

应用型本科 电子及通信工程专业“十三五”规划教材

通信电子线路

主 编 宋依青

副主编 时 翔 费凤祥

- 内容新颖：新知识、新技术、新工艺
- 特色鲜明：突出“应用、实践、创新”
- 定位准确：面向工程技术型人才培养
- 质量上乘：应用型本科专家全力打造



西安电子科技大学出版社
<http://www.xduph.com>

应用型本科电子及通信工程专业“十三五”规划教材

通信电子线路

主 编 宋依青

副主编 时 翔 费凤祥

西安电子科技大学出版社

内 容 简 介

本书以无线电通信电路为主线,系统地介绍了无线电通信系统中相应的功能电路。本书共8章,分别是绪论,小信号调谐放大器,高频调谐功率放大器,正弦波振荡器,模拟调幅、检波与混频电路,模拟角度调制与解调电路,反馈控制电路,噪声与干扰。各章后面均有实用的电路设计说明和相应的电路图,每章还配有一定数量的习题。

本书在理论够用的基础上,强调应用,用工程的观点删繁就简,突出重点,加强基本知识、基本理论和基本电路分析,内容简明,概念清楚。本书可作为高等院校通信工程、电子信息工程等专业的教材和参考书,也可供相应专业的工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

通信电子线路/宋依青主编. —西安:西安电子科技大学出版社,2016.2

应用型本科电子及通信工程专业“十三五”规划教材

ISBN 978-7-5606-3978-9

I. ① 通… II. ① 宋… III. ① 通信系统—电子电路—高等学校—教材 IV. ① TN91

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2016)第 011670 号

策划编辑 高樱

责任编辑 王 斌 马武装

出版发行 西安电子科技大学出版社(西安市太白南路2号)

电 话 (029)88242885 88201467 邮 编 710071

网 址 www.xduph.com 电子邮箱 xdupfxb001@163.com

经 销 新华书店

印刷单位 陕西天意印务有限责任公司

版 次 2016年2月第1版 2016年2月第1次印刷

开 本 787毫米×1092毫米 1/16 印张 15.5

字 数 365千字

印 数 1~3000册

定 价 32.00元

ISBN 978-7-5606-3978-9/TN

XDUP 4270001-1

*** 如有印装问题可调换 ***

西安电子科技大学出版社
应用型本科 信息工程类专业系列教材
编审专家委员名单

主 任：沈卫康(南京工程学院通信工程学院 院长/教授)

副主任：张士兵(南通大学 电子信息学院 副院长/教授)

陈 岚(上海应用技术学院 电气与电子工程学院 副院长/教授)

宋依青(常州工学院 计算机科学与工程学院 副院长/教授)

张明新(常熟理工学院计算机科学与工程学院 副院长/教授)

成 员：(按姓氏拼音排列)

陈 奎(徐州工程学院 信电工程学院 教研室主任/副教授)

陈美君(金陵科技学院 网络与通信工程学院 副院长/副教授)

高 尚(江苏科技大学 计算机科学与工程学院 副院长/教授)

李文举(上海应用技术学院 计算机科学学院 副院长/教授)

梁 军(三江学院 电子信息工程学院 副院长/副教授)

潘启勇(常熟理工学院 物理与电子工程学院 副院长/副教授)

温宏愿(南京理工大学泰州科技学院 电子电气工程学院 副院长)

任建平(苏州科技学院 电子与信息工程学院 副院长/教授)

孙霓刚(常州大学 信息科学与工程学院 副院长/副教授)

盛党红(南京工程学院 自动化学院 教授/书记)

王杰华(南通大学 计算机科学与技术学院 副院长/副教授)

王章权(浙江树人大学 信息科技学院 副院长/副教授)

严云洋(淮阴工学院 计算机工程学院 院长/教授)

杨俊杰(上海电力学院 电子与信息工程学院 副院长/教授)

于继明(金陵科技学院 智能科学与控制工程学院 副院长/副教授)

前言

本书是以中国工程教育专业认证要求、电子信息类专业教学质量国家标准、电子电气基础课程教学基本要求为依据,以满足应用型本科教育的目标规划,适应新时期分层次教学的要求为目标而编写的。全书内容紧紧围绕通信系统中的接收、发射系统,从信号传输与电路实现的角度,将通信系统中的各功能电路之间的关系有机地结合在一起;以应用为目的,以生产第一线正在使用和作者近期科研成果中使用的技术所需要的基础理论为主,突出原理分析为应用服务,减少理论推导,强调基础技术应用的工程实践。

本书在分析基本电路时,考虑到集成电路的迅速发展和广泛应用,同时也考虑到分立元件电路仍是集成电路技术的基础,因此力求把分立元件电路和集成电路结合起来。各章后面的实际应用电路介绍以集成电路为主,所有的应用电路均已在实践中得到验证,可供读者在生产实践中参考应用。

通信电子线路是一门工程性、实践性很强的课程。学生通过本课程的学习,不仅能够掌握必要的基础理论知识,而且还能在分析问题、解决问题和实际应用能力上得到锻炼和提高。为加强实践环节的训练,本书每章都安排了一节计算机仿真实验内容,帮助读者加深对理论教学内容的理解,进一步拓展读者对电路设计的创造性和热情,提高读者的理论分析能力和实践动手能力。

本书共分8章,参考学时为48~64学时。各章主要内容如下:

第1章 绪论。本章主要以无线电广播通信为例,引导出通信系统的系统模型和调制通信系统的基本概念,介绍了通信的发展简史和无线电波的传播特性及频段划分,并给出了本课程的主要内容及学习方法。

第2章 小信号调谐放大器。本章主要讨论了调谐放大器的重要组成部分——LC谐振回路的基本性能,对单调谐放大器工作在高频情况下的放大特性和选频性能进行了重点讨论,较详细地讨论了高频调谐放大器常用的晶体管模型(混合 π 等效电路和Y参数等效电路),讨论了调谐放大器的稳定性问题及集中选频小信号调谐放大器。

第3章 高频调谐功率放大器。本章介绍了无线发射系统中的射频功率放大电路。其主要内容包括C类调谐功率放大器的工作原理及动态特性、相应的馈电电路及匹配网络、高效率功率放大器、射频功放实用电路。

第4章 正弦波振荡器。本章阐述了反馈型正弦波自激振荡器的基本工作原理,详细讨论了互感耦合振荡器、三点式LC振荡器电路的特点和相位平衡条件的判别准则,重点讨论了改进型电容三点式振荡器、晶体振荡器电路的组成和特点,最后给出了实用的振荡器电路并进行了详细的分析。

第5章 模拟调幅、检波与混频电路。本章讨论了振幅调制的工作原理,并在频域和时域两个方面进行了分析,详细分析了混频器电路的工作原理、调幅波的产生电路、解调电路以及由用乘法器组成的混频器的实用电路,最后较为详细地讨论了混频干扰问题,给

出了调幅、检波、混频的实用电路并进行了详细的分析。

第6章 模拟角度调制与解调电路。本章对调角波(调频和调相)进行了时域和频域分析并给出了它们的性质,然后对各种角度调制及解调具体电路进行了详细的分析,最后给出了实用的角度调制及解调电路。

第7章 反馈控制电路。本章介绍了反馈控制电路 AGC、AFC 的工作原理,重点讨论了锁相环路(PLL)的构成及其电路的工作原理、模型,给出了锁相环路的锁定、捕捉、跟踪、同步带和捕捉带等概念,对常用的锁相环路进行了详细分析,最后给出了几种实用的集成锁相环路并进行了详细的分析。

第8章 噪声与干扰。本章介绍了高频电路中各电子元器件噪声模型及其等效电路,讨论了在实际的电子电路中遇到的电噪声的分类和电噪声的度量,给出了实际工程应用中抑制电噪声和地线干扰的常用方法。

本书由宋依青担任主编,时翔、费凤祥担任副主编。本书在编写过程中得到了常州大地测绘科技有限公司技术部部长费凤祥的支持和指导,他给出了工程实践中的电路设计方法和实用电路,在此表示感谢。

限于编者水平和时间仓促,书中难免有不妥之处,请广大读者批评和指正。

编者

2015年10月

目 录

第 1 章 绪论	1	2.8 本章小结	39
1.1 通信系统的概念	1	习题	40
1.2 无线电发送与接收设备	2	第 3 章 高频调谐功率放大器	45
1.2.1 无线电调幅广播发送设备	2	3.1 概述	45
1.2.2 无线电调幅广播接收设备	2	3.2 调谐功率放大器的工作原理	45
1.3 无线电波的传播方式和频段划分	3	3.2.1 基本原理电路	45
1.3.1 无线电波的传播方式	3	3.2.2 晶体管特性的折线化分析	46
1.3.2 无线电波的频段划分	4	3.2.3 晶体管导通的特点与导通角	46
1.4 本课程的主要内容及特点	5	3.2.4 集电极余弦脉冲电流分析	47
习题	6	3.2.5 槽路电压	48
第 2 章 小信号调谐放大器	7	3.3 功率和效率	49
2.1 概述	7	3.4 调谐功率放大器的动态特性	51
2.2 LC 谐振回路	8	3.4.1 调谐功率放大器的动态特性分析	51
2.2.1 并联谐振回路的选频特性	8	3.4.2 调谐功率放大器的三种工作状态及其判别方法	53
2.2.2 并联谐振回路的通频带和选择性	11	3.4.3 R_c 、 E_c 、 E_b 和 U_{bm} 变化对放大器工作状态的影响	53
2.2.3 阻抗变换电路	13	3.5 调谐功率放大器的实用电路	56
2.3 小信号谐振放大器	23	3.5.1 直流馈电电路	56
2.3.1 单调谐回路谐振放大器	23	3.5.2 自给偏压环节	57
2.3.2 单调谐放大器的级联	30	3.6 输入、输出匹配网络	59
2.3.3 双调谐回路谐振放大器	31	3.6.1 并联谐振回路匹配电路	59
2.4 小信号谐振放大器的稳定性	34	3.6.2 滤波匹配网络	60
2.4.1 谐振放大器的输入导纳 y_i 及稳定性分析	34	3.7 高频调谐功率放大器实用电路举例	64
2.4.2 提高放大器稳定性的措施	34	3.7.1 高频调谐功率放大器实例 1	64
2.5 集中选频放大器	36	3.7.2 高频调谐功率放大器实例 2	65
2.5.1 石英晶体滤波器	36	3.8 集成高频功率放大器及其应用	72
2.5.2 陶瓷滤波器	36	3.8.1 M57704H 芯片的使用	73
2.5.3 声表面滤波器	37	3.8.2 LM3886TF 芯片的使用	73
2.6 集中选频放大器应用举例	38		
2.7 小信号调谐放大电路的仿真实验	39		

3.9 高频功率放大电路的仿真实验	74	5.2.1 普通调幅方式	111
3.10 本章小结	75	5.2.2 双边带调幅方式	115
习题	75	5.2.3 单边带调幅方式	116
第4章 正弦波振荡器	78	5.3 调幅电路	118
4.1 概述	78	5.3.1 高电平调幅电路	118
4.2 反馈振荡原理	78	5.3.2 低电平调幅电路	120
4.2.1 并联谐振回路中的自由振荡现象	78	5.4 检波电路	123
4.2.2 振荡过程与振荡条件	79	5.4.1 包络检波电路	123
4.2.3 反馈振荡电路的判断	81	5.4.2 同步检波电路	129
4.2.4 振荡器的频率稳定度	82	5.5 混频	129
4.3 LC 振荡器	83	5.5.1 混频原理及特点	130
4.3.1 互感耦合振荡器	83	5.5.2 混频干扰	130
4.3.2 三点式振荡器	84	5.5.3 混频器的性能指标	133
4.4 晶体振荡器	92	5.5.4 混频电路	134
4.4.1 石英晶体及其特性	92	5.6 实用的振幅调制、解调及混频电路举例	139
4.4.2 晶体振荡器电路	94	5.6.1 调幅无线话筒电路	139
4.5 压控振荡器	97	5.6.2 新型 ASK 调制电路	140
4.5.1 变容二极管	97	5.6.3 晶体管中波调幅收音机的混频电路	141
4.5.2 变容二极管压控振荡器	98	5.7 振幅调制、解调及混频电路仿真实验	142
4.5.3 晶体压控振荡器	100	5.7.1 基极调幅电路	142
4.6 集成电路振荡器	101	5.7.2 集电极调幅电路	142
4.6.1 差分对管振荡电路	101	5.8 本章小结	142
4.6.2 单片集成振荡器电路 E1648	102	习题	143
4.6.3 运放振荡器	103	第6章 模拟角度调制与解调电路	149
4.7 实用振荡器电路举例	103	6.1 概述	149
4.7.1 集成正弦波振荡器电路	104	6.2 角度调制与解调原理	149
4.7.2 二级正弦波振荡器电路	104	6.2.1 调角信号的时域特性	149
4.7.3 典型的石英晶体振荡电路	104	6.2.2 调角信号的频谱	151
4.8 正弦波振荡器的仿真实验	105	6.2.3 调角信号的带宽	153
4.8.1 电感三点式振荡器	105	6.2.4 调角信号的调制原理	155
4.8.2 电容三点式振荡器	105	6.2.5 调角信号的解调原理	156
4.9 本章小结	106	6.3 调频电路	157
习题	107	6.3.1 调频电路的主要性能指标	157
第5章 模拟调幅、检波与混频电路	111	6.3.2 直接调频电路	157
5.1 概述	111		
5.2 振幅调制与解调原理	111		

6.3.3 间接调频电路	161	7.3.4 锁相环路的应用	201
6.4 鉴频电路	165	7.4 频率合成器	205
6.4.1 鉴频电路的主要性能指标	165	7.4.1 频率合成器的分类及主要技术指标	205
6.4.2 LC 回路的频幅和频相转换特性	166	7.4.2 直接频率合成器	205
6.4.3 斜率鉴频电路	168	7.4.3 锁相频率合成器	206
6.4.4 相位鉴频电路	170	7.4.4 直接数字频率合成(DDS)器	210
6.4.5 限幅电路	171	7.5 实用电路举例	211
6.4.6 加重电路与静噪电路	172	7.5.1 74HC4046A 带压控振荡器(VCO)的锁相环电路	211
6.5 角度调制和解调电路的实用电路举例	173	7.5.2 ADF4106 的应用实例	213
6.5.1 无线调频话筒电路	173	7.5.3 AD9953 直接数字合成芯片的应用实例	214
6.5.2 调频型无线耳机发射电路	173	7.6 反馈控制系统的仿真实验	215
6.5.3 晶振式调频发射机电路	174	7.6.1 锁相环锁定仿真实验	215
6.6 集成调频、鉴频电路芯片介绍	174	7.6.2 锁相环的应用	216
6.6.1 MC2833 调频电路	175	7.7 本章小结	216
6.6.2 MC3361B FM 解调电路	175	习题	217
6.7 角度调制和解调电路的仿真实验	177	第 8 章 噪声与干扰	220
6.7.1 压控正弦波振荡器调频电路	177	8.1 噪声的来源和特点	220
6.7.2 用变容二极管实现的直接调频电路	178	8.1.1 电阻的热噪声	220
6.8 本章小结	178	8.1.2 电容器的噪声	221
习题	179	8.1.3 电感变压器的噪声	222
第 7 章 反馈控制电路	182	8.1.4 晶体管的噪声	223
7.1 自动增益控制电路	182	8.1.5 噪声系数	225
7.1.1 AGC 电路的工作原理与指标性能	182	8.2 干扰噪声源	226
7.1.2 AGC 电路的类型	186	8.3 电容性耦合与屏蔽	227
7.1.3 实用电路介绍	187	8.4 电感性耦合与屏蔽	228
7.1.4 增益控制电路	188	8.5 信号地线的接地方式	229
7.2 自动频率控制电路	189	8.5.1 单点接地连接方式	230
7.2.1 AFC 电路的工作原理	189	8.5.2 单点并联接地方式	230
7.2.2 AFC 电路的主要性能指标	190	8.5.3 多点接地方式	231
7.2.3 AFC 电路的应用	192	8.5.6 混合接地方式	231
7.3 自动相位控制电路——锁相环路	194	8.6 本章小结	232
7.3.1 锁相环路的基本原理	194	习题	232
7.3.2 锁相环路的数学模型	195	附录一 余弦脉冲分解系数表	233
7.3.3 锁相环路的捕捉与跟踪	200	附录二 贝塞尔函数表	236
		参考文献	238

第 1 章 绪 论

1.1 通信系统的概念

通信的任务就是传递各种信息(包括语音、音乐、文本、图像和数据等)。将信息从一端完整地传递到另一端,就完成了信息传递的任务。其中传递信息的通道称为信道,传输信息所需设备的总和称为通信系统。

通信系统的基本组成如图 1-1 所示,它由信源、输入变换器、发送设备、信道、接收设备、输出变换器组成。

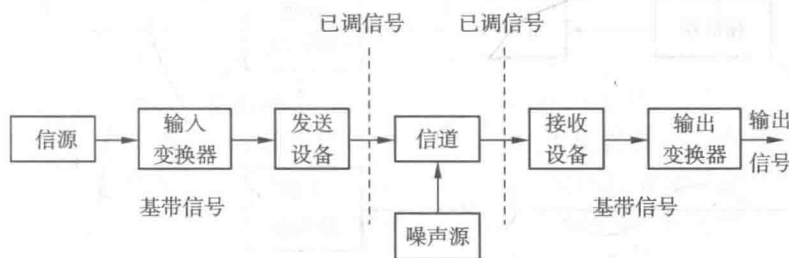


图 1-1 通信系统的基本组成

信源是指信息的来源,它有许多不同的形式,例如,语音、音乐、文字、图像、电码数据等。信源信息一般是非电量信息。

输入变换器将信源输入的信息转换成电信号。变换器也可以称为信息传感器,可以将非电信号转换成电信号,转换后的电信号称为该信源的基带信号。不同的信源需要不同的变换器。例如,话筒、电话机将语音、声音转换成电信号的传感器,摄像机将影像转换成电信号的传感器,电子秤将物体的重量转换成电信号的传感器等。

发送设备用来对基带信号进行某种处理并以足够的功率将其送入信道,以实现有效的传输。对基带信号的处理方式多种多样。例如,声音信号可以经过空间从一端传送到另一端,为了增加传送距离,就要把声音信号经过声频功率放大器放大,再通过扬声器扩声传播,这样声音传送的距离会更远且更清晰。最主要的信号处理方式调制。信号经调制后,发送设备的输出信号为调制信号,亦称为已调信号。

信道即信号传输的通道,又称为传输媒介。它大体分为无线信道和有线信道两大类:无线信道包括地球表面、地下、水下、地球大气层及宇宙空间;有线信道包括架空明线、同轴电缆、光缆等。不同的信道有不同的传输特性,相同的媒介对不同频率信号的传输特性不尽相同。

接收设备及输出变换器和发送设备及输入变换器的作用相反。它们将信道传送过来的

已调信号由接收设备取出并进行处理,恢复并得到与发送端相一致的基带信号(这一过程称为解调)。显然,解调是调制的逆过程。该基带信号经输出变换器即可复原成原来形式的信息。

1.2 无线电发送与接收设备

发送和接收设备是通信系统中的核心部分,不同的通信系统,其发送和接收设备的组成不尽相同,但基本结构相似。下面以无线电广播系统为例来说明发送和接收设备的基本组成。

1.2.1 无线电调幅广播发送设备

图 1-2 为无线电调幅广播发射机的组成框图,图中还画出了各部分输出电压的波形。

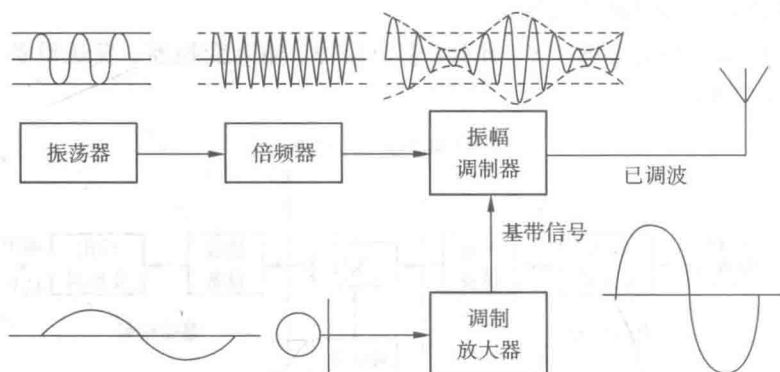


图 1-2 无线电调幅广播发射机的组成框图

振荡器用来产生高频信号。倍频器可将振荡器产生的高频信号频率升高到发射所需要的值。可以进行整倍数倍频,也可以进行非整倍数的分数倍频,其输出频率即为发射所需要的载波频率。在倍频器后通常还可设置高频功率放大器,用来放大载波信号,使之有足够的功率驱动发射天线(负载)向空中发射电波。调制放大器实际上是低频放大器,它由低频电压放大器和功率放大器组成,用来放大话筒所产生的微弱话音信号,然后送入调制器。调制器有振幅调制器、频率调制器、相位调制器等。调幅广播发射机用的是振幅调制器。它是使高频等幅载波信号的幅度随着低频信号的大小发生变化的电子电路。经过调制器调制后的高频载波信号称为高频已调信号,高频已调信号可以经过高频功率放大器放大后驱动相应的负载。发射机中的负载是天线。

1.2.2 无线电调幅广播接收设备

无线电调幅广播接收设备有很多种,其中典型的是超外差式无线电调幅广播接收设备,其组成框图如图 1-3 所示。

超外差接收机的结构特点是具有混频器。在图 1-3 中,高频放大器对天线接收到的微弱信号进行放大,同时对接收信号进行选频,抑制有用频率信号以外的其他无用频率信号。高频放大器输出载波为 f_c 的已调信号,和本机振荡器所提供的频率为 f_L 的高频等幅信

号同时输入混频器,经过混频器的作用,在混频器的输出端可以得到固定的中频信号。在超外差接收机中,通常采用本振频率与载波频率之差 $f_1 = f_L - f_c$ 作为中频频率。这种作用就是所谓的外差作用,这也是超外差接收机这一名称的由来。当输入信号频率变化时,使本机振荡频率也相应地改变,保持中频频率固定不变,因此中频放大器的增益和选择性都与接收的信号载波频率无关。中频放大器是中心频率为 f_1 , 带宽为 $\Delta f = f - f_1$ 的选频放大器,它可以进一步滤除中频以外的无用信号,并将有用中频信号放大到足够的值。中频信号是已调波信号,且调制规律不变,即中频信号保留了输入信号中的全部有用信息。中频信号经幅度检波器解调即可恢复出原基带信号,再经低频放大器放大输出。为了有助于理解各组成部分的作用,在图 1-3 中画出了各部分输出的电压波形。

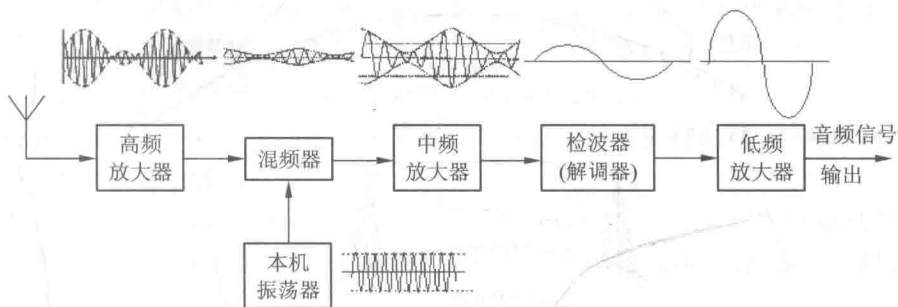


图 1-3 超外差式调幅广播接收设备的组成框图

由以上讨论可以看出,发送和接收设备中除了低频放大电路外,其他部分主要是处理高频信号的电路,它包括能对高频信号进行选频放大的高频电压放大器和功率放大器,能产生高频信号的振荡器,能对基带信号进行变换和处理的调制器、解调器、混频器和倍频器等,这些都是本书要讨论的主要内容。一般来说,线性电路输出信号与输入信号的波形和频率相同,只是幅度发生了变化。非线性电路输出信号与输入信号相比较,波形和频率分量都不相同,会产生除本身基频外的新的频率分量。

1.3 无线电波的传播方式和频段划分

1.3.1 无线电波的传播方式

无线电波(电磁波)主要以绕射、反射和直射三种方式在自由空间中传播,其示意图如图 1-4 所示。

无线电通信系统根据发射信号所处的频段,选择利用这三种方式中的一种,频率在 1500 kHz 以下的通信系统,选择绕射方式,即地面波。频率在 1500 kHz~30 MHz 的短波通信系统,选择反射方式,即天波,其主要依靠电离层反射传播。频率在 30 MHz 以上的超短波通信系统选择直射传播方式。由于地球表面是凸曲率,直射传播的距离有限,通常只能为可视距离传播,也称为视距传播(通常为 50 km 左右)。视距传播可以通过高架天线(如电视台的天线基本上是某个城市的最高建筑物)、卫星中继等方式来扩大传输距离。

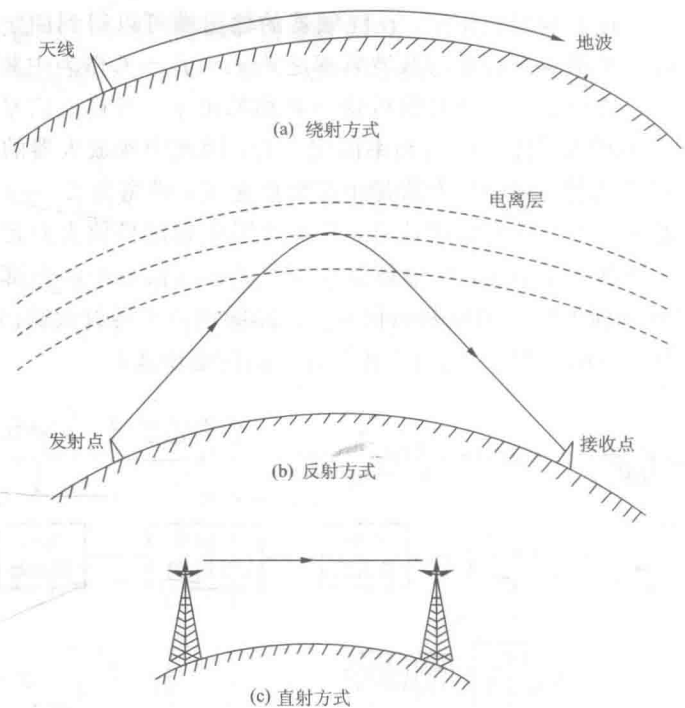


图 1-4 无线电波传播方式的示意图

1.3.2 无线电波的频段划分

目前无线电通信系统使用的频率范围从几十千赫兹到几十吉赫兹，这样宽广范围的高频信号，在信号的产生、放大、发送和接收方法等方面大不一样，特别是不同频率的无线电波的传播特点更不相同。为了便于分析和应用，习惯上将无线电的频率范围划分为若干个区域，称为频段，也称为波段。

无线电在空间传播的速度与光速相同，为 $c=3\times10^8$ m/s，高频信号的频率 f (单位为 Hz) 与其波长 λ (单位为 m) 的关系为

$$\lambda = \frac{c}{f} \tag{1-1}$$

无线电波段可以按频率划分，也可以按波长划分。表 1-1 列出了按波长划分的波段名称、波长范围、频率范围及相应的频段名称。

表 1-1 波段的划分

波段名称		波长范围	频率范围	频段名称
超长波		10 km~100 km	3 kHz~30 kHz	甚低频 (VLF)
长波		1 km~10km	30 kHz~300 kHz	低频 (LF)
中波		100 m~1000 m	300 kHz~3 MHz	中频 (MF)
短波		10 m~100 m	3 MHz~30 MHz	高频 (HF)
超短波 (米波)		1 m~10 m	30 MHz~300 MHz	甚高频 (VHF)
微波	分米波	10 cm~100 cm	300 MHz~3 GHz	特高频 (UHF)
	厘米波	1 cm~10 cm	3 GHz~30 GHz	超高频 (SHF)
	毫米波	1 mm~10 mm	30 GHz~300 GHz	极高频 (EHF)
	亚毫米波	0.1 mm~1 mm	300 GHz~3000 GHz	超极高频
光波		1 μ m~100 μ m	3 THz~300 THz	

应该说明的是,波段的划分是很粗略的,因而在各波段之间并没有明显的分界线。所以各波段之间的衔接处,无线电波的特性也无明显的差别。

1.4 本课程的主要内容及特点

“通信电子线路”是“电路分析”、“模拟电子技术”、“数字电子技术”的后续课程,是电子信息类各专业的一门重要的专业基础课。本课程主要讨论通信系统中发送设备和接收设备中的高频部分的专用电路。这些专用电路如果从工作特点和分析方法的角度划分,大致可以分为信号放大模块、正弦波产生模块、频谱搬移模块三个模块。

(1) 在信号放大模块中,本书主要讨论高频小信号谐振放大器、中频放大器、小信号宽带放大器、参量放大器、谐振放大器、功率的合成与分配等。

(2) 在正弦波产生模块中,本书主要介绍各种正弦波振荡器。

(3) 在频谱搬移模块中,本书主要研究非线性器件的频谱搬移原理、振幅调制与解调、混频、倍频、频率调制与解调等。

除了上述三个模块以外,通信设备中所用到的一些特殊电路,如自动增益控制(AGC)电路、自动频率控制(AFC)电路、自动相位控制(APC)电路以及频率合成器等也属于本课程的讨论范围。

综上所述,图1-1~图1-3中画出的通信设备的各个功能方框图,将由本课程各个章节中的单元电路实现。通过本课程的学习,读者就可以从电路的层次上来认识通信设备和系统了。

学习通信电子线路应注意以下两点:

(1) 在高频电路中,有些效应的物理机理非常复杂,很多问题涉及到了分布参数,很难做定量精确分析,所以本课程仅涉及集中参数电路的分析。

(2) 非线性电路的分析是本课程的重点,也是本课程与“模拟电子技术”的重要区别之一。非线性电子线路能够实现的功能以及电路的形式远比线性电子线路多。例如,频率变换就不能用线性电子线路来实现,必须借助于非线性电路。但是非线性电路的严格分析则要涉及非线性代数方程或非线性微分方程的求解,而这些方程的求解是相当困难的,在工程上往往根据实际情况进行合理的近似,以求得具有简明物理意义的实用性结果,要避免陷入繁琐的数学计算中。

本课程是理论与实际紧密联系的课程,一切理论分析都是围绕解决工程实际问题来进行的,各种电路的分析中并不追求严密的理论分析结果,更多的是采用工程近似分析。

(1) 本课程各章节内容按照从功能原理的讨论到电路实现再到工程估算的方式安排。因此,各个单元电路及其工作原理是首先要把握的重点,其次是掌握基本分析方法和计算思路,最后要根据分析结果掌握电路的设计原则及改进电路性能的措施。

(2) 实践是学好本课程的重要环节。本书的大部分章节均编写了计算机仿真实验的内容。在学习的过程中,将实际实验、计算机仿真实验和理论分析紧密结合,才能使本课程各单元电路的学习融会贯通。

(3) 具体通信设备中的电路很多,仅放大器就千差万别,本课程不可能讨论所有的电路,只能介绍典型电路及其构成原则。因此,必须掌握典型电路的基本工作原理及基本分

析方法才能在实际应用中举一反三。

习 题

1. 画出调幅发射机的原理框图, 并说明各部分的作用。
2. 画出超外差接收机的原理框图, 并说明各部分的作用。
3. 频率为 3 MHz~30 MHz 的电波, 称为什么频段的电波? 它对应的波长是多少?
4. 简述无线电通信中调制的目的。
5. 举例说明生活中的发射机和接收机。
6. 什么是载波? 什么是调制信号和基带信号? 给出调制的定义。
7. 为什么要进行调制? 给出两种理由。
8. 给出无线广播的中波和短波的各自频率范围。
9. 给出中国移动通信 GSM 的载波频率范围。
10. 将下列功率转换为 dBm 值:
(1) $P_0 = 1 \text{ W}$; (2) $P_0 = 0.001 \text{ W}$; (3) $P_0 = 0.0001 \text{ W}$; (4) $P_0 = 25 \mu\text{W}$ 。
11. 一通信系统的电压为 2.15 V, 负载阻抗 50Ω , 则转换为 dBm(50)的值是多少?

第2章 小信号调谐放大器

2.1 概 述

在无线电技术中,经常会遇到这样的问题:所接收到的信号很弱,而这样的信号又往往与干扰信号同时进入接收机。我们希望将有用的信号放大,把其他无用的干扰信号抑制掉。借助于选频放大器,便可以达到此目的。小信号调谐放大器便是这样一种最常用的选频放大器,即有选择地对某一频率的信号进行放大的放大器。

小信号调谐放大器是构成无线电通信设备的主要电路,其作用是放大信道中的高频小信号。所谓小信号,通常是指输入信号电压一般在微伏至毫伏数量级附近。放大这种信号的放大器工作在线性范围内。所谓调谐,是指对信号频率谐振的回路。调谐可以是信号的输入回路谐振,也可以是输出回路的谐振。在小信号调谐放大器中,一般是指放大器的集电极负载为谐振回路(LC 谐振回路)的放大器。这种放大器对谐振频率 f_0 的信号具有最强的放大作用,而对其他远离 f_0 的频率信号放大作用很差,调谐放大器的频率特性如图 2-1 所示。

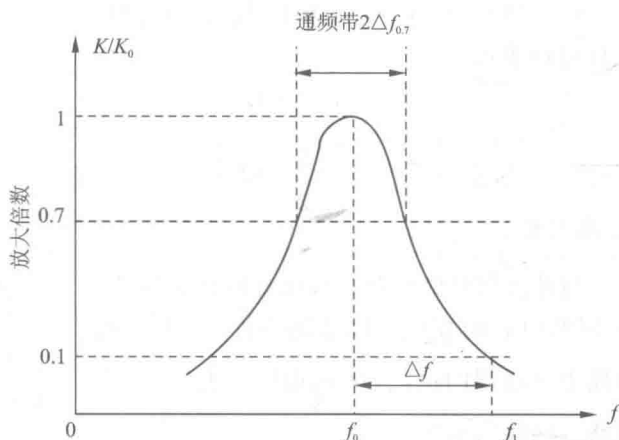


图 2-1 谐振放大器的频率特性

调谐放大器主要由放大器和调谐回路两部分组成。因此,调谐放大器不仅有放大作用,而且还有选频作用。本章讨论的小信号调谐放大器,一般工作在甲类状态,多用在接收机中用于高频和中频放大,它的主要指标要求是:有足够的增益、满足通频带和选择性要求、工作稳定等。

研究一个小信号调谐放大器,应从放大能力和选频性能两方面分析。放大能力可用谐振时的放大倍数 K_0 表示,选频性能通常用通频带和选择性两个指标衡量。

小信号调谐放大器的主要性能在很大程度上取决于谐振回路(选频网络)。一般选频网络是 LC 谐振回路, 还有石英晶体滤波器、陶瓷滤波器和声表面波滤波器等。本章先讨论 LC 谐振回路和以 LC 谐振回路作为选频网络的小信号调谐放大器, 然后再介绍其他类型的集中选频小信号调谐放大器。

2.2 LC 谐振回路

LC 谐振回路是高频电路里最基本的, 也是应用最广泛的选频网络。它是构成高频谐振放大器、正弦波振荡电路及各种选频电路的重要部件。高频谐振放大器的性能在很大程度上取决于谐振回路, 而 LC 谐振回路在以后各章, 如正弦波振荡、调制、混频电路中都起着重要的作用, 所以下面首先讨论 LC 谐振回路的基本特性。

2.2.1 并联谐振回路的选频特性

LC 谐振回路分为并联谐振回路和串联谐振回路两种形式。其中并联谐振回路在实际电路中的用途最广泛。因此, 首先分析 LC 并联谐振回路的特性及基本电路参数。

为方便分析电路, 先给出电感与电阻串联与并联相互转换的电路及相互对应关系, 如图 2-2 所示。

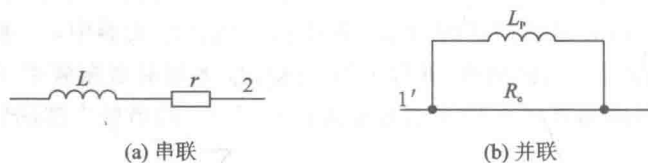


图 2-2 电感线圈串联和并联等效电路

根据等效电路原理可以求得

$$R_e = r(1 + Q^2)$$

$$L_p = L \left(1 + \frac{1}{Q^2} \right)$$

式中, $Q = \frac{\omega_0 L}{r}$ 称为品质因数。

由电感 L 、电容 C 与外接信号源并联构成单并联谐振回路, 如图 2-3 所示。通常回路电容的损耗可以忽略不计, 这样, 回路的等效损耗等于回路电感线圈的损耗, 常用电阻 r 表示, $\dot{I}_s$ 为电流源, $\dot{U}_o$ 为并联回路两端输出电压。

由图 2-3 可知, 在并联谐振回路中, 当信号频率为 ω 时, 并联谐振回路的等效阻抗为

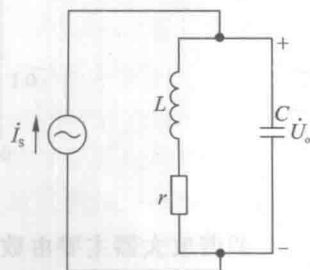


图 2-3 并联谐振回路

$$\dot{Z} = \frac{\dot{U}_o}{\dot{I}_s} = \frac{(r + j\omega L)(1/j\omega C)}{r + j\omega L + 1/j\omega C} \quad (2-1)$$

在实际电路中, 通常 r 很小, 满足 $r \ll \omega L$, 因此式(2-1)可近似为

$$\dot{Z} = \frac{L/C}{r + j(\omega L - 1/\omega C)} \quad (2-2)$$