

# 一种高精度直接数字式频率源的设计\*

郑 毅

(襄樊学院电气信息工程系, 湖北 襄樊 441053)

**摘 要:**直接数字频率合成(DDS)是近年来发展非常迅速的一种新型频率合成技术,它具有频率分辨率高、相位噪声低、频率转换时间短等特点。首先简要介绍 DDS 的工作原理及其性能,然后主要阐述如何利用 AD9851 芯片设计一个高精度直接数字式合成频率源。

**关键词:**直接数字式频率合成;AD9851;频率分辨率;相位噪声

**中图分类号:**TN742.1 **文献标识码:**B **文章编号:**1008-5300(2003)04-0061-04

## Design of Direct Digital Frequency Source of High Accuracy

ZHENG Yi

(Xiang Fan College, Department of Electric Information Engineering, Xiang Fan 441053, China)

**Abstract:** Direct digital frequency synthesizer (DDS) is a recently and rapidly developed technology which features high frequency resolution, low phase noise, short frequency switching time. This paper briefly introduces the basic principle and the performance of DDS. Then it mainly describes how to use AD9851 chip to design a direct digital synthesis frequency source of high accuracy.

**Key Words:** Direct digital frequency synthesizer; AD9851; Frequency resolution; Phase noise

随着现代电子技术的发展,在通信、雷达、宇航、仪表、电视广播、遥控遥测和电子测量仪器等应用领域,往往需要在一个频率范围内提供一系列高准确度和高稳定度的频率信号,这就需要采用频率合成技术。近年来,一种新型频率合成技术——直接数字式频率合成(Direct Digital Frequency Synthesis,简称 DDS)得到了快速发展,它的主要优点有:频率分辨率高、容易做到极低的频率,几乎是即时的频率转换以及体积小、成本低、功耗小、控制灵活等。运用 DDS 技术合成频率源是目前频率合成领域中最先进的技术,研制出该频率源具有重大的理论和现实意义。

## 1 DDS 的基本原理

DDS 从原理上讲由相位累加器(PA),正弦波形成查表(即存放在只读存储器(ROM)中的相位码/幅度码转换表),数字/模拟转换器(DAC)和低通滤波器(LPF)四部分组成,如图 1 所示,其中虚线框部分是 DDS 的核心,被称为数控振荡器(Numerically Controlled Oscilla-

tor,简称 NCO),参考频率源是一个高稳定度的晶体振荡器,其输出信号作为 DDS 合成频率的基准频率,同时保证 DDS 中各部件同步工作,频率控制字  $F_{CW}$  来自计算机系统,它用来控制相位累加器的累加次数,从而改变输出频率  $f_o$  的高低。DDS 的工作实质是以参考频率源对相位进行等可控间隔的采样。

由于  $f = \Delta\phi / 2\pi = \Delta\phi / 2\pi \times t$ , 其中  $\Delta\phi$  为一个采样间隔  $t$  之间的相位增量,采样周期  $t = 1/f_r$ , 即:  $f = \Delta\phi / (2\pi \times 1/f_r)$ , 控制  $\Delta\phi$ , 就可以控制不同的频率输出。由频率控制字  $F_{CW}$  控制:  $\Delta\phi = F_{CW} \times 2\pi / 2^N$  ( $N$  为相位累加器的字长), 改变  $F_{CW}$  可得到不同的频率输出  $f_o$ :

$$f_o = \frac{F_{CW}}{2^N} \times f_r \quad (1)$$

由式(1)可知,频率分辨率(也是可变的频率间隔)为当  $F_{CW} = 1$  时的输出频率:

$$f_{res} = f_o = \frac{f_r}{2^N} \quad (2)$$

\* 收稿日期:2002-11-22

DDS 中输出滤波器采用 LPF。由于 DDS 合成信号是正弦波时, D/A 输出的信号中有许多不需要的寄生谱分量, 只有基波分量才是所需要的, 因此在 D/A 之后需跟一个低通滤波器。Nyquist 准则允许输出频率最高为  $f_r/2$ , 即  $F_{CW} = 2^{N-1}$ , 但实际中受 LPF 的限制, 一般:

$$f_{\text{omax}} = 40\% \times f_r \quad (3)$$

DDS 的主要优点是频率分辨率高, 由式 (2) 可知, 它的频率分辨率 (即精度) 由相位累加器的位数  $N$  决定; 由式 (3) 可以看出, DDS 的工作频带较宽, 可合成从直流到  $0.4f_r$  的频率信号; 同时它的输出相位连续, 频率稳定度高。

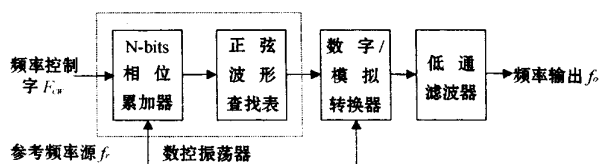


图 1 DDS 原理框图

## 2 一种高精度直接数字式频率合成器的设计

AD9851 芯片是 AD 公司采用先进 CMOS 技术生产的最高时钟为 180MHz、高集成度直接数字式频率合成器件。它由一个高速 DDS, 一个高速、高性能 DAC 以及比较器等构成一个完全数字控制可编程频率合成器, 其时钟输入端内置一个 6 倍频乘法器, 并且具有时钟产生功能。AD9851 的原理框图如图 2 所示, 可将其用作一个高精度可编程的数字频率合成器和时钟生成器。当参考时钟源的频率精度很高时, 其输出数字化的模拟正弦波的频率和相位都很稳定, 生成的正弦波经滤波后可直接用作频率源, 也可通过内部的比较器转换成方波作时钟源。

AD9851 的参考时钟输入可采用温补石英晶体振荡器提供, 编程启用 AD9851 内含的 6 倍频率乘法器。其所需控制字、频率控制字  $F_{CW}$  以及相位控制字等数据由 PC 机通过 PCI (Peripheral Component Interconnect, 即外围部件互连) 总线以并行或串行异步方式提供, 在 PCI 总线与 AD9851 之间利用 PCI 专用芯片组或 FLD 进行输入数据缓冲, AD9851 的输出需经 LPF 滤波器滤波。系统总体原理框图如图 3 所示。

AD9851 共包含 40 位控制码 (D39 ~ D0), 其作用是: (1) D39、D38 用来控制 AD9851 数据输入的模式。AD9851 的数据输入模式分为两种: 并行输入模式和串

行输入模式。在并行输入模式下, 模式控制码为“00”, 由数据输入端 D0 ~ D7 每次 8bits 分多次输入频率控制字。在串行输入模式下, 模式控制码为“11”。由数据输入端 D7 每次 1bit 依次输入频率控制字。(2) D37 用来调节 AD9851 输出的功率。(3) D36 ~ D32 相位调制码, 用来控制 AD9851 的相位调制量。(4) D31 ~ D0, 用来控制 AD9851 输出的频率。这 32 位频率控制码是由输入的频率值转换过来的。具体转换关系为  $\text{PHASE} = f_o / (\text{REFCLK} / 2^{32})$ 。

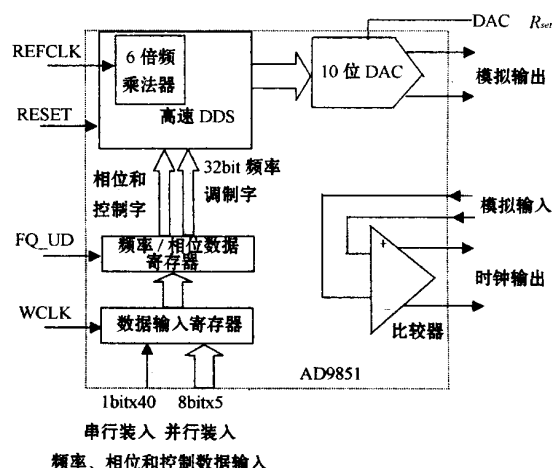


图 2 AD9851 原理框图

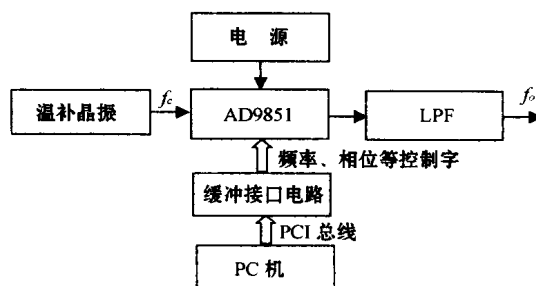


图 3 系统原理框图

AD9851 中的 DDS 内核所需输入控制字由 PC 机提供。在进行频率控制时, 首先送入相位调制码、功率调节码和输入模式控制码, 然后送入 32 bits 频率控制码。本系统中以软件方式设置 AD9851 工作在并行数据输入模式。系统启动后, 用户从键盘输入所需信号的频率值、初始相位值以及置 AD9851 的工作模式的控制字, 计算机将频率值根据公式  $\text{Phase} = f_o / (\text{REFCLK} / 2^{32})$  转换为频率相位控制字, 将初始相位值按照公式  $\text{Phase} = \text{Phase}_{\text{in}} / 11.25$  转换为相位调制字, 准备送往 AD9851 频率控制输出板。在传输数据之前, 计算机先向系统端口产生一个 RESET 上升沿信号, 并延时 7ns, 使系统复位, 再依次传输一个 8bits 的相位调制和置 AD9851 工作模式码以及 32 bits 的频率控

制码。每传输一次 8bits 的控制码后,需由软件产生一个有效的 W-CLK 上升沿信号,将控制码送入 AD9851 输入数据寄存器中,重复五次后即可将 40bits 的控制码全部加载到 AD9851 内部的数据寄存器中,最后产生一个有效的 FQ-UD 上升沿信号,将 40bits 的控制码全部加载到 AD9851 中的 DDS 频率合成单元中,经过 13 到 18 个时钟周期后,就可以获得所需要的频率输出信号。

主程序流程图如图 4 所示,包括:系统初始化,由用户输入所需的频率值,判断输入的频率值是否超出系统所限制的范围,由计算机完成输入频率值到 AD9851 所需频率/相位控制码的转换,通过 PCI 扩展口将频率控制字送入 AD9851 数据寄存器,等待用户第二次输入新的频率值或结束任务。其驱动程序采用可视化编程工具 Visual C++ 6.0 编写。

### 3 结论与展望

该系统中采用 AD9851 作为 DDS 核心,其频率控制字  $N = 32\text{bits}$ ,当系统输入时钟频率  $f_r$  为 180MHz 时,其输出频率分辨率  $f_{res} = 180 \times 10^6 / 2^{32} = 0.042\text{Hz}$ ,最高输出频率  $f_o = 40\% \times 180\text{MHz} = 72\text{MHz}$ ;AD9851 还提供 5bits 的可编程相位调制字,其输出相位可以  $11.25^\circ$  的增益改变。以 AD9851 芯片为核心构成的 DDS 频率源板卡实际输出频率范围从直流到 70MHz,频率分辨率达 0.04Hz,频谱纯度较高,频率转换速度快,相位连续,频率、相位调制方便,且在 70MHz 输出时 SFDR > 43dB。

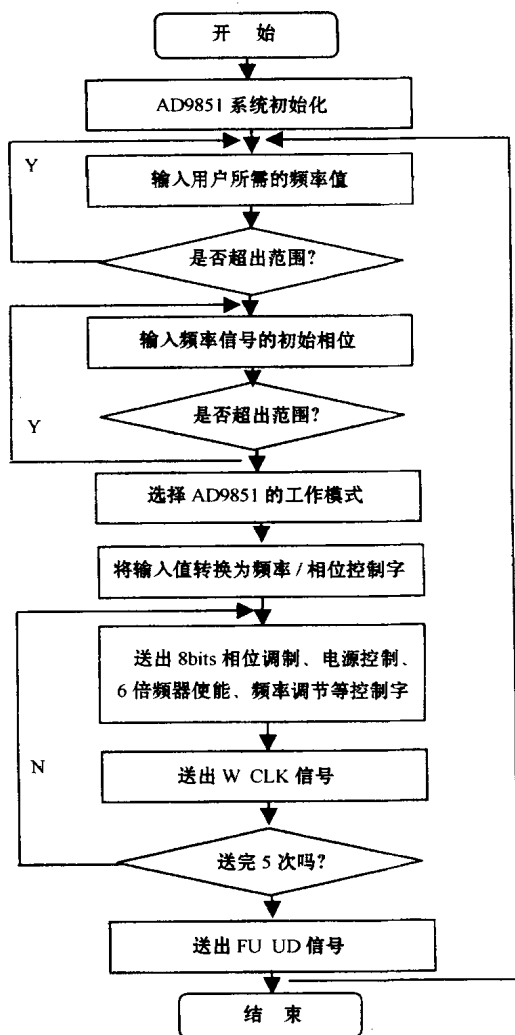


图 4 系统主程序流程图

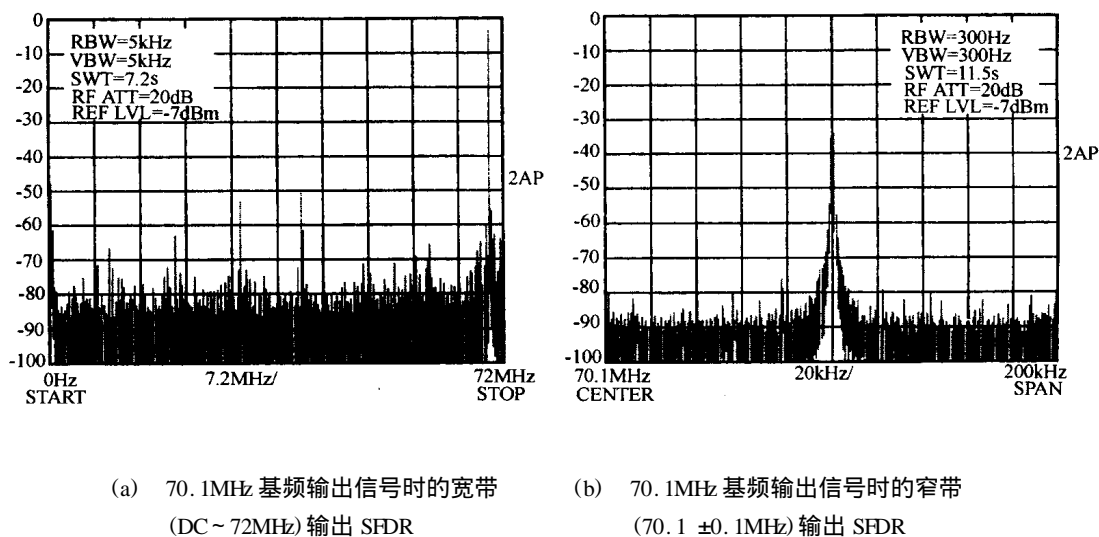


图 5 70.1MHz 基频输出信号时的宽带输出和窄带输出

对该频率源在不同情况下用 HP8567 型频谱仪进行了测试,得到了几种典型情况下的频谱图,其中在

SYSCLK=180MHz,启用 6 倍频器,  $V_s = +5\text{V}$  时,70.1MHz 基频输出信号时的宽带 (DC ~ 72MHz) 输出 SFDR

以及 70.1 MHz 基频输出信号时的窄带 (70.1  $\pm$  0.1 MHz) 输出 SFDR 分别如图 5(a)、(b) 所示, 结果基本达到了理论上给定的 AD9851 性能指标。

目前已集成化的 DDS 芯片主要有 CMOS 型、TTL 型、ECL 型、GaAs 型等, 其中 CMOS 型因其具有一系列优点而得到广泛应用, 主要是 AD 公司和 Qualcomm 公司生产的 CMOS 型 DDS 芯片系列。随着 DDS 理论的不完善和集成工艺水平的提高, DDS 正向高时钟频率、高分辨率、极短频率捷变时间、低相位噪声、低杂散、集 DAC 于一体并同时具有多种调制功能的方向发展。

采用 AD 公司生产的一种典型的 CMOS 型 DDS 芯片 AD9851 研制的频率源被制成 PCI 板卡嵌入到 PC 机中, 作为一种虚拟仪器使用, 能够为各种通信系统提供高准确度和高稳定度的 0 ~ 70 MHz 可调频率信号。如果需要更高精度、更高频率的频率源, 可以采用其它

DDS 芯片按照类似的研制方法获得。

#### 参考文献:

- [1] Robert Howald. Introduction to Analog and Direct Digital Synthesis [J]. RF. Tutorial, 1995. 1.
- [2] Bar-Gora Goldberg. Enhancing the Performance of DDS Signal Sources [J]. Microwaves & RF, 1996. 1.
- [3] 白居易. 低噪声频率合成 [M]. 西安: 西安交通大学出版社出版, 1995.
- [4] 李琳, 王松, 张张扬. 一种有效的 DDS 低杂散设计方法 [J]. 通信学报, 2000, 21(10): 81 ~ 85.
- [5] 王利众, 阮锦屏, 张双军. 直接数字式频率合成器的工程设计 [J]. 无线电工程, 1997, 27(1): 55 ~ 57.

作者简介: 郑毅 (1967-), 男, 湖北谷城人, 工学硕士, 襄樊学院电气信息工程系教师。

(上接第 30 页)

上。该天线罩风阻小, 所用材料玻璃钢强度高, 完全满足抗风能力的要求, 厚度薄, 重量轻, 总重量仅 100 kg。该天线罩模型通过了风洞试验, 而且透波性能良好, 经过测试, 其损耗小, 满足电性能的要求。

## 5 结束语

与同类产品相比, 本天线座动态精度高, 转速扰动小, 各项技术指标属于领先地位, 而且可靠性高, 重量轻, 适装性强。驱动电机及信号电机全无刷化的成功应用, 使本天线座免维护成为可能。

表面上看, 用天线罩后, 整个天线座的体积比较大, 实际上, 加天线罩并没有使天线座的安装空间增加多少, 因为即使不用天线罩, 由于稳定平台摇摆和天线旋转需要一定的空间, 天线座所在的空间也不能安装其它设备 (见图 3)。对采用较大尺寸的实体反射体、抗风能力要求较高、且转速要求较高的天线座来说, 加

合适的天线罩不失为一种优选的方案。有罩的情况下, 天线工作环境良好, 无风的干扰, 雷达可全天候工作, 尤其在高海情、大风浪条件下, 可保持高的动态精度。

#### 参考文献:

- [1] 吴凤高. 天线座结构设计 [M]. 西安: 西北电讯工程学院出版社, 1986.
- [2] 叶尚辉, 李在贵. 天线结构设计 [M]. 西安: 西北电讯工程学院出版社, 1986.
- [3] 饶振纲. 行星传动机构设计 [M]. 北京: 国防工业出版社, 1980.

作者简介: 陈君 (1974-), 男, 工程师, 1994 年毕业于西安电子科技大学, 从事舰载雷达天线座结构设计工作。

欢迎订阅 欢迎投稿 欢迎刊登广告