

使用泰克混合信号示波器 调试混合信号嵌入式设计

应用指南

引言

当前的嵌入式设计工程师面临着系统复杂程度日益提高的挑战。典型的嵌入式设计可能会包括各种模拟信

号、高速和低速串行数字通信、微处理器总线等等。I²C 和 SPI 等串行协议通常用于芯片间通信，但不能在所有应用中代替并行总线。

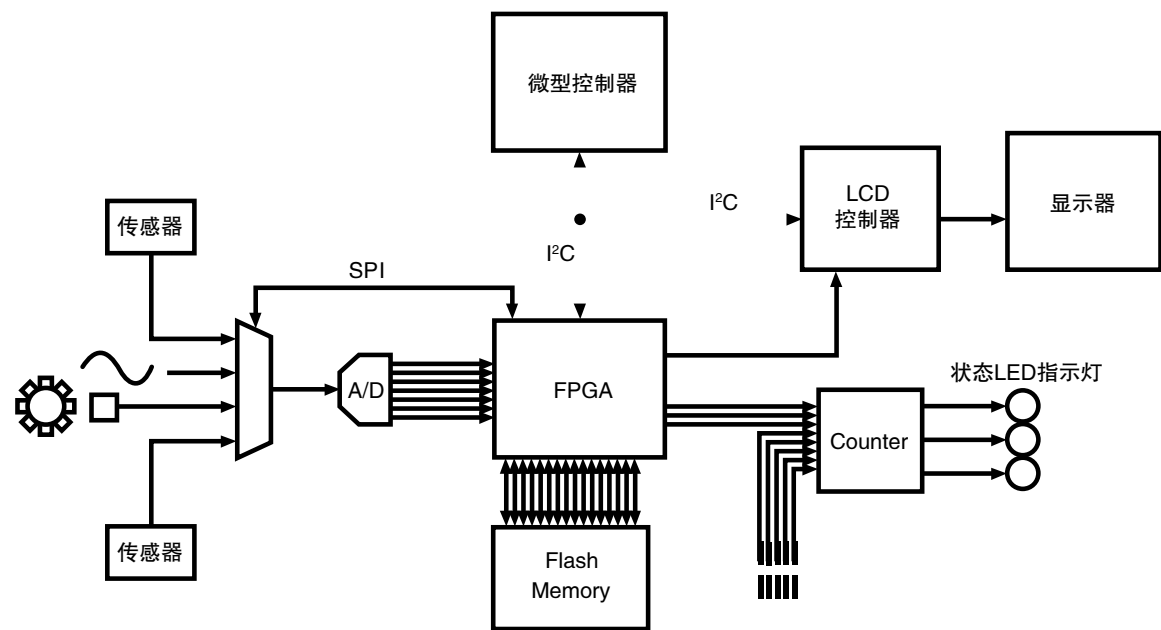


图 1. 混合信号嵌入式系统。

微处理器、FPGA、模数转换器 (ADC) 和数模转换器 (DAC) 等集成电路给当前嵌入式设计带来了独特的测量挑战。工程师可能需要解码两个 IC 之间的 SPI 总线，同时在一块系统电路板上观察 ADC 的输入和输出。图 1 是混合信号系统实例。

对配备 4 通道示波器的工程师来说，调试图 1 所示的硬件是一件困难而又让人畏缩的任务。许多工程师用惯了示波器，同时为了节约时间，可能会选择购买三四台示波器，以便一次探测多个信号。逻辑分析仪可以探测多个数字信号，但调试任务非常复杂，使用逻辑分析仪所带来的设置和学习过程有些不值得。幸运的是，对面临这一任务的工程师，泰克 MSO5000、MSO4000、MSO3000 和 MSO2000 系列混合信号示波器 (MSO) 及 MDO4000 系列混合域示波器 (MDO) 可以满足他们的需求。泰克 MSO 系列把 16 通道逻辑分析仪的基本功能与泰克 4 通道示波器倍受信任的性能结合在一起。泰克 MDO 系列在

MSO 系列平台中增加了一个专用 RF 输入，提供了内置频谱分析仪。本应用指南介绍了混合信号嵌入式设计的调试，演示了泰克 MSO5000、MDO4000、MSO4000、MSO3000 和 MSO2000 系列提供的业内领先的性能。

使用 MSO/MDO 系列同时调试多个串行协议

嵌入式设计工程师通常使用串行协议，如 I2C 和 SPI，以简化电路板上系统模块之间的通信。这些串行协议可以降低布线的复杂性，但传统示波器一直很难调试其实现方案。设计人员一般会被迫手动解码采集的串行数据，或从示波器导出数据，以进行后期处理和解码。使用示波器解码串行数据可以为嵌入式设计工程师节约无数个小时的调试时间，允许工程师实时查看硬件和软件的影响。

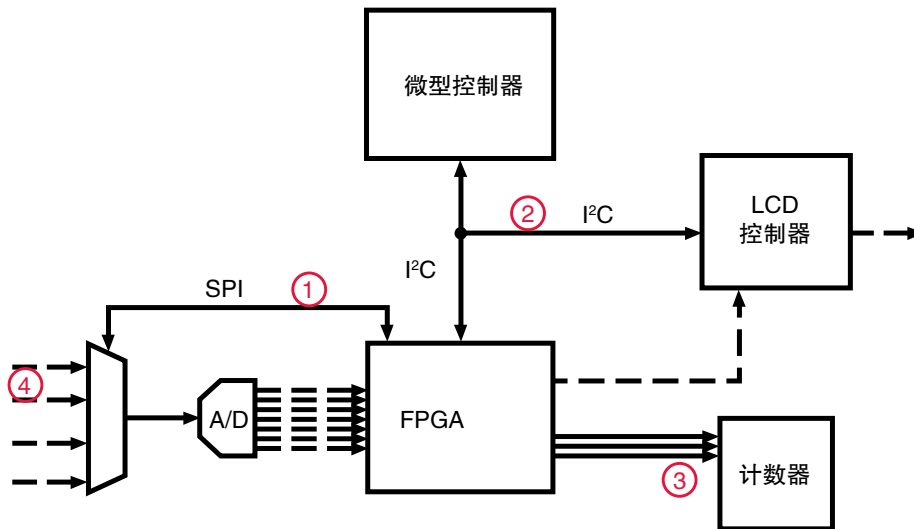


图 2. 带有探测点的采集子系统。

尽管 DPO 系列示波器可以使用最多四条通道探测串行数据，但许多常用串行协议要求三条或三条以上的线。工程师通常需要同时解码和显示多条串行总线，观测其时间相关性。泰克 MSO/MDO 系列把 DPO 系列的串行触发和解码功能与 16 条新增数字通道结合在一起。除 I²C、SPI、CAN、LIN、RS-232 和其它串行总线标准外，MSO/MDO 系列还支持触发和解码 RS-232 和并行总线。通过 MSO/MDO 系列示波器，工程师可以同时探测和解码多条串行总线及自定义并行总线。下面的实例使用 MSO/MDO 系列，调试图 1 所示的嵌入式设计中复杂的多芯片通信错误。

在系统最初调试过程中（如图 1 所示），系统偶尔遇到电路板上状态 LED 指示灯表明发生故障的情况。状态 LED 指示灯报告的错误不明确，导致系统工程师不能确定问题是由硬件导致的还是由软件导致的。以前，类似错误一直源于模拟复用器输入上的信号质量差，但工程师已经成功更换了导致信号保真度问题的硬件。由于系统工程师怀疑错误可能源于复用器输入之外的其它来源，他决定探测到复用器的模拟输入及多条数字总线，以全面查看系统状况。MSO/MDO 系列为调试提供了 4 条模拟通道和 16 条数字通道，它连接到图 2 中标为 1-4 的信号上。

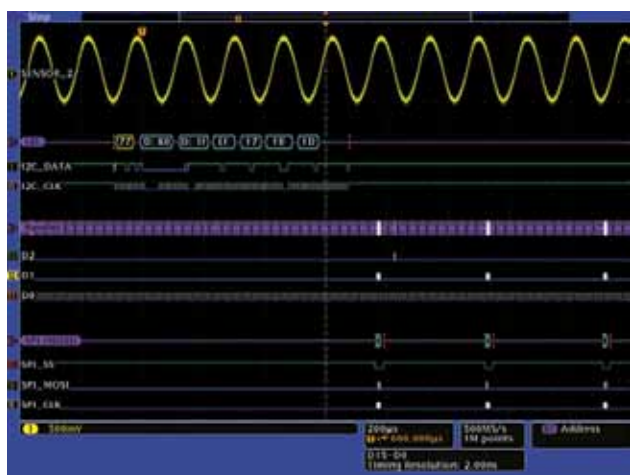


图 3. MSO4000 显示了 I²C、SPI 和并行总线及 CH1 模拟信号。

图 3 显示了 MSO 系列同时探测 SPI 总线 (1)、I²C 总线 (2)、3 位并行总线 (3) 和模拟输入 (4) 的屏幕快照。由于错误可以被隔离到某个子例程，因此示波器配置成单次采集，触发特定的 I²C 活动。把记录长度设置成 1M 点保证了可以准确地捕获 I²C 总线上事件周围的所有有用信息。工程师运行子例程，迅速查看 MSO/MDO 系列，了解系统中发生的情况。CH1 上显示的 MUX 输入上清楚的模拟波形确认了工程师的疑问，表明硬件问题已经得到解决，错误发生在其它地方。示波器触发和解码从微控制器中写入的 I²C 数据。工程师注意到 SPI 上的活动及在传输 I²C 数据后很快显示了标有 D1 和 D2 的信号。工程师怀疑这些总线上的活动，因为他认为执行的功能主要涉及 LCD 控制器。由于示波器已经解码 I²C 数据值，因此工程师可以看到微控制器已经把 I²C 数据写入地址 0x77。地址 0x77 是 FPGA 的地址，但工程师认为子例程把数据写入地址 0x76，这是 LCD 控制器的地址。

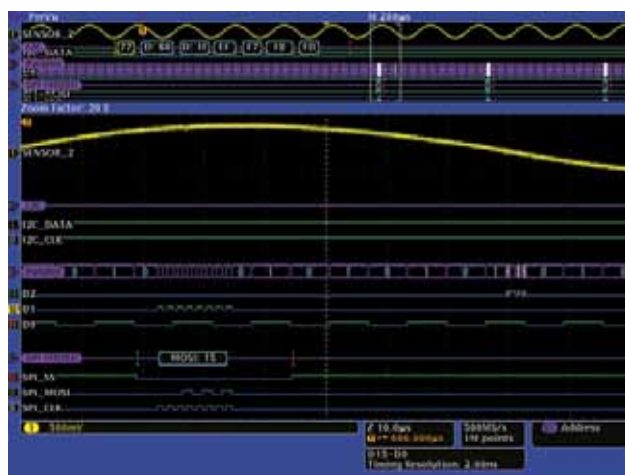


图 4. Wave Inspector 用来放大和显示分组细节。

图 4 显示了同一采集，其中使用 Wave Inspector® 导航和搜索功能放大 SPI 和并行总线的细节。SPI 数据在屏幕上解码成从主设备 (FPGA) 到从设备 (MUX) 的写入，数据值为 0x15。这一 SPI 命令指示 LWTYMUX 改变信号路径使用的输入。输入信号中这种意想不到的变化导致 FPGA 向并行总线上的状态 LED 指示灯发送一个错误代码。在图 4 中也可以观察到这些并行总线的错误代码和解码。嵌入式设计工程师可以迅速确定是软件漏洞导致了系统问题，因为 MSO/MDO 系列示波器能够同时查看和解码所有相关信号。软件编程人员错误地从微控制器到 FPGA 写入 I²C 数据，而分组的预计目标是 LCD 控制器。

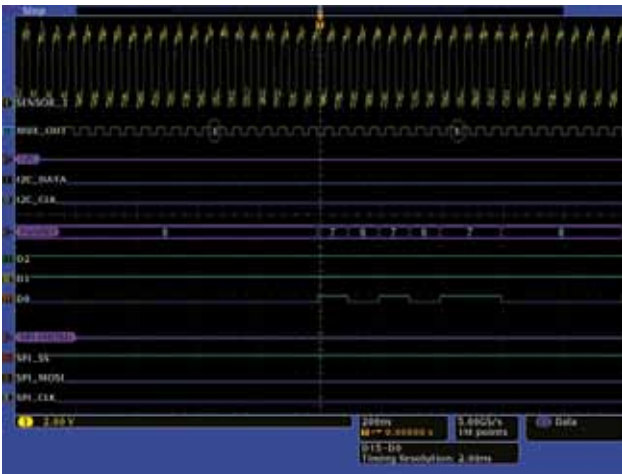


图 5. MUX_OUT 上的白色边沿表明提供了更详细的信息。

下一代数字波形显示帮您揭示问题

在改动系统软件，校正上一节中介绍的地址漏洞后，嵌入式设计工程师继续测试更多的系统功能。在进行测试时，他注意到状态 LED 指示灯偶尔指明错误。与上一节中描述的错误不同，工程师不确定怎样重建看到的错误。错误似乎具有随机特点，不能隔离到系统的某个功能或子例程。

嵌入式设计工程师对错误的随机特点感到很迷惑，不确定从哪儿入手查找来源。查找错误来源的一个选项是使用示波器随机探测系统，以期捕获随机事件。尽管工程师过去一直使用这种方法，但他知道，连接到所有相关信号、正确配置的 MSO/MDO 系列示波器可以用少得多的时间找到错误。上一节中大多数探测点仍连接到示波器上。CH1 探头移动到活动的 MUX 输入上，这是来自传感器 3 的数字信号。除这 4 个探测点外，工程师使用一条数字通道探测 MUX 输出。

FPGA 通过 3 位并行总线传送值 0x7，表明已经发生错误。为隔离问题，MSO/MDO 系列配置成捕获单次采集，它把触发事件设置成并行总线值 0x7。图 5 显示了采集结果。在这种情况下，并行总线解码和触发节约了时间，减少了混淆，因为可以简便地隔离错误条件。这一采集过程中使用的 1M 记录长度允许工程师观察触发事件前和触发事件后信号的关键细节。

乍一看，图 5 所示的信号似乎行为正常，但系统工程师很快确定 MUX_OUT 信号上出现了独特的两个边沿转换。图 5 所示的 MUX_OUT 信号上的白色转换向用户表明这些信号部分存在着更多的信息。MSO/MDO 系列的多边沿检测功能突出显示了波形区域，通过缩放可以揭示频率较高的数字脉冲。在使用 Wave Inspector® 放大波形细节时，图 6 揭示了第一个白色转换背后的细节。图 5 中画出的白色转换的信号部分实际上是 MUX_OUT 信号上的一个毛刺。



图 6. Wave Inspector® 揭示了 MUX_OUT 信号上的毛刺。

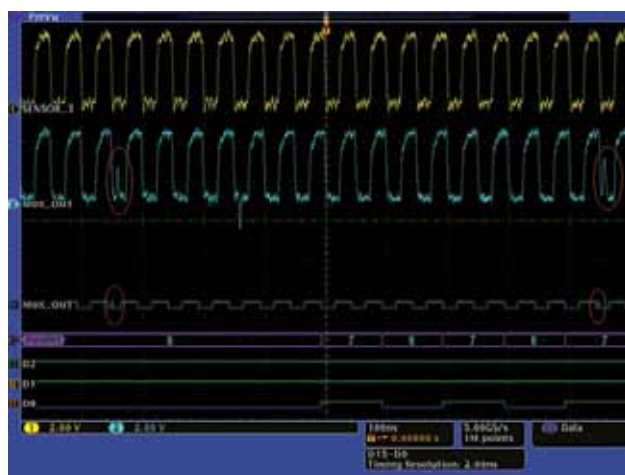


图 7. CH2 显示 MUX_OUT 的更多细节。

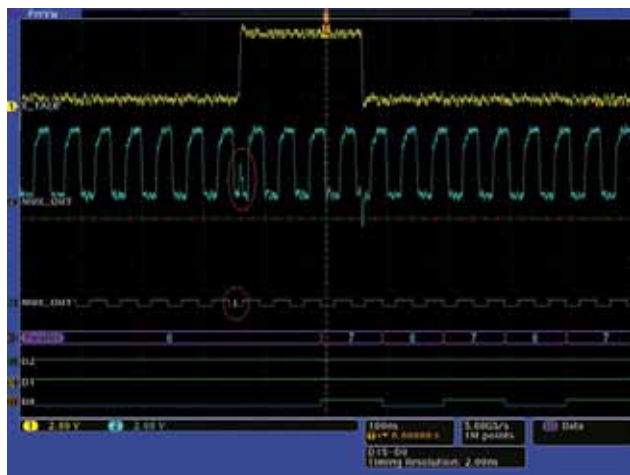


图 8. CH1 显示了 MUX_OUT 信号中的串扰来源。

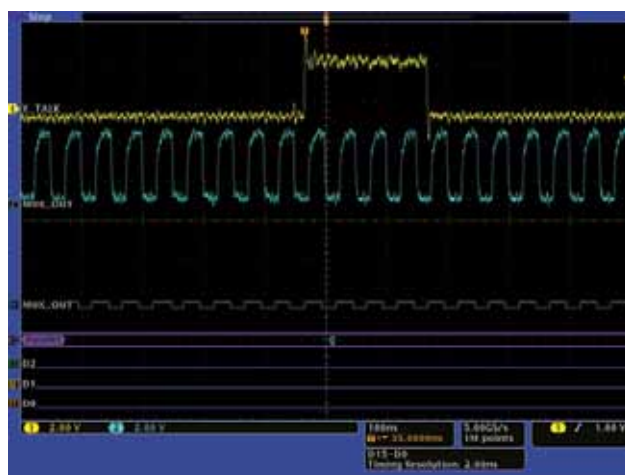


图 9. 在改动 PCB 后，串扰消失了。

图 6 显示了 MSO/MDO 系列中模拟通道和数字通道之间的时间相关性。CH1(SENSE_3)上显示了到 MUX 的输入，数字通道 D14(MUX_OUT)上则可以观察到 MUX 输出。工程师注意到，尽管 MUX 输出有一个毛刺，但到 MUX 的输入似乎没有毛刺。在使用数字通道识别毛刺后，工程师决定把 CH2 连接到 MUX 输出上，更仔细地进行考察。图 7 显示了采集结果，其中示波器仍配置成触发并行总线值 0x7。图 7 关闭了 SPI 和

I²C 总线的波形，把重点放在相关的主要信号上。在 MUX 输入和输出上使用模拟探头，发现输出上存在的毛刺在输入信号上并不存在。图 7 显示，MUX_OUT 信号上的毛刺出现了很短的时间，然后 FPGA 发送错误代码。这两个信号之间的时间关系表明，毛刺可能是工程师看到的问题。工程师使用同一配置重复采集几次，看到每次的行为都与图 7 类似。

在分析 MSO 系列的屏幕快照后，嵌入式设计工程师怀疑串扰可能是 MUX_OUT 信号上的毛刺来源。在检查图 5 中监测的所有信号后，没有任何信号是串扰来源。在更详细地检查电路板布局时，工程师找到印刷电路板 (PCB) 上 MUX_OUT 轨迹旁边有一个通路。工程师使用 CH1 探测 PCB 上的通路，等待并行总线的另一个触发。得到的屏幕快照如图 8 所示。图 8 显示，CH1 上捕获的信号从低到高转换在时间上与 MUX_OUT 信号的正毛刺直接相关。相应地，从高到低转换直接与 MUX_OUT 信号的负毛刺直接相关。

在用一段时间在电路板上对干扰信号重选路由后，工程师把 MSO/MDO 系列示波器配置成触发 CH1。图 9 显示 MSO/MDO 系列触发 CH1 转换，但在 MUX_OUT 信号上没有显示毛刺。由于 MUX_OUT 信号不存在毛刺，因此并行总线没有生成错误条件。在改动电路板之后，串扰消失了，允许嵌入式设计工程师完成系统评估。

小结

如本应用指南所示，MSO 系列 – MSO5000、MSO4000、MSO3000 和 MSO2000 及 MDO 系列 MDO4000 为开发和调试嵌入式设计的工程师提供了一个异常强大的工具。MSO 把 16 条时间相关的数字通道与泰克 4 通道示波器倍受信任的性能和直观的界面结合在一起。MDO 系列在 MSO 系列基础上，增加了一个专用 RF 输入，可以使用一台仪器捕获时间相关的模拟信号、数字信号和 RF 信号采集。工程师现在可以使用 MSO 或 MDO 系列，而不用找多台示波器或学习怎样操作逻辑分析仪或频谱分析仪。

MSO 和 MDO 系列能够同时触发和解码并行总线和串行标准，如 I²C、SPI、USB、以太网、CAN、LIN、FlexRay、RS-232/422/485/UART、MIL-STD-1553 和其它串行标准，对评估当前嵌入式设计中硬件和软件复杂交互的工程师提供了宝贵的工具。

MSO 和 MDO 系列提供了多种型号，可以满足您的需求和预算：

	MSO5000 系列	MDO4000 系列	MSO4000B 系列	MSO3000 系列	MSO2000B 系列
带宽	2 GHz, 1 GHz, 500 MHz, 350 MHz	1 GHz, 500 MHz, 350 MHz, 100 MHz	1 GHz, 500 MHz, 350 MHz, 100 MHz	500 MHz, 300 MHz, 100 MHz	200 MHz, 100 MHz, 70 MHz
通道数量	4 条模拟通道, 16 条数字通道	4 条模拟通道, 16 条数字通道, 1 条 RF 通道	2 条或 4 条模拟通道, 16 条数字通道	2 条或 4 条模拟通道, 16 条数字通道	2 条或 4 条模拟通道, 16 条数字通道
记录长度 (所有通道)	标配 12.5 M, 选配 125 M	20 M	最高 20 M	5 M	1 M
采样率 (模拟)	最高 10 GS/s	5 GS/s, 2.5 GS/s	最高 5 GS/s	2.5 GS/s	1 GS/s
采样率 (数字)	500 MS/s (全部记录长度), 16.5 GS/s (触发点周围 10 k 点)	500 MS/s (全部记录长度), 16.5 GS/s (触发点周围 10 k 点)	500 MS/s (全部记录长度), 16.5 GS/s (触发点周围 10 k 点)	500 MS/s (全部记录长度), 8.25 GS/s (触发点周围 10 k 点)	1 GS/s (使用任意通道: D7 – D0), 500 MS/s (使用任意通道: D15 – D8)
彩色显示器	10.4 英寸 XGA	10.4 英寸 XGA	10.4 英寸 XGA	9 英寸 XGA	7 英寸 WQVGA
并行总线分析	是	是	是	是	是
串行总线触发和分析应用模块	SR-EMBD: I ² C, SPI SR-COMP: RS-232/422/485/UART SR-USB: USB 2.0 SR-AUTO: CAN, LIN, FlexRay SR-AERO: MIL-STD-1553 SR-810B: 8b/10b 分析 SR-DPHY: MIPI D-PHY 分析 VNM: CAN, LIN 解码	DPO4EMBD: I ² C, SPI DPO4USB: USB DPO4ENET: 10BASE-T, 100BASE-TX DPO4COMP: RS-232/422/485/UART DPO4AUTO: CAN, LIN DPO4AUTOMAX: CAN, LIN, FlexRay DPO4AERO: MIL-STD-1553 DPO4AUDIO: I ² S/LJ/RJ/TDM	DPO4EMBD: I ² C, SPI DPO4USB: USB DPO4ENET: 10BASE-T, 100BASE-TX DPO4COMP: RS-232/422/485/UART DPO4AUTO: CAN, LIN DPO4AUTOMAX: CAN, LIN, FlexRay DPO4AERO: MIL-STD-1553 DPO4AUDIO: I ² S/LJ/RJ/TDM	DPO3EMBD: I ² C, SPI DPO3COMP: RS-232/422/485/UART DPO3AUTO: CAN, LIN DPO3FLEX: FlexRay DPO3AUDIO: I ² S/LJ/RJ/TDM DPO3AERO: MIL-STD-1553	DPO2EMBD: I ² C, SPI DPO2COMP: RS-232/422/485/UART DPO2AUTO: CAN, LIN
串行总线触发和分析应用模块 其它应用支持	功率分析 极限和模板测试 抖动和定时 USB 2.0 一致性测试 以太网一致性测试 MOST 一致性测试 可视触发	极限和模板测试, 电源分析, 高级 RF 功率电平触发, HDTV 和自定义视频	极限和模板测试, 电源分析, HDTV 和自定义视频	电源分析, HDTV 和自定义视频	

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
上海市徐汇区宜山路900号
科技大楼C楼7楼
邮编: 200233
电话: (86 21) 3397 0800
传真: (86 21) 6289 7267

泰克深圳办事处
深圳市福田区南园路68号
上步大厦21层G/H/I/J室
邮编: 518031
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
武汉市解放大道686号
世贸广场1806室
邮编: 430022
电话: (86 27) 8781 2760/2831

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

有关信息

泰克公司备有内容丰富的各种应用文章、技术简介和其他资料，并不断予以充实，可为从事前沿技术研究的工程师提供帮助。请访问泰克公司网站 www.tektronix.com.cn



©2013 年泰克公司版权所有，侵权必究。泰克产品受到已经签发及正在申请的美国专利及外国专利的保护。本文中的信息代替以前出版的材料中的所有信息。本文中的技术数据和价格如有变更，恕不另行通告。TEKTRONIX 和 TEK 是泰克公司的注册商标。本文中提到的所有商号均为各自公司的服务标志、商标或注册商标。

10/12 EA/WWW

3GC-20215-6

Tektronix®