

DOI:10.12158/j.2096-3203.2020.04.007

应对 UHVDC 送端电网新能源大规模脱网的频率紧急控制

霍超¹, 李兆伟^{2,3}, 柯贤波¹, 郝朝辉^{2,3}, 王超^{2,3}, 屠竞哲⁴

(1. 国家电网有限公司西北分部, 陕西 西安 710048; 2. 南瑞集团(国网电力科学研究院)有限公司, 江苏 南京 211106; 3. 国网南瑞科技股份有限公司, 江苏 南京 211106; 4. 中国电力科学研究院有限公司, 北京 100192)

摘要:我国特高压直流输电(UHVDC)的快速发展及新能源发电占比的不断提高,有力支撑了国家的能源战略转型。但由于新能源机组的涉网保护性能较差,在新能源集中接入的直流送端电网,发生交直流故障后容易导致新能源大规模脱网,给电网的暂态频率安全保障带来极大挑战。文中首先分析 UHVDC 送端电网新能源大规模脱网的故障过程;然后针对现有应对新能源脱网措施的不足,根据故障过程特征提出利用直流换相失败等信息作为触发条件的频率紧急控制技术方案及实现方法;最后搭建西北电网的仿真算例,验证了所提方法能有效应对交直流故障引起的新能源大规模脱网,大幅提升送端电网的 UHVDC 输电能力及新能源消纳。

关键词:新能源脱网;特高压直流(UHVDC);低电压穿越;紧急控制;频率安全

中图分类号: TM732

文献标志码: A

文章编号: 2096-3203(2020)04-0042-06

0 引言

随着多个大容量特高压直流(ultra high voltage direct current, UHVDC)及配套新能源基地的建设投运^[1-5],西北电网“大直流、大新能源、弱交流”特点突出,各类稳定问题耦合度高,电网由传统的交流同步稳定问题转变为同步稳定、电压稳定、频率稳定问题并存,尤其是交直流故障引起的大规模新能源脱网已成为限制新能源消纳的重要因素。

目前西北电网单回直流的最大额定输送容量已达到 12 000 MW,直流故障、异常情况对电网冲击较大^[6]。直流有功、无功变化不同步导致近区电压大幅波动,而新能源机组对电网运行条件变化适应性较差。UHVDC 换相失败故障期间,由于无功大量盈余进入交流电网,造成暂态过电压问题突出^[7-10],易引发风机大规模新能源脱网,因此大量新能源进入低电压穿越的问题受到广泛关注^[11-13]。

关于 UHVDC 送端电网的新能源过电压脱网问题,现有研究多从转动惯量、新能源脱网^[14-16]以及功率波动^[17-21]等方面进行分析。新能源脱网过程中伴随着低电压穿越,即同时包括永久性的功率损失及暂时性的功率损失,传统的切机切负荷措施难以应对此类问题,且紧急控制策略研究鲜有涉及。

文中首先对 UHVDC 送端电网交直流故障引发大面积新能源脱网的故障过程进行分析;其次针对

现有应对措施不足,分析故障过程特征,提出利用直流换相失败等信息作为触发条件的频率紧急控制技术方案;最后基于西北电网仿真,对所提技术方案和策略的有效性进行验证。

1 UHVDC 送端电网新能源过电压脱网风险及应对措施现状

1.1 交直流故障引起新能源过电压脱网的过程

对于新能源集中接入的 UHVDC 送端电网,电网网架相对薄弱,各站点短路容量低,系统抗电压扰动能力较弱,直流闭锁、换相失败等故障下整流侧近区暂态过电压问题严重,但新能源机组耐高压能力不足,风机一般在并网点电压超过 1.1 p.u.时允许脱网^[22],光伏电站则在并网电压超过 1.3 p.u.时允许脱网^[23],存在大规模新能源脱网的风险。

如直流换相失败期间,整流侧电压出现短时降低,直流有功功率发生突降,而随着换相失败消失,直流功率缓慢恢复,但与故障前直流输送有功相匹配的滤波器无法快速投切,暂态过程中会造成直流系统无功大量盈余。同时,直流换相失败期间整流侧换流母线电压的短时下降,易导致直流近区新能源进入低电压穿越过程,造成新能源有功出力跌落,电压恢复后,新能源有功出力恢复较慢,无功需求减小,新能源场站的无功补偿响应滞后及新能源机组低穿期间的无功出力回退不及时,也会造成无功大量盈余。综合直流系统、新能源场站的有功和无功功率变化过程可知,暂态过程中有功和无功功率响应不匹配,会导致直流近区无功大量过剩,使

收稿日期:2020-01-09;修回日期:2020-02-25

基金项目:国家重点研发计划资助项目(2018YFB0904004);
国家电网有限公司科技项目(5100-201933004A-0-0-00)

得换相失败期间直流近区新能源机组暂态过电压问题突出,易导致新能源脱网,这个过程中新能源机组端电压响应如图 1 所示,超过国标要求的风机正常运行电压标准^[22]。交流短路故障引起新能源过电压脱网的过程与此类似,同样是由于直流和新能源场站有功功率与配套的无功补偿出力在故障后恢复速度不匹配引起,不再赘述。

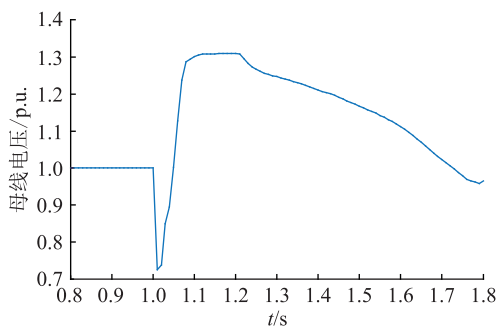


图 1 UHVDC 换相失败风电机组端电压

Fig.1 Wind turbine generator terminal voltage after UHVDC commutation failure

1.2 现有应对措施及不足

根据仿真分析,交直流故障后近区的暂态过电压水平与直流输送功率、新能源出力密切相关。故障前直流输送功率越大,新能源场站出力越高,则暂态过电压水平越严重。现有 UHVDC 一般均配有稳控系统,但主要应对直流闭锁故障后的高频问题。对于新能源大规模脱网问题,由于造成新能源脱网的故障非常多,甚至包括受端电网的交流故障,传统基于故障触发的紧急控制方法很难适用。为了避免新能源脱网可能带来的连锁风险,目前 UHVDC 和近区新能源机组运行时,一般严格按照交直流故障引起的暂态过电压不会造成新能源脱网的需求,对直流输送功率及新能源的出力水平进行约束,但这种控制方法对直流及新能源场站的运行功率限制较大,会造成直流利用效率降低,新能源场站弃电率升高。

实际上,从安全稳定运行的角度,电网可以承受一定的新能源脱网,但需要避免新能源脱网引发不可预测的连锁故障。为了减少对直流输电和新能源出力的限制,需要改进现有的应对策略。

2 应对新能源大规模脱网的紧急控制策略

2.1 总体思路

允许新能源适当脱网以提高送端电网直流输电和新能源发电能力,将新能源脱网范围限制在电网可承受的范围内,阻断电网连锁失稳的路径,可以基于大量的离线仿真或在线安全稳定计算来实

现。另外,针对新能源脱网后的电网频率变化,配置足够的控制手段使频率快速恢复至合理范围内。这样,电网的预防控制问题则转化为新能源大规模脱网后的频率紧急控制问题,其难点在于造成新能源脱网的故障非常多,甚至包括受端电网的交流故障,且新能源脱网量难以统计,故障过程中还伴随新能源低电压穿越引起的暂时性功率扰动。文中重点针对这一问题,提出利用直流换相失败等信息作为触发条件的频率紧急控制技术进行应对,在保证电网安全运行的前提下,大幅提升直流输电及新能源消纳。

2.2 应对新能源脱网的频率紧急控制关键信息

2.2.1 紧急控制的触发信号选择

根据电网仿真分析,导致新能源连锁大规模脱网的故障很多,包括直流换相失败、再启动、闭锁以及交流短路故障等,其中除了针对直流闭锁配置有稳控措施外,其他故障均缺少相应的稳控系统,实际工程中也很难针对所有的故障都配置稳控系统。如直流换相失败,除了直流本体故障引起外,大部分换相失败都由受端电网的故障扰动引起,如果采用传统的紧急控制方法,需要在受端电网的成百上千个站点布置装置^[24],监测到故障信息后,再发送到送端电网,执行紧急控制。如此设计,整个控制系统异常复杂,工程的经济性及可靠性较差。

考虑到直流连续换相失败是引起新能源大规模脱网的主要来源,因此可以利用直流换相失败信息作为触发信号,紧急采取相关的控制措施。目前在我国西南电网已投入应用的三大 UHVDC 同时换相失败稳控系统中,利用直流换相失败信息作为切机措施的触发信号,已在实际工程中投入应用,工程效果良好,无论是动作响应时间还是系统可靠性,都已得到实际电网的检验。

另外,直流再启动故障与换相失败类似,不再赘述。对于送端交流故障引起的大规模新能源脱网问题,故障范围相对较小,可以通过在部分关键站点配置装置予以监测。

2.2.2 新能源脱网量的统计

执行紧急控制的另一个关键是在电网允许的的时间内,判断出新能源脱网的功率损失量,这是紧急控制执行措施的主要依据。根据上述分析,新能源大规模进入低电压穿越会造成电网的有功电源损失,与新能源脱网不同,新能源低电压穿越引起的功率损失仅是“暂时性”的,即随着新能源逐步退出低电压穿越,新能源的功率会缓慢恢复。如果不能将这些“暂时性”的功率损失加以区分,可能会造

成控制措施量过大,引起电网出现高频。

为了准确识别新能源脱网的功率损失量,目前西北电网正在推动建设新能源全景监控系统^[25],其目的是全面掌握新能源发电的运行状态,电网故障暂态过程的新能源脱网信息尤为重要。

在新能源全景监控建设完成前,为了在不掌握新能源脱网量信息的前提下执行紧急控制,可以考虑通过预防控制安排运行方式,使系统可能出现的新能源最大脱网量满足要求。需要注意的是,并非每次的直流换相失败均能导致新能源大规模脱网,若不掌握新能源的实时脱网量信息,仅依靠换相失败等信息触发频率紧急控制可能导致误动作。可以结合实际电网的频率响应信息作为辅助判别信号,在紧急控制系统同时接收到换相失败等触发信息和系统频率跌落信息时,执行紧急控制。再者,还要考虑新能源大规模进入低电压穿越时的影响,即极端情况下无新能源脱网,执行紧急控制后是否存在频率升高导致高频切机动作的风险。

2.3 控制系统架构及功能

为应对交直流故障引起的大规模新能源脱网导致的系统低频问题,基于关键信息,设计图2所示的控制系统。其总体功能是:紧急控制主站接收监测子站发送的直流换相失败、交流系统故障信息、系统频率变化信息,根据离线或在线生成的紧急控制策略和新能源脱网量信息,紧急回降或提升网内的直流控制资源,减小或避免切负荷措施的应用。

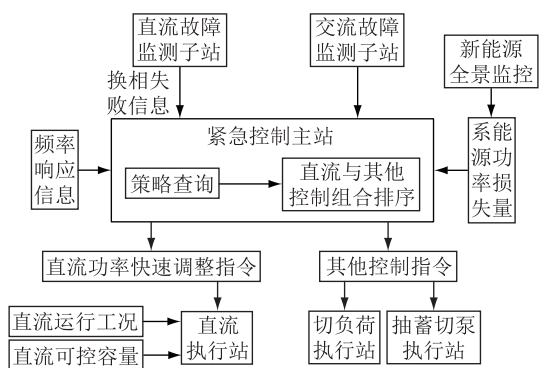


图2 应对新能源大规模脱网的紧急控制系统

Fig.2 Emergency control system for large scale renewable generation tripping

各站的详细功能包括:

(1) 紧急控制主站用于接收故障信息监测子站发送的直流换相失败、再启动和交流故障信息,获取各直流运行信息、新能源脱网功率损失量信息、系统的频率响应信息,根据控制策略表向对应直流控制执行站下发直流快速功率调整指令;

(2) 直流故障监测子站用于接收直流控制保护

系统发出的直流换相失败、直流再启动信息,并将该信息发送给紧急控制主站;

(3) 直流控制执行站用于获取各直流运行信息,并将该信息上送给紧急控制主站,接收紧急控制主站下发的直流功率调整指令,将该信息发送给直流控保系统,执行直流功率紧急控制,其中直流的实时可控容量可以参考文献[26]计算获取。

2.4 紧急控制主要流程

应对新能源大规模脱网的频率紧急控制流程如图3所示,主要包括4个步骤。

(1) 当发生预想的交直流故障后,由相应的故障信息子站将故障信息发送至紧急控制主站。

(2) 紧急控制主站接收到故障信息时,实时获取各区域的新能源功率损失总量,实时采集电网重要节点的频率,作为紧急控制直流的频率辅助判据。

(3) 紧急控制主站根据故障信息,并综合考虑新能源损失量信息、系统频率信息、直流运行信息。当系统频率偏差达到紧急控制动作阈值时,从控制策略表匹配合适的紧急控制策略,发送给控制执行站。控制策略主要根据新能源的实际脱网量,考虑电网可承受的不平衡量,采用适当欠控的原则,回降外送的直流功率(或提升受入的直流功率),若控制量不足则继续执行抽蓄切泵或切负荷措施。

(4) 由直流、抽水蓄能电站、负荷等控制执行站执行控制命令,保障系统安全稳定。

需要指出,若控制系统缺少新能源全景监控系统发出的新能源脱网损失功率信息,可以通过预防控制安排合理的运行方式,使系统可能出现的最大新能源脱网量在可控范围内。同时由于无法区分新能源脱网和新能源低电压穿越引起的频率跌落的差异,需要校核完全由新能源低电压穿越引起的频率暂时跌落时,执行紧急控制策略后系统的最高频率不会引起高频切机动作。另外,由于一定程度上放开了直流换相失败约束下的直流输电功率极限,当直流大功率闭锁后,需要对原有直流闭锁稳控策略进行校核,必要时调整切机量或切机优先级。

3 算例分析

以西北电网为例进行仿真验证,考虑负荷55 000 MW(极小负荷方式),直流外送总量34 500 MW,新能源总出力13 000 MW。其中,灵绍(宁夏—浙江)、天中(新疆—河南)、祁韶(甘肃—湖南)UHVDC近区均汇集了大规模新能源发电,如图4所示。极小负荷方式下直流外送功率及近区新能源发电功率如表1所示。主要以祁韶直流换相失败

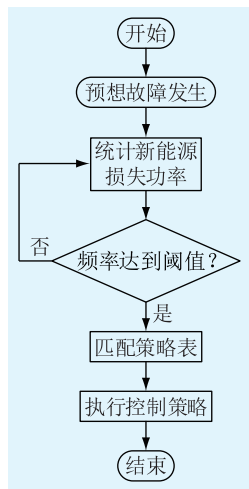


图3 应对新能源大规模脱网的紧急控制流程
Fig.3 Emergency control process to deal with large-scale disconnection of renewable energy

引起的新能源脱网和低电压穿越为例对所提控制方法进行验证。

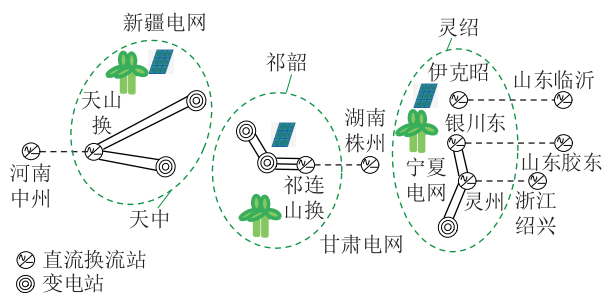


图4 典型方式下的西北电网

Fig.4 China northwest power grid under typical operating condition

表1 直流外送及新能源发电功率

Table 1 DC transmission and new energy generation power

UHVDC	直流外送功率/MW	新能源发电功率/MW
灵绍	16 500	3 000
天中	8 000	4 000
祁韶	4 500	4 000

3.1 直流换相失败导致新能源脱网的仿真实验

若祁韶直流双极换相失败导致近区 5 000 MW 风电脱网,全网频率最大跌落 1.8 Hz,会触发电网低频减载动作。系统频率 3 s 跌落 0.5 Hz,5 s 跌落约 0.8 Hz,频率谷值出现在 28 s,如图 5 所示。电网频率跌落的时间响应特性给紧急控制系统留有充足的动作时间。

若祁韶直流双极换相失败导致近区 5 000 MW 风电全部脱网,紧急控制系统检测到换相失败后开始启动,获取电网功率损失量。频率跌至 49.5 Hz 后,延时 0.3 s 紧急回降灵绍、天中、吉泉(新疆一安

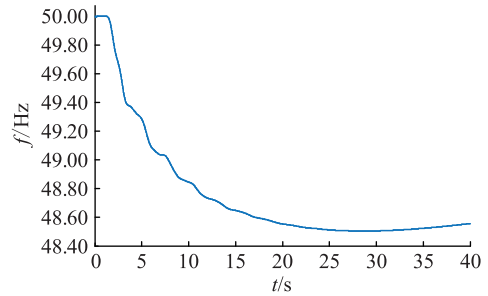


图5 风电脱网 5 000 MW 的系统频率

Fig.5 System frequency after 5 000 MW wind turbine generators disconnection

徽)三大直流各 800 MW,系统频率最低约为 49.3 Hz,不会导致西北电网低频减载动作,系统频率响应如图 6 所示。由此可见,应对新能源大规模脱网的紧急控制措施可有效提高系统承受风电脱网量的能力,阻断风机脱网引发的频率连锁反应。

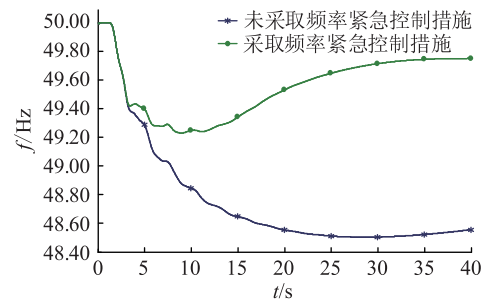


图6 系统频率对比

Fig.6 System frequency comparison

3.2 新能源低电压穿越影响

当大规模新能源机组进入低电压穿越时,会导致新能源有功出力长时间处于较低水平,在有功完全恢复前可能导致系统频率大幅度跌落,甚至可能降至 49 Hz 以下,引起低频减载动作。

考虑极端情况,祁韶直流换相失败后未导致新能源脱网,但由于新能源大规模进入低电压穿越,触发直流回降功能动作,灵绍、天中、吉泉三大直流合计回降功率 2 400 MW,随后新能源机组功率逐步恢复,系统频率响应如图 7 所示。

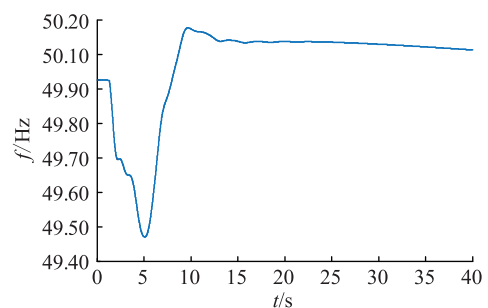


图7 风电进入低穿的系统频率

Fig.7 System frequency when wind turbine generator entering low voltage ride through

由图 7 可知,随着紧急控制系统动作,电网最低频率降至 49.5 Hz,不会引起电网低频减载动作。由于低电压穿越后新能源出力会随着电压恢复而退出故障穿越模式,当新能源出力完全恢复后,紧急控制会给送端电网带来一定程度的功率盈余,导致系统频率峰值上升至 50.17 Hz,但距离触发西北电网高频切机尚有一定裕度。由此可见,通过合理的策略制定,可以充分考虑风机低电压穿越的影响,使得应对新能源大规模脱网的紧急控制策略不影响系统的安全稳定运行。

4 结论

UHVDC 送端电网的新能源大规模脱网威胁系统的安全稳定运行,是限制送端电网直流输电能力和新能源发电水平的重要因素。为了保障系统安全稳定运行,提高直流利用效率,降低新能源弃电率,提出一种应对 UHVDC 送端电网新能源大规模脱网的频率紧急控制技术,主要结论为:

(1) UHVDC 近区的新能源大规模脱网往往由交直流故障引起,文中通过总结新能源脱网的故障过程,提出利用直流换相失败等信息作为触发条件,结合实际电网的频率响应信息作为辅助判别信号执行紧急控制,有效提高了电网的暂态频率安全稳定水平。相比传统的紧急控制系统,可大幅减少紧急控制装置布点,提高紧急控制系统运行可靠性和经济性。

(2) 为了区分大规模新能源脱网和低电压穿越对电网的影响,西北电网正在建设新能源全景监控系统,以实现对新能源的全过程监控。若紧急控制系统缺少新能源全景监控系统发出的新能源脱网损失功率信息,可以通过预防控制安排合理的运行方式,避免新能源低电压穿越引起频率跌落时,执行紧急控制策略引起高频切机动作。通过西北电网的算例仿真,验证了文中方案的有效性。

参考文献:

[1] 刘振亚,张启平,董存,等. 通过特高压直流实现大型能源基地风、光、火电力大规模高效率安全外送研究[J]. 中国电机工程学报,2014,34(16):2513-2522.
LIU Zhenya, ZHANG Qiping, DONG Cun, et al. Efficient and security transmission of wind, photovoltaic and thermal power of large-scale energy resource bases through UHVDC projects[J]. Proceedings of the CSEE, 2014, 34(16): 2513-2522.

[2] LI Z, ZHAN R, LI Y, HE Y, et al. Recent developments in HVDC transmission systems to support renewable energy integration[J]. Global Energy Interconnection, 2018, 1(5): 595-607.

[3] 朱艺颖,董鹏,谢国平,等. 适应大规模风电外送的特高压直

流协调控制实时仿真研究[J]. 电网技术, 2013, 37(7): 1814-1819.
ZHU Yiyang, DONG Peng, XIE Guoping, et al. Real-time simulation of UHVDC cooperative control suitable to large-scale wind farms[J]. Power System Technology, 2013, 37(7): 1814-1819.

[4] 陈树勇,逢博,陈得治,等. 新疆电网多送出直流输电系统运行特性分析[J]. 中国电力, 2014, 47(4): 102-107, 122.
CHEN Shuyong, PANG Bo, CHEN Dezhi, et al. Analysis on operating characteristics of the multi-send HVDC system in Xinjiang power grid[J]. Electric Power, 2014, 47(4): 102-107, 122.

[5] KLETTKE A, SIEBERICH M, MOSER A. Operational concepts of HVDC in the context of security assessment in the German transmission grid[J]. Global Energy Interconnection, 2019, 2(2): 130-132.

[6] 李明节. 大规模特高压交直流混联电网特性分析与运行控制[J]. 电网技术, 2016, 40(4): 985-991.
LI Mingjie. Characteristic analysis and operational control of large-scale hybrid UHV AC/DC power grids[J]. Power System Technology, 2016, 40(4): 985-991.

[7] 屠竞哲,张健,刘明松,等. 风火打捆直流外送系统直流故障引发风机脱网的问题研究[J]. 电网技术, 2015, 39(12): 3333-3338.
TU Jingzhe, ZHANG Jian, LIU Mingsong, et al. Study on wind turbine generators tripping caused by HVDC contingencies of wind-thermal-bundled HVDC transmission systems[J]. Power System Technology, 2015, 39(12): 3333-3338.

[8] 贺静波,庄伟,许涛,等. 暂态过电压引起风电机组连锁脱网风险分析及对策[J]. 电网技术, 2016, 40(6): 1839-1844.
HE Jingbo, ZHUANG Wei, XU Tao, et al. Study on cascading tripping risk of wind turbines caused by transient overvoltage and its countermeasures[J]. Power System Technology, 2016, 40(6): 1839-1844.

[9] 曹生顺,张文朝,王蒙,等. 大容量直流发生功率大扰动时送端风机暂态过电压快速分析方法研究[J]. 高电压技术, 2017, 43(10): 3300-3306.
CAO Shengshun, ZHANG Wenchao, WANG Meng, et al. Study on the transient fundamental frequency overvoltage of wind turbine generators in sending system when serious power disturbances occur in large-capacity UHVDC[J]. High Voltage Engineering, 2017, 43(10): 3300-3306.

[10] 刘琳,雷霄,孔祥平,等. 抑制换相失败期间送端电网过电压的控制策略研究[J]. 电力工程技术, 2019, 38(3): 60-66.
LIU Lin, LEI Xiao, KONG Xiangping, et al. The control strategy for suppressing overvoltage of sending grid during commutation failure[J]. Electric Power Engineering Technology, 2019, 38(3): 60-66.

[11] 徐殿国,王伟,陈宁. 基于撬棒保护的双馈电机风电场低电压穿越动态特性分析[J]. 中国电机工程学报, 2010, 30(22): 29-36.
XU Dianguo, WANG Wei, CHEN Ning. Dynamic characteristic analysis of doubly-fed induction generator low voltage ride-

- through based on crowbar protection [J]. Proceedings of the CSEE, 2010, 30(22): 29-36.
- [12] 贺益康, 胡家兵. 双馈异步风力发电机并网运行中的几个热点问题[J]. 中国电机工程学报, 2012, 32(27): 1-15.
HE Yikang, HU Jiabing. Several hot-spot issues associated with the grid-connected operations of wind-turbine driven doubly fed induction generators [J]. Proceedings of the CSEE, 2012, 32(27): 1-15.
- [13] 关宏亮, 赵海翔, 王伟胜, 等. 风电机组低电压穿越功能及其应用[J]. 电工技术学报, 2007(10): 173-177.
GUAN Hongliang, ZHAO Haixiang, WANG Weisheng, et al. LVRT capability of wind turbine generator and its application [J]. Transactions of China Electrotechnical Society, 2007(10): 173-177.
- [14] 孙华东, 张振宇, 林伟芳, 等. 2011 年西北电网风机脱网事故分析及启示[J]. 电网技术, 2012, 36(10): 76-80.
SUN Huadong, ZHANG Zhenyu, LIN Weifang, et al. Analysis on serious wind turbine generators tripping accident in north-west China power grid in 2011 and its lessons [J]. Power System Technology, 2012, 36(10): 76-80.
- [15] 徐峰达, 郭庆来, 孙宏斌, 等. 多风场连锁脱网过程分析与仿真研究[J]. 电网技术, 2014, 38(6): 1425-1431.
XU Fengda, GUO Qinglai, SUN Hongbin, et al. Analysis and simulation research on cascading trips of multiple wind farms [J]. Power System Technology, 2014, 38(6): 1425-1431.
- [16] 严干贵, 侯延鹏, 王健, 等. 抑制超速脱网的双馈感应风电机组低电压穿越控制策略研究[J]. 电工技术学报, 2015, 30(23): 146-154.
YAN Gangui, HOU Yanpeng, WANG Jian, et al. A DFIG wind turbine low voltage ride through control strategy restraining over-speed-tripping-off from grid [J]. Transactions of China Electrotechnical Society, 2015, 30(23): 146-154.
- [17] 崔杨, 穆钢, 刘玉, 等. 风电功率波动的时空分布特性[J]. 电网技术, 2011, 35(2): 110-114.
CUI Yang, MU Gang, LIU Yu, et al. Spatiotemporal distribution characteristic of wind power fluctuation [J]. Power System Technology, 2011, 35(2): 110-114.
- [18] 林卫星, 文劲宇, 艾小猛, 等. 风电功率波动特性的概率分布研究[J]. 中国电机工程学报, 2012, 32(1): 38-46.
LIN Weixing, WEN Jinyu, AI Xiaomeng, et al. Probability density function of wind power variations [J]. Proceedings of the CSEE, 2012, 32(1): 38-46.
- [19] 王深哲, 高山, 尤国伟, 等. 考虑多安全性约束的风电场穿透功率极限研究[J]. 电力工程技术, 2017, 36(3): 57-61, 81.
WANG Shen zhe, GAO Shan, YOU Guowei, et al. Wind penetration limitation research considered multiple security constraints [J]. Electric Power Engineering Technology, 2017, 36(3): 57-61, 81.
- [20] 杨硕, 王伟胜, 刘纯, 等. 计及风电功率波动影响的风电场集群无功电压协调控制策略[J]. 中国电机工程学报, 2014, 34(28): 4761-4769.
YANG Shuo, WANG Weisheng, LIU Chun, et al. Coordinative strategy for reactive power and voltage control of wind farms cluster considering wind power fluctuation [J]. Proceedings of the CSEE, 2014, 34(28): 4761-4769.
- [21] 唐西胜, 孙玉树, 齐智平. 基于 HHT 的风电功率波动及其对电力系统低频振荡的影响分析[J]. 电网技术, 2015, 39(8): 2115-2121.
TANG Xisheng, SUN Yushu, QI Zhiping, et al. Analysis of wind power fluctuation characteristics and its impact on power system low frequency oscillation based on HHT [J]. Power System Technology, 2015, 39(8): 2115-2121.
- [22] 风电场接入电力系统技术规定: GB/T 19963—2011 [S]. 北京: 中国电力出版社, 2011.
Technical rule for connecting wind farm to power system: GB/T 19963—2011 [S]. Beijing: China Electric Power Press, 2011.
- [23] 光伏电站接入电力系统规定: GB/T 19964—2012 [S]. 北京: 中国电力出版社, 2012.
Technical requirement for connecting photovoltaic power station to power system: GB/T 19964—2012 [S]. Beijing: China Electric Power Press, 2012.
- [24] 李兆伟, 吴雪莲, 曹路, 等. 抑制直流连续换相失败的调相机紧急控制[J]. 电力系统自动化, 2018, 42(22): 91-97.
LI Zhaowei, WU Xuelian, CAO Lu, et al. Emergency control of synchronous condenser to suppress DC continuous commutation failure [J]. Automation of Electric Power Systems, 2018, 42(22): 91-97.
- [25] 郅朝辉, 崔晓丹, 李威, 等. 一种支撑电网故障感知与分析的全景录波平台[J]. 中国电力, 2018, 51(12): 88-94.
QIE Zhaohui, CUI Xiaodan, LI Wei, et al. Research on a fault sensing and analysis supporting platform for power grid [J]. Electric Power, 2018, 51(12): 88-94.
- [26] 许涛, 吴雪莲, 李兆伟, 等. 改善系统频率稳定性的多直流功率紧急支援协调控制策略[J]. 电力系统自动化, 2018, 42(22): 69-77.
XU Tao, WU Xuelian, LI Zhaowei, et al. Coordinated control strategy of multi-DC emergency power support to improve frequency stability of power systems [J]. Automation of Electric Power Systems, 2018, 42(22): 69-77.

作者简介:



霍超

霍超(1982),男,硕士,高级工程师,从事电力系统运行与控制相关工作(E-mail:huoc@nw.sgcc.com.cn);

李兆伟(1985),男,硕士,高级工程师,从事电力系统安全稳定分析与控制相关工作;

柯贤波(1979),男,硕士,教授级高级工程师,从事电力系统运行与控制相关工作。

(下转第 60 页)

Power line parameter identification based on multi-innovation least square algorithm

YUAN Kangkang¹, WEI Zhinong¹, DUAN Fangwei², LIU Ruitong², XU Wei³, YAN Minghui³

(1. School of Energy and Electrical Engineering, Hohai University, Nanjing 211100, China;

2. State Grid Liaoning Electric Power Co., Ltd. Research Institute, Shenyang 110006, China;

3. NARI Group (State Grid Electric Power Research Institute) Co., Ltd., Nanjing 211106, China)

Abstract: With the construction and development of power system, the structure of power grid is becoming more and more complex. Due to the long-term operation of power lines and changes in the surrounding environment, deviations exist between the original line parameters model and the actual line parameters, which affect the real-time monitoring and optimal operation of power system. Considering the sufficient measurement of data acquisition and monitoring system (SCADA) in power system transmission lines, a line parameter identification model is presented based on multi-innovation least squares (MILS) algorithm in order to achieve accurate identification and correction of the whole network lines. IEEE 39-bus power system simulation model is built on real-time digital simulation (RTDS) platform to obtain power flow operation data. Then, parameter identification is carried out in Matlab environment, and the identification results are compared with the line parameters on RTDS platform. The results show that the parameters identification results based on MILS algorithm have high estimation accuracy, and can be used as the basis for judging suspicious lines in power system.

Keywords: power line; parameter identification; multi-innovation least squares (MILS) algorithm; supervisory control and data acquisition (SCADA) system; real-time digital simulation (RTDS) system

(编辑 吴楠)

(上接第 47 页)

Emergency frequency control for large-scale disconnection of renewable energy in the UHVDC sending grid

HUO Chao¹, LI Zhaowei^{2,3}, KE Xianbo¹, QIE Zhaohui^{2,3}, WANG Chao^{2,3}, TU Jingzhe⁴

(1. Northwest Branch of State Grid Corporation of China, Xi'an 710048, China; 2. NARI Group (State Grid Electric Power Research Institute) Co., Ltd., Nanjing 211106, China; 3. NARI Technology Co., Ltd., Nanjing 211106, China;

4. China Electric Power Research Institute, Beijing 100192, China)

Abstract: With promotion and application of ultra high voltage direct current (UHVDC) and continuous increase of renewable energy power generation proportion, Chinese energy transformation strategy is strongly supported. However, due to the poor network-related protection performance of renewable energy units in the DC sending power grid where renewable energy is centrally connected, AC and DC faults can easily result in large-scale disconnection of renewable energy, which brings great challenge for power system transient frequency security. The failure process of large-scale disconnection of renewable energy from the UHVDC receiving grid is firstly analyzed. Then, the existing measures to deal with disconnection of renewable energy are discussed. The emergency control technical scheme using the information of DC commutation failure is designed according to the characteristics of fault process. Finally, a simulation example of the northwest power grid is built to verify that the proposed frequency emergency control strategy can effectively deal with the problem of large-scale renewable energy off-grid caused by AC and DC faults, and greatly improve the UHVDC transmission capacity and renewable energy generation of the power grid.

Keywords: renewable energy off-grid; ultra high voltage direct current (UHVDC); low voltage ride through; emergency control; frequency security

(编辑 吴楠)