

信息与电子学科百本精品教材工程

新编电气与电子信息类本科规划教材

射频电路设计

黄智伟 编著

<http://www>



电子工业出版社

PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY

新编电气与电子信息类本科规划教材

射频电路设计

黄智伟 编著

电子工业出版社

Publishing House of Electronics Industry

北京·BEIJING

内 容 简 介

本书共8章,分别讲述了射频电路设计基础知识、射频小信号放大器电路、射频功率放大器电路、调制器/解调器电路、混频器电路、锁相环路(PLL)电路、DDS(直接数字式频率合成器)电路、单片射频收发器IC应用电路的主要技术指标、电路结构和电路设计实例,着重讨论了各单元电路的基本工作原理、基于射频IC芯片的电路设计特点及设计中应考虑的问题。

本书突出“知识点+工程设计”,基本概念清楚,理论分析简洁明了,设计实例工程性强,不仅可作为高等院校通信工程、电子信息工程等专业的本科生和研究生教材,也可作为通信、电子信息工程等相关领域科研和工程技术人员从事射频电路设计的参考书。

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

射频电路设计/黄智伟编著. —北京:电子工业出版社,2006.4

新编电气与电子信息类本科规划教材

ISBN 7-121-02445-4

I. 射… II. 黄… III. 射频电路—电路设计—高等学校—教材 IV. TN710.02

中国版本图书馆CIP数据核字(2006)第027944号

责任编辑:王颖

印刷:北京牛山世兴印刷厂

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

经销:各地新华书店

开本:787×1092 1/16 印张:20.25 字数:518.4千字

印次:2006年4月第1次印刷

印数:5000册 定价:27.80元

凡购买电子工业出版社的图书,如有缺损问题,请向购买书店调换。若书店售缺,请与本社发行部联系。联系电话:(010)68279077。质量投诉请发邮件至 zllts@phei.com.cn,盗版侵权举报请发邮件至 dbqq@phei.com.cn。

信息与电子学科百本精品教材工程

《新编电气与电子信息类本科规划教材》

电子信息类专业教材编委会

主任委员：鲍泓（北京联合大学）

副主任委员：徐科军（合肥工业大学）

江国强（桂林电子工业学院）

秦会斌（杭州电子工业学院）

胡先福（电子工业出版社）

委员：崔桂梅 陈新华 陈启祥 段吉海 黄智伟 胡学龙
(按拼音排序)

李霞 李金平 孙丽华 谭博学 王辉 张恩平

袁家政 姚远程 邹彦 周德新 周宇 王颖

编辑出版组

主任：胡先福

成员：王颖 凌毅 韩同平 张孟玮

冉哲 李岩 李维荣 张昱

《新编电气与电子信息类本科规划教材》参编院校

(按拼音排序)

- ▶ 安徽大学
- ▶ 安徽建筑工业学院
- ▶ 北京联合大学
- ▶ 北华大学
- ▶ 常州工学院
- ▶ 成都理工大学
- ▶ 东北电力学院
- ▶ 哈尔滨工程大学
- ▶ 杭州电子科技大学
- ▶ 合肥工业大学
- ▶ 合肥电子工程学院
- ▶ 湖北工业大学
- ▶ 湖南科技大学
- ▶ 河海大学
- ▶ 河北工业大学
- ▶ 华北电力大学
- ▶ 淮海工学院
- ▶ 桂林电子科技大学
- ▶ 桂林工学院
- ▶ 广西工学院
- ▶ 济南大学
- ▶ 南京邮电大学
- ▶ 南京工业大学
- ▶ 南昌大学
- ▶ 南华大学
- ▶ 南通大学
- ▶ 宁波大学
- ▶ 内蒙古科技大学
- ▶ 山东大学
- ▶ 山东理工大学
- ▶ 山东科技大学
- ▶ 青岛大学
- ▶ 上海第二工业大学
- ▶ 上海理工大学
- ▶ 上海海运学院
- ▶ 太原理工大学
- ▶ 太原重型机械学院
- ▶ 天津理工大学
- ▶ 厦门大学
- ▶ 西南科技大学
- ▶ 西安建筑科技大学
- ▶ 武汉工业学院
- ▶ 云南大学
- ▶ 扬州大学

前 言

本书是为高等院校通信工程、电子信息工程等专业的本科生和研究生编写的射频电路设计教材，是一本系统介绍射频电路设计基础知识、各单元电路基本工作原理、基于 IC 芯片的射频电路设计方法的专业基础教材。本书突出“知识点+工程设计”，其特点是基本概念清楚，理论分析简洁明了，以射频 IC 芯片为基础，突出具体的电路结构和印制板的设计方法，理论联系实际，深入浅出，丰富实用，工程性强，着重培养学生综合分析、开发创新和工程设计的能力。

全书共分 8 章，第 1 章介绍了频谱、时域与频域、无源元件的射频特性，串联 LC 和并联 LC 谐振电路的阻抗特性，传输线、非线性器件特性，滤波器电路，天线，Smith 圆图等射频电路基础知识。第 2 章介绍了射频小信号放大器电路主要技术指标，射频小信号放大器电路结构，基于单片射频小信号 IC 的射频小信号放大器电路设计实例。第 3 章介绍了射频功率放大器电路的主要技术指标，射频功率放大器电路结构，基于单片射频功率放大器 IC 的射频功率放大器电路设计实例。第 4 章介绍了振幅调制与解调电路基础知识，频率调制与相位调制及解调电路基础知识，数字调制与解调电路基础知识，基于单片调制和解调 IC 的调制解调电路设计实例。第 5 章介绍了混频器电路基础知识，混频器电路的主要技术指标，混频器的电路结构形式，基于单片混频 IC 的混频器电路设计实例。第 6 章介绍了锁相环路（PLL）电路基础知识，锁相环路的应用形式，基于单片锁相环路 IC 的锁相环路（PLL）电路设计实例。第 7 章介绍了 DDS（直接数字式频率合成器）基础知识，基于单片 DDS IC 的 DDS（直接数字式频率合成器）电路设计实例。第 8 章介绍了单片射频发射机电路拓扑结构，单片射频接收机电路拓扑结构，超宽带（UWB）无线收发器电路拓扑结构，软件无线电电路拓扑结构，基于单片射频收发器 IC 的应用电路实例。本书中所提供的大部分应用电路实例和印制板都可以直接在实际工程设计中应用。在各章的思考题与习题中给出了大量的、不同类型的射频 IC 芯片的型号、设计方案和生产该芯片的公司网址。

本书作为本科教材时，建议总学时数为 36~42 学时。如果能够与实际电路制作结合起来，学习的效果会更好。建议第 1 章学时数为 4~6 学时，第 2 章学时数为 4 学时，第 3 章学时数为 4 学时，第 4 章学时数为 6~8 学时，第 5 章学时数为 4 学时，第 6 章学时数为 4 学时，第 7 章学时数为 4~6 学时，第 8 章学时数为 6~8 学时。由于各章内容比较丰富，建议在学时重点讲解几个电路，剩余的电路设计实例可以作为练习题，由学生自己完成。也可以根据教学的需要对应用电路和印制板设计实例进行深入的讨论。思考题与习题中给出了一些设计方案，可以作为课程设计的内容。

本书是电子工业出版社组织出版的“新编电气与电子信息类本科规划教材”之一。在本书的编写过程中，南华大学电气工程学院通信工程、电子信息工程、自动化、电气工程及自动化、电工电子实验中心等教研室的老师提出了很多宝贵的建议，并给予了大力的支持，李富英高级工程师对本书进行了审阅，朱卫华、王彦、张清明、申政琴、林杰文、贺康政、王

凤玲、余丽、黄琛、李治、李伟等参加了编写工作，在此一并表示感谢。

在本书的编写过程中，参考了大量的国内外著作和资料，在此向这些作者表示衷心的感谢。

由于我们水平有限，错误和不足在所难免，敬请各位读者批评斧正。

黄智伟 于南华大学

2005.12

目 录

第 1 章 射频电路设计基础	(1)
1.1 频谱	(2)
1.2 时域与频域	(4)
1.2.1 信号在时域中的相关概念	(4)
1.2.2 信号在频域中的相关概念	(5)
1.3 无源元件的射频特性	(6)
1.3.1 电阻(器)的射频特性	(6)
1.3.2 电容(器)的射频特性	(7)
1.3.3 电感(器)的射频特性	(8)
1.3.4 石英晶体谐振器的射频特性	(9)
1.3.5 压电陶瓷元件的射频特性	(10)
1.3.6 SAW 滤波器的射频特性	(12)
1.4 串联 LC 和并联 LC 谐振回路的阻抗特性	(13)
1.4.1 串联 LC 谐振回路的阻抗特性	(13)
1.4.2 并联 LC 谐振回路的阻抗特性	(14)
1.5 传输线	(14)
1.5.1 传输线的定义	(14)
1.5.2 传输线的类型与特性	(15)
1.6 非线性器件特性	(17)
1.6.1 非线性电阻特性	(17)
1.6.2 非线性电容特性	(19)
1.6.3 非线性电感特性	(19)
1.6.4 非线性器件的频率变换作用	(20)
1.6.5 非线性器件的指数律特性	(20)
1.6.6 非线性器件的双曲正切特性	(21)
1.6.7 非线性器件的折线律特性	(21)
1.6.8 非线性器件的平方律特性	(22)
1.7 Smith 圆图	(22)
1.7.1 等反射圆	(22)
1.7.2 等电阻圆图和等电抗圆图	(23)
1.7.3 Smith 圆图(阻抗圆图)	(25)
1.8 滤波器电路	(25)
1.8.1 滤波器的基本结构和特性	(25)
1.8.2 滤波器的基本参数	(27)
1.8.3 集总参数滤波器设计	(29)

1.8.4	天线分离滤波器	(33)
1.9	天线	(33)
1.9.1	天线种类	(33)
1.9.2	天线的基本参数	(36)
	本章小结	(40)
	思考题与习题	(40)
第2章	射频小信号放大器电路设计	(45)
2.1	射频小信号放大器电路主要技术指标	(46)
2.1.1	增益	(46)
2.1.2	通频带	(46)
2.1.3	选择性	(46)
2.1.4	线性范围	(47)
2.1.5	隔离度和稳定性	(49)
2.1.6	噪声系数	(49)
2.2	射频小信号放大器电路结构	(49)
2.2.1	射频小信号放大器电路模型	(49)
2.2.2	单级单调谐放大电路	(50)
2.2.3	调谐放大器的级联	(52)
2.2.4	调谐频率 f_0 相同的多级调谐放大器	(53)
2.2.5	参差调谐放大器	(53)
2.2.6	宽频带放大器	(55)
2.3	射频小信号放大器电路设计实例	(55)
2.3.1	基于 MBC13720 的 2.4GHz 低噪声放大器 (LNA) 电路	(55)
2.3.2	基于 MGA72543 的 1.9GHz 低噪声放大器电路	(57)
2.3.3	基于 BGA622 的 GPS 接收机 LNA 电路	(60)
2.3.4	基于 AD6630 的 70~250MHz 宽带 IF 放大器电路	(61)
	本章小结	(61)
	思考题与习题	(63)
第3章	射频功率放大器 (RFPA) 电路设计	(67)
3.1	射频功率放大器的主要技术指标	(68)
3.1.1	输出功率	(68)
3.1.2	效率	(68)
3.1.3	线性	(69)
3.1.4	杂散输出与噪声	(69)
3.2	射频功率放大器电路结构	(69)
3.2.1	射频功率放大器的分类	(69)
3.2.2	A 类射频功率放大器电路	(70)
3.2.3	B 类射频功率放大器电路	(72)
3.2.4	C 类射频功率放大器电路	(73)
3.2.5	D 类射频功率放大器电路	(75)

3.2.6	E 类射频功率放大器电路	(77)
3.2.7	射频功率放大器电路的阻抗匹配网络	(78)
3.3	射频功率放大器电路设计实例	(82)
3.3.1	基于 MGA83563 的 900MHz/1.9GHz/2.5GHz 功率放大器电路	(82)
3.3.2	基于 CGB240 的蓝牙功率放大器电路	(85)
3.3.3	基于 HPMX3003 的 1.5~2.5GHz LNA/开关/功率放大器电路	(88)
3.3.4	基于 AD8353 的 100MHz~2.7GHz 功率放大器驱动电路	(89)
	本章小结	(90)
	思考题与习题	(91)
第 4 章	调制器/解调器电路设计	(95)
4.1	振幅调制与解调电路基础	(96)
4.1.1	普通调幅波的调制与解调	(96)
4.1.2	抑制载波双边带调幅 (DSB/SC-AM) 的调制与解调	(101)
4.1.3	抑制载波单边带调幅 (SSB/SC-AM) 的调制与解调	(103)
4.2	频率调制与相位调制及解调电路基础	(103)
4.2.1	频率调制 (调频) 与解调	(104)
4.2.2	相位调制 (调相) 与解调	(108)
4.3	数字调制与解调电路基础	(109)
4.3.1	二进制振幅键控 (ASK) 调制与解调	(109)
4.3.2	二进制频移键控 (FSK) 调制与解调	(113)
4.3.3	二进制相位键控 (PSK) 调制与解调	(117)
4.3.4	多进制数字振幅调制 (MASK) 与解调	(124)
4.3.5	多进制数字频率调制 (MFSK) 与解调	(125)
4.3.6	多进制数字相位调制 (MPSK) 与解调	(126)
4.3.7	正交振幅调制 (QAM) 与解调	(131)
4.4	调制解调电路设计实例	(135)
4.4.1	基于 U2790 的 1000MHz 正交调制器电路	(135)
4.4.2	基于 STQ 2016 的 700~2500MHz 直接正交调制器电路	(135)
4.4.3	基于 LT5503 的 1.2~2.7GHz 直接正交调制器电路	(139)
4.4.4	基于 ATR0797 的 65~300MHz 的 I/Q 解调器电路	(142)
4.4.5	基于 SRF1016 的 65~300MHz 的解调器电路	(144)
4.4.6	基于 AD8347 的 800MHz~2.7GHz 宽带直接正交解调器电路	(147)
	本章小结	(148)
	思考题与习题	(151)
第 5 章	混频器电路设计	(161)
5.1	混频器电路基础	(162)
5.1.1	混频器电路模型及频谱搬移现象	(162)
5.1.2	混频失真与干扰	(163)
5.2	混频器电路主要技术指标	(164)
5.2.1	变频增益 G_c	(164)

5.2.2	1dB 压缩点	(164)
5.2.3	三阶互调阻断点 (三阶截点) IP_3	(165)
5.2.4	噪声系数 N_F	(165)
5.2.5	隔离度	(166)
5.3	混频器的电路结构形式	(166)
5.3.1	吉尔伯特双平衡混频器电路	(166)
5.3.2	二极管双平衡混频器电路	(169)
5.4	混频器电路设计实例	(169)
5.4.1	基于 T0785 的 800~1000MHz 上变频器电路	(169)
5.4.2	基于 LT5511 的 400~3000MHz 上变频器电路	(171)
5.4.3	基于 MC13143 的 DC~2.4GHz 线性混频器电路	(173)
5.4.4	基于 LT5512 的 DC~3GHz 下变频器电路	(175)
5.4.5	基于 LT5500 的 1.8~2.7GHz LNA/混频器电路	(175)
	本章小结	(178)
	思考题与习题	(179)
第 6 章	锁相环路 (PLL) 电路设计	(187)
6.1	锁相环路 (PLL) 电路基础	(188)
6.1.1	锁相环路的基本特性	(188)
6.1.2	锁相环路的基本结构	(188)
6.2	锁相环路的应用	(192)
6.2.1	锁相调频/鉴频电路	(192)
6.2.2	锁相接收机电路	(192)
6.2.3	基本型单环频率合成器电路	(193)
6.2.4	前置分频型单环频率合成器电路	(193)
6.2.5	下变频型单环频率合成器电路	(194)
6.2.6	双模前置分频型单环频率合成器电路	(194)
6.2.7	小数分频频率合成器电路	(195)
6.2.8	多环锁相频率合成器电路	(196)
6.3	锁相环路 (PLL) 电路设计实例	(198)
6.3.1	基于 UMA1014 的 50~1100MHz PLL 电路	(198)
6.3.2	基于 SP5748 的 80MHz~2.4GHz PLL 电路	(198)
6.3.3	基于 MAX2753 的 2.4GHz VCO 电路	(203)
6.3.4	基于 RF2301 的 300~2500MHz 高隔离的缓冲放大器电路	(203)
6.3.5	基于 μ PB1509GV 的 1GHz 前置分频器电路	(206)
	本章小结	(207)
	思考题与习题	(207)
第 7 章	DDS (直接数字式频率合成器) 电路设计	(215)
7.1	DDS (直接数字式频率合成器) 电路基础	(216)
7.1.1	DDS (直接数字式频率合成器) 基本原理与结构	(216)
7.1.2	组合式频率合成器结构	(219)

7.1.3	频率合成器的主要技术指标	(220)
7.1.4	DDS 的调制特性	(222)
7.2	DDS (直接数字式频率合成器) 电路设计实例	(222)
7.2.1	基于 AD9834 的 50MHz DDS 电路	(222)
7.2.2	基于 AD9852 的 300MHz DDS 电路	(227)
7.2.3	基于 AD9858 的 2GHz DDS 电路	(238)
	本章小结	(240)
	思考题与习题	(241)
第 8 章	单片射频收发器 IC 应用电路设计	(243)
8.1	单片射频发射机电路拓扑结构	(244)
8.1.1	发射机的技术要求	(244)
8.1.2	间接调制发射机电路拓扑结构	(245)
8.1.3	直接调制发射机电路拓扑结构	(246)
8.1.4	偏移压控振荡器的直接调制发射机电路拓扑结构	(246)
8.1.5	基于锁相环的直接调制压控振荡器发射机电路拓扑结构	(247)
8.1.6	基于锁相环的输入基准调制发射机电路拓扑结构	(247)
8.1.7	基于 N 分频的上变频环路发射机电路拓扑结构	(248)
8.2	单片射频接收机电路拓扑结构	(249)
8.2.1	接收机的技术要求	(249)
8.2.2	超外差接收机电路拓扑结构	(251)
8.2.3	零中频接收机电路拓扑结构	(252)
8.2.4	低中频接收机电路拓扑结构	(252)
8.2.5	宽带双中频接收机电路拓扑结构	(253)
8.2.6	亚采样接收机电路拓扑结构	(254)
8.2.7	数字中频接收机电路拓扑结构	(254)
8.2.8	RAKE 接收机电路拓扑结构	(255)
8.3	超宽带 (UWB) 无线收发器电路拓扑结构	(257)
8.3.1	超宽带 (UWB, Ultra Wideband) 无线电技术简介	(257)
8.3.2	UWB 收发器电路拓扑结构	(261)
8.4	软件无线电电路拓扑结构	(263)
8.4.1	典型的软件无线电电路拓扑结构	(263)
8.4.2	典型软件无线电的移动台和基地台电路拓扑结构	(264)
8.4.3	使用单一全向天线的软件无线电电路拓扑结构	(265)
8.4.4	使用智能天线的软件无线电电路拓扑结构	(265)
8.4.5	采用超导微电子技术的“纯”软件无线电电路拓扑结构	(267)
8.5	单片射频收发器 IC 应用电路实例	(269)
8.5.1	基于 TH71081 的 868/915MHz ASK 发射器电路	(269)
8.5.2	基于 MC33493 的 315/434/868/915MHz FSK/OOK 发射器电路	(271)
8.5.3	基于 TH7107 的 315~433MHz FSK/FM/ASK 发射器电路	(273)
8.5.4	基于 RF2919 的 915/868/433MHz ASK/OOK 接收器电路	(276)

8.5.5 基于 TH71101 的 315/433MHz FSK/FM/ASK 接收器电路	(277)
8.5.6 基于 nRF903 的 433/868/915MHz GMSK/GFSK 收发器电路	(283)
8.5.7 基于 MC13190 的 2.4GHz ISM 收发器电路	(287)
8.5.8 基于 MC13180 蓝牙无线电收发器电路.....	(290)
8.5.9 基于 uN80xx 的 GPS 接收机电路	(296)
本章小结.....	(297)
思考题与习题.....	(298)
参考文献	(305)

第1章

射频电路设计基础

内容提要

射频电路设计与低频模拟电路、数字电路等电路设计相比较,有它的特殊性,本章介绍了射频电路设计所涉及的一些基础知识,主要内容有:频谱分段和常用的一些无线通信标准,信号在时域和频域中的相关概念和表示方法,电阻、电容、电感、石英晶体谐振器、压电陶瓷等元件的射频等效电路和特性,串联和并联 LC 谐振回路的结构与阻抗特性,传输线的类型、等效电路与特性,非线性电阻、电容和电感特性,非线性器件的频率变换作用,非线性器件的基本特性,Smith 圆图的基本结构,低通、高通、带通和带阻滤波器的基本结构和特性,天线的基本种类、特性和基本参数。

知识要点

频谱,时域和频域,无源元件的射频特性,LC 谐振回路,传输线,滤波器,Smith 圆图,天线。

教学建议

本章的重点是掌握射频电路设计所涉及的一些基础知识,其中的一些概念和方法在后面章节的学习中会用到。建议学时数为 4~6 学时,可以根据教学的需要对一些内容进行深入的讨论和扩展。有关元器件特性、分析方法等问题可以在后面章节的学习中进一步加深理解和掌握。

高频 半波整流					
AM					
FM					
PM					

1.1 频 谱

由电气和电子工程师学会 (IEEE) 建立的频谱分段见表 1.1.1。频率与波长的关系为

$$\lambda = \frac{c}{f} \quad (1.1.1)$$

式中, $c=3 \times 10^8$ m/s, 为无线电波在空间传播的速度; f 单位为 Hz; λ 单位为 m。

常用的一些无线通信标准见表 1.1.2。

表 1.1.1 IEEE 频谱

频 段	频 率	波 长
ELF (极低频)	30~300Hz	10000~1000km
VF (音频)	300~3000Hz	1000~100km
VLF (甚低频)	3~30kHz	100~10km
LF (低频)	30~300kHz	10~1km
MF (中频)	300~3000kHz	1~0.1km
HF (高频)	3~30MHz	100~10m
VHF (甚高频)	30~300MHz	10~1m
UHF (特高频)	300~3000MHz	100~10cm
SHF (超高频)	3~30GHz	10~1cm
EHF (极高频)	30~300GHz	1~0.1cm
亚毫米波	300~3000GHz	1~0.1mm
P 波段	0.23~1GHz	130~30cm
L 波段	1~2GHz	30~15cm
S 波段	2~4GHz	15~7.5cm
C 波段	4~8GHz	7.5~3.75cm
X 波段	8~12.5GHz	3.75~2.4cm
Ku 波段	12.5~18GHz	2.4~1.67cm
K 波段	18~26.5GHz	1.67~1.13cm
Ka 波段	26.5~40GHz	1.13~0.75cm
毫米波	40~300GHz	7.5~1mm
亚毫米波	300~3000GHz	1~0.1mm

表 1.1.2 常用的一些无线通信标准

应用	标 准	频 率 范 围	多址方式	双工方式	信道空间	调 制	最高数据速率
数字无绳电话	WDCT	2.402~2.480GHz	FDMA/ TDMA	TDD	1.728MHz	GFSK	N/A
	DECT	1.880~1.900GHz	TDMA/ FDMA	TDD	1.728MHz	GFSK (0.5 高斯滤波器)	1152 kb/s
	PHS	1.893~1.920GHz	TDMA/ FDMA	TDD	300kHz	$\pi/4$ DQPSK	384 kb/s

续表

应用	标准	频率范围	多址方式	双工方式	信道空间	调制	最高数据速率
无线数据通信	ZigBee	0.902~0.928GHz 2.402~2.480GHz (北美, 20 信道)	TDMA	FDD	5MHz	GFSK (0.5 高斯滤波器) OQPSK	250/28 kb/s
		0.868~0.8686GHz 2.412~2.472GHz (欧洲, 15 信道)					
		2.483GHz (日本, 5 信道)					
	Bluetooth	2.402~2.480GHz (北美& 欧洲, 79 跳频信道) 2.447~2.473GHz (西班牙) 2.448~2.482GHz (法国) 2.473~2.495GHz (日本)	FHSS	TDD	1MHz	二进制 FM (0.5 高斯滤波器)	1Mb/s
	WLAN 802.11a	5.150~5.350GHz 5.725~5.825GHz	CSMA/CA	TDD	OFDM:20MHz	OFDM, 64QAM, 16QAM, QPSK, BPSK	54Mb/s
	WLAN 802.11b	2.41~2.462GHz (北美) 2.412~2.472GHz (欧洲) 2.471~2.497GHz (日本)	CSMA/CA	TDD	FHSS:1MHz DSSS:25MHz	DBPSK, DQPSK, CCK	11Mb/s
WLAN 802.11g	2.41~2.462GHz (北美) 2.412~2.472GHz (欧洲) 2.471~2.497GHz (日本)	CSMA/CA	TDD	OFDM:20MHz	OFDM, 64QAM, 16QAM, QPSK, BPSK	54Mb/s	
WiMAX 802.16a	2~11GHz	TDMA/ OFDMA	TDD/ FDD	20/25MHz (北美) 28MHz (欧洲)	BPSK, QPSK, 4QAM, 16QAM, 64QAM, 256QAM	70Mb/s	
数字蜂窝电话	TDMA IS-54/-136	接收: 0.869~0.894GHz 发射: 0.824~0.849GHz 接收: 1.930~1.990GHz 发射: 1.850~1.910GHz	TDMA/ FDMA	FDD	30kHz	$\pi/4$ DQPSK	48.6kb/s
	CDMAOne (IS-95)	接收: 0.869~0.894GHz 发射: 0.824~0.849GHz 接收: 1.930~1.990GHz 发射: 1.850~1.910GHz	CDMA/ FDMA	FDD	1.25MHz	QPSK/OQPSK	115kb/s (IS-95B)
	CDMA2000	0.450~2.1GHz	CDMA	FDD	1.25MHz	QPSK/OQPSK/ HPSK	308kb/s 2.4Mb/s
	W-CDMA/ UMTS	接收: 0.869~0.894GHz 发射: 0.824~0.849GHz 接收: 1.930~1.990GHz 发射: 1.850~1.910GHz 接收: 2.110~2.170GHz (CDMA2000 亚洲) 发射: 1.920~1.980GHz (CDMA2000 亚洲)	CDMA/ FDMA	FDD	1250kHz	QPSK/OQPSK	1.2288Mb/s

续表

应用	标准	频率范围	多址方式	双工方式	信道空间	调制	最高数据速率
数字蜂窝电话	TD-SCDMA	接收: 2.010~2.025GHz 发射: 1.900~1.920GHz 接收: 1.930~1.990GHz 发射: 1.850~1.910GHz	CDMA/ TDMA	TDD	1.6MHz	QPSK,8PSK	2Mb/s
	GSM/GPRS	接收: 1.930~1.990GHz 发射: 1.850~1.910GHz 接收: 0.869~0.894GHz 发射: 0.824~0.894GHz 接收: 0.925~0.960GHz 发射: 0.880~0.915GHz 接收: 1.805~1.880GHz 发射: 1.710~1.785GHz	TDMA/ FDMA	FDD	200kHz	GMSK (0.3 高斯 滤波器) 8PSK	14.4kb/s GSM 115kb/s GPRS

1.2 时域与频域

信号可以在时间域（或简称时域）中描述，也可以在频率域（或简称频域）中描述，任何信号都可以用这两种方法表示。

1.2.1 信号在时域中的相关概念

1. 连续信号与离散信号

连续信号是指强度随时间连续平稳变化的信号。离散信号是指其强度在某段时间内保持某一恒定值，而在另一段时间内，则改变为另一恒定值的信号。

2. 周期信号与非周期信号

周期信号随时间的进展不断重复相同的信号形状。在数学上表示为

$$s(t+T) = s(t), \quad -\infty < t < +\infty \quad (1.2.1)$$

式中，常量 T 是周期信号的周期。不符合上面条件的信号则属于非周期信号。

3. 振幅、频率与相位

正弦波是一种基本的连续信号。一般的正弦波可用振幅 (A)、频率 (f) 与相位 (φ) 这三个参数来描述。一般的正弦波可以表示为

$$S(t) = A \sin(2\pi ft + \varphi) \quad (1.2.2)$$

4. 波长

对于频率为 f 的信号的的正弦波，当在自由空间传播的时候，波长定义为

$$\lambda = \lambda_0 = \frac{c}{f} = \frac{30(\text{cm})}{f(\text{GHz})} \quad (1.2.3)$$