

基于 MSP430 的变点数 FFT 算法研究与实现

陈荣保,任启明,黄云志

(合肥工业大学 电气与自动化工程学院,安徽 合肥 230009)

摘要:介绍了一种基于 MSP430 单片机和变采样点数的 FFT 算法在涡街流量计中的应用。针对涡街流量信号的特点,在测定的频率范围内采用变换采样点数的 FFT 算法,并由实时测定和计算出的频率区域确定下次的采样点数。通过数据验证和误差分析,证明了变换采样点数的 FFT 算法可行,加强了流量计抑制噪声的能力,同时最大限度满足了实时性的要求,从而增加了流量计的性价比。

关键词:变点数采样;FFT;MSP430F149;涡街流量计

中图分类号:O174.2;TP368.1 **文献标识码:**B **文章编号:**1000-0682(2008)04-0076-03

A study of the MSP430-based FFT algorithm with variable sampling points and its implementation

CHEN Rong-bao, REN Qi-ming, HUANG Yun-zhi

(Institute of Electric & Automation Engineering under Hefei Polytechnic University, Anhui Hefei 230009, China)

Abstract: This paper presents the application of the MSP430-based FFT algorithm with variable sampling points to a vortex flowmeter system. According to the characteristic of the vortex signal, a single chip computer is used to perform the FFT algorithm with variable sampling points within the measured frequency range and then determine the next sampling points. The FFT algorithm has proved practical through error analysis and data validation. This technique enables the flowmeter to provide much stronger capability of anti-interference and high real-time property, thus increasing the ratio of performance to price.

Key words: variable sampling point; FFT; MSP430F149; vortex flowmeter

0 引言

涡街流量计是基于“卡门涡街”原理研制的流体振荡型仪表,目前已经得到了广泛地应用。市场上的涡街流量计基本上分成两种类型,一种是利用模拟电路构成信号调理,后接数字化电路或信号转换等。这类仪表的特点是电路简单,成本低,尽管也有采用低档单片机等微处理器进行智能化,得到一定的效果;但数据的处理能力因单片机自身的制约达不到满意的层次,尤其是不能满足较为理想的实时性指标。

另一种是利用 DSP 芯片为核心,通过 DSP 芯片提供的资源,高效快速的信号处理能力,使涡街流量计的精度很高,同时可以选择较为先进、复杂的算法。由于 DSP 属于高档微处理器,研发周期较长,

需要有一定的软硬件平台,导致流量计的研制成本很高,虽然产品性能好,但市场份额并不是很大。

上述两类流量计还存在一个问题,较多的模拟器件和高档的微处理器,都是耗能的元器件,不利于流量计进一步的市场开拓。比较两类流量计,一类成本低,另一类性能高,各有不足之处。若在流量计的各自原有基础上再继续研发,已经失去意义。

因此,结合低档单片机中的相关资源和高档流量计中的信号处理方法,依托目前市场上的实际需求,研制新一代的低功耗、高品质的涡街流量计,具有很好的市场前景和学术价值。

1 变采样点数的 FFT 运算

涡街流量计的传感器信号是基于振动原理的频率信号,获取该信号时通常混有随机噪声或某些确定性噪声,信号时域波形与噪声处于同样数量级时极易被干扰,简单的信号处理所得频率精度不高。按照 DSP 方式,把信号从时域转换到频域,通过频

收稿日期:2007-10-18

作者简介:陈荣保(1960-),男,上海人,副教授,博士生,研究方向为仪表自动化与图像处理。

谱分析信号所包含的频率分量,能得到较强的噪声抑制效果。根据涡街流量计的流量计算基于信号频率,对信号的相位、幅度均无严格要求的特点,当信号经时频转换后,在频域内进行频谱分析和频率计算,可有效地抑制噪声。

离散化后的 DFT 公式为:

$$X(k) = \sum_{n=0}^{N-1} x(n) e^{-j\frac{2\pi}{N}kn} \quad (1)$$

FFT 的算法为:

$$X(k) = X_1(k) + e^{-j\frac{2\pi}{N}k} X_2(k) \quad (2)$$

$$X(k + \frac{N}{2}) = X_1(k) - e^{-j\frac{2\pi}{N}k} X_2(k)$$

采用 FFT 经典谱分析的频率分辨率与采样的时间长度成反比,采样的时间越长,分辨率就越高,但这与数字信号处理系统实时运行的要求相矛盾。频率分辨率 $\Delta f = f_s/N_s$,应用中可通过减小 f_s 或提高 N_s 来降低这个最大误差,减小 f_s 就会降低系统的测量范围,提高 N_s 会增加系统的计算量。

DSP 在 FFT 运算方面有“特有”的速度和计算精度,而分析得知涡街信号的强干扰主要在低频段,DSP 通过加大采样点数(1 024 点以上)可以获得较好效果。经过研究还发现,信号频率进入数百赫兹时有效信号明显强于干扰信号,此时减少采样点数或通过较好的硬件调理通道就能获得保证精度的频率信号。运用该方法,结合现有 MSP430 单片机的运算速度,由 MSP 对不同频率的信号做不同采样点数的 FFT 运算,结果还是能满足流量计技术要求的。

MSP430 单片机做一次 128 点 FFT 运算的时间约 130 ms,按照 MSP430 的相关程序的执行时间,频率在 7 Hz 以下运行可以达到实时性要求。以给定信号 $y(t) = 5\sin(7t + 20) + 1.5\sin(25t) + 0.2\sin(1200t)$ 做验证,算得频率为 6.9 Hz,误差为 1.43%。

7 Hz 对于涡街流量计来说,是测量气体流量时的极小参数范围,若相对于涡街流量计上限流量对应的一次元件输出频率为 1 500 Hz,按 1:10、1:12、1:15 和 1:20 的量程比来测算,其下限流量对应频率分别为 150/125/100/75 Hz,7 Hz 时的 1.43% 误差是较好的处理结果了。由此可以在大于 7 Hz 的信号范围内采用 64 点 FFT 运算,在 7 Hz 时的 64 点 FFT 计算结果为 6.81 Hz,误差 2.71%。图 1 为 7 Hz 时 128 点和 64 点 FFT 运算频谱图。

同样,做一次 64 点 FFT 运算的时间在 46 ms,

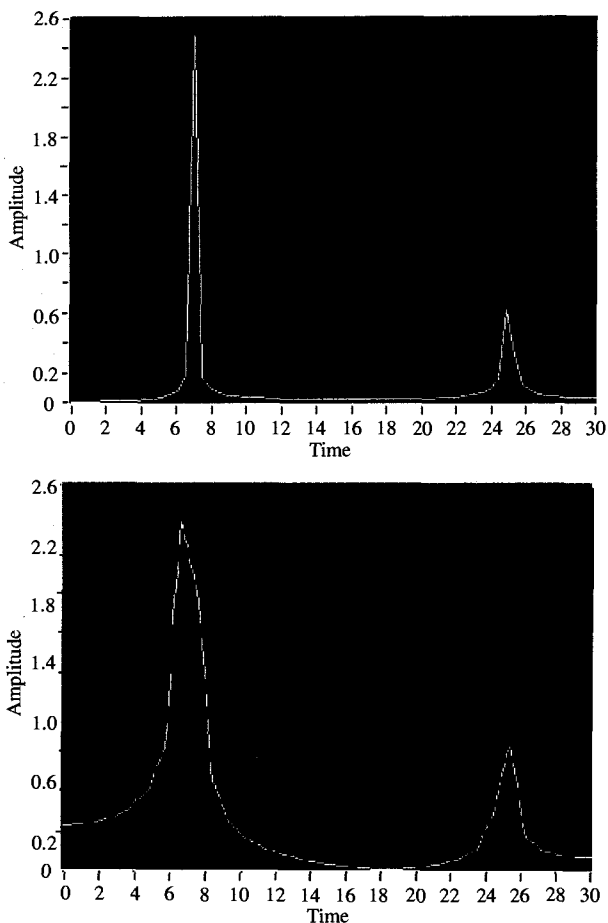


图 1 7 Hz 时 128 点和 64 点 FFT 运算频谱图

对应 64 点上限频率取值 21.7 Hz,考虑到运算其他程序需要的时间,取上限频率为 20 Hz,通过给定信号 $y(t) = 5\sin(20t + 20) + 1.5\sin(25t) + 0.2\sin(1200t)$ 进行验证,算得频率为 19.77 Hz,误差为 1.15%。即在 7~20 Hz 范围内选用 64 点 FFT 运算的误差在 1.14%~2.71%,经过 7~20 Hz 范围内进一步的数据分析和线性拟合,得到的频率精度优于 0.5%。

20 Hz 的 32 点计算结果为 19.66 Hz,误差为 1.77%。图 2 为 20 Hz 时 64 点和 32 点 FFT 运算频谱图。

32 点 FFT 运算的时间在 16 ms,设定上限频率 60 Hz,验证信号 $y(t) = 5\sin(60t + 20) + 1.5\sin(25t) + 0.2\sin(1200t)$,得 60.58 Hz,误差为 0.967%。做进一步处理后,20~60 Hz 范围内的修正频率精度仍旧优于 0.5%。

60 Hz 时的 16 点 FFT 运算结果是 59.18 Hz,误差为 1.34%;而 16 点 FFT 运算的时间在 10 ms,选取 95 Hz 为计算频率,用上述验证信号得到 95.47 Hz,误差为 0.495%,进一步的频率修正精度更高。

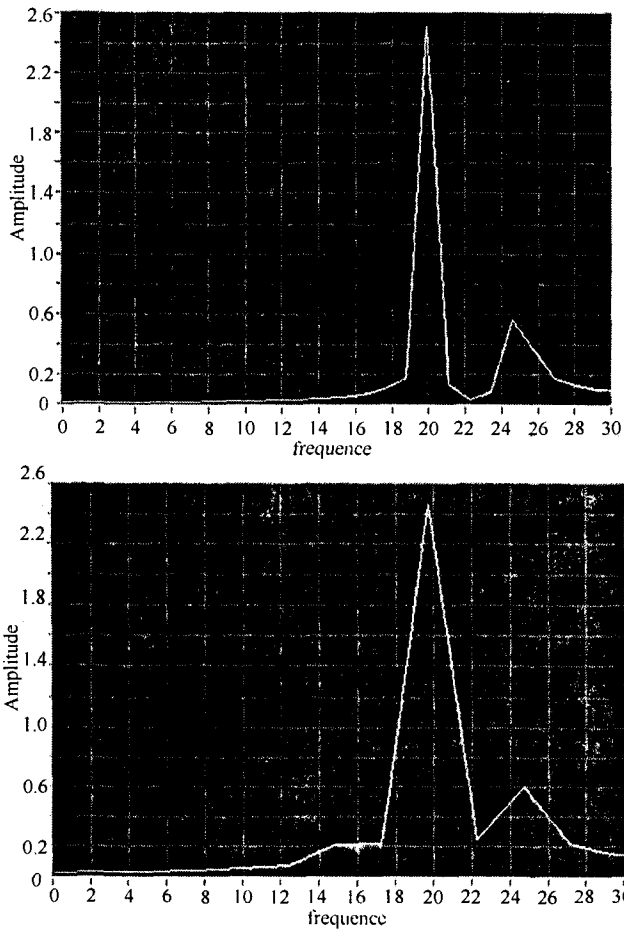


图 2 20 Hz 时 64 点和 32 点 FFT 运算频谱图

由于 MSP430 的资源有限, 256 点 FFT 运算时间很长, 无法满足实时性的要求; 而 128 点的运算时间为 130 ms 左右, 所以在不大于 7 Hz 的信号区域做 128 点运算, 运算的结果尽管可以做进一步的修正, 但意义不大, 修正的结果比不上 DSP。但分段修正的结果保证了涡街流量计在 7 ~ 20 Hz、20 ~ 60 Hz 和 60 ~ 95 Hz 的计算精度, 大于 95 Hz 的信号, 通过良好的硬件电路和简单的数字处理就可直接得到信号频率。

若仍以 1 500 Hz 为信号上限, 与三段频率的下限相比, 量程比得到了很大的拓展。从仿真的结果可以看到, 测量信号频率 7 ~ 95 Hz, 其测量精度变化范围在 1.5 ~ 0.5, 量程比为 1:12, 完全满足实际需要。如果需要对这部分信号做更精确测量, 可以选用高端流量计, 如采用 DSP 设计的涡街流量计。

2 硬件构架

系统采用 3.6 V 的电池供电, TI 公司低功耗系列单片机 MSP430 具有 8M 晶振的工作频率, 配置 LCD、PCF8563、93C46、RS485/232 可选通信接口、键盘接口等, 系统框图如图 3 所示。

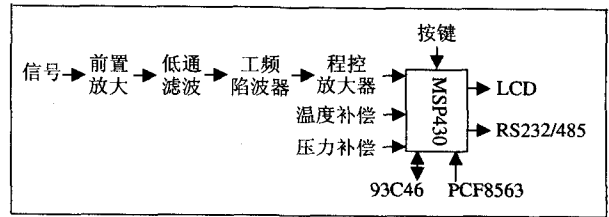


图 3 系统硬件构架

图中, PCF8563 为 Philips 公司的时钟芯片, 作为中断输出和掉电检测, 工作电流仅为 0.25 μ A/3VDC; 93C46 为 ATMEL 公司的 EEPROM、SPI 接口, 正常工作电流仅为 5 mA; LCD 用 128 \times 64 点阵液晶, 为减少 LCD 背光电源的功耗, 采取按键显示方式。

整个信号调理是系统的关键, 分析压电元件的信号特点和流场扰动、流量管道振动、电磁干扰等因素, 考虑到实时性要求和 FFT 的特点, 调理通道选用高性能低功耗运放完成电荷放大器、滤波、陷波和放大功能。软件设计了低采样点数的 FFT 运算。

若外供直流 24 V, 流量计增加 D/A 转换和 4 ~ 20 mA 输出, LCD 显示器常态显示。

3 软件实现

软件部分除了常规软件外, 数据处理程序是该系统的重点。程序包括信号采样和数据处理两部分, 信号采样程序如图 4 所示。

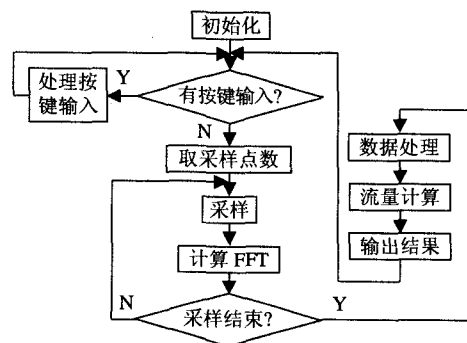


图 4 软件主程序流程图

数据处理是软件设计的核心, 采用 DSP 微处理器时, 高效的 FFT 保证了涡街流量计信号的高精度和流量计的高层次。由于 MSP430 有限的运行速度, 无法达到 2 048 或 4 096 的多点采集和非周期采样。数据处理根据 FFT 计算的频率, 确定下个周期的整周期采样点数。

4 总结

采用 MSP430 系列单片机作为电池供电的涡街
(下转第 87 页)

统的性能,在实际使用中,会造成电机的抖动并产生震动噪音,目前,已有许多方法用以抑制换相转矩脉动。对于电动自行车,目前还没有对转矩脉动提出客观的抑制标准,主要是依靠人的骑行感觉来评测。通过骑行实验,发现电动自行车在启动过程中震动噪音大,抖动比较明显,也就是说,在这段时间内电机转矩脉动较大。如何在不增加成本的情况下较好地抑制换相转矩波动就成为设计控制器的关键。该文提出通过 PWM 斩波补偿换相期间的脉动电流,具体方法为:经过采样电阻提取反映主回路中电流幅值的电压量,滤除高频成分,送给单片机,单片机根据其脉动范围的大小来调节换相期间 PWM 信号的占空比,加快换相过程,减小换相电流脉动,待换相完成后,返回正常控制状态。该方法简单易实现,经过实际使用,电机在低、高速下无明显的震动噪音。

3 测试结果

采用额定电压 36 V,额定功率 250 W 的电机作为样机,对该控制器进行测试,得到图 6 所示的电机各特性曲线。

从图中可以看出,电机的效率在很大转矩范围内都能够保持在 60% 以上,达到额定输出功率时,其效率接近 80%。在电机加载的过程中,随着负载转矩的增大,电流逐渐增大,但是在达到限流值(14 A)后,电流不再随着转矩的增加而增加,而是能够稳定在限流点附近。这样在实际使用过程中,控制器和电机不会因回路中的过大电流而损坏,即实现

了限流保护。从图 6 可以看出,控制器的效果还是比较理想的。

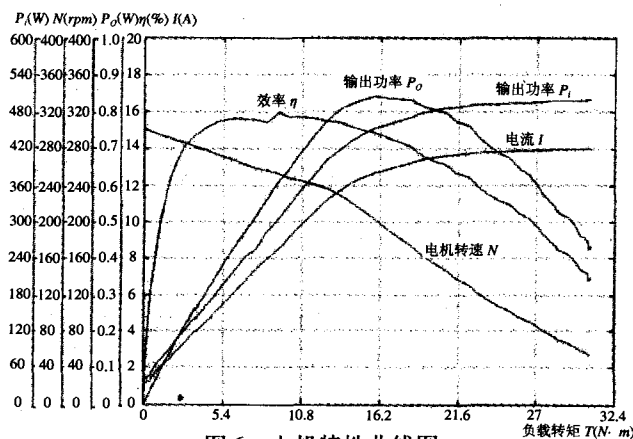


图 6 电机特性曲线图

经过大量的实践测试,该控制器动态性能好,运行平稳,故障率小。为了满足市场的需要,控制器还具有欠压保护、堵转保护、过温保护以及定速巡航、1:1 助力、速度显示等功能。

参考文献:

- [1] 杨 骏. 电动车直流无刷电动机转矩脉动现象及其控制方法[J]. 电动自行车, 2005, (10): 29-31.
- [2] 谢宝昌, 任永德. 电机的 DSP 控制技术及其应用[M]. 北京: 北京航空航天大学出版社, 2005.
- [3] 郭 帅, 何永义. PSoC 的动态配置能力及其实现方法[J]. 单片机与嵌入式系统应用, 2003, (1): 23-26.
- [4] 王兴华, 励庆孚, 王曙鸿, 等. 永磁无刷直流电机换相转矩波动的分析研究[J]. 西安交通大学学报, 2003, 37(6): 612-616.

(上接第 78 页)

流量计控制器,介质流量处于相对稳定或者以 1 min 为单位传送流量信号,结合由按键控制的 LCD 显示,系统的整机功耗很小,市场上能够提供的常规 3.6 V 锂电池可以保证运行半年以上。

采用 FFT 算法使仪表的计算精度大大提高,考虑到涡街流量计真正运行时,根据流量工艺点的检测,一般不会运行在很小流量点,因此建议小管径小流量气体测量时,选用基于 DSP 的涡街流量计。系统的信号处理方法汲取了“模拟”式硬件电路和“DSP”式 FFT 运算的优点,结合 MSP 系列的运算能力和低功耗性能,达到了很好的信号处理效果。

参考文献:

- [1] 陈荣保,费敏锐. 涡街流量计的系列研制和信号处理技术[J]. 仪器仪表学报, 2002, (S2): 513-514.
- [2] 王肖芬,徐科军. 基于 DSP 的低成本涡街流量计信号

处理系统[J]. 仪器仪表学报, 2006, 27(11): 1427-1432.

- [3] 徐科军,陈荣保. 基于 DSP、具有谱分析功能的涡街流量计信号处理系统[J]. 仪器仪表学报, 2001, 22(3): 255-260, 264.
- [4] 黄云志,徐科军,陈荣保. 涡街流量计数字信号处理系统的改进与实验[J]. 电子测量与仪器学报, 2005, 19(2): 75-79.
- [5] 黄云志,徐科军. 基于小波滤波器组的涡街流量计信号处理方法[J]. 计量学报, 2006, 27(2): 133-136.
- [6] 陈荣保,王 谊. 基于 MSP430 的低功耗涡街流量计[J]. 自动化仪表, 2003, (11): 26-28.
- [7] 黄云志,徐科军. 脉动流条件下涡街信号瞬时频率的估计[J]. 应用科学学报, 2005, 23(4): 389-392.
- [8] 徐科军,陈荣保,张崇巍. 自动检测和仪表中的共性技术[M]. 北京:清华大学出版社, 2000.