

# 硬件测试技术



2005年9月

## 课程大纲

- 硬件测试概述
- 测试前准备
- 硬件测试的种类与操作
- 硬件测试的级别
- 可靠性测试
- 测试问题解决
- 测试效果评估
- 硬件测试参考的通信技术标准
- 测试规范制定
- 测试人员的培养

2005年9月

## 硬件测试概述

### 1、硬件测试的概念

- 测试是为了发现错误而执行操作的过程
- 测试是为了证明设计有错，而不是证明设计无错误
- 一个好的测试用例是在于它能发现至今未发现的错误
- 一个成功的测试是发现了“至今未发现的错误”的测试

2005年9月

## 硬件测试概述

### 2、硬件测试的目的

测试的目的决定了如何去组织测试。如果测试的目的是为了尽可能多地找出错误，那么测试就应该直接针对设计比较复杂的部分或是以前出错较多的位置。如果测试目的是为了给最终用户提供具有一定可信度的质量评价，那么测试就应该直接针对在实际应用中会经常用到的商业假设。

综合评估，决定产品的测试方向！

2005年9月

## 硬件测试概述

### 3、硬件测试的目标——产品的零缺陷

- 关注点：产品规格功能的实现，性能指标，可靠性，可测试性，易用性等。
- 实现的保障：产品的零缺陷构筑于最底层的设计，源于每一个函数、每一行代码、每一部分单元电路及每一个电信号。测试就是要排除每一处故障和每一处隐患，从而构建一个零缺陷的产品。
- MTBF不是计算出来的，而是设计出来的。

2005年9月

## 硬件测试概述

### 4、硬件测试的意义

- 测试并不仅仅是为了要找出错误。通过分析错误产生的原因和错误的分布特征，可以帮助项目管理者发现当前设计过程的缺陷，以便改进。同时，这种分析也能帮助我们设计出有针对性地检测方法，改善测试的有效性。
- 没有发现错误的测试也是有价值的，完整的测试是评定测试质量的一种方法。

2005年9月

## 硬件测试概述

### 5、目前业界硬件测试的开展状况

随着质量的进一步要求，硬件测试工作在产品研发阶段的投入比例已经向测试倾斜，许多知名的国际企业，硬件测试人员的数量要远大于开发人员。而且对于硬件测试人员的技术水平要求也要大于开发人员。

2005年9月

## 硬件测试概述

### 6、硬件测试在企业价值链中的地位

——采购——研发——测试——生产——销售——



测试是每项成功产品的必经环节

2005年9月

## 硬件测试概述

### 7、硬件测试对公司形象和公司发展的重要性

硬件测试是评估产品质量的重要方法

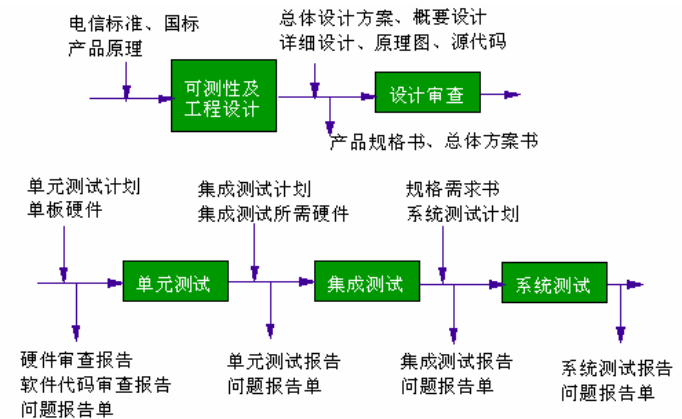
产品质量是公司的信誉和品牌形象

公司的信誉和质量决定了公司的发展前景

2005年9月

## 硬件测试概述

### 8、硬件测试的一般流程和各阶段点的输出文件



2005年9月

## 课程大纲

- 硬件测试概述
- **测试前准备**
- 硬件测试的种类与操作
- 硬件测试的级别
- 可靠性测试
- 测试问题解决
- 测试效果评估
- 硬件测试参考的通信技术标准
- 测试规范制定
- 测试人员的培养

2005年9月

## 测试前准备

### 1、正规检视

- 硬件设计审查
- 原理图检视
- PCB检视

发现硬件设计原理缺陷

发现成本浪费问题

发现降额不规范设计

发现布局和布线的缺陷

发现EMC等专项设计缺陷

2005年9月

## 测试前准备

### 2、正规检视的流程

- 检视专家的确定
- 评审专家预检视
- 检视问题反馈整理
- 检视会议召开
- 检视问题确认，解决
- 检视问题跟踪

2005年9月

## 测试前准备

### 3、FMEA（故障模式影响分析）

分析系统中每一产品所有可能产生的故障模式及其对系统造成的所有可能影响，并按每一个故障模式的严重程度、检测难易程度以及发生频度予以分类的一种归纳分析方法。

2005年9月

## 测试前准备

### FMEA的意义

- 能帮助设计者和决策者从各种方案中选择满足可靠性要求的最佳方案；
- 保证所有元器件的各种故障模式及影响都经过周密考虑；
- 能找出对系统故障有重大影响的元器件和故障模式，并分析其影响程度；
- 有助于在设计评审中对有关措施（如冗余措施）、检测设备等作客观的评价；

2005年9月

## 测试前准备

### FMEA的意义（续）

- 能为进一步定量分析提供基础；
- 能为进一步更改产品设计提供资料；
- 能为产品可测试方案提供基础材料；
- 能为技术支援人员提供维修指南；
- 为基于故障模式的测试提供依据。

2005年9月

测试前准备

FMEA的层次

- 信号级：对接口信号或某些特殊器件的分析
- 器件级：对系统内功能模块的可靠性分析
- 系统级：对系统的整体可靠性分析

2005年9月

测试前准备

严酷度

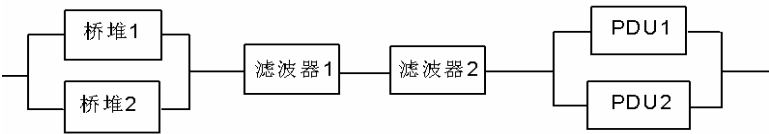
- 在某些系统中，最终影响的严重程度等级又称为严酷度（有时也称为严重度，系指故障模式所产生后果的严重程度）类别。
- 严重程度等级（严酷度类别）定义应考虑到故障所造成的最坏的潜在后果来确定。
- 严酷度的定义是FMEA的前提和基础，有了共识的严酷度才可以保证FMEA的顺利开展和问题的落实。

2005年9月

测试前准备

功能和可靠性框图

- 4、FMEA的步骤例1：××产品FMEA分析
- a、建立功能和可靠性框图
- 任务定义：为系统提供要求的电压（-48V）。



电源盒任务可靠性框图

2005年9月

测试前准备

表 2-2 严酷度定义

类别	名称	描述
I类	灾难的	这是一种会引起人员死亡或系统(如飞机、坦克、导弹及船舶等)毁坏的故障。
II类	致命的	这种故障会引起人员的严重伤害、重大经济损失或导致任务失败的系统严重损坏。
III类	临界的	这种故障会引起人员的轻度伤害、一定的经济损失或导致任务延误或降级的系统轻度损坏。
IV类	轻度的	这是一种不足以导致人员伤害、一定的经济损失或系统损坏的故障，但它会导致非计划性维护或修理。

2005年9月

测试前准备

环境定义

4、FMEA的步骤例1：××产品FMEA分析

c、环境定义

产品的环境温度、湿度要求，机房地面要求（防静电），机房防尘和对有害气体浓度要求，抗电磁干扰的能力，本身产生的电磁干扰，抗地震措施，运输（防水、防震）和储存。各方面环境要求应满足相应规定。如工作温度、相对湿度应满足以下条件：

温度（℃）		相对湿度（%）	
长期工作条件	短期工作条件	长期工作条件	短期工作条件
15℃～30℃	0℃～45℃	40%～65%	20%～90%

2005年9月

测试前准备

风险分析

- 风险分析的目的是按每一故障模式的严重程度及该故障模式发生的概率所产生的综合影响对系统中的产品划等分类，以便全面评价系统中各种可能出现的产品故障的影响，它是一种相对定量的分析方法，通常借助图形工具（如矩阵图）来辅助分析。
- 风险分析常用的方法有两种，即风险优先数（Risk Priority Number，RPN）法和危害性分析（Criticality Analysis）法
- 前者主要用于汽车等民用工业领域，后者主要用于航空、航天等军用领域。在进行风险分析时可根据具体情况选择一种方法。

2005年9月

测试前准备

F  
M  
E  
A  
分  
析  
步  
骤  
和  
要  
点

确定范围	如何定义严酷度分类： 对操作者危害最高
确定功能	
失效模式	
潜在影响	
严酷度	
分类	
潜在原因	
发生频度	失效概率： 每小时，每班次，每天，每星期。。。
控制措施	潜在影响： 停机：损坏，装备与调整，试机损失 报废：缺陷部件，工具类 安全：
探测率	找原因：
RPN	1 以前FMEA 分析
整改措施	2 失效日志
	3 接口矩阵（物理干涉，能量传递，物流，信息转移）
	4 保证书
	5 专题研究报告
	6 测试报告
	7 现场服务报告

2005年9月

测试前准备

FMEA分析表格

编号	器件名称	所属功能单元	失效率	失效模式	失效比例	局部影响	对功能单元的影响	对系统的最终影响	严酷度	已有的检测方法	已有的补偿措施	建议改进措施	备注

2005年9月

## 测试前准备

---

### 4、故障处理

- 故障检测
- 故障定位
- 故障隔离
- 故障恢复

2005年9月

## 测试前准备

---

### 故障检测

- 故障检测是指明确到故障已经发生的过程，是故障处理流程的前提。
- 这里提到的检测一般是指系统在故障发生后的自动的检测，一般不需要人进行操作。
- 在进行故障检测的时候需要结合软、硬件故障检测方法。
- 某些故障可能需要多次检测确认，避免进行误告警和误操作

2005年9月

## 测试前准备

---

### 故障定位

- 故障定位是指将故障定位到现场最小可更换单元的过程，是故障维修的基础。
- 故障定位的目的是为了便于维修工程人员进行现场的故障维修和返修件的故障处理。

2005年9月

## 测试前准备

---

### 故障隔离

- 故障隔离一般是将故障限定到可更换单元内部的过程。故障隔离的目标是将故障能够限定在越小的功能单元。
- 故障隔离是为了将故障的影响范围限制在尽可能小的范围之内。
- 故障是无法避免的，如何将故障产生的影响降到最低，是故障隔离所要考虑的关键。

2005年9月

## 测试前准备

---

### 故障恢复

- 故障恢复是将系统的功能状态恢复到故障发生前状态的过程，是客户最关心的也是系统稳定运行的关键步骤。
- 常用的故障恢复手段有复位、冗余倒换、重发等。
- 故障恢复尽量需要做到自动进行，以降低对用户的影响。

2005年9月

## 测试前准备

---

### 5、测试计划

描述该测试计划所应达到的目标如下（可依据项目的实际要求做适当调整）：

- 所有测试需求都被标识出来；
- 测试的工作量已被正确估计并合理地分配了人力、物力资源；
- 测试的进度安排是基于工作量估计的、适用的；
- 测试启动、停止的准则已被标识；
- 测试输出的工作产品是已标识的、受控的和适用的。

2005年9月

## 测试前准备

---

### 测试计划的内容

测试计划一般应该包含一下的内容：

- 测试对象，明确版本，范围，任务划分
- 角色和职责
- 测试和不被测试的特性原因
- 测试通过与否的标准
- 测试任务安排
- 测试结束的交付件
- 工作量评估

2005年9月

## 测试前准备

---

### 6、测试用例

- 测试用例更多的是需要描述测试方法，测试步骤，测试的预期效果，需要达到的指标。需要更加详细的对每一条测试项目进行描述。
- 测试用例是直接用来指导测试的，所以对测试项目的描述需要更具体，更便于参考操作。

2005年9月



测试前准备

测试用例的一般格式

测试用例编号
测试项目（模块或单元）
测试子项目（子项目描述）
测试级别（必测、选测、可测）
测试条件（环境、仪器等相关要求）
测试步骤和方法（具体细致的操作方法）
应达到的指标和预期效果
备注

2005年9月

测试前准备

7、测试需求的来源

一切测试的需求都来自于产品设计的规格，规格来自于用户的需求。因此我们的测试是针对产品规格的测试。具体可以从以下几方面进行考虑：

- 产品设计功能  
根据功能的实现，分别对实现该功能的各个环节进行测试，从硬件、单板软件、高层软件到用户界面，只有各个环节都畅通无阻，才能保证该功能的正常实现。
- 可靠性  
备份、倒换、插拔、互助、自愈等

2005年9月

测试前准备

测试需求的来源（续）

- 指标性能需求  
指标包括电接口指标、光接口指标、时钟指标、传输指标和指标容差，  
指标一般都有相关的标准可查。性能一般可从容量、处理能力、容限等方面去考虑，一般是测试异常输入条件下的单元、模块、系统处理情况。性能测试的异常条件主要是指边界条件、异常条件及故障相关性。
- 组网  
组网需求：电信网组网、异种厂商的互联

2005年9月

测试前准备

测试需求的来源（续）

- 应用环境  
应用环境一般可从以下几个方面考虑：  
高温、低温、高低温交变、盐雾、湿热、防尘  
接地、电源、震动、冲击、存储、运输  
电磁兼容性  
断电恢复性

2005年9月

## 课程大纲

- 硬件测试概述
- 测试前准备
- **硬件测试的种类与操作**
- 硬件测试的级别
- 可靠性测试
- 测试问题解决
- 测试效果评估
- 硬件测试参考的通信技术标准
- 测试规范制定
- 测试人员的培养

2005年9月

## 硬件测试的种类与操作

### 1、测试设计

测试并不是简单意义上的一些测试操作，在测试前需要有详细的设计，周密的策划，测试是一项高难度的工作。

测试设计概念的范围很广，大致可以分为以下几类：

- 设计测试平台，用此测试平台能进行通用项目的测试，或是进行能用此测试平台作一类测试。
- 设计测试工具，设计测试软件。
- 设计测试装备。
- 设计测试用例，测试方法。

2005年9月

## 硬件测试的种类与操作

### 测试设计的好处

- 良好的测试设计和有效测试工具可减少重复低效的劳动
- 有效地开发利用测试工具可使测试更深入、更全面
- 有些复杂的测试只能依靠测试工具进行自动测试
- 在测试中经常进行测试设计是提升技术水平的有效手段

我们在做测试工作时，不能因循守旧，需要时刻考虑如何改进我们的测试效果，提高我们的测试效率，在测试点上进行深入研究，开发测试工具，最终使我们的所有点的测试达到自动化。

2005年9月

## 硬件测试的种类与操作

### 良好的测试设计同样也是节约测试成本的手段

现在的测试工作中，经常会遇到一些无法在实验室模拟的情况，可能在实际现场也无法模拟，并且如果要模拟所花的代价很大，如满配置、最大负荷的情况，而这些项目的测试通过与否是检验系统性能的重要手段。这个测试任务便给我们提出了编写测试软件模拟大负荷情况的要求。不但实现和自动化，而且大幅度的节约了成本。

2005年9月

## 硬件测试的种类与操作

### 2、基础指标测试

#### ➤ 信号质量测试

基本的信号质量测试是通过测试单板上的各种信号质量，根据信号种类的不同，用不同的指标来衡量信号质量的好坏，并对信号质量的分析，发现系统设计中的不足。

开发人员根据已有的信号质量和时序调试和测试方面的规范和指导书，在单板调试阶段完成对单板信号质量的全面测试并完整记录结果。

测试仪器——示波器

2005年9月

## 硬件测试的种类与操作

#### ➤ 时序测试

对板内信号时序进行调试，验证信号实际时序关系是否可靠，是否满足器件要求和设计要求；分析设计余量，评价单板工作可靠性。

开发人员根据已有的信号质量和时序调试和测试方面的规范和指导书，在单板调试阶段完成对单板时序（包括逻辑外部时序）的全面调试和测试。

测试仪器——示波器，逻辑分析仪

2005年9月

## 硬件测试的种类与操作

### 3、功能测试

功能测试是根据硬件详细设计报告中提及的功能规格进行测试，验证设计是否满足要求。

功能测试是系统功能实现的基本，是需要严格保证测试通过率的。如被测对象与其规格说明、总体/详细设计文档之间存在任何差异的均需要详细描述。

一般包含，电源、CPU、逻辑、复位、倒换、监控、时钟、业务等。

2005年9月

## 硬件测试的种类与操作

### 4、性能测试——容限测试

指使系统正常工作的输入允许变化范围。容限测试的目的是通过测试明确知道我们的设备到底在什么样的条件范围下能够正常工作，薄弱环节到底在哪里。

能否发现和验证器件降额的问题，系统工作允许范围内的临界点上的性能。

2005年9月

## 硬件测试的种类与操作

### 5、容错测试——FIT

指通过冗余设计等手段避免、减小某些故障对系统造成的影响以及在外部异常条件恢复后系统能够自动恢复正常的的能力。容错测试的目的是要检验系统对异常情况是否有足够的保护，是否会由于某些异常条件造成故障不能自动恢复的严重后果。

容错测试的一般方法就是采用故障插入的方式，模拟一些在产品使用过程中可能会产生的故障因素，进而考察产品的可靠性及故障处理能力的一种测试方法。

2005年9月

## 硬件测试的种类与操作

### 5、容错测试——FIT

容错测试项目的来源主要是通过FMEA获得，是验证FMEA分析结果的一种手段。而且某些通过FMEA分析无法准确获得结论的项目也要通过FIT来进行模拟。

容错测试还包括的另外一个主要内容就是操作方面的，主要模拟在用户使用不当的时候系统的容忍错误的能力。

2005年9月

## 硬件测试的种类与操作

### 5、容错测试——FIT

容错测试一般允许出现一些功能异常，但是不能出现功能丧失或故障扩散等严重的安全隐患。

常用的故障插入测试方法有时钟拉偏、误码插入、电源加扰等，，常用测试工具有些是专用的，有些是内部开发的。

通过容错测试，还可以确定在产品的实际应用过程中哪些错是易产生的，哪些错是可以避免的，以尽量减少损失。

2005年9月

## 硬件测试的种类与操作

### 6、长时间验证测试

- 由于电子类产品很多是需要长时间运行的，所以进行长时间的验证测试是很有必要的
- 某些器件应用不当的设计，更容易在长时间的运行中，才会显露出来。
- 系统的散热能力也只有在大功率运行时才容易暴露。
- 长时间的运行才容易发生某些被忽略的偶然因素，容易发现某些潜在问题。

2005年9月

硬件测试的种类与操作

6、长时间验证测试

长时间测试不仅对于系统而言，在进行单元测试和集成测试时，对于每一个功能模块均需要进行长时间的功能验证。

长时间的验证具体的时间把握同产品的实际使用情况相关，对于通信产品系统，一般建议测试时间要达到一星期。对于每一个功能模块的时间要求一般要达到两天。

2005年9月

硬件测试的种类与操作

7、一致性测试

一致性测试是指将不同批次的产品分别取样，进行测试验证，考察产品功能和性能方面的一致性的测试

为了验证不同生产批次的产品质量和不同批次器件的质量，是否具有较高的一致性，是否能够满足产品的功能和使用条件要求。

2005年9月

硬件测试的种类与操作

7、一致性测试

测试要点

- 测试至少要包含3次以上不同器件批次和生产批次的产品
- 测试项目要包含所有的功能测试项目，和重要的信号质量和时序等项目
- 重点需要验证长时间的稳定性是否一致
- 如果具备条件，需要验证在环境条件变化时（如高温环境），各样品的一致性能。

2005年9月

硬件测试的种类与操作

8、可靠性数预计

这里的可靠性数据一般包含MTBF（平均故障间隔时间）、MTTR（平均修复时间）、失效率、可用度、返修率等。  
可靠性数据预计的基础是FMEA分析，通过分析获得。

2005年9月

硬件测试的种类与操作

可用度 (A-availability)：

产品在一未知时刻，需要执行任务时，处于可工作或可使用状态的概率。

平均故障间隔时间 (MTBF-mean time between failure)：

指相邻失效间隔工作时间的平均值。

平均失效前时间 (MTTF-mean time to failure)：

表示观察到下次失效的期望的时间。

2005年9月

硬件测试的种类与操作

平均拆卸间隔时间 (MTBR-mean time between removals)

系统寿命单位总数与从该系统上拆下的产品总次数之比。

平均修复时间 (MTTR-mean time to repair)：

是在规定的时间内，修复性维修所造成的累积工作时间除以在同一时间内所完成的修复维修活动总数得到的结果。

拆卸时间 + 定位时间 + 修理时间 + 安装时间

2005年9月

硬件测试的种类与操作

可靠度 R (t)：

在规定的条件下，规定的时间内，完成规定功能的概率。

失效率 ( )

失效率 = 1/MTBF

单位Fits

1Fits = 1 × 10<sup>-9</sup> 1/h

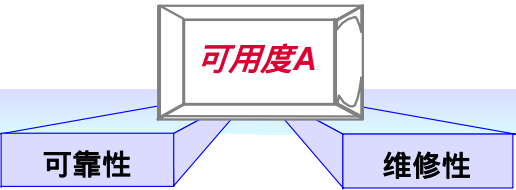
2005年9月

硬件测试的种类与操作

可用度A(Availability)

产品工作时间与总时间之比。若不考虑产品的储存时间和闲置时间，则：

A=MTBF / ( MTBF + MTTR )



2005年9月

硬件测试的种类与操作

返修率

年返修率 = 1/MTBF × 8760

2005年9月

硬件测试的种类与操作

练习

系统M的器件使用情况如下表，请计算M的MTBF，A和年返修率

注：MTTR=1小时

器件种类	器件数量	单个器件失效率（单位：Fits）
电阻	150	2
电容	200	2
电感	25	6
接插件	3	50
集成电路	5	400
其他	10	100

2005年9月

硬件测试的种类与操作

器件种类	器件数量	单个器件失效率（单位：Fits）	失效率总和
电阻	150	2	300
电容	200	2	400
电感	25	6	150
接插件	3	50	150
集成电路	5	400	2000
其他	10	100	1000
总计			4000

MTBF=1/4000 × 10<sup>9</sup> =250000小时 = 28.54年  
A = 250000/（250000 + 1）= 99.9996%  
返修率 = 1/250000 × 8760 = 3.5%

2005年9月

课程大纲

- 硬件测试概述
- 测试前准备
- 硬件测试的种类与操作
- 硬件测试的级别
- 可靠性测试
- 测试问题解决
- 测试效果评估
- 硬件测试参考的通信技术标准
- 测试规范制定
- 测试人员的培养

2005年9月

## 硬件测试的级别

### 1、黑盒测试与白盒测试

➤ 黑盒测试注重于测试功能性需求，将测试对象看成一黑盒，对外只有输入、输出。

设计黑盒测试用例只对于表现在外接口的各种输入，对不同的输入，测试其表现出来的输出，从而达到测试功能的目的。

➤ 白盒测试主要测试模块内部的逻辑细节，各个独立的逻辑路径，黑盒测试不管多么全面，都可能忽略这些错误。

设计白盒测试用例需要构造到信号、逻辑或消息级。

2005年9月

## 硬件测试的级别

### 具体测试时结合使用

白盒测试与黑盒测试各有优势，设计测试用例时应结合使用

举例：

对于开关电的测试，一般采用黑盒测试，设计的测试用例为：快速上、下电，频繁上、下电等；

对于时钟电路、锁相环等的测试，就需要设计白盒测试用例，如锁相范围、静态相差、固有抖动、抖动容限等。

2005年9月

## 硬件测试的级别

### 2、测试的级别

硬件测试按照系统的复杂程度，一般分为：

- 单元测试——针对独立功能单元的测试
- 集成测试——针对具有一定集成度的功能子系统的测试
- 系统测试——针对完整的系统整体的测试

2005年9月

## 硬件测试的级别

### 分层测试的行为方式

测试不能仅仅在一个层次进行，而是应该打破层次之间的界限问题出现较多的地方一般都是在层与层之间的配合上，如硬件逻辑与单板软件的配合，单板软件与高层软件的配合。

按照子系统来划分是打破物理层次的较好的方法。

如一个系统中的时钟系统，它可能与系统中的各块单板都相关，并可能贯穿高层软件、底层软件及硬件。对这个时钟系统测试需要将其首先划分为各个子模块，对各模块进行测试，然后将其贯穿为整个时钟系统进行测试

2005年9月



## 硬件测试的级别

### 3、测试项目的等级划分

表明该用例的重要性。用例的重要性并不对应用例可能造成的后果，而是对应用例的基本程度，一个可能导致死机的用例未必是高级别的，因为其触发条件可能相当生僻。测试用例的级别分4级：

- 级别“1”：基本。该类用例涉及系统基本功能，用于版本提交时作为“版本通过准则”。如存在不通过的项目时可考虑重新提交版本。
- 级别“2”：重要。该类用例涉及单个版本特性，例如某新业务的使用情况，可定义为2级用例。2级用例所对应的问题可作为重要或一般问题提交问题报告单，视具体情况决定是否进行更高级别的反馈。

2005年9月

## 硬件测试的级别

### 测试项目的等级划分（续）

- 级别“3”：详细。该类用例仅影响某单项功能的某一细节方面。例如某新业务的登记和使用正常，但和另一个新业务发生不应有的冲突。有关性能、极限等方面的测试可归入3级用例。有关用户界面的基本规范等方面的测试可归入3级用例。
- 级别“4”：生僻。该类用例对应较生僻的预置条件和数据设置。虽然某些测试用例发现过较严重的错误，但是那些用例的触发条件非常特殊，仍然应该被置入4级用例中。有关用户界面的优化等方面的测试可归入4级用例。

2005年9月

## 课程大纲

- 硬件测试概述
- 测试前准备
- 硬件测试的种类与操作
- 硬件测试的级别
- 可靠性测试
- 测试问题解决
- 测试效果评估
- 硬件测试参考的通信技术标准
- 测试规范制定
- 测试人员的培养

2005年9月

## 可靠性测试

### 1、EMC电磁兼容性

- 电磁骚扰测试
  - 辐射骚扰测试（RE）
  - 传导骚扰测试（CE）
  - 谐波电流骚扰测试（Harmonic）
  - 电压波动与闪烁测试（Fluctuations and flicker）

2005年9月

可靠性测试

EMC电磁兼容性

- 电磁敏感度测试
- 射频电磁场辐射抗扰度测试（RS）
- 传导骚扰抗扰度测试（CS）
- 电快速瞬变脉冲群抗扰度测试（EFT/B）
- 静电放电抗扰度测试（ESD）
- 电压跌落、短时中断抗扰度测试（DIP/interruption）
- 工频磁场抗扰度测试（PMS）
- 浪涌抗扰度测试（SURGE）

2005年9月

可靠性测试

EMC电磁兼容性

- 电力线感应测试
- 电力线接触测试

2005年9月

可靠性测试

2、安规

- |                 |           |
|-----------------|-----------|
| 输入测试            | 温升测试      |
| 耐压测试            | 接触电流测试    |
| 接地连续性测试         | 异常温升测试    |
| 元件异常测试          | 激光辐射测试    |
| TNV电路和地的隔离测试    | TNV电路电压测试 |
| 电容放电测试          | 单板安规审查    |
| TNV电路和其它电路的隔离测试 |           |

2005年9月

可靠性测试

3、环境试验

- 一般电子类产品涉及的环境测试有以下种类：
- 气候类
- |        |        |
|--------|--------|
| 低温贮存   | 高温贮存   |
| 低温工作   | 高温工作   |
| 热测试    | 温度循环   |
| 交变湿热   | 低温极限试验 |
| 高温极限试验 | 噪声测试   |

2005年9月

可靠性测试

环境试验

- 机械振动类
  - 包装随机震动试验
  - 包装碰撞试验
  - 包装跌落
  - 包装冲击
  - 模拟包装运输试验
  - 实地跑车
  - 随机振动
  - 冲击试验
  - 工作正弦震动
  - 工作冲击试验
  - 地震试验

2005年9月

可靠性测试

环境试验注意事项

- 整个系统根据实际情况进行接地，否则不能模拟实际使用情况。
- 保持测试仪器的良好接地，以保证测试人员安全。
- 对于耐受性测试，试验工程师必须在试验现场看守，以防止试验故障导致的意外事故。并且必须在试验区加危险警告标识。

2005年9月

可靠性测试

环境试验时产品工程师的职责

- 完成测试计划中产品功能部分的描述。
- 准备和搭建系统的工作环境。
- 协助制定试验判据。
- 对测试不通过项提出解决措施并实施。
- 每天试验结束后切断系统的电源，并清理试验场地的环境。
- 试验结束后清理实验环境。

2005年9月

可靠性测试

环境试验时环境工程师的职责

- 完成测试计划中测试项部分的描述。
- 准备和搭建EUT的测试环境。
- 和产品工程师制定试验判据。
- 操作试验仪器。
- 对测试不通过项提出解决措施，并协助产品工程师实施。
- 给出实验结果判断并输出实验报告。
- 创建测试计划和测试报告评审及归档。

2005年9月

## 可靠性测试

### 4、HALT

HALT ( Highly Accelerated Life Test ) 的全称是高加速寿命试验，是一种试验方法（思想），采用的环境应力比加速试验更加严酷。

主要应用于产品开发阶段，它能以较短的时间促使产品的设计和工艺缺陷暴露出来，从而为我们做设计改进，提升产品可靠性提供依据。

2005年9月

## 可靠性测试

### HALT的基本特点

- 试验前无法给定环境应力值；无依据标准；
- 以加速暴露缺陷为目的；
- 直接有助于提高产品可靠性；
- 结论是发现的缺陷和改进方法。

2005年9月

## 可靠性测试

### HALT试验的优点

- 试验时间短；
- 相对可靠性鉴定试验费用更低；
- 效果明显，快速发现设计和工艺的局限性；
- 缩短开发时间和费用；
- 评估产品更改的有力支撑工程工具

2005年9月

## 可靠性测试

### HALT试验施加的应力和顺序

- 一、温度步进应力
  - 低温步进应力
  - 高温步进应力
- 二、快速温度循环应力
- 三、振动步进应力
- 四、组合环境应力

2005年9月

## 可靠性测试

### HALT试验失效发生处理方式

- 暂停试验，记录失效模式和应力水平
- 采用适当的隔离方法定位失效部分
- 记录失效位置
- 分析根本失效原因  
(可能需进行深入的调查和失效分析)
- 进行暂时性修复
- 继续HALT暴露其它问题

2005年9月

## 课程大纲

- 硬件测试概述
- 测试前准备
- 硬件测试的种类与操作
- 硬件测试的级别
- 可靠性测试
- **测试问题解决**
- 测试效果评估
- 硬件测试参考的通信技术标准
- 测试规范制定
- 测试人员的培养

2005年9月

## 测试问题解决

### 1、测试问题的危害确认

站在用户的角度看待测试问题，小问题也是问题。

- 产品的最终使用者是用户
- 对于一个疑点是否属于问题，最有发言权的是用户
- 测试工程师应该站在用户的角度来看待每一个小问题，假设用户看到问题表现后的反应

2005年9月

## 测试问题解决

### 2、测试问题的界别划分

- 致命：引起系统死机或系统崩溃的问题
- 严重：引起系统某一功能失效且不能简单恢复（如插拔单板）的问题
- 一般：引起系统某一功能失效但可简单恢复或较难重现的问题
- 提示：从操作或维护的角度发现的问题或建议

2005年9月

## 测试问题解决

### 3、测试问题的种类确认

#### ➤ 可重现问题

每次重现（每次测试故障现象均会重复发生的问题）

偶尔重现（不定期出现的问题，暂时没有发现触发条件）

#### ➤ 不可重现问题

问题只出现过一次，在后续的测试过程中没有再次发生

2005年9月

## 测试问题解决

### 4、测试问题的定位

#### ➤ 定位方法

自动定位——系统通过自动检测等手段，可以直接产生相关告警

人为定位——指通过人的现场观察或是借助一定的测试手段可以即可定位。

不可定位——指在现场无法定位，需要借助专用的测试工具，或是专业的人员才有可能定位的问题

#### ➤ 恢复方式

自动恢复、手动恢复、不可恢复（定义参考定位方法）

2005年9月

## 测试问题解决

### 5、测试问题反馈方式和注意事项

#### ➤ 测试工程师发现的任何问题都应该以问题反馈单的形式反馈

➤ 尽量不要测试人员直接协调开发人员解决问题，如果是为了保留测试环境或解决某些难以重现的问题，可以先通知开发人员了解故障现象，同时需要尽快补交问题反馈单。

➤ 问题反馈时应尽量将故障现象、触发条件、环境因素、组网情况等信息描述清楚，以便问题的处理

➤ 养成保留现场的习惯。

2005年9月

## 测试问题解决

### 6、测试问题跟踪和解决流程

#### ➤ 测试工程师提交问题反馈单

➤ 测试经理审批，并转给相应处理部门经理

➤ 受理部门经理审批，转给开发工程师处理

➤ 开发工程师处理问题，并返还受理部门经理审批

➤ 返还测试经理审批

➤ 测试经理返回测试工程师

➤ 测试工程师回归测试

2005年9月

## 测试问题解决

### 问题反馈注意事项

- 流程中间的任何环节都可以通过正当的理由返回上一级处理
- 禁止跨流程，跨人员审批
- 每个环节都应该有相应的时间要求，不允许无故拖延时间
- 测试人员进行回归测试时要严格把关，问题处理流程不可以随便关闭
- 流程处理过程中对事不对人，要按照事实说话
- 问题报告单应该最为测试人员测试绩效考核的一部分

2005年9月

## 课程大纲

- 硬件测试概述
- 测试前准备
- 硬件测试的种类与操作
- 硬件测试的级别
- 可靠性测试
- 测试问题解决
- 测试效果评估
- 硬件测试参考的通信技术标准
- 测试规范制定
- 测试人员的培养

2005年9月

## 测试效果评估

### 1、测试报告

测试报告一般需要包含以下内容：

- 测试时间、地点、人员
- 测试环境
- 测试数据统计
  - 测试人员等工作量统计
  - 测试项目通过情况统计
  - 缺陷统计
  - 覆盖率统计

2005年9月

## 测试效果评估

- 测试评估
  - 测试活动评估  
总结经验教训，评估工作量
  - 测试对象评估  
给出被测对象的客观评价
  - 测试设计评估  
描述对测试设计的改进建议和理由
- 遗留问题

2005年9月

## 测试效果评估

### 2、评审——评审角色

#### 开发工程师

- 评审前需要提供相关的设计文档《总体设计方案》、《详细设计报告》
- 评审会议做简单的原理和功能介绍
- 评审完成后，根据评审会议确认的问题做相应的更改

2005年9月

## 测试效果评估

### 2、评审——评审角色

#### 硬件项目经理

- 明确设计责任，将评审会议确定的问题按照指责分配给相关的责任人
- 公开评审会完成后，确认并保证会议上的问题做了妥善解决

2005年9月

## 测试效果评估

### 2、评审——评审角色

#### 硬件测试工程师

- 介绍测试过程和采用的测试方法
- 阐述测试过程发现的问题
- 详细描述测试问题发生的条件，问题现象
- 整理汇总测试问题，出具《测试报告》
- 评审会议结束后，跟踪问题的后续解决情况，进行回归测试

2005年9月

## 测试效果评估

### 2、评审——评审角色

#### 硬件项目经理

- 对测试问题进行确认
- 组织评审会议
- 确定评审专家
- 汇总评审意见
- 不放过任何一个可能的问题，站在测试的立场坚持一切可能的问题，不随便放过一个可能存在的问题，为测试工程师撑腰

2005年9月



测试效果评估

2、评审——评审角色

评审专家

- 在问题后续阶段结束时，即本次评审完成时，将评审结果归档
- 正确归档组织者和开发者提供的归档资料

2005年9月

测试效果评估

2、评审——评审角色

归档员

- 提前一天反馈评审意见
- 对测试问题进行确认
- 准时参加评审会议，提出有针对性，有价值的评审意见
- 给出问题的建议解决方法

2005年9月

测试效果评估

2、评审——评审原则

- 开发和测试人员介绍长度10--20分钟为宜，评审人员只听，不要打断设计人员介绍。
- 资料袋下发到评审专家不少于5个小时
- 所有的评审人员都必须参加，如有特殊情况，要指定同等资历的专家加入
- 评审需要建立打分机制，根据评审专家的意见数量和质量进行打分，分数同评审专家的任职资格和考评相结合

2005年9月

测试效果评估

2、评审——评审效果

- 测试问题得到及时的解决
- 产品质量得到提高
- 测试问题和经验得到收集和积累
- 为后续类似产品提供测试等经验

2005年9月

## 测试效果评估

### 3、经验的总结

测试经验总结是我们共同的财富，也是我们提高自身的手段。经验总结的形式：

- 审查规范
- 测试规范
- checklist
- 案例
- 技术报告

总结可避免重复劳动，平时工作中需要有总结的意识。

2005年9月

## 测试效果评估

### 4、测试经验的获取

➤ 从测试过程中获取  
直接 印象深刻 深入 正确程度？

➤ 从问题攻关中获取  
直接 印象深刻 深入 数量少

➤ 从他人的经验总结中获取  
较深入 数量大 间接

大量的经验应来自于获取他人的测试经验并加以自己实践的验证，从而加深印象，成为自己的经验。

2005年9月

## 测试效果评估

### 如何增长测试经验

- 测试过程中深入分析，挖掘到本质
- 积极参与问题攻关
- 多从网上获取他人经验
- 多与他人进行技术交流
- 参与测试技术的开发

增长测试经验即提高技术能力，优秀的测试工程师肯定可以是优秀的开发工程师。

2005年9月

## 测试效果评估

### 5、遗留问题处理

➤ 遗留问题是指测试过程中发生的并且在测试报告时仍没有得到解决的测试问题。测试报告时已经得到解决，并已经过回归验证的测试问题不记入其中。

➤ 遗留问题的划分需要非常谨慎，必须是长时间无法重现的问题，或者由于某些特定的因素（成本等），且问题并不严重的才可以通过流程中各环节人员的认可被列为遗留问题。

➤ 遗留问题需要定时跟踪清理，且对于一款产品需要制定一个遗留问题的数量限制。

2005年9月

## 测试效果评估

### 遗留问题处理

- 即使是遗留问题也要明确跟踪的责任人
- 遗留问题是可以在后续被重新激活的，一旦问题重现或者条件允许，需要重新激活解决

2005年9月

## 测试效果评估

### 6、市场规模应用跟踪

产品推向市场后需要持续跟踪产品的质量问題，并建立相应的流程，所有在市场上出现的问題必须有专人跟踪，并对照测试报告，以确定是否是试验室出现过的问題，分清问題种类：器件品质问題、遗留问題、发现但未解决问題、未发现问題。并明确原因，对于各类问題要明确责任人，尽量避免实验室漏测，并同相关人员的绩效考核建立关系。

2005年9月

## 测试效果评估

### 7、测试覆盖率统计

- 根据信号统计  
操作简单，易于统计，但是往往数值不准确，同实际数值偏差较大，不推荐作为主要的统计方法
- 根据器件统计  
操作较为简单，原理科学，同实际情况最为接近，是常用的统计方法。

2005年9月

## 测试效果评估

### 8、产品故障率统计

产品的故障率是产品质量的直接反映，同采购、研发、测试、生产等环节都有密切关系。所以需要建立完善的故障统计流程，和相应的数据库。将产品在实验室、生产加工和市场应用中的各类问題进行统计，并归类，发现产品设计或生产中的薄弱环节，作为经验积累，避免问題的再次出现。

吃一堑，长一智，才能不断提高

2005年9月

## 课程大纲

- 硬件测试概述
- 测试前准备
- 硬件测试的种类与操作
- 硬件测试的级别
- 可靠性测试
- 测试问题解决
- 测试效果评估
- **硬件测试参考的通信技术标准**
- 测试规范制定
- 测试人员的培养

2005年9月

## 硬件测试参考的通信技术标准

### 1、定义

为了保证通信网的完整、统一、有效、先进和通信的顺利进行，对通信网、通信系统和通信设备在组网、进网、互连、互通中需要共同遵守的技术要求所做的统一规定即为通信技术标准。

通信技术标准具有全程、全网通用的特点。在进行通信科研、规划、计划、设计、生产、施工、运行和维护时，均应遵循有关通信技术标准，以确保通信畅通和顺利进行。

2005年9月

## 硬件测试参考的通信技术标准

### 2、通信技术标准分类

按照统一和适用的范围，通信技术标准分为国际标准（或建议）、国家标准、行业标准、地方标准、企业标准、技术体制和技术规范。

（1）国际标准（或建议）由国际标准化组织制定。

（2）对需要在全国范围内统一的技术要求，应制定国家标准。

（3）对无国家标准而需要在通信行业范围内统一的要求，应制定通信行业标准。

2005年9月

## 硬件测试参考的通信技术标准

### 2、通信技术标准分类（续）

（4）由于国家标准和行业标准在某些方面规定的不可能非常具体，因此，我国有些大城市如：北京市、上海市、天津市等在符合国家标准和行业标准的前提下，为了使通信行业中某些方面规定的更具体更适用于本地区，可制定地方标准。

（5）通信企业生产的技术设备（产品），无国家标准、行业标准的，应制定相应的企业标准，做为组织生产的依据。对已有国家标准、行业标准的，鼓励企业制定高（严）于国家标准、行业标准的企业标准。

2005年9月

## 硬件测试参考的通信技术标准

### 2、通信技术标准分类（续）

（6）为确保国家公用网优质、高效、可靠、安全地运行，可制定通信技术体制和通信技术规范，做为邮电内部的技术要求

2005年9月

## 硬件测试参考的通信技术标准

### 3、通信技术标准的管理

通信技术标准和所有其他技术标准皆由国家技术监督局统一管理。其中通信行业工程建设标准，过去曾由国家建委管理，后转由国家计委管理，最后又由建设部管理至今。

信息产业部内则由科技司主管基础技术标准，对口国家技术监督局综合规划司主管工程建设标准，对口建设部。

2005年9月

## 硬件测试参考的通信技术标准

### 3、通信技术标准对测试的指导意义

- 测试是为了保证产品符合标准的，是高质量的。所以各类标准就是进行测试的重要参考准则。
- 切记标准是原则性的，所以对于产品质量不能是人为评估，要用标准说话，用标准衡量。
- 通信标准指明了产品的质量要求，也给出了发展方向，对测试水平的要求也越来越高。

2005年9月

## 硬件测试参考的通信技术标准

### 3、通信技术标准对测试的指导意义

目前随着标准的越来越完善，以及市场竞争的日益加剧，以往做为测试重点的功能验证性测试已经不再是最重要的环节了。产品的可维护性、可维修性、EMC、安规、环境等可靠性的相关水平已经是市场上产品竞争的焦点。

所以对于产品的测试工作，测试重点也要明确。功能测试依旧是产品质量的前提，但是围绕产品安全、维护、可靠性等方面是产品竞争力的体现，需要进行重点的测试。

2005年9月

## 课程大纲

- 硬件测试概述
- 测试前准备
- 硬件测试的种类与操作
- 硬件测试的级别
- 可靠性测试
- 测试问题解决
- 测试效果评估
- 硬件测试参考的通信技术标准
- 测试规范制定
- 测试人员的培养

2005年9月

## 测试规范制定

### 1、人员的规范

要有一个职业化的观念，要有意识地把自己培养为职业工程师。

- 测试过程的记录
- 测试经验的总结
- 测试规范和测试案例的应用
- 测试用例的应用与设计

2005年9月

## 测试规范制定

### 人员的规范必要性

我们在总结中发现有较多的从市场上反馈回来的问题是我们曾经在实验室发现过的，但为什么当时没有很好的注意呢？原因只有一个：对问题不敏感。

当我们测试某项目时间较长后，对我们测试的对象非常熟悉，对有些偶尔出现一下的问题认为是理所当然，缺乏了敏感性。但当产品推向市场后，这些偶然出现的问题会大面积暴露出来，将会严重影响产品的声誉。

对测试问题敏感是测试人员的必备素质。

2005年9月

## 测试规范制定

### 2、建立测试规范的必要性

测试更多的是动手的过程，测试工程师的水平参差不齐，如何保证测试质量就需要用制度和规范管理，各个测试环节均需要有流程和规范进行约束。各个阶段的输入、输出文档均必须有相应的模板。

没有规矩，不成方圆

2005年9月

## 测试规范制定

### 3、需要建立哪些测试规范和模板

- 《测试计划模板》
- 《测试用例模板》
- 《测试报告模板》
- 《设计审查报告模板》
- 《正规检视报告报告模板》
- 《信号质量和时序测试规范》

.....

2005年9月

## 测试规范制定

### 4、测试规范的制定方法

测试需要——人员制定分工——初稿完成——专家评审——修改完善——最初版本——规范试运行——问题缺陷整理——修改——正式版本——发行推广

2005年9月

## 课程大纲

- 硬件测试概述
- 测试前准备
- 硬件测试的种类与操作
- 硬件测试的级别
- 可靠性测试
- 测试问题解决
- 测试效果评估
- 硬件测试参考的通信技术标准
- 测试规范制定
- 测试人员的培养

2005年9月

## 测试人员的培养

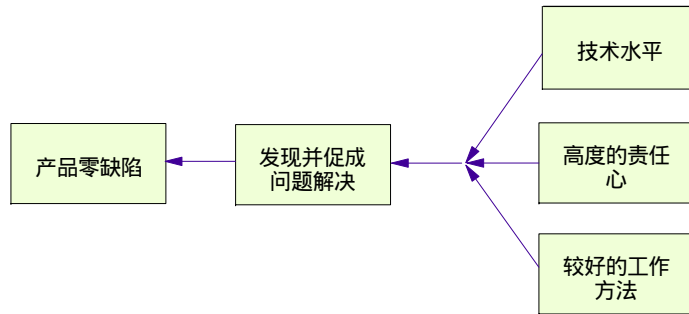
### 1、产品质量的主体责任人

- 测试工程师需要在全流程中构建产品的品质，是产品质量工作的直接参与者。
- 经过测试工程师认可的产品应能够经受起后续的试制，生产，工程安装一直到最终用户使用的所有环节的考验。
- 硬件测试的后续测试（包括单板软件测试、高层软件测试、系统集成测试等）都建立在稳定的单板硬件基础上，因此硬件的最先稳定对整个产品很重要，硬件测试工程师的责任很重大。

2005年9月

## 测试人员的培养

### 2、测试人员的目标和职责



2005年9月

## 测试人员的培养

### 测试人员的目标和职责（续）

专业化是深入测试的前提

硬件测试专业化是硬件技术高速发展的必然结果，软件也是如此，专业的另一含义是理解深刻、技术熟练，要达到专业需深入理解对象的原理、标准、规范，并在实践中积累较多的经验。测试工程师要使测试工作专业化，需努力使自己成为某一部分测试领域的专家。

2005年9月

## 测试人员的培养

### 3、测试人员需要的通用技能（1）

- 专业的产品背景知识
- 丰富的测试技能
- 熟练掌握各种测试仪器

2005年9月

## 测试人员的培养

### 测试人员需要的通用技能（2）

- 思维方式，即如何开展测试活动以达到测试的目的；
- 良好的思维方式和工作方式可以达到事半功倍的效果；
- 协调能力，沟通能力，表达能力；
- 高效的学习能力，分析总结能力；
- 公司流程的了解。

2005年9月



## 测试人员的培养

---

### 4、测试人员的心态

- 怀疑、否定、批判的态度，吹毛求疵的心理（发现问题）；打破沙锅问到底的决心（定位解决问题）
- 错误的客观存在性
- 任何人（再有经验的开发人员）都存在思维的死角。
- 尊重开发人员的观点（包括设计），但不要迷信。
- 敢于否定权威（有经验的开发人员，规范，标准电路）
- 寻根问底的决心

2005年9月

## 测试人员的培养

---

### 5、测试人员的等级认证

- ❖ 初级工程师
  - ❖ 工程师
  - ❖ 高级工程师
  - ❖ 主任工程师
- 视公司具体的规模 and 情况而定

2005年9月

## 信号完整性及其测试方法



2005年9月

## 课程大纲

---

- SI简介
- 常见的SI问题
- SI分析
- 电子设计中的SI问题
- 建模与仿真
- 信号完整性的例子
- 信号质量测试
- 信号时序测试

2005年9月

## SI简介

### ➤ SI简介

- 常见的SI问题
- SI分析
- 电子设计中的SI问题
- 建模与仿真
- 信号完整性的例子
- 信号质量测试
- 信号时序测试

2005年9月

### • SI的重要性

随着高频数字电路的不断发展，SI问题变得越来越引人注目，数字电路的频率越高，出现SI问题的可能性就越大，对设计工程师来说，他的挑战也就越大。很多SI问题实际上都是自然界中的电磁现象，所以SI问题跟EMI/EMC是息息相关的。我们做EMC的目的就是尽可能地减少产品对外界的电磁辐射，而抑制辐射的过程就是抑制信号的过程，必然导致信号质量的不完善。

2005年9月

## SI简介

- 学习SI的目的
  - a.什么是典型的信号完整性问题？
  - b.这些问题来自哪里？
  - c.为什么有必要去理解SI问题？
  - d.如何去分析和解决SI问题？
  - e.如何去做SI测试？

2005年9月

## SI简介

- SI的内容（补充）

信号完整性它包含两方面的内容，一是独立信号的质量，另一个是时序。我们在电子设计的过程中不得不考虑两个问题：信号有没有按时到达目的地？信号到达目的地后它的质量如何？所以我们做信号完整性分析的目的就是确认高频数字传输的可靠性。

2005年9月

## SI简介

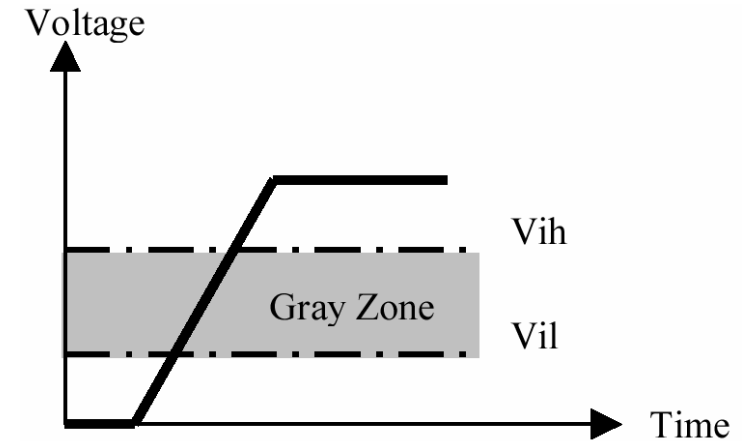
- 理想逻辑电压波形（附加）

在数字系统中，信号以逻辑‘0’或者‘1’的方式从一个器件传输到另外一个器件，信号到底是‘0’还是‘1’一般来说它们都是有一个参考电平的。在接收端的输入门里面，如果信号的电压超过高电平参考电压 $V_{ih}$ ，则该信号被识别为高逻辑；如果信号的电压低于低电平的参考电压 $V_{il}$ ，则该信号就被识别为低逻辑。我们下面这个图就是一个理想的信号。

2005年9月

## SI简介

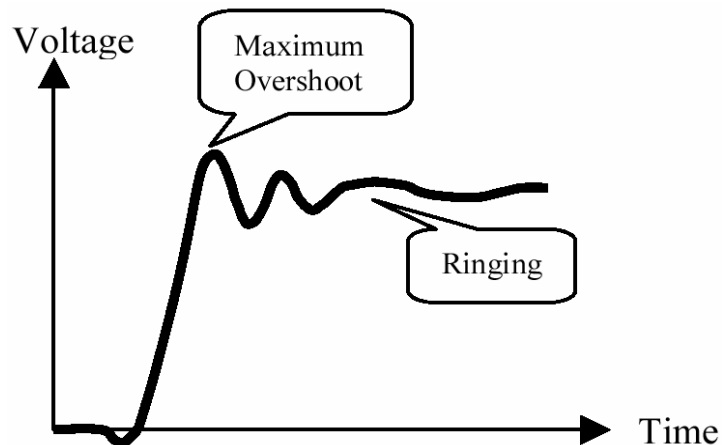
- 理想逻辑电压波形



2005年9月

## SI简介

- 接收端的实际波形



2005年9月

## SI简介

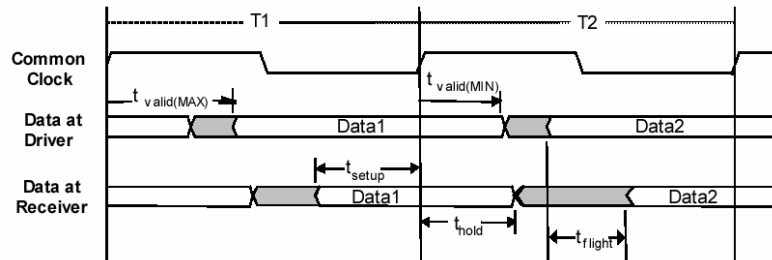
- 数据采样及时序例子（附加）

数据越是复杂，里面就包含很多的二进制码，这些二进制码将组成一连串的波形，而不是简单的一个方波。接收端的器件就需要采样这些波形以便获取相关的二进制信息。数字采样的过程通常是通过时钟信号的上升沿或者下降沿来触发的，我们下面这个图就是个简单的例子。

2005年9月

# SI简介

- 数据采样及时序例子



2005年9月

# SI简介

- 数据采样及时序例子（附加）

从这个图里面我们可以清楚地看到数据必须准时到达逻辑门而且在接收端期间开始锁存前必须确定它们的逻辑状态。任何数据的延迟或者失真都会导致数据传输的失败。失败有两种可能：一个是因为接收端根本就无法识别数据；另一个是接收端虽然识别了数据，但数据因为失真而导致错误。

2005年9月

- SI简介
- 常见的SI问题
- SI分析
- 电子设计中的SI问题
- 建模与仿真
- 信号完整性的例子
- 信号质量测试
- 信号时序测试

2005年9月

## 常见的SI问题

- 在高频系统中时序的重要性
- 信号质量将直接影响到时序
- 最常见的三种信号问题：
  - a. 反射
  - b. 串扰
  - c. 电源/地 噪音

2005年9月

## 常见的SI问题

---

- 反射产生原因
  - a. 阻抗失配
  - b. 桩线
  - c. 过孔
  - d. 其它连接的不连续性等

2005年9月

## 常见的SI问题

---

- 串扰产生的原因
  - a. 传输线之间的耦合
  - b. 过孔之间的耦合
  - c. 传输线与平面之间的耦合
  - d. 两个平面之间的耦合

2005年9月

## 常见的SI问题

---

- 电源/地 噪音产生的原因
  - a. SSO----simultaneous switching output  
驱动同步输出对电源或者地的寄生效应  
又称做对地反弹.
  - b. SSN---- simultaneous switching noise  
同步开关噪音或电流变化噪音

2005年9月

## 常见的SI问题

---

- 除此之外,还有两个问题会导致信号波形的失真----EMC/EMI
  - a. EMC----electromagnetic compatibility  
电磁兼容
  - b. EMI----electromagnetic interference  
电磁干涉

2005年9月

## 常见的SI问题

- 信号完整性问题的影响（附加）

当信号完整性存在问题或者系统的噪音余度要求没有达到满足的时候，输入信号在开关接收端到达最小高电平前就或者到达最小低电平前就开始变形，输入信号在静态接收端到达最高低电平前就开始上升或者在到达最小高电平前就开始下降，电源电压的波动也会扰乱锁存中的数据，于是会导致逻辑错误，数据信号变弱，开关错误，甚至导致系统失效。

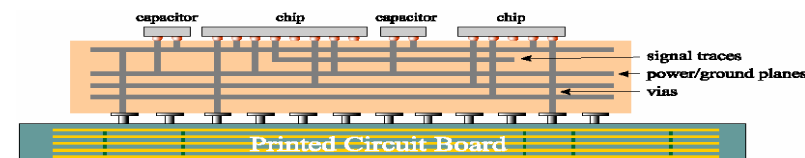
2005年9月

## 常见的SI问题

- 产生SI 问题的地方

典型数字系统环境流程：

硅片驱动→引线接合器→芯片封装→芯片封装焊接点→PCB→另一个系统器件



2005年9月

## 常见的SI问题

- 产生SI 问题的地方（附加）

源终端，传输过程，接收端。我们最关注的是信号在传输过程中的完整性。

电子工艺的趋向是不断加快芯片运行的速度以及不断提高芯片的集成度从而将芯片的性能推向极限。目前个人电脑中的最快时钟频率已经达到GHz的范围，它的上升时间已经小于200ps，目前看来数字信号的最快频率可以达到10GHz。随着制造工艺的不断发展，逻辑门的长度从20世纪60年代的50 $\mu$ s发展到21世纪初的0.18 $\mu$ s，目前的流行工艺是0.13 $\mu$ s，成熟工艺可以做到0.09 $\mu$ s。

2005年9月

## 常见的SI问题

- 产生SI 问题的地方（附加）

芯片的时钟频率几乎每过18个月就翻一翻；逻辑门的固有延迟已经减小到几十个ps，但是封装设计技术还非常落后，就当前的工艺来说，封装上的连接延迟直接支配着系统时序余度也成为高频系统设计领域的瓶颈。所以目前我们公认的说法是：封装的性能成为整个系统性能的最主要制约因素之一。

2005年9月

## SI分析

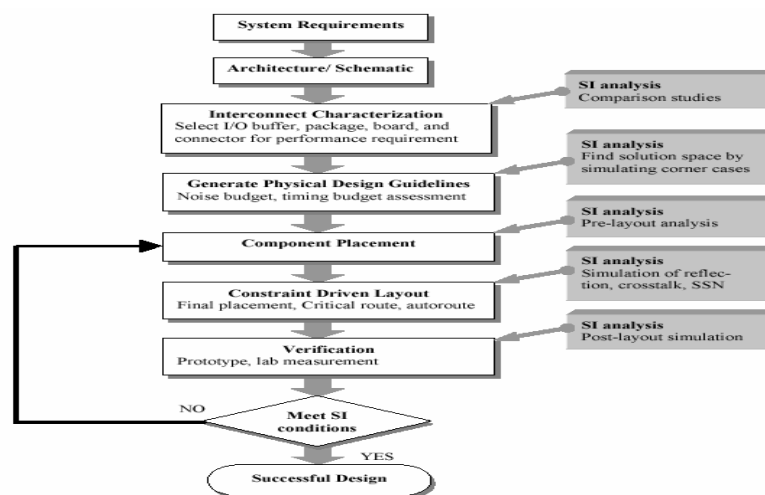
- SI简介
- 常见的SI问题
- SI分析
- 电子设计中的SI问题
- 建模与仿真
- 信号完整性的例子
- 信号质量测试
- 信号时序测试

2005年9月

- 在设计流程中的SI分析
  - a. 经过SI分析与认证的电子产品可提高其稳定性、可靠性和兼容性;
  - b. 在布线布局阶段没有经过SI分析指导的圆形将无法出台;
  - c. 在布局完成后没有经过SI认证的电子产品在市场上可能没有竞争力.

2005年9月

## SI分析



2005年9月

## SI分析

- 布线布局前期分析
  - a. 根据系统的需求进行比较分析
  - b. I/O的工艺选择
  - c. 如何分布时钟
  - d. 芯片封装类型的选择
  - e. 器件类型

2005年9月

## SI分析

- 布线布局前期分析(续)
  - f.PCB叠层结构
  - g.pin的分配
  - h.网络的拓扑结构
  - I.终端匹配策略
  - j.兼顾EMC/EMI,如何合理布局

2005年9月

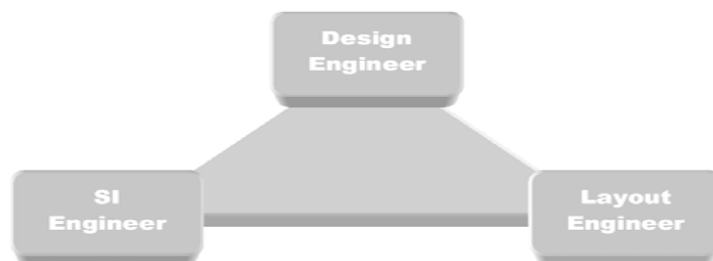
## SI分析

- 布线布局后期分析
  - a.根据SI设计指导方针验证模块设计的合理性;
  - b.反射检查;
  - c.振铃检查;
  - d.串扰检查;
  - e.对地反弹检查.

2005年9月

## SI分析

- 电子产品设计过程中SI工程师的重要性
  - a.过去电子设计工程师同时担任布线布局工程师的角色,不存在信号工程师;
  - b.合理的电子设计团队:



2005年9月

## SI分析

- SI分析的原则
  - a.数字系统可以抽象成三个层次的检查:
    - 逻辑,电路理论,电磁领域;
  - b.逻辑层为三者中的最高层,在这里的SI问题都很容易识别;
  - c.电磁领域为三者中的最低层,很多SI问题都属于电磁领域,例如反射,串扰,对地反弹等;

2005年9月



## SI分析

- SI分析的原则(续)

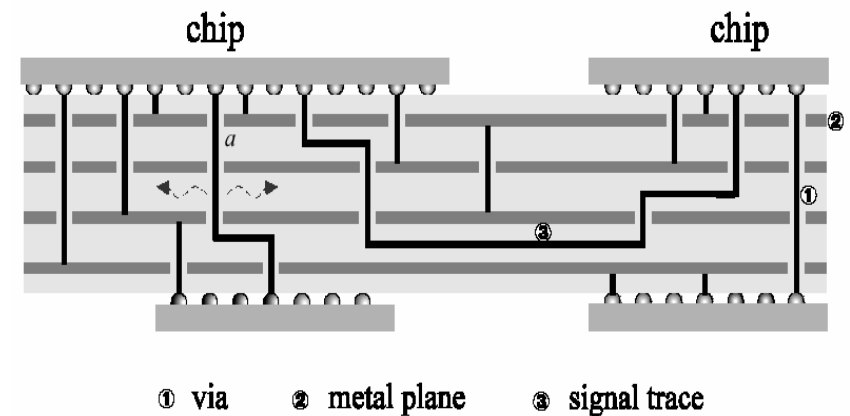
d.从电磁的角度去理解SI问题的物理行为  
对SI的分析将非常有帮助;

举例:多层叠层结构中的SI分析

2005年9月

## SI分析

- SI分析的原则(续)



2005年9月

## SI分析

- SI分析的原则(续)

多层叠层结构中的问题分析:

- 1.通过过孔a的开关电流产生电磁波;
- 2.电磁波在相邻金属平面之间传播;
- 3.两个金属层之间产生变化的感应电压;
- 4.电磁波到达另一个过孔时产生电流;
- 5.这些感应电流有会在金属平面间产生新的电磁波;

2005年9月

## SI分析

- SI分析的原则(续)

多层叠层结构中的问题分析:

- 6.电磁波达到芯片边沿后部分辐射到空气中,部分将沿路返回;
- 7.当电磁波反射回来并且相互叠加的时候,共振就产生了;
- 8.电磁波传播,反射,耦合以及共振是信号在跳变过程中的典型现象.

2005年9月

## SI分析

- SI分析的原则(续)
  - e.虽然在封装结构建模的过程中电磁分析要比电路分析精确很多,但目前大多数内部连接的建模都是基于电路理论,而且SI是通过电路仿真来实现的.这是因为电磁分析通常要比电路分析需要更多复杂的运算法则和处理资源,而且电路分析通常能在低频领域为SI提供很好的解决方案.

2005年9月

## SI分析

- SI分析的原则(续)
  - f.通过仿真器来辅助SI分析;
  - g.在SI分析的时候连接通常被模拟成电路器件,例如在PCB中的小段传输线就可模拟成有限传导率的电阻;
  - h.利用集中电路模型法,通常把电压当成是瞬间跳变的,而且常常忽略信号在两器件间的传输时间;

2005年9月

## SI分析

- SI分析的原则(续)
  - I.当信号的频率足够高到其传输时间不能忽略的时候,我们就使用分布式电路模型来进行SI分析,例如叠层R-L-C电路就可以用来做传输线的模型;
  - j.如何判断用集总式电路模型还是分布式电路模型?  
简单的判断方法是:如果信号的上升时间相当于或者小于信号的传输时间的时候就必须使用分布式电路模型,否则就可以使用集总式电路模型.

2005年9月

## SI分析

- SI分析的原则(续)

例如:一段1inch的传输线在FR-4材质PCB中的传输时间大概是200ps,对33M系统而言,它的信号上升时间大概是3ns,这个时候传输线的延迟是可以忽略的,所以我们可以使用集总电路模型法;而对500M的系统而言,它的上升时间约为200ps,这个时候传输线的延迟我们是不能忽略的,所以我们必须使用分布式电路模型来分析.

2005年9月

# SI分析

- SI分析的原则(续)

总结:随着高频电路的不断发展,快速上升时间体现了芯片电路的分布状态.我们在信号完整性分析过程中必须使用分布式电路模型来仿真传输的延迟.然而在高频领域,单使用分布式电路模型还是不够的,完整的电磁领域分析得通过解麦克斯韦方程来得到解决.因为在高频领域连接线不能简单地用电阻或者R-L-C电路就可以仿真出来的,还涉及到传输线理论.

2005年9月

- SI简介
- 常见的SI问题
- SI分析
- 电子设计中的SI问题
- 建模与仿真
- 信号完整性的例子
- 信号质量测试
- 信号时序测试

2005年9月

## 设计中的SI问题

- 上升时间和信号完整性

- 不久前,典型晶体管的上升时间只能达到ns级;
- 随着芯片制造工艺的巨大改进,硅元素的尺寸大大缩短,晶体管结的长度已经小于微米,这些都导致逻辑在高频下运行,于是信号的上升时间达到了几百ps级别;
- 由于很多信号问题都直接跟 $dV/dt$ 或者 $dI/dt$ 相关,更快的上升时间意味着各类噪音变得更为糟糕,例如振铃,串扰,同步开关噪音等等;

2005年9月

## 设计中的SI问题

- 上升时间和信号完整性

- 具备高频时钟信号的系统意味着具有很小的上升时间,它将面对更多的SI挑战;
- 就算在20M的系统中,依然有可能碰到在200M系统中经常碰见的SI问题,因为低频时钟也可以做到很快的上升时间.

2005年9月

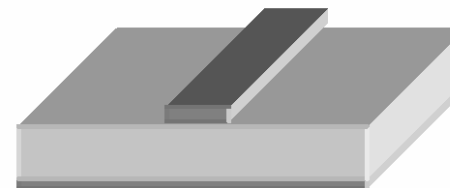
## 设计中的SI问题

- 传输线,反射与串扰
  - a.在芯片封装或者印刷电路板中,任何有参考平面的走线都可以定义为某中传输线;
  - b.传输线一共有四种:  
微波线,带状线,差分线和放射状传输线

2005年9月

## 设计中的SI问题

- 传输线,反射与串扰
  - 微波线----走在PCB表层的信号线;

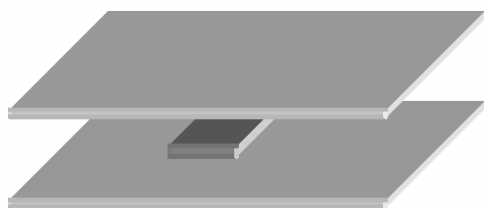


Microstripline

2005年9月

## 设计中的SI问题

- 传输线,反射与串扰
  - 带状线----走在两个金属平面之间的信号线;

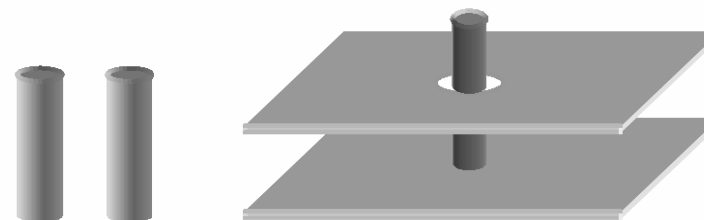


Stripline

2005年9月

## 设计中的SI问题

- 差分线----始终于相同距离并行走的信号线,通常用于高频串口模块;
- 放射状传输线----垂直于两个平行金属平面的过孔;



Wire Pair

Radial transmission line

2005年9月

## 设计中的SI问题

c.所有传输线都有自己的基本参数:

单位长度电阻,单位长度电感,单位长度电导,单位长度电容,单位长度时间延迟,特征阻抗等

d.在信号分析的过程中,很多连接线都可以被电气模型当作是传输线,因此在高频设计中很有必要熟悉传输线的基本理论以及传输线可能导致的影响.

2005年9月

## 设计中的SI问题

\*反射

a.反射是传输线作用的明显结果

b.在高频系统中,反射将导致时间延迟,过冲,欠冲,振铃等问题;

c.造成反射的最根本原因是传输线在传输过程中的阻抗不连续;

1.当信号改变布线层的时候,它的阻抗将变得不连续,信号将在不连续的边界上发生反射;

2005年9月

## 设计中的SI问题

2.当信号线上打有过孔,信号线跨岛,信号线上有桩线,走线过程中非常接近别的信号线等都会导致信号线阻抗的不连续,从而导致反射的产生;

3.当传输线到达接收端时,如果接收端的负载跟传输线的特征阻抗不匹配,同样会产生反射;

2005年9月

## 设计中的SI问题

d.如何减少和消除反射:

1.严格控制传输线的阻抗;

2.避免走桩线;

3.使用终端匹配;

4.信号线上尽可能少打过孔;

5.让信号线参考完整的地平面或者电源平面;

6.布线的时候避免使用锐角.

2005年9月

## 设计中的SI问题

---

- 串扰

- a.产生的原因:

- 1.两相邻传输线间的电磁耦合;
    - 2.传输线与相邻平面之间的电磁耦合;
    - 3.两相邻平面之间的电磁耦合.

2005年9月

## 设计中的SI问题

---

- 串扰(续)

- b.串扰的副作用:

- 1.强的串扰能导致信号的逻辑错误;
    - 2.多路之间的同时开关引起的串扰会导致时序的错误;

- c.串扰的大小取决于信号的上升时间,相邻传输线之间的间隔,相邻传输线之间平行的长度;

2005年9月

## 设计中的SI问题

---

- 串扰(续)

- d.减少串扰的办法:

- 1.尽可能拉大传输线之间的距离;
    - 2.在两根不相关信号线间加地隔离带;
    - 3.尽可能减少不相关信号线间的平行长度;
    - 4.保证信号线尽可能靠近参考平面.

2005年9月

## 设计中的SI问题

---

- 电源/地 噪音

- a.在高频设计系统中,电源/地噪音占了三成的比例;

- b.由于电源和地在系统中分布的复杂性,导致它是SI 分析过程中最难模拟电磁效应之一;

2005年9月

## 设计中的SI问题

- 电源/地 噪音

c.SSN----在芯片封装和PCB中,电源/地平面通过过孔为网络提供电源.大量设备同时开关而拉的瞬时电流会导致电源和地之间电压的波动,这一过程叫同步开关噪音或电流变化噪音;

2005年9月

## 设计中的SI问题

- 电源/地 噪音

- d.SSN的副作用

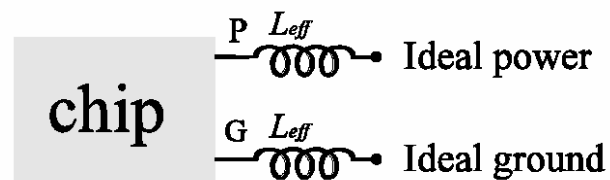
1. SSN会降低信号的速度,由于电源/地分布系统构成回路是不完美的;
2. 当SSN耦合到静态信号上的时候可能会导致逻辑错误;
3. SSN会扰乱锁存器中的数据.

2005年9月

## 设计中的SI问题

- 电源/地 平面的模型

a.有效感应器模型----该模型只在低频领域有效,是不考虑电源/地平面的电磁波传播和共振的情况,该模型不适用与高频系统.

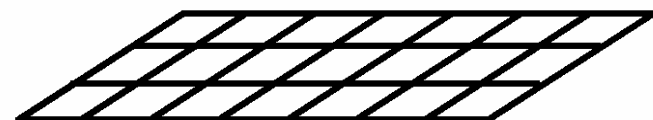


2005年9月

## 设计中的SI问题

- 电源/地 平面的模型

b.天线模型----利用瞬时方法计算导线中的电流,是另一种接近电源/地平面的模型,该模型可以考虑电磁波的传播和过孔间的互感,但对复杂的系统需要太多计算时间;



2005年9月

## 设计中的SI问题

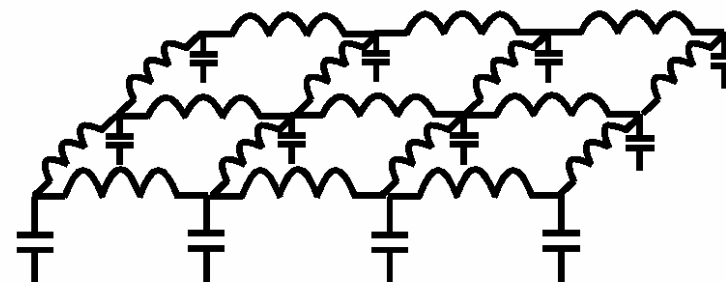
- 电源/地 平面的模型

c.二维电容电感网模型----该模型把导体平面分成很多小的模块,任何一个模块用一个电容和电感来模拟,其优点是可以对瞬时电路进行很好的仿真,缺点在于使用的过程中需要太多的时间和内存空间.

2005年9月

## 设计中的SI问题

- 电源/地 平面的模型



2005年9月

- SI简介
- 常见的SI问题
- SI分析
- 电子设计中的SI问题
- **建模与仿真**
- 信号完整性的例子
- 信号质量测试
- 信号时序测试

2005年9月

## 建模与仿真

- 电磁建模技术

1. Boundary Element Method (BEM) and Method of Moment (MoM), the same methods with different names.
  - Integral equation formulation;
  - Unknowns confined to conductors;
  - Require construction of Green's Function that can be complicated to generate for complex structures. Not well suited for inhomogeneous dielectric material;
  - Require solving dense matrix.

2005年9月



## 建模与仿真

- 电磁建模技术

2. Finite Difference Time Domain (FDTD) method, a general purpose and versatile approach for arbitrary inhomogeneous geometries.
  - Differential equation formulation;
  - Direct time domain solution of Maxwell's equations;
  - Unknown throughout entire region. Computer intensive;
  - No matrix inversion.

2005年9月

## 建模与仿真

- 电磁建模技术

3. Finite Element Method (FEM), a general purpose and versatile approach for arbitrary inhomogeneous geometries.
  - Laplace/Helmholtz equation formulation;
  - Computer intensive;
  - Sparse matrix.

2005年9月

## 建模与仿真

- 电磁建模技术

4. Partial Element Equivalent Circuit (PEEC) approach, a simplified and approximate version of MoM.
  - Integral equation formulation from magneto-quasistatic analysis;
  - Unknowns confined to conductors.

2005年9月

## 建模与仿真

- SI 工具

一个好的SI仿真软件必须包含如下关键成分：

- a.单根/差分传输线的2D模型；
- b.单根/耦合回损线模拟器；
- c.引线结合器的3D模型；
- d.过孔，金属平面；
- e.驱动器和接受器的行为建模；
- f.既能做时域仿真又能做频域仿真。

2005年9月

## 建模与仿真

### • SI 工具

Company	Tool	Function
Ansoft	SI 2D	2D static DC EM simulation extracts inductance and capacitor
	SI 3D	3D static DC EM simulation extracts resistance, inductance and capacitance
	PCB/MCM Signal Integrity	PCB/MCM pre and post route SI analysis
	Turbo Package Analyzer	Package RLGC extraction
Applied Simulation Technology	ApsimSI	Reflection and Crosstalk simulation for lossy coupled transmission lines
	ApsimDELTA-I	Delta-I noise simulation
Cadence	SPECCTRAQuest	SI simulation: transmission line simulation, power plane builder
HP Eesof	Picosecond Interconnect Modelling Suite	Frequency-domain and time-domain simulation for coupled lines and I/O buffers

2005年9月

## 建模与仿真

### • SI 工具

Hyperlynx (PADS)	HyperSuite	Single/couple transmission line simulation.
INCASES (Zuken)	SI-WORKBENCH	Lossy coupled transmission line simulation
Mentor Graphics	IS_Analyzer	Delay, Crosstalk simulation
Quantic EMC	BoardSpecialist Plus	Delay, Crosstalk simulation
Sigrity	SPEED97/SPEED2000	Power/ground noise simulation with couple lossy transmission line analysis
Viewlogic Systems (Innoveda)	XTK	Couple lossy transmission line analysis
	AC/Grade	Power/ground modeling

2005年9月

- SI简介
- 常见的SI问题
- SI分析
- 电子设计中的SI问题
- 建模与仿真
- 信号完整性的例子
- 信号质量测试
- 信号时序测试

2005年9月

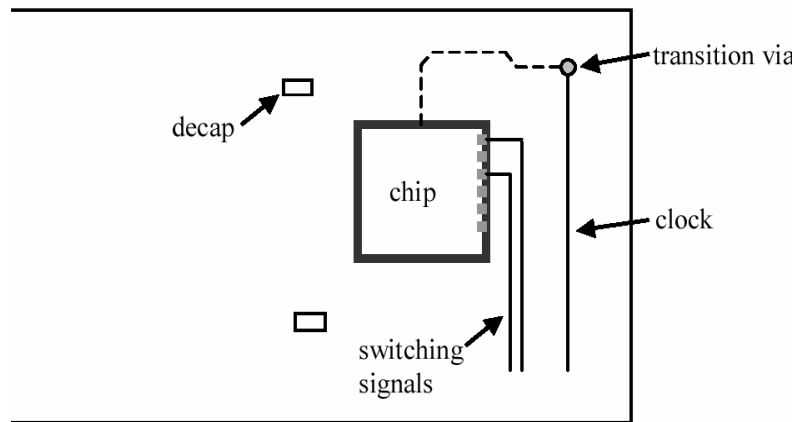
## 信号完整性的例子

- 一个信号完整性例子
  - a.这是个4层的PCB,叠层结构为:S/P/G/S;
  - b.一个DSP芯片放置于PCB的中间;
  - c.芯片信号的上升时间为500ps;
  - d.布线的时候已经考虑了串扰问题;
  - e.但实际仿真的过程中发现时钟信号上依然有很大的噪音。噪音来自何方?

2005年9月

## 信号完整性的例子

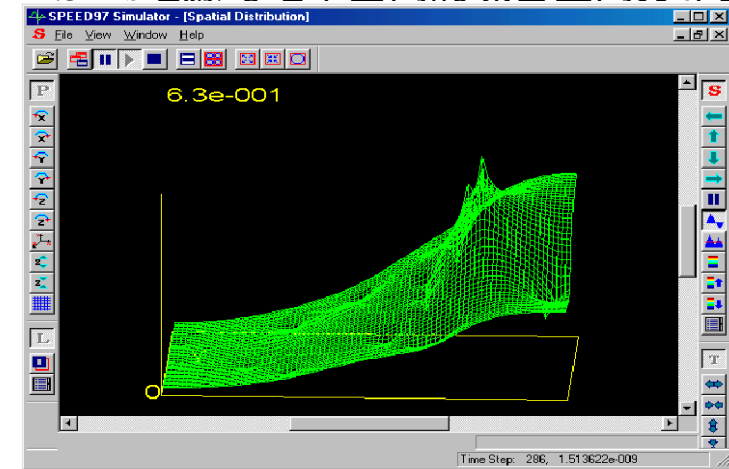
- 一个信号完整性例子



2005年9月

## 信号完整性的例子

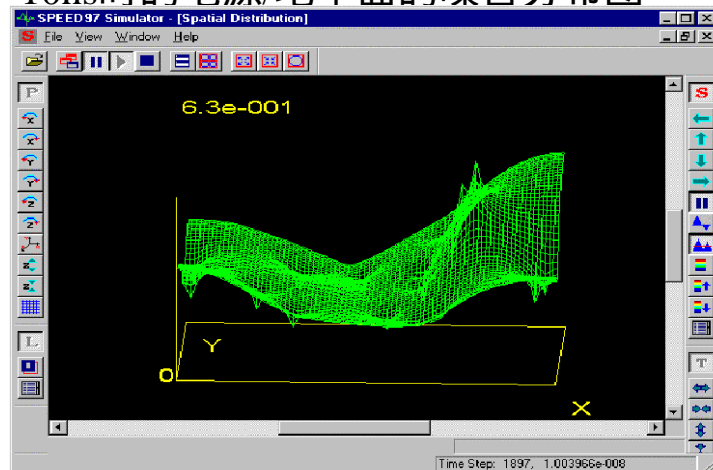
- 1.51ns电源与地平面的噪音空间分布图



2005年9月

## 信号完整性的例子

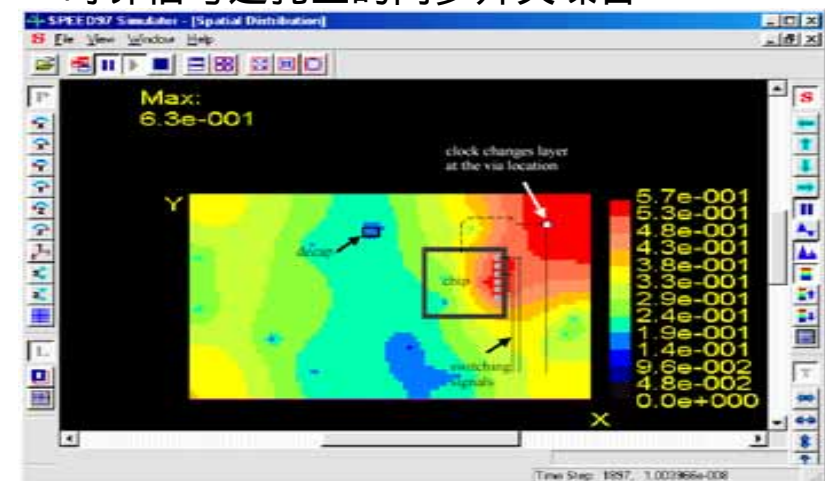
- 10ns时的电源/地平面的噪音分布图



2005年9月

## 信号完整性的例子

- 时钟信号过孔上的同步开关噪音



2005年9月

## 信号质量测试

- SI简介
- 常见的SI问题
- SI分析
- 电子设计中的SI问题
- 建模与仿真
- 信号完整性的例子
- **信号质量测试**
- 信号时序测试

2005年9月

### 1、测试目的

“硬件信号质量测试”是在硬件调试完成后，对硬件设计质量进行全面评估的活动。测试范围包括：重要专用芯片的输入/输出信号、时钟产生与合成电路的输入参考源信号、输出时钟信号、时钟反馈信号、复位电路输入/输出信号、主备倒换信号及有关控制信号等。测试项目包括：信号上升/下降时间、电平特性参数等项目，发现诸如：反射、串扰、过冲、振铃、地弹、毛刺等问题，最后通过运用“信号完整性分析”等原理进行分析，达到消除和改进缺陷，实现硬件稳定的目的。

2005年9月

## 信号质量测试

### 2、测试条件

硬件信号质量测试启动必须满足以下条件：

- 被测单元上电开工正常；
- 被测单元供电电压正常：电源波动小于 $\pm 3\%$ ；
- 被测单元的待测试模块工作正常；
- 单板工作温度条件：室温（20~27℃）；
- 测试者一定要保证单板的上述条件成立，以保证测试结果的重复性、准确性和有效性。

2005年9月

## 信号质量测试

### 3、信号质量测试应覆盖范围

- 接口电路（含外接口，如E1口、光/电接口、时钟接口等）
- 逻辑芯片（EPLD/FPGA）
- 微处理器单元
- 双端口RAM
- 专用芯片
- 时钟产生与合成电路
- 复位电路
- 电源变换模块等

2005年9月

## 信号质量测试

### 4、信号质量测试的注意事项

- 由于同一个信号在不同的拓扑点上，其信号质量差异很大，故一般要求所有输入点的信号质量必须进行测试；
- 多个探头不能共用一条地线，多个探头本体之间要保证一定的举例，不能并排在一起，也不能绞在一起；
- 在测试的过程中可以通过系统的各种自环测试、器件频繁的读写操作、整机环境满负荷运行等手段，保证单板业务满负荷运行，从而发现诸如：串扰、地弹等问题；

2005年9月

## 信号质量测试

### 4、信号质量测试的注意事项（续）

- 系统在各种负荷下测试，测试那些会因驱动负载不同而改变的信号：A.轻载；B.满载；C.过载；
- 主备工作（热备份）方式，对主备倒换瞬间，板与板的接口信号波形进行测量；；
- 对于控制信号，必须制造条件使其发生跳变，测试其跳变时的波形。

2005年9月

## 信号质量测试

### 5、时钟信号质量测试——测试指标

- 边沿单调性和上升/下降时间；
- 高电平过冲和低电平过冲；
- 最低高电平和最高低电平；
- 毛刺；
- 周围（相邻）信号的串扰；
- 时钟频率；
- 占空比；
- 信号电平测试

2005年9月

## 信号质量测试

### 5、时钟信号质量测试——测试方法和重点

时钟信号对边沿的要求非常严格，一般情况下高速时钟多为点到点驱动，少数也有一驱多的情况。时钟信号为单向信号，测试时必须选择在终端进行测试。对一驱多的负载必须对每一个终端负载进行测试以观察是否有反射和回勾发生。

原则上要保证时钟信号上、下沿的单调性，如果发现上升沿缓、有回勾等问题，一定在负载和输入电压等极限条件下进行详尽的测试，保证回勾肯定不能落在电平不稳定区。

2005年9月

## 信号质量测试

### 6、数据和地址信号的测试——测试指标

- 高电平过冲和低电平过冲；
- 最低高电平和最高低电平；
- 上升下降时间；
- 毛刺；
- 周围（相邻）信号的串扰；

2005年9月

## 信号质量测试

### 6、数据和地址信号的测试——测试方法和重点

- 总线在测量时应注意串扰和同步翻转噪声的干扰。
- 若想测数据线的串扰情况：使被测数据线保持恒“0”，相邻数据线有跳变数据。测量数据、地址信号时应该使用双踪或多踪示波器，同时测量同步时钟信号和控制信号，以便分析其时序关系能否满足系统设计要求。

2005年9月

## 信号质量测试

### 7、电平控制信号测试——测试指标

- 最低高电平和最高低电平；
- 信号电平测试；
- 工作电平脉宽；
- 毛刺；
- 边沿的单调性；
- 串扰；

2005年9月

## 信号质量测试

### 7、电平控制信号测试——测试方法和重点

- 此类信号包括：复位信号、三态驱动器控制信号、选择器件控制端及固定上/下拉信号。
- 这些信号出现质量问题表现在信号线上有毛刺。
- 测试时多采用INSTRVU观测，尤其注意信号低电平期间的毛刺，常常易造成数字器件的误触发。测量与读、写时序有关控制信号时应该使用双踪或多踪探头，同时测量同步时钟信号、数据地址信号等，以便分析其时序关系能否满足系统设计要求。

2005年9月

## 信号质量测试

### 8、差分传输信号测试——测试指标

- 差分信号边沿单调性和上升/下降时间（传输时钟信号）；
- 差分信号高电平过冲和低电平过冲；
- 差分信号最低高电平和最高低电平；
- 单端信号最低高电平和最高低电平；

2005年9月

## 信号质量测试

### 8、差分传输信号测试——测试方法和重点

- 此类信号经常出现的问题是：差分输入电平不满足信号电平差的要求。
- 应选用差分探头进行差分信号的测试，探头的两端分别连在差分信号的正/负信号端，探头的保护地连在单板的地线上，测试差分正负端信号经过差分后的波形。

2005年9月

## 信号质量测试

### 9、地线噪声测试——测试指标

- 地线噪声的幅度（INSTRVU观察）；
- 如果呈现周期性变化，测试与相邻可能引起串扰信号之间的相位关系

2005年9月

## 信号质量测试

### 9、地线噪声测试——测试方法和重点

- 发现信号低电平毛刺较高时，一般是由于地线噪声和串扰造成。为进一步查明毛刺产生的原因，需要进一步检查地线噪声和串扰的干扰源。
- 使用差分探头，探头的一端连在信号输入端器件的地上，探头的另一端接在信号输出器件的地上。探头的保护地连接在单板其余的地线上。在信号输出器件有高频信号送入信号输入器件的同时，信号输入器件亦会有高频电流从地层流至信号输入器件，如果两者之间的地层未铺好，地线感抗大，会导致地扰的产生。

2005年9月

## 信号质量测试

### 10、电源噪声和纹波——测试指标

- 纹波峰峰值的大小是否符合器件要求。
- 如果呈现周期性规律变化，测试与相邻可能引起串扰信号之间的相位关系。

2005年9月

## 信号质量测试

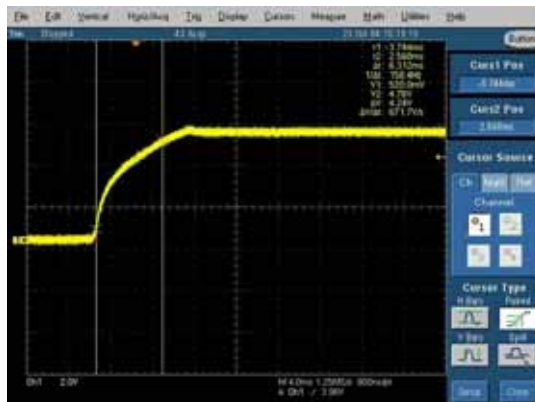
### 10、电源噪声和纹波——测试方法和重点

- 测试时应该用无源探头，示波器用交流档进行测试。
- 可以先用INSTRVU方式确定噪声纹波的幅度，如果幅度大到足以影响系统了，用正常sample方式确定其大概频率。电源的噪声不一定只在电源模块有，在器件的电源端也可能产生。

2005年9月

## 信号质量测试

### 10、电源纹波



2005年9月

## 信号质量测试

### 11、测试结果分析

- 对测试结果进行分析时，一定参照信号的用途，分析信号质量对系统的影响。一些情况下差的信号质量不一定会对系统造成影响的，不能单纯参照指标。
- 数据、地址线是电平有效信号，并且通常在有效区中间采样，边沿处信号质量对系统影响不大。因此在选择我们关注的测试指标时要按需求选择。但是也应当指出，边沿处的过冲虽然对系统的功能实现可能没有影响，可是会对器件的寿命造成不良影响。

2005年9月



## 信号质量测试

### 11、测试结果分析（续）

➤ 输入信号中有一定的过冲对器件的影响可酌情考虑，视器件本身的设计，工艺而定。

现在的CMOS工艺的输入电平可达0~7V，所以上过冲对器件的影响较小，主要应该关注下过冲。

➤ 信号波形不标准时可能是该信号处于三态，或系统在此时并不使用该信号，对此类信号要注意分析此信号是否为有效期间，如果在无效期间可视其为正常信号。

2005年9月

➤ SI简介

➤ 常见的SI问题

➤ SI分析

➤ 电子设计中的SI问题

➤ 建模与仿真

➤ 信号完整性的例子

➤ 信号质量测试

➤ 信号时序测试

2005年9月

## 信号时序测试

### 1、信号时序测试概述

随着器件工艺水平不断提高，数字系统工作频率越来越高，对时序关系要求也越来越严格。当器件输入信号时序关系不能很好地满足器件要求时，器件不能可靠工作。如果输入信号时序关系处于临界的状态，在一定环境温度下器件不能稳定工作；如果总线信号的控制时序关系配合不当，可能发生总线冲突。为了保证单板稳定工作，有必要对板内信号时序进行测试，验证信号实际时序关系是否可靠，是否满足器件和设计要  
求；分析设计裕度大小，评价单板工作可靠性。

2005年9月

## 信号时序测试

### 2、信号时序测试条件

信号时序测试启动必须满足以下条件，以保证测试数据的重复性和准确性：

- 单板上电开工正常；
- 单板供电电压正常：电源波动小于 $\pm 3\%$ ；
- 单板被测试模块功能正常；
- 单板工作环境正常：室温（20~27℃）；

2005年9月

## 信号时序测试

### 3、信号时序测试范围

- 芯片的CPU接口时序；
- 总线操作时序；
- 数据码流与时钟之间的时序；
- 主从同步时钟之间的时序；
- 主备倒换信号之间的时序；
- 不同电源之间上电和下电顺序；

2005年9月

## 信号时序测试

### 4、信号时序测试注意事项

- 注意要明确信号触发的因果关系，如：时钟触发数据，因触发果，低频触发高频。
- 其他要求见信号质量测试。

2005年9月

## 信号时序测试

### 5、信号时序测试过程（例）

主从时钟间时序测试

测试方法与注意事项：

- 对专用芯片和可编程器件的输入时钟时序进行测试；
- 取主从时钟分别在示波器的两个通道；
- 用频率较低的时钟作为触发信号，测试两者长时间相位关系；
- 用示波器INSTRVU观察，长时间（>30分钟，重要信号可以测试24小时）内没有相位漂移

2005年9月

## 附件

### 附：部分信号质量测试标准

信号类型	正向过冲	负向过冲	正向回冲	负向回冲	正向毛刺	负向毛刺	VIH	VIL
TTL(5V)	≤ 0.9	≤ 0.9	≥ 4.0	≤ 0.6	≤ 0.6	≥ 4.0	≥ 4.0	≤ 0.6
LVTTL(3.3V)	≤ 0.7	≤ 0.7	≥ 2.7	≤ 0.6	≤ 0.6	≥ 2.7	≥ 2.7	≤ 0.6
CMOS 5V	≤ 1.1	≤ 1.1	≥ 4.0	≤ 1.1	≤ 1.1	≥ 4.0	≥ 4.0	≤ 1.1
GTL+	≤ 0.4	≤ 0.4	≥ 1.4	≤ 0.4	≤ 0.4	≥ 1.4	≥ 1.4	≤ 0.4
GTL	≤ 0.3	≤ 0.3	≥ 1.15	≤ 0.3	≤ 0.3	≥ 1.15	≥ 1.15	≤ 0.3
PECL	≤ 0.2	≤ 0.2	≥ 3.87	≤ 3.52	≤ 3.52	≥ 3.87	≥ 3.87	≤ 3.52

注：上表中给出的数据为一般情况下的参考值，器件如果有参考值，还要参照器件手册的具体指标，本文中给出的上下过冲值基本上是按照各标准电平30%给出的。

2005年9月

结束

---

谢谢大家！

2005年9月

## 射频和天线设计培训课程推荐

易迪拓培训([www.edatop.com](http://www.edatop.com))由数名来自于研发第一线的资深工程师发起成立,致力并专注于微波、射频、天线设计研发人才的培养;我们于 2006 年整合合并微波 EDA 网([www.mweda.com](http://www.mweda.com)),现已发展成为国内最大的微波射频和天线设计人才培养基地,成功推出多套微波射频以及天线设计经典培训课程和 ADS、HFSS 等专业软件使用培训课程,广受客户好评;并先后与人民邮电出版社、电子工业出版社合作出版了多本专业图书,帮助数万名工程师提升了专业技术能力。客户遍布中兴通讯、研通高频、埃威航电、国人通信等多家国内知名公司,以及台湾工业技术研究院、永业科技、全一电子等多家台湾地区企业。

易迪拓培训课程列表: <http://www.edatop.com/peixun/rfe/129.html>



### 射频工程师养成培训课程套装

该套装精选了射频专业基础培训课程、射频仿真设计培训课程和射频电路测量培训课程三个类别共 30 门视频培训课程和 3 本图书教材;旨在引领学员全面学习一个射频工程师需要熟悉、理解和掌握的专业知识和研发设计能力。通过套装的学习,能够让学员完全达到和胜任一个合格的射频工程师的要求...

课程网址: <http://www.edatop.com/peixun/rfe/110.html>

### ADS 学习培训课程套装

该套装是迄今国内最全面、最权威的 ADS 培训教程,共包含 10 门 ADS 学习培训课程。课程是由具有多年 ADS 使用经验的微波射频与通信系统设计领域资深专家讲解,并多结合设计实例,由浅入深、详细而又全面地讲解了 ADS 在微波射频电路设计、通信系统设计和电磁仿真设计方面的内容。能让您在最短的时间内学会使用 ADS,迅速提升个人技术能力,把 ADS 真正应用到实际研发工作中去,成为 ADS 设计专家...



课程网址: <http://www.edatop.com/peixun/ads/13.html>



### HFSS 学习培训课程套装

该套课程套装包含了本站全部 HFSS 培训课程,是迄今国内最全面、最专业的 HFSS 培训教程套装,可以帮助您从零开始,全面深入学习 HFSS 的各项功能和在多个方面的工程应用。购买套装,更可超值赠送 3 个月免费学习答疑,随时解答您学习过程中遇到的棘手问题,让您的 HFSS 学习更加轻松顺畅...

课程网址: <http://www.edatop.com/peixun/hfss/11.html>

## CST 学习培训课程套装

该培训套装由易迪拓培训联合微波 EDA 网共同推出,是最全面、系统、专业的 CST 微波工作室培训课程套装,所有课程都由经验丰富的专家授课,视频教学,可以帮助您从零开始,全面系统地学习 CST 微波工作的各项功能及其在微波射频、天线设计等领域的设计应用。且购买该套装,还可超值赠送 3 个月免费学习答疑...

课程网址: <http://www.edatop.com/peixun/cst/24.html>



## HFSS 天线设计培训课程套装

套装包含 6 门视频课程和 1 本图书,课程从基础讲起,内容由浅入深,理论介绍和实际操作讲解相结合,全面系统的讲解了 HFSS 天线设计的全过程。是国内最全面、最专业的 HFSS 天线设计课程,可以帮助您快速学习掌握如何使用 HFSS 设计天线,让天线设计不再难...

课程网址: <http://www.edatop.com/peixun/hfss/122.html>

## 13.56MHz NFC/RFID 线圈天线设计培训课程套装

套装包含 4 门视频培训课程,培训将 13.56MHz 线圈天线设计原理和仿真设计实践相结合,全面系统地讲解了 13.56MHz 线圈天线的工作原理、设计方法、设计考量以及使用 HFSS 和 CST 仿真分析线圈天线的具体操作,同时还介绍了 13.56MHz 线圈天线匹配电路的设计和调试。通过该套课程的学习,可以帮助您快速学习掌握 13.56MHz 线圈天线及其匹配电路的原理、设计和调试...

详情浏览: <http://www.edatop.com/peixun/antenna/116.html>



### 我们的课程优势:

- ※ 成立于 2004 年,10 多年丰富的行业经验,
- ※ 一直致力并专注于微波射频和天线设计工程师的培养,更了解该行业对人才的要求
- ※ 经验丰富的一线资深工程师讲授,结合实际工程案例,直观、实用、易学

### 联系我们:

- ※ 易迪拓培训官网: <http://www.edatop.com>
- ※ 微波 EDA 网: <http://www.mweda.com>
- ※ 官方淘宝店: <http://shop36920890.taobao.com>