



“十二五”国家重点图书出版规划项目
电子与信息工程系列

Genesys 射频微波电路 设计与仿真

● 吴 群 主编
● 傅佳辉 孟繁义 副主编



哈尔滨工业大学出版社
HARBIN INSTITUTE OF TECHNOLOGY PRESS



“十二五”国家重点图书出版规划项目
电子与信息工程系列

Genesys 射频微波电路 设计与仿真

● 吴 群 主编
● 傅佳辉 孟繁义 副主编

RFID



哈尔滨工业大学出版社
HARBIN INSTITUTE OF TECHNOLOGY PRESS

内 容 提 要

本书共6章,重点介绍了如何利用 Genesys EDA 软件仿真和优化手段对射频微波电路进行分析和设计。主要内容包括:Genesys 仿真软件基础入门、射频微波平面电路特点、Genesys 的综合功能、射频微波电路设计理论基础、典型电路设计实例、收发信机系统级设计仿真。

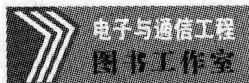
本书可作为高等院校电子信息与通信工程、微电子科学与技术等专业的本科生和研究生教材,也可供从事射频无线通信系统、射频微波电路设计的科技人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

Genesys 射频微波电路设计与仿真/吴群主编. —哈尔滨:
哈尔滨工业大学出版社,2017.6
ISBN 978-7-5603-6719-4

I. ①G… II. ①吴… III. ①射频电路-微波电路-电路设计-
高等学校-教材 IV. ①TN710.02

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2017)第 126532 号



责任编辑 许雅莹
封面设计 高永利
出版发行 哈尔滨工业大学出版社
社 址 哈尔滨市南岗区复华四道街 10 号 邮编 150006
传 真 0451-86414749
网 址 <http://hitpress.hit.edu.cn>
印 刷 哈尔滨圣铂印刷有限公司
开 本 787mm×1092mm 1/16 印张 15.75 字数 316 千字
版 次 2017 年 6 月第 1 版 2017 年 6 月第 1 次印刷
书 号 ISBN 978-7-5603-6719-4
定 价 48.00 元

(如因印装质量问题影响阅读,我社负责调换)

前 言

随着计算机技术与微电子技术的发展,带动了无线通信技术的高速发展,使得射频微波系统的设计日趋复杂化,电路的功能越来越多。但同时需要越来越短的设计周期,电路设计的指标要求越来越高,电路的尺寸要求越来越苛刻。传统的手工设计方法已经不能满足现代微波电路设计的需要,使用微波 EDA 软件工具进行微波元器件与微波系统的优化设计已经成为广大射频工程技术人员进行微波电路与系统设计的必然趋势。EDA 技术的出现,极大地提高了电路设计的效率和可靠性,减轻了设计者的劳动强度。20 世纪 90 年代,国际上电子和计算机技术较先进的国家,一直在积极探索新的电子电路设计方法,并在设计方法、工具等方面进行了彻底的变革,取得了巨大成功。射频微波电路仿真是 20 世纪 70 年代迅速发展起来的一门新兴的学科,是涉及微波理论与技术、微波集成电路技术、计算机仿真技术等综合性学科。由于电路复杂程度和工作频率的不断提高,电路的体积进一步减小,寄生参数和其他影响必须通过电路模型化的微波仿真工具来进行有效分析和设计,对于缩短产品设计周期、提高产品质量、降低产品成本起到了十分重要的作用。射频微波仿真工具的应用彻底摆脱了人工调试传统射频微波电路设计方法,被广泛应用于现代通信、雷达、导航、遥感等系统的微波电路设计中。

对于现代射频微波电路设计,离不开高效率的专业仿真工具。目前,国外各种商业化的射频微波 EDA 软件工具不断涌现,鉴于许多优秀射频微波 EDA 软件工具的出现,特别是廉价、功能齐全的设计软件受到中小型企业 and 个体的选购使用,此外我国许多大学也都相继开设射频微波软件的教学与培训课程。哈尔滨工业大学结合本科生与研究生教学经验,依据 Agilent Technologies 公司发布的 Genesys 编写了此教材。

本书共分 6 章,系统地介绍了应用 Genesys 软件进行无源和有源射频微波电路设计的基本方法和技巧,突出工程实用性,理论与实践相结合。第 1 章简要介绍 Agilent Technologies 公司 2008 年最新发布的 Genesys EDA 软件的基本组成、发展历程和特点,介绍了 Genesys 软件的基本使用方法;第 2 章介绍了 Genesys 软件进行射频电路设计中所具有的功能和特点;第 3 章主要讲述 Genesys 电路综合功能,这也是 Genesys 软件在进行电路优化设计中区别于同类其他软件所独有的特点;第 4 章重点讲述 Genesys 射频微波电路的基本设计理论;第 5 章结合对常见的典型无源和有源射频微波电路,给出设计仿真方法和实验举例;第 6 章以典型的无线通信收发机系统为例,讲述了通信前端系统的系统级仿真和设计方法。

本书可作为高等院校信息与通信工程领域的本科生和研究生教材,也可作为从事射频微波电路设计的工程师、研发技术人员的技术参考书。

本书由吴群教授任主编,傅佳辉和孟繁义任副主编。吴群编写第2章并对全书统稿。参加本书编写的人员还有张少卿、杨国辉、张狂、贺训军、吴健、冯子睿、刘敏、王海龙、靳炉魁、梁英、王玥、边莉、张凉、丁同宇、金博识、秦月梅、董建、张放、陈超等微波工程系电磁场与无线技术专业的师生,他们对软件使用,仿真技巧等做了大量的实际工作,张少卿对许多重要例子进行了仿真实验验证,并对文字进行了修改。

本书在编写过程中得到哈尔滨工业大学电磁场与微波技术学科研究生的积极参与,Agilent Technologies 公司北京办事处朱建平工程师和北京麦克泰软件技术有限公司刘晶晶经理为本书的编写给予了大力协助,在此一并深表谢意。

由于编者水平有限,书中疏漏和不足在所难免,敬请广大读者批评指正!

编者

2017年1月

目 录

CONTENTS

第 1 章 Genesys 仿真软件基础入门	1
1.1 Genesys 仿真软件介绍	1
1.2 Genesys 2008 新功能及其安装	4
1.3 Genesys 用户界面	7
1.4 Genesys 仿真功能	9
第 2 章 射频微波平面电路设计的特点	35
2.1 微波平面电路	36
2.2 射频微波电路的分析方法	37
2.3 微波元件器件模型	39
2.4 微波电路的计算机辅助设计方法	41
2.5 优化设计与变量初值选取原则	43
2.6 集成化设计与系统级仿真	45
2.7 ADS 软件简介	47
2.8 Genesys 与 ADS 协同仿真效果	51
第 3 章 Genesys 的综合功能	53
3.1 平行耦合线滤波器设计	53
3.2 交指型滤波器设计	59
3.3 S/FILTER LC 分布式滤波器综合	68
3.4 Signal Control 分路器、匹配器和衰减器综合	71
3.5 混频器的综合	80
3.6 PLL 锁相环设计综合	88
3.7 振荡器综合	98
3.8 Match 匹配网络综合	105
第 4 章 射频微波电路设计理论基础	112
4.1 无源电路的设计	112
4.2 有源电路的设计	122
第 5 章 典型电路设计实例	139
5.1 滤波器的设计	139

5.2	功率分配器的设计	150
5.3	定向耦合器的设计	154
5.4	振荡器的设计	163
5.5	混频器的设计	174
5.6	放大器的设计	189
5.7	功率放大器的设计	204
第6章	收发信机系统级设计仿真	221
6.1	接收机系统的仿真	221
6.2	发射机系统的仿真	229
附录	238
附录1	电磁波频谱及波段	238
附录2	微波波段及代号	239
附录3	与分贝相关的常用电学物理量	240
附录4	常用射频/微波连接器接头	242
参考文献	244

第 1 章

Genesys 仿真软件基础入门

1.1 Genesys 仿真软件介绍

Genesys 软件包最初由美国 Eagleware-Elanix 公司开发的一款面向射频和微波设计的完整 EDA 工具,2005 年 8 月被 Agilent Technologies 公司收购。收购后的 Eagleware 自然把自己的招牌产品 Genesys 与 ADS 结合得更加紧密。其超低价格的配置适合射频电路和系统设计,具有快速、易用的特点,为移动通信终端、雷达系统、有线电视系统、卫星系统、移动基站设备、射频识别(RFID)设备和无线网络等模拟及数字电路产品的高效快速研发提供了一款优秀的设计工具。从最初的系统架构设计到最终的文档制作,Genesys 在单一和易用的设计环境中提供了快速、强大和精确的设计功能。Genesys 是一个简便易用的集成式软件套件,用于 Windows PC 环境中实现了良好的性价比。它从算法到布局,支持全系列无线通信产品的设计,如系统结构设计和分析、线性仿真、非线性和电磁仿真、综合及 RF 电路板和微波集成电路布局设计。从 Genesys 2006 版开始对其性能做了进一步的提高,即仿真、调谐和优化的速度更快,结果更准确;增加了生产率统计分析功能:保存和比较各次设计迭代的结果;改进了中间文件格式(IFF)接口:可以更加平滑地把 Genesys 模型导出到 ADS 中,实现更高级的仿真功能,让使用者更加接近设计方案的实现;在 WhatIF 功能中扩展了对混频器杂散信号频率表的支持:使用通过对真实混频器测量之后所得到的模型及其频响范围,定义工作频率;内置 ADS 许可:Genesys 和 ADS 之间使用公共许可协议,不需使用物理硬件密码。在 ADS 功能中体现与 Genesys 软件的设计链接,有助于更快地生成复杂的射频系统和电路设计,能更轻松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。Genesys 突出特点是它特别适用于模拟电路或元件的综合功能,以及生产和定制功能。仿真引擎支持线性电路仿真、频谱域系统仿真、谐波平衡非线性仿真,以及多级平面 3D 电磁仿真。它还具有适用于传输线、运算放大器、滤波器、LC 滤波器、直接 LC/分布式滤波器、锁相环、振



荡器、微波分布式滤波器以及延迟均衡和阻抗匹配电路的综合功能。这个独特的功能是目前其他任何微波软件都无法替代的。

Genesys 是安捷伦公司射频和微波设计 EDA 软件,也是唯一支持多种语言的射频 EDA 软件。从初试系统到最终的文档,Genesys 提供一个快速、高性能、多功能、易使用和单一界面的设计环境。

随着设计团队服务的自动化、企业集成和设计语言的本地化,Genesys 已经从单个微波工程的设计工具发展为企业整个团队设计服务的 EDA 工具。无论设计复杂的系统或者是单个组件,无论设计微波集成电路、PC 电路板或微波混合电路,Genesys 都是用最少的时间、最强大高效的工具。

Genesys 产品系列为模块化设计,含有约 20 个仿真器和综合工具模块,又可分为一大核心(Genesys Core)和五大仿真域,它们都可以轻松地添加到任何 Genesys 环境中,如图 1.1 所示。

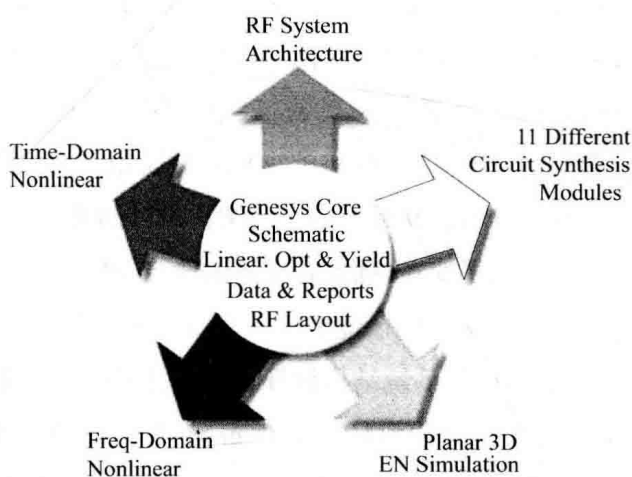


图 1.1 Genesys 产品系列模块化设计示意图

1. Genesys Core

Genesys Core 是 Genesys 的核心产品,其他 Genesys 产品都需要在它的基础上进行集成。Genesys Core 包括一个完整的设计环境、线性 S 参数仿真器和元件库,数据后处理模块、射频版图设计模块和版图导入/导出转换器,可为独立的射频设计小组和个人提供经济实惠、高性能的电路设计环境,为射频平面电路设计流程奠定了基础,也有助于提升个人应对各种基本设计工作的生产力。

Genesys Core 独特之处在于其专为物理设计而开发的成熟的、现代化、可升级的设计环境,它包含多种功能,例如版图设计、自动化非连续模型、成品率优化和数据后处理,对于其他昂贵的射频 EDA 工具,每一种功能都是必须额外支出的附加选项。



(1) 使用 Genesys Core 可进行的设计。

① 低噪声放大器的设计,旨在达到最高的成品率、稳定性、增益和带宽。

② 窄带和宽带放大器的设计。

③ 用 S 参数进行振荡器和高 Q 值谐振结构的设计。

④ 考虑了损坏和版图寄生效应的离散值,表面封装元件(SMT) 滤波器的设计。

⑤ 快速输出掩膜文件,用于射频电路板加工或直接输出到快速制版机上。

⑥ 高功率放大器的设计、天线的匹配与分布式多管线技术。

⑦ 通过添加线性匹配网络、外部 SMT 元件和连接线寄生影响,可将商用无线芯片装配到射频电路板上进行仿真。

⑧ 巴伦、传输线耦合器和高 Q 微波无源部件的设计。

⑨ 移相器、线性 PIN 开关(开/关状态)和功率分配器的设计。

⑩ 利用矢量网络分析仪或三维电磁场仿真软件得到连接器的 S 参数,在 Genesys 软件中进行等效电路模型提取,或嵌入自动测量。

⑪ 为常用元件提供自定义库功能,让设计人员更具竞争优势。

(2) Genesys Core 环境中包括的内容。

① 具有图形化用户界面、层次结构和项目管理的集成设计环境。整个设计环境支持 Visual Basic 脚本语言。本地语言版本包括:简体中文、繁体中文、日文、韩文和俄文。

② 最高质量的射频设计文档。集成的数据后处理、数据文件集和 LiveReport(实时报表),可轻松地实时对测量与仿真结果进行比较。

③ 频域线性仿真器。

i. 100 多个精确的微波物理模型,例如微带线、带状线、共面波导等,含有 100 多个算术运算符的预处理和后处理公式,获取许多混合算术引擎。

ii. 参数扫描、实时调协模式和自动优化。

iii. Monte Carlo 分析、成品率分析和成品率优化,支持六西格玛 DFM(实验方法)技术。

iv. 近 30 000 个流行的商用元件和介质基板材料及内置工具,可以建立自己的模型库和部件库。

④ 集成的版图设计功能,可以直接从射频原理图的转换得到原理图、模型、数据、版图导入/导出转换器。

2. 典型的仿真模块

利用这些仿真模块,可以快速方便地对所设计的模型进行性能仿真,并根据分析结



果,进行适当的改进。

- ① Cayenne:可实现 SPICE 功能的时域仿真工具。
- ② Harbec:谐波平衡与非线性仿真工具。
- ③ Empower:三维电磁仿真工具。
- ④ WhatIF:频率规划设计工具。
- ⑤ Spectrasys:射频结构及系统级仿真。
- ⑥ Filter:经典 LC 滤波器综合。
- ⑦ S/Filter:高级直接 LC/分布式滤波器综合。
- ⑧ M/Filter:微波分布式滤波器综合。
- ⑨ A/Filter:有源滤波器综合。
- ⑩ Equalize:群延迟补偿综合。
- ⑪ Match:匹配网络综合。
- ⑫ Mixer:混频器综合。
- ⑬ Oscillator:晶体振荡器综合。
- ⑭ Signal Control:功分器、耦合器和衰减器综合。
- ⑮ Advanced T/Line:传输线综合。
- ⑯ PLL:锁相环设计综合。
- ⑰ Testlink:测试仪器接口仿真模块。

1.2 Genesys 2008 新功能及其安装

Genesys 系列设计软件经历了不断的发展,功能更加完善,产品种类更加丰富,用户队伍不断壮大,使用水平逐步提高。Genesys 的最新一个版本 Genesys 2008 在继承了以往版本优点的基础上,其结构及功能又有许多改进,主要包括如下几个部分。

(1)新的布线工艺翻译器。

① 支持目前版本的 AutoCAD DXF/DWG & Gerber 等软件,更好地支持开孔、多层处理等操作,与其他 CAD 应用、快速建模软件有更大的兼容。

② 内置预览和预加工编辑器,捕捉错误,如多余的或未对准的布线。多层检测,关键区域放大检测;能够在 Genesys 布线外面处理问题;在导入前预览模罩。

③ 从 ADS 中借鉴的技术 Technology adapted from ADS,改进了文档处理能力和可靠性,改进了与其他 Agilent 平台的兼容性。



(2) 交互式的方程调试器。

一种实用优先并且实时的方程调试器使得使用者能够对脚本和模型中的关键变量设置断点以检测中间值,并能很方便地修复建模及后处理中的设置。

(3) 工业标准的数学语言。

一种新型的用于编程和建模的工业标准数学语言,能够和世界范围的“.m”文件中 100 多个数学算子中的参量相兼容,并且它还支持网络基本的 TCP/IP 协议,用于对设备的控制和读取。

(4) 多线程交互式设计环境。

一种新的多线程设计环境,它在繁重的电磁仿真、优化中仍然是交互的,并且它能标记一个动态开关的窗口,以使工作区域最大化。

1. Genesys 安装

在开始安装之前,请确认已经拥有保证安装过程的所有必要的部件,包括授权文件。安装要求如下:

- ① 硬盘上至少要有 500 M 的空间。
- ② 推荐使用 512 M 以上内存。
- ③ 推荐的操作系统有 Windows XP (32 and 64), Windows Vista Business (32 and 64), Windows 2000, Windows Server 2003。
- ④ 授权文件或自动授权代码。

通常的安装有 CD 安装、web 安装和网络服务器安装等,这里以 web 安装为例进行介绍。

(1) 启动安装程序。

- ① 如果无法启动,可联系网络管理员,他可以很容易地安装一个 CD 镜像。
- ② 您可以从下面的网站下载最新的 Genesys 版本:

http://eesof.tm.agilent.com/support_ew/gensv_latest_downloads.html。

- (2) 选择“Install”按钮。
- (3) 阅读安装协议,如果您同意请选择“accept license agreement”并点击“Next”。
- (4) 输入用户姓名、组织并点击“Next”。
- (5) 按照安装提示继续安装,整个安装过程需要几分钟。

2. 授权文件的安装

授权文件的安装通常有 4 种安装方法:试用安装、硬盘安装、ADS 方式安装、Genesys 客户端安装。下面以硬盘安装为例进行介绍。



在已经收到了一个硬盘授权文件后,按照以下步骤进行安装:

(1) 在管理员账户下运行 Genesys。

(2) 对 Product Options 选项,点击“Purchased Software”,然后点击“Next”,如图 1.2 所示。

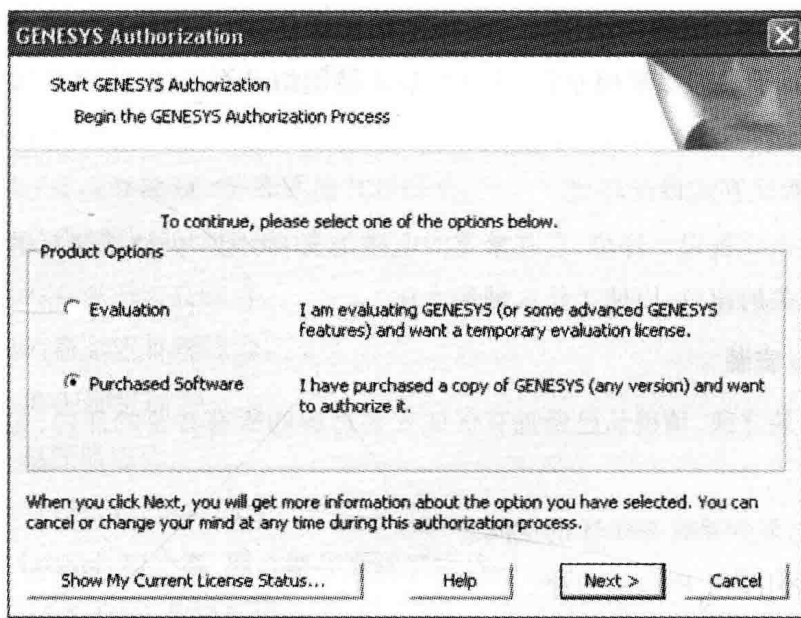


图 1.2 Genesys 软件安装授权示意图 1

(3) 对 Licensing Options 选项,点击“GENESYS Hardware Key”,然后点击“Next”,如图 1.3 所示。

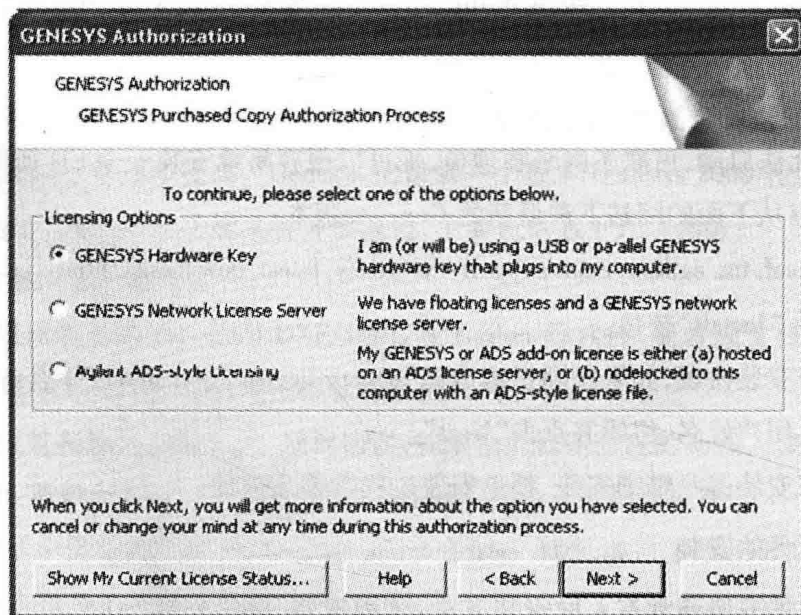


图 1.3 Genesys 软件安装授权示意图 2



(4) 这时 HASP 驱动将会开始安装 ,在弹出的 The process must be run again 对话框中,点击 OK。

(5) 在弹出 Do you want to try again? 对话框时,插入 USB ,并在对话框中点击“Yes”。

(6) 在 Product Options 选项和 Licensing Options 选项中都点击“Next”,如图 1.4 所示。

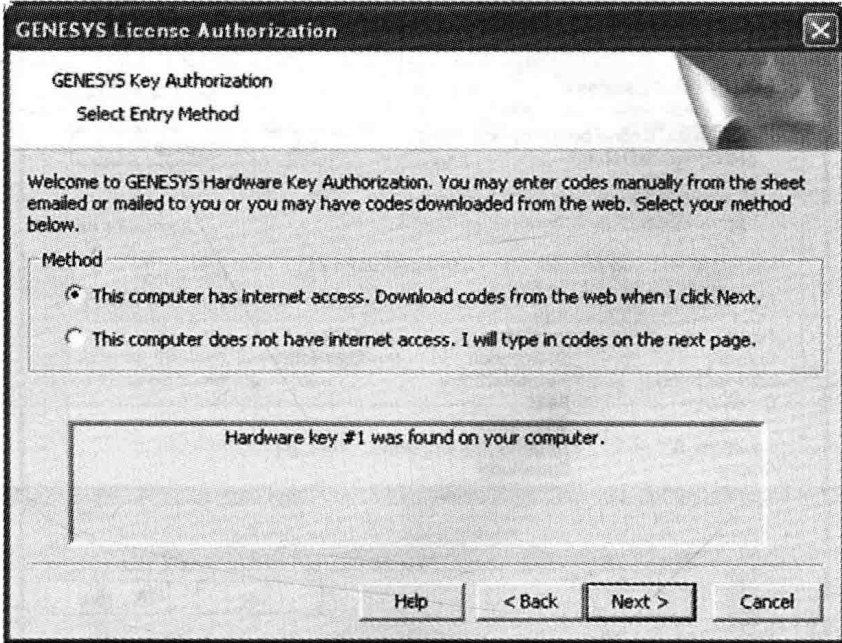


图 1.4 Genesys 软件安装授权示意图 3

(7) 接下来的屏幕将会显示您的授权文件许可号,点击“Next”。

(8) 点击“Finished”。

(9) Genesys 将会启动。

1.3 Genesys 用户界面

双击 Genesys 快捷方式 ,即可进入操作界面,如图 1.5 所示。

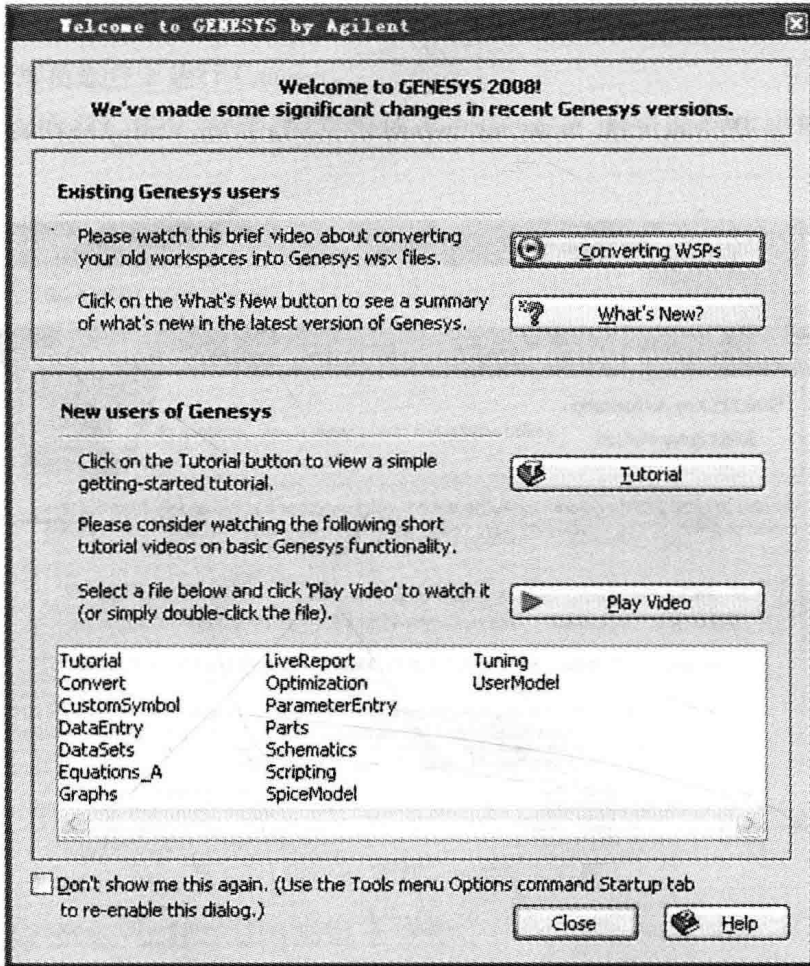


图 1.5 Genesys 操作界面 1

在“Tutorial”和“Play Video”中, Genesys 提供了 16 个视频教程, 用以帮助用户了解 Genesys 的功能(双击可播放视频)。单击“Close”后, 进入下一界面, 如图 1.6 所示。在这一界面中有“Create a new workspace from a template”和“Synthesize a new design”两大操作区域。

“Create a new workspace from a template”提供了 5 种默认的操作界面, 其中包括线性、非线性仿真和振荡器的默认界面。

“Synthesize a new design”提供了 8 种综合功能的默认操作界面, 分别是 Active Filter、Impedance Match、Microwave Filter、Mixer、Oscillator、Passive Filter、Signal Control、WhatIF Frequency Planner, 在 1.1 节中已经简单介绍了。

点击“OK”则进入默认界面“Default”, 如图 1.7 所示。左侧是树型工作区, 右侧是元件模型库, 中间的空白区域为电路原理图编辑区域。

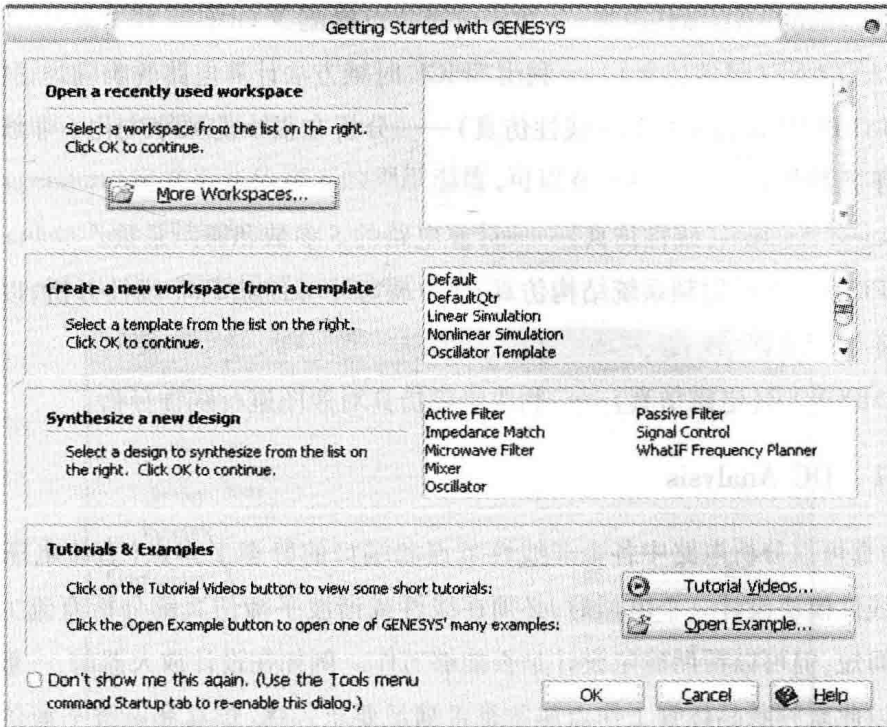


图 1.6 Genesys 操作界面 2

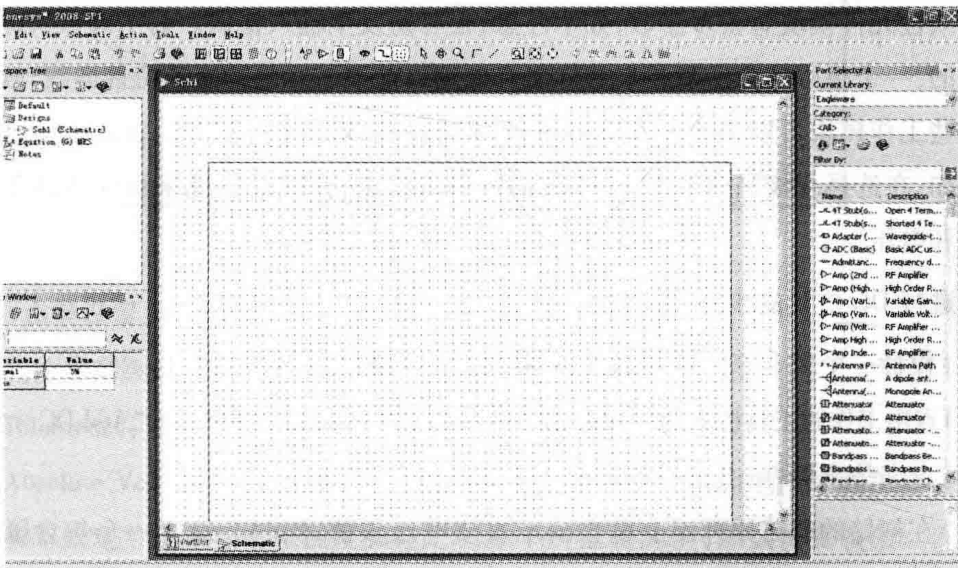


图 1.7 Genesys 操作界面 3

1.4 Genesys 仿真功能

射频微波电路可以有多种分析方法,当仿真一个电路的时候,分析的设置决定了仿真运行的结果。Genesys 提供了以下几种基本仿真模块:




- (1) DC Analysis(直流仿真)——决定电路各点电流。
- (2) CAYENNE(时域仿真)——利用 SPICE 时域方法计算电路的响应。
- (3) HARBEC(谐波平衡和非线性仿真)——分析在很小的频率变化下非线性器件和振荡器的平衡特性。
- (4) Linear Analysis(线性仿真)——计算电路的 S 参数和噪声系数。
- (5) SPECTRAYS(射频系统结构仿真)——对整个系统进行非线性分析,以此来判断是否满足系统要求。
- (6) EMPOWER(电磁仿真)——利用电磁仿真对版图进行线性分析。

1.4.1 DC Analysis

DC 仿真可以分析电路中各个非线性节点和端口的静态工作点(直流电压和电流)。当利用非线性模块设计一个电路时,必须在线性或谐波平衡仿真前分析直流工作点。直流仿真时间短,但可以帮助确定设计是否能够工作。例如在设计放大器前,一般都要进行 DC 分析,以此来判断晶体管工作点偏置是否满足要求。DC 仿真和谐波平衡仿真下的零频仿真并不相同,在 DC 仿真中,应注意所有交流电源都必须关掉。

非线性元件模块有很多参数,如不注意,很容易发生输入错误。为了确保所建的模型是正确的,一个很好的方法就是在建立整个电路以前测试元件的直流特性曲线,软件中包含的一些工作模块可以很容易得到这些直流特性曲线,同时,对 DC 结果还可以进行优化。例如,在选择双极晶体管时,可以对偏置电阻值进行优化,以此来得到所期望的集电极电流和电压。

1. 进行 DC 仿真的步骤

- (1) 设计一个包含直流电源和非线性器件的电路原理图。
- (2) 点击工作树工具栏上的新建按钮 , 然后选择 Analysis 菜单下的“Add DC Analysis”。
- (3) 定义仿真属性,点击 Calculate Now。
- (4) 在初始的电路原理图上就会出现直流电压数值,同时会建立一个包含了直流工作点的数据库。

2. 直流仿真属性的设置

- (1) 基本设置。

直流仿真基本设置如图 1.8 所示,各部分的含义如下。

①Name:仿真的名称。

②Design:要进行直流仿真的设计。