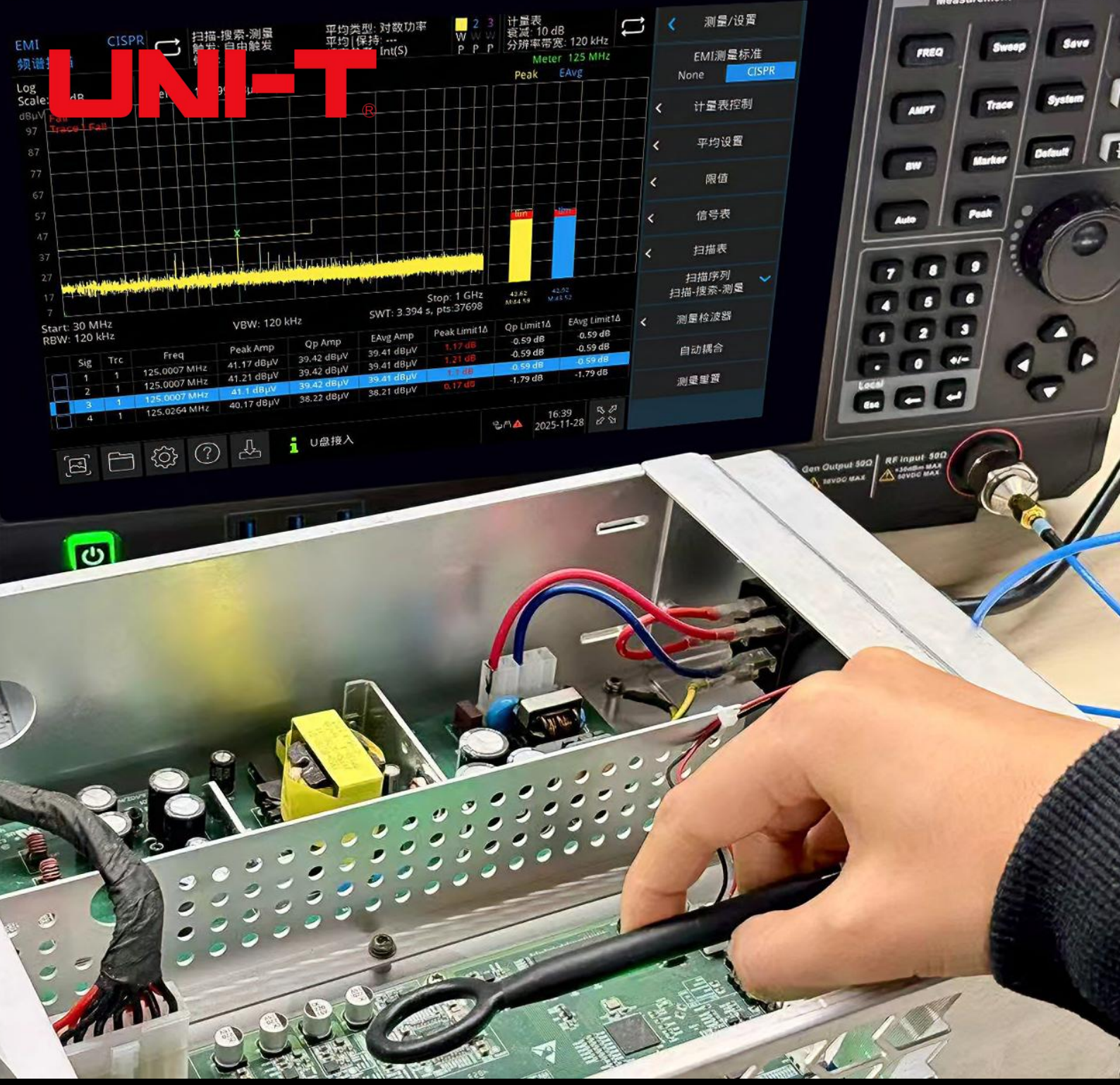


电子系统 EMI 故障诊断与精准测量

应用文档

一、EMI 核心：核心机理、标准与价值

在当前电子系统向着更高频率、更密集成与更短开发周期发展的背景下，电磁兼容性已超越基本的合规门槛，成为影响产品可靠性、上市速度与市场口碑的核心竞争力。系统化的 EMI 故障诊断与精准测量，正是应对这一挑战、确保电子设备稳健运行的关键工程技术。

1.1 机理剖析：EMI 的本质与溯源

电磁干扰（EMI）是电子设备在工作过程中产生并向外发射的非预期电磁能量。根据传播路径的不同分为两类：

- **传导干扰**通过导线传播，典型频段 < 30MHz；
- **辐射干扰**通过空间传播，典型频段 > 30MHz。

（注：30MHz 为工程近似划分，实际中传导和辐射的耦合机制在更宽频段内可能并存。）

在实际电子设备中，EMI 问题通常表现为设备性能下降、通信错误、甚至系统崩溃等故障现象。开关电源、时钟电路、数字总线等是常见的 EMI 源。这些电路在工作时会产生高频电磁噪声，可能影响其他设备的正常工作。

关键概念界定：

电磁干扰（EMI）电子设备在工作过程中产生并向外发射的非预期电磁能量，这种能量会通过传导或辐射的方式影响其他设备的正常工作，是 EMC 问题中的"问题本身"。

电磁兼容性（EMC）包含双重含义：

- 设备在预期的电磁环境中能够正常工作而不出现性能降级；
- 设备不对同一环境中的其他设备产生不可接受的电磁干扰。

1.2 标准框架：合理性测试的基石

全球主要 EMI 发射标准构成了产品市场准入的法律门槛，其核心要求概览如下：

标准编号	适用范围	测试频率范围	主要要求
CISPR 32	多媒体设备	150kHz - 6GHz	辐射与传导发射限值
FCC Part 15	美国市场电子设备	9kHz - 40GHz	无意辐射体要求
EN 55032	欧洲市场电子设备	150kHz - 6GHz	多媒体设备 EMC 要求
GB 9254	中国市场信息技术设备	150kHz - 6GHz	辐射骚扰限值

各项标准会不定期更新，实际应用中应以最新有效版本为准。

关键：标准测试需在电波暗室、使用 LISN 及校准过的天线系统进行，以确保结果的可重复性与可比性。

1.3 成本洞察：EMI 管控的工程价值

EMI 问题的解决成本随产品开发阶段呈指数级增长，越早介入，代价越小。行业数据显示，倘若设计阶段投入 1 个单位成本可解决的问题，在测试阶段需要 10 倍投入，若问题流入市场，补救成本可能高达 100 倍。

因此，EMI 测量远非单纯的合规检查，它更是：

- **设计产品的试金石：**糟糕的 PCB 布局、去耦或滤波设计会在频谱上暴露无遗。
- **可靠性的预警系统：**EMI 超标常与时序裕量不足、电源完整性等潜在可靠性问题同源。
- **研发体系成熟度的标尺：**卓越的企业通过仿真与设计规范在前端规避 EMI 风险，而非依赖后端“补漏”。

二、测量基石：测试环境与设备要求

2.1 标准测试环境要求

- **电波暗室：**提供无反射测试环境，消除外界干扰
- **接地平面：**提供标准参考地，确保测量一致性
- **天线系统：**覆盖全频段的测量天线
- **LISN：**线路阻抗稳定网络，隔离电网背景噪声，提供标准电源阻抗

2.2 核心测量设备

设备类型	主要功能	关键技术参数	应用场景
EMI 接收机	精确测量电磁发射	频率范围、动态范围、检波器类型	标准符合性测试
UTS3000A	快速频谱扫描	实时带宽、灵敏度、扫描速度	问题诊断与定位
近场探头	定位噪声源	探头类型、灵敏度、频率响应	电路板级诊断
电流探头	测量线缆噪声	频率范围、灵敏度、钳口尺寸	传导干扰分析

关键功能

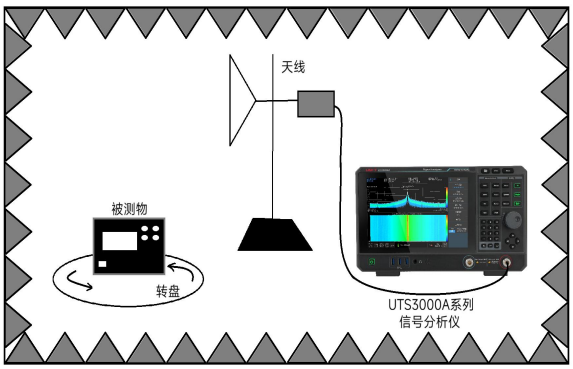
检波器类型	实际应用
● 峰值检波器：捕获信号最高幅度，用于快速扫描	● 预测试使用峰值检波器快速发现问题
● 准峰值检波器：考虑人耳主观感受，用于标准测试	● 认证测试使用准峰值检波器确保合规
● 平均值检波器：测量信号平均幅度	● 诊断分析结合多种检波器全面评估
● RMS 检波器：测量信号有效值	● 不同标准对检波器使用有具体要求

三、实战剖析：5G 基站电源模块 EMI 诊断全流程

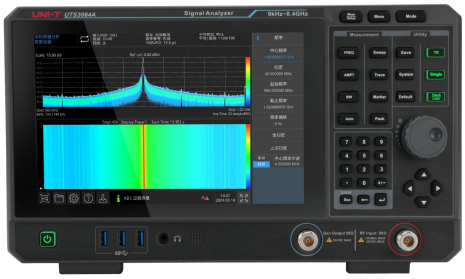
核心问题：执行预合规测试，定位并确认 125 MHz 频点的持续超标问题。

测试系统环境搭建

在 3 米法半电波暗室中，依据 IEC 61000-4-3 标准搭建测试环境。被测物置于非导电转台（离地 80cm）。使用 LISN 为 EUT 提供纯净电源并稳定线路阻抗。测量天线距离 EUT 3 米，接入 UTS3000A 信号分析仪。



核心测试设备： UTS3000A 信号分析仪（配备 EMI 测量选件）、UTS-EMI01 近场探头。





仪器操作：

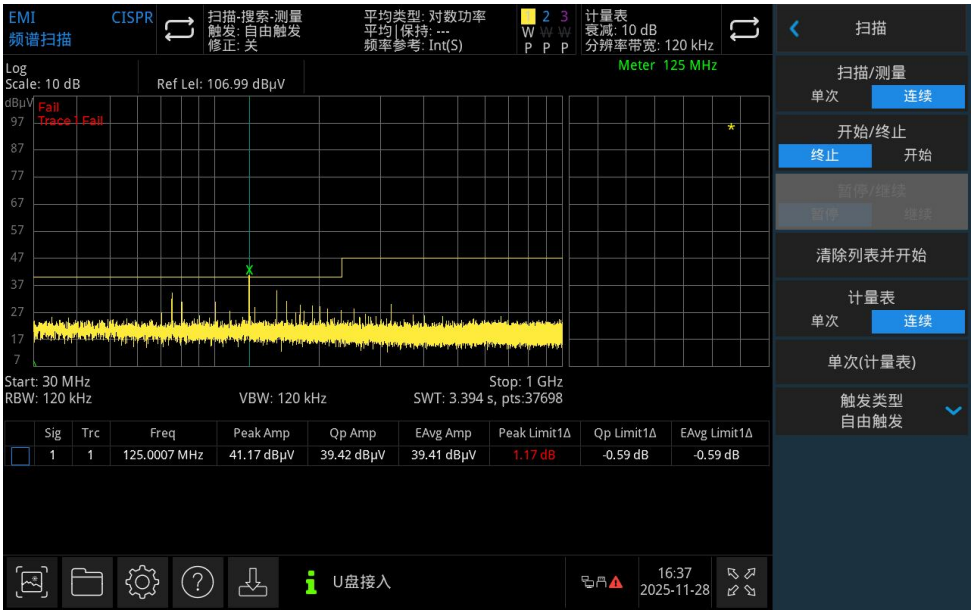
1. 仪器初始化：进入 EMI 测量模式，清除仪器之前测量设置，选择 CISPR 测量标准。
2. 导入限值：限值→导入标准限值线→GB9254_Rad_ClassB_30MHzTo1GHz_3m.limit，打开限值和测试限值开关。



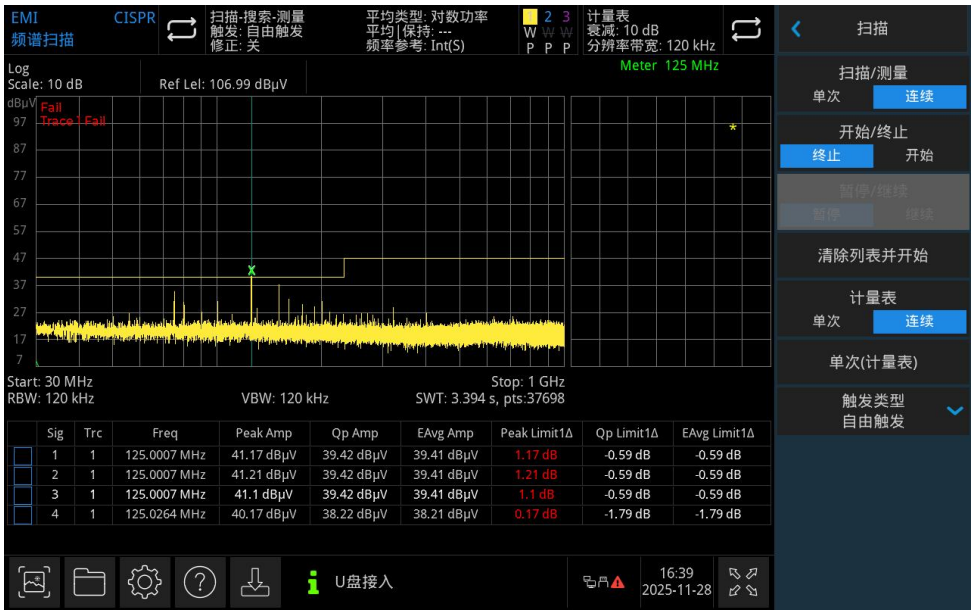
3. 设置搜索条件：信号表→搜索→搜索条件→峰值与限值。测量类型设置为所有信号。

4. 扫描序列配置：扫描序列→扫描-搜索-测量，执行预扫描、峰值搜索和最终测量。

5. 执行扫描：使用 UTS-EMI01 近场探头组，遵循“先大后小”原则，先用较大的探头多次扫描快速定位干扰源区域范围。

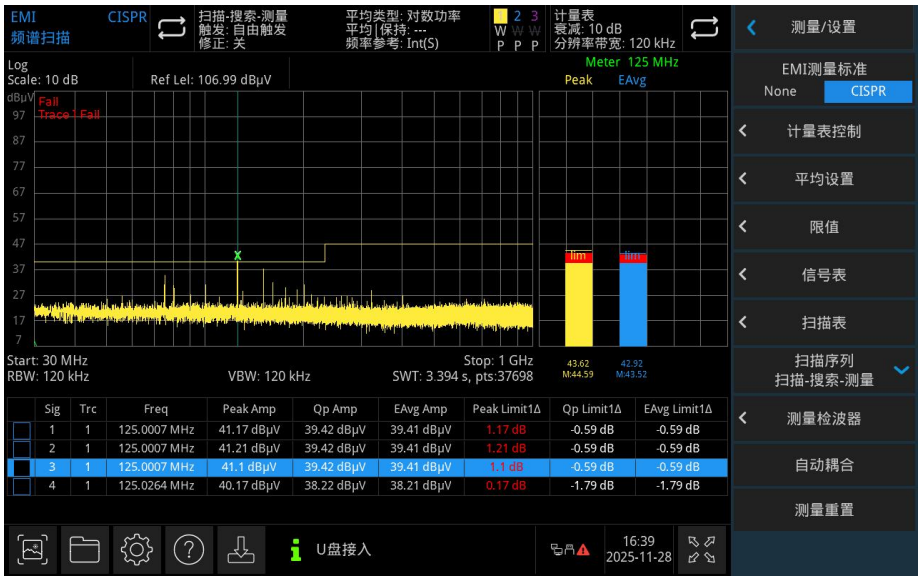


执行扫描与结果分析：通过信号表自动比对限值，确认 125MHz 存在间歇性超标，需要特别关注，175MHz 频点全局超标严重，作为整改对象，可选中对应序号信号，点击放大缩小查看当前频点超标情况。



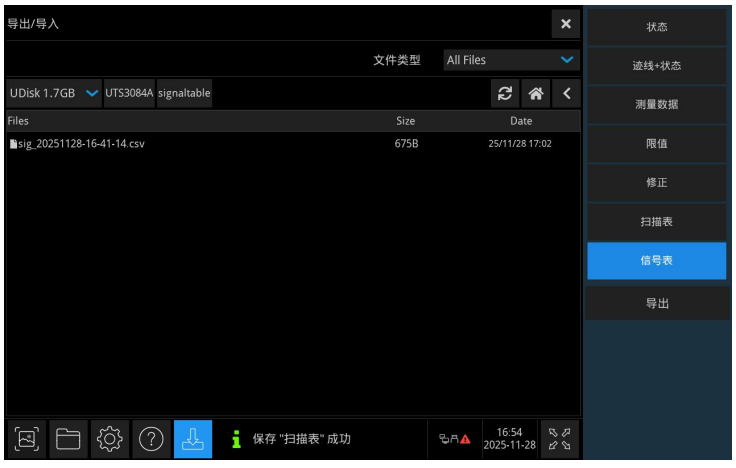
连续扫描多次，观察信号稳定性能，记录幅度波动情况。修改测量信号类型为当前信号，确认 125MHz 信号均持续存在且持续超标。

6. 设置计量表频率为 125MHz，打开计量表控制，打开准峰值与 EMI 平均值计量表，设置对应限值 40dBμV，切换至小尺寸近场探头，在初步定位的区域进行精细扫描，精确定位具体干扰点，超过其限值部分以红色显示，对清单内每个频点都进行标准符合性终判，并捕捉间歇性干扰。



Sig	Trc	Freq	Peak Amp	Qp Amp	EAvg Amp	Peak Limit1Δ	Qp Limit1Δ	EAvg Limit1Δ
1	1	125.0007 MHz	41.17 dBμV	39.42 dBμV	39.41 dBμV	1.17 dB	-0.59 dB	-0.59 dB
2	1	125.0007 MHz	41.21 dBμV	39.42 dBμV	39.41 dBμV	1.21 dB	-0.59 dB	-0.59 dB
3	1	125.0007 MHz	41.1 dBμV	39.42 dBμV	39.41 dBμV	1.1 dB	-0.59 dB	-0.59 dB
4	1	125.0264 MHz	40.17 dBμV	38.22 dBμV	38.21 dBμV	0.17 dB	-1.79 dB	-1.79 dB

7. 记录数据并重复测量，发现 125MHz 噪声在输出整流二极管处幅值最大，反复进行多次扫描对比信号表数据，重复保存定位结果和测量数据，与整改前数据进行系统对比，建立完整的问题“诊断-整改-验证”数据链。



Trace		
EMI		
UTS3084A	V1.04.0050	ASAS093760366
Trace Type	Clear/Write	
Trace Detector	Peak	
Range1		
Start Frequency	30000000	
Stop Frequency	1000000000	
RBW	91000	
Sweep Time	3.39382	
Number of Points	37698	
PreAmp State	Off	
Attenuation	10	
Ref Level	0	
Ref Offset	0	
Trigger Source	Free	
Trigger Level	-25	
Trigger Slope	Positive	
Average times	---	
Average Type	Log-Pwr	
X Axis Units	Hz	
Y Axis Units	dBm	
DATA		
Range 1		
30000000	-85.706482	
30025731	-83.740158	
30051462	-83.588158	
30077192	-84.684135	
30102923	-85.393318	
30128654	-86.182228	
30154385	-84.643257	
30180116	-86.45121	
30205846	-88.003891	
30231577	-84.406059	

Signal Table									
EMI									
UTS3084A	V1.04.0050	ASAS093760366							
Selected Signal	2								
Measure Detector	Peak	QuasiPeak	EmiAverage						
Measure Limit	0	0	0						
Measure Dwell Time	0.2	1	1						
Measure Type	Marked_Signal								
SIG	MARK	TRC	FREQ	Peak_Amp	QuasiPeak_Amp	EmiAverage_Amp	Peak_LimitΔ	QuasiPeak_LimitΔ	EmiAverage_LimitΔ
1	0	0	125000663	-65.818581	-67.573708	-67.575111	1.169319	-0.585808	-0.587212
2	0	0	125000663	-65.779427	-67.573708	-67.575111	1.208473	-0.585808	-0.587212
3	0	0	125000663	-65.891548	-67.573708	-67.575111	1.096352	-0.585808	-0.587212
4	0	0	125026395	-66.821609	-68.773705	-68.775108	0.16629	-1.785805	-1.787209
5	0	0	125000663	-65.779427	-67.573708	-67.575111	1.208473	-0.585808	-0.587212
6	0	0	125026395	-66.821609	-68.773705	-68.775108	0.16629	-1.785805	-1.787209

四、行业纵览：多领域 EMI 挑战与应对

通信设备

挑战：高频段、宽带宽、多系统共存，对接收机灵敏度要求极高

测量重点：射频链路隔离度、时钟谐波控制、电源噪声抑制

工业控制

挑战：环境恶劣，存在电机、继电器等强干扰源，要求极高的可靠性

测量重点：电机驱动干扰、传感器信号完整性、接地系统性能

汽车电子

挑战：安全关键系统、复杂电磁环境（如 CAN/LIN 总线）、产品生命周期长

测量重点：线束辐射发射、系统级兼容性、瞬态抗扰度

.....

五、发展趋势与结论：测量技术的未来演进

新的测量挑战	测量技术演进
高频化趋势：GaN、SiC 等宽禁带半导体应用带来更高开关频率与新的 EMI 特性	**系统级仿真：**在设计阶段更准确地预测 EMI 性能，实现“设计即正确”
高密度集成：系 SiP、芯片级集成使得传统探针无法触及关键节点	**近场扫描成像：**将近场数据转化为可视化的电磁分布图，直观定位热点
智能化需求：系统工况复杂，瞬态和间歇性干扰难以捕获	**实时分析与大数据：**结合实时频谱分析与 AI 诊断，自动识别和分类干扰事件

EMI 测量不仅是“合规测试”，更是贯穿产品全生命周期的“设计验证”和“质量保证”活动，通过系统化的测量方法、对标准的深刻理解以及专业的测试设备，工程师能够将 EMI 问题从后期的“救火”转变为前端的“防火”。

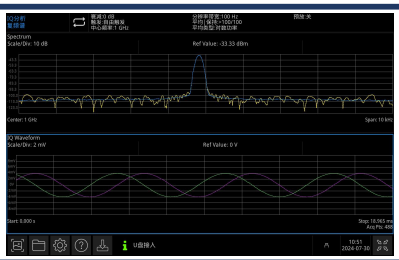
优利德 UTS3000A 系列信号分析仪凭借其高效的 EMI 测量功能、实时分析能力和测量数据导出等功能，为工程师执行高效的预合规测试与深度问题诊断提供了有力的工具支撑。随着电子技术向高频、高速、高密度持续演进，掌握 EMI 核心机理，遵循标准流程，并结合实战经验，是每一位电子工程师构筑产品核心竞争力的关键能力。

UTS3000A 信号分析仪



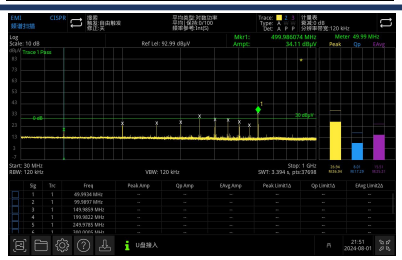
矢量网络分析

无需切换设备即可进行器件插损、回波损耗测试，通过史密斯图、极坐标等多种显示方式更精确地表征被测件的网络特性



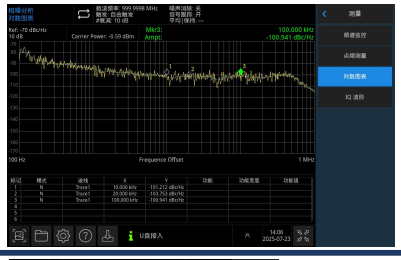
I/Q 分析

深入解析数字调制信号（如 4G/5G 通信信号）的调制质量、相位误差等细节，在通信设备研发和调试中，快速定位信号失真问题



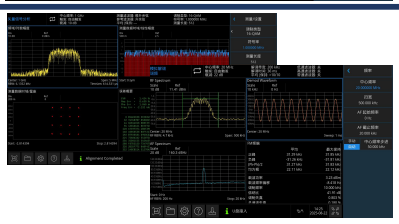
EMI 预兼容测试

严格检测产品设计研发周期中 EMI 微弱辐射避免延误产品上市



一键相噪分析

可快速测量信号在不同偏移频率下的相位噪声，对于振荡器、频率合成器等设备的性能进行高效评估，无需复杂操作就能得到精准结果



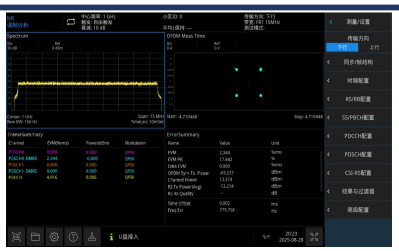
模拟解调（AM/FM/PM）

矢量信号分析（ASK/FSK/PSK/QAM/MSK/DPSK）



LTE TDD/FDD

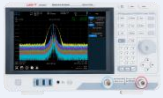
支持 FDD/TDD 双工模式及 QPSK 至 256QAM 多种调制方式，能通过 E-TM 一键测试或自定义配置，全面分析 EVM、频率误差、功率等指标并提供多视图结果。



5G NR

支持 3GPP Rel-15 至 Rel-18 全频段分析，具备 FDD/TDD 双工模式、BPSK 至 1024QAM 调制方式的一键测试与分析，精准测量 EVM、频率误差与功率，并呈现星座图、眼图等多种分析视图。

频谱/信号分析仪选型指南

系列	UTS7000A	UTS5000A	UTS3000A	UTS3000B	UTS1000B
图片					
频率范围	2Hz~40/32/26.5/13.6GHz	9kHz~26.5/13.6GHz	9kHz~8.4/6/3.6GHz	9kHz~8.4/3.6/2.1GHz	9kHz~3.2/2.1GHz
相位噪声 1GHz@10kHz	<-110dBc/Hz	<-107dBc/Hz	<-102 dBc/Hz	<-98dBc/Hz	<-98dBc/Hz
显示平均噪声电平	-167dBm	-163dBm	-165dBm	-161dBm	-161dBm
分辨率带宽	1Hz~10MHz	1Hz~8MHz	1Hz~10MHz	1Hz~3MHz	1Hz~1MHz
选择性	4.1:1	4.1:1	4.8:1	4.8:1	4.8:1
扫描点数	100001	100001	40001	40001	10001
矢量网络分析	×	×	√	×	×
实时频谱分析	√	×	√	×	×

华东区办事处

苏州：苏州市苏州大道东 409 号国际金融中心 1 幢 2802 室

南京：南京市江宁区 富塘街 7 号深蓝中心 4 栋 2201-2202 室

联系电话：18916111209

销售区域：上海、江苏、浙江、安徽

华中区办事处

武汉：湖北省武汉市东湖新技术开发区高新大道 668 号光谷金融中心 A 座 712-713 室

联系电话：18922986656

销售区域：湖北、湖南、河南、江西

华西区办事处

成都：成都市高新区合顺路 2 号 IC 设计产业园 2 栋 1 单元 21 楼

西安：西安市雁塔区城南南二环西段 88 号老三届世纪星大厦 19 楼 19 号

联系电话：18922981286

销售区域：四川、重庆、陕西、贵州、云南、甘肃、青海、宁夏、新疆、西藏

华北区办事处

北京：北京市海淀区海淀北二街 8 号 中关村 SOHO 1215 室

联系电话：18922986036

销售区域：北京、天津、河北、山东、山西、黑龙江、吉林、辽宁、内蒙古

华南区办事处

东莞：广东省东莞市松山湖园区工业北一路 6 号

联系电话：13510557637

销售区域：广东、广西、福建、海南

优利德科技（中国）股份有限公司

UNI-TREND TECHNOLOGY (CHINA) CO.,LTD.

技术热线 400-8767822

www.instruments.uni-trend.com.cn

优利德测试仪器微信公众号　优利德测试仪器微信视频号　优利德官方微信公众号　优利德官方微信视频号