

# 基于全网无功优化的配电网无功优化系统的设计

李惠玲<sup>1</sup>, 高振江<sup>2</sup>, 庞占星<sup>2</sup>, 盛万兴<sup>1</sup>, 孟晓丽<sup>1</sup>

(1. 中国电力科学研究院, 北京 100192; 2. 临朐县供电公司, 山东 临朐 262600)

**摘要:** 提出了一种配电网全网无功优化思想, 将配电网分为高、中、低压三部分, 从下至上进行优化, 解决了传统无功控制的局部性问题以及由高中低压电网管理分离带来的无功电力重复性建设问题。基于这种思想, 在图模库一体化的平台上开发了可视化配电网无功优化管理系统, 系统集成电压无功分析、无功规划、无功控制和报表于一体。以某县级供电公司作为试点, 取得了较好的应用效果。

**关键词:** 配电网; 全网无功优化; 图模库一体化; 电压无功分析; 无功规划; 无功控制

## Design of reactive power management system for distribution network based on reactive power optimization of the whole distribution network

LI Hui-ling<sup>1</sup>, GAO Zhen-jiang<sup>2</sup>, PANG Zhan-xing<sup>2</sup>, SHENG Wan-xing<sup>1</sup>, MENG Xiao-li<sup>1</sup>

(1. China Electric Power Research Institute, Beijing 100085, China; 2. Linqu Power Supply Company, Linqu 262600, China)

**Abstract:** This paper presents a new idea of reactive power optimization of the whole distribution network which divides the whole distribution network into high voltage, medium voltage and low voltage. It optimizes them from the low level to the high level, and solves the local problem in traditional reactive power control and the problem of the reactive power devices repeated building brought by the separate management of high, medium and low voltage distribution networks. Based on this idea, a visual reactive power management system for distribution network is developed on the integrative graphic model library. The system can realize the systematic integration of voltage and reactive power analysis, reactive power programming, reactive power control with high integration and performance. The system is made experiment in one real distribution network and good results are obtained.

This project is supported by Key Project of the National Eleventh-five Year Research Programme of China (No.2006BAJ04B06).

**Key words:** distribution network; reactive power optimization in the whole network; integrative graphic model library; voltage and reactive power analysis; reactive power planning; reactive power control

中图分类号: TM72 文献标识码: A 文章编号: 1003-4897(2008)10-0031-05

## 0 引言

传统的电压无功优化存在以下主要问题: (1) 电力企业及电网分级管理, 各自为了自身经济利益存在无功电力重复性建设及运行繁琐, 不仅加大了电力成本, 而且多级设备投资大利用率低综合效果差; (2) 无功补偿仅仅局限于局部, 不能考虑到全局<sup>[1]</sup>; (3) 传统的无功优化软件往往功能单一, 不重视电压无功分析。随着电网规模的增大及日益复杂, 电压无功优化问题越来越突出。因此, 迫切需要一套集各项分析及管理功能于一体的电压无功优化管理系统。

在图模库一体化的平台上<sup>[2]</sup>, 本文基于全网无功优化思想开发了一种新型的可视化配电网无功优化管理系统。该系统能够对 220 kV 及以下电网的设备进行电压无功运行现状分析和无功补偿效益分析, 分层<sup>[3]</sup>、分区进行全网电压无功优化。通过这些具体功能的实现, 系统为供电公司工作人员提供了一个决策支持工具的软件技术平台, 从而达到改善电压质量、降低损耗、节约运行成本、提高供电企业经济效益和无功优化管理水平的目标。

## 1 全网无功优化

针对传统无功补偿方式的优缺点, 结合近年电网自动化系统通信通道, 本文提出一种全网无功优化思想。全网无功优化是指综合考虑配电网全网运

行情况,在确保电网与设备安全运行的前提下,以各节点电压合格、关口功率因数为约束条件,通过调节发电机电压,有载调压变压器分接头,投切静止补偿器和并联电容器,来实现跟踪负荷变化的动态电压和无功调节,以达到安全和经济的双重指标。全网无功优化可以使有限的资金发挥最大的效益。

配电网处于电网的末端,节点多,接线复杂,一般呈辐射状分布。在进行全网无功优化时,若将所有节点都考虑进去,则范围太大,优化速度慢,达不到理想效果。为了有效实现全网无功优化,结合配电网“闭环设计,开环运行”这个特点,本文将整个配电网划分为高、中、低三个电压等级(如图1所示),各级再根据需要将电网分解成优化单元(一个台区、一条馈线或10 kV以上配电网),在下一级电网每个优化单元都实现全局最优后,再进行上级电网的全局无功优化(此时应考虑下级电网无功优化对上级电网的影响),直到整个配电网优化完毕。

高压配电网指10 kV以上电网,10/6 kV馈线处理为该级电网负荷;中压配电网指10/6 kV馈线出线,每条馈线即为一个优化单元;低压配电网指0.4 kV及以下,每个台区即为一个优化单元。应根据各优化单元特点,选择合适的优化算法<sup>[4,5]</sup>。

越靠近配电网的末端,结构就越复杂,数据量也越大,处理好下级电网的无功全局优化和计及其对上级电网的影响是实现全网无功优化的关键。

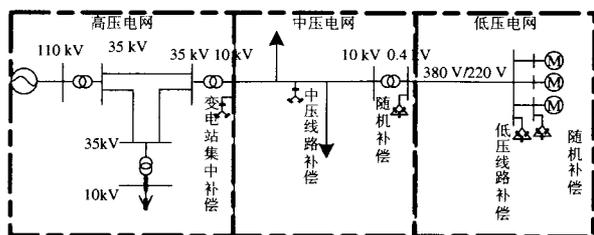


图1 配电网全网无功优化

Fig.1 Reactive power optimization of the whole distribution network

## 2 系统功能

系统设计以操作使用方便、算法快速准确以及分析全面、独到为原则。系统共分五大模块:图形系统、电压无功分析、无功规划、无功控制和电压无功报表。系统的功能模块关系如图2所示。

### 2.1 图形系统

图模库一体化是指在绘制电力图形的同时实现图形电力对象的绘制和数据库的一致性操作,并完成电力连接拓扑模型的建立。基于图模库一体化

技术,可方便的绘制带有连接含义的电力系统的各种接线图,如系统主接线图、系统潮流图、站内潮流图、系统结构图等。

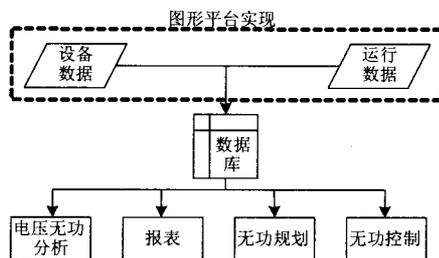


图2 系统功能关系图

Fig.2 Relationships of system functions

针对电力系统组件种类繁多、接线复杂、重复性强等特点,本文自主开发出适合配电网的图形系统,实现了图模库的一体化。图3为本文设计开发的图形系统。该图形系统的主要功能如下:

- (1) 能进行任意漫游、放大、缩小等图形基本功能。
- (2) 动态着色功能,根据实际系统的运行状况,自动确定设备的各种状态。
- (3) 通过图元编辑系统,支持用户图元自定义功能。
- (4) 实现设备参数和运行数据录入等功能。
- (5) 自动实现网络节点编号,避免了用户手工录入编号产生的错误。
- (6) 查找拓扑连接错误,直接定位于连接错误的设备。
- (7) 设备定位,用户选择要定位的设备类及设备编号,被定位设备将高亮显示在图形编辑系统中。
- (8) 动态显示潮流、线损等数据。

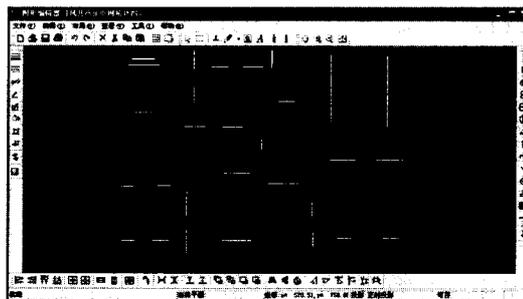


图3 图形系统

Fig.3 Graphic system

### 2.2 电压无功分析

由于传统无功优化缺少分析,用户难以了解各项设备的运行状况。对此,本文设计了电压无功分析模块,通过对电网结构及设备运行数据的分析,

给出分析结果和措施建议, 让用户对设备运行状况和无功补偿的经济效益做到心中有数。

高压电网电压无功分析功能包括: 潮流计算、变压器经济运行曲线、变压器经济运行区域分析、变压器无功运行状态分析、电容器投切记录、电容器利用率分析等。

中压电网电压无功分析功能包括: 潮流计算、配变无功运行状态分析、配变无功补偿效益分析、馈线无功运行状态分析、馈线无功补偿效益分析、电容器投切记录、电容器利用率分析等。

下面以高压电网变压器运行分析举例说明部分功能的实现:

变压器经济运行区域分析: 变压器通常运行于以下五个区域: 最佳经济运行区、经济运行区、功率因素低的运行区、负载轻的运行区、负荷过载的运行区等。通过对变压器运行数据的分析, 给出变压器的经济运行区域, 用户可以根据结果调整, 从而达到减少设备故障的概率或增大设备利用率的目的。

变压器无功运行状态分析: 系统通过对变压器运行数据的分析, 给出变压器的无功运行区域, 并给出相应的控制措施, 见图 4。用户可以判断某时刻无功控制措施是否正确。

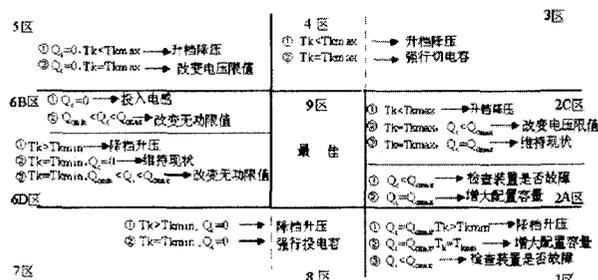


图 4 无功运行区域图  
Fig.4 Run area of reactive power

### 2.3 电压无功规划

电压无功规划是指计算无功补偿设备的最优安装位置、类型和容量, 以达到节省投资费用的目的。

传统无功优化规划时高压配电网无功补偿装置容量一般设置为主变压器容量的 10%~30%, 中压配电网电容器容量设置为配变容量的 20%~40%, 而低压电网由于经济因素等各方面原因无功配置不足, 导致无功穿越电网长距离输送。

本文对该方法进行了改善, 将其作为无功优化计算的约束条件, 采用全网无功优化思想, 从整个

配电网出发, 分电压等级对高、中、低压配电网进行无功优化规划, 遵循“从下至上优化”原则, 即:

第一步: 低压电网无功优化规划。根据低压电网的实际负荷情况对所辖每个优化单元(每个台区)都进行全局无功优化计算, 实现无功设备的最优化配置。

第二步: 中压电网无功优化规划。对中压电网下属的每个优化单元(每条馈线)都进行全局无功优化计算, 计算时应计及下级台区无功优化的影响。

第三步: 高压电网无功优化规划。将整个高压电网作为一个优化单元, 综合考虑所有发电厂、变压器分接头和无功装置, 实施无功优化计算, 此时, 负荷部分已经计及下级电网无功优化的影响。

全网电压无功规划流程见图 5。在计及各级电网无功影响后, 整个电网无功的配置将会更准确、更合理, 从而减少由无功长距离输送引起的电网损耗。但是, 由于电网数据复杂、量大, 此方法的实现在一定程度上会受到限制。

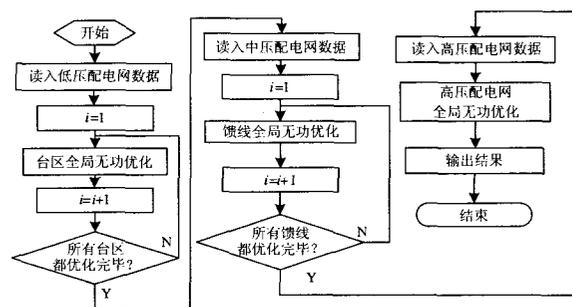


图 5 配电网全网无功规划流程图  
Fig.5 Flow chart of reactive power planning

### 2.4 无功控制

无功控制是在无功补偿设备配置已确定的情况下, 根据实际负荷的变化确定无功补偿设备的投切方案和变压器抽头位置等, 以达到在满足电压质量要求的前提下, 网损最小, 或能耗最小, 或运行费用最小的目的<sup>[10]</sup>。

由于电力系统有些实时数据难以获得, 因此实现完全的无功实时控制目前还有难度。本文设计了负荷预测部分, 可以进行短期预测, 根据短期预测结果制定无功控制计划, 提前对无功控制进行调度。

首先, 负荷预测模块从历史数据库中获取历史数据, 并预测未来时段的负荷曲线。然后, 电压无功优化模块根据未来的负荷曲线以及各变电站无功补偿容量配置进行优化计算, 求出未来各时段的各变电站母线电压以及无功功率的最佳分布, 产生控制方案。最后, 从实时数据库中获取数据, 并比较

实时值和预测值,若差异较大则将实时值送入无功优化模块重新计算,产生最新控制方案,反之按原方案执行。流程见图6。

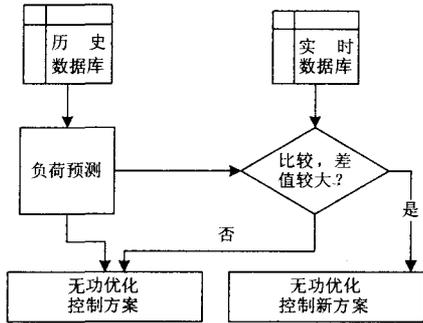


图6 基于负荷预测的无功控制流程图

Fig.6 Flow chart of reactive power control based on load forecasting

## 2.5 电压无功报表

电压无功报表是供电部门日常工作和考核的重要内容,为此系统提供了报表定制功能。系统提供一些常用的国家电网公司标准报表,除此之外,用户还可以根据需要进行自定义报表。

系统提供的标准报表有:A类电压合格率月报表、B类电压合格率月报表、C类电压合格率月报表、380~220V电压合格率、220V电压合格率、供电所电压合格率报表、电压监测点汇总表、电容器年度统计表、有载调压变压器年度统计表、电压合格率月度统计明细表、电压合格率月度统计报表、电压和无功统计月度报表、110kV变电站功率因数统计表、35kV变电站功率因数统计表、10kV线路功率因数统计表、电容器可投运率报表、电容器可投运率汇总表。

## 3 系统接口

无功优化系统的数据包括电网结构数据和电网运行数据。其中电网结构数据包括高、中、低压电网设备参数;电网运行数据包括调度系统和配电自动化系统采集的各量测点的电压、电流、功率以及开关设备的状态信息。

本文在设计时考虑与各种已经运行的电力管理信息系统的数据共享,可以建立与调配SCADA、GIS、MIS等管理系统的接口,如图7所示。

(1)与GIS系统接口:一方面可以直接读取电力地理信息系统中的网络连接关系、导线型号、线路长度、配变型号等信息以备无功优化计算所需的电网设备参数;另一方面可以向GIS系统提供无功优化计算和分析结果。

(2)与MIS系统接口:当无法从GIS系统获取电网结构数据时,通过访问或接收转发自电力MIS系统数据来获取电网各种设备的技术参数。

电网结构数据既可以从GIS系统获取,也可以从MIS系统获取,避免了人工重复录入电网结构信息的繁琐工作。

(3)与调配SCADA系统接口:主要是获取电网运行的历史或实时数据,包括各电压等级母线、出线的电压、电流、有功功率、无功功率等,为研究方式和实时方式的潮流计算提供原始计算数据。

一般县级供电公司都具备调度自动化系统,无功优化所需的电网运行数据都能够获得。而实际中,无论离线或在线计算,首先检验SCADA转发的数据中是否存贮了实时/历时运行数据,如果没有则由人工输入。当无功优化所需的数据信息都可以从已运行的管理信息系统获取时,系统自动获取数据进行计算、分析;若所有数据或部分数据不能从管理信息系统获取,则通过系统提供的人工录入界面以手动方式补充数据,保证任何情况下都能够提供无功优化结果。

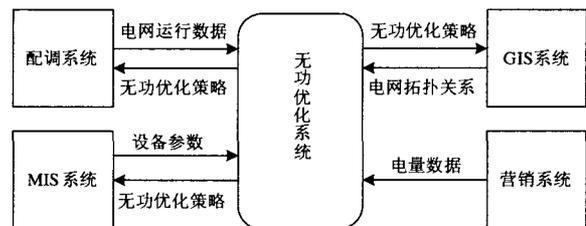


图7 系统接口示意图

Fig.7 Interfaces of the system

## 4 系统特点

(1)高、中、低压电网。打破传统的无功优化的束缚,集高、中、低压电网于一体,方便无功管理工作的组织与实施。

(2)提供强大的专业综合分析功能。系统强调电压无功综合分析对无功管理的重要性,提供对设备运行状态的分析和无功补偿经济效益的分析。

(3)可视化的图形界面,方便用户使用,减少用户的工作量。系统支持图形录入数据方式,减少了传统的手工录入方式带来的不准确性,而且可以自动进行网络拓扑完成节点编号、查找拓扑连接错误、设运行备定位等功能。系统还支持图元自定义功能,用户可以按照自己的需求进行定制。

(4)报表支持自定义,符合国网公司标准报表格式。本系统提供的报表等功能完全符合国家电网公

司有关部门标准,为基层供电企业及上级主管部门的专业管理提供了巨大的方便。

(5)接口方式灵活。提供与各类系统的接口,减少用户的手工录入工作量。

## 5 系统应用

系统目前已在多个县级配电网得到推广应用。下面以某供电公司为例说明系统应用的主要成效。

(1)能够对全网进行无功优化规划,确定合适的补偿方案;对已安装无功补偿装置的电网运行效益进行分析,为提高企业经济效益和无功优化管理水平提供了科学依据。

(2)采用具有平滑连续调节的无功补偿装置解决了无功负荷变化大且比较频繁的无功补偿难题,有效解决无功负荷变化大且频繁的变电站无功补偿问题。

(3)配变采用具有调整三相不平衡的无功补偿装置后,有效解决了电网中存在的功率因数偏低、三相间的电流不平衡现象的问题。

(4)采用 HYDS 电能质量同步补偿器,集无功功率的连续、同步补偿、有源滤波、消除电压闪变和电压波动等多种功能于一体,有效地提高了供电电压质量。

(5)公变和配电线路实施无功补偿装置改造后,平均功率因数由改造前的 0.86 提高到 0.96,综合年节约损失电量 26.43 万 kW·h,节约电费 14.53 万元。据测算,用于无功优化试点新设备投资的 87.61 万元 6.03 年即可收回。

## 6 结语

基于全网无功优化思想开发的配电网无功优化管理系统,可以从全网实现电力系统无功功率的优化调度与控制,改善系统的电压质量,减少电能传输损耗,从而降低运行成本和提高稳定运行水平。通过在某供电公司的成功试点应用,为配电网电压无功管理提供了一种新型管理模式和有效的技术支持平台,具有较大的推广应用价值。

## 参考文献

- [1] Miller T J E. 电力系统无功功率控制[M]. 北京:水利电力出版社,1990.
- [2] 吴文传,张伯明.基于图形数据库的网络拓扑及其应用[J].电网技术,2002,26(2):14-18.  
WU Wen-chuan, ZHANG Bo-ming. A Graphic Database Based Network Topology and Its Application[J]. Power System Technology, 2002, 26(2):14-18.
- [3] 孙宏斌,张伯明,郭庆来.基于软分区的全局电压优化控制系统设计[J].电力系统自动化,2003,27(8):

16-20.

SUN Hong-bin, ZHANG Bo-ming, GUO Qing-lai. Design for Global Optimal Voltage Control System Based on Soft Identification of Secondary Control Zones[J]. Automation of Electric Power Systems, 2003,27(8): 16-20.

- [4] 李源,曾嵘,盛新富.基于全局优化的10kV配网分布式无功补偿系统的研制[J].高压电器,2003,39(4):23-25.

LI Yuan, ZENG Rong, SHENG Xin-fu. Research on Distributed Reactive Power Compensation System Based on Total Optimum in 10 kV Distribution Network[J]. High Voltage Apparatus, 2003, 39(4):23-25.

- [5] 余建明,杜刚,姚李孝.结合灵敏度分析的遗传算法应用于配电网无功补偿优化规划[J].电网技术,2002,26(7):46-49.

YU Jian-ming, DU Gang, YAO Li-xiao. Application of Genetic Algorithm Combining Sensitivity Analysis to Optimized Planning of Reactive Power Compensation for Distribution Network[J]. Power System Technology, 2002, 26(7):46-49.

- [6] 张武军,叶剑锋,梁伟杰.基于改进遗传算法的多目标无功优化[J].电网技术,2004,28(11):67-71.

ZHANG Wu-jun, YE Jian-feng, LIANG Wei-jie. Multiple-Objective Reactive Power Optimization Based on Improved Genetic Algorithm[J]. Power System Technology, 2004, 28(11):67-71.

- [7] 耿光飞,杨仁刚.基于定向变异遗传算法的地区电网无功功率优化[J].电网技术,2004,28(10):42-45.

GENG Guang-fei, YANG Ren-gang. Reactive Power Optimization of Regional Power Network by Directed Mutation Based Genetic Algorithm[J]. Power System Technology, 2004, 28(10):42-45.

- [8] 文劲宇,江振华,姜霞.基于遗传算法的无功优化在鄂州电网中的实现[J].电力系统自动化,2004,28(6):45-47.

WEN Jin-yu, JIANG Zhen-hua, JIANG Xia. Genetic Algorithm Based Reactive Power Optimization and Its Application in EZHOU City Power System[J]. Automation of Electric Power Systems,2004,28(6):45-47.

- [9] 丁晓群,邓勇,黄伟.基于遗传算法的无功优化在福建电网的实用化改进[J].电网技术,2004,28(16):44-47.

DING Xiao-qun, DENG Yong, HUANG Wei. Reactive Power Optimization of Regional Power Network by Directed Mutation Based Genetic Algorithm[J]. Power System Technology, 2004, 28(16):44-47.

- [10] 周任军,段献忠,周晖.计及操作成本和设备寿命的无功电压综合优化策略[J].中国电机工程学报,2005,25(9):23-28.

(下转第 61 页 continued on page 61)

道类、循环队列类、数据显示界面类、界面数据接口类、界面显示类、系统调度类、测试界面类、系统配置类、系统配置信息接口类、数据库接口类。

各个类之间的关系如图 2 所示,由系统调度类管理各类通道的运行,他们之间的关系为聚集。通道类和规约类之间为关联关系,一个通道绑定一个规约。通道和网络通道之间的关系为父子关系。网络规约类和具体规约类之间为父子关系。调度类管理配置信息类,配置信息类管理配置信息接口类。界面显示类管理界面显示接口类,界面接口类和数据库接口类为关联关系,信息缓冲类管理数据库接口类。测试对话类和通道类之间为关联关系,测试对话由系统调度类管理。通信类实现和服务器的通信。

#### 4 系统的实现

按照第 3 节介绍的设计,在 Windows 2000 操作系统下,用 VC++ 语言编制了相关的程序,目前软件已在十多个调度系统中得到了应用,系统运行、稳定可靠,完全达到了设计的要求。

在系统运行在最大配置方式时,CPU 的负载小于 10%。系统运行画面如图 3 所示。

#### 5 结论

本文首先对调度主站前置机软件的运行环境进行了分析介绍,在此基础上,对软件的工作过程进行了分析,根据面向对象的建模思想,采用 UML 建立了软件的对象模型,用 C++ 语言编制了软件,系统在工程实际中得到了应用,应用效果良好。通过系统的分析建模,得到了如下结论:

1) 虚拟继承机制的引入很好地解决了系统的可扩充性和可维护性。

2) 线程机制的合理使用,对系统的协调高效

工作非常重要。

3) 合理的软件架构是保证系统的稳定运行的重要条件。

#### 参考文献

- [1] 吕少坤,韩福坤.重视前置机系统在电网调度自动化系统的作用[J].华北电力技术,2000,(6):31-33.  
Lü Shao-kun, HAN Fu-kun. Highlighting the Function of Prime Machine System in Power Network Dispatching Automatic System[J].North China Electric Power, 2000,(6):31-33.
- [2] 洪宪平.走向网络化的运动系统[J].电力系统自动化,2001,25(6):1-3,8.  
HONG Xian-ping. Telecontrol System Tending Towards Network[J].Automation of Electric Power Systems, 2001,25(6):1-3,8.
- [3] Dattatri K. C++面向对象高效编程[M].北京:人民邮电出版社,2000.  
Dattatri K. C++ Effective Object-Oriented Software Construction[M].Beijing: People's Posts & Telecom Press,2000.
- [4] Booch G, Rumbaugh J, Jacobson I. UML 用户指南[M].北京:机械工业出版社,2001.  
Booch G, Rumbaugh J, Jacobson I. The Unified Modeling Language User Guide[M].Beijing: China Machine Press,2001.

收稿日期:2007-08-03; 修回日期:2007-09-11

作者简介:

董张卓(1962-),男,博士,高级工程师,主要从事电力自动化方面科研教学工作;E-mail:dongzz@pub.xaonline.com

李宏刚(1968-),男,工程师,主要从事企业供电系统运行技术管理工作;

倪云峰(1968-),男,副教授,主要从事自动化方面教学及科研工作。

(上接第 35 页 continued from page 35)

ZHOU Ren-jun, DUAN Xian-zhong, ZHOU Hui. A Strategy of Reactive Power Optimization for Distribution System Considering Control Action Cost and Times[J]. Proceedings of the CSEE, 2005, 25(9):23-28.

收稿日期:2007-06-18; 修回日期:2007-10-26

作者简介:

李惠玲(1978-),女,硕士研究生,研究方向为配电网线损和无功优化控制及供电企业资产管理(EAM);E-mail:linger409@126.com

高振江(1971-),男,工程师,主要从事变电工程设计研究工作;

庞占星(1982-),男,助理工程师,主要从事电力自动化研究工作。