

基于 430 单片机的新型配电变压器远方终端的开发

陶维青,马小陆

(合肥工业大学电气与自动化工程学院自动控制系,安徽 合肥 230009)

摘要:介绍了一种以 TI公司的新型 16位低功耗 Flash型单片机 MSP430F449为核心的新型配电变压器远方终端(TTU),着重论述了此系统的硬件组成、软件设计及谐波的测量原理和实现。该终端单元具有实时监测电网各种参数值,可选用不同的通信接口与上位机进行双向通信功能,通信规约采用 IEC 870-5-101。实验证明,该系统结构简单,运行稳定、可靠,且对于模拟量控制,不仅控制精度高而且抗干扰能力强。此外,将谐波分析引入 TTU的设计中,增强了 TTU的功能。

关键词:TTU; MSP430F449单片机; IC总线; 消息驱动; 谐波分析

中图分类号: TM764 **文献标识码:** A **文章编号:** 1003-4897(2005)19-0066-04

0 引言

配电变压器远方终端单元(TTU)属于配电终端的重要组成部分,位于配电自动化系统的底层,用于配电变压器的各种运行参数的实时监测。为电力部门的专业分析,如负荷预测、线损分析、故障判断和用电质量等提供数据,进而从技术上和管理上提高了电网运行的经济性和安全性^[1]。

由于 MSP430F449单片机具有 16位的 RISC 结构、8通道 12位 A/D 转换器、内置乘法器、两个 UART,内部集成了 LCD 接口功能以及内嵌 60 k FLASH和 2 k RAM 等丰富的外围资源^[2],所以它非常适合于用作配电变压器远方终端。不仅简化了系统的结构,提高了系统的性能价格比,且经过实验证明,系统的精度、快速性以及可靠性等都取得了满意的结果。此外,将谐波分析引入 TTU的设计中,增强了 TTU的功能。

1 系统硬件设计

如图 1所示,整个系统的硬件是 MSP430F449单片机为中心模块的监测与控制系统。系统的硬件电路构成主要包括:中心模块、模拟量输入模块、开关量输入输出模块、基于 IC总线的外围扩展模块、通讯模块、显示模块和电源模块。

1) 中心模块。采用 TI公司的新型 16位低功耗 Flash型单片机 MSP430F449。由于该单片机内部集成了众多的外围模块,不但使电路的设计变得简单,还可以大大缩小电路板的尺寸。

2) 模拟量输入模块。模拟量输入模块由两部分组成:模拟量信号采集和 A/D 转换。模拟量信号

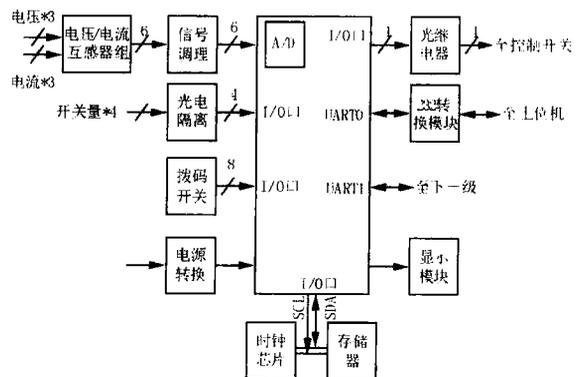


图 1 系统结构图

Fig 1 System architecture

采集由隔离电路和信号调理电路构成。采集的交流电压和交流电流信号经过隔离电路和信号调理电路后进入 MSP430F449的 A/D通道进行转换^[3]。

由于模拟量信号是电网中的交流高电压和交流大电流,同时本系统的主控板是低电位的,因此需要将高电压和大电流变换成低电压和小电流,本系统采用的是电流互感器(CT)和电压互感器(PT)。

A/D 转换采用的是 MSP430F449 内嵌的 ADC12。ADC12的主要特点如下^[2]:

- a 采样速度快,最高可达到 200 d/s
- b 12位转换精度。
- c 内置采样与保持电路。
- d 有多种时钟源。

它完全能达到系统的快速性和可靠性的要求,同时也简化了电路,降低了系统的成本,提高了系统的性能价格比。

3) 存储模块。由于系统需要存储大量的配电数据, MSP430F149 虽然内部有高达 60 kB 的

FLASH,但是在对 FLASH进行读写操作时,有一些限制^[2,4]:

a FLASH操作时一般要关掉中断和看门狗定时器。

b FLASH操作需要一定的读写电压。

c FLASH操作需要较长的时间。

这就影响了系统的实时性。另外,在进行操作时要避免把程序和存储数据放在 FLASH中的同一段上,这增加了代码的长度和难度。所以我们采用片外的 E2PROM,并采用具有 IIC接口功能。考虑到余量和代码效率的因素,选择了 AT24C1024,它的容量是 1024 kB。实现如图 2,因为 IIC总线的器件电气特性采用的是开漏极输出,需要通过两个上拉电阻使信号保持稳定。由图 2可以看出,具有 IIC总线协议的 AT24C1024与 MSP430F149的连接非常简单,大大地简化系统的管脚连接。

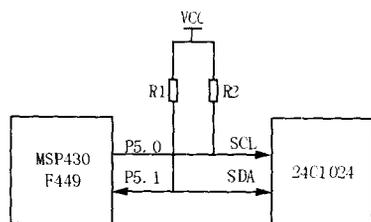


图 2 24C1024和 MSP430F449接线图

Fig 2 Connection of 24C1024 and MSP430F449

2 系统软件设计

变压器监控终端软件的主要功能是对电网的电压、电流、开关信号及脉冲信号进行采样,并进行处理,得到的实时数据保存到 RAM中,其中一部分经过分析统计,作为统计数据刷新的依据,对当前的统计数据更新,等到零点时刻保存到外围存储器(AT24C1024)中去;整点时刻收集的数据作为历史整点数据直接存储到外围存储器(AT24C1024)中去;主站以 101通讯规约实时向变压器监控终端召唤实时数据、历史数据、统计数据 and 发送遥控工作命令等。

将上述功能进行细分和细化,使之成为若干单独的功能,从而可用相应函数来实现。设计具体函数,就进入实质性阶段,要定义变量,要选取标准函数,要确定算法,这些都是构造程序的基本单元,当所有函数都设计完后,再将这些函数按照调用的先后次序在主函数中堆砌起来,并用主函数作为主控程序,采用 Windows消息驱动原理设计主程序,控制对这些函数的调用,这就形成了一个完整的实用的

监控程序。

系统软件利用 C语言为开发工具,以 IAR Embedded Workbench 为开发环境,采用模块化设计思想,按照上述功能,软件可化分为:主控制模块;初始化模块;自检模块;数据采集和处理模块;串行通讯模块;101协议模块;数据存储模块以及显示模块。系统模块结构图如图 3所示。

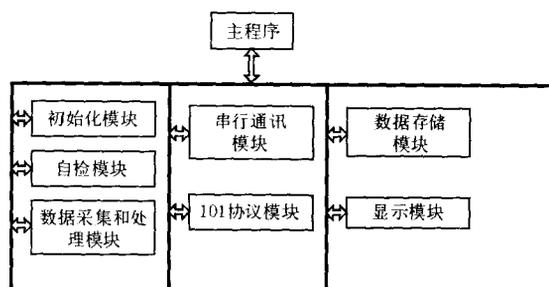


图 3 模块结构图

Fig 3 Modular architecture

2.1 主程序设计

主程序仿 Windows消息驱动的原理进行设计,即在子程序里面完成消息的触发,完成一些标志的置位,而在主循环中对这些标志进行判断,进而完成相应功能。比如在定时器中断里面完成一些时间标志的置位,如分钟标志,小时标志等;这些标志均在主循环中加以判断,从而在某种条件下完成某种功能,等到处理完之后再复位此标志。

仿 Windows消息驱动原理设计主程序的优点在于:

- 1) 易于实现相关功能模块间的通信。
- 2) 便于系统功能的扩展。
- 3) 结构简单、易懂。

主程序流程图如图 4所示。

2.2 电能计量软件设计

由于本系统不经过三相电能计量芯片,而是直接对电网的电压、电流、开关信号及脉冲信号进行采样,并进行处理,其软件设计如下。

电度量是由功率和时间两部分累加构成。功率由 FFT计算得出,功率精确到瓦;时间我们采用 MSP430F449内部的基本定时器,电度量计算在基本定时器中断中处理,时间精确到秒。具体实现过程如图 5所示(其中 Cal_P是 FFT计算后的功率值,360 000是以电度量整数部分精确到 0.1度而设定的值)。

为了确保电度量计量的准确性和精确度,本系统采用了如下措施:

1) 定义了两个长整型变量,电度量小数部分 (long int Decimal_DD) 和电度量整数部分 (long int Integer_DD)。

2) 每秒进行电度量整数部分保存判断处理。

3) 保存的电度量放在片外的 E2PROM 中,即 AT24C1024 中,上电时从 AT24C1024 中读取。

4) 停电时不仅电度量整数部分保存,电度量小数部分也保存,这样可确保来电后电度量读取和电度量的计算的准确性。

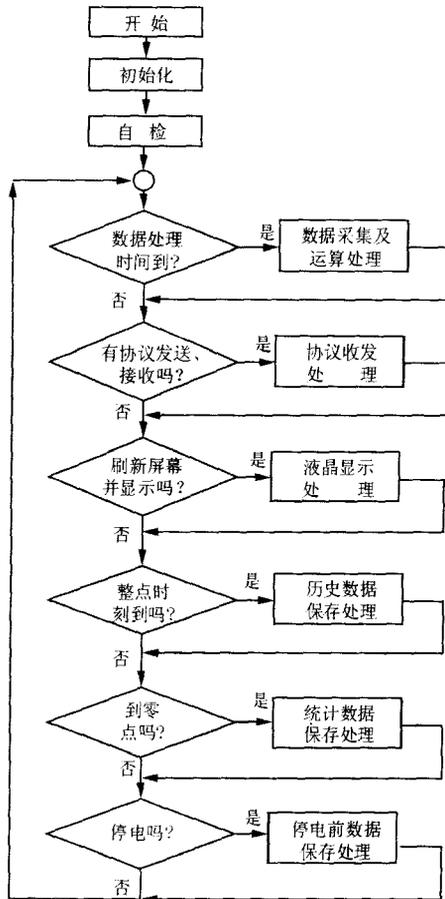


图 4 主程序流程图

Fig 4 Flow chart of main program

3 谐波分析

随着我国国民经济的发展,大量的非线性和冲击性负载接入电网,在运行时产生谐波、电压波动和闪变,造成电网电压波形畸变,三相负荷不平衡,供电质量下降,影响电网及用户设备安全和经济运行。为此,需要 TIU 产品能及时准确地测量谐波变化以便监控电网质量。

在电力系统中电压、电流如式 (1)、(2)^[5]:

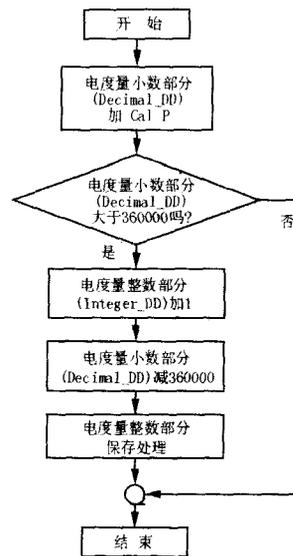


图 5 基本定时器中断计算电度量流程图

Fig 5 Flow chart of basic timer interruption calculating electric energy

$$U(t) = \sum_{i=1} U_i \sin i t \quad (1)$$

$$i(t) = \sum_{j=1} I_j \sin(j t - \varphi_j) \quad (2)$$

它们均是周期信号,并且一般满足狄里赫利条件,因此可以分解如下的傅里叶级数:

$$f(t) = A_0 + \sum_{n=1} (A_n \cos n t + B_n \sin n t) \text{ 或}$$

$$f(t) = A_0 + \sum_{n=1} C_n \sin(n t + \varphi_n) \quad (3)$$

式中: $\omega = 2\pi f$ 为相应的角频率, $f = \frac{1}{T}$ 为工频频率;

$n = 1, 2, \dots$ 为谐波次数。 A_0 为直流分量,是周期函数 $f(t)$ 一个周期内的平均值, A_n, B_n 为傅里叶级数的系数,它们是 n 次谐波的直角坐标分量,相应于 n 次谐波矢量为:

$$\varphi_n = \arctan\left(\frac{B_n}{A_n}\right)$$

$$C_n = \sqrt{A_n^2 + B_n^2}$$

$$C_n \angle \varphi_n = A_n + jB_n$$

$$A_0 = \frac{1}{T} \int_0^T f(t) dt$$

$$A_n = \frac{2}{T} \int_0^T f(t) \cos n t dt$$

$$B_n = \frac{2}{T} \int_0^T f(t) \sin n t dt$$

离散后,有下列公式:

$$a_n = \frac{2}{N} \sum_{k=0}^{N-1} f_k \cos \frac{2}{N} nk \quad (4)$$

$$b_n = \frac{2}{N} \sum_{k=0}^{N-1} f_k \sin \frac{2}{N} nk \quad (5)$$

式中: $n=0, 1, 2, \dots, N-1$ 为谐波次数; $k=0, 1, 2, \dots, N-1$ 为采样次数; f_k 为第 k 次采样值。

在实际测量中:式(1)、(2)函数关系是未知的,但是通过对电压、电流采样,能得到周期为 N 的有限长序列。

根据数字信号处理理论,其离散傅里叶变换(DFT)表示为:

$$X(n) = \sum_{k=0}^{N-1} x(k) e^{-j \frac{2\pi}{N} nk} \quad (0 \leq k < N-1) \quad (6)$$

式中: $X(n)$ 为 n 次谐波分量的大小。

由式(4)、(5)、(6)得:

$$\frac{2}{N} X(n) = a_n - jb_n \quad (7)$$

这样在实际测量系统中可以通过离散傅里叶变换求得电压、电流信号的各次谐波幅值以及同次谐波电压、电流之间的相角等。但 DFT 的计算量非常大,因此本设计中采用快速傅立叶算法(FFT)。

4 系统谐波测量结果

验证性试验采用谐波源发生器输出谐波信号。如将谐波源的各次谐波含量按表 1 设置,各次谐波相位可以任意给定。经系统对谐波信号进行采样(每个周期采 32 点),并进行 FFT 计算后得到各次谐波含有率,并把它与各次谐波设定值相比较。

表 1 设定的谐波含有率

Tab 1 Configuration of harmonics percentage

设定谐波次数	3	5	7	9	11	13	15
设定谐波含有率 / (%)	3.0	5.0	2.0	1.0	0.5	0.4	0.2

表 2 测量的谐波含有率

Tab 1 Measurement of harmonics percentage

测量谐波次数	3	5	7	9	11	13	15
测量谐波含有率 / (%)	2.980	4.978	2.020	1.012	0.503	0.398	0.214

由表 1、表 2 可见系统谐波测量精度很高。

5 结束语

配电系统自动化是电力系统发展的必然要求和

结果,配电变压器远方终端是配电系统自动化的重要组成部分。本文采用单片机 MSP430F149 来完成远程测控不仅简化了系统的结构,提高了系统的性能价格比,而且对整个系统的控制精度、可靠性等都取得了较满意的结果。并具有谐波分析功能,有一定的实用及推广价值。

参考文献:

- [1] 李光辉,陈志英.基于 DSP 的配电变压器远方终端单元(TIU)的设计[J].电工电能新技术,2004,23(3):72-75.
LI Guang-hui, CHEN Zhi-ying Study of DSP Based Transformer Terminal Unit (TIU) [J]. Advance Technology of Electrical Engineering & Energy, 2004, 23(3): 72-75.
- [2] 胡大可. MSP430 系列超低功耗单片机原理与应用[M].北京:北京航空航天大学出版社,2000.
HU Da-ke Principle and Application of MSP430 Series Extra Low Power Consumption Computer [M]. Beijing: Beijing University of Aeronautics and Astronautics Press, 2000.
- [3] 邬宽明.单片机外围器件实用手册(数据传输接口器件分册)[M].北京:北京航空航天大学出版社,1999.
WU Kuan-ming Handbook of Computer Periphery Apparatus (Fascicle of Data Transmission Interface Apparatus) [M]. Beijing: Beijing University of Aeronautics and Astronautics Press, 1999.
- [4] 马小陆,陶维青.基于 430 单片机的远程测控单元[J].仪器仪表用户,2004,11(5):69-71.
MA Xiao-lu, TAO Wei-qing Remote Measure and Control Unit Based on MSP430F149 [J]. Electronic Instrumentation Customer, 2004, 11(5): 69-71.
- [5] 赵闻蕾,李晖.电参量谐波测量算法的研究[J].大连铁道学院学报,2004,24(4):58-62.
ZHAO Wen-lei, LI Hui Study of Measuring Algorithms for Electric Parameters with Harmonic [J]. Journal of Dalian Railway Institute, 2004, 24(4): 58-62.

收稿日期: 2005-01-11; 修回日期: 2005-02-28

作者简介:

陶维青(1964-),男,副教授,长期从事电力系统及其自动化方面的研究;

马小陆(1979-),男,硕士研究生,研究方向为工业控制软件技术。E-mail: maxiaolublade@163.com

(下转第 81 页 continued on page 81)

些干扰会导致数字式载波机无法同步、无法运行,因此在现场使用中应注意不能一味地上数字式载波机,要针对通道的实际状况来选用。对通道状况、信噪比以及干扰、失真、传输时间满足要求的可选用数字式载波机,对通道上频繁出现瞬时中断、突发干扰比较严重、信噪比过低和传输时间有限的应降低传输容量的要求,选用数字化载波机。目前昌南公司生产的 ESB900 数字化载波机可在 4 kHz 的带宽内传输一路话音、一路 1 200 Bd(或两路 600 Bd)的数据,如采用数据专用传输方式可传输两路 1 200 Bd 或一路 2 400 Bd 的数据。

3 结束语

电力线载波通信具有成本低、可靠性高等优点,数字通信技术的发展使得电力线载波通信完全融合于现代通信环境,并与未来的发展相匹配,数字化、数字式载波机的出现使得电力线载波通信的明天更加辉煌。

参考文献:

- [1] 王奎甫. 全数字化载波通信的原理及实现方法 [J]. 继电器, 2002, 30(7): 27-30
WANG Kui-fu The Scheme and Implementation of Digitized Power Line Carrier Equipment [J]. Relay, 2002, 30(7): 27-30.
- [2] ITU - T V. 34, 协议 [S].
IEU - T V. 34, Protocol [S].
- [3] Droakis J G 数字通信 (第一版) [M]. 北京: 电子工业出版社, 1998
Droakis J G Digital Communication, First Edition [M]. Beijing: Publishing House of Electronics Industry, 1998
- [4] Siemens ESB 2000i, 电力线载波机 [Z].
Siemens ESB 2000i, Power Line Carrier [Z].

收稿日期: 2005-01-20; 修回日期: 2005-07-06

作者简介:

王奎甫 (1963 -), 男, 高级工程师, 从事电力系统通信的研究和开发工作。E-mail: kuifuw@xjgc.com

Principle and selected method of digital power line carrier equipment

WANG Kui-fu

(XJ Changnan Communication Co., Ltd, Xuchang 461000, China)

Abstract: Digital power line carrier equipment is a new type of transmission system for improved capacity utilization of analog transmission paths. It adopts advanced voice compression/decompression, TCM or OFDM digital modulation/demodulation principle and the latest digital signal processor technology. With all the equipment and techniques, extremely high bandwidth efficiency are produced, for a same bandwidth permits it transfers three to four times the number of voice and data channels compared with the analog power line carrier equipment. This paper introduces the principle and implementation of digital power line carrier equipment, discusses the difference between digital and digitized power line carrier equipment, and puts forward the selection principle.

Key words: digital single side band modulation; Trellis-code modulation; orthogonal-frequency-division-multiplex; signal-to-noise; inter-symbol-interference

(上接第 69 页 continued from page 69)

Development of transformer terminal unit based on MSP430F449

TAO Wei-qing, MA Xiao-lu

(Department of Automatic Control, Hefei University of Technology, Hefei 230009, China)

Abstract: Transformer terminal unit based on 16-bit microcomputer MSP430F449 is introduced. Hardware compositions, software design, and the principle and implementation of harmonics analysis are detailed. TTU can measure various parameters of power system in real-time and select different communication interfaces to realize the function of intercommunication with the host. The regulation of communication adopts IEC 870-5-101. The system has a simple structure and stable and reliable capability. The experiment shows that this system possesses higher precision and better anti-jamming to analog signals control. Moreover, harmonics analysis is applied in the design of TTU. It do amplify the function of TTU.

Key words: TTU; MSP430F449 microcomputer; IC bus; message drive; harmonics analysis