

文章编号: 1006-4710(2012)04-0444-05

# 数字化变电站同杆并架平行双回线路保护的研究

梁振锋<sup>1</sup>, 宋国兵<sup>2</sup>, 康小宁<sup>2</sup>, 索南加乐<sup>2</sup>

(1. 西安理工大学 水利水电学院, 陕西 西安 710048; 2. 西安交通大学 电气工程学院, 陕西 西安 710049)

**摘要:** 分析了单回线保护应用于同杆并架平行双回线路时存在的问题, 提出了数字化变电站条件下同杆并架平行双回线路的两种保护方案。一种是将另一回线的电流量引入到本回线保护装置中, 第二种是在集中式保护或平行双回线路保护中将双回线作为一个整体实现保护功能。给出了两种方案的构成及保护功能配置, 讨论了两种方案的采样值传输和通用面向对象变电站事件(GOOSE)传输实现。展望了实施新方案需要开展的研究工作。

**关键词:** 电力系统; 数字化变电站; 同杆并架平行双回线路; 继电保护

**中图分类号:** TM773      **文献标志码:** A

## Research on The Protective Relaying for Double - Circuit Lines on The Same Tower in Digital Substation

LIANG Zhenfeng<sup>1</sup>, SONG Guobing<sup>2</sup>, KANG Xiaoning<sup>2</sup>, SUONAN Jiale<sup>2</sup>

(1. Faculty of Water Resources and Hydroelectric Engineering, Xi'an University of Technology, Xi'an 710048 China;

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

**Abstract:** The existing problem is analyzed when the single circuit line protection is used in the double-circuit lines on the same tower. This paper suggests two kinds of novel protective relaying schemes for the double-circuit lines on the same tower under the condition of digital substation. One scheme is to send the current sampling value of the single circuit transmission line to the protective relaying of other single circuit transmission line, and the other scheme is to take the double-circuit lines as a complete unit to achieve the relaying function in centralized protection or the double-circuit lines protective relaying. Also, this paper advances the structure of two schemes and protection configuration and discusses the sampling value transmission and generic object oriented substation event (GOOSE) information of the proposed schemes. Finally, this paper reviews the research work on the implementation of new schemes.

**Key words:** power system; digital substation; double-circuit lines on the same tower; protective relaying

目前,同杆并架平行双回线路得到了广泛的应用,其保护也得到了更进一步地研究与发展<sup>[1-3]</sup>。常规变电站中,为简化二次回路接线,配置保护时通常将双回线当作两条单回线来考虑<sup>[4]</sup>。两回线保护之间不进行信息的交换和联系。但同杆并架平行双回线运行方式复杂,存在线间互感及跨线故障,以单回线为单元配置保护难以满足要求。数字化变电站的建设为继电保护的发展带来了新机遇。以数字化变电站为基础的集中式保护能充分利用全站信息,实现信息与数据的共享,改善保护性能<sup>[6]</sup>。如:

利用相邻线路的信息,实现本线路保护的可靠闭锁或快速动作。从这一角度出发,在数字化变电站条件下,同杆并架平行双回线路保护若能充分利用双回线的信息,则能有效改善性能,解决现有保护存在的问题。

数字化变电站通常是分阶段逐步实现的<sup>[7]</sup>。本研究首先讨论了常规变电站中同杆并架平行双回线路保护存在的问题和数字化变电站对继电保护的影响。针对不同阶段数字化变电站的特点,提出了两种同杆并架平行双回线路保护方案。给出了两种

收稿日期: 2012-09-10

基金项目: 国家自然科学基金重点项目基金资助项目(51037005)。

作者简介: 梁振锋(1974-),男,陕西韩城人,讲师,研究方向为电力系统继电保护。E-mail: lzf@xaut.edu.cn。

方案的构成及保护功能配置,讨论了两种方案的采样值传输和通用面向对象变电站事件(GOOSE)传输实现方案。最后,展望了实施新方案需要开展的研究工作。

## 1 同杆并架平行双回线路保护存在问题

目前,同杆并架平行双回线保护存在的问题有:

### 1) 分相电流差动保护

分相电流差动保护是高压同杆并架平行双回线的主保护。对于跨线故障,它也能正确选相。但它必须依靠通道,不仅增加了成本及维护费用,而且降低了保护的可靠性。另外,依靠单回线信息,线间电容电流不易补偿,影响分相电流差动保护的灵敏度<sup>[8]</sup>。

### 2) 距离保护

由于存在线间零序互感,以单回线电流和母线电压构成的距离保护可能出现超越动作或灵敏度降低<sup>[9-10]</sup>。为了解决这一问题,研究者进行了大量研究。在现有保护装置中,通常采用相继速动模块实现全线范围内单回线故障的快速切除<sup>[11]</sup>。当线路一侧出口跨线故障时,远端保护所感受到的故障特征与单回线相间故障无异,保护要区分本回线故障相和另一回线故障相存在的困难<sup>[12-13]</sup>。

### 3) 零序纵联方向保护

同杆并架平行双回线路一回线发生接地故障,在另一回线上会感应出零序电势,产生零序电流。该零序电流可能使零序电流方向保护失去方向性,出现误动<sup>[14-15]</sup>。

总之,现有解决同杆并架平行双回线保护问题的方法有两类:一类通过改善单回线保护性能实现,但并没有从根本上消除线间零序互感的影响。另一类通过引入另一回线路信息实现。在常规变电站中,降低了保护可靠性。因而,常规变电站中的平行双回线路保护性能并不理想。

## 2 数字化变电站对继电保护的影响

常规变电站保护装置包括模拟量输入、微型机主系统、开关量输入输出等几部分。其中,模拟量输入系统连接于常规互感器二次侧引出的电缆,将模拟量引入二次设备。A/D转换后经CPU分析处理实现保护测控功能。开关量输入输出信号也经控制电缆连接于一次设备。

数字化变电站分为过程层、间隔层和站控层,在实际应用中通常采用三种典型结构<sup>[7]</sup>即:

①变电站层和间隔层采用 IEC61850 标准,过程

层采用常规一次设备,保护与互感器的连接采用点对点硬接线方式。

②常规一次设备加装模拟式输入合并单元和智能控制单元,保护通过合并单元与互感器连接,间隔层和过程层实现数字化。

③变电站层、间隔层和过程层全部实现数字化。数字化变电站对保护的影响主要体现在两方面,即:数据采集及转换由过程层完成,利用高速数据接口取代了数据采集系统,保护可通过通信网络获取全站信息;保护的跳闸、信号等开出量也由过程层完成。保护通过网络发布命令,由一次设备的执行器执行操作。

## 3 同杆并架平行双回线路保护新方案

### 3.1 保护配置方案

依据不同阶段的数字化变电站条件,本研究提出了两种同杆并架平行双回线路保护方案。方案1针对第II种典型结构。方案1与现有的技术规程及保护配置方案相一致,可作为过渡方案。方案2针对第III种典型结构,为最终方案。

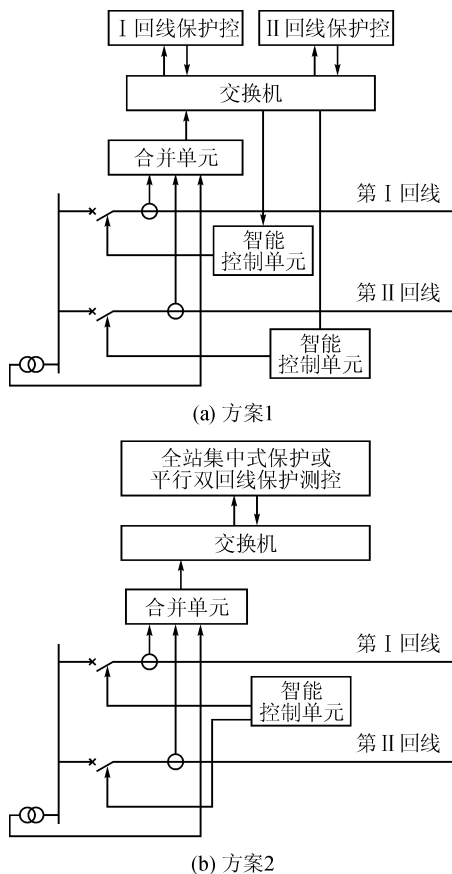


图1 平行双回线路保护硬件构成

Fig. 1 Hardware structure of protection relaying for double-circuit transmission lines

如图1(a)所示,方案1在间隔层以单回线为单元配置相对独立的保护测控装置,但每回线保护除了能获取母线电压和本回线三相电流外,还能获取另一回线三相电流。保护功能配置以单回线保护为基础,其中接地距离保护、零序电流保护、零序纵联保护等与零序电流有关的保护利用另一回线零序电流进行补偿,以改善保护性能。方案1中I回线保护测控装置和II回线保护测控装置的跳合闸逻辑各自独立完成。

如图1(b)所示,方案2将两回线作为一个整体配置一套保护或作为集中式保护的一个模块,可适用同杆并架平行双回线的各种运行方式。实际上,在故障特征研究方面,同杆并架平行双回线路往往被作为一个整体予以分析。文献[3]将同杆双回线作为一个整体,利用六序故障分量法分析其故障特征。文献[16-17]利用复合序网分析同杆双回线故障时也是将其作为一个整体来考虑。文献[3, 8-22]提出的选相方法、保护方案、重合闸方案及测距方法都是将双回线作为整体实现的。由此可见,将同杆并架平行双回线作为整体实现保护功能已有一定的理论基础。

方案2利用母线电压和两回线电流信息实现保护功能。具体保护功能配置为:3~10 kV的平行双回线路配置电流平衡保护、和电流保护及每回线的电流保护。35~66 kV的平行双回线路配置横联差动保护、距离保护。110 kV及以上电压等级平行双回线路配置横联差动保护、全线速动保护作为主保护,配置距离保护、零序电流保护作为后备保护。这一方案中的全线速动保护、距离保护、零序电流保护等,在实现时均将双回线作为一个整体考虑。

### 3.2 与互感器的连接方式及采样值传输模式

新保护方案需引入双回线的电流量采样值。为简化二次回路接线,保护与互感器间不宜采用点对点硬接线方式,即不宜应用第I种典型结构构成。新方案须通过合并单元连接,并按照IEC 61850-9-1/2进行通信。

新方案的采样值传输基于发布者/订阅者机制通信过程。在方案1中由发布方的采样值控制(SVC)模块进行控制。发布方与订户之间的采样值交换选择多播采样值控制块,允许一个发布方与多个订户之间交换数据。方案2中的发布方与订户之间的采样值交换法选择单播采样值控制块(USVCB),采用单播的传输方式仅允许一个发布方与一个订户之间交换数据。

### 3.3 GOOSE跳闸信息传输方案

数字化变电站中保护动作跳闸通过通用面向对象变电站事件(GOOSE)信息传输至智能控制单元实现。方案1的自动重合闸方式仍按单回线考虑,根据系统情况选择单相重合闸方式或三相重合闸方式。方案2的自动重合闸可采用按相重合闸方式,以尽可能提高系统并列运行稳定性和供电可靠性<sup>[18]</sup>。不同重合闸方式,GOOSE信息的内容不同。本研究重点介绍方案2的GOOSE信息传输方案<sup>[23]</sup>,其步骤为:

步骤1:保护向下发送GOOSE报文,确定当前输电线路智能开关的状态。

步骤2:控制单元检测输电线路智能单元状态量,向间隔层双回线保护单元发送GOOSE报文传送状态量信息。

步骤3:区内故障时,保护根据智能开关状态及母线电压、双回线电流实现保护功能,并根据重合闸方式,确定保护动作行为,发送GOOSE报文到智能控制单元通知跳闸。智能控制单元发送GOOSE报文对智能开关发出跳闸指令。

步骤4:智能开关跳闸后,智能控制单元发送GOOSE报文确定当前输电线路智能开关的新状态。

步骤5:保护单元接收到智能开关的新状态确认跳闸成功。

### 3.4 双回线路保护流程图

图2为方案2保护的流程图。流程图中各个模块的工作情况说明为:

1) 模块①利用断路器的位置状态及双回线各相电流识别双回线运行方式。当断路器的位置状态与相电流判据不对应时,可判为发生断线故障,根据预先的整定进行跳合闸操作。

2) 当运行方式为双回线同时运行时,采用模块②实现保护功能。模块②将双回线作为整体实现保护功能,重合闸方式选择为按相重合。

3) 当一回线路停运时,采用模块③实现保护功能,与单回线路保护相同。

4) 模块④实现其它运行方式时的保护功能,如IBCIIABC、IAIIBC(准三相运行方式)等,需要考虑三相不平衡对保护的影响。

## 4 需要进一步研究的问题

将同杆并架平行双回线作为一个整体配置保护,目前仍有很多问题需要研究,比如:

1) 对于超/特高压远距离输电长线,分布电容电流将达到很高的水平,影响分相电流差动保护的

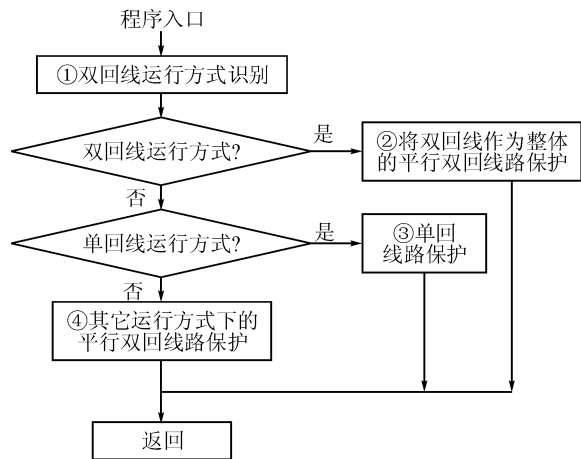


图2 平行双回线路保护流程图

Fig. 2 Flow chart of protection relaying for double-circuit transmission lines

可靠性和灵敏度。但目前分布电容电流的补偿,仅考虑单回线路或仅用双回线中一回线路信息进行补偿<sup>[8]</sup>,需要开展利用双回线的信息补偿分布电容电流的研究。

2) 对平行双回线路距离保护的研究,大多从改进单回线路距离保护的角度分析和讨论。文献<sup>[19]</sup>提出的基于双回线路信息的六相序阻抗距离保护方案,尚未得到实践验证。基于双回线路信息的距离保护,包括启动元件、选相元件、阻抗元件等都需要研究。

3) 同杆并架平行双回线横联差动保护不需要通道,构成及运行维护简单<sup>[20]</sup>。但传统的横联差动保护未考虑跨线故障或在非全相运行时退出运行。

4) 将双回线作为整体的零序电流保护如何实现尚未解决。

5) 智能断路器的智能控制单元是以单台断路器为对象实现控制的。采用方案2时,智能控制单元的设置与性能需要进一步研究。

6) 通常情况下220 kV及以上的断路器允许单相跳闸,但不允许跳两相,即若两相相间或接地故障时,保护动作跳三相。而方案2中采用按相重合闸,故障时跳开故障相,存在单回线两相故障跳两相的要求。因此断路器的跳闸逻辑需要修改。

## 5 结论

同杆并架平行双回线路由于线间存在零序互感、跨线故障,因此基于单回线配置的保护难以满足要求。数字化变电站信息与数据共享的优势为解决同杆并架平行双回线路保护存在的问题提供了契

机。本研究提出了两种能够适应同杆并架平行双回线路各种不同运行方式的保护方案,给出了保护配置及采样值传输方案、GOOSE跳闸信息传输方案,并且讨论了新方案需要开展的研究工作。

## 参考文献:

- [1] 葛耀中. 新型继电保护与故障测距原理与技术[M]. 西安:西安交通大学出版社,2007.
- [2] 康小宁,梁振锋. 同杆平行双回线路保护及自动重合闸综述[J]. 继电器,2004,32(23):72-76.  
Kang Xiaoning, Liang Zhenfeng. Survey on the protective relaying and autoreclosure for doublecircuit lines on the same tower[J]. Relay, 2004, 32(23):72-76.
- [3] 索南加乐. 同杆双回线的故障分析及继电保护[D]. 西安:西安交通大学,1991.  
Suonan Jiale. Fault analysis and protective relaying of parallel lines on the same tower[D]. Xi'an: Xi'an Jiaotong University, 1991.
- [4] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局, 中国国家标准化管理委员会. 继电保护和安全自动装置技术规程, GB/T 14285-2006[S]. 北京: 中国标准出版社, 2006.
- [5] 吴国阳,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(10):15-18.  
Wu Guoyang, Wang Qingping, Li Gang. Study of centralized protection based on digital substation[J]. Power System Protection and Control, 2009, 37(10):15-18.
- [6] 韩伟,杨小铭,仇新宏,等. 基于数字化采样的集中式保护装置[J]. 电力系统自动化,2010,34(11):101-104.  
Han Wei, Yang Xiaoming, Qiu Xinhong, et al. Integrated protection device based on digital sampling technology[J]. Automation of Electric Power Systems, 2010, 34(11):101-104.
- [7] 孟凌峰,袁文广,于泳,等. 浅析数字化变电站的工程实施方案[J]. 电力系统保护与控制,2009,37(8):86-88.  
Meng Lingfeng, Yuan Wenguang, Yu Yong, et al. Discussion on engineering solution of digital substation[J]. Power System Protection and Control, 2009, 37(8):86-88.
- [8] 索南加乐,杨铨,杨忠礼,等. 用于同杆双回线保护的时域电容电流的分相补偿方法[J]. 中国电机工程学报, 2010, 30(5):77-81.  
Suonan Jiale, Yang Cheng, Yang Zhongli, et al. Study of time-domain compensation algorithm of capacitive current for parallel transmission lines protection[J]. Proceedings of the CSEE, 2010, 30(5):77-81.
- [9] 宋国兵,刘志良,康小宁,等. 一种同杆并架双回线接地距离保护方案[J]. 电力系统保护与控制,2010,38(12):102-106.  
Song Guobing, Liu Zhiliang, Kang Xiaoning, et al. A scheme for ground distance protection of parallel transmission lines[J]. Power System Protection and Control, 2010, 38(12):102-106.
- [10] 张健康,粟小华,胡勇. 750 kV 同塔双回线接地距离保护整定计算[J]. 电力系统自动化,2009,33(22):102-105.

- Zhang Jiankang, Su Xiaohua, Hu Yong. Setting calculation of ground distance protection for 750 kV double circuit lines on the same tower[J]. Automation of Electric Power Systems, 2009,33(22):102-105.
- [11] 程文君,郑玉平,张哲,等.一种新的双回线单端相继速动保护的实现[J].电力系统自动化,2008,32(6):61-65.  
Cheng Wenjun, Zheng Yuping, Zhang Zhe, et al. Implementation of a new one-ended mutual speed-up protection for double-circuit transmission lines[J]. Automation of Electric Power Systems,2008,32(6):61-65.
- [12] 陈福锋,钱国明.基于同杆双回线跨线故障识别的选相方案[J].电力系统自动化,2008,32(6):66-70.  
Chen Fufeng, Qian Guoming. Research on fault phase selector of protective relay for double circuit lines based on crossing-line fault identifying[J]. Automation of Electric Power Systems, 2008, 32(6): 66-70.
- [13] 杨忠礼,宋国兵,姚永峰,等.基于跨线故障判别的平行双回线路选相方案[J].西安交通大学学报,2011,45(2):97~101.  
Yang Zhongli, Song Guobing, Yao Yongfeng, et al. Fault phase selector of protective relay for cross country fault on double circuit lines[J]. Journal of Xi'an Jiaotong University,2011, 45(2): 97-101.
- [14] 蒋苏静,毕天姝,徐振宇,等.平行双回线路纵联零序方向误动原因分析及负序功率方向研究[J].电力系统保护与控制,2009,37(24):21-26.  
Jiang Sujing, Bi Tianshu, Xu Zhenyu, et al. Analysis of the reason of pilot zero sequence directional protection mal-function and study of negative sequence directional element on parallel double-circuit lines[J]. Power System Protection and Control,2009,37(24):21-26.
- [15] 曾耿辉,黄明辉,刘之尧,等.同杆线路纵联零序保护误动分析及措施[J].电力系统自动化,2006,30(20):103-107.  
Zeng Genghui, Huang Minghui, Liu Zhiyao, et al. Maloperation analysis and its countermeasures of pilot zero-sequence directional relay for double-circuit transmission lines on single tower[J]. Automation of Electric Power Systems,2006,30(20):103-107.
- [16] 李博通,李永丽,李洪波,等.同杆双回线断线故障复合序网分析法[J].电力系统自动化,2010,34(8):76-80.  
Li Botong, Li Yongli, Li Hongbo, et al. New method for break-conductor fault analysis on double-circuit transmission lines based on interconnection of sequence networks [J]. Automation of Electric Power Systems, 2010, 34(8):76-80.
- [17] 李博通,李永丽,李洪波,等.同杆双回线短路故障复合序网分析法[J].电力系统自动化,2010,34(9):53-58.  
Li Botong, Li Yongli, Li Hongbo, et al. New method for short-circuit fault analysis on double-circuit transmission lines based on interconnection of sequence networks [J]. Automation of Electric Power Systems, 2010, 34(9):53-58.
- [18] 刘家军,梁振锋,张欣伟,等.同杆平行双回线路按重合闸新方案[J].电力系统保护与控制,2009,37(5):22-25.  
Liu Jiajun, Liang Zhenfeng, Zhang Xinwei, et al. New scheme on reclosing phase by phase for double-circuit transmission lines on the same tower[J]. Power System Protection and Control,2009,37(5):22-25.
- [19] 孟远景,鄢安河,李瑞生,等.同杆双回线的六相序阻抗距离保护方案研究[J].电力系统保护与控制,2010,38(6):12-17.  
Meng Yuanjing, Yan Anhe, Li Ruisheng, et al. The study on six phase sequence distance relay protection scheme for double-circuit lines on the same pole[J]. Power System Protection and Control,2010,38(6):12-17.
- [20] 梁振锋,康小宁,索南加乐,等.平行双回线路故障分量电流平衡保护研究[J].中国电机工程学报,2008,28(19):106-110.  
Liang Zhenfeng, Kang Xiaoning, Suonan Jiale, et al. Transverse differential protection based on fault superimposed components for double-circuit transmission lines [J]. Proceedings of the CSEE, 2008, 28(19): 106-110.
- [21] 宋国兵,索南加乐,许庆强,等.基于双回线环流的时域法故障定位[J].中国电机工程学报,2004,24(3):24-29.  
Song Guobing, Suonan Jiale, Xu Qingqiang, et al. A novel time-domain algorithm for locating faults on parallel transmission lines by circulating circuit [J]. Proceedings of the CSEE, 2004, 24(3): 24-29.
- [22] 王艳,张艳霞,徐松晓.基于广域信息的同杆双回线测距及选相[J].电力系统自动化,2008,34(6):65-69.  
Wang Yan, Zhang Yanxia, Xu Songxiao, et al. Fault location and phase selection for parallel transmission lines based on wide area measurement system [J]. Automation of Electric Power Systems,2008,34(6):65-69.
- [23] 李斌,马超,贺家李,等.基于 IEC61850 的分布式母线保护方案[J].电力系统自动化,2010,34(20):66-70.  
Li Bin, Ma Chao, He Jiali, et al. Distributed bus bar protection scheme based on IEC61850 [J]. Automation of Electric Power Systems,2010,34(20):66-70.

(责任编辑 李虹燕)