

DOI: 10.12158/j.2096-3203.2019.03.025

同塔并架高压直流输电线路故障及保护特性研究

刘云

(国家电网巴西控股公司, 巴西 里约热内卢 20071004)

摘要:同塔并架高压直流线路技术应用前景广阔。文中重点研究直流线路布置方式和故障形式对同塔并架直流线路故障识别和保护配置影响,提出综合应用等值电网求解、交流电网直流主回路电磁暂态建模、典型故障模式抽取等技术,建立仿真平台,研究典型故障特性下直流线路行波、突变量、直流欠压和纵差等保护特征值,分析直流线路保护影响因素和规律。研究表明:现有直流线路保护可有效识别大部分故障,但识别特定导线布置特定故障存在困难。建议直流工程线路设计中,避免采用特定导线布置,提高线路保护识别和响应故障能力。该研究可支撑直流工程设计、建设、运行和维护,具有推广和应用价值。

关键词:高压直流输电;同塔并架输电线路;电磁暂态;实时等效仿真;直流线路保护

中图分类号:TM85

文献标志码:A

文章编号:2096-3203(2019)03-0163-07

0 引言

受用地紧张、线路走廊清理难度大和环境保护管理严格等影响,输电走廊开发已成为制约能源基地开发、电力送出工程建设以及受端电网电力接纳能力提升的重要因素。同塔并架线路可大幅提高输电线路走廊输送容量,提升线路通道利用率^[1-2]。目前,同塔并架交流线路的最高电压等级已达1 000 kV,最大线路回数8回,同塔线路电压等级达3级^[3]。同塔并架交流线路排列方式、电磁环境、耐雷水平和过电压、故障识别、系统仿真等方面研究不断深入^[4-5]。

高压直流线路同塔并架技术也已应用于工程,如:±500 kV 溪洛渡右电站送广东输电工程采用换流站同址且全程(100%)同塔双回并架线路方式,±500 kV 林—枫与葛—南直流同塔双回架设线路占全长93.8%。同塔架设的直流输电线路间存在电磁耦合。当高压直流输电线路单极线路故障时,极间耦合作用引起另一极线路电流、电压波动,影响线路保护运行^[6],例如:云广直流输电工程在2010及2011年曾发生2次一极线路故障引起,健全极保护误动,导致双极相继闭锁事故。文献^[7-11]分析了交直流并架线路中直流输电线路耦合对偏磁影响,文献^[12-15]分别利用离线数字仿真、实时数字仿真和现场实测数据,分析了同塔并架双回直流输电线路不同极线间直流输电线路互感耦合影响。文献^[16-18]提出分别利用双极电压比值、电压突变量、正和负极波形面积比值的故障选极方法。文献^[19]提出利用健全极与故障极低频信号差异,实

收稿日期:2018-11-29;修回日期:2019-01-13

现故障极选择方法。

同塔并架直流线路布置方式决定了线路故障形式,对直流线路故障识别和保护配置研究提出挑战。文中阐述同塔并架高压直流线路故障和保护配置现状,提出综合应用多种仿真技术构建仿真平台,研究典型故障特性下行波、突变量、直流欠压和纵差等直流线路保护特征值变化情况,分析直流线路保护影响因素和规律,依据研究结果提出工程实施建议。

1 高压直流输电线路故障和保护概述

直流输电线路故障一般以线路绝缘水平降低而产生的对地闪络为主,包括雷击、污秽、山火或树枝触碰等;其次,还存在交/直流线路碰线和直流线路断线等故障。交流同塔双回线路跨线故障达占总故障类型81.6%,同样,同塔并架直流线路复合线路故障类型多,对系统冲击大^[5,20]。直流线路故障引起电气量突变,波形不断折反射产生高频暂态过程,包含丰富故障信息,可用于故障识别和保护设置等。同塔并架输电线路故障时,静电和电磁耦合、极间功率支援等在健全极线路感应电压和电流,幅值与导线布置等密切相关^[15-19],影响故障特性和保护配置。

直流线路主保护采用行波保护和微分欠电压保护,后备保护采用线路纵差保护和长时限直流欠压保护^[7-9,14]。主保护速度快,但微分运算对噪声敏感,电流和电压值瞬时值受噪声和色散等干扰,高频暂态波头识别窗口时间短,保护易受雷电、开关分合、交流侧故障、换相失败等过程中暂态干扰,存在耐受过渡电阻能力有限,无法区分线路末端故

障和对站极母线故障,不能保护线路全长的情况,通过定值区分保护范围^[14-15]。

同塔并架直流线路布置方式需权衡送/受端交流系统、输电线路电压等级、线路数量、输电走廊的地理环境和气象条件等多方面因素,直流线路保护配置兼顾导线布置、故障形式、线路间相互影响方面的特点。同塔并架直流线路故障识别和保护配置需要深入分析直流线路布置方式和故障形式的影响。

2 仿真平台与模型的建立

2.1 仿真平台

实时等效移植工程二次系统程序到离线数字仿真平台、直接提取工程保护程序并监测核心特征量,建立交直流主回路电磁暂态模型、抽取典型故障模式,从而综合采用仿真技术建立仿真平台和模型,如图1所示。

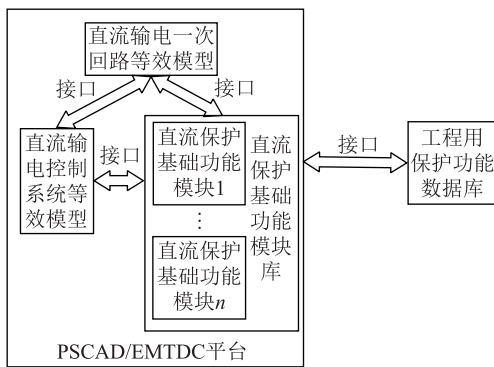


图1 实时等效电磁暂态仿真平台

Fig.1 Equivalent real-time electromagnetic transient simulation platform

仿真系统包括依次连接的电磁暂态仿真部分、数据接口和直流工程保护功能数据库。采用电磁仿真程序平台搭建直流输电一次回路等效模型。基于工程实际控制系统转换而成的闭环控制系统,建立直流输电控制系统等效模型,执行系统控制功能。由工程内相互独立的直流保护基础模块转构成直流保护基础功能模块库,各模块完成各自保护区内设备保护功能。建立直流输电主回路模型、控制系统模型和直流保护间接接口机制,实现仿真系统协调运转,共同构成实时等效电磁暂态仿真平台^[21-22]。仿真平台依托实际工程建立直流输电控制保护系统实时等效仿真数据库,难度大,精度高,既支撑一次主系统和控制系统电气特性的电磁暂态仿真,又保持直流线路保护与实际的性能的一致性,性能可靠。

基于上述仿真平台,依据工程及规划数据,研

究同塔并架直流线路特有故障特性、保护特征值、影响因素和规律,为设计、建设和运行提出建议。

2.2 仿真模型

2.2.1 送/受端交流系统等值电气参数

送/受端交流系统主要参数见表1,系统等值网见图2。等值网与原网的一回直流线路(换流站A1和A2间)双极闭锁时交流电压波形一致,见图3,满足仿真需要。

表1 送/受端交流系统的主要参数
Table 1 Main parameters of sending and receiving AC grid

参量	工况	整流侧	逆变侧
短路容量 /kA	最大	56.4	60.3
	最小	30	17.5
换流站交流母线电压 /kV	电压等级	330	500
	正常连续运行	330~363	490~525
	极端连续运行	315~363	475~550

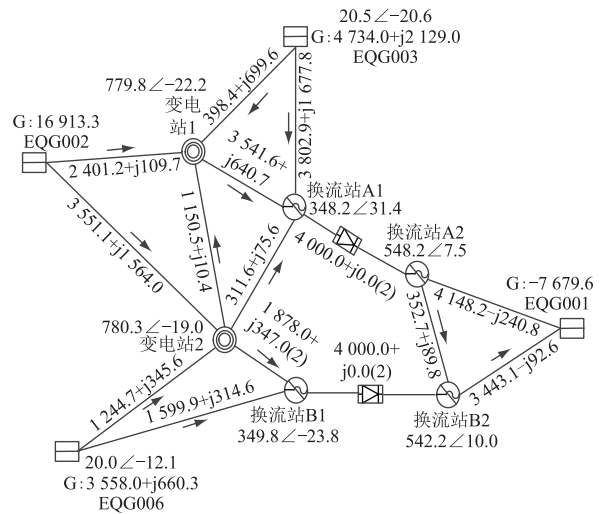


图2 某规划电网等值网

Fig.2 The equivalent power grid of planning grid

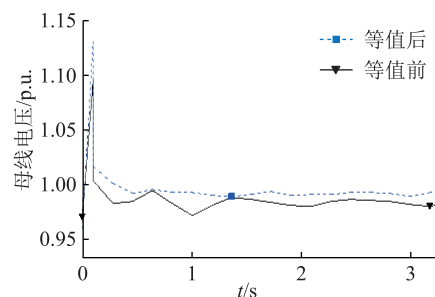


图3 双极闭锁后等值网与原网换流站交流母线电压波形

Fig.3 Voltage wave of equivalent grid and original one when HVDC bipole being blocked

2.2.2 建立交/直流系统主回路模型

直流输电系统主回路参数见表2,直流线路布

置及参数见图 4。

表 2 同塔并架直流线路的直流系统参数
Table 2 The DC line parameters of the parallel multi transmission lines on the same tower

项目	数值
额定输电容量/MW	4 000
最高直流运行电压/kV	±680
额定直流运行电压/kV	±660
额定直流电流/A	3 030
整流侧触发角/(°)	15
逆变侧熄弧角/(°)	18
导线型号	LGJ-6×630
直流线路 A 全长/km	1 348
直流线路 B 全长/km	1 300
同塔并架线路长度/km	1 205

注:未特别标明的表示两回直流线路的相关参数相同

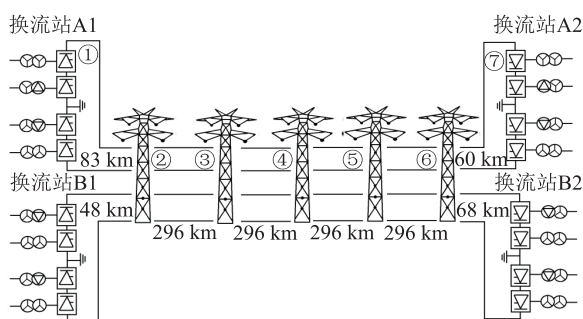


图 4 同塔双回直流线路典型仿真故障位置

Fig.4 Schematic diagram of the fault positions on the parallel double transmission lines on the same tower

2.2.3 线路故障仿真设置

(1) 导线布置。同塔双回直流输电线路极导线有 3 种类型布置方式,即垂直、水平和交叉接线,并构成多样的排列方式。不同布置方式及其排列方式对极线间距离、极性电磁耦合影响不同。表 3 仅列出文中所用的 2 种典型同塔双回直流线路排列方式。

表 3 同塔双回直流线路 2 种典型排列方式

Table 3 Two typical conductor aligned layout patterns of the double transmission lines on the same tower

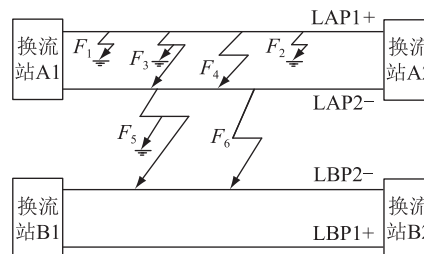
线路排列方式编号	位置	上层	下层
JA	左侧	LBP1	LBP2
	右侧	LAP2	LAP1
JB	左侧	LBP2	LAP2
	右侧	LBP1	LAP1

注:(1) JA 和 JB 分别代表编号 A 和 B 的同塔双回直流线路两种典型排列方式,以此类推,正文同;(2) LAP1 指直流工程 A 极 1 线路, LBP2 指直流工程 B 极 2 线路,以此类推,正文同。

(2) 故障位置。首端至末端等距离设置 7 处故

障点,如图 4 所示①—⑦,用于比较故障位置与整流站距离产生的影响。

(3) 故障类型。图 5 为同塔并架双回直流线路典型故障示意图,覆盖了接/不接地、断线、碰线、单一/复合等典型类型,如:单极接地、一极线路断线与同回直流对极线路碰线接地、一条线路断线与异回同极性线路碰线接地故障、两回同极性直流线路碰线不接地故障等,运行工况均为全压/额定功率,具体见表 4 和图 5。



注: $F_1 \sim F_6$ 标注位置与故障距离两端换流站的位置无关。

图 5 同塔并架双回直流线路典型故障方式

Fig.5 Faults mode on the parallel double HVDC transmission lines on the same tower

表 4 6 种同塔双回直流线路典型故障形式

Table 4 Six typical kinds of fault modes of the double transmission lines on the same tower

线路排列方式	故障编号	故障性质	故障描述
JA	F_1	单一	A 回极 1 单极接地
JB	F_2	单一	A 回极 1 单极接地
JA	F_3	复合	A 回两极碰线且接地
JA	F_4	复合	A 回极 1 断线与极 2 碰线且不接地
JB	F_5	复合	A/B 两回极 2 碰线且接地
JA	F_6	复合	A 回极 2 断线与 B 回极 2 碰线且不接地

2.2.4 直流线路保护仿真相关的典型特征量

直流线路行波包含的故障信息丰富,行波保护监测整流侧行波特征量采样值间差值,判断故障。直流线路突变量保护测量直流电压微分值 (du/dt) 和电流微分值 (di/dt),采用低电压辅助判别,判断区内外故障。2 种保护实测特征值与数据采样速率密切相关,仿真分析与计算步长关系密切。直流线路纵差电流 ($I_r - I_i$) 重点关注特征量最大值。直流线路欠压和纵差保护延时较长,对采样速率和仿真步长要求不高。其中 I_r 为直流线路整流侧出口直流电流; I_i 为直流线路逆变侧出口直流电流。

综合采用仿真技术,建立电磁暂态实时等效电磁暂态仿真平台为深入研究同塔并架直流线路故障特征和保护特性奠定了坚实的基础。

3 实例仿真分析

从导线布置、故障位置和故障形式等影响因素入手,分析故障后不同线路保护特征量变化情况。

3.1 直流线路单极接地故障

单极接地故障是直流线路主要故障。JA- F_1 故障(同回两极线上下垂直布置时,单回直流正极接地故障)后,故障线路的直流电压(图6中曲线a1)显著下降,故障线路的直流电流(图6中曲线b1)显著增大。

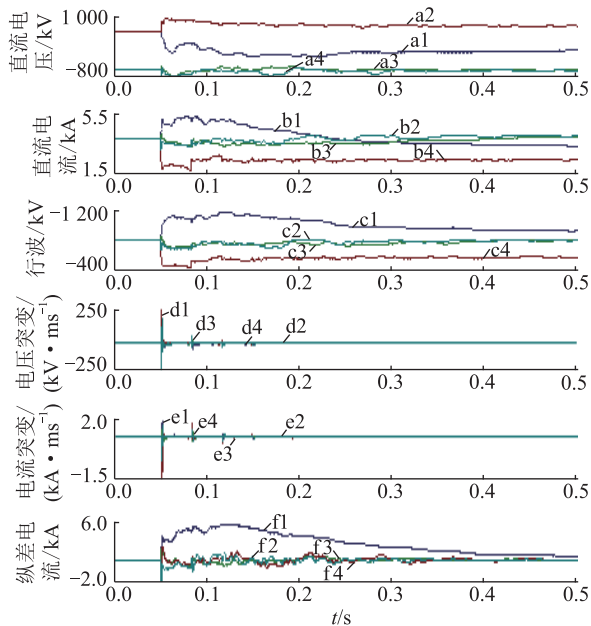


图6 JA- F_1 故障时直流线路行波保护特征量变化

Fig.6 The characteristic quantity change curve of the DC line traveling wave protection after JA- F_1 fault

(1) 行波保护。故障线路整流侧行波保护特征量激增,随后缓慢下降。JA- F_1 故障后,故障线路直流行波保护特征量见图6中曲线c1;故障越靠近整流站,行波保护特征量变化幅度越大,下降速率越慢。健全线路行波保护特征量均短时小幅上升,随后迅速下降,且上升幅度和持续时间低于故障线路的相应量一至两个数量级。与故障线路处于同一回线的健全极的直流行波保护特征量明显大于另一回线路的两健全极;另一回线路的两健全极的特征量相互之间无明显差别,见图6中曲线c2—c4。其中曲线1,2,3和4分别代表第一回的正负极、第二回的正负极线,下文同。

(2) 突变量保护。发生接地故障的极线路上,电压和电流突变量明显,见图6曲线d1和e1。非故障极线路,尤其是与故障极线路平行架设的非故障极线路,电压和电流突变量幅度小,见图6曲线d2—d4和e2—e4。

(3) 纵差保护。故障极线路上出现明显的电流纵差分量,见图6曲线f1,非故障极线路上的电流纵差分量较低,见图6曲线f2—f4。

3.2 一极线路断线与同回直流对极线路碰线接地故障

同回线路两极在铁塔同侧上下布置的线路,可能出现同回直流正极断线与负极线路发生接地故障。JA- F_3 故障(同回两极线上下垂直布置时,同回直流正极断线与负极线路接地故障)后,故障线路直流电压(图7中曲线a1和a2)显著下降,故障线路的直流电流(图7中曲线b1和b2)显著增大。

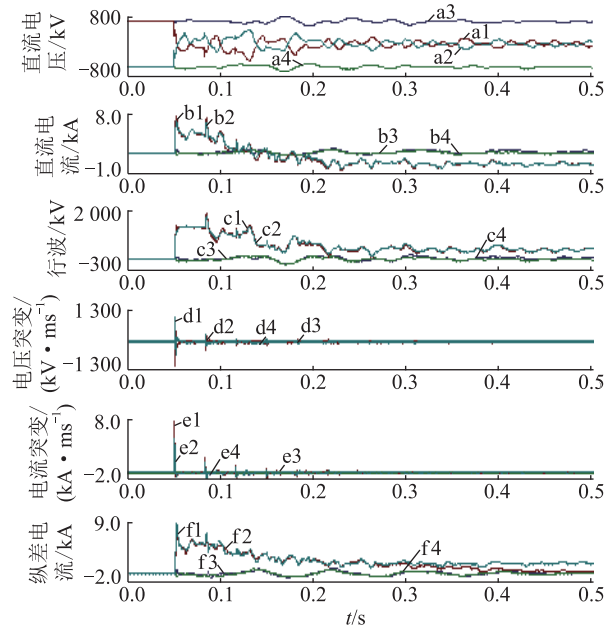


图7 JA- F_3 故障时各直流线路行波保护特征量变化

Fig.7 The characteristic quantity change curve of the DC line traveling wave protection after JA- F_3 fault

(1) 行波保护。故障后,两故障线路整流侧行波保护特征量激增,并在一段时间,如25ms,保持较大幅值,变化规律和幅值相近;故障越靠近整流站,故障线路直流行波保护特征量变化幅度越大,下降速率也更缓慢。JA- F_3 故障后,故障线路直流行波保护特征量见图7中曲线c1和c2。健全线路行波保护特征量变化幅度与故障线路之间相差一个数量级,见图7中曲线c3和c4。

(2) 突变量保护。2个故障极线路出现大幅度的电压和电流突变量,电压下降幅度大,故障特征明显,见图7中曲线d1,d2和e1,e2。非故障极线路上无明显的电压和电流突变量,直流电压受影响不大,见图7中曲线d3,d4和e3,e4。

(3) 纵差保护。2个故障极线路上出现明显的电流纵差分量,见图7中曲线f1,f2。非故障极线路

上的电流纵差分量较低,见图7中曲线f3,f4。

3.3 一条线路断线与异回同极性线路碰线接地故障

异回同极性直流线路上下布置时,存在发生一条线路负极断线并与异回直流同极性线路发生碰线接地故障情况。JB- F_5 故障(同回直流两极线左右水平布置时,一回直流负极线路断线并与另一回直流负极发生碰线接地故障)后,故障线路直流电压(图8中曲线a2和a4)显著下降,故障线路的直流电流(图8中曲线b2和b4)显著增大。

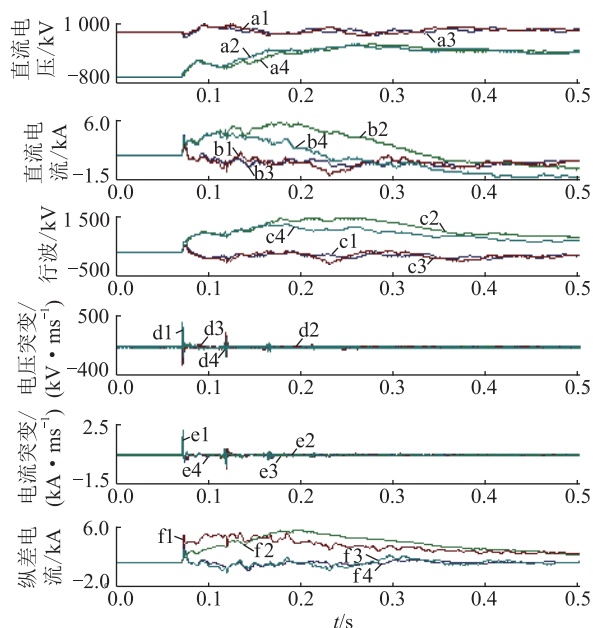


图8 JB- F_5 故障后直流线路保护行波保护特征量变化

Fig.8 The characteristic quantity change curve of the DC line traveling wave protection after JB- F_5 fault

(1) 行波保护。两故障线路的行波保护特征量激增,下降缓慢,且变化规律相近。断线故障线路的行波特征量低于未断线线路特征量;故障越靠近整流站,故障线路行波保护特征量变化幅度越大,下降速率也更缓慢。例如:JB- F_5 故障后,两故障线路直流行波保护特征量差别在3%~17%之间,见图8中曲线c2和c4。健全线路行波特征量变化幅度小,下降迅速,低于故障线路一个数量级,特质和幅值相近,且故障位置与换流站距离对结果影响不大。JB- F_5 故障下,两健全线路直流行波保护特征量,见图8中曲线c1和c3。

(2) 突变量保护。故障极线路电压和电流突变量幅值小,见图8中曲线e1—e4和f1—f4。

(3) 纵差保护。故障极线路上出现较大电流纵差分量,见图8中曲线f1,f2。非故障极线路很小,见图8中曲线f3,f4。

3.4 两回同极性直流线路碰线不接地故障

同回线路两极在铁塔同侧上下布置的线路,可能发生同回两极直流线路碰线故障。JA- F_6 (同回直流两极线上下垂直布置时,一回直流负极线路断线并与另一回直流负极发生碰线不接地)故障后,4条极线直流电压(图9中曲线a1—a4)和直流电流(图9中曲线b1—b4)均受到影响。

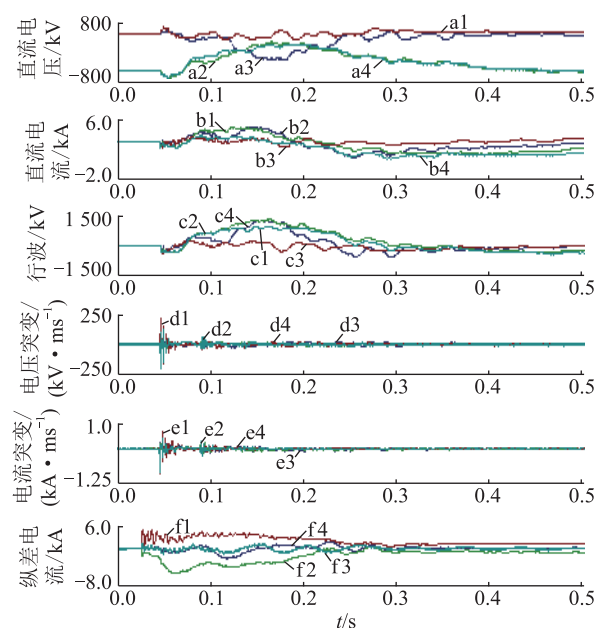


图9 JA- F_6 故障后直流线路行波保护特征量变化

Fig.9 The characteristic quantity change curve of the DC line traveling wave protection after JA- F_6 fault

(1) 行波保护。JA- F_6 故障后,线路直流行波保护特征量见图9中曲线c1—c4:两故障线路和两健全线路行波特征量上升,上升速率低于同类型的接地故障,且四者行波特征量存在交叉。进一步计算表明:故障位置对故障线路行波保护特征量变化幅度影响不大。针对上述情况,分析发现:此类故障发生几率与导线的布置方式相关,因此,建议避免采用同回线路两极在铁塔同侧上下布置,降低同回线路两极发生同回线路两极直流线路碰线故障概率。

(2) 突变量保护。故障极线路与非故障极线路的电压和电流突变量均较大且较为一致,见图9中曲线e1—e4和f1—f4。

(3) 纵差保护。故障极线路上出现较大电流纵差分量,见图9中曲线f1,f2。非故障极线路很小,见图9中曲线f3,f4。

以上分析可见,对于同塔并架直流线路全长上发生的大量类型故障,故障线路与健全线路的直流线路保护的的特征值差异明显,通过合理设置保护定

值,可有效区分故障和非故障极线路。建议避免采用同回线路两极在铁塔同侧上下布置,降低两回同极性直流线路发生碰线不接地故障概率。

4 结语

同塔并架高压直流线路技术可大幅提高输电线路走廊利用率,应用前景广阔。文中采用的仿真平台性价比高,研究成果可支撑直流工程设计、建设、运行和维护,具有推广和应用价值。结论如下:(1)建立实时等效电磁暂态仿真平台,研究同塔并架直流线路不同类型典型故障特点,分析保护特征值特点和规律的技术路线,在仿真平台建设、运行和维护的成本、周期、灵活性和开放性等方面具有优势。(2)对于同塔并架直流线路,在线路全长上发生不同类型故障时,直流线路保护区分故障线路和健全线路的能力不同。对于典型故障形式,故障极和健全极线路的保护特征量差别显著,易于识别故障线路和健全线路。(3)建议避免采用同回线路两极在铁塔同侧上下布置,降低同塔并架两回同极性直流线路发生碰线不接地故障概率。

参考文献:

- [1] 蔡乾,吴建云,罗美玲,等. 混压同塔四回线跨电压不接地故障下的距离保护适应性分析[J]. 电力系统保护与控制, 2018,46(24):25-32.
CAI Qian, WU Jianyun, LUO Meiling, et al. Analysis of the adaptation of distance relay in the case of cross-voltage phase to phase fault occurring on mixed-voltage quadruple-circuit transmission lines on the same tower[J]. Power System Protection and Control, 2018,46(24):25-32.
- [2] 汪泉弟,褚旭,杨帆,等. 500 kV 同塔双回紧凑型输电线路输电能力分析[J]. 电网技术, 2011,35(11):114-119.
WANG Quandi, CHU Xu, YANG Fan, et al. Analysis on transmission capability of 500 kV double circuits on the same tower compact transmission lines[J]. Power System Technology, 2011,35(11):114-119.
- [3] 刘振亚. 全球能源互联网[M]. 北京:中国电力出版社,2015.
LIU Zhenya. Global energy interconnection[M]. Beijing: China Electric Power Press, 2015.
- [4] 张旭升,李旭,樊占峰,等. 同塔四回线路纵向故障对零序方向保护的影响研究[J]. 电力系统保护与控制, 2017,45(7):114-120.
ZHANG Xusheng, LI Xu, FAN Zhanfeng, et al. Influence research of longitudinal fault on zero sequence direction protection for four parallel transmission lines on the same tower[J]. Power System Protection and Control, 2017,45(7):114-120.
- [5] 李仲青,周泽昕,周春霞,等. 同塔多回输电线路动态物理模拟方法研究[J]. 电网技术, 2013,37(4):1095-1110.
LI Zhongqing, ZHOU Zexin, ZHOU Chuxia, et al. Research on dynamic physical simulation method for parallel multi-circuit transmission lines on the same tower[J]. Power System Technology, 2013,37(4):1095-1110.
- [6] 隋国平. 云广特高压直流输电线路双极闭锁时安稳装置的动作分析[J]. 高电压技术, 2012,38(2):421-426.
SUI Guoping. Power safe system analysis of ± 800 kV Yun-Guang UHVDC when bipole blocking[J]. High Voltage Engineering, 2012,38(2):421-426.
- [7] 朱军,吴广宁,曹晓斌,等. 非全线并行架设的交、直流共用输电走廊线路间电磁耦合计算分析[J]. 高电压技术, 2014,40(6):1724-1731.
ZHU Jun, WU Guangning, CAO Xiaobin, et al. Electromagnetic coupling calculation and analysis of lines non-parallelly erected entirely in one common AC/DC transmission corridor[J]. High Voltage Engineering, 2014,40(6):1724-1731.
- [8] 张龙伟,朱军,吴广宁,等. 耦合地线对交直流同塔输电线路电气特性的影响及规律分析[J]. 电网技术, 2013,37(5):1252-1257.
ZHANG Longwei, ZHU Jun, WU Guangning, et al. Analysis influences regularity of coupling ground wires on electrical characteristics of HVAC and HVDC transmission lines on same tower[J]. Power System Technology, 2013,37(5):1252-1257.
- [9] 张龙伟,吴广宁,范建斌,等. 交直流共走廊输电系统换流变偏磁特性研究[J]. 电网技术, 2013,37(12):3375-3380.
ZHANG Longwei, WU Guangning, FAN Jianbin, et al. Research on DC magnetic biasing characteristic of converter transformer for AC/DC corridor-sharing power transmission system[J]. Power System Technology, 2013,37(12):3375-3380.
- [10] 李新年,蒋卫平,李涛. 交直流线路同塔输电对换流变直流偏磁的影响[J]. 电力系统自动化, 2011,35(11):87-92.
LI Xinnian, JIANG Weiping, LI Tao. Influence of same-tower AC/DC hybrid transmission lines on DC bias of converter transformer[J]. Automation of Electric Power Systems, 2011,35(11):87-92.
- [11] 程思勇,薛志方,何民. ± 500 kV 同塔双回直流输电线路对地距离研究[J]. 电网与清洁能源, 2010,26(11):24-27.
CHENG Siyong, XUE Zhifang, HE Min. Line-to-ground distance of the ± 500 kV double circuit DC transmission line on same tower[J]. Advances of Power System & Hydroelectric Engineering, 2010,26(11):24-27.
- [12] 吴高波,李健,陈媛,等. ± 800 kV 与 ± 500 kV 同塔双回直流输电线路电磁环境研究[J]. 电网技术, 2015,39(9):2532-2538.
WU Gaobo, LI Jian, CHEN Yuan, et al. Research on electromagnetic environment of ± 800 kV and ± 500 kV double-circuit DC transmission lines on the same tower[J]. Power System Technology, 2015,39(9):2532-2538.
- [13] 罗楚军,陈媛,李健,等. ± 800 kV 与 ± 500 kV 同塔双回直流输电线路极导线布置方式研究[J]. 智能电网, 2015,3(6):524-530.
LUO Chujun, CHEN Yuan, LI Jian, et al. Research on polar conductor arrangements for ± 800 kV and ± 500 kV double-circuit DC transmission lines built on the same tower[J]. Smart

- Grid, 2015, 3(6):524-530.
- [14] 于洋,孙学峰,高鹏,等. 高压直流输电线路暂态保护分析与展望[J]. 电力系统保护与控制, 2015, 43(2):148-154.
YU Yang, SUN Xuefeng, GAO Peng, et al. Analysis and prospect on transient protection for HVDC transmission lines [J]. Power System Protection and Control, 2015, 43(2):148-154.
- [15] 李斌,刘磊,李敏,等. ± 500 kV 同塔双回直流输电线路电磁环境测试分析[J]. 高压电器, 2018, 54(2):153-157.
LI Bin, LIU Lei, LI Min, et al. Measurement and analysis of electromagnetic environment of ± 500 kV double-circuit DC transmission lines on the same tower[J]. High Voltage Apparatus, 2018, 54(2):153-157.
- [16] 周全,别睿,涂莉,等. ± 800 kV 直流线路故障过程中电磁耦合特性与保护研究[J]. 电网技术, 2014, 38(8):2133-2140.
ZHOU Quan, BIE Rui, TU Li, et al. Research on electromagnetic coupling characteristics during fault process in ± 800 kV UHVDC transmission line and its protection strategy [J]. Power System Technology, 2014, 38(8):2133-2140.
- [17] 王海军,周全,梁远升,等. 基于电压突变量的同塔双回直流输电线路故障选线方法[J]. 电力系统保护与控制, 2015, 43(7):23-29.
WANG Haijun, ZHOU Quan, LIANG Yuansheng, et al. Fault line selection of double-circuit HVDC transmission line based on voltage variation[J]. Power System Protection and Control, 2015, 43(7):23-29.
- [18] 束洪春,朱盛强,田鑫萃,等. ± 800 kV 特高压直流线路故障选线的极波面积比值法[J]. 高电压技术, 2011, 37(4):888-895.
SHU Hongchun, ZHU Shengqiang, TIAN Xincui, et al. Polarity wave area ratio method of ± 800 kV UHVDC transmission line fault line selection [J]. High Voltage Engineering, 2011, 37(4):888-895.
- [19] 褚旭,王亮,王华伟,等. 高压直流输电线路极间耦合影响及故障选极方案[J]. 电力自动化设备, 2017, 37(4):140-146.
CHU Xu, WANG Liang, WANG Huawei, et al. Analysis of inter-pole coupling effect and faulty pole selection for HVDC transmission line [J]. Electric Power Automation Equipment, 2017, 37(4):140-146.
- [20] 夏勇军,张哲,刘毅,等. 新型同杆并架双回输电线路物理模型的研制[J]. 电力系统自动化, 2010, 34(21):61-64.
XIA Yongjun, ZHANG Zhe, LIU Yi, et al. Development of a novel dynamic physical model for double-circuit transmission lines on the same tower [J]. Automation of Electric Power Systems, 2010, 34(21):61-64.
- [21] 刘云,王明新. 一种等效高压直流输电直流保护数字仿真方法及系统[Z]. 发明专利授权号:ZL 2011 1 0270186.9.
LIU Yun, WANG Mingxin. A equivalent digital simulation method and system for HVDC protection [Z]. Patent for invention: ZL 2011 1 0270186.9.
- [22] 雷霄,许自强,王华伟,等. ± 800 kV 特高压直流输电工程实际控制保护系统仿真建模方法与应用[J]. 电网技术, 2013, 37(5):1360-1364.
LEI Xiao, XU Ziqiang, WANG Huawei, et al. A modeling method for actual control and protection system of ± 800 kV UHVDC transmission project and its application [J]. Power System Technology, 2013, 37(5):1360-1364.

作者简介:



刘云

刘云(1974),女,博士,教授级高级工程师,从事电力系统及直流输电等研究工作(E-mail: liuyuncepri@sina.com)。

Characteristics of fault and protection of the multi HVDC transmission lines on the same tower

LIU Yun

(State Grid Brazil Holding S.A., Rio de Janeiro 20071004, Brazil)

Abstract: As for the multi HVDC transmission lines on the same tower, with a wide application prospect, research on how the fault identification and protection configuration are influenced by the HVDC line layout and fault mode is important to the safe and reliable operation. Devise methods are comprehensively applied in the simulation platform establishment, including the AC grid equivalent, digital electromagnetic transient models establishment, typical line fault's simulation scheme, and so on. The characteristics of dc line protection such as traveling wave, derivative, dc under-voltage and longitudinal difference ones, in typical faults are studied, influence mechanism and change performance are explored. The results show that the existing dc line protection can effectively identify most typical faults, while it is difficult to identify the specific fault of the specific conductor layout. In the dc lines design, specific conductor layout is suggested to be avoided aiming at improving identification and response ability of dc line protection on fault. Considering the solid theoretical foundation, clear research route, the proposed technical routine will support design, construction, operation and maintenance, is valuable for engineering application.

Keywords: multi HVDC transmission lines on the same tower; electromagnetic transient; DC line fault; DC line protection

(编辑 方晶)