

基于 STC15F2K60S2 单片机波形发生器设计

郭占苗

(西安航空职业技术学院电子工程学院 西安 710089)

摘要:采用 STC15F2K60S2 单片机控制具有 I²C 总线结构的 PCF8591 数模转换器,产生正弦波、方波和三角波 3 种信号波形,通过按键 K1 切换波形,K2 实现频率的增大,K3 调节频率的减小,最终输出幅值为 5 V 可调频率的所需波形,并在液晶显示不同波形的波形名称和频率。同时,用 Proteus 软件对波形发生器进行仿真模拟,实验结果表明,仿真与实际制作电路的结果基本一致。该波形发生器操作方便,运行稳定可靠,输出波形可以满足教学和电子测量的要求。

关键词:波形发生器;STC15F2K60S2 单片机;PCF8591DAC;E²PROM;调频;I²C 通信协议

中图分类号: TN710 **文献标识码:** B **国家标准学科分类代码:** 460.4020

Design of waveform generator based on STC15F2K60S2 MCU

Guo Zhanmiao

(Institute of Electronic Engineering, Xi'an Aeronautical Polytechnic Institute, Xi'an 710089, China)

Abstract: With I²C bus structure, PCF8591 Digital-to-analog converters controlled by STC15F2K60S2 single chip micro-computer, generating sine wave, square wave and triangular wave. Through switch K1, it could change waveform. It could also increase and decrease of the frequency with switch K2 and K3. Finally, it outputs 5 V adjustable frequency, and the frequencies and names could reveal on liquid crystal display in different waveforms. And, by using software of Proteus to simulate waveform generator, it find that actual production circuit are basically identical. This kind of waveform generator is easy to handle, which operation is stable and reliable and its output waveform can meet the requirements of teaching and the electronic measurement.

Keywords: waveform generator; STC15F2K60S2 MCU; PCF8591DAC; E² PROM; frequency adjustment; I²C communication protocols

1 引言

波形发生器作为一种常用的电子仪器,能够为电子测量提供符合一定技术要求的电信号,广泛应用于科学研究、电类专业课程教学、测量控制及通讯等领域。传统的波形发生器一般由硬件电路搭接而成,产生的波形质量差、控制难、可调范围小、电路复杂且工作不稳定^[1],本设计则采用 STC15F2K60S2 单片机和 PCF8591 数模转换器制作成数字低频信号发生器,具有价格低、性能高、在低频范围内稳定性好、操作方便、体积小、耗电少,易于扩展和编程等优点^[2]。可作为电子电路和电子设备的激励信号,提供电路所需的波形。

2 系统硬件电路设计

系统硬件电路设计的 MCU 采用 STC15F2K60S2 单片机,是单时钟机器周期的单片机,指令代码完全兼容传统的 8051,但是速度快 7~12 倍。内部集成高精度 R/C 时钟,具有可编程时钟输出功能,内部时钟在 5 MHz~35 MHz 范围内可设置,不需要外部的晶振电路和复位电路^[3]。波形发生器电路设计中,STC15F2K60S2 单片机的 P 2.0 和 P2.1 口分别与 AT24C02 的 SCK 和 SDA 以及 PCF8591DAC 的 SCL 和 SDA 相连接进行 I²C 通信,PCF8591DAC 的 15 脚(AOUT)作为波形信号输出口,通过示波器可以测试输出波形和频率,AT24C02E2PROM 具有掉电不丢失数据的记忆功能,用来存储数据,即下次开机时仍显示上次波形的参数,LCD1602 用来显示波形

收稿日期:2017-03

名称和输出频率,接到单片机的 P0 口,按下相应按键切换显示的波形和频率,变化的参数均可在示波器和液晶上显示^[4],原理如图 1 所示。

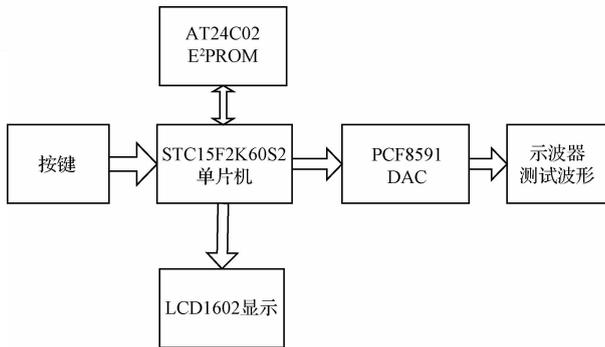


图 1 波形发生器原理

3 系统软件设计

波形发生器的软件设计主要由按键电路、LCD1602 液晶显示电路、PCF8591 构成的 I²C 总线电路及 AT24C02E²PROM 电路组成。

3.1 主函数设计

程序主函数先要从 AT24C02 中读取数据,开机显示上次波形的参数,再检测是否有按键按下,如果有按键按下则关闭定时器 T0 中断,按下 k1 波形切换,按下 k2 增加频率,按下 k3 频率减小^[5],其中,正弦波和三角波的频率调节范围 10 Hz~146 Hz,频率调节步进为 10 Hz,共 14 档;方波的频率可调范围 500 Hz~3.5 kHz,通过按键可改变频率值,频率步进为 500 Hz,共 7 档^[6]。主函数主要代码如下:

```
void main()
{ a1 = read_eeprom(0x00); //从 AT24C02 地址
0x00 中读取数据
  a = a1&.0x0f;
  b = (a1&.0xf0)>>4;
  lcd_init(); // 初始化 LCD1602
  bx_switch(); //波形选择
  bx_adj(); //波形调节
  zd_init(); //中断初始化
  TR0=1; //中断开启
  while(1)
  { aa = read_key(); //读取按键值
    if(aa != 0xff)
    { TR0=0; //关闭中断
      if(aa == 1) //波形切换
      { a++;
        if(a == 4)
        a = 1;
        b = 0;

```

```
bx_switch(); //波形选择
  }
  if(aa == 2) //频率加
  { if(! s_flag) //显示正弦波和三角波数据
    { if(b == 13)
      b = 12;
      b++; }
    if(s_flag) //显示矩形波数据
    { if(b == 6)
      b = 5;
      b++; }
    bx_adj();
    if(aa == 3)//频率减
    { if(b == 0)
      b = 1;
      b--;
      bx_adj();
      a2 = (b<<4)|a;
      write_eeprom(0x00,a2); TR0=1; } } }

```

主函数调用 LCD1602 初始化程序,波形选择函数,波形调节函数和中断初始化函数,进入定时器 T0 中断函数,分别给三角波和正弦波赋初值,按照正弦波和三角波波表输出波形^[7],方波则只有高低电平两种,正弦波和三角波根据时间参数选取一定数据建立正弦波和三角波波表,将波形取 52 个点存放在数组里。

3.2 I²C 总线与 E²PROM

3.2.1 I²C 通信

I²C 总线是由时钟总线 SCL 和数据总线 SDA 两条线构成,连接到总线上的所有器件的 SCL 都连到一起,所有 SDA 都连到一起。AT24C02 的⑤脚和 PCF8591 的⑨脚 SDA 信号接到单片机转换后芯片的第 22 脚(P2.1),同理 AT24C02 的⑥脚和 PCF8591 的⑩脚 SCL 信号接到单片机转换后芯片的第 21 脚(P2.0)。由于 I²C 总线是开漏并联的结构,因此外部要接 11 kΩ 上拉电阻,组成“线与”关系^[8]。I²C 通信分为起始信号、数据传输部分和停止信号。起始信号是 SCL 为高电平期间,SDA 产生一个下降沿,函数如下:

```
void i2c_start(void)
{ sda = 1;
  scl = 1;
  i2c_delay(DELAY_TIME);
  sda = 0;
  i2c_delay(DELAY_TIME);
  scl = 0;
}

```

同理,可编写停止信号函数,即 SCL 为高电平期间,SDA 产生一个上升沿,表示信号结束;数据传输函数,I²C

通信是高位在前低位在后,包括 I²C 发送和接收一个字节函数,8 位数据位后面有一个应答位,发送应答信号为“0”,发送非应答信号 SDA 为“1”^[9]。I²C 发送一个字节数据代码如下:

```
void i2c_sendbyte(unsigned char byt)
{
    unsigned char i;
    EA = 0;
    for(i=0; i<8; i++){
        scl = 0;
        i2c_delay(DELAY_TIME);
        if(byt & 0x80){
            sda = 1;
        }
        else{ sda = 0;}
        i2c_delay(DELAY_TIME);
        scl = 1;
        byt <<= 1;
        i2c_delay(DELAY_TIME);
    }
    EA = 1;
    scl = 0; }

```

3.2.2 E²PROM 函数设计

在波形发生器设计中,由于保存在单片机 RAM 中的数据掉电后丢失,保存在单片机 FLASH 中数据又不能随意改变,为使波形和频率值的数据掉电后不丢失,使用 AT24C02 器件来保存数据,AT24C02 是一个基于 I²C 通信协议的器件,E²PROM 头文件里主要包含 E²PROM 读写数据函数^[10],E²PROM 写数据函数如下:

```
void write_eeprom(unsigned char add,unsigned char val)
{
    i2c_start(); //I2C 起始信号
    i2c_sendbyte(0xa0); //寻址器件,后续为写操作
    i2c_waitack();
    i2c_sendbyte(add); //写入存储地址
    i2c_waitack();
    i2c_sendbyte(val); //写入一个字节数据
        i2c_waitack();
        i2c_stop();
    operate_delay(10);}

```

同理可编写读数据函数,读数据流程按照 I²C 起始信号(读写方向选择“写”操作),发送读取数据地址,重新发送 I²C 起始信号和器件地址以及读取发回数据流程编写。

3.3 数模转换函数设计

由于单片机输出的是数字信号,要得到模拟信号的波形就必须对其进行数模换。采用 PCF8591 数模转换器,

该芯片是一个单电源低功耗的逐次逼近型的 ADC,具有 8 位 CMOS 数据采集器件,有 4 路模拟输入,1 路模拟输出和一个串行 I²C 总线接口用来与单片机通信^[11]。PCF8591 的通信接口是 I²C,单片机对 PCF8591 进行初始化,一共发送 3 个字节即可。第 1 个字节是器件地址字节,发送的第 2 个字节用于控制 PCF8591,被存储在控制寄存器;发送给 PCF8591 的第 3 个字节 D/A 数据寄存器,表示 D/A 输出的电压值^[12]。PCF8591 函数主要程序代码如下:

```
void dac_pcf8591(unsigned char dat)
{
    i2c_start();
    i2c_sendbyte(0x90); //寻址 PCF8591
    i2c_waitack();
    i2c_sendbyte(0x40); //写入控制字节,产生模拟电压输出功能
    i2c_waitack();
    i2c_sendbyte(dat); //写入 D/A 值
    i2c_waitack();
    i2c_stop();
}

```

PCF8591 数模转换函数包含前面编写的 I²C 头文件里面的程序,开头用语句 #include "i2c.h" 实现。由于不同函数进行分模块设计,为使程序易于维护和提高可移植性,将不同模块都编写了头文件,为防止头文件的重复包含和变量函数的重复申明,在每个头文件中都进行了条件编译^[13],以 PCF8591 头文件为例,用语句“#ifndef __PCF8591DA__H_ #define __PCF8591DA__H_ …… #endif”编写,其他头文件雷同。

4 仿真与调试

用 proteus 软件绘制系统原理图,并接入虚拟仪器示波器,便于观察波形和测量输出信号的频率。在 keil 软件下编写程序并生成 HEX 文件装载到单片机中进行仿真,电路首先输出正弦波,通过按 K1 键,可以观察到信号按正弦波→三角波→方波→正弦波的模式切换^[14]。按 K2 和 K3 键,信号频率发生相应变化,其中正弦波和三角波的频率范围为 10~146 Hz,方波频率的可调范围为 500 Hz~3.5 kHz。仿真如图 2 所示。

由于在电路制作时使用的是 STC15F2K60S2 转 STC89C52RC 转接板,所以在编写程序和仿真时按照 STC89C52RC 芯片进行编程和仿真,实际运行时,STC15F2K60S2 单片机运行速度更快^[15]。实物电路调试时,PCF8591 数模转换器⑩脚输出波形通过示波器显示输出的波形,接示波器探头,输出正弦波如图 3 所示,也可输出三角波和方波。

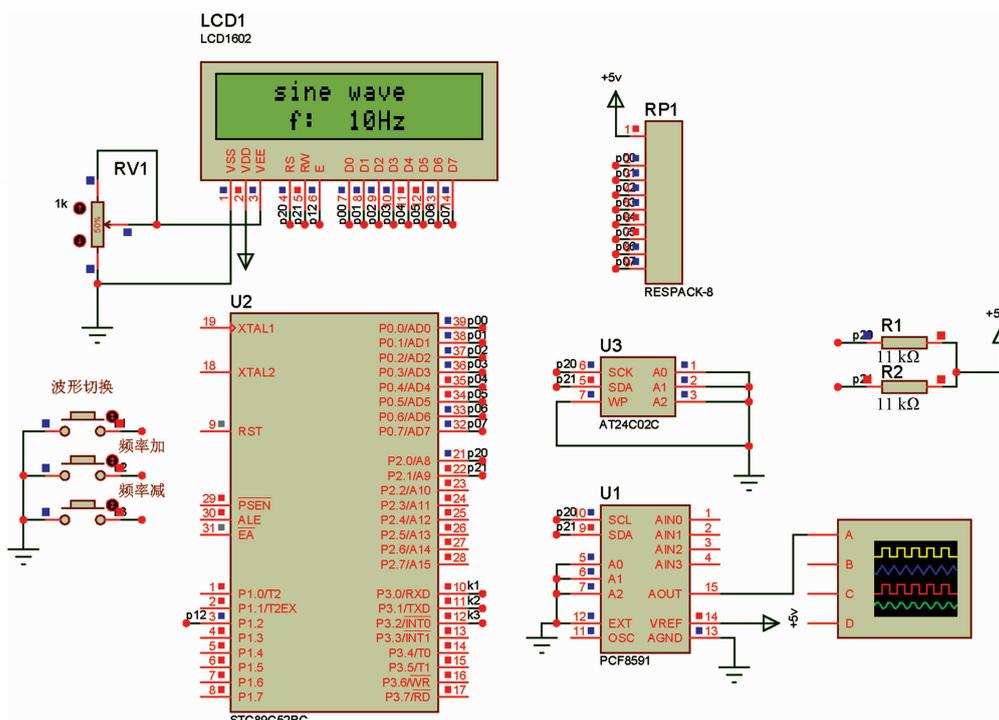


图2 波形发生器仿真

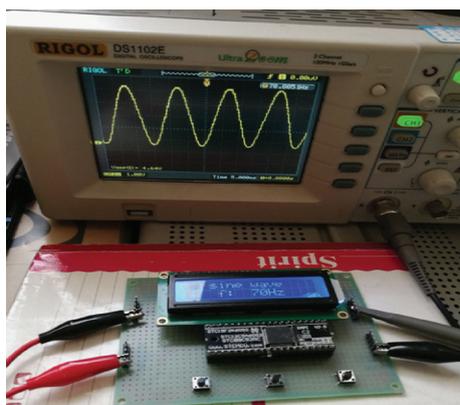


图3 正弦波输出

5 结论

以 STC15F2K60S2 单片机为主控制器,控制具有 I²C 总线的 PCF8591 DAC 和 AT24C02 电路组成的简易低频信号发生器,具有电路简单,操作方便,成本低廉等特点,能够输出正弦波、三角波和方波 3 种波形信号,且信号频率可以调节,最终由 LCD 显示其参数^[16]。焊接成实物后进行测试实验,与仿真调试结果基本相符,系统工作稳定可靠,可以作为低频信号源使用,广泛用于科学研究和生产实践中。

参考文献

[1] 柴西林,刘远聪,车玮.基于 STC89C52 的低频信号发

生器设计[J].自动化与仪器仪表,2016(3):11-14.

- [2] 杨世江.F 型混合剩余电流信号发生器的仿真与设计[J].电器与能效管理技术,2017(1):53-57.
- [3] 陈冠元,陈泽宗.可变频的任意波形发生器设计[J].科学技术与工程,2017(1):236-239.
- [4] 于萌,王超.基于单片机的函数信号发生器系统设计[J].电子制作,2015(24):13.
- [5] 乔建华,孙少飞,邢彩荣,等.基于 proteus 的波形发生器设计[J].太原科技大学学报,2014,35(2):81-85.
- [6] 付豪,周彬彬,喻伟闯,等.基于 FPGA 的 4 路信号发生器的设计[J].湖北民族学院学报:自然科学版,2016,34(2):203-206.
- [7] 刘荣章.正弦信号发生器的设计与研制[J].电子制作,2016(3):16-17.
- [8] 周春梅,周永强.信号发生器的模拟通道设计与研究[J].通讯世界,2017,(6):278-279.
- [9] 王猛,刘谦,孙文浩.多波形数字信号发生器的研究及实现[J].枣庄学院学报,2017(3):45-53.
- [10] 孙浩,刘刚.数字式相控触发信号发生器设计与实现[J].实验技术与管理,2016,33(3):90-95.
- [11] 冯淦.基于 ARM 的任意波形生成技术研究[J].信息通信,2017(1):67-68.
- [12] 查国翔,马勇,王聪.基于 FPGA 的 PWM 波形发生器的设计[J].煤炭工程,2016,48(8):135-140.
- [13] 周细凤,胡晓冬,何小敏.虚拟任意波形发生器和示波器的设计与实现[J].湖南工程学院学报:自然科学版,2016,26(1):19-24.

- [14] 黄毓芯. 基于 FPGA 的函数信号发生器的实现[J]. 装备制造技术, 2017(2): 155-158.
- [15] 何妙妙, 朱磊. 一种基于 FPGA 的高斯白噪声信号发生器[J]. 信息通信, 2016(10): 41-42.
- [16] 贺军义, 蒋坚, 李男男. 基于 FPGA 的 DDS 信号发生器设计[J]. 计算机测量与控制, 2017, 25(2): 231-237.

作者简介

郭占苗, 1981 年出生, 讲师, 硕士, 主要研究方向为单片机与应用技术。
E-mail: gzm126com@126.com

(上接第 70 页)

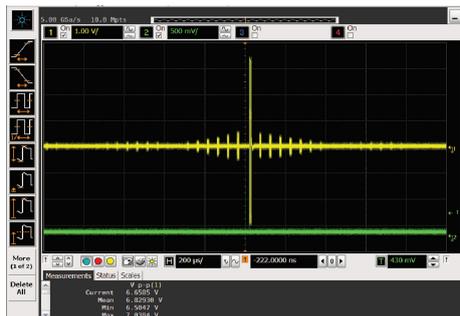


图 5 圆周扫描信号

5 结 论

通过对雷达天线方向图和雷达天线扫描方式分别进行建模, 并根据雷达方程推导公式进行雷达发射信号算法的设计; 以算法为基础开发的雷达信号模拟软件与矢量信号发生器组成雷达信号模拟器; 通过示波器测试证明了信号具有天线扫描特性, 可满足导引头测试的需求。但算法中仅考虑了导引头在雷达径向方向上的直线运动, 复杂的曲线运动为下一步研究的重点

参 考 文 献

- [1] 姚淑媛, 邓磊, 马亮, 等. 全极化雷达导引头抗干扰技术[J]. 制导与引信, 2016, 37(3): 1-7.
- [2] 吴斌, 赵爱东. 空空导弹电磁干扰模拟系统的研究[J]. 电子信息对抗技术, 2009, 24(3): 56-57.
- [3] 金朝, 刘洪亮, 刘道伟. 电子防控作战中雷达对抗目标威胁分析与评估[J]. 火力与指挥控制, 2015, 40(5): 108-111.
- [4] 郭金良, 李晓燕, 祝小鹰. 雷达对抗仿真推演系统的组件化设计与实现[J]. 火力与指挥控制, 2015, 40(1): 126-130.

- [5] 任明秋, 严革新, 朱勇, 等. 复杂电磁环境下雷达抗干扰性能测试方法研究[J]. 仪器仪表学报, 2016, 37(6): 1277-1282.
- [6] 陈伟民, 李存龙. 基于微波雷达的位移/距离测试技术[J]. 电子测量与仪器学报, 2015, 29(9): 1251-1265.
- [7] 雷宇. 基于虚拟仪器的雷达信号模拟软件的设计与实现[D]. 西安: 西安电子科技大学, 2014.
- [8] 谭信. 捷变频雷达信号处理与仿真[J]. 舰船电子对抗, 2011, 34(2): 82-85.
- [9] 李程, 王伟, 施龙飞, 等. 雷达天线扫描方式的自动识别方法[J]. 国防科技大学学报, 2014, 36(3): 156-163.
- [10] 谢雪康, 杨晓蓉. 一种雷达模拟信号的产生方法[J]. 电子信息对抗, 2009, 24(3): 56-61.
- [11] 张坤峰, 罗杰. 雷达目标回波模拟研究与实现[J]. 舰船电子对抗, 2012, 35(3): 81-84.
- [12] 顾荣军, 郭福成, 曾永虎, 等. 软件复用技术在雷达模拟训练系统开发中的应用[J]. 电子科技大学, 2010, 23(11): 8-10.
- [13] 薄志峰. 基于 LabWindows/CVI 的电动机自动化测试系统设计[J]. 国外电子测量技术, 2015, 34(5): 66-69.
- [14] 康志勇, 李仙茂, 张范军. 雷达天线扫描周期精确测量技术研究[J]. 航天电子对抗, 2015, 31(1): 62-64.
- [15] 衣玮, 袁湘辉, 左雷. 雷达模拟器的目标运动数据算法研究[J]. 舰船电子工程, 2014(12): 53-57.

作者简介

高训兵, 1987 年出生, 工学硕士, 助理工程师, 主要研究方向为信号模拟源控制软件与界面开发。
E-mail: gaoxunbing@126.com