

# 双路多波形可调信号发生器的原理与实现

王青

(陕西国防工业职业技术学院 西安 710300)

**摘要:**介绍了一种基于直接数字频率合成(DDS)技术的双路多波形可调信号发生器的设计工作原理与设计方法。利用STC12C5A60S2单片机与2片DDS芯片AD9833进行数字控制相结合,通过矩阵按键实现了双路正弦波、三角波和方波等3种信号和相位差的输出。系统实现了2路输出信号的频率可在1 Hz~2 MHz内连续进行设置,频率分辨率小于1 Hz,相位差在0°~359°内可调,相位误差小于0.1°。采用示波器测试可以看出,输出的波形较为稳定,相位差输出准确,整套系统具有结构简单和操作方便的特点。

**关键词:**数字频率合成;高精度;AD9833;相位差

中图分类号: TN741 文献标识码:A 国家标准学科分类代码: 510.8010

## Principle and application of multi-waveform adjustable signal generator

Wang Qing

(Shanxi Institute of Technology, Xi'an 710300, China)

**Abstract:** Base on direct digital frequency synthesis (DDS), the paper introduces working principle and composition of the dual program design technology of high precision signal generator. Using STC12C5A60S2 to control the two pieces of DDS, the paper realizes the output sine wave, triangle wave and dual square wave. Dual signal frequency can be continuously adjustable in the range of 1 Hz~2 MHz and the resolution is less than 1 Hz, the phase difference regulating range is 0°~359° and phase difference resolution is less than 0.1°. Through the matrix keyboard, it can facilitate the realization setting of frequency and phase difference. Using oscilloscope, it can be seen that the output waveform is stable and the output of phase difference is accurate. The system has the characteristics of simple structure and convenient operation.

**Keywords:** DDS; high precision; AD9833; phase difference

## 0 引言

信号发生器是一种基本电子测试设备,广泛应用于测量控制、通信系统、电子测量、高校教学等多个领域<sup>[1-3]</sup>。随着电子技术的发展,对信号发生器的性能要求也日益提高,如对频率的稳定度、相位差、调幅、调频、调相等功能的要求也不断提高,另外,还常常需要对两路信号频率和相位差进行精确的控制<sup>[4-5]</sup>。传统的阻容移相法、变压器移相法均有存在频率易受负载的大小和性质影响、相位差精度不高等问题<sup>[6-7]</sup>,本文利用直接数字频率合成(DDS)技术,通过按键可以方便的实现频率、相位差和输出波形的设置,可以产生频率可调、相位可调的正弦波、三角波和方波3种波形,具有原理简单、信号精度高、频率范围宽等特点。

## 1 系统工作原理

本文利用双 DDS 技术实现程控信号发生器的方案,不但可以设定输出信号波形,而且还可以设定输出的频率和频率的相位差。整体结构如图 1 所示。

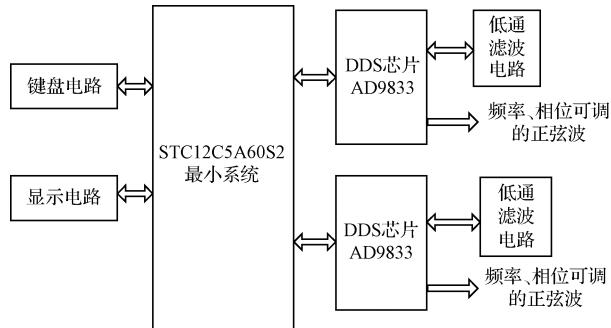


图 1 信号发生器的总体结构

收稿日期:2017-03

如图 1 所示, 使用单片机作为控制核心, 通过键盘和显示电路对 2 个 AD9833 芯片的 28 位频率控制字以及 12 位相位控制字进行设定, 将 2 个 AD9833 芯片连接在单片机同一个端口(如 P2 口)的不同引脚上, 同时向单片机写入不同的控制字, 实现 2 路信号在同一时刻输出。

### 1.1 频率控制字的计算方法

AD9833 的核心是 28 位的加法累加器, 每来 1 个参考时钟信号, 加法累加器增加 1, 加法累加器的输出值加载到波形地址表中。波形地址表包含 1 个完整正波形周期的数字幅度信息, 即每个地址对应波形中  $0^\circ \sim 359^\circ$  范围内的 1 个幅值点的值。查询表把输入的地址相位信息映射成波形幅度的数字量信号送到 AD9833 的 DAC 寄存器中完成模拟量的输出, 加法累加器每经过  $2^{28}/M$  个 MCLK 时钟后回到初始状态, 相应地波形查询经过 1 个循环回到初始位置, 这样就完成了一个波形的输出<sup>[8-9]</sup>。输出波形频率控制字采用式(1)进行计算。

$$M = \left( \frac{fmclk}{(2^{28} - 1)} \right) \times f_{out} \quad (1)$$

式中:  $M$  为频率控制字对应的数值;  $f_{out}$  为输出频率值;  $fmclk$  为 AD9833 参考时钟源, 这里选 25 MHz 的有源晶振。

频率控制字对应的数值由 C51 程序计算获得, 其范围为  $0 \leq M \leq 2^{28} - 1$  之间。

### 1.2 AD9833 频率的控制方法

AD9833 芯片有 3 根接口线与控制器相连, 分别为时钟 SCLK、数据 SDATA 和使能信号 DDSEN。在时钟信号 SCLK 的推动下, 数据是以 16 位串行方式送入 AD9833 芯片中, 其时序图如图 2 所示<sup>[10-12]</sup>。

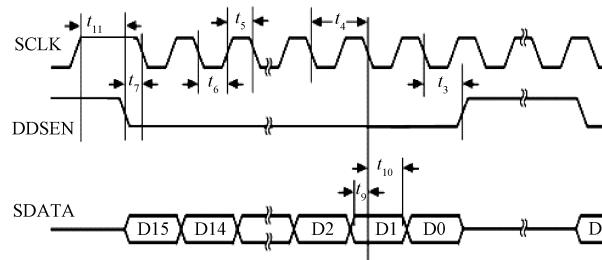


图 2 AD9833 时序图

在图 2 所示的时序图中,  $t_1 \sim t_{11}$  的时间单位都为 ns 级别的, 单片机的指令频率一般都是 us 级别的, 所以大家不必考虑 AD9833 不能及时响应单片机输入信号的问题。DDSEN 引脚是使能引脚, 电平触发方式, 低电平有效, 高电平时使 DDS 产生输出。进行串行数据传输时, DDSEN 引脚必须置低, 要注意 DDSEN 有效到 SCLK 下降沿的建立时间  $t_7$  的最小值。DDSEN 拉低后, 在 16 个 SCLK 的下降沿后数据送入 AD9833 的输入移位寄存器, 在第 16 个 SCLK 的下降沿 FSYNC 可以被置高。当然, 也可以在 DDSEN 为低电平的时候, 连续加载多个 16 位数据, 仅在最后一个数据的第 16 个 SCLK 的下降沿将 DDSEN 置高<sup>[13-14]</sup>。写数据时 SCLK 时钟为高低电平脉冲, 但在 DDSEN 刚开始变为低时, SCLK 必须为高电平。

### 1.3 硬件电路设计

硬件接口电路相对比较简单, 这里只需要 5 个引脚和单片机相连即可完成单片机对双 AD9833 进行控制, 参考时钟使用 25 MHz 的有源晶体, 硬件电路如图 3 所示。

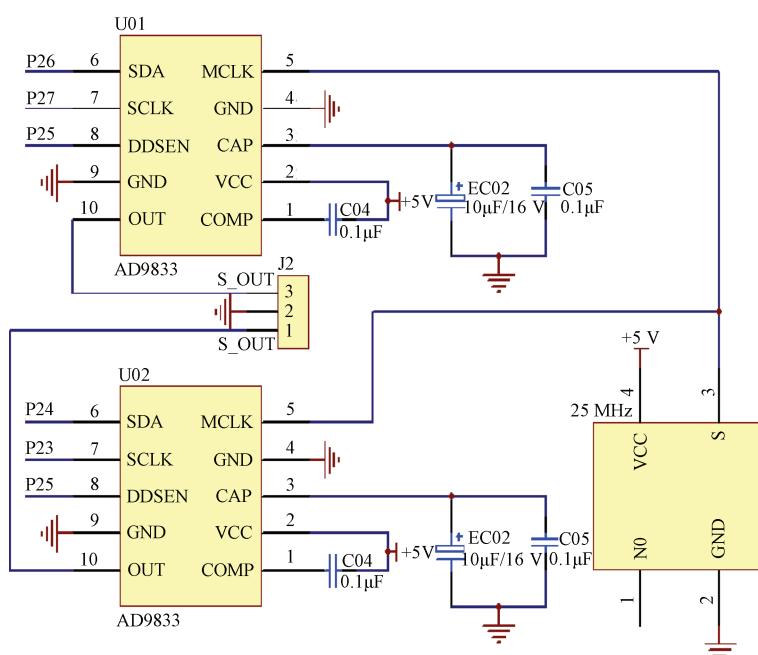


图 3 单片机与 AD9833 的硬件连接

## 2 软件设计

软件的流程如图 4 所示。软件编程首先是对 LCD 液晶屏、AD9833 进行初始化,然后通过功能按键向 AD9833 并行输入计算频率控制字信息和相位控制字信息,同时将频率值和相位差值显示在 LCD 上<sup>[15-16]</sup>。

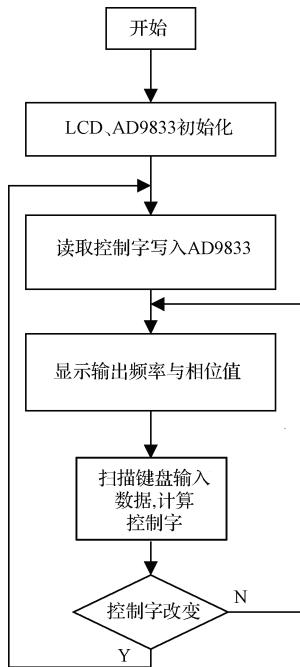


图 4 软件流程

根据图 3 单片机与 AD9833 的连接图和图 4 软件流程图,本文编写了 AD9833 的写入程序,供大家参考,程序如下所示。

```

void AD9833_writedata(unsigned int DDSdata)
{
    unsigned char data_num=0;
    unsigned int DDSdata_temp;
    DDSdata_temp=DDSdata;
    P2 = P2 | 0x88;
    SDelay(40); DDSEN = 0;      //DDS able
    SDelay(40);
    for(data_num=0;data_num<16;data_num++)
    {
        if(DDSdata_temp & 0X8000)
        {
            P2 = P2|0x50;
        }
        else
        {
            P2 = P2&0xaf;
        }
    }
}
  
```

```

SDelay(50);
P2 = P2 & 0x77; SDelay(50);
P2 = P2&0xaf;
SDelay(50);
P2 = P2 | 0x88;
DDSdata_temp=DDSdata_temp<<1;
if(data_num < 15)
{
}
}
DDSEN=1;
}
  
```

程序通过单片机的 P2 与 2 片 AD9833 相连,在相同的时钟作用下将不同的数据送入 2 片 AD9833 中,最后在共同的使能信号的作用下实现 2 片信号同时输出信号。

## 3 测试波形

采用双 DDS 芯片 AD9833 设计的双信号发生器的实物图如图 5 所示,在单片机的控制下通过按键和 1602 液晶显示器实现了频率和相位的输出,整个系统采用 5 V 供电。

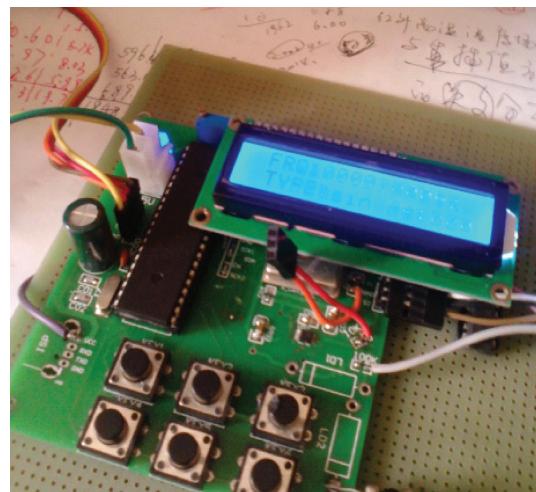


图 5 DDS 双信号发生器

双 AD9833 输出 10 kHz 正弦波照片如图 6、图 7 和图 8 所示,相位分别为 30°、90° 和 180°。从示波器可以看出,DDS 输出波形是非常稳定的,如果使用示波器进行测量时,发现波形杂乱无章,频率一直在变化,那么基本上可以断定 DDS 芯片是没有输出的。

从测量可知,DDS 芯片输出的信号是很稳定的,由表 1 中频率设定值和频率测量值可以看出,频率误差最大值为 1.0 Hz。频率测量值一般情况下总是小于频率设定值,这是由于在使用式(1)进行频率控制字的计算时使用的是浮点运算,而送入到 DDS 芯片中数据是整数数据,二

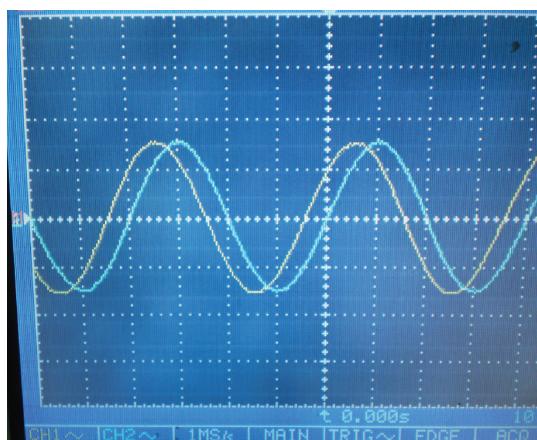


图 6 频率 10 kHz 相位差 30° 测试波形

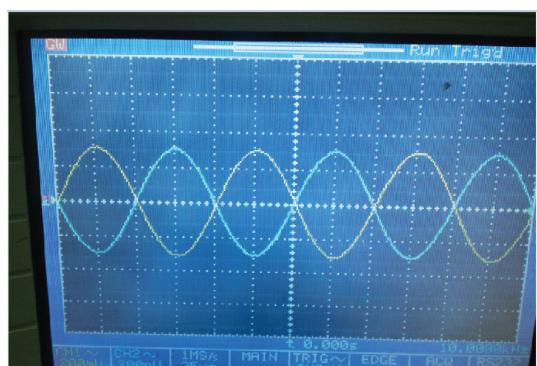


图 7 频率 10 kHz 相位差 90° 测试波形

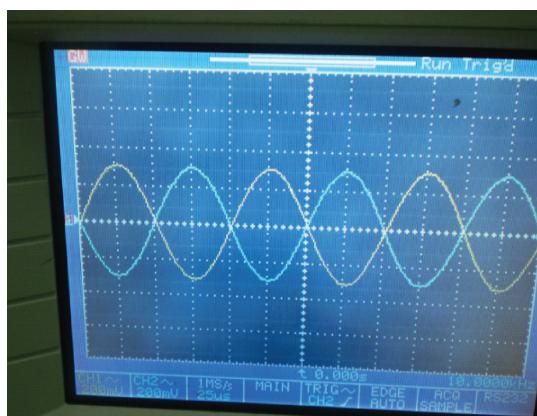


图 8 频率 10 kHz 相位差 180° 测试波形

者之间存在一定的误差,所以会导致输出数据的低于频率的设定值。

从图 6、图 7 和图 8 可知,在示波器上频率相位的误差基本为 0,从表 2 可以看出,输出频率的相位误差小于 0.1°,说明相位差输出是很准确的,使用两个 DDS 芯片 AD9833 实现相位的输出的方案是可行的,目前此种方案已经申请了专利。

表 1 频率输出与测量的对照表

频率设定值/Hz	频率测量值/Hz	频率误差/Hz
0.0	0.0	0.0
100.0	99.1	0.9
200.0	199.1	0.9
500.0	499.0	1.0
1 000.0	999.2	0.8
10 000.0	9 999.0	1.0
1 000 000.0	999 999.0	1.0
2 000 000.0	1 999 999.0	1.0

表 2 相位输出与测量的对照表

设定相位值/(°)	测量相位值/(°)	相位误差/(°)
0.0	0.0	0.0
1.0	0.91	0.09
10.0	9.9	0.1
45.0	44.92	0.08
90.0	89.9	0.1
180.0	179.91	0.09
270.0	269.9	0.1
359.9	359.81	0.09

#### 4 结 论

本文对基于 2 片 DDS 芯片 AD9833 的双路信号发生器的方案进行了分析并设计了硬件、软件相结合的实现电路,该方案具有成本低、体积小、控制灵活性的特点,可以很容易实现频率、相位的设定。2 路信号的频率可在 1 Hz~2 MHz 内连续可调,频率误差小于 1 Hz,相位差在 0°~359° 内可调,相位误差小于 0.1°,如果再加上放大器也可以实现输出信号幅值的控制。该信号源可以满足不同领域对于高精度信号源的需要,具有一定的应用前景。

#### 参 考 文 献

- [1] 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):231-233,237.
- [2] 冯国良,谷青范. 基于 DDS 的实时中间件的研究与设计[J]. 航空电子技术,2011,42(3):41-46,54.
- [3] 高敬更,陈欣,杨熹,等. 基于 DDS 的现场校验仪变频功率源研究[J]. 工业仪表与自动化装置, 2017(1):42-44,50.
- [4] 王炜珽,李进杰,张文旭. 相位码补偿法实现 DDS 无相位截断杂散的研究[J]. 计算机工程与应用, 2017, 53(4):244-250.
- [5] 张妍,陈涛,石蕊,等. 基于 DDS 技术的数字移相信号发

- 生器的设计及 FPGA 的实现[J]. 信息通信, 2014(11):59.
- [6] 谢兆清. 数字电子技术实验中的 EDA 技术分析[J]. 数字技术与应用, 2017(1):248,251.
- [7] 刘大成, 张洪水, 杨阳. 基于 AD9958 的双通道正弦信号源的设计[J]. 电子设计工程, 2016, 24(18): 191-193.
- [8] 杨韬仪, 王超, 夏艳琴. 基于并行 DDS 技术的宽带通信信号模拟方法[J]. 微电子学, 2014, 44(6):789-792.
- [9] 邱忠义, 赵宏, 高增雪, 等. 一种中小功率高精度高频正弦波交流电源[J]. 工业计量, 2014(1): 20-23.
- [10] 陈福梁, 杨世锡, 甘春标, 等. 基于 DDS 的超声导波间歇扫频信号源设计[J]. 仪表技术与传感器, 2014(3): 32-34.
- [11] 程银宝, 陈晓怀, 王汉斌, 等. 基于精度理论的测量不确定度评定与分析[J]. 电子测量与仪器学报, 2016, 30(8):1175-1182.
- [12] 魏岳伦, 岳庆英, 齐庆堃, 等. 基于 Nios II 的 DDS 数信号发生器[J]. 国外电子测量技术, 2016, 35(7): 13-16.
- [13] 彭海军. 基于 DDS 的信号相位同步设计技术[J]. 国外电子测量技术, 2016, 35(4):95-98.
- [14] 康丽奎, 杨景常, 黄亮, 等. 基于 DDS 的可程控高精度 LCR 测试仪[J]. 自动化仪表, 2009, 30(10): 52-54.
- [15] 张国光. 基于 DDS 的高精度多路信号发生系统研究[J]. 电子测量技术, 2014, 37(4):125-129.
- [16] 陈开放, 李汇云, 刘松, 等. 基于 DDS 舰载通信系统的信息安全分析研究[J]. 信息网络安全, 2016(3): 47-52.

## 作者简介

王青, 1982 年出生, 硕士, 主要研究方向为机械电子。  
E-mail: wq980924@163. com