

借助校准优化关键测量性能

Using Calibration to Optimize Performance in Crucial Measurements

作者：Dipti Chheda 是德科技公司

所 有负责测试系统的工程师同样必须保证测量结果的精度和可复验性。可复验性，其重要性甚至大于纯粹的精度，是确保设计成功以及制造和运营持续的关键因素。测试系统中，可复验性也是系统包含仪器保证性能的基础，对网络分析仪、信号分析仪、功率计、示波器和信号发生器等关键仪器来说尤其重要。如果某个参数超限，测量结果将受到负面影响。

精确、专业且可信赖的校准能够保证可靠和可复验的结果。校准及方法是工程学的

一个子学科，受过相关培训的工程师数量相对较少。幸运的是，熟悉一些基础概念能够帮助改善测量性能，增强对结果的理解，最终降低根据测量结果决策的风险。

满足测量要求

一套测试系统支持一个测试计划，关键的第一步是确定表征被测器件性能需要的基础技术指标。每项技术指标都涉及一系列的测试、容限和精度要求。制定测试计划时应包括硬件选择，以保证必要的特性和功能。工程师的责任是全面理解不同硬件选择的优势与缺陷以及平衡。

然而，工程师通常对保持所有设备保证技术指标需要的校准和维修服务重视不足。显而易见，定期校准可以满足保证长期测量完整性的需求。实际上，测试设备性能将随着年限的增加而变化，甚至可能出现故障。校准不是一件普通商品，确保长期测量可复验性的过程不是简单的状态设置。采用前瞻性方法不仅可以显著改善测试系统的精度和可复验性，而且能够降低测量超限风险，提高系统的实际精度，进而帮助确保被测器件的性能，提升整体制造效率。

通过校准改善杂散测量

下面我们将通过应用信号分析仪的杂散信号测量实例演示如何增强测量结果信心。这是一次演示而非杂散测量教程。所有类型的射频和微波应用都无法避免多余的杂散信

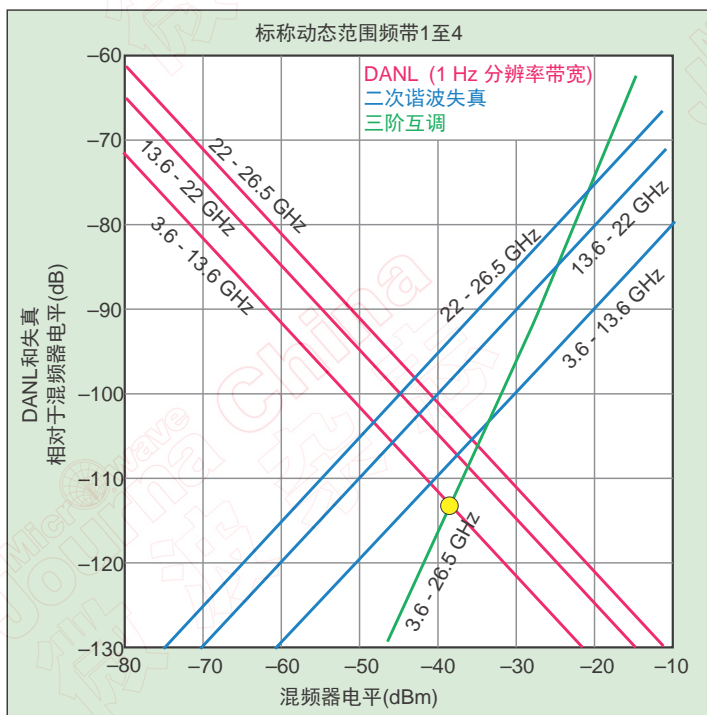


图 1. 理解 DANL 和 TOI 标称性能可以帮助优化杂散搜索。

号，例如无线通信、雷达和电子战。很多杂散源于日益拥挤的频谱环境，杂散可能出乎意料或在意料之中。其他杂散信号可能源于被测器件本身。如果器件包含多个发射机且物理间隔距离较近，杂散可能较为严重。两台发射机之间的距离越近，干扰的可能性和程度越高。部分测得杂散可能源于频谱或信号分析仪本身。可以这样理解：制造商通过分析仪的编程来降低杂散信号对测量结果的影响。

总的来说，杂散可能导致很多潜在问题。在雷达系统中，杂散可能影响系统测量微小回波信号的能力，降低屏幕显示结果的可信度。接收天线自身生成的杂散可能暴露其存在和位置，导致敏感性现场任务失败。所以，测得的杂散信号是否真实，这是我们执行测量任务时需要解答的一个关键问题。

搜索杂散通常需要避免大信号的干扰来查找小信号。因此，无杂散动态范围和灵敏度将成为选择仪器的关键

Spur	Range	Frequency	Amplitude	Limit
2	1	1.536 GHz	-81.92 dBm	-50.00 dBm
3	1	1.545 GHz	-82.18 dBm	-50.00 dBm
4	1	1.542 GHz	-82.48 dBm	-50.00 dBm
5	1	1.565 GHz	-83.11 dBm	-50.00 dBm
6	1	1.528 GHz	-83.42 dBm	-50.00 dBm
7	1	1.557 GHz	-83.44 dBm	-50.00 dBm
8	1	1.533 GHz	-83.86 dBm	-50.00 dBm
9	2	829.3 MHz	-78.13 dBm	-50.00 dBm

图 2. 杂散信号测量应用软件显示的被测器件杂散信号测量结果。

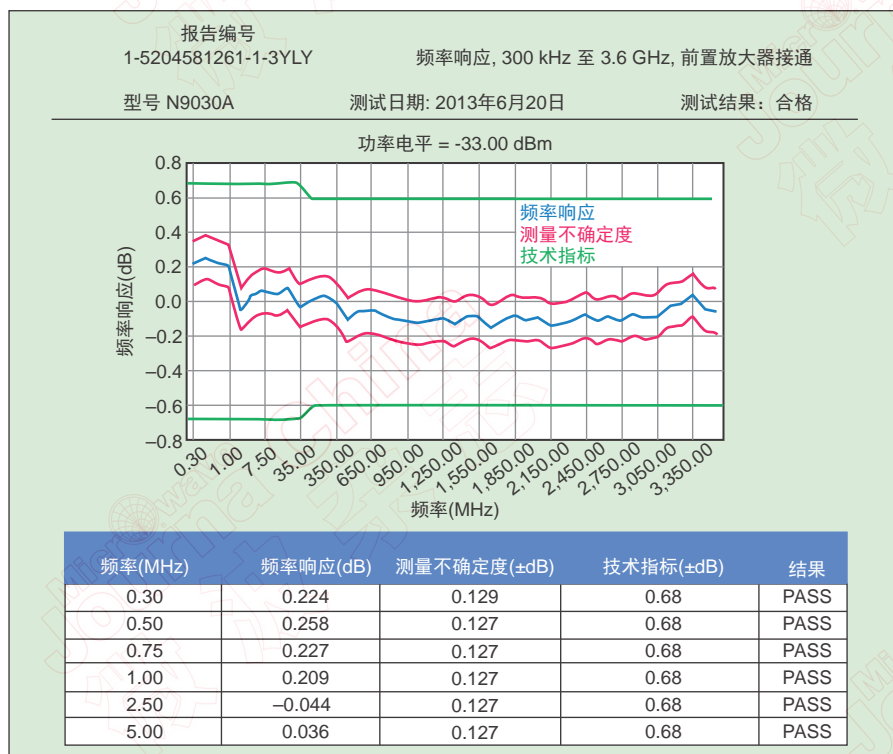


图 3. 仪器校准数据可以帮助解读测量结果。

表 1
信号分析仪 IF 路径杂散测试结果

镜像/多个/馈通杂散标准中频路径

杂散频率 (MHz)	信号源频率 (MHz)	杂散幅度 (dBc)	测量不确定度 (±dB)	技术指标 (dBc)	结果
225	10,470	-139.71	0.44	-80	PASS
1,100	1,745	-105.25	0.44	-80	PASS
5,500	6,145	-121.99	0.45	-80	PASS
2,000	12,645	-128.12	0.45	-80	PASS
5,000	15,645	-128.39	0.45	-80	PASS

技术指标。由于杂散信号频率通常未知，搜索杂散信号需要从宽频带频谱测量开始。输入衰减的最佳设置取决于最宽间隔中最大信号的幅度。宽间隔加上可能存在的大信号，很多低电平信号可能由于频率分辨率和实际本底噪声等原因而无法测得。增加可用动态范围需要尽可能降低并保证充分的输入衰减，以避免分析仪生成的信号干扰测量，例如谐波和互调。分辨率带宽 (RBW) 设置应当合理，以降低分析仪本底噪声，并分辨间隔较近的杂散，同时保证测量速度。

验证雷达激励产生器的无杂散动态范围 (SFDR) 是一个不错的实例。载波基准频率为 10 GHz。激励发生器的无杂散动态范围相比载波 (-80 dBc) 必须低 80 dB，因此 +15 dBm 输出电平的激励器 SFDR 为 -65 dBm。这是被测器件的关键技术指标。表征这些参数需要依赖于信号分析仪的动态范围，而动态范围取决于噪声和杂散技术指标。假设信号分析仪的显示平均噪声电平 (DANL) 为 -148 dBm。DANL 通常以 1 Hz 分辨率带宽为标准，使用 10 kHz 分辨率带宽时的实际 DANL 为 -108 dBm。剩余响应的技术指标为 -100 dBm 或以下。与之相关的三阶互调 (TOI) 为 -90 dBm。理解预期 DANL (非硬性技术指标) 和 TOI 的平衡十分重要，可以帮助设置合理的杂散测量输入衰减和混频器电平 (参见图 1)。除了

常用技术指标，了解不同分析仪的实际性能也可以有所帮助。分析仪性能高于、低于还是与技术指标一致？如果优于技术指标，性能提升了多大的幅度？这些是帮助工程师解读分析仪实际测量结果的重要信息。

回到最根本的问题，我看到的杂散信号是否真实？结合能够改善实际测量性能的信息，我们可以很容易地解答这个问题。例如，可以应用校准结果来提高测量性能和速度。图 2 显示了内置在信号分析仪中的杂散信号测量应用软件的输出结果。表格视图显示了杂散编号、测量范围、杂散频率、杂散幅度和用户输入的测量限制。

通过对比被测器件的测量结果与分析仪的实际校准数据，我们能够利用手上掌握的知识对测量设置进行适当调整，确保用户对测量结果更加充满信心。表 1 显示的是高性能信号分析仪校准的测量数据。最大杂散出现在 1.1 GHz，电平 -105.25 dBc。因此，调整衰减和分辨率带宽设置可以降低本底噪声，进一步确定显示信号的真实性。

使用校准数据改善测量性能

完整校准应当能够测试并验证

仪器所有可能配置条件下的全部保证技术指标。然而，并非所有校准服务都可以提供如此全面的测试。这是一个很难实现的任务。例如，校准典型的中等性能信号分析仪需要 36 类测试，才能确保仪器性能符合预期。完成所有测试后，实验室还需要提供可追溯至（符合）公认校准标准的完整测量报告。验证测试、测试结果和标准一致性也是确保分析仪符合保证技术指标的重要步骤。图 3 是一份能够帮助改善测量性能的校准报告实例。表格包含了信号分析仪的测得频率响应，包括测量不确定度和适合的仪器技术指标。该数据可以帮助获得更精确的被测器件技术指标、增加制造裕量、提升测试效率和改善产品良率。在研发领域，该数据能够帮助优化设计，并避免协调不同团队不一致的测试结果。

尽管通常有一名工程师负责保证测量性能，但他/她一般不是唯一能够获取校准服务的人员。以下建议能够确保公司获得需要的校准，并避免导致仪器性能低于预期的风险。首先，明确校准预期很重要，即确定每次校准时必须验证的仪器保证性能参数。确保其他人明确性能验证标

准也很重要。即使经过调整，这也不等同于真正的校准。实际上，每次校准都验证所有已安装选件的全部保证技术指标能够获得更佳的结果。如果需要进一步的保证，校准时应包括以下内容：

- 审核校准报告
- 完整的测试结果
- 所有校准设备的列表，并确保已经过测试
- 确认校准符合可追溯性要求

最后，确定保险的经济价值。例如，能够满足或高于目标良率可以减少被测器件废品率和返工量。此类信息可以帮助管理和采购人员预测高质量校准的价值。

总结

选择可以信赖的校准服务提供商是保证测试仪器性能符合预期的最佳方法。高质量校准等于测试效率和裕量以及产品良率。在航空航天与国防领域，高质量校准可以增加任务成功的几率。所有情况下，可靠的校准都可以确保一致的测量结果，帮助工程师更轻松确定产品或设计问题，从而保证开发和制造效率。■

上接第 30 页

的设备能够处理这么高的数据传输率。为了保证共存，还需验证该设备是否能够支持 CSAT。

展望

3GPP 致力于使 LTE-U 的“LAA”功能标准化。标准化进程的一部分涉及整合 LBT 功能，因为在欧洲和日本使用 5 GHz 频谱需要该功能。欲利用频谱的设备必须先侦听信道，再开始传输。现在，标准化的 LBT 功能

仅基于能量检测。

LTE-U 是当下无线行业的热门话题。该功能为想用额外频谱来增加系统容量的网络运营商提供了一个具有吸引力的替代方案。运营商之间以及同现有技术（例如 Wi-Fi）公平分享资源是 LTE-U 成功的关键。■

参考文献

1. 3GPP TR 36.889 V13.0.0, 技术规范组无线电接入网络；有关授权辅助接入未授权频

谱的研究；2015 年 6 月第 13 版。

2. LTE-U SDL V1.0eNB 最低要求, LTE-U Forum, http://lteuforum.org/uploads/3/5/6/8/3568127/lte-u_forum_enb_minimum_requirements_for_lte_u_sdl_v1.0.pdf, 2015 年 2 月。
3. 3GPP “使用 LTE 的授权频谱辅助接入”工作项, www.3gpp.org/ftp/tsg_ran/TSG_RAN/TSGR_68/Docs/RP-151045.zip。
4. 罗德与施瓦茨公司全球移动通讯大会 LTU-U 最大吞吐量展示, <https://www.youtube.com/watch?v=l-e0llyxnU>, 2015 年 3 月。