

10 kV 配电线路无功优化智能系统的研究与实施

朴在林, 谭东明, 郭 丹

(沈阳农业大学信息与电气工程学院, 沈阳 110161)

摘 要: 农村配电网无功优化方面的理论研究及单台补偿设备研究的在相关文献报道较多, 而针对农村配电网 10 kV 线路的无功优化智能控制系统的研究尚属空白。论文立足于目前农村配电网无功补偿的现状, 10 kV 线路集成了远程通信技术和网络技术直接在调度室进行远程监视、管理及自动控制, 通过上下位机数字化技术真正实现了无功优化智能系统。通过实施表明, 变电站的每个出口功率因数总是在 0.95~0.98 之间波动, 基本上是一条直线。该系统的实施为智能电网的实现探索了一条新思路。

关键词: 智能系统, 变电站, 无功, 农村配电网, 10 kV 线路, 上下位机数字化

doi: 10.3969/j.issn.1002-6819.2009.12.036

中图分类号: TM761^{+.1}

文献标识码: A

文章编号: 1002-6819(2009)-12-0206-05

朴在林, 谭东明, 郭 丹. 10 kV 配电线路无功优化智能系统的研究与实施[J]. 农业工程学报, 2009, 25(12): 206—210.
Piao Zailin, Tan Dongming, Guo Dan. Research and implementation on reactive power optimization intelligent system for 10 kV distribution line[J]. Transactions of the CSAE, 2009, 25(12): 206—210. (in Chinese with English abstract)

0 引 言

随着国民经济的迅速发展, 用电负荷的不断增长, 用户对于电能质量的要求日益增高, 电网无功优化补偿的重要性也日益增强, 难度也日益加大。特别是电网市场机制的引入, 使得如何采取有效手段提高电能质量, 降低网损, 已经成为直接关系电力企业自身经济效益的课题。

配电网作为电能配置的末端环节, 覆盖区域广, 其损耗占全网总损耗的 40%^[1]。无功补偿是降低网损和改善电压质量的有效手段^[2]。长期以来, 无功电源优化配置主要在网络规划方面考虑^[2-6], 运行期间很少考虑无功补偿设备的优化投切。安装于 10 kV 配电线路上的分散补偿电容器多数是固定补偿电容器。规划阶段配置的无功电源及容量只能说是为提高电网运行水平、降低网损创造必要条件。只有在配电网运行期间根据不同的负荷水平, 通过实时的控制系统优化各种无功补偿设备的投切, 实现全网无功优化调度, 才能充分发挥网内各点、各种无功设备的功能, 挖掘现有设备潜力, 得到最好最优的无功优化效益。

1 中国农村配电网无功基本特点与现状

中国农村配电网有其自身的特点, 供电半径普遍较长, 且负荷分散。由于农村受春季排灌等影响, 农村配电网的负荷还有一个重要的特点就是具有一定的季节性

和时段性, 无功负荷的波动较大。

近些年国家投入大量的资金进行农村电网的建设和改造, 无论在网架结构上, 还是在设备优化及运行方式优化上, 都已取得了明显的、根本性的改变, 但是无功优化却始终滞后于电网建设。目前中国农村配电网无功优化的现状是, 无功补偿设备偏少、陈旧, 无功缺额还比较大; 无功补偿装置的配置不合理, 目前主要采用的补偿方式是在变电站二次侧集中补偿, 配电线路的线损和末端电压很低的问题仍未得到有效解决; 无功补偿装置的自动化程度低, 随器补偿、线路分散补偿大多数采用固定补偿, 不能做到实时监控, 不能满足农网无功负荷的季节性和时段性强的特点。

综上所述, 农网的无功负荷有其自身的特殊性, 存在的问题主要集中在无功补偿设备不足且自动化程度不高, 动态补偿和固定补偿比例失调, 研究出一套适合于农村配电网的 10 kV 线路无功优化智能系统是十分必要并具有实际意义。

2 农村配电网 10 kV 线路无功优化智能系统的研究与实施

农村配电网的随机补偿、随器补偿和变电站集中补偿, 在相关文献中有许多报道, 技术上已基本成熟^[7-13], 而本文研究的重点是农村配电网 10 kV 线路无功优化智能系统。10 kV 线路分散补偿智能系统采用的是按电压投切布点^[14], 电压型远程控制方式。调度室里的上位机, 根据线路各电容器投切装置经 GPRS 上传的实测电压和投切情况, 以及变电站出口(线路首端)功率因数和无功功率值, 判断集中处理后, 直接整定上下限值, 由调度室发出各线路电容器投切装置的投切命令。达到电压和功率因数双控的目的。

收稿日期: 2009-09-03 修订日期: 2009-11-05

作者简介: 朴在林(1955—), 男, 辽宁沈阳人, 博士生导师, 教授, 中国农业工程学会会员(B041200021S), 主要从事农业电气化与自动化研究。
沈阳市东陵路 120 号 沈阳农业大学信息与电气工程学院, 110161。
Email: piaozl@china.com

2.1 系统概述

无功优化自动化系统采用 DotNet 技术进行开发, 以 C/S 架构的方式运行。运行在客户端的系统可随时与服务端交互, 监视线路上各补偿装置的运行状态。运行在服务器上的系统通过局域网获取调度自动化系统中线路的首端参数, 同时通过 GPRS 与现场的补偿装置通信, 控制或获取工作现场补偿装置的运行状态。系统服务器端将获取的实时数据存储在数据库中, 数据库采用 SQL Server 2005 进行设计与管理。系统客户端可对存储于数据库中的数据进行分析与统计, 并可生成统计报表或以 Excel 文件的形式导出。

2.2 系统功能

系统在设计时充分考虑到了软件的可操作性、易用性等, 并且界面友好。软件系统实现了无功补偿装置运行状态实时更新显示, 以线路为单位统计选定时间内补偿装置的投切状态变换, 统计选定时间内线路上投切容量, 查询指定时间内指定统计范围内的投切记录等。本文主要就本系统在内蒙古赤峰市松山农电的实施来论述其功能, 具体如下:

1) 拓扑维护

考虑到线路改造或移动补偿装置的位置等因素, 将系统设计成可允许用户维护的方式。用户可以在配网结构发生变化或增减电容器时, 通过系统提供的拓扑维护功能增减变电站、线路和电容器, 并可以指定电容器和线路之间的关系, 电容器的补偿方式, 以及线路和变电站之间的关系 (见图 1)。对于以静态方式进行补偿的电容器, 系统提供了手动录入投切事件接口。用户只需在拓扑窗格中选定指定的静态补偿电容器, 即可为其录入投切状态变化事件。

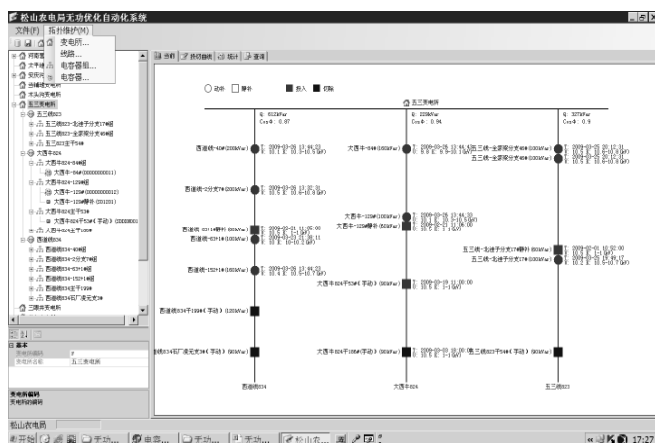


图 1 拓扑维护

Fig.1 Topology maintenance

2) 系统运行状态实时更新

系统的服务器端实时获取调度自动化系统中线路首端运行参数, 并根据线路状态远程控制自动投切装置的投切动作。而当投切装置动作后, 系统服务器端将该事件通知给系统的客户端, 系统的客户端接到通知后, 将会更新客户端的运行状态显示, 同时将投切事件记录在数据库中, 用于作为统计数据的来源 (见图 2)。

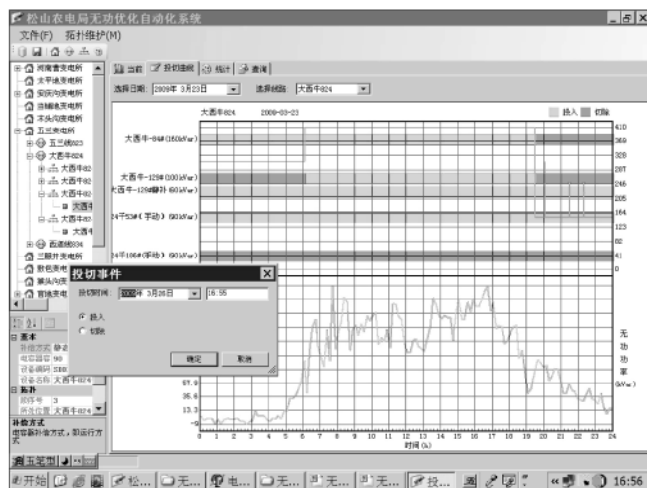


图 2 指定线路在所选时间内的投切状态变化

Fig.2 Specified line switching state changes in the selected period

3) 投切事件查询与容量统计

系统用户可以通过指定查询时间, 并选定查询线路的方式查询某条线路上的所有电容器在某一天的运行状态变换, 并同时在图中绘制出无功变化曲线, 以及投切曲线。以直观的方式支持用户分析系统的运行状况。此外, 对手动投切电容器的投切管理, 根据无功功率曲线, 保证投入的电容器在无功功率最小时不发生补偿时将投入运行, 并将其投入的时间维护在系统中, 并反映在投切曲线上, 做到线路所有无功补偿设备的统一集中管理。

用户可以年或月为单位, 统计指定线路在该时间范围内的投切容量。统计数据来源于记录在系统数据库中的投切事件变化 (见图 3)。

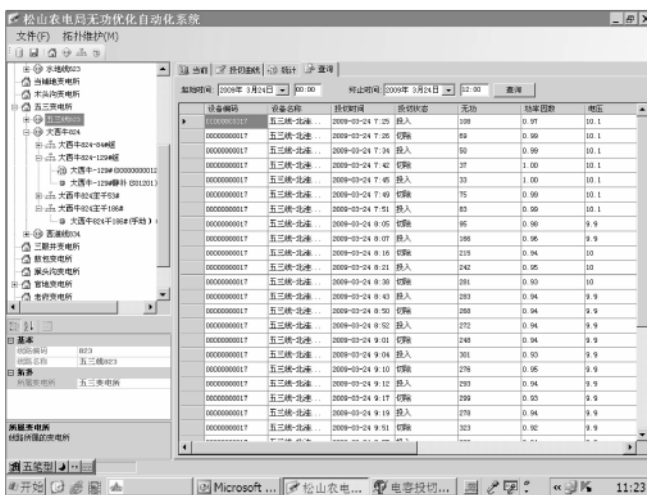


图 3 查询补偿点的投切情况及相关信息

Fig.3 Query the switching and related information of the compensation point

4) 数据导出功能

用户指定查询或统计条件, 可查询出满足统计条件的投切事件或统计信息。用户可将统计信息导出到文本文件或导出 Excel 文件, 便于用户在 Excel 系统下对数据进行分析或制作出满足要求的统计报表。

2.3 无功补偿远程无线集控系统

利用 GPRS 通信技术,实现对自动装置的远程无线监测与数据传输。监测仪是以单片 16 位微处理器和手机芯片技术为核心,集监测、记录、远程通信于一体的智能化系统。本系统采用了大规模集成电路技术,高精度 A/D 变换技术,单片机控制技术和抗干扰技术,具有可靠性高,测量精度高,功能齐全,安装简易等特点。系统后台软件灵活、安装简便、易于操作,运行环境只需 Win9x~xp 操作系统及通用 Access 数据库软件,不需要单独维护。

2.3.1 系统构成

系统由上级远程主控微机、下级执行微机和远程通信网络组成两级微机控制系统。上级集控微机在调度室集中采集所补偿线路的无功功率和功率因数实时数据,根据模糊控制算法计算出所需补偿线路需要投入或切除的补偿电容器的容量,根据下级执行微机通过远程通信传输的线路各补偿点投切状况和实测电压确定投切对象后,再通过远程通信网络向投切对象发送控制指令调整下级控制执行投切装置的两位控制参数(切除上限值/投入下限值)。收到上位机发来的控制目标值后自动投切补偿电容器,使线路保持在重负荷时稳定在 0.95 以上的功率因数,在轻负荷时不会出现过补现象。系统拓扑图如图 4。

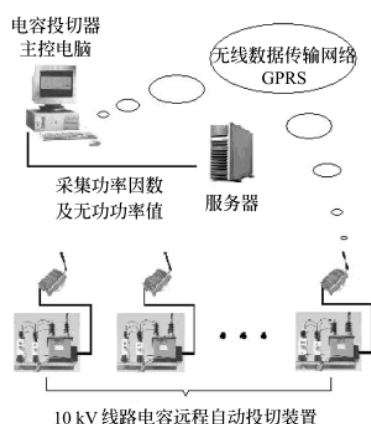


图 4 10 kV 线路无功补偿自动化系统拓扑图

Fig.4 Topology diagram of 10 kV line reactive power compensation automation system

2.3.2 模糊控制算法流程

1) 调度自动化系统将线路首端的功率因数 $\cos \varphi_i$ 、无功功率 Q_i , 下位机将实时电压 U_i 、开关的投切状态 K_i , 传送给调度室内的上位机;

2) 如果 $\cos \varphi_{i\min} < \cos \varphi_i < \cos \varphi_{i\max}$; $U_{i\min} < U_i < U_{i\max}$, 则线路中的投切装置维持原状态, 否则, 跳到 3);

3) 通过 $\cos \varphi_i$ 和 Q_i 计算出所需补偿投入或切除的补偿容量 Q_c ;

4) 搜索满足投切条件的 K_i ;

5) $|Q_c - Q_{ci}| = \min$ 且 $Q_c > Q_{ci}$, 确定 Q_{ci} 的值和位置, 线路中自动投切装置的各组电容 $Q_{ci} = \{Q_{c1}, Q_{c2}, Q_{c3} \dots\}$

(它是一个具有优先级的集合, 越靠近线路末端的优先级越高);

6) 上位机发出投入或切除的指令, 开关动作;

7) 当前开关动作结束, 转到 1)。

2.3.3 无线数据通信的实现

利用现代的公网 INTER 宽带网络技术和 CMNET 移动数据通信技术 (GPRS 数据流无线传输), 可以廉价且方便地将上级集控微机与分布在农电网线路上的无功补偿自动投切控制器 (下级控制微机) 终端设备连接起来, 组成二级分布式远程自动化无功补偿系统。集控电脑 (上级) 与无功补偿自动投切控制器 (下级) 无线数据传输链路为: 电脑 (设置虚拟服务器) — 网关端口映射 — INTER 网宽带调制解调器 — 互联网 — (CMNET 服务) 移动通信网 — GPRS 收发器 — 无功补偿自动投切控制器。通过这一数据链路实现双向数据交换。

2.4 本系统在实施前后的效果比较

本系统已在内蒙古赤峰市松山农电局实施, 以安庆沟卢家营线 622 选择使用前后有功功率相当时, 作实施前后功率因数变化的对比见图 5、图 6。

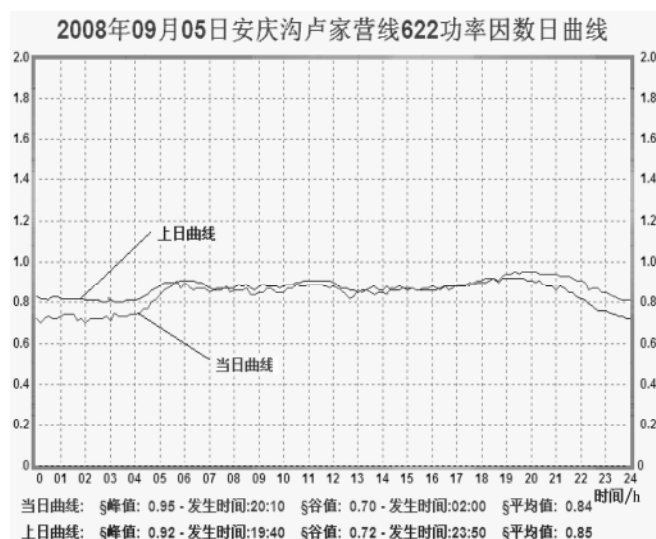


图 5 实施前功率因数

Fig.5 Power factors before implementation

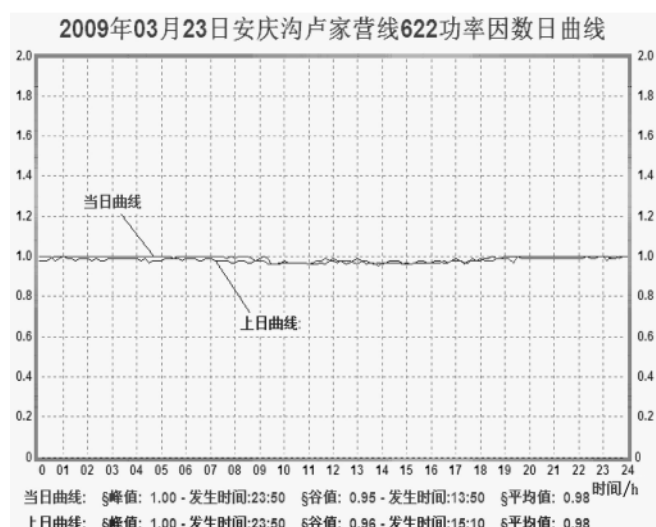


图 6 实施后功率因数

Fig.6 Power factors after implementation

通过在内蒙古赤峰市松山农电局的实施, 试点供电区变电站的每个出口功率因数总是在 0.95~0.98 之间波动, 基本上是一条直线, 无功得到了智能优化控制, 无功优化工作取得了很好的成效, 直接给该局带来了经济效益。

3 结 论

农村配电网 10 kV 线路无功补偿智能系统, 首先按电压投切方式来确定最佳补偿点的位置和容量。控制电容器的自动投切是通过远程通信技术和网络技术实现上下位机之间的双向数据交换, 下位机采集各补偿点的实测电压和投切情况传输给调度室里的上位机, 上位机再集中整合变电站出口的功率因数和无功功率, 确定各补偿点投切情况, 再把投切命令传输给下位机, 达到了功率因数和电压的双控目的。

电压型无功投切装置, 采用了现场取电压在局调度室获取无功功率和功率因数的通讯技术, 克服了以往投切装置同时采集电压、电流使设备体积大、造价高的弊端。同时利用通讯技术把投切装置安装点的电压数据实时监测, 有效地替代了为考核电压单独安装电压监测装置到现场读取数据的必要性。

本系统通过在内蒙古赤峰市松山农电局实施, 使试点供电区的每个变电站出口平均功率因数达到了 0.95 及以上。本系统的研究和实施, 为智能电网的实现提供了一个新的思路, 一定有广阔的应用前景。

[参 考 文 献]

- [1] 张勇军, 廖民传. 配电线路 10/0.4 kV 综合无功优化配置建模[J]. 电力系统及其自动化学报, 2009, 21(3): 41—45. Zhang Yongjun, Liao Minchuan. Modeling of kV integrated reactive power optimization[J]. Proceedings of the CSU-EPSCA, 2009, 21(3): 41—45. (in Chinese with English abstract)
- [2] 王成山, 张义. 基于Bender's分解和内点法的无功优化规划[J]. 电力系统及其自动化学报, 2003, 15(4): 46—50, 62. Wang Chengshan, Zhang Yi. Optimal reactive power planning using Bender's decomposition technique and interior point method[J]. Proceedings of the CSU-EPSCA, 2003, 15(4): 46—50, 62. (in Chinese with English abstract)
- [3] 李林川, 王建勇, 陈礼仪, 等. 电力系统无功补偿优化规划[J]. 中国电机工程学报, 1999, 19(2): 66—69. Li Linchuan, Wang Jianyong, Chen Liyi, et al. Optimal reactive power planning of electrical power system[J]. proceedings of the CSEE, 1999, 19(2): 66—69. (in Chinese with English abstract)
- [4] 许文超, 郭伟. 电力系统无功优化的模型及算法综述[J]. 电力系统及其自动化学报, 2003, (15): 100—104. Xu Wenchao, Guo Wei. Summarize of reactive power optimization model and algorithm in electric power system[J]. Proceedings of the CSU-EPSCA, 2003, (15): 100—104. (in Chinese with English abstract)
- [5] 成立, 闫巍, 王振宇, 等. 基于改进型遗传算法的农电网无功优化规划研究[J]. 农业工程学报, 2006, 22(4): 126

- 130.
- Cheng Li, Yan Wei, Wang Zhenyu, et al. Optimization planning of reactive power compensation for rural power grids by improved genetic algorithm[J]. Transactions of the CSAE, 2006, 22(4): 126—130. (in Chinese with English abstract)
- [6] 何建军, 郑霓虹, 王官洁. 基于改进遗传算法的配电网无功优化[J]. 电力系统及其自动化学报, 2002, 14(3): 16—19, 46. He Jianjun, Zheng Nihong, Wang Guan jie. Reactive power optimization based on genetic algorithms in distribution network[J]. Proceedings of the CSU-EPSCA, 2002, 14(3): 16—19, 46. (in Chinese with English abstract)
- [7] 庄侃沁, 李兴源. 变电站电压无功控制策略和实现方式[J]. 电力系统自动化, 2001, 25(8): 47—50. Zhuang Kanqin, Li Xingyuan. Strategies and implementation modes of voltage and reactive power control for substation[J]. Automation of electric power system, 2001, 25(8): 47—50. (in Chinese with English abstract)
- [8] 赵宏伟, 张晓清, 王步云, 等. 低压终端线路无功补偿技术[J]. 电力系统及其自动化学报, 2002, 14(2): 46—48. Zhao Hongwei, Zhang Xiaoqing, Wang Buyun, et al. Reactive power Compensation study for terminal power line[J]. Proceedings of the CSU-EPSCA, 2002, 14(2): 46—48. (in Chinese with English abstract)
- [9] 胡海燕, 刘健, 武晓朦. 配电网低压侧自动无功补偿装置安装位置的优化规划[J]. 继电器, 2004, 32(19): 21—25. Hu Haiyan, Liu Jian, Wu Xiaomeng. Optimal placement of automatic reactive compensation equipment on the low voltage side of distribution transformers[J]. Relay, 2004, 32(19): 21—25. (in Chinese with English abstract)
- [10] 严浩军. 变电站电压无功综合自动控制问题探讨[J]. 电网技术, 2000, 24(7): 41—43, 48. Yan Haojun. Some problems on integrated control for voltage and reactive power in substations[J]. Power System Technology, 2000, 24(7): 41—43, 48. (in Chinese with English abstract)
- [11] 张勇军, 任震, 廖美英, 等. 10 kV 长线路杆上无功优化补偿[J]. 中国电力, 2000, 33(9): 50—52. Zhang Yongjun, Ren Zhen, Liao Meiyong, et al. Optimal reactive compensation on tower of 10 kV long distribution feeder[J]. Electric Power, 2000, 33(9): 50—52. (in Chinese with English abstract)
- [12] 杜修柯. 电网配电线路的最优无功补偿研究[J]. 电力学报, 2008, 23(2): 98—100, 109. Du Xiuke. Research of reactive power compensation optimization on power network distribution feeder[J]. Journal of Electric Power, 2008, 23(2): 98—100, 109. (in Chinese with English abstract)
- [13] 李运彬, 姚舜, 李莎. 低压配电网无功优化补偿的实现[J]. 计算技术与自动化, 2006, 25(2): 42—44. Li Yunbin, Yao Shun, Li Sha. Realization of reactive power optimization compensation for power distribution system[J]. Computing Technology and Automation, 2006, 25(2): 42—44. (in Chinese with English abstract)
- [14] 陈文彬. 电力系统无功优化与电压调整[M]. 沈阳: 辽宁科学技术出版社, 2003: 1—71.

Research and implementation on reactive power optimization intelligent system for 10 kV distribution line

Piao Zailin, Tan Dongming, Guo Dan

(College of Information and Electrical Engineering, ShenYang Agricultural University, Shenyang 110161, China)

Abstract: The theoretical study on rural distribution network reactive power optimization and single compensation device was reported in lot of literature, but the study of reactive power optimization intelligent control system for 10 kV lines in the rural power distribution network is still blank. This paper makes reactive power optimization intelligent system come true, which was based on the current status of rural network reactive power compensation, 10 kV distribution lines integrated long-range communications technology and network technology, directly remote monitoring, management and automation in the dispatch room, through the upper and lower digital technology. The system implementation shows that each substation exports power factor always fluctuated between 0.95–0.98, which is essentially a straight line. System implementation explored a new way to achieve intelligent electricity network.

Key words: intelligent systems, electric substations, reactive power, rural power distribution network, 10 kV line, digital upper and nether computer