

基于 LPC2478 的三相电力监测仪

茅文铭¹ 王恒斌² 陈军²

摘要

介绍了国家智能电网需求的一款新型三相电力监测仪. 该仪器采用 LPC2478 ARM 处理器且外扩 8 通道同步采样 ADC, 标配 RS485 接口, 主要参数测试精度优于 0.2 级, 且通过了江苏省电力科学研究所的测试认证, 整体测试性能达到国标 A 级.

关键词

智能电网; 三相电力监测仪; LPC2478; ADS1178

中图分类号 TP306

文献标志码 A

0 引言

三相电力监测仪在实际工业用电中发挥着巨大作用. 随着国家智能电网战略的推进以及微电子技术和信息技术的发展, 市场需求一种功能更加强大, 工作更加稳定, 测量精度更高, 通讯实时性更好, 使用更加简单和便捷, 成本更加低廉的新型电力监测仪.

监测仪在实际运用中的网络拓扑结构如图 1 所示.

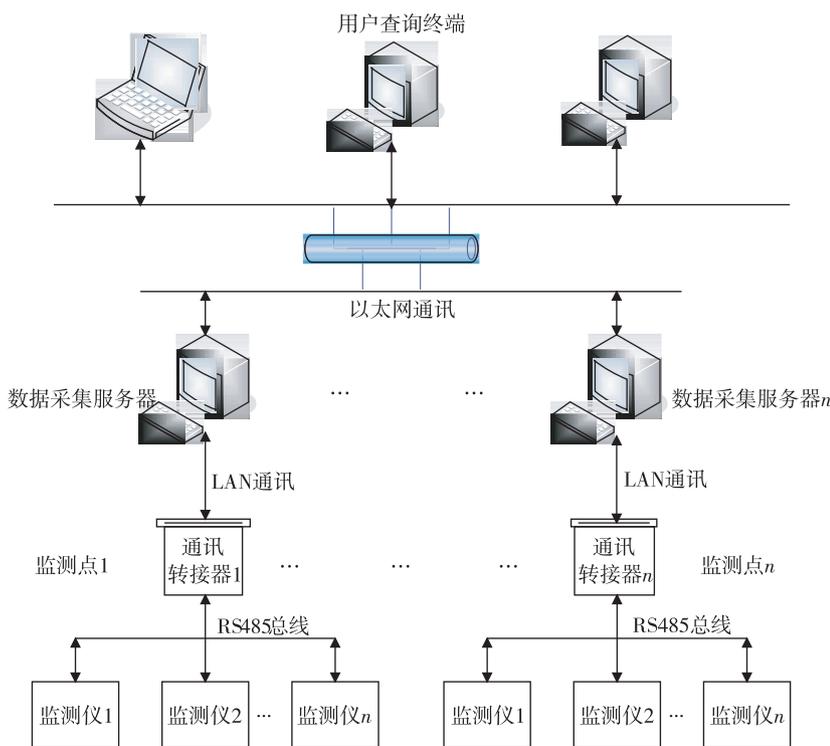


图 1 监测仪网络拓扑结构

Fig. 1 Network topology of monitoring system

收稿日期 2011-04-20

作者简介

茅文铭, 男, 硕士, 主要从事称重测试仪器仪表以及智能电网方面的研究与开发工作.

wenming.mao@mt.com

1 梅特勒-托利多(常州)精密仪器有限公司, 常州, 213022

2 常州市同惠电子有限公司, 常州, 213022

在工业供电系统的每个监测点由若干个监测仪 RS485 总线组网, 数据采集服务器通过 LAN/RS485 转换器采集实际监测仪的数据, 然后接入以太网通讯. 这样在任何地方, 用户均可以查看实际的用电情况和报表, 从而调整和改善自己的用电方案, 而不用亲临复杂的工业供电现场.

1 监测仪的开发

在实际的需求背景下,结合实际技术,本研究采用 LPC2478 ARM 处理器且外扩 8 通道高精度 16 位的同步采样 ADC 这种方案来开发新型的三相电力监测仪。

LPC2478^[1-2]是 NXP 公司生产的一款外设非常丰富的 ARM7 处理器,主频 72 MHz,片上与其他 ARM7 处理器一样带有丰富的 I/O 管脚、定时器、串行接口和 PWM 等,还带有外部总线接口、USB2.0 全系列接口、LAN 接口、24 位的彩屏 LCD 控制器以及片上 RTC。ADS1178 是 TI 公司的 8 通道 16 位的同步采样 ADC,8 个通道可以方便地连接供电电压和电流输入,ADC 转换结果采用 SPI 接口向外传输。

1.1 监测仪硬件结构

监测仪硬件结构如图 2 所示。

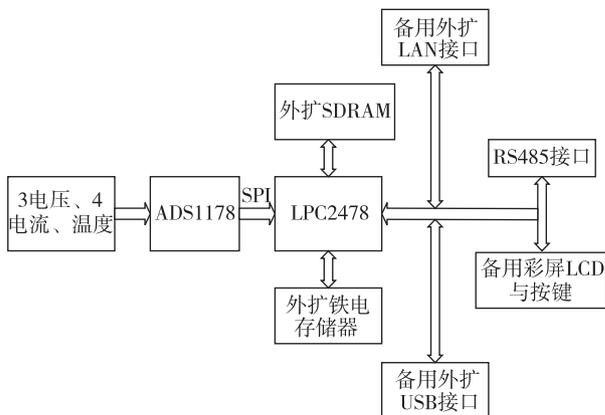


图 2 监测仪硬件结构

Fig. 2 Structure of monitoring hardware

ADS1178 采集 3 通道电压、4 通道电流以及温度总共 8 通道的数据,由 LPC2478 运算并且通过 RS485 接口向外传送,外扩大容量的铁电存储器和片上的 RTC 存储记录数据,此外还可以扩展 USB 接口、LAN 接口以及彩色显示 LCD 和按键控制。

1.2 ADS1178 与 LPC2478 的接口

ADS1178 是高精度的 Σ - Δ 型 ADC,通过标准的 SPI 接口将采集到的 8 通道数据传输给 LPC2478,具体的接口时序参见文献[3]。

1.3 监测仪的测量功能

监测仪具有如下测量功能:

- 1) 真有效值 3 相/线电压测量;
- 2) 真有效值 3 相电流及零线电流测量;

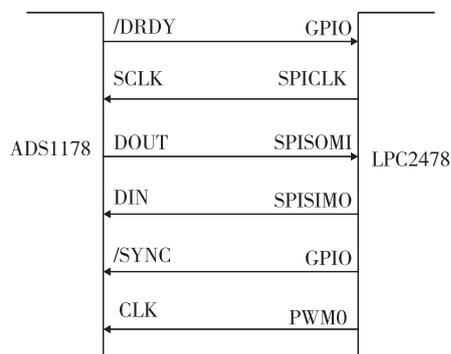


图 3 ADS1178 与 LPC2478 的接口

Fig. 3 Interface between ADS1178 and LPC2478

- 3) 相电压相位角和电流相位角测量;
- 4) 漏电电流测量;
- 5) 各相及总有功功率测量;
- 6) 各相及总无功功率测量;
- 7) 各相及总功率因数测量;
- 8) 4 象限有功电量测量和有功电度统计;
- 9) 4 象限无功电量测量和无功电度统计;
- 10) 电压频率测量;
- 11) 多达 31 次的电压和电流谐波含有率以及总畸变率的测量;
- 12) 电压电流不平衡度测量;
- 13) 负荷率统计测量;
- 14) 电压和频率偏差测量;
- 15) 可接受标准电流互感器 CT 和电压互感器 PT 输入;
- 16) 直接测量电压可达到 500 V;
- 17) 可设置的按分钟冻结测量数据,冻结保存 25 次;
- 18) 可按小时冻结测量数据,保存 1 d;
- 19) 可记录数据的日平均值,保存 1 个月;
- 20) 可记录数据的日最大值和日最小值及其发生时间,保存 1 个月;
- 21) 可记录每日的尖峰平谷的有功和无功电量以及电费,保存 1 个月;
- 22) 可记录每月的有功和无功电量,保存 1 a;
- 23) 具有日断相报警和日越限报警事件记录功能,保存 100 条记录;
- 24) 具有日越限统计信息功能,保存 1 个月;
- 25) 冻结记录数据掉电后可保存 10 a;
- 26) 具有电池电压监测功能;
- 27) 符合 Modbus RTU 协议带光电隔离的 RS485 通讯接口;

28) 具有扩展的 LAN 通讯接口和 USB 通讯接口。

1.4 电参数的计算算法^[4-5]

以下涉及到同类参数的多个参量运算,均以实际下标为例。如相电压有 A、B、C 3 相,以 A 相为例。 N 为实际总的采样点数, $u_A(t_n)$ 为离散采样的电压值,其他类同。

A、B、C 3 相各分相相电压

$$U_A = \sqrt{\frac{\sum_{n=0}^{N-1} u_A(t_n)^2}{N}}$$

A、B、C 3 相各分相相电压相位角差

$$\varphi_{U_{AB}} = a \cos \left(\frac{\sum_{n=0}^{N-1} u_A(t_n) \times u_B(t_n)}{N(U_A \times U_B)} \right)$$

A、B、C 3 相间线电压

$$U_{AB} = \sqrt{\frac{\sum_{n=0}^{N-1} [u_A(t_n) - u_B(t_n)]^2}{N}}$$

A、B、C 3 相各分相电流与零线电流

$$I_A = \sqrt{\frac{\sum_{n=0}^{N-1} i_A(t_n)^2}{N}}$$

A、B、C 3 相各分相电流相位角差

$$\varphi_{I_{AB}} = a \cos \left(\frac{\sum_{n=0}^{N-1} i_A(t_n) \times i_B(t_n)}{N(I_A \times I_B)} \right)$$

A、B、C 3 相各分相有功功率

$$P_A = \frac{\sum_{n=0}^{N-1} u_A(t_n) \times i_A(t_n)}{N}$$

A、B、C 3 相总有功功率

$$P_{\Sigma} = P_A + P_B + P_C$$

A、B、C 3 相各分相无功功率

$$Q_A = \frac{\sum_{n=0}^{N-1} u_A(t_n) \times i_A(t_n + N/4)}{N} = - \frac{\sum_{n=0}^{N-1} u_A(t_n + N/4) \times i_A(t_n)}{N}$$

A、B、C 3 相总无功功率

$$Q_{\Sigma} = Q_A + Q_B + Q_C$$

A、B、C 3 相各分相功率因素

$$S_A = \sqrt{P_A^2 + Q_A^2}, \quad PF_A = \frac{P_A}{S_A}$$

A、B、C 3 相总功率因素

$$PF_{\Sigma} = \frac{P_{\Sigma}}{S_{\Sigma}}$$

频率测量利用内插法改进传统过零点测频(图 4),具体思路如下: S_{m0} 和 S_{n0} 为电压采样的绝对过零点。当 $U_m U_{m+1} \leq 0$ 时,利用插值法可以计算 U_m 与 U_{m+1} 之间真正的零点位置

$$S_{m0} = \frac{-U_m}{U_{m+1} - U_m} + m;$$

当 $U_n U_{n+1} \leq 0$ 时,利用插值法可以计算 U_n 与 U_{n+1} 之间真正的零点位置

$$S_{n0} = \frac{-U_n}{U_{n+1} - U_n} + n.$$

因此,所测到的真实频率为 $f = \frac{f_s}{(S_{n0} - S_{m0}) \times 2}$, f_s 为采样频率。

谐波运算采用标准的 256 点的 FFT 运算,虽然处理器速度比较快,但 FFT 运算为复数小数运算,为了提高运算速率,参与 FFT 运算的数据均为整形数。

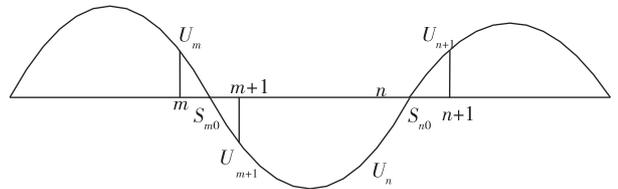


图 4 频率测量算法

Fig. 4 Frequency measurement algorithm

1.5 线性度补偿参数和相位补偿参数的获取方法

1) 零偏校准. 令所有通道输入为零,分别记录各通道零点位置。

2) 电压校准. 令所有电压通道输入值为标准电压值 220 V(RMS),记录各相电压校准参数。

3) 电流校准. 令所有电流通道输入值为分界点电流,记录各通道小电流测量段校准参数。再令所有电流通道输入值为最大值,分别记录各通道大电流测量段的校准参数。

4) 相移校准. 分别令电流电压通道输入相位相差 60 度感性,并且电流通道的电流值处于相位补偿段的中间点,并根据有功功率误差来求取该补偿段的相位补偿参数。

5) 求取的全部补偿参数存储在铁电存储器中。

本监测仪经江苏省电科院实际测试认证^[6],整体测试性能达到国标 A 级。

2 小结

基于LPC2478和ADS1178的三相电力监测仪方案被证明是当前具有优势的先进测试方案.本监测仪目前已成功通过样机生产测试,正在实际推广和应用中,相信未来在国家智能电网领域中定会发挥应有作用.

参考文献

References

- [1] NXP (飞利浦) 半导体公司. LPC2478 产品数据手册 [M]. 2010
NXP Semiconductors. LPC2478 Product data sheet [M]. 2010
- [2] NXP 半导体公司. LPC24XX 用户手册 [M]. 2009
NXP Semiconductor. LPC24XX User manual [M]. 2009
- [3] 德州仪器有限公司. ADS1178 产品数据手册

[M]. 2008

Texas Instruments Incorporated. ADS1178 Product data sheet [M]. 2008

- [4] 粟时平. 高精度多通道电能质量智能监测仪的研制 [D]. 杭州: 浙江大学电气工程学院, 2005
SU Shiping. The development of high-precision, multi-channel intelligent power quality monitor instrument [D]. Hangzhou: College of Electrical Engineering, Zhejiang University, 2005
- [5] 沈豪. 基于 IEC 标准的电能质量监测终端研制 [D]. 南京: 河海大学能源与电气学院, 2010
SHEN Hao. The development of power quality monitor terminal based on IEC-standards [D]. Nanjing: School of Energy & Electrical, Hohai University, 2010
- [6] 电能质量国家标准应用指南 [S]. 北京: 中国标准出版社, 2009
Power Quality Application Guide for National Standard [S]. Beijing: Standards Press of China, 2009

Three-phase power monitor based on LPC2478

MAO Wenming¹ WANG Hengbing² CHEN Jun²

1 Mettler-Toledo (Changzhou) Precision Instruments Company Limited, Changzhou 213022

2 Tonghui Electronics Company Limited, Changzhou 213022

Abstract The paper described the development of a new three-phase power monitor for the need of national smart grid. The instrument used LPC2478 ARM processor with external 8-channel synchronous sampling ADC, and standard RS485 interface. The measuring accuracy of main parameters was better than 0.2 grade, and passed the tests and certification of Electric Power Research Institute of Jiangsu province. The overall test performance achieved A-level of national standard for power quality.

Key words smart grid; three-phase power monitor; LPC2478; ADS1178