

应用 DDS 芯片 AD9835 开发的一种 高精度频率信号发生器

南京大学电子科学与工程系(210093) 聂祥羿 王自强 高国升

摘要: 介绍了一种 DDS 专用芯片 AD9835, 并利用该芯片设计了一种高精度频率信号发生器, 讨论了 DDS 芯片的基本原理、应用及其与计算机、单片机的接口。并对实际结果进行了分析。

关键词: 频率合成 DDS 信号源 调制

高精度测量往往需采用高精度、高稳定性、高分辨率的频率信号源。采用多个锁相环构成的频率合成器, 电路复杂、价格昂贵, 且信号建立时间长、动态特性较差。近年来发展起来的直接数字式频率合成器(DDS)采用高速数字电路和高速 D/A 转换技术, 具有以往频率合成器难以达到的优点, 如频率转换时间短($<20\text{ns}$)、频率分辨率高(0.01Hz)、频率稳定度高(10^{-7} 至 10^{-8})、输出信号频率和相位可快速程控切换等, 因此可以很容易地对信号实现全数字式调制。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而取代传统频率信号源产品。

我们采用 Analog 公司的 AD9835 DDS 专用芯片设计了一种由单片机及计算机控制的合成信号源, 主要技术指标如下:

频率范围: $0.1\text{Hz} \sim 10\text{MHz}$

频率分辨率: 0.1Hz

频率稳定度: 1×10^{-7}

输出幅度: $0 \sim \pm 10\text{V}$ 可调

输出波形: 正弦波、方波(TTL 电平)、PSK、FSK、扫频

本信号源有可以任意切换的两种控制方法: 一种是用 PC 机上的并口传递控制指令及参数, 为此我们用 VB 编写了 Windows 9x 操作系统下的控制界面, 通过该程序可以非常容易地设定各种控制参数; 另一种是用单片机控制, 通过面板按钮设定参数和选择功能菜单, 便于野外脱机使用。

1 DDS 工作原理

1.1 DDS 技术

AD9835 中使用的 DDS 技术是从连续信号的相位 Φ 出发, 将一个余弦信号取样、量化、编码, 形成一个余弦函数表储存在 ROM 中。合成时改变相位增量, 由于相位增量不同, 一个周期内的取样点数也不同, 这样产生的正弦信号频率也就不同, 从而达到频率合成的效果。

在这里, 余弦波信号本身是非线性的, 而其相位是线性的(如图 1 所示)。因此, 每隔一段时间 Δt (时钟周期), 有对应的相位变化 ΔP , 即

$$\Delta P = \omega \Delta t = 2\pi f \Delta t \quad (1)$$

从(1)式可得合成信号的频率 f 为:

$$f = (\Delta P \times f_{mc}) / 2\pi \quad (2)$$

式中, f_{mc} 为固定时钟频率, $f_{mc} = 1/\Delta t$, 通过改变相位值 ΔP 就可以改变合成信号的频率 f 。

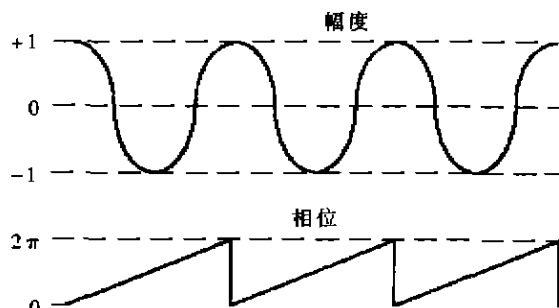


图 1 余弦波信号及其相位

DDS 芯片 AD9835 原理框图如图 2 所示。其中, 相位累加器为 32 位, 取其高 12 位作为读取余弦波形存储器的地址。每一次, 时钟使相位累加器的输出也即余弦 ROM 寻址地址递增频率设定数据 K , 对应的波形相位变化为:

$$\Delta P = 2\pi K / 2^32 \quad (3)$$

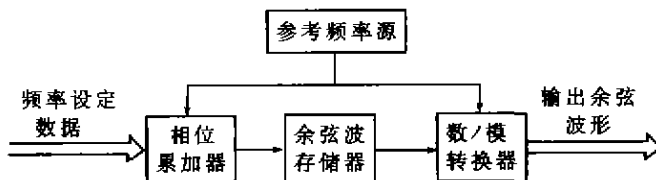


图 2 AD9835 原理框图

因此, 改变相位累加器设定值 K , 就可以改变相位值 ΔP , 从而改变合成信号频率 f 。经简化, 合成信号频率由下式决定:

$$f = K \cdot f_{mc} / 2^32 \quad (4)$$

集成电路应用

式中, $f_{mc} \approx 50\text{MHz}$, 用高稳定度晶体振荡器获得。 K 值在 $1 < K < 2^{31}$ 之间。最低频率为 $f_{min} = f_{mc}/2^{31}$, 本例为 0.0116Hz , 这也是本例的频率分辨率; 根据 Nyquist 采样定律, 重建信号频率最高可达 $f_{mc}/2$, 但通常取最高频率为 $f_{max} = f_{mc}/3$ 。

1.2 AD9835 芯片内部结构

AD9835 内部结构框图如图 3 所示。它有一个 32 位相位累加器, 两个 32 位频率寄存器 F0 和 F1 (用于设定 K 值), 四个 12 位相位寄存器 P0、P1、P2、P3。程控切换 F0、F1 时, 可实现 FSK 和扫频功能; 程控切换 P0、P1、P2、P3 时, 可实现相位 PSK 调制。余弦函数表储存在 ROM 中。

32 位相位累加器的输出值截取高 12 位后与 12 位相位寄存器 Pi 值相加, 构成 12 位的相位地址, 去寻址余弦 ROM 表。寻址得到的幅度值经 10 位的高速 D/A 转换后成为合成余弦信号。输出信号 S 对所有 DAC 输出噪声 N 之比 SNR 主要与 D/A 的位数有关, 即与数字量化噪声有关。理论分析可知 10 位 D/A 的 SNR 可达 60.2dB , AD 公司资料给出的 AD9835 实际 SNR 优于 50dB 。输出信号总谐波分量畸变量与两主号频率之比 $m = f_{mc}/f$ 有关, m 值越大, 谐波畸变越小; m 值较小时, 谐波畸变较大。为消除 m 较小的谐波畸

变, 输出端采用 LC 高阶低通滤波器滤除高次谐波。本例中使用的是 5 阶 Butterworth 低通滤波器, 可以将 50MHz 以上的高次谐波降低至 -60dB , 完全满足高精度信号源的要求。

图 3 中引脚 FSELECT、PSEL0、PSEL1 是外加调制信号, 可用于对 DDS 进行直接位控调制, 实现数字二值调频 (FSK) 和数字四值调相 (PSK)。引脚 FSYNC、SCLK、SDATA 用来对 DDS 进行程控工作模式设定。数据传输方式为同步串行方式。图 3 中, AD9835 可以设定为 SLEEP、RESET 工作方式, 在 SLEEP 工作方式下, 功耗仅为 1.75mW 。

2 DDS 信号源设计

2.1 信号源框图

图 4 为系统框图。开关 SW 切向上方时, 信号源由单片机控制, 工作模式、频率和相位参数由键盘设定, 采用 8 位 LED 数码管显示, 频率分辨率为 0.1Hz , 可以实现点频、扫频、PSK、FSK 四种工作模式。开关 SW 切向下端时, 则由 PC 机通过计算机并口进行程控, 工作模式与单片机控制时相同。为保证 $0 \sim 10\text{MHz}$ 的信号输出频带, 滤波器采用无源 LC 5 阶滤波器。AD9835 的 D/A 输出仅 1.2V 左右, 信号经两级宽带高速运放放大近 20 倍后输出。要满足大信号 10V 幅度输出时无失真, 末级放大器的摆率应满足 $S \geq \omega V_m$ 。在 10MHz 时, 经计算, $S \geq 600\text{V}/\mu\text{s}$ 。

2.2 控制程序

无论是在 PC 机上用 VB 编程, 还是在单片机上用汇编语言编程, 主程序框图基本一致, 如图 5 所示。在图 5 中, “初始化”是指对 AD9835 写入控制字, 包括设置 SLEEP、RESET、CLR、SYNC、SELSRC 等位, 还要选择在以后的调制中使用管脚还是串行控制位来控制 AD9835。一旦设定后, AD9835 将保持设定状态不变, 直到重新进行设置。

由于 AD9835 控制参数要求以同步串行方式输入, 因此用 PC 机控制的时候, 采用 PC 机并口输出的办法。用并口数据位线分别模拟帧同步

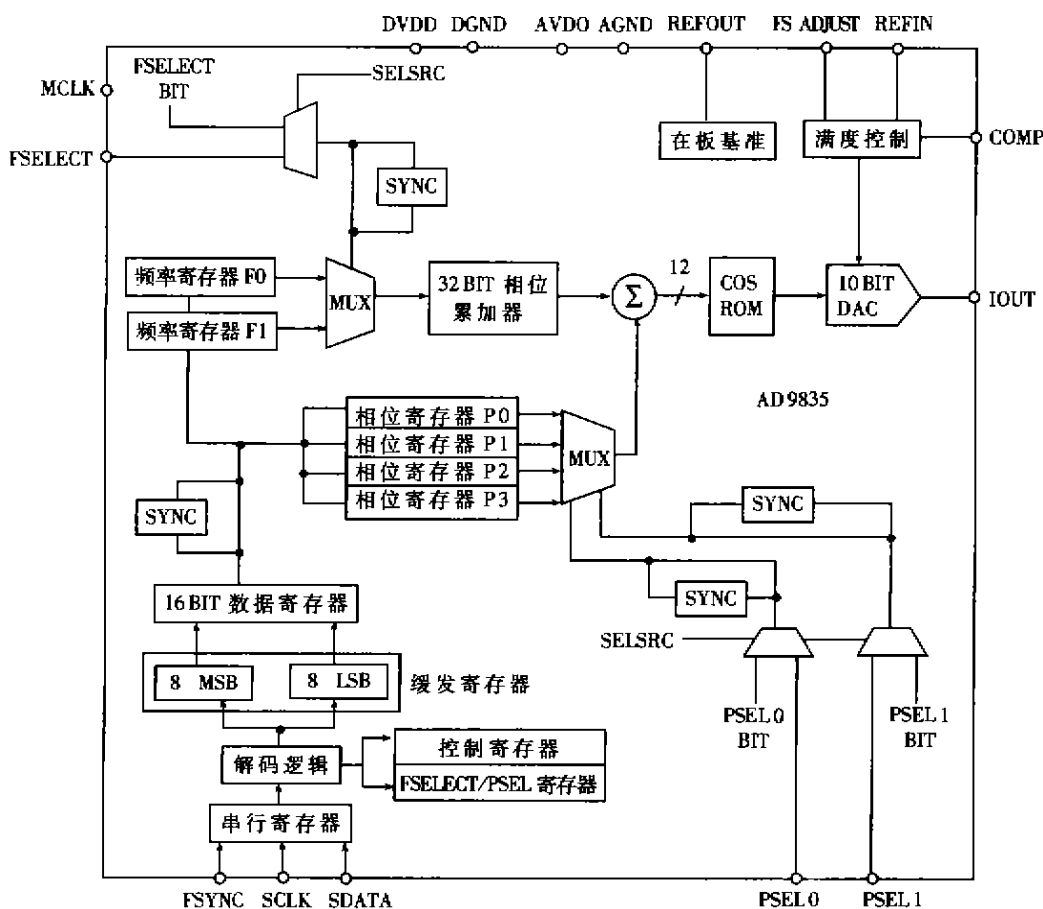


图 3 AD9835 内部结构框图

FSYNC、同步时钟 SCLK 和串行数据 SDATA, 按参数要求将其串行化后装配成并行数据从并行口输出。另外, 由于 VB 本身不具有口读写功能, 因此需要用其他语言编写口读写功能函数后用动态链接库。DLL 的形式调用, 以实现口输出。本程序也可以和虚拟仪器组合使用, 构成虚拟仪器界面的数字频率信号发生器。

2.3 实测结果

本仪器设计完成后已投入使用, 各项指标达到设计要求。从测量情况来看, DDS 频率合成器的频率纯度和稳定度相当高。图 6 为合成器输出频率 2MHz 时的实测频谱图, 图中纵向每分度为 20dB, 可见一次倍频幅度衰减约为 -45dB。

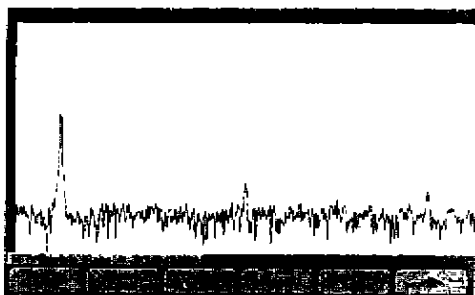


图 6 输出频率 2MHz 时的频谱图

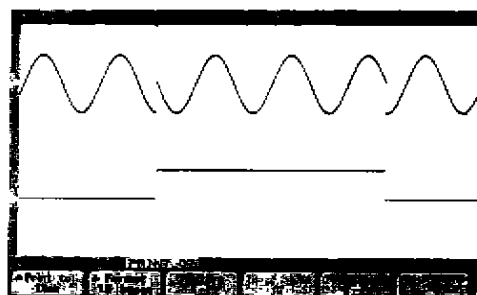


图 7 PSK 相位跳变时的波形图

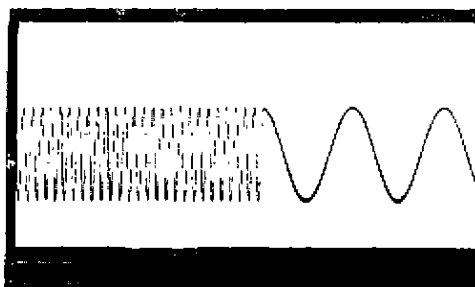


图 8 从 F0 跳变到 F1 时的瞬态波形

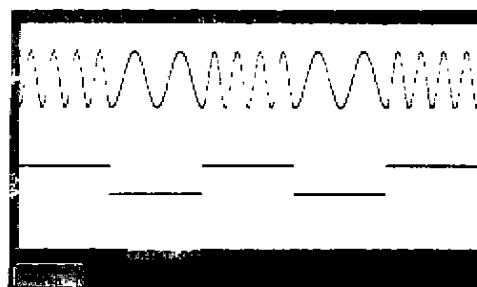


图 9 FSK 调制波形

F1 时的瞬态波形, 波形衔接得非常好, 中间没有控制失调的过渡带出现, 这也是 DDS 的突出特点。图 9 为 FSK 调制波形。

DDS 合成信号源具有高稳定性、高精度、高分辨率、高速建立信号等突出优点, 是信号源发展的方向, 在电子对抗、通讯与测量等许多方面都有重大的应用价值。用 DDS 与 PLD 等芯片组合集成的专用 ASIC 信号源芯片、微型程控式任意波形信号源专用芯片也即将问世, 这将是信号源技术的一大革命。利用砷化镓及其它高速材料和技术, 可以使 DDS 频率进一步向高端延伸, 从而使其在软件无线电方面具有重要的意义。

参考文献

- 1 Goldberg.B.G.Reviewing Various Techniques For Synthesizing Signals. Microwaves&RF., 1996 (5): 181~185
- 2 魏福立.直接数字合成技术及应用.电子技术应用, 1993 (5)
- 3 CMOS Complete DDS AD9835. Analog Devices Data Sheet, 1998 (收稿日期: 2000-11-15)

专业的工业电脑供应商—集智达

台湾研华、美国阿波罗 (APPRO) 工控机; 天钻系列便携式电脑 PC/104 及饼干板; DOC/DOM 电子盘; iFIX 组态软件; I-7000/8000 系列分散式采集模块。

北京集智达工业控制技术有限公司

地址: 北京市海淀区学院路二里庄 15 号 A 座
电话: 010-62346725/56 82380093/94 82387889
传真: 010-82387891 邮编: 100083
E-mail: bjik@ibw.com.cn

《电子技术应用》2001 年第 6 期

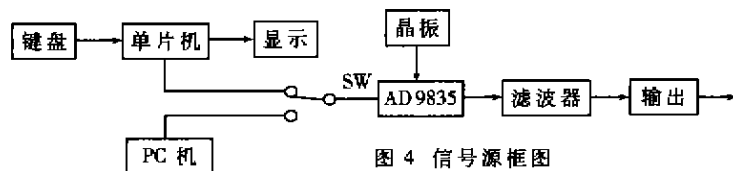


图 4 信号源框图

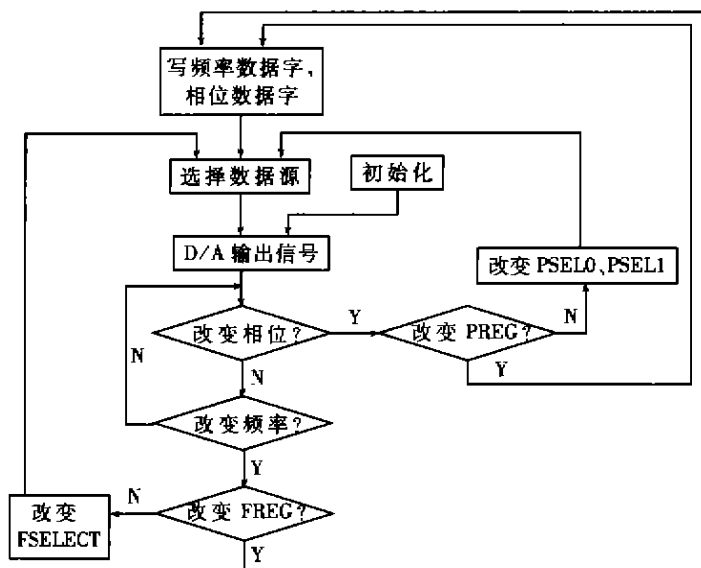


图 5 主程序框图

图 7 为 PSK 相位跳变时的波形实测图, 相位跳变值为 90 度, 从波形可以看出, 相位跳变的瞬时性和准确度非常好。可以精确控制相位是 DDS 的一个突出优点, 也是其它频率合成手段难以达到的。

图 8 为合成器输出频率从频率寄存器 F0 跳变到