

基于双 CPU 的电能质量监测系统设计与实现

冯红岩¹, 赵双喜², 张建成¹, 李和明¹

(1. 华北电力大学电气工程学院, 河北 保定 071003; 2. 保定天威集团技术中心, 河北 保定 071056)

摘要: 介绍了电能质量监测技术的最新发展趋势, 并以其作为出发点构建了基于 TI 公司 32 位浮点 DSP 芯片 TMS320VC33 和 ATmega128L 单片机的双 CPU 结构电能质量监测装置。实验证明该设计方案不仅成功地满足了系统的高运算量, 高实时性的要求, 而且系统的改进和升级方便, 易于功能扩展。

关键词: 电能质量; DSP; 单片机; 双 CPU; 谐波; 闪变

中图分类号: TM714 **文献标识码:** A **文章编号:** 1003-4897(2006)07-0061-04

0 电能质量监测的发展趋势

近年来新能源发电, 尤其是风力发电的发展以及交直流电弧炉, 电弧焊机和电力机车等的广泛应用使谐波、闪变、浪涌、瞬时扰动和电压凹陷等问题成为影响电能质量的不容忽视的因素。因此, 首先要求电能质量监测设备除了可以提供传统的监测指标外还能对闪变、电压凹陷等提供直观的分析结果。其次, 装置要适合于安装在现场进行长期在线监测, 同时应具备强大的通信功能, 能方便地集成到信息管理系统和互联网上。再次, 装置的灵活性和通用性要强, 功能容易扩展, 改进和升级方便。

从目前的情况来看, 为了适应这一新的发展趋势, 对于固定的安装在现场的电能质量监测设备, 需要综合考虑成本和性能。要使设备集成的功能多, 对各项监测指标的精度要求高, 就要采用先进、复杂的算法, 比如, 在增加每周期采样点数的基础上, 增加采样窗口的长度, 对采样数据进行小波去噪, 采用加窗 FFT, 进行数字滤波等, 并且要求数据交换速度快, 实时性好。这都对硬件平台的设计提出了更高的要求。对此文献 [3] 提出了一种很好的解决方案, 但是他所采用的 TMS320LF2407 是一款专为数字电机控制而设计的 16 位定点 DSP, 不适于复杂算法的展开。而本文采用 32 位浮点 DSP 芯片 TMS320VC33 作为主 CPU 来完成核心运算, 其指令执行速度最高达 150MFLOPS, 不仅提高了运算精度, 同时也大大提高了系统的实时分析能力。

1 系统功能

该电能质量监测设备的设计适合于安装到电网中的某一节点执行长期的在线监测任务。基于我们的设计实例, 经过对计算量的合理分配, 经实验验证

设备成功实现了以下功能:

- 1) 实现对一路电压, 一路电流信号的实时跟踪, 输出显示其波形。
- 2) 实时计算电压、电流有效值, 2 - 50 次谐波有效值, 电压、电流的总畸变率。
- 3) 实时输出真功率因数及基波功率因数。
- 4) 实时跟踪显示电网的频率。
- 5) 实时输出电压波动与闪变值, 包括长期闪变值 (P_{lt})、短期闪变值 (P_{st})。
- 6) 对电压跌落和中断发生的起止时刻, 跌落幅值进行记录并报警。
- 7) 带有 USB 接口, 可连接 USB 存储设备 (硬盘, 闪存盘或 U 盘) 以存储监测的数据结果, 供以后分析。
- 8) 带有 RS485 接口, 可实现远程通信, 以便服务于更高层的企业信息分析和管理系统。

2 系统设计方案

2.1 双 CPU 设计方案的选定

在该系统中 CPU 除了要完成数字信号处理功能外, 还有很多诸如与外部系统的通信、控制、人机接口等功能, 如果仅采用一个 DSP, 会使硬件系统过于复杂, 输出监测结果的实时性得不到保证。这种情况下, 综合考虑性能和成本, 采用一个 DSP 加一个微处理器 (MPU) 来协同实现系统的功能, 每个处理器完成系统的一部分工作。其中, DSP 负责完成运算量比较大的各种实时分析计算任务; 单片机负责完成相对慢速的人机交互任务, 包括和液晶显示器、键盘、微型打印机及串行通信接口之间的信息交换。两个 CPU 通过 4K × 8 双口 RAM 实现数据交换和协同工作。并从硬件和软件上相互配合, 避免存储空间争用, 同时使数据传送过程中尽量少耗费各

种资源。在 CPU 的选择上,本系统处理的数据量大,对输出结果的实时性要求高,因此选用 DSP 芯片 TMS320VC33 作为完成系统的所有实时分析计算的核心 CPU,该芯片与其他同类处理器相比具有如下特点:具有高速的浮点运算能力,单指令执行时间

最高为 150MFLOPS和 75MIPS,32 位的高性能 CPU 可完成高速、高精度数据处理;具有四个片内译码页选,大大简化了 I/O 和存储器的接口;带有 34K ×32 位的片内双存取静态 RAM;软件可编程的等待状态发生器,可以灵活的与外部设备相连接。

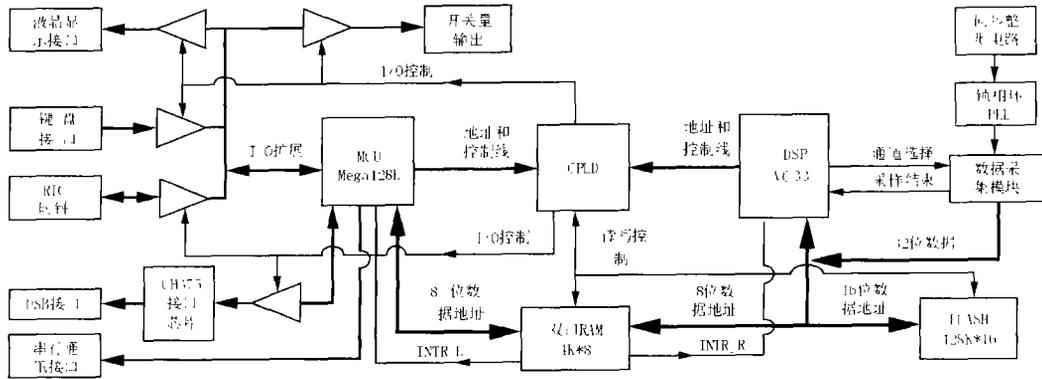


图 1 系统结构图

Fig 1 System structure

MCU 选用 ATmega128L 单片机,该款单片机具有如下特点:ATmega128L 为一款低功耗高速 8 位单片机,片内集成 128KB FLASH 程序存储器,4KB SRAM 和 4KB E2PROM, E2PROM 非常适合于参数设定,而且掉电不丢失。内部集成有用于在线仿真调试和程序下载的 JTAG 接口,方便程序修改和升级。

由这两个处理器协同完成对系统任务的并行处理,能更有效地充分发挥 DSP 的功效和单片机的特长,保证了监测结果的实时性和精度。

2.2 双 CPU 方案的实现

两个处理器虽然各有分工,但系统功能要求两个 CPU 之间需要经常快速的传递大量的数据。因此,二者采用并行通信方式,而在并行通信中,又以共享存储器的方式效率为最高,所以,本系统选用 4K ×8 双口 RAM DT71342 来实现数据交换。双口 RAM 的特殊结构允许两侧的处理器同时对其进行访问,只有当两个处理器同时写或一读一写同一个存储单元时才会发生冲突。双口 RAM 带有仲裁电路(忙逻辑和旗语逻辑)来防止这种情况下数据读写错误。

但是由于 ATmega128L 单片机没有等待状态(硬件上带有 READY 引脚,在该引脚上施加有效信号时,CPU 外部总线进入等待状态),必须设计外部逻辑电路来完成两侧 CPU 同时对同一个存储单元读写所需要的外部等待。本装置设计的外部等待电路如图 2。

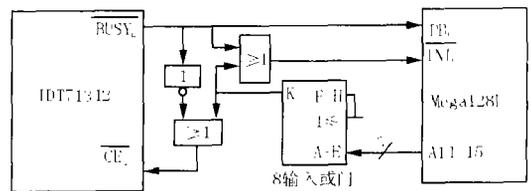


图 2 单片机和双口 RAM 间连接的外部等待电路

Fig 2 External waiting circuit of SCM and double RAM

2.3 硬件系统介绍

系统的硬件总体结构如图 1。数据采集模块采用 16 位 A/D 芯片 ADS8364,该芯片内部集成了 6 个独立的带采样保持的 ADC,可实现对电网信号同一时刻的同步采样。本系统充分利用 TMS320VC33 的 32 位外部总线结构设计为两片 ADS8364 芯片并行运行,分别与 TMS320VC33 的低 16 位和高 16 位数据线连接,这样可同时对 12 路电网信号同步采样,充足的采样通道,有利于系统的改进与升级。所有外设的读、写与逻辑控制由一片 CPLD 实现,简化了硬件电路设计,系统资源配置与升级方便。根据需求键盘可配制成查询方式或者中断方式。为了记录电压跌落的起止时刻,系统配有 RTC 实时时钟。为了保证幅值变化范围比较宽的采样信号(比如电流信号)的采样精度,在六个采样通道上设置了可变增益放大器 PGA203,配合软件中的设置,系统可随时根据输入信号的幅值,调整 PGA203 对输入信号的放大倍数,提高了采样精度。

网络接口单元由一块 MAX485 芯片构成,MAX485 提供了标准的 RS485 接口,其通讯协议为

标准 IEC4000 - 5 - 104 规约,该规约是 IEC 规定的电力系统通信规约。通过处理器的系统软件实现,可直接传送分析结果数据给上层使用同样规约的综合自动化站或监控系统。

为了实现对监测结果的存储,系统内嵌 USB 总线接口芯片 CH375,以并口方式和 MEGA128L 单片机连接。CH375 支持常用的 USB 全速设备,外部单片机可以通过 CH375 按照相应的 USB 协议与 USB 设备通讯。CH375 还内置了处理 Mass - Storage 海量存储设备的专用通讯协议的固件,外部单片机可以直接以扇区为基本单位读写常用的 USB 存储设备(包括 USB 硬盘 /USB 闪存盘 /U 盘)。

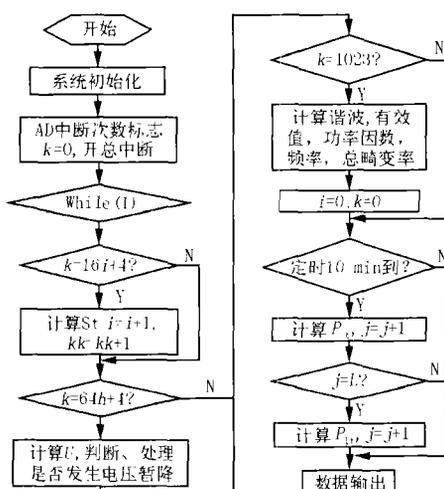


图 3 程序流程图

Fig 3 Flow chart of data calculation procedure

2.4 软件设计

对采样数据进行分析计算的主程序流程图如图 3。主程序用 C 语言编写,为提高程序的执行效率,计算瞬时视感度 St 和谐波分析子程序用汇编编写。取 8 个工频周期作为谐波分析窗口,以减小频谱泄漏的影响提高谐波分析精度。对闪变的分析完全按照 IEC 推荐的闪变测试仪设计规范的要求,每 10 min 计算一次短时闪变值 P_{st} , 而长时间闪变值 P_L 的计算时间,即程序流程图中的 L 值可根据分析过程的不同手动设置。

2.5 测试结果分析

按照本文介绍的方案设计的电能质量监测装置和美国福禄克公司的电能质量分析仪 Fluke 43B 同时在同一点对 380V /350kW 中频炉工作过程中某一时刻产生的谐波电流进行监测,限于篇幅列出部分测试结果如表 1,表 2(负载为星接三相对称负载,没有 3 次及其倍数次谐波)。

表 1 谐波电流测试结果

谐波次数	本装置 /A	Fluke 43B /A
1	371.3	371.0
2	8.1	7.8
5	75.2	75.1
7	47.9	48.1
11	29.1	29.3
13	24.0	23.6
17	15.9	15.8
19	12.6	12.9
23	8.7	8.9
25	7.2	7.1
29	4.2	3.6

表 2 参数测试结果

	真有效值 /A	频率 /Hz	THD / (%)	真功率因数
Fluke 43B	386.2	49.99	26.81	0.94
本装置	386.6	49.99	25.95	0.94

由以上测试结果可以看出,该装置即使对最容易受到频谱泄漏影响的 2 次谐波也有较为精确的监测结果,相对 Fluke 43B 来讲,对谐波、有效值、频率、功率因数等指标的监测结果准确。

对用数字信号发生器设计的电压跌落,装置对跌落记录的时间延迟小于 15 ms。由此可以看出该装置的整体性能达到了很高的要求。

3 总结

按本文介绍的方案设计的电能质量监测装置,不仅监测精度高,而且系统资源有一定的冗余,改进和升级方便,带有的 USB 接口可方便地连接移动硬盘,闪存盘或 U 盘等 USB 存储设备,以存储监测结果,供电能质量分析。

实际应用中可根据负载情况在变压器的二次侧任意设置监测点,并可通过 RS485 接口方便地接入变电站管理系统中,从而实现对电能质量实际状况的有效监测。也可作为便携式仪器使用,随时随地监测所关心节点的电能质量状况。

参考文献:

- [1] Ananth I, Morcos M M. A Power Quality Monitoring System: a Case Study in DSP - based Solutions for Electric Power Industry [J]. IEEE Power Engineering Review, 1999, 19 (7): 47-50.
- [2] 赵文韬,王树民,朱桂萍,等.基于 Internet 的电能质量监测与分析系统的研制 [J]. 电力系统自动化, 2002, 26 (6): 69-72. ZHAO Wen-tao, WANG Shu-min, ZHU Gui-ping, et al Internet

based Power Quality Monitoring and Analyzing System [J]. Automation of Electric Power Systems, 2002, 26 (6) : 69-72

[3] 段成刚, 欧阳森, 等. 新型在线实时电能质量监测设备的设计 [J]. 电网技术, 2004, 28 (2) : 60-63.

DUAN Cheng-gang, OUYANG Sen, et al Design of a New Power Quality Monitor Equipment [J]. Power System Technology, 2004, 28 (2) : 60-63.

收稿日期: 2005-08-01; 修回日期: 2005-09-16

作者简介:

冯红岩 (1976 -), 女, 硕士研究生, 主要从事电能质量的监测与控制技术的研究; E-mail: fhwww555@sina.com

张建成 (1965 -), 男, 博士, 副教授, 从事电力系统分析与控制, 新型电能储存技术和电能质量控制技术的研究。

Design and implementation of a power quality monitoring system based on dual CPUs

FENG Hong-yan¹, ZHAO Shuang-xi², ZHANG Jian-cheng¹, LI He-ming¹

(1. College of Electric Engineering, North China Electric Power University, Baoding 071003, China;

2 R&D Center, Baoding Tianwei Group, Baoding 071003, China)

Abstract: This paper introduces a new developing trend of power quality monitoring. According to the new design, a power quality monitoring system based on DSP (TMS320VC33) and MCU (ATmega128L) is proposed. Experiment shows that the design of dual CPUs not only meets the requirements of vast operations and high real-time performance, but also facilitates system upgrade and improvement.

Key words: power quality; DSP; MCU; dual CPUs; harmonics; flickers

关于征集“中国电力系统保护和控制学术研讨会”会议论文的通知

中国电器工业协会继电保护及自动化设备分会、清华大学电机工程与应用电子技术系、华中科技大学电气与电子工程学院和《继电器》杂志社定于2006年下半年召开“中国电力系统保护和控制学术研讨会”,特向全国征集学术论文,现将征文有关事项通知如下。

1、征文内容:

- | | |
|-------------------------|--------------------------|
| (1) 超(特)高压交直流输电技术研究与应用; | (2) 电力系统继电保护和控制的新理论、新技术; |
| (3) 电力系统安全稳定分析与控制; | (4) 电力系统规划与可靠性技术; |
| (5) 能量管理系统; | (6) 配电网自动化系统; |
| (7) 厂、站自动化系统; | (8) 调度自动化系统; |
| (9) 电力系统通信技术; | (10) 电气化铁道保护与控制技术; |
| (11) 电网广域保护与自愈控制; | (12) 数字化变电站技术研究; |
| (13) 电力设备检测与故障诊断技术; | (14) 电力电子技术在电力系统的应用; |
| (15) 保护与控制设备运行经验与事故分析; | (16) 保护与控制设备制造技术及电磁兼容; |
| (17) 电力系统标准制定与应用; | (18) 其他。 |

2、征文办法:

论文必须未在全国性学术会议或公开发行的刊物上发表过;论文格式参照《继电器》论文格式,图表清晰、规范;论文篇幅在6000字以内(含空格,图表);来稿请务必写明:作者简介、地址、单位、邮编、联系电话、电子邮件;请用电子邮件投稿并使用回执确认收到投稿;征文截止日期为2006年6月30日,经专家评审后,由《继电器》杂志社及会议组委会发论文录用通知,并出版论文集,优秀论文将在《继电器》发表;开会具体时间及地点另行通知。

3、会议组委会联系方式:

投稿邮箱: relay2006@powerkingdom.com

地址: 河南省许昌市许继大道32号, 邮编: 461000;

联系人: 张志强 电话: 0374-3212254 手机: 13733671540

张爱琴 电话: 0374-3212234 手机: 13839036701