

# 神形合一，让你的示波器动起来！

## ——制作调试篇

硬件软件都讲完了，接下来就将它们组装起来吧！

### 一：元件选择

制作本示波器所需的主要元件（包括显示器、集成电路和继电器）的型号、数量以及参考价格见表1，其中参考价格为我买该元件时的价格，仅供参考。加上电阻电容总的费用不超过500元，如果你对显示的要求不是很高，可以选择分辨率低一些的显示器那样成本会有较大幅度的下降，比如一块240\*160的显示器价格为190元，而192\*128的仅为140元，建议显示器的分辨率不要低于192\*128。当然显示器更换了，驱动程序也要根据显示器的相关指令做相应的调整，这里就不多说了。其他的元件（电阻电容等）按图取值即可，程控放大器部分的一些特殊阻值的电阻可以通过电阻的串并联以及使用多圈电位器调整得到。该示波器的探头使用成品4MHz/40MHz探头。

器件型号	数量	器件功能描述	单价(元)
LM2068R	1	320*240 液晶显示屏	280
Mega32-16	1	AVR 单片机	17
Mega8-16	1	AVR 单片机	7
IDT7204-12	1	4KB、FIFO 存储器	40
ADS830E	1	8 位 60MSa/s AD 转换器	27
LM6172	2	高速运算放大器	8
NE5532	1	运算放大器	2
74F74	2	双触发器	1
74F08	1	高速 4-2 输入与门	1
74LS390	3	双 2-5-10 进制计数器	1
74F151	1	8 输入多路选择器	2
74LVC574	1	高速 8 位锁存器	1
ULN2003	1	7 路驱动器	2
MC34063	1	DC/DC 转换芯片	1
LM317	1	正电压三端稳压器	1.5

LM337	1	负电压三端稳压器	1.5
LM7805	2	+5V 三端稳压器	1
10cm*20cm 双面板	2		13
AQ-5V	5	微型继电器	3

表1: 重要器件表

## 二. 印刷板的设计及注意事项

印刷电路板使用热转印法制做，具体方法《无线电》上有详细介绍这里就不多讲了。

本制作中的一些电路板是用双面板做的，包括程控放大电路板、AD转换及FIFO存储器电路板和时钟电路板。在业余条件下制作双面都走线的电路板是比较困难的，首先是不容易将两面走线对准，其次过孔无法沉铜。所以我只做了双面覆铜板一面，另一面的铜箔全部用来做接地，方法是在需要接地的地方直接放上焊盘通过过孔接在背面的铜箔上，这样做的好处是起到电磁屏蔽作用而且布线相对单面板来说也更加简单，不用来接地的孔用大钻头进行轻微的扩孔削去周围的铜箔就行了，本电路中的程控放大电路、时钟电路和AD转换与FIFO存储器电路都是用这种办法做的，效果不错。

1. 程控放大电路印刷板见图1，具体制作成电路板见图2和图3，从图1中可以看出电源电路的大部分都是与程控放大器做在同一块电路板上，印刷板上边为程控放大器电路部分，下边为负压产生和正负电源稳压电路，在安装电路时首先安装并调试电源电路，在电源电路装调好后再安装放大电路，因为电源电路装好后需要调整，如果先安装放大电路那么调整电源电路时就要断开很多线，很麻烦，所以先装调电源再装放大电路，可以省去很多重复工作，具体做法电路调试中有详细介绍。从图2中可以看到5个深蓝色的长方体块，这是进行耦合方式选择和放大（衰减）倍数控制的继电器，体积仅比一个555大一点，当然在选择继电器时还可以选择别的继电器，只是电路板要进行一些变化，我选择的这个继电器（AQ-5V）在使用中有一些问题需要注意，一般的继电器线圈绕组供电没有正负极之分，而该继电器有正负极之分，接错了将没有动作，其第1脚为电源正，第10脚为电源负，在设计电路时要特别注意。从图2中还可以看出正面的覆铜层全部用来接地，做法如前所述。

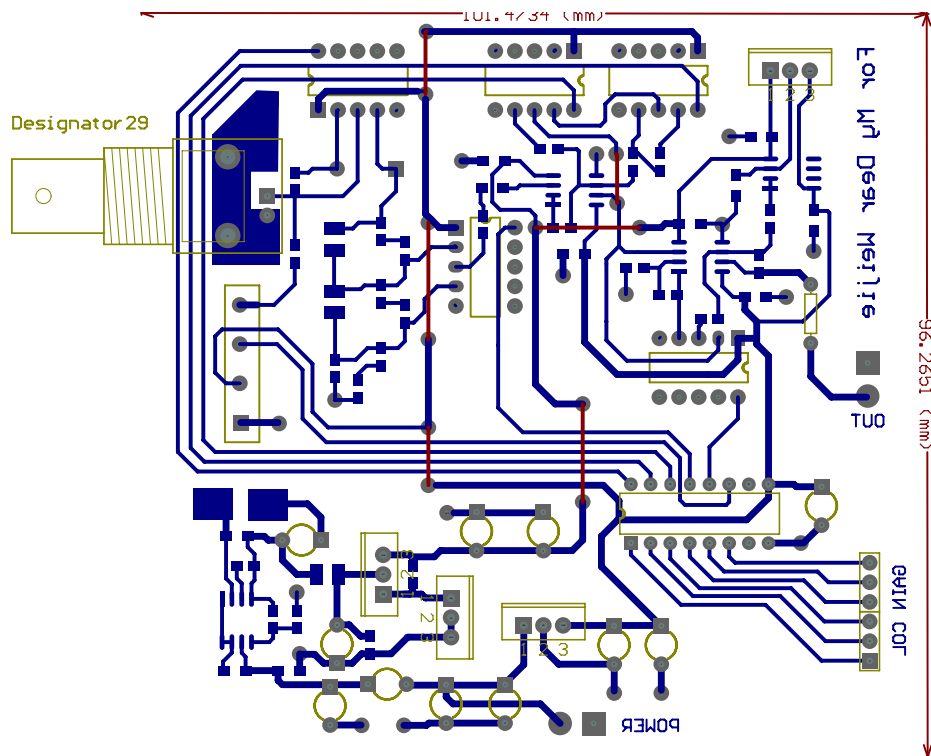


图 1: .程控放大器电路 PCB 板图

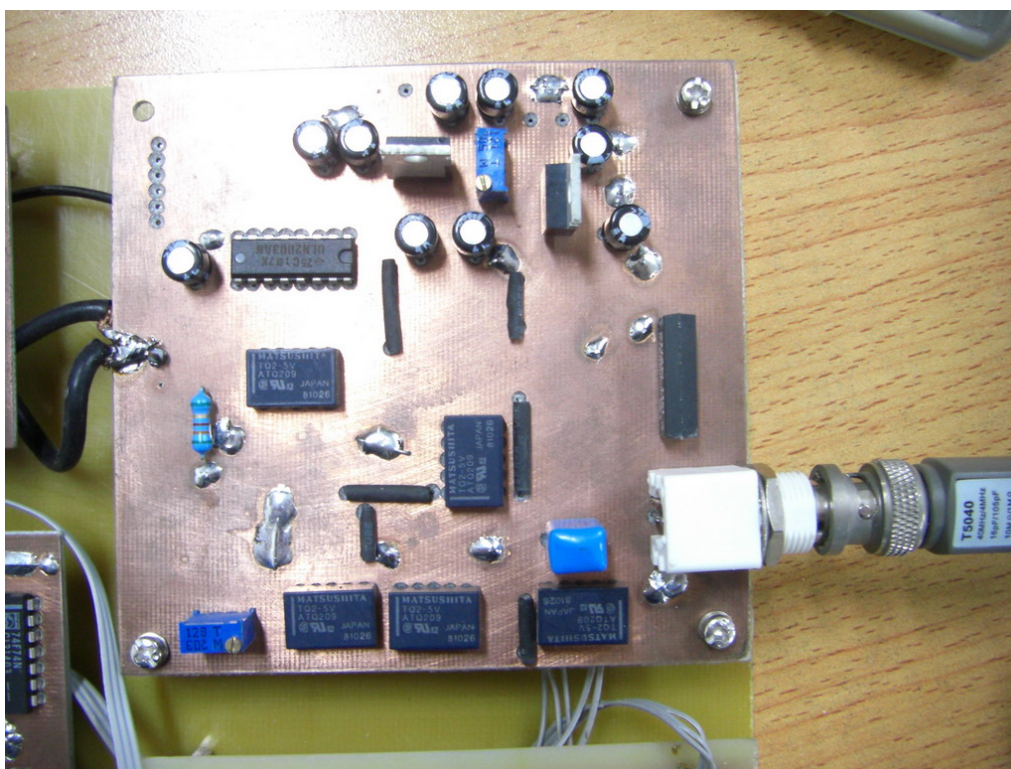


图 2: .程控放大器电路照片正面

图3为程控放大电路印刷板的背面，板子右上边有两个橘红色的可变电容，这两个电容的作用是对衰减后的信号进行边沿补偿，具体的调整后面会有详细介绍。

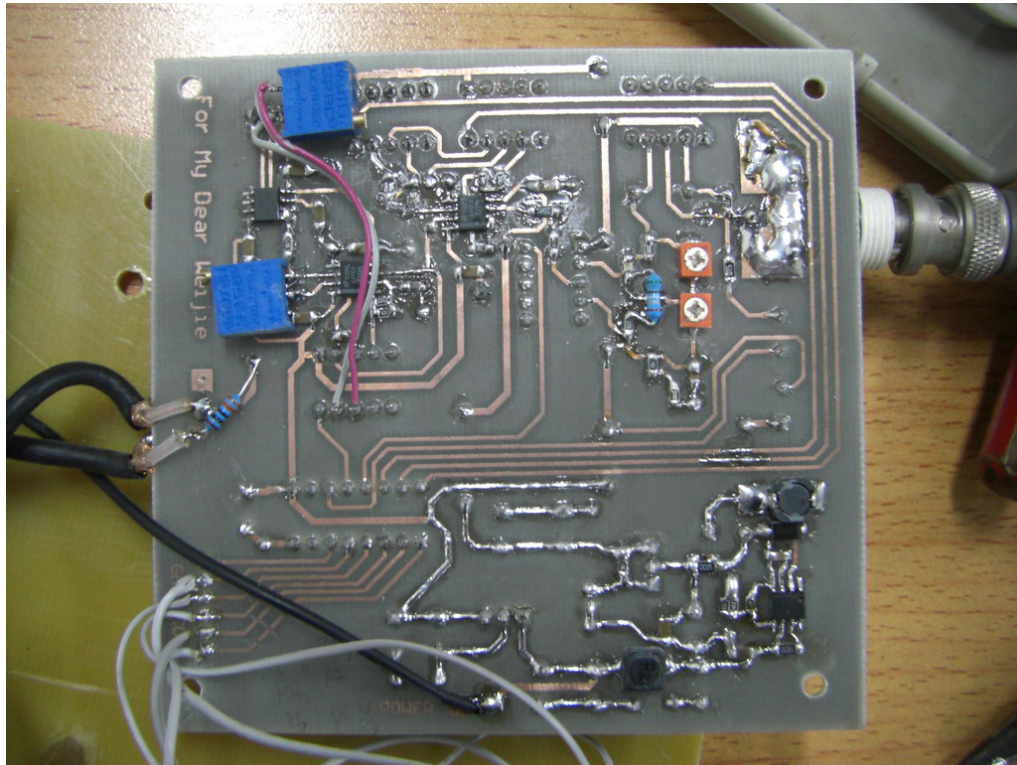


图 3: .程控放大器电路照片背面

## 2. 高速 AD 转换与 FIFO 存储器电路

高速 AD 转换与 FIFO 存储电路 PCB 版图见图 4 所示，图 5 和图 6 为该板的实物图。从图 4 中可以看到其中体积最小管脚最密的为 AD 转换器 ADS830E 的焊盘，往左依次是 74LVC574 和 IDT7204 的焊盘，上面是 74F08 的焊盘。这个电路是示波器的咽喉要道，但不用调试！只是在焊接 ADS830E 时应注意一下焊接技巧，因为 ADS830E 的引脚比较多而且很密（引脚间距 0.65mm）所以焊接时容易因焊锡较多而造成短路，即然这样焊接时还不如给每个引脚上都镀上焊锡，先不要管他是否短路，焊在电路板上再说，焊好后用浸上松香的铜编织网将多余的焊锡吸掉就行，很简单的操作。后面的 mega32 的焊接方法相同，从图 6 照片中可以看出 ADS830E 旁边有很多松香，就是吸焊锡时残留的，虽然有些影响美观但对电路的性能没有影响，业余条件下还是可以接受的。

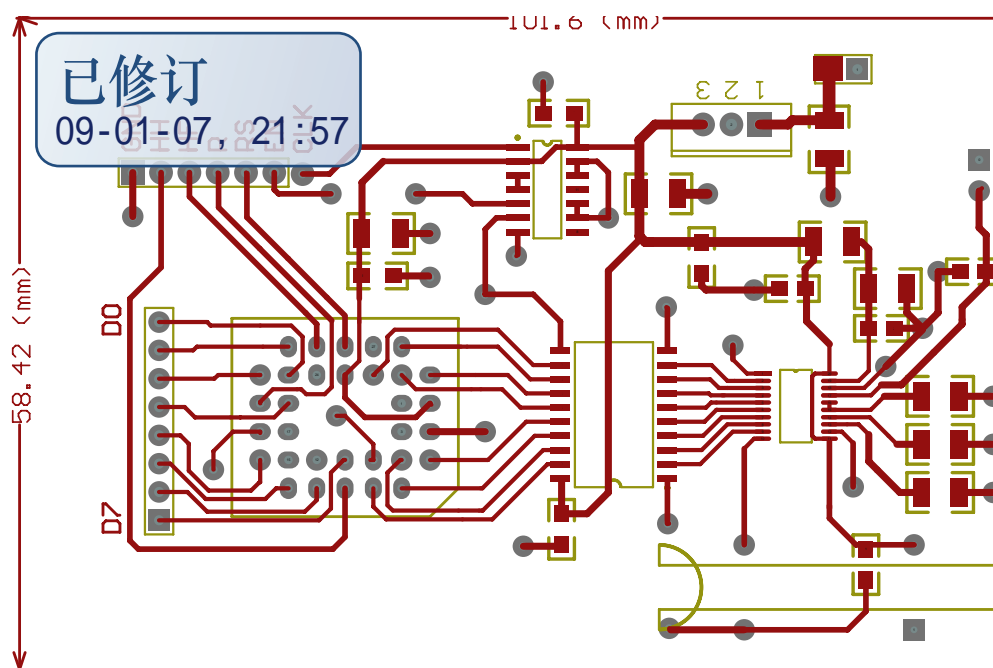


图 4：高速 AD 转换与 FIFO 存储电路 PCB 板图

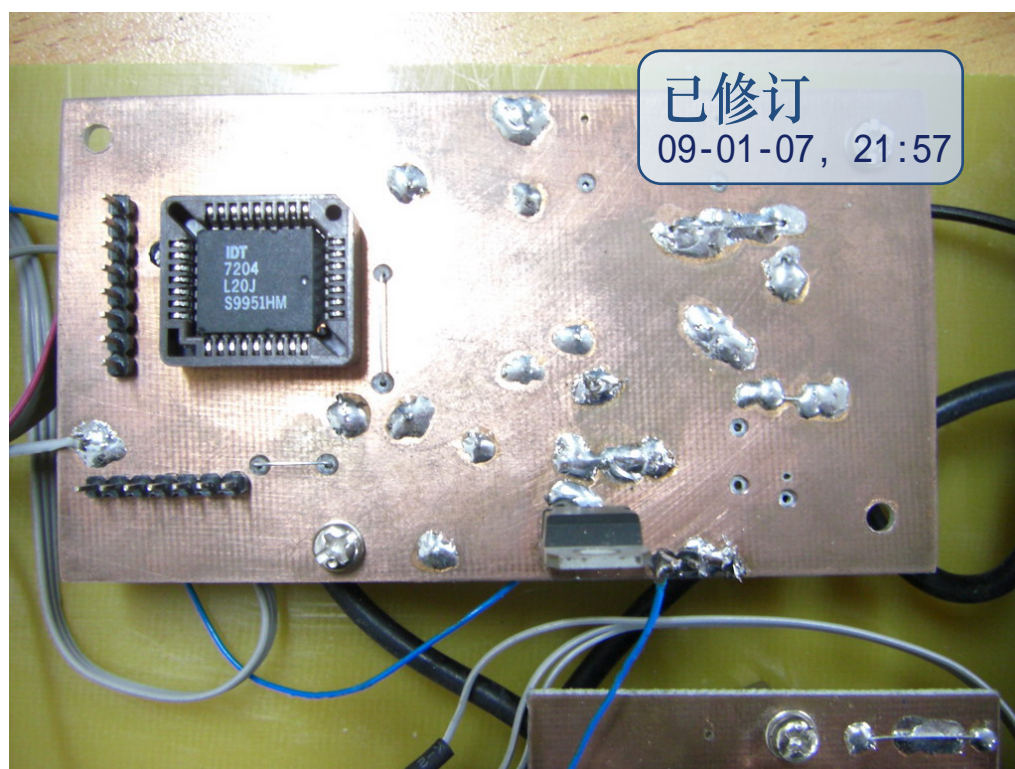


图 5：高速 AD 转换与 FIFO 存储电路照片正面

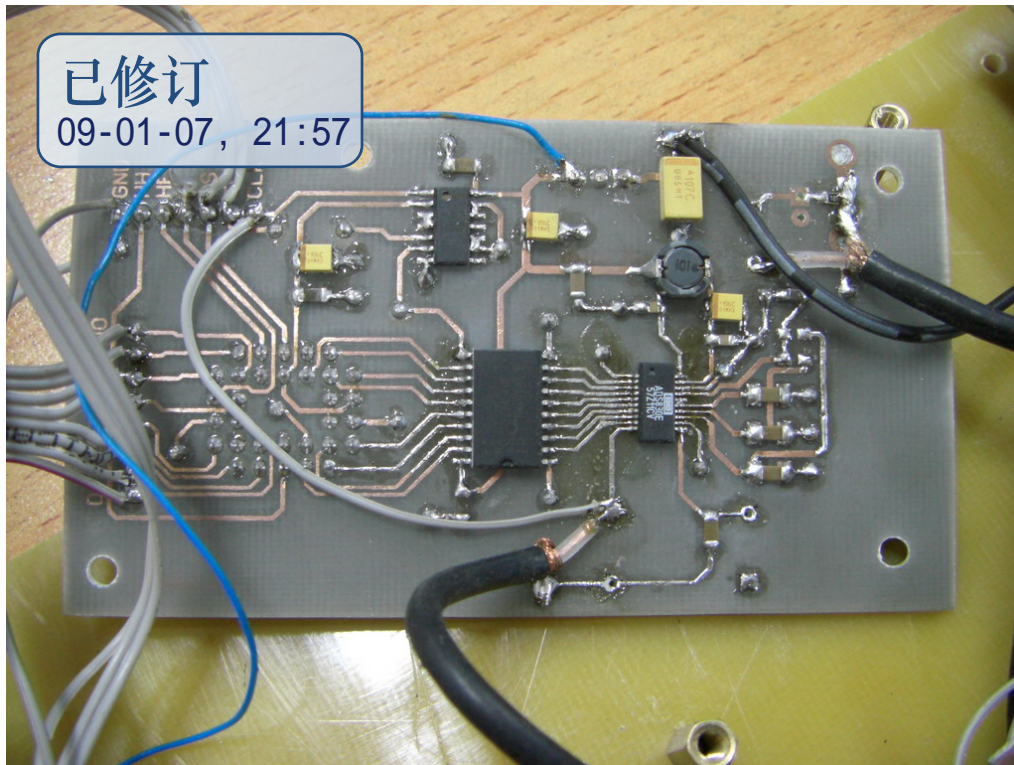


图 6: 高速 AD 转换与 FIFO 存储电路照片背面

### 3. 时钟产生电路

因为时钟产生电路的工作频率高达 60MHz，为使其工作稳定也使用双面板做，一面铜箔全部接地对高频信号进行屏蔽减少辐射干扰。印刷板见图 7 所示，图 8 为实物照片。因为该电路的最高工作频率为 60MHz，一般的 74LS 系列或 74HC 系列数字逻辑电路最高只能工作在 40MHz 左右，不能满足该电路的要求，所以只能选用速度等级更高的 74F 系列和 74AC 系列，相对来说 74F 系列更好买，所以本电路中的两个与 60MHz 信号相关的芯片 74F74 和 74F151 都选择 74F 系列，AD 转换电路中的与门因为也有可能工作在 60MHz（最快的两个扫速），所以也选用了 74F 系列中的 74F08。由于该电路板上全部为数字电路，所以只要元件选择正确且安装无误不用调试即可正常工作，所以就不多说了。

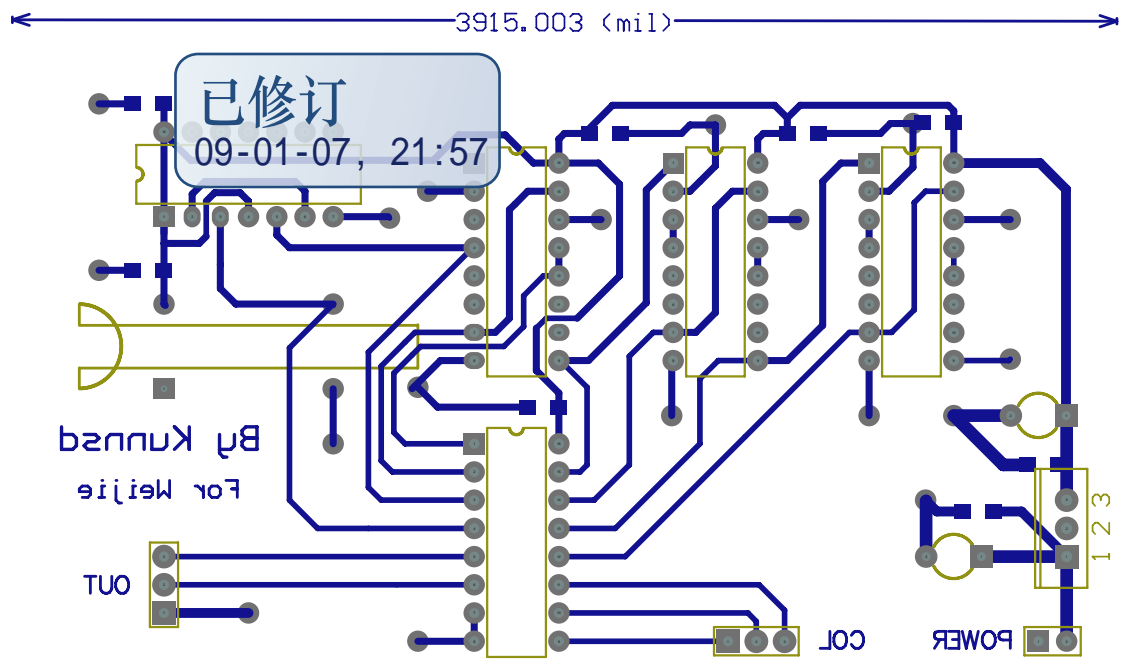


图 7：时钟产生电路 PCB 板图

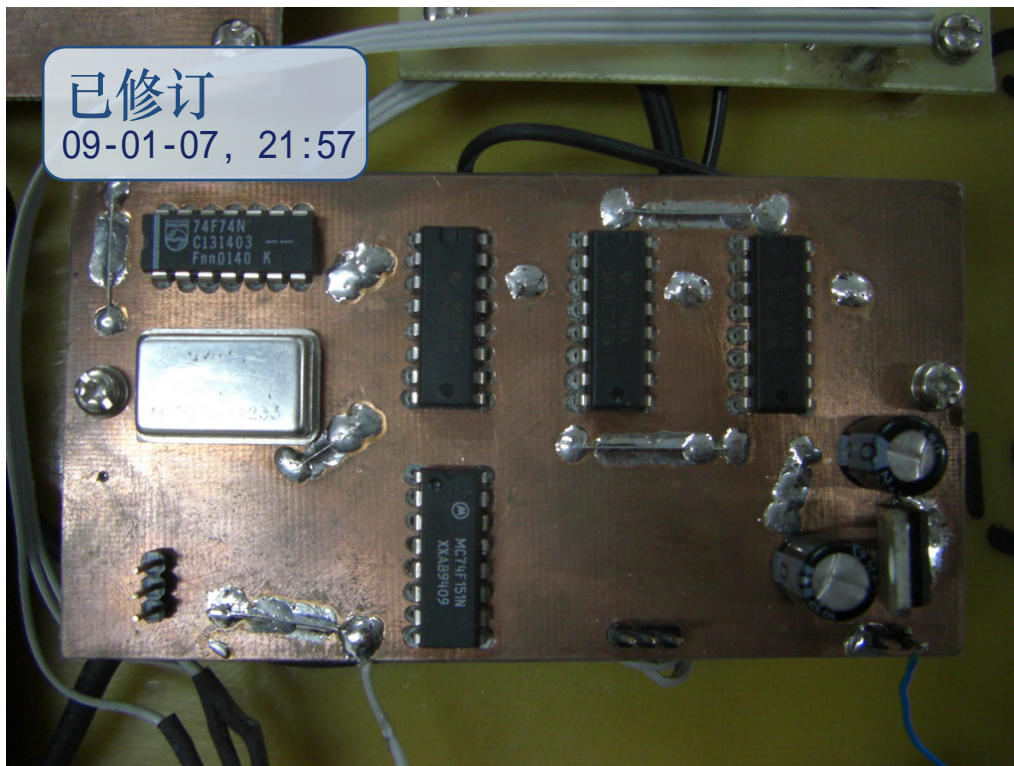


图 8：时钟产生电路照片

#### 4. MCU2 控制电路

MCU2 控制电路板其实就是一个 mega32 的最小系统板，板子上有复位电路、振荡器等保证 mega32 正常工作所需的基本电路和 ISP 程序下载接口，32 个 IO 口全部引出，与各部分模块相连，见整体图。图 9 为 MCU2 控制电路的 PCB 板，图 10 和图 11 为做好后的照片，

从图 10 中可以看出 mega32 所使用的晶振为 18MHz,如硬件电路介绍中所述用 18MHz 晶振是为了提高屏幕的刷新率,增强示波器的实时性。这块板子的制作没有什么特殊要求,只是焊接 mega32 时用焊接 ADS830E 的方法即可,就不多说了。LCD 显示器引线采用扁平排线,所以要用接口连接。为了试验方便将 LCD 模块的接口电路单独做成一块 PCB 板,没有做在这块板上,见图 12 所示,图 13 为 LCD 适配器电路的照片。因为我做的这个示波器中的电路都是一步一步实验确定的,途中一个功能电路用好几种方案,最后确定最佳电路。所以电路都是做成模块的,这样的话便于组合实验,当确定一整套最佳方案后再将所有的模块做在一块电路板上。

图 14 为将 LCD 模块与 LCD 接口电路连接起来的照片,在电路都固定好之后,LCD 模块的接口电路是藏在 LCD 模块底下的,在整体的照片中是看不到的。

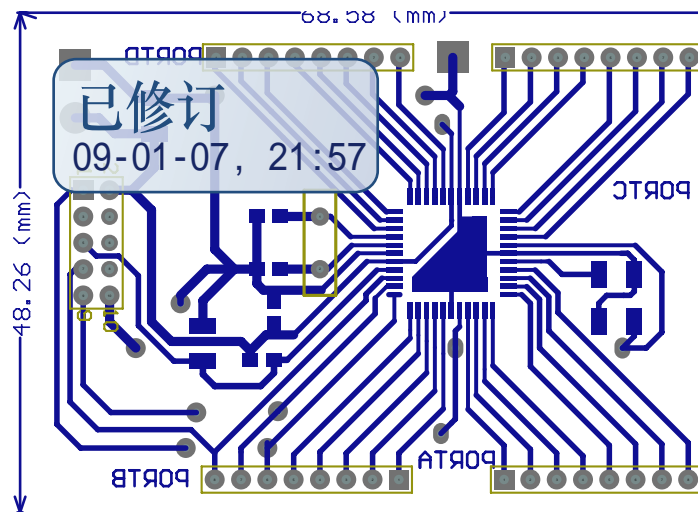


图 9: MCU2 控制电路 PCB 板图



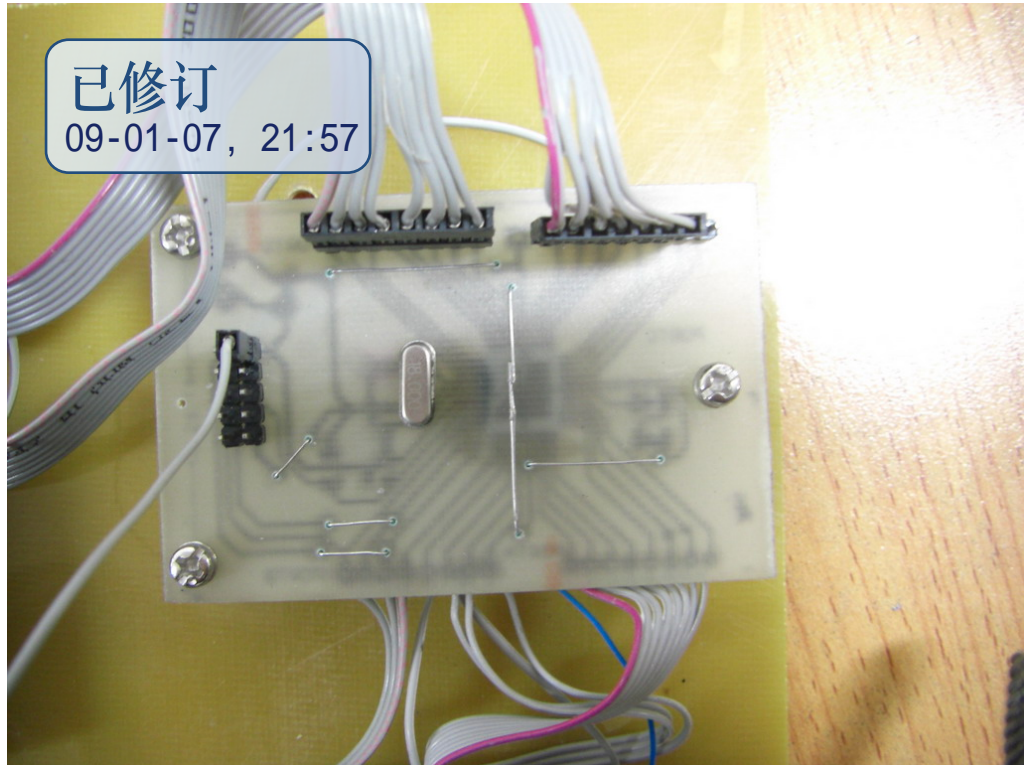


图 10: MCU2 控制电路照片正面

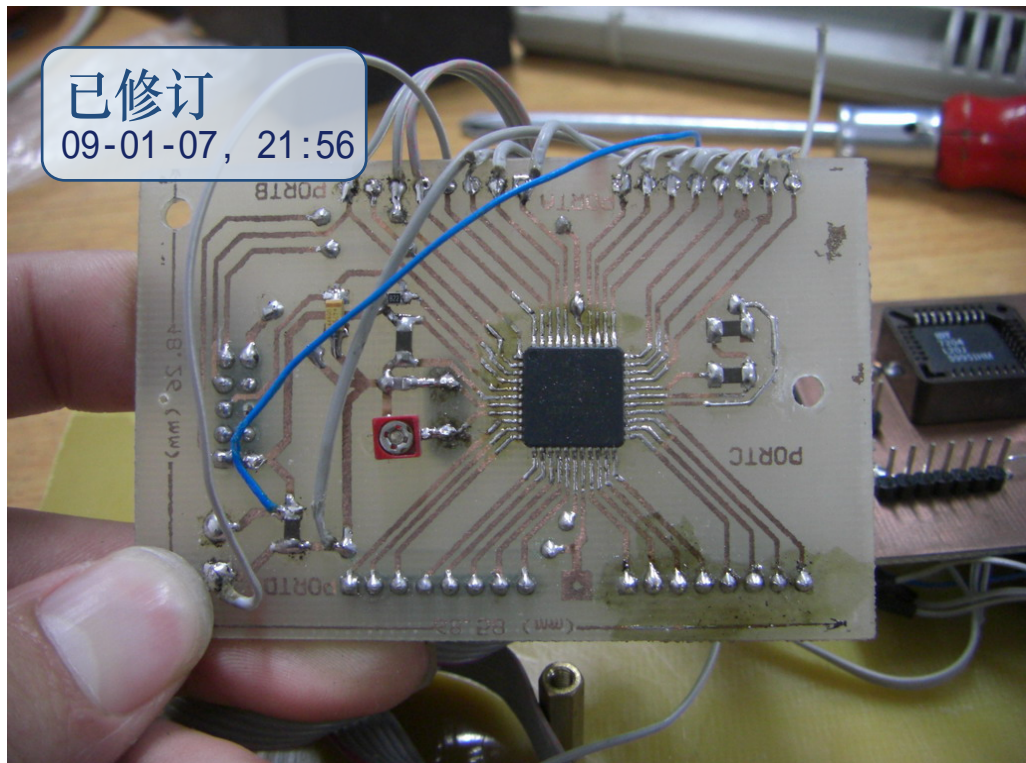


图 11: MCU2 控制电路照片背面

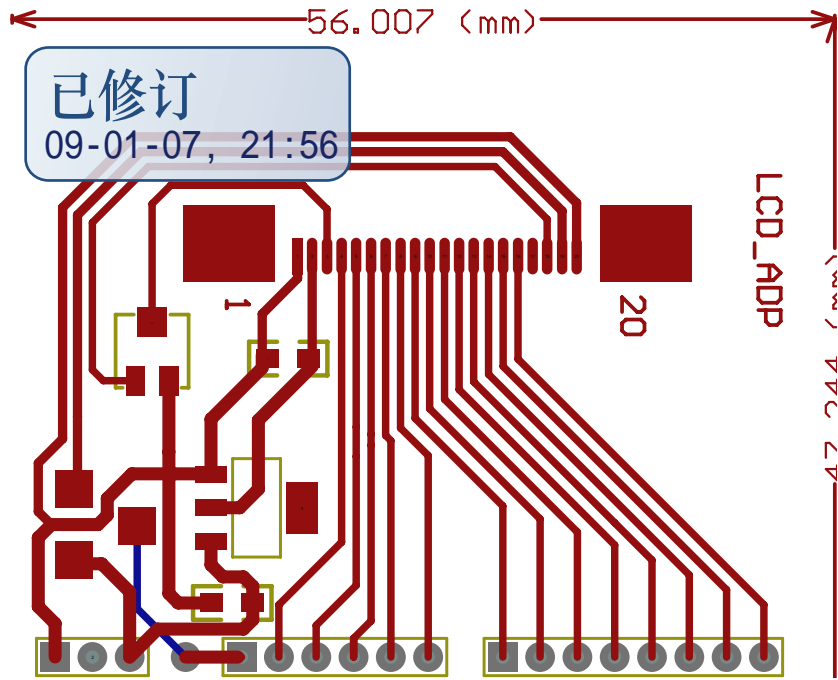


图 12: LCD 适配器电路 PCB 板图

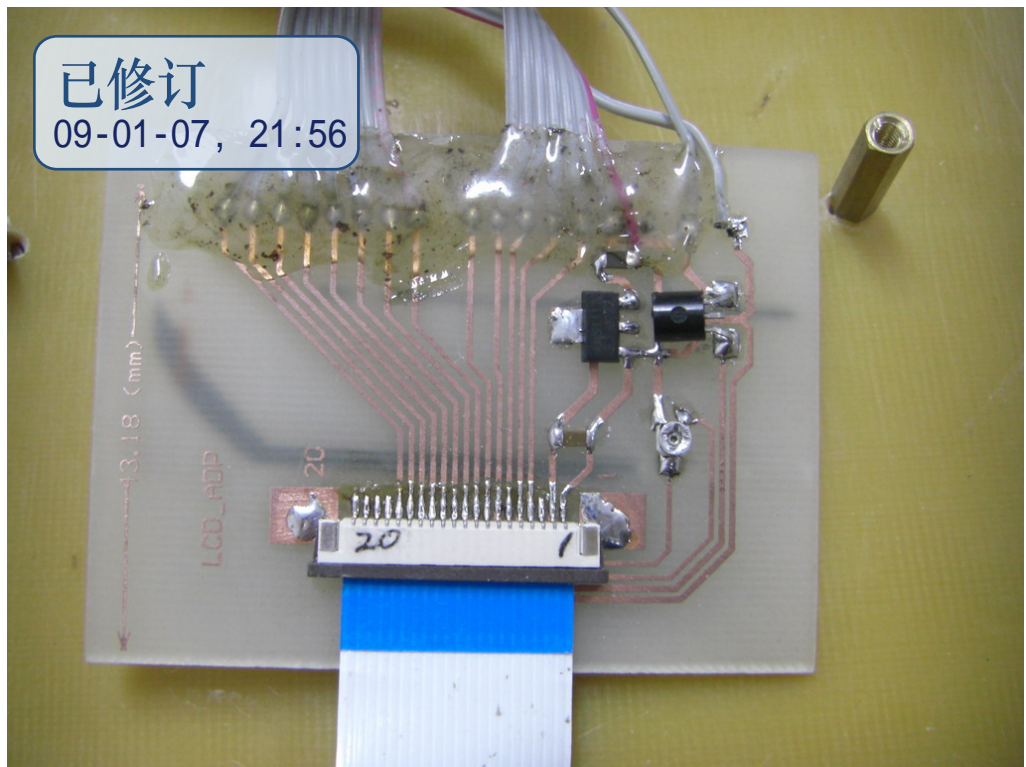


图 13: LCD 适配器电路照片



图 14: LCD 适配器与 LCD 连接照片

## 5. MCU1 控制电路与整形电路

MCU1 控制电路的 PCB 板图见图 15, mega8 单片机使用双列插 DIP 封装, 这种封装的好处容易焊接, 但占用板子的面积大, 如果想要做成示波表, 最好将 mega8 换成贴片封装的, 以节省印刷板的面积, 如果要扩展更多的按键, 那么最好使用一片 mega16-16AI, 因为 mega8 一共有 23 个 IO 口, 在本电路中基本将 IO 口用完了, 所以还是换一个 32 个 IO 口的 mega16 比较方便, 成本增加不了几块钱, 当然印刷板就得重新设计了。在安装这块电路板时有一个细节要注意, 就是将所有元件焊完后在焊接场效应管 2sk192, 而且焊接时要将烙铁从插座上拔下, 以免烙铁上有感应静电, 因为 2sk192 的栅极输入电阻极高, 而且结电容很小, 所以一点点的静电感应就可以让结电容上产生足以击穿栅极的电压, 所以在储存和焊接时要特别注意。平时存放内部没有保护二极管的场效应管时应存放在金属盒中或用金属箔包裹后存放, 尤其是在空气干燥的北方。

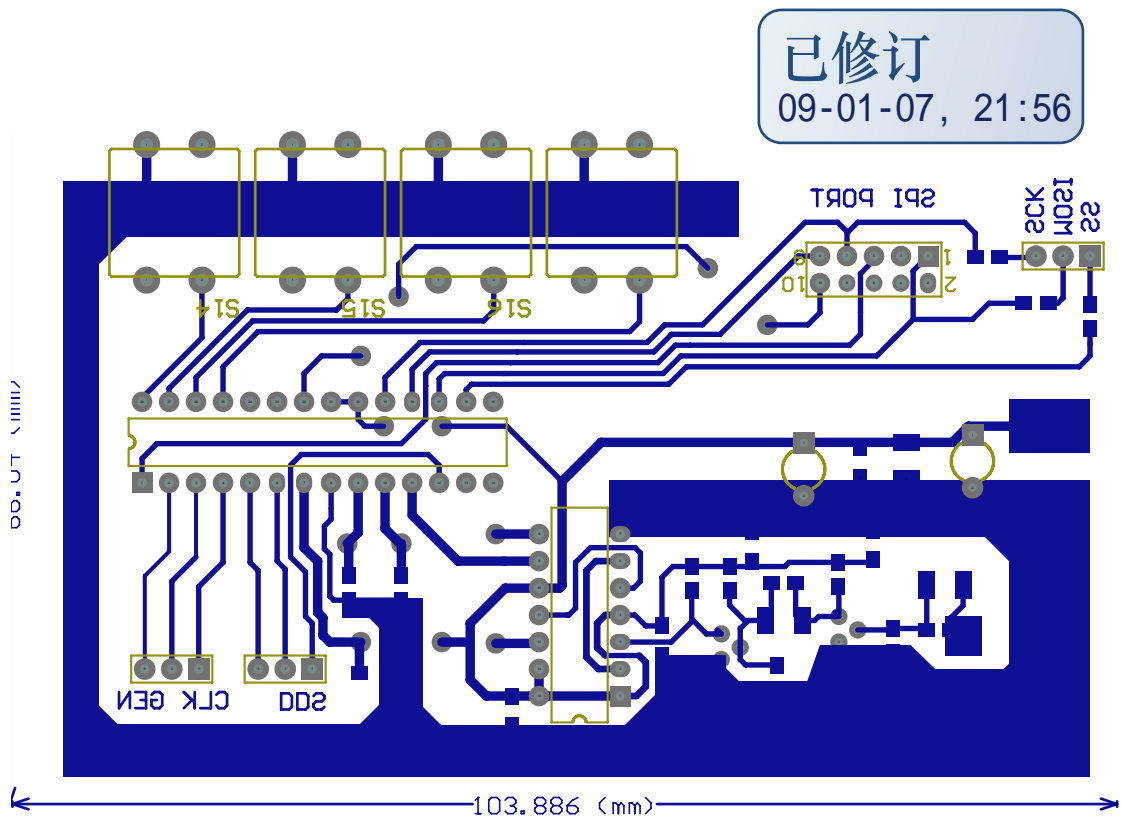


图 15: MCU1 及整形电路 PCB 板图

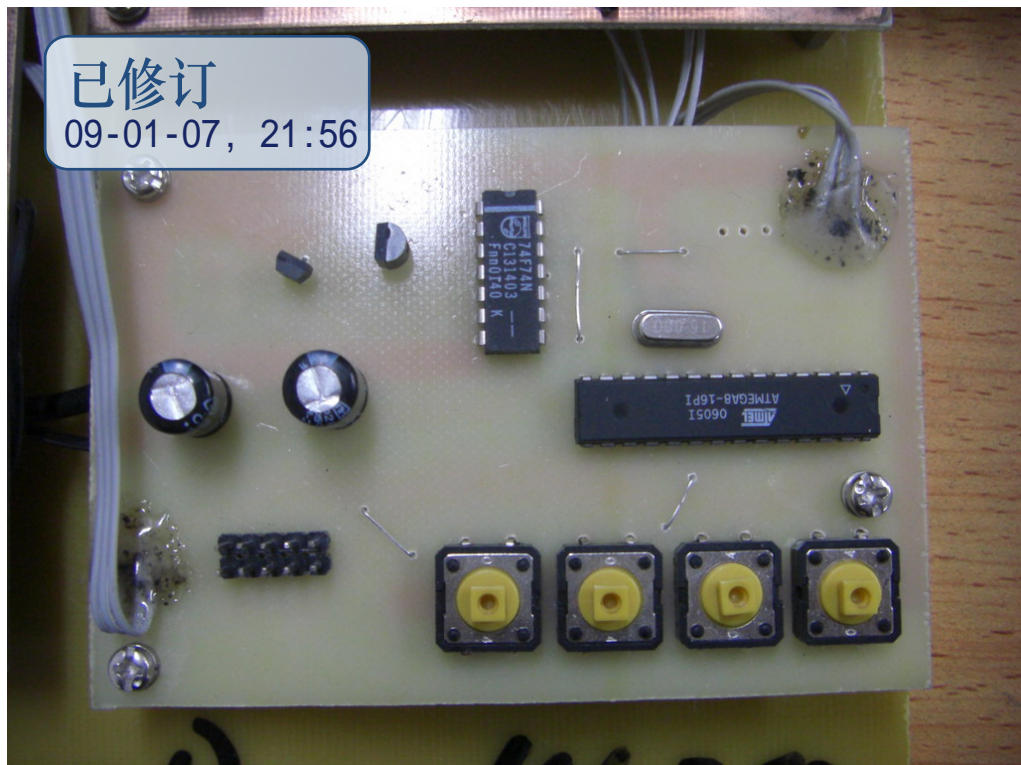


图 16: MCU1 电路照片

### 三. 电路调试

1. 在焊接程控放大电路时先焊板上的电源部分，首先是MC34063电路，该电路只要元件选择正确一般不会出现问題，焊完MC34063部分后给电源输入端接上8V的电源，

测量C51两端应改为-8.3V左右，输入空载电流不超过10mA，否则应检查电路连接。

测量正常后断开电源，安装LM337、LM317、LM7805以及外围元件，装好后通电，先调整负电源。调节Rw3，使LM337输出端C55两端的电压为-5V，调整Rw2使LM317输出端C46两端的电压为+5V即可，断开电源继续安装其他元件。

2. 在电路焊接完毕后，将程序分别写入两片单片机，接上显示器通电，一般显示器只会背光亮而无显示，或显示全黑点（图17和图18所示），这是因为显示器的显示偏置电压不正常，要通过调节LCD转接板上的电位器Rw\_lcd调整，慢慢旋转Rw\_lcd的螺口直到LCD显示正常，正常的显示应该为实测波形图那样。

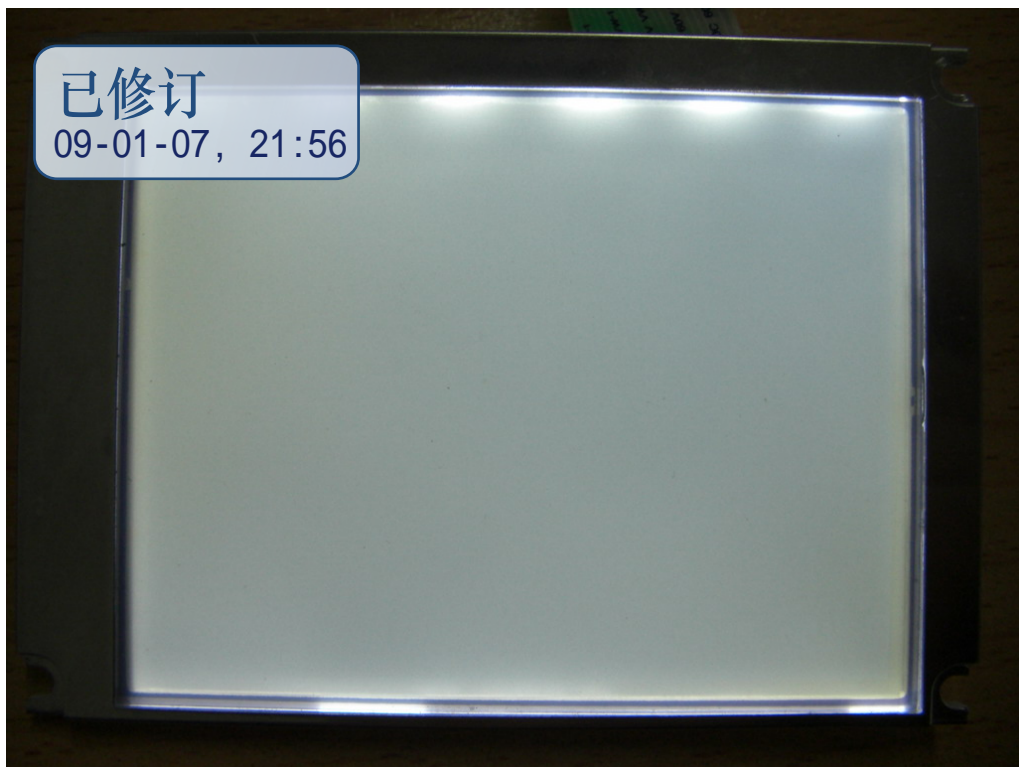


图17：LCD亮度偏置过低导致“无显示”



图18: LCD亮度偏置过低导致“黑屏”

3. 将以上调整好后, 本示波器就能正常显示了, 这一步要做的就是让它正确显示, 进入示波器界面后屏幕的右边应该能看见水平扫速、电压灵敏度等各种参数, 显示可能不正常但应该有显示, 否则说明两片单片机之间的通信不正常, 要检查三根SPI通信线是否连接正确, 如果有参数显示继续往下走。下来是调整示波器的基线, 未调整的基线一般不会在水平中线位置, 将程控放大电路的输入端对地短路, 这时会在LCD屏上看到一条横线(如图19所示), 如果横线在最上边或最下边说明基线电压偏离太远, 这时调节程控放大器电路板上的Rw1, 使其回到水平中线位置(如图20所示), 此时测量程控放大器的输出端对地的直流电压应改为2.5V, 因为AD转换器的输入电压范围为1.5V至3.5V, 输入幅度为2Vpp, 所以基线电压应该为AD转换器的输入中点电压。在调节好基线电压后, 按4个功能键看各参数的变化是否正常, 否则检查各控制线是否连接正常, 我曾将控制时钟的4根线高低位接反导致屏幕上显示的最高水平扫速而实际是最低水平扫速, 程控放大器也一样, 接错会导致垂直电压灵敏度混乱, 由于各电路板之间的连线比较多, 所以在连接各块电路板时一定要细心谨防接错。

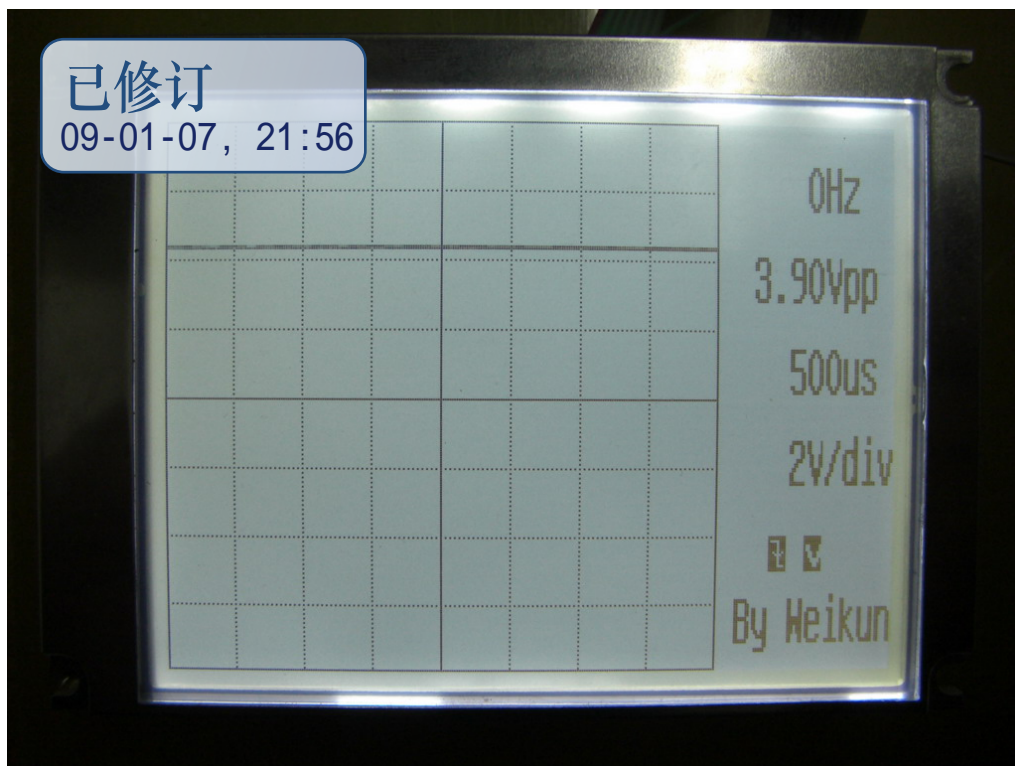


图19: 基线偏离

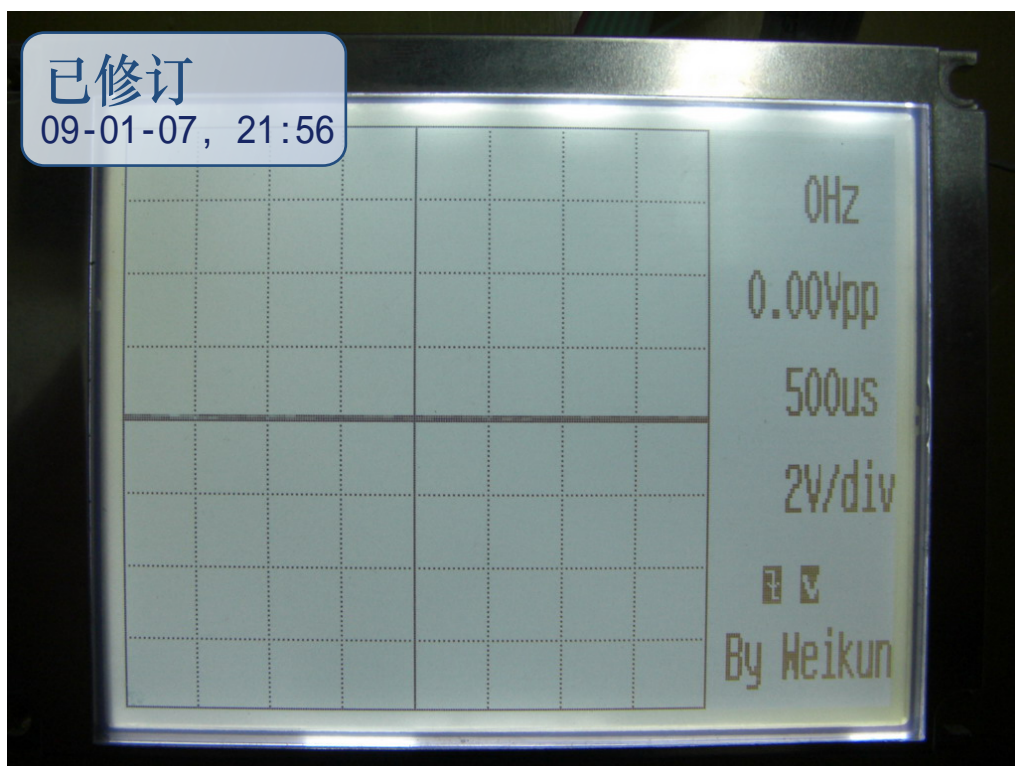


图20: 基线正常

4. 在进行完上述的调整之后这个示波器就基本能够使用了，但在进行较高频率测量时（高于100kHz）还需要调整输入衰减电路中的边沿补偿电容，方法是从示波器的探

头输入300kHz有效值为1V的方波信号，在未进行补偿调整之前一般会出现两种情况，分别如图21和图22所示，图21所示的波形显示的情况是补偿过量，图22所示的波形显示的情况是补偿不足，在这种情况下仔细调整程控放大器电路中的两个可变电容C2和C3，直到波形正常，如图23所示。总装起来见图24。

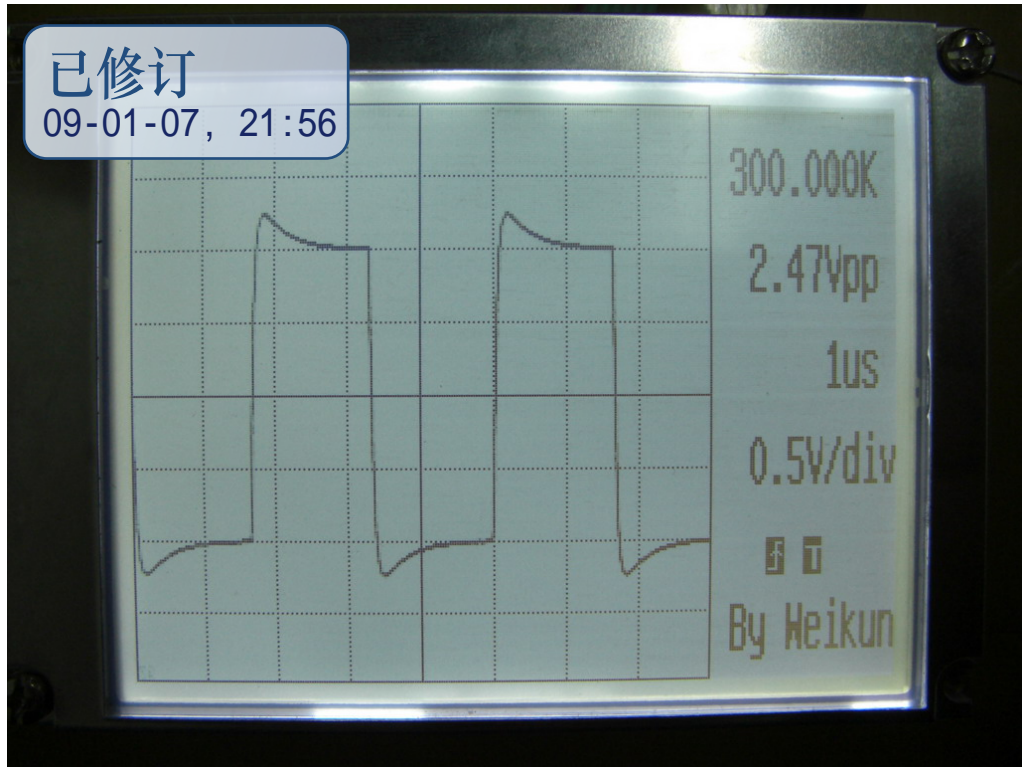


图21：补偿过量



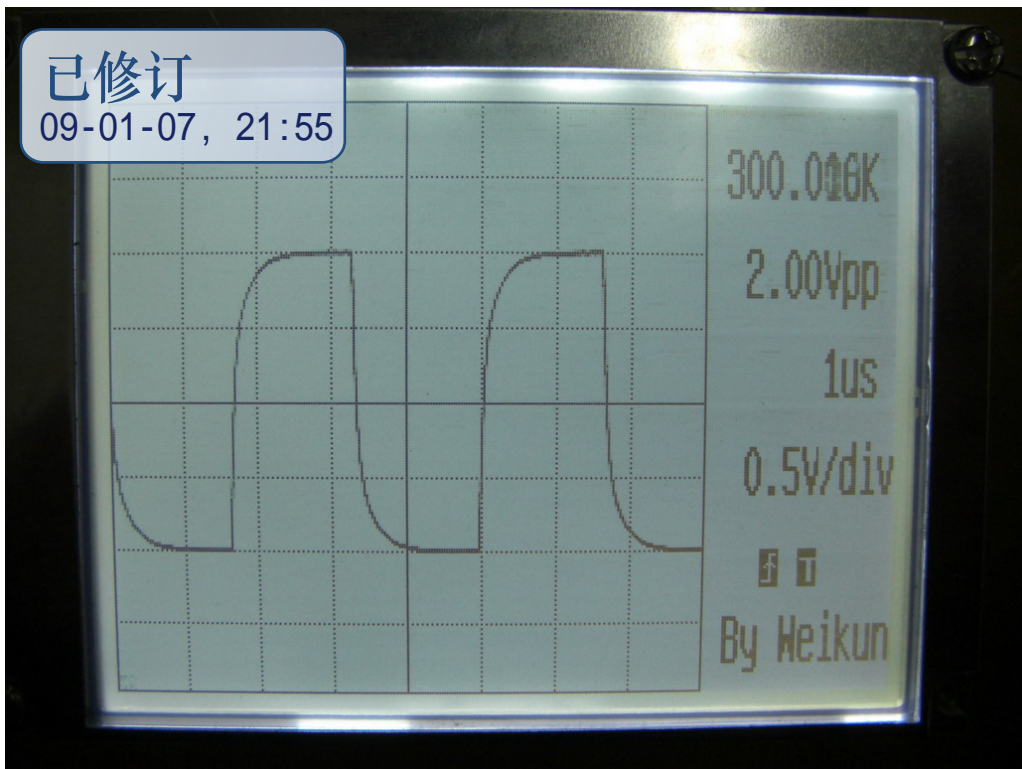


图22: 补偿不足

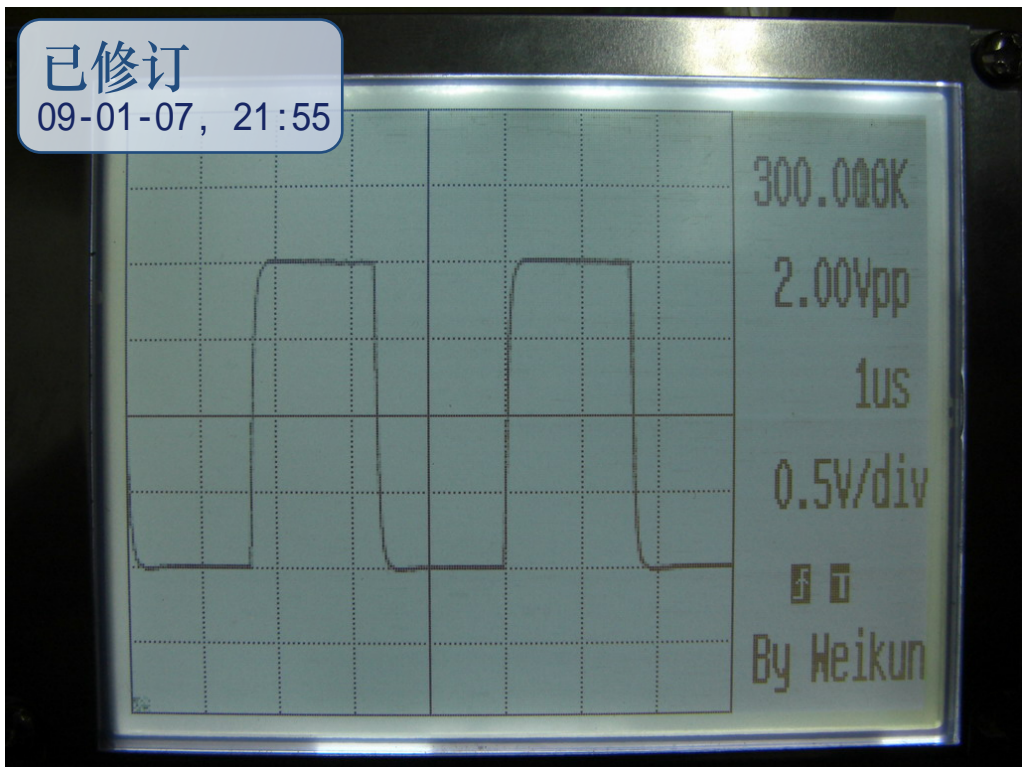
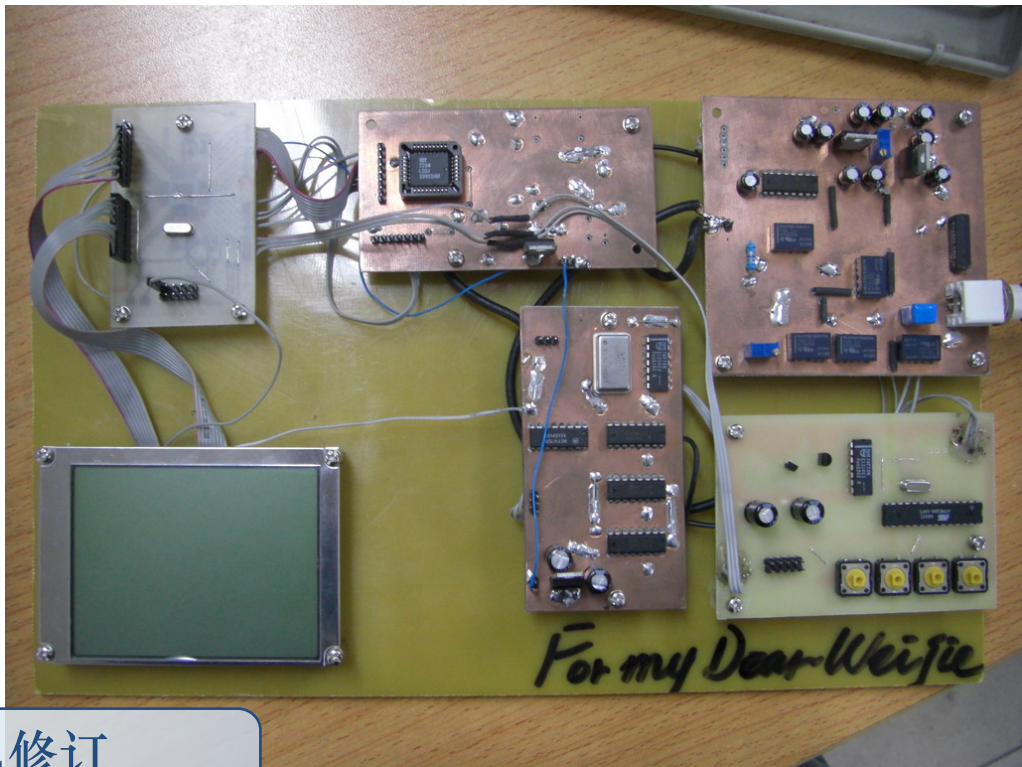


图23: 补偿正常

5. 对MCU1的振荡频率微调

这是这台示波器最后需要调整的电路了。MCU1承担着测量频率的任务，测频的原理

是数规定时间内脉冲的个数，所以这个“规定时间”就是测量频率的基准时间，它的准确性将直接影响频率测量的精度。测量频率的基准时钟由MCU1的晶体振荡器提供，所以在购买晶振时一定要选择质量好精度高的优等品，在装调好其他电路后还要对MCU1的晶体振荡器进行微调，具体办法是用一个频率精度比较高信号源（我使用的是一台DDS信号源）产生一个待测信号给示波器的输入端，调整合适的扫速和垂直灵敏度，在显示器上会显示出波形和频率值，频率值的最低位一般都是会有一点偏差的，这时微调MCU1电路中的C24，使示波器的显示频率值与信号发生器的输出频率值相等即可，为了保证调整的可靠性最好多用几个频率跨度比较大的值进行调整。



已修订  
09-01-07, 21:55

图24: 装好后的效果

写到这里，关于这款示波器的制作已经叙述完毕了，对于这个示波器的性能我并不满足，我还会做它的第二版、第三版，有什么进展我还是会毫不保留的与大家分享，我提一些简易，也许对大家自制示波器有用：如果本电路中所有集成电路全部用小型的贴片封装，时钟产生电路的那些通用数字芯片用一片CPLD代替，继电器换用宽带的模拟开关那么这个示波器所有的电路都能做到像LCD显示器那么大的一块双面板上，因为不用继电器所以更省电，整个电路装进一个合适的壳子中用两节锂电池供电不就成了示波表吗？通过修改程序还可以加入更多实用功能，比如用一个定时器做PWM输出控制LCD显示

器的背光亮度,通过扩展外部存储空间或换用具有更大容量RAM的单片机如Mega128等实现波形存储回放,或在对实时性要求不太高的情况下对采样的数据进行FFT运算近似分析频谱等。更多功能的实现有待与广大电子爱好者的共同努力,我的这个不太完善的作品只想给广大的电子爱好者们一个信心——示波器也是可以自己做的,希望不久的将来会有更加完善与更加廉价的DIY示波器作品的出现,使每个电子爱好者都能有一台实用的DIY示波器!

魏坤

2008 11 15