

## 信号完整性： 集成化数字与模拟 测量技术令系统调 试更加简便快捷



### ▶ 通过四个步骤，调试在高速数字系统中的信号完整性问题。

什么是信号完整性？信号完整性工程是在数字系统设计过程中实施的一项操作，旨在确保所设计的系统完全满足规范要求，其中包括最大定时与噪声容限等设计问题，以及波形、串扰、电磁接口等约定的模拟特性。当系统性能得到提高时，以上二级或三级效应便上升为一级效应，而这些效应是否能够得到控制则关系到整个项目的成败。

过去，数字系统设计与模拟系统设计有着极大差异，数字系统设计人员根本无需考虑模拟信号的完整性，因为当时所设计的系统中的数据信号和时钟信号运行速率最高仅为10兆赫，而自从这些低速电路被CMOS和Bi-CMOS等上升时间在十亿分之一秒以内的集成电路取代后，情况就截然不同了。如今，数字系统设计人员在关心数字信号的同时，还必须留意模拟信号特性，从而能够更加高效地对系统进行调试与检验。

#### 第1步：故障现象

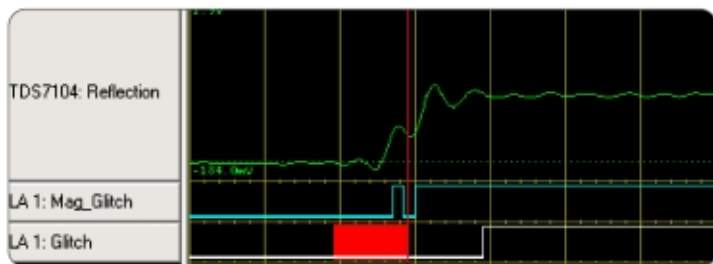
在软硬件集成过程中，数字系统以全时钟速率运行时常常会发生故障。系统软、硬件的开发及检验已由相应小组分别完成，然而当二者集成于一体时，就会产生间歇性错误。由于此前“一切已经检验合格”，此时故障的查找与排除势必耗时巨大。通常，故障现象都十分明显：系统无法正常运转，然而找出导致出错的原因确实是一大挑战。

#### 第2步：故障原因

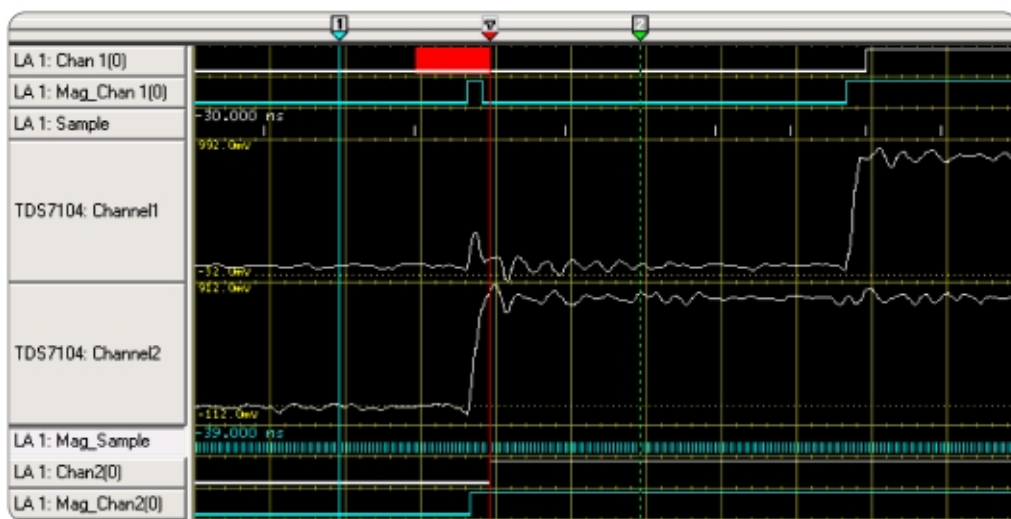
一切都是由于速度，准确地说，是边沿速度的提高造成的。CMOS和Bi-CMOS设备均以100兆赫速率运行，即使这些设备在低频系统中使用时，其“数字”信号的上升时间与下降时间也非常快。

## 信号完整性

### ► 应用指南



► 图1: 上升沿反射(台阶)是由于电路板非正常终止运行所产生的结果。



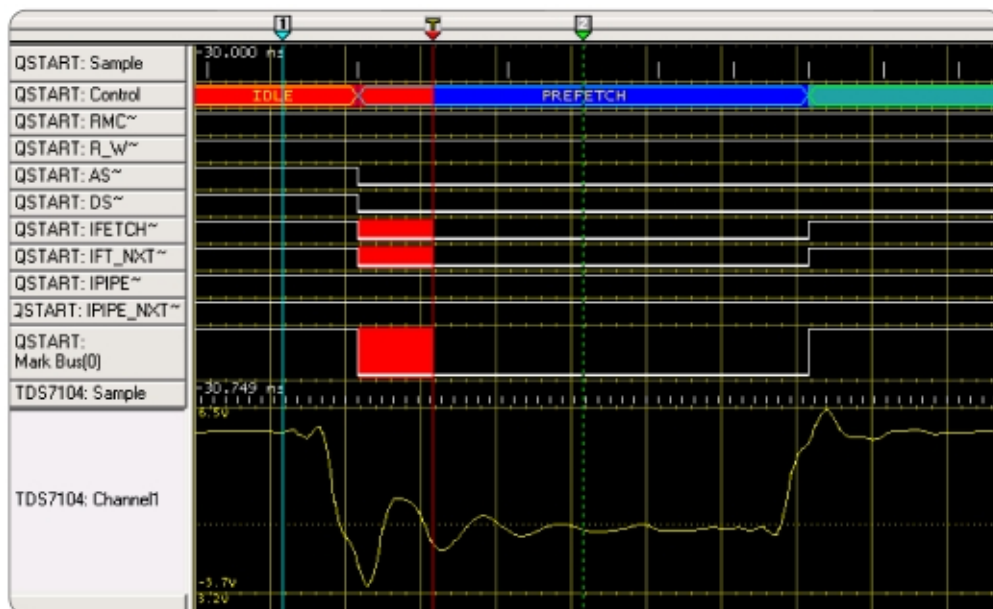
► 图2: 快速边沿转化对相邻信号通路的影响

如果设计人员未考虑高速信号转化时电路板运行与终止所产生的影响,那么在数字电路板信号通路中就可能发生反射、串扰和接地反跳等现象。在设计之初用于低速信号传输的电路板信号通路也可以成为高速信号传输线路。

**反射**是指当信号运行于非正常端接的电路板时,信号能量由接收端设备沿信号通路反射回发送端设备。图1显示了反射所产生的结果,在波形上升沿形成了小台阶;

反射逆边沿走向低于门限电压,然后转化为高电压,即第2次转化。注意,逻辑分析仪已检测到该现象,作为低频干扰对待,见图中红色 LA1 标志: 低频干扰波形。由于输入数据的保持时间不同,输出有可能变为不正常状态。数据输入过程中发生的反射现象可能导致设备输出不稳定。

**串扰**是指电路板中的快速转化信号在相邻信号通路中耦合(分为电容耦合与电感耦合)的现象。图2中 TDS7104



► 图3: 图中两条模拟信号迹线显示出地面反跳产生的影响以及相关数字信号的转化。

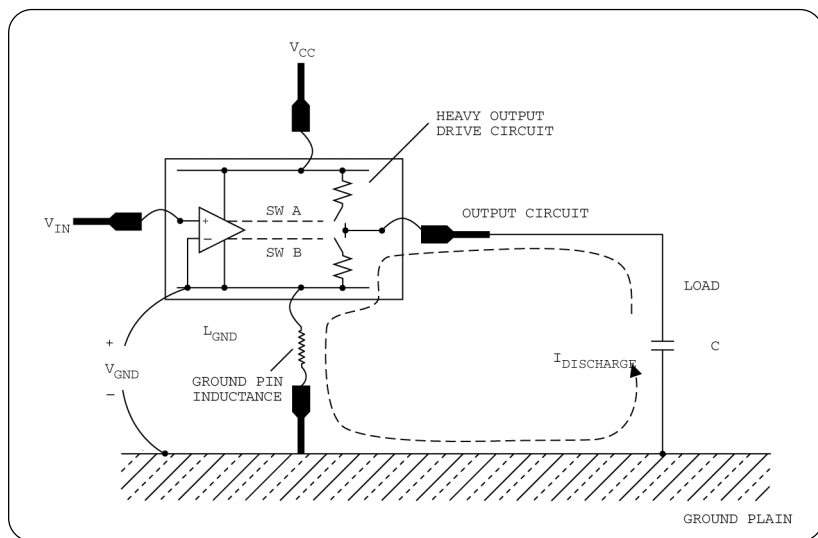
示波器通道2显示的转化波形导致了TDS7104通道1中的波形感应串扰。屏幕上方的两个数字波形显示了这种短时脉冲干扰，其中LA: Chan1(0)波形以10ns分辨率捕获，标志低频干扰的发生；而以500ps分辨率采集的LA1: Mag\_Chan1(0)波形能够显示出上述低频干扰。当串扰达到一定程度时，会导致相邻通路中的信号超过门限电压，从而改变其逻辑状态。如果串扰发生在一个时钟转化过程中，还会导致设备加载非正确数据。相对于反射而言，为低频信号而设计的电路板用于高频信号时更易

于产生串扰问题。高频电路设计中必须考虑减少串扰带来的影响。

**地面反跳**是由于设备本地接地层出现电流尖峰信号，而导致设备接地参照电平发生移动的现象。图3显示了导致接地层(通道2)产生窄脉冲的低电转化过程(通道1)。引发地面反跳的原因之一是由于多个信号同时转化时，电流流经接地层而导致的感应电压下降。

## 信号完整性

### ► 应用指南



► 图4: 流经发射器的电流导致压降超过引线电感。

图4显示了当输出电平由高到低转变时, 由电流放电而导致压降超过地端电感。这种接地参照电平的变化实际上改变了设备输入端的门限电压, 而门限电压的偏离将导致设备无法检测到非法数据。如果时钟信号发生地面反跳, 则会表现为另一个时钟脉冲, 且可能导致设备内部时钟发生混乱。

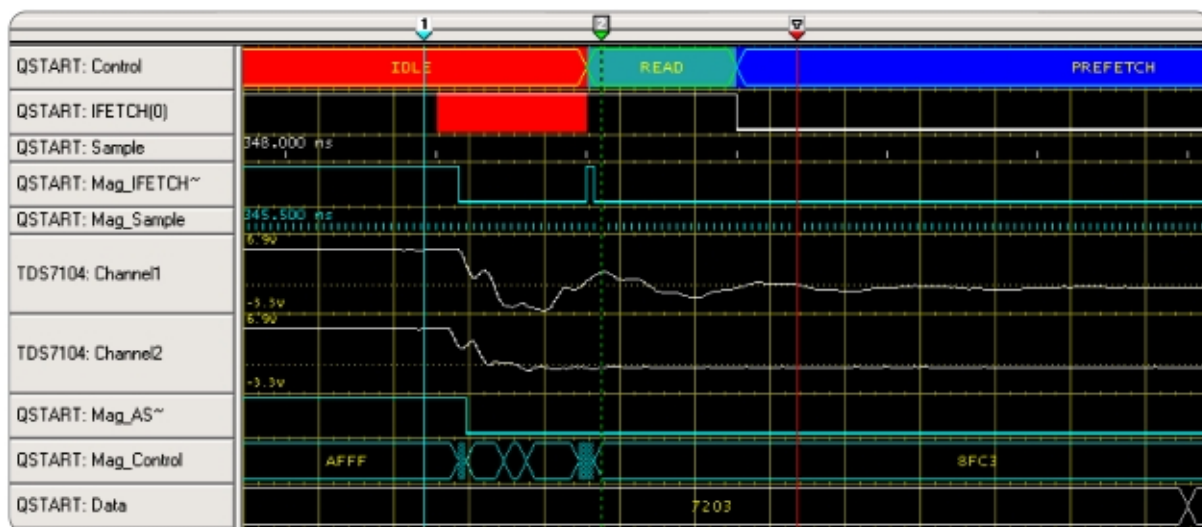
### 第3步: 解决方案

在数字信号中, 上述任何一种模拟特性都可能导致系统故障。所有信号畸变都可通过模拟示波器观察, 然而如何确定所查看的模拟信号是否对应于引发问题的数字事件呢? 答案似乎过于简单, 即利用综合示波器同时查看数字与模拟信号的相关波形。

过去, 人们主要使用逻辑分析仪和示波器以高精度定时分辨率查看数字与模拟信号, 设计人员能够观察两种信号, 然而它们却显示在不同屏幕上, 彼此并没有时间关系。准确地将数字现象与模拟引发原因相关联相当困难且十分费时。

因为没有找到同时查看两种信号的更好的方法, 人们一直使用上述调试时间相关系统故障的方法。(注: 一些逻辑分析仪拥有内置数字存储示波器(DSO)功能。然而, 内置DSO模块通常无法提供独立示波器所具有的测量性能。)

泰克集成化视窗(iView)产品在泰克逻辑分析仪(TLA)中结合了各种数字化示波器(TDS)模块。两种测量仪的“设置”与“运行”功能均可通过逻辑分析仪显示屏完成。



► 图5: 同一屏幕显示以时间为基准的数字与模拟信号。

利用 iView 设置向导，TLA 应用能够自动设置逻辑分析仪以及示波器，使之能够交互触发、捕获并在一个集成屏幕中显示具有时间相关性的数字与模拟数据。图5显示了使用 iView 获得的结果，其中，同一个信号的数字波形与模拟波形在 TLA 屏幕中显示，将泰克示波器所拥有的取样速率和测量精度与泰克逻辑分析仪具有的多通道及强大的触发功能集于一体。

#### 第4步：应用

将逻辑分析仪与示波器功能集成如何能够简化并加速数字电路的设计过程？如果你主要关心信号的模拟特性，逻辑分析仪又能为你提供何种帮助呢？

虽然示波器拥有强大的模拟测量功能，但在典型应用中，它最多只能同时观察四个信号，而且其触发功能通常只能满足检测模拟现象的要求；逻辑分析仪却能够同

时监视多达数千个数字信号，并可基于多种逻辑条件进行触发。

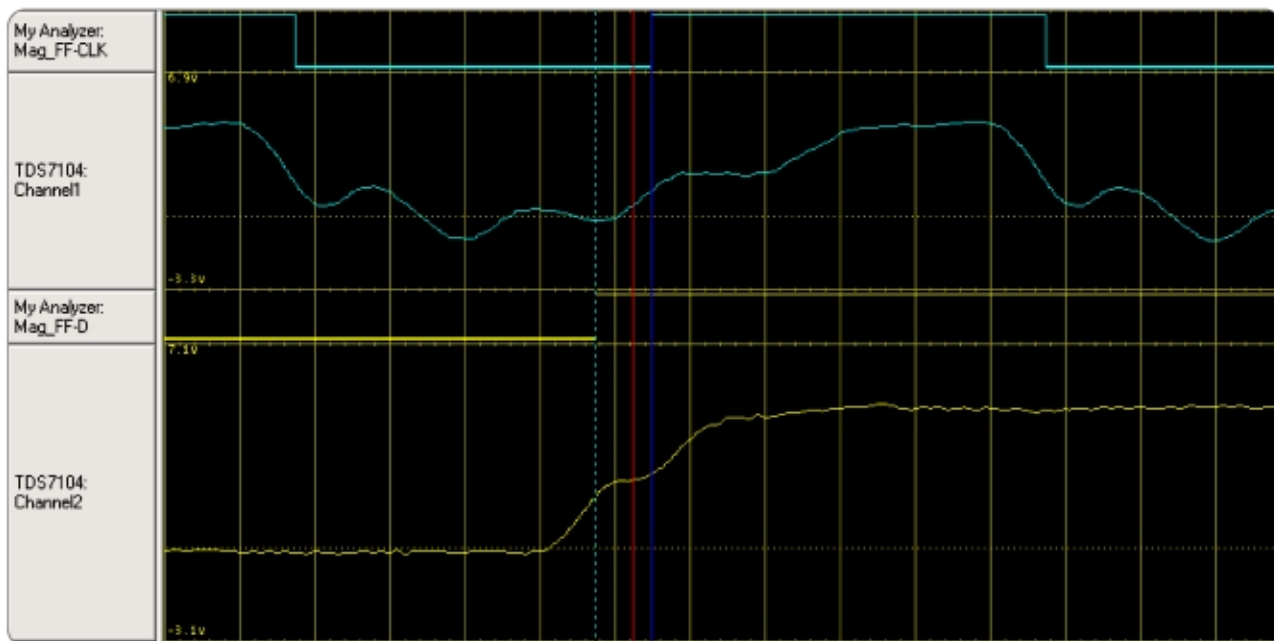
逻辑分析仪首先“查找到”数字故障，比如违反设置与保持规则、尖峰脉冲或非正确总线数据等，然后使分析仪与示波器触发。示波器负责捕获数字信号的模拟特性。在一些型号中，还可以选择某些示波器触发器触发逻辑分析仪。通过模拟故障现象触发同样有助于系统调试。

将最出色的逻辑分析仪所拥有的强大功能与高性能、高精度示波器相结合于一个显示屏，使技术人员能够迅速完成设计系统的验证与调试。逻辑分析仪可以迅速定位故障点，而示波器则能够以极高分辨率的模拟显示细节查看该故障。

下列应用实例说明了如何在同一显示屏中观察时间相关的数字与模拟信号，从而更加轻松便利地完成系统调试。

## 信号完整性

### ► 应用指南



► 图6: 违反设置与保持时间规则的数字与模拟显示。

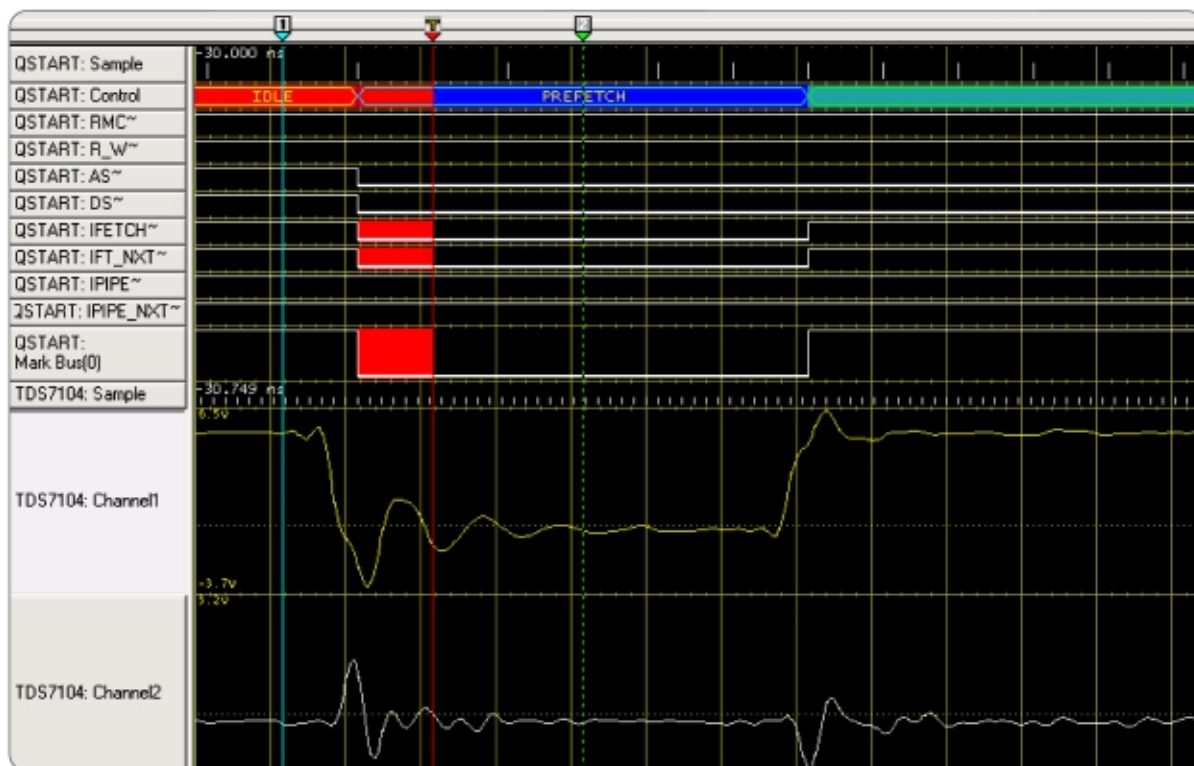
### 应用 1: 触发并分析总线的建立保持时间违规

随着数字系统运行速率不断提高,在时钟信号之前使数据达到稳定所花费的时间大幅度减少。数字设备制造商均对输入信号在时钟信号边沿之前(建立)与之后(保持)达到稳定的时间做出规定,以确保数据能够正确无误地传送至输出端。当信号转化在设置与保持窗口内部完成时,会产生违反设置与保持规则现象,从而导致系统故障;而时钟与数字信号串扰和反射也会引发信号降级,导致违反设置与保持现象的发生。若能够在同一屏幕中观察数字信号和相应的模拟信号,就有可能精确定时测量出违反建立与保持现象。

图6 显示了逻辑分析仪基于一个建立时间违反条件以及相应的模拟时钟与数据信号触发的实例。

逻辑分析仪因输入数据2.5ns 的建立时间被违反而触发。较低的两条迹线显示了时钟信号(通道 1)和 D 输入信号(通道 2)。模拟示波器所拥有的极高的定时分辨率显示出输入信号负向边沿回转速率过低,无法在设备所需的 2.5ns 设置时间之前超过门限值。

iView 能够通过以时间为基准,观察数字数据以及相应高性能示波器提供的数据,从而简化故障引发原因的确定过程。



► 图7: 数据总线信号转化引发接地电平发生偏移。

## 应用 2: 触发并分析地面反跳问题

总线信号边沿转化, 尤其是由高电平到低电平的转化过程极有可能引发设备接地层产生电流尖峰信号。

图7显示了由数字总线信号(上方迹线)转化为低电平时引发的地面反跳(TDS7104: 通道2 波形)。作为地面反跳的结果, 时钟信号(TDS7104: 通道1 波形)后沿形成环状, 紧接着负向时钟边沿产生了短时脉冲, 这个被称为假信号脉冲的有害信号超过门限电压, 从而导致非正确数据计入设备。数字信号中的实心条表示逻辑分析仪已被触发, 并存储了上述假信号脉冲。假信号脉冲在触发(位于实心条之后的垂直实心线)前发生。拥有 iView 功能的逻辑

分析仪触发示波器后, 由后者采集时钟信号的模拟特性。注意, 图7中显示的触发点并不是示波器触发点, 数字与模拟数据均以相同的时间基准显示, 因而使逻辑分析仪触发的数字假脉冲信号的模拟特性也在屏幕中显示出来。

## 结论

iView 在特定泰克 TDS 家族示波器中集成了所有 TLA 家族逻辑分析仪, 能够在同一个逻辑分析仪屏幕中显示时间相关的数字与模拟波形。设计人员需要观察快速变化的模拟波形细节, 并在逻辑分析仪显示屏中与相应的数字事件相关联, 从而解决信号完整性问题带来的挑战。

泰克科技(中国)有限公司  
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) 6235 1210/1230  
传真: (86 10) 6235 1236

泰克上海办事处  
上海市静安区延安中路841号  
东方海外大厦18楼  
邮编: 200040  
电话: (86 21) 6289 6908  
传真: (86 21) 6289 7267

泰克广州办事处  
广州市环市东路403号  
广州国际电子大厦2807A室  
邮编: 510095  
电话: (86 20) 8732 2008  
传真: (86 20) 8732 2108

泰克深圳办事处  
深圳市罗湖区深南东路5002号  
信兴广场地王商业大厦G1-02室  
邮编: 518008  
电话: (86 755) 8246 0909  
传真: (86 755) 8246 1539

泰克成都办事处  
成都市人民南路一段86号  
城市之心23层D-F座  
邮编: 610016  
电话: (86 28) 8620 3028  
传真: (86 28) 8620 3038

泰克西安办事处  
西安市东大街  
西安凯悦(阿房宫)饭店322室  
邮编: 710001  
电话: (86 29) 8723 1794  
传真: (86 29) 8721 8549

泰克香港办事处  
香港铜锣湾希慎道33号  
利园3501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](http://www.tektronix.com)



© 2004 年 Tektronix, Inc. 版权所有。 全权所有。 Tektronix 产品, 不论已获得专利和正在申请专利者, 均受美国和外国专利法的保护。 本文提供的信息取代所有以前出版的资料。 本公司保留变更技术规格和售价的权利。 TEKTRONIX 和 TEK 是 Tektronix, Inc. 的注册商标。 本文提及的所有其它商号分别为其各自所有公司的服务标志、商标或注册商标。 05/03 FL5596/SFI 52C-14627-1

**Tektronix**  
Enabling Innovation