

电子行业计量技术规范项目建议书

建议项目名称	串行总线故障注入设备校准规范		
制定或修订	<input checked="" type="checkbox"/> 制定 <input type="checkbox"/> 修订	被修订计量技术规范号	
计量技术规范性质	<input type="checkbox"/> 检定规程 <input checked="" type="checkbox"/> 校准规范	计量技术规范类别	<input type="checkbox"/> 重点 <input checked="" type="checkbox"/> 基础
主要起草单位	工业和信息化部电子第五研究所、凌云科技集团有限责任公司		
联系人	刘鹏	联系电话	18998350621
任务年限	2 年	申请经费	5 万
参加单位	广州赛宝计量检测中心服务有限公司		
目的、意义和必要性	<p>1. 目的、意义</p> <p>串行总线故障注入设备是一种用于测试和验证系统可靠性的设备，通过在系统中故意引入故障来评估系统在异常情况下的表现。这种设备在航空航天、汽车船舶、工业自动化和医疗设备等领域中有着广泛的应用，特别是在需要确保高可靠性和安全性的系统中。</p> <p>目前国内还没有串行总线故障注入设备的计量技术规范，缺少客观一致的校准方法，导致测试关键参数的量值准确性无法保障。此项计量技术规范的研究有利于串行总线故障注入设备校准的规范化和标准化，保障总线故障注入参数的准确可靠，对于依赖串行总线技术的各个领域的发展具有重要意义。</p> <p>2. 先进性和亮点、社会效益和推广应用前景</p> <p>为了考核总线设备在恶劣环境中的工作能力，近年来相关研究人员开始了对总线可靠性试验方法的研究，主要有两个方向：工作环境仿真和模拟故障注入测试。仿真法效率高，可在前期对系统设计进行初步的评估；故障注入试验的可信度高，可对样机或产品的可靠性进行考核，其可以产生各种总线故障，通过观察总线设备对所注入故障的反应，得到确切、可靠的总线抗干扰能力的试验结果。</p>		

	<p>随着总线技术在航空航天、汽车船舶、工业自动化和医疗设备领域的不断完善，对总线技术设备可靠性测试需求不断增加，这使得国内外生产厂家、科研实验室、第三方检测机构用串行总线故障注入设备对其进行可靠性测试，串行总线故障注入设备的相关计量要求也被提出。该规范的制定可填补目前国内串行总线故障注入设备计量依据的空白，为其量值溯源提供依据，促进总线电子设备可靠性测试领域的发展，为航空航天装备、先进轨道交通装备等中国制造 2025 重点应用领域的测试提供可靠保障。</p> <p>3. 查新结果</p> <p>目前国内没有串行总线故障注入设备相应的国家或部门计量技术规范。</p>
产业链应用	<p>1. 重点产业链方向</p> <p>串行总线故障注入设备广泛应用在民用大飞机、新能源汽车和船舶与海洋工程装备等产业链，是确保飞机、汽车、船舶与海洋工程装备可靠性和安全性的关键工具之一。</p> <p>用于测试民用大飞机的各个子系统，确保在极端条件下的可靠性和安全性。例如，可以模拟传感器故障、通信中断等场景，评估飞控系统的应对能力。</p> <p>用于测试新能源汽车的电池管理系统、驱动电机控制系统、制动系统等各个子系统通过总线故障注入设备注入各种故障进行测试，确保车船异常情况下安全地运行或进入故障安全模式。</p> <p>用于测试船舶与海洋工程装备的通信与控制系统，如推进系统、制动系统、导航系统、安全系统和电力管理系统等。通过模拟各种故障情况，确保船舶与海洋工程装备异常情况下安全运行。</p> <p>此外，串行总线故障注入设备还在工业机器人、仪器仪表等领域广泛应用。</p> <p>2. 对本行业重点产业链的支撑作用</p> <p>串行总线故障注入设备属于民用大飞机、新能源汽车、船舶与海洋工程装备重点产业链。</p> <p>提高系统可靠性：通过模拟真实世界中的故障情况，发现系统潜在的弱点和漏洞，从而采取措施提高系统的可靠性和安全性。</p> <p>节省时间和成本：可以快速设置和执行测试，减少测试时间和成本，提高开发效率。</p> <p>增强故障诊断能力：通过详细的测试记录和数据分析，帮助工程师更好地理解系统的行为，提高故障诊断和解决能力。</p>

范围 and 主要
计量特性

1. 计量技术规范的适用范围

本规范适用于包括 RS232、RS422、RS485、CAN、ARINC429、1553B 等串行总线通信标准的串行总线故障注入设备的校准。

2. 计量特性

2.1 典型的串行总线故障注入设备的外观及指标：

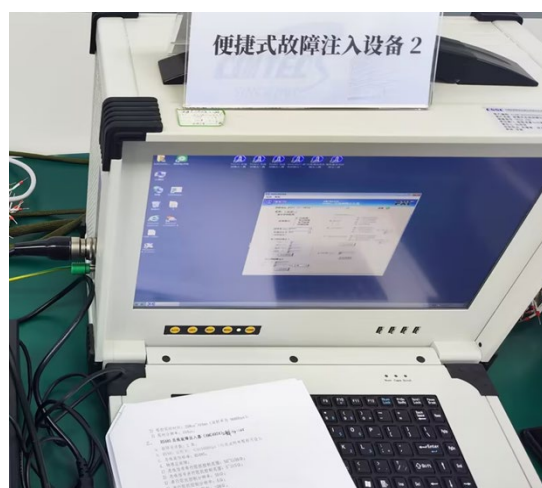
(1) 制造商：旋极科技（WATERTEK），型号：IceBlade-RS422



主要技术指标：

物理层故障	
断路控制：	控制正、负信号线的断路；（电阻 $>10\text{M}\Omega$ ）
短路控制：	控制正、负信号线的短路；（电阻 $<5\Omega$ ）
串行电阻：	电阻范围： $100\Omega\sim128\text{K}\Omega$ ，精度： $\pm 5\%$ ；
并行电阻：	电阻范围： $100\Omega\sim128\text{K}\Omega$ ，精度： $\pm 5\%$ ；
电气层故障	
信号幅度：	电压范围： $-8\text{V}\sim+8\text{V}$ ，精度： \pm （设置值 $\times 5\%+0.5\text{V}$ ）；
共模电压：	电压范围： $-4\text{V}\sim+4\text{V}$ ，精度： \pm （设置值 $\times 5\%+0.5\text{V}$ ）；
噪声幅度：	实现对总线信号进行噪声叠加。
斜率调节：	调节电气层信号的上升沿与下降沿。
协议层故障	
信号延时：	信号延迟范围： $10\mu\text{s}\sim100000\mu\text{s}$ ；
速率调节：	对总线信号速率进行调节；
数据位故障：	对某些数据位控制，注入故障错误。

(2) 制造商：北京航天测控技术有限公司，型号：TECS-05A



主要技术指标：

总线通信标准：RS232、RS422、RS485、CAN	
物理层故障	
断路控制：	控制总线信号线断路，断路电阻 $>10\text{M}\Omega$ ；
短路控制：	控制总线信号线短路，短路电阻 $\leq 10\Omega$ ；
串行电阻：	电阻范围： $5\Omega \sim 3150\Omega$ （精度： $\pm 30\Omega$ ）
并行电阻：	电阻范围： $5\Omega \sim 3150\Omega$ （精度： $\pm 30\Omega$ ）
电气层故障	
信号幅度：	电压范围： $-10\text{V} \sim +10\text{V}$ ，精度： $\pm 2\%\text{FS}(\text{DC})$ ；
噪声幅度：	噪声幅度控制范围： $0\text{V} \sim 2.0\text{V}$
斜率调节：	信号的上升沿与下降沿斜率，控制范围： $0 \sim 100\%$ ；
协议层故障	
信号延时：	信号延迟范围： $200\mu\text{s} \sim 100\text{ms}$ ；
错误位注入：	注入范围：起始位、数据位和校验位；

2.2 计量特性：

2.2.1 物理层故障：

串行电阻： $5\Omega \sim 500\text{k}\Omega$ ，最大允许误差： $\pm (5\% \sim 15\%)$ ；
 并行电阻： $5\Omega \sim 500\text{k}\Omega$ ，最大允许误差： $\pm (5\% \sim 15\%)$ ；
 断路电阻： $>2\text{M}\Omega$ ；
 短路电阻： $\leq 10\Omega$ ；

2.2.2 电气层故障：

单端信号幅度： $0\text{V} \sim 15\text{V}$ ，最大允许误差： $\pm (2\% \sim 15\%)$ ；
 差分信号幅度： $0\text{V} \sim 30\text{V}$ ，最大允许误差： $\pm (2\% \sim 15\%)$ ；
 共模电压： $-10\text{V} \sim +10\text{V}$ ，最大允许误差： $\pm (2\% \sim 15\%)$ ；
 噪声幅度： $0\text{V} \sim 5.0\text{V}$ ，最大允许误差： $\pm (5\% \sim 20\%)$ ；
 （注：此处噪声指正弦波、方波、三角波或白噪声等叠加组合得的模拟噪声干扰的叠加信号）

脉冲周期： $0.1\mu\text{s} \sim 1000\text{ms}$ ，最大允许误差： $\pm (1\% \sim 5\%)$ ；
 脉冲占空比： $5\% \sim 95\%$ ，最大允许误差： $\pm (2\% \sim 15\%)$ ；
 信号斜率控制比： $0 \sim 100\%$ ；（上升时间： $5\text{ns} \sim 500\text{ms}$ ）

2.2.3 协议层故障：

信号延时： $1\mu\text{s} \sim 1000\text{ms}$ ，最大允许误差： $\pm (1\% \sim 10\%)$ ；

3. 主要测量标准的技术指标

3.1 数字示波器

频带宽度： $\geq 100\text{MHz}$ ；

幅度测量范围： $-30\text{V}\sim+30\text{V}$ ，最大允许误差： $\pm 2\%$ ；

时基：相对最大允许误差： $\pm 1\times 10^{-4}$ ；

3.2 直流数字电阻表（数字多用表）

电阻测量范围： $0.1\Omega\sim 20\text{M}\Omega$ ，最大允许误差： $\pm 0.5\%$ ；

3.3 标准总线信号发生器（总线分析仪）

可输出 RS232、RS485、RS422、CAN、ARINC429 或 1553B 等标准总线信号。

4. 简要描述主要计量项目的技术原理

4.1 校准项目

表 1 校准项目表

序号	校准项目名称	
1	物理层故障	串行电阻
		并行电阻
		断路电阻
		短路电阻
2	电气层故障	单端信号幅度
		差分信号幅度
		共模电压
		噪声幅度
		脉冲周期
		脉冲占空比
3	协议层故障	信号斜率控制比
		信号延时
		速率调节功能检查
		错误位注入功能检查

4.2 主要校准项目技术原理

4.2.1 物理层故障

4.2.1.1 串行电阻



图 1 串行电阻原理图

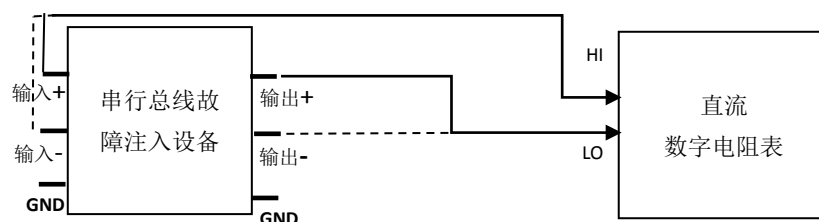


图 2 物理层故障串行电阻校准连接示意图

物理层串行电阻注入故障原理如图 1，进行物理层故障串行电阻的校准，如图 2 所示接线，直流数字电阻测试端两线连接串行总线故障注入设备的输入+和输出+（或输入-和输出-）。按校准点设定串行总线故障注入设备物理层串行电阻值，运行注入故障，由直流数字电阻表直流电阻测量功能，直接测量两线直流电阻值，测量结果即为待校的串行电阻。

4.2.1.2 并行电阻

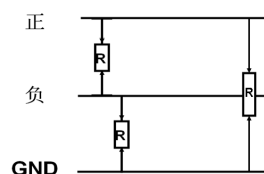


图 3 并行电阻原理图

物理层并行电阻注入故障原理如图 3 所示，进行物理层故障并行电阻的校准，直流数字电阻测试端两线连接串行总线故障注入设备的输出正与输出负、输出正与地或输出负与地间的两线直流电阻值。按校准点设定串行总线故障注入设备物理层并行电阻值，运行注入故障，由直流数字电阻表直流电阻测量功能，直接测量两线直流电阻值，测量结果即为待校的并行电阻。

4.2.1.3 断路电阻

物理层断路电阻注入故障原理同图 1 所示，图中电阻 R 处对应为断路电阻（高阻）。设定串行总线故障注入设备物理层串行电阻链路（包括地线）断路，同 4.2.2.1 方法对物理层故障断路电阻进行校准。

4.2.1.4 短路电阻

物理层短路电阻注入故障原理同图 3 所示，图中电阻 R 处对应为短路电阻（接近零欧姆）。设定串行总线故障注入设备物理层并行电阻链路短路，同 4.2.2.2 方法对物理层故障短路电阻进行校准。

4.2.2 电气层故障

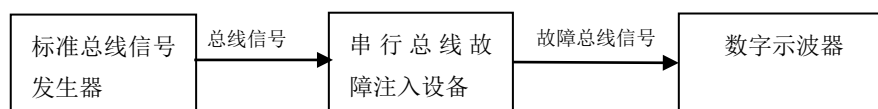


图4 电气层故障校准连接示意图

4.2.2.1 单端信号幅度

如图4所示连接仪器，其中示波器的一个通道（信号端和地端）两线连接故障注入输出正端和输出地端（或故障注入输出负端和输出地端，接线方法如图5所示）。设定被校串行总线故障注入设备信号传输速率与输入总线信号一致，按校准点设定电气层故障信号幅度，注入故障，运行示波器稳定触发输入总线信号波形，读取示波器显示信号幅度值即为待校的单端信号幅度。

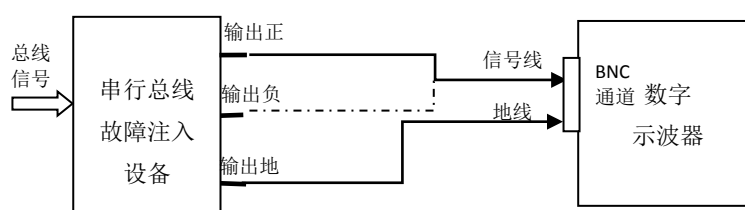


图5 单端信号幅度测量原理图

4.2.2.2 差分信号幅度

如图4所示连接仪器，其中示波器通道A接故障注入输出正端和输出地端，通道B接故障注入输出负端和输出地端（接线方法如图6所示）。设定串行总线故障注入设备信号传输速率与输入标准总线信号一致，按校准点设定电气层故障差分信号幅度，注入故障。设置示波器MATH选项：MATH=CHA-CHB，运行示波器测量，读取MATH值结果即为待校的差分信号幅度值。

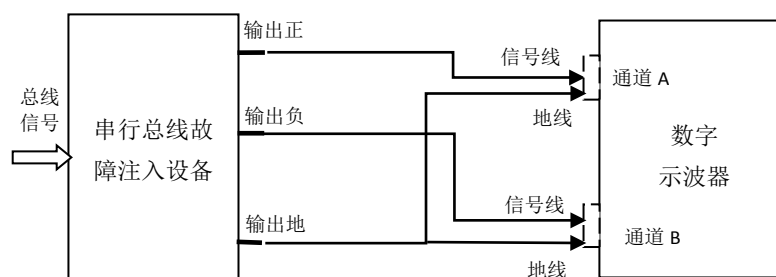
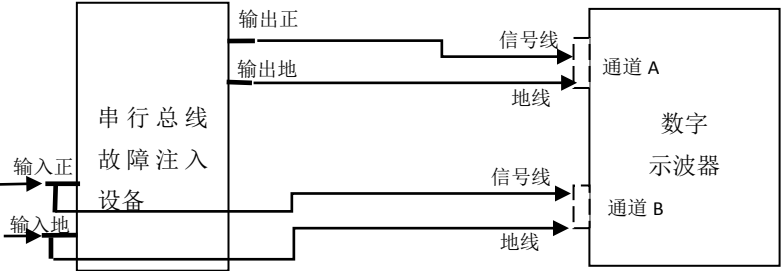


图6 差分信号幅度测量原理图

4.2.2.3 共模电压

如图4所示连接仪器，示波器通道A接故障注入输出正端和输出地端，通道B接故障注入输出负端和输出地端（共模电压测量接线方法参考图6）。设定被校串行总线故障注入设备信号传输速率与输入总线信号一致，按校准点设定电气层共模电压，注入故障，使示波器稳定触发故障总线信号波形，打开示波器幅度光标标记功能，光标与通道A波形顶部重叠，记录光标位置标记电压值 U_h 。调整光标位置，与通道B波形底部重叠，读取记录此时光标位置标记

	<p>电压 U_1，按公式：$U_x = (U_n + U_1) / 2$，计算得到 U_x 值，即共模电压。</p> <p>4.2.2.4 噪声幅度</p> <p>如图 4 所示连接仪器，噪声幅度测量接线方法参考图 5。设定被校串行总线故障注入设备信号传输速率与输入总线信号一致，按校准点设定电气层故障噪声幅度，注入故障，运行示波器稳定触发噪声故障总线信号波形（标准总线信号顶端或底端电平叠加出现噪声，噪声通常为方波或正弦波），利用示波器光标标记读取噪声顶端和底端电平差值，即为待校的噪声幅度。</p> <p>4.2.2.5 脉冲周期</p> <p>如图 4 所示连接仪器，脉冲周期测量接线方法参考图 5。设定被校串行总线故障注入设备信号传输速率与输入总线信号一致，按校准点设定电气层故障脉冲周期，注入故障，运行示波器稳定触发故障总线信号波形，利用示波器水平光标标记触发波形中单个数据位脉冲周期值，即为待校的脉冲周期值。）</p> <p>4.2.2.6 脉冲占空比</p> <p>参照《函数发生器检定规程》中脉冲占空比校准方法。</p> <p>（如图 4 所示连接仪器，脉冲占空比测量接线方法参考图 5。设定被校串行总线故障注入设备信号传输速率与输入总线信号一致，按校准点设定电气层故障脉冲占空比，注入故障，运行示波器稳定触发故障总线信号波形，使用示波器占空比测量功能（或光标标记功能）测量得到故障总线信号的脉冲占空比。）</p> <p>4.2.2.7 信号斜率控制比</p> <p>参照《函数发生器检定规程》上升时间校准方法，对串行总线故障注入设备输出的故障总线信号的上升沿（或下降沿）进行测量。测量得到脉冲上升时间为 t_0，设对应输出故障总线信号标称的脉冲宽度为 τ（一般为脉冲周期的 1/2），则通过公式：$K = 2 * t_0 / \tau$ 计算得到对应信号斜率控制比 K，即为待校的信号斜率控制比。</p> <p>4.2.3 协议层故障</p> <p>4.2.3.1 信号延时</p> <p>协议层故障的信号延时校准，如图 4 所示连接仪器，示波器通道 A 接串行总线故障注入设备输出正和输出地端（输出时延总线信号），通道 B 接测试仪输入正和输入地端（输出原总线信号），接线方法如图 7。设定被校串行总线故障注入设备信号传输速率与输入标准总线信号一致，按校准点设定协议层故障信号延时，注入故障。设定示波器两通道水平偏转因素为同一合适值，运行同时稳定触发两通道输入信号波形，用光标读取示波器两路信号波形之间的延迟时间，即协议层故障的信号延时。</p>
--	--

	 <p style="text-align: center;">图 7 信号时延测量原理图</p> <p>4.2.3.2 速率调节功能检查</p> <p>如图 4 所示连接仪器，按校准点设定被校串行总线故障注入设备和标准总线信号发生器的信号速率为同一值，设定串行总线故障注入设备协议层故障的信号速率调节比率，运行注入故障，输出故障总线信号。由数字示波器测量得到信号数据位脉冲周期值 τ，通过计算得到故障总线信号传输速率 $R=2 \times 1/\tau$，检查传输速率是否符合速率调节设定。</p> <p>4.2.3.3 错误位注入功能检查</p> <p>如图 4 所示连接仪器，设定被校串行总线故障注入设备设定信号传输速率与输入标准总线信号一致，按仪器使用说明设置协议层故障错误位注入参数，注入故障。设定示波器两通道水平偏转因素为同一合适值，运行同时稳定触发两通道输入信号波形，观察对比示波器两路信号波形，若通道 A 波形（故障信号波形）出现对应错误位的故障波形状态，则说明错误位功能正常。</p>
水平	<div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: center;"> □ 国际先进 ■ 国内先进 </div>
国内外情况 简要说明	<p>1. 与国内相关技术规范之间的关系</p> <p>目前国内尚无串行总线故障注入设备相应的国家或部门计量技术规范，缺乏合适的溯源途径。与其相关的 JJF(民航)0106-2020《ARINC429 便携式数据总线分析仪校准规范》不适用串行总线故障注入设备的校准。该规范的适用范围、计量特性和计量原理与本建议项目有明显差异。其只适用于 429 型数据总线分析仪，总线分析仪与串行总线故障注入设备工作原理不同，它不具备总线故障注入功能，计量特性不包括串行总线故障注入设备的物理层故障电阻、电气层共模电压、噪声幅度等参数。</p> <p>2. 指出是否发现有知识产权的问题，或涉及专利的情况</p> <p>目前国内尚无串行总线故障注入设备计量相关的专利。</p>

推荐意见		串行总线故障注入设备作为可靠性测试验证设备，通过在系统中故意引入故障来评估系统在异常情况下的表现，在民用大飞机、新能源汽车、仪器仪表等领域中有着广泛的应用。但目前国家及行业没有相应的计量技术规范，不能满足计量需求，建议立项。			
主要 起草 单位	(签字、盖公章) 月 日	技术 委员 会	(盖公章) 月 日	部委托 支撑 单位	(盖公章) 月 日

填写说明：1.表中第 2，3，11 行，请在选定的内容上填写 “■” 的符号。
2.填写制定或修订项目中，若选择修订则必须填写被修订计量技术规范号。