

基于 AD9854 的信号发生器设计

Design of a Signal Generator Based on AD9854

(南京信息工程大学)陶益凡 唐慧强 黄勋

Tao, Yifan Tang, Huiqiang Huang, Xun

摘要:介绍了用数字方式实现频率合成技术的基本原理和 DDS 芯片 AD9854 的内部结构及工作模式。设计了一种采用单片机控制 AD9854 为核心的信号发生器,它具有输出信号波形种类多、精度高、可编程等特点。文中详细分析了该信号发生器的系统结构、软硬件设计和具体实现电路。

关键词: 信号发生器; DDS; AD9854

中图分类号: TN914.3 **文献标识码:** A

Abstract: This paper introduces the principle of DDS, presents the structure and five operation modes of AD9854. A signal generator designed by MCU controlled AD9854, has virtues of generating multiple sorts of signals, high precision and programming of output signals. Its system structure, the design of software and hardware and the way to realize the circuitry is analyzed in detail.

Keyword: Signal Generator; DDS; AD9854

1 引言

在现代科研、通信系统、电子对抗及各种电子测量技术中,一个高精度、频率可调的信号源是很多电子设备和系统实现高性能的关键。随着数字集成电路和微电子技术的发展,直接数字合成技术(DDS)将先进的数字处理技术与方法引入信号合成领域,优越的性能和突出的特点使其成为现代频率合成技术中的佼佼者。DDS 器件采用了高速数字电路和高速 D/A 转换技术,具备了频率转换时间短、相对带宽宽、频率分辨率高、输出相位连续和相位可快速程控切换等优点,可以实现对信号的全数字式调制。而且,由于 DDS 是数字化高密度集成电路产品,芯片体积小、功耗低,因此可以用 DDS 构成高性能频率合成信号源来取代传统频率信号源产品。

2 DDS 工作原理

2.1 DDS 技术

AD9854 中使用的 DDS 技术是根据奈奎斯特采样定律,从连续信号的相位出发将一个正弦信号取样、量化、编码,形成一个正弦函数表,存于 EPROM 中;合成时,通过改变相位累加器的频率控制字来改变相位增量。相位增量不同,一个正弦周期内的采样点数不同。在时钟频率即采样频率不变的情况下,通过相位的改变来实现频率的改变,计算公式为 $\Delta P = \omega \Delta t = 2\pi f \Delta t$ 经转换得: $f = \Delta P / (2\pi \times \Delta t) = (\Delta P \times f_{CLK}) / 2\pi$

其中 P 为相位变化, ω 为角频率, t 为时钟周期, f_{CLK} 为时钟频率。由式中可知,改变相位值 P ,就可改变合成信号的频率 f 。由于 N 位相位累加器对 2 进行量化,即对 2 取 2^N 个点,则 P 可取 $0 \sim 2^N - 1$ 。将其代入得 $f = (W_{FC} \times f_{CLK}) / 2^N$,其中 W_{FC} 为频率控制字,取值为 $0 \sim 2^N - 1$ 。将这种变化的相位/幅值量化的数字信号通过 D/A 转换即可得到合成的相位变化的模拟信号频率。

2.2 AD9854 芯片结构及工作模式

AD9854 是美国 AD 公司采用先进的 DDS 技术生产的具有高集成度的电路器件。它内部集成了 48Bit 频率累加器、48Bit 相位累加器、正余弦波形表、高速、高性能的正交 D/A 转换器以及调制和控制电路,能够在单片上完成频率调制、相位调制、幅度调制和 IQ 正交调制等多种功能。当输入一个准确的参考频率,AD9854 就产生一个高稳定的频率、相位、幅度可编程调制的正弦和余弦信号,作为本机振荡器用于通信、雷达等方面。AD9854 的 DDS 内核具有 48Bit 的频率分辨率,相位截断 17Bit 保证了优良的无杂散动态比(SFDR)指标。同时,AD9854 内部还含有可编程控制的时钟乘法器,这可以使用户采用相对较低频率的振荡器通过乘法电路实现从 4 到 20 的整数倍频成为系统时钟信号,其内部时钟速率最大可达 300MHz。

AD9854 有五种工作模式,分别为 Single-Tone (Mode 000)、FSK (Mode 001)、Ramped FSK (Mode 010)、Chirp (Mode 011) 和 BPSK (Mode 100),模式选择可在控制寄存器里进行修改。在这五种模式中,Single-Tone 模式是最为灵活的一种,也是主复位后的默

陶益凡:硕士研究生

基金项目:江苏省攻关计划资助项目 (BE 2002327)

认模式。通过该模式可以根据需要任意设定输出信号的频率、幅度和相位等特性。在 FSK 模式下,其输出信号的频率可根据引脚 P29 的电平高低在频率控制字 F1 和 F2 之间选择,而其相位则由相位控制字 P1 决定,频率跳变时相位保持连续。Ramped FSK 模式与 FSK 的不同之处在于:F1 和 F2 分别存储低频率和高频率,输出从 F1 到 F2 扫描,扫描间隔和速度可以控制,控制寄存器中既可提供单独控制位以实现自动三角形扫频过程,也可改变扫频速度以实现非线性扫频。Chirp 模式是在指定的频率范围和频率精度上,频率可以是线性或非线性变化输出,而且扫频方向可控。与 Ramped FSK 模式相比,该模式需要用户自己通过"HOLD"(P29 高电平)控制停止频率点,同时控制停止后的状态。BPSK 模式的工作方式几乎和 FSK 完全相同,只是 BPSK 模式将频率 F1 和 F2 之间的切换变成了相位 P1 和 P2 之间的切换,引脚 P29 低电平时选择 P1,高电平时选择 P2。此外,还要通过频率寄存器对输出信号的频率进行控制。

3 系统硬件设计

本文设计的信号发生器采用 DDS 技术,结合单片机控制,实现正弦波、方波、三角波、点频、扫频、跳频等功能,以及 AM、FM、PM、FSK、PSK、ASK 等调制功能。系统组成结构如图 1 所示,主要有单片机控制模块、键盘与显示模块、数字合成模块、滤波模块及功放模块。

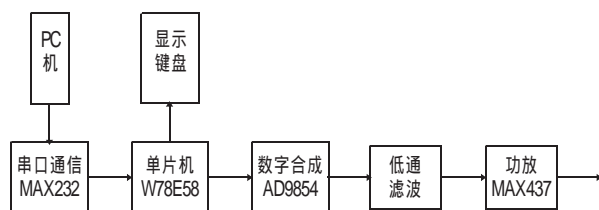


图 1 系统组成结构

3.1 信号的产生及显示控制

系统采用的单片机控制芯片是台湾 Winbond 公司的 W78E58 芯片,它是 51 系列单片机兼容的微控制器,其内部有 32KB 的 FLASH EEPROM,用户编制的程序及需要显示的英文字母、数字、汉字、曲线和图形都可以存储在里面,免去了扩展外部存储器的麻烦,使得以 W78E58 单片机为核心的控制系统电路更简单。而且它的一个机器周期是 4 倍的振荡周期,执行同一条指令的时间只是普通的 8051 单片机的 1/3,因此指令操作更加快速。

本文设计中, W78E58 的参考时钟由 20MHz 的晶体振荡器产生,同时也把它作为 AD9854 的输入时钟,再经过内部乘法电路 15 倍频后达到 300MHz 的系统时钟。AD9854 有 10MHz 串行接口和 100MHz 8 位并行接口 2 种方式可以选择,此处将 S/P SELECT(Pin 70)引脚接高电平,选择并行传输方式。如信号产生控制

电路图(略可向作者索取), W78E58 的 P0.0 至 P0.7 端口与 AD9854 的 D0 至 D7 端口相连传输数据信息, P2.0 至 P2.5 端口与 A0 至 A5 端口相连传输寄存器地址信息, P3.6、P3.7 分别与 WR、RD 两个引脚相连控制读写操作,由这三部分共同组成并行传输控制。例如,当 WR 引脚置低电平时,频率控制字通过数据端口送入 I/O 缓冲寄存器,再由内部的刷新时钟把控制字写入指定地址的寄存器。

为节省单片机 I/O 口,简化硬件线路,本文采用矩阵式键盘,并结合软件编程,实现双功能键。键盘共设有 16 个键,由 P1.0~P1.3 四条行线和 P1.4~P1.7 四条列线构成。其中包括数字键、单位键及功能键,用来对所需信号的频率、幅度及功能进行控制,最后输出的信号频率、幅度等信息通过液晶显示屏显示出来。显示部分采用国显公司的 GXM1602NSL 液晶模块,它的核心是 HD44780。与 W78E58 的数据传输采用 8 位并行传输,可显示两行共 32 个点阵字符。HD44780 支持用户自定义字符,故可以通过编程将频率、幅度、波形等汉字及数字信息显示出来。

本文设计中还采用了通信接口(RS232)与 PC 机相联,PC 机的控制命令可以通过 TXD(Pin10)和 RXD(Pin11)与 W78E58 进行交互,控制信号源的输出。

3.2 信号的处理

根据 DDS 合成的频谱分析,由于存在相位截断和 D/A 转换,输出信号含有高次谐波分量干扰。尤其是输出信号频率越高,谐波畸变越大,本文设计的信号发生器输出频率最高达 100MHz,故需进行更有效的滤波处理。本设计中采用的小波分析能同时利用信号与噪声在时域和频域内的差别,实现更为有效的信噪分离,从而获得较为理想的除噪效果。滤除高次谐波时,利用 3 准则确定每层小波分解系数的阈值。3 准则通常用于测量误差的处理,主要功能是挑出测量误差中的粗大误差。基本思想是:由于随机误差是服从于正态分布,则误差的绝对值主要集中在均值(0)附近。凡所测数据大于 3 的则认为是粗大误差,予以剔除。具体算法为:1)计算各层细节系数的均方值;2)将相应层的小波变换系数中绝对值大于 3 的系数置为 0,其他保持不变;3)返回 1)重新计算的,继续比较,如果小波变换系数中仍然有大于 3 的值存在,则循环执行 1)、2),直到该层所有小波变换系数都小于该次求得的 3。此时的 3 就是该层小波分解系数去噪阈值。处理后的系数再进行小波反变换,即得到预期的波形。把滤波后的 I 和 Q 通过 VINP(Pin42)、VINN(Pin43)脚输入,经过高速比较器,即可得到方波信号,方波信号经过简单的变换,可得到三角波、锯齿波等。

4 系统软件设计

在仪器的整个设计中,对系统软件的设计采用模块化设计的方法。系统软件由主监控软件、键盘显示

器管理模块、外设中断管理处理模块、各功能模块和数据处理模块构成。上电复位后仪器首先进入监控主程序。它的任务是识别命令、解释命令,并获得完成该命令的相应模块的入口,起着引导仪器进入正常工作状态。系统的软件用 C 语言设计,相对于汇编语言,C 语言对机器底层硬件操作较为方便,模块化程度高,可读性与可移植性好。

主程序框图如图 2 所示。对 AD9854 进行初始化控制时,首先,MASTER RESET(Pin71)脚必须置高 10 个系统周期以上,然后对 AD9854 写入控制字。一旦设定后,AD9854 将保持设定状态不变,直到重新进行设置。AD9854 通过内部一个地址范围为 00H~27H 的寄存器表存储有关的各种控制字和状态字。用户可通过 I/O 与该寄存器表进行通信,I/O 缓冲区的内容必须在更新脉冲的作用下才能刷新到寄存器表中,这样可以很好地达到同步。寄存器表中 00H、01H 和 02H、03H 单元分别存放 14 位的相位控制字 1 和相位控制字 2,它决定了输出信号可编程控制的相位精度即最低相位为 $P_{MN}=360^\circ/2^{14}=0.022^\circ$ 。04H~09H 和 0AH~0FH 单元分别存放 48 位的频率控制字 1 和频率控制字 2,它决定了输出信号可编程控制的频率精度即最低频率为 $f_{MN}=300 \times 10^6/2^{48}=1.066 \times 10^{-6}\text{Hz}$ 。AD9854 的五种工作模式选择字存放在寄存器表 1EH 单元。当 AD9854 工作在 Chirp 模式下时,基本编程步骤如下:

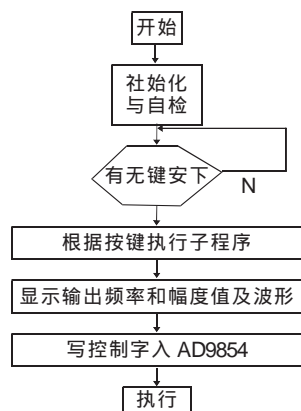


图 2 系统主程序

(1) 将初始频率控制字 WFC 写入 48 位 FTW₁ (Frequency Tuning Word 1) 中。

(2) 将频率步进量写入 48 位 DFW (Delta Frequency Word) 中。

(3) 将时间步进量写入 20 位 RRC (Ramp Rate Clock) 中。

(4) 更新脉冲刷新数据。

部分源程序如下:

.....

P2=0x04; 寄存器地址为 04H

P0=0x2A; 输出频率为 50MHz

P3.6=0

P3.6=1

P2=0x1F; 寄存器地址为 1FH

P0=0x86; 工作模式为 011

P3.6=0

P3.6=1

.....

P2=0x1E; 寄存器地址为 1EH

P0=0x4F; 系统时钟为 20MHz 的 15 倍频即 300MHz

P3.6=0

P3.6=1

.....

5 总结

本文设计的信号发生器采用 DDS 芯片 AD9854, 结合单片机控制技术, 使得整机结构简单, 功能齐全。不仅具有 AM、FM、PM、FSK、PSK、ASK 调制功能, 还有点频、扫频和跳频等功能。经过实际测试, 其分辨率、信噪比和幅度控制达到了设计要求, 输出最高频率达到了 100MHz, 频率分辨率达到 1 μHz , 抗干扰能力很强, 满足实验室和科研使用的要求。

参考文献:

[1] COMS 300 MSPS Quadrature Complete DDS - AD9854 Datasheet. Analog Devices Inc, 2004

[2] 王长利, 全厚德. 基于数据库的通信设备自动测试系统设计 [J]. 微计算机信息, 2005, 1: 69-71

作者简介: 陶益凡, 女, 1981 年 4 月生, 汉族, 江苏盐城人, 硕士研究生, 研究方向为智能仪器仪表。Email: yayatyf@163.com. 唐慧强, 男, 1965 年 2 月生, 汉族, 副教授, 博士。

(210044 南京信息工程大学) 陶益凡 唐慧强 黄勋
通信地址:

(210044 南京信息工程大学信息与通信系) 陶益凡
(Department of Information and Communication,
Nanjing University of Information and Science &
Technology, Nanjing 210044, China) Tao, Yifan

(投稿日期: 2005.6.26) (修稿日期: 2005.7.6)

微计算机信息杂志 旬刊

每册定价: 10 元 一年订价: 360 元

地址: 北京海淀区皂君庙 14 号院鑫雅苑 6 号楼 601 室
微计算机信息杂志收 邮编: 100081
电话: 010-62132436 010-62192616 (T/F)