

综合基带全数字测试信号源

谢剑锋¹, 谢文楷², 汪远玲³

(1. 南昌工程学院机电系 南昌 330029; 2. 电子科技大学物理电子学院 成都 610054; 3. 西南电子技术研究所 成都 610036)

【摘要】研制了70 MHz综合基带设备全数字测试信号源,能够输出遥测、数传和时频信号,并且具有通过PCI总线获取数据和接受计算机监控的能力。以数传QPSK信号为例,讨论了测试信号源的实现方法,并给出了仿真与测试结果。研究表明,已达到各项技术指标。

关键词 测试信号源; 差分四相移相键控; 直接数字频率合成; 中频数字化

中图分类号 TN453 **文献标识码** A

Research on All Digital Test Signal Source of Comprehensive Baseband

Xie Jianfeng¹, Xie Wenkai², Wan Yuanling³

(1. Department of Machinery and Electronic Engineering, Nanchang Institute of Technology Nanchang 330029;

2. School of Physical Electronic, UEST of China Chengdu 610054; 3. Southwest Inst of Electronic of Technology Chengdu 610036)

Abstract The terminal auto-check signal source of telemeter system is an important part to improve the reliability and maintenance of the whole system. The signal source can output the telemeter signal, data transmission signal, and time-frequency signal, certainly the signal has the ability to get data through the PCI data bus and has the ability to accept the monitor of the main-control computer. The way how to realize the QPSK signal is discussed and give the result of simulation and real test.

Key words test signal source; difference quarter phase shift keying; direct digital synthesizer; digital intermediate frequency

1 70 MHz综合基带设备测试信号源

综合基带设备遥测终端自检测试信号源能输出遥测、数传和时频信号,并且具有通过PCI总线获取数据和接受计算机监控的能力。遥测信号包括编码遥测信号和模拟遥测信号。编码遥测信号采用二相移相键控(Biphase Shift Keying, BPSK)调制,模拟遥测信号采用多进制频移键控(Multi-Frequency Shift Keying, MFSK)调制。码速率、码型和副载波频率可变的BPSK信号和MFSK信号分别对70 MHz的载波进行数字调相。数传信号有四相移相键控(Quarter Phase Shift Keying, QPSK)和BPSK两种调制方式,其码速率可变。数传信号的载波频率为70 MHz。时频信号包括ASCII表达的时间码、参考频率、各种采样信号和秒始信号。

测试信号源的主要组成有:晶振源(50 MHz)、副载频产生、码速率产生、信息码存储、码型变换、副载波调制、载波调制、数字信号处理器(Digital Signal Processor, DSP)控制以及先进先出(First In First Out, FIFO)总线接口等。其结构框图如图1所示。晶振的输出经直接数字频率合成(Direct Digital Synthesizer, DDS)产生副载波频率和码速率。模拟器输入的信息码采取可预置方式,可由键盘选择信息码,为检查设备性能提供

了很大的灵活性。信息码通过FIFO总线接口由监控单元键盘置入通过信息处理单元送来,再由DSP从总线接口调入信息存储器中,存储器应有足够大的容量,能存储一个格式的数据。由码钟推动地址变化使信息从存储器一一送出,经并串转换变成串行码。经过码型变换(码型种类可以预置),然后对副载波进行BPSK、QPSK、MFSK调制。调制器采用数模变换方式,在调制器的正弦(SIN)表地址中存有10位的数字正弦波,信息码用来改变SIN表的高位地址,使正弦波的相位发生变化,完成PSK调制。D/A变换器输出的模拟正弦波经带通滤波器滤除数字波纹后再经适当衰减输出。输出端有与噪声源的相加器和接口,用以检查设备的噪声性能。

为检查遥测单元的帧同步性能及误帧率,可在模拟器输出的遥测帧同步头中加入一定数量的错码,错码数量和频度可控。为使错码控制灵活,可由监控单元软件在产生遥测信息码时加入错码,再下载给测试信号源。为能测试误码率等指标,测试信号源设置了噪声源。

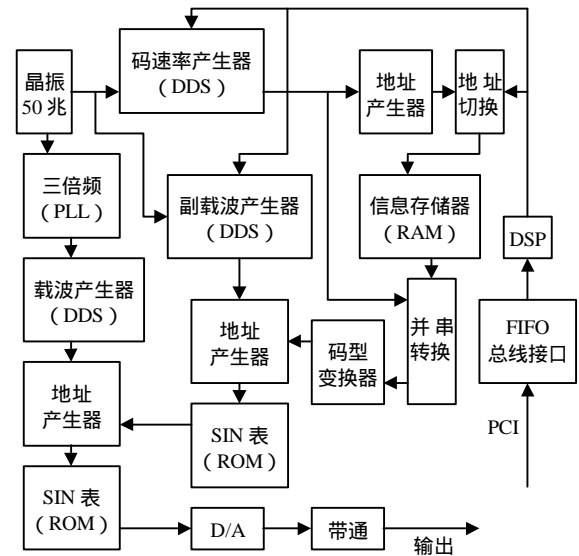


图1 测试信号源组成框图

2 数传QPSK信号源的工程实现

根据工程项目需要,结合可变速率和中频数字化的特点,从工程入手,设计出以现场可编程门阵列FPGA(EP2A15)、DSP(VC33)、D/A(AD9751)为硬件平台,以QUARTUS 为开发软件的通用性70 MHz综合基带设备全数字可变速率测试信号源。

由于QPSK在相干解调时存在相位模糊问题,实际中很少应用,克服QPSK中相位模糊问题的最常用而又有效的方法是在调制器的输入的数字基带信号中采用差分编码,即差分四相移相键控(DQPSK)。DQPSK是通过前一码元和后一码元的比较,利用前后码元间的载波相位差来传递数字信息的。实现相对调相的方法是,首先对数字基带信号进行差分编码,由绝对码变成相对码,然后进行绝对调相。根据绝对编码和差分编码的关系,可以得出其逻辑关系如下

$$c_n = \overline{abc}_{n-1} + \overline{abd}_{n-1} + \overline{abc}_{n-1} + \overline{abd}_{n-1} \quad (1)$$

$$d_n = \overline{abd}_{n-1} + \overline{abc}_{n-1} + \overline{abd}_{n-1} + \overline{abc}_{n-1} \quad (2)$$

式中 a, b 为绝对编码, c, d 为差分编码。

由于受器件速度的限制,只能产生150 MHz的采样时钟,而载波是70 MHz,故在载波的一个周期中只能采两个点,这是不能满足工程要求的。为了解决这个问题,在工程中采用了两路数据并行采样的方法,这样在载波的一个周期中的采样点可以增加一倍。同时也满足了工程要求。其实现方案如图2所示。

在本次研发中载波的产生是采用直接数字频率合成技术(DDS技术),150 MHz时钟作为系统的采样时钟,载波的要求是70 MHz±2 MHz。载频的控制是通过载波控制字 k 来控制的。加法器1和加法器2以及并行数据存储器完成累加器的功能,以产生地址码,其中加法器2的输入端和加法器1的输入端不同,它有一端是以 $k/2$ 位输入,用以产生均匀分布且比一般直接数字频率合成技术(DDS技术)多一倍的地址码。控制逻辑电路完成绝对码转换成差分码并产生绝对QPSK调制的地址偏移量。SIN表储存了正弦

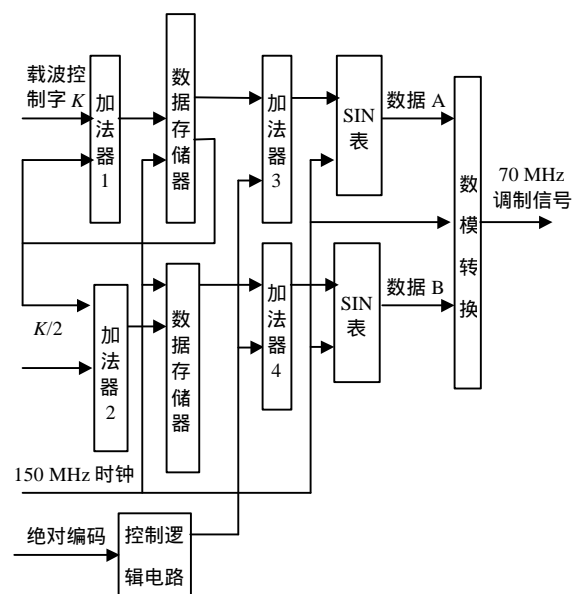


图2 DQPSK实现框图

信号一个周期的离散值。累加器产生的地址和控制逻辑电路产生的地址偏移相加, 经 SIN 表查表得出的数据在经过数模转换就是 DQPSK 调制信号, 数模转换是通过 AD9751 芯片来完成的, AD9751 本身通过选择特定的转换模式可以对两路数据合二为一。而载波控制字 k 是通过 DSP(VC33) 由监控单元送过来的。中频调制采用全数字化实现。

3 功率谱分析及仿真与测试结果

3.1 QPSK 信号的功率谱密度分析^[1]

QPSK 信号利用载波的 4 种不同相位(或相位差)来表征数字信息的调制方式。和 BPSK 一样, QPSK 也可分为绝对移相和相对移相。假设 2 bit 码元的持续时间为 T_s , 则 QPSK 波形可以表示为

$$S(t) = \sum g(t - kT_s) \cos(\omega_c t + j_k) = \sum \cos j_k g(t - kT_s) \cos \omega_c t - \sum \sin j_k g(t - kT_s) \sin \omega_c t \quad (3)$$

从上式可看出, QPSK 的波形可以看成是对两个正交载波进行多电平双边调制所得信号之和。相位在 $j_k (0, 2\pi)$ 内等间隔地取 4 种可能相位。由于正弦和余弦函数地互补特性, 对应于的四种取值, 假如为 $45^\circ, 135^\circ, 225^\circ, 315^\circ$, 其幅度只有 $\pm\sqrt{2}/2$ 两种取值, 此时, 式(3)恰好表示两个正交的二相调制信号的合成。

由于 QPSK 信号是由两正交载波的 BPSK 线性叠加而成, 所以 QPSK 信号的平均功率谱密度是同向支路及正交支路 BPSK 信号平均功率谱密度的线性叠加。假设 $a_{ng}(t - kT_s)$ 是双极性的随机矩形脉冲系列, 且 $P=1/2$ 时, BPSK 信号的平均功率谱密度公式为

$$P_{BPSK}(f) = \frac{T_b}{4} \left[\left| \frac{\sin \pi(f + f_c)T_b}{\pi(f + f_c)T_b} \right|^2 + \left| \frac{\sin \pi(f - f_c)T_b}{\pi(f - f_c)T_b} \right|^2 \right] \quad (4)$$

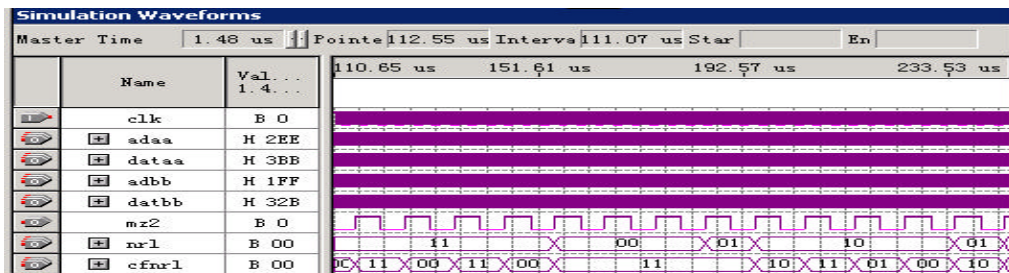
假设 QPSK 和 BPSK 的信息速率及发送信号平均功率均一致, 则 QPSK 信号每个支路的 BPSK 信号的振幅为 $1/\sqrt{2}$, 符号间隔 $T_s = 2T_b$, QPSK 的总功率谱是两支路功率谱之和, 得到 QPSK 信号的双边功率谱

$$P_{QPSK}(f) = \frac{T_b}{2} \left\{ \left[\frac{\sin 2\pi(f - f_c)T_b}{2\pi(f - f_c)T_b} \right]^2 + \left[\frac{\sin 2\pi(f + f_c)T_b}{2\pi(f + f_c)T_b} \right]^2 \right\} \quad (5)$$

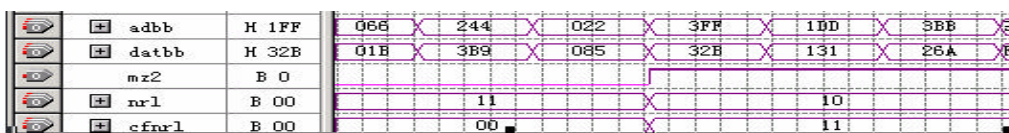
从式(4)、(5)中可以看出, 当 BPSK 和 QPSK 的二进制信息速率相同时, QPSK 信号的平均功率谱密度的主瓣宽度是 BPSK 平均功率谱密度主瓣宽度的一半。

3.2 仿真与测试结果

以 SYSTEMVIEW 和 QUARTUS 为仿真工具对所设计的测试信号源进行了仿真, 并用频谱仪和示波器进行了测试。图 3 所示是数传 QPSK 信号的 QUARTUS 仿真结果。



(a) 仿真结果



(b) 局部放大

图 3 数传 QPSK 信号 QUARTUS 仿真结果

图3中dataa和datab为输出的两路编码遥测信号，adaa和adbb是sin表的地址，cfnr1是nr1的差分编码，mz2是码钟，clk是全局采样钟。

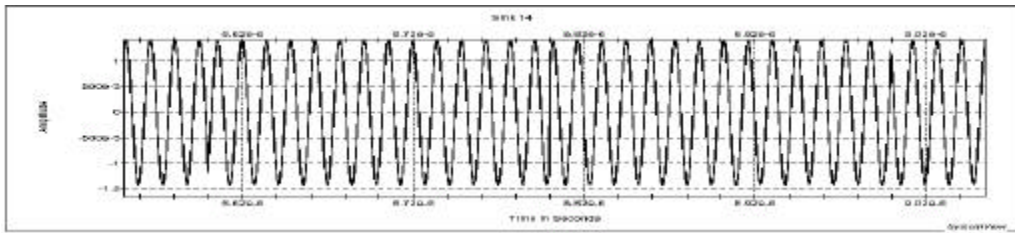


图4 数传QPSK信号systemview波形仿真图

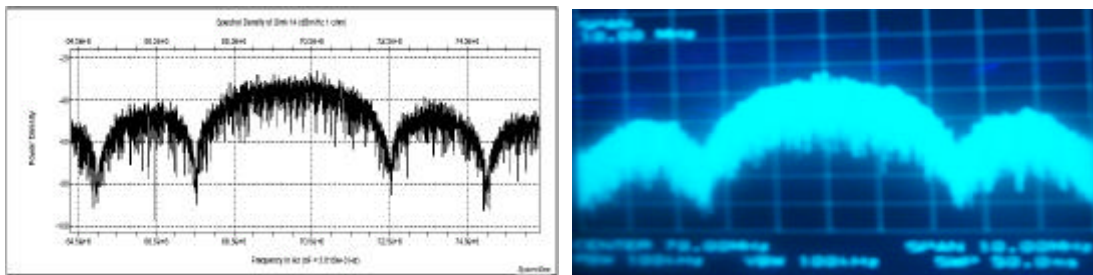


图5 数传QPSK信号功率谱仿真结果和测试结果比较

图4、5是数传QPSK信号功率谱仿真和测试结果，载波70 MHz，码速率5 MHz。中心频率为70 MHz。

4 结 论

从SYSTEMVIEW，QUARTUSII仿真以及测试结果表明，此次研制达到了预定的目标，中频调制采用两路数据并行处理具有新意，其设计思想具有实际可行性。

参 考 文 献

- [1] 樊昌信, 张甫翊, 徐炳祥, 等. 通信原理[M]. 北京: 国防工业出版社, 2001
- [2] 朱明程. 现场可编程门阵列器件FPGA原理及应用设计[M]. 北京: 电子工业出版社, 1994
- [3] Sodagar A M, Lahiji G R. Mapping from phase to sine-amplitude in direct digital frequency synthesizers using parabolic approximation[J]. IEEE Trans Circuits Syst- Analog and Digital Signal Processing, 2000, 47(12): 1452-1457
- [4] Curticean F, Palomaki K I, Niittylahti J. Direct digital frequency synthesizer with high memory compression ratio [J]. Electronics Letters, 2001, 37 (21): 1275-1276

编 辑 孙晓丹