

一种高压直流输电系统接地极线路保护新方法

庄 祎^{1,2}, 李小鹏¹, 滕予非¹, 卢继平²

(1. 国网四川省电力公司电力科学研究院, 四川 成都 610072;

2. 重庆大学 电气工程学院 输配电装备及系统安全与新技术国家重点实验室, 重庆 400044)

摘要:针对目前基于信号注入的接地极线路保护方法在某些故障情况下可能出现保护拒动的问题,提出一种基于频带电压幅值积分的接地极线路保护新方法。通过仿真分析发现在高压直流输电系统接地极线路故障后其首端电压频谱会出现明显变化,基于此提出一种利用小波包分析获取接地极线路首端电压不同频带分量,以频带电压幅值积分在一段时间内的变化为保护判据的接地极线路保护方法。基于PSCAD/EMTDC软件的大量仿真结果表明,该方法能有效检测到接地极线路上的各种故障,识别准确性不受过渡电阻的影响,具有良好的应用前景。

关键词:高压直流输电;接地极线路;小波包分析;频带电压;继电保护

中图分类号:TM 721.1

文献标志码:A

DOI:10.16081/j.epae.201909005

0 引言

接地极是(特)高压直流输电系统的重要组成部分,发挥着为直流电流提供通路、钳制中性点电位的作用^[1-6]。为了减小接地极入地电流可能带来的负面效应^[7-10],接地极址的选择必须满足一定的要求^[11]。随着高压直流输电(HVDC)工程的快速发展^[12],接地极址的选择变得日益困难,一些直流工程的接地极与换流站的距离已经达到100 km以上^[13]。随着距离的增长,接地极线路发生故障的概率大幅增加,针对接地极线路保护的研究也日益引起研究人员的重视。

目前已经投运的高压直流输电系统中接地极线路通常配备了电流不平衡保护和过流保护^[14-15]。然而电流不平衡保护和过流保护受保护原理的限制存在保护死区,且在直流系统双极平衡运行或金属回线运行时难以发挥作用。因此国内外直流输电工程普遍配置了基于信号注入的接地极线路故障监测装置。即向接地极线路注入一个高频电流信号,通过接地极线路首端监测阻抗的变化来判断线路是否发生故障。然而在实际运行中出现了接地极线路掉入水塘而保护装置拒动的情况^[16],这表明阻抗法保护原理并不完善。文献^[16]指出由于接地极线路保护注入的信号频率很高,注入信号的波长与线路长度相比较小,在发生单回线金属性故障后线路的阻抗-距离特性呈现周期性变化的特点,且变化的规律与注入信号的频率密切相关。在某些故障情况下,阻抗法保护可能会拒动。文献^[17]提出利用高频电压

突变量构成保护判据,然而通过分析发现在发生单回线接地故障时,高频电压突变量可能会很小,保护还是存在拒动的风险。文献^[18]通过分析发现阻抗法保护受参数误差影响较大,在一些情况下很可能拒动,提出采用高频电压驻波比作为保护判据。

上述保护方法均是基于单一的注入高频信号构成的保护判据,尚未考虑其他频率信号的影响。然而由于不平衡电流的影响,在接地极线路首端可以检测到一定的低频电压信号,在故障发生后这些低频电压信号也会发生相应变化。本文以此为基础,提出一种利用不同频带电压幅值积分比的保护方法。理论分析和仿真表明,该方法原理简单可靠,避免了基于单一注入信号的保护方法在某些故障情况下可能会拒动的问题,受过渡电阻影响较小,具有较好的应用前景。

1 接地极线路首端电压频谱分析

1.1 仿真模型

目前投运的大多数高压直流输电工程均采用双极两端中性点接地方式运行,即两端换流站的中性点均接地运行。在这种运行方式下,接地极线路上流过的电流即为两极不平衡电流,在双极平衡时该电流很小,通常小于额定电流的1%。因此为了能在这种运行方式下检测接地极线路是否发生故障,故障监测装置普遍采用高频电流注入法,其硬件结构如图1所示。图中,M、N分别为接地极线路的首、末端。注流装置经注流滤波器向接地极线路注入频率为13.95 kHz的恒定高频电流,通过检测M处高频电压的变化即可判断线路是否发生故障。为防止高频电流进入直流系统,在接地极线路首、末端分别串联一个谐振频率为13.95 kHz的阻波器。另外,为了减小接地极线路上的驻波效应,在线路末端的阻波

收稿日期:2019-03-20;修回日期:2019-07-11

基金项目:国家自然科学基金资助项目(51707019)

Project supported by the National Natural Science Foundation of China(51707019)

器处并联一个匹配电阻 R_p , 其阻值应与双回线等效波阻抗 Z_{ceq} 相等^[17], 即:

$$R_p = Z_{ceq} \quad (1)$$

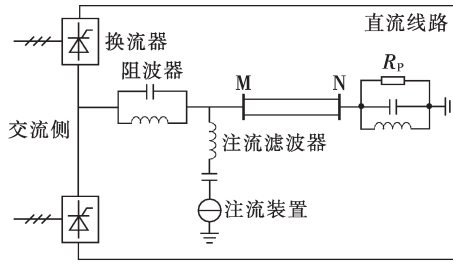


图1 故障监测装置硬件结构

Fig.1 Hardware structure of fault monitoring equipment

在PSCAD/EMTDC软件中建立双极高压直流输电系统仿真模型如图2所示。模型参数如下:额定电压为500 kV,额定电流为3 kA。控制模型参考CIGRE的Benchmark模型,采用双极平衡方式运行。接地极线路模型采用Bergeron模型,根据西南某实际工程,设置线路长度为101.1 km,单位长度电感为1.90 mH/km,单位长度电阻为0.2626 Ω /km,单位长度电容为0.006614 μ F/km。

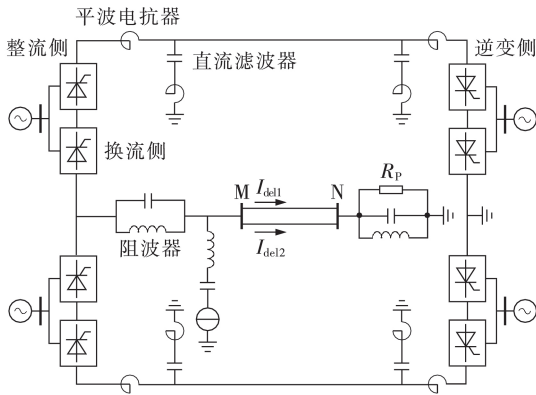


图2 双极高压直流输电系统仿真模型

Fig.2 Simulation model of bipolar HVDC system

1.2 接地极线路正常运行时首端电压频谱

对于不同频率的信号而言,接地极线路末端串联的阻波器将呈现不同的阻抗特性,利用传输线方程分析后可得,在接地极线路正常运行时其首端等效阻抗为:

$$Z_{Meq} = \frac{2Z_l \cosh(\gamma l) + Z_c \sinh(\gamma l)}{\frac{4Z_l}{Z_c} \sinh(\gamma l) + 2 \cosh(\gamma l)} \quad (2)$$

其中, Z_c 为单回线波阻抗; γ 为线路传播常数; l 为线路长度; Z_l 为线路末端阻波器和匹配电阻的等效阻抗。不同频率下接地极线路的等效阻抗如图3所示。

由图3可以看出,在注入频率以下的频率中出现了很多阻抗极大值点,而高压直流输电系统的不

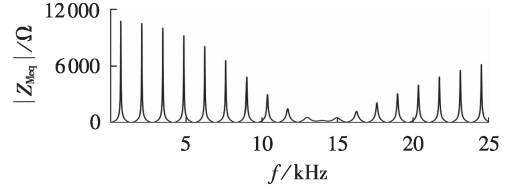


图3 不同频率下接地极线路首端等效阻抗模值

Fig.3 Module value of head equivalent impedance of grounding electrode line under different frequencies

平衡电流中包含了丰富的谐波分量,因此对于这些频率特殊点而言即使对应不平衡电流较小M处也能检测到较大的电压值。在图2所示的高压直流输电系统进入稳态后,M处测得的电流、电压频谱如图4所示。

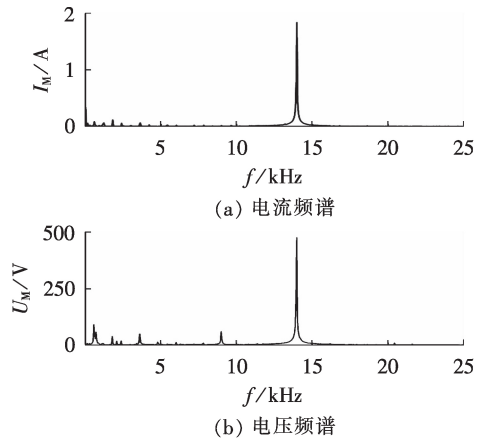


图4 正常运行时电流、电压频谱

Fig.4 Spectrum of current and voltage under normal condition

从图4(a)中可以看出,在直流系统进入稳态后不平衡电流幅值较小,M处检测到的电流主要为故障监测装置注入的高频电流,但是由于特殊频率点的存在,即使对应频率的不平衡电流很小,M处也能检测到较大的电压值。由图4(b)可以看出,电压频谱在低频带的波峰明显多于电流频谱,仿真结果与理论分析相符。文献[19]指出在线路发生故障后,在故障附加电压的影响下,故障分量网络中将产生宽频的故障电压分量,其频谱范围与系统基频有关。对于接地极线路而言,由于其注入的电流频率很高,因此线路故障后将会出现一系列的低频故障电压分量,从而导致电压频谱发生相应的变化。本文将以此为基础提出一种新的接地极线路保护方法。

1.3 故障后电压频谱

由于接地极线路一般采用同杆双回架设,因此存在单回线接地、双回线同点接地、单回线断线以及双回线同点断线4种故障类型。假设在图2所示的接地极线路上分别发生单回线接地、双回线同点接地、单回线断线以及双回线同点断线4种故障,故障后测得的接地极线路首端电压 U_M 频谱如图5所示。

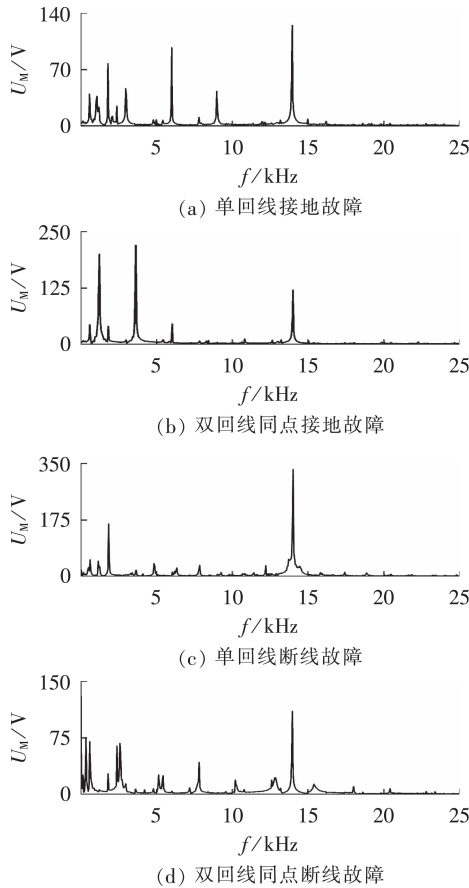


图5 不同故障下的电压频谱

Fig.5 Spectrum of voltage under different faults

由图5可以看出,不论是发生接地故障还是断线故障,故障后接地极线路首端电压频谱均出现了明显变化,以此为基础构建保护判据能有效判断接地极线路上是否发生故障。

2 基于频带电压幅值积分的保护原理

2.1 小波包分析

基于多分辨分析的小波变换虽然可以对信号进行有效的时频分解,但由于其尺度是按二进制变化的,所以在高频段其频率分辨率较差,而在低频段其时间分辨率较差。小波包分析为信号提供了一种更精细的分析方法,它将频带进行多层次划分,对多分辨分析没有细分的高频部分进一步分解,并能够根据被分析信号的特征自适应地选择相应频带,使之与信号频谱相匹配,从而提高了时-频分辨率,因此小波包分析具有更广泛的应用价值。对信号进行小波包分析后,会形成小波包分解树,提取对应叶节点的小波包系数进行小波包重构即可获得对应频段的重构信号,图6为一个2层分解的小波包分解树。

本文采用db10小波进行5层小波包分解,获取对应频段的重构信号,进而得到对应频段的电压量构成判据。

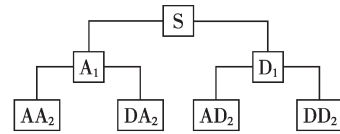


图6 小波包分解树

Fig.6 Wavelet packet decomposition tree

2.2 保护判据

本文利用 Δt 时间前后9个频带电压幅值积分的变化构成保护判据,采样频率 $f_s = 100 \text{ kHz}$, $\Delta t = 0.1 \text{ s}$,数据窗为10 ms,所选的9个频带覆盖了0~14.0625 kHz的频率范围。通过仿真发现在故障前后不同频带电压幅值积分的变化并不一致,有的频带会减小而有的频带会增大。因此为了更好地衡量频带电压积分在 Δt 时间前后的变化,定义频带电压幅值积分比判据如下:

$$K_1 = \sum_{n=0}^8 \ln \left(\frac{\sum_{i=1}^{N+m} |U_n(i)|}{\sum_{i=1}^N |U_n(i)|} \right) \geq K_{1\text{set}} \quad (3)$$

其中, $K_{1\text{set}}$ 为频带电压幅值积分比的整定值; N 为10 ms内的采样点个数; m 为0.1 s内的采样点个数; $n=0,1,\dots,8$,为频率由低到高的9个小波包频带。当直流线路发生故障后,将会有很大的直流电流通过接地极线路,有可能导致保护误动。因此构建辅助保护判据如下:

$$K_2 = \sum_{i=1}^N (|I_{\text{del1}}(i)| + |I_{\text{del2}}(i)|) \geq K_{2\text{set}} \quad (4)$$

其中, $K_{2\text{set}}$ 为不平衡电流整定值; I_{del1} 、 I_{del2} 分别为接地引线1、2首端测量到的不平衡电流。在系统正常运行时不平衡电流较小,在直流线路故障后不平衡电流将迅速增大。在系统正常运行时,流过接地极线路的不平衡电流最大不超过额定电流的1%,图2所示的高压直流输电系统额定电流为3 kA,10 ms内采样点个数为1000,因此不妨设 $K_{2\text{set}} = 30 \text{ kA}$ 。当满足辅助保护判据时,即判断为直流线路故障,接地极线路保护不动作,保护算法流程如图7所示。

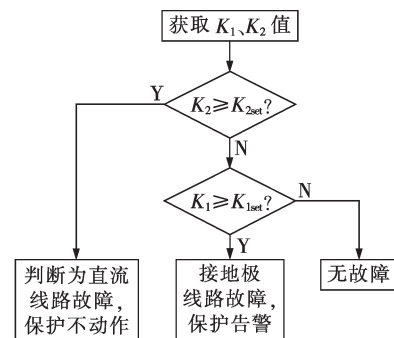


图7 保护算法流程

Fig.7 Flowchart of protection algorithm

本文所提的保护方法适用于高压直流输电系统双极平衡运行时接地极线路的故障检测。在双极平衡时,流过接地极线路的电流很小,即使接地极线路发生故障,在不进行运行方式切换的情况下也不会影响直流系统运行,因此本文所提保护的動作结果是进行告警。

3 仿真分析

图2所示的直流输电系统进入稳态后,在接地极线路正常运行时, K_1 、 K_2 的变化趋势如图8所示。可得在线路正常运行时, K_1 、 K_2 的最大值分别为 $K_{1\max}=0.92$ 、 $K_{2\max}=1.38$ kA,在系统正常运行时 K_2 值远小于 $K_{2\text{set}}$,辅助判据不会误动。在考虑留有一定的裕度后不妨设 $K_{1\text{set}}=1.2$ 。

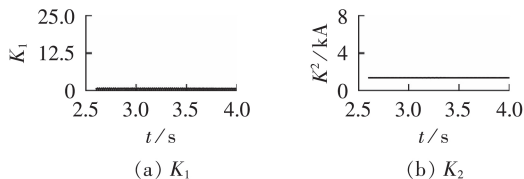


图8 正常运行时的 K_1 、 K_2

Fig.8 K_1 and K_2 under normal condition

3.1 接地极线路故障

对于接地极线路保护而言,单回线故障及高阻故障是保护的难点。为了测试本文所提判据的可靠性,设置接地极线路在55 km处分别发生单回线高阻接地故障(过渡电阻为200 Ω)和单回线断线故障,故障发生在 $t=3.0$ s时。可以得到 K_1 、 K_2 在故障前后的变化如图9、10所示。

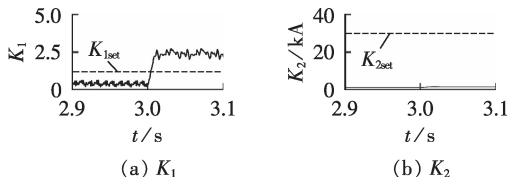


图9 单回线接地故障下的 K_1 、 K_2

Fig.9 K_1 and K_2 under single electrode line grounding fault

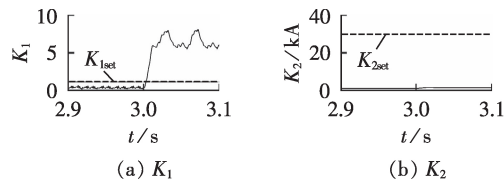


图10 单回线断线故障下的 K_1 、 K_2

Fig.10 K_1 and K_2 under single electrode line break fault

从图中可以看出,在故障发生后 K_2 变化不大而 K_1 迅速增大,超过设定的阈值。因此判定为接地极线路故障,保护告警。为进一步验证判据的可靠性,在线路其他位置分别设置了接地故障和断线故障的故障点,具体测试结果如表1—3所示。

表1 单回线接地故障的测试结果

Table 1 Test results of single line grounding fault

故障距离 / km	过渡电阻 / Ω	K_1	K_2 / kA	判断结果
1	0	9.91	1.51	接地极线路故障
	200	6.89	1.38	接地极线路故障
20	0	9.11	1.73	接地极线路故障
	200	5.13	1.41	接地极线路故障
50	0	6.67	1.78	接地极线路故障
	200	4.79	1.48	接地极线路故障
70	0	3.89	2.04	接地极线路故障
	200	3.12	1.64	接地极线路故障
100	0	3.33	2.09	接地极线路故障
	200	3.17	1.55	接地极线路故障

表2 双回线接地故障的测试结果

Table 2 Test results of double line grounding fault

故障距离 / km	过渡电阻 / Ω	K_1	K_2 / kA	判断结果
1	0	16.17	1.34	接地极线路故障
	200	8.49	1.35	接地极线路故障
20	0	14.18	1.37	接地极线路故障
	200	6.31	1.37	接地极线路故障
50	0	7.81	1.37	接地极线路故障
	200	5.31	1.37	接地极线路故障
70	0	4.65	1.38	接地极线路故障
	200	4.11	1.36	接地极线路故障
100	0	4.43	1.37	接地极线路故障
	200	3.52	1.36	接地极线路故障

表3 断线故障的测试结果

Table 3 Test results of line break fault

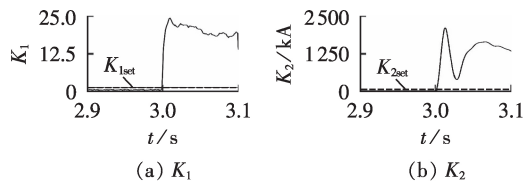
故障距离 / km	故障类型	K_1	K_2 / kA	判断结果
1	单回断线	6.83	2.85	接地极线路故障
	双回断线	6.95	1.38	接地极线路故障
20	单回断线	6.18	2.13	接地极线路故障
	双回断线	17.57	1.57	接地极线路故障
50	单回断线	5.82	2.19	接地极线路故障
	双回断线	9.40	1.30	接地极线路故障
70	单回断线	3.55	1.72	接地极线路故障
	双回断线	8.96	1.35	接地极线路故障
100	单回断线	4.84	1.61	接地极线路故障
	双回断线	8.03	1.32	接地极线路故障

由表1、2可以看出,在过渡电阻达到200 Ω 时所提判据仍能可靠检测到接地极线路上出现的接地故障,受过渡电阻影响较小。表3结果表明所提判据同样可以检测到接地极线路上出现的断线故障,具有较高的可靠性。

3.2 直流线路故障

在接地极线路正常运行时,直流输电系统正极导线距整流侧1 km处发生接地故障,故障发生在 $t=3.0$ s时,故障前后 K_1 、 K_2 的变化趋势如图11所示。从图中可以看出,在直流线路故障后 K_2 迅速增大超过设定的阈值,保护装置判定为直流线路故障,保护不动作。

为了进一步测试直流线路故障对本文所提方法的影响,在接地极线路正常运行的情况下在直流系

图11 直流线路故障下的 K_1 、 K_2 Fig.11 K_1 and K_2 under DC transmission line fault

统正负极导线上分别设置了故障点,过渡电阻考虑0、500 Ω 这2种情况,具体测试结果如表4所示。

表4 直流线路故障的测试结果

Table 4 Test results of DC transmission line fault

故障 线路	距整流侧 距离/km	过渡 电阻/ Ω	K_1	K_2 /kA	判断结果
正极 导线	1	0	24.25	2 092	直流线路故障
		500	18.40	549	直流线路故障
	500	0	19.89	1 658	直流线路故障
		500	17.64	454	直流线路故障
	999	0	17.40	969	直流线路故障
		500	15.01	342	直流线路故障
负极 导线	1	0	22.85	2 085	直流线路故障
		500	16.67	548	直流线路故障
	500	0	19.51	1 672	直流线路故障
		500	17.83	439	直流线路故障
	999	0	17.41	968	直流线路故障
		500	15.14	306	直流线路故障

由表4可以看出,在直流输电线路发生故障后,所提的辅助判据均能可靠判定为直流线路故障,保护不会误动。

4 结论

本文首先分析了接地极线路正常运行时的首端电压频谱,发现在线路正常运行时除注入信号外还可以检测到其他低频分量。进一步分析表明,接地极线路故障后首端不同频率的电压分量将发生很大的变化。由此提出利用小波包分析获取不同频带的电压分量,利用频带电压幅值积分的变化构成保护判据。理论分析和仿真表明该方法能有效辨识接地极线路上的接地故障和断线故障,故障检测性能不受过渡电阻影响,在直流线路发生故障时不误动,具有较好的应用前景。

参考文献:

[1] 束洪春,田鑫萃,张悱宁. 接地极线路短路故障快速识别及故障测距研究[J]. 电网技术,2015,39(12):3584-3591.
SHU Hongchun, TIAN Xincui, ZHANG Yining. Research on short-circuit fault identification and fault location algorithm for HVDC electrode line[J]. Power System Technology, 2015, 39(12):3584-3591.

[2] 胡劲松,郑宇光,于洋. 特高压直流输电接地极设计技术综述与展望[J]. 全球能源互联网,2018,1(增刊1):290-295.
HU Jinsong, ZHENG Yuguang, YU Yang. Overview and prospect of ground electrode designing technology in HVDC projects[J]. Journal of Global Energy Interconnection, 2018, 1(Supplement 1):290-295.

ment 1):290-295.

[3] 赵晓君. 高压直流输电工程技术[M]. 2版. 北京:中国电力出版社,2012:374-375.

[4] ZHANG Z, XU Z, XU T. Calculating current and temperature fields of HVDC grounding electrodes[J]. Journal of Modern Power Systems and Clean Energy, 2016, 4(2):300-307.

[5] 徐碧川,鲁海亮,潘卓洪,等. 直流接地极址勘测的研究[J]. 电力自动化设备,2016,36(1):149-154.
XU Bichuan, LU Hailiang, PAN Zhuohong, et al. Research of DC ground electrode site survey[J]. Electric Power Automation Equipment, 2016, 36(1):149-154.

[6] 刘守豹,张星海,曾宏,等. 特高压直流接地极线路内部过电压机理及特性分析[J]. 电网技术,2018,42(7):2366-2372.
LIU Shoubao, ZHANG Xinghai, ZENG Hong, et al. Mechanism and characteristics of internal overvoltage in UHVDC grounding electrode line[J]. Power System Technology, 2018, 42(7):2366-2372.

[7] 郝治国,余洋,张保会,等. 高压直流输电单极大地方式运行时地表电位分布规律[J]. 电力自动化设备,2009,29(6):10-14.
HAO Zhiguo, YU Yang, ZHANG Baohui, et al. Earth surface potential distribution of HVDC operation under monopole ground return mode[J]. Electric Power Automation Equipment, 2009, 29(6):10-14.

[8] 黄义隆,张波,国建宝,等. 改善直流电流地中分布的接地极互联技术研究[J]. 电网技术,2017,41(4):1338-1344.
HUANG Yilong, ZHANG Bo, GUO Jianbao, et al. Research on improving DC current distribution in earth by interconnecting DC grounding electrodes[J]. Power System Technology, 2017, 41(4):1338-1344.

[9] 程星星,张悱宁,王健,等. 高压直流接地极线路故障特性仿真及其故障测距新算法研究[J]. 电网与清洁能源,2016,32(3):105-110,114.
CHENG Xingxing, ZHANG Yining, WANG Jian, et al. HVDC grounding electrode line fault simulation and its new fault location algorithm research[J]. Power System and Clean Energy, 2016, 32(3):105-110, 114.

[10] 马成廉,刘连光,王乐天,等. 高压直流输电接地极电位分布ANSYS仿真[J]. 电网与清洁能源,2017,33(4):19-26,33.
MA Chenglian, LIU Lianguang, WANG Letian, et al. The ANSYS simulation of HVDC grounding electrode potential distribution[J]. Power System and Clean Energy, 2017, 33(4):19-26, 33.

[11] 王彪,王渝红,丁理杰,等. 高压直流输电接地电极及相关问题综述[J]. 电力系统及其自动化学报,2012,24(1):66-72.
WANG Biao, WANG Yuhong, DING Lijie, et al. Summary of HVDC grounding electrode and related issues[J]. Proceedings of the CSU-EPSA, 2012, 24(1):66-72.

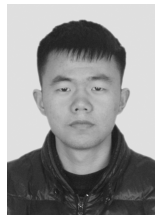
[12] 罗汉武,乐健,毛涛,等. 扎鲁特—青州 ± 800 kV特高压直流输电工程运行特性分析[J]. 电力自动化设备,2019,39(1):53-59.
LUO Hanwu, LE Jian, MAO Tao, et al. Analysis of operation characteristics of Zhazute-Qingzhou ± 800 kV UHVDC system[J]. Electric Power Automation Equipment, 2019, 39(1):53-59.

[13] 滕子非,汤涌,黄琦,等. 特高压直流单极故障引发送端接地极引线过电压计算方法及影响因素分析[J]. 电网技术,2017,41(11):3559-3565.
TENG Yufei, TANG Yong, HUANG Qi, et al. Calculation method and influencing factors of overvoltage on ground electrode line on sending end caused by monopolar fault in UHVDC transmission system[J]. Power System Technology, 2017, 41(11):3559-3565.

[14] 曾祥君,张玺,阳韬,等. 高压直流输电系统接地极不平衡保护改进措施研究[J]. 电力系统保护与控制,2014,42(24):132-137.

- ZENG Xiangjun, ZHANG Xi, YANG Tao, et al. Improvement measures of electrodes line unbalance protection for HVDC system[J]. Power System Protection and Control, 2014, 42(24): 132-137.
- [15] 刘孝辉,唐有证,张庆武,等. 特高压直流输电系统接地极引线双端不平衡保护[J]. 电力系统自动化, 2017, 41(15): 150-154, 191.
- LIU Xiaohui, TANG Youzheng, ZHANG Qingwu, et al. Double end unbalance protection of electrode line in ultra high voltage direct current transmission system[J]. Automation of Electric Power Systems, 2017, 41(15): 150-154, 191.
- [16] 滕予非,王鱼,焦在滨,等. 特高压直流输电系统接地极引线阻抗监视策略[J]. 电工技术学报, 2016, 31(11): 157-164.
- TENG Yufei, WANG Yu, JIAO Zaibin, et al. Impedance monitoring scheme for ground electrode line of ultra high voltage DC transmission system[J]. Transactions of China Electrotechnical Society, 2016, 31(11): 157-164.
- [17] 滕予非,汤涌,周波,等. 基于高频电压突变量的特高压直流输电系统接地极引线故障监测方法[J]. 高电压技术, 2016, 42(1): 72-78.
- TENG Yufei, TANG Yong, ZHOU Bo, et al. Monitoring scheme for UHVDC ground electrode line fault on the basis of high-frequency voltage variation[J]. High Voltage Engineering, 2016, 42(1): 72-78.
- [18] TENG Y, LI X, HUANG Q, et al. A novel high-frequency voltage standing-wave ratio-based grounding electrode line fault supervision in ultra-high voltage DC transmission systems[J]. Energies, 2017, 10(3): 309.
- [19] 康小宁,索南加乐. 基于故障点电压频谱参数识别的无通道保护研究[J]. 西安交通大学学报, 2006(12): 1436-1440.
- KANG Xiaoning, SUONAN Jiale. Non-communication transmission line protection based on frequency spectrum recognition [J]. Journal of Xi'an Jiaotong University, 2006(12): 1436-1440.

作者简介:



庄 伟(1995—),男,河南商丘人,硕士研究生,通信作者,研究方向为高压直流输电系统线路保护(E-mail: zhuangyi@cqu.edu.cn);

李小鹏(1987—),男,河南许昌人,高级工程师,博士,研究方向为高压直流输电系统线路保护(E-mail: lxpbsd@163.com);

滕予非(1984—),男,四川成都人,高级工程师,博士,研究方向为电力系统分析与控制(E-mail: ytfeng2011@163.com);

卢继平(1960—),男,北京人,教授,博士研究生导师,博士,研究方向为电力系统及继电保护(E-mail: lujiping@cqu.edu.cn)。

Novel method for HVDC power transmission system grounding electrode line protection

ZHUANG Yi^{1,2}, LI Xiaopeng¹, TENG Yufei¹, LU Jiping²

(1. State Grid Sichuan Electric Power Research Institute, Chengdu 610072, China;

2. State Key Laboratory of Power Transmission Equipment & System Security and New Technology, School of Electrical Engineering, Chongqing University, Chongqing 400044, China)

Abstract: To deal with the problem that the existing grounding electrode line protections based on signal injection might have protection failure under certain fault conditions, a novel approach of grounding electrode line protection based on multi-band voltage amplitude integration is proposed. Simulative analysis indicates that the voltage spectrum of the head end changes greatly after the faults occurred in grounding electrode line. On this basis, the proposed approach utilizes the wavelet packet analysis to provide different frequency bands of head-end voltages, and the variation of voltage amplitude integration is used as fault identification criterion. Simulative results based on PSCAD/EMTDC indicate that the proposed protection method effectively identifies different types of faults on the grounding electrode line, and its performance is not affected by the fault resistance. Hence, the proposed approach has promising prospects for engineering applications.

Key words: HVDC power transmission; grounding electrode line; wavelet packet analysis; frequency band voltage; relay protection