



普通高等教育“十一五”国家级规划教材

高频电子线路

第2版

胡宴如 耿苏燕 主编
胡宴如 耿苏燕 周正 周珩 编著

高等教育出版社



普通高等教育“十一五”国家级规划教材

高频电子线路

G a o p i n D i a n z i X i a n l u

胡宴如 耿苏燕 主编
胡宴如 耿苏燕 周正 周珩 编著

▼
……
(第2版)
……
▲

高等教育出版社·北京

内容提要

本书是在第1版的基础上,汲取多方面的建议,以满足现代无线通信所需的高频电子线路知识结构和应用能力为教学目标,并参考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课程教学基本要求”修订而成。全书含绪论、高频小信号放大器、高频功率放大器、高频正弦波振荡器、振幅调制解调与混频电路、角度调制与解调电路、反馈控制电路、高频电路的数字化与系统设计共八章。每节后有讨论题,每章有引言、附录、小结和习题,书末给出部分习题参考答案。附录为拓展性内容,介绍当前主流芯片及其应用实例、基于S参数的射频电路设计方法和当前主流的相关新技术。全书采用双色套印,将重要概念和结论采用蓝色,将图中需要注意或区别之处也采用蓝色,以突出重点,提高可读性。与本书配套出版有《高频电子线路学习指导与习题解答》。

本书采用自顶向下的模式,按照系统→模块→电路→改进电路→集成芯片→应用实例的思路组织内容;力求精选内容、用工程观点删繁就简,突出重点,夯实基础,注重应用性和先进性,强化学以致用能力的训练,因此本书具有易懂、实用的特点。

本书可作为高等院校电子信息类、测控技术与仪器等专业的教材或教学参考书,也可供有关工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

高频电子线路 / 胡宴如, 耿苏燕主编; 胡宴如等编著. --2版. --北京: 高等教育出版社, 2015.7

ISBN 978-7-04-042673-1

I. ①高… II. ①胡… ②耿… III. ①高频-电子电路-高等学校-教材 IV. ①TN710.2

中国版本图书馆CIP数据核字(2015)第093455号

策划编辑 王楠
插图绘制 杜晓丹

责任编辑 王楠
责任校对 胡美萍

封面设计 赵阳
责任印制 尤静

版式设计 王艳红

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 100120
印刷 北京四季青印刷厂
开本 787mm×1092mm 1/16
印张 23.75
字数 510千字
购书热线 010-58581118

咨询电话 400-810-0598
网址 <http://www.hep.edu.cn>
<http://www.hep.com.cn>
网上订购 <http://www.landracom.com>
<http://www.landracom.com.cn>
版次 2009年1月第1版
2015年7月第2版
印次 2015年7月第1次印刷
定价 39.80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 42673-00

第二版前言

本书是在第1版的基础上,为适应现代通信技术的发展以及教学手段的变化,同时汲取多方面的建议,经过教学改革试验,总结提高修订而成。

根据本科教学的特点,以满足现代无线通信所需的高频电子线路知识结构和应用能力为教学目标,并参考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课程教学基本要求”,本书修订过程中,力求精选内容、夯实基础、突出重点、概念清楚、先进实用、易教易学。主要修订情况如下:

(1) 将第1章绪论进行改写,突出现代通信系统的基本组成、特点、关键技术和关键模块,诠释本书中各模块电路在通信系统中的地位、作用及性能要求,增加了GSM手机作为无线通信系统的应用实例。

(2) 将原第2章和第3章有关LC网络的阻抗变换和阻抗匹配作用以及设计,整合后均列入第2章,并在第2章增加附录介绍传输线、Smith圆图、S参数的基本知识及应用,而在第3章增加附录举例介绍高频功率放大器的设计过程,其中引入基于Smith圆图的匹配网络设计方法。同时,为了突出射频电路中低噪声放大器的作用和设计方法,对第2章的放大器噪声进行改写。

(3) 第4章中删去RC振荡器一节,增加集成振荡器和压控振荡器一节,以加强高频集成振荡常用芯片及应用实例的介绍。

(4) 第6章中将调相电路和鉴相器作为独立功能模块加以介绍,删去集成调频发射机与接收机一节,并将数字角度调制与解调一节并入新增第8章中,新增附录介绍调频收发信机的概况、典型应用、先进的集成芯片及应用实例。

(5) 新增第8章,主要介绍高频电路的EDA技术、数字调制与解调、数字通信模块及应用实例、高频电子系统的设计和无线通信的新技术。

经过本次修订后,本书仍保持原有风格,其主要特点如下:

(1) 本书以通信系统为应用背景,介绍现代通信系统的基本知识和基本电路,突出基本理论知识与实用技术的结合,注意理论联系实际。书中配有丰富的应用电路实例,并引导读图,对重点和难点问题及时给予举例说明和应用。

(2) 本书编写风格富有特点,符合教学规律和认知规律。

在知识架构上,采用自顶向下的模式,按照系统→模块→电路→改进电路→集成芯片→应

用实例的思路组织内容,力求精选内容,用工程观点删繁就简,做到少而精,突出重点,分散难点,知识实用先进。

在叙述上,抓住问题的本质,以详略得当的语言进行说明,做到深入浅出,层次分明,概念清楚。

在教学方法上,注意将课堂讲授与讨论、课外自学与作业等教学环节的内容优化整合,重在启发性,强化学以致用能力的训练。

(3) 本书适度引入传输线、Smith 圆图和 S 参数的内容,从射频电路设计角度来研究分布参数和阻抗匹配的问题,同时为需要深入学习射频知识的读者提供入门引导,以适应当前通信系统工作频率很高的知识结构要求;基于当前高频电子的主流技术和主流芯片,精选应用实例;适度介绍当前主流的 EDA 技术和通信新技术,因而具有先进性和适用性。

全书采用双色套印,将重要概念和结论采用蓝色,将图中需要注意或区别之处也采用蓝色,以突出重点,提高可读性。与本书配套出版有《高频电子线路学习指导与习题解答》。

本书由胡宴如、耿苏燕任主编,耿苏燕负责统稿,周正任副主编,协助主编工作。第 1、4、6 章由耿苏燕编写,第 3、5 章由胡宴如编写,第 2 章、第 7 章第四节以及附录 3 由周正编写,第 7 (除 7.4 节)、8 章由周珩编写。

本书承蒙东华大学曾培峰教授在百忙之余仔细审阅并指正,在此谨表衷心的感谢!

由于作者水平所限,书中恐有错漏和不妥之处,敬请读者批评指正! 主编邮箱:gsy819@qq.com。

编 者

2014 年 12 月

第 1 版前言

本书是普通高等教育“十一五”国家级规划教材。随着我国高等教育的迅速发展,为了满足高等学校应用型人才培养的需要,在全国高等学校教学研究中心以及高等教育出版社的支持下,根据多年教学改革和实践的经验,我们编写了此书。它适用于应用型本科电子信息工程、通信工程、测控技术与仪器等专业作为教材或教学参考书,也可供有关工程技术人员参考。

高频电子线路是本科电子信息类专业重要的技术基础课,是一门理论性、工程性与实践性很强的课程,它内容丰富,应用广泛,新技术、新器件发展迅速。考虑到应用型本科人才培养的特点,本书在编写中特别注意以下几点:

(1) 突出重点,着重于物理概念的叙述,力求避免繁琐的数学推导,加强基本理论和基本分析方法的讨论。

(2) 注重应用,加强电路组成模型与应用方法的介绍,注意内容的适度更新。

(3) 注意理论讲授、课堂讨论、自学、作业以及实践训练等教学环节的有机结合,以充分调动学生学习的积极性和主动性。

(4) 难点适当分散,力图深入浅出,层次分明,简明扼要,有利于教与学。

全书共分七章。

第 1 章为绪论,主要介绍通信系统的组成、非线性电子线路的基本概念及本课程的特点。

第 2 章为小信号选频放大器,主要介绍谐振回路的基本特性和小信号谐振放大器的工作原理,同时对集中选频放大器的组成及放大器的噪声作必要的分析。

第 3 章为高频功率放大器,主要介绍谐振功率放大器的工作原理、特性及电路,同时对传输线变压器及宽带功率放大器进行讨论。

第 4 章为正弦波振荡器,主要介绍反馈振荡器,重点分析 LC 振荡器和晶体振荡器,并对振荡器的频率和振幅稳定性进行讨论,对其他正弦波振荡器只作简单介绍。

第 5 章为振幅调制、解调与混频电路,主要介绍振幅调制、解调和混频原理、同时对相乘器电路、实用调幅、检波、混频电路及其应用进行详细的讨论。

第 6 章为角度调制与解调电路,主要介绍频率调制与解调原理、调频与鉴频电路,同时对集成调频发射机与接收机、数字角度调制与解调进行讨论。

第 7 章为反馈控制电路,主要介绍锁相环路和锁相频率合成器,自动增益控制和自动频率控制电路只作简要介绍。

为了便于组织课堂讨论,本书每节编有复习与讨论题,同时,每章还编有小结和习题。为了帮助读者掌握教材的教学基本要求,各章重点、难点,指导学习方法,与本书配套出版有学习指导,可供读者选用。

本书由胡宴如、耿苏燕主编,第1~5、7章由胡宴如编写,第6章由耿苏燕编写,胡旭峰、马丽明、王敏珍分别参与第3、4、7章的编写。

本书承蒙东华大学信息学院曾培峰教授仔细审阅,提出了许多宝贵意见和建议,在此表示衷心的感谢。

限于作者水平,书中错漏和不妥之处恳请读者批评指正。

编 者

2008年7月

目 录

第 1 章 绪论	1	2.2 小信号谐振放大器	36
引言	1	2.2.1 晶体管的 Y 参数等效电路	36
1.1 通信系统的组成与分类	1	2.2.2 单调谐回路谐振放大器	38
1.1.1 通信系统的基本组成	1	2.2.3 多级单调谐回路谐振放大器	43
1.1.2 通信系统的分类	2	2.2.4 调谐放大器的稳定性	44
讨论题	2	讨论题	46
1.2 通信系统中的调制	3	2.3 宽带放大器与集中选频放大器	46
1.2.1 为何要采用调制	3	2.3.1 宽带放大器	46
1.2.2 常见的调制方式及其应用	3	2.3.2 集中选频放大器	48
讨论题	6	讨论题	49
1.3 无线电波段的划分和无线电波的传播	7	2.4 低噪声放大器	50
1.3.1 无线电波段的划分	7	2.4.1 放大器噪声的来源	50
1.3.2 无线电波的传播	9	2.4.2 放大器的噪声系数与等效噪声温度	52
讨论题	10	2.4.3 低噪声放大器的设计	57
1.4 模拟通信系统与数字通信系统	10	讨论题	60
1.4.1 模拟通信系统及其实例	10	附录 2 传输线、Smith 圆图和 S 参数	60
1.4.2 数字通信系统及其实例	12	本章小结	74
讨论题	15	习题	76
1.5 本课程的主要内容及特点	15	第 3 章 高频功率放大器	78
本章小结	16	引言	78
习题	17	3.1 丙(C)类谐振功率放大器的工作原理	78
第 2 章 高频小信号放大器	18	3.1.1 基本工作原理	78
引言	18	3.1.2 余弦电流脉冲的分解	80
2.1 选频网络	18	3.1.3 输出功率与效率	82
2.1.1 LC 谐振回路	18	讨论题	84
2.1.2 阻抗变换与阻抗匹配	25	3.2 谐振功率放大器的特性分析	84
2.1.3 集中选频滤波器	33	3.2.1 谐振功率放大器的工作状态与	
讨论题	35		

负载特性	84	4.3.1 频率稳定度	136
3.2.2 V_{CC} 对放大器工作状态的影响	87	4.3.2 振幅稳定度	138
3.2.3 U_{im} 和 V_{RB} 对放大器工作状态的 影响	88	讨论题	138
讨论题	89	4.4 石英晶体振荡器	138
3.3 谐振功率放大器电路	90	4.4.1 石英谐振器及其特性	138
3.3.1 谐振功率放大器电路组成	90	4.4.2 石英晶体振荡器	141
3.3.2 实用谐振功率放大器电路举例	92	讨论题	143
3.3.3 丙类倍频器	93	4.5 集成振荡器与压控振荡器	143
讨论题	94	4.5.1 集成 LC 正弦波振荡器	143
3.4 丁(D)类和戊(E)类功率放大器	94	4.5.2 压控振荡器	145
3.4.1 丁(D)类功率放大器	94	讨论题	148
3.4.2 戊(E)类功率放大器	96	4.6 负阻正弦波振荡器	148
3.5 集成高频功率放大器及其应用简介	97	4.6.1 负阻器件的伏安特性	148
3.6 宽带高频功率放大器	98	4.6.2 负阻振荡电路	149
3.6.1 传输线变压器	99	讨论题	150
3.6.2 功率合成技术	102	附录4 特殊振荡现象	150
3.6.3 宽带高频功率放大器电路	105	本章小结	153
讨论题	106	习题	154
附录3 丙类谐振功率放大器的设计	106	第5章 振幅调制、解调与混频电路	159
本章小结	116	引言	159
习题	117	5.1 振幅调制的基本原理	159
第4章 高频正弦波振荡器	120	5.1.1 普通调幅信号	159
引言	120	5.1.2 抑制载波的双边带和单边带调幅 信号	164
4.1 反馈振荡器的工作原理	120	5.1.3 调幅电路组成模型	165
4.1.1 反馈振荡器产生振荡的基本 原理	120	5.1.4 三种调幅信号比较	168
4.1.2 振荡的平衡条件和起振条件	121	讨论题	170
4.1.3 振荡的稳定条件	126	5.2 相乘器电路	170
讨论题	127	5.2.1 非线性器件的相乘作用	170
4.2 LC 正弦波振荡器	127	5.2.2 二极管双平衡相乘器	175
4.2.1 三点式振荡器的基本工作原理	128	5.2.3 双差分对模拟相乘器	179
4.2.2 电感三点式振荡器	129	讨论题	185
4.2.3 电容三点式振荡器	129	5.3 振幅调制电路	185
4.2.4 改进型电容三点式振荡器	132	5.3.1 概述	185
讨论题	135	5.3.2 低电平调幅电路	186
4.3 振荡器的频率和振幅稳定度	136	5.3.3 高电平调幅电路	189
		讨论题	191

5.4 振幅检波电路	191	引言	281
5.4.1 振幅解调的基本原理	191	7.1 自动增益控制电路	281
5.4.2 二极管包络检波电路	193	7.1.1 自动增益控制电路的作用	281
5.4.3 同步检波电路	199	7.1.2 增益控制电路	283
讨论题	202	讨论题	284
5.5 混频电路	202	7.2 自动频率控制电路	285
5.5.1 混频的基本原理	202	7.2.1 工作原理	285
5.5.2 二极管环形混频器和双差分对 混频器应用举例	204	7.2.2 应用举例	285
5.5.3 三极管混频电路	207	讨论题	286
5.5.4 混频干扰	209	7.3 锁相环路(PLL)	286
讨论题	211	7.3.1 锁相环路基本原理	287
附录5 单片集成调幅收音机	211	7.3.2 锁相环路的数学模型	288
本章小结	213	7.3.3 锁相环路的捕捉与跟踪	292
习题	215	7.3.4 集成锁相环路	292
第6章 角度调制与解调电路	220	7.3.5 锁相环路的应用	296
引言	220	讨论题	299
6.1 调角信号的基本特性	220	7.4 频率合成器	300
6.1.1 调角信号的时域特性	220	7.4.1 频率合成器的主要技术指标	300
6.1.2 调角信号的频域特性	226	7.4.2 锁相频率合成器	301
讨论题	228	7.4.3 直接数字频率合成器(DDS)	306
6.2 调频电路	229	讨论题	308
6.2.1 调频的实现方法与性能要求	229	附录7 单片集成芯片 AD9850 应用实例	308
6.2.2 变容二极管直接调频电路	230	本章小结	311
6.2.3 调相电路与间接调频电路	238	习题	312
6.2.4 扩展最大频偏的方法	243	第8章 高频电路的数字化与系统 设计	315
讨论题	245	引言	315
6.3 鉴频电路	245	8.1 高频电路 EDA	315
6.3.1 鉴频的实现方法与性能要求	245	8.1.1 EDA 技术简介	315
6.3.2 斜率鉴频器	248	8.1.2 利用 Multisim 软件对高频电路 仿真	317
6.3.3 鉴相器与相位鉴频器	252	8.1.3 利用 Ansoft Designer 软件对高频 电路仿真	323
6.3.4 限幅器	261	讨论题	332
讨论题	262	8.2 数字调制与解调	333
附录6 调频收发信机电路及应用实例	263	8.2.1 概述	333
本章小结	276	8.2.2 振幅键控	334
习题	277		
第7章 反馈控制电路	281		

8.2.3 频移键控	335	8.4.2 高频元件的等效电路模型及 选用	355
8.2.4 相移键控	337	讨论题	357
8.2.5 其他形式的数字调制	342	附录 8 高频电路新技术简述	357
讨论题	345	本章小结	362
8.3 数字通信集成电路及其应用实例	345	习题	363
8.3.1 数字通信集成电路芯片分类	345	部分习题参考答案	364
8.3.2 nRF905 芯片及其应用	346	参考文献	368
8.4 高频电路系统设计	352		
8.4.1 高频电路系统的设计原则	352		

第 1 章 绪 论

引言 本书主要以通信系统为应用背景,讨论各种通信系统中共有的基本单元电路,这些电路往往具有工作频率高、非线性等特点,故本书称为高频电子线路或射频电子线路,也称为通信电子线路或非线性电子线路。为便于理解各基本单元电路在通信系统中的作用和应用,有必要在本章对通信系统作概述。因此本章先讨论通信系统的基本组成与分类、调制的基本概念与应用,再讨论无线电波段的划分和无线电波的传播,然后以无线调幅广播通信系统和数字手机为实例,分析模拟通信系统和数字通信系统的组成与工作原理,最后介绍本课程的主要内容、特点和学习方法。

1.1 通信系统的组成与分类

1.1.1 通信系统的基本组成

通信的一般含义是从发送者到接收者之间信息的传递。用电信号(或光信号)传输信息的系统称为通信系统,也称电信系统。

通信系统基本组成如图 1.1.1 所示。它由信源、发送设备、信道、接收设备和信宿构成。

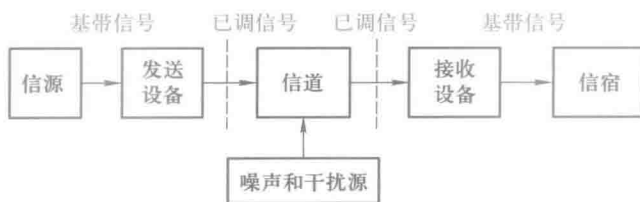


图 1.1.1 通信系统基本组成

信源的作用是将要传输的消息转换为电信号,该电信号称为基带信号。消息有不同的形式,例如语言、音乐、文字、图像、电码等,进行转换时需要不同的变换器,例如话筒、摄像机、电传机等,所得到的基带信号有模拟信号和数字信号之分,例如话筒和摄像机输出的音视频信号一般是模拟信号,而电传机和计算机的各种数字终端等输出的是数字信号。

发送设备用来将基带信号进行某种处理并以足够的功率送入信道,以实现信号有效的传输,其中最主要的处理为调制,发送设备的输出信号为已调信号。

信道是信号传输的通道,又称传输媒介,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的信号传输特性也是不相同的。

噪声和干扰源集中表示了信道中的噪声和干扰,以及分散在通信系统中其他各处的噪声。由于它们的存在,使接收端信号与发送端信号之间存在一定的误差。

接收设备及信宿和发送设备及信源的作用相反。接收设备选择性地取出由信道传送过来的已调信号并滤除干扰与噪声,然后进行处理以得到与发送端相对应的基带信号(这一过程称为解调)。该基带信号由信宿复原成原来形式的信息。

1.1.2 通信系统的分类

通信系统的种类很多。按所用信道的不同可分为有线通信系统和无线通信系统,其中无线通信系统应用最为广泛,如广播通信、移动通信、卫星通信等。按传输的基带信号是模拟信号还是数字信号可分为模拟通信系统和数字通信系统。按信道传输的信号是否经过调制可分为带通传输通信系统和基带传输通信系统。基带传输是将未经调制的信号直接传送,如市内电话、有线广播等;带通传输是将基带信号进行调制后传输,这是目前大多数通信系统所采用的模式。按信道复用方式不同分为频分复用(FDM)、时分复用(TDM)和码分复用(CDM)等。频分复用是采用频谱搬移的方法使不同基带信号占据不同的频率范围;时分复用是采用脉冲调制的方法使不同基带信号占据不同的时间区间;码分复用是采用正交编码分别携带不同的基带信号。传统的模拟通信系统一般采用频分复用,数字通信系统常采用时分复用和码分复用等。按照通信双方之间收发消息的工作方式可分为单工、半双工和全双工通信。单工通信指消息只能单向传输,即通信双方中只有一个可以发送,另一个只能接收,如传统的广播、电视通信。半双工通信指通信双方都能收发消息,但不能同时进行收和发,如普通对讲机。全双工通信指通信双方都可同时收发消息,如电话通信,通话双方可同时说和听。

不同的通信系统,其具体结构虽不同,但基本组成都如图 1.1.1 所示,差别主要在于采用了不同调制方式后所带来的不同。调制方式在很大程度上决定了系统可能达到的性能,因此对于通信系统来说至关重要。

讨论题

- 1.1.1 通信系统由哪些部分组成?各组成部分的作用是什么?
- 1.1.2 通信系统主要有哪些类型?

1.2 通信系统中的调制

1.2.1 为何要采用调制

在无线通信系统中,电信号是通过天线以电磁波的形式向空间辐射传输的。理论和实践证明,只有当电信号的频率很高,以致它的波长与天线的尺寸相近时(例如发射天线的尺寸至少应该是发射信号波长的 $1/10$),电信号才能有效辐射传输。而一般基带信号的频率很低,根据无线电波的频率 f (单位:Hz)与其波长 λ (单位:m)的关系式

$$\lambda = \frac{c}{f} \quad (1.2.1)$$

式中, c 为无线电波的传播速度,与光速相同, $c=3\times 10^8$ m/s,可求得基带信号的波长一般都非常大。例如语音频率约为 $0.1\sim 6$ kHz,假如是 1 kHz,则其波长为 300 km,需用 30 km长的天线,这显然是无法实现的。采用调制就可把低频基带信号“装载”到高频载波信号上,从而易于实现电信号的有效传输。另一方面,采用调制可以实现信道的复用,例如不同广播电台的信号之所以能同时通过无线信道传播,是因为它们采用了频率复用,将语音信号调制在不同的载波频率上进行传输,从而避免相互之间的干扰。

1.2.2 常见的调制方式及其应用

用待传输的基带信号去改变高频载波信号的某一参量,就可实现调制。常见的调制方式及其应用如表1.2.1所示,下面对最基本的模拟调制和数字调制作简介,较深入的讨论见本书的第5、6、8章,其他调制方式可参阅参考文献。实际应用中采用哪种调制方式应视通信系统的具体要求而定。

表 1.2.1 常见调制方式及其应用

调制方式		用途举例
模拟调制	常规双边带调幅 AM	广播
	双边带调幅 DSB	立体声广播
	单边带调幅 SSB	载波通信、无线电台、数据传输
	残留边带调幅 VSB	电视广播、数据传输、传真
	频率调制 FM	微波中继、卫星通信、广播
	相位调制 PM	中间调制方式
数字调制	振幅键控 ASK	数据传输
	频移键控 FSK	数据传输

	调制方式	用途举例
数字调制	相移键控 PSK、DPSK、QPSK	数据传输、数字微波、空间通信
	其他高效数字调制 QAM、MSK、GMSK	数字微波、空间通信
脉冲模拟调制	脉幅调制 PAM	中间调制方式、遥测
	脉宽调制 PDM(PWM)	中间调制方式
	脉位调制 PPM	遥测、光纤传输
脉冲数字调制	脉码调制 PCM	市话、卫星、空间通信
	增量调制 DM(ΔM)	军用、民用数字电话
	差分脉码调制 DPCM	电视电话、图像编码
	其他语音编码方式 ADPCM	中速数字电话

一、模拟调制

用模拟基带信号对高频余弦载波进行的调制称为模拟调制,根据所控制的载波参数不同有三种基本形式:用基带信号去改变高频载波信号的振幅,称为振幅调制,简称调幅,用符号 AM 表示;用基带信号去改变高频载波信号的频率或相位,则称为频率调制(简称调频,用符号 FM 表示)或相位调制(简称调相,用符号 PM 表示)。基带信号称为调制信号,未经调制的高频信号称为载波信号(该信号相当于运载基带信号的交通工具,故称之为载波),经过调制后的高频信号称为已调信号。三种调制的典型信号波形如图 1.2.1 所示,图(a)为低频调制信号;图(b)为高频载波信号;图(c)为普通调幅信号,即 AM 信号,其高频信号的振幅与调制信号成正比;图(d)为调频信号,即 FM 信号,其高频信号的频率与调制信号成正比,因此表现为波形疏密变化;图(e)为调相信号,即 PM 信号,其高频信号的相位与调制信号成正比,因此也表现为波形疏密变化,但疏密变化规律与 FM 的不同。可见,通过调制将要传送的基带信号不失真地变换到已调信号中,再在接收端将基带信号从已调信号中不失真地恢复出来(即解

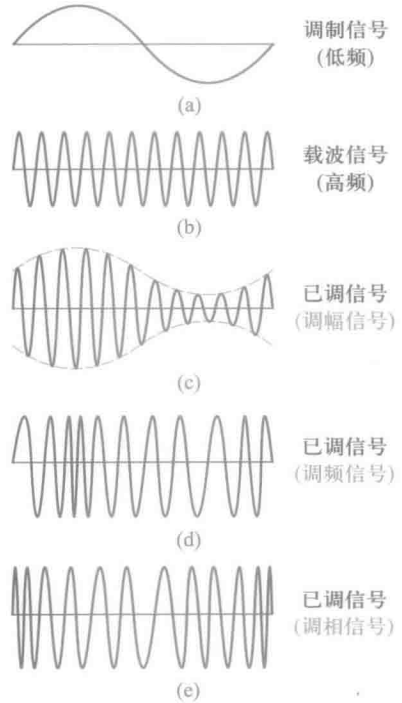


图 1.2.1 模拟调制信号波形

(a) 模拟基带信号 (b) 载波信号 (c) AM 信号
(d) FM 信号 (e) PM 信号

调),即可实现有效可靠的通信。

通常将单音调制信号表示为

$$u_{\Omega}(t) = U_{\Omega m} \cos(2\pi Ft)$$

载波信号表示为

$$u_c(t) = U_{cm} \cos(2\pi f_c t)$$

AM 信号表示为

$$u_{AM}(t) = [U_{cm} + k_a U_{\Omega m} \cos(2\pi Ft)] \cos(2\pi f_c t)$$

式中, k_a 为比例常数。将 AM 信号表示式用三角函数公式展开可得

$$u_{AM}(t) = U_{cm} \cos(2\pi f_c t) + \frac{1}{2} k_a U_{\Omega m} \cos[2\pi(f_c + F)t] + \frac{1}{2} k_a U_{\Omega m} \cos[2\pi(f_c - F)t]$$

由此可画出调制信号、载波信号和 AM 信号的频谱如图 1.2.2 所示。可见,从频域的角度看调幅是将调制信号的频谱线性地搬移到载波频率的两侧,只要再线性地搬回,即可实现解调。

从 AM 信号频谱还可看到,该信号是以载波频率 f_c 为中心频率,占据带宽为 $2F$ 的信号。在实际应用中,调制信号往往包含了多个频率分量,假设其最高频率为 F_{max} ,则 AM 信号的带宽应为 $2F_{max}$ 。这就要求通信系统中传输 AM 信号的那部分通道应具有合理的带通频率特性,一般要求中心频率为 f_c ,带宽略大于 $2F_{max}$,以不失真地传输 AM 信号并有效滤除干扰。在第 6 章将证明,FM 与 PM 实现了调制信号频谱的非线性搬移,已调信号也以 f_c 为中心频率并占据一定带宽,处理 FM 与 PM 信号的通道也应具有合理的带通频率特性。

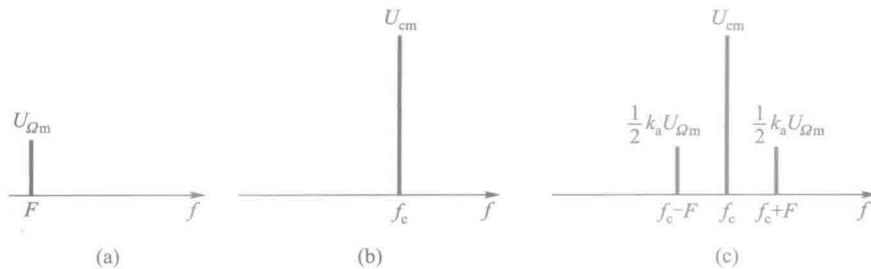


图 1.2.2 AM 信号的频谱

(a) 调制信号频谱 (b) 载波频谱 (c) AM 信号频谱

二、数字调制

用数字基带信号对高频余弦载波进行的调制称为数字调制。图 1.2.3(a) 所示为数字基带信号,它是一个由矩形脉冲组成的脉冲序列,以零电位和正电位分别表示二进制数的 0 和 1 两个值。通常规定用一定的时间间隔内的信号表示 1 位二进制数字,这个时间间隔称为码元长度,用 T_c 表示,而在这样的时间间隔内的信号称为二进制码元,如图中的 1 码元和 0 码元。根据数字基带信号控制载波参数不同,数字调制通常分为振幅键控(ASK)、相位键控(PSK, 又称相移键控)和频率键控(FSK, 又称频移键控)三种基本形式。振幅键控是载波振幅受基带信号控制,基带为高电平时有高频载波输出,低电平时没有载波输出,其波形如图 1.2.3(b) 所

示;相位键控是载波的相位受基带信号控制,当基带信号为高电平时,载波起始相位为 0 (或为 π),低电平时,载波起始相位为 π (或为 0),其波形如图 1.2.3(c)所示;频率键控是载波频率受基带信号控制,高电平时频率为 f_1 ,低电平时为 f_2 ,其波形如图 1.2.3(d)所示。

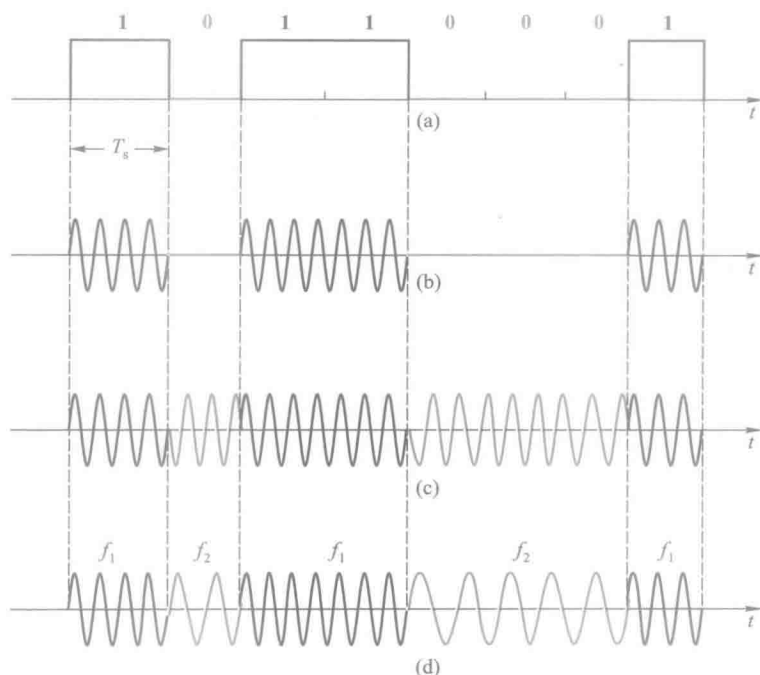


图 1.2.3 数字调制信号波形

(a) 数字基带信号 (b) ASK 信号 (c) PSK 信号 (d) FSK 信号

在模拟通信系统中,一旦解调信号存在失真和干扰,其影响是难以消除的。而对于数字通信系统,由于数字基带信号只有 0 和 1 两个码元,所以尽管解调信号也会存在失真和干扰,但只要通过取样判决电路正确判定码元值,就可不失真地重现原数字基带信号,此外数字通信还具有检错、纠错功能,因此,数字通信具有很强的抗干扰、抗噪声能力。数字通信还便于利用计算机等进行智能化处理,可同时传输语音、图像和数据等综合信息,保密性强,其中某些电路的功能(例如数字调制与解调等)还可采用软件实现,因此更具灵活性和先进性。现代通信尤其是移动通信中,广泛采用数字调制技术。

讨论题

1.2.1 通信系统中为什么要采用调制技术?

1.2.2 AM、FM、PM、ASK、FSK 和 PSK 分别是什么调制?