

高等学校电子信息类教材

射频电路设计 技术

王磊 杨红 等编著 冼进 审

Circuit

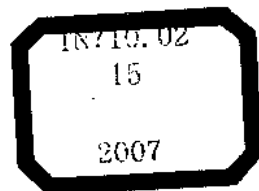
Techniques

Radio frequency

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



电子工业出版社
PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY



【高等学校电子信息类教材】

射频电路设计技术

王 磊 杨 红 等编著

冼 进 审

电子工业出版社

Publishing House of Electronics Industry

北京·BEIJING

内 容 简 介

本书系统地介绍射频通信电路设计的基本原理和方法,共分11章,前3章介绍射频设计前沿动态、基本原理及射频电路中最基本的元器件;后8章详细介绍了滤波器、匹配网络、放大器、混频器、振荡器和锁相环等通信工程必不可少的组成部分的原理分析及设计过程,对于设计中常常遇到问题的章节还配有例子。每章开始有一小段对本章内容的简单介绍,让读者可以在较短时间融入该章节的学习境界中;每一章节的结束部分为本章小结及参考文献,这样可以使读者在学习之余巩固学习效果、拓宽知识面。

本书内容全面、逻辑与结构合理,讲解由浅入深、示例丰富、注释详尽,是一本理论联系实际的射频电路设计书,也是一本很好的射频电路应用指导书。既可作为通信类和电子类(通信工程、电子信息工程、无线电技术、微波/毫米波通信、计算机通信等)专业本科生的射频原理与设计的教书或参考用书,也可作为从事射频电路的工程技术人员参考用书。

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

射频电路设计技术/王磊,杨红等编著. —北京:电子工业出版社,2007.7

高等学校电子信息类教材

ISBN 978-7-121-04294-2

I. 射… II. ①王…②杨… 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(2007)第060681号

责任编辑:王春宁

印 刷:北京市顺义兴华印刷厂

装 订:三河市双峰印刷装订有限公司

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:16.5 字数:422千字

印 次:2007年7月第1次印刷

印 数:5000册 定价:29.00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。

前 言

近 20 年来,以蜂窝移动通信为龙头的无线应用技术,包括 PCS 电话、无线局域网(WLAN)、全球定位系统(GPS)、直播电视服务(DBS)、本地多点分布系统(LMDS)和射频识别系统(RFID)等在内,已经获得了巨大的发展。人们越来越清楚地认识到射频设计在整个无线应用系统中举足轻重的地位,因此,目前各高等院校的通信电子类本科专业都已把高频电路或通信电路作为一门主要的专业基础课。

电子科学与技术对于国家经济发展、科技进步和国防建设都具有重要的战略意义。今天,面对电子科学与技术的飞速发展,世界上发达国家如美国、德国、日本、英国、法国等都竞相将微电子技术和光电子技术引入国家发展计划。我国对微电子技术和光电子技术的研究也给予了高度重视。在全国电子科学与技术的科研、教学、生产和使用单位的共同努力下,我国已经形成了门类齐全、水平先进、应用广泛的微电子和光电子技术的科学研究领域,并在产业化方面形成了一定规模,取得了可喜的进步,为我国科学技术、国民经济和国防建设做出了积极贡献,在国际上也争得了一席之地。但是,我们清楚地看到,在电子科学与技术领域,我国与世界先进水平仍有不小的差距,尤其在微电子技术方面的差距最大。这既有历史、体制、技术、工艺和资金方面的原因,也有各个层次所需专业人才短缺的原因。为了满足广大高校对射频设计教学的需要,作者特根据现状编著了《射频电路设计技术》一书。

本书的特点:

本书以无线移动通信中的射频系统为应用背景,提出各单元电路的工作原理、性能要求,同时从设计观点出发论述各项性能指标与电路参数之间的关系并举出许多实例加以说明。按照这一思路,在内容编排上,首先介绍射频系统的体系结构并从移动通信系统的标准引导出对于射频电路的性能指标要求,而后对每个单元电路逐个介绍并给出设计实例。

概括来讲,具有如下特点:

- 延续传统、更新内容,基础精深、专业宽新。教材编写在准确诠释基本概念、基本理论的同时,注重反映该领域的最新成果和发展方向,真正使教材能够达到培养“厚基础、宽口径、会设计、可操作、能发展”人才的目的。
- 拓宽专业基础,加强实践教学。适当拓宽专业基础知识的范围,以增强培养人才的实用性;注重实践环节的设置,以促进學生实际动手能力的培育。
- 适应教学计划,考虑自学需要。教材的编写完全按照教学指导委员会最新的课程设置和课程要求的指示精神,同时给学生留有更大的选择空间,以利于学生的个性发展和创新能力的培养。
- 以理解概念、实现功能为主。在讲述器件和电路特点时,重点介绍其机理,强调概念的应用,功能的实现,尽量避免过多理论推导。
- 理论与实践相结合,电路紧密围绕通信系统。在讲述电路设计原理时,尽可能地介绍目前在这方面的集成电路器件并分析其原理;在应用模块电路中强调器件的指标、各功能模块间的链接与匹配,从而使读者不仅知道原理而且学会正确使用器件。
- 强调指标。与数字电路不同,衡量模拟电路的好坏不仅是功能,更重要的是指标。围绕每一种功能电路,我们在讲述电路原理的同时也讲述衡量其指标和影响性能指

标的参数及改进性能指标的方法。

组织结构:

全书按照射频电路及通信系统设计的一般过程来编排内容, 全书分为两个部分, 共 11 章, 具体内容安排如下:

第一部分包括第 1 章至第 3 章, 介绍了射频设计前沿动态、射频传输线的特性、基本原理及射频电路中最基本的元器件。

第二部分包括第 4 章至第 11 章, 介绍滤波器、匹配网络、放大器、混频器、振荡器和锁相环等通信工程必不可少的组成部分的原理分析及设计过程, 对于设计中常常遇到问题的章节还配有大量例子。

同时, 在本书的最后给出了三个附录, 它们分别给出了射频电路分析与设计时常常用到的单位换算公式、能量单位——电子伏特 (eV) 的推导和本书习题的参考答案。从而方便读者对射频电路知识的学习, 以及从事射频电路的分析与设计工作。

同时, 本书为了方便教学还提供与本书配套的电子教案, 需要以上内容的读者可以从下面网址: www.hxedu.com.cn 下载。

读者对象:

本书内容全面、逻辑与结构合理, 讲解由浅入深、示例丰富、注释详尽, 既是一本理论联系实际的射频电路设计书, 也是一本很好的射频电路应用指导书。既可作为通信类和电子类 (通信工程、电子信息工程、无线电技术、微波 / 毫米波通信、计算机通信等) 专业本科生学校的射频原理与设计的教材或参考用书, 也可作为从事射频电路的工程技术人员参考用书。

编者与致谢:

本书主要由王磊、杨红等编写, 全书内容与结构由杨红规划, 全书由冼进审。另外, 参与本书编写工作的还有: 邹素琼、冼进、赵秋云、赵继军、彭艺、曲辉辉、周章、蒋波、徐留旺、曹振宇、张婷、温凌霜、鲁得翠、蒋泽平、魏乐、韩翔、程小英、谭小丽、卢丽娟、李小琼、周宏、罗吉、许翔燕、陈春、张忠、方小马、黄姹英、周明、宋晶、邓勇等, 在此一并表示感谢!

参与本书编写的还有杨开明及实验室的其他成员。尤其感谢杨开明在编写过程中所给予的启发与鼓舞!

配套服务:

为充分展现本书编写特点, 帮助读者深刻理解本书编写意图与内涵, 进一步提高对本书教学的使用效率, 我们建立本书使用指导联络方式, 是读者与编者之间交流沟通的直通车。欢迎读者将图书使用过程中问题与各种探讨、建议反馈给我们, 本书编者会竭诚为您服务。我们的联系方式 (E-mail): china_54@tom.com。

目 录

第 1 章 引言	(1)
1.1 微波电路简介	(2)
1.2 频谱的划分	(4)
1.3 移动通信的射频设计	(5)
1.4 射频设计的重要性	(7)
第 2 章 无源器件	(8)
2.1 引言	(8)
2.2 微带元件简介	(8)
2.2.1 传输损耗	(9)
2.2.2 微带耦合器和功率分配器	(10)
2.3 无源集总式元件	(12)
2.3.1 电阻器	(12)
2.3.2 电容器	(13)
2.3.3 电感器	(15)
2.4 分布式无源元件	(17)
2.4.1 电阻器	(17)
2.4.2 电容器	(19)
2.4.3 电感器	(20)
2.5 小结	(25)
参考文献	(25)
第 3 章 有源晶体管	(27)
3.1 不同材料的比较	(27)
3.1.1 硅 (Si) 基材料简介	(27)
3.1.2 砷化镓 (GaAs) 基材料简介	(28)
3.2 双极型晶体管	(28)
3.2.1 双极型晶体管的历史简介	(28)
3.2.2 双极型晶体管的工作原理	(29)
3.2.3 双极型晶体管的频率性能	(31)
3.3 场效应晶体管	(36)
3.4 异质结双极型晶体管 (HBT)	(44)
3.4.1 双极型晶体管与场效应晶体管的比较	(45)
3.4.2 噪声性能	(45)
3.4.3 f_T 和 f_{max}	(46)
3.4.4 双极型和场效应晶体管的功率和线性度性能	(47)
3.5 小结	(49)
参考文献	(49)

第 4 章 微波滤波器设计	(52)
4.1 滤波器概述	(52)
4.2 镜像参量法	(53)
4.2.1 一般型滤波器	(53)
4.2.2 m 衍生型滤波器	(56)
4.2.3 复合型滤波器	(57)
4.3 插入损耗法	(58)
4.3.1 平坦滤波器	(58)
4.3.2 低通滤波器	(59)
4.4 低通到带通、带阻、高通的变换	(61)
4.4.1 带通滤波器	(61)
4.4.2 带阻滤波器	(63)
4.4.3 高通滤波器	(64)
4.5 微波滤波器变换法	(65)
4.5.1 Richard 变换	(66)
4.5.2 Kuroda 恒等式	(66)
4.5.3 阶梯型滤波器	(67)
4.6 滤波器设计实例	(68)
4.6.1 一般型滤波器设计	(68)
4.6.2 m 衍生型滤波器设计	(69)
4.6.3 复合型滤波器设计	(70)
4.6.4 复合型高通滤波器设计	(71)
4.6.5 平坦型低通滤波器设计	(74)
4.6.6 平坦型低通滤波器设计实例	(74)
4.6.7 带通滤波器设计	(76)
4.6.8 带阻滤波器设计	(77)
4.6.9 阶梯型滤波器设计	(78)
4.7 小结	(79)
参考文献	(79)
习题	(80)
第 5 章 匹配网络与偏置网络	(81)
5.1 射频通信电路中单位的简单说明	(81)
5.1.1 功率换算	(81)
5.1.2 $50\ \Omega$ 与 $75\ \Omega$ 的由来	(81)
5.2 集总式匹配网络	(82)
5.2.1 禁止使用电阻取得匹配	(83)
5.2.2 不同的 L 型匹配网络	(84)
5.2.3 应用 L 型网络匹配复数阻抗	(87)
5.2.4 T 型网络转换为 π 型网络	(88)
5.3 分布式匹配网络	(89)

5.3.1	串联和并联短截线	(89)
5.3.2	1/4 波长变换器	(91)
5.3.3	短阻抗变换器	(91)
5.4	微带线阻抗变换器与阻抗匹配网络	(91)
5.4.1	1/4 波长阻抗变换器	(93)
5.4.2	1/4 波长阶梯型阻抗变换器	(94)
5.4.3	渐变线阻抗变换器	(94)
5.4.4	单株线阻抗变换器	(95)
5.4.5	滤波阻抗变换器	(98)
5.5	偏置电路	(99)
5.5.1	直流偏置	(99)
5.5.2	重叠偏置	(101)
5.6	匹配电路设计实例	(102)
5.6.1	非电阻型阻抗匹配设计实例	(102)
5.6.2	其他类型阻抗匹配设计实例	(104)
5.7	小结	(107)
	参考文献	(108)
	习题	(109)
第 6 章	噪声与非线性失真	(111)
6.1	噪声系数	(111)
6.2	噪声温度	(111)
6.2.1	噪声温度与噪声系数的关系	(112)
6.2.2	噪声温度的测试	(112)
6.3	级联器件的噪声系数	(113)
6.4	交调失真	(114)
6.4.1	输入端仅有一个有用信号	(114)
6.4.2	输入端有两个以上的信号	(115)
6.5	动态范围	(119)
6.6	分析及设计举例	(120)
6.6.1	噪声系数的分析实例	(120)
6.6.2	噪声源分析	(121)
6.6.3	网络的噪声分析	(122)
6.6.4	级联情况的噪声分析	(123)
6.6.5	动态范围分析	(124)
6.6.6	三阶互调截点分析	(125)
6.6.7	放大器的噪声及动态范围分析	(125)
6.6.8	系统的噪声分析	(129)
6.7	小结	(130)
	参考文献	(130)
	习题	(131)

第7章 低噪声放大器 (LNA) 设计	(133)
7.1 低噪声放大器指标	(133)
7.1.1 工作频率	(134)
7.1.2 低功耗	(134)
7.1.3 增益	(134)
7.1.4 增益控制	(134)
7.1.5 噪声系数	(135)
7.1.6 输入阻抗匹配	(135)
7.1.7 线性范围	(136)
7.1.8 隔离度和稳定性	(137)
7.2 低噪声放大器设计原理	(138)
7.2.1 低噪声放大器设计步骤	(138)
7.2.2 低噪声放大器结构	(138)
7.3 低噪声放大器设计实例	(140)
7.3.1 2.7 V, 900 MHz CMOS 低噪声放大器分析	(140)
7.3.2 高频小信号放大器设计	(142)
7.3.3 接收机前端噪声系数分析	(143)
7.3.4 单级低噪声放大器设计	(145)
7.3.5 低噪声放大器设计	(146)
7.3.6 1.9 GHz CMOS 低噪声放大器分析	(148)
7.4 小结	(151)
参考文献	(151)
习题	(153)
第8章 功率放大器	(155)
8.1 前言	(155)
8.2 功率放大器的分类	(155)
8.3 功率放大器的分析	(156)
8.3.1 功率放大器的特点及主要研究对象	(156)
8.3.2 提高功率放大器效率的主要途径	(157)
8.4 功率器件	(158)
8.4.1 双极型晶体管	(158)
8.4.2 功率场效应晶体管	(160)
8.4.3 微波晶体管功率放大器的结构	(160)
8.4.4 功率模块	(162)
8.4.5 器件不应进入二次击穿区工作	(162)
8.5 功率放大器的性能分析	(164)
8.6 稳定性研究与增益分析	(166)
8.6.1 理论分析	(166)
8.6.2 放大器稳定性判定	(167)
8.6.3 等增益圆	(169)

8.7	条件稳定放大器设计	(171)
8.7.1	电阻型稳定	(171)
8.7.2	并联反馈型稳定	(172)
8.7.3	串联反馈型稳定	(172)
8.8	功率效率	(172)
8.8.1	功率放大器的不稳定性	(173)
8.8.2	大信号的阻抗匹配	(173)
8.8.3	功率放大器的负载牵引	(173)
8.9	放大器中匹配网络综合	(174)
8.9.1	预筛选	(174)
8.9.2	预综合	(176)
8.9.3	元件值的调整	(176)
8.9.4	阻抗变换	(176)
8.10	功率合成的基本概念	(177)
8.11	功率放大器设计实例	(178)
8.11.1	最大增益放大器设计实例	(178)
8.11.2	放大器负载牵引分析	(179)
8.11.3	功率放大器的热耗问题	(181)
8.12	小结	(181)
	参考文献	(182)
	习题	(183)
第 9 章	混频器	(186)
9.1	概述	(186)
9.2	混频器的工作原理	(186)
9.3	非线性分析法	(188)
9.3.1	非线性分析法理论依据	(188)
9.3.2	转换损耗	(189)
9.3.3	输入与输出阻抗	(189)
9.3.4	隔离度 (IS)	(190)
9.4	转换损耗矩阵分析法	(190)
9.4.1	转换损耗矩阵分析法理论依据	(190)
9.4.2	转换损耗	(190)
9.4.3	输入与输出阻抗	(190)
9.4.4	转换损耗	(191)
9.5	场效应晶体管混频器	(191)
9.5.1	有源场效应晶体管混频器的结构	(191)
9.5.2	栅极混频器	(192)
9.5.3	源极混频器	(192)
9.5.4	漏极混频器	(192)
9.5.5	场效应晶体管混频器的设计	(193)

9.6	二极管混频器	(193)
9.6.1	二极管混频器的结构	(193)
9.6.2	二极管混频器的设计	(194)
9.6.3	单端二极管混频器	(197)
9.6.4	平衡式二极管混频器	(198)
9.6.5	双平衡式二极管混频器	(199)
9.7	设计实例	(199)
9.7.1	混频器分析实例	(199)
9.7.2	二极管混频器分析	(200)
9.8	小结	(200)
	参考文献	(201)
	习题	(202)
第 10 章	振荡器	(204)
10.1	概述	(204)
10.2	RC 正弦波振荡器	(205)
10.3	LC 振荡器	(206)
10.3.1	LC 振荡器的平衡条件	(206)
10.3.2	LC 振荡器的基本结构及特性	(207)
10.4	反馈型振荡器	(208)
10.4.1	反馈型振荡器平衡条件	(208)
10.4.2	LC 三点式振荡器的一般结构	(209)
10.5	振荡器中的相位噪声	(210)
10.5.1	振荡器元器件的比较	(210)
10.5.2	相位噪声的频谱特性	(211)
10.5.3	振荡器的噪声分析	(211)
10.5.4	偏置与杂散响应的抑制	(212)
10.6	压控振荡器	(213)
10.6.1	压控振荡器的理论基础	(213)
10.6.2	变容二极管压控振荡器	(213)
10.7	设计与分析实例	(214)
10.7.1	振荡器起振条件分析	(214)
10.7.2	振荡器参数计算	(215)
10.8	小结	(216)
	参考文献	(217)
	习题	(219)
第 11 章	锁相环设计	(221)
11.1	锁相环的历史	(221)
11.2	锁相环基本原理	(222)
11.3	简单锁相环模型	(223)
11.3.1	一阶锁相环	(224)

11.3.2	二阶锁相环	(225)
11.4	鉴相器	(227)
11.5	电荷泵和环路滤波器	(228)
11.5.1	电荷泵	(228)
11.5.2	环路滤波器	(228)
11.6	压控振荡器	(232)
11.6.1	压控振荡器最重要参数	(233)
11.6.2	常用压控振荡器	(233)
11.6.3	微波压控振荡器	(234)
11.7	设计举例	(234)
11.7.1	简单 RC 低通滤波器设计	(234)
11.7.2	无源 RC 滤波器设计	(236)
11.7.3	L 波段微波晶体三极管压控振荡器	(237)
11.7.4	S 波段微波晶体三极管压控振荡器	(238)
11.7.5	X 波段低相位噪声压控振荡器	(239)
11.7.6	Ka 波段体效应管压控振荡器	(240)
11.7.7	锁相环路分析	(241)
11.8	小结	(242)
	参考文献	(242)
	习题	(243)
附录 A	常用单位换算公式	(245)
附录 B	能量单位——电子伏特 (eV)	(247)
附录 C	习题参考答案	(249)

第1章 引言

众所周知,由于射频技术不断发展,射频电路的工作频率日益提高,模拟和数字电路设计工程师们需要不断地开发和改进电路。用于无线通信的模拟电路一般是在 GHz 频段,高性能计算机、工作站等重要设备的内部电路时钟频率不断增加,更加需要设计师们不断开发出高性能、满足新要求的模拟电路和数字电路。全球定位系统的载波频率在 1227.60~1575.42 MHz 范围之内;个人通信系统中应用的低噪声放大器工作频率在 1.9 GHz,并可安装于一个比 10 美分硬币还小的电路板上;C 波段的卫星广播包括 4 GHz 上行链路和 6 GHz 下行链路系统。一般而言,由于无线通信技术的快速发展,更需要紧凑的放大器、滤波器、振荡器和混频器等电路被快速设计出来,并测试应用。通常这些电路的工作频率大于 1 GHz。毫无疑问,这种趋势将会不断继续下去,因此不仅需要独特技术性能的装置,而且需要专门设计射频电路,以解决在常用的低频系统中没有遇到过的问题。

无线通信系统已成为最广泛使用的、最快捷的通信方式(任何时间,任何地点),并且是当今信息化社会的基石。人类通信史漫长而悠久,而无线通信技术发展至今还不足 200 年历史。利用灵巧、便捷的无线手机进行双向通信是当前消费的一种时尚,成为了现代人不可缺少的交流工具。但是,一般的手机用户恐怕很少知道这一百多年来许多科学家和工程师努力奋斗的艰辛过程:

- 1837 年,莫尔斯最先发现并利用电磁感应原理,发明了以点、划、空格为形式的有线电报通信方式;
- 1876 年,贝尔(Alexander Graham Bell)和华特生(Thomas A. Watson)发明了电话;
- 1894 年,马可尼(Guglielmo Marconi)发明了无线电报,首次实现了以大气层为传输媒质的无线通信;
- 1908 年,福莱斯特(Lee De Forest)发明了真空三极管,从而实现了对电信号的放大;
- 1920 年,首家调幅(AM)信号商用无线电台开播;
- 1933 年,阿姆斯特朗(E.H. Armstrong)发明频率调制(FM);
- 1936 年,首家商用调频(FM)电台开播;
- 1946 年,首家公众移动电话服务在美面市;
- 1954~1964 年,卫星通信从实验逐渐走向成熟;
- 1965 年,“晨鸟”(INTELSAT-1)卫星正式承担国际通信业务;
- 1979 年,首个蜂窝系统在日本开通;
- 1990 年,GSM 系统在欧洲开通;
- 20 世纪 80 年代,第一代蜂窝系统在中国开通;
- 20 世纪 90 年代,第二代蜂窝系统(GSM)在中国开通;
- 21 世纪初,第三代蜂窝系统(TD-SCDMA、W-CDMA、CDMA2000)陆续在中国开通。

今天,在中国大陆 GSM/GPRS/CDMA 移动通信用户已超过 1.8 亿。无线通信正以前所未有的速度高速发展,无线通信的新技术与新发明层出不穷!

1.1 微波电路简介

“微波电路”这个名词对不同的人而言，具有不同的含义。微波就是细小或微小的波，其通常是指电磁波的波长相对于电路的物理尺寸而言非常小，或者相对于元件尺寸而言很小。对于大多数人而言，微波就是频率在 $1\sim 10$ GHz 范围内的电磁信号。在这个范围内，空气中电磁波的波长从 30 cm 到 3 cm。众所周知，在介质材料中的波长比空气中的波长要短，其缩短系数等于介电常数的平方根。在 $1\sim 10$ GHz 的频率范围内，波长的十分之一就相当于 30 mm 到 3 mm 的元件长度或在介质材料中大约 1 mm 到 20 mm 的元件长度。

在 20 世纪中期和末期，除同轴线和波导技术之外，微波电路技术还包括：

- 印制电路板 (PCB) 技术；
- 微波集成电路 (MIC) 技术；
- 单片微波集成电路 (MMIC) 技术。

电路设计者在 PCB 电路中采用尺寸大约为 1 cm 的封装器件；在 MIC 电路中采用尺寸大约为 1 mm 的引线器件；而在 MMIC 电路中采用尺寸大约为 $10\ \mu\text{m}$ 到 $100\ \mu\text{m}$ 的单片器件。3 种技术中，物理尺寸越小的工作频率越高，但三者总的趋势是不断向高频段发展。

本书中，微波电路这个词包括制作在印制电路板 (PCB) 上的电路、微波集成电路 (MIC) 和单片微波集成电路 (MMIC)。大部分航空电子和无线电电路中应用印制电路板和微波集成电路。在这些电路的等效电路中，电路寄生元件是电路元件值中很重要的部分。寄生元件的出现可能源于电路的分布效应或者制造工艺的限制，但这并不限制那些必须考虑分布效应的电路的发展。寄生元件的相对值取决于电路元件所用媒质的介电常数、信号从源出发到达负载所经过的距离以及元件与接地导体或接地区域之间的距离。这个概念同样可以用来描述模拟电路、数字电路及混合（模拟和数字）电路。在微波电路设计过程中，必须考虑元件的寄生效应和分布效应。对于数字电路设计师而言，这些寄生效应会影响电压或电流信号在导线或导体中传播的时延及波形。

元件的模型体现了电路元件中储存的电能、磁能及损耗的能量。常常采用电容器、电感器、电阻器等集总参数元件来为电路元器件建模。电路中存储的电能和磁能可以分别用电容器和电感器来描述，而电路中损耗功率或能量的性质可用电阻器来描述。在电路大于一个波长的情况下，可以用包含电容器、电感器和电阻器的传输线模型来描述电路元件，并可详细描述出分布参数的特性。图 1-1 给出了无耗传输线模型，图 1-2 给出了有耗传输线模型，图 1-3 给出了几种不同的传输线。

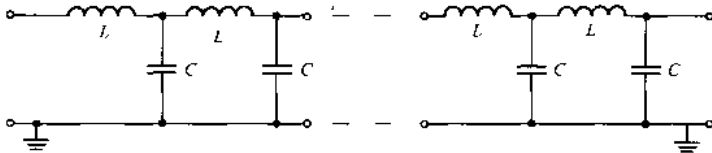


图 1-1 无耗传输线模型

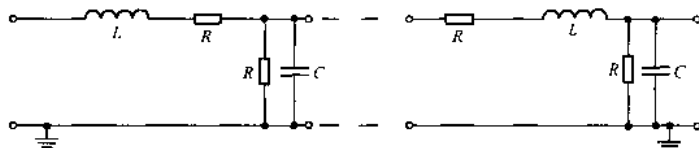


图 1-2 有耗传输线模型

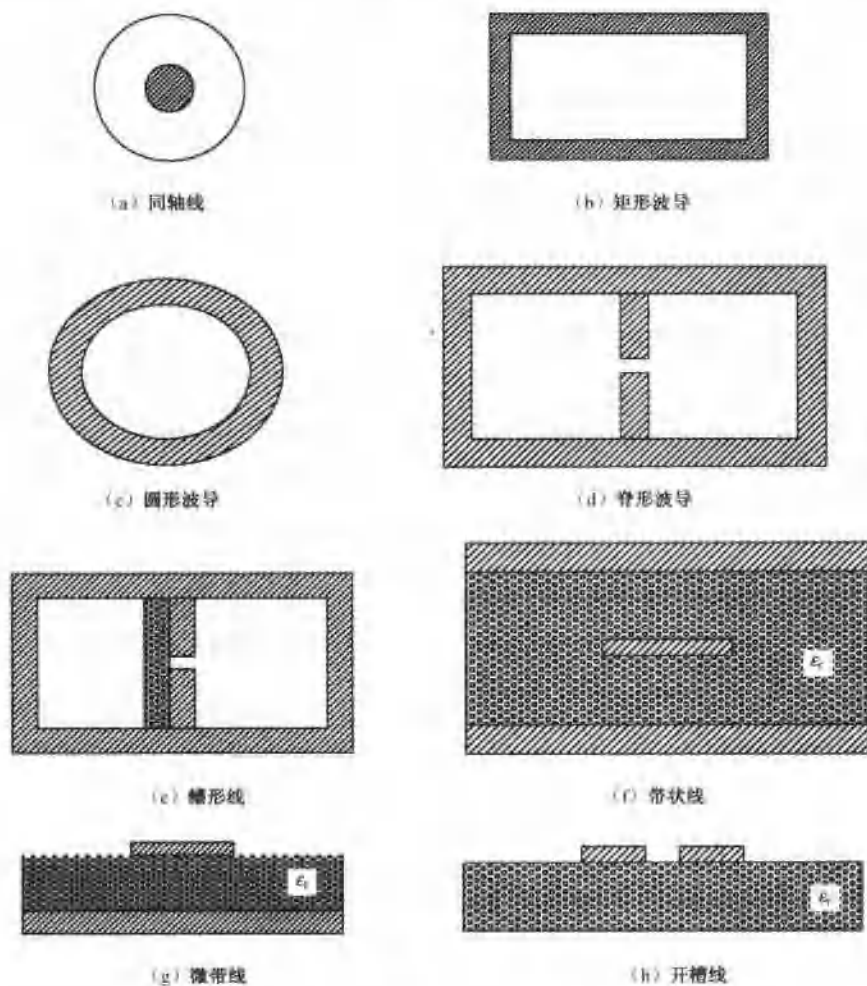


图 1-3 用于射频和微波电路中的传输线

固态器件和真空电子管可用做射频和微波电路中的有源元器件，微波电子管优先用于雷达、通信、电子对抗（ECM）和微波烹饪等先进领域，它们还可用于粒子加速器、等离子加热、材料加工和功率传输等技术领域。固态器件主要用于射频领域和低功耗微波电路，诸如大量应用于局域网的低功率发射机和接收机电路。固态器件的某些应用如表 1-1 所示。

表 1-1 某些固态器件的应用

器 件 名	应 用	优 点
晶体管	用于遥测系统和相控阵雷达的 L 波段发射机 用于通信系统的发射机	低价格 低功耗 高可靠性 高连续波（CW）功率输出 重量轻

续表

器 件 名	应 用	优 点
转移电子器件	C 波段、X 波段和 Ku 波段的宽带电子对抗 (ECM) 放大器 用于雷达系统 (如交通控制) 的 X 波段和 Ku 波段发射机	低功耗 低价格 重量轻 高可靠性 低噪声 高增益
IMPATT 二极管	毫米波通信发射机	低功耗 低价格 高可靠性 高连续波 (CW) 功率输出 重量轻
TRAPATT 二极管	用于相控阵雷达的 S 波段脉冲发射机	高峰值和平均功率 高可靠性 低功耗 低价格
BARITT 二极管	通信和雷达接收机中的本地振荡器	低功耗 低价格 高可靠性 低噪声

1.2 频谱的划分

由于在众多的应用领域中, 工程师们必须研究可工作于宽频率范围的电路。多年来, 对频谱的划分已进行了几次, 而当今最通用的频谱分段法是由电气和电子工程师学会 (IEEE) 建立的, 如表 1-2 所示。

表 1-2 IEEE 频谱划分

频 段	频 率	波 长
ELF (极低频)	30~300 Hz	10000~1000 km
VF (音频)	300~3000 Hz	1000~100 km
VLF (甚低频)	3~30 kHz	100~10 km
LF (低频)	30~300 kHz	10~1 km
MF (中频)	300~3000 kHz	1~0.1 km
HF (高频)	3~30 MHz	100~10 m
VHF (甚高频)	30~300 MHz	10~1 m
UHF (特高频)	300~3000 MHz	100~10 cm
SHF (超高频)	3~30 GHz	10~1 cm
EHF (极高频)	30~300 GHz	1~0.1 cm
亚毫米波	300~3000 GHz	1~0.1 mm
P 波段	0.23~1 GHz	130~30 cm
L 波段	1~2 GHz	30~15 cm

续表

频 段	频 率	波 长
S 波段	2~4 GHz	15~7.5 cm
C 波段	4~8 GHz	7.5~3.75 cm
X 波段	8~12.5 GHz	3.75~2.4 cm
Ku 波段	12.5~18 GHz	2.4~1.67 cm
K 波段	18~26.5 GHz	1.67~1.13 cm
Ka 波段	26.5~40 GHz	1.13~0.75 cm
毫米波	40~300 GHz	7.5~1 mm
亚毫米波	300~3000 GHz	1~0.1 mm

注意:

VHF/UHF 波段就是典型的电视设备的工作波段,在该波段的波长必须首先与电子系统的实际尺寸相当;在该范围内,有的电子线路必须考虑电流和电压信号波的特性。而在 EHF 波段,如 30 GHz,波长就变得远小于电子系统的实际尺寸,此时电流与电压信号无法测量,因此也无法考虑其特性,只有通过测量系统的传输参数来分析电路。对频段的划分不可能给出精确的界限,射频频率范围通常是指从 VHF 到 S 波段;毫米波频率范围已与雷达系统的工作频率相联系,并可工作于 C 波段及更高的波段。

1.3 移动通信的射频设计

如果按电路结构划分,一个无线移动通信机可分为如图 1-4 所示的射频级和基带级两大部分:基带级(图中虚线框部分)处理基带信号;射频级(图中天线部分)处理射频信号。

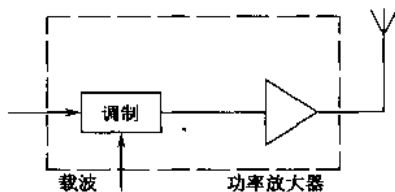


图 1-4 无线移动通信机基本框图

进一步把图 1-4 细化为典型的模拟通信的接收机/发射机或者数字通信的接收机/发射机,分别如图 1-5 和图 1-6 所示。

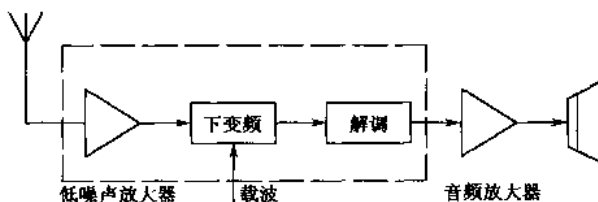


图 1-5 模拟通信的接收机/发射机