

DOI:10.3969/j.issn.1001-4551.2013.10.020

低压无功补偿模块及其联网扩容系统的设计与实现*

陶海军, 陈国柱*

(浙江大学 电气工程学院, 浙江 杭州 310027)

摘要: 为解决传统无功补偿装置结构复杂、接线繁琐、灵活性差等问题,满足用户现场提出的无功补偿装置使用灵活方便的要求,将传统无功补偿装置各功能组件整合进行模块化设计,充分考虑模块体积、运行可靠性等问题,构建了低压无功补偿模块。为便于补偿容量的方便扩充,以RS485通讯为基础实现了多模块的交互通讯、协调运行,构建了低压无功补偿模块联网扩容系统。系统采用主、从模块运行方式及联网扩容运行控制策略,使得系统能够自动产生主、从模块,且主模块自动识别系统中所有的模块;主模块故障后可自动产生出新的主模块控制系统继续稳定运行,提高系统运行可靠性。系统无功功率补偿策略兼容三相共补模块和分相补偿模块并可最多扩展到32个模块联网运行,可补偿三相不平衡负载,并使补偿容量得到极大的扩充。该系统已投入实际使用,运行情况表明,系统稳定性好、使用方便灵活、补偿效果良好,满足了用户现场的需求。

关键词: 低压无功补偿; 模块化; RS485; 联网扩容运行

中图分类号: TM761

文献标识码: A

文章编号: 1001-4551(2013)10-1250-05

Low voltage reactive power compensation module and networking expansion of system capacity

TAO Hai-jun, CHEN Guo-zhu

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

Abstract: Aiming at solving the problems that the traditional reactive power compensation device is complicated in structure, inconvenient in wiring, lack of agility, and meet the user's demand of easy-using, the components of the traditional reactive power compensation device were integrated together to form the low voltage reactive power compensation module. In the design, module size and operational reliability were taken into consideration. In order to enlarge the compensation capacity easily, several modules were used to form a networking system and RS485 communication technology was applied to realize the communication and harmonized operation of the modules in the system. In the operation of the system, a master module was produced automatically to control the operation of the rest modules which were called slave modules and the master module can detect all the existing slave modules in the system. In case of breakdown of the master module such as communication failure, a new master module was produced to manage the normal operation of the system and enhance the system stability. The compensation method is suitable for both three-phase compensation module and split-phase compensation module and the module number in the system can reach to as many as 32. Thus the networking system fits for the compensation of imbalanced loads and the compensation capacity is enlarged significantly. The networking system has been taken into practical using and the operation status indicates stability, feature of easy-using, good compensation performance of the system and the system can meet the demand of the users well.

Key words: low voltage reactive power compensation; modularization; RS485; network expansion operation

收稿日期: 2013-03-20

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(511177147);浙江省重点科技创新团队资助项目(2010R50021)

作者简介: 陶海军(1990-),男,四川内江人,主要从事电力电子技术方面的研究. E-mail:yumen8037@126.com

通信联系人: 陈国柱,男,博士,教授,博士生导师. E-mail:gzchen@zju.edu.cn

0 引言

随着国民经济的发展和现代工业的进步,电网负荷急剧增大,越来越多功率因数低的工业用电设备接入到电网中,对电力系统运行稳定性和电能质量造成了极大的影响。无功功率对电网运行的影响主要有^[1-4]:①无功功率的增加,会导致电流增大和视在功率的增加,从而使发电机、变压器及其他电气设备容量和导线容量增加;②无功功率的增加,使线路总电流增大,因而使设备和线路中的损耗增加;③无功功率的增大,使线路和变压器的压降增大,尤其是冲击性无功功率负载,还会使电压产生剧烈的波动,严重影响电能质量。

以上问题的出现,使得无功补偿装置受到了越来越多的关注。无功补偿装置具有提高用电系统和负载功率因数、减少功率损耗、稳定电网电压、提高供电质量等作用。基于并联电容器的低压无功补偿装置由于其较低的成本,应用十分广泛,得到了深入的研究^[5-9]。传统的低压无功补偿装置一般由传感器、无功补偿控制器、并联电容器、投切开关、补偿柜等组成,结构复杂,接线繁琐,安装较为复杂,补偿容量固定,扩充十分不便,且不适用于三相不平衡场合^[10-12]。用户现场迫切需要一种模块化、体积小、易于容量扩充、使用灵活方便且适用于三相不平衡负载补偿的解决方案。

本研究针对以上问题,将以上各组件构成的无功补偿装置模块化,构建低压无功补偿模块;利用RS485总线实现各模块的交互通讯、构建联网扩容系统;并提出一种联网扩容运行控制策略及兼容三相共补模块和分相补偿模块的无功功率补偿策略,实现系统的自动联网运行。

1 系统硬件结构设计

系统硬件结构设计包括低压无功补偿单一模块的构建以及多个模块联网扩容系统的设计。

1.1 低压无功补偿模块硬件结构设计

低压无功补偿模块由:模块控制器、并联电容器、空气开关组成,其中控制器由并联电容器、复合开关、主控芯片及其系统、电压电流采样模块、RS485通讯模块、显示及按键操作模块等构成,其硬件框图如图1所示。

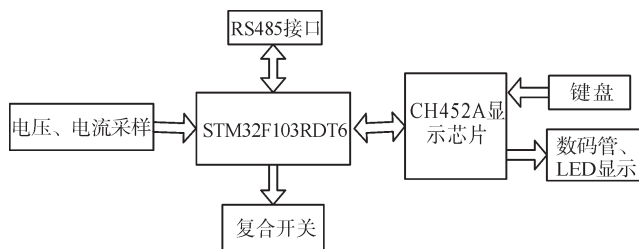


图1 低压无功补偿模块控制器硬件框图

主控芯片采用ST公司的STM32F103RDT6。该主控芯片是以Cortex-M3为内核的32-bit MCU,最大时钟频率72 MHz,包含384 KB程序存储器,多达16通道的12位A/D转换功能,内部集成有64 KB的SRAM,可以方便地设置和保存有关运行配置参数。

并联电容器采用低压自愈式电力电容器,按照三相共补模块和分相补偿模块分别有三角形接法和Y型接法两种结构,共补模块的电容器有10 kvar、20 kvar、30 kvar等补偿容量,分相补偿模块的电容器有10 kvar、20 kvar等补偿容量。

复合开关由磁保持继电器与一组反并联的晶闸管并联而成,以实现电压过零时投入电容器、电流过零时切除电容器,杜绝涌流以及传统继电器投切触点烧结情况。

RS485接口用于实现本模块与其他各模块的联网通信。采用带隔离的增强型RS485收发器ADM2483,该收发器允许最多256个通讯模块接入总线,最高传输速率可达500 kbps。

数码管、LED显示的加入,可以方便地查看模块运行状态,例如电容器投切状态、模块运行情况、三相电量测量值等,并可通过按键手动修改模块配置参数,使用方便。

为缩小模块体积,充分利用空间,模块中各组件的布局经过了详细的设计。从外部布局上来看,上层为模块控制器及空气开关,下层为并联电容器;模块控制器的PCB板设计上采用多块PCB板拼接方式,利用多组并行插针连接各PCB板并传递信号;同时为保证模块工作稳定性,本研究在元器件布局上充分考虑了强、弱电的隔离及安全间隙。设计完成后的PCB板的高度仅为6.5 cm,使得整个模块大部分的体积为不可缩小的并联电容器,模块结构紧凑,体积小。

构建完成的低压无功补偿模块具有以下功能:

- (1) 完整地检测系统电压、负载电流及计算无功功率的功能;
- (2) 电压过零时投入电容器、电流过零时切除电容器,补偿无功功率并实现电容器的安全投切;
- (3) RS485通讯功能,实现模块之间的通讯;
- (4) 按键功能和数码管显示功能。

由上述可知,低压无功补偿模块可以单独地补偿无功功率,也可以由多个模块经RS485通讯交互通讯构成联网系统,实现补偿容量的扩充。

1.2 低压无功补偿模块联网扩容系统结构

系统总体结构框图如图2所示。系统由1~32个低压无功补偿模块通过RS485总线联网组成,每个模块配置有该系统中唯一的联网通讯地址(地址可在

0x00~0x1F之间进行设置)。根据用户现场的补偿需求,可选取不同容量、不同补偿方式的模块(三相共补或分相补偿),以满足容量扩充、三相不平衡补偿的需求。

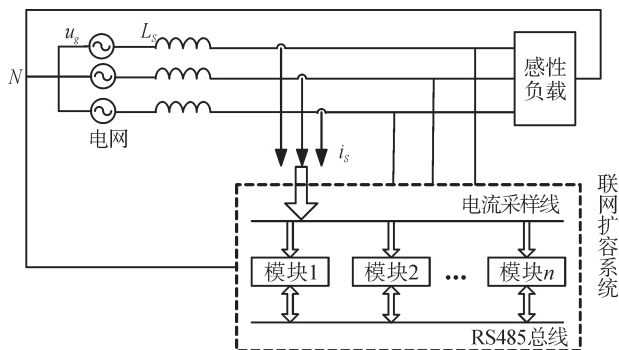


图2 系统总体结构

由于系统通讯距离较近且速率要求不高,图2中RS485总线采用屏蔽双绞线即可稳定工作。

2 RS485 通讯协议

目前,RS485通讯在国内有着非常广泛的应用,而采用不同应用层协议的设备之间并不能直接相互通讯,本次系统设计中采用多功能电能表通讯规约(DL/T645-1997)。该规约是一个在RS485实际应用中的行业标准,在电表应用中广泛采用,其通讯字节格式和帧格式分别如表1、表2所示。

表1 通讯字节格式

0	D0	D1	D2	D3	D4	D5	D6	D7	P	1
---	----	----	----	----	----	----	----	----	---	---

表2 通讯帧格式

帧起始符	地址域	帧起始符	命令码	数据长度	数据域	校验码	结束符
------	-----	------	-----	------	-----	-----	-----

表1中,0为起始位,D0~D7为8位数据,P为奇偶校验符,1为停止位。表2中,帧起始符为0x68;地址域用于确认每一通讯模块的唯一地址;命令码用于确认需要执行的操作(读取数据或是写入数据);校验码采用CRC校验码,即循环冗余校验码;结束符为0x16,代表一帧信息的结束。

3 联网运行控制策略

3.1 主、从模块联网运行

3.1.1 主、从模块的自动形成

系统上电后,首先自动形成主、从模块。联网通讯地址最小的模块自动成为主模块,其余模块自动成为从模块。

主、从模块形成的原理为:

(1) 系统通电后,所有模块统一上电复位;每一模块因为自身联网通讯地址不同而延时不同的时间发

送主模块确认命令(以下简称确认命令);

(2) 如果模块在延时过程中接收到确认命令,则模块成为从模块且不再发送主模块确认命令;

(3) 如果模块在延时过程中没有收到其它模块发送的主模块确认命令,则模块成为主模块,并向其余模块发送确认命令。

主、从模块形成流程图如图3所示,图中Address即为该模块的联网通讯地址。

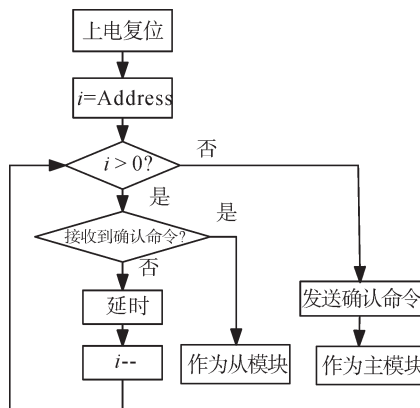


图3 主、从模块形成流程图

3.1.2 联网运行中主、从模块功能

主模块在联网运行中功能流程图如图4所示,其说明如下:

(1) 主模块形成后,查询联网系统中从模块的联网通讯地址,若查询某地址时没有信息回复,说明系统中没有配置该联网通讯地址的模块;

(2) 查询从模块补偿容量、工作方式(三相共补或分相补偿)、当前工作状态等信息,完成联网过程;

(3) 检测三相电压、三相母线电流,计算得到三相无功功率;

(4) 按照无功补偿算法向从模块发送投切动作指令,控制系统中所有模块的运行,补偿无功功率;

(5) 主模块每隔一段时间向从模块发送确认命令,向从模块确认主模块的正常工作。

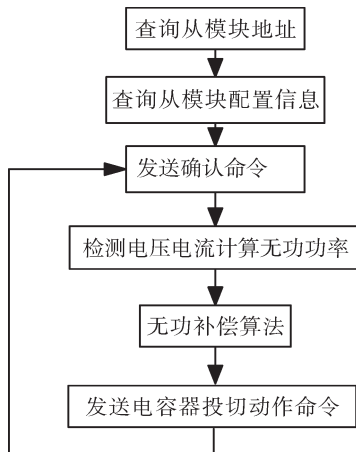


图4 主模块功能流程图

从模块在联网运行中执行以下功能:

(1) 接收主模块查询命令并回复信息帧;

(2) 接收主模块发送的投切动作指令,根据命令并结合当前自身运行状态(包括是否处于切除状态、上次投入运行后放电是否完成、是否存在故障保护等)控制自身并联电容器的投切;

(3) 当一段时间没有接收到主模块的确认命令后,从模块自动开始再一次的联网过程,产生新的主模块。

3.1.3 主、从模块间信息交互

主模块与从模块之间的信息交互过程对于联网扩容系统的运行至关重要。下面以主模块对系统中所有从模块的地址查询过程为例说明主模块与从模块信息交互过程。主模块连续两次向某地址发送查询地址命令,如果两次均没有信号帧回复或回复的信号帧CRC校验错误,则认为系统中没有配置有此地址的从模块或此从模块无法正常通讯,将此地址退出联网系统。上述流程如图5所示。

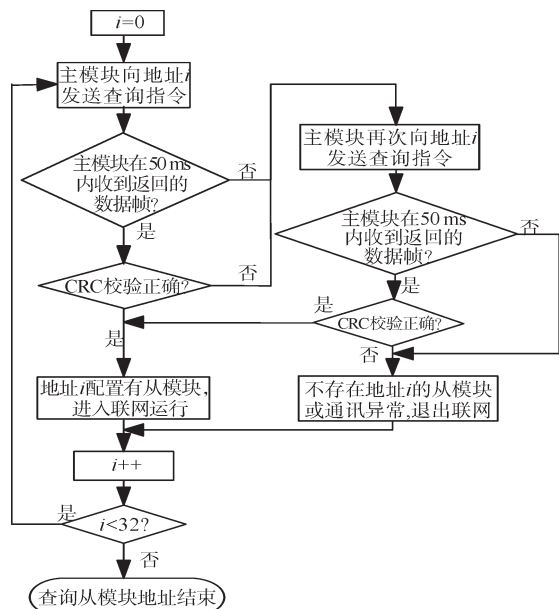


图5 主模块查询系统中从模块地址流程图

3.2 无功补偿策略

主模块检测当前被补偿系统无功功率总量,以各相无功功率总量为主要判据,综合当前各模块投切状态以及模块的补偿容量、补偿方式、工作状态等信息,计算系统中所有模块电容器投切的目的状态。无功补偿策略有以下几点:

(1) 检测三相电压、母线电流并计算出当前系统各相的无功功率,采取取平补齐的策略实现三相共补和分相补偿^[13-15]。根据欠补(过补)的容量以及当前各模块电容器投切状态、补偿容量,采用逐台投入(切除)的方法投入电容器;

(2) 投入(切除)电容器后,再次检测得到被补偿

实时无功功率,形成下一次的投切动作;

(3) 系统中每一模块均检测自身模块信息,当模块发生过(欠)电压保护、过流保护、过温保护时,切除该模块投入的电容器或使电容器保持断开状态。

4 系统功能特点

相比于传统无功补偿装置,低压无功补偿模块联网扩容系统功能及特点主要有以下几项:

(1) 低压无功补偿模块与传统补偿装置相比,结构紧凑,接线方便,工作安全可靠,实现了模块化生产;

(2) 模块有三相共补模块和分相补偿模块两种结构,且均有多种补偿容量。每一模块均具有完整的独立运行补偿无功功率、电压过零时投入电容器、电流过零时切除电容器及多种故障保护功能;

(3) 模块中加入了RS485通讯模块以实现与其他模块的通讯互联、联网运行;

(4) 多个模块联网扩容组成系统后,系统可自动形成一主模块,其余模块作为从模块运行;主模块根据无功补偿算法控制向系统中从模块发送投入或切除指令;主模块发生故障后,自动退出联网系统并由从模块中形成一新的主模块,保证联网系统继续稳定运行,提高了系统的可靠性和灵活性;

(5) 系统控制策略的灵活设计,使得系统兼容共补模块和分相补偿模块以实现补偿三相不平衡负载的补偿;允许多种补偿容量的模块接入系统联网运行,提高了系统无功补偿精度;补偿容量扩充仅仅需要增加模块数量并重新上电,系统能够自动重新联网运行,扩容方便,大大扩展了系统的应用范围。

5 结束语

本研究设计构建了低压无功补偿模块,并基于RS485通讯构建了低压无功补偿模块联网扩容系统,系统目前已用于工业化生产。系统实际运行中,各项功能运行正常:主、从模块自动形成以及主模块自动重新产生过程稳定可靠;RS485网络间数据通信正常;系统补偿容量扩充方便灵活,无功补偿效果良好,适用于三相不平衡负载的补偿,达到了改善电能质量、降低电能损耗的目的。

参考文献(References):

- [1] 王兆安,杨君,刘进军.谐波抑制和无功功率补偿[M].北京:机械工业出版社,2011.
- [2] 帅智康,罗安,吴传平.一种低成本动态无功补偿装置及两级协同优化运行方法[J].电工技术学报,2009,24(12):162-170.

- [3] 王瑞艳,赵建平,梁志珊. 基于PLC的变电站电压无功综合控制系统[J]. 电力自动化设备,2003,23(4):31-33.
- [4] 毕秀梅,马英庆. 一种新型静止无功补偿装置[J]. 电力自动化设备,2009,29(8):140-142.
- [5] 肖振锋,袁容湘,刘晓蕾,等. 超小型智能复合开关的研制[J]. 电力自动化设备,2010,30(1):119-122.
- [6] 王 飞,米增强. 基于控制器局域网的模块化低压无功补偿装置[J]. 电力自动化设备,2009,29(6): 98-101.
- [7] 王晓明. 无功补偿装置的现状和发展趋势[J]. 应用能源技术,2006(4):31-32.
- [8] 张 伟,隋青美,常天英,等. 基于71M6515H和双CPU的智能动态分相无功补偿控制器[J]. 继电器,2007,35(10):56-58,63.
- [9] 温建民. 牵引变电所智能过零投切补偿系统的研究与开发[J]. 电力自动化设备,2006,25(5):75-78.
- [10] 王 雷,厉吉文,丁学真,等. 一种新型低压无功补偿装置[J]. 电力自动化设备,2001,21(12):32-33.
- [11] 钟 庆,张 尧,芮冬阳. 配电网自动无功补偿装置研制[J]. 电力自动化设备,2007,27(2):71-74.
- [12] 汤 毅. 面向对象的配电网无功补偿配置优化算法研究[J]. 机电工程技术,2012,41(10):55-58.
- [13] 林海雪. 电力系统的三相不平衡[M]. 北京:中国电力出版社,1998.
- [14] LEE San-yi. Online reactive power compensation schemes for unbalanced three phase four wire distribution feeders [J]. **IEEE Trans on Power Delivery**, 1993, 18(4): 1928-1965.
- [15] 王茂海,孙元章. 通用瞬时功率理论在三相不平衡负荷补偿中的应用[J]. 中国电机工程学报,2003,23(11):56-59.

[编辑:洪炜娜]

(上接第1228页)

(2) 记录每个处方正常运行的起始时间和终止时间,求出单个处方运行的时间 t_i 。

(3) 对系统出现故障未能正常出药的处方,记录该处方的出药时间。出药时间包括系统出现故障及排除故障的时间。

(4) 记录每次处方出药后人工取药的时间,求出人工操作的总时间 T_3 。

(5) 统计出不同控制方式下所有处方出药的总时间和处方出错数量,求出处方平均运行时间和出错率。

统计结果如表1所示。

表1 处方结果统计表

方案	处方总数	处方出错数量	出错率/(%)	处方平均时间/s
PLC控制	1 000	5	0.5	23
单片机DCS控制	1 000	3	0.3	18.5

结果表明:系统采用基于单片机的DCS控制提高了系统的稳定性,使系统出错率比采用传统PLC控制低0.2%;同时该控制方法提高了系统的出药效率,处方平均时间比传统PLC控制少4.5 s。

通过分析可知,在上位机向单片机发送药品信息的过程中,系统采用基于单片机的DCS控制,只需将处方中药品所在的位置信息分别发送到各自的单片机,各单片机收到信息后则并行完成执行机构的运动控制及位置信息的采集等动作,并将采集后的信息发送至上位机进行进一步的处理,单片机之间互不影响。而系统采用传统PLC控制时,当上位机向PLC发送药品的位置信息后,PLC需要控制多个执行机构的运动,同时对各机构的位置信息进行采集并进行相应处理。随着执行机构增加,它们之间的逻辑关系也会更加复杂。这就增加了PLC的运行负担,降低了系统的稳定性。所以系统采用基于单片机的DCS控制,大

大提高了系统的稳定性和运行效率。

6 结束语

该设计构建了一个小型的DCS系统,即多个执行机构的运动分别由各个单片机控制完成,而单片机只需将运动信息与PC进行数据交换,避免了直接由一个PLC控制多个执行机构出现的编程复杂、可靠性低等弊端,提高了出药效率。同时系统可以根据需要扩展最多128个执行机构,提高了系统的灵活性。该方法操作简单、成本低廉,可以与调速器集成实现模块化控制。

参考文献(Reference):

- [1] 程武山. 分布式控制技术及应用[M]. 北京:科学出版社,2008.
- [2] 赵建领. 51系列单片机开发宝典[M]. 2版. 北京:电子工业出版社,2012.12.
- [3] 张德江. 计算机控制系统[M]. 北京:机械工业出版社,2011.
- [4] 董国增. MCS-51单片机接口及应用实验和训练指导[M]. 2版.北京:机械工业出版社,2009.
- [5] 赵雪峰. 自动化药房关键技术研究[D]. 北京:北京航空航天大学机械学院,2010.
- [6] 霍 罡. 欧姆龙PLC应用系统设计实例精解[M]. 北京:电子工业出版社,2010.
- [7] 吴秋明,和卫星,陈晓平. 基于RS485总线的PC与多单片机间的串行通信[J]. 微计算机信息,2006(23):143-145.
- [8] 王锦标,等. 计算机控制系统[M]. 2版.北京:清华大学出版社,2011.
- [9] 牛宗超,徐 森. 基于M051的单相交流异步电机调速控制系统设计[J]. 电工研究,2012(10):64-65.
- [10] 童奇波,仇荣刚. RS485通信在隔膜纸成型插入机中的应用[J]. 轻工机械,2011,29(4):47-50.
- [11] 吴兴中,欧青立. 一种PC与单片机多机RS232串口通信设计[J]. 国外电子测量技术,2009,28(1):74-76.

[编辑:李 辉]