

混合信号设计方法学指导

模拟混合信号 IP 和 SoC 的设计、验证与实现的先进方法学

Mixed-Signal Methodology Guide

Advanced Methodology for AMS IP and SoC Design,
Verification and Implementation

[美] Jess Chen Michael Henrie Mladen Nizic 等 著

陈春章 何乐年 李智群 艾 霞 等 译

科学出版社

北 京

图字:01-2014-5155 号

内 容 简 介

当代混合信号设计包含了模拟混合信号知识产权模块设计和系统芯片设计,本书是关于这些设计的先进方法、验证手段和具体实施的第一本专业指导书,它涵盖了从系统架构设计到先进工艺设计的内容。本书首先讨论了混合信号设计的趋势和挑战,然后分别介绍了用行为模型代表模拟功能的抽取方法、基于断言的指标驱动验证方法、混合信号设计中低功耗意向的验证方法等。模拟设计师已经习惯于就事论事的传统的单个作业的模拟设计模式,本书强调了学习先进设计方法的迫切性及其益处。

本书可作为数字模拟设计、电子电路系统设计和微电子设计专业高年级本科生和研究生的教材,也可作为教师的教学参考书。它是当代模拟设计工程师、混合信号设计工程师、IP 设计工程师、SoC 设计工程师和数字电路设计工程师从事先进模拟混合信号设计的案头参考书。

This Publication is under license for the English language edition: Mixed-Signal Methodology Guide. Copyright © 2012 Cadence Design Systems, Inc. Portions © Qualcomm, Inc. and © ClioSoft, Inc. Used by permission. All rights reserved. 版权所有。译本经授权译自 Cadence Design Systems, Inc. 于 2012 年出版的英文原著 (original ISBN 978-1-300-03520-6)

图书在版编目(CIP)数据

混合信号设计方法学指导:模拟混合信号 IP 和 SoC 的设计、验证与实现的先进方法学/(美)陈介斯(Jess C.)等著;陈春章等译. —北京:科学出版社,2014. 10

书名原文: Mixed-Signal Methodology Guide: Advanced Methodology for AMS IP and SoC Design, Verification and Implementation

ISBN 978-7-03-041959-0

I. ①混… II. ①陈… ②陈… III. ①混合信号-信号设计
IV. ①TN911. 7

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2014)第 220520 号

责任编辑:孙伯元 / 责任校对:郭瑞芝

责任印制:张 倩 / 封面设计:陈 敬

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>

中国科学院印刷厂印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2015 年 1 月第 一 版 开本:720×1000 1/16

2015 年 1 月第一次印刷 印张:25

字数:506 000

定价:98.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换)

作者简介

Akshat Shah, Cadence 公司 Virtuoso 平台产品总经理, 带领团队负责高级工艺节点(16nm 及 10nm)电学特性感知设计从前端到后端设计全流程开发。于 University of Pittsburgh 获得电气工程学士学位及工商管理硕士学位。专注于工艺变异感知方法学及分布参数和电气约束驱动设计。加入 Cadence 公司之前, 工作于 Neolinear 公司, 负责电路设计和优化方法学开发, 该公司之后被 Cadence 公司收购, 成为 Virtuoso 平台的组成部分。

Arnold Ginetti, Cadence Virtuoso 平台总体结构设计师。负责原理图到版图自动设计, 版图设计及版图设计流程开发, 布局设计, 3D-IC 设计以及芯片封装与基板的协同设计等多方面的内容。在 Cadence 公司工作的 16 年里, 还曾负责多个数字平台的结构设计。加入 Cadence 公司之前, 在 Compass Design Automation 公司从事逻辑设计综合, 时序验证及布局布线工作。于 University Catholique de Louvain, 获得电气工程硕士和博士学位, 发表 30 多篇技术论文。

Art Schaldenbrand, 于 1996 年加入 Cadence 公司, 目前是资深技术专家, 负责模拟、混合信号和射频仿真产品的支持。毕业于 Michigan State University, 拥有电气工程的荣誉学士学位。在 Cadence 公司负责过多项设计方法学项目, 帮助客户应用先进的集成电路设计方法学, 包括全定制集成电路设计、全定制集成电路物理验证和电路原理图设计输入。

Bob Chizmadia, 现任 Cadence AMS 方法学设计服务部总经理。于 Rochester Institute of Technology 荣获微电子学电气工程学士学位。他带领团队致力于数模混合方法学的开拓和支持, 内容涵盖了前端设计到后端实现的全部内容, 如功能验证、物理实现、设计签核等, 解决了很多挑战性的设计问题。在 IC 设计和方法学领域积累了 20 多年的工作经验, 其中, 12 年工作于 Cadence 公司, 之前在 Vitesse 半导体公司负责管理模拟信号设计 CAD 团队。

Brian Bailey, 电子系统级(electronic system level, ESL)方法学和功能验证领域的独立咨询师。毕业于 Brunel University, 获得电气和电子工程的一等荣誉学位。曾在 Mentor Graphics 公司担任验证技术专家。兼任工程专辑 EDA 设计

线(EETimes EDA Designline)的编辑和电子设计论坛(electronic design news, EDN)专栏编辑。出版了六本专著,多次在全球做技术报告,具有多个国际标准化委员会席位,担任数家 EDA 公司的技术顾问。

David White,现工作于 Cadence 公司研发部门,指导 Virtuoso 电学意识设计产品。于麻省理工学院获得电气工程和计算机科学的科学博士学位。2001 年共同创办了 Praesagus 软件公司并负责技术开发,该公司 2006 年并入 Cadence。在此之前,参与成立过两家公司,并在 McDonnell Douglas 公司的研发部门工作。还担任过华盛顿国家科学基金会(national science foundation, NSF)的顾问组成员和麻省理工学院 MIG 的顾问组成员。在多个领域发表过著作,包括机器学习和数据科学。是《智力控制手册》的编辑和共同作者,该书由 NSF 专家和神经网络领域专家共同写成,发表于 1992 年。自 1990 年以来,在多家权威机构发布特邀报告,参与论坛讨论会,包括白宫科学与技术政策(White House office of science and technology policy, WHO-STP)、国家科学基金会、能源部(department of energy, DOE)、航空航天总署(national aeronautics and space administration, NASA)、电气电子工程师协会(IEEE)、美国计算机学会(association for computing machinery, ACM)和国际联合神经网络大会(international joint conference on neural networks, IJCNN)。

Don O'Riordan,具有 20 多年的 EDA 行业设计和验证经验,现任 Cadence 公司全定制和签收部门的资深架构师。之前在多家公司任职,包括在 Silvaco 公司做 SPICE 建模、在 Transmeta 公司做 CPU 验证。还曾在 Cadence 公司负责 SPICE 电路仿真的设计和验证工具 AMS 的混合信号仿真和找错、Virtuoso 电路原理图捕获和分析环境开发。Don 拥有 7 项专利,于爱尔兰国立大学获得硕士学位。

Jess Chen,1977 年在加州大学伯克利分校获得物理和应用数学的学士学位,1982 年在圣荷塞州立大学获得电气工程硕士学位,1985 年在斯坦福大学获得控制理论工程硕士学位,1991 年从圣克拉拉大学获得机械工程硕士学位。在为模拟系统编写行为模型领域,积累了超过三十多年的经验。从业的前十五年,在 LMS (Lockheed Martin Sunnyvale)为航天器功耗系统、太阳能阵列系统和摩托驱动器进行建模和仿真分析。之后在 Cadence 公司工作五年,采用自上而下和自下而上的设计方法为射频系统开发行为级模型。随后专注于射频系统的设计、分析和功能验证。目前担任高通公司(Qualcomm)主任设计经理,他所负责的工作组成功研制了第一个射频、混合信号和功耗管理系统。

Jim McMahon, 于 New Brunswick University 获得电气工程学士学位。第一份工作是担任贝尔(Bell)北方研究所的射频设计师, 后在 HP 公司和 Agilent 公司担任过工程师和射频与混合信号的设计经理。2005 年加入 Cadence 公司并担任射频和射频系统封装设计流程的架构师。目前负责定制和模拟为中心的混合信号流程。

John Ahearn, Cadence 公司产品工程师, 现负责电学特性感知设计流程的开发, 包括厂家的授权和用户实践。于曼哈顿大学获得电气工程学士学位。在集成电路软件开发领域积累了 30 多年的经验, 近 20 年来一直工作于 Cadence 公司, 之前在 Harris 半导体公司的 CAD 部门工作。

Michael Henrie, 现任 ClioSoft 公司的软件工程师, 在电子设计自动化领域积累了十五年工作经验。于 Kutztown University 获得计算机科学硕士学位, 并获得 Brigham Young University 的电气和电子技术学士学位。曾在 Legerity 公司、Agere 公司和 Lucent 公司担任过 CAD 工程职位, 在 Zarlink 半导体公司担任 CAD 资深工程师。

Michael McSherry, 现任 Cadence 公司用户全定制集成电路设计平台研发部软件架构师。于德克萨斯大学奥斯汀分校获得电气工程学士学位。在 EDA 行业积累了 20 多年的工作经验, 除了在 Cadence 公司担任重职, 还曾于 Simplex 公司和 Mentor Graphics 公司管理过产品的开发和市场宣传工作, 专注于新的方法学的开拓, 为电学特性感知设计方法学中的寄生参数实时提取创建了诸多重要软件产品。也是 Mentor Graphics 公司 Calibre 物理验证产品线的发起者。

Mladen Nizic, 在 EDA 行业, 积累了 25 年的工作经验, 涵盖了器件特征化的开发软件、模拟和混合信号仿真、行为和建模、工艺监视和设计中心化。曾在 Cadence 公司研发部门担任过不同的工程管理职位, 现任混合信号设计市场总监。之前曾 Silvado 公司、Data 系统公司、Anacad 公司和 Mentor Graphics 公司工作过。投身 EDA 之前, 在数字通讯的领域担当过研究工程师。于贝尔格莱德大学的电气获得工程学士学位, 于旧金山金门大学荣获工商管理学的学位。

Monte F. Mar, 荣获华盛顿大学(享有最高荣誉 summa cum laude)电气工程的硕士学位, 于加州大学伯克利分校分别获得电气工程硕士和博士学位。Mar 博士曾在 Intel 公司和 Cypress 半导体公司从事 PLL 设计, 为 Cypress 微系统公司 PSoC1 器件开发模拟和编程模块和时钟电路的架构。曾在 Orora 设计技术公司

担任主任专家,采用 CAD 工具建立行为建模和优化开发产品,曾担任 3D VLSI 和辐射硬化电子学的 SBIR 项目的主要研究员。再次回到 Cypress 公司后,指导 D-S 和 SAR ADC 项目的开发,为 PSoC3/5 系列产品设计了一个定制的 DSP 核。目前他在波音公司工作,专注于高速 AD 转换、数字辅助模拟电路设计和精细时序电路。Mar 撰写了十多篇技术专著,拥有 30 多项专利。

Prabal Bhattacharya,毕业于 Jadavpur University,获得工程学士学位。十五年来,工作于 Cadence 公司不同的模拟和混合信号仿真小组,目前是研发部门的架构师。专注于研究混合信号仿真和验证方法,各种模拟和混合信号语言的编译技术,软件架构和仿真产品的再用技术。

Ronald S. Vogelsong,在电子器件和次系统建模相关领域拥有 30 多年丰富经验。1980 年开始参加工作,1985 年获得南佛罗里达大学博士学位,随后担任电气教授数年。20 世纪 90 年代加入 Harris 半导体公司(即 Intersil)。研究内容涵盖了功率晶体管的建模,运放器和比较器的宏模型建立等。将宏模型技术广泛应用于次电路的各种状态,采用定制行为功能扩展建模能力,并最终将其转换成标准模拟和混合信号的建模语言——SpectreHDL、Verilog-A、Verilog-AMS、VHDL-AMS,这些语言现已获得应用。开发了大量的支持自上而下设计的行为级模型参数化库。于 2001 年加入 Cadence 公司,专注于模拟和混合信号行为级模型的开发,通过有效行为建模的应用和测试平台的开发战略,继续推动鲁棒的系统验证方法学的发展和应用。

Taranjit Kukal,Cadence 公司研发架构师,现负责混合信号集成、集成电路封装流程和高速连接的流程开发,已在 Cadence 公司工作十六年。于印度技术研究所获得电气工程的学士学位,拥有十项专利(包括已经申请的)。曾在 Hindustan 计算机公司从事模拟电子设计的开发。

译者序

本书英文版原著于 2012 年国际集成电路设计自动化年会(design automation conference, DAC)之后出版,由于其内容新颖、技术先进,随即引起了广大读者的关注。由于全球设计公司在中国同步开展领先的产品设计,采用先进的设计方法,广大中文读者和工程设计人员急需一本中文译本,以便更好地领会并吸收这些内容,应此要求,我们组织翻译出版了本书。

当代系统芯片(system-on-chip, SoC)集成了大量模拟混合信号,本书从综合理论和工程应用出发,本着为设计产品服务的目的,系统全面地介绍并描述了模拟混合信号(analog mixed-signal, AMS)的发展,特别强调了自 21 世纪初以来设计方法学的变革。本书阐述了混合信号系统建模和验证,模拟信号和射频信号设计的理论与实施,介绍了渐趋成熟的 SoC 和 AMS 设计的全流程和解决方案。希望这本具有指导性的参考文献,能够填补混合信号设计验证的空白。

集成电路的发展开始是以模拟电路为主,后来数字电路蓬勃发展,而今片上系统/模拟混合信号电路设计普遍应用。现有教科书里缺少集成电路设计综合性的教材,因此,翻译并引入这本理论结合实践的参考书可以填补中文教材的缺乏。该书收集了诸多最新的资料,可作为研究生教材,亦可供高年级本科学生阅读参考。

由于若干英文新概念、新方法、新名词的出现,翻译和出版这本书实属不易,如何准确简练地用中文表达,如 ABV、EAD、LDE、MDV、RNM、TBV、TLM、UVM、WPE 等术语,是一项非常具有挑战性的工作。过去十年来,为了有助于现代教学,提供电子产品服务,EDA 公司与国内若干所大学一起合作出版了一些集成电路设计的专著,这些专著中包含了很多新名词的翻译,如工程“孤儒”(guru,很聪明,懂技术,有点另类,甚或不愿和初入行的笨小孩多说话的)、“锼切”(nitch,不常见,创造的,不断被引用而流行)、sign-off(我们几经讨论将它译成“签核”)。如今中文搜索里,很多读者非常认可这一名词翻译,也希望这些新名词的中文翻译不让读者失望。

和以往类似,本书的翻译工作人员由从事集成电路教学研究和设计的大学老师和从事集成电路设计第一线的工程师和项目管理人员组合而成。更为可贵的是,本书的技术方法和设计流程,已经得到若干企业的重视,在多家大型设计公司开始应用并得到检验。

参加本书主要翻译人员如下:第 1、2 章,陈春章;第 3 章,宋磊;第 4 章,沙燕

萍、梁超;第5章,李智群;第6、7章,何乐年;第8章,吕志军;第9章,艾霞、马泉;第10章,王辉;第11章,赖志广;前言及附录等,陈春章、艾霞。全书中文图表翻译主要由吴杰负责完成。全书文字通读翻译校审由艾霞和陈春章完成。参与审稿的人员还有代文亮、洪志良、李大光、刘欢艳、潘于、宋磊、于宝东。参与翻译人员与审稿人员简介见翻译人员与审稿人员名单。

鸣谢原著主要作者和策划者 Mladen Nizic 先生对本书出版的积极合作与支持,感谢王琦博士于2012年初提供本书未经出版的信息,并建议将它推荐给广大中文读者。

本书已经取得 Cadence 公司的授权,将英文原著翻译成中文版本。

序

现代电子系统设计面临着金字塔式的挑战。随着新的应用和先进技术的发展,设计技术和方法需要不断的发展和变革。设计规模日益增大,功能日趋复杂,性能也不断在提升。而今的设计中,功耗也成为设计考虑的焦点之一。在先进工艺技术设计中,需要尽早的考虑工艺制造的影响,从而保证足够的产额。

上述问题对混合信号设计实现的方法影响重大,需要混合信号设计的工程师改变其工作设计方法。公司和设计团队若想具有竞争性,必须改变设计方法,也即在减少技术和商务风险的情况下,如何去改变以及怎样改变设计方法,以增强高质量的的设计能力。

传统模拟和混合信号设计者依赖于设计经验,抵触设计方法的改变。他们宁愿分别设计、验证和实施模拟和数字的功能,然后将其集成。对于中等复杂性的设计,用较老的工艺技术来实现效果不错。然而混合信号设计的复杂性剧增,这就需要改变设计流程和方法,以继续保证按照计划时间成功地生产出高质量产品。混合信号设计的复杂性包含了四部分内容。第一,设计队伍更加庞大,具有不同技能的设计师需要更加紧密地合作。第二,现在混合设计信号设计尺寸变大,复杂性增加,要求设计的模拟部分具有高级抽象,以便在系统级进行分析和验证。第三,对于一些传统的手动或半自动任务来说,为了缩小高度自动化数字方法和模拟方法之间的差距,需要高级的自动化方法。第四,模拟和数字区域能够同时实施并互通数据,需要交互式在线设计方法,以有效的加快混合信号设计的收敛。

这些因素,要求设计者认真考虑不同的设计方法,并且进行改进。《混合信号设计方法学指导》这本书阐述了 AMS IP 和 SoC 设计、验证和实施的先进方法学,概括了很多方法学 and 应用的优点,能帮助设计队伍去寻求混合信号设计流程的改进。对于设计经理们来说,利用本书所回顾的现代混合信号设计方法学的内容特点及优点,可以更好地理解和规划设计能力与设计技巧。对于模拟和设计师来说,该书提供了一个窥视的机会,更好地理解同行们的设计区域和设计规范,他们无需负责对方设计区域的规范,但这种理解能促进整个混合信号设计项目的成功。

本书涵盖了混合信号方法学的广大范筹,按照逻辑顺序依次展开。在每一章里设计规范难度都有所增强,大部分都能自我说明,并解决混合信号设计的某个特殊环节所面临的问题。书中给出很多例题来说明所面临的设计挑战和对解决某一类设计挑战的方法。建议读者先阅读第 1 章和第 2 章,这两章为本书的其他

章节奠定基础,然后阅读第 11 章关于共同数据管理的方法学。对于混合信号验证感兴趣的读者可阅读第 3~7 章,对物理实施感兴趣的读者可阅读第 8~10 章。作者认为这是一本很好的参考书,对模拟、数字和混合信号设计师、验证工程师、物理实施工程师和设计经理来说,当面对现代混合信号设计的挑战时,从本书中可以获得有关方法学优化方面的信息。

第 1 章:混合信号设计趋势与挑战

过去三十年来,随着制造工艺技术的进步,器件性能的增强,新设计技术的提高,模数功能在单个芯片上的高级集成,混合信号设计和验证有了巨大的变革。本章讨论混合信号设计的挑战,这些挑战来自于将器件刻度在更小的几何尺寸上,迅速增加的复杂性,缩短设计周期的市场压力,提高生产力和降低成本。

第 2 章:混合信号设计方法学回顾

多种多样的混合信号设计和应用,要求采用不同的设计方法在芯片上实现。本章回顾了不同设计方案和它们的折中处理方法,这些方案包括自上而下和自下而上的方法学,AMS IP 和 SoC 设计的方法学,模拟为中心、数字为中心和同时设计的方法学。本章还讨论了选择适当方法学的一些考虑因素。最后,介绍了采用低功耗设计技术的方法学,用于混合信号中的低功耗设计正被广泛应用,并且要求不断增加。

第 3 章:AMS 行为建模

本章讨论行为模型的开发和它们对于整个系统开发和验证流程的重要性。描述了四种建模格式:模拟、混合信号、数字和实数建模。给出了每种建模风格的代表性案例,同时讨论了重要的建模概念和测试平台开发技术。另外,为了优化的仿真效率和准确性,本章还提供了最实用的信息来帮助、指导模型开发过程。

第 4 章:混合信号验证方法学

本章探讨了最近的混合信号方法验证的一些变化。首先描述了混合信号仿真器的一些关键特征,说明了当今混合信号设计验证的特点和面临的挑战。接下来,介绍自上而下的设计方法,回顾了用于数字功能验证领域的验证过程,介绍了它如何被借用于模拟和混合信号领域。随后,本章描述了混合信号指标驱动验证(metric-driven verification, MDV)的概念,详细分析了 MDV 的参考应用,包括断言和覆盖。近年来,对模拟和混合信号验证,MDV 方法学应用已经有了巨大的进展。本章最后分析了低功耗设计的混合信号验证,指出了在低功耗验证领域里,需要充分考虑混合信号的验证。

第 5 章:验证射频设计的实用方法

本章讨论了射频系统的三种行为模型。第一种模型是带通模型。使用带通模型,射频载体的每个周期都得到仿真。用带通模型去构建器件级的测试平台和检查基带等效模型的组成最有用。第二种模型是基带等效模型,通过压缩射频载体,基带等效模型比带通模型执行要快得多。基带等效模型可以用来检查表格损害成本,还可以用来很方便地产生标准射频刻度和终端到终端刻度大小之间的关系。最后一种模型是功能模型,在典型应用中功能模型不用来对任何损害进行仿真。大部分功能模型用来开发事件驱动,提高仿真器的速度,它们还可以用来检查一些基础功能,例如连接性和程序化。

第 6 章:事件驱动锁相环的行为建模

本章给设计者提供关于在验证环境中如何实现 PLL 的行为模型的过程。其中一些关键做法采用了 Verilog-AMS 实数连线,也采用了模拟电路的事件驱动仿真。本章开头先分析了 PLL 的电路。接下来描述了各种 PLL 的功能指标。还讨论连接不同电路效应和行为模型之间的区别。给出了一个基于 Verilog-AMS 的模型仿真结果,与电路仿真比较,加速了仿真速度,与相位区域模型比较了增益结果。并将该模型的行为与频率上升和电磁干扰降低的调制结果进行了比较,证明了模型的准确性。

第 7 章:验证数字辅助的模拟电路

本章回顾了数字辅助电路增强的模拟电路的验证方法,与纯模拟设计相比较,数字辅助的模拟设计可以做到更小面积、更高的性能和产额。不过,用数字辅助设计增加了设计的复杂性,增添了验证挑战。数字辅助模拟设计要求在更高抽象级去考虑设计,也就是说在系统级还要求改变传统的基于 SPICE 的验证过程。本章例举一些案例说明不同的数字辅助模拟设计,讨论了它们的验证方法学。

第 8 章:混合信号设计物理实现方法学

这一章专门讨论物理实施,讨论布局规划,模拟和数字模块的实施,芯片集成以及与混合信号设计相关的签核。由于成功实施的重要性,详细讨论了全芯片的,混合信号的布局规划,这对物理实施至关重要。还详细描述了定制设计的约束驱动的方法学。本章最后讨论了电学和物理学签核技术。

第 9 章:先进工艺节点的电学意识设计方法学

进入到先进工艺节点后,模拟和混合信号设计师面对着不断增加的挑战。这些挑战包括着电学行为不确定性和可靠性,不确定性来自于硅片复杂性的增加,

模拟器件可变性的敏感度和器件与互连线之间复杂的相互作用。人们可以选择不同的设计方法来减小这些风险,但是理解哪一种方法是恰当的,可能是一项复杂的任务。设计者常常不得不作出设计决定,几乎不能马上衡量它们所决定的电学后果。当物理设计完成后,习惯的做法是进行仿真验证或者可靠性检查,这种做法常常需要多次重复才能达到成功的芯片设计。理想的做法是当物理设计完成后,立即给设计者和版图设计师提供反馈。这样也允许设计者的电学目的得以向前推进,去保证物理设计的每一步都满足所要求的电学意向。这一章建议了所要求的方法学,改变了惯例,以设计框架为保障,来保证设计中方案的成功。通过提供强有力的案例和与当前以及将来设计方法学的描述,本章还说明了这些改变方法如何实施。

第 10 章:混合信号系统的集成电路封装的协同设计

系统变得更加复杂,很多系统需要将射频、模拟、存储和高速数字电路集成在一起。将它们集成在同一块硅芯片上变得越来越难,这是因为将模拟和射频电路按比例缩小在先进工艺节点上的挑战所带来的困难。先进工艺节点带来了一些优点,例如面积减小和功耗降低,但是成本增加,要求更多的实施工作,对于射频和模拟电路更是如此,对于成功的单芯片的系统集成具有更高的风险。将功能分配到不同的芯片,在不同工艺技术上实施,再将它们集成到单个封装,对于构建一个系统提供了卓越的方法,叫做系统封装(system-in-package, SiP),本章讨论了 SiP 在混合信号中的应用。

第 11 章:混合信号设计的数据管理

对管理分布于全球的设计中心,所进行的大规模项目设计来说,今天的混合信号设计环境面对着很多挑战。本章讨论使用数据管理系统的重要性,数据管理系统提供了克服这些挑战的方案。本章研究了数据管理研究的应用,用它去跟踪数据改变,去组织远程中心之间的合作,实现设计数字的有效共享。本章还讨论了 IP 的再用和工艺设计锦囊(PDK)的共享,以避免重复工作和加快开发速度,工程改变指令(ECO)的有效管理和通告及其最佳实现方法。本章还讨论了处理产品的发布和改变的通告。

前 言

我对模拟混合信号电路的热衷由来已久。自 1971 年大学毕业之后,投身于 EDA 行业,致力于数字电路领域的大规模非线性差分方程求解,而后受罗伯特和 IBM 华特生研究中心同事的启发,对将数字方法应用于模拟电路仿真产生了浓厚兴趣。1975 年在伯克利米兰理工学院做访问学者,适逢 SPICE2 仿真模型的发布。我所加入的工程计算机学院计算机工程系的集成电路小组,率先发表了关于开关电容电路的基本研究成果,该小组而后又与系统小组合作,创建了最早的电路仿真方法。电路仿真模型从 SPICE2 发展到 SPICE3,我贡献了具有创新性的离散矩阵,从而改进了非线性方程求解和积分运算的方法,应用于灵敏度分析和电路仿真。通过研究非线性方程求解和差分优化方法,编写了 DELIGHT. SPICE 程序,并将这项复杂的模拟电路设计程序相继推荐给 Harris 半导体和意法半导体。而后,我还从事了版图设计和逻辑综合的工作。大约二十年前,投身于系统设计的研究,这些系统包括汽车、飞机、建筑和防卫系统,而不是单纯的片上系统 (SoC)。而今,致力于设计方法学的开拓,即在自动化工具中,采用高效的电路模型和高度集成的系统架构,给设计者提供一套行之有效的实施方法。我与挚友理查德一致认同,设计方法学非常重要,好的设计方法可以帮助设计者进行设计加速,同时保证设计的正确性。我所提出的基于平台设计 (PBD) 方法学,已经广泛的应用于系统设计及 SoC 设计中。在各项同性系统设计中,大量的组件采用差分方程描述,也有部分组件采用离散时间模型描述。随着职业生涯的推进,我深刻领略了集成电路技术和电子学的不断发展的历程,经历了 EDA 生态系统中诸多新问题的提出和解决。EDA 生态系统所面临解决的问题,通常与数学严格的算法密切相关,算法的改进奠定了新的设计流程和新的设计工具的开发基础。本书阐述了模拟和混合信号设计的方法学。

在过去的二十年里,模拟集成电路设计取得了重大的突破。例如,采用数字辅助模拟设计以及在设计验证中应用模拟行为模型。数字设计现今已高度自动化实现,并以摩尔定律的步伐发展,但是模拟和混合信号设计还比较落后。在当今的 SoC 设计中,那些模拟和混合信号模块还是通过定制或半定制的方法来实现,这种定制和半定制的方法是非常耗时耗力的。传统模拟和混合信号设计方法学,会导致设计周期的延长和设计成本的增加。

我一直热衷与模拟和混合信号设计方法学的研究,大约在十五年前,提出了模拟基于平台设计 (A-PBD) 的概念,这也是 PBD 基本概念的分支。所谓平台就

是基于应用库,各个组件能有序的匹配组合以完成任务。PBD 的基础是能建立一套抽取机制,这种有效的提炼和抽象能无损的涵盖底层的内容,以应用于复杂系统的设计实现。自 A-PBD 发表以来,学术界做了大量的研究工作,有些 A-PBD 的方法已经成功应用于商业化的 EDA 工具中。

很荣幸能在 DAC 2012 会议之后为本书作序。据我所知,这是第一本全面综述先进混合信号设计方法学的论著,展现了 A-PBD 从概念到具体实现的过程。对于先进的混合信号设计,行为建模对模拟设计的高级抽象起到了至关重要的作用。自动模型的创建和认证奠定了混合信号 IP 重用和混合信号 SoC 系统验证的基础。

指标驱动验证(MDV)数字技术的应用,也是模拟和混合信号设计先进方法学的重要内容之一。此外,混合信号的物理实施也沿用了 A-PBD 的概念,开发应用了 OpenAccess 共同数据库,OA 具有存储模拟和数字目标的双重能力。本书还列举了诸多的实际应用案例,如射频电路中的 PLL 模块,VCO 模块等,证明了先进混合信号方法学的应用。本书可帮助设计者、CAD 工程师以及设计经理们理解和应用先进的混合信号设计方法学。

混合信号设计领域面临诸多挑战,在 SoC 设计中所集成模拟和射频电路成分,需要降低其成本,而且希望能跟上数字电路发展的摩尔步伐。

半导体工艺的发展将继续跟随市场需求的拓展并推进设计技术方法的改进,混合信号设计的传统方法需要取得革命性的突破。至始至终,我坚信混合信号设计者将继续创新探索,改进设计方法学,实现硅片上混合信号的性能和下一个十年的摩尔步伐发展。这个目标单凭个别公司是无法实现的,它需要整个半导体设计生态系统中的各个组成部分紧密合作,共同努力。本书亦清晰的表达了这个美好的愿望,以期工艺和技术的进步沿着共享的道路前进。



Alberto Sangiovanni-Vincentelli

埃德加和哈罗德·布特纳教授,加州大学伯克利分校电子工程与计算机科学系主任

Cadence 公司共同创始人和董事会成员

电气和电子工程师协会会员和美国工程院院士

致 谢

模拟和混合信号设计所涉及的内容非常广泛,借助于多家公司的鼎力合作和诸多人员的辛勤奉献,本书得以成文发表。本书是大家共同的智慧结晶,但鉴于篇幅原因,在此我只列出少数几位以致谢。

我很高兴负责组织本书的结构,拟定大纲,带领作者撰写各章节内容,修改校订并整合全书。特别感谢 Brian Bailey,他仔细浏览了所有文字,梳理了全书的条理,进行多次编辑修改,使内容易于读者理解和掌握。

感谢 Bill Acito, Jeremiah Cessna, Denis Daly, Carson Fischer, Ed Fischer, Richard Goering, Pete Hardee, Junwei Hou, Yaron Kashi, Neyaz Khan, Qingyu Lin, Martin O'Leary, Eric Naviasky, Rajendra Pratap, Shilpa Sharma, Raghu Subramanian, Qi Wang, Tom Whipple, Bruce Yanagida, Jason Zhang, 他们增添了部分内容,阅读并修改了文稿,还提供了宝贵的反馈意见。

特别感谢 Alberto Sangiovanni-Vicentelli 教授,他一直热衷于混合信号设计,为本书撰写了前言,并帮助检查了早期的文稿。感谢 Ken Kundert 博士, Handel Jones 博士, Chi-Ping Hsu 博士以及 Kush Gulati 博士审查了本书的内容,他们都非常认同本书的价值。

感谢 Dayna Musto 对全书各章节的格式规划,感谢 Mark Quattrocchi 和 Pam Lagace 所做的文字编辑工作, Suzie Im 所做的封面设计, Nancy Sya 所提供的法律支持,感谢 Kristin Lietzke-Nastuk 全面协调本书的出版。

感谢王琦(Qi Wang) 博士和 Pankaj Mayor,他们对本书提供了多方位的支持。感谢 Cadence, Qualcomm, Boeing 和 ClioSoft 等公司管理层的大力支持。

Mladen Nizic
Cadence Design Systems

翻译人员与审稿人员名单

参加本书翻译与审稿人员如下(按拼音顺序排列)

艾 霞, 硕士, Cadence 公司数字集成电路设计主任应用工程师。于 2008 年参与编著《数字集成电路物理设计》。2000 年本科毕业于中国计量学院测控工程系, 2005 年获厦门大学电子工程系电路系统专业硕士学位, 同年进入中科院计算技术研究所工作, 负责龙芯 SoC 系列芯片的后端物理设计, 合作申请低功耗设计专利, 发表多篇论文。2008 年加入 Cadence, 负责数字集成电路物理设计平台的技术支持, 至今已协助完成多款芯片的流片及问题诊断, 涵盖了高级工艺节点设计, 大规模集成电路分层次设计, 数模混合信号设计。在集成电路电源稳定性和信号完整性及可靠性分析也有所建树。

陈春章, 博士, 现任无锡华大国奇技术有限公司副总裁, 前任 Cadence 公司技术与销售总监, 工程师总监, 技术经理等职(2005~2013)。陈春章毕业于中国科学技术大学近代物理系, 而后任职于中国科学院生物物理所。1987 年在英国圣安德鲁斯大学获取辐射物理学博士。1987~1995 年间分别在美国纽约哥伦比亚大学担任助理教授, 在加州大学旧金山分校、纽约布鲁克海汶国家实验室担任研究员, 先后发表了科学研究论文 30 篇。1995 年在美国加州硅谷加入 Trident 公司, 1997~2002 年服务于 Cadence 公司。于 2003 年回国参与成立 Cadence 大学及教育培训, 后与高校、企业合作, 于 2008 年参与编著并出版《数字集成电路物理设计》专著及其系列丛书。

代文亮, 博士, 苏州芯禾电子科技有限公司创始人, 担任公司工程副总裁。2004 年毕业于上海交通大学, 获工学博士学位, 同年加入美国 Cadence 公司, 参与组建 Cadence 上海全球研发中心, 并担任高级技术顾问, 主要负责芯片一封装一板级协同设计、封装内系统(SiP)和 3D 封装(TSV)等领域内设计分析的开发与应用。目前在电磁建模和电路分析领域已获得美国专利 4 项, 中国专利 12 项, 在国际期刊上已发表二十余篇论文(8 篇 SCI 收录), 同时担任 IEEE TMTT、IEEE TAP、DAC 等国际期刊和会议的常规审稿人; 在高速、模拟、射频电路设计分析方面有较深的造诣, 被工业和信息化部聘为国家信息技术紧缺人才培养工程专家(集成电路类)。2010 年离开 Cadence, 合伙成立苏州芯禾电子科技有限公司(Xpeedic), 担任工程副总裁, 主要分管 RFIC 电子设计自动化软件(EDA)的研发,