



教育部高职高专规划教材
Jiaoyubu Gaozhi Gaozhuan Guihua Jiaocai

高频电子线路

第二版

胡宴如 主编

高等教育出版社

HIGHER EDUCATION PRESS



教育部高职高专规划教材

高频电子线路

(第二版)

胡宴如 主编

高等教育出版社

内 容 提 要

本书是教育部高职高专规划教材。本书第二版在第一版的基础上,经过近年教学改革与实践,依据教育部最新制订的《高职高专教育高频电子技术课程教学基本要求》编写而成。本书第一版曾获国家教委优秀教材二等奖。

全书由绪论、小信号选频放大器、谐波功率放大器、正弦波振荡器、振幅调制、振幅解调和混频电路、角度调制与解调电路、锁相环路与频率合成技术等内容组成。与第一版比较,本书较大幅度地删减了要求过高或已过时的内容,进一步加强了基本知识、基本理论的叙述和对基本电路的分析,内容更为简明、精炼。每节编有复习与讨论题,每章编有小结,对原有习题进行了整理和补充,以便于教学。

本书可作为高等职业学校、高等专科学校、成人高校及本科院校举办的二级职业技术学院和民办高校的电子信息工程、通信工程等专业教材,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

高频电子线路/胡宴如主编.—2版.—北京:高等教育出版社,2001.9

教育部高职高专规划教材

ISBN 7-04-009969-1

I. 高… II. 胡… III. 高频—电子电路—高等学校:技术学校—教材 IV. TN710.2

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2001)第 26274 号

高频电子线路 第二版

胡宴如 主编

出版发行 高等教育出版社

社 址 北京市东城区沙滩后街 55 号

邮政编码 100009

电 话 010-64054588

传 真 010-64014048

网 址 <http://www.hep.edu.cn>

<http://www.hep.com.cn>

经 销 新华书店北京发行所

印 刷 中国科学院印刷厂

版 次 1994 年 1 月第 1 版

2001 年 9 月第 2 版

开 本 787×1092 1/16

印 次 2001 年 9 月第 1 次印刷

印 张 13.5

定 价 11.90 元

字 数 320 000

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

出版说明

教材建设工作是整个高职高专教育教学工作中的重要组成部分。改革开放以来,在各级教育行政部门、学校和有关出版社的共同努力下,各地已出版了一批高职高专教育教材。但从整体上看,具有高职高专教育特色的教材极其匮乏,不少院校尚在借用本科或中专教材,教材建设仍落后于高职高专教育的发展需要。为此,1999年教育部组织制定了《高职高专教育基础课程教学基本要求》(以下简称《基本要求》)和《高职高专教育专业人才培养目标及规格》(以下简称《培养规格》),通过推荐、招标及遴选,组织了一批学术水平高、教学经验丰富、实践能力强的教师,成立了“教育部高职高专规划教材”编写队伍,并在有关出版社的积极配合下,推出一批“教育部高职高专规划教材”。

“教育部高职高专规划教材”计划出版500种,用5年左右时间完成。出版后的教材将覆盖高职高专教育的基础课程和主干专业课程。计划先用2~3年的时间,在继承原有高职、高专和成人高等学校教材建设成果的基础上,充分汲取近几年来各类学校在探索培养技术应用性专门人才方面取得的成功经验,解决好新形势下高职高专教育教材的有无问题;然后再用2~3年的时间,在《新世纪高职高专教育人才培养模式和教学内容体系改革与建设项目计划》立项研究的基础上,通过研究、改革和建设,推出一大批教育部高职高专教育教材,从而形成优化配套的高职高专教育教材体系。

“教育部高职高专规划教材”是按照《基本要求》和《培养规格》的要求,充分汲取高职、高专和成人高等学校在探索培养技术应用性专门人才方面取得的成功经验和教学成果编写而成的,适用于高等职业学校、高等专科学校、成人高校及本科院校举办的二级职业技术学院和民办高校使用。

教育部高等教育司

2000年4月3日

16R 34 / 25

前 言

本书第一版作为高等学校工程专科“八五”规划教材于1993年出版,曾获国家教育委员会优秀教材二等奖。随着科学技术的发展及教育体制改革的深入,原书在某些方面已不能满足当前教学的需要,现根据教育部最新制订的《高职高专教育高频电子技术课程教学基本要求》,结合近年教学改革与实践,在第一版的基础上进行全面修订。修订的基本思路是在保留第一版体系和基本特色的前提下,进一步加强基本知识、基本理论和基本电路的分析;以应用为目的,以必需、够用为度,较大幅度地删减对读者可能要求过高的公式推导;根据现代电子技术的需要,删减陈旧和应用较少的内容,适当增加新发展的和实用性内容;在内容取舍上尽量做到少而精、重点突出、层次清晰,叙述简明通俗、概念清楚。本版与第一版比较,全书篇幅有了较大的压缩,各章内容主要变动情况如下:

第1章绪论由第一版绪论及第二章(高频功率放大器)中非线性电子线路概念等内容组成。

第2章小信号选频放大器是将第一版第一章(高频小信号放大器)内容中删去串联谐振回路、耦合谐振回路、晶体管Y参数等效电路及放大器噪声后重新整理而成。

第3章谐振功率放大器由第一版第二章(高频功率放大器)中谐振功率放大器和功率合成技术两部分内容组成,第一版中参量混频器内容移至第5章。

第4章正弦波振荡器由第一版第三章(正弦波振荡器)内容组成,删去第一版中LC振荡器起振条件的推导及特殊振荡现象。

第5章振幅调制、振幅解调与混频电路由第一版中第四章(振幅调制与解调电路)和第五章(混频器)的内容组成。以相乘器电路为核心对原有内容重新整理,加强频谱搬移电路基本原理的分析。

第6章角度调制与解调电路,保留了第一版中内容,进行了适当的删减。

第7章锁相环路与频率合成技术,保留第一版中内容,但是删去第一版中锁相环路的跟踪特性的数学分析,并从实用性出发对锁相环路的基本工作原理及频率合成原理进行分析。另外,将第一版第四章中自动增益控制电路内容并入本章。

另外,为了便于组织课堂讨论,每节新编有复习与讨论题。每章还编有小结,同时对原有习题进行了整理和补充,以利于读者深入理解教材内容。

本书由胡宴如主编,胡宴如、章忠全和耿苏燕共同完成本版的修订工作。

本版承东南大学谢嘉奎教授仔细审阅,并提出了详细的修改意见,对提高本版质量起到了重要作用。多年来,许多兄弟院校的教师对本书提出了许多建议,在此谨向他们表示衷心的感谢,并恳请对本书继续提出批评和指正。

编 者

2001年2月于南京

第一版前言

本书是以国家教育委员会组织制订的《高等学校工程专科电子线路(I)、(II)课程教学基本要求》为依据,按照高等学校工程专科电子线路教材编审小组1990年12月审定的《高频电子线路》教材编写大纲进行编写,作为高等学校工程专科电子、通信类等专业的教材和相近专业的教学参考书,也可供有关工程技术人员自学和参考。

根据高等工程专科教育培养技术应用型人才的特点,本书强调以应用为目的,以生产第一线正在使用和近期有可能推广使用的技术所需的基础理论为主,突出原理分析为应用服务,减少理论推导,加强基本概念的叙述。为了适应新技术发展的需要,本书对某些新技术的应用也作了适当的介绍。

本书以模拟通信系统为主线来连贯各功能电路,加强了全书的系统性和完整性,这样既便于读者了解和掌握各基本应用电路之间的内在联系以及在整个系统中的作用和地位,同时又使得各基本电路的讨论不是孤立的、分割的。

考虑到集成电路的迅速发展和广泛应用,本书对基本电路分析时充分考虑到集成电路的应用,对应用电路的介绍也以集成电路为主。但是,鉴于分立元件电路目前仍为集成电路技术的基础,同时一些分立元件电路目前仍然得到应用,所以本书对分立元件电路的分析仍占一定比例。力求把分立元件电路和集成电路结合起来,把集成电路的内容渗透到各章之中,这样既加强了集成电路的概念和应用,又不削弱电路的基础知识。

高频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,不但应该掌握必要的基础理论知识,而且还应在分析问题、解决问题和实际动手等能力方面得到锻炼和提高。对于这些能力的培养,理论教学与实践性教学环节必须密切联系、互相配合,才会取得比较好的效果。本书从以下几个方面来加强这些能力的培养:

(1)在分析问题的方法上,由常用基本电路入手,讲清基本原理,然后适当综合,再应用到实用电路的分析中去。联系实际应用时,不过多地分析具体细节,而注意引导读者如何确切地进行工程近似来分析实用电路,并进行电路性能的估算,从而掌握选择电路元、器件的基本原则。

(2)注意与实践课的配合,教材内容上要相互衔接,各有侧重,避免脱节和不必要的重复。基本原理、典型电路、基本应用电路等,主要在理论教材中介绍,而有关电路的测试、调整的原理和方法以及器件的参数选择等还必须在实践中学习和提高,故这些方面的内容应在实践课教材中叙述。

(3)增加必要的例题和实用电路的分析。例题着重于问题的分析过程和解题方法的介绍。对电路实例的分析则力求由浅入深,引导读者运用基本概念、基本原理和基本方法来分析较复杂的问题。例题和电路实例可作为习题课和讨论课内容。

(4)各章都附有一定数量的习题,习题的内容力求突出本课程的特点和基本要求,而且注意到与工程应用相结合。

为满足不同行业、不同专业的需要,本书按理论教学时数80学时(《高等学校工程专科电子

线路(I)、(II)课程教学基本要求》规定参考学时上限为72学时)编写,书中编写了部分加宽加深的内容,可供选讲或自学。选讲内容在编排上加注“*”号,以示区别。

本书由胡宴如主编,第三、四章由章忠全执笔,其他各章均由胡宴如执笔。

江汉大学陆兆熊副教授担任本书的主审,对本书初稿进行了认真细致的审阅,并提出了许多宝贵意见和修改建议;本书在编写过程中得到了高等学校工程专科电子线路教材编审小组的大力支持和帮助。在此谨致以衷心的感谢。

限于编者水平,加之时间仓促,书中错误和不妥之处在所难免,敬请读者批评指正。

编者

1992年2月

责任编辑	李 慧
封面设计	杨立新
责任绘图	李维平
版式设计	周顺银
责任校对	王效珍
责任印制	宋克学

目 录

第 1 章 绪论	(1)	3.2.2 V_{CC} 对放大器工作状态的 影响	(37)
1.1 通信与通信系统	(1)	3.2.3 U_{im} 和 V_{BB} 对放大器工作 状态的影响	(38)
1.1.1 通信系统的基本组成	(1)	复习与讨论题	(40)
1.1.2 无线电发送与接收设备	(2)	3.3 谐振功率放大器电路	(40)
1.1.3 无线电波段的划分和无线电 波的传播	(5)	3.3.1 直流馈电电路	(40)
复习与讨论题	(7)	3.3.2 滤波匹配网络	(42)
1.2 非线性电子线路的基本概念	(7)	复习与讨论题	(47)
1.2.1 线性与非线性电路	(7)	3.4 丁类谐振功率放大器与丙类 倍频器	(48)
1.2.2 非线性电路的基本特点	(8)	3.4.1 丁类谐振功率放大器	(48)
复习与讨论题	(9)	3.4.2 丙类倍频器	(49)
本章小结	(9)	复习与讨论题	(50)
习 题	(10)	3.5 功率合成技术	(50)
第 2 章 小信号选频放大器	(11)	3.5.1 传输线变压器	(51)
2.1 谐振回路	(11)	3.5.2 功率合成和分配网络	(54)
2.1.1 并联谐振回路的选频特性	(11)	3.5.3 功率合成电路应用举例	(57)
2.1.2 阻抗变换电路	(16)	复习与讨论题	(58)
复习与讨论题	(20)	本章小结	(58)
2.2 LC 谐振回路小信号谐振放大器	(20)	习 题	(59)
2.2.1 单谐振回路谐振放大器	(20)	第 4 章 正弦波振荡器	(62)
2.2.2 多级单谐振回路谐振放 大器	(23)	4.1 反馈振荡器的工作原理	(62)
复习与讨论题	(24)	4.1.1 反馈振荡器产生振荡的 基本原理	(62)
2.3 集中选频放大器	(24)	4.1.2 振荡的平衡条件和起振 条件	(63)
2.3.1 集中选频滤波器	(24)	复习与讨论题	(66)
2.3.2 集中选频放大器应用举例	(26)	4.2 LC 正弦波振荡器	(66)
复习与讨论题	(27)	4.2.1 三点式振荡器的基本工作 原理	(67)
本章小结	(27)	4.2.2 电感三点式振荡器	(67)
习 题	(28)	4.2.3 电容三点式振荡器	(68)
第 3 章 谐振功率放大器	(30)	4.2.4 改进型电容三点式振荡器	(70)
3.1 谐振功率放大器的工作原理	(30)	4.2.5 振荡器的频率稳定和振幅 稳定	(72)
3.1.1 基本工作原理	(30)	复习与讨论题	(74)
3.1.2 余弦电流脉冲的分解	(32)	4.3 石英晶体振荡器	(74)
3.1.3 输出功率与效率	(33)		
复习与讨论题	(35)		
3.2 谐振功率放大器的特性分析	(35)		
3.2.1 谐振功率放大器工作状态 与负载特性	(35)		

4.3.1	石英谐振器及其特性	(74)
4.3.2	石英晶体振荡器	(77)
	复习与讨论题	(78)
4.4	RC 正弦波振荡器	(78)
4.4.1	RC 桥式振荡器	(79)
4.4.2	RC 移相振荡器	(81)
	复习与讨论题	(82)
4.5	负阻正弦波振荡器	(82)
4.5.1	负阻器件的伏安特性	(83)
4.5.2	负阻振荡电路	(84)
	复习与讨论题	(85)
	本章小结	(85)
	习 题	(86)
第 5 章	振幅调制、振幅解调与混频	
	电路	(91)
5.1	相乘器与频谱搬移电路	(91)
5.1.1	相乘器及其频率变换作用	(91)
5.1.2	振幅调制基本原理	(92)
5.1.3	振幅解调基本原理	(98)
5.1.4	混频基本原理	(100)
	复习与讨论题	(101)
5.2	相乘器电路	(102)
5.2.1	非线性器件的相乘作用	(102)
5.2.2	二极管双平衡相乘器	(107)
5.2.3	双差分对模拟相乘器	(110)
	复习与讨论题	(114)
5.3	常用振幅调制电路	(115)
5.3.1	低电平振幅调制电路	(115)
5.3.2	高电平振幅调制电路	(117)
	复习与讨论题	(118)
5.4	常用振幅检波电路	(119)
5.4.1	二极管包络检波电路	(119)
5.4.2	同步检波电路	(122)
	复习与讨论题	(125)
5.5	常用混频电路	(125)
5.5.1	概述	(125)
5.5.2	二极管环形混频器和双差分对混频器	(126)
5.5.3	三极管混频电路	(126)
5.5.4	混频干扰	(129)
5.5.5	参量混频电路	(130)
	复习与讨论题	(133)
	本章小结	(133)
	习 题	(134)

第 6 章	角度调制与解调电路	(140)
6.1	调角信号的基本特性	(140)
6.1.1	瞬时频率与瞬时相位概念	(140)
6.1.2	调频信号与调相信号	(141)
6.1.3	调角信号的频谱和带宽	(145)
	复习与讨论题	(148)
6.2	调频电路	(148)
6.2.1	概述	(148)
6.2.2	变容二极管直接调频电路	(149)
6.2.3	间接调频电路	(153)
6.2.4	扩展最大频偏的方法	(156)
	复习与讨论题	(157)
6.3	鉴频电路	(157)
6.3.1	鉴频特性及鉴频的实现方法	(158)
6.3.2	斜率鉴频器	(160)
6.3.3	相位鉴频器	(163)
6.3.4	限幅器	(170)
	复习与讨论题	(172)
	本章小结	(173)
	习 题	(173)
第 7 章	锁相环路与频率合成技术	(178)
7.1	自动增益与频率控制电路	(178)
7.1.1	自动增益控制电路	(178)
7.1.2	自动频率控制电路	(181)
	复习与讨论题	(183)
7.2	锁相环路(PLL)	(183)
7.2.1	锁相环路基本原理	(183)
7.2.2	锁相环路的相位模型和基本方程	(186)
7.2.3	锁相环路的捕捉与跟踪过程	(188)
7.2.4	集成锁相环路	(189)
7.2.5	锁相环路的应用	(192)
	复习与讨论题	(194)
7.3	频率合成技术	(194)
7.3.1	频率合成器的主要技术指标	(194)
7.3.2	锁相频率合成器	(195)
	复习与讨论题	(201)
	本章小结	(201)
	习 题	(201)
	参考文献	(204)
	部分习题答案	(205)

第 1 章

绪 论

引言 自从无线电技术问世以来,它对人类生活和社会生产带来了非常深刻的影响。随着科学技术的不断发展,无线电技术,或者更广义地说无线电电子学已广泛用于国民经济、军事和日常生活各个领域,技术水平也越来越高。

通信是无线电技术最早应用的方面。通信技术和现代化,充分反映了无线电技术的发展。下面先对通信系统的基本概念加以说明,然后介绍非线性电子线路的基本概念。

1.1 通信与通信系统

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。用电信号传输信息的系统称通信系统,也称电信系统。

通信系统基本组成如图 1.1.1 所示。它由输入、输出变换器,发送、接收设备和信道等组成。

信源就是信息的来源,它有不同形式,例如语言、音乐、文字、图像、电码等。输入变换器的作用是将信源输入的信息变换成电信号,称该信号为基带信号;不同的信源需要不同的变换器,例如话筒、摄像机、电话机等。

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,其中最主要的处理称为调制,发送设备的输出信号为已调信号。

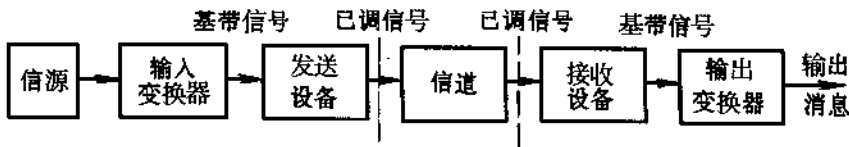


图 1.1.1 通信系统基本组成

信道是信号传输的通道,又称传输媒介,不同的信道有不同的传输特性。信道的种类大体分为以下几种:无线信道、有线信道和光信道。无线信道是利用自由空间电磁波来传送信号;有线

信道是利用线缆来传送信号;光信道是利用光导纤维来传送信号的,由于光的波长很短,频率很高,它已高出微波频段,更远远超出一一般讨论的无线电频率的范围。

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。由信道传送过来的已调信号由接收设备取出并进行处理,得到与发送端相对应的基带信号(这一过程称为解调)。该基带信号经输出变换器即可复原成原来形式的信息。

通信系统的种类很多,按通信业务,即按传输的信息种类不同可分为电话、传真和数据等通信系统。按传输的基带信号不同可分为模拟和数字通信系统,前者传输幅度随时间连续变化的信号,而后者传输在时间和数值上离散取值的信号。按所用信道的不同可分为有线通信和无线通信系统。利用线缆或光导纤维来传送信号的称有线通信系统,利用空间电磁波来传送信号的称无线通信系统。

1.1.2 无线电发送与接收设备

一、无线电广播发送和接收设备

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,然而基本结构却还相似。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。

图 1.1.2 所示为无线电调幅广播发送设备的组成框图,图中还画出了各部分输出电压的波形。

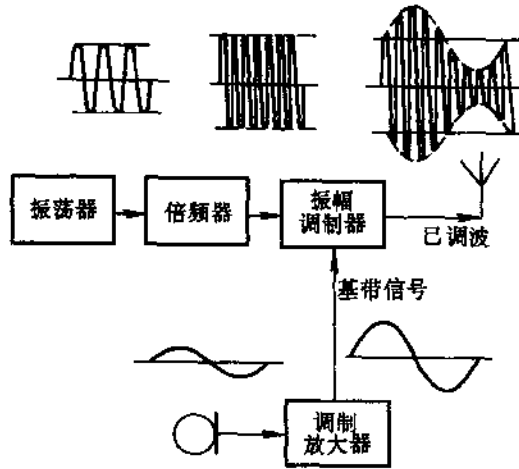


图 1.1.2 无线电调幅广播发送设备组成框图

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整倍数升高到所需值,其输出即为载波频率信号。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,使之有足够的功率推动末级调制器。调制放大器实际上是低频放大器,它由低频电压和功率放大级组成,用来放大话筒所产生的微弱话音信号,然后送入调制器。振幅调制器是将输入的高频载波信号和低频调制信号变换成高频已调信号,并以足够大的功率输送到天线,然后辐射到空间。

无线电调幅广播接收设备的组成框图如图 1.1.3 所示。为了提高接收机的性能,目前广泛采用超外差接收方式,超外差接收机结构特点是具有混频器。图 1.1.3 中高频放大器用来对天

线所收到的有用频率信号进行初步的选择和放大,以便抑制其他频率的无用信号。高频放大器输出的载频为 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,在其输出端就可获得载频频率较低的中频已调信号,通常取中频频率 $f_i = f_L - f_c$ 。中频放大器为中心频率固定在 f_i 上的选频放大器,它可以进一步滤除无用信号,并将有用信号放大到足够值,然后经检波器的解调,可恢复出原基带信号,经低频放大后输出。为了有助理解各组成部分的作用,在图 1.1.3 中画出了各部分输出的电压波形。

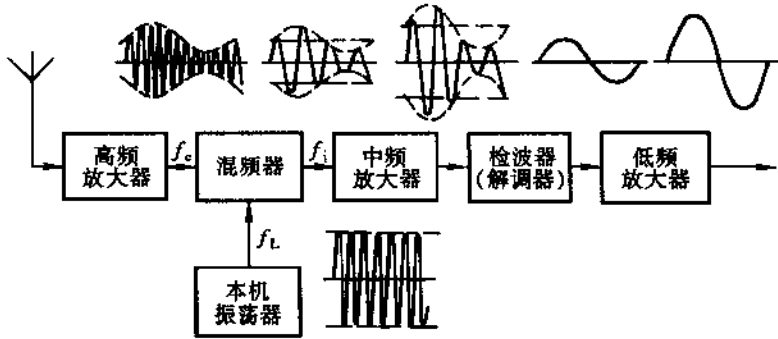


图 1.1.3 超外差式调幅接收机组成框图

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。其中,除高频电压放大器(含中频放大器)是线性电子线路外,其他均属于非线性电子线路。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。

二、调制基本原理

调制过程对通信系统至关重要,因为调制方式在很大程度上决定了系统可能达到的性能。

在无线电通信系统中,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。一般基带信号频率很低,例如语音只有 $(0.1 \sim 6)$ 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。采用调制就可以把低频基带信号调制在高频载波信号上,从而易于实现电信号的有效传输。同时不同电台可以采用不同频带的高频电磁波,以避免相互之间的干扰。在频率域内实现信道的复用称为频率复用(同样,在时间域里,利用脉冲调制或编码调制可使各路信号在同一信道交错传输,这样的信道复用称为时间复用)。

用待传输的基带信号去改变高频载波信号的某一参量,就可以实现调制。如用基带信号去改变高频载波信号的振幅,则称为振幅调制,简称调幅,用符号 $AM^{\text{①}}$ 表示。如用基带信号去改

① AM 为振幅调制 Amplitude Modulation 的缩写。

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^① 表示)或相位调制(简称调相,用符号 PM^② 表示)。经过调制后的高频信号带有基带信号的信息,称为已调信号。

下面以振幅调制为例,来说明调制的基本特点。

设调幅电路输出高频载波信号为

$$u_c = U_{m0} \cos(\omega_c t) \quad (1.1.1)$$

式中, $\omega_c = 2\pi f_c$, f_c 为载波频率。

若基带信号为一单频低频信号

$$u_a = U_{am} \cos(\Omega t) = U_{am} \cos(2\pi Ft) \quad (1.1.2)$$

将 u_a 输入调幅电路以改变式(1.1.1)所示高频信号的振幅,则可得到已调波信号为

$$\begin{aligned} u_o &= [U_{m0} + k_a U_{am} \cos(\Omega t)] \cos(\omega_c t) \\ &= U_{m0} [1 + m_a \cos(\Omega t)] \cos(\omega_c t) \end{aligned} \quad (1.1.3)$$

式中, $m_a = \frac{k_a U_{am}}{U_{m0}}$ 称为调幅系数,它说明载波振幅受基带信号控制的程度。 k_a 为由调制电路决定的常数。

由式(1.1.3)可见,已调信号的振幅 $U_{m0} [1 + m_a \cos(\Omega t)]$ 与低频信号 u_a 成线性变化关系,习惯上将已调信号的振幅变化称为包络变化。图 1.1.4(a)、(b)、(c)分别画出了基带信号、载波信号及已调信号的波形。

将式(1.1.3)用三角函数关系展开,则得

$$\begin{aligned} u_o &= U_{m0} \cos(\omega_c t) + \frac{1}{2} m_a U_{m0} \cos(\omega_c + \Omega) t \\ &\quad + \frac{1}{2} m_a U_{m0} \cos(\omega_c - \Omega) t \end{aligned} \quad (1.1.4)$$

由式(1.1.4)可知,被单频低频信号调幅后的高频已调信号由振幅为 U_{m0} 、角频率为 ω_c 的载波和两个振幅相同、角频率分别为 $(\omega_c + \Omega)$ 和 $(\omega_c - \Omega)$ 的高频波组成,其频谱图如图 1.1.5 所示。 $f_c + F$ 和 $f_c - F$ 对称地排列在载频 f_c 的两侧,将 $f_c + F$ 称为上边频、 $f_c - F$ 称为下边频。可见,振幅调制也可以看成是频率的振移,即将低频信号 F 搬移到载波频率 f_c 的两边。

上面只讨论了单频调制的情况。对占有一定频带的基带信号的调制,按上述同样方法可得到已调信号表示式为

$$u_o = U_{m0} [1 + m_a f(t)] \cos(\omega_c t) \quad (1.1.5)$$

式中, $f(t)$ 为无量纲的基带信号。 $f(t)$ 可以分解为连续谱,其中每个频谱分量都对载频调幅而

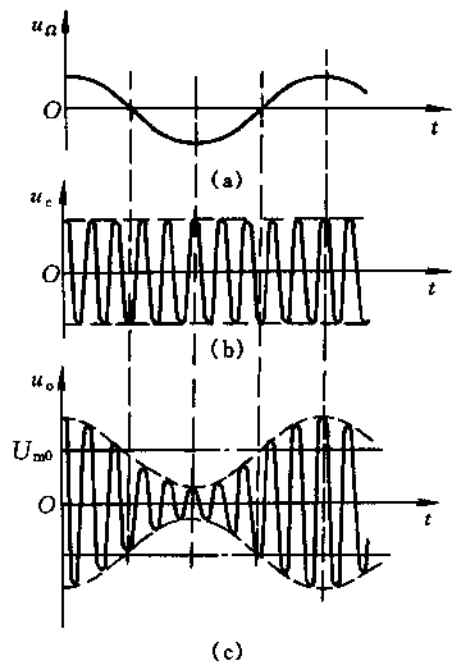


图 1.1.4 振幅调制波形

① FM 为频率调制 Frequency Modulation 的缩写。

② PM 为相位调制 Phase Modulation 的缩写。

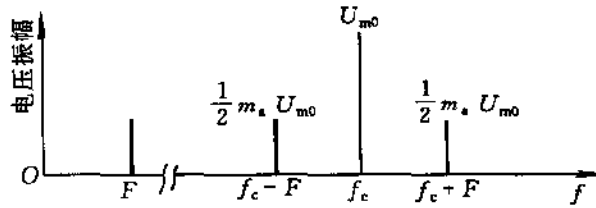


图 1.1.5 调幅波频谱

产生两个对应的边频分量,如图 1.1.6 所示。由图可见调制后调制信号的频谱被线性地搬移到载频的两边,成为调幅波的上、下两个边带,故已调波信号在载波频率 f_c 附近占据一定的频带。设基带信号的最高频率为 F_{max} ,则已调信号的频带宽度为

$$BW = 2F_{max} \quad (1.1.6)$$

这就是说,为使发送设备和接收设备不失真地传输该已调信号,其高频电子线路的频带宽度应大于 $2F_{max}$ 。

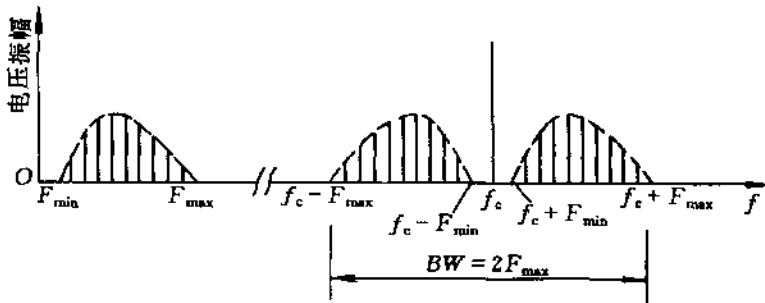


图 1.1.6 多频调幅的已调信号频谱分布

对于其他各种调制,已调信号同样也要占据一定的频带宽度,这是关于信号和调制的一个基本概念。

1.1.3 无线电波段的划分和无线电波的传播

一、无线电波段的划分

目前无线电通信系统使用的频率范围从几十 kHz 到几十 GHz,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就大不一样,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,叫做频段,也叫做波段。

无线电波在空间传播的速度与光速相同,为 $c = 3 \times 10^8$ m/s,高频信号的频率 f (Hz)与其波长 λ (m)的关系为

$$\lambda = \frac{c}{f} \quad (1.1.7)$$

无线电波段可以按频率划分,也可以按波长划分。表 1.1.1 列出了按波长划分的波段名称、相应的波长范围及相应的频段名称。

表 1.1.1 波段的划分

波段名称		波长范围	频率范围	频段名称
超长波		100 ~ 10 km	3 ~ 30 kHz	甚低频 VLF
长波		10 ~ 1 km	30 ~ 300 kHz	低频 LF
中波		1000 ~ 200 m	0.3 ~ 1.5 MHz	中频 MF
短波		200 ~ 10 m	1.5 ~ 30 MHz	高频 HF
超短波(米波)		10 ~ 1 m	30 ~ 300 MHz	甚高频 VHF
微波	分米波	100 ~ 10 cm	0.3 ~ 3 GHz	特高频 UHF
	厘米波	10 ~ 1 cm	3 ~ 30 GHz	超高频 SHF
	毫米波	10 ~ 1 mm	30 ~ 300 GHz	极高频 EHF
	亚毫米波	1 ~ 0.1 mm	300 ~ 3 000 GHz	超极高频
光波		100 ~ 1 μ m	3 ~ 300 THz	

应该说明,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。

二、无线电波的传播

无线电波的传播,是无线通信系统的一个重要环节。无线电波传播方式大体可分为三种:沿地面传播、沿空间直线传播、依靠电离层传播。

电磁波沿地面传播的示意图如图 1.1.7 所示。由于地面不是理想的导体,当电磁波沿其表面传播时必将有能量的损耗,这种损耗随电波频率的升高而增加。因此,通常只有中、长波范围的信号适宜于沿地而传播。不过因为地面的导电特性比较稳定,不会在短时间有很大的变化,所以电波沿地而的传播比较稳定,传输距离也比较远,故可用于导航和播送标准的时间信号。



图 1.1.7 电波沿地面传播



图 1.1.8 电波的直线传播

电磁波沿空间直线传播的示意图如图 1.1.8 所示。频率超过 30 MHz 以上的超短波主要沿空间直线传播。由于地球表面是弯曲的,这种传播的距离只能限制在视线范围内。电磁波直线传播方式主要应用于中继通信、调频和电视广播以及雷达、导航系统中。

频率在 1.5 MHz~30 MHz 范围的短波,主要依靠电离层的折射和反射进行传播,如图 1.1.9 所示。众所周知,在地球的表面存在着具有一定厚度的大气层,由于受到太阳的照射,大气层上部的气体将发生电离而产生自由电子和离子,被电离了的这一部分大气层称为电离层。电磁波到达电离层后,一部分能量被吸收掉,一部分能量被反射

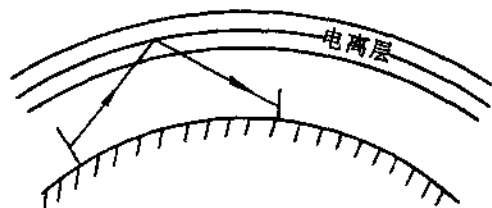


图 1.1.9 电波依靠电离层的传播

和折射到地面,频率较低的电波容易从电离层反射到地面,频率较高的则容易穿过电离层,不再回到地面。利用电离层反射可以实现信号的远距离传输,所以短波通信常用于远距离无线电广播、电话通信以及中距离小型移动电台等。

复习与讨论题

1.1.1 何谓通信系统?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 无线电广播发送和接收设备由哪些主要部分组成?各组成部分的作用是什么?超外差接收机结构有什么特点?

1.1.3 通信设备中为什么要采用调制技术?调幅波有何特点?

1.1.4 无线电波传播方式大体可分为几种?各种传播方式有何特点?

1.2 非线性电子线路的基本概念

由以上讨论说明,非线性电子线路在无线电发送与接收设备中具有重要作用,主要用来对输入信号进行处理,以便产生特定波形与频谱的输出信号,一般说来它与原输入信号波形、频谱不同。随着科学技术的发展,它们也越来越多地被其他各种电子设备所采用。为了对非线性电子线路工作原理有一个基本概念,先对非线性电路的基本特性进行讨论。

1.2.1 线性与非线性电路

全部由线性或处于线性工作状态的元器件组成的电路称为线性电路,电路中只要含有一个元器件是非线性的或处于非线性工作状态的,则称为非线性电路。

非线性元器件与线性元器件主要差别在于其工作特性是非线性的,它的参数不是一个常数,

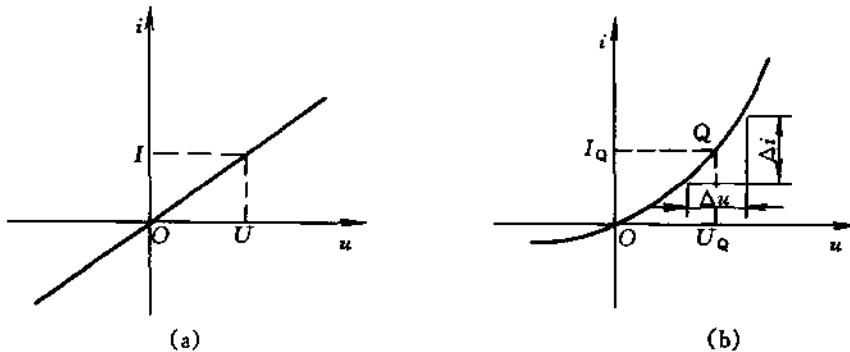


图 1.2.1 线性与非线性电阻器件伏安特性曲线

(a) 线性电阻器件 (b) 非线性电阻器件

且其值与外加电压或通过的电流大小有关。各种二极管、三极管等电子器件都是非线性器件,而常见的电阻器、平板电容和空心电感线圈等都是线性元件。图 1.2.1 作出了线性电阻器和非线性电阻器的伏安特性曲线,由图 1.2.1(a)可见,线性电阻器的伏安特性是一条通过坐标原点的直线,即流过电阻器的电流 i 与加在电阻器两端的电压 u 成正比,所以它的特性可用斜率