



普通高等教育“十一五”国家级规划教材



射频电路基础

赵建勋 陆曼如 邓军 编著



西安电子科技大学出版社
<http://www.xduph.com>

普通高等教育“十一五”国家级规划教材

射频电路基础

赵建勋 陆曼如 邓 军 编著

西安电子科技大学出版社

内 容 简 介

本书按照教育部电子信息科学与电气信息类基础课程教学指导分委员会关于“电子线路(Ⅱ)”的基本要求,详细讲述了射频设备中各种基本电路的设计思想、工作原理、分析计算和实际应用。

全书共分10章,包括射频电路导论、谐振功率放大器、正弦波振荡器、噪声与小信号放大器、振幅调制与解调、混频、角度调制与解调、数字调制与解调、反馈与控制、数字频率合成。本书体例结构清晰严谨,内容和表现形式简明多样,并对关键知识做了小结,适合教学和自学。在理论基础上,主要章节联系实际,还介绍了集成器件与应用电路、PSpice仿真的硬件和软件实践等内容。

本书可作为本科生教材或教学参考书,供高等院校电子工程、通信工程等专业使用,也可供相关专业的工程技术人员参考。

★本书配有电子教案,需要者可登录出版社网站,免费下载。

图书在版编目(CIP)数据

射频电路基础/赵建勋,陆曼如,邓军编著.

—西安:西安电子科技大学出版社,2010.9

普通高等教育“十一五”国家级规划教材

ISBN 978-7-5606-2462-4

I. ①射… II. ①赵… ②陆… ③邓… III. ①射频电路—高等学校—教材
IV. ①TN710

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2010)第 138680 号

策 划 云立实

责任编辑 许青青 云立实

出版发行 西安电子科技大学出版社(西安市太白南路2号)

电 话 (029)88242885 88201467 邮 编 710071

网 址 www.xduph.com

电子邮箱 xdupfxb001@163.com

经 销 新华书店

印刷单位 西安文化彩印厂

版 次 2010年9月第1版 2010年9月第1次印刷

开 本 787毫米×1092毫米 1/16 印张 22.75

字 数 537千字

印 数 1~3000册

定 价 33.00元

ISBN 978-7-5606-2462-4/TN·0570

XDUP 2754001-1

如有印装问题可调换

本社图书封面为激光防伪覆膜,谨防盗版。

前 言

《射频电路基础》是普通高等教育“十一五”国家级规划教材，覆盖教育部电子信息科学与电气信息类基础课程教学指导分委员会 2004 年版“电子线路(Ⅱ)”的基本要求。在总结吸收国内外同类教材优点的同时，考虑到教学难点和现阶段学生的知识基础与学习特点，本书在体系结构、内容和表现形式上做了新的尝试，以期满足教学改革和创新的需要。

本书共分 10 章，参考学时为 50~70 学时。基于应用目的，本书各章与射频设备的基本结构对应，便于学生在学习过程中逐步建立对整机的认识。全书主要内容包括第二章谐振功率放大器、第三章正弦波振荡器、第五章振幅调制与解调、第六章混频、第七章角度调制与解调。以上各章详细讲述了相关电路的信号分析、设计思想、工作原理和计算分析等。噪声与小信号放大器和反馈与控制也是现代射频设备的基本结构，分别在第四章和第九章介绍有关概念和原理，可以部分教学；第八章数字调制与解调和第十章数字频率合成分别介绍射频电路在数字通信技术中的各种典型应用，以及高性能频率源的设计原理，可以选择教学。

保留、整理和重组经典理论，适当引入新鲜内容，并使二者有机结合，适合教学和自学，这是编著本书的目的。本书的撰写主要考虑了以下五个方面：

(1) 以概念、原理的理解和电路分析等基础知识为重点，文字论述简明扼要，重点突出，体现教学内容清晰明了的体系结构。

(2) 充分利用数学表述，分析翔实、具体，用简单明确的数学分析体现基础知识的规律性。

(3) 选取适当的例题，与文字论述、数学表述和问题分析构成严谨的体系结构，提供翔实的解题过程，在理论和习题之间搭建学习桥梁，通过解题强化对概念、原理的理解，用多变的题目扩展和补充电路分析，巩固对基础知识规律性的认识，达到触类旁通、举一反三的学习效果。

(4) 通过集成器件与应用电路举例，给出典型集成电路的内部和外围电路中以及典型分立元件电路中概念、原理的具体实现形式和电路设计应该考虑的主要问题，突出硬件应用方面的实践。

(5) 通过 PSpice 仿真举例，给出基于软件平台的典型射频电路的设计版图、模拟步骤和分析结果，突出软件应用方面的实践。

第一章射频电路导论介绍了射频电路在无线电远程通信中的应用。本章补充介绍了雷达、蓝牙和射频识别中的射频电路，扩展了读者对射频电路应用领域的认识。在“模拟电子技术”等课程的知识基础上，本章通过比较小信号工作时和大信号工作时晶体管的输出电流频率分量的变化，引入了非线性电路的概念。

第二章谐振功率放大器讲述了非线性电路的第一种典型应用。本章以文字论述和数学分析为主，辅以适量的图解分析和例题，学习时应重点理解谐振功放的工作原理，掌握近似计算分析方法。本章还介绍了谐振功放电路设计的基本要求和输出匹配网络，以及丁类、戊类功率放大器和功率合成技术。

第三章正弦波振荡器讲述了非线性电路的第二种典型应用。首先，以反馈环路对电压振幅和相位的变换为基础，通过文字论述和数学分析，研究了反馈式振荡器的三种振荡条件；其后，以相位平衡条件和振幅起振条件在各种振荡器中的具体形式为主线，分析了 LC

正弦波振荡器、RC 正弦波振荡器与石英晶体振荡器的工作原理和计算分析方法；本章还研究了振荡器的频率稳定度，介绍了负阻型振荡器以及振荡器中的寄生振荡和间歇振荡。

第五章振幅调制与解调讲述了非线性电路在线性频谱搬移中的应用。鉴于学生在这个阶段已经通过“信号与系统”等课程的学习掌握了信号的时域和频域形式以及傅立叶变换，本章首先通过时域和频域的数学表述和分析，在认识三种振幅调制信号的波形和频谱的基础上，研究了非线性器件调幅的基本原理，并引申出其特例，即线性时变电路调幅，其后以基本原理的乘法器实现为主线，分析了典型的振幅调制电路。本章还通过数学分析研究了包络检波与同步检波的设计原理和电路实现。以信号频谱的变化为观察点，本章在频域上直观形象地介绍了平衡对消技术。本章引入了一定量的例题，作为体系结构的重要组成部分，扩展和补充了振幅调制与解调的电路类型，明确了分析步骤和计算方法。

第六章混频讲述了基于线性时变电路的乘法器混频。本章首先从泰勒级数和傅立叶级数分解的角度研究了线性时变电路混频的工作原理；其后以时变静态电流、时变电导和混频跨导为中心概念，以混频后信号的频谱提取为目标，分析了典型的乘法器混频电路。本章通过一定量的例题扩展和补充了混频的电路类型，明确了分析步骤和计算方法。本章还研究了混频干扰和失真，以及混频指标。

第七章角度调制与解调讲述了非线性电路在非线形频谱搬移中的应用。本章以数学表述和分析为主，在时域研究了调频信号与调相信号的表达式和主要参数，在频域分析了它们的频谱结构和带宽。鉴于角度调制与解调的体系结构比较复杂，出于简化结构、降低理解难度的目的，本章将原理研究和电路分析合二为一，把内容重组为调频和鉴频两大部分，把调相和鉴相分别作为间接调频和相位鉴频的基础加以介绍，把变容二极管调频和调相电路以及各种鉴频和鉴相电路都作为应用部分，跟随原理研究展开分析。通过这样的处理，本章的体系结构从常见的并行展开变为分支展开，从而理顺了层次，避免了内容的交叉和重复，便于理解，不易混淆，降低了教学难度。为了扩展和补充电路类型，明确分析步骤和计算方法，本章也引入了一定量的例题。

第八章数字调制与解调讲述了应用于数字频带传输的调制与解调。在认识数字调制信号的基础上，本章在电路结构层面研究了如何实现二进制和多进制振幅键控(ASK)调制与解调、频移键控(FSK)调制与解调以及相移键控(PSK)调制与解调。本章补充了信号的波形和功率谱，在时域和频域上直观形象地展现了信号的处理过程，与电路结构相辅相成，共同说明数字调制与解调的原理。本章还介绍了正交振幅调制(QAM)、偏移四进制 PSK(OQPSK)调制和最小频移键控(MSK)调制。

第四章、第九章和第十章，作者根据知识特点和教学需要合理地安排了体系结构、内容和表现形式，方便教学。

本书第一、五、六、七、八章和附录 A、B 由赵建勋编著，第二、三章由陆曼如编著，第四、九、十章由邓军编著，各章的 PSpice 仿真内容由朱天桥编著。赵建勋负责统稿。

本书在编写过程中得到了西安电子科技大学工程学院和西安电子科技大学出版社的大力支持，在此表示衷心感谢。

由于作者知识水平和教学经验有限，加之创新尝试，书中难免存在不妥之处，恳请广大读者批评指正。

作者

2010 年 5 月

目 录

第一章 射频电路导论	1
1.1 射频电路的应用	2
1.1.1 无线电远程通信	2
1.1.2 雷达	3
1.1.3 蓝牙	4
1.1.4 射频识别	5
1.2 射频电路的非线性特点	7
1.3 本书的主要内容、组织结构和学习要求	9
本章小结	10
思考题和习题	10
第二章 谐振功率放大器	12
2.1 谐振功率放大器基本工作原理	12
2.1.1 谐振功率放大器的电路组成	12
2.1.2 谐振功率放大器的工作原理	13
2.1.3 高频谐振功率放大器中的能量关系	14
2.2 丙类谐振功率放大器的工作状态分析	15
2.2.1 解析分析法	15
2.2.2 动态特性曲线——图解分析法	16
2.2.3 谐振功率放大器的工作状态	17
2.2.4 负载特性	18
2.2.5 U_{CC} 、 U_{BB} 、 U_{bm} 对谐振功率放大器性能的影响	20
2.3 谐振功率放大器的高频特性	22
2.4 谐振功率放大器电路	22
2.4.1 直流馈电线路	23
2.4.2 输出匹配网络	26
2.5 高效率高频功率放大器及功率合成技术	31
2.5.1 高效率高频功率放大器	31
2.5.2 功率合成技术	33
2.6 集成器件与应用电路举例	34
本章小结	35
思考题和习题	35
第三章 正弦波振荡器	40
3.1 反馈式振荡的基本原理	40
3.1.1 平衡条件	41
3.1.2 稳定条件	42
3.1.3 起振条件	44
3.2 LC正弦波振荡器	45
3.2.1 LC正弦波振荡器电路的构成原则	45

3.2.2	三端式振荡器电路分析	47
3.2.3	其他 LC 振荡器电路	51
3.3	RC 振荡器	54
3.3.1	RC 移相振荡器	54
3.3.2	RC 选频振荡器	58
3.4	振荡器的频率稳定度	61
3.4.1	振荡器频率的技术参量	61
3.4.2	频率稳定度的表示方法	62
3.4.3	振荡器频率稳定原理和稳频方法	64
3.5	石英晶体振荡器	66
3.5.1	石英谐振器的物理特性和电特性	66
3.5.2	石英晶体振荡器电路	69
3.6	负阻型 LC 正弦波振荡器	72
3.7	振荡器中的寄生振荡和间歇振荡	73
3.8	集成器件与应用电路举例	74
3.9	PSpice 仿真举例	76
	本章小结	77
	思考题和习题	77
第四章	噪声与小信号放大器	85
4.1	噪声来源和特性	85
4.1.1	噪声来源	85
4.1.2	噪声特性	86
4.2	电路中元器件的噪声	87
4.2.1	电阻的热噪声及等效电路	87
4.2.2	晶体管的噪声	88
4.2.3	场效应管的噪声	89
4.3	功率信噪比和噪声系数	90
4.3.1	功率信噪比	90
4.3.2	噪声系数	91
4.4	射频小信号放大器	93
4.4.1	射频小信号放大器的分类与组成	94
4.4.2	射频小信号放大器的主要技术指标	94
4.5	射频小信号调谐放大器	97
4.5.1	单级单调谐放大器	97
4.5.2	调谐放大器的级联	99
4.6	S 参数与放大器设计	100
4.6.1	S 参数的定义	100
4.6.2	S 参数的测量	101
4.6.3	放大器的 S 参数	102
4.6.4	用 S 参数设计放大器	103
4.7	宽频带小信号放大器	106
4.7.1	宽频带放大器的特点	106
4.7.2	宽频带放大器的设计要点	107

4.8 低噪声放大器	110
4.8.1 低噪声放大器的定义及特点	110
4.8.2 低噪声放大器的设计要点	111
4.9 集成器件与应用电路举例	112
4.9.1 AT-32032 晶体管放大器	112
4.9.2 NJG1106KB2 低噪声放大器	113
4.9.3 AD8353 宽带放大器	114
本章小结	115
思考题和习题	115
第五章 振幅调制与解调	117
5.1 调制的分类	117
5.2 调幅信号	118
5.2.1 普通调幅信号	118
5.2.2 双边带调幅信号	121
5.2.3 单边带调幅信号	123
5.2.4 残留边带调幅信号	127
5.3 振幅调制原理	128
5.3.1 非线性器件调幅	128
5.3.2 线性时变电路调幅	134
5.3.3 集电极调幅	148
5.3.4 基极调幅	148
5.4 振幅解调原理	149
5.4.1 包络检波	149
5.4.2 同步检波	158
5.5 集成器件与应用电路举例	163
5.5.1 MC1596 调幅电路	163
5.5.2 MC1595 调幅电路	165
5.5.3 二极管环形调制器	166
5.5.4 二极管峰值包络检波器	168
5.5.5 MC1596 乘积型同步检波器	169
5.5.6 二极管乘积型同步检波器	169
5.6 PSpice 仿真举例	170
本章小结	172
思考题和习题	173
第六章 混频	180
6.1 混频信号	180
6.2 混频原理	181
6.2.1 晶体管放大器混频	181
6.2.2 场效应管放大器混频	185
6.2.3 双栅 MOSFET 放大器混频	188
6.2.4 差分对放大器混频	190
6.2.5 二极管混频	192
6.2.6 电阻型场效应管混频	195

6.3	混频器的主要性能指标	196
6.4	接收机混频电路的干扰和失真	197
6.4.1	高频已调波与本振信号的组合频率干扰	198
6.4.2	干扰信号与本振信号的寄生通道干扰	199
6.4.3	干扰信号与高频已调波的交叉调制干扰	200
6.4.4	干扰信号之间的互调干扰	201
6.4.5	包络失真	201
6.4.6	强信号阻塞	201
6.5	集成器件与应用电路举例	201
6.5.1	AD8343 混频器	201
6.5.2	MAX9996 混频器	203
6.5.3	中波调幅收音机变频器	204
6.5.4	SRA-1 混频器	205
	本章小结	207
	思考题和习题	207
第七章	角度调制与解调	211
7.1	调频信号和调相信号	211
7.1.1	时域表达式和参数	211
7.1.2	频谱和功率分布	212
7.2	角度调制原理	216
7.2.1	直接调频	216
7.2.2	间接调频	224
7.2.3	线性频偏扩展	229
7.3	角度解调原理	231
7.3.1	鉴频的性能指标	231
7.3.2	斜率鉴频	232
7.3.3	相位鉴频	235
7.3.4	脉冲计数鉴频	243
7.3.5	限幅鉴频	246
7.4	集成器件与应用电路举例	249
7.4.1	MC2833 调频电路	249
7.4.2	双 LC 并联谐振回路斜率鉴频器	250
7.4.3	差分峰值斜率鉴频器	251
7.4.4	MC3335 鉴频电路	251
7.5	PSpice 仿真举例	252
	本章小结	255
	思考题和习题	255
第八章	数字调制与解调	262
8.1	ASK 调制与解调原理	262
8.1.1	二进制 ASK 调制与解调	262
8.1.2	多进制 ASK 调制与解调	270
8.2	FSK 调制与解调原理	274
8.2.1	二进制 FSK 调制与解调	274

8.2.2 多进制 FSK 调制与解调	281
8.3 PSK 调制与解调原理	285
8.3.1 二进制 PSK 调制与解调	285
8.3.2 多进制 PSK——QPSK 调制与解调	293
8.4 现代数字调制与解调	299
8.4.1 QAM	299
8.4.2 OQPSK 调制	302
8.4.3 MSK 调制	304
8.5 集成器件与应用电路举例	307
8.5.1 RF2422 正交调制器	307
8.5.2 AD8348 正交解调器	309
本章小结	311
思考题和习题	311
第九章 反馈与控制	313
9.1 自动增益控制	313
9.1.1 工作原理	313
9.1.2 传输特性	314
9.1.3 电路实现	315
9.2 自动频率控制	315
9.2.1 工作原理	315
9.2.2 电路实现——本地振荡器频率控制	316
9.2.3 电路实现——调频负反馈解调	316
9.3 锁相环	317
9.3.1 工作原理	317
9.3.2 基本电路部分	317
9.3.3 基本方程	319
9.3.4 主要特性	320
9.3.5 锁相环的典型应用	327
9.4 集成器件与应用电路举例	330
本章小结	331
思考题和习题	331
第十章 数字频率合成	333
10.1 数字锁相环	333
10.1.1 数字鉴相器	333
10.1.2 数字环路滤波器	334
10.1.3 数控振荡器	335
10.1.4 数字锁相环频率合成	336
10.2 直接数字频率合成	337
10.2.1 直接数字频率合成的工作原理	337
10.2.2 直接数字频率合成的特点	339
10.2.3 DDS 与 PLL 的组合	339
10.3 具有调制能力的直接数字频率合成系统	340
10.3.1 正交调幅调制器	341

10.3.2 数字线性调频器 DDS	341
10.4 集成器件与应用电路举例	342
10.4.1 PE3239 频率合成器	342
10.4.2 AD9852 基本时钟发生器	344
本章小结	345
思考题和习题	345
附录 A 余弦脉冲分解系数	346
附录 B 自变量为余弦函数的双曲正切函数的傅立叶系数	350
参考文献	353

第一章 射频电路导论

“射频”一词的英文为“radio frequency”，即无线电频率。为了实现无线电远程传输信息、无线电探测和测距、无线电近距离组网和数据传输以及无线电无接触识别等功能，人们先后发明和发展了无线电远程通信、雷达、蓝牙和射频识别等技术设备。包含晶体管、场效应管等有源器件的电路称为电子线路。实现无线电的发射、接收以及信息的加载和提取的电子线路称为射频电路。

表 1.1 列出了目前常用的无线电频率的划分和使用情况。

表 1.1 无线电频率的划分和使用

名称	符号	频率范围	波长范围	典型用途
极低频	ELF	3~30 Hz	100~10 Mm	深海潜艇通信
超低频	SLF	30~300 Hz	10~1 Mm	深海潜艇通信
特低频	ULF	300~3000 Hz	1000~100 km	地波通信，地震早期预警
甚低频	VLF	3~30 kHz	100~10 km	浅海潜艇通信，无线电导航，无线电时钟
低频	LF	30~300 kHz	10~1 km	调幅广播，导航信标，业余无线电
中频	MF	300~3000 kHz	1000~100 m	调幅广播，导航信标，业余无线电，航海通信，航空通信
高频	HF	3~30 MHz	100~10 m	短波广播，业余无线电，雷达
甚高频	VHF	30~300 MHz	10~1 m	调频广播，电视，业余无线电，雷达
特高频	UHF	300~3000 MHz	1000~100 mm	电视，移动电话，无线网络，卫星通信，业余无线电，中继通信，雷达
超高频	SHF	3~30 GHz	100~10 mm	无线网络，卫星通信，中继通信，雷达
极高频	EHF	30~300 GHz	10~1 mm	微波通信，射电天文，遥感，雷达

从表 1.1 中可以看出，射频覆盖的频率范围很广，根据频率从低到高，射频可分为以下三类：

(1) 低于 300 kHz 的为低频范围，包括极低频、超低频、特低频、甚低频和低频五个频段；

(2) 300 kHz ~ 300 MHz 为高频范围，包括中频、高频和甚高频三个频段；

(3) 频率高于 300 MHz 的范围为微波范围，包括特高频、超高频和极高频三个频段。

相应地，射频电路也根据上述频率分为低频电子线路、高频电子线路和微波电子线路三类。

1.1 射频电路的应用

虽然射频电路系统的具体设备多种多样,组成和复杂程度不同,但系统的最基本结构相同,如图 1.1.1 所示,包括发射机和接收机两个主要部分。

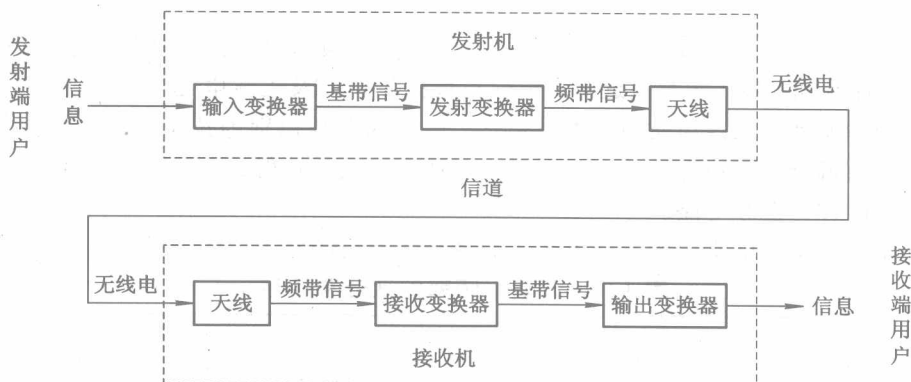


图 1.1.1 射频电路系统的最基本结构

图 1.1.1 中,信道即无线电波的传输媒质,如空气、真空、海水、地表。

发射机的作用是把发射端用户要发送的信息经过输入变换器,变换为电信号,如话筒的语音、摄像头的图像和各种传感器的感应信号读数,都要变换为电压或电流,这样的电信号称为基带信号。接下来,为了适合在信道传输,发射机需要根据信道的特点(如信道对各种频率的无线电波的反射和衰减),把基带信号经过发射变换器,生成适合信道传输的频带信号。最后,发射机需要把频带信号送上天线,变成无线电发射到信道中。

接收机和发射机的功能与工作顺序正好相反。首先,置于信道中的天线从无线电感应出频带信号,再通过接收变换器,从频带信号中恢复基带信号,基带信号最后经过输出变换器,产生语音、图像和传感器的感应信号读数,分别通过扬声器、显示器、液晶面板提供给接收端用户。

下面以无线电远程通信、雷达、蓝牙和射频识别为例,具体介绍这些代表性系统中射频电路的基本结构和工作过程。

1.1.1 无线电远程通信

无线电远程通信起始于意大利人马可尼从 1895 年开始的室外电磁波通信实验,最初的目的是实现无线电报。经过 100 多年的发展,无线电远程通信从无线电报发展到无线电广播、电视、移动通信等,逐步覆盖了陆地、海洋和太空,从固定通信发展到移动通信,从模拟通信发展到数字通信。无线电广播、电视和移动通信使用的无线电频率为 300 kHz~3000 MHz。

图 1.1.2 给出了无线电广播和电视系统的基本结构。

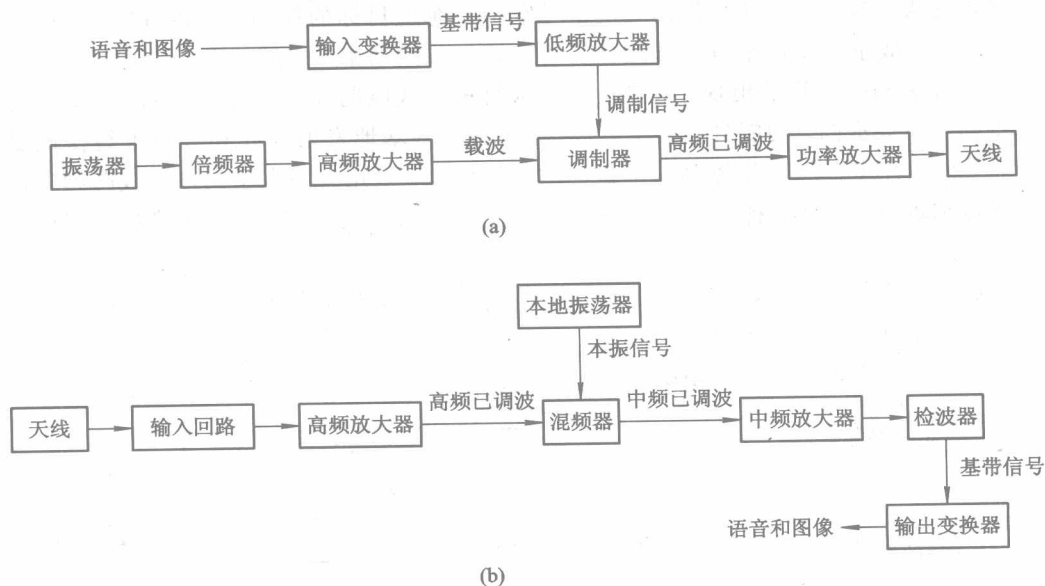


图 1.1.2 无线电广播和电视系统的基本结构

(a) 发射机; (b) 接收机

发射机中,语音和图像经过输入变换器,如话筒和摄像机,转换为基带信号,又经过低频放大器,获得足够的功率,成为调制信号。振荡器产生频率稳定度较好的信号,经过倍频器后,获得符合信道传输要求的高频信号,再经过高频放大器,得到足够的功率,成为载波。接下来,调制器用调制信号改变载波的参数,如振幅、频率或相位,使输出信号参数反映调制信号的变化规律,从而携带了调制信号的信息,成为高频已调波。最后,高频已调波经过功率放大器,获得足够的功率,送上天线发射。

接收机中,天线的感应电流首先经过输入回路,输入回路从诸多信号中选择输出需要接收的高频已调波,经过高频放大器提高其功率。本地振荡器产生一个本振信号。混频器输出的中频已调波的频率等于本振信号的频率和高频已调波的频率之差,但是中频已调波参数变化规律和高频已调波一样,仍然携带了调制信号的信息。接收不同频率的高频已调波时,本振信号的频率随之调整,以保证中频已调波的频率不变,这样中频放大器的工作频率和增益就不需要随时调整,便于电路性能的优化,这种接收方式称为超外差接收。中频已调波经过中频放大器的功率放大,送入检波器,恢复出调制信号(即基带信号)。最后,基带信号经过输出变换器(如扬声器和显示器),输出语音和图像。

上述工作过程中,发射机的核心任务是通过调制使低频基带信号变为高频已调波,而接收机的核心任务是对已调波检波以恢复基带信号。之所以要进行调制和检波,主要是考虑到高频已调波适合在空气和太空中以无线电波形式远程传输,而且高频已调波波长较短,有利于发射天线和接收天线的小型化。另外,可以利用不同频率的已调波区分不同的基带信号,以分别接收,从而避免混淆。

1.1.2 雷达

雷达的工作原理基于 1886 年德国人赫兹验证的电磁波的产生、接收和目标散射现象。

第二次世界大战期间,雷达大规模应用于对空中和海上目标的探测,包括目标的有无、距离和方向,在战争中发挥了重要作用。二战时期和二战结束后,随着电子技术的进步,如天线收发开关和磁控管的出现,大规模和超大规模集成电路和电子计算机的问世,雷达的性能得到了极大提高,功能日趋强大,包括采用双/多基地发射天线和接收天线探测隐身目标,采用脉冲多普勒工作体制获得目标的频域信息,采用有源电子扫描天线阵列实现多目标跟踪和攻击,以及低探测率的隐身性能和实现同时多功能(如地形跟踪和对空搜索同时进行)等。

根据其使用的无线电的波长,雷达分为米波雷达、分米波雷达、厘米波雷达和毫米波雷达,频率范围为 3 MHz~300 GHz。

图 1.1.3 给出了脉冲雷达系统的基本结构。

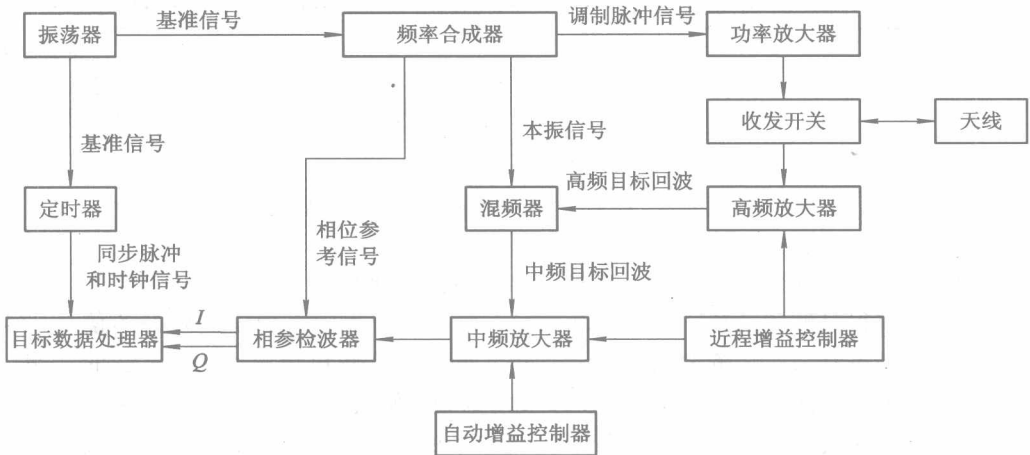


图 1.1.3 脉冲雷达系统的基本结构

脉冲雷达系统中,振荡器产生频率精确且稳定度很高的基准信号。定时器根据基准信号产生系统的各种同步脉冲和时钟信号。频率合成器根据基准信号产生调制脉冲信号、本振信号和相位参考信号。在发射阶段,调制脉冲信号经过功率放大器获得足够的功率,通过收发开关送上天线发射。此时,收发开关关闭接收机,避免大功率的调制脉冲信号泄漏到接收机。在接收阶段,收发开关打开接收机,高频目标回波进入高频放大器提高其功率,再输入混频器中与本振信号混频,输出中频目标回波,经过相参检波器,得到反映运动目标多普勒频移的正交信号 I 、 Q ,送入目标数据处理器。

接收机中,还需要用到自动增益控制器(AGC)和近程增益控制器(STC)。AGC 使中频目标回波信号在相参检波前有稳定的功率,而且基本不受温度等环境因素的影响;STC 则对近距离和雷达散射截面积较大的目标回波信号作适当衰减,控制相参检波前中频目标回波信号的幅度。

1.1.3 蓝牙

瑞典的爱立信公司在 1994 年前后开始探索移动电话及其附属设备的无线电接口技术,IBM、英特尔、诺基亚和东芝公司于 1998 年加入,共同研发低功耗的无线电近距离组网和

数据传输技术及协议标准,并将其正式命名为蓝牙,暗喻其统一无线局域网通信标准的前景。蓝牙可实现移动电话、笔记本电脑、移动存储设备、键盘、鼠标、打印机、耳机等设备之间随时随地的无线连接,同时也方便设备与因特网之间的高效率通信,并实现通信内容和通信功能的多样化,构建资源共享的局部个人网络。蓝牙工作在全球通用的 2.4 GHz 工业、科学和医学(ISM)频段,采用高频移键控(GFSK)调制,利用时分双工传输方案,最大数据传输速率为 1 Mb/s,最大传输距离为 10 m,支持点对点及点对多点通信,通过采用跳频、短数据包和自适应发射功率来进行调节以提高抗干扰能力,系统最大跳频速率为 1600 跳/s,在 2.402~2.480 GHz 之间采用 79 个间隔 1 MHz 的频点。

图 1.1.4 给出了一种蓝牙无线电单元的基本结构。蓝牙无线电单元包括基带处理器和无线电收发器。基带处理器用来实现系统同步时钟,发射数据和接收数据的准备和处理,无线电收发器的控制(如发射功率调节和跳频选择)以及与蓝牙主机的数据交换等。

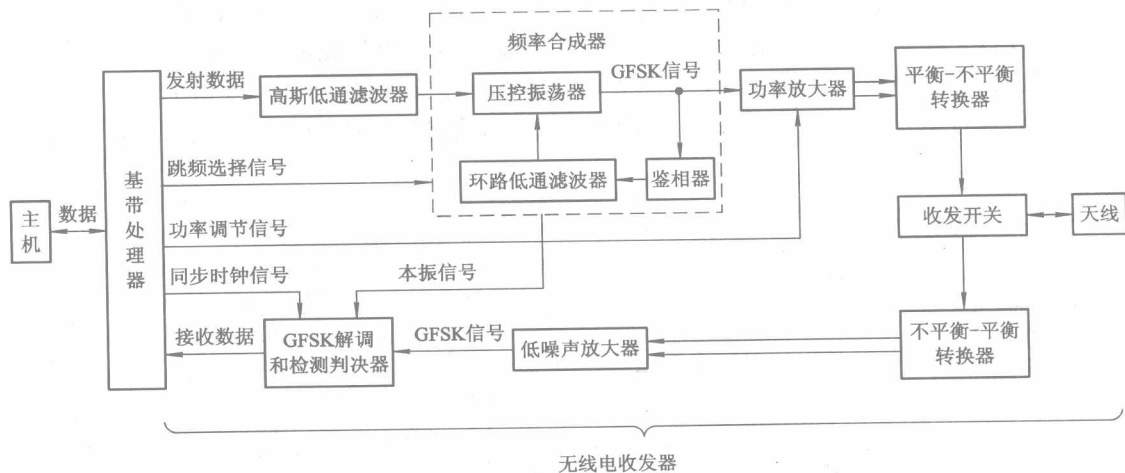


图 1.1.4 一种蓝牙无线电单元的基本结构

无线电收发器中,鉴相器、环路低通滤波器和压控振荡器构成频率合成器,生成跳频载波。在发射阶段,发射数据经过高斯低通滤波器,改变压控振荡器的振荡频率,生成 GFSK 信号,即已调波,经过功率放大器和平衡-不平衡转换器后,收发开关接到发射端,GFSK 信号送上天线发射。在接收阶段,收发开关接到接收端,GFSK 信号经过不平衡-平衡转换器和低噪声放大器,用频率合成器提供的本振信号对 GFSK 信号解调,再经过检测判决器,生成接收数据,并与系统时钟同步。

1.1.4 射频识别

射频识别(RFID)的应用可以追溯到第二次世界大战,为了对雷达发现的空中目标进行敌我识别,英国于 1939 年开始在自己的飞机上安装具有 RFID 功能的系统,对己方雷达发射的微波查询信号做出应答。1948 年,Harry Stockman 在 Proceedings of the I. R. E. (Institute of Radio Engineers) 上发表了有关 RFID 实用研究的具有里程碑意义的论文《Communication by Means of Reflected Power》,预言了 RFID 的实用前景。此后 30 年,科技进步使得 RFID 的大规模应用成为现实。现在 RFID 系统广泛应用于出入检查、电子收

费、物品管理、物流跟踪、交通管理和调度等各种军用和民用领域。

RFID 的射频信号的发射和接收在阅读器 and 电子标签之间进行。根据射频信号在二者之间的耦合方式, RFID 系统分为电感耦合和电磁反向耦合两种类型。

图 1.1.5 是一种电感耦合 RFID 系统阅读器和电子标签的基本结构, 阅读器和电子标签都包括基带处理器和无线电收发器。基带处理器负责发射数据的编码和加密, 以及接收数据的解码和解密, 阅读器的基带处理器还需要负责数据协议处理和与应用系统软件的数据交换, 电子标签的基带处理器还需要完成数据存储和读取。当数据从阅读器向电子标签传输时, 阅读器的无线电收发器通过振荡器产生载波, 调制器用发射数据生成振幅键控 (ASK) 信号, 经过功率放大器, 送到线圈 1。线圈 1 和电子标签的线圈 2 可以分别看做一个变压器的原边和副边, 线圈 2 上通过电感耦合得到的 ASK 信号经过 ASK 解调和检测判决器, 获得接收数据。当数据从电子标签向阅读器传输时, 阅读器在线圈 1 上提供载波电流, 电子标签的发射数据通过负载电阻调制器, 改变电子标签的等效负载电阻, 经过变压器阻抗变换, 改变线圈 1 上的反射电阻, 从而改变了载波电压振幅, 生成 ASK 信号, 经过带通滤波器和高频放大器后, ASK 解调和检测判决器给出接收数据。上述过程中, 电子标签始终通过电压控制器对线圈 2 上的感应电压进行整流、限幅和稳压, 从而获得所需的电能。

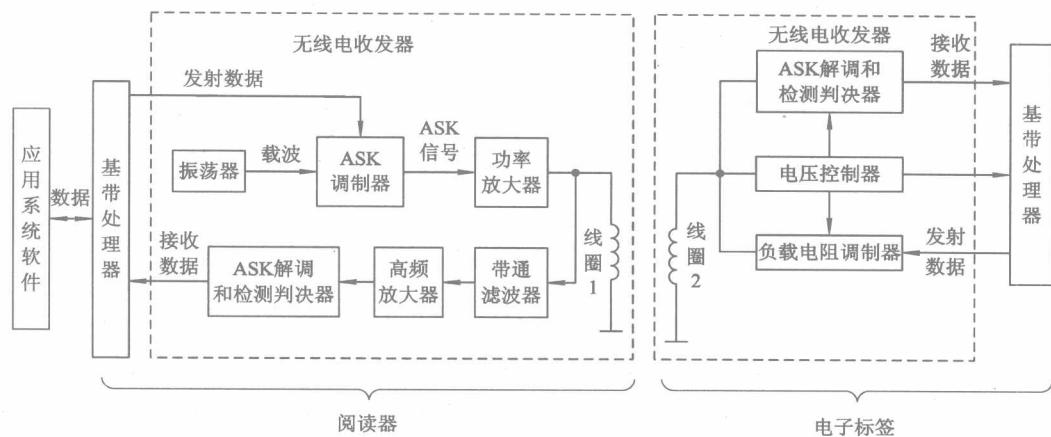


图 1.1.5 电感耦合 RFID 系统阅读器和电子标签的基本结构

为了实现阅读器线圈和电子标签线圈之间的电感耦合工作原理, 两个线圈之间的距离必须远小于工作频率对应的波长, 所以电感耦合 RFID 系统的工作频率较低, 典型频率有 125 kHz、225 kHz 和 13.56 MHz, 作用距离较小, 典型距离在 10~20 cm 以内。电磁反向耦合 RFID 系统利用阅读器和电子标签之间电磁波的发射、接收和反射实现数据传输, 所以工作频率较高, 典型频率有 433 MHz、915 MHz、2.45 GHz 和 5.8 GHz, 作用距离较大, 典型距离在 4~6 m 以上。

图 1.1.6 是一种电磁反向耦合 RFID 系统阅读器和电子标签的基本结构, 为了提高数据传输的频带利用率和抗干扰能力, 采用了正交振幅调制 (QAM) 信号取代 ASK 信号。阅读器通过频率合成器和功率分配器分别为调制和解调提供载波和本振信号。当数据从电子标签向阅读器传输时, 电子标签通过负载阻抗调制器改变电子标签的阻抗 (包括振幅和相