

地区高压配电网无功规划分析和应用

王超¹, 张永东², 滕杰¹, 杨鸿斌², 李峰¹, 龚文杰¹

(1. 青岛供电公司, 山东 青岛 266002, 2. 滕州卷烟厂, 山东 滕州 277500)

摘要: 配电网无功补偿可以有效地降低网络的有功损耗, 提高系统的电压合格率, 降低网络运行费用, 提高供电质量。配电网无功规划就是在已确定网架的基础上, 合理地规划无功补偿装置的容量, 减小配电网无功功率流动, 保证配电网安全、优质、经济地向用户供电。文章介绍了一种实用的高压配电网无功规划优化方法及其具体实施步骤, 对某市高压配电网进行了实际的无功规划分析应用, 获得了显著效果, 为其他地区高压配电网的无功规划提供了实际参考。

关键词: 无功规划; 配电网; 网损

Reactive power planning in high voltage power distribution network

WANG Chao¹, ZHANG Yong-dong², TENG Jie¹, YANG Hong-bin², LI Feng¹, GONG Wen-jie¹

(1. Qingdao Power Supply Company, Qingdao 266002, China; 2. Tengzhou Cigarettes Factory, Tengzhou 277500, China)

Abstract: The reactive power compensation of distribution system can efficiently minimize the real power losses and improve voltage level of systems so that the yearly running charge will be reduced and the quality of power energy can be increased. The purpose of reactive power planning in distribution network lies in reasonably determining capacity of the reactive power compensation equipment, decreasing the reactive power flow in distribution network, and ensuring the distribution network provide high quality electricity to users safely and economically. Combining with power grid planning scheme of the high voltage power distribution network, a practical method and its implementation steps are presented, and a practical reference is offered to the reactive power planning of high voltage power distribution network in the other areas.

Key words: reactive power planning; power distribution network; network loss

中图分类号: TM715 文献标识码: A 文章编号: 1674-3415(2009)22-0068-03

0 引言

无功规划是在电源规划和电网规划的基础上, 确定无功补偿设备的安装位置和容量大小, 实现系统的安全经济运行^[1]。无功规划是含有众多离散变量的多约束复杂优化问题, 目前国内对于高压配电网的实际研究应用针对性还不强, 使用的方法多为遗传算法^[2,3]等。遗传算法是一种搜索方法, 存在早熟和时间过长等问题, 对于大型配电网, 这一矛盾更加突出, 其实用性有待提高。选取典型区域推广的方法^[4]在很多供电公司中应用, 实用性较强, 但准确度较弱。

本文以全网电能损耗最小为目标函数, 约束条件选取实际变量约束, 重点考虑实际无功补偿方法, 根据规划年负荷和变电站的潮流结果, 结合规划年运行方式, 对各相关变电站进行实际的无功规划,

并在某市配电网取得了应用。

1 高压配电网无功规划算法

1.1 优化规划算法

目标函数为全网电能损耗最小:

$$\Delta P = \min \sum_{i=1}^n f_1(U_i, K_i, Q_i, S_{ref}) \quad (1)$$

约束条件:

$$P_{Gi}^k - P_{Di}^k - V_i^k \sum_{j=1}^N V_j^k (G_{ij} \cos \theta_{ij}^k + B_{ij} \sin \theta_{ij}^k) = 0 \quad (2)$$

$$Q_{Gi}^k - Q_{Di}^k + Q_{Ci}^k - V_i^k \sum_{j=1}^N V_j^k (G_{ij} \sin \theta_{ij}^k - B_{ij} \cos \theta_{ij}^k) = 0 \quad (3)$$

$$V_{i \min}^k \leq V_i^k \leq V_{i \max}^k \quad (4)$$

$$T_{i \min}^k \leq T_i^k \leq T_{i \max}^k \quad (5)$$

$$Q_{Ci \min}^k \leq Q_{Ci}^k \leq Q_{Ci \max}^k \quad (6)$$

$$S_i^k \leq S_{i \max} \quad (7)$$

基金项目: 山东电力集团公司科学技术项目资助(2007A-2)

其中: P_{Gi} 和 Q_{Gi} 分别为节点 i 注入的有功和无功功率, P_{Di} 和 Q_{Di} 分别为节点 i 的负荷有功和无功功率, n 为节点总数, Q_{Ci} 为电容器无功补偿容量, k 为系统不同的负荷水平参数, T_i^k 和 Q_{Ci}^k 为控制变量, 分别为有载变压器变比和 i 节点的补偿容量, V_i 和 S_{ref} 是状态变量, 分别是负荷点电压和平衡节点的出力, S_i^k 是支路通过的功率。

1.2 求解过程

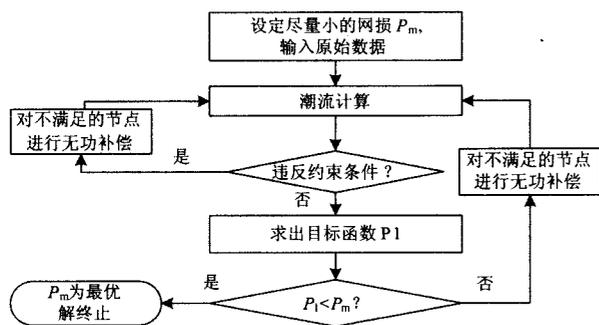


图 1 算法流程

Fig.1 Flowchart of algorithm

P_m 为假定的最小网损值, 通过优化潮流算法, 得到网络各节点和支路等的实际运行状态。然后通过无功优化配置计算, 对不满足网络约束的节点或支路进行无功的自动补偿。算法流程如图1所示。注意: 1) 在轻负荷时不允许过补偿, 否则由于无功补偿容量过大, 会使功率因数超前, 向电网倒送无功, 是不经济的; 2) 在不同功率因数的条件下, 每千乏补偿容量取得的补偿效益是不相同的。

1.3 无功补偿方法

当节点不满足电压约束水平时, 加装补偿电容所需无功补偿容量为

$$Q_C = \frac{U_{2L}' \Delta U_L}{x} \quad (8)$$

其中: 该条线路电抗为 jx ; 投入电容后变电站母线电压值为 U_{2L}' , 电压增量为 ΔU_L 。

当节点不满足功率因数约束时, 通过提高功率因数需要确定补偿容量。具体方法如下:

如果该节点的有功功率为 P , 补偿前的功率因数为 $\cos \varphi_1$, 补偿后的功率因数为 $\cos \varphi_2$, 则所需补偿容量 Q_C 可用下式计算:

$$Q_C = P(\tan \varphi_1 - \tan \varphi_2) = P\left(\sqrt{\frac{1}{\cos^2 \varphi_1} - 1} - \sqrt{\frac{1}{\cos^2 \varphi_2} - 1}\right) \quad (9)$$

有时需要将 $\cos \varphi_1$ 提高到大于 $\cos \varphi_2$, 小于 $\cos \varphi_3$, 则补偿容量 Q_C 应满足下式:

$$P_{av}\left(\sqrt{\frac{1}{\cos^2 \varphi_1} - 1} - \sqrt{\frac{1}{\cos^2 \varphi_2} - 1}\right) \leq Q_C \leq P_{av}\left(\sqrt{\frac{1}{\cos^2 \varphi_1} - 1} - \sqrt{\frac{1}{\cos^2 \varphi_3} - 1}\right) \quad (10)$$

当节点不满足网损约束时, 则需要根据目前网损和目标网损之间值的比较来确定补偿容量, 则补偿容量 Q_C 可用下式计算:

$$Q_C = \sqrt{3}U\Delta I_x = P(\tan \varphi_1 - \tan \varphi_2) \quad (11)$$

其中: ΔI_x 为补偿前后容性电流差值, U 为该节点的电压, P 为该线路的有功功率。

2 配电网无功优化计算分析

预计2010年城区网供负荷将达到3900 MW左右, 110(35) kV上网电厂估计为550 MW, 为了满足网络不同运行方式下的无功优化, 通过对正常方式(包括年最大方式, 年最小方式)和“N-1”方式下的各个节点进行无功配置计算, 通过最佳动态无功补偿容量的计算方法确定出总无功补偿容量以及固定无功补偿容量, 从而确定出所需补偿电容器的组数。考虑 1) 年最大运行方式; 2) 年最小运行方式; 3) “N-1”方式: 整个电网中任一元件故障或检修情况下, 各变电站所带负荷情况; 4) 最大负荷方式: 两台主变负载率在65%, 三台主变负载率87%的负荷情况。

2.1 大方式

表 1 规划年某市高压配网大方式下无功配置统计结果
Tab.1 Results of the reactive power compensation

分类	全市合计			
	110 kV		35 kV	
电压等级				
分类	无功补偿分组	变电站/座	无功补偿分组	变电站/座
无功配置	2.4×2	18	0.72×2	36
	3.6×2	42	1.2×2	53
	4.8×2	23	1.5×2	22
	7.2×2	21	1.8×2	4
	12×2	4	2.4×2	42
	15×2	1	4.8×2	26
变电站合计	109 座		219 座	
无功补偿总量	1038 MVar		849 MVar	

在2010年某市高压配网大方式下网架结构、运行方式、各变电站负荷和各变电站无功配置确定后进行全网的潮流计算, 进行潮流计算结果如表1所示, 共有328座110(35) kV变电站进行无功补偿配置, 其中110 kV变电站109座, 配置无功补偿装置总

台数218组,无功补偿总量1038 Mvar; 35 kV变电站219座,配置无功补偿装置438组,无功补偿总量849.24 Mvar。

2.2 小方式

同大方式下计算过程,小方式下进行潮流计算结果如表2所示,共有328座110(35)kV变电站进行无功补偿配置,其中110kV变电站109座,配置无功补偿装置总台数218组,无功补偿总量878.4 Mvar; 35kV变电站219座,配置无功补偿装置438组,无功补偿总量690.12 Mvar。

表2 规划年某市高压配网小方式下无功配置统计结果
Tab.2 Results of the reactive power compensation

分类	全市合计			
	110 kV		35 kV	
电压等级				
分类	无功补偿分组	变电站(座)	无功补偿分组	变电站(座)
无功配置	2.4×2	36	0.72×2	53
	3.6×2	44	1.2×2	63
	4.8×2	12	1.5×2	25
	7.2×2	14	1.8×2	41
	12×2	3	2.4×2	24
	15×2	0	4.8×2	13
变电站合计	109 座		219 座	
无功补偿总量	878 Mvar		690 Mvar	

2.3 最大负荷、主变“N-1”校验

表3 规划年某市高压配电网无功配置统计结果
Tab.3 Results of the reactive power compensation

分类	全市合计			
	110 kV		35 kV	
电压等级				
分类	无功补偿分组	变电站/座	无功补偿分组	变电站/座
无功配置	2.4×2	13	0.72×2	19
	3.6×2	24	1.2×2	24
	4.8×2	22	1.5×2	21
	7.2×2	36	1.8×2	30
	12×2	11	2.4×2	59
	15×2	3	4.8×2	66
变电站合计	109 座		219 座	
无功补偿总量	1 340 Mvar		1 145 Mvar	

2010年某市电网在校验方式下进行计算,结果共有328座110(35)kV变电站进行无功补偿配置,其中110kV变电站109座,配置无功补偿装置总台数218组,无功补偿总量1340.09 Mvar; 35kV变电站219座,配置无功补偿装置438组,无功补偿总量1145.38 Mvar。

2.4 无功配置方案

经过大方式、小方式和“N-1”以及变电站最大负荷情况下电气计算,对各推荐配置方案进行汇总,结果见表4。

表4 规划年某市高压配电网无功配置总体情况表
Tab.4 Results of the reactive power compensation

分区	全市合计	
	110 kV	35 kV
原有变电容量/MVA	3 002	4 311
新增变电容量/MVA	6 853	2 768
原有补偿设备容量/MVA	356	790
新增补偿设备容量/MVA	983	355
无功总量与变电容量之比/(%)	13.60	16.20

由表4可知,全网110kV变电站共需配置无功装置1340.09 Mvar(新增983.49 Mvar),占总变电容量的13.60%,35kV变电站共需配置无功装置1145.38 Mvar(新增355.3 Mvar),占总变电容量的16.20%。

3 结束语

本文在对城市高压配电网无功规划分析的基础上,基于实际变量约束条件和实用的无功补偿方法,根据规划年运行方式,对某市地区各相关变电站进行实际计算,得到实用的无功规划结果并在某市配电网无功规划中取得了应用,可为其他城市地区高压配电网的无功规划提供实际的范例。

参考文献

- [1] 王锡凡. 电力系统优化规划[M]. 北京: 水利电力出版社,1990.
- [2] 刘玉田,马莉. 基于 Tabu 搜索方法的电力系统无功优化[J]. 电力系统自动化, 2000, 24(2):61-64. LIU Yu-tian, MA Li. Tabu Search Based Power System Reactive Power Optimization[J]. Automation of Electric Power Systems, 2000,24(2):61-64.
- [3] 周双喜,郑智,鲁宗相等. 基于多种群遗传算法的无功规划[J]. 电力系统及其自动化学报, 2007,19(6):66-71. ZHOU Shuang-xi, ZHENG Zhi, LU Zong-xiang, et al. New Reactive Power Planning Based on the Multiple Population Genetic Algorithm[J]. Proceedings of the CSU-EPSA,2007,19(6):66-71.

(下转第76页 continued on page 76)

术的发展与展望[J]. 电力系统自动化, 2003, 27(4): 77-80.

LI Geng-yin, Lü Peng-fei, LI Guang-kai, et al. Development and Prospects for HVDC Light[J]. Automation of Electric Power Systems, 2003, 27(4): 77-80.

[2] 张桂斌, 徐政. 直流输电技术的新发展[J]. 中国电力, 2000, 33(3): 32-35.

ZHANG Gui-bin, XU Zheng. The New Development of HVDC Technology[J]. Electric Power, 2000, 33(3): 32-35.

[3] 胡兆庆, 毛承雄, 陆继明, 等. 一种新型的直流输电技术-HVDC Light[J]. 电工技术学报, 2005, 20(7): 12-16.

HU Zhao-qing, MAO Cheng-xiong, LU Ji-ming, et al. New High Voltage Direct Current Transmission Technology HVDC Light[J]. Transactions of China Electrotechnical Society, 2005, 20(7): 12-16.

[4] Agelidis V G, Demetriades G D, Flourentzou N. Recent Advances in High-Voltage Direct-Current Power Transmission Systems[A].in:IEEE International Conference on Industrial Technology[C]. 2006. 206-213.

[5] Adel Farag, Martyn Durrant, Herbert Werner, et al. Robust Control of a VSC HVDC Terminal Attached to a Weak AC System[A]. in:Proceedings of 2003 IEEE Conference on Control Applications[C].2003.173-177.

[6] YIN Ming, LI Geng-yin, LI Guang-kai, et al. Modeling of VSC-HVDC and its Active Power Control Scheme[A]. in: 2004 International Conference on Power System Technology[C]. 2004.1351-1355.

[7] Padiyar K R, Prabhu N. Modelling, Control Design and Analysis of VSC based HVDC Transmission Systems[A]. in: 2004 International Conference on Power System Technology[C].2004. 774-779.

[8] Singh B, Panigrahi B K, Mohan D M. Voltage Regulation and Power Flow Control of VSC based HVDC System[A].in:International Conference on Power Electronics, Drives and Energy Systems[C].2006. 1-6.

[9] Jovicic D, Lamont L A, Xu L. VSC Transmission Model for Analytical Studies[A].in: Power Engineering Society General Meeting,IEEE[C].2003.1737-1742.

[10] 郑超, 盛灿辉, 魏强, 等. VSC-HVDC 输电系统的电磁暂态建模与仿真[J]. 高电压技术. 2003,33(11): 94-99.

ZHENG Chao, SHENG Can-hui, WEI Qiang, et al. Electromagnetic Transient Modeling and Simulation for VSC-HVDC[J]. High Voltage Engineering, 2003,33(11): 94-99.

[11] CHEN Hai-rong, XU Zheng, ZHANG Fan. Nonlinear Control for VSC based HVDC System[A]. in: Power Engineering Society General Meeting,IEEE[C].2006.1-5.

[12] 张桂斌, 徐政, 王广柱. 基于 VSC 的直流输电系统的稳态建模及其非线性控制[J]. 中国电机工程学报, 2002, 22(1): 17-22.

ZHANG Gui-bin, XU Zheng, WANG Guang-zhu. Steady-state Model and its Nonlinear Control of VSC-HVDC System[J]. Proceedings of the CSEE, 22(1): 17-22.

[13] ZHANG Gui-bin, XU Zheng, CAI Ye. An Equivalent Model for Simulating VSC based HVDC[A].in: Transmission and Distribution Conference and Exposition IEEE/PES[C].2001.20-24.

[14] 张崇巍, 张兴. PWM 整流器及其控制[M]. 北京: 机械工业出版社, 2002.

[15] Qahraman Behzad, Rahimi Ebrahim, Gole A M. An Electromagnetic Transient Simulation Model for Voltage Sourced Converter based HVDC transmission[A].in: Canadian Conference on Electrical and Computer Engineering[C].2004.1063-1066.

[16] 薛定宇, 陈阳泉. 基于 MATLAB/Simulink 的系统仿真技术及应用[M]. 北京: 清华大学出版社, 2002.

收稿日期: 2008-12-23; 修回日期: 2009-01-07

作者简介:

姚为正 (1967-), 男, 副教授, 主要研究方向为电力电子技术;

邓祥纯 (1981-), 男, 研究生, 主要研究方向为电力电子技术;

易映萍 (1967-), 女, 硕士, 副教授, 主要研究方向为电力电子技术. E-mail: yyp@usst.edu.cn

(上接第 70 页 continued from page 70)

[4] 张艳丽, 王新, 刘梁亮, 等. 基于区域分布的中压配电网无功规划[J]. 陕西电力, 2007, 35(8): 35-37.

ZHANG Yan-li, WANG Xin, LIU Liang-liang, et al. Planning of Reactive Power in Medium-voltage Distribution Network Based on Local Distribution[J]. Shanxi Electric Power, 2007, 35(8): 35-37.

收稿日期: 2008-11-26; 修回日期: 2009-02-09

作者简介:

王超 (1981-), 男, 工程师, 硕士, 现从事地区电网调度运行工作; E-mail: zjueewc@163.com

张永东 (1964-), 男, 专科, 现从事调度管理工作;
滕杰 (1980-), 男, 高工, 现从事地区电网生产和技术管理工作。