



中华人民共和国工业和信息化部
电子计量技术规范

JJF(电子) XXXX—20XX

串行总线故障注入设备校准规范

Calibration Specification for Serial Bus Fault Injection Device

××××-××-××发布

××××-××-××实施

中华人民共和国工业和信息化部 发布

串行总线故障注入设备校 准规范

Calibration Specification for Serial Bus
Fault Injection Device

JJF(电子) XXXX—20XX

归口单位：中国电子技术标准化研究院

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

参与起草单位：广州赛宝计量检测中心服务有限公司

本规范委托起草单位负责解释

本规范主要起草人：刘鹏（工业和信息化部电子第五研究所）

段誉（工业和信息化部电子第五研究所）

贺文喆（凌云科技集团有限责任公司）

参加起草人：刘君荣（工业和信息化部电子第五研究所）

申祥平（广州赛宝计量检测中心服务有限公司）

苏阳（广州赛宝计量检测中心服务有限公司）

顾林（广州赛宝计量检测中心服务有限公司）

目 录

引 言	II
1 范围	1
2 引用文献	1
3 术语和计量单位	1
4 概述	2
5 计量特性	2
5.1 物理层故障	2
5.2 电气层故障	2
5.3 协议层故障	3
6 校准条件	3
6.1 环境条件	3
6.2 测量标准及其他设备	3
7 校准项目和校准方法	4
7.1 校准项目	4
7.2 外观与工作正常性检查	5
7.3 物理层故障	5
7.4 电气层故障	6
7.5 协议层故障	11
8 校准结果表达	13
9 复校时间间隔	13
附录 A	14
附录 B	17
附录 C	20

引 言

本规范依据 JJF1071-2010《国家计量校准规范编写规则》和 JJF1059.1-2012《测量不确定度评定与表示》编写。

本规范为首次发布。

串行总线故障注入设备校准规范

1 范围

本规范适用于包括 RS-232、RS-422、RS-485、CAN、ARINC429、MIL-STD-1553B 串行总线通信标准的串行总线故障注入设备的校准，其他同类型的串口总线通信标准故障注入设备可参照执行。

2 引用文献

本校准方法引用下列文件：

JJG 840 函数发生器检定规程

注：凡是注日期的引用文件，仅注日期的版本适用于本规范；凡是不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本规范。

3 术语和计量单位

3.1 串联电阻 series resistor

物理层故障，串联接入总线的正、负或地某一路中的电阻，如图 1 所示。

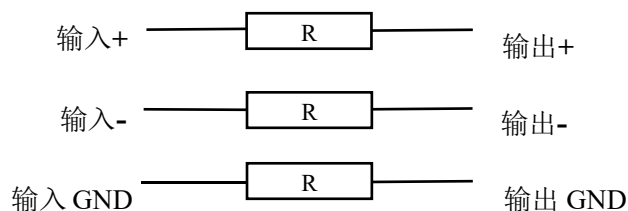


图 1 串联电阻示意图

3.2 并联电阻 parallel resistor

物理层故障，并联接入总线的正、负或地中某两路之间的电阻，如图 2 所示。

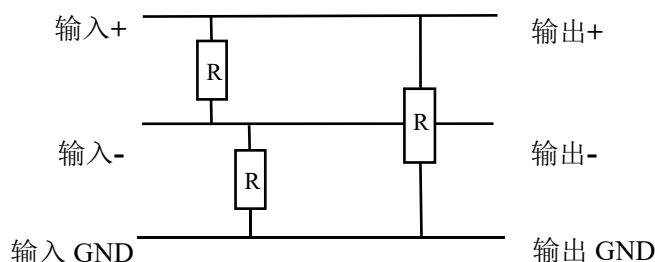


图 2 并联电阻示意图

3.3 噪声幅度 noise amplitude

电气层故障，模拟噪声干扰叠加在原标准总线信号上的干扰波形幅度，干扰波形可以为方波、正弦波或多种波形组合，如图 3 所示。

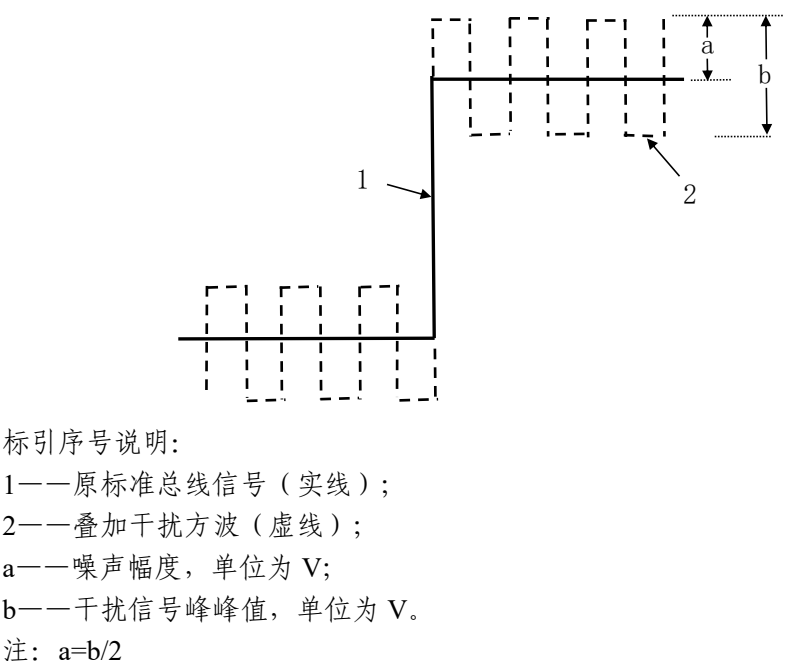


图 3 噪声幅度示意图

4 概述

串行总线故障注入设备是一种用于测试和验证系统串行总线接口可靠性的关键设备，能够向通信链路中注入模拟故障，以评估被测系统在异常条件下的工作性能。该设备主要由硬件接口单元、协议解析器、处理器单元及信号调节电路等组成。其原理为：设备以串行方式接入被测系统的通信链路，协议解析器实时捕获正常总线信号；处理器单元依据预设故障模式（如物理层阻抗异常、电气层电平偏移、协议层帧错误等），驱动信号调节电路对原始信号进行修改或叠加干扰，并将生成的故障信号重新注入总线。该设备能够为总线接口的可靠性验证提供精确、可配置、可重复的激励条件。

5 计量特性

5.1 物理层故障

5.1.1 串联电阻

范围：1Ω～500kΩ，最大允许误差：±(5%～15%);

5.1.2 并联电阻

范围：1Ω～500kΩ，最大允许误差：±(5%～15%);

5.2 电气层故障

5.2.1 信号幅度

范围：0.1V~15V，最大允许误差：±(4%~15%);

注：信号幅度为脉冲电压的绝对幅值，恒为正值。例如，RS-485 总线 A、B 线间差分脉冲为 ±5V 时，信号幅度记为 5V;

5.2.2 共模电压

范围：-10V~10V，最大允许误差：±(4%设定值+0.1V);

5.2.3 噪声幅度

范围：0.1V~5V，最大允许误差：±(5%~20%);

5.2.4 脉冲周期

范围：0.1μs~1000ms，最大允许误差：±(1%~5%);

5.2.5 脉冲空度比：

范围：5%~95%，最大允许误差：±(2%~15%);

5.3 协议层故障

信号延时：

范围：1μs~1000ms，最大允许误差：±(1%~10%);

注：以上技术指标不作合格评定，仅供参考。

6 校准条件

6.1 环境条件

6.1.1 环境温度：(23±5)℃

6.1.2 相对湿度：不大于 80%

6.1.3 供电电压：(220±22)V 或(110±11)V， (50±2)Hz

6.1.4 周围无影响正常工作的机械振动和电磁干扰。

6.2 测量标准及其他设备

6.2.1 数字示波器

频带宽度：≥30MHz;

电压范围：-30V~+30V，最大允许误差：±(1.5%~3%);

时间范围：0.1μs~1000ms，最大允许误差：±0.1%;

6.2.2 差分电压探头

频带宽度：≥30MHz;

电压范围：-30V~+30V，最大允许误差：±(1.5%~2%);

6.2.3 直流数字电阻表（数字多用表）

电阻测量范围：0.1 Ω ~20M Ω ，最大允许误差： $\pm 0.5\%$ ；

6.2.4 标准总线信号发生器（总线分析仪）

可输出 RS-232、RS-485、RS-422、CAN、ARINC429、MIL-STD-1553B 等标准总线信号。

6.2.5 其他附件

应配备串行总线故障注入设备校准所需的各类附件，包括符合总线电气特性要求的双绞线、转接器、匹配终端等。各型总线所需的匹配终端配置要求如下：

- a) RS-422、RS-485、CAN 总线：120 Ω 匹配终端；
- b) MIL-STD-1553B 总线：变压器耦合方式应接入标准变压器耦合组件；直接耦合方式应接入由 78.7 Ω 电阻与 1 μ F/50V 无极性电容串联构成的终端网络。

注 1：RS-232、ARINC429 总线校准时不需要匹配终端，直接高阻测量；

注 2：电阻标称值允许偏差宜不超过 $\pm 1\%$ ，电容标称值允许偏差宜不超过 $\pm 5\%$ 。

实际参数可根据被校设备技术特性或实际拓扑微调。

7 校准项目和校准方法

7.1 校准项目

串行总线故障注入设备校准项目见表 1。

表 1 串行总线故障注入设备校准项目一览表

序号	校准项目名称	
1	物理层故障	串联电阻
		并联电阻
		断路/短路控制功能检查
2	电气层故障	信号幅度
		共模电压
		噪声幅度
		脉冲周期
		脉冲空度比
		信号斜率控制功能检查
3	协议层故障	信号延时
		速率调节功能检查
		错误位注入功能检查

7.2 外观与工作正常性检查

被校故障注入设备外观应完好无损，无影响正常工作的机械损伤，其开关、按键、旋钮等应牢固且调节正常。通电后，设备的开关、按键、显示屏及各类状态指示灯（或标志）应工作正常。具有自检功能的设备，在通电开机后应能自动完成自检。校准前，被校设备及标准器应按规定时间预热，将检查结果记录于附录 A 表 A.1 中。

7.3 物理层故障

7.3.1 串联电阻

7.3.1.1 按图 4 连接仪器，直流数字电阻表测量端连接串行总线故障注入设备的输入+和输出+（或输入-和输出-，又或输入 GND 和输出 GND）端。

7.3.1.2 按要求设置串行总线故障注入设备物理层故障串联电阻值，注入故障。

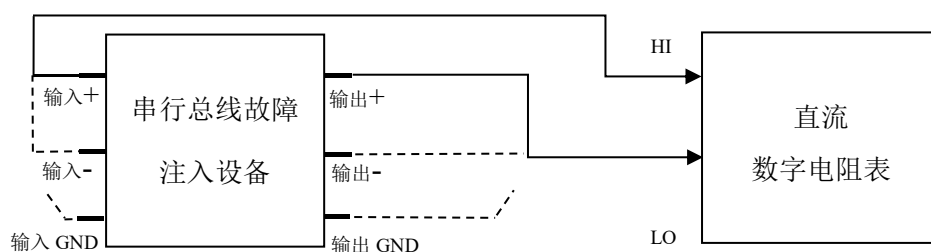


图 4 物理层故障串联电阻校准示意图

7.3.1.3 设置直流数字电阻表量程，测量电阻值，记录于附录 A 表 A.2。

7.3.1.4 按要求改变被校设备串联电阻值，重复 7.3.1.3 的操作，得到不同校准点的测量结果。

注：校准点的选取应覆盖被校设备标称范围的上下限，至少包含高中低三个点，同时应参考被校设备原厂说明书中对校准点的建议，并可根据实际情况或送校单位的要求选取校准点。

7.3.2 并联电阻

7.3.2.1 按图 5 连接仪器，直流数字电阻表测量端连接串行总线故障注入设备的输出+和输出-（或输出+和 GND，或输出-和 GND）端。

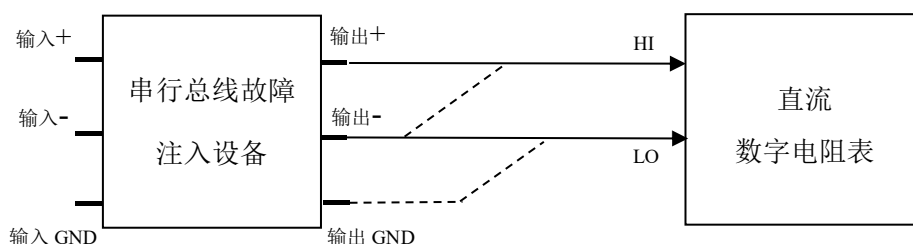


图 5 物理层故障并联电阻校准示意图

7.3.2.2 按要求设置串行总线故障注入设备物理层故障并联电阻值，注入故障。

7.3.2.3 设置直流数字电阻表量程，测量电阻值，记录于附录 A 表 A.3。

7.3.2.4 改变被校设备并联电阻值，重复 7.3.2.3 的操作，得到不同校准点的测量结果。

7.3.3 断路/短路控制功能检查

7.3.3.1 按图 4 连接仪器，通过测量断路控制状态下的串联电阻，检查设备的断路控制功能。设置串行总线故障注入设备物理层某一传输线断路，测量串联电阻值应为高阻（通常 $\geq 2\text{M}\Omega$ ），将检查结果记录于附录 A 表 A.4 中。

7.3.3.2 按图 5 连接仪器，通过测量短路控制状态下的并联电阻，检查设备的短路控制功能。设置串行总线故障注入设备物理层某两传输线之间短路，测量并联电阻值应接近零欧姆（通常 $\leq 10\Omega$ ），将检查结果记录于附录 A 表 A.4 中。

7.4 电气层故障

7.4.1 单端信号幅度

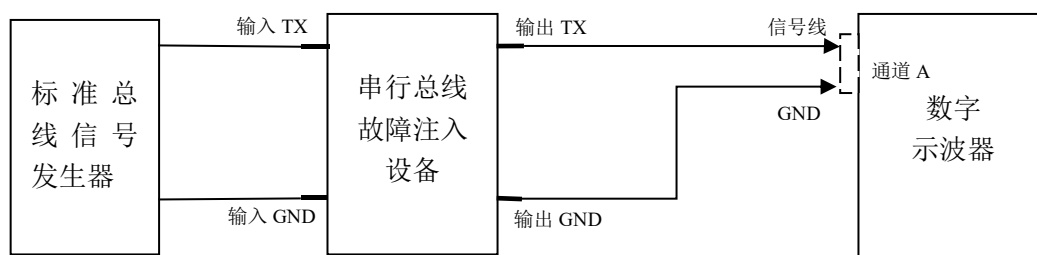


图 6 单端信号幅度校准连接示意图

7.4.1.1 按图 6 连接仪器（将标准总线信号发生器的总线信号输出端连接串行总线故障注入设备总线信号输入端；将故障注入设备的输出 TX 和输出 GND，通过双绞线连接到示波器测量通道）。

7.4.1.2 按要求设置标准总线信号发生器总线类型和信号速率（无要求时，信号速率设为 9600bps），设置输出标准总线信号。

7.4.1.3 设置串行总线故障注入设备的总线类型和信号速率，使其与输入的标准总线信号一致，按要求设置电气层故障单端信号幅度值，注入故障，输出故障总线信号。

7.4.1.4 调节数字示波器，使被测信号显示高度占示波器屏幕垂直刻度的二分之一以上，使用示波器测量功能测量信号脉冲幅度，记录于附录 A 表 A.5。

7.4.1.5 改变被校故障注入设备单端信号幅度值，重复 7.4.1.3~7.4.1.4 的操作，得到不同校准点的测量结果。

注：单端信号幅度的校准适用于单端信号总线类型（如 RS-232）。

7.4.2 差分信号幅度

差分信号幅度校准可采用双通道直连法和差分探头法。在具备匹配差分探头的条件下，宜优先采用差分探头法。双通道直连法，适用于共模电压在示波器单端输入安全范围内且信号速率 $\leq 1\text{Mbps}$ 的低速总线场景。差分探头法具有更高的共模抑制比和带宽，适用于 CAN、MIL-STD-1553B 等高速总线及存在较高共模电压的测量场景。

7.4.2.1 方法一：双通道直连法



图 7 差分信号幅度双通道直连法示意图

7.4.2.1.1 按图 7 连接仪器（将标准总线信号发生器的总线信号输出端连接到串行总线故障注入设备总线信号输入端；将故障注入设备的总线信号输出+和输出 GND，通过双绞线连接到示波器的通道 A；将故障注入设备的总线信号输出-和输出 GND，通过同样方式连接到示波器的通道 B；根据被校设备技术说明书要求在输出端接入匹配终端（匹配器）；若无要求，在测试链路长度大于 3m 且信号速率不低于 115.2kbps 时，应接入对应总线阻抗特性的匹配终端）。

7.4.2.1.2 按要求设置标准总线信号发生器总线类型和信号速率（无要求时，信号速率设为 9600bps），输出标准总线信号。

7.4.2.1.3 设置串行总线故障注入设备总线类型和信号速率与输入标准总线信号一致，按要求设置电气层故障差分信号幅度值，注入故障，输出故障总线信号。

7.4.2.1.4 数字示波器直流偏置归零，设置 A、B 通道垂直偏转因素一致，调节示波器，使 A、B 通道均稳定触发故障总线信号波形。设置示波器 MATH 选项：

MATH=CHA-CHB，调节示波器，使 MATH 波形显示高度占示波器屏幕垂直刻度的二分之一以上，使用示波器测量功能测量 MATH 脉冲幅度（即差分信号幅度），记录于附录 A 表 A.6。

7.4.2.1.5 改变被校故障注入设备差分信号幅度值，重复 7.4.2.1.4 的操作，得到不同校准点的测量结果。

7.4.2.2 方法二：差分探头法

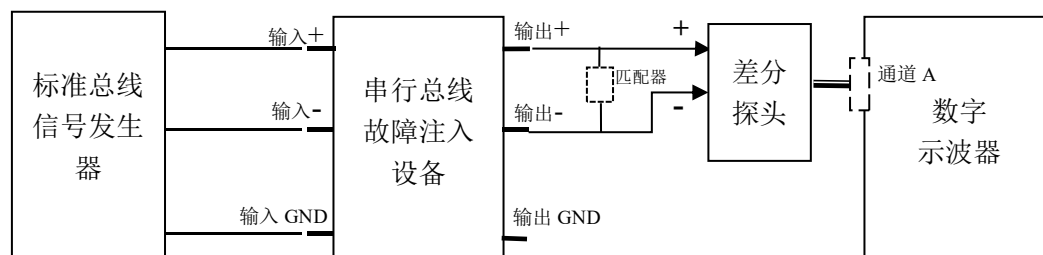


图 8 差分信号幅度校准差分探头法连接示意图

7.4.2.2.1 按图 8 连接仪器（将标准总线信号发生器的输出端连接至总线故障注入设备输入端；数字示波器测量通道接入匹配的差分探头，将故障注入设备的输出+和输出-按极性连接到差分探头；根据被校设备技术说明书要求在输出端接入匹配终端（匹配器）；若无要求，在测试链路长度大于 3m 且信号速率不低于 115.2kbps 时，应接入对应总线阻抗特性的匹配终端）。

7.4.2.2.2 按要求设置标准总线信号发生器总线类型和信号速率（无要求时，信号速率设为 9600bps），输出标准总线信号。

7.4.2.2.3 设置串行总线故障注入设备总线类型和信号速率与输入标准总线信号一致，按要求设置电气层故障差分信号幅度，注入故障，输出故障总线信号。

7.4.2.2.4 调节数字示波器，使被测信号显示高度占示波器屏幕垂直刻度的二分之一以上，使用示波器测量功能测量信号脉冲幅度，记录于附录 A 表 A.6。

7.4.2.2.5 改变被校故障注入设备差分信号幅度值，重复 7.4.2.2.4 的操作，得到不同校准点的测量结果。

注：差分信号幅度、共模电压校准适用于差分信号总线类型（如 RS-422、RS-485、CAN、ARINC429、MIL-STD-1553B）；

7.4.3 共模电压

7.4.3.1 按图 7 或图 8 连接仪器。

7.4.3.2 按要求设置标准总线信号发生器总线类型和信号速率（无要求时，信号速率设为 9600bps），输出标准总线信号。

7.4.3.3 设置串行总线故障注入设备总线类型和信号速率与输入标准总线信号一致，按要求设置电气层故障共模电压值，注入故障，输出故障总线信号。

7.4.3.4 调节数字示波器，使被测故障总线信号波形显示高度占示波器屏幕垂直刻度的二分之一以上，使用示波器测量功能测量信号的高电平和低电平，记录于附录 A 表 A.7。

7.4.3.5 按式（1）计算共模电压，结果记录于附录 A 表 A.7。

$$U_m = (U_H + U_L)/2 \quad (1)$$

式中：

U_H ——故障总线信号高电平测量值，V；

U_L ——故障总线信号低电平测量值，V；

U_m ——共模电压测量值，V。

7.4.3.6 改变被校故障注入设备电气层故障共模电压值，重复 7.4.3.4~7.4.3.5 的操作，得到不同校准点的测量结果。

7.4.4 噪声幅度

7.4.4.1 单端信号按图 6，差分信号按图 7 或图 8 连接仪器。

7.4.4.2 按要求设置标准总线信号发生器总线类型和信号速率（无要求时，信号速率设为 9600bps），输出标准总线信号。

7.4.4.3 设置串行总线故障注入设备总线类型和信号速率与输入标准总线信号一致，按要求设置电气层故障噪声幅度，注入故障，输出故障总线信号。

7.4.4.4 调节数字示波器，使叠加在原标准总线信号脉冲上的干扰波形显示高度占示波器屏幕垂直刻度的二分之一以上，使用示波器光标功能测量干扰波形峰峰值（如图 3，两个光标分别置于干扰波形包络高电平和低电平处，标记 ΔV 值），记录于附录 A 表 A.8。

7.4.4.5 按式（2）计算噪声幅度，结果记录于附录 A 表 A.8。

$$U_a = U_b/2 \quad (2)$$

式中：

U_a ——噪声幅度测量值，V；

U_b ——示波器测量的干扰波形峰峰值，V；

7.4.4.6 改变被校故障注入设备电气层故障噪声幅度值，重复 7.4.4.4~7.4.4.5 的操作，得到不同校准点的测量结果。

7.4.5 脉冲周期

7.4.5.1 单端信号按图 6，差分信号按图 7 或图 8 连接仪器。

7.4.5.2 按要求设置标准总线信号发生器总线类型和信号速率（无要求时，信号速率设为 9600bps），输出标准总线信号。

7.4.5.3 设置串行总线故障注入设备总线类型和信号速率与输入标准总线信号一致，按

要求设置电气层故障脉冲周期，注入故障，输出故障总线信号。

7.4.5.4 调节数字示波器，使信号波形的一个脉冲周期水平占示波器屏幕的 80%左右，使用示波器光标功能，测量标准总线信号的脉冲周期值，记录于附录 A 表 A.9。

7.4.5.5 改变被校故障注入设备电气层故障脉冲周期，重复 7.4.5.4 的操作，得到不同校准点的测量结果。

7.4.6 脉冲空度比

7.4.6.1 单端信号按图 6，差分信号按图 7 或图 8 连接仪器。

7.4.6.2 按要求设置标准总线信号发生器总线类型和信号速率（无要求时，信号速率设为 9600bps），输出标准总线信号。

7.4.6.3 设置串行总线故障注入设备总线类型和信号速率与输入标准总线信号一致，按要求设置电气层故障脉冲空度比，注入故障，输出故障总线信号。

7.4.6.4 调节数字示波器，使示波器屏幕显示不少于 1 个脉冲周期，信号显示高度占示波器屏幕垂直刻度的二分之一以上，使用示波器测量功能测量脉冲空度比，记录于附录 A 表 A.10。

7.4.6.5 改变被校故障注入设备电气层故障脉冲空度比，重复 7.4.6.4 的操作，得到不同校准点的测量结果。

7.4.7 信号斜率控制功能检查

7.4.7.1 单端信号按图 6，差分信号按图 7 或图 8 连接仪器。

7.4.7.2 按要求设置标准总线信号发生器总线类型和信号速率（无要求时，信号速率设为 9600bps），输出标准总线信号。

7.4.7.3 设置串行总线故障注入设备总线类型和信号速率与输入标准总线信号一致，设置电气层故障信号斜率控制比为 0%，注入故障，输出故障总线信号。

7.4.7.4 调节数字示波器，稳定触发故障总线信号波形，观察波形状态，应为斜率不变（与输入原始标准总线信号相比）的标准总线信号波形。

7.4.7.5 改变被校故障注入设备电气层故障信号斜率控制比 K （从最小调节到最大），观察示波器触发波形的斜率（脉冲上升下降沿的倾斜度），应随斜率控制比的变大而变大，将检查结果记录于附录 A 表 A.11。

7.5 协议层故障

7.5.1 信号延时

7.5.1.1 若使用双通道直连法进行信号测量，按图 9 连接仪器（将标准总线信号发生器的输出端连接至总线故障注入设备输入端；通过双绞线将故障注入设备的总线信号的单端输出连接至示波器的测量通道 A，将标准总线信号发生器的单端输出连接至示波器通道 B）。

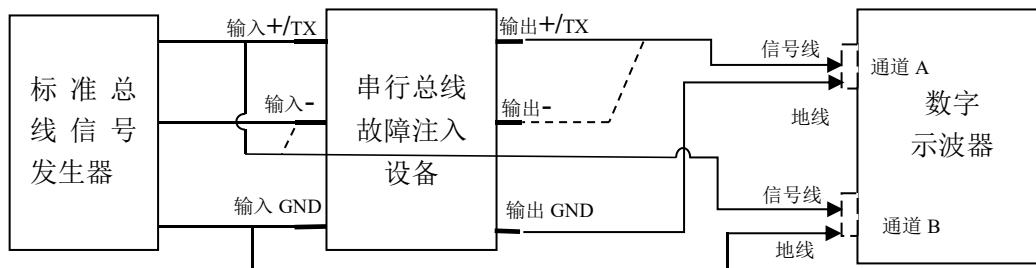


图 9 两线法信号延时校准连接示意图

若使用差分探头进行信号测量，按图 10 连接仪器（将标准总线信号发生器的差分输出端接入总线故障注入设备的输入端；使用两个差分探头，分别将故障注入设备的差分输出端接入示波器通道 A，标准总线信号发生器的差分输出端接入示波器通道 B）。

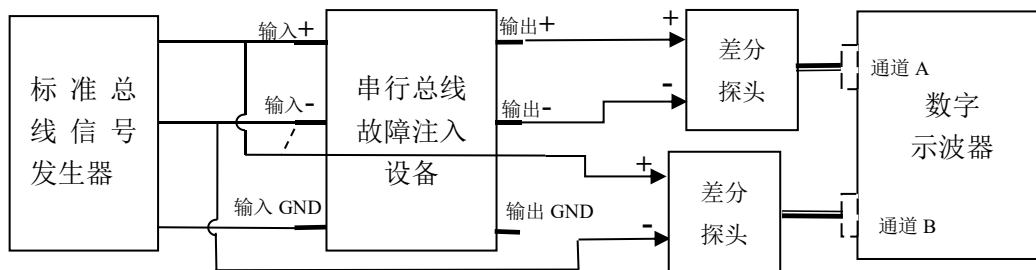


图 10 差分探头法信号延时校准连接示意图

7.5.1.2 按要求设置标准总线信号发生器总线类型和信号速率（无要求时，信号速率设为 9600bps），输出标准总线信号。

7.5.1.3 设置串行总线故障注入设备总线类型和信号速率与输入标准总线信号一致，按要求设置协议层故障信号延时，注入故障，输出故障总线信号。

7.5.1.4 调节数字示波器，使 A、B 通道均稳定触发故障总线信号波形，使用示波器测量功能测量两通道显示信号波形之间的延时，记录于附录 A 表 A.12。

7.5.1.5 改变被校故障注入设备协议层故障信号延时，重复 7.5.1.4 的操作，得到不同校准点的测量结果。

7.5.2 速率调节功能检查

7.5.2.1 按图 9 或图 10 连接仪器。

7.5.2.2 按要求设置标准总线信号发生器总线类型和信号速率（无要求时，信号速率设为 9600bps），输出标准总线信号。

7.5.2.3 设置串行总线故障注入设备总线类型和信号速率与输入标准总线信号一致，同时设置协议层故障信号速率与输入标准总线信号一致，注入故障，输出故障总线信号。

7.5.2.4 调节数字示波器，使 A、B 通道均稳定触发故障总线信号波形，观察示波器两通道显示的波形的脉冲周期应相同。

7.5.2.5 改变被校故障注入设备的协议层故障信号速率，观察示波器 A 通道的故障总线信号波形的脉冲周期是否发生对应变化（对应“脉冲周期=1/故障信号速率”），应与 B 通道波形不同，将检查结果记录于附录 A 表 A.13。

7.5.3 错误位注入功能检查

7.5.3.1 按图 9 或图 10 连接仪器。

7.5.3.2 按要求设置标准总线信号发生器总线类型和信号速率（无要求时，信号速率设为 9600bps），输出标准总线信号。

7.5.3.3 设置串行总线故障注入设备总线类型和信号速率与输入标准总线信号一致，设置协议层故障某错误位注入（如第二个数据位翻转，起始位、数据位和校验位的 0、1 状态电平错误等），注入故障，输出的故障总线信号。

7.5.3.4 调节数字示波器，使 A、B 通道均稳定触发故障总线信号波形。观察示波器 A 通道对应错误位的脉冲波形（以 B 通道原标准总线信号波形为参考），应与注入的错误位故障状态对应（如 0 和 1 状态电平转换）。

7.5.3.5 改变被校故障注入设备的协议层故障错误位，观察示波器 A 通道显示信号波形，是否产生对应错误位的波形变化，将检查结果记录于附录 A 表 A.14。

8 校准结果表达

校准后，出具校准证书。校准证书至少应包含以下信息：

- a) 标题：“校准证书”；
- b) 实验室名称和地址；
- c) 进行校准的地点（如果与实验室的地址不同）；
- d) 证书的唯一性标识（如编号），每页及总页数的标识；
- e) 客户的名称和地址；
- f) 被校对象的描述和明确标识；
- g) 进行校准的日期，如果与校准结果的有效性和应用有关时，应说明被校对象的接收日期；
- h) 如果与校准结果的有效性和应用有关时，应对被校样品的抽样程序进行说明；
- i) 校准所依据的技术规范的标识，包括名称及代号；
- j) 本次校准所用测量标准的溯源性及有效性说明；
- k) 校准环境的描述；
- l) 校准结果及其测量不确定度的说明；
- m) 对校准规范的偏离的说明；
- n) 校准证书签发人的签名、职务或等效标识；
- o) 校准结果仅对被校对象有效的说明；
- p) 未经实验室书面批准，不得部分复制证书的声明。

9 复校时间间隔

建议复校时间间隔为 1 年。由于复校时间间隔的长短是由仪器的使用情况、使用者、仪器本身质量等诸因素所决定的，因此送校单位可根据实际使用情况自主决定复校时间间隔。

经修理或调整的，应校准后使用。

附录 A

原始记录格式

A.1 外观及工作正常性检查

表 A.1 外观及工作正常性检查

项目	检查结果
外观及工作正常性检查	

A.2 串联电阻（物理层故障）

表 A.2 串联电阻

标称值	测量值	误差	扩展不确定度($k=2$)
...			
50Ω			
...			

A.3 并联电阻（物理层故障）

表 A.3 并联电阻

标称值	测量值	误差	扩展不确定度($k=2$)
...			
50Ω			
...			

A.4 断路/短路控制功能检查（物理层故障）

表 A.4 断路/短路控制功能检查

项目	检查结果
断路控制功能	
短路控制功能	

A.5 单端信号幅度（电气层故障）

表 A.5 单端信号幅度

信号速率	幅度标称值	幅度测量值	误差	扩展不确定度($k=2$)
...	...			

9600bps	5V			
...	...			

A.6 差分信号幅度（电气层故障）

表 A.6 差分信号幅度

信号速率	幅度标称值	幅度测量值	误差	扩展不确定度 ($k=2$)
...	...			
9600bps	5V			
...	...			

A.7 共模电压（电气层故障）

表 A.7 共模电压

共模电压标称值	信号高电平	信号低电平	共模电压测量值	误差	扩展不确定度 ($k=2$)
...					
-2V					
2V					
...					

A.8 噪声幅度（电气层故障）

表 A.8 噪声幅度

标称值	峰峰值	测量值	误差	扩展不确定度 ($k=2$)
...				
2V				
...				

A.9 脉冲周期（电气层故障）

表 A.9 脉冲周期

标称值	测量值	误差	扩展不确定度 ($k=2$)
...			
104μs			
...			

A.10 脉冲空度比（电气层故障）

表 A.10 脉冲空度比

标称值	测量值	误差	扩展不确定度 ($k=2$)
...			
50%			
...			

A.11 信号斜率控制功能检查（电气层故障）

表 A.11 信号斜率控制功能检查

项目	检查结果
信号斜率控制功能	

A.12 信号延时（协议层故障）

表 A.12 信号延时

标称值	测量值	误差	扩展不确定度 ($k=2$)
...			
10 μ s			
...			

A.13 速率调节功能检查（协议层故障）

表 A.13 速率调节功能检查

项目	检查结果
速率调节功能	

A.14 错误位注入功能检查（协议层故障）

表 A.14 错误位注入功能检查

项目	检查结果
错误位注入功能	

附录 B

校准证书内页格式

B.1 外观及工作正常性检查

表 B.1 外观及工作正常性检查

项目	检查结果
外观及工作正常性检查	

B.2 串联电阻（物理层故障）

表 B.2 串联电阻

标称值	测量值	误差	扩展不确定度 ($k=2$)
...			
50Ω			
...			

B.3 并联电阻（物理层故障）

表 B.3 并联电阻

标称值	测量值	误差	扩展不确定度 ($k=2$)
...			
50Ω			
...			

B.4 断路/短路控制功能检查（物理层故障）

表 B.4 断路/短路控制功能检查

项目	检查结果
断路控制功能	
短路控制功能	

B.5 单端信号幅度（电气层故障）

表 B.5 单端信号幅度

信号速率	幅度标称值	幅度测量值	幅度误差	扩展不确定度 ($k=2$)
...	...			

9600bps	5V			
...	...			

B.6 差分信号幅度（电气层故障）

表 B.6 差分信号幅度

信号速率	幅度标称值	幅度测量值	幅度误差	扩展不确定度 ($k=2$)
...	...			
9600bps	5V			
...	...			

B.7 共模电压（电气层故障）

表 B.7 共模电压

共模电压标称值	信号高电平	信号低电平	共模电压测量值	共模电压误差	扩展不确定度 ($k=2$)
...					
-2V					
2V					
...					

B.8 噪声幅度（电气层故障）

表 B.8 噪声幅度

标称值	测量值	误差	扩展不确定度 ($k=2$)
...			
2V			
...			

B.9 脉冲周期（电气层故障）

表 B.9 脉冲周期

标称值	测量值	误差	扩展不确定度 ($k=2$)
...			
100 μ s			
...			

B.10 脉冲空度比（电气层故障）

表 B.10 脉冲空度比

标称值	测量值	误差	扩展不确定度 ($k=2$)
...			
50%			
...			

B.11 信号斜率控制功能检查（电气层故障）

表 B.11 信号斜率控制功能检查

项目	检查结果
信号斜率控制功能	

B.12 信号延时（协议层故障）

表 B.12 信号延时

标称值	测量值	误差	扩展不确定度 ($k=2$)
...			
10 μ s			
...			

B.13 速率调节功能检查（协议层故障）

表 B.13 速率调节功能检查

项目	检查结果
速率调节功能	

B.14 错误位注入功能检查（协议层故障）

表 B.14 错误位注入功能检查

项目	检查结果
错误位注入功能	

附录 C

测量不确定度评定示例

C.1 物理层故障串联/并联电阻测量结果不确定度评定

C.1.1 测量方法

参照串行总线故障注入设备校准规范，使用直流数字电阻表直接测量被校串行总线故障注入设备的物理层故障串联/并联电阻。

C.1.2 测量模型

测量模型：

$$R = R_x$$

其中：

R ——被校串行总线故障注入设备物理层故障串联/并联电阻值；

R_x ——直流数字电阻表测量值；

C.1.3 不确定度来源

- a) 直流数字电阻表测量不准引入的标准不确定度 u_1 ；
- b) 测量重复性引入的标准不确定度 u_2 。
- c) 直流数字电阻表的读数分辨力引入的不确定度 u_3 。

C.1.4 标准不确定度评定

C.1.4.1 直流数字电阻表引入的不确定度分量 u_1

查直流数字电阻表的技术指标说明书，其直流电阻测量最大允许误差为 $\pm 0.5\%$ ，按均匀分布，B类评定，则

$$u_1 = \frac{0.5\%}{\sqrt{3}} = 0.29\%$$

C.1.4.2 重复性引入的标准不确定度分量 u_2

采用A类方法评定，串行总线故障注入设备物理层故障设置电阻典型值 100Ω ，设置直流数字电阻表重复测量 10 次，测量值如下：

表 C.1 物理层故障电阻测量重复性数据

测量点	1	2	3	4	5	平均值	相对实验标准差 s
/	101.18	101.11	101.25	101.18	101.10	101.18	0.06%
测量点	6	7	8	9	10		
/	101.16	101.21	101.19	101.30	101.15		

注：单位：Ω。

则：

$$u_2 = s = 0.06\%$$

C.1.4.3 直流数字电阻表读数分辨力引入的标准不确定度分量 u_3

此处直流数字电阻表的显示分辨力为 0.01%，此项服从均匀分布，因此

$$u_3 = \frac{0.01\%}{2\sqrt{3}} = 0.0029\%$$

由于重复性和分辨力引入的不确定度一般不重复计算，取二者较大值，因此本次不考虑读数分辨率引入的不确定度。

C.1.5 标准不确定度一览表（见表 C.2）：

表 C.2 标准不确定度一览表

标准不确定度分量 u	不确定度来源	评定方法	分布	标准不确定度值 (%)
u_1	直流数字电阻表测量不准	B 类	均匀	0.29
u_2	测量重复性	A 类	正态	0.06

C.1.6 合成标准不确定度

由于 u_1 、 u_2 互不相关，

$$u_c = \sqrt{u_1^2 + u_2^2} = 0.30\%$$

C.1.7 扩展不确定度

取包含因子 $k=2$ ，扩展不确定度

$$U_r = k \times u_c = 0.60\%$$

C.2 电气层故障信号幅度测量结果的不确定度评定

C.2.1 测量方法

参照串行总线故障注入设备校准规范，使用数字示波器的幅度测量功能直接测量被校串行总线故障注入设备电气层故障信号幅度。

C.2.2 测量模型

测量模型：

$$U = U_x$$

其中：

U ——被校串行总线故障注入设备电气层故障信号幅度值；

U_x ——数字示波器幅度示值；

C.2.3 不确定度来源

- a) 数字示波器测量不准引入的标准不确定度 u_1 ；
- b) 测量重复性引入的标准不确定度 u_2 。
- c) 数字示波器的测量分辨力引入的不确定度 u_3 。

C.2.4 标准不确定度评定

C.2.4.1 数字示波器引入的不确定度分量 u_1

查数字示波器的技术指标说明书，其电平测量最大允许误差为 $\pm 1.5\%$ ，按均匀分布，B类评定，则

$$u_1 = \frac{1.5\%}{\sqrt{3}} = 0.87\%$$

C.2.4.2 重复性引入的标准不确定度分量 u_2

采用A类方法评定，串行总线故障注入设备设置电气层故障信号幅度典型值10V，设置数字示波器重复测量10次，测量值如下：

表 C.3 电气层故障信号幅度测量重复性数据

测量点	1	2	3	4	5	平均值	相对实验标准差 s
/	10.21	10.03	10.21	10.21	10.23	10.144	0.74%
测量点	6	7	8	9	10		
/	10.19	10.05	10.11	10.07	10.13		

注：单位：V。

则：

$$u_2 = s = 0.74\%$$

C.2.4.3 数字示波器测量分辨力引入的标准不确定度分量 u_3

数字示波器的测量分辨力为 0.2%，此项服从均匀分布，因此

$$u_3 = \frac{0.2\%}{2\sqrt{3}} = 0.06\%$$

由于重复性和分辨力引入的不确定度一般不重复计算，取二者较大值，因此本次不考虑数字示波器测量分辨力引入的不确定度。

C.2.5 标准不确定度一览表（见表 C4）：

表 C4 标准不确定度一览表

标准不确定度分量 u	不确定度来源	评定方法	分布	标准不确定度值 (%)
u_1	数字示波器幅度测量不准	B 类	均匀	0.87
u_2	测量重复性	A 类	正态	0.74

C.2.6 合成标准不确定度

由于 u_1 、 u_2 互不相关，

$$u_c = \sqrt{u_1^2 + u_2^2} = 1.14\%$$

C.2.7 扩展不确定度

取包含因子 $k=2$ ，扩展不确定度

$$U_r = k \times u_c = 2.3\%$$

C.3 协议层故障信号延时测量结果的不确定度评定

C.3.1 测量方法

参照串行总线故障注入设备校准规范，使用数字示波器的光标标记测量时间间隔功能测量被校串行总线故障注入设备协议层故障信号延时。

C.3.2 测量模型

测量模型：

$$\tau = t_x$$

其中：

τ ——被校串行总线故障注入设备协议层故障信号延时值， μs ；

t_x ——数字示波器信号延时测量值， μs ；

C.3.3 不确定度来源

- 数字示波器测量不准引入的标准不确定度 u_1 ；
- 测量重复性引入的标准不确定度 u_2 。
- 数字示波器的测量分辨力引入的不确定度 u_3 。

C.3.4 标准不确定度评定

C.3.4.1 数字示波器引入的不确定度分量 u_1

查数字示波器的技术指标说明书，其时间技术指标为 $\pm 0.1\%$ ，按均匀分布，B类评定，则

$$u_1 = \frac{0.1\%}{\sqrt{3}} = 0.06\%$$

C.3.4.2 重复性引入的标准不确定度分量 u_2

采用A类方法评定，串行总线故障注入设备设置协议层故障信号延时典型值 $208\mu\text{s}$ ，设置数字示波器重复测量10次，测量值如下：

表 C.5 信号延时的测量重复性数据

测量点	1	2	3	4	5	平均值	相对实验标准差 s
/	208.0	208.0	208.2	208.2	208.0	208.04	0.04%
测量点	6	7	8	9	10		
/	208.0	208.0	208.0	208.0	208.0		

注：单位： μs 。

则：

$$u_2 = s = 0.04\%$$

C.3.4.3 数字示波器测量分辨力引入的标准不确定度分量 u_3

数字示波器水平时间测量读数分辨力为 0.2% ，此项服从均匀分布，B类评定，因此

$$u_3 = \frac{0.2\%}{2\sqrt{3}} = 0.06\%$$

由于重复性和分辨力引入的不确定度一般不重复计算，取二者较大值，因此本次不考虑重复性引入的不确定度。

C.3.5 标准不确定度一览表（见表 C.6）：

表 C.6 标准不确定度一览表

标准不确定 度分量 u	不确定度来源	评定方法	分布	标准不确定度值 (%)
u_1	数字示波器水平测量 不准	B 类	均匀	0.06
u_3	测量分辨率	B 类	均匀	0.06

C.3.6 合成标准不确定度

由于 u_1 、 u_3 互不相关，

$$u_c = \sqrt{u_1^2 + u_3^2} = 0.085\%$$

C.3.7 扩展不确定度

取包含因子 $k=2$ ，扩展不确定度

$$U_r = k \times u_c = 0.17\%$$