

EMI 调试实践

应用指南

引言

世界各地制订了各种 EMI/EMC 法规，为电气设备和电子设备用户提供保护和​​安全。工程师在当前产品设计中花费了大量的时间和精力，以使其 EMI 影响达到最小。

许多公司采用专门测试机构提供的服务，来执行 EMI/EMC 认证要求的实际一致性测试。测试机构可以属

于一家外部公司（“测试工作室”），也可以属于内部 EMC 部门。大多数工程师采用优秀的设计惯例，最大限度地减少发生 EMI/EMC 问题的可能。即使有准确的 EMI/EMC 仿真软件，当前在设计和原型阶段通常仍要执行“预一致性”测量，以在产品发出进行一致性测试之前，识别和解决潜在的 EMI/EMC 问题。这些技术降低了产品在测试工作室进行最终全面一致性测试时失败的风险。

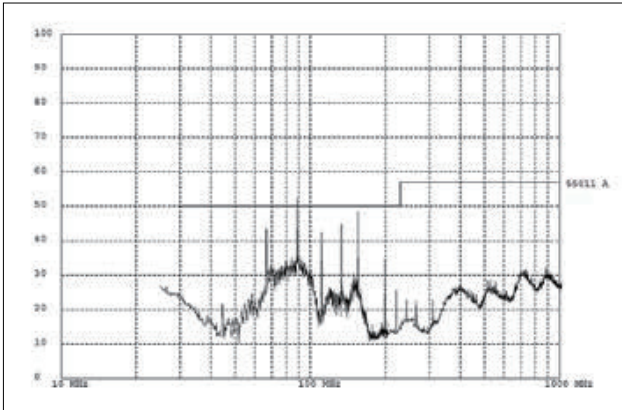


图 1. 这份 EMI 测试报告显示了未通过测试的频率约为 90 MHz。

频率范围	CISPR 频段	检测器	滤波器带宽
9 kHz – 150 kHz	A	峰值, 准峰值	200 Hz
150 kHz – 30 MHz	B	峰值, 准峰值	9 kHz
30 MHz – 1 GHz	C/D	峰值, 平均值	120 kHz
> 1 GHz	E	峰值, 平均值	1 MHz

表 1. CISPR 测试要求随频率范围变化, 会影响频率分辨率。

Frequency (MHz)	Ampl. (dBμV)	AntFact (dB/m)	Ant. Pol.	Preamp (dB)	Cab.+Atten Loss	Chamber (dB)	Adjusted (dBμV/m)	Spec (dBμV/m)	Margin (dB)
66.5540	61.3	6.6	HOR.	27.9	0.7	2.8	43.5	50.0	6.5
84.5338	45.8	7.5	HOR.	27.8	0.8	8.7	35.0	50.0	15.0
88.7291	64.6	7.9	HOR.	27.8	0.8	6.8	52.3	50.0	-2.3
110.9042	59.0	7.6	HOR.	27.6	1.0	2.6	42.5	50.0	7.5
133.0795	62.1	7.3	HOR.	27.2	1.0	1.7	44.8	50.0	5.2
155.0557	64.8	8.6	HOR.	27.0	1.1	1.0	48.5	50.0	1.5

图 2. 这些数据显示图 1 中未通过测试的频率为 88.7291 MHz, 但这些数字不能让你相信这就是准确的源频率。

但如果产品未能通过一致性测试, 会怎么样呢?

即使是采用了优秀的设计, 选择了优质器件, 花了时间认真分析了产品特性, 可能仍然会发生 EMI 问题! (图 1)

上面的报告指明了有一个峰值超出了这一特定标准的极限。正常情况下, 在报告中我们还会收到表格形式的信息 (图 2)。

了解 EMI 报告

乍一看, 类似上面的 EMI 报告似乎提供了与特定频率上的故障有关的简明信息。确定设计的哪个部分包含着该源频率, 并施加部分衰减, 以便通过测试, 应该是非常简单的事。在筛选设计, 试图确定问题来源之前, 必须先了解测试工作室是怎样制作这份报告的。

图 2 中的报告显示了测试频率、测得的幅度、校准后的校正系数、调节后的场强。调节后的场强与规范进行对比, 确定裕量或超出水平。尽管报告中明确指明了许多测试条件, 但需要考虑的某些重要因素可能并不那么明显。

频率范围和测试点数：测试报告中给出的频率恰好就是 EMI 源的频率，这几乎是不可能的。频率范围和测试点数可以帮助确定一致性测试频率与来源的实际频率的接近程度。根据国际无线电干扰特别委员会 (CISPR) 的规定，在执行放射辐射测试时，必须根据频率范围采用不同的测试方法。每个频率范围都要求特定解析带宽的滤波器和特定类型的检测器，如表 1 所示。频率范围决定着滤波带宽，进而决定着分辨具体的关心频率的能力。

检测器类型：一般来说，测试机构会先完成峰值扫描，因为完成这一工作所需的时间最少。由于检测器的特点，完成准峰值 (QP) 扫描需要的时间要多得多 (参见侧栏“常见的峰值检测类型”)。准峰值检测采用测量加权方法，从广播角度看越“麻烦”，信号分配到的权重越大，因此检测器类型可能会掩盖干扰信号的绝对幅度。

方位角 / 距离：在执行扫描时，被测单元 (UUT) 可以放在转台上，从而可以从多个角度收集信息。这些方位角信息特别有用，因为它指明了问题是从哪个 UUT 区域发出的。

EMI/EMC 测试工作室必须在经过校准的 RF 舱中执行测量，作为场强指标报告结果，这使形势进一步复杂化。

幸运的是，您不需要复现测试工作室的条件，就能调试 EMI 测试失败。可以使用测试报告中的信息执行调试，这需要很好地了解生成报告使用的测量技术，在 UUT 周围进行相对观察，隔离来源，测量补偿效果，而不是在高度受控的 EMI 测试机构中执行绝对测量。

常见的峰值检测类型

可以使用简单的峰值检测器进行 EMI 测量。但是，EMI 部门或外部测试工作室使用的是准峰值 (QP) 检测器。因此，您可能会想是否也要使用准峰值检测器。

EMI 部门或外部实验室在开始测试时，会使用简单的峰值检测器执行扫描，以找到超过或接近指定极限的问题区域。对接近或超过极限的信号，他们执行准峰值测量。准峰值检测器是 EMI 测量标准规定的一种专用检测方法。准峰值检测器用来检测信号包络的加权峰值 (准峰值)。它根据持续时间和重复速率对信号进行加权。与偶发脉冲相比，信号发生频次越高，准峰值测量越高。

图 3 是峰值检测和准峰值检测实例。这里，在峰值检测和准峰值检测中都看到了一个信号的脉宽为 $8\mu\text{s}$ ，重复速率为 10 ms 。得到的 QP 值比峰值低 10.1 dB 。

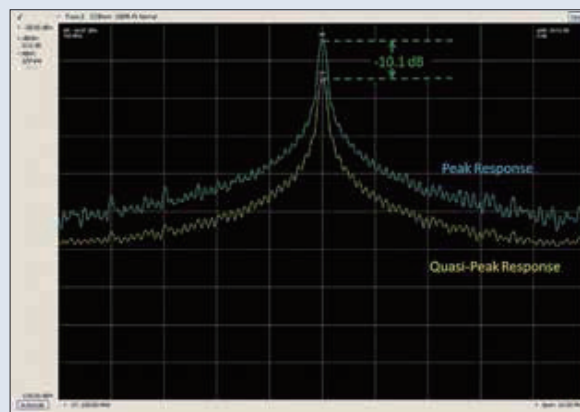


图 3. 峰值检测与准峰值检测比较。

根据经验，准峰值一直会小于等于峰值检测，而不会大于峰值检测。因此，您可以使用峰值检测进行 EMI 调试和诊断，而不必非得要进行 EMI 部门或实验室扫描，因为它是相对的。如果您的实验室报告显示设计超过 3 dB ，峰值检测超过 6 dB ，那么您需要采取修复措施，把信号降低 3 dB 或以上。

我要从哪儿入手？

在我们从 EMI 角度查看任何产品时，整个设计可以视为能量来源和天线的集合。为了识别 EMI 问题的来源，我们必须先确定能量来源，然后找出这种能量是怎样放射的。EMI 问题的常见来源 * 包括：

- 电源滤波器
- 地面阻抗
- 信号回程不足
- LCD 辐射
- 元器件寄生信号
- 电缆屏蔽差
- 开关电源 (DC/DC 转换器)
- 内部耦合问题
- 金属化机箱中的 ESD
- 返回路径不连续

* W. D. Kimmel, D. D. Gerke; “医疗电子器件中十种常见的 EMI 问题”；医疗电子设计；2005 年 10 月 1 日

这一列表列出了 EMI 的部分常见来源，但并没有包含全部来源。为了确定某块电路板上的能量来源，工程师通常使用近场探头。在使用这些类型的探头时，我们必须记住信号传播的基础知识。为了确定特定 EMI 问题核心的特定来源和天线，我们可以考察观察到的信号的周期性和一致性。

周期性：

- 信号的 RF 频率是多少？
- 是脉冲式信号还是连续信号？

可以使用基本频谱分析仪监测这些信号特点。

一致性：

- UUT 的哪些信号与 EMI 事件一致？

通常使用示波器，探测 UUT 上的电信号。

检查 EM 问题是否与电信号一致，无疑是 EMI 诊断中最耗时的流程。过去，一直难以以有意义的方式把来自频谱分析仪的信息与来自示波器的信息关联起来。MDO4000 系列混合域示波器 (参见侧栏 “混合域示波器”) 的问世，消除了 EMI 调试中同步多台仪器的难题。

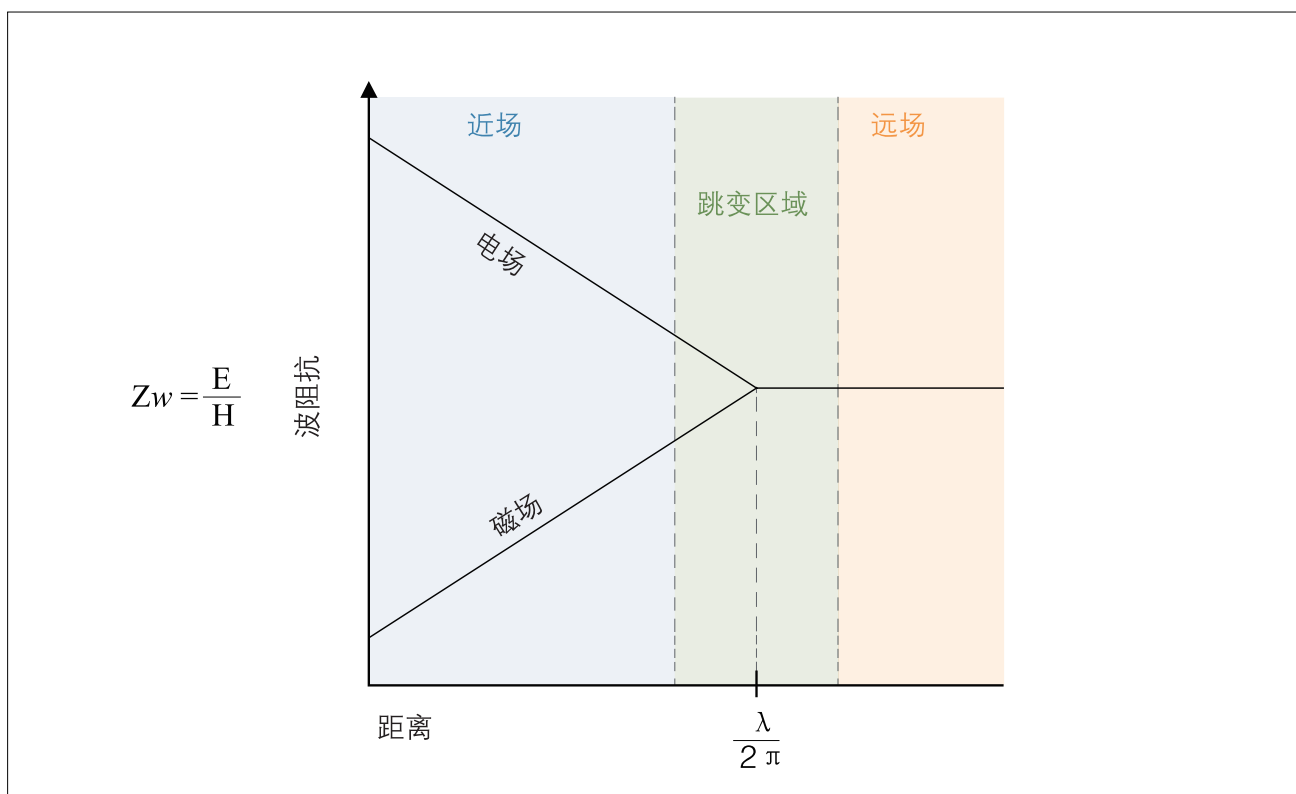


图 4. 在近场中，波阻抗取决于来源特点及其距离。在远场中，阻抗是恒定的。

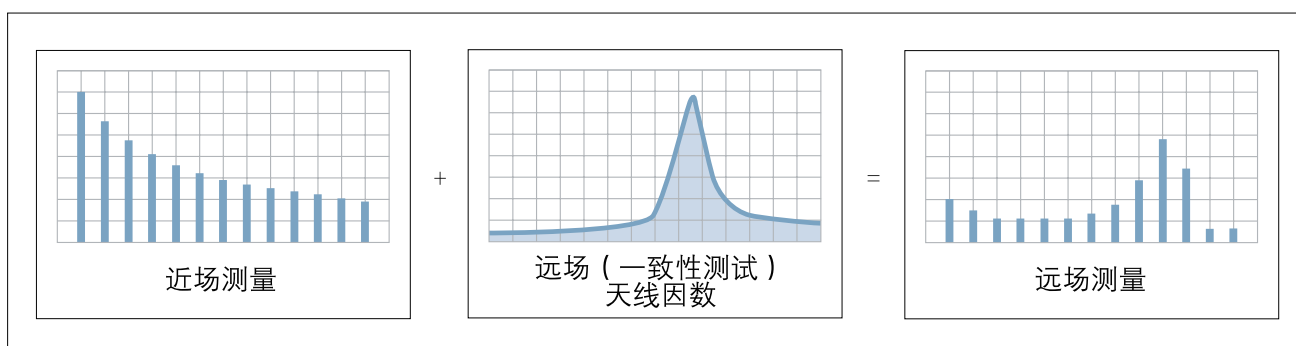


图 5. 远场测量不仅取决于在近场中能够观察到的活动，还取决于其他因素，如天线增益和测试条件。

近场测量与远场测量

图 4 显示了近场和远场中波阻抗的特点，以及其间的跳变区域。我们可以看到，在近场区域中，场可以从以磁场为主变成以电场为主。调试中使用近场测量，因为可以确定能量来源，可以在不需特定测试站点的情况下执行测量。

但是，一致性测试是在远场进行的，从远场测量结果中预测远场能量水平可能会非常复杂，因为远场信号的强度不仅取决于来源的强度，还取决于放射机制及可能采用的任何屏蔽或滤波。根据经验，我们必须记住，如果我们在远场中观察到一个信号，那么我们应该在近场中看到相同的信号。但是，我们可能会在近场中观察到一个信号，但在远场中不能看到相同的信号。

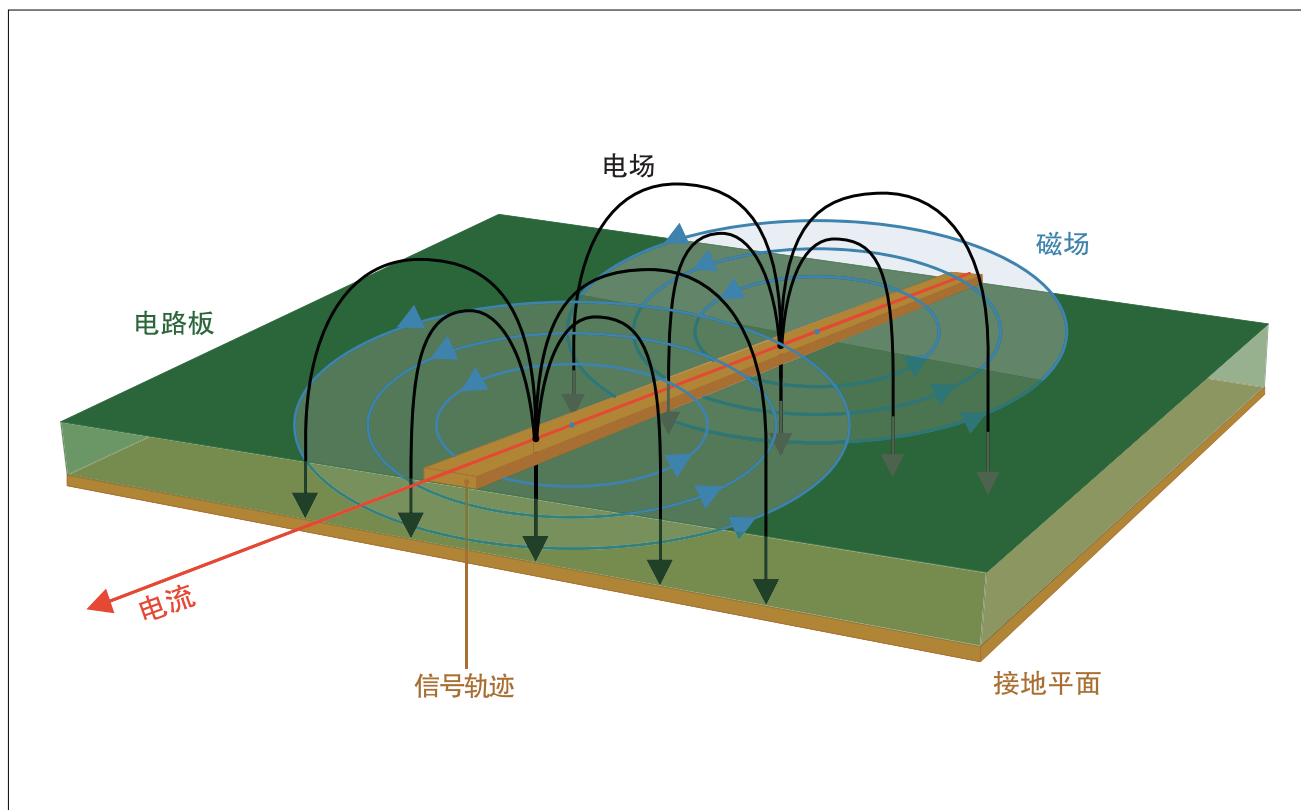


图 6. 构成信号的电压和电流变化导致电场和磁场。

近场探测

尽管一致性测试程序是为得到绝对的经过校准的测量而设计的，但在很大程度上可以使用相对测量来执行调试。

近场探头本质上是拾取磁场 (H 场) 或电场 (E 场) 变化而设计的天线。一般来说，近场探头不会带有校准数据，因此其主要目的是进行相对测量。

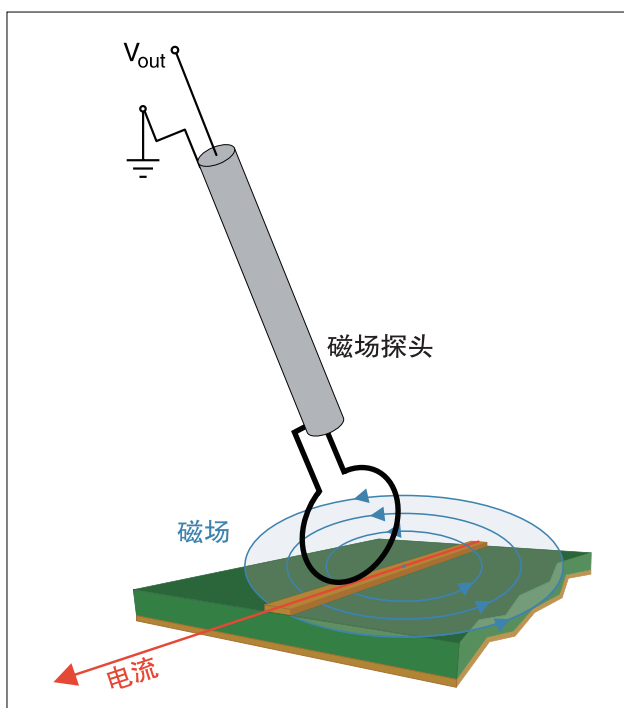


图 7. 使磁场探头与电流流向成一线，以便磁场线穿过环路。

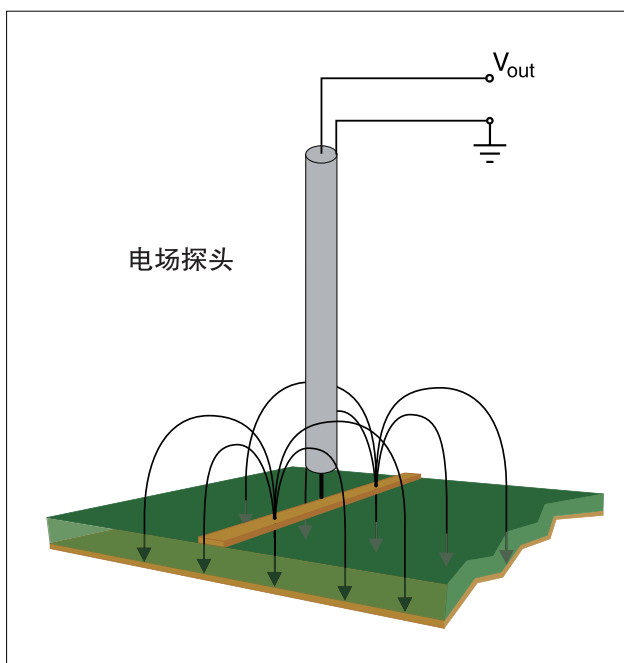


图 8. 使电场探头与导体垂直，以观察电场。

磁场探头

磁场探头采用不同的环路设计，环路平面应与电流流动成一线，以便环路与流量的磁场线相交。环路的大小决定着灵敏度以及测量面积，因此在使用这些类型的探头隔离能量来源时要特别注意。近场探头套件通常包括大量的不同尺寸，因此可以使用小得多的环路尺寸，以便缩窄测量面积。磁场探头特别适合识别电流相对较高的来源，如：

- 低阻抗节点和电路
- 传输线
- 电源
- 端接线和电缆

电场探头

电场探头作为小型单极天线使用，对电场或电压变化作出响应。在使用这些类型的探头时，非常重要的一点是使探头一直与测量平面垂直。在实践中，电场探头特别适合集中于非常小的区域，识别电压相对较高的来源及没有端接的来源，如：

- 高阻抗节点和电路
- 未端接的 PCB 轨迹
- 电缆

在低频率上，系统中的电路节点阻抗可能会变化很大，因此要求了解电路或试验，以确定提供最高灵敏度的是磁场探头还是电场探头。在较高频率上，这些差异非常大。在所有情况下，进行重复的相对测量都非常重要，以便能够树立信心，知道自己准确地表示了实现的任何变动导致的近场辐射。最重要的考虑因素是对每次试验变化要保证近场探头的位置和方向保持一致。

混合域示波器

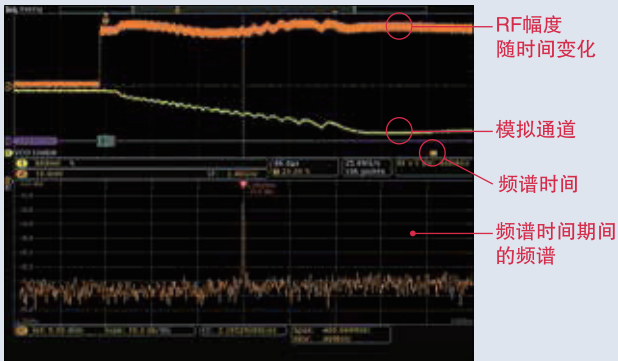
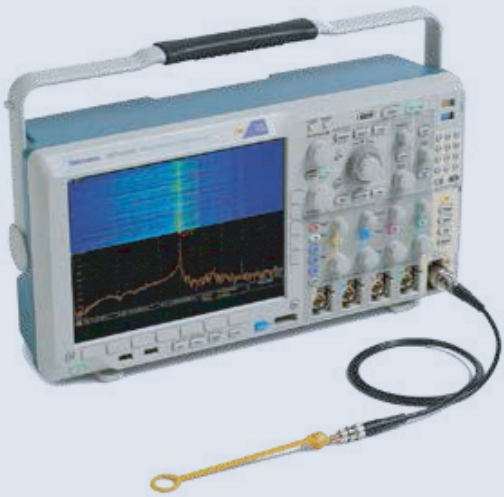


图9. MDO4000 系列示波器提供振荡器启动的时间相关视图。

混合域示波器同时融合了示波器、频谱分析仪和逻辑分析仪的功能。MDO4000 系列提供了独一无二的功能，可以同时查看同步的模拟信号特点、数字定时、总线事务和频率频谱。MDO3000 也融合了示波器、频谱分析仪和逻辑分析仪的功能，但不能同时采集或查看频率频谱和时域波形。



MDO4000 系列在一台仪器中同时融合了频谱分析仪、示波器和逻辑分析仪功能，从这三台仪器中生成时间相关测量。

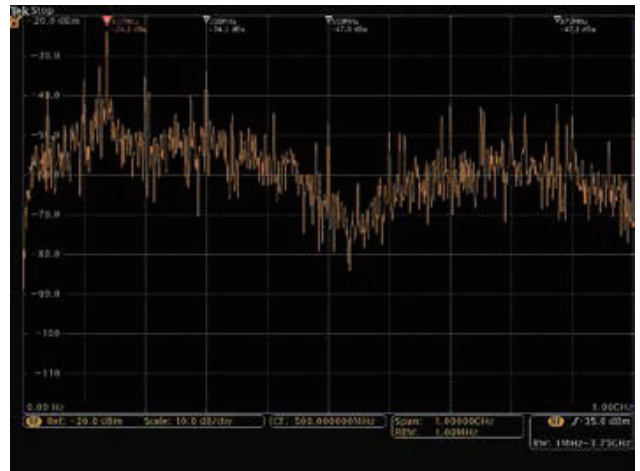


图10. 频谱分析仪显示了放在 UUT 附近的磁场探头的输出。

案例分析: 确定信号特点和一致性, 确定来源

本案例分析将演示收集证据, 定位 EMI 来源的过程。对一个小微控制器进行的 EMI 扫描表明出现了超限故障, 似乎源于一个以 144 MHz 为中心的宽带信号。

我们使用 MDO4000 的频谱分析仪 (图 10), 先把磁场探头连接到 RF 输入上, 从而可以定位能量来源。

必需定位磁场探头, 使环路平面与被评估的导体成一线, 环路位置要使流量的磁场线穿过它自己。在 PCB 上移动磁场探头, 可以定位能量来源。通过选择孔径较窄的探头, 我们可以把搜索重点放在更小的区域。

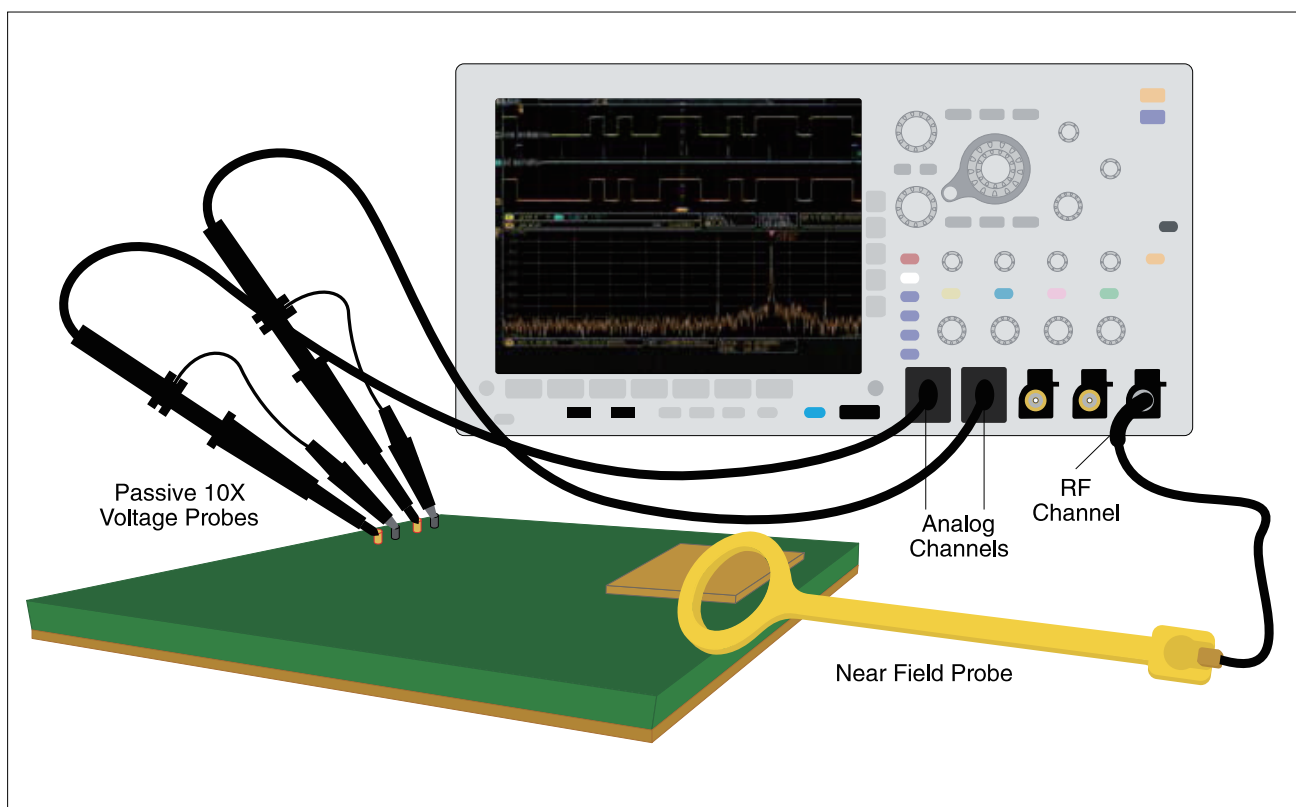


图 11. 测试设置把混合域示波器上的模拟示波器通道与频谱分析仪通道结合在一起。

一旦定位了明显的能量来源，我们打开 RF 幅度随时间变化轨迹（图 12）。这条轨迹显示了频宽中所有信号的积分功率随时间变化情况。我们在画面中可以清楚地看到一个大的脉冲。在记录长度中移动频谱时间，我们可以看到 EMI 事件（以 140 MHz 为中心的宽带

信号）直接对应较大的脉冲。为了稳定测量，我们可以启用 RF 功率触发，然后提高记录长度，从而可以确定 RF 脉冲的发生频次。为测量脉冲重复周期，我们可以启用测量标记，直接确定周期。

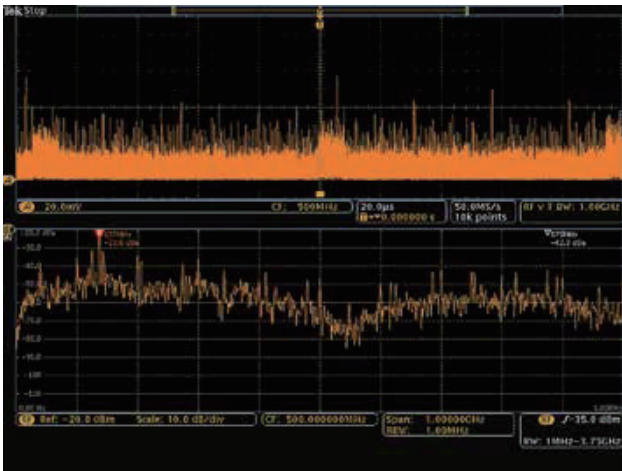


图 12. RF 幅度随时间变化轨迹显示了明显的脉冲。频谱画面显示了其频率成分。

积极确定 EMI 来源的下一步，是采用 MDO4000 系列示波器的示波器部分。保持相同的设置，我们现在可以启用示波器的通道 1，浏览 PCB，查找与 EMI 事件一致的信号来源。

在使用示波器探头浏览信号一段时间后，可以确定图 13 中的信号。在画面上可以明显看出，我们在示波器通道 1 上连接的信号能够与 EMI 事件直接相关。



图 13. 在示波器其中一条通道上使用无源探头探测信号，发现与 RF 相关的信号。

总结

EMI 一致性测试失败可能会导致产品开发周期风险，而本文列出的调试技术则可以帮助您隔离能量来源，从而制订补救计划。高效调试要求了解一致性测试报告以及一致性测试和调试怎样采用不同的测量技术。一般来说，它需要寻找相对较高的电磁场，确定其特点，把场行为与电路行为关联起来，确定能量来源。



泰克官方微信

如需所有最新配套资料，请立即与泰克本地代表联系！

或登录泰克公司中文网站：cn.tek.com

泰克中国客户服务中心全国热线：400-820-5835

泰克科技(中国)有限公司

上海市浦东新区川桥路1227号
邮编：201206
电话：(86 21) 5031 2000
传真：(86 21) 5899 3156

泰克北京办事处

北京市海淀区花园路4号
通恒大厦1楼101室
邮编：100088
电话：(86 10) 5795 0700
传真：(86 10) 6235 1236

泰克上海办事处

上海市徐汇区宜山路900号
科技大楼C座9楼
邮编：200233
电话：(86 21) 3397 0800
传真：(86 21) 6289 7267

泰克深圳办事处

深圳市深南东路5002号
信兴广场地王商业大厦3001-3002室
邮编：518008
电话：(86 755) 8246 0909
传真：(86 755) 8246 1539

泰克成都办事处

成都市锦江区三色路38号
博瑞创意成都B座1604
邮编：610063
电话：(86 28) 6530 4900
传真：(86 28) 8527 0053

泰克西安办事处

西安市二环南路西段88号
老三届世纪星大厦26层C座
邮编：710065
电话：(86 29) 8723 1794
传真：(86 29) 8721 8549

泰克武汉办事处

武汉市洪山区珞喻路726号
华美达大酒店702室
邮编：430074
电话：(86 27) 8781 2760

泰克香港办事处

香港九龙尖沙咀弥敦道132号
美丽华大厦808-809室
电话：(852) 2585 6688
传真：(852) 2598 6260

cn.tek.com

有关信息

泰克维护着完善的、且不断扩大的资料库，其中包括各种应用指南、技术简介和其它资源，帮助工程师开发尖端技术。详情请访问：cn.tek.com

© 泰克公司 2015 年版权所有，侵权必究。泰克产品受到已经签发及正在申请的美国专利和外国专利保护。本文中的信息代替所有以前出版的材料中的信息。本文中的技术数据和价格如有变更，恕不另行通告。TEKTRONIX 和 TEK 是泰克公司的注册商标。本文中提到的所有其它商号均为各自公司的服务标志、商标或注册商标。

