

SPO推动示波器技术革新

深圳市鼎阳科技有限公司

1 引言

在传统的数字存储示波器中，波形数据处理、显示都在CPU中完成，CPU的计算资源成为整个数据采集、处理、显示的瓶颈，在捕获显示两帧数据之间，会有很长的死区时间，因为要有大段的时间在等待CPU完成前一帧的处理，才能启动下一帧的采集。SPO示波器（super

phosphor oscilloscope 超级荧光示波器，指鼎阳SDS3 000/E，SDS2 000/X，SDS1000X系列的示波器）采用了鼎阳科技自主创新的波形采集、图像处理引擎，采用FPGA组来完成波形的处理和显示，大大缩短了两帧之间的死区时间，可以更快速的捕获偶发的毛刺、异常信号，大大提高工作效率。

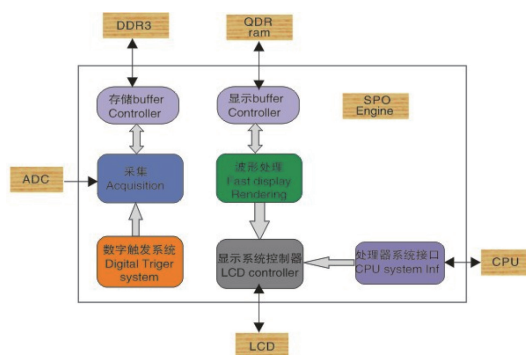


图1 独创的SPO技术原理示意

下文将介绍SPO示波器中的数字触发、快速捕获、辉度等级显示，历史波形记录和分段采集的技术细节以及给测量带来的好处。

2 SPO示波器中的数字触发技术

数字示波器中，通过触发来控制采集使波形稳定在感兴趣的位置，来分析和定位问题。传统的数字示波器大部分采用的是模拟触发的技术，如图2所示。

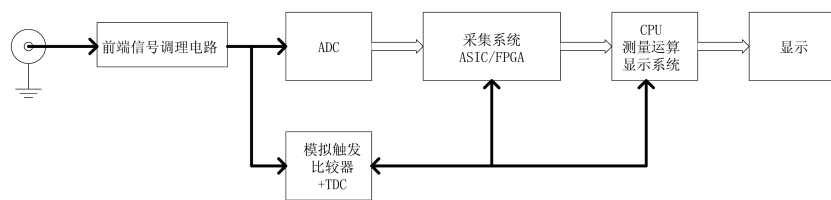


图2 采用模拟触发的传统示波器示意

输入信号经过示波器的前端调理电路后进入ADC进行数模转换，同时经过调理的模拟信号也输入到触发电路。触发电路主要有两部分的功能，一个是通过比较器对输入信号和设定的触发电平进行比较，产生触发信号到采集系统用于控制采集。另一部分是TDC电路，主要完成时间测量功能，测量触发点到触发点后的第一个采集点之间的精确时间，用于获取在波形显示时采样点距离触发位置的精确时间信息。

触发比较器对输入的波形和设定的触发电平进行比较来产生触发信号，触发信号控制采集过程。同时为了保证在显示时在水平方向上不会产生触发抖动，必须精确获取每一个采集帧的水平位置信息，即采样点距离触发位置的精确信息。这部分通过TDC电路来实现。如图3所示，获取到触发位置到采样点距离的脉冲后，输入到TDC电路进行测量。TDC电路的精度和稳定性决定了触发抖动的指标。

通常模拟触发会存在比较大的触发精度偏差和触发抖动问题，如图4所示，触发位置的偏差，这个通常是触发精度差导致的，在水平和垂直方向上的偏差都可能导致此类问题。触发抖动，通常是TDC电路的测量精度，以及TDC电路和触发比较电路受温度

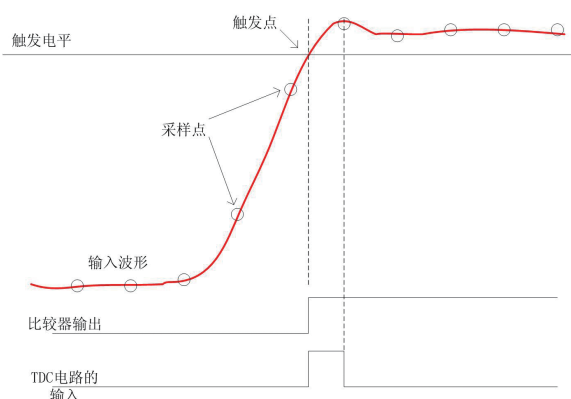


图3 触发比较器和TDC

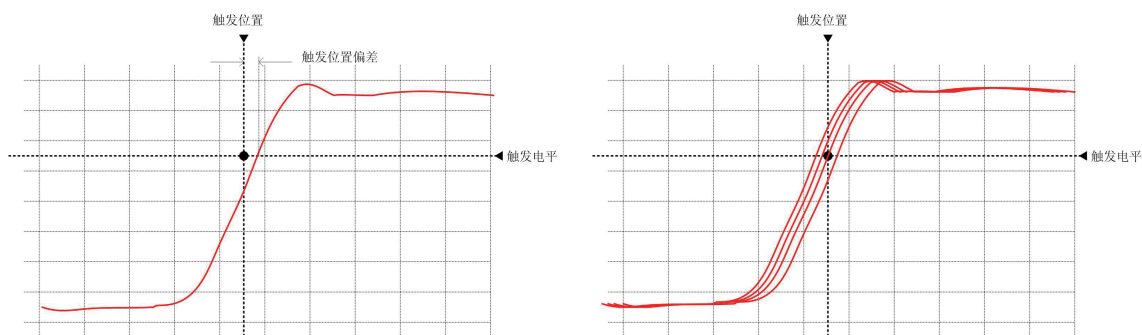


图4 触发精度和触发抖动

带来比较大的偏差，会体现在触发精度和抖动上。

3) TDC电路的测量精度是决定触发抖动的最主要因素，在低中端示波器上，通常TDC电路采用分立的模拟电路来搭建，通过采用不同电流对电容进行充放电来放大窄脉冲进行时间测量。模拟电路在温度变化以及随时间老化导致测量的精度不会很高，通常分立的TDC电路实现的触发抖动只能控制在100~200 ps以内。传统的高端示波器厂家在高端产品上为了获取到小于几个ps量级的触发抖动，通常触发电路包括TDC电路会采用专门的ASIC来实现以保证精度和温度稳定性。

采用数字触发可以解决上面提到的模拟触发带来的触发精度和触发抖动的问题。SPO示波器中采用了数字触发技术，如图5所示。

数字触发实际上是在ADC采样

影响引起的在水平方向和垂直方向的抖动导致的波形在触发位置的抖动。

具体是什么原因导致模拟触发的这些问题？

1) 采集通道和触发通道走不同的路径，通道的频率响应会有差异，导致偏差，体现在触发的精度上。

2) 触发通道采用模拟比较器，以及触发电平要进行数模转换，这些模拟器件受温度的变化以及时间的老化

后，在已经数字化的采样数据流上进行运算处理，实现触发功能。主要有两部分功能，一部分是通过数字比较器、触发功能模块产生触发信号，用于控制采集过程。另一部分主要是

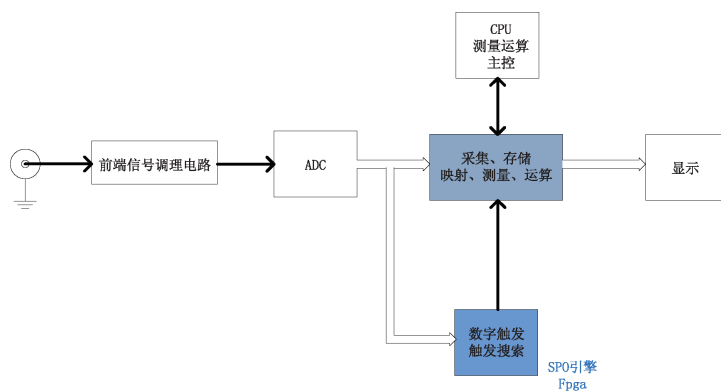


图5 采用数字触发的SPO示波器示意

实现触发搜索,在采样数据流中找到精确的触发点位置信息,用于控制波形在屏幕上的显示,实现低的触发抖动。触发搜索类似实现模拟触发中的TDC的功能,可以叫做数字TDC。

如图6所示是SPO示波器中数字触发的触发信号产生框图,采用数字比较器,因为触发通道数字比较器的输入数据流和用于存储显示的数据流是同一个数字化数据流,不存在模拟触发上采集通道和触发通道频率响应差异导致的触发精度问题。能做到在垂直方向上非常高的

触发精度,即使触发电平设定到波形非常接近上下边界的位置,也可以做到稳定的触发。数字比较器也可以通过设定不同的迟滞电平做到噪声抑制的功能。另外数字电路不受温度变化的影响,做到稳定的性能,这个是模拟触发无法比的。

SPO示波器中,数字触发在触发模块中可以实现丰富的触发功能,包括智能触发、多源触发、时序触发、串行协议触发。可以做到1 ns分辨率的触发时序控制。

原始采样点经过数字比较器和触

发模块后,会产生触发位置信息,受限于采样率,这个触发位置信息精度不够,如果直接用于控制显示,触发抖动会非常大。触发搜索就是实现更精确的触发位置信息获取。通过对原始采样点进行插值,对插值后的数据流进行搜索,获取更精确的触发位置信息,用此信息来控制显示。SPO示波器中,通过触发搜索可以实现几个ps级的触发抖动。

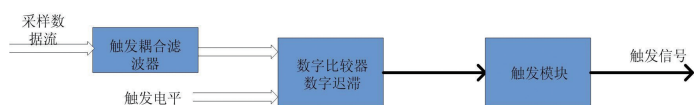


图6 SPO示波器中的数字触发

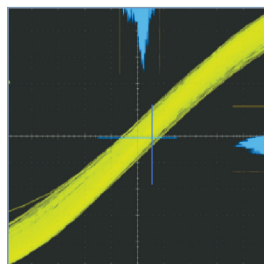


图7 模拟触发

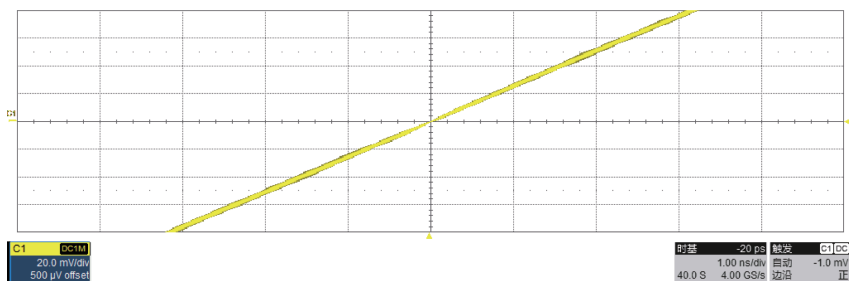


图8 SDS3000 SPO示波器的数字触发

3 快速捕获, 辉度等级显示

首先看传统的示波器框架,如图2所示,采集系统在触发的控制下,完成每一帧的采集后,需要将数据传送到CPU进行处理,主要是波形的显示处理、测量、运算,然后驱动显示到LCD上,这是一个串行的处理过程。在这个通道上,通常受限于CPU的接口能力和处理能力以及模拟TDC电路

的响应时间,导致每一帧采集后的后处理需要花费比较长的时间,才能准备好进行下一帧的采集。即两个采集帧之间的死区时间非常长。也就导致

了传统架构的示波器波形捕获率上不去。死区时间过长就容易漏掉一些突发的毛刺异常信号,如图9中的上半部分的采集时序。

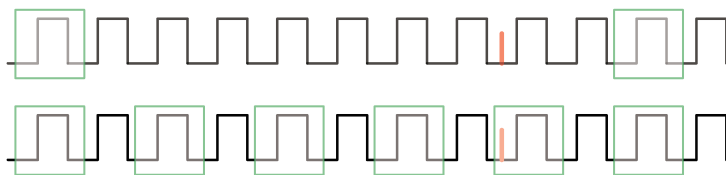


图9 SPO示波器捕获异常毛刺

如图5所示，SPO示波器的架构中，触发、采集、以及波形处理映射，部分的测量和运算都放在了SPO引擎来实现，具体如图10所示，FPGA实现，SPO引擎直接驱动显示屏。CPU完成主控以及部分的测量、运算。CPU通道的处理不影响波形的采集、处理和显示。数字的触发搜索相比模拟TDC响应时间要短很多，基于SPO引擎可以做到非常高的波形捕获率，在SDS3000 SPO示波器上，在分段采集的模式下，可以做到最小近 $1\ \mu\text{s}$ 的死区时间，即等效到100万帧/s的波形捕获率。

SPO示波器中，核心部分就在SPO引擎上，通过FPGA实现快速的并行处理，采集帧之间的死区时间大大的减少，获得比较高的波形捕获率。如图9中的下半部分所示，SPO示波器相比死区时间较长的传统示波器

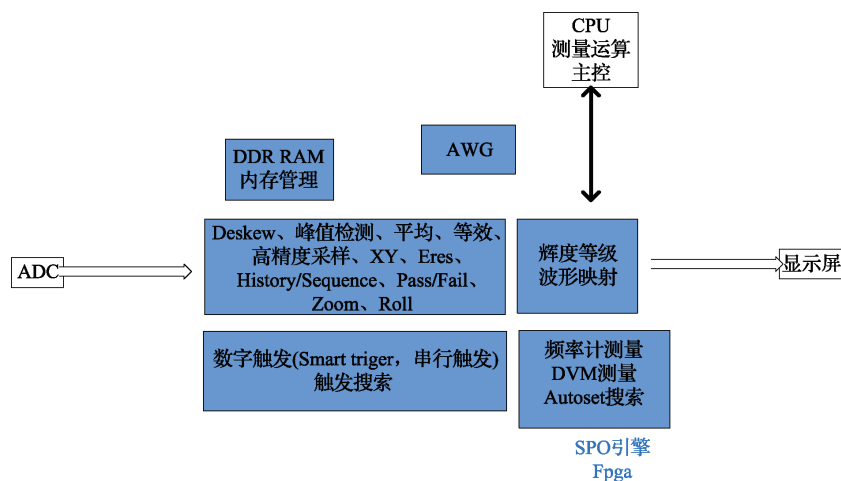


图10 SPO引擎

能快速的抓取偶发的毛刺异常信号。

SPO示波器波形捕获率远远大于屏幕显示的刷新率，通常波形捕获率是几十万帧/s，而屏幕刷新率通常在50~60 Hz，此时在屏幕上每次刷新时是很多帧的叠加。SPO示波器在对波形往屏幕映射时采用不同辉度等级

显示技术，像素的辉度等级区分在此像素点上波形点叠加的次数。次数越多辉度等级越高，反之，辉度等级越小。在波形显示上会出现明暗的辉度等级差异，通过明暗可以判断信号出现的概率。SPO示波器实现了256级的辉度等级。

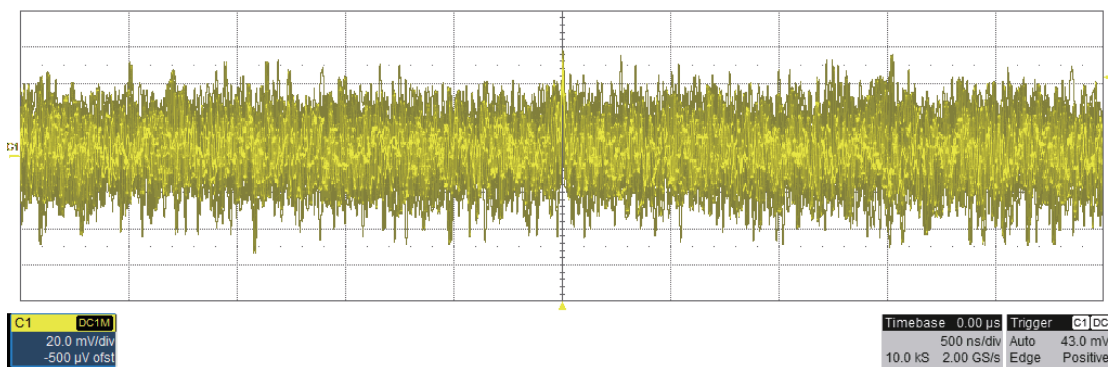


图11 辉度等级显示

4 历史波形记录 and 分段采集

SPO示波器中支持历史波形记录功能。通常在使用示波器，测试信号时，观察到偶发的异常波形想停下来

仔细分析采集到数据时，异常波形已经过去了，新采集波形已经刷新到屏幕上了。此时就可以用SPO示波器中的历史功能，回看过去的最多80 000

帧的历史波形，因为存储的都是原始点，可以对历史的每一帧波形显示出来，可以用Zoom窗口放大进行观察，也可以进行测量和运算。

SPO示波器中的历史波形记录一直处在后台工作的状态,任何时刻停止采集后,都可以回看历史波形。同时在记录每一帧时,会将触发时刻的时间信息作为时间戳存下来,这样每个历史帧都会有一个时间戳来记录触发时刻,用于分析帧间的时序。

SPO示波器将存储器动态的分成 n ($n \leq 80\,000$)个缓存来存储每一次触发帧, n 会根据时基,存储深度的变化动态的调整。其中每个缓存用来存储每一次的触发帧,因为涉及到触发控制,缓存是以一个环形缓存的

形式来管理。另外此缓存也存储该帧的触发位置和触发时间信息。所有 n 个缓存会链成一个大的环形buffer来管理。通过控制存储和读出这 n 个缓存的数据来实现历史波形记录的功能。

如图12所示是SDS3000 SPO示波器在历史模式下的界面,左边list窗口列出所有的历史帧,以及每帧的触发时间戳。右边下面的Zoom窗口对当前选中的历史帧放大观察。历史模式对调测过程定位问题是非常有用的一个功能。

分段存储采集的功能是非常有用的一种采集模式,在SPO示波器中也叫顺序采集。如图13、图14所示,非分段采集模式,即普通采集模式下,每采集一帧,需要对这一帧的数据进行测量、触发位置搜索、抽插值、滤波处理、辉度等级映射、显示,然后才能启动下一帧的采集。其中的测量、运算、映射、显示、触发搜索会占用一定的时间,这个在整个采集过程来看,采集的死区是避免不了的。死区时间长,波形捕获率低,会导致漏采集一些偶发的信号。

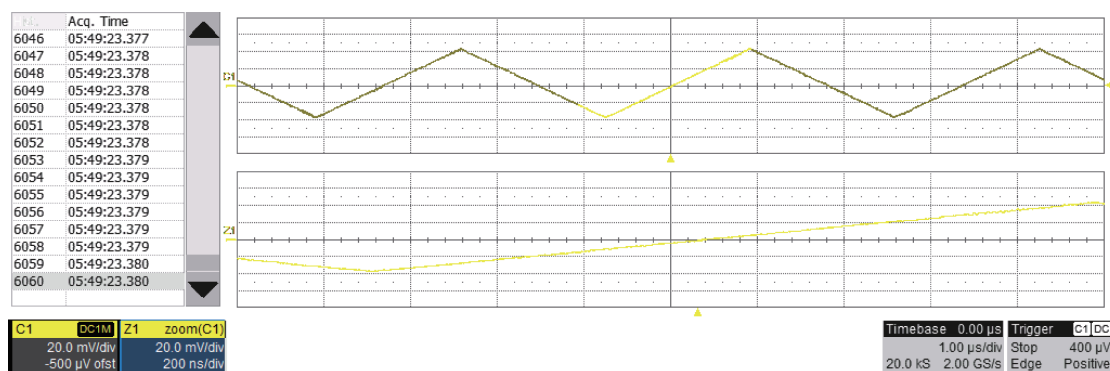


图12 SDS3000 SPO示波器历史模式

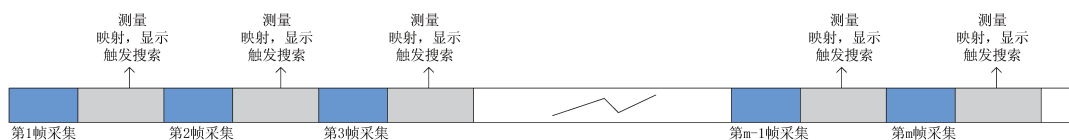


图13 普通采集模式下的时序

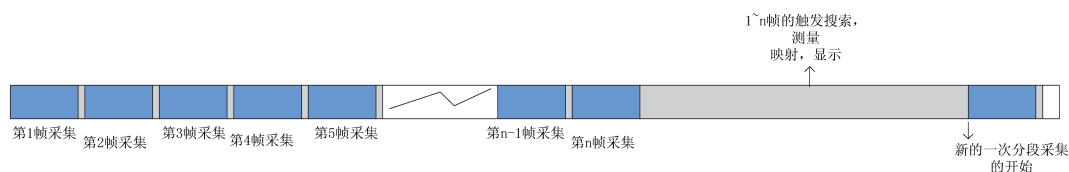


图14 分段采集模式下的时序

分段采集模式下(如图15所示),每采集一帧,存储后,不做触发搜索、测量、映射、显示,直接采集下一帧,一直采集 n 帧, n 是分段采集模式下设定的段数。最大的段数实际上和上一段落历史波形记录中提到大的环形buffer中支持的触发帧缓存的个数一致。最大可以到80 000,随时基和存储深度的调整最大支持的段数也在调整。

在记录每一帧时,会记录触发时间信息,所以在分段采集模式下,也

可以通过时间戳来识别每段之间的时序信息。

分段采集模式因为只有非常小的死区时间,可以在一个有限的时间段内做到非常高的波形捕获率。SDS3000 SPO示波器在分段采集模式下,死区时间最小可以到 $1\ \mu\text{s}$,等效可以做到100万帧/s的波形捕获率。

分段模式比较适合采集两种信号,一个是触发间隔非常小的信号,另一种是burst信号,两次有效信号之间有非常长时间的间隔。

如图15所示,在SDS3000 SPO示波器上,设定为顺序采集模式(分段采集),段数设定为10,波形显示时,可以以相邻的方式将10段采集的波形同时显示在屏幕上,同时通过Zoom窗口可以对每一段进行放大显示。时间戳窗口显示每一段的采集绝对时间、相对时间、以及段间间隔时间。

5 小结

SPO技术目前已经获得了广泛的商业应用。2013年10月,鼎阳科技推出了基于第一代SPO技术平台的数字示波器产品SDS2000系列,引领基础示波器的技术革新;2014年4月,鼎阳科技携手力科推出了基于第二代SPO技术的中国首款智能示波器SDS3000系列,创造了工程师使用的示波器由传统的功能示波器向智能示波器升级的潮流;2015年4月,鼎阳科技推出基于第三代SPO技术平台的X系列示波器SDS1000X,极大的提升了人手一台型示波器的性能指标。

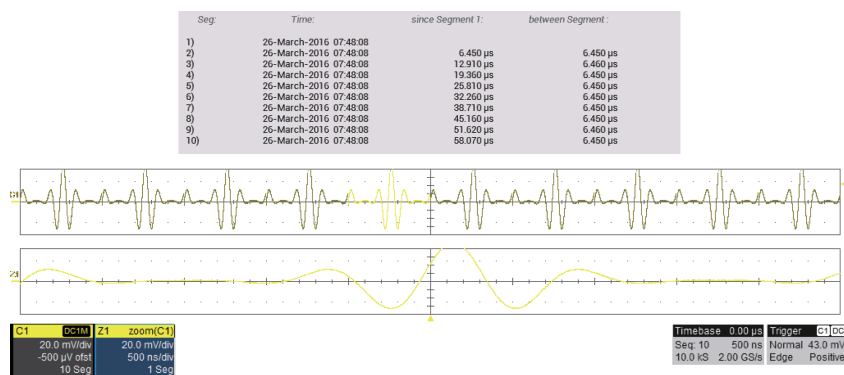


图15 SDS3000 SPO示波器顺序采集(分段采集)模式