

DOI: 10.7667/PSPC150891

基于区域电网信息的变电站二次直流失电保护系统

戴光武, 谢华, 徐晓春, 李园园, 陈宏君, 刘革新, 赵青春, 朱晓彤

(南京南瑞继保电气有限公司, 江苏 南京 211102)

摘要: 提出了一种基于区域电网信息的变电站二次直流失电保护系统, 以解决变电站保护系统二次直流电源消失后站内或其出线发生系统故障时无法快速切除故障的问题。以变电站为对象, 提出了区域保护主站-子站保护系统的概念及其构建方式, 并据此描述了变电站二次直流电源消失的判别方法以及直流失电保护的整体方案。RTDS试验结果表明, 所提出的变电站二次直流失电判别方法以及保护方案, 可以准确地识别变电站二次直流失电状态并快速隔离其失电区域内的故障。

关键词: 二次直流电源消失; 故障隔离; 区域电网信息; 主站-子站保护系统; 直流失电保护

Protection system of substation's secondary DC power loss based on regional power grid information

DAI Guangwu, XIE Hua, XU Xiaochun, LI Yuanyuan, CHEN Hongjun, LIU Geming, ZHAO Qingchun, ZHU Xiaotong
(NR Electric Co., Ltd., Nanjing 211102, China)

Abstract: When the power system substation or its transmission line occurs system fault after substation's secondary DC power has lost, the stability of the system will be reduced because the protection device can't isolate the fault quickly. In order to solve this problem, a protection system of substation's secondary DC power loss based on regional power grid information is presented, which is oriented to substation. The regional master-sub-substation control system's concept and its construct mode, the judgment of substation's secondary DC power loss, as well as the whole program of secondary DC power loss protection, are introduced in detail. The confirmatory test based on the RTDS simulation indicates that the presented judgment of substation's secondary DC power loss and whole program have superior performance, which can correctly judge substation's secondary DC power loss state and quickly isolate the fault in the area.

Key words: secondary DC power loss; fault isolation; regional power grid information; master-sub-substation control system; DC power loss protection

0 引言

电力系统变电站保护系统二次直流电源消失(指保护装置电源和操作电源均消失)是变电站运行中的一种严重事故, 当二次直流电源消失后, 该变电站的所有保护装置均无法正常工作, 因此站内的主变、母线以及输电线路等设备均将失去保护, 一旦发生故障, 本站将无任何保护可以动作, 必须要等其他相邻变电站的远后备保护延时动作来隔离故障。由于远后备保护需要考虑段间配合关系, 特别是采用辐射状或多级线路级联方式供电的电网, 不可避免地存在阶段式保护的整定配合问题^[1-3], 因此其动作速度比较慢, 在严重情况下, 其动作速度可能无法满足系统稳定性的要求, 对系统的安全、稳定运行带来严重威胁。若能在线识别出变电站二次

直流电源消失的状态, 可采取相应的保护和策略来加快相邻变电站保护的動作速度, 快速将故障隔离, 提高系统运行的稳定性。目前为止, 国内外尚没有在线识别变电站二次直流电源消失的方法见诸报道。

随着通信以及网络技术突飞猛进, 新一代智能化变电站得到了大量发展和应用, 各种信息能够安全、实时地互联互通^[4-7], 且交互的空间也从变电站层面扩展到区域电网层面^[8-12], 这些技术给变电站直流失电保护系统的研究带来了新的契机。

1 变电站二次直流失电保护系统

1.1 区域电网的主站-子站保护系统

基于区域电网信息的变电站二次直流失电保护需要在区域电网中以变电站为对象构建一主多子

的主站—子站保护系统，具体实施方法为：选择区域电网中的一个变电站为主站，设置一台面向多个变电站的主站装置，利用各站的综合信息，实现变电站二次直流失电的判别；在区域电网的所有变电站内各设置一套子站装置，子站为面向变电站的集中式保护，其保护功能包含全线速动的线路纵联保护、主变差动保护及母线差动保护，实现保护的冗余和优化，完成并提升变电站层面的保护功能。针对智能化变电站，可以将主站、子站装置直接接入过程层网络，直接得到各变电站各个主变、各条线路的电压、电流及开关量等信息，并输出跳闸及相关信号；针对常规变电站，可以使用合智一体采集装置将模拟量和开关量转换为数字量，通过 IEC 61850-9-2 和 GOOSE 方式传输给子站装置，并接受子站装置发出的 GOOSE 命令进行控制。

主站装置和各子站装置间按照星形方式构建通信网，有输电线路连接的子站间按照点对点方式构建通信连接，通信协议可以采用自定义的通信协议，也可以采用标准的 GOOSE 通信协议。

以图 1 所示系统接线为例，将主站设置在 A 站，其他各站均设置一个子站，主站和子站之间的通信联系图如图 2 所示。

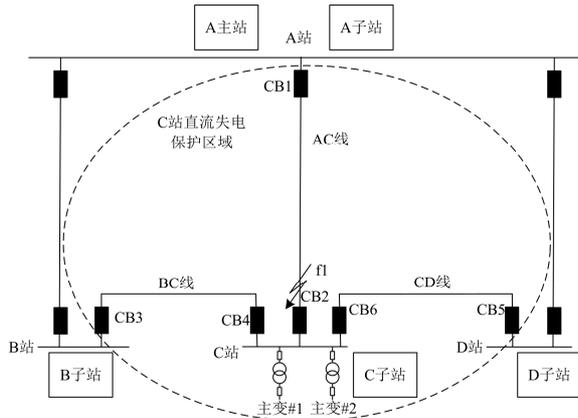


图 1 变电站系统接线示意图

Fig. 1 Connection diagram of substation system

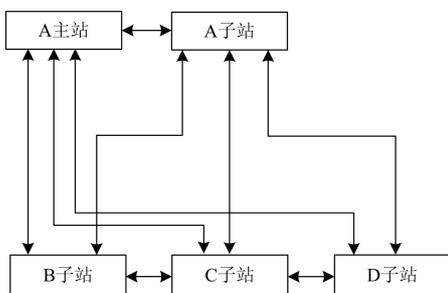


图 2 主站及子站之间的联系图

Fig. 2 Connection diagram of master-sub substation

1.2 变电站二次直流电源消失判别

实际工程应用中，一般变电站内的保护系统电源和通信电源是相互独立的，与传统保护供电方式不同的是，变电站新增的保护主站、子站装置及其采集装置的电源均由通信小室的通信电源供电。因此，即使变电站保护系统二次直流电源消失(以下均简称为变电站二次直流失电)，主站及子站装置仍可正常运行。同时，随着光纤通道技术的飞速发展以及继电保护要求的不断提高，一般高压线路保护均会配置光纤纵联保护装置(纵联差动或者纵联距离)。基于此设计原则，可以进行各变电站直流失电的判别，具体判别方法为：当变电站二次直流失电时，预设的二次直流失电接点动作，将此接点直接接到该变电站的子站装置并上送给主站装置；所有与失电变电站有输电线路相连的相邻变电站，其既有的线路光纤纵联保护装置均将因对侧直流电源的丢失而出现光纤通道中断，输出通道异常接点，将这些通道异常接点分别接到各自的子站装置并上送给主站装置。主站装置收到某变电站的二次直流失电接点，且收到所有相邻变电站与之相连输电线路的既有光纤纵联保护装置的通道异常信号，采用与逻辑，经延时确认后判别为该变电站二次直流电源丢失。

以图 1 所示的 C 站二次直流失电为例进行说明：当变电站 C 全站二次直流失电时，将直流失电接点接至 C 站子站装置并上送给主站装置；同时，与之相邻的 A 站、B 站、D 站对应的 CB1、CB3、CB5 既有线路光纤纵联保护装置将因光纤通道中断而输出通道异常接点，分别接入 A 站、B 站、D 站子站保护装置并上送给主站装置。当主站装置收到 C 站发来的直流失电信号，同时收到 A 站、B 站、D 站发来的光纤纵联保护通道异常信号，经延时确认后判别 C 站二次直流失电，具体判别逻辑如图 3。

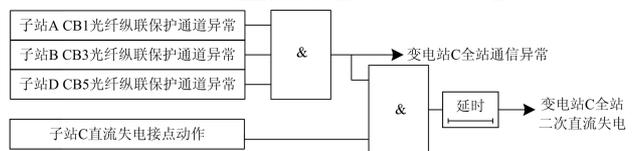


图 3 变电站直流失电的判别逻辑图

Fig. 3 Logic diagram of substation's DC power loss judgment

主站装置进行各变电站二次直流失电的判别，采用直流失电接点动作结合全站通信异常的双重化把关判据，可以提高判别结果的可靠性。若原系统中不具备全站通信异常的判别，亦可直接采用直流失电接点动作的方式进行判别。主站判别出某变电站二次直流失电状态后，下发给对应变电站的子站

装置, 从而进行后续保护和策略的处理。

1.3 变电站直流二次失电保护方案

当变电站二次直流失电时, 由于二次直流失电保护系统的子站装置及其合智一体采集装置由通信电源供电, 故模拟量、开关量的采集和保护功能的判断逻辑不受影响, 可正常运行。因此当子站装置收到主站装置下发的全站直流失电信号后, 若变电站内主变、母线或者其出线发生系统故障, 子站装置对应的主变差动元件、母线差动元件、线路纵联保护元件能够正确识别出故障, 则发远跳命令给所有相邻变电站子站装置, 其具体逻辑如图 4。

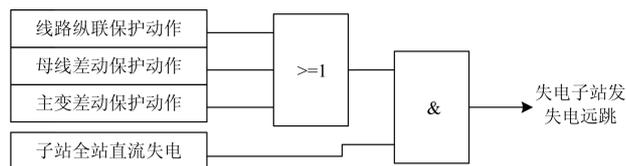
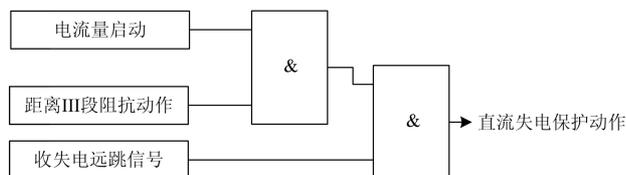


图 4 失电子站发失电远跳逻辑图

Fig. 4 Logic diagram of remote trip sending by the DC power loss substation

从图 4 可以看出, 当发生失电变电站区外的故障(如相邻变电站的母线、相邻变电站与失电变电站的连接线除外的其他出线等), 失电子站不会发送失电远跳命令给任何相邻变电站, 因此不存在误动的风险。

与二次直流失电变电站相邻的变电站收到失电子站发来的失电远跳信号后, 从可靠性原则考虑, 需要结合本侧电流量启动元件以及距离 III 段阻抗元件进行相关故障的判别, 满足条件后直流失电保护动作, 跳开与失电子站相联系的开关, 以快速隔离故障。图 5 为直流失电保护逻辑图。



注: 距离 III 段阻抗按照包含下一级线路全长, 或包含对侧变电站主变低压侧原则整定。

图 5 直流失电保护逻辑图

Fig. 5 Logic diagram of DC power loss protection

仍然以图 1 所示的 C 站二次直流失电为例, 此时 C 站所有开关都无法跳开, 对直流失电保护方案进行详细说明。

(1) 若此时在 AC 线上发生 f_1 故障, 子站 C 的线路纵联保护功能正常工作, 与对侧 A 子站的通信交互也正常工作, 故可正确判出区内发生故障, 一

方面发纵联允许信号让 A 子站 CB1 快速跳闸; 另一方面输出跳闸信号给本站, 本站结合已判断出的直流失电信号, 将远跳命令分别发给相邻的 A、B、D 子站, A 子站由于 CB1 已由线路纵联保护跳开, 不再跳闸, B、D 子站结合各自就地故障判据, 满足后分别将 CB3 和 CB5 跳开, 将故障快速隔离。

(2) 若此时子站 C 发生主变#1 或者主变#2 故障, 子站 C 的主变差动保护功能正常工作, 判出故障, 输出跳闸信号给本站, 本站结合已判断出的直流失电信号, 将远跳命令分别发给相邻的 A、B、D 子站, A、B、D 子站结合各自就地故障判据, 满足后分别将 CB1、CB3 和 CB5 跳开, 将故障快速隔离。

(3) 若此时子站 C 发生母线故障, 子站 C 的母差保护功能正常工作, 判出故障, 输出跳闸信号给本站, 本站结合已判断出的直流失电信号, 将远跳命令分别发给相邻的 A、B、D 子站, A、B、D 子站结合各自就地故障判据, 满足后分别将 CB1、CB3 和 CB5 跳开, 将故障快速隔离。

1.4 二次直流失电保护系统与既有保护的关系

基于区域电网的直流失电保护系统, 虽然集线路纵联保护、主变差动保护、母线差动保护、直流失电保护于一体, 但其仅是对原系统既有保护的功能优化以及性能提升、全面提高区域电网保护的整体性能, 而不能替代原系统的既有保护, 因此两者并行存在, 除了子站直流失电保护动作后, 需要输出闭锁重合闸信号给原系统既有线路保护以闭锁重合闸外, 两者完全独立。

2 RTDS 仿真试验

为了考核变电站二次直流失电保护系统在变电站二次直流失电且发生各种区内故障情况下的动作行为, 搭建了如图 6 所示的 RTDS 试验仿真系统。

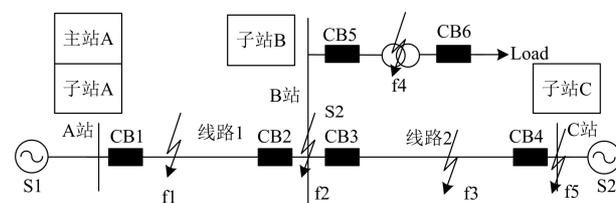


图 6 RTDS 仿真试验模型

Fig. 6 RTDS simulation system structure

采用典型的双端电源供电试验系统, 共设置三个变电站、两条线路和一台主变。其中在 A 站配置一台直流失电保护主站以及一台子站, B 站和 C 站分别配置一台直流失电保护子站, 各子站保护功能配置相同, 均包含线路纵联保护、主变差动保护、

母线差动保护以及直流失电保护。

二次直流失电保护系统主站、各子站以及 RTDS 之间的联系关系如图 7 所示。

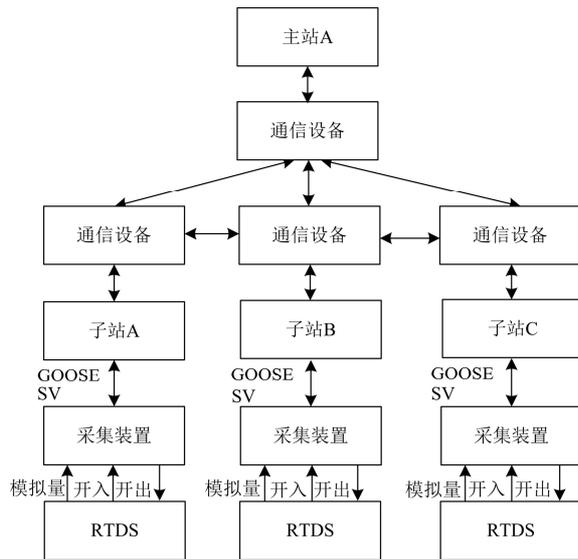


图 7 RTDS 测试系统连接关系

Fig. 7 Connection of RTDS simulation system

试验系统共设置 f1~f5 共五个故障点，其中线路上的故障点 f1 和 f3 的故障距离可以灵活控制。试验时，模拟 B 站发生变电站直流失电，即直流失电接点以及既有的光纤纵联保护装置通道异常接点均动作，且变电站 B 内所有开关均无法跳开。子站 A 和子站 C 失电远跳就地判据的距离 III 段阻抗按照包含下一级线路全长及包含 B 站主变低压侧这两者中的大值整定。

重点进行了如下试验项目：

- (1) 线路 1 上发生各种故障时保护的动作为考核；
- (2) 线路 2 上发生各种故障时保护的动作为考核；
- (3) B 站母线发生故障时各保护的动作为考核；
- (4) B 站主变发生故障时各保护的动作为考核。
- (5) C 站母线发生故障时各保护的动作为考核。

试验结果如下：

(1) 线路 1 在 f1 发生各种故障时。子站 A 线路纵联保护动作跳开开关 CB1；子站 B 线路纵联保护动作，但由于直流失电无法跳开开关 CB2；子站 C 直流失电保护动作跳开开关 CB4，从而实现了故障的快速隔离。

(2) 线路 2 在 f3 发生各种故障时。子站 C 线路纵联保护动作跳开开关 CB4；子站 B 线路纵联保护动作，但由于直流失电无法跳开开关 CB3；子站 A 直流失电保护动作跳开开关 CB1，从而实现了故障的快速隔离。

(3) B 站主变 f4 发生各种故障时。子站 B 的主变差动保护动作，但由于直流失电无法跳开开关 CB5、CB6；子站 A 直流失电保护动作跳开开关 CB1；子站 C 直流失电保护动作跳开开关 CB4，从而实现了故障的快速隔离。

(4) B 站母线 f2 发生各种故障时。子站 B 的母线差动保护动作，但由于直流失电无法跳开母线支路的开关 CB2、CB3、CB5；子站 A 直流失电保护动作跳开开关 CB1；子站 C 直流失电保护动作跳开开关 CB4，从而实现了故障的快速隔离。

(5) C 站母线 f5 发生各种故障时。子站 C 的母线差动保护动作跳开开关 CB4，从而实现了故障的快速隔离，子站 A 和子站 B 不动作。

RTDS 试验结果表明，基于区域电网信息的变电站二次直流失电保护系统能够实现区域信息的快速、有效地互通。当变电站二次直流失电且发生站内或者出线故障时，基于区域电网信息的直流失电保护将快速、可靠地将故障隔离，不再单纯依赖于传统长延时的远后备保护，从而提升了区域电网整体的保护性能以及整个系统的供电可靠性。

3 结语

本文基于区域电网提出了主站-子站的二次直流失电保护系统的概念，在此架构上提出了一种变电站二次直流电源消失的判别方法以及直流失电保护的具体方案。通过区域信息结合本地电气量的方式，能够有效判别出变电站二次直流失电的状态，当直流失电变电站发生区内故障时，采取远跳相邻变电站开关的直流失电保护能最大限度地提高电力系统故障的隔离速度。

本文提出的变电站二次直流失电保护系统的整体方案在区域电网中具有良好的推广和使用价值，已在国内某区域电网中投入实际运用，运行稳定。

参考文献

[1] 庞红梅, 李淮海, 张志鑫, 等. 110 kV 智能变电站技术研究状况[J]. 电力系统保护与控制, 2010, 38(5): 146-150.
 PANG Hongmei, LI Huaihai, ZHANG Zhixin, et al. Research situation of 110 kV smart substation technology[J]. Power System Protection and Control, 2010, 38(5): 146-150.

- [2] 王同文, 谢名, 孙月琴, 等. 智能变电站继电保护系统可靠性分析[J]. 电力系统保护与控制, 2015, 43(6): 58-66.
WANG Tongwen, XIE Ming, SUN Yueqin, et al. Analysis of reliability for relay protection systems in smart substation[J]. Power System Protection and Control, 2015, 43(6): 58-66.
- [3] 周长友, 周华迁. 110 kV 超短线路群环网保护配置[J]. 湖北工业大学学报, 2010, 25(1): 34-37.
ZHOU Changyou, ZHOU Huaqian. The relay-protection' setting of the ultra short lines group in the DFM power grid[J]. Journal of Hubei University of Technology, 2010, 25(1): 34-37.
- [4] 吴罡, 李琳, 李翔. 110 kV 智能变电站设计方案初探[J]. 江苏电机工程, 2011, 30(2): 31-35.
WU Gang, LI Lin, LI Xiang. Primary exploration on the design of 110 kV smart substation[J]. Jiangsu Electrical Engineering, 2011, 30(2): 31-35.
- [5] 王超, 王慧芳, 张弛, 等. 数字化变电站继电保护系统的可靠性建模研究[J]. 电力系统保护与控制, 2013, 41(3): 8-13.
WANG Chao, WANG Huifang, ZHANG Chi, et al. Study of reliability modeling for relay protection system in digital substations[J]. Power System Protection and Control, 2013, 41(3): 8-13.
- [6] 刘宏君, 裘愉涛, 徐成斌, 等. 一种新的智能变电站继电保护架构[J]. 电网与清洁能源, 2015, 31(3): 49-51, 61.
LIU Hongjun, QIU Yutao, XU Chengbin, et al. A new architecture of relay protection in smart substations[J]. Power System and Clean Energy, 2015, 31(3): 49-51, 61.
- [7] 吴国昉, 王庆平, 李刚. 基于数字化变电站的集中式保护研究[J]. 电力系统保护与控制, 2009, 37(4): 15-18.
WU Guoyang, WANG Qingping, LI Gang. Study of centralized protection based on digital substation[J]. Power System Protection and Control, 2009, 37(4): 15-18.
- [8] 王媛, 焦彦军, 马叶芝. 利用本地信息实现新型站域保护方案[J]. 电力系统及其自动化学报, 2014, 26(8): 60-64.
WANG Yuan, JIAO Yanjun, MA Yezhi. Research on substation-area protection scheme based on local information[J]. Proceedings of the CSU-EPSCA, 2014, 26(8): 60-64.
- [9] 李倍, 和敬涵, 刘琳. 基于信息冗余的站域保护优化方案[J]. 电力与能源, 2014, 35(3): 243-247.
LI Bei, HE Jinghan, LIU Lin. Optimization scheme of substation area protection based on redundant information[J]. Power & Energy, 2014, 35(3): 243-247.
- [10] 李俊刚, 张爱民, 彭华夏, 等. 区域层次化保护系统研究与设计[J]. 电力系统保护与控制, 2014, 42(11): 34-40.
LI Jungang, ZHANG Aimin, PENG Huasha, et al. Research and design of zone area hierarchical protection system[J]. Power System Protection and Control, 2014, 42(11): 34-40.
- [11] 刘益青, 高厚磊, 李乃永, 等. 适用于站域后备保护的智能变电站站间信息传输方案[J]. 电力系统保护与控制, 2015, 43(2): 96-102.
LIU Yiqing, GAO Houlei, LI Naiyong, et al. A communication scheme between smart substations for substation-area backup protection[J]. Power System Protection and Control, 2015, 43(2): 96-102.
- [12] 何志勤, 张哲, 尹项根, 等. 集中决策式广域后备保护的分区模型与优化算法[J]. 电工技术学报, 2014, 29(4): 212-219.
HE Zhiqin, ZHANG Zhe, YIN Xianggen, et al. Partition model and optimization algorithm for wide-area backup protection based on centralized decision-making mode[J]. Transactions of China Electrotechnical Society, 2014, 29(4): 212-219.

收稿日期: 2015-05-28; 修回日期: 2015-06-24

作者简介:

戴光武(1984-), 男, 硕士, 工程师, 从事电力系统继电保护方面的研究; E-mail: daigw@nrec.com

谢华(1983-), 男, 硕士, 工程师, 从事电力系统继电保护方面的研究;

徐晓春(1984-), 男, 硕士, 工程师, 从事电力系统继电保护方面的研究。

(编辑 姜新丽)