

李萨如图形演示装置

1、摘要

本系统以 TI 的 MSP432E401Y 单片机为控制核心，结合比较器、锁相环、积分器、滤波器、ADC 驱动电路等，设计并实现了李萨如图形演示装置。本系统利用比较器将输入的正弦波转化为方波送入锁相环，锁相环与计数器结合可得到占空比为 50% 的倍频信号，倍频信号为压控振荡器输出的方波，通过低通滤波器转化为正弦波，另一路则通过积分器转化为三角波，幅度调节由数字电位器分压实现。经实际测试，本系统实现对输入频率为 1.5kHz~2kHz 的正弦信号倍频，得到相应频率的正弦波、三角波、方波，输出正弦波、三角波幅度可编程调节，在此基础上可计算两正弦信号相位差并绘制李萨如图形。

2、电路设计和原理电路

2.1 系统总体方案

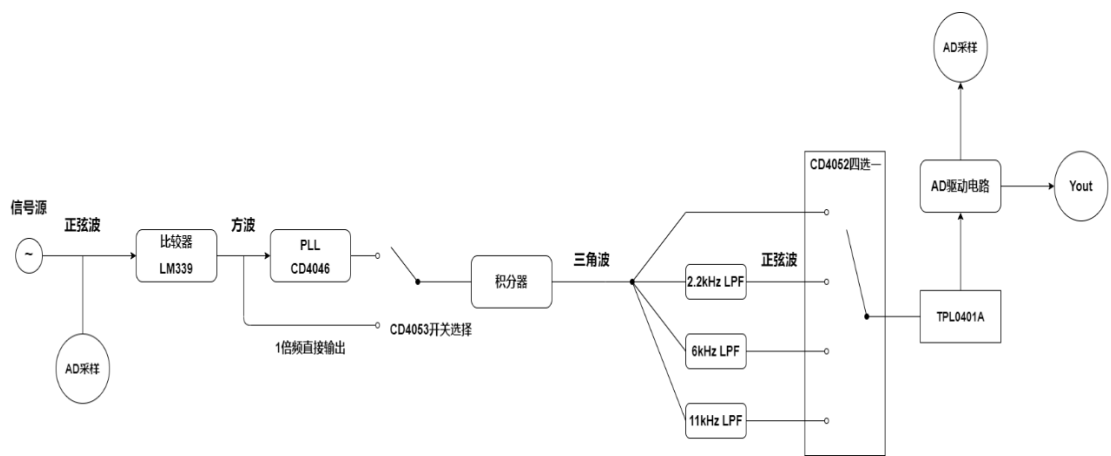


图 2-1-1 李萨如图系统框图

系统输入 2V 峰峰值的正弦波，通过比较器 LM339 转化为同频方波，方波通过锁相环 CD4046 倍频 1~5 倍，输出方波通过积分器转化为三角波，滤除三角波高频分量后得到正弦信号，后续幅度调控使用数字电位器 TPL0401A 分压实现，分压后通过 ADC 驱动电路完成信号放大及电平搬移，输出信号由单片机采集并控制信号输出幅度。

2.2 倍频程控装置

装置主体采用计数器 SN74HC161N、锁相环 CD4046、数字电位器 TPL0401A、比较器 LM339 和运放 OP07 实现。

第一步，将正弦信号经过比较器 LM339 转换为同频率的方波信号 U_i 。
第二步，将方波信号 U_i 作为锁相环的输入信号，锁相环内部的参考分频器对信号进行分频，得到的信号经滤波后再由压控振荡器输出为方波信号 U_d 。将该方波信号作为计数器的时钟 CLK，设置计数器的预置数值可以控制计数器的分频比，从而得到 U_d 的分频信号 U_o 。将 U_o 输入鉴相器，鉴相器对 U_o 和 U_d 进行比较，从而得到有固定分频比的方波信号 U_o 。电路图如图 2-1-1 所示。

变化，后续幅度调节范围较宽。为保证正弦信号不失真，本系统采用对三角波滤波的方案，后续幅度调节通过数字电位器及放大器实现。

2.4 幅度程控设置

由于要进行程控放大/衰减，需要使用数字电位器：TPL0401 或 X9C104，X9C104 的优点是输出范围为-5V~+5V，且内部结构更接近电位器，但缺点是阻值需步进调节，变化速度慢；TPL0401 由 IIC 协议配置，虽然只能输出 0~5V 范围的信号，但调节速度更快、更清晰，可随时设置分压比，在进行分压前只需将信号直流偏置到 2.5V 即可充分使用该芯片。因此本系统采用 TPL0401 数字电位器进行分压。

通过闭环反馈的方式对输出幅度进行控制：单片机采样 Vo3，得到其峰峰值。将其与设定的峰峰值比较，通过调节分压电路中可变电阻值来实现想要的增益，可变电阻器使用数字电位器 TPL0401A 实现。

3、软件设计与流程图

本装置软件的核心作用有控制计时器的预置数值实现程控倍频设置、调节数字电位器 TPL0401A 实现程控增益设置、人机交互，单片机采用 TI 公司的 MSP432E401Y。

3.1 程控倍频设置

本装置通过控制计数器 SN74HC161N 的预置数值来实现倍频控制。预置数值利用 MSP432 的 GPIO 口输出高低电平控制。

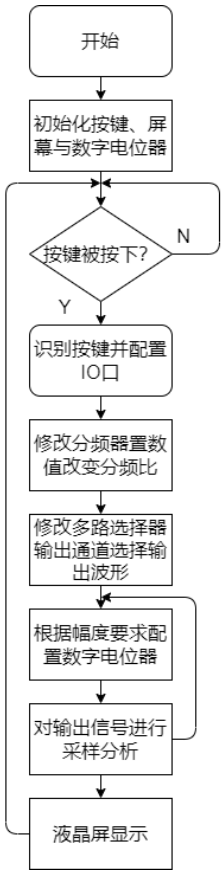
3.2 程控增益设置

本装置通过数字电位器 TPL0401A 的分压调节实现增益控制。首先由 MSP432 的片上 ADC 对正弦信号进行采样，得到正弦信号的峰峰值。将其与程序设定的值进行比较，计算得到滑动变阻器滑头端和低电平端的阻值，将该数值转化并通过 IIC 总线与 TPL0401A 进行交互，设定相应阻值从而实现分压比的改变。

3.3 李萨如图显示

李萨如图形是指在相互垂直的方向上两个频率成简单整数倍的简谐振动所形成的稳定的闭合曲线，可用于测量两个信号的频率比与相位差。李萨如图 x 方向截得最大点数和 y 方向所截得最大点数之比即为 x 方向简谐振动频率与 y 方向振动频率的反比；x 方向最大距离即为 x 方向振幅的两倍，y 方向最大距离即为 y 方向振幅的两倍。利用以上两个特性可以检测 y 方向的峰峰值和频率。

利用 MSP432 的片上 ADC 同时对 x、y 信号进行采样，并将采样得到后的数值转换后以 (x,y)坐标的形式打印在液晶屏上，即可以得到李萨如图形。



4、测试方案与测试结果

(1) 输入信号 2Vpp, 2kHz, 输出 1Vpp 正弦波

频率倍数	Y 轴信号理论频率	Y 轴信号实测频率	Y 轴信号实测峰峰值
1	2kHz	2kHz	1.13V
2	4kHz	4kHz	1.05V
3	6kHz	6.1kHz	1.05V
4	8kHz	8.1kHz	1.04V
5	10kHz	10.1kHz	1.02V

(2) 输入信号 2Vpp, 2kHz, 输出 3 倍频 正弦波

频率倍数	Y 轴信号设定峰峰值	Y 轴信号实测频率	Y 轴信号实测峰峰值
3	1V	6.1kHz	1.04V
3	2V	6.1kHz	2.02V
3	3V	6.1kHz	3.03V

(3) 输入信号 2Vpp, 2kHz, 输出 5 倍频, 三角波

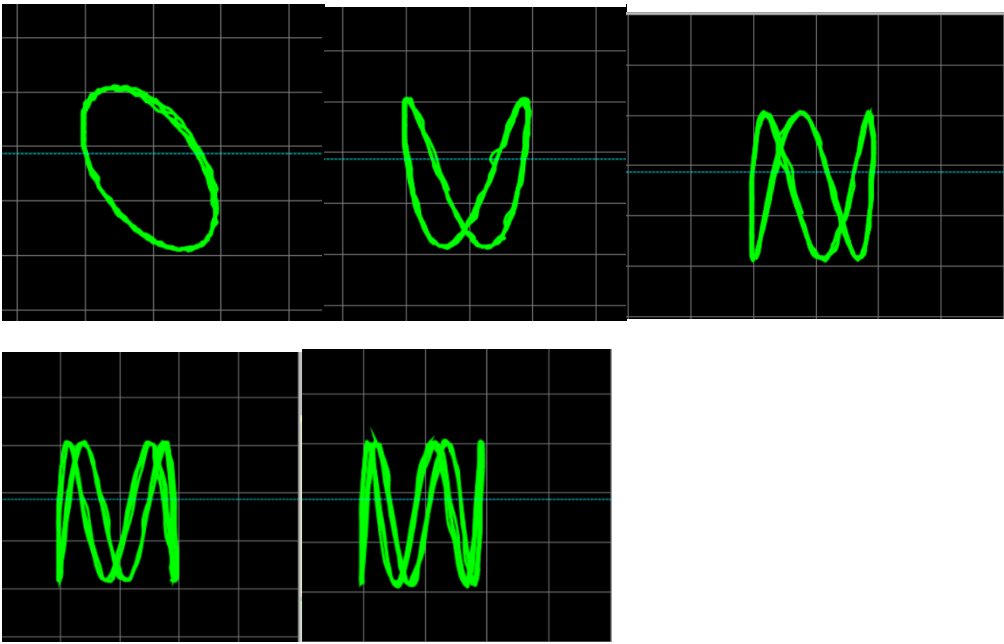
Y 轴信号峰峰值	实测三角波峰峰值	实测三角波频率
1V	1.01V	10.1kHz
2V	1.99V	10.1kHz
3V	2.96V	10.1kHz

(4) x 轴信号与 y 轴信号相位差计算测试

相位差测量误差较大, 未能完成完整测试

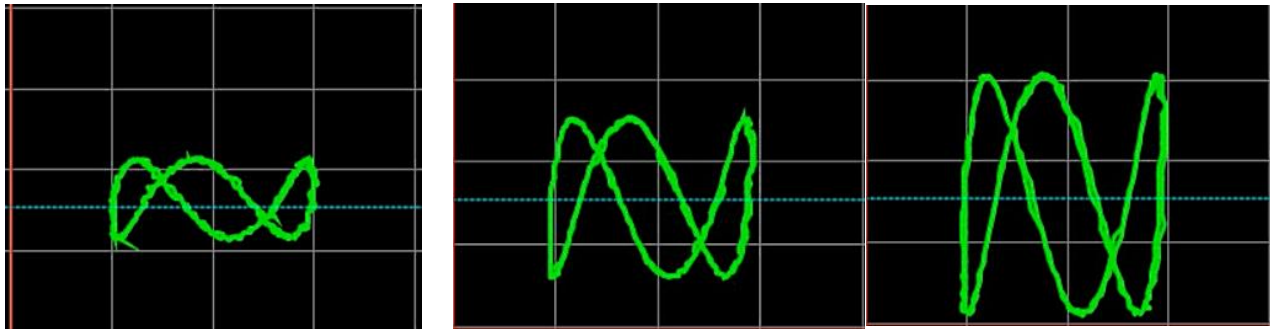
(5)李萨如图形展示 (x 信号频率为 2kHz)

下图依次为分频比等于 1、2、3、4、5 的李萨如图形。



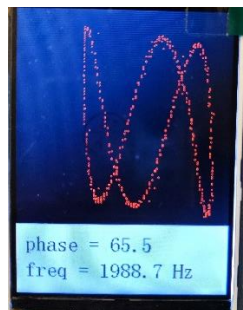
观察示波器显示的李萨如图形, 从 x 方向可以截得最大点数与 y 轴方向可以截得最大点数之比依次为 1、2、3、4、5, 与理论分析结果相符。

下图依次为信号幅度等于 1V、2V、3V 的李萨如图形。



观察显示的李萨如图形, y 方向宽度随幅度增大而增大, x 基本不变, 与理论分析结果相符。

显示屏显示分频比为 3 的李萨如图形如下:



显示屏显示的李萨如图形与示波器显示的一致。