

文章编号: 1671-251X(2011)05-0070-04

# 直接数字频率合成技术在超声波振荡电路中的应用

杨生元

(中煤科工集团常州自动化研究院, 江苏 常州 213015)

**摘要:** 针对传统的超声波振荡电路因采用模拟或数字自激振荡器存在输出频率不稳定的问题, 提出了一种采用直接数字频率合成技术设计超声波振荡电路的方案, 详细介绍了直接数字频率合成技术的基本工作原理以及采用该技术设计的超声波振荡电路的硬件和软件实现。实际应用表明, 采用直接数字频率合成芯片 AD9850 设计的超声波振荡电路稳定可靠, 并且不易受温湿度变化的影响, 能解决矿用仪器仪表电路中超声波振荡电路的频率漂移问题。

**关键词:** 矿用风速传感器; 直接数字频率合成; 超声波; 振荡电路; 相位累加器; DDS; AD9850

**中图分类号:** TD679      **文献标识码:** B

## Application of Direct Digital Frequency Synthesis Technology in Ultrasonic Oscillation Circuit

YANG Sheng-yuan

(Changzhou Automation Research Institute of China Coal Technology and Engineering Group Corporation, Changzhou 213015, China)

**Abstract:** In view of the problem that output frequency of traditional ultrasonic oscillation circuit is

收稿日期: 2011-01-21

作者简介: 杨生元(1975-), 男, 湖北荆州人, 工程师, 现主要从事煤矿井下电力监控系统及煤矿电气自动控制方面的研究工作。

E-mail: yangshengyuan00@126.com

人员与小区居民带来极大方便。同时该系统的组网方式也可用于其它大多数带有串口的控制器(如PLC等), 并且性能可靠, 连接简单, 易于维护, 具有广阔的应用空间和应用价值。

### 参考文献:

- [1] 蔡伟, 刘泊. 组态软件在水厂自动化监控系统中的应用[J]. 哈尔滨理工大学学报, 2007, 12(4): 8-9.
- [2] 北京兰利东方科技有限公司. CPS-21c 供水控制器 [EB/OL]. (2008-03-26) [2010-11-12]. <http://www.gongkong.com/webpage/datum/200703/9-BF5E-C4A4AFF6A8B1.htm>.
- [3] 张辉, 赵方, 艾长胜, 等. 基于串口服务器的数控机床组网[J]. 控制与检测, 2005(7): 79-80.
- [4] 王娜, 张运才, 李国平, 等. 基于串口服务器的变频器远程控制系统[J]. 控制与检测, 2006(5): 44-45.
- [5] Moxa 公司. Moxa 串口服务器 [EB/OL]. (2007-06-08) [2010-12-10]. <http://www.wenku.baidu.com/view/6966867302768e9951e738be.html>.
- [6] 许建凤, 田建创, 方蕾. 基于串口服务器的 PLC 网络控制系统[J]. 浙江工业大学学报, 2008, 36(2): 196.
- [7] 北京兰利东方科技有限公司. CPS-21c 通信协议 [EB/OL]. (2008-03-26) [2010-11-12]. <http://www.gongkong.com/webpage/datum/200703/9-BF5E-C4A4AFF6A8B1.htm>.
- [8] 王双庆, 邢建春, 王平, 等. 基于 NPort 串口服务器的人防工程智能设备集成[J]. 工业控制计算机, 2008, 21(8): 9-10.
- [9] 杨书仪, 文泽军, 姜升. 基于力控软件的供水水压流量远程监控系统[J]. 自动化仪表, 2007, 28(6): 40-41.
- [10] 马国华. 监控组态软件及其应用[M]. 北京: 清华大学出版社, 2001.

unstable because of using analog or digital self-excited oscillator, the paper proposed a design scheme of ultrasonic oscillation circuit based on direct digital frequency synthesis technology, and introduced basic working principle of direct digital frequency synthesis technology and implementation of hardware and software of the ultrasonic oscillation circuit in details. The practical application showed that the ultrasonic oscillation circuit with direct digital frequency synthesis chip AD9850 is stable and reliable, and is less susceptible to changes of temperature and humidity, which can completely solve the problem of frequency drift of ultrasonic oscillation circuit of mine-used instrument.

**Key words:** mine-used air speed sensor, direct digital frequency synthesis, ultrasonic, oscillation circuit, phase accumulator, DDS, AD9850

## 0 引言

在现代煤矿仪器仪表中, 振荡频率源有着广泛的应用, 很多矿用电子系统实现高性能指标的关键因素就是需要设计高稳定振荡频率源, 甚至很多矿用电子设备和系统的功能都直接依赖于所使用的频率源的性能, 比如矿用超声波料位仪、超声波流量计、超声波风速传感器等。由于煤矿井下空气湿度大, 并含有少量腐蚀性气体, 电子设备如果长期在这样的环境下使用, 元器件的参数和性能必然会发生变化。传统的超声波振荡电路大多采用数字或模拟的自激振荡电路, 振荡频率的调整一般都是通过改变电阻或电容值的大小来实现, 一旦调整到最佳频率点, 该电路的振荡频率就被固定下来。然而, 电阻或电容值会随环境温度、湿度的变化而发生改变, 导致电路的振荡频率也随之发生变化, 从而影响设备性能指标, 甚至需要定期校正或不能正常工作。另外, 超声波振荡电路一般都有一个最佳频率工作点, 传统的超声波振荡电路都是靠手工调整频率来寻找这个最佳工作频率点, 这样严重影响了产品的生产效率, 也要求生产人员必须具备较高的技术水平, 造成生产瓶颈。要想保证振荡频率的精准度, 同时能自动进行动态扫描完成寻找最佳工作点的工作, 采用单片机控制直接数字合成芯片正好能实现这项功能。本文在介绍直接数字频率合成技术(DDS)基本工作原理的基础上, 设计了一种超声波振荡电路, 解决了矿用仪器仪表电路中超声波振荡电路频率漂移的问题。

## 1 DDS 基本工作原理

DDS 基本工作原理如图 1 所示。它主要是利用采样定理, 通过查表来产生波形, 由基准时钟源、相位累加器、相位/幅度变换器、DA 转换器、低通滤

波器等构成。基准时钟源是产生稳定波形(包括频率和相位波形)的前提, 它直接用于 DDS 中各功能组件之间的同步<sup>[1]</sup>。简而言之, DDS 就是对相位进行等间隔的采样。

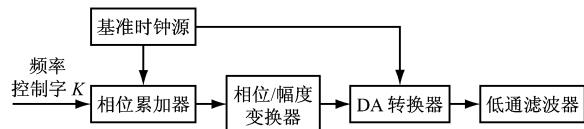


图 1 DDS 基本工作原理

相位累加器是实现 DDS 的核心部分, 它由一个加法器和一个与加法器等宽的相位寄存器组成, 如图 2 所示。加法器的 2 个输入量分别为外部频率控制字  $K$  和相位寄存器的反馈输出, 在时钟脉冲沿到来时, 加法器将上一个时钟周期内相位寄存器的值与频率控制字  $K$  进行累加, 其累加和被相位寄存器采样并保持, 当时钟脉冲沿到达时作为相位累加器在此刻时钟的输出, 并反馈到加法器的一个输入端<sup>[2]</sup>。相位累加器输出的高位部分作为查询波形表的地址, 从波形表中读出相应的幅度数据送到 DA 转换器转换成模拟信号。

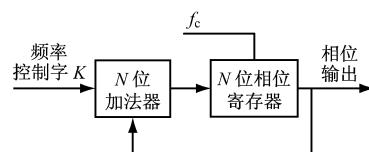


图 2 相位累加器结构

当 DDS 电路工作时, 在基准时钟源的控制下, 相位累加器连续进行相位线性累加(每次累加的步进量为频率控制字  $K$ ), 当累加和超过相位累加器的宽度时就会产生取模溢出, 从而完成一个周期性的翻转, 这个周期就是 DDS 输出信号的频率周期。输出频率的计算公式为

$$f_{\text{out}} = \frac{\omega}{2\pi} = \frac{\frac{2\pi}{2^N} K f_c}{2\pi} = \frac{K f_c}{2^N} \quad (1)$$

式中:  $f_{out}$  为输出频率;  $N$  为加法器的位宽度;  $K$  为外部输入的频率控制字;  $f_c$  为基准时钟源频率。

当  $K=1$  时, 输出频率达到最小值, 因此输出频率的最小分辨率为  $f_{min}=f_c/2^N$ 。可见, 输出频率的最小分辨率与加法器的宽度以及输入的基准时钟源频率的大小有关。

## 2 DDS 的特点

相对于直接模拟频率合成以及锁相环频率合成这两种传统的合成技术而言, DDS 由于采用了数字处理技术, 并且以固定的时钟脉冲为基础, 因而能够避免许多传统技术的不足。DDS 具有以下主要特点:

(1) 输出波形频率具有极高的分辨率。当输入基准时钟频率满足系统要求时, 增加相位累加器的位宽可以使输出分辨率足够小。以 AD9850 芯片为例, 假设输入基准频率为 12 MHz, 相位累加器和频率控制字的位宽为 32 bit, 即式(1)中的  $N=32$ , 当  $K=1$  时, 输出分辨率可以达到 2.8 MHz。而传统的模拟锁相环频率合成技术通常只能达到 1 kHz 左右的分辨率。

(2) 输出频率变化时间短。DDS 是一个开环系统, 不带反馈环节, DDS 的频率控制字改变后, 最多经过一个基准时钟源周期的等待时间, 相位累加器就会按新的相位步进量进行累加, 即可实现输出频率的改变, 因此, 输入基准时钟源的频率越高, 则频率转换耗时就越短。目前 DDS 的频率转换时间可达到纳秒级, 要比采用其它频率合成方法快 2~3 个数量级<sup>[3]</sup>。

(3) 输出信号频率动态范围大。因为 DDS 的输出信号不像模拟锁相环频率合成电路那样容易受电路稳定性的影响, 理论上只要在满足抽样定理的前提下, 输出频率可以达到输入基准时钟源频率的 50%, 但考虑到输入低通滤波器的特性以及电路设计的难度, 达到基准时钟频率的 40% 是可行的<sup>[4]</sup>。

(4) 输出波形灵活。从 DDS 实现的基本原理可知, 只要在 DDS 内部加上所需要的特定控制功能, 即可在输出端获得相应波形, 比如实现调频、调幅和调相等。另外, 可在波形 ROM 中存放特定的波形数据, 在输出端可获得相应的波形, 甚至可输出多路波形不同的信号。理论上可产生任意波形信号。

## 3 超声波振荡电路的设计

与传统的振荡电路设计相比, 采用 DDS 设计的振荡电路硬件更为简单, 没有自激振荡, 也没有稳频、稳幅电路等环节, 只需要一个单片机(本文采用 C8051F021), 一片 DDS 芯片(本文采用 AD9850)以及简单的无源滤波电路即可构成一个高稳定的振荡器。该振荡器由 C8051F021 向 AD9850 提供基准时钟源以及频率控制字, 并对 AD9850 进行控制, 由 AD9850 根据频率控制字自动产生特定频率的正弦波形。由于 AD9850 的输出波形是由 DA 转换器产生的, 其中含有高频分量, 所以在 AD9850 的输出端必须增加一定的滤波措施。一般情况下, 超声波换能器是由脉冲方波驱动的, 所以增加一级比较器(本文采用 LM293)将正弦波转换成方波, 然后接功率放大电路就可以直接驱动超声波发射器了。本电路简单可靠, 不需要任何可调器件, 输出信号的幅度、频率极为稳定, 只要 C8051F021 的输出基准时钟稳定, 振荡器的输出信号就不会随环境温度、湿度的变化而变化, 频率调整由 C8051F021 控制, 可以小于 1 Hz 的步距进行调整, 并且可调范围广, 其参数性能明显优于传统振荡器。

AD9850 是 AD 公司推出的高性能 DDS 芯片, 它采用 3.3 V 或 5 V 电源供电, 最高输入基准时钟频率可达 125 MHz, 内含一个可编程的 DDS 核心、波形存储器、一个 10 bit 的高速 DAC 和一个高速比较器, 相位累加器位宽为 32 bit, 控制接口形式既具有并行方式也具有串行方式, 波形存储器中存放的是正弦波形数据。在 5 V 供电、输入基准时钟为 125 MHz 时, 芯片功耗仅为 380 mW。当芯片正常工作时, 相位寄存器的输出作为正弦波形查找表地址, 通过查询表把输入地址的相位信息映射成正弦波幅度信号, 最后驱动 DAC 以输出正弦波形。由于 AD9850 属于高速的数模混合器件, 要想获得良好的效果, PCB 布局布线也需要引起足够的重视, 推荐采用 4 层板设计以保证电源和地信号的完整性。如果采用数字信号与模拟信号分开的话, 地信号应该在 AD9850 芯片底下连接, 连接芯片电源, 地的铜导线应尽量宽。为消除高频开关噪声, 在每个电源引脚附件加退耦电容是必要的。C8051F021 与 AD9850 之间的连接方式可根据需要而定, 可分为串行连接(1 根数据线)和并行连接(8 根数据线)

2 种方式, 本文采用串行连接方式, 具体电路如图 3 所示。

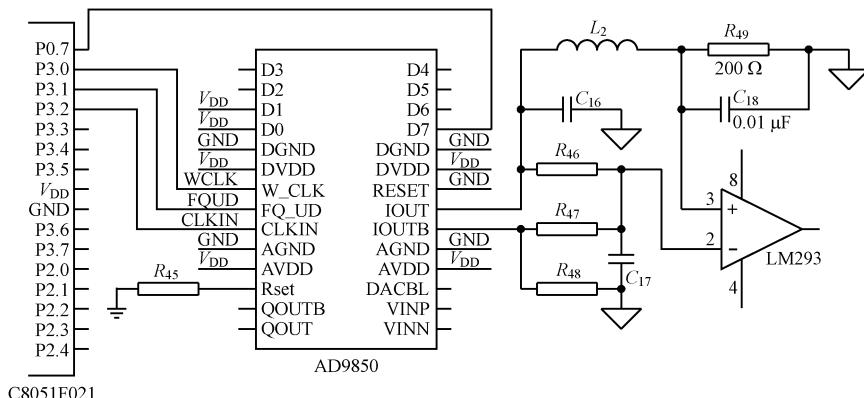


图 3 AD9850 与 C8051F021 的连接电路

CLKIN 为参考频率源输入, 由 C8051F021 的时钟通过分频输出得到。W\_CLK 为串行时钟信号, D7(DIO) 为串行数据输入输出端。FQ\_UD 为输出刷新控制信号。C8051F021 每次向 AD9850 送 40 bit 数据(5 B), 其中包括 32 bit 频率控制字, 3 bit 状态控制字和 5 bit 相位控制字<sup>[5]</sup>。AD9850 的输出为正弦波, 一般需要进行滤波处理, 输出信号幅度随负载电阻变化, 负载电阻大小的选择是决定输出信号幅度和波形好坏的关键因素。如图 3 所示, 通过电阻 R<sub>46</sub>、R<sub>47</sub> 和电容 C<sub>17</sub> 可得到输出波形的基准电压, 将该基准电压与输出波形进行比较即可获得占空比为 50% 方波输出。

#### 4 AD9850 驱动程序的实现

AD9850 驱动程序相对比较简单, 只需要实现 2 个函数: 第一个函数为初始化函数, 第二个函数实现向 AD9850 写数据的功能。函数声明如下:

```
void AD9850_Init(void);
void Write_AD9850(uchar * freq_data);
```

根据 AD9850 的复位时序要求, W\_CLK 和 FQ\_UD 需要分别有一个上升沿跳变的过程, 要注意 2 个上升沿之间的延时时间隔。另外, 向 AD9850 送数据时要求低位先送, 芯片在上升沿采样数据, 在送出最后一位数据且保证数据线仍然有效的前提下, 将 W\_CLK 设置为低电平, 同时设置 FQ\_UD 向高电平跳变。如果需要改变输出频率, 只需要改变 32 bit 的频率控制字即可, 输出频率精度极高, 而且稳定可靠, 只要参考源频率稳定, 输出频率就一定稳定。AD9850 控制字写入程序流程如图 4 所示。

#### 5 结语

采用 AD9850 芯片的振荡电路已成功应用于矿

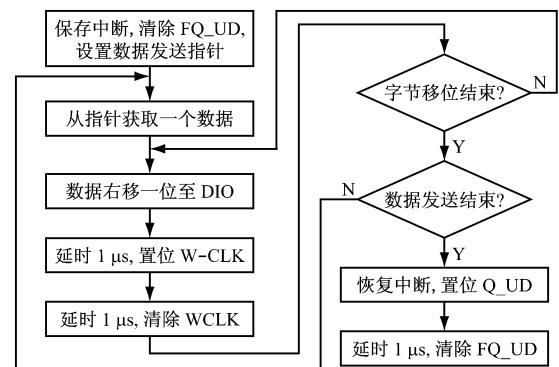


图 4 AD9850 控制字写入程序流程

用风速传感器的设计中。该振荡电路运行稳定可靠, 不会随温度、湿度的变化产生频率漂移; 频率调整极为方便, 在使用过程中不需要重新调校, 对改善风速传感器的性能起到了关键作用。这种通过采用 DDS 芯片来设计高稳定振荡信号源的方法, 对于提高产品性能、可靠性以及智能化程度具有重要意义, 并且这种对频率信号源的改进方法也具有通用性, 不仅是对超声波振荡电路的改进, 而且也对其它需要高稳定频率信号源的仪器仪表的性能提高具有借鉴意义。

#### 参考文献:

- [1] 王家礼, 孙璐. 频率合成技术[M]. 西安: 西安电子科技大学出版社, 2009.
- [2] 姜田华. 实现直接数字频率合成器的三种技术方案[J]. 电子技术应用, 2004(3): 1-3.
- [3] 陈思忠, 袁易全. 近代超声波原理与应用[M]. 南京: 南京大学出版社, 2006.
- [4] 石雄. 直接数字频率合成技术的应用与研究[D]. 武汉: 华中科技大学, 2007.
- [5] 胡伟. 单片机 C 程序设计及应用实例[M]. 北京: 人民邮电出版社, 2003.