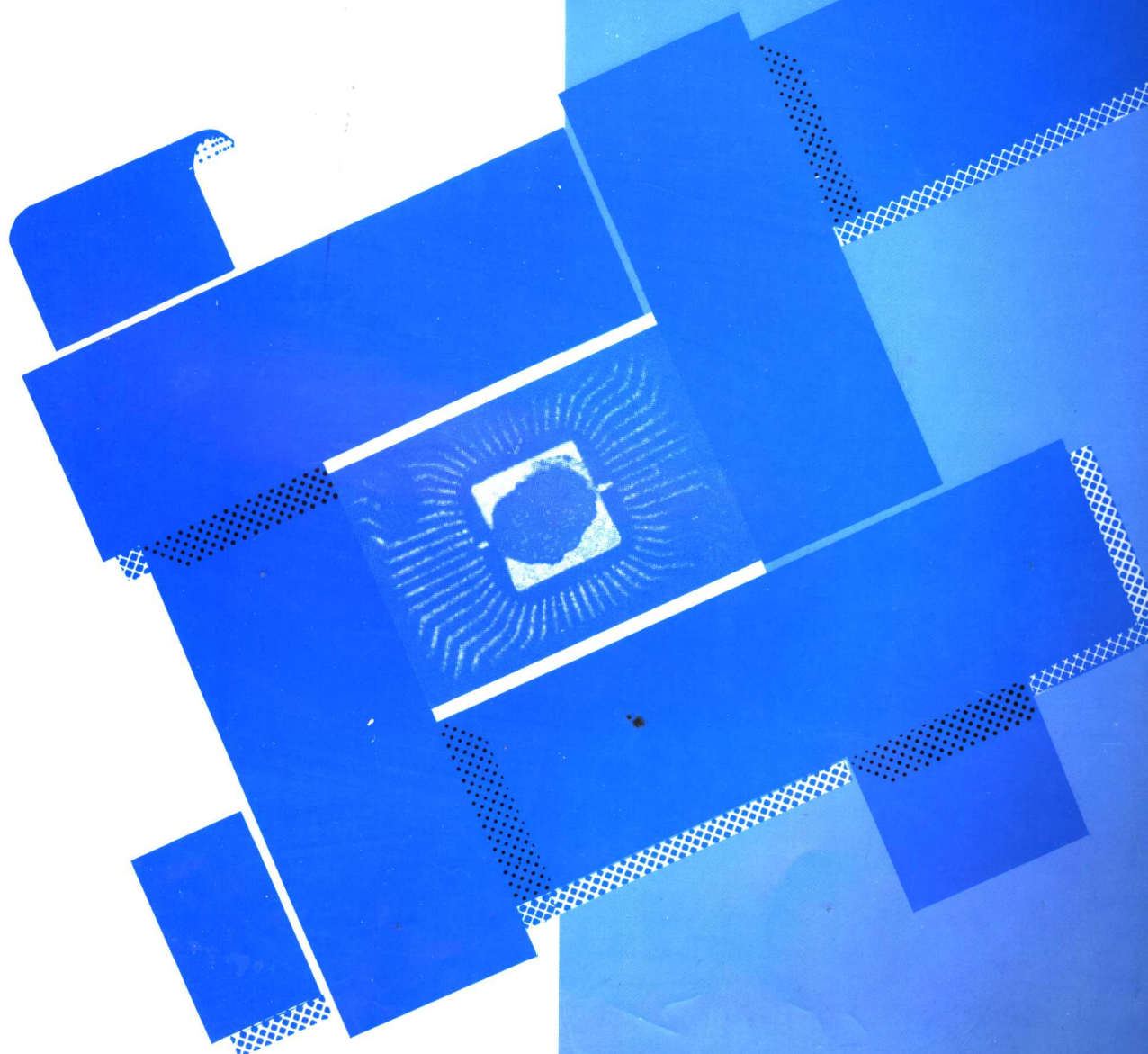


高频电子线路

谈文心 邓建国 张相臣



西安交通大学出版社

高频电子线路

谈文心 邓建国 张相臣

西安交通大学出版社

内容简介

本书主要讨论用于各种无线电技术设备和系统中的高频电子线路,内容包括小信号调谐放大器、非线性电路与时变参量电路的分析方法、高频功率放大器、正弦波振荡器、振幅调制与解调、角度调制与解调、混频、反馈控制电路、电路中的噪声以及 PSpice 计算机辅助分析软件的应用。在每章后面附有习题及参考答案。

本书可作为高等院校通信、电子和电子测量等专业本科和大专的“高频电子线路”、“通信电子线路”及“非线性电子线路”课程的教材和参考书,也可供从事电子技术工作的工程技术人员参考。

(陕)新登字 007 号

高频电子线路

谈文心 邓建国 张相臣

责任编辑 问向荣

责任校对 郭丽芳

*

西安交通大学出版社出版发行

(西安市兴庆南路 25 号 邮政编码:710049 电话:(029)82668315)

西安新视点印务有限责任公司印装

各地新华书店经销

*

开本:787mm×1 092mm 1/16 印张:19.125 字数:460 千字

1996 年 10 月第 1 版 2005 年 1 月第 8 次印刷

印数:11 501~13 000

ISBN 7-5605-0886-3/TN·49 定价:24.00 元

发行科电话:(029)82668357,82667874

前 言

本书是根据国家教育委员会工科电工课程教学指导委员会审定的《电子线路》课程基本要求编写的,可作为高等学校通信工程、电子工程等专业“高频电子线路”、“通信电子线路”或“非线性电子线路”课程的教材。

本书主要阐述通信系统和现代电子设备中各种高频电路的组成、基本工作原理和分析设计方法。全书共分10章。在绪论中,通过收发通信系统实例介绍高频电子线路课程的基本内容和课程特点;第1章阐述小信号谐振放大器;第2章介绍非线性电路与时变参量电路的分析方法;第3章为高频功率放大器;第4章讲述正弦波振荡器;第5章、第6章分别介绍振幅调制与解调、角度调制与解调的原理和实用电路;第7章为混频技术;第8章讲述反馈控制电路;第9章分析电路中的噪声;第10章介绍计算机辅助分析软件的应用。

在满足课程基本要求的前提下,本书在内容选取和安排上,注意突出基本概念、基本理论和基本分析方法。在各种实用电路中,重点介绍集成功能块的应用及其外围元件的设计。考虑到微电子技术和计算机应用的迅速发展,高频电路的计算机辅助分析和设计已成为重要的手段,因此,本书在第10章介绍了目前在模拟电路中使用最广泛的分析程序 PSpice 及其应用实例,提供读者在实际操作时参考。全书编写力求重点突出,理论联系实际,叙述深入浅出,编配有例题,以便于教学。

本书第1章由张相臣编写,第2章由谈文心和张相臣合编,第4章、第8章和第10章由邓建国编写,绪论和其余各章由谈文心编写。谈文心负责全书的统稿工作。

本书曾印成讲义,使用多届,效果良好,经编者修改并由西安交通大学教务处和西安交通大学出版社审定,列入教材出版规划。当本书出版时,我们谨对有关方面和同事同仁的大力支持,致以衷心的感谢。

由于编者学识水平有限,书中出现的不妥之处和错误恳请广大读者批评指正。

编者

1996年5月

目 录

绪论	(1)
第 1 章 小信号调谐放大器	
1.1 概述	(6)
1.2 谐振回路	(7)
1.2.1 并联谐振回路	(7)
1.2.2 并联谐振回路在复频域上的极零点图	(10)
1.2.3 信号源内阻及负载对谐振回路的影响和阻抗变换关系	(11)
1.2.4 耦合谐振回路	(14)
1.3 小信号调谐放大器	(15)
1.3.1 混合 π 参数等效电路	(16)
1.3.2 高频 y 参数等效电路	(18)
1.3.3 晶体管单回路调谐放大器	(20)
1.3.4 多级单调谐放大器	(24)
1.3.5 双回路调谐放大器	(26)
1.3.6 参差调谐放大器	(28)
1.3.7 调谐放大器的稳定性	(30)
1.4 小信号集中选频放大器	(33)
1.4.1 集中选择滤波器	(33)
1.4.2 多级宽带放大器	(35)
习题	(36)
第 2 章 非线性电路与时变参量电路的分析方法	
2.1 概述	(39)
2.1.1 非线性元件	(39)
2.1.2 非线性电路的特点	(41)
2.2 非线性电路分析法	(42)
2.2.1 幂级数分析法	(42)
2.2.2 折线分析法	(45)
2.2.3 时变参量电路及其分析法	(47)
2.2.4 数值计算分析法	(51)
2.3 模拟乘法器	(51)
2.3.1 模拟乘法器的基本概念	(51)
2.3.2 差分对模拟乘法器	(53)
2.3.3 线性化双平衡模拟乘法器	(58)
习题	(62)

第3章 高频功率放大器

3.1 高频调谐功率放大器的工作原理	(65)
3.1.1 高频调谐功率放大器的特点	(65)
3.1.2 谐振功率放大器的基本工作原理	(66)
3.1.3 输出功率和效率的计算	(68)
3.2 丙类谐振功率放大器工作状态的分析	(69)
3.2.1 晶体管的集电极动态特性	(69)
3.2.2 高频功率放大器的负载特性	(71)
3.2.3 各极电压对工作状态的影响	(74)
3.2.4 晶体管功率放大器的高频特性	(76)
3.3 调谐功率放大器的电路组成	(77)
3.3.1 调谐功率放大器的馈电线路	(77)
3.3.2 输出、输入与级间耦合回路	(79)
3.3.3 谐振功率放大器的实用电路	(82)
3.4 倍频器	(82)
3.5 丁类(D类)功率放大器	(84)
3.5.1 电流开关型功率放大电路	(85)
3.5.2 电压开关型功率放大电路	(86)
3.6 宽带高频功率放大器	(87)
3.6.1 传输线变压器	(87)
3.6.2 宽带功率合成技术	(90)
习题	(94)

第4章 正弦波振荡器

4.1 反馈振荡器的基本工作原理	(97)
4.1.1 反馈振荡器的电路、模型和起振、平衡条件	(97)
4.1.2 反馈振荡器的分析	(101)
4.2 LC 振荡器	(102)
4.2.1 互感耦合型 LC 振荡器	(103)
4.2.2 三点式振荡器及其构成原则	(104)
4.2.3 三点式振荡器的电路分析	(105)
4.2.4 其它形式的 LC 振荡器电路	(108)
4.3 振荡器的频率稳定度	(111)
4.3.1 频率稳定度的定义	(111)
4.3.2 影响频率稳定度的因素	(112)
4.3.3 改善频率稳定度的措施	(113)
4.4 晶体振荡器	(116)
4.4.1 石英谐振器的基本特性	(117)
4.4.2 晶体振荡电路	(118)

4.5 负阻振荡器	(120)
4.6 RC 振荡器	(121)
4.7 寄生振荡现象	(123)
习题	(125)

第5章 振幅调制与解调

5.1 调幅信号的基本特性	(130)
5.1.1 标准振幅调制的基本特性	(130)
5.1.2 抑制载波的双边带与单边带调幅信号	(134)
5.2 低电平调幅电路	(134)
5.2.1 实现调幅的方法	(134)
5.2.2 二极管调幅电路	(137)
5.3 高电平调幅电路	(144)
5.3.1 基极调幅	(144)
5.3.2 集电极调幅	(144)
5.3.3 双重调幅	(146)
5.4 包络检波	(147)
5.4.1 小信号二极管平方律检波	(147)
5.4.2 大信号二极管峰值包络检波	(149)
5.4.3 检波器元器件的选择与实用电路分析	(153)
5.4.4 二极管并联检波器	(155)
5.4.5 平均值包络检波	(156)
5.5 同步检波	(158)
5.5.1 乘积检波电路	(158)
5.5.2 平衡同步检波电路	(160)
习题	(162)

第6章 角度调制与解调

6.1 调角波的性质	(167)
6.1.1 调角波的表示式	(167)
6.1.2 调角信号的频谱和频谱宽度	(170)
6.1.3 各种调制方式的比较	(172)
6.2 调频方法及直接调频电路	(174)
6.2.1 调频方法概述	(174)
6.2.2 变容二极管直接调频电路	(175)
6.2.3 晶体振荡器直接调频电路	(181)
6.2.4 电抗管直接调频电路	(183)
6.3 间接调频电路	(184)
6.3.1 间接调频原理	(185)

6.3.2	调相电路	(185)
6.3.3	扩展线性频偏的方法	(188)
6.4	限幅器	(189)
6.4.1	晶体二极管限幅器	(189)
6.4.2	晶体三极管限幅器	(190)
6.4.3	差分对限幅器	(191)
6.5	鉴频器	(191)
6.5.1	鉴频方法概述	(191)
6.5.2	斜率鉴频器	(192)
6.5.3	相位鉴频器	(196)
6.5.4	比例鉴频器	(200)
6.5.5	正交鉴频器	(202)
6.5.6	脉冲计数式鉴频器	(205)
	习题	(206)

第7章 混频

7.1	概述	(210)
7.1.1	混频方法	(210)
7.1.2	混频器的性能指标	(212)
7.2	晶体三极管混频器	(213)
7.2.1	晶体三极管混频器的工作原理	(213)
7.2.2	晶体三极管混频器的实际电路	(216)
7.3	场效应管混频器	(219)
7.3.1	结型场效应管混频器	(219)
7.3.2	双栅 MOS 场效应管混频器	(222)
7.4	晶体二极管混频器	(224)
7.4.1	平衡混频器	(224)
7.4.2	环形混频器	(224)
7.5	混频器的干扰	(225)
7.5.1	信号和本振产生的组合频率干扰	(225)
7.5.2	外来干扰和本振产生的组合频率干扰	(226)
7.5.3	交调干扰和互调干扰	(227)
7.5.4	减小干扰的措施	(229)
	习题	(229)

第8章 反馈控制电路

8.1	概述	(232)
8.2	电子电路中常用的反馈控制技术	(233)
8.2.1	自动增益控制(AGC)电路	(233)

8.2.2 自动频率控制(AFC)电路	(235)
8.3 锁相环路的原理及分析	(236)
8.3.1 锁相环路的构成与数学模型	(237)
8.3.2 锁相环路的跟踪特性分析	(241)
8.3.3 锁相环路的捕捉过程	(246)
8.4 锁相环路的应用及集成锁相环	(249)
8.4.1 锁相接收机	(249)
8.4.2 锁相调频与解调	(250)
8.4.3 调幅信号锁相解调	(251)
8.4.4 锁相频率合成技术	(251)
8.4.5 集成锁相环路与集成频率合成器	(254)
习题	(258)

第9章 电路中的噪声

9.1 噪声源	(262)
9.1.1 电阻的热噪声	(262)
9.1.2 接收天线噪声	(263)
9.1.3 晶体三极管和场效应管的噪声	(263)
9.1.4 等效噪声通频带	(265)
9.2 噪声系数和噪声温度	(266)
9.2.1 噪声系数的定义	(266)
9.2.2 多级放大器的噪声系数	(268)
9.2.3 无源四端网络的噪声系数	(269)
9.2.4 接收机的噪声系数与灵敏度	(269)
9.2.5 噪声温度	(270)
习题	(272)

第10章 计算机辅助分析软件的应用

10.1 电路分析的方法和 PSpice 的功能	(275)
10.1.1 电子电路计算机辅助分析的基本方法和 PSpice 实现	(275)
10.1.2 SPICE 的分析功能和 PSpice 的特点	(276)
10.2 PSpice 的用法举例	(277)
10.2.1 PSpice 的运行环境	(277)
10.2.2 PSpice 的使用步骤	(277)
10.2.3 PSpice 的应用实例	(278)
10.3 PSpice 的电路描述语句	(280)
10.3.1 电路输入文件的基本形式	(280)
10.3.2 电路描述语句简介	(281)
10.3.3 模型、子电路和库文件	(281)

10.4 电路分析与控制命令.....	(283)
10.4.1 电路分析命令	(283)
10.4.2 参数定义与参数分析命令	(285)
10.4.3 输出控制语句和选项设置	(286)
10.5 电路分析实例.....	(287)
参考资料	(295)

绪 论

本书主要讨论用于各种无线电技术设备和系统中的高频电子线路。无线电技术已广泛应用于无线电通信、广播、电视、雷达、导航等几个主要方面,尽管它们在传递信息形式、工作方式、设备体制等方面有差别,但它们的共同特点都是利用高频(射频)无线电波来传递信息,因此设备中产生和接收、检测高频信号的基本功能电路大都是相同的。本书主要结合无线电通信这一方式讨论设备和系统中高频电路的线路组成、工作原理及工程设计计算。

1. 通信系统方框图

一切能完成信息传输任务的系统可统称为通信系统。一个完整的通信系统的概括组成框图可用图 0-1 表示。

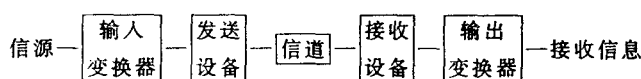


图 0-1 通信系统方框图

信源:即信息的来源,它有着不同的形式,例如语言、音乐、文字、图象、电码等形式。

输入变换器:将信息变换成相应的电信号称为基带信号。不同的信源需要不同的变换器。例如话筒、摄像机、电话机、电报机等。

发送设备:它完成信号的处理,将基带信号变换为适合在不同信道内传输的信号。它包括振荡、放大、调制、输出等部分。

接收设备:它将信道传送来的信号还原为原端的基带信号。它包括混频、解调、放大等部分。

输出变换器:将传输来的电信号变换成所需的信息形式。它可以是扬声器、显示器、控制器或打印设备等。

信道:它是发送设备和接收设备中间的传输媒介,表明信号传输的途径,一般分为有线信道和无线信道两类。

2. 无线电波的工作波段

无线通信是将高频电信号加到发送天线上,利用自由空间传播电磁波的特性,将信号发送到远方。表 0-1 列出了无线电通信中各种波段使用的情况。不同频率的电磁波有着不同的传输特性,因此必须根据实际用途来选用不同的波段。

电磁波的传播方式大致可以分为地面波、天波和空间波三类,如图 0-2 所示。

(1) 地面波:在超长波、长波和中波几个波段,电磁波主要沿着地球表面传播,叫地面波[见图 0-2(a)]。因为地面的导电性能变化很小,所以,其传播性能稳定、可靠。电磁波传播时,有部分电磁能量将被消耗,而且频率越高,损耗越大。但是频率也不能太低,否则波长加大,相应地要求天线尺寸增大。长波电台主要利用地面波进行长距离通信、导航、播送标准时间信号等,因要求电台的天线长、功率大,其应用受到限制。中波电台用于广播和通信。

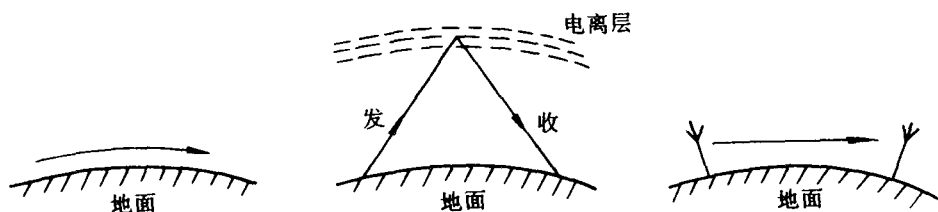


图 0-2 无线电波传播的方式
(a) 地面波；(b) 天波；(c) 空间波

表 0-1 无线电波波段划分表

波段名称	波长范围	频率范围	主要用途
超长波	$10^4 \sim 10^6 \text{m}$	$30 \sim 3 \text{kHz}$	长距离通信, 导航, 频率标准
长波	$10^3 \sim 10^4 \text{m}$	$300 \sim 30 \text{kHz}$	导航, 长距离通信
中波	$10^2 \sim 10^3 \text{m}$	$3\,000 \sim 300 \text{kHz}$	广播, 船舶通信, 飞行通信
短波	$10 \sim 100 \text{m}$	$30 \sim 3 \text{MHz}$	广播, 各种通信
超短波	$1 \sim 10 \text{m}$	$300 \sim 30 \text{MHz}$	短距离通信, 电视, 雷达, 导航
分米波	$10 \sim 100 \text{cm}$	$3\,000 \sim 300 \text{MHz}$	短距离通信, 雷达, 散射通信
厘米波	$1 \sim 10 \text{cm}$	$30 \sim 3 \text{GHz}$	短距离通信, 雷达, 卫星通信

(2) 天波: 在短波波段, 电磁波主要靠电离层的反射和折射, 称为天波。电离层处在大气层上面, 它的形成是由于太阳和星际空间的辐射引起大气电离的结果。电磁波到达电离层后, 一部分能量被吸收, 而另一部分能量被反射与折射到地面, 如图 0-2(b) 所示。频率越高, 电磁波被电离层吸收的能量就越小。但频率不能太高, 否则电磁波可穿过电离层, 不再返回地面。短波电台主要利用天波进行中距离和远距离的各种通信和广播。由于电离层受季节、昼夜、气候等因素影响很大, 故短波接收不够稳定。

(3) 空间波: 在超短波波段以下, 电磁波在自由空间作直线传播, 如图 0-2(c) 所示。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。超短波电台主要用于短距离移动通信, 电视、雷达等。

波长在 100cm 以下的分米波、厘米波等称为微波。这些波段的电磁波主要是利用空间波的传播特性。微波电台用于雷达、卫星通信等。

3. 无线电发送系统原理

天线和电磁波的研究表明, 如果天线的长度 L 可以和电信号的波长 λ 相比拟 ($L \approx \frac{1}{4} \lambda$), 那么把电信号加到天线上, 就可以电磁波的形式传输到很远的地方。

已经知道, 基本语言的频率范围是 $300 \sim 3\,000 \text{Hz}$, 换算为相应的波长, 应为

$$\lambda = \frac{c}{f} = \frac{3 \times 10^8}{f} = 10^6 \sim 10^5 \text{m}$$

显然,要想制作长度可与其相比拟的天线进行发射是不可能的。为了解决这个问题,可采取下列措施:

(1) 产生高频信号:由振荡电路输出一个高频信号,例如频率为数百千赫(相当波长为数百米),可将其加到适当高度(几十米)的天线上发射出去,这个高频信号称为载波,用来作为传输信息的运载工具。同时,不同的电台可采用不同的载波,避免了信号的相互干扰。

(2) 调制高频信号:用需要传输的低频信号去控制高频的载波信号,这个过程称为调制。受到控制的高频信号称为已调波,它本身是高频信号,可以发射但同时因为受到调制,就带着控制它的信号(即要传输的信号)一起发射出去。

调制的方法大致可分为连续调制和脉冲调制两大类。对于连续调制来说,假设载波信号是余弦波 $A\cos(\omega t + \varphi)$,待传输的低频信号可以控制载波的振幅 A 、频率 ω 或相位 φ ,由此可以得到调幅(AM),调频(FM)或调相(PM)三种不同的调制方式。脉冲调制又可分为振幅调制、宽度调制、位置调制、编码调制等调制方式。

图 0-3 是调幅式无线电发射机的方框图以及相应的波形。由图可见,高频振荡经过倍频、放大后,作为载波信号,在受调放大器中受到音频信号的控制,成为高频大功率的调幅波,再从天线上发射出去。

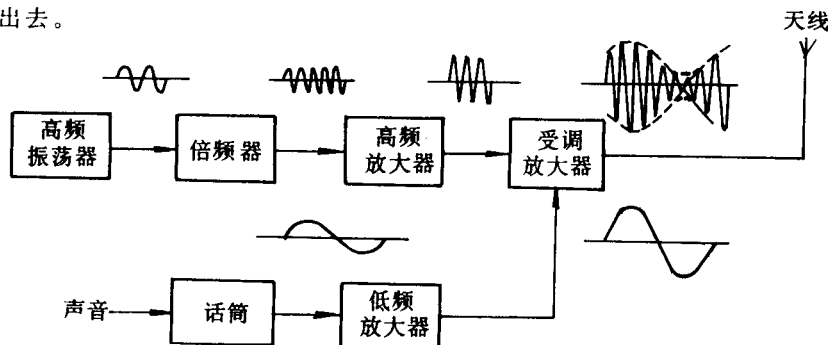


图 0-3 调幅式无线电发射机方框图

4. 无线电接收系统原理

图 0-4 是超外差式接收机的方框图以及相应的波形。图中表示从接收天线上接收到原端发射的高频调幅波,经放大后,必须通过一个电路,以除去高频的载波,提取出发射端的音频信号。这个电路称作解调器,它的作用正好和发射端调制器的作用相反。将解调后的音频信号再经放大送到扬声器,将电能变为声能,就可以听到原发射端要传输的声音了。

从接收天线上收到的调幅波信号大约是 mV 级甚至是 μV 级,而解调器正常工作所需的电压约在 $0.5\text{V} \sim 1\text{V}$,因此要求高频放大器必须具有很高的增益。此外,接收机天线所接收的信号有很多,因此高频放大器必须具有选择性很强的调谐回路,用以滤除无用的信号而选择所需要的信号。实际上,要设计灵敏度很高且选择性很强的高频放大器是很困难的,为了解决这个问题,目前普遍采用超外差电路。

超外差电路是在接收机内由本机振荡器产生一个高频等幅信号,混频器将输入的高频调幅波和本机振荡器的高频等幅波两者变换为固定的中频调幅波,其幅度变化的规律和输入调幅波变化的规律完全一样。因此经解调、放大后,通过扬声器就可以听到原发射端的声音。混

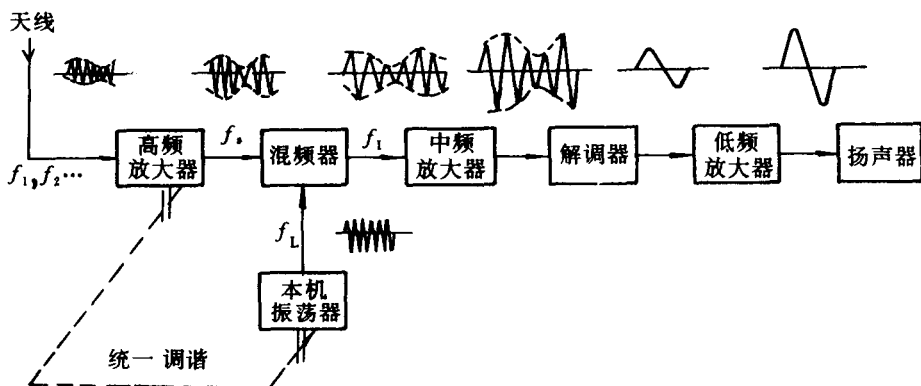


图 0-4 超外差式无线电接收机方框图

频产生的中频调幅波,中频为本振信号频率 f_L 与输入调幅波载频 f_s 之差,即 $f_1=f_L-f_s$ 。因中频是固定值(我国标准:调幅广播接收机 $f_1=465\text{kHz}$),故可采用多级中频放大器,容易满足增益高、稳定性好的要求。在设计和调试中,必须保证高频放大器和本机振荡器同步调谐,以保证混频器输出为中频等于固定值 465kHz 的调幅波。

5. 模拟电路系统的集成化

一个通信系统一般都包含若干功能不同的模拟电路,在 70 年代以前,这些电路主要由晶体管和一些无源元件构成,通常称为分立元件电路。随着科学技术的发展,对电子设备的微型化、低功耗、高稳定性指标提出了更高的要求,促进了集成电路的研制和蓬勃发展。70 年代末,在各种电子仪器和设备中,已广泛采用了集成的稳压电源、运算放大器、低频功率放大器及各种高频、中频放大器等集成器件。

1969 年研制成的集成模拟乘法器 MC1596,可以实现两个电压的相乘作用。它具有工作频带宽、温度稳定性好、无用的组合频率分量少等优点,广泛应用于调制、解调、混频、倍频等各种频率变换电路中。集成锁相环目前已有几百种型号的产品,通用型多功能集成锁相环用于实现频率合成、解调、锁相接收、信号产生等多种功能。

由通用型的单片集成器件,配合少量外接元件就可组成一个独立的子系统,以实现稳压、放大、有源滤波、调制解调等功能;如果将多种芯片组合起来,就可组成一个完整的电子系统。此外,还有根据某一系统的性能指标而设计的专用集成电路,它的规模更大,功能更全,设计更合理。例如单片集成调幅调频收音机,将调频高频头、中放、鉴频等电路集成在一个芯片上,并采用了锁相技术,而外围元件减少到只有十几个电阻、电容。又如彩色电视接收机的信号处理系统的集成化发展也很快,70 年代初它由 7~10 个单片组成,每个单片中约有 100 个元件;到 80 年代已发展为仅用 2 个单片组成,每个单片中有 600~1 000 个元件。随着集成工艺的改进和技术的提高,模拟集成电路的规模、功能及应用范围正在不断扩大和发展。

但要以集成电路完全取代分立元件电路,还有许多困难。一方面是某些元器件的集成化问题至今尚未解决,例如模拟电路中常用的电感元件、大电容、大电阻、调整元件等都采用外接方式,另一方面是目前的电路设计技术和集成电路工艺水平尚难满足高性能指标的要求,特别是高频大功率的设备,仍主要采用晶体管和电子管,因此在一些性能指标要求较高的模拟系统

中,尚保持着一定数量的分立元件电路。

6. 本书的内容及特点

本书的内容主要包括三方面:

- (1) 信号的放大:有小信号谐振放大器和大信号谐振功率放大器。
- (2) 信号的产生:正弦波振荡电路。
- (3) 信号的频率变换:有倍频、混频、调制、解调及锁相电路等。

本书内容涉及面广泛,电路较复杂,学习时应注意如下特点:

(1) 非线性电子电路中,为实现同一功能因指标要求不同,可采用形式各异的电路。另外,同一形式的电路,可因其工作状态、输入信号的性质、电平、输出滤波特性的不同,而完成不同的功能。因此在学习时,应注意掌握实现各种功能的基本工作原理,不同电路的优缺点比较及适用场合。对于集成器件,还要求弄清内部结构性能,这样才能灵活应用,充分发挥器件的功能,如果出现故障也能找到原因及时解决。

(2) 在非线性电子电路中,有源器件工作在特性的非线性区,对这种电路进行严格的定量分析,一般是很困难的,工程上大多采用近似方法,即根据实际情况,忽略一些次要因素,对器件的模型和电路工作条件进行合理的近似,以便用简单的分析方法求得具有实用意义的结果。因此在学习时,应注意各种电路在不同的工作条件下怎样进行简化,例如在不同信号电平下采用不同的电路分析方法,掌握各种电路在工程设计时的步骤和计算方法,也可利用计算机通用电路分析程序,对电路进行较严格的定量分析。

(3) 学习本书时,应注意理论和实际紧密结合,运用所学理论去分析和解决实践环节中遇到的问题,并通过实践加深对理论的理解。

第 1 章 小信号调谐放大器

小信号调谐放大器是一种窄带的选频放大器,是无线电接收设备的主要部件。本章讨论小信号调谐放大器的电路组成和性能指标的计算,包括小信号单调谐回路放大器、耦合双调谐回路放大器、参差调谐放大器及其构成的多级放大器,同时还讨论调谐放大器的稳定性问题。

1.1 概述

在无线通信系统中,信息的传送是通过载波携带信息来实现的,不同的无线电发射台,其载波频率 f_c 不同。在空间存在着许多无线电台发射的已调波信号,图 1-1(a)给出了若干组调幅信号的频谱。调幅信号具有窄带特性,设基带信息的最高频率为 F_m ,则调幅信号频带宽度为 $2F_m$ 。通常,调幅信号的相对带宽 $2F_m/f_c$ 是很小的,例如中央人民广播电台第一套节目的载波频率 $f_c=639\text{kHz}$,若 $F_m=5\text{kHz}$,则 $2F_m/f_c\approx 0.016$ 。

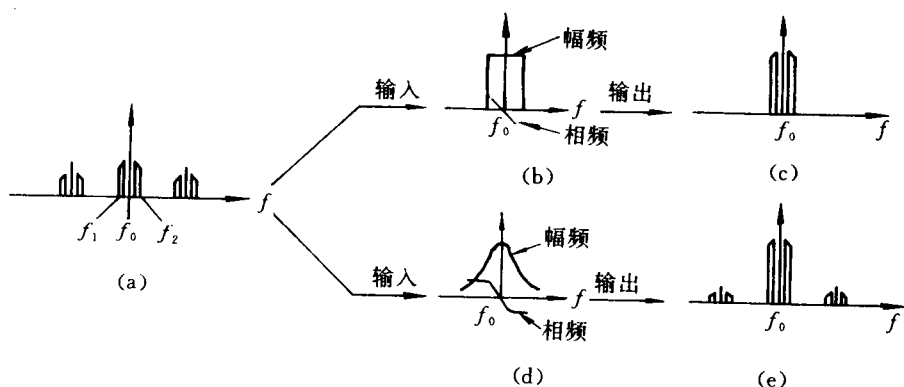


图 1-1 调幅信号和调谐放大器的特性

(a)调幅无线电信号;(b)理想特性;(c)理想输出;(d)实际特性;(e)实际输出

小信号调谐放大器通常是指接收机中混频前的高频放大器(中心频率可调,常称调谐放大器)和混频后的中频放大器(中心频率固定,常称谐振放大器)。采用谐振回路作为负载能够实现从一系列无线电信号中选择并放大一个有用信号,而有效地抑制其它的无用信号(称为干扰信号)。为了从图 1-1(a)中选择和不失真地放大有用信号,调谐放大器的幅频特性应是矩形的,如图 1-1(b)所示。在通频带内,增益是常数,相频特性是线性的;在通频带以外,增益为零。只有这样,才能使放大后的有用信号的各频谱分量保持原有的振幅和相位关系,并使干扰信号完全受到抑制,如图 1-1(c)所示。实际调谐放大器的幅频特性不可能是理想的,通常如图 1-1(d)所示,其输出如图 1-1(e)所示。已调波信号经放大后产生了频率失真和相位失真,同时通

频带外的增益也不为零,使其它无线电信号对有用信号的接收产生了干扰。

通常,对高频小信号调谐放大器有如下要求:

1. 增益

放大器输出电压(或功率)与输入电压(或功率)之比称为放大器的电压增益(或功率增益),用 A_V (或 A_P) 表示[也可用 dB(分贝)数计算]。为了提高接收微弱信号的能力,通常希望每级放大器的谐振增益(A_{V0} 或 A_{P0})尽量大,使满足总增益时其级数尽量少。

2. 通频带

放大器必须有一定的通频带,以便让有用信号中的所有频率分量都能通过放大器。通频带定义为:放大器电压增益下降到谐振电压增益的 $1/\sqrt{2}$ 时对应的频率范围,用 BW 表示,如图 1-2 所示。

3. 选择性

选择性是指放大器从各种不同频率信号中选出有用信号、排除干扰信号的能力。一般用放大器的相对增益

$$S = A_V / A_{V0} \quad (1-1)$$

描述放大器的选择性能。

为了衡量放大器幅频特性接近矩形的程度,通常又引入矩形系数这一参数。0.1 矩形系数定义为

$$K_{0.1} = BW_{0.1} / BW \quad (1-2)$$

式中, $BW_{0.1}$ 为相对增益下降至 0.1 处的带宽,如图 1-2 所示。显然,矩形系数越接近 1,实际幅频特性越接近矩形,则放大器在满足通频带要求下的选择性越好。

4. 稳定性

电路稳定是放大器正常工作的必要条件。稳定性是指放大器直流偏置、电路元件参数随温度等发生变化时放大器的增益、中心频率、通频带、幅频特性的稳定程度。在 1.3.7 节中将专门讨论小信号调谐放大器的稳定性问题。

除上述四个主要性能指标外,还要求噪声系数小。尤其是降低高频放大器的噪声系数可提高整机灵敏度。有关噪声问题将在第 9 章讨论。

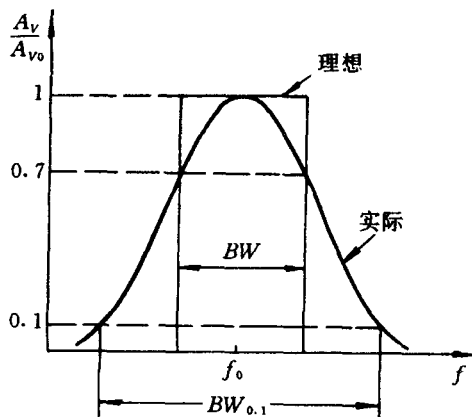


图 1-2 放大器的通频带和矩形系数

1.2 谐振回路

谐振回路通常由电感、电阻及电容组成,它们是最常用的选频网络。谐振回路分为单个的串联、并联谐振回路,以及将两个单谐振回路通过电容或电感耦联起来的耦合谐振回路。

1.2.1 并联谐振回路

用于选频放大器中的 LC 回路,应用最多的是并联谐振回路,如图 1-3(a)所示。图中, r 是