

教育部 高职高专 规划教材

高频电子技术 基础与应用

李金明 主编

李贵山 主审



化学工业出版社
职业教育教材出版中心

教育部高职高专规划教材

高频电子技术基础与应用

李金明 主编

李贵山 主审



化学工业出版社
职业教育教材出版中心

· 北 京 ·

图书在版编目 (CIP) 数据

高频电子技术基础与应用/李金明主编. —北京: 化学工业出版社, 2006. 6
教育部高职高专规划教材
ISBN 7-5025-8808-6

I. 高… II. 李… 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 (2006) 第 066439 号

教育部高职高专规划教材 高频电子技术基础与应用

李金明 主编

李贵山 主审

责任编辑: 高 钰

文字编辑: 李玉峰

责任校对: 凌亚男

封面设计: 关 飞

*

化学工业出版社 出版发行
职业教育教材出版中心

(北京市朝阳区惠新里 3 号 邮政编码 100029)

购书咨询: (010)64982530

(010)64918013

购书传真: (010)64982630

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

*

新华书店北京发行所经销
化学工业出版社印刷厂印装

开本 787mm×1092mm 1/16 印张 9¼ 字数 230 千字

2006 年 7 月第 1 版 2006 年 7 月北京第 1 次印刷

ISBN 7-5025-8808-6

定 价: 17.00 元

版权所有 违者必究

该书如有缺页、倒页、脱页者, 本社发行部负责退换

出版说明

高职高专教材建设工作是整个高职高专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、有关学校和出版社的共同努力下,各地先后出版了一些高职高专教育教材。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《高职高专教育专门课课程基本要求》(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。这500种教材中,专门课(专业基础课、专业理论与专业能力课)教材将占很高的比例。专门课教材建设在很大程度上影响着高职高专教学质量。专门课教材是按照《培养规格》的要求,在对有关专业的人才培养模式和教学内容体系改革进行充分调查研究和论证的基础上,充分汲取高职、高专和成人高等学校在探索培养技术应用型专门人才方面取得的成功经验和教学成果编写而成的。这套教材充分体现了高等职业教育的应用特色和能力本位,调整了新世纪人才必须具备的文化基础和技术基础,突出了人才的创新素质和创新能力的培养。在有关课程开发委员会组织下,专门课教材建设得到了举办高职高专教育的广大院校的积极支持。我们计划先用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型专门人才方面取得的成功经验,解决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规划教材,从而形成优化配套的高职高专教育教材体系。

本套教材适用于各级各类举办高职高专教育的院校使用。希望各用书学校积极选用这批经过系统论证、严格审查、正式出版的规划教材,并组织本校教师以对事业的责任感对教材教学开展研究工作,不断推动规划教材建设工作的发展与提高。

教育部高等教育司

2001年4月3日

前 言

本书是根据教育部《关于加强高职高专教育人才培养工作的意见》的精神，为满足高职高专电子、通信类及计算机应用专业等教育基本建设的需要，针对高职高专学生的特点，系统地介绍了高频电子技术的基本原理、基本性能和实践方法。

作为高等职业技术教育电子、信息类通信技术专业的一门核心技术课教材，在本书的编写中考虑了以下的原则与特点。

符合高等职业技术教育特点。以应用为目的，以必需、够用为度，以讲清概念、强化应用为教学重点，适当考虑培养学生具有一定的可持续发展能力；加强实用性和实践性。既讲述通信系统的基本知识和基本原理，又介绍新技术、新发展；注重通信技术在实际系统中的应用，注意吸收新技术和新的通信系统内容；讲述由浅入深，简明透彻，概念清楚，重点突出。着重基本概念、基本原理阐述，减少不必要的数学推导和计算。教材的宏观体系是，先基础知识，后系统介绍。每章后均设有小结和习题。第八章为高频电子电路应用，设有窄带调频发射器、接收器的制作；书后附录为每章实践环节提供了 11 个实践内容，其电路参数均为验证后正常工作参数，可根据实际教学条件，取舍实践内容。这样既便于教师组织教学，又利于学生自己动手实践。

本书参考学时为 64 学时，外加一到两周实践教学，选用本书作为教材可根据课程设置的具体情况、专业特点和教学要求的侧重点不同进行自由取舍，灵活讲授。

本书有针对性地认真分析解决目前高频电子技术教学中存在的各种问题，积极探索，以应用为主设置教学内容，增加计算机在高频电子技术教学中应用的广度和深度，采用多媒体仿真，彻底地改革传统的教学模式和教学方法，重新定位培养目标、教学重点和教学内容，使高频电子技术教学跟上全国高职高专高频电子技术教育教学改革和发展的步伐，更加贴近各个专业发展的实际要求，为提高其教学质量奠定一个坚实的基础；在此基础上，我们从高职高专的特点出发，以“必需、够用”为原则，编写了本教材。

本书既适于高职高专和专科层次的各类高校通信、电子、计算机应用等专业作为教材选用，也可作为高等技术教育独立本科院校有关专业参考教材。

本书由李金明主编并编写第 1、2、8 章、附录实践内容；杨建平编写第 3、4、5、7 章；赵虎利编写第 6 章。李贵山教授主审，并提出了十分宝贵的意见，在此表示十分感谢。

由于编写时间仓促，编者水平有限，书中不妥之处热诚欢迎读者提出批评和建议。

编者

2006 年 6 月

《高频电子技术及应用》主要符号

一、器件及参数符号

C	电容
C_j	变容二极管等效电容
f	频率
R	电阻
R_p	电位器
S	开关
VD	二极管
VT	三极管
ω	角频率
φ	相位角
θ	相位
Z	电抗
L	电感
Q	品质因数
A	放大器
M	互感系数
K	传输系数
Ω	调制信号角频率
η_d	检波效率
m_a	调幅系数
m_f	调频系数
m_p	调相系数
n	接入系数

r	变容指数
λ	波长
T	绝对温度
g	电导
P	功率
BW	通频带
y	导纳
V_{P-P}	峰-峰值

二、电压、电流

$V_{CC}、V_{DD}、V_{SS}$	电源电压
$\dot{U}$	非线性电压
$\dot{I}$	非线性电流
u	交流电压
g	电导
U_{cm}	调幅波的瞬时幅值
u_{Ω}	调制信号
u_c	载波信号
u_{AM}	调幅波
u_{FM}	调频波
u_{PM}	调相波
u_{DSB}	双边带调幅波
u_{SSB}	单边带调幅波

目 录

第 1 章 绪论	1
1.1 信息技术	1
1.1.1 无线电的传播特性	1
1.1.2 无线电波段的划分	1
1.2 无线通信系统	2
1.2.1 无线通信系统的组成	2
1.2.2 无线通信系统的类型	4
1.2.3 无线电广播系统通信设备的组成	4
1.3 本课程的特点	5
习题	5
第 2 章 高频电路基础知识	6
2.1 高频电路中的元器件	6
2.1.1 高频电路中的元件	6
2.1.2 高频电路中的有源器件	6
2.2 天线	7
2.2.1 对称天线和单极天线	7
2.2.2 抛物线天线和微带天线	8
2.3 放大电路内部噪声的来源和特点	9
2.3.1 电阻的热噪声	9
2.3.2 晶体三极管的噪声	10
2.3.3 场效应管的噪声	10
2.4 电路噪声的计算	10
2.4.1 噪声等效电压源和等效电流源	10
2.4.2 串并联电阻的噪声计算	10
2.4.3 放大电路噪声的表示方法及计算	11
2.5 噪声系数	12
2.5.1 噪声系数的定义	12
2.5.2 噪声系数的表示	13
2.5.3 噪声性能的另一表示——噪声温度	13
2.5.4 多级放大器的噪声系数	14
2.5.5 常用噪声系数的计算方法	15
本章小结	16
习题	16
第 3 章 高频小信号放大器	17

3.1 概述	17
3.2 高频小信号放大器的功能	17
3.2.1 高频小信号放大器的分类	17
3.2.2 高频小信号放大器的主要性能指标	17
3.3 分析小信号放大器的有关知识	18
3.3.1 串并联谐振回路的特性	18
3.3.2 双口网络的Y参数	22
3.4 小信号谐振放大器	24
3.4.1 单级单调谐放大器	24
3.4.2 多级单调谐放大器	27
3.4.3 双调谐回路谐振放大器	28
3.4.4 集中选频放大器	30
3.4.5 谐振放大器的稳定性	34
3.5 各种滤波组件	36
3.5.1 石英晶体谐振器	36
3.5.2 压控振荡器(VCO)	40
本章小结	42
习题	43
实训内容	44
第4章 高频功率放大器	45
4.1 概述	45
4.1.1 高频功率放大器的功能	45
4.1.2 高频功率放大器的分类	45
4.1.3 高频功率放大器的主要技术指标	45
4.2 高频功率放大器	46
4.2.1 谐振功率放大器的基本原理	46
4.2.2 谐振功率放大器的工作状态分析	49
4.2.3 谐振功率放大器电路	52
4.3 倍频器	57
4.3.1 丙类倍频器	58
4.3.2 参量倍频器	58
本章小结	60
习题	61
实训内容	62
第5章 幅度调制与解调电路	63
5.1 概述	63
5.1.1 振幅调制电路	63
5.1.2 振幅解调电路	63
5.1.3 混频电路	64
5.2 幅度调制电路	65

5.2.1 普通调幅分析	66
5.2.2 双边带调幅分析	69
5.2.3 单边带调幅分析及实现模型	71
5.3 幅度解调电路	73
5.3.1 二极管包络检波电路	74
5.3.2 同步检波电路	76
5.4 混频器	78
5.4.1 混频电路	79
5.4.2 变频干扰	81
本章小结	83
习题	84
实训内容	85
第6章 角度调制与解调电路	86
6.1 概述	86
6.2 角度调制	86
6.2.1 调频信号的数学分析	87
6.2.2 调相信号的数学分析	88
6.2.3 调角信号的频谱和频谱宽度	89
6.3 调频电路	92
6.3.1 直接调频电路	93
6.3.2 间接调频电路	98
6.4 调频波的解调	100
6.4.1 相位检波电路	100
6.4.2 频率检波电路	106
本章小结	109
习题	109
实训内容	110
第7章 反馈控制电路	111
7.1 概述	111
7.1.1 自动振幅控制原理	111
7.1.2 自动频率控制原理	111
7.1.3 自动相位控制原理	112
7.2 锁相控制电路(PLL)	112
7.2.1 锁相环路的基本原理	112
7.2.2 环路“锁定”的基本概念	116
7.3 自动频率控制电路	116
7.3.1 自动频率控制电路的工作原理	116
7.3.2 自动频率控制电路的应用	117
7.4 自动增益控制原理	118
7.4.1 AGC 电路的工作原理	118

7.4.2 AGC 电路的分类	119
本章小结	120
习题	120
实训内容	120
第 8 章 高频电子电路在通信技术方面的应用	121
8.1 制作一: 49.67MHz 窄带调频发射器的制作	121
8.1.1 制作内容及要求	121
8.1.2 制作原理	121
8.1.3 电路制作说明	122
8.2 制作二: 49.67MHz 窄带调频接收器的制作	122
8.2.1 制作内容及要求	122
8.2.2 制作原理	122
8.2.3 制作电路说明	123
8.3 单片机无线串行接口电路设计	124
8.3.1 概述	124
8.3.2 电路组成及工作原理	124
8.3.3 单片机串行接口电路	126
附录	127
实验一 调谐放大器	127
实验二 LC 电容反馈式三点式振荡器	129
实验三 石英晶体振荡器	131
实验四 高频功率放大器 (丙类)	131
实验五 振幅调制器 (利用乘法器)	133
实验六 调幅波信号的解调	135
实验七 变容二极管调频振荡器	137
实验八 相位鉴频器	138
实验九 压控振荡器构成的频率调制器	140
实验十 集成电路 (锁相环) 构成的频率解调器	141
实验十一 利用二极管函数电路实现波形转换	142
参考文献	144

第1章 绪 论

一个世纪以来，在自然科学方面有很多的发现和发明，无线电是这些发明中极其重要的一种。它从诞生到现在的一个多世纪中，对人类的生活和社会的进步起着非常重要的作用和影响。

1.1 信息技术

信息技术概括起来包括两类技术：信息处理和信息传输。信息是一个抽象的概念。具体形式有声音、图像、文字、数据等，这些信息经过传感器转换为电信号，就成为信息技术要处理的对象。

通信也叫信息传递，它的主要任务是传递信息，即将经过处理的信息从一个地方传递到另一个地方。对信息传递的要求主要是提高其可靠性和有效性。信息处理的目的是为了更可靠、更有效地传递信息。

高频电子技术是通信系统的基础，特别是无线通信系统的基础，通信技术的发展充分地反映无线电技术的发展。本书主要将以无线通信系统的内容为研究对象，着重讨论无线通信设备中各个单元电路的基本原理及其应用。

1.1.1 无线电的传播特性

无线电的传播特性指的是无线电信号的传播方式、传播距离、传播特点等。无线电信号的传播特性依其所处的波段或频率而不同。

电磁波从发射机天线辐射后，不仅电波的能量会扩散，接收机只能收到其中极小的一部分，而且在传播过程中，电波的能量会被地面、建筑物或高空的电离层吸收或反射，或在大气层中产生折射或散射，从而造成强度的衰减。电波的传播方式如图 1-1 所示。

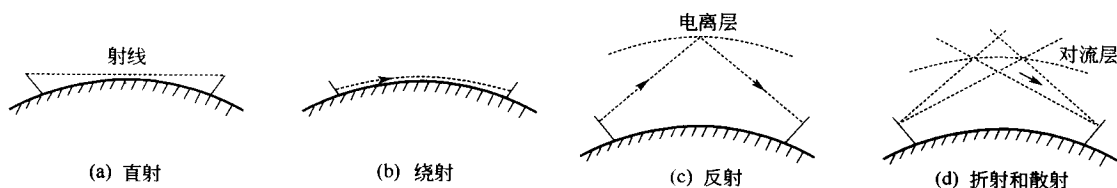


图 1-1 电波的传播方式

根据无线电波在传播过程所发生的现象，电波的传播方式主要有：直射（视距）[图 1-1(a)]，绕射（地波）[图 1-1(b)]，反射 [图 1-1(c)]，折射和散射（天波）[图 1-1(d)]。决定传播方式的关键因素是无线电信号的频率。

1.1.2 无线电波段的划分

无线电信号都具有一定的频率和波长。电磁波辐射的波谱很宽，在自由空间中，波长 (λ) 与频率 (f) 存在以下关系

$$C = f\lambda$$

式中， C 为光速。

根据无线电信号的传播特性，无线电波段的划分如表 1-1 所示。

表 1-1 无线电波段的划分

波段名称		波长范围	频率范围	频段名称	主要传播方式和用途
长波(LW)		10~10 ⁴ m	30~300kHz	低频(LF)	地波;远距离通信、航海设备
中波(MW)		10 ² ~10 ³ m	300kHz~3MHz	中频(MF)	地波、天波;广播、通信、导航
短波(SW)		10~100m	3~30MHz	高频(HF)	天波、地波;广播、通信
超短波(VSW)		1~10m	30~300MHz	甚高频(VHF)	直线传播、对流层散射;通信、电视广播、调频广播、雷达
微波	分米波(USW)	10~100cm	300MHz~3GHz	特高频(UHF)	直线传播、散射传播;通信、中继与卫星通信、雷达、电视广播
	厘米波(SSW)	1~10cm	3~30GHz	超高频(SHF)	直线传播;中继和卫星通信、雷达
	毫米波(ESW)	1~10mm	30~300GHz	极高频(EHF)	直线传播;微波通信、雷达

应当明白，不同频段的无线电信号具有不同的分析与实现方法，对于米波以上（含米波， $\lambda \geq 1 \text{ m}$ ）的信号，通常用集中参数来分析以实现；而对于米波以下（ $\lambda < 1 \text{ m}$ ）的信号，应用分布参数的方法来实现；对于微波信号，则一般应用电磁场的理论与方法来实现。

1.2 无线通信系统

1.2.1 无线通信系统的组成

广义地说，凡是在发信者和受信者之间，以任何方式进行消息的传输，都可以称为通信。实现消息传递所需的设备的总和，称为通信系统。以电信号作为消息载体的通信系统，称为电信系统或现代通信系统。其组成方框图如图 1-2 所示。

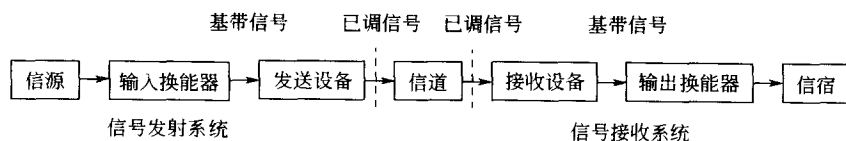


图 1-2 通信系统组成方框图

(1) 换能器

信源是指需要传输的原始信息，如声音、图像、文字等，一般是非物理量。输入换能器是将信源提供的非电量信息转换为电压或电流信号，这种信号称为基带信号。基带信号的特点是频率较低，带宽相对较宽，如语音基带信号带宽为 $300 \sim 3400 \text{ Hz}$ ，电视基带信号带宽为 $0 \sim 6 \text{ MHz}$ 。输出换能器的作用与输入换能器的作用相反，它是将接收设备输出的基带信号还原成原始信息。

(2) 发送设备

发送设备的主要任务是调制和放大。通信系统中大多数的基带信号不宜在信道中直接传输，因此，必须将基带信号转换成适合信道传输的频带信号，这个过程称为调制。

调制就是用待传输的基带信号去控制高频振荡电路产生的载体信号的某个参数（幅度、频率或相位），使其参数随基带信号作线性变化的过程。例如，在连续波调制中，用基带信号去控制高频振荡器的振幅，称其为幅度调制，简称调幅（AM）；用基带信号去控制其频率，

称其为频率调制,简称调频(FM);用基带信号去控制其相位,称其为相位调制,简称调相(PM)。通常基带信号称为调制信号。经过调制后的高频振荡信号带有基带信号的信息,称为已调信号;而未被调制的高频振荡信号是运载信息的载体,称为载波信号。

(3) 信道

信道是传输信息的通道,也称其为传输媒介。信道可分为两大类:有线信道和无线信道。不同的信道有不同的传输特性,同一信道对不同频率的信号传输特性不同。1989年,GSM(global system for mobile communication)数字蜂窝系统引用了900MHz频段,它包括两个25MHz带宽子频段,即890~915MHz上行频率以及935~960MHz下行频率;信道号为1~124信道,共计124对信道。1990年,又开发了GSM的另一个分支DCS1800,即1710~1785MHz上行频率以及1805~1880MHz下行频率,信道号为512~885信道,共计374对信道。只能在900MHz频率附近运行的手机被称为单频手机,能在900MHz和1800MHz频率附近运行的手机被称为双频手机。频段分配如图1-3所示。

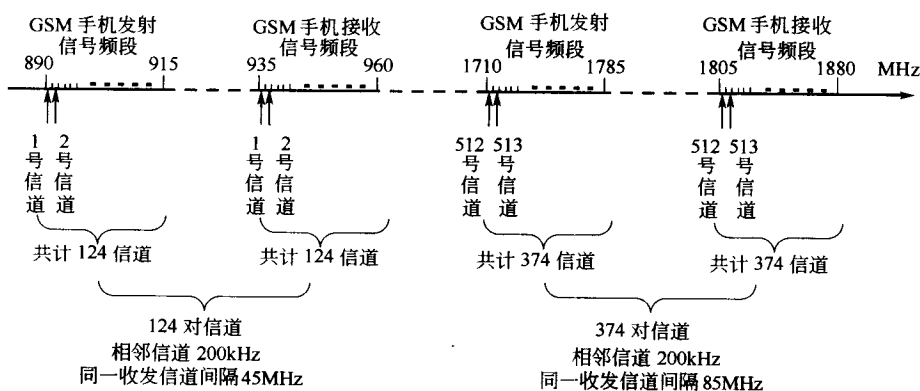


图 1-3 GSM 频段分配图

应当注意:无线电波的传播方式与其波长有关。无线电波传播是无线通信系统中的一个重要环节,其主要传播方式有三种:沿地面传播的地波,靠电离层折射、反射传播的天波,以及沿空间直线传播的空间波。无线电波是一种电磁波,当沿地面传播时,由于地面不是理想的导体,将造成能量的损耗,且这种损耗随频率的升高而增加,因此,通常只有中、长波适合地面传播。频率超过30MHz以上的超短波主要是空间直线传播,这种传播只限于视线范围,而卫星通信使空间传播的距离大大增加。在1.5~30MHz范围的短波,目前主要依靠电离层的折射和反射进行传播。无线电波到达电离层后,一部分能量被吸收,一部分能量被折射和反射到地面。其中,频率较低的电磁波被反射到地面,频率较高的电磁波会穿过电离层,形成天波,这就是30MHz以上的超短波沿空间直线传播的原因。

(4) 接收设备

接收设备的任务是选频、放大和解调。就是将信道传来的已调信号进行处理,恢复出与发射端相一致的基带信号,这个过程称为解调,解调就是调制的逆过程。由于信道的衰减特性,经远距离传输到接收端的信号能量很弱,所以需要经过放大以后才能进行解调。同时,信道中还存在许多干扰信号,因此,接收设备还必须有选择器、滤波器,抑制或滤掉干扰信号。

1.2.2 无线通信系统的类型

无线通信系统按照工作频段划分为中波通信、短波通信、超短波通信、微波通信和卫星通信等。

所谓工作频率，主要指发射与接收的射频（RF）频率。射频频率就是载波射频，射频实际上就是“高频”的广义语，它是指适合无线电发射和传播的频率。无线通信的发展方向就是开辟更高的频段。

- ① 按照传输手段分，有无线通信、有线通信和光纤通信等。
- ② 按照通信方式分，主要有（全）双工、半双工和单工方式。
- ③ 按照调制方式的不同分，有调幅、调频、调相以及混合调制等。
- ④ 按照传送的信号类型分，有模拟通信和数字通信，也可以分为语音通信、图像通信、数据通信和多媒体通信等。

不同类型的通信系统，其系统组成和设备的复杂程度有很大不同，但是组成设备的基本电路及其原理都是相似的。

1.2.3 无线电广播系统通信设备的组成

无线通信（或称无线电通信）的类型很多，可以根据传输方法、频率范围、用途等分类。不同的无线通信系统，其设备组成和复杂程度虽然有较大差异，但它们的基本组成相似。按工作模式和电路组成成分，无线通信系统可分为单工、半双工和双工无线通信。

无线广播系统由发射设备和接收设备组成，无线广播系统的发射设备如图 1-4 所示。

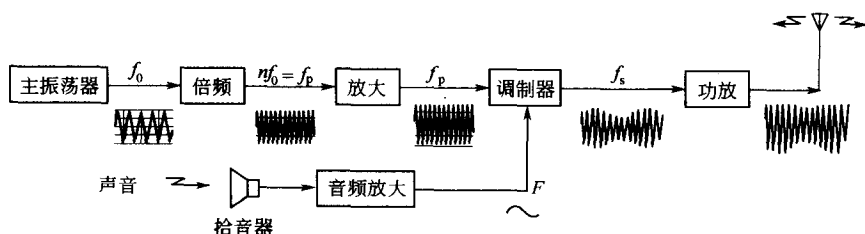


图 1-4 无线广播系统的发射设备

无线广播系统的接收设备广泛使用超外差接收机，其主要特点是由频率固定的中频放大器来完成对接收信号的选择和放大。当信号频率改变时，相应改变本地振荡信号频率即可，超外差接收设备组成的框图如图 1-5 所示。

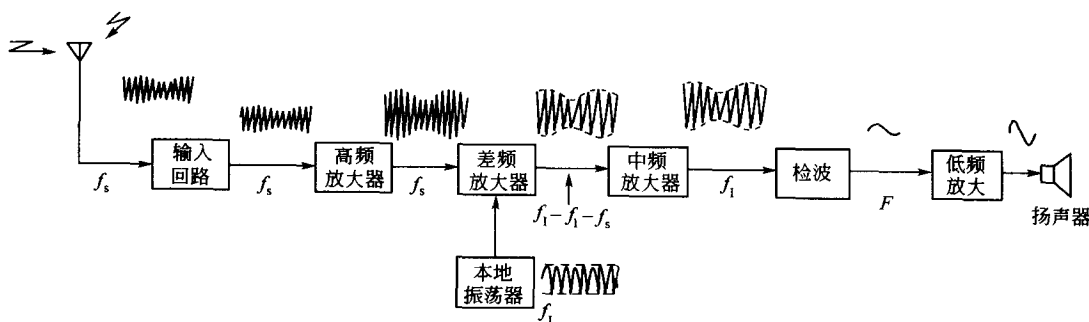


图 1-5 超外差接收设备

由无线通信系统的基本组成可看出，高频电子线路的基本内容包括：高频振荡器、高频

小信号放大器、混频或变频器、调制与解调器、高频功率放大器，此外，选频网络和电路的噪声也是高频电子线路的基本内容。

1.3 本课程的特点

高频电子技术是低频电子技术（模拟电子技术）的后续课程。从其处理的信号频率角度来说，发射和接收的信号都是高频信号，这是相对于需要传送的音频信号和视频信号来说的。通常称这些音频和视频信号为基带信号。基带信号的特点是信号频带较宽，宽带信号包含大量低频信号的能量。这些信号不宜在空间传播，特别是远距离传播。为了能够在无线信道有效地传播低频信号，就必须进行调制，将基带信号变换为适合于传播的高频信号，即已调信号。已调信号属于窄带信号。

调制和解调是一种变换，通信系统中的发射设备和接收设备的任务就是进行这种变换。因此，在这些设备中，必定包含有非线性电子器件。本教材在阐述各部分高频电子线路中，除高频小信号谐振放大器外，其它部分都为非线性电路。

相对于线性电子电路的分析而言，非线性电子电路的分析方法比较复杂，求解也十分困难。但是，可以根据实际情况，通过工程分析方法，借助于 EDA 仿真软件，PSpice、EWB、Protel99 等软件，对电子器件和电子电路的数学模型和工作条件进行仿真，也可获取符合实际情况的具有实际意义的结果。

习 题

1. 什么是通信系统？什么是 FM、AM、PM？
2. 通信系统由哪些部分组成？
3. 什么是调制？什么是解调？
4. 你的手机是单频手机还是双频手机？
5. 手机信号传输属于哪种传播方式？

第2章 高频电路基础知识

高频电路基本上是由无源元件、有源器件和无源网络组成的。高频电路中使用的元器件与低频电路中使用的元器件频率特性是不同的。高频电路中无源线性元件主要是电阻器、电容器和电感器。掌握本章内容是非常重要的。

2.1 高频电路中的元器件

2.1.1 高频电路中的元件

(1) 电阻

一个实际的电阻器，在低频时主要表现为电阻特性，但在高频时不仅表现有电阻特性的一面，而且还表现有电抗特性的一面。电阻器的电抗特性反映的就是其高频特性。

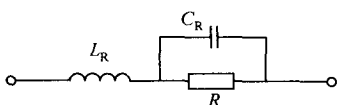
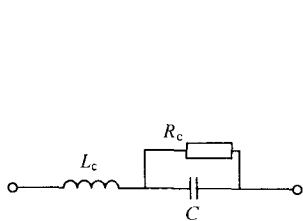


图 2-1 电阻器的高频等效电路

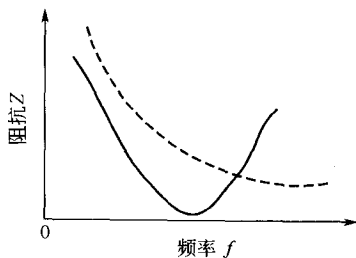
一个电阻器的高频等效电路如图 2-1 所示，其中， C_R 为分布电容， L_R 为引线电感， R 为电阻。

(2) 电容

一个实际电容器的高频等效电路如图 2-2(a) 所示，其中 R_c 为损耗电阻， L_c 为引线电感。容抗与频率的关系如图 2-2(b) 实线所示，其中 f 为工作频率， $\omega = 2\pi f$ 。



(a) 电容器的高频等效电路



(b) 电容器的阻抗特性

图 2-2 电容器的高频等效电路

由介质隔开的两导体构成电容。一个理想电容器的容抗为 $1/(j\omega C)$ ，电容器的容抗与频率的关系如图 2-2(b) 虚线所示，其中 f 为工作频率， $\omega = 2\pi f$ 。

(3) 电感

理想高频电感器 L 的感抗为 $j\omega L$ ，其中 ω 为工作角频率。实际高频电感器存在分布电容和损耗电阻，自身谐振频率 S_{RF} 。在 S_{RF} 上，高频电感阻抗的幅值最大，而相角为零，特性如图 2-3 所示。

2.1.2 高频电路中的有源器件

(1) 二极管

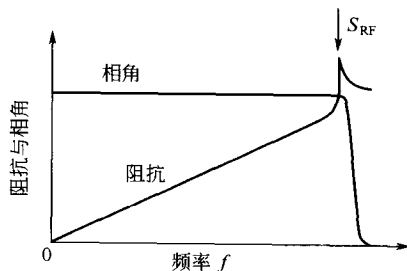


图 2-3 高频电感器的自身谐振频率 S_{RF}

半导体二极管在高频电路中主要用在检波、调制、解调及混频等非线性变换电路中。而变容二极管主要应用于压控振荡器、角度调制、角度解调及反馈控制电路中,如自动增益控制(AGC)、自动频率控制(AFC)、锁相环(PLL)等电路。

(2) 晶体管与场效应管(FET)

在高频电路中应用的晶体管仍然是双极型晶体管和各種场效应管,在外形结构方面有所不同。高频晶体管有两大类型:一类是作小信号放大的高频小功率管,对它们的主要要求是高增益和低噪声;另一类为高频功率管,其在高频工作时允许有较大管耗,且输出功率较大。

(3) 集成电路

用于高频的集成电路的类型和品种主要分为通用型和专用型两种。

2.2 天线

信号经过发射机调制成高频电流能量,然后经过馈线至发射天线。发射天线将该能量转换为向空间辐射的电磁波,并按指定的方向按照一定的方式传播后,在接收端再用天线接收下来,完成信号传递任务。接收天线和发射天线的作用是可逆的,同一天线用作发射和接收的性能是相同的(例如:手机天线),性能良好的天线可以改善信号分布、增大信噪比、降低比特率,以及能克服覆盖范围内的薄弱环节,甚至可以降低功率损耗。

天线的分类方法很多,按用途可分为通信天线、广播天线和雷达天线等;按使用波段可分为长波天线、中波天线、短波天线、超短波天线和微波天线等;以天线特性来分,从工作频率的角度可分为宽频带天线和窄频带天线;从方向的角度可分为强方向天线和弱方向天线;从极化方式可分为线极化和圆极化等;按工作原理可分为驻波天线和行波天线等;按形状又可分为线式天线和面式天线。无论是哪种天线,它们都是由基本类型天线组成。

本节将扼要介绍两种常用的天线:线式天线和面式天线。线式天线是由半径远小于波长的导线构成的天线,如对称天线和单极天线等;面式天线是用尺寸大于波长的金属或介质构成的面状天线,如抛物面天线和微带天线等。线式天线主要用于长、中短波波段;面式天线主要用于微波波段;超短波波段则二者兼用。

天线的基本性能参数是方位(或极角)辐射图和垂直面辐射图,其它的重要参数是波束宽度、带宽、前后向比和极化。

2.2.1 对称天线和单极天线

(1) 对称天线

对称天线是应用十分广泛的一种天线,在通信、雷达等无线电设备中既可以作单元天线使用,又可以作面式天线的馈源或阵列天线的单元。对称天线的结构如图2-4所示,由两段长度和粗细都相等的导线构成,天线每个臂长用 l 表示,天线导线的半径用 a 表示。由于对称天线有两个臂,因而也称为偶极天线。

偶极天线通常由天线中心点的传输线来馈电,在工作波长的半波长处产生谐振,阻抗为 72Ω 。由于导线截面大小、天线末端边缘和附近物体产生的效应的差异,实际偶极谐振波长比理论波长要短 $3\%\sim 5\%$ 左右。图2-4(b)、(c)是垂直偶极天线辐射图,将垂直图与方位图互换即为水平偶极天线辐射图。

(2) 单极天线