

同杆平行双回线路保护及自动重合闸综述

康小宁,梁振锋

(西安交通大学电气工程学院,陕西 西安 710049)

摘要: 同杆平行双回线具有出线走廊窄、输送容量大、投资少、见效快等特点,在系统中得到了越来越多的应用。但同杆平行双回线路故障类型多样,且双回线间存在互感耦合,因此同杆平行双回线路保护存在许多特殊问题。该文在分析双回线路故障特点的基础上,对目前系统中应用的主要保护方式的原理和特点作了阐述,包括分相电流差动保护、相继速动保护、距离纵联保护、横联差动保护,对平行双回线路自动重合闸应用现状进行了回顾。结合近年来的研究动态和最新进展,展望了平行双回线路保护及自动重合闸的发展趋势。

关键词: 平行双回线路; 继电保护; 自动重合闸; 综述

中图分类号: TM773 **文献标识码:** A **文章编号:** 1003-4897(2004)23-0072-05

0 引言

同杆平行双回线由于具有出线走廊窄、输送容量大、投资少、见效快、可提高供电可靠性、运行维护简单等优点,得到了越来越多的应用。由于同杆平行双回线运行方式复杂、存在线间互感及跨线故障,所以在单回线上广泛应用的零序电流保护、距离保护等难以满足同杆平行双回线的要求。如:应用于单回线的距离保护应用在同杆平行双回线路上时,当线路末端发生非同名相单相跨线故障时会同时三相切除双回线;当发生接地故障时,由于受零序互感的影响,双回线的接地距离保护的测量阻抗会产生较大的误差,造成保护误动或拒动。

为了保证不间断供电和尽量少停电,在重要同杆并架双回联络线上发生故障时,要求只切除故障相而将非故障相保留下来继续运行,实行按相重合闸。应用在单回线路上的重合闸装置难以满足同杆并架双回线的要求。

针对同杆平行双回线的特殊要求,继电保护工作者提出了许多解决方案。本文对目前应用在系统中的同杆平行双回线保护及自动重合闸装置进行了综述,并根据近年的研究现状展望了未来发展的趋势。

1 同杆平行双回线路故障的特殊问题

与单回线路相比,同杆平行双回线路的故障有以下特点:

- 1) 发生故障时不仅故障线路有故障电流流入故障点,平行的另一回线也有故障电流通过。
- 2) 同杆并架双回线之间的距离较近,除每一回

线上可能发生各种类型故障以外,两回线间也可能发生跨线故障。单回线的故障类型有11种,而同杆并架双回线的故障类型多达120种。在这些故障中,接地故障种类占52.5%,跨线故障种类约占全部故障种类的82%。其中,单回线发生故障的机率在80%以上。

3) 不但同一回线相间存在互感,而且双回线之间也有互感存在。当发生接地故障时,双回线上的母线残压不仅决定于本线电流,而且还受邻线零序电流的影响,影响零序电流保护、接地距离保护的动作范围。双回线的换位方式对双回线之间耦合的强弱有影响^[2]。双回线间的负序和正序互感数值很小,通常都被忽略了。

4) 平行双回线路有双回线同时运行、单回线运行、双线组合全相运行(准三相运行)、两线(或单回线)非全相运行等许多运行方式^[4]。不同的运行方式下,双回线之间的互感变化很大,对故障电压和故障电流的影响也很大。

2 同杆平行双回线路保护的现状

平行双回线路保护从原理上看,主要有:分相电流差动保护、相继速动保护、距离纵联保护、横联差动保护等。

2.1 分相电流差动保护

随着通信技术的日益成熟,分相电流差动保护在电力系统中得到了广泛的应用。分相电流差动保护按相进行两侧电流幅值及相位的比较,线路两侧同时按相切除故障相。分相电流差动保护具有原理简单、不需要PT输入、不受系统振荡及负荷的影响、对全相和非全相运行中的故障均能正确选相并跳闸

等优点。对于同杆平行双回线的跨线故障,分相电流差动保护能实现正确选相并跳闸。因此,在通道条件允许的情况下,应首先选择分相电流差动保护。

通道的安全性和可靠性及传输容量是分相电流差动保护使用的先决条件。分相电流差动保护传输信号的通信方式主要有两种:微波通道和光纤通道^[5]。具体采用哪一种通信方式取决于线路的长短和系统本身的通信条件。一般说来,短线路保护通常都采用专用光纤通道,而对于长线路通常采用复用光纤或微波通道。

分相电流差动保护两端电流同步采样问题是其应用中的一个关键问题。目前两端电流的同步方法有两种:“乒乓”时间调整技术和利用 GPS 实现同步。

对于超高压长线路,分相电流差动保护要考虑电容电流的补偿问题。

2.2 相继速动保护

相继速动保护通常是在单回线路距离保护的基础上,增加一些新的功能,实现相继速动。相继速动保护保留了距离保护的独立性,它的优点是经济、维护方便。

如 LFP-941 型微机保护。其工作原理是:在双回线两侧都配置 LFP-941 型微机保护,并设置相继速动功能,各保护将距离 I 段启动信号 FXL 接至另一回线保护的相应端子,用来闭锁另一回线保护距离 II 段“相继速动”回路。“相继速动”动作的条件是:本保护距离 I 段启动;收到另一回线的 FXL 信号,随后 FXL 信号消失;距离 II 段启动信号经固定的小延时不返回。

双回线相继速动保护在线路末端发生短路故障时,切除故障需要一定的延时,因此只应用于中、低压线路上或故障对系统稳定性影响较小的线路上。

2.3 距离纵联保护

距离纵联保护主要是为了解决双回线装设传统距离保护的情况下,在线路末端发生两非同名相跨线故障时,两回线保护均判断为相间故障而同时切除三相的问题。如 CKI-3 型距离保护(需要一个通道)和 TLS 距离保护(需要两个通道)。

以 N 端附近发生跨线故障 B-C(如双回线路系统图图 1)为例。

CKI-3 型距离保护 M 端保护用 I 回线的方向元件和 3 段 BC 相间距离元件闭锁 I 回线的 2 段 BC 相间距离元件,当 N 侧保护动作切除单相故障后,

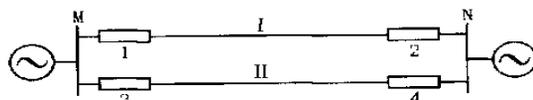


图 1 双回线路系统图

Fig. 1 Systematic diagram of parallel transmission lines

闭锁才通过通道解除,实现相继动作。对 I 回线情况相同。

TLS 距离保护单相通道 1P 和三相通道 3P 分开。以允许式分析,N 侧发单相信号;M 侧判断为 BC 相间故障,发三相信号。跳三相的条件是本侧发三相信号,并收到对侧三相信号。

随着通讯技术的发展,也有应用 4 个通道的距离纵联保护。这样以来还可以实现故障选相。

2.4 横联差动保护

在中、低电压等级平行双回线路上,横联差动保护得到了广泛应用。横联差动保护的优点是不需要通道、构成及运行维护简单,缺点是存在相继动作区、单回线运行时保护退出运行。横联差动保护可分为横联方向差动保护和电流平衡保护。横联方向差动保护是根据短路电流的大小和方向来选择故障线路。电流平衡保护是比较两回线中电流的幅值,以双回线差电流作为动作量,以双回线和电流作为制动量,当动作量大于制动量时保护动作。电流平衡保护的缺点是弱馈侧灵敏度不足。它们共同的缺点是在双回线发生同名相跨线短路时拒动。

我国电力系统中应用的横联方向差动保护有:ISA-285A 型微机横联差动电流方向保护装置、LFP-967A 型方向横差保护等。微机型横联方向差动保护在原理上与传统的横联方向差动保护基本一致。

微机型横联方向差动保护有很强的逻辑判断功能,可以通过延时和逻辑判断来防止单回线运行、线路与母联断路器不同期跳闸、双回线运行对侧一回线断路器跳闸引起的保护误动^[6]。

同横联方向差动保护相比,电流平衡保护由于不需要输入电压量,在我国的电力系统中也广泛应用,如 LFP-967B 型电流平衡保护。

3 平行双回线路重合闸的现状

平行双回线路重合闸方式比单回线路重合闸方式复杂。平行双回线路重合闸方式根据运行方式和故障类型有以下几种情况:单回线运行时,实现综合重合闸或三相重合闸;双回线运行时其中一回线路发生故障,根据对系统和保护装置的影响

及是否有利于提高系统的稳定性,可选择综合重合闸方式或按相重合闸方式;双回线运行时发生跨线故障实现按相重合闸。按相重合闸后一般尽量使两回线形成准三相运行方式,这样导致重合闸的逻辑回路比较复杂^[10]。

双侧电源时重合闸条件的选择:检母线无压、检同期、检另一回线有电流。检母线无压和检同期的工作原理和双侧电源单回线路时一样。检另一回线有电流方式是当双回线路其中一回发生故障跳闸后,通过检查另一回线是否有负荷电流来决定是否重合闸。该方式在双回线分列运行及单回线运行时不能使用,而且要躲过线路的电容电流。通常该方式和其他方式配合使用。

重合闸时间的整定除了考虑保护动作时间、断路器动作时间及消弧时间以外,还要考虑下面的特殊情况:双回线运行时,发生跨线故障,两回线路保护均正确动作,为防止两回线均重合于故障线路,造成对发电机组短时间内的两次冲击,通常两回线重合具有适当的时间差,即当发生跨线故障时,若两回线均为单相故障,人为规定一回线先重合,另一回线后重合,而且先重合线路重合于故障,后重合线路不再重合。先后重合的时间差,必须躲过断路器固有合闸时间、故障点再燃弧时间以及重合闸后加速保护动作时间之和。

4 平行双回线路保护的最新研究动态

平行双回线路保护需要解决的特殊问题是双回线之间的互感对保护的影响及反应同杆架设时的跨线故障。最近几年平行双回线路保护的研究主要体现在自适应继电保护和神经网络的应用。

自适应继电保护是能根据电力系统运行方式和故障状态的变化而实时改变保护性能、特性或定值的保护。文献[16]分析研究了自适应电流速断保护在平行双回线路上的应用。经仿真验证认为自适应电流速断保护应用在平行双回线路上,保护范围受系统运行方式影响较小,在双侧电源条件下保护性能得到了改善。

文献[17]分析了应用在平行双回线路上的距离保护,利用两回线两侧的零序电流来进行补偿得到准确的测量阻抗。但由于通道的原因,零序电流并不是总能被测量。针对这一问题提出了一种应用在平行双回线上的自适应距离保护方案。不同的运行方式采用不同的补偿系数。文章还进行了详细的仿真,并给出了补偿系数设定的原则。

文献[18]提出了一种更完善的自适应距离保护方案。该方案针对利用零序电流补偿的距离保护非故障线路可能误动这一问题,提出了零序电流比率(本线路的零序电流比另一回平行线的零序电流)的概念。当零序电流比率大于1时,计算阻抗时不进行补偿。该方案还提出根据输入信号的情况自适应调整保护的性能。

文献[19]提出了在平行双回线两端分别只用一套保护来实现100%保护范围的距离保护。该保护装置的输入信号为三相电压和两回线路的三相电流,通过计算两回线路的每相的阻抗来判别故障。当一回线路退出运行时输入三相电压和三相电流,因此可以反映线路的运行方式。

人工神经网络(ANN)是由多个神经元连接而成用以模拟人脑行为的网络系统,是一种与传统方法不同的信息处理工具,很适用于处理模式识别与人工智能中用传统方法难以解决的一些问题。文献[20]提出了一种基于神经网络的双回线自适应接地距离保护。该方案通过神经网络来估算零序电流补偿系数提供给距离保护。文献[10]提出了一种应用神经网络进行同杆并架双回线故障诊断的方法。该方法利用两个神经网络来进行故障诊断,神经网络1输入量为6个相电流,神经网络2输入量为两条线路的负序分量。用神经网络1判断故障类型,神经网络2判断故障线路。

5 结论

本文综述了同杆平行双回线路保护及自动重合闸的现状与研究动态。应该说,现有的同杆平行双回线路保护及自动重合闸装置已基本满足电力系统的要求。随着电子技术、计算机技术和通信技术的发展,原理和功能越来越完善的继电保护装置不断地出现。同样,同杆平行双回线保护的原理和功能也将越来越完善,主要发展趋势有以下几方面:

1) 同杆平行双回线路运行方式复杂、故障类型多样,而自适应继电保护是尽可能适应系统运行方式和故障状态的变化来改善保护的性。所以,自适应继电保护将越来越多地应用在同杆平行双回线路保护和重合闸中。

2) 人工神经网络具有自学习和自适应能力,十分适合解决同杆平行双回线路保护问题。但目前人工神经网络在继电保护的应用研究集中在算法的研究上。人工神经网络在电力系统继电保护中应用的可靠性问题也妨碍人工神经网络在继电保护领域的

应用^[21]。所以说,人工神经网络应用在同杆平行双回线路尚有许多工作要做。

3) 同杆平行双回线路的反向量与双回线以外的系统参数无关且仅在故障时出现。可以利用反向量来进行故障识别、选相、故障测距等。

4) 随着电网间联系日益紧密,在满足系统稳定要求的前提下,尽可能简化自动重合闸。

参考文献:

- [1] 葛耀中,陶惠良,索南加乐 (GE Yao-zhong, TAO Hui-liang, SUONAN Jia-le). 同杆双回线的故障特点和继电保护问题 (Protective Relay and Fault Characteristic of Double Circuit Lines on Same Tower) [J]. 电力自动化设备 (Electric Power Automation Equipment), 1989, 9(2): 8-17.
- [2] 钱鑫,谢鹏,李琥,等 (QIAN Xin, XIE Peng, LI Hu, et al). 故障类型及换位方式对同杆双回线回路间耦合影响的研究 (Influence of Fault Types and Different Transposition Forms on Coupling Between Two Circuit on Same Tower) [J]. 电网技术 (Power System Technology), 2002, 26(10): 18-20.
- [3] 张华贵 (ZHANG Hua-gui). 220~500 kV 同杆双回继电保护及重合闸 (Relay Protection and Reclosure for 220~500 kV Double-circuit Lines on One Pole) [J]. 继电器 (Relay), 1996, 24(2): 17-20.
- [4] 赵希正,等 (ZHAO Xi-zheng, et al). 220 kV 同杆并架线的保护方式问题 (Protective Scheme of Double Circuit Lines on Same Tower) [J]. 继电器 (Relay), 1988, 16(2): 19-27.
- [5] 王颖,王玉东 (WANG Ying, WANG Yu-dong). 超高压线路纵联保护配置方案 (Configuration Scheme of Super-high Voltage Line Pilot Protection) [J]. 电力系统自动化 (Automation of Electric Power Systems), 2002, 26(22): 62-65.
- [6] 宋斌,陈玉兰,徐秋林,等 (SONG Bin, CHEN Yu-lan, XU Qiu-lin, et al). 微机横联差动电流方向保护装置 (Design of Microprocessor-based Transverse Differential Current Directional Protective Device) [J]. 电力系统自动化 (Automation of Electric Power Systems), 2003, 27(10): 85-88.
- [7] Richards S H, Potts S, Robinson N, et al. GPS(全球定位系统)同步电流差动保护的应用 (Application Benefits of GPS Synchronised Current Differential Protections) [J]. 国际电力 (International Electric Power for China), 2002, 6(3): 43-47.
- [8] 卢志立,闵峥,李晨 (LU Zhi-li, MIN Zheng, LI Chen). 110 kV 线路微机保护的应用技巧 (A Discussion of an Applied Technique for 110 kV Transmission Line Microcomputer based Protection) [J]. 电力学报 (Journal of Electric Power), 1998, 13(2): 115-118.
- [9] 黄震,沈其瑜,李天华,等 (HUANG Zhen, SHEN Qi-yu, LI Tian-hua, et al). 同杆双回线跨线故障继电保护方案研究 (Research of Protective Relay for Fault Occurred Simultaneously in Different Circuit of Double Circuit Lines on Same Tower) [J]. 四川电力技术 (Sichuan Electric Power Technology), 2002, 25(1): 11-15.
- [10] Eissa M M, Malik O P. A New Digital Directional Transverse Differential Current Protection Technique [J]. IEEE Trans on Power Delivery, 1996, 11(3): 1285-1291.
- [11] 孙英凯,李永丽,李铁男 (SUN Ying-kai, LI Yong-li, LI Tie-nan). 神经网络用于同杆并架双回线故障诊断的方法 (A Fault Detective Method of Double-circuit Lines with Neural Network) [J]. 电力系统及其自动化学报 (Proceedings of the EPSA), 1999, 11(3): 51-57.
- [12] 黄益庄,李春光 (HUANG Yi-zhuang, LI Chun-guang). 微处理机方向横差保护装置的研究与应用 (Study and Application of Directional Transverse Differential Relaying Protection Device by Microprocessors) [J]. 清华大学学报 (自然科学版) (Journal of Tsinghua University, Natural Science), 1997, 37(1): 45-48.
- [13] 陈松林,吴银福 (CHEN Song-lin, WU Yin-fu). 一种利用微机实现的平行线路横差保护方案 (A Transverse Differential Relaying Protection Scheme by Microprocessor) [J]. 继电器 (Relay), 1999, 27(5): 33-34.
- [14] 吴永刚,思晓兰,张惠芳 (WU Yong-gang, SI Xiao-lan, ZHANG Hui-fang). 330 kV 同杆并架双回线继电保护优化配置及应用 (Optimizing Protection Configuration of 330 kV Double Transmission Line on Same Tower) [J]. 电力系统自动化 (Automation of Electric Power Systems), 2001, 25(9): 64-66.
- [15] 温武臣 (WEN Wu-chen). 双电源平行双回线路重合闸的设置方式 (Location of Reclosure for Double Circuit Lines in the Two-source System) [J]. 西北电力技术 (Northwest Electric Power Technology), 1998, (2): 49-52.
- [16] 葛耀中 (GE Yao-zhong). 新型继电保护与故障测距原理与技术 (The Theory and Techniques of New Types of Protective Relaying and Fault Location) [M]. 西安:西安交通大学出版社 (Xi'an: Xi'an Jiaotong University Press), 1996.
- [17] 刘浩芳,葛耀中,刘俊岭,等 (LIU Hao-fang, GE Yao-zhong, LIU Jun-ling, et al). 自适应电流速断保护在双回线中的应用 (Application of Adaptive Current Fast-tripping Protection on Double-circuit Lines) [J]. 电力系统自动化 (Automation of Electric Power Systems), 2002, 26(10): 54-58.
- [18] Jongepier A G, VanderSluis A. Adaptive Distance Protection of a Double-circuit Line [J]. IEEE Trans on Power De-

- livery, 1994, 9(3) :1289-1297.
- [19] Hu Y, Novosel D, Saha M M, et al. An Adaptive Scheme for Parallel-line Distance Protection [J]. IEEE Trans on Power Delivery, 2002, 17(1) :105-110.
- [20] Eissa M M, Masoud M. A Novel Digital Distance Relaying Technique for Transmission Line Protection [J]. IEEE Trans on Power Delivery, 2001, 16(3) :380-384.
- [21] 蔡超豪 (CAI Chao-hao). 基于神经网络的双回线自适应接地距离保护 (An Adaptive Ground Distance Protection for Double-circuit Lines Based on Neural Network) [J]. 东北电力技术 (Northeastern Electric Power Technology), 1997, (9) :17-20.
- [22] 聂一雄, 尹项根 (NIE Yi-xiong, YIN Xiang-gen). 人工智能与模糊控制在电力系统继电保护应用的研究现状及前景 (Present Situation and Developing Prospect of Artificial Intelligence and Fuzzy Control in Power System Protection Relay) [J]. 继电器 (Relay), 2000, 28(5) :1-5.
- [23] 俞波 (YU Bo). 超高压同杆并架双回线路微机保护的研究 (博士学位论文) (Research on Microprocessor-based Protective Relay for EHV Double Circuit Lines on Same Tower, Doctoral Dissertation) [D]. 北京: 华北电力大学 (Beijing: North China Electric Power University), 2002.

收稿日期: 2004-03-29; 修回日期: 2004-06-17

作者简介:

康小宁 (1968 -), 男, 副教授, 研究方向为电力系统自动化和继电保护技术;

梁振锋 (1974 -), 男, 硕士研究生, 研究方向为电力系统继电保护。E-mail: Lzf-9999@163.com

Survey on the protective relaying and autoreclosure for double-circuit lines on the same pole

KANG Xiao-ning, LIANG Zhen-feng

(School of Electrical Engineering, Xi'an Jiaotong University, Xi'an 710049, China)

Abstract: Double-circuit transmission lines on the same pole (DLSP) are widely used on transmission systems due to its economy and large transmission capacity over single-circuit line. With the influence of mutual coupling between two circuits and the complexity of fault types, the existing protection techniques for double-circuit transmission lines are different from that for single-circuit lines. Based on analyzing the fault characteristic of double-circuit transmission lines, this paper summarizes principle and characteristic of protection techniques for DLSP, including current differential protection, mutual speed-up protection, pilot distance protection, transverse differential protection, and the automatic reclosing of double-circuit transmission lines. The prospects of protection development are described.

Key words: double-circuit transmission lines; relay protection; automatic reclosing; survey

(上接第 68 页 continued from page 68)

- [5] 高厚磊, 等 (GAO Hou-lei, et al). 数字电流差动保护中几种采样同步方法 (Sampling Synchronization Methods in Digital Current Differential Protection) [J]. 电力系统自动化 (Automation of Electric Power Systems), 1996, 20(9) :46-49.

作者简介:

王尔寒 (1975 -), 男, 硕士研究生, 工程师, 主要从事电力系统继电保护的研究与设计; E-mail: wangerhan@xjgc.com

王强 (1969 -), 男, 硕士研究生, 高级工程师, 主要从事电力系统继电保护的研究与设计;

路光辉 (1969 -), 男, 硕士, 工程师, 主要从事电力系统继电保护的研究与设计。

收稿日期: 2004-03-30; 修回日期: 2004-04-27

Brief analysis of voltage effect on HV differential protection based on channel of optical fiber

WANG Er-han¹, WANG Qiang¹, LU Guang-hui¹, SANG Zhong-qing¹, HU Ye-bin¹, ZHAO Li²

(1. XJ Electric Corporation Protection Department, Xuchang 461000, China;

2. XJ Electric Corporation Automatization Department, Xuchang 461000, China)

Abstract: Aiming at the limitation of conventional voltage, the paper gives some new methods and details its advantage in the logic of differential protection. The other applications of voltage are briefly explained. It can improve performance of equipment with voltage correctly using.

Key words: differential protection based on channel of optical fiber; voltage; CT break; compensation of capacitive current; distance measurement