

浅析一种面向配电台区的电容器投切控制组件

姚彦良, 刘毅, 李自清
(上海置信电气有限公司, 上海 200000)

摘要: 现阶段台区无功补偿通常是通过无功补偿装置及各类电容器设备来实现,由基于台区智能融合终端平台开发的配电台区电能质量治理 APP 协同控制。为改善电容器设备因厂家众多而无统一标准造成的融合终端相关 APP 开发困难且控制电容器动作不合理的问题,本文提出了一种应用于智能融合终端 APP 的电容器投切控制组件,通过在融合终端 APP 中应用此种软件组件,可以使配电台区电容器设备在调节无功时,对其运行产生的数据进行全面感知、分析和处理,进而优化当前无功系统的控制策略,旨在实现集中协同控制,选择合理的投切逻辑,降低电容器的投切响应时间,以达到降低网损、改善电能质量、延长设备使用寿命、提升配电网运行经济性的目的。
关键词: 配电台区; 智能融合终端; 无功补偿; 电容器; 软件组件

Analysis on Capacitor Switching Control Module Oriented to Distribution Panel Area

YAO Yanliang, LIU Yi, LI Ziqing
(Shanghai Zhixin Electric Co., Ltd., Shanghai 20000, China)

Abstract: The reactive compensation of panel area at this stage is achieved by the reactive compensation device and various capacitors, and the APP synergistic control is controlled by the distribution panel power quality which is developed on the basis of area intelligent fusion terminal platform. For improving such issues as difficult development of related APP of the fusion terminal and unreasonable control of capacitor due to multiple capacitor manufacturers and no unified standard, a kind of capacitor switching control module which is applicable for intelligent fusion terminal APP is proposed in this paper. The use of such software module in the fusion terminal can make the capacitor equipment in the area, in case of reactive adjustment, fully sense, analyze and treat the generated data, thus optimizing the control strategy of the current reactive system, with purpose of achieving concentrated synergistic control, selecting reasonable switching logic, reducing the switching response time of capacitor, reaching the aim of reducing network loss, improving power quality, extending service life of equipment and enhancing effective operation of distribution network.

Keywords: distribution panel area; intelligent fusion terminal; reactive power compensation; capacitors; software components

0 引言

随着配电台区智能化的发展,智能融合终端作为配电网“云管边端”中的配电台区边缘计算设备^[1-6],自台区智能融合终端通用技术规范发布以来就得到了广泛应用^[7-8];而低压电容器是现阶段治理台区无功补偿中应用较多的设备,在使用时需要在融合终端中开发配电台区电能质量治理软件 APP,通过软件 APP 协同控制所有低压电容器设备来选

择最优的投切运行策略^[9-12]。由于台区低压电容器设备具有被控设备数量多、规格型式多、容量组合多和生产厂家多的特点并且缺乏统一的标准,极大的增加了软件 APP 开发的难度。因此本文设计开发了一种适用于不同型式低压电容器设备的电容器软件组件来辅助完成其运行监测、容量优化计算和控制投切。在治理软件 APP 中使用该组件,可实现不同低压电容器间电容投切逻辑、数量、容量、形式、时间的一体化,满足无功补偿中电容器循环投

切的要求。相关工作人员可以通过智能融合终端,使用安装有此组件的治理软件 APP 管理台区低压电容器设备,控制电容器设备之间的相互协作,更好地治理配电台区的电能质量问题^[10,13-18]。

1 组件系统架构

针对配电台区智能融合终端中电能质量治理 APP 开发过程面临的不同型式低压电容器无法协同和控制等问题,设计了一种适用于配电台区电容器投切控制的软件组件,见图 1。该组件包括注册、配置、输入、输出和核心组件 5 大模块,从电容器的运行模式、投切状态、容量计算、控制策略方面控制电容器的投切动作,综合优化台区无功补偿。

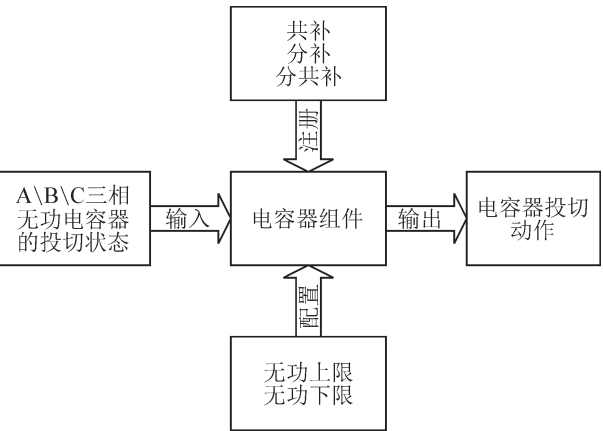


图 1 电容器组件架构图
Fig. 1 Architecture diagram of capacitor module

2 电容器组件模块功能设计

2.1 注册模块

为了准确控制台区无功补偿的低压电容器,首先需要将这些电容器的信息注册到该软件组件中。电容器注册模块为各电容器设备提供了一个通用注册接口,包括电容器分接型式、电容器容量、电容器地址和电容器所属相 4 种属性,见图 2。除属性外,模块还提供了各属性的获取和设置方法。

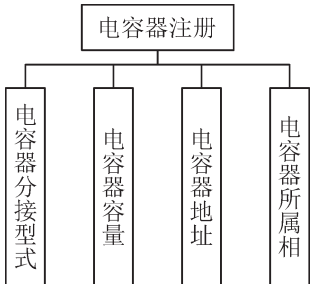


图 2 电容器注册模块属性
Fig. 2 Registration module properties of capacitor

电容器类型:共补、分补;

电容器容量:当电容器处于共补状态时,表示共补单相的容量;

电容器地址:对应的电容器设备的实际地址;

电容器所属相:分补时有效,对应 A、B、C 三相中一相。

任何一个现实中的低压电容器都可以分解和抽象成上述电容器模型进行注册。现实中的电容器设备在进行分解时会导致注册模型中的电容器地址可能不唯一,根据这种情况,注册模块中设计了电容器 id 属性,id 属性是每个电容器在设备注册后返回的一个唯一识别码,用于电容器软件组件对电容器进行身份甄别,组件中所有的属性读写和控制都是通过 id 属性关联和实现的。

2.2 配置模块

电容器配置模块包含了目前市面上常见低压电容器设备的所有参数信息,具体见图 3。这些参数决定了电容器设备在台区的运行工作状态,该组件模块开放给用户修改电容器设备各个可操作参数的权限和内容,并且提供了每个参数的获取和设置方法。

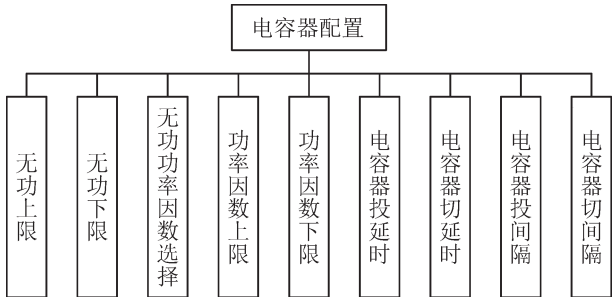


图 3 电容器配置模块
Fig. 3 Capacitor configuration module

2.3 输入模块

电容器设备在组件中完成注册和配置后,需要每秒获取配电台区电网系统的三相无功数据、台区中各个电容器的实时投切状态和运行信息,并将这些数据信息通过该模块输入到电容器的核心组件中,来确保整个电容器软件组件能正确及时地输出命令,控制电容器投切,完成台区无功补偿。

如果在输入过程中,某电容器设备的输入工作状态为故障,电容器组件则将该电容器的状态改为故障,并将更改状态后的电容器从后续计算中剔除^[19-20],直到该电容器的状态恢复正常,组件再验证该电容器属性参数信息,然后更改输入状态重新纳入计算。

2.4 输出模块

电容器组件的输出模块包括输出电容器投切命令、电容器开关动作次数和电容器工作时长。用户可以根据需要定时查询不同电容器设备执行的

投切命令,除此之外,电容器开关动作次数和电容器工作时长也可以通过电容器软件组件内部设计封装好的方法来获取,方便后期电容器相关数据输出的统一管理。

3 电容器核心组件

电容器核心组件主要包括电容器循环投切和电容器投容量最优解计算2种功能。

3.1 电容器循环投切

电容器循环投切功能的算法使用电容器双向链表(见图4)实现,组件按照已配置的电容器属性,将电容器按容量从大到小插入到链表中,并依据关联的电容器id来完成具体的投切命令和动作。

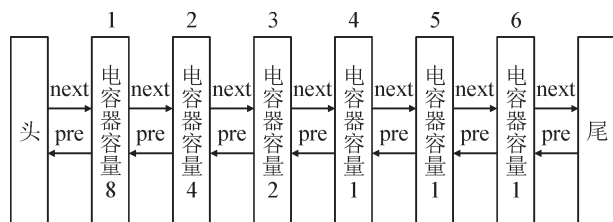


图4 电容器双向链表

Fig. 4 Bidirectional list of capacitor

电容器设备在投电容时根据链表正向计算,按照实际所缺的无功容量,组合当前可投电容器的最佳容量进行投入;切电容时则采用反向链表的方式计算,每切完一台电容器,就将该已切电容器从链表中剔除,再按容量降序重新插入排列,即新插入的电容器仍然按照容量从大到小的顺序插入到链表中且相同容量的电容器依据切除顺序在链表尾端排列,从而实现循环投切过程,电容器由投到切在链表中的位置变化见图5,此过程中不同容量大小的电容器不存在循环投切。

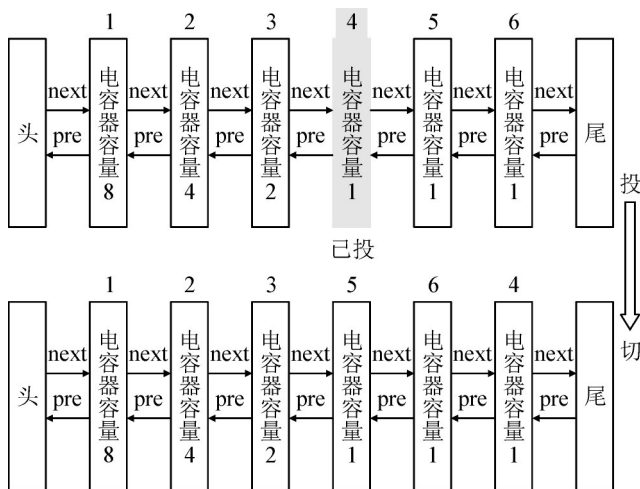


图5 电容器由投到切在链表中的位置变化

Fig. 5 Position variation of capacitor in the list from switching on to off

3.2 电容器投容量最优解计算

电容器投容量的最优计算^[21-26]过程见图6,先计算电网系统中的无功数据,根据该数据判断哪些电容器进入投状态,再由上述投电容器的逻辑,通过每次比对需要投的电容器的容量与实际台区电网系统中缺少的无功大小,进而得到电容器设备最合适的投容量。

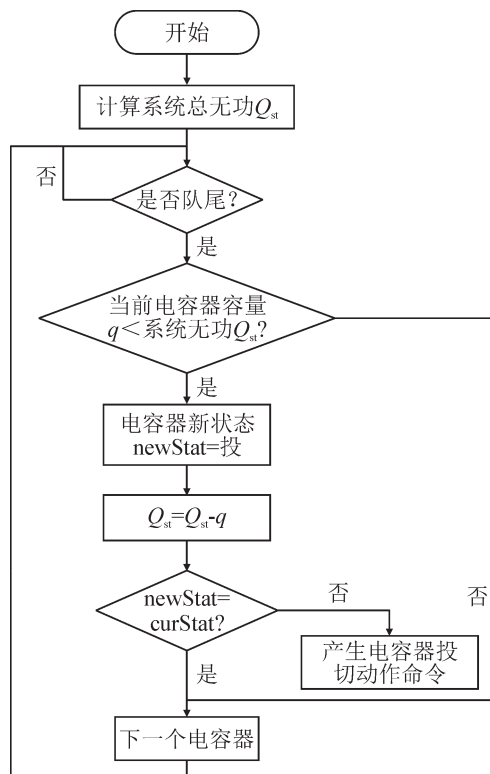


图6 电容器投切容量计算流程

Fig. 6 Calculation flow of capacitor switching capacity

具体可概括为3个步骤,首先,计算系统总无功:

$$Q_{st} = Q_{sc} + Q_{su}$$

式中: Q_{st} 为系统总无功的大小; Q_{sc} 为系统当前无功的大小; Q_{su} 为系统已投无功容量。

其次,遍历所有电容器,忽略电容器当前的工作状态,根据系统总无功值,按照正向链表的方式确定每个电容器新的工作状态。

最后,比较电容器新的工作状态和当前的工作状态,状态不同则进行相应的投切动作。

4 结语

本文设计的电容器软件组件适用于配电台区无功补偿的低压电容器设备,通过注册配置电容器的相关属性和参数,根据台区电网系统的无功数据,结合电容器的实时工作状态及投切状态,实现电容器的循环投切和最优容量计算。同时,组件还可以结合其他无功电压控制技术^[27-29]集中协调解决

台区配电网的无功问题,在控制策略满足电网电压和无功要求的前提下,能够尽量减少补偿装置动作次数,以最小有功功率损耗、最优电压质量、最低三相不平衡率进一步改善电能质量,更好地发挥智能无功补偿技术的效用。

参考文献

- [1] 张明龙,钱健,王健,等.基于台区智能终端的智能配电台区架构研究[J].电气应用,2020,39(8):27-31.
ZHANG Minglong, QIAN Jian, WANG Jian, et al. Study on the architecture of intelligent distribution station area based on intelligent terminal[J]. Electrotechnical Application, 2020, 39(8): 27-31.
- [2] 鲍音夫,张平,陈浩然,等.基于泛在电力物联网的智能配变终端应用[J].东北电力技术,2020,41(1):1-3.
BAO Yinfu, ZHANG Ping, CHEN Haoran, et al. Application of intelligent distribution transformer terminal based on ubiquitous power Internet of things[J]. Northeast Electric Power Technology, 2020, 41(1): 1-3.
- [3] 王伏亮,葛永高,李澄,等.基于边缘计算技术的融合终端APP系统设计[J].电子设计工程,2022,30(2):165-169.
WANG Fuliang, GE Yonggao, LI Cheng, et al. Design of converged terminal APP system based on edge computing technology[J]. Electronic Design Engineering, 2022, 30(2): 165-169.
- [4] 钱利宏,彭穗,郭晓燕,等.基于多源数据融合与深度信念网络的台区停电故障预警方法研究[J].广东电力,2022,35(12):32-40.
QIAN Lihong, PENG Sui, GUO Xiaoyan, et al. Research on early warning method of power outages in the station area based on multi-source data fusion and deep belief network[J]. Guangdong Electric Power, 2022, 35(12): 32-40.
- [5] 史志鹏,王晖南,王婵琼,等.基于线路态势感知的台区检修决策优化技术研究[J].电网与清洁能源,2022,38(9):89-97.
SHI Zhipeng, WANG Huinan, WANG Chanqiong, et al. A study on optimization technology of maintenance strategy in power distribution areas based on line situation awareness[J]. Power System and Clean Energy, 2022, 38(9): 89-97.
- [6] 王飞,田乐.基于物联网的农村低压配变台区智能监测系统[J].电器与能效管理技术,2020(9):86-89.
WANG Fei, TIAN Le. Intelligent monitoring system for rural low voltage distribution transformer station area based on internet of things[J]. Electrical & Energy Management Technology, 2020(9): 86-89.
- [7] 刘浩,赵伟,温克欢,等.低压配电台区模组化智能融合终端构建方案与实现[J].电测与仪表,2022,59(1):168-175.
LIU Hao, ZHAO Wei, WEN Kehuan, et al. Construction scheme and realization of modularized intelligent fusion terminal in low-voltage distribution station areas[J]. Electrical Measurement & Instrumentation, 2022, 59(1): 168-175.
- [8] 王海柱,赵瑞锋,郭文鑫,等.基于物联网平台的低压配电台区数据采集方案[J].电气技术,2021,22(3):80-83.
WANG Haizhu, ZHAO Ruifeng, GUO Wenxin, et al. Data acquisition scheme for low-voltage distribution transformer area based on internet of things platform[J]. Electrical Engineering, 2021, 22(3): 80-83.
- [9] 聂峥,章坚民,傅华渭.配变终端边缘节点化及容器化的关键技术和应用场景设计[J].电力系统自动化,2020,44(3):154-161.
NIE Zheng, ZHANG Jianmin, FU Huawei. Key technologies and application scenario design for making distribution transformer terminal unit being a containerized edge node[J]. Automation of Electric Power Systems, 2020, 44(3): 154-161.
- [10] 谢玮,夏水斌,何行,等.基于边缘计算的电力末端融合系统的优化[J].电测与仪表,2019,56(16):61-66.
XIE Wei, XIA Shuibin, HE Hang, et al. Optimization of power end fusion system based on edge computation[J]. Electrical Measurement & Instrumentation, 2019, 56(16): 61-66.
- [11] 刘思尧,李强,李斌.基于Dockor技术的容器隔离性研究[J].软件,2015,36(4):110-113.
LIU Siyao, LI Qiang, LI Bin. Research on container isolation based on Dockor technology[J]. Software, 2015, 36(4): 110-113.
- [12] 汪恺,张功萱,周秀敏.基于容器虚拟化技术研究[J].计算机技术与发展,2015,25(8):138-141.
WANG Kai, ZHANG Gongxuan, ZHOU Xiumin. Research on virtualization technology based on container[J]. Computer Technology and Development, 2015, 25(8): 138-141.
- [13] 王红星,刘军成,李军,等.配电网电能质量监测数据简约方法探讨[J].电网与清洁能源,2020,36(6):8-12.
WANG Hongxing, LIU Juncheng, LI Jun, et al. Discussion of power quality data aggregation method used in distribution power grid[J]. Power System and Clean Energy, 2020, 36(6): 8-12.
- [14] 韩园园.电力系统中电压无功控制技术的可靠性分析[J].集成电路应用,2021,33(10):186-187.
HAN Yuanyuan. Reliability analysis of voltage and reactive power control technology in power systems[J]. Application of IC, 2021, 33(10): 186-187.
- [15] NG H N, SALAMA M M A, CHIKHANI A Y. Classification of capacitor allocation techniques[J]. IEEE Transactions on Power Delivery, 2000, 15(1): 387-392.
- [16] 陈绮琪,欧晓妹,李兰茵,等.一种电力电容器远程监控平台实现的可行性分析[J].电工技术,2022(7):98-99.
CHEN Qiqi, OU Xiaomei, LI Lanyin, et al. Feasibility analysis

- ysis of a remote monitoring platform for power capacitor[J]. Electric Engineering, 2022(7):98-99.
- [17]陈泓亦. 无功补偿技术在电气自动化中的应用[J]. 通信电源技术, 2019(3):225-226.
- CHEN Hongyi. Application of reactive power compensation technology in electrical automation[J]. Telecom Power Technology, 2019(3):225-226.
- [18]党晓强,刘念. 电力电容器在线监测技术研究[J]. 四川电力技术, 2003(6):6-7.
- DANG Xiaoqiang, LIU Nian. Research on on-line monitoring technology of power capacitor[J]. Sichuan Electric Power Technology, 2003(6):6-7.
- [19]咸日常,李其伟,孙学锋,等. 基于状态量监测的电力电容器故障诊断技术的研究[J]. 电力电容器与无功补偿, 2018,39(3):21-25.
- XIAN Richang, LI Qiwei, SUN Xuefeng, et al. Study on fault diagnosis technology of power capacitor based on condition quantity monitoring[J]. Power Capacitor & Reactive Power Compensation, 2018,39(3):21-25.
- [20]金向朝,黄松波,陆培钧,等. 电容器故障监测系统的应用研究[J]. 电力电容器与无功补偿, 2008,29(3):40-44.
- JIN Xiangchao, HUANG Songbo, LU Peijun, et al. Application study of the on-line monitoring system of shunt capacitors[J]. Power Capacitor & Reactive Power Compensation, 2008,29(3):40-44.
- [21]杨勇,邓刘毅,孙晓艳,等. 计及系统收益与无功补偿的配电网供电能力分析[J]. 电力电容器与无功补偿, 2018,39(3):122-127.
- YANG Yong, DENG Liuyi, SUN Xiaoyan, et al. Power supply capacity analysis of distribution network with system benefit and reactive power compensation[J]. Power Capacitor & Reactive Power Compensation, 2018,39(3):122-127.
- [22]郑凯,袁松林,倪高俊. 低压无功补偿装置电容器额定电压选择和输出容量计算[J]. 现代建筑电气, 2021,12(2):45-47.
- ZHENG Kai, YUAN Songlin, NI Gaojun. Rated voltage selection and output power capacity calculation for low voltage reactive power compensation capacitor[J]. Modern Architecture Electric, 2021,12(2):45-47.
- [23]陶文娟,钟俊,黄宏光. 电力系统无功补偿点的选取及优化方法[J]. 电力电容器与无功补偿, 2018,39(3):116-121.
- TAO Wenjuan, ZHONG Jun, HUANG Hongguang. Selecting and optimization method of reactive power compensation node in power system[J]. Power Capacitor & Reactive Power Compensation, 2018,39(3):116-121.
- [24]邢洁,权钊龙,袁智强. 计及功率因数约束的配电网无功规划[J]. 电力电容器与无功补偿, 2021,42(5):21-27.
- XING Jie, QUAN Zhaolong, YUAN Zhiqiang. Reactive power planning of distribution network considering power factor constraints[J]. Power Capacitor & Reactive Power Compensation, 2021,42(5):21-27.
- [25]葛文红,徐佳,汪悦生,等. 基于鱼群算法优化ELM的电力电容器组电容量预测研究[J]. 电力电容器与无功补偿, 2018,39(3):11-15.
- GE Wenhong, XU Jia, WANG Yuesheng, et al. Study on capacitance prediction of power capacitor bank based on artificial fish swarm algorithm[J]. Power Capacitor & Reactive Power Compensation, 2018,39(3):11-15.
- [26]胡晓阳,王主丁,舒东胜,等. 配电网无功规划三次优化解析算法[J]. 电网技术, 2016,40(7):2099-2105.
- HU Xiaoyang, WANG Zhuding, SHU Dongsheng, et al. Analytic algorithm for cubic optimization of reactive power planning in distribution network[J]. Power System Technology, 2016,40(7):2099-2105.
- [27]吴晗序,马天琛,赵义松,等. 基于一体化检测系统的10 kV变台无功补偿电容器组动态投切性能检测[J]. 供用电, 2019,36(7):52-56.
- WU Hanxu, MA Tianchen, ZHAO Yisong, et al. Dynamic switching performance detection of reactive power compensation capacitor bank in 10 kV transformer based on integrated detection system[J]. Distribution & Utilization, 2019,36(7):52-56.
- [28]李成军. 智能无功补偿技术在电气自动化中的应用[J]. 科学技术创新, 2020(7):189-190.
- LI Chengjun. Application of intelligent reactive power compensation technology in electrical automation[J]. Scientific and Technological Innovation, 2020(7):189-190.
- [29]李玉,胡丁文. 电力自动化中的智能无功补偿技术应用[J]. 电子技术, 2021,50(9):122-123.
- LI Yu, HU Dingwen. Application of intelligent reactive power compensation technology in power automation[J]. Electronic Technology, 2021,50(9):122-123.

作者简介:

姚彦良(1987—),男,工程师,主要从事配电自动化和通信工程工作。

刘毅(1998—),男,工程师,主要从事智能电网信息工程工作。E-mail:1756288041@qq.com。

李自清(1989—),男,工程师,主要从事控制工程工作。