

波形产生与测频模块的应用设计

高 路 ,王兴和 孙航嘉

(南京师范大学 物理与科学技术学院 江苏 南京 210046)

[摘要] 基于 89C52 单片机,采用直接数字合成 DDS 芯片 AD9833 设计了一个兼有频率测量功能的波形产生模块,可产生正弦波、三角波、脉冲波,输出波形频率为 0.1 Hz ~ 10 MHz,测量频率范围为 0.1 Hz ~ 20 MHz。测量中能自动切换频率量程,具有低失真输出波形和高测频精度。该模块可作为虚拟仪器的波形产生与测频部件,也可以构成独立的兼有频率测量功能的信号发生器或作为现有的单片机实验系统的波形产生与测频附件。

[关键词] 信号发生器 频率测量 89C52 AD9833

[中图分类号] TM930 [文献标志码] B [文章编号] 1672-1292(2011) 02-0043-04

Applied Design of Waveform Generating and Frequency Measurement Module

Gao Lu ,Wang Xinghe ,Sun Hangjia

(School of Physical Science and Technology ,Nanjing Normal University ,Nanjing 210046 ,China)

Abstract: Based on 89C52 SCM (Single-Chip Microcomputer), we make DDS core plate/chip AD9833 by using direct digital frequency synthesis. We design one waveform generator module that has the function of frequency measurement, which can produce sine wave, triangular wave, and pulse. It has 0.1 Hz ~ 10 MHz frequency of output waveform, 0.1 Hz ~ 20 MHz range of measurement frequency, function of automatically changing frequency measurement, and output waveform less distortion and more accuracy of frequency measurement. This module can be used as the parts of virtual instrument for wave production and frequency measurement, as well as an independent signal generator with the function of frequency measurement, or as an accessory for wave production of experimental system and frequency measurement in current SCM.

Key words: signal generator, frequency measurement, 89C52, AD9833

波形产生和频率测量是电子测量系统所应具有的基本功能。针对高校电子类专业课程设计和大学生电子设计竞赛的实际需要,本文设计一个兼有频率测量功能的波形产生模块,可产生正弦波、三角波、脉冲波等波形并可测量频率。该模块电路结构简单,易于扩展组合,费用低廉,可满足高校实验室课程设计和电子设计竞赛相关测量的性能要求。该模块可通过 USB 接口作为虚拟仪器的波形产生与测频部件,也可构成独立的兼有频率测量功能的信号发生器,还可作为现有的单片机实验系统的波形产生与测频附件。本文介绍该模块的电路原理、实现方法,并给出具体电路。

1 电路原理和实现方法

波形产生与测频模块系统框图如图 1 所示。模块系统以 89C52 为核心,分为两部分,一部分为信号发生器部分,主要采用 DDS 芯片 AD9833 产生所需的正弦波、三角波、脉冲波信号;另一部分是频率测量部分,采用可编程分频器加 MCU 单片机内置定时器/计数器的频率测量方法。进而以

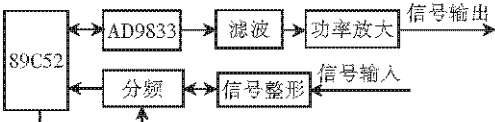


图 1 波形产生与测频模块系统框图
Fig.1 Waveform generator and frequency measurement module

收稿日期: 2011-02-22.

通讯联系人: 王兴和,副教授,研究方向:物理电子学. E-mail: wangxinghe@njnu.edu.cn

89C52 为扩展接口即可实现 3 种功能: 作为虚拟仪器的波形产生与测频部件; 可以构成独立的兼有频率测量功能的信号发生器; 或作为现有的单片机实验系统的波形产生与测频附件.

1.1 AD9833 DDS 信号发生器

直接数字频率合成 DDS 技术^[1]基于采样定理, 将相位累加器输出的相位码通过查表映射成正弦波幅度码, 经 D/A 转换和低通滤波后, 产生正弦波形, 其输出波形频率与相位可由控制字设置. ADI 公司的 AD9833 是典型的 DDS 集成芯片, 输出频率范围为 0 ~ 12.5 MHz, 工作电压为 3 V 时, 功耗仅为 20 mW, 具有低功耗、频率和相位可数字编程等特点, 能够产生正弦波、三角波、脉冲波输出. AD9833 的核心是 28 位的相位累加器, 它由加法器和相位寄存器组成, 每 1 个时钟, 相位寄存器以步长增加, 相位寄存器的输出与相位控制字相加后, 输入到正弦查询表地址中. 正弦查询表包含 1 个周期正弦波的数字幅度信息, 每个地址对应正弦波中 $0^{\circ} \sim 360^{\circ}$ 范围内的 1 个相位点. 查询表把输入的地址相位信息映射成正弦波幅度的数字量信号, 经 DAC 输出模拟量. 相位寄存器每经 $228/K$ 个 MCLK 时钟后, 回到初始状态; 相应地, 正弦查询表经过一个循环回到初始位置, 这样就输出了一个正弦波. 输出正弦波频率为 $f_{OUT} = K(f_{MCLK}/228)$. 其中, K 为频率控制字, 由外部编程给定, 其范围为 $0 \leq K \leq 228 - 1$. AD9833 通过 3 线的 SPI 接口与各种 MCU 连接, 无需外接其他元器件.

1.2 频率测量

频率信号的测量^[2], 低频信号采用的是测周期法. 如图 2(a) 所示, 由电路提供标准时基信号 T_s , 被测信号的周期作为闸门, 对时基计数得 N_x , 有计数 $T_x = N_x T_s$, 再换算为被测频率 f_x . 对于高频信号采用频率测量法, 充分利用 MCU 内的两个定时/计数器(图 2(b)), 一个作为定时器, 给出标准闸门信号 T_s , 另一个作为计数器, 对 T_s 内的被测信号 f_x 直接进行计数得 N_x , 被测频率 $f_x = N_x/T_s$.

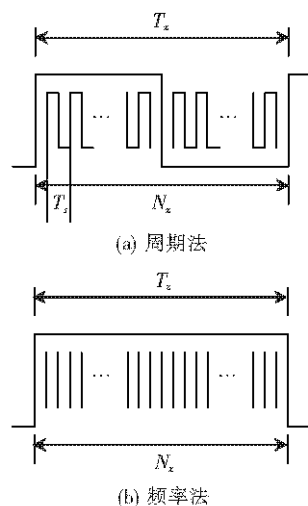


图 2 频率信号测量原理图
Fig.2 Measurement principle for frequency signal

2 硬件电路和软件设计

2.1 硬件电路设计

模块系统硬件电路可分为 3 个功能部件: 单片机最小系统、DDS 部件和测频部件. 单片机最小系统是 89C52 单片机; DDS 部件包括核心芯片 AD9833; 测频部件是由输入信号整形、分频电路和 89C52 内部的定时器/计数器构成. 单片机作为控制核心, 与 AD9833 通过模拟 SPI 接口连接. AD9833 硬件电路如图 3 所示, AD9833 的读写时序如图 4 所示. 根据时序图, 89C52 向 AD9833 发送数据时, P1.2 必须处于低电平. 传送数据的每一位, 都在 SCLK(串行时钟)处于下降沿时发生. 在写操作时, P1.2 应处于高电平. 执行两次写操作时, SCLK 应处于高电平. 89C52 向 AD9833 输出 16 位数据时, 要由单片机通过软件移位寄存器, 从最低位起, 串行每次输出一位.

测频部件硬件由 89C52 内部的定时/计数器, 配合相应的整形、分频等前置信号处理电路以及 89C52 并口的 P1.3 ~ P1.6 组成, 测频部件的硬件电路如图 5 所示. 图 5 中三极管 9013 和施密特电路 74HC14 作为被测信号的输入整形, 可编程计数器 74HC294 用于被测信号的分频, 分频系数由单片机的 89C52 并口 P1.3 ~ P1.6 设置决定, 74HC294 的分频输出端接 89C52 的 T0 计数输入端, 在相应软硬件控制

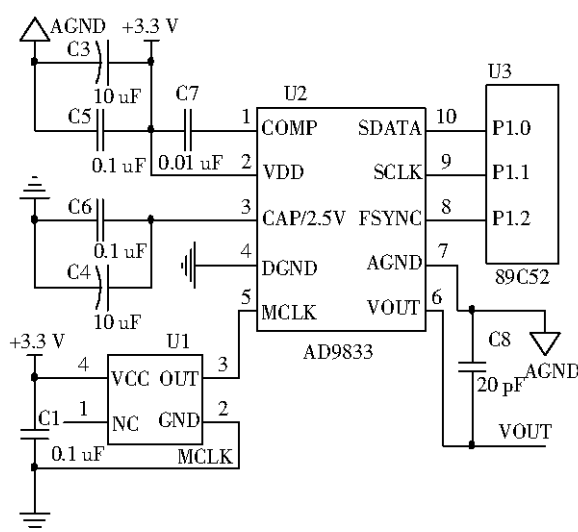


图 3 89C52 与 AD9833 硬件接口电路
Fig.3 Connection of 89C52 and AD9833 hardware

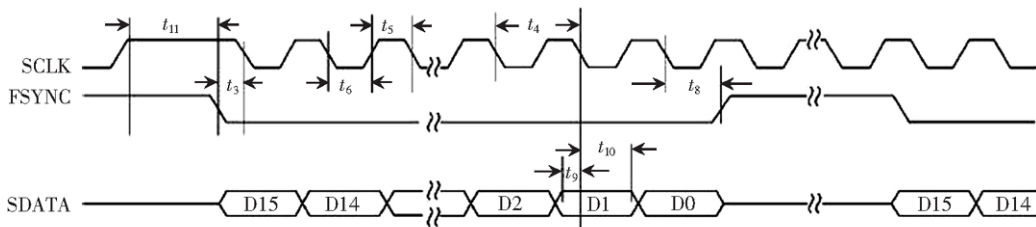


图 4 AD9833 的读写时序图

Fig.4 Time order of AD9833 reading and writing

下,完成待测信号频率的测量.对输入信号频率范围自动判断并选择相应的测量方法,实现量程的自动切换,具有较高的测量精度,测量范围为 0.1 Hz ~ 10 MHz. 把被测信号频率分成 4 档,对 100 kHz ~ 10 MHz 的信号进行 128 分频后再测量,计数由 T0 计数器进行;定时闸门时间选择 500 ms,定时由 T1 定时器与软件一起实现,所测结果应乘 256. 对 1 kHz ~ 100 kHz 的信号 8 分频后测量,闸门时间为 1 s,所测结果乘 8. 对于 0.1 Hz ~ 1 kHz 的信号应用周期法进行测量,其中对于 10 Hz ~ 1 kHz 的信号 4 分频后进行周期测量.再由软件换算为频率数.

2.2 软件设计

主程序由初始化、AD9833 设置、频率测量、人机对话以及硬件驱动等子程序组成.

2.2.1 初始化

实现系统初始化功能,包括 CPU 内存单元清零、开中断、系统参数和状态设置等操作.

2.2.2 AD9833 设置

在设置 AD9833 工作参数时,通过 SPI 在 MCLK 上升沿,把 28 位控制字送入 AD9833 的数据输入寄存器,重复 4 次之后,在 FSYNC 的上升沿,将该数据从输入寄存器装入到频率/相位数据寄存器,更新 AD9833 输出的频率和相位. AD9833 从写入数据到输出端得到响应,中间有一定的响应时间,每次给频率或相位寄存器加载新的数据,都会有 7 ~ 8 个 MCLK 时钟周期的延时之后,输出端的波形才会产生改变. AD9833 设置子程序的流程如图 6 所示.

2.2.3 频率测量

为了减小测量误差,可分频段进行测量.先用频率法对被测信号进行 128 分频测量,以此测量结果作为分段判据,当计数值大于 500 则被测信号频率大于 64 kHz;如计数值小于 500 选择 8 分频测量;当计数值小于 10 时,选择 4 分频,再用周期法测量;当计数值为 0 时,则不用分频,改用周期法直接进行测量. 频率测量中的量程转换由高端开始试测,由软件实现量程的自动转换,且具有连续测量功能.

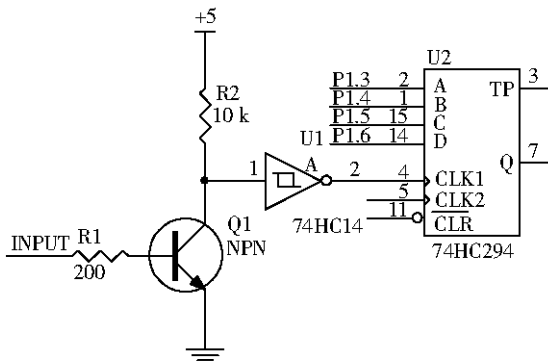


图 5 测频部件硬件电路图

Fig.5 Electronic structure of frequency measurement hardware

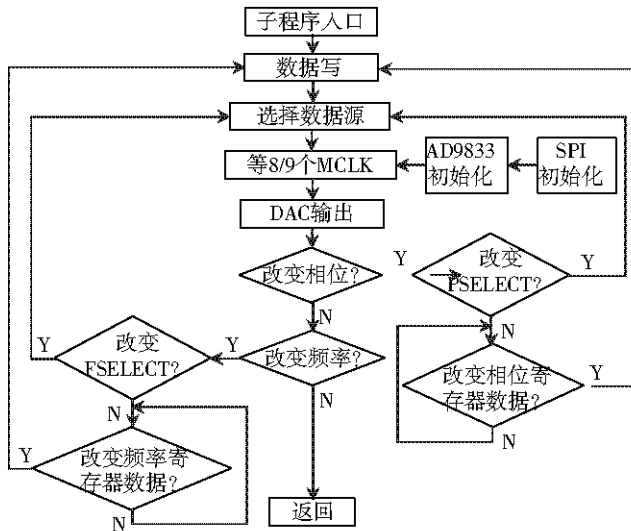


图 6 AD9833 设置子程序流程

Fig.6 AD9833 subroutine program flow

3 应用开发

波形产生与测频模块已开发了以下 3 种应用.

3.1 虚拟仪器的波形产生与测频部件

采用 USB 总线转接芯片 CH341 可通过 USB 接口与 PC 机相连,成为虚拟仪器的波形产生与测频部件,为虚拟仪器系统产生正弦波和方波,提供频率测量功能,如图 7 所示.

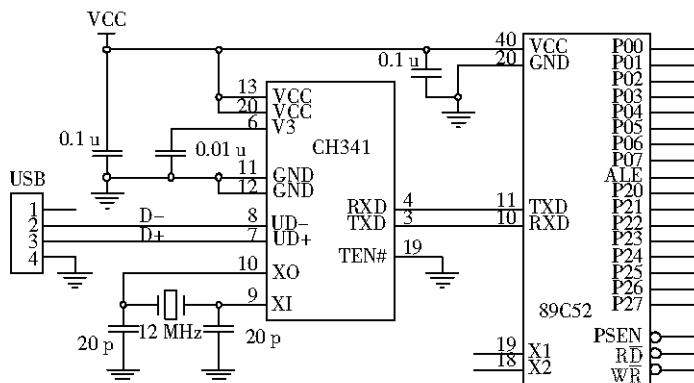


图 7 扩展虚拟仪器的波形产生与测频部件

Fig.7 Parts of virtual instrument for wave production and frequency measurement

3.2 独立的兼有频率测量功能的信号发生器

在该模块单片机 89C52 上扩展液晶等显示器件和键盘等,可以直接构成独立的兼有频率测量功能的信号发生器.

3.3 单片机实验系统的波形产生与测频附件

取下该模块上的 89C52 单片机,接入现有的单片机实验系统,例如接入参考文献 [3] 所述的可在线编程的多功能单片机实验板的 P1.0 ~ P1.2 和 P3.4、P3.5,可方便地产生波形与实现测频.

4 结语

采用集成可编程 DDS 器件实现直接频率合成,在单片机的控制下,输出频率和相位可调的信号波形.采用可编程分频器加 MCU 单片机内置定时器/计数器的频率测量方法,设计了波形产生与测频模块,实现了电子测量系统所应具有的信号产生和频率测量功能.从该模块硬件电路和其软件编程的实际效果看,其结构简单、工作可靠、效果良好,满足了电子类专业课程设计和大学生电子设计竞赛的实际需要.

[参考文献](References)

- [1] 刘明成,梁斌,于振生.基于 DDS 技术的程控信号源设计[J].天津师范大学学报:自然科学版,2007,27(4):74-76.
Liu Mingcheng, Liang Bin, Yu Zhensheng. Design of program-controlled supply oscillator based on DDS[J]. Journal of Tianjin Normal University: Natural Science Edition, 2007, 27(4): 74-76. (in Chinese)
- [2] 赵茂泰.智能测试原理及应用[M].北京:清华大学出版社,2005:176-220.
Zhao Maotai. Intelligence Test Theory and Application[M]. Beijing: Tsinghua University Press, 2005: 176-220. (in Chinese)
- [3] 朱松盛,黄凤鸣,高玉.可在线编程的多功能单片机实验板[J].南京师范大学学报:工程技术版,2006,6(2):42-45.
Zhu Songsheng, Huang Fengming, Gao Yu. In-circuit programmable MCU board with multi-function[J]. Journal of Nanjing Normal University: Engineering and Technology Edition, 2006, 6(2): 42-45. (in Chinese)

[责任编辑:严海琳]