

# 使用 FlexChannel<sup>®</sup> 入通道调试多 总线系统

技术简介



Tektronix<sup>®</sup>

## 您将学习：

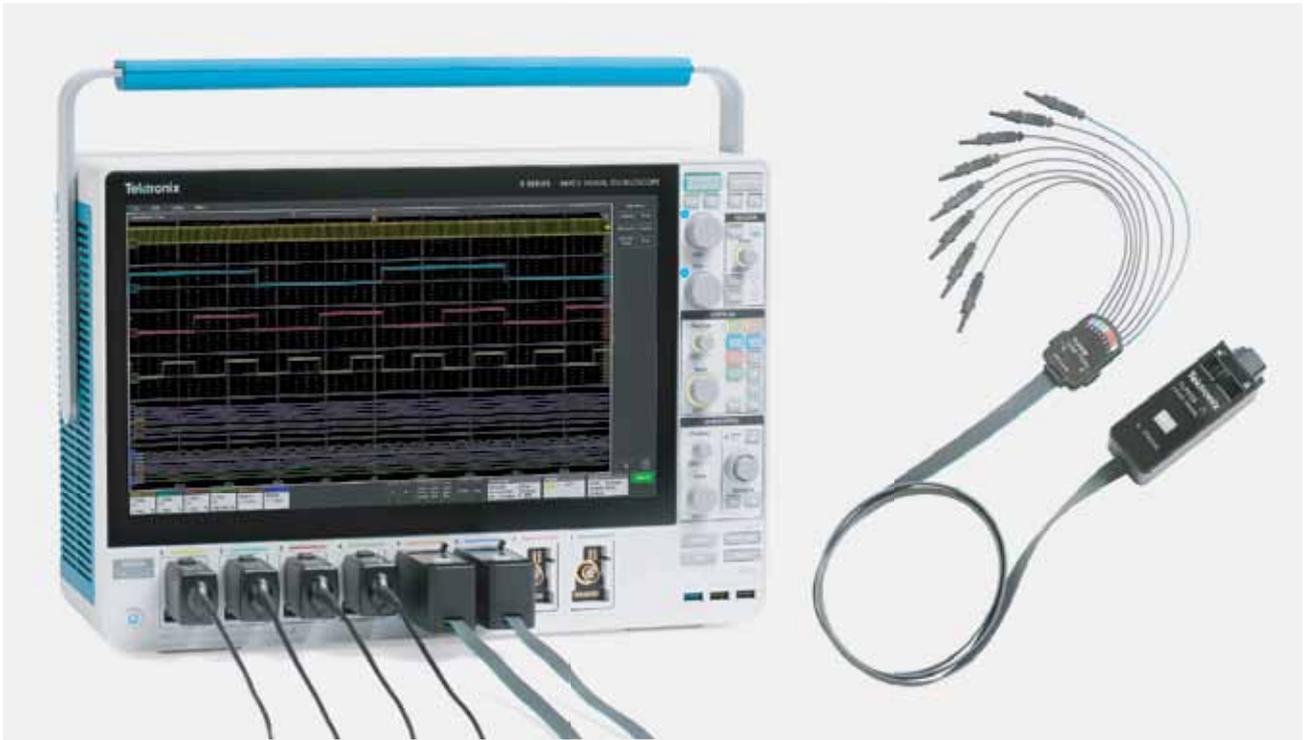
怎样利用配备 FlexChannels<sup>®</sup> 的混合信号示波器，灵活地调试和检验拥有各种并行和串行总线配置的系统。

## 引言

大多数嵌入式系统，即使是相对简单的系统，都采用多总线结构。为了观察这些系统，调试和检验工具必须能够显示多条总线的活动，以及传感器、促动器、显示器和接口信号。挑战在于，您不仅要查看多条总线，而且每条总线都要求不同的信令传送方法，因此需要不同的探测方法。某些总线可以使用单端测量观察，其他总线则要求差分测量。为了查看多条总线，您可能要利用数字逻辑通道，大大扩展通道数量。本应用指南讨论了嵌入式系统设计人员在评估多总线系统时面临的挑战，以及怎样使用 FlexChannel 输入通道克服这些挑战。

新型 FlexChannel 输入通道可以使用范围最广泛的探头，满足测量多个不同信号的需求。每条 FlexChannel 可以测量：

- 使用无源探头测量一个单端模拟信号
- 使用 TLP058 逻辑探头接入 8 条数字通道，测量 8 个数字逻辑信号。
- 使用 TekVPI<sup>®</sup> 差分电压探头测量 1 个差分电压信号。
- 使用 IsoVu<sup>™</sup> 隔离测量系统测量 1 个光隔离差分电压信号
- 使用 TekVPI<sup>®</sup> 电流探头测量 1 个电流信号



8-FlexChannel MSO58，已经连接模拟探头和数字探头。

专为 5 系列 MSO 开发的 TLP058 逻辑探头可以连接到任何 FlexChannel 上，接入 8 个数字信号。

5 系列 MSO 为调试和检验多总线系统提供了最优秀的工具。它采用 15.6 英寸超大高清显示器，显示区域是 10.4 英寸显示器的两倍，高清分辨率可以支持多个信号和总线。

5 系列 MSO 包括 4 条、6 条和 8 条 FlexChannel 型号，采集的模拟信号数量是大多数示波器的两倍。每条 FlexChannel 还提供了 8 个数字输入，只需连接 TLP058 逻辑探头即可接入。

除能够在模拟信号采集与数字信号采集之间来回转换外，FlexChannel 采用不同的架构，可以异常紧密地集成模拟采集和数字采集。模拟信号和数字信号采用相同的触发电路，以相同的速率同时采样，从测量流程中消除了模拟 / 数字定蛙不确定度。

## 高保真捕获总线信号的考虑因素

### 采集单端总线信号

许多常用的低速和中速总线都采用单端信令，用相对于系统接地的特定电压表示数字信号。一般使用示波器标配无源电压探头或使用混合信号示波器上的数字探头捕获这些模拟信号。FlexChannel 输入同时支持这两种探头类型，应考虑的部分重要因素包括：

- 地线要尽可能短。为了成功地采集模拟信号，首先要保证每条通道的基准电压通过低电感路径连接到示波器上。
- 确保测量系统的上升时间小于信号上升时间的五分之一。示波器和探头的性能必须能够充分真实地表示信号。常用准则是确保测量系统的带宽至少是信号带宽的五倍，采样率至少是信号带宽的 3-5 倍。
- 对 MSO 上的数字逻辑电路，示波器和探头的综合系统带宽应足以捕获信号，数字通道上的采样率应至少是信号频率的 10 倍。性能通常用带宽或可以检测的最小脉宽表示。
- 确保探头阻抗相对于信号源阻抗很大，最大限度地降低探头负载对信号的影响。
- 对低功率电路，这主要是探头的输入电阻；对高速信号，这主要是探头的输入电容。

### 采集差分总线信号

为改善总线抗噪声能力，同时为了改善更高速的总线的信号完整性，通常会使用差分信令。与单端信令不同，差分信令用两个信号之间的电压差表示。对某些低频率应用，可以使用单端探头捕获差分信号的每一侧，示波器可以计算数学差。在实践中，由于探头增益、传播延迟和补偿差异，这种技术特别容易发生错误。

捕获差分信号最可靠的方式是使用有源差分探头，其在探头尖端采用差分放大器，来传感电压差异。

上面列明的单端探头的性能考虑因素同样也适用于数字探头。但是，必须注意差分探头能够忽略或抑制共模信号。这些探头的—个主要指标是关心的频率上的共模抑制比 (CMRR)。泰克提供了各种不同性能的差分探头，包括为最苛刻的测量环境设计的光隔离 IsoVu™ 差分测量系统。



### 对所有信号方式 – 阈值是关键

不管采用哪种技术捕获信号，总线信号的模拟表示一般都连接到示波器上。在正确解释总线信号前，模拟信号必须与阈值对比，如果超过阈值，那么一般解释为高（“1”）；如果低于阈值，那么一般解释为（“0”）。（在某些情况下，模拟电压会与数字逻辑探头内部的阈值进行对比。）

许多嵌入式设计基于多个逻辑家族，要求使用各种数字阈值。有的示波器支持每条通道设置专用阈值，可以实现最大的调试灵活性和采集保真度。



### 使用波形触发模式隔离信号完整性问题

在调试并行总线或串行总线的信号完整性问题时，首先应使用高级示波器中的标准触发模式，捕获违反设计规范的信号：

- 可以使用脉宽触发，隔离时钟线和数据线上的毛刺和最小脉宽违规。
- 可以使用超时触发，隔离漏掉的脉冲，如时钟信号中。
- 可以使用上升时间和下降时间触发，隔离设计中太快或太慢的信号边沿。
- 可以使用欠幅脉冲和窗口触发，隔离幅度不正确、太低或太高的数字信号。
- 多通道建立时间和保持时间触发功能会把一个或多个数据信号的定时与时钟信号进行对比，检测元器件建立时间和保持时间违规。

这个标准数字调试触发实例显示了总线建立时间和保持时间触发配置菜单和画面。它提供了模拟通道（通道 1、2 和 5-8）和 16 个数字输入（通道 3 和 4），示波器设置成触发定时违规。



## 自动总线分析

一旦解决了任何信号完整性问题，那么我们要检验更广泛的系统的工作方式是否符合预期。

## 解码总线信号

在并行总线结构中，总线的每个部分都有自己的信号路径，可能有地址线、数据线、时钟线及各种控制信号。通过总线发送的地址值或数据值在所有并行线路上同时传送，因此可以使用大多数示波器中的逻辑触发功能，相对简便地隔离关心的事件。为了解码并行总线上的活动，必须以近似的时间采样每个地址线、数据线和控制线上的逻辑状态，通常会与时钟信号保持一致。上面的屏幕显示了并行总线设置配置菜单和画面，显示了有模拟输入（通道 1 和 2）和 16 个数字输入（通道 3 和 4），并触发特定总线值。

在串行总线上，所有这些信息都在一条或多条导线上顺序发送。这意味着一个信号可以包括地址信息、数据信息、控制信息和时钟信息。例如，考虑一下 IC 间 ( $I^2C$ ) 串行总线，时钟在一条导线上发送，数据信号则在第二条导线上发送。

在了解了  $I^2C$  协议后，可以手动解码总线业务，具体方式是：捕获信号，找到消息开头（数据变成低，时钟为高），手动检测和写下时钟每个上升沿上的数据值，然后把比特整理到消息结构中。但这个过程非常耗时，且容易出错，不能有效地把高品质产品推向市场。



有一种更好的方式。上面的实例显示了用于自动解码和触发的 I<sup>2</sup>C 串行总线设置。它显示了配置菜单和解码画面，包括模拟输入信号和数字波形。解码后的总线业务在总线写入十六进制地址 50 时触发。

这些选配的总线分析工具可以用于嵌入式系统设计中使用的某些最常见的低速和中速串行标准。支持的并行总线标准和串行总线标准视示波器型号变化。附录 A 显示了 5 系列 MSO 上提供的总线支持。附录 B 或 [www.tektronix.com](http://www.tektronix.com) 提供了一个对比表，比较了不同泰克示波器上支持的总线。

注意解码的总线下面显示的数字波形，它显示了模拟输入信号与阈值的比较结果，这是解码串行总线的中间步骤。通过目视比较模拟波形和数字波形，可以使用显示画面确认是否正确设置了阈值。

通过查看设计中触发点前和触发点后的关键信号，可以了解原因和结果，调试问题，检验系统工作方式是否与设计方式一致。例如，可以找到特定器件上每个总线写入后不久发生的系统错误。



时间相关的波形的总线解码显示是许多硬件工程师熟悉而又实用的格式。而对固件工程师来说，结构表格式可能会更加实用。这种带时间标记的总线活动显示画面可以简便地与软件列表进行对比，简便地计算执行速度。



### 自动搜索特定总线事件

在正确设置总线触发时，示波器将捕获所有输入信号，一个指定的总线事件将位于触发点。但发生了多少个事件呢？您可以手动滚动采集的数据，查找事件，但这个过程耗时较长，且容易出错。

更加高效可靠的方法是使用自动 Wave Inspector® 搜索技术。其设置与总线触发设置类型，示波器可以自动查找和标记关心的总线事件发生的所有时点。在本例中，搜索设置成查找 I<sup>2</sup>C 总线上的十六进制数据值 16。十六进制数据字节 16 在采集的总线数据中发生了 11 次，每个发生时点都在显示屏顶部用粉红色三角形表示。显示屏底部缩放窗口中粉红色括号图标则显示了其中一个匹配的串行数据包的详细视图。



## 多总线调试和检验

混合信号示波器配备自动总线解码和触发功能，特别适合调试多总线系统。一旦对一条或多条总线的性能树立信心，那么可以使用足够的数字通道，查看总线活动或提供触发。您可以预留宝贵的模拟通道，更深入地查看信号质量。

这显示了 8 通道 5 系列 MSO 的多总线显示画面，在一个同步视图中显示了 3 条总线：

- I<sup>2</sup>C 串行总线基于模拟通道 1 和 2，使用两只单端无源探头
- SPI 串行总线基于通道 3 上的数字输入，使用 TLP058 逻辑探头
- 并行总线基于通道 4 数字输入，使用 TLP058 逻辑探头

通过结合使用数字通道和模拟通道，5 系列 MSO 可以支持大量的总线，数量只受综合通道数限制。

## 附录 A

5 系列 MSO 上提供的总线触发、搜索、解码:

	触发 / 搜索:	总线解码显示:
并行 (标配)	数据值 (二进制 / 十六进制)	数据值
I <sup>2</sup> C (选项 5-SREMBD)	开始, 重复开始, 结束, 未确认, 地址 (7 位或 10 位), 数据 (1-5 字节), 地址和数据	开始, 地址, 数据, 未确认, 结束
SPI (选项 5-SREMBD)	SS 活动 (3 线 SPI), 帧头 (2 线 SPI), 数据 (1-16 字节)	开始, 数据, 结束
RS-232 / RS-422 / RS-485 / UART (选项 5-SRCOMP)	开始, 包尾, 数据 (1 - 10 字节), 奇偶性错误	开始, 数据, 奇偶性, 奇偶性错误
CAN (选项 5-SRAUTO)	帧头, 帧类型 (数据, 远程, 错误, 过载), 标识符 (标准或扩展), 数据 (1-8 字节), 标识符和数据, EOF, 未确认, 位填充错误	帧头, 标识符, 数据长度控制, 数据, CRC, 帧尾, 错误
LIN (选项 5-SRAUTO)	同步, 标识符, 数据 (1-8 字节), ID 和数据, 唤醒帧, 睡眠帧, 错误 (同步, ID 奇偶性, 校验和)	帧头, 同步, 标识符, 数据, CRC, 错误
FlexRay (选项 5-SRAUTO)	帧头, 指示符位 (正常, 净荷, 空, 同步, 启动), 周期数, 包头字段 (指示符位, 标识符, 净荷长度, 包头 CRC 和周期数), 标识符, 数据, 标识符和数据, 帧尾 (静态, 动态), 错误 (包头 CRC, 追踪器 CRC, 静态空帧, 动态空帧, 动态同步帧, 开始帧号同步)	TTS, 开始, 帧 ID, 净荷长度, 包头, 周期数, 数据, CRC, DTS, CID, 结束
USB 2.0 (选项 5-SRUSB2)	令牌包, 数据包, 握手包, 专用包, 错误	开始, PID, 数据, CRC, 结束
10/100BASE-T 以太网 (选项 5-SRENET)	开始帧分界符, 源和目的 MAC 地址, MAC Q 标记控制信息, MAC 长度 / 类型, MAC 客户端数据 (1-16 字节), IPV4 包头, TCP 包头, TCP/IPV4 客户端数据 (1-16 字节), 包尾, FCS (CRC) 错误, 空闲	帧头, 前置码, 帧头, MAC 目的和源地址, MAC 长度 / 类型, 数据, IPV4 包头, TCP 包头, 帧校验序列 /CRC, 包尾, 错误
I <sup>2</sup> S / LJ / RJ / TDM (选项 5-SRAUDIO)	字选择 (仅 I <sup>2</sup> S, LJ, RJ), 帧同步 (仅 TDM), 数据	左通道数据 (I <sup>2</sup> S, LJ, RJ), 右通道数据 (I <sup>2</sup> S, LJ, RJ), 通道 1 - N 数据 (TDM)

## 附录 B

泰克提供多种型号，满足您的性能需求：

	MSO/DPO70000 系列	DPO7000C 系列	5 系列 MSO	MSO/DPO5000 系列	MDO4000C 系列	MDO3000 系列	MSO/DPO2000 系列
带宽	33 GHz, 25 GHz, 23 GHz, 20 GHz, 16 GHz, 12.5 GHz, 8 GHz, 6 GHz, 4 GHz	3.5 GHz, 2.5 GHz, 1 GHz, 500 MHz	2 GHz, 1 GHz, 500 MHz, 350 MHz	2 GHz, 1 GHz, 500 MHz, 350 MHz	1 GHz, 500 MHz, 350 MHz, 200 MHz	1 GHz, 500 MHz, 350 MHz, 200 MHz, 100 MHz	200 MHz, 100 MHz, 70 MHz
模拟通道	4	4	4, 6, 8	4	4	2 或 4	2 或 4
数字通道	16 (MSO)	–	8 ~ 64 (选配)	16 (MSO)	16 (选配)	16 (选配)	16 (MSO)
频谱分析仪通道	–	–	–	–	1 (选配)	1	–
记录长度 (所有通道)	最高 62.5 M (标配) 最高 250 M (选配)	25 M (标配) 最高 125 M (选配)	62.5 M (标配) 125 M (选配)	25 M (标配) 最高 125 M (选配)	20 M	10 M	1 M
采样率 (模拟)	最高 100 GS/s	最高 40 GS/s	最高 6.25 GS/s	最高 10 GS/s	最高 5 GS/s	最高 5 GS/s	1 GS/s
彩色显示器	12.1 英寸 XGA	12.1 英寸 XGA	15.6 英寸 HD	10.4 英寸 XGA	10.4 英寸 XGA	9 英寸 WVGA	7 英寸 WQVGA
并行总线触发 和分析	标配	标配	标配	标配	选配	选配	MSO 型号标配
串行总线触发 和分析应用	I <sup>2</sup> C SPI RS–232/422/ 485/UART CAN LIN FlexRay USB 2.0 10/100BASE–T 以太网 MIL–STD–1553 8b/10b 解码 D–PHY MIPI 解码 PCI Express 解码	I <sup>2</sup> C SPI RS–232/422/ 485/UART CAN LIN FlexRay USB 2.0 10/100BASE–T 以太网 MIL–STD–1553 8b/10b 解码 D–PHY MIPI 解码 PCI Express 解码	I <sup>2</sup> C SPI RS–232/422/ 485/UART CAN LIN FlexRay USB 2.0 10/100BASE–T 以太网 I <sup>2</sup> S/LJ/RJ/TDM	I <sup>2</sup> C SPI RS–232/422/ 485/UART CAN LIN FlexRay USB 2.0 以太网 MIL–STD–1553 8b/10b 解码 D–PHY MIPI 解码 PCI Express 解码	I <sup>2</sup> C SPI RS–232/422/ 485/UART CAN CAN FD LIN FlexRay USB 2.0 I <sup>2</sup> S/LJ/RJ/TDM MIL–STD–1553	I <sup>2</sup> C SPI RS–232/422/ 485/UART CAN CAN FD LIN FlexRay USB 2.0 I <sup>2</sup> S/LJ/RJ/TDM MIL–STD–1553	I <sup>2</sup> C SPI RS–232/422/ 485/UART CAN LIN
同时显示的串行 总线数量	16	16	基本上无上限	16	3	2	2
标配无源探头的 输入阻抗	–	10 MΩ / 9.5 pF	10 MΩ / 3.9 pF	10 MΩ / 3.9 pF	10 MΩ / 3.9 pF	10 MΩ / 3.9 pF	10 MΩ / < 12 pF
数字探头的输入 阻抗	3.0 pF / 20 kΩ (P6716A) 0.5 – 2.0 pF / 20 kΩ(P6780)	–	< 3 pF / 100 kΩ	< 3 pF / 100 kΩ	< 3 pF / 100 kΩ	8 pF / 101 kΩ	8 pF / 101 kΩ
数字探头切换频 率或带宽	1 GHz (P6716A) 2.5 GHz (P6780)	–	500 MHz	500 MHz	500 MHz	5 ns	5 ns



泰克官方微信

**如需所有最新配套资料，请立即与泰克本地代表联系！**

**或登录泰克公司中文网站：[cn.tek.com](http://cn.tek.com)**

**泰克中国客户服务中心全国热线：400-820-5835**

**泰克科技(中国)有限公司**

上海市浦东新区川桥路1227号  
邮编：201206  
电话：(86 21) 5031 2000  
传真：(86 21) 5899 3156

**泰克北京办事处**

北京市海淀区花园路4号  
通恒大厦1楼101室  
邮编：100088  
电话：(86 10) 5795 0700  
传真：(86 10) 6235 1236

**泰克上海办事处**

上海市长宁区福泉北路518号  
9座5楼  
邮编：200335  
电话：(86 21) 3397 0800  
传真：(86 21) 6289 7267

**泰克深圳办事处**

深圳市深南东路5002号  
信兴广场地王商业大厦3001-3002室  
邮编：518008  
电话：(86 755) 8246 0909  
传真：(86 755) 8246 1539

**泰克成都办事处**

成都市锦江区三色路38号  
博瑞创意成都B座1604  
邮编：610063  
电话：(86 28) 6530 4900  
传真：(86 28) 8527 0053

**泰克西安办事处**

西安市二环南路西段88号  
老三届世纪星大厦26层C座  
邮编：710065  
电话：(86 29) 8723 1794  
传真：(86 29) 8721 8549

**泰克武汉办事处**

武汉市洪山区珞喻路726号  
华美达大酒店702室  
邮编：430074  
电话：(86 27) 8781 2760

**泰克香港办事处**

香港九龙尖沙咀弥敦道132号  
美丽华大厦808-809室  
电话：(852) 2585 6688  
传真：(852) 2598 6260

**CN.TEK.COM** 为您提供更多宝贵资源。

© 泰克科技公司版权所有，侵权必究。泰克产品受到已经签发及正在申请的美国专利和国外专利保护。本文中的信息代替所有以前出版的材料中的信息。技术数据和价格如有变更，恕不另行通告。TEKTRONIX 和泰克徽标是泰克公司的注册商标。本文提到的所有其他商号均为各自公司的服务标志、商标或注册商标。

05/17 EA 55C-61100-0

