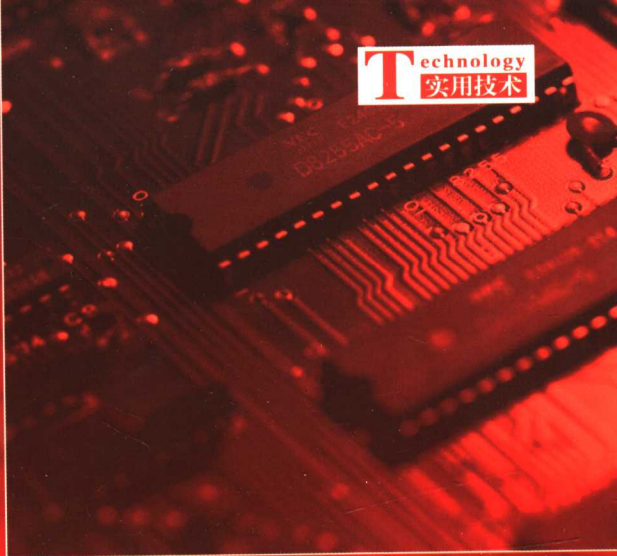


Technology
实用技术

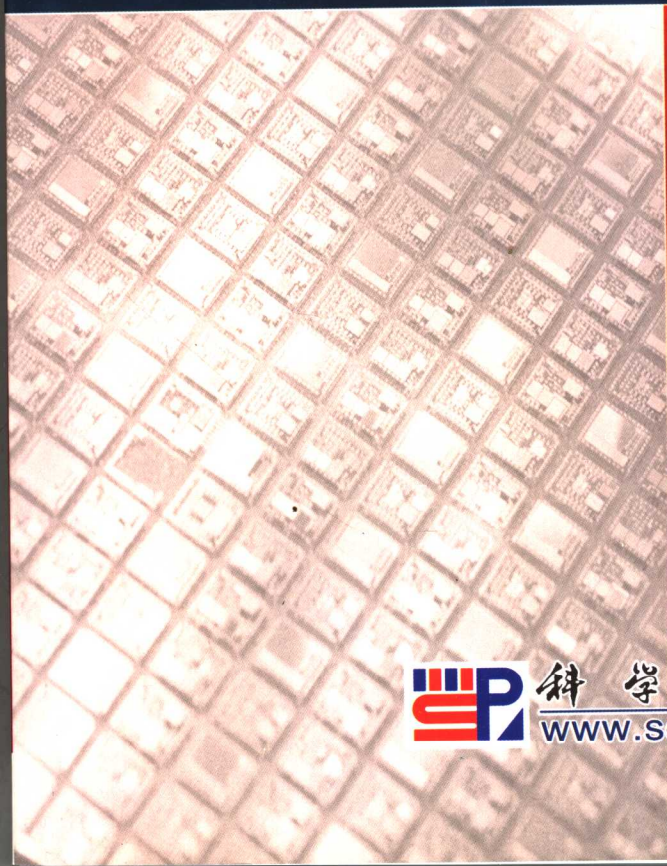
电路设计与仿真

Hspice



CMOS电路模拟与设计 ——基于Hspice

钟文耀 郑美珠 编著



科学出版社

www.sciencep.com

图字：01-2007-1207 号

内 容 简 介

本书系“电路设计与仿真”丛书之一。本书采取循序渐进的编排方式，将 Hspice 强大的功能与应用，由浅入深地介绍给读者，内容包括 Hspice 使用指引，Hspice 基础分析与范例探讨，Hspice 在元件、集成电路及系统中的模拟，元件模型化与特性化的主要考虑，频率响应与极/零点分析，类比与数字电路元的特性化，蒙特卡罗及最坏情况分析，从实践中学习 Hspice 等。本书的最大特色是除了利用 Synopsys 公司所提供的电路模拟实例外，将作者多年在半导体领域积累的经验融入各章，可使读者通过实例说明及练习，深刻地了解各功能的意义及应用领域。

本书可供电子系统设计、开发人员和电路设计爱好者阅读，也可作为高等院校电子类专业的教材或实验参考书。

图书在版编目(CIP)数据

CMOS 电路模拟与设计：基于 Hspice/钟文耀，郑美珠编著. —北京：科学出版社，2007

(电路设计与仿真)

ISBN 978-7-03-019069-7

I. C… II. ①钟…②郑… III. ①互补 MOS 集成电路-模拟程序-程序设计②互补 MOS 集成电路-电路设计 IV. TN432

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2007)第 083467 号

责任编辑：杨 凯 崔炳哲 / 责任制作：魏 谨

责任印制：赵德静 / 封面设计：李 力

北京东方科龙图文有限公司 制作

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

科学出版社 出版

北京东黄城根北街 16 号

邮政编码：100717

<http://www.sciencep.com>

双青印刷厂 印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2007 年 7 月第 一 版 开本：B5(720×1000)

2007 年 7 月第一次印刷 印张：22

印数：1—4 000 字数：433000

定 价：42.00 元

(如有印装质量问题，我社负责调换<环伟>)

修订版序言

随着集成电路技术的日益进步与各大院校在半导体产业相关人才教育的投入, SPICE 软件已成为集成电路设计产业相关工程师的核心工具。近几年来,随着作者在中原大学与龙华科技大学所开设课程与实习内容的资源累积,我们决定对《CMOS 电路仿真与设计——基于 Hspice》的初版进行修订,期盼能够为集成电路设计领域的读者提供更完整的参考内容。

修订版的编排,主要是在原来的各章增加了适合实习的内容与范例,使读者借助更多的电路分析案例以增强 SPICE 撰写的能力。虽然 SPICE 开发至今已超过 20 年,然而其重要性并未随着制程的进步而降低。我们在第 2 章增加了 .DC 与 .TF 的分析范例,并特别比较了商用的 SPICE 仿真软件, Hspice 与 Pspice 之间的异同点,使读者借助过去已建立的 SPICE 使用经验,可以迅速地掌握 Hspice 的指令特色。在第 3 章安排了各种单晶体管放大器的模拟分析,使学生可搭配电子学与电子实验等课程以体会计算机辅助电路分析软件的强大功能和手计算阶段的相互验证。在第 4 章提供了模拟电路设计关键子电路的仿真分析,其中包括振荡电路、带隙或带差电路(bandgap circuit)、低飘移稳压电路等。第 5 章更增加了各类放大器的分析讨论与基本反馈应用,使读者可在放大器组态与频率响应上有更深入的了解。在第 6 章数字电路元的特性化部分,我们也强调了数字电路栅延迟时间分析。我们将初版的第 8 章所探讨的蒙特卡罗及最坏情况分析范例移至第 7 章,使读者能更熟悉蒙特卡罗统计分析在电路性能参数变化的效应。在第 8 章中增加了电流镜、CMOS 反相器的静态特性、A741 放大器行为模型(behavior model)的特性分析。我们相信,只要读者好好体会与学习这些新增章节的范例分析和指令灵活运用概念,必可使其在所投入的设计相关领域中有更好的成果。

为使读者更方便有效地学习本书内容,我们提供了所有范例程序代码,读者可通过科学出版社网站(<http://www.sciencep.com>)下载,期盼读者能淋漓尽致地发挥 Hspice 的功能,以增强其在各类集成电路产品中的设计与分析能力。本书以最严谨的态度撰写,也花了无数之假日时光才完成。增加的范例部分,均采自作者在中原大学电子系开设的“CMOS 电路仿真与设计”课程实习内容与参考答案,以及作者在龙华科技大学电子技术系开设的“计算机辅助电路分析与模拟”课程实习内容。在此对

所有给予支持的各位学生表示感谢,也感谢全华科技图书公司邀稿之热心与耐心。作者才疏学浅,不完善之处在所难免,望各界前辈不吝指正,使本书内容更加充实完善。

钟文耀 中原大学电子工程系

郑美珠 龙华科技大学电子工程系

Web. Site: <http://globe.el.cycu.edu.tw>

序 言

随着集成电路技术的日益进步,使得计算机辅助设计工具日趋成熟,同时也促进了线路设计与系统应用的计算机化。而各类模拟软件的加入,更加速了设计的过程。近几年来,虽然制程技术已进入深亚微米(Deep Sub-micron)的新硅世纪,但是在集成电路设计上,仍以晶体管层次的线路模拟软件——SPICE 软件为主。

虽然 SPICE 开发至今已超过 20 年,然而其重要性并未随着制程的进步而降低。就国内的设计环境而言,商用的 SPICE 模拟软件主要有 Hspice、Pspice、SBTspice、SmartSPICE 与 Tspice 等。由于 Hspice 其内建元件模型齐全,各类电路模拟与分析功能完整,故有很多的集成电路产品利用 Hspice 辅助线路的设计与模拟,而有极好的成果呈现。然而,关于 Hspice 的参考文献,除了原公司所发布的使用手册外,市面上很难找到相关的参考书籍。笔者曾于 1994 年编著《集成电路模拟与应用——Hspice》一书,由廷康资讯公司出版,目前在市面上已看不到此书的踪迹,反而是在学生之间,关于 Hspice 的使用,出现了代代相传的影印版本,继续学习 Hspice 模拟软件。由于晶片设计中心(Chip Implementation Center)多年来的努力,已使大学及技术学院在集成电路设计领域有极好的硬软件与学习环境。笔者过去十年,曾多次支援 CIC、交大亚微米培训中心、清华自强基金会半导体培训中心、台积电、合泰半导体、普诚科技、立生半导体及华邦电子等公司讲授 SPICE 相关课程。

笔者自 1985 年开始使用 SPICE,于 1991~1995 年担任 Meta-Software 公司在台代理商——廷康资讯公司有关 Hspice 软件产品的技术顾问与课程讲师,承蒙廷康资讯公司之邀请,美国 Meta-Software 公司之支持,特将个人多年使用 SPICE 的经验,结合 Hspice 功能的特色与应用,于 1994 年提笔完成了此书的第一版内容。时过境迁,本书重新编撰之际,针对目前应用最广的计算机辅助线路设计软件——Hspice,就其原理、结构、元件模型、各种基本与进阶分析、应用实例作一深入介绍,也希望此书能提供给国内外所有集成电路的使用者有价值的参考。

本书采取循序渐进的章节编排方式,将 Hspice 强大的功能与应用,由浅入深地介绍给读者认识。本书最大特色是除了利用 Synopsys 公司所提供的电路模拟实例外,将作者多年在半导体领域积累的经验融入各章之中,使读者可以经由实例的说明及练习,深刻地了解各功能的意义及应用领域。Hspice 功能极广泛,为了满足大多

数使用者的需要,本书不涉及 Hspice 有关光电领域的模拟、高频电路与传输线的设计和应用。基于集成电路设计上所需的知识与 Hspice 使用技巧,本书共分八章,兹将各章概要分述如下:

第 1 章 Hspice 使用指引

本章主要介绍 Hspice 的发展过程,各项分析功能,程序结构,以及图形资料后处理器 Meta wave 及 AvanWaves 的基本使用指引与模拟实例的说明,以减少使用者学习使用的摸索时间,使其对 Hspice 模拟软件有进一步的了解。

第 2 章 Hspice 基础分析与范例探讨

本章主要介绍 Hspice 基本的交直流、暂态分析功能以及语法描述,并用模拟实例来说明,方便使用者以最短的时间来学习基础分析之精华。

第 3 章 Hspice 在元件、集成电路及系统中的模拟

本章主要探讨 Hspice 在电子领域中各层次模拟的特点,其目的是使读者在不同工作领域中,了解 Hspice 可发挥的功能。例如线路设计者,对于往下到元件层次,以及往上到系统层次,都该注意 Hspice 在各层次的使用技巧,以达到周全的设计考虑。

第 4 章 元件模型化与特性化的主要考虑

本章探讨元件模型化与特性化的主要理念,各时代 FET 元件模型的演变,并介绍 Hspice 所衍生的 LEVEL 28 模型的特点以及特别参数撷取与测试电路验证,亦对电路设计及产品研发与最坏模型化方法的相关性进行完整的分析。

第 5 章 频率响应与极/零点分析

本章将介绍 Hspice 中特有的极/零点分析功能,此特色对于类比电路设计者尤其重要。本章亦会以一典型的二级 CMOS 放大器为例,说明 Hspice 在类比电路设计上的应用。

第 6 章 类比与数字电路元特性化

本章将引导读者利用 Hspice 的特殊功能与指令,完成自动化的类比及数字电路元特性化(circuit cell characterization)与标准元库(standard cell library)的建立,此功能对于电路元库的设计工程师格外重要。另外,对 Hspice 内建的双区间逼近(Bisection Search)方法进行介绍,此种方法适合用于正反器在设定时间(setup time)、维持时间(hold time)以及时脉最小宽度(minimum pulse width)的特性分析。

第 7 章 蒙特卡罗及最坏情况分析

本章是 Hspice 功能的精华部分。最坏情况分析对线路设计者而言,可提供“恰到好处”的设计而避免产品利润的损失。另外,蒙特卡罗分析,则是产品测试及元件分析工程师对产品功能及可靠性了解的最重要依据。读者如想进入此类领域发展,更应熟读本章。

第 8 章 从实践中学习 Hspice

本章将以实例的形式使读者从实践中学习 Hspice,熟悉 Hspice 的电路基本特性模拟,了解 MOS 元件的实际特性、各类输入波形、多项式输入形态等分析与应用。本章内容的编排与前面各章相呼应,按部就班研读,可使读者掌握集成电路设计的基本功法,有潜力往日趋重要的混合信号 IC 设计产业迈进。

本书由于篇幅原因,对于 Hspice 的最佳化功能、噪声与失真分析等内容于日后有机会再探讨。另外,如您为初次接触 Hspice 的读者,则可由第 2 章入手。在了解 SPICE 基本指令的叙述、电路范例及各类分析形态后,再由前面各章循序渐进、逐一研读,无论是初学者,还是已使用 Hspice 的有经验者,本书都可使您对 Hspice 有一完整的概念,帮助您完成各类集成电路产品的设计。

本书以最严谨的态度撰写,花了无数假日时光才完成,在此感谢中原大学育成中心张志杰先生、何福顺与林佳宗等同学的协助;同时,对全华科技图书公司邀稿之热心与耐心也一并感谢。作者才疏学浅,不完善之处在所难免,望各界前辈不吝指正,使本书内容更加充实完善。

钟文耀 中原大学电子工程系

郑美珠 龙华科技大学电子工程系

Web. Site: <http://globe.el.cycu.edu.tw>

目 录

第 1 章 Hspice 使用指引

| | |
|----------------------------------|----|
| 1.1 Hspice 简介 | 3 |
| 1.1.1 直流分析 | 3 |
| 1.1.2 暂态分析 | 4 |
| 1.1.3 交流小信号分析 | 4 |
| 1.1.4 执行 Hspice 所需存储器空间的预估 | 6 |
| 1.1.5 Hspice 核心功能特色 | 6 |
| 1.2 Hspice 特殊功能探讨 | 7 |
| 1.2.1 极佳的收敛性 | 7 |
| 1.2.2 电路应用的考虑 | 8 |
| 1.2.3 各类模型的提供 | 8 |
| 1.2.4 元件及模型参数调整(SCALING) | 9 |
| 1.2.5 蒙特卡罗分析 | 9 |
| 1.2.6 参数化电路元的特性化 | 9 |
| 1.2.7 元件及电路元的特性 | 10 |
| 1.2.8 传输线的应用 | 10 |
| 1.2.9 最优化 | 10 |
| 1.2.10 元件及 IC 模型库 | 10 |
| 1.2.11 图形化的处理 | 11 |
| 1.2.12 极/零点分析 | 11 |
| 1.2.13 新的半导体元件模型 | 11 |
| 1.2.14 模型化及分析技巧应用 | 11 |
| 1.3 Hspice 实例说明 | 12 |
| 1.3.1 Hspice 输入程序结构 | 12 |
| 1.3.2 电源应用的实例说明 | 14 |

| | | |
|-----|----------------------|----|
| 1.4 | AvanWaves 使用指引 | 20 |
| 1.5 | 纯电阻网络 | 28 |
| 1.6 | 小结与参考文献 | 36 |

第 2 章 Hspice 基础分析与范例探讨

| | | |
|-------|--------------------------|----|
| 2.1 | SPICE 程序结构探讨 | 39 |
| 2.1.1 | 节点、元件及模型 | 40 |
| 2.1.2 | 标题、注释与结束叙述 | 48 |
| 2.1.3 | 资料叙述 | 48 |
| 2.1.4 | 控制叙述 | 49 |
| 2.1.5 | 输出叙述 | 50 |
| 2.2 | SPICE 的基础分析 | 54 |
| 2.2.1 | 直流与灵敏度分析 | 54 |
| 2.2.2 | 暂态分析与时域响应 | 57 |
| 2.2.3 | 交流与频率响应分析 | 62 |
| 2.3 | SPICE 辅助电路分析实例 | 64 |
| 2.3.1 | 基本 RL 电路 | 64 |
| 2.3.2 | 理想放大器电路 | 65 |
| 2.4 | .DC 与 .TF 分析探讨 | 67 |
| 2.4.1 | .DC 与元件变化同时执行的扫描分析 | 67 |
| 2.4.2 | 直流转移函数 .TF 分析 | 73 |
| 2.4.3 | 讨论 | 80 |
| 2.5 | 子电路与交流分析 | 82 |
| 2.6 | SPICE 辅助分析的应用探讨 | 93 |
| 2.6.1 | 子电路的应用 | 93 |
| 2.6.2 | 收敛性的问题与解决途径 | 95 |
| 2.7 | 参考文献 | 98 |

第 3 章 Hspice 在元件、集成电路及系统中的模拟

| | | |
|-------|----------------------|-----|
| 3.1 | 简介 | 101 |
| 3.2 | 元件、集成电路及系统模拟特性 | 101 |
| 3.2.1 | 元件模拟特性 | 101 |

| | | |
|-------|---------------------|-----|
| 3.2.2 | 集成电路模拟特性 | 102 |
| 3.2.3 | 系统模拟特性 | 102 |
| 3.3 | 模拟技巧探讨 | 102 |
| 3.4 | 集成电路设计层次的考虑 | 104 |
| 3.4.1 | 基本假设 | 104 |
| 3.4.2 | IC设计者使用环境 | 104 |
| 3.4.3 | 电路层次的模块化 | 106 |
| 3.5 | 系统设计层次的考虑 | 109 |
| 3.5.1 | 基本假设 | 109 |
| 3.5.2 | 系统设计者使用环境 | 110 |
| 3.5.3 | 系统层次的模块化 | 110 |
| 3.6 | 电路及模型温度考虑 | 111 |
| 3.7 | 电路实例探讨 | 112 |
| 3.8 | 共源极放大器 | 114 |
| 3.9 | 共漏极放大器 | 117 |
| 3.10 | 共栅极放大器 | 120 |
| 3.11 | 使用有源负载的共漏极放大器 | 122 |
| 3.12 | 使用有源负载的共源极放大器 | 124 |
| 3.13 | 小结与参考文献 | 126 |

第 4 章 元件模型化与特性化的主要考虑

| | | |
|-------|--------------------------|-----|
| 4.1 | 引 言 | 129 |
| 4.2 | FET 元件模型各时代探讨 | 130 |
| 4.2.1 | 第一代元件模型探讨 | 130 |
| 4.2.2 | 第二代元件模型探讨 | 131 |
| 4.2.3 | 第三代元件模型探讨 | 132 |
| 4.3 | 模型例子(LEVEL 28)探讨 | 136 |
| 4.3.1 | BSIM1(LEVEL 13)的缺点 | 136 |
| 4.3.2 | LEVEL 28 的特点 | 137 |
| 4.4 | 特别参数撷取与测试电路验证 | 138 |
| 4.4.1 | 测试电路验证 | 138 |
| 4.5 | 最坏情况模型化方法 | 138 |
| 4.5.1 | 最坏情况模型化特点 | 139 |

| | | |
|-------|-----------------------|-----|
| 4.5.2 | 模型选择与电路设计的相关考虑 | 139 |
| 4.5.3 | 最坏情况模型的漂移参数 | 140 |
| 4.6 | 振荡器电路 | 142 |
| 4.7 | 带隙电路(Bandgap Circuit) | 144 |
| 4.8 | 低漂移稳压器(LDO) | 146 |
| 4.9 | 小结与参考文献 | 148 |

第 5 章 频率响应与极 / 零点分析

| | | |
|-------|--------------------------------|-----|
| 5.1 | 引 言 | 153 |
| 5.2 | 拉普拉斯转换分析 | 153 |
| 5.2.1 | 频率响应概述 | 153 |
| 5.2.2 | 奈氏临界频率的抉择 | 154 |
| 5.2.3 | 拉普拉斯转换叙述 | 155 |
| 5.2.4 | 拉普拉斯带阻滤波器模拟 | 156 |
| 5.3 | 极/零点分析 | 157 |
| 5.3.1 | 极/零点理论 | 157 |
| 5.3.2 | 极/零点指令叙述 | 158 |
| 5.3.3 | 极/零点分析例子 | 159 |
| 5.4 | CMOS 运算放大器特性及测试 | 162 |
| 5.4.1 | 典型的 CMOS 放大器组态 | 162 |
| 5.4.2 | 放大器特性探讨 | 164 |
| 5.4.3 | 放大器测试模拟 | 167 |
| 5.5 | 叠接式放大器 | 170 |
| 5.6 | 串接式放大器 | 171 |
| 5.7 | 差动放大器 | 174 |
| 5.8 | 串接运算放大器 | 180 |
| 5.9 | 反馈——Feedback cascade amplifier | 182 |
| 5.10 | 输入波形与输出波形 | 185 |
| 5.11 | 小结与参考文献 | 188 |

第 6 章 类比与数字电路元特性化

| | | |
|-------|---------------------|-----|
| 6.1 | 引 言 | 191 |
| 6.2 | 标准元设计方法简介 | 191 |
| 6.2.1 | 标准元的基本定义 | 191 |
| 6.2.2 | 标准元设计方法 | 192 |
| 6.3 | 产品资料表参数的设定 | 194 |
| 6.3.1 | 数字电路元主要特性探讨 | 194 |
| 6.3.2 | 数字逻辑栅延迟时间分析 | 198 |
| 6.3.3 | 类比电路主要特性探讨(以放大器为例) | 202 |
| 6.4 | 数据导引分析 | 204 |
| 6.5 | 电路元特性化实例说明 | 205 |
| 6.6 | 双区间逼近方法简介 | 211 |
| 6.6.1 | 设定时间分析实例 | 212 |
| 6.6.2 | 时脉最小宽度分析实例 | 216 |
| 6.6.3 | Pin to Pin 延迟时间分析实例 | 218 |
| 6.7 | 小结与参考文献 | 221 |

第 7 章 蒙特卡罗及最坏情况分析

| | | |
|-------|-----------------|-----|
| 7.1 | 引 言 | 225 |
| 7.1.1 | Hspice 良率分析法则 | 225 |
| 7.1.2 | 基本统计演算 | 225 |
| 7.2 | 蒙特卡罗分析简介 | 226 |
| 7.2.1 | 蒙特卡罗分析的统计分布 | 226 |
| 7.2.2 | Hspice 蒙特卡罗分析设定 | 227 |
| 7.3 | 蒙特卡罗分析实例 | 228 |
| 7.4 | 最坏情况分析简介 | 233 |
| 7.4.1 | 模型漂移参数的加入分析 | 233 |
| 7.4.2 | 最坏情况分析实例 | 236 |
| 7.5 | 蒙特卡罗及最坏情况分析实例 | 239 |
| 7.6 | 小结与参考文献 | 248 |

第 8 章 从实践中学习 Hspice

| | |
|--|-----|
| 8.1 Hspice 基本分析实例 | 251 |
| 8.1.1 直流、暂态及受控电源的应用 | 251 |
| 8.1.2 直流灵敏度、SENS 分析与温度设定 的练习 | 256 |
| 8.2 MOS 元件特性化实例 | 257 |
| 8.2.1 单一 NMOS 元件情况 | 257 |
| 8.2.2 反相器子电路情况 | 262 |
| 8.3 CMOS 反相器的直流与交流特性 | 271 |
| 8.3.1 直流特性 | 271 |
| 8.3.2 交流特性 | 281 |
| 8.4 暂态分析与基本电路元探讨 | 289 |
| 8.4.1 基本数字逻辑门的时间特性分析 | 289 |
| 8.4.2 t _{plh} , t _{rise} , t _{fall} 的时间参数模拟 | 295 |
| 8.5 基本电路元特性化实例 | 299 |
| 8.6 运算放大器特性化实例 | 306 |
| 8.7 时脉信号产生器设计实例 | 310 |
| 8.8 电流镜分析 | 314 |
| 8.8.1 有源电阻 | 314 |
| 8.8.2 电流镜 | 317 |
| 8.8.3 叠接结构的电流镜 | 319 |
| 8.8.4 威尔森电流镜 | 321 |
| 8.9 μ A741 放大器特性分析 | 325 |
| 8.10 参考文献 | 333 |



第 1 章

Hspice 使用指引

- 1.1 Hspice简介
- 1.2 Hspice特殊功能探讨
- 1.3 Hspice实例说明
- 1.4 AvanWaves使用指引
- 1.5 纯电阻网络
- 1.6 小结与参考文献

1.1 Hspice 简介

Hspice 线路模拟软件在早期是美国 Meta-Software 公司根据 Berkeley SPICE2G.6、SPICE3 及其他线路模拟软件所发展的工业级线路分析软件。Hspice 在基本功能部分和其他 SPICE 软件相似,可应用于下列领域的电子电路研发,即稳态(直流分析)、暂态(时间分析)及频率(交流分析)等领域。由于 Meta-Software 公司在集成电路制程技术持续进步与元件尺寸缩小下,对于 MOSFET 模型的适用性与精确性的不断耕耘,以及该公司对元件与电路最佳化、罗特卡罗与最坏状况分析等进阶的模拟应用亦有自我突破,使得 Hspice 逐渐脱颖而出,超过 PSPICE、Is-SPICE 等软件,成为在集成电路设计上最普遍及最佳的晶体管层次线路模拟软件。1997 年,计算机辅助设计软件大厂 Avant! 公司购并了 Meta-Software 公司,Hspice 也成为 Avant! 公司众多设计软件之一,并改称为 STAR-Hspice。2002 年,计算机辅助设计软件大厂 Synopsys 公司购并了 Avant! 公司。本书为简洁起见,仍以 Hspice 来说明。

SPICE 是“Simulation Program with Integrated Circuit Emphasis”之意,原先的目的是为电子系统中集成电路的模拟与设计而发展的软件。然而,随着电子领域应用面的扩大,Hspice 也因为 Synopsys 公司的持续研发,而具有其特色与功能。因此,Hspice 已成功地用在直流到高频操作的电子电路设计。

本节,将对 Hspice 特色与其可执行各类分析——直流分析、暂态分析(包括傅里叶分析)、交流信号分析(包括噪声特性和失真特性)作一概略性介绍,随后章节则会逐项做详细的说明。

1.1.1 直流分析

直流分析是 SPICE 软件的核心分析,通常在暂态或小信号分析之前都要自动进行直流分析,并可列印输出变量对每个电路参数的小信号直流灵敏度。直流分析可用于产生直流转移特性曲线(DC transfer curves),先由直流分析解出电路的节点电压、分支电流及确立操作点等,然后进行其他后续的分析。

Hspice 共有五个主要的直流分析叙述,即 .DC、.OP、.SENS、.PZ 及 .TF。这些叙述中的“.”代表控制叙述之意,而各叙述的特点即是以电路的直流等效模型为基础进行各种与直流相关的分析。各叙述的主要作用如下所述:

(1) .OP: 计算在特定时间或多时间点条件下的操作点情况(包括节点电压及各分支电流)。

(2) .DC: 设定电源、温度、参数值及直流转移曲线的扫描(sweep)范围。

(3). PZ:极/零点分析(主要用于频率响应)。

(4). SENS:计算电路中指定的输出变量相对于线路其他元件参数的直流小信号敏感程度。

(5). TF:计算特定输出变量对于输入源的直流小信号转移函数。此叙述会在输出结果中自动印出相对增益值、输入及输出阻抗。

在实际电路设计及模拟应用中,.DC的重要性显而易见。现今电子系统或产品有各种电源,如计算机相关产品有 $0\sim 5V$ 、 $0\sim 3.3V$ 及 $0\sim 3V/2.5V/1.5V$ 的应用,BJT类比电路产品在电源供应上,有高至 $+/-12\sim +/-15V$ 的应用等,所以,.DC扫描提供了同时进行多次不同电源值的分析功能,增加了模拟的效率。其次,.SENS只可对直流电路作敏感度分析,因此,如拟在暂态或频域中观察各线路参数对特定输出变量的影响,则需使用罗特卡罗分析作模拟,此部分将于第7章详细探讨。而.TF也只是用作直流稳态小信号转移函数的计算,并不适合于频率扫描变化的情况,故交流输出、输入阻抗与增益的变化须作交流分析才可得到正确值。

1.1.2 暂态分析

Hspice中主要的暂态(或瞬态)分析叙述为.TRAN与.FOUR。.TRAN主要是在指定时间范围中计算电路的解,即所谓的时间扫描分析。由于SPICE软件具有多元性功能,因此从最简单的功能观之,其亦可视为软件形态或虚拟信号产生器与示波器(software signal generator and oscilloscope),即它能够利用软件产生各类信号输入,并允许在频域与时域中产生可观察的结果。而.TRAN最普遍的应用即是数字电路在时域方面的功能分析。由于Hspice中所建立的元件模型极完整,故可得到较准确的暂态响应,对数字电路设计工程师将会有很大的帮助。

.FOUR属于暂态分析的一部分,可使Hspice执行线路的傅里叶分析,其分析在一时间间隔中(T_{stop} - $T_{fperiod}$, T_{stop})执行。其中, T_{stop} 在.TRAN中设定,而 $T_{fperiod}$ 是基频的倒数。故傅里叶分析是在拟观察时间中,取 $T_{fperiod}=1/f$ 基频时间中最后的101点作暂态分析,例如.FOUR 100k V(5),此叙述即是对节点5的电压V(5)作傅里叶分析,而100kHz为基频。

1.1.3 交流小信号分析

交流分析是探讨电路的频率响应,在复变频域中作分析。Hspice中主要的交流分析叙述为.AC、.DISTO、.NOISE、.SAMPLE及.NET。这些叙述使Hspice计算出线路在指定频率范围内的交流输出变量。Hspice执行时首先解出线路的直流操作点,然后确定电路中非线性元件与线性化、模型化参数,并产生小信号模型,在使用者指定的频率范围内,对此线性化电路作频域交流分析。

交流分析允许下列各项扫描: