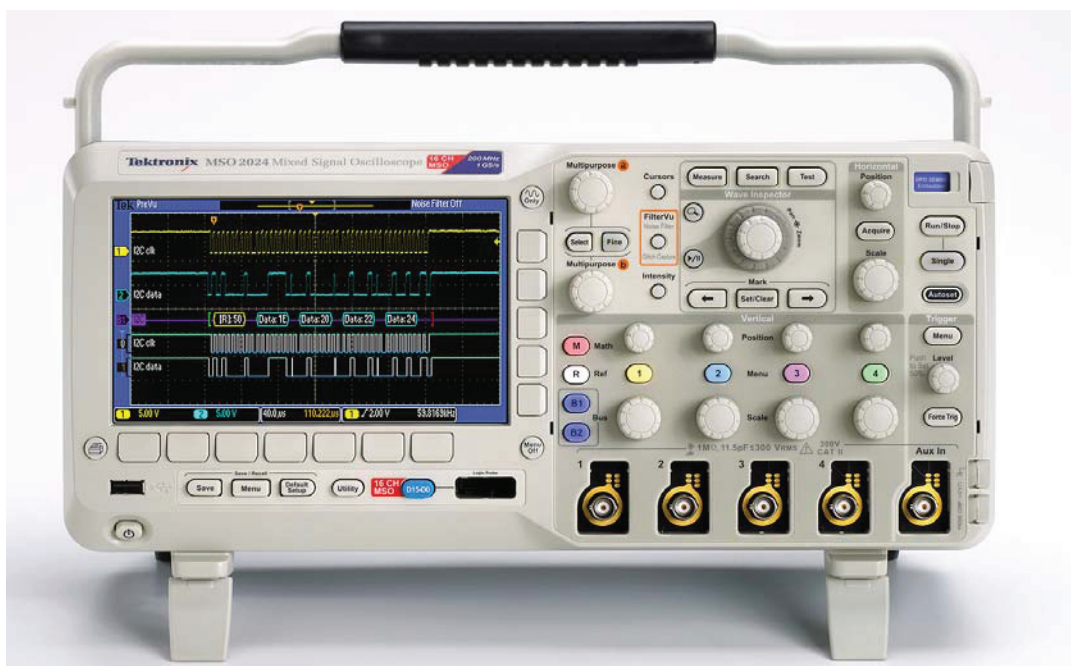


使用示波器调试数字电路

讲师指导手册



向您介绍数字示波器数字调试技巧的一系列实验室试验。

Tektronix[®]

版权通告和复制权

©2009年泰克公司版权所有。

本文可以为培训泰克示波器和仪器用户或潜在用户之目的，整体或部分重印、修改和分发。任何复制文件都必须包括含有版权通告的本页副本。

目录

使用示波器调试数字电路

实验室试验讲师指导手册介绍	4
实验室试验介绍	4
数字调试方式方法	5-8
初始设置	9-20
最后练习	21-23

常用串行总线概述	24-25
----------------	-------

并行和串行总线分析

实验室试验讲师指导手册介绍	26
实验室试验介绍	26
并行总线概述	27
并并行和串行总线分析	28-33
RS-232 串行总线概述	34-36
RS-232 串行总线分析	37-40
最后练习	41-43

实验室试验讲师指导手册介绍

目标

1. 本讲师指导手册的目的：
 - a. 用额外的示波器屏幕和前面板图像扩大培训步骤，帮助学员解决提出的问题。
 - b. 提供每项练习的答案。
2. 讲师笔记用黑蓝色字体标出。

实验室试验介绍

目标

- 了解使用示波器调试典型数字电路的方式方法：
1. 发现信号中的异常事件。
 2. 捕获关心的特定事件。
 3. 使用Wave Inspector自动搜索功能搜索所有关心的事件。
 4. 使用光标测量和自动测量功能，分析信号。

设备清单

1. 一台泰克MSO2000或DPO2000系列数字示波器。
2. 一只泰克P2221 1X/10X无源探头。
3. 一条主控/设备USB电缆。
4. 一块泰克878-0456-xx演示电路板。

数字调试方式方法

介绍

随着数字电路变得越来越复杂，工程师需要使用工具，帮助他们找到和诊断问题。示波器用于设计和调试过程中，可以迅速发现问题，捕获关心的事件，搜索和了解关心的事件，然后分析电路特点，解决问题。

数字调试四步方法

发现

为解决问题，首先要能够找到和看到问题。我们从前面的试验中已经知道，看到信号的第一步是准确把这些信号采集到仪器中。为此，您需要使用正确的探头，保持高信号保真度，最大限度地降低任何负荷对电路的影响。

然后您需要信号的实时显示画面，以便能够查看信号怎样随时间变化。由于示波器显示的是信号的“快照”，因此您需要拥有快速波形捕获速率的示波器。其结果，您可以在几秒内看到毛刺或其它偶发瞬态事件，揭示问题的真正特点。

看到问题只是解决问题的一半。您还需要了解异常信号相对于正常信号发生的频次。在这方面，带有波形辉度等级显示的DPO (数字荧光示波器)通过提高发生更加频繁的信号区域的亮度，显示了信号活动“历史”。这以可视方式显示了异常事件相对于其它信号发生的频次。

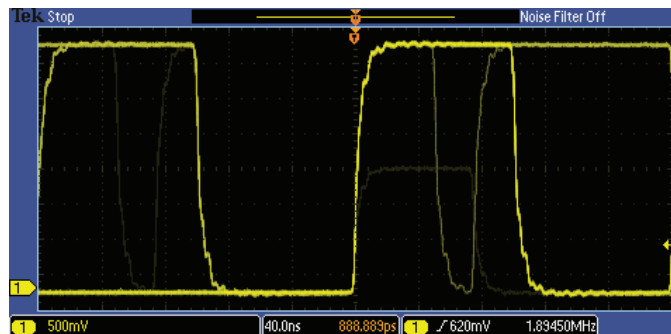


图1：辉度等级显示画面，显示偶发瞬态事件

捕获

一旦有了关心的事件，您要把事件捕获到存储器，更好地了解底层原因。示波器使用专用触发，把重点缩小到关心的事件，捕获特定数字事件，如欠幅脉冲、毛刺、脉宽、建立时间和保持时间违规、串行码型和并行码型。

您通常要查看触发事件前和触发事件后的信号，以便了解关心的事件周围的情况或捕获多个关心的事件，进一步进行分析。您也可能只想采集几个关心的事件，但要保持足够高的样点分辨率，以便能够放大精细的信号细节。不管是哪种情况，您通常都要使用长记录长度，以高时间分辨率捕获长时间周期。记录长度是示波器的关键指标之一，指其在单个采集中能够数字化并存储的样点数量。记录长度越长，可以以高分辨率(高采样率)捕获的时间窗口越长。

在复杂的电路中，您可能需要捕获多个模拟信号、串行和并行数字信号，了解导致触发事件的电路条件。混合信号示波器(MSOs)特别适合这些应用。MSO拥有独特的功能，可以捕获数字信号，包括 Threshold 旋钮，允许指定哪些电压表示数字‘1’，哪些电压表示数字‘0’。某些MSO可以在数字边沿上自动检测多个跳变。

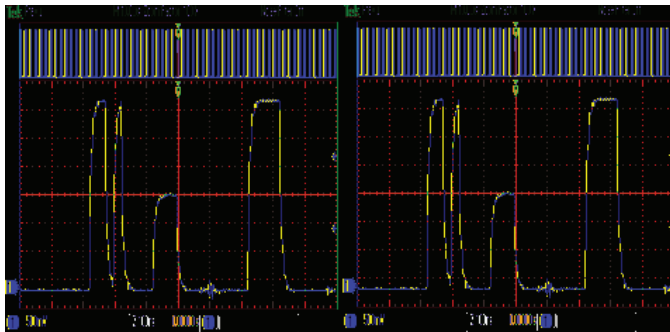


图2: 长波形记录采集，欠幅脉冲触发事件

搜索

在长波形记录中找到一个特定事件可能极具挑战性。MSO/DPO2000示波器在显示屏上一次显示480个波形数据点。100万点记录长度代表着2000多屏数据！波形导航和搜索工具，如MSO/DPO系列上的 Wave Inspector[®]，简化了查找关心的事件的工作。Wave Inspector在前面板上提供了多个专用旋钮，可以卷动和放大记录，手动导航和检测长数据记录。您可以在任何位置增加自己的标记，以备日后参考，进一步考察事件。此外，自动搜索功能将搜索几百万个采集的数据点，查找指定事件，包括模拟数据、数字数据和串行总线数据。在这一过程中，它将自动标记关心的事件发生的每个时点，从而可以迅速在匹配的事件之间移动。

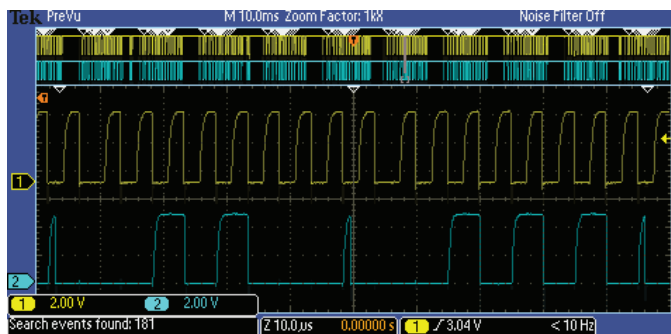


图3: Wave Inspector自动搜索毛刺。所有毛刺都用白色三角形标出。

分析

一旦发现、捕获和确定了关心的事件的位置，您需要分析信号。我们从前面的试验中已经看到，光标测量、自动测量和波形数学运算(包括FFT)都为分析信号提供了实用工具。



图4: 脉冲流的FFT曲线。

记忆要点

1. 调试大多数电路问题的主要步骤有四个：
 - a. 发现问题。这可能要求看到难检事件，如毛刺、欠幅脉冲或其它瞬态事件。数字荧光示波器以可视方式显示异常事件相对于其它信号发生的频次，帮助确定这些事件。
 - b. 把关心的事件捕获到示波器的存储器中。您可以分析事件，更好地了解底层原因。示波器触发允许指定示波器捕获的特定事件。记录长度决定着您捕获多长时间。
 - c. 搜索和查找事件。长记录长度导航起来可能会非常困难，自动搜索等示波器工具可以更简便地找到特定事件。
 - d. 分析事件，确定根本原因。自动测量、统计和光标等波形分析工具可以帮助您了解事件特点，诊断问题。

数字概念回顾

数字信号是用来传达特定数字值的信号，最简单、最常见的实例是二进制信号，其中低于称为“门限”的特定值的任何电压都表示为数字“低”或“0”，高于门限的任何电压都表示为数字“高”或“1”。MSO的数字通道使用这种简单的判定过程。因此，使用MSO捕获数字信号的第一步中要相应设置门限值。

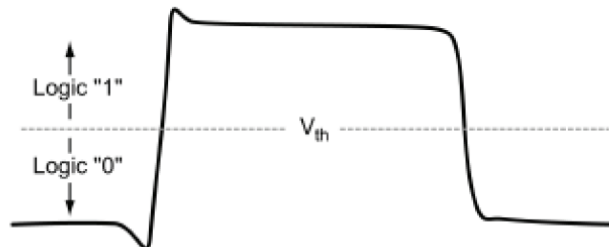


图5: 逻辑门限

只要信号相对较大，在高电压和低电压之间迅速跳变，那么就适应这一简单过程。但是，在电压恰好位于门限电平上时，数字状态不确定，会导致电路特点不能预测。

为提高这种高/低判定过程的可靠性，许多电路使用两个门限值。在这种情况下，数字‘1’必须高于上方门限电平，数字‘0’必须低于下方门限电平。位于两个门限电平之间的任何信号都是不确定的。示波器对特定触发模式（如欠幅脉冲触发）使用这种双门限技术。在下面的试验中，您将看到的其中一个数字问题即“欠幅”脉冲，也就是越过下方门限、但没有足够高越过上方门限、被解释成‘1’的短脉冲。

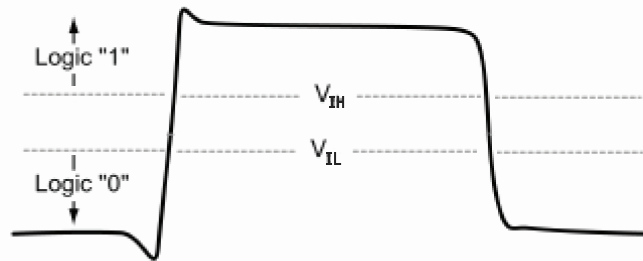


图6: 双门限逻辑

许多数字电路中使用二进制位或“比特”表示特定数字状态，如在按开关时或确定应该打开哪个灯时。

“同步”系统使用时钟，定义比特有效的具体时间。为使同步电路或时钟输入电路正确工作，在时钟边沿发生前，比特必须稳定最短的时间量(称为“建立时间”)；在时钟边沿发生后，必须保持稳定最短的时间量(称为“保持时间”)。如果违反建立时间或保持时间指标，电路的特点将不可预测。

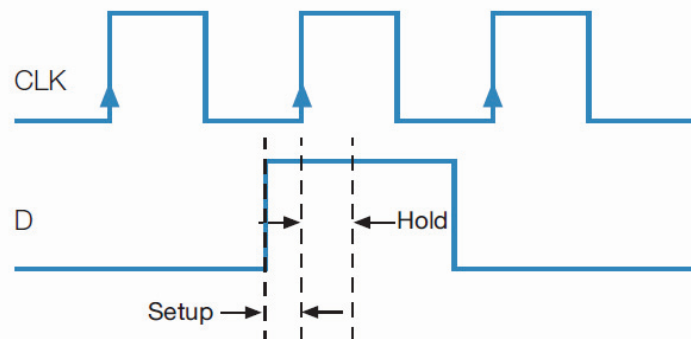


图7: 建立时间和保持时间

记忆要点

1. 在二进制信号中，低于称为门限的特定值的任何电压表示数字“低”或‘0’，高于门限的任何电压表示数字“高”或‘1’。
2. 在电压恰好位于门限电平时，数字状态不确定，会导致电路特点不可预测。
3. 在双门限逻辑中，数字‘1’必须高于规定的上方门限电平，数字‘0’必须低于规定的下方门限电平。位于这两个门限电平之间的任何信号都是不确定的。
4. 为使同步电路或时钟输入电路正确工作，必须满足建立时间和保持时间指标。否则，电路的特点将不可预测。

练习

1. 幅度位于两个门限电平之间的信号最贴切的叫法是_____。

- a. 欠幅脉冲
- b. 毛刺
- c. 脉冲
- d. 失真

答案：a

2. _____是比特在时钟边沿发生前必须稳定的最短的时间量。

- a. 保持时间
- b. 稳定时间
- c. 过振铃时间
- d. 建立时间

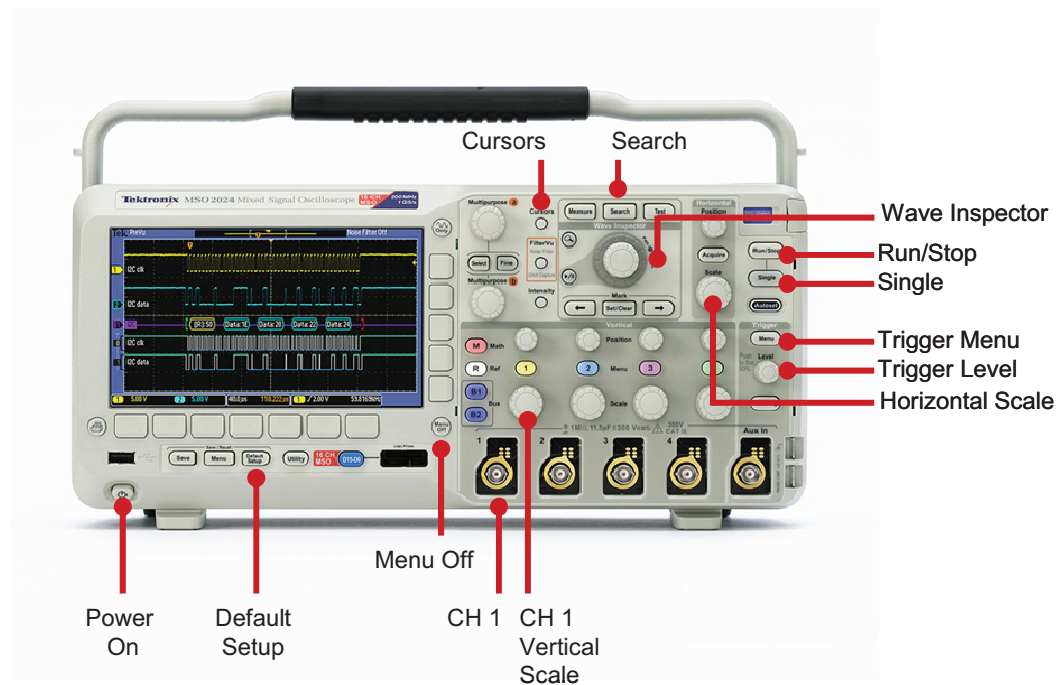
答案：d

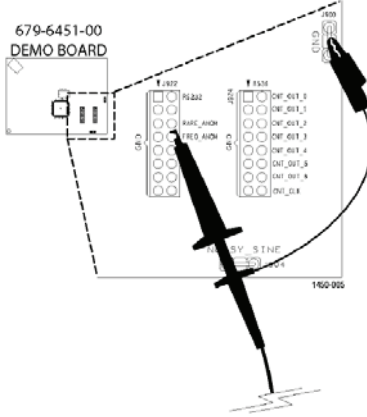
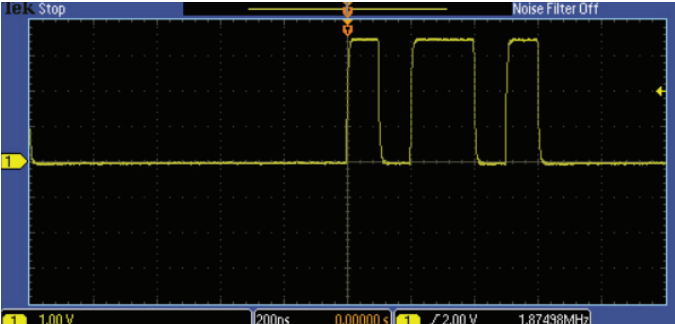
初始设置

捕获脉冲流

1. 这一试验中的设备设置如下：

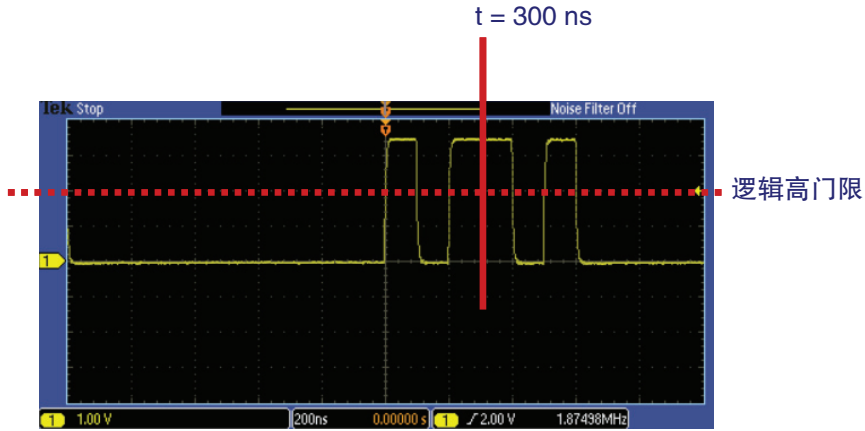
本试验使用的各个按钮和连接器的位置：



a. 按仪器左下角的电源开关，启动示波器。
b. 按前面板上的 Default Setup 按钮，把示波器设置成已知状态。
c. 把P2221 1X/10X无源探头连接到通道1输入上。
d. 确认两只探头上的滑动开关设置到 10X 。
2. 泰克演示电路板有许多数字信号，您可以在试验中使用这些信号。我们先从带有频繁异常事件的数字信号开始，其标为FREQ_ANOM。
<p>a. 把通道1探头地线连接到演示电路板的GND连接器上，把探头尖端连接到FREQ_ANOM信号引脚上。</p> 
b. 把USB电缆插入MSO/DPO2000系列示波器前面的USB主控端口及演示电路板的USB设备端口中。
c. 确认演示电路板的绿色POWER LED指示灯亮。
d. 把水平 Scale 设置成 200 ns/div 。
e. 使用前面板上的 Trigger Level 旋钮，把触发电平设置成大约 2 V 。
f. 按前面板上的 Trigger Single 按钮。
<p>g. 按Menu Off按钮，清除菜单。 显示画面应类似于下图：</p> 

练习

1. 使用第2-g步所示图形，如果逻辑高的门限是+2 V，数字信号在 $t = 300 \text{ ns}$ 时的二进制值是多少？



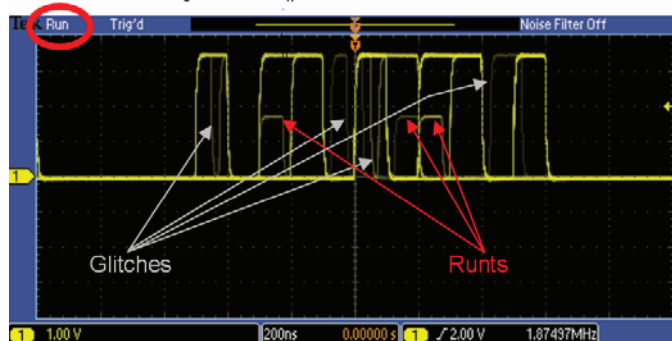
答案：二进制值 = 1

发现数字信号上的异常事件

1. 如果想真正知道数字信号特点是否满足预期，您需要使用实时显示画面监测信号(高波形捕获速率)，查看任何偶发事件。下面演示了怎样使用示波器发现数字信号上的异常事件。

- 按前面板上的**Single**按钮几次，同时观察显示画面。您是否看到任何信号没有类似的高值和低值？您是否看到任何窄脉冲？信号看上去正常吗？
- 按前面板上的**Run/Stop**按钮。注意显示画面左上角出现Run指示符。示波器现在正逐个捕获波形，并把它们叠加在屏幕上。

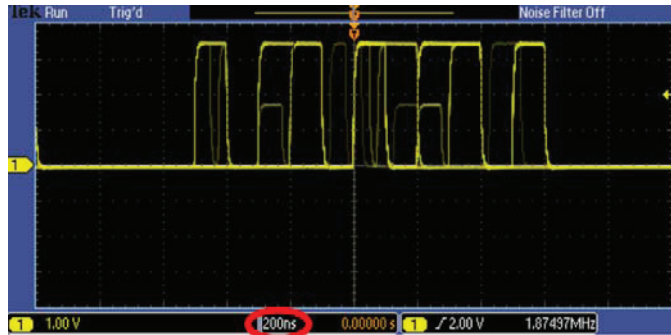
2. 在看到数百个或数千个波形叠加在一起的同一个信号时，应看到下图：



<p>a. 注意这个信号上有多个不同的异常事件，包括某些窄脉冲或“毛刺”及多个幅度下降的“欠幅脉冲”。</p>
<p>3. 另外注意部分异常事件显示的亮度或辉度要比想要的数字信号小得多。这种亮度变化或“辉度等级”表示不同信号发生的相对频率。波形越亮，发生频率越高；信号越暗，发生的频率越低。辉度等级显示可以很容易看到信号是否有异常事件，如果有，其表现形式如何。了解信号中的异常事件类型非常重要，以设置示波器，触发这些异常事件，进一步进行分析。</p>
<p>a. 如果想在显示画面上调节波形的相对亮度或辉度，按前面板上的Intensity按钮，使用多功能a旋钮调节辉度，然后再按前面板上的Intensity按钮。</p>
<p>4. 在发现这些问题后，可以使用示波器上的专用调试工具，如脉宽和毛刺触发，简便地捕获这些问题。</p>
<h3>记忆要点</h3>
<p>1. 为检查数字信号特点是否满足预期，您可以使用实时显示（高波形捕获速率）监测信号，查看任何偶发事件。</p> <p>2. 通过辉度等级显示，将逐个重叠波形。这种亮度变化或“辉度等级”表示不同信号发生的相对频率。波形越亮，发生频率越高；信号越暗，发生的频率越低。</p> <p>3. 辉度等级显示可以看出信号中异常事件的大小和形状。了解信号中的异常事件类型后，可以设置示波器，触发这些异常事件。</p>
<h3>练习</h3>
<p>1. 在辉度等级画面上，暗的波形比更亮的波形_____。</p> <ul style="list-style-type: none">a. 发生频率一样b. 发生频率低c. 发生频率高d. 拥有更高频成分 <p> 答案： b</p> <p>2. 下面哪一项最好地描述了毛刺脉冲？</p> <ul style="list-style-type: none">a. 毛刺超过最大信号电压电平。b. 毛刺是负电压脉中。c. 毛刺脉冲的脉冲时长周期低于建议的脉冲时长周期。d. 毛刺脉冲时长超过建议的脉冲周期。 <p> 答案： c</p>

捕获数字异常事件

1. 首先，我们捕获和考察在信号中可以看到的一个窄脉冲。



2. 显示画面底部的读数表明水平单位设置成200 ns/div。窄脉冲宽度似乎不到1/4格，我们使用脉宽触发，捕获窄大约50 nsec的所有脉冲。

a. 按前面板上的**Trigger Menu**按钮，显示触发菜单。

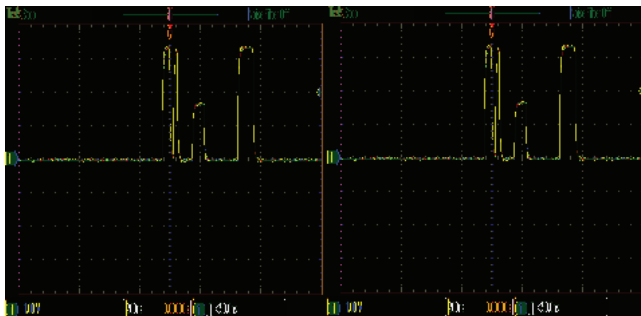
b. 按**Type**底部聚光按钮，使用多功能**a**旋钮，选择**Pulse Width**触发类型。

c. 按**Trigger When**底部聚光按钮，使用多功能**b**旋钮，把**Pulse Width <**值设置成**50.0 ns**。



d. 按前面板上的**Menu Off**按钮，清除侧面菜单。

e. 按前面板上的**Single**按钮。



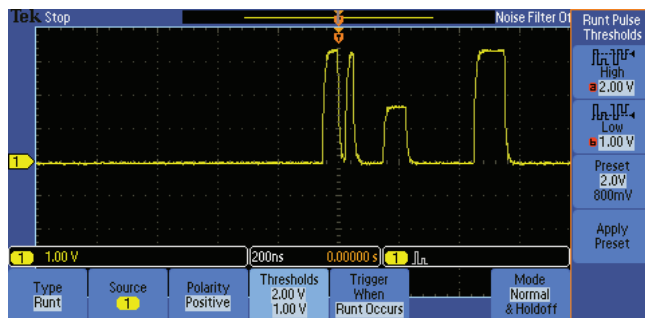
3. 通过正脉宽触发，可以简便地捕获信号中的每个窄正脉冲，如显示画面中心橙色触发‘T’图标旁边所示。注意，在脉宽触发中，使用了单个门限值(2 V)，脉宽在该电压处测得。

4. 现在让我们捕获和检查在信号中能够看到的低幅度“欠幅脉冲”。记住，欠幅脉冲幅度超过了下方门限，但没有超过上方门限。

a. 按**Type**底部聚光按钮，使用多功能**a**旋钮，选择**Runt**触发类型。

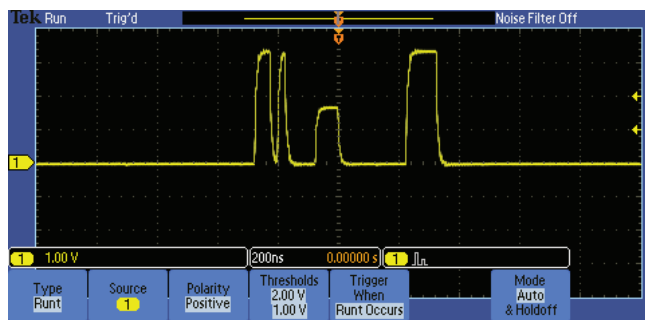
5. 显示画面底部的读数表明，垂直单位设置成1.0 V/div。欠幅脉冲似乎高一格以上，但不到两格，因此我们把门限设置在1V和2V。

a. 按**Thresholds**底部聚光按钮，使用多功能**a**旋钮，把**High Threshold**设置成**2.00 V**，使用多功能**b**旋钮，把**Low Thresholds**设置成**1.00 V**。



b. 按**Menu Off**按钮，清除侧面菜单。

c. 按前面板上的**Run/Stop**按钮。



6. 通过欠幅脉冲触发，可以简便地捕获信号中每个正欠幅脉冲，如显示画面中心橙色触发‘T’图标所示。

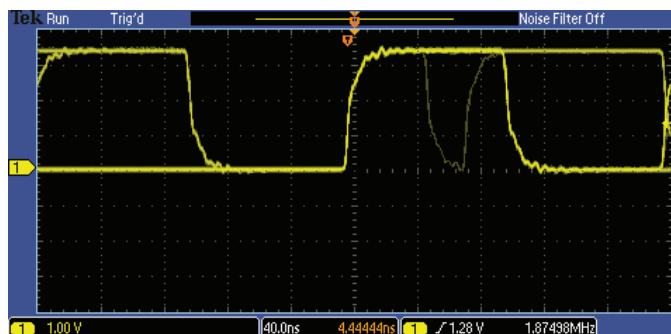
7. 在上述操作中，我们使用了示波器的触发功能，在每次采集中捕获了至少一个已知事件。

记忆要点

1. 为捕获和检查信号中的毛刺，您可以使用正脉宽触发。示波器将在遇到毛刺时触发，捕获信号，进一步进行分析。
2. 脉宽触发使用单个门限值。脉宽在该电压处测得。
3. 为捕获和检查低幅度“欠幅”脉冲，可以使用欠幅脉冲触发。示波器将在遇到欠幅脉冲时触发。
4. 欠幅脉冲触发查找越过规定的**低门限**、但没有越过规定的**高门限**的脉冲。

练习

1. 描述捕获下面信号中看到的异常事件所使用的触发类型和触发参数(包括极性、门限值和其它设置)。



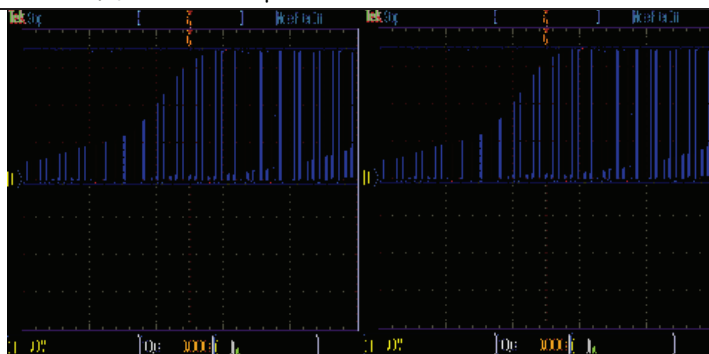
答案：建议的触发是脉宽触发，极性为负。门限应设置在1 V和2 V之间。“Trigger When”应设置成小于40 nsec。

使用Wave Inspector搜索异常事件

1. 在上一节中，我们使用了示波器触发功能，在每次采集中捕获至少一个事件(毛刺或欠幅脉冲)。但如果不知道要捕获什么事件，该怎么做呢？怎样知道给定事件发生了多少次？为回答这些问题，您可以使用Wave Inspector缩放、导航和搜索功能。

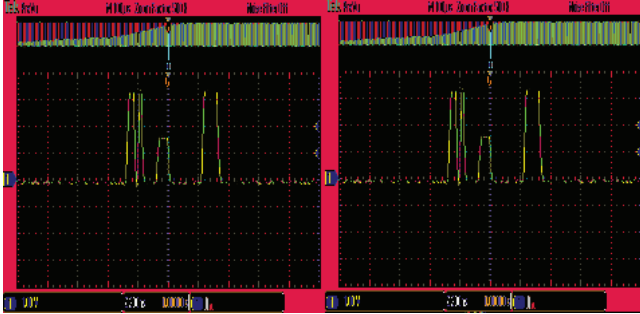
a. 使用前面板上的**Horizontal Scale**旋钮，把水平单位设置成**100 μ s/div**。

b. 按前面板上的**Single**按钮。在这一水平单位设置时，采集的波形类似于下图。



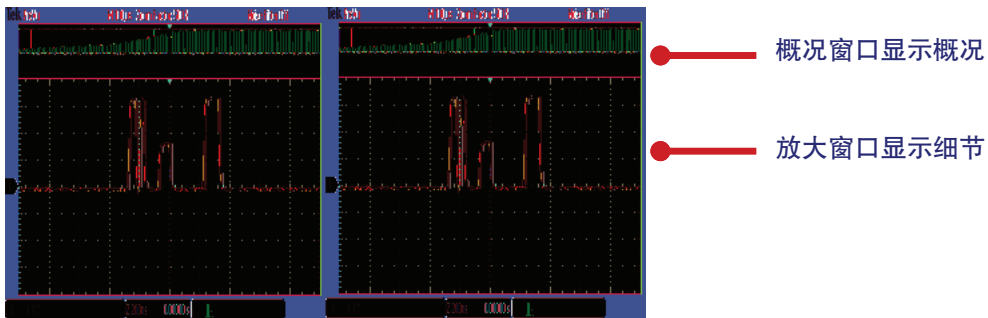
2. 在这个显示画面中很难看到太多的信号细节。如果我们以图形方式放大波形，细节会变得明显得多。

- a. 顺时针旋转内圈Wave Inspector旋钮，启动缩放功能。调整缩放倍数，清楚地显示触发点上的欠幅脉冲。



- b. 旋转外圈弹簧支撑的Wave Inspector旋钮，左移或右移缩放窗口。旋转旋钮越用力，卷动的速度越快。

- c. 注意整个波形显示在屏幕顶部，用白色括弧表示的放大区域显示在屏幕底部。



- d. 按Wave Inspector播放/暂停按钮，自动卷动采集。可以使用外圈Wave Inspector旋钮，改变自动卷动的速度和方向。在这个采集中别的地方能找到另一个欠幅脉冲吗？

- e. 在手动搜索另一个欠幅脉冲完成时，按播放/暂停按钮，关闭自动卷动功能。

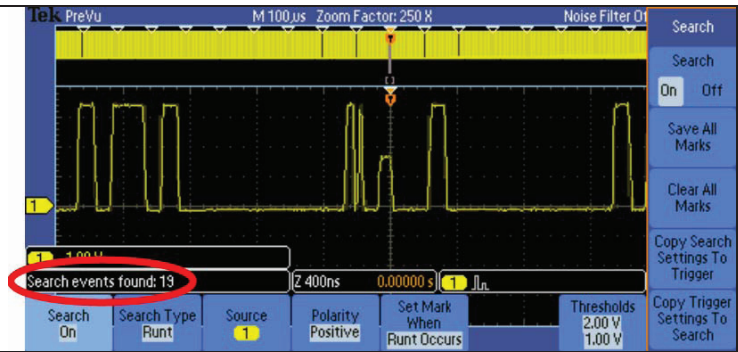
3. Wave Inspector还可以在波形上自动查找和标记关心的特点。这些自动标记在显示画面顶部显示为白色三角形。

- a. 按前面板上的**Search**按钮。

- b. 按**Search**底部聚光按钮，按**Search**侧面聚光按钮，打开自动搜索功能。

- c. 按**Copy Trigger Settings to Search**侧面聚光按钮，把欠幅脉冲触发设置复制到搜索引擎中。

4. 在一两秒之后，注意显示画面顶部的白色三角形。在左面所示实例中，搜索引擎在采集中自动找到19个搜索事件。



- 按前面板上的←和→箭头按钮，在这些标记之间来回跳转。
- 在使用搜索功能完成时，按**Search**侧面聚光按钮，关闭自动搜索功能。

记忆要点

- 通过MSO/DPO2000系列上的Wave Inspector，整个波形显示在屏幕顶部，用白色括弧表示的放大区域则显示在屏幕底部。
- 使用Wave Inspector旋钮，手动卷动和缩放采集的波形。
- 使用Wave Inspector播放/暂停旋钮，自动卷动波形。
- Wave Inspector可以在波形上迅速自动查找和标记关心的特点。这些标记在显示画面顶部显示为白色三角形。

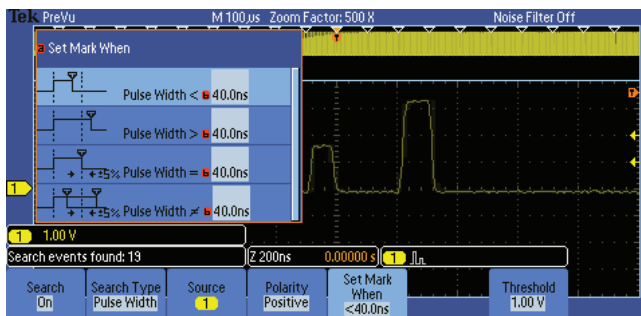
练习

- 使用相同的波形采集，使用Wave Inspector的自动搜索功能，搜索宽度小于40 ns的毛刺。找到了多少个搜索事件？

答案：19

建议步骤：

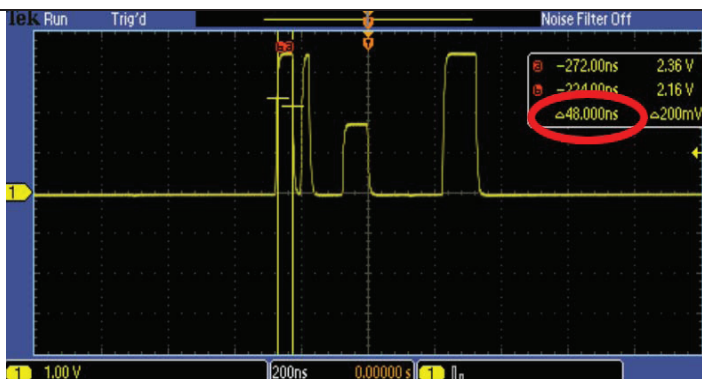
- 按Search侧面聚光按钮，启动Search。
- 按Search Type底部聚光按钮，选择Pulse Width。
- 按Set Mark When底部聚光按钮，使用多功能a旋钮和多功能b旋钮，拨入< 40 ns。
- 在使用搜索功能完成时，按Search底部和侧面聚光按钮，关闭自动搜索功能。



使用自动测量分析数字信号

1. 可以使用MSO/DPO2000系列光标和自动测量功能，测量数字信号。
 - a. 按**Wave Inspector Zoom**按钮或完全逆时针旋转内圈旋钮，关闭缩放功能。按前面板上的**Menu Off**按钮，直到所有菜单关闭。
 - b. 把水平**Scale**设置成**200 ns/div**。
 - c. 按前面板上的**Run/Stop**按钮。
 - d. 按前面板上的**Cursors**按钮一次，启动竖条光标。
2. 光标一开始时可能会移出屏幕，看不到，但如下图所示，在显示画面右上角可以看到读数。

3. 可以使用Cursors手动测量波形的多个参数。例如，竖条光标可以简便地测量脉冲的宽度，如显示画面右上角光标读数所示，其大约为48 nsec。



- a. 使用多功能**a**旋钮，把**a**光标放在显示画面第一个脉冲的左沿上。
- b. 使用多功能**b**旋钮，把**b**光标放在显示画面第一个脉冲的右沿上，显示画面与上图类似。

4. 还可以使用基于屏幕的光标，测量脉冲的幅度。这里，脉宽也约为48 nsec，幅度约为3.56 V。



- a. 再按前面板上的Cursors按钮一次，启动基于屏幕的光标。
- b. 使用多功能**a**旋钮，把**a**光标放在显示画面第一个脉冲的左沿上。
- c. 使用多功能**b**旋钮，把**b**光标放在显示画面第一个脉冲的右沿上，显示画面与上图类似。
- d. 按前面板上的**Select**按钮，直到水平光标变成实线。
- e. 使用多功能**a**旋钮，把**a**光标放在显示画面数字脉冲的顶部。
- f. 使用多功能**b**旋钮，把**b**光标放在显示画面数字脉冲的底部。

g. 按前面板上的Cursors按钮一次，关闭光标。

显示画面应类似于第4步所示的截图。

5. 光标为手动测量数字信号的基本幅度和定时参数提供了一种简单的方式。但是，自动测量通常可以更迅速地进行更多的测量。我们现在使用自动测量，来进行上面使用光标进行的不同测量。

a. 按前面板上的**Measure**按钮。

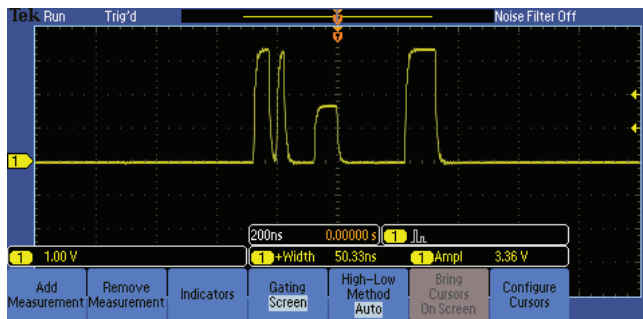
b. 按**Add Measurement**底部聚光按钮。

c. 使用多功能**a**旋钮，从列表中选择**Positive Pulse Width**测量，按**OK Add Measurement**侧面聚光按钮。

d. 使用多功能**a**旋钮，从列表中选择**Amplitude**测量，按**OK Add Measurement**侧面聚光按钮。

e. 按前面板上的**Menu Off**按钮一次，清除侧面菜单。

f. 在启动脉宽测量和幅度测量后，我们在显示画面底部附近看到测量读数。



6. 如果想把重点放在波形特定部分测量上，如欠幅脉冲，可以使用光标“选通”测量。

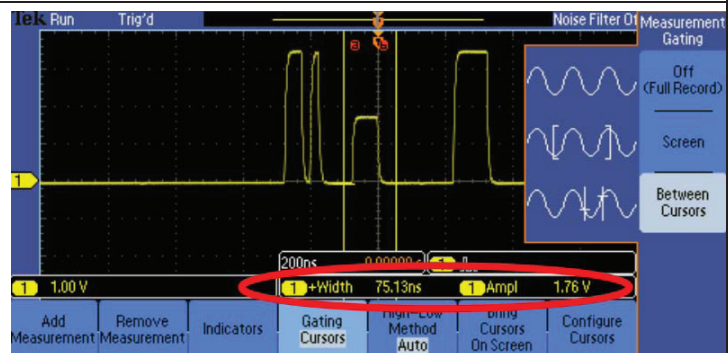
a. 按**Gating**底部聚光按钮。

b. 按**Between Cursors**侧面聚光按钮。

c. 使用多功能**a**旋钮，把a光标稍稍移到欠幅脉冲左面。

d. 使用多功能**b**旋钮，把b光标稍稍移到欠幅脉冲右面。

e. 注意测量重点现在是欠幅脉冲。

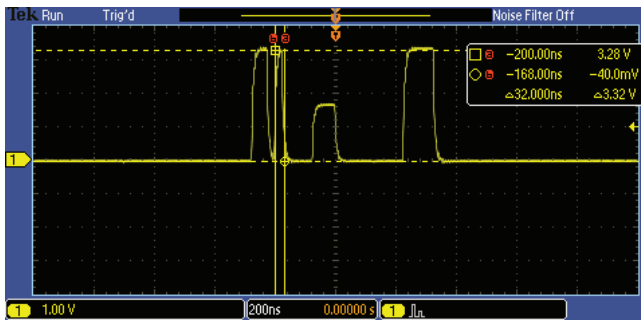


记忆要点

1. 光标可以测量波形的多个参数，包括脉宽和幅度。
2. 光标为手动测量数字信号的基本幅度和定时参数提供了一种简单的方式。但是，自动测量通常可以更迅速地进行更多的测量。
3. 如果想把重点放在波形特定部分测量上，如欠幅脉冲，可以使用光标“选通”测量。

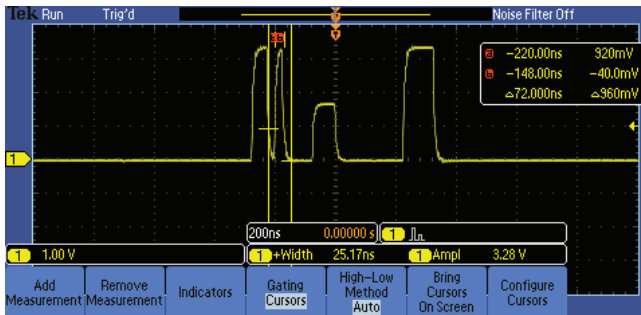
练习

1. 使用相同的波形采集，使用光标及带选通的自动测量功能，测量毛刺脉冲（屏幕上最窄的脉冲）的脉宽和幅度。
 - a. 写下使用光标测量的结果。



答案：脉宽 = 32 nsec，幅度 = 3.32 V

- b. 写下使用带选通的自动测量功能测量的结果。



答案：脉宽 = 25.17 nsec，幅度 = 3.28 V

最后练习

1. 波形捕获速率对数字调试过程哪个阶段非常重要？

- a. 发现
- b. 捕获
- c. 搜索
- d. 分析

答案：a

2. 为提高正确确定数字信号在某个时点是逻辑值高还是逻辑值低的可靠性，许多电路使用_____门限值。

- a. 一个
- b. 两个
- c. 同步
- d. 三态

答案：b

3. 欠幅脉冲最贴切的定义是：

- a. 超过数字信号规定的上方门限，但没有超过规定的下方门限
- b. 窄脉冲
- c. 超过数字信号规定的下方门限，但没有超过规定的上方门限
- d. 超过允许的最大幅度

答案：c

4. 在辉度等级显示画面中，_____的波形表明信号事件发生频率高于暗的波形。

- a. 微弱
- b. 明亮
- c. 白色
- d. 红色

答案：b

5. 前面板上的Wave Inspector旋钮可以_____。

- a. 手动卷动和缩放长波形采集。
- b. 自动搜索波形中的特定事件。
- c. 自动卷动波形。
- d. 上面全都对。

答案：d

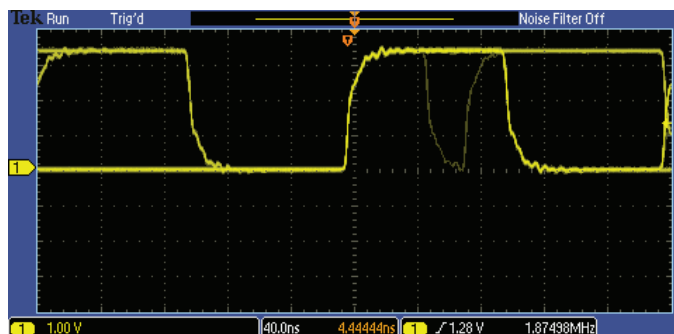
6. 本最后练习将要求使用前面掌握的技巧和知识。

a. 把示波器探头尖端连接到标为**Rare_Anom**的引脚上，其位于上面练习中使用的**Freq_Anom**引脚旁边。按**Default Setup**按钮。

b. 调整水平标度因数，直到能够轻松看到脉冲流的细节。

最好选择40 ns或100 ns的水平标度因数。

c. 在监测这一信号一会儿后，得到下面的截图。



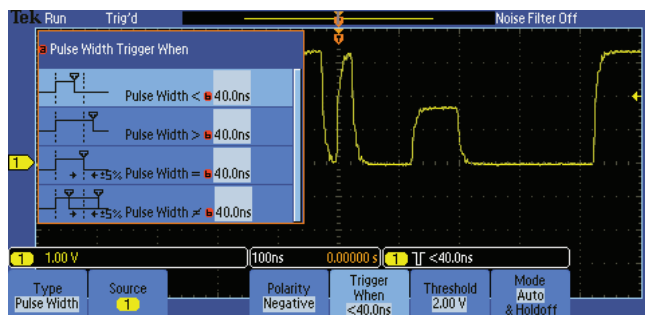
d. 基于第c步中的截图，设置示波器触发，捕获异常事件。写下触发类型和触发参数。
(提示：复习“捕获数字异常事件”部分第一项练习中的答案)

触发类型：脉宽

极性：负

门限：2 V

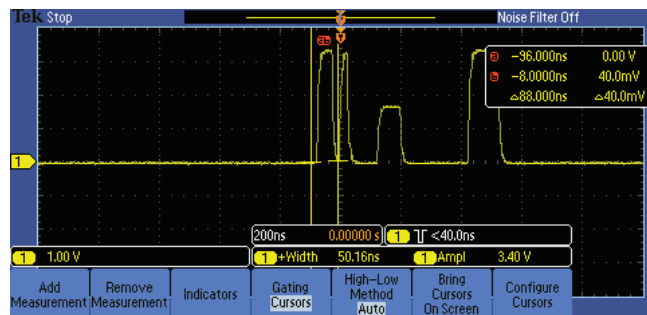
触发条件：< 40 ns时



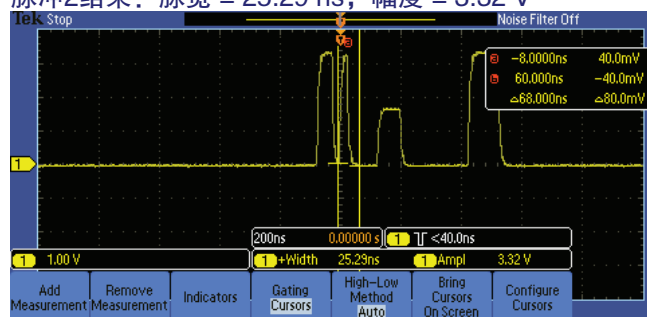
- e. 把水平标度因数设置成200 ns/div。按Single按钮，测量显示画面上所有脉冲的脉宽和幅度。把结果写在下面。

使用自动测量获得下述结果。也可以使用光标。

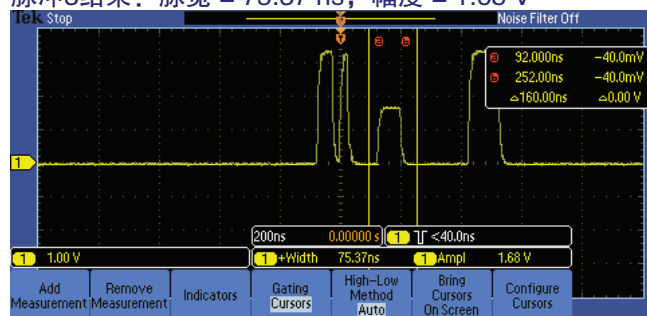
脉冲1结果：脉宽 = 50.16 ns，幅度 = 3.4 V



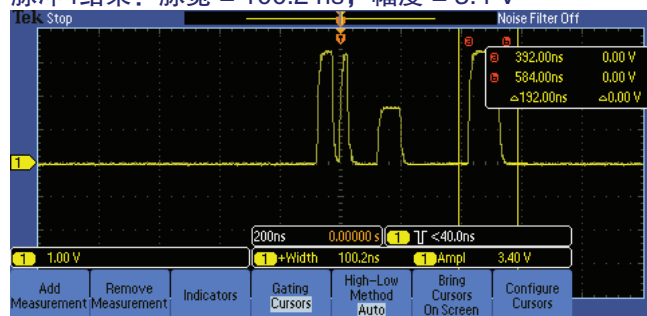
脉冲2结果：脉宽 = 25.29 ns，幅度 = 3.32 V



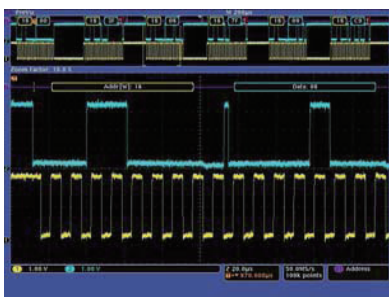
脉冲3结果：脉宽 = 75.37 ns，幅度 = 1.68 V



脉冲4结果：脉宽 = 100.2 ns，幅度 = 3.4 V



常用串行总线概述



I²C (集成电路间总线)

- 用于芯片间通信
- 使用两个单端信号：时钟和数据



I²S / LJ / RJ / TDM 音频总线

- I²S、左对齐和右对齐，用于立体声数字音频通信
- TDM支持>2通道数字音频



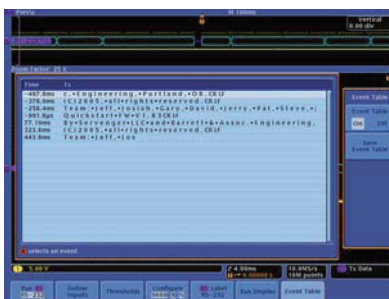
SPI (串行外设接口)

- 用于微控制器与邻近外围设备之间的通信
- 可以使用2线、3线或4线总线拓扑



CAN / LIN

- CAN用于系统间通信
- LIN用于低成本、低速汽车通信



RS-232/422/485/UART

- 用于芯片间通信和系统间通信
- 单线或差分信号
- 同时发送和接收数据

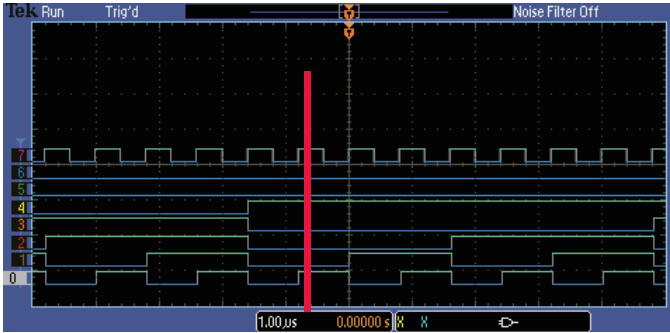


FlexRay

- 用于高速、高可靠性汽车通信
- 差分信号，速率高达10 Mbps

常用串行总线概述

在并行结构中，总线的每个组成部分都有自己的信号路径。可能有多条地址线、多条数据线、一条时钟线和各种其它控制信号。通过总线发送的地址或数据值在所有并行线路上同时传送。



- 一个信号定义为最低有效位
- 其它信号表示二进制数字的其它位，直到最高有效位
- 通过作为高(1)或低(0)评估每个信号，手动解码总线
- 例如，上面高亮度显示的点上的二进制值是10010001，这个值也可以转换成十六进制91。

ASCII转换表

把一个十六进制字符转换成一个ASCII字符:

十六进制	字符	十六进制	字符	十六进制	字符	十六进制	字符	十六进制	字符
20	Space	30	0	40	@	50	P	60	`
21	!	31	1	41	A	51	Q	61	a
22	"	32	2	42	B	52	R	62	b
23	#	33	3	43	C	53	S	63	c
24	\$	34	4	44	D	54	T	64	d
25	%	35	5	45	E	55	U	65	e
26	&	36	6	46	F	56	V	66	f
27	'	37	7	47	G	57	W	67	g
28	(	38	8	48	H	58	X	68	h
29	)	39	9	49	I	59	Y	69	i
2A	*	3A	:	4A	J	5A	Z	6A	j
2B	+	3B	;	4B	K	5B	[	6B	k
2C	,	3C	<	4C	L	5C	\	6C	l
2D	-	3D	=	4D	M	5D	]	6D	m
2E	.	3E	>	4E	N	5E	^	6E	n
2F	/	3F	?	4F	O	5F	_	6F	o
								7F	DEL

把每组4个二进制位转换成一个十六进制字符:

二进制	十六进制	二进制	十六进制
0000	0	1000	8
0001	1	1001	9
0010	2	1010	A
0011	3	1011	B
0100	4	1100	C
0101	5	1101	D
0110	6	1110	E
0111	7	1111	F

实验室试验讲师指导手册介绍

目标

1. 本讲师指导手册的目的：
 - a. 用额外的示波器屏幕和前面板图像扩大培训步骤，帮助学员解决提出的问题。
 - b. 提供每项练习的答案。
2. 讲师笔记用**黑蓝色**字体标出。

实验室试验介绍

目标

1. 描述和演示使用泰克MSO2000系列混合信号示波器解码和分析并行总线。
2. 描述和演示使用泰克MSO2000系列混合信号示波器解码和分析RS-232串行总线。

设备清单

1. 一台泰克MSO2000系列数字示波器。
2. 一个泰克DPO2COMP应用模块。它可以安装在仪器前面板右上角的应用模块插槽中。在安装模块时，应关闭示波器电源。
3. 一只泰克P6316逻辑探头。
4. 一只泰克P2221 1X/10X无源探头。
5. 一条USB主控/设备电缆。
6. 一块泰克878-0456-xx演示电路板。

并行总线概述

嵌入式总线可能会包含许多不同类型的器件，包括微控制器、微处理器、DSP、RAM、EPROM、FPGA、模数转换器、数模转换器和I/O。在传统上，这些不同的器件一直使用宽并行总线相互通信及与外部世界通信。尽管当前许多电路采用串行总线进行通信，但并行总线仍然十分常见。

在并行结构中，总线的每个组成部分都有自己的信号路径。可能有多条地址线、多条数据线、一条时钟线和各种其它控制信号。通过总线发送的地址或数据值在所有并行线路上同时传送。



并行总线数据值：
1001 0000

图1：并行总线线路实例

并行总线中一个信号定义为最低有效位，其它信号表示二进制数字的其它位，直到最高有效位。通过作为高(1)或低(0)评估每个信号，可以手动解码总线。在上面高亮度显示的区域中，D7-D0的二进制值是1001 0000。

如果所有信号的逻辑值是低，那么总线状态的二进制值是0000,0000。如果只有最低有效位是高，那么总线状态的二进制值是0000,0001。如果只有最高有效位是高，那么总线状态的二进制值是1000,0000，如果所有信号都是高，那么总线状态二进制是1111,1111。

大多数工程师首选使用十六进制或“hex”符号，而不是二进制。可以使用下图，把每组4个二进制位转换成一个十六进制字符：

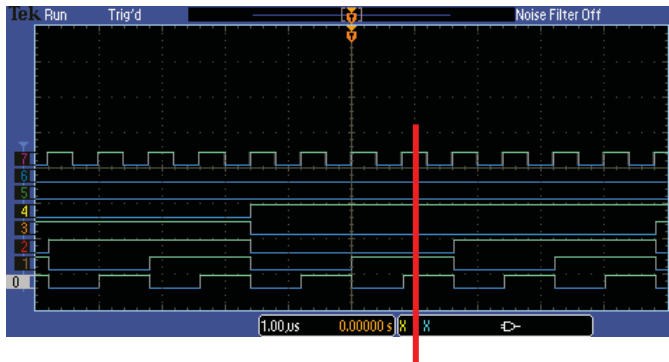
二进制	十六进制	二进制	十六进制
0000	0	1000	8
0001	1	1001	9
0010	2	1010	A
0011	3	1011	B
0100	4	1100	C
0101	5	1101	D
0110	6	1110	E
0111	7	1111	F

记忆要点

1. 并行总线的每个组成部分都有自己的信号路径。
2. 总线上发送的地址或数据值通过所有并行线路同时传送。
3. 并行总线中一个信号定义为最低有效位，其它信号表示二进制数字的其它位，直到最高有效位。

练习

1. 并行总线在下面高亮度显示点上的二进制值是多少？



答案：1001 0011

2. 十六进制表示的并行总线数据值是多少？

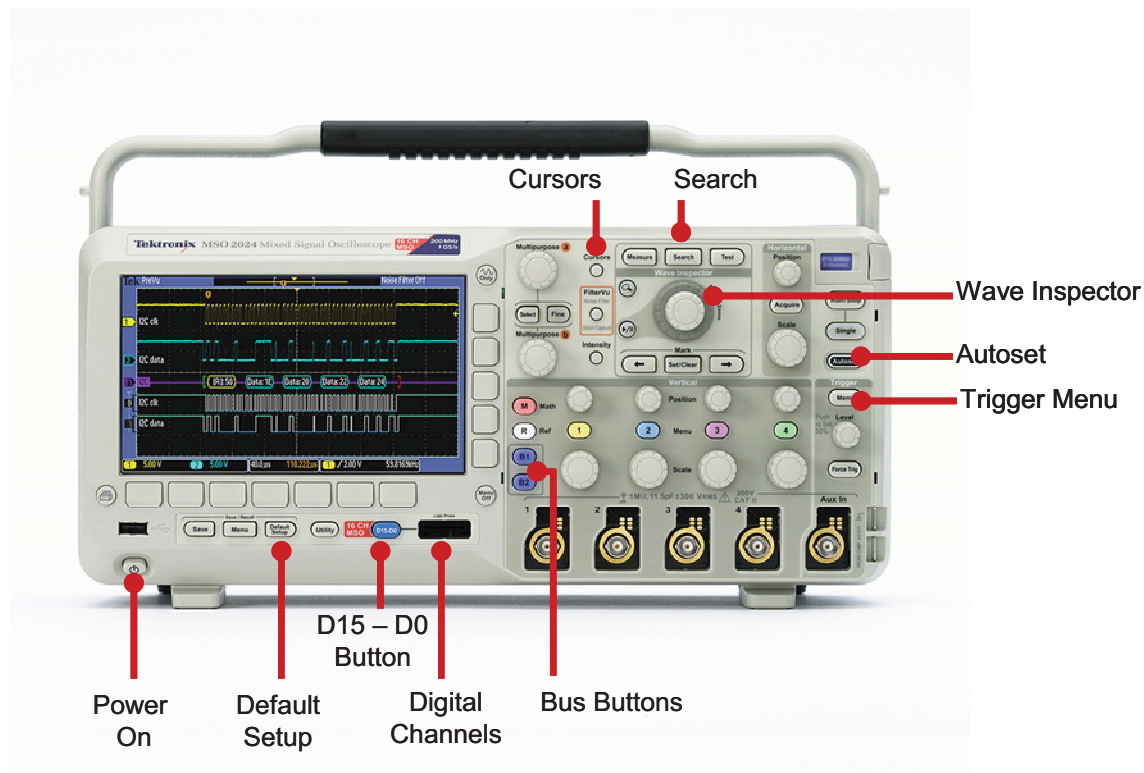
用十六进制表示为93 hex。

并行总线分析

解码和分析并行总线业务

1. 本节介绍使用MSO2000解码和分析并行总线实例。

本试验各主要旋钮的位置：



a. 按仪器左下角的电源开关，启动MSO2000系列示波器。

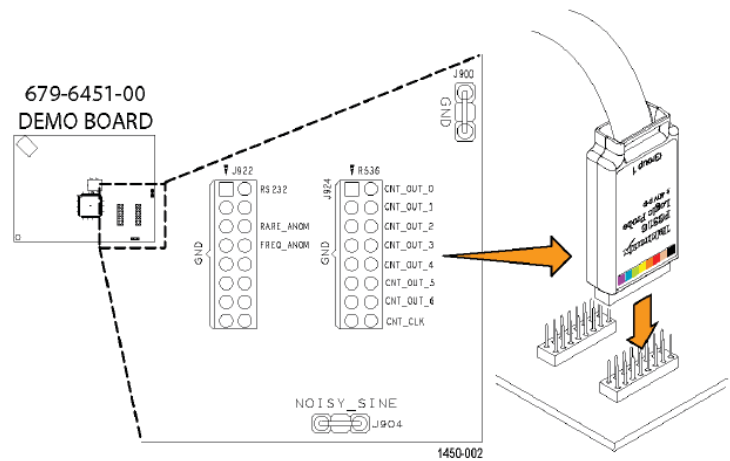
b. 按前面板上的**Default Setup**按钮，把示波器设置成已知状态。

c. 把USB电缆插入MSO2000系列示波器前面的USB主控端口和演示电路板的USB设备端口中。

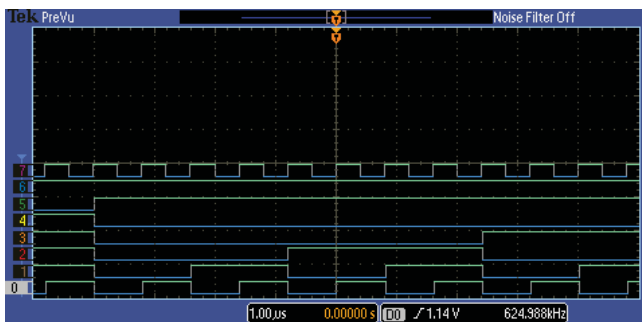
d. 确认演示电路板上绿色的POWER LED指示灯亮。

e. 把P6316数字探头连接到MSO2000系列示波器的前面板连接器上。

- f. 把探头的Group 1探头适配夹连接到计数器输出连接器上，注意，彩色标签要与连接器右侧的信号一致。



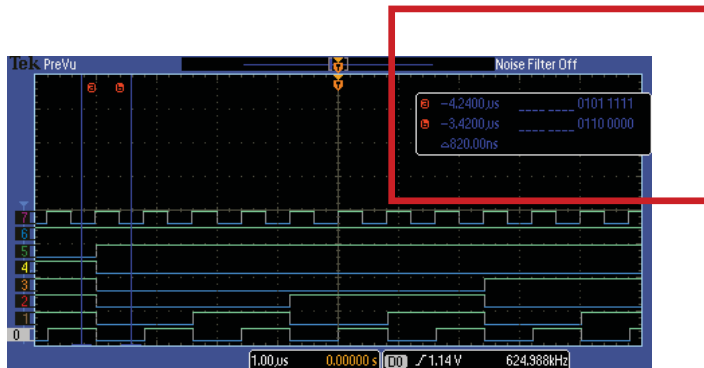
- g. 按前面板上的黄色按钮**1**两次，关闭通道1。
- h. 按前面板上蓝色的**D15-D0**按钮，启动数字输入菜单。
- i. 按**D15-D0 On/Off**底部聚光按钮。
- j. 按**Turn on D7-D0**侧面聚光按钮。
- k. 按前面板上的**Autoset**按钮。Autoset将自动调节水平设置、垂直设置和触发设置，获得实用画面。
- l. 按前面板上蓝色的**D15-D0**按钮，启动数字输入菜单。
- m. 按**Height**底部聚光按钮，直到选择中等波形长度M。
- n. 按**Thresholds**底部聚光按钮。注意数字门限已经设置成1.4V，这个值对这些数字信号是一个合理的值。
- o. 按**Menu Off**按钮两次，清除菜单。
- p. 把水平**Scale**设置成**1 μ s/div**。
- q. 按**Single**按钮。
- r. 示波器画面现在应类似于下图：



2. 可以使用MSO2000系列示波器的光标，自动解码并行总线上的各个点。下面将使用这一功能。

- a. 按前面板上的**Cursors**按钮一次。
- b. 使用多功能旋钮，把光标放在总线上两个不同点上。光标在刚开始时可能会移出屏幕。

c. 显示画面右上角的光标读数自动解码并行总线上的各个点。



d. 按前面板上的**Cursors**按钮一次，关闭光标。

3. MSO2000系列示波器还可以配置成自动解码整个并行总线业务。下面将设置示波器解码总线。

a. 按前面板上紫色的**B1**按钮，启用一条并行总线。

b. 按**Define Inputs**底部聚光按钮。

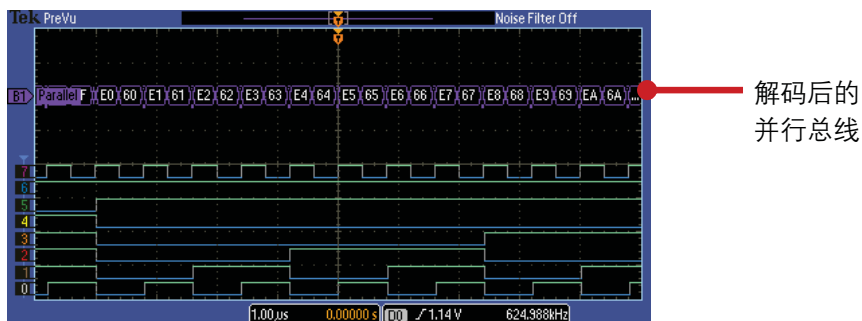
c. 使用多功能**a**旋钮，把**Number of Data Bits**设置成**8**。

d. 按**Menu Off**按钮一次，清除侧面菜单。

e. 使用多功能**a**旋钮，把解码后的总线波形放在显示画面上半部分。

f. 按**Menu Off**按钮一次，清除菜单。

g. 并行总线解码可以自动解码并行总线上所有点。



4. 在前面的步骤中，示波器触发D0数字信号的上升沿。(Autoset把触发源设置成最低的有源通道) 示波器还可以设置成触发并行总线值。

a. 按Trigger **Menu**按钮。

b. 按**Type**底部聚光按钮。

c. 完全逆时针旋转多功能**a**旋钮，选择**Bus**触发。

d. 按**Data**底部聚光按钮。

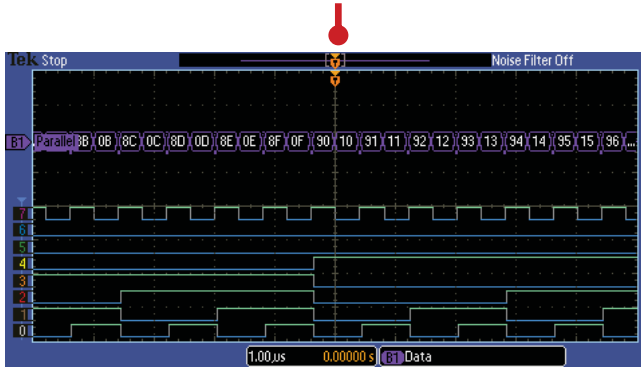
e. 完全顺时针旋转多功能**a**旋钮，选择十六进制数据字。

f. 使用多功能**b**旋钮，选择十六进制值**10h**。示波器现在设置成触发并行数据值10h。

g. 按**Menu Off**按钮两次，清除菜单。

h. 按前面板上的**Single**按钮。

触发发生在十六进制值10h处



5. 现在您可以在存储的数据中搜索特定值，具体步骤如下：

a. 按前面板上的**Search**按钮。

b. 按**Search**底部聚光按钮。

c. 按**Search**侧面聚光按钮，直到选择**On**。

d. 按**Search Type**底部聚光按钮。

e. 完全逆时针旋转多功能**a**旋钮，选择**Bus**搜索。

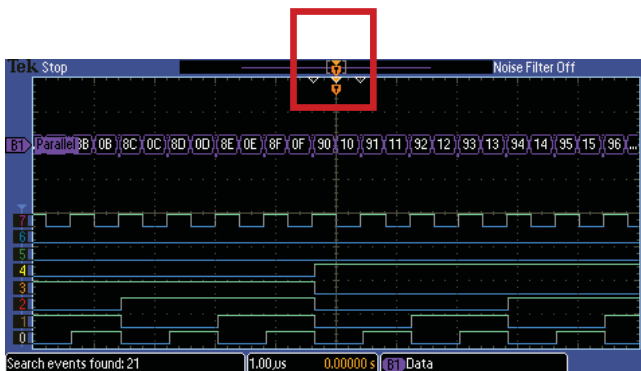
f. 按**Data**底部聚光按钮。

g. 使用多功能**a**旋钮，高亮度显示十六进制值的最低有效位。

h. 使用多功能**b**旋钮，选择值**X0h**。Wave Inspector现在搜索末尾为“0”的任何数据值。注意显示画面顶部的白色插入符号，显示了满足搜索指标的所有总线值。

i. 按**Menu Off**按钮两次，清除菜单。

搜索标记

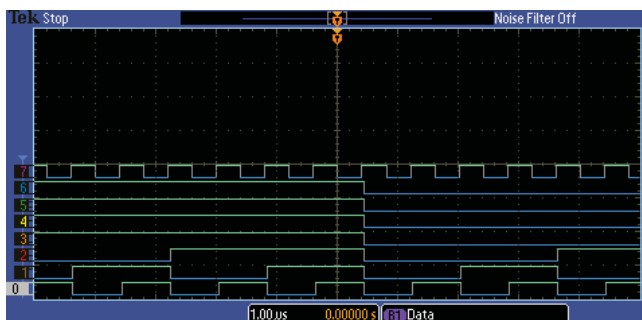


记忆要点

1. 可以使用光标，自动解码并行总线上的各个点。
2. MSO2000系列示波器可以配置成自动解码并行总线上的所有点。
3. MSO2000系列可以触发特定并行总线数据值。
4. MSO2000系列可以搜索特定并行总线数据值，并用专用符号标记这些值。

练习

1. 利用所学知识及当前试验配置，生成下面的显示画面。把触发使用的并行数据值写在下面：



这个画面显示触发十六进制7F或二进制值0111 1111。注意触发点位于MSB变低、其余位均为高的第一个点上。

RS-232串行总线概述

RS-232是232号推荐标准的简写，是由电子行业联盟(EIA)开发的一项通信标准，是20世纪60年代为电传打字机终端和调制解调器开发的。该标准在1969年升级为RS-232-C标准，规定了电信号特点、机械连接、等等。

RS-232为点到点全双工通信(同时发送和接收数据)提供了两个单端信号。标准没有规定字符编码、数据成帧或协议。它是为短距离低速串行数据通信设计的。尽管没有规定最长的电缆长度，但建议距离不超过15米。标准也没有规定最大数据速率，但建议速率<20 kb/s。

RS-232数据传输是异步传输，意味着时钟不传输，其必须在发射机和接收机上提前编程。每个字符开头都有一个起始位，这是一个高值，等于逻辑值“0”。字符由7个或8个数据位组成，这些数据位也必须编程。数据位按从最低有效位到最高有效位的顺序传送。然后是可选的奇偶位。如果没有使用，那么这个位会被忽略。如果使用，那么必须对极性编辑，通过指明数据字中有奇数个“1”还是偶数个“1”，提供简单的误差检测功能。最后，字符末尾通常是一到两个结束位。

起始	数据 0	数据 1	数据 2	数据 3	数据 4	数据 5	数据 6	可选数据 7	可选奇偶性	结束	可选结束
1位	1位	1位	1位	1位	1位	1位	1位	1位	1位	1位	1位

每个RS-232字符都可以以各种格式编码，但最常用的格式是ASCII格式。ASCII是美国信息交换标准代码的简写，是一种7位代码(范围是0-127)，用来表示不同的字符。在这128个可能的代码中，95个代码(编号32-126)表示可以打印的字符。其余许多不能打印的字符都是控制字符，控制着文本处理方式。(控制字符实例包括退格、tab、回车和换行)由于大多数电脑内存基于8位字节，因此存储的ASCII字符中第8位可以用于奇偶性，提供了一种简单的错误检测方案。

ASCII字符表

十六进制	字符	十六进制	字符	十六进制	字符	十六进制	字符	十六进制	字符
20	Space	30	0	40	@	50	P	60	`
21	!	31	1	41	A	51	Q	61	a
22	"	32	2	42	B	52	R	62	b
23	#	33	3	43	C	53	S	63	c
24	\$	34	4	44	D	54	T	64	d
25	%	35	5	45	E	55	U	65	e
26	&	36	6	46	F	56	V	66	f
27	'	37	7	47	G	57	W	67	g
28	(	38	8	48	H	58	X	68	h
29	)	39	9	49	I	59	Y	69	i
2A	*	3A	:	4A	J	5A	Z	6A	j
2B	+	3B	;	4B	K	5B	[	6B	k
2C	,	3C	<	4C	L	5C	\	6C	l
2D	-	3D	=	4D	M	5D	]	6D	m
2E	.	3E	>	4E	N	5E	^	6E	n
2F	/	3F	?	4F	O	5F	_	6F	o
								7F	DEL

记忆要点

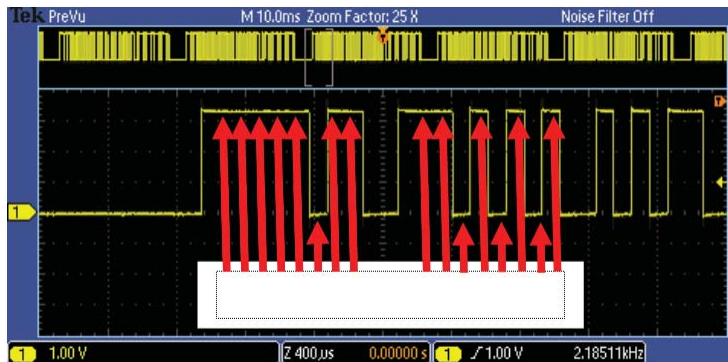
下面简要列出了RS-232的特点：

1. 点到点串行数据通信
2. 全双工通信
3. 异步
4. 短距离(大约15米)
5. 低速 (<20 kb/s)
6. 每个字符 7 位或 8 位(ASCII格式是最常用的格式)
7. 可选的奇偶位

练习

1. 这个练习将手动解码RS-232串行总线业务。在本例中，RS-232串行总线的数据速率为9600 baud，表示码大约每隔100 μ s发送一次。信号预计由一个起始位、8个数据位、无奇偶位和一个结束位组成。

- a. 解码下面的串行数据流，一次一位。每个红色箭头指向一个发送的位；箭头之间相隔100 μ s。记住，RS-232在发送时颠倒信号，因此数字值高表示‘0’，低值表示‘1’。起始位和结束位已经被跳过，表示箭头只指向数据位。



记下码流：0000 0100 0010 1010
(记住，RS-232在发送时会颠倒信号。)

- b. 现在RS-232按从最低有效位到最高有效位的顺序传送数据比特。写下由8个位组成的每条码流的二进制值。

码流1: 0010 0000

码流2: 0101 0100

- c. 写下每条码流的十六进制值。

码流1: 20 hex

码流2: 54 hex

- d. 这条串行数据流表示哪些ASCII字符？

码流1 (20 hex)表示空格。

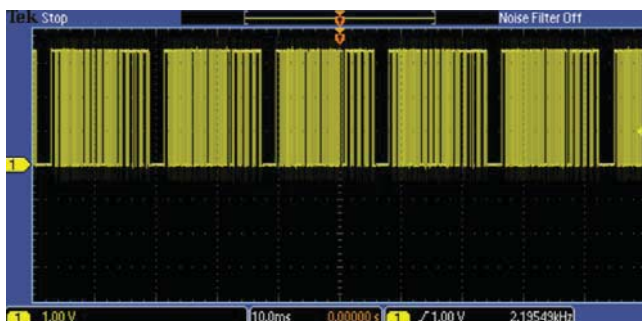
码流2 (54 hex)表示大写的“T”。

RS-232串行总线分析

解码和分析RS-232串行总线业务

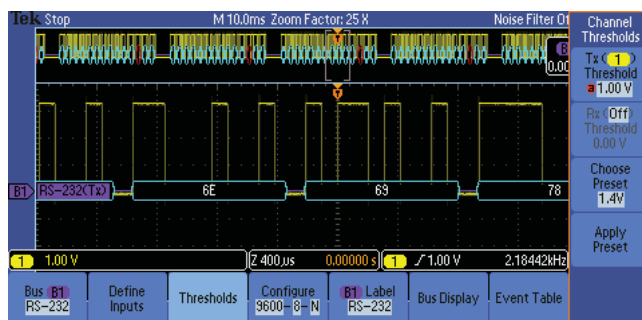
1. 在安装DPO2COMP应用模块后，MSO/DPO2000系列示波器可以触发、解码和搜索RS-232串行总线业务。这一练习将使用演示电路板上的RS-232串行信号。下面将解码和分析RS-232串行总线。

- a. 按前面板上的**Default Setup**按钮，把示波器设置成已知状态。
- b. 把P2221 1X/10X无源探头连接到通道1输入上，把1X/10X滑动开关设置到10X位置。
- c. 把通道1探头尖端连接到演示电路板RS-232信号上，把探头地线连接到演示电路板GND (接地) 夹上。
- d. 使用前面板上的**Trigger Level**旋钮，把触发电平设置成大约**1 V**。
- e. 把水平**Scale**设置成**10 ms/div**。
- f. 按前面板上的**Single**按钮。
- g. 按**Menu Off**按钮，清除菜单。
- h. RS-232串行信号类似于下图：

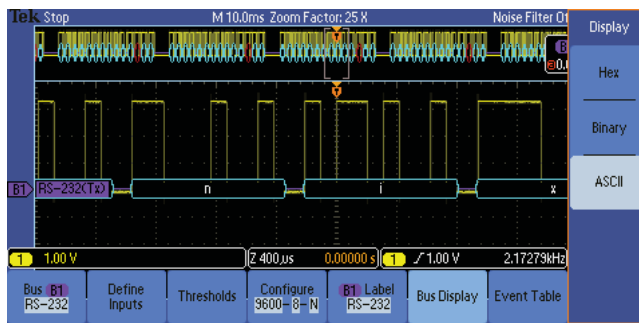


2. 可以使用MSO2000系列示波器，自动解码串行总线数据。下面将设置示波器，解码RS-232串行数据流。

- a. 顺时针旋钮内圈Wave Inspector旋钮，直到放大倍数(显示在画面顶部)设置成**25X**。
- b. 按前面板上紫色的**B1**按钮，启用总线解码。
- c. 按**Bus B1**底部聚光按钮。
- d. 使用多功能a旋钮，选择**RS-232**。
- e. 串行总线解码可以自动解码RS-232串行信号上的所有数据值。
- f. 按**Thresholds**底部聚光按钮。注意Tx(1)数字门限已经设置成与边沿触发电平相同的值。



- g. 解码的数据的显示格式默认为十六进制，但还提供了二进制格式和ASCII格式。按**Bus Display**底部聚光按钮，按ASCII侧面聚光按钮。



- h. 按**Event Table**底部聚光按钮。

- i. 按**Event Table**侧面聚光按钮，直到选择**On**。

- j. 这个RS-232串行信号的事件表显示画面类似于下图：

(看不到的字符在解码后的画面中显示为菱形，如空格)

Time	Tx	Errors
-43.71ms	+	
-46.58ms	+	
-45.84ms	T	
-44.70ms	e	
-43.55ms	k	
-42.41ms	t	
-41.26ms	i	
-40.12ms	o	
-38.98ms	n	
-37.83ms	i	
-36.69ms	x	
-35.54ms	+	
-34.38ms	NUL	Tx Framing Error

- k. 事件表以表格方式显示捕获的所有发送(Tx)数据包。数据包带有时间标记，连续列出。

- l. 在完成时，按**Event Table**侧面聚光按钮，直到选择**Off**。

3. 在上面的步骤中，示波器刚刚触发了通道1信号的上升沿。示波器还可以设置成触发串行总线值，如‘T’字符，具体步骤如下：

- a. 按**Trigger Menu**按钮。

- b. 按**Type**底部聚光按钮。完全逆时针旋转多功能a旋钮，选择**Bus**触发。

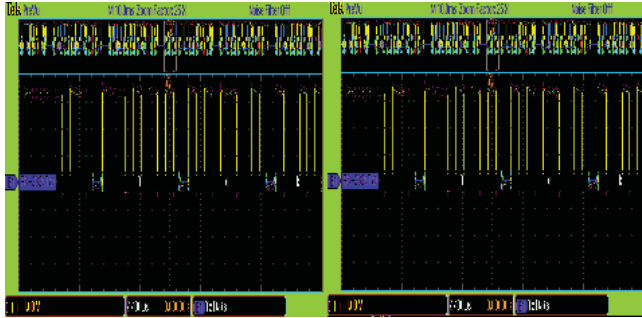
- c. 按**Trigger On**底部聚光按钮。使用多功能a旋钮，选择**Tx Data**。

- d. 按**Data**底部聚光按钮。

- e. 按**Data**侧面聚光按钮。旋转多功能a旋钮，直到高亮度显示ASCII字符。使用多功能b旋钮，选择大写字母‘T’。

- f. 按前面板上的**Single**按钮，捕获RS-232串行数据。

g. 按**Menu Off**按钮两次，清除菜单。示波器已经触发了表示ASCII字符‘T’的串行数据包。



2. 下面将使用Wave Inspector搜索特定的串行总线值。

a. 按**Search**前面板上的按钮。

b. 按**Search**底部聚光按钮。按**Search**侧面聚光按钮，选择**On**状态。

c. 按**Search Type**底部聚光按钮。使用多功能**a**旋钮，选择Bus选项。

d. 按**Search For**底部聚光按钮。使用多功能**a**旋钮，选择TxData选项。

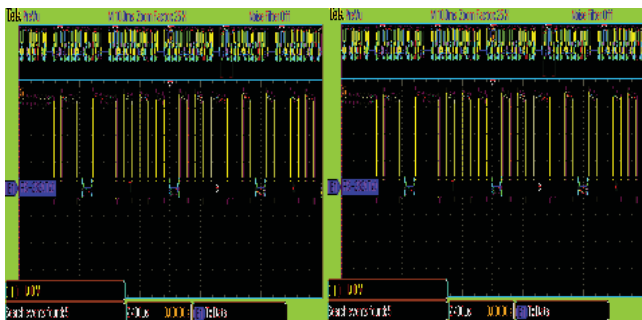
e. 按**Data**底部聚光按钮。

f. 按**Data**侧面聚光按钮。使用多功能**a**按钮，在侧面聚光菜单中选择**ASCII**选项。使用多功能**b**按钮，选择ASCII“**T**”字符。

g. 按**Menu Off**按钮两次，清除菜单。

h. 注意找到**T**的多个时点，其用白色插入符号表示。

i. 按**<**和**>**箭头，在**T**字符之间移动。



记忆要点

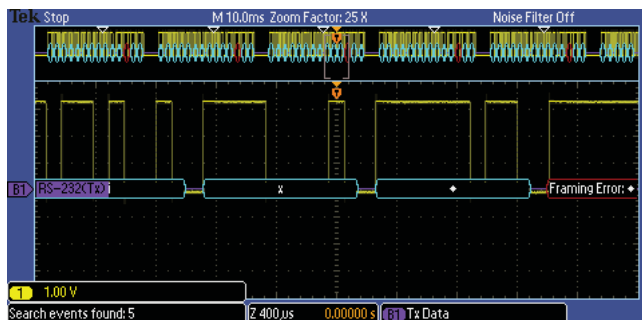
1. 手动解码串行总线数据非常困难。可以使用MSO/DPO2000系列自动解码这些数据。
2. MSO/DPO2000系列示波器可以触发特定串行数据值。
3. Wave Inspector可以用来搜索特定的串行数据值。

练习

1. 利用所学知识及当前试验配置，设置示波器，触发串行数据值78 hex。

a. 把步骤写在这里。

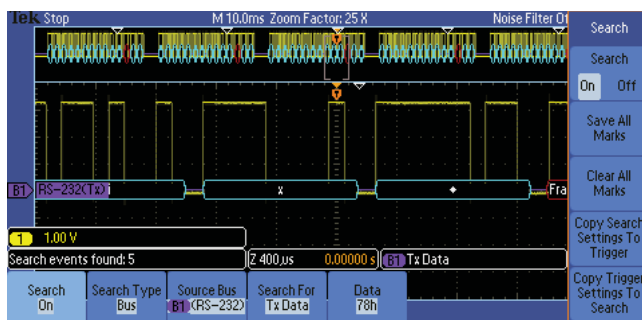
- 按前面板上的Trigger Menu按钮和Data底部聚光按钮。
- 如果没有显示数据选项菜单，按Data侧面聚光按钮。
- 使用多功能a旋钮，选择两个十六进制位。
- 使用多功能b旋钮，把值设置成78。
- 然后按Single按钮，按Menu Off按钮两次。



b. 采集中数据值78 hex有多少个时点？

- 按前面板上的Search按钮。
- 按Search底部聚光按钮，按“Copy Trigger Settings to Search”侧面聚光按钮(或按Data底部聚光按钮，拨入十六进制“78”)。

答案：大约5个。



最后练习

1. 哪种总线中总线每个组成部分都有自己的信号路径？

- a. 串行总线
- b. 并行总线

答案：b

2. 1000,0000二进制用十六进制表示为_____。

答案：80 hex。

3. RS-232数据传输是同步的，意味着传送时钟。

- a. 对
- b. 错

答案：错。在发送和接收信号前，必须确定波特率。

4. RS-232必选的奇偶性位表明数据字中是拥有奇数个“1”还是偶数个“1”，提供了简单的错误检测方法。

- a. 对
- b. 错

答案：对。

5. ASCII代码35 (十六进制)用来指明哪个字符？

- a. 5
- b. A
- c. T
- d. “

答案：a。

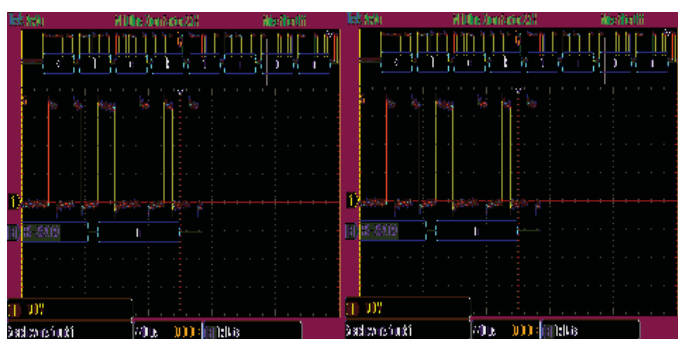
6. 利用所学知识和当前试验配置，按示波器前面板上的Default Setup按钮，然后生成下面的画面。

- 使用前面板上的Trigger Level旋钮，把触发电平设置成大约1 V。
- 把水平Scale设置成1 ms/div。
- 按前面板上紫色的B1按钮，启用总线解码。
- 按Bus B1底部聚光按钮。
- 使用多功能a旋钮，选择RS-232。
- 按Bus Display底部聚光按钮，按Binary侧面聚光按钮。
- 按Trigger Menu按钮。
- 按Type底部聚光按钮。完全逆时针旋转多功能a旋钮，选择Bus触发。
- 按Trigger On底部聚光按钮。使用多功能a旋钮，选择Tx Data。
- 按Data底部聚光按钮。
- 按Data侧面聚光按钮。旋转多功能a旋钮，直到高亮度显示二进制码流。使用多功能b旋钮，拨入“0110 1011”。
- 按Single按钮。
- 按Menu Off按钮两次。

c. 采集中有多少个串行数据包表示ASCII字符“n”？

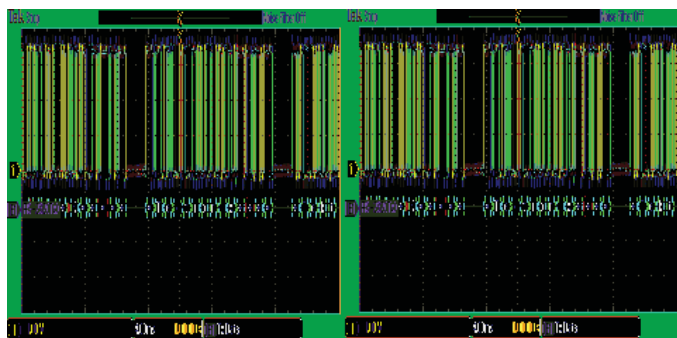
- 按Search前面板上的按钮。
- 按Search底部聚光按钮。按Search侧面聚光按钮，选择On状态。
- 按Search Type底部聚光按钮。使用多功能a旋钮，选择Bus选项。
- 按Search For底部聚光按钮。使用多功能a旋钮，选择Tx Data选项。
- 按Data底部聚光按钮。
- 按Data侧面聚光按钮。使用多功能a按钮，在侧面聚光菜单中选择ASCII选项。使用多功能b按钮，选择ASCII“n”字符。

答案：1，如下图所示：



d. 把水平标度因数设置成4 ms/div。设置示波器触发ASCII字符“k”。RS-232总线数据包的拼写结果是什么？

答案：Tektronix



泰克产品受到美国及国外专利已经签和正在申请的专利保护。本文中的信息代替所有以前出版的材料。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。本文提到的所有其它商号均为各自公司的服务标志、商标或注册商标。

06/09 GB/WWW 3GC-24325-0 Guide

Tektronix[®]