

基于 Cortex-M3 处理器的风电智能箱变交流采集模块设计

朱华婧, 袁 博, 童欲豪, 孙 锋

(南京国电南自风电自动化技术有限公司, 江苏 南京 210032)

摘 要:介绍了一种应用于风电电气的智能交流采集模块, 该模块基于 Cortex-M3 内核的微控制器 STM32 进行设计。详细阐述了它的功能特点、工作原理、采用过采样技术来提高微控制器自带 ADC 精度的基本原理及所采用的测量算法。结合微控制器特性, 给出了具体的软件实现方法, 并对其进行了测试。实验证明该模块交流采样精准, 实时可靠, 性能稳定, 具有良好的推广应用价值。

关键词: STM32; 数据采集; 过采样; 算法

0 引言

当前, 国内外风电场均按“少人值守”的运行管理方式设计, 整个风电场的集控室设置在升压站侧, 35kV (或 10kV)、110kV 微机保护测控装置统一组建成升压站综合自动化系统, 进而通过远方调度来实现对风电接入点的“遥信、遥测、遥控、遥调”功能。由于风电箱变距离集控室较远, 又非常分散, 一直以来, 升压站综自系统都无法实现对风电箱变的监视和控制, 使箱变系统成为风电场的信息孤岛和监控盲区。而作为风机发电的第一个变电环节, 实现对风电箱变上述信息的远程管理和自动化监控, 满足风电工程“少人值守”的运行管理方式, 已经势在必行。

本文介绍的基于 STM32 的交流采集模块能够实时、快速、准确地采集与处理箱变的多路电压、电流信号, 具有高速度、高精度、低功耗等特点。

1 硬件设计

STM32 系列 32 位微控制器使用 ARM 公司的 Cortex-M3 处理器, 该处理器专门设计于满足高性能、低功耗、实时应用、具有竞争价格于一体的嵌入式领域的要求。

本模块采用的意法半导体 STM32F103 系列处理器。交流采集模块的硬件电路设计主要由信号滤波电路、测频电路、采集电路和 I²C 通信电路等组成。其中, 输入信号包括三路相电流 I_a 、 I_b 、 I_c 和四路相电压信号 U_a 、 U_b 、 U_c 、 U_0 。输入电压、电流信号首先经过电流、电压传感器的变换和隔离, 再叠加微控制器参考电压最后转换成特定的电压信号后通过

低通滤波, 以消除信号中的高次谐波分量和噪声, 最后经过滤波的信号送至微控制器自带的模数信号转换器进行采样保持。硬件流程图如图 1 所示。

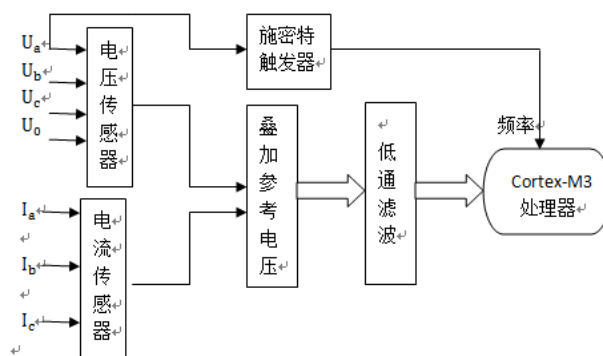


图 1 硬件流程图

为实现高速度、高精度的信号采样, 采样频率的选取尤为重要: 根据 Nyquist 采样定理, 采样频率应该大于信号中最高频率分量的 2 倍, 否则会产生混叠, 同时为防止软件测频带来的开环误差, 本模块设计了硬件测频电路以满足精确的采样频率。测频电路选择 UA 相电压作为输入信号, 经施密特触发器将其转换成方波信号送至微控制器进行软件计算, 以得到输入信号的实时频率。

2 软件设计

本模块利用 STM32 内部的模数转换器来实现信号的采样, 为实现电压、电流信号的同步采样, 提高信号的采样精度与计算速度, 该模块设计、开发了多种优化算法, 其中主要包括频率测量算法、过采样算法、快速傅里叶变换算法等。

2.1 基于 STM32 定时器捕获功能的频率测量算法

将测频电路送出的方波信号作为微控制器的输入，分别对定时器（选择 Timer4）和 GPIO 进行初始化。将定时器设置为下降沿的输入捕获模式，检测到每一个边沿都触发一次捕获，分频器的值设为 560，即计数器的时钟频率设为 100kHz（参见公式 1）；对应的 GPIO 口设置为浮空输入模式。中断处理部分用时钟频率除以计数器的值便得到实时的信号频率。

公式 1 计数器频率=CPU 主频/定时器分频数

2.2 提高微控制器自带 ADC 精度的过采样算法

STM32 内部自带 12 位的逐次逼近型 ADC。ADC 的结构见图 2，图中 ADCCLK 为 ADC 时钟，在 CPU 时钟为 56MHz 的情况下，ADCCLK 可达 14MHz。在最高速转换的情况下（采样时间设置为 1.5 个周期），只需要 14 个 ADC 时钟周期就能完成一次采样，因此可达到 1MSPS 的采样速度（参见公式 2），该 ADC 还具有自动校验功能，可以显著地减小采样的误差。

公式 2 ADC 总的转换时间=采样时间+12.5 个周期

经验表明，这种自带 12 位的 ADC 往往满足不了电力系统对采样精度的要求，通过引入过采样技术，能够有效地增加数据采样精度，并且解决了使用外接专用 ADC 带来的成本问题。根据过采样理论，本模块中为将采样精度提高至 14 位，每个输入信号过采样 16 次，将这 16 次采样值相加的结果右移 2 位得到的最终采样值存入采样数组。

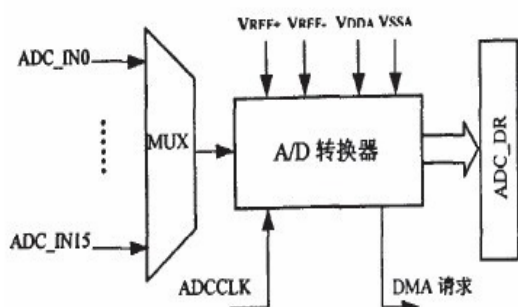


图 2 STM32 内部 ADC 框图

具体的软件设计主要包括系统初始化和中断处理两部分：

系统初始化主要对 STM32 的 CPU 时钟、ADC、DMA、定时器进行初始化。工频 50Hz 的输入信号每周期 64 点采样，需要至少 $50 \times 64 = 3.2$ kHz 的采样频率。通过将 CPU 时钟设为 56MHz，ADC 时钟分频系数设置为 10，转换时间设为 1750 个 ADC 时钟周期，使得 ADC 的采样率为 3200Hz，既能满足采

样率的要求，又不会占用 CPU 时间。本模块共设计了 7 路模拟信号的输入，为保证电力系统电压、电流同步采样，电压通道分配至 ADC1 进行轮流采样，电流通道分配至 ADC2 进行轮流采样，两个 ADC 均设置为独立工作模式。

在中断处理程序中，将每路信号的 16 个采样值进行过采样处理，并将最终的过采样结果存入每路信号采样的采样数组。

2.3 提取基波和谐波分量的快速傅里叶变换算法

根据快速傅里叶变换的核心算法思想：不断地把长序列的 DFT 分解成几个短序列的 DFT，并利用旋转因子的周期性和对称性来减少 DFT 的运算次数。本模块采用了频域抽取的基 2 算法来完成 64 位的离散傅里叶变换，从而算得风电箱变每路电压、电流信号的频谱，以实时监控它的状态，参数和电能质量。

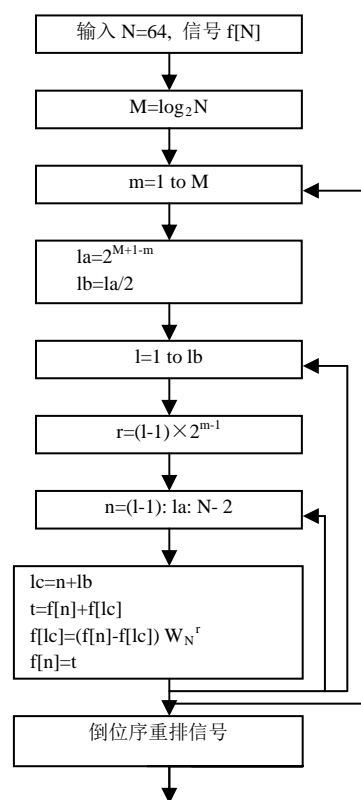


图 3 频域抽取 FFT 程序流程图

频域抽取的基 2 算法流程图如图 3 所示，它的运算规律主要包括蝶形运算单元、同址计算以及倒位序三部分。蝶形运算单元是指序列长为 $N=2^M$ 点的 FFT，有 M 级蝶形，每级有 $N/2$ 个蝶形运算，同一级中，每个蝶形的两个输入数据只对本蝶形有用，每个蝶形的输入、输出数据节点在同一条水平线上，

这样,当计算完成一个蝶形单元后,所得的输出数据可立即存入原输入数据所占用的存储单元。同址运算即经过M级运算后,原来存放输入序列数据的N个存储单元中可依次存放X(K)的N个值。

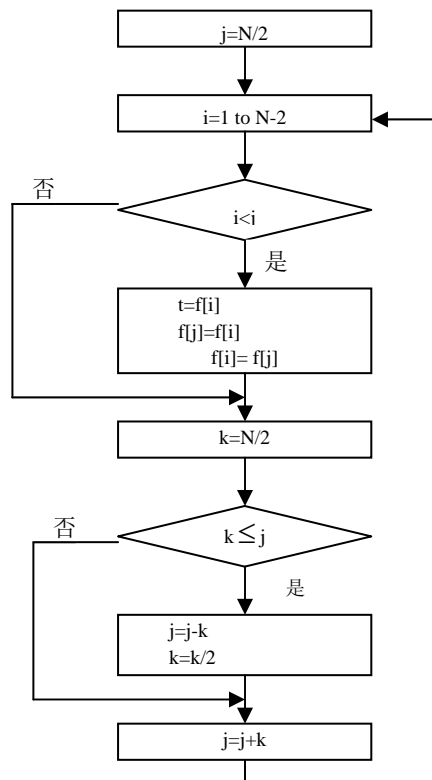


图4 倒位序程序流程图

倒位序的程序流程图如图4所示,由于FFT变换过程中,输出按奇、偶抽取的缘故,如果将序列x[N]中标号n用二进制值 $(a_{N-1} \dots a_1 a_0)_2$ 表示,那么在FFT信号的输出端,X[N]的频谱输出序号相应为 $(a_0 a_1 \dots a_{N-1})_2$,即为倒位序。

拟量的数据采集与分析计算,实现了对风电场

电气参数的实时监测,为数字化、智能化风电场奠定了基础。与本模块相结合的WPA900风电箱变测控装置也已进入批量化生产,在部分工程现场得到应用。

参考文献:

- [1] 王永宏,徐伟,郝立平. STM32系列ARM Cortex-M3微控制器原理与实践[M]. 北京:北京航空航天大学出版社,2008.
- [2] 张喜俊,牟龙华. 基于ARM的智能保护测控装置的研究[J]. 电气开关. 2006.44(6).
- [3] 张举.微机继电保护原理[M].北京:中国水利水电出版社,2004.
- [4] 祝贺,徐建源,张明理,等.风力发电技术发展现状及关键问题[J].华东电力,2009,37(2):314-316.

作者简介:

朱华婧(1986-),女,江苏盐城人,工程师,从事电力系统继电保护的研究开发工作, Email: zhu.huajing@163.com;

袁博(1982-),男,辽宁铁岭人,工程师,从事电力系统自动化研究发展工作;

童欲豪(1982-),男,江苏南京人,工程师,从事电力系统自动化研究发展工作;

孙锋(1975-),男,江苏南京人,高级工程师,从事电力系统自动化研究发展工作。

Design of Analog Data Acquisition Module of intelligent Wind power box transformer Based on Cortex-M3 Processor

Zhu Hua-jing, Yuan Bo, Tong Yu-hao, Sun Feng

(Nanjing SAC Wind Power, Pukou Hi-tech Region, Nanjing 210032)

Abstract: A kind of intelligent analog data acquisition module used on electrical system of wind power is introduced in this paper, which is based on the Cortex-M3 Core-based STM32 micro controller unit. Its function、principle、oversampling technology to improve the resolution of ADC and algorithm are also presented. According to the specific characteristic of the micro controller unit, the concrete software realizing method is provided and tested. It has been proved that the module possesses good measuring accuracy、Real-time property、reliability and stability and will be of great application value.

Key words: STM32; data acquisition; oversampling; algorithm