



自制数字存储示波器——制作篇

简介

数字存储示波器能完成许多普通示波器所不能实现的功能,例如捕捉瞬间信号、波形非常宽的信号以及非重复的信号等,不过数字存储示波器的价格非常昂贵。虽然可以通过一个前端电路把普通的示波器改造成数字存储示波器,但缺点还是显而易见的,首先你要拥有一台普通示波器(这个花费并不低),还要制作一个采样存储电路,最终还要在普通示波器的屏幕上观看结果,并且不能存储大量的数据,也不能进行数据对比。

现在我们要制作的是一个基于电脑的数字存储示波器。它通过并口连接于电脑,存储数据量可达 32K 字节,采样速率在 600K/s 以上。

计算机通过并口读取数字存储示波器上存储的波形数据,然后像普通示波器一样显示在显示器的屏幕上。由于用到了计算机,使这个设备具备了更多的优势,比如可以永久地存储波形数据,并随时调出查看;可以随意放大波形的任一部分,或者同时调出两组波形进行对比;显示器的屏幕也远大于示波器的屏幕,观看十分方便。

实现数字存储示波器功能的电路如图 1 所示,该电路的输入灵敏度可以在几百毫伏到几十伏之间随意调整,同时可以选择交流耦合或直流耦合。触发可以通过 START 按钮来完成,也可以由输入的正电平信号来完成,电平可在 0~2.5V 之间调整。采样率可以在 15K/s 到 600K/s 之间调整。本电路的测试探针可以使用普通示波器的 $\times 10$ 探针。

在采样期间如果输入信号的电平超出了电位器设置的电平范围,溢出(overflow)指示灯将会作出指示,表示采样期间出现了溢出信号,但数据并没有被计算机读取和显示。

本电路中的 SRAM 可以使用 62256 或者 6264,它们分别对应了 32K 或者 8K 的数据存储区。但是二者在价格上的差异

是很小的,所以建议使用 62256,存储区会比较大一些。

SRAM 的特点之一就是可以接入后备电池,这样 SRAM 内部保存的数据将不会丢失,对本电路来说只要给 SRAM 加上后备电池,你存储了一次数据后,数据将一直保存在 SRAM 内部。这是一个非常有用的功能,你可以将该电路脱离计算机来使用,以后再把数据传输给计算机。

该电路的核心是一个 8 位的 A/D 转换器芯片 ADC0820。这种芯片是 08xx 系列 ADC 芯片中速度最快的,它通过一种 4 位改良的 FLASH 技术可以在少于 1.5 μ s 的时间内完成一个完整的 8 位转换。当转换占用空间时,它可以通过内置的采样和锁定功能来捕捉和存储当前的信号。ADC0820 的资料可到网站 www.maxim-ic.com/quick_view2.cfm?qv_pk=1461 上下载。

电路的局限性

根据奈奎斯特的理论,至少要用两倍于一个正弦波的频率进行采样才能完全真实地还原该波形。理论上讲这是非常正确的,但对应数字存储示波器来说,输入频率至少要低于采样频率 10 倍才能获得比较正确的采样结果。该电路也不例外。

该电路的最大采样速率决定了 A/D 转换器的转换速率应不小于 600K/s,但由于每个芯片的性能会略有区别,可以通过减小电阻 R12 的阻值(680 Ω 或者更小)来达到更高的采样速率。一旦超过最高采样速率,影响会非常明显,波形将变得很混乱。所以 R12 必须调整到一个合适的值,这个值也受到 C13 精确度的影响。

在实际应用中,最大采样速率并不像输入转换速率那么重要。对于 ADC0820,它对于 8 位信号的转换可达 0.1V/ μ s。由于芯片内置采样和锁定功能,因此这显得并不是很重要,问题的关键在 IC7B,输入电压跟随器。虽然没有关于这个芯片的转换速率的确切数据,但实测的结果大概是 0.2V/ μ s。所以不要尝试采样一个 50kHz、

2V 的方波,因为它不能在这种情况下持续工作。解决的办法是使用一个更高速度的电压跟随器。

这个电路可以在音频范围(20kHz)内工作得很好。如果你不介意波形的精确度,它也可以工作在更高的频率。

另一个限制是 LM358 的输出电压下限只能达到 4mV。当输入电压范围为 2.5V 时,不存在什么问题,采样的每一步是 $2.5/256 = 9.8$ mV。

如果输入电压低至 1V 时,每一步为 $1/256 = 4$ mV,也不必太过于担心,因为实际上最重要的波形信号并不在此。

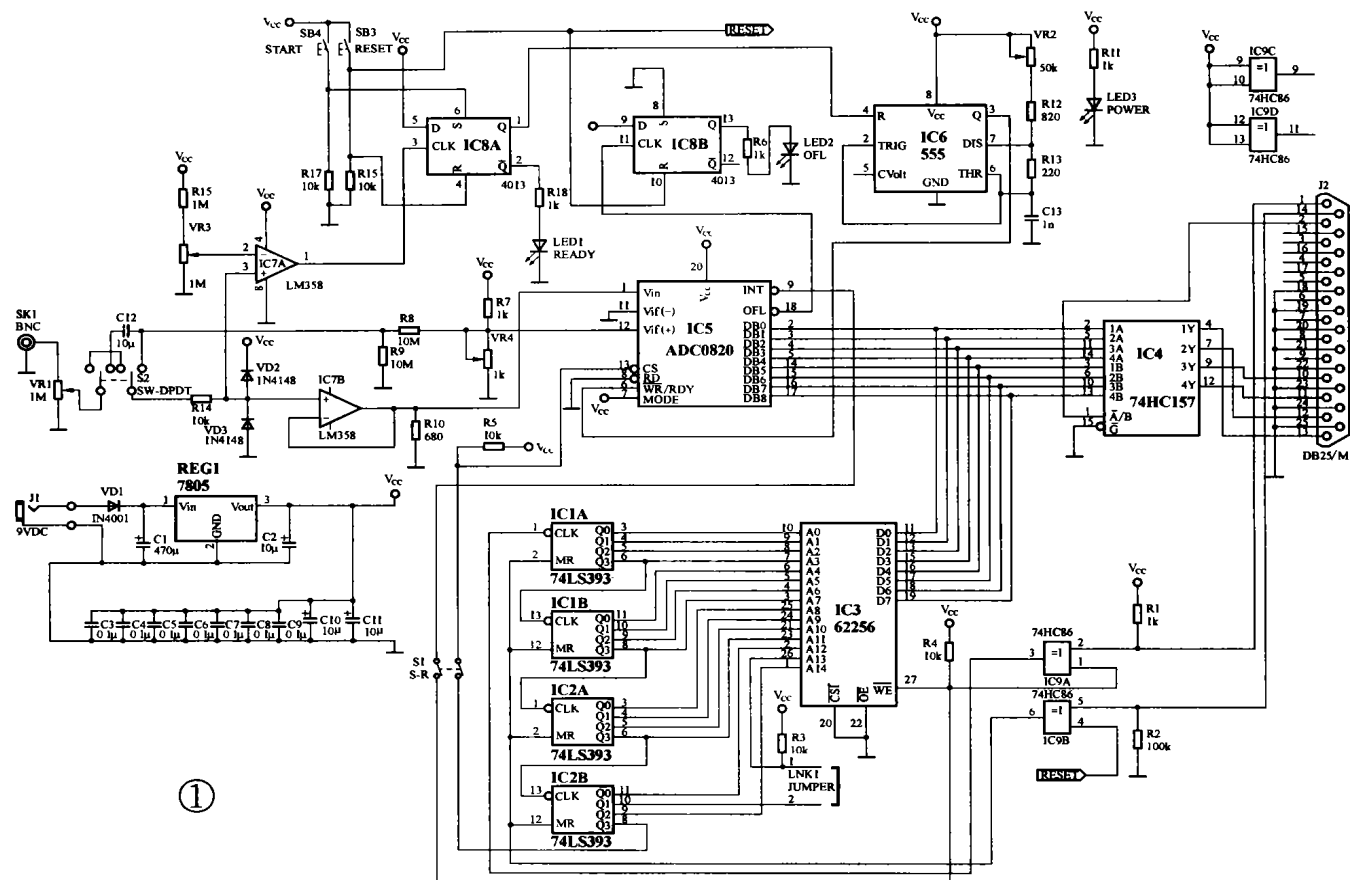
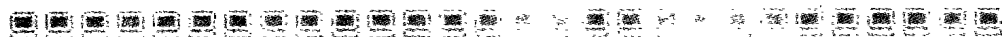
工作原理

尽管电路看起来比较复杂,但实际上由于使用了 ADC0820,操作起来并不复杂。当 S1 处于存储位置时,按下复位(RESET)按钮,D 触发器 IC8A 被复位,开始等待触发脉冲,触发脉冲可由触发按钮或者由 IC7A 组成的电平触发电路来实现,准备(READY)指示灯将点亮。一旦锁存器被触发,7555(IC6)将开始振荡,振荡频率决定于 VR2。采样时钟范围大约为 15kHz 到 600kHz 左右。

电位器 VR2 的阻值可以增加至 1M Ω ,这样可以提供大约 30s 的超长采样时间,用于采样那些变化非常缓慢的信号。如果需要更长的采样时间,那么就需要改变 C13 的值,但是时钟输出不能保持 50 μ s 以上持续为低。

时钟的下降沿开始进行 A/D 转换周期,约为 1.5 μ s。然后 ADC 的第⑨脚变为低电平,同时通过作为反相器的 IC9A, RAM 地址计数器(IC1、2)将增加。

采样信号从 ADC 的第①脚输入,参考电压从第⑫脚输入,相应的 8 位代码从 D0~D7 输出。第⑨脚立即输出低电平,将数据写入到 SRAM62256 中。这就是整个转换的过程,这个过程将一直重复直到地址计数器达到 32768,接着 IC2A 的第⑧脚输出高电平,ADC 被禁止,中



①

止进一步的采样, ADC 的第⑨脚的增加计数脉冲也会中止。这样输入的波形就被存储到 SRAM 中了。

如果在采样过程中, 输入信号幅度超出了参考电压, 那么 ADC 的第⑩脚将输出低电平, 直到输入信号下降到允许的范围。这将触发 IC8B 来点亮溢出 (overflow) 指示灯。

如果你打算使用 6264 来取代 62256, 需要去掉 LINK 1, 然后把开关 S1 原先连接到 IC2B 的第⑩脚的线改接到 IC2B 的第⑧脚。这样计数器将停止在 8192, 其他部分的工作和前面是相同的。

当 S2 处于读 (READ) 模式时, 将完全禁止 ADC, 数据总线处于三态状态。在 R4 的作用下, RAM 的内容将保持不变。计算机可以通过并口的第①脚和第④脚来接管计数器, 控制计数器的增加和复位。然后完成的工作就是从 RAM 中读取数据到计算机中去。

不过, 计算机的并口只有 5 条输入线, 这样就无法一次从 RAM 中读取 8 位数据, 解决的办法是一次读取 4 位数据。这是由 74HC157 (IC4)——四双端选

择器来完成的, 1A~4A 用来连接低 4 位, 1B~4B 用来连接高 4 位, 1Y~4Y 连接输出。IC4 的第①脚来控制选通, 这样 1Y~4Y 既可以与 1A~4A (低 4 位) 连通, 也可以与 1B~4B 连通, IC4 的第①脚由计算机通过并口的第②脚来控制, 这样就可以达到每次传送 4 位的目的。

非常简单的是, 软件首先复位计数器, 先选择低 4 位并读取, 再选择高 4 位进行读取, 然后增加计数器的值, 这样持续到所有数据都被读取完或者操作软件进行中断。实际上, 软件上还有一些程序用来处理其他事情, 比如噪声等, 以便在读取数据时将错误减至最小。

ADC 的第⑪脚和第⑫脚之间的电压是参考电压, 它用来设定 A/D 转换器能够转换的输入信号的电压范围。这个电压不是必须以电源地作为参考的, 所以它可以被设置为一个范围, 比如 1~4V。但是, 在该电路中, 参考电压被由 R7 和 VR4 组成的分压电路设定为 0~2.5V。R8 和 R9 组成的分压电路又把参考电压分成一半作为交流输入范围的直流偏移量。所以对交流信号设置的输入电压范围将被

提升, 最大为 0.25V。对于直流信号来说, 经过输入端的衰减电位器 VR1, 信号将直接通过电压跟随器。

电压跟随器 IC7B 将输入的高阻抗信号转换为低阻抗的输出信号, 当 ADC 采样时, R10 用于保持 IC7B 输出稳定。IC7A 组成触发电平比较器, 用于比较输入电压和 VR3 分压得到的电压, 如果输入电压高于 VR3 分压得到的电压, IC7A 的第①脚将变高, 并触发采样锁存器 IC8A。

该电路中所有的 74HC 系列数字电路不能使用 LS 系列替换, 特别是 IC4 和 IC9。尽管 555 可以代换 7555, 但是不推荐这样做。

本电路与计算机之间的连接电缆要求是直通型的, 管脚必须一一对应。因为软件上已经处理了大部分噪声问题, 所以电缆有没有屏蔽层是无所谓的, 当然有屏蔽会更好。理论上, 电缆不应超过 2m。

电源部分使用一般的 9V 直流电源即可。三端稳压 7805 可以不用散热片, 它几乎不会发热。整机的工作电流小于 50mA。下期, 笔者为大家介绍此数字存储示波器的安装与使用。☼