

DOI:10.3969/j.issn.1001-4551.2013.02.025

基于GPRS的配电网动态无功优化 控制策略研究

陈蒙伟¹, 章坚民^{1,2*}, 徐 谦³, 吴鑫淼¹, 叶 义¹

(1. 杭州电子科技大学 自动化学院, 浙江 杭州 310018;

2. 浙江创维自动化工程有限公司, 浙江 杭州 310012; 3. 浙江省电力经济技术研究院, 浙江 杭州 310007)

摘要: 配电网无功优化控制是解决配电网电能损耗大、电压水平低这一问题的有效手段,采用动态无功优化求解时一般按照各节点全天短期预测负荷曲线合理分段优化,即将动态无功优化控制转化为多时段静态无功优化问题。针对现有配电网实际负荷的不规则变化会给该优化方法带来无功过补偿和欠补偿的问题,提出了一种基于实测负荷数据和预测负荷数据的动态无功优化混合控制策略;为了提高配电网无功优化的计算速度,使优化算法更好地适用于实际在线环境,引入了序优化理论框架,采用了改进的禁忌搜索算法作为无功优化算法;通过对34节点配电系统进行了算例分析。研究结果表明,该控制策略和优化算法在实用性、可行性和计算速度等方面均有良好表现。

关键词: 配电网; 动态无功优化; 动作次数限制; GPRS; 控制策略

中图分类号: TM761¹.1 文献标志码:A

文章编号:1001-4551(2013)02-0228-04

GPRS-based research in control strategy for distribution network reactive power optimization

CHEN Meng-wei¹, ZHANG Jian-min^{1,2}, XU Qian³, WU Xin-miao¹, YE Yi¹

(1. School of Automation, Hangzhou Dianzi University, Hangzhou 310018, China;

2. Creaway Automation Engineering Co. Ltd., Hangzhou 310012, China;

3. Zhejiang Research Institute of Economic Technology, Hangzhou 310007, China)

Abstract: Reactive power control in distribution system is an important and effective method to make the power loss less and voltage condition better. Dynamic reactive power optimization solution generally is taken reasonable section optimization in accordance with the day short-term forecast load curve, that is the dynamic reactive power optimization is transformed into the multi-period static reactive power optimization problems. Aiming at the actual load's irregular change resulting in reactive power over compensation and owe compensation problem on the distribution network, a kind of the dynamic reactive power optimization of hybrid control strategy was proposed based on the real-time measured data and the prediction data. Secondly, in order to improve the distribution network reactive power optimization calculation speed, make optimization algorithm better applicable to the actual on-line environment, ordinal optimization theory framework was introduced, improved tabu search algorithm was taken as reactive power optimization. Through 34-node distribution system study, the results indicate that the proposed control strategy is practicable feasible and its calculation speed is fast.

Key words: distribution network; dynamic reactive-power optimization; action number constraint ; general packet radio service(GPRS); control strategy

收稿日期: 2012-09-12

作者简介: 陈蒙伟(1985-),男,浙江温州人,主要从事配电自动化与配电管理方面的研究. E-mail:chenmengwei767@126.com

通信联系人: 章坚民,男,教授,硕士生导师. E-mail:zhangjm@tom.com

0 引言

对配电网进行无功优化是改善电能质量、提高电压合格率、降低线损、减少碳排放和提高供电企业利润的重要手段之一。国内外对配电网的无功优化做了大量的研究,但以前的研究往往注重优化方法本身,对于已装有补偿电容器的配电网,尚未能提出在实际运行中灵活有效的控制策略。文献[1]利用调度自动化(SCADA)系统提供的有限线路运行参数和补偿电容器运行现场的电压和功率因数来自动控制电容器的投切,但这样实现的动态补偿无法确定电容器投切次数,也无法考虑区域范围的无功控制。文献[2]中的分时段无功研究对补偿电容器采取实时自动控制的方法,这样难以顾及负荷的全局变化,在实际运行中存在一系列问题。文献[3]将控制变量的动作次数约束通过调解代价还原为经济成本,并与当前时段下的电能损失费用共同构造目标函数,该建模方法较简单,其带来的计算快速的特性适用于在线环境,但是无功优化是按照全天计算整点24次,该方法难以顾及负荷的全局变化,存在运行的问题。

无线通信以其方便、快捷和廉价的优势,弥补了有线通信的不足,尤其是覆盖全国的通用分组无线电业务(GPRS)网络已成为一种可持续利用和开发的资源^[4]。

本研究以实测的实时数据和预测负荷数据为基础,并通过GPRS信道进行传送实时数据和命令数据,从而构建一种基于GPRS的配电网电容器投切策略。这样可以从当前的运行状态出发,实现配电网的无功功率预优化和在线实时无功优化控制,在保证运行电压合格率的同时使系统的有功损耗最小,使系统的经济效益和安全效益同时达到最佳。

1 硬件模型构成

1.1 硬件构成

近年来出现的智能电容器技术,就是集电容器组、复合开关、控制与通信于一体的无功补偿装置,开始在配网公变低压侧安装应用,专变用户采用随器补偿,变电站采用母线的集中无功补偿,因此配电网的无功补偿系统渐趋完备。基于GPRS数据通信的配电台区示意图如图1所示。

图1中,配变侧的无功补偿装置接入配变终端,通过GPRS与控制中心实现通信,使得各配变低压侧的无功补偿装置具有了通信通道,因此形成了配电线路乃至整个配网的无功优化计算和控制、调度的通信平台。

1.2 通信模块及其组网方式

本研究通过GPRS单元无线方式进行组网^[5],系统

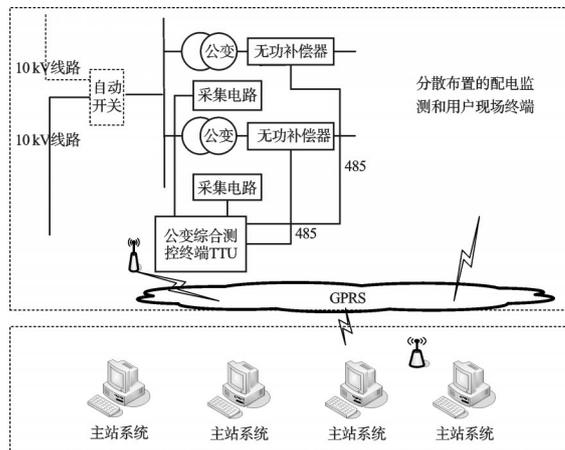


图1 基于GPRS数据通信的配电台区示意图

通过安装在低压侧的智能节点全天候实时采集各监测点的电参量和节点自身的运行状况,配电网数据终端设备(DTE)对采集数据进行必要的预处理并将数据打成IP包后,再通过GPRS空中接口传入到GPRS网,最后通过GPRS数据传输终端到达数据分析处理总站。主站对数据进行综合分析优化计算后,再以指令方式通过GPRS对必要的智能节点做电压无功调节控制,研究者可通过对配电变电站的主机数据库的查询,了解电网的历史运营状况,实现系统的高度自动化。这种方式稳定性较强,而且性价比好。

2 优化模型和算法

2.1 优化模型

本研究只考虑配电网的一条馈线,变电站馈线母线保持恒定电压,装有带通信的智能电容器作为无功补偿装置,采用一般的配电网优化模型^[6]。

2.2 禁忌搜索(TS)算法和序优化理论

TS^[7]是一种高效的启发式优化技术,其核心思想是在搜索过程中将近期历史上的搜索过程放在禁忌表中,阻止算法重复进入,这样就有效地防止了搜索过程的循环。TS算法^[8]主要包括2个重要思想:①用排序比较代替精确求值比较;②目标软化,即当精确求解问题的最优解在计算量上较大时,从工程角度出发,最终结果可以放松到足够好解即可,从而提高计算速度。

2.3 基于序优化理论构建无功优化粗糙评估模型

序优化理论的一个重要思想是目标软化,而配电网无功优化问题的目标函数是全天内的总网损,显然其值取决于潮流。若潮流计算程序运行到算法收敛为止,此时计算所得目标函数值是精确的。本研究采用配电网前推回代潮流计算,根据运行经验,当收敛精度 $\varepsilon = 0.0001$ 时,潮流计算程序需运行4~5步才能收敛。

根据这个特点,本研究按如下方式构建目标函数的粗糙评估模型:运行1步潮流计算程序计算目标

函数值,因而此时计算所得的目标函数值是不精确的,即粗糙的。通过这种粗糙的潮流计算替代原来精确的潮流计算方式,可以减少运行步骤和时间。文献[9]分析了无功优化粗糙评估模型有效性。

2.4 动态无功电压在线优化控制算法流程

考虑分段法带来的时空解耦,本研究充分研究了分段法的应用。设现时刻为 t_p ,求解步骤如下:

(1) 初始化,输入网络拓扑及数据等;

(2) 获取 t_p 时刻系统的所有状态和约束(如果有刷新),及未来 $t \in [t_p \sim T_n]$ 的负荷预测。将 t 按照预测负荷分为 S 大段,如:第一大段 $t \in [t_p \dots t_{m_1}]$;第二段 $\in [t_{m_1} \dots t_{m_2}]$;...;第 $S-1$ 段 $\in [t_{m_{s-2}} \dots t_{m_{s-1}}]$;第 S 段 $\in [t_{m_{s-1}} \dots t_n]$ 。

(3) 求得第 S 大段的平均负荷(即第 S 大段下各时段负荷加权求平均),并对其平均负荷潮流用TS算法进行优化计算,迭代至指定次数后得到一组最优解,其中潮流计算采用粗糙计算,记录下最优个体。

(4) 把该电容器投切方案代入该大段中各负荷段(第 S 大段中的各时段负荷)进行逐一地解配网潮流,进行完整的潮流计算,计算出各时段的损耗和电压。

(5) 若所有负荷段都已计算完毕,转向步骤(6),否则转向步骤(3),计算下一个($S=S+1$)负荷段。

(6) 输出各时段补偿电容的投入容量和总有功损耗。

3 策略设计

3.1 目前电压无功控制策略存在的问题

目前的控制策略主要是:根据电网的典型日负荷运行曲线,将日负荷划分为多个负荷时段,在不同时段采取不同的电压无功整定值。显然,这种策略是基于负荷的历史数据和运行经验,其优化值只能随时间按典型日负荷曲线要求发生改变。由于负荷的季节性、地区性差别以及节假日和工作日的差异,势必造成电压无功控制的滞后效应或盲目、频繁动作,甚至发生误动作,影响系统的安全与稳定。

3.2 无功控制总策略设计

本研究提出了一种基于GPRS的实时无功协调控制策略,以达到配电网无功优化控制的目的。该策略分为两个阶段:

(1) 在地区配电网无功优化系统的基础上,引入短期和超短期负荷预测,并根据系统负荷曲线变化趋势,将一个调度周期(24 h)内的负荷分成几个负荷水平时段,进行基于负荷预测的无功电压控制策略调整,得到电容器投切的基本调度时间表;

(2) 每个电容器按照调度时间表进行基本方案的投切,同时实时监测配电网负荷的情况,如果网络

负荷较预测负荷有大幅度波动或者节点电压越限,则通过采集到的负荷实时数据进行重新无功优化计算,产生电容器新的投切方案,反之按原方案执行。

无功协调控制策略流程如图2所示。

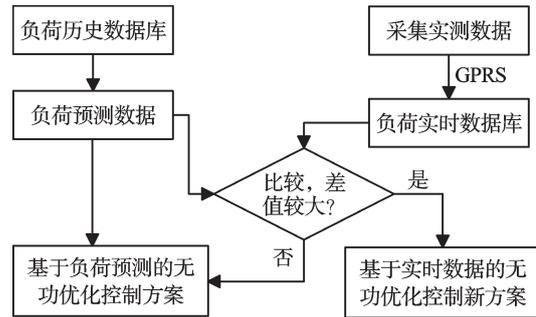


图2 基于GPRS的实时无功协调控制策略

4 算例分析

4.1 算例数据

本研究以34节点配电系统为例进行分析,网络参数、节点负荷数据见文献[10],系统网络结构如图3所示。

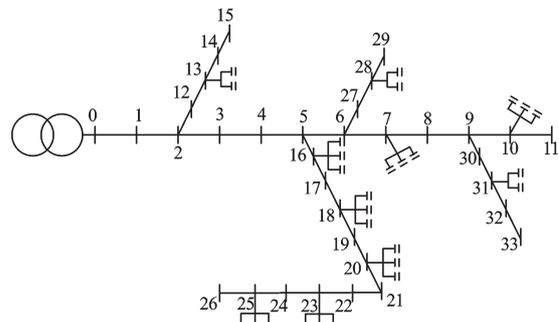


图3 配电系统网络结构图

设该系统电容器组配置位置及容量如表1所示。

表1 电容器组数据

编号	所在节点号	容量上下限 /kvar	单台容量 /kvar	最大组数
1	7 10 16 18 20 2 25	0~300	100	3
2	13 28 31	0~100	50	2

4.2 算例模拟条件

笔者运用Matlab进行仿真计算来检验本研究所提出策略的有效性。

预测负荷模式数据如图4所示。

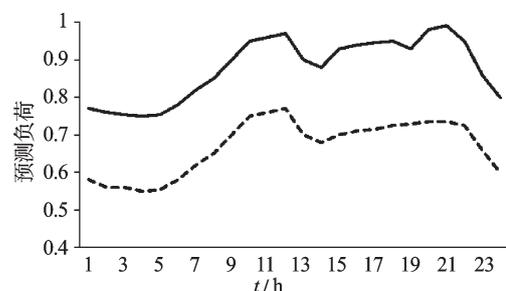


图4 预测负荷模式数据

为了模拟负荷波动,本研究假设了2个前提:①假设负荷以正态分布 $N(u_n, \sigma^2)$ 的概率发生波动,其中 u_n 为根据预测负荷数据得到的每小时负荷平均值, σ 为模拟设定的标准差;②假设负荷每 15 min 波动一次,这样相当于在一天内模拟 96 次负荷波动。

4.3 算例分析

在初始预测数据运行状态下,系统总有功网损为 4.096 MW。本研究采用预测负荷合理分段来达到对动作约束的时空解耦,8 分段无功优化动作次数比较如表 2 所示。

表 2 8 分段无功优化动作次数比较

设备	动作次数	设备	动作次数	设备	动作次数
C7-1	1	C18-1	2	C25-1	1
C7-2	2	C18-2	2	C25-2	1
C7-3	2	C18-3	1	C25-3	1
C10-1	1	C20-1	1	C13-1	1
C10-2	3	C20-2	1	C13-2	2
C10-3	2	C20-3	1	C28-1	1
C16-1	1	C23-1	1	C28-2	2
C16-2	1	C23-2	1	C31-1	3
C16-3	1	C23-3	2	C31-2	3

表 2 中,8 时段分为 [1,7][7,8][8,11][11,13][13,15][15,20][20,22][22,24]。通过本研究算法计算得到的系统网损为 2.911 MW,网损下降率为 28.73%。由表 2 可见,优化结果电容器一天内投切次数最多为 3 次,从而有效地减少个电容器的投切次数,说明了基于预测数据的动态无功优化有较好的效果(其中编号 C_n-m 代表电容器组装在的节点 n 上的第 m 个电容器)。

在 8 分段预优化基础上加入模拟实时数据的无功优化仿真结果比较如表 3、表 4 所示。

将该算法应用于该系统,计算一次静态无功优化需

要的时间是 0.35 s,满足系统在线计算的时间需求。表 3 显示了以 $N(u_n, 0.1)$ 的概率发生负荷波动对电容器设备动作次数的影响。其中比较的差值(如图 2 所示)是以升高或降低了的负荷量占原预测负荷的比值体现的。表 3 中数据显示,设定的差值越小则所带来的电容器投切次数会增加,反之亦反。表 4 中比较了该配电网按原补偿量和重新优化计算后的补偿量这两种方式补偿,所产生的不同网络节点电压和有功损耗。在升降 10%、20%、30% 负荷时,若按原来电容器方案投切,就会带来不同程度的电压和损耗问题,而在采取重新优化计算后,节点最低电压和有功损耗都有明显的改善,因此在检测出负荷波动较大时应用上述无功控制策略是有必要的。

综合表 3、表 4 可见,在负荷波动概率一定的情况下,若比较的差值设定的太小,则带来电容器动作次数大量增加;反之,显然电容器动作次数增加不会太明显,但会造成策略对电网负荷波动的协调能力降低。因此应当综合考虑电容器动作次数和负荷波动大小给电网造成影响的程度,以合理设定该策略的比较差值。

5 结束语

本研究提出了一种在预优化的基础上进行在线实时优化控制的无功电压优化策略,具有如下特点:

- (1) 预优化控制引入在线实时优化控制策略,能综合考虑负荷波动的网络运行状况,在较短时间内给出优化效果良好的无功调度方案。
- (2) GPRS 具有实时性好、可靠性高、投资小的特点,为配电网区域无功优化提供了新的平台、新的选择。
- (3) 调度员可以按照调度需要和网络运行状况的改变来调整设定比较的差值,使得整个无功优化系统更实用。

表 3 负荷波动对设备动作次数的影响

超出负荷波动范围的次数 n	设定的比较差值 l (%)	设备最少动作次数	设备最多动作次数	设备总动作次数	设备平均动作次数
$n=0$	0	1	3	38	1.41
$n=1$	30	1	3	41	1.52
$n=10$	20	2	4	69	2.56
$n=61$	10	5	9	205	7.59

表 4 两种补偿方式下的最低电压和网损的比较

负荷波动范围 l (%)	按原补偿量补偿		按重新无功计算补偿量补偿		较按原补偿量补偿的降损率 l (%)
	最低点电压/p.u.	系统网损/MW	最低点电压/p.u.	系统网损/MW	
降低 30	0.983	28.61	0.981	24.22	15.33
升高 30	0.948	165.37	0.95	158.91	3.91
降低 20	0.977	39.89	0.976	38.12	4.41
升高 20	0.954	130.62	0.956	127.39	2.47
降低 10	0.971	55.61	0.971	55.26	0.63
升高 10	0.96	100.84	0.961	99.79	1.04

要升压,则通过控制面板的操作按钮向PLC发送指令,通过PLC控制电机的转动,使电动调压器工作。不断循环这样的操作,直到被试品上的电压达到试验值。

控制示意图如图5所示。

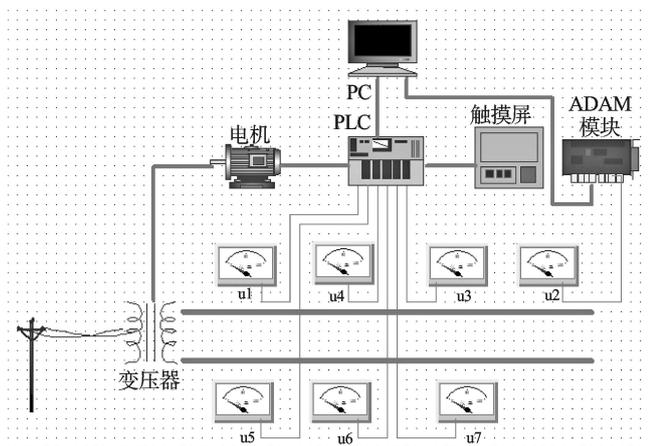


图5 控制示意图

3 结束语

各种大型电力变压器、电力电缆、汽轮及水轮发电机及其他容性设备的交流耐压试验都必须严格按照试验规程定期进行,采用本工频谐振试验装置大大减少了试验时所需电源的容量,并且具有储能的作用,当被试品击穿时,不会出现过电压,瞬时的短路电流减小为原来试验的 $1/Q$ ^[13]。由于试验电源容量小,调压器、控制台和激励变压器的容量都相应减少,使得原来很难在现场实现的大电容试品的耐压试验得以实施。

该系统采用CNX(L)软件系统,能够实时监控试

验时的各种状态和数据,并绘制相应的实时曲线,这使得操作变得更加方便。

参考文献 (References):

- [1] 孔德鹏,廖家平. S7-200 PLC在中水回用气水反冲洗DA型滤池中的应用[J]. 电气应用,2005,24(6):29-32.
- [2] 王喜明,石晓梅. PLC在机场行李系统自动控制系统中的应用[J]. 电子工程师,2001(3):14-15.
- [3] 廖常初. 可编程控制器应用技术[M]. 重庆:重庆大学出版社,1992.
- [4] 廖家平,孔德鹏. 煤矿提升绞车自控系统设计[J]. 电工技术,2005(3):27-29.
- [5] 鲁艺,苏敏,杨成德,等. 基于可编程控制器的零功率装置控制保护系统[J]. 核动力工程,2006,27(2):87-90.
- [6] 王宁. PLC程控系统的程序调试[J]. 电子与自动化,1999(6):30-31.
- [7] 王玉琦,熊葵容. 可编程序控制器在温度控制中的应用[J]. 传感器世界,1998(4):21-22.
- [8] 马丽萍. 基于PLC的干燥箱温度控制系统[J]. 轻工机械,2011,29(4):51-54.
- [9] 王文华. 基于PLC控制的液动机机械手[J]. 轻工机械,2012,30(2):46-49.
- [10] 郝俊青,张煜潇,刘宏伟. PLC在电工实习中的应用[J]. 科技情报开发与经济,2009,19(4):188-190.
- [11] 林嘉,廉迎战. 基于PLC的住宅小区停车场管理系统[C]. 第十九届电工理论学术年会论文集,2007:176-180.
- [12] 甘红胜,邓谨,裘文阳. 基于PLC控制的电动水阀安全检测系统[J]. 机电工程,2009,26(11):104-106.
- [13] 郭慧静,杨宗霄. 基于PLC的啤酒膜包机的送切膜控制系统改造[J]. 轻工机械,2008,26(6):62-64.

[编辑:李辉]

(上接第231页)

参考文献 (References):

- [1] 周云成,朴在林. 10 kV配电网无功优化自动化控制系统设计[J]. 电力系统保护与控制,2011,39(2):125-130.
- [2] 蔡昌春,丁晓群,王宽,等. 动态无功优化的简化方法及实现[J]. 电力系统自动化,2008,32(5):43-46,58.
- [3] 张勇军,俞悦,任震,等. 实时环境下动态无功优化建模研究[J]. 电网技术,2004,28(12):12-15.
- [4] 陈华凌,刘持奇. 基于GPRS的无线通信的电力负荷管理终端设计[J]. 机电工程,2010,27(4):112-114.
- [5] 林添顺. 基于GPRS的新型配电网自动化通信系统设计及实用性分析[J]. 电力系统保护与控制,2008,36(19):44-47.
- [6] 杨悦,李国庆. 配电网动态无功优化空间-时间解耦的一种新方法[J]. 电力系统保护与控制,2010,38(21):39-43.
- [7] 曾令全,罗富宝,丁金嫚,等. 禁忌搜索-粒子群算法在无功优化中的应用[J]. 电网技术,2011,31(2):130-133.
- [8] LIU Hao-ming, HOU Yun-he, CHEN Xing-ying. A Hybrid Algorithm of Ordinal Optimization and Tabu Search for Reactive Power Optimization in Distribution System[C]// Proceedings of the 3rd International Conference on DRPT, 2008, Portugal: [s.n.], 2008:1318-1324.
- [9] 余畅,林峰,刘皓明,等. 基于序优化禁忌混合算法的配电网无功优化[J]. 继电器,2008,36(6):20-25.
- [10] CHIS M, SALAMA M M A, JAYARAM S. Capacitor placement in distribution systems using heuristic search strategy[J]. IEEE Proceeding Generation Transmission and Distribution, 1997, 144(3):225-230.

[编辑:李辉]