

信号完整性与电源完整性分析(第二版)



[信号完整性与电源完整性分析\(第二版\) 下载链接1](#)

著者:伯格丁 (Eric Bogatin)

出版者:电子工业出版社

出版时间:2015-1-1

装帧:平装

isbn:9787121244902

前言

从本书第一版出版至今，信号完整性的原理并未发生改变。发生变化的是随着高速链路的大量应用，电源完整性正在成为开发新产品能够成功还是失败的关键角色。

除了在大多数章节，尤其是在差分对和损耗章节中充实了许多内容和示例之外，第二版新增了两章，目的是针对当今的工程师和设计师们的实际需求提供一个坚实的基础。

第12章是新增的一章，深入介绍了在信号完整性中如何使用S参数。只要你遇到的是高速链路问题，就会接触到S参数。由于采用的是高速数字设计师们所不熟悉的频域语言表示，常常令人望而生畏。正如本书的所有章节，第12章提供了一个理解这一格式的坚实基础，以便让所有工程师可以充分利用S参数的强大功能。

新增的另一章是关于电源完整性的第13章。这一问题不断进入设计工程师的视野。对于高速应用，电源分配路径的互连不仅仅影响着电源配送，而且影响着信号的返回路径，以及电磁兼容测试认证能否通过。

我们从最基本的内容出发，讨论电源分配互连的角色，分析不同的设计和工艺如何影响电源分配网络性能的优劣。介绍平面阻抗的基本原理、扩散电感、去耦电容器、电容器的回路电感等。这些有价值的感悟将有助于培养工程师的直觉，从而使他们能够运用自己的创造力去综合出新的设计。在实现一个新创意的过程中，与设计密不可分的工作是性能分析。通过分析，可以找出性能与价格的折中方案，修整出完美的PDN阻抗曲线。

如果你是信号完整性方面的一位新手，那么本书将是你的入门教材。籍此奠定一个坚实的基础，从此可以使你的信号完整性设计做到首次成功！次次成功！

第一版前言

“一切都应该尽可能简单，而不只是简单一点。”

——阿尔伯特爱因斯坦通常，人们一提到印制电路板和集成电路封装设计，常常会想到电路设计、版图设计、CAD工具、热传导、机械工程和可靠性分析等。随着现代数字电子系统突破1GHz的壁垒，PCB板级设计和集成电路封装设计必须考虑信号完整性（SI）和电气性能问题。

凡是介入物理设计的人都会不同程度地左右产品的性能。所有的设计师都应该了解自己的设计如何影响信号完整性，至少可以做到与信号完整性专业的工程师进行技术上的沟通。

传统的设计方法学是：根据要求研制产品样机，然后进行测试和调试。如今，产品的上市时间和产品的成本、性能同等重要，采用传统做法的效率将很低。因为，一个设计如果在开始阶段不考虑信号完整性，就很难做到首件产品一次成功。

在当今的“高速”世界里，从电气性能的角度看，封装和互连对于信号不再是畅通和透明的，因此需要新的设计方法学，以保证产品设计的一次成功率。这种新设计方法学的本质是立足于可预见性的。为此，首先要尽量应用已经成熟的来自工程经验积累的设计规则，其次要用量化的手段对期望的产品性能进行预估。这种工程设计途径与猜测途径不同，工程途径中要充分利用4种重要的技术工具：经验法则、解析近似、数值仿真和实际测量。在设计仿真过程中，还要尽可能早一点对产品的性能和成本进行评估和折中。设计早期进行分析和折中处理，对上市时间、产品成本和风险的影响最大。解决问题的途径可以归结为：首先分析信号完整性问题的起源，然后利用教材提供的工具找出最优的解决方案，并加以验证。

设计过程是充满直觉的过程，解决问题的灵感源自想象力和创造性的神秘世界。人们头脑中首先涌现出一个好主意，然后凭借技术训练中提供的分析能力，就能进一步将这个好主意变成解决问题的实际方案。方案的最终验证肯定要进行计算机仿真，但是它毕竟

代替不了我们的直觉能力。相反，只有对工作机理、原理、定义和各种可能性的深入掌握，才有可能涌现出一个好的问题解决方案。所以，为了做到能通过直觉推断去寻找问题答案，需要不断地提高理解力和想象力。

这本教材强调的是培养解决问题的直觉途径。全书内容的安排就是为了使读者能掌握从芯片、封装、电路板、连接件到连线电缆的所有互连设计及所用材料对电气特性的影响。

商业报导中不完整甚至矛盾的描述使不少人感到困惑，这些人可以把本书当成学习的入门起点。而那些对电子设计比较有经验的人，也可以通过本书的学习，最终理解数学公式的真正物理含义。

本书从最基本的参数术语出发进行论述。例如，传输线阻抗是一段互连的基本电气特征，它描述了信号感受到的互连电气特征及信号与互连之间的相互作用。大多数信号完整性的问题来自对3个参数之间的混淆：阻抗、特性阻抗及信号所遇到的瞬时阻抗。甚至对于有经验的工程师而言，这三者的区别也很重要。本书没有使用复杂的数学描述，而是直接将这些概念及其含义介绍给读者。

进一步，我们在基本层面上为读者介绍一些新的专题。在其他大多数信号完整性书籍中并不涉及这个层次。这些专题包括：局部电感（有别于回路电感）、地弹和电磁干扰起因、阻抗、传输线突变、差分阻抗、有损线衰减导致眼图塌陷等。关注这类研究对于新的高速互连方案是至关重要的。

工程师为了能尽快找到解决问题的最佳方案，除了深入掌握基本原理之外，必须拥有实用的商业化技术工具。这些工具一般分为两类：分析型工具和测量型工具。分析型工具的基础是计算，测量型工具通过测量完成表征与描述。本书介绍了许多种这样的工具，给出它们的使用指南和具体参数值的示例。

目前有3类分析工具：经验法则、解析近似和数值仿真。它们的准确度和难度各不相同。每一个都很有用，适用于不同场合。每个工程师都应该将这些工具留存备用。

经验法则的例子包括“单位长度线段的自感约为 25nH/in ”。如果最需要的是快速求解而不是准确求解，这些经验法则就显得特别适用。

绝大多数场合下，信号完整性中的公式只给出定义或近似表示。解析近似对于开拓设计空间、兼顾设计难度和性能指标是必要的。然而，随意过分的近似是有风险的。人们一般不会同意在近似程度未知的前提下，安排1个月的时间，冒险用1万美元的代价去制作印制电路板（PCB）。

如果设计签发（signoff）时要求给出准确的结果，就必须用到数值仿真工具。在过去的几年里已经研制成功一代全新的工具，这些新工具非常好用又很准确。它们可以预估特性阻抗、串扰和任意截面传输线的差分阻抗，也可以仿真出任意一种终端端接对信号的可能影响。使用新一代的工具不需要很高的学历，任何一个工程师都能从中受益。

数值仿真的质量唯一地取决于元器件电气描述的质量，即等效电路模型。工程师们都学过信号处理用的门电路模型，但是很少考虑过互连的电路模型。15年以前，互连对于信号还是畅通透明的，那时把互连看成理想的导线，既没有阻抗，也没有时延。考虑了这些参数项之后，就需要将它们表示成集总寄生参数。

目前高速数字系统的时钟已经超过 100MHz ，信号完整性问题使首件产品很难做到一次成功。真实的导线，包括键合线、封装引线、芯片引脚、电路板走线、连接件、连线电缆等，都是造成信号完整性问题的根源。为此，必须充分理解这些“模拟电路”效应，通过针对性设计设定参数值，进行全面的系统级仿真，然后再去制作硬件。这样就有可能制作出鲁棒性好的产品，并尽快推向市场。

本书从各种常见的系统中选取了一些示例，其内容涉及芯片内互连、键合线、倒装芯片装连、多层电路板、DIP、PGA、BGA、QFP、MCM等接插件及电缆，书中介绍的工具有助于设计工程师和项目负责人了解包括它们在内的系统仿真技术，更好地理解芯片封装、电路板、连接件等无源元件。

作者介绍:

Eric Bogatin在信号完整性领域，包括基本原理、测量技术和分析工具等方面举办过多期短期课程，目前为GigaTest实验室首席技术主管。

李玉山，西安电子科技大学教授，教育部“超高速电路设计与电磁兼容”重点实验室学术委员会副主任。主持完成1项国家863计划和4项国家自然科学基金项目；主持制定中国电子行业标准3部；获省部级奖励10项。在IEEE Trans.上发表长文12篇；正式出版教材/专著/译著12部。研究方向：高速电路设计与信号完整性分析，EDA技术及软件研发。

目录: 第1章信号完整性分析概论

- 1.1信号完整性的含义
- 1.2单一网络的信号质量
- 1.3串扰
- 1.4轨道塌陷噪声
- 1.5电磁干扰
- 1.6信号完整性的两个重要推论
- 1.7电子产品的趋势
- 1.8新设计方法学的必要性
- 1.9一种新的产品设计方法学
- 1.10仿真
- 1.11模型与建模
- 1.12通过计算创建电路模型
- 1.13三种测量技术
- 1.14测量的作用
- 1.15小结

第2章时域与频域

- 2.1时域
- 2.2频域中的正弦波
- 2.3在频域解决问题
- 2.4正弦波的特征
- 2.5傅里叶变换
- 2.6重复信号的频谱
- 2.7理想方波的频谱
- 2.8从频域逆变换到时域
- 2.9带宽对上升边的影响
- 2.10上升边与带宽
- 2.11“有效”的含义
- 2.12实际信号的带宽
- 2.13时钟频率与带宽
- 2.14测量的带宽
- 2.15模型的带宽
- 2.16互连的带宽
- 2.17小结

第3章阻抗与电气模型

3.1用阻抗描述信号完整性

3.2阻抗的含义

3.3实际的与理想的电路元件

3.4时域中理想电阻器的阻抗

3.5时域中理想电容器的阻抗

3.6时域中理想电感器的阻抗

3.7频域中的阻抗

3.8等效电路模型

3.9电路理论和SPICE

3.10建模简介

3.11小结

第4章电阻的物理基础

4.1将物理设计转化为电气性能

4.2互连电阻的最佳近似式

4.3体电阻率

4.4单位长度电阻

4.5方块电阻

4.6小结

第5章电容的物理基础

5.1电容器中的电流流动

5.2球面电容

5.3平行板近似式

5.4介电常数

5.5电源、地平面及去耦电容

5.6单位长度电容

5.7二维场求解器

5.8有效介电常数

5.9小结

第6章电感的物理基础

6.1电感是什么

6.2电感法则之一：电流周围会形成闭合磁力线圈

6.3电感法则之二：电感是导体电流1A时周围的磁力线匝韦伯数

6.4自感和互感

6.5电感法则之三：周围磁力线匝数改变时导体两端产生感应电压

6.6局部电感

6.7有效电感、总电感或净电感及地弹

6.8回路自感和回路互感

6.9电源分配网络和回路电感

6.10每方块回路电感

6.11平面对与过孔的回路电感

6.12有出砂孔区域的平面回路电感

6.13回路互感

6.14多个电感器的等效电感

6.15电感分类

6.16电流分布及集肤深度

6.17高导磁率材料

6.18涡流

6.19小结

第7章传输线的物理基础

7.1不再使用“地”这个词

7.2信号

7.3均匀传输线

7.4铜中电子的速度

7.5传输线上信号的速度

- 7.6前沿的空间延伸
- 7.7“我若是信号”
- 7.8传输线的瞬时阻抗
- 7.9特性阻抗与可控阻抗
- 7.10常见的特性阻抗
- 7.11传输线的阻抗
- 7.12传输线的驱动
- 7.13返回路径
- 7.14返回路径参考平面的切换
- 7.15传输线的一阶模型
- 7.16特性阻抗的近似计算
- 7.17用二维场求解器计算特性阻抗
- 7.18n节集总电路模型
- 7.19特性阻抗随频率的变化
- 7.20小结

第8章传输线与反射

- 8.1阻抗突变处的反射
- 8.2为什么会有反射
- 8.3阻性负载的反射
- 8.4驱动器的内阻
- 8.5反弹图
- 8.6反射波形仿真
- 8.7用TDR测量反射
- 8.8传输线及非故意突变
- 8.9多长需要端接
- 8.10点到点拓扑的通用端接策略
- 8.11短串联传输线的反射
- 8.12短并联传输线的反射
- 8.13容性终端的反射
- 8.14走线中途容性负载的反射
- 8.15中途容性时延累加
- 8.16拐角和过孔的影响
- 8.17有载线
- 8.18感性突变的反射
- 8.19补偿
- 8.20小结

第9章有损线、上升边退化与材料特性

- 9.1有损线的不良影响
- 9.2传输线中的损耗
- 9.3损耗源：导线电阻与趋肤效应
- 9.4损耗源：介质
- 9.5介质耗散因子
- 9.6耗散因子的真实含义
- 9.7有损传输线建模
- 9.8有损传输线的特性阻抗
- 9.9有损传输线中的信号速度
- 9.10衰减与dB
- 9.11有损线上的衰减
- 9.12频域中有损线特性的度量
- 9.13互连的带宽
- 9.14有损线的时域行为
- 9.15改善传输线眼图
- 9.16预加重与均衡化
- 9.17小结

第10章传输线的串扰

10.1 叠加

10.2 耦合源：电容和电感

10.3 传输线串扰：NEXT与FEXT

10.4 串扰模型

10.5 SPICE 电容矩阵

10.6 麦克斯韦电容矩阵与二维场求解器

10.7 电感矩阵

10.8 均匀传输线上的串扰和饱和长度

10.9 容性耦合电流

10.10 感性耦合电流

10.11 近端串扰

10.12 远端串扰

10.13 减小远端串扰

10.14 串扰仿真

10.15 防护布线

10.16 串扰与介电常数

10.17 串扰与时序

10.18 开关噪声

10.19 降低串扰的措施

10.20 小结

第11章差分对与差分阻抗

11.1 差分信号

11.2 差分对

11.3 无耦合时的差分阻抗

11.4 耦合的影响

11.5 差分阻抗的计算

11.6 差分对返回电流的分布

11.7 奇模与偶模

11.8 差分阻抗与奇模阻抗

11.9 共模阻抗与偶模阻抗

11.10 差分/共模信号与奇模/偶模电压分量

11.11 奇模/偶模速度与远端串扰

11.12 理想耦合传输线或理想差分对模型

11.13 奇模及偶模阻抗的测量

11.14 差分及共模信号的端接

11.15 差分信号向共模信号转化

11.16 电磁干扰和共模信号

11.17 差分对的串扰

11.18 跨越返回路径中的间隙

11.19 是否要紧耦合

11.20 根据电容和电感矩阵元素计算奇模及偶模

11.21 特性阻抗矩阵

11.22 小结

第12章S参数在信号完整性中的应用

12.1 一种新基准：S参数

12.2 S参数的定义

12.3 S参数的基本公式

12.4 S参数矩阵

12.5 返回及插入损耗仿真

12.6 互连的透明度

12.7 改变端口阻抗

12.8 50Ω均匀传输线S₂₁的相位

12.9 均匀传输线S₂₁的幅值

- 12.10传输线之间的耦合
- 12.11非50Ω传输线的插入损耗
- 12.12S参数的扩展
- 12.13单端及差分S参数
- 12.14差分插入损耗
- 12.15模态转化项
- 12.16转换为混模S参数
- 12.17时域和频域
- 12.18小结
- 第13章电源分配网络
- 13.1PDN的问题
- 13.2问题的根源
- 13.3PDN最重要的设计准则
- 13.4如何确定目标阻抗
- 13.5不同产品对PDN的要求不同
- 13.6PDN工程化建模
- 13.7稳压模块
- 13.8用SPICE仿真阻抗
- 13.9片上电容
- 13.10封装屏障
- 13.11未加去耦电容器的PDN
- 13.12多层陶瓷电容器 (MLCC)
- 13.13等效串联电感
- 13.14回路电感的解析近似
- 13.15电容器装连的优化
- 13.16电容器的并联
- 13.17添加电容器降低并联谐振峰值
- 13.18电容器容值的选取
- 13.19电容器个数的估算
- 13.20每nH电感的成本
- 13.21靠个数多还是选合适值
- 13.22修整阻抗曲线的频域目标阻抗法
- 13.23何时要考虑每pH的电感
- 13.24位置的重要性
- 13.25扩散电感的制约
- 13.26从芯片看过去
- 13.27综合效果
- 13.28小结
- 附录A100条使信号完整性问题最小化的通用设计规则
- 附录B100条估计信号完整性效应的经验法则
- 附录C
- 参考文献
- • • • • ([收起](#))

[信号完整性与电源完整性分析\(第二版\)_下载链接1](#)

标签

技术

专业

Layout

工作

完整性

IC

EE

已购纸质书

评论

硬件找工作必看，至少要看2遍，不然根本看不深入。讲得还行，工作了也可以当作工具书来用，很多公式和经验法则

感觉看的时候，能体会到作者对于硬件设计的爱...

超级经典的书，值得反复研究。虽然做硬件设计工作很多年，是不是翻出来看看还是可以收获不少。

[信号完整性与电源完整性分析\(第二版\) 下载链接1](#)

书评

[信号完整性与电源完整性分析\(第二版\)_下载链接1](#)