

# 超短线快速光纤纵联电流方向保护的实践

许捷, 俞拙非, 陈建玉, 吴崇昊  
(国电南京自动化研究院, 江苏 南京 210003)

**摘要:** 介绍一种用于短线和超短线上反应短路故障的新型全线速动保护,它借助光纤作为通道,按移频键控制式工作(FSK)。保护方案是基于方向判别的超范围允许传送跳闸方式(POTT),为适应一侧无电源或弱电源馈电要求,该微机型保护装置还设置了转发跳频和弱馈跳闸电路。

**关键词:** 纵联保护; 光纤通道; 继电器

**中图分类号:** TM77      **文献标识码:** A      **文章编号:** 1003-4897(2006)11-0021-03

## 0 引言

随着电力负荷的不断增长,电网结构随之发生了很大变化,越来越多的短引线路和超短线路相继出现,特别是工矿企业内部的供电网络,几百米长的供电配电网已屡见不鲜,这些线路供电的负荷性质往往又十分重要,采用阶梯式多段保护方式已不能满足安全、可靠连续供电的要求。为在事故情况下保证主要厂站母线残压不致持续过低,以及负荷电动机能成功地可靠自起动,实现全线速动保护是十分必要的。

线路纵联保护是实现全线速动的理想保护方式,但它需要借助通信通道,将线路两侧保护的动作为汇总一起,从而判定故障点位于线路区内抑或区外。目前广泛使用的纵联保护方案有:方向比较,实现闭锁式;相位比较;传送跳闸信号,包括欠范围直接式(DUTT)、欠范围允许式(PUTT),超范围允许式(POTT)、解除闭锁式;电流差动,包括均压式差动、频率调制或脉冲编码调制的电流差动。从通道构成来说,有使用导引线(包括专用架空线或电缆,或是租用电话电缆)、电力线载波、微波以及光缆等不同方案。所有这些保护方案与通道方案的结合,必须针对被保护线路的具体情况合理选用。对中、低压线路来说,断路器是三相操作,供电网络都属小电流接地系统,有些厂站电流互感器还是两相式配置,因而实现全线速动纵联保护宜优先考虑以光纤为通道的超范围允许跳闸式(POTT),这样便可使用保护区覆盖全线的简单电流方向元件作为起动和测量;不受电磁干扰的光纤通道可得到不间断的连续监视;在取得足够保护灵敏度的前提下,不会发生线路纵续动作的情况。显然,在实际系统运行中将会

获得满意的结果。

## 1 光纤纵联电流方向保护装置

新型MDM-B1P(A)型光纤纵联电流方向保护装置,便是按上述原则开发拟制的整套短线保护装置。其中包括全线速动的纵联保护,方向电流、电压的后备保护,防止多点接地的零序电流保护,无压、同期及邻线电流检定的三相一次自动重合闸,捕捉准同期合闸装置以及断路器的相关操作电路等。因此适用于35 kV及以下电压等级的电网中,作为短线路或超短线的主保护和后备保护。

### 1.1 动作原理

全线速动纵联保护通道采用两根光纤缆芯,分别用作两侧发送导频和跳频信号。正常运行时,传送导频,监视通道的完整性。事故情况下,具有正向方向性的保护单元动作后,键控(FSK制)停发导频改发跳频。保护单元采用相电流元件与90°接线的相间功率方向元件按相连接。方向元件的正方向系由母线指向被保护线路。图1示出被保护线路的保护性能。在区内 $K_1$ 短路时,M、N两侧超范围动作的电流方向单元动作,将导频改为跳频,送至对侧。此时,每一侧原先接收的导频已消失,改收到对侧发来的跳频,再辅以本侧的保护单元已动作,这三个条件满足,便立即无时延给出跳闸脉冲,将本侧断路器跳闸。

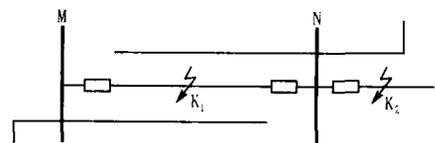


图1 保护性能图

Fig 1 Protective characteristic scheme

在区外  $K_2$  短路时, N 侧有方向性的保护单元不动作, 不会跳闸, 当然也不会键控改发跳频至 M 侧, 因此 M 侧保护也不会跳闸。

### 1.2 弱馈侧的附加电路

考虑到单侧供电或双侧供电但具有弱馈电源的短线上, 区内短路时, 无电源或弱馈电源侧无法提供足够的短路功率使正向保护单元可靠动作, 其结果将导致主电源侧和弱馈电源侧均拒绝跳闸。为此, 必须在无电源或弱馈电源侧加投转发跳频电路和弱馈自身的跳闸电路。

转发跳频电路系在收到对侧发送来的跳频, 且原先导频已消失的情况下才投入工作, 但它必须受反向闭锁元件控制, 如图 2 所示。这样, 就保证了在  $K_1$  短路能够转发跳频, 而在  $K_2$  短路不会转发跳频的要求。

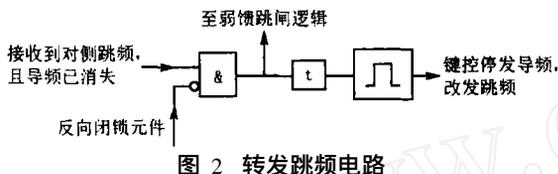


Fig 2 Transfer-transmitting tripping-frequency circuit

采用的上述闭锁元件可类同正向保护单元, 但动作方向系由被保护线路指向母线。

不难看出, 转发跳频只是提供强电源(主电源)侧能可靠跳闸, 对弱馈电源侧, 由于所供的短路电流较小, 残压较低, 因此可判定低电流和低电压的复合“与”逻辑来动作于跳闸, 如图 3 所示。这种方式实际还起着 PT 断线闭锁的功能。

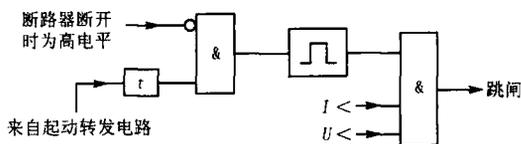


图 3 弱馈跳闸电路

Fig 3 Tripping circuit at weak-feed end

由图 3 看出, 在单侧电源线路充电的工作方式下, 弱馈跳闸电路被自动解除工作。

## 2 研究应解决的问题和采取的相应措施

为保证装置的可靠工作, 必须十分注意下列一些问题。

1) 为使保护在三相金属性短路时不存在电压死区, 功率方向元件的电压应采取电压记忆方式, 即它的极化电压取用故障前保护安装处的负荷电压。

2) 在区外近处(例如母线上)金属性短路, 由于电压互感器二次供电回路上杂散电压与故障电流作用下, 可能致使反向功率方向闭锁元件产生电流潜动(假设向制动方向潜动), 而不能闭锁转发跳频, 结果造成主电源侧误跳闸。鉴于已实现电压记忆方式, 故对方向闭锁元件的记忆电压设置较高的电压启动门槛值(例如 2 V), 可确保其方向判别的正确性。

3) 区外故障时, 主电源侧正向保护单元与弱馈电源侧反向闭锁单元在动作灵敏度上的不配合, 将造成正向保护侧的误跳闸。例如, 故障发生在正向保护单元动作区之内, 但在反向闭锁单元动作区之外, 则转发跳频不能得到闭锁, 从而导致远离故障点的正方向保护误跳闸。解决办法可通过两侧正、反向电流元件动作值的正确配合整定来予以保证。

4) 应注意到线路两侧断路器可能由于类型不同, 或是固有的跳闸时间离散, 导致实际跳闸的不同时。为了确保后跳闸侧能够可靠地动作于跳闸, 应在正向电流与功率方向元件返回时, 对发送的跳频设置一个小延时展宽(例如 10 ms), 使之继续发送跳频信号。

5) 区外故障切除时, 在负荷潮流作用下, 弱馈电源侧正向保护单元的动作时间与反向闭锁元件的返回时间如不配合, 同样会导致弱馈电源侧正向保护的误跳闸。

例如在弱馈侧向线路倒送电的负荷状态下, 该侧正向方向元件  $P_{正}$  动作, 电流元件  $I_{正}$  不动作。如发生反向故障,  $P_{正}$  返回,  $I_{正}$  动作, 反向元件  $P_{反}$  与  $I_{反}$  动作于闭锁转发跳频电路。当此反向故障切除时, 由于保护元件存在固有的时差, 假如  $P_{正}$  动作快、 $I_{正}$  返回慢, 则  $P_{正}$  与  $I_{正}$  会短时间处于动作状态。考虑到对侧发来的跳频是要展宽一个小延时的(例如 10 ms), 为防止这种情况下导致本侧误跳闸, 应在  $P_{反}$  与  $I_{反}$  同时返回时, 带小延时(大于 10 ms)展宽, 继续对正向出口跳闸电路进行闭锁。

6) 被保护线路事故切除后, 当主电源侧重合在稳定性故障上, 应能快速再次动作于跳闸。

为此, 在断路器断开状态下, 应设有当对侧导频消失、跳频出现时, 能快速启动转发跳频的相应电路。

综上所述, 在本软件编制中已采取相应措施, 诸如功率方向元件采用记忆电压, 并设一定的门槛启动值; 在逻辑操作中, 设置相应的延时或展宽环节。试验和运行结果表明, 这些措施都是十分正确

有效的。

为在事故暂态下,功率方向元件能确保其动作方向性,除对电压、电流量进行采样和数字滤波外,还将稳态动作角判据取为  $150^\circ \sim 160^\circ$ 。这样在电压平面上取得的动作特性,如图 4 所示。

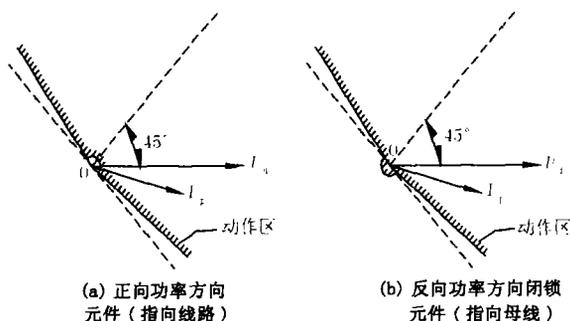


图 4 功率方向元件的稳态特性

Fig 4 Steady state characteristic of power directional units

为了保证方向元件的可靠性,在软件编制中采取了以下措施:

对正方向与反方向元件,采用不同动作判据的同一测量量,使其相互间具有可靠的闭锁作用。这样当正方向元件动作时,反方向元件可靠不动作;而在反方向元件动作时,正方向元件必将可靠不动作。由于方向元件的动作范围采取小于  $180^\circ$ 。因此,在暂态过程中,仍能正确判断正、反向故障,而不会失去方向性。

为了提高命令传输的可靠性,电路设计中采取了以下措施:

首先命令传输采用移频键控(FSK)调制方式,将导频设置在  $1\text{ kHz}$  而将跳频设置在  $2.5\text{ kHz}$ ,这样可以保证在频谱上导频和跳频相互不干扰。

其次,由于纵联方向保护设计中的通道传输时间是按照最大不超过  $10\text{ ms}$  来考虑的,因此在接收侧的频率检测回路中采用了“三取二”的判别方法,即三个节拍中必须连续二个节拍检测到导频或跳频才输出导频或跳频信号,这样可确保命令传输时的可靠性,实际在硬件实现上最终达到的命令传输时间小于等于  $4\text{ ms}$ 。在发送侧命令传输时,跳频和导频严格按照互斥原则设计,即跳频信号和导频信号

没有可能同时传输,因此对侧接收命令的逻辑可大大简化,提高了命令传输的可靠性。

### 3 运行需遵循的规定

电流元件的定值选择,无论是正向或反向元件,都必须大于被保护线路的最大负荷电流以及不对称短路时的非故障相电流。当投运弱馈电源侧转发跳频电路时,主电源侧正向电流元件的定值必须高于弱馈电源侧反向电流元件的动作值,并具有一定的配合裕量。这些元件对被保护线路内部短路的最小灵敏系数应不小于 2。鉴于在短线和超短线上,线路始、末端的短路电流水平接近相等,因此一般情况下,都能保证具有足够的灵敏度。

基于本文所述的保护工作原理,在选投弱馈转发和跳闸回路时,必须遵循下列原则:

- 1) 两侧供电线路的可能运行方式下,能保证区内两相短路具有足够灵敏度时,弱馈回路应该停运。
- 2) 在上述灵敏度不足的一侧,应视为弱馈电源侧。正常运行时,该侧的弱馈回路必须投运。
- 3) 单侧供电线路的无电源侧,理当属于弱馈范畴,它的弱馈回路应该投运。
- 4) 被保护线路一侧断开、另一侧以充电方式运行时,断开侧的弱馈回路也必须投运。
- 5) 不允许被保护线路两侧的弱馈回路同时投运,否则发送跳频将形成闭环。

### 参考文献:

- [1] Rao T S M. Power System Protection Static Relays [Z].
- [2] Skahill K. VHDL for Programmable Logic [Z].

收稿日期: 2005-05-07; 修回日期: 2006-03-28

作者简介:

许捷(1962-),男,高级工程师,从事电力系统继电保护开发研究; E-mail: xujie@naritech.cn

俞拙非(1963-),男,高级工程师,从事电力系统继电保护开发研究;

陈建玉(1963-),男,高级工程师,从事电力系统继电保护开发研究。

## Practice of fast pilot current-directional protection with optic fiber channel for short transmission lines

XU Jie, YU Zhuo-fei, CHEN Jian-yu, WU Chong-hao

(Guodian Nanjing Automation Institute, Nanjing 210003, China)

(下转第 30 页 continued on page 30)

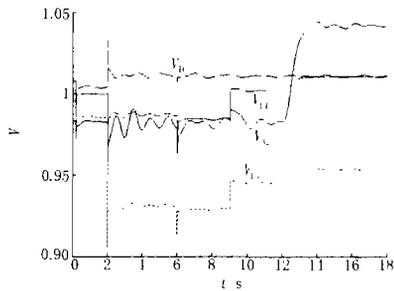


图 4 算例 2 的仿真结果

Fig 4 Simulation result of example No. 2

控制。以装设 2 台 SVC, 2 台 STATCOM 和 10 台发电机 AVR 的新英格兰系统为例进行的数字仿真验证了多种系统紧急情况下该方案都能有效、快速地消除系统中的电压偏移。

在紧急情况下, 系统运行方式的改变往往伴随有网络结构的变化, 这时仅选择固定的电压分区不足以满足实时电压控制的需要。因此, 下一步的研究工作将考虑进行动态电压分区, 以更好对电压进行控制。

#### 参考文献:

- [1] Paul J P, Leost J Y, Tesseron J M. Survey of the Secondary Voltage Control in France: Present Realization and Investigation [J]. IEEE Trans on Power Systems, 1987, 2 (2): 505-511.

- [2] Lefebvre H, Fragnier D, Boussion J Y, et al Secondary Coordinated Voltage Control System: Feedback of EDF [A]. IEEE/PES Summer Meeting Seattle (USA): 2000. 291-295.
- [3] Wang H F. Multi-agent Coordination for the Secondary Voltage Control in Power System Contingencies [J]. IEE Proc—Gener, Transm and Distrib, 2001, 148 (1): 61-66.
- [4] 孙元章, 王志芳, 姚小寅. 电力系统二级电压控制的研究 [J]. 电力系统自动化, 1999, 23 (9): 9-14.  
SUN Yuan-zhang, WANG Zhi-fang, YAO Xiao-yin. Study on Secondary Voltage Control of Power System [J]. Automation of Electric Power Systems, 1999, 23 (9): 9-14.
- [5] 盛戈皞, 涂光瑜, 罗毅, 等. 基于多 Agent 的二级电压控制系统 [J]. 电力系统自动化, 2002, 26 (5): 20-25.  
SHENG Ge-hao, TU Guang-yu, LUO Yi, et al Study on Mas-based Secondary Voltage Control System [J]. Automation of Electric Power Systems, 2002, 26 (5): 20-25.
- [6] Yusof S B, Rogers G J, Alden R T H. Slow Coherency Based Network Partitioning Including Load Buses [J]. IEEE Trans on Power Systems, 1993, 8 (3): 1375-1382.

收稿日期: 2005-10-13; 修回日期: 2005-12-27

#### 作者简介:

张 晔 (1982 - ), 男, 硕士研究生, 研究方向为人工智能在电力系统中的应用; E-mail: zhangyelrr@163.com

李蓉蓉 (1981 - ), 女, 硕士研究生, 研究方向为电力系统分析与故障诊断。

### Multi-agent based extended secondary voltage coordinate control

ZHANG Ye, LI Rong-rong

(College of Electrical Engineering, Zhejiang University, Hangzhou 310027, China)

**Abstract:** Based on the distributed principles of multi-agent system coordination, the extended secondary voltage control in system contingencies caused by a fault is investigated. The secondary voltage control involves different types of voltage controllers (AVR, SVC and STATCOM). A slow coherency method is used to decompose the whole system into several voltage control areas, after then the choosing principles of task-sharing for the coordination between electrically closely related agents are proposed. Therefore, the coordination mechanism between agents by communication is established. Demonstrated by the New England System (10 machines, 39 nodes) installed with two STATCOMs, two SVCs and ten generators'AVRs, the digital simulation results verify the validity and flexibility of the proposed control scheme.

**Key words:** multi-agent system (MAS); secondary voltage control; power system voltage control; SVC; STATCOM

(上接第 23 页 continued from page 23)

**Abstract:** This paper introduces a new fast protective relay, which responds the faults on full short and extra-short lines. Optic fiber is the medium of transmission channel which operated on FSK mode. Protection scheme is based on directional comparison with permissive overreach transfer tripping (POTT). This microprocessor based protective relay also includes the weak-feed transfer and self-tripping circuits for load or weak-feed end.

**Key words:** pilot protection; optic fiber channel; relay