

微波电路 CAD 软件

hp HEWLETT
PACKARD

应用技术

李润旗 李国定 陈兆清 高葆新 著

国防工业出版社

CAD



Hewlett - Packard
Academy

微波电路 CAD 软件应用技术

李润旗 李国定 陈兆清 高葆新 著

国防工业出版社

· 北京 ·

图书在版编目(CIP)数据

微波电路 CAD 软件应用技术/李润旗等著. —北京:国防
工业出版社,1996.6
ISBN 7-118-01615-2

I. 微… II. 李… III. 微波电路-计算机辅助设计-应用
程序 IV. TN710

中国版本图书馆 CIP 数据核字(96)第 07378 号

国防工业出版社出版发行

(北京市海淀区紫竹院南路 23 号)

(邮政编码 100044)

北京怀柔新华印刷厂印刷

新华书店经售

*

开本 787×1092 1/16 印张 11 250 千字

1996 年 6 月第 1 版 1996 年 6 月北京第 1 次印刷

印数:1—4000 册 定价:18.00 元

(本书如有印装错误,我社负责调换)

前 言

微波电路广泛应用于卫星通信、电视转播、中继通信、数据与图象传输、雷达、遥感、电子对抗等领域。随着各项技术的发展,对微波电路的需求量越来越大,种类越来越多。面对日益增长的微波电路的设计要求、更加急促的供货要求以及种类繁多的电路指标要求,如果再沿用传统的手工设计方法,已无法满足。微波工程技术人员面临着新的挑战。

人们经过长期的计算机辅助设计(CAD)技术的研究,取得了令人瞩目的成就。大量CAD软件作为商品投入市场。这些软件能够有效地进行电路的仿真和优化,辅助工程技术人员完成电路设计、节约资源、提高工作效率。也许可以说,这种由CAD软件开始的电子设计自动化(EDA)的浪潮,将成为电路设计的一场新的革命。

本书编著者在工作中,深深感到需要一本比较全面地介绍微波CAD及其应用技术的书,鉴于惠普(Hewlett-Packard)公司的微波CAD软件技术在国际上堪称一流,而且也是最大的微波CAD软件产品厂家,我们将这个想法与中国惠普(CHP)公司的有关人士进行了交流,不仅得到赞同,而且在多方面得到大力支持。本书力图概括地介绍微波电路CAD的发展状况,简介微波CAD的基本原理,用大量的篇幅具体介绍微波CAD软件的使用方法及如何利用优化仿真手段对电路进行分析和设计。书中的举例采用了HP-EEsof软件的一些仿真例子。

全书共分七章,第一章概述微波CAD软件技术的发展状况,第二章介绍微波电路CAD的基本原理,第三章介绍微波CAD软件的使用条件和基本操作,第四章介绍无源电路的仿真,第五章介绍三维电磁场仿真,第六章介绍线性有源电路的仿真,第七章介绍非线性有源电路的仿真。鉴于已有大量的专著从理论上论述微波CAD的原理与方法,本书力图避开枯燥深奥的理论推导,着重从软件技术的应用角度上进行论述,可供有关工程技术人员参考或大学高年级本科生、研究生使用。

本书的第一、二章由陈兆清和李国定编写,第四、五章由李国定编写,第三、六、七章由李润旗编写。全书由高葆新组织编写和审定。

微波CAD软件技术发展很快,牵涉面很广。限于作者水平,书中难免有不确之处,望读者及时指正。

目 录

第一章 绪论	(1)
1.1 微波电路计算机辅助设计的发展	(1)
1.2 微波电路 CAD 软件的来源	(5)
1.3 HP 微波 CAD 软件的功能概览	(9)
第二章 微波电路 CAD 的基本原理与方法	(13)
2.1 微波网络参数和系统参数	(13)
2.1.1 线性微波网络参数	(13)
2.1.2 非线性微波网络的特性参数和指标	(14)
2.1.3 微波系统参数和指标	(15)
2.2 模型的建立	(15)
2.2.1 微波分布参数和集总参数元件的 CAD 模型	(15)
2.2.2 微波半导体器件的 CAD 模型	(15)
2.3 微波电路的基本分析与优化方法	(15)
2.3.1 线性电路分析	(15)
2.3.2 非线性电路分析	(17)
2.3.3 电路的优化设计原理	(19)
2.3.4 微波电路的容差分析和容差设计原理	(22)
2.4 微波电路、部件结构的电磁仿真	(24)
2.4.1 有限元法	(24)
2.4.2 矩量法	(28)
2.4.3 直线法	(28)
第三章 微波 CAD 软件的使用环境和基本操作	(30)
3.1 CAD 软件的使用环境	(30)
3.1.1 硬件环境	(30)
3.1.2 软件环境	(31)
3.2 典型微波电路 CAD 软件的使用和基本操作	(33)
3.2.1 微波电路 CAD 软件的使用条件	(33)
3.2.2 用 MDS 进行微波电路 CAD 的基本操作	(35)
3.2.3 用 HFSS 进行仿真的基本操作	(44)
第四章 无源微波电路设计	(47)
4.1 无源微波电路的参数	(47)
4.1.1 二端口微波电路的参数	(47)
4.1.2 多端口微波电路的参数	(49)
4.2 微波电路基本元件和传输线不连续区的模型	(50)
4.2.1 常用的微波电路基本元件和传输线不连续区域的模型	(50)

4.2.2 “HP85150B MDS”软件中的无源元件库	(62)
4.3 微波无源电路 CAD 的基本原理和方法	(88)
4.3.1 低通滤波器优化设计的基本原理	(88)
4.3.2 利用 HP85150B MDS 设计低通滤波器	(92)
第五章 无源微波元件和系统的电磁仿真	(98)
5.1 概述	(98)
5.2 无源微波元件及系统的基本参数和分析方法	(99)
5.3 微波无源元件和系统的电磁仿真	(100)
5.3.1 建立结构模型	(101)
5.3.2 用有限元法求解结构中的场分布和端口处的 S 参数	(105)
5.3.3 结果后处理	(107)
第六章 线性有源微波电路的设计	(112)
6.1 基本原理与参数	(112)
6.2 放大器 CAD 设计的基本步骤	(115)
6.2.1 微波管与电路形式的选取	(115)
6.2.2 放大器的优化设计	(117)
6.3 低噪声放大器的优化设计	(126)
6.3.1 设计指标的分析与选管	(126)
6.3.2 电路的输入与仿真	(127)
6.4 宽带线性放大器的设计	(127)
6.4.1 设计指标分析与选管	(129)
6.4.2 电路的输入仿真和优化	(129)
第七章 非线性有源微波电路的设计	(132)
7.1 微波功率放大器的优化设计	(132)
7.1.1 功率放大器的主要技术指标	(132)
7.1.2 功率放大器的优化设计	(134)
7.2 微波混频器的优化设计	(145)
7.2.1 混频器的主要技术指标	(145)
7.2.2 混频器的优化设计	(151)
7.3 微波振荡器的优化设计	(151)
7.3.1 振荡器的主要技术指标	(154)
7.3.2 振荡器的优化设计	(158)

第一章 绪 论

1.1 微波电路计算机辅助设计的发展

计算机辅助设计(Computer Aided Design, 缩写为 CAD)的快速发展始于 70 年代。CAD 对于缩短产品设计周期、提高产品质量、降低产品成本起极其重要的作用。随着工作站、个人计算机、计算机网络和计算机外部设备等硬件以及 CAD 技术本身的发展和普及,目前 CAD 已成为工程设计和科学研究的一个必备工具,在电子、电机、航空、造船、机械、建筑、服装设计等许多领域彻底改变了传统的设计方法。

CAD 在电子工程领域的大规模应用始于美国伯克利加利福尼亚大学开发的通用电路仿真软件 SPICE 的推广。

微波电路是现代通信、雷达、导航、遥感等系统的重要组成部分。在 CAD 技术被广泛应用之前,在微波电路的设计中不得不依靠带有一定盲目性的人工调试(cut and try),这不但延长了研制周期、增加了成本,也不易达到高指标。

在微波工程方面,CAD 技术的关键和电子工程的其他领域有所不同。在微波电路 CAD 技术中,各种传输线及其不均匀区模型、元件之间的寄生耦合模型以及微波有源器件的非线性模型等在技术上具有很大的难度。

微波电路 CAD 和一般的电子线路 CAD 相比有以下几个特点:

- (1)微波电路 CAD 中必须有精确的传输线模型和各种微波部件模型;
- (2)微波电路 CAD 中有时必须采用电磁仿真等数值仿真工具;
- (3)微波电路 CAD 软件一般都具备 S 参数分析的功能。

CAD 在微波工程领域的大规模应用始于 70 年代末美国 COMPACT 公司(Paterson, NJ)开发的通用微波电路分析和优化设计软件 COMPACT 的推广。起初是在分时系统上为用户服务,后来发展为向用户提供 PC 版和工作站版的软件包。

今天,HP EEsof(Santa Rosa, Westlake Village, CA)成为最大的一家微波电路 CAD 软件厂商。微波电路 CAD 软件这一设计工具已被广泛应用于微波低噪声放大器、微波功率放大器、微波混频器、微波压控/介质振荡器、微波滤波器、微波功率合成/分配器、微波电调衰减器等部件的设计。为了缩短产品研制周期、降低产品成本、提高产品性能指标,微波工程师已把微波电路 CAD 软件看成了赖以生存的必备工具。

微波电路 CAD 包括以下几方面的内容:

一、线性微波电路的交流小信号分析和 S 参数分析

用于计算加有信号源的线性微波电路的各节点电压、支路电流以及由此导出的其他电特性参量;或计算内部不含信号源的线性微波电路的 S 参数。采用的算法包括待定导纳矩阵节点法、S 参数内部互连端口消除法等。

二、微波电路的直流分析

用于计算加有直流电源的微波电路中各器件的直流工作点。一般说来,线性微波电路的“线性”是对微波信号而言,而有源器件的直流工作点电压、电流的关系一般是非线性的。

三、非线性微波电路的谐波分析

用于分析弱非线性微波电路的稳态特性,包括功率压缩特性、谐波分布、交调特性、稳态波形等。

四、非线性微波电路的瞬态分析

用于分析强非线性微波电路的特性,包括瞬态波形和脉冲数字电路等。

SPICE 是一套很有影响的电子线路 CAD 软件,其中有瞬态分析的功能,问世以来版本更新过多次。新版本中已有无耗无色散传输线模型,但由于缺乏微波元件模型,SPICE 用于微波电路 CAD 仍不够理想。同时又由于 SPICE 具有一般微波电路 CAD 软件不具备的直流分析和时域瞬态分析功能,在分析强非线性微波电路和分析超高速脉冲数字电路时具有很大的优势,正在受到微波和超高速数字电路设计者的喜爱。

一方面,标准 SPICE 的用户可以运用自己的微波专业知识自定义适当的微波元件模型。例如,自行定义有耗多导体耦合线的模型,定义含有封装寄生元件的晶体管模型以及考虑了寄生参量的片状电阻、片状电容模型等。还可以通过适当安排激励源和对输出结果进行后处理来得到微波电路设计中常用的 S 参数。

另一方面,一些软件厂商推出了适合用于微波和超高速数字电路 CAD 的各种 SPICE 的扩充功能版本。例如 HP EEs of 公司的 HP Impulse、Microwave Spice,COMPACT 公司的 Super-Spice 等。在这些软件中,有的采用了色散传输线和多导体耦合线的模型,有的采用了卷积积分方法处理元件的 S 参数。例如 Super-Spice 有 5 层介质 4 层信号线的多导体传输线模型,可用于分析超高速集成电路中的信号延迟、畸变、串扰和回波等效应。HP Impulse 中的输入元件可以用一组 S 参数描述。

五、微波电路的噪声分析

用于分析线性和非线性微波电路的噪声特性。例如振荡器相位噪声分析、晶体管噪声模型参数提取、低噪声放大器设计等。

六、微波电路的优化设计

用户给定电路的拓扑结构、各元件初始值和电路的设计指标目标,CAD 软件自动改变元件值,直到满足电路的设计指标目标。

七、微波电路的容差分析和容差设计

计算电路元件的允许公差、分析元件公差的各种分布形式和元件公差对微波电路特性的影响以及通过改变元件的中心值来使所生产的电路达到最高的成品率。

八、微波部件和电路的电磁仿真

电磁仿真软件采用电磁场数值计算方法,配以方便的用户界面,用于一些微波部件和电路的仿真,主要针对那些在微波电路 CAD 软件的元件库中没有列入的元件或虽已列入但模型精确度不够的元件以及必须精确计算元件间寄生耦合的电路。

电磁仿真可分为三维、二维半和二维这三种。这里三维是指最一般的电路结构(包括金属波导,导体条带较厚的微带线等情况),二维半是指平面传输线电路结构(包括导体条

带厚度可以忽略的标准微带线、共面波导、悬置微带线、鳍线、多层传输带状线等),二维是指均匀传输线结构。近几年来,通用电磁场仿真软件发展很快。它主要用于微波机械加工部件(包括各种接头和同轴及波导元件)的设计;微波和射频电路(包括各种传输线及其不均匀区、含寄生参数的表面组装元器件)的分析和设计;超高速数字电路中封装和互连引起的线间串扰和信号畸变的分析;微波天线的分析和设计。这类软件通常采用有限元法(三维)或矩量法(二维半),配有直观的图形界面,能交互式输入所要分析的电路结构,软件具有自适应自动网格划分功能,可以输出 S 参数等端口网络参数并可用彩色显示电磁场的空间强度分布甚至随时间变化的动画画面,一般都具有分析结果和电路分析软件的接口。这类软件虽然运行速度较慢、计算机内存占用大,但通用性强,能解决其他软件不能解决的很多问题。主要产品有 HP EEsof 公司的 HP HFSS、HP Momentum, AN-SOFF 公司的 Maxwell SI Spicelink, COMPACT 公司的 Explorer, SONNET Software 公司的 em 以及 MSC 公司的 EMAS 等。其中的 Maxwell SI Spicelink 已被用来分析超高速集成电路中的互连线对信号的影响,直接产生互连线的 SPICE 格式模型数据。

近来,基于电磁场仿真的优化技术正在受到人们的重视,在 1994 年 IEEE MTT-S 国际微波会议上有几篇论文和一个 Panel Session 是讨论这个课题的。

九、微波集成电路的布线和版图设计

自动或交互式将微波电路的电原理图转换成微波集成电路的工艺版图,进行设计规则检查,并可将版图数据转换成 Gerber、GDS-II、IGES、HP EGS 等数据格式,以便于同掩模制作设备接口。

十、微波元件和电路的计算机辅助测试

包括测量系统的校准、晶体管壳支架参数的剥离、测量仪器和微波电路 CAD 软件的接口、作为计算机插件的微波测量仪器(例如 INSTRUMENT ENGINES 9052 频谱分析仪)等。

十一、微波器件的建模和参数提取

包括各种微波半导体器件的建模和参数提取、微波分布参数和集总参数元件的实验建模、标准工艺加工线(Foundry)元件数据库等。

元器件模型的精度是微波电路 CAD 软件质量的关键之一。微波电路元器件模型种类繁多而且一般都涉及分布参数或寄生参数,模型的建立是一项学术性很强的研究课题。近来的新进展主要有以下几个方面:

1. 共面波导模型

共面波导由于具有便于安装表面组装器件等优点,正在迅速扩大应用范围。在近几年的 IEEE MTT-S 国际微波会议和一些核心学术期刊上有大量关于共面波导及其不均匀区模型研究工作的报导。

2. 电磁场数值方法模型

谱域法等电磁场数值方法和以此为基础的多维数表数据库方法已被应用到元件模型中,如 Eagleware 公司的 LINMIC +/N。解电磁场积分方程的矩量法已被用来分析各元件间的耦合。其他一些电磁场数值方法例如时域和频域 TLM 法、直线法、FD-TD 法、MEI 法等近年来也有很大的发展。

3. 微波半导体器件模型

微波半导体器件的模型和参数提取是微波电路 CAD 的关键技术之一。用户除了选择 HP 公司的 IC-CAP、Focus Microwave 公司的 CCMT 以及 COMPACT 公司的 Scope 等参数提取系统进行参数提取工作外,在一般情况下都直接采用器件厂商或软件厂商提供的模型(印刷品或软盘)。这些模型的提供有些是免费的,有些是收费的,其中有些收费非常高。

值得一提的是非线性器件的 Root 模型。这种模型从数学角度(而不是物理结构角度)出发,对测试数据进行处理,既减少了存储量,又不失一般性。

4. 标准工艺加工线元件数据库模型

有些 MMIC 和 ASIC 生产厂商已经开始向用户提供标准工艺加工线服务。电路由用户设计,标准工艺加工线负责加工。因此标准工艺加工线元件库应运而生。这些元件库考虑了特定的标准工艺加工线的特定优化工艺条件,一些标准的元件工艺参数提供给用户选择,模型和实际情况最接近时,有可能做到一次投片成功。标准工艺加工线元件数据库一般由标准工艺加工线厂商提供,少数由软件厂商提供(例如 HP 公司的 HP 85172A TriQuint Foundry Library)。

5. 光电器件模型

光电器件在直接调制的超高速光通信系统、微波副载波光通信系统、微波信号的光纤连接系统中起关键作用。激光二极管、光纤、PIN 光电二极管的 CAD 模型已经引入了微波和超高速电路 CAD 系统,目前已推出的软件有 COMPACT 公司的 Scout。

6. 超高速集成电路互连线模型

在超高速集成电路中,互连线是影响码速提高的重要制约因素。在四和八中已提到了互连线分析的一些情况。目前这方面理论研究的论文很多,有关的研究内容基本上都属于电磁场数值方法和微波网络方法的结合。

十二、微波系统仿真

对各种不同规模的微波系统进行仿真,以便得到系统的各种特性指标,这是微波系统设计的重要手段。目前,系统仿真和电路分析一体化对于通信系统的设计提供了一种非常方便的手段。这种一体化使系统设计者可以很方便地了解某一元件对系统指标参数的影响并可以用系统指标作为目标来对电路部件进行优化设计。例如,在一个采用 HP MDS 软件进行 DQPSK 无线系统的设计中,可利用软件的交互式输入功能,将多个模块构成的发送机、传输系统、接收机连成一个整体,这些模块是由具体的元件构成的,其特性是非理想的(例如带通滤波器的传输特性的频响不是矩形而是对实际滤波器电路进行分析得到的非理想形状)。然后直接用 CAD 软件观察整个系统的眼图、星座图和误码率,甚至可以用误码率最小作为优化目标,直接对某些元件进行优化。

近来,硬件描述语言被引进了单片微波集成电路的设计领域,产生了一种硬件描述语言 MHDH (MIMIC Hardware Description Language)。MHDH 特别适合于微波系统的 CAD。

十三、微波滤波器和匹配网络的综合

在电路设计时,用户给定的要求数据是电路特性指标和网络阶数等网络指标,经软件进行综合运算后,输出的是符合或接近这些指标的电路结构和元件值。

十四、微波电路和系统设计的专家系统

用户通过使用这种专家系统可以享用微波电路和系统设计专家的知识 and 经验。目前只有实验系统和设备维修方面的报导, 尚未见系统与电路设计方面的商品化软件。

十五、微波部件和电路的热分析

包括分析微波部件和电路的温度分布和温度变化对电特性的影响。对于高集成度集成电路和大功率器件的封装设计非常重要。

今天, CAD 在电子工程中已经发展为电子设计自动化 (Electronic Design Automation, 缩写为 EDA) 和电子系统设计自动化 (Electronic System Design Automation, 缩写为 ESDA)。在 EDA 中, 微波电路 CAD 是一个重要组成单元。EDA 还包括电路图输入、硬件描述语言、逻辑综合、逻辑仿真和优化、时序仿真、模拟仿真、混合仿真、优化设计、布局布线、参数提取、系统仿真、电磁兼容设计、元件和电路板热分析、机电一体化设计等。所有这些都集成在一个框架 (framework) 环境中, 一般是符合 CFI (CAD Framework Initiative) 标准的框架。框架不仅是各种 CAD 软件工具的组合, 还包括数据模型和数据管理、设计方法管理、设计系统管理和用户界面。关于各软件工具之间的静态数据交换建议采用 EDIF (Electronic Design Interchange Format, 电子设计交换格式) 标准。在 EDA 中, 应用了并行工程 (concurrent engineering) 的方法, 它将产品设计工作和产品制造、用户技术支持等相关工作并行地集成在一起进行, 极大提高了工作效率。EDA 使电路和系统的设计者的主要精力集中于要得到什么 (what), 而不是怎样去得到 (how)。

当前, 一方面微波电路 CAD 软件本身大力采用框架结构和并行工程的方法, 向 EDA 档次迈进, 另一方面各主要微波电路 CAD 厂商也相继推出和 CADENCE DESIGN SYSTEMS (San Jose, CA) 和 MENTOR GRAPHICS (Wilsonville, OR) 两家 EDA 软件厂商产品的接口, 以满足用户的迫切需要。

1.2 微波电路 CAD 软件的来源

对于微波电路 CAD 软件用户来说, 微波电路 CAD 软件的来源主要有以下几条途径:

一、直接从微波电路 CAD 软件厂商购买商品化的软件

HP EEsof 是最大的微波电路 CAD 软件厂商。此外还有数十家中小公司都推出了各具特色的产品, 竞争十分激烈。大多数软件厂商大都采用了交互式用户界面, 有的还采用了电原理图输入法等直观的输入方法, 并采用各种窗口环境作为软件平台。另外, 由于不同的频率范围需要多种设计工具, 有些软件还带有和 CADENCE、MENTOR 等电子线路 EDA 主流系统的接口, 很有吸引力。

在国内, 清华大学电子工程系开发的微波电路 CAD 软件 TUCOM 已拥有数十家用户, 该软件及其推广应用分别获得了国家级和部委级的科技进步二等奖。

对于微波电路 CAD 软件用户来说, 选择最合适的 CAD 软件工具对于提高设计水平、缩短研制周期、降低产品成本是非常重要的。表 1-1 中列出了国外主要软件厂商及产品的概况。

表 1-1 国外主要软件厂商及产品的概况

厂商	产品	主要功能	软件平台
Anderson Software Associates	CirculatorCAD	波导环形器设计	Windows
Ansoft	Maxwell SI Spicelink Maxwell SI Eminence Maxwell SI Extractor	超高速电路信号完整性 电磁仿真的 SPICE 接口	DOS, UNIX
Antenna Design Associates	PCADD	天线设计	DOS
Besser Associates	EEZ Match	史密斯圆图分析	DOS
CAE Software Corp	PAWS IRSS	相控阵天线分析 雷达信号仿真	DOS DOS
Compact Software, Inc.	SuperCompact	线性微波电路设计	DOS, Windows, UNIX
	Microwave Harmonica	非线性微波电路设计	DOS, Windows, UNIX
	Serenade	电原理图输入	DOS, Windows, UNIX
	Scout	光纤仿真	DOS, Windows, UNIX
	Success	系统仿真	DOS, Windows, UNIX
	Explorer	电磁仿真	DOS, Windows, UNIX
	Super-spice	微波 SPICE	DOS, Windows, UNIX
Design Automation	HEPA-PLUS	大功率放大器设计	DOS
DGS Associates, Inc.	S/FILSYN	无源滤波器设计	DOS
	FILSYN	无源滤波器设计	DOS, UNIX
Eagleware Corp.	=M/FILTER=	无源滤波器设计	DOS, Windows
	=SUPERSTAR=	线性微波仿真	DOS, Windows
	=OSCILLATOR=	振荡器设计	DOS, Windows
	=TLINE=	传输线分析	DOS, Windows
	=MATCH=	阻抗匹配	DOS, Windows
Focus Microwave Inc.	μ W-PADS	线性和非线性放大器设计, 和微波调配系统 CCMT 配套	
HP-EEsof, Inc.	HP MDS	非线性微波电路设计	UNIX
	HP HFSS	电磁仿真	UNIX
	HP Momentum	平面结构电磁仿真	UNIX

(续)

厂商	产品	主要功能	软件平台
HP—EEsof, Inc.	HP Impulse	超高速脉冲数字电路设计	UNIX
	IC—CAP	器件参数提取	UNIX
	Touchstone	线性微波电路设计	DOS, Windows
	Libra	非线性微波电路设计	DOS, Windows, UNIX
	OmniSys	系统仿真	UNIX
	jOmega	射频电路设计	UNIX
	E—Syn	滤波器设计	DOS
	Convolution Test Bench	时域分析	UNIX
	Transient test Bench	SPICE 仿真	UNIX
	Communication Design Suite	board—level 设计	UNIX
ing SOFT Ltd.	RFDesigner RFLaPlace	射频电路仿真 电磁仿真	Mac Mac
MacNeal—Schwendler Corp.	MSC/EMAS	电磁仿真	UNIX
MicroSim Corp.	Design Center	SPICE 模/数混合仿真	DOS, Windows, UNIX, Mac
Microwave Software	MicroWorks	电路仿真	DOS
Nedrud Data System	Dragon Wave	电路仿真和优化	Mac
Systems Associates	HarPE	参数提取	UNIX
	OSA90	模拟电路设计/优化	UNIX
Optotek	MMICAD	线性电路仿真	DOS, Windows
Sonnet Software	em	电磁仿真	DOS, Windows, UNIX
Southwest Microsystems	LINEFILT	耦合线分析	DOS
Webb Laboratories	TransCAD	传输线分析	DOS
	SysCAD	系统分析	DOS
	FilSolv	滤波器设计	DOS
Zeland Software	IE3D	电磁仿真与优化	

二、从一些科技图书出版公司购买微波电路 CAD 小型专题软件

Artech House 等科技图书出版公司也推出了一批由各专家学者开发的微波电路 CAD 小型专题软件(见表1—2)。有些微波电路专著中列有一些微波电路 CAD 小型专题软件的源程序清单甚至附有软盘。这类软件的价格一般比软件厂商提供的要低(有时也有例外)。

表1-2 各专家学者开发的微波电路 CAD 小型专题软件

作者	软件名称	主要功能	软件平台
S. A. Mass, A. Nichols	C/NL2 for Windows	线性和非线性微波电路分析和优化	Windows
M. G. Ellis	PC Filter	滤波器设计和分析	DOS
J. A. Crawford	Frequency Synthesizer Design Toolkit	频率综合器设计	DOS
L. M. Schwab	Advanced Automated Smith Chart	交互式圆图工具	DOS, Windows
J. M. Golio	GASMAP	MESFET 参数提取	DOS
E. L. Unrun	PLL	线性锁相环控制系统分析	DOS
S. E. Sussman—Fort	MATCHNET	微波匹配网络综合	DOS
A. R. Djordjevic, et al.	Time—Domain Respose of Multiconductor Transmission Lines	多导体传输线的时域响应分析	DOS
A. R. Djordjevic, et al.	Matrix Parameters for Multiconductor Transmission Lines	多导体传输线的矩阵参数分析(电感、电容、电阻和电导)	DOS
A. R. Djordjevic, et al.	Scattering Parameters of Microwave Networks with Multiconductor Transmission Lines	多导体传输线微波网络的 S 参数分析	DOS
A. R. Djordjevic, et al.	Analysis of Wire Antennas and Scatters	线天线和线散射体的分析	DOS
M. Mikavica, A. Nesic	CAD for Linear and Planar Antenna Arrays of Various Radiating Elements	各种辐射单元的线性与平面天线阵列的 CAD	DOS
C. Hafner	2D MMP	二维 Multiple Multipole 分析	DOS
D. K. Barton, W. F. Barton	Modern Radar System Analysis	现代雷达系统分析	DOS
Naval Ocean Systems Tropospheric Brach, Ocean and Atmospheric Sciences Division	EREPS	电磁波传播特性分析	DOS

三、通过共享软件(Shareware)和免费软件(Freeware)的流通系统获取

共享软件和免费软件是软件交流的两种形式。共享软件给用户提供一个期限的免费试用,如果满意可按软件显示的信息联系购买,一般价格较低。免费软件则不需再联系购买。例如:工程师俱乐部(The Engineers Club BBS,1737 Silverwood Drive,San Jose, CA 95124-3835)提供的一大批共享软件和免费软件中就包括了一些和微波电路 CAD 有关的小型软件,其中有:

APPCAD	由 HP 公司提供的13个小型程序组合而成,功能包括微波传播路径损耗及其对微波通信系统性能影响的分析、微波混频器分析等;
MICROSTRIP	微带线、带状线、共面波导和槽线的特性阻抗和敏感度分析;
RFTOOLS	由 Teledyne 提供的12个小型程序组合而成,功能包括二极管检波器的正切灵敏度分析、级联信号链噪声特性分析等;
RFNOVA	线性微波电路分析,有时域分析功能;
HUGHES	毫米波无线传输分析;
QWKSPLIT	S 参数图形工具;
IMP	Motorola 阻抗匹配程序,用于复数阻抗的匹配。

另外,德国的 Jorg Schmitz(Sauerbruch Strasse 16,D65232 Taunusstein,Germany)也提供微波电路 CAD 共享软件 CAE1和 CAE2。

四、自行开发或委托外单位开发

国内不少高等学校和研究所都具有一定的微波电路 CAD 小型专题软件的开发能力。开发前最好能对技术难度、开发周期、开发成本、软件质量有一个正确的估计。

1.3 HP 微波 CAD 软件的功能概览

表1-3中列出了 HP 公司的几种微波 CAD 软件。可以运行这些软件的计算机型号有:HP 9000 系列 300、400、700、800工作站,Sun SPARC 工作站,IBM RISC System/6000 工作站,Digital DEC 工作站,Apollo DN3500-DN5500工作站,装有 SCO Unix 的386/486 个人计算机等。

表1-3 HP 公司的几种微波 CAD 软件

软件名称	主要功能	软件平台
HP 85150B Microwave Design System	线性和非线性微波电路设计	UNIX
HP 85180A High-Frequency Structure Simulator	用有限元法对三维结构电磁仿真	UNIX
HP Momentum	用矩量法对平面结构电磁仿真	UNIX
HP 85154A High-Frequency Transient Simulator (又称 HP Impulse)	强非线性微波电路和超高速脉冲 数字电路设计	UNIX

一、HP 85150B 微波设计系统(Microwave Design System,缩写为 MDS)

HP 85150B 微波设计系统是一个集成式的微波设计系统,它由交互式设计捕获工具

(Design Capture)、微波线性与非线性仿真器 (Microwave Linear & Nonlinear-Simulators)、微波工艺版图产生器 (Microwave Artwork Generator)、文档工具 (Documentation) 4 部分组成, 可以处理各种线性与非线性微波电路和系统。用户通过交互式界面输入电路的电原理图或系统的方框图等, 软件输出电路或系统的电特性和电路工艺版图。

1. 交互式设计捕获工具

交互式设计捕获工具用于输入电路和系统的原理图、元件参数、运行控制命令、变量定义表达式, 采用鼠标上弹式菜单工作方式和直观电路图显示, 并有完备的在线参考手册 (On-line reference manual) 供用户随时查阅、边干边学。用户采用这种输入工具非常方便, 甚至比在纸上画草图还要简单。用交互式设计捕获工具可以处理分层次电路结构和带变量参数的子电路。

2. 微波线性与非线性仿真器

微波线性与非线性仿真器具有 100 种以上的无源元件模型, 500 种以上的双极晶体管和场效应晶体管线性模型, 完全由用户定义的非线性元件模型, 晶体管和二极管的 SPICE 模型, MESFET 的 Curtice 二次方模型、Curtice 三次方模型、Statz 模型、Tajima 模型、Materka 模型、HP Root 模型, 非线性元件数据库, 系统级模块元件数据库。

微波线性与非线性仿真器支持的元件数据库包括: HP85170A System Model Library (HP 85170A 系统模型元件数据库); HP 85171A Nonlinear FET Library (HP 85171A 非线性 FET 元件数据库) 和 HP 85172A Triquint Foundry Library (HP 85172A Triquint 标准工艺加工线元件数据库) 等。

微波线性仿真器的功能有: 交流小信号和 S 参数分析; 线性节点法噪声分析; 电路优化 (参加优化的元件值变量可达 50 个); 输出结果显示; 同各种微波测量仪器的直接接口; 直流偏置分析。

微波非线性仿真器的功能有: 微波线性仿真器的所有功能; 通用非线性分析和优化 (包括放大器、混频器和振荡器等); 直流偏置点优化; 电路中任意参数的扫描 (包括偏置、电阻、栅结电容、信号源功率等)。

微波线性与非线性仿真器还能进行电路的蒙特卡罗分析和成品率分析, 任何元件的参数概率分布可以是均匀分布、非均匀分布、双模分布和用户定义的任意分布。

输出结果的显示包括阻抗和导纳史密斯圆图, 直角坐标图, 时域波形图, 频谱图, 等噪声圆, 等增益圆, 稳定判断圆, 仿网络分析仪显示图等。

3. 微波工艺版图产生器

微波工艺版图产生器把用微波线性与非线性仿真器设计的电路的电原理图通过自动或交互的方式转换成微波集成电路的多层工艺版图, 并可直接对工艺版图所描述的电路结构进行电特性仿真、对微波集成电路的工艺版图进行图形编辑、将微波集成电路的多层工艺版图的数据转换成 HP EGS、IGES、Gerber Format、GDS-II Stream File 等格式用于红模或掩模的自动加工。

HP 85150B 微波设计系统中还提供了一种图形描述语言——设计数据库语言 (Design Database Language, 缩写为 DDL), 使用户可以在微波集成电路的多层工艺版图中加入一些特殊的元件图形。DDL 也可用于 HP 85150B 微波设计系统的其他模块中。

4. 文档工具

文档工具为用户编写技术文档提供了极大的方便。用户在 HP 85150B 微波设计系统的环境中可以随时调用文档工具。文档工具的一个重要特点是数据的自动更新,用户可以指定文档中的某些数据为“动态”的,即这些数据取自 MDS 的其他模块所处理的数据。这样,当这些数据在 HP 85150B 微波设计系统的其他模块中被改变时,在文档工具所处理的文档中也被自动地改变了。

文档工具还提供了直接输出硬拷贝的功能以及和桌面印刷系统的接口。

二、HP 85180A 高频结构仿真器(HP 85180A High-Frequency Structure Simulator, 缩写为 HFSS)

HP 85180A 高频结构仿真器是一个采用有限元法的三维电磁场仿真软件,可以处理任意形状的微波电路与元件结构,自动产生有限元自适应网格,并可考虑介质材料、磁性材料、薄膜电阻材料和有损导体材料。用户通过交互式界面可输入高频元件或电路的几何结构、材料类型、端口位置、端口特性阻抗定义线等参数,软件给出多口网络 S 参数、可视化的结构内电磁场或电流分布的静止或动画画面。

三、HP 矩量法仿真器(HP Momentum)

HP 矩量法仿真器是一个采用矩量法的“二维半”电磁场仿真软件,所谓“二维半”是指多层平面结构,这是一种特殊但常用的三维结构。HP 矩量法仿真器可以处理任意形状的多层平面传输线电路结构并可考虑开放结构辐射损耗,自动划分矩量法所需的矩形或三角形单元,软件可给出网络 S 参数、Y 参数或 Z 参数并有可视化的电磁场或电流分布画面。HP 矩量法仿真器的运行速度大大高于 HP 85180A 高频结构仿真器。HP 矩量法仿真器可以集成在 HP 85150B 微波设计系统环境中。

四、HP 85154A 高频瞬态仿真器(HP 85154A High-Frequency Transient Simulator, 又称 HP Impulse)

HP 85154A 高频瞬态仿真器采用类似 SPICE 的算法,加入了动态卷积算法来直接处理输入的以 S 参数描述的元件。HP 85154A 高频瞬态仿真器特别适合用于强非线性微波电路和超高速脉冲数字电路的设计。用户通过交互式界面输入电路的电原理图或系统的方框图等,也可通过接口读入 SPICE 网表文件。软件给出电路或系统指定点的瞬态波形等电特性。HP 85154A 高频瞬态仿真器可以完全集成在 HP 85150B 微波设计系统环境中。

参 考 资 料

- 1 Gupta K C, Garg R, and Chadha R. Computer-Aided Design of Microwave Circuits, Dedham MA: Artech House, 1981
- 2 沈楚玉. 微波电路的计算机辅助设计. 北京: 电子工业出版社, 1985
- 3 梁昌洪. 计算微波. 西安: 西北电讯工程学院出版社, 1985
- 4 吴万春. 微波毫米波与光集成电路的理论基础. 西安: 西北电讯工程学院出版社, 1985
- 5 高葆新等. 微波电路计算机辅助设计(上、下). 北京: 清华大学出版社, 1985, 1988
- 6 杨铨让. 毫米波传输线. 北京: 电子工业出版社, 1986
- 7 周文表. 微波集成电路计算机辅助设计手册. 北京: 人民邮电出版社, 1988