

基于 MSP430 的无功补偿系统设计与实现

Design and Implementation of Reactive Power Compensation System Based on MSP430

巫付专 吴必瑞 蒋 群

(中原工学院电子信息学院,河南 郑州 450007)

摘要: 针对电网中无功补偿问题,介绍了一种基于 MSP430F449 的无功补偿系统,简要地论述了系统的硬件和软件设计。系统能够通过 430F449 内部自带的 A/DC12 模块实现电流、电压的采集,同时利用定时器的捕获功能来计算信号相位差,求得输出控制量,控制自动投切并联补偿电容器组,实现系统的无功补偿。

关键词: 无功补偿 功率因数 MSP430 电容器 相位测量 上位机 通信

中图分类号: TP273 **文献标志码:** A

Abstract: Aiming at the topic of reactive power compensation in electric power grid, a reactive power compensation system based on MSP430F449 is introduced. The design for hardware and software of the system is described briefly. Through A/DC12 module inside 430F449, acquisition of currents and voltages can be conducted by the system. In addition, by using the capture capability of the timer, phase difference of the signals can be calculated to derive the control output to control the auto-switching shunt compensation capacitor banks for realizing reactive power compensation.

Keywords: Reactive power compensation Power factor MSP430 Capacitor Phase measurement Host computer Communication

0 引言

实时、准确地测量电力参数在电力系统的无功补偿中有十分重要的作用。计算机技术,尤其是单片机技术和大规模集成电路及各种新型传感元件的迅速发展和日臻成熟。微机技术在电力系统中的普及应用,使电力系统的测量和监控技术得到了快速的发展。随着电网中使用的感性负载愈来愈多,造成电网的功率因数偏低,在电网中并联电容器可以减少电网向感性负载提供的无功功率,从而降低输电线路因输送无功功率造成的输电损耗,改善电网的运行条件。因此,功率因数补偿控制器有着广阔的应用市场。无功控制是保证电压质量和无功平衡以及提高供电网的可靠性和经济性的重要措施。本系统的电网电压无功控制是通过 Flash 型超低功耗单片机 MSP430F449 驱动接触器控制投切并联补偿电容器组来提高功率因数,从而达到节约电能的目的,并且具有无功就地平衡、提高电压合格率、改善功率因数并减少线路的有功损耗等优点^[1]。

1 系统构成与工作原理

该系统采用 MSP430F449 单片机为主控制器件。

由于 MSP430F449 内部自带的 A/DC12 模块能实现 12 位精度的模数转换,能够对电网的三相电流信号、电压信号经调理电路后的实现高精度和测量。系统利用定时器的捕获功能来计算信号相位差,求得功率因数。当系统的电网的功率因数低于正常值时,利用单片机的 I/O 口输出电路驱动继电器,实现自动投切电容器组来提高功率因数;当电网的功率因数高于规定的值,则断开继电器,切断电容组。电容器上接熔断丝,当电网中的电流过大时,切断电容器起到保护作用^[2]。最后采用 RS-485 通信通过人机交互界面实现 MSP430 与 PC 机之间的通信,通过上位机运行软件进行监测和控制。其系统结构框图如图 1 所示。

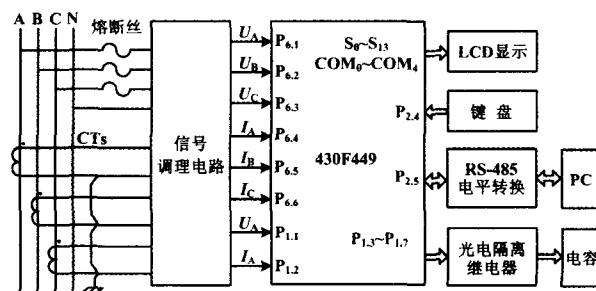


图 1 系统结构框图

Fig. 1 Structure of the system

修改稿收到日期:2008-03-21。

第一作者巫付专,男,1965年生,1988年毕业于哈尔滨理工大学电气系,获学士学位,副教授;主要从事电气及其控制的研究与教学工作。

2 硬件电路设计

2.1 MCU 的选择

MSP430F449 是 TI 公司最近推出的具有极高性价比的 16 位 MCU,具有功耗低、存储容量大、集成度高、在线支持性强等特点^[5]。MSP430F449 属于一种中低端的单片机,运用非常灵活,具有 2 kB 的 RAM、60 kB 的 Flash、48 个 I/O 口、3 个 16 位定时器、1 个看门狗定时器、2 个串行通信口、1 个集成 LCD 驱动模块、1 个 A/D 转换模块(ADC)、1 个 16 位的硬件乘法器。MSP430F449 除了正常的工作模式外,还具有 5 种低功耗模式。

2.2 主控制电路设计

主控制电路是采用单片机的 I/O 口驱动接触实现电容的投切,提高电网的功率因数,实现无功自动补偿。图 2 中的主控制电路图画出了一组电容投切,其它组电容的接法也同理。

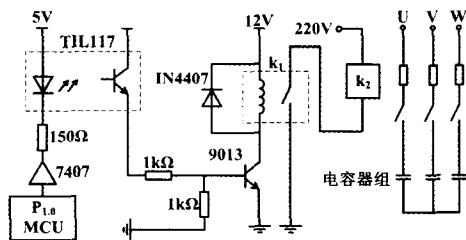


图 2 主控制电路图

Fig. 2 Main control circuit

控制系统的软件是 MSP430 在开发环境下采用 C 语言编写实现的,求得当前电网的实时功率因数,将此功率因数与设定的投入门限和切除门限比较。根据比较的结果对电容组进行实时投切,使功率因数满足要求。在投切过程中,若发现检测到的电压大于设定的过压保护门限,则按组切除所有已投入的电容。当检测到的电压超过设定的过压保护门限的 10% 时,则一次性切除所有已投入的电容,用以保护电容器。在投切时,若发现检测到的电流小于欠电流封锁门限,则停止投切动作,避免系统出现循环投切现象^[3]。

2.3 信号调理电路

2.3.1 电压、电流测量电路

为实现强弱电的隔离,提高抗干扰能力,检测电网的相电流以及相电压,分别采用了电流互感器和电压互感器。由于交流信号都是过零信号且正负幅值相等,而片内的 A/DC 不能低于 0 V。因此,将转换后的电压抬高到正参考电源 V_{REF} 的一半,并且信号在进入 MSP430 前,要经过二阶低通滤波器滤掉高次谐波。为了保持波形不变,同时保护单片机不被烧坏,信号在进

入 I/O 时,需加入稳压管,以确保电压不超过 2.5 V。电流采样则是需要选择 100/5 A 或 200/5 A 的其他的电流互感器采集电网的三相电流,把电流信号控制在 5 A 以下,再通过电流传感器按比例缩小电流信号。在电网的电压信号进入 MSP430 之前,按电流采样电路的方式处理电压信号^[4]。其测量电路如图 3 所示。

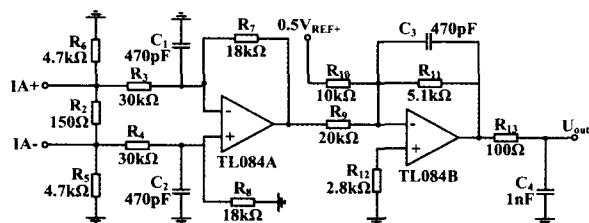


图 3 测量电路

Fig. 3 Measuring circuit

2.3.2 相位测量电路

将互感器输出的电流和电压信号进行放大,二阶低通滤波器滤掉高次谐波和施密特整形,把交流信号转化为方波信号,输入到单片机 Timer_A 的 TA_1 、 TA_2 输入端。这样测信号相位就变成测信号边沿之间的时间宽度问题,用 MSP430F449 单片机很容易实现这一测量。

2.4 RS-485 通信接口电路

RS-485 总线发送数据时使用 2 根线,2 根线上的电压相反,当 A 线上的电压高于 B 线时为逻辑 1;当 B 线上的电压高于 A 线时,为逻辑 0。MAX3485 芯片把信号转变成 RS-485 标准需要的电平发送到计算机或终端,从而实现计算机或终端的接收的数据后给 USART0。串口 USART0 经过 MAX3485。其中芯片的脚 1 与单片机的 $P_{2.4}$ 相连,作为通信电路的数据接收;脚 4 与单片机的 $P_{2.5}$ 相连,作为通信电路的数据输出。RE 与 DE 短接并一同接入 $P_{1.1}$,由 $P_{4.2}$ 作为 MAX3485 芯片的使能端^[5]。

3 系统的软件设计

系统的软件是在 IAR Embedded Workbench 开发环境下采用 C 语言编写的,采用模块化程序设计。测量功能由中断完成的优点是使单片机绝大部分时间处于低功耗状态,充分发挥了 MSP430 系列单片机低功耗的特点^[6]。整个程序包括的子模块有:键盘控制模块、A/DC 测量交流模块、LCD 显示模块、相位的测量模块、电容投切驱动电路模块等部分构成。当三相交流负载回路电流非常小时,控制系统投入一组电容器会产生过投,切除一组电容器又会产生投入不足,控制

器就会产生投切振荡的现象。因此,软件需设置欠电流锁定,当电流值小于设定时,系统将停止对电容器的投切动作,维持已投入的电容器工作。在 MSP430F449 的 A/DC 测量交流中,若采样到的电压数据大于设定的过压保护值时,控制器将发出报警信号并根据电压值的大小而断开电路。若发现超过设定的保护值的 10% 时,则一次性切除所有已投入的电容器,保护电容器。

对交流量运算常用的算法有两点采样法、交直流变换法、均方根法和傅氏算法等。其中均方根算法的优点是精度高、速度快。测量的有效值和平均功率以及功率因数就可以一次计算出来。其包含了基波和各次谐波的综合参数,真实地反映了被测信号的实际情况。但是为保证平均功率的精度,必须在同一时刻对电压电流进行采样,若采用普通的微处理器需要增加部分硬件的投资。由于本系统采用了 MSP430F449,利用其捕获单元对相位进行单独测量,避免了额外的硬件投资。其具体的中断程序流程如图 4 所示。

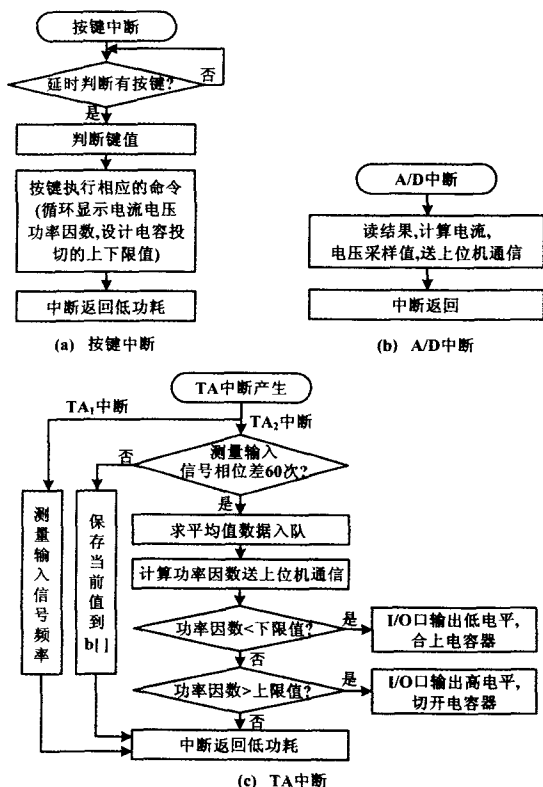


图 4 中断程序流程图

Fig. 4 Flowchart of interrupting program

3.1 A/DC 测量交流模块

A/DC12 的内核是一个 12 位的 A/D 转换器,并能够将结果存放在转换器中。在本系统中选用 2.5 V 的内部参考电路。输入模拟电压的最终转换结果满足公

式: $N_{A/DC} = 4095 \times (V_m - V_{R-}) / (V_{R+} - V_{R-})$ 。最后将采集测量的交流信号送 LCD 显示。

3.2 相位测量模块

相位差 Φ 的计算原理是利用输入两路信号过零点的时间差,以及信号的频率来计算两路信号的相位差。这种测量方法比利用硬件电路实现的方法更精确,测量系统结构简单。

首先测量单路输入信号频率,其方法是:记录一路方波信号两次连续上升沿触发的定时器计数值 t_1 和 t_2 ,计算出两次上升沿计数器差值 $\Delta t = t_1 - t_2$,以定时器工作频率 f_{clk} 为参考,求出输入信号的频率为 $F_m = f_{clk} / \Delta N_1$ 。其次运用 TI 的 MSP430F449 的捕获功能,捕获两路信号的过零点,记录定时器这一时刻的计算值,计算出它们之间的时间差。TI 公司的所有的 Flash 型单片机都含有 Timer_A,它是程序的核心。Timer_A 由一个 16 位定时器和多路比较/捕获通道组成。两路信号的相位差 $\Delta = 360^\circ \Delta t / T_1$,其中, $\Delta t = \Delta N_2 / f_{clk}$, ΔN_2 为两路信号的上升沿分别触发计数器的差值; T_1 为输入信号的周期。由相位差的计算可简化为 $\Delta \Phi = 360^\circ \Delta t / \Delta N_1$ 。为了防止中断冲突,提高测量的精度,采用滞后捕获的方法。既电流信号上升沿到来时,禁止 CCRO,一直等到 CCR2 捕获到电流信号的上升沿为止。这时捕获到的两个上升沿不在同一个周期内,由于实测计数值和实际相位差计数值两者之间的差值为整数倍,从而能够用已测得的周期值算出两路信号相位差的实际计数值。为了提高测量的精度要求,可以在程序中使用长度为 20 的样本循环队列,而每个样本是 40 次周期采样和 60 次相位差采样的平均值^[6]。

3.3 键盘控制模块及 LCD 显示

键盘模块主要完成过压值的设定、电容投切时功率因数的上限值、下限值和循环显示 LCD 等设定。MSP430F449 内部自带一个 160 段的液晶(LCD)驱动器,液晶显示缓存器各个位与液晶的段一一对应。存储位置位则可以点亮对应的液晶段,存储位复位液晶段变暗。段、公共极输出控制能够自动从显示缓存器读取数据,送出相应信号到液晶上显示。

3.4 上位机及通信模块

PC 机作为上位机, MSP430 单片机作为下位机,上位机与下位机通过串口进行通信,物理层采用 RS-485 通信接口,通信协议采用标准的 Modbus-RTU 通信规约。运行上位机的监控软件后,选择通信按钮与下位机建立了通信,可以对下位机的状态进行监控。上位机软件利用 VB6.0 编程, VB6.0 的 MSComm 通信控

(下转第 38 页)

3.3 环境控制

环境控制是针对温室内辐照度、温度、湿度、CO₂浓度等环境因子进行的调节控制,主要是参照室外气象数据以及植物需求参数进行算法调节分析,达到植物所需要的生长环境,起到节能、高效的作用^[8]。

环境控制主要由加热系统、通风系统、帘幕系统、湿帘风机系统、二氧化碳系统、屋顶喷淋系统、喷雾系统等组成,各个系统之间相互配合,共同完成对环境因子高效、精确、快捷的调节。

温室环境控制结构如图 3 所示。

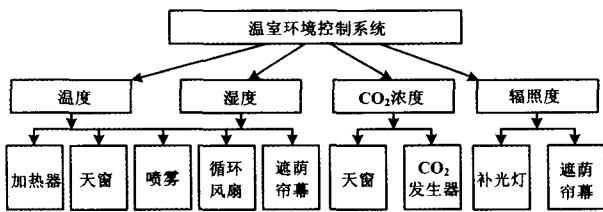


图 3 温室环境控制结构

Fig. 3 Greenhouse environment control structure

以遮荫帘幕系统为例,帘幕系统有遮荫和节能保温等作用,其遮荫展开工作原理为:设定辐照度临界值及盲区,若辐照度当前值 > 临界值 + 盲区,则用当前值减去临界值进行每分钟积累,当积累和超过设定值时,帘幕展开。遮荫展开程序略。

(上接第 35 页)

件提供了标准的事件处理函数、事件和方法,用户不必了解通信过程中的底层操作和 API 函数,从而比较容易、高效地实现了串口通信^[7]。主要完成的功能包括:与 MSP430 实时通信;数据库建立(采用 ADO 技术);显示电网中的电压、电流值和功率因数;历史数据的存储与查询;打印功率因数报表等。由于采用了标准的 Modbus-RTU 通信规约,也可以通过商品组态软件进行组态。

4 结束语

经实践证明,采用 MSP430F449 能够精确测量进行功率因数的在线检测,实现电容的自动投切,同时能测量显示三相电网中的电流、电压值和功率等参数。对提高电网的正常运行,改善其性能起到一定的作用。由于采用了测量相电流及相电压之间的相位差来得到三相系统的功率因数的检测方法,无需判断相序,在实际应用场合工作稳定可靠,可使电网的功率因数维持

4 结束语

智能温室控制系统采用 PLC 设计,具有反应速度快、系统稳定、维护简单等优势,且能满足温室控制精度的需求,经测试能满足用户的需求。

温室控制针对不同作物有不同的环境需求,且在出现特殊症状时需要专家知识在线或者离线帮助。在现有温室系统的基础上,增加专家知识库和远程监控是未来温室的发展趋势。

参考文献

- [1] 廖常初. PLC 编程及应用[M]. 2 版. 北京:机械工业出版社, 2005.
- [2] 周万珍,高鸿斌. PLC 分析与设计应用[M]. 北京:电子工业出版社, 2004.
- [3] 邵惠鹤. 工业过程高级控制[M]. 上海:上海交通大学出版社, 1997.
- [4] 李慧,刘毅. 温室控制技术的发展方向[J]. 林业机械与土木设备, 2004(5): 4-7.
- [5] 张亦斌,从福建,田梦倩,等. 智能温室系统控制器的开发[J]. 南京农专学报, 2001, 17(2): 52-55.
- [6] 金钰. 工业控制计算机在自动化温室控制中的应用[J]. 工业控制计算机, 2000, 13(1): 16-18.
- [7] 杨卫中,张曙光,蔡振江,等. 温室自动控制系统的试验研究[J]. 农业工程学报, 1999, 15(3): 259-261.
- [8] 李萍萍,毛罕平,王多辉,等. 智能温室综合环境因子控制的技术效果及合理的环境参数研究[J]. 农业工程学报, 1998(3): 197-201.

在正常值之间。此功率因数的计算方法比利用通过测量电流、电压和功率来计算功率因数的方法,更加精确,且测量的相位差绝对误差 ≤ 2°,分辨率为 0.1°,其硬件电路也较为简单。

参考文献

- [1] 杨惠. 无功补偿技术对低压电网功率因数的影响[J]. 继电器, 2007, 35(3): 34-36.
- [2] 钱志俊. 基于 DSP 控制的新型静止无功补偿控制器的设计[J]. 自动化仪表, 2007, 28(7): 14-17.
- [3] 李文权. ARC 功率因数自动补偿控制仪的原理及其应用[J]. 低压电器, 2006, 31(10): 59-61.
- [4] 侯文清,张波. 基于 DSP 的电能质量检测与无功补偿综合测控装置[J]. 仪器仪表学报, 2007, 28(1): 120-122.
- [5] 沈建华,杨艳琴. MSP430 系列 16 位超低功耗单片机实践与系统设计[M]. 北京:清华大学出版社, 2005: 169-173.
- [6] 刘新平,李军. 单片机在电机功率因数测量中的应用[J]. 计算机工程与设计, 2007, 28(2): 400-401.
- [7] Jiang Y P. Intelligent flow totalizer based on MSP430 mixed mingle microcontroller[J]. IEEE Sensors Applications Symposium, 2007 (2): 1-6.