

考虑信号展宽的西门子行波保护适应性分析

戴文睿^{1,3}, 李小鹏², 林 圣³

(1. 中国铁道科学研究院集团有限公司标准计量研究所, 北京 100081;

2. 国网四川省电力公司电力科学研究院, 四川 成都 610041;

3. 西南交通大学电气工程学院, 四川 成都 610031)

摘要:行波保护是高压直流输电线路保护体系中的重要部分。为分析现有工程中西门子行波保护可靠性不足的原因,基于实际工程所采用的行波保护逻辑,搭建了考虑信号展宽的西门子行波保护模型。在此基础上分析了在不同类型的区内外接地故障下西门子行波保护的适应性,并对适应性不足的原因进行了分析。分析结果表明,信号展宽一定程度上提高了西门子行波保护的可靠性,但保护判据中的电压变化量判据较大地影响了其对于区内高阻故障和区外低阻故障的选择性。

关键词:高压直流;输电线路;西门子行波保护;适应性分析

中图分类号:TM 77 文献标志码:A 文章编号:1003-6954(2021)05-0002-04

DOI:10.16527/j.issn.1003-6954.20210501

Adaptability Analysis of Siemens Traveling Wave Protection Considering Signal Broadening

Dai Wenrui^{1,3}, Li Xiaopeng², Lin Sheng³

(1. Institute of Standard Metrology, China Academy of Railway Sciences Corporation Limited, Beijing

100081, China; 2. State Grid Sichuan Electric Power Research Institute, Chengdu 610041,

Sichuan, China; 3. School of Electric Engineering, Southwest Jiaotong University,

Chengdu 610031, Sichuan, China)

Abstract:Traveling wave protection is an important part of HVDC transmission line protection system. In order to analyze the reasons for the lack of reliability of Siemens traveling wave protection in existing projects, based on traveling wave protection logic used in practical projects, a Siemens traveling wave protection model considering signal broadening is established. On this basis, the adaptability of Siemens traveling wave protection under different types of internal and external grounding faults is analyzed, and the reasons for the lack of adaptability are analyzed. The simulation results show that the signal broadening improves the reliability of Siemens traveling wave protection to a certain extent, but the voltage variation criterion in the protection criterion greatly affects its selectivity for high resistance faults in the area and low resistance faults outside the area.

Key words:HVDC; transmission line; Siemens traveling wave protection; adaptability analysis

0 引言

高压直流输电因其在远距离、大容量跨区输电中的优势而在中国迅猛发展^[1-2]。然而,在现有高压直流输电系统故障中输电线路故障占比较高;且据统计,目前输电线路保护的正確动作率仅有50%,其余故障由直流控制系统响应动作。这会

引起不必要的系统停运,造成巨大的设备损耗和经济损失^[3]。

现有高压直流线路保护体系由行波保护、微分欠压保护和纵差动保护等组成。行波保护是线路保护的主保护,其主要任务是快速切除严重的区内故障,如金属性接地故障^[4-5]。微分欠压保护和纵差动保护作为行波保护的后备保护,主要任务是切除主保护未能切除的高阻故障。行波保护作为高压直

流输电线路故障的第一道防线,其重要性不言而喻。因此,对现有工程中采用的输电线路保护方案的适应性进行分析,进而为改进现有保护方案提供依据,显得尤为迫切。

为分析和提高行波保护的适应性,国内外专家学者进行了大量研究^[6-9]。文献[6]对西门子公司和 ABB 公司的行波保护性能进行了分析和对比,研究了两种保护方案在不同的过渡电阻、故障距离等情况下的保护效果。文献[7-8]从现阶段行波保护缺乏成熟整定原则而存在误整定等问题出发,提出了高压直流输电线路行波保护的整定原则。文献[9]分析了不同采样频率对直流线路行波保护判据的影响,并给出了行波保护采样频率选取的建议。以上研究对行波保护适应性进行了分析,并从不同角度提高了其适应性,但未充分考虑实际保护方案中的信号展宽环节对保护适应性的影响。

基于实际工程所采用的行波保护逻辑,搭建了考虑信号展宽的西门子行波保护模型。在此基础上分析不同类型的区内外接地故障下西门子行波保护的适应性,并对适应性不足的原因进行了分析。分析结果表明,信号展宽一定程度上提高了西门子行波保护的可靠性,但保护判据中的电压变化量判据较大地影响了其对于区内高阻故障和区外低阻故障的选择性。

1 西门子行波保护配置方案

1.1 直流输电系统整流侧结构

现有高压直流输电系统整流侧结构如图 1 所示。

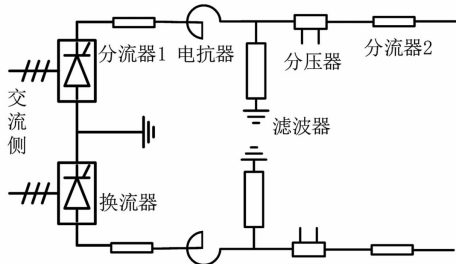


图 1 直流输电系统整流侧结构

由图 1 可知,在输电线路的边界两侧分别安装有分流器 1 和分流器 2,滤波器的线路侧安装有分压器。

1.2 考虑展宽的西门子公司行波保护配置方案

现有高压直流输电工程中,线路行波保护主要采用西门子公司和 ABB 公司的保护方案^[10]。西门子公司和 ABB 公司的行波保护原理较有代表性,国内厂家的行波保护原理大多与之类似。下面主要以西门子的保护方案作为研究对象。

西门子的行波保护方案利用分压器 1 测得的电压变化量 Δu_d 和电压变化率 du_d/dt 以及分流器 2 测得的直流电流变化量 Δi_d 作为主要判据,对线路故障后产生的剧烈电压和电流的波动进行快速检测。其具体的动作判据如式(1)所示。

$$\begin{cases} \Delta u_d > (\Delta u_d)_{set} \\ du_d/dt > (du_d/dt)_{set} \\ \Delta i_d > (\Delta i_d)_{set} \end{cases} \quad (1)$$

式中,下标 set 表示该判据下对应电气量的阈值。

在保护装置的实际配置中,保护的動作并不需要以上 3 个判据同时满足,而是通过信号展宽、延时等环节来提高保护动作的可靠性。西门子公司行波保护的實際保护逻辑如图 2 所示。图 2 中:MAX 为取数据窗内数据的最大值;NCM 为比较器,将输入值与判据阈值进行比较,若输入值大于判据阈值则输出 1,反之输出 0;AND 为与逻辑,两个输入均为 1 则输出 1,否则输出 0;PDF 为保持器,当输入从 1 变为 0 时,输出仍然为 1 并保持设置时间后变为 0;MOF 为单稳触发器,当输入值出现一个上升沿时,输出宽度为设置时间的高电平信号。某实际工程中,电压变化量判据阈值为 0.3 pu,电压变化率判据阈值为 0.14 pu/ms,电流变化量判据阈值为 0.5 pu,pu 为额定运行数值。

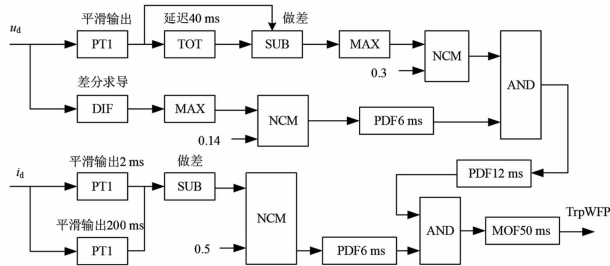


图 2 西门子行波保护逻辑

由图 2 可知,在实际保护装置中,将分压器 1 采集到的直流电压 u_d 与两个工频信号周期前的直流电压做差,得到直流电压变化量 Δu_d 。将分压器 1 采集到的直流电压与 0.15 ms 前的直流电压进行差分求导,得到直流电压变化率 du_d/dt 。当直流电压

变化率满足保护判据,该判据出口信号会被展宽 6 ms。在展宽期间,电压变化率判据也满足,则行波保护中的电压信号出口,并展宽 12 ms。在电压信号展宽期间,电流判据满足,则行波保护信号出口,判断直流线路发生接地故障,进行直流线路故障恢复顺序。

2 西门子行波保护适应性仿真分析

为分析现有工程中高压直流输电线路行波保护的适应性,根据某一实际工程搭建 ± 800 kV 直流输电系统 PSCAD 仿真模型,额定电流为 5 kA,线路全长 1500 km。

在软件中实现考虑信号展宽的西门子行波保护,对以下典型故障情况下的保护动作情况进行仿真分析。

1) 设定 0.6 s 时,正极线路上距整流侧 500 km 处发生过渡电阻为 125 Ω 的接地故障。故障发生 45 ms 内,行波保护所用电气量及保护动作情况的仿真结果如图 3 所示(图中点划线为展宽后信号,后同)。

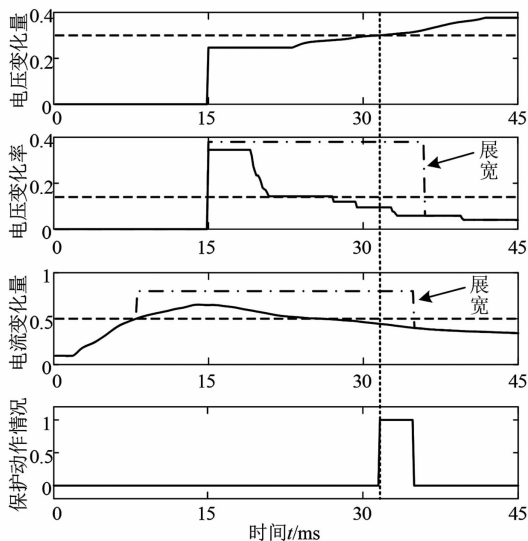


图3 线路区内故障仿真(过渡电阻 125 Ω)

由图 3 可知,在发生过渡电阻为 125 Ω 的区内接地故障后 45 ms 内,若不考虑各个判据满足后信号的展宽,在故障后 15 ms 时,电压变化率判据与电流变化量判据满足,但电压变化量判据不满足,保护在此时拒动。而当电压变化量判据在 31.65 ms 满足时,电压变化量判据与电流变化量判据在此时又无法满足,导致行波保护判据无法同时满足,保护拒

动。在考虑各个判据满足后的信号展宽后,在故障后 15 ms 时,电压变化率判据和电流变化量判据均满足,两个环节的输出均变为 1。且在这两个判据不满足后,两个环节的输出仍分别保持 6 ms 的高电平输出。在电压变化率判据和电流变化量判据保持输出 1 的 6 ms 内,电压变化量判据得到满足,行波保护判据得到满足,保护准确动作。信号展宽实际上提高了保护动作的可靠性。

2) 设定 0.6 s 时,正极线路上距整流侧 500 km 处发生过渡电阻为 175 Ω 的接地故障。故障发生 45 ms 内,行波保护所用电气量及保护动作情况的仿真结果如图 4 所示。

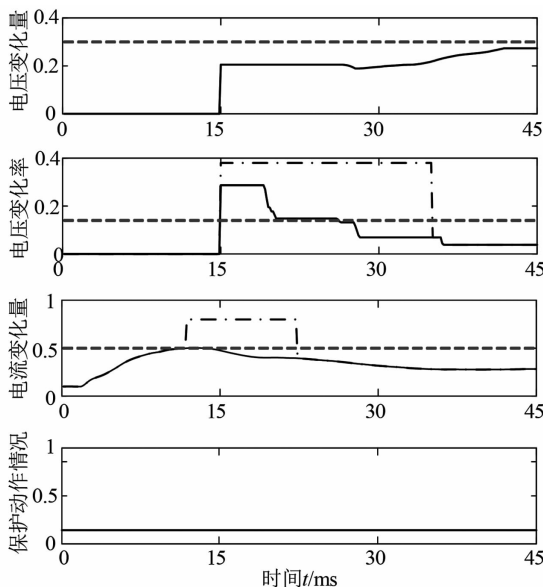


图4 线路区内故障仿真(过渡电阻 175 Ω)

由图 4 可知,在发生过渡电阻为 175 Ω 的区内接地故障后 45 ms 内,电压变化率判据和电流变化量判据均得到满足,而电压变化量判据不满足,导致行波保护无法启动,保护拒动。在 45 ms 后,即使行波保护动作,也失去了其作为主保护应有的速动性。实际上,在 45 ms 后,由于故障初期得到满足的电压变化率判据和电流变化量判据均不满足,使得行波保护依然拒动。

3) 设定 0.6 s 时,整流侧区外直流母线上发生金属性接地故障。故障发生 45 ms 内,行波保护所用电气量及保护动作情况的仿真结果如图 5 所示。

由图 5 可知,在整流侧区外故障发生后的 45 ms 内,仅电压变化率判据满足,不满足行波保护动作条件,保护不动作。在故障发生的 45 ms 后,由于控制系统对输电系统的作用,电气量将不会达到保护动作条件。

4) 设定 0.6 s 时, 逆变区外直流母线上发生金属性接地故障。故障发生 45 ms 内, 行波保护所用电气量及保护动作情况的仿真结果如图 6 所示。

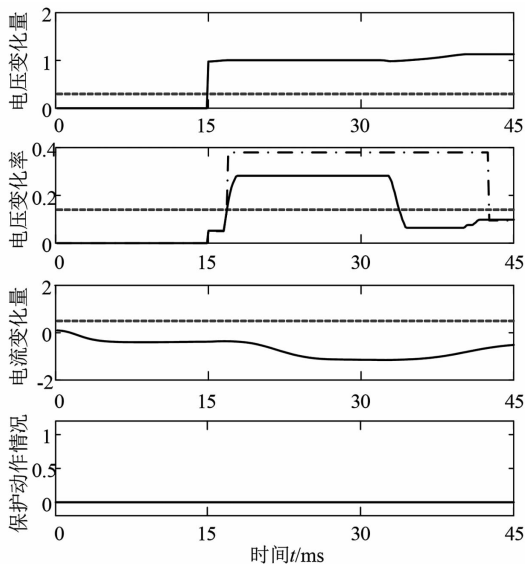


图 5 整流侧金属性故障仿真

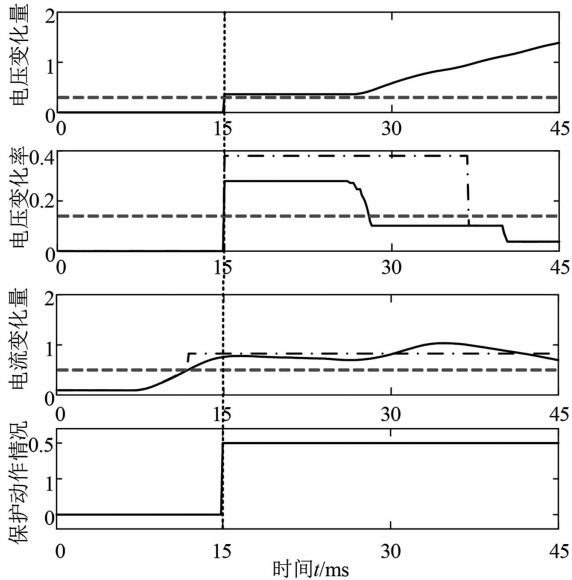


图 6 逆变侧金属性故障仿真

由图 6 可知, 在逆变侧区外故障发生后的 45 ms 内, 电压、电流保护判据均满足, 满足行波保护动作条件, 保护误动作。

为进一步说明现有行波保护在不同故障条件下, 对于区内故障和区外故障的适应性。分别设置距整流侧 500 km、1000 km 和 1500 km 距离下不同过渡电阻的区内故障, 以及在整流侧直流母线和逆变侧直流母线上设置不同过渡电阻的区外故障, 获得行波保护的部分动作情况如表 1 所示。

根据表 1 可知, 当输电线路距整流站 500 km 处发生 125 Ω 接地故障时, 西门子公司行波保护可

表 1 不同故障位置时的仿真结果

故障类型	故障距离/km	过渡电阻/Ω	动作结果	动作时间/ms
直流线路故障	500	130	×	—
		125	√	31.65
		50	√	15.00
	1000	100	×	—
		95	√	34.35
		50	√	23.40
整流侧直流母线故障	1500	110	×	—
		105	√	33.90
		50	√	27.75
	—	0	×	—
		100	×	—
		200	×	—
逆变侧直流母线故障	—	0	√	15.00
	—	50	√	31.35
	—	55	×	—

注: 表中“√”表示保护动作, “×”表示保护不动作。

靠动作。当输电线路距整流站 500 km 处发生 130 Ω 接地故障时, 西门子公司行波保护因为过渡电阻的增大可能不动作。在输电线路距整流站 1000 km 和 1500 km 发生接地故障时, 行波保护拒动风险也可能随过渡电阻增大而增加。

线路区内的仿真结果说明, 西门子公司行波保护对于区内高阻接地故障, 容易因为过渡电阻的增大而拒动。且通过典型仿真案例可知, 行波保护判据中的电压变化量判据是西门子公司行波保护拒动的首要原因。当整流侧直流母线发生最严重的金属性故障时, 西门子公司行波保护也不误动, 说明西门子公司行波保护对于整流侧直流母线故障不会出现误动。当逆变侧直流母线发生 50 Ω 及以下过渡电阻故障时, 若直流母线保护未在行波保护动作前切除故障, 就可能引起西门子公司行波保护的误动。

综上所述, 西门子公司行波保护对于区内高阻故障和逆变侧区外较为严重的故障不能做到可靠动作。因此存在对区内高阻故障灵敏性不足, 对逆变侧区外故障可靠性不足的问题。

3 结 论

基于考虑信号展宽的西门子公司行波保护模
(下转第 94 页)