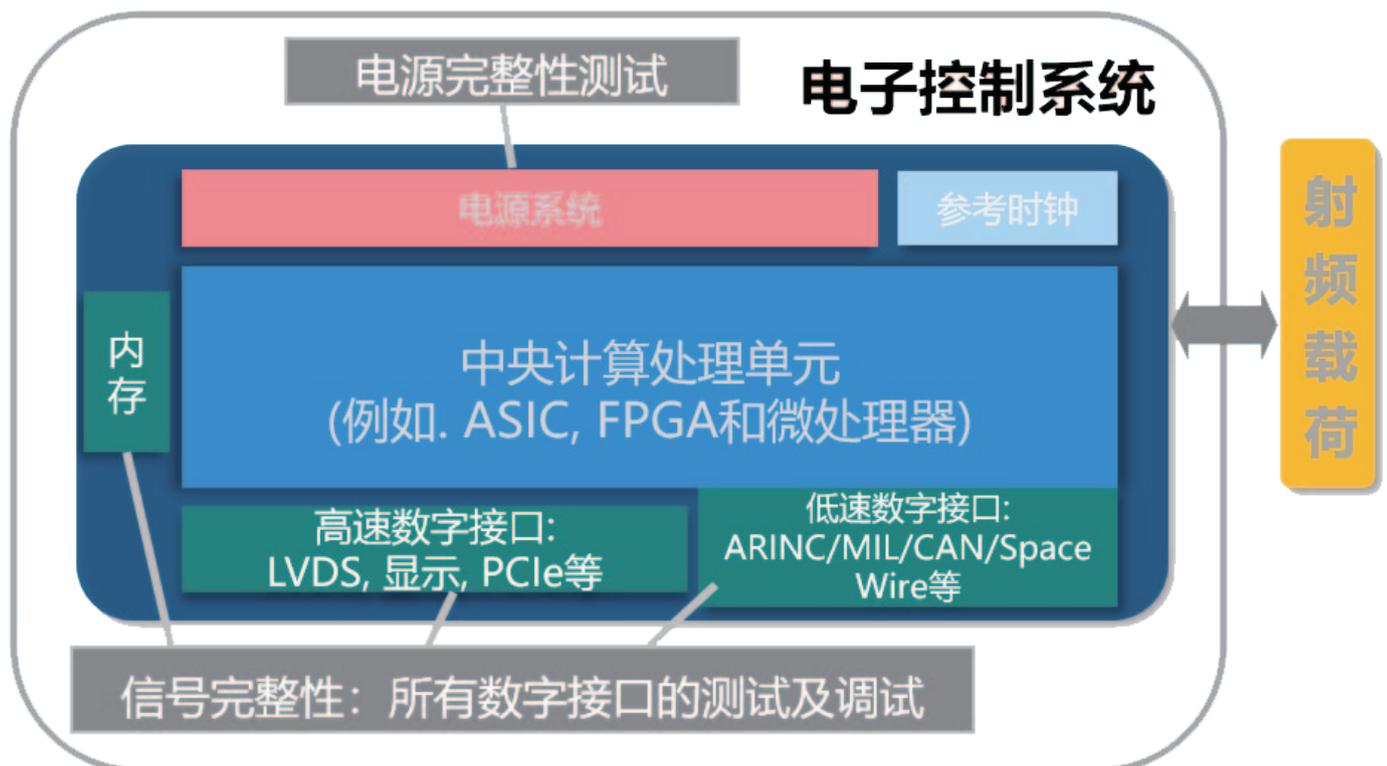




从测试角度透视卫星 电源与信号完整性

卫星在轨工作需要多个系统相互配合，这就需要形同“大脑”的电子控制系统协调运转，其中包含了电源、处理单元、存储、显示、低速控制总线 and 高速传输总线等部分。

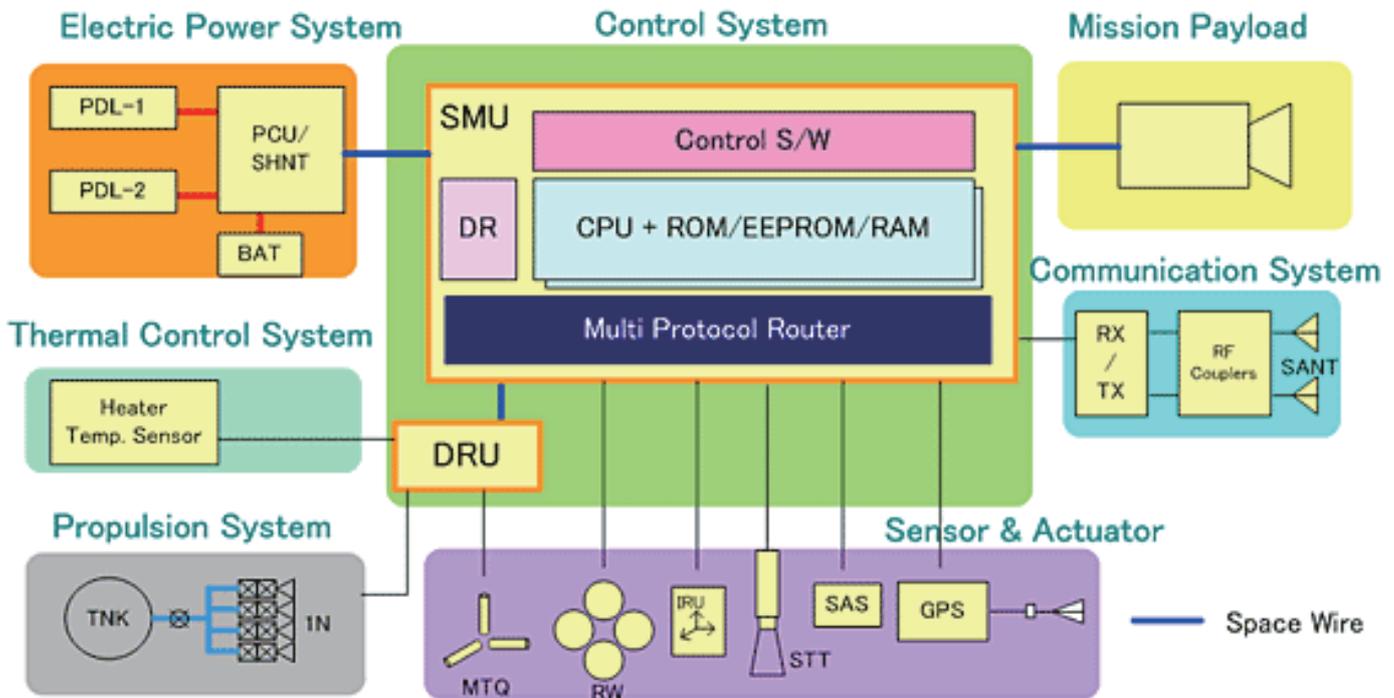
卫星产品对信号完整性 (SI) 和电源完整性 (PI) 测试有着极为严格和特殊的需求，这主要源于其严苛的工作环境、极高的可靠性要求及复杂的系统特性。SI/PI测试是保障卫星在轨长期稳定运行和任务成功不可或缺的关键环节，贯穿于卫星产品的设计、研制、地面验证及在轨测试的全生命周期。



卫星的常见高速接口与总线

对于卫星载荷，常见的高速接口与总线包括SpaceWire、LVDS、TLK2711、光纤接口、PCI Express、SATA、DDR等。

SpaceWire是一种高速、低功耗的数据通信网络标准，基于IEEE 1355-1995，标准定义于ECSS-E51-12A，已被ESA/NASA/JAXA等组织采用。在卫星系统中被广泛应用于不同模块之间的连接，用来连接航天器中的存储单元、摄像头、设备等各子系统模块。

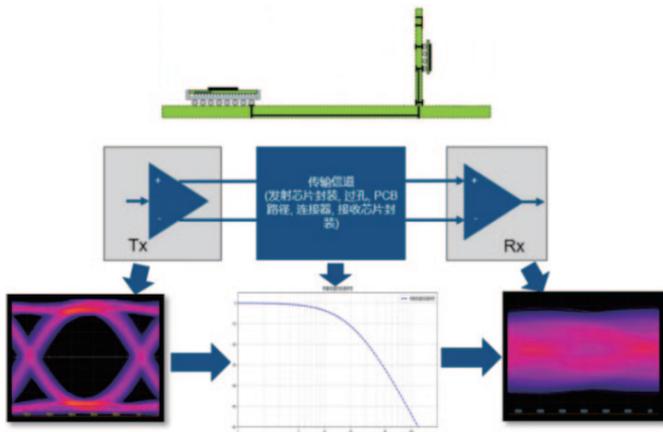


信号完整性测试

信号完整性的重要性

信号完整性测试主要关注高速数字信号在传输过程中的信号质量，涉及对波形、时序、抖动和眼图等精密测量。其应用关键在于保障卫星上各类高速数据总线（如星间链路、有效载荷数据接口）和通信信号的准确性及可靠性，防止因信号失真、反射或串扰导致数据误码或系统功能异常。

高速数据通信时的信号流程如下图所示。在TX发射端，芯片输出信号质量较好，眼图睁开很大。信号在PCB信道传输过程中，由于信道的阻抗匹配、损耗、带宽受限等因素，会被明显的恶化。当信号传输到接收端RX时，信号抖动增大，并产生码间串扰ISI，此时查看接收端信号眼图，眼图睁开程度明显减小，甚至闭合。不同的通信协议为了应对此现象，会在发送端或接收端使用不同形式的信号补偿（均衡）技术，重新将眼图打开，保证信号的正确接收和判决。



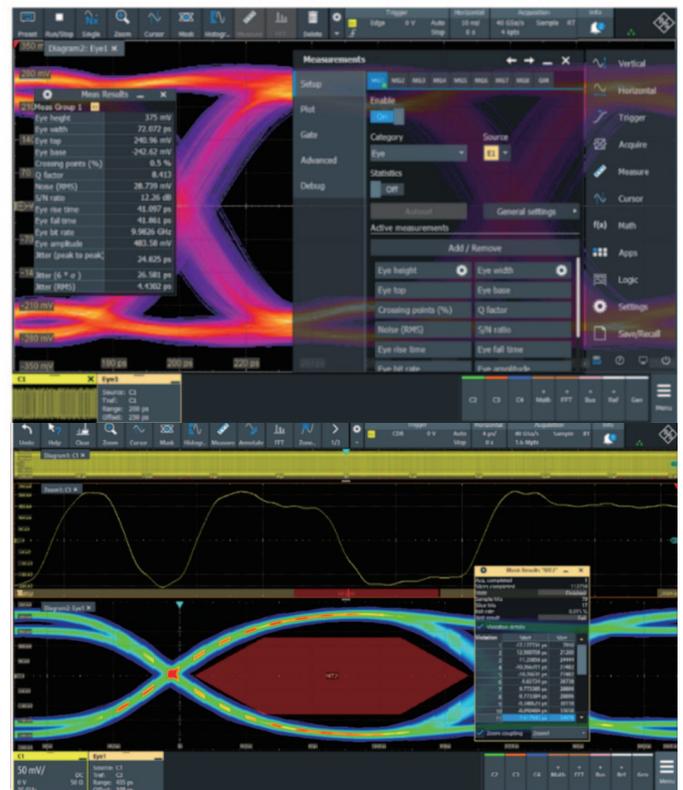
高速数字信号传输过程示意图

示波器作为工程师的“眼睛”，是对通信链路中各个环节的信号测试的有力工具。R&S示波器可以提供丰富的信号完整性分析软件，包括眼图分析、抖动分析、均衡、嵌入、去嵌入、协议触发与解码、时域反射计TDR等。

眼图测试和眼图模板

眼图是评价数字通信系统性能的常用方法，它体现了数字信号的总体质量并包含丰富的信息。眼图测试广泛应用于高速通信总线，工程师也经常使用示波器来查看眼图，判断码间串扰和噪声对系统的影响。

R&S®RTP和RTO6示波器的K136/K137高级眼图选件可支持8 Gbps、16 Gbps速率的眼图测试分析，支持自定义信号比特速率、支持CDR时钟恢复设置、简单设置、快速眼图查看；支持自动测量眼高、眼宽、上升/下降时间等参数。具备自定义模板Mask测试，可以将眼图结果与模板Mask进行比较并判断是否合格。对于有违反模板的眼图，可以快速定位到违规的比特。



均衡

为了解决信号传输到接收端恶化的情况，一种方式是采用数字信号处理技术来对应补偿信号的高频分量和低频分量，抵消信道的频率选择性衰减，这就是均衡技术。高速总线协议往往采用该技术来优化链路信号质量，在接收端重新将恶化的眼图打开，保证信号的正确接收和判决。

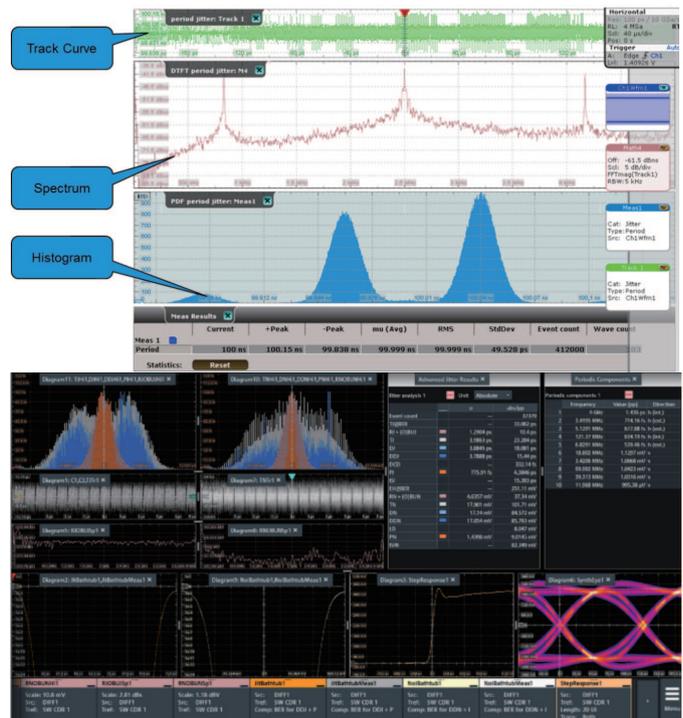
R&S®RTP和RTO6系列示波器的K126选件支持嵌入与均衡功能，具备在发送端模拟FFE (实现预加重或去加重)，在接收端模拟CTLE和DFE，此外还能模拟通道的损耗 (例如，嵌入芯片封装或PCB走线或长电缆的传输损耗)。



抖动测量与分解

信号抖动过大会显著恶化误码率，从而降低系统性能。工程师在设计时需要充分考虑和规划信号在传输过程中各链路段的抖动裕量，从而达到系统的总体抖动要求。

R&S®RTP和RTO6示波器可以提供基本抖动分析选件K12以及高级抖动分析选件K133、高级抖动与噪声分析选件K134。可以帮助用户分析时钟的周期、频率等统计值，自动统计时间间隔误差TIE (Timing Interval Error)。如果TIE曲线呈现出周期性变化规律，还计算出该周期或查看TIE频谱曲线，以计算该周期性抖动，从而与设计相关联。还可以实现抖动分解，将总体抖动 (TJ) 分解为不同类型的分量，如占空比失真DCD、数据相关抖动DDJ、周期性抖动PJ等，了解不同抖动的分类和大小，对于工程调试有重要意义。

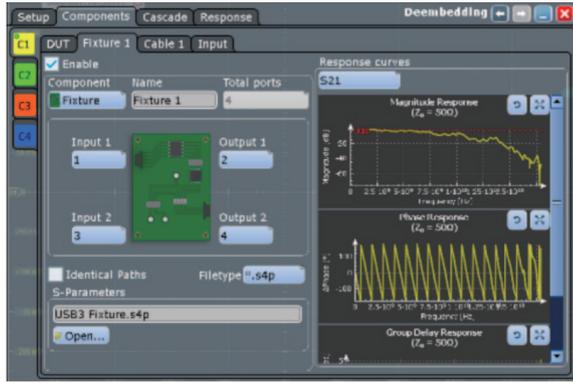


使用K12和K133/K134抖动分析选件测试TIE抖动及高级抖动/噪声分析

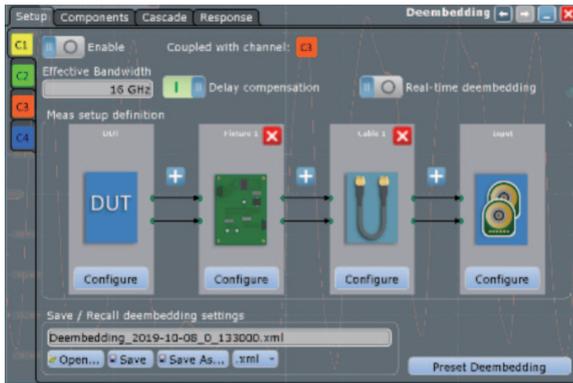
去嵌入

如果需要进一步减小线缆、夹具等连接不确定性所带来的损耗，可以使用示波器的去嵌入功能，以补偿传输通道带来的影响。

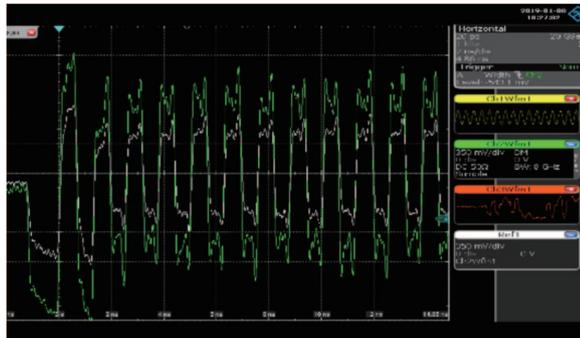
RTP和RTO6示波器配置K121、K122选件后，可具备去嵌入功能。可实现实时去嵌入，响应速度快，可以针对补偿后的信号进行触发。



定义连接类型



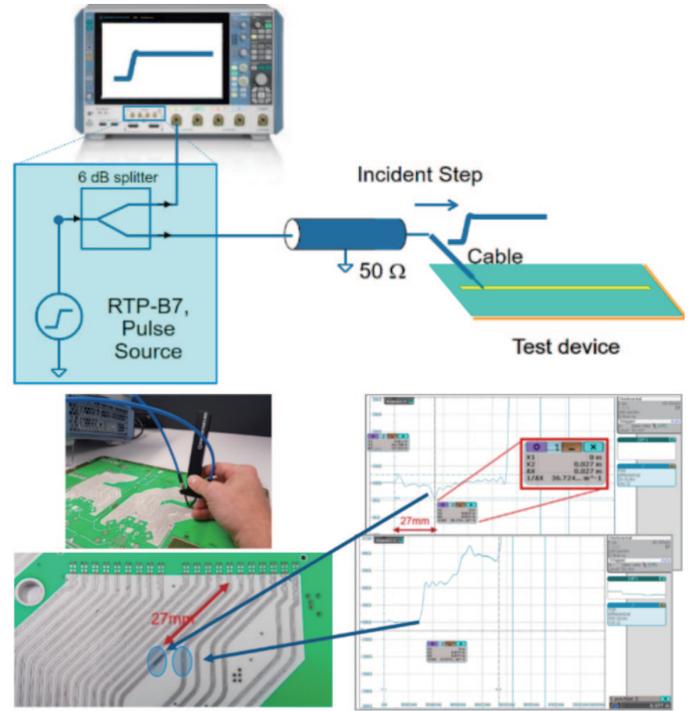
导入S参数文件



示波器实时计算补偿

TDR阻抗测量

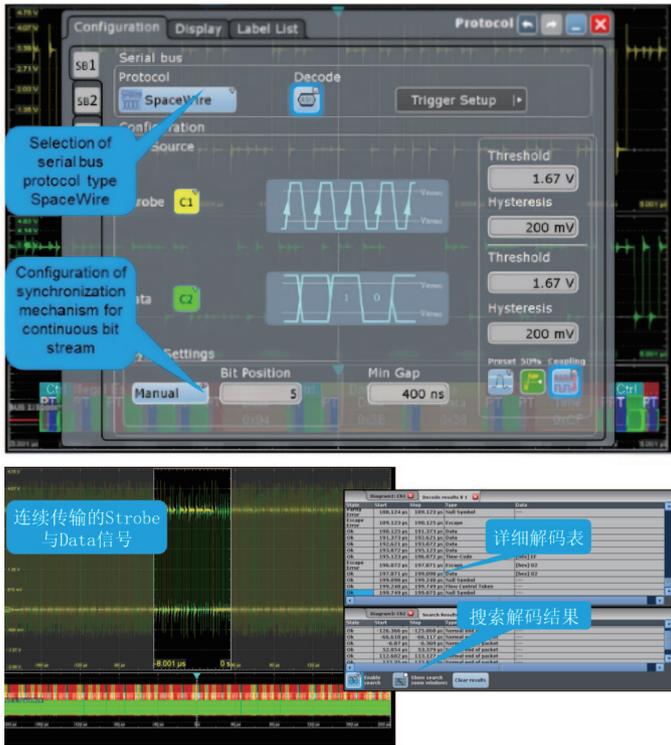
工程师在系统调试、故障定位过程中经常会用到TDR时域反射计。使用TDR不仅可以识别出PCB中链路中阻抗变化的位置，还可以得到阻抗变化的大小。使用RTP和RTO6示波器的K130选件并配合RTx-B7差分脉冲源以及专用TDR探头即可进行TDR测量。



使用RTx示波器的TDR功能检测PCB电路板

串行总线协议触发与解码

罗德与施瓦茨 (以下简称R&S) 示波器支持多种串行总线协议的触发与解码功能, 例如RTP、RTO6、MXO4和MXO5的K530选件支持SpaceWire总线触发与解码功能。可以实现最多4路总线解码, 支持解码表显示, 多种总线触发条件包括起始、停止、标签+数据、错误条件等触发类型, 触发基于硬件完成, 触发快速精准, 具备信号及解码表的搜索标记功能。

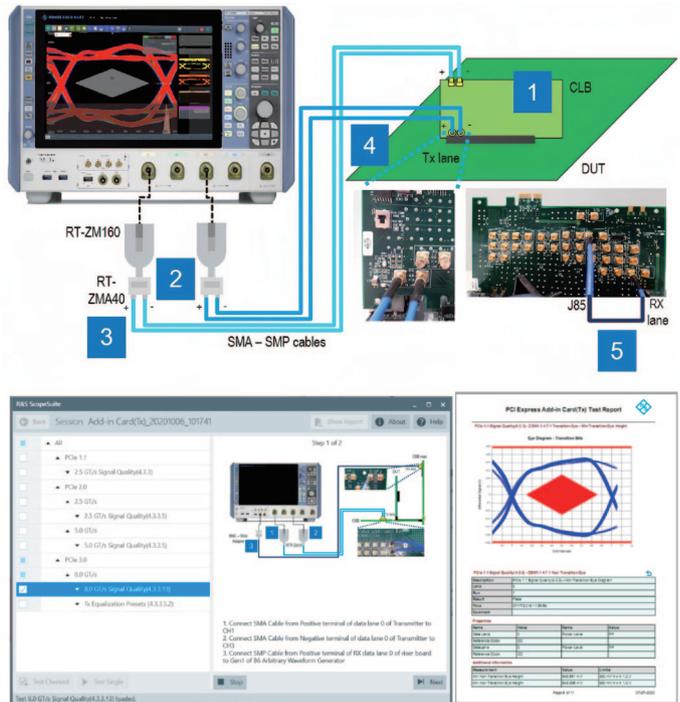


SpaceWire总线触发与解码功能

一致性测试

高速总线通常会涉及到物理层一致性测试, 例如幅度、时序、抖动、模板等, 并且为这些测试项目规定了限制值, 以验证被测件的信号质量是否符合规定, 即Pass/Fail测试。测试规范由国际上不同的技术组织联盟推出的指导文档所规定, 例如DDR的相关测试规范由JEDEC确定, PCIE的测试内容则由PCI-SIG规定。

在进行一致性测试中, 通常需要示波器、自动化测试软件、探头或线缆、夹具以完成时域相关参数的测量。R&S示波器具备丰富的协议物理层一致性测试方案。例如10/100/1000M以太网、MG以太网、汽车以太网、DDR3 (LPDDR3)、DDR4 (LPDDR4)、DDR5 (LPDDR5)、USB、PCIE、MIPI D-PHY等, 并且针对部分协议测试提供符合认可的夹具, 以方便被测件连接。

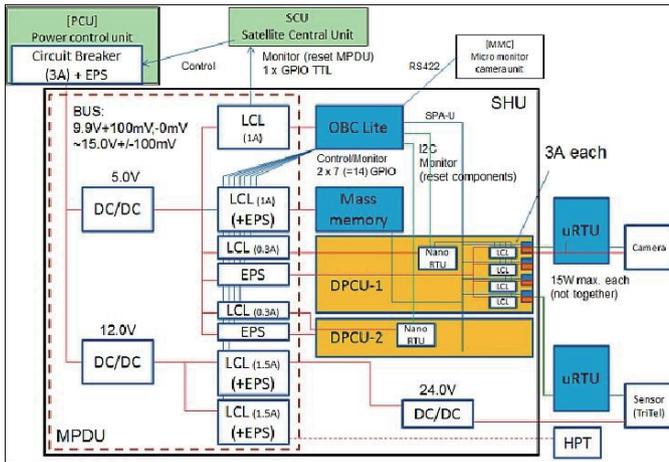


PCIE总线一致性测试示意图及测试软件界面

电源完整性测试

电源完整性概述

电源完整性测试聚焦于卫星电源分配网络 (PDN) 的性能，需要精确测量电源母线上的噪声、纹波及负载动态变化时的瞬态响应。其应用直接关系到卫星上各单机和敏感芯片提供的电源是否稳定和洁净，旨在避免因电源质量问题引发系统逻辑错误、性能下降甚至复位。



电源完整性测试内容

电源完整性的测试内容主要有：

- ▶ Tolerance容限分析 (最坏情况分析)；
- ▶ PARD (周期性和随机性扰动)，主要为噪声、纹波和瞬态；
- ▶ 电源低频漂移；
- ▶ 静态和动态负载响应；
- ▶ 射频模块组件引起的干扰，高速数字线路引起的串扰/EMI干扰等。

R&S电源完整性测试方案

高性能示波器 (MXO4、MXO5、RTO6、RTP)：

- ▶ 最高500 uV/div输入灵敏度，不受带宽限制，也无需放大显示；
- ▶ 创新数字触发和采集系统，具备高触发灵敏度，波形捕获率最高达450万波形/秒，短时间内捕获足够多的样本，迅速发现故障；
- ▶ 具备频谱分析能力，频域模板触发及自动Peak List显示，完美实现EMI诊断功能；
- ▶ 一个探头连接可同时查看信号时域和频域特性，进行时频域联合分析，减少多个探头连接查看带来的负载影响。



R&S RT-ZPR20/ZPR40专用电源完整性测试探头：

- ▶ 测试带宽高达2 GHz/4 GHz，1:1衰减比，相对于10:1探头能够获得更小的噪声，提升垂直准确度，高带宽助力捕获高频干扰和噪声；
- ▶ 业内最大±60 V偏置补偿能力，无需示波器设置AC耦合隔直，直接测量±60 V范围内电源信号，有利于评估电源低频漂移；
- ▶ 探头的内部集成高灵敏度数字电压表，方便用户随时快速查看电压值变化；
- ▶ ±850 mV测试动态范围，满足用户测试需求；
- ▶ 完备的探接前端，丰富的连接附件便于用户快速、稳定连接被测信号。



RT-ZPR20/ZPR40电源完整性探头

结语

在卫星产品的信号完整性与电源完整性测试中，示波器扮演着不可替代的“诊断医生”角色。它们的核心价值在于为工程师提供一双能精准洞察信号与电源质量的眼睛。

对于信号完整性，示波器通过进行眼图、抖动和时序分析等，直接验证高速总线 (如星间链路) 的数据可靠性，确保在极端温度、振动等空间环境下，指令与科学数据能无失真地传输。

对于电源完整性，示波器的关键任务是精确测量电源母线上微小的纹波、噪声及动态负载下的瞬态响应，从而保障为星上敏感芯片提供的电力稳定洁净，从根本上避免因电源问题导致的系统逻辑错误或性能下降。而要获得这些关键数据，探头的选择至关重要，使用专用的电源完整性探头能精准捕获高速信号而不引入失真，并且可以准确对微小的电源纹波噪声进行测量。

使用R&S的示波器和探头，通过精确的联合分析，帮助工程师在地面阶段最大限度地暴露和解决潜在隐患，极大地提升了卫星在轨长期运行的可靠性与任务成功率，是确保卫星“神经系统”与“血液循环系统”健康的关键工具。

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 | 从测试角度透视卫星电源与信号完整性

文件中没有容限值的数据没有约束力 | 随时更改