

基于智能电网的电能质量监测系统研究

随着智能电网快速发展,电能质量监测技术更加标准化、信息化和网络化,而传统电能质量监测装置明显无法满足智能电网发展需求。以电能质量智能监测为研究对象,提出了一种基于DSP和ARM的监测系统。DSP作为下位机,利用其数据处理能力和高速A-D转换器实现电能质量的实时监测;ARM9作为上位机,实现人机交互等功能。同时提出了一种混合基DFT算法,并在DSP中实现。最后进行了试验研究,试验结果表明,该装置实现了多项电能质量指标的实时在线监测。

史建平/山西地方电力有限公司

0 引言

当前,电能质量问题越来越突出,主要表现为稳态和暂态两方面^[1]。其中稳态的主要特征为波形畸变,如谐波、波形下陷、间谐波和噪声等;暂态主要特征则体现为频谱和暂态持续时间,如振荡暂态和脉冲暂态^[2-3]。近几年,相关行业对暂态电能质量的监测要求越来越高,如实时性、算法复杂性等。另外,电能质量监测装置需要处理的任务比较多,如数据采样、算法计算、结果分析、人机交互和通信等。除实时性外,系统处理器必须具有非常高的处理速度、内部资源以及逻辑控制能力^[4-6]。

当前,数字信号处理器(DSP)在智能电力装置中的应用十分广泛,但是DSP扩展接口和性能有限,无法很好地满足电能质量的监测要求^[7]。众多学者提出可基于双CPU搭建电能质量监测系统,即DSP负责实时数据分析、计算;单片机则负责显示、通信等人机交互任务;不过,CPU之间的交换数据需要消耗较多的系统资源。本文在现有研究的

基础上,基于DSP和ARM设计一种电能质量监测系统,通过双口RAM实现CPU之间数据交换,并进行试验研究。

1 混合基DFT

定义 N 点采样序列分别为 $x(0), x(1), \dots, x(N-1)$,如果采样序列是长度为2的整数次幂,可采用基-2FFT进行计算分析;如果采样序列是长度不为2的整数次幂,则需要将 N 分解为

$$N = N_1 N_2 \quad (1)$$

将原始序列 $x(n)$ 分解成长度为 N_1 的子序列(数目为 N_2),子序列可表示为

$$x = \begin{pmatrix} x(0) & x(N_2) & \cdots & x[N_2(N_1-1)] \\ x(1) & x(N_2+1) & \cdots & x[N_2(N_1-1)+1] \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ x(N_2-1) & x(2N_2-1) & \cdots & x(N_1N_2-1) \end{pmatrix} \quad (2)$$

N 点离散傅里叶变换的计算公式为

$$X(k) = \sum_{n=0}^{N-1} x(n) W_N^{nk} \quad (3)$$

式中, $W_N^{nk} = e^{-j\frac{2\pi}{N}nk}$; $k = 0, 1, \dots, N-1$; n 为采样序列号; j 为复数中的虚部; n 和 k 之间映射关系可描述为

$$n = N_2 n_1 + n_2 \quad \begin{cases} 0 \leq n_1 \leq N_1 - 1 \\ 0 \leq n_2 \leq N_2 - 1 \end{cases} \quad (4)$$

$$k = k_1 + N_1 k_2 \quad \begin{cases} 0 \leq k_1 \leq N_1 - 1 \\ 0 \leq k_2 \leq N_2 - 1 \end{cases} \quad (5)$$

那么, N 点离散傅里叶变换可描述为

$$X(k) = X(k_1 + N_1 k_2) = \sum_{n_2=0}^{N_2-1} \sum_{n_1=0}^{N_1-1} x(N_2 n_1 + n_2) t_{f1} t_{f2} t_{f3} t_{f4} \quad (6)$$

式中, $t_{f1} = W_N^{N_1 k_1 n_1}$; $t_{f2} = W_N^{k_1 n_2}$; $t_{f3} = W_N^{N_1 k_2 n_2}$;



史建平/高级工程师

关键词/Keywords

智能电网 ·
电能质量监测 ·
离散傅里叶变换 ·
DSP ·
ARM ·

$t_{f4} = W_N^{N_1 N_2 k_2 n_1}$ 。考虑到 W_N^{nk} 的对称性和周期性, 可以看出 $W_N^{N_2 k_1 n_1} = W_{N_1}^{k_1 n_1}$; $W_N^{N_1 k_2 n_2} = W_{N_2}^{k_2 n_2}$; $W_N^{N_1 N_2 k_2 n_1} = 1$ 。那么式 (6) 可等效为

$$X(k) = \sum_{n_2=0}^{N_2-1} \left[\sum_{n_1=0}^{N_1-1} x(N_2 n_1 + n_2) W_{N_1}^{k_1 n_1} \right] W_{N_1}^{k_1 n_2} W_{N_2}^{k_2 n_2} \quad (7)$$

式 (7) 中括号内部的计算式可用阵列第 n_2 行的 N_1 点离散傅里叶变换表示, 即

$$G(n_2, k_1) = \sum_{n_1=0}^{N_1-1} x(N_2 n_1 + n_2) W_{N_1}^{k_1 n_1} \quad (8)$$

在计算 $X(k)$ 的过程中, $G(n_2, k_1)$ 仍需要乘以旋转因子 $W_N^{k_1 n_2}$, 即

$$\tilde{G}(n_2, k_1) = G(n_2, k_1) W_N^{k_1 n_2} \quad (9)$$

所以式 (7) 可进一步变换成如下形式

$$X(k) = \sum_{n_2=0}^{N_2-1} \tilde{G}(n_2, k_1) W_{N_2}^{k_2 n_2} \quad (10)$$

如果式 (1) 中因子 N_1 和 N_2 表示某数的整数次幂, 即 $N_1 = A^{r1}$, $N_2 = B^{r2}$, 那么离散傅里叶变换就可以看作以 A 和 B 为基的快速傅里叶变换。举例说明: 当 $N = 10$ 时, 其混合基离散傅里叶变换就能够用 2 点离散傅里叶变换和 5 点傅里叶变换表示, 如图 1 所示。

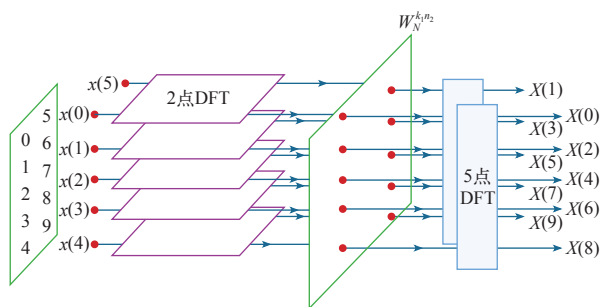


图1 混合基DFT计算过程

2 系统设计

为实现上述算法, 文中基于双CPU和双RAM结构设计了一种控制系统, 集测量、控制、通信和显示于一体。该控制系统主要包括时钟电路、人机接口通信、串口通信、A-D转换电路、数据采集、ARM模块和DSP模块等, 系统结构框图如图2所示。

(1) 数字信号处理器

对于监测设备来说, 信号处理器的性能相当

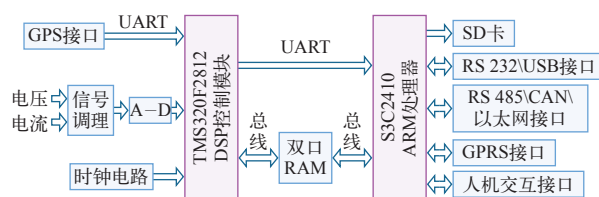


图2 系统结构框图

重要, 需要满足电能质量参数采集、实时信号处理和数据上传等要求。为解决此问题, 本文选用TI公司的DSP处理器TMS320F2812。总体来说, 该控制器主频率可达150 MHz, 数据地址为32位, 程序地址为22位, 数据空间和程序空间均可达4 MB, 内部集成128 × 16 Flash存储器以及18 × 16 SRAM存储器, 大量通用I/O口, 16通道12位A-D转换器, 另有SCI、SPI和UART等外围接口。所以该控制芯片非常适用于对控制能力和运算能力要求较高的场合。

(2) ARM控制器

ARM控制器选用S3C2410芯片, 并配置64 MB的RAM存储器以及64 MB的Flash存储器。外围接口十分丰富, 包括LCD控制器、USB控制器、SPI总线和UART接口等。与其他嵌入式产品相比, S3C2410可利用其内部硬件资源实现人机接口和通信功能, 如远程通信、数据下载、数据存储、触摸屏操作和电力参数显示等。

双口RAM芯片型号为IDT70V9289L7, 用于两个CPU之间的数据交换。该芯片支持两个CPU同时访问存储单元, 具有软件编程简便、接口电路简单、传输速度快和数据传输量大等优点。文中通过串口实现上位机和下位机之间的监测数据、报警信息、配置和控制指令的传输。

综上所述, 电能质量监测系统以DSP作为核心, 具体流程可以描述为: 电流、电压互感器实现原始数据采集; 模拟信号经A-D转换后生成数字信号并传送至下位机; 数据经下位机处理后传送至双口RAM; 上位机读出双口RAM内的数据并存储到SD卡, 而且可以本地下载; 可根据需求选择有线或无线方式实现远程通信; 电流、电压波形以及其他监测指标均可通过LCD触摸屏进行显示。上位机和下位机之间通信模式为串口通信。

3 试验和分析

通常情况下,电能质量指标包括瞬态过电压、暂态过电压、电网谐波、三相不平衡度、电压闪变和波动、频率误差和供电电压允许误差等。本文以电压误差、功率、稳态电能质量(电压谐波)和动态电能质量(电压骤降)进行试验,结果如表1~表4所示。

表1 三相电压相对误差

标准电压输入值 /V	A相相对误差 (%)	B相相对误差 (%)	C相相对误差 (%)
220	-0.10	-0.24	-0.09
280	-0.05	-0.02	-0.03
320	-0.05	-0.02	-0.06
360	-0.07	-0.05	-0.02
380	-0.06	-0.08	-0.03
400	-0.05	-0.08	-0.11
420	-0.11	-0.04	-0.05
460	-0.10	-0.04	-0.07

表2 A相功率测量值

电压值/V	电流值/A	输出功率/W	测量值/W	相对误差(%)
60	0.3	14.40	14.48	0.56
100	0.8	64.00	64.12	0.19
220	1.5	264.00	264.23	0.09
300	2.0	480.00	480.23	0.05
350	2.5	700.00	700.45	0.06
380	3.0	912.00	912.25	0.03

表3 电压谐波测量值

(单位: %)						
谐波次数	2	3	4	5	6	7
标准值	5	5	5	5	5	5
A相测量值	4.98	5	4.99	4.98	5	4.99
B相测量值	4.99	4.98	4.98	4.99	4.99	4.99
C相测量值	5	4.99	4.98	4.99	4.99	4.99

表4 电压骤降测试结果

类型	骤降次数	准确监测次数	准确率(%)
短时	20	20	100
暂时	20	20	100
瞬时	20	20	100

由表1~表3可以得出如下结论:①三相电压的相对误差基本分布在 $-0.24\%\sim 0$;②功率相对误差小于 0.56% ;③电压谐波绝对值小于 0.02% 。

表4为动态电能质量测试,主要以电压骤降为主。以持续时间为依据,可分为瞬时、暂时和短时电压骤降等。文中设置信号最小分辨率为 0.3125 ms 、装置采样频率为 3.2 kHz ,由表4可以看出,监测结果的准确度非常高,完全能够满足电能质量在线监测的要求。

4 结束语

本文以智能电网的电能质量监测为研究对象,首先介绍了混合基DFT算法,为实现该算法,基于DSP和ARM设计了一种电能质量监测系统,其中DSP为下位机,ARM为上位机。以电压误差、功率、稳态电能质量和动态电能质量为测试指标,并进行相关试验研究。结果表明,该装置可实现多项指标的在线实时监测。

参考文献

- [1] 林广明,黄义锋,欧阳森,等.基于DSP和CPLD电能质量监测装置的设计[J].电力系统保护与控制,2009,37(18):97-101.
- [2] 王玲,徐柏榆,盛超,等.高采样率数字化变电站电能质量监测系统研究与应用[J].电力系统保护与控制,2014,42(4):110-116.
- [3] 王志伟,赵庆生,郭贺宏,等.混合基FFT在电能质量监测装置中的应用[J].水电能源科学,2015,33(4):189-192.
- [4] 潘晓杰,刘涤尘,邹江峰.基于DSP的电能质量在线监测装置[J].高电压技术,2005,31(12):73-75.
- [5] 张龙,赵庆生.快速实时高性能电网谐波监测装置设计及系统核心算法[J].水电能源科学,2013,31(5):205-208.
- [6] 冯红岩,赵双喜,张建成,等.基于双CPU的电能质量监测系统设计与实现[J].继电器,2006,34(7):61-64.
- [7] 廖泽友,郭赞,杨恢宏.数字化变电站采样值传输规约的综述与对比分析[J].电力系统保护与控制,2010,38(3):113-115,118.

(收稿日期:2017-02-10) EA