

I2C 时序分析软件用户手册

ZDS4000Plus 系列示波器

UM01708081 V1.03 Date: 2019/03/13

产品用户手册

类别	内容
关键词	I2C, 时序分析, 参数测量
摘要	主要介绍 ZDS4000Plus 示波器上 I2C 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	2017/08/08	增加信号质量测试项（毛刺、回沟、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	2017/05/17	Fast 传输模式下增加 t_R (MIN) 和 t_F (MIN) 参数设置
V1.03	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

目 录

1. 简介.....	1
2. 快速入门.....	3
2.1 简介.....	3
2.2 具体使用步骤.....	3
2.2.1 I2C 信号的接入与捕获.....	3
2.2.2 I2C 信号的调节与解码.....	3
2.2.3 I2C 信号的时序分析测试.....	5
2.2.4 I2C 时序测试数据细节分析.....	7
2.2.5 导出报表.....	8
3. I2C 参数测量项目.....	10
3.1 基本项目解析.....	10
3.2 信号质量项目解析.....	13
3.2.1 毛刺的判定原理.....	13
3.2.2 过冲判定原理.....	14
3.2.3 单调性（回沟）的判定原理.....	15
4. 快速切换测试参数.....	16
4.1 ini 文件格式.....	16
4.2 ini 文件配置参数说明.....	17
5. 长时间统计功能.....	19
5.1.1 停止条件.....	19
5.1.2 失败操作.....	19
5.1.3 历史统计.....	19
6. I2C 总线介绍.....	20
6.1 概述.....	20
6.2 协议介绍.....	20
6.2.1 速率.....	20
6.2.2 数据有效性.....	20
6.2.3 空闲状态.....	21
6.2.4 起始和停止条件.....	21
6.2.5 ACK 信号.....	21
6.3 数据传送格式.....	22
6.3.1 字节格式.....	22
6.3.2 数据帧格式.....	22
7. 免责声明.....	24

1. 简介

致远电子 ZDS4000 系列示波器支持 I2C 时序分析软件，它是一款能够自动测试 I2C 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 I2C 总线的硬件测试，特别是批量产品的硬件测试。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。

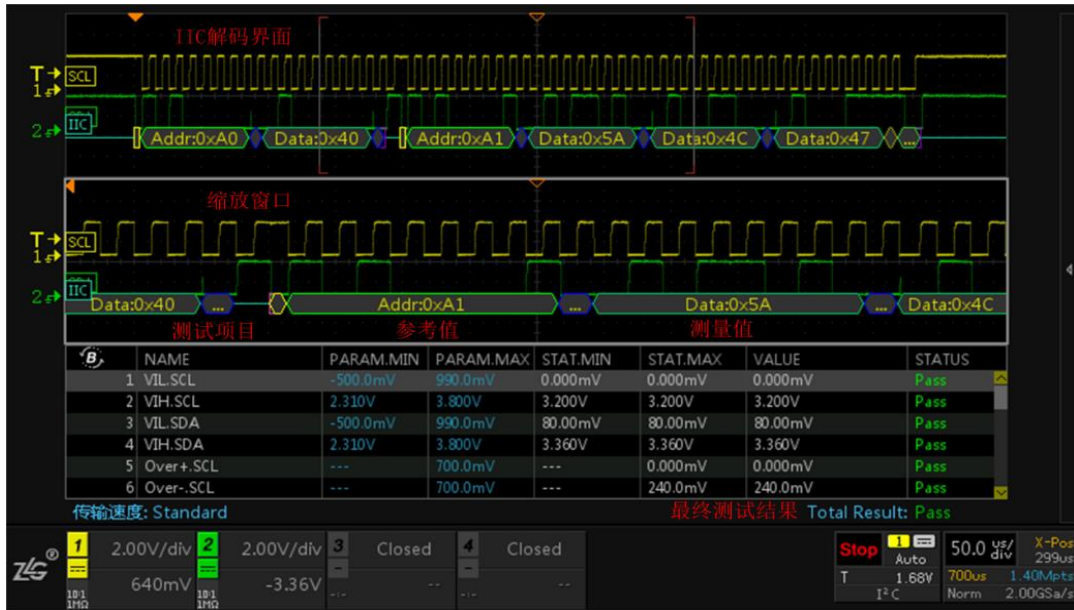


图 1.1 I2C 时序分析界面

主要特点

- 支持（标准/快速/高速）I2C 总线时序分析
- 支持电压、回沟、毛刺等信号质量测试
- 支持地址筛选，可针对具体从机独立测试
- 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 I2C 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 _{IL}	输入的低电平电压	t _{HD:DAT}	数据信号保持时间
V _{IH}	输入的高电平电压	t _{SU:DAT}	数据信号建立时间
Freq.(First)	时钟第一个周期对应的频率	t _{SU:STA}	起始信号建立时间
Freq.(Average)	时钟频率权重平均值	t _{HD:STA}	起始信号保持时间
t _{LOW}	时钟低电平时间	t _{SU:STO}	结束信号建立时间
t _{HIGH}	时钟高电平时间	t _{BUF}	总线空闲时间
t _R	时钟/数据上升时间	质量测试	毛刺、过冲、回沟等测试
t _F	时钟/数据下降时间		

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。



Guangzhou Zhiyuan Electronics Co., Ltd

I2C Test Report

Overall Result: **Pass**

Device Name	ZDS4054 Plus
SW Version	3.0.76.70721
Serial Number	2130110041609270001
Test Config	Screening mode: None
Test Date	2017-08-08 11:30:47
Test Result	Total: 25, Pass: 25, Fail: 0

Scope Report

INDEX	NAME	PARAM. MIN	PARAM. MAX	STAT. MIN	STAT. MAX	VALUE	STATUS
20	tSU_STA(MIN)	4.700us	---	5.016us	5.016us	5.016us	Pass
21	tHD_STA(MIN)	4.000us	---	5.017us	5.017us	5.017us	Pass
22	tSU_DAT(MIN)	250.0ns	---	4.654us	7.677us	4.654us	Pass
23	tHD_DAT(MIN, MAX)	0.000ns	4.250us	57.50ns	3.978us	57.50ns, 3.978us	Pass
24	tSU_STO(MIN)	4.000us	---	4.962us	4.962us	4.962us	Pass
25	tBUF(MIN)	9.600us	---	46.36us	66.51us	46.36us	Pass *

传输速度: Standard

Total Result: **Pass**

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

tHD_DAT(MIN, MAX): 数据保持时间的最小最大值, 最大值



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) I2C 信号的接入与捕获
- 2) I2C 信号的调节与解码
- 3) I2C 信号的时序分析
- 4) I2C 信号的细节分析（ZOOM 模式）
- 5) I2C 信号时序分析数据导出报表

2.2 具体使用步骤

2.2.1 I2C 信号的接入与捕获

- 将 I²C 的时钟和数据信号分别接到通道 1 和通道 2 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；

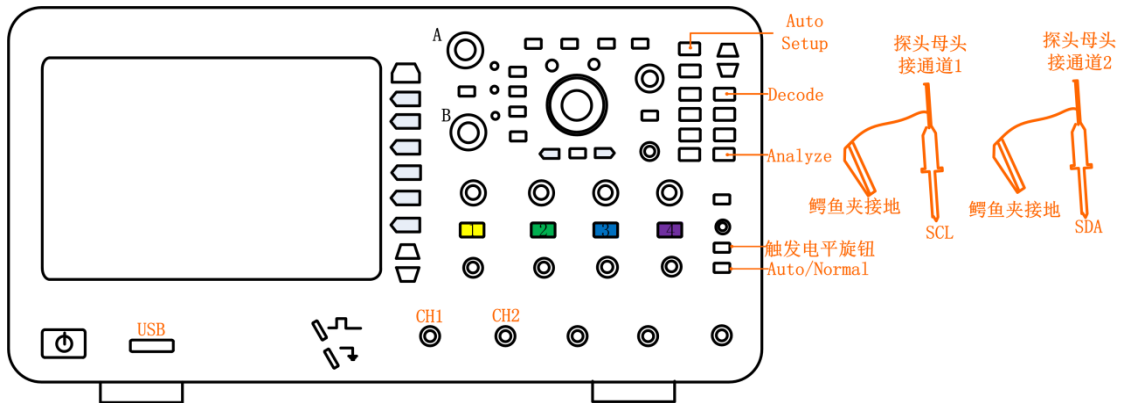


图 2.1 信号接入

2.2.2 I2C 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，如图 2.1 所示，进入解码界面；
- 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 I²C，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 I²C；
- 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，通道 1 为时钟信源，通道 2 为数据信源，地址类型为 7 位，触发模式设为起始位。

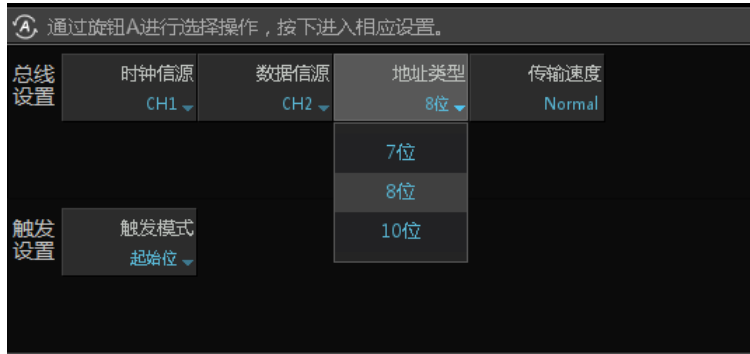


图 2.2 I2C 解码参数设置

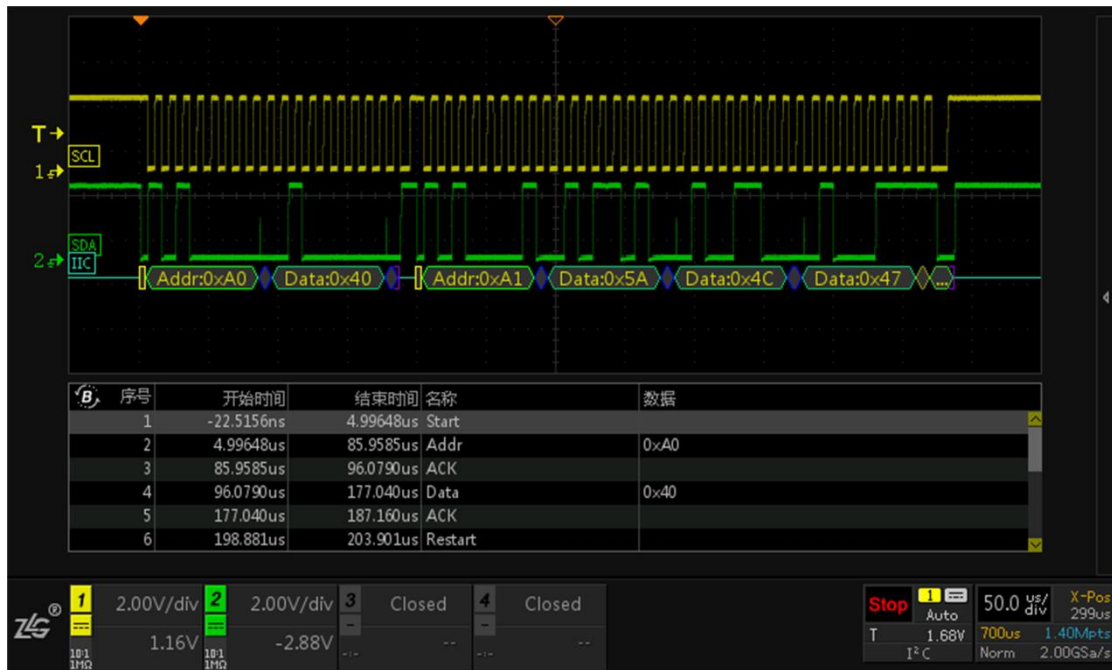


图 2.3 I2C 解码

(1) 总线设置

总线设置包括时钟信源、数据信源和地址类型：

- 时钟信源可以选择 CH1-CH2-CH3-CH4，多个通道不能同时选中同一通道。此项设置应与实际输入示波器的信号类型相符；
- 地址类型默认设为 7 位，还可以设为 10 位。10 位寻址格式与 7 位寻址格式类似，只是主模块通过两个字节的传输来发送从地址。具体区别如图 2.4 与图 2.5 所示。

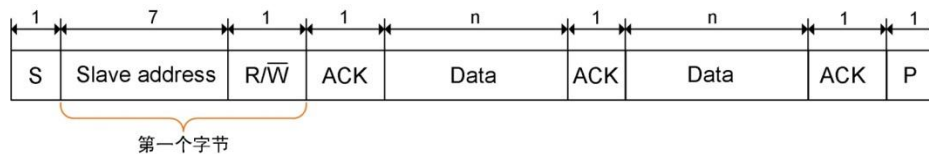


图 2.4 7 位寻址

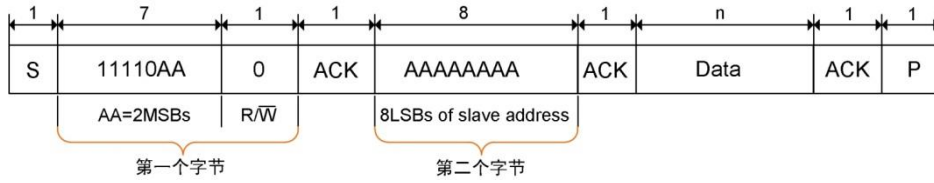


图 2.5 10 位寻址

2.2.3 I2C 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【I2C 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 2.6 所示。界面中分为“总线设置”和“参数设置”两种类型。



图 2.6 参数设置界面

总线设置

总线设置项目如图 2.7 所示：



图 2.7 总线设置

- **传输速度：**传输速度分为 Standard（普通）/ Fast（快速）/ High（高速）三种模式，用户根据信号的传输速度进行选择。
- **筛选条件：**该设置主要对测试项目进行筛选检测，且不影响主机和从机的数据传输。筛选模式含地址和读写位，筛选条件如下图 2.8 所示：

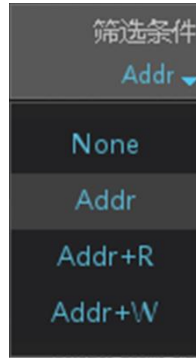


图 2.8 筛选条件

- **None:** 无筛选，测试所有项目；
- **Addr:** 只测试所选的地址项目，地址可通过旋转旋钮 A/B 进行调节，地址以十六进制方式显示；
- **Addr+R:** 只测试所选的读地址项目，地址可通过旋转旋钮 A/B 进行调节，地址以十六进制方式显示；
- **Addr+W:** 只测试所选的写地址项目，地址可通过旋转旋钮 A/B 进行调节，地址以十六进制方式显示。

注：1、+R 表示只测量从机到主机的数据，不测量读数据的应答位（写）；+W 表示只测量主机到从机的数据，不测量读数据的应答位（读）。

- **总线电平:** 即输入电压 V_{CC} ，一般的 I2C 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_{CC} 与 V_{IL} 、 V_{IH} 的关系

项目	名称	Min	Max	单位
V_{IL}	输入的最低电压	-0.5	$0.3 \times V_{CC}$	V
V_{IH}	输入的最高电压	$0.7 \times V_{CC}$	$V_{CC} + 0.5$	V

参数设置

参数设置项目如图 2.9 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。

参数设置	t _{HIGH} (MIN)	t _{LOW} (MIN)	t _R (MAX)	t _F (MAX)	t _{SU.STA} (MIN)
	4.00us	4.70us	1.00us	300ns	4.70us
	t _{HD.STA} (MIN)	t _{SU.DAT} (MIN)	t _{HD.DAT} (MIN)	t _{HD.DAT} (MAX)	t _{SU.STO} (MIN)
	4.00us	250ns	0.00ns	6.57us	4.00us
	t _{BUF} (MIN)	频率偏差	质量测试	过冲(V)	单调性(V)
	9.60us	1.00kHz	ON	0.70	0.40
	低阈值	高阈值	恢复默认		
	30%	70%			

图 2.9 参数设置

- 设置完参数后点击【返回】可查看到测试分析的结果，如下图 2.10 所示。

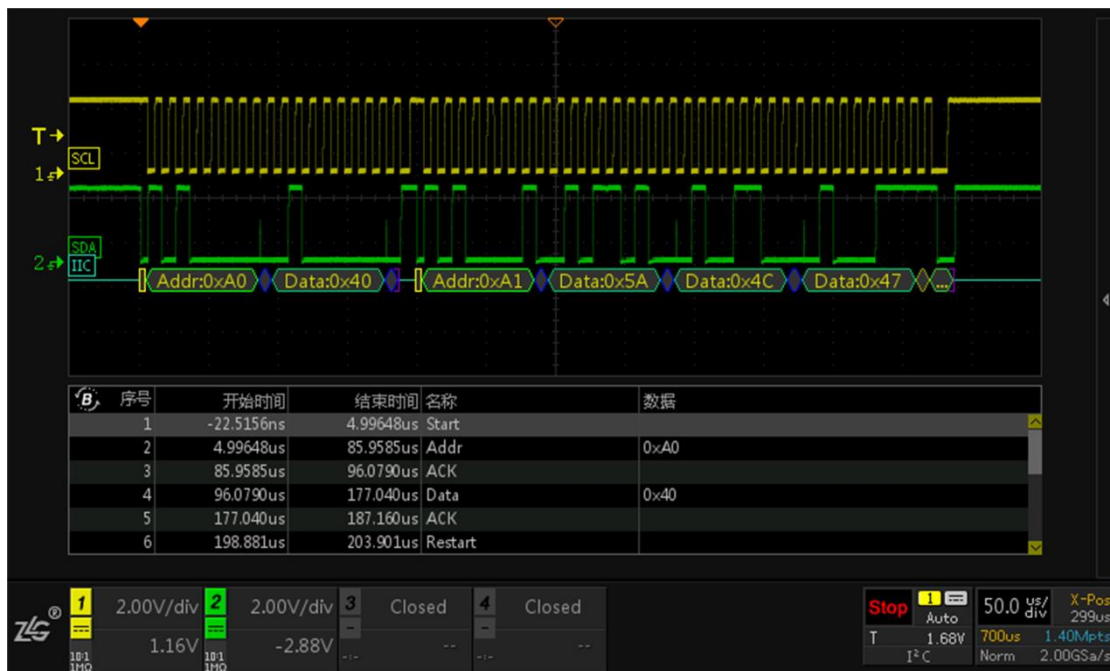


图 2.10 I2C 时序分析

2.2.4 I2C 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 2.11 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”。
- 若屏幕内只有一帧数据，则无法满足 t_{BUF} 总线空闲时间的测试条件，此时为以 Start 信号之前的空闲时间作为测试结果输出，若该值满足，则会以 Pass*显示。建议尽可能使

屏幕内出现两帧以上的数据。

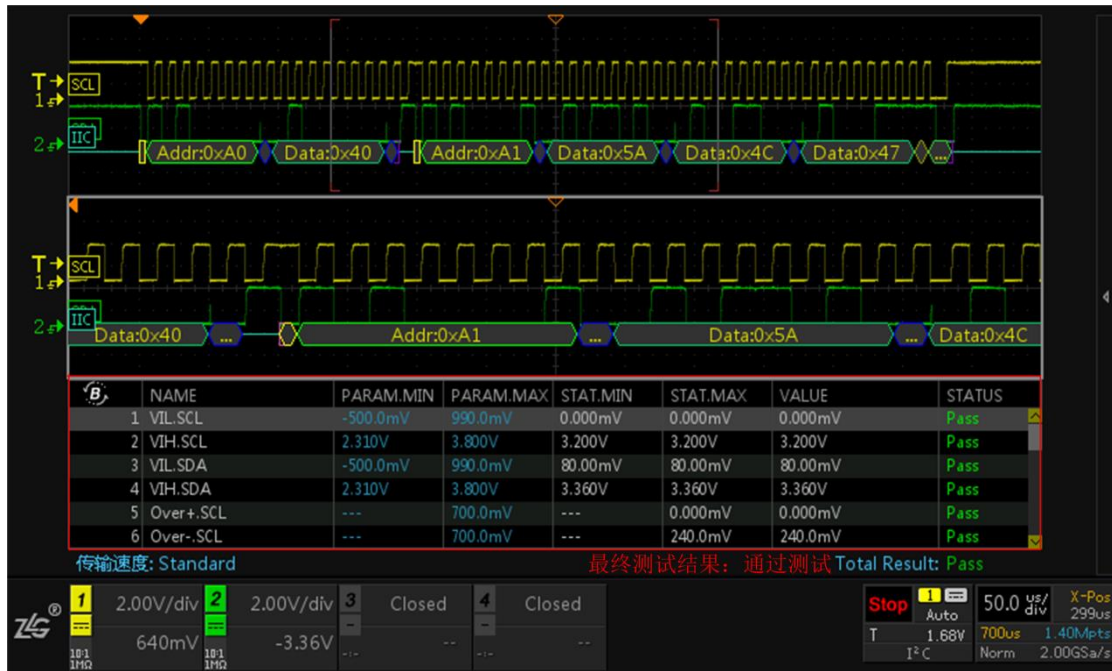


图 2.11 I2C 时序分析测试结果

- 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 2.12 所示。

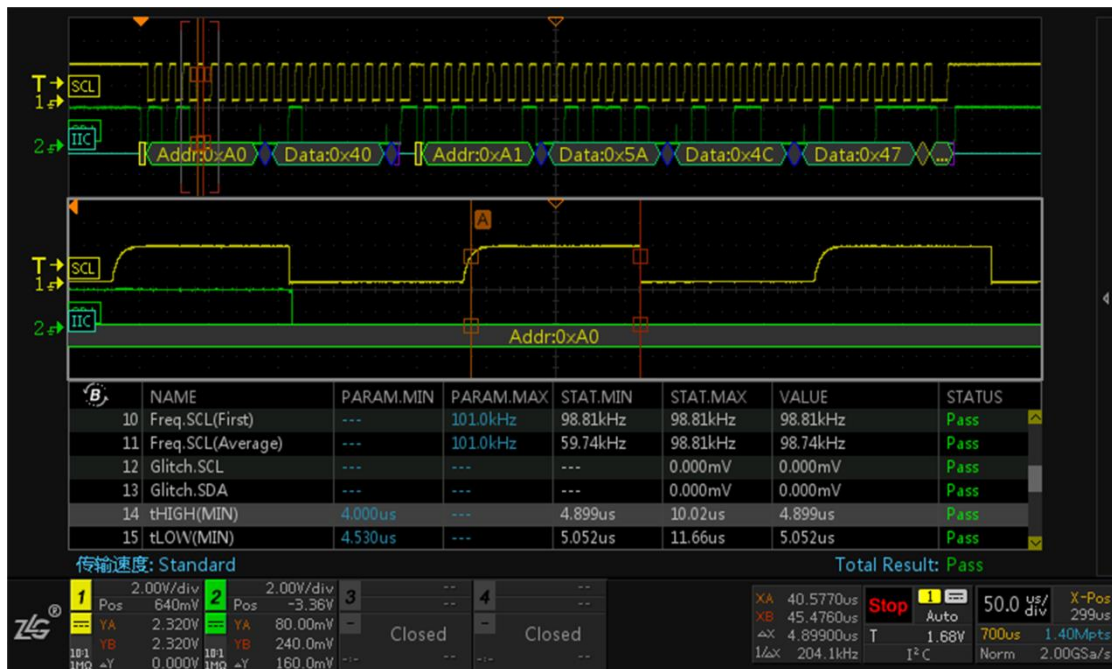


图 2.12 数据分析

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 2.13 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 2.13 文件导出步骤

3. I2C 参数测量项目

3.1 基本项目解析

I2C 规范中对时序的标准定义如表 3.1 所列。

表 3.1 I2C 总线 AC、DC 特性参数表

符号	名称	标准模式		快速模式		高速模式		单位
		最小值	最大值	最小值	最大值	最小值	最大值	
V_{IL}	输入的低电平电压	-0.5	$0.3 \times V_{cc}$	-0.5	$0.3 \times V_{cc}$	-0.5	$0.3 \times V_{cc}$	V
V_{IH}	输入的高电平电压	$0.7 \times V_{cc}$	$V_{cc} + 0.5$	$0.7 \times V_{cc}$	$V_{cc} + 0.5$	$0.7 \times V_{cc}$	$V_{cc} + 0.5$	V
F_{SCL}	时钟频率		100		400		3400	KHz
t_{LOW}	时钟低电平时间	4.7	-	1.3		0.16	-	μs
t_{HIGH}	时钟高电平时间	4.0	-	0.6		0.06	-	μs
t_F	时钟/数据下降时间	-	300	20	300	10	40	ns
t_R	时钟/数据上升时间		1000	20	300	10	40	ns
$t_{SU:STA}$	起始信号建立时间	4.7	-	0.6		0.16	-	μs
$t_{HD:STA}$	起始信号保持时间	4.0	-	0.6		0.16	-	μs
$t_{HD:DAT}$	数据信号保持时间	0	3.45	0	0.9	0	0.07	μs
$t_{SU:DAT}$	数据信号建立时间	250		100		10		ns
$t_{SU:STO}$	结束信号建立时间	4.0		0.6		0.16		μs
t_{BUF}	总线空闲时间	4.7		1.3		0.1		μs
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。						V
Over ₋	负过冲							
Monot	单调性（回沟）							
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 I2C 的时序图，其中黄色部分为测试项目对应的信号的具体位置。

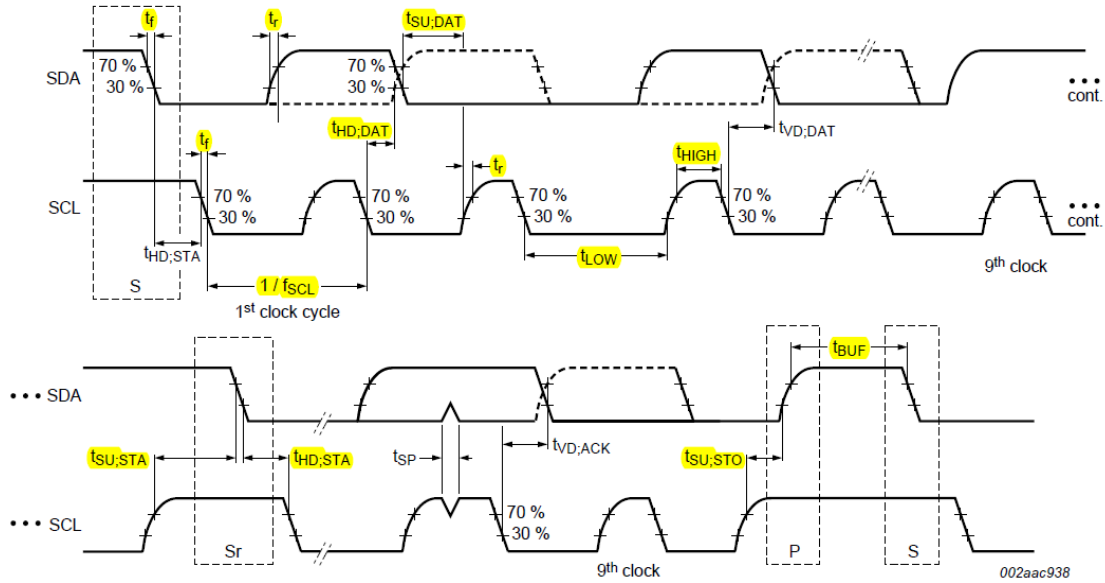


图 3.1 I2C 测试项目

I2C 所有时间相关的测试项都是基于 V_{IHmin} ($0.7V_{CC}$) 和 V_{ILmax} ($0.3V_{CC}$) 电平的, 如图 3.2 所示。

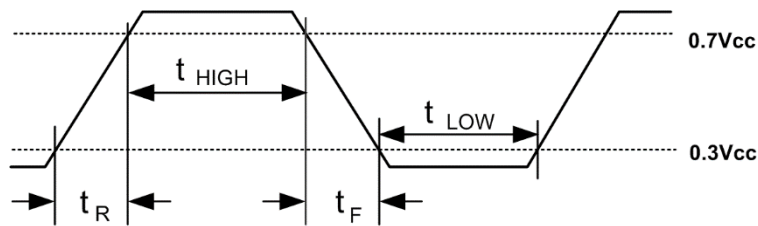


图 3.2 测试项目参考电平

I2C 中电压相关的测试项 V_{IL} (底部值) 与 V_{IH} (顶部值) 的计算原理如图 3.3 所示:

- V_{IH} 是波形平顶至地的电压值, 即顶部值;
- V_{IL} 是波形平底至地的电压值, 即底部值。

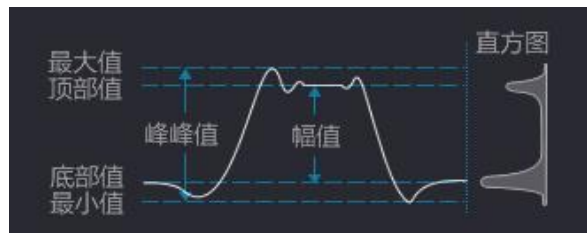


图 3.3 底部值与顶部值计算

I2C 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
SCL	VIL.SCL	SCL 信号线的低电平电压，测量原理见图 3.3 低部值。注 1
	VIH.SCL	SCL 信号线的高电平电压，测量原理见图 3.3 顶部值。注 1
	Glitch.SCL	SCL 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 3.2 节。注 2
	Over+.SCL	SCL 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 3.2 节。注 1
	Over-.SCL	SCL 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 3.2 节。注 1
	Monot.SCL	SCL 信号线的单调性（即回沟）测试项，可在参数界面中将“质量测试”设置为 ON 开启，当回沟电压超过预值时软件会判断该项 Fail，判定原理，参考 3.2 节。注 2
	Freq.SCL(First)	SCL 时钟信号的第一个周期对应的频率值，标准规范虽然规定了时钟上限（标准/快速/高速：100KHz/400KHz/3.4MHz），但实际应用中允许用户放宽条件增加允许误差，可在参数设置界面的“频率偏差”调整允许误差，如标准模式下设置 1KHz，则时钟频率小于 101KHz 时皆为 Pass。注 2
	Freq.SCL(Average)	SCL 时钟信号频率权重平均值，测量值采用周期相近的多数样本值进行算法平均。（即排除某些过大或过小的周期再进行统计），其它条件同 Freq.SCL(First)。注 2
SCL	tR.SCL(MAX)	t _R 和 t _F 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。注 2
	tF.SCL(MAX)	
	tLOW(MIN)	t _{LOW} 和 t _{HIGH} 为 SCL 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 SCL 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。注 2
	tHIGH(MIN)	
SDA	Glitch.SDA	SDA 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 3.2 节。注 2
	Over+.SDA	SDA 信号线的正过冲或负过冲测试项，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 3.2 节。注 1
	Over-.SDA	
	tR.SDA(MAX)	t _R 和 t _F 为数据的上升和下降时间，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）所有数据上升时间样本和下降时间样本，并
	tF.SDA(MAX)	

		选择样本中的最大值（时序最差的波形）作为测量结果输出。注 3
--	--	--------------------------------

续上表

信号线	测量项目	描述
SDA	tSU.STA(MIN)	起始信号建立时间（只有在 restart 条件下才会测试），时序定义如图 3.1 所示，系统会自动统计屏幕中（主时基）所有起始条件建立时间的样本，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。注 2
	tHD.STA(MIN)	起始信号保持时间，时序定义如图 3.1 所示，系统会自动统计屏幕中（主时基）所有起始条件保持时间的样本，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。注 2
	tSU.DAT(MIN)	数据信号建立时间，时序定义如图 3.1 所示，系统会自动统计屏幕中（主时基）所有数据建立时间的样本，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。注 3
	tHD.DAT(MIN,MAX)	数据信号的保持时间，时序定义如图 3.1 所示，系统会自动统计屏幕中（主时基）所有数据保持时间的样本，并选择样本中的最小值（时序最差的波形）和最大值（某些特别条件会有上限的限制）作为测量结果输出。如果开启筛选功能则仅统计符合筛选条件的样本。注 2
	tSU.STO(MIN)	结束信号的建立时间，时序定义如图 3.1 所示，系统会自动统计屏幕中（主时基）所有停止条件建立时间的样本，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。t _{SU:STO} 需要满足的条件有：不断记录最新出现 SCL 的上升时间，直到出现 stop 条件。注 3
	tBUF(MIN)	上一次停止和本次开始条件之间的总线空闲时间，参数定义如图 3.1 所示，系统会自动统计屏幕中（主时基）所有总线空闲时间的样本，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。 若屏幕内只有一帧数据，则无法满足 t _{BUF} 总线空闲时间的测试条件，此时为以 Start 信号之前的空闲时间作为测试结果输出，若该值满足，则会以 Pass* 显示。建议尽可能使屏幕内出现两帧以上的数据。注 1

注 1：即使开了筛选功能，测量样本还是按全屏（主时基）数据处理，不受筛选范围影响。

注 2：若开启了筛选功能，则样本以 ADDR 为筛选条件进行统计，不区分 R/W（不管读写，只看地址对应样本）。

注 3：若开启了筛选功能，则样本以 ADDR（包括读和写的样本）或 ADDR+R（只取地址的读样本）或 ADDR+W（只取地址的写样本）为筛选条件进行统计，区分 R/W。

3.2 信号质量项目解析

质量测试包含有毛刺、过冲和单调性（回沟）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. SCL 信号毛刺检测

SCL 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 3.4 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）。

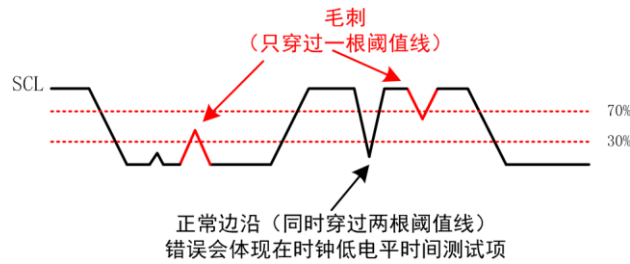


图 3.4 SCL 波形只穿过一根阈值线

2. SDA 信号毛刺检测

SDA 数据信号线的毛刺检测只出现在 SCL 为高电平的情况，在 SCL 高电平期间出现的毛刺，无论是穿过一根阈值线或同时穿过两根阈值线，均被判定为毛刺，如图 3.5 所示。注意，在 SCL 低电平期间，SDA 出现的毛刺由于对总线无影响会被忽略掉。

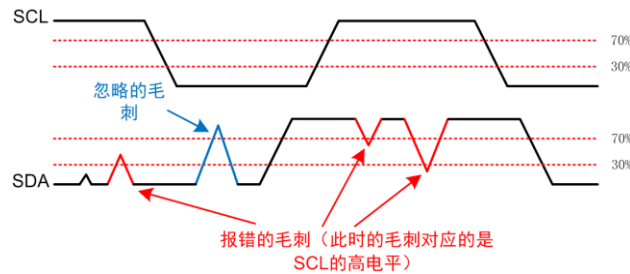


图 3.5 参考 SCL 的电平

3. SDA 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 3.6 所示，系统会在 SCL 变为高之前，测量 SDA 线最近一次跳变（0 变 1 或 1 变 0）做为上升或下降时间。

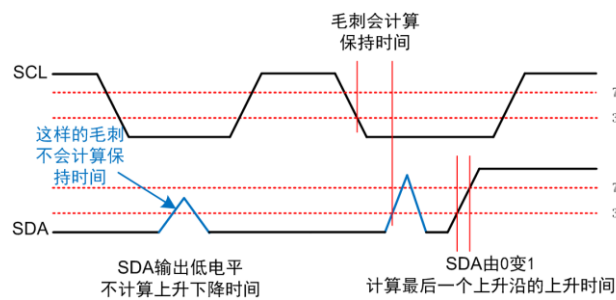


图 3.6 计算上升下降时间

3.2.2 过冲判定原理

过冲分为正过冲和负过冲。如图 3.7 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

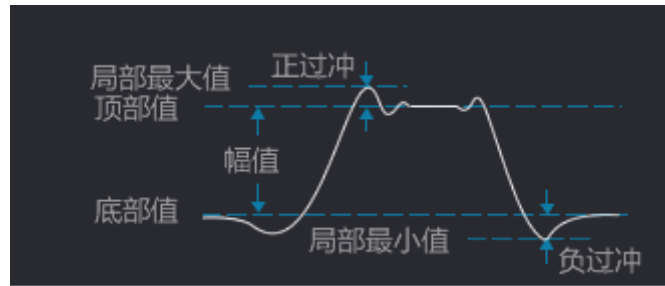


图 3.7 过冲

3.2.3 单调性（回沟）的判定原理

单调性，即回沟，是信号在上升沿或下降沿的过程中，受到干扰产生非单调波形的现象。回沟的电压幅值计算如图 3.8 所示，当测量值超过参数设置中的“单调性”的电压参考值时，测试项为 Fail。

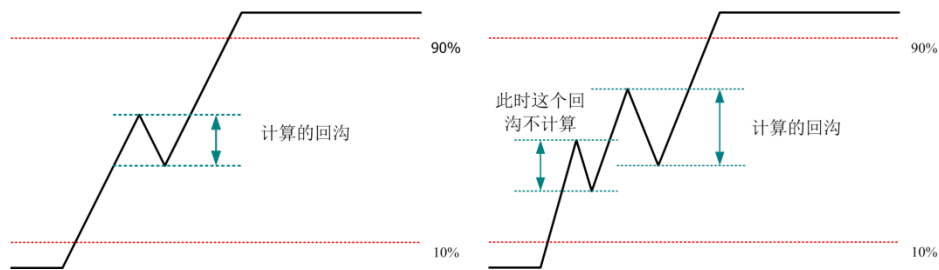


图 3.8 上升沿波形回沟示意图

4. 快速切换测试参数

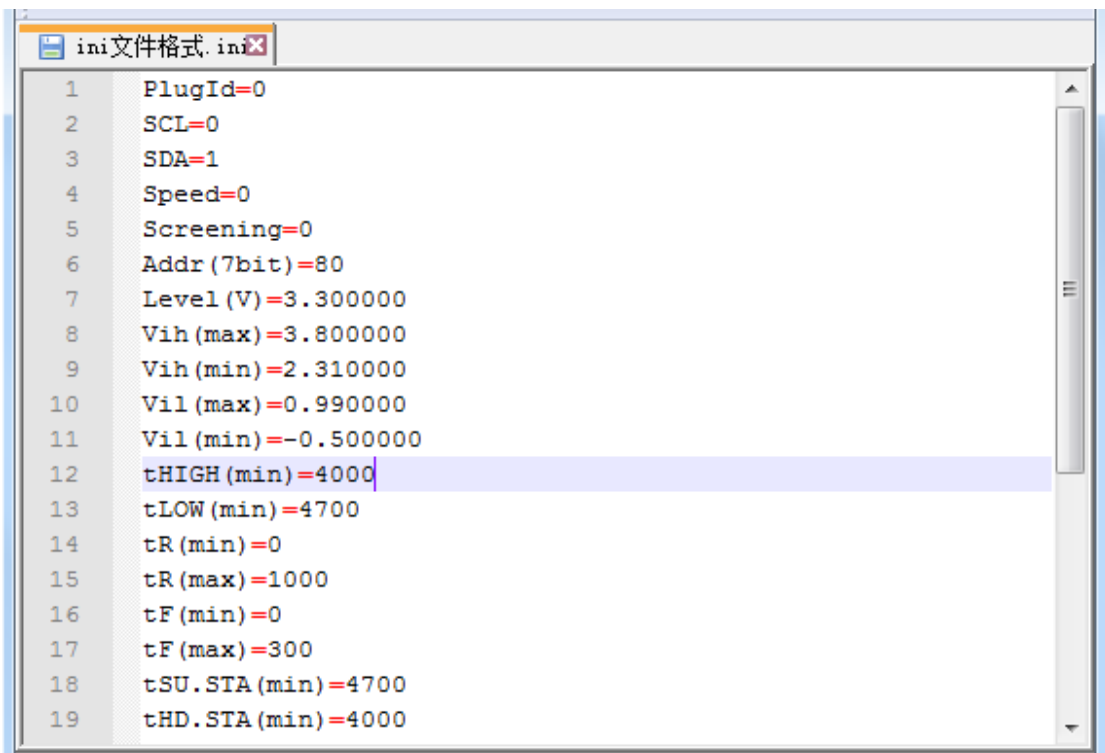
由于 I2C 时序分析软件有很多的参数需要设置，比较麻烦，所以为了防止在下次用时，再对参数进行设置，可以将参数保存为 ini 文件导出，下次使用时，再将对应的 ini 文件导入即可。

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，有快速模式的，有标准模式的等），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 ini 文件格式

ini 文件格式如图 4.1 所示：



```
1 PlugId=0
2 SCL=0
3 SDA=1
4 Speed=0
5 Screening=0
6 Addr(7bit)=80
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)=4000
13 tLOW(min)=4700
14 tR(min)=0
15 tR(max)=1000
16 tF(min)=0
17 tF(max)=300
18 tSU.STA(min)=4700
19 tHD.STA(min)=4000
```

图 4.1 ini 文件格式

- 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 0，0 代表 I²C 协议。
 - 4、上图的第二条命令，设置 SCL 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 4000ns。
- 其它的命令同理。

4.2 ini 文件配置参数说明

I2C 时序分析配置参数如表 4.1 所列：

表 4.1 配置参数

参数	名称	描述
PlugId	协议类型	0: IIC, 1:IIS, 2:SPI, 3:MIPI-RFFE
SCL	时钟信源	0~3: CH1~CH4
SDA	数据信源	0~3: CH1~CH4
Speed	传输速度	0: Standard, 1: Fast, 2: High
Screening	筛选条件	0: None, 1: Addr, 2: Addr+R, 3: Addr+W
Addr(7bit)	I ² C 从机地址, 不包含读写位	0~127
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	$V_{cc} < V_{ih(max)} \leq 1010$
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(min)	时钟/数据上升最小时间	单位为 ns, 范围 0~999,000,000
tR(max)	时钟/数据上升最大时间	单位为 ns, 范围 1~1,000,000,000, tR(min) < tR(max)
tF(min)	时钟/数据下降最小时间	单位为 ns, 范围 0~999,000,000
tF(max)	时钟/数据下降最大时间	单位为 ns, 范围 1~1,000,000,000, tF(min) < tF(max)
tSU.STA(min)	起始信号建立最小时间	单位为 ns, 范围 1~1,000,000,000
tHD.STA(min)	起始信号保持最小时间	单位为 ns, 范围 1~1,000,000,000
tSU.DAT(min)	数据信号建立最小时间	单位为 ns, 范围 1~1,000,000,000
tHD.DAT(min)	数据信号保持最小时间	单位为 ns, 范围 0~999,000,000
tHD.DAT(max)	数据信号保持最大时间	单位为 ns, 范围 1~1,000,000,000, tHD.DAT(min) < tHD.DAT(max)
tSU.STO(min)	结束信号建立最小时间	单位为 ns, 范围 1~1,000,000,000
tBUF(min)	总线空闲的最小时间	单位为 ns, 范围 1~1,000,000,000
Freq Deviat	时钟频率偏差	单位为 Hz, 范围-10,000~10,000
Quality Test	质量测试	0: OFF, 1:ON

续上表

参数	名称	描述
Over(V)	过冲默认值	单位为 V，范围 0.01~1000
Monot(V)	单调性默认值	
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<=High Thresh-10

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 I2C 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。

I2C 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。

5.1.1 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，I2C 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

5.1.2 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。

5.1.3 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：



图 5.3 历史统计结果

6. I2C 总线介绍

6.1 概述

I2C 总线是 PHILIPS 公司推出的一种串行总线，是具备多主机系统所需的包括总线裁决和高速器件同步功能的高性能串行总线。

I2C 总线用于连接微控制器及其外围设备。它最主要的优点是其简单性和有效性。由于接口直接在组件之上，因此 I2C 总线占用的空间非常小，减少了电路板的空间和芯片管脚的数量，降低了互联成本。I2C 总线的另一个优点是，它支持多主控（Multi-Mastering），其中任何能够进行发送和接收的设备都可以成为主总线。

物理结构上，I2C 总线只有两根双向信号线，一根是数据线 SDA，另一根是时钟线 SCL。

SCL（串行时钟线）：上升沿将数据输入到每个 EEPROM 器件中；下降沿驱动 EEPROM 器件输出数据。（边沿触发）

SDA（串行数据线）：双向数据线，为 OD 门，与其它任意数量的 OD 与 OC 门成“线与”关系。

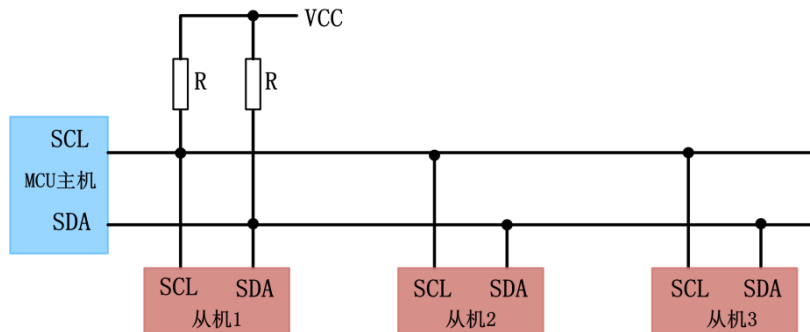


图 6.1 I2C 总线内部结构

I2C 总线通过上拉电阻接正电源。当总线空闲时，两根线均为高电平。连到总线上的任一器件输出的低电平，都将使总线信号变低，即各器件的 SDA 及 SCL 都是线“与”关系。

主机按一定的通信协议向从机寻址和进行信息传输。在数据传输时，由主机初始化一次数据传输，主机使数据在 SDA 线上传输的同时还通过 SCL 线传输时钟。信息传输的对象和方向以及信息传输的开始和终止均由主机决定。

每个器件都有一个唯一的地址，而且可以是单接收器件，或者可以接收也可以发送器件。发送器和接收器可以在主模式或从模式下操作，这取决于芯片是否必须启动数据的传输还是仅仅被寻址。

6.2 协议介绍

6.2.1 速率

I2C 有三种速率，如下：

- 普通模式：100kHz；
- 快速模式：400kHz；
- 高速模式：3.4MHz；

6.2.2 数据有效性

I2C 总线进行数据传送时，时钟信号 SCL 为高电平期间，数据线 SDA 上的数据必须保持稳定，只有在时钟线 SCL 上的信号为低电平期间，数据线 SDA 上的高电平或低电平状态才允许变化。

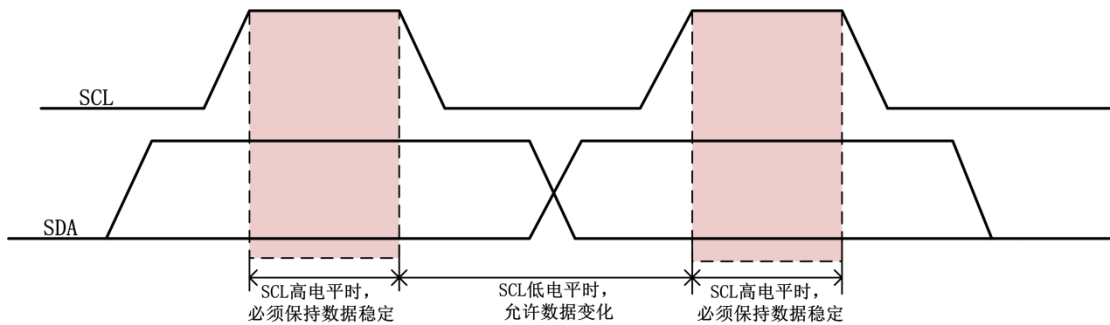


图 6.2 数据有效性

6.2.3 空闲状态

I2C 总线的 SDA 和 SCL 两条信号线同时处于高电平时，规定为总线的空闲状态。

6.2.4 起始和停止条件

在 I2C 总线中，唯一被定义为起始 (S) 和停止 (P) 条件的情况如图 6.3 所示。

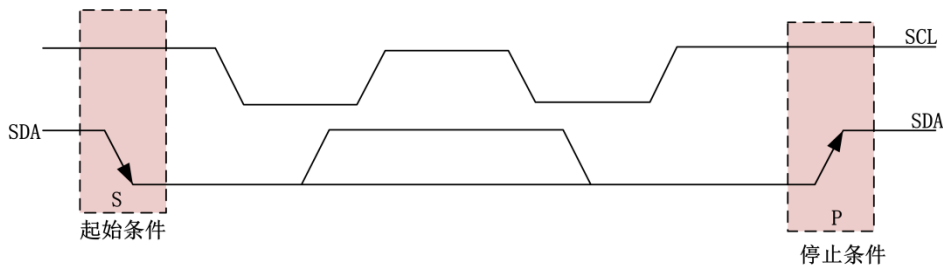


图 6.3 起始和停止条件

起始条件：当 SCL 线是高电平时，SDA 线从高电平向低电平切换，这个情况表示起始条件。

停止条件：当 SCL 线是高电平时，SDA 线由低电平向高电平切换，这个情况表示停止条件。

起始和停止条件一般由主机产生。总线在起始条件后被认为处于忙的状态。在停止条件的某段时间后，总线被认为再次处于空闲状态。

如果产生重复起始 (Sr) 条件而不产生停止条件，总线会一直处于忙的状态。此时的起始条件 (S) 和重复起始 (Sr) 条件在功能上是一样。因此在本文档的剩余部分符号 S 将作为一个通用的术语既表示起始条件又表示重复起始条件，除非有特别声明的 Sr。

6.2.5 ACK 信号

发送器每发送一个字节，就在时钟脉冲 9 期间释放数据线，由接收器反馈一个应答信号。应答信号为低电平时，规定为有效应答位 (ACK 简称应答位)，表示接收器已经成功地接收了该字节；应答信号为高电平时，规定为非应答位 (NACK)，一般表示接收器接收该字节没有成功。

6.3 数据传送格式

I2C 总线的数据传输是按字节传输的，并且带有应答位。

6.3.1 字节格式

发送到 SDA 线上的每个字节必须为 8 位。每次传输可以发送的字节数量不受限制。每个字节后必须跟一个响应位（ACK,即一帧共有 9 位）。首先传输的是数据的最高位（MSB）如图 6.4 所示，如果从机要完成一些其他功能后（例如一个内部中断服务程序）才能接收或发送下一个完整的数据字节可以使时钟线 SCL 保持低电平迫使主机进入等待状态，当从机准备好接收下一个数据字节并释放时钟线 SCL 后，数据传输继续。

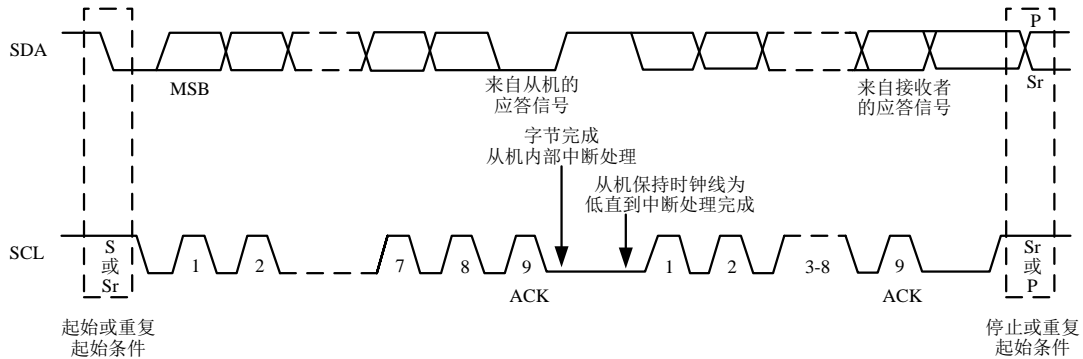


图 6.4 I2C 总线的数据传输

由于某种原因从机不对主机寻址信号应答时（如从机正在进行实时性的处理工作而无法接收总线上的数据），它必须将数据线置于高电平，而由主机产生一个终止信号以结束总线的的数据传送。

如果从机对主机进行了应答，但在数据传送一段时间后无法继续接收更多的数据时，从机可以通过对无法接收的第一个数据字节的“非应答”通知主机，主机则应发出终止信号以结束数据的继续传送。

当主机接收数据时，它收到最后一个数据字节后，必须向从机发出一个结束传送的信号。这个信号是由对从机的“非应答”来实现的。然后，从机释放 SDA 线，以允许主机产生终止信号。

6.3.2 数据帧格式

I2C 协议除了 7 位寻址外还增加了 10 位寻址，允许 1024 个额外的从机地址。以下将介绍这两种 I2C 地址的格式。

1. 7 位地址格式

主机在起始条件（S）后，发送了一个从机地址。这个地址共有 7 位，紧接着的第 8 位是数据方向位（R/W），‘0’表示发送（写），‘1’表示请求数据（读）。数据传输一般由主机产生的停止位（P）终止。但是，如果主机仍希望在总线上通讯，它可以产生重复起始条件（Sr）和寻址另一个从机，而不是首先产生一个停止条件。在这种传输中，可能有不同的读/写格式结合。

可能的数据传输格式有：

- “主机发送器”发送到“从机接收器”，传输的方向不会改变（如图 6.5 所示）。
- 在第一个字节后，主机立即读从机（如图 6.6 所示）。在第一次响应时，“主机发送

器”变成“主机接收器”，“从机接收器”变成“从机发送器”，第一次响应仍由从机产生。最后发送了一个不响应信号 (\bar{A}) 的主机产生停止条件。

- 复合格式 (如图 6.6 所示), 传输改变方向的时候, 起始条件和从机地址都会被重复。但 $\overline{R/W}$ 位取反, 如果“主机接收器”发送一个重复起始条件, 它之前应该发送了一个不响应信号 (\bar{A})。

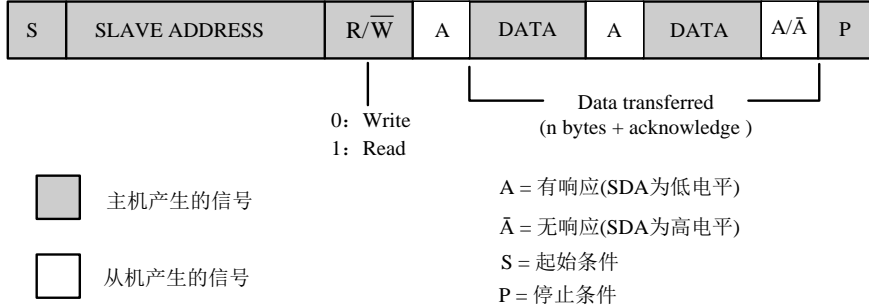


图 6.5 主机发送器用 7 位地址寻址从机接收器 (传输方向不变)

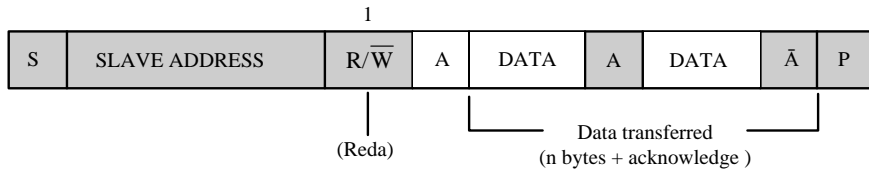


图 6.6 在第一字节后主机立即读从机

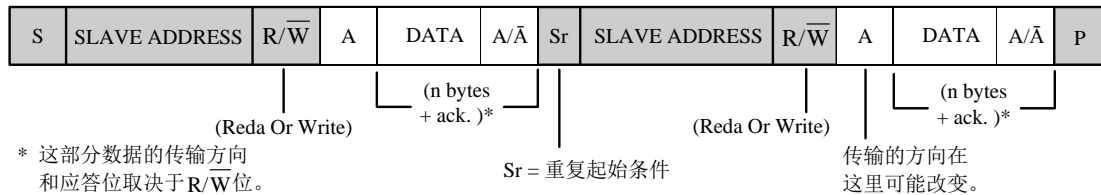


图 6.7 复合格式

2. 10 位地址格式

10位从机地址是由起始条件 (S) 或重复起始条件 (Sr) 后的头两个字节组成。

第一个字节的头7位是1111 0XX的组合, 其中最后两位 (XX) 是10位地址的两个最高位 (MSB); 第一个字节的第8位是 $\overline{R/W}$ 位决定了报文的方向 (‘0’: 表示主机将写信息到选中的从机; ‘1’: 表示主机将向从机读信息)。

如果 $\overline{R/W}$ 位是 ‘0’, 则第二个字节是10位从机地址剩下的8, 位如果 $\overline{R/W}$ 位是 ‘1’, 则下一个字节是从机发送给主机的数据。

7. 免责声明

本着为用户提供更好服务的原则，广州致远电子股份有限公司（下称“致远电子”）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，致远电子不能完全保证该文档在任何时段的时效性与适用性。致远电子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电子官方网站或者与致远电子工作人员联系。感谢您的包容与支持！