

DOI:10.12158/j.2096-3203.2021.04.015

用于稳定控制的 HVDC 换相失败识别判据研究

刘东洋¹, 徐捷¹, 孙宁¹, 汪大洋², 熊峰¹

(1. 南瑞集团(国网电力科学研究院)有限公司, 江苏 南京 211106;

2. 国网江苏省电力有限公司信息通信分公司, 江苏 南京 210024)

摘要: 高压直流(HVDC)换相失败会对交流系统产生巨大的功率冲击,必须对直流输电系统换相失败状态作出准确识别,才能针对性地采取安全稳定控制措施。目前,工程应用的稳定控制装置识别HVDC换相失败完全依赖于直流控保信号,当直流控保系统死机或者与稳控装置通道异常时,稳控装置将无法动作。文中研究了HVDC换相失败工况下的电气量特征及识别原理,介绍了直流控保系统换相失败保护判据及其适用性,提出了适用于安全稳定控制的换相失败、连续换相失败、多直流同时换相失败识别判据。基于实际控保系统的宾金直流实时数字仿真系统(RTDS)试验结果表明:所提判据能够准确识别直流系统发生换相失败,并且能够根据安全稳定控制的需求判断连续换相失败发生的次数和时间间隔。

关键词: 安全稳定控制; 高压直流(HVDC); 换相失败; 直流控保; 识别判据

中图分类号: TM73

文献标志码: A

文章编号: 2096-3203(2021)04-0108-07

0 引言

高压直流(high voltage direct current, HVDC)换相失败会引起直流功率跌落,连续的换相失败存在引起直流闭锁的风险,对交流系统产生巨大的功率冲击^[1-5]。根据 Q/GDW 1404—2015《国家电网安全稳定计算技术规范》,特高压直流相继发生多次因换相失败引起功率波动,若即将导致系统安全稳定破坏,可以采取针对性的稳定控制措施。因此,必须对直流输电系统的换相失败状态作出及时准确的识别,并采取相应的控制措施。

稳定控制关心的是 HVDC 换相失败后带来的功率冲击,因此,稳定控制中把换相失败后带来的一次功率冲击算作一次换相失败,这与直流控保系统中的换相失败保护有所区别。目前,已有实际工程应用的直流配套稳控系统根据直流控保装置发送的 HVDC 换相失败信号,结合换流变电气量变化状态判断本站 HVDC 换相失败^[6-8]。然而,当直流控保系统死机或者与稳控装置通信中断时,直流配套稳控系统将无法采取针对性的稳控措施。近年来,国内外直流稳控系统多次出现由于直流控保系统的缺陷而导致稳控系统拒动的情况。同时,根据 Q/GDW 1404—2015《电网安全稳定自动装置技术规范》中的要求,为保证可信赖性,稳控装置应采用

独立性强的设计方案,尽量减少安全稳定自动装置与保护装置间的依赖。因此,研究基于不依赖直流控保信号的 HVDC 换相失败稳控判据仍有工程现实意义,也是提高稳控系统可靠性的重要途径。文献[9—15]详细研究了换向失败的微观机理和判断标准;文献[16—18]介绍了特高压直流配套安全稳定控制系统的典型设计方案、故障判据以及与直流控保装置的通信方式;文献[19—21]介绍了应对多直流同时换相失败的安全稳定控制措施和紧急控制措施,但是未对 HVDC 换相失败故障的稳控识别判据进行具体研究。

文中介绍了基于直流控保信号的传统稳控装置所用换相失败识别判据及其存在的问题,研究了 HVDC 换相失败工况下的故障电流特征,利用稳控工程上可以直接采集到的换流变网侧电压电流、阀侧电流以及阀组的直流电流,从稳定控制的需求角度出发,在换相失败保护基本原理的基础上提出了适用于稳定控制的换相失败、连续换相失败、多直流同时换相失败实用判据,并通过了基于实际控保系统的宾金直流实时数字仿真系统(real time digital system, RTDS)硬件在环试验验证。

1 HVDC 换相失败后的故障特征及换相失败识别原理

1.1 HVDC 换相失败后的故障电流特征

换相失败是直流输电系统发生概率较高的异常运行状态之一。正常换相时,各晶闸管顺序导通,依次相隔 60°,每个晶闸管导通 120°,每个时刻

收稿日期:2021-02-20;修回日期:2021-04-18

基金项目:国家电网有限公司科技项目“交直流电网安全稳定控制系统本质安全提升技术研究”(5100-201940006A-0-0-00)

上下桥臂各有一个晶闸管同时导通。阀组出口处的直流电流为阀侧交流电流的包络线。在换相失败时,该关断的阀组继续导通,本该导通的阀组未能顺利导通,按照原有的触发顺序会造成同一桥臂的 2 个阀同时导通,造成短时的直流侧短路和交流侧开路的形态,此时直流电流增大,阀侧交流电流减小。图 1 和图 2 分别为交流系统单相故障、换流阀触发脉冲丢失引发 HVDC 换相失败时的电流特征仿真波形。可以看出, HVDC 换相失败时较为明显的故障特征是直流电流大于阀侧交流电流绝对值的最大值。

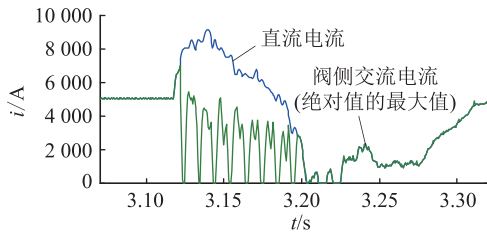


图 1 交流系统单相故障引发换相失败时仿真波形
Fig.1 Simulation waveform of commutation failures caused by AC system fault

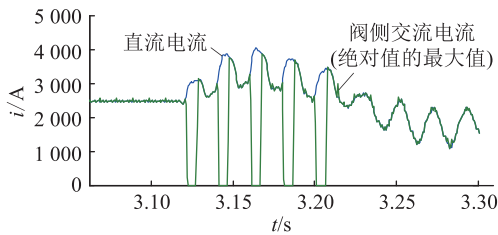


图 2 触发脉冲丢失引发换相失败时电流波形
Fig.2 Simulation waveform of commutation failures caused by losing pulse

1.2 直流控保系统的换相识别判据分析

目前直流控保系统所用换相失败判据采用的 2 种技术方案都是依据上述故障特征而设立,需要采集的电气量包括换流变阀侧 Y、D 绕组三相电流和换流阀高/低端出口电流,其中极 I 测量点如图 3 所示。

方案一的换相失败保护对换流变压器 Y 绕组和 D 绕组分别进行判断,利用直流电流大于阀侧三相交流电流绝对值的最大值构成判据。其 Y 桥和 D 桥的换相失败判据如式(1)和式(2)所示^[22-23]。

$$\begin{cases} I_{Dmax} - I_{VY} > I_0 + k_1 I_{Dmax} \\ I_{VY} < k_2 I_{Dmax} \end{cases} \quad (1)$$

$$\begin{cases} I_{Dmax} - I_{VD} > I_0 + k_1 I_{Dmax} \\ I_{VD} < k_2 I_{Dmax} \end{cases} \quad (2)$$

其中:

$$I_{Dmax} = \max(I_{DCP}, I_{DCN}) \quad (3)$$

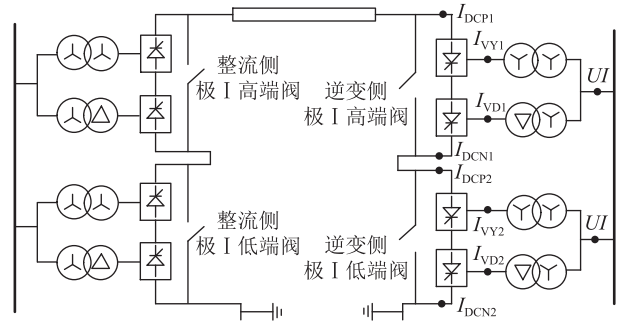


图 3 极 I HVDC 换相失败判据测点示意

Fig.3 Schematic diagram of the measurement point of the pole I DC commutation failure criterion

式中: I_{DCP} , I_{DCN} 分别为极 I 高端阀组高压侧与低压侧出口直流电流; I_{VD} , I_{VY} 分别为 Y、D 桥三相交流电流幅值的最大值; I_0 为比率差动的最小动作电流,一般取 0.133 p.u.; k_1 , k_2 为比例系数,一般 k_1 取 0.1, k_2 取 0.65。

方案二通过 Y 桥差动、D 桥差动和阀组差动共同实现逆变器换相失败的判别。其 Y 桥、D 桥和阀组的动作判据如式(4)~式(6)所示。

$$\max(I_{VY}, I_{VD}) - I_{VY} > I_{SET} \quad (4)$$

$$\max(I_{VY}, I_{VD}) - I_{VD} > I_{SET} \quad (5)$$

$$\max(I_{DCP}, I_{DCN}) - \max(I_{VY}, I_{VD}) > I_{SET} \quad (6)$$

式中: I_{SET} 为动作门槛值,一般取 0.1 p.u.。

无论是方案一还是方案二,一旦满足其换相失败判据条件中某一桥判断条件时,说明该桥发生了换相失败。而当一个阀组的单桥发生换相失败时(另一桥未发生换相失败),一般是由直流内部故障引起的,需要尽快闭锁换流器;当 2 个或多个六脉动桥相继发生换相失败时,一般是由交流系统故障引起的,保护逻辑和延时主要考虑交流系统最长故障清除时间以及直流自身设备的耐受能力。

实际工程运行经验表明,当直流控保系统死机或者与稳控装置通道异常时,稳控装置将无法动作。虽然以上判据能够准确判断换相失败的发生,但是其动作逻辑并未考虑交流系统对连续换相失败的承受能力,也不能给出电网安全稳定控制领域所关心的连续换相失败持续时间、时间间隔以及功率跌落次数等重要信息。而稳定控制所用故障识别判据还需要结合交流系统的承受能力以及换相失败次数等信息进一步完善,以保证电网的安全稳定运行。

2 不依赖控保信号的 HVDC 换相失败识别判据

为了避免直流配套稳控装置判别换相失败故

障时对直流控保系统的依赖,稳定控制所用的换相失败判据必须基于电气量,在上述换相失败保护原理的基础上,结合交流系统的承受能力实现对 HVDC 换相失败以及连续换相失败的正确识别。稳控装置需要对极 I 和极 II 的高低端共 4 个阀组分别进行换相失败判断,可直接采集的信息包括每个阀组所用电气量和换流变网侧三相电压电流。

2.1 换相失败启动判据

稳控装置正常运行时需要自动判断换流器的运行状态,以确定系统的运行方式,可通过判断换流变网侧是否有电流和功率来自动识别换流器的投停状态。同时为了防止检修期间误判,可设置相应检修压板来闭锁,具体识别方法如下。

如果某极换流变检修压板投入,则确定换流变元件停运;如果某极换流变检修压板退出,则满足以下任一条件时确定换流变元件投运,否则确定换流变元件停运:

(1) 至少有两相电流有效值大于等于投运电流定值,且持续 100 ms;

(2) 有功功率大于等于投运功率定值,且持续 100 ms。

确定换流变为运行状态,就可以进行换相失败判断。启动判据设计应满足:在 HVDC 输电系统各种故障情况下能可靠地启动录波并进入故障判断状态,而在正常运行时又不会频繁启动。对于稳定控制而言,若 HVDC 换相失败后功率损失较小则无需采取控制措施,此时稳控装置不需要识别本次换相失败;若换相失败给交流系统带来的功率损失较大,则在换流变网侧会出现电流和功率突变。因此,换相失败的启动判据可设计为:

(1) 换流变网侧任意一相电流满足 $|i_t - i_{t-720}| \geq \Delta I_{SET}$,且持续 5 ms,则满足电流突变量启动条件。其中, i_t 为当前电流瞬时值; i_{t-720} 为一个工频周期前电流瞬时值; ΔI_{SET} 为电流突变量门槛值。

(2) 换流变当前功率满足 $|P_t - P_{t-720}| \geq \Delta P_{SET}$,且持续 5 ms,则满足功率突变量启动。其中, P_t 为当前有功功率; P_{t-720} 为一个工频周期前的有功功率; ΔP_{SET} 为功率突变量门槛值。

以上启动判据为“或”逻辑关系,满足其中任一判据都可使装置进入启动状态,启动周期为 5 s。

2.2 换相失败识别判据

当装置采集的电气量满足投运和启动条件后,进入换相失败故障判断逻辑,首先对阀组的换相失败进行判断,如图 4 所示。当 Y 桥和 D 桥的动作方

程至少有一个满足,且阀组事故前 200 ms 功率大于定值时,则判定该阀组发生换相失败,然后进入连续换相失败判断逻辑。

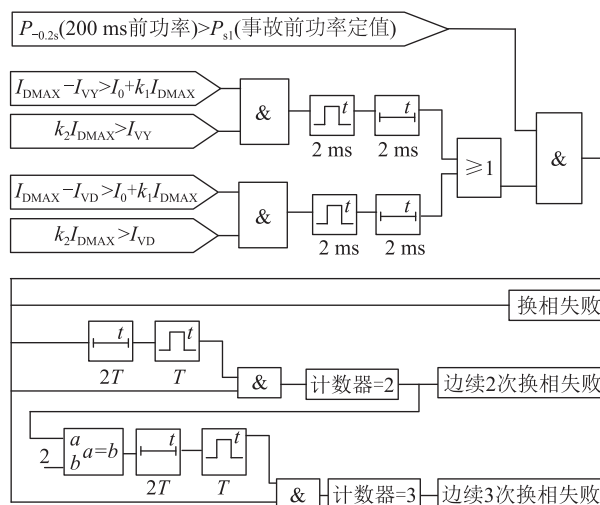


图 4 阀组换相失败、连续换相失败判据框图

Fig.4 Block diagram of commutation failures and continuous commutation failures criteria for valve terminal

稳定控制关心的是 HVDC 换相失败后带来的功率冲击,若换相失败之后交流电网的扰动源消失,则直流又能快速恢复正常换相,直流功率能在 200 ms 左右恢复 90%;而如果交流电网发生的是单相永久短路故障,由于重合闸,逆变站交流母线将在较短的时间内发生 2 次电压跌落,导致直流系统出现稳定控制所述的“连续换相失败”。根据工程现场数据统计结果,换相失败结束后直流恢复到事前 90%的功率需要 120~300 ms^[24],因此,可设定时间周期 T (不超过 300 ms),在 T 时间内只记作一次换相失败,相应连续换相失败计次原理为:假设 0 时刻检测到换流阀换相失败,计数器计 1;计数器记 1 后 $T-2T$ 期间,若检测到换相失败,计数器计 2;计数器记 2 后 $2T-3T$ 期间,若检测到换相失败,计数器计 3;以此类推。如果计数器的次数大于设定的允许换相失败次数门槛值,则稳控装置判断该阀组连续换相失败次数已达临界值。

计及一条直流的多个阀组之间的互相转带功能,在判断出某阀组换相失败后,稳控装置需判断该直流双极高低端共 4 个阀组中处于运行状态的是否均发生了换相失败,只有所有运行的阀组同时发生换相失败才是稳定控制所需要考虑的 HVDC 换相失败。同时,稳控装置还需要判断该直流事故前功率满足稳定控制的动作条件,满足动作条件则判定为该 HVDC 换相失败,并动作出口(查策略表采取相应的稳控措施)。

对于交流电网的稳定性而言,显然多个直流同时换相失败对其影响更大,而多直流落点的受端电网发生交流短路故障时往往会造成数条直流同时换相失败,此时执行策略要按照多直流同时换相失败来考虑,因此需要对多直流同时换相失败作出正确的判断。受直流控制系统参数、通信延时等影响,虽然各条直流的换相失败并不是严格的“同步”,但考虑到 HVDC 换相失败后的功率恢复需要 120~300 ms,因此,若多个直流相继换相失败,但间隔较短时,也应当视作同时换相失败。多直流同时换相失败判据如图 5 所示,其中 T_{hold} 为展宽时间,在判出第一条 HVDC 换相失败后,在之后 T_{hold} 内判出其他 HVDC 换相失败,则认为多直流同时换相失败。

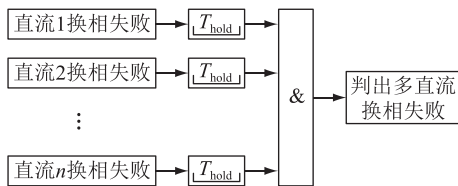


图 5 多直流同时换相失败判断逻辑

Fig.5 The judgment logic of multi-HVDC communication failure at the same time

3 判据的 RTDS 试验验证

为了验证换相失败识别判据的可靠性与准确性,将文中所提的 HVDC 换相失败判据在稳控装置中进行相应的软件设计,并针对性地在四川电科院开展了基于实际控保系统的宾金直流 RTDS 硬件在环试验验证(报告编号 SEPR105-09-03-DM0001-2019)。

3.1 试验方案

在 RTDS 平台搭建的仿真试验模型包括交流等值系统、换流变压器、双 12 脉动阀组、交流滤波器、直流滤波器、平波电抗器、阻波器、中性母线电容器、直流线路、接地极等元件。试验中使用与实际工程一致的特高压直流控制保护系统设备,被测稳控装置接入逆变侧的换流变网侧电压电流、阀侧电流以及阀组的直流电流。RTDS 仿真系统通过 GTA0 接口卡经功率放大器向被测稳控装置提供上述电气量信号,稳控装置进行采样计算和逻辑判断之后通过 GTDI 板卡向 RTDS 反馈开关量信号,从而构成闭环测试系统。试验平台架构如图 6 所示。

3.2 试验项目及结果

试验模拟的宾金特高压直流输电系统电压等级 ± 800 kV,额定传输容量 8 000 MW。在特高压直

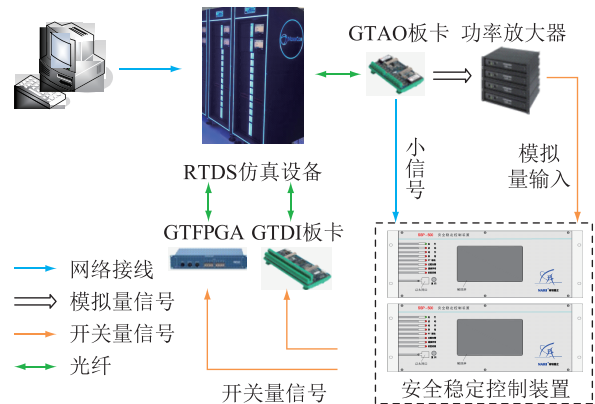


图 6 RTDS 试验平台架构

Fig.6 Architecture of RTDS test platform

流定功率、定电流运行方式下,模拟各种故障类型,包含逆变侧近区交流侧故障、逆变侧远端交流故障、逆变侧直流内部故障、直流线路故障、触发脉冲错误、整流侧直流内部故障、整流侧近区交流故障、整流侧远端交流故障及励磁空充。上述 9 项试验共计 65 次,在直流控保系统换相失败保护动作的同时,被测稳控判据不仅能正确识别直流系统的换相失败发生,还能根据定值判断连续换相失败的次数和持续时间。RTDS 试验项目及试验结果如表 1 所示。

表 1 RTDS 试验项目及试验结果

Table 1 RTDS test items and test results

试验项目	试验次数	试验结果
逆变侧近区交流故障	17	正确
逆变侧远端交流故障	10	正确
逆变侧直流内部	4	正确
直流线路故障	10	正确
触发脉冲错误	9	正确
整流侧直流内部故障	3	正确
整流侧近区交流故障	4	正确
整流侧远端交流故障	3	正确
励磁空充	5	正确

在所提判据能够正确判别 HVDC 换相失败的基础上,进一步针对逆变侧交流相继故障和连续脉冲丢失故障进行连续换相失败计次逻辑的验证。RTDS 试验结果证明,所提的判据在直流发生换相时能够准确动作,并且能够根据安全稳定控制的需求判断连续换相失败发生的次数和时间间隔。

图 7 为模拟交流系统连续 3 次单相接地故障的录波图,每次故障时间持续 100 ms,间隔 300 ms,引发直流连续发生 3 次换相失败。装置设定的允许换相失败次数定值 n 设置为 3,展宽计数时间 T 设置为 200 ms。图中, U_A, U_B, U_C 为换流变网侧母线三

相电压; I_{VY} 为极 I 高端阀组 Y 桥三相交流电流绝对值的最大值; I_{VD} 为极 I 高端阀组 D 桥三相交流电流绝对值的最大值; I_{Dmax} 为极 I 高端阀组高压侧和低压侧直流电流中的最大值;CF 为稳控装置给出的低端阀组换相失败出口信号;CCF 为稳控装置判出的高端阀组连续 3(定值整定)次换相失败出口信号。可见,无论 Y 桥还是 D 桥,阀侧三相交流电流绝对值的最大值都小于直流电流。

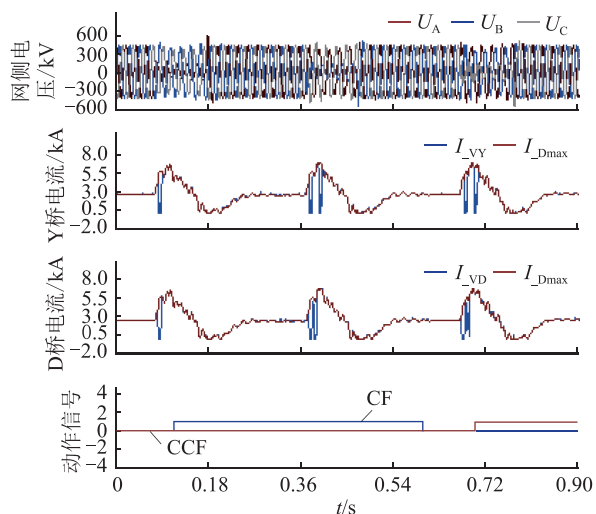


图7 交流系统单相故障引发 HVDC 换相失败试验波形
Fig.7 Test waveforms of commutation failures caused by AC system fault

图 8 模拟极 I 低端阀组 Y 桥第一个晶闸管的触发脉冲连续丢失 300 ms,引发直流极 I 低端阀组连续换相失败。装置设定的允许换相失败次数定值 n 为 2,展宽计数时间 T 设置为 200 ms。

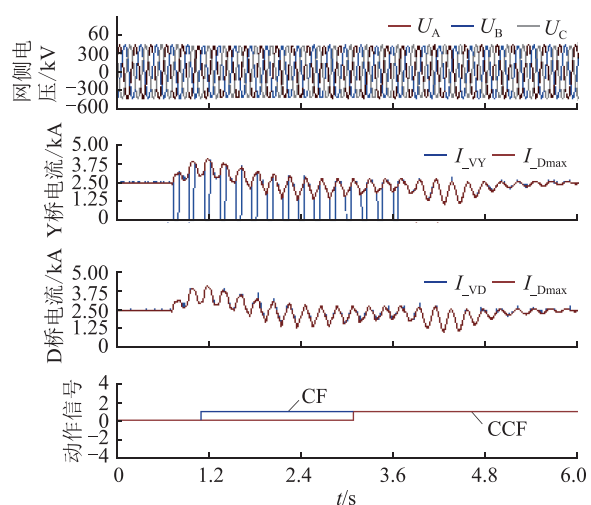


图8 触发脉冲丢失故障引发 HVDC 换相失败试验波形
Fig.8 Test waveforms of commutation failures caused by impulses losing

图 8 中, I_{VY} 为极 I 低端阀组 Y 桥三相交流电流绝对值的最大值; I_{VD} 为极 I 低端阀组 D 桥三相

交流电流绝对值的最大值; I_{Dmax} 为极 I 高端阀组高压侧和低压侧直流电流中的最大值;CF 为稳控装置给出的低端阀组换相失败出口信号;CCF 为稳控装置判出的低端阀组连续 2 次换相失败出口信号。

4 结语

换相失败作为 HVDC 最常见的故障之一,有必要利用稳控装置对其进行准确识别,而稳控装置的动作成败不能仅仅依赖于直流控保系统。文中在直流控保系统原有换相失败保护判据的基础上,提出适用于稳定控制的 HVDC 换相失败、连续换相失败及多直流同时换相失败实用判据。RTDS 试验表明:所提的判据在直流发生换相时能够准确动作,并且能够根据安全稳定控制的需求判断连续换相失败发生的次数和时间间隔。

原有的换相失败保护动作逻辑没有考虑交流系统对连续换相失败的承受能力,也不能直接作为稳定控制的 HVDC 换相失败识别判据。当 HVDC 发生换相失败时,稳控装置需要结合换相失败持续时间、时间间隔以及功率跌落次数等信息,针对性地采取稳定控制措施。

参考文献:

[1] 周前,张潮,张宇宇,等. 2018 年多直流馈入江苏规划电网连锁换相失败分析[J]. 电力工程技术,2018,37(1):51-57.
ZHOU Qian,ZHANG Chao,ZHANG Ningyu,et al. Analysis on commutation failures in multi-infeed HVDC system in planning power grid of Jiangsu in 2018[J]. Electric Power Engineering Technology,2018,37(1):51-57.

[2] 王增平,胡加伟,王彤,等. 大容量直流换相失败后功率恢复速率对送端系统暂态稳定的影响分析[J]. 电网技术,2020,44(5):1815-1825.
WANG Zengping,HU Jiawei,WANG Tong,et al. Analysis of impact of power recovery speed on transient stability of sending-side system after large capacity HVDC commutation failure[J]. Power System Technology,2020,44(5):1815-1825.

[3] 汤奕,郑晨一. 高压直流输电系统换相失败影响因素研究综述[J]. 中国电机工程学报,2019,39(2):499-513,647.
TANG Yi,ZHENG Chenyi. Review on influencing factors of commutation failure in HVDC systems[J]. Proceedings of the CSEE,2019,39(2):499-513,647.

[4] 宋金钊,李永丽,曾亮,等. 高压直流输电系统换相失败研究综述[J]. 电力系统自动化,2020,44(22):2-13.
SONG Jinzhao,LI Yongli,ZENG Liang,et al. Review on commutation failure of HVDC transmission system[J]. Automation of Electric Power Systems,2020,44(22):2-13.

[5] 袁阳,卫志农,雷霄,等. 直流输电系统换相失败研究综述[J]. 电力自动化设备,2013,33(11):140-147.
YUAN Yang,WEI Zhinong,LEI Xiao,et al. Survey of commutation failures in DC transmission systems[J]. Electric Power Au-

- tomation Equipment, 2013, 33(11):140-147.
- [6] 汪剑峰, 康龙. 特高压直流故障下的负荷控制精度研究[J]. 浙江电力, 2018, 37(3):22-25.
WANG Jianfeng, KANG Long. Research on load control precision under UHVDC faults[J]. Zhejiang Electric Power, 2018, 37(3):22-25.
- [7] 张国辉, 景柳铭, 王宾, 等. 谐波引起的高压直流输电连续换相失败抑制方法研究[J]. 电力系统保护与控制, 2020, 48(5):33-41.
ZHANG Guohui, JING Liuming, WANG Bin, et al. Study on HVDC consecutive commutation failures mitigation method caused by harmonics[J]. Power System Protection and Control, 2020, 48(5):33-41.
- [8] 张伟晨, 熊永新, 李程昊, 等. 基于改进 VDCOL 的多馈入直流系统连续换相失败抑制及协调恢复[J]. 电力系统保护与控制, 2020, 48(13):63-72.
ZHANG Weichen, XIONG Yongxin, LI Chenghao, et al. Continuous commutation failure suppression and coordinated recovery of multi-infeed DC system based on improved VDCOL[J]. Power System Protection and Control, 2020, 48(13):63-72.
- [9] 邹亮, 刘涛, 赵彤, 等. 基于阀电压或阀电流的 HVDC 换相失败故障诊断[J]. 电网技术, 2014, 38(12):3453-3458.
ZOU Liang, LIU Tao, ZHAO Tong, et al. Diagnosis of commutation failure in HVDC transmission systems based on voltage or current of converter valve[J]. Power System Technology, 2014, 38(12):3453-3458.
- [10] 王少辉, 唐飞, 向农. 华东电网多直流同时换相失败仿真分析[J]. 电力系统保护与控制, 2017, 45(12):16-21.
WANG Shaohui, TANG Fei, XIANG Nong. Commutation failure simulation analysis of East China power grid multiple HVDC lines[J]. Power System Protection and Control, 2017, 45(12):16-21.
- [11] 陈干, 田方, 刘宁, 等. 高压直流输电工程换相失败研究[J]. 高压电器, 2015, 51(7):136-140, 147.
CHEN Gan, TIAN Fang, LIU Ning, et al. Research on HVDC transmission project commutation failure[J]. High Voltage Apparatus, 2015, 51(7):136-140, 147.
- [12] 彭忠, 李少华, 李泰, 等. 高压直流输电系统抑制换相失败的最小关断面积控制策略[J]. 电力系统保护与控制, 2015, 43(17):75-80.
PENG Zhong, LI Shaohua, LI Tai, et al. A minimum extinction area control strategy to suppress commutation failure in HVDC transmission system[J]. Power System Protection and Control, 2015, 43(17):75-80.
- [13] 许汉平, 杨炜晨, 张东寅, 等. 考虑换相失败相互影响的多馈入高压直流系统换相失败判断方法[J]. 电工技术学报, 2020, 35(8):1776-1786.
XU Hanping, YANG Weichen, ZHANG Dongyin, et al. Commutation failure judgment method for multi-infeed HVDC systems considering the interaction of commutation failures[J]. Transactions of China Electrotechnical Society, 2020, 35(8):1776-1786.
- [14] 王海军, 黄义隆, 周全. 高压直流输电换相失败响应策略与预测控制技术路线分析[J]. 电力系统保护与控制, 2014, 42(21):124-131.
WANG Haijun, HUANG Yilong, ZHOU Quan. Analysis of commutation failure response strategies and prediction control technology in HVDC[J]. Power System Protection and Control, 2014, 42(21):124-131.
- [15] 陈光侵, 傅闯, 张勇军. 基于阀电流特征的高压直流换相失败检测方法[J]. 电力系统自动化, 2018, 42(23):86-91, 119.
CHEN Guangqin, FU Chuang, ZHANG Yongjun. Detection method of HVDC commutation failure based on characteristic of valve current[J]. Automation of Electric Power Systems, 2018, 42(23):86-91, 119.
- [16] 李德胜, 罗剑波. 特高压直流配套安全稳定控制系统的典型设计[J]. 电力系统自动化, 2016, 40(14):151-157.
LI Desheng, LUO Jianbo. Typical design of security and stability control system for UHVDC transmission[J]. Automation of Electric Power Systems, 2016, 40(14):151-157.
- [17] 李勇, 倪晓军. 多馈入直流输电系统短路比评估方法综述[J]. 浙江电力, 2018, 37(9):1-7.
LI Yong, NI Xiaojun. Survey on short circuit ratio evaluation method in multi-infeed HVDC system[J]. Zhejiang Electric Power, 2018, 37(9):1-7.
- [18] 庄伟, 李德胜, 于钊, 等. 应对多直流同时换相失败的安全稳定控制系统[J]. 电网技术, 2016, 40(11):3420-3426.
ZHUANG Wei, LI Desheng, YU Zhao, et al. Security and stability control system coping with simultaneous multi-UHVDC commutation failure[J]. Power System Technology, 2016, 40(11):3420-3426.
- [19] 贾俊川, 张健, 仲悟之, 等. 应对多回并列直流换相失败的送端系统安全稳定控制措施研究[J]. 中国电机工程学报, 2017, 37(21):6320-6327.
JIA Junchuan, ZHANG Jian, ZHONG Wuzhi, et al. Research on the security and stability control measures of the sending side system coping with multiple parallel-operation HVDCs simultaneous commutation failure[J]. Proceedings of the CSEE, 2017, 37(21):6320-6327.
- [20] 苏寅生, 陈董秀, 鲍颜红, 等. 应对直流连续换相失败的紧急控制策略[J]. 电力系统保护与控制, 2017, 45(4):126-131.
SU Yinsheng, CHEN Dongxiu, BAO Yanhong, et al. An emergency control strategy coping with continuous commutation failure in DC system[J]. Power System Protection and Control, 2017, 45(4):126-131.
- [21] 刘华钢, 刘兵, 陈钊. 跨区多条直流连续多次、同时换相失败冲击及抑制措施[J]. 高电压技术, 2016, 42(10):3315-3320.
LIU Huagang, LIU Bing, CHEN Zhao. Impact and suppression measures of repeated and simultaneous commutation failure in multiple HVDC power transmission system between two regional power grids[J]. High Voltage Engineering, 2016, 42

(10):3315-3320.

[22] 许朋见,黄金海,许静静,等. 宾金特高压直流换相失败保护的研究[J]. 电力系统保护与控制,2017,45(2):140-146.
XU Pengjian,HUANG Jinhai,XU Jingjing,et al. Study of Bin-Jin UHVDC project commutation failures protection[J]. Power System Protection and Control,2017,45(2):140-146.

[23] 王学之,周全,国建宝. 南方电网直流换相失败机理及判别方法[J]. 南方电网技术,2013,7(6):44-47.
WANG Xuezhi,ZHOU Quan, GUO Jianbao. The mechanism and discrimination method of HVDC commutation failure in China southern power grid[J]. Southern Power System Technology,2013,7(6):44-47.

[24] 赵利刚,赵勇,洪潮,等. 基于实际录波的南方电网多回直流换相失败分析[J]. 南方电网技术,2014,8(4):42-46.

ZHAO Ligang,ZHAO Yong,HONG Chao, et al. Analysis on commutation failure of the CSG's HVDC systems based on actual waves [J]. Southern Power System Technology,2014,8(4):42-46.

作者简介:



刘东洋

刘东洋(1989),男,硕士,工程师,从事电力系统安全稳定控制相关工作(E-mail:liudongyang@sgepri.sgcc.com.cn);

徐捷(1990),男,硕士,工程师,从事电力系统安全稳定控制装置研发工作;

孙宁(1980),男,硕士,高级工程师,从事电力系统安全稳定控制相关工作。

Identification criteria of HVDC commutation failure for stability control

LIU Dongyang¹, XU Jie¹, SUN Ning¹, WANG Dayang², XIONG Feng¹

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

2. State Grid Jiangsu Electric Power Co.,Ltd. Information & Communication Branch,Nanjing 210024,China)

Abstract:The commutation failure of high voltage direct current (HVDC) transmission system has a huge power impact on the AC system. It is necessary to accurately detect the commutation failure of the HVDC to take targeted safety and stability control measures. At present,the stability control device which has already been used in engineering identifies the commutation failure of HVDC depending on the signal of DC control and protection system. When DC control system crashes or the channel with stability control device is abnormal,the stability control device dose not operate correctly. The characteristics of electrical quantities under the condition of DC commutation failure and its identification principle are studied,while the criteria and applicability of DC control and protection system commutation failure protection are introduced. Then,the criteria of commutation failure,continuous commutation failure and multi DC simultaneous commutation failure identification are put forward,which are suitable for safety and stability control. The real time digital system (RTDS) test results based on the actual control and protection system of Bin-Jin HVDC show that the proposed criteria can accurately judge the commutation failure of DC system,the frequency and time interval of continuous commutation failure according to the requirements of safety and stability control.

Keywords:security and stability control;high voltage direct current (HVDC);commutation failures;DC control and protection;identification criteria

(编辑 钱悦)