



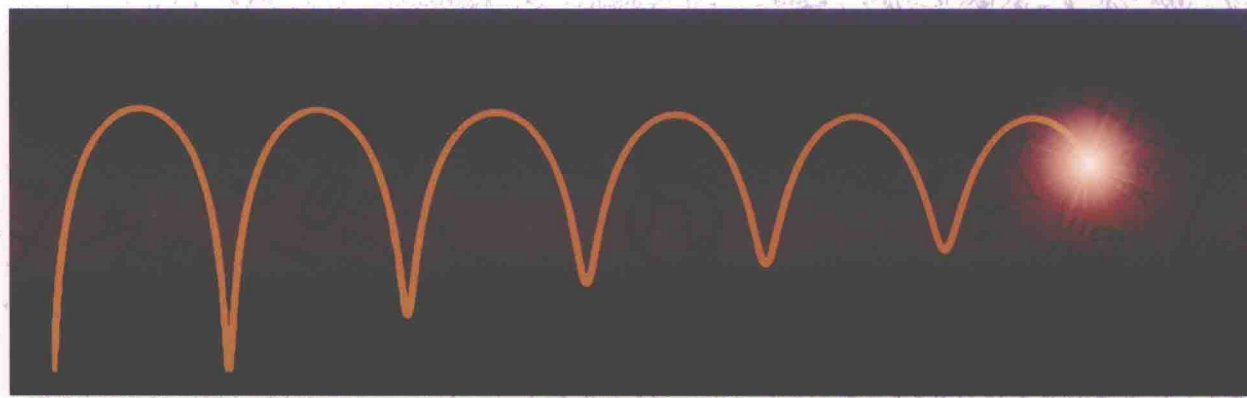
清华社“视频大讲堂”大系

CAD/CAM/CAE技术视频大讲堂

ADS

信号完整性仿真与实战

Advanced
Design System



Premier High-Frequency and
High Speed Design Platform

蒋修国 / 编著

清华大学出版社





清华社“视频大讲堂”大系

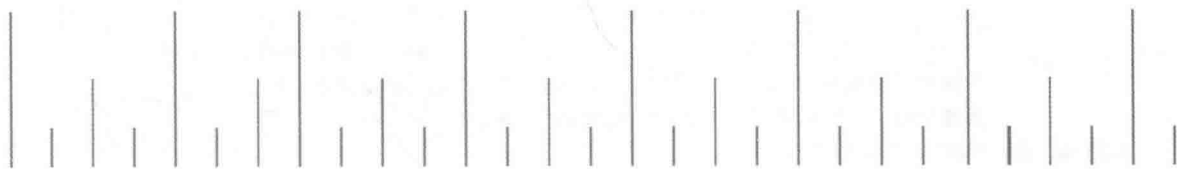
CAD/CAM/CAE技术视频大讲堂

ADS

信号完整性仿真与实战

Advanced
Design System

蒋修国 / 编著



清华大学出版社

北京

内 容 简 介

本书主要是以 ADS 软件为依托, 结合信号完整性和电源完整性的基础理论以及实际的案例, 完整地介绍了使用 ADS 进行信号完整性以及电源完整性仿真的流程和方法, 最终都以实际的案例呈现给读者, 包括信号完整性和电源完整性的基本概念、ADS 软件基本架构以及简单使用、PCB 材料及层叠设计、IBIS 模型、SPICE 模型以及 S 参数的应用、阻抗端接匹配仿真、串扰仿真, 以及使用专门的工具进行阻抗、过孔、DDR4、高速串行通道、PCB 信号以及电源完整性的仿真分析等。内容翔实, 实用性强。

本书深入浅出结合实际案例的应用讲解, 非常适合信号完整性以及 ADS 仿真入门教程, 也可以作为资深仿真工程师的工具书, 还可以作为大学电子、电路、通信、电磁场等专业的教学专业实验教材。

本书封面贴有清华大学出版社防伪标签, 无标签者不得销售。

版权所有, 侵权必究。侵权举报电话: 010-62782989 13701121933

图书在版编目 (CIP) 数据

ADS 信号完整性仿真与实战 / 蒋修国编著. —北京: 清华大学出版社, 2019
(清华社“视频大讲堂”大系. CAD/CAM/CAE 技术视频大讲堂)
ISBN 978-7-302-52857-9

I. ①A… II. ①蒋… III. ①信号分析 IV. ①TN911.6

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2019) 第 075735 号

责任编辑: 贾小红
封面设计: 闰江文化
版式设计: 雷鹏飞
责任校对: 马军令
责任印制: 丛怀宇

出版发行: 清华大学出版社

网 址: <http://www.tup.com.cn>, <http://www.wqbook.com>

地 址: 北京清华大学学研大厦 A 座

邮 编: 100084

社 总 机: 010-62770175

邮 购: 010-62786544

投稿与读者服务: 010-62776969, c-service@tup.tsinghua.edu.cn

质量反馈: 010-62772015, zhiliang@tup.tsinghua.edu.cn

印 装 者: 清华大学印刷厂

经 销: 全国新华书店

开 本: 185mm×260mm

印 张: 23.75

字 数: 575 千字

版 次: 2019 年 5 月第 1 版

印 次: 2019 年 5 月第 1 次印刷

定 价: 118.00 元

产品编号: 082570-01

序 言

foreword

推荐序一

国外业界同行将包括信号完整性 (SI)、电源完整性 (PI)、电磁完整性 (EMI) 在内的广义信号完整性也统称作电气完整性 (Electrical Integrity, EI), 实质是突出了电子系统电气功能-性能属性上优劣的本质内涵。我国电子信息产业界在自主研发高端电子系统时, 不可回避地要面对高速度高密度诸多方面的仿真分析难题和提升设计指标的技术挑战。国内的业界同人从 21 世纪初逐步涉足广义信号完整性分析技术领域, 到如今已经是快速跟进、与国际电气完整性技术前沿全面对接。

是德 (Keysight) 公司的 EDA 软件, 是国内外业界耳熟能详的知名品牌。其和是德自身的测试仪器同步雄起, 从惠普 (HP)、安捷伦 (Agilent), 到如今的是德, 一直都是位居电子科技界 EDA 软件工具和测试仪器口碑的领头雁。令人称道的是, 其 ADS (Advanced Design System) 先进设计系统软件, 已经在高速 PCB、封装等 SI/PI 仿真分析与设计等领域获得了业界的广泛认同和采纳。

这部以电子设计师为受众的《ADS 信号完整性仿真与实战》新书, 将 SI/PI 的概念铺垫、原理介绍以及仿真分析技术有机地融为一体。书中以 ADS 软件为依托、以 PCB 为主要对象, 选择差分串行总线 USB (数据率为 4.5GB/s)、HDMI、PCIe 以及单端并行总线 DDR4 (传输速率为 3.2GT/s) 等传输平台; 纳入 IBIS、AMI 及 SPICE 等模型参数。重点针对包括反射、串扰、电源纹波在内的各种电气不完整的实际案例; 清晰阐释如何分析各种传输线及 S-参数的实质性变动; 完整介绍信号完整性以及电源完整性的仿真流程和方法。在读者进行信号完整性仿真的流程中, 可以随书起舞, 逐步进入 SI 分析技术实际案例的实战状态!

Eric 的新书《信号完整性与电源完整性分析》(第三版) 中文版即将出版, 这是一部 SI 原理性教材。但书中有 50 多幅插图采用了是德软件, 其中有一半用的又是其 ADS 软件。修国的这部《ADS 信号完整性仿真与实战》, 与三年前张涛编著的《ADS 高速电路信号完整性应用实例》一起, 都是以 ADS 为平台的 SI 实用型教材。在信号完整性分析仿真与设计调试技术领域, 这三部书以 ADS 为纽带, 相映生辉、相得益彰!

修国的这本书是在我国研发电子信息新产品中为解决所面临的信号完整性问题而奉献的心血之作。在此, 我谨代表国内 SI 业界同人向作者致以由衷的谢忱!

推荐序二

很多硬件工程师可能都面临过这样一个问题——为什么我的原理图设计完全正确,PCB 连线也没问题,但是电路调试时,系统就是不能正常工作?这种情况的出现很可能就是遇到了信号完整性和电源完整性问题。

在 21 世纪初,电路的信号还只有几十兆赫兹,集成电路规模还不大,所以我们的主要精力在设计和优化电路上,工程师只要电路设计正确了,PCB 没有连接错误,即使版图实现有一些差异,对电路正常工作没有太大影响。但是如今硬件高度集成化,硬件系统越来越简单,但芯片信号的最高速率已经达到几十吉赫兹,PCB 连线几个毫米长度的差异,或电源和地平面的形状不同,都会对信号质量产生巨大的影响,甚至造成电路无法正常工作。这就是很多硬件工程师在学校里面很少接触,但是工作中又不得不面对的信号电源完整性问题,可以这么说,在硬件系统高度集成化的今天,不懂信号完整性的硬件工程师是不合格的。

信号完整性至今在大多数高校课程中仍然没有设置,而是依靠工程师在实际工作中自己摸索学习。但信号完整性设计跨越电路、电磁场、信号与系统多个领域的内容,工程实现上又和 PCB 设计的很多细节相关,依靠经验去分析是很困难的。幸好现在有 ADS 这样的仿真软件,可以协助工程师深入和细致的分析和定位这类问题。

ADS 作为业界领先的电子系统仿真软件,功能是极为强大和全面的,过去出版的书籍,大多数集中于介绍它在射频微波领域的应用(因为这是它最初的功能),或者侧重于介绍软件操作。而本书则是一本系统介绍 ADS 在信号完整性设计领域应用的书籍。作者结合自己在 PCB 和 EDA 行业多年的实践经验,对信号完整性的基本概念、仿真工具的实际操作与建模、PCB 的物理实现必须关注的设计细节,结合 DDR、HDMI、USB 等常见的应用场景,进行了系统而全面的介绍,真正做到了深入浅出。读者不需要高深的理论功底,就能快速上手解决实际问题,同时在这个过程中逐步认识和理解信号完整性的各种设计理念,真正做到了不但授之以鱼,更授之以渔。

相信这本书能够帮助广大的硬件工程师设计出更加稳定可靠的电子系统!

华为技术有限公司

高速高频互连实验室

杨丹

2019.02

前 言

Preface

在写作本书之前，由张涛等编写的《ADS 高速电路信号完整性应用实例》一书已经得到了很多读者的认可。但书中由于没有包含信号完整性和电源完整性的基础理论以及一些基本的使用方法，又加之新版本的 ADS 软件有一些关于信号完整性和电源完整性新的功能推出，所以都促成了本书的成稿，这正好可以与之互补。

本书是一本面向需要使用 ADS 进行信号完整性和电源完整性仿真工程师和学生的书。本书结合笔者多年的硬件设计和信号完整性仿真及测试的实际工作经验进行编写。全书内容一共分为了 13 章，主要是以 ADS 软件为依托，结合信号完整性和电源完整性的基础理论以及实际的案例，完整地介绍了使用 ADS 进行信号完整性以及电源完整性仿真的流程和方法，最终都以实际的案例呈现给读者，包括了信号完整性和电源完整性的基本概念、ADS 软件基本架构以及简单使用、PCB 材料及层叠设计、IBIS 模型、SPICE 模型以及 S 参数的应用、阻抗端接匹配仿真、串扰仿真，以及使用专门的工具进行阻抗、过孔、DDR4、高速串行通道、PCB 信号以及电源完整性仿真分析等。本书内容翔实，实用性强。

第 1 章主要介绍了信号完整性和电源完整性的基本概念，只有了解了相关的基本概念之后，才会理解后面介绍到的内容。第 2 章介绍了 ADS 的基本概念和框架以及简要介绍了 ADS 各个相关模块的使用。第 3 章介绍了 PCB 材料、层叠设计以及 PCB 材料对信号完整性的影响，主要介绍了 CILD 的基本应用以及如何传输线阻抗的计算。第 4 章介绍了主要介绍传输线、PCB 主要的传输线类型、ADS 中各种传输线模型库以及模型库中的元件；介绍了与传输线相关的理想传输线、有损传输线与信号完整性的关系；着重介绍了阻抗、阻抗匹配与反射和端接等内容。第 5 章主要介绍了过孔结构、仿真以及过孔设计的注意事项，详细介绍了 Via designer 的使用，包括过孔仿真、多个变量的扫描、仿真结果的输出、仿真模型在 ADS 和 EMPro 中的应用等。第 6 章主要介绍了串扰的基本概念以及影响串扰大小的一些因素。通过对这些因素的研究和分析，不仅获得了一些结论，还通过对这些参数的仿真，介绍了如何在 ADS 中新建工程、新建原理图、使用数据显示窗口，以及 ADS 的高级应用，如参数扫描仿真等。第 7 章主要介绍 S 参数的基本概念以及使用 ADS 仿真传输线的 S 参数，使用 ADS 级联多段 S 参数、对 S 参数的处理以及在 ADS 中编辑无源链路的规范，通过对比规范可以判断无源链路是否满足设计的要求。最后，详细介绍了如何把 S 参数转换为时域阻抗。第 8 章主要从基本的模型概念着手，介绍了 IBIS 和 SPICE 模型的应用，同时介绍了在 ADS 中如何产生宽带 SPICE 模型和 W-element 模型以及在 ADS 中的应用。第 9 章以一个实际的总线为例介绍了 ADS 前仿真，主要介绍了眼图以及眼图模板的概念、如何设计 ADS 的眼图模板以及调用、并针对 HDMI 的设计和仿真做了详细的介绍。以 HDMI 为例介绍了如何阅读总线规范，并从规范中获得仿真和测试需要的电气参数并围绕规范要求着重介绍了如何仿真 HDMI 相应的参数。最后，介绍了 HDMI 在设计时的注意事项。

第 10 章主要介绍 DDR 总线的基本概念以及 DDR4 的电气规范,包括如何在 ADS 中的仿真 ODT、地址、控制、命令、时钟以及数据和数据选通信号,ADS DDR bus 仿真器针对 DDR4 眼图模板的仿真和在 ADS 中如何进行 SSN 仿真,最后介绍了 DDR4 在设计中的注意事项。第 11 章主要介绍通道仿真、IBIS-AMI 模型、USB 总线及电气参数,详细介绍了通道仿真中的逐比特模式和统计模式,并以 USB 总线为例子详细介绍了两种类型的仿真,最后介绍了在没有 IBIS-AMI 模型时的通道仿真方法和带串扰通道的仿真流程。第 12 章主要介绍 PCB 仿真的基本流程以及信号完整性的后仿真,详细介绍如何导入 PCB 文件、编辑 PCB 文件、SIPro 使用,包括如何提取传输线模型、获取仿真的结果和模型、仿真后对数据的处理以及对导出模型的使用。第 13 章主要介绍了电源完整性基础知识以及相关的仿真,从原理方案设计到电源系统的仿真,具体包含了电源完整性的基本概念、PDN 的组成部分、目标阻抗的计算、电源完整性直流仿真、电热联合仿真和电源完整性交流仿真以及自动优化。

特此说明,本书所有的工程案例仿真都是基于 ADS 2017 版本进行仿真和编写的,读者如果使用的版本不同可能会有部分功能不同。另外书中使用的电路图考虑到美国软件的要求,所以不宜改为国标,且考虑到软件界面的使用习惯,书中英文内容采用正体格式。

从本书的构思到完成,花了 1 年多的时间。在写作本书的过程获得了很多人的帮助,包括我的领导、同事、老师、朋友和家人,感谢他们提供的写作素材、仿真模型、材料以及其他的帮助。特别感谢陈崇涛和张涛两位领导的帮助,在本书的写作过程他们给了很多建议和帮助,在完稿之后帮忙审稿也花费了很多时间和精力;感谢西安电子科技大学的李玉山教授、华为技术专家杨丹先生、华为技术专家莫道春先生、《硬件十万个为什么》的创始人朱晓明先生、是德科技数字测试市场经理杜吉伟先生给本书作序、写推荐语,在学习和工作中他们都有给我很多的帮助;特别感谢本书的编辑柴东老师以及其他不知道名字的老师,在本书的出版过程中鼎力相助,使本书能这么快的送到读者的面前。

最后,要特别感谢我的家人,尤其是对有两个小天使的父亲,利用业余时间写书,简直就是一种奢侈,但有了他们的理解、照料和奉献,使我安心地完成本书的写作。

要感谢的人很多,无法在此一一列举,在此一并对大家道一声:感谢!

由于时间和篇幅的原因并没有把所有使用 ADS 进行信号完整性和电源完整性相关的内容都编写在本书中。另外,本书中难免会存在错误或者理解不到位的点,如有发现,请读者朋友们指正。相关问题可发送邮件至 sipiemc@foxmail.com,或者添加本人的微信号 [sipiemc](https://www.weixin.com/sipiemc)。也可以在“信号完整性”公众号下方留言,公众号的微信号是:SI_PI EMC。

为便于读者阅读和学习,特提供部分模型和工程文件,所有的模型和工程文件不能用于商业目的。获取方式添加作者微信号,我会定期处理。

蒋修国

2019 年 2 月 16 日于深圳

目 录

Contents

第 1 章 信号完整性基本概念	1
1.1 什么是信号完整性?	2
1.1.1 上升时间和下降时间	2
1.1.2 占空比	3
1.1.3 建立时间	3
1.1.4 保持时间	4
1.1.5 抖动	4
1.1.6 传输线	5
1.1.7 特性阻抗	6
1.1.8 反射	6
1.1.9 串扰	7
1.1.10 单调性	8
1.1.11 过冲/下冲	8
1.1.12 眼图	9
1.1.13 码间干扰	9
1.1.14 误码率	10
1.1.15 损耗	10
1.1.16 趋肤效应	11
1.1.17 扩频时钟 (SSC)	11
1.2 电源完整性基本概念	12
1.3 SI/PI/EMC 的相互关系	13
本章小结	13
第 2 章 ADS 基本概念及使用	14
2.1 是德科技 EEsof 软件简介	15
2.2 ADS 软件介绍	16
2.2.1 ADS 概述	16
2.2.2 ADS 软件架构	16
2.3 ADS 相关的文件介绍	19
2.4 ADS 相关窗口和菜单介绍	19
2.4.1 启动 ADS	19

2.4.2 ADS 主界面	20
2.5 ADS 基础使用	21
2.5.1 新建或者打开原有工程	22
2.5.2 新建原理图	26
2.5.3 新建 Layout	33
2.5.4 新建数据显示窗口	36
本章小结	41
第 3 章 PCB 材料和层叠设计	42
3.1 PCB 材料介绍	43
3.1.1 铜箔	43
3.1.2 介质（半固化片和芯板）	46
3.1.3 介电常数和介质损耗角	46
3.1.4 PCB 材料的分类	48
3.1.5 高速板材的特点	48
3.2 层叠设计	49
3.2.1 层叠设计的基本原则	49
3.2.2 层叠设计的典型案例	50
3.2.3 层叠结构中包含的参数信息	54
3.3 如何设置 ADS 中的层叠	54
3.3.1 新建层叠	55
3.3.2 编辑材料信息	57
3.3.3 编辑层叠结构	60
3.3.4 添加过孔结构类型	62
3.4 CILD 阻抗计算	63
3.4.1 CILD（阻抗计算）介绍	63
3.4.2 微带线阻抗计算	64
3.4.3 参数的扫描	69
3.4.4 统计分析	71
3.4.5 带状线阻抗计算	73
3.4.6 共面波导线阻抗计算	73
3.4.7 自定义传输线结构	74
本章小结	76
第 4 章 传输线及端接	77
4.1 传输线	78
4.2 ADS 中的各类传输线	79

4.2.1 理想传输线模型.....	80
4.2.2 微带线和带状线模型.....	80
4.2.3 多层结构的传输线模型.....	84
4.3 损耗与信号完整性.....	86
4.4 阻抗与反射.....	89
4.4.1 传输链路与阻抗不连续点.....	89
4.4.2 反弹图.....	90
4.4.3 传输线阻抗分析.....	92
4.4.4 短桩线的反射.....	93
4.5 端接.....	95
4.5.1 点对点的传输线仿真.....	95
4.5.2 源端端接仿真.....	96
4.5.3 并联端接仿真.....	98
4.5.4 戴维宁端接仿真.....	99
4.5.5 RC 端接仿真.....	99
本章小结.....	101
第5章 过孔及过孔仿真.....	102
5.1 过孔的分类.....	103
5.2 Via 的结构.....	103
5.3 Via Designer.....	105
5.3.1 开启 Via Designer.....	106
5.3.2 编辑层叠结构.....	107
5.3.3 编辑过孔结构.....	110
5.3.4 Via Designer 变量设置.....	118
5.3.5 过孔的仿真以及仿真状态.....	119
5.3.6 查看仿真结果.....	121
5.3.7 导出仿真结果和模型.....	125
5.4 过孔的参数扫描仿真.....	127
5.5 Via Designer 模型在与 ADS 和 EMPro 中的应用.....	131
5.5.1 Via Designer 模型在 ADS 中的应用.....	131
5.5.2 Via Designer 模型在 EMPro 中的应用.....	133
5.6 高速电路中过孔的设计注意事项.....	134
本章小结.....	135
第6章 串扰案例.....	136
6.1 串扰.....	137

6.2 串扰的分类.....	137
6.2.1 近端串扰和远端串扰.....	137
6.2.2 串扰的仿真.....	138
6.3 ADS 参数扫描.....	139
6.4 串扰的耦合长度与串扰的关系.....	140
6.5 传输线之间的耦合距离与串扰的关系.....	157
6.5.1 传输线之间耦合间距与串扰的仿真.....	157
6.5.2 为什么 PCB 设计要保证 3W.....	159
6.6 激励源的上升时间与串扰的关系.....	160
6.7 串扰与带状线的关系.....	161
6.7.1 微带线与带状线串扰的对比.....	161
6.7.2 高速信号线是布在内层好还是外层.....	164
6.8 传输线到参考层的距离与串扰的关系.....	164
6.9 定量分析串扰.....	167
6.10 串扰与 S 参数以及总线要求.....	168
6.11 如何减少电路设计中的串扰.....	170
本章小结.....	170
第 7 章 S 参数及其仿真应用.....	171
7.1 S 参数介绍.....	172
7.1.1 S 参数模型简介.....	172
7.1.2 S 参数的命名方式以及混合模式.....	173
7.1.3 S 参数的基本特性.....	174
7.2 检查/查看 S 参数.....	175
7.3 S 参数仿真.....	178
7.3.1 提取传输线的 S 参数.....	178
7.3.2 S 参数数据处理以及定义规范模板.....	181
7.4 S 参数与 TDR.....	184
7.4.1 编辑 TDR 公式.....	184
7.4.2 Front panel 的 SP TDR 工具.....	186
本章小结.....	187
第 8 章 IBIS 与 SPICE 模型.....	188
8.1 IBIS 模型简介.....	189
8.2 IBIS 模型的基本语法和结构.....	190
8.2.1 IBIS 的基本语法.....	190
8.2.2 IBIS 结构.....	190

8.2.3 IBIS 文件实例	191
8.3 ADS 中 IBIS 模型的使用	199
8.3.1 IBIS 模型的应用	199
8.3.2 ADS 中使用 EBD 模型	206
8.3.3 ADS 中使用 Package 模型	208
8.4 SPICE 模型	209
8.4.1 ADS 中 SPICE 模型的使用	210
8.4.2 宽带 SPICE (BBS) 模型生成器	212
8.4.3 W-element 模型生成	215
本章小结	218
第 9 章 HDMI 仿真	219
9.1 HDMI	220
9.2 HDMI 电气规范解读	221
9.2.1 HDMI 线缆规范	222
9.2.2 HDMI 源设备规范	223
9.2.3 HDMI 接收设备规范	224
9.3 眼图和眼图模板	225
9.3.1 眼图和眼图模板介绍	225
9.3.2 选择眼图探针在 ADS 中设置眼图模板	228
9.3.3 在 ADS 中设置眼图模板	230
9.4 HDMI 仿真	231
9.4.1 HDMI 源设备仿真	231
9.4.2 HDMI 布线长度仿真	234
9.4.3 HDMI 差分对内长度偏差仿真	235
9.4.4 HDMI 差分对间长度偏差仿真	237
9.5 HDMI 设计规则	238
本章小结	238
第 10 章 DDR4 仿真	239
10.1 DDRx 总线介绍	240
10.1.1 DDR 介绍	240
10.1.2 DDR4 电气规范	241
10.2 DDR4 系统框图	244
10.3 DDR4 设计拓扑结构	244
10.4 片上端接 (ODT)	246

10.5 DDR4 总线仿真	247
10.5.1 地址、控制、命令以及时钟信号仿真	247
10.5.2 数据和数据选通信号仿真	249
10.5.3 DDR bus 仿真	254
10.5.4 同步开关噪声 (SSN) 仿真	256
10.6 DDR4 一致性仿真分析	259
10.7 DDR4 的电源分配网络仿真	260
10.8 DDR4 设计注意事项	260
本章小结	261
第 11 章 高速串行总线仿真	262
11.1 高速串行接口	263
11.2 USB	263
11.2.1 USB 的发展历史	263
11.2.2 USB3.0 的物理结构及电气特性	264
11.3 IBIS-AMI 模型介绍	267
11.4 通道仿真	268
11.5 逐比特模式 (Bit by bit)	271
11.6 统计模式 (Statistics)	275
11.7 使用理想的发送/接收模型 (Tx_Diff/Rx_Diff)	277
本章小结	280
第 12 章 PCB 板级仿真 SIPro	281
12.1 PCB 信号完整性仿真的流程	282
12.2 PCB 文件导入	283
12.3 剪切 PCB 文件	284
12.4 层叠和材料设置	287
12.5 SIPro 使用流程	289
12.5.1 启动 SIPro	289
12.5.2 设置仿真分析类型	291
12.5.3 选择信号网络	292
12.5.4 设置仿真模型	296
12.5.5 设置仿真端口	298
12.5.6 设置仿真频率和 Options 设置	300
12.5.7 运行仿真	303
12.5.8 查看和导出仿真结果	303
本章小结	310

第 13 章 PCB 板级仿真 PIPro	311
13.1 电源完整性基础	312
13.1.1 什么是电源完整性	312
13.1.2 电源分配网络	312
13.1.3 目标阻抗	313
13.2 ADS 电源完整性仿真流程	313
13.3 电源完整性直流分析 (PI DC)	315
13.3.1 建立直流仿真分析	315
13.3.2 选择电源网络并确定参数	316
13.3.3 分离元件参数设置	317
13.3.4 VRM 设置	319
13.3.5 Sink 设置	320
13.3.6 设置 Options	323
13.3.7 运行仿真及查看仿真结果	324
13.4 电源完整性电热仿真 (PI ET)	332
13.4.1 建立电热仿真分析	332
13.4.2 热模型设置	333
13.4.3 设置 Options	338
13.4.4 运行仿真以及查看仿真结果	339
13.5 电源完整性交流分析 (PI AC)	341
13.5.1 VRM、Sink 设置	342
13.5.2 电容模型设置	343
13.5.3 仿真频率和 Options 设置	352
13.5.4 运行仿真并查看仿真结果	353
13.5.5 产生原理图和子电路	359
13.5.6 优化仿真结果	361
13.6 如何设计一个好的电源系统	365
本章小结	365

第 1 章

信号完整性基本概念

对于越来越复杂的电子产品，在设计或者调试过程中总会遇到各种各样的问题，比如电子产品布线空间不够、高速信号传输线跨平面、电源平面大小不足以满足电源供电、信号线过长或者是对拓扑结构的选择存在困惑等。这些问题都会导致电子产品设计失败或者是系统稳定性不够。

那么，在电子产品设计之前或者是设计中，应如何来避免或减小这些情况带来的问题呢？这就需要工程师对相关的问题进行深入的了解。

1.1 什么是信号完整性?

这是每一个信号完整性工程师都必须理解清楚的问题。信号完整性就是信号从发送端的芯片发出来,经过传输线之后,在接收端能分辨并判断出信号的高低电平。

在实际的电子产品中,并不如人们理想的状态一样。很多产品在信号经过互连通道之后,信号都受到链路上的电阻、电容、连接器、传输线或是发送端和接收端的芯片的影响,使信号发生变化。有的信号变化后,在接收端还能比较好的捕获;有的却发生了畸变,导致信号失真,这些失真的信号就是所谓的信号完整性问题。

常见的信号完整性问题主要包含了信号时序、信号质量和 EMI 这 3 大类问题。本书当中,我们主要对信号时序和信号质量进行相关的分析。信号时序主要分为信号的上升时间(Rise time)、下降时间(Fall time)、建立时间(Setup time)、保持时间(Hold time)、时钟抖动(Jitter)、占空比(Duty)等。信号质量包括反射(Reflect)、串扰(Crosstalk)、单调性(Monotonic)、噪声(Noise)、过冲/下冲等。这些都是每一个信号完整性工程师必须要了解的内容,还包含阻抗、眼图、码间干扰、误码率、损耗等。

1.1.1 上升时间和下降时间

上升时间就是信号从逻辑低电平(0)到逻辑高电平(1)所花的时间,通常记做 T_r 。但是在工程领域,通常有两种定义方式,一种是:信号从上升沿 10% 的幅值上升到 90% 的幅值所花费的时间叫上升时间;另一种是:信号从上升沿 20% 的幅值上升到 80% 的幅值所花的时间叫上升时间,如图 1.1 中②所示。一般在芯片手册上所查到的上升时间,基本都是这两种定义方式所得到的值。

下降时间就是信号从逻辑高电平(1)到逻辑低电平(0)所花的时间,通常记做 T_f 。与上升时间的定义类似,也分为了 10%~90% 和 20%~80% 两种。即信号从下降沿 90% 的幅值下降到 10% 的幅值所花费的时间叫下降时间;或者,信号从下降沿 80% 的幅值下降到 20% 的幅值所花费的时间叫下降时间,如图 1.1 中①所示。

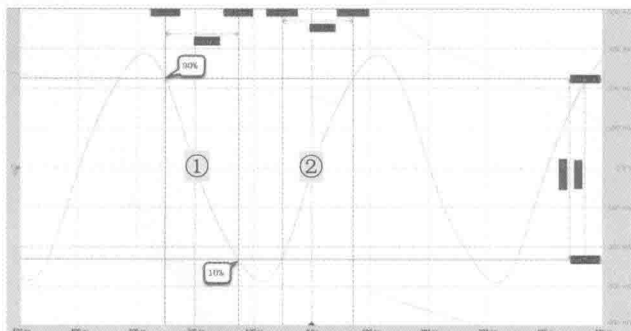


图 1.1 上升、下降时间

上升时间和下降时间无论是在仿真中还是在测试中都是非常重要的参数，上升和下降时间不仅与芯片的设计有关系，还与传输链路的设计有关。在电子产品设计中，当上升或者下降时间出现问题的时候，要分不同的情况进行分析。

1.1.2 占空比

占空比通常是指正脉冲占一个脉冲周期的比值，也叫正脉冲占空比。占空比也可以分为正脉冲占空比和负脉冲占空比。如图 1.2 中 t 所占 T 的比例就是正脉冲占空比。

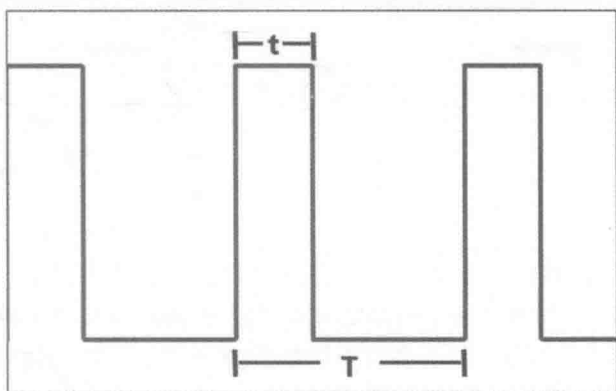


图 1.2 占空比

1.1.3 建立时间

建立时间是指数据信号在时钟触发沿到来之前，数据信号稳定在某个电平不变的这段时间，通常记为 T_{setup} ，如图 1.3 所示， $T_{\text{setup}}=m_2-m_1$ 。如果建立时间不满足，那么数据信号就会进入下一个触发周期，这样芯片工作的效率就会降低。

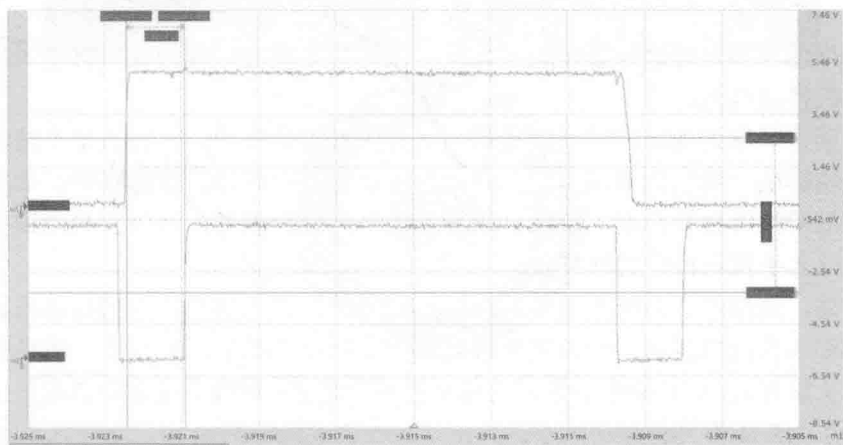


图 1.3 建立时间