

交直流碰线故障对变压器差动保护影响的实证分析

顾乔根^{1,2}, 吕航^{1,2}, 王玉龙^{1,2}, 程璐璐^{1,2}, 薛海平^{1,2}

(1. 南京南瑞继保电气有限公司, 江苏 南京 211102;

2. 南瑞集团公司(国网电力科学研究院), 江苏 南京 211106)

摘要:在实际工程中,目前较为常见的是交流、直流线路交叉跨越的情况,特别在南方地区交流线路错综复杂,南方电网作为多个直流工程的落点,交直流交叉跨越现象更加明显。文中以金中换流站实用的PSCAD仿真模型为基础,搭建了交直流系统共存的仿真模型,并选取220 kV,500 kV交流系统作为典型场景进行分析,仿真交流变压器区外发生金属性的交直流碰线故障。根据仿真波形的分析结果,给出了交直流碰线故障时变压器差动保护的特性分析结果。

关键词:交直流跨越;交直流碰线故障;变压器差动保护

中图分类号:TM77

文献标志码:A

文章编号:2096-3203(2018)06-0126-07

0 引言

由于我国电能生产中心与负荷中心的地理距离较远,容易出现供能侧产能送不出、需求侧用电紧张的情形。为解决电能的高效传输问题,我国将建设以特高压交流、特高压直流输电技术为基础的电力骨干网。特高压输电是解决大容量、远距离电能输送问题的良好技术手段,但特高压输电的电力走廊要占用日益紧张的土地资源,因此,特高压交流、直流线路共用走廊的情况难以避免^[1-2]。虽然目前工程应用中还没有交/直流线路同杆塔布局情况,但是不排除将来会出现这种输电布局的可能。与交/直流独立输电方式不同,同塔架设的交直流线路,或交直流输电线路临近、互相跨越,将引出一系列新的问题^[3-4],如运行的交流线路会对邻近的直流线路产生电磁耦合效应,产生交流电场、直流电场混合现象。这种情形长期运行后,可能导致交直流输电线路发生碰线故障。

常规超高压、特高压交流电网常用的几种继电保护元件,包括工频变化量距离元件、零序方向元件、负序方向元件、纵联差动元件和阻抗元件,算法比较成熟^[4-6]。这些保护元件均是基于交流系统接地、相间或者交流跨交流故障的电气特征分析来建立的。当交流电网和直流电网发生碰线故障时,直流短路电流与交流短路电流混叠,将会给传统的继电保护带来哪些影响,目前相关研究还不多见,特别是对于易受直流电流的元件会带来哪些影响,如电力变压器是否因此饱和进而导致保护误动,有待进行深入研究^[7]。

本文从变压器差动保护角度出发,根据实际工程的仿真模型,仿真交流变压器差动保护在交直流碰线故障下的波形特征,探讨常规变压器差动保护在此类故障情况下的适应性。

1 交直流碰线故障的故障过程

对交流电网中性点接地系统,分析交直流碰线故障后的故障电流,如图1所示。

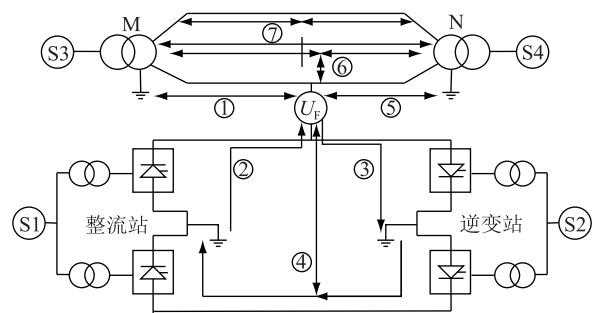


图1 交直流碰线故障电流示意图

Fig.1 Current schematic diagram of AC/DC Touch Fault

如图1所示, U_F 为等效的故障电源,故障电流的主要流向如图中①、②、③、⑤所示。此外,故障电流还会通过直流双极线路间的相感流过,如图中的流向指向④所示;故障电流还将通过交流相间互感流通,如图中的流向指向⑥、⑦所示。

对中性点不接地的交流电网,发生交直流碰线故障后,故障电流只能通过线路对地的互感流通,其故障电流值较小。

对于中性点接地的交流电网,如图1所示的M端、N端构成的交流电网,如果发生交直流碰线-接地故障,故障电流将经故障点的接地点流通,此时

流入交流系统的直流分量较小。如果发生交直流碰线-不接地故障,故障电流将经交流系统的中性点的接地点流通,从而造成较大的直流短路电流流经交流电网,进而对电网设备、继电保护正常运行造成影响。

2 交流保护的影响性评估

当发生交、直流线路相碰,交流直接将基本分量注入直流输电线路,同时,直流电流窜入交流系统中。一方面直流线路中将会出现工频交流分量,使交流系统中出现二次谐波激励,直流系统将产生较大基波,交直流的不断相互激励进一步增加谐波的不稳定,造成电气量畸变,影响系统的安全运行及继电保护的适应性。另一方面,直流电流窜入变压器后,将在变压器本体中产生直流偏磁,可能造成变压器铁心磁通饱和^[6-8],这不仅对变压器安全造成损害,还将进一步影响变压器差动保护的适应性,造成保护误动进而扩大事故。

目前,实际工程中较为常见的是交流输电线路、直流输电线路交叉跨越的情形,可能发生的故障点集中在输电杆塔及输电线路路上。变压器通常坐落于变电站内,设备自身占地面积相对较小,变压器差动保护范围仅限变压器本体及引线部分,发生碰线故障的概率较小。因此本文着重分析发生碰线故障后变压器差动保护的防误特性,不考虑碰线故障发生在变压器差动保护区内。

3 交流 220 kV 变压器差动保护故障特性仿真

3.1 仿真模型

本文采用 PSCAD/EMTDC 数字仿真软件,构建交直流互联电网仿真模型,模拟交流线路与直流线路的各种碰线故障,通过仿真软件输出故障录波文件,通过对故障录波文件的分析研究故障时的电气特征及继电保护元件的响应。

本文仿真采用的直流输电系统基于实际运行的 ± 500 kV 金中直流输电工程,构建的直流部分仿真模型,与实际系统高度一致,工程参数如下。

直流线路长度为 1100 km,采用依频模型,杆塔主要参数为:4 分裂导线、两极线离地高度为 30 m、相距 20 m,两地线离地高度 41 m、相距 20 m;阀控制保护系统为金中换流站实际使用的控保系统。

为了便于研究,保留一条交流线路,并对两侧的交流电源进行适当简化等值。在仿真模型中,交流系统与直流系统相互独立,交流线路与直流线路

之间仅通过仿真故障控制器连接,这样处理是为了着重仿真交直流线路交叉跨越时的碰线故障。设置交流系统的输电线路(M—N 端)长度为 220 km。参考广州地区 2017 年丰大年短路电流计算数据,设置交流系统短路容量为 16 949 MV·A,正序电阻、电抗分别为 0.256 Ω 、3.026 Ω ;负序电阻、电抗分别为 0.289 Ω 、2.773 Ω ;零序电阻、电抗分别为 0.705 Ω 、6.49 Ω 。

设置变压器差动保护启动值为 0.3 I_n ,纵差涌流闭锁方式为二次谐波闭锁,设置涌流闭锁定值为 15%。交直流线路碰线故障示意图如图 2 所示。

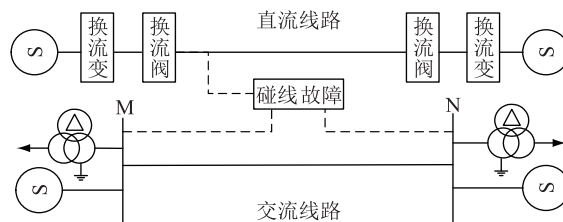


图 2 交直流线路碰线故障示意图

Fig.2 Schematic diagram of AC/DC touch fault

本文采用的分析方法包括:(1) 根据金中换流站实际工程应用的 PSCAD 直流模型,搭建交直流碰线故障仿真系统;(2) 基于基本的继电保护原理,利用 matlab 软件构建模拟实际继电保护元件的数学模型,模拟超高压、特高压电网常用的纵差保护。围绕这几种情况下各自的特性,分析其在交直流碰线中的适应性,并结合仿真得到的故障电气量数据检验其动作行为是否可靠。

同时,对交流和直流线路部分选取不同的故障点,进行不同类型的碰线故障,比较分析故障结果,选择有代表性的输电线路和故障点作为重点研究对象。

本文仿真模型设置直流系统启动时间为 12 s,以确保故障前系统已稳定。设置故障起始时刻为第 12 s,故障持续时间 1 s,故障消失后系统恢复时间 7 s,共计设置仿真时间 20 s(下文分析图形略去了仿真过程前 10 s 直流系统启动过程)。

对于交流系统 M 端、N 端电流特征而言,虽然交直流碰线故障点本身没有接地,但由于与直流线路相碰,直流系统通过接地极极线接地,从而交流短路电流能够形成回路^[8]。由于这种故障形式与一般的交流接地故障不同,显然交直流故障下交流故障回路的短路阻抗要大于一般性交流接地故障。图 3 给出了 M 侧线路近端故障时的短路电流对比。

由图 3 可见,由于短路阻抗的影响,同等条件下,不接地碰线故障时的线路短路电流要明显小于

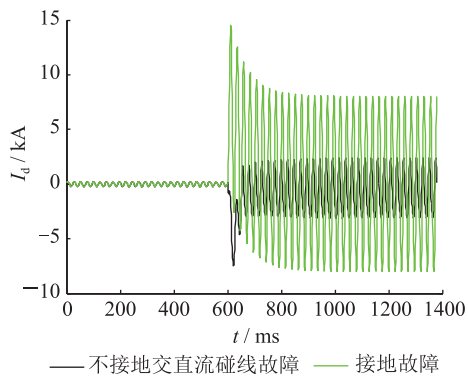


图3 线路短路电流对比

Fig.3 Comparison of line fault current

一般性接地故障。文献[9]给出的仿真结论,在特定的线路保护定值下是成立的。但对于更一般的线路保护定值整定,以及考虑直流短路电流对互感器的不利影响^[10-11],线路保护可靠性和灵敏性不可避免地会降低^[12-17]。本文不进一步展开讨论线路保护问题,基于交流线路保护还存在较大的不确定性^[18-19],仅假设1s的仿真过程中,线路保护未动作,线路开关不断开。

3.2 阀保护投入时220 kV变压器近端三相区外不接地碰线

一般而言,交直流碰线故障后不管直流线路主保护是否动作,故障一直持续下去交直流碰线保护将会动作(交直流碰线保护延时定值设置得较长也会满足条件而动作)。交直流碰线保护动作后采用南网工程的紧急停运(ESOF)。紧急停运整流站采取快速移相闭锁(约20ms),逆变站采取投旁通对闭锁(旁通对时间约1.2s)。

根据阀控制保护策略,当故障发生碰线保护动作后,直流系统将进入自重投过程。如果碰线故障点为永久性故障,这个过程将逐步加剧直流短路电流对交流系统的冲击。

分析这个过程可以预见,故障后阀控制系统迅速停运,变压器短时内流经非周期分量,变压器饱和程度较低。由于故障为永久性存在,在接下来的阀控制系统几次自投的暂态过程中,反复有短时非周期分量流经变压器绕组,导致变压器饱和程度逐步加深。

仿真直流保护投入的情况下,发生变压器ABC三相区外永久性不接地碰线故障。计算本故障下的变压器纵差差流,波形特征如图4。由于直流系统保护动作迅速,变压器只短时流经非周期分量,变压器饱和程度较低,差流小于差动门槛。随着阀控制系统多次重投,差流逐渐上升,很可能达到动作门槛,但在这个过程中,由于差流中二次谐波含量

很高,励磁涌流判据能够起到制动差动保护的作用。

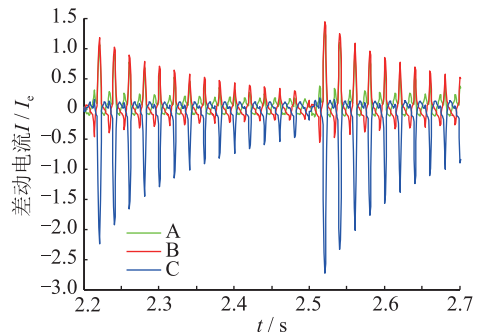


图4 本故障下的变压器纵差差流波形

Fig.4 Waveform of differential flow under this fault

3.3 远端碰线故障时的变压器纵差保护

图1所示的故障电源产生的短路电流流入交流系统时,依然要遵循基尔霍夫定律。因此假设M、N侧均存在接地中性点时,当碰线故障发生在近N侧,故障点-M侧、故障点-N侧构成并联回路,当故障点越靠近N侧,故障点-M侧串入的线路阻抗越大,进而流入M侧的直流分量越小。

仿真碰线故障发生在交流输电线远端(200km)时,发生变压器区外ABC三相碰线故障。

故障后,高压侧三相电流降低,没有检测到明显的直流偏置。系统重新投入后,变压器也没有饱和迹象。故障过程中纵差差动保护差流如图5所示。

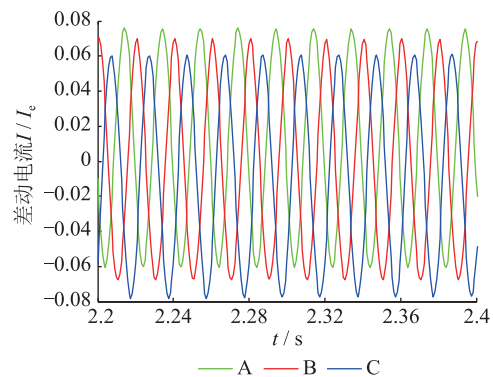


图5 本次故障纵差差流波形

Fig.5 Waveform of differential protection flow

由图5可见,当交直流碰线故障点发生在输电线路远端时,直流短路电流的流向遵循基尔霍夫定律,它选择阻抗较小的回路流入大地,即本次故障中,短路电流经线路远端的中性点流入大地,因此本侧变压器基本无直流偏置情况,从而变压器纵差保护也没有产生明显差流。

3.4 阀保护失灵时变压器近端区外不接地碰线故障

分析交直流碰线故障时阀保护失灵,旨在仿真

直流短路电流长时间通过变压器绕组的情形。

当发生变压器 A 相区外近端不接地碰线故障,故障后直流短路电流经变压器高压侧中性点的接地点流入大地。由于故障后直流系统没有迅速退出,短路电流大、持续时间长,此工况下交流变压器受影响程度深。

计算本故障下的变压器纵差差流,并进行谐波分析。故障开始后 200 ms 内的差流波形如图 6,计算故障全过程的差流有效值如图 7。故障后,变压器进入暂态饱和,变压器相电流、纵差差流中的二次谐波含量丰富,如图 8。

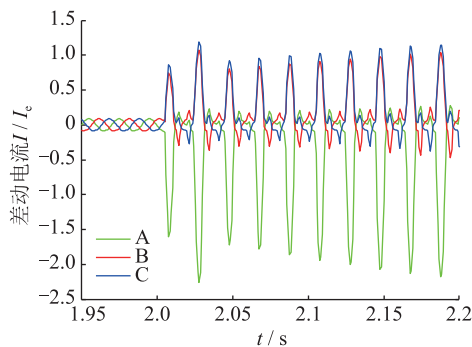


图 6 纵差差流波形

Fig.6 Waveforms of differential protection flow

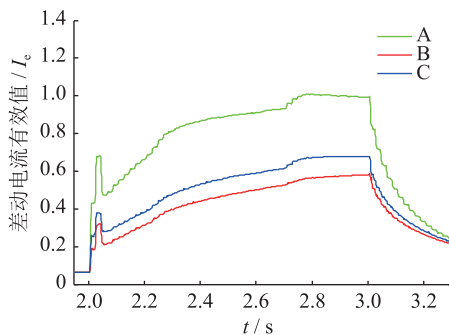


图 7 纵差差流有效值

Fig.7 Amplitude of differential protection flow

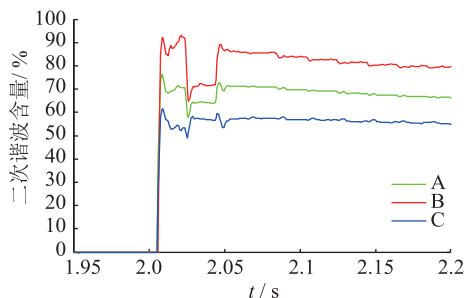


图 8 故障电流的二次谐波含量

Fig.8 The harmonic components of the fault current

经计算,故障期间纵差差流已满足差动保护制动特性曲线,理论上可以动作,但由于二次谐波含量高,涌流特性明显,励磁涌流判据能够起到制动

差动保护的作用。此外,差流未达到速断定值。

4 500 kV 变压器差动保护的故障特征

4.1 含并联高抗线路近主变端 AB 相碰线故障

考虑 500 kV 输电线路含并联高抗接入的情况,在图 2 所示的 M—N 输电线路中,增加并联高抗。由于高抗存在经中性点小抗的接地点,从变压器的角度来看,相当于在变压器中性点的接地点之前,并接了一个接地点。

虽然高抗和变压器同属于感性元件,但变压器存在铁芯进行磁链交换。当直流电流流入变压器绕组时将在铁芯中建立起直流磁通,受磁阻的影响,变压器整体呈现的阻抗必然要大于无铁芯的高抗,因此当发生碰线故障时,短路电流将优先经高抗流入大地。

仿真在阀控制保护不投入的情况下,发生升压变 AB 相区外不接地碰线故障。

波形特征:故障后,交流短路电流穿越性流向上,呈典型穿越性区外故障特征。同时,直流短路电流直接经并联高抗的中性点流入大地,流经变压器的直流电流极小。

计算故障时刻的差流,故障开始后 200 ms 内的差流波形见图 9。由图 9 可见,碰线故障时,纵差保护产生的差流极小,整体呈区外穿越性故障特征。纵差保护不会误动。

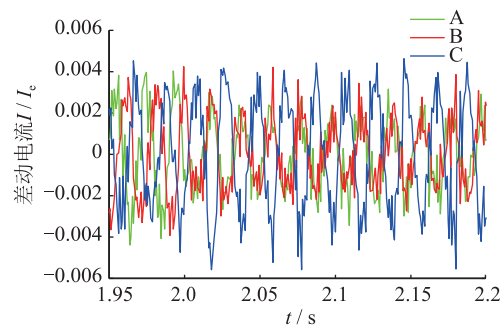


图 9 三相故障时纵差差流波形

Fig.9 Waveform of differential protection flow

4.2 不含高抗的线路近主变端发生区外碰线故障

自耦变压器具有耗材少、结构简单的优点,因此在相同的运输条件下,自耦变压器的容量可以比普通两绕组、三绕组变压器更大,广泛应用于超高压输电网中。自耦变压器额定容量大、电压等级高,其铁芯截面积更大,因此对于相同短路容量的直流故障量,自耦变压器具有更好的抗饱和能力。当变压器区外发生碰线故障时,中压侧电源将提供交流短路电流,流向短路点,整体呈穿越性特征,直

流短路电流将经自耦线圈直接流入大地。

在仿真阀控制保护不投入的情况下,发生联络变 A 相区外不接地碰线故障,受 PSCAD 仿真模型限制,500 kV 自耦变采用两侧绕组的变压器模型分析。

故障后,交流短路电流穿越性流入 500 kV 短路点,呈穿越性区外故障特征;故障后,变压器 A 相电流出现一定直流偏置情况;故障后约 500 ms,变压器逐步出现稳态饱和现象。计算本故障下的变压器纵差差流,波形特征如图 10。

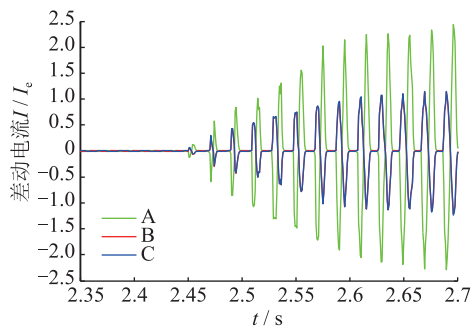


图 10 本次故障纵差差流波形

Fig.10 Waveform of differential protection flow

如图 9 可见,碰线故障开始一段时间内,变压器未进入饱和态,此时间段内,变压器差流很小;故障后约 500 ms 直至故障切除,变压器逐步进入饱和态。同时,在故障切除后,系统恢复时,变压器产生恢复性涌流,产生的差流越过差动门槛,满足差动保护动作条件,但此时差流波形偏于时间轴一侧,谐波含量较高,励磁涌流判据、电流互感器(CT)饱和和判据能使差动保护可靠制动。

当发生三相对称性碰线故障时,由于自耦变相与相之间没有直接的电磁连接,短路点提供的直流短路电流分别流入三相系统,各相承受的直流电流大为降低,缓解了变压器的饱和程度。

故障后,交流短路电流穿越性流入 500 kV 线路的短路点。短路电流流向上,呈穿越性区外故障特征。从波形特征上看,三相短路故障时,变压器饱和程度显著低于不平衡故障,故障期间产生的纵差差流很小,保护没有误动风险。

计算故障时刻的差流如图 11 所示。三相短路故障时,变压器饱和程度显著低于不平衡故障,故障电流整体呈理想的典型区外穿越性故障特征,差流极小。现实中如果发生区外三相故障,由于 CT 暂态特性、故障电流的非周期分量等因素,差动保护会产生较小的差流,但制动电流远大于差动电流,保护没有误动风险。

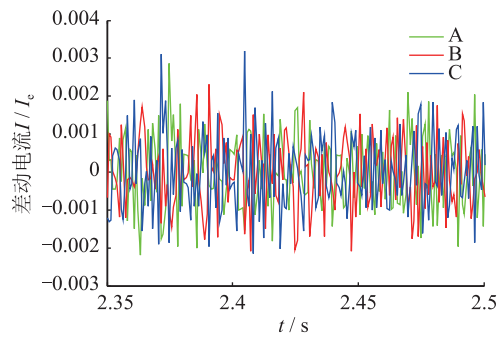


图 11 本次故障纵差差流波形

Fig.11 Waveform of differential protection flow

5 仿真结果分析

汇总各电压等级、各系统工况情况下,交直流碰线故障下的差动保护特性,如表 1、表 2。

表 1 220 kV 变压器区外不接地碰线故障

Tab.1 Ungrounded AC/DC touch fault outside 220 kV transformer protection range

故障类型	饱和情况	差动特性	涌流特征
近端 ABC 三相碰线	随阀重投,出现较低的饱和特征	进入动作区	可通过涌流闭锁差动
远端 ABC 三相碰线	基本不出现直流偏置情况,不饱和	不进入动作区	
近端故障阀保护失灵	故障后即进入饱和,饱和程度高	进入动作区	可通过涌流闭锁差动

表 2 500 kV 变压器区外不接地碰线故障

Tab.2 Ungrounded AC/DC touch fault outside 500 kV transformer protection range

故障类型	饱和情况	差动特性	涌流特征
线路带并联高抗	不饱和	未进入动作区	
近端单相碰线故障	不立即饱和,系统恢复时产生恢复性涌流	进入动作区	可通过涌流闭锁差动
近端三相故障	饱和特征很轻微,饱和程度低	不进入动作区	可通过涌流闭锁差动

根据上文的仿真结果可以看出,交直流碰线故障后,当直流短路电流流过变压器绕组,经变压器中性点流出时,变压器铁芯容易因直流偏磁而导致铁芯饱和。造成变压器直流偏磁的影响因素包括:系统阻抗分别、阀控制保护特性、变压器自身容量及结构等。具体而言,可以形成如下几点结论:

(1) 低电压等级、小容量变压器易饱和,产生差流能越过制动门槛,差动进入动作区。高电压等级变压器进入饱和较慢,产生差流较大的区域在恢复期间。

(2) 变压器受直流偏磁影响程度,取决于系统阻抗分布。流入变压器越多,变压器越容易饱和。

当故障点远离目标变压器时,变压器受影响程度低。变压器饱和后,励磁涌流判据能起到一定制动作用。

(3) 当故障点附近安装并联高抗时,直流短路电流经高抗中性点流入大地,变压器受影响程度小。类似地,当发生碰线接地故障情况下,直流短路电流直接入地,变压器不受影响。

(4) 发生交直流碰线故障后,故障点临近的变压器应尽快安排变压器铁芯的去磁维护工作。

变压器进入饱和态后,铁芯励磁阻抗降低,原边励磁电流上升。原副边开关电流的不平衡造成变压器差动保护被推向动作区。总结起来,弱系统制动电流小,饱和后容易进入差动保护动作区,强系统制动电流大,饱和后仍能保证一定的制动特性。

对于交直流同塔线路临近的低电压等级、小容量变压器,变压器差动保护定值宜适当提高,以提高差动保护制动区间,增强防误特性。

6 结语

本文根据实际直流工程应用的 PSCAD 仿真模型,搭建了交直流共存的故障仿真模型,仿真并分析了 220 kV, 500 kV 常见场景发生交直流输电线路碰线故障特征。仿真表明,当较低电压等级的交流系统发生交直流碰线故障时,交流系统的变压器容易进入饱和状态,进而带来变压器差动保护误动的风险。对于高电压等级的交流变压器,虽然不至于使变压器迅速进入饱和态,但直流短路电流产生直流磁通不容忽视,也应引起重视。交直流碰线故障,本质上没有脱离电力系统短路计算的分析范畴,系统结构和组成的变化,也将对短路电流的分布和流向产生影响。

应当看到,对于交直流碰线故障的研究,还有许多内容需要进一步开展,例如:实际电网发生故障时,故障特性要比实验仿真复杂,电流互感器、电压互感器受直流偏磁影响后,可能影响其传变特性,进而进一步对差动保护、阻抗保护等造成不利影响。另外,故障后交流系统的故障非周期分量与直流短路电流的相互作用,也需要进一步研究。

参考文献:

[1] 张波,李伟.特、超高压交、直流并行输电线路周围混合电场的测量方法[J].高电压技术,2012,38(9):2157-2161.
ZHANG Bo, Li Wei. Method for measuring the electric field under UHV/EHV DC/AC hybrid transmission lines [J]. High Voltage Engineering, 2012, 38(9), 2157-2162.

[2] 任姝,何为,杨帆,等.同塔交直流线路容性耦合干扰的分析与计算[J].高压电器,2012,48(4):39-43.

REN Shu, HE Wei, YANG Fan, et al. Analysis and calculation for the capacitive coupling of the AC and DC transmission lines on one tower [J]. High Voltage Apparatus, 2012, 48(4): 39-43.

[3] 吴鹏,田猛,陆云才,等.锦一苏特高压直流对江苏电网变压器直流偏磁的影响[J].江苏电机工程,2014,33(1),5-9.
WU Peng, TIAN Men, LU Yuncai, et al. Influence of Jin-Su HT-DC to transformer DC magnetic bias in Jiangsu Power Grid [J]. Jiangsu Electrical Engineering, 2014, 33(1), 5-9.

[4] 王晨清,宋国兵,汤海雁,等.距离保护在风电接入系统中的适应性分析[J].电力系统自动化,2015(22):10-15.
WANG Chenqing, SONG Guobing, TANG Haiyan, et al. Adaptability analysis of distance protection in power system integration with wind farms [J]. Automation of Electric Power Systems, 2015(22):10-15.

[5] 朱声石.高压电网继电保护原理与技术[M].3版.北京:中国电力出版社,2005.
ZHU Shengshi. Principle and technology of relay protection in high voltage grid system [M]. 3rd. Beijing: China Electric Power Press, 2005.

[6] 赵国庆,季晨宇,张海东,等.智能变电站整体集成仿真测试系统研究[J].电力工程技术,2016,35(1):66-69.
ZHAO Guoqing, JI Chenyu, ZHANG Haidong, et al. Research on integrated simulation testing system for smart station [J]. Electric Power Engineering Technology, 2016, 35(1):66-69.

[7] 黄少锋,申洪明,刘玮,等.交直流互联系统对换流变压器差动保护的影响分析及对策[J].电力系统自动化,2015,39(23):158-164.
HUANG Shaofeng, SHEN Hongming, LIU Wei, et al. Effect of AC DC interconnected network on transformer protection and its countermeasures [J]. Automation of Electric Power Systems, 2015, 39(23):158-164.

[8] 刘从法,殷飞,周楠,等.±1100 kV古泉换流站接地极对变压器直流偏磁的影响[J].电力工程技术,2018,37(3),145-150.
LIU Congfa, YING Fei, ZHOU Nan, et al. Impact on DC bias magnetic of the power transformers by grounding electrode current of ± 1100 kV Guquan converter station [J]. Electric Power Engineering Technology, 2018, 37(3), 145-150.

[9] 薛海平,王俊生,张少凡,等.交直流交叉跨越碰线故障分析及处理策略[J].电力系统自动化,2017,41(24),150-157.
XUE Haiping, WANG Junsheng, ZHANG Shaofan, et al. Touching fault analysis and clearing action strategy for AC/DC crossed transmission lines [J]. Automation of Electric Power Systems, 2017, 41(24), 150-157.

[10] 杨志强,陈卫.电流互感器铁心剩磁测量方法研究[J].电力工程技术,2018,36(3),38-42.
YANG Zhiqiang, CHEN Wei. Research on the method of measuring residual flux in the core of current transformer [J]. Electric Power Engineering Technology, 2018, 36(3), 38-42.

[11] 廖文彪,周泽昕,詹蓉蓉,等.多类型电流互感器混联运行

- 动模测试平台建设及对差动保护的影响[J]. 电力系统保护与控制, 2017, 45(22), 83-89.
- LIAO Wenbiao, ZHOU Zexin, ZHAN Rongrong, et al. Construction of the dynamic model test platform for hybrid operation of multi type current transformer and its influence on differential protection[J]. Automation of Electric Power Systems, 2017, 45(22), 83-89.
- [12] 沈 军, 张洪喜, 王 忠, 等. 一起距离保护误动事例分析及解决方案[J]. 电力工程技术, 2017, 36(3): 100-104.
- SHEN Jun, ZHANG Hongxi, WANG Zhong, et al. Analysis and solution of a distance protection mal-operation case [J]. Electric Power Engineering Technology, 2017, 36(3): 100-104.
- [13] 洪佩孙. 距离保护与阻抗保护[J]. 江苏电机工程, 2001, 20(1): 48-49.
- HONG Peisun. Distance protection and impedance protection [J]. Jiangsu Electrical Engineering, 2001, 20(1): 48-49.
- [14] 杨 胜, 何胜利. 一种改善距离保护动作特性的方法及其应用[J]. 江苏电机工程, 2012, 31(4): 39-45.
- YANG Sheng, HE Shengli. Improving method of action characteristics of distance protection and it's application[J]. Jiangsu Electrical Engineering, 2012, 31(4): 39-45.
- [15] 萧 珺, 毛承雄, 王 丹, 等. 电子调压电炉变压器及其控制策略[J]. 电力自动化设备, 2017, 37(10): 171-176, 196.
- XIAO Jun, MAO Chengxiong, WANG Dan, et al. Electronic voltage regulating furnace transformer and its control strategy [J]. Electric Power Automation Equipment, 2017, 37(10): 171-176, 196.
- [16] 陈汉城, 蔡金锭. 基于多时域特征参量的变压器油纸绝缘状态综合评估[J]. 电力自动化设备, 2017, 37(7): 184-190.
- CHEN Hancheng, CAI Jinding. Comprehensive evaluation of transformer oil paper insulation condition based on multi time domain characteristic parameters [J]. Electric Power Automation Equipment, 2017, 37(7): 184-190.
- [17] 李莹雯, 周云峰. 一起线路保护拒动的案例分析[J]. 四川电力技术, 2011, 34(6): 30-31.
- LI Yingwen, ZHOU Yunfeng. An analysis of line protection refuse action[J]. Sichuan Electric Power Technology, 2011, 34(6): 30-31.
- [18] 王国忠, 申娟平, 蒋体浩. 一起 220 kV 线路保护拒动分析[J]. 电子技术与软件工程, 2016(21): 224-225.
- WANG Guozhong, SHEN Juanping, JIANG Tihao. Analysis of a 220 kV line protection failure action [J]. Electronic Technology & Software Engineering, 2016(21): 224-225.
- [19] 索南加乐, 许庆强, 宋国兵, 等. 自适应接地距离继电器[J]. 电力系统自动化, 2005, 29(17): 54-58.
- SUONAN Jiale, XU Qingqiang, SONG Guobing, et al. Adaptive earth fault distance relay [J]. Automation of Electric Power Systems, 2005, 29(17): 54-58.

作者简介:



顾乔根

顾乔根(1986—),男,硕士,工程师,从事电力系统继电保护研究工作(E-mail: guqg@nrec.com);

吕 航(1971—),男,硕士,研究员级高级工程师,从事电力系统继电保护研究工作;

王玉龙(1988—),男,硕士,工程师,从事电力系统继电保护研究工作。

Empirical Study of the Influence of AC/DC Touch Fault on Transformer Differential Protection

GU Qiaogen^{1,2}, LYU Hang^{1,2}, WANG Yulong^{1,2}, CHENG Lulu^{1,2}, XUE Haiping^{1,2}

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

2. NR Group Corporation(State Grid Electric Power Research Institute), Nanjing 211106, China)

Abstract: In practical engineering, the cross and crossing of AC and DC lines are more common at present. The communication lines are complex, especially in the South. With many DC projects, the cross over phenomenon of AC and DC in the China Southern Power Grid is more obvious. This paper is based on the practical PSCAD simulation model of Jin-Zhong converter station, built a simulation model of AC and DC concomitant systems, and selecte 220 kV and 500 kV communication systems as typical scenarios for analysis by simulation of metal touch faults outside the AC transformer protection range. According to the simulation waveform, the characteristic analysis results of transformer differential protection are given in the end.

Key words: acrossing AC/DC lines; AC/DC touch fault; transformer differential protection

(编辑 钱 悦)