

硬件可靠性设计课程

目 录

《电子电路失效机理与隐患防护设计课程》大纲.....	- 1 -
《电路容差设计与分析课程》大纲.....	- 4 -
《器件选型认证与器件替换课程》大纲.....	- 6 -
《电路可靠性设计与工程计算课程》大纲.....	- 9 -
其余课程大纲升级更新中.....	- 11 -

《电子电路失效机理与隐患防护设计课程》大纲

课程介绍:

请大家思考一个问题,每位设计师用自认为最正确的器件、参数、方案设计出来的嵌入式板卡,为什么在使用现场仍出现问题呢?自然是因为有了忽视的隐患未被处理,这些隐患之处都是什么,依据多年故障分析整改经验而总结出来的原因有如下几个:

可以通过器件数据手册查阅下,看是否能清晰地掌握和解释其中每个参数的含义、每个参数与设计方案/PCBA 工艺/工作环境条件的相互作用关系和风险隐患;

1) 我们自认为的理解正确,不一定是真的正确,各种器件的特性、布线的方式、器件之间的匹配,有不少被忽略的技术点;

2) 有一些被熟视无睹的问题,在电路工作中却实际发挥着作用,就好像蔬菜中的微量元素,虽然我们追求主打的是口味、饱腹,但对一些特定的病症群体,其中的微量元素却起到了关键的食疗效果;

3) 另有些问题,是多个知识点问题点联合作用形成的故障,这些多因素的组合貌似是风马牛不相及的关系,但是却实实在在地联系在了一起,而少了任何一个要素的影响,故障都激发不出来;

4) 正是多要素联合作用的原因,解决方案自然也有多个维度,在设计整改过程中,会发现反射弧较长的问题,实际喝的一口凉水,但是治好了腰疼,却不明白其中的道理。自然在问题未解决之前,也就不易分析预判出解决问题的着力点。

本课程的设计内容,主要解决了如上的四类问题。

内容包括: IC 的端口特性、器件工艺结构决定的应用局限和失效机理、板卡互联/器件互联的接口匹配、多板卡多器件的工作时序与潜通路、软硬件之间的相互影响、布局布线分区的隐患、数字信号上升沿的高频成分带来的种种负面问题等

适用对象:

适用于技术管理,研发硬件工程师,可靠性工程师,layout 工程师,嵌入式工程师,FPGA 工程师等。

讲师介绍:

武晔卿

专注于电子可靠性设计与测试技术研究逾 26 年，曾任职于航天、医疗电子等行业，从事电子可靠性技术专职咨询顾问的 15 年时间里，为几百家各类研发机构提供相关技术服务（培训、整改、故障分析、设计审核、咨询辅导顾问等），客户群体包括了外资（如 GE 研发、ABB、Motorola、Siemens），军工（如科工四院、科技一院、八院、中电、兵器等），民品（如海信、美的、海尔、东风汽车、理想汽车、和利时、中车等）。出版《嵌入式系统可靠性设计及案例解析》（北航出版社）《电路设计工程计算基础》（电子出版社）。

在电子电路、器件特性、失效分析、干扰抗干扰、可靠性工程、设计与测试技术、可靠性评估、工程技术方法论等方面有资深的积累、独到的见解和实用的 know-how 操作方法。

课程大纲:

1、电子电路系统架构设计隐患

单点串并联布局结构、频谱分配、接口时序与潜通路、上电掉电时序、接地点选择、跨板卡接口特性要求、应用环境设计调查及方案匹配、系统架构

2、控制电路故障要素汇总分析

电压容限、故障十要素及应用案例分析

3、数字信号上升沿下降沿对电路的隐患机理

高频特性、串扰机理及案例分析

4、小概率偶发故障机理和措施

故障复现难题解法、60 分原理、大意外事件激发、同步性测试和相关性测试、统计数据分

5、过渡过程应力影响与案例分析

二阶系统阶跃响应曲线、信号振荡的隐患、电源供给的隐患

6、单一故障分析

容错性机制设计

7、放大电路误差原因

阻抗匹配、滤波电路分析、数字滤波算法、放大器件参数选型、容差计算（WCCA、线性展开法、蒙特卡洛分析）

8、数字 IO 接口匹配问题分析

接口驱动能力计算、接口速率与端口特性关系、端口结电容对工作特性的影响

9、时序控制与潜通路影响

案例分析

10、功率器件热计算

负荷特性曲线、风扇与散热片选型计算、热计算公式

11、常用器件的应用隐患机理

MOSFET/IGBT、磁环/磁珠、电容、滤波器、TVS/MOV/GDT/Fuse、电感

12、PCB 布局布线隐患

电源和地分割、接地原理、工程接地注意事项、环路干扰、机械安装孔结构、混和电路布局、layout 布线 EMC 规范审查

13、故障和失效分析

异常波形成因与措施案例分析（回勾、振荡、塌陷、上升沿平台）、持续应力与瞬态应力的区别、电压信号与电流信号的区别、MSD、机械应力损伤、端口特性阻抗曲线分析、常见器件失效（虚焊、电阻失效、电容失效、电压失效、电流失效、热失效、IC 故障等）

14、PCB 板防护工艺

MSD 防护、三防工艺、调试过程 ESD 防护、装调现场电源布局、禁限工艺

15、器件替换与物料质量控制

器件替换审查表、器件质量统计分析

16、线缆处理

线缆特性、屏蔽线缆、双绞线、同轴电缆

《电路容差设计与分析课程》大纲

课程介绍:

可靠性设计分为三个阶段:系统设计、功能和参数设计、容差设计。

容差设计是将批产过程中的器件参数离散性、随环境温度变化的温漂、长时间运行后的老化、上下级电路的参数匹配等多方面的问题叠加考虑后,综合计算得出电路风险评估结论。

它是多个知识点问题点联合作用形成的故障,这些多因素的组合貌似是风马牛不相及的关系,但是却实实在在地联系在了一起,形成了概率性故障。

本课程就是围绕这方面问题和内容展开。

适用对象:

适用于研发工程师,可靠性工程师,layout 工程师,嵌入式工程师,FPGA 工程师、系统工程师等。

讲师介绍:

武晔卿

专注于电子可靠性设计与测试技术研究逾 26 年,曾任职于航天、医疗电子等行业,从事电子可靠性技术专职咨询顾问的 15 年时间里,为几百家各类研发机构提供相关技术服务(培训、整改、故障分析、设计审核、咨询辅导顾问等),客户群体包括了外资(如 GE 研发、ABB、Motorola、Siemens),军工(如科工四院、科技一院、八院、中电、兵器等),民品(如海信、美的、海尔、东风汽车、理想汽车、和利时、中车等)。出版《嵌入式系统可靠性设计及案例解析》(北航出版社)《电路设计工程计算基础》(电子出版社)。

在电子电路、器件特性、失效分析、干扰抗干扰、可靠性工程、设计与测试技术、可靠性评估、工程技术方法论等方面有资深的积累、独到的见解和实用的 know-how 操作方法。

大纲:

1、容差分析基础

- 1.1、最坏情况电路分析的对象与范围
- 1.2、最坏情况电路分析的时机
- 1.3、最坏电路性能分析程序
- 1.4、灵敏度分析方法

- 1.5、灵敏度对性能的影响
- 1.6、灵敏度计算及参数组合
- 2、容差分析方法和程序
 - 2.1、电路分解方法
 - 2.2、灵敏度评估
 - 2.3、分析计算
 - 2.3.1、WCA、偏微分法、蒙特卡罗分析方法实施过程
 - 2.3.2、极值分析
 - 2.3.3、平方根分析
 - 2.3.4、蒙特卡罗分析
 - 2.3.5、最坏情况元器件应力分析法
- 3、WCA 分析的影响因子和作用机理
 - 3.1、极限环境条件对器件参数漂移的影响
 - 3.2、器件参数制造工艺导致的误差分析
 - 3.3、输入能量及信号的极限范围的影响
 - 3.4、负载极限状态的影响
 - 3.5、快速变化率条件的影响
 - 3.6、启停的过渡过程超调及振荡对电路的影响
 - 3.7、高频等效特性的影响
- 4、器件选型和电路 WCA 分析示例
 - 4.1、电源端口
 - 4.2、信号端口电气评估
 - 4.3、信号端口软件控制特性和软件数据安全性分析
 - 4.4、热设计
 - 4.5、抗环境试验能力
 - 4.6、力学应力的影响
 - 4.7、老化的影响
 - 4.8、瞬态特性的影响
- 5、综合示例讨论

《器件选型认证与器件替换课程》大纲

讲师介绍:

武晔卿

电子工程硕士, 研究员, 研究领域: 电子可靠性技术。

曾任航天总体所主任设计师, 研发制造企业研发总监, 北京市级优秀青年工程师, 科协委员。

对电子可靠性设计、测试、失效分析等技术有 24 年的资深专注研究, 出版专著《嵌入式系统可靠性设计技术与案例解析》、《电路设计工程计算基础》。

曾为航天、中电、汽车、中科院、航空、医疗电子、通信、安防、电力电子、分析仪器、工业控制、消费电子、高校等多行业几百家客户提供电路板故障诊断、器件失效分析、可靠性设计审核、测试方案用例设计及问题分析、咨询培训辅导等服务。

专注于电子可靠性设计、器件失效分析、工程计算、测试方法、技术方法论等方面的研究。

第一章: 器件选型与替换的基本问题

1.1、器件替换常见问题现象

1.1.1、原来正常工作的产品在器件替换后不能工作或性能降低

1.1.2、器件替换后, 批次不良率数据变差

1.1.3、初次选型或替换时需要关注的故障诱发指标参数有哪些

1.1.4、如上问题的成因机理、分析方法

1.2、器件选型与替换技术分析要素

1.2.1、封装带来的问题

1.2.2、内部结构和材质带来的问题

1.2.3、制造工艺带来的使用性问题

1.2.4、内部电路不同带来的参数差异

----相同功能器件的内部拓扑图对比、接口特性差异分析

1.2.5、批次质量水平一致性评价方法

----以 TVS、MOS 管为例说明一致性指标的选择、统计分布图特征与隐含问题

1.2.6、有益参数和有害参数识别

----以电容、运放为例说明在不同电路中的有益有害指标识别方法

1.2.7、器件应用前后级匹配选型设计注意事项

----阻抗匹配原理, 以数字芯片数据接口和模拟放大电路信号采集端口为例

第二章: 导致器件故障的应力类型与场合

2.1、瞬态 EOS 与累积性 EOS

----EOS 成因、损伤特征、瞬态/累积性 EOS 特征对比、解决措施

2.2、温度与温度冲击

----器件受温度和温度冲击应力的影响部位和机理, 故障特征

2.3、闩锁

----CMOS 类 IC 的闩锁失效机理、测试方法、故障特征、解决措施

2.4、热损伤

----成因(瞬态过流、持续过流、负荷特性曲线超标)、损伤特征、解决措施

2.5、力学损伤

----温度/温度冲击/振动导致的力学损伤机理、损伤特征解决措施

2.6、MSD

----潮敏器件的内部结构,失效的特征、机理、解决措施

2.7、潮湿与腐蚀

----腐蚀的机理,故障特征、解决措施

2.8、V_P 与 ESD

----尖峰电压的产生场合,损伤特征、解决措施

2.9、过渡过程

----过渡过程对能量接口和数据接口的不同影响分析、过渡过程超调和振荡的产生场合、解决措施

2.10、热插拔

----热插拔的发生场合、损伤特征、解决措施

2.11、接地不良

----接地不良引起器件故障的发生机理、解决措施

2.12、设备互联匹配问题

2.13、电感瞬态过程

----反向电动势的影响、解决措施

2.14、电容瞬态过程

2.15、时间应力自然老化

2.16、气压问题

----安规、高压、发热、密封器件的压差作用机理

第三章:选型认证与替换方法、入厂筛选和寿命终止极限判定

3.1、分立元件

----电阻、电容、电感、磁珠、导线的筛选指标、质控条件判据、寿命终止判据

3.2、保护类器件

----保险丝/TVS/MOV/压敏电阻/GDT/NTC 电阻/PTC 电阻的筛选指标、
质控条件判据、寿命终止判据

3.3、模拟类 IC 类器件

----运放、ADDA、LDO 的筛选指标、质控条件判据、寿命终止判据

3.4、接口器件

----光耦隔离电路、CAN 总线、485 总线、模拟信号传输接口电路的筛选指标、
质控条件判据、寿命终止判据

3.5、二极管三极管

----筛选指标、质控条件判据、寿命终止判据

3.6、功率开关器件

----MOSFET/IGBT/功率三极管/继电器的筛选指标、质控条件判据、寿命终止判据

3.7、按键

3.8、线缆接插件

----筛选指标、质控条件判据、寿命终止判据

3.9、数字类 IC 器件

----MCU、存储芯片、逻辑门电路的筛选指标、质控条件判据、寿命终止判据

第四章:器件失效分析方法

4.1、目测与镜检

4.2、参数统计分析方法

4.3、IV 曲线

4.4、DPA

4.5、X 光

4.6、失效特征示例和失效特征判别方法

----以 IC 芯片、电阻、电容、二极管三极管、保护器件为例分别展开

《电路可靠性设计与工程计算课程》大纲

课程特点: 通过数学工程计算方法确定器件参数, 发现隐患问题。

案例教学、深入浅出、实践结合理论推理

适用对象: 电路工程师、测试工程师、系统工程师、技术经理

讲师介绍:

武晔卿

电子工程硕士, 研究领域: 电子产品系统可靠性设计与测试技术。

曾任航天二院总体设计所设计师, 机电制造企业研发总监、事业部总监, 北京市级优秀青年工程师, 科协委员。

对电子产品系统设计、可靠性设计有较深入研究, 曾在学术会议及多家技术刊物发表专业文章, 曾出版专业书籍《嵌入式系统可靠性设计技术与案例解析》(北航出版社), 《电路设计工程计算基础》(电子出版社, 将出版)。

曾为航天、中电、中科院、航空、医疗电子、通信、安防、电力电子、分析仪器、工业控制、消费类电子等多个行业上百家客户提供相关 培训 和 图纸审核辅导 技术服务。

专注于电子工程设计、工程数学、技术方法论 三者相结合的研究。

课程大纲:

第一部分: 可靠性设计与失效分析

第一章: 电路可靠性设计基础 (1.5 h)

- 1.1、可靠性定义
- 1.2、环境应力分析
- 1.3、人机交互分析
- 1.4、关联设备互动分析
- 1.5、过渡过程应力
- 1.6、负载波动分析
- 1.7、单一故障分析
- 1.8、可靠性预计分析
- 1.9、判据标准
- 1.10 电子、机电一体化设备的可靠性模型;
- 1.11 系统失效率的影响要素;

第二章: 电路可靠性设计规范 (5.5 h)

- 2.1 降额设计规范
- 2.2 电路热设计规范
- 2.3 电路安全性设计规范;
- 2.4 EMC 设计规范
- 2.5 PCB 设计规范

第三章: 器件失效规律与分析方法 (1.5 h)

- 3.1 持续性应力与浪涌应力的区别
- 3.2 电压应力与电流应力的故障现象区别
- 3.3 MSD 与机械应力损伤的特征、成因、解决措施

3.4 基于端口特性阻抗曲线的失效测试分析方法

3.5 常用器件失效机理、失效特征、应对措施

第二部分：工程计算

第一章：工程计算基础（1.5 h）

1.1 拉氏变换的物理含义与电路设计应用

1.2 微积分与电路设计的应用

1.3 概率论数理统计提升电子产品质量的应用方法

1.4 基础代数的电路设计工程计算应用（代数、三角函数、解析几何）

1.5 datasheet 参数解读及对电路性能的影响

第二章：工程计算与器件选型（4 h）

2.1 电源模块设计与选型计算

电感电容选型计算

2.2 电源输入端口器件选型计算

保险丝、NTC 电阻、TVS/压敏电阻、储能电容、接插件、二极管的选型计算

2.3 信号输入/输出端口的匹配器件计算选型

上拉/下拉电阻、限流/分压电阻、阻抗匹配电阻、磁珠、退耦电容的选型计算

2.4 放大电路设计计算

运放参数和选型、精度分配计算、阻抗匹配计算

2.5 安全防护设计

电容的固有特性与寄生参数

退耦电容、储能电容、安规电容、隔直电容、滤波电容的选型计算

信号端口压敏电阻、TVS、气体放电管选型计算

2.6 热设计

整机散热计算

散热片、风扇、半导体致冷片散热选型计算

2.7 光电器件选型计算

光耦、发光二极管、数码管选型计算

2.8 驱动电路设计

二极管和三极管特性

三极管、二极管选型计算

开关器件

2.9 滤波器件选型计算

滤波器件特性

滤波电路设计计算

滤波器、滤波电容、磁珠磁环、电感选型计算

2.10 PCB 布线布局设计

SI 设计估算

2.11 数字 IC 器件选型计算

数字 IC 特性（结温、响应时间、带载能力、温漂、阈值、时序要求）

MCU、存储类器件、逻辑器件的选型计算

2.12 电源模块选型计算

电压转换类器件、电源模块、变压器的选型计算及设计应用方法

其余课程大纲升级更新中