

风力发电机组便携式电能质量监测系统

张 勇, 曾 君, 王世闻, 余晓明

(华南理工大学 电力学院, 广东 广州 510640)

摘要: 目前实际运行的风机只提供了显示和记录电能质量稳态数据的功能, 而风机的运行特性和对电网的影响分析必须通过对其电能质量的一段时期的动态监测来获得. 本文采用自主研发的双CPU架构的便携式电能质量分析仪, 构建了通用的风力发电机组的动态监测系统, 并用该系统对风电机组的电能质量进行了长期监测. 利用监测结果进行分析和评判, 可以为改进风电机组的控制策略、制定风电电能质量治理措施和确定治理装置的相关技术参数提供必要的依据.

关键词: 电能质量; DSP; ARM; 风电机组; 便携式

中图分类号: TP216 **文献标识码:** A

A portable power quality monitoring system for wind power generation system

ZHANG Yong, ZENG Jun, WANG Shi-wen, YU Xiao-ming

(College of Electric Power, South China University of Technology, Guangzhou Guangdong 510640, China)

Abstract: For a wind turbine, its operation characteristics and effects on the grid can be determined only through a long time dynamical monitoring on power quality, while a running wind turbine provides only steady-state data of power quality. We independently developed a power quality analyzer on BI-CPU architecture for the general monitoring of power quality. It has been applied to a single wind turbine for a long time. The results obtained had been the basis for selecting the control strategy of the wind turbine generator, for improving the power quality and adjusting the technical parameters in devices.

Key words: power quality; DSP(digital signal processor); ARM(advanced RISC machine); wind power generation system; portable

1 概述(Introduction)

能源是经济和社会发展的重要物质基础, 而传统能源的大量消耗必然导致局部性或全局性的空气污染. 因此, 可再生能源得到迅速发展, 其中尤其是风力发电具有建设周期短, 装机规模灵活的优点. 风力发电设备自20世纪70年代开始获得大规模应用, 目前国际风电设备制造企业已经初步形成了稳定的市场格局. 丹麦Vestas、西班牙Gamesa、德国Enercon、美国GE等世界知名的十大风机生产企业占据了全球大部分的市场, 风力发电设备的生产集中度越来越高^[1].

风力发电技术中亟待解决的两个核心问题是: 风能最大捕获问题和电能质量问题^[2]. 在电能质量方面存在以下几个问题: 其一, 目前大多数风机只提供了简单的电压有效、电流有效、功率等电能质

量的稳态数据, 而实际风机的运行特性和对电网影响的分析需要通过对风机输出电能质量的一段时期的动态监测来获得的. 比如, 对风力机风速-功率特性的长期监测发现, 在相同风速下, 被监测风机的输出功率存在很大的离散性, 说明风力机的风能捕获效率还不够理想. 其二, 各种风机几乎都不提供对电压、电流谐波, 风速、有功和无功的关系等电能质量的分析功能. 因此采用具有长期动态监测记录功能的电能质量监测系统对风电机组的电能质量进行监测具有重要意义. 它将促进深入分析风电机组的特性和研究风机对电网的影响, 改进风电机组的控制策略, 完善风电机组的动态监测与故障诊断功能, 并进而促进风电机组的全面国产化.

当前, 在国外已经有研究人员把电能质量监测与Internet^[3]和无线网络^[4]结合起来; 有些研究利

用Java的强移植性和对数据库的支持,开发了基于J2EE的电能质量监测系统^[5].但这些工作都只是实现了数据的传输和存储,并没有涉及数据的采集和处理.针对这些问题,本文提出一种自主研发的便携式电能质量分析仪,并结合风电场660 kW风机的电气结构,构建了通用的风力发电机组监测系统.

2 监测系统的组成(Structure of monitoring system)

监测系统重点包括电能质量分析仪、远程数据传输和电能质量分析算法.下面分别介绍各部分组成.

2.1 电能质量分析仪(The power quality analyzer)

监测系统的电能质量分析仪采用DSP+ARM的双CPU架构,系统结构如图1所示. DSP模块负责模拟信号的采集和处理并将电能质量数据通过SCI送往ARM模块; ARM模块通过SCI向DSP模块请求数据,进行简单的运算和显示、存储工作.考虑到仪器的网络扩展功能以及仪表组网监测的需要,分析仪既可作为单独的仪表进行测量,又可将多台分析仪组成一个监测网络,实现对整个区域电网的监测.其中网络通信工作也由ARM模块来完成.

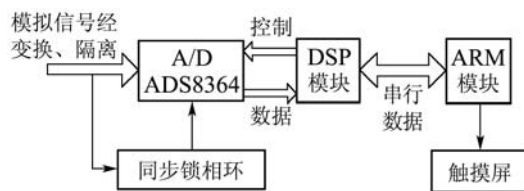


图1 电能质量分析仪结构

Fig. 1 Structure of power quality analyzer

1) DSP模块.

DSP模块采用TI公司的TMS320F2812作为控制芯片.它是信号处理单元的核心部分,负责数据的采样、计算、SCI通信等任务.该模块包括:隔离传感器,输入限幅电路、抗混叠滤波电路、同步变换及锁相环电路、A/D转换电路、DSP等,如图2所示.

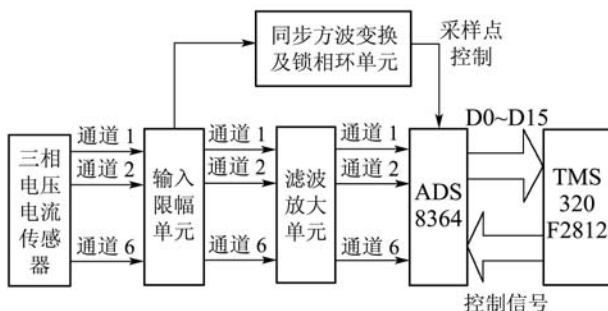


图2 DSP模块组成结构

Fig. 2 Structure of DSP module

其中,模数转换芯片ADS8364是一款TI公司为进

行三相电压、电流控制而生产的专用芯片.它具有6个独立输入通道,配有6个独立的16-bit ADC,可以实现六通道同步采样.这种多通道同步采样的方式大大提高了电能质量监测的精度.

ADS8364的采集控制信号由以CD4046为核心的锁相环电路提供.锁相环跟踪通道1的信号并产生128倍频的控制信号.该控制信号输出至ADS8364的启动转换引脚,实现对原始信号的128倍频的采样.

2) ARM模块.

ARM模块负责通信、人机界面和数据存储. CPU采用Samsung公司的32位RISC处理器S3C2410A. S3C2410A采用ARM920T内核和Harvard高速缓存体系结构. S3C2410A具有一系列完整的系统外围设备,消除了为系统配置额外器件的需要,大大降低了系统成本.

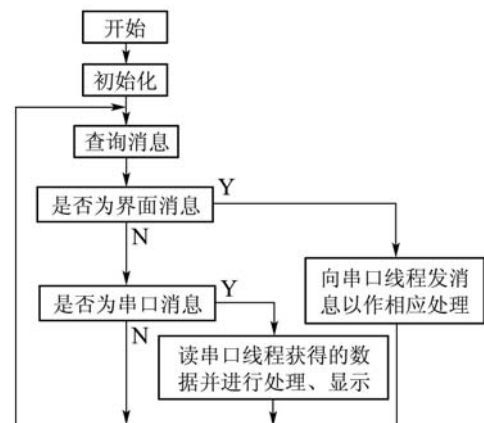


图3 ARM主线程流程

Fig. 3 Flow of main thread on ARM

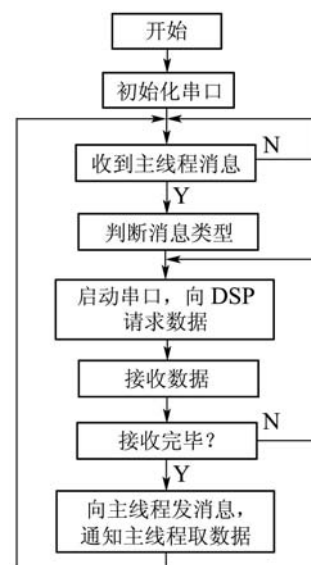


图4 串口通信线程流程

Fig. 4 Flow of serial communication thread on ARM

为了增强系统的健壮性和快速开发, ARM模块的软件在WinCE.NET操作系统上进行面向对象的程序开发. ARM程序分为两个线程: 主线程和通信线程. 主线程负责显示、计算和存储等工作; 通信线程负责与SCI通信有关的指令发送、数据接受等工作. 线程之间通过事件来实现同步. 主线程和通信线程的流程图如图3和图4所示. 为了便于记录数据和数据导入数据库, ARM程序采用COM技术把电能质量数据按照约定格式记录到二个Excel表格中.

2.2 数字通道(风速风向等)(Digital channels)

为了研究风速、风向对风机及风电场有功和无功功率的直接影响, 本系统扩展了测量风速、风向的数字通道, 采用了数字风速传感器(EC-9S)和风向传感器(EC-9X). EC-9S数字风速传感器采用脉冲输出方式, 通过脉冲频率来计算风速; EC-9X数字风向传感器采用7位格雷码输出方式, 对输出的格雷码进行计算可以得到对应的风向.

风电场施工一般要求风速风向设备装在70 m高的测风塔上, 为了实现信号的远距离传输, 开发了一个采集通信模块. 采集通信模块采用STC4052增强型单片机和max485芯片构成一个存储转发环节. STC4052通过P1口读取风向信号, 并把风向信号的格雷码转换为二进制码; 风速的脉冲信号直接接入单片机的计数器0引脚, 利用单片机的定时器来计算出实际的风速. 最后, 把转换的结果通过RS485串行通信协议发送给监测系统的DSP. 采集通信模块结构图如图5所示.



图5 采集通信模块

Fig. 5 Sampling and Transmitting module

2.3 电能质量分析算法(Power quality analysis algorithm)

电能质量至今没有一个准确统一的定义. 根据电力用户生产需求和用户的衡量标准, 电能质量可以定义为任何引起用电设备故障或非正常的电压、电流、频率偏差等易导致用户设备故障或误动作的电能问题. 其内容涉及频率偏差, 电压偏差, 电磁暂态, 供电可靠性, 波形失真, 三相不平衡以及电压波动和闪变等.

根据国家质量技术监督局制定的电能质量标准, 再结合风力发电自身的特点, 本文提出的电能质量分析仪提供了三相电压电流有效值、电压电流频率、功率、谐波和风速风向的计算和显示记录功能.

分析仪对三相电压和三相电流进行每周128点的同步采样, 连续采样8个周期, 这样每相可获取1024个采样点数据(即 $N = 1024$), 并设 u_k 和 i_k 分别是单相电压和单相电流的第 k 个采样点.

1) 电压和电流有效值.

根据连续信号有效值的计算方法, 可以得到单相离散电压、电流的有效值计算公式为:

$$U = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{K=0}^{N-1} u_K^2},$$

$$I = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{K=0}^{N-1} i_K^2}.$$

2) 功率数据.

三相总有功功率:

$$P = \frac{1}{N} \left(\sum_{K=0}^{N-1} u_{AK} i_{AK} + \sum_{K=0}^{N-1} u_{BK} i_{BK} + \sum_{K=0}^{N-1} u_{CK} i_{CK} \right).$$

视在功率:

$$S = U_A I_A + U_B I_B + U_C I_C.$$

功率因数:

$$\cos \varphi = P/S.$$

3) 谐波分析算法.

根据文献[6]规定并参考文献[7]提高FFT精度的思想, 本文的谐波算法采用自主设计的基于混合基的复数FFT算法. 首先将采样的实数序列转化为复数序列, 考虑 N 点实数采样序列 $g(n)$, 取 $g(n)$ 的奇数点和偶数点分别作为新构造序列 $x(n)$ 的实部和虚部, 即:

$$x(n) = x_e(n) + jx_o(n) = g(2n) + jg(2n+1),$$

$$n = 0 : \frac{N}{2} - 1$$

这样 N 点实数序列FFT运算就变成 $N/2$ 点复数序列FFT运算.

将复数序列的点数表示成 $N/2 = 2^L$, 则复数FFT共有 L 级运算. 将第1, 2级合并采用基4-FFT运算, 余下的 $(L-2)$ 级采用基2-FFT运算. 基4-FFT运算用到4个旋转因子, 分别为1, -1, j, -j. 第3级的四个旋转因子分别为: $1 - j0.707$, $0.707 - j0.707$, $0 - j1$, $-0.707 - j0.707$, 第4级之后的旋转因子通过查询FFT表获得, 此表在程序运行之前预先写入到RAM中.

最后利用以下的分离函数对得到的FFT运算结果进行分离, 从而得到 N 点实数序列的FFT运算结果.

$$X_e(k) = \frac{X(k) + X^*(N/2 - k)}{2},$$

$$X_o(k) = \frac{X(k) - X^*(N/2 - k)}{2j},$$

其中

$$k = 0 : \frac{N}{2} - 1.$$

FFT的算法部分采用汇编语言实现,接口部分则用C语言实现,代码执行效率高、实时性好,而且结构更加合理.实数序列的FFT算法流程如图6所示.

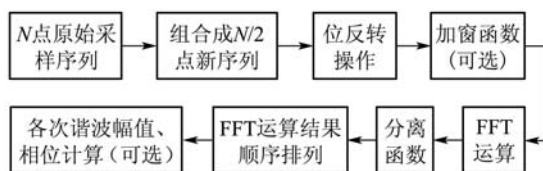
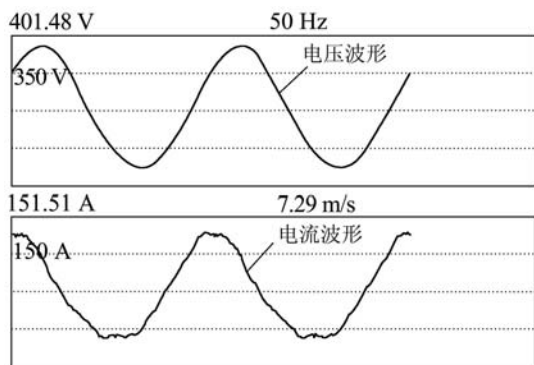


图6 FFT算法流程

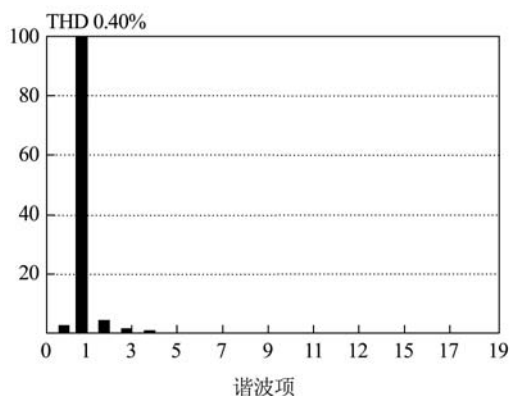
Fig. 6 Algorithm flow of FFT

3 实验和分析(Experiment and analysis)

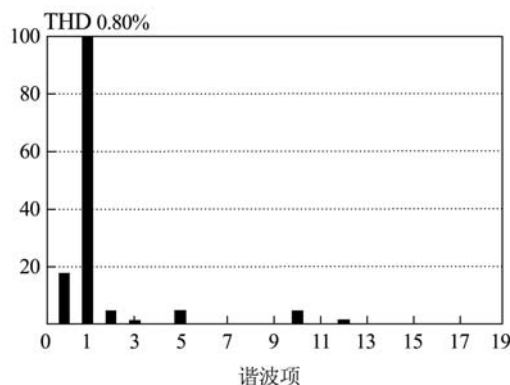
利用上述的监控系统,对汕尾红海湾风电场的单台风机进行了1个月的持续监测.当记录电压和电流数据、电压和电流谐波、功率等单项数据时,显示和记录间隔为1 s;当记录所有数据时,显示和记录间隔为10秒钟.图7是监测到的部分数据.



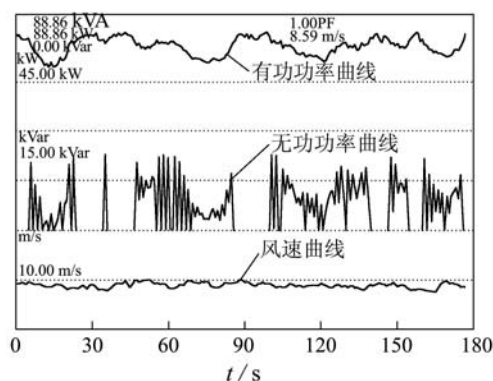
(a) A相电压电流



(b) A相电压谐波



(c) A相电流谐波



(d) 功率和风速

图7 监测的风机电能质量

Fig. 7 Power quality of wind turbine generator

在实验中发现,本监测系统的A相电压与A相电流有30度左右的相位差.经检查发现,是因为A相电压多了一个RC滤波电路,导致输出相移.考虑到分离元件的电气参数的分散性,这种分离元件造成的信号的幅值和相位的偏差在不同的通道上也会不同,因此滤波电路应当根据信号与噪声频带的实际分布来选用高精度的元件,同时应保证各通道滤波器的参数的一致性,使之不产生明显的附加相移.

在测量电路的前向通道中,由于电阻阻值的分散性,造成了各路模拟信号放大比例不一致,目前可以通过分别调整不同通道的修正因子来解决该问题,但是这种方法降低了软件的通用性.更合理的办法在各通道电路中增加精密可调电阻,通过微调电阻阻值,在电路上确保各通道的一致性,从而降低软件的复杂度和对硬件的依赖性.

4 结论(Conclusions)

得益于嵌入式技术的高速发展,本文设计并实现了一种新型的便携式电能监测系统.该系统通过扩展的SD卡,可以对风机电能质量进行长达数周的持续监测和记录.红海湾风电场的试验验证了系统的有效性和可靠性.由于系统本身具有物理以太网接口,通过对软件增加网络协调功能,本系统就可扩展

(下转第171页)

6 结论(Conclusion)

针对光伏发电系统的最大功率跟踪问题, 采用自适应模糊控制方法构建了新的控制系统和结构, 并设计了适合光伏发电系统特点的自适应模糊控制器, 提高了控制精度. 理论及仿真表明, 利用在线调整算法改变模糊规则使控制系统达到了全局稳定, 该系统的控制方案是可行的.

参考文献(References):

- [1] CHIANG S J, CHANG K T, YEN C Y. Residential photovoltaic energy storage system[J]. *IEEE Trans on Industrial Electronics*, 1998, 45(3): 385 – 394.

- [2] ARAB A H, DRISS B A, AMINEUR R. Photovoltaic system sizing for Algeria[J]. *Solar Energy*, 1995, 54(2): 99 – 104.
- [3] WU T F, CHANG C H, CHEN Y H. A fuzzy-log Ic-controlled single-state converter for PV-powered lighting system applications[J]. *IEEE Trans on Industrial Electronics*, 2000, 47(2): 287 – 296.
- [4] TANAKA K, SUGENO M. Stability analysis and design of fuzzy control systems[J]. *Fuzzy Sets and Systems*, 1992, 45(2): 135 – 156.
- [5] LEE C. Fuzzy logic in control systems[J]. *IEEE Trans System, Man and Cybernetics*, 1990, 20(2): 404 – 435.
- [6] ALTAS I H, SHARAF A M. A novel on-line MPPT search algorithm for PV arrays[J]. *IEEE Trans on Energy Conves*, 1996, 11(4): 748 – 754.
- [7] JABOORI M G, SAIED M M. A contribution to the simulation and design optimization of photovoltaic systems[J]. *IEEE Trans on Energy Conves*, 1987: 227 – 231.

(上接第166页)

为一个网络监测系统对风电场的多台风机进行同步监测记录. 通过对监测结果的分析, 可以为风机制造厂家的技术改进提供必要的依据.

参考文献(References):

- [1] 胡其颖. 全球主要风机生产厂家发展历程和产品介绍[J]. 太阳能, 2002, 112(2): 39 – 43.
(HU Qiying. Development and products of the main wind turbine manufactories in the world[J]. *Solar Energy*, 2006, 112(2): 39 – 43.)
- [2] 吴捷, 杨俊华. 绿色能源与生态环境控制[J]. 控制理论与应用, 2004, 21(6): 864 – 869.
(WU Jie, YANG Junhua. Control on green energy source and ecologic environment[J]. *Control Theory & Applications*, 2004, 21(6): 864 – 869.)
- [3] MONTEIRO M E, MOURA E S, DRAGO A B, et al. An internet-based power quality monitoring system[C]//2003 IEEE Int Sympo-

sium(ISIE '03). Universidad Fed: IEEE Press, 2003: 333 – 336.

- [4] ZHOU H L. GPRS based power quality monitoring system[C]// 2005 IEEE Networking, Sensing and Control. Tucson: IEEE Press, 2005: 496 – 501.
- [5] LEOU R C, TSAI W R, CHANG Y N. A power quality monitoring system based on J2EE architecture[C]// 2004 IEEE Region 10 Conf: Analog and Digital Techniques in Electrical Engineering IEEE. Chiang Mai: IEEE Press, 2004: 291 – 294.
- [6] Working Group 36.05. Harmonics, characteristic parameters, methods of study, estimates of existing values in the network[J]. *CIGRE, Electra*, 1981, (77): 35 – 54.
- [7] 张伏生, 耿中行, 葛耀中. 电力系统谐波分析的高精度FFT算法[J]. 中国电机工程学报, 1999, 19(3): 63 – 66.
(ZHANG Fusheng, GENG Zhongxing, GE Yaozhong. FFT algorithm with high accuracy for harmonic analysis in power system[J]. *Proc of the Chinese Society for Electrical Engineering*, 1999, 19(3): 63 – 66.)