)油质电容器: 其构造类似纸质电容器, 但浸入绝缘很高的油中, 可提高耐压值到 4000 伏, 电容器可至十几个微法。

(4)电解电容器: 电解电容器又分液体及半液体(电糊)式两种, 它是利用化学的方法使电解液与金属之间产生一种极薄的绝缘薄膜(约千分之一英寸厚)作为介质, 电容器的两极一为金属, 一为电解液。在使用时, 电解液接负极, 而金属接正极(不然薄膜即被打穿), 故此种电容器不能用于交流。由于薄膜极薄, 故电容量相当大, 在整流滤波电路中常常使用。这种电容器的电容量可高至几百微法, 而占地方很小。但在使用时, 漏电电流较大, 耐压亦不能太高(约 20—500 伏)。

(5)钛酸钡电容器: 它是用钛酸钡作介质, 因钛酸钡的介电常数大于几千, 故作成的电容器体积很小, 而电容量可以很大。

(6) 可变电容器: 这种电容器大部分以空气为介质。

(7) 半可变电容器: 在无线电电路中常常需要这样的电容器, 在调整过程中变动它的电容量, 但一经校好, 就不再变动它了。

(三) 电感器

电感器在电路中的主要作用大致有以下几种: (1) 作为谐振电路元件; (2) 遏止交流电流; (3) 产生交流压降。

电感器的种类非常多, 一般电感器的构造是用导线绕制成螺旋形的线圈, 线圈内可以是空心的或磁心的。电感器本身既然是由导线绕制成, 所以它或多或少地都有电阻存在, 且圈与圈之间又存在有分布电容, 它们在高频时的作用是不能被忽略的, 故电感器的高频等效电路如图 (2.1-3) 所示。此等效电路虽然与电阻器的类似, 但在电阻器中 R_L 一般是很小的, 而在电感中 R_L 不会太大, 起主要作用的是电感, 电阻是要消耗能量的, 所以线圈损耗能量的大小决定于其电阻 R_L 的大小。

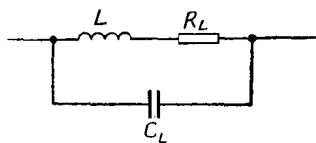


图 (2.1-3)

可以用线圈的感抗与其电阻的比值来定义该线圈的品质因数^①, 即:

$$Q = \frac{\omega L}{R_L}, \quad (2.1-2)$$

它也称为线圈的 Q 值或优值, 是线圈的一个很重要的参量, 其数值对电路起着重要影响^②。一般我们希望它愈大愈好, 常用线圈的 Q 值在数十到数百之间。上式中 R_L 不是线圈的直流电阻, 而是线圈的交流电阻。由于集肤效应, 在高频时, 电流会聚集在导线表面极薄的一层, 而中间几乎无电流通过, 这样对导线的使用截面积就减少了很多, 因而电阻也会增加很多, 而使线圈的 Q 值降低。应该指出, 对于一个给定的线圈, 在使用频率变化不大时, 它的 Q 值大体上是个常数, 这是因为频率

① 较普遍的定义可参看 § 2.4。

② 参看 § 2.4 和 § 2.5。