

高压电网多端线路保护配置方案的探讨

姚亮¹, 赖庆辉², 林俊¹

(1. 国电南京自动化股份有限公司, 江苏 南京 210003; 2. 福建省德化县供电有限责任公司, 福建 德化 362500)

摘要: 在高压电网中多端输电线路的特殊性影响常规线路保护的设计与运行。分析常规线路保护用于多端线路时面临的问题。从通道配置选取和保护原理使用两个方面, 研究多端线路的配置方案。比较单频率与双频率载波通道的纵联距离保护和环状与链状连接光纤通道的差动保护方案。推荐在条件允许的情况下优先考虑环状连接方式的差动保护。早期线路需改建为多端运行方式时, 可以酌情采用双频率载波通道的纵联距离保护。

关键词: 高压电网; 多端线路; 纵联保护; 载波通信; 光纤通信

Discussion on the multi-terminal transmission line protection configuration in high-voltage power grid

YAO Liang¹, LAI Qing-hui², LIN Jun¹

(1. Guodian Nanjing Automation CO., LTD, Nanjing 210003, China;
2. Dehua County Power Supply Co., Ltd, Dehua 362500, China)

Abstract: The particularity of the multi-terminal transmission line affects the design and operation of line protection in the high-voltage (HV) power grid. The paper analyzes the problem of general protection facing when it applies to the multi-terminal line. It researches into the configuration of the multi-terminal line from channel scheme and protection principle. It compares the pilot distance protection with power line carrier (PLC) in the single or double frequency and the differential protection with optical fiber in the loop or chain connection. It recommends that the differential protection with optical fiber in the loop connection is the preferential configuration as possible, adopts secondly the pilot distance protection with PLC in the double frequency only as the line is modified to the multi-terminal one.

Key words: high-voltage power grid; multi-terminal transmission line; pilot protection; power line carrier communication; optical fiber communication

中图分类号: TM77 文献标识码: A 文章编号: 1674-3415(2010)09-0079-04

0 引言

随着电力系统的发展、负荷密度的增长以及新建变电站征地的困难, 出现了高压重负荷三端 T 接或三端以上 T 接的多端输电线路, 这些线路又常常联系着电厂和系统, 承担着较重要的系统负荷, 要求快速切除线路上的故障。

国家电网公司在《城市电力网规划设计导则》中对城市电网规划提出了总目标: 优化电网结构、提高电网科技含量, 建设国际“一流”的城市电网, 适应各地区经济社会发展的需要和供电企业自身发展的需要。城市电网是电力系统的主要负荷中心, 又是城市现代化建设的一项重要基础设施^[1]。

在前几年电力系统中的多端线路相对较少, 但近几年国民经济的快速发展和城市电网的不断坚

强, 充分利用送电走廊的资源、负荷增长太快超过电网建设速度等问题的日益突出, 多端接线方式应用开始增多, 尤其是在经济较发达且人口密集地区。

1 多端输电线纵联保护面临的问题

两端线路的常规保护配置方案如果直接应用在多端线路保护, 就会遇到通道资源和保护原理的限制。

目前在输电线路常见的通信方式一般采用载波通信和光纤通信。常规载波通信都是“点对点”方式下传送闭锁信号或允许信号, 也仅限于简单的信号命令。前些年受限于平台技术, 微机保护自带的光端机只能提供一组光纤收发接口, 不便适用在多端线路中。但随着技术的发展, 现在已经可以提供两组光纤通信接口, 为多端线路保护提供了充分

的通道资源。

以三端 T 接线路为例，介绍多端输电线的保护常见配置方案，比较其各自的通信方式和保护原理的优缺点，提出对应的改进措施。从整体配置上可以分为两类：载波通道的纵联距离保护和光纤通道的纵联差动保护。

2 载波通道的纵联距离保护配置方案

对于一些不具备数字通道的老线路由两端线路改造为多端，若要实现多端纵联差动保护，需要重新架设光纤通道，增加较大的工程投资，所以考虑还是使用载波通道。

2.1 单频率的载波通道

各端纵联距离保护各配置一台相同工作频率的收发信机，如图1所示。

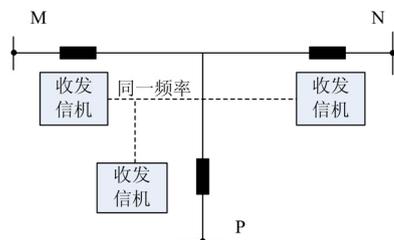


图 1 单频率的载波通道

Fig.1 PLC communication configuration in the single frequency

1) 载波通道正常，检查通道时，任一侧的装置都能将对侧两台装置远方起动，信号交换正常，各侧装置信号灯显示正常。

2) 若一侧通道出现异常，检查通道时，M侧通道异常，N侧和P侧通道正常。N侧和P侧装置信号交换正常，这两侧装置上信号灯显示正常。M侧交换信号时，则会异常告警。

3) 若两侧通道均出现异常，检查通道时，M侧和N侧通道异常，P侧通道正常。任一侧都不能交换信号，都会异常告警。

这种方案优点是通信联系简单，经济性好，但也存在两个比较明显的缺点。

1) T接线三侧任一侧收发信机的收信裕度都需兼顾到另两侧的通道情况，通道衰耗难以监视、测量，造成通道衰耗整定困难。

2) 常规的通道检查无法实现。检查侧发信后，两个被检查侧均远方启信，检查侧无法判别整个T接线路的通道状况^[2]。

解决的方法就是对其中一端的保护通道检查方案需要修改，一般选取负荷侧线路，取消保护中远方起信逻辑。正常情况下，保护接收到信号后发通道收信正常报文，在对侧进行通道试验期间，本站

的运行人员就通过本侧装置报文或后台监控报文获知，本侧保护是否能收到对侧信号。

在系统整组试验前分别以各侧为信号端，在不同系统状态下——结合滤波器接地闸刀合上和高频电缆负载侧开路，对通道频率进行了实际测试后，确定最终工作频率。

2.2 双频率的载波通道

保证线路上发生各类故障，纵联距离保护都能正确收信，并且能够进行完整的通道检查。对于配置两台收发信机的纵联距离保护只需要把两台收发信机的收信接点并联接入保护装置，任一收发信机收到闭锁信号，则该侧保护就认为收到了闭锁命令而不跳闸。

三端的P侧配置两台收发信机，另两个侧各配置一台，两台收发信机采用不同工作频率与另两侧组成两个不同频率的载波通道，即“单通道，双频率”配置方案如图2所示。

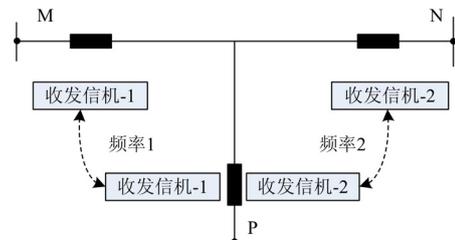


图 2 双频率的载波通道

Fig.2 PLC communication configuration in the two frequencies

对于“单通道，双频率”，为了阻塞两个频率信号，可采用双频阻波器。在高频通道比较拥挤的电网，使用阻塞频带宽、阻抗平稳的宽带阻波器，阻塞二个以上都频率信号^[3]。

由于采用T接线方案，纵联保护通道的构成不用于常规方式，为防止两台不同频率收发信机并机而产生衰耗和串扰，一侧通道的高频电缆终端接入一只差接网络，保证分停两台收发信机间的频率串扰问题。由于T接处不挂阻波器进行分段阻塞高频信号，当一侧发出的信号汇集到 T 接点时，将产生较大的分流衰耗，因此必须进行两台收发信机的频率试验^[4]。

2.3 纵联距离保护方案的局限性

对于多端线路纵联距离，通常只能采用闭锁式。因为如果不能区分对端两侧的允许信号，采用允许式，线路M侧发生区外故障时，N侧和P侧保护都会发出允许信号，而N侧和P侧保护分别收到P侧和N侧的允许信号，都会跳闸。虽然M侧保护能够判定为区外故障，本侧不跳侧闸，但是没有办法去闭锁N侧和P侧的两套保护。

若T接线路三端都有电源, 会对纵联距离保护的测量阻抗带来困难。在线路末端故障时远方两侧电源都供给短路电流。每一侧距离保护第II段都因另一侧电源对短路电流的助增而灵敏度下降^[5]。在靠近M侧的线路末端发生故障, N侧和P侧的距离元件的

$$\text{测量阻抗为} \begin{cases} Z_N = Z_{MN} + \frac{I_P}{I_N} Z_{MT} \\ Z_P = Z_{MP} + \frac{I_N}{I_P} Z_{MT} \end{cases}$$

式中: $Z_{MN} = Z_{MT} + Z_{NT}$, $Z_{MP} = Z_{MT} + Z_{PT}$ 。

由上式可见, 若 $I_N \gg I_P$, P侧距离保护第II段在考虑M侧的灵敏度和与N侧邻线保护的选择性之间难以兼顾。

对于多端线路中存在一侧或两侧为负荷侧, 区内任一点发生故障, 则负荷侧电压会很低, 可以通过低电压纵联保护停信(纵联保护采用闭锁式), 此时也只需要电源侧跳闸即可切除故障。纵联距离保护是可以完全适用于这种运行方式的。

若线路的运行方式发生变化, 由多端运行转变为两端运行, 则由于系统参数发生变化, 及载波通道的限制, 还需重新设置运行两侧的保护定值, 并切换相应载波通道。

3 光纤通道的纵联差动保护配置方案

近年来随着通信技术的发展, 特别是光纤通信的普及应用, 三端线路保护采用光纤通道交换信息。在这种情况下, 纵联差动保护就成为首选, 为了使得多端保护之间能够进行更多的信息交互, 满足纵联差动保护的工作原理, 通常采用环状或链状链接两种光纤链接方式。

3.1 光纤环状链接通道配置方案

其利用三组光纤将通道三端保护装置两两相连, 这样每台保护装置就可以直接与另外两套装置进行交流。这种链接方式的优点是当一组通

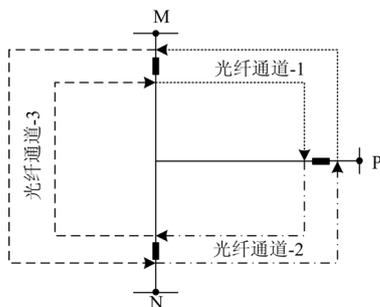


图3 光纤环状链接

Fig.3 Optical fiber loop connection

道断开时, 虽然与此路通道相连的两套保护不能进行电流模拟量的交换, 但是可以将与此组通道不相连的保护作为桥接, 使得通道断开两侧都保护能正常获取电流模拟量信息, 装置仍然可以实现正常的保护功能, 国内保护一般都采用上述环状链接方式, 如图3所示。

3.2 光纤链状链接通道配置方案

该方案采用两组光纤将三套保护装置连接起来, 其中有一套保护作为桥接, 把另两套保护的信息与自身的信息进行综合后, 再分别传回另两套保护, 实现三套保护之间的信息交互。此链接方式仅见于国外保护, 如Siemens的7SD522采用, 如图4所示。链状链接方式的好处是所需要的光纤通道建设费用低。但是当任一路光纤通道出现异常, 三套纵联差动保护就需要全部退出, 整条线路将失去全线速动保护。

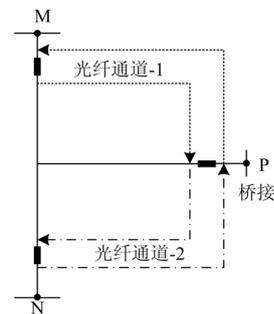


图4 光纤链状链接

Fig.4 Optical fiber chain connection

3.3 纵联差动保护方案的对策

T接点的位置、分支线上有无发电机、发电机运行或停运、助增电流、电动机反馈、电动机自启动、变压器励磁涌流、中性点接地方式、过渡电阻、系统振荡、个别端断路器断开等因素都不会引起这种保护的不正确工作^[6]。

在线路一端或多端出现电流外汲时, 就需要采用合适的比例制动特性的差动保护, 根据最大可能的汲出电流选择制动系数, 重点在制动电流的选取上, 不能简单地参考两端常规纵联差动保护的方法。以往三端纵联差动保护制动电流一般选取三端故障电流的标量和^[7]、三端故障电流中最大模值^[8]、等效为两端线路的相量和^[9]存在一些问题。而选取 $I_{res} = \max(|\dot{I}_M + \dot{I}_N - \dot{I}_P|, |\dot{I}_N + \dot{I}_P - \dot{I}_M|, |\dot{I}_P + \dot{I}_M - \dot{I}_N|)$ 作为制动电流, 式中 \dot{I}_M 、 \dot{I}_N 、 \dot{I}_P 分别为M、N、P侧的电流。其确保差动保护在区外故障可靠不动作, 区内故障灵敏动作, 且解决了上述传统判据中的不足之处, 并已经获得国家知识产权局对“一种适用于多端输电线路的电流差动保护方法(申请号

200710191296.X, 公开号CN101237143)的专利保护^[10]。

3.4 运行方式转换的配合

当线路处于三端运行方式下, 三端差动保护的功能压板都投入, 两端运行压板退出。当一侧开关跳开, 处于热备用状态时, 不需要进行任何操作, 三侧保护仍然可以正常运行, 如图5(a)。

如果因检修需要退出N侧, 使M侧与P侧变为两端运行时, 可以按照如下操作进行运行方式转换, 如图5(b)所示。

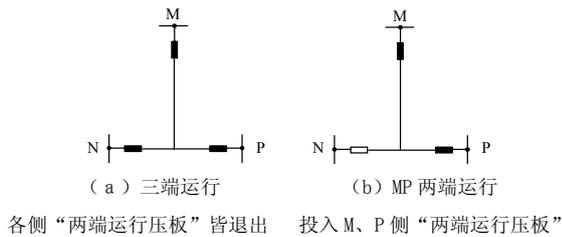


图5 三端-两端运行方式切换

Fig.5 Tri-terminal to two-terminal mode switch

1) 当N侧的断路器断开后, 先分别投入本侧和P侧的“两端运行压板”, 然后在N侧进行相关检修和保护试验时, 不会对正常运行的M侧和P侧的保护装置造成任何影响;

2) 当N侧检修完毕需要投入运行时, 应先投入N侧的差动保护功能压板, 再退出M侧和P侧的“两端运行压板”, 最后合上开关, 系统恢复成三端运行方式。

4 结论

从通道配合上说, 环状链接的光纤通道采用冗余配置方案: 一组通道的异常不影响纵联差动保护的正常工作。而且光纤通道都具有实时的在线监测功能, 远优于载波通道的定时检查。光纤通道中传输的光信号也比载波通道的电信号更可靠, 不会受到线路电晕、短路、开关操作的干扰。在工程实践中, 一般对与超短线路采用纵联保护、开设电力载波通道时, 很难避免高频信号产生差拍, 从而导致纵联保护收信不正确、误动作^[11]。

从保护原理上说, 纵联差动保护是应用于多端线路最完善的保护方案, 区内外故障判别明确, 能适用于线路各端的任何运行方式。为适应一侧线路检修, 由多端运行转换至两端运行方式, 纵联差动保护装置可以灵活地适应各种运行方式, 而纵联距离保护需要做相应的操作。

综上所述, 采用环状链接通道的纵联差动保护是应用于多端线路最合适的配置方案。在一些不

具备数字通道的老线改造工程, 宜考虑“单通道, 双频率”载波通道的纵联距离保护。以上方案都有成功的应用实例, 但具体采用纵联距离保护还是纵联差动保护仍需视线路各端运行和工程投资进度等实际情况而定。

参考文献

- [1] 中华人民共和国国家电网公司. Q/GDW 156-2006 城市电力网规划设计导则[M]. 北京: 中国电力出版社, 2006.
- [2] 郭建伟, 吴奕, 潘琪, 等. 苏州电网 220 kV 的 T 接线路继电保护配置与运行[J]. 电力系统自动化, 2005, 29 (3): 97-99.
- [3] 董彦军. 高频通道阻波器的特性分析与检测方法研究[D]. 北京: 华北电力大学, 2005.
DONG Yan-jun. The character and testing method of high frequency channel trapper[D]. Beijing: North China Electric Power University, 2005.
- [4] 吴奕, 魏鸣琪, 潘晓明. 220 kV “T” 接线路三侧高频保护的试验[J]. 江苏电机工程, 2004, 23 (6): 62-63.
WU Yi, WEI Ming-qi, PAN Xiao-ming. Introduction of experiment of 220 kV “T” connected line three point high-frequency protection[J]. Jiangsu Electrical Engineering, 2004, 23 (6): 62-63.
- [5] 朱声石. 高压电网继电保护原理与技术[M]. 北京: 中国电力出版社, 2005.
- [6] 贺家李, 宋从矩. 电力系统继电保护原理[M]. 北京: 中国电力出版社, 2004.
- [7] 王亚强. 关于 T 接线路继电保护若干问题的研究[D]. 北京: 华北电力大学, 2004.
WANG Ya-qiang. Researches on several problems of protection relays on T-connection lines[D]. Beijing: North China Electric Power University, 2004.
- [8] 葛耀中. 电流差动保护动作判据的分析和研究[J]. 西安交通大学学报, 1980, 14 (2): 93-107.
GE Yao-zhong. Analysis and study of operating criteria of differential relays[J]. Journal of Xi'an Jiaotong University, 1980, 14 (2): 93-107.
- [9] 高厚磊, 江世芳. T 接线路电流差动纵差保护新判据研究[J]. 继电器, 2001, 29 (9): 6-16.
GAO Hou-lei, JIANG Shi-fang. Study on new criterion of current differential protection for teed lines[J]. Relay, 2001, 29 (9): 6-16.
- [10] 国电南京自动化股份有限公司. 一种适用于多端输电线路的电流差动保护判据方法[P]. 中国专利: CN101237143, 2008-08-06.
- [11] 冯期坤, 徐进亮, 陈德树. 电力系统超短 T 接线路保护方案研究[J]. 电力自动化设备, 1998 (4): 15-18.

(下转第 88 页 continued on page 88)

- [3] 吴文传, 张伯明. 基于图形数据库的网络拓扑及其应用[J]. 电网技术, 2002, 26 (2): 14-18.
WU Wen-chuan, ZHANG Bo-ming. A graphic database based network topology and its application[J]. Power System Technology, 2002, 26 (2): 14-18.
- [4] 宋少群, 朱永利, 于红. 基于图论与人工智能搜索技术的电网拓扑跟踪方法[J]. 电网技术, 2005, 29 (19): 45-49.
SONG Shao-qun, ZHU Yong-li, YU Hong. A power network topology tracking method based on graph theory and artificial intelligence search technique[J]. Power System Technology, 2005, 29 (9): 45-49.
- [5] 董张卓, 秦红霞, 孙启宏, 等. 采用面向对象技术和方法的电力系统网络拓扑的快速跟踪 (一) [J]. 中国电机工程学报, 1998, 18 (3): 178-181.
DONG Zhang-zhuo, QIN Hong-xia, SUN Qi-hong, et al. Object-oriented to fast tracking of topology for power system part I[J]. Proceedings of the CSEE, 1998, 18(3): 178-181.
- [6] 董张卓, 秦红霞, 孙启宏, 等. 采用面向对象技术和方法的电力系统网络拓扑的快速跟踪 (二) [J]. 中国电机工程学报, 1998, 18 (4): 283-291.
DONG Zhang-zhuo, QIN Hong-xia, SUN Qi-hong, et al. Object-oriented to fast tracking of topology for power system part II[J]. Proceedings of the CSEE, 1998, 18 (4): 283-291.
- [7] Vehsakul P D, Dabbaghchi I. A topology based Algorithm for tracking network connectivity[J]. IEEC Trans on Power Systems, 1995, 10 (2): 339-345.
- [8] 储俊杰. 变电所一次主接线电气连通性分析的数学模型[J]. 电力系统自动化, 2003, 27 (1): 13-33, 48.
CHU Jun-jie. Mathematical model for analyzing electrical connectedness of main electrical scheme in substation[J]. Automation of Electric Power Systems, 2003, 27 (1): 13-33, 48.
- [9] 王湘中, 黎晓兰. 基于关联矩阵的电网拓扑辨识[J]. 电网技术, 2001, 25 (2): 10-16.
WANG Xiang-zhong, LI Xiao-lan. Topology identification of power network based on incidence matrix[J]. Power System Technology, 2001, 25 (2): 10-16.
- [10] 陆鸣盛, 沈成康. 图的连通性快速算法[J]. 同济大学学报, 2001, 29 (4): 436-438.
LU Ming-sheng, SHEN Cheng-kang. Speedy algorithm for connexity of graph[J]. Journal of Tongji University, 2001, 29 (4): 436-438.
- [11] 罗日成, 李卫国. 基于图论的配电网电气连通性分析算法[J]. 电工技术学报, 2005, 20 (10): 98-102.
LUO Ri-cheng, LI Wei-guo. Research on the algorithm of electric connectivity analyzing for distribution network based on graph theory[J]. Transactions of China Electrotechnical Society, 2005, 20 (10): 98-102.
- [12] 朱永利, 盛四清, 雷少锋, 等. 一种新的电网自动接线分析方法[J]. 华北电力大学学报, 1998, 25 (3): 1-7.
ZHU Yong-li, SHENG Si-qing, LEI Shao-feng, et al. An artificial intelligence-based approach for electric network topology determination[J]. Journal of North China Electric Power University, 1998, 25 (3): 1-7.

收稿日期: 2009-06-18; 修回日期: 2009-09-25

作者简介:

周云成 (1979-), 男, 博士研究生, 助教, 从事信息技术在地方电力系统中的应用研究; E-mail: zhouyc2002@163.com

付立思 (1964-), 男, 博士, 教授, 从事智能控制系统检测技术研究;

许童羽 (1967-), 男, 博士, 副教授, 从事信息技术在地方电力系统中的应用研究。

(上接第 82 页 continued from page 82)

FENG Qi-kun, XU Jin-liang, CHEN De-shu. Study on the protection scheme for teed short line in electric power system[J]. Electric Power Automation Equipment, 1998 (4): 15-18.

姚亮 (1979-), 男, 工程师, 硕士, 主要从事高压线路继电保护领域的研究与开发工作; E-mail: yaoliang@sac-china.com

赖庆辉 (1977-), 男, 本科, 长期从事继电保护管理工作;

林俊 (1967-), 男, 本科, 长期从事继电保护设计工作。

收稿日期: 2009-06-19; 修回日期: 2009-08-24
作者简介: