

# SPI 时序分析软件用户手册

ZDS4000/ZDS5000/ZUS6000 系列示波器 UM01010101 1.03 Date:2024/7/26

类别	内容
关键词	SPI、时序分析、参数测量
摘要	主要介绍ZDS4000 Plus/ZDS5000/ZUS6000示波器上SPI时序分析软件使用，及各项参数的测试原理

## 修订历史

版本	日期	原因
V1.00	2016/11/01	完成初稿
V1.01	2017/08/16	增加信号质量测试项（毛刺、过冲）说明，增加统计功能说明，增加配置文件的格式解释，更新 UI 截图。
V1.02	2019/03/13	更新文档页眉页脚、“销售与服务网络”内容和新增“免责声明”内容
V1.03	2024/7/18	1、更新文档页眉页脚 2、增加 ZDS5000 和 ZUS6000 测试说明 3、修正参数表的 $t_{v.SDO}$ 标准 4、更新 $t_{v.SDO}$ 和 $t_{HD.SDO}$ 内容描述

## 目 录

1. 简介.....	1
2. 快速入门.....	4
2.1 简介.....	4
2.2 ZDS4000 Plus 和 ZDS5000 系列示波器具体使用步骤.....	4
2.2.1 SPI 信号的接入与捕获.....	4
2.2.2 SPI 信号的调节与解码.....	4
2.2.3 SPI 信号的时序分析测试.....	6
2.2.4 SPI 时序测试数据细节分析.....	9
2.2.5 导出报表.....	10
2.3 ZUS6000 系列示波器具体使用步骤.....	12
2.3.1 SPI 信号的接入与捕获.....	12
2.3.2 SPI 信号的调节与解码.....	12
2.3.3 SPI 信号的时序分析测试.....	14
2.3.4 SPI 时序测试数据细节分析.....	16
2.3.5 导出报表.....	17
3. SPI 参数测量项目.....	19
3.1 基本项目解析.....	19
3.2 信号质量项目解析.....	22
3.2.1 毛刺的判定原理.....	22
3.2.2 过冲判定原理.....	23
4. 快速切换测试参数.....	24
4.1 ZDS4000/5000 系列示波器 ini 文件.....	24
4.1.1 ini 文件格式.....	24
4.1.2 ini 文件配置参数说明.....	25
4.2 ZUS6000 系列示波器 ini 文件.....	26
4.2.1 ini 文件格式.....	26
4.2.2 ini 文件配置参数说明.....	26
5. 长时间统计功能.....	29
5.1 停止条件.....	29
5.2 失败操作.....	29
5.3 历史统计.....	29
6. SPI 总线介绍.....	31
6.1 概述.....	31
6.2 SPI 协议.....	31
6.2.1 SPI 的信号线.....	31
7. 免责声明.....	32

## 1. 简介

致远仪器 ZDS4000/ZDS5000/ZUS6000 系列示波器支持 SPI 时序分析软件，它是一款能够自动测试 SPI 总线电气特性的插件。它能够在极短的时间内完成总线信号的 DC 特性和 AC 特性分析，并与器件手册标称参数做对比，直接输出测试结果（Pass/Fail），同时支持报表导出。

该插件适用于所有应用 SPI 协议时序分析测试。能够在几分钟内完成传统方案 30~60 分钟的工作量，软件测试界面如图 1.1 所示，测试项目如表 1.1 所列。

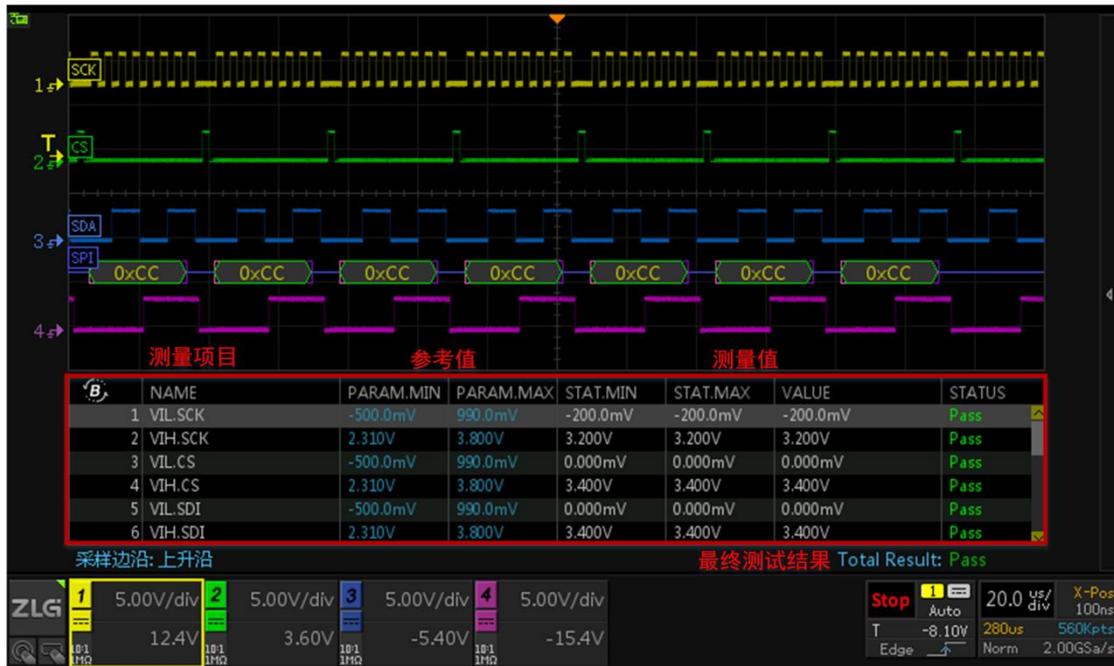


图 1.1 SPI 时序分析界面

### 主要特点

- 支持（上升沿/下降沿）SPI 协议时序分析
- 支持电压、毛刺等信号质量测试
- 支持时钟频率筛选，适用于双速率（高/低速）SPI 总线时序分析
- 基于全屏统计，直接定位最差时序波形
- 支持长时间全自动统计测试，轻松验证 SPI 稳定性
- 支持多种测试条件快速切换，不同被测试设备无缝对应
- 自动生成测试报告（点击测量项可跳转到对应的波形截图）

表 1.1 测量项目

测量项目	描述	测量项目	描述
V <sub>IL</sub>	信号的低电平电压	t <sub>HD.CS</sub>	片选信号保持时间
V <sub>IH</sub>	信号的高电平电压	t <sub>SU.SDI</sub>	数据输入建立时间
Freq	时钟频率	t <sub>HD.SDI</sub>	数据输入保持时间
t <sub>r</sub>	时钟上升时间	t <sub>VSDO</sub>	前一数据的有效时间

续上表

测量项目	描述	测量项目	描述
$t_F$	时钟下降时间	$t_{HD.SDO}$	前一数据的保持时间
$t_{LOW}$	时钟低电平时间	$t_{DIS.SDO}$	CS 无效到数据关闭的最小时间
$t_{HIGH}$	时钟高电平时间	质量测试	毛刺、过冲等测试
$t_{SU:CS}$	片选信号建立时间		

## 测试报告

测试报告可直接导出，支持网页报表“html”和“CSV”两个数据格式，如图 1.2 所示为网页报表部分测试项的截图示例。



## SPI Test Report

Overall Result: **Pass**

Device Name	ZDS5054Pro
SW Version	4.0.2.230615a
Serial Number	8208901152207210011
Test Date	2023-07-20 14:05:15
Test Result	Total: 19, Pass: 19, Fail: 0

## Scope Report

INDEX	NAME	PARAM.MIN	PARAM.MAX	STAT.MIN	STAT.MAX	VALUE	STATUS
1	VIL_SCK	-500.0mV	990.0mV	-200.0mV	-200.0mV	-200.0mV	Pass
2	VIH_SCK	2.310V	3.800V	3.200V	3.200V	3.200V	Pass
3	VIL_CS	-500.0mV	990.0mV	0.000mV	0.000mV	0.000mV	Pass
4	VIH_CS	2.310V	3.800V	3.400V	3.400V	3.400V	Pass
5	VIL_SDI	-500.0mV	990.0mV	0.000mV	0.000mV	0.000mV	Pass
6	VIH_SDI	2.310V	3.800V	3.400V	3.400V	3.400V	Pass
7	VIL_SDO	-500.0mV	990.0mV	0.000mV	0.000mV	0.000mV	Pass
8	VIH_SDO	2.310V	3.800V	3.400V	3.400V	3.400V	Pass
9	Freq_SCK	---	---	250.0kHz	250.0kHz	250.0kHz	Pass
10	tHIGH_SCK(MIN)	5.000ns	---	2.001us	2.003us	2.001us	Pass
11	tLOW_SCK(MIN)	5.000ns	---	1.990us	1.992us	1.990us	Pass
12	tR_SCK(MAX)	---	2.000us	2.500ns	3.500ns	3.500ns	Pass
13	tF_SCK(MAX)	---	2.000us	3.500ns	5.500ns	5.500ns	Pass
14	tSU_CS(MIN)	5.000ns	---	1.990us	1.990us	1.990us	Pass
15	tHD_CS(MIN)	2.000ns	---	1.991us	1.994us	1.991us	Pass
16	tSU_SDI(MIN)	2.000ns	---	1.990us	1.997us	1.990us	Pass
17	tHD_SDI(MIN)	0.000ns	---	1.999us	2.003us	1.999us	Pass
18	tV_SDO(MAX)	---	1.000us	993.5ns	1.000us	1.000us	Pass
19	tHD_SDO(MIN)	0.000ns	---	995.5ns	1.001us	995.5ns	Pass

采样边沿:上升沿

Total Result: **Pass**

## Report Detail

[Top](#) [Next](#)

VIL\_SCK, VIH\_SCK: SCK输入电压, 通道1



图 1.2 网页报表测试报告

## 2. 快速入门

### 2.1 简介

快速入门主要包括以下几点内容：

- 1) SPI 信号的接入与捕获
- 2) SPI 信号的调节与解码
- 3) SPI 信号的时序分析
- 4) SPI 信号的细节分析（ZOOM 模式）
- 5) SPI 信号时序分析数据导出报表

### 2.2 ZDS4000 Plus 和 ZDS5000 系列示波器具体使用步骤

#### 2.2.1 SPI 信号的接入与捕获

- 将 SPI 的时钟、片选信源和数据信源按需分别接到示波器输入通道中，如图 2.1 所示，点击【Auto Setup】一键捕获波形，让波形以较好的效果显示在界面；
- 点击【Auto/Normal】将【触发方式】由自动“Auto”切换为普通“Normal”，使信号在默认上升沿触发方式下进行触发和显示；

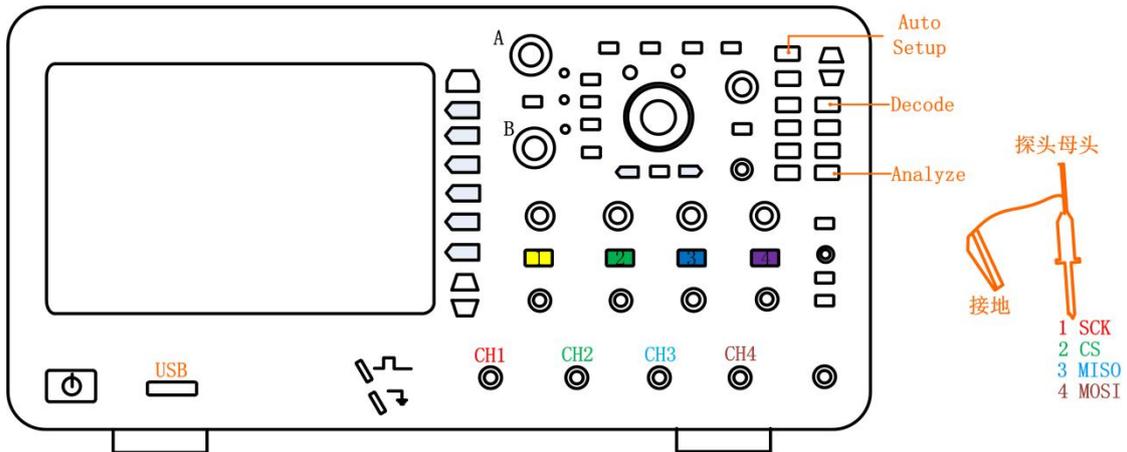


图 2.1 信号接入

#### 2.2.2 SPI 信号的调节与解码

- 此时可调节水平时基旋钮，让屏幕中出现较多帧的信号，也可调节水平偏移旋钮将信号调至屏幕中央。或使用垂直控制旋钮将信号上下偏移调至合适的位置和合适的高度。
- 点击示波器面板上【Decode】键，进入解码界面，如图 2.3 所示；
- 点击【解码类型】旋转旋钮 A 选中协议，短按旋钮 A 即可将设置为 SPI，点击【协议触发】为“ON”（当对协议进行触发设置后，此处固定为 ON），此操作其实就是将触发类型设置为 SPI；
- 用户按下【协议参数】软键，可以对协议参数进行设置，旋转旋钮 A 可选择参数，短按旋钮 A 后可进行参数修改，其中包括“总线设置”与“触发设置”，如图 2.2 所示。

注：协议解码不是必须的，不会影响时序分析结果，因此该步骤若无需要可以跳过。



图 2.2 SPI 解码参数设置

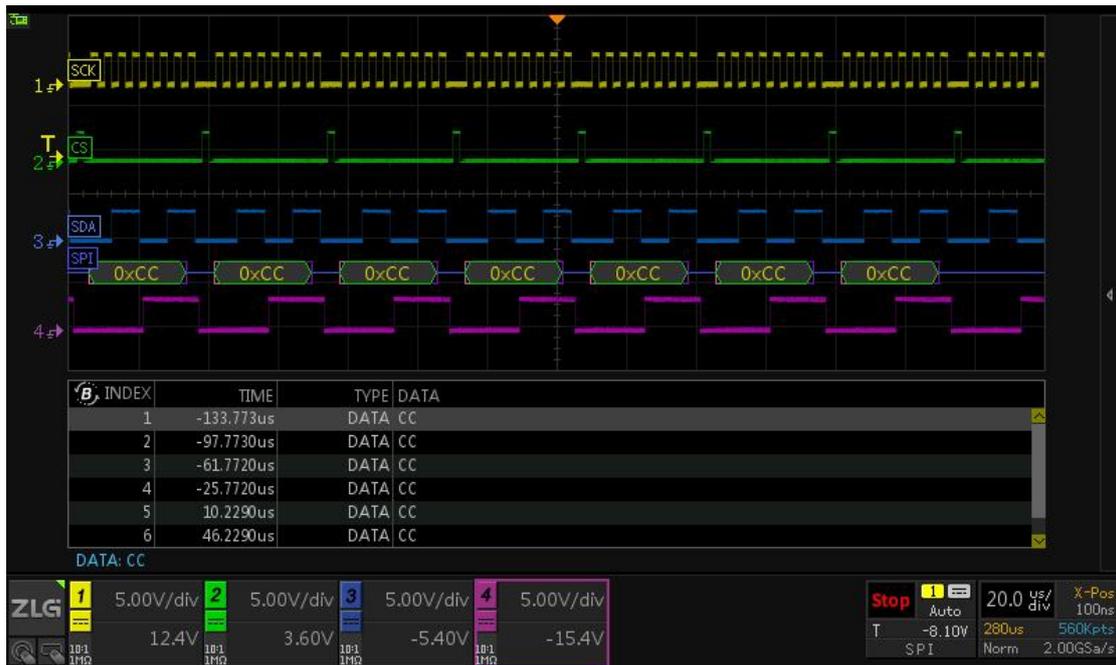


图 2.3 SPI 解码

## (1) 工作方式

SPI 总线有四种工作方式：

- {POL,PHA}={0,0}：时钟空闲时为低电平，上升沿采样；
- {POL,PHA}={0,1}：时钟空闲时为低电平，下降沿采样；
- {POL,PHA}={1,0}：时钟空闲时为高电平，下降沿采样；
- {POL,PHA}={1,1}：时钟空闲时为高电平，上升沿采样；

POL 是用来决定 SCK 时钟信号空闲时的电平，POL=0 空闲电平为低，POL=1 空闲电平为高。

PHA 是用来决定采样时刻的，PHA=0 表示在每个周期第一个时钟沿采样，PHA=1 表示在每个周期的第二个时钟沿采样。

## (2) 传输模式

SPI 接口是 Motorola 首先提出的全双工三线同步串行外围接口，主要有 MSB 和 LSB 两种传输模式。

MSB：表示数据按位传输，高位在前，低位在后；

LSB：表示数据按位传输，低位在前，高位在后；

### (3) 数据长度

数据长度表示分割的每个数据的位宽，用户可自行设置，范围 4bit~32bit。

## 2.2.3 SPI 信号的时序分析测试

- 点击面板上的【Analyze】按键，如图 2.1 所示。
- 进入分析界面，选择【SPI 时序分析】进入时序分析界面，打开【功能使能】为“ON”，此时可进行时序分析参数设置。
- 点击【参数设置】，进入参数设置界面，如图 2.4 所示。界面中分为“总线设置”和“参数设置”两种类型。

通过旋钮A进行选择操作，按下进入相应设置。

总线设置	SCK信源 CH1	CS信源 CH2	SDI信源 CH3	SDO信源 CH4	采样边沿 上升沿
	总线电平(V) 3.30	V <sub>IH</sub> (MAX) 3.80	V <sub>IH</sub> (MIN) 2.31	V <sub>IL</sub> (MAX) 0.99	V <sub>IL</sub> (MIN) -0.50
参数设置	t <sub>HIGH</sub> (MIN) 5.00ns	t <sub>LOW</sub> (MIN) 5.00ns	t <sub>R</sub> (MAX) 2.00us	t <sub>F</sub> (MAX) 2.00us	t <sub>SU.CS</sub> (MIN) 5.00ns
	t <sub>HD.CS</sub> (MIN) 2.00ns	t <sub>SU.SDI</sub> (MIN) 2.00ns	t <sub>HD.SDI</sub> (MIN) 0.00ns	t <sub>V.SDO</sub> (MAX) 1.00us	t <sub>HD.SDO</sub> (MIN) 0.00ns
	t <sub>DIS.SDO</sub> (MIN) OFF	速度过滤 OFF	质量测试 OFF	SCK低阈值 30%	SCK高阈值 70%
	CS低阈值 30%	CS高阈值 70%	SDI低阈值 30%	SDI高阈值 70%	SDO低阈值 30%
	SDO高阈值 70%	恢复默认			

图 2.4 参数设置界面

### 总线设置

总线设置项目如图 2.5 所示：

通过旋钮A进行选择操作，按下进入相应设置。

总线设置	SCK信源 CH1	CS信源 CH2	SDI信源 CH3	SDO信源 CH4	采样边沿 上升沿
	总线电平(V) 3.30	V <sub>IH</sub> (MAX) 3.80	V <sub>IH</sub> (MIN) 2.31	V <sub>IL</sub> (MAX) 0.99	V <sub>IL</sub> (MIN) -0.50

图 2.5 总线设置

- **信源选择:** 信号的信源选择有 CH1、CH2、CH3、CH4 和 NONE, 其中 SCK 信源无 NONE 选项, 如图 2.6 所示。

通过旋钮A进行选择操作, 按下进入相应设置。

总线设置	SCK信源	CS信源	SDI信源	SDO信源	采样边沿
	CH1	NONE	NONE	NONE	上升沿
	总线电平(V)	$V_{IH} (MAX)$	$V_{IH} (MIN)$	$V_{IL} (MAX)$	$V_{IL} (MIN)$
	3.30	3.80	2.31	0.99	-0.50
参数设置	$t_{HIGH} (MIN)$	$t_{LOW} (MIN)$	$t_R (MAX)$	$t_F (MAX)$	速度过滤
	5.00ns	5.00ns	2.00us	2.00us	OFF
	质量测试	SCK低阈值	SCK高阈值	CS低阈值	CS高阈值
	OFF	30%	70%	30%	70%
	SDI低阈值	SDI高阈值	SDO低阈值	SDO高阈值	恢复默认
	30%	70%	30%	70%	

图 2.6 信源选择

当 CS、MISO 和 MOSI 均选择 NONE 时, 就只测 SCK 相关的测试项, 如图 2.7 所示。

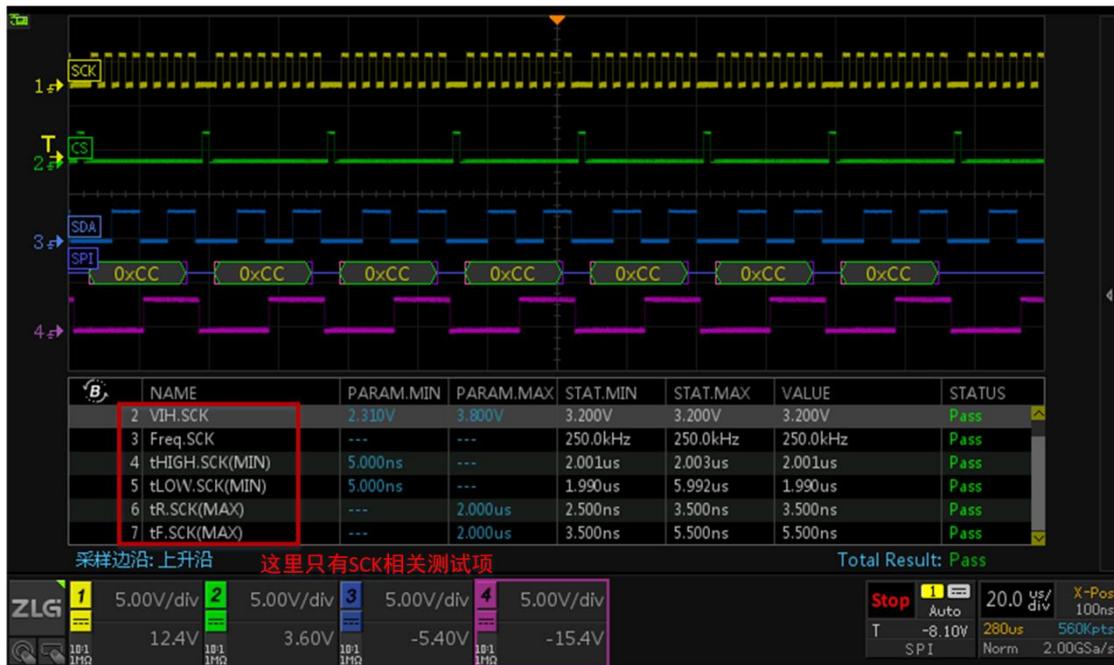


图 2.7 SCK 测试项

- **采样边沿:** 采样边沿分为上升沿和下降沿两种方式。
- **总线电平:** 即输入电压  $V_{cc}$ , 一般的 SPI 输入电压为 3.30V, 若为 1.8V 或其他输入电压值也可通过旋钮 A 对其进行调节。总线电平  $V_{cc}$  的调节将会影响  $V_{IL}$  和  $V_{IH}$  的值,  $V_{cc}$  与  $V_{IL}$ 、 $V_{IH}$  存在如表 2.1 所列的关系。
- **输入的高电平/低电平电压 ( $V_{IH}$ 、 $V_{IL}$ ):** 两者输入的值由  $V_{cc}$  决定, 满足表 2.1 所列的关系, 也可以通过旋钮 A 对其进行调节, 它们值的变化将不会影响  $V_{cc}$  值的变化。

表 2.1 V<sub>CC</sub> 与 V<sub>IL</sub>、V<sub>IH</sub> 的关系

项目	描述	Min	Max	单位
V <sub>IL</sub>	输入的低电平范围	-0.5	0.3×V <sub>CC</sub>	V
V <sub>IH</sub>	输入的高电平范围	0.7×V <sub>CC</sub>	V <sub>CC</sub> +0.5	V

## 参数设置

参数设置项目如图 2.8 所示，每一项参数都有特定的标准，具体的标准可参考表 3.1 进行参数标准设置，若用户的标准与表中的有所差异，可通过旋转旋钮 A 对任何一个参数进行调节，若想恢复原有的默认设置，可通过旋钮 A 选择“恢复默认”即可。

注意：恢复默认设置只对参数设置有效对总线设置无效。

参数 设置	t <sub>HIGH</sub> (MIN)	t <sub>LOW</sub> (MIN)	t <sub>R</sub> (MAX)	t <sub>F</sub> (MAX)	t <sub>SU.CS</sub> (MIN)
	5.00ns	5.00ns	2.00us	2.00us	5.00ns
	t <sub>HD.CS</sub> (MIN)	t <sub>SU.SDI</sub> (MIN)	t <sub>HD.SDI</sub> (MIN)	t <sub>V.SDO</sub> (MAX)	t <sub>HD.SDO</sub> (MIN)
	2.00ns	2.00ns	0.00ns	1.00us	0.00ns
	A t <sub>DIS.SDO</sub> (MIN)	速度过滤	频率(min)	频率(max)	质量测试
B OFF	ON	10.0kHz	1.00MHz	OFF	
SCK低阈值	SCK高阈值	CS低阈值	CS高阈值	SDI低阈值	
30%	70%	30%	70%	30%	
SDI高阈值	SDO低阈值	SDO高阈值	恢复默认		
70%	30%	70%			

图 2.8 参数设置

- **t<sub>DIS.SDO</sub>(min)**: 指 CS 无效到数据关闭的最小时间，该部分为可选项，非标准定义，用户可根据实际情况自定义。在默认情况下，该选项是关闭的；需要时可以通过按 B 旋钮来开启或关闭该选项，当选项开启时，参考值可通过旋转 A 或 B 旋钮更改。
- **速度过滤**: 该部分为可选项，非标准定义，用户可根据实际情况自定义测试允许范围。当该项打开时，会出现两个参数，频率最小值和频率最大值，时序分析时，系统只会分析时钟信号的频率在这个范围内的波形帧，其它波形帧不做分析。注意：V<sub>IL</sub>、V<sub>IH</sub> 和过冲测试项不受此过滤限制，测试范围为全屏数据。

设置完参数后点击【返回】可查看到测试分析的结果，如下图 2.9 所示。



图 2.9 SPI 时序分析

## 2.2.4 SPI 时序测试数据细节分析

- 点击面板的“波形缩放”按键，可进入 ZOOM 模式，可将数据的细节进行放大分析，如图 2.10 所示。白色框窗口为可调窗口，缩放窗口的大小可通过水平时基旋钮进行调节。可针对信号的某一个细节进行放大查看分析。
- 通过观察测试表中的测量参数，若所测量的参数符合测试标准则通过测试，显示为“Pass”；
- 若不符合设定的标准则不通过测试，显示为“Fail”；
- 若测试表中显示“No Test”则表示找不到测试信号，此时可调整示波器水平时基，使示波器的屏幕上尽可能出现几帧甚至十几帧的波形，有利于对多点进行测试分析和比较。
- 在测试表的最下方将显示最终的整体测试效果，若完全通过测试则显示“Pass”，若有一项不通过测试，则为“Fail”，若测试中出现“No Test”无“Fail”，则为“Pass\*”。

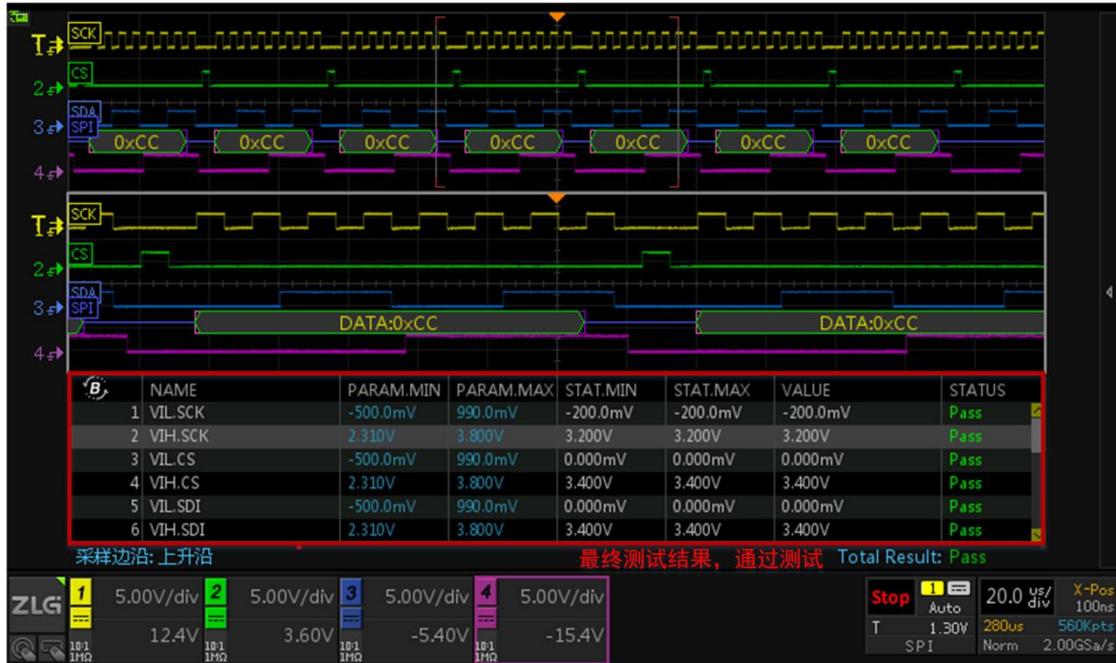


图 2.10 SPI 时序分析测试结果

- 在测试列表中旋转旋钮 B 可查看测试表中的参数测试结果，需要查看某一项参数测试细节可通过旋钮 B 选中后短按旋钮 B，此时屏幕中的缩放窗口将跳转至所选数据的测试部位，如图 2.11 所示。



图 2.11 数据分析

## 2.2.5 导出报表

测试完成后可对所测试的波形和数据进行导出。具体的导出步骤如下图 2.12 所示。导

出的“网页报表”文件可使用网页打开，如图 1.2 所示。导出的“CSV”文件可使用 Excel 打开。



图 2.12 文件导出步骤

## 2.3 ZUS6000 系列示波器具体使用步骤

### 2.3.1 SPI 信号的接入与捕获

- 将 SPI 的时钟、片选信源和数据信源按需分别接到示波器输入通道中，如图 2.13 所示，点击【Auto Setup】一键捕获波形，让波形以较好的效果显示在界面；
- 点击【Auto/Normal】将【触发方式】由自动“Auto”切换为普通“Normal”，使信号在默认上升沿触发方式下进行触发和显示；

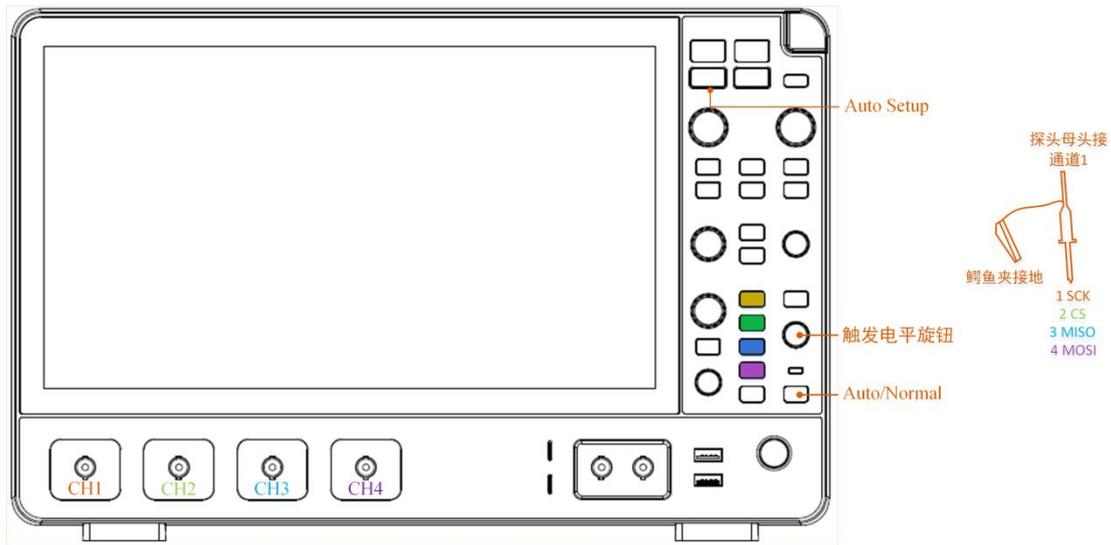


图 2.13 信号接入

### 2.3.2 SPI 信号的调节与解码

- 此时可调节水平时基旋钮，让屏幕中出现较多帧的信号，也可调节水平偏移旋钮将信号调至屏幕中央。或使用垂直控制旋钮将信号上下偏移调至合适的位置和合适的高度。
- 点击屏幕【分析】，选择【解码 1】进入解码界面；
- 点击【解码类型】输入框中的白色倒三角，选中 SPI 协议，点击【复制到触发】，此操作其实就是将触发类型设置为 SPI，信号将触发类型由上升沿改为 SPI 协议触发；
- 在【解码参数】中，可以对协议参数进行设置，点击各协议参数输入框中的白色倒三角展开后可对参数进行修改，如图 2.14 所示。

注：协议解码不是必须的，不会影响时序分析结果，因此该步骤若无需要可以跳过。



图 2.14 SPI 解码参数设置

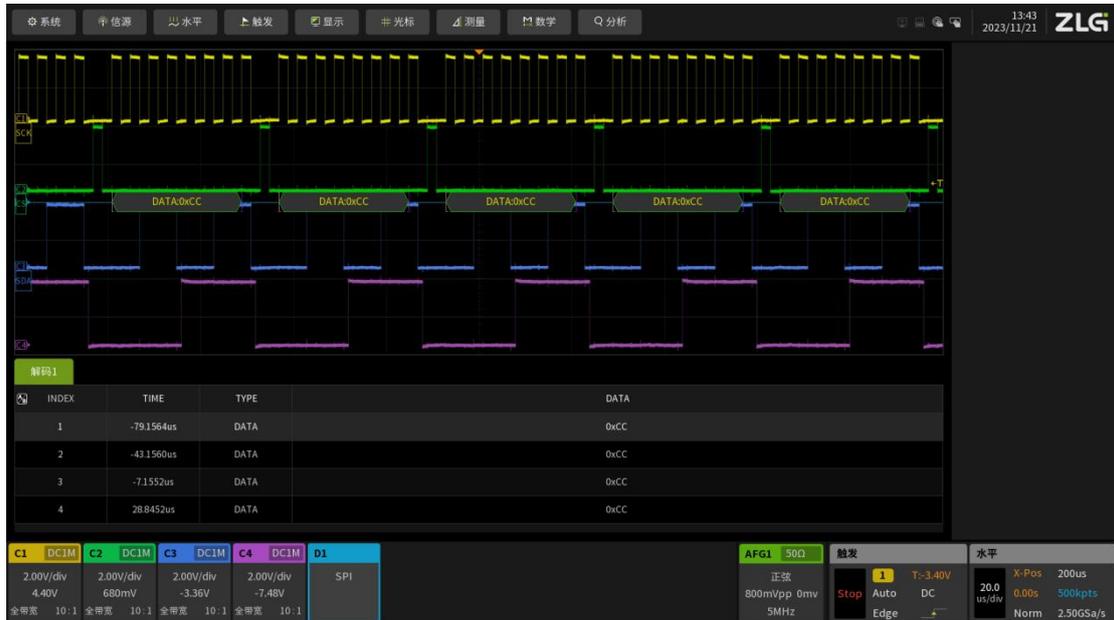


图 2.15 SPI 解码

#### (4) 工作方式

SPI 总线有四种工作方式:

- {POL,PHA}={0,0}: 时钟空闲时为低电平, 上升沿采样;
- {POL,PHA}={0,1}: 时钟空闲时为低电平, 下降沿采样;
- {POL,PHA}={1,0}: 时钟空闲时为高电平, 下降沿采样;
- {POL,PHA}={1,1}: 时钟空闲时为高电平, 上升沿采样;

POL 是用来决定 SCK 时钟信号空闲时的电平, POL=0 空闲电平为低, POL=1 空闲电平为高。

PHA 是用来决定采样时刻的，PHA=0 表示在每个周期第一个时钟沿采样，PHA=1 表示在每个周期的第二个时钟沿采样。

## (5) 传输模式

SPI 接口是 Motorola 首先提出的全双工三线同步串行外围接口，主要有 MSB 和 LSB 两种传输模式。

MSB: 表示数据按位传输，高位在前，低位在后；

LSB: 表示数据按位传输，低位在前，高位在后；

## (6) 数据长度

数据长度表示分割的每个数据的位宽，用户可自行设置，范围 4bit~32bit。

### 2.3.3 SPI 信号的时序分析测试

- 点击屏幕【分析】-【时序分析】。
- 进入分析界面，选择【SPI-TA】进入时序分析界面，打开【功能使能】为“ON”，此时可进行时序分析参数设置。
- 时序分析参数设置如图 2.4 所示。



图 2.16 参数设置界面

- **信源选择:** 信号的信源选择有 C1、C2、C3、C4 和 NONE，其中时钟信源无 NONE 选项，如图 2.17 所示。



图 2.17 信源选择

当 CS、MISO 和 MOSI 均选择 NONE 时，就只测 SCK 相关的测试项，如图 2.18 所示。



图 2.18 SCK 测试项

- **采样边沿：**采样边沿分为上升沿和下降沿两种方式。
- **总线电平：**即输入电压  $V_{cc}$ ，一般的 SPI 输入电压为 3.30V，若为 1.8V 或其他输入电压值也可通过旋钮 A 对其进行调节。总线电平  $V_{cc}$  的调节将会影响  $V_{IL}$  和  $V_{IH}$  的值， $V_{cc}$  与  $V_{IL}$ 、 $V_{IH}$  存在如表 2.2 所列的关系。
- **输入的高电平/低电平电压 ( $V_{IH}$ 、 $V_{IL}$ )：**两者输入的值由  $V_{cc}$  决定，满足表 2.2 所列的关系，也可以通过旋钮 A 对其进行调节，它们值的变化将不会影响  $V_{cc}$  值的变化。

表 2.2  $V_{cc}$  与  $V_{IL}$ 、 $V_{IH}$  的关系

项目	描述	Min	Max	单位
$V_{IL}$	输入的低电平范围	-0.5	$0.3 \times V_{cc}$	V
$V_{IH}$	输入的高电平范围	$0.7 \times V_{cc}$	$V_{cc} + 0.5$	V

其余每一项参数都有特定的标准，具体的标准可参考表 3.1 进行参数标准设置，可单击参数

项输入框通过旋钮 A/B（微调/粗调）或双击参数项输入框手动输入具体的标准，若想恢复原有的默认设置，可点击【默认设置】即可。

- **tDIS.SDO(min)**: 指 CS 无效到数据关闭的最小时间，该部分为可选项，非标准定义，用户可根据实际情况自定义。在默认情况下，该选项是关闭的；需要时可以通过按 B 旋钮来开启或关闭该选项，当选项开启时，参考值可通过旋转 A 或 B 旋钮更改。
- **速度过滤**: 该部分为可选项，非标准定义，用户可根据实际情况自定义测试允许范围。当该项打开时，会出现两个参数，频率最小值和频率最大值，时序分析时，系统只会分析时钟信号的频率在这个范围内的波形帧，其它波形帧不做分析。注意： $V_{IL}$ 、 $V_{IH}$  和过冲测试项不受此过滤限制，测试范围为全屏数据。

设置完参数后点击屏幕任意空白处可查看到测试分析的结果，如下图 2.19 所示。

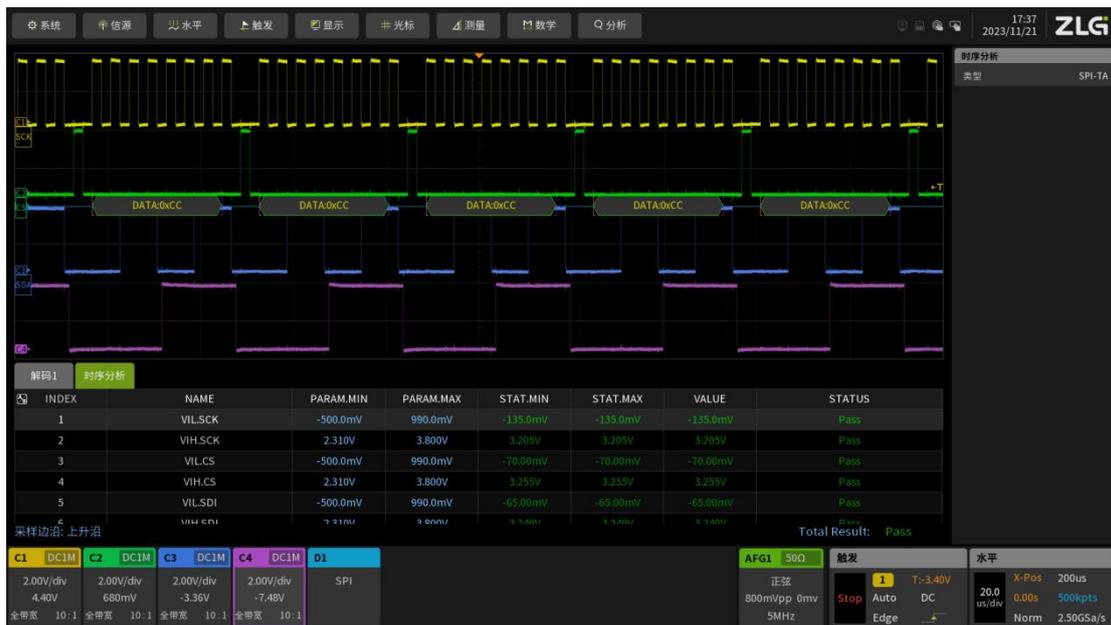


图 2.19 SPI 时序分析

### 2.3.4 SPI 时序测试数据细节分析

- 点击面板的“波形缩放”按键，可进入 ZOOM 模式，可将数据的细节进行放大分析，如图 2.20 所示。白色框窗口为可调窗口，缩放窗口的大小可通过水平时基旋钮进行调节。可针对信号的某一个细节进行放大查看分析。
- 通过观察测试表中的测量参数，若所测量的参数符合测试标准则通过测试，显示为“Pass”；
- 若不符合设定的标准则不通过测试，显示为“Fail”；
- 若测试表中显示“No Test”则表示找不到测试信号，此时可调整示波器水平时基，使示波器的屏幕上尽可能出现几帧甚至十几帧的波形，有利于对多点进行测试分析和比较。
- 在测试表的最下方将显示最终的整体测试效果，若完全通过测试则显示“Pass”，若有一项不通过测试，则为“Fail”，若测试中出现“No Test”无“Fail”，则为“Pass\*”。

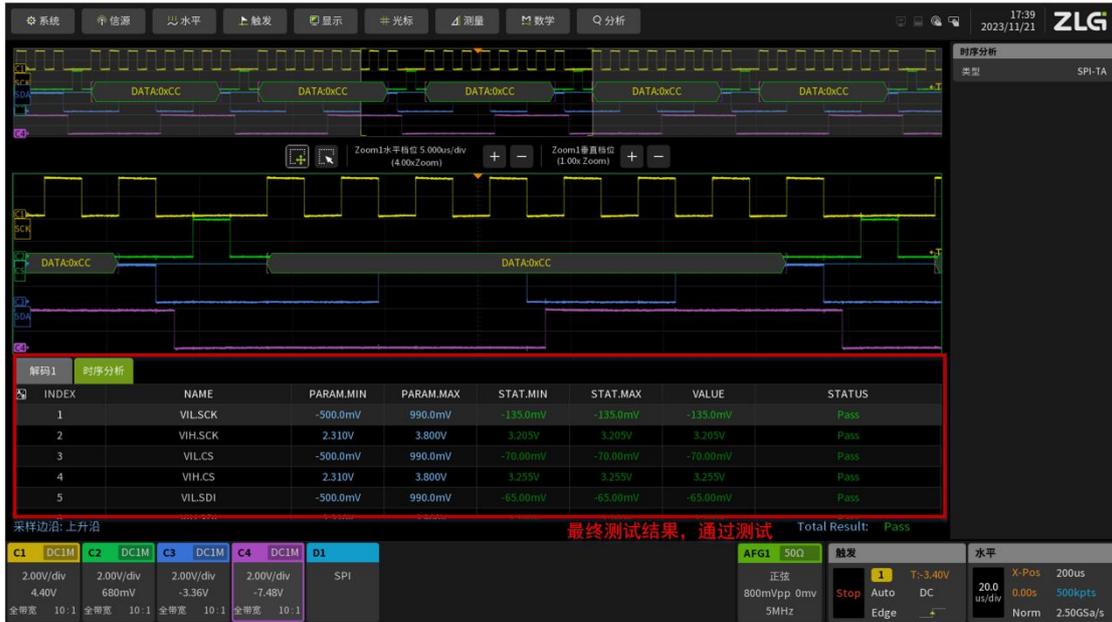


图 2.20 SPI 时序分析测试结果

- 在测试列表中旋转旋钮 A/B 可查看测试表中的参数测试结果，需要查看某一项参数测试细节可通过旋钮 A/B 选中后短按旋钮 A/B，此时屏幕中的缩放窗口将跳转至所选数据的测试部位，如图 2.21 所示。

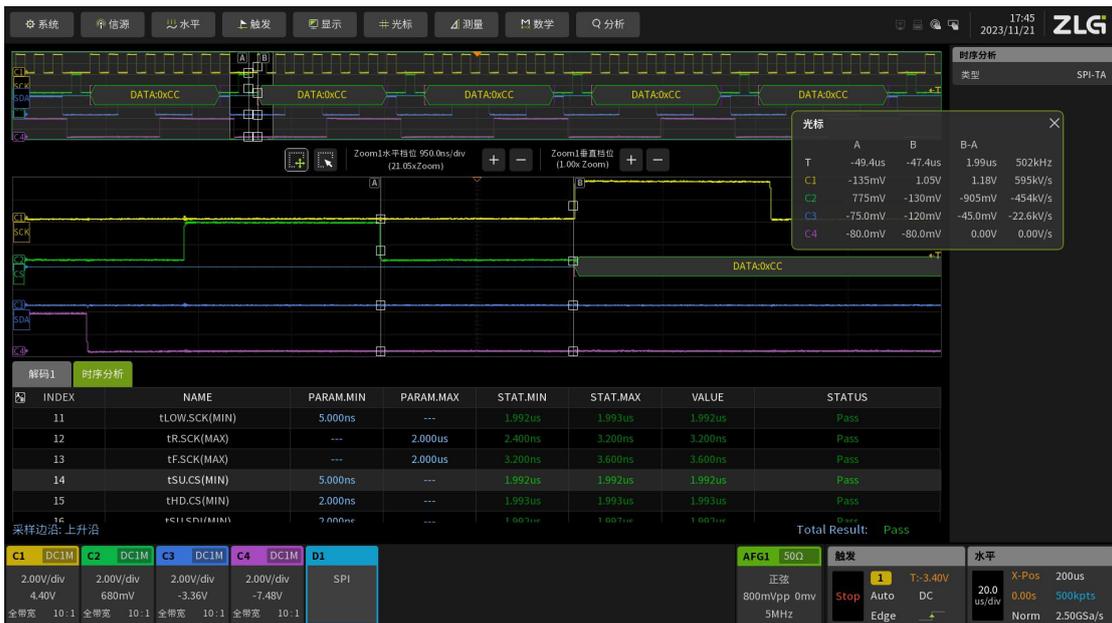


图 2.21 数据分析

### 2.3.5 导出报表

测试完成后可对所测试的波形和数据进行导出。具体的导出步骤如下图 2.22 所示。导出的“网页报表”文件可使用网页打开，如图 1.2 所示。导出的“CSV”文件可使用 Excel 打开。

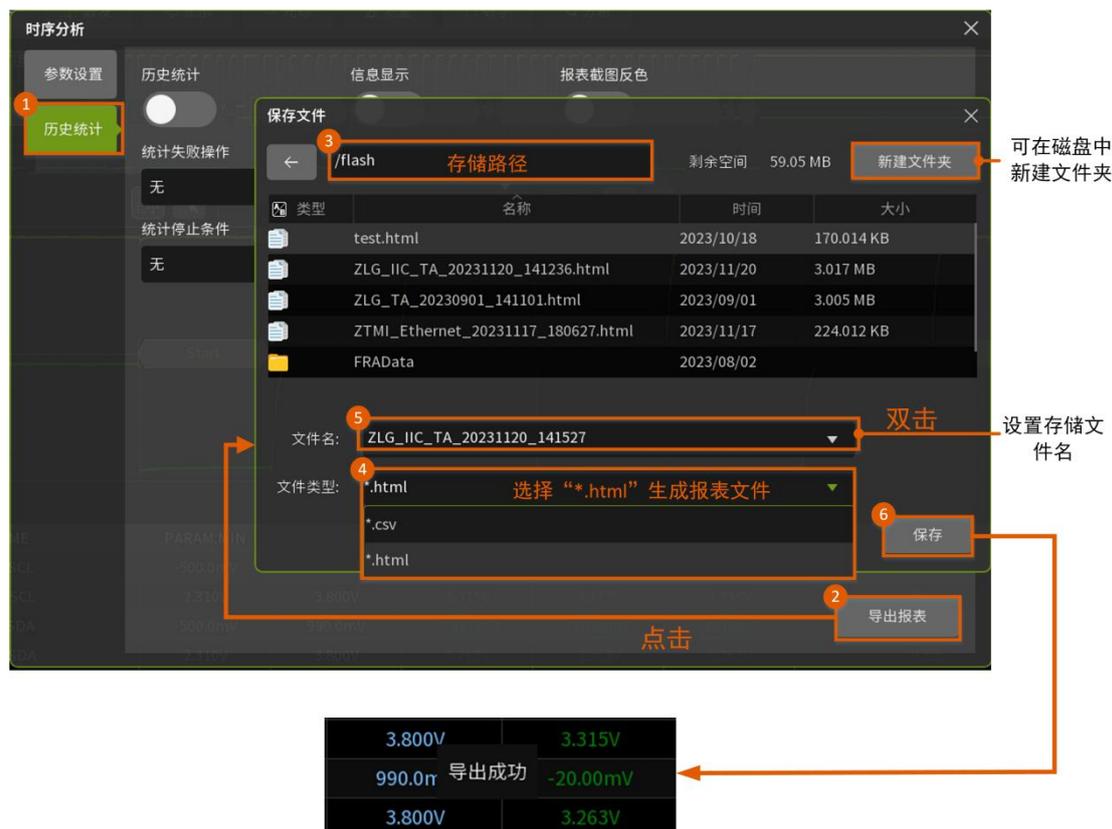


图 2.22 文件导出步骤

## 3. SPI 参数测量项目

### 3.1 基本项目解析

SPI 规范中对时序的标准定义如表 3.1 所列。

表 3.1 SPI 总线 AC、DC 特性参数表

符号	名称	最小值	最大值	单位
$V_{IL}$	输入信号的低电平范围	-0.5	$0.3 \times V_{cc}$	V
$V_{IH}$	输入信号的高电平范围	$0.7 \times V_{cc}$	$V_{cc} + 0.5$	V
Freq(min)	频率过滤的最小值	10		kHz
Freq(max)	频率过滤的最大值	1		MHz
$t_r$	时钟上升时间		2.0	$\mu s$
$t_f$	时钟下降时间		2.0	$\mu s$
$t_{LOW}$	时钟低电平时间	5.0	-	ns
$t_{HIGH}$	时钟高电平时间	5.0	-	ns
$t_{SU,CS}$	片选信号建立时间	5.0		ns
$t_{SU,SDI}$	数据输入信号建立时间	2.0	-	ns
$t_{HD,CS}$	片选信号保持时间	2.0		ns
$t_{HD,SDI}$	数据输入信号保持时间	0		ns
$t_{HD,SDO}$	前一数据的保持时间	0		ns
$t_{V,SDO}$	前一数据的有效时间	-	1.0	$\mu s$
$t_{DIS,SDO}$	CS 无效到数据关闭的最小时间	该部分为可选项，非标准定义，用户可根据实际情况自定义测试允许范围。		
Over+	正过冲	该部分为信号质量测试可选项，非标准定义，用户可根据实际情况自定义测试允许范围。		
Over-	负过冲			
Glitch	毛刺			

注：所有值都参考  $V_{IHmin}$  ( $0.7V_{cc}$ ) 和  $V_{ILmax}$  ( $0.3V_{cc}$ ) 电平，参数若与手册不符，均可手动设置。

如图 3.1 所示为 SPI 所有时间相关的测试项目对应的信号的具体位置。

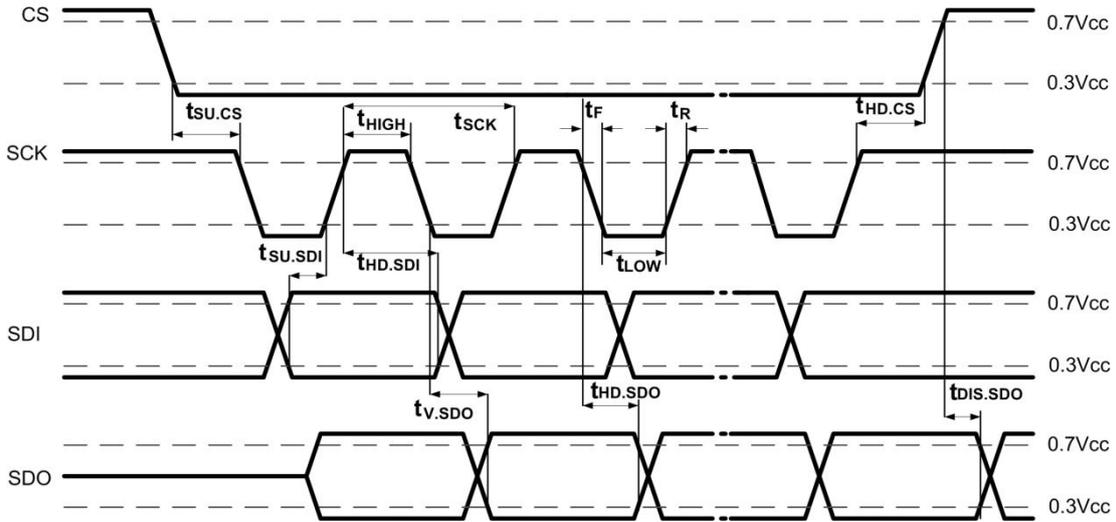


图 3.1 SPI 测试项目

SPI 所有时间相关的测试项都是基于 VIHmin (0.7Vcc) 和 VILmax (0.3Vcc) 电平的, 0.7Vcc 和 0.3Vcc 即是参数设置里的高阈值和低阈值, 它们是可以设置的。

SPI 中电压相关的测试项 VIL (底部值) 与 VIH (顶部值) 的计算原理如图 3.2 所示:

- VIH 是波形平顶至地的电压值, 即顶部值;
- VIL 是波形平底至地的电压值, 即底部值。

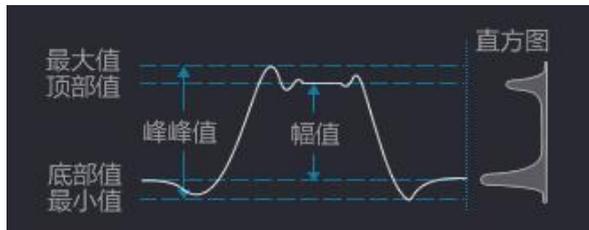


图 3.2 底部值与顶部值计算

SPI 时序分析功能测量项目解析如表 3.2 所列。

表 3.2 测量项目解析

信号线	测量项目	描述
SCK	VIL.SCK	SCK 信号线的低电平电压, 测量原理见图 3.2 底部值。
	VIH.SCK	SCK 信号线的高电平电压, 测量原理见图 3.2 顶部值。
	Glitch.SCK	SCK 信号线的毛刺测试项, 可在参数界面中将“质量测试”设置为 ON 开启, 判定原理参考 0 节。
	Over+.SCK	SCK 信号线的正过冲测试项, 可在参数设置界面中将“质量测试”设置为 ON 开启, 当过冲电压超过预设值时软件会判断该项 Fail, 具体判定原理, 参考 0 节。
	Over-.SCK	SCK 信号线的负过冲测试项, 可在参数设置界面中将“质量测试”设置为 ON 开启, 当过冲电压超过预设值时软件会判断该项 Fail, 具体判定原理, 参考 0 节。

续上表

信号线	测量项目	描述
	Freq.SCK	按阈值 0.7VCC (可设置) 来测量频率值。显示的测量值为第一个时钟周期的值, $\text{Freq.SCK} = 1/t_{\text{SCK}}$ , 如图 3.1 所示。
	tR.SCL(MAX)	tR 和 tF 为时钟的上升和下降时间, 时序定义如图 3.1 所示。测量时, 系统会自动统计屏幕中 (主时基) 所有时钟上升时间样本和下降时间样本, 并选择样本中的最大值 (时序最差的波形) 作为测量结果输出。
	tF.SCL(MAX)	
	tLOW(MIN)	t <sub>LOW</sub> 和 t <sub>HIGH</sub> 为 SCK 时钟信号的低电平周期和高电平周期, 时序定义如图 3.1 所示。测量时, 系统会自动统计屏幕中 (主时基) 所有 SCK 低电平周期样本或高电平周期样本, 并选择样本中的最小值 (时序最差的波形) 作为测量结果输出。
	tHIGH(MIN)	
CS	VIL.CS	片选信号线的低电平电压, 测量原理见图 3.2 低部值。
	VIH.CS	片选信号线的高电平电压, 测量原理见图 3.2 顶部值。
	Glitch.CS	片选信号线的毛刺测试项, 可在参数界面中将“质量测试”设置为 ON 开启, 判定原理, 参考 0 节。
	tSU.CS(MIN)	片选信号建立时间, 时序定义如图 3.1 所示, 系统会自动统计屏幕中 (主时基) 所有片选信号建立时间的样本, 并选择样本中的最小值作为测量结果输出。
	tHD.CS(MIN)	片选信号保持时间, 时序定义如图 3.1 所示, 系统会自动统计屏幕中 (主时基) 所有片选信号保持时间的样本, 并选择样本中的最小值作为测量结果输出。
SDI	VIL.SDI	SDI 信号线的低电平电压, 测量原理见图 3.2 低部值。
	VIH.SDI	SDI 信号线的高电平电压, 测量原理见图 3.2 顶部值。
	Glitch.SDI	SDI 信号线的毛刺测试项, 可在参数界面中将“质量测试”设置为 ON 开启, 判定原理, 参考 0 节。
	tSU.SDI(MIN)	数据输入信号建立时间, 时序定义如图 3.1 所示, 系统会自动统计屏幕中 (主时基) 所有数据信号建立时间的样本, 并选择样本中的最小值作为测量结果输出。
	tHD.SDI(MIN)	数据输入信号保持时间, 时序定义如图 3.1 所示, 系统会自动统计屏幕中 (主时基) 所有数据信号保持时间的样本, 并选择样本中的最小值作为测量结果输出。
SDO	VIL.SDO	SDO 信号线的低电平电压, 测量原理见图 3.2 低部值。
	VIH.SDO	SDO 信号线的高电平电压, 测量原理见图 3.2 顶部值。
	Glitch.SDI	SDO 信号线的毛刺测试项, 可在参数界面中将“质量测试”设置为 ON 开启, 判定原理, 参考 0 节。

续上表

信号线	测量项目	描述
SDO	tV.SDO(MAX)	前一数据的有效时间, 时序定义如图 3.1 所示, 系统会自动统计屏幕中 (主时基) 所有数据信号输出有效时间的样本, 并选择样本中的最小值作为测量结果输出。
	tHD.SDO(MIN)	前一数据的保持时间, 时序定义如图 3.1 所示, 系统会自动统计屏幕中 (主时基) 所有数据信号保持时间的样本, 并选择样本中的最大值作为测量结果输出。
	tDIS.SDO(MIN)	CS 无效到数据关闭时间, 时序定义如图 3.1 所示, 系统会自动统计屏幕中 (主时基) 所有 CS 无效到数据关闭时间的样本, 并选择样本中的最小值作为测量结果输出。

### 3.2 信号质量项目解析

质量测试包含有毛刺和过冲测试。

#### 3.2.1 毛刺的判定原理

毛刺检测的规则有三种, 分别如下:

##### 1. SCK/CS 信号毛刺检测

SCK/CS 时钟信号线变化时若只穿过一根阈值线, 则判定为毛刺, 如图 3.3 所示。注意, 如果毛刺同时穿过两根阈值线, 会被主控器当成普通边沿来处理 (其它测试项会报错)。

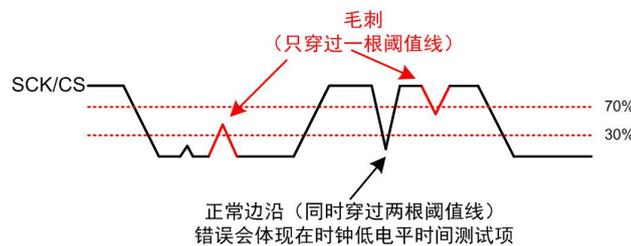


图 3.3 SCK/CS 波形只穿过一根阈值线

##### 2. SDI/SDO 信号毛刺检测

SDI/SDO 数据信号线的毛刺检测, 不管是在 SCK 高电平期间, 还是低电平期间, SDI/SDO 出现的毛刺总是对总线有影响, 所以均为报错的毛刺。如图 3.4 所示。

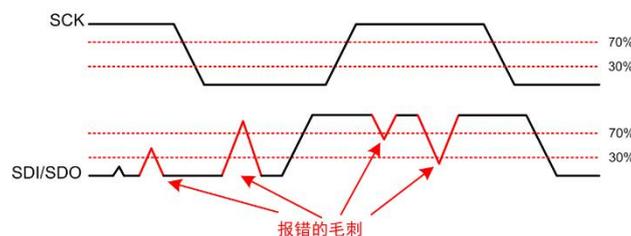


图 3.4 SDI/SDO 信号毛刺判定

##### 3. SDI/SDO 信号毛刺不会纳入上升下降时间的统计

软件在测量上升或下降时间时, 会自动过滤忽略毛刺, 避免测量错误。但是毛刺会影响

建立保持时间的测量，如图 3.5 所示，系统会在 SCK 变为高之前，测量 SDI/SDO 线最近一次跳变（0 变 1 或 1 变 0）做为上升或下降时间。

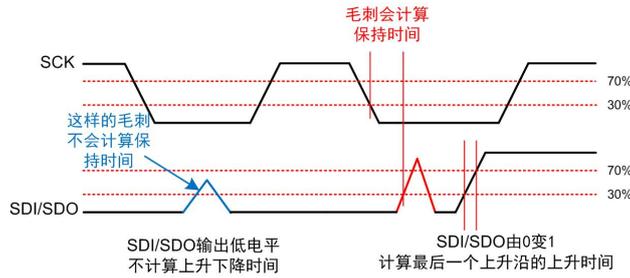


图 3.5 计算上升下降时间

### 3.2.2 过冲判定原理

过冲分为正过冲和负过冲。如图 3.6 是它在图中的位置说明。记录过冲量为最大的那个值，并与预设值（示波器中的默认值 0.7V，可手动调整）对比，超出为 Fail，不超出为 PASS，正过冲和负过冲的计算公式是：

正过冲=局部最大值-顶部值

负过冲=底部值-局部最小值

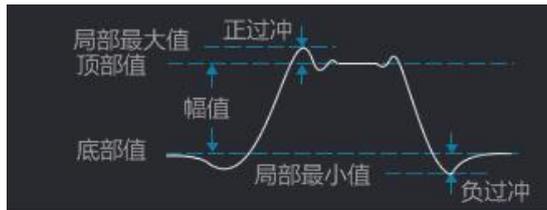


图 3.6 过冲判定

## 4. 快速切换测试参数

由于 SPI 时序分析软件有很多的参数需要设置，比较麻烦，所以为了防止在下次用时，再对参数进行设置，可以将参数保存为 ini 文件导出，下次使用时，再将对应的 ini 文件导入即可。

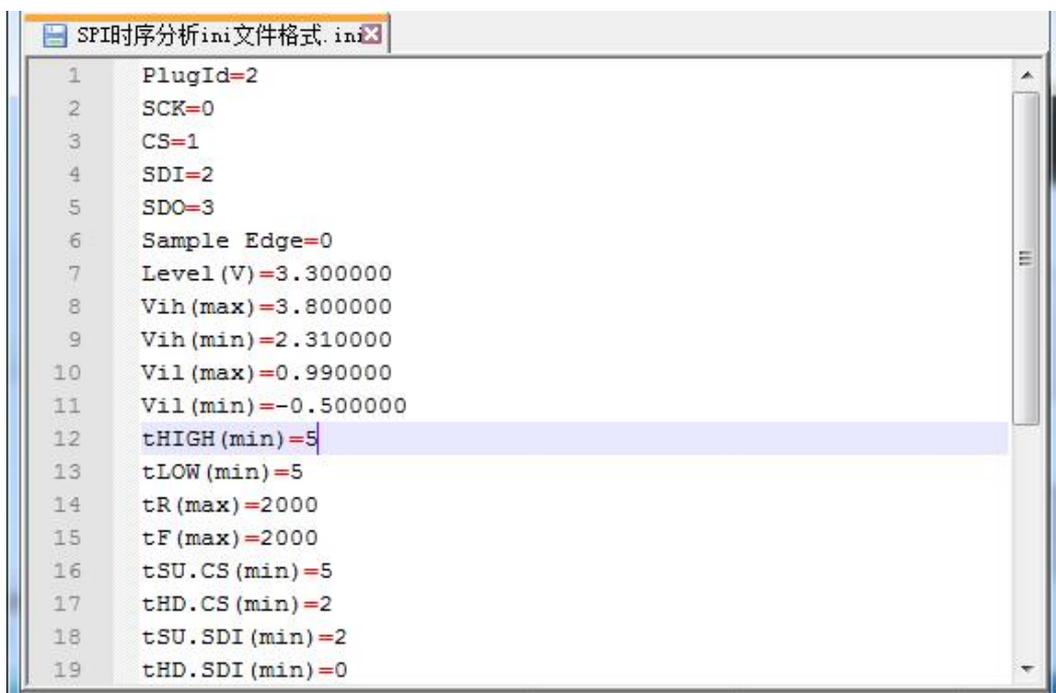
例如，有 10 种不同的被测设备，它们的测试参数都不相同（如有 VCC 为 3.3V 的，有 1.8V 的，有上升沿的，有下降沿的等），我们初次操作时，可以导出 10 种不同的 ini 文件存储于示波器中，以后的批量测试就方便了，测什么设备就加载什么 ini 文件。

Ini 文件是文本格式，用户也可以在 PC 上进行编辑，方便批量修改。

### 4.1 ZDS4000/5000 系列示波器 ini 文件

#### 4.1.1 ini 文件格式

ini 文件格式如图 4.1 所示：



```
1 PlugId=2
2 SCK=0
3 CS=1
4 SDI=2
5 SDO=3
6 Sample Edge=0
7 Level (V)=3.300000
8 Vih(max)=3.800000
9 Vih(min)=2.310000
10 Vil(max)=0.990000
11 Vil(min)=-0.500000
12 tHIGH(min)=5
13 tLOW(min)=5
14 tR(max)=2000
15 tF(max)=2000
16 tSU.CS(min)=5
17 tHD.CS(min)=2
18 tSU.SDI(min)=2
19 tHD.SDI(min)=0
```

图 4.1 ini 文件格式(ZDS4000/5000 系列示波器)

- 1、每一行代表一条命令，如上图的每条指令。
- 2、每一个命令由三部分组成，它们是配置参数、赋值符号和值。
- 3、上图的第一条命令，设置协议类型为 2，2 代表 SPI 协议。
- 4、上图的第二条命令，设置 SCK 时钟信源为 0，0 代表通道 1。
- 5、上图的第七条命令，设置总线电平电压为 3.3V。
- 6、上图的第八条命令，设置输入的高电平最大电压为 3.8V。
- 7、上图的第十二条命令，设置时钟高电平的最小时间为 5ns。

其它的命令同理。

## 4.1.2 ini 文件配置参数说明

SPI 时序分析配置参数如表 4.1 所列：

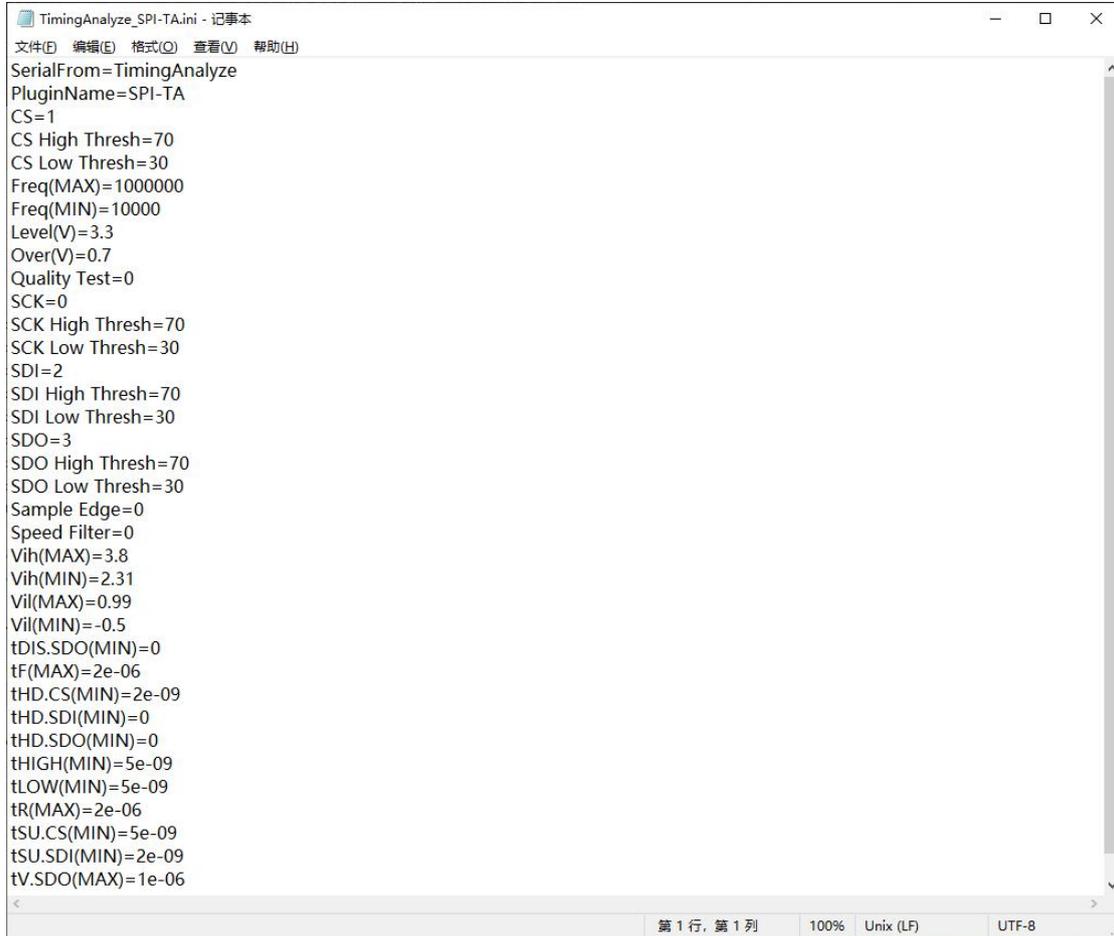
表 4.1 ZDS4000/5000 配置参数

参数	名称	描述
PlugId	协议类型	0: IIC, 1:IIS, 2:SPI, 3:MIPI-RFFE
SCK	时钟信源	0~3: CH1~CH4
CS	片选信源	0~3: CH1~CH4
SDI	数据输入信源	0~3: CH1~CH4
SDO	数据输出信源	0~3: CH1~CH4
Sample Edge	采样边沿	0: 上升沿, 1: 下降沿
Level(V)	总线电平	单位为 V, 如总线电压为 Vcc, 则关系如下:
VIH(max)	输入的高电平最大电压	$V_{cc} < V_{ih(max)} \leq 10I_0$
VIH(min)	输入的高电平最小电压	$0.5 \times V_{cc} \leq V_{ih(min)} < V_{cc}$
VIL(max)	输入的低电平最大电压	$0.01 \leq V_{il(max)} < 0.5 \times V_{cc}$
VIL(min)	输入的低电平最小电压	$-10 \leq V_{il(min)} \leq -0.01$
tHIGH(min)	时钟高电平的最小时间	单位为 ns, 范围 1~1,000,000,000
tLOW(min)	时钟低电平的最小时间	单位为 ns, 范围 1~1,000,000,000
tR(max)	时钟上升最大时间	单位为 ns, 范围 1~1,000,000,000
tF(max)	时钟下降最大时间	单位为 ns, 范围 1~1,000,000,000
tSU.CS(min)	片选信号建立最小时间	单位为 ns, 范围 1~1,000,000,000
tHD.CS(min)	片选信号保持最小时间	单位为 ns, 范围 1~1,000,000,000
tSU.SDI(min)	数据输入建立最小时间	单位为 ns, 范围 1~1,000,000,000
tHD.SDI(min)	数据输入保持最小时间	单位为 ns, 范围 0~999,000,000
tV.SDO(max)	前一数据的有效时间	单位为 ns, 范围 1~1,000,000,000
tHD.SDO(min)	前一数据的保持时间	单位为 ns, 范围 1~1,000,000,000
tDIS.SDO(min)	CS 无效到数据关闭的最小时间	单位为 ns, 范围 1~1,000,000,000
Speed Filter	速度过滤	0: OFF, 1:ON
Freq(min)	频率过滤的最小值	单位为 HZ, 范围 1~1,990,000,000
Freq(max)	频率过滤的最大值	单位为 HZ, 范围 2~2,000,000,000, $Freq(min) < Freq(max)$
Quality Test	质量测试	0: OFF, 1:ON
Over(V)	过冲默认值	单位为 V, 范围 0.01~1000
Low Thresh	低阈值	单位百分比, 10~80
High Thresh	高阈值	单位百分比, 20~90, $Low\ Thresh \leq High\ Thresh - 10$

## 4.2 ZUS6000 系列示波器 ini 文件

### 4.2.1 ini 文件格式

ini 文件格式如图 4.2 所示：



```

TimingAnalyze_SPI-TA.ini - 记事本
文件(F) 编辑(E) 格式(O) 查看(V) 帮助(H)
SerialFrom=TimingAnalyze
PluginName=SPI-TA
CS=1
CS High Thresh=70
CS Low Thresh=30
Freq(MAX)=1000000
Freq(MIN)=10000
Level(V)=3.3
Over(V)=0.7
Quality Test=0
SCK=0
SCK High Thresh=70
SCK Low Thresh=30
SDI=2
SDI High Thresh=70
SDI Low Thresh=30
SDO=3
SDO High Thresh=70
SDO Low Thresh=30
Sample Edge=0
Speed Filter=0
Vih(MAX)=3.8
Vih(MIN)=2.31
Vil(MAX)=0.99
Vil(MIN)=-0.5
tDIS.SDO(MIN)=0
tF(MAX)=2e-06
tHD.CS(MIN)=2e-09
tHD.SDI(MIN)=0
tHD.SDO(MIN)=0
tHIGH(MIN)=5e-09
tLOW(MIN)=5e-09
tR(MAX)=2e-06
tSU.CS(MIN)=5e-09
tSU.SDI(MIN)=2e-09
tV.SDO(MAX)=1e-06

```

图 4.2 ini 文件格式(ZUS6000 系列示波器)

- 1、每一行代表一条命令，如上图的每条指令。
  - 2、每一个命令由三部分组成，它们是配置参数、赋值符号和值。
  - 3、上图的第八条命令，设置总线电平电压为 3.3V。
  - 4、上图的第十一条命令，设置 SCK 时钟信源为 0，0 代表通道 1。
  - 5、上图的第二十二条命令，设置输入的高电平最大电压为 3.8V。
  - 6、上图的第三十一条命令，设置时钟高电平的最小时间为 5ns。
- 其它的命令同理。

### 4.2.2 ini 文件配置参数说明

SPI 时序分析配置参数如表 4.2 所列：

表 4.2 ZUS6000 配置参数

参数	名称	描述
SerialFrom	序列起始	TimingAnalyze
PluginName	协议类型	SPI-TA
CS	片选信源	0~3: CH1~CH4
CS High Thresh	片选信号高阈值	单位百分比, 20~90, Low Thresh<=High Thresh-10
CS Low Thresh	片选信号低阈值	单位百分比, 10~80
Freq(max)	频率过滤的最大值	单位为 HZ, 范围 2~2,000,000,000, Freq(min) < Freq(max)
Freq(min)	频率过滤的最小值	单位为 HZ, 范围 1~1,990,000,000
Level(V)	总线电平	单位为 V, 如总线电压为 Vcc, 则关系如下: Vcc<Vih(max)<=1010 0.5×Vcc<= Vih(min)<Vcc 0.01<=Vil(max)<0.5×Vcc -10<=Vil(min)<=-0.01
Over(V)	过冲默认值	单位为 V, 范围 0.01~1000
Quality Test	质量测试	0: OFF, 1:ON
SCK	时钟信源	0~3: CH1~CH4
SCK High Thres	时钟信号高阈值	单位百分比, 20~90, Low Thresh<=High Thresh-10
SCK Low Thresh	时钟信号低阈值	单位百分比, 10~80
SDI	数据输入信源	0~3: CH1~CH4
SDI High Thres	数据输入信号高阈值	单位百分比, 20~90, Low Thresh<=High Thresh-10
SDI Low Thresh	数据输入信号低阈值	单位百分比, 10~80
SDO	数据输出信源	0~3: CH1~CH4
SDO High Thres	数据输出信号高阈值	单位百分比, 20~90, Low Thresh<=High Thresh-10
SDO Low Thresh	数据输出信号低阈值	单位百分比, 10~80
Sample Edge	采样边沿	0: 上升沿, 1: 下降沿
Speed Filter	速度过滤	0: OFF, 1:ON
Vih(max)	输入的高电平最大电压	单位为 V, 同 Level(V)描述
Vih(min)	输入的高电平最小电压	
Vil(max)	输入的低电平最大电压	
Vil(min)	输入的低电平最小电压	
tDIS.SDO(min)	CS 无效到数据关闭的最小时间	单位为 s, 范围 1e-09~1
tF(max)	时钟下降最大时间	单位为 s, 范围 1e-09~1
tHD.CS(min)	片选信号保持最小时间	单位为 s, 范围 1e-09~1
tHD.SDI(min)	数据输入保持最小时间	单位为 s, 范围 0~0.999
tHD.SDO(min)	前一数据的保持时间	单位为 s, 范围 1e-09~1
tHIGH(min)	时钟高电平的最小时间	单位为 s, 范围 1e-09~1
tLOW(min)	时钟低电平的最小时间	单位为 s, 范围 1e-09~1
tR(max)	时钟上升最大时间	单位为 s, 范围 1e-09~1
tSU.CS(min)	片选信号建立最小时间	单位为 s, 范围 1e-09~1

续上表

参数	名称	描述
tSU.SDI(min)	数据输入建立最小时间	单位为 s, 范围 1e-09~1
tV.SDO(max)	前一数据的有效时间	单位为 s, 范围 1e-09~1

## 5. 长时间统计功能

在一些设备的测试中，可能需要长时间测试它的稳定性，此时就可以使用统计功能进行分析。比如可以指定测量 SPI 总线上的 10000 帧甚至更多数据，长时间测试其稳定性。那怕过程中有一帧数据的某个时序测量项不通过，软件都能自动记录截图并生成报告。

SPI 时序分析软件的统计功能有以下特点：

- 支持多种停止条件：永不停止、达到失败次数停止、达到总测试次数停止。
- 测量项目不通过时可声音提示，支持自动保存报表。
- 显示统计信息（测试总次数、通过次数、失败次数）。

使用统计功能时，要注意设置好合适的触发条件（Normal 触发模式），保证示波器每一次都能捕获到正常的波形数据，推荐使用协议触发。

### 5.1 停止条件

示波器停止“统计分析”的条件，当测试条件满足预设条件时，SPI 时序分析软件会停止统计完成分析工作，设置项如图 5.1 所示。



图 5.1 测试停止条件

### 5.2 失败操作

失败操作即若波形进行测试过程中无法通过测试（Fail）时，将执行的操作。可操作的事件如图 5.2 所示。



图 5.2 失败操作

操作事件包括：

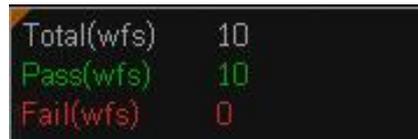
**声音提示：**即当出现测试不通过项时，系统会发出警报声（蜂鸣器）提醒；

**导出报表：**即当出现测试不通过项时，系统会自动导出当前数据并形成报告。

两项可以同时选择，若一项都不选择，则若出现失败项不做任何提醒。

### 5.3 历史统计

当设置好停止条件，失败操作后，点击【历史统计】（运行/停止统计）可对测量结果进行统计，此时将【信息显示】打开，可以看到统计的结果。如图 5.3 所示：



Total(wfs)	10
Pass(wfs)	10
Fail(wfs)	0

图 5.3 历史统计结果

## 6. SPI 总线介绍

### 6.1 概述

SPI，是英语 Serial Peripheral Interface 的缩写，顾名思义就是串行外围设备接口。SPI，是一种高速的，全双工，同步的通信总线，并且在芯片的管脚上只占用四根线，节约了芯片的管脚，同时为 PCB 的布局上节省空间，提供方便，正是出于这种简单易用的特性，现在越来越多的芯片集成了这种通信协议。

### 6.2 SPI 协议

SPI 总线是 Motorola 公司推出的三线同步接口，同步串行 3 线方式进行通信，一条时钟线 SCK，一条数据输入线 MOSI，一条数据输出线 MISO；用于 CPU 与各种外围器件进行全双工、同步串行通讯。

SPI 主要特点有：可以同时发出和接收串行数据；可以当作主机或从机工作；提供频率可编程时钟；发送结束中断标志；写冲突保护；总线竞争保护等。

#### 6.2.1 SPI 的信号线

SPI 接口共有 4 根信号线，分别是：设备选择线、时钟线、串行输出数据线、串行输入数据线。

- (1) CS：从器件使能信号，由主器件控制；
- (2) SCK：时钟信号，由主器件产生；
- (3) MISO：主器件数据输入，从器件数据输出；
- (4) MOSI：主器件数据输出，从器件数据输入。

基本的传输时序如图 6.1，图 6.2 所示。

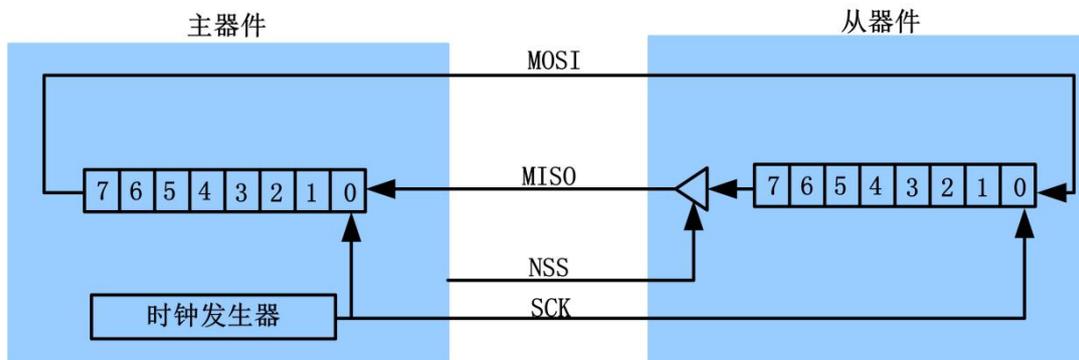


图 6.1 SPI 信号传输电路

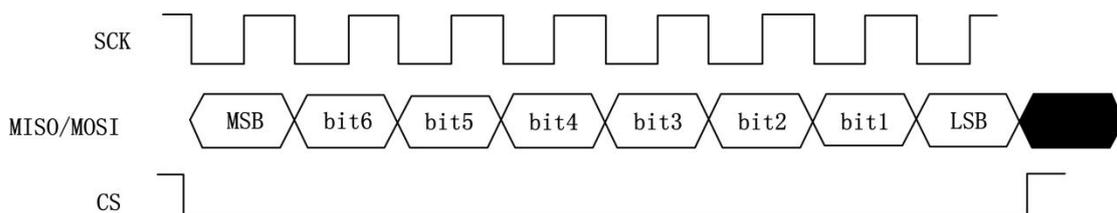


图 6.2 SPI 时序图

## 7. 免责声明

本着为用户提供更好服务的原则，广州致远仪器有限公司（下称“致远仪器”）在本手册中将尽可能地向用户呈现详实、准确的产品信息。但鉴于本手册的内容具有一定的时效性，致远仪器不能完全保证该文档在任何时段的时效性与适用性。致远仪器有权在没有通知的情况下对本手册上的内容进行更新，恕不另行通知。为了得到最新版本的信息，请尊敬的用户定时访问致远仪器官方网站或者与致远仪器工作人员联系。感谢您的包容与支持！

赋能高效测试， 共创美好生活

Empower efficient testing, co-create a better life

广州致远仪器有限公司

更多详情请访问  
[www.zlgtmi.com](http://www.zlgtmi.com)

欢迎拨打全国服务热线  
400-888-4005

