

交流系统故障时统一潮流控制器处理策略

潘磊¹, 李斌², 杨光², 董云龙¹, 黄如海¹, 邱德锋¹, 孔祥平³

(1. 南京南瑞继保电气有限公司, 江苏 南京 211102; 2. 国网江苏省电力公司南京供电公司, 江苏 南京 210019; 3. 国网江苏省电力公司电力科学研究院, 江苏 南京 211103)

摘要:统一潮流控制器(UPFC)作为功能全面的电力电子设备,需具备较高的故障穿越能力。在交流线路发生故障时,UPFC的串、并联换流器均会承受故障的冲击,且对于线路的瞬时性故障,需要UPFC在线路故障清除后继续运行。从UPFC的结构和故障特性着手进行分析,提出了UPFC在交流系统故障时的处理策略,使其具备系统故障时的故障穿越能力;UPFC并联侧通过控制策略的优化能在故障期间持续运行,串联侧通过控制保护策略与线路保护和重合闸逻辑的配合,能快速退出及重新启动。该策略经过了人工短路试验的验证,并在南京UPFC示范工程运行过程中通过了系统实际故障的考验,该策略的合理性得到了验证。

关键词:统一潮流控制器;交流系统故障;故障穿越;故障重启

中图分类号:TM711

文献标志码:A

文章编号:2096-3203(2017)06-0132-06

0 引言

统一潮流控制器(unified power flow controller, UPFC)为迄今最全面的柔性交流输电系统(flexible AC transmission system, FACTS)设备,可以通过快速无功吞吐,动态支撑接入点的电压,提高系统电压稳定性;可以独立地控制线路的有功功率和无功功率,提高线路的输送能力,实现系统潮流的优化调节;还可以通过对线路功率的快速调节,改善系统阻尼,提高功角稳定性^[1,2]。在系统发生故障时,UPFC必须具备良好的故障穿越能力。

UPFC的并联侧和串联侧以不同的方式接入交流系统,在交流系统发生故障时,UPFC两侧的设备均会受到故障影响,且表现出不同的故障特性,需要结合UPFC的结构及故障特性对UPFC的串、并联侧做不同的处理。UPFC的并联侧接入交流系统的方式与柔性直流输电系统相同,其故障处理策略可以参考柔性直流输电系统,如文献[3]所述。但由于UPFC的并联侧与串联侧为背靠背连接,且串联侧同时也受到系统故障的冲击,因此并联侧故障特性与柔性直流输电系统不同,需要进一步评估目前柔性直流输电系统的交流系统故障处理策略在UPFC系统的适用性。UPFC串联侧接入系统的方式较为特殊,目前国内外对UPFC串联侧的稳态和暂态控制研究较多,国内关于UPFC串联侧在交流系统故障时的应对策略研究主要是在UPFC作为故

障限流器的应用方面。

文献[4—7]提出了利用UPFC串联侧的阻抗控制功能,在交流系统发生故障时,紧急增加注入线路的电压及等效阻抗,抑制交流系统短路电流的方案。该方法存在直流电压失稳的问题,由于故障电流较大,在串联侧持续注入电压时,UPFC串联侧与线路交换的有功功率会超过UPFC的额定直流功率,造成UPFC并联侧换流器的直流电压控制失控,从而导致UPFC直流电压失稳而跳闸。

文献[8]提出了线路故障时UPFC串联侧换流器零电压输出的策略。仅通过串联变压器的漏抗限制故障电流,由于故障时串联侧换流器输出电压为零,与交流线路没有有功功率的交换,因此不存在直流电压失稳问题。但由于串联变压器的漏抗相对于系统阻抗较小(串联变压器的额定电压小,额定电流和额定容量较大),因此对系统短路电流的抑制作用有限,在安装UPFC的线路或者附近交流线路发生故障时短路电流依然会很大。

文献[9—11]对UPFC的结构进行优化,将UPFC与固态限流器结合。在线路故障时,迅速控制使UPFC的串联侧换流器与串联变压器断开连接,串联变压器二次侧开路,串联变压器励磁绕组直接串入线路,串联变压器迅速饱和,并最终以饱和空心电抗抑制系统故障电流。这种结构和处理策略的主要作用是抑制系统故障电流,但UPFC设备在故障时已退出运行,没有实现故障穿越。

文中针对UPFC近端故障时故障电流难以抑制的特点,在故障时通过快速保护功能和快速旁路开关迅速将UPFC串联侧换流器与系统隔离,而并联

收稿日期:2017-06-25;修回日期:2017-07-28

基金项目:国网江苏省电力公司科技项目(J2017073);国家自然科学基金青年基金资助项目(51707090)

侧通过控制策略抑制故障电流,从而在故障期保持运行;同时配合线路保护和线路重合闸逻辑,在线路故障清除后将 UPFC 串联侧重新启动投入运行,实现 UPFC 在近端故障时的故障穿越和重启。

1 统一潮流控制器的基本原理及运行特性

UPFC 的基本结构包括两个背靠背的换流器、并联变压器、串联变压器、并联侧部分接入和退出交流系统的交流断路器以及串联侧接入和退出交流系统的机械旁路开关。并联侧换流器经过并联变压器接入交流母线,控制换流器与交流系统交换的无功功率或交流线路电压,同时控制直流系统电压保持稳定;串联侧换流器输出可控电压,经串联变压器串入交流线路,改变线路端电压,从而控制系统潮流。

UPFC 的稳态模型可用一个串联在线路中的可控电压源和一个并联在置入节点的可控电流源等效。其中,并联的可控电流源与静止同步补偿器(STATCOM)类似,控制换流器与并联系统交换的功率;串联侧换流器注入角度可在 $0\sim 360^\circ$ 旋转的同步电压,改变线路首端电压的幅值和相角,从而实现对接线路的端电压控制、阻抗控制、移相控制和线路功率控制等多种控制方式^[12-15]。

2 UPFC 故障时的保护措施

电压源换流器是 UPFC 的核心设备,属于电力电子设备,其故障电压和电流的耐受能力相比传统的电力设备较差。在串联换流器接入的交流系统发生故障时,线路短路电流会经过串联变压器耦合至换流器,如引言所述,通过 UPFC 的控制来抑制短路电流的作用不大,因此必须迅速采取措施保护串联侧换流器,同时将 UPFC 串联侧与交流线路隔离,减小对交流系统保护的影响。由于常规机械开关的合闸速度较慢,因此目前最可靠的方式是在串联变压器高压侧或者低压侧绕组两端配置一组快速的电力电子开关——晶闸管旁路开关(TBS),同时在串联变压器两侧各配置一组快速机械旁路开关。

由于 TBS 在正常运行时为断开状态,只在故障时导通旁路,因此为了减小 UPFC 系统的损耗、节约占地和投资,TBS 设备一般不配备冷却装置。TBS 在故障期间导通旁路时只能依靠自冷方式进行冷却,导通时间短(几十到几百毫秒),在机械旁路开关合闸后必须及时将 TBS 支路关断,以保护 TBS 设备的安全。为了保证 UPFC 设备在区内故障或者区外交流系统故障时均能可靠地与交流系统隔离,避

免因高压侧的旁路开关(HVB)合闸失灵后跳开线路开关而影响系统的安全可靠性,在串联变压器的低压侧也配置一组快速机械旁路开关(LVB),保护动作后两个机械开关同时动作,互为冗余。UPFC 的基本配置如图 1 所示。

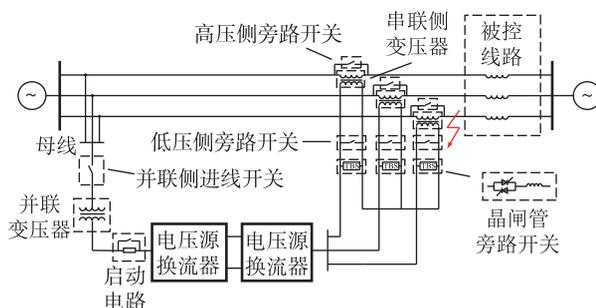


图 1 单回线路 UPFC 结构及基本配置

Fig.1 The basic structure and configuration of UPFC

通过 TBS、HVB 和 LVB 3 个开关的配合,在 UPFC 区内故障或者区外交流系统故障时,均可以使 UPFC 串联侧快速、可靠地与交流系统隔离。故障发生时,保护迅速动作触发 TBS 导通,同时发送 HVB 和 LVB 合闸命令。TBS 快速导通串联侧换流器旁路,隔离换流器和交流线路,避免交流系统故障和阀区故障相互影响。在 LVB 或 HVB 任意一个合闸后,闭锁 TBS 的触发脉冲使其退出运行。

文献[16]以南京 UPFC 工程为例,介绍了 UPFC 典型的保护功能配置,并设计了故障仿真试验,进行了保护功能的验证。文中对该保护功能配置进行补充说明,当 UPFC 线路或者相邻线路发生接地等严重故障时,为了保证换流器能快速隔离,UPFC 工程还配备了快速过流保护功能/装置。以南京 UPFC 工程为例,快速过流保护功能的动作定值为 1.5 p.u.,动作时间为 150 μ s。

综上所述,UPFC 工程采用三重旁路开关和完善的保护配置,可以保证 UPFC 串联侧换流器在故障时安全可靠地退出,提高整个系统的可靠性。

3 UPFC 在线路故障时的处理策略

对于 UPFC 设备而言,安装 UPFC 的线路故障或者其邻近线路发生故障都称为区外故障,但由于 UPFC 的串、并联换流器均与线路的耦合关系较强,因此均会受到线路故障的影响。如上节所述,当线路发生严重故障,耦合至 UPFC 换流器的故障电流达到了保护定值时,与故障线路相对应的串联侧换流器必需迅速闭锁和隔离。对于线路的瞬时性故障,线路保护可能会重合闸成功,线路恢复正常运行,而这种情况下如果故障线路对应的串联侧换流

器或者所有的换流器永久性退出,会降低 UPFC 的利用率,影响系统的可靠性。因此要针对线路瞬时故障以及邻近线路的故障,对 UPFC 的故障处理策略进行优化,从而提高系统整体的可靠性。最简单有效的方法为:UPFC 系统在线路故障清除,线路恢复正常运行后,快速重新启动。

文中给出了 UPFC 线路故障重启的详细处理策略,该策略已在南京工程中应用并得到了验证,故障发生后的具体流程如下。

(1) 正常运行时,实时检测系统各电气量及开关量状态,判断是否发生故障;

(2) 若发生故障,则 UPFC 保护迅速动作,通过三重旁路开关的保护配合退出相关换流器;

(3) 进一步判断故障类型,若判断为 UPFC 区内本体设备故障,则永久性停运已闭锁的换流器;若为 UPFC 区外交流线路故障,则允许重新启动已闭锁的换流器,执行下一步;

(4) 经过一定时间的延迟(延迟时间大于线路重合闸时间),判断线路故障是否清除以及线路是否恢复运行。若线路未恢复正常运行,则永久性停运已闭锁的换流器;若线路运行状态正常,则将退出的换流器重新投入运行,进入下一步;

(5) 首先分开需要重启的换流器对应的 LVB,之后依次解锁换流器和分开 HVB,完成对应换流器的重新启动,启动过程参照文献[1]。UPFC 故障重启逻辑流程如图 2 所示。

上述故障重启的两个重要难点在于:(1) 并联侧换流器不停运;(2) 准确区分区外交流线路故障和区内设备故障。

对于第一个难点,在故障发生后,可优化 UPFC 控制保护策略,保持并联侧换流器持续运行。通过负序电压叠加的控制方法,消除交流线路发生不平衡故障时流过换流器电流的负序成分;采用换流器输出电流参考值限制的方法,控制流过换流器对称分量的电流,使其不超过额定值,从而降低并联侧换流器流过的故障电流,保证其能持续运行不停运,提高 UPFC 并联侧换流器的故障穿越能力。

对于第二个难点,根据 UPFC 的故障运行和保护动作特点作如下分析。

(1) 发生交流系统远端故障或者高阻故障且故障电流在 UPFC 设备承受范围之内时,UPFC 可持续运行。

(2) 交流系统发生严重故障且故障电流超过 UPFC 设备承受能力时,UPFC 的快速过流保护动作,其动作时间加上 TBS 导通时间小于 2 ms。在

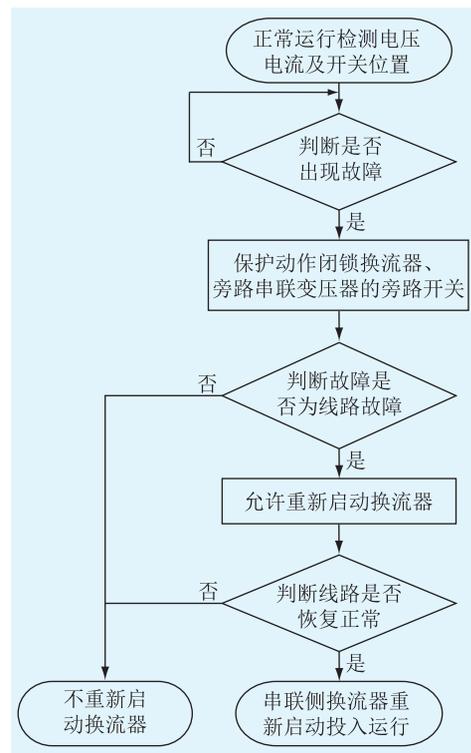


图 2 UPFC 故障重启逻辑流程

Fig.2 The restart logic flowchart of UPFC

TBS 导通,UPFC 串联侧换流器与线路隔离后,UPFC 其他保护将不再动作。而对于 UPFC 本体设备的故障,配置了多种保护功能^[16],UPFC 设备的每个区域都配置有差动保护且保护范围相互交叉,同时 UPFC 本体设备配置有直流电压异常、换流器电压异常等保护功能。UPFC 本体故障时会导致直流电压或者输出电压异常,因此故障时往往多个保护同时动作,而不会只有过流保护动作。

(3) 串联变压器故障后,UPFC 对应的换流器不能再重新投入运行,因此将该故障作为区内故障。

(4) UPFC 接入线路的保护动作信号也可作为 UPFC 区外故障的判据,发生线路故障时,线路保护装置发送动作信号给 UPFC 保护装置,后者执行“跟跳”。

经上述分析,可以将“仅过流保护动作或接收到线路保护动作信号”且“相应串联变压器保护不动作”作为 UPFC 区外故障的判据,满足条件则允许 UPFC 串联侧换流器在临时退出运行后重新启动。

为了提高判断 UPFC 发生区外故障(即发生交流系统故障)的准确性,可以引入线路电压状态作为辅助判据。在交流系统发生严重故障导致 UPFC 保护动作时,UPFC 接入线路的电压会出现异常,其异常特性表现在电压的不同序分量上(正序电压较低,或零序电压较大,或负序电压较大)。

此外,UPFC 串联侧换流器在退出后重新投入运行前,还必须准确判断故障是否被切除以及线路是否恢复正常运行,此时可通过线路电压正常(正序、零序和负序电压均在正常范围内)和线路的开关位置为合位进行判断。

综上所述,UPFC 在交流线路故障后进行重启的条件为:(1) UPFC 接收到线路保护动作信号或者 UPFC 的保护仅有过流保护动作且其所对应线路的电压异常(正序电压较低、或零序电压较大、或负序电压较大);(2) 相应串联变压器保护不动作;(3) 换流器退出一段时间后(大于线路保护重合闸时间),该退出换流器所对应的线路电压的正序、零序和负序分量均在正常范围内,且线路两侧开关位置均为合位;(4) 并联侧换流器正常运行。

当上述 4 个条件均满足时,UPFC 的串联侧会在故障消除后重新投入运行。

4 南京 UPFC 示范工程线路故障分析

南京 UPFC 示范工程的串联侧换流器两侧均配备快速机械旁路开关、阀侧配备 TBS,南京 UPFC 工程的线路故障处理按第 3 节所述逻辑执行。

南京 UPFC 工程在投运初期进行了人工接地短路试验,在安装 UPFC 线路时发生了瞬时故障,文献[17]对 UPFC 的动作特性进行了详细分析:发生故障后,UPFC 保护首先动作,触发 TBS 在 1.8 ms 快速闭合,将换流器与故障交流系统隔离,避免换流器持续受到故障冲击;两个机械旁路开关随之闭合,进一步将串联变压器与故障交流系统隔离,避免 TBS 因长期导通而损坏;线路两侧故障相的开关在线路保护动作后 33 ms 左右跳开,并在 930 ms 左右重合闸;6.6 s 左右,故障线路对应的 UPFC 换流器重新投入运行,其动作结果与第 3 节的方案一致。

2016 年 8 月 2 日,南京西环网华能南京电厂至晓庄站的其中一回线路(安装 UPFC 的双回线路的相邻线路)发生故障,故障点离 UPFC 站较近,耦合至 UPFC 串联侧换流器的故障电流非常大,UPFC 的快速过流保护功能使双回线路对应的两个串联侧换流器在故障时均快速退出运行。故障时(14:22:01)线路电压(u)、线路电流(i)、串联侧换流器阀侧电流($i_{\text{串换}}$)和串联侧换流器阀侧电压($u_{\text{串换}}$)的故障录波波形如图 3 所示。可以看出,在故障发生后 4.8 ms 左右达到 UPFC 的过流保护定值,5.4 ms 左右 TBS 导通,56 ms 左右故障线路跳开,同时安装 UPFC 线路的电压和电流恢复正常。

并联侧换流器采用第 3 节所述的优化控制策

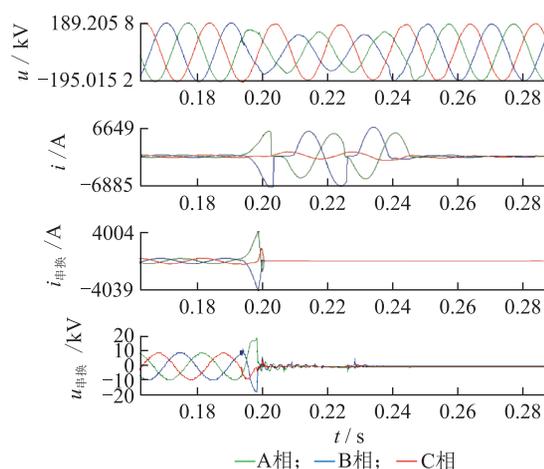


图 3 故障时 UPFC 串联侧相关波形

Fig.3 The waveforms of UPFC series part during line-fault

略,在故障时限制流过并联侧换流器的电流,保证其能持续运行,从而实现故障穿越。故障时线路电压(u)、并联变压器网侧电流($i_{\text{并变}}$)、并联侧换流器阀侧电流($i_{\text{并换}}$)和并联侧换流器阀侧电压($u_{\text{并换}}$)的故障录波波形如图 4 所示。从上述波形可以看出,并联侧换流器在故障期间的电流得到了抑制,换流器持续运行,实现了故障穿越。

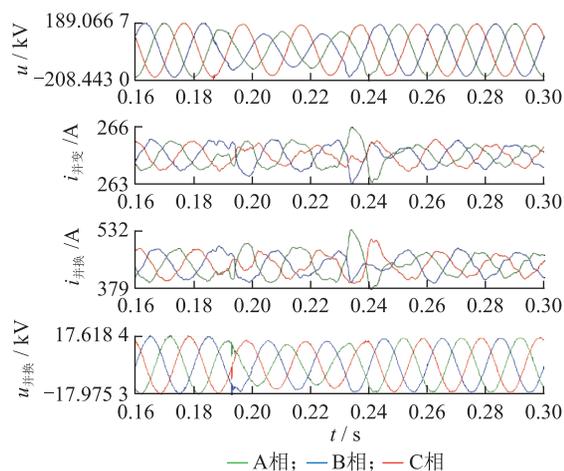


图 4 故障时 UPFC 并联侧相关波形

Fig.4 The waveforms of UPFC parallel part during line-fault

由于是相邻线路故障,安装 UPFC 的线路及相应的串联变压器均没有动作,仅 UPFC 串联侧换流器的过流保护动作,从图 3 可以看出故障时线路电压异常较明显,因此,允许 UPFC 的串联侧换流器在退出运行后重新启动运行。

在串联侧换流器退出运行后,经过设定的时间 5 s,UPFC 控保系统判断出线路电压和电流正常,重新将串联侧换流器投入运行。故障后 5 s(14:22:06)的故障录波波形如图 5 所示,从波形可以看出

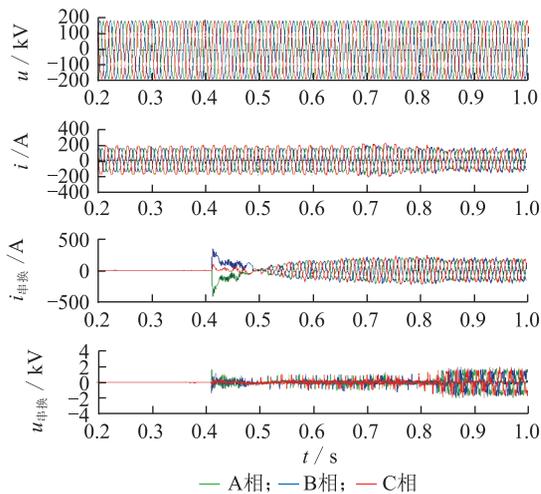


图5 故障5 s后UPFC串联侧重启时相关波形

Fig.5 The waveforms of UPFC series part during restart

串联侧换流器在5 s后开始重新启动。

图6描述了2016年8月2日华京—晓庄线路故障前后西环网的潮流变化。可以看出,在UPFC重新启动后迅速控制铁北—晓庄线路(安装UPFC)的功率恢复至故障前的功率水平。华京—晓庄线路为西环网北通道的一条线路。

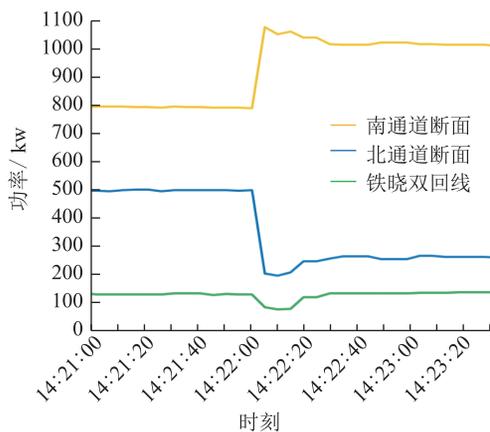


图6 故障期间南京西环网潮流变化

Fig.6 The power flow wave of Nanjing west network during line-fault

图中显示当华京—晓庄线路跳闸后,西环网北部通道的功率迅速下降,南部通道的功率迅速上升,在UPFC重新启动成功后,通过控制提升了一部分北部通道下送的功率,南部通道的功率同步减小,验证了文中所提交流系统故障处理策略能够提高UPFC可靠性和性能的设计。

5 结语

文中基于换流器设备的能力,分析了交流系统故障时UPFC的故障特性,提出了UPFC在交流系统故障时的处理策略,使得UPFC设备具备故障穿

越能力,提高了UPFC系统的运行可靠性。

并联侧换流器通过控制策略优化,在交流系统故障期间保持运行;在交流系统发生严重故障且故障电流超过串联侧换流器的电流耐受能力时,将串联侧换流器迅速退出;在交流系统故障较轻,串联侧换流器可持续运行时,若接收到本线路保护的動作信号,串联侧换流器也退出运行;根据保护的動作信号以及线路的状态,判断是否允许串联侧换流器重新启动;若允许,则在指定时间后,根据线路的电压、电流、开关位置等判断线路是否恢复了正常运行状态,若是,则重启串联侧换流器投入运行。

通过分析南京工程实际运行时的两次安装交流系统故障(一次为UPFC线路区内故障,另一次为UPFC线路区外故障),验证了文中提出的UPFC线路故障处理策略的合理性和工程适用性。

参考文献:

- [1] 潘磊,李继红,田杰,等.统一潮流控制器的平滑启动和停运策略[J].电力系统自动化,2015,39(12):159-164.
PAN Lei, LI Jihong, TIAN Jie, et al. Smooth start and stop strategies for unified power flow controllers[J]. Automation of Electric Power Systems, 2015, 39(12): 159-164.
- [2] 凌峰,李九虎,田杰,等.适用于双回线路的统一潮流控制器系统结构优化分析[J].电力系统自动化,2015,39(21):113-119.
LING Feng, LI Jiuhu, TIAN Jie, et al. Optimization analysis of UPFC system structure for double-circuit lines[J]. Automation of Electric Power Systems, 2015, 39(21): 113-119.
- [3] 胡兆庆,田杰,董云龙,等.模块化多电平柔性直流输电系统网侧故障控制策略及验证[J].电力系统自动化,2013,37(15):71-75.
HU Zhaoqing, TIAN Jie, DONG Yunlong, et al. A control strategy for modular multilevel converter based HVDC flexible systems under system faults and its verification[J]. Automation of Electric Power Systems, 2013, 37(15): 71-75.
- [4] HOJO M, FUJIMURA Y, OHNISHI T, et al. An operating mode of voltage source inverter for fault current limitation[J]. IEEE Xplore, UPEC, 2006(2):598-602.
- [5] ZANETTA LC, PEREIRA M. Limitation of line fault currents with the UPFC[J]. Horticultura Brasileira, 2007, 27(4):431-437.
- [6] 张铭.短路电流限制器技术综述[J].华东电力,2008,36(9):43-46.
ZHANG Ming. Review for short-circuit current limiters[J]. East China Electric Power, 2008, 36(9): 43-46.
- [7] 韩柳,仇卫东,肖智宏.电网短路电流的限制措施[J].电力技术经济,2009,21(3):33-37.
HAN Liu, QIU Weidong, XIAO Zhigong. Overview on measures of short-circuit current limitation on power system[J]. Electric Power Technologic Economics, 2009, 21(3): 33-37.
- [8] MITSUHIRO T, HIROAKI S. Effect of fault current limiting of

- UPFC for power flow control in loop transmission [J]. IEEE Xplore, 2002, 3(3): 2032-2036.
- [9] 藏玉清. 具有短路限流功能的统一潮流控制器的研制[D]. 杭州:浙江大学, 2012.
- ZANG Yuqing. Research and develop on unified power flow controller with solid-state fault current limiter[D]. Hangzhou: Zhejiang University, 2012.
- [10] 阎博, 江道灼, 吴兆麟, 等. 具有短路限流功能的统一潮流控制器设计[J]. 电力系统自动化, 2012, 36(4): 69-73.
- YAN Bo, JIANG Daozhuo, WU Zhaolin, et al. Design of unified power flow controller with fault current limiting [J]. Automation of Electric Power Systems, 2012, 36(4): 69-73.
- [11] 阎博, 藏玉清, 江道灼, 等. 限流式统一潮流控制器的动态分析与实验[J]. 电力系统自动化, 2012, 36(13): 101-105.
- YAN Bo, ZANG Yuqing, JIANG Daozhuo, et al. Dynamic analysis and experiment of unified power flow controller with fault current limiting [J]. Automation of Electric Power Systems, 2012, 36(13): 101-105.
- [12] SCHAUDER C D, GYUGYIL, LUND M R, et al. Operation of the unified power flow controller (UPFC) under practical constraints [J]. IEEE Transactions on Power Delivery, 1998, 13(2): 630-639.
- [13] BIAN J, RAMEY D G, NELSON R J, et al. A study of equipment sizes and constraints for a unified power flow controller [J]. IEEE Transactions on Power Delivery, 1997, 12(3): 1385-1391.
- [14] 鲁江, 秦健, 潘磊, 等. 南京 UPFC 工程控制保护系统架构与配置研究[J]. 江苏电机工程, 2015, 34(6): 1-5.
- LU Jiang, QIN Jian, PAN Lei, et al. Study on architecture and configuration for control and protection system of Nanjing UPFC project [J]. Jiangsu Electrical Engineering, 2015, 34(6): 1-5.
- [15] 凌峰, 秦健, 戴阳, 等. 南京 UPFC 工程运行方式[J]. 江苏电机工程, 2015, 34(6): 36-40.
- LING Feng, QIN Jian, DAI Yang, et al. The operation modes for Nanjing UPFC project [J]. Jiangsu Electrical Engineering, 2015, 34(6): 36-40.
- [16] 姜崇学, 戴阳, 王莹, 等. 统一潮流控制器保护功能配置研究[J]. 江苏电机工程, 2015, 34(6): 6-9.
- JIANG Chongxue, DAI Yang, WANG Ying, et al. Research on protection function deployment for UPFC device [J]. Jiangsu Electrical Engineering, 2015, 34(6): 6-9.
- [17] 黄志高, 潘磊, 祁万春, 等. 南京 UPFC 示范工程人工接地短路试验分析[J]. 江苏电机工程, 2016, 35(6): 32-35.
- HUANG Zhigao, PAN Lei, QI Wanchun, et al. Analysis of artificial grounding test for Nanjing UPFC pilot project [J]. Jiangsu Electrical Engineering, 2016, 35(6): 32-35.

作者简介:



潘磊

潘磊(1985—),男,湖北荆州人,硕士,工程师,从事柔性直流输电及柔性交流输电技术研发工作(E-mail:panl@nrec.com);

李斌(1963—),女,四川泸州人,研究员级高级工程师,从事电力系统调度规划、智能电网技术前瞻应用,柔性交直流输电技术应用工作;

杨光(1983—),男,湖北襄阳人,硕士,工程师,从事智能变电站、柔性交直流输电技术应用工作(E-mail:ygsjtu@163.com);

董云龙(1979—),男,安徽安庆人,硕士,高级工程师,从事柔性直流输电及柔性交流输电技术工作;

黄如海(1987—),男,江苏南通人,硕士,工程师,从事柔性直流输电及柔性交流输电技术工作;

邱德锋(1986—),男,江苏泰州人,硕士,工程师,从事柔性直流输电及柔性交流输电技术工作(E-mail:qudf@nrec.com)。

Control and Protection Strategies of Unified Power Flow Controller During AC System Failure

PAN Lei¹, LI Bin², YANG Guang², DONG Yunlong¹, HUANG Ruhai¹, QIU Defeng¹, KONG Xiangping³

(1. NR Electric Co., Ltd., Nanjing 211102, China;

2. State Grid Jiangsu Electric Power Company Nanjing Power Supply Company, Nanjing 210019, China;

3. State Grid Jiangsu Electric Power Company Research Institute, Nanjing 211103, China)

Abstract: As a full-featured power electronic equipment, unified power flow controller (UPFC) need fault ride-through ability. UPFC series and parallel inverter parts will withstand the impact of failure during AC line fault. And for instantaneous fault of the line, the UPFC need to continue to run after the line fault is cleared. Based on the structure and fault characteristics of UPFC, the processing strategy of UPFC in the case of AC system failure is put forward, so that it has the fault ride-through ability. The UPFC parallel side can run continuously during the fault by use optimization control strategy. And the serial side can exit and restart quickly, with the coordination of UPFC control and protection strategy, line protection and reclosing logic. The rationality of the strategy is verified by manual short circuit test and the actual system fault test during the operation of Nanjing UPFC demonstration project.

Key words: UPFC; AC system fault; fault ride-through; restart

(编辑 方晶)