



详解示波器触发功能

Frankie Wang 汪进进

Marketing Manager ▪ LeCroy China

Frankie.Wang@LeCroy.com

LeCroy

Agenda

- § 关于触发的故事
- § 触发的工作原理
- § 触发的作用
- § 触发设置的五个关键词
- § 各种触发方式的含义
- § 智能硬件触发扫描和软触发

<http://dl.21ic.com/ebook-12221.html>

为什么要学习触发——关于触发的故事

我认识一位硬件研发经理，他是2000年研究生毕业的，一直从事硬件开发工作。他在研发的一款网络产品，要求交流输入电压工作在170V-350V之间，每当他将输入电压调节到175V时，网口就开始工作不正常，告警指示灯有时候会告警。出现这种问题时，他首先怀疑到输入电压导致复位芯片复位。于是他查找复位芯片的工作电压。复位芯片正常工作电压是3.3V，但在175V输入时，该电压会偶尔被拉低到3.1V。但这位研发经理不太会使用示波器的触发功能，他总是靠示波器上的“Stop”键，然后展开波形查看看3.3V有没有出现瞬时跌落。他试了几天只找到一次，但下次又无法复现象出这个跌落瞬间的波形。这就象“天上飞过了 一只鸟，但无法找到留下的痕迹”的诗意中描述的场景。

后来这位研发经理找到我，我手提示波器去帮他几秒钟就找到了“这只天上飞过的鸟”，每次鸟儿飞过我都能看到。我 使用了触发设置中的下降沿触发，将触发电平设置得比3.3V略低一点，触发模式设置为“Normal”。后来这个客户毫无悬念地就买了我的示波器。

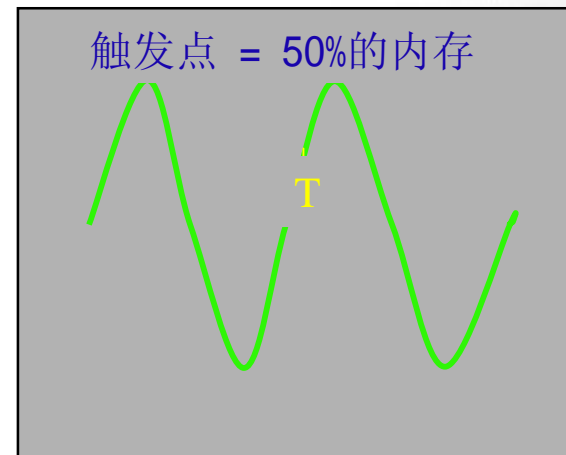
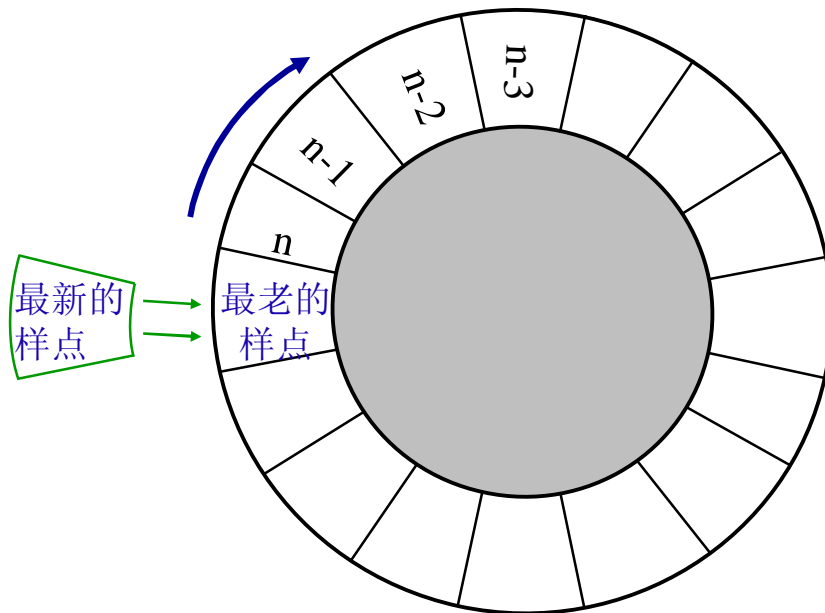
触发是数字示波器区别于模拟示波器的最大特征之一。触发是发现问题之后定位问题的最重要手段。数字示波器的触发功能非常丰富，善于使用触发能轻松定位出您想寻找到的异常信号或感兴趣的信号。

很多工程师习惯于“Auto Setup”之后看到屏幕上出现波形然后“Stop”，展开波形左右移动查看细节。

在Auto Setup之后，示波器屏幕上看到的波形还是在屏幕上来回“晃动”，有些工程师这时候就比较茫然了。总是不停地Stop，然后展开查看有没有异常信号。

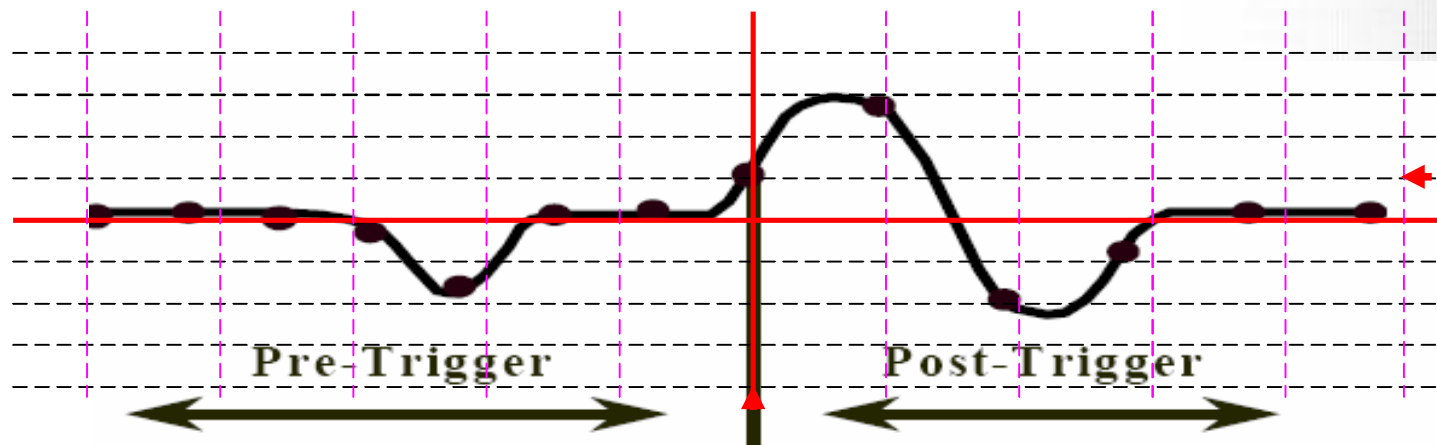
触发电路的工作原理

- 数字示波器的采集内存是一个循环缓冲，新数据会覆盖最老的数据，直到采集过程结束。
- 示波器没有触发功能仍然可以工作，只是您观察到的波形在屏幕上“晃动”。
- 触发的作用可以理解为在“触发点”将环形采集存储器“撕开”。下面右图中，触发点刚好处于采集内存的中间，触发点的左边是触发前的信号，右边是触发后的信号。



什么是触发？

触发：按照需求设置一定的电压幅值、时间、波形变化率等方面的条件，当波形流中的某一个波形满足这一条件时，示波器即实时捕获该波形和其相邻部分，并显示在屏幕上。



为了更形象地理解触发的本质，我们可以用一段很酸的话来形容。所谓触发，就是“在此刻停留”，或者说是“等待那一刻”。触发电路可以理解为是那双“纯情的眼睛”在注视着她面前走过的每一个人（信号流），当她看到她的意中人（触发条件满足）时，她的眼睛“凝视”这个人，让意中人停留在她注视的位置（触发点）。但她会继续寻找她的下一个意中人。每次找到了意中人，她都会让意中人在她注视的位置（触发点）停留。因此，她的眼睛注视点（触发点）的位置只停留那些意中人（满足条件的波形）。对于被测信号而言，满足条件的信号可能“在此刻停留”，而对于触发点来说，会“等待那一刻”，等待触发条件满足的时刻。

触发的首要作用: 隔离感兴趣的事件

隔离感兴趣的事件，就是在触发点处隔离的事件是满足触发条件的信号。如右图所示，在触发点隔离的事件是总小于47.5ns或大于52ns的脉宽，该脉宽的计算是以触发电平穿越触发点处的脉宽波形的交叉点处的时间间隔。

Isolate the events!



触发的引申作用:同步波形

同步波形，就是找到一种触发方式使波形不再“晃动”，也就是找出信号的规律性来同步信号。如右图所示的信号，每组数据包里有四个脉冲，这四个脉冲并不是等时间间隔的，如果用上升沿触发，则波形不能同步，视觉上在“晃动”，但是每组数据包是等时间间隔到来的，如果以每组数据包的第一个脉冲的上升沿作为触发源，则能稳定显示波形。因此可以用边沿延迟触发，在前一个上升沿到来之后，延迟一段时间再触发下一个上升沿，在上例中需要延迟的时间为标识的蓝色的时间间隔部分。



触发设置的五个关键词

设置触发时要“眼观五路”：

1, 触发源

2, 触发点

3, 触发电平

4, 触发方式

5, 触发模式

File Vertical Timebase Trigger Display Cursors Measure Math Analysis Utilities Help

C2 DC50
130 mV/div
-446.0 mV

Timebase 0.0 ns
20.0 ns/div
1.00 ns
5.0 GS/s

Trigger C2/DC
Normal 571 mV
Glitch Positive

Trigger Trigger Scan

Type Edge Width Qualified
Pattern TV Serial
Smart

Smart Type Glitch Interval
Dropout Runt
SlewR...

Setup
Source C2
Coupling DC
Polarity Positive

Glitch Condition is
In Range
Level 571 mV
Find Level

Range
Upper Limit 10.0 ns
Lower Limit 3.0 ns

Trigger at end of positive going glitch when its width is within set width range.

LeCroy

5/31/2010 7:53:35 PM

LeCroy

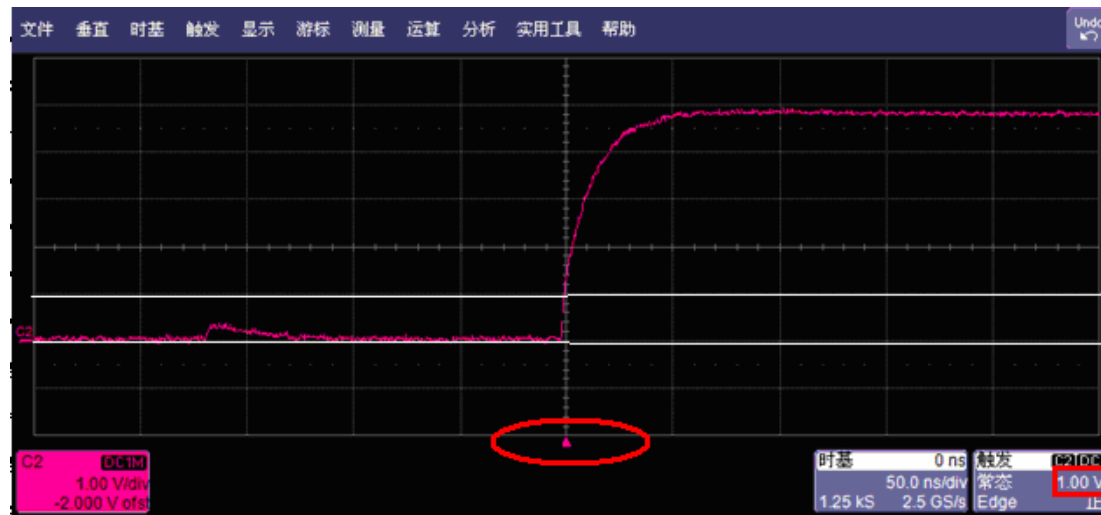
触发源

触发源就是以某个通道的信号作为触发对象。触发源可以是示波器的任意通道也可以是外部通道。下图所示选择的触发源为C2，即通道2。在同时测量四路信号时，选择哪种信号作为触发源有时候有一些技巧，这和您希望调试的问题有关。譬如您需要同时查看六路信号的上电时序，但示波器只有四个通道，这时候可以通过两次开机的单次触发捕获，先捕获四路信号，并将这四路信号保存为数据文件使得能来重新调回示波器，然后再来捕获三路信号，这两次捕获中以相同的上电复位信号作为触发源使得波形能够同步。



触发点

触发点的含义就是纯美的眼睛注视的点，就是示波器让满足条件的波形停留的时刻，也就是示波器上红色的小三角对应的位置，如下图所示，红色圈中的小红三角点就是触发点。设置好触发条件后，触发点的位置对应的波形应都是满足触发条件的。或者说示波器让满足触发条件的波形隔离在这个触发点的位置。每次设置示波器时都要先看看触发点、触发电平在哪里。在力科示波器的面板上可以简单地按一下面板上的**Delay**键使触发点自动回到屏幕中间位置。在测量电源的上电过程时，为了充分利用示波器的存储空间，通常尽量把触发点移动到屏幕的最左边。



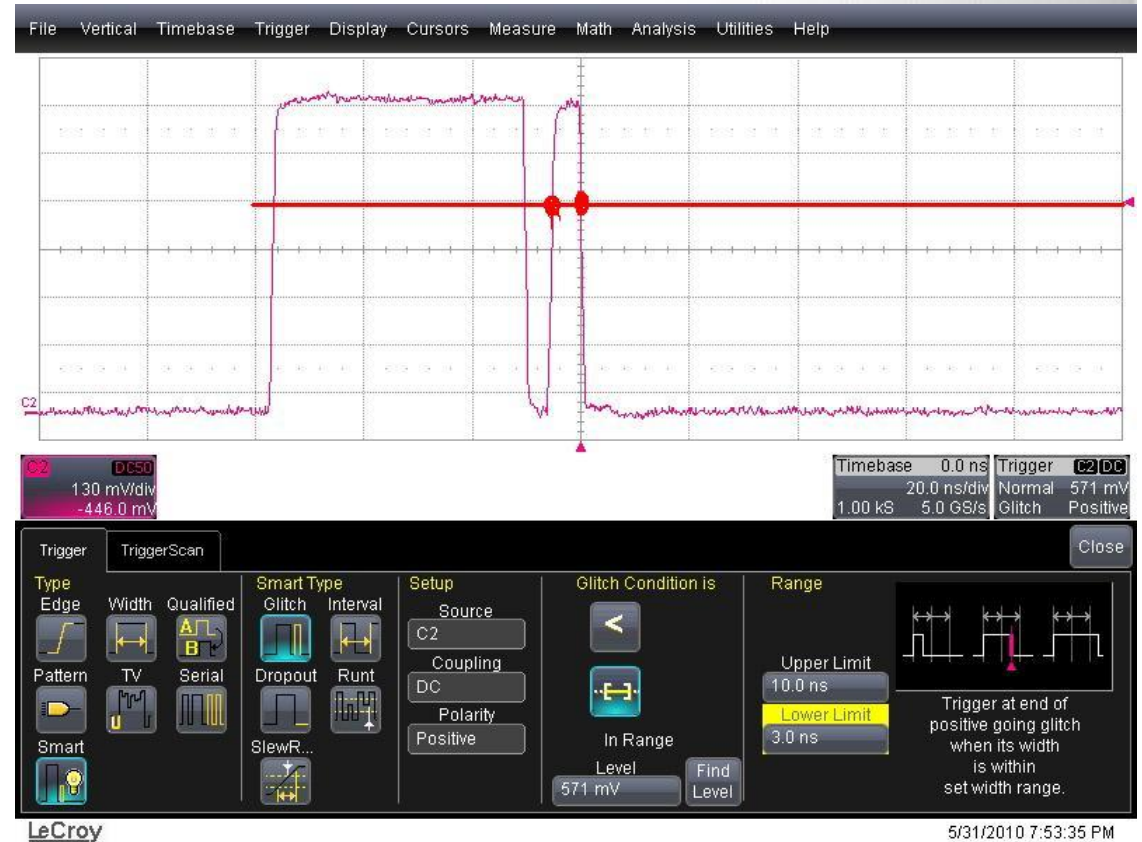
触发电平

触发电平是指信号区分信号和事件的关键设置。如右图所示，触发电平为右边红色小三角的位置相对于零电平的幅值大小，也即两条白线之间的幅值，此例中该数值为图中右下角红色方框标示的**1.00V**这个数值。设置任何触发条件都需要有一个具体的触发电平。触发电平定义了信号是否为满足触发条件的“事件”。

触发电平可以在**Trigger**菜单中设置，也可以通过面板上的旋钮来调节。触发方式的条件都是相对于触发电平而言的。譬如宽度触发

触发电路识别的宽度（时间间隔）并不是上升沿的**50%**到下一个下降沿的**50%**

触发电平穿越相邻的上升沿和下降沿的交叉点之间的时间间隔。如右图所示，以蓝线从触发电平的位置穿越波形，和触发点的位置对应的脉宽相交的两个蓝点之间的时间间隔为触发条件满足的宽度大小。在图例中是**3ns-10ns**之间，这也就是说触发功能隔离了我们感兴趣的**3ns-10ns**之间的脉冲宽度



触发模式

示波器有四种**触发模式**，Auto,Normal,Single,Stop。如下图所示为示波器面板上的触发部分。

Auto是指不管是否满足触发条件，都实时刷新波形。当波形不是规律信号时，候示波器的屏幕上的波形通常看起来是“晃动”的。

Normal是指满足触发条件才触发，否则波形会静止不动，并且对于力科示波器在屏幕的右下角有红色的提示：“Waiting for Triggering”。等待触发，“等待那一刻”。

Single指仅捕获第一次满足触发条件的波形，触发成功后就停止。

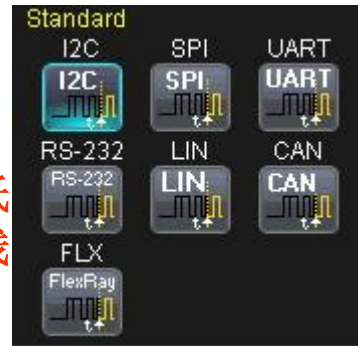
Stop指强制让波形静止不动。

下图所示的面板上的绿色的TRIG等的闪烁快慢代表了触发速率的快慢。绿灯在亮着但不闪烁表示触发太快闪烁太快，超过了肉眼识别速率。



触发方式

- § 边沿触发及边沿延迟触发
- § 宽度和毛刺触发
- § 间隔触发
- § 条件触发和状态触发
- § **CasCade**触发
- § 逻辑触发
- § 漏失触发
- § 欠幅触发
- § 斜率触发
- § **TV**触发
- § 协议触发



支持多种低速串行总线

The screenshot shows the oscilloscope's trigger configuration menu. The 'Serial' option is highlighted with a red box. The 'Time Condition is' section shows 'Upper Limit' set to '1.50 μs'. A red box highlights a waveform diagram and its text description: 'Trigger when a pos. pulse crosses the 1st threshold but not the 2nd before recrossing the 1st'. A red arrow points from this text box to the 'Serial' option in the menu.

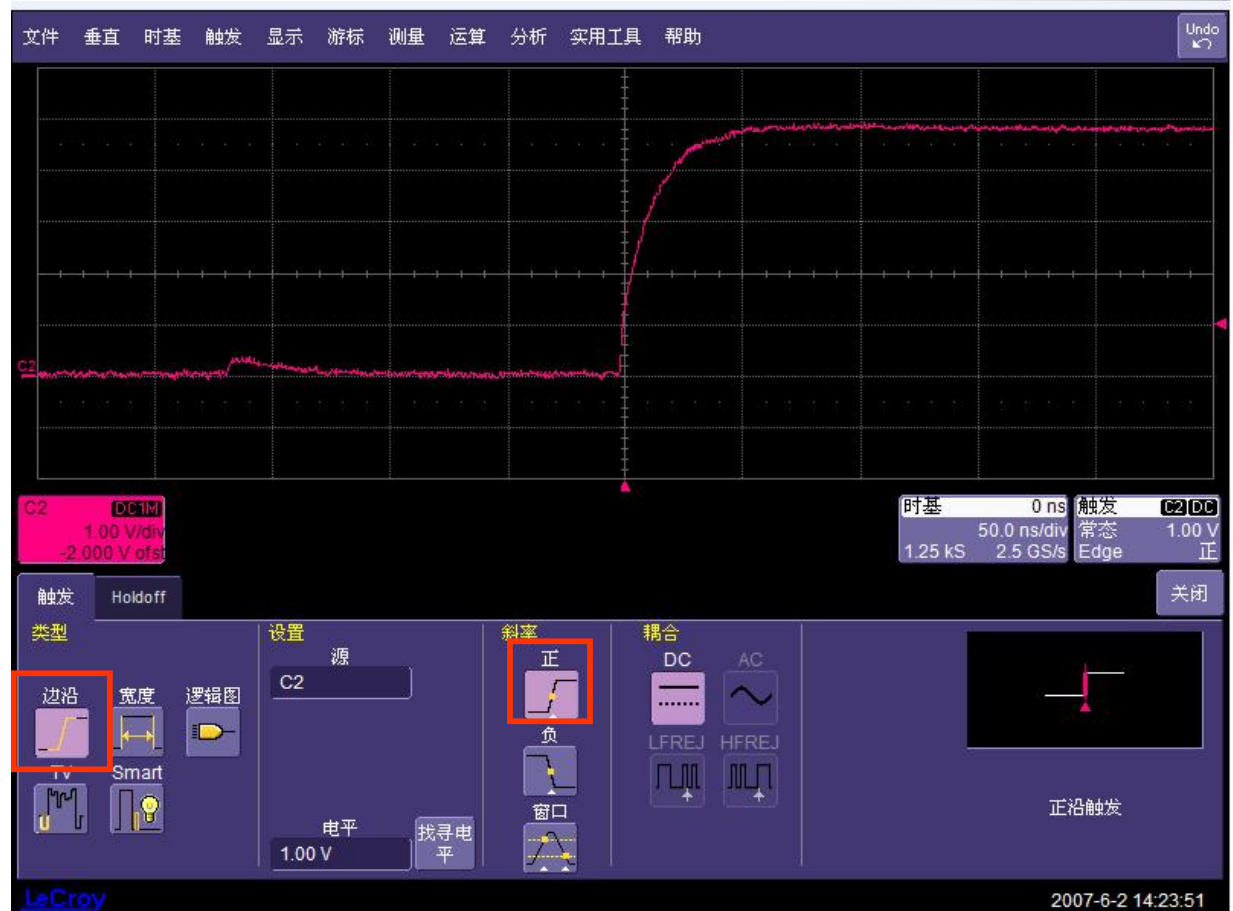
—— I2C、SPI、CANbus, FlexRaybus, UART-RS232, Audiobus, MIL-STD-1553 触发

- § 高速串行数据触发

文字解释和图形说明

边沿触发

边沿触发是最常用最简单最有效的触发方式，绝大多数的应用都只是用边沿触发来触发波形。边沿触发仅是甄测信号的边沿、极性和电平。当被测信号的电平变化方向与设定相同(上升沿或下降沿)，其值变化到与触发电平相同时，示波器被触发，并捕捉波形。如图所示，在触发点停留的总是上升沿。上升沿在上升的过程中如果能达到触发电平的高度就被触发，否则在Normal模式下示波器上的波形静止不动，示意波器的右下角提示“waiting for triggering”



边沿延迟触发

由边沿触发引伸的是**边沿延迟触发** (holdoff)，前面在解释示波器触发的引申作用时有提到。
每次触发到前一个边沿之后，等待设定的延迟时间或延迟事件再触发下一个满足条件的边沿，最长可延迟20s或9,999,999个事件。

右图是一个实际的测试案例，包络是一系列频率和幅值变化的正弦波信号，客户需要知道频率的最大值和最小值。如果不能稳定触发则每次通过停止波形然后调节测量参数的门限来统计多次测量的最大最小值，非常繁琐。如果用边沿延迟触发方式同步该波形，测量的门限固定在一个范围内，利用统计功能测量出持续捕获到的包络的频率最大值和最小值。

The screenshot displays the oscilloscope's trigger menu with the following details:

- Menu:** Trigger, Holdoff, TriggerScan
- Holdoff by:** Off, Off, Holdoff Time: 10.0 μ s
- Time:** (Selected)
- Events:** Events

The main display shows two waveforms. The left waveform is a complex, multi-peaked signal. The right waveform is a sine wave with a red box highlighting a specific edge. A red arrow points from the 'Holdoff' menu to the 'Time' option.

Measure Data:

| Measure | P1:rms(C1) | P2:freq(C1) |
|---------|------------|--------------|
| value | | 178.309 MHz |
| mean | | 79.15949 MHz |
| min | | 58.863 MHz |
| max | | 182.059 MHz |
| sdev | | 25.95978 MHz |
| num | | 108.11243 |
| status | | |

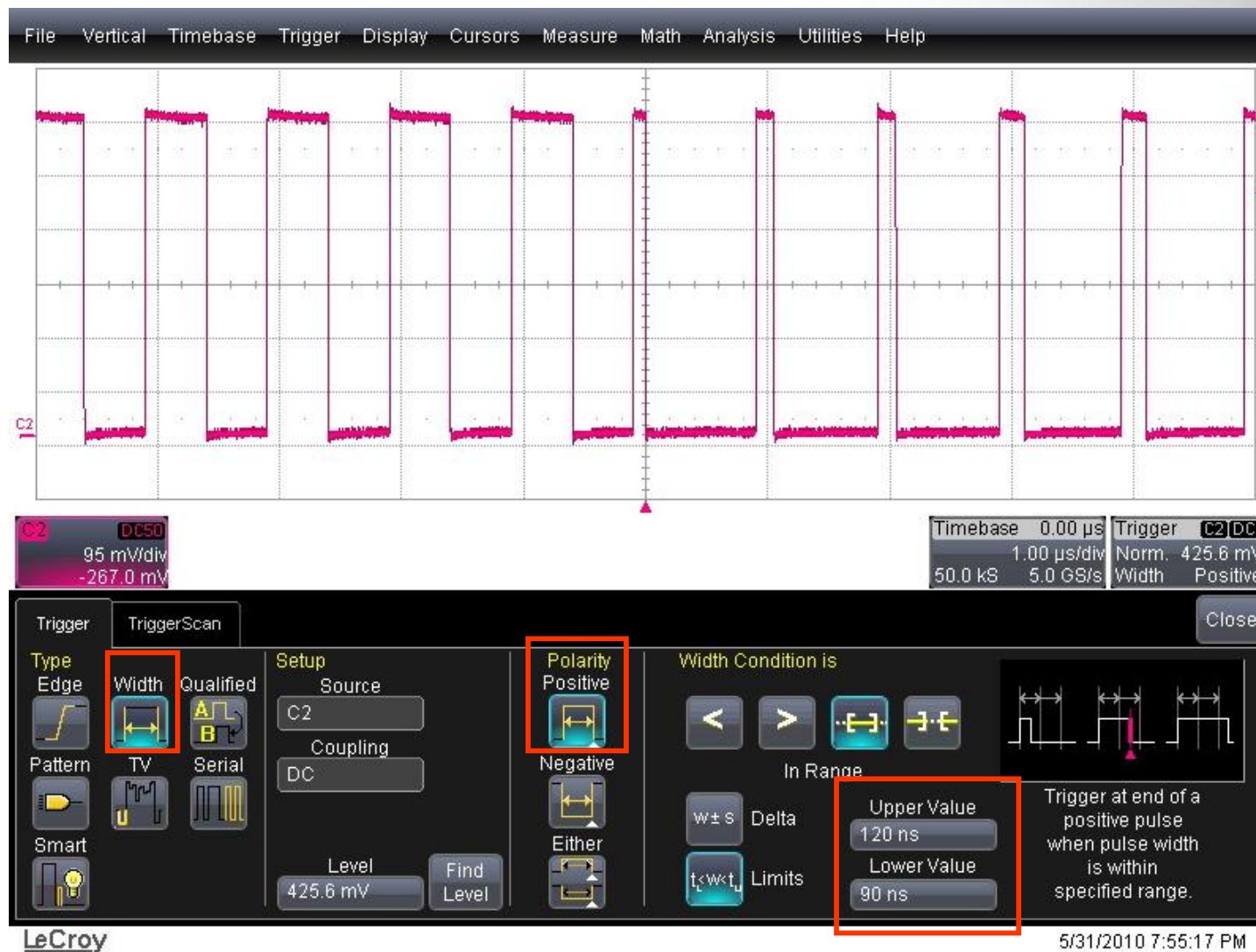
Trigger Setup:

- Type:** Edge, Width, Qualified
- Pattern:** TV, Serial
- Smart:** (Lightbulb icon)
- Setup:** Source: C2, Level: 82.7 mV, Find Level
- Slope:** Positive, Negative, Either, Window
- Coupling:** DC, AC, LFREJ, HFREJ

Diagram: A square wave diagram with a red arrow pointing to a rising edge, labeled "Trigger on positive edge with Holdoff by Time".

宽度/毛刺触发

根据信号宽度值/毛刺值触发，可选正向或负向宽度/毛刺，可用于捕捉信号中的罕见宽度/毛刺信号。图中的触发设置含义是，当C2的脉冲在触发电平处的正脉宽在90ns和120ns之间时被隔离，触发点停留的位置是脉冲的下降沿。如果触发的是负脉宽，则触发点停留的位置是脉冲的上升沿。脉宽的范围定义可以是小于，大于，在范围内或范围外。毛刺触发和宽度触发类似。



间隔触发

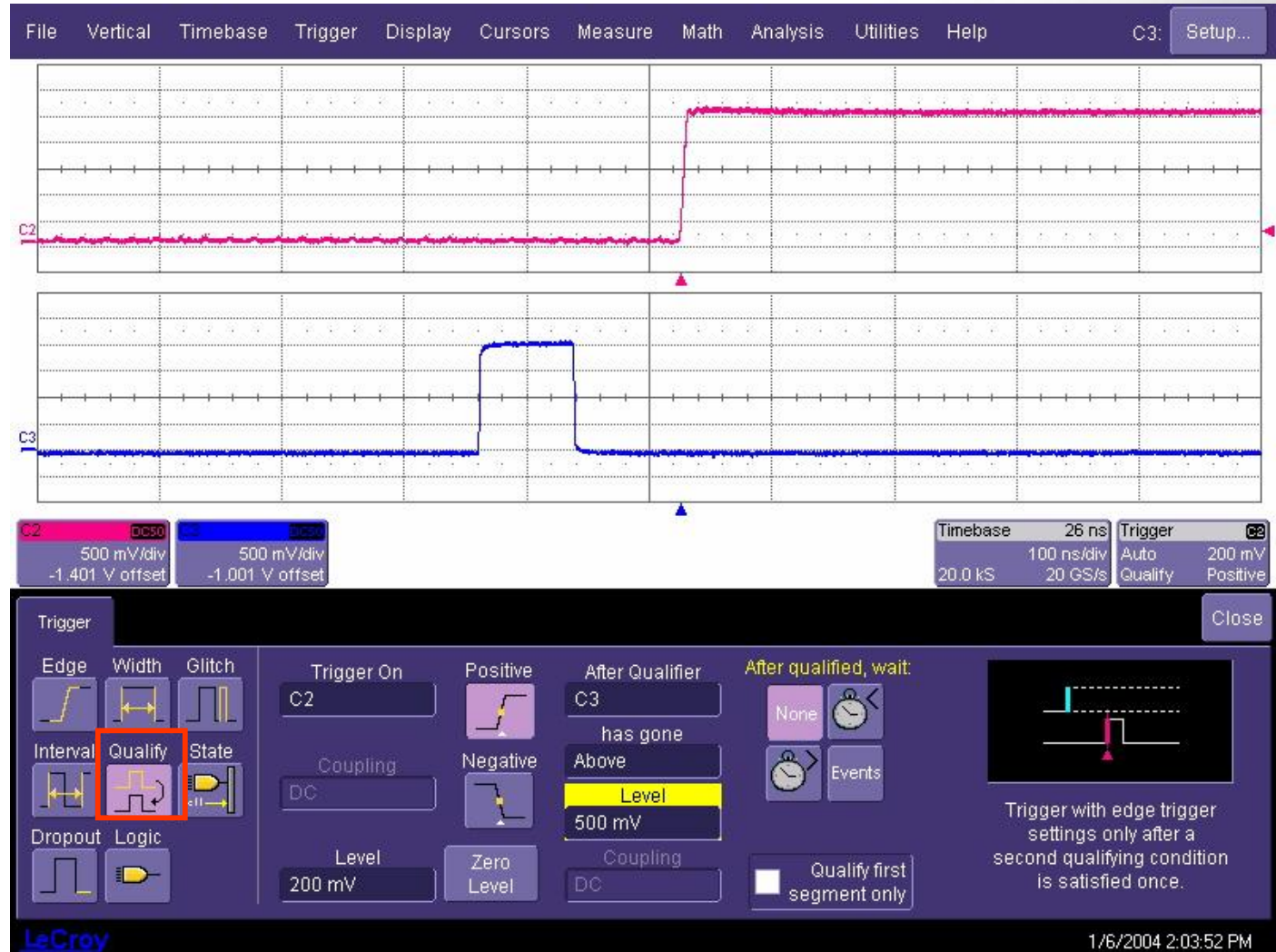
根据相邻的同极性的沿的时间来触发,正到正或负到负。设定的条件也可以小于、大于、在范围内或范围外。图中触发设置含义是:当穿越触发电平的相邻正沿之间的时间间隔在1.5us到2.5us之间时被触发。图中一定要将触发电平设置为超过欠幅的矮脉冲,否则条件永远不会满足。

The screenshot shows the LeCroy oscilloscope's trigger configuration menu. The 'Interval' option is selected under 'Smart Type'. The 'Upper Interval' is set to 2.50 μs and the 'Lower Interval' is set to 1.50 μs. The trigger level is set to 425.6 mV. The menu also shows 'Smart' selected under 'Type' and 'DC' under 'Coupling'. The signal trace at the top shows a series of pulses, with a zoomed-in view of one pulse. The trigger level is set to a value above the pulse height.

| Parameter | Value |
|----------------|----------|
| Timebase | 0 μs |
| Trigger | C2 DC |
| Interval | Positive |
| Level | 425.6 mV |
| Upper Interval | 2.50 μs |
| Lower Interval | 1.50 μs |

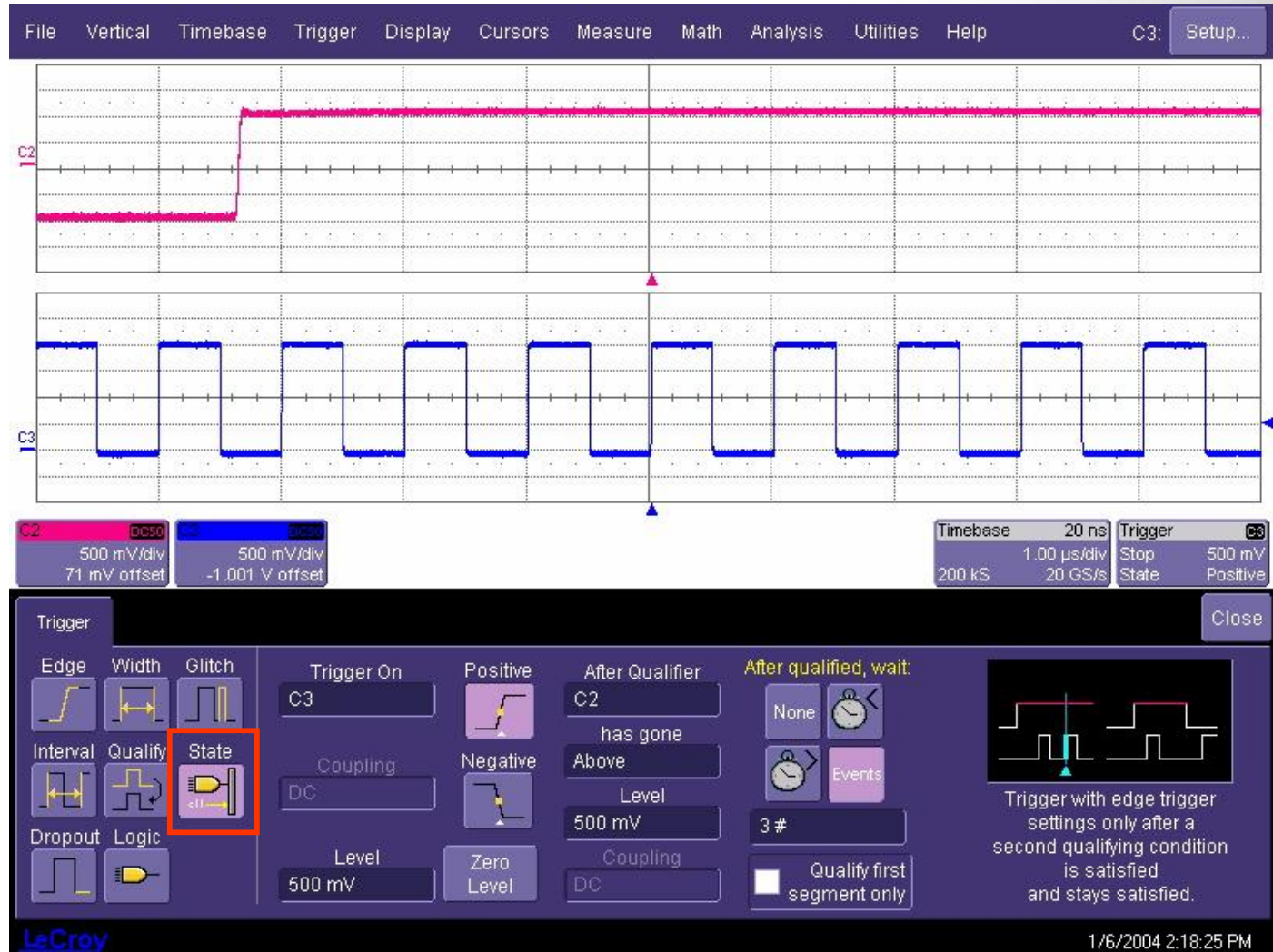
条件触发

条件触发是两个通道之间的关联触发。当第二个波形设定条件满足一次后，在第一个波形边沿处触发。图中触发设置含义是：在C2的上升沿达到触发电平200mV时，触发C2的上升沿但前提是在这之前C3的电平曾超过了500mV。

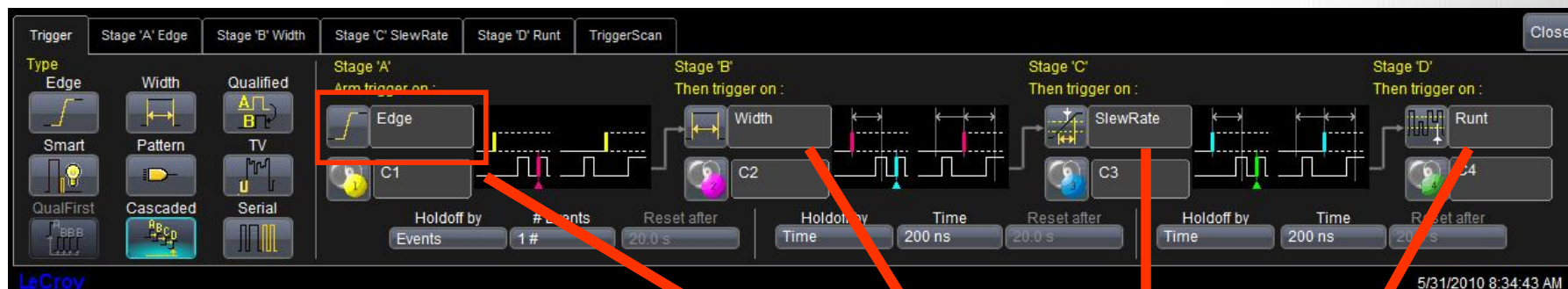


状态触发

状态触发和条件触发类似。当第二个波形设定条件满足并保持该状态后,在第一个波形边沿处触发。它要求第二个波形达到某个条件之后保持该状态。图中触发设置含义是:在C2的上升沿达到触发电平500mV时,触发C3的上升沿但前提是在这之前C2的电平超过了500mV并一直保持超过500mV的状态,而且要等到C3的上升沿有3次达到触发电平之后才触发。



CasCade触发



四级硬件触发:A,B,C,D

每级触发包括以下触发方式

Edge,Pattern,Width,Interval,Window,Dropout, SlewRate,Runt 等

按排列组合,总计共有2500种以上触发方式

逻辑触发

各通道信号分别同时满足所设定逻辑电平条件及所选择的逻辑关系后触发。可选逻辑条件：与 (And)，非与 (Nand)，或 (Or)，非或 (Nor)。图中触发设置含义是：C1的电平低于775mV, C2的电平高于500mV, C3的电平低于500mV, C4的电平高于350mV，它们同时满足这个条件。



漏失触发

当信号最后的边沿消失了,在消失一定的时间后触发。图中触发设置含义是:在C2的最后一个上升沿消失之后等待750ns被触发。

The screenshot shows an oscilloscope interface with a signal trace on channel C2. The signal consists of a series of pulses that ends with a gap, followed by a noisy baseline. The trigger settings are configured for a dropout event on channel C2.

Trigger Settings:

- Trigger On: C2
- Trigger Type: Dropout
- Level: 500 mV
- Timeout: 750 ns

Other Settings:

- Timebase: 0.00 μ s
- Vertical: 500 ns/div
- Trigger: Normal
- 50.0 kS
- 10 GS/s
- Dropout
- Positive

Signal Parameters:

- C2: 500 mV/div
- 769 mV offset

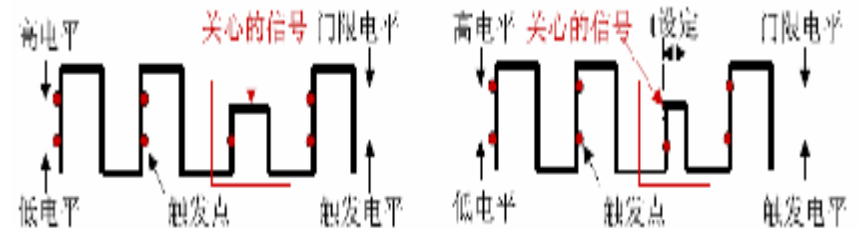
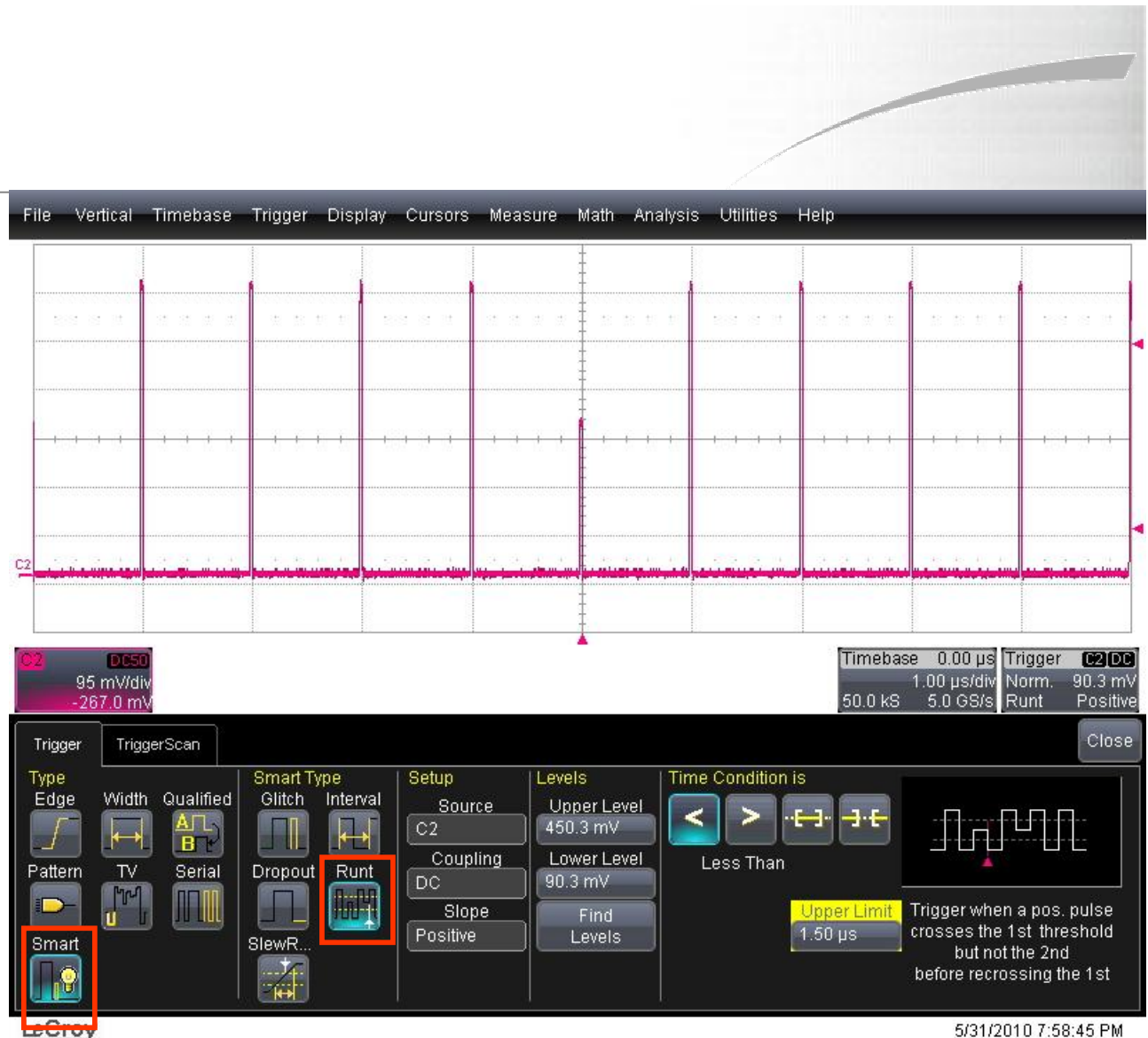
Trigger Diagram:

Trigger when signal disappears for more than set time from last edge.

Waiting for Trigger

欠幅触发

当脉冲序列的宽度不确定，大多数脉冲信号的幅值相同，但有小概率的欠幅信号时所需要采取的一种触发方式。当脉冲穿越了第一个门限电平，但在一定的时间范围内不能穿越另外一个门限电平时被触发。如图所示。



斜率触发

当信号的斜率满足一定的条件时被触发。

The screenshot displays an oscilloscope interface with a signal trace on a grid. The signal is a rising edge that has flattened out. A vertical trigger line is positioned at the start of the rising edge. The interface includes a menu bar at the top with options: File, Vertical, Timebase, Trigger, Display, Cursors, Measure, Math, Analysis, Utilities, Help.

Below the trace, there are several control panels:

- Channel Settings:** C2, DC50, 95 mV/div, -267.0 mV.
- Timebase:** 0.00 ns, WStream 2.00 ns, 100 S, 5.0 GS/s.
- Trigger Settings:** C2 DC, Stop 82.7 mV, SlewRate Pos.

The **Trigger** panel is expanded, showing the following settings:

- Type:** Smart (highlighted with a red box).
- Smart Type:** SlewR... (highlighted with a red box).
- Setup:** Source C2, Coupling DC, Slope Positive.
- Levels:** Upper Level 499.7 mV, Lower Level 82.7 mV, Find Levels.
- Time Condition is:** Greater Than.
- Lower Limit:** 1.2 ns.

A diagram on the right side of the trigger panel illustrates the trigger condition: "Trigger when a rising edge crosses two thresholds inside or outside a selected time range".

TV触发

专门为电视信号而设计的一种触发方式，在该模式下触发电平控制不起作用。示波器使用视频信号中同步脉冲作为触发信号。



协议触发

根据特定的通信协议码型而设定的触发方式。比如 I²C 触发、SPI 触发、CAN 触发, LIN 触发, FlexRay 触发, UART 触发, RS232 触发, Audiobus 触发, MIL-STD-1553 触发等。



串行触发

File Vertical Timebase Trigger Display Cursors Measure Math Analysis Utilities Help C1: Setup...

10100101

C4 DC50
50.0 mV/div
0.0 mV offset

Timebase -8.00 ns
400 S
2.00 ns/div
20 GS/s

Trigger Serial
Normal
Serial

Trigger CDRSerialTrigger

Clock & Data Recovery
Use C4 as serial data input

Lock CDR PLL PLL Locked

Data Rate
1.56249 GHz

Serial Pattern Binary 10100101 xxxxxxxx xxxxxxxx xxxxxxxx

| Hexadecimal | Binary | 31 | 30 | 29 | 28 | 27 | 26 | 25 | 24 |
|-------------|----------|----|----|----|----|----|----|----|----|
| Byte3 A5 | 10100101 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 |
| Byte2 | xx | x | x | x | x | x | x | x | x |
| Byte1 | xx | x | x | x | x | x | x | x | x |
| Byte0 | xx | x | x | x | x | x | x | x | x |

All to 0 All to 1 All to X Invert All bits

Save/Recall Pattern Save Recall

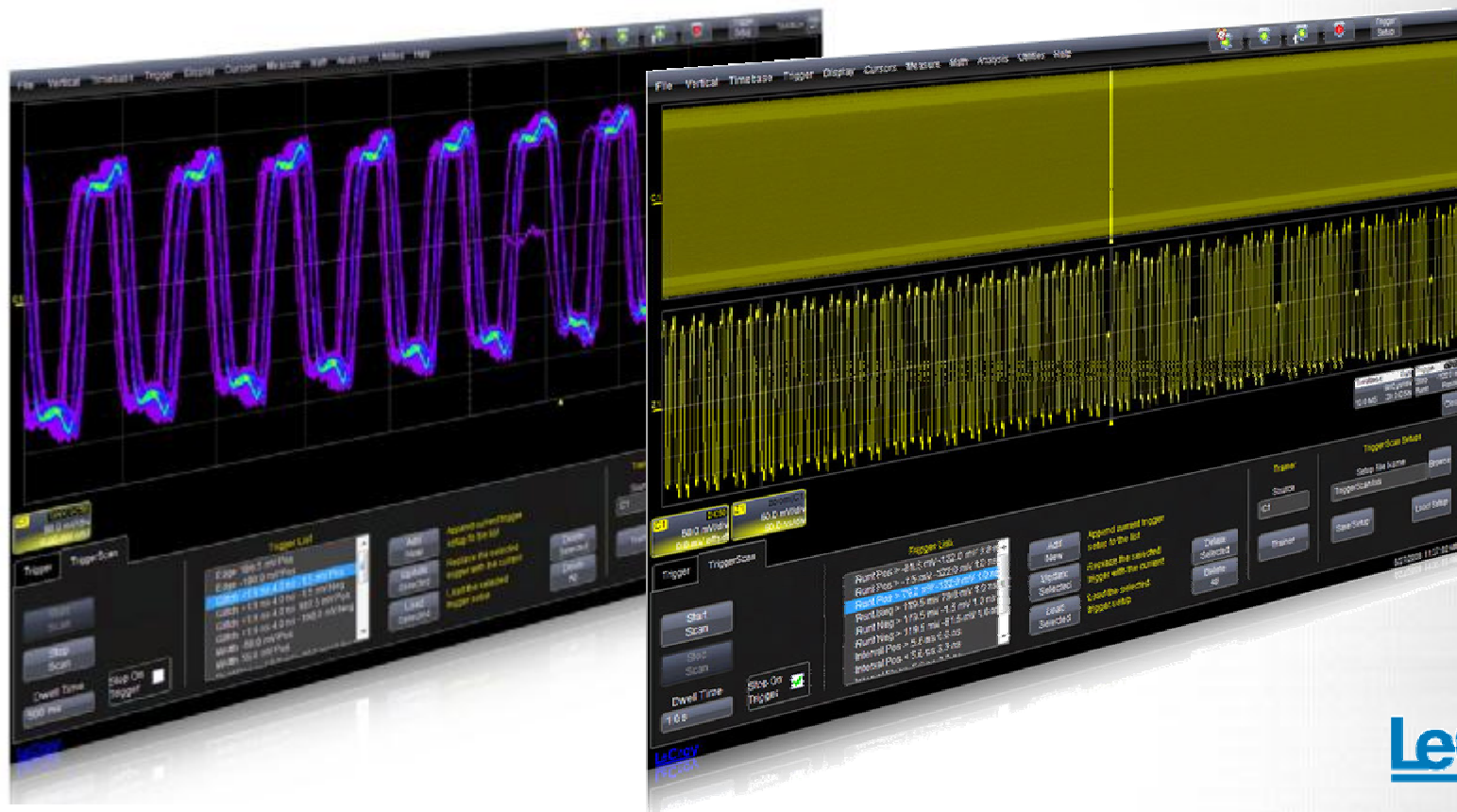
STPattern.Iss Browse

LeCroy

11/28/2003 7:47:21 AM

TriggerScan™ - 智能硬件触发扫描

- § 快速扫描通过训练得到的触发器设置
 - § 通过智能训练，产生一组可能捕获到异常的触发设置集合
 - § 自动扫描每个触发设置，直至捕获到你感兴趣的异常
- § 在示波器屏幕上重叠显示异常事件



感谢您的参与!

Any Questions?

Frankie Wang 汪进进
Marketing Manager · LeCroy China
Frankie.Wang@LeCroy.com

LeCroy