

CAN节点的测试与标定（专家版）

CANScope-Pro分析仪高手宝典（下）

目录

1. 前言.....	1
2. 测试设备简介.....	2
2.1 CANScope 功能特点与型号分类.....	2
2.2 报文界面.....	4
2.3 示波器界面.....	4
2.4 波形界面.....	5
2.5 波形与报文联动观察界面.....	5
2.6 CANStressZ 模拟信号测试扩展板.....	6
3. 测试内容概述.....	8
4. 试验准备.....	9
4.1 试验前填写表格.....	9
4.2 试验报告须知.....	9
4.2.1 试验设备、工具、工装、物料.....	9
4.2.2 试验报告结果格式.....	10
5. 试验程序.....	11
5.1 物理层一致性测试.....	11
5.1.1 输出电压测试.....	11
5.1.2 输入电压阈值测试.....	15
5.1.3 内阻测试.....	17
5.1.4 输入电容测试.....	20
5.1.5 最大最小供电电压测试.....	21
5.1.6 信号边沿测试.....	24
5.1.7 信号特征测试.....	28
5.1.8 位时间测试.....	31
5.1.9 波特率容忍度测试.....	35
5.1.10 容错性能测试.....	38
5.1.11 内部延时测试.....	44
5.2 链路层一致性测试.....	46
5.2.1 采样点测试.....	46
5.2.2 CAN2.0B 兼容测试.....	49
5.2.3 报文的 DLC 测试.....	50
5.2.4 报文标示符测试.....	52
5.2.5 报文发送方式测试.....	53
5.2.6 总线负载压力测试.....	56
5.3 CAN 应用层一致性测试.....	58
5.3.1 报文发送周期测试.....	58
5.3.2 BusOff 后的处理.....	60
6. 免责声明.....	63

1. 前言

本文的主要目的是指导CAN总线的研发与测试人员，对CAN节点或者网络进行测试标定，可用于出厂测试与购买测试，弥补国内此类文章的空白。由于篇幅有限，如果读者还不熟悉CAN总线原理，请先阅读《项目驱动——CAN-bus现场总线基础教程》。

本文所有测试与分析都是基于广州致远电子股份有限公司生产的专业版CAN总线分析仪——CANScope-Pro。测试方案参考ISO11898标准与汽车测试规范。若您有不解或者文章没有提及的，欢迎与我联系：Email: CANScope@zlg.cn

本文可用于CAN总线研发、测试、技术支持维护人员培训。工程人员，以自动测试软件为基础来进行操作方面的讲解。

若在现场遇到问题需要排查，请查看《CAN总线故障诊断与解决（专家版）》

2. 测试设备简介

CANScope 分析仪是 CAN 总线开发与测试的专业工具，集海量存储示波器、网络分析仪、误码率分析仪、协议分析仪及可靠性测试工具于一身，并把各种仪器有机的整合和关联；重新定义 CAN 总线的开发测试方法，可对 CAN 网络通信正确性、可靠性、合理性进行多角度全方位的评估。如图 2.1 所示。

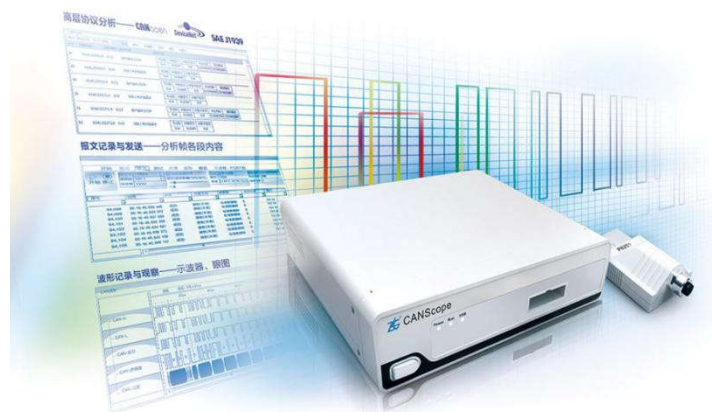


图 2.1 CANScope 分析仪

超长的波形存储、可靠的报文记录、精准的出错定位、实时的示波器显示、丰富的高层协议分析帮助用户快速定位故障节点，解决 CAN 总线应用的各种问题，是 CAN 总线开发测试的终极工具。图 2.2 为其测量原理。即将信号分为模拟通道和数字通道进行处理，然后再结合后存储。提供给上位机软件分析。

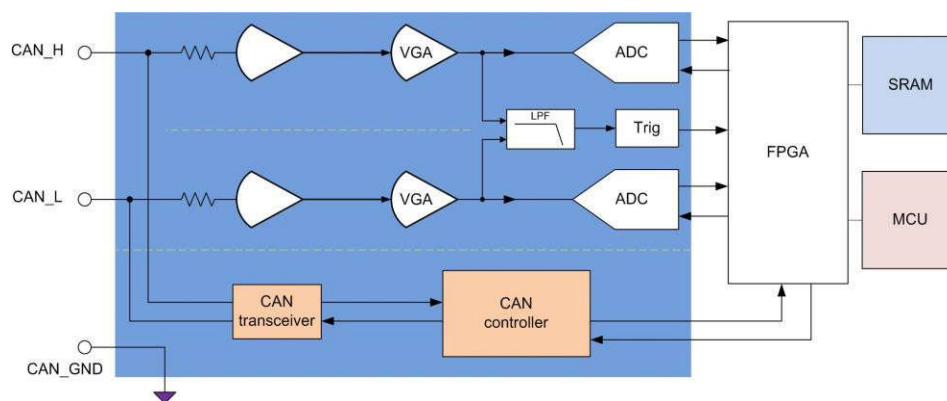


图 2.2 CANScope 内部原理

2.1 CANScope 功能特点与型号分类

1. 100MHz 示波器，实时显示总线状态，并且能进行 13000 帧波形的存储
2. 所有报文（包括错误帧）的记录、分析，全面把握报文信息
3. 强大的报文重播，精确重现总线错误
4. 强大的总线干扰与测试，有效测试总线抗干扰能力
5. 支持多种高层协议，图形化仿真各种仪表盘

6. 实用的事件标记，最大限度存储用户关心的波形
7. 从物理层、协议层、应用层对 CAN 总线进行多层次分析
8. 支持软硬件眼图，辅助评估总线质量，并且能通过眼图准确定位问题节点

表 1 CANScope 分类

模块	功能项	CANScope-standard	CANScope-Pro
硬件基本功能	测量通道	1 个	1 个
	通信接口	480Mbps	480Mbps
	示波器采样率	100M	100M
	示波器存储容量	2K	8K
	波形存储容量	512M	512M
	波形记录个数	13000 个	13000 个
	模拟带宽	60MHz	60MHz
	垂直测量范围	1V-50V	1V-50V
	实时示波器	支持	支持
	报文接收	支持	支持
	报文发送	支持	支持
	任意序列发送	支持	支持
	终端电阻开关	支持	支持
	自动侦测波特率	支持	支持
硬件扩展功能	硬件眼图	支持	支持
	网络分析	不支持	支持
	模拟干扰	不支持	支持
	数字干扰	不支持	支持
	事件标记	不支持	支持
	对称性测试	支持	支持
	终端电阻可调	不支持	支持
	网络负载电容可调	不支持	支持
软件功能	SDK 开放	支持	支持
	帧统计	支持	支持
	流量分析	支持	支持
	总线利用率	支持	支持
	报文重播	支持	支持
	高层协议分析	支持	支持
	自定义协议分析	支持	支持
	网络共享	支持	支持
	虚拟硬件	支持	支持
	软件眼图	不支持	支持

软件主界面如图所示。分别为报文串口，实时波形窗口，记录波形窗口，眼图窗口。所以

CANScope 相当于 CAN 接口卡、示波器、逻辑分析仪三者合一的综合分析仪器，能解决 CAN 总线绝大部分的问题。

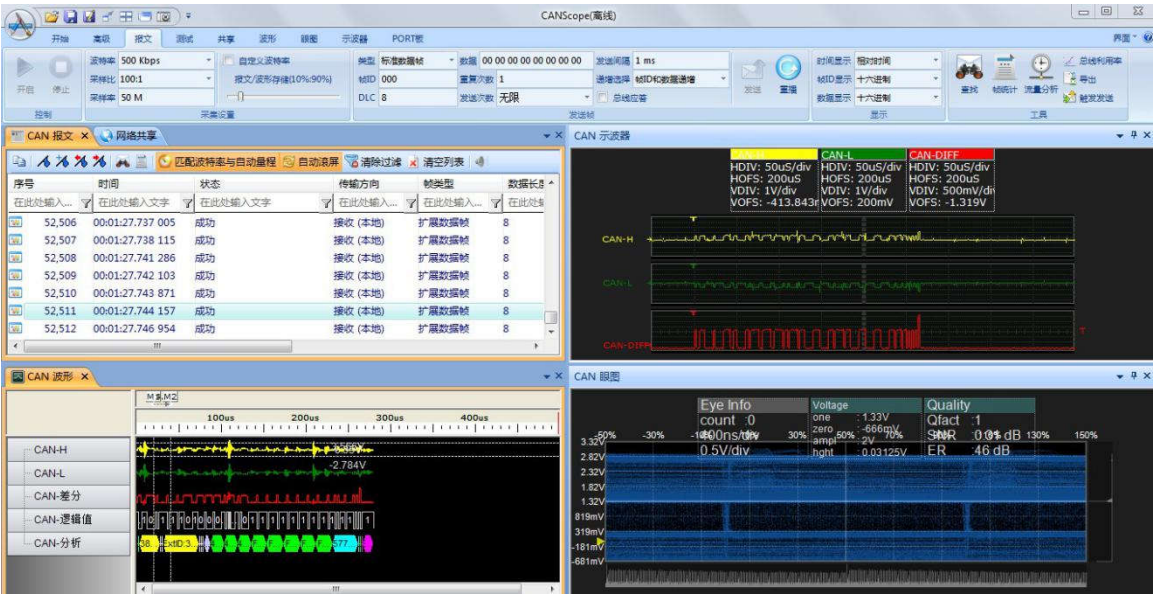


图 2.3 CANScope 软件界面

2.2 报文界面

CANSOPE 的 CAN 报文界面可以容纳无数个 CAN 帧，只要您的 PC 内存足够大，就可以一直保存下去，并且有导出功能。这个 CAN 报文界面与那些带控制器的设备（比如USBCAN）不同，它可以实时捕获总线错误状态，就是说可以记录错误帧。比如在“状态”栏里面输入“错误”即可以将所有错误帧筛选出来。并可以很方便地进行报文发送（重播）。另外还有一个重要的选项，就是总线应答，如果不勾选，则 CANSOPE 是作为一台只听设备，不会应答总线上的报文，如果勾选，则CANSOPE 能作为一台标准的 CAN 节点工作，可以发送数据。

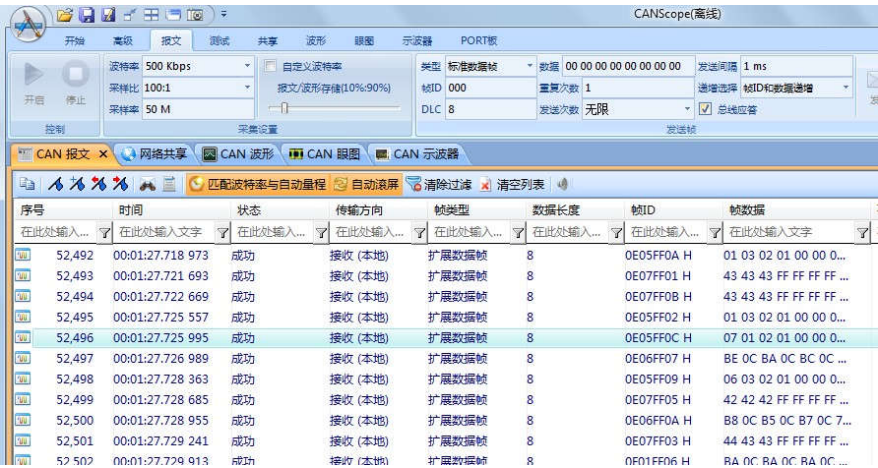


图 2.4 CANScope 报文界面

2.3 示波器界面

CANSOPE 集成 100MHZ 实时示波器，开机后即可自动进行匹配波特率。可以对CANH，



图 2.7 波形联动报文查看错误帧

2.6 CANStressZ 模拟信号测试扩展板

CANStressZ 是配套 CANScope-Pro 专业版 CAN 总线分析仪的扩展板。

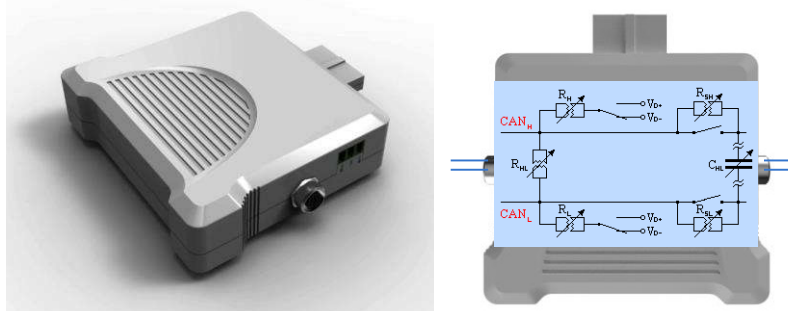


图 2.8 CANStressZ 扩展板

CANStressZ 内部集成了CAN 总线压力测试模块和网络线缆分析模块。

※**压力测试模块**包括模拟干扰（数字干扰在 CANScope 已标配），CAN-bus 应用终端的工作状态模拟、错误模拟能力。可以在物理层上进行 **CAN 总线短路、总线长度模拟、总线负载以及终端电阻匹配等多种测试**，可以完整地评估出一个系统在信号干扰或失效的情况下是否仍能稳定可靠地工作。

※**网络线缆分析模块**具有无源二端网络的阻抗测量分析的能力。可以**测试导线在不同频率下的匹配电阻、寄生电容、电感**。标定导线在何种波特率下具备最佳的通讯效果。

两个模块联合使用可以帮助用户快速而准确地发现并定位错误，完成对节点的性能评估与验证，大大缩短开发周期，方便实现网络系统稳定性、可靠性、抗干扰测试和验证等复杂工作，是 CAN-bus 网络测试工程师的好帮手。如图 2.9 所示。为和 CANScope-Pro 设备连接后的测量连接图。



图 2.9 加上扩展板后的测量组合

3. 测试内容概述

测试内容包括对 CAN 通信接口的 ISO11898-1(数据链路层)和 ISO11898-2(物理层)、GMW3122(物理层)一致性测试、CAN 应用层以及CAN 应用层CIA301 的一致性测试。

1. 物理层一致性测试（ISO11898-2、GMW3122）

- 输出电压测试；
- 输入电压阈值测试；
- 内阻测试
- 输入电容测试；
- 最大最小设备供电电压；
- 信号边沿测试；
- 信号特征测试；
- 位时间测试；
- 波特率容忍度测试；
- 容错性能测试；
- 内部延时测试；

2. 数据链路层一致性测试（ISO11898-1）

- 采样点测试；
- CAN2.0B 兼容测试；
- 报文的 DLC 测试；
- 报文标示符测试；
- 报文发送方式测试；
- 总线负载压力测试；

3. CAN 应用层一致性测试

- 报文的发送周期测试；
- BusOff 处理测试；

4. 试验准备

4.1 试验前填写表格

在试验前，需填写如下表格。

表 4.1 一致性测试试验前表格

产品名称		型号规格	
委托单位			
制造单位			
制造商代表			
检验类别	委托送样	样品来源	送样
抽样日期	/	样品数量	1
生产日期/批	/	样品编号	
样品到达日期		样品状态说明	未发现明显的外观缺陷
抽样方案	/		
检验依据	ISO11898-1(CAN 总线数据链路层协议) ISO11898-2、CiA105、GMW3122 (CAN 总线物理层协议) CiA301(CAN 应用层协议)		
检验项目	*** 系统 CAN 通信一致性测试		
检验地点		检验日期	

4.2 试验报告须知

试验报告中，须对被测设备与测试设备进行介绍，基本信息须包括：设备名称、硬件版本号、软件版本号。试验报告须有试验目的、试验依据、试验条件、试验设备、工具、工装、物料、试验方法、试验评定、试验程序等

被测设备：Device Under Test（缩写DUT）

4.2.1 试验设备、工具、工装、物料

如表 4.2 所示。为本试验需要的必要试验设备、工具。

表 4.2 试验设备、工具

名称	型号	检定有效期
CAN 总线分析仪	CANScope-Pro	
模拟扩展板	CANScope-StressZ	
分析仪电源	PT95 大容量电池	
数字示波器	ZDS2024 Plus	
六位半万用表	DMM6000	
程控电源	DCP8325L	
CAN 主站卡	USBCAN-E-P	
转换头	TEZ-C03(DB9 并联测量接头	
CAN 电缆	RVSP 双绞线 0.75mm ² x2 若干	

4.2.2 试验报告结果格式

试验报告结果格式如表 4.3 所示。

表 4.3 试验报告结果格式

序号	测试项目	测试结果	备注
.1	输出电压测试	通过/不通过	测试不通过的原因
2			
3			
4			
5			
6			
7			

5. 试验程序

试验前需要确认 CANScope-Pro 供电工作正常，DUT（被测设备）没有安装终端电阻，耦合方式采用 DC 耦合，如图 5.1 所示。每个测试选项都要先启动 CANScope 再启动 DUT（被测设备），保证测试过程完整性。下文中的试验原理均为标准文档的截图与摘抄。



图 5.1 修改 CANScope 示波器的耦合方式

5.1 物理层一致性测试

5.1.1 输出电压测试

试验目的：测量 CAN 总线在隐性状态输出电压水平和检查是否满足的 ISO11898-2 物理层规范的要求。

试验依据：ISO11898-2，具体如表 5.1 所示。

表 5.1 ISO11898-2 输出电压标准

测试参数	测试值(V)			条件
	最小值	典型值	最大值	
显性 V_{CAN_H} 输出电压	2.75	3.5	4.5	总线负载电阻 $60\ \Omega$
显性 V_{CAN_L} 输出电压	0.5	1.5	2.25	总线负载电阻 $60\ \Omega$
显性 V_{diff} 输出电压	1.5	2.0	3.0	总线负载电阻 $60\ \Omega$
显性 V_{diff} 输出电压	1.4	1.9	3.0	(高负载)总线负载电阻 $45\ \Omega$
显性 V_{CM} 输出电压	2.1	2.5	2.9	总线负载电阻 $60\ \Omega$
隐性 V_{CAN_H} 输出电压	2.0	2.5	3.0	总线负载电阻 $60\ \Omega$
隐性 V_{CAN_L} 输出电压	2.0	2.5	3.0	总线负载电阻 $60\ \Omega$
隐性 V_{diff} 输出电压	-0.5	0	0.05	总线负载电阻 $60\ \Omega$
隐性 V_{CM} 输出电压	2.25	2.5	2.75	总线负载电阻 $60\ \Omega$

试验原理：

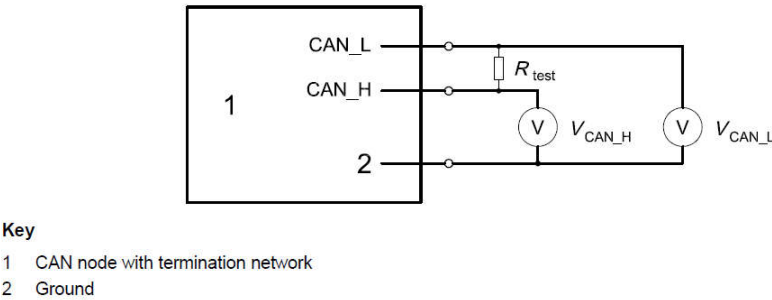


图 5.2 输出电压测试原理

R_{test} 为网络负载电阻，正常为 $60\ \Omega$ ，高负载时为 $45\ \Omega$ 。测量绝对和差分电压等级和 CANH 线电压： V_{CAN_H} ， V_{CAN_L} ，然后计算差分电压 V_{diff} 和共模电压 V_{CM} 。其中 V_{diff} 和 V_{CM} 的计算方法如下：

$$V_{diff} = V_{CAN_H} - V_{CAN_L}$$

$$V_{CM} = 0.5 * (V_{CAN_H} + V_{CAN_L})$$

如果测试结果符合表 5.1 所示，则通过测试。

试验接线与步骤：

如图 5.3 所示，进行测试连接。并且能通过调整 CANScope-StressZ 模拟扩展板上的 R_{HL} 值，进行模拟负载电阻的变化（正常测试时， $R_{HL}=60\ \Omega$ ，高负载测试时， $R_{HL}=45\ \Omega$ ），进行 DUT 输出差分驱动能力测试。**注意：本测试需要 DUT 能主动发送 CAN 报文，方便进行测试。并且 CANScope 设置不勾选总线应答，其黑色表笔（地）要和 DUT 的 CAN 收发器共地。**

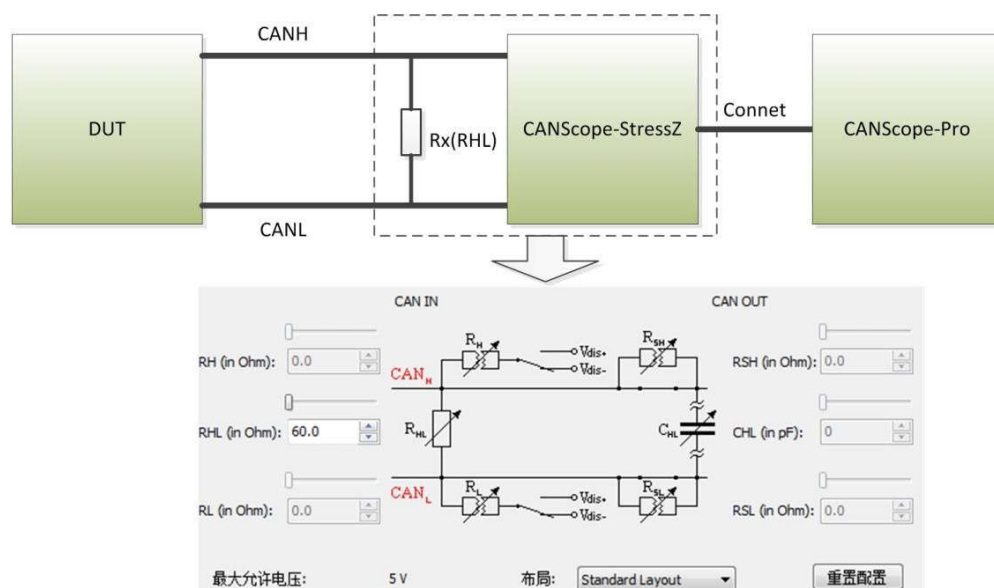


图 5.3 输出电压测试连线图

为了减轻人工测试工作量和降低人工测试的误差，使用“对称性测试”，进行共模电压 V_{CM} 的自动测试，使用 CANScope 软件测试中的“CAN 测试仪”——CANtest 进行 V_{CAN_H} ， V_{CAN_L} ， V_{diff} 自动测试，如图 5.4 所示：



图 5.4 CAN 测试仪自动测试

对称性测试如图 5.5 所示，点击自动设置后，将误差电压设置为 0.25，以同时符合显性与隐性电平时的 V_{CM} 要求，然后可点击开始测试。



图 5.5 对称性测试共模电压

稍等片刻即可获得测试结果，点击“生成报告”，如图 5.6 所示。

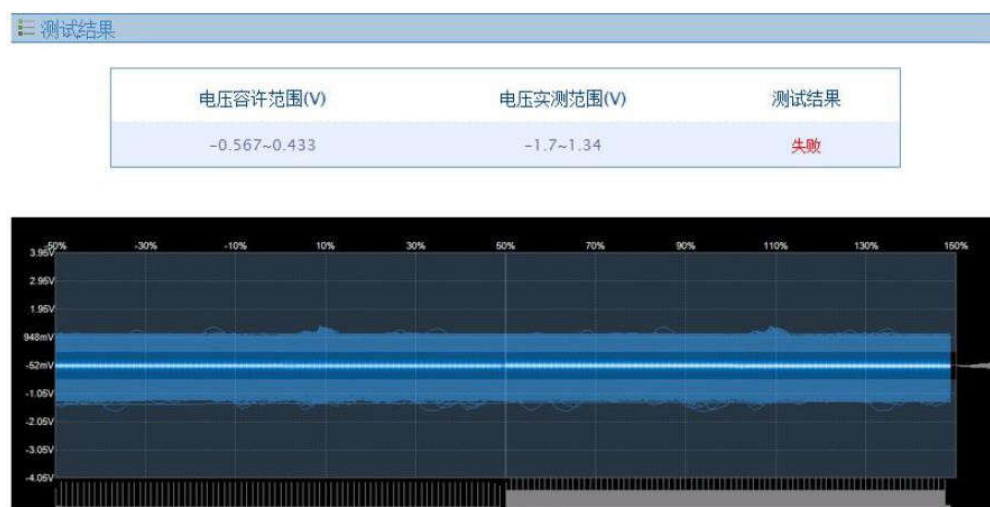


图 5.6 对称性测试报告

“CAN 测试仪”——CANtest 如图 5.7 所示。将 ISO11898-2 中 V_{CAN_H} , V_{CAN_L} , V_{diff} 的要求填入电压测试中，并且只需要勾选电压测试，点击开启即可。**注意：**由于 CANScope 测试 V_{diff} 的隐性最大值无法设置到 0.05V，只能设置为 0.5V，所以这个测试选项应使用 ZDS2024 示波器配合差分探头进行测试。

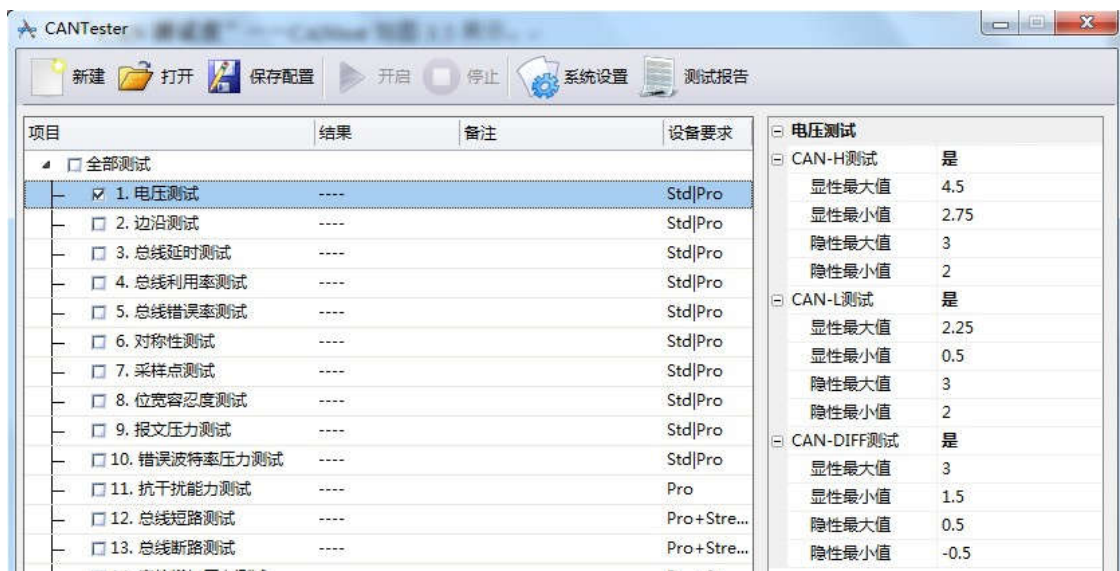


图 5.7 电压测试

结束后可以点击测试报告，获得如图 5.8 所示的测试结果。

测试统计	
项目	结果
电压测试	通过

电压测试			
测试项	限定值	实测值	结果
CAN-H显性	2.75 V~4.5 V	3.38281 V~3.61719 V	通过
CAN-L显性	0.5 V~2.25 V	0.875 V~1.16406 V	通过
CAN-DIFF显性	1.5 V~3 V	2.24219 V~2.72656 V	通过
CAN-H隐性	2 V~3 V	2.28125 V~2.34375 V	通过
CAN-L隐性	2 V~3 V	2.17188 V~2.29688 V	通过
CAN-DIFF隐性	-0.5 V~0.5 V	-0.015625 V~0.148438 V	通过

图 5.8 电压测试报告

试验评定：依据 ISO11898-2 的输出电压规范进行评定，如果有不通过的选项，使用 ZDS2024 示波器进行再一次的精确测试，以防止误判。

5.1.2 输入电压阈值测试

试验目的：测试 DUT 的输入阈值。测试的目标是为了在 ISO11898-2 中标示的极限共模电压（min=-2V,max=7V）条件下，DUT 在 $V_{diff} \leq 0.5V$ 时，是否可以正常发送报文。当 $V_{diff} \geq 0.9V$ 时，DUT 是否停止通讯。

试验依据：ISO11898-2，具体如表 5.2 所示。

表 5.2 ISO11898-2 输入电压阈值标准

测试参数	测试值(V)			条件
	最小值	典型值	最大值	
显性 V_{diff} 输入电压	0.9	2.0	5.0	总线负载电阻 60Ω ，共模电压（min=-2V,max=7V）
隐性 V_{diff} 输入电压	-1	0	0.5	总线负载电阻 60Ω ，共模电压（min=-2V,max=7V）

试验原理：

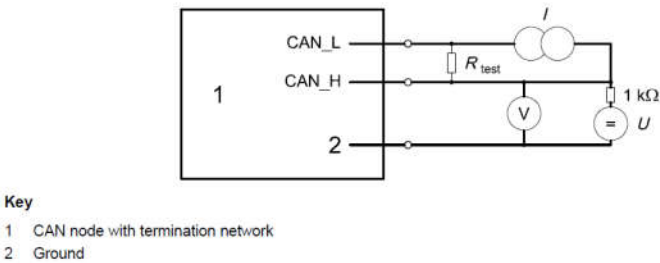


图 5.9 输入电压阈值测试原理

R_{test} 为网络负载电阻，为 60Ω 。

调节 U ，使 V 分别为-2V 和 6.5V 时，再调节 I ，使在 $V_{diff}=0.5V$ ，观察 DUT 是否都能正常通讯，如果正常通讯，则通过隐性 V_{diff} 输入电压测试

然后调节 U ，使 V 分别为-2V 和 6.1V 时，再调节 I ，使在 $V_{diff}=0.9V$ ，观察 DUT 是否能停止通讯，如果能停止通讯，则通过显性 V_{diff} 输入电压测试。

试验接线与步骤：

如图 5.11 所示，进行测试连接。调整 CANScope-StressZ 模拟扩展板上的 R_{HL} 值为 60Ω ， R_H 和 R_L 为 0Ω 。配置干扰源为外部，如图 5.10 所示，便于启用 V_{dis+} 和 V_{dis-} 的外部输入接口。
注意：本测试需要 DUT 能主动发送 CAN 报文，方便进行测试。并且 CANScope 不勾选总线应答，其黑色表笔（地）要和 DUT 的 CAN 收发器共地



图 5.10 调整 CANScope-StessZ 干扰源为外部

5.1.3 内阻测试

试验目的：测试 DUT 的 CANH 对地、CANL 对地、CANH 对 CANL 的内阻是否符合 ISO11898-2 的规范。

试验依据：ISO11898-2，具体如表 5.3 所示。

表 5.3 ISO11898-2 内阻标准

测试参数	测试值			条件
	最小值	典型值	最大值	
CANH 对地电阻	5K Ω	-	50K Ω	无负载电阻
CANL 对地电阻	5K Ω	-	50K Ω	无负载电阻
CANH 对 CANL 电阻	10K Ω	-	100K Ω	无负载电阻

试验原理：

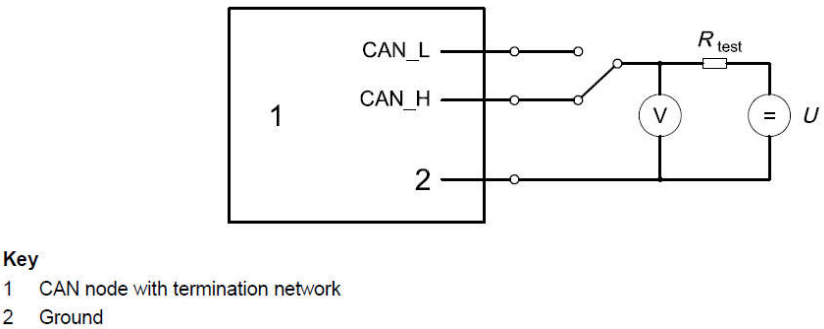


图 5.12 CANH 和 CANL 的内阻测试原理

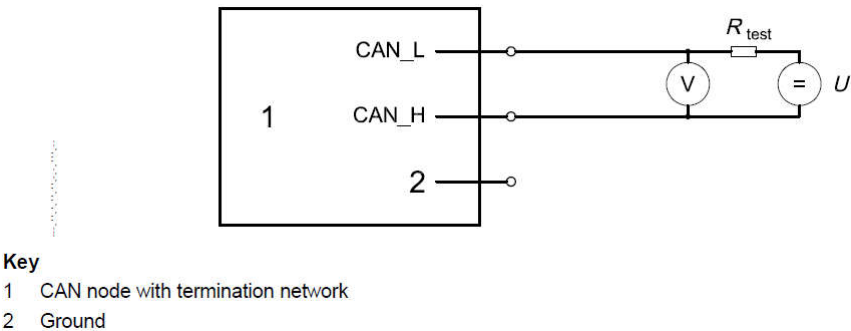


图 5.13 CANH 对 CANL 的差分内阻测试原理

Rtest 为测试电阻，为 5K Ω。

CANH 对地、CANL 对地内阻测试时，U=-2V 和 7V 各测试一次。以如下公式计算后，取平均值（VCAN_H 和 VCAN_L 为开路CANH 和 CANL 对地电压）：

$$R_{in_H}=R_{test} \times (V_{CAN_H} - V) / (V - U)$$

$$R_{in_L}=R_{test} \times (V_{CAN_L} - V) / (V - U)$$

CANH 对 CANL 的差分内阻测试时，U=5V。以如下公式计算（Vdiff 为开路差分电压）：

$$R_{diff}=R_{test} \times (V_{diff} - V) / (V - U)$$

试验接线与步骤:

如图 5.11 所示, 进行测试连接。**注意:** 本测试需要DUT 上电后, 不能发送 CAN 报文, 方便进行测试。

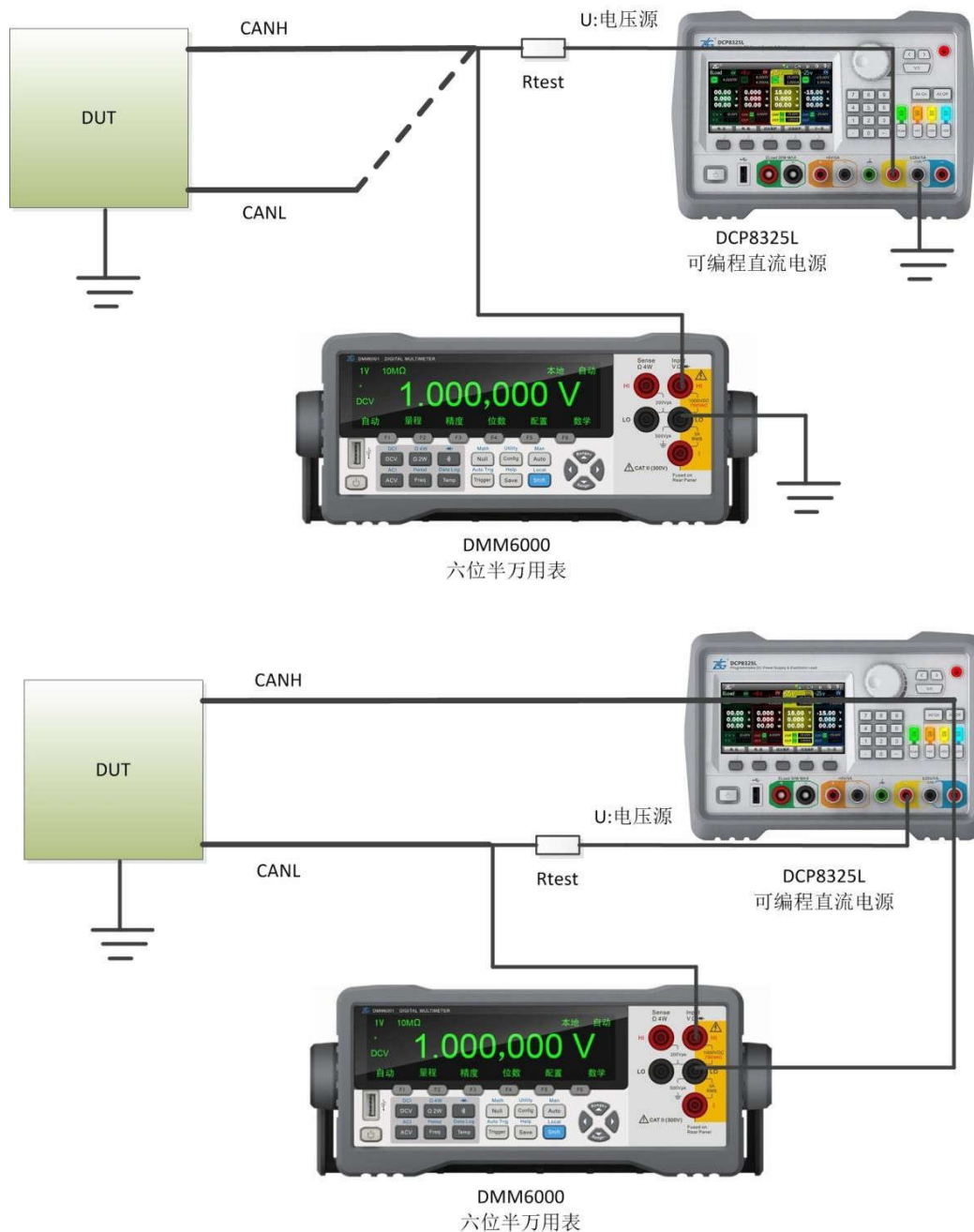


图 5.14 内阻测试试验连线图

CANH 对地、CANL 对地内阻测试时, 先 CANH 和 CANL 开路, 测试对地电压 V_{CAN_H} 和 V_{CAN_L} 。然后将 U 调节为-2V 和 7V 分别各接入测试一次。以如下公式计算后, 取平均值:

$$R_{in_H} = R_{test} \times (V_{CAN_H} - V) / (V - U)$$

$$R_{in_L} = R_{test} \times (V_{CAN_L} - V) / (V - U)$$

如果 R_{in_H} 和 R_{in_L} 均符合 $5K\ \Omega \sim 50K\ \Omega$ 电阻范围, 则通过测试。

CANH 对 CANL 的差分内阻测试时，先 CANH 和 CANL 开路，测试差分电压 V_{diff} 。然后将 U 调节为 5V 接入测试。以如下公式计算：

$$R_{diff} = R_{test} \times (V_{diff} - V) / (V - U)$$

如果 R_{diff} 均符合 $10K \Omega \sim 100K \Omega$ 电阻范围，则通过测试。

试验评定：依据 ISO11898-2 的内阻标准进行评定。

5.1.4 输入电容测试

试验目的：测试DUT 的CANH 对地、CANL 对地、CANH 对CANL的输入电容是否符合GMW3122 的 CAN 规范。

试验依据：GMW3122，具体如表 5.4 所示。

表 5.4 GMW3122 输入电容标准

测试参数	测试值			条件
	最小值	典型值	最大值	
CANH 对地电容	40pF	-	150pF	负载电阻大于 5KΩ
CANL 对地电容	40pF	-	150pF	负载电阻大于 5KΩ
CANH 对 CANL 电容	0pF	-	90pF	负载电阻大于 5KΩ

试验原理：

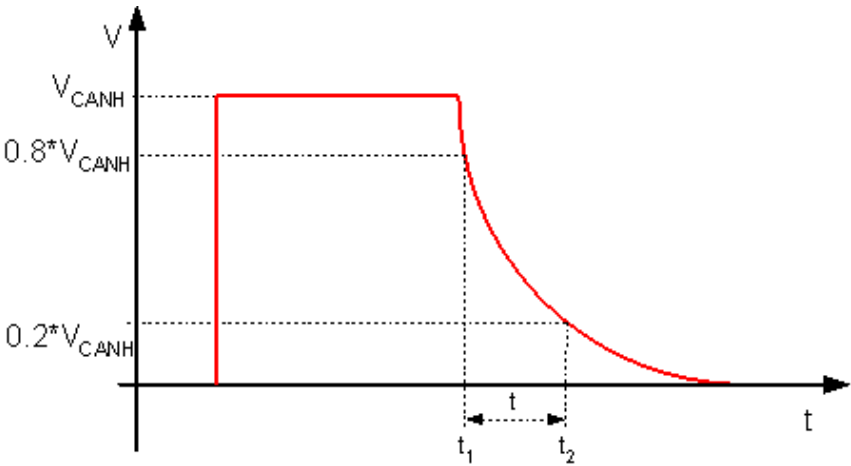


图 5.15 负载电容放电时间定义

$\tau=0.721\cdot (t2-t1)$

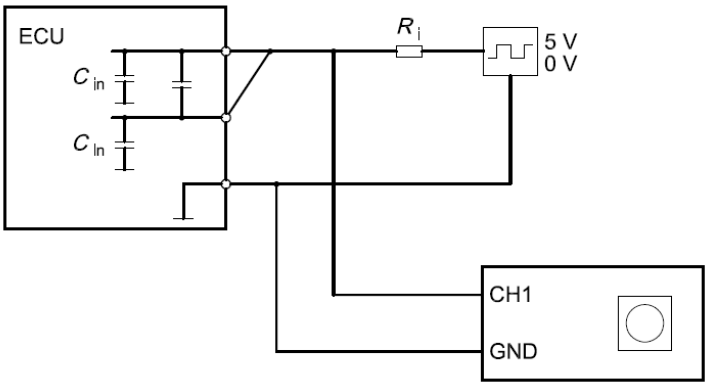


图 5.16 C_{busin} 和 C_{in} 测试原理（ECU 输出线从上往下为 CANH、CANL、GND）

$C_{busin1}=\tau/R_i$
 $C_{in}=\tau/2R_i$

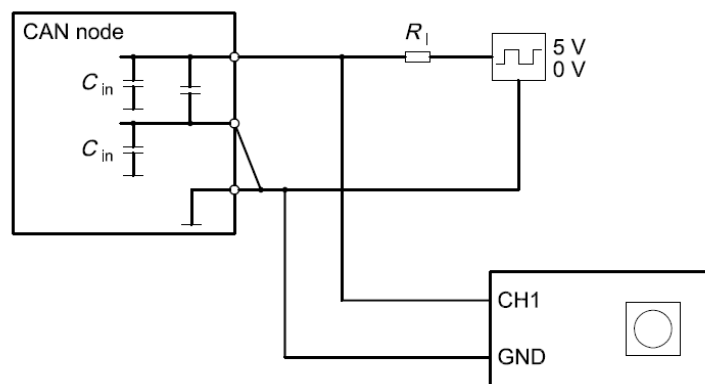


图 5.17 C_{diff} 测试原理（CANnode 输出线从上往下为 CANH、CANL、GND）

$$C_{diff} = C_{busin2} - C_{in}$$

试验接线与步骤：

本测试使用CANScope-Pro 与 CANScope-StressZ 扩展板，需要 DUT 上电后，不能发送 CAN 报文，方便进行测试。并且 CANScope 不勾选总线应答，其黑色表笔（地）要和 DUT 的 CAN 收发器共地。

使用CANScope 测试时，其发送测试波形为正弦波，测试精度要比方波要高。不会受到收发器内阻与线缆的影响。所以无需使用负载电阻。

测试 C_{diff}

如图 5.18 所示，进行测试连接，注意，要断开 R_{HL} 终端电阻。

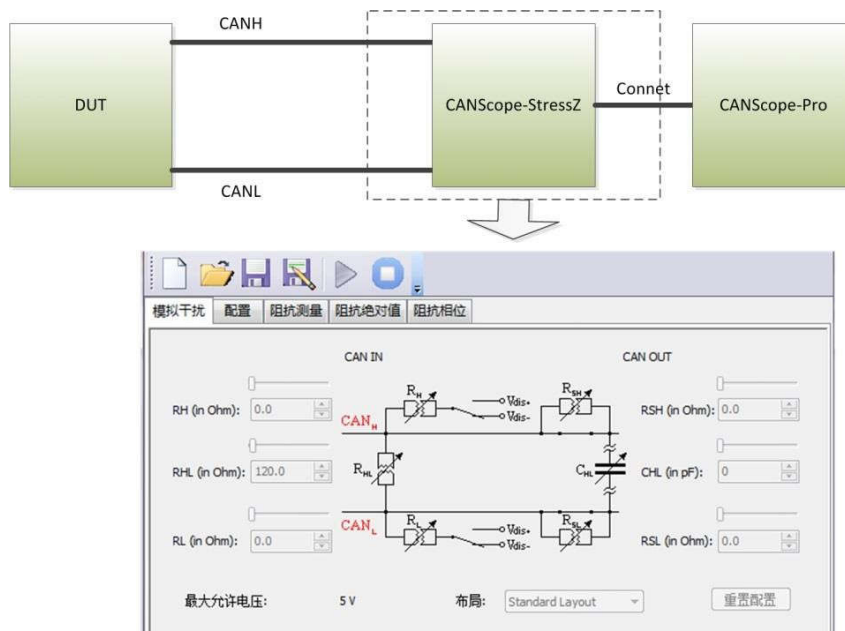


图 5.18 输入电容测试

打开CANStress 配置，将干扰源确定为内部.如图 5.19 所示。

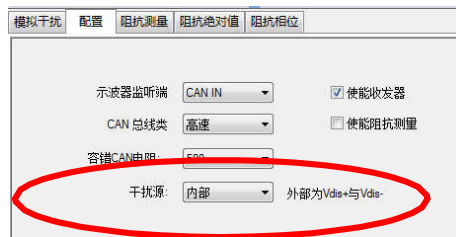


图 5.19 调整干扰源

如图 5.20 所示，点击阻抗测量中的开始，测试出的 C_p 就是 C_{diff} 。

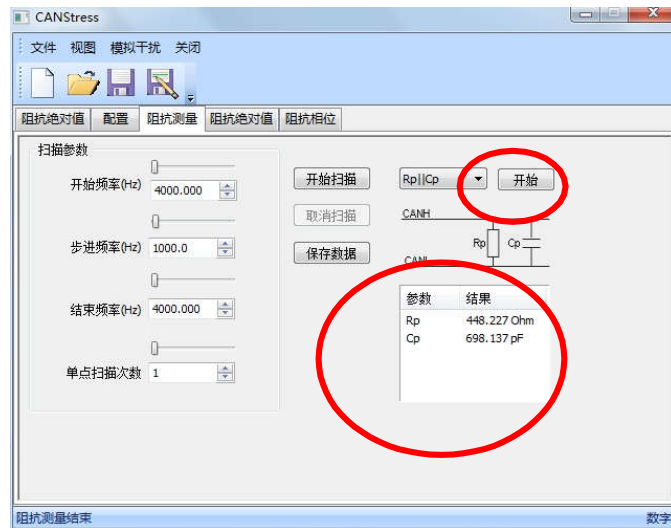


图 5.20 阻抗测量测试出 C_{busin2}

如果 C_{diff} 在 0~90pF，则 C_{in} 测试通过。

试验评定：依据 GMW3122 的内阻标准进行评定。

5.1.5 最大最小供电电压测试

试验目的：测试被测设备 DUT 的供电电压，确定支持 CAN 总线通讯的可正常工作的最小供电电压 V_{s_min} 、恢复通讯电压 V_{resume} 、可正常工作的最大供电电压 V_{s_max} 。

试验依据：根据被测 DUT 标称的最大与最小供电电压。

试验原理：

设置 DUT 的电源电压为正常工作电压。以每 1 分钟下降 0.1 V 电压的速度，直至 CAN 总线通讯完全中断，将此电压减 0.1V，即为“可正常工作的最小供电电压 V_{s_min} ”。

然后增加电压，以每 1 分钟上升 0.1 V 的速度，测试到通信恢复的电压。记录为“恢复通讯电压 V_{resume} ”。

然后继续以每 1 分钟上升 0.1V 的速度增加电压，在达到标称最大供电电压前，如果通讯中断，则记录此时电压为“可正常工作的最大供电电压 V_{s_max} ”。若达到标称最大供电电压后，仍可通讯，则将标称最大供电电压记录为“可正常工作的最大供电电压 V_{s_max} ”。

试验接线：

本测试使用 CANScope-Pro 与 DCP8325L 程控电源测试，需要 DUT 上电后，能一直发送 CAN 报文，方便进行测试。如图 5.21 所示，进行测试连接。

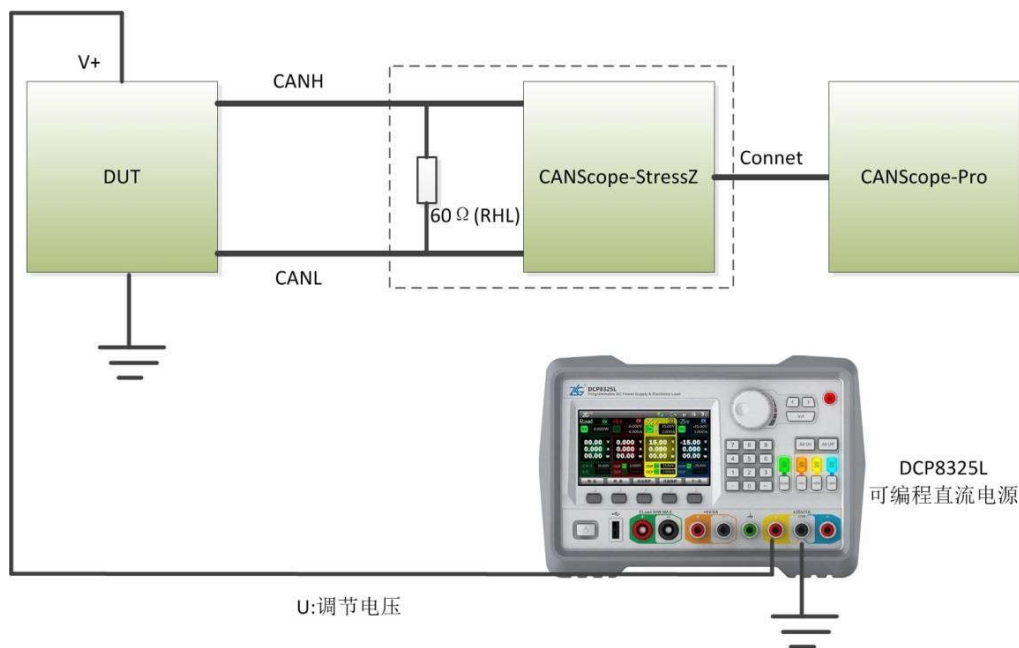


图 5.21 最大最小供电电压测试

试验步骤：同测试原理，调节目控电源的供电电压，通过 CANScope 的界面进行报文和数据观察。注意能正常通讯的标准为：电压稳定后，1 分钟内没有错误帧出现。

试验评定：依据被测 DUT 的标称最大最小供电电压进行评定。若可正常工作的最小供电电压 $V_{s_min} \leq$ DUT 标称最小供电电压；恢复通讯电压 $V_{resume} \leq$ DUT 标称最小供电电压；可正常工作的最大供电电压 $V_{s_max} =$ DUT 标称最大供电电压。则判定合格。

5.1.6 信号边沿测试

试验目的：测试被测设备 DUT 的差分电平在隐性电平到显性电平、显性电平到隐性电平变化的时间。

试验依据：GMW3122，具体如表 5.5 所示。表中条件如图 5.22 所示。

表 5.5 GMW3122 信号边沿标准

测试参数	隐性->显性边沿		显性->隐性边沿		条件
	最小值	典型值	最小值	最大值	
高速 CAN（最小负载） 500K~1Mbps	15ns	150ns	15ns	300ns	典型值 500Kbps, C1=100pF、 C1=100pF、C3=0pF
高速 CAN（最大负载） 500K~1Mbps	15ns	1300ns	15ns	1300ns	典型值 500Kbps, C1=4700pF、 C1=4700pF、C3=3300pF
中速CAN（最小负载） 100K~250Kbps	15ns	600ns	15ns	1200ns	典型值 125Kbps, C1=100pF、 C1=100pF、C3=0pF
中速CAN（最大负载） 100K~250Kbps	15ns	2650ns	15ns	2650ns	典型值 125Kbps, C1=10000pF、 C1=10000pF、C3=6800pF

试验原理：

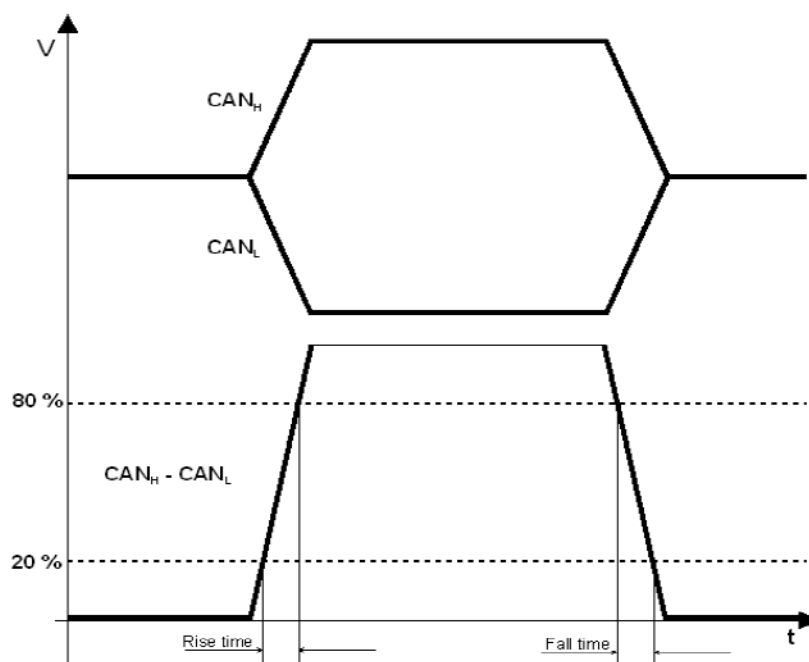


图 5.22 GMW3122 边沿测试图

如表 5.5 所示的四种条件下，选择被测 DUT 的适应条件，测试接线小于 1 米，测试被测 DUT 的信号差分电平 $V_{diff}=V_{CANH}-V_{CANL}$ 的上升时间和下降时间（电压 20%~80% 的区间）。上升时间：从隐性到显性状态过渡时间。下降时间：从显性向隐性状态过渡时间。进行测量时，每个边沿至少测量 1000 次，以确定边缘上升/下降时间的最小值和最大值。接线如图 5.23 所示。

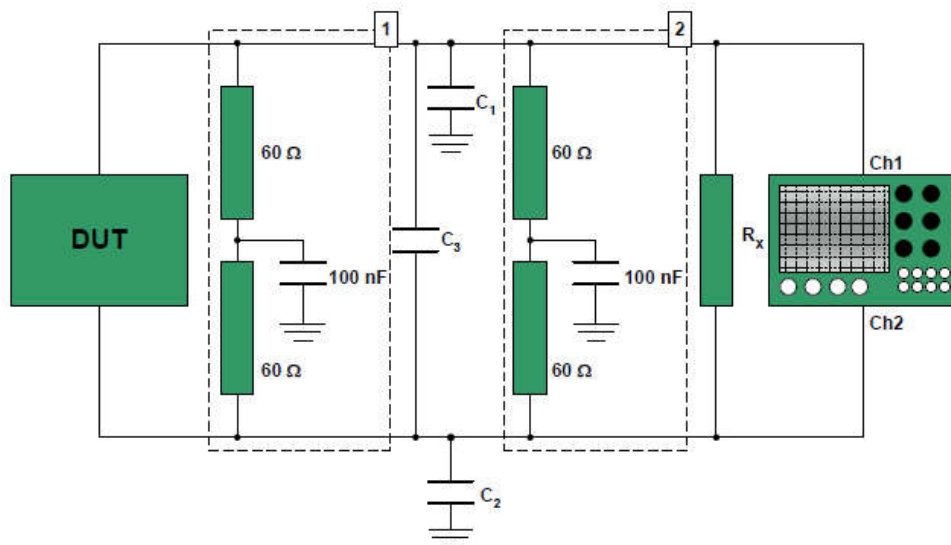


图 5.23 信号边沿接线图

试验接线:

本测试使用 CANScope-Pro 与 CANScope-StressZ 扩展板，需要 DUT 上电后，一直能发送 CAN 报文，方便进行测试。并且 CANScope 不勾选总线应答，其黑色表笔（地）要和 DUT 的 CAN 收发器共地。如图 5.24 所示，进行测试连接。

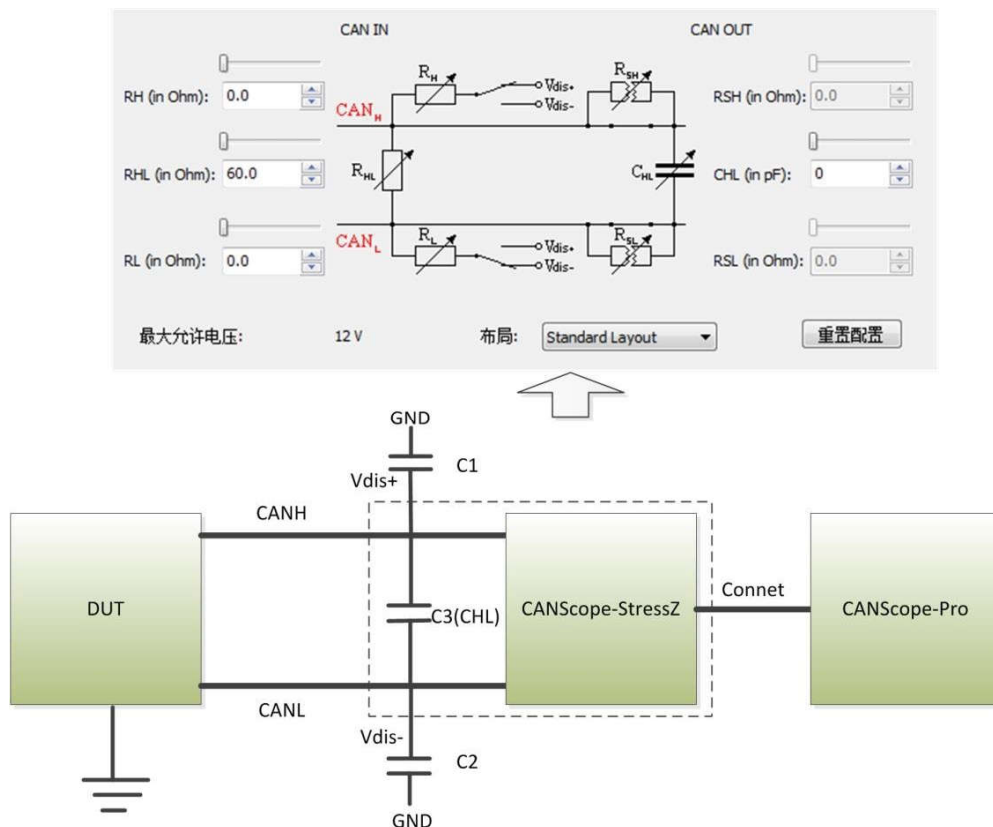


图 5.24 边沿测试接线图

配置干扰源为外部，如图 5.25 所示，便于启用 Vdis+和 Vdis-的外部输入接口。注意 GND

是在 Vdis+和 Vdis-外部输入口中间那个接口，用于和 CAN 收发器的地连接。

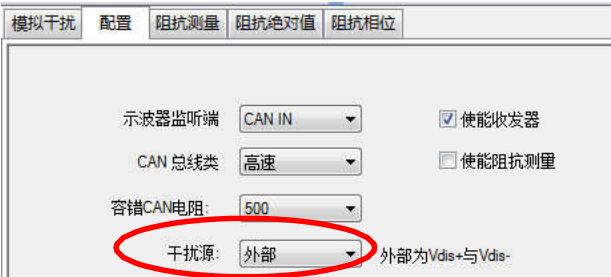


图 5.25 调整 CANScope-StressZ 干扰源为外部

试验步骤:

按表 5.5 所示，选择对应的测试条件进行测试。

将 Vdis+和 GND、Vdis-和 GND 间各接入表 5.5 所要求的C1、C2 电容，调整 CANScope-StressZ 的控制面板将 CHL 调节为表 5.5 所要求的C3 电容。然后启动 CANScope-StressZ。

将 DUT 启动，发送报文，通过CANScope 记录一段时间报文和波形后，点击CANScope 的停止，点击工具栏中的边沿统计。如图 5.26 所示



图 5.26 边沿统计图标

点击边沿统计，获得结果，如图 5.27 所示。

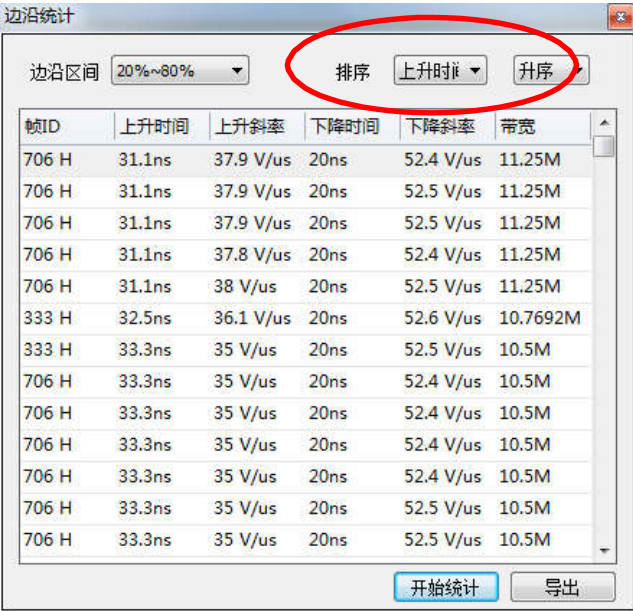


图 5.27 边沿统计（升序排列）

点击排序为上升时间，升序排列中，第一条为上升时间最小值，如图 5.27 所示，为 31.1ns；

降序排列中，第一条为上升时间最大值，如图 5.28 所示。

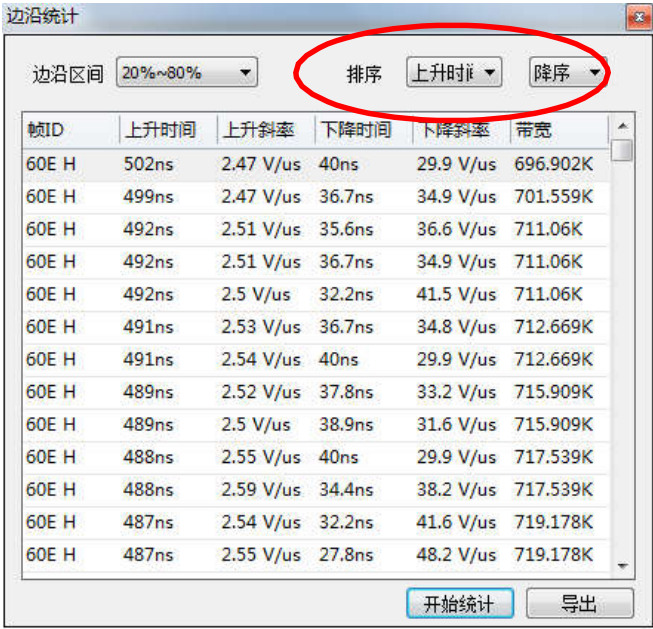


图 5.28 边沿统计（降序排列）

同理，可以分析出下降时间的最小值，和最大值。

试验评定：依据 GMW3122 的信号边沿标准进行评定。

5.1.7 信号特征测试

试验目的：测试被测设备 DUT 的差分电平位信号的特征。

试验依据：GMW3122，具体如表 5.6 所示。

表 5.6 GMW3122 信号特征标准

测试参数	比例		条件
	最小值	典型值	
1bit 长度的前半段，输出电平的幅值÷电平末端幅值	81%	150%	测试线缆<1m
1bit 长度的后半段，输出电平的幅值÷电平末端幅值	95%	105%	测试线缆<1m
CANH+CANL	4.2V	5.8V	测试线缆<1m

试验原理：

通过示波器测量 1bit 的差分电平显性位的末端幅值，然后在测量前半段（50%）差分电平最大值，两者相除，如果在 81%~150%则通过；

然后在测量后半段（50%）差分电平最大值，除以分电平显性位的末端幅值，如果在 95%~105%则通过；

CANH+CANL 通过两个电平的相加运算所得，如果在 4.2V 到 5.8V 则通过。

试验接线：

本测试使用 CANScope-Pro 的眼图功能，进行统计以达到高的测试精度。需要 DUT 上电后，一直能发送 CAN 报文，方便进行测试。并且 CANScope 不勾选总线应答，其黑色表笔（地）要和 DUT 的 CAN 收发器共地。如图 5.29 所示，进行测试连接。

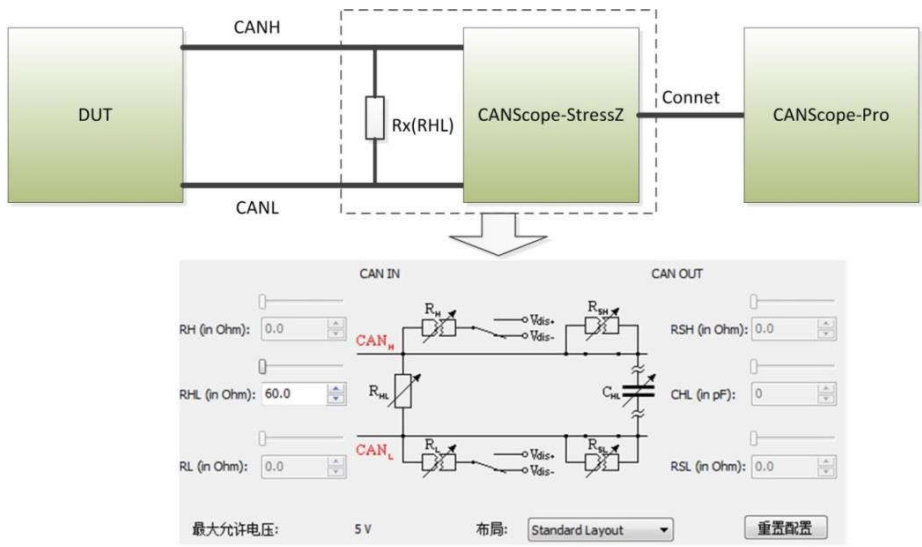


图 5.29 信号特征测试连接图

试验步骤：

步骤 1：打开 CANScope，在 DUT 正常发送报文后，启动CAN 眼图功能，如图 5.30 所示。

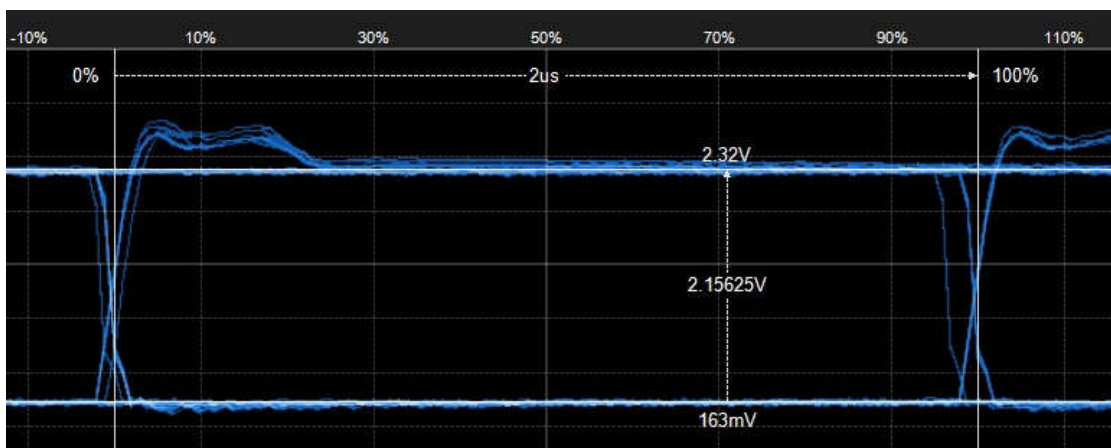


图 5.30 眼图功能

通过光标，先测量出眼图信号末端的幅值，如图 5.30 所示，为 2.15V。然后再测量 bit 前半段的最大幅值，如图 5.31 所示为 2.73V。则 $2.73/2.15=127\%$ ，符合GMW3122。

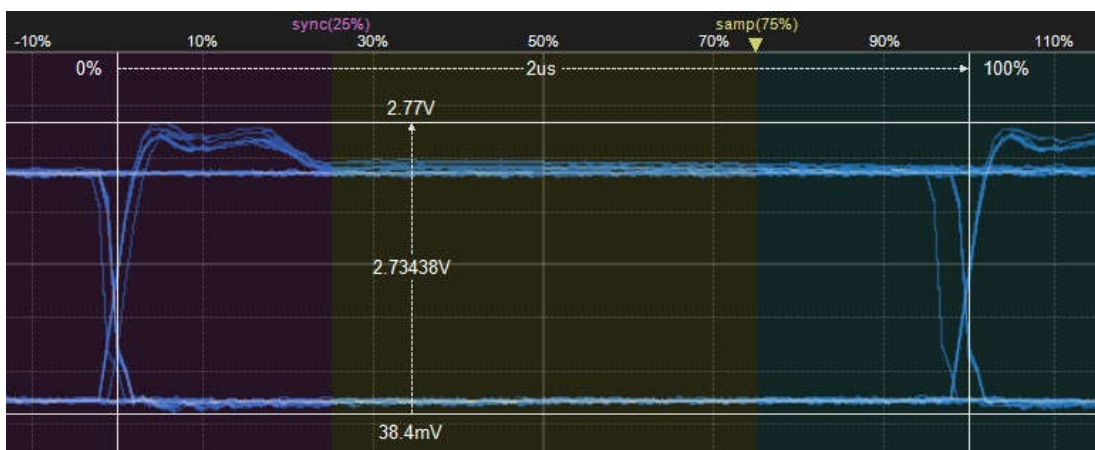


图 5.31 前半段最大幅值

然后再测量 bit 后半段的最大幅值，如图 5.32 所示，为 2.25V。则 $2.25 \div 2.15=104\%$ ，符合 GMW3122 信号特征标准。

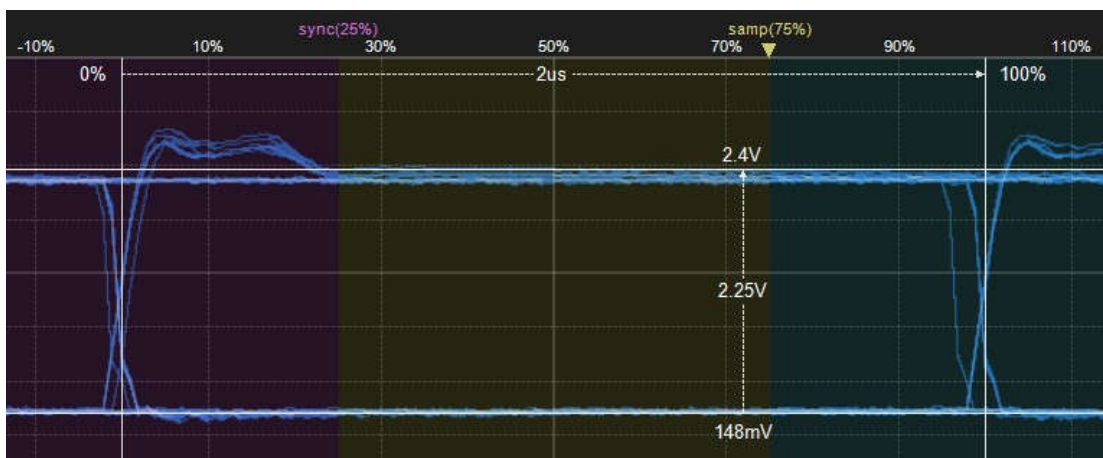


图 5.32 后半段最大幅值

步骤 2:

为了测试 CANH+CANL 的电压值，需要使用对称性测试功能。由于 GMW3122 规定 CANH+CANL 的电压要在 4.2V~5.8V，而正常为 5V。所以在采用对称性测试时，其中使用的是 $(\text{CANH}+\text{CANL})/2$ 进行判别。所以标准范围为 2.1V~2.9V，正常为 2.5V。因此图 5.33 中误差电压需要填入 0.4。（1.自动设置需要先点击，然后才能 2.开始测试）

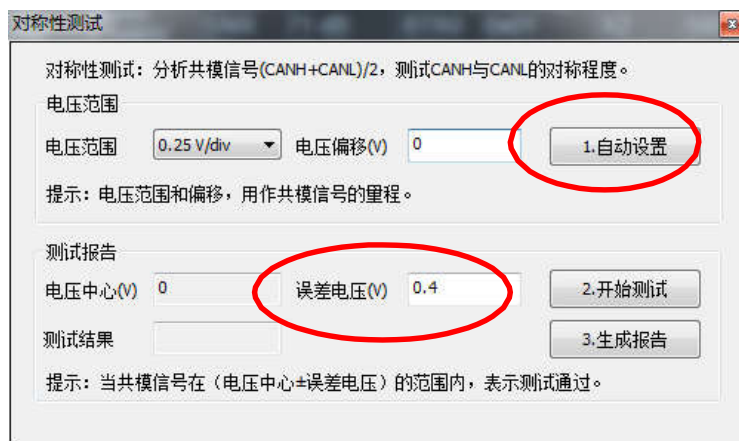


图 5.33 对称性测试 CANH+CANL

如果测试结果通过，则CANH+CANL 的电压是符合 4.2V~5.8V 的。

试验评定：依据 GMW3122 的信号特征标准进行评定。

5.1.8 位时间测试

试验目的：测试被测设备 DUT 输出的差分电平位信号的特征。

试验依据：GMW3122，具体如表 5.7 所示。表中条件如图 5.22 所示。

表 5.7 GMW3122 信号位时间标准

测试参数	位时间偏差		条件
	最小值	最大值	
高速 CAN（最小负载） 500K~1Mbps	-0.45%	+0.45%	典型值 500Kbps，C1=100pF、 C1=100pF、C3=0pF
高速 CAN（最大负载） 500K~1Mbps	-0.45%	+0.45%	典型值 500Kbps，C1=4700pF、 C1=4700pF、C3=3300pF
中速CAN（最小负载） 100K~250Kbps	-0.5%	+0.5%	典型值 125Kbps，C1=100pF、 C1=100pF、C3=0pF
中速CAN（最大负载） 100K~250Kbps	-0.5%	+0.5%	典型值 125Kbps，C1=10000pF、 C1=10000pF、C3=6800pF

试验原理：

如表 5.5 所示的四种条件下，选择被测 DUT 的适应条件，使用示波器，通过测试 DUT 连续 20-30 个位的隐性-显性差分电平的边沿时间，平均计算出一个位的时间，至少要重复 100 次， 确定最大和最小值。如图 5.34 所示。

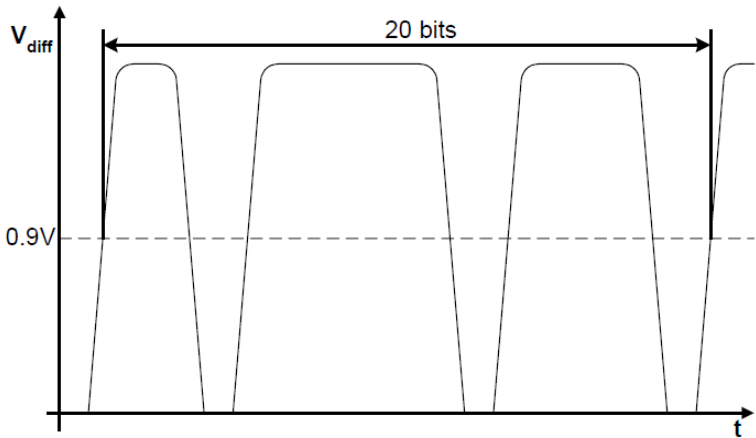


图 5.34 位时间测量

试验接线：

本测试使用 CANScope-Pro 与 CANScope-StressZ 扩展板，并且为了保证准确性，采用比较先进的眼图统计方法，避免人工统计的误差与节约人工成本，需要 DUT 上电后，一直能发送 CAN 报文，方便进行测试。并且 CANScope 不勾选总线应答，其黑色表笔（地）要和 DUT 的 CAN 收发器共地。如图 5.24 所示，进行测试连接。

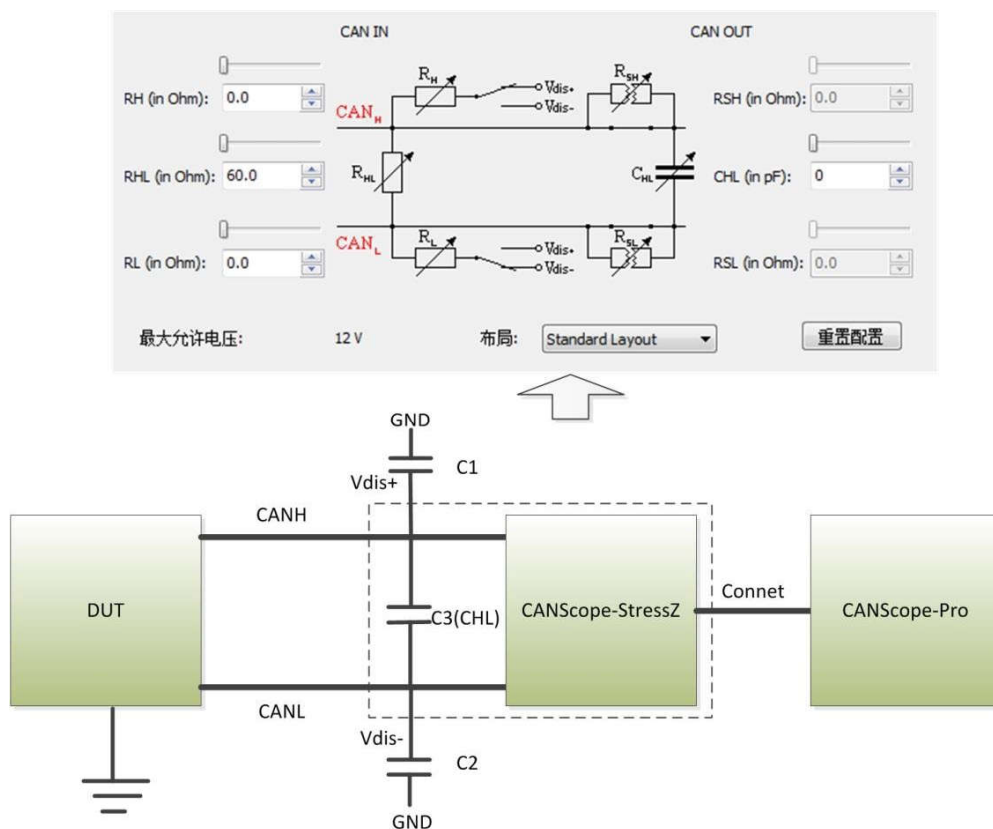


图 5.35 位时间测试接线图

配置干扰源为外部，如图 5.36 所示，便于启用 Vdis+和 Vdis-的外部输入接口。注意 GND 是在 Vdis+和 Vdis-外部输入口中间那个接口，用于和 CAN 收发器的地连接。

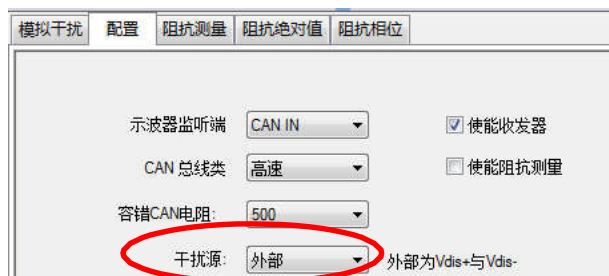


图 5.36 调整 CANScope-StressZ 干扰源为外部

试验步骤:

按表 5.7 所示，选择对应的测试条件进行测试。

将 Vdis+和 GND、Vdis-和 GND 间各接入表 5.5 所要求的C1、C2 电容，调整 CANScope-StressZ 的控制面板将 CHL 调节为表 5.7 所要求的C3 电容。然后启动 CANScope-StressZ。

将 DUT 启动，发送报文，通过CANScope 记录一段时间报文和波形后，点击CANScope 的停止，保存。然后点击测试中的**软件眼图**。如图 5.37 所示

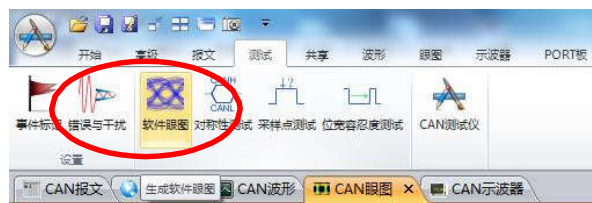


图 5.37 软件眼图功能

在软件眼图界面中，先点击**第一步：添加配置**。点击**自动调节**，并且勾选**过滤 ACK 区域**对应波形。点击**确定**即可。如图 5.38 所示。

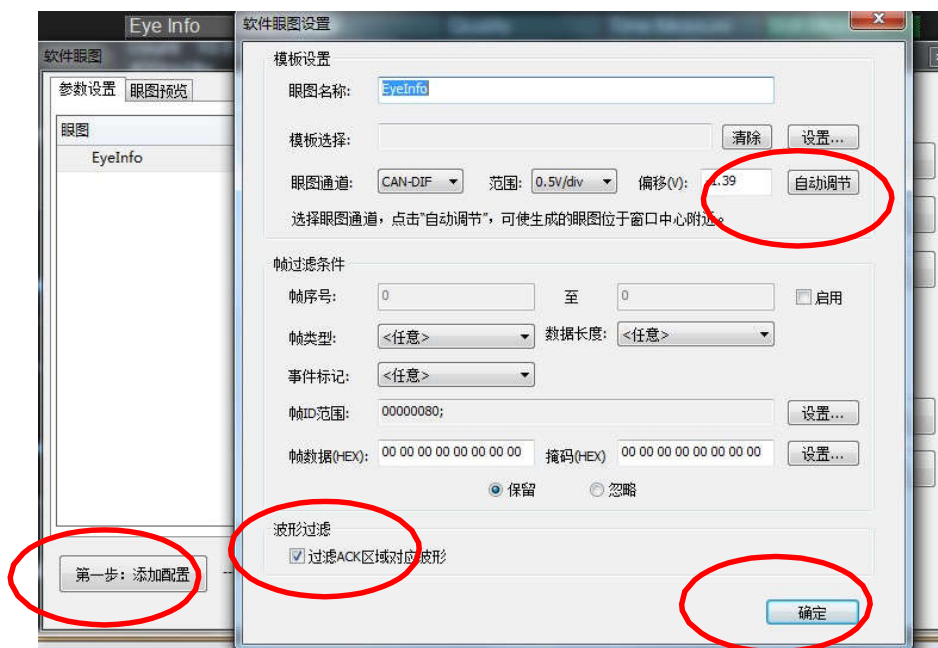


图 5.38 软件眼图添加配置

然后点击**第二步：生成眼图**，等待完成后点击**第三步：查看眼图**。如图 5.39 所示。



图 5.39 生成眼图和查看眼图

在 CAN 眼图的选项卡中可查看到生成的眼图，如图 5.40 所示。点击显示中的时间测量、电压测量和眼图轮廓。将电压测量线卡住 0.9V 左右的，然后在与波形上升沿的交叉点，卡上时间测量线。注意左时间测量要卡在最左边的上升沿亮线，右时间测量要卡在最右边的上升沿亮线。读出的就是此 DUT 发出的位时间值。

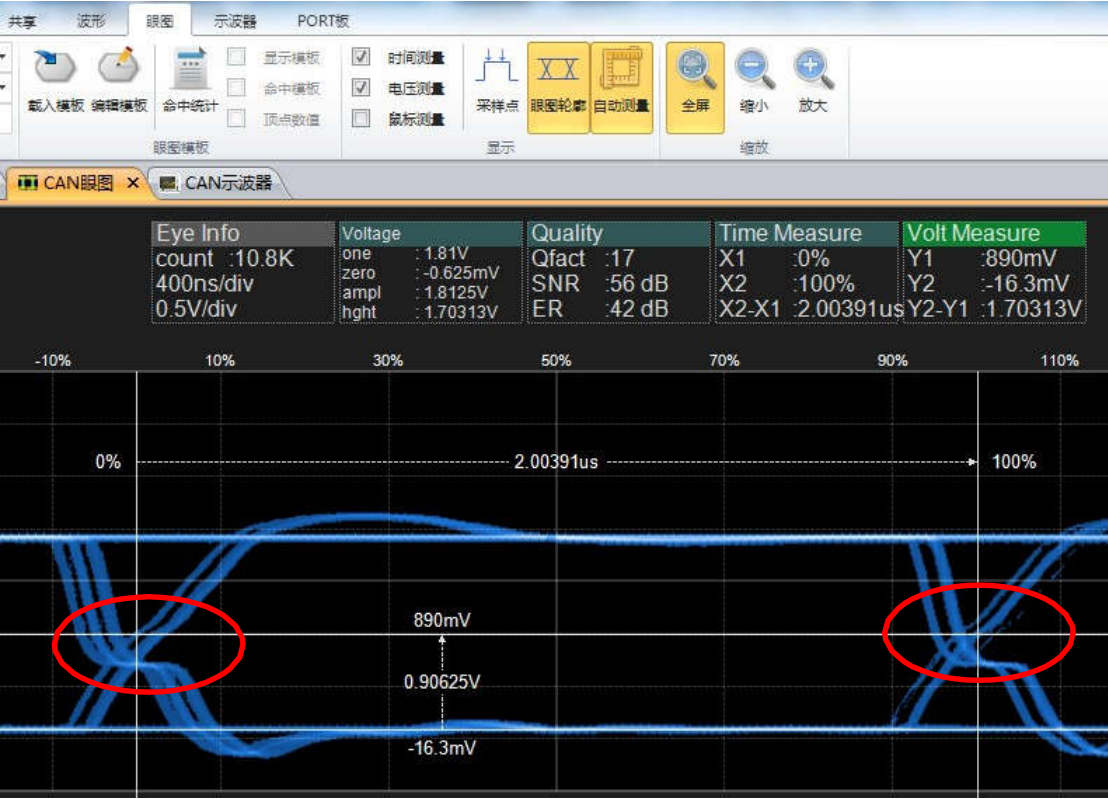


图 5.40 眼图测量位时间

试验评定：依据 GMW3122 的信号位时间标准进行评定。

5.1.9 波特率容忍度测试

试验目的：测试被测设备 DUT 接收时，对于波特率变化的容忍度，。

试验依据：GMW3122，在表 5.8 所示的条件下进行测试波特率的容忍度。不应出现错误帧。

表 5.8 GMW3122 位宽度容忍测试条件标准

测试参数	条件
高速 CAN（最小负载） 500K~1Mbps	典型值 500Kbps，C1=100pF、 C1=100pF、C3=0pF
高速 CAN（最大负载） 500K~1Mbps	典型值 500Kbps，C1=680pF、 C1=680pF、C3=330pF
中速CAN（最小负载） 100K~250Kbps	典型值 125Kbps，C1=100pF、 C1=100pF、C3=0pF
中速CAN（最大负载） 100K~250Kbps	典型值 125Kbps，C1=4700pF、 C1=4700pF、C3=2200pF

试验原理：

在表 5.8 所示的四种条件下，选择被测 DUT 的适应条件。使用如表 5.9 所示的报文对 DUT 进行发送，不出现错误帧则表示通过。

表 5.9 测试报文

ID	Data
\$555	55 55 55 55 55 55 55 55
\$000	00 00 00 00 00 00 00 00
\$7FF	FF FF FF FF FF FF FF FF
\$0F0	F0 F0 F0 F0 F0 F0 F0 F0

试验接线：

本测试使用 CANScope-Pro 与 CANScope-StressZ 扩展板，需要 DUT 上电后，不发送 CAN 报文，但可以正常应答报文，方便进行测试。并且 CANScope 不勾选总线应答，其黑色表笔（地）要和 DUT 的 CAN 收发器共地。如图 5.41 所示，进行测试连接。

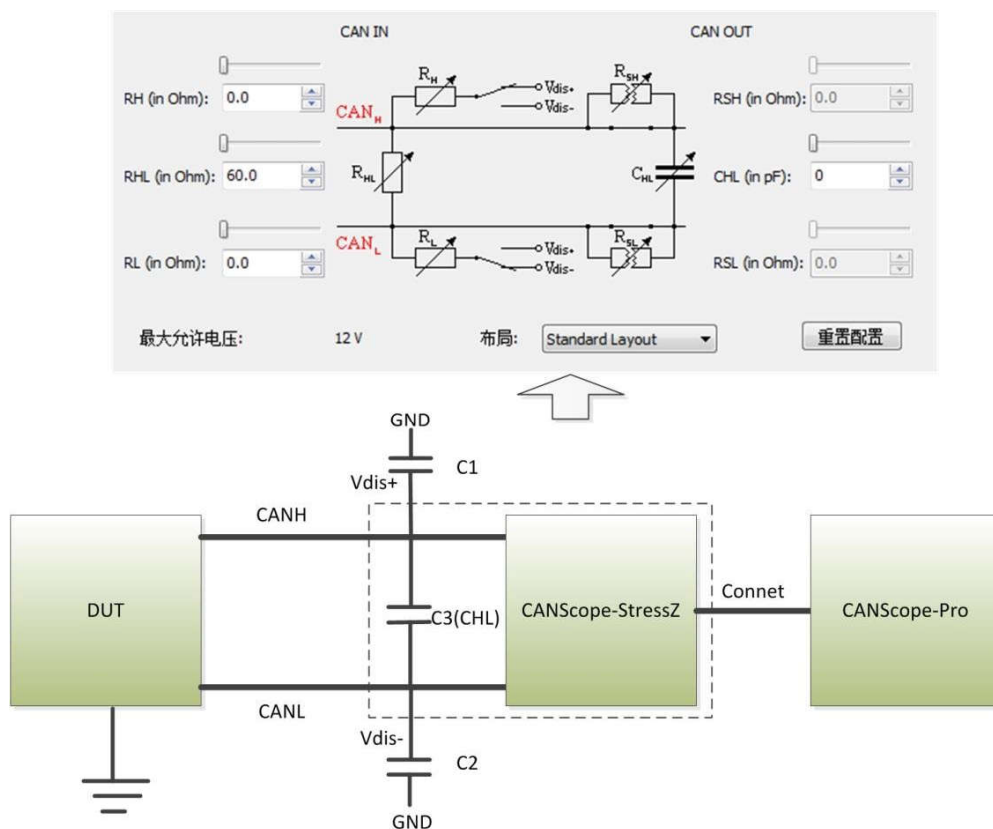


图 5.41 波特率容忍度接线图

配置干扰源为外部，如图 5.42 所示，便于启用 Vdis+和 Vdis-的外部输入接口。注意 GND 是在 Vdis+和 Vdis-外部输入接口中间那个接口，用于和 CAN 收发器的地连接。



图 5.42 调整 CANScope-StressZ 干扰源为外部

试验步骤:

按表 5.8 所示，选择对应的测试条件进行测试。

将 Vdis+和 GND、Vdis-和 GND 间各接入表 5.8 表 5.5 所要求的C1、C2 电容，调整 CANScope-StressZ 的控制面板将 CHL 调节为表 5.8 所要求的C3 电容。然后启动 CANScope-StressZ。

将 DUT 启动，通过 CANScope 的重播功能添加 如表 5.9 所示的报文，发送间隔为 100ms，发送次数为 1000 次，然后点击发送。如图 5.43 所示。

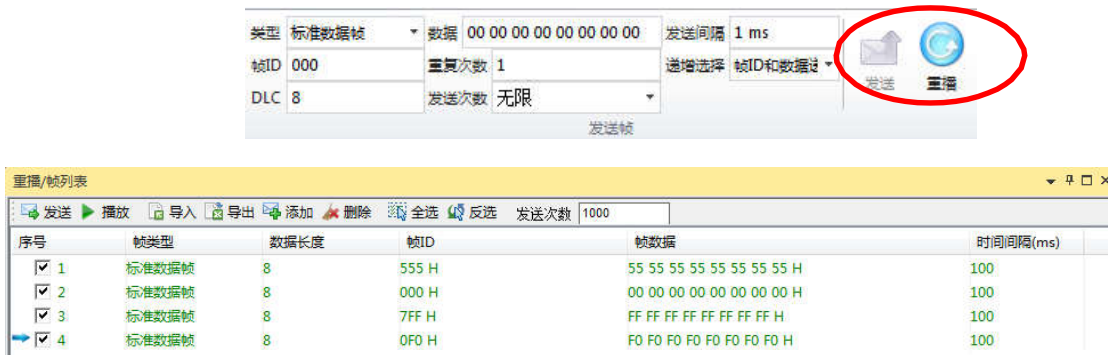


图 5.43 发送固定四帧

发送完毕后，点击**帧统计**。如图 5.44 所示。如果成功率为 100%，则通过测试。

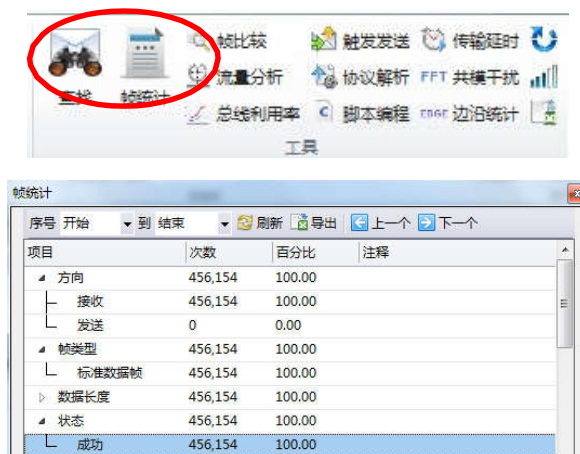


图 5.44 帧统计成功率

然后点击测试中的**位宽度容忍测试**，测试DUT 的波特率适应范围。如图 5.45 所示。

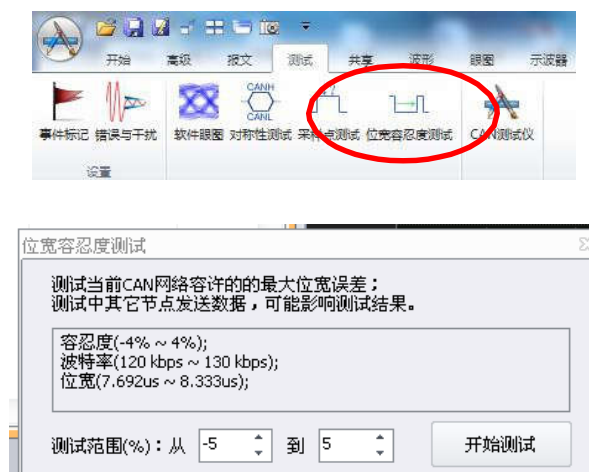


图 5.45 位宽度容忍测试

试验评定：依据 GMW3122 的特定帧发送，无错误帧，则通过测试。为了保证DUT 对其他设备的 CAN 波特率兼容性，位宽度容忍测试中容忍度建议大于等于±3%（不作为不合格依据）。

5.1.10 容错性能测试

试验目的：测试被测设备 DUT 的容错性能，。

试验依据：GMW3122，包括地线漂移、地线丢失、电源丢失、CAN 线中断、CAN 线各短接到地、CAN 线各短接到电源、CAN 线短路等错误状态。要评估在这些状态下的工作情况，和恢复时间。

试验原理：

1. 地线漂移

利用电源不断抬高DUT 的 GND，测试总线通讯正常时，DUT 所允许的地线漂移。

2. 地线丢失

使 DUT 单独掉地，测试 1 分钟内 DUT 是否仍然正常工作。

3. 电源丢失

使 DUT 单独丢失电源，测试总线是否受到干扰，重接电源后DUT 是否能恢复通讯。

4. CAN 线中断

测试在 CAN_H 断开 1 分钟，重连后 DUT 是否能恢复通讯。CAN_L 断开 1 分钟，重连后 DUT 是否能恢复通讯。CAN_H 和 CAN_L 同时断开 1 分钟，重连后 DUT 是否能恢复通讯。

5. CAN 线短接到地线

测试在 CAN_H 对地短路 1 分钟，恢复后 DUT 是否能恢复通讯。CAN_L 对地短路 1 分钟，恢复后 DUT 是否能恢复通讯。CAN_H 和 CAN_L 同时对地短路 1 分钟，恢复后 DUT 是否能恢复通讯。

6. CAN 线短接到电源线

测试在 CAN_H 对电源短路 1 分钟，恢复后 DUT 是否能恢复通讯。CAN_L 对电源短路 1 分钟，恢复后 DUT 是否能恢复通讯。CAN_H 和 CAN_L 同时对电源短路 1 分钟，恢复后DUT 是否能恢复通讯。

7. CAN_H 与 CAN_L 短接

测试CAN_H,CAN_L 短路 1 分钟，恢复后 DUT 是否能恢复通讯。

试验接线：

本测试使用 CANScope-Pro 与 CANScope-StressZ 扩展板，程控电源。需要 DUT 上电后，一直发送 CAN 报文，方便进行测试。CANScope 可以勾选总线应答，其黑色表笔（地）要和 DUT 的 CAN 收发器共地。将启用示波器勾去掉，即不使能示波器，这时 CANScope 的 CAN 接口即为电气隔离的。如图 5.46 所示，进行测试连接。注意，本测试 DUT 与 CANScope-StressZ 连线要连接 CAN OUT 口。



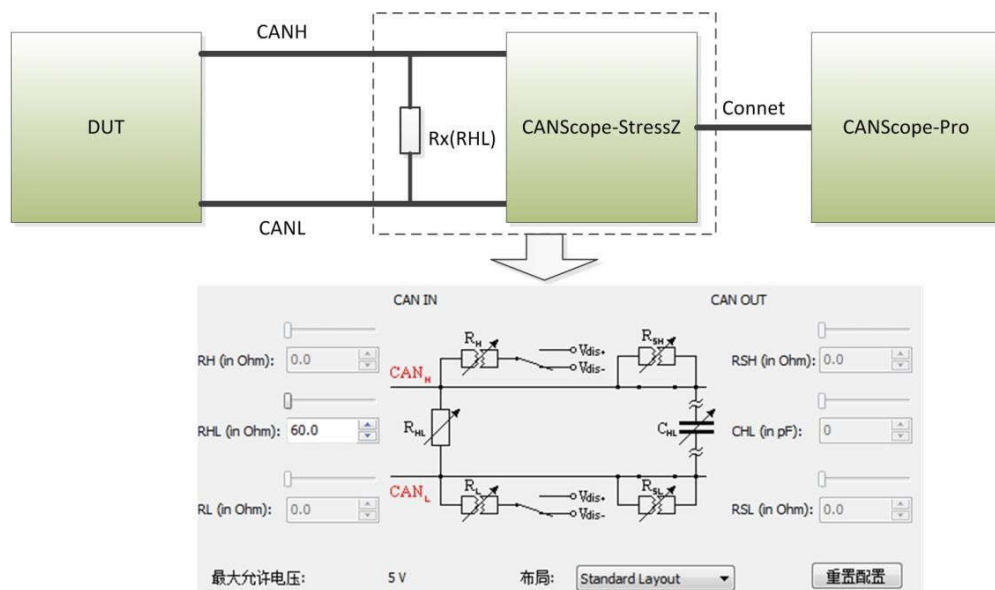


图 5.46 容错性能测试接线图

试验步骤:

1. 地线漂移

如果 DUT 的 CAN 接口为隔离的,则需要将程控电源电压+-串联入 DUT 和 CANScope 的 GND 连接 (黑色表笔); 如果 DUT 的 CAN 接口为非隔离的,则需要将程控电源电压+-串联入 DUT 供电的GND 线。

利用程控电源不断抬高电压 (一分钟 0.1V), 从 CANScope 软件中测试总线出现错误帧时的程控电源电压。

2. 地线丢失

使 DUT 和 CANScope 的黑色表笔 (GND) 断开, 单独掉地, 测试 1 分钟内 CANScope 软件中是否会出现错误帧。如果没有错误帧, 则通过测试。

3. 电源丢失

使 DUT 单独丢失电源, 从 CANScope 测试总线是否受到干扰, 重接电源后DUT 是否能恢复通讯。如果丢失电源时, 有小于等于 1 个错误帧, 且重接电源后, DUT 能恢复通讯, 则通过测试。

4. CAN 线中断

使用CANScope-StessZ 启动后, 如图 5.47 所示操作, 断开测试在CAN_H 断开 1 分钟, 重连后DUT 是否能恢复通讯。

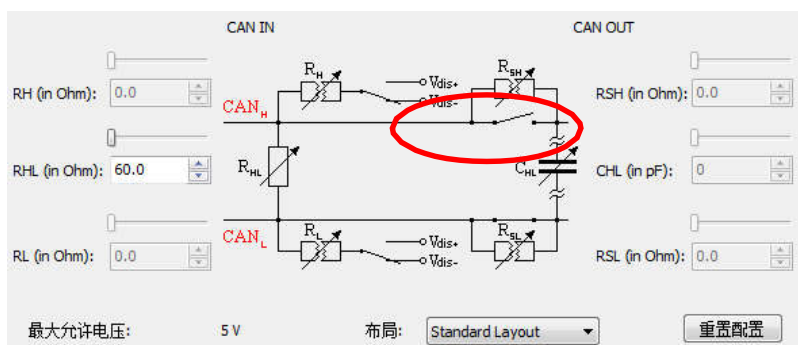


图 5.47 CANH 断线测试

使用CANScope-StessZ 启动后，如图 5.48 所示操作，断开测试在 CAN_L 断开 1 分钟，重连后DUT 是否能恢复通讯。

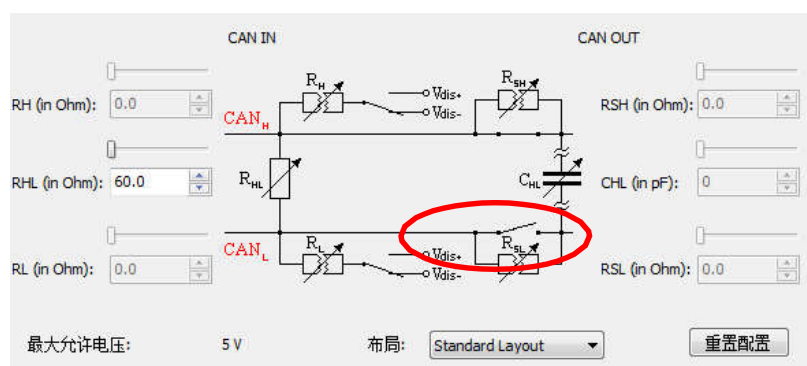


图 5.48 CANL 断线测试

使用CANScope-StessZ 启动后，如图 5.49 所示操作，断开测试在CANH 和 CAN_L 断开 1 分钟，重连后DUT 是否能恢复通讯。

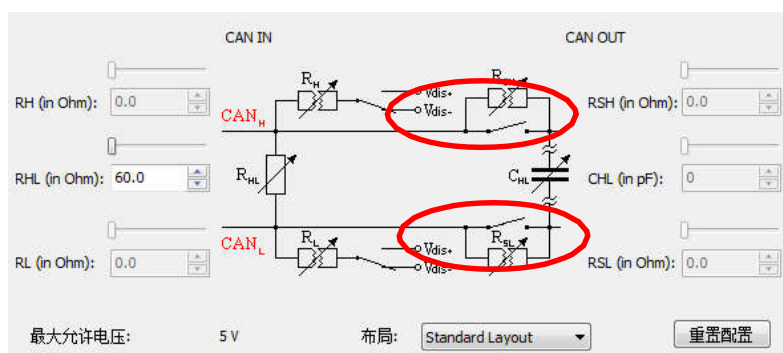


图 5.49 CANH 和 CANL 断线测试

如果重连DUT 后，都能恢复通讯，则测试通过。

后面测试需要配置干扰源为外部，如图 5.50 所示，便于启用Vdis+和 Vdis-的外部输入接口。注意 GND 是在 Vdis+和 Vdis-外部输入接口中间那个接口，用于和 CAN 收发器的地连接。



图 5.50 调整 CANScope-StessZ 干扰源为外部

5. CAN 线短接到地线

将 CANScope-StessZ 的 GND 接口与 Vdis- 连接。

使用CANScope-StessZ 启动后，如图 5.51 所示操作，将CAN_H 对地短路 1 分钟，恢复后 DUT 是否能恢复通讯。

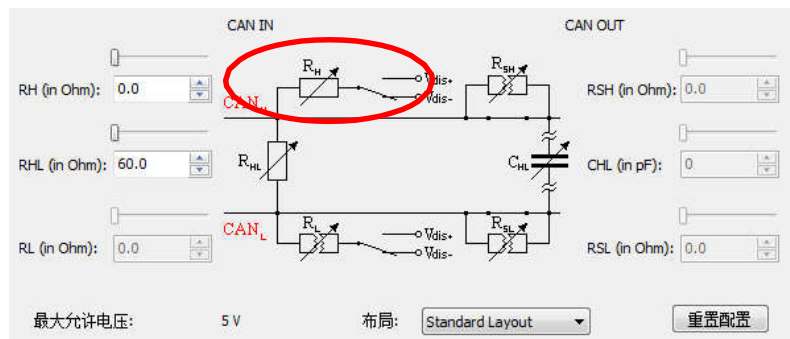


图 5.51 CANH 对地短路测试

使用CANScope-StessZ 启动后，如图 5.52 所示操作，将 CAN_L 对地短路 1 分钟，恢复后 DUT 是否能恢复通讯。

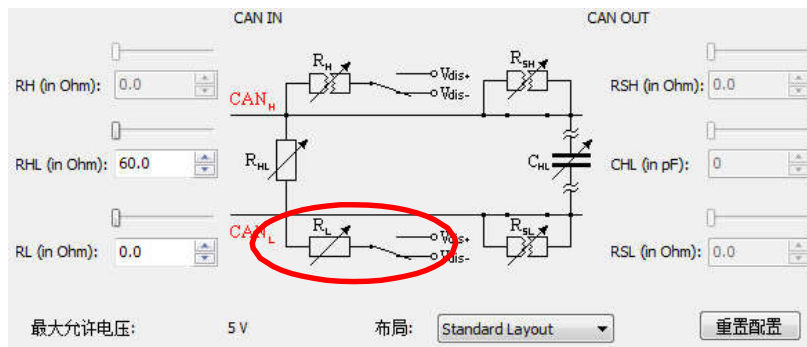


图 5.52 CANL 对地短路测试

使用CANScope-StessZ 启动后，如图 5.53 所示操作，将CANH 和 CAN_L 同时对地短路 1 分钟，恢复后DUT 是否能恢复通讯。

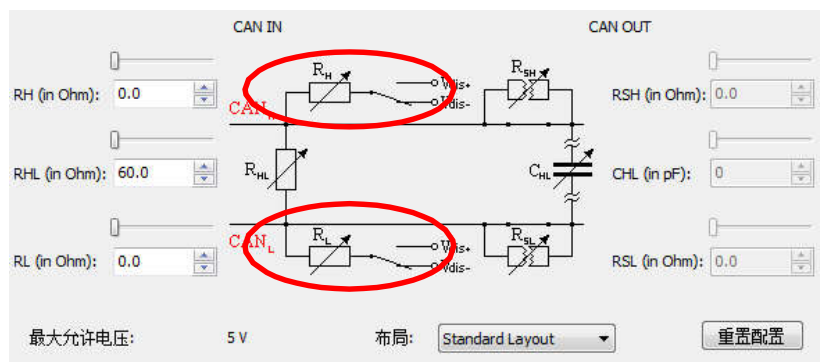


图 5.53 CANH 和 CANL 对地短路测试

如果恢复后，都能恢复通讯，则测试通过。

6. CAN 线短接到电源线

将 CANScope-StressZ 的 Vdis+与 DUT 的电源连接。注意电压不得超过 24V。

使用CANScope-StessZ 启动后，如图 5.54 所示操作，将CAN_H 对电源短路 1 分钟，恢复后 DUT 是否能恢复通讯。

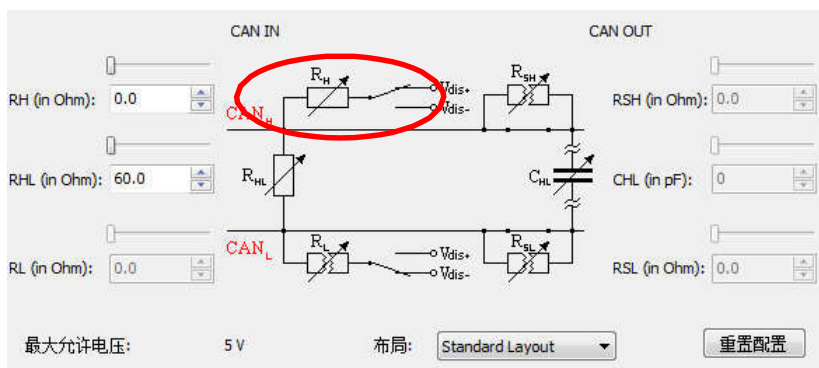


图 5.54 CANH 对电源短路测试

使用CANScope-StessZ 启动后，如图 5.55 所示操作，将 CAN_L 对电源短路 1 分钟，恢复后 DUT 是否能恢复通讯。

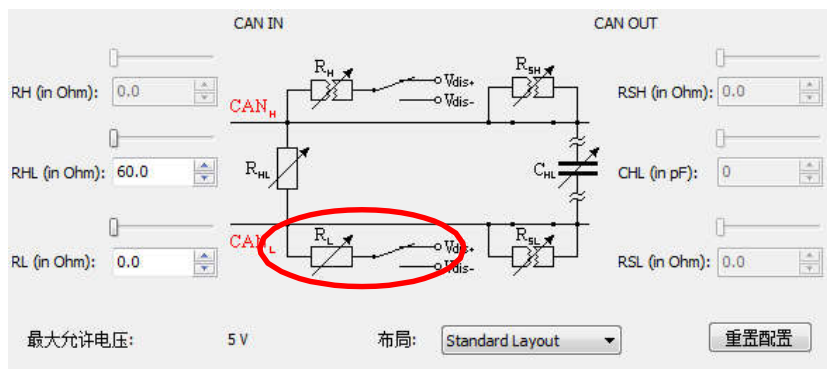


图 5.55 CANL 对电源短路测试

使用CANScope-StessZ 启动后，如图 5.56 所示操作，将 CANH 和 CAN_L 同时对电源短路 1 分钟，恢复后 DUT 是否能恢复通讯。

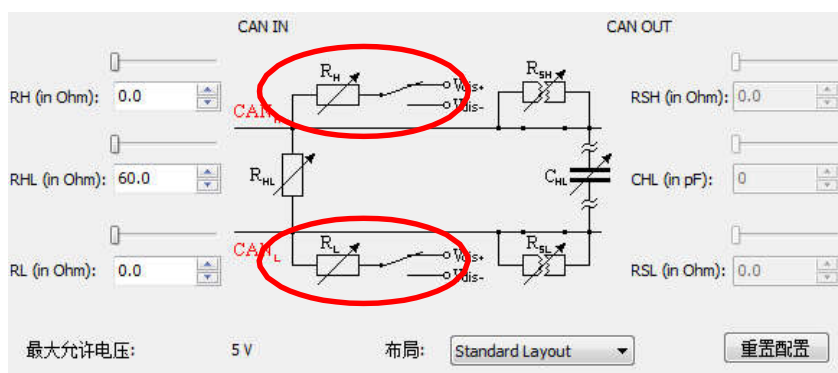


图 5.56 CANH 和 CANL 对电源短路测试

如果恢复后，都能恢复通讯，则测试通过。

7. CAN_H 与 CAN_L 短接

使用 CANScope-StessZ 启动后，如图 5.57 所示操作，将 RHL 设置为 0,即等于 CANH 和 CAN_L 短路，1 分钟，恢复后DUT 是否能恢复通讯。

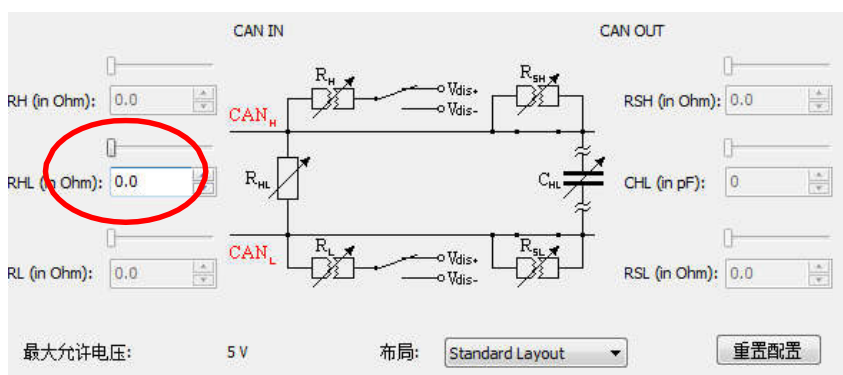


图 5.57 CANH 和 CANL 短路测试

如果恢复后，能恢复通讯，则测试通过。

试验评定：依据 GMW3122 的 7 种物理错误类型，如果恢复后，都可以恢复通讯，则通过测试。

5.1.11 内部延时测试

试验目的：测试被测设备 DUT 的 CAN 收发延时时间。

试验依据：GMW3122，测量从MCU的CAN控制器出口，TXD发送显性上升沿到总线并且反馈到RXD的延时。TXD发送显性下降沿到总线并且反馈到RXD的延时。高速CAN（500K~1Mbps）这两个延时范围为30-350ns，中速CAN(100K~250Kbps)这两个延时范围为30-1000ns。

试验原理：

如图 5.58 所示。测试出 $T_{\text{delay_fall}}$ ， $T_{\text{delay_rise}}$ 。注意，如果DUT 有隔离，TXD 和 RXD 测试需要在隔离电路之前，即靠近 MCU 一侧。

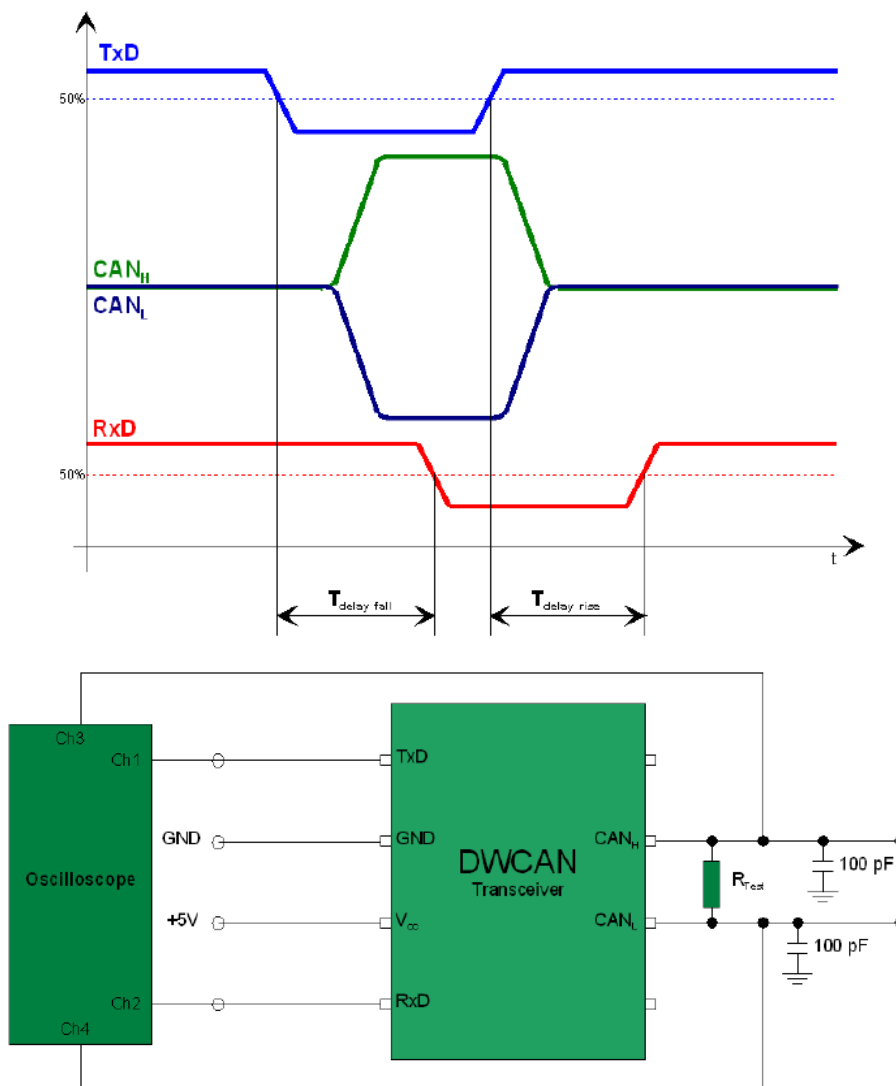


图 5.58 内部延时测量

试验接线：

本测试使用 CANScope-Pro 与 CANScope-StressZ 扩展板，ZDS2024 四通道示波器。需要 DUT 上电后，一直发送 CAN 报文，方便进行测试。CANScope 可以勾选总线应答。将启用示波器勾去掉，即不使能 CANScope 示波器，这时 CANScope 的 CAN 接口即为电气隔离的。如图 5.46 所示，进行测试连接。

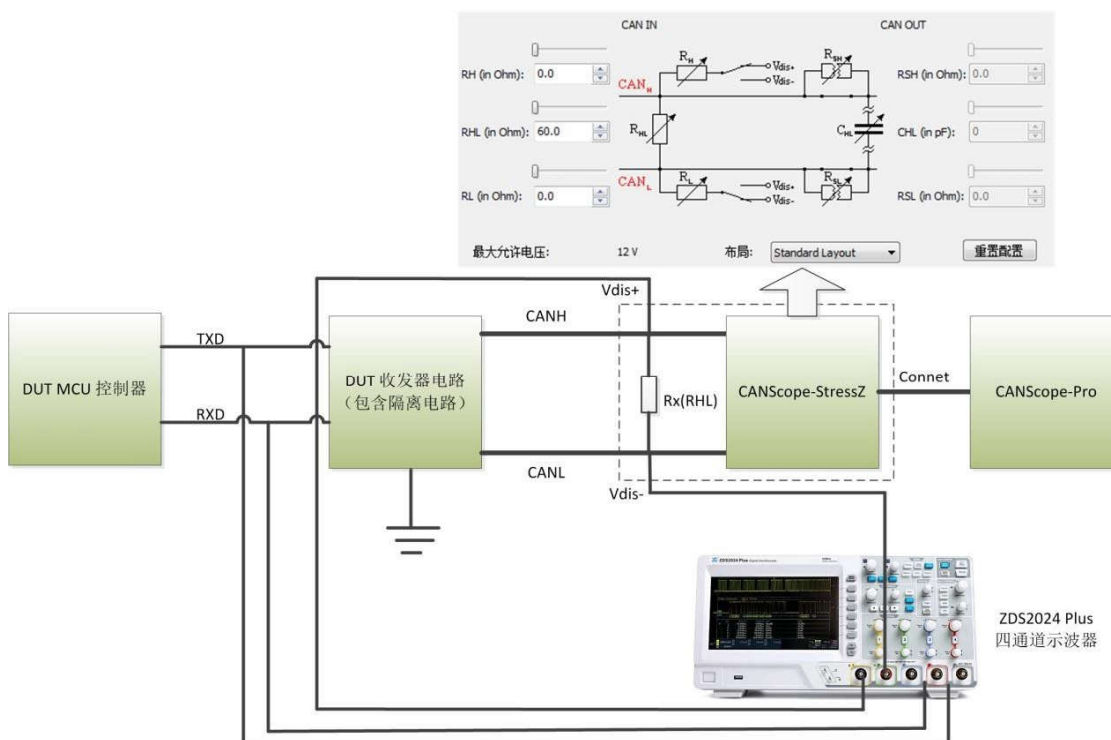


图 5.59 内部延时测试接线图

试验步骤:

启动 CANScope，将 RHL 调节为 60 欧。然后启动 ZDS2024 和 DUT，开始发送报文。通过 ZDS2024 截取出一个 TXD 一个 bit 的波形，然后如图 5.58 所示进行测量。测试出 $T_{\text{delay_fall}}$ ， $T_{\text{delay_rise}}$ 。

试验评定：依据 GMW3122 的内部延时标准。高速 CAN（500K~1Mbps） $T_{\text{delay_fall}}$ ， $T_{\text{delay_rise}}$ 的延时范围分别在为 30-350ns 以内，中速CAN(100K~250Kbps) $T_{\text{delay_fall}}$ ， $T_{\text{delay_rise}}$ 的延时范围分别在为 30-1000ns 以内。则通过测试。

5.2 链路层一致性测试

试验前需要确认 CANScope-Pro 供电工作正常，DUT（被测设备）没有安装终端电阻，使能总线应答，如图 5.60 图 5.1 所示。每个测试选项都要先启动 CANScope 再启动 DUT（被测设备），保证测试过程完整性。下文中的试验原理均为标准文档的截图与摘抄。



图 5.60 使能总线应答方式

5.2.1 采样点测试

试验目的：测试被测设备 DUT 的 CAN 控制器的波特率采样点位置。

试验依据：CAN 规范 CIA105，要求在各段波特率下，被测 DUT 采样点在 87.5% 左右。

试验原理：

波特率采样点是 CAN 节点判断位逻辑值的判断点。采用干扰的手段，将采样点位置的逻辑电平破坏，则这个 CAN 报文将出现错误。以此就可以确定干扰的位置为采样点位置。如图 5.61 所示。使用 CANScope-Pro 的错误与干扰功能。可以调整需要翻转的位偏移时间与持续时间，发送此错误的报文给 DUT。通过递进式移动干扰位置，查看总线出现错误帧的情况，则出现错误帧的偏移时间（图中红色箭头）为采样点位置。

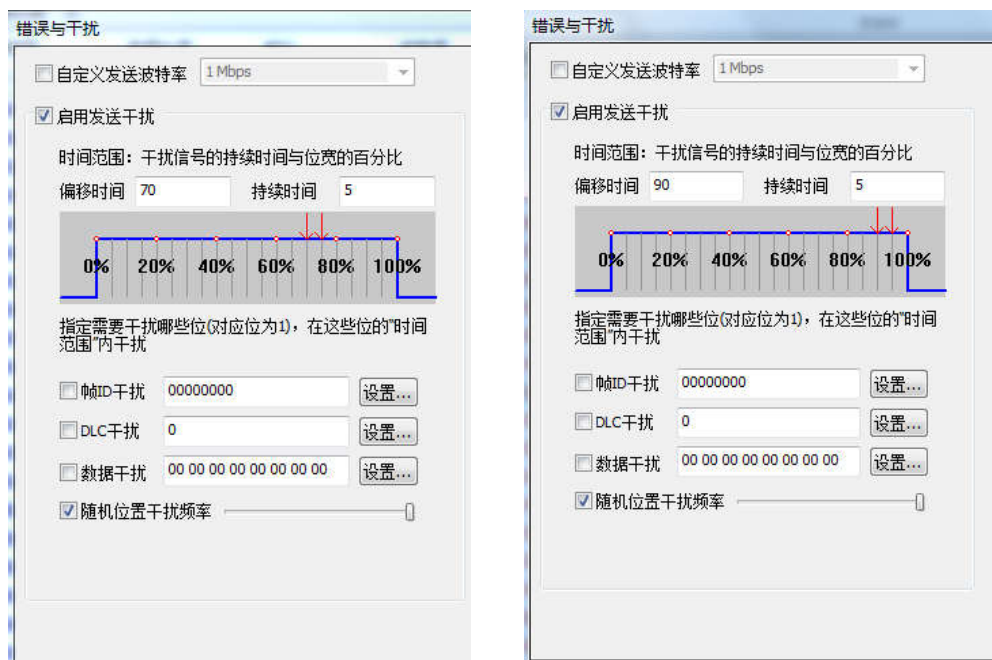


图 5.61 采样点测试原理

试验接线：

本测试使用 CANScope-Pro 和 CANScope-StressZ。需要 DUT 上电后，初始化控制器后，不发送 CAN 报文，方便进行测试。CANScope 可以勾选总线应答。如图 5.62 所示，进行测试连接。使能CANScope-StressZ 的 RHL 为 60 欧。

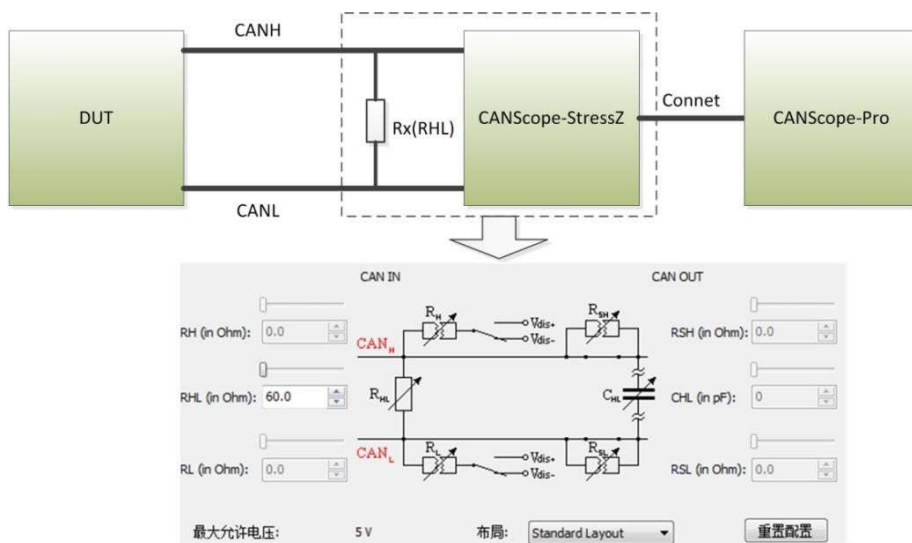


图 5.62 采样点测试连接

试验步骤：

步骤 1：启动 CANScope-Pro，将 RHL 调节为 60 欧，设置好和被测 DUT 相同的波特率，点击开启。然后启动 DUT。

步骤 2：点击 CANScope-Pro 的“测试”中的“采样点测试”，如图 5.63 所示。点击开始测试后。

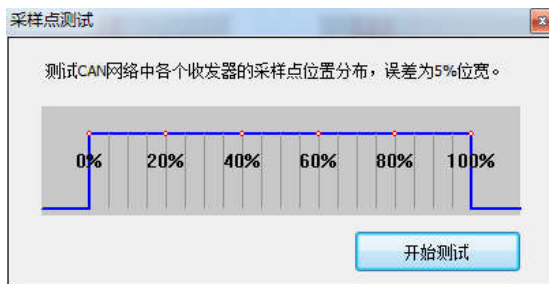


图 5.63 采样点测试

稍等片刻，即可出现测试结果，如图 5.64 所示，测试出来的采样点结果为 85%~95%。

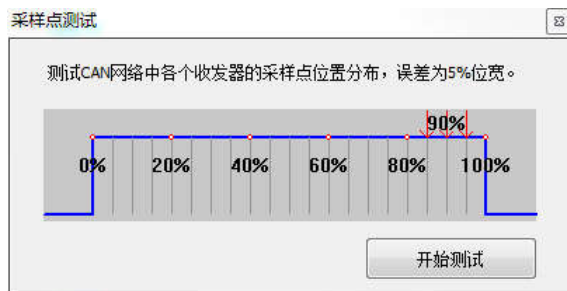


图 5.64 采样点测试结果

如果这个自动的采样点测试无结果，则可能是采样点移动干扰过程中，导致被测 DUT 总线关闭（bus off），从而无法完成测试。或者测试步骤 2 的结果范围过宽。需要使用步骤 3 来进行精确测试——人工测试。

步骤 3：使用人工手段进行采样点测试。在步骤 1 的基础上，打开 CANScope 软件的“错误与干扰”，启用发送干扰，将偏移时间设置在 50，持续时间设置为 2，随机位置干扰频率拉到最右边。然后点击应用，在 CANScope 报文界面上点击发送。即发送带干扰位的报文。如图 5.65 所示。

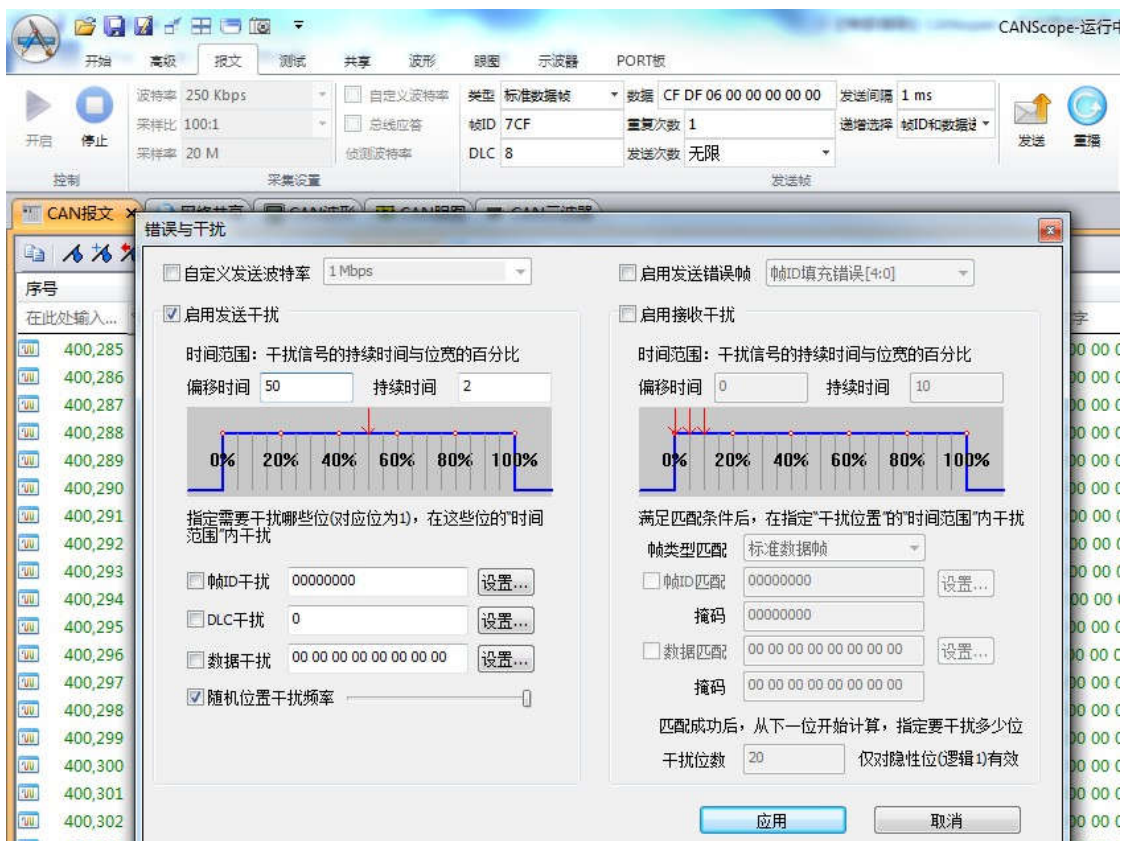


图 5.65 手动进行采样点测试方法

通过观察 CAN 报文界面，如果错误帧数量少于 50%，则增加偏移时间，步长为 1。直至错误帧数量大于 30~50%，则记录此时刻的偏移时间为**采样点前边沿时间**。然后继续增加偏移时间，步长为 1。直至错误帧数量小于 30~50%，则记录此时刻的偏移时间为**采样点后边沿时间**。然后可以停止测试。**采样点前边沿时间到采样点后边沿时间即为采样点范围**。

试验评定：依据 CIA105 标准，采样点为 87.5%，故测试结果的范围必须包含 87.5%才可以认定为通过，否则需要 DUT 调整采样点位置。

5.2.2 CAN2.0B 兼容测试

试验目的：测试被测设备 DUT 是否能兼容CAN2.0B 的扩展帧，不会发出错误帧。

试验依据：GMW14242，要求在DUT在接收扩展帧时，不会有错误帧发出。

试验原理：测试工具发送各种格式的扩展帧（29 位 ID）和 8 字节的数据。检查传输的扩展帧格式时，DUT 的反应。如果没有错误帧则测试通过。

试验接线：

本测试使用 CANScope-Pro 和 CANScope-StressZ。需要 DUT 上电后，初始化控制器后，可以发送 CAN 报文。CANScope 勾选总线应答。如图 5.66 所示，进行测试连接。使能 CANScope-StressZ 的 RHL 为 60 欧。

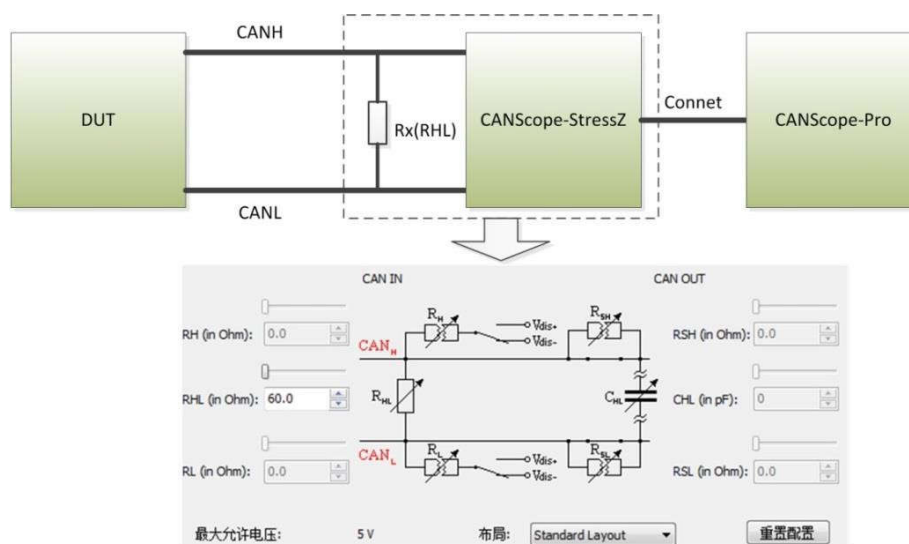


图 5.66 CAN2.0B 兼容性测试连接

试验步骤：

启动CANScope-Pro，将 RHL 调节为 60 欧，设置好和被测 DUT 相同的波特率，点击开启。然后分别选择类型为扩展数据帧和扩展远程帧，点击“发送”。如图 5.67 所示。



图 5.67 发送扩展帧

每种帧类型的发送持续 1 分钟，然后点击“帧统计”功能。如果没有错误帧，则表示测试通过。如图 5.68 所示。

帧统计			
序号	开始	到	结束
刷新	导出	上一个	下一个
项目	次数	百分比	注释
▷ 方向	11,359	100.00	
▷ 帧类型	11,359	100.00	
▷ 数据长度	11,359	100.00	
▲ 状态	11,359	100.00	
└ 成功	11,359	100.00	
▷ 帧ID	11,359	100.00	

图 5.68 CAN2.0B 兼容性帧统计

试验评定：依据 GMW14242，通过 CANScope 发送扩展帧，如果无错误帧，则测试通过。

5.2.3 报文的 DLC 测试

试验目的：测试被测DUT 是否能给予所有发出信息带有正确的 DLC（数据长度）。

试验依据：GMW14242，要求在DUT在发送所有应用报文，都具备正确的DLC。

试验原理：由 DUT 发送所具备的所有应用数据，由测试工具记录，并且分析发出的 DLC 与预期的DLC 是否一致。

试验接线：

本测试使用 CANScope-Pro 和 CANScope-StressZ。需要 DUT 上电后，初始化控制器后，发送 CAN 报文或者通过 CANScope 触发 DUT 发送报文。CANScope 勾选总线应答。如图 5.69 所示，进行测试连接。使能 CANScope-StressZ 的 RHL 为 60 欧。

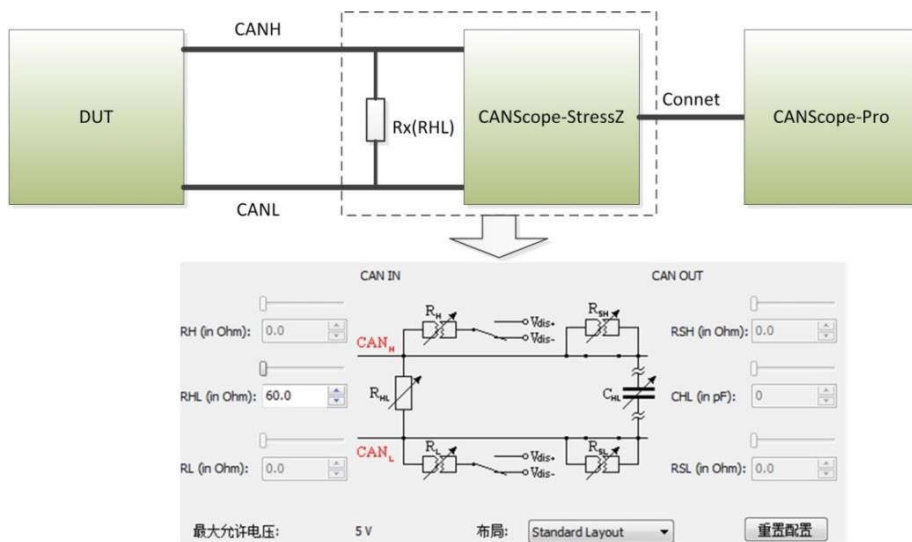


图 5.69 报文 DLC 测试连接

试验步骤：

步骤 1：启动 CANScope-Pro，将 RHL 调节为 60 欧，设置好和被测 DUT 相同的波特率，点击开启。控制 DUT 能发出各种预期的报文，进行记录。最小记录时间为 1 分钟。

步骤 2：将保存下来的报文，分别先按 ID 筛选，如图 5.70 所示为对 183H 这个 ID 进行筛选，由于它的数据长度为 8，所以正常DLC 为 8。

序号	时间	状态	方向	帧类型	数据长度	帧ID	帧数据	事件
在此处输入...	在此处输入文字	在此处输入...	在此处输入...	在此处输入...	在此处输入...	1B3	在此处输入文字	在此处
4,019	00:00:49.906 238	成功	发送	标准数据帧	8	1B3 H	00 80 00 00 00 80 00 00 H	
4,056	00:00:49.987 216	成功	发送	标准数据帧	8	1B3 H	01 80 00 00 00 80 00 00 H	
4,065	00:00:50.006 173	成功	发送	标准数据帧	8	1B3 H	00 80 00 00 00 80 00 00 H	
4,092	00:00:50.113 175	成功	发送	标准数据帧	8	1B3 H	01 80 00 00 00 80 00 00 H	
4,105	00:00:50.141 567	成功	发送	标准数据帧	8	1B3 H	00 80 00 00 00 80 00 00 H	
4,146	00:00:50.231 125	成功	发送	标准数据帧	8	1B3 H	01 80 00 00 00 80 00 00 H	
4,155	00:00:50.253 192	成功	发送	标准数据帧	8	1B3 H	00 80 00 00 00 80 00 00 H	
4,184	00:00:50.362 545	成功	发送	标准数据帧	8	1B3 H	01 80 00 00 00 80 00 00 H	
4,193	00:00:50.381 121	成功	发送	标准数据帧	8	1B3 H	00 80 00 00 00 80 00 00 H	
4,214	00:00:50.427 273	成功	发送	标准数据帧	8	1B3 H	01 80 00 00 00 80 00 00 H	
4,225	00:00:50.452 855	成功	发送	标准数据帧	8	1B3 H	00 80 00 00 00 80 00 00 H	
4,256	00:00:50.546 848	成功	发送	标准数据帧	8	1B3 H	01 80 00 00 00 80 00 00 H	
4,265	00:00:50.567 318	成功	发送	标准数据帧	8	1B3 H	00 80 00 00 00 80 00 00 H	

图 5.70 ID 筛选

接下来就是对此 ID 的数据长度进行从 1-15 的筛选，从 1 一直筛选到比如输入 10，就发现有异常的报文，如图 5.71 所示。此 DLC 为 10，而 CAN 的 DLC 最大值为 8。DLC 测试不通过。

序号	时间	状态	方向	帧类型	数据长度	帧ID	帧数据	事件
在此处输入...	在此处输入文字	在此处输入...	在此处输入...	在此处输入...	10	1B3	在此处输入文字	在此处
2,200	00:00:07.429 158	成功	发送	标准数据帧	8	1B3 H	01 80 00 00 00 80 00 00 H	
2,206	00:00:07.471 899	成功	发送	标准数据帧	8	1B3 H	00 80 00 00 00 80 00 00 H	
2,239	00:00:07.540 944	成功	发送	标准数据帧	8	1B3 H	01 80 00 00 00 80 00 00 H	
2,246	00:00:07.557 999	成功	发送	标准数据帧	8	1B3 H	00 80 00 00 00 80 00 00 H	
2,273	00:00:40.128 551	成功	发送	标准数据帧	10	1B3 H	00 80 00 00 00 80 00 00 H	
2,950	00:00:46.896 112	成功	发送	标准数据帧	8	1B3 H	01 80 00 00 00 80 00 00 H	
2,959	00:00:46.916 053	成功	发送	标准数据帧	8	1B3 H	00 80 00 00 00 80 00 00 H	
2,988	00:00:47.032 027	成功	发送	标准数据帧	8	1B3 H	01 80 00 00 00 80 00 00 H	
2,997	00:00:47.053 976	成功	发送	标准数据帧	8	1B3 H	00 80 00 00 00 80 00 00 H	

图 5.71 DLC 筛选

依次方法，对所有的 ID 进行筛选，如果都没有发现异常的报文，则测试通过。**试验评定：**依据 GMW14242，如果没有发现DLC 与实际报文数据不符，则通过测试。

5.2.4 报文标示符测试

试验目的：测试被测DUT 发出的报文标识符（ID）是否符合预期。

试验依据：ISO11898-1，要求在DUT在发送所有应用报文，都具备正确的ID。

试验原理：由 DUT 发送所具备的所有应用数据，由测试工具记录，并且分析发出的报文标识符（ID）是否都在预期的范围内。

试验接线：

本测试使用 CANScope-Pro 和 CANScope-StressZ。需要 DUT 上电后，初始化控制器后，发送 CAN 报文或者通过 CANScope 触发 DUT 发送报文。CANScope 勾选总线应答。如图 5.72 所示，进行测试连接。使能 CANScope-StressZ 的 RHL 为 60 欧。

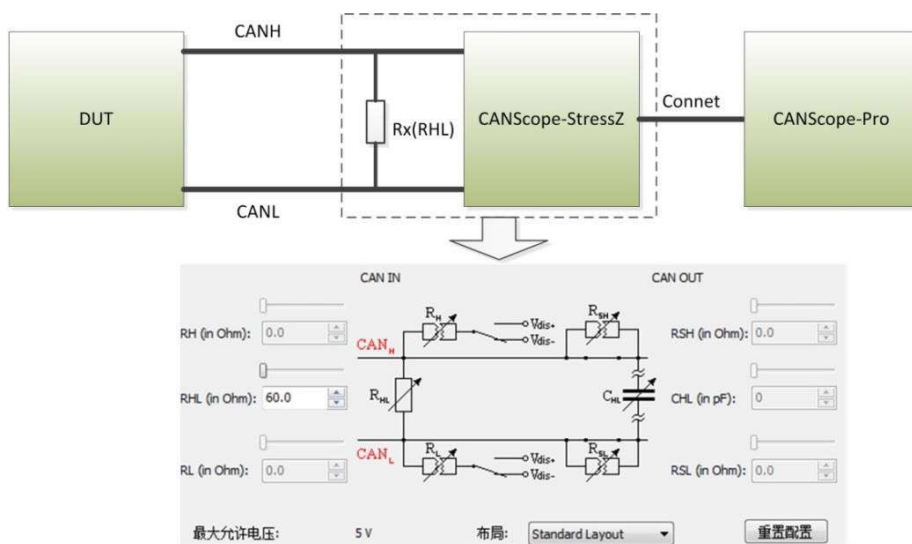


图 5.72 报文 ID 测试连接

试验步骤：

步骤 1：启动 CANScope-Pro，将 RHL 调节为 60 欧，设置好和被测 DUT 相同的波特率，点击开启。控制 DUT 能发出各种预期的报文，进行记录。最小记录时间为 1 分钟。

步骤 2：将保存下来的报文点击帧统计，观察是否有异常 ID 出现，如图 5.73 所示。在某个应用的CAN 网络中出现一些 60FH、610H、632H 的 SDO 报文，不是我们预期的。所以这个测试不通过。

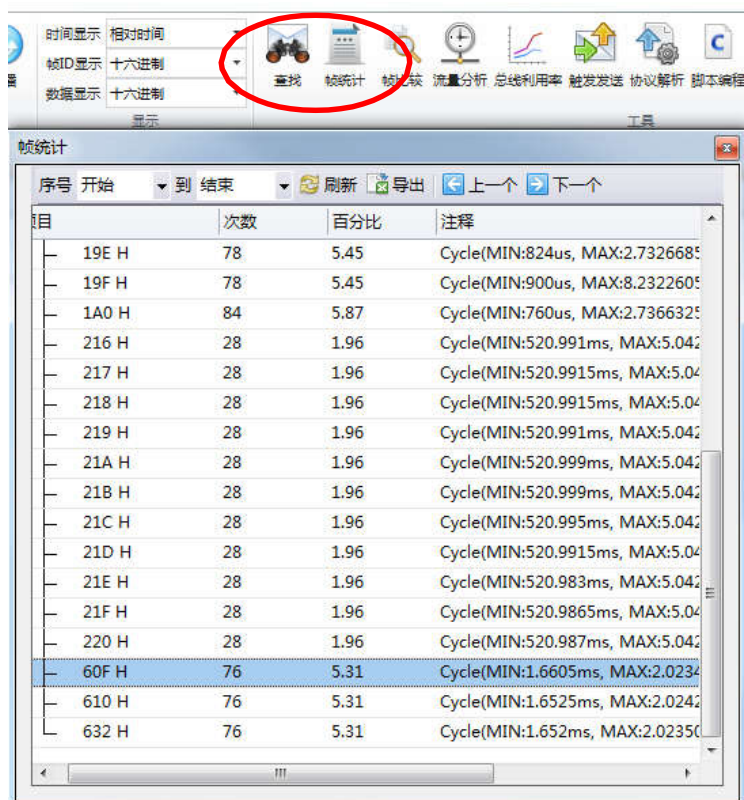


图 5.73 报文 ID 测试

试验评定：依据 ISO11898-1，如果没有发现 ID 与实际预期报文数据不符，则通过测试。

5.2.5 报文发送方式测试

试验目的：测试被测DUT的发送方式是否为正常发送（可自动重发）。

试验依据：ISO11898-1，应使用正常发送方式。CAN控制器具备正常发送和单次发送的模式，在CAN应用中不可使用单次发送。

试验原理：由 DUT 发送所具备的应用数据，由测试工具进行干扰，观察 DUT 的发送方式为正常发送（可以重发）还是单次发送（不重发）。

试验接线：

本测试使用 CANScope-Pro 和 CANScope-StressZ。需要 DUT 上电后，初始化控制器后，发送 CAN 报文或者通过 CANScope 触发 DUT 发送报文。CANScope 勾选总线应答。如图 5.74 所示，进行测试连接。使能 CANScope-StressZ 的 RHL 为 60 欧。

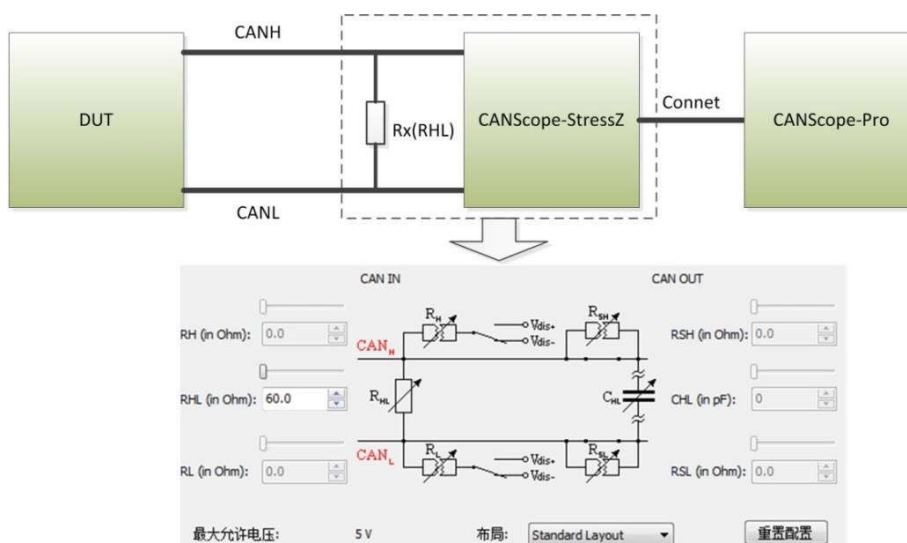


图 5.74 报文发送方式测试连接

试验步骤:

步骤 1: 启动 CANScope-Pro, 将 RHL 调节为 60 欧, 设置好和被测 DUT 相同的波特率, 点击开启。控制 DUT 能发出各种预期的报文 (注意连续相同的 ID 间隔不得小于 1S)。

步骤 2: 打开 CANScope 的错误与干扰, 启用接收干扰, 偏移时间 0, 持续时间 100。勾选帧 ID 匹配, 将要某个要进行干扰帧 ID 填入帧 ID 匹配, 填入同样的数值到掩码。点击应用。如图 5.75 所示。为只干扰 001H 这个 ID 的报文。

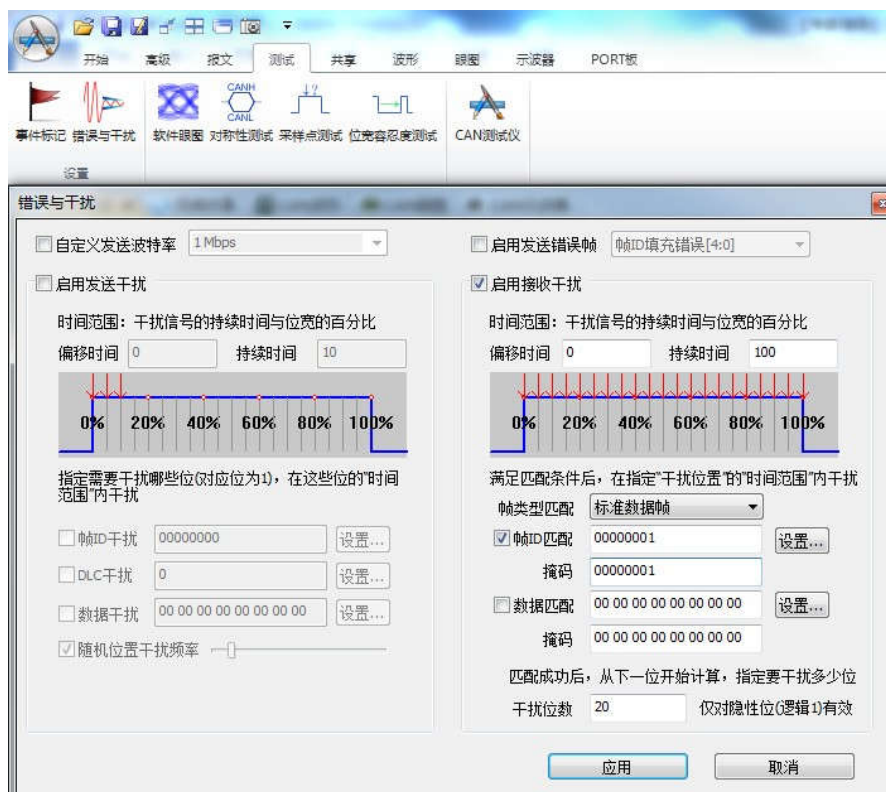


图 5.75 设置接收干扰

步骤 3: 通过 DUT 发送报文，从 CANScope 软件上看到有错误帧后，点击停止。观察错误帧，如图 5.76 所示，通过错误帧的 CAN 波形看到，错误帧的 ID 是 001H，而且数量很多，将时间显示设置为增量时间，观察红色错误帧之间的增量时间非常短（此波特率下正常 1 帧时间以内），说明 DUT 被干扰之后，有进行正常的自动重发。DUT 的发送方式为正常发送。

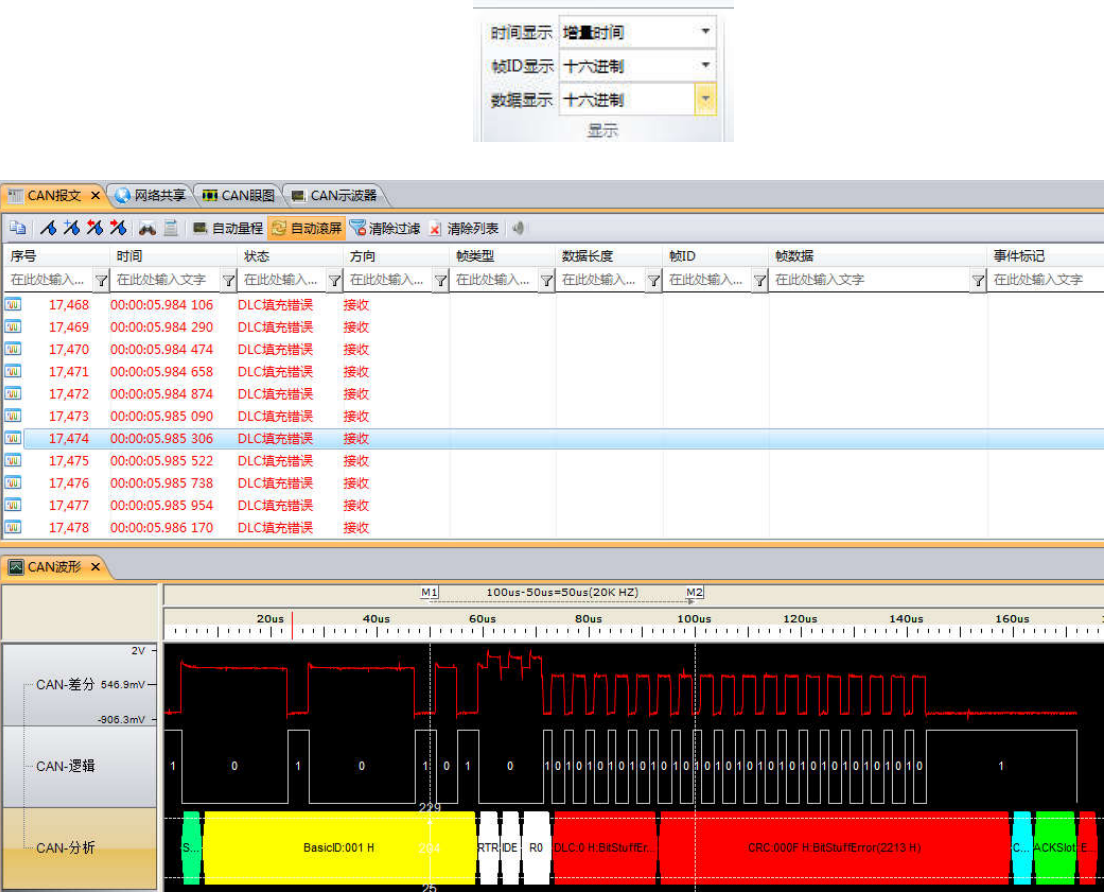


图 5.76 正常发送的 DUT 被干扰后的重发

如果错误帧只有 1 帧，在 1S 内都没有错误帧，然后就是正常的，说明被测 DUT 是单次发送模式。如图 5.77 所示。

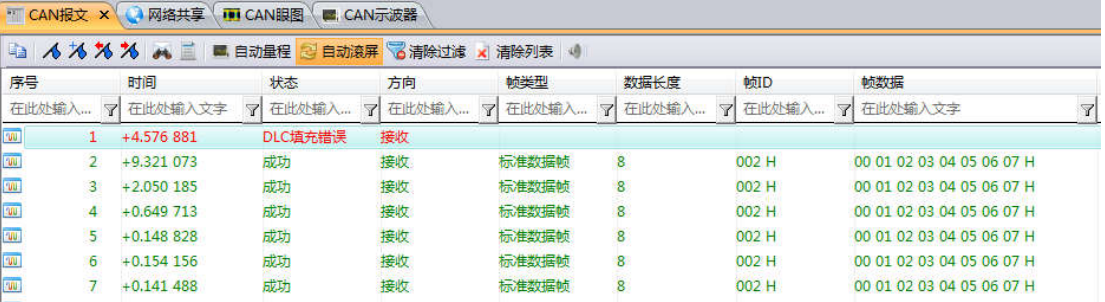


图 5.77 单次发送的 DUT 被干扰后的现象

试验评定: 依据 ISO11898-1，测试结果为 DUT 发送方式为正常发送，则通过测试。

5.2.6 总线负载压力测试

试验目的：测试被测DUT 在各种总线负载下是否能正常运行。

试验依据： GMW14242，要求在DUT在所有负载条件下，能正常运行并且不会死机。

试验原理：由测试设备制造各种负载条件下的情况，测试 DUT 是否还可以将正常的应⤿数据发出。测试报⤿如表 5.10 所示。每个报⤿产生按 10%、30%、50%、70%、90%的负载率，观察被测 DUT 发出的应⤿数据是否依然正常。

表 5.10 测试报⤿

ID	Data Length Code (DLC)	Priority
\$111	0	High
\$7FF	8	Low

试验接线：

本测试使用 CANScope-Pro 和 CANScope-StressZ。需要 DUT 上电后，初始化控制器后，发送 CAN 报⤿或者通过 CANScope 触发 DUT 发送报⤿。CANScope 勾选总线应⤿。如图 5.78 所示，进行测试连接。使能 CANScope-StressZ 的 RHL 为 60 欧。

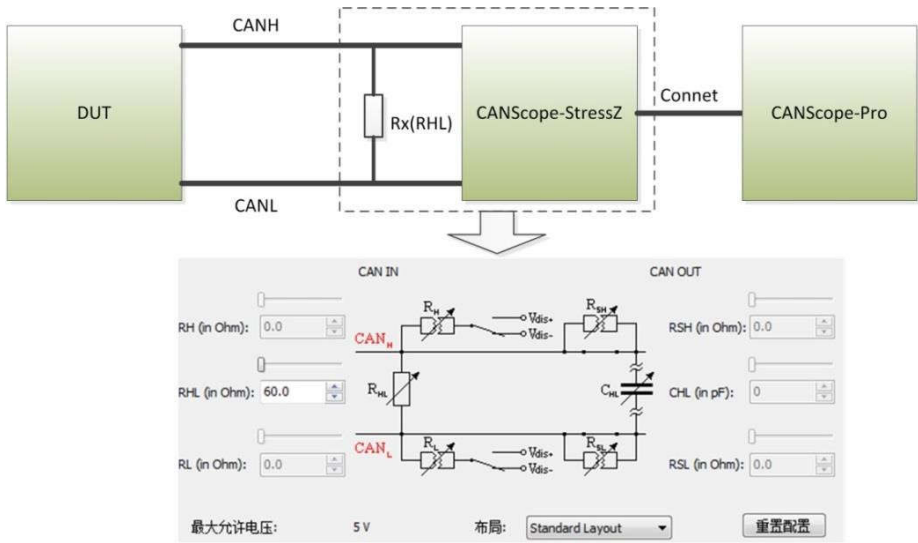


图 5.78 总线负载测试连接

试验步骤：

步骤 1：启动 CANScope-Pro，将 RHL 调节为 60 欧，设置好和被测 DUT 相同的波特率，点击开启。控制 DUT 能发出各种预期的报⤿。

步骤 2：打开 CANScope 的报⤿界面和“总线负载率”界面，发送 ID 填入 111H，DLC 为 0，发送次数为无限。分别调整重复次数，使总线负载率为 10%、30%、50%、70%、90%。使用 ID 筛选的方式，对应观察被测 DUT 的应⤿数据是否间隔时间是否正常。如图 5.79 所示。为筛选出被测 DUT 发出的 181H 的 ID，通过增量时间的方式观察是否有异常。

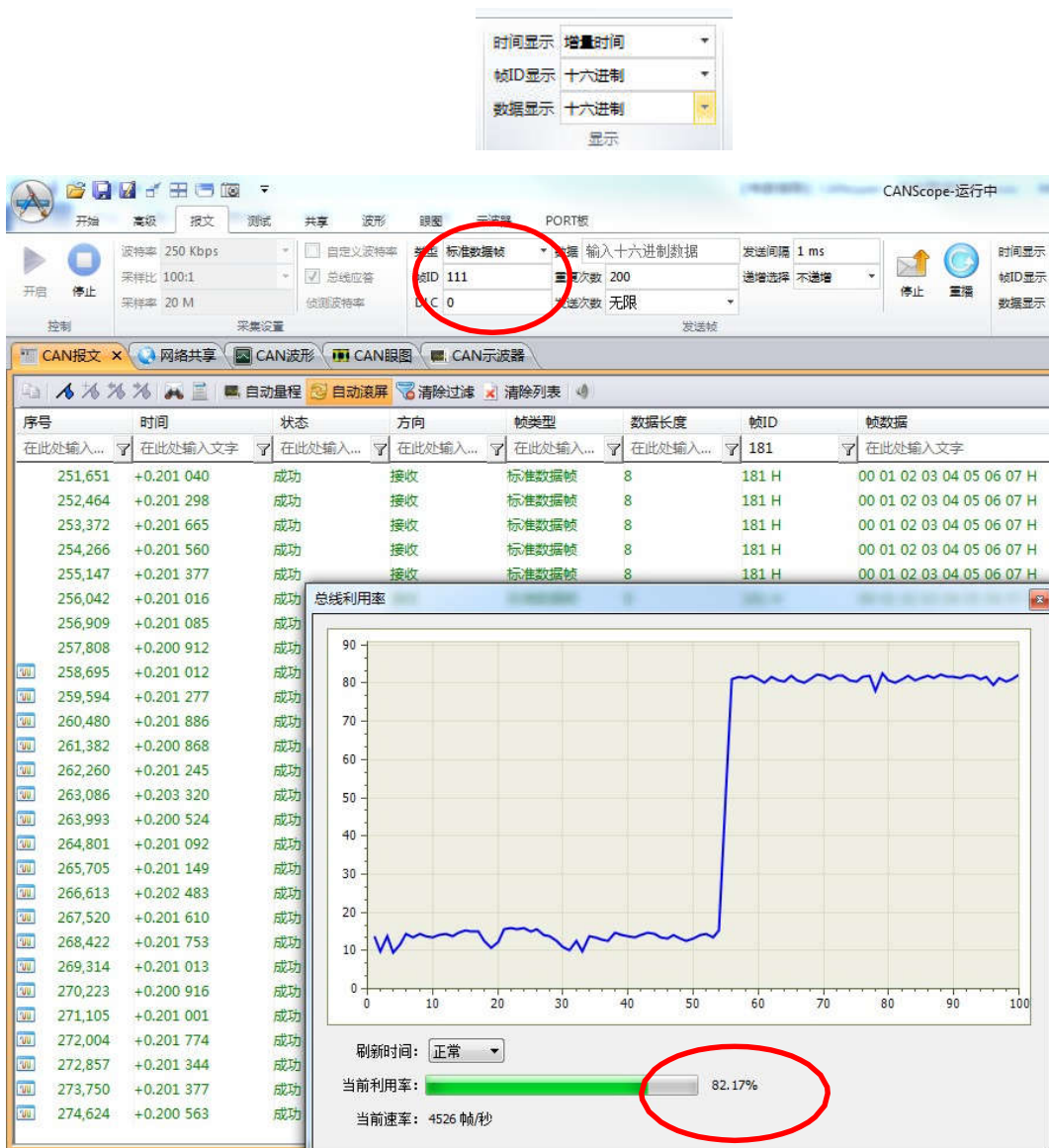


图 5.79 高优先级负载压力测试

步骤 2: 打开CANScope 的报文界面和“总线负载率”界面，发送 ID 填入 7FFH，DLC 为 8，发送次数为无限。分别调整重复次数，使总线负载率为 10%、30%、50%、70%、90%。使用 ID 筛选的方式，对应观察被测 DUT 的应用数据是否间隔时间是否正常。如图 5.80 所示。为筛选出被测 DUT 发出的 181H 的 ID，通过增量时间的方式观察是否有异常。



图 5.80 低优先级负载压力测试

试验评定: 依据 GMW14242，测试结果为DUT 在 10%、30%、50%、70%、90%负载下均可以正常工作，并且不会因为负载过高而死机，则通过测试。

5.3 CAN 应用层一致性测试

试验前需要确认 CANScope-Pro 供电工作正常，DUT（被测设备）没有安装终端电阻，使能总线应答，如图 5.60 图 5.1 所示。每个测试选项都要先启动 CANScope 再启动 DUT（被测设备），保证测试过程完整性。下文中的试验原理均为标准文档的截图与摘抄。

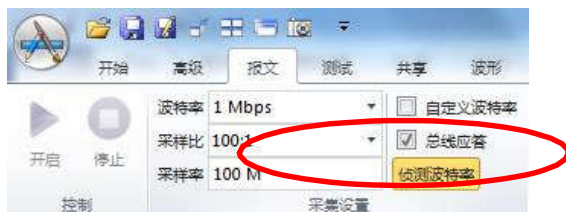


图 5.81 使能总线应答方式

5.3.1 报文发送周期测试

试验目的：测试被测DUT 期性报文的间隔时间是否小于允许误差。

试验依据：DS301，要求在DUT周期性报文间隔时间误差小于20%。

试验原理：由测试设备触发被测 DUT 进入周期性发送状态，测试设备接收 1 分钟报文后，进行统计，查看是否有间隔超过 20%的误差的报文。

试验接线：

本测试使用 CANScope-Pro 和 CANScope-StressZ。需要 DUT 上电后，初始化控制器后，发送 CAN 报文或者通过 CANScope 触发 DUT 发送报文。CANScope 勾选总线应答。如图 5.82 所示，进行测试连接。使能 CANScope-StressZ 的 RHL 为 60 欧。

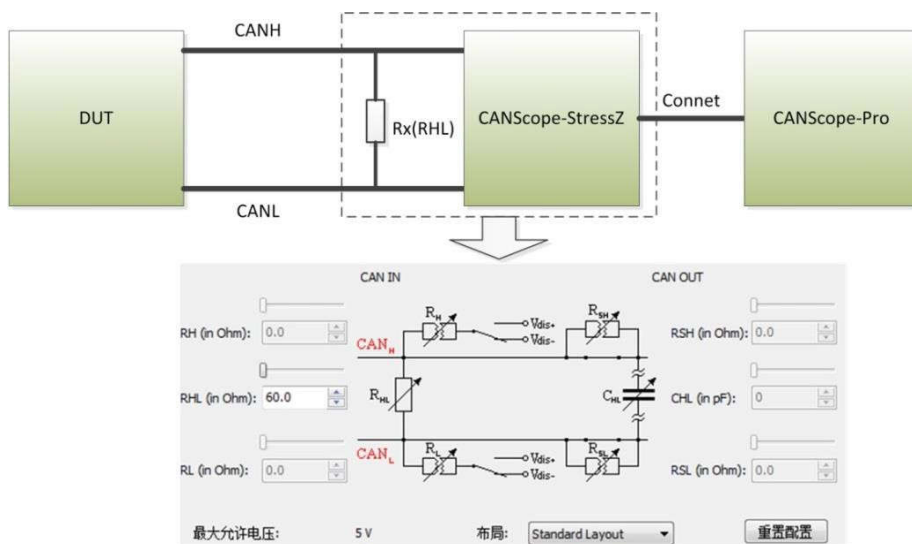


图 5.82 报文发送周期测试连接

试验步骤：

步骤 1：启动 CANScope-Pro，将 RHL 调节为 60 欧，设置好和被测 DUT 相同的波特率，点击开启。控制 DUT 能发出各种预期的报文。

步骤 2：接收 DUT 的周期性报文 1 分钟，然后点击停止 CANScope，打开“报文周期”的插件，如图 5.83 所示，选择误差率为 20%，点击开始统计。

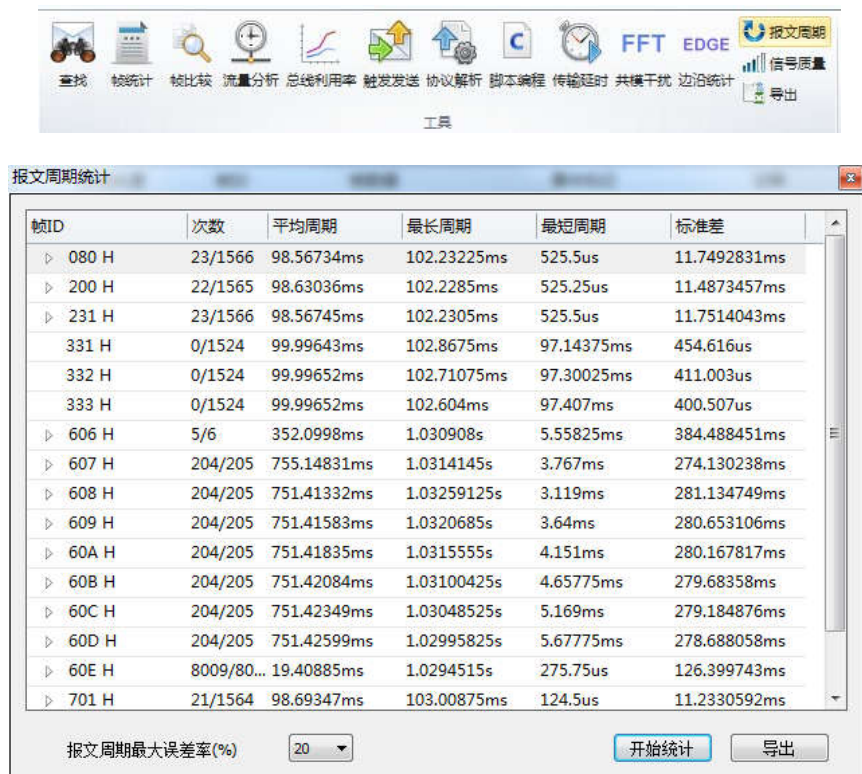


图 5.83 报文周期插件

步骤 3: 对于周期性报文的误差进行分析。如 080H 这个 ID 的周期报文，发送 1566 次中，平均周期 98.56ms，有 23 次超过了 20% 的误差。可展开查看细节。如图 5.84 所示。

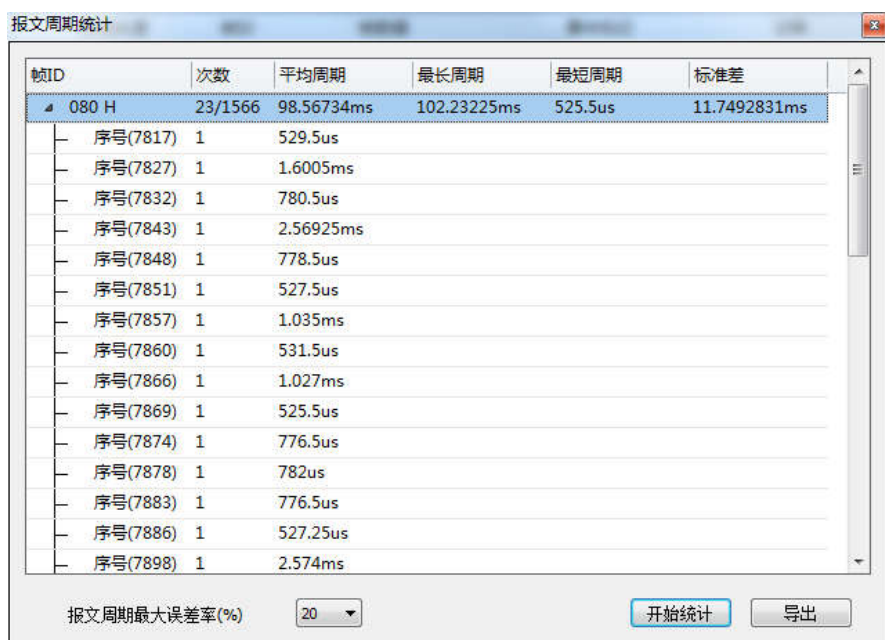


图 5.84 展开观察周期异常的报文

试验评定: DS301, DUT 的周期性报文间隔时间误差小于 20%，则通过测试。

5.3.2 BusOff 后的处理

试验目的：测试被测DUT 在 BusOff（总线关闭）后的恢复时间。

试验依据：GMW14242，要求在DUT在Busoff后快恢复时间符合要求。如果错误持续，将在10次快恢复后执行慢恢复时间，如表 5.11所示。

表 5.11 BusOff 后的恢复时间

恢复类型	测试参数
快恢复	最快 128×11bit 的时间
	最慢 128×133bit 的时间
慢恢复	160ms 高速 CAN >500kbps
	1s 中速 CAN 250-100kbps
	3.7S 低速 CAN <83.3kbps

试验原理：由测试设备触发 DUT 发送报文，然后制造干扰（CANH 对地短路、破坏帧内容等），导致 DUT 的报文发送失败，在导致连续 32 次发送失败后，DUT 即进入 BusOff 状态。测量到下一次 DUT 发送报文的时间间隔即为 BusOff 后的恢复时间。

试验接线：

本测试使用 CANScope-Pro 和 CANScope-StressZ。需要 DUT 上电后，初始化控制器后，发送 CAN 报文或者通过 CANScope 触发 DUT 发送报文。CANScope 勾选总线应答。如图 5.85 所示，进行测试连接。使能 CANScope-StressZ 的 RHL 为 60 欧。

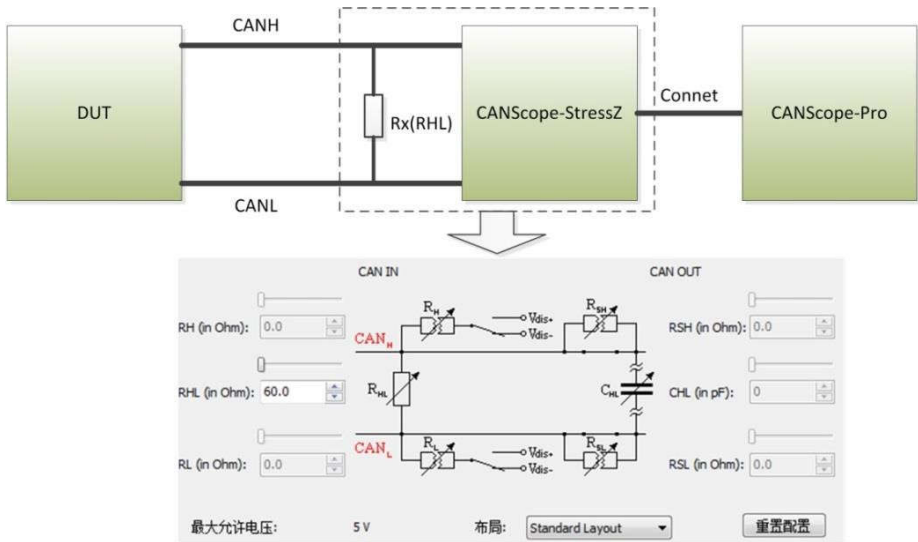


图 5.85 BusOff 后的处理测试连接

试验步骤：

- 步骤 1：**启动 CANScope-Pro，将 RHL 调节为 60 欧，设置好和被测 DUT 相同的波特率，点击开启。控制 DUT 能发出各种预期的报文，并且能被 CANScope-Pro 收到。
- 步骤 2：**打开 CANScope-Pro 的“错误与干扰”，将“接受干扰”使能，并且将“持续时间”

改为 100，点击“应用”。如图 5.86 所示。此时即可实现较高的干扰强度，保证每一个DUT 发出的报文都可以被干扰。

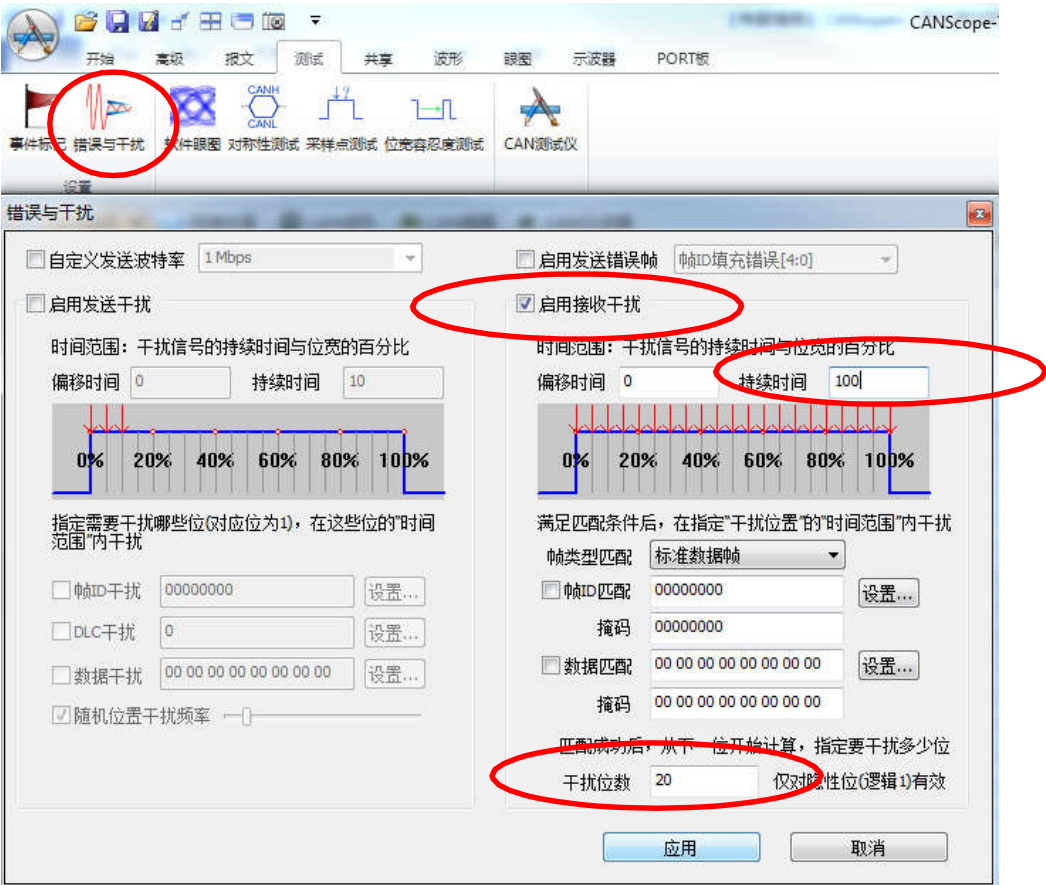


图 5.86 启用接收干扰

步骤 2：干扰一段时间后，点击报文界面的“停止”。打开 CANScope-Pro 的“流量分析”，找到某一个连续 32 个干扰结果，如图 5.87 所示。

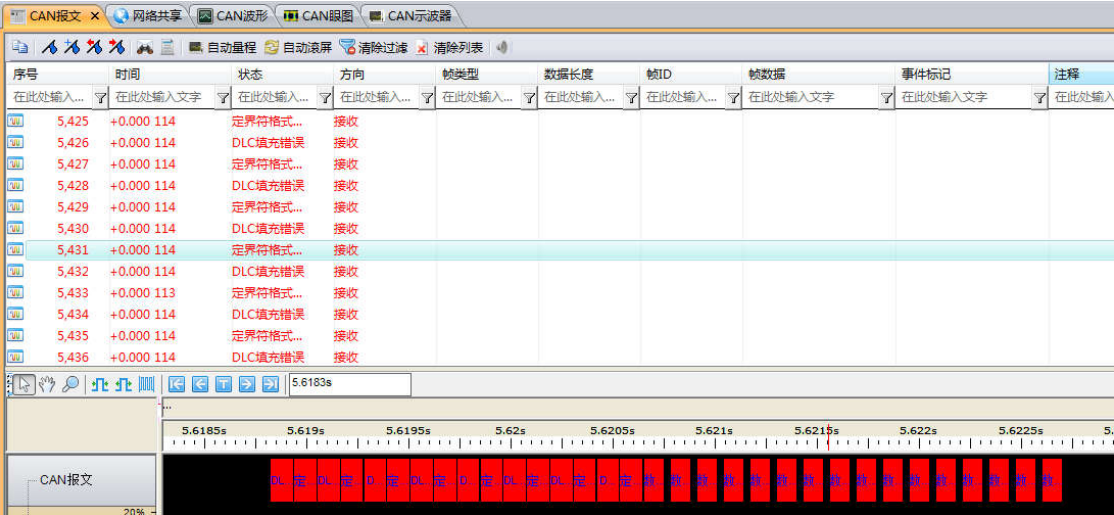


图 5.87 流量分析干扰结果

然后将流量分析界面缩小，测量两个干扰团之间的时间间隔，即为 BusOff 后的恢复时间。如图 5.88 所示。

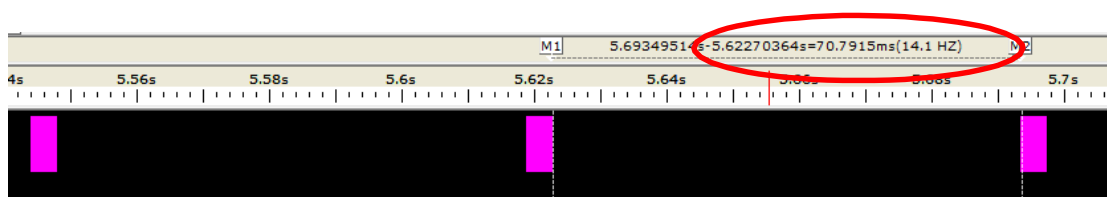


图 5.88 BusOff 后的恢复时间

试验评定：GMW14242， DUT 在 Busoff 后快恢复时间符合要求。如果错误持续，将在 10 次快恢复后执行慢恢复时间，则通过测试。