



学以致用电子技术综合设计

小飞机队

■ 队员：张 伟 李朝宇 高桂仟

目录

1

方案设计

Scheme design

2

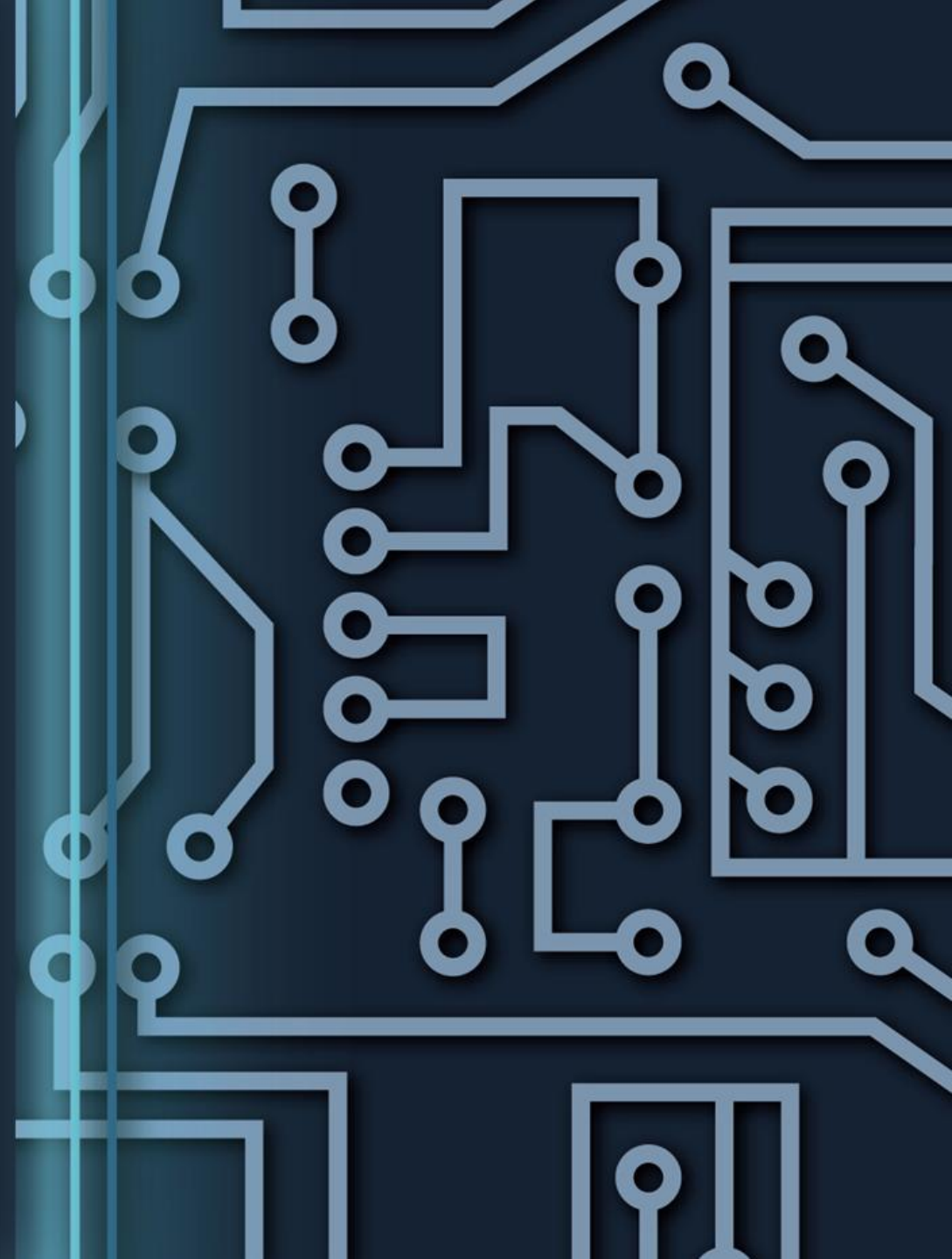
理论分析与计算

Theory Analysis and Calculation

3

电路与程序设计

Circuit and Program Design





01

方案设计

Scheme design



方案设计——精益求精

•Scheme design



方波发生模块的论证与选择

方案一：NE555构建多谐振荡器，经D触发器得50%占空比方波。

方案二：迟滞比较器+RC振荡电路生成方波，经跟随器、过零比较器及稳压管优化波形。

选择结果：综合考虑，选定方案二。



合成整形模块的论证与选择

方案一：谐波反向相加后整形得非标准方波。

方案二：在方案一基础上加稳压二极管，限幅整形得精确方波。

选择结果：为确保波形平整精确，选择方案二。



方波分解模块的论证与选择

方案一：74LH161等元件分频得多种频率方波，滤波后得基波与谐波。

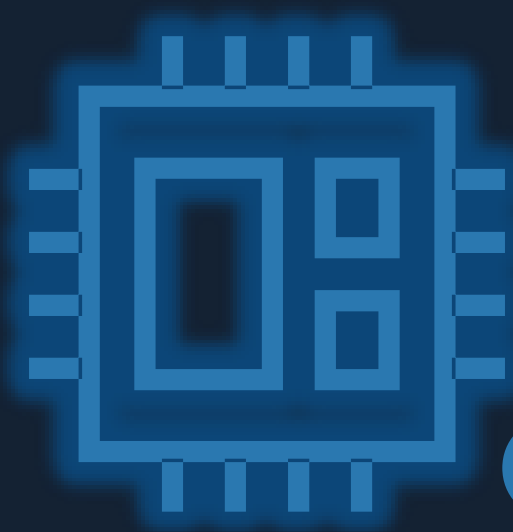
方案二：基频方波经滤波得基波、三次谐波、五次谐波，调整幅值与相位差。

选择结果：鉴于方案二更直接且能调整幅值与相位，故选择方案二。



李沙育图形显示模块的论证

方案一：基波输出接入示波器的通道二。三次谐波的放大输出接入移相器，使三次谐波与基波间的相位差为90度，之后把三次谐波输出接入示波器的通道一。示波器选择X/Y模式，得到左右对称的李沙育图形。





方案设计——精益求精

•Scheme design

方案一

直接通过ADC采样，将采集后的数组导入fft函数计算出相应的频率等参数并输出波形。

优点：代码简单，有现成的代码及函数库。

缺点：频率误差较大，特别是频率跨度比较大的时候。通过fft函数计算完成之后的波形与原波形相差很大。

经过实际测试发现与论证结论相符，频率误差较大

方案二

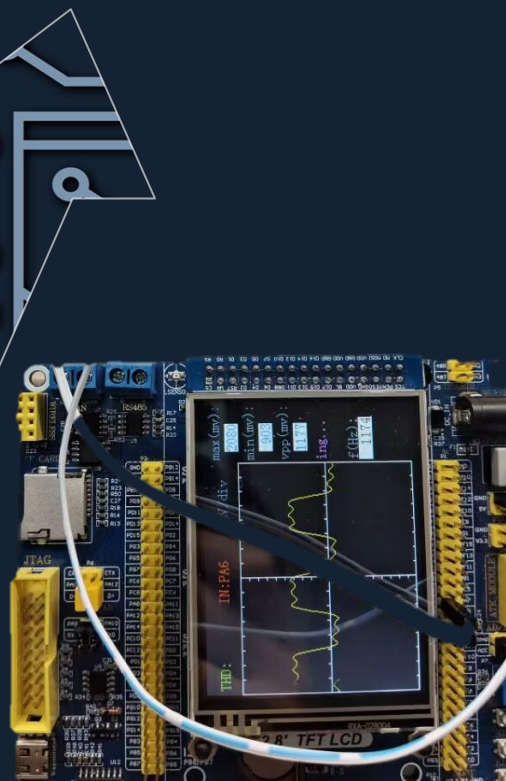
通过输入捕获测量频率，通过高采样率ADC获取波形并求出最大最小值。

缺点：代码复杂，几乎没有开源的现成的代码可用，学习成本较高，代码编写耗时较长。

优点：测量准确，误差小。且过程中可以通过增加定时器的采样率（时钟频率）以及同时增加单周期的采样次数，实现宽通频带、高分辨率的精确测量同时解决单周期采集波形相位差过小等问题。

我们计划采用一个计数器TIM2记录时间，通用定时器TIM4进行输入捕获，读取TIM2的CNT值作为value1和value3，通过取差值得周期和频率。

综合考虑上述两种方案，决定采用**方案二**



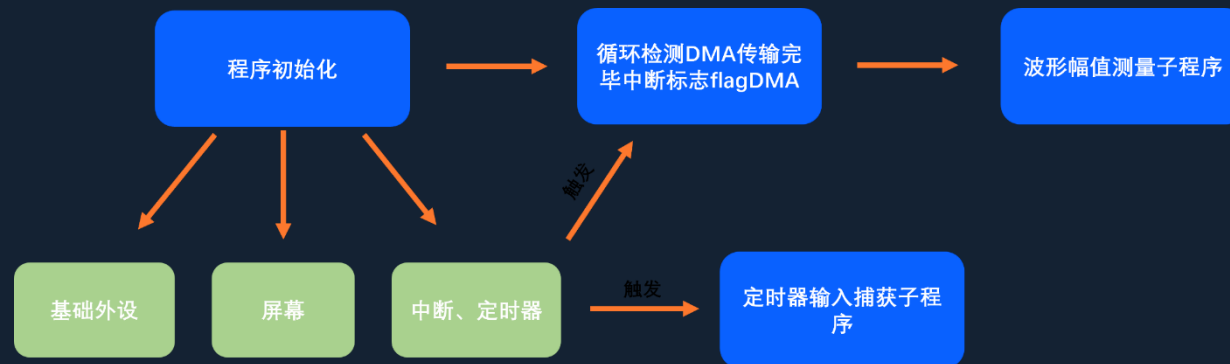
示波器检测模块的论证与选择



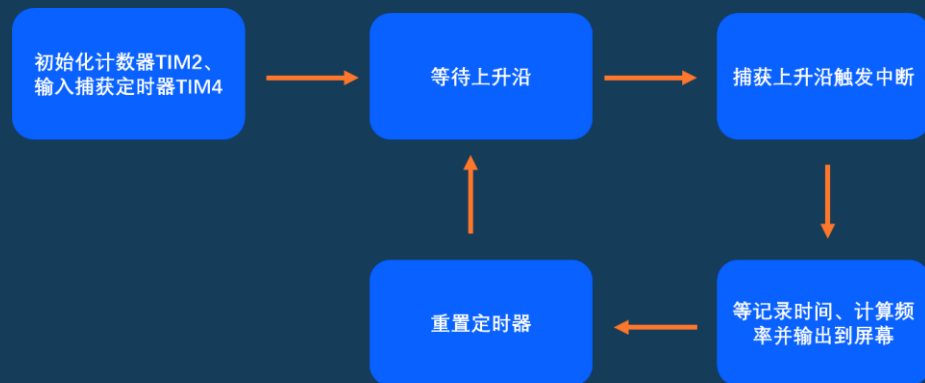
方案设计——优化程序设计

•Scheme design

主程序流程图



定时器输入捕获子程序流程图



波形幅值测量子程序流程图





02

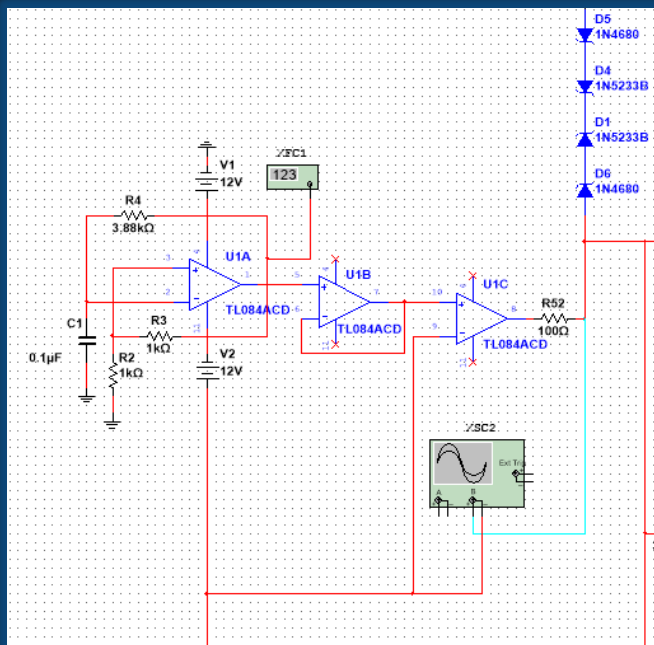
理论分析与计算

Theory Analysis and Calculation



理论分析与计算

Theory Analysis and Calculation

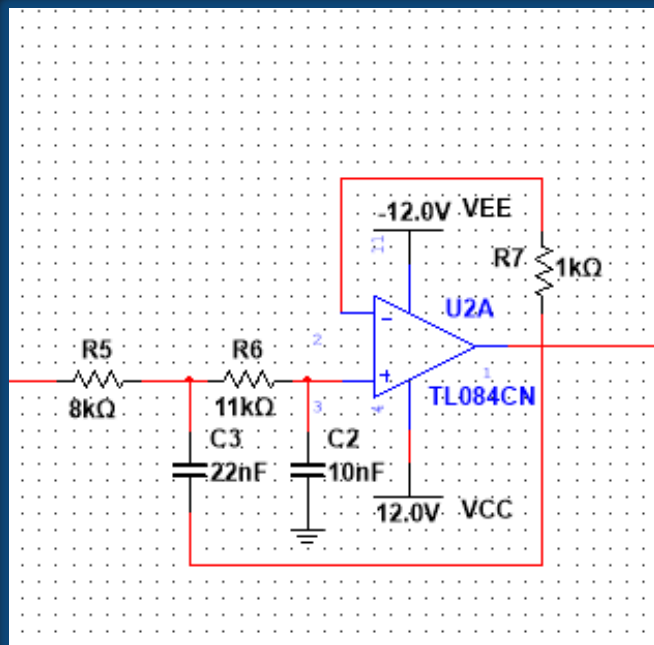


方波发生模块

参考正电压 $U_{t+} = R2U_m / (R2 + R3) = U_m / 2$,

参考负电压 $U_{t-} = -R2U_m / (R2 + R3) = -U_m / 2$ 。

在充放电电路上 $R = 3.88k$, $C = 100nF$,
故输出方波的频率为: $f = 1 / [2RC \ln(1 + 2R2 / R2)] = 1.173kHz$ 。



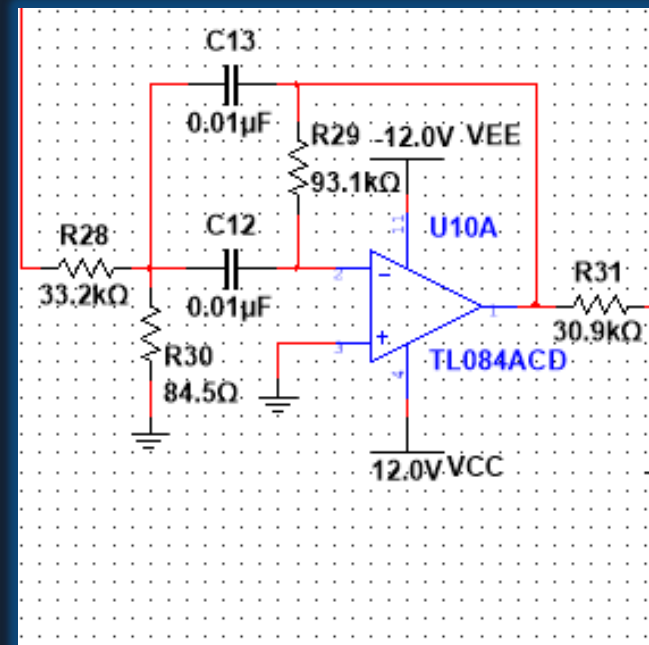
基波滤波

采用四阶压控有源低通滤波器

放大倍数 $A = 1$,

品质因数 $Q = 1 / (3 - A) = 1/2$,

截止频率 $f = 1.144kHz$ 。



三次与五次谐波滤波

三次谐波与五次谐波滤波采用四阶多反馈有源带通滤波器, 五次谐波滤波方案

与三次谐波相同,

中心频率 $f = 3307.28Hz$,

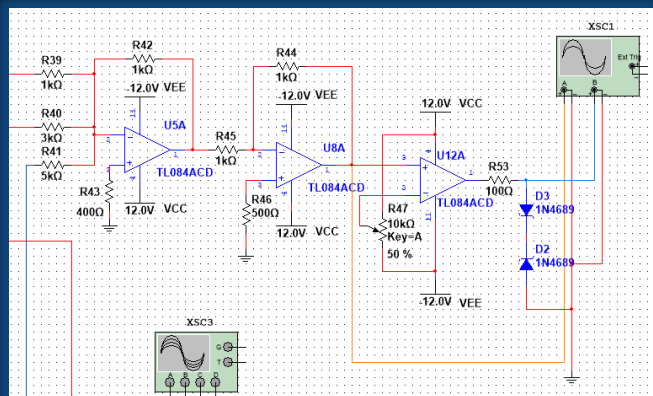
放大倍数 $A_{uo} = -R9 / (2R8) = -1.44$

品质因数 $Q = 9.90$ 。



理论分析与计算

• Theory Analysis and Calculation

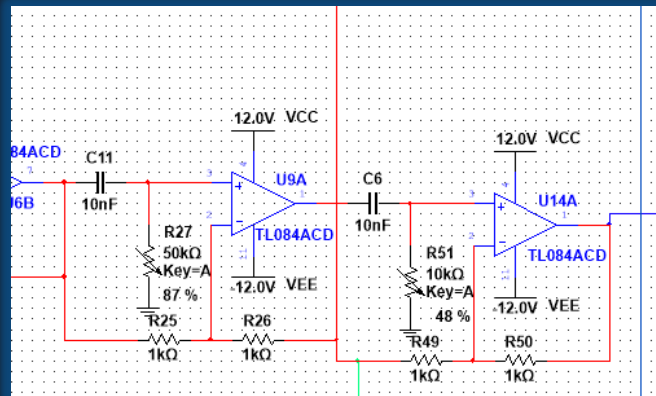


合成模块

由方波信号的傅里叶展开，加法器输出
与三端输入的关系应为：

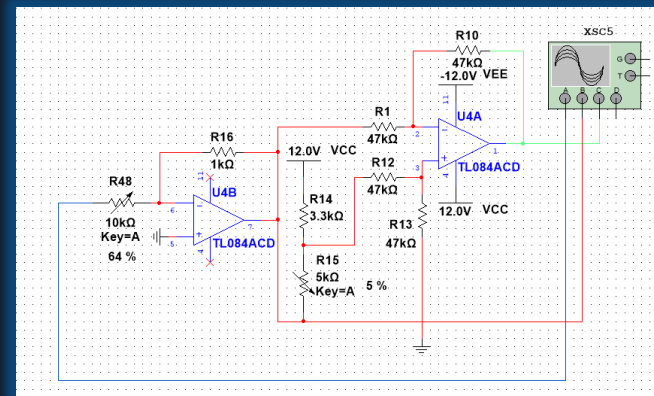
$$U_o = - (R_f U_{i1} / R_{39} + R_f U_{i2} / R_{40} + R_f U_{i3} / R_{41}) = - (U_{i1} + U_{i2} / 3 + U_{i3} / 5)$$

之后使用迟滞比较器与稳压二极管进行整形



李沙育图形

需要使示波器的X轴输入的信号频率为Y
轴输入端的信号频率的3倍。并且两信
号的相位差为90度。



缩放平移模块

为了将输出电压范围限制在单片机示波
器的输入电压范围内，需要将最终输出
的电压进行缩小和平移



03

电路与程序设计

Circuit and Program Design



电路与程序设计——电路模块化设计

•Circuit and Program Design

稳压整形模块

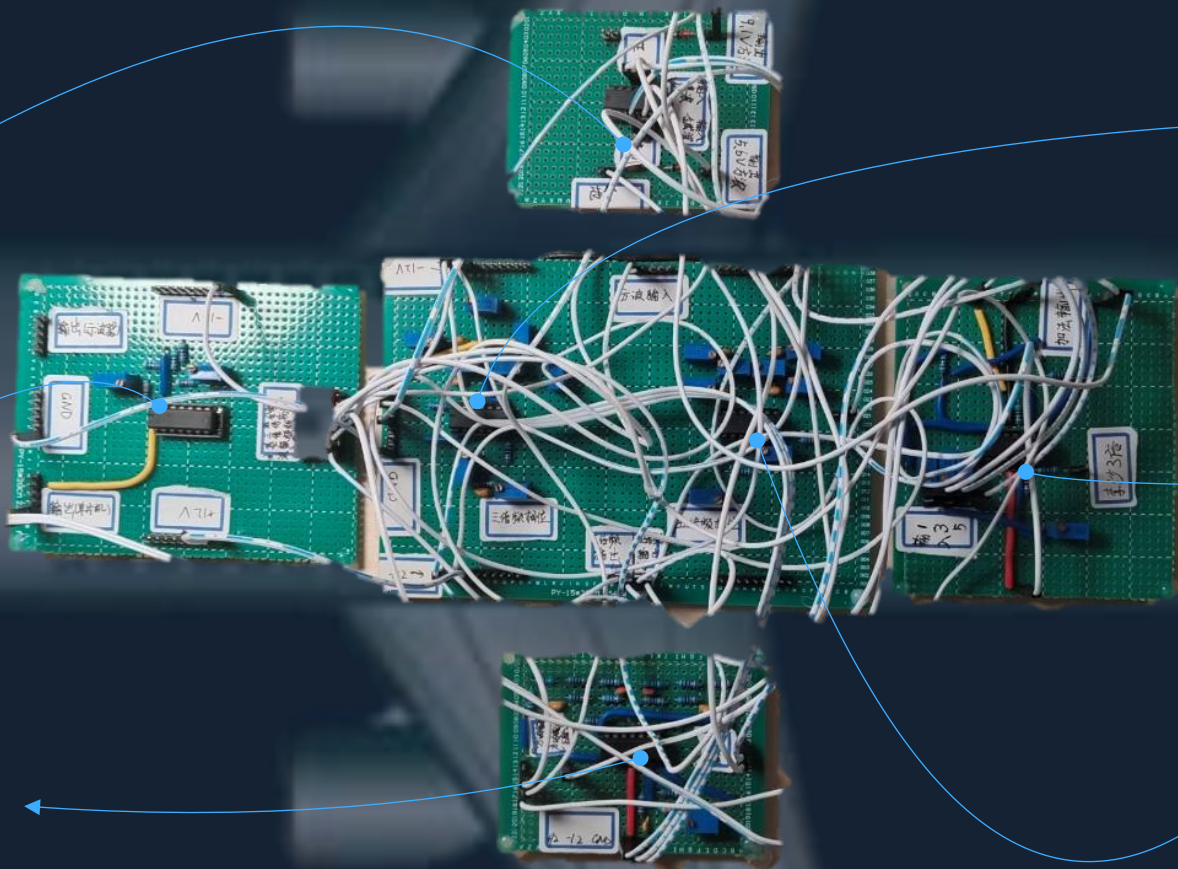
三次谐波模块

缩放平移模块

合成模块与李沙育图形模块

方波发生模块

五次谐波模块

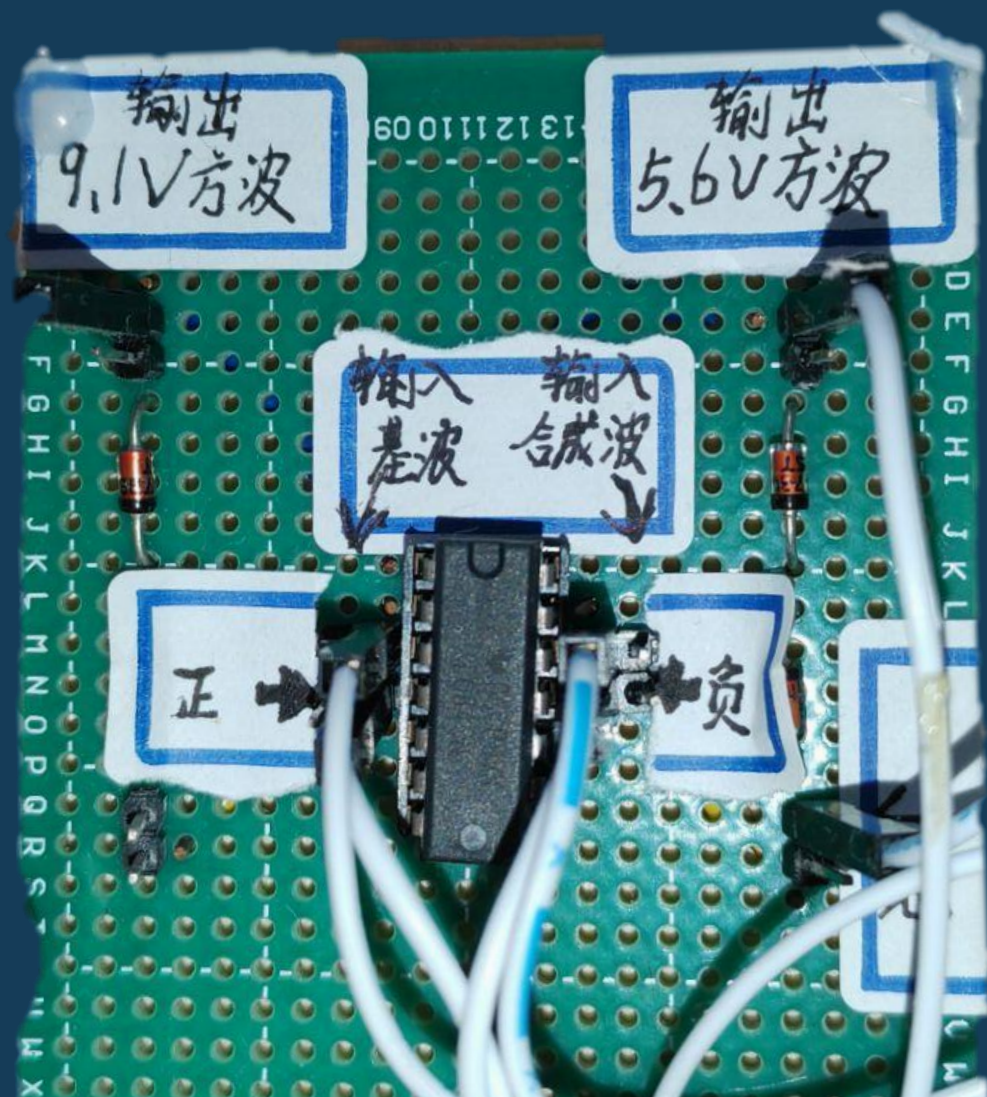
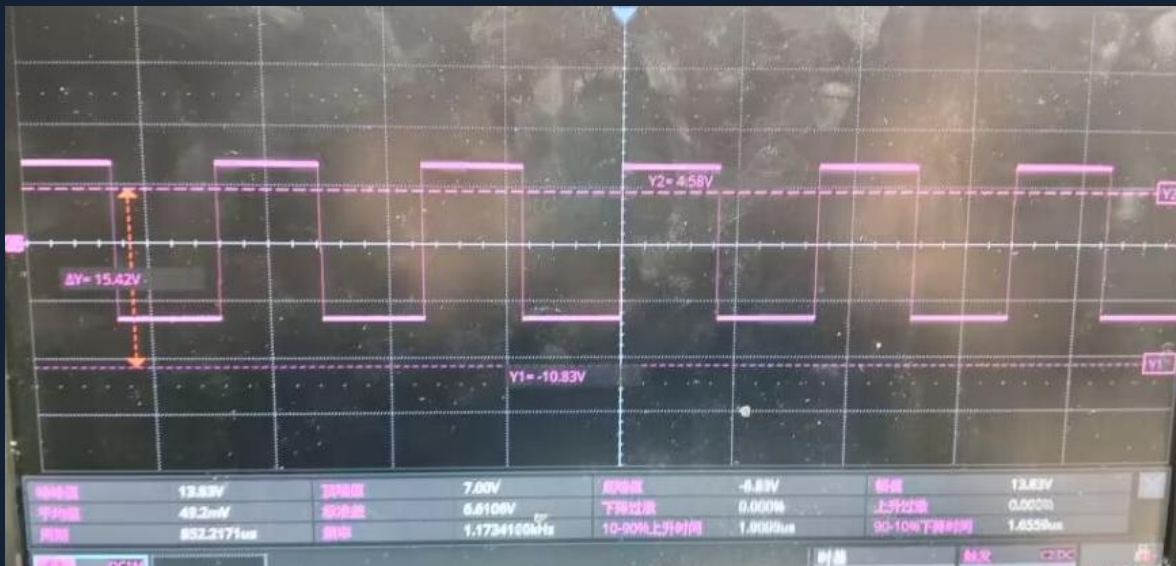
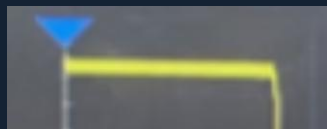
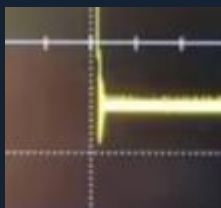




电路与程序设计——电路模块化设计

•Circuit and Program Design

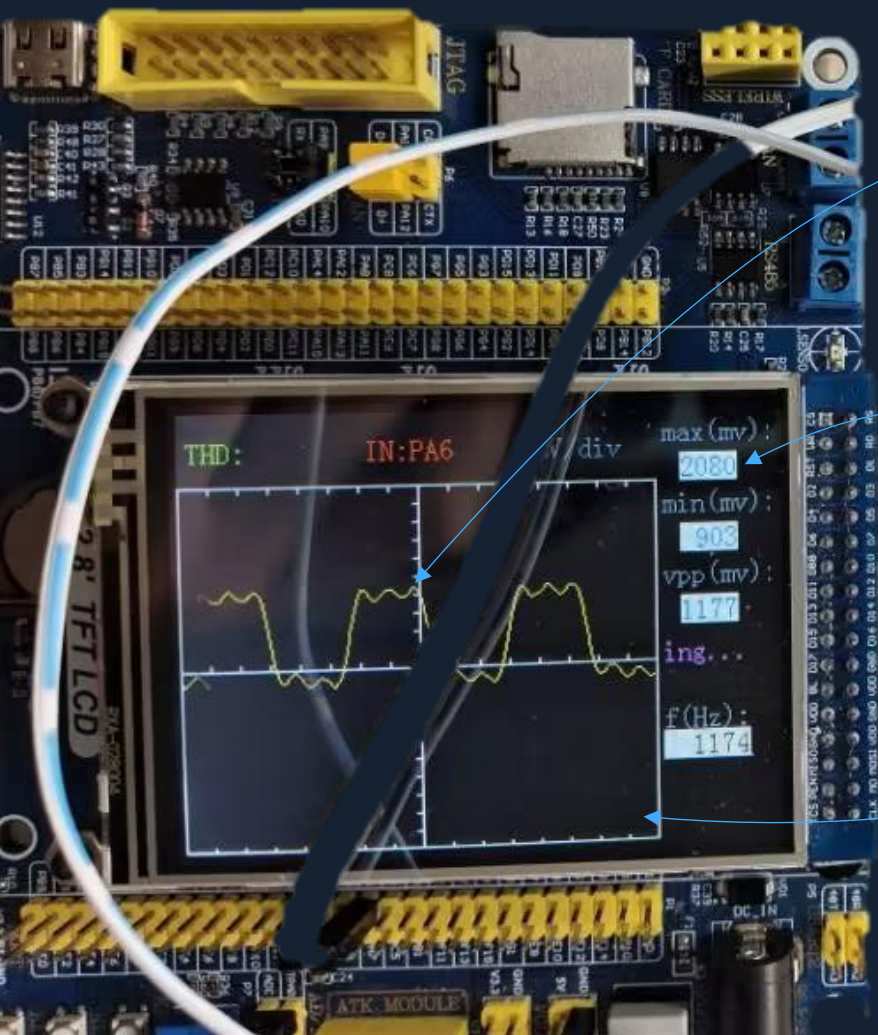
采用过零比较器加稳压二极管
对初始生成的方波进行整形





电路与程序设计

•Circuit and Program Design



波形呈现清晰准确

数值测量精确:

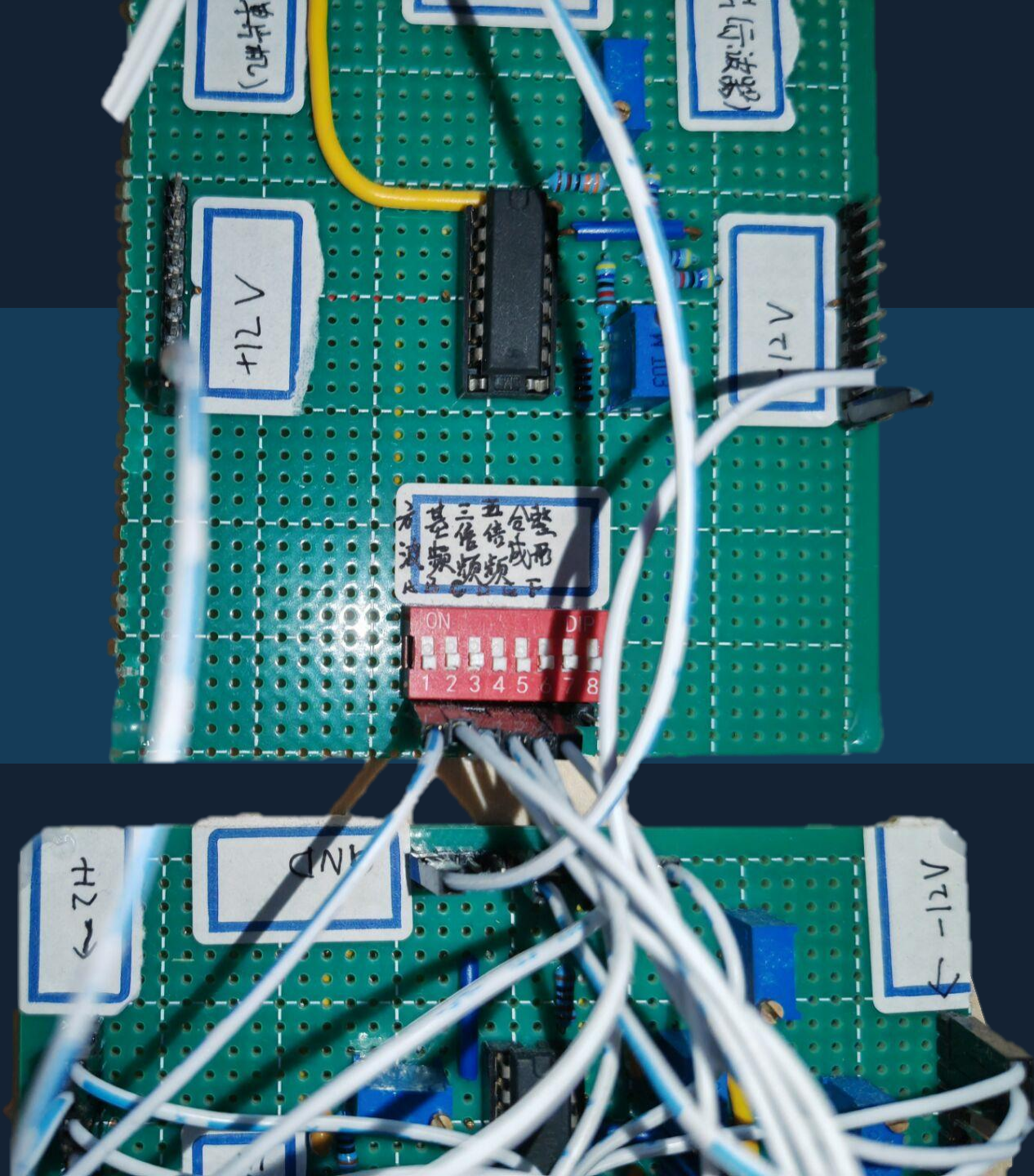
- 1.通过**输入捕获**测量频率，误差在2Hz以内
- 2.幅值误差在1%以内

自适应X轴设计：不用调整水平旋钮



采用拨码开关设计

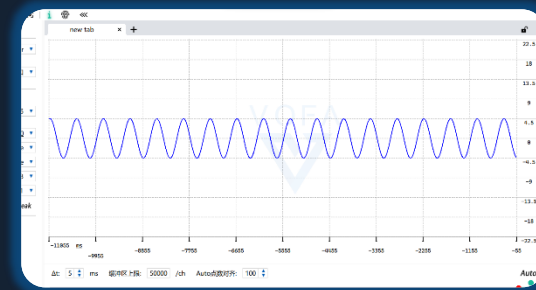
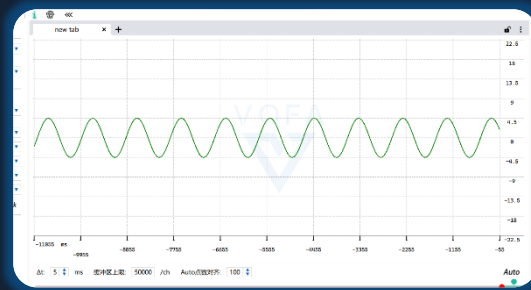
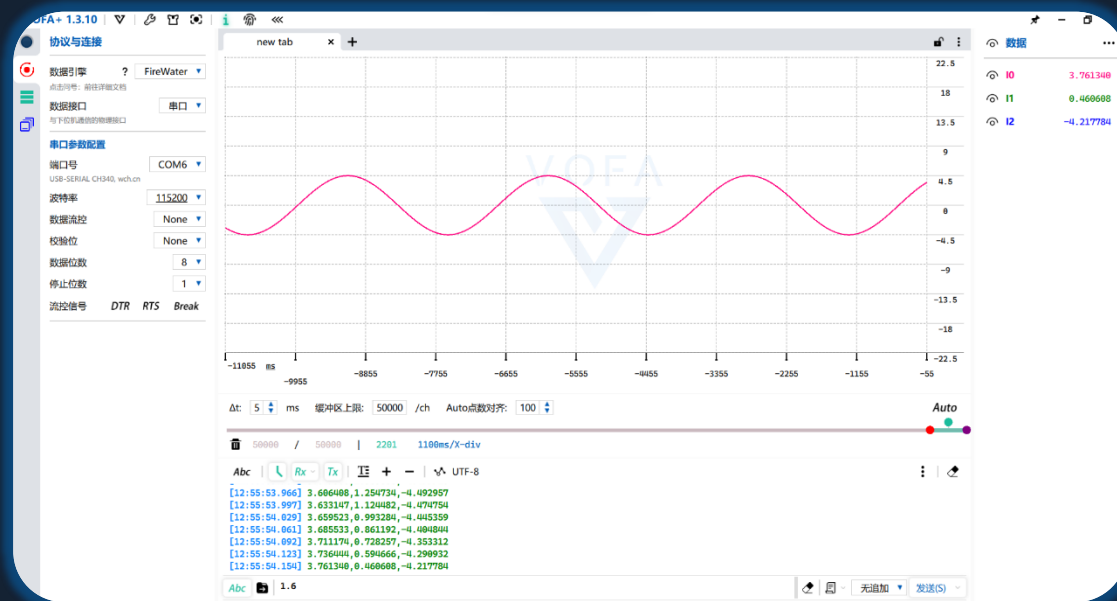
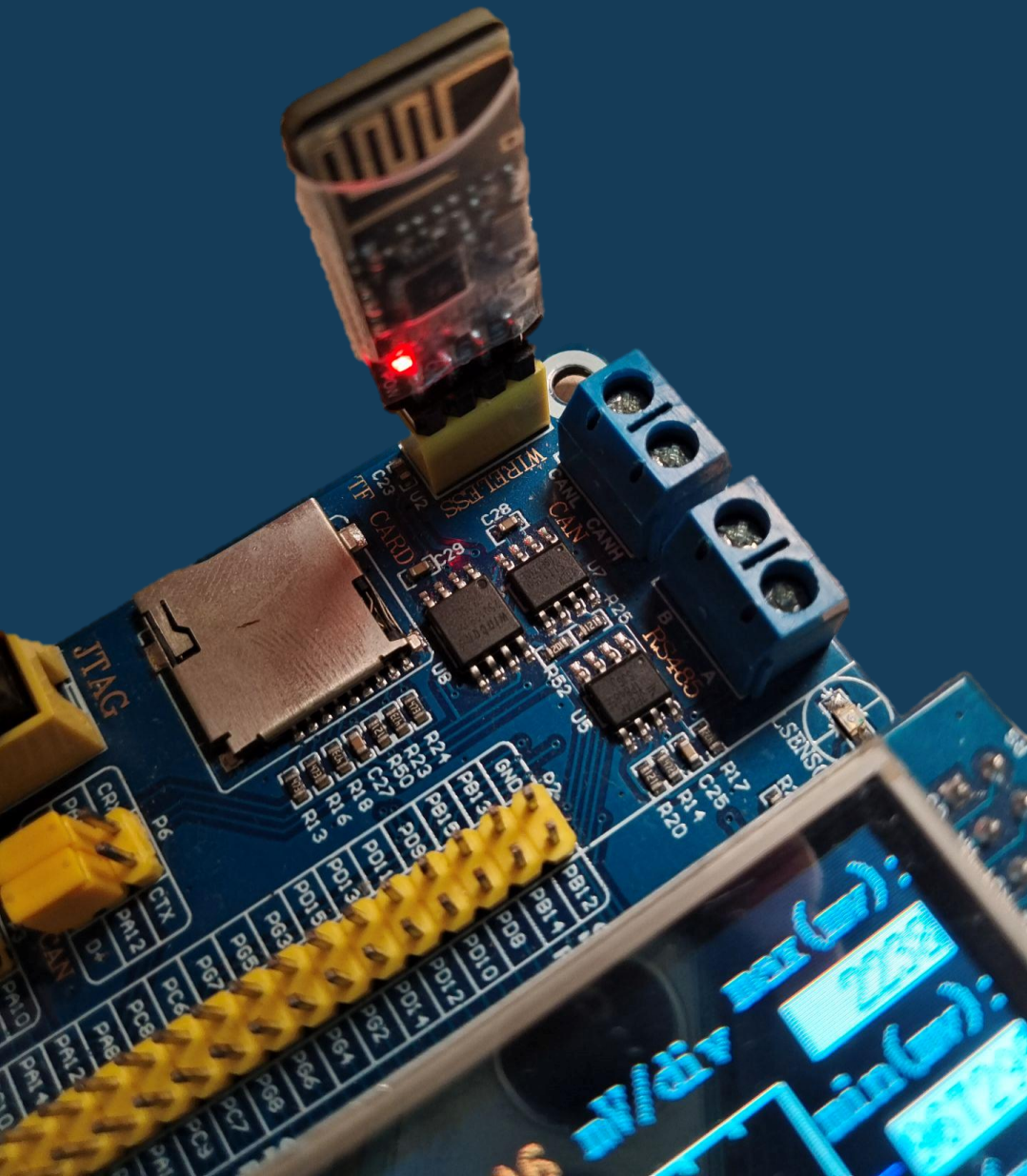
所有输出波形仅需波动开关即可、不需要不停接线测量





电路与程序设计

•Circuit and Program Design

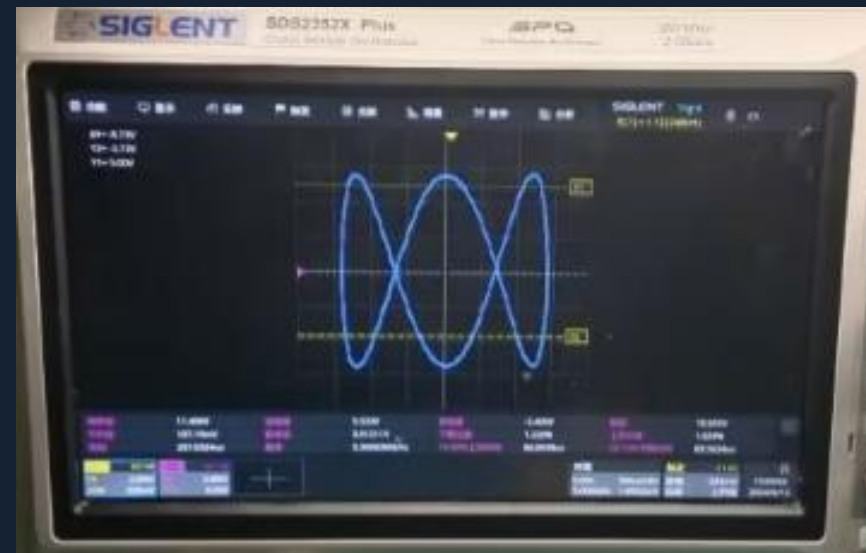
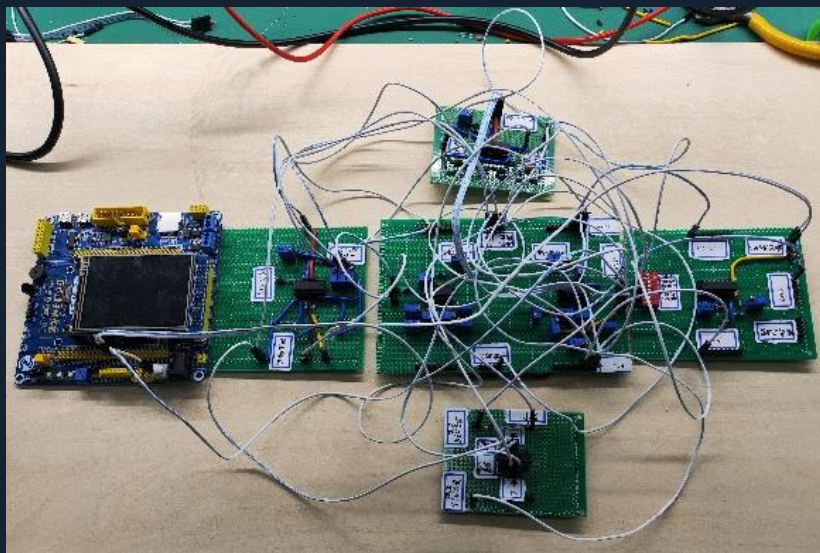


通过无线串口将单片机测量数据传输到电脑
用于电脑进行波形和数值分析



成品展示

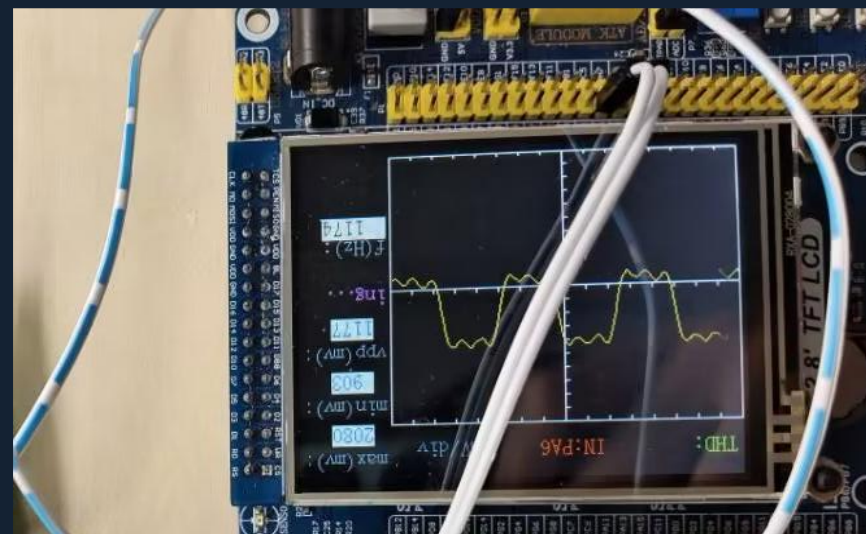
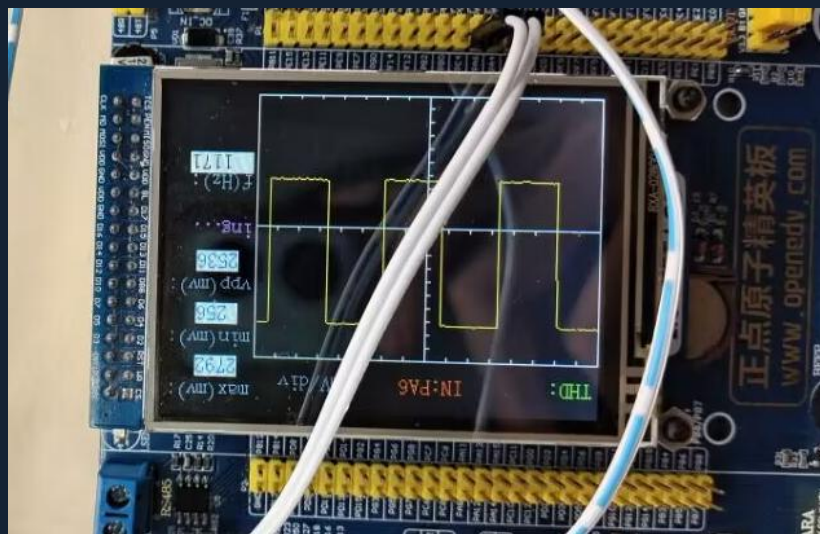
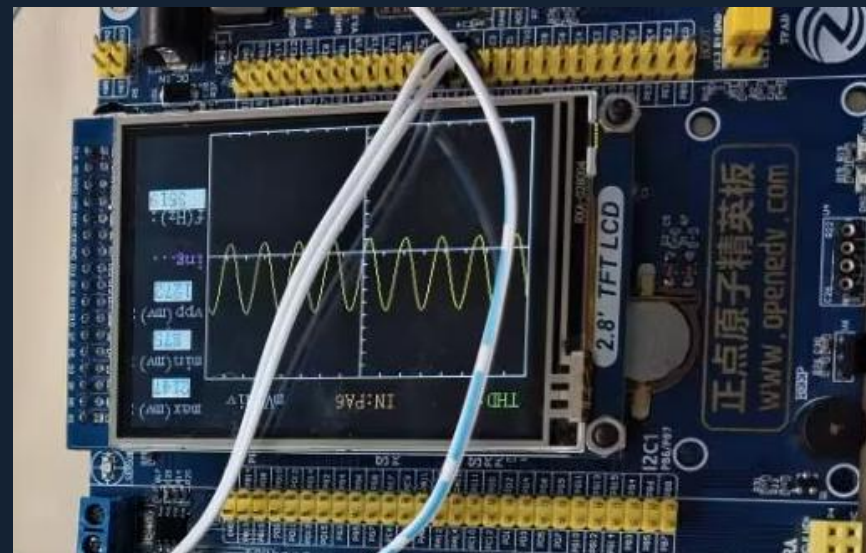
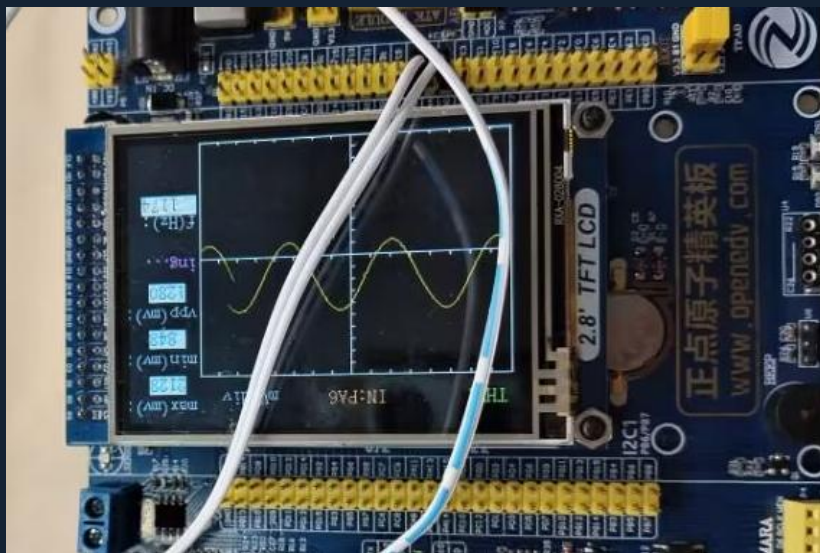
•display





成品展示

•display





谢谢

■ 队员：张 伟 李朝宇 高桂仟

◎ 请各位老师提问斧正

