

送端电网规划研究

汪永华¹, 王正风², 葛斐²

(1. 安徽水利水电职业技术学院, 安徽 合肥 231603; 2. 安徽电力调度通信中心, 安徽 合肥 230022)

摘要: 送端电网在向受端电网输送大功率电量的同时, 还要向本地区电网提供电力支持满足地区用电需求, 因此送端电网的结构对系统的稳定性影响甚大。指出应从电源接入系统的电压等级以及电源接入系统的母线接线方式这两个方面考虑电源接入系统的方式; 论述了送端电网的互联问题, 指出送端电网不宜互联紧密; 讨论了送端电网与受端电网的连接问题, 指出应缩小送端电网和送端电网的电气距离, 并同时在高一级的电网规划中考虑低一级电网的规划, 提高电网的输送能力。

关键词: 稳定性; 发电机; 电气联系; 送端电网; 受端电网

Study on export power network programming

WANG Yong-hua¹, WANG Zheng-feng², GE Fei²

(1. Anhui Technical College of Water Resources and Hydroelectric Power, Hefei 231603, China;

2. Anhui Electrical Power Dispatching & Communication Center, Hefei 230022, China)

Abstract: Not only is electrical power transported to import power network but also electrical power is offered for area need. So the configuration of export network is very important. At first, this paper points out that the voltage grade and the generator connection mode which is connected into power system must be thought over. Then, it indicates that the connection mode of export network can't be compact united. Finally, the connection mode between export network and import network is discussed. It indicates that in order to improve power system transmission capability, electrical distance must be reduced. Also, it points out the lower voltage power system programming must be taken into account when the high voltage power system programming is made.

Key words: stability; generator; electrical connection; export power network; import power network

中图分类号: TM715 文献标识码: A 文章编号: 1674-3415(2010)08-0081-04

0 引言

自然资源分布的地理性和需求之间的不平衡性造成了现代化大规模输电, 伴随着各区域电网之间的互联又给电网的安全经济性带来了新的问题。通常人们关注受端电网的安全稳定性, 这是因为评价电网的一个重要指标是对用户供电的可靠性; 此外, 国内外很多大停电事故都是由于负荷中心的高峰用电造成的。但与此同时, 人们对送端电网的研究却相对不足。如在《电力系统安全稳定导则》^[1]和经典文献《大电网系统技术》^[2]等标准和文献中, 均对受端系统进行了详细论述, 但对送端电网的论述却相对偏少。由于送端电网一方面大规模向受端电网受电, 而另一方面又向本地区电网提供电量满足本地区的用电需求, 因此若送端电网的结构不合理必然将会给系统的暂态稳定问题和热稳定问题带来严重的影响。

提高电网安全稳定性的控制措施有多种, 包括: 增强电网网架、潮流控制(预防控制)和切机、切负荷等稳定控制装置的应用(紧急控制)。电网的网架强弱是系统稳定性高低的前提和基础, 坚强的网架是电力系统安全稳定运行的前提和保证, 特别是对于送端电网更是如此。如何保证送端电网对受端电网的电量输送, 同时又保证其地区电网的可靠供电, 送端电网的规划与设计值得我们研究和探讨。

1 电力系统的安全稳定标准

《电力系统安全稳定导则》规定, 对于电力系统承受大扰动能力的安全稳定标准分为三级, 即第一级标准: 保持稳定运行和电网的正常供电; 第二级标准: 保持稳定运行, 但允许损失部分负荷; 第三级标准: 当系统不能保持稳定运行时, 必须防止系统崩溃并尽量减少负荷损失。在电网的设计规划

时,通常是按第一级标准进行设计的,其满足的是电网扰动在下述元件受到扰动后,保护、开关及重合闸正确动作,不采取稳定控制措施,必须保持电力系统稳定运行和电网正常供电,其他元件不超过规定的事故过负荷能力,不发生联锁跳闸。这些扰动包括:

- a) 任何线路单相瞬时接地故障重合成功;
- b) 同级电压的双回线或环网,任一回线单相永久故障重合不成功及无故障三相断开不重合;
- c) 同级电压的双回线或环网,任一回线三相永久故障断开不重合;
- d) 任一发电机跳闸或失磁;
- e) 受端系统任一台变压器故障退出运行;
- f) 任一大负荷突然变化;
- g) 任一交流联络线路故障或无故障断开不重合;
- h) 直流输电线路单极故障。

随着电网输电走廊的紧张,目前很多输电线路采用了同杆架设,若发生了线路倒塌或同杆异名相故障,存在着双回线路同时跳的可能,因此作为电力系统的调度部门在电网实际运行中,必须考虑更为严重的一些故障,即满足第二级安全稳定标准,具体的扰动包括:

- a) 单回线单相永久性故障重合不成功即无故障三相断开不重合;
- b) 任一段母线故障;
- c) 同杆并架双回线的异名两相同时发生单相接地故障重合不成功,双回线三相同时跳开;
- d) 直流输电线路双极故障。

由此可见,在电网规划设计和调度运行中可能存在着不同的标准,因此为了电网实际运行的安全稳定,必须在电网的规划设计中充分考虑到日后的电网安全运行问题,即在电网实际生产调度运行中考虑的问题应在规划设计时予以考虑。

2 送端电网电源接入电网方式

2.1 分层原则

对于送端电网,要根据 500 kV 和 220 kV 电压等级的输送能力,将不同容量的电厂接入不同的电压等级网络上,在满足送端电网区域用电平衡的情况下,应将大容量机组接入 500 kV 的电网,其缘由是:

- 1) 若送端电网电源接入 220 kV 等级电网,必然引起输电出线的增多,网络复杂,而直接接入 500 kV 高压网络可以简化电厂出线和网络接线。

- 2) 系统的暂态稳定性下降,由于输电出线的增加,对于靠近电源侧的故障期间,机组在故障期间获得的加速功率增大,不利于系统暂态稳定性。

- 3) 限制短路电流,将大容量的电厂直接接入 500 kV 高压网络,可以将少 220 kV 系统网络的短路电流水平。

因此为了提高电网的安全稳定性,发电厂内最好不设向地区供电的出线和联络变,用能可靠地将电力送入网的少量出线直接接入上层网架上的最近枢纽点。

2.2 接线方式

送端电网存在着大量的发电机组,一方面为了满足本地区的用电需求,另一方面则是大规模输送电量。大容量机组的接入电网方式对送端电网的稳定性影响较大。这是因为发电机的阻抗远大于升压变的阻抗和线路的阻抗^[3-4],因此其对送端电网的暂态功角稳定性影响较大。

为了提高发电厂机组运行的可靠性,通常发电厂采用双母线接线方式,这种接线方式的益处是若电厂至电网之间的一条联络线检修或发生故障跳闸时不影响电厂机组的正常出力。但这种接线方式在提高了发电厂发电可靠性的同时,却可能带来了电网的稳定问题,包括暂态稳定问题和热稳定问题。对于大容量发电机组,特别是以外送电力为主的电厂,当其与电网的联络线故障或母线故障时,由于机组没有被及时切除,送端机组可能失去稳定;由于潮流的转移可能造成低一级电网的热稳定问题。特别是在当前 500 kV 输电线路采用同杆双回线架设时,若出现杆塔倒塌或同杆异名相故障时引起的双回 500 kV 输电线路同时跳的情况下,将会给系统造成更为严重的影响。

若采用发电机—变压器—线路的单元接线方式直接接入系统的枢纽变电所,同时保证输电容量能很好地配合,这对于电网的稳定性来说,不失为一种较好的接线方式,此时若发生线路故障,联跳(切)机组,可以有效地提高电力系统的暂态稳定性。发变组单元接线方式地最大弊端就是在于当发变组的线路或变压器检修时,机组必须停运。为了不影响线路或变压器在检修方式下发电机组的正常运行,可采用桥式接线方式,并联切机组,这样即可提高系统的暂态稳定性,又可提高发电厂发电机组的运行可靠性。

3 送端电网的互联问题

由于 500 kV 电网的输送能力较 220 kV 电网的输送能力大幅度提高使 500 kV 变电所逐渐成为各

个省网的枢纽变电所, 为了提高各地区的供电可靠性和送电, 很多电源以及地区供电都通过 220 kV 线路接入 500 kV 变电站的 220 kV 侧。但从系统的暂态稳定来说, 送端电网的网络不宜电气联系过于紧密, 否则将会造成送端电网暂态稳定性的下降。这是因为当电网电气联系比较紧密时, 在发生短路故障等扰动时, 特别是 500 kV 枢纽变 220 kV 母线故障期间, 由于各电源点的电气距离近, 各发电机组的母线电压下降幅度大, 降低了在故障期间的发电机的电磁功率, 增加了加速面积, 因此降低了系统的暂态功角稳定性。以下给出了安徽电网的一个仿真实例。

图 1 给出了淮北二电厂至五里营的 220 kV 双回路经 500 kV 淮宿变开断的接线图, 图 2 给出了淮北二电厂至五里营的 220 kV 双回路和淮北电厂至南坪的 220 kV 双回路经 500 kV 淮宿变开断的接线图。

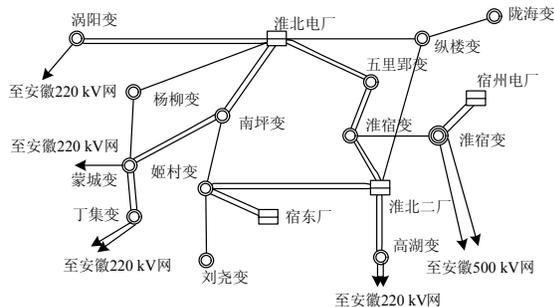


图 1 开断一回的淮北地区电网接线图

Fig.1 Huaibei power network of one circuit disconnection

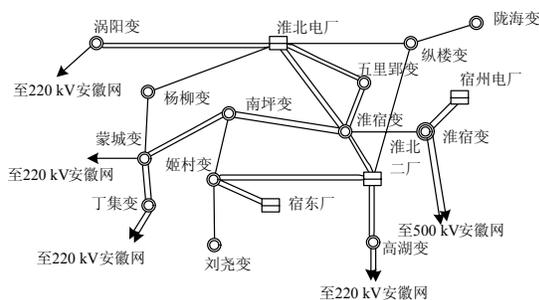


图 2 开断二回的淮北电网接线图

Fig.2 Huaibei power network of two circuit disconnection

由图 1 和 2 可见, 皖北电源点由淮北电厂、淮北二电厂、宿东电厂和淮宿电厂构成, 两回 220 kV 线路开断后的淮北电网电源间的电气距离更近。通过仿真计算, 淮宿母线故障时, 发现当两条 220 kV 双回路开断时, 系统暂态功角不稳定, 功角不稳定裕度为 -0.09; 仅淮北二电厂至五里营线路经淮宿开断时, 系统暂态功角稳定, 稳定裕度为 35.02。

图 3 给出了经淮宿开断一回 220 kV 时和经淮宿

开断二回 220 kV 时淮北电厂母线电压动态仿真曲线。

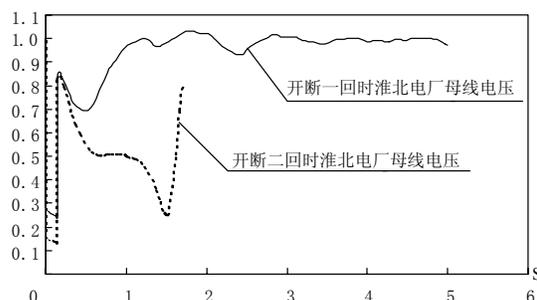


图 3 淮北电厂母线电压动态仿真曲线

Fig.3 Voltage curve of Huaibei plant generator

由图 3 可见, 二回 220 kV 线路开断接入了淮宿变 220 kV 母线, 等效地增强了淮北地区各电源与 500 kV 淮宿变的电气联系, 因此当 500 kV 淮宿变 220 kV 母线发生三相短路故障时, 在故障期间内的机端电压很低, 其电压水平接近开断一回 220 kV 线路时的淮北电厂母线电压一半, 因此获得巨大的加速功率, 造成淮北地区暂态稳定性的降低。故送端电网之间的互联应该慎重, 即在送端电源地区发生制约故障时, 在故障期间, 只有当送端电网区域间互联造成的联系电抗减小引起的临界群机组电磁功率增大幅度大于联系电抗减小造成的机端电压的下降引起的临界群机组电磁功率减小幅度的时候才能进行互联, 否则送端电网区域间不应互联。

4 送端电网与受端电网的互联

4.1 暂态功角稳定问题

送端电网通过 500 kV 输电线路将发电机组的电力输送至受端系统, 当 500 kV 联络线发生故障并被切除时, 送端发电机组由于获得加速功率而失去稳定。特别是随着输电走廊的限制的影响, 目前国内不少 500 kV 输电线路采用同杆双回架设, 若 500 kV 输电线路发生同杆异相故障时, 将造成两回 500 kV 线路同时跳, 可能带来系统的暂态稳定问题。此种情况下, 为了提高系统的暂态稳定性而新建输电线路是不现实的, 因为同杆双回线的建设就是为了减少线路输电走廊; 此外对暂态稳定来说, 减小送端电源和受端电源之间的联系电抗是提高暂态稳定性的有效手段, 但由于发电机和变压器的电抗远大于输电线路的电抗, 因此仅依靠输电线路来提高系统的暂态功角稳定性效果是有限的。

表 1 给出了发电机暂态同步电抗同线路电抗的比例关系。

表 2 给出了发电机经升压变压器直接接入

500 kV 系统输变电工程变压器所占线路总电抗的比例关系。

由表 1 和表 2 可见,当 500 kV 输电线路长度在 200 km 以内时,增加一条 500 kV 输电线路对系统

暂态稳定的提高是有限的。因此在电源端安装稳定控制切机装置是保证系统暂态稳定的必然选择,即当 500 kV 双回线同时跳,联切发电机组是有效的控制措施。

表 1 发电机暂态同步电抗与线路总电抗的比例比值表

Tab.1 Ratio table between transient reactance of generator and line reactance

输电线路长度/km		100	200	300	400	500	600
电压等级/kV	500	1.900	0.956	0.643	0.489	0.398	0.339

表 2 变压器电抗与线路总电抗的比例比值表

Tab.2 Ratio table between transformer reactance and line reactance

输电线路长度/km		100	200	300	400	500	600
电压等级/kV	500	0.723	0.568	0.469	0.402	0.353	0.318

说明: 变压器电抗包括升压变和降压变电抗。

4.2 热稳定问题

当电网中存在电磁环网时,高一电压等级元件某单一元件故障切除后对低一级电压等级电网造成的热稳定问题较对本级电网元件带来的热稳定问题要严重的多。对于送端电网来说,送端电网向受端电网输送功率时,是通过电网最高等级的电压输送;但与此同时,送端电网满足自身电网的用电需求是通过低一级的电网供电,当二级电网通过变压器相联时,将形成电磁环网。此外,从低等级的电网输电向高等级的电网输电发展过程中,电磁环网存在是不可避免的。特别是随着输电走廊的减小,同杆双回 500 kV 线路建设已经普遍存在,双回 500 kV 线路同时跳将对 220 kV 电网带来的严重热稳定问题。联切机组的稳定控制装置在一定程度上降低了 500 kV 输电线路潮流对 220 kV 线路的潮流转移,但当联切的机组一定时,并且送端地区 220 kV 网架薄弱的情况下,这种 500 kV 输电线路潮流对 220 kV 线路的潮流转移仍将给系统带来恶劣的结果。因此在加强送端电网同受端电网输送能力的同时,还需要加强送端地区低一级电网,即 220 kV 电网的网架建设,使高压电网和低压电网架设配套。

5 结语

本文对送端电网电源的接入、送端电网内部电网的连接以及送端电网与受端电网的连接进行了讨论。指出了在电网规划中送端电网电源的接入、送端电网内部电网的连接以及送端电网与受端电网的连接应该注意的问题。只有从电网规划设计中充分考虑了电网的稳定性,在电网实际调度运行时才能确保电网的安全稳定性。

参考文献

[1] DL 755-2001, 电力系统安全稳定导则[S]. DL 755-2001, Stability Rule of Power System[S].

[2] 王梅义, 吴竞昌, 蒙定中. 大电网系统技术[M]. 北京: 中国电力出版社, 2000. WANG Mei-yi, WU Jing-chang, MENG Ding-zhong. Large Power System Technology[M]. Beijing: China Electric Power Press, 2000.

[3] 李光琦. 电力系统暂态分析[M]. 北京: 水利电力出版社, 1995. LI Guang-qi. Transient Analyze for Power System[M]. Beijing: Hydraulic and Electric Power Press, 1995.

[4] 刘振亚. 特高压电网[M]. 北京: 中国经济出版社, 2005. LIU Zhen-ya. Ultra-high Voltage Grid[M]. Beijing: China Economic Press, 2005.

[5] 王正风, 陈实, 葛斐, 等. 500 kV 淮宿变电站投运对安徽电网暂态稳定性的影响[J]. 中国电力, 2008, 41 (8): 8-11. WANG Zheng-feng, CHEN Shi, GE Fei, et al. Effect of 500 kV Huaisu Substation Commissioning on Anhui Power System Transient Stability[J]. Electric Power, 2008, 41 (8): 8-11.

[6] 栗文义, 袁棠次. 从内蒙古西部地区的电力发展探讨“三西”地区的电网规划[J]. 电网技术, 1998, 22 (3): 29-32. LI Wen-yi, YUAN Tang-ci. A Study on the Planning of Electric Power Network in“San-Xi”Area from the Development of Electric Power in West Area of Innermongol in Autonomous Region[J]. Power System Technology, 1998, 22 (3): 29-32.

[7] 王锡凡. 现代电力系统分析[M]. 北京: 科学出版社, 2003. WANG Xi-fan. Modern Power System Analysis[M]. Beijing: Science Press, 2003.

(下转第 104 页 continued on page 104)

据的指令与写FLASH的指令，完成数据的存储。

3.2 实验结果与分析

图6和图7为正弦信号的实验曲线，横坐标是AD采集实际点数，纵坐标为AD转换后数据的十进制值，一三通道接入正弦信号，二四通道接入直流基线信号1.25 V，输入信号的频率为100 Hz，幅值范围0.4~2 V，每个通道采集10 M个点数，经过数据合成处理每个通道为5 M个点数。可以看出，在50 kHz的采样频率下，一个周期内AD采集了500个点，幅值和频率都吻合得很好，很好地复原了输入信号。

4 结束语

本系统以CPLD和单片机为控制核心，以FIFO为桥梁，实现了多通道同步采样并实时存储，并且通过后续的数据处理，能够较好地还原采集信号。通过调试，提高输入到CPLD的高频时钟，可进一步提高系统数据的同步采集速度，给多路实时采集提供一种新的思路。

参考文献

[1] 周治良, 刘俊, 张斌珍. 基于 FPGA 及 FLASH 的数据采集存储系统设计[J]. 微计算机信息, 2007, 23(3): 91-92.
ZHOU Zhi-liang, LIU Jun, ZHANG Bin-zhen. Design and Implementation of Data Acquisition System based on FPGA and FLASH[J]. Micro Computer Information, 2007, 23 (3) : 91-92.

[2] 李曼. 多通道高速数据采集电路设计[J]. 西安科技学院学报, 2000, 20 (2) : 144-147.
LI Man. Multi-channel and High-speed Acquisition Circuit[J]. Journal of Xi'an University of Science & Technology, 2000, 20 (2) : 144-147.

[3] 文丰, 赵小珍, 甄国涌. 基于 USB 总线的高速数据采集存储测试系统的设计[J]. 电测与仪表, 2007, 44 (503) : 47-49.
WEN Feng, ZHAO Xiao-zhen, ZHEN Guo-yong. The Design on High Speed Data Acquisition and Storage

Measurement System Based on USB Bus[J]. Electrical Measurement & Instrumentation, 2007, 44 (503) : 47-49.

[4] 黄霞, 鲍慧, 赵伟, 等. 基于 TMS320VC5509A 的多路同步数据采集与存储系统[J]. 继电器, 2007, 35 (23) : 24-27.
HUANG Xia, BAO Hui, ZHAO Wei, et al. A Multi-channel Synchronous Data-acquisition and Storage System Based on TMS320VC5509A[J]. Relay, 2007, 35 (23) : 24-27.

[5] 沈伟, 王军政, 汪首坤. 基于 FIFO 的高速高精度数据采集技术研究[J]. 电子器件, 2007, 30 (5) : 1673-1676.
SHEN Wei, WANG Jun-zheng, WANG Shou-kun. Research on High Speed and High Precision Data Acquisition Technology Based on FIFO[J]. Chinese Journal of Electron Devices, 2007, 30 (5) : 1673-1676.

[6] 祁煜, 李启炎, 翁良科, 等. 基于 CPLD 和 FIFO 的多通道高速数据采集系统的研究[J]. 电子技术应用, 2003, 29 (2) : 44-47.
QI Yu, LI Qi-yan, WENG Liang-ke, et al. Study of High-speed Multi-channel Data Acquisition System based on CPLD and FIFO[J]. Application of Electronic Technique, 2003, 29 (2) : 44-47.

[7] 李志军, 李欣然, 石吉银, 等. 用 CPLD 实现多通道数据采集系统的 A/D 转换器控制电路设计[J]. 继电器, 2006, 34 (21) : 52-57.
LI Zhi-jun, LI Xin-ran, SHI Ji-yin, et al. Design of Circuit of A/D Converter of Multi-channel Data Acquisition System Based on CPLD[J]. Relay, 2006, 34 (21) : 52-57.

收稿日期: 2009-05-20; 修回日期: 2009-06-05

作者简介:

张耀政 (1983-), 男, 硕士研究生, 主要从事测控系统、数据采集系统等方面的研究; E-mail: zyz224@163.com

王文廉 (1978-), 男, 主要从事动态测试技术、智能仪器研究;

张志杰 (1965-), 男, 教授、博士生导师, 主要从事动态测试技术及信号处理研究。

(上接第 84 页 continued from page 84)

[8] Kundur P. Power System Stability and Control[M]. 北京: 中国电力出版社, 2002.
Kundur P. Power System Stability and Control[M]. Beijing: China Electric Power Press, 2002.

作者简介:

汪永华 (1965-), 男, 副教授, 主要从事电力系统自动化及智能电气方面的教学与科研工作; E-mail: wangyonghua003@yahoo.com.cn

王正风 (1976-), 男, 博士, 从事电力系统调度运行工作。E-mail: wzhenf@163.com

收稿日期: 2009-05-11; 修回日期: 2009-06-17