

# 基于 DSP 数字振荡器的三相基准 正弦信号发生器设计

朱卫华, 郑留平

(南华大学 电气工程学院, 湖南 衡阳 421001)

**摘要:** 提出一种基于 DSP 数字振荡器产生三相基准正弦波信号的设计方法。系统由 TMS320VC5416 最小系统和三片 TLC320AD50C 及简单外围电路构成, 简要介绍了系统的软硬件设计方法。通过 DSP 数字振荡器的实现原理得到设定参数的三相基准正弦波输出, 达到设计目的。实验结果表明该系统具有结构简单、频率精确度高、对称性好、波形失真小、频率和幅度调整方便灵活、分辨率高等特点。

**关键词:** 三相正弦波; DSP; 数字振荡器

中图分类号: TM930

文献标识码: B

文章编号: 1006-2394(2009)09-0001-03

## Design of a Three-phase Reference Sine Wave Signal Generator Based on DSP Digital Oscillator

ZHU Wei-hua, ZHENG Liu-ping

(The College of Electrical Engineering, University of South China, Hengyang 421001, China)

**Abstract:** A kind of three-phase reference sine wave signal generator based on DSP digital oscillator is designed. The system is composed of TMS320VC5416 minimum system, three TLC320AD50C chips and simple peripheral circuits. The system software and hardware design are introduced briefly in this paper. Three-phase predefined reference sine waves can be obtained by DSP digital oscillator technology and the design object is fulfilled. The experimental results show that the system has the characteristics of simple structure, high frequency precision, good symmetry, low waveform distortion, high-resolution, great convenience and flexibility for frequency and amplitude adjusting.

**Key words:** three-phase sine wave; DSP; digital oscillator

### 0 引言

在各种测量和控制电路中,常需要单相或三相正弦波信号作为基准信号。一个好的正弦信号源,要求其输出的基准正弦波信号幅值、频率高度稳定,波形失真度小,带负载能力强,幅值、频率可调,对于三相正弦信号还要求三相对称度好。传统方法可通过移相网络直接对模拟信号进行移相,如阻容移相、变压器移相等,但采用这些方式设计的移相器有许多不足之处。本文利用 DSP 技术,通过数值迭代方法,即用 DSP 数字振荡器的实现原理获得三相正弦波信号,并具有调整方便灵活、分辨率高等特点。数值迭代方法能精确计算角度的正弦值,只需较小的存储空间,选择正弦周期中的样点数、改变样点间的延迟,能产生不同频率的波形,可利用软件改变频率、波形幅度及相位。

### 1 正弦波及三相正弦波发生器的 DSP 数字振荡器实现原理

利用 DSP 通过运算,用迭代的方法产生正弦信号,即数字振荡器。数字振荡器的单位冲击响应为  $\sin(nT + \theta) \cdot u(n)$ , 即系统在  $(n)$  的激励下产生振荡,输出相位为  $\theta$  的正弦序列,该系统的系统函数就是冲击响应的 Z 变换,即:

$$H(z) = \frac{\sin(\theta + z^{-1} \sin(T - \theta))}{1 - 2z^{-1} \cos T + z^{-2}}$$

则该系统所对应的差分方程为:

$$y(n) = 2\cos T \cdot y(n-1) - y(n-2) + \sin(\theta + (n-1)T) \cdot x(n-1)$$

通过迭代可由差分方程求出系统的冲击响应。系统的输入为  $x(n) = \delta(n)$ , 初始条件为零。则由差分

收稿日期: 2009-04

基金项目: 湖南省教育厅基金资助项目(05C476)

作者简介: 朱卫华(1964—),男,副教授,研究方向为计算机自动检测和仪表技术研究。

方程可得：

$$y(-1) = y(-2) = 0; y(0) = \sin ;$$

$$y(1) = 2\cos T \cdot y(0) + \sin( T - );$$

$$y(2) = 2\cos T \cdot y(1) - y(0);$$

当  $n \geq 3$  时有： $y(n) = 2\cos T \cdot y(n - 1) - y(n - 2)$ 。在  $n \geq 3$  以后， $y(n)$  能用  $y(n - 1)$  和  $y(n - 2)$  算出，这是一个递归的差分方程。因此得到如下结论：只要已知系统输出正弦信号角频率  $\omega$  和采样周期  $T$  就可以得到系统差分方程，系统只需每隔  $T$  秒时间计算一次差分方程，就可得到当前正弦采样序列  $y(n)$  的值。设定的  $y(1)$ 、 $y(2)$  初值不同，初始相位就不同。在设计中，主程序通过键盘输入频率幅值等数据，在初始化时依输出信号频率、采样速率及幅值等数据先计算出 3 路正弦信号的初始值  $y_1(1)$ 、 $y_1(2)$ 、 $y_1(3)$  和  $y_2(1)$ 、 $y_2(2)$ 、 $y_2(3)$ ，然后开放定时器中断。以后每次进入定时器中断服务程序时，利用前面的  $y_1(1)$ 、 $y_1(2)$ 、 $y_1(3)$  和  $y_2(1)$ 、 $y_2(2)$ 、 $y_2(3)$ ，计算出新的  $y_1(0)$ 、 $y_2(0)$ 、 $y_3(0)$ 。虽然计算并输出  $y_1(0)$ 、 $y_2(0)$  和  $y_3(0)$  之间有一定的延迟，但由于 DSP 的高速流水线运行及 McBSP 高速串行输出，所引起误差将很小。

### 2 系统硬件实现方案

基于 TMS320VC5416 DSP 的三相基准正弦波信号发生器的系统结构如图 1 所示。该系统的中央处理单元采用美国 TI(德州仪器)公司的高性能定点数字信号处理芯片 TMS320VC5416。TMS320VC5416 是 TI 公司专门针对便携式设备设计的一款低功耗、高性能定点数字信号处理器，同 C54 系列其他处理器相比运行速度达到 160MPIS，片内 RAM 达到 128K，程序可寻址空间达到 8M，为大量数据处理提供了丰富条件。特别是 VC5416 提供了多种片内外设资源：软件可编程等待状态产生器、可编程锁相环时钟产生器、1 个 16 位计时器、6 通道直接内存访问控制器 (DMA)、3 个多通

道缓冲串口 (McBSP)、8 位增强型 HP 接口等。此外，TMS320VC5416 支持 C 和汇编语言混合编程，高效的流水线操作和灵活的寻址方式使其特别适合高速实时信号处理。由于系统有 3 路正弦信号输出，系统采用 3 路信号分时传输方式。TLC320AD50C 是 TI 公司出品的一块将 A/D 和 D/A 转换功能集成在一起的模拟接口芯片，采用  $\Sigma\Delta$  技术在低系统成本下实现了高精度的 A/D 和 D/A 转换。该芯片由一对 16bit 同步串行转换通道组成，在 ADC 之后有一个抽取滤波器，在 DAC 之前有一个插值滤波器。TLC320AD50C 支持主从 2 种工作方式，并且最多支持 3 个从设备。利用该特点，系统将 3 片 TLC320AD50C 串联，使其中 1 个为主设备另 2 个为从设备，通过 TMS320VC5416 的多通道缓冲串口 McBSP 实现与 3 片 TLC320AD50C 间的串行通信。TMS320VC5416 控制 3 片 TLC320AD50C 以时分复用方式将数据传送给 3 片 TLC320AD50C 进行 D/A 转换输出。其中主 AD50C 的 M/S 接高电平，2 片从 AD50C 的 M/S 接低电平。TLC320AD50C 被广泛应用于音频数据采集处理中，它可以与 TMS320VC5416 DSP 的 McBSP 无缝串行连接进行数据采集、存储和处理。SCLK 输出时钟，DIN 串行输入，DOUT 串行输出，FS 帧同步信号输出，对应 DSP 的各相应引脚。McBSP 具有特点：串口的接收，发送时钟既可由外部设备提供，也可由内部时钟发生器提供。帧同步信号和数据时钟信号的极性可编程，内部时钟和帧信号发生器也可由软件编程控制。串口的信号发送和接收部分既可单独运行，又可以在一起配合工作。CPU 的中断信号和 DMA 的同步信号使得 McBSP 串口可由 CPU 控制运行，还可脱离 CPU 通过 DMA 直接存取内存单独运行。多通道选择部分使得串口具备了多通道信号的通信能力，多通道接收和发送能力可达 128 个信道。数据宽度可在 8b、12b、16b、20b、24b、32b 中任意选择，并可对数据进行 A 律和 U 律压缩和扩展。McBSP

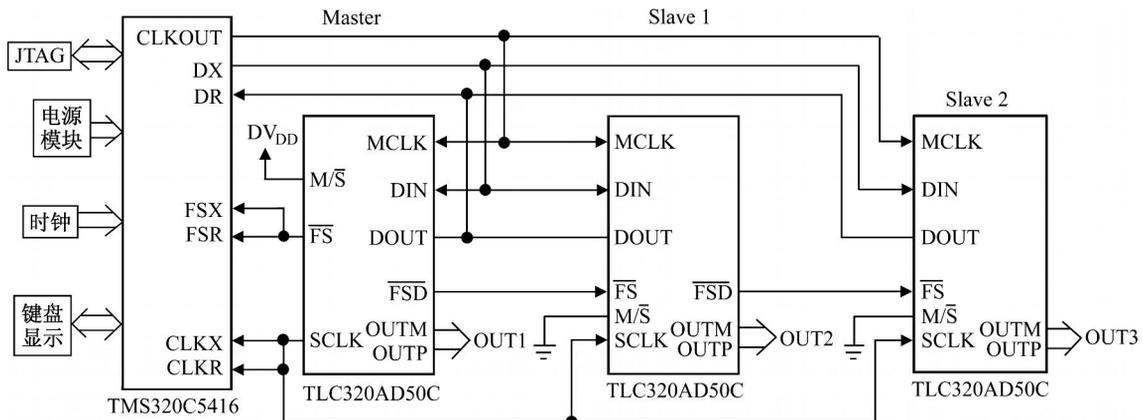


图 1 系统组成原理图

串口包括一个数据通道和一个控制通道,数据通道完成数据的发送和接收。McBSP通过DX引脚发送数据、DR引脚接收数据。控制通道完成的任务包括内部时钟的产生、帧同步信号的产生、对这些信号的控制以及多通路的选择等;控制通道还负责产生中断信号送往CPU,产生同步事件信号通知DMA控制器。控制信息则是通过控制通道以时钟和帧同步信号的形式传送。

### 3 系统软件设计及CCS仿真结果

系统软件主要由BootLoader下载程序、系统初始化、键盘显示、定时中断处理等几个模块构成。系统开始上电时首先执行BootLoader程序,将目标程序从外部FLASH中调入片内RAM中执行。系统初始化程序完成对TMS320VC5416各控制寄存器,McBSP串口控制寄存器,定时器以及TLC320AD50C相应寄存器的初始化设置。在中断服务程序中,利用乘法指令mpy

及乘累加指令mac计算3次差分方程,从而使3路输出的正弦波数据得以更新。主程序及定时中断服务程序流程图如图2所示。

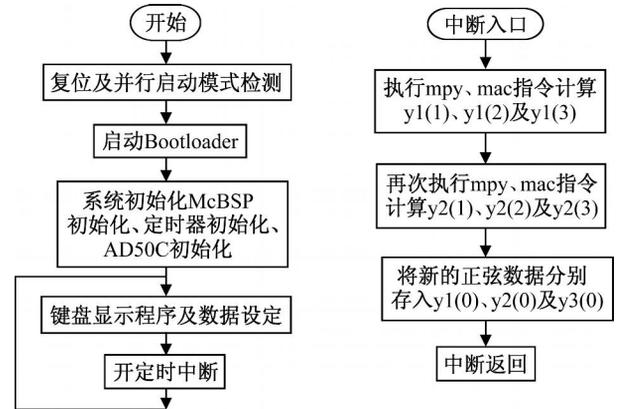


图2 主程序及定时中断服务程序流程图

设定正弦波频率为2kHz,采样频率40kHz的三相正弦波的CCS仿真波形如图3所示。

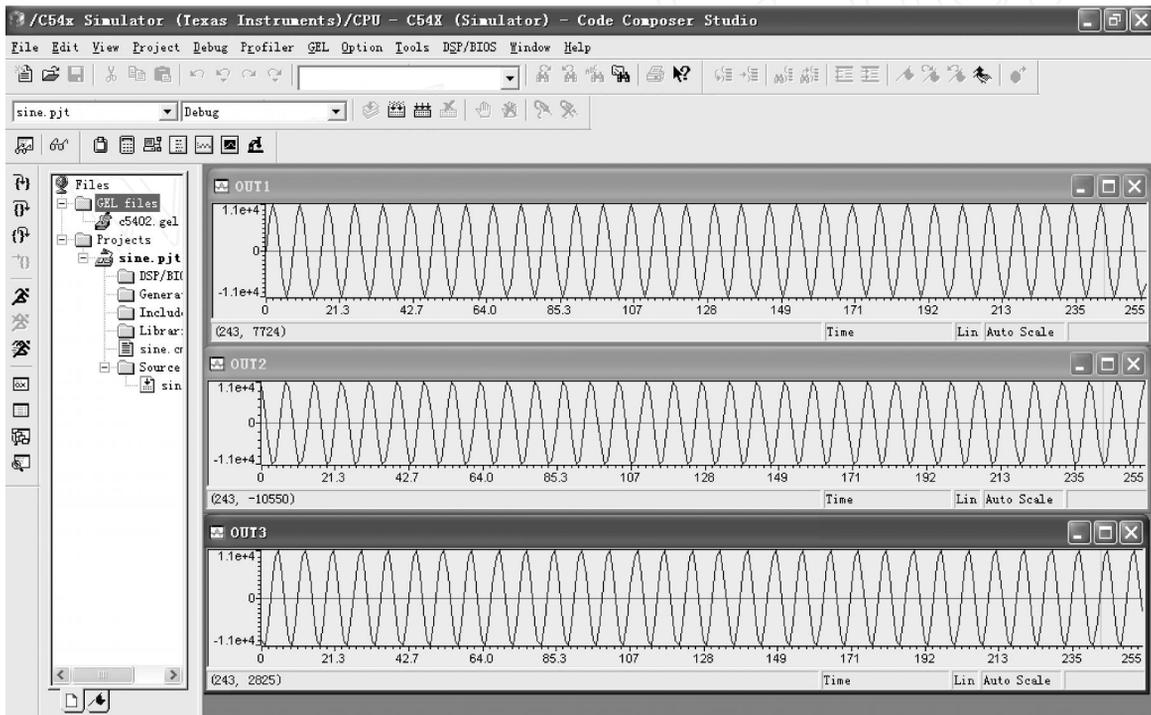


图3 三相正弦波的CCS仿真波形图

### 4 结束语

本文提出了一种基于DSP数字振荡器产生三相基准正弦波信号的设计方法。实验结果表明系统产生的波形稳定,抗干扰能力强,频率和幅度调节方便,精度高,输出频率范围为20Hz~20kHz,频率稳定度为 $10^{-6}$ ,相位误差 $<0.001^\circ$ 。另外系统若连接高速DA转换芯片,可大大提高输出频率范围。该设计方案简单可行,新颖实用,有推广应用价值。

### 参考文献:

- [1] 王永,何凯,沈顺华.数字式单相和三相基准正弦波信号发生器[J].电测与仪表,2003(10):16-18
- [2] 朱卫华,陈志勇.基于FPGA的高精度数字式三相基准正弦信号发生器的设计与实现[J].电气应用,2005(5):45-47.
- [3] 郝小江,石海霞.基于DSP的数字振荡器及应用[J].兵工自动化,2007(8):70-71.

(许雪军编发)