

# 2022 年 TI 杯全国大学生电子设计竞赛

## 模拟电子系统设计专题邀请赛

042 组

### 一、题目要求

本题要求设计并实现李萨如图形语言是装置, 要求输入峰峰值 2V, 频率为 1.5kHz~2kHz 的正弦信号作为 x 轴信号; 进行幅度和频率变换后, 产生相应的 y 轴信号并在装置显示器上显示对应的李萨如图形。

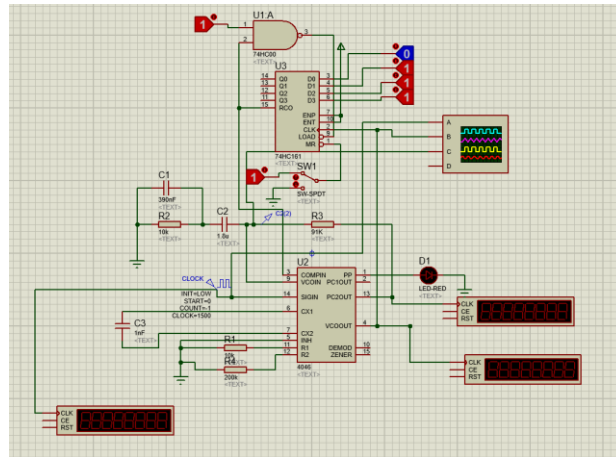
具体要求 y 轴信号频率在 1 到 5 倍以 1 倍步进程控可调, 频率误差绝对值不大于 100Hz; y 轴信号峰峰值 1V、2V 和 3V 程控可选, 幅度误差的绝对值不大于 0.1V; y 轴正弦信号可以转换为对应幅度和频率的三角波信号; 装置可以测量并显示 y 轴和 x 轴的初始相位差, 测量误差绝对值不大于 5°; 可以在装置显示器上显示李萨如图形。

### 二、实现方案

本装置使用 5V 单电源供电。正弦信号输入后整形为 1 倍频方波, 通过锁相环和计数器结合程控实现 2~5 倍频, 通过 2 选 1 模拟开关实现 1~5 倍频的程控切换; 将倍频后的方波信号进行适当的衰减和偏置后输入积分器得到三角波信号, 该信号将输出到 4 选 1 模拟开关的一个通道; 之后将三角波信号输入至 3 组低通滤波器, 分别产生 1 倍频、2 和 3 倍频、4 和 5 倍频的正弦信号; 3 路信号输入至 4 选 1 模拟开关的其余 3 个通道; 4 选 1 模拟开关通过程序控制, 实现不同倍频的输出和三角波的输出。再次对输出的信号进行合理的偏置后, 经过一级包含数字电位器的程控增益放大和一级固定增益放大, 最后加之一级跟随得到变换后的 y 信号。将 x 信号和 y 信号输入至 MSP432 单片机的 ADC 进行采样, 通过矩阵键盘进行控制, 对数据进行处理和计算后, 绘制李萨如图形并显示初始相位差。

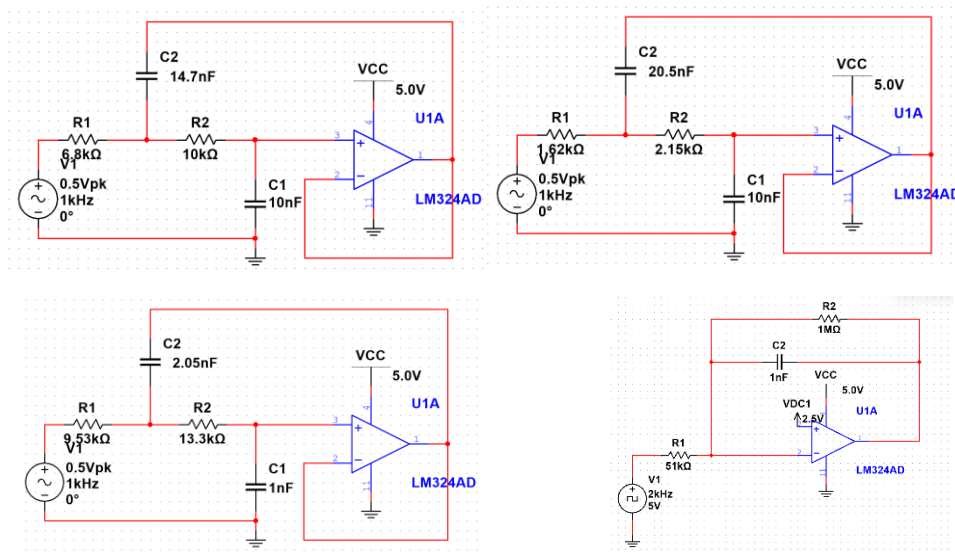
#### ① 程控倍频电路

通过比较器 74HC161 将正弦信号和参考电压进行比较, 得到方波。CD4046 锁相环和 74HC161 计数器产生倍频信号, 计数器在计数到 15 时将 RCO 信号置 1, 从而能够让 CD4046 鉴频, 调整自身振荡信号, 计数器为 16 进制, 理论上可以产生 2~32 倍频的信号; 而因为计数器初始值为 15 时对应频率为单倍, 但是因为在计数为 15 时需要重新装载初始值, 使得 RCO 一直为 1, 无法得到对应频率, 故通过模拟开关 LM339 进行切换单倍频和多倍频。初始值通过单片机 IO 进行控制, 一共需要 3 个 IO (对应倍频数为 1、2、4) 以及一个模拟开关切换 IO。另外还使用了三极管 C9013 进行整形。



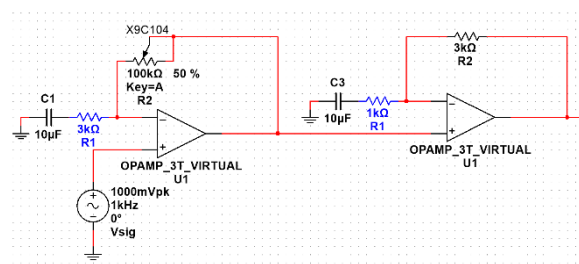
## ① 积分电路及低通滤波电路

积分电路由电阻分压产生 2.5V 的参考电压，将方波信号衰减并加合适偏置后输入得到三角波信号。由于三角波信号只有奇数次谐波，所以根据基础频率和倍频频率可以只使用 3 组低通滤波器（1 倍频，2 和 3 倍频，4 和 5 倍频）。



## ② 程控增益电路

程控增益电路则是由一级含有数字电位器的程控增益模块和一级固定增益模块组成，将偏置好的信号输入，通过矩阵键盘即可控制增益。



### ③ 软件实现逻辑

软件部分依托于 MSP432E401Y 实现，主要负责与矩阵键盘、液晶屏的交互，控制计数器和模拟开关以及数字电位器芯片等器件，并进行 AD 采样以及数据的后续处理。

通过串口与矩阵键盘通信，监听串口中断以确定按键并实现不同的功能，包括倍频调控、赋值控制和波形选择等等。

液晶屏通过 SPI 协议与单片机通信，拥有较好的实时性，可以显示李萨如图和相位差。

模拟开关器件需要单片机给出高低电平控制选通通道。

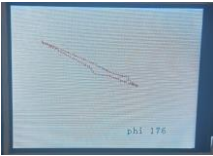
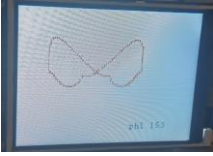
AD 采样后，对采样所得数组作 fft，得到信号基频，通过基频与 AD 采样所得的波形数据可以计算出信号相位差。

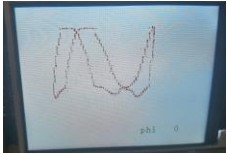
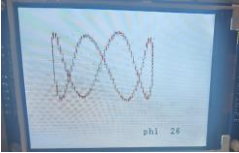

### 三、测试方法

- ① 设置好信号源输出信号 X，正弦波，频率 2kHz，峰峰值 2V；
- ② 口袋实验室的示波器 A 通道接 X 信号，B 通道接 Y 信号；
- ③ 设置 Y 信号输出正弦波，在 1V 峰峰值，频率 1、2、3、4、5 倍频；
- ④ 设置 Y 信号输出正弦波，在 3 倍频时峰峰值 1V、2V、3V；
- ⑤ 设置 Y 信号输出三角波，在 5 倍频时峰峰值 1V、2V、3V；
- ⑥ 在 Y 输出 3、5 倍频能够准确测量 X、Y 两个信号的相位差，对比作品显示值及示波器测量值；
- ⑦ 分别在 Y 信号 1、2、3、4、5 倍频时，用示波器观察李萨如图形；
- ⑧ 在 Y 信号 3 倍频时观察改变 Y 信号电压对李萨如图形的变化。

### 四、测试结果

输入正弦信号的频率为 2.0kHz 时，得到测量结果如下：

倍频数	X/Y 通道 频率	实测 1V 时 峰峰值	实测 1V 时 相位	显示 1V 时 相位	实测 2V 时 峰峰值	实测 3V 时 峰峰值	李萨如图 (3V 时)
1	2.0k	0.95V	174°	171°	1.96V	3.04V	
2	4.1k	1.05V	147°	150°	2.04V	3.00V	

3	6.1k	1.02V	8.6°	4°	2.04V	2.98V	
4	8.1k	1.02V	20.2°	26°	1.98V	3.02V	
5	10.2k	1.02V	24.48°	30°	1.98V	2.96V	
3 (三角波)	6.1k	0.98V	/	/	2.03V	3.00V	/

通过上述数据可知，该装置可以实现李萨如图形的显示；可以通过程控调节一路的幅度和频率信息形成不同的李萨如图形，同时可以通过计算得到当前两路波形的初始相位差。除了正弦波略有失真外，可以较好实现本题所交给的任务。