

示波器基础系列之四 ——关于示波器的触发功能（上篇）

汪进进 美国力科公司深圳代表处

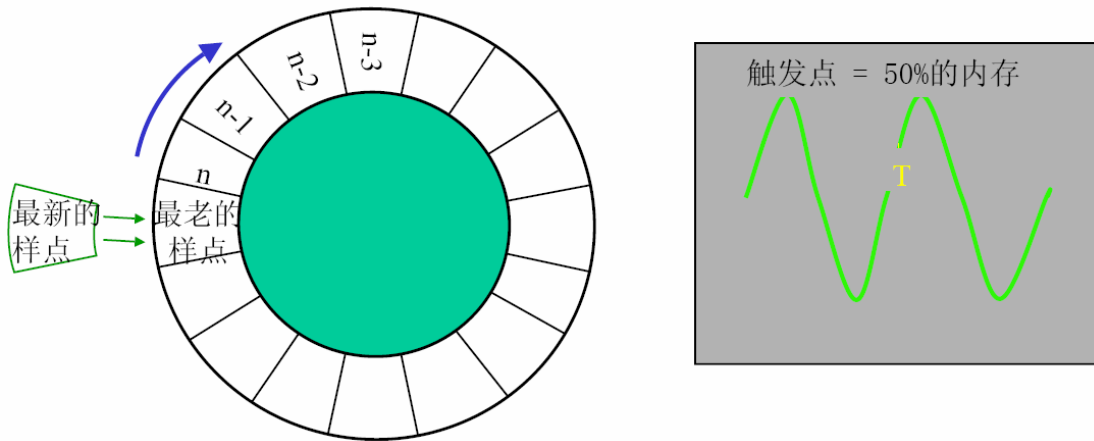
我记得初入力科的时候，在关于示波器的三天基础知识培训中有一整天的时间都是在练习触发功能。“触发”似乎是初学者学习示波器的难点。我们常帮工程师现场解决关于触发的测试问题的案例也很多。通常有些工程师只知道“Auto Setup”之后看到屏幕上有波形然后“Stop”下来再展开波形左右移动查看细节。因此，我有时候甚至接到这样的电话，质疑我们的示波器有问题，因为他在“Auto Setup”之后看到的波形总是在屏幕上来回“晃动”。但是当我问他触发源设置得对不对，触发电平设置得合适否，是否采用了合适的触发方式等问题时，我没有得到答案；即使有时遇到我心目中的高手，我也常发现他们对触发的基本概念都没有建立起来。我喜欢在写作某个主题之前 google 一下，但是很遗憾我没有找到一篇堪称完整的启蒙文章。虽然三家示波器厂家的 PPT 讲稿中都有很多关于触发的，但细致介绍触发的中文文章真的很少。当然，这也是幸运的，因为我的拙文也许将是很多工程师茅塞顿开的启蒙之作。

触发是数字示波器区别于模拟示波器的最大特征之一。数字示波器的触发功能非常地丰富，通过触发设置使用户可以看到触发前的信号也可以看到触发后的信号。对于高速信号的分析，其实很少去谈触发，因为通常是捕获很长时间的波形然后做眼图和抖动分析。触发可能对于低速信号的测量应用得频繁些，因为低速信号通常会遇到很怪异的信号需要通过触发来隔离。

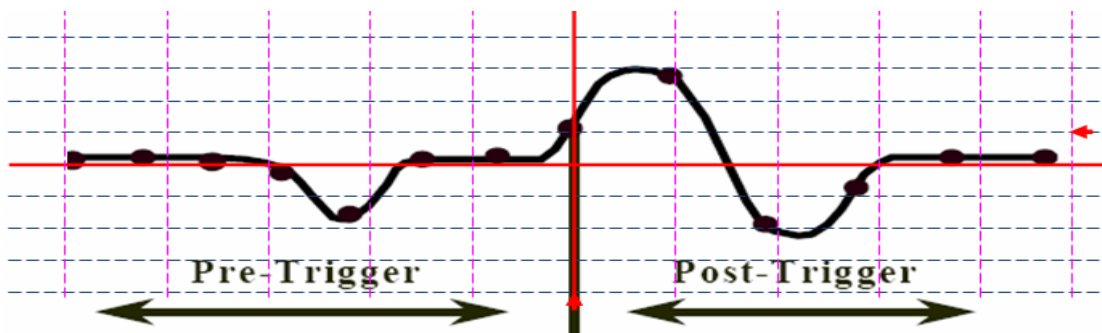
假如示波器的触发电路坏了，示波器仍然可以工作，只是这时候看到的波形在屏幕上来回“晃动”，或者说在屏幕上闪啊闪的。这其实相当于您将触发模式设置为“Auto”状态并把触发电平设置得超过信号的最大或最小幅值。示波器的采集存储器是一个循环缓存，新的数据会不断覆盖老的数据，直到采集过程结束。如图一所示。没有触发电路，这些采集的数据不断地这样新老交替，在屏幕上视觉上感觉波形在来回“晃动”。Auto Setup 是自动触发设置，示波器根据被测信号的特点自动设置示波器的水平时基，垂直灵敏，偏置和触发条件，使得波形能显示在示波器上。其主要目的是保证波形能显示出来，这对于拿到示波器不知道如何使波形“出来”的新手是有用的。但如果不理解触发的概念，通过 Auto Setup 的设置就开始观察，测量甚至得出结论是不对的。示波器毕竟是工程师的眼睛，工程师需要透彻掌握这个工具，用好这双眼睛。

所谓触发，按专业上的解释是：按照需求设置一定的触发条件，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。触发条件的唯一性是精确捕获的首要条件。为了观察特定波形之前发生的更多事件，把触发点往显示窗口右方推移一段时间，即是延迟触发；为了了解特定波形之后发生的更多事件，把触发点往显示窗口左方推移一段时间，即是超前触发。如图二所示。在数字示波器中，触发点可以位于采集存储的记录的任何位置。如图一的右边图形，触发点停留在采集存储的中间时刻。

为了更形象地理解触发，我常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有那么一双纯情的眼睛在注视在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）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）。



图一 数字示波器的存储器是循环缓存



图二 触发的原理示意图

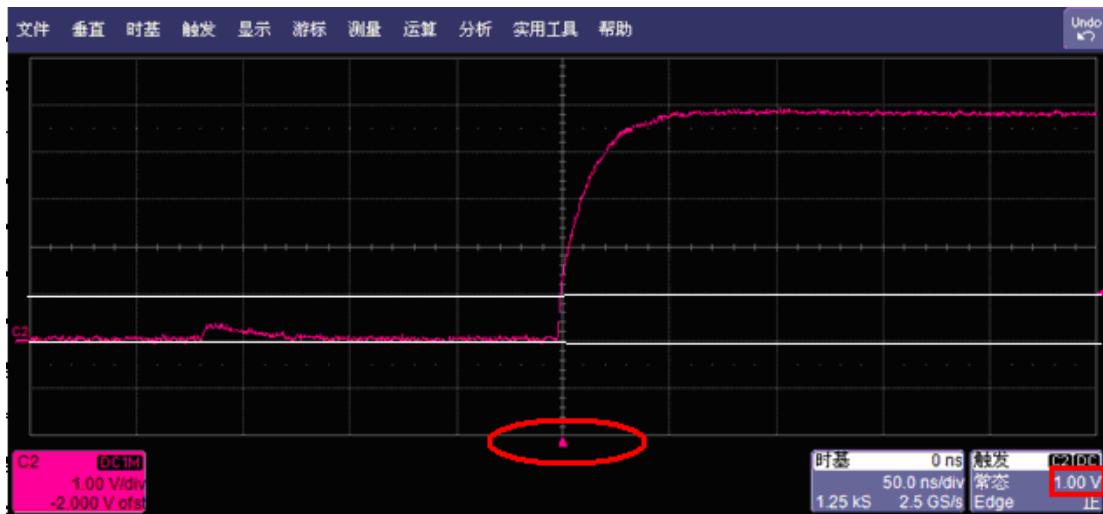
让我们从上面纯美的注视的想象中回到专业术语的解释。所谓触发，我理解的作用有两点：第一，隔离感兴趣的事件。第二，同步波形，或者说稳定显示波形。为说明清楚这两个作用，我们先来回顾一下设置触发时要关注的一些方面：触发源，触发点，触发电平，触发模式，触发方式。

触发源：就是以哪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。如图三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。（如果您在触发源的选择方面有什么好的测试案例，欢迎分享给大家。）



图三 触发设置界面——触发源

触发点：触发点有时候也叫触发延迟，但我觉得就叫触发点更直观些。它的含义刚已有所解释，就是眼睛注视的点，就是示波器让波形停留的时刻，也就是示波器上红色的小三角对应的位置，如图四所示，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。关于触发点的设置，我记得我工作时第一个老板教我用示波器的第一招就是观察电源开机的软启动过程时的示波器设置。他强调一定要将触发点移到示波器的靠近左边的位置再设置好触发条件后用单次触发。将触发点向左移是为了充分利用示波器的存储空间。在我来力科的培训中，老板告诉我，每次设置示波器时都要先看看触发点、触发电平在哪里。最好先将触发点设置在中间位置以方便观察和调节，因为示波器的波形扩展时是以触发点为对称点展开的。在力科示波器的面板上可以简单的按一下 Delay 键使触发点自动回到屏幕中间位置。



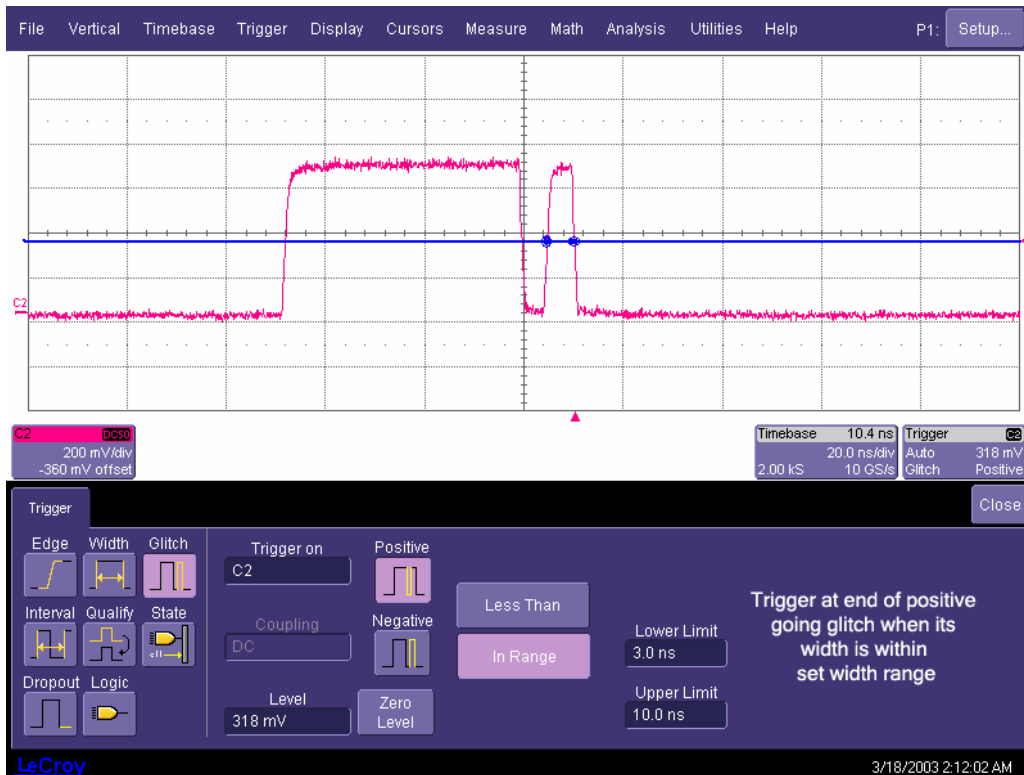
图四 触发点对应示波器的位置及触发电平的含义

触发电平：触发电平是指信号需要达到该电平才能被触发。在图四中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”。图四中的信号有上升沿，但该上升沿不一定是触发电路感兴趣的事件，也许纯美的眼睛想寻找的是个子更高(触发电平的幅值更高)的意中人(满足触发条件的信号)。在上升沿触发时，只有该上升沿在上升的过程中达到触发电平的位置才认为是“事件”从而被“隔离”在触发点。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。很多触发方式的条件都是相对于触发电平而言。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%，而是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。如图六所示，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。记得我在做研发的时候，用的示波器存储深度很低，为了捕获到 MOSFET 的最大值，并不是一次捕获很长时间的 VDS 电压信号来自动测量峰值，而是不断地调节触发电平的幅值，渐渐使触发电平提高以查看是否能触发到信号。



图五 示波器面板按钮的触发部分

触发模式：示波器有四种触发模式，Auto, Normal, Single, Stop。如图五面板所示。很多工程师不了解 Auto 和 Normal。Auto 是指不管是否满足触发条件，都实时刷新波形，这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 Trigger”。Single 指仅捕获第一次满足触发条件的波形，捕获后就停止。Stop 指强制让波形静止不动。图五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。



图六 宽度触发中宽度的是如何定义的

(未完待续)