 电子信息与电气学科规划教材·电子信息科学与工程类专业

高频电子线路

(第3版)

廖惜春 编著

LD00756940



电子工业出版社

PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY

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

电子信息与电气学科规划教材·电子信息科学与工程类专业

高频电子线路

(第3版)

廖惜春 编著

电子工业出版社

Publishing House of Electronics Industry

北京·BEIJING

内 容 简 介

本书共 11 章, 主要内容包括: 绪论, 无线电通信系统的整机概念, 高频有源器件的特性和非线性电路常用分析方法, 选频网络与谐振放大器, 谐振功率放大器, 线性频谱搬移技术与电路, 非线性频谱搬移技术与电路, 数字调制与解调, 反馈控制电路与锁相环路, 通信系统及通信新技术简介及相关实验等内容。

本书可作为电子信息工程、通信工程等相关专业本科生的教材, 也可供工程技术人员参考。

未经许可, 不得以任何方式复制或抄袭本书之部分或全部内容。

版权所有, 侵权必究。

图书在版编目(CIP)数据

高频电子线路/廖惜春编著. —3 版. —北京: 电子工业出版社, 2010. 2

电子信息与电气学科规划教材. 电子信息科学与工程类专业

ISBN 978-7-121-10250-9

I. 高… II. 廖… III. 高频—电子电路—高等学校—教材 IV. TN710. 2

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2010)第 010241 号

责任编辑: 凌毅

印 刷: 北京市李史山胶印厂

装 订:

出版发行: 电子工业出版社

北京市海淀区万寿路 173 信箱 邮编 100036

开 本: 787×1092 1/16 印张: 21. 25 字数: 544 千字

印 次: 2010 年 2 月第 1 次印刷

印 数: 4000 册 定价: 35. 00 元

凡所购买电子工业出版社图书有缺损问题, 请向购买书店调换。若书店售缺, 请与本社发行部联系。联系及邮购电话: (010)88254888。

质量投诉请发邮件至 zltz@phei.com.cn, 盗版侵权举报请发邮件至 dbqq@phei.com.cn。

服务热线: (010)88258888。

第 3 版前言

“高频电子线路”是一门工程性和实践性很强的专业基础课,主要介绍模拟通信系统中的基本功能电路、工作原理、分析方法及实现方法。高频电路的各个功能电路虽然经历了电子管、晶体管、场效应管、集成电路及大规模集成系统等不同的实现过程,但是各功能电路输入信号与输出信号的频谱变换关系没有变,基本原理和分析方法也没有变。本书主要内容包括:选频网络与单片滤波器、高频小信号谐振放大器、噪声与干扰、高频功率放大器、正弦波振荡器、线性和非线性频谱变换技术(模拟调制和解调)、反馈控制与锁相环路等单元电路的分析与设计。尽管如此,高频电子线路在实际应用方面,却在日新月异的变化,尤其是新器件、新技术层出不穷。

根据教育部电子信息科学与电气类基础课程教学指导分会 2004 年 8 月修订的“电子线路(II)”课程教学基本要求,本书仍坚持面向工程应用,遵循“打好基础、加强实践,培养学生综合素质”的原则,结合无线电通信技术的发展现状及作者的教学实践和科研成果,参考国内外相关文献,根据初学者对高频电路的适应情况,按超外差接收机的电路组成中各单元电路原理及知识点的先后顺序,从高频电路的选频回路、滤波器入手,到信号的调制解调、反馈控制电路和无线电通信的应用新技术等内容,做了大幅度调整、修改,补充了不少新内容,突出了无线电通信系统的基本单元电路与整机概念之间的关系,及系统的增益、带宽、噪声、稳定性、调制与解调和非线性器件的频谱变换等重要概念。结合几年来的教学实践及读者的反馈意见,本书修正了第 2 版中仍存在的一些错误,同时为了方便读者自学,增加了一定数量的例题,更新了一些应用电路和习题,使本书更具有承前启后和系统性。授课过程中,建议选用收音机等 2~3 套无线电整机电路,结合本课程的教学内容介绍各单元电路的功能和分析方法,锻炼学生的读图能力和建立“系统”的概念。

为了培养初学者对高频电路的兴趣,结合我们的教学、科研工作的经验及市场的现实情况,本书中介绍了一些高频电路的应用电路,并将配套本书已开设的实验内容编写成第 10 章,供读者参考。本书还结合无线电通信的新技术,介绍了软件无线电技术的基本概念、蓝牙技术、IEEE 802.11b、ZigBee 和 nRF 系列等短距离无线通信技术,以此抛砖引玉,引导创新。考虑到初学者自行设计制作高频发射/接收电路时,普遍存在结构和工艺问题,难以达到预期的效果,因此,建议初学者采用现有射频模块构建相应的高频通信电路或系统。

本书的编写得到了五邑大学各级领导的大力支持,还得到了广东省科技计划项目(2007B01007034)的资助。本书由廖惜春编著,肖健华、杨芷华、陈鹏、赵顺喜也参与了部分编写工作,还得到了麦汉荣、丘敏、廖劲光、韩波、王健、郭洪威及王仁红等研究生的帮助,本书第 1 版、第 2 版的读者和相关任课教师也提供了宝贵意见和建议,参考文献中的各位作者为本书

提供了丰富的参考资料,电子工业出版社有关领导和责任编辑凌毅为本书的编辑出版付出了辛勤劳动,在此一并表示衷心感谢!

本书免费提供电子课件和部分习题参考答案,读者可从华信教育资源网 [www. hxedu. com. cn](http://www.hxedu.com.cn) 注册后免费下载。

由于时间仓促,加之水平有限,书中错误和不妥之处在所难免,敬请读者予以批评指正,以便今后不断改进。

作者
2009年12月

本书常用符号

A	运算放大器或放大器增益	K	回路耦合系数
A_u	放大器电压增益	$K_{0.1}$	矩形系数
A_p	放大器功率增益	K_a	调幅(比例常数)调制灵敏度
$A(\omega)$	幅频特性	K_d	检波效率
A_{pm}	额定功率增益	K_f	调频波调制灵敏度
BW	已调波信号的有效频谱带宽	K_m	乘积系数
$BW_{0.7}$	选频回路通频带	K_P	调相波调制灵敏度
C	电容器或电容量	L	电感器或电感量
C_j	变容二极管等效电容	M	互感系数
C_M	耦合电容	m_a	调幅指数
e	感应电动势	m_f	调频指数
\dot{E}	感应电动势相量	m_P	调相指数
f	频率	$n_1、n_2$	回路接入系数
F	调制信号频率	N_f	噪声系数
Δf_n	热噪声等效带宽	P_c	BJT 集电极功率损耗
g	电导	P_E	电源提供的功率
$g_{ie}、g_{oe}$	BJT 共射极应用时的输入、输出电导	$P_{ni}、P_{no}$	输入、输出噪声功率
g_c	跨导、变频跨导	P_o	交流输出功率
g_m	BJT、FET 跨导	$P_{si}、P_{so}$	输入、输出信号功率
G	等效回路中的总电导	Q_L	谐振回路有载品质因数
i	交流电流	Q_0	串联谐振回路空载品质因数
i_B	交流直流共存的(基极)电流	Q_P	并联谐振回路空载品质因数
i_b	交流(基极)电流	r	交流电阻
i_C	交流直流共存(集电极)电流	R	直流电阻
\bar{i}_n^2	噪声电流均方值	r_d	二极管导通电阻
I	直流电流	R_o	输出电阻或串联回路谐振电阻
\dot{I}	正弦电流向量	R_P	并联回路谐振电阻
I_{co}	集电极脉冲电流中的平均值(直流分量)	S_d	鉴频跨导
I_m	交流电流的幅值	$s(t)$	开关函数
I_{cim}	集电极脉冲电流中的基波分量幅值	$S(f)$	功率谱密度
$J_n(m)$	贝塞尔函数	S_f	调频灵敏度
		u	交流电压
		u_{AM}	调幅波电压
		u_b	交流输入电压

u_{BE}	交流直流共存电压	X_L	电感器感抗
u_c	载波电压	Y	电抗或 Y 参数
u_L	本机振荡电压	Z	阻抗
u_{Ω}	调制信号电压	ω	交流电量角频率
u_{FM}	调频波电压	$\Delta\omega_m$	调角波最大频偏
u_i	输入信号电压	ω_0	串联谐振回路谐振角频率
u_o	交流输出电压	ω_P	并联谐振回路谐振角频率
u_s	信号源电压	ω_c	载波角频率或调角波载波中心角频率
\bar{u}_n^2	噪声电压均方值		
U	直流电压或正弦电压有效值	ω_L	本机振荡电量角频率
\dot{U}	正弦电压向量	Ω	调制信号角频率
U_{CC}	BJT 集电极直流电源电压	$\theta(t)$	调角波瞬时相角
U_m	正弦电压幅值	φ	相位角
\dot{X}_i	反馈系统输入电量	ξ	谐振回路广义失谐
\dot{X}_d	反馈系统差值电量	δ	谐振曲线中心凹陷量
\dot{X}_{id}	反馈系统净输入量	η	回路耦合系数、耦合效率
\dot{X}_f	反馈系统反馈电量	η_c	电源转换效率
\dot{X}_o	反馈系统输出电量	η_k	调谐回路的耦合效率
X_C	电容器容抗	θ_c	电流流通角

目 录

第 0 章 绪论	1
0.1 概述	1
0.2 无线电通信系统的基本组成	3
0.2.1 通信系统的组成	3
0.2.2 调制与解调	3
0.2.3 无线电收、发信机	4
0.2.4 本课程的特点	7
思考题与习题	7
第 1 章 选频电路与滤波器	8
1.1 选频网络	8
1.1.1 LC 串联谐振回路	8
1.1.2 LC 并联谐振回路	12
1.1.3 阻抗变换与接入系数	16
1.1.4 耦合电路	20
1.2 常用滤波器	24
1.2.1 石英晶体滤波器	24
1.2.2 陶瓷滤波器	26
1.2.3 声表面波滤波器(SAWF)	29
1.2.4 薄膜体声(FBAR)滤波器	32
1.3 射频电路中的集成电感	33
思考题与习题	35
第 2 章 小信号调谐放大器	37
2.1 概述	37
2.1.1 小信号调谐放大器的分析方法	37
2.1.2 小信号调谐放大器的主要技术参数	37
2.2 有源器件的高频小信号等效电路	39
2.2.1 BJT、FET 器件的混合 π 型等效电路及其参数	39
2.2.2 混合 π 型参数与 Y 参数的关系	41
2.3 小信号调谐放大器	44
2.3.1 晶体管调谐放大器	45
2.3.2 场效应管调谐放大器	53
2.3.3 调谐放大器的稳定性	55
2.4 高频集成放大器	60
2.4.1 高频集成放大器的特点	60

2.4.2	高频集成电路放大器	61
2.5	放大器的噪声	65
2.5.1	内部噪声的特点和来源	65
2.5.2	噪声系数	68
	思考题与习题	71
第3章	高频谐振功率放大器	73
3.1	概述	73
3.1.1	影响放大器输出功率的主要因素	73
3.1.2	提高放大器输出功率的方法	73
3.1.3	工作状态的选择	74
3.2	丙类谐振功率放大器	74
3.2.1	电路的组成及特点	75
3.2.2	工作原理及性能分析	75
3.2.3	谐振功率放大器的3种状态及基本特性	82
3.2.4	谐振功率放大器的直流馈电电路	86
3.2.5	匹配网络	88
3.3	丁类谐振功率放大器	96
3.4	宽频带功率放大器	98
3.4.1	传输线变压器	98
3.4.2	功率合成与分配	102
	思考题与习题	105
第4章	正弦波振荡器	110
4.1	反馈型振荡器的基本原理与分析方法	110
4.1.1	从放大器到振荡器	110
4.1.2	振荡的建立与稳定	111
4.1.3	振幅平衡条件和相位平衡条件	111
4.1.4	振荡器的分析方法	112
4.2	LC正弦波振荡器	114
4.2.1	LC三点式振荡器相位平衡条件的判断准则	114
4.2.2	基本LC三点式振荡器电路	115
4.2.3	改进型电容三点式振荡器	119
4.2.4	集成LC正弦波振荡器	120
4.2.5	压控振荡器(VCO)	121
4.3	振荡器的稳定性	126
4.3.1	振荡器平衡状态的稳定条件	126
4.3.2	频率稳定度及稳定频率的措施	127
4.4	石英晶体振荡器	130
4.4.1	并联型晶体振荡电路	130
4.4.2	串联型晶体振荡电路	131
	思考题与习题	133

第 5 章 线性频谱搬移技术与电路	137
5.1 非线性电路的分析方法	137
5.1.1 幂级数分析法	137
5.1.2 折线分析法	140
5.1.3 开关函数分析法	142
5.1.4 时变参量分析法	144
5.2 频谱搬移原理	144
5.2.1 频谱搬移的基本原理	144
5.2.2 模拟乘法器的特性及工作原理	145
5.3 振幅调制	149
5.3.1 调幅波的波形、频谱及数学表达式	149
5.3.2 调幅波的功率关系	152
5.3.3 双边带(DSB)调幅和单边带(SSB)调幅	153
5.3.4 调幅电路	156
5.4 调幅波解调电路	165
5.4.1 乘法器检波	166
5.4.2 二极管包络检波	169
5.4.3 检波器参数选择	174
5.4.4 实际二极管检波电路	176
5.4.5 平均值包络检波	176
5.5 变频与倍频	177
5.5.1 混频器	177
5.5.2 倍频	193
思考题与习题	195
第 6 章 非线性频谱搬移技术与电路	199
6.1 调频波的性质	199
6.1.1 瞬时频率与瞬时相位	199
6.1.2 调频波的数学表达式及波形	200
6.1.3 调相波的数学表达式及波形	200
6.1.4 调角波的频谱及带宽	201
6.2 实现调频的原理与方法	204
6.2.1 直接调频	205
6.2.2 间接调频	211
6.3 调角波的解调	215
6.3.1 斜率鉴频	215
6.3.2 相位鉴频器	218
6.3.3 比例鉴频器	221
6.3.4 乘法器相位鉴频器	223
6.3.5 差分峰值鉴频器	226
6.3.6 脉冲计数式鉴频器	228

6.4	限幅电路	230
6.4.1	二极管限幅电路	230
6.4.2	三极管限幅器	230
6.4.3	差分对限幅器	231
6.5	预加重-去加重电路	231
	思考题与习题	233
第7章	数字调制与解调	235
7.1	数字基带传输系统	235
7.2	数字信号的载波传输	236
7.2.1	二进制数字振幅调制(2ASK)	237
7.2.2	二进制数字频率调制(2FSK)	241
7.2.3	二进制数字相位调制(2PSK)	244
	思考题与习题	249
第8章	反馈控制电路与锁相环路	251
8.1	反馈控制电路	251
8.1.1	自动增益控制(AGC)电路	251
8.1.2	自动频率微调(AFT)电路	256
8.2	自动相位控制(APC)电路	258
8.2.1	集成锁相环的基本部件及相位模型	259
8.2.2	锁相环的自动调节过程	262
8.3	集成锁相环的应用	264
8.3.1	通用集成锁相环组成锁相解调电路	264
8.3.2	锁相在倍频、分频、混频和接收机中的应用	267
8.3.3	集成锁相频率合成技术	269
	思考题与习题	273
第9章	通信系统简介	274
9.1	小功率调频发射系统	274
9.1.1	MC2831/2833 子系统	274
9.1.2	MC13175/13176 子系统	276
9.2	小功率调频接收系统	278
9.2.1	MC3362FM 接收机系统	278
9.2.2	MC13135/13136FM 接收机系统	280
9.3	软件无线电	282
9.3.1	软件无线电的概念、结构及特点	282
9.3.2	软件无线电的关键技术	283
9.4	短距离无线通信新技术	290
9.4.1	概述	290
9.4.2	蓝牙技术	291
9.4.3	IEEE802.11b	296
9.4.4	其他无线模块的应用	297

9.4.5	TRF6900 单片射频收发器	302
9.4.6	ZigBee 技术	306
第 10 章	实验	309
实验 1	单调谐回路谐振放大器及通频带展宽实验	310
实验 2	电容反馈三点式振荡器实验	312
实验 3	幅度调制器实验	314
实验 4	调幅波信号的解调实验	315
实验 5	丙类功率放大器实验	317
实验 6	变容二极管频率调制电路实验	318
实验 7	频率解调(相位鉴频器)电路实验	320
实验 8	小功率调频发射、接收实验	321
附录 A	几款无线电收发芯片	323
附件 B	常用高频发射三极管	323
附录 C	常用变容二极管型号	324
附录 D	CXA1691AM 组成的收音机电路	325
参考文献	326

第0章 绪论

随着无线电通信技术迅速发展,各种无线电通信设备广泛应用于人们生产、生活等各个领域。高频电子线路是无线电通信系统以及其他无线电设备中的重要组成部分。本章主要介绍无线电通信系统的基本组成;调制与解调基本概念;无线电收、发信机的组成原理等内容。

0.1 概述

自19世纪末至今,在自然科学领域有着许多重大发现和发明,无线电是这些发明中极其重要的一种。它从诞生到现在的一百多年中,对人类的生活和生产起着非常重要的作用。

人们在生活和生产等活动中需要将语言、文字、图像及数据等含有信息的信息,从一个地方传送到另一个地方,称为通信。通信的主要任务就是传输消息,一般含义是从发送者到接收者之间的信息传递,利用某种信号实现信息传送过程的系统称为通信系统。

最早的无线通信出现在工业化时期,人们使用狼烟、火炬、烽火、旗语等,在视距内传输消息。为了能传输更复杂的信息,人们开始研究更复杂的通信系统。直到1883年,一些原始的通信才被 Samuel Morse 发明的电报网代替,相继又被电话网取代。在1895年,意大利的马可尼(Guglielmo Marconi)首次成功进行了2.5千米距离的无线电报传送实验,1899年,无线电报跨越英吉利海峡的试验成功;1901年,跨越大西洋的3200千米距离的无线电通信试验成功,现代意义下的无线电通信从此诞生。

1919年,第一个定时播发语言和音乐的无线电广播电台在英国建成。1920年,在美国的匹兹堡城又建成一座无线电广播电台。1938年,美国研制成第一部能指挥火炮射击的火炮控制雷达(Radio Detection and Ranging)。1940年,在多腔磁控管发明的基础上,研制成了微波雷达。1944年,能够自动跟踪飞机的雷达研制成功。1958年,美国成功发射了第一颗用于通信的低轨试验卫星。1964年,借助定点同步通信卫星首次实现了美、欧、非三大洲的通信和电视转播。1965年,第一颗商用定点同步卫星投入运行。1969年,大西洋、太平洋和印度洋上空均已有定点同步通信卫星,卫星地球站已遍布世界各国。此后,人们试图将雷达引入卫星,实现以卫星为基地对地球表面及近地空间目标的定位和导航。1973年美国提出了由24颗卫星组成的实用系统新方案,即GPS计划(Navigation Satellite Timing and Ranging /Global Positioning System, NAVSTAR/GPS),其含义是利用导航卫星进行测时和测距。1990年最终的GPS方案是由21颗工作卫星和3颗在轨备用卫星组成。

随着无线电通信技术迅速发展,各种无线电通信设备广泛应用于人们生产、生活等各个领域。高频电子线路是无线电通信系统及其他无线电设备中的重要组成部分。

通信过程中所要传送的原始消息,如语言、文字、图像、数据等,通常通过换能器(如麦克风等)转换成为电信号(电流或电压)以便传送,这些反映原始消息的电信号称为基带信号。根据电信号传输的媒介不同,通信可分为有线通信和无线通信两大类。其中利用电缆传送信号的

系统称为**有线通信系统**；利用电磁波传送信号的系统称为**无线通信系统**；利用光导纤维传送信号的系统称为**光纤通信系统**。

通信系统中的所谓“高频”是一个相对概念。表 0-1-1 列出了无线电频(波)段的相对划分、主要传播方式及用途等。表中的“高频”狭义理解是指短波波段，其频率范围为 3~300MHz，而广义的“高频”指的是射频，其频率范围很宽。广义上认为，只要电路的物理尺寸比所处理的信号的波长小得多，只要该电路可以用集总参数分析实现，就可认为属于“高频”范畴，其频率上限可达到微波段(如 3GHz)，此时“高频”信号仍可以用电路理论进行分析、计算和信号处理并实现。但在处理频率更高的微波信号时，难以满足电路的物理尺寸比信号的波长小得多的条件，这时需要用电磁场理论对信号进行分析、计算、处理并实现。

表 0-1-1 无线电波的波段划分

波段名称	波长范围	频率范围	主要传播方式和用途
长波(LW)	1000~10000m	30~300kHz,低频(LF)	地波,较远距离通信
中波(MW)	100~1000m	300~3000kHz,中频(MF)	地波、天波,广播、通信、导航
短波(SW)	10~100m	3~30MHz,高频段(HF)	天波、地波,广播、通信
超短波(VSW)	1~10m	30~300MHz,甚高频段(VHF)	视距传播、对流层散射,通信、电视、雷达
分米波(USW)	10~100cm	300~3000MHz,特高频段(UHF)	视距传播、对流层散射,卫星通信、雷达、电视
厘米波(SSW)	1~10cm	3~30GHz,超高频段(SHF)	视距传播,中继、卫星通信、雷达
毫米波(SESW)	0.1~1cm	30~300GHz,极高频段(EHF)	视距传播,射电天文,卫星通信、雷达

通信过程中,基带信号通常不直接采用无线电波传送,其原因有两个:①它们的频率较低、波长较长,不能通过天线有效地发送信号;②各信号的频谱分布几乎在同一频率范围,如果直接把反映原始消息的电信号通过天线,以辐射电磁波的方式传送或通过电缆、光缆传送,则信道就无法保证同时传送两路以上的信息而又互不干扰,同时也不便于接收端正确分离两路以上的信息。因此,必须把要传送的电信号设法分开,重要的方法之一是将欲传送的基带信号加载(调制)到某一特定频率的高频电振荡(称为**载波**)信号上,载有基带信息的高频振荡信号称为已调信号,也称为**频带信号**。它可通过电缆或光缆把信息传送到接收端,也可通过天线辐射出高频电磁波,将信息传送到接收机。

人们知道,任何载有消息的无线电波都占据一定的频带。频率越高,可利用的总频带(或称**波段**)就越宽,因此利用高频已调波可在同一波段同时传送多个不同的信号。另外,某些频带很宽的原始信号(如雷达信号、电视图像、多路语音)只能在高频率上传输,例如,电视图像信号的频带宽度约为 6MHz,它适宜在几十兆赫以上的频率上传输。

不同波段的无线电波应选择不同的传播方式。传播方式的不同,决定了传播的距离和传播特性(如信号的稳定性、衰耗等)的差异。通常无线电波的传播方式主要有:视距传播、地波传播、电离层传播(天线传播)、对流层散射传播及卫星传播等,图 0-1-1 为其示意图。

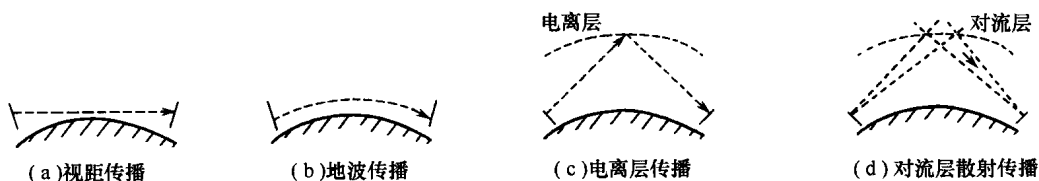


图 0-1-1 无线电波的几种主要传播方式

表 0-1-1 中关于传播方式和用途的划分都是相对而言的。通常将高于 1000MHz 的厘米波、毫米波等波段统称为微波。本书所讨论的是狭义的高频范围,但它所涉及的一些高频电路的基本原理在微波范围内也适用。

显然,对各种无线电通信系统,尽管它们在传递信号形式、工作方式及设备体制等方面有所不同,但设备中所包含的对高频信号的产生、接收及检测处理的基本电路大都是相类似,这些电路统称为**高频电子线路**。可见,高频电子线路是随着无线电通信手段的出现而出现的,且随着通信容量的不断增大,使用的频率不断提高,高频电子线路也随之发展。高频电子线路的各种功能电路的组成及性能则随微电子技术的发展而发展,经历了电子管电路、晶体管电路和集成电路 3 个重要阶段。目前高频电路与模拟电路、数字电路一样,电路的集成度越来越高,各种高频集成电路新器件不断问世,应用越来越广泛,计算机技术也在高频电子线路中得到了应用。高速 DSP(数字信号处理器)结合 MCU(微处理器),把传统的模拟高频电信号的处理变成数字信号进行处理,使得现代无线电信号的处理速度更快,通信质量更高。

0.2 无线电通信系统的基本组成

0.2.1 通信系统的组成

通信系统主要由输入/输出换能器、发送/接收设备和信道 3 大部分组成,图 0-2-1 是无线电通信系统的基本组成方框图。

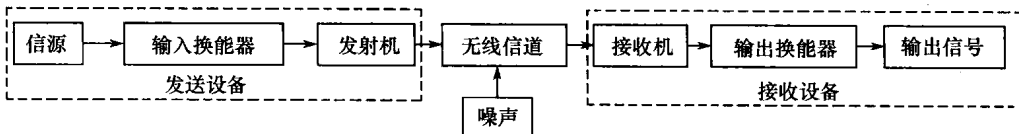


图 0-2-1 无线电通信系统的基本组成

在有线通信系统中,信道是电缆(或光缆)。而在无线电通信系统中,信道就是电磁波传播的空间,不同频段的电磁波有不同的传播方式和传播特性。无线通信系统中,需要将信号进行适当的变换。

0.2.2 调制与解调

发送端的发送设备包括换能器、发射机和发射天线 3 个部分。其中输入换能器将待发送的信息变换为基带信号,如果信息表现为声音,那么换能器便是将声音变换为电信号的话筒。发射机将基带信号变换成其频带适合在信道中传播的信号,并送入信道。这种变换称为调制。用来对载波进行调制的基带信号称为调制信号。基带信号可以是模拟信号,也可以是数字信号,相应的调制称为模拟调制和数字调制。调制后的高频载波称为已调信号,也称为通带信号。

发射机将已调信号放大并变换为足够强度的高频电振荡。发射天线则将高频电振荡变换为电磁波向外辐射。

在接收端,接收信号是发射信号的逆过程,接收设备由接收天线、接收机和输出换能器组成。其中接收天线将空间传播的电磁波变换为高频电信号,由接收机对该信号进行相应的加工处理,换能器则将处理后的电信号还原为所传送的原始信号。如果原始信号表现为声音,那么换能器便是将电信号变换为声音的扬声器。

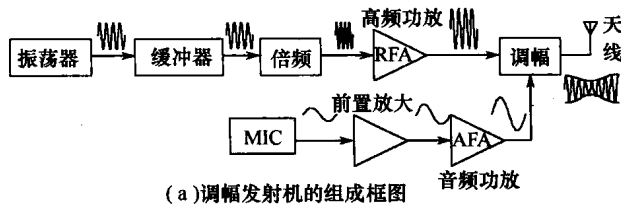
从原理上看,调制过程的实质是一个由调制信号去控制高频载波信号的某一参数,使该参数按照调制信号的规律变化的过程。而高频载波信号(电压或电流)的振幅、频率、相位 3 个参数可被调控,与之对应的可实现 3 种基本模拟调制,分别是:调幅波(AM)、调频波(FM)和调相波(PM)。

现代数字通信系统中,普遍采用数字信号调制技术,通常又称“键控”,此时载波的振幅、频率、相位在有限的几个值之间变化。故数字信号的调制又分别称振幅键控(ASK)、频移键控(FSK)和相移键控(PSK)。本书将在第 5 章介绍模拟振幅调制;在第 6 章中介绍模拟调频和调相;在第 7 章中介绍数字调制及解调技术。除上述基本调制外,还可以实现某些组合调制。在微波通信中还用到以脉冲信号为中间信号的二重调制等,请读者参阅其他文献。

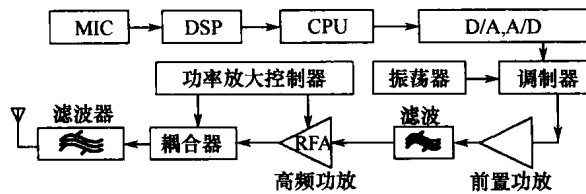
0.2.3 无线电收、发信机

图 0-2-2 是无线电通信发射机的组成框图,其中图 0-2-2(a)是调幅发射机的组成框图。它包括 3 个组成部分:高频(振荡器、缓冲器、倍频器、高频功放、调制和解调)电路、低频电路和电源部分(未画出)。图 0-2-2(b)是手持电话的组成框图。

图 0-2-2 中,振荡器的作用是产生频率稳定的高频载波信号,为了提高频率稳定度,通常采用石英晶体振荡器,并在其后加以缓冲级,以减小后级对它的影响。一般晶体振荡器的振荡频率不太高,达不到载波所要求的频率 f_c ,因而在缓冲级后需加若干级倍频器,将频率提高到所需频率 f_c 上。在图 0-2-2(b)所示接收机中,由于对振荡信号的频率稳定度要求高,所以振荡信号常常由频率合成电路提供,同时电路中还采用了 DSP(数字信号处理)电路、CPU(中央处理器)和 A/D、D/A 电路等,对音频信号进行处理。高频功率放大器的主要作用是把信号放大到足够的功率电平,由发射天线将高频已调信号辐射出去。



(a)调幅发射机的组成框图



(b)手持电话发送部分框图

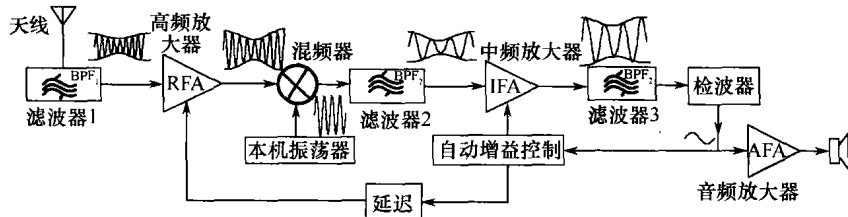
图 0-2-2 无线电通信发射机的组成框图

从换能器(如话筒)输出的低频调制信号经若干级放大器放大到足够的功率电平后,用以对高频载波信号进行调制。

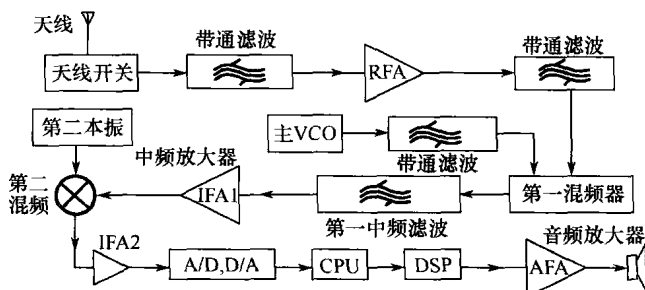
发射机高频输出功率的大小随用途的不同而异,一般通信发射机从几百毫瓦至数千瓦,广播及电视发射机则可高达几千瓦至几十千瓦。

无线电信号的接收过程正好和发送过程相反,由接收天线接收到的电磁波先转变为已调高频振荡电流(或电压),然后从已调高频振荡电流(电压)中检测出原调制信号,这一过程称

为解调。图 0-2-3 是无线电通信接收机的组成框图。其中,图 0-2-3(a)是超外差调幅接收机的框图。图中高频放大器是由一级或多级小信号谐振放大器组成的,其作用是利用电路中的谐振网络,从天线接收到众多频率的信号中选出所需信号,并予以放大。图 0-2-3(b)是手持电话射频接收部分的组成框图。值得注意的是,由于谐振放大器的中心频率随所需接收的信号频率 f_c 不同而异,因此高频放大器选频网络的中心频率必须是可调节的,这就需要用到自动频率调节(AFT)电路。



(a)超外差调幅接收机的框图



(b)手持电话射频接收部分的组成框图

图 0-2-3 无线电通信接收机的组成框图

混频器是超外差接收机的核心,其作用是将高频放大器输出的频率为 f_c 的高频已调信号与来自本地振荡器、频率为 f_L 的高频振荡信号相差拍,产生和频或差频分量,使高频已调波不失真地变换为载波频率为 f_1 的中频已调波信号。 f_1 是固定值,称为中频。

本地振荡器是用以产生频率为 $f_L = f_c \pm f_1$ 的高频振荡信号。由于 f_1 为固定值,而 f_c 随所需接收信号不同而不同,所以,振荡器的振荡频率 f_L 是可调的,且必须使其正确跟踪 f_c ,目前多采用 $f_L = f_c \pm f_1$ 方式,即超外差接收方式。

中频放大器是由多级小信号谐振放大器组成的中心频率固定的带通放大器,用以选择并放大中频调幅信号。中频放大器通常还带有自动增益控制(AGC)电路。超外差接收机之所以将接收到的有用信号频率 f_c 与本机振荡器的振荡频率 f_L 混频后降为 $f_1 = f_L - f_c$,主要有 3 个方面的考虑:一是在中频段选择有用信号比在射频段选择对选频网络 Q 值的要求降低,例如,图 0-2-3(a)所示,图中滤波器 BPF_1 和 BPF_2 的中心频率相差较大,滤波器 BPF_1 的中心频率很高,因此带宽较宽,主要用于选择频带;而 BPF_2 的中心频率较低,相对带宽较窄,主要用于选择信道。二是信号从天线到解调电路输入端,需要将天线接收到的微弱信号放大 100~200dB,为了放大器能稳定工作,避免放大器自激,放大器在一个频带内的增益通常不超过 50~60dB。在超外差接收机中,将整机增益分配到高频放大器、中频放大器和基带信号放大器 3 个频段上。中频放大器在较低中频上做窄带高增益的放大器比在射频载波段做高增益放大器容易且放大器稳定性好得多。三是在较低的中频频率解调信号更方便、容易和稳定。

超外差接收机中的高频放大器必须采用低噪声放大器(Low Noise Amplifier, LNA),考