



中国电子可靠性工程技术服务的领导者
您的产品可靠性提升系统解决方案合作伙伴

《把可靠性提高 10 倍》系列课程 —从电磁学到电磁兼容 (EMC)

深圳市易瑞来科技股份有限公司
地址：深圳市南山区高科技产业园北区源兴科技大厦南座 1305 室
电话：0755-86228000 传真：0755-86212434
网址：<http://www.erelcn.com> 电邮：service@erelcn.com



把可靠性提高 10 倍系列课程

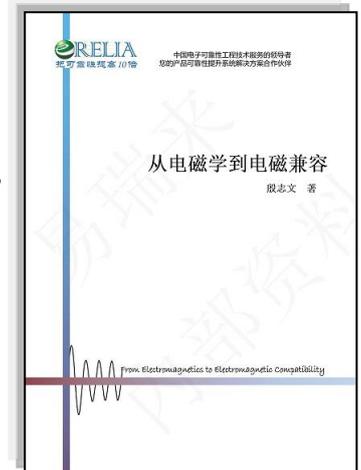
从电磁学到电磁兼容 (EMC)

课程简介：

麦克斯韦方程组是电磁学的基础，它描述了电磁场分布式参数的本质。对于当今电子电气产品电路的工作频率越来越高的应用场景，仅靠工程电路理论很多时候是无法理解、分析计算的，只有应用电磁学才能解决。电磁学是分析和应用高频电路、信号完整性以及串扰等问题的必需工具。

理解 EMC 的主要目的是怎样有效地进行电子产品设计，使得电子产品所受的干扰或对外的干扰变得最小。EMC 设计不但对电子产品本身的性能来说是重要的，而且必须满足国际、国家、行业和客户的要求。EMC 设计的技术和方法已经成为电子产品设计的重要组成部分，也是一名电子电气工程师必备的基础知识。毫无疑问，随着数字系统时钟速度和数据传输速率的持续提高，这些内容的重要性也将越来越凸显。

本培训课程将以《从电磁学到电磁兼容》这本教材为范本，从产品开发的实用性出发，结合易瑞来多年来成功解决的 EMC 设计和整改的大量实际案例，系统地讲述电磁学基础知识，深入分析 EMC 各项的测试标准、方法和常见问题。用电磁学深入解读 EMC 各项的基本原理、计算分析过程、设计要点以及优化方案。以便让学员在产品之初就充分考虑 EMC 的源头问题和解决措施，避免后期费时费力费钱的整改，少走或不走弯路，保证学员能够在短时间内消化和吸收成功的 EMC 设计经验与技术精华。



授课对象：

电子设备产品研发、测试及生产供应链体系相关的产品经理，研发经理，质量经理，可靠性保障工程师，硬件开发人员，质量保障人员等，品质工程师。

课程安排：

本课程计划**讲授 2 天**。结合产品的开发应用实践，以最常用的 EMC 测试标准项为主线贯穿开展。课程中包含大量的实战案例，平均每 15 分钟就有 1 个案例，实战性很强，可以帮助学员快速掌握 EMC 的原理、测试和设计的核心技术和方法。

书目大纲：

第一章 电磁兼容基础知识

- 1.1. 电磁学基础
 - 1.1.1. 电磁学基本公式
 - 1.1.2. 电磁场量的空间变化和时间变化
 - 1.1.3. 无源电磁波方程
- 1.2. 电磁波在各种介质中的传播
- 1.3. 天线
 - 1.3.1. 天线基础知识
 - 1.3.2. 近场和远场
 - 1.3.3. 慢速电磁场的简化计算
- 1.4. 传输线
 - 1.4.1. 传输线基础知识
 - 1.4.2. 波长和电尺寸
 - 1.4.3. 传输线中的信号传输过程
 - 1.4.4. 远场电磁波入射到传输线
 - 1.4.5. 传输线的近场影响（串扰）
 - 1.4.6. 传输线的线缆屏蔽
- 1.5. 电介质
- 1.6. 信号频谱
 - 1.6.1. 方波的频谱
 - 1.6.2. 梯形波的频谱
- 1.7. EMC 测试相关知识
 - 1.7.1. 测试标准构成及其相应要求
 - 1.7.2. 不同测试机构现场如何影响测试结果
- 1.8. EUT
- 1.9. EMI 接收机
 - 1.9.1. 超外差扫频调谐式频谱分析仪原理
 - 1.9.2. 峰值、准峰值、平均值检波
 - 1.9.3. 配置 EMI 接收器
 - 1.9.4. 底噪和频谱分析仪的校准
- 1.10. 测试合格的定义
- 1.11. 基本单位的换算关系

第二章 传导发射

- 2.1. 概况
- 2.2. 传导发射的参考标准
- 2.3. 传导发射的测试布置

2.4. 传导发射的测试原理

- 2.4.1. 传导发射测试标准限值
- 2.4.2. AMN
- 2.4.3. ISN
- 2.4.4. 共模和差模电流
- 2.4.5. 共模和差模噪声分离的方法
 - 2.4.5.1. 基本描述
 - 2.4.5.2. 几种分离电路
 - 2.4.5.2.1. Paul-Hardin Network
 - 2.4.5.2.2. 差模抑制网络 (DMRN)
 - 2.4.5.2.3. 主动型噪声分离器
- 2.4.6. 电源
 - 2.4.6.1. 隔离开关电源
 - 2.4.6.2. BUCK 型开关电源
 - 2.4.6.3. BOOST 型开关电源
 - 2.4.6.4. PFC 电路
- 2.4.7. EMI 滤波器
- 2.4.8. 各元器件对传导发射测试的影响
 - 2.4.8.1. 储能电容 CB 对传导的影响
 - 2.4.8.2. X/Y 电容对传导的影响
 - 2.4.8.3. 电感对传导的影响
 - 2.4.8.4. 变压器对传导的影响
 - 2.4.8.5. 开关管对传导的影响
 - 2.4.8.6. 压敏电阻对传导的影响

2.5. 传导发射计算分析

- 2.5.1. 电源传导发射的差模路径
- 2.5.2. 电源传导发射的共模路径
- 2.5.3. 开关电源传导发射的噪声源
- 2.5.4. 电源传导辐射的差模路径的计算分析
- 2.5.5. 电源传导辐射的共模路径的计算分析

2.6. 传导发射的滤波器设计和优化改进

- 2.6.1. 传导发射的滤波器设计
- 2.6.2. 传导发射的优化改进
 - 2.6.2.1. 对噪声源的优化改进
 - 2.6.2.2. 对噪声传导路径的优化改进
- 2.6.3. 电源部件在整机环境下传导发射特性变化
 - 2.6.3.1. 输出是否接地的影响

- 2.6.3.2. 外壳的影响
- 2.6.3.3. 接地的影响
- 2.6.3.4. 输入输出感应的影响

第三章 辐射发射

- 3.1. 概况
- 3.2. 辐射发射的参考标准
- 3.3. 辐射发射的测试布置
- 3.4. 辐射发射的测试原理
 - 3.4.1. 测试标准限值
 - 3.4.2. 辐射的基本原理和计算方法
 - 3.4.3. 双传输线的差模电流的辐射发射
 - 3.4.4. 传输线的共模电流的辐射发射
 - 3.4.5. 辐射发射的频谱分析
- 3.5. 辐射发射的优化设计和整改方法

第四章 谐波电流

- 4.1. 概况
- 4.2. 谐波测试的参考标准
- 4.3. 谐波测试的测试布置
 - 4.3.1. 谐波测试电路
 - 4.3.2. 谐波分析仪
 - 4.3.3. 被测试设备的分类
 - 4.3.4. 不同设备的测试观察持续时间
 - 4.3.5. 对电压源的要求
 - 4.3.6. 测试过程的基本考虑
- 4.4. 谐波测试的基本原理
 - 4.4.1. 谐波的基本原理
 - 4.4.1.1. AC-DC 电路的输入电流谐波分量
 - 4.4.1.2. 谐波功率因数 PF、THD 的关系
 - 4.4.1.3. 谐波电流值的计算
 - 4.4.1.4. 谐波的测试
 - 4.4.2. 如何判断是否符合限值
 - 4.4.2.1. 测试标准限值
 - 4.4.2.2. 测试方法和限值应用
- 4.5. 谐波的改进方法
 - 4.5.1. 无源滤波器
 - 4.5.2. 有源功率因数校正器
 - 4.5.2.1. CRM 模式的 Boost 型 PFC 电路
 - 4.5.2.2. CCM 模式的 Boost 型 PFC 电路
 - 4.5.3. 几种谐波改进方法比较

第五章 电压变化、电压波动和闪烁

- 5.1. 概况
- 5.2. 电压变化、电压波动和闪烁测试的参考标准
- 5.3. 电压变化、电压波动和闪烁测试的测试布置
- 5.4. 电压变化、电压波动和闪烁测试的基本原理
 - 5.4.1. 测试标准限值
 - 5.4.2. 测试的基本原理
 - 5.4.2.1. 电压变化的原理
 - 5.4.2.2. 电压波动和闪烁的原理
 - 5.4.2.2.1. 检波得到电压波动 $d(t)$ 或 $d(f)$
 - 5.4.2.2.2. 计算瞬时闪烁敏感度 $S(t)$
 - 5.4.2.2.3. 短期闪烁值 P_{st} 和长期闪烁值 Plt
 - 5.4.2.3. IEC 推荐闪烁仪的原理
- 5.5. 电压变化、电压波动和闪烁测试分析和整改方法

第六章 静电放电

- 6.1. 概况
- 6.2. ESD 的参考标准
- 6.3. ESD 的测试布置
- 6.4. ESD 的基本原理
 - 6.4.1. 试验等级
 - 6.4.2. ESD 的基本原理
 - 6.4.2.1. 各种 ESD 事件及模型
 - 6.4.2.2. 人体金属 ESD 事件、模型及 ESD 发生器
 - 6.4.2.3. ESD 发生器对受试设备的影响
 - 6.4.2.4. 人体金属 ESD 事件和 ESD 发生器产生高频电磁波干扰数值分析
- 6.5. ESD 防护设计和分析方法
 - 6.5.1. 防止介质高压击穿
 - 6.5.2. 防止能量 (电流) 损伤
 - 6.5.3. 防止高频电磁波辐射干扰

第七章 辐射抗扰度

- 7.1. 概况
- 7.2. 辐射抗扰度的参考标准
- 7.3. 辐射抗扰度的测试布置
- 7.4. 辐射抗扰度的测试原理
 - 7.4.1. 测试等级
 - 7.4.2. 辐射抗扰度的基本原理和计算方法
- 7.5. 辐射抗扰度的分析和整改方法

第八章 电快速瞬变脉冲群

- 8.1. 概况
- 8.2. EFT/B 的参考标准
- 8.3. EFT/B 的测试布置
- 8.4. EFT/B 的基本原理
 - 8.4.1. 测试标准限值
 - 8.4.2. EFT/B 的基本原理
 - 8.4.2.1. 现实环境中 EFT/B 产生的原理
 - 8.4.2.2. EFT/B 干扰的频谱分析
 - 8.4.2.3. EFT/B 干扰的路径分析
- 8.5. EFT/B 防护设计和分析方法
 - 8.5.1. 防止介质高压击穿
 - 8.5.2. 防止能量（电流）损伤
 - 8.5.3. 防止高频电磁波干扰
 - 8.5.3.1. 防止共模干扰
 - 8.5.3.2. 差模干扰传导路径
 - 8.5.3.3. 防止高频电磁波辐射干扰

第九章 浪涌

- 9.1. 概况
- 9.2. 雷击和浪涌的关系
- 9.3. 浪涌的参考标准
- 9.4. 浪涌的测试布置
- 9.5. 浪涌的基本原理
 - 9.5.1. 试验等级
 - 9.5.2. 浪涌的基本原理
 - 9.5.2.1. 浪涌发生器的原理和波形参数
 - 9.5.2.2. 浪涌发生器的函数和频谱分析
 - 9.5.2.3. 浪涌测试 CDN 的分析
- 9.6. 浪涌防护设计和分析方法
 - 9.6.1. 浪涌防护设计要求和等级
 - 9.6.2. 防止介质高压击穿
 - 9.6.3. 防止过电流损伤
 - 9.6.3.1. 通信端口防护设计
 - 9.6.3.2. 电源端口防护设计
 - 9.6.4. 防止大电流干扰
 - 9.6.5. 其他抗浪涌设计

第十章 传导骚扰抗扰度

- 10.1. 概况
- 10.2. 传导骚扰抗扰度的参考标准
- 10.3. 传导骚扰抗扰度的测试布置

- 10.4. 传导骚扰抗扰度的基本原理
 - 10.4.1. 测试标准限值
 - 10.4.2. 传导骚扰抗扰度的基本原理
 - 10.4.2.1. 传导骚扰抗扰度的基本原理
 - 10.4.2.2. 传导骚扰抗扰度的干扰路径分析
- 10.5. 传导骚扰抗扰度防护设计方法
 - 10.5.1. 防止传导干扰路径
 - 10.5.2. 防止高频电磁波干扰

第十一章 磁场波

- 11.1. 概况
- 11.2. 磁场波的参考标准
- 11.3. 磁场波的测试布置
- 11.4. 磁场波的基本原理
 - 11.4.1. 试验等级
 - 11.4.2. 磁场波的基本原理
- 11.5. 磁场防护设计和分析方法

第十二章 振铃波和阻尼振荡波

- 12.1. 概况
- 12.2. 振铃波和阻尼振荡波的参考标准
- 12.3. 振铃波和阻尼振荡波的测试布置
- 12.4. 振铃波和阻尼振荡波的基本原理
 - 12.4.1. 试验等级
 - 12.4.2. 振铃波和阻尼振荡波的基本原理
 - 12.4.2.1. 发生器的原理和波形参数
 - 12.4.2.2. 发生器的函数和频谱分析
 - 12.4.2.3. 振铃波和阻尼振荡波测试 CDN 的分析
- 12.5. 振铃波和阻尼振荡波防护设计和分析方法
 - 12.5.1. 振铃波和阻尼振荡波防护设计要求
 - 12.5.2. 防止介质高压击穿
 - 12.5.3. 防止能量（电流）损伤
 - 12.5.4. 防止高频电磁波辐射干扰

第十三章 电压暂降、短时中断和电压变化

- 13.1. 概况
- 13.2. 参考标准
- 13.3. 测试布置
- 13.4. 基本原理
 - 13.4.1. 试验等级
 - 13.4.2. 基本原理
- 13.5. 防护设计方法

讲师介绍：

殷志文 先生

深圳电子学会电子可靠性专业委员会 首届主任

深圳市科技创新委员会专家

深圳市经济贸易和信息化委员会专家

深圳市易瑞来科技股份有限公司 创始人



1990 - 1999 在国营大型企业担任主任工程师，1999 年-2005 年在华为公司担任研发经理，精通失效分析、可靠性设计技术、各种仿真技术，并将仿真技术应用于硬件可靠性设计，是国内最早将仿真技术和可靠性技术应用到电子硬件设计的专家，主导设计了国内领先、国际标准的电子产品硬件设计平台，在失效分析、可靠性设计、器件可靠应用等领域有丰富的实践经验。

2005 年创立易瑞来，为多家国内大中型电子企业提供专用的可靠性技术咨询服务，效果显著，受到较高评价。曾主持电子工程专辑仿真和可靠性专栏，发表的文章有：《电源产品可靠性设计方法概述》、《仿真技术在电子可靠性工程中的应用》、《一种先进实用的电子可靠性技术：最坏情况分析》、《可靠性技术彰显威力，高速电路难题迎刃而解》等。

2005 年至今，为**宁德时代、福耀玻璃、欣旺达、美的集团、驭势科技、潍柴动力、南车时代电气、纵横机电、北京通号院、宁波南车、卡斯柯、上海铁路通信、佳讯飞鸿、交大思诺、苏州易程、华启智能、佳都科技、迈瑞电子、理邦医疗、上海联影、上海科华、麦澜德、杭州博日、浙江中控、南京科远、英威腾、广州数控、深圳阿尔法、南京优倍、海康威视、苏州科达、星网锐捷、联迪电子、福建新大陆、大族激光、富临精工、精测电子、国自机器人、新天科技、广州金升阳、珠海优特、北京四方、南瑞继保、长园深瑞、特变电工、国电南自、思源弘瑞、珠海许继、许继仪表、科陆电子、华立科技、正泰电器、百富电力、长沙威胜、天津摩托罗拉、上海飞利浦、信威通信、烽火通信、大唐移动、中电集团（如 14 所、36 所等）、广州海格、迈普通信、瑞斯康达、华测导航、新国都、广州三瑞、东软飞利浦、同维电子、好帮手、天派、珠海格力、万和电气、中山华帝、步步高、OPPO、VIVO、飞利浦手机、广州视睿、合肥美的冰箱、无锡小天鹅、韶音科技**等上百家企业进行了可靠性技术咨询、设计辅导、失效分析和专项技术培训项目，受到客户的高度评价，帮助客户解决了很多长期困扰产品质量可靠性的难题。