

独立局域电网三道防线建设方案分析

夏彦辉,董宸,孙丹,邹宇

(南京国电南自电网自动化有限公司,江苏南京 211153)

摘要:文中首先总结了独立局域电网网架结构的特点,结合国家推进售电侧改革的发展趋势,分析了独立局域电网普遍存在的安全稳定问题。以某独立局域电网为例,提出了三道防线建设方案,对稳定控制系统、低频低压减载、高频切机、失步解列配置方案涉及到的一些关键技术问题进行了阐述,并通过实时数字仿真仪(RTDS)仿真试验和离线仿真验证了方案的适用性,对在线实时稳定控制系统的可行性进行了论证。最后对独立局域电网三道防线的建设原则进行了归纳总结。

关键词:独立局域电网;三道防线;稳定控制系统;安全自动装置;在线实时稳定控制

中图分类号:TM 762

文献标志码:A

文章编号:2096-3203(2017)03-0076-06

0 引言

独立局域电网指集“发、输、配、售”所有功能于一体的电网,被广泛应用于石油、化工、冶炼等各种行业,也可指独立于公网的区域配电网。在中国,独立局域电网这一概念更多强调的是电网的属性定位,它是对所有不隶属于国家电网和南方电网的地方电网的统称,这种独立包括资产独立、发输电独立、调度独立与定价独立4个层面。

独立局域电网与大电网(国家电网和南方电网)之间在电气上无联系或弱联系。与大电网之间无联系的独立局域电网也称孤立局域电网;所谓弱联系,是指在正常运行情况下大电网对独立局域电网的频率、电压波动支援作用有限,且在紧急情况下大电网会断开与独立局域电网的联网断面,使其非计划性地转化为孤立局域电网^[1,2]。

独立局域电网网架结构薄弱,电压等级偏低,单台机组、单个负荷占系统容量比重较大,系统运行时往往不能满足“N-1”准则,单台机组或单个负荷跳闸即可引起联网断面潮流越限,被动转入孤网运行后存在严重的频率问题,如不采取相应的控制措施,甚至会造成系统崩溃事故^[3-7]。此类电网也被称为“大机小网”或“大机大负荷小网”。同时,独立局域电网内部机组调节性能差(主要是指一次调频、调压性能),负荷特性特殊(如电解铝负荷的恒电流特性、轧钢机的冲击特性、电动机的群起现象、冶炼炉的倒炉操作等),都在一定程度上对系统的频率、电压稳定性起到了负作用。如果独立局域电网内部接入大量小水电机组,小水电并网线路的短

路故障易引起低频振荡^[8,9],在主保护缺失的情况下,短路故障还可能引起小水电机组对主网的功角失稳。因此,除直流闭锁或换相失败之外,大电网中存在的安全稳定问题,在独立局域电网都存在,并且发生的概率更高^[10-15]。

2016年3月7日,国家发展改革委下发《关于扩大输配电价改革试点范围有关事项的通知》。2016年4月8日,国家发改委、能源局对新疆生产建设兵团开展售电侧改革试点情况作出批复,同意新疆生产建设兵团开展售电侧改革试点,要求稳妥推进改革,确保电力安全,保证电网安全,保障民生用电。因此,确保电网安全稳定运行是独立局域电网面临的最大挑战。

1 某独立局域电网概况

DQS电网为地级区域电网,目前最高电压等级为220 kV,下辖HY电厂、JJ电厂等大电源,多座水电站、光伏电站和30多座变电站。2016年,DQS电网装机容量912 MW,其中火电633 MW,水电169 MW,光伏110 MW,最大单台火电机组135 MW,水电机组出力具有明显的季节性。夏季最大负荷水平700 MW,夏季最小负荷水平216 MW,冬季最大负荷水平387 MW,冬季最小负荷水平163 MW,负荷季节性变化和峰谷差都比较大。

DQS电网存在孤网运行、与国网XJ电网通过双回220 kV线路联网、与DBS电网通过双回220 kV线路联网3种运行方式。

2 稳定控制系统配置方案

根据DQS电网的运行需求,设计了稳定控制系统,其结构如图1所示。

收稿日期:2017-01-15;修回日期:2017-02-23

基金项目:江苏省科技项目(BZ2015010)

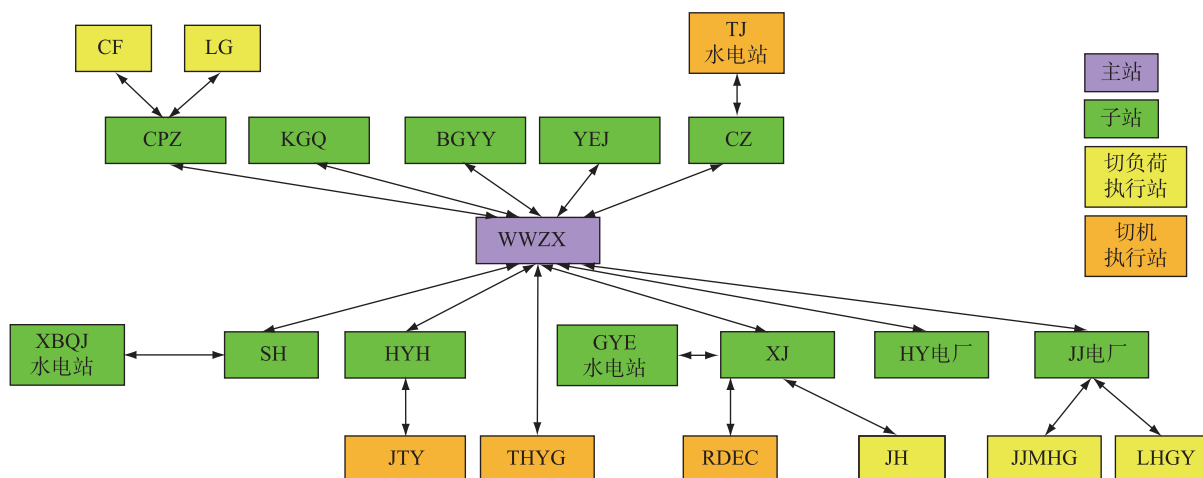


图1 DQS 电网稳控系统结构示意图

Fig.1 Structure diagram of power system stability control system of DQS

通过收资、建模、仿真计算分析等工作,得出 DQS 电网孤网运行时存在的主要稳定问题。频率稳定,机组跳闸或功率骤降、水电或光伏送出线路跳闸,引起的低频问题;热稳定,线路、主变过载;水电送出断面低频振荡。

DQS 电网联网运行时存在的主要稳定问题有联网断面断开,系统频率不稳;联网断面潮流越限。

系统可采取的稳定控制措施有切负荷;切光伏,切水电,切 RDEC 机组,压 JJ 电厂、HY 电厂出力;解列线路。

为了适应 DQS 电网小水电出力季节性明显、负荷季节峰谷差较大等特点,为其设计的电网稳控系统具有较强的自适应特点。

(1) 负荷水平的自适应。通过采集全网电源的出力,实时计算系统容量,动态调整稳控动作门槛(功率缺额),自适应系统各种负荷水平,不需要设置大、小运行方式压板。

(2) 切机组合自适应。切光伏、切小水电、切小火电机组、压大火电机组出力措施相结合,稳控装置提供 4 付接点给分散控制系统(DCS)的开入回路(开入保持 200 ms 以上),DCS 根据 4 个开入组成 8421 码乘以系数(系数可整定),转成模拟量输出到数字电液控制系统(DEH)的协调控制系统,由 DEH 完成快速减出力。每台大火电机组可减出力量受限于其可稳定燃烧出力水平。

(3) 切负荷的自适应。采集各站可切负荷,按照三、二、一级负荷的优先级排序,根据需要按照过切、欠切、最优切的原则组织切负荷。

(4) 运行方式的自适应。机组跳闸策略通过结合联网断面功率突变 $\Delta P > P_{set}$ 辅助判据,自动适应孤网、与国网联网、与 DBS 联网多种运行方式,不需要

采集联网线路开关量或维护联网方式压板,提高稳控系统的智能化程度,降低运维工作量。 P_{set} 的整定主要考虑躲过稳控装置采样零漂,并保证足够的安全裕度(基于装置的采样精度考虑,建议取安全系数大于 2)。

2016 年 2 月,DQS 电网稳控系统通过了实时数字仿真仪(RTDS)试验验证,共计模拟了 200 种运行工况。测试系统连接框架如图 2 所示。

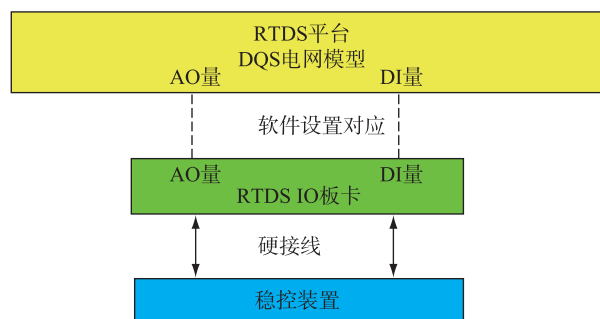


图2 RTDS 测试系统连接框架示意图

Fig.2 Diagram of connection framework of RTDS test system

以孤网运行方式下 HY 电厂 1 号机组功率骤降为例,说明稳控系统的动作过程。HY 电厂 1 号机组事故前出力为 115.9 MW,功率骤降 104.9 MW 后,稳控系统判断需切除负荷总量为 104.906 MW,实际切除负荷总量为 104.825 MW,分别是 KGQ 变 13.291 MW、SH 变 3.864 MW、HYH 变 51.965 MW、XJ 变 35.706 MW。从发生功率骤降瞬间至负荷切除的时间间隔为 210 ms,整个过程系统暂态稳定。

稳控装置实时监测关键断面功率,当检测到 HY 电厂 1 号机组功率骤降后,装置查询策略表事件为“700 MW < 发电量 ≤ 900 MW, HY1 号机组功率骤降”,经过 5 ms 后发出切除 KGQ 变、SH 变、HYH

变、XJ 变负荷的命令。经核实,RTDS 仿真系统发电量位于 700~900 MW,且各项参数与稳控装置保持一致。

HY 电厂 1 号机组功率骤降后,引起系统频率下降,采取切负荷措施后,系统频率回升至正常范围内。整个过程全网频率最低为 49.85 Hz。

3 第三道防线配置方案

3.1 低频低压减载配置方案

低频低压减载装置配置在各负荷变电站,总量最低按损失最大一个发电厂(装机容量 2×135 MW,占全网最大负荷 700 MW 的 39%)整定。条件容许的情况下,可配置全网负荷总量的 40%以上。低频减载整定方案如表 1 所示,设定低频减载频率启动值为 49.5 Hz。

表 1 低频减载整定方案

Table 1 Low frequency load shedding scheme			
轮次	动作值/Hz	延时/s	切负荷比例/%
第一轮	49.0	0.2	8
第二轮	48.8	0.2	9
第三轮	48.6	0.2	8
第四轮	48.4	0.2	8
特殊一轮	49.0	10	8
特殊二轮	49.0	15	8

失去大容量发电厂后,系统功率缺额 220 MW(事故前系统容量 700 MW)。在第二道防线失效情况下,系统的频率偏差响应曲线如图 3 所示。

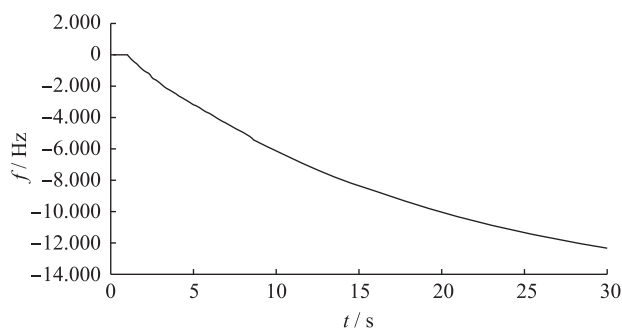


图 3 失去大容量发电厂后的系统频率偏差响应曲线

Fig.3 System frequency response curve after the loss of large capacity power plant

仿真表明,第三道防线低频减载动作 3 轮,共切除负荷 175.6 MW,仿真过程中系统最低频率为 48.57 Hz,恢复频率为 49.65 Hz,系统的频率偏差响应曲线如图 4 所示。

低压减载整定方案如表 2 所示,设定低压减载启动值为 0.85 p.u.。

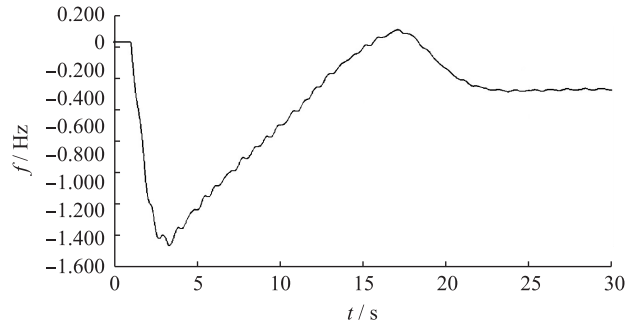


图 4 失去大容量发电厂在低频减载装置动作后的系统频率偏差响应曲线

Fig.4 System frequency response curve after the loss of large capacity power plant with low frequency load shedding device action

表 2 低压减载整定方案

Table 2 Low voltage load shedding scheme			
轮次	动作值/p.u.	延时/s	切负荷比例/%
第一轮	0.80	0.3	12
第二轮	0.75	0.3	12

3.2 高频切机配置方案

高频切机装置配置在:光伏电站(THYG, JTY, LN)、水电站(XBQJ 水电站、GYE 水电站、TJ 水电站)、火电厂(JJ 电厂、HY 电厂、RDEC)。

高频切机方案需要与机组的超速保护(OPC)定值协调配合。OPC 定值建议整定为 52.0 Hz,并且增加 0.2 s 的延时,避免 OPC 先于高频切机动作。高频切机整定方案如表 3 所示。

表 3 高频切机整定方案

Table 3 High frequency cutting machine scheme			
轮次	动作值/Hz	延时/s	切除对象
第一轮	51.0	0.2	光伏电站 THYG, JTY, LN
第二轮	51.2	0.2	XB 片区水电、GY 片区水电、 TJ 水电站、RDEC(1 台机)
第三轮	51.4	0.2	JJ 电厂(1 台机)
第四轮	51.6	0.2	HY 电厂(1 台机)

3.3 失步解列配置方案

失步解列装置配置在:

(1) 水电送出断面。SH 变(SH-LG)、GYE 站(GYE-XJ)、TJ 水电站(TJ-CZ);

(2) 与外界联网断面。JJ 电厂、WWZX 变。

4 在线实时稳定控制系统的可行性分析

基于预决策的在线安全稳定综合防御系统被认为今后的发展方向,省级以上的调度中心已上线运行,但距实用化还有一定的距离,主要受限于外网的动态等值和下一级电网的建模。在大电网中

实现实时稳定控制更加遥远。独立局域电网结构比较简单、区域范围较小,信息量少,不需与外网交换信息或交换信息很少,且没有暂态过程复杂的电力电子设备,光纤通信已普遍采用,在线实时稳定控制系统实现起来比大型电网容易的多,硬件与软件的投资相对较少。

目前,独立局域电网的技术力量较弱,电网安全稳定分析的水平难以满足电网发展的需要。在这种情况下,尽早应用在线实时稳定控制系统,提高电网的调度运行水平,做好电网的预防性控制、防患于未然,对减轻运行方式人员的工作量,提高安全稳定控制水平,将有着重要的意义。因此,建议这类电网的调度部门尽快开展在线实时稳定控制系统的应用工作,以较小的投资取得电网安全稳定性的有力保证。

SPORS-5100 在线实时稳定控制系统^[16]利用稳控装置采集数据(兼容远程终端单元 RTU 慢速数据),获得电网的实时运行状态和故障信息,基于超实时仿真技术及优化算法在线进行电网稳定控制决策,完成电网安全稳定的综合评估和稳控策略的在线刷新,实现精确的闭环自适应稳定控制。在线实时稳定控制系统布置在调度控制中心安全 I 区,通过专用光纤与安装于各发电厂、变电站现场的稳控装置通信。系统硬件结构如图 5 所示。

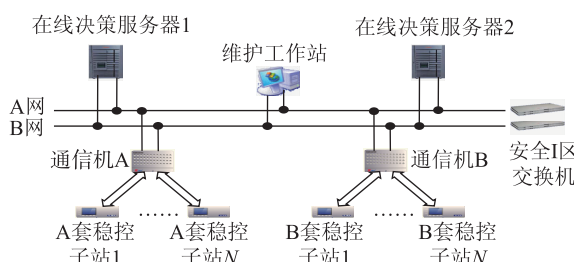


图5 在线实时稳定控制系统硬件结构图

Fig.5 Hardware structure of online real time stability control system

正常运行时利用稳控装置或 RTU 采样数据开展状态估计、潮流计算和预决策计算,当接收到稳控装置上送的故障信息后,触发稳定判别计算,当系统存在失稳风险时自动进行策略搜索,将控制措施下达至分布在各厂站的稳控装置或 RTU 执行。在线实时稳定控制系统的计算流程如图 6 所示。

5 结语

通过前文分析可知,除直流闭锁或换相失败之外,大电网三道防线设计时考虑的故障类型,仍然适用于独立局域电网。稳控系统设计时,独立局域电网需要考虑 $N-1$ 故障,重点应对损失大机组/大

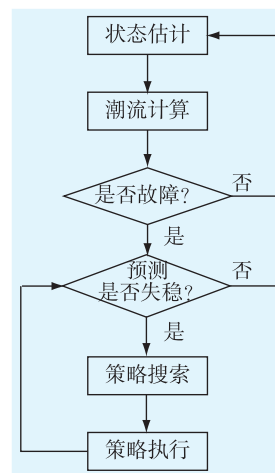


图6 在线实时稳定控制系统计算流程图

Fig.6 Flow chart of online real time stability control system

负荷、对外联络线跳闸;而大电网重点应对 $N-2$ 故障。第三道防线设计时,大电网一般按固定的百分比配置减负荷总量,而独立局域电网减负荷总量最低按损失最大一个发电厂配置。

本文总结了独立局域电网网架结构的特点,并结合工程实践分析,对独立局域电网三道防线建设提出如下建议:

(1) 适当提高继电保护配置,加快故障切除速度。对于保护整定配合困难的情形,可采取解环运行+备自投的方式,提高供电可靠性。构建先进可靠的能量管理系统,通过自动发电控制(AGC)/自动电压控制(AVC)功能模块优化电网运行方式,提高电网运行的安全稳定裕度。

(2) 配置完善的第二道防线,即稳定控制系统,保障控制措施的精确性和快速性。重视切机、切负荷措施的不匹配量,切机时,优先切除光伏、水电、小火电。如果必须对大火电机组采取措施,对于轻度过载问题,优先采取压机组出力措施;对于严重过载问题和频率稳定问题,必须切除大火电机组时,应根据实际损失发电出力,刷新需切负荷量,将系统功率不平衡量将至最低。

(3) 分散布置低频低压减载装置、高频切机装置,保证足够的可减载量和可切机量。还应在独立局域电网联网断面和小水电送出断面配置失步解列装置。重视第三道防线装置定值的整定配合以及第二道防线与第三道防线之间的协调配合,避免出现无序动作和重复动作。

电网一方面朝着极大方向(全球能源互联网)发展,另一方面朝着极小方向(微电网)发展,两者都成为了近年来的研究热点。然而,独立局域电

网作为电网发展的第三种趋势,在运行实践中已经出现了许多亟需解决的问题,系统崩溃事故经常发生,给企业带来了巨大的经济损失,造成了恶劣的社会影响,在当下却未引起充分的关注,本文抛砖引玉,希望业界更多地开展此类电网的研究。

参考文献:

- [1] GB/T 26399—2011 电力系统安全稳定控制技术导则[S].
GB/T 26399—2011 Technical guide for electric power system security and stability control[S].
- [2] KUNDUR P, PASERBA J, AJJARAPU V, et al. Definition and classification of power system stability [J]. IEEE Trans on Power Systems, 2004, 19(2): 1387-1401.
- [3] 蔡 箬, 冯永新, 邓少翔, 等. 孤网运行频率稳定控制策略分析研究[J]. 广东电力, 2012, 25(2): 6-19.
CAI Sun, FENG Yongxin, DENG Shaoxiang, et al. Analytical study on strategy for frequency stability control in isolated power system[J]. Guangdong Electric Power, 2012, 25(2): 6-19.
- [4] 黄河, 徐光虎, 余 畅. 2008年南方电网冰灾期间孤网运行经验[J]. 南方电网技术, 2008, 02(5): 6-9.
HUANG He, XU Guanghu, YU Chang. Operation experience of isolated network in CSG during ice disaster (2008) [J]. Southern Power System Technology, 2008, 02(5): 6-9.
- [5] 孙东华, 王雪冬, 马世英, 等. 贵州主网及其地区电网孤网运行的安全稳定控制[J]. 电网技术, 2008, 32(17): 35-39.
SUN Donghua, WANG Xuedong, MA Shiyang, et al. Measures to improve system security and stability for isolated operation of Guizhou Main Power Grid and its regional power networks[J]. Power System Technology, 2008, 32(17): 35-39.
- [6] 林火华, 王 文, 韦元养, 等. 220 kV 桂林电网孤网稳定运行控制技术[J]. 南方电网技术, 2008, 02(3): 49-53.
LIN Huohua, WANG Wen, WEI Yuanyang, et al. Stable operation control technologies for islanded networks in 220 kV Guilin Power Grid [J]. Southern Power System Technology, 2008, 02(3): 49-53.
- [7] 陈祺炜, 吴 熙, 李海峰, 等. 孤网全黑状态的恢复网架和分区优化算法[J]. 电力工程技术, 2017, 36(1): 74-78.
CHEN Qiwei, WU Xi, LI Haifeng, et al. Recovery network and partition optimization algorithm of isolated networks under the full black state [J]. Electric Power Engineering Technology, 2017, 36(1): 74-78.
- [8] 付 超, 杜 斌, 柳勇军, 等. 云南电网小水电群地区电网低频振荡影响因素仿真分析[J]. 广东电力, 2014(12): 51-56.
FU Chao, DU Bin, LIU Yongjun, et al. Simulation analysis on influencing factors on low frequency oscillation of regional power grids of small hydropower stations of Yunnan Power Grid [J]. Guangdong Electric Power, 2014(12): 51-56.
- [9] 李建设, 苏寅生, 周剑. 地区电网低频振荡问题及其治理措施[J]. 广东电力, 2010, 23(1): 5-9.
LI Jianshe, SU Yinsheng, ZHOU Jian. Low-frequency oscillation of regional power network and corresponding treatment [J]. Guangdong Electric Power, 2010, 23(1): 5-9.
- [10] WU C C, CHEN N. Frequency-based method for fast-response reserve dispatch in isolated power systems [J]. IEEE Proceedings—Generation, Transmission and Distribution, 2004, 151(1): 73-77.
- [11] SIGRIST L. A method for the design of UFLS schemes of small isolated power systems [J]. IEEE Transactions on Power Systems, 2011, 27(2): 951-958.
- [12] 周至平, 孙新良, 付晨鹏, 等. 电力系统孤网运行动态特性试验[J]. 电网技术, 2008, 32(S2): 78-81.
ZHOU Zhiping, SUN Xinliang, FU Chenpeng, et al. Insular power system dynamic characteristic examination research [J]. Power System Technology, 2008, 32(S2): 78-81.
- [13] 叶健忠, 邹俊雄, 龙 霏, 等. 地区电网火电机组孤网运行频率控制策略研究[J]. 电力系统保护与控制, 2012, 40(7): 123-128.
YE Jianzhong, ZOU Junxiong, LONG Fei, et al. Research on frequency control strategy for isolated grid operation of thermal power unit in regional power network [J]. Power System Protection and Control, 2012, 40(7): 123-128.
- [14] 王家胜, 邓彤天, 冉景川. 火电机组在孤(小)网中的启动及运行方式研究[J]. 电力系统自动化, 2008, 32(21): 102-106.
WANG Jiasheng, DENG Tongtian, RAN Jingchuan. Start-up and operational mode of fossil plant units in an isolated (little) power grid [J]. Automation of Electric Power Systems, 2008, 32(21): 102-106.
- [15] 黄文英. “大机小网”电力系统安全稳定运行的措施[J]. 福建电力与电工, 2001, 21(4): 19-20.
HUANG Wenying. Measures for safe and stable running of electric power system of “large units and small network” [J]. Fujian Power and Electrical Engineering, 2001, 21(4): 19-20.
- [16] 夏彦辉. 电力系统在线实时稳定控制系统及控制方法: 中国, 201610133857.X [P]. 2016-3-10.
XIA Yanhui. Power system on-line real-time stability control system and control method: China, 201610133857. X [P]. 2016-3-10.

作者简介:



夏彦辉

夏彦辉(1982—),男,河南开封人,高级工程师,研究方向为电力系统安全稳定分析与控制;

董 宸(1982—),女,安徽太和人,工程师,研究方向为电力系统安全稳定分析与控制;

孙 丹(1989—),女,河北保定人,助理工程师,研究方向为电力系统安全稳定分析与控制;

邹 宇(1975—),男,四川自贡人,工程师,研究方向为安全自动装置开发。

Analysis on Construction Scheme of Three Defense Lines for Independent Local Power Grid

XIA Yanhui, DONG Chen, SUN Dan, ZOU Yu

(Nanjing SAC Power Grid Automation Co., Ltd, Nanjing 211153, China)

Abstract: The structure characteristics of the independent local power grid are summarized firstly. Then, the security and stability problem of the local power grid is analyzed, combined with the development trend of the state promoting sales side reform. Three lines of defense construction scheme are proposed taking an independent local power grid as an example. Some key technical problems related to the stability control system, low frequency and low voltage load shedding, high frequency cutting machine, out-of-step splitting solution are discussed. The applicability of the scheme is verified by RTDS and off-line simulation, the feasibility of on-line and real-time stability control system is demonstrated. Finally, the construction principles of the three lines of defense for the independent local power grid are summarized.

Key words: independent local power grid; three lines of defense; stability control system; automatic safety device; online realtime stability control

(编辑 徐林菊)

(上接第 61 页)

- [19] 卫 鹏, 刘建坤, 周 前, 等. 基于半不变量和 Gram-Charlier 级数展开法的随机潮流算法[J]. 电力工程技术, 2017, 36(1): 34-38.

WEI Peng, LIU Jiankun, ZHOU Qian, et al. A probabilistic power flow algorithm based on semi-variable and Gram-Charlier series expansion [J]. Electric Power Engineering Technology, 2017, 36(1): 34-38.

- [20] 王深哲, 高 山, 李海峰, 等. 含风电接入的电网规划方案电能质量评估[J]. 电工技术学报, 2013, 28(8): 56-65.

WANG Shenzhe, GAO Shan, LI Haifeng, et al. Evaluation of power quality in grid planning scheme with power integration [J]. Transactions of China Electrotechnical Society, 2013, 28(8): 56-65.

作者简介:



王深哲

王深哲(1987—),男,河南周口人,博士,从事电力系统规划及稳定分析工作;

高 山(1973—),男,山东济南人,博士,副教授,主要研究方向为电力系统规划与稳定分析;

尤国伟(1966—),男,江苏常州人,工程师,从事电力系统分析工作;

郭 政(1982—),男,江苏南京人,工程师,从事电力系统分析工作。

Wind Penetration Limitation Research Considered Multiple Security Constraints

WANG Shenzhe¹, GAO Shan², YOU Guowei¹, GUO Zheng¹

(1. State Grid Nanjing Power Supply Company, Nanjing 210009, China; 2. Southeast University, Nanjing 210096, China)

Abstract: Wind penetration limitation has great impact on power grid planning containing wind farm. In this paper, a traditional wind penetration limitation calculation model was built firstly, in which the constraints such as power flow, node voltage, and margin capacity were considered. The security constraints including frequency deviation and voltage deviation were considered based on the model. Frequency deviation based on central frequency and voltage deviation based on linear system theory were proposed with influencing factors of wind power access capacity considered from the viewpoint of safety. The research model was solved by GA method and its validity was verified by calculation results of New England 39-bus system.

Key words: wind penetration; frequency deviation; voltage deviation; GA

(编辑 刘晓燕)