

北极光

EDA 精品智汇馆

# ADS2011

## 射频电路 设计与仿真实例

徐兴福 主编

行业备受欢迎的ADS仿真教程，  
发行**20000册**后经典再续！



电子工业出版社

PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY

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

EDA 精品智汇馆

# ADS2011 射频电路设计 与仿真实例

徐兴福 主 编

電子工業出版社·

**Publishing House of Electronics Industry**

北京·BEIJING

## 内 容 简 介

本书主要介绍使用 ADS2011 进行射频电路设计和仿真的方法, 书中包含了大量工程实例, 包括匹配电路、滤波器、低噪声放大器、功率放大器、混频器、频率合成器、功分器与定向耦合器、射频控制电路、RFIC 电路、TDR 瞬态电路、通信系统链路等仿真实例, 最后还介绍了 Momentum 电磁仿真和微带天线仿真的方法及工程实例, 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, 也可作为大专院校电子信息、射频通信相关专业教学参考书。

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

ADS2011 射频电路设计与仿真实例 / 徐兴福主编. —北京: 电子工业出版社, 2014. 5  
(EDA 精品智汇馆)  
ISBN 978-7-121-22799-8

I. ① A… II. ① 徐… III. ① 射频电路 - 电路设计 - 计算机辅助设计 - 软件包 IV. ① TN710.02  
中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2014) 第 062560 号

策划编辑: 王敬栋 (wangjd@phei.com.cn)

责任编辑: 周宏敏 文字编辑: 张 迪

印 刷: 北京京科印刷有限公司

装 订: 三河市皇庄路通装订厂

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

开 本: 787 × 1092 1/16 印张: 33.5 字数: 857.6 千字

印 次: 2014 年 5 月第 1 次印刷

印 数: 4000 册 定价: 128.00 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 zlt@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

20 世纪 90 年代以后，通信容量及频率不断提高，无线产品应用环境日益复杂，传统的设计方法已经不能满足射频电路和系统设计的要求。随着 3G/4G 的广泛应用，5G 也初现端倪，这些复杂和高容量通信系统和射频硬件的设计不得不依赖各种 EDA 软件实现。在射频电路行业，甚至是信号完整性领域，首推的仿真软件是 Agilent ADS。

安捷伦 ADS 软件可应用于国防/航空电子、雷达、卫星通信系统设计，以及移动通信系统设计、高速电路、信号完整性设计、射频和微波电路设计、天线设计、LTCC 器件及 RX/TX 封装模块设计。作为微波、射频电路和芯片设计、电路板设计和信号完整性设计的一流平台，安捷伦 EEsos 系列软件得到业界厂商的广泛支持，推出了多种针对该软件的元件库、模型库和设计套件 (Design Kit)，为用户进行更为准确的设计仿真。

另外，从广大工程师择业的角度讲，选择主流的射频仿真设计软件不仅为产品设计大大提高成功率，而且可以提高自身的技能和行业竞争力。现在各大公司招聘要求射频工程师必须会使用 ADS 等软件进行射频电路设计。

早期出版的《ADS2008 射频电路设计与仿真实例》一书，发行近 20000 册，深得广大射频工程师及高校师生欢迎，逐渐成为一本射频工程师的“武功秘籍”。随着技术的不断发展、对软件功能要求的增加，软件版本升级不断，为方便广大工程师朋友掌握这门利器，作者重新编写这本 ADS2011 版本仿真教程。在写作本书的同时，ADS2014 已经推出，关于版本选择问题，作者建议满足当前设计要求的原则下，选择与厂商 Design kits 同步版本的软件，目前大部分厂商 Design kits 已经更新到 ADS2011。

本书设计实例涵盖内容范围广，包含了无线收发系统里面的大部分电路，实例章节以工程设计目标参数入手，并和工程中产品设计流程一致。ADS2011 版本在原有的《ADS2008 射频电路设计与仿真实例》基础上进行了较大增删及改动，对大家广泛关注的低噪声放大器章节进行优化，对功率放大器一章进行了重新选管，使用飞思卡尔 MRF8P9040N 芯片替代原书中的 MRF9045，解决了广大同行找不到 MRF9045 管子仿真模型及管子已经停产的问题。此次更新使得本书的内容与时俱进，具有较高的工程应用价值。读者按照本书的操作，可直接设计出相关的产品。

参与本书编写的有徐兴福、卢益锋、徐晓宁、楼建全、廖剑锟、陈明勇、王小朝、肖馥林、石新明、陈钲、高亚东、赵志强、何川、王博、朱益志、陈泽钊、蒲剑。全书由徐兴福策划及统稿。由于本书题材广泛，内容较多，非常感谢各位作者的辛苦付出！以及王敬栋编



辑在各方面的支持和帮助，在此表示衷心感谢！在本书编写过程中，参考引用美国 Agilent 公司的相关技术资料，在此一并感谢！

目前作者就职兴森快捷 Agilent 联合实验室，如果广大读者有射频及高速 PCB 电路设计及仿真、信号完整性、板级 EMI 等方面的技术问题，都可以联系作者，邮箱地址为 bruce\_xuxf@126.com。

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 者  
2014 年 3 月



# 目 录

<b>第1章</b>	<b>ADS2011 简介</b> .....	1
1.1	ADS 与其他电磁仿真软件比较 .....	1
1.2	ADS2011 简介 .....	4
1.2.1	概述 .....	4
1.2.2	ADS2008 的新功能 .....	5
1.2.3	ADS2009 的新功能 .....	5
1.2.4	ADS2011 的新功能 .....	7
1.2.5	ADS2011 的新功能描述 .....	8
<b>第2章</b>	<b>ADS2011 界面与基本工具</b> .....	13
2.1	ADS 工作窗口 .....	13
2.1.1	主窗口 .....	13
2.1.2	原理图窗口 .....	16
2.1.3	数据显示窗口 .....	22
2.1.4	Layout 版图工作窗口 .....	24
2.2	ADS 基本操作 .....	25
2.2.1	ADS 原理图参数设置 .....	25
2.2.2	ADS 工程的相关操作 .....	32
2.2.3	下载和安装 DesignKit .....	34
2.2.4	如何搜索 ADS 中的范例 .....	38
2.2.5	ADS Template 的使用 .....	39
2.2.6	ADS2011 Technology 的设置 .....	41
2.3	ADS 的主要仿真控制器 .....	45
2.3.1	直流 (DC) 仿真控制器 .....	45
2.3.2	交流 (AC) 仿真控制器 .....	48
2.3.3	S 参数仿真控制器 .....	50
2.3.4	谐波平衡 (HB) 仿真控制器 .....	52
2.3.5	大信号 S 参数 (LSSP) 仿真控制器 .....	54
2.3.6	XDB 仿真控制器 .....	54
2.3.7	包络 (Envelope) 仿真控制器 .....	54
2.3.8	瞬态 (Transient) 仿真控制器 .....	56
<b>第3章</b>	<b>匹配电路设计</b> .....	59
3.1	引言 .....	59
3.2	匹配的基本原理 .....	59
3.3	Smith Chart Utility Tool 说明 .....	61



3.3.1	打开 Smith Chart Utility .....	61
3.3.2	Smith Chart Utility 界面介绍 .....	62
3.3.3	菜单栏和工具栏 .....	64
3.3.4	Smith Chart Utility 作图区 .....	65
3.3.5	Smith Chart Utility 频率响应区 .....	70
3.4	用分立电容电感匹配实例 .....	72
3.5	微带线匹配理论基础 .....	79
3.5.1	微带线参数的计算 .....	79
3.5.2	微带单枝短截线匹配电路 .....	80
3.5.3	微带双枝短截线匹配电路 .....	80
3.6	LineCacl 简介 .....	81
3.7	微带单枝短截线匹配电路的仿真 .....	83
3.8	微带双枝短截线匹配电路的仿真 .....	86
<b>第 4 章</b>	<b>滤波器的设计 .....</b>	<b>96</b>
4.1	滤波器的基本原理 .....	96
4.1.1	滤波器的主要参数指标 .....	98
4.1.2	滤波器的种类 .....	99
4.2	LC 滤波器设计 .....	99
4.2.1	新建滤波器工程和设计原理图 .....	100
4.2.2	设置仿真参数和执行仿真 .....	101
4.3	ADS 中的滤波器设计向导工具 .....	108
4.3.1	滤波器设计指标 .....	108
4.3.2	滤波器电路的生成 .....	108
4.3.3	集总参数滤波器转换为微带滤波器 .....	113
4.3.4	Kuroda 等效后仿真 .....	117
4.4	阶跃阻抗低通滤波器的 ADS 仿真 .....	119
4.4.1	低通滤波器的设计指标 .....	119
4.4.2	低通原型滤波器设计 .....	119
4.4.3	滤波器原理图设计 .....	120
4.4.4	仿真参数设置和原理图仿真 .....	123
4.4.5	滤波器电路参数优化 .....	125
4.4.6	其他参数仿真 .....	129
4.4.7	微带滤波器版图生成与仿真 .....	131
<b>第 5 章</b>	<b>低噪声放大电路设计 .....</b>	<b>137</b>
5.1	低噪声放大器设计理论基础 .....	137
5.1.1	低噪声放大器在通信系统中的作用 .....	137
5.1.2	低噪声放大器的主要技术指标 .....	137
5.1.3	低噪声放大器的设计方法 .....	139
5.2	ATF54143 DataSheet 研读 .....	140
5.3	LNA 实例 .....	144
5.3.1	下载并安装晶体管的库文件 .....	145

5.3.2	直流分析 DC Tracing .....	147
5.3.3	偏置电路的设计 .....	150
5.3.4	稳定性分析 .....	153
5.3.5	噪声系数圆和输入匹配 .....	164
5.3.6	最大增益的输出匹配 .....	174
5.3.7	匹配网络的实现 .....	181
5.3.8	版图的设计 .....	183
5.3.9	原理图—版图联合仿真 (co-simulation) .....	188
<b>第6章</b>	<b>功率放大器的设计 .....</b>	<b>194</b>
6.1	功率放大器基础 .....	194
6.1.1	功率放大器的种类 .....	194
6.1.2	放大器的主要参数 .....	195
6.1.3	负载牵引设计方法 .....	198
6.1.4	PA 设计的一般步骤 .....	199
6.1.5	PA 设计参数 .....	199
6.2	直流扫描 .....	199
6.2.1	DesignKit 的安装 .....	199
6.2.2	插入扫描模板 .....	203
6.2.3	放入飞思卡尔元器件模型 .....	204
6.2.4	扫描参数设置 .....	205
6.2.5	仿真并显示数据 .....	206
6.3	稳定性分析 .....	207
6.3.1	原理图的建立 .....	207
6.3.2	稳定性分析 .....	209
6.4	Load - Pull .....	213
6.4.1	插入 Load - Pull 模板 .....	213
6.4.2	确定 Load - Pull 的负载阻抗 .....	215
6.5	Source - Pull .....	217
6.5.1	插入 Source - Pull .....	217
6.5.2	确定 Source - Pull 的源阻抗 .....	218
6.6	Smith 圆图匹配 .....	220
6.6.1	输出匹配电路的建立 .....	220
6.6.2	输出匹配理想传输线转化微带线 .....	226
6.6.3	输出匹配电路生成 symbol 模型 .....	230
6.6.4	输入匹配电路的建立 .....	232
6.6.5	输入匹配理想传输线转化微带线 .....	237
6.6.6	输入匹配电路生成 symbol 模型 .....	239
6.7	偏置的设计 .....	241
6.8	原理图 S 参数仿真 .....	245
6.9	原理图 HB 仿真 .....	252
6.10	原理图优化调谐 .....	256
6.11	版图 Layout .....	261



6.11.1	版图的生成	261
6.11.2	版图的布局	264
<b>第7章</b>	<b>混频器设计</b>	277
7.1	混频器技术基础	277
7.1.1	基本工作原理	277
7.1.2	混频器的性能参数	277
7.1.3	镜像抑制混频器原理简介	284
7.2	混频器实例与仿真	285
7.2.1	案例参数及设计目标	285
7.2.2	平衡混频器设计	285
7.2.3	本振功率对噪声系数和转换增益的影响	298
7.2.4	1dB 功率压缩点的仿真	300
<b>第8章</b>	<b>频率合成器设计</b>	307
8.1	锁相环技术基础	307
8.1.1	基本工作原理	307
8.1.2	锁相环系统的性能参数	308
8.1.3	环路滤波器的计算	309
8.2	锁相环实例与仿真	310
8.2.1	ADF4111 芯片介绍	310
8.2.2	案例参数及设计目标	311
8.2.3	应用 ADS 进行 PLL 设计	311
<b>第9章</b>	<b>功分器与定向耦合器设计</b>	327
9.1	引言	327
9.2	功分器技术基础	327
9.2.1	基本工作原理	327
9.2.2	功分器的基本指标	328
9.3	功分器的原理图设计、仿真与优化	329
9.3.1	等分威尔金森功分器的设计指标	329
9.3.2	建立工程与设计原理图	329
9.3.3	基板参数设置	332
9.3.4	功分器原理图仿真	335
9.3.5	功分器电路参数的优化	337
9.4	功分器的版图生成与仿真	340
9.4.1	功分器版图的生成	340
9.4.2	功分器版图的仿真	343
9.5	定向耦合器技术基础	344
9.5.1	基本工作原理	345
9.5.2	定向耦合器的基本指标	345
9.6	定向耦合器的原理图设计、仿真与优化	346
9.6.1	Lange 耦合器的设计指标	346



9.6.2	建立工程与设计原理图	346
9.6.3	微带的参数设置	349
9.6.4	Lange 耦合器的参数设置	350
9.6.5	Lange 耦合器的原理图仿真	350
9.6.6	Lange 耦合器的参数优化	354
9.7	功分器的版图生成与仿真	358
9.7.1	Lange 耦合器版图的生成	358
9.7.2	Lange 耦合器版图仿真	360
<b>第10章</b>	<b>射频控制电路设计</b>	363
10.1	衰减器的设计	363
10.1.1	衰减器基础	363
10.1.2	有源衰减器的设计及仿真	363
10.2	移相器的设计	369
10.2.1	移相器基础	369
10.2.2	移相器的 ADS 仿真	371
<b>第11章</b>	<b>RFIC 电路设计</b>	376
11.1	RFIC 介绍	376
11.2	共源共栅结构放大器理论分析	378
11.3	共源共栅放大器 IC 设计 ADS 实例	380
11.3.1	共源共栅放大器 IC 设计目标一	380
11.3.2	共源共栅放大器 IC 设计目标二	388
11.3.3	共源共栅放大器 IC 设计目标三	390
11.3.4	共源共栅放大器 ads 模块生成	393
<b>第12章</b>	<b>TDR 瞬态电路仿真</b>	397
12.1	时域反射仪原理及测试方法	397
12.1.1	TDR 原理说明及系统构成	397
12.1.2	TDR 应用于传输线阻抗的测量原理	398
12.2	TDR 电路的瞬态仿真实例	399
12.2.1	利用 ADS 仿真信号延迟	399
12.2.2	通过 TDR 仿真观察传输线特性	405
12.2.3	结合 LineCalc 对传输线进行匹配分析	409
12.3	TDR 仿真中利用 Momentum 建模的实例	412
12.3.1	TDR 一般瞬态仿真过程	412
12.3.2	利用 Momentum 的 TDR 仿真过程	416
<b>第13章</b>	<b>通信系统链路仿真</b>	424
13.1	通信系统指标解析	424
13.1.1	噪声	424
13.1.2	灵敏度	425
13.1.3	线性度	425

13.1.4	动态范围 .....	427
13.2	系统链路设计 .....	427
13.2.1	传播模型 .....	427
13.2.2	链路计算实例 .....	429
13.3	ADS 常用链路预算工具介绍 .....	429
13.3.1	BUDGET 控制器 .....	429
13.3.2	混频器及本振 .....	432
13.3.3	AGC 环路预算工具 .....	433
13.4	一个简单系统的链路预算 .....	433
13.4.1	输入端 .....	434
13.4.2	第一级滤波器 .....	435
13.4.3	第一级放大器 .....	436
13.4.4	本振及混频 .....	438
13.4.5	第二级滤波器 .....	439
13.4.6	第二级放大器 .....	439
13.4.7	BUDGET 控制器设置 .....	440
13.4.8	整体电路图 .....	442
13.4.9	仿真结果及分析 .....	442
13.5	AGC 自动增益控制 .....	446
13.5.1	无导频模式下的功率控制 .....	446
13.5.2	有导频模式下的功率控制 .....	448
13.6	链路参数扫描 .....	450
13.6.1	功率扫描 .....	451
13.6.2	频率扫描 .....	452
13.7	链路预算结果导入 Excel .....	454
13.7.1	控制器设置 .....	454
13.7.2	Excel 操作 .....	455
<b>第 14</b>	<b>章 Momentum 电磁仿真 .....</b>	<b>457</b>
14.1	Layout 界面简介 .....	457
14.2	Momentum 主要功能和应用 .....	461
14.2.1	矩量法介绍 .....	461
14.2.2	Momentum 的特点 .....	464
14.2.3	Momentum 的功能 .....	467
14.2.4	Momentum 仿真流程 .....	480
<b>第 15</b>	<b>章 微带天线仿真实例 .....</b>	<b>483</b>
15.1	天线基础 .....	483
15.2	微带贴片天线仿真实例 .....	486
15.3	无线通信中的双频天线设计实例 .....	500
<b>附录</b>	<b>各大半导体及芯片厂商 ADS 仿真元件库下载地址 .....</b>	<b>515</b>



# 第1章 ADS2011 简介

从 20 世纪 80 年代开始，微波电路技术应用方向已逐渐由传统的波导和同轴线元器件转移到微波平面电路系统。然而，微波平面电路设计一直是一项比较困难和复杂的工作，需要工程师在实践中不断调试才能完成。随着市场需求的不断提升，近年来射频电路应用的频率变得越来越高，如 ODU 40G 频段，Gifi 已到 60G 频段，汽车雷达 77G。为了满足高速率信号传输要求，信道带宽也越来越宽，电路的各项参数要求越来越严格（如 LNA 的噪声系数），产品的功能要求越来越多样化，产品尺寸要求也越来越小，而产品设计周期却越来越短。传统的设计方法已经不能满足现代电路设计的要求，借助于微波仿真软件进行电路设计已经成为必然趋势，美国安捷伦（Agilent）公司推出的大型 EDA 软件 ADS2011 凭借其强大的功能与友好的界面，业已成为当今微波电路设计的主流设计开发软件，为广大微波电路的设计者和研究者提供了强大的武器。

ADS2011 集多种 EDA 软件的优点，可进行时域、频域仿真，模拟电路、数字电路仿真，线性、非线性电仿真，小到单独元器件的仿真，大到系统仿真、数/模混合仿真、高速链路仿真。其强大的仿真功能和较高的准确性，已经得到业界的普遍认可，成为业内最为流行的射频 EDA 软件。

## 1.1 ADS 与其他电磁仿真软件比较

商业化的射频 EDA 软件于 20 世纪 90 年代大量涌现，射频 EDA 是计算电磁学和数学分析研究成果计算机化的产物，其集计算电磁学、数学分析、虚拟实验方法为一体，通过仿真的方法可以预期实验的结果，得到直接直观的数据，是射频工程师和研究人员的有力工具。

目前主流的电磁仿真软件主要基于以下 3 种方法。

- 矩量法（MoM）：ADS、Ansoft Designer、Microwave Office、IE3D、FEKO、Sonnet
- 有限元法（FEM）：Ansys HFSS、Agilent EMpro（同时支持 Mom 和 FEM）
- 时域有限差分法（FDTD）：CST Microwave Studio、EMPIRE、XFDTD

目前，市场上商业化的射频 EDA 软件众多，受到业界欢迎的，其中以 Agilent 公司的 ADS，Ansoft 公司的 Designer、HFSS，AWR 公司的 Microwave office，CST 公司的 CST 为主要代表，这几款软件已经在各大院校和科研院所得得到广泛应用。

Ansofy Designer 是高性能线性/非线性、时/频域电路与系统的仿真工具。自带齐全的数字、模拟和射频/微波电路元器件库，通信、互联网、雷达和导航系统库，以及丰富的数学函数库。支持 SPICE 模型、IBIS 模型、IBIS - AMI 模型、S 参数模型和 Matlab 模型等，自带 C/C++、Verilog/VerilogA 和 Matlab 等基带信号处理算法开发语言接口。为电路和系统设计者提供了一个 Windows 风格的电路、电磁场和系统全集成化设计环境，实现了原理图编辑、

网表/代码编辑、Layout 版图编辑，以及电路、电磁场、系统、混合系统同步协同设计和优化、参数扫描、敏感度分析、统计分析、仿真结果后处理等全面功能。支持与电磁场仿真工具 PlanarEM、SIwave、Q3D Extractor、HFSS 进行自动双向数据连接，支持 HSPICE 动态链接，支持与测试仪器进行数据交互，实现系统、电路、电磁场高效率 and 精确的仿真设计。

Microwave Office (简称 MWO) 是一款与 ADS 类似的仿真软件。它能够提供针对微波混合模块及 MMIC 设计的完整解决方案。并能与世界级的电路仿真与电磁分析工具整合在一起。广泛应用于应用微波集成电路 (MICs)、单片微波集成电路 (MMICs) (小信号和射频功率) 射频印刷电路板 (PCBs)、集成微波组件。

Ansys HFSS 依靠 HFSS 的精确性、高智能和高性能，工程师可以进行高速器件的设计，包括片上嵌入无源器件、IC 封装、PCB 互连和高频器件，例如，天线、射频/微波器件和生物医学器件。使用 HFSS，工程师可以提取寄生参数 (S、Y、Z)、可视化三维电磁场 (近场和远场)，并生成可与电路仿真链接的全波 SPICE 模型。信号完整性工程师使用 HFSS 可在 EDA 设计流程中进行信号质量评估，包括传输路径损耗、阻抗失配引起的反射损耗、寄生耦合和辐射等。

HFSS 提供了前所未有的与 EDA 设计流程集成技术帮助工程师将晶体管级的复杂、高非线性电路和三维全波精确元件模型结合，解决具有挑战性的高性能电子设计问题。利用 HFSS 按需求解技术，工程师可以在易用的层叠版图界面中调用 HFSS，直接导入多层模型，并自动设置。此外，AnsoftLinks 提供了将 3D ECAD 或者 MCAD 结构模型导入 HFSS 的功能选项。HFSS 提供多种基于有限元 (FEM) 算法的求解技术，用户可根据需要执行的仿真模型来选择合适的求解器。包括频域求解器、时域求解器、积分方程法求解器、FE-IE 混合求解器、HFSS 按需求解技术。HFSS 是基于 FEM (有限元法) 的针对高频结构的电磁仿真软件。它以仿真精度高、操作界面方便易用、成熟的自适应网格剖分技术受到广大用户的欢迎。其直观的后处理器及独有的场计算器，可计算分析显示各种复杂的电磁场，并利用 Optimetrics 可对任意的参数进行优化和扫描分析。对于设计结构复杂的天线等器件来说，HFSS 是非常好的工具。但其缺点是占用内存大，仿真的速度较慢。

CST 是一款基于 FDTD (时域有限差分法) 的高频结构电磁仿真软件。它对三维复杂结构仿真精度高，计算速度快。CST 在超宽带的计算上有时间优势，但对于电大尺寸的设计来说，与实际测量结果有一定差距。如前文所提到的，CST 还有一个优势就是能够和 ADS 协同仿真。

CST 软件现已成为一个工作室套装软件，CST 工作室套装™是面向 3D 电磁场、微波电路和温度场设计工程师的一款最有效、最精确的专业仿真软件包，共包含 7 个工作室子软件，集成在同一平台上。可以为用户提供完整的系统级和部件级的数值仿真分析。软件覆盖整个电磁频段，提供完备的时域和频域全波算法。典型应用包含各类天线/RCS、EMC/EMI、场路协同、电磁温度协同和高低频协同仿真等。CST MICROWAVE STUDIO (简称 CST MWS，中文名称“CST 微波工作室”) 是 CST 公司出品的 CST 工作室套装™软件之一，广泛应用于通用高频无源器件仿真，可以进行雷击 Lightning、强电磁脉冲 EMP、静电放电 ESD、EMC/EMI、信号完整性/电源完整性 SI/PI、TDR 和各类天线/RCS 仿真。结合其他工作室，如导入 CST 印制板工作室和 CST 电缆工作室空间三维频域幅相电流分布，可以完成系统级

电磁兼容仿真；与 CST 设计工作室™实现 CST 特有的纯瞬态场路同步协同仿真。CST MICROWAVE STUDIO 集成有 7 个时域和频域全波算法：时域有限积分、频域有限积分、频域有限元、模式降阶、矩量法、多层快速多极子、本征模。支持 TL 和 MOR SPICE 提取；支持各类二维和三维格式的导入甚至 HFSS 格式；支持 PBA 六面体网格、四面体网格和表面三角网格；内嵌 EMC 国际标准，通过 FCC 认可的 SAR 计算等。

Sonnet 是一种基于矩量法的电磁仿真软件，提供面向 3D 平面高频电路设计系统，以及在微波、毫米波领域和电磁兼容/电磁干扰设计的 EDA 工具。Sonnet™应用于平面高频电磁场分析，频率从 1MHz 到几千 GHz。主要的应用有：微带匹配网络、微带电路、微带滤波器、带状线电路、带状线滤波器、过孔（层的连接或接地）、偶合线分析、PCB 板电路分析、PCB 板干扰分析、桥式螺线电感器、平面高温超导电路分析、毫米波集成电路（MMIC）设计和分析、混合匹配的电路分析、HDI 和 LTCC 转换、单层或多层传输线的精确分析、多层的平面的电路分析、单层或多层的平面天线分析、平面天线阵分析、平面偶合孔的分析等。

IE3D 是一个基于矩量法的电磁场仿真工具，可以解决多层介质环境下的三维金属结构的电流分布问题。它利用积分的方式求解 Maxwell 方程组，从而解决电磁波的效应、不连续性效应、耦合效应和辐射效应问题。仿真结果包括 S、Y、Z 参数，以及 VWSR、RLC 等效电路，电流分布、近场分布和辐射方向图、方向性、效率和 RCS 等。IE3D 在微波/毫米波集成电路（MMIC）、RF 印制板电路、微带天线、线电线和其他形式的 RF 天线、HTS 电路及滤波器、IC 的内部连接和高速数字电路封装方面是一个非常有用的工具。IE3D 可能是最好的商业 MoM 套件。MoM 原理相对简单，且计算速度极快。IE3D 比较适合 2.5 维情形，例如，算算 PCB 或者微带天线比较合适，算复杂 3D 结构力不从心。但是，手机 PIFA 的计算就比较适合用 IE3D。不是用于做天线项目仿真，而是用于研究天线的基本特征、天线和 PCB 如何相互耦合、PCB 上激发的表面电流走向等原型阶段的预研。

FEKO 是针对天线设计、天线布局与电磁兼容性分析而开发的专业电磁场分析软件，它基于矩量法（MoM；Method of Moment），拥有高效的多层快速多极子法，并将矩量法与高频分析方法（物理光学 PO；Physical Optics，一致性绕射理论 UTD；Uniform Theory of Diffraction）完美结合，从而非常适合于分析天线设计中的各类电磁场分析问题；对于电小结构的天线，FEKO 中可以采用完全的矩量法进行分析；对于具有电小与电大尺寸混合结构的天线，FEKO 中既可以采用多层快速多极子法，又可以采用混合方法：用矩量法分析电小结构部分，而用高频方法分析电大结构部分。而且，FEKO 支持天线工程中的各种激励方式，输出天线的各种电性能参数。它可以计算非常复杂的 3D 结构和环境，擅长电大尺寸，常被用作飞机电磁性能的建模和仿真。

作为板级和 IC 级的电路设计师，ADS momentum 是最好的仿真工具，其效率远超过 HFSS 和 CST 等其他软件。并且 ADS2011 能够与目前主流的 3D 制图软件进行导入和导出。但是，如果要仿真天线、键合线等第 3 维度上非均匀延展的结构，就需要全波三维求解器来协助。ADS2011 中基于有限元算法的电磁场仿真器——FEM，完全解决了业界的路仿真软件与全波三维电磁场仿真器之间的连接。

随着电子计算机技术的发展，相对于经典电磁理论而言，数值方法受边界形状的约束大为减少，可以解决各种类型的复杂问题，但各种数值计算方法都各有优缺点，一个复杂的问

题往往难以依靠一种方法解决，常需要将多种方法结合起来，互相取长补短，因此，混和方法日益受到人们的重视，很多软件也开始逐渐集成利用各种算法进行优化计算，这也是未来电磁场 EDA 软件发展的趋势。其实对于实际的工程仿真来说，有一个 FEM + FDTD + MoM 的仿真软件组合最好。然而，在一个复杂的微波电路系统设计中，使用何种软件并没有定式，不同软件各有所长，需要设计者长期积累的丰富经验和多个 EDA 软件共同来完成。

## 1.2 ADS2011 简介

### 1.2.1 概述

ADS2011 全称 Advanced Design System 2011，是 Agilent 公司 2011 年推出新版本的 EDA 软件，目前的最新版本是 ADS2013。ADS 经过多年的发展，仿真功能和仿真手法日趋完善，最大的特点就是集成了从 IC 级到电路级直至系统级的仿真模块。它内含基于矩量法 Momentum 的电磁仿真模块，ADS Momentum 是一种对 3D 进行简化的 2.5D 电磁场仿真器，非常适合第 3 维度上均匀变化的结构仿真，如 PCB 板级设计、无源板级器件设计、RFIC/MMIC、LTCC 等。其仿真速度极快，同时保证和主流 3D 电磁仿真软件相当的精度。图 1-1 所示为 ADS2011 的工作窗口。

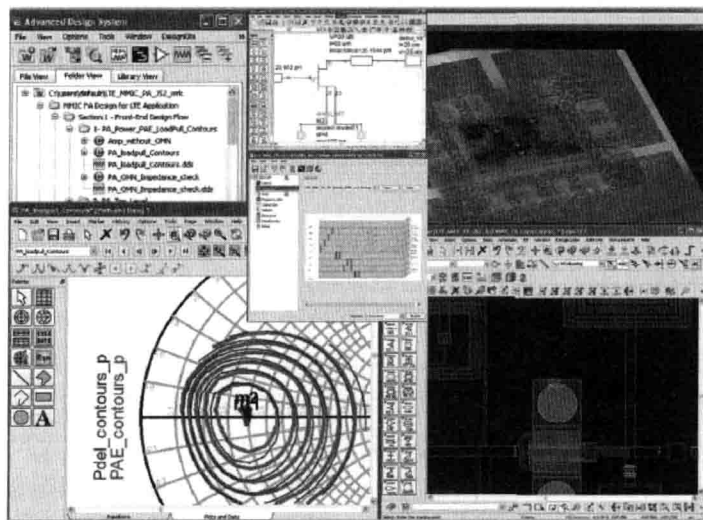


图 1-1 ADS2011 的工作窗口

此外，Agilent 公司还和各大元器件厂商广泛合作并提供最新的 Design Kit 给用户使用。使用户可以在第一时间得到最新的设计资源。同时，Agilent 公司利用自身的优势，在软件与测试仪器的结合上有着其他软件无法比拟的优势，极大地提高了设计的效率。Agilent 公司在 2009 软件版本中增加了基于有限元算法（FEM: Finite Element Method）的 3D 电磁场仿真器——FEM，大大提高了软件的 3D 仿真能力。ADS2011 能与许多著名的 EDA 软件进行协同仿真。如 CST、Mentor Graphics、Cadence、Matlab 等，并且 ADS Layout 能够与主流的 CAD 软件相互导入和导出版图。

下面回顾一下各版本升级及功能改进情况。



## 1.2.2 ADS2008 的新功能

ADS2008 相对于以前的版本在软件的操作界面、仿真模块、Momentum, 数据显示窗口、电路模型、通信系统模型、厂商元件库和软件的响应速度上都有很大的改善和提高。同时, ADS2008 增加了对 64 位计算机操作系统 Windows Vista 的支持, 大大提升了软件的计算和数据处理能力。

- 工作窗口的新特性和改进。

- (1) 提供了新的工程管理界面, 大大优化了对工作窗口文件的管理效率。

- (2) 对话框的弹出响应速度提高。

- (3) 新的更高效的 Help 导航窗口。

- (4) 可以通过转动鼠标滚轮放大和缩小图纸。

- (5) 改进了版图的视觉效果, 更醒目的图层颜色和标记。

- (6) 多层版图设计时可以自动生成过孔, 并提供了多层板的半透明视图效果, 方便用户查看各层电路之间的互连状况。

- 电路模型仿真的新特性和改进。

- (1) 大幅度地提高了直流 (DC) 仿真、交流 (AC) 仿真、功率测量控制器和瞬态仿真的速度。

- (2) 更新了 S 参数仿真控制器, 可以直接双向提取各级间的 S 参数。

- (3) 提供了新的良品率仿真模板。

- (4) 改善了 HSPIC 的兼容性, 加入了包络中的噪声系数仿真。

- (5) 大尺寸电路的谐波平衡仿真速度提高了 3 ~ 10 倍。

- (6) 增加了大量半导体厂商的最新元件库, 增加了对下一代移动通信系统新技术标准的支持; 更新了超宽带无线通信库。

- (7) 支持远程分布式仿真 (需要用户购买该功能的许可)。

- (8) 支持 64 位系统, 获得了更大的数据处理能力。

- Momentum 与 3DEM 新特性和改进。

- (1) 版图可以进行预处理, 消除网格剖分中的错误。

- (2) 改进了 Momentum 介质编辑窗口。

- (3) Momentum 仿真中采用更先进的算法, 可以支持分布式多处理器多线程的计算。ADS2008 可以仿真比以前大 6 倍的结构, 仿真速度提高了 10 倍以上, 而对内存的需求量却降低了 50%。

- (4) 集成了 2D 和 3D 半模电磁仿真工具, 提高了设计效率。同时提高了 3D 电磁仿真的速度和容量, 拥有可视化的 3D 版图预处理。

- (5) 支持 DFX 格式工程图文件的导入和导出。

## 1.2.3 ADS2009 的新功能

- 从 IC 到封装到 PCB 一体化仿真, 如图 1-2 所示。设计过程中可以侦测各单元到接口的问题。



- 信号完整性、电源完整性改进，增加新的信号完整性模型、新的数据显示窗口。
- X 参数仿真，支持测量数据。X 参数模型是快速、可串联的非线性行为模型，可精确地表征混频与阻抗不匹配特性。X 参数满足了高频领域非线性行为模型的需求，这种模型可运用与知名线性 S 参数相同的速度与方便性，从量测或模拟产生。X 参数产生器可让 MMIC、RF-SIP 与 RF 模块设计，针对其非线性装置（例如，功率放大器、前端模块与收发器），为客户提供精确的预制原型模型，以进一步实现同步设计与保障初期设计的成功。
- 高速数字电路仿真，全新的通道仿真，如图 1-3 所示。
- 支持 Allegro 版图的导入和导出，减少文件转换中的失误和麻烦，提高效率，如图 1-4 所示。

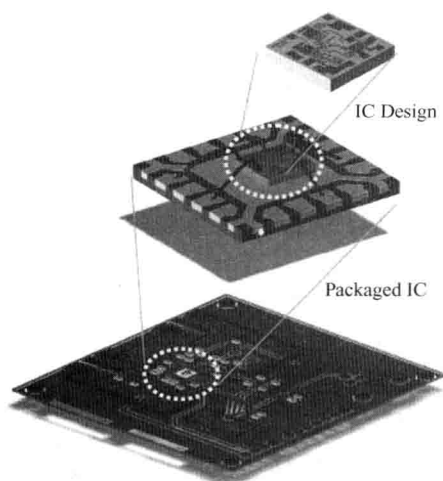


图 1-2 从 IC 到封装到 PCB 一体化仿真

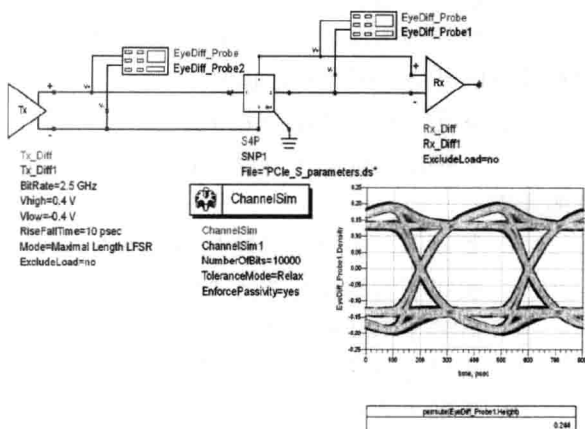


图 1-3 ADS2009 全新通道仿真及眼图工具

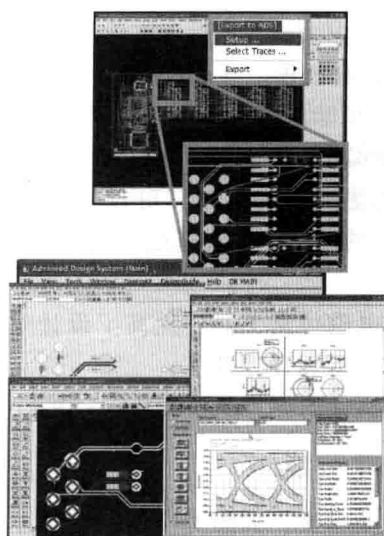


图 1-4 Allegro 中提取模型导入 ADS 仿真