

附件 1:

## 电磁兼容(EMC)设计系列专题高级培训(网络直播)

### 课程介绍

#### 一、前言

对于EMC,专门从业人员都会有比较深刻的认识,对于EMC在产品存活周期中的作用有较为深刻的了解。如果产品不能通过EMC标准或者一些EMC方面的法规,那么将会失去某些地区的市场,或者如果被检测机构发现产品不合格,公司将会有经济和声誉方面的损失,严重的将会负起法律方面的责任,同时,EMC在产品的整个生命周期都有体现。因此,EMC越早考虑,总的费用将会越低,耗费的时间也会越短,风险也将更低。很多公司都会有EMC早期介入的想法,但是实际情况却往往因为经验而力不从心。有两种方式可以解决企业在EMC方面的燃眉之急:

方式一:将专业的工作交给专业的公司,让专业的EMC咨询专家参与产品的开发控制EMC设计过程,保证产品EMC设计结果。

方式二:让企业的开发工程师、EMC工程师接受EMC培训,使开发工程师本身就具备基本的EMC知识,并快速成长,在产品的设计过程中由开发工程师、EMC工程师直接将EMC设计融入到产品开发中。

#### 二、何为 **高级 EMC 培训**

EMC培训是解决企业EMC人才短缺的最有效、最经济的方法,美国每年大约有一万多名工程师接受EMC技术培训。

EMC技术是一项公认实践性强,理论综合复杂的高端学科。传统的EMC基础培训教育都是从屏蔽接地,滤波等基础理论出发,讲述EMC基本原理,涉及产品具体的设计方法时,往往采用大篇的理论分析,出现理论与实践脱节,或者过分的偏重讲述一些零散的EMC设计措施,告诉你方法,但无法理解真正的EMC原理、不系统,学员也无法举一反三。这种培训认为是基础的EMC培训,学员可以学到了一些基础理论、EMC设计基本概念,但总是理解不深,也无法实现方法在实践中灵活运用,所学的概念往往也无法对产品进行深入的分析、并解决问题。

而**高级EMC培训课程**一方面面向企业工程应用、面向资深工程人员、理论与实践高度结合EMC的培训,另一方面他还具有如下特点:

- (1) **面向有经验的资深工程设计者与工程管理者,如高级硬件设计工程师、研发部经理、专业的EMC工程师等;**
- (2) **课程必须是讲师本人经过多年的EMC设计、测试实践,而提炼出来的一些精华,直接面向产品,巧妙结合理论与实践,具有丰富的工程实用性,克服传统培训中理论与实践脱节的弊病,使学员通过培训后,就能够进行实践,解决实际工作中的问题;**

- (3) 通过大量设计案例分析加深学员对方法的理解和应用能力；
- (4) 将抽象的概念用比喻、类比的方式解释，讲解深入浅出，变复杂为简单，使学习生动有效；
- (5) 培训过程生动，讲师表达方式通俗易懂，容易使学员沉浸在生动的讲座氛围中；
- (6) 对原有EMC的误解具有颠覆性的影响，使学员有“踏破铁鞋无觅处，得来全不费工夫”的感觉；
- (7) 让零散的EMC设计方法串联成一种：“套路”，犹如获得“武林秘籍”；

### 三、讲师介绍



**郑军奇**，知名EMC专家，EMC高级顾问，长期从事EMC理论与工程研究，具备丰富的EMC实践和工程经验。专注于各类医疗、民用、工业用、军用、汽车零部件产品的EMC标准、EMC测试设备、产品EMC设计方法、EMC测试方法、EMC诊断方法、EMC整改方法的研究。发表EMC相关论文数篇，拥有多项EMC专利。对于产品EMC设计方法的研究具有较深的造诣，研究成果涉及PCB、滤波、接地、屏蔽、接口电路等各个方面。如：

- 《结构 EMC 设计》
- 《接口电路 EMC 设计》 ，
- 《 PCB EMC 设计指导书》 ，
- 《产品接地设计指导书》 ，
- 《开关电源及变频器 EMI 设计》 ，
- 《产品 ESD 保护设计》 ，
- 《防护电路设计》 ，
- 《 RF 电路端口的 ESD 保护研究》 ，
- 《开关电源电源端口滤波电路设计》 ，
- 《手机. 无线通信设备的 EMC 设计》 ，
- 《通信设备 EMC 设计》 ，
- 《工业控制产品 EMC 设计》 ，
- 《便携式医疗. 家用电器 EMC 设计》 等

他是“EMC设计风险评估法”的创始人，“风险评估法”首次将产品的EMC设计提升到了方法论阶段，被广大企业的研发部门所采纳。他又是专业的EMC讲师，数百场的EMC培训经验，受到企业与学员的高度评价，是中国EMC工程应用领域培训领跑者，培训实践性强、解析透彻、生动易懂是他培训的最大特点。同时，他也是：

- 中国电工技术学会标准化专家委员会电磁兼容与天线专业分会主任委员
- 中国电工技术学会电磁兼容专业委员会主任委员
- 国际无线电干扰特别委员会（IEC/CISPR）副主席
- 全国无线电干扰与标准化技术委员会秘书长
- 工信部国家信息技术紧缺人才认证（NITE）讲师
- IEC、ISO 注册专家
- CISPR/S/AHG3 召集人

#### 出版EMC专著有：

1. 《电磁兼容（EMC）测试与案例分析》2006年
2. 《产品 EMC 设计风险评估(分析)法》2008年

3. 《电磁兼容（EMC）测试与案例分析 第二版》2010 年
4. 《电磁兼容（EMC）测试与案例分析 第三版》2018 年
5. 《EMC TEST AND CASE STUDY》英文版 2018
6. 《EMC 设计分析方法与风险评估技术》2020 年

**如下EMC国家标准的起草者：**

序号	标准号	标准名称
1	GB/T 17799.1-2017	电磁兼容 通用标准 居住、商业和轻工业环境中的抗扰度
2	GB/T 7343-2017	无源 EMC 滤波器件抑制特性的测量方法
3	GB/T 6113.201-2017	无线电骚扰和抗扰度测量设备和测量方法规范 第 2-1 部分：无线电骚扰和抗扰度测量方法 传导骚扰测量
4	GB/T 17626.3-2016	电磁兼容 试验和测量技术 射频电磁场辐射抗扰度试验
5	GB/T 6113.203-2016	无线电骚扰和抗扰度测量设备和测量方法规范 第 2-3 部分：无线电骚扰和抗扰度测量方法 辐射骚扰测量
6	GB/T 6113.101-2016	无线电骚扰和抗扰度测量设备和测量方法规范 第 1-4 部分：无线电骚扰和抗扰度测量设备 测量设备
7	GB/T 6113.104-2016	无线电骚扰和抗扰度测量设备和测量方法规范 第 1-4 部分：无线电骚扰和抗扰度测量设备 辐射骚扰 测量用天线和试验场地
8	GB 4824-2013	工业、科学和医疗（ISM）射频设备骚扰特性限值和测量方法
9	GB/Z 17624.2-2013	电磁兼容 综述 与电磁现象相关设备的电气和电子系统实现功能安全的方法
10	GB/Z 6113.205-2013	无线电骚扰和抗扰度测量设备和测量方法规范 第 2-5 部分：大型设备骚扰发射的现场测量
11	GB/Z37150 -2018	EMC 可靠性风险评估导则
12	GB/T38659.1 -2020	EMC 风险评估 第 1 部分：电子电气设备

本系列课程是老师近 20 年来《EMC 设计与案例分析》课程与《高级 PCB-EMC 设计》课程的浓缩版，取这两门课程的精华，浓缩提炼后而形成的高级培训课程，课程讲解通俗易懂、生动受用、并面向工程实践、解决问题和理论解读是本课程的最主要目标，学员学习后不但能解决自己产品的 EMC 设计缺陷，还能举一反三，再次设计新的产品并达到良好的 EMC 效果。《EMC 设计与案例分析》课程与《高级 PCB-EMC 设计》课程已经在过去的几年中得到了学员的高度评价，此课程的推出，将再次把 EMC 培训领入一个新的高地。

#### 四、具体时间安排及课程介绍

系列	时间	内容
----	----	----

第一期	9月20日、9月27日（两天）	EMC测试与设计案例分析
第二期	10月25日、10月31日（两天）	EMC设计分析及风险评估技术
第三期	11月22日、11月29日（两天）	高级PCB EMC设计
第四期	12月20日、12月27日（两天）	汽车电子产品设计EMC分析方法

## 1、第一期：“EMC测试与设计案例分析”专题培训课程（2天）

### 1.1 课程简介



本课程主要从EMC测试与案例分析出发，通过每个EMC案例的分析，向学员介绍有关EMC的实用设计与诊断技术，减少设计人员在产品的设计与EMC问题诊断中误区。同时通过案例说明EMC设计原理，让学员更好的理解EMC设计精髓。本课程的特点是案例多、生动、直观、想象与原理精密结合，课程内容偏向于产品设计中除PCB layout之外的产品构架设计、金属件搭接设计、PCB板的接地设计、电缆的屏蔽设计（包括接地）、电源端口EMI滤波设计、防雷防浪涌等设计，更适合于复杂结构的产品EMC设计。

#### 本课程特点：

（1）侧重于产品系统级的EMC设计，如结构设计、屏蔽电缆处理、电源端口滤波电路设计和参数选择、防雷击和浪涌设计，同时兼顾PCB layout 设计；

（2）案例多，从案例分析引出产品设计方法；

### 1.2 课程大纲

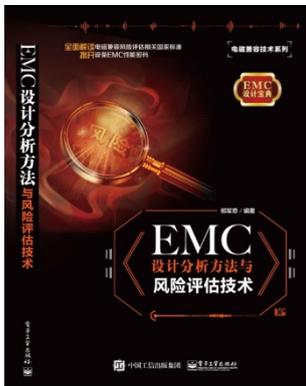
EMC 测试与设计案例分析	
EMC 测试及EMC 设计基本概念	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 什么是 EMC 和 EMC 设计</li> <li>2. EMC 测试是 EMC 设计的重要依据</li> <li>3. 理论基础</li> </ol>
结构/屏蔽与接地案例分析	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 产品设计机械结构、屏蔽与接地的 EMC 设计分析方法 <ul style="list-style-type: none"> <li>● 产品中各个部件在产品中相对位置 EMC 结果的影响</li> <li>● 屏蔽设计原则与实践</li> <li>● 产品如何设计接地？（接地点如何选择，接地如何实现，接地的真正 EMC 意义是什么？）</li> <li>● 如何处理 PCB 与金属外壳之间的关系？</li> <li>● 如何利用金属外壳提高产品 EMC 性能</li> <li>● 如何从产品构架上判断产品 EMC 性能</li> <li>● 如何设计良好 EMC 性能的产品外壳</li> </ul> </li> </ol>

	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 浮地设备应该如何从结构上处理 EMC 问题?</li> </ul> <p>2. 案例</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ 案例:辐射从哪里来?</li> <li>▪ 案例:“悬空”金属与辐射</li> <li>▪ 案例:压缩量与屏蔽性能</li> <li>▪ 案例:开关电源中变压器初次级线圈之间的屏蔽层对 EMI 作用有多大?</li> <li>▪ 案例:接触不良与复位</li> <li>▪ 案例:散热器与 ESD 也有关系</li> <li>▪ 案例:怎样的接地才是符合 EMC</li> </ul> <p>3. 总结</p>
<p>电缆、连接器与接口电路 案例分析</p>	<p>1. 为什么电缆是系统的最薄弱环节</p> <p>2. 电缆如何成为辐射天线</p> <p>3. 连接器是接口电路与电缆之间的通道</p> <p>4. 屏蔽电缆的设计与应用</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>a. 屏蔽层如何接地?</li> <li>b. 屏蔽层是双端接地还是单端接地?</li> </ul> <p>5. 电缆与地环路</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>a. 设备互联何时会出现地环路?</li> <li>b. 地环路对电路干扰的实质</li> <li>c. 出现地环路时如何解决?</li> <li>d. 屏蔽电缆双端接地与地环路</li> </ul> <p>6. 相关案例分析</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ 案例:“Pigtail”有多大影响</li> <li>▪ 案例:接地线接出来的辐射</li> <li>▪ 案例:使用屏蔽线一定优于非屏蔽线吗?</li> <li>▪ 案例:塑料外壳连接器的 ESD 案例</li> <li>▪ 案例:金属外壳连接器 ESD 案例</li> </ul> <p>7. 总结与分析方法</p>
<p>滤波与抑制设计案例分析</p>	<p>1. 滤波器及滤波器件</p> <p>2. 电容器的 EMC 分析</p> <p>3. 电源端口滤波电路设计方法 (电路及参数选择)</p> <p>4. 信号端口的滤波电路设计方法</p> <p>5. 防浪涌电路中的元器件</p> <p>6. 相关案例分析</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ 案例:电源滤波器的安装与传导骚扰</li> <li>▪ 案例:接口电路中电阻和 TVS 对防护性能的影响</li> <li>▪ 案例:防浪涌器件能随意并联吗?</li> <li>▪ 案例:防雷电路的设计及其元件的选择应慎重</li> <li>▪ 案例:防雷器安装很有讲究</li> </ul>

	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ 案例：选择二极管钳位还是选用 TVS 保护</li> </ul> <p>7. 总结与分析方法</p>
PCB 设计方法及案例分析	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. PCB EMC 分析理论基础 PCB 中地平面对 EMC 的重要性，</li> <li>3. 如何设计地平面？</li> <li>4. PCB 中的串扰如何防止？</li> <li>5. 相关案例分析</li> </ol> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ 案例：PCB 中铺“地”要避免耦合</li> <li>▪ 案例：PCB 走线是如何将晶振辐射带出的</li> <li>▪ 案例：接口布线与抗 ESD 干扰能力</li> </ul> <p>6. PCB 设计 EMC 分析方法总结</p>

## 2、第二期：“EMC 设计分析及风险评估技术”专题培训课程（2天）

### 2.1 课程简介



本课程主要是基于国家标准 GB/T38659.1 -2020 EMC 风险评估 第 1 部分：电子电气设备全面解读并传授“EMC 设计分析方法和风险评估技术”，EMC 风险评估技术号称 EMC 设计的武林秘籍。这种技术方法在产品开发流程融合在一起，通过培训并掌握该技术后，设计者能使所设计的产品通过 EMC 测试，正确使用该方法能将产品在第一轮或第二轮设计时，就通过所有的 EMC 测试，即通过率在产品第一轮设计时为 90%，第二轮时为 100%。其中 EMC 设计的核心过程包括：

(1) “产品的机械结构构架 EMC 设计风险评估技术”，讲述如何从产品的机械结构构架来分析产品的 EMC 设计 并对现有的设计方案或产品进行 EMC 风险评估；

(2) “电路原理图 EMC 设计及 PCBEMC 设计”，讲述如何对电路原理图进行 EMC 设计，PCB 进行 EMC 设计，并对现有的设计方案或原理图进行 EMC 风险评估；

(3) “PCB 布局布线 EMC 风险评估方法与审查技术”，是讲述针对特定的原理图如何进行 PCB 设计，如何对 PCB 布局布线建议落实情况的进行检查，并对现有的设计方案或 PCB 进行 EMC 风险评估；

另外，课程也配合大量的 EMC 设计案例，通过 EMC 案例的分析，向学员介绍有关 EMC 的实用设计与诊断技术，减少设计人员在产品的设计与 EMC 问题诊断中误区。同时

通过案例说明 EMC 设计原理，让学员更好的理解 EMC 设计精髓。本课程案例多、生动、直观、想象与原理精密结合。。

培训中首创提出的“EMC 风险评估技术”将 EMC 设计提高到方法论阶段，它把零散的 EMC 设计技术点融合在一起形成一种 EMC 设计的套路，系统的指导产品设计，并形成一种新的产品 EMC 合格评定方法。

**风险评估技术**是建立在产品 EMC 设计分析方法的基础上，利用通用的风险评估手段，按风险评估的程序，划分风险等级、建立产品设计理想模型（其中理性模型可以分为产品架构 EMC 设计理想模型和产品 PCB 设计理想模型）、确定风险要素，再根据产品实际设计的信息与理想模型中所有的风险要素进行比较，以识别产品 EMC 设计风险，最终获得产品的 EMC 风险等级，EMC 风险等级用来表明产品应对 EMC 测试的通过概率 或产品在实际应用中出现故障的概率。这个评估手段及得到的结果可以直接用来对产品进行 EMC 合格评定。

**产品的 EMC 设计风险评估技术**一般包括两个组成部分：

- ✓ 产品的机械结构构架的 EMC 设计风险评估；
- ✓ 电路板设计的 EMC 风险评估。

正确使用 EMC 设计风险评估，将揭开产品 EMC 性能的黑盒，可以无需 EMC 测试而对产品进行 EMC 性能进行评价或合格评定，也可以与 EMC 测试结果结合对产品进行综合的 EMC 评价和合格评定，也可以作为产品进行正式 EMC 测试之前的预评估，以降低企业研发测试成本。

产品的设计者或使用者，如果使用正确的 EMC 风险评估技术，就可以清楚的看到被评估产品在 EMC 方面存在的优点、缺陷与风险，而且通过对优点、缺陷与风险的分析 and 评估，可以预测产品 EMC 测试的通过率，也可以评价产品在其生命周期中的 EMC 表现。

## 2.2 本课程特点：

- 全面解读产品的 EMC 设计，如结构设计、屏蔽电缆处理、电源端口滤波电路设计和参数选择、防雷击和浪涌设计， PCB layout 设计；
- 案例多，从案例分析引出产品设计方法；
- 课程讲述的风险评估技术可以成为一种产品 EMC 测试成败的评估方法。
- 讲述生动易懂、受用、面向工程实践。
- 全面解读 EMC 风险评估技术。

## 2.3 课程大纲

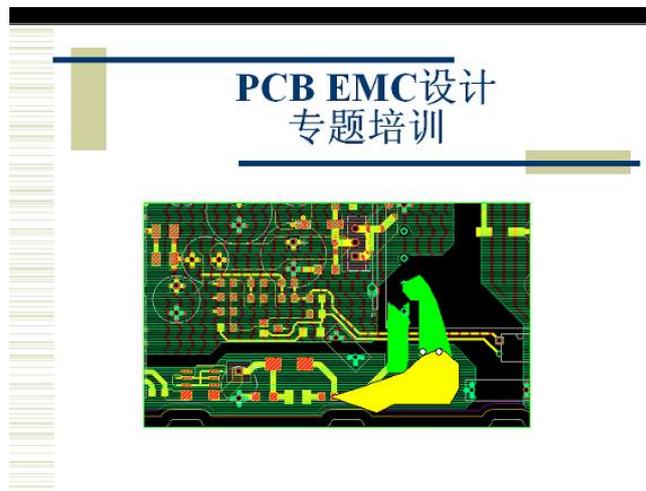
# EMC 设计分析与风险评估技术

<p><b>第一篇：EMC 基础及风险评估技术</b></p> <p>(3 小时)</p>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 风险评估概念与意义</li> <li>2. 风险评估程序与流程</li> <li>3. 辐射发射测试实质及原理</li> <li>4. 传导发射测试与原理</li> <li>5. 抗扰度测试与原理</li> <li>6. EMC 设计理论基础</li> </ol>
<p><b>第二篇：产品结构 设计 EMC 分析方法</b></p> <p>(3 小时)</p>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 产品 EMC 分析机理</li> <li>2. 产品抗扰度设计分析技术 <ol style="list-style-type: none"> <li>1) 产品架构抗干扰设计 EMC 分析机理</li> <li>2) 电缆对产品抗干扰性能的重要性</li> <li>3) 电缆对产品抗扰度的分析方法</li> <li>4) 电缆屏蔽的抗干扰分析技术 <ul style="list-style-type: none"> <li>• 屏蔽电缆工作原理</li> <li>• 电缆屏蔽效果分析方法（屏蔽层的接地方法）</li> </ul> </li> <li>5) 产品抗干扰屏蔽设计分析方法</li> <li>6) 产品抗干扰设计与接地分析技术 <ul style="list-style-type: none"> <li>• 金属外壳产品如何处理外壳与电路板地之间的关系分析</li> <li>• 塑料外壳的接地分析技术</li> <li>• 如何利用金属板提高产品的抗干扰能力</li> </ul> </li> <li>7) 电缆在 PCB 中的位置对产品抗干扰影响的机理</li> <li>8) 电缆位置影响共模电流流向原理分析</li> <li>9) 电缆/连接器在产品中的位置的设计要求</li> <li>10) 产品内部的互连连接与抗干扰的影响分析技术</li> </ol> </li> <li>3. 产品的 EMI 设计分析技术 <ol style="list-style-type: none"> <li>1) 如何从产品的机械结构构架评估产品 EMI <ul style="list-style-type: none"> <li>• 机械结构构架与传导骚扰</li> <li>• 机械结构构架与辐射发射</li> <li>• 接地. 浮地. 隔离与产品 EMI</li> </ul> </li> <li>2) 产品架构 EMI 设计分析机理</li> <li>3) 电缆对产品 EMI 性能的重要性</li> <li>4) 电缆对产品 EMI 的分析方法</li> <li>5) 电缆屏蔽的 EMI 分析技术 <ul style="list-style-type: none"> <li>• 屏蔽电缆 EMI 抑制作用的工作原理</li> <li>• 电缆屏蔽 EMI 效果分析方法（屏蔽层的接地方法）</li> </ul> </li> <li>6) 产品 EMI 屏蔽设计分析方法</li> <li>7) 产品 EMI 设计与接地分析技术 <ul style="list-style-type: none"> <li>• 金属外壳产品如何处理外壳与电路板地之间的关系分析</li> <li>• 塑料外壳的接地分析技术</li> <li>• 如何利用金属板提高产品的 EMI 水平</li> </ul> </li> <li>8) 电缆在 PCB 中的位置对产品 EMI 影响的机理</li> <li>9) 电缆位置影响 EMI 共模电流流向原理分析</li> <li>10) 电缆/连接器在产品中的位置的设计要求</li> </ol> </li> <li>4. 产品机械结构构架 EMC 问题案例分析 <ul style="list-style-type: none"> <li>• 案例分析 1</li> </ul> </li> </ol>

	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 案例分析 2</li> <li>• 案例分析 3</li> </ul> <ol style="list-style-type: none"> <li>5. 产品结构 EMC 要素的提取</li> <li>6. 产品结构 EMC 理想模型的创建</li> </ol>
<p><b>第三篇：原理图和 PCB 的 EMC 分析方法</b> (3 小时)</p>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 电路原理图与 PCB 板的 EMC 问题形成机理 <ul style="list-style-type: none"> <li>● PCB 中的抗干扰电流路径及干扰形成原理分析</li> <li>● PCB 板中的 EMI 电流路径分析</li> </ul> </li> <li>2. 原理图 EMC 分析 <ul style="list-style-type: none"> <li>● 原理图 EMC 分析机理</li> <li>● 信号线和器件 EMC 属性分析(将电路原理图进行 EMC 描述)</li> <li>● 地分类与设计分析</li> <li>● 滤波分析</li> <li>● 接口电路中的抑止技术</li> <li>● 去耦分析</li> <li>● 特殊信号处理分析</li> <li>● 互联 EMC 分析</li> </ul> </li> <li>3. PCB layout 的 EMC 分析 <ul style="list-style-type: none"> <li>● PCB 的 EMC 分析机理原理</li> <li>● PCB 的 EMC 地阻抗 <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ 完整地平面的阻抗的作用与设计方法</li> <li>▪ 过孔、裂缝及其对地平面阻抗的影响</li> <li>▪ 地平面延申的作用与设计方法</li> </ul> </li> <li>● 连接器对地阻抗的影响</li> <li>● PCB 的 EMC 分析与串扰 <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ 产品中串扰分析</li> <li>▪ 产品中串扰抑制方法</li> <li>▪ 产品中哪些信号之间需要考虑串扰问题</li> <li>▪ 产品中避免串扰的设计技术</li> <li>▪ 串扰案例分析 1</li> <li>▪ 串扰案例分析 2</li> </ul> </li> </ul> </li> <li>4. 产品 PCB 设计 EMC 要素的提取</li> <li>5. 相关 PCB 设计案例分析</li> </ol>
<p><b>第四篇：产品设计 EMC 风险评估技术</b> (3 小时)</p>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 结构 EMC 设计理想模型及风险评估要素形成</li> <li>2. 结构 EMC 设计评估要素风险影响程度等级与风险分类</li> <li>3. 产品机械构架 EMC 设计风险识别 <ul style="list-style-type: none"> <li>• 产品机械构架 EMC 设计风险评估要素关键信息</li> <li>• 产品机械构架 EMC 设计风险识别过程</li> </ul> </li> <li>4. 原理图与 PCB 的 EMC 设计理想模型及风险评估要素形成</li> <li>5. 原理图与 PCB 的 EMC 设计评估要素风险影响程度等级与风险分类</li> <li>6. 原理图和 PCB 的 EMC 设计风险识别 <ul style="list-style-type: none"> <li>• 原理图和 PCB 的 EMC 设计风险评估要素关键信息</li> <li>• 原理图和 PCB 的 EMC 设计风险识别过程</li> </ul> </li> </ol>

	<ol style="list-style-type: none"> <li>7. 整机抗干扰 EMC 设计风险评价与等级确认</li> <li>8. 整机 EMI 设计风险评价与等级确认</li> <li>9. EMC 风险评估技术应用</li> <li>10. 系统级 EMC 风险评估的实现</li> <li>11. EMC 设计风险评估的优点与技术展望</li> <li>12. 未来的产品 EMC 评价模式设想</li> <li>13. 风险评估标准的应用</li> <li>14. EMC 风险评估在企业研发过程中的应用</li> </ol>
--	---

### 3、第三期：“高级 PCB EMC设计” 专题培训课程（2天）



#### 3.1 课程简介

PCB就像一个完整产品的缩影，它是EMC技术中最值得探讨的部分。它是设备工作频率最高的部分，同时，往往也是电平最低最为敏感的部分。PCB的EMC设计中，实际上已经包含了接地设计、去耦旁路设计、串扰屏蔽等有着良好地平面的PCB，不但可以降低流过干扰共模电流时产生的压降，同时也是减小环路的重要手段；一个有着良好去耦与旁路设计PCB的设备相当于有一个健壮的“体格”。

PCB板是电子产品最基本的部件，也是绝大部分电子元器件的载体。当一个产品的PCB板设计完成后，可以说其核心电路的骚扰和抗扰特性就基本已经确定下来了，要想再提高其电磁兼容特性，就只能通过接口电路的滤波和外壳的屏蔽来“围追堵截”了，这样不但大大增加了产品的后续成本，也增加了产品的复杂程度，降低了产品的可靠性。可以说一个好的PCB板可以解决大部分的电磁骚扰问题，只要同时在接口电路排板时适当增加瞬态抑制器件和滤波电路就可以同时解决大部分抗扰度和骚扰问题。在PCB布线中增强电磁兼容性不会给产品的最终完成带来附加费用。如果，在PCB板设计中，产品设计师往往只注重提高

密度，减小占用空间，制作简单，或追求美观，布局均匀，忽视了线路布局对电磁兼容性的影响，使大量的信号辐射到空间形成骚扰。那么这个产品将导致大量的EMC问题。在很多例子中，就算加上滤波器和元器件也不能解决这些问题。到最后，不得不对整个板子重新布线。因此，在开始时养成良好的PCB布线习惯是最省钱的办法。PCB的设计涉及两个方面，一方面PCB在产品中并非独立存在，它与电缆、金属壳、其它PCB板之间存在关系，这个关系都会应该产品的EMC结果，另一方面，PCB内部的设计方法也最大程度的影响PCB的EMC性能。

通过参与高级PCBEMC设计培训，培训学员可以在短时间掌握板级EMC设计相关知识和设计技巧，如原理图滤波设计、EMC元器件选型与应用、常用接口电路的EMC设计、PCB布线布局的EMC设计技巧、如何设计PCB与金属外壳之间的连接、如何对电路原理图、PCB进行EMC分析等，同时提高设计人员的EMC设计水平。

**本课程的特点：**

(1) 聚焦于PCB设计，讲述PCB外部（PCB与外壳、电缆、其它PCB的关系）和PCB内部（PCB layout）的EMC设计方法；

(2) 适合于有PCB设计的产品；

(3) 有EMC测试原理和实质的解释。

### 3.2 课程大纲

高级 PCB EMC 设计课程	
PCB EMC 分析理论基础	<ul style="list-style-type: none"> <li>● EMC 核心测试项目原理及本质解释               <ol style="list-style-type: none"> <li>1. 产品辐射发射的原因和测试本质</li> <li>2. 产品产生传导骚扰的原因和测试本质</li> <li>3. ESD 抗干扰测试原理及产品受 ESD 干扰的原因</li> <li>4. EFT 抗干扰测试原理及产品受 EFT 干扰的原因</li> <li>5. 其它测试项目的原理及产品受干扰的原因</li> </ol> </li> </ul>
PCB 与外壳之间的关系处理及设计方法	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 研究 PCB 与金属外壳之间关系意义</li> <li>● 产品进行 PCB 接地设计的本质与意义</li> <li>● PCB 中工作地与产品金属壳之间应该如何处理               <ol style="list-style-type: none"> <li>1. 从抗干扰的原理来分析 PCB 的工作地与金属壳之间的处理方式</li> <li>2. 从 EMI 的原理来分析 PCB 的工作地与金属壳之间的护理方式</li> <li>3. PCB 工作地与金属壳地之间直接连接、不连接、电容连接的意义</li> <li>4. PCB 工作地与金属壳地之间连接的实现方式</li> </ol> </li> <li>● 金属外壳对 EMC 的影响实质</li> <li>● 非金属外壳产品如何设计               <ol style="list-style-type: none"> <li>1. 电缆的位置分析</li> <li>2. PCB 设计与接地设计之间的关系</li> </ol> </li> <li>● <b>相关案例分析</b> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. <b>案例：变压器屏蔽案例</b></li> </ol> </li> </ul>

	<p>2. 案例：旁路电容的作用</p> <p>3. 案例：光耦两端的数字地与模拟地如何接？</p> <p>4. 案例：PCB 工作地与金属外壳直接相连是否会导致 ESD 干扰进入电路？</p>
<p>PCB 内部 EMC 设计分析</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● PCB 的 EMC 性能与关键元器件位置</li> <li>● PCB 的内部耦合与外部耦合       <ol style="list-style-type: none"> <li>1. 干扰在 PCB 内部如何传递</li> <li>2. PCB 中电路受干扰的机理即解决方案</li> <li>3. PCB 内部信号如何变成辐射信号及解决方案</li> </ol> </li> <li>● 为何滤波、地平面设计、防止串扰设计是 PCB EMC 设计的重中之重</li> <li>● PCB 各种端口的滤波设计方法</li> <li>● PCB 中地平面设计       <ol style="list-style-type: none"> <li>1. 地平面与阻抗</li> <li>2. 地平面阻抗对 PCB 的 EMC 性能的意义（辐射发射与抗扰度）</li> <li>3. 如何设计地平面来解决 EMI 问题与抗扰度问题</li> <li>4. 地平面设计案例分析</li> </ol> </li> <li>● 如何防止 PCB 中信号线之间的串扰       <ol style="list-style-type: none"> <li>1. 串扰对 EMC 的重要意义（辐射发射与抗扰度测试）</li> <li>2. PCB 中如何防止串扰？</li> <li>3. 串扰如何防止？</li> <li>4. 防止串扰手段与措施</li> <li>5. PCB 设计中如何确定哪些地方需要防止串扰</li> </ol> </li> <li>● 数模混合电路设计       <ol style="list-style-type: none"> <li>1. 数模混合电路设计原理</li> <li>2. 数字信号干扰模拟信号的几种模式</li> <li>3. 数字信号与模拟信号的处理方式</li> <li>4. 数字电源与模拟电源的处理方式</li> <li>5. 数字地与模拟地的处理           <ol style="list-style-type: none"> <li>(1) 何时可以分地？</li> <li>(2) 分地的意义？</li> <li>(3) 分地是如何处理数模之间的相互干扰</li> <li>(4) 何时不能分地？</li> </ol> </li> <li>6. 数模混合电路设计案例</li> </ol> </li> <li>● PCB 板中的去耦设计方法       <ol style="list-style-type: none"> <li>(1) 去耦的意义</li> <li>(2) 去耦的设计方法</li> <li>(3) 去耦设计与产品系统 EMC 性能</li> <li>(4) 去耦案例分析</li> </ol> </li> <li>● <b>相关案例分析：</b> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. 案例：PCB 中多了一平方厘米的地层铜</li> <li>2. 案例：PCB 中铺“地”要避免耦合</li> <li>3. 案例：电容值大小对电源去耦效果的影响</li> </ol> </li> </ul>
<p>问题解答与现场分析</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 客户自带 PCB、原理图、产品实物 EMC 问题与隐患分析</li> </ul>

## 4、第四期：“汽车电子产品设计 EMC 分析方法”专题培训课程（2天）



### 4.1 课程简介

- 本课程主要是传授一种汽车电子产品的 EMC 设计及分析方法。

本课程所述的 EMC 设计与分析方法重点所针对 EMC 测试项目有 ESD、BCI、脉冲 3A、3B、CE、RE 等高频、疑难测试项目。

### 4.2 课程大纲

<b>汽车电子产品设计 EMC 分析方法</b>	
<b>汽车电子 EMC 测试及 EMC 设计基本概念</b>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 什么是 EMC 和 EMC 设计</li> <li>2. 汽车电子 EMC 测试实质及原理</li> <li>3. 汽车电子 EMC 测试与 EMC 设计之间的关系</li> <li>4. EMC 设计理论基础</li> </ol>
<b>汽车电子产品的机械结构构架设计的 EMC 分析方法</b>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 共模和差模</li> <li>2. 共模电流对汽车电子产品 EMC 性能的意义</li> <li>3. 共模干扰电流干扰汽车电子电路正常工作的机理</li> <li>4. 汽车电子产品的机械结构构架的 EMC 分析与共模电流路径 <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ 实例分析</li> </ul> </li> <li>5. 数字电路的噪声容限</li> <li>6. 汽车电子 EMI 意义上的共模电流 <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ 传导骚扰与共模电流</li> <li>▪ 辐射发射与共模电流</li> <li>▪ 汽车电子产生共模辐射的条件</li> </ul> </li> <li>7. 产品设计中 EMI 的共模电流与抗扰度的共模电流的关系</li> <li>8. 汽车电子产品构架 EMC 问题案例分析</li> </ol>
<b>汽车电子中电缆、连接器设计的 EMC 分析方法</b>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 汽车电子产品 EMC 测试与连接器、电缆</li> <li>2. 汽车电子连接器、电缆与 EMC 设计分析的重要性 <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ 连接器电缆与 EMI 设计分析的重要性</li> </ul> </li> </ol>

	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ 电缆对 EMC 抗扰度重要性</li> </ul> <p>3. 汽车电子电缆、连接器 和共模电流的 EMC 分析方法</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ 电缆/连接器在产品中的位置对产品 EMC 性能的影响</li> <li>▪ 敏感电路和骚扰源共模电流流向的关系</li> <li>▪ 电缆/连接器 中共模电流的抑止方法</li> <li>▪ 接口电路中的抑止技术</li> <li>▪ 常用接口电路的 EMC 设计实例分析</li> </ul> <p>4. 汽车电子产品内部的互连连接器、电缆与 EMC 设计、分析方法</p>
<p><b>汽车电子产品中接地、隔离与浮地的 EMC 分析设计方法</b></p>	<p>1. 汽车电子产品中接地在 EMC 中的意义</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ 什么是接地与浮地</li> <li>▪ 接地对产品 EMC 性能的影响</li> <li>▪ 如何设计产品接地</li> </ul> <p>2. 汽车电子产品中隔离技术在 EMC 中的实质</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ 变压器隔离</li> <li>▪ 光电耦合器隔离</li> <li>▪ 继电器隔离</li> <li>▪ 使用共模扼流圈(共模电感)</li> </ul> <p>3. 汽车电子中的浮地</p> <p>4. 相关案例分析</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ 案例分析 1</li> <li>▪ 案例分析 2</li> </ul>
<p><b>汽车电子产品 PCB 中印制线、地平面的阻抗及金属板的阻抗对 EMC 的意义</b></p>	<p>1. 什么是阻抗</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ 阻抗与特性阻抗</li> <li>▪ 阻抗的意义</li> </ul> <p>2. PCB 中地平面的阻抗的 EMC 意义</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ 完整地平面的阻抗</li> <li>▪ 过孔、裂缝及其对地平面阻抗的影响</li> <li>▪ PCB 中的过孔设计技巧</li> </ul> <p>3. PCB 中印制线的阻抗</p> <p>4. 导线的阻抗</p> <p>5. 金属板的阻抗及在 EMC 中的应用</p> <p>6. 连接器对阻抗的影响</p> <p>7. 如何设计符合汽车电子产品 EMC 要求的 PCB 板</p> <p>8. 相关 PCB 设计案例分析 1</p> <p>9. 相关 PCB 设计案例分析 2</p>
<p><b>汽车电子产品中滤波、去耦、旁路的 EMC 分析设计方法</b></p>	<p>1. 电容</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ 电容的谐振与阻抗</li> <li>▪ 电容的并联</li> </ul> <p>2. LC 电路</p> <p>3. 汽车电子产品中的滤波和滤波电路</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ 滤波效果与阻抗的关系</li> <li>▪ 汽车电子设备电源滤波电路的设计方法</li> <li>▪ 常见信号接口滤波电路设计方法</li> <li>▪ 滤波电路的安装与放置</li> </ul>

	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ 滤波电路对共模电流的影响</li> </ul> <ol style="list-style-type: none"> <li>4. 汽车电子 PCB 板去耦设计方法 <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ 去耦的实质</li> <li>▪ 去耦电容的选择</li> <li>▪ 耦电容的安装方式与 PCB 设计</li> </ul> </li> <li>5. 汽车电子 PCB 板旁路电容 <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ 旁路电容的概念</li> <li>▪ 旁路电容应用案例</li> </ul> </li> <li>6. 案例分析 1</li> <li>7. 案例分析 2</li> <li>8. 案例分析 3</li> </ol>
<b>汽车电子产品中串扰的 EMC 分析与设计方法</b>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 汽车电子中串扰对产品整体 EMC 性能的影响</li> <li>2. 汽车电子中串扰的产生</li> <li>3. 汽车电子中串扰模型分析 <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ 容性串扰</li> <li>▪ 感性串扰</li> </ul> </li> <li>4. 汽车电子中串扰抑制方法 <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ 汽车电子中哪些信号之间需要考虑串扰问题</li> <li>▪ 汽车电子中避免串扰的设计技术</li> </ul> </li> <li>5. 串扰案例分析 1</li> <li>6. 串扰案例分析 2</li> </ol>
<b>汽车电子产品设计开发中 EMC 分析及 EMC 风险评估方法</b>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 产品的测试计划 <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ 测试计划的必要性</li> <li>▪ 测试计划的内容</li> </ul> </li> <li>2. 汽车电子产品机械结构构架设计的 EMC 风险分析 <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ 汽车电子产品机械结构构架设计的 EMC 风险分析原理及方法</li> <li>▪ EMC 设计成功率的估算</li> </ul> </li> <li>3. 汽车电子产品原理图设计 EMC 风险分析方法 <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ 汽车电子产品的原理图设计 EMC 风险分析原理</li> <li>▪ 如何将电路原理图进行 EMC 描述</li> <li>▪ 如何对汽车电子产品的电路原理进行 EMC 分析</li> </ul> </li> <li>4. 汽车电子产品 PCB 布局布线的建议及 EMC 分析方法 <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ 如何进行 PCB 布局布线设计</li> <li>▪ 如何对 PCB 进行 EMC 分析及风险评估</li> </ul> </li> <li>5. 如何进行 PCB 设计及进行 EMC 审查</li> <li>6. 如何将 EMC 风险评估融入到企业产品开发流程中 <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ EMC 与产品研发成本</li> <li>▪ EMC 风险评估法融入产品开发流程 <ol style="list-style-type: none"> <li>(1) 指定 EMC 专家;</li> <li>(2) 如何将构架 EMC 风险评估过程融入开发流程;</li> <li>(3) 如何将原理图 EMC 分析和 PCB 布局布线过程融入开发流程。</li> </ol> </li> </ul> </li> </ol>
<b>汽车电子产品中有关大能量抗扰度、ESD 和差模问题的设计方法</b>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 汽车电子产品中大能量抗扰度测试的实质</li> <li>2. 汽车电子产品中的差模干扰与骚扰</li> <li>3. 汽车电子产品防 ESD 抗扰度设计方法</li> </ol>

	<ul style="list-style-type: none"><li>▪ ESD 产生的机理</li><li>▪ 如何通过绝缘防止 ESD</li><li>▪ 如何通过屏蔽防止 ESD</li><li>▪ 如何通过良好的搭接与接地防止 ESD</li><li>▪ 如何通过 PCB 布局布线防止 ESD 产生的电磁场感应</li><li>▪ 如何设计 I/O 端口的 ESD 防护</li></ul> <ol style="list-style-type: none"><li>4. 案例分析 1</li><li>5. 案例分析 2</li><li>6. 案例分析 3</li></ol>
--	---