

非线性 电子线路 基础

匡锦瑜 编
姚力

FEIXIANXING DIANZI XIANLU JICHU

北京师范大学出版社

465264

北京市高等教育自学考试委员会指定学习用书

非线性电子线路基础

匡锦瑜 姚 力 编



00465264

北京师范大学出版社
• 北 京 •

图书在版编目(CIP)数据

非线性电子线路基础/匡锦瑜,姚力编. —北京:北京师范大学出版社,1999.9
ISBN 7-303-05140-6

I. 非… II. ①匡… ②姚… III. 非线性电路-高等教育-自学考试-教材 IV. TN710

中国版本图书馆 CIP 数据核字(1999)第 24094 号

北京师范大学出版社出版发行
(北京新街口外大街 19 号 邮政编码:100875)

出版人:常汝吉

北京市黄坎印刷厂印刷 全国新华书店经销
开本:787mm×1092mm 1/16 印张:18.25 字数:452 千字

1999 年 9 月第 1 版 1999 年 9 月第 1 次印刷

印数:1~3 000 定价:20.00 元

前 言

本书是根据理工科电子和信息科学类专业对电子线路非线性部分及通信电子电路的基本教学要求,为大学生编写的一本技术基础课程教科书,主要介绍与通信有关的非线性电子线路的基本概念、基本工作原理和基本分析方法。它可以作为高等学校《非线性电子线路》或《通信电子线路》的教学用书或教学参考书。北京市高等教育自学考试委员会指定本书为无线电技术专业《高频电子线路》课的自学考试学习用书。

有两个原因促使我们编写这本书:第一,近十年来电子技术与通信技术发展十分迅速,学科内容急剧膨胀,原有的教学内容需要根据反映学科最新成果的原则进行更新和调整;第二,高等教育自学考试发展很快,许多青年根据电子信息产业发展的需要,走上了自学成才之路,但目前已有的教材是为在校大学本科而写的,自学考生在学习上遇到了很多困难,他们迫切要求有一本适合于自学的教科书。在高等学校的教学改革过程中,自学能力的培养受到师生的重视,课堂讲授时数普遍有所压缩,在校大学生也希望有一本适合于自学的教材。基于上述原因,我们在北京市高等教育自学考试委员会和北京师范大学电子学系领导的支持下,编写了这本教材,希望能对自学考生克服学习上的困难、对高等学校压缩课堂讲授时数和对在校大学生更好地理解教学内容有所帮助。

本书内容包括非线性电子线路概论、高频功率放大器、正弦波振荡器、模拟乘法器、频谱搬移电路(调幅、检波和混频)、角度调制和解调以及反馈控制电路等七章。我们在编写时,力图做到精选内容,着重讨论各功能电路的基本形式、基本工作原理和基本分析方法,同时注意介绍近年来出现的新概念、新方法和新的集成电路;在内容安排上注意各章之间的联系和全书的系统性;在叙述方法上注意由浅入深,对重点内容或较难的内容,力图叙述详尽,并配有典型例题,帮助读者理解。为了帮助读者复习,每章章首给出了明确的学习要求,每节节末都配有适当的复习参考题,每章章末都有一定数量的习题。书中各章的附录给出一些集成电路的内部电路及其使用方法,供读者阅读,书末还给出了课外设计制作的题目,供感兴趣的读者参考。

为了适应大学本科和专科学生的不同要求,本书采用两种字号的字体印刷,小号字编排的章节,对专科学生可不作教学上的要求(习题未作区分,全部用小号字编排),专科自学考试仍以教学大纲为准。

本书第一章至第四章由匡锦瑜编写,第五章至第七章由姚力编写。

在本书的编写过程中,教育部工科电工课程教学指导委员会委员张凤言教授给予了宝贵的支持、帮助与鼓励;北京工业大学孙景琪教授就本书的内容提出过有益的建议,在此谨向他们表示衷心的感谢。汤秀娟、陈士琛、邓昆等许多同志为书稿的计算机输入、排版和插图的绘制付出了辛勤的劳动。在此,向他们和为本书的出版给予支持和帮助的人们一并表示谢意。由于编者水平有限,书中会存在一些缺点和错误,恳请读者批评指正。

编 者

1998年8月

于北京师范大学

目 录

第一章 非线性电子线路概论	(1)
§ 1.1 无线电通信的基本概念	(1)
1.1.1 通信系统的组成	(1)
1.1.2 无线电通信系统中的调制与解调	(2)
1.1.3 无线电信号的传播	(5)
1.1.4 无线电通信系统中的发送与接收设备	(7)
§ 1.2 非线性器件的工作特性	(10)
1.2.1 线性元件与非线性元件	(10)
1.2.2 非线性电阻器件	(11)
1.2.3 非线性电容器件	(15)
1.2.4 非线性电感器	(16)
1.2.5 非线性器件的频率变换	(17)
§ 1.3 非线性电路的分析方法	(18)
1.3.1 非线性电路的特点	(18)
1.3.2 幂级数近似分析法	(20)
1.3.3 折线近似分析法	(22)
1.3.4 时变参量分析法	(24)
附录 1.1 余弦脉冲分解系数表	(28)
习题	(30)
第二章 高频功率放大器	(31)
§ 2.1 谐振功率放大器的工作原理与特性	(32)
2.1.1 丙类谐振功率放大器的工作原理	(32)
2.1.2 丙类谐振功率放大器的近似分析法	(37)
2.1.3 谐振功率放大器的特性分析	(40)
2.1.4 晶体管高频效应对谐振功率放大器性能的影响	(43)
§ 2.2 谐振功率放大电路	(45)
2.2.1 直流馈电电路	(45)
2.2.2 输出匹配网络	(47)
2.2.3 级间耦合网络与输入匹配网络	(50)
2.2.4 实际电路举例	(51)
2.2.5 丁类功率放大电路	(52)
§ 2.3 晶体管倍频器	(53)
2.3.1 晶体管丙类倍频器的工作原理	(53)
2.3.2 输出滤波回路	(55)

§ 2.4 宽带高频功率放大器和功率合成原理	(56)
2.4.1 传输线变压器的工作原理	(56)
2.4.2 功率合成与功率分配原理	(60)
习题	(65)

第三章 正弦波振荡器 (68)

§ 3.1 正弦波振荡器的工作原理	(68)
3.1.1 LC 回路的自由振荡现象	(68)
3.1.2 反馈型正弦波振荡器的振荡条件	(70)
3.1.3 自给偏压和间歇振荡现象	(76)
3.1.4 负阻振荡器的振荡条件	(77)
§ 3.2 LC 振荡电路	(79)
3.2.1 互感耦合振荡电路及其相位平衡条件判别	(79)
3.2.2 三点式振荡电路	(81)
3.2.3 差分对管振荡电路和单片集成振荡电路	(88)
§ 3.3 振荡器的频率稳定度	(90)
3.3.1 振荡器的频率稳定度	(90)
3.3.2 提高振荡频率稳定度的措施	(91)
3.3.3 电容三点式振荡电路的改进	(93)
§ 3.4 晶体振荡器	(96)
3.4.1 石英晶体谐振器的特性	(96)
3.4.2 晶体振荡电路	(99)
§ 3.5 RC 正弦波振荡器	(103)
3.5.1 RC 相移振荡器	(103)
3.5.2 文氏电桥振荡器	(105)
3.5.3 积分式正弦波振荡器	(107)
§ 3.6 压控振荡器	(108)
3.6.1 压控振荡器的一般特性	(108)
3.6.2 压控 LC 振荡器	(109)
3.6.3 压控晶体振荡器	(110)
3.6.4 压控多谐振荡器	(111)
附录 3.1 单片集成波形发生器	(113)
A3.1.1 8038 型波形发生器	(114)
A3.1.2 单片高频波形发生器	(119)
习题	(122)

第四章 集成模拟乘法器 (128)

§ 4.1 模拟乘法器的一般特性	(128)
4.1.1 模拟乘法器的一般特性	(128)

4.1.2 实现模拟相乘的方法	(130)
§ 4.2 四象限吉尔伯特模拟乘法器	(131)
4.2.1 差动放大器的转移特性	(131)
4.2.2 吉尔伯特模拟乘法器的工作原理	(132)
4.2.3 线性电压-电流转换	(133)
4.2.4 单片集成吉尔伯特乘法器	(135)
§ 4.3 通用模拟乘法器和电流模分析法	(136)
4.3.1 通用模拟乘法器	(136)
4.3.2 模拟乘法器的电流模分析法	(137)
4.3.3 单片通用模拟乘法器	(139)
§ 4.4 高性能模拟乘法器	(141)
4.4.1 宽带四象限模拟乘法器	(141)
4.4.2 单片多功能高精度平衡调制/解调电路 AD630	(144)
习题	(147)

第五章 频谱搬移电路——调幅、检波与混频..... (149)

§ 5.1 振幅调制	(149)
5.1.1 普通振幅调制(AM)	(149)
5.1.2 双边带调制(DSB)与单边带调制(SSB)	(152)
5.1.3 振幅调制电路	(156)
§ 5.2 振幅解调电路	(162)
5.2.1 包络检波电路	(162)
5.2.2 同步检波电路	(169)
§ 5.3 混频	(174)
5.3.1 概述	(174)
5.3.2 混频电路	(176)
5.3.3 混频器中的组合频率干扰与非线性失真	(181)
习题	(184)

第六章 角度调制与解调

§ 6.1 角度调制的基本概念	(191)
6.1.1 调频信号与调相信号	(191)
6.1.2 调角波的频谱与功率	(194)
6.1.3 调频波与调相波的比较	(197)
§ 6.2 频率调制的方法及调频电路	(199)
6.2.1 概述	(199)
6.2.2 直接调频电路	(200)
6.2.3 间接调频电路	(204)
§ 6.3 相位检波电路(鉴相器)	(208)

6.3.1 相位检波电路	(208)
6.3.2 限幅器	(212)
§ 6.4 调频波的解调	(214)
6.4.1 概述	(214)
6.4.2 振幅鉴频器	(216)
6.4.3 叠加型相位鉴频器与比例鉴频器	(217)
6.4.4 集成鉴频电路	(225)
6.4.5 脉冲计数鉴频器	(228)
§ 6.5 角度调制的应用	(230)
6.5.1 振幅调制与角度调制的比较	(230)
6.5.2 调频发射机	(231)
6.5.3 调频接收机	(234)
附录 6.1 贝塞尔函数的数值表	(238)
附录 6.2 单片调频发射电路与单片调频接收电路	(239)
A6.2.1 单片低功率调频发射电路	(239)
A6.2.2 单片低功率调频接收电路	(241)
习题	(243)

第七章 反馈控制电路

§ 7.1 自动增益控制电路(AGC)	(248)
7.1.1 AGC 电路的工作原理	(248)
7.1.2 AGC 电路的实际应用	(252)
§ 7.2 自动频率控制电路(AFC)	(253)
7.2.1 自动频率控制电路的工作原理	(253)
7.2.2 AFC 电路的应用	(254)
§ 7.3 锁相环路(自动相位控制电路)的工作原理与特性	(256)
7.3.1 锁相环的组成与环路方程	(256)
7.3.2 锁相环的线性分析	(259)
7.3.3 锁相环的跟踪特性与捕捉特性	(260)
§ 7.4 集成锁相环及其应用	(264)
7.4.1 单片集成锁相环	(264)
7.4.2 集成锁相环的应用	(269)
习 题	(273)

课外设计制作

部分习题答案

参考文献

第一章 非线性电子线路概论

电子线路按器件的工作性质可分为线性电子线路和非线性电子线路。本书侧重讨论非线性电子线路的基本概念、基本工作原理和基本分析方法。

非线性电子线路在电子技术中有广泛的应用,特别是在通信系统中,非线性电子线路的应用更为普遍。例如,高频功率放大器、振荡器、调制器、解调器、混频器以及锁相环路等都含有非线性元件,它们都属于非线性电路,因此,非线性电子线路与通信电子线路所讨论的内容大体相同。

本章主要介绍无线电通信的基本概念、非线性器件的工作特性、非线性电路的近似分析方法。学习本章的基本要求是:

- (1) 了解通信系统的基本组成,正确理解无线电通信中的一些基本概念。
- (2) 掌握非线性器件的工作特性,正确理解非线性器件的频率变换作用。
- (3) 了解非线性电路的特点,了解非线性电路的几种常用的近似分析方法,如幂级数分析法、折线分析法以及线性时变参量分析法等。

§ 1.1 无线电通信的基本概念

本节扼要介绍无线电通信的基本概念。

1.1.1 通信系统的组成

通信(communication)是指发信者和收信者之间的信息^①(information)传递过程。两个人面对面的谈话就是一种最原始的通信方式,书信往来、电报、电话、广播、电视、计算机网络通信、光通信等都是常用的通信方式。本书所涉及的通信主要是指无线电通信,即利用电磁波来传递信息的一种通信方式。

无线电通信始于19世纪末期,那时,麦克斯韦(J. C. Maxwell)的电磁场理论已被德国物理学家赫兹(H. Hertz)的实验所证实,许多科学家纷纷致力于研究如何利用电磁波来传递信息,意大利的马可尼(G. Marconi)就是他们之中的杰出代表。1895年,马可尼利用电磁波成功地实现了几百米距离的通信。1901年,他又完成了横渡大西洋的无线电通信。此后,无线电通信的发展异常迅速,无线电广播、电视广播、微波通信、卫星通信、移动通信等相继出现。今天,通信技术已和计算机技术、多媒体技术结合在一起,形成具有多种信息服务的全球通信网络,使信息的传递更迅速、更可靠和更方便。通信事业的迅速发展对世界各国的经济发展和人们的日常生活起着非常重要的作用和影响。

传递信息的系统称为通信系统,其组成如图1.1.1所示。图中的信源是指发出信息的源,它所发出的信息是用诸如语言、文字、图像、数字或其它符号来表示的,这些代表信息的符号称为消息(message)。通信系统要传递信息,就要将这些消息转换为电信号(signal),这个任务由

^① 信息是一个可以度量的抽象概念,其定义可参阅有关信息论的书籍。

输入变换器来完成。例如,话筒将语音转换为音频电信号;摄像机将图像转换成视频信号;传感器将非电物理量转化为相应的信号电压或电流。这些由消息转换来的电信号称为基带信号。基带信号送入发送设备后,经过调制、功率放大等一系列处理,变换为便于信道传输的已调波信号(经过调制后的高频信号称为已调波信号),然后送入信道。信道是信号传输的通道,又称为传输媒介。有线通信系统的信道是导线,如架空明线、同轴电缆、波导管等;光纤通信系统的信道是光导纤维;无线电通信系统的信道是天空大气层或外层空间。已调波信号经发射天线辐射到天空,以电磁波的形式传播。信号在信道的传输过程中,不可避免地受到各种干扰,如工业干扰(电焊机、电动机等各种强力电气设备造成的干扰)、天电干扰、其它无线电设备发射的信号以及通信系统本身所产生的内部噪声等。接收设备收到信号时,要从多种信号和干扰、噪声中选出有用信号,经过解调还原出原基带信号,再由输出变换器将电信号转换成原来形式的消息,例如,扬声器将音频信号转换为声音,显像管将视频信号转换成图像等。受信者用耳朵听到声音或用眼睛看到图像后,他就获得了信息。

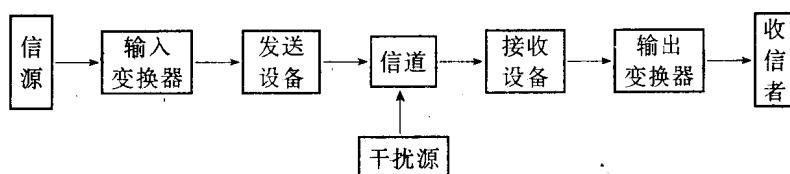


图 1.1.1 通信系统的组成框图

1.1.2 无线电通信系统中的调制与解调

一、什么是调制?

在无线电通信系统的发送设备中,利用基带信号去控制高频振荡信号的某一参数,使该参数按基带信号的变化规律而变化,这就是调制。这里的基带信号称为调制信号,未调制的高频振荡信号称为载波,经过调制的高频振荡信号就是前面已经提到的已调波信号,它携带了基带信号的信息,因为它的某个参数的变化规律反映了基带信号的变化规律。

也许有读者要问:能否在无线电通信中省去调制过程,将基带信号直接从发射天线辐射到天空中去呢?回答是否定的,其主要原因是:第一,根据天线理论,天线的尺寸只有和发射信号的波长可比拟时,才能将信号有效地辐射到天空,一个基带信号包含了很多频率分量,它们分布在低频区,例如声音信号的各频率分量分布在 20 Hz~20 kHz 范围内,根据波长 λ 与频率 f 的关系($\lambda = \frac{v}{f} = \frac{3 \times 10^5}{f}$ km)可知,对应的波长范围为 15 000 km~15 km,若采用 $\frac{1}{4}\lambda$ 天线,则天线的长度将大到无法实现;第二,各发射台基带信号的频率范围大体相同,即使将基带信号发射到空中,不同电台的信号将混在一起,相互干扰,接收设备无法选出所需电台的信号。若采用调制,则需要传输的不是低频基带信号,而是高频已调波信号,天线的长度就可以大大缩短。同时,不同电台采用不同频率的载波,各电台已调波的频率范围相互不重叠,接收设备就可以根据载波频率选出所需电台的信号,抑制其它电台的信号和各种干扰。由此可见,调制在无线电通信中起着极为重要的作用^①。

二、调制方式分类

^① 在某些有线通信中,在传输距离不太远的情况下,基带信号也可以不经过调制而直接传送,这种传输方式称为基带传输^[21]。

调制方式可以分为连续波调制和脉冲调制两大类。连续波调制方式的载波是高频正(余)弦波,脉冲调制方式的载波是脉冲序列。在连续波调制中,根据调制信号是模拟信号还是数字信号,调制方式又可以分为连续波模拟调制和连续波数字调制等两类。下面讨论连续波模拟调制。

设载波信号 $v_c(t)$ 为高频等幅余弦波,即

$$v_c(t) = V_{cm} \cos(\omega_c t + \varphi_0) \quad (1-1-1)$$

式中 V_{cm} 、 ω_c 和 φ_0 分别是载波信号的振幅、角频率和初相角。载波信号的相位为 $\varphi_c(t) = \omega_c t + \varphi_0$ 。若利用调制信号分别控制载波信号的振幅、(角)频率和相位,则调制方式分别称为振幅调制、频率调制和相位调制。为了叙述方便,假设调制信号为单一频率的余弦信号,即

$$v_n(t) = V_{nm} \cos \Omega t \quad (1-1-2)$$

式中 Ω 为调制信号的角频率, V_{nm} 为调制信号的振幅。

(1) 振幅调制(简称调幅,记为 AM)。它是利用调制信号去控制高频载波信号的振幅,使其按调制信号的变化规律而变化,也就是说,调幅波(即振幅调制的已调波)的振幅 $V_m(t)$ 是在原载波振幅上叠加一项与调制信号成正比的变化量 $\Delta V_m(t)$,即

$$V_m(t) = V_{cm} + \Delta V_m(t) = V_{cm} + k_a v_n(t) \quad (1-1-3)$$

式中 k_a 为比例常数。故调幅波可表示为

$$\begin{aligned} v_{AM}(t) &= [V_{cm} + k_a v_n(t)] \cos(\omega_c t + \varphi_0) \\ &= V_{cm} (1 + M_a \cos \Omega t) \cos(\omega_c t + \varphi_0) \end{aligned} \quad (1-1-4)$$

式中 $M_a = \frac{k_a V_{nm}}{V_{cm}}$ 称为调幅度或调幅系数。在第五章的讨论中将会看到,调幅系数应满足条件 $M_a \leq 1$ 。图 1.1.2 给出了调制信号、载波信号以及已调波信号的波形,图中(c)为调幅波的波形。由图可见,调幅波包络变化的波形与调制信号的波形相一致,故调幅波携带着调制信号的信息。

利用三角函数公式将式(1-1-4)展开,可得

$$v_{AM}(t) = V_{cm} \cos(\omega_c t + \varphi_0) + \frac{1}{2} M_a V_{cm} \cos[(\omega_c + \Omega)t + \varphi_0] + \frac{1}{2} M_a V_{cm} \cos[(\omega_c - \Omega)t + \varphi_0] \quad (1-1-5)$$

由上式可以看出,用单一频率的余弦信号对载波进行调幅时,调幅波包含三个频率分量:一个是原载波分量,其角频率为 ω_c ;另外两个是新产生的边频分量,其角频率分别为 $\omega_c + \Omega$, $\omega_c - \Omega$, 其中 $\omega_c + \Omega$ 称为上边频, $\omega_c - \Omega$ 称为下边频。对于调幅器来说,输入信号为低频调制信号和高频载波信号,但在输出已调幅信号中却出现了输入信号中所没有的频率分量,即上、下边频分量,这种产生新频率分量的过程称为频率变换过程。因此,调幅过程是一种频率变换过程。在以后的讨论中将会看到,要实现频率变换,电路中应包含非线性元件或线性时变元件。

振幅调制还可以分为普通调幅、抑制载波双边带调幅、单边带调幅以及残留边带调幅等多种调制方式,我们将在第五章中详细讨论它们。

振幅调制是一种常用的调制方式,中波与短波广播电台均采用普通调幅方式,电视信号的视频部分采用残留边带调幅方式。

(2) 频率调制(简称调频,记为 FM)。它是利用调制信号去控制高频载波信号的(角)频率,使其按调制信号的变化规律而变化,也就是说,调频波(即频率调制的已调波)的瞬时角频率 $\omega(t)$ 是在原载波角频率上叠加一项与调制信号成正比的变化量 $\Delta\omega(t)$,即

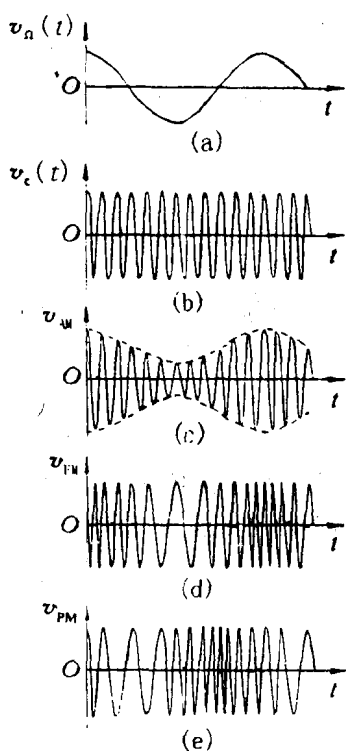


图 1.1.2 连续波模拟调制的波形

(a) 调制信号; (b) 载波信号;
(c) 调幅波; (d) 调频波; (e) 调相波.

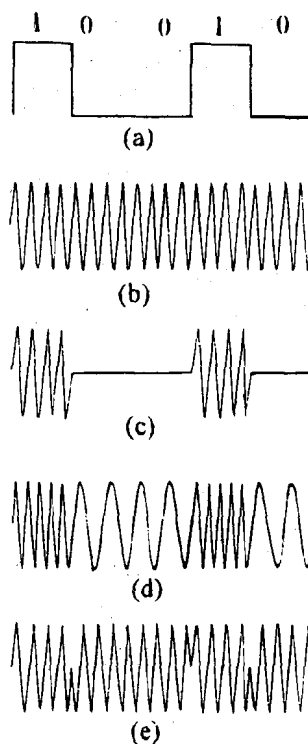


图 1.1.3 连续波数字调制的波形

(a) 数字调制信号; (b) 载波信号;
(c) 振幅键控波; (d) 频移键控波; (e) 相移键控波.

$$\omega(t) = \omega_c + \Delta\omega(t) = \omega_c + k_f v_n(t) \quad (1-1-6)$$

式中 $\Delta\omega(t)$ 称为瞬时角频偏; k_f 为比例常数, 单位为 $\text{rad/s} \cdot \text{V}$. 调频波的相位为

$$\varphi(t) = \int_0^t \omega(t) dt + \varphi_0 = \omega_c t + k_f \int_0^t v_n(t) dt + \varphi_0$$

因此, 调频波可表示为

$$v_{FM}(t) = V_{cm} \cos(\omega_c t + k_f \int_0^t v_n(t) dt + \varphi_0) \quad (1-1-7)$$

调频波 $v_{FM}(t)$ 的波形如图 1.1.2(d) 所示, 由于其角频率的变化量 $\Delta\omega(t)$ (即瞬时角频偏) 与调制信号成正比, 因此它携带着调制信号的信息.

频率调制也是一种常用的调制方式, 调频广播、电视信号的伴音部分均采用这种调制方式.

(3) 相位调制 (简称调相, 记为 PM). 它是利用调制信号去控制高频载波信号的相位, 使其按调制信号的变化规律而变化, 也就是说, 调相波 (即相位调制的已调波) 的瞬时相位 $\varphi(t)$ 是在原载波相位上叠加一项与调制信号成正比的变化量 $\Delta\varphi(t)$, 即

$$\varphi(t) = \omega_c t + \varphi_0 + \Delta\varphi(t) = \omega_c t + \varphi_0 + k_p v_n(t) \quad (1-1-8)$$

式中 $\Delta\varphi(t)$ 称为瞬时相移; k_p 为比例常数, 单位为 rad/V . 因此, 调相波可以表示为

$$v_{PM}(t) = V_{cm} \cos(\omega_c t + k_p v_n(t) + \varphi_0) \quad (1-1-9)$$

$v_{PM}(t)$ 的波形如图 1.1.2(e) 所示, 由于它的瞬时相移 $\Delta\varphi(t)$ 与调制信号成正比, 故它携带着调

制信号的信息。

若利用“0”、“1”组成的数字信号对高频载波信号分别进行调幅、调频和调相,则相应的调制方式分别称为幅度键控(记为ASK)、频移键控(记为FSK)和相移键控(记为PSK),其已调波的波形分别如图1.1.3(c)、(d)、(e)所示,它们可以分别看成是调幅、调频和调相的特殊情况,主要用于数据通信。

脉冲调制方式分为脉冲模拟调制和脉冲数字调制等两类。脉冲模拟调制包括脉幅调制(PAM)、脉宽调制(PWM)和脉位调制(PPM)等,它们是利用模拟调制信号分别控制脉冲序列的脉冲幅度、脉冲宽度和脉冲位置。脉冲数字调制包括脉码调制(PCM)、增量调制(DM)以及差分脉码调制(DPCM)等多种形式。本书所讨论的调制方式仅是连续波调制,脉冲调制将在通信课程中讨论。

综上所述,常用调制方式的分类可归纳为表1.1.1。

表 1.1.1 调制方式分类表

连续波调制		脉冲调制	
连续波模拟调制	连续波数字调制	脉冲模拟调制	脉冲数字调制
振幅调制:普通调幅 AM 抑制载波双边带调幅 DSB 单边带调幅 SSB 残留边带调幅 VSB 频率调制 FM 相位调制 PM	幅度键控 ASK 频移键控 FSK 相移键控 PSK	脉幅调制 PAM 脉宽调制 PWM 脉位调制 PPM	脉码调制 PCM 增量调制 DM 差分脉码调制 DPCM

三、解调

解调是调制过程的逆过程,它通过频率变换从已调信号中还原出原调制信号(即原来的基带信号)。调幅波、调频波和调相波的解调过程分别称为振幅检波、频率检波(简称鉴频)和相位检波(简称鉴相)。这里应当注意的是,检波是一频率变换过程,它与线性滤波有本质的区别。已调信号虽然携带低频调制信号的信息,但其本身已不含低频调制信号频率分量(例如,由式(1-1-5)可以看出,调幅波的载波分量和边频分量均为高频分量),要获得原低频调制信号,就要靠频率变换来实现,也就是要用检波器来实现,用线性滤波器是无法完成这个任务的,因为线性滤波器不能产生新的频率分量。在第五、六章中,我们将分别讨论实现振幅检波、频率检波和相位检波的各种方法和电路。

1.1.3 无线电信号的传播

一、无线电波段的划分

前面已经说明,基带信号对载波进行调制便产生了已调波信号,已调波信号经功率放大获得足够大的功率后,可由天线辐射到天空,在空中以电磁波形式传播。这种无线电波可以按频率划分为若干频段,或按波长划分为若干波段。表1.1.2列出了通信系统中使用的波段名称、频段名称及其相应的波长范围和频率范围。表中的米波与分米波有时称为超短波,波长小于30 cm的分米波、厘米波和毫米波统称为微波。无线电波的载波频率所处的波段不同,其传播

的特点就有所不同。

表 1.1.2 无线电波段的划分

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

二、无线电波的传播方式

无线电波在空间的传播方式主要有如下三种：

(1) 直射传播. 这种传播方式如图 1.1.4(a)所示,发射天线发出的电磁波沿直线传播到接收天线. 由于地球表面大致是一曲面,这种传播方式的传播距离与天线的高度有关,例如,当发射天线与接收天线均为 50 m 时,直射传播的距离约为 50 km. 如果利用卫星作转发站,则传播距离可大大增加(见图 1.1.4(b)). 超短波和微波波段信号的传播通常是直射传播. 例如,调频广播、电视广播、微波中继通信、卫星通信等均利用这种传播方式.

(2) 绕射传播. 这种传播方式如图 1.1.4(c)所示,从发射天线发出的电磁波沿地球表面传播,其传播距离可大于两天线之间的直线距离. 不过地面不是理想的导体,电磁波沿地面传播时,会发生能量损耗,这种损耗与电磁波的波长有关,波长越短,能量损耗越大. 因此短波的绕射传播距离要比长波的绕射距离小得多. 故这种传播方式适宜于长波和中波.

(3) 电离层的反射传播. 由于太阳的照射,地球大气层上部的气体发生电离而产生离子和

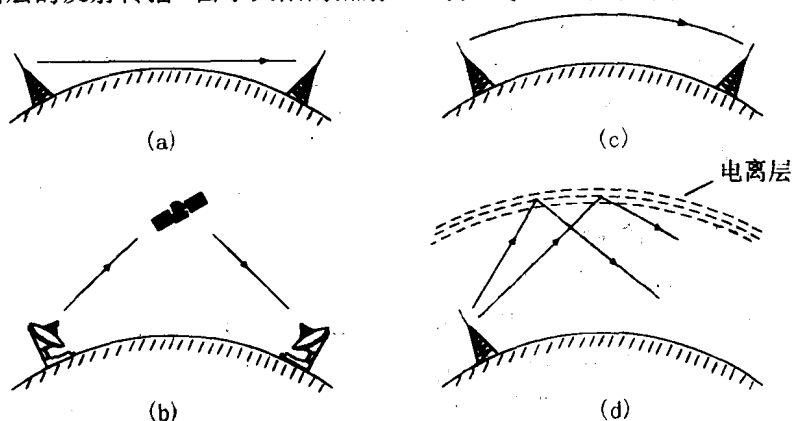


图 1.1.4 无线电波的传播方式示意图 (a)、(b)直射传播;(c)绕射传播;(d)电离层反射传播

自由电子,形成电离层.当天线发出的电磁波到达电离层时,将会产生折射和反射,其一部分反射到地面,被接收天线所接收.图 1.1.4(d)给出了这种传播方式的示意图.这种传播方式有两个特点:第一个特点是传播距离远,当电磁波在电离层和地面多次反射时,传播距离可达几千公里之远,短波无线电信号是利用这种方式进行远距离传播的;第二个特点是传播的稳定性较差,因为电离层的高度、电离层电子与离子的浓度与太阳有关,白天与黑夜、夏季与冬季以及太阳自身活动的变化均会使电离层的状态发生变化,从而影响电磁波的传播.例如,在短波通信时,有时会出现接收信号突然减弱的现象.

除了上述三种传播方式外,还可以利用大气层中的对流层进行散射传播,有兴趣的读者可参阅有关散射通信的书籍.

1.1.4 无线电通信系统中的发送与接收设备

发射设备与接收设备是无线电通信系统的主要组成部分.下面以广播发射与接收系统为例,说明发送设备和接收设备的基本组成.

一、调幅广播发射系统

调幅广播发射机的组成框图如图 1.1.5 所示,图中高频振荡器的功能是产生高频等幅正弦波信号,该信号送至倍频器进行倍频,使其振荡频率提高到所需的载波频率值,再经多级高频放大器放大,获得足够大的载波功率后送至调幅器.话筒将声音信号转换为电信号,该电信号经多级低频放大器放大后送至调幅器.调幅器是一非线性电路,它的功能是利用送来的低频调制信号对高频载波进行振幅调制,产生已调波信号,并将已调波信号送至发射天线.发射天线将已调信号辐射到自由空间,使之以电磁波形式传播.

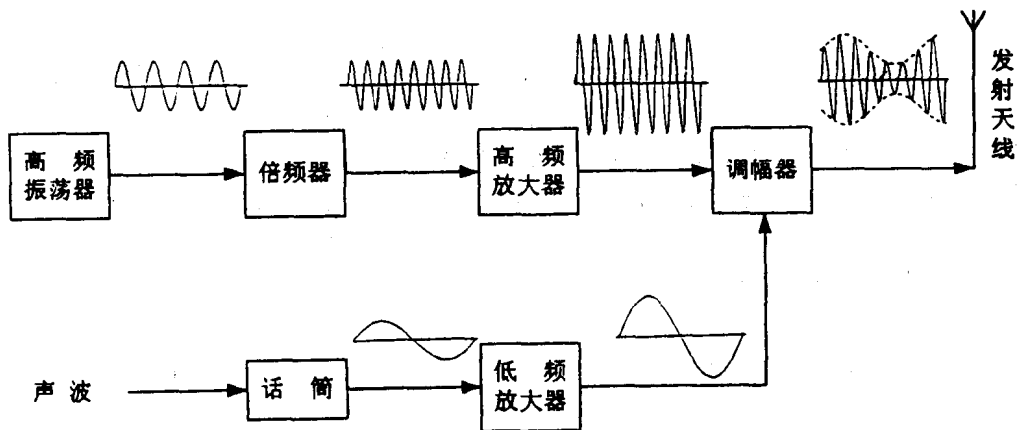


图 1.1.5 调幅广播发射机的组成框图

二、调幅广播接收机

目前广泛采用的调幅广播接收机为超外差式接收机,其基本组成框图如图 1.1.6 所示.这种接收机由高频放大、本机振荡、混频、中频放大、检波、低频放大以及自动增益控制(AGC)电路等几部分组成,下面扼要叙述各部分的主要功能.

高频放大器为小信号调谐放大器,它具有两个功能:一是利用天线调谐回路从接收天线感生的各无线电台信号中选出所需要的电台信号,抑制其它电台信号;二是对所选出的有用电台

信号进行放大. 比较简单的收音机没有高频放大器, 电台信号选择任务由混频器输入端的天线回路完成.

本机振荡器是一 LC 正弦波振荡器, 它产生频率为 f_L 的高频等幅正弦波信号, 该信号称为本振信号, f_L 称为本振频率. 本机振荡器的振荡回路与高频放大器的天线调谐回路同步调谐, 使本振频率 f_L 跟踪接收电台信号的载波频率 f_c , 即 $f_L - f_c$ 保持为固定的中频值 f_i . 我国中、短波调幅接收机的中频 f_i 规定为 465 kHz. 例如, 当接收机选择载波频率为 639 kHz 的电台信号时, 本机振荡产生频率为 1 104 kHz 的本振信号; 当接收机选择载波频率为 1 476 kHz 的电台信号时, 本机振荡就产生频率为 1 941 kHz 的本振信号. 我国中波电台的载波频率范围是 535 kHz~1 605 kHz, 本机振荡器相应的频率范围应为 1 000 kHz~2 070 kHz.

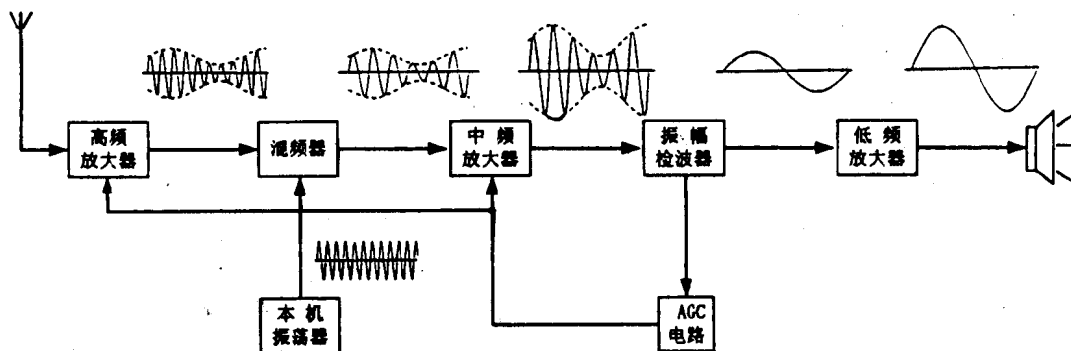


图 1.1.6 超外差式调幅接收机组成分框图

混频器是一频率变换电路, 它的功能是将本机振荡器送来的本振信号与高频放大器送来的已调波信号进行差频, 产生一个载波频率为中频 $f_i = f_L - f_c$ 的已调信号. 中频放大器由多级小信号调谐放大器组成, 它具有较大的电压增益和良好的选择性, 其功能是将混频器输出的中频信号进行放大, 然后送至检波器. 检波器是一频率变换电路, 其任务是从已调波信号中变换出原低频调制信号. 此信号经低频放大器放大后, 送至扬声器转换成声音.

自动增益控制 (AGC) 电路是一反馈控制电路, 其功能是控制中频放大器和高频放大器的增益, 使其随接收信号的强弱而变化. 当接收信号减弱时, AGC 电路的输出信号随之改变, 自动增大中频放大器和高频放大器的增益; 反之, 当接收信号增强时, AGC 电路自动降低中频放大器和高频放大器的增益. 这样, 接收机对强电台信号和弱电台信号均能正常工作.

调频广播发射机和接收机的基本组成分别与上述调幅广播发射机和接收机的基本组成相类似, 不同之处在于调制器和解调器, 调频发射机的调制器为调频电路, 调频接收机的解调器为鉴频电路. 此外, 调频广播的载波频率比调幅广播的载波频率要高得多 (我国调频广播的载波频率范围为 88 MHz~108 MHz, 接收机的中频频率为 10.7 MHz), 发射机和接收机的电路均要复杂些.

在上述发送设备和接收设备的组成框图中, 振荡器、高频功率放大器、调制器、解调器、混频器以及反馈控制电路均含有非线性器件, 它们都属于非线性电路, 都是本书分析讨论的对象.

值得指出的是, 近 20 年来, 由于集成电路和计算机技术的迅速发展, 发送设备与接收设备所涉及的非线性电子线路已发生了很大的变化, 这些变化主要有:

(1) 电路与系统的集成化. 在非线性电路中, 诸如模拟乘法器、正弦振荡器、压控振荡器、调制/解调器、锁相环路等各种基本电路均已集成化, 而且出现了系统集成的趋势, 将电子系统或子系统集成在一个芯片上, 使得电路与系统紧密不分. 例如, 在图 1.1.7 所示的调频/调幅单片接收机的内部组成框图中, 除了调谐回路、滤波器、晶体、大电容器、扬声器等片外元件及电源以外, FM 前端电路(包括高放、本振、混频等)、FM 中放与鉴频、AM 前端电路、AM 中放与检波、自动频率控制 AFC 电路与自动增益控制 AGC 电路以及低频放大、稳压滤波、调谐指示等全部电路均集成在一个几平方毫米的芯片上. 阅读本书时, 应注意掌握非线性电路中基本集成电路的工作原理和使用方法, 同时注意建立系统集成的概念.

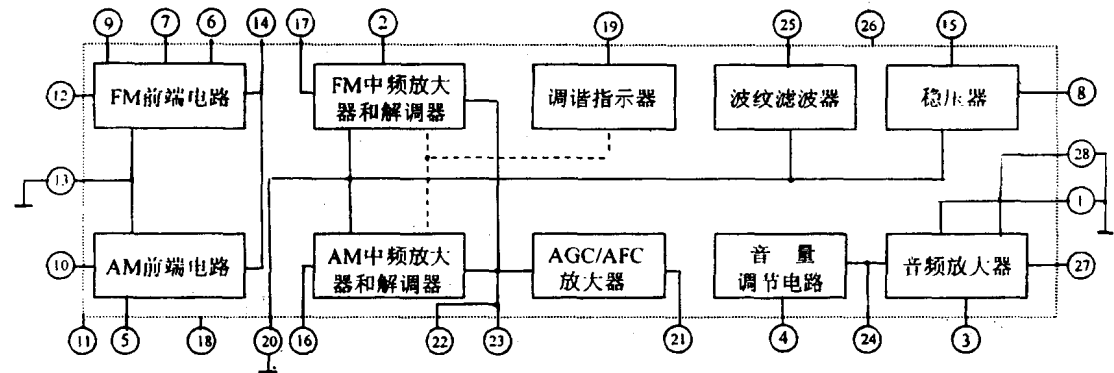


图 1.1.7 FM/AM 接收机单片集成电路内部组成框图

(2) 数字信号处理技术的使用. 由于高速信息网络及多媒体技术的发展, 非线性电路与系统越来越广泛地使用数字电路与数字信号处理技术. 例如, 原来全部由模拟电路组成的录像机和彩色电视接收机已开始采用数字信号处理技术. 图 1.1.8 给出了一种数字彩色电视接收机的组成框图^{[3],[6]}. 该接收机与模拟彩色电视接收机不同之处在于伴音信号、亮度与色度信号、同步与扫描信号的处理均由相应的数字信号处理器来完成. 数字信号处理器之前有模数转换器(A/D)将模拟信号转换为数字信号, 数字信号处理器之后有数模转换器(D/A), 将处理好

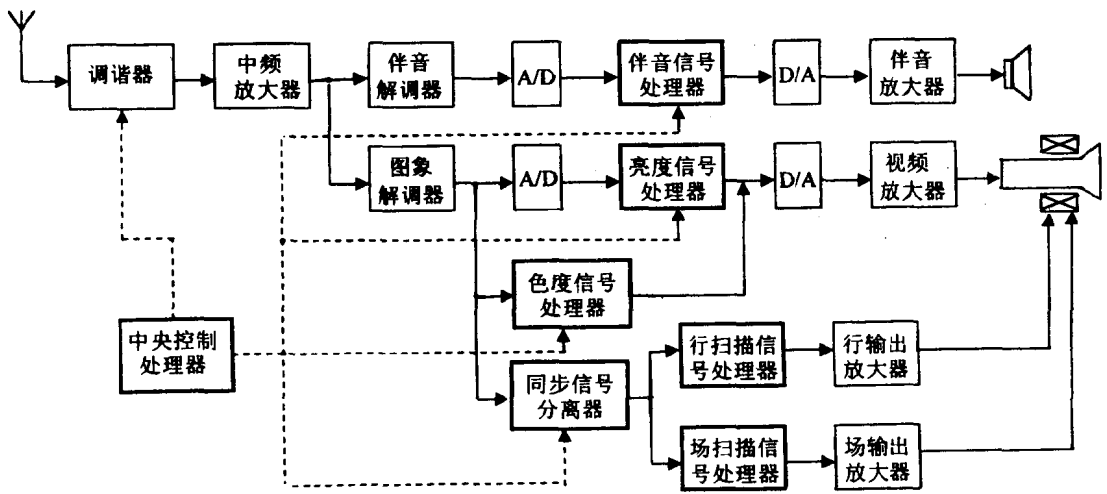


图 1.1.8 数字彩色电视接收机方框图