

高等 学 校 教 材

高频电子线路

阳昌汉 主编

阳昌汉 谢 红 宫 芳 编

4



高等教育出版社
Higher Education Press

高等学校教材

高频电子线路

阳昌汉 主编

阳昌汉 谢红 官芳 编

高等教育出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

高频电子线路 / 阳昌汉主编; 阳昌汉, 谢红, 宫芳编.

—北京: 高等教育出版社, 2006. 2

ISBN 7-04-018472-9

I. 高... II. ①阳...②阳...③谢...④宫...

III. 高频-电子电路-高等学校-教材 IV. TN710.2

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2006) 第 003914 号

策划编辑 吴陈滨 责任编辑 李葛平 封面设计 于文燕 责任绘图 朱 静
版式设计 范晓红 责任校对 王效珍 责任印制 杨 明

出版发行 高等教育出版社
社 址 北京市西城区德外大街 4 号
邮政编码 100011
总 机 010-58581000

经 销 蓝色畅想图书发行有限公司
印 刷 国防工业出版社印刷厂

开 本 787×960 1/16
印 张 21
字 数 380 000

购书热线 010-58581118
免费咨询 800-810-0598
网 址 <http://www.hep.edu.cn>
<http://www.hep.com.cn>
网上订购 <http://www.landaco.com>
<http://www.landaco.com.cn>
畅想教育 <http://www.widedu.com>

版 次 2006 年 2 月第 1 版
印 次 2006 年 2 月第 1 次印刷
定 价 24.20 元

本书如有缺页、倒页、脱页等质量问题, 请到所购图书销售部门联系调换。

版权所有 侵权必究

物料号 18472-00

内 容 提 要

本书是根据教育部高等学校电子信息科学与工程类专业基础课程教学指导分委员会2004年制定的“电子线路Ⅱ”课程教学基本要求,并考虑到科学技术的飞速发展及新器件、新技术不断更新的实际情况,遵循“加强基础,强调功能,优选内容,便于学习”的原则,结合我们多年的教学实践,参考了国内外有关教材,在我们原编写的“高频电子线路”教材基础上改编而成。

本书以通信功能电路的“功能”为基点,从通信功能电路的输入信号频谱与输出信号频谱的变换关系出发,在理论上讲清楚各个通信功能电路的基本原理和实现电路的基本方法。本书的内容以模拟通信功能电路为主,对数字信号的调制与解调功能电路、频率合成技术和功率合成技术也有适当的叙述。本书共10章,内容包括绪论、高频小信号放大器、高频功率放大器、正弦波振荡器、振幅调制电路、调幅信号的解调、角度调制电路、调角信号的解调电路、变频电路和反馈控制电路。各章后附有思考题与习题。此外,本书还配有学习指导书和电子教案。

本书可作为高等学校通信、电子信息等专业的“高频电子线路”、“通信电子线路”、“电子线路Ⅱ”等课程的教材,还可供从事电子系统研制与开发的工程技术人员参考。

前言

本书是根据教育部高等学校电子信息科学与电气信息类基础课程教学指导分委员会制定的“电子线路Ⅱ”课程新的教学基本要求,并考虑到科学技术的飞速发展及新器材、新技术不断更新的实际情况,遵循“加强基础,强调功能,优选内容,便于学习”的原则,结合我们多年教学实践,并参考了国内外有关教材,在我们原编写的“高频电子线路”教材基础上改编而成。

本书主要内容是讲述通信功能电路的基本原理及其实现方法。对于大规模通信集成电路来说,它是由许多基本功能电路组成,其中也包含基本的通信功能电路。基本的通信功能电路经历了电子管、晶体管、场效应管、集成电路及大规模集成系统等不同的实现过程,但基本功能电路的“功能”是没有变化的,也就是各个功能电路的输入信号与输出信号的频谱变换关系没有变化,因而以通信功能电路的“功能”为基点,从通信功能电路的输入与输出信号的频谱关系出发,分析各个通信功能电路的输入频谱与输出频谱变换关系的特征,从理论上讲清楚组成各个通信功能电路的基本原理和实现电路的基本方法,可以使学生能够深刻认识功能电路在信息传输系统中的作用,增强对系统各部分的内在关系的认识,培养学生适应新器材、新技术不断更新的能力,从而开发学生的创新思维能力。本书以通信系统为主线,讲述了基本的通信功能电路,加强了各功能电路内容的相互联系,并对集成电路在各功能电路中的应用进行了分析介绍。对一些大规模集成系统电路在对应的章节后以附录形式给予介绍,以供实验应用时参考。

本书内容以模拟通信功能电路为主,对数字信号的调制与解调功能电路、频率合成技术和功率合成技术也有适当的叙述。本书共10章,内容包括:绪论、高频小信号放大器、高频功率放大器、正弦波振荡器、振幅调制电路、调幅信号的解调、角度调制电路、调角信号的解调电路、变频电路和反馈控制电路。可作为通信、电子信息等专业的“高频电子线路”、“通信电子线路”、“电子线路Ⅱ”等课程的教材。

“高频电子线路”是一门工程性和实践性很强的课程。有许多理论知识和实践技能,如实际应用电路的组成、大规模通信集成电路在系统中的应用和测试

技术等,还必须在实践中学习。作为高频电子线路课程教学改革内容之一,我们将理论课与实验课的教学做了合理分工,有关集成电路及大规模集成系统电路的应用内容通过实验课和课程设计来完成,并增加 EDA 的内容,以提高学生的素质,培养创新能力。

本书由阳昌汉担任主编。第一、七、八、十章由阳昌汉编写,第二、五、六章由谢红编写,第三、四、九章由官芳编写。

本书由华中科技大学严国萍教授担任主审。严教授对本书进行了认真的审阅,并提出了许多宝贵的意见和建议,对此我们表示深深的谢意。

限于编者水平,不妥和错误之处在所难免,恳请读者批评指正。

编者

2005 年 8 月

于哈尔滨工程大学

目录

第一章 绪论	1
第一节 高频电子线路课程的研究对象	1
第二节 无线电发送设备的组成与原理	2
第三节 无线电接收设备的组成与原理	3
第四节 无线信道及传播方式	6
思考题与习题	8
第二章 高频小信号放大器	9
第一节 概述	9
一、高频小信号放大器的功能	9
二、高频小信号放大器的分类	9
三、高频小信号放大器的主要技术指标	9
第二节 高频电路的基础知识	10
一、滤波器(选频回路)的分类及功能	10
二、LC 串并联谐振回路的特性	11
三、串并联阻抗的等效互换	16
四、并联谐振回路的耦合联接与阻抗变换	17
五、接入系数与变换关系	19
第三节 晶体管高频小信号谐振放大器	19
一、晶体管高频小信号等效电路	19
二、单调谐回路谐振放大器	21
三、多级单调谐回路谐振放大器	26
第四节 小信号谐振放大器的稳定性	28
一、谐振放大器存在不稳定的原因	28
二、放大器的稳定系数及稳定增益	28
三、提高谐振放大器稳定性的措施	31
第五节 场效应管高频放大器	33
一、结型场效应管高频放大器	34

二、双栅场效应管高频放大器	34
第六节 线性宽带放大集成电路与集中滤波器	35
一、线性宽频带集成放大电路	35
二、集中滤波器	37
第七节 放大电路的噪声	38
一、放大电路内部噪声的来源和特点	38
二、噪声电路的计算	41
三、线性网络的噪声系数及计算	42
四、接收机的灵敏度与最小可检测信号	47
五、低噪声放大器	48
思考题与习题	49
第三章 高频功率放大器	54
第一节 概述	54
一、高频功率放大器的功能	54
二、高频功率放大器的分类	54
三、高频功率放大器的主要技术指标	55
第二节 丙类(C类)高频功率放大器的工作原理	55
一、基本电路及其特点	55
二、工作原理	56
第三节 丙类(C类)高频功率放大器的折线分析法	58
一、晶体管特性曲线的理想化及其解析式	58
二、集电极余弦电流脉冲的分解	60
三、功率与效率	62
四、丙类高频功率放大器的动态特性	63
五、丙类高频功率放大器的负载特性	67
六、各级电压变化对工作状态的影响	68
第四节 丙类高频功率放大电路	71
一、直流馈电电路	71
二、匹配网络	73
三、实际电路举例	78
第五节 丁类(D类)和戊类(E类)高频功率放大器	79
一、丁类(D类)高频功率放大器	80
二、戊类(E类)高频功率放大器	81
第六节 宽频带高频功率放大器	83

一、高频传输线变压器的特性及原理	83
二、宽频带传输线变压器电路	85
三、宽频带高频功率放大器	88
第七节 功率合成	89
一、高频功率合成的一般概念	89
二、功率合成网络	90
三、功率分配网络	93
四、功率合成电路	95
本章附录 余弦脉冲分解系数表	96
思考题与习题	99
第四章 正弦波振荡器	102
第一节 概述	102
一、振荡电路的功能	102
二、振荡电路的分类	102
三、振荡电路的主要技术指标	102
第二节 反馈型 LC 振荡原理	103
一、振荡的建立与起振条件	103
二、振荡的平衡与平衡条件	104
三、振荡平衡状态的稳定条件	106
第三节 反馈型 LC 振荡器	108
一、互感耦合振荡电路	108
二、电容反馈振荡电路	109
三、电感反馈振荡电路	111
四、 LC 三点式振荡器相位平衡条件的判断准则	113
第四节 振荡器的频率稳定原理	113
一、频率稳定度的定义	113
二、振荡器的频率稳定度的表达式	114
三、振荡器的稳频措施	115
第五节 高稳定度的 LC 振荡器	116
一、一般电容三点式振荡电路稳定性的分析	116
二、克拉泼 (Clapp) 振荡电路	117
三、西勒 (Siler) 振荡电路	118
第六节 晶体振荡电路	119
一、石英晶体的等效电路	119

二、石英谐振器的阻抗特性	120
三、晶体振荡电路	121
第七节 负阻振荡器	124
一、负阻的概念	124
二、负阻振荡原理	126
第八节 集成压控振荡器	127
一、压控振荡电路	127
二、集成压控振荡电路	127
思考题与习题	129
第五章 振幅调制电路	132
第一节 概述	132
一、普通调幅波的数学表示式及其频谱	132
二、普通调幅波的功率关系	134
三、抑制载波的双边带调幅信号和单边带调幅信号	135
四、振幅调制电路的功能	136
五、振幅调制电路的分类及要求	136
六、振幅调制电路的基本组成原理	137
第二节 低电平调幅电路	137
一、单二极管开关状态调幅电路	137
二、二极管平衡调幅电路	139
三、二极管环形调幅电路	141
四、模拟乘法器调幅电路	142
第三节 高电平调幅电路	148
一、集电极调幅电路	148
二、基极调幅电路	151
第四节 单边带信号的产生	152
一、单边带通信的优点	152
二、单边带信号的产生方法	152
第五节 数字信号调幅	154
一、基本原理	154
二、实现电路	154
思考题与习题	156
第六章 调幅信号的解调	160
第一节 概述	160

一、检波电路的功能	160
二、检波电路的分类	161
三、检波电路的组成	161
四、检波电路的主要技术指标	161
第二节 二极管大信号包络检波器	162
一、大信号检波的工作原理	163
二、大信号检波器的分析	164
三、大信号检波器的技术指标	167
第三节 二极管小信号检波器	173
一、小信号检波的工作原理	173
二、小信号检波器的分析	173
三、小信号检波器的主要技术指标	175
第四节 同步检波器	175
一、同步检波器的基本原理	176
二、本地载波的产生方法及不同步的影响	177
第五节 数字调幅信号的解调	179
一、包络解调法	179
二、相干解调法	179
思考题与习题	180
第七章 角度调制电路	183
第一节 概述	183
一、角度调制的定义与分类	183
二、角度调制的优点与用途	183
三、调角波的数学表示式、瞬时频率和瞬时相位	183
四、调角波的基本性质	184
五、调角波的频谱	186
六、角度调制电路的功能	190
第二节 调频方法的概述	191
一、直接调频原理	191
二、间接调频原理	192
第三节 变容二极管直接调频电路	193
一、变容二极管的特性	193
二、基本原理	193
三、电路分析	195

四、实际电路举例	199
第四节 石英晶体振荡器直接调频	201
第五节 调相电路	203
一、可变移相法调相电路	203
二、可变时延法调相电路	205
三、矢量合成法调相电路	208
第六节 数字频率调制与相位调制	209
一、数字频率调制	209
二、数字相位调制	210
本章附录 集成调频发射机	213
一、MC2831 集成调频发射机	213
二、MC2833 集成调频发射机	214
思考题与习题	215
第八章 调角信号的解调电路	220
第一节 概述	220
一、调角信号的解调电路的功能	220
二、主要技术指标	220
第二节 鉴相器	221
一、乘积型鉴相电路	221
二、门电路鉴相器	225
第三节 鉴频器	227
一、双失谐回路鉴频器	227
二、相位鉴频器	229
三、比例鉴频器	234
四、相移乘法鉴频器	237
五、脉冲均值型鉴频器(脉冲计数式鉴频器)	239
第四节 数字调相与数字调频的解调	240
一、数字调相的解调	240
二、数字调频的解调	241
思考题与习题	243
第九章 变频电路	246
第一节 概述	246
一、变频电路的功能	246
二、变频器的组成	247

三、变频器的技术指标	248
第二节 晶体三极管混频器	248
一、工作原理	249
二、等效电路	252
三、具体电路和工作状态的选择	252
第三节 场效应管混频器	255
一、结型场效应管混频器	255
二、双栅绝缘栅场效应管混频器	256
第四节 二极管混频电路	257
一、二极管平衡混频器	257
二、二极管环形混频器	259
第五节 模拟乘法器混频器	261
第六节 混频器的干扰与失真	262
一、信号与本振的组合频率干扰(干扰哨声)	262
二、外来干扰与本振的组合频率干扰(副波道干扰)	264
三、交叉调制干扰(交调失真)	265
四、互调干扰(互调失真)	266
五、包络失真与强信号阻塞	266
本章附录 集成接收电路	267
一、TA7641BP 单片收音机集成电路	267
二、MC3362 单片调频接收机	268
三、MC3363 单片调频接收机	270
思考题与习题	271
第十章 反馈控制电路	275
第一节 概述	275
一、自动振幅控制电路	275
二、自动频率控制电路	276
三、自动相位控制电路	277
第二节 自动相位控制电路(锁相环路)	277
一、锁相环路的基本原理	277
二、环路“锁定”的基本概念	283
三、锁相环路的跟踪特性	285
四、锁相环路的应用	290
第三节 频率合成器	295

一、频率合成器分类及主要技术指标	295
二、直接频率合成器	296
三、锁相频率合成器	297
四、直接数字频率合成器(DDS)	301
第四节 自动频率控制电路	303
一、自动频率控制电路的工作原理	303
二、自动频率控制电路的应用	304
第五节 自动增益控制电路	306
一、AGC 电路的工作原理	306
二、AGC 电路的分类	307
本章附录 集成锁相环频率合成器	309
一、MC145106 集成锁相环频率合成器	309
二、MC145151-2 集成锁相环频率合成器	311
三、MC145152-2 集成锁相环频率合成器	315
思考题与习题	318
参考文献	321

第一章 绪论

第一节 高频电子线路课程的研究对象

高频电子线路是电子信息、通信等电子类专业的一门技术基础课,它的研究对象是通信系统中的发送设备和接收设备的各种高频功能电路的功能、原理和基本组成。一个通信系统应由输入变换器、发送设备、传输信道、接收设备和输出变换器五个基本部分组成。图 1-1 是通信系统的组成方框图。其中,输入变换器的功能是将输入信息变换为电信号。当输入信息为非电量(例如:声音、文字、图像等)时,输入变换器是必要的。当输入信息本身就是电信号(例如:计算机输出的二进制信号、传感器输出的电流或电压信号等)时,在能满足发送设备要求的条件下,可不用输入变换器,而直接将电信号送给发送设备。输入变换器输出的电信号应反映原输入的全部信息,通常称此信号为基带信号。传输信道是信号传输的通道,它可以是平行线、同轴电缆或光缆,也可以是传输无线电波的自由空间或传送声波的水等。输出变换器的功能是将接收设备输出的电信号变换成原来的信息,如声音、文字、图像等。

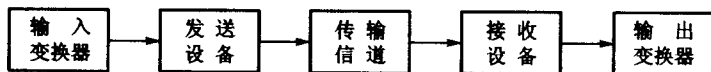


图 1-1 通信系统方框图

通信系统的类型较多,按所用信道的不同可分为有线通信系统和无线通信系统。按通信方式的不同可分为双工、半双工和单工方式。所谓单工通信,是只能发或只能收的方式;半双工是一种既可以发也可以收,但不能同时收、发的方式;双工通信是可以同时收、发的通信方式。当通信系统中传输的基带信号是模拟信号时,称为模拟通信系统;当通信系统中传输的基带信号是数字信号时,则称为数字通信系统。尽管它们的种类不同,但就系统的基本组成部分来说是相同的。

值得注意的是,在科学技术的快速发展、新电路和新器件日新月异、通信

集成电路不断更新的今天,学习本课程时应特别注意对电路功能和基本原理的理解,加上实践环节的训练,培养运用集成电路去设计与开发新的电子系统的能力。因为高频功能电路可以用不同的器件组成,虽然使用器件不同,但是每个高频功能电路的功能和基本原理是不会变的。通信集成电路通常是由多个功能电路组成,掌握了各个功能电路的功能,对理解和应用集成电路会有很大的帮助。

为了对发送设备、接收设备各组成部分之间的相互关系有所了解,使读者对通信系统有全面的认识,以介绍无线电广播原理为例,说明无线电信号的发送和接收的过程及系统的组成是很有必要的。尽管无线电广播系统较为简单,但麻雀虽小,五脏俱全。

第二节 无线电发送设备的组成与原理

无线电发送是以自由空间为传输信道,把需要传送的信息(声音、文字或图像)变换成无线电波传送到远方的接收点。

为什么要用无线电波发送方式把信息(例如声音)传送出去呢?信息传输通常应满足两个基本要求,一是希望传送距离远,二是要能实现多路传输,且各路信号传输时,应互不干扰。为了把声音传送到远方,常用的方法是将声音变成电信号,再通过发送设备送出去。电信号是与声音同频率的交变电磁振荡信号,可以利用天线向空中辐射出去。电磁波在空气中的传播速度很快(3×10^8 m/s)。在天线高度足够的条件下是能够实现远距离传送的。但是,无线电波通过天线辐射,天线的长度必须和电磁振荡的波长相近,才能有效地把电磁振荡波辐射出去。对于频率为 20 Hz ~ 20 kHz 的声频来说,其波长是 $15 \times 10^6 \sim 15 \times 10^3$ m。那么,这样大尺寸的天线,制造是很困难的。即使可以做出来,由于各个电台所发出的信号频率范围相同,接收者也无法选择所需的接收信号。解决的办法是,将发射的电磁波的频率提高,使传送的音频信号“加载”到高频振荡之中。这样,天线的尺寸可以减小。不同的电台可以采用不同的高频振荡频率,接收时很容易分开。通常,把需传送的信息“加载”到高频振荡中的过程称为调制,能实现这样功能变换的电路称为调制器。调制可以分为三类,即调幅、调频和调相。

图 1-2 是调幅广播发射机的方框图,它由三部分组成。

① 低频部分,由声电变换器(话筒)和低频放大器组成,实现声电变换,并对音频电信号进行放大,使其满足调制器的要求。

② 高频部分,由主振器、缓冲器、高频电压放大器、振幅调制器和高频功率放大器组成,实现载波的产生、放大、振幅调制和高频功率放大。

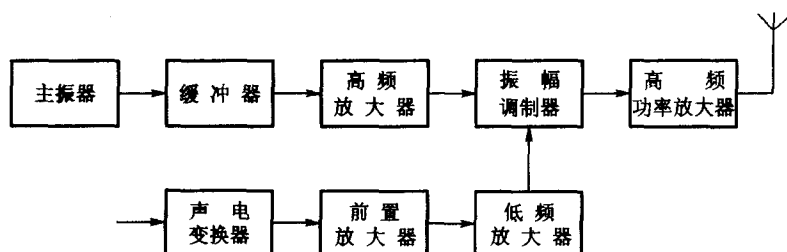


图 1-2 调幅广播发射机方框图

③ 传输线和天线部分,它完成将已调波通过天线以电磁波形式辐射出去。

主振器产生的高频振荡信号经缓冲、放大后,作为高频载波电压送给振幅调制器。设其表示式为

$$u_i(t) = U_{im} \cos(\omega_c t + \varphi)$$

其中, $u_i(t)$ 是调制器输入高频载波信号的瞬时值, U_{im} 是它的振幅, ω_c 是角频率, φ 为初始相位。

送给调制器的另一信号是由声音经话筒转变成电信号,并经低频电压放大的低频电信号。设其表示式为

$$u_n(t) = U_{nm} \cos \Omega t$$

其中, $u_n(t)$ 为送给调制器的调制信号的瞬时值, U_{nm} 是振幅, Ω 是角频率。

$u_i(t)$ 和 $u_n(t)$ 送到调制器进行振幅调制,调制器输出的调幅波为

$$u(t) = U_{cm} (1 + m_a \cos \Omega t) \cos(\omega_c t + \varphi)$$

它通过高频功率放大器、传输线经天线以电磁波形式辐射出去。

第三节 无线电接收设备的组成与原理

无线电接收过程正好和发送过程相反,它的基本任务是将通过天空传来的电磁波接收下来,并从中取出需要接收的信息信号。

图 1-3 是一个最简单的接收机的方框图,它由接收天线、选频电路、检波器

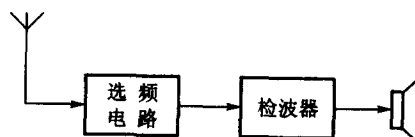


图 1-3 最简单的接收机方框图