

节能调度环境下电网分层、分区潮流自动控制策略的设计与实现

李佳宇¹, 李大鹏¹, 孙素琴¹, 李岩¹, 孙建华¹, 付涵²

(1. 河南电力调度通信中心, 河南 郑州 450052; 2. 郑州供电公司, 河南 郑州 450006)

摘要: 提出了节能调度环境下基于潮流控制灵敏度的电力系统分层、分区控制策略及算法。在电磁环网方式下, 将机组煤耗率和联变潮流控制灵敏度相结合, 求解在保证系统各联变下送断面不超稳定极限的条件下, 各类机组的最优调用顺序。在豫北电网的实际工程应用表明, 该方法和策略可以在保障电网安全的前提下, 充分利用电网的能源、资源优化配置功能, 以达到电网安全性与经济性的协调统一。

关键词: 节能调度; 电磁环网; 分层、分区; 灵敏度分析

Design and implementation of automatic power flow control for voltage-grading and district-dividing under the condition of energy-conservation power generation dispatch

LI Jia-yu¹, LI Da-peng¹, SUN Su-qin¹, LI Yan¹, SUN Jian-hua¹, FU Han²

(1. Henan Electric Power Dispatching Centre, Zhengzhou 450052, China;

2. Zhengzhou Power Supply Company, Zhengzhou 450006, China)

Abstract: A new algorithm and strategy for power flow control based on the sensitivity analysis for voltage-grading and district-dividing power system under the condition of energy-conservation power generation dispatch is proposed. It is analyzed that how to coordinate the coal consumption rate and sensitivity analysis of power flow control to calculate the optimal dispatch sequence of coal-fired units when near the transfer limit of 500kV transformer interface in the electromagnetic loop network. The algorithm and strategy has been implemented in the north Henan power system. The results show that the algorithm and strategy can optimize the energy sources and resource allocation function of power system under the premise of the power system security, and thus achieve the harmonization and unification between security and economy.

Key words: energy-conservation power generation dispatch; electromagnetic loop network; voltage-grading and district-dividing; sensitivity analysis

中图分类号: TM761 文献标识码: A 文章编号: 1674-3415(2009)21-0054-005

0 引言

我国在“十一五”规划纲要中明确提出了在此期间单位GDP能耗降低20%左右, 主要污染物排放总量减少10%的两个约束性指标。作为节能减排政策的重要措施, 节能发电调度作为一种新的调度模式逐步走向前台。

节能发电调度是指在保障电力可靠供应的前提下, 按照节能、经济的原则, 优先调度可再生发电资源, 按机组能耗和污染物排放水平由低到高排序, 依次调用化石类发电资源, 最大限度地减少能源、资源消耗和污染物排放^[1-3]。河南作为节能调度工

作开展的试点省份之一, 燃煤机组的装机容量占总装机的91.3%, 节能调度开展初期的关键在于如何在现有网络条件下保证燃煤机组按其煤耗率大小进行发电(污染物排放水平暂不考虑), 由于大容量火电机组多并网于500kV网络, 为满足节能发电调度的要求, 最大限度吸纳500kV层面机组出力, 电网的潮流分布必将由自然潮流变为强制潮流, 各主变下送断面将长期接近满载运行。而同一电压等级层面的机组由于机组大小及煤耗率的不同, 其调用顺序也应有所不同。

虽然河南电网已初步形成以豫中东电网为核心, 豫北、豫西、豫南电网与豫中东电网均为三回

500 kV 联络线的梯形网架结构, 220 kV 电网分四片运行。但随着各区域内 500 kV 主变的相继投运, 新的电磁环网不断出现, 联变下送断面潮流控制问题更加突出, 而传统的自动发电控制 (AGC) 由于在控制机组出力时只考虑省际间联络线的输送功率及系统频率, 未考虑整个系统的安全约束, 无法满足节能发电调度和电网正常调频的要求, 适应电网分层、分区, 多目标、多约束潮流控制的需要, 容易引起各稳定断面的越限^[4-6]。

在这样的背景下, 本文提出了一种将潮流控制灵敏度与机组煤耗率相结合的电力系统分层、分区控制策略及算法, 最大限度地挖掘主变的下送能力, 在保证电网各主要断面不超稳定极限的前提下, 使全网的综合煤耗最低, 试验表明了该策略及算法的实用性和可行性。

1 电网分层、分区协调控制目标

节能发电调度要求以全网煤耗率最小为目标, 这在电网结构尚不坚强, 网络约束较多的电网中是难以准确实现的。换句话说, 在实际调度运行中很难找到真正意义上全网煤耗率最小的解, 但通过采取各类管理和技术手段, 对电网潮流进行分层、分区控制, 可以找到存在电网约束条件下的最优解。与常规的 AGC 控制策略不同, 节能调度环境下电网分层、分区协调控制策略必须考虑以下几点:

1) 电网中所有的机组均需参与电网调频, 即使是并网于 500 kV 层面的大型火电机组, 也要留出一一定的调频容量。

2) 并网于不同电压等级的机组其控制目标应有所不同, 220 kV 层面机组应以联变下送潮流为控制目标, 不受网络约束的 500 kV 层面机组应以省际联络线潮流为控制目标, 受网络约束的 500 kV 层面机组应以受约束断面的潮流为控制目标, 最大限度挖掘电网的输送能力。

3) 对于 220 kV 层面同一区域内的机组, 应根据机组出力对联变下送潮流灵敏度的大小, 将机组进行分组, 对各联变下送潮流进行控制, 使联变实际交换功率与设定目标值之间的偏差尽可能小。

4) 对于跟踪同一联变潮流的机组, 应综合考虑机组出力对联变潮流控制的灵敏度和机组出力调整速率及调节容量的大小, 确定其调用顺序, 确保有较高的联变潮流调节精度和联变下送断面利用率。

采取以上控制策略后, 将形成由 500 kV 层面机组调整省际联络线和主要断面潮流, 由 220 kV 层面机组出力平衡该区域负荷变化, 对各联变下送潮流进行准确控制的分层、分区潮流控制模式。

2 基于灵敏度的机组分组策略

灵敏度分析方法是电力系统规划决策及运行控制中常用的方法。它通过分析某项运行指标与控制变量的关系来确定该变量对系统的影响, 从而进一步提出改善该运行指标的措施。电磁环网方式下, 由于系统联络阻抗和各区域内发电装机的不均衡, 造成各联变下送断面潮流分布不均匀, 无法充分利用联变下送能力。因此, 我们提出一种基于联变下送潮流灵敏度的发电机组分组策略, 将 220 kV 层面机组按灵敏度大小进行分组, 对同一电磁环网内的不同联变潮流进行准确的控制。

2.1 灵敏度的计算方法^[7-9]

根据网络的直流方程和支路潮流方程, 易得节点功率注入量与支路潮流间的灵敏度关系如下 (设系统支路数为 b , 节点数为 n):

$$\Delta L_k = SAP \quad (1)$$

$$S' = B_1 AB^{-1} \quad (2)$$

式中: ΔL_k 是支路有功潮流变化量构成的向量 $b \times 1$; AP 是节点注入有功变化量构成的向量 $n \times 1$ (包括了平衡节点的有功变化量); B_1 是由支路导纳组成的对角矩阵 $b \times b$; B 是由节点导纳矩阵的虚部构成的方阵 $(n-1) \times (n-1)$; A 是网络的支路一节点关联矩阵。

矩阵 S' 是 $b \times (n-1)$ 阶矩阵, 称为灵敏度矩阵, 它描述了线路有功潮流与节点 (不包括平衡节点) 注入功率之间的关系; 其元素 S'_{ki} 称为线路 k 对节点 i 的灵敏度系数, 表示节点 i 上有功注入改变单位值时, 支路 k 的有功潮流变化量为 S'_{ki} 。

由于矩阵 S' 是以平衡节点为参考点计算的, 因此, 我们将矩阵 S' 扩展为 $b \times n$ 阶的矩阵 S , 其中与平衡节点对应的那列元素均为 0。 S 中的每个元素 S_{ki} 的含义与 S'_{ki} 相同。

2.2 灵敏度分组原则

电磁环网方式下, 低电压等级中任一节点有功注入量的变化对电磁环网内不同联变交换功率影响的趋势是相同的, 但因灵敏度大小的不同, 各联变潮流变化的大小并不相同。为对联变交换功率进行准确控制, 我们采取以灵敏度大小进行的分组原则。如式 (2) 所示, 潮流控制灵敏度的大小仅和网络结构有关, 灵敏度较大的机组与相应联变的电气距离也较小, 所以按照灵敏度进行分组的原则符合调度运行中就近控制的原则, 其控制效果也较为明显。

需对联变交换功率进行单独控制的, 应首先计算某机组 i 有功功率变化对各联变潮流变化的灵敏

度 S'_{1i} 、 S'_{2i} 、 \dots 、 S'_{ni} ，不考虑网损及负荷变化，有：

$$S'_{1i} + S'_{2i} + \dots + S'_{ni} = 1 \quad (3)$$

式中： n 为同一电磁环网区域内的联变数目，若 $S'_{1i} > S'_{2i} > S'_{3i} > \dots$ ，说明机组 i 出力的变化对联变1潮流变化的影响较明显，即将机组 i 分至第1组，即机组出力变化对哪台联变潮流变化灵敏度最大，则将其分至那一组，据此可将同一电磁环网区域内220 kV层面机组分为 n 组。

需控制某几台联变潮流之和不超过某一数值时，有：

$$S'_{1i} + S'_{2i} + \sum_{j=3}^p S'_{ji} + S'_{(p+1)i} + \dots + S'_{mi} = 1 \quad (4)$$

式中： $p-2$ 为需联合控制潮流的联变数量。

由于电磁环网的结构限制，以及220 kV层面机组开机方式和负荷分布的不均衡，很难精确将每一台联变的潮流控制到极限附近，实际运行中也经常出现某台联变潮流已接近稳定极限，而其他联变潮流尚未达到限值的情况，所以，联变交换功率目标值应根据电网开机方式及负荷分布情况进行设定，确保最大限度利用联变下送断面的同时，任一联变交换功率不超稳定极限运行。

由于同一电磁环网区域内负荷变化的趋势大致相同，且在出现区域内机组跳闸或较大冲击负荷时，反应到各联变的潮流变化方向是一致的。所以，虽然各机组的跟踪目标不同，但出力变化的趋势是一致的，不会出现反向调节的情况。

3 机组调用顺序的确定方法

对于跟踪同一联变潮流的机组，其调用顺序的确定应综合考虑联变潮流变化对机组出力灵敏度的大小、综合煤耗、调节容量、调节速率等因素的影响。

首先将同一组中机组的灵敏度 S_i 、调节容量 P_i 、调节速率 V_i 、综合煤耗 b_i 按从大到小进行排序。分别排在第一位的机组排序指标分别用 S_1 、 P_1 、 V_1 、 b_1 表示，并标么化为1，其他机组各项指标的标么值为：

$$S'_i = \frac{S_i}{S_1} \quad (5)$$

$$P'_i = \frac{P_i}{P_1} \quad (6)$$

$$V'_i = \frac{V_i}{V_1} \quad (7)$$

$$b'_i = 1 - \frac{b_i}{b_1} \quad (8)$$

最后可得机组的综合调用顺序指标 k 如下：

$$k = \frac{k_1 S'_i + k_2 P'_i + k_3 V'_i + k_4 b'_i}{\sum_{j=1}^4 k_j} \quad (9)$$

$$\text{即：} k = \frac{k_1 S'_i + k_4 b'_i \left(\frac{k_2 P'_i + k_3 V'_i}{k_4 b'_i} + 1 \right)}{\sum_{j=1}^4 k_j} \quad (10)$$

式中： k_1 、 k_2 、 k_3 、 k_4 分别为给定的灵敏度、调节容量、调节速率、综合煤耗的权系数。由于煤耗较低的机组一般为大容量的高效机组，其调节速率和出力调节范围也较大，故有 $P'_i \approx V'_i \approx b'_i$ ，故式(10)可简化为：

$$k = \frac{k_1 S'_i + b'_i (k_2 + k_3 + k_4)}{\sum_{j=1}^4 k_j} = \frac{k_1 S'_i + b'_i k'_4}{k_1 + k'_4} \quad (11)$$

式中： $k'_4 = k_2 + k_3 + k_4$ ，式(11)在调度运行中具有实际的意义， k_1 、 k'_4 不同的取值决定了在调度运行中是以联变潮流的控制精度为主要排序标准，还是以煤耗率最低为主要排序标准。

一般说来，同一组内机组较多时，可取 $k_1 < k'_4$ ，即通过较多大容量机组出力的调整来解决负荷波动时由于灵敏度较低带来的断面潮流波动幅度较大的问题。

同一组内机组较少时，可取 $k_1 > k'_4$ ，以负荷波动时联变潮流的控制精度作为排序标准，以提高断面利用率。电网实际运行中，可以通过试验对权系数进行调整，达到既定的控制目标。

实际运行过程中，调用顺序靠前的机组先加后减，调用顺序靠后的机组先减后加，来完成对各联变潮流的准确控制。

4 试验结果及分析

以豫北电网实时系统进行试验，豫北电网从电气结构上分为焦新电网和安濮鹤电网，通过两条500 kV线路和三条220 kV线路电磁环网运行，通过500 kV获嘉#1变、洹安#1变和仓颉#1变与主网相联，正常运行时要求控制获嘉联变下送潮流不超过60万千瓦，洹安仓颉联变下送潮流不超过80万千瓦。试验前豫北各联变下送断面的利用率均不超过90%，试

验中豫北电网共22台机组投入AGC运行,其出力变化对各联变下送潮流的灵敏度如表1所示。

表1 灵敏度分析结果

Tab.1 Results of sensitivity analysis

电 厂	序 号	机组名称	单机容量/MW	获嘉下送灵敏度	洹仓下送灵敏度
同力	1	#1	300	0.235	0.765
	2	#2	300	0.235	0.765
	3	#1	220	0.851	0.149
	4	#2	220	0.851	0.149
焦厂	5	#3	220	0.851	0.149
	6	#4	220	0.851	0.149
	7	#5	220	0.845	0.155
	8	#6	220	0.845	0.155
豫新	9	#6	300	0.768	0.232
鹤壁	10	#7	300	0.768	0.232
	11	#1	220	0.257	0.743
	12	#2	220	0.257	0.743
北厂	13	#4	200	0.557	0.443
	14	#5	200	0.557	0.443
盘石	15	#1	135	0.442	0.558
	16	#2	135	0.442	0.558
安阳	17	#9	300	0.223	0.777
	18	#10	300	0.223	0.777
庞王	19	#1	210	0.176	0.824
	20	#2	210	0.176	0.824
阳润	21	#1	135	0.856	0.144
	22	#2	135	0.856	0.144

按其出力变化对各联变潮流变化的灵敏度,将豫北220 kV层面机组分为两组,如表2所示。

表2 火电AGC机组分组情况

Tab.2 Grouping of AGC units

获嘉下送		洹仓下送	
机组名称	灵敏度	机组名称	灵敏度
阳润1#	0.856	庞王1#	0.824
阳润2#	0.856	庞王2#	0.824
焦电1#	0.851	安阳#9	0.777
焦电2#	0.851	安阳#10	0.777
焦电3#	0.851	同力1#	0.765
焦电4#	0.851	同力2#	0.765
焦电5#	0.845	鹤壁1#	0.743
焦电6#	0.845	鹤壁2#	0.743
豫新#6	0.768	盘石1#	0.558
豫新#7	0.768	盘石2#	0.558
北厂4#	0.557		
北厂5#	0.557		

试验1: 按照机组灵敏度大小确定机组的调用顺序 ($k_1=1$ 、 $k_4=0$)

获嘉联变下送潮流曲线如图1所示,获嘉联变潮流控制目标为57万千瓦,预留3万千瓦的波动范围,因排名靠前的机组调节容量及调节速率均较小,故在负荷大幅波动时控制能力较差,最大控制偏差值为10万千瓦;负荷平稳变化时有较高的控制精度,断面利用率97.3% (注:断面利用率为断面潮流全天平均值与极限制值的比值)。

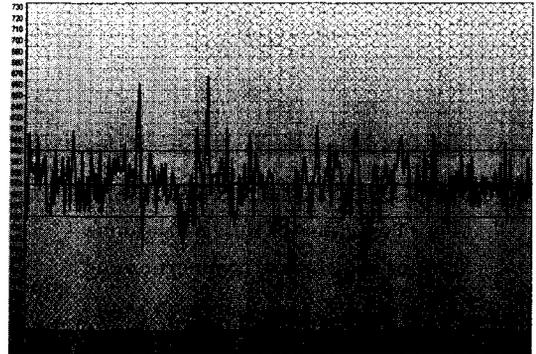


图1 获嘉联变下送潮流 (按灵敏度排序)

Fig.1 Power flow of HuoJia transformer (ranking with sensitivity)

洹安、仓颉联变下送潮流曲线如图2所示,洹仓联变潮流控制目标为77万千瓦,预留3万千瓦的波动范围,最大控制偏差值6万千瓦,断面利用率97.6%。

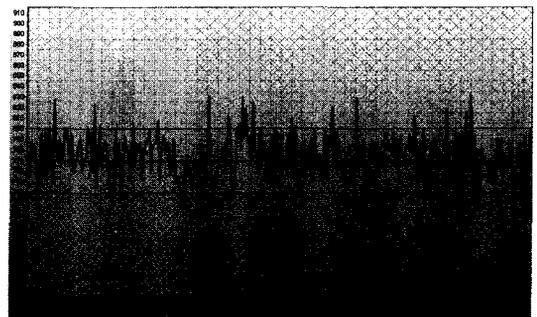


图2 洹仓联变下送潮流 (按灵敏度排序)

Fig.2 Power flow of HuoJia and CangJie transformer (ranking with sensitivity)

试验2: 按机组煤耗确定机组的调用顺序 ($k_1=0$ 、 $k_4=1$)

以获嘉下送为例,重新分组后获嘉联变下送潮流曲线如图3所示,获嘉联变潮流控制目标为57万千瓦,预留3万千瓦的波动范围,其最大控制偏差值为7万千瓦,断面利用率96.7%。和试验1相比,以机

组煤耗进行排序, 虽然排名靠前的机组调节容量和调节速率较大, 对联变潮流的控制能力也较强, 最大控制偏差值减小3万千瓦, 但因灵敏度较低, 与按灵敏度进行排序相比, 联变潮流波动明显增大, 断面利用率降低1.6%。

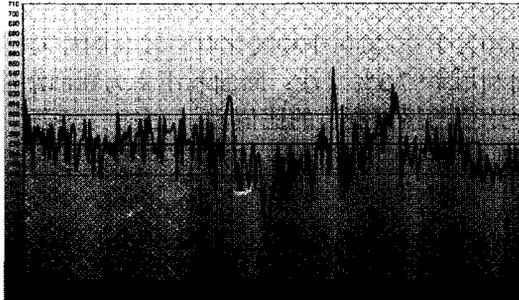


图3 获嘉联变下送潮流 (按机组煤耗排序)

Fig.3 Power flow of HuoJia transformer (ranking with the coal consumption rate)

试验3: 机组出力灵敏度与煤耗相结合 ($k_1 = 1$ 、 $k_4 = 2$)

以获嘉下送为例, 重新分组后获嘉联变下送潮流曲线如图4所示, 获嘉联变潮流控制目标为57万千瓦, 预留3万千瓦的波动范围, 其最大控制偏差值为6万千瓦, 断面利用率98.4%。同试验1和试验2相比, 断面潮流的波动幅度均有所减小, 断面利用率分别提高了1.1%和1.7%。断面的调节精度和调节能力均有所提高, 而且由于大机组排名靠前, 总的煤耗率也有所降低。

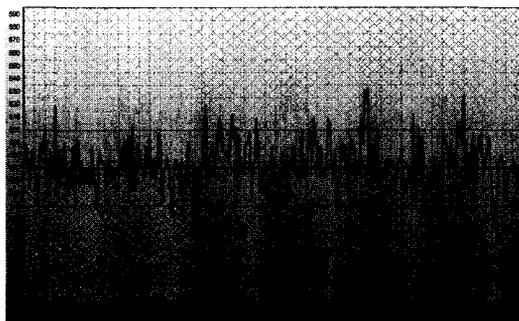


图4 获嘉联变下送潮流 (机组煤耗与灵敏度相结合)

Fig.4 Power flow of HuoJia transformer (coordination of the coal consumption rate and sensitivity)

经测算, 豫北500 kV层面机组平均供电煤耗和220 kV层面机组的平均供电煤耗差约为35克/千瓦时。以获嘉联变为例, 联变下送断面利用率每提高一个百分点, 每天将节约标准煤5.04吨, 由此可得采取机组出力灵敏度与煤耗相结合的方式排序比仅按机组灵敏度大小进行排序每天节约标准煤

5.54吨, 比仅按机组煤耗进行排序每天节约标准煤8.57吨, 与试验前相比, 每天节约标准煤42.3吨, 全年共节约标准煤15 439.5吨, 创造了良好的经济效益和社会效益。

5 结语

本文简要论述了节能调度环境下基于潮流控制灵敏度的电力系统分层、分区控制策略及算法。通过将机组煤耗率和机组出力灵敏度进行结合, 介绍了电磁环网方式下, 机组的分组条件及调用顺序的确定方法。在豫北电网的实际工程应用表明, 该策略能够对电磁环网潮流进行有效的控制, 即解决了多断面、多约束条件下潮流控制的问题, 又能最大限度地挖掘电网的能源资源优化配置功能, 达到电网安全性与经济性的协调统一。

参考文献

- [1] 国办发[2007]53号文件: 国务院办公厅关于转发发展改革委等部门节能发电调度办法(试行)的通知[EB/OL]. [2007-12-31]. <http://www.sdpc.gov.cn/2cfb/2cfbt/2007qita>.
- [2] 傅书逸, 王海宁. 关于节能减排与电力市场的结合[J]. 电力系统自动化, 2008, 32(6): 31-35. FU Shu-ti, WANG Hai-ning. On Coordination of Energy Saving and Reduction of Pollution Policy with Electricity Market Reform in China[J]. Automation of Electric Power Systems, 2008, 32(6): 31-35.
- [3] 严宇, 马珂, 于钊, 等. 改进发电调度方式实施节能、环保、经济调度的探讨[J]. 中国电力, 2007, 40(6): 6-9. YAN Yu, MA Ke, YU Zhao, et al. Primary Research on Improvement in Generation Dispatching Mode to Implement Conservation and Environmental Protection and Economic Dispatching[J]. Electric Power, 2007, 40(6): 6-9.
- [4] 郑延海, 张小白, 钱玉妹, 等. 电力系统实时安全约束调度的混合算法[J]. 电力系统自动化, 2005, 29(12): 49-52. ZHENG Yan-hai, ZHANG Xiao-bai, QIAN Yu-mei, et al. Hybrid Algorithm for Real-time Security Constrained Dispatch of Power System[J]. Automation of Electric Power Systems, 2005, 29(12): 49-52.
- [5] 赵建宁, 徐武祥, 杨强. 基于AGC的稳定断面潮流控制的设计与实现[J]. 电力系统自动化, 2006, 30(22): 85-88. ZHAO Jian-ning, XU Wu-xiang, YANG Qiang. Design and Implementation of Active Power Control for Tie Lines Based on Automatic Generation Control[J]. Automation of Electric Power Systems, 2006, 30(22): 85-88.

(下转第102页 continued on page 102)

的经济性。

综上所述, 方案一在现阶段成本较高, 在将来 ECVT 成本下降和技术成熟的前提下最具优势; 方案二对二次设备的改动最大, 在现阶段不太可行; 方案三相比方案二更便于实现, 在现阶段最为可行。

对于将来大规模应用的 IEC61850-9-2 通信协议, 由于实现了采样值组网, 每个间隔层设备均可以接收到所有间隔的电流电压信息, 因此在采用线路 ECT 和母线 EVT 的前期下, 方案二是较适合的基本结构(将电压 MU 直接连接到采样值网络上, 无需级联到线路 MU)。

参考文献

[1] 高翔, 张沛超. 数字化变电站的主要特征和关键技术[J]. 电网技术, 2006, 30(23): 67-71
GAO Xiang, ZHANG Pei-Chao. Main Features and Key Technologies of Digital Substation[J]. Power System Technology, 2006, 30(23): 67-71.

[2] Andersson L, Brunner C, Engler F. Substation Automation based on IEC 61850 with New Process-close Technologies[A]. in: IEEE Powertech 2003[C]. Bologna(Italy):2003.23-26.

[3] 刘伟平. 电压切换回路异常情况的分析[J]. 继电器, 2007, 35(6):71-73.
LIU Wei-ping. Analysis of Unusual Situation of the Voltage Switching Circuit[J]. Relay, 2007, 35(6):71-73.

[4] 郭占伟, 魏晓强, 肖志刚. 电压切换回路故障分析[J]. 继电器, 2006, 34(22):81-82.
GUO Zhan-wei, WEI Xiao-gang, XIAO Zhi-qiang. Analysis of Busbar Secondary Voltage Selection Route Faults[J]. Relay, 2006, 34(22):81-82.

[5] 黄延蔓. 双开关及电压切换回路的探讨[J]. 电力自动化设备, 2003, 23(7):64-66.
HUANG Yan-man. Study on Double Switch and Voltage Switch Circuit[J]. Electric Power Automatic Equipment, 2003, 23(7):64-66.

[6] 窦晓波, 胡敏强, 吴在军. 数字化变电站通信网络的组建与冗余方案[J]. 电力自动化设备, 2008,28(1): 38-43.
DOU Xiao-bo, HU Min-qiang, WU Zai-jun. Realization and Redundancy of Communication Networks in Digital Substations[J]. Electric Power Automatic Equipment, 2008,28(1):38-43.

[7] 胡道徐, 李广华. IEC 61850 通信冗余实施方案[J]. 电力系统自动化, 2007, 31(8): 100-103.
HU Dao-xu, LI Guang-hua. Application of Redundant Communication Using IEC 61850[J]. Automation of Electric Power Systems, 2007, 31(8): 100-103.

[8] 孙一民, 李延新, 黎强. 分阶段实现数字化变电站系统的工程方案[J]. 电力系统自动化, 2007, 31 (5) : 90-93.
SUN Yi-min, LI Yan-xin, LI Qiang. A Grading Solution for Building Digital Station[J]. Automation of Electric Power Systems, 2007, 31:(5) :90-93.

[9] 张延. 电压互感器切换回路改进[J]. 继电器, 2003, 31(2):61-63.
ZHANG Yan. Improvement on Switch Circuit of the Potential Transformer[J]. Relay, 2003, 31(2):61-63.

[10] 吴杰余, 陈德树, 尹项根. 电压切换的新方法研究[J]. 继电器, 2002, 30(9):39-42.
WU Jie-yu, CHEN De-shu, YIN Xiang-gen. A New Method of Voltage Switching[J]. Relay, 2002, 30(9):39-42.

收稿日期: 2008-11-17; 修回日期: 2009-04-01

作者简介:

徐科(1979-), 男, 博士, 工程师, 主要从事变电站保护自动化系统和电力电子技术的研究; E-mail: xudanke@yeah.net

张会建(1968-), 男, 高工, 主要从事计算机应用技术和变电站保护自动化系统研究;

邢立功(1967-), 男, 高工, 主要从事继电保护的研究。

(上接第 58 页 continued from page 58)

[6] 孙素琴, 藤贤亮, 戴飞, 等. 河南电网 AGC 水火电联调试验研究[J]. 电力系统自动化, 2008,32(6):99-103.
SUN Su-qin, TENG Xian-liang, DAI Fei, et al. Experimental Investigation on Coordinate Control Between Hydro Units and Thermal Units in Henan Power Grid[J]. Automation of Electric Power Systems, 2008,32(6):99-103.

[7] 吴政球, 潘立强, 陈辉华, 等. 基于灵敏度分析的机组电价决策及其算法[J]. 中国电机工程学报, 2004,24(1): 60-64.
WU Zheng-qiu, PAN Li-qiang, CHEN Hui-hua, et al. Sensitivity Based Analysis Method and Algorithm for Generation Bidding[J]. Proceedings of the CSEE, 2004, 24(1):60-64.

[8] 赵渊, 周念成, 谢开贵, 等. 大电力系统可靠性评估的灵敏

度分析[J]. 电网技术. 2005, 29(24):25-28.

ZHAO Yuan, ZHOU Nian-cheng, XIE Kai-gui, et al. Sensitivity Analysis on Reliability Assessment of Bulk Power System[J]. Power System Technology, 2005, 29(24):25-28.

[9] 王锡凡, 方万良, 杜正春. 现代电力系统分析[M]. 北京: 科学出版社, 2003.

收稿日期: 2008-11-19; 修回日期: 2009-01-18

作者简介:

李佳宇(1980-), 男, 硕士, 工程师, 主要研究方向为电网运行与控制, 电力市场; E-mail: lijiaayu2222@163.com

李大鹏(1973-), 男, 高级工程师, 主要研究方向为电网运行与控制, 电网调度自动化。