

聚焦 EDA

ADS2009

射频电路设计与仿真

冯新宇 车向前 穆秀春 编著



电子工业出版社

PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY

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



聚焦 EDA

ADS2009

射频电路设计与仿真

冯新宇 车向前 穆秀春 编著



电子工业出版社

Publishing House of Electronics Industry

北京·BEIJING

内 容 简 介

本书主要介绍利用 ADS2009 软件进行射频电路设计和仿真的方法。全书分为基础篇、提高篇和扩展篇 3 部分,通过大量工程实例,由浅入深、系统地介绍常用射频电路的基础知识及设计方法,主要内容包括 ADS 软件基础知识、直流仿真、交流仿真、S 参数仿真、谐波平衡法仿真、电路包络仿真、功分器、滤波器、低噪声放大器、功率放大器、混频器、振荡器、微带天线、印刷偶极子天线、通信系统、DSP、3G 系统等仿真实例,涵盖范围广,工程实用性强。

本书取材广泛,内容新颖,系统性强,是广大射频电路设计工程师的必备参考书,也可作为高等学校电子信息、射频通信相关专业的教学用书。

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

ADS2009 射频电路设计与仿真 / 冯新宇, 车向前, 穆秀春编著. —北京: 电子工业出版社, 2010.6
(聚焦 EDA)

ISBN 978-7-121-10977-5

I. ①A… II. ①冯… ②车… ③穆… III. ①射频电路—电路设计: 计算机辅助设计—软件包, ADS 2009
IV. ①TN710.02

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2010) 第 097678 号

责任编辑: 张剑 (zhang@phei.com.cn)

印 刷: 北京丰源印刷厂

装 订: 涿州市桃园装订有限公司

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: 21 字数: 538 千字

印 次: 2010 年 6 月第 1 次印刷

印 数: 4 000 册 定价: 48.00 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

ADS (Advanced Design System) 是由美国 Agilent 公司推出的微波电路和通信系统的仿真软件, 是当今业界最流行的微波射频电路、通信系统、RFIC 设计软件, 也是国内高校、科研院所和大型 IT 公司使用最多的软件之一。ADS 功能强大, 仿真手段丰富, 可实现包括时域与频域、数字与模拟、线性与非线性、噪声等多种仿真功能, 并可对设计结果进行成品率分析与优化, 提高复杂电路的设计效率, 是优秀的微波射频电路、系统信号链路的设计工具, 是射频工程师必备的工具软件之一。

当前, 射频电路设计研发人员的需求与日俱增, 对射频工程设计人员的要求也越来越高, 学会使用仿真软件进行 RF 电路设计已经成为射频工程师的必修课。国内 ADS 学习资料相对较少, 适合在校学生学习的教材更是屈指可数, 很多大学生为掌握此套软件又无系统的教程而苦恼, 为此编者协同其他几位一线教师, 花了近一年的时间, 精心编写了此书。

本书分为 3 篇, 即基础篇、提高篇和扩展篇, 共 18 章。

1) 基础篇 (第 1 章~第 8 章) 主要介绍 ADS2009 射频电路设计的基础知识。

第 1 章主要介绍 ADS2009 版本的新功能, ADS2009 软件的安装方法及主要窗口介绍。第 2 章对 ADS2009 的基本操作, 如原理图、工程、仿真, 进行了概括性的论述; 同时对 ADS2009 涉及的元件模型进行分类介绍。第 3 章以两个工程实例, 从电路和系统两方面介绍 ADS2009 仿真方法。第 4 章介绍了 ADS2009 的直流仿真方法, 列举了子电路的创建、直流特性分析、偏置网络分析和温度扫描等仿真实例。第 5 章介绍了 ADS2009 的交流仿真方法, 详细介绍了交流仿真涉及的控件, 列举了交流小信号、多参数扫描的方法。第 6 章通过基本 S 参数仿真、匹配电路设计、参数优化方法、噪声增益分析等实例介绍 ADS2009 的 S 参数仿真方法。第 7 章主要介绍谐波平衡仿真方法, 列举了压缩功率输出、双音谐波平衡仿真、三阶交调点仿真等实例。第 8 章介绍了电路包络仿真的方法, 列举了运算放大器、信道功率等包络仿真方法。

2) 提高篇 (第 9 章~第 14 章) 利用 ADS2009 完成相应射频电路设计。

第 9 章完成 750MHz 的集总参数比例型功分器和 1GHz 的集总参数等分型功分器, 进而给出中心频率为 1GHz 分布参数 (Wilkinson) 功分器的电路和版图设计实例。第 10 章完成集总参数滤波器和分布参数 (平行耦合微带线) 滤波器设计, 体现了 ADS2009 电路图和版图设计仿真的特点和优势。第 11 章完成低噪声放大器的设计与仿真, 并对其参数进行优化设计, 体现了 ADS2009 仿真与优化的特点和优势。第 12 章完成二极管电阻性混频器的设计, 并利用谐波平衡法对混频器的非线性特性进行分析, 给出 C 波段镜像抑制混频器的设计样例。第 13 章介绍压控振荡器的结构、原理、设计方法, 完成振荡频率在 1.8GHz 压控振荡器的设计与仿真。第 14 章完成 3.0GHz 矩形微带天线, 对原理图参数优化仿真、版图优化仿真及阻抗匹配电路设计进行了详细的论述。

3) 扩展篇 (第 15~18 章) 利用 ADS2009 完成高级电路及系统设计。

第 15 章利用 ADS Layout 设计环境对 1.8GHz 印刷偶极子天线进行了设计与仿真, 特别是 2D 和 3D 参数的绘制, 为读者学习天线设计提供技术支持。第 16 章对无线收发信机系统

进行分析和仿真，体现 ADS2009 系统级仿真的特点。第 17 章利用 16QAM 调制/解调模块设计，介绍 ADS2009 的 DSP Design 的设计和使用方法。第 18 章主要介绍基于 W-CDMA 的 3GPP 核心技术，并完成 W-CDMA/3GPP 通信系统的仿真。

参与本书编写的有黑龙江科技学院冯新宇（第 1 章～第 3 章）、车向前（第 4 章～第 6 章）、穆秀春（第 7 章和第 8 章）、哈尔滨理工大学杨广学（第 9 章～第 13 章）、黑龙江科技学院王冲（第 14 章、第 16 章和第 17 章）、蒋洪波（第 15 章和第 18 章），全书由冯新宇统稿。参与本书编写的还有宋一兵、王献红、李文秋、张轩、田东、田绪东、付本国等。

在本书的编写过程中，参考和引用了很多同类资料的相关内容和美国安捷伦公司的有关技术资料，在此向这些资料的作者和安捷伦公司致以深深的感谢。

在本书的编写过程中，青岛大学管殿柱老师、黑龙江科技学院边莉老师对书稿提出了宝贵的建议和意见。黑龙江科技学院乔文亮同学利用寒假期间完成了书稿中电路仿真的测试工作。在此衷心感谢！

由于编者水平有限，书中错误在所难免，希望各位同行批评指正。

编 著 者

目 录

第 1 章	ADS2009 简介	1
1.1	ADS2009 概述	1
1.2	ADS2009 安装过程	7
1.3	ADS2009 操作窗口介绍	9
第 2 章	ADS2009 基本操作及元器件	19
2.1	ADS2009 基本操作	19
2.2	ADS2009 元器件	28
第 3 章	ADS2009 仿真基础	35
3.1	电路仿真基础	35
3.2	系统仿真基础	43
3.3	习题	50
第 4 章	直流仿真	52
4.1	直流仿真基本原理及功能	52
4.2	直流仿真面板与仿真控制器	53
4.3	直流仿真的一般过程	57
4.4	ADS 中直流仿真案例	57
4.5	直流仿真实例	60
4.6	习题	66
第 5 章	交流仿真	67
5.1	交流仿真基本原理及功能	67
5.2	仿真面板与仿真控制器	67
5.3	交流仿真的一般步骤	74
5.4	ADS 中交流仿真案例	74
5.5	交流仿真实例	76
5.6	习题	84
第 6 章	S 参数仿真	85
6.1	S 参数仿真基本原理及功能	85
6.2	S 参数仿真面板与仿真控制器	87
6.3	S 参数仿真的一般过程	92
6.4	ADS 中 S 参数仿真案例	92
6.5	S 参数仿真实例	94
6.6	习题	113
第 7 章	谐波平衡法仿真	114
7.1	谐波平衡法仿真基本原理及功能	114
7.2	谐波平衡法仿真面板与仿真控制器	114

7.3	谐波平衡法仿真的一般步骤	120
7.4	ADS 中谐波平衡法仿真例程	120
7.5	谐波平衡法仿真实例	123
7.6	习题	134
第 8 章	电路包络仿真	135
8.1	电路包络仿真基本原理及功能	135
8.2	电路包络仿真面板与仿真控制器	136
8.3	电路包络仿真基本过程	138
8.4	ADS 中电路包络仿真例程	138
8.5	电路包络仿真实例	140
8.6	习题	150
第 9 章	功率分配器的设计与仿真	151
9.1	功分器的基本原理	151
9.2	集总参数功分器设计及仿真	152
9.3	Wilkinson 功分器设计及仿真	156
9.4	习题	163
第 10 章	微波滤波器的设计与仿真	164
10.1	滤波器的基本原理	164
10.2	利用传统法设计集总参数滤波器	167
10.3	利用 ADS 工具设计集总参数滤波器	171
10.4	分布参数滤波器设计	175
10.5	习题	184
第 11 章	低噪声放大器设计与仿真	185
11.1	低噪声放大器的基本原理	185
11.2	低噪声放大器的设计	187
11.3	习题	195
第 12 章	镜像抑制混频器的设计与仿真	196
12.1	混频器的工作原理	196
12.2	镜像抑制混频器的设计	198
12.3	镜像抑制混频器的仿真	203
12.4	习题	207
第 13 章	压控振荡器的设计与仿真	208
13.1	振荡器的基本原理	208
13.2	振荡器初始电路设计与仿真	210
13.3	可变电容 VC 特性曲线测试	213
13.4	压控振荡器仿真分析	214
13.5	习题	219
第 14 章	微带天线的设计与仿真	220
14.1	微带天线的基础知识	220
14.2	矩形微带天线	221

14.3	矩形微带天线设计	223
14.4	习题	230
第 15 章	印刷偶极子天线的设计与仿真	231
15.1	印刷偶极子天线简介	231
15.2	设计过程	232
15.3	习题	239
第 16 章	ADS2009 系统仿真	240
16.1	收发信机基本理论	240
16.2	零中频接收机仿真	241
16.3	外差式接收机仿真	248
16.4	发射机预算增益仿真	252
16.5	习题	253
第 17 章	基于 DSP Design 的设计	254
17.1	DSP 设计的基本理论	254
17.2	DSP Design 重要概念和特征	256
17.3	16QAM 调制/解调模块设计	270
17.4	习题	281
第 18 章	W-CDMA/3GPP 通信系统设计	282
18.1	3GPP 关键技术概述	282
18.1.1	3G 通信网络发展趋势及特点	282
18.1.2	3G 主流标准概述	283
18.2	W-CDMA/3GPP 通信系统仿真概述	285
18.3	直接序列展频技术仿真	285
18.3.1	扰码技术仿真	286
18.3.2	交织码技术仿真	289
18.3.3	扩频技术仿真	291
18.4	基站信号仿真	295
18.4.1	逻辑信道仿真	295
18.4.2	射频功率测量	299
18.4.3	CCDF 测量	299
18.4.4	利用 WCDMA3G_CCDF 测量	300
18.4.5	非线性电路对频谱和 CCDF 的影响	302
18.5	用户设备信号仿真	304
18.5.1	逻辑信道仿真	304
18.5.2	射频功率测量	305
18.5.3	CCDF 测量	306
18.6	用户设备发射机仿真	308
18.6.1	UE 发射机模块	308
18.6.2	最大发射功率	309
18.6.3	CCDF 测量	310

18.6.4	占有带宽	310
18.6.5	频谱杂散模板	312
18.6.6	相邻频道泄漏比	314
18.6.7	误差向量幅度	316
18.6.8	码域功率谱	317
18.6.9	峰值码域误差	317
18.7	用户设备接收机仿真	319
18.7.1	UE 接收机模块	319
18.7.2	CCDF 测试	320
18.7.3	参考灵敏度	321
18.7.4	最大输入电平	322
18.7.5	邻道选择性	324
18.7.6	阻塞特性测试	326
18.8	习题	328

第 1 章 ADS2009 简介

ADS (Advanced Design System) 是由美国 Agilent 公司推出的微波电路和通信系统的仿真软件, 是当今业界最流行的微波射频电路、通信系统和 RFIC 设计软件, 也是国内高校、科研院所和大型 IT 公司使用最多的软件之一。其功能强大, 仿真手段丰富, 可实现包括时域与频域、数字与模拟、线性与非线性、噪声等多种仿真功能, 并可对设计结果进行成品率分析与优化, 提高复杂电路的设计效率, 是优秀的微波射频电路、系统信号链路的设计工具, 是射频工程师必备的工具软件之一。

1.1 ADS2009 概述

ADS2009 是安捷伦科技公司 (Agilent Technologies) 日前发布的先进设计系统 (Advanced Design System, ADS) 最新版软件, 是高频、高速 EDA 软件平台。新版软件可加快通信产品的设计速度。

1. ADS2009 的主要特性及新功能

ADS2009 增强了图形用户操作界面。该界面源于大部分的网际网络软件工具和搜寻引擎, 所使用的统一界面开发平台包含搜寻和内容关联感知功能。应用于一般和新型设计的新界面, 在速度上的提升, 可以使软件工具的整合更加流畅。

ADS2009 改善了专案管理, 即时放大和平移, 互动式 3D 布局检视, 缩放和剖面显示等功能; 改良了 LVS (布局 vs. 线路图) 同步设计功能, 提供了自动化设计的完整控制功能, 以确保布局的正确性; 更新了设计规则检查功能, 可以快速地将绘图导出/导入, 使设计到生产的移转过程更加顺利。

另外, ADS2009 可以将完整的 3D 电磁分析功能整合到 ADS 环境中。整合的电磁设计系统包含了更快速的封装接线绘制操作界面; 并且采用最新的多处理器运算架构, 包括支持 64 位处理器; 以及更快速的高频暂态模拟功能, 以大型电路为例, 平均速度提升了 6 倍之多。

目前, 高速数字设计人员面临的实体设计挑战是安捷伦 EDA 设计工具针对 RF 和微波设计所祈求的重点, 因此 ADS2009 可以支持高速 gigabit 连线 (信号完整性) 的设计需求, 包括误码率测量和分析, 以及为射频体系结构应用提供与 Agilent GENESYS 软件设计的链接, 这些都有助于更快地生成复杂的高频系统和电路设计。

Agilent Eesof EDA 事业部营销和服务经理 Neil Martin 表示: “这一版本包含的许多特性, 使我们大部份客户包括业内领先的手机制造商兴奋不已。通过与 GENESYS 新的链接, 设计师能更容易地设计射频系统, 优化某些性能特征, 并直接从系统仿真器开始完成对诸如滤波器等器件的设计实现。过去, 这些工具不能与我们业内领先的 ADS 平台链接。现在, 设计师在使用 ADS 时无须从零开始, 而可以从更接近于最终目标处开始。”

安捷伦科技公司于 2005 年 8 月收购 Eagleware 以后, 便成功地得到 GENESYS 中对复杂射频系统体系结构进行设计的能力。在保持 Eagleware 平台的同时, 公司致力把

Eagleware 中的关键技术集成至 ADS 的设计流程中,以提高设计的速度和效率。ADS2009 继承了 ADS2008 中的如下重要功能:

- WhatIF: 用于射频系统结构的中频 (IF) 规划工具
- Spectrasy: 具有因果分析的唯一一种连续谱射频系统仿真器
- Synthesis: 实现可制造电路级设计的 8 种辅助设计工具, 如为射频电路板设计精密镜像抑制滤波器

大多数高速信号完整性设计人员面对的都是 1Gbit/s 或更高速率的信号,需要 S 参数仿真,以及其他无源频域模型,用于信道建模。为了准确地预测系统 BER (测试误码率) 性能并生成有意义的眼图,设计人员需要卷积仿真技术和宽带 SPICE 模型提取来满足这些要求。

十多年前,EEsof 将卷积仿真技术引入到 EDA 行业中,射频/微波设计人员使用它在高速数字设计方面获得很大的成功。随着日益增长的数据速率和不断增加的设计复杂性,设计人员已经认识到保证无源特性和因果关系特性是 S 参数模型的两个主要限制因素,这两个因素经常使他们无法预测准确的时域响应。S 参数模型的被动性和因果关系不是新问题,而是众所周知的当前仿真工具的限制因素。

ADS2009 中新的卷积仿真技术成为这两个棘手问题的突破性解决方案。新的卷积仿真器提供了一个选项,可自动强制实施 S 参数模型上的被动性,并且可以非常准确地确定代表原始 S 参数数据的因果时域响应。这一显著的新功能使得 ADS2009 作为目前市场上可以准确地预测波段受限的 S 参数模型的时域响应的唯一工具,从而站在了 SI 的前沿。

IBIS 模型在行业内广泛用于为集成电路驱动程序、输出、接收器和输入的非线性行为生成模型。对于高达 3Gbit/s 的数据速率,大多数半导体供应商为集成电路模型提供从此建模中派生的数据。

ADS2005A 和 ADS2006A 都通过利用设计工具包功能,对 IBIS 模型提供有限的支持。这些 IBIS 仿真都是建立在外部创建的基于 FDD 模型的基础上,因此在功能和性能方面都受到了限制。

ADS2009 在 ADS 环境中提供原 IBIS I/O 模型,不仅具有出色的性能,而且具有一个易于使用的直观的界面。设计人员可以将 IBIS 模型直接置于 ADS 电路图页面上,选择 IBIS 文件和引脚名,为时域性能进行仿真。当然,要进行此仿真,需要链接偏压电源、触发器和载荷。

最新版本支持 18 个最流行的 IBIS 模型。将来的版本将会不断扩展,以支持其他需要包含的模型。新的 E8949 IBIS I/O 模型库是 Model 85243 IBIS 模型 (MDS) 的直接替换,并带有一个单独的许可证和价格标签。默认情况下,IBIS I/O 模型将成为信号完整性捆绑、模拟 LTP 和集成捆绑 LTP 的组成部分,并且还可以添加到其他捆绑中。

2. DS 仿真设计方法

ADS 软件可以对电路进行模拟,完成射频/微波等电路及通信系统设计,主要包括以下几种分析和仿真方法。

1) 高频 SPICE 分析和卷积分析 高频 SPICE 分析方法提供如 SPICE 仿真器般的瞬态分析,可分析线性或非线性电路的瞬态效应。在 SPICE 仿真器中,无法直接使用的频域分析模型 (如微带线、带状线等),可在高频 SPICE 仿真器中直接使用。因为在仿真时,高频 SPICE 仿真器会将频域分析模型进行拉氏变换后进行瞬态分析,而不需要用户将该模型转化

为等效 RLC 电路。所以高频 SPICE 除了可以做低频电路的瞬态分析，也可以分析高频电路的瞬态响应。此外，高频 SPICE 也提供瞬态噪声分析的功能，可以用于仿真电路的瞬态噪声，如振荡器或锁相环的抖动。

卷积分析方法是架构在 SPICE 高频仿真器上的高级时域分析方法，可以更加准确地用时域方法分析与频率相关的元件，如 S 参数定义的元件、传输线、微带线等。

2) 线性分析 线性分析是频域电路仿真分析方法，可以对线性或非线性的射频与微波电路做线性分析。在进行线性分析时，软件首先针对电路中每个元件计算所需的线性参数，如 S、Z、Y 和 H 参数，以及电路阻抗、噪声、反射系数、稳定系数、增益或损耗等（若为非线性元件则计算其工作点等线性参数），再对整个电路进行分析、仿真。

3) 谐波平衡分析 谐波平衡分析提供频域、稳态、大信号的电路分析仿真方法，可以用于分析具有多频输入信号的非线性电路，得到非线性的电路响应，如噪声、功率压缩点、谐波失真等。与时域 SPICE 仿真分析相比较，谐波平衡对非线性电路可以提供更快速、有效的分析方法。

谐波平衡分析方法的出现弥补了 SPICE 的瞬态响应分析和线性 S 参数分析对具有多频输入信号的非线性电路仿真上的不足。尤其在现今的高频通信系统中，大多包含了混频电路结构，使谐波平衡分析方法更加频繁，也越趋重要。

另外，针对高度非线性电路，如锁相环中的分频器，ADS 也提供了瞬态辅助谐波平衡的仿真方法，在电路分析时先执行瞬态分析，并将此瞬态分析的结果作为谐波平衡分析时的初始条件来进行电路仿真，此种方法可以有效地解决在高度非线性的电路分析时发生不收敛的情况。

4) 电路包络分析 电路包络分析包含了时域与频域的分析方法，使用在包含调频信号的电路或通信系统中。电路包络分析借鉴了 SPICE 与谐波平衡两种仿真方法的优点，将较低频的调频信号用时域 SPICE 仿真方法来分析，而较高频的载波信号用频域的谐波平衡仿真方法进行分析。

5) 射频系统分析 射频系统分析方法给用户模拟评估系统特性，其中系统的电路模型除可以使用行为级模型外，也可以使用元件电路模型进行响应验证。射频系统仿真分析包含了上述的线性分析、谐波平衡分析和电路包络分析，分别用于验证射频系统的无源元件与线性系统模型特性、非线性系统模型特性、具有数字调频信号的系统特性。

6) 托勒密分析 托勒密分析方法可以同时仿真包含数字信号、模拟和低频信号的混合模式系统。ADS 分别提供了数字元件模型（如 FIR 滤波器、IIR 滤波器，AND 逻辑门、OR 逻辑门等）、通信系统元件模型（如 QAM 调频解调器、Raised Cosine 滤波器等）及模拟高频元件模型（如 IQ 编码器、切比雪夫滤波器、混频器等）在设计中可直接使用。

7) 电磁仿真分析 ADS 软件提供了 3D 平面电磁仿真分析功能——Momentum，可以用于仿真微带线、带状线、共面波导等元件的电磁特性，天线的辐射特性，以及 PCB 上的寄生、耦合效应。分析得到的 S 参数结果可直接用于谐波平衡和电路包络等电路分析，对电路进行设计与验证。在 Momentum 电磁分析中提供 Momentum 微波模式和 Momentum 射频模式两种模式，用户可以根据电路的工作频段和尺寸选择使用。

3. ADS 辅助设计功能

除了上述的仿真分析功能外，ADS 软件还包含其他辅助设计功能来增加使用的方便性，同时提高电路设计效率。ADS 所提供的辅助设计功能简介如下所述。

1) **设计指南** 设计指南说明了示范电路设计的设计流程, 用户可以经由这些范例, 利用 ADS 软件高效地设计电路。

目前, ADS 所提供的设计指南包括 Amplifier 设计指南、Bluetooth 设计指南、CDMA2000 设计指南、Filter 设计指南、Mixer 设计指南、Oscillator 设计指南、Passive Circuits 设计指南、PLL 设计指南、RF 系统设计指南、TD-SCDMA 设计指南和 Ultra-Wideband 设计指南等。除了使用 ADS 软件自带的设计指南外, 用户也可以通过软件中的 Design Guide Developer Studio 建立自己的设计指南。

2) **智能仿真向导** 智能仿真向导提供“step-by-step”的设定界面, 供设计人员进行电路分析与设计, 用户可以由图形化界面设定所需验证的电路响应。

ADS 提供的智能仿真向导包括元件特性 (Device Characterization)、放大器 (Amplifier)、混频器 (Mixer) 和线性电路 (Linear Circuit)。

3) **仿真与结果显示模板** 为了增加仿真分析的方便性, ADS 软件提供了仿真模板功能, 使用户可以将经常重复使用的仿真设定 (如仿真控制器、电压电流源、变量参数设定等) 制成一个模板, 直接使用, 避免了重复设定所需的时间和步骤。结果显示模板也具有相同的功能, 用户可以将经常使用的绘图或列表格式制作成模板, 以减少重复设定所需的时间。除了用户自行建立模板外, ADS 软件也提供了标准的仿真与结果显示模板供选择使用。

4) **电子笔记本** 电子笔记本可以使用户将所设计的电路与仿真结果加入文字叙述, 制成一份网页式的报告。电子笔记本制成的报告, 无须执行 ADS 软件即可在浏览器上浏览。

4. ADS 与其他 EDA 软件和测试设备间的链接

由于现今复杂庞大的电路设计, 每个 EDA 软件在整个系统设计中均扮演着“螺丝钉”的角色, 因此软件与软件之间、软件与硬件之间、软件与元件厂商之间的沟通与链接也就成为设计中不容忽视的一环。ADS 软件与其他设计验证软件、硬件的链接简介如下。

1) **SPICE 电路转换器** SPICE 电路转换器可以将 Cadence、Spectre、PSPICE、HSPICE 及 Berkeley SPICE 产生的电路转换成 ADS 格式的电路进行仿真分析。另外, 也可以将 ADS 产生的电路转换成 SPICE 格式的电路, 做布局与电路结构检查与布局寄生抽取等验证。

2) **电路与布局文件格式转换器** 电路与布局文件格式转换器提供用户与其他 EDA 软件链接、沟通的桥梁, 由此转换器可以将不同 EDA 软件所产生的文件转换成 ADS 可以使用的文件格式。

3) **布局转换器** 布局转换器可以将其他 CAD 或 EDA 软件所产生的布局文件导入 ADS 软件编辑使用, 可以转换的格式包括 IDES、GDSII、DXF 和 Gerber 等。

4) **SPICE 模型产生器** SPICE 模型产生器可以将频域分析得到的或是测量仪器得到的 S 参数转换为 SPICE 可以使用的格式, 以弥补 SPICE 仿真软件无法使用测量或仿真所得到的 S 参数资料的不足。

5) **设计工具箱** 对于 IC 设计来说, EDA 软件除了需要提供准确、快速的仿真方法外, 与半导体厂商的元件模型间的链接更是不可或缺, 设计工具箱扮演了 ADS 软件与厂商元件模型间沟通的重要角色。ADS 软件可以利用设计工具箱将半导体厂商的元件模型读入, 供用户进行电路的设计、仿真与分析。

6) **仪器伺服器** 仪器伺服器提供了 ADS 软件与测量仪器链接的功能。用户可以通过仪器

伺服器将网络分析仪测量得到的资料或 SnP 格式的文件导入 ADS 软件中进行仿真分析,也可以将软件仿真所得的结果输出到仪器设备(如信号发生器),作为待测元件的测试信号。

5. ADS 主要仿真器介绍

ADS 集成多种仿真软件的优点,仿真手段丰富,功能强大,很快就成为了全球内业界流行的 EDA 设计工具。下面来详细介绍 ADS 在射频、模拟电路设计中常用的仿真器及其功能。

1) **直流仿真** 直流仿真是所有仿真的基础,它可执行电路的拓扑检查,以及直流工作点的扫描和分析。

2) **交流仿真** 交流仿真能获取小信号传输参数,如电压增益、电流增益、线性噪声电压和电流。在设计无源电路和小信号有源电路,如低噪声放大器时,此仿真器十分有用。

3) **S 参数仿真** 微波器件在小信号工作时,被认为工作在线性状态,是一个线性网络;在大信号工作时,被认为工作在非线性状态,是一个非线性网络。通常采用 S 参数分析线性网络,采用谐波平衡法分析非线性网络。S 参数是入射波和反射波建立的一组线性关系,在微波电路中通常用于分析和描述网络的输入特性。S 参数中的 S11 和 S22 反映了 I/O 端的驻波特性,S21 反映了电路的幅频、相频特性和群时延特性,S12 反映了电路的隔离性能。

S 参数仿真时,将电路视为一个 4 端口网络,在工作点上将电路线性化,执行线性小信号分析,通过其特定的算法,分析出各种参数值。因此,S 参数仿真可以分析线性 S 参数,线性噪声参数,传输阻抗(Z_{ij})和传输导纳(Y_{ij})。

4) **谐波平衡仿真** 谐波平衡仿真着眼于信号频域特征,擅长处理对非线性电路的分析。如果调制的周期信号可以用简单的几个单载波及其谐波表示出来,或者说若傅里叶级数展开式很简单,谐波平衡仿真是一个有效的分析工具。但是,如果分析的是诸如 CDMA 等信号,不具备简单的周期信号的特点,那么谐波平衡仿真就不能胜任。

一般网络(系统)是由线性子网络和非线性子网络组成的。线性子网络的特性可用频域代数方程来描述,而非线性子网络则由时域的非线性方程来描述。平衡时,经傅里叶变换成时域的线性子网络端口电压和电流应满足非线性子网络端口的电压和电流。同样,经傅里叶变换成频域的非线性子网络端口电压和电流应满足线性子网络端口的电压和电流。因此,设定一个最大的谐波数,建立一个线性子网络端口电压(电流)和非线性子网络端口的电压(电流)的误差函数,通过迭代实现稳态的线性子网络和非线性子网络的谐波平衡。采用谐波平衡仿真器可以仿真噪声系数、饱和电平、三阶交调、本振泄漏、镜像抑制、中频抑制和组合干扰等参数。一般而言,利用谐波平衡仿真设计射频放大器、混频器、振荡器是十分有用的。当设计大规模 RFIC 或 RF/IF 子系统时,由于存在大量的谐波和交调成分,谐波平衡仿真必不可少。

5) **大信号 S 参数仿真** 大信号 S 参数仿真是谐波平衡仿真的一种,不同的是前者执行大信号 S 参数分析,因此在设计功放时十分有用;而后者一般只用于小信号 S 参数分析。

6) **增益压缩仿真** 增益压缩仿真用于寻找用户自定义的增益压缩点,它将理想的线性功率曲线与实际的功率曲线的偏离点相比较。在设计射频器件时,可以很方便地找出 1dB、3dB 压缩点。

7) **电路包络仿真** 电路包络仿真是近年来通信系统的一项标志性技术,其特点是对于任何类型的高频调制信号,均可分解为时域和频域两部分进行处理。在时域上,对相对低频的调制信息进行直接采样处理,而对相对高频的载波成分,则采用类似谐波平衡仿真的方

法，在频域进行处理。这样的结合使仿真效率和速度都得到质的飞跃，因此电路包络仿真是目前进行数模混合仿真和数字微波系统仿真最有效率的工具之一。

电路包络仿真多用于涉及调制解调，以及混合调制信号的电路和系统中。在通信中（如 CDMA、GSM、QPSK 和 QAM 等），在雷达中（如 LFM 波、非线性调频波和脉冲编码等）均可用电路包络仿真进行仿真。

8) 瞬态仿真 瞬态仿真是传统的 SPICE 软件的代表。SPICE 软件可以说是所有电路仿真软件的鼻祖。它采用最原始的算法，即直接在时域对电流、电压列节点方程，采用“一刀切”的方式，能够对所有的模拟电路、数字电路进行仿真。但是，对于高频信号很难用 SPICE 进行仿真，因为根据 Nyquist 采样定理，仿真时直接采样，软件必须能够对射频载波进行至少 2 倍频率以上的采样和处理才能够准确、真实地反映系统的实际情况，即时域上的相位、幅度信息，以及频域上的频率特性等。以处理一个 8GHz 的射频载波为例，要分析 1s 的信号，CPU 至少要处理 2.4×10^{10} 点的数据。因此，在很多情况下，很难用瞬态进行仿真对高频系统进行仿真。

以上是对 ADS 主要仿真器的功能描述。由于每个仿真器只能完成特定指标的仿真，因此在仿真完整电路时，必须调用多个仿真器才能完成所有指标的仿真。电路在仿真时，一次只能执行一个仿真器的仿真，在执行此仿真时，别的仿真器应处于非激活状态。对于微波/射频电路和系统设计，最常用的是 S 参数仿真、电路包络仿真和谐波平衡仿真等。

表 1-1 列出了使用 ADS 仿真工具设计常用的微波/射频电路设计所要用的仿真器。

表 1-1 典型微薄/射频电路设计所需 ADS 仿真器

射频器件或模块	常用仿真	仿真参数
滤波器	S-parameter	S21, S12, S11, S22
混频器	DC	工作点状态
	AC	增益、噪声电压、电流
	Harmonic Balance	IP3, 1F
	Transient	瞬态响应
	Envelope	包络特性
功率放大器	S-parameter	S 参数
	Harmonic Balance	各种谐波和交调
	LSSP	大信号 S 参数
	XDB	P-1
	Transient	瞬态响应
	Envelope	包络特性
接收机	AC	交流特性
	Harmonic Balance	谐波和交调
	Envelop	复杂波形（如 LFM）
振荡器	DC	节点电压、电流
	S-parameter	S 参数
	Harmonic Balance	谐波和交调
	Envelope	包络特性
锁相环	Envelope	相噪

1.2 ADS2009 安装过程

ADS2009 的安装过程与其他 Windows 应用程序类似。下面介绍该软件的具体安装步骤。

(1) 打开 ADS2009 的安装光盘，双击“setup.exe”文件，弹出如图 1-1 所示的解压安装文件窗口。

(2) 解压文件结束后，弹出“Introduction”窗口，如图 1-2 所示，左侧列出了安装步骤。

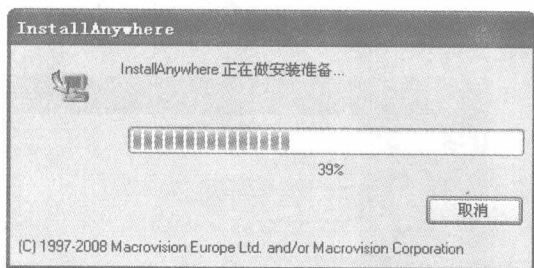


图 1-1 解压安装文件窗口

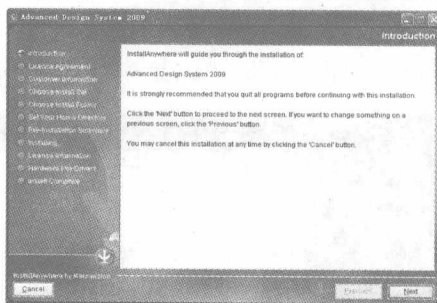


图 1-2 安装引导窗口

(3) 单击按钮 ，弹出“License Agreement”窗口，如图 1-3 所示。

(4) 选中“I accept the terms of the License Agreement”选项，单击按钮 ，弹出“Customer Information”对话框，如图 1-4 所示。在“User Name”和“Company Name”栏中输入相应信息。

(5) 单击按钮 ，弹出“Choose Install Set”对话框，如图 1-5 所示。有“Complete”和“Custom”两种安装模式。单击“Complete”图标，选择“Complete”模式。

(6) 单击按钮 ，弹出“Choose Install Folder”对话框，如图 1-6 所示。默认路径是“C:\ADS2009”，该软件安装完成后占用空间约为 5.52GB，根据个人计算的情况选择合理路径安装。本例选择路径为“M:\ADS2009”。

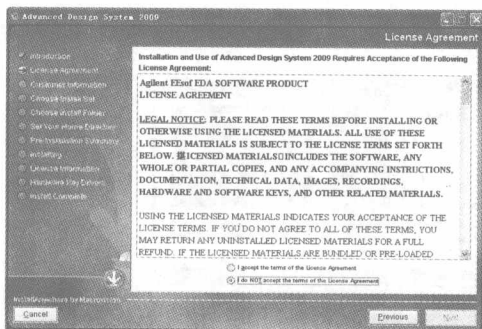


图 1-3 “License Agreement”窗口

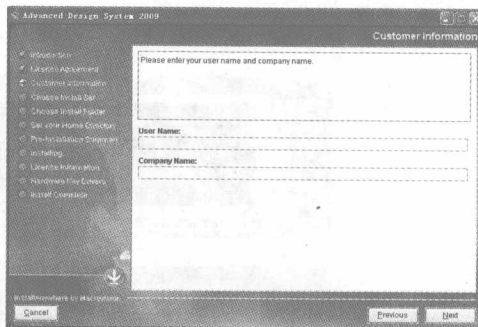


图 1-4 “Customer Information”对话框

(7) 单击按钮 ，弹出“Set Your Home Directory”对话框，如图 1-7 所示。默认路径是“C:\users\default”。在此可以修改文件保存路径，如设置为“M:\user\default”。

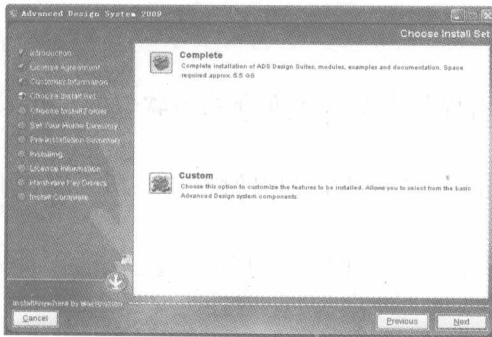


图 1-5 “Choose Install Set”对话框

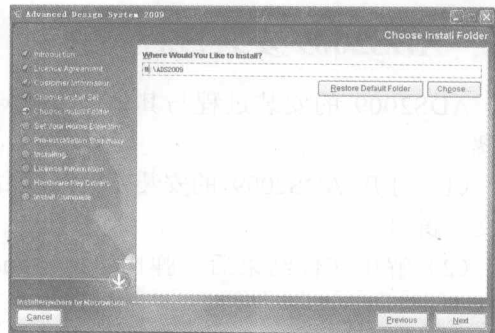


图 1-6 “Choose Install Folder”对话框

(8) 单击按钮 ，弹出“Pre-Installation Summary”对话框，如图 1-8 所示。

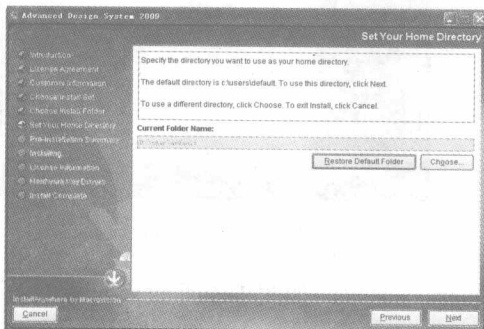


图 1-7 “Set Your Home Directory”对话框

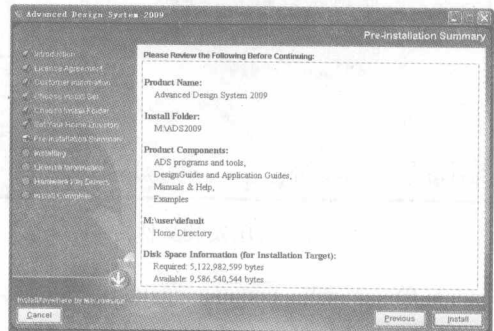


图 1-8 “Pre-Installation Summary”对话框

(9) 单击按钮 ，软件开始安装，安装进度窗口如图 1-9 所示，大约需要 30min。

(10) 安装完成后，弹出“License Information”对话框，提示用户购买安装 License 信息，如图 1-10 所示。

(11) 单击按钮 ，弹出提示安装硬件加密驱动窗口，提示用户安装硬件加密驱动，如图 1-11 所示。

(12) 单击按钮 ，弹出是否安装硬件加密驱动对话框，如图 1-12 所示。根据用户实际情况选择“**Yes**”或“**No**”。本书选择“**No**”。

(13) 单击按钮 ，弹出“Install Complete”对话框，提示安装过程结束如图 1-13 所示。

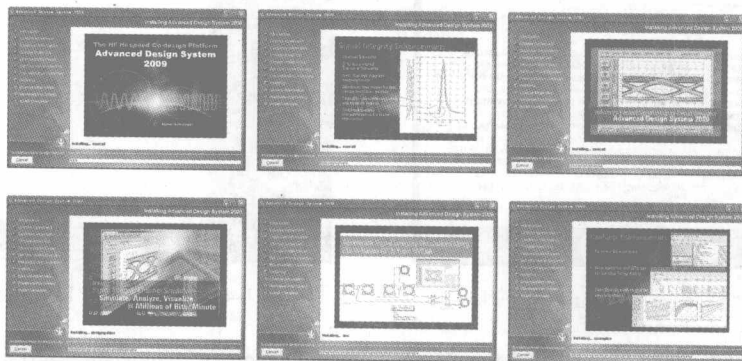


图 1-9 安装进度窗口