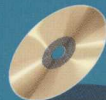


行业软件系列

# ADS射频电路 设计基础与 典型应用

黄玉兰 编著

- 从基础讲起，引导读者快速入门
- 步骤详细，按步骤操作即可得到相应结果
- 28个实例，实战学习ADS射频电路设计



全程教学视频



人民邮电出版社  
POSTS & TELECOM PRESS

行业软件系列

# ADS射频电路 设计基础与 典型应用

黄玉兰 编著

人民邮电出版社

北京

## 图书在版编目 (C I P) 数据

ADS射频电路设计基础与典型应用 / 黄玉兰编著. —  
北京: 人民邮电出版社, 2010.1  
ISBN 978-7-115-21571-0

I. ①A… II. ①黄… III. ①射频电路—电路设计:  
计算机辅助设计—软件包, ADS IV. ①TN710.02

中国版本图书馆CIP数据核字(2009)第183686号

## 内 容 提 要

本书有3篇共20章内容,全面介绍了ADS射频电路设计的基础知识与典型应用。ADS初识篇系统地介绍了ADS的界面构成和射频电路的基础知识。ADS使用篇系统地介绍了ADS的使用方法和仿真功能。ADS设计篇介绍了20多个利用ADS进行射频电路设计的典型实例,这些电路可以构成完整的射频电路解决方案。本书有配套的视频光盘,可以帮助读者迅速掌握ADS的使用方法。

本书内容丰富,对于现已在通信、电子、计算机及微电子等领域从事射频及微波设计的工程师,是一本很好的参考书。同时本书也可以作为电子、通信和微电子专业本科生的教材。

## ADS 射频电路设计基础与典型应用

- ◆ 编 著 黄玉兰  
责任编辑 黄 焱
- ◆ 人民邮电出版社出版发行 北京市崇文区夕照寺街14号  
邮编 100061 电子函件 315@ptpress.com.cn  
网址 <http://www.ptpress.com.cn>  
北京鑫正大印刷有限公司印刷
- ◆ 开本: 800×1000 1/16  
印张: 36.75  
字数: 827千字  
印数: 1—3 500册

2010年1月第1版

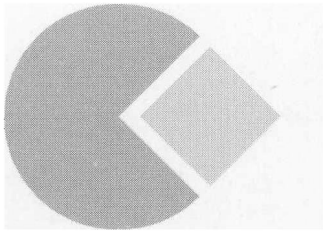
2010年1月北京第1次印刷

ISBN 978-7-115-21571-0

定价: 69.00元(附光盘)

读者服务热线: (010)67132692 印装质量热线: (010)67129223

反盗版热线: (010)67171154



## 行业背景

随着通信手段的日益丰富和通信技术的不断发展，通信领域经历了从有线到无线、从低频到高频的巨大变化，在需求的强大激励和技术的有力支持下，与现代通信相匹配的射频（RF）和微波（MW）电路得到了广泛的应用，逐渐成为科学和工程领域中一个令人瞩目的技术。

现在射频电路的设计越来越复杂，指标要求越来越高，而设计周期却越来越短，因此使用软件工具已经成为射频电路设计的必然趋势，在理解射频电路的基础上，结合软件工具进行设计，是通向射频电路设计成功的最佳路线。ADS（Advanced Design System）软件由美国安捷伦（Agilent）公司开发，是当前射频和微波电路设计的首选工程软件，可以支持从模块到通信系统的设计，该软件功能强大，仿真手段丰富多样，并可对设计结果进行成品率分析和优化，从而大大提高了复杂电路的设计效率，是当今业界最流行的射频和微波电路、系统设计工具，并在国内高校、科研院所和大型 IT 公司中逐渐推广使用，是非常值得学习的软件。

## 关于本书

本书由 ADS 初识、ADS 使用到 ADS 设计，循序渐进全面介绍了 ADS。编写本书的初衷有两个，一是希望给初学者一些指引和启发，使初学者掌握 ADS 学习的要领，少走弯路，快速入门；二是系统给出 ADS 射频电路设计的典型实例，这些典型实例可以构成完整的射频电路 ADS 解决方案。

## 本书内容组织方式

本书内容丰富，共有 3 篇 20 章内容，其中 ADS 初识篇系统地介绍了 ADS 的界面构成和射频电路的基础知识，ADS 使用篇系统地介绍了 ADS 的使用方法和仿真功能，ADS 设计篇介绍了 20 多个利用 ADS 进行射频电路设计的典型实例。

第 1 篇为 ADS 初识篇，主要讲解以下内容：

- 射频电路与 ADS；
- ADS 主视窗；

- ADS 设计仿真视窗;
- 射频电路基础。

第 2 篇为 ADS 使用篇, 主要讲解以下内容:

- ADS 基本操作;
- ADS 仿真概述;
- ADS 仿真例程;
- ADS 系统级设计与仿真。

第 3 篇为 ADS 设计篇, 本篇包含以下设计实例:

- 集总参数滤波器的设计;
- 分布参数低通滤波器的设计;
- 分布参数带通和带阻滤波器的设计;
- 功率分配器的设计;
- 分支定向耦合器的设计;
- 混合环的设计;
- 匹配网络的设计;
- 偏置电路的设计;
- 低噪声放大器的设计;
- 混频器的设计;
- 射频振荡器的设计;
- 射频接收和发射系统的设计。

### 本书特色

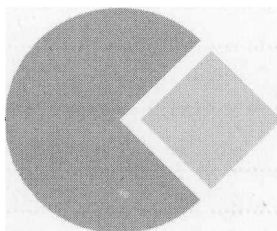
- 本书有配套的视频光盘, 可以帮助读者迅速掌握 ADS 的使用方法。
- 本书由初识、使用到设计, 循序渐进全面介绍了 ADS。
- 设计篇的每个实例都是从理论到设计进行讲解, 便于更改参数后做同类的设计。
- 设计实例内容广泛, 涉及射频系统的所有功能模块。
- 书中实例设计步骤清晰, 解释详尽。

### 本书作者

全书由西安邮电学院黄玉兰副教授撰写。西安电子科技大学电子信息工程专业的夏璞同学协助完成了本书的 ADS 截图工作, 协助完成了本书的视频制作工作, 并协助整理了 Agilent 公司的资料, 在此表示感谢。常树茂教授提供了 ADS 的一些资料, 在此表示诚挚地感谢。

由于作者时间和水平有限, 书中难免会有缺点和错误, 敬请广大专家和读者予以指正。  
(电子函件: [huangyulan10@sina.com](mailto:huangyulan10@sina.com) 或 [huangyan@ptpress.com.cn](mailto:huangyan@ptpress.com.cn))。

编者  
2009.10



# 目 录

## 第 1 篇 ADS 初识篇

<b>第 1 章 射频电路与 ADS</b> .....	3
1.1 射频概念和射频应用 .....	4
1.2 ADS 概述 .....	5
1.2.1 ADS 的设计功能 .....	6
1.2.2 ADS 的仿真功能 .....	7
1.2.3 ADS 与其他软件和厂商元件模型的连接 .....	8
1.3 启动和退出 ADS .....	8
1.3.1 启动 ADS .....	8
1.3.2 退出 ADS .....	10
1.4 ADS 的 4 种工作视窗 .....	10
1.4.1 主视窗 .....	10
1.4.2 原理图视窗 .....	10
1.4.3 数据显示视窗 .....	11
1.4.4 布局图视窗 .....	12
<b>第 2 章 ADS 主视窗</b> .....	15
2.1 工作界面 .....	15
2.2 菜单栏 .....	16
2.2.1 【File】菜单 .....	16
2.2.2 【View】、【Tools】和【Window】菜单 .....	23
2.2.3 【DesignKit】、【DesignGuide】和【Help】菜单 .....	25

2.3	工具栏	27
2.3.1	工具栏说明	27
2.3.2	工具栏操作举例	28
2.4	文件浏览区和项目管理区	30
2.4.1	文件浏览区	30
2.4.2	项目管理区	33
<b>第3章</b>	<b>ADS 设计仿真视窗</b>	<b>34</b>
3.1	原理图视窗	34
3.1.1	工作界面	34
3.1.2	菜单栏	35
3.1.3	工具栏	39
3.1.4	元件面板列表、元件面板和历史元件列表	43
3.2	布局图视窗	55
3.3	数据显示视窗	56
3.3.1	工作界面	56
3.3.2	菜单栏	57
3.3.3	工具栏	58
3.3.4	数据显示方式	59
<b>第4章</b>	<b>射频电路基础</b>	<b>62</b>
4.1	传输线理论	62
4.1.1	传输线举例	62
4.1.2	传输线等效电路表示法	63
4.1.3	传输线方程及其解	64
4.1.4	传输线的基本特性参数	65
4.1.5	微带线	70
4.2	史密斯圆图	72
4.2.1	复平面上反射系数的表示方法	72
4.2.2	史密斯阻抗圆图	74
4.2.3	史密斯导纳圆图	78
4.3	射频网络基础	78
4.3.1	二端口低频网络参量	79
4.3.2	二端口射频网络参量	80
4.3.3	网络参量之间的互换	82
4.3.4	多端口射频网络参量	82

## 第 2 篇 ADS 使用篇

<b>第 5 章 ADS 基本操作</b> .....	85
5.1 创建项目与设计原理图.....	85
5.1.1 创建项目.....	85
5.1.2 创建并设计集总参数低通滤波器原理图.....	86
5.1.3 新建集总参数带通滤波器原理图.....	89
5.2 原理图仿真与结果显示.....	90
5.2.1 设置仿真控件与原理图仿真.....	90
5.2.2 在数据显示窗口显示仿真结果.....	93
5.3 调谐与优化.....	94
5.3.1 原理图调谐.....	94
5.3.2 原理图优化与仿真.....	97
5.4 产品合格率分析.....	103
5.4.1 原理图仿真.....	103
5.4.2 设置成品率控件.....	105
5.4.3 成品率仿真.....	107
5.5 设计向导.....	108
5.5.1 利用设计向导生成原理图.....	108
5.5.2 利用设计向导观察仿真结果.....	112
5.5.3 利用设计向导观察成品率.....	113
5.5.4 搭建原理图观看仿真结果.....	115
<b>第 6 章 ADS 仿真概述</b> .....	118
6.1 ADS 的仿真功能.....	118
6.1.1 ADS 软件的各种仿真方法.....	118
6.1.2 各种仿真功能概述.....	120
6.2 直流仿真.....	122
6.2.1 直流仿真面板与直流仿真控件.....	122
6.2.2 直流仿真参数的设置.....	123
6.3 交流仿真.....	129
6.3.1 交流仿真面板与交流仿真控件.....	129
6.3.2 交流仿真参数的设置.....	130
6.4 S 参数仿真.....	134



6.4.1	$S$ 参数仿真面板与 $S$ 参数仿真控件	135
6.4.2	$S$ 参数仿真中参数的设置	137
6.5	谐波平衡仿真	142
6.5.1	谐波平衡仿真面板与谐波平衡仿真控件	142
6.5.2	谐波平衡仿真中参数的设置	144
6.6	电路包络仿真	152
6.6.1	电路包络仿真面板与电路包络仿真控件	152
6.6.2	电路包络仿真参数的设置	153
6.7	瞬态仿真	158
6.7.1	瞬态仿真面板与瞬态仿真控件	158
6.7.2	瞬态仿真参数的设置	159
<b>第 7 章</b>	<b>ADS 仿真例程</b>	<b>166</b>
7.1	直流仿真例程	166
7.1.1	单点直流仿真例程	166
7.1.2	带变量扫描的直流仿真例程	171
7.2	交流仿真例程	176
7.2.1	交流仿真例程原理图	176
7.2.2	交流仿真例程的仿真结果	178
7.3	$S$ 参数仿真例程	180
7.3.1	$S$ 参数仿真例程原理图	181
7.3.2	$S$ 参数仿真例程的仿真结果	183
7.4	谐波平衡仿真例程	185
7.4.1	射频输入恒定的谐波平衡仿真例程	185
7.4.2	带变量扫描的谐波平衡仿真例程	187
7.5	增益压缩仿真例程	190
7.5.1	增益压缩仿真例程原理图	191
7.5.2	增益压缩仿真例程的仿真结果	193
7.6	大信号 $S$ 参数仿真例程	195
7.6.1	大信号 $S$ 参数仿真例程原理图	196
7.6.2	大信号 $S$ 参数仿真例程的仿真结果	198
7.7	电路包络仿真例程	198
7.7.1	电路包络仿真例程原理图	198
7.7.2	电路包络仿真例程的仿真结果	201
7.8	瞬态仿真例程	202
7.8.1	瞬态仿真例程的原理图	202

7.8.2	瞬态仿真例程的仿真结果	204
<b>第 8 章</b>	<b>ADS 系统级设计与仿真</b>	<b>206</b>
8.1	系统级设计与仿真基础	206
8.1.1	创建项目和原理图	206
8.1.2	对原理图进行 $S$ 参数仿真	210
8.1.3	对原理图进行谐波平衡仿真	213
8.2	系统级设计仿真例程	215
8.2.1	系统级设计与仿真例程原理图	215
8.2.2	系统级例程仿真结果显示	222
 <b>第 3 篇 ADS 设计篇</b>  		
<b>第 9 章</b>	<b>集总参数滤波器的设计</b>	<b>227</b>
9.1	集总参数滤波器的理论基础	227
9.1.1	理想滤波器的 4 种基本类型	227
9.1.2	低通滤波器的响应	228
9.1.3	集总元件低通滤波器的构成	229
9.1.4	滤波器的变换	230
9.2	集总参数低通滤波器的设计	232
9.2.1	集总参数低通滤波器设计向导	232
9.2.2	设计集总参数低通滤波器	237
9.3	集总参数带通滤波器的设计	245
9.3.1	集总参数带通滤波器设计向导	245
9.3.2	设计集总参数带通滤波器	250
<b>第 10 章</b>	<b>分布参数低通滤波器的设计</b>	<b>261</b>
10.1	微带线阶梯阻抗低通滤波器的设计	261
10.1.1	微带线阶梯阻抗低通滤波器的理论基础	261
10.1.2	设计微带线阶梯阻抗低通滤波器原理图	264
10.1.3	生成阶梯阻抗低通滤波器版图	274
10.2	微带短截线低通滤波器的设计	278
10.2.1	微带短截线低通滤波器的理论基础	278
10.2.2	设计微带短截线低通滤波器原理图	281
10.2.3	生成微带短截线低通滤波器版图	289

<b>第 11 章 分布参数带通和带阻滤波器的设计</b> .....	295
11.1 平行耦合微带线带通滤波器的设计 .....	295
11.1.1 平行耦合微带线带通滤波器的理论基础 .....	295
11.1.2 设计平行耦合微带线带通滤波器原理图 .....	297
11.1.3 生成平行耦合微带线带通滤波器版图 .....	310
11.2 微带短截线带阻滤波器的设计 .....	313
11.2.1 微带短截线带阻滤波器的理论基础 .....	313
11.2.2 设计微带短截线带阻滤波器原理图 .....	315
11.2.3 生成微带短截线带阻滤波器版图 .....	326
<b>第 12 章 功率分配器的设计</b> .....	330
12.1 功率分配器理论基础 .....	330
12.1.1 功率分配器的技术指标 .....	330
12.1.2 窄带等功率分配器 .....	331
12.1.3 窄带不等功率分配器 .....	332
12.1.4 宽带功率分配器 .....	334
12.2 功率分配器设计向导 .....	334
12.2.1 设计 3dB 单节功率分配器 .....	334
12.2.2 设计不等功率分配的单节功率分配器 .....	340
12.2.3 设计 3dB 多节功率分配器 .....	342
12.3 由设计向导得到的功率分配器的实现 .....	344
12.3.1 创建新设计 .....	344
12.3.2 设计原理图 .....	345
12.3.3 原理图仿真及显示仿真数据 .....	347
12.3.4 生成版图并仿真 .....	349
12.4 功率分配器的设计与仿真 .....	353
12.4.1 创建新设计 .....	354
12.4.2 设计原理图 .....	354
12.4.3 原理图优化与仿真 .....	359
12.4.4 生成版图、版图仿真和实验测试 .....	362
<b>第 13 章 分支定向耦合器的设计</b> .....	366
13.1 分支定向耦合器的理论基础 .....	366
13.1.1 定向耦合器的基本功能和参数指标 .....	366
13.1.2 微带分支定向耦合器的散射参数 .....	368

13.1.3 设计微带分支定向耦合器	368
13.2 微带分支定向耦合器原理图的设计、仿真与优化	369
13.2.1 设计微带分支定向耦合器的原理图	369
13.2.2 微带分支定向耦合器原理图仿真	374
13.2.3 微带分支定向耦合器原理图优化	376
13.3 微带分支定向耦合器版图的生成与仿真	380
13.3.1 生成微带分支定向耦合器版图	381
13.3.2 微带分支定向耦合器版图仿真	383
<b>第 14 章 混合环的设计</b>	<b>385</b>
14.1 混合环理论基础	385
14.2 混合环设计向导	387
14.2.1 创建混合环设计向导的原理图	387
14.2.2 利用设计向导生成混合环原理图	389
14.2.3 对混合环原理图仿真	392
14.2.4 生成版图并仿真	393
14.3 设计混合环	397
14.3.1 创建新设计	397
14.3.2 设计原理图	397
14.3.3 原理图仿真及显示仿真数据	400
14.3.4 生成版图并仿真	402
<b>第 15 章 匹配网络的设计</b>	<b>406</b>
15.1 匹配网络的理论基础	406
15.1.1 匹配网络的目的和选择标准	406
15.1.2 集总参数元件匹配网络的设计	407
15.1.3 分布参数元件匹配网络的设计	408
15.1.4 混合参数元件匹配网络的设计	409
15.2 利用史密斯圆图设计匹配网络	409
15.2.1 ADS 软件中的史密斯圆图	410
15.2.2 利用史密斯圆图设计 L 形匹配网络	414
15.2.3 利用史密斯圆图设计 T 形匹配网络	418
15.3 利用设计向导设计匹配网络	421
15.3.1 利用设计向导设计单支节匹配网络	421
15.3.2 利用设计向导设计 $\lambda/4$ 阻抗匹配网络	426
15.4 利用阻抗匹配工具设计匹配网络	429

<b>第 16 章 偏置电路的设计</b> .....	434
16.1 偏置电路的理论基础 .....	434
16.1.1 偏置电路与射频电路之间的连接 .....	434
16.1.2 偏置电路的设计 .....	435
16.2 偏置电路的设计 .....	436
16.2.1 偏置电路设计方案 1 .....	436
16.2.2 偏置电路设计方案 2 .....	443
16.2.3 偏置电路设计方案 3 .....	446
16.2.4 偏置电路设计方案 4 .....	452
<b>第 17 章 低噪声放大器的设计</b> .....	457
17.1 低噪声放大器的理论基础 .....	457
17.1.1 放大器的稳定性 .....	457
17.1.2 放大器的功率增益 .....	459
17.1.3 放大器输入输出驻波比 .....	460
17.1.4 放大器的噪声 .....	460
17.2 低噪声放大器的设计 .....	462
17.2.1 低噪声放大器的设计指标 .....	462
17.2.2 选取晶体管并仿真晶体管参数 .....	462
17.2.3 SP 模型的仿真设计 .....	469
17.2.4 封装模型的仿真设计 .....	482
<b>第 18 章 混频器的设计</b> .....	490
18.1 混频器的理论基础 .....	490
18.1.1 混频器的特性 .....	490
18.1.2 单平衡混频器 .....	492
18.2 混频器的设计 .....	493
18.2.1 设计微带分支定向耦合器 .....	493
18.2.2 设计低通滤波器原理图 .....	499
18.2.3 设计混频器原理图 .....	500
18.3 混频器的仿真 .....	502
18.3.1 混频器输出信号频谱仿真 .....	502
18.3.2 混频器本振功率的选择 .....	504
18.3.3 混频器三阶交调分析 .....	506
18.3.4 混频器输入驻波比分析 .....	509

---

<b>第 19 章 射频振荡器的设计</b> .....	511
19.1 射频振荡器的理论基础 .....	511
19.1.1 振荡器的巴克豪森准则 .....	511
19.1.2 射频振荡器的振荡条件 .....	512
19.1.3 晶体管振荡器的设计步骤 .....	513
19.2 晶体管振荡器的设计 .....	514
19.2.1 利用 ADS 元件库选取振荡器的晶体管 .....	514
19.2.2 设计振荡器的偏置电路 .....	516
19.2.3 振荡器的设计 .....	519
19.2.4 振荡器输出信号仿真 .....	521
19.2.5 振荡器相位噪声分析 .....	523
19.3 压控振荡器的设计 .....	527
19.3.1 利用 ADS 元件库选取振荡器的晶体管和变容二极管 .....	527
19.3.2 设计振荡器的偏置电路 .....	528
19.3.3 振荡器的设计 .....	531
19.3.4 振荡器输出信号仿真 .....	535
19.3.5 振荡器相位噪声分析 .....	537
19.3.6 压控振荡器输入电压与输出频率的关系 .....	540
<b>第 20 章 射频接收与发射系统的设计</b> .....	542
20.1 射频系统的理论基础 .....	542
20.1.1 射频系统的一般框图 .....	542
20.1.2 射频接收系统 .....	543
20.1.3 射频发射系统 .....	543
20.2 射频接收系统的设计与仿真 .....	544
20.2.1 射频接收系统的设计 .....	544
20.2.2 对超外差式接收机仿真 .....	550
20.3 射频发射系统的设计与仿真 .....	562
20.3.1 射频发射系统的设计 .....	563
20.3.2 射频发射系统仿真 .....	567



# 第 1 篇 ADS 初识篇

第 1 章 射频电路与 ADS

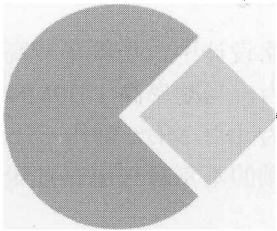
第 2 章 ADS 主视窗

第 3 章 ADS 设计仿真视窗

第 4 章 射频电路基础







## 第1章 射频电路与 ADS

随着通信手段的日益丰富和通信技术的不断发展，通信领域经历了从有线到无线、从固定到移动、从低频到高频的巨大变化，在需求的强大激励和技术的有力支持下，与现代通信相匹配的射频（RF）和微波（MW）电路得到了广泛的应用，逐渐成为科学和工程领域中一个令人瞩目的技术。

在电子通信系统中，只有使用更高的载波频率，才能获得更大的带宽。随着科学技术的不断进步，电子通信系统的工作频率不断提高，目前应用日趋广泛的移动通信（GSM 和 3G）、全球定位（GPS）、无线局域网（WLAN）、宽带无线接入系统（WIMAX）和射频识别（RFID）等领域，工作频率都已经达到 GHz 频段，此外新型半导体器件和计算机的工作频率也已经达到 GHz 频段，这使得与此频段相适应的射频和微波电路逐渐成为一个普遍存在的技术，这就迫切需要人们熟悉相应的射频和微波电路设计方法。

射频和微波电路是电与磁的场分布理论与传统电子学技术的融合，它将波动理论引入电路之中，形成射频和微波电路的理论体系和设计方法，这些波的反射和传输是影响射频和微波电路的关键因素。在射频频段，电路出现了许多独特的性质，这些性质在常用的低频电路中从没遇到过，因此需要建立新的射频电路设计体系。只有确切地知道射频电路与低频电路有什么区别及如何实现，才能开发、改进射频电路，满足射频领域不断发展的需求。

现在射频电路的设计越来越复杂，指标要求越来越高，而设计周期却越来越短，这要求设计者使用 EDA（电子设计自动化）软件工具。目前国外各种商业化射频和微波 EDA 软件工具不断涌现，使用软件工具已经成为射频和微波电路设计的必然趋势。在深入理解射频电路的基础上，结合 EDA 技术软件工具进行设计，是通向射频电路设计成功的最佳路线。

ADS（Advanced Design System）软件由美国安捷伦（Agilent）公司开发，是当前射频和微波电路设计的首选工程软件，可以支持从模块到系统的设计，能够完成射频和微波电路设计、通信系统设计、射频集成电路（RFIC）设计和数字信号处理（DSP）设计。该软件功能强大，仿真手段丰富多样，可实现包括时域和频域、数字和模拟、线性和非线性、电磁和数字信号处理等多种仿真手段，并可对设计结果进行成品率分析和优化，从而大大提高了复杂电路的设计效率，是当今业界最流行的射频和微波电路、系统设计工具，并在国内高校、科