

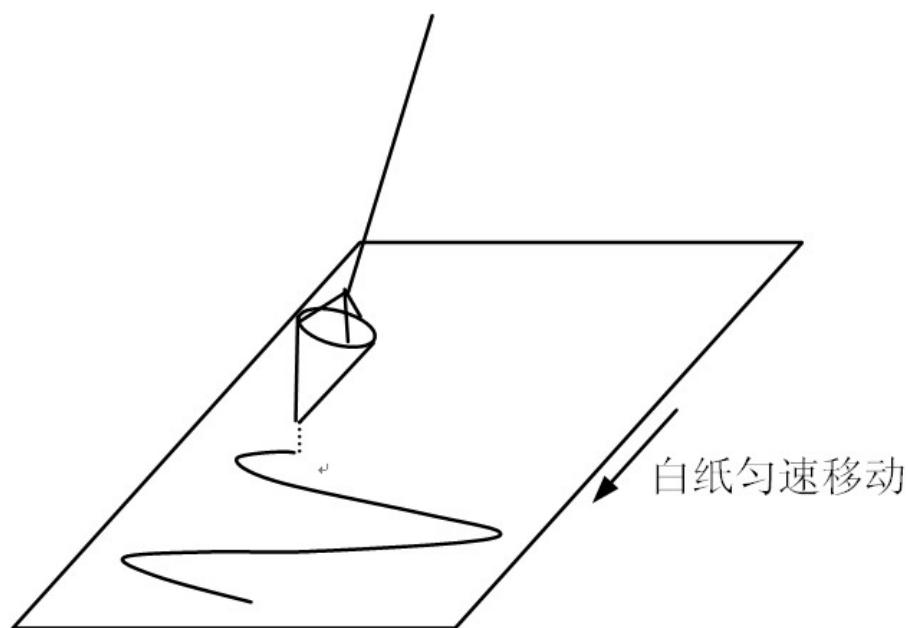
谁对制作数字示波器有兴趣？

——系统综述

随着电子技术的发展和电路结构的变化，对电路测量的要求也变得更高，在电子制作中会发现对很多参数的测量已不是一块万用表所能胜任的了，比如单片机某 I/O 口的输出波形或制作放大器测其频率响应等等，所以示波器自然而然的和万用表一样变成了电子工程师和爱好者的必备工具，然而示波器动辄几千上万甚至数万元的价格不是每个人都能接受的。如果你是一名电子爱好者或者和我一样是一名电子专业的大学生，何不发挥自己的聪明才智自己制作一台够用的示波器，不仅省钱，更可以享受 DIY 带来的独特乐趣！

下面就示波器的基本原理简要介绍一下，再就数字示波器与模拟示波器做一个简要的比较：

物理学理论可以证明，一端通过细绳固定的重物在作摆动时，与中心垂线的距离满足正弦波规律。沙漏实验可以清晰地显示这个随时间变化的波形：用沙漏充当重物，并且在沙漏底下的桌面上平铺一张纸，当沙漏开始摆动时，让纸匀速移动。这样，沙漏中流出的细沙，就在纸上留下了一个正弦波痕迹，如图 1 所示。利用这种设计思想，可以完成波形在平面上（对应于时间的流动）的展开。这种设计思想在波形记录、显示中被广泛采用，比如心电图机，就是用原地摆动的电热针，在匀速移动的记录纸带上描记出心电波形。



沙漏摆动留下的正弦波。

图 1：沙漏摆动留下的正弦波

利用心电图机的结构，已经可以记录电压信号，但是，示波器在大量的应用中，并不需要通过消耗纸张来记录波形，而仅仅是观察波形。因此，可以重复使用的CRT示波管，被应用到示波器的设计中。模拟示波器把需观测的两个电信号加至示波管的X、Y 通道以控制电子束的偏移，从而获得荧光屏上关于这两个电信号关系的显示波形。显然，这种模拟示波器体积大、重量重、成本高、价格贵，并且不太适合用于对非周期的、单次信号的测量。数字示波器首先对模拟信号进行高速采样获得相应的数字数据并存储。用数字信号处理技术对采样得到的数字信号进行相关处理与运算，从而获得所需的各种信号参数。根据得到的信号参数绘制信号波形，并可对被测信号进行实时的、瞬态的分析，以方便使用者了解信号质量，快速准确地进行故障的诊断。测量开始时，操作者可通过操作界面选定测量类型、测量参数及测量范围（可选自动设置，由仪器自动设置最佳范围）；微处理器自动将测量设置解释到采样电路，并启动数据采集；采集完成后，由微处理器对采样数据按测量设置进行处理，提取所需要的测量参数，并将结果送显示部件。

使用模拟示波器和数字示波器通常都能很好地观察简单重复性信号。但是两者都有其优点和局限性，图 2 所示。对于模拟示波器来说，由于 CRT 的余辉时间很短，因而难于显示频率很低的信号。由于示波管上的扫描轨迹亮度和扫描速度成反比，所以具有快速上升、下降时间的低重复速率信号就很难看到。而数字示波器的扫描轨迹亮度和扫描速度与信号重复速率无关。故可以很好地反映出来。对于显示具有较高重复速率的重复性信号的快速上升、下降沿来说，数字存储示波器和模拟示波器的性能几乎没有什么区别。用两种示波器都能很好的观察信号波形。当要进行信号参量的测量时，数字存储示波器的优点在于具有自动测量各种参数的能力。而使用模拟示波器时，则必须自己设置光标、分析理解显示的波形才能得到测量的结果。但是如果要进行调整工作，那么一般最好使用模拟示波器。这是因为模拟示波器的实时显示能力使它在每时每刻都能显示出输入的电压。其波形更新速率（每秒钟在屏幕上描画扫描轨迹的次数）很高，所以信号的任何变化都会立即显示出来。与模拟示波器相反，数字示波器所显示的是用采集的波形数据重建的波形。所以其波形更新率远低于模拟示波器，结果在信号发生变化和变化了的信号在屏幕上显示出来之间就有了一定的时间延迟。这是数字示波器的重大缺点。

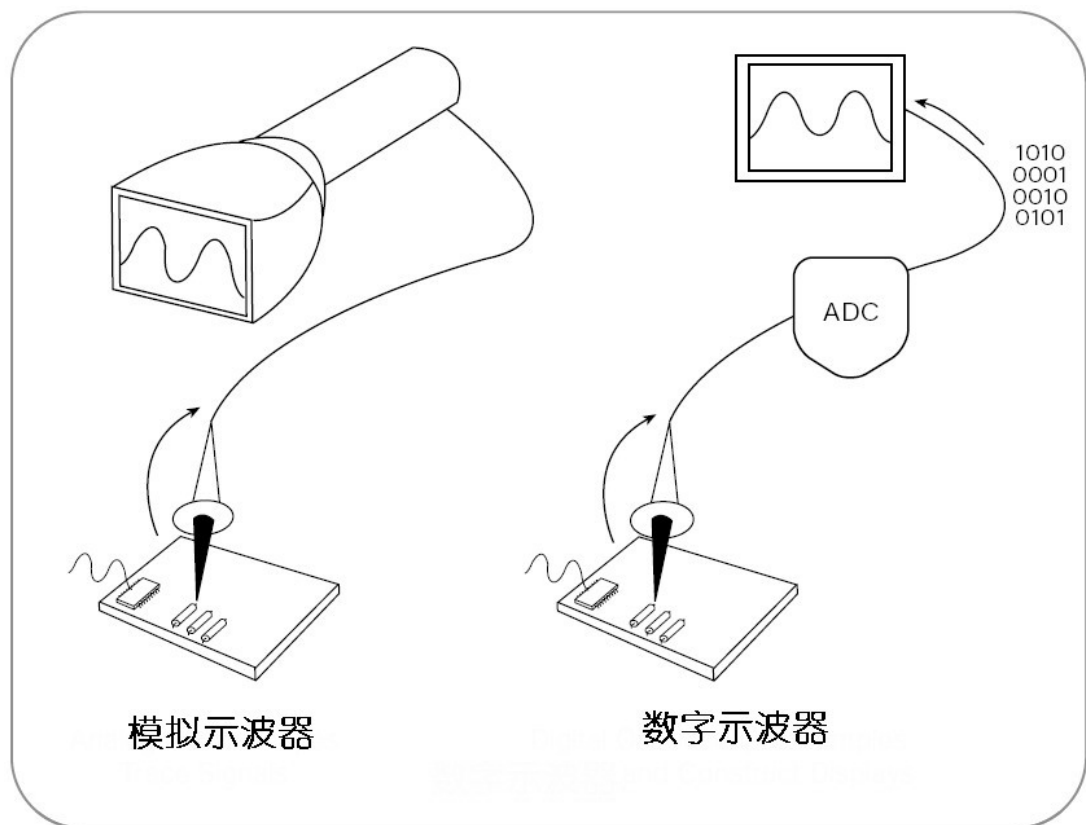


图 2：模拟、数字示波器测量简图

但是综合起来数字示波器还是有很大优势的。

自制示波器，做模拟示波器还是数字示波器？当然要做就做数字的！因为做数字示波器更简单，请往下看：

1. 模拟示波器需要与带宽相适应的 CRT 示波管，随着频率的提高，对 CRT 示波管的工艺要求严格，成本增加，存在技术瓶颈。所以在电子市场上不好买，性能好的大多数是进口品牌，其价格昂贵且需要处理的问题也多，比如要产生阳极高压、扫描锯齿波还要对示波管进行电磁屏蔽等等，而且做出来体积很大，便携就更谈不上。而数字示波器只要与带宽相适应的高速 A/D 转换器，其它存储器和 D/A 转换器以及显示器都是较低速的部件，显示器可用 LCD 显示模块做显示器，在电子市场很容易买到，价格也不贵而且应用简单，只需考虑与微处理器的接口，体积小且功耗远小于 CRT 示波管。使用 LCD 显示模块做示波器做成便携的很容易，做成示波表都没问题！当然 LCD 显示模块也有其不足之处，比如亮度和对比度不如 CRT 示波管，但综合考虑 LCD 显示模块的优势还是比较明显的。
2. 模拟示波器是一个完全的硬件结构，做好之后很难进行功能升级，而数字示波器不同，它的控制以及其他功能的实现在保证基本硬件后都是由软件来实现的。这

样的话升级就变得非常容易，你甚至可以把它当成一块开发板用来练习编程！做一个能当开发板用的示波器，你还犹豫吗？

基于以上两种原因，制作数字示波器当然是不二之选！

本文介绍的就是我制作的一台便携式数字示波器（图 3 所示），基本功能如下：

1. 采样速率：600Sa/s, 6kSa/s, 60kSa/s, 600kSa/s, 3MSa/s, , 6MSa/s, 30MSa/s, 60MSa/s
2. 水平水平扫速：250 ns*、500ns、1 μ s、5 μ s、10 μ s、50 μ s、500 μ s、5ms、50ms
（*注：250ns 扫速挡的采样速率和 500ns 扫速挡一样是 60MSa/s，只是对采样到的数据进行线性插值处理，得到波形展宽的效果，相当于 120MSa/s 的采样率。）
3. 垂直电压灵敏度：10mV/div, 20mV/div, 50mV/div, 0.1V/div, 0.2V/div, 0.5V/div, 1V/div, 2V/div, 5V/div
4. 被测信号的各种参数屏幕显示，包括频率、电压峰峰值等，见实测照片。

由于采用 320*240 分辨率的显示器，所以显示波形非常细致。图 4 至图 11 为该示波器测量不同频率信号的实拍照片。

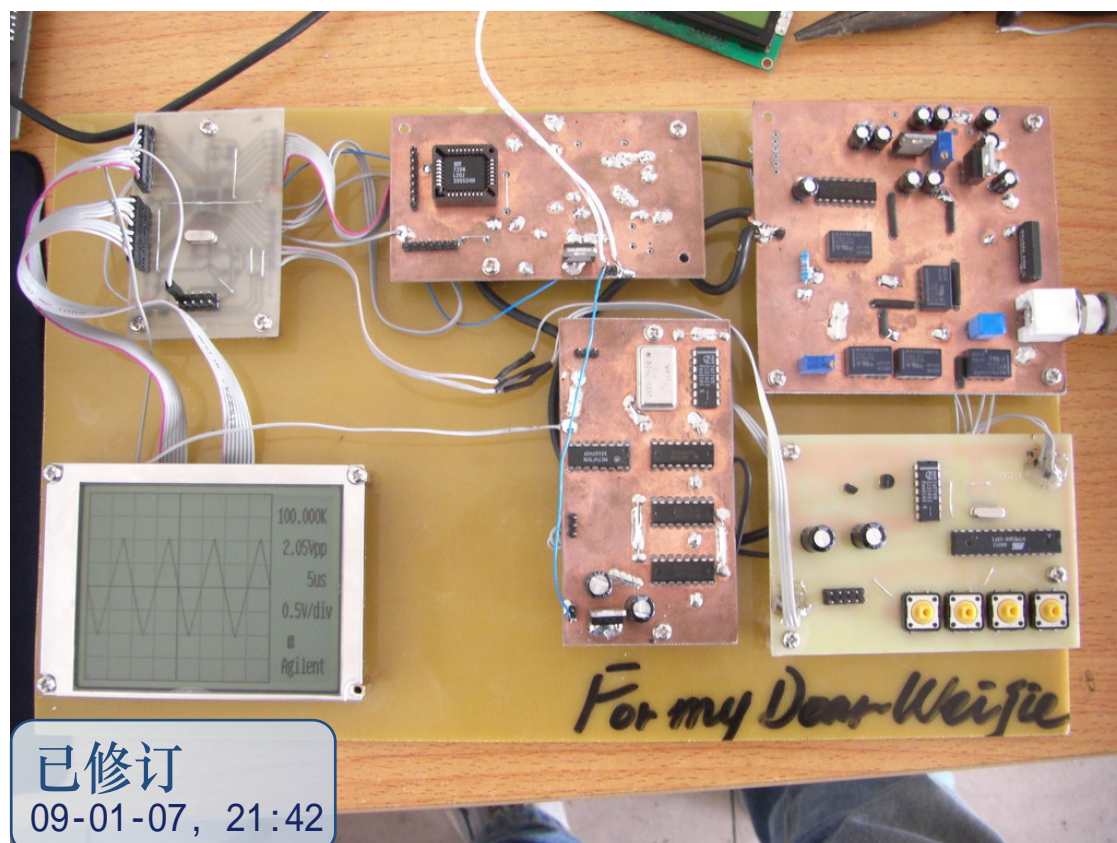


图 3：整体照片

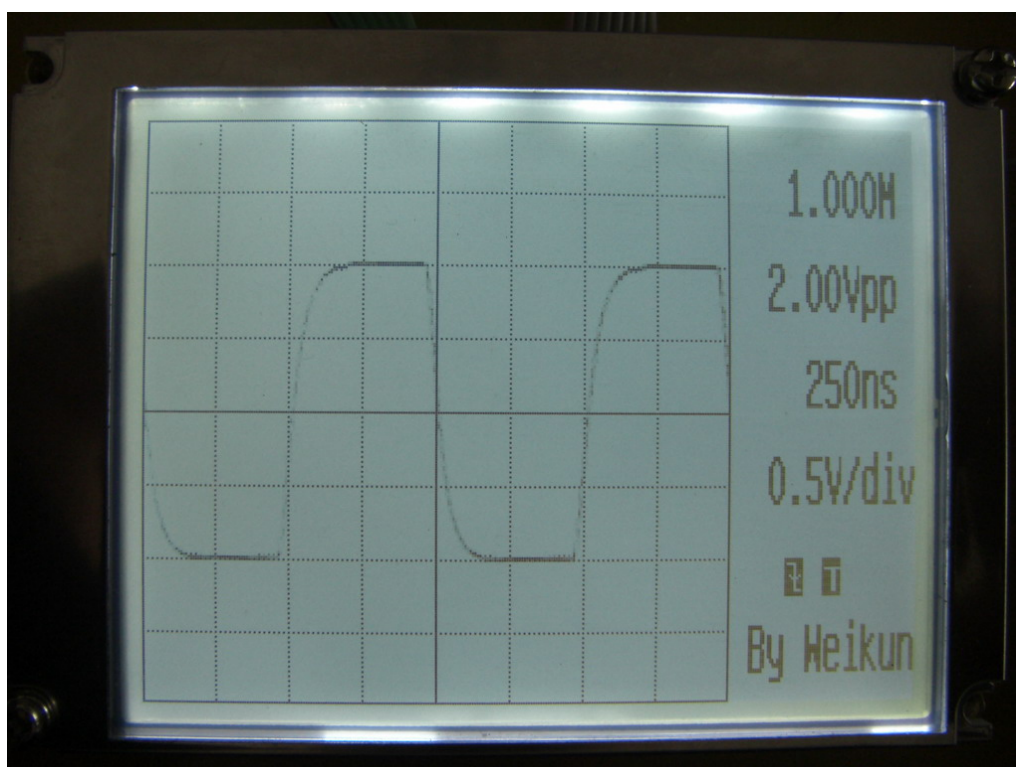


图 4: 测量 1MHz 方波

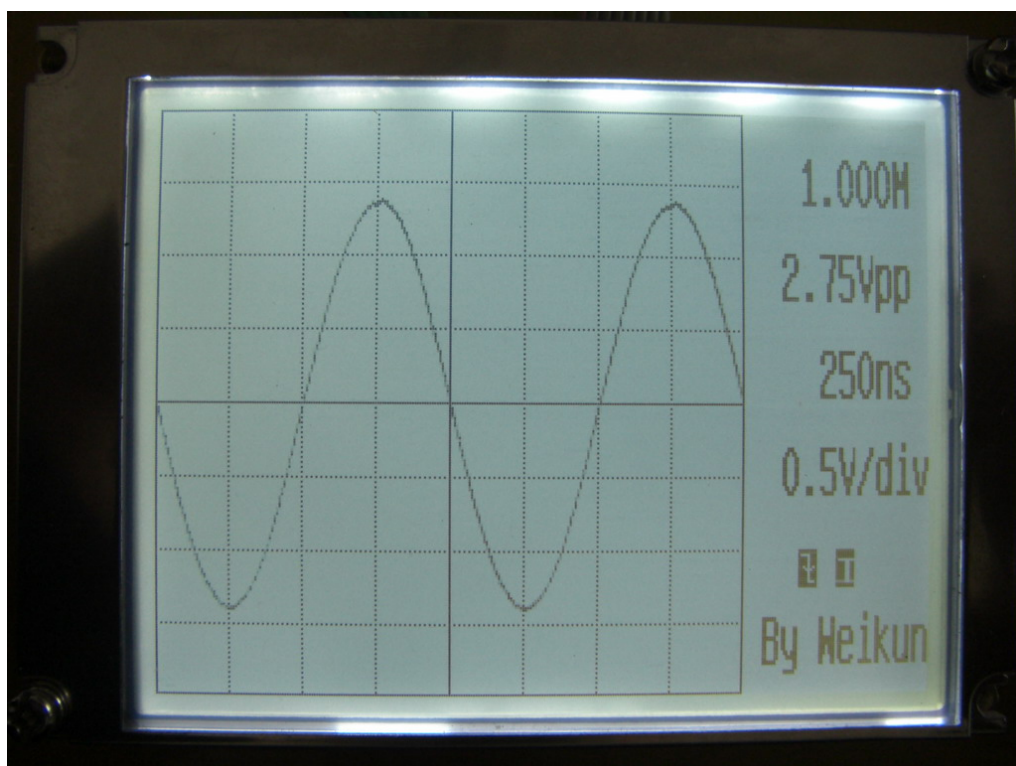


图 5: 测量 1MHz 正弦波

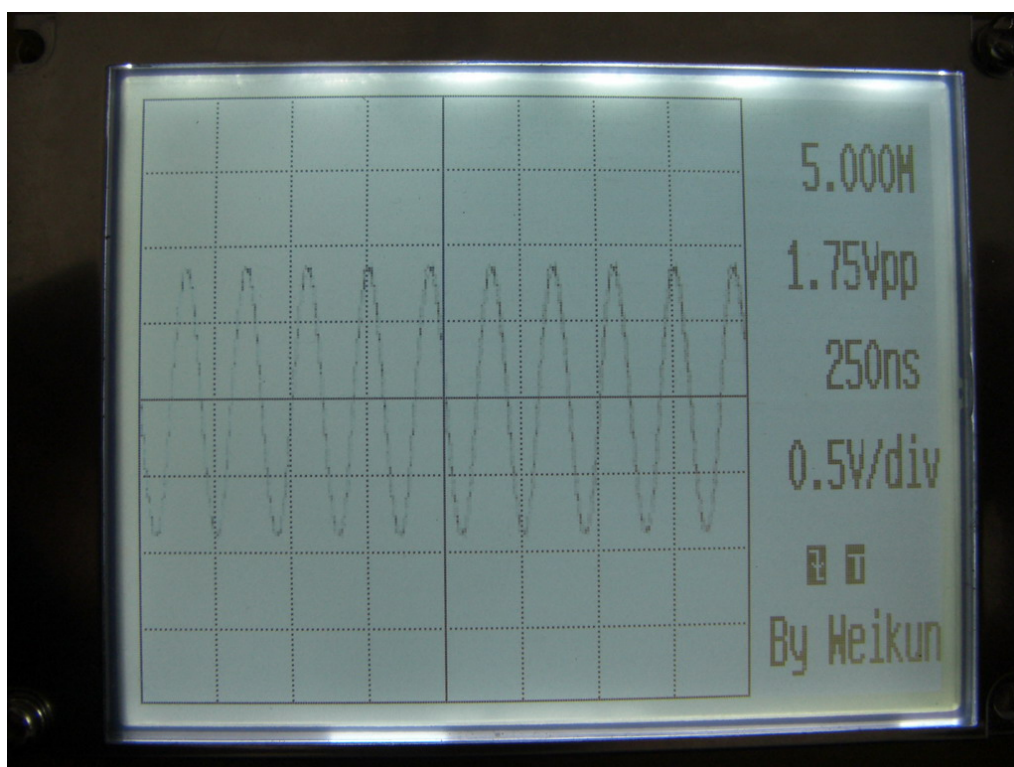


图 6: 测量 5MHz 正弦波

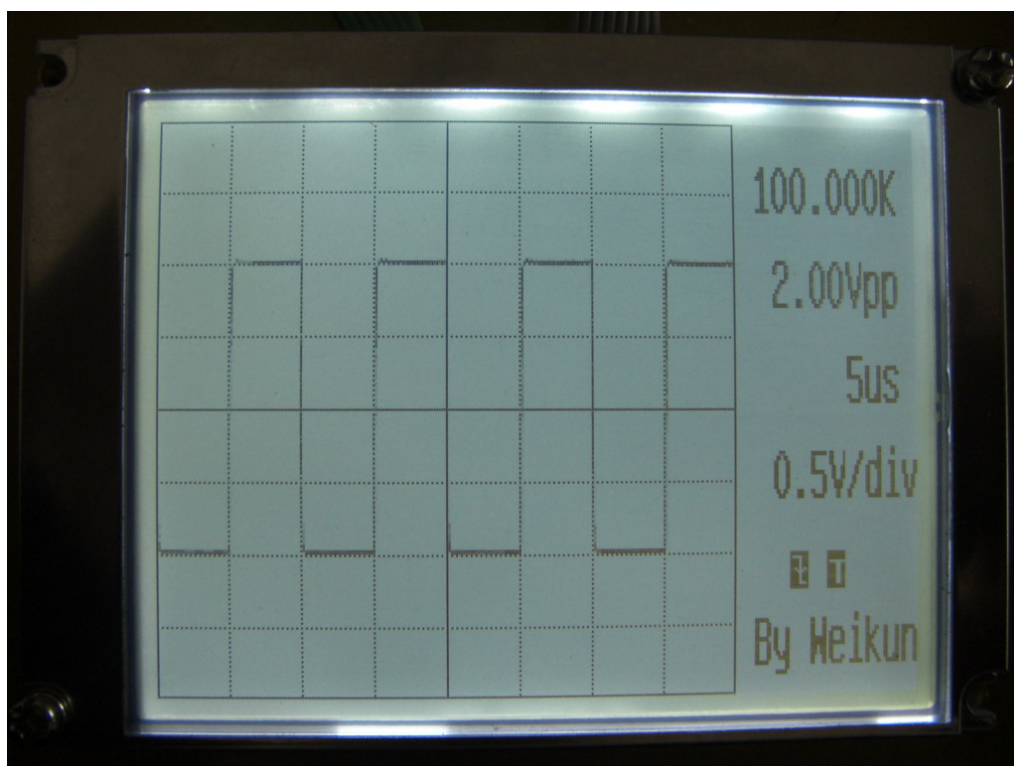


图 7: 测量 100kHz 方波

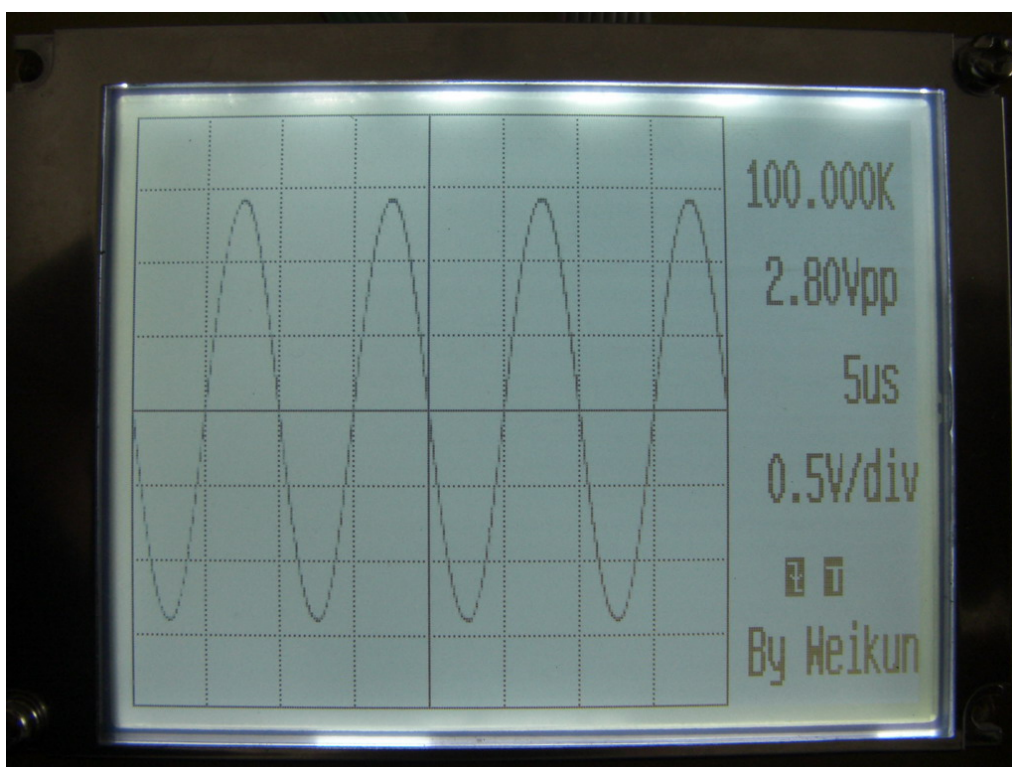


图 8: 测量 100kHz 正弦波

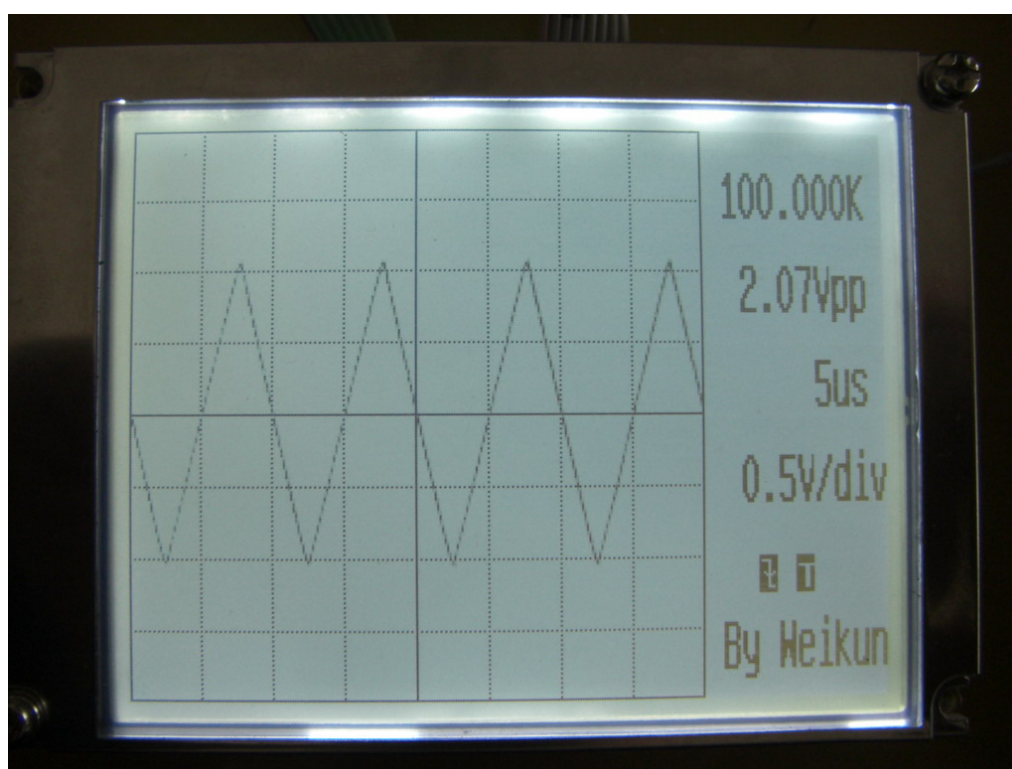


图 9: 测量 100kHz 三角波

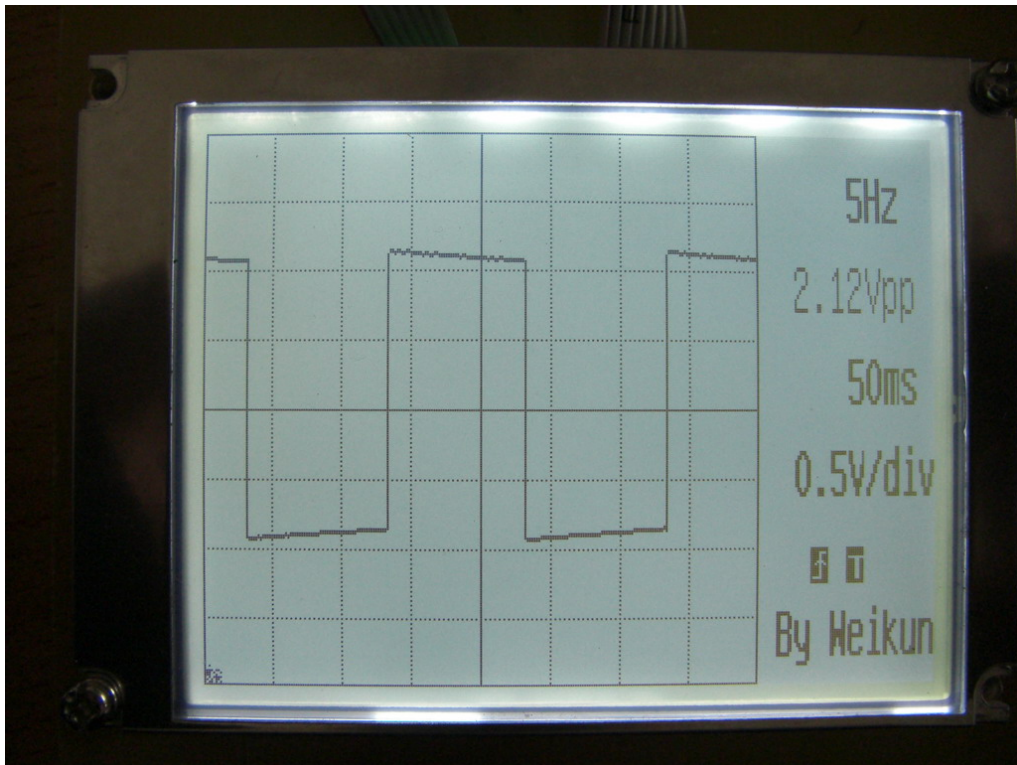


图 10: 测量 5Hz 方波

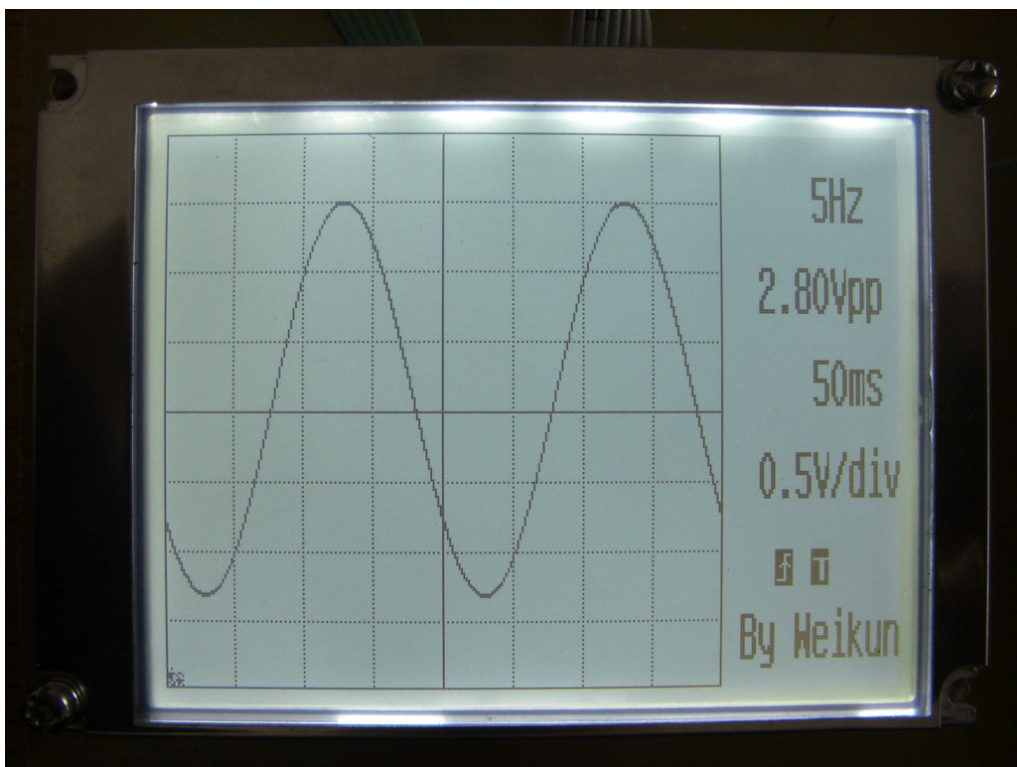


图 11: 测量 5Hz 正弦波

5Hz 的信号用一般的模拟示波器测量只能看到一个亮点在屏幕上游动根本看不出完整的波形，而我做的这个示波器可以显示出完整的波形，在测量低频率信号时这是一个很大的

优势。

该示波器由 6 部分电路构成，分别是：

1. 输入程控放大（衰减）电路；
2. 高速 AD 转换电路；
3. FIFO 存储电路；
4. 显示控制电路；
5. 时钟产生电路；
6. 测频与控制电路；

在这几部分中，最重要的是程控放大电路和 AD 转换电路，因为这两个电路是这个数字示波器的咽喉，程控放大电路决定了示波器的输入带宽和垂直分辨率，AD 转换电路决定了示波器水平分辨率，这两个分辨率直接决定着一个示波器性能的优劣。这两部分电路将被测信号转换成后面的处理电路所需的数据信号，庆幸的是这些部分电路都可用高性能的集成电路加少量外围器件构成，电路设计简单，调试也很简单。整个示波器我觉得最难的应该是程序，也就是软件方面。软件承担着该示波器的所有数据处理和控制任务，包括 AD 采样控制、水平扫速控制、垂直灵敏度控制、显示处理、峰峰值测量、频率测量等任务。为了提高性能这个示波器使用了两片单片机，分别用于显示和控制，所以程序的设计还要考虑两个单片机之间的通信问题，这些在文章的各章节都会有详细的描述和解释。通过这个示波器的制作，你将会了解很多东西，比如如何用运算放大器设计组合放大电路、高速 AD 转换器的应用、FIFO 存储器的应用、AVR 单片机 SPI 总线接口协议以及高分辨率点阵液晶显示器的驱动等内容，这些内容对于别的电子设计也是非常有用的。

跟着我的文章走，你会发现制做一个数字示波器并不是很难！

魏坤

2008 11 15