

# 基于嵌入式 Linux 的电参数测量系统设计

杨绍拉, 陈隆道\*

(浙江大学 电气工程学院, 浙江 杭州 310027)

**摘要:** 为了解决传统电参数仪智能化程度低、量程窄等问题,应用 Linux 操作系统、同步化等技术设计了一套电参数测量系统。该系统可对用电设备的电压、电流和功率等参数进行准确测量。在硬件设计上,采用 MAX1324 对电压和 3 路电流进行采样,提出了一种简便的组合测量电路以分别测量小电流和大电流。该系统通过对 3 路采样电流进行判断,以控制继电器来确定电流采样电路。采用了同步化算法,对非同步采样数据进行了修正,从而有效减小了计算误差。实际应用结果表明,该系统具有智能化程度高、使用方便和易于维护等优点。

**关键词:** 电参数;电流测量;Linux 操作系统;同步化

中图分类号: TH86;TM930;TP273

文献标志码:A

文章编号:1001-4551(2012)02-0238-03

## Design of electrical parameter measuring system based on embedded Linux operating system

YANG Shao-la, CHEN Long-dao

(College of Electrical Engineering, Zhejiang University, Hangzhou 310027, China)

**Abstract:** In order to solve the problems of low Intelligent and narrow range of the traditional electrical parameter instrument, a system based on synchronization algorithms and linux OS was designed for measuring electrical parameters such as voltage, current, power, etc.. A new measurement circuit which was used to measure the little current and the high current respectively was proposed; MAX1324 was used for sampling of voltage and three-way current. It was easy to control the relay to determine the sample circuit with judging the three-way current. The system used the synchronization algorithm to revise the original data, which effectively reduced the calculation error. The results show that the system has a high practical application value with its high intelligent, convenient operation and easy maintenance.

**Key words:** electrical parameter; current measurement; linux operating system; synchronization

## 0 引言

传统电参数系统集成度较低,硬件电路复杂、不易调试,智能化程度和可靠性低而成本高<sup>[1]</sup>。随着技术的发展,用户对用电设备要求的不断提高以及低功耗设备的广泛应用,电力、工业控制和生活用电领域对电参数测量提出了更为严格的要求<sup>[2]</sup>。

针对系统在测量精度、功能和大量程的新要求,本研究提出一种可自动对高低功耗进行分别处理的大量程电参数测量系统。该系统采用Linux操作系统,此种操作系统的应用使得系统更加智能,特别是系统的人机界面的操作更加方便。

## 1 系统的总体结构

该系统用于检测单相电参数、测量用电设备的电压电流信号,信号经过软件处理,在屏幕上显示为数字和波形。因用电设备经常在高、低功耗间进行工作状态的切换,使得电流在较大范围内变化,故该系统设计了新电路以测量大范围波动的电流。该系统通过软件判断,分别用不同电路对高、低功耗状态下的电参数进行分别测量以同时满足大量程及高精度的需求。

该系统的硬件电路主要包括信号检测和处理单元、A/D转换单元、CPU及其外围单元。总体结构如图1所示。其中信号检测单元包括一路电压信号和3路电流

收稿日期:2011-09-19

作者简介:杨绍拉(1987-),男,浙江平阳人,主要从事嵌入式系统及智能仪器方面的研究。E-mail:yyll2010@163.com

通信联系人:陈隆道,男,教授,博士生导师。E-mail:clongdao@vip.sohu.com

信号;A/D转换器采用MAX1324<sup>[3]</sup>,带有8路模拟同步转换通道;CPU是AT91SAM9261,其片上资源丰富;触摸屏驱动芯片为ADS7843。该系统的操作系统是linux-2.6.27<sup>[4]</sup>版本,GUI界面显示采用qtopia-2.2.0<sup>[5]</sup>版本。

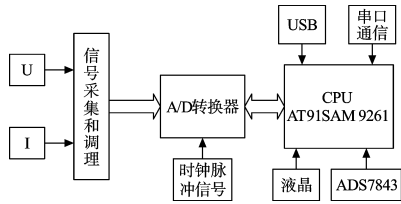


图1 系统总体框图

## 2 系统硬件设计

### 2.1 信号采集电路

该系统用于测量电压、电流信号。电压为单相的电网电压,其有效值较稳定,可直接用电阻分压的方式进行测量,分压电阻典型值分别为36 kΩ和1 kΩ。

因电流信号变化幅度大,而对于测量,大量程与高精度为一对矛盾需求。为同时满足该矛盾需求,本研究对大、小电流信号先进行软件判断,然后选择不同的电路进行测量。

大于80 mA的电流判定为大电流,用电流互感器进行测量,测量电路简便。

小于10 mA的电流判定为小电流,该系统用新设计的电路进行测量,电路图如图2所示。 $D_1$ 、 $D_2$ 为保护二极管,额定电流要大,典型值取20 A。经测试二极管两端加压至170 mV时二极管导通,所以 $R_3$ 两端的电压不能超过170 mV,故 $R_3$ 阻值不宜过大,典型值取10 Ω。 $R_4$ 取500 Ω。

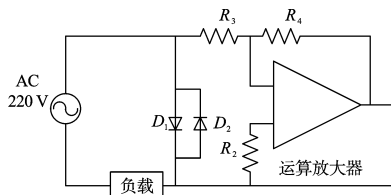


图2 小电流测量电路

对大于10 mA、小于80 mA的电流,本研究用如图3所示的电路进行测量。二极管 $D_1$ 、 $D_2$ 作用及额定电流取值与图2一致, $R_5$ 取值为1 Ω。

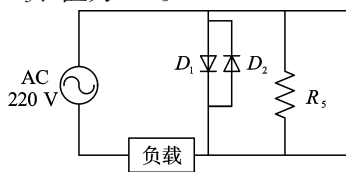


图3 电流测量电路

3组测量电路相互协调,用软件进行判断,以控制继电器进行选择。

### 2.2 模数转换电路和CPU外围介绍

该系统的A/D转换器采用MAX1324,其不仅在测

量通道上而且在采样速率上都有较大冗余;该系统仅需4路模拟通道同时转换,而MAX1324可在8路模拟量上实现同步转换。通道接口方面的冗余有利于系统以后的扩展。A/D的时钟电路接于A/D芯片的CONVST脚上,用于启动A/D转换,以保证每点之间的数据为等间隔采样。启动后同时转换4通道,然后处理器把4通道的数据取出;时钟电路的晶振为4 MHz频率的有源晶振,经过分频最终A/D芯片的时钟为3.9 kHz。可得每个工频周期内的平均采样点数为78点。采样速率的冗余使数据最终经过软件的同步化算法处理成64点,保证了系统的分析精度。

CPU的外围电路包括USB接口电路、串口通信接口电路、液晶接口及附属电路和触摸屏驱动电路;CPU的核心板上带有nand flash和SDRAM。该系统液晶是8寸TFT液晶,背光电压需要9.9 V,此外还要为液晶提供打开TFT的开启电压16 V和关闭TFT的关断电压-7 V,以使TFT快速截止,避免出现乱码。

## 3 系统软件设计

该系统的软件设计<sup>[4-6]</sup>包括:bootloader、Linux操作系统和qt的移植以及驱动程序和应用程序的设计,本研究介绍应用程序的设计。

该系统的应用程序主要包括数据处理程序和人机界面程序。数据处理过程主要包括对数据同步化、数据计算以及对电路实际电流的判断。系统利用同步化后的数据计算电压、电流、功率以及谐波等,同步化之前要对数据进行滤波处理,以抑制背景噪声干扰。人机界面主要是显示数据的各个有效值和波形。这里主要介绍数据处理的流程。

该系统的硬件设计中,有两个重要的继电器,分别记为r1与r2。r1的作用是保护二极管和测量电路,r2控制测小电流时电路的切换。本研究在程序中定义变

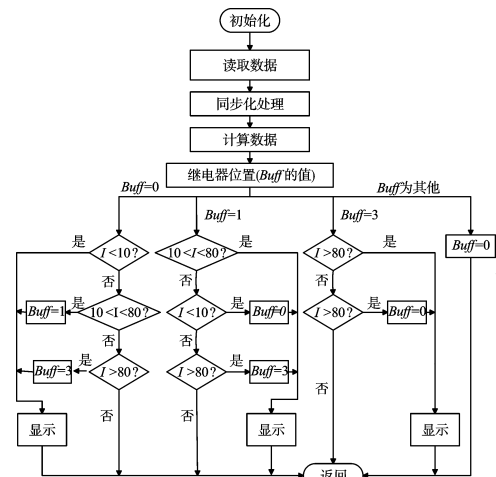


图4 数据处理流程图

量Buff记录继电器的状态。Buff共有4个状态:Buff为0、1时分别选择图2、图3测量电路,Buff为2时程序返回。数据处理程序流程如图4所示。

### 4 软件同步化算法

通常把取样频率与信号基波频率之间不满足整数倍关系的取样称为非同步取样。非同步的取样使信号在时域出现截断误差与在频域出现频谱泄漏误差<sup>[8-9]</sup>。在数据处理过程中,为消除该误差,在对数据进行傅里叶分析之前,要先对原始数据进行处理。目前减小同步误差和频谱泄漏的方法大致可分为4个方向<sup>[10]</sup>:①同步采样法;②准同步采样算法;③加窗插值法;④数据修正法。前3种方法并不适用于过程信号。该系统采用第4种算法,对原始数据进行同步化。

在数据的同步化中,首先要计算信号的周期,该系统采用线性拟合过零点法<sup>[11-12]</sup>计算信号的周期。过零检测示意图如图5所示,信号的起始点取大于零的点,末点取小于零的点,假设A、B之间有(k+1)点,则周期T为:

$$T = kT_s + t_0 + t_1 \tag{1}$$

式中:Ts—信号实际的采样间隔时间;t0—初过零点到A点的时间间隔;t1—B点到末过零点的时间间隔。

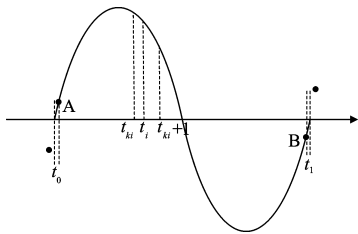


图5 过零检测示意图

该系统采用线性同步化算法<sup>[13]</sup>,假设实际取样序列为x1(k),理想取样序列为x2(i),若用tki和ti分别表示实际取样序列x1(k)和理想取样序列x2(i)所对应取样点的时间,如图5所示,则ki应满足<sup>[13]</sup>:

$$t_{ki} \leq t_i, t_{ki+1} > t_i, i=0, 1, 2, \dots, N-1 \tag{2}$$

则第i个理想取样点在实际取样序列中的下标<sup>[13]</sup>为:

$$k_i = \text{INT} \left[ \frac{i \cdot \frac{T}{N} + |t_p|}{T_s} \right] \tag{3}$$

式中:tp—实际取样序列第一点与理想取样序列第一点的时间偏差;N—同步化后的序列点数;INT[]—取整算子。

根据式(2,3)和线性插值算法,同步化算法公式为<sup>[13]</sup>:

$$x_2(i) = (1 - \alpha_i) \cdot x_1(k_i) + \alpha_i x_1(k_i + 1) \tag{4}$$

其中:

$$\alpha_i = \frac{i \cdot \frac{T}{N} + |t_p|}{T_s} - k_i \tag{5}$$

式中:tp—x1(0)和x2(0)的时间偏差。

经同步化算法处理后的序列x2(i)即等同于整周期采样序列,从而便可采用相关算法求出该信号的各项时频参量<sup>[13]</sup>。

### 5 结束语

本研究提出的电参数测量系统主要用于测量用电设备的功率、电压和电流,为电参数综合测量提供了一个更好的解决方案。该系统对仪器电参数的测量更加全面,例如从仪器的低功耗模式到大功率模式的测量,人机界面更加友好,操作更加简便,只需将被测仪器电源插头接上,就可以自动测量。随着技术的发展,仪器智能化和网络化程度不断提高,该系统采用ARM9处理器为核心,Linux操作系统为平台,使系统更加智能化,同时也降低了后续应用程序开发的难度,更易于实现对程序的维护。

### 参考文献(References):

- [1] 张志杰. 基于 ADE7754 的三相电源功率表的设计与实现[J]. 微型电脑应用, 2004, 20(10): 38-41.
- [2] 关键, 刘林山. 基于 AT91RM9200 的三相工频电参数测量系统设计[J]. 电力自动化设备, 2007, 27(6): 85-89.
- [3] 孔五阳, 徐群. MAX1320 在同步向量测量中的应用[J]. 微计算机信息, 2007, 23(22): 290-291.
- [4] 韦东山. 嵌入式 linux 应用开发完全手册[M]. 北京: 人民邮电出版社, 2008.
- [5] 苗忠良, 宛斌. Qtopia 编程之道[M]. 北京: 清华大学出版社, 2009.
- [6] 陈何杰, 郑灵翔. ARM Linux 中断系统移植研究[J]. 厦门大学学报: 自然科学版, 2010, 49(3): 339-343.
- [7] 陈隆道. 过程信号周期域分析与应用的研究[D]. 杭州: 浙江大学电气工程学院, 1999.
- [8] 陈隆道, 王小海. 周期域分析中的信号周期算法[J]. 仪器仪表学报, 2001, 22(4): 410-412.
- [9] MATOUKA M F. A wide-range digital power/energy meter for systems with nonsinusoidal waveforms[J]. IEEE Trans., 1982, 29(1): 18-31.
- [10] 蔡忠法, 陈隆道, 周箭. 非同步采样的同步化谐波分析算法[J]. 浙江大学学报: 工学版, 2008, 42(4): 682-685.
- [11] 高辉, 崔文进. 基于 DSP 的交流采样和电量数字测量的研究[J]. 电工技术杂志, 2002, 10(55): 16-19.
- [12] BEGOVIC M M, DJURIC P M, DUNLAP S, et al. Frequency tracking in power networks in the presence of harmonics[J]. IEEE Transactions on Power Delivery, 1993, 8(2): 480-486.
- [13] 陈隆道. 周期域分析中非同步取样数据的同步化[J]. 电子学报, 2001, 29(7): 950-953.

[编辑: 李辉]