

基于 DDS 和 FPGA 的 DS\MSK 信号发生器

李青鹏 王世练 张尔扬

(国防科技大学电子科学与工程学院,长沙 410073)

摘 要】介绍了 MSK 数字调制方式的原理和 DDS 芯片 AD9854 的结构特点,提出用 DDS 和 AD9854 来实现 MSK 调制,详细介绍了 FPGA 功能模块的软件编程。

关键词】最小频移键控 直接频率合成 现场可编程门阵列 调制

DS\MSK Signal Generator Based on DDS and FPGA

Li Qingpeng Wang Shilian Zhang Eryang

(Institute of Electronic Science and Engineering, NUDT, Changsha 410073)

Abstract】 This paper introduces the principle of the digital MSK modulation, presents the operation principle and features of specific DDS chip AD9854, and proposes a new method based on DDS and FPGA to implementation of MSK modulation, including the software programming method of FPGA.

Keywords】 MSK, DDS, FPGA, modulation

MSK (最小频移键控)调制是恒定包络、连续相位的频移键控调制,MSK 信号可看成是调制指数为 0.5 的连续相位 FSK 信号。与其它调制方式相比,其优势在于:MSK 调制信号的功率谱密度相当集中,旁瓣滚降衰落快、频谱利用率高;它的频带较宽,信道的有效性高,在调频扩频通信中可以增加跳频点;MSK 调制信号具有包络恒定特性,而且它经过限幅后旁电平仍然迅速滚降,所以适用于功率受限而进行非线性放大的场合;MSK 调制的可靠性即误码率和数字调制系统中最优的相干 PSK 调制的误码率相近。MSK 是一种性能优良的调制方式,广泛应用于无线移动通信的数据传输中。

1 DDS 器件 AD9854 芯片介绍

90 年代迅速发展起来的直接频率合成技术(DDS),它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它成为现代频率合成技术中的佼佼者。DDS 器件采用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、频率分辨率高、频率稳定度高、输出信号频率和相位可快速程控切换等优点,可以实现对信号进行全数字式调制。

AD9854 是由美国 ADI 公司最近推出的单片 DDS 芯片^[1],简单结构框图如图 1。

它的主要特点为:内部高速、高性能的正交 D/A 转换器和高速比较器实现数字合成的正交的 I 和 Q 路输出。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 核具有 48Bit 的频率分辨率

(1mHz 步进)相位截断 17Bit 保证了优良的无杂散动态比(SFDR)指标。AD9854 合成的信号频率稳定度高,DDS 是一个信号波形的合成过程,是以标准参考振荡源的固定时钟作取样时钟,对所需频率的信号进行相位取样,合成信号的频率不同,只反映了一个信号周期内的相位取样的数量不同。合成信号的稳定度直接由参考源的相位噪声决定。合成信号的稳定度高,理论上可达 $\text{SYSCLK}/2^{42}\text{Hz}$,这是传统方法难以实现的。频率变化速度快,在 AD9854 中,由于无需相位反馈控制,因而频率建立及切换快,并且与频率分辨率、频谱纯度相互独立。在芯片中,NCO 的相位改变是线性过程的,形成的信号具有良好的频谱。此外,由于合成信号的频率、相位、幅度均可由数字信号控制,所以可以通过预置相位累加器的初始值来精确控制合成信号的相位,非常易于实现灵活的高精度的数字调制,如 AM、PSK、FSK、MSK 等,而且容易实现高精度的正交调制。

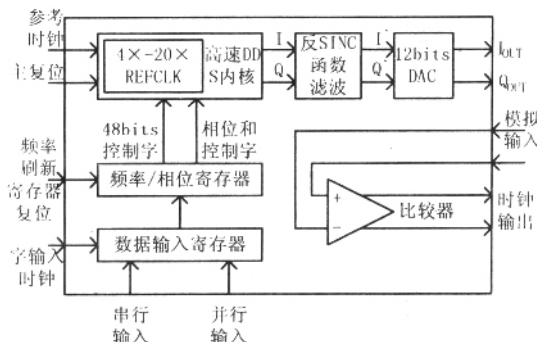


图 1 AD9854 结构框图

收稿日期 2002-07-19。

李青鹏,男,1976 年生,硕士。主要研究方向为现代无线通信。

2 MSK 信号直扩调制信号

把 MSK 信号看作一类特殊的 OQPSK 信号, OQPSK 两路基带信号的矩形波形被正弦脉冲所代替, 具体实现如图 2^[2]。采用 QPSK 信号的正交表示, MSK 信号的数学表达式为

$$y_{msk}(t) = \sqrt{E_c} [I(t) \cos 2\pi f_c t - Q(t) \sin 2\pi f_c t]$$

其中 $I(t) = d_{2k+1} a_I(t) \cos \frac{\pi}{T_c} t$

$$Q(t) = d_{2k+1} a_Q(t) \sin \frac{\pi}{T_c} t$$

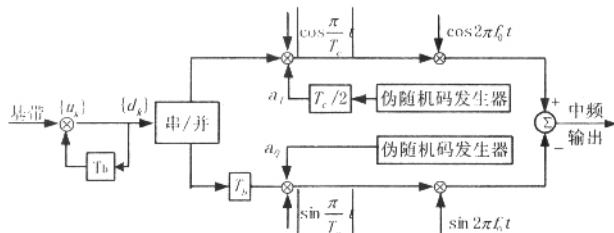


图 2 MSK 直扩的正交调制实现

3 用 DDS 和 FPGA 实现 MSK 直扩信号

从图 3 可以看出, 如果用传统的方法来实现 MSK 信号, 需要用多个分立数字、模拟器件, 它的缺点是体积大, 调试起来很困难, 而且受外部环境的影响大, 此外, 开发成本也非常高。近年来, 表面波 (SAW) MSK 滤波器 MSK 调制抽头延迟线的使用, 简化了 MSK 调制系统的设计, 提高了系统的性能, 缩小了设备的体积, 但 (SAW) MSK 信号产生器对器件性能近乎苛刻的要求, 在一定程度上影响了 MSK 信号的质量。在这里考虑用 FPGA 和 DDS 器件完成 MSK 直扩信号的实现。FPGA 作为一种现场可编程 ASIC 器件, 具有集成度高、通用性好、设计灵活、编程方便等特点, 使系统的开发周期缩短, 特别是 FPGA 器件具备了系统内可重构的特点, 可以很方便地实现系统功能的扩展。

DDS 器件采用美国 ADI 公司近期推出的 AD9854, 它的特点在第一节有较为详细的介绍。选用 AD9854 的 BPSK 工作模式, 以传输数据从 “0” 变到 “1” 为例, MSK 信号应有连续增加 $\pi/2$ 相位的过程, 但使用 AD9854 的 BPSK 工作模式时, 不可能实现完全的相位连续变化, 可以考虑以 π/n 的相位递加, 在一个码片周期内写入 AD9854 内 $n/2$ 个相位控制字, 达到相位增加 $\pi/2$, 理论上 n 越大越好, 但要注意到器件的指标。下面给出 4 倍和 6 倍数据速率写入相位控制字时,

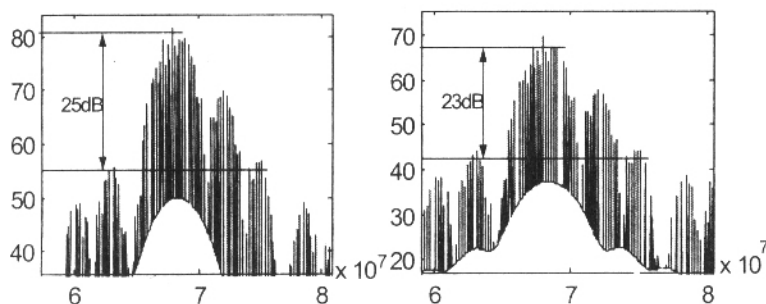


图 3 中频信号功率谱的计算机仿真结果

得到的中频信号功率谱的计算机仿真结果, 如图 3。仿真结果表明, 旁瓣抑制比达到了系统所要求的 ≥ 22 dB, 实践也表明, AD9854 的相位噪声和无杂散动态范围 (SFDR) 也符合系统的要求。

考虑到系统的需要, 以及为系统功能的扩充留有余地, FPGA 器件选用了 XILINX 公司的 XCV50EPQ240, 主要用于实现三个功能模块, 系统的整体结构框图如图 4。

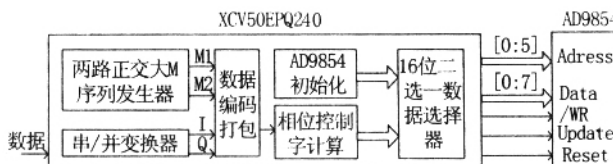


图 4 用 DDS 和 FPGA 实现 MSK 调制的功能框图

两路正交大 M 序列的产生, 对输入信息数据进行串并变换, 然后分别与 I、Q 两路数据进行模 2 加, 最后对数据进行编码、打包; 对 AD9854 进行初始化; 根据要传送数据实时的计算相位字, 写入 AD9854 的 DDS 核。在对 FPGA 的编程设计中, 采用了芯片内部的 CLKDLL 模块对外部时钟进行倍频, 然后根据 FPGA 内各个功能模块需要进行分频。初始化 AD9854 模块使用了查找 ROM 数据的形式, 动态写入 AD9854 的相位控制字采用了状态转移图的方法, 这样使用效率更高, 图 5 给出了计算机仿真时序图。

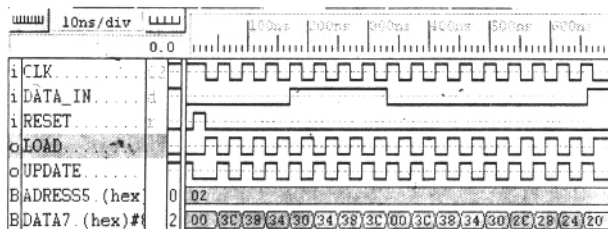


图 5 计算机仿真时序图

4 结论

由于现代社会无线频带资源愈来愈趋于紧张, 因此 MSK 调制方式的应用必将越来越广泛。用 DDS 和 FPGA 实现 MSK 信号, 具有开发成本低、开发周期短、体积小和易于系统功能的扩充等优点。该文选用 AD9854 的 BPSK 工作模式实现 MSK 调制信号, 并不是用 AD9854 实现 MSK 调制的唯一方法, 也可以选用 FSK 工作模式, 通过频率的连续变化来达到 MSK 调制方式中相位的连续变化, 这种情况得到的 MSK 信号更加接近于理想 MSK 信号。但是, 笔者在系统设计中, 综合考虑了直接中频数字接收中的同步问题, 选用了 BPSK 工作模式实现 MSK 信号调制, 这种调制方法, 已经应用到了研制成功的装备之中, 实践表明, 也不失为一种好方法。

参考文献

- 1 Aalog Devices AD9854 Rev. E datasheet[9]. 2000 :1 ~ 5
- 2 曹志刚, 钱亚生. 现代通信原理. 北京: 清华大学出版社, 1992