新型数字-频率变换在科氏质量流量计中的应用

郑德智 樊尚春 邢维巍

(北京航空航天大学 仪器科学与光电工程学院, 北京 100083)

摘 要: 对新型全数字式科氏质量流量计频率输出信号采用数字—频率转换 D/F (Digital to Frequency Conversion)方法实现. 利用晶振和现场可编程门阵列 FPGA(Field Programmable Gate Arrays)与数字信号运算处理单元 DSP(Digital Signal Processing)配合实现频率量输出,有效避免了传统的模拟式科氏质量流量计的电压—频率 V/F(Voltage to Frequency Conversion)转换方法中存在的精度不高、温漂以及电路复杂等问题,而且也消除了由于频率刷新造成的输出频率非整周期对输出结果的影响. 实验表明,该数字—频率转换方法具有较高的转换精度,实现了输出频率的整周期刷新,不存在 V/F 转换电路的温漂等问题. 该电路简单,与数字电路实现无缝接口,对于数字系统的频率输出设计具有较高的参考价值.

关 键 词: 频率转换;数字信号处理;现场可编程门阵列;流量计;数字电路

中图分类号: TH 814^{+}.6

文献标识码: A **文 章 编 号**: 1001-5965(2006)01-0050-03

Application of novel method of digital to frequency conversion in Coriolis mass flowmeter

Zheng Dezhi Fan Shangchun Xing Weiwei

(School of Instrument Science and Opto-electronics Engineering, Beijing University of Aeronautics and Astronautics, Beijing 100083, China)

Abstract: A new data transforming method of D/F(digital to frequency conversion) was adopted to export frequency in the novel digital Coriolis mass flowermeter. The frequency output was completed by the crystal and the FPGA(field programmable gate arrays) together with the DSP(digital signal processing). The influence of V/F(voltage to frequency conversion method) in the traditional analog Coriolis mass flowmeter was avoided, for example, the conversion precision was not high, temperature excursion and the circuits were more complex. And the frequency output was not whole period because of the frequency update, which influenced the frequency output result. The experimental results show that the transforming method of digital to frequency conversion has high conversion precision and realizes the whole period frequency output. In addition, it also has not the temperature excursion of the voltage to frequency conversion method. The circuits are simple and seamless to connect with digital circuit. Thus the method is well worthy applying in digital system.

Key words: frequency converters; digital signal processing; field programmable gate arrays; flowmeters; digital circuit

频率信号具有较高的抗干扰能力,易于测量,适合远距离传输等优点,在工业现场的信号传输中已经受到很高的重视[1]. 以科氏质量流量计为例,频率输出量代表质量流量计的瞬时质量流量,通过计数器对频率输出量进行累加,即可得到质量流量计的累积质量. 科氏质量流量计也是利用频率输出量对流量计进行精度标定,因此频率输出量在质量流量计的信号输出中占有举足轻重的

收稿日期: 2004-10-26

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(60274039)

作者简介: 郑德智(1978-),男,辽宁锦州人,博士生, mickeyzheng@163.com.

地位,频率输出量的精度和稳定性直接影响质量流量计的计量精度.

传统的科氏质量流量计利用模拟电路将正比于质量流量的两路正弦信号的相位差转换为相应的电压信号,再利用电压-频率(V/F)转换电路实现流量计的频率信号输出.但是,正比于质量流量的相位差信号十分微弱(一般≤4°),对外界干扰较为敏感,传统滤波方式很难实现滤波效果.随着现代数字信号处理技术的发展,数字式科氏质量流量计成为必然的发展趋势并应用于实际的流量测量领域[2].由于信号处理的数字化,如再采用原始的 V/F(Voltage to Frequency Conversion)变换来实现质量流量计的频率输出,则在系统中必然增加了 D/A(Digital to Analogy Conversion)转换以及 V/F 转换 2 个过程,增加了系统误差,因此,设计一种数字-频率直接变换方法将减小此类数字系统的系统误差,具有现实意义.

1　系统结构及工作原理

以基于 DSP(Digital Signal Processing)的数字式科氏质量流量计为例,利用 FPGA(Field Programmable Gate Arrays)实现数字-频率变换,系统结构如图 1 所示.

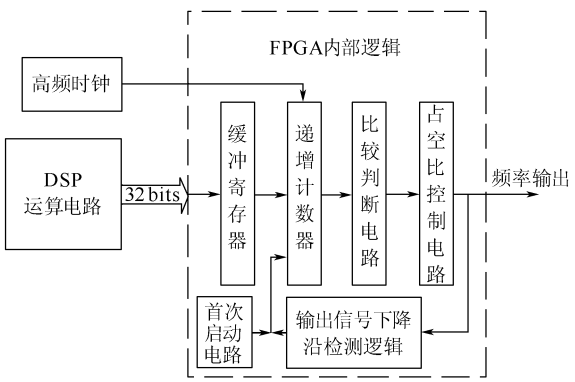


图 1　系统结构示意图

DSP 运算电路主要实现数字式科氏质量流量计的流量计算,频率信号数字量的计算.以某 3 000 kg/h量程的质量流量计为例,其频率输出量要求 10 ~ 10 000 Hz,经推导可得 DSP 分频数值 d 的计算公式为

$$d=\frac{f_{\mathrm{clk}}\cdot Q_{\max}}{2f_{\max}\cdot Q} \tag{1}$$

其中,f_{clk}为提供给 FPGA 计数器工作的高频时钟,Hz;$Q_{\max}$为流量计的最大量程,kg/h;$f_{\max}$为频率输出量的最大值,Hz;Q 为瞬时流量,kg/h.

则输出频率(Hz)为

$$f=\frac{f_{\mathrm{clk}}}{2d} \tag{2}$$

由式(2)可以看出,输出频率 f 为高频时钟 f_{clk}通过计数器 $2d$ 次计数后产生.类似于将频率测量方法中的测周法逆向设计[3].输出频率 f 的精度仅与高频时钟 f_{clk}和 DSP 分频数值 d 有关.高频时钟 f_{clk}一般采用有源晶振直接产生,其频率精度和稳定度完全能够达到此需求的要求;分频数值 d 仅与 DSP 的计算精度有关.由测周法可知,高频时钟 f_{clk}越高,则输出频率 f 的精度越高,通常选取高频时钟 f_{clk}的频率为最高输出频率 f 的 1 000倍以上,即可满足系统输出频率 f 的 0.1% 的精度要求.由上分析可见,输出频率 f 不受外界环境因素影响,也不存在 V/F 转换中存在的系统误差.因此,输出频率具有较高的频率输出量精度和稳定性.

图 1 中,FPGA 逻辑电路实现频率的输出控制,其中最重要的工作是实现输出频率的整周期输出控制.

通常在 V/F 变换中,当输入电压更新后,输出频率随之更新[4],在实际的应用过程中经常会见到图 2 所示的波形.

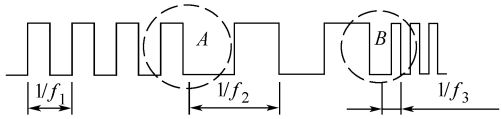


图 2　通常频率输出时异常波形示意图

图 2 中 A、B 两处为频率输出量更新瞬间造成的输出频率误差,即在前一频率输出量未达到整周期时,输出频率信号被刷新,而这种现象在输出频率刷新速度较高的情况下将会频繁出现,造成输出频率误差[5].这种误差在质量流量计的频率输出量中将造成系统累积质量误差,影响质量流量计的计量精度.

为了彻底避免在刷新频率时造成的这种误差,本文将控制理论中的反馈原理应用到频率的输出控制中.图 1 的 FPGA 框图中,输出信号下降沿检测逻辑即实现这一反馈功能.DSP 运算电路计算的频率分频数值 d 先由 FPGA 中的缓冲寄存器缓存,待输出频率信号下降沿到来时,才允许递增计数器刷新数据,开始计数,有效避免了输出频率信号非整周期输出问题.图 3 为按照这种反馈方法设计的 FPGA 仿真时序图,其中,F _ CLK 为高频时钟信号;LATCH _ FREQ 为 DSP 运算电路向 FPGA 提供的数据锁存信号;FREQ _ CLRN 为

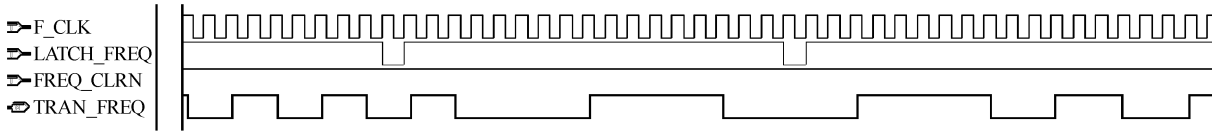


图3 FPGA仿真结果

FPGA系统的总清除信号;TRAN _ FREQ为频率输出信号. 由图3中可以看出,在系统两次更新输出频率数据时(即图3中的LATCH _ FREQ信号输出两次低脉冲有效信号时),输出频率并没有立即进行输出更新,而是等到输出频率的下降沿到来后(即信号的整周期后),输出频率得到更新. 因此完全避免了输出信号的非整周期性问题,提高了频率输出量的精度. 而且由于此系统完全采用数字电路实现,有效避免了传统的模拟电路中存在的温度漂移问题. 而且,系统的线性度仅取决于DSP的运算精度,与系统的硬件电路无关,因此也大大降低了频率输出系统的系统误差.

2 实验结果

在系统仿真的基础上,进行了数字-频率转换电路精度测试及数字式科氏质量流量计精度测试. 数字式科氏质量流量计系统利用DSP(TI公司TMS320VC33)作为流量计算及频率数字信号运算单元,FPGA采用Altera公司ACEX1K系列的EP1K50实现流量计的接口及频率输出控制,高频时钟为30 MHz晶振.

首先,数字-频率转换电路精度测试. DSP以10 ms为周期定期刷新输出固定频率信号,选择输出频率满量程(10 kHz)的10%,20%,50%,100%4点进行多次输出,利用频率计进行测量. 实验数据如表1所示.

表1 频率测量数据及误差

测量数据	频率/kHz			
	1	2	5	10
1	1 000.03	2 000.14	5 000.82	10 003.8
2	1 000.05	2 000.10	5 000.85	10 003.5
3	1 000.06	2 000.15	5 000.80	10 003.7
4	1 000.02	2 000.13	5 000.83	10 002.9
5	1 000.02	2 000.16	5 000.80	10 003.8
平均值	1 000.036	2 000.136	5 000.82	10 003.54
相对误差/‰	0.036	0.068	0.164	0.354

由表1看出,输出频率越高,系统误差越大,当输出频率达到满量程时,系统相对误差为0.354‰.

其次,利用频率输出量对数字式科氏质量流量计系统进行精度标定,选择满量程的10%,20%,50%,100% 4点进行标定. 初步在流量计没有温度补偿的前提下标定四点流量,较原始的模拟式科氏质量流量计计量的精度和稳定性有明显提高.

3 结束语

针对数字式科氏质量流量计,设计了全新的数字-频率转换方法,实现数字系统的直接频率信号输出,有效地避免了传统频率输出系统由于输出信号的非整周期刷新而造成的系统误差,同时也避免了频率输出系统由于环境影响而造成的各种漂移问题. 同时,在保证高频时钟稳定、DSP运算精度足够高的前提下,频率输出量的精度和线性度是传统V/F方式无法比拟的. 实验进一步验证了这种数字-频率转换方法具有高精度高稳定性的特点,为现有数字系统的频率输出量提供了一种新的实现方式.

参考文献 (**References**)

[1] 樊尚春,周浩敏. 信号与测试技术[M]. 北京:北京航空航天大学出版社,2002. 186~188
Fan Shangchun, Zhou Haomin. Signal and measurement technology[M]. Beijing: Beijing University of Aeronautics and Astronautics Press, 2002. 186~188(in Chinsese)

[2] Zheng Dezhi, Fan Shangchun. A novel digital Coriolis mass flowmeter[A]. In: The 12th International Conference on Flow Measurement[C]. Beijing: Chinese Society for Measurement Press, 2004. 455~460

[3] 马献果,焦 阳. 频率测量方法的改进[J]. 仪器仪表学报,2004,25(4):120~121
Ma Xianguo, Jiao Yang. Improvement on traditional frequency measurement methods[J]. Chinese Journal of Scientific Instrument, 2004,25(4): 120~121(in Chinsese)

[4] Prasad N Enjeti, Ashek Rahman, Ranjit Jakkli. Economic single-phase to three-phase converter topologies for fixed and variable frequency output[J]. Transactions on Power Electronics, 1993, 8(3): 329~335

[5] 刘孝定. 数字/频率、频率/数字转换电路的应用[J]. 舰船电子对抗,2004,27(3):20~23
Liu Xiaoding. Application of digital to frequency conversion and frequency to digital conversion circuit[J]. Shipboard Electronic Countermeasure, 2004, 27(3): 20~23(in Chinsese)