



普通高等教育“十二五”规划教材

通信电路与系统

TONGXIN DIANLU YU XITONG

主 编 刘联会 王建新
副主编 卫建华 刘高辉
杨永生 刘 露



北京邮电大学出版社
www.buptpress.com

普通高等教育“十二五”规划教材

通信电路与系统

主 编 刘 联 会 王 建 新

副主编 卫建华 刘高辉 杨永生 刘 露



北京邮电大学出版社
[www. buptpress. com](http://www.buptpress.com)

内 容 简 介

通信电路与通信系统之间联系紧密、相互包容、不可分割,本书将通信电路与通信系统综合在一起进行讲解介绍。全书共8章:第1~第7章以通信单元电路为主,介绍了谐振电路与系统、高频小信号放大电路与噪声、高频功率放大电路、正弦振荡电路、振幅调制与解调电路及混频电路、角度调制与解调电路、反馈控制电路;第8章以无线电通信系统为主,介绍了通用无线电电话系统、短距离无线电通信系统、软件无线电技术和现代移动通信系统。

本书可用作电子通信类专业通信电路课程的教材,也可用作非通信类专业通信系统的教材,同时可供从事电子信息工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

通信电路与系统 / 刘联会, 王建新主编. — 北京: 北京邮电大学出版社, 2014. 10

ISBN 978-7-5635-4010-5

I. ①通… II. ①刘… ②王… III. ①通信系统—电子电路—教材 IV. ①TN91

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2014)第 124856 号

书 名: 通信电路与系统

著作责任者: 刘联会 王建新 主编

责任编辑: 刘 颖

出版发行: 北京邮电大学出版社

社 址: 北京市海淀区西土城路 10 号(邮编: 100876)

发 行 部: 电话: 010-62282185 传真: 010-62283578

E-mail: publish@bupt.edu.cn

经 销: 各地新华书店

印 刷: 北京鑫丰华彩印有限公司

开 本: 787 mm×1 092 mm 1/16

印 张: 19.25

字 数: 502 千字

印 数: 1—2 000 册

版 次: 2014 年 10 月第 1 版 2014 年 10 月第 1 次印刷



ISBN 978-7-5635-4010-5

定 价: 38.00 元

• 如有印装质量问题, 请与北京邮电大学出版社发行部联系 •

前 言

通信电路与通信系统是通信、电子、信息、微电子等专业一门重要的专业基础课和技术基础课。它主要讨论和研究组成通信系统的基本单元电路的原理和分析方法,进而讨论整个通信系统的结构原理,在整个专业的学习中起承前启后的主干作用。

以往的教学是将通信电路与通信系统分为两门课程分别依次实施的,这是因为一般我们认为系统是由电路组成的,电路是由元器件组成的,所以在教学中按这样的理解分为器件课、电路课、系统课。但实际上电路与系统是密不可分的,也是很难加以区分的。电路本身就是一个系统,只不过一般称为电路的系统,相较我们称之为系统的系统可能简单一些而已,而系统往往较为复杂,由许多电路组成,而且能完成一个完整而系统的功能。通信电路与通信系统也是如此,而将这两部分分开往往给初学者误解,将电路与系统不能统一起来认识。故而本教材将这两部分内容合并进行,这体现了电路与系统间的密切联系。另外将电路与系统综合在一起,也是适应发展的需要,随着微电子技术及计算机技术的发展和广泛应用,与之相结合的通信电路与系统的内容越来越丰富,应用也越来越广泛。与此同时,本课程的学时却在不断压缩减少,为了应对不断出现的变化和适应课程的发展,实施好这门课程的教学是当前的一项重要工作。因此,将通信电路与通信系统合并进行是一次尝试,使得电路与系统有机结合。从现实出发,这既是可能的,也是必要的;既加强了对基本电路的理解,也了解了通信设备系统的整体结构,对培养理论联系实际的能力,起到了事半功倍的效果。

事物的发展是脱离不了它自身的历史过程的,实际上,所有的科学学科的学习都是本学科发展历史的学习。考虑到电路与系统课程分开的历史的事实,全书大体分为两部分:第1部分以通信单元电路为主,内容包括:绪论、第1章谐振电路与系统、第2章高频小信号放大电路与噪声、第3章高频功率放大电路、第4章正弦振荡电路、第5章振幅调制与解调电路及混频电路、第6章角度调制与解调电路和第7章反馈控制电路;第2部分以无线电通信系统为主,在第8章述及,主要包括通用无线电话系统、短距离无线电通信系统、软件无线电技术和现代移动通信系统。

本书是通信电路与通信系统统一起来的一部教材,就基本单元电路章节中也有系统应用的例子,教学实施中也可集中在后面来讲述,而后面的内容也可随课程的单元电路穿插进行,使得电路与系统有机结合。

本书力求做到简明扼要,深入浅出,通俗易懂,以达到适于自学的目的。书中突出非线性电路特性与分析方法。本课程参考学时为 60 学时,使用者根据实际情况可酌情处理。

本书由刘联会、王建新任主编,卫建华、刘高辉、杨永生、刘露任副主编,杨辉、姜辉、刘晓佩、刘凌志、郭玉萍、张燕燕、李明等参加了编写。其中绪论和第 1 章由刘晓佩编写;第 2 章由刘凌志编写;第 3 章 3.1 节、3.2 节和 3.5 节由李明编写,其余各节由刘露编写;第 4、5 章由姜辉编写;第 6 章 6.1 节、6.2 节由姜辉编写,其余由刘露编写;第 7 章 7.1~7.3 节由杨永生编写,7.4 节、7.5 节由郭玉萍编写,7.6 节由张燕燕编写;第 8 章 8.1 节、8.2 节由张雁宾编写,8.3~8.5 节由杨辉编写。

由于编者水平有限,书中难免有错误和不当之处,敬请读者不吝赐教。

作 者

目 录

绪 论	1
0.1 无线电通信的发展简史	1
0.2 无线电通信原理	1
0.2.1 无线电通信系统的组成	1
0.2.2 无线电发射机和接收机的工作原理	3
0.3 本书研究对象及任务	5
第 1 章 谐振电路与系统	6
1.1 谐振电路元件的高频特性	6
1.2 谐振电路	8
1.2.1 并联谐振回路	8
1.2.2 串联谐振回路	12
1.3 LC 回路阻抗变换作用	12
1.3.1 引言	12
1.3.2 LC 阻抗变换电路	13
1.3.3 LC 选频匹配电路	15
1.4 耦合振荡回路	19
1.5 滤波器	23
1.5.1 石英晶体滤波器	23
1.5.2 声表面波滤波器	25
1.5.3 陶瓷滤波器	26
第 2 章 高频小信号放大电路与噪声	29
2.1 概述	29
2.2 晶体管高频小信号等效电路与高频参数	30
2.2.1 晶体管共射混合 π 型等效电路	30
2.2.2 y 参数等效电路	31
2.2.3 晶体管的高频参数	33

2.3	晶体管谐振放大电路	34
2.3.1	单管单调谐回路谐振放大器	34
2.3.2	多级单调谐回路谐振放大器	39
2.3.3	双调谐回路谐振放大器	40
2.4	谐振放大器的稳定性	43
2.4.1	晶体管内部反馈及其消除方法	43
2.4.2	晶体管外部干扰	44
2.5	集中选频放大器	45
2.6	放大电路的噪声	47
2.6.1	电阻的热噪声	47
2.6.2	电阻噪声电路的计算	49
2.6.3	天线噪声	49
2.6.4	晶体三极管的噪声	50
2.6.5	放大器噪声的表示方法及计算	51
2.6.6	无源二端口网络的噪声系数	55
2.6.7	接收机灵敏度与噪声系数的关系	55
第3章	高频功率放大电路	59
3.1	概述	59
3.2	丙类谐振功率放大器的工作原理	61
3.3	丙类功率放大器工作状态分析	64
3.3.1	丙类功率放大器的折线分析法	64
3.3.2	丙类功率放大器的负载特性	69
3.3.3	各级电压对工作状态的影响	71
3.4	丙类功率放大器电路	74
3.4.1	馈电电路	74
3.4.2	输出、输入回路与级间耦合回路	76
3.5	丁类及戊类高频功率放大器	82
3.6	传输线变压器	83
3.6.1	传输线变压器的工作原理	83
3.6.2	传输线变压器的主要参数	84
3.6.3	传输线变压器的阻抗变换作用	84
3.7	功率的分配与合成	86
3.7.1	功率分配网络	87
3.7.2	功率合成网络	90
3.7.3	功率合成电路举例	92
3.8	集成高频功率放大电路及应用简介	94

第 4 章 正弦振荡电路	98
4.1 反馈振荡器的工作原理	98
4.1.1 平衡条件	98
4.1.2 起振条件	99
4.1.3 稳定条件	99
4.1.4 基本组成及其分析方法	101
4.2 LC 正弦波振荡器电路	102
4.2.1 互感耦合振荡器电路	102
4.2.2 电感反馈振荡器电路	103
4.2.3 电容反馈振荡器电路	105
4.2.4 LC 三端式振荡器相位平衡条件的判断准则	107
4.2.5 高稳定度的 LC 振荡器电路	108
4.3 振荡器的频率稳定度	111
4.3.1 振荡器的频率稳定度	111
4.3.2 提高频率稳定度的措施	111
4.4 石英谐振器	113
4.4.1 石英晶体特性与石英谐振器的等效电路	113
4.4.2 晶体振荡电路	114
4.5 振荡器线路应用举例	118
4.5.1 差分对管振荡电路	118
4.5.2 压控振荡器	119
4.5.3 运放振荡器	120
4.5.4 单片集成振荡器电路	120
第 5 章 振幅调制与解调电路及混频电路	126
5.1 概述	126
5.1.1 调制概念	126
5.1.2 调制的分类	126
5.2 调幅波的性质	127
5.2.1 调幅波的波形	127
5.2.2 调幅波的数学表达式与频谱	128
5.2.3 调幅波中的功率关系	131
5.3 调幅电路	132
5.3.1 平方律调幅	132
5.3.2 高电平调幅	134
5.4 包络检波器	137
5.4.1 小信号检波(平方律检波)	137

5.4.2	大信号检波(峰值包络检波)	139
5.5	双边带信号	143
5.5.1	平衡调幅器	143
5.5.2	斩波器	145
5.5.3	模拟乘法器	148
5.5.4	双边带信号的解调	150
5.6	单边带信号	154
5.6.1	滤波法	154
5.6.2	相移法	155
5.6.3	修正的移相滤波法	155
5.6.4	单边带信号的接收	156
5.7	混频电路	157
5.7.1	概述	157
5.7.2	混频电路	159
5.7.3	混频器的干扰	166
5.7.4	外差式调幅广播收音机	169
第6章	角度调制与解调电路	175
6.1	角度调制	175
6.1.1	调频波与调相波的数学表达式	175
6.1.2	调角波的频谱与频带宽度	176
6.2	调频方法	179
6.2.1	调频方法	179
6.2.2	直接调频电路	180
6.2.3	调相法——间接调频电路	183
6.2.4	调频广播发射机	185
6.3	鉴频电路	186
6.3.1	斜率鉴频器	186
6.3.2	相位鉴频器	188
6.3.3	比例鉴频器	191
6.4	其他形式的鉴频器	192
6.4.1	符合门鉴频器	192
6.4.2	脉冲计数式鉴频器	194
6.5	限幅电路	194
第7章	反馈控制电路	198
7.1	自动增益控制	198
7.1.1	概述	198

7.1.2	自动增益控制电路的组成	198
7.1.3	放大器的自动增益控制	199
7.1.4	电控衰减器	201
7.1.5	利用 PIN 管组成的增益控制电路	202
7.1.6	线性集成电路中的 AGC 控制	202
7.1.7	AGC 控制电压的产生	204
7.1.8	AGC 系统的增益控制特性	206
7.2	自动频率微调与电子调谐	208
7.2.1	概述	208
7.2.2	自动频率微调系统工作原理、跟踪式自动频率微调	208
7.2.3	通信系统中自动频率微调系统	211
7.2.4	调频负反馈——调频反馈解调器	212
7.3	锁相环路的基本原理	213
7.3.1	概述	213
7.3.2	锁相环路的主要部件	214
7.3.3	锁相环路的环路方程和模型	219
7.4	锁相环路的线性分析	222
7.4.1	环路的线性化	222
7.4.2	环路的频率响应	223
7.4.3	环路的线性跟踪性能	225
7.4.4	线性分析的小结	227
7.5	锁相环路的非线性分析	228
7.5.1	一阶锁相环的非线性分析	228
7.5.2	二阶锁相环非线性分析的主要结论	232
7.6	锁相环路的应用	233
7.6.1	窄带跟踪接收机	233
7.6.2	锁相环路的调频与鉴频	234
7.6.3	调幅信号的解调	235
7.6.4	用于振荡器的稳定与频谱纯化	235
7.6.5	用于调相信号和数字相位键控信号的相干解调	236
7.6.6	倍频与分频	238
7.6.7	频率合成器	238
第 8 章	现代无线电通信系统	243
8.1	无中心无线电话系统	243
8.2	通用无线电话系统	244
8.2.1	450 MHz 收发信机方框图	244
8.2.2	发射机电路	248

8.2.3 接收机电路	250
8.3 短距离无线电通信系统	254
8.3.1 概述	254
8.3.2 蓝牙技术	254
8.3.3 IEEE 802.11b	260
8.3.4 nRF 系列单片机无线收/发模块的应用	261
8.3.5 TRF6900 单片射频收发器	266
8.3.6 ZigBee 技术	269
8.4 软件无线电技术	272
8.4.1 软件无线电的概念、结构及特点	272
8.4.2 软件无线电的关键技术	274
8.5 现代移动通信系统	281
8.5.1 移动通信发展历史	281
8.5.2 蜂窝移动通信主要技术	284
8.5.3 第二代 GSM 数字蜂窝移动通信系统	286
8.5.4 第三代 TD-SCDMA 数字蜂窝移动通信系统	292
8.5.5 移动通信发展展望	294
参考文献	296

绪 论

0.1 无线电通信的发展简史

信息传输是人类活动的重要内容。广义地说,凡是在发信者和收信者之间,以任何形式进行信息传递,都可称为通信。从古代的烽火,到近代的旗语,都是人们寻求快速远距离通信的手段。直到 19 世纪有了电磁学理论与实践的坚实基础后,人们开始利用电磁能量传送信息。1837 年莫尔斯发明了电报,创造了莫尔斯电码,开创了通信的新纪元。1876 年贝尔发明了电话,能够直接将语言信号变为电能沿导线传送。电报、电话的发明,为迅速准确地传送信息提供了新手段,是通信技术的重大突破。电报、电话都是沿导线传送信号的,能否不用导线,在空间传送信号呢? 答案是肯定的,这就是无线电通信。

1864 年英国物理学家麦克斯韦(J. Clerk Maxwell)发表了《电磁场动力学理论》这一著名论文,为无线电的发明和发展奠定了理论基础。1887 年德国的物理学家赫兹(H. Hertz)以卓越的实验技巧证明了电磁波的存在。此后的科学家英国的罗吉、法国的勃兰利、俄国的波波夫和意大利的马可尼等进行了进一步的研究。在以上人中,马可尼的贡献最大,他于 1901 年首次完成了横渡大西洋的通信,实现了无线电通信。此后,1904 年弗莱明发明了二极管,1907 年李·德·福雷斯特发明了电子三极管,肖克莱等发明了晶体三极管,以及后来出现的将“管”、“路”结合起来的集成电路,极大地推进了无线电技术和电子学的迅速发展,真正进入了无线电技术和无线电电子的时代。

从发明无线电开始,传输信息就是无线电技术的首要任务。直到今天,虽然无线电电子技术领域在迅速扩大,但信息的传输与处理仍然是它的主要内容。通信电路所涉及的单元电路都是从传输与处理信息这一基本点出发来进行研究的,因此有必要在本书的开始概述无线电通信系统的基本原理与组成。

0.2 无线电通信原理

0.2.1 无线电通信系统的组成

一般地讲,无线电通信系统的基本组成如图 0.2.1 所示,它由输入变换器、发送设备、信

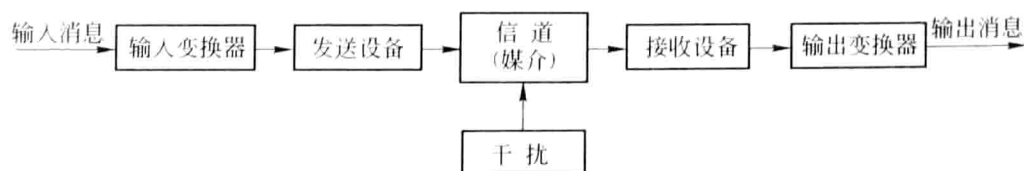


图 0.2.1 无线通信系统组成框图

道、接收设备及输出变换器五部分组成。各部分的主要作用简介如下：

(1) 输入变换器

输入变换器的主要任务是将发信者提供的非电量消息(如语音、景物等)变换为电信号,该电信号应能反映待发的全部消息,通常具有“低通型”频谱结构,故称为基带信号。当输入消息本身就是电信号时(如计算机输出的二进制信号),输入变换器可省略而直接进入发送设备。

(2) 发送设备

发送设备主要有两大任务:一是调制;二是放大。所谓调制,就是将基带信号变换成适合信道传输的频带信号。它是用基带信号去控制消息载体信号的某一参数,让该参数随着基带信号的大小而线性变化的处理过程。例如,在连续波调制中,简谐振荡有三个参数(振幅、频率和初相位)可以改变,利用基带信号去控制这三个参数中的某一个,就会产生对应的三种调制方式:调幅、调频和调相。通常又将基带信号称为调制信号;将高频振荡信号称为载波信号;将经过调制后的高频振荡信号称为已调信号或已调波。

所谓放大,是指对调制信号和已调信号的电压和功率放大、滤波等处理过程,以保证送入信道有足够大的已调信号功率。

(3) 信道

信道是连接发、收两端的信号通道,又称传输媒介。通信系统中应用信道可分为两大类:有线信道(如架空明线、电线、电缆、波导、光纤等)和无线信道(如海水、地球表面、自由空间等)。不同信道有不同的传输特性,相同媒介对不同频率的信号传输特性也是不同的。例如,

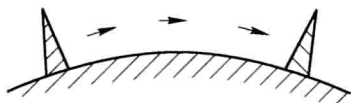


图 0.2.2 电磁波沿地表绕射

在自由空间媒介里,电磁能量是以电磁波的形式传播的。然而,不同频率的电磁波却有着不同的传播方式。1.5 MHz 以下的电磁波主要沿地表传播,称为地波,如图 0.2.2 所示。由于大地不是理想的导体,当电磁波沿其传播时,有一部分能量被损耗掉,频率越高,趋表效应越严重,损耗越大,因此频率较高的电磁波不宜沿地表传播。

1.5~30 MHz 的电磁波,主要靠天空中电离层的折射和反射传播,称为天波,如图 0.2.3 所示。电离层是由于太阳和星际空间的辐射引起大气上层电离形成的。电磁波到达电离层后,一部分能量被吸收,一部分能量被反射和折射返回到地面。频率越高,被吸收的能量越小,电磁波穿入电离层也越深。当频率超过一定值后,电磁波就会穿透电离层而不再返回地面,因此频率更高的电磁波不宜用天波传播。30 MHz 以上的电磁波主要沿空间直线传播,称为空间波,如图 0.2.4 所示。由于地球表面的弯曲,空间波传播距离受限于视距范围,架高发射天线可以增大其传输距离。为了讨论问题的方便,将不同频率的电磁波人为地划分若干频段或波段,其相应名称和主要应用举例,列于表 0.2.1 中。应该指出,各种波段的划分是相对的,因为各波段之间并没有显著的分界线,但各个不同波段的特点仍然有明显的差别。

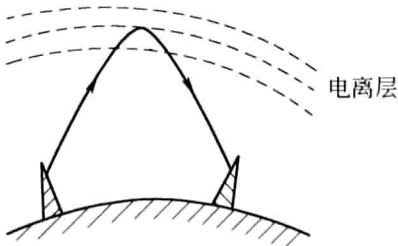


图 0.2.3 电磁波的折射与反射

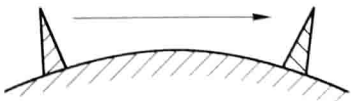


图 0.2.4 电磁波的直射

表 0.2.1 无线电波频段划分

频段名称	频率范围/Hz	波长范围/m	传输特性	应用举例
极低频(ELF)	3~30	$10^7 \sim 10^8$	传输损耗小,通信距离远,信号稳定可靠,渗入地层、海水能力强	音频电话,数据传输,潜艇通信,透地通信,远洋通信,远程导航,发送标准时间等级
超低频(SLF)	30~300	$10^6 \sim 10^7$		
特低频(ULF)	300~3 000	$10^5 \sim 10^6$		
甚低频(VLF)	3~30 k	$10^4 \sim 10^5$		
低频(LF)	30~300 k	$10^3 \sim 10^4$	夜间传播与 VLF 同,但稍有不可靠,白天吸收大于 VLF,频率愈高,吸收愈大,每季均有变化	除上述外,有时还用于地下通信
中频(IF)	300~3 000 k	$10^2 \sim 10^3$	夜间比白天衰减减小,夏天比冬天衰减大,长距离通信不如长波可靠,频率愈高愈不可靠	广播,船舶通信,飞行通信,业余无线电
高频(HF)	3~30 M	$10 \sim 10^2$	远距离通信完全由电离层决定,每时、每日、每季都有变化。情况好时,远距离通信衰减减小	短波广播,移动通信,军用通信,业余无线电
甚高频(VHF)	30~300 M	1~10	特性与广播类似,直线传播,与电离层无关(能穿透电离层,不反射)	移动通信,电视,调频电台,雷达,导航
超高频(UHF)	300~3 000 M	$10^{-1} \sim 1$	均属于微波波段,传播特性与 VHF 相似	与 VHF 雷同,还适合散射通信,流星余迹通信,卫星通信等
特高频(SHF)	3~30 G	$10^{-2} \sim 10^{-1}$		
极高频(EHF)	30~300 G	$10^{-3} \sim 10^{-2}$		
至高频	300~3 000 G	$10^{-4} \sim 10^{-3}$		

(4) 接收设备

接收设备的任务是将信道传送过来的已调信号进行处理,以恢复出与发送端相一致的基带信号。这种从已调波中恢复基带信号的处理过程,称为解调。显然解调是调制的反过程。由于信道的衰减特性,经远距离传输到达接收端的信号电平通常是很微弱的(微伏数量级),需要放大后才能解调。同时,在信道中还会存在许多干扰信号,因而接收设备还必须具有从众多干扰信号中选择有用信号和抑制干扰的能力。

(5) 输出变换器

输出变换器的作用是将接收设备输出的基带信号变换成原来形式的消息,如语音、景物等,供收信者使用。

0.2.2 无线电发射机和接收机的工作原理

发射机和接收机是无线电通信系统的核心部件,它们是为了使基带信号在信道中有效和可靠地传输而设置的。现以图 0.2.5 和图 0.2.6 所示调幅电话发射机和超外差式接收机为例,说明它们的组成及发射、接收原理。

发射机的工作过程简述为:振荡器产生一定频率的最初高频振荡,通常其功率很小。倍频器主要是以提高发射机的频率以及扩展发射机的波段范围,使其频率倍增到载波频率(f_c)

上。中间放大器的主要功用就是将小的等幅振荡信号功率加以放大,以供给输出功率放大器所需的激励,它通常由若干级放大器构成。输出放大器的主要作用就是在激励信号的频率上,产生足够的高频功率,送给天线或传输线路。在调幅电话发射机中,振幅调制通常在输出放大器中进行。方框图中的调制器,实际就是音频放大器,它的功用就是将语音信号放大到所需要的功率,使调制信号功率足够大,从而供给输出放大器完成调制。图 0.2.5 中各处的信号波形就反映了上述的工作过程。

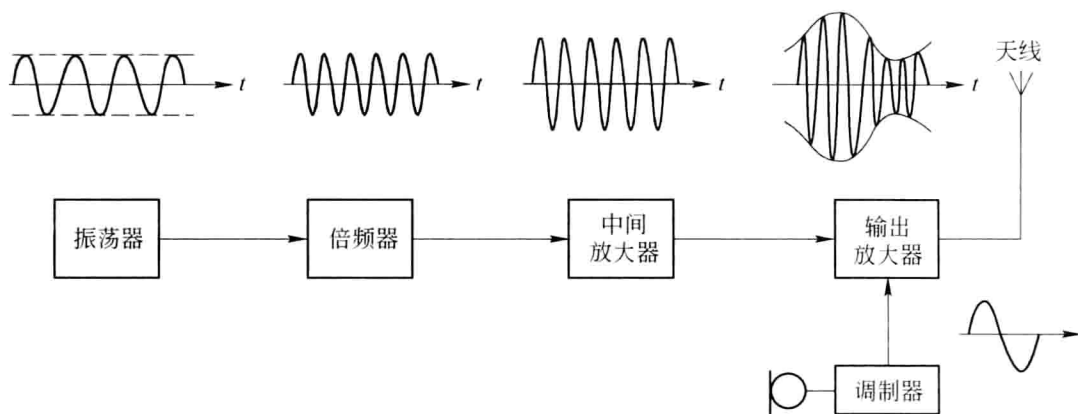


图 0.2.5 调幅电话发射机原理方框图

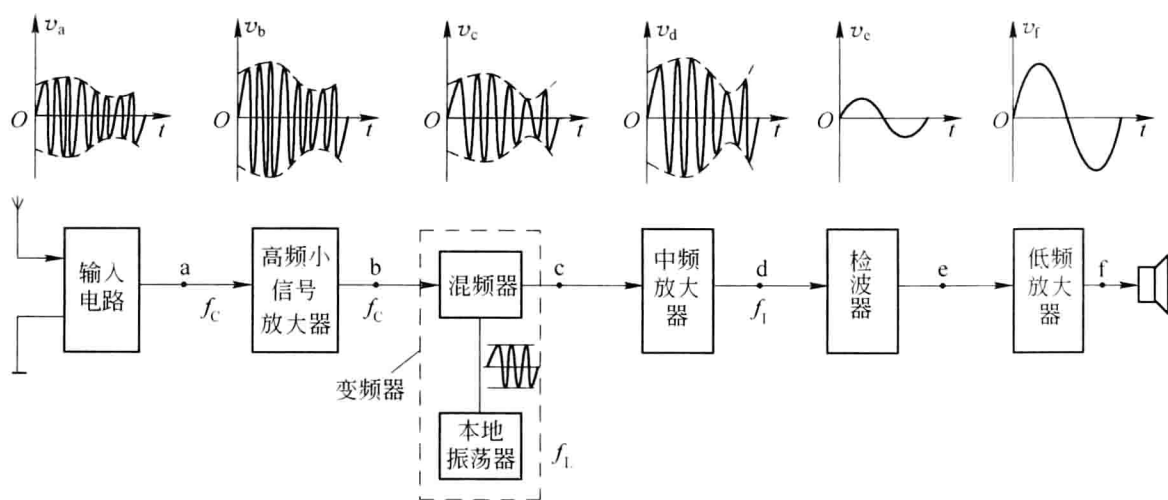


图 0.2.6 超外差式接收机的方框图

图 0.2.6 为超外差式接收机的方框图。在该图中,高频小信号放大器由一级或多级小信号谐振放大器组成,用来放大电磁波在天线上感应到的有用信号;同时利用放大器中的谐振回路抑制其他频率的干扰信号。由于谐振放大器的中心频率随接收信号频率的不同而不同,如短波频率范围为 $1.5 \sim 30 \text{ MHz}$,因此高频放大器一般是可调谐的。混频器是将高频已调信号(载波频率为 f_c)不失真地变换为中频已调信号(载波频率用 f_i 表示)的变换电路。本地振荡器用来产生频率为 $f_L = f_c + f_i$ 的高频振荡信号(f_L 表示本地高频振荡信号频率)。由于 f_c 随接收信号的不同而不同,所以本振频率 f_L 是可调的,而且必须正确跟踪 f_c 以使中频信号 f_i 为固定值(465 kHz)。中频放大器用来放大中频调幅信号,由于中频频率是固定的,因此中频放大器的选择性和增益等技术指标得到极大的提高,而检波器将中频调幅信号反变换为反映传送信息的调制信号。低频放大器由电压放大器和非谐振功率放大器组成,用来放大带有信息的调制信号,向扬声器提供必要的推动功率。

0.3 本书研究对象及任务

通信电路原理是通信工程专业中一门主要的技术基础课。在信息技术不断发展的今天,人类社会已经进入社会网络化、网络互动化的时代,通信网已成为开发各种通信技术及通信手段的依托。在一个通信网络中,包括传统上所说的有线通信、无线通信,而且还包括光纤通信、卫星通信、数据通信或计算机通信等。这就要求我们不能仅限于某一个通信手段或技术上,而应着眼于更宽的知识视野中。当然目前通信技术所覆盖的内容浩如烟海,任何一门在校的课程或专业也难以有如此多的时间及篇幅将它阐述得详尽透彻。本课程的宗旨在于介绍无线电通信系统所涉及的基本功能电路,如振荡电路、高频小信号放大电路、高频功率放大电路、调制与解调电路、倍频电路和混频电路等,另外,包括自动增益控制、自动频率控制和自动相位控制在内的反馈控制电路也是通信电路原理所研究的对象。同时本书也尽可能地介绍一些最新的通信电路应用技术,这主要包括了通用无线电话系统、短距离无线电通信系统、软件无线电技术及现代移动通信系统。

通信电路原理中,大部分是非线性电路,如振荡电路、调制和解调电路、混频电路和倍频电路等。非线性电路必须采用非线性分析方法,非线性微分方程是描述非线性电路的数学模型,但在工程上常采用一些近似分析和求解的方法。

本书所涉及的电路远比低频部分多,但它们都是在一些基本电路基础上发展起来的。因此,在学习本课程的时候不但要掌握各种单元电路的组成、工作原理和分析方法,而且要深入了解它们之间的内在联系,培养分析和解决电子技术和通信系统中问题的能力。

本课程的实践性很强,因此在学好理论课的同时,一定要坚持理论联系实际,重视实验课和有关课程设计及实训环节。

随着电子设计自动化(EDA 技术)的发展,越来越多地应用 EDA 软件来进行电子电路设计,电路仿真分析和电路图、电路板设计。所以,强调掌握先进的高频电路 EDA 技术也是非常重要的。在实际应用中,各种功能电路作为局部电路出现在整体设备中发挥它们的作用。本书将讨论通信电路在无线电通信中的应用及无线电通信设备的整机电路原理,并且介绍性能指标等问题;建立通信机的整机概念,增强读图能力,为后续的工程实践打下基础。

思考题与习题

- 0.1 试述无线电通信的组成及其各部分的工作原理。
- 0.2 以调幅电话为例,说明无线电通信系统中发射部分的工作过程。

第 1 章 谐振电路与系统

1.1 谐振电路元件的高频特性

常用到的无源元件认为是线性双通的、不随时间变化的、具有集总参量的电阻、电感线圈和电容。所谓线性是指元件参量与流经它的电流或加于其上的电压的数值无关；所谓双通是指元件参量与电流方向和电压极性无关；所谓集总参量是指不随空间位置而变的参量。

无源元件上的电流和电压的关系称为元件的伏安特性。在理想情况下，电阻是一个耗能元件，而电容是储存电能的元件，电感是储存磁能的元件，且线路中的磁能和电能是不能突然改变的，也就是说电感线圈中的电流和电容器中的电荷都不能骤然增加。

在电路中引用的无源元件(电阻、电感线圈和电容)都是理想元件，实际上没有这种元件。实际元件应用不同的等效电路来表示，针对不同的运用情况，应采用最确切的等效电路。

1. 电阻

一个实际的电阻，在低频时主要表现为电阻特性；在高频使用时除了表现为电阻特性外，还具有电抗特性的一面。一个电阻 R 的高频等效电路如图 1.1.1 所示，其中， C_R 为分布电容， L_R 为引线电感， R 为电阻。分布电容和引线电感越小，表明电阻的高频特性越好。电阻器的高频特性与制作电阻的材料、封装形式和尺寸大小有密切的关系。一般来说，金属膜电阻比碳膜电阻的高频特性要好，而碳膜电阻比绕线电阻的特性要好。频率越高，电阻的电抗成分越明显，在使用时，应尽量使之表现为纯电阻。

2. 电感线圈的高频特性

电感线圈除表现出电感的特性外，还具有一定的损耗电阻和分布电容。在分析一般的长、中、短波频段时，通常可忽略分布电容的影响。因而，电感线圈的等效电路可以表示为电感 L 和电阻 r 串联，如图 1.1.2 所示。

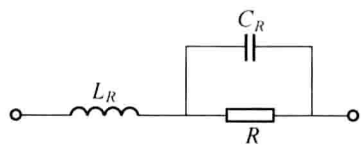


图 1.1.1 电阻的高频等效电路



图 1.1.2 电感线圈的串联等效电路

电阻 r 随频率增高而增加，这主要是由于集肤效应的影响。所谓集肤效应就是指随着工作频率的增高，流过导线的交流电趋于流向导线表面的现象。当频率很高时，导线中心部位几乎完全没有电流流过，这相当于导线的有效面积较直流时大为减少，电阻 r 增大，工作频率越高，导线电阻就越大。

在无线电技术中通常用线圈品质因数来表示线圈的损耗性能。品质因数定义为无功功率与有功功率之比：