



测试透视卫星大规模制造 从器件到整星

我国近期发布了国民经济和社会发展第十五个五年规划，提出了在“十五五”期间培育多个新质生产力相关的万亿产值新产业，商业航天位列其中。8月27日，工信部发布《关于优化业务准入促进卫星通信产业发展的指导意见》，提出到2030年发展卫星通信用户超千万的目标。在国家的大力支持下，为实现预定目标，以低轨卫星通信为核心的商业航天，首先要完成卫星基础设施的建设。因此，卫星的大规模制造势在必行。

传统的卫星制造产业链将过渡到适合低轨大规模星座的批量制造，我国的在ITU申报的两个低轨星座分别为12992颗和12000颗。根据国际其他低轨星座目前运营情况和轨道气动阻力的影响，低轨卫星的设计寿命通常认为是3-10年，各类故障和宇宙环境导致的异常离轨率约为3%-7%，初步预计年运营补充率大于10%。考虑到卫星运行的宇宙环境，卫星行业一直有“Test As You Fly”的理念，可译为“真实工况测试”，希望通过充分的测试来保障卫星长期运行的高可靠性，通常涉及器件筛选、环境试验等测试。在器件测试后，整星的AIT组装同样需要根据低轨通信的需求深度调整测试范式。

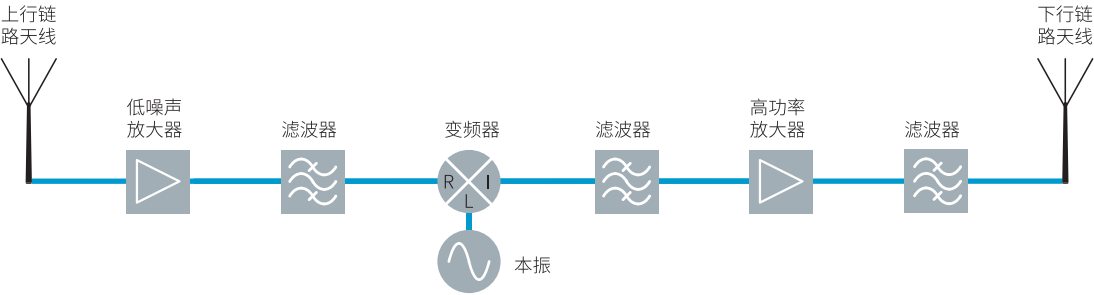
罗德与施瓦茨公司与全球的航天科技企业保持了数十年的密切合作，深刻理解卫星行业的技术迭代，近期对频谱仪和信号源产品进行了升级，以适配低轨卫星的爆发式发展。

卫星载荷和组件测试

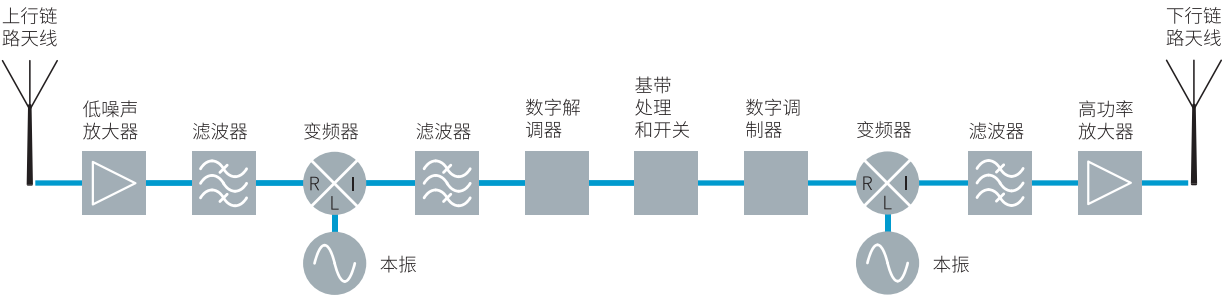
目前的卫星系统需要满足未来需求，以便与现有蜂窝网络和新兴无线技术完全兼容。从弯管式或数字透明式有效载荷到数字再生式有效载荷的技术演进提高了系统容量和灵活性，也增加了测试复杂性。再生式转发器包含多个附加功能，例如数字信号解调、基带信号处理、切换以及信号调制。卫星制造企业需要全面测试射频通信系统和组件，确保全天候连续运行和高质量服务。另一方面，由于上行链路和下行链路波束总数的增加所带来系统复杂性的显著提高（上行链路的单路数字数据流对应下行链路的多路数据流），卫星设备制造商需要缩短测试时间并降低相关测试成本。要解决这些问题，就需要兼具高测量性能和可重复性的解决方案，以便简单、快速且可重复地开展测试和测量。

针对透明转发或再生式的有效载荷，罗德与施瓦茨提供完整的测试仪表组合方法，支持客户在AIT前完成有效载荷的组件测试。测试方法及仪表选择如下：

弯管卫星有效载荷信道的系统组件 (如滤波器、放大器和变频器)



再生式有效载荷信道的系统组件

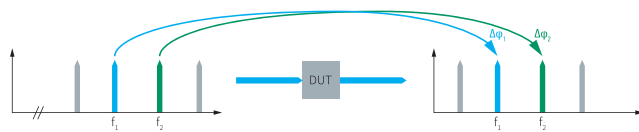
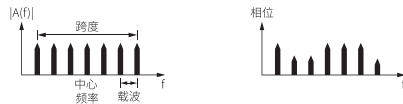
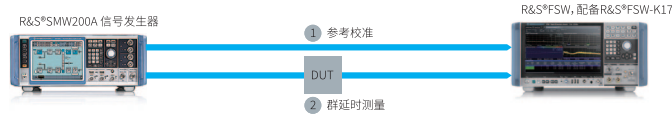


星载荷射频架构示意图

群延时测量：

- 使用频谱分析仪和信号发生器测量转发器模块与变频器群延时。

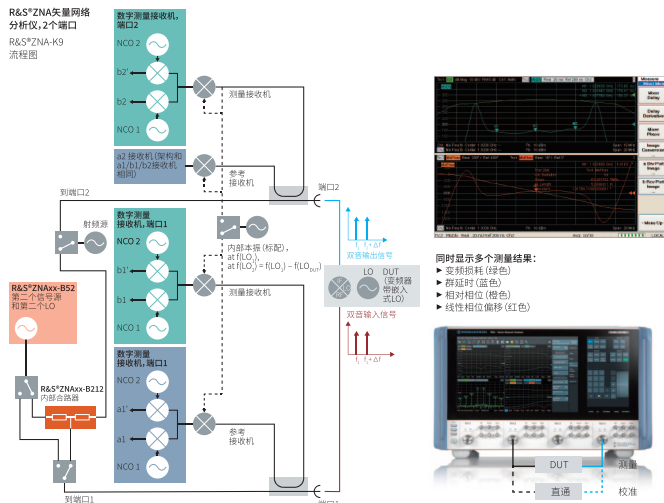
使用R&S®SMW-K61和R&S®FSW-K17多载波群延时测量功能开展群延时测量



群延时 $\tau = -\frac{1}{360} \cdot \frac{\Delta\phi}{\Delta f}$
 频移 $\Delta f = f_1 - f_2$
 相移 $\Delta\phi = (\phi_{1, out} - \phi_{2, out}) - (\phi_{1, in} - \phi_{2, in})$

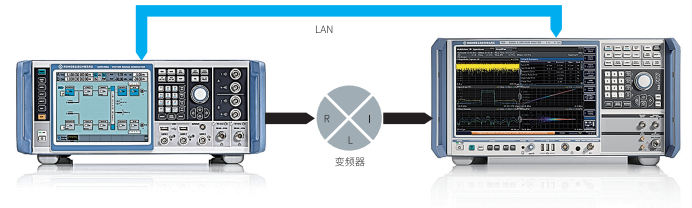
- 在无需接入本振的情况下使用矢量网络分析仪(VNA)测量变频器的群延时

网络分析仪测试装置



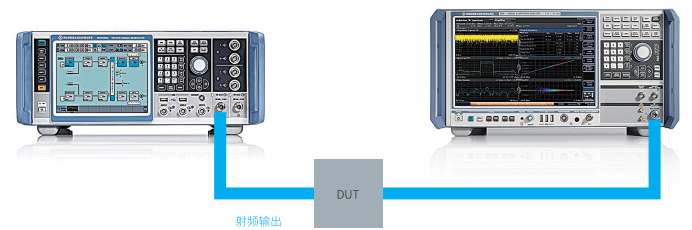
线性度和增益转移测量：

- 使用矢量信号发生器和频谱分析仪测量线性度与增益转移



噪声功率比 (NPR)：

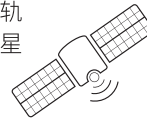
- 使用R&S®SMW-K61和R&S®FSW进行NPR测量



信号质量测量：

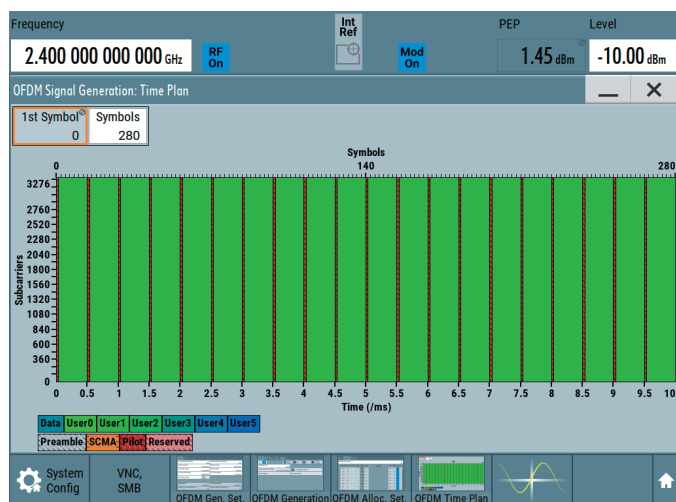
- R&S®FSW-K70矢量信号分析 (VSA) 选件可轻松读取 EVM、BER、信号幅度和相位等参数，以验证验证卫星链路的质量。

在轨卫星



OFDM信号生成和分析：

- R&S®SMW-K114 OFDM信号生成选件非常适合生成基于自定义OFDM的波形。



噪声系数和增益测量：

- 使用R&S®FSx-K30应用固件测量噪声系数和增益。



R&S®FS-SNS能够简单地测量噪声系数和增益。

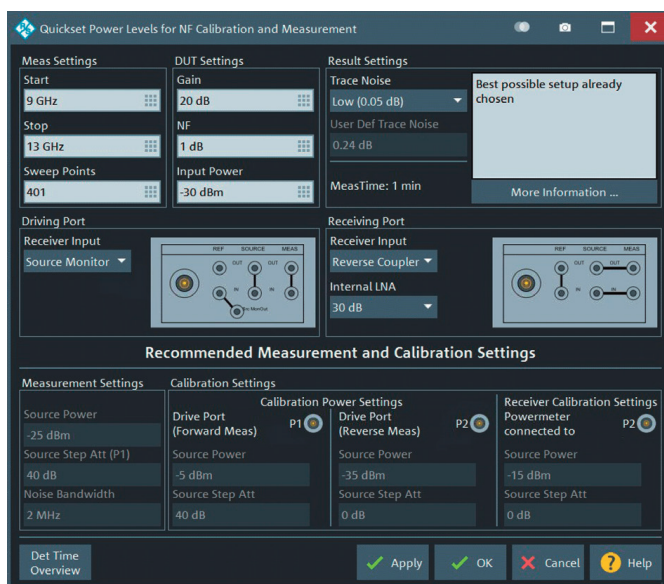
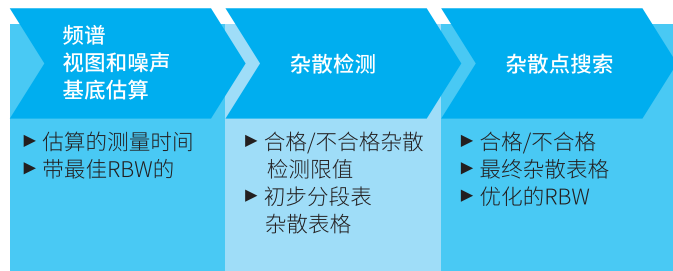
放大器和混频器噪声系数测量：

- R&S®ZNA-K30选件可以分析放大器、变频器和收发模块的噪声系数。

杂散测量：

- R&S®FSW-K50杂散测量应用可通过创新的三步法检测并确定杂散。

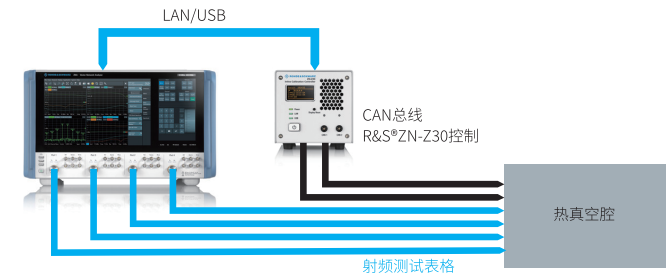
R&S®FSW-K50杂散测量应用的测量流程



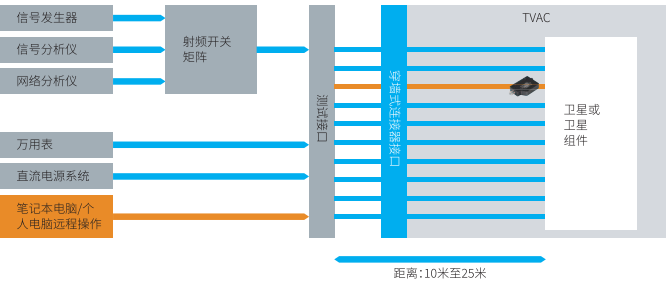
热真空腔测试：

- ▶ R&S®ZN-Z33自动校准单元专用于TVAC内部操作，可随时进行校准

R&S®ZN-Z33内联校准单元专用于TVAC内部操作。

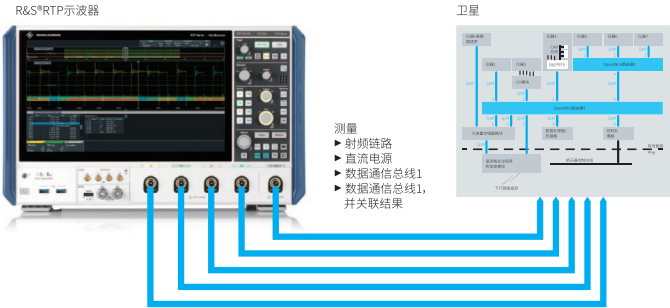


- ▶ TVAC功率探头可以在TVAC条件下在TVAC中进行常规功率测量。



数字接口测试：

- ▶ 配备四信道R&S®RTP示波器的调试测试装置。



整星电测

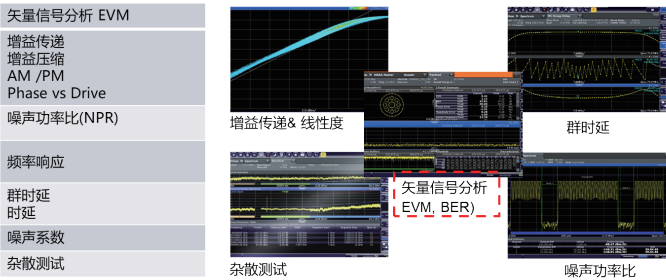
无论是透明转发还是再生架构，NTN的终端 (UE) 接入更为复杂，增加了星载基站 (gNB)、信关站 (NTN网关)、测控链路等环节，会显著影响接入过程并由非线性器件带来系统整体时延、信号质量EVM和频率准确度等问题。与传统的卫星测试比较，NTN卫星带来了诸多新的测试挑战。需要对卫星组件在不同工况 (发射功率、温度等) 和真实信号 (宽带数字信号) 下的时延、群时延和EVM进行完整测试，以确保级联后的参数指标符合要求，传统的模拟信号测试已不能表征组件在NTN架构下的性能要求。罗德与施瓦茨在全球5G及卫星产业链测试领域广泛应用且广受用户好评的FSW频谱信号分析仪及SMW200A矢量信号源具备多个专用选件，特别是根据3GPP NTN标准不断升级的一致性测试选件，可准确、高效地测试NTN卫星组件并确保其符合一致性要求。



卫星载荷组件测试仪表搭建

测试范式变化：使用真实调制信号测试

使用真实信号验证系统与非线性器件



卫星载荷组件测试项与界面举例

在FSW和SMA200A的支持下，NTN卫星器件、组件、模组和整星的产业链各环节均可实现同一套仪表射频与矢量参数对齐、准确测试及可回溯，并确保卫星整星的高质量交付与在轨验证 (FSW和SMW200A可用于低轨的在轨测试，详见罗德与施瓦茨 —《低轨NTN卫星模组及整星电测解决方案》)。

综合上述背景，NTN低轨卫星的整星电测面临的部分测试挑战如下：

- ▶ 需要结合真实星历与UE位置的信道特性仿真，用于验证gNB对动态多普勒频偏与动态时延补偿效果
- ▶ 需要具备NTP授时与GNSS秒脉冲同步、并且具有绝对时间触发的测试系统，完成多模组协同时延测试，用以测定系统固定时延以便gNB完成实时补偿
- ▶ 跳波束的时延测试，用以确定系统整体时延用于系统补充
- ▶ 信关站、卫星载荷、终端的整体EVM测定，已确保通信信号质量
- ▶ 实现在信关站、整星、终端和遥测链路的全连接联动测试

R&S 低轨卫星整星电测解决方案

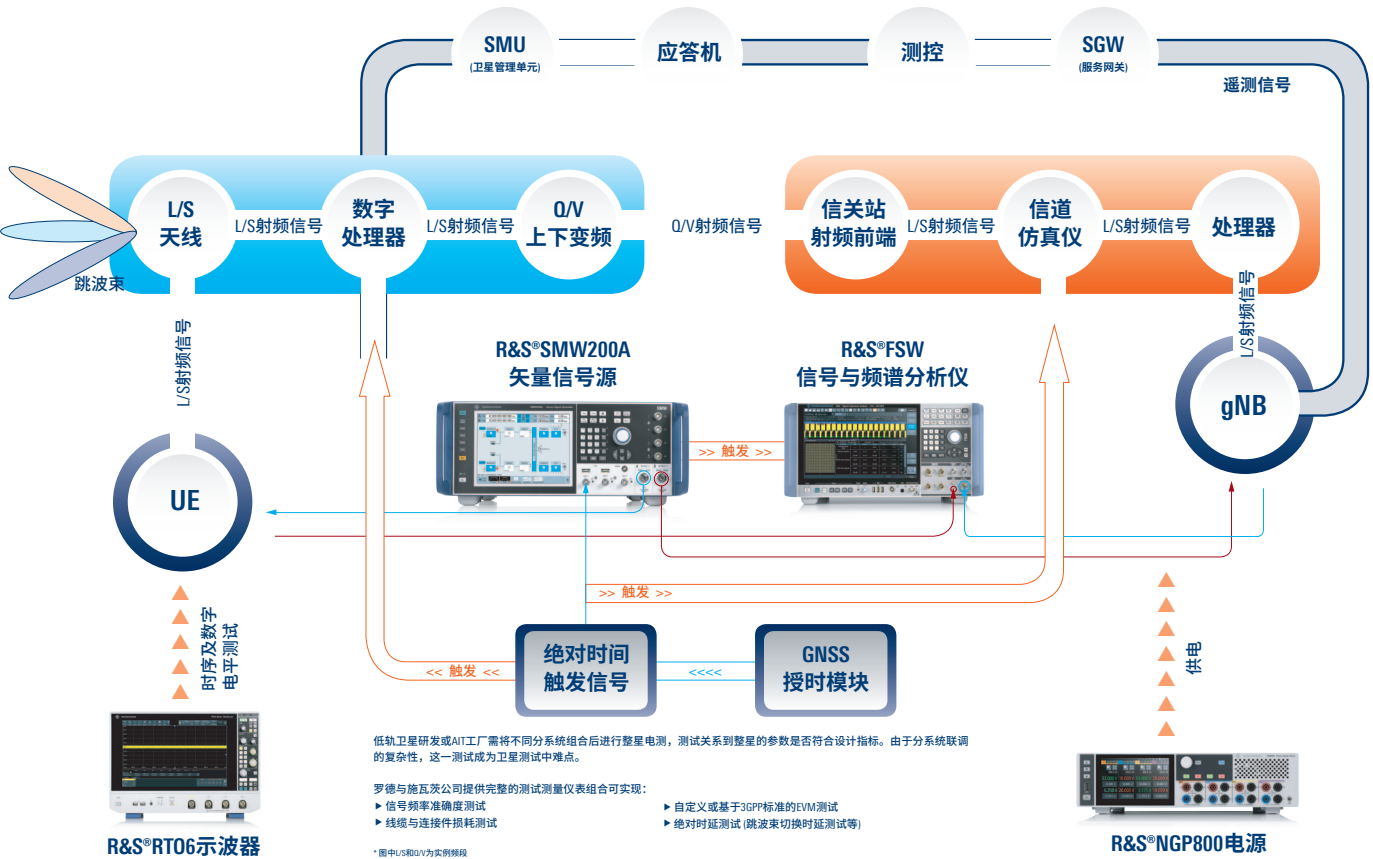
罗德与施瓦茨为解决产业界难题，对FSW和SMW200A系列仪表进行了全新升级，具备完善的绝对时间触发逻辑和相关硬件配置，实现了对NTN整星的全功能测试。

如下图所示，使用仪表为R&S®FSW 频谱信号分析仪，R&S®SMW200A多通道矢量信号源，RTO6示波器和NGP800电源。

上中标记有信号的位置均为信号射频和矢量测试点，可测定不同组件射频与信号质量，验证其是否满足设计要求或产线测试项。

测试项目 (包括但不限于):

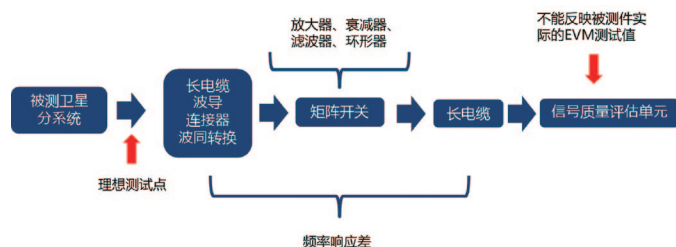
- ▶ 各测试点的频率准确度
- ▶ 各测试点损耗
- ▶ 各测试点EVM (均使用3GPP 5GNR NTN选件测试，符合3GPP一致性要求)
- ▶ 各测试点与UE/gNB处的绝对时延
- ▶ 跳波束实时性 (延时) 测试



NTN 低轨卫星电测仪表连接逻辑图

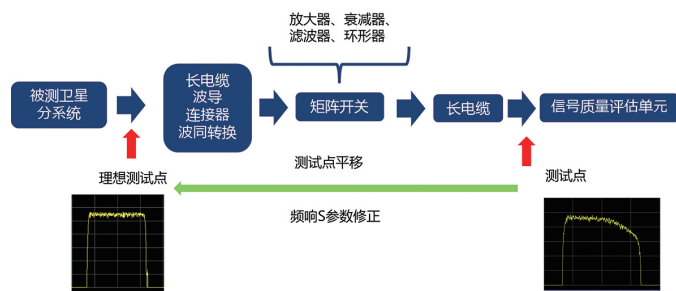
AIT测试联调与优化

卫星AIT (Assembly Integration and Test) 的总装、集成与试验任务是一个由卫星总体设计部门牵头、多个部门协同、多个角色分工、多人参与的复杂过程。整个过程涉及的单位包括卫星总体设计部门、卫星总装部门、卫星测试部门、卫星试验部门和卫星分系统单位等，各部门在各阶段间的工作接口及分工界面复杂，极易产生对技术状态的理解偏差。由于低轨卫星对通信质量的高要求，越来越多的总体部门都有要求使用EVM来描述分系统的技术状态。但在上一部分的系统联调图中可以看到，AIT时各类测试线缆和连接器件会临时安装在联调系统，这将导致系统的真实参数难以被表征出来。经常出现，分系统测试合格，但联调时不合格的问题。

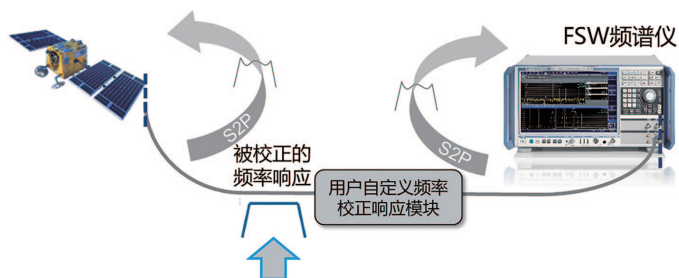


卫星AIT中的典型连图与测试点示意

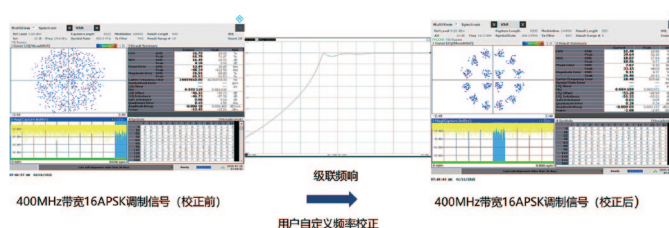
面对此类AIT联调的问题，需将测试点移动到上图比较的理想测试点并消除连接器和线缆造成的频响失真。修正方式如下图：



为矫正频响，罗德与施瓦茨推出了针对的AIT场景的频谱仪频响修正选件，可通过矢网对组件进行S参数测量，并将S参数导入测试用信号源和频谱仪，仪表可自动补偿执行的测量影响。



经自动补偿后的EVM测试结果对比图如下：



面对大规模低轨星座带来的颠覆性产业变革，罗德与施瓦茨愿与产业链的合作伙伴在低轨终端、卫星器件组件、整星、相控阵天线和在轨等方面的测试为基础，共同推动产业链高质量发展。

更多NTN技术内容与罗德与施瓦茨解决方案请关注：



NTN技术方案合集



白皮书

增值服务

- ▶ 遍及全球
- ▶ 立足本地个性化
- ▶ 可定制而且非常灵活
- ▶ 质量过硬
- ▶ 长期保障

关于罗德与施瓦茨公司

罗德与施瓦茨科技集团开发、生产和销售种类广泛的专业电子产品。公司推出丰富的产品组合，旨在缔造一个更加安全的互联世界。在测试与测量、安全通信、网络和网络安全以及广播和媒体等市场，全球客户都信赖罗德与施瓦茨及其提供的先进解决方案。在成熟的业务领域之外，罗德与施瓦茨还大力投资人工智能、工业物联网(IIoT)、6G、云解决方案和量子技术等各种未来技术。自公司创立以来的90多年，罗德与施瓦茨是众多行业客户的可靠合作伙伴。

罗德与施瓦茨 (中国) 科技有限公司

800-810-8228 400-650-5896

info.china@rohde-schwarz.com

www.rohde-schwarz.com.cn

官方微信



官方视频号



Certified Quality Management

ISO 9001

Certified Environmental Management

ISO 14001

可持续性的产品设计

- ▶ 环境兼容性和生态足迹
- ▶ 提高能源效率和低排放
- ▶ 长久性和优化的总体拥有成本

北京

北京市朝阳区紫月路18号院1号楼 (朝来高科技产业园) 罗德与施瓦茨办公楼 100012
电话: 010-56108074 传真: +86-10-64312828

上海

中国上海市浦东新区张江高科技园区盛夏路399号亚芯科技园11号楼
罗德与施瓦茨办公楼 201210
电话: 021-63750018/63750028

深圳

深圳市南山区高新南环路43号 威新软件科技园1号楼2楼东/南翼 518057
电话: 0755-22985864 传真: +86-755-82033070

成都

中国成都市高新区天府大道 天府软件园A4号楼南一层 610041
电话: 028-62677640 传真: +86-28-85194550

西安

西安市高新区锦业一路56号 研祥城市广场5楼502室 710065
电话: 029-83663470 传真: +86-29-87206500

武汉

中国湖北省武汉市武汉经济技术开发区201M地块海棠路6号
华中智谷项目二期D2办公室2层1号 430051
电话: 025-83484142

R&S®是罗德与施瓦茨公司注册商标

商品名是所有者的商标 | 中国印制

2025年12月 | 测试透视卫星大规模制造-从器件到整星

文件中没有容限值的数据没有约束力 | 随时更改