

分层式电网区域保护系统的原理和实现

吴科成, 林湘宁, 鲁文军, 刘 沛

(华中科技大学电气与电子工程学院, 湖北省武汉市 430074)

摘要: 目前在高压电网中广泛使用的主保护是基于高频通道的纵联保护, 而后备保护的信息则来源于单端信息的测量。文中分析了纵联保护和传统后备保护存在的问题, 并结合变电站铺设光纤的现实条件, 提出了一种新型的基于光纤环网通信, 实现电气信息共享来进行故障定位的分层式区域保护系统。该系统可与传统的主保护和后备保护协同工作, 进一步加强电网的第一道防线。详细介绍了区域保护系统的层次结构以及工作过程, 阐述了用于故障定位的零、负序方向元件的原理, 以及基于序分量和阻抗的综合选相元件的原理。EMTP 仿真了各种故障, 特别是区内外复杂故障情况下系统的动作行为, 仿真结果证明了此系统的正确性。

关键词: 电力系统; 分层式区域保护系统; 综合决策机制; 零负序方向元件; 综合选相元件

中图分类号: TM773; TM73

0 引言

220 kV 电压等级的线路主保护一般采用方向纵联保护和距离纵联保护^[1-3], 其中大部分是采用电力线载波通道构成高频保护。在实际中, 高频保护存在一些难以克服的缺点, 如通道故障率高、线路阻波器检修和维护时需要线路停役、很难实现高频通道的实时监测、抗干扰性能差等^[4]。线路通道异常将影响电网的安全稳定运行。光纤纵差保护借助光缆实现信息交互, 有较高的可靠性^[5-8]。然而, 要求任一条线路均铺设与其平行的光缆, 对于输电网, 特别是 220 kV 以下的电网来说, 还存在一定的困难。另一方面, 为了保证保护间的配合, 主保护的整定范围也有一定的限制, 对于区内的高阻接地等轻微故障, 不一定能够可靠动作, 有可能造成邻线保护的无选择动作。

后备保护可以依靠本侧的信息独立做出决策。但为了保证选择性, 需要通过多段保护的動作时延、動作定值以及動作区间的相互配合。随着电网规模的扩大, 由同一条母线连接的电力系统传输线长短相差很大, 后备保护的定值和时限的配合也更加复杂, 阶梯形的延时必定造成母线侧保护时延过长^[9]。更重要的是, 这种通过时间和定值实现配合的方式在很多情况下并不能保证绝对的选择性。几次大停电事故的分析表明: 对于由于重负荷线路连续切除造成的大功率转移等大扰动, 往往后备保护的“正确”动作反而传播和放大扰动, 甚至造成整个大电网

崩溃的严重后果。

由以上分析可知, 一方面, 传统的线路主保护和后备保护都存在一些不足, 主保护的问题在于通道的可靠性(载波)、可用性(光缆)以及保护的灵敏性, 而后备保护则是因为其基于单端信息的测量而带来故障定位的不确定性; 另一方面, 如今大部分变电站已有条件铺设环网光纤^[10], 虽然不能保证任意两个站点之间的直接通信, 但它们均可直接与电力调度通信中心连接, 通信速率已可达到 2 Mbit/s^[1], 为保护装置之间的信息共享提供了条件。由以上分析, 现阶段电网继电保护的原理和实现手段都应当适应电网规模和通信的发展而有所创新。在保留传统的主保护和后备保护的前提下, 考虑在两者之间增设一道新的防线, 即本文提出的区域保护系统。在设计中, 考虑将关联紧密的若干条线路作为一个区域, 区域内的各保护装置通过光纤互联, 信息共享, 与传统的主保护和后备保护相配合工作。

1 基本原理

由信息论的观点可知, 获取的信息越多越详细, 利用信息的冗余性, 系统的容错能力就越强。同样, 如果调度中心能够获取每个变电站的就地测量信息, 无疑将能够更加准确地进行故障定位。但带来的问题是: 信息流量过大引起通信的延时, 将影响保护的速动性; 更重要的是, 海量数据汇集在某个决策点, 将使得中央决策单元有可能遭遇“维数灾”问题, 导致求解的不可行。实际上, 对于某条发生故障的线路来说, 与其紧密关联的线路只包含在一个小区域内, 与整个电网大部分线路只存在很弱的耦合关

系,对局部区域内的故障线路定位不需要获取整个电网的信息。从这个意义上,建立一个将所有的变电站包括进来的保护系统是不切合实际的。对于处于能量流交汇的若干个关键区域,才应当设置相应的区域保护系统。因此,通过对整个电网进行划分,将其切割成若干个区域,在某些关键区域,位于区域内的保护装置仅以保护本区域为任务。某个大型电力系统可能存在若干个能量交集中域,相应就有同样数量的区域保护。容易理解,所有的区域保护范围的并集也无需完全覆盖整个电力系统,因为区域保护设计的初衷是在合理的技术经济指标范围内,试图提高某些关键枢纽变电站或系统联系薄弱环节的安全运行水平。

需要指出的是,由于实际电力系统的规模和拓扑的不确定性,能量交汇的关键区域很难通过简单的理论分析确定。因此,在划定上述区域时,电力系统规划、调度、运行方式、保护、通信等设计和运行人员的经验及其所提供的数据将显得尤为重要。另外,区域保护信息采集容量的限制也决定了区域保护系统所能覆盖的范围。因此,区域保护装置的安装地点以及保护范围应该由上述人员和区域保护设计者共同协商确定。可以认为,区域保护的划定和保护方式是这个议题中最重要的两个方面,本文侧重对后者的讨论,至于前者,可以作为一类带有普遍性的问题专文研究。

本文提出的区域保护系统结构如图1所示。整个区域保护系统由3层构成,位于最底层的是本地测量层,由本地测量单元(LMU—local measure unit)组成,安装在本区域内各相关变电站内。LMU负责就地信息的实时采集,以及保护相关算法的运算,得出故障的一些基本测量信息,如各条线路的故障方向等,还负责将这些中间测量结果向上层决策单元传送,接受并执行上层决策单元的决策结果。中间层是区域决策层,由区域决策单元(RDU—region decision unit)组成,一个区域保护系统将配备一台RDU,其与此区域内的LMU通过光纤连接。在正常运行时,监控本区域内LMU的运行状态,在扰动发生后,对LMU上传信息综合分析并做出相应的决策。决策做出后,一方面下传至LMU,由LMU执行,闭锁或操作相应的断路器;另一方面,将判断结果送至位于最顶层的系统监控层。系统监控层由系统监控中心(SMC—system monitor center)组成,位于调度通信中心,负责实时协调和监控各区域保护系统、电气量的实时显示、故障事件的记录以及各保护定值的修改等。

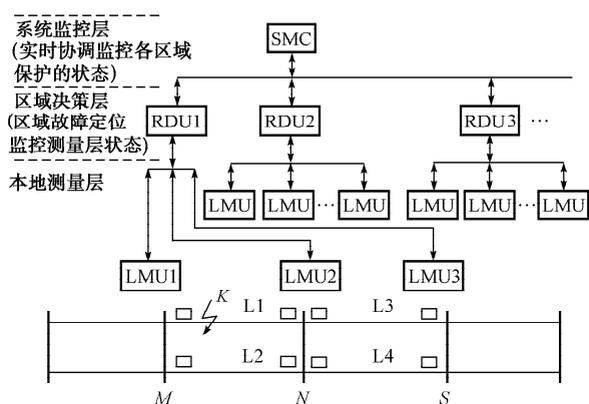


图1 分层式区域保护系统结构
Fig. 1 Hierarchical region protective system

目前基于单个保护元件的保护测量元件原理已经研究得较透彻,从保护继承性的角度出发,重点考虑的是综合运用现有的不同保护元件原理,通过对不同测量元件的整定范围的重新设计及其结果的逻辑配合,取长补短,形成区域保护系统的决策。考虑到保护的快速性和可靠性要求,基于多点通信的RDU应避免采用复杂的决策机制,同时,RDU进行综合决策应该尽可能利用简单的测量元件信息,以避免通信负荷过重而造成网络阻塞,保证快速地对故障做出响应。进行综合分析时,拟采用序分量方向元件为主、距离方向元件为辅来作为LMU的测量元件。

2 LMU的基本功能

2.1 启动元件

本系统的启动元件由突变量启动元件和零序电流启动元件共同构成,某点发生故障时,靠近故障点的LMU最先检测到故障并启动,此时远离故障点的LMU可能因灵敏度不足而无法启动。因此,某个LMU启动时,应将启动信息传至RDU,由RDU广播通知本区域内各个LMU进入故障处理流程。这种启动方式的问题是通信传输必定带来一定的延时,延时的长短取决于硬件条件和通信协议的编写。因此,各LMU对突变量的提取就变得不可靠,其测量元件拟采用基于稳态量的方向判据。

2.2 测量元件

序分量保护属于故障分量中稳态分量的保护,零负序方向元件因其特性优越获得广泛应用,具体原理见文献[1],此处不再赘述。需要注意的是:零序方向元件在区内发生两相短路和三相故障时不能动作,负序方向元件在三相故障时不能动作,解决的方法是在零负序元件均为灵敏度不足的情况下,LMU计算3个相间阻抗,若有任意一个在动作区

内,即判为三相故障,如果对侧的 LMU 也判为三相故障,则由 RDU 得出故障在本线路。

2.3 选相元件

序分量方向元件的测量信息不能指示故障相,需要与选相元件配合使用。如上分析,在本区域保护系统的工作模式下,突变量可能不能正确得到,因此考虑仅采用序分量和阻抗进行选相。但当区域内发生多点复故障时,序分量选相元件此时的比相结果是不可靠的,很多时候不能正确选相。采用阻抗选相则可以解决上述问题,只要本线路故障点和保护处不存在其他分支,其方向测量结果是可信的。但该元件在单相经高阻接地时灵敏度不足。综上所述,两种元件各有优缺点,综合使用即形成适用于本保护系统的综合选相元件。阻抗元件作为选相元件工作时,可以计算 6 个阻抗值,取其中最小的和不大于最小值 1.5 倍的相别作为故障相。

保护启动后,各个 LMU 均应给出序分量选相和阻抗选相的故障相别,并发送给 RDU。RDU 首先比较线路两侧的阻抗选相结果,如果结果相同,则判为故障相。除了单相高阻接地之外,其他故障情况,不论是单一故障还是复故障,阻抗选相元件都能给出正确的判断结果。在单相高阻故障时,即使阻抗元件选相错误,两侧选为同一相别的概率也是微乎其微,因而可判为阻抗选相失败,自动转入序分量选相。此时再使用零负序比相,结合相间阻抗,即可选出故障相。

采用上述选相元件方案后,发生单一故障时均能可靠选相;当发生复故障时,一般情况下也能正确选出故障相。但如果复故障之一是高阻接地,仍然有可能误选相。考虑到复故障发生的概率较小,而高阻复故障则更加罕见,在这种情况下选相失败应当可以容忍。

3 RDU 的决策原理

3.1 决策的基本步骤

如前文分析,考虑到保护的快速性和可靠性的要求,区域保护系统在决策过程中应该避免复杂的逻辑判断,其过程分 2 步完成:

第 1 步:当故障发生后,RDU 通知各 LMU 进入故障计算状态,各 LMU 将方向元件测量结果上传至 RDU,由 RDU 汇集比较这些结果,若某线路两端的方向元件均判为正方向,则此线路为故障线路,进入决策的过程的第 2 步;若所有线路两端的方向元件结果均为一正一反,则表明故障不在此区域内,RDU 通知 LMU 跳出故障处理流程,不再进入下一步决策。

第 2 步:RDU 根据故障线路所在的综合选相元件结果,选择故障相。然后,RDU 将决策信息传至各 LMU,由 LMU 闭锁或操作相应的断路器。考虑到重合闸的操作或线路可能发生复故障等情况,此时 RDU 不应该停止决策,而应该返回决策的第 1 步,直到确定本区域内线路不再有故障为止。

3.2 退出重构机制

RDU 对保护区域内所有的线路做出决策需要汇集区域内各个 LMU 的测量元件结果,由于各个 LMU 与 RDU 传输的距离、通信数据量以及 LMU 本身的工作状态不尽相同,造成 LMU 传输数据的通信延时也将有所不同。因此,在某个时刻内,RDU 不能收集到区域内所有 LMU 的测量元件结果的可能性是存在的,此时就要考虑区域保护系统的退出重构机制。

退出重构机制的具体步骤如下:在故障启动后,RDU 开辟专门存放测量元件结果的数据窗,同时启动一个延时元件,各 LMU 上传的数据按照事先编排好的顺序存放在数据窗内。延时元件到达后,RDU 将遍历数据窗内所有的测量元件结果信息进行拓扑重构,按照编号将各条线路两端的的方向元件结果对应起来,若某线路双端信息均能按时到达 RDU,此线路的状态是可以确定的;而单端或双端信息未能及时收集到的线路,将从新形成的线路拓扑结构中去除,不再参与 RDU 的决策。

需要注意的是,对于任何依赖通道的保护系统而言,通道失灵的可能性总是存在的。在通信中断的情况下,要考虑系统恰当的局部退出机制。初步的考虑如下:在系统正常运行时,RDU 通过设定通信中断延时元件和数据校验错误元件,确认出现故障的通道;在此基础上,通过拓扑分析,重组通道完好的保护区,RDU 同时将通信故障上报 SMC 告警,而重组区域内的 LMU 和 RDU 仍然按正常的流程工作。这样,使得该保护系统在保证正确决策的同时尽可能保住足够多的保护区。通信中断的退出机制分为 2 种类型:① LMU 某端口故障退出,此时退出保护的线路仅为与此端口相关联的线路。② 某 LMU 通信故障,此时所有与此 LMU 相关联的线路都将退出保护。

4 区域保护系统与传统保护的配合问题

区域保护系统以现有保护为基础,并非要取而代之,而是寻求与主、后备保护的配合,达到加强第一道防线的目的。配合可以从时间和灵敏度 2 个角度进行分析。文献[10]提出利用光纤网实现广域差动保护,并利用仿真软件得出网络通信延时最高为

24 ms。由于差动保护牵涉到各端相量同步和相量传送,其通信负载量应明显大于基于方向的保护系统。所以,本区域保护系统的通信时延不会高于 24 ms。考虑到其他各种因素的影响,通信的延时可以限制在 50 ms 之内,而 LMU 的测量计算需要一个周期的时间,即本系统对故障做出反应的时间不会超过 70 ms。此动作时间大于主保护,而远小于后备保护。因此,从时间配合的角度,本区域保护系统能与传统的主后备保护协调工作。从灵敏度配合的角度,对于主保护而言,若主保护采用的是纵联方向保护,当主保护拒动时,区域保护系统能够在略慢于主保护的動作时间内切除故障,相当于提供了双重主保护的功能;若主保护采用的是纵联距离保护,由于保护特性的限制,并不能保证对线路上的任意故障特别是高阻故障做到快速响应。而区域保护系统采用的是方向比较,与其形成特性互补,速动性仅是略低,相当于为线路提供了快速的后备保护。值得指出,当主保护之间的直联通道出现故障造成保护退出时,如果不采用本区域保护系统,本区域保护系统由于不依赖直联通道,仍然能提供准确快速的保护功能。

区域保护系统基于多点信息做出决策,在线路过负荷时,由于线路并未发生故障,流经线路的功率方向呈穿越状态,基于序分量方向元件的判据不会动作,从而可以区分潮流转移造成的过负荷与线路故障,区域保护系统的动作时间远小于后备保护的特点为两者之间的协作提供了条件,能够在后备保护动作之前将其闭锁,避免因过负荷引起的后备保护误动作。

5 部分测量元件出错的处理问题

对于部分测量元件出错的处理问题,可以结合 RDU 采集的系统拓扑信息,对方向元件判别的正确性进行确认。图 2 给出了一个例子。

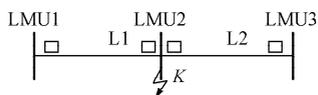


图 2 三端网络的区域保护

Fig. 2 Region protection of a three-end grid

对于一个三端网络,设 LMU2 装设在开关站,即只有单入单出 2 条线路,如果送到 RDU 的 2 个方向结果同为正方向,则可以判断出这 2 个方向结果至少有一个误判,可以切换到另外一套原理的方向元件,即如果序分量方向误判,便切换到距离方向。另外,当开关站发生母线故障时,LMU2-L1 和 LMU2-L2 的方向元件都测为反向,此时线路 L1 和

L2 的单元保护均测为外部故障,导致区内(L1-L2)故障无法清除。由于该开关站只挂接 2 条线路,一般不会装设母线保护,如该故障不能及时清除,很有可能导致本区域外的保护无选择动作。此时,RDU 可以根据对开关站拓扑结构的分析,采用 LMU1-L1,LMU3-L2 的方向元件判别结果综合判断,可知两者均为正方向,判断故障发生在开关站母线上。

6 特殊问题的解决

以上介绍了本区域保护系统的基本功能。从系统功能的完善考虑,还有以下 2 个问题需要解决。

6.1 复故障时零负序功率流向问题

前文已经提到,发生复故障时,各故障电源对零负序电流电压均起一定的作用。在单一故障时,故障点处的附加电源电位最高,使得零负序功率从故障点流向线路两侧。而在复故障时,各故障点的电压可看成所有故障电源独立作用后的叠加。由于功率总是从高电位流向低电位,某条或某几条故障线路的功率有可能呈现穿越性质,导致保护拒动。应该指出,此种拒动只是暂时现象,各故障电源中,总有一个故障点电位最高,导致其功率流向必定是从故障点流向线路两端,此时可以由零序或负序方向元件切除故障。在此故障切除后,各条线路的功率流向重新调整,必将出现一个新的最高电位点,该电位点所在的线路保护必定可以正确判断方向,切除故障。类似地,所有故障都将切除,只是由于次序的关系有一定的延时。

6.2 振荡中再故障问题

系统发生振荡时,阻抗元件要误动作,解决的办法是增加一个振荡识别元件,在识别出系统振荡时闭锁阻抗元件。零负序方向元件不反应振荡,在振荡过程中也可以正常工作。因此,在不对称故障检测元件^[11]动作后,停用阻抗选相元件,只用零负序比相可以从 6 种接地故障中选出 2 种,同时开放与这 2 种故障相应的阻抗测量元件进行确认。当在两侧功角较小时,只要过渡电阻不是太大,选相的正确性能够保证;在大功角时,这 2 个阻抗元件可能同时动作,选相将失败。这种误选相应是可以容忍的。文献[1]认为:振荡中再发生故障,保护的要求应适当降低,选相困难,一律跳三相。振荡中三相故障时,由对称故障检测元件开放 3 个相间阻抗元件,任意一个元件动作即表明是三相故障。

7 数字仿真

区域保护系统的任务是保护本区域内的所有线路,当此区域内任何一条线路发生故障时,都称为系

统的区内故障,反之则称为区外故障。而对于单个 LMU 而言,当电气量落入其动作特性的范围内,则称为故障发生在此 LMU 的动作区内,它与整个系统的保护区是有区别的。

仿真模型如图 3 所示。L1, L2, L3 和 L4 为区域保护系统覆盖的 4 条 500 kV 线路,在 M, N 和 S 这 3 座变电站分别安装一台 LMU,均与本区域的 RDU 相连接。

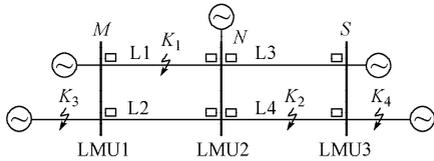


图 3 仿真模型
Fig. 3 Simulation model

仿真中,每周周期采样 20 个点,采用巴特沃思低通滤波和全波傅里叶差分算法,故障时刻为 0.02 s,故障切除时间为 0.3 s,分别模拟了区内单一故障、区内复故障、区内外复故障、区外复故障,故障类型包括单相接地故障、相间故障、三相故障。由于篇幅所限,只各举一例说明。

7.1 区内一点发生故障时保护的動作性能

L1 线 K_1 处发生 BCG 故障,各个 LMU 的元件计算结果如表 1 所示。

表 1 区内单故障 LMU 测量结果
Table 1 Measuring result of single fault in the protecting area

线路	零序	负序	A	B	C	BC	CA	AB
LMU1-L1	1	1	0	1	1	1	0	0
LMU2-L1	1	1	0	1	1	1	0	0
LMU1-L2	1	1	0	0	0	0	0	0
LMU2-L2	0	0	0	0	0	0	0	0
LMU2-L3	0	0	0	0	0	0	0	0
LMU3-L3	1	1	0	0	0	0	0	0
LMU2-L4	0	0	0	0	0	0	0	0
LMU3-L4	1	1	0	0	0	0	0	0

注:“1”代表在 LMU 动作范围内;“0”代表在 LMU 动作范围外。

从表 1 可见,LMU1-L1 和 LMU2-L1 的零负序均为正向,且阻抗选相选出为 BC 两相接地故障。其他 LMU 均能可靠闭锁。

7.2 区内两点同时故障时保护的動作性能

L1 线路的 K_1 处发生单相接地故障, L4 线路的 K_2 处发生两相接地故障时,各个 LMU 的测量结果如表 2 所示。

从表 2 可以看出,LMU1-L1 和 LMU2-L1 的零序方向元件和 A 相阻抗继电器均可以正确动作,而负序继电器受 BC 接地故障的影响,负序功率呈穿

越的状态,不能动作。LMU2-L4 和 LMU3-L4 则恰恰相反,负序继电器可以动作,零序拒动,阻抗继电器动作正确。虽然 L1 的 LMU 的负序元件不能动作,但可检测到两端零序方向元件为正向,通过选相元件选出故障相后并跳闸,此时零序功率发生倒转,进一步仿真可发现,切除 L1 故障后,流经 L4 的零序功率方向已变为正向,也可跳闸,只是稍有延时。

表 2 区内复故障 LMU 测量结果
Table 2 Measuring result of multiple fault in the protecting area

线路	零序	负序	A	B	C	BC	CA	AB
LMU1-L1	1	1	1	1	1	1	1	1
LMU2-L1	1	0	1	0	0	0	0	0
LMU1-L2	1	0	0	0	0	0	0	0
LMU2-L2	0	1	0	0	0	0	0	0
LMU2-L3	0	1	0	0	0	0	0	0
LMU3-L3	1	0	0	0	0	0	0	0
LMU2-L4	0	1	0	1	1	1	1	1
LMU3-L4	1	1	0	1	1	1	0	0

注:“1”代表在 LMU 动作范围内;“0”代表在 LMU 动作范围外。

7.3 区内外同时故障时保护的動作性能

L1 线 K_1 处发生 BC 两相故障, L4 线外部 K_4 处发生 A 相接地故障,各个保护端口的动作状态如表 3 所示。

表 3 区内外同时故障 LMU 测量结果
Table 3 Measuring result of one fault in area and one fault out of area

线路	零序	负序	A	B	C	BC	CA	AB
LMU1-L1	1	1	0	0	0	1	0	0
LMU2-L1	0	1	0	0	0	1	0	0
LMU1-L2	1	1	0	0	0	0	0	0
LMU2-L2	0	0	0	0	0	0	0	0
LMU2-L3	1	0	0	0	0	0	0	0
LMU3-L3	0	1	0	0	0	0	0	0
LMU2-L4	1	0	0	0	0	0	0	0
LMU3-L4	0	1	0	0	0	0	0	0

注:“1”代表在 LMU 动作范围内;“0”代表在 LMU 动作范围外。

由表 3 可见,由于 K_1 处是两相故障,不存在零序电流,故流经 L1 线的零序电流是由于外部不对称故障造成的,零序保护的两侧判为正反向,阻抗元件可以正确动作。其他位置的保护均能可靠闭锁。

7.4 区内无故障,区外发生复故障保护的動作

本算例假设在 K_3 点发生三相故障, K_4 点发生单相接地故障,各个 LMU 的测量结果如表 4 所示。

从表 4 可知,在外部发生故障时,各个继电器都能正确闭锁。流经保护的零负序电流均是由 K_4 点的单相接地故障引起的,零负序功率方向元件不会同时判为正向。

表4 区外复故障 LMU 测量结果
Table 4 Measuring result of multiple faults out of protecting area

线路	零序	负序	A	B	C	BC	CA	AB
LMU1-L1	1	1	0	0	0	0	0	0
LMU2-L1	0	0	0	0	0	0	0	0
LMU1-L2	1	1	0	0	0	0	0	0
LMU2-L2	0	0	0	0	0	0	0	0
LMU2-L3	1	1	0	0	0	0	0	0
LMU3-L3	0	0	0	0	0	0	0	0
LMU2-L4	1	1	0	0	0	0	0	0
LMU3-L4	0	0	0	0	0	0	0	0

注：“1”代表在 LMU 动作范围内；“0”代表在 LMU 动作范围外。

8 结语

本文提出了一种分层电力系统区域保护系统,与现有的主保护和后备保护协同工作,构成强化后的电网第一道防线。此区域保护系统的动作速度介于主保护与后备保护之间,可进一步提高整个保护系统的动作安全性和灵敏性。采用本系统后,可以使得系统的保护性能在以下 3 个方面得到提升:

1)当直联通道故障造成线路主保护退出运行时,本区域保护系统能以略慢于主保护但明显快于后备保护的切除区内故障,对主保护是一个很好的补充。

2)即使发生高阻接地、复杂故障等主保护无法正确反应的稀有故障,该系统的保护范围也能完全覆盖所保护的区域,取得比主保护更高的动作灵敏性,并能正确定位到故障区段,确保保护的选择性。

3)保护区域范围外的任何故障都能被有效闭锁,杜绝由于保护失配造成的后备保护无选择动作而扩大事故范围。

本文在分析其基本原理的基础上介绍了实现方法,并用 EMTP 进行了各种故障的数字仿真,证明此方法的可行性。

参考文献

- [1] 朱声石. 高压电网继电保护原理与技术. 3 版. 北京: 中国电力出版社, 2005.
ZHU Shengshi. Theory and technology of HV network protective relaying. 3rd ed. Beijing: China Electric Power Press, 2005.
- [2] 熊小伏, 周家启, 赵霞. 快速后备保护研究. 电力系统自动化, 2003, 27(11): 45-47.
XIONG Xiaofu, ZHOU Jiaqi, ZHAO Xia. Research on fast operating backup protection. Automation of Electric Power Systems, 2003, 27(11): 45-47.
- [3] 陈皓, 滕福生. 利用调度通信网络实现纵联保护的高频信号传送. 电力系统自动化, 1999, 23(13): 37-40.
CHEN Hao, TENG Fusheng. High frequency protection signal

transmission of longitudinal-link protection by dispatching and communication network. Automation of Electric Power Systems, 1999, 23(13): 37-40.

- [4] 王颖, 王玉东. 超高压线路纵联保护配置方案. 电力系统自动化, 2002, 26(22): 62-65, 73.
WANG Ying, WANG Yudong. Configuration scheme of super-high voltage line pilot protection. Automation of Electric Power Systems, 2002, 26(22): 62-65, 73.
 - [5] 郭征, 贺家李. 三端线路光纤保护的研究. 电力系统自动化, 2003, 27(10): 57-59.
GUO Zheng, HE Jiali. Research of relay protection of three-terminal power transmission lines using optical fiber channel. Automation of Electric Power Systems, 2003, 27(10): 57-59.
 - [6] 唐成虹, 付建明, 刘宏君, 等. 光纤纵差保护装置中光纤数字接口的设计新方法. 电力系统自动化, 2005, 29(2): 83-85.
TANG Chenghong, FU Jianming, LIU Hongjun, et al. A new method for the design of the fiber-optical digital interface in current differential protection. Automation of Electric Power Systems, 2005, 29(2): 83-85.
 - [7] 刘峰, 裘峰源, 刘健. 光纤通道对光纤差动保护影响的试验研究. 电力系统自动化, 2005, 29(13): 97-99.
LIU Feng, QIU Fengyuan, LIU Jian. Study on the experiment of the effect of fiber-optical channel on the fiber-optical differential protection. Automation of Electric Power Systems, 2005, 29(13): 97-99.
 - [8] 伍小刚, 俞波, 姚吉文, 等. 3 种同步接口在光纤纵差保护中的设计实现. 电力系统自动化, 2006, 30(20): 77-80.
WU Xiaogang, YU Bo, YAO Jiwen, et al. Design and realization of three kinds of synchronous interface in fiber-optic current differential protection. Automation of Electric Power Systems, 2006, 30(20): 77-80.
 - [9] 王晓茹. 利用 Agent 实现新的电网后备保护. 电力系统自动化, 2005, 29(21): 57-61.
WANG Xiaoru. Novel backup protection system for the electric power grid using agent. Automation of Electric Power Systems, 2005, 29(21): 57-61.
 - [10] 苏盛, LI K K. 广域电流差动保护区划分专家系统. 电网技术, 2005, 29(3): 55-58.
SU Sheng, LI K K. An expert system for wide area protection system protection zone selection. Power System Technology, 2005, 29(3): 55-58.
 - [11] 沈国荣. 区分振荡与短路的新原理. 电力系统自动化, 1990, 14(1): 7-10.
SHEN Guorong. A novel principle distinguishing between power swings and fault. Automation of Electric Power Systems, 1990, 14(1): 7-10.
- 吴科成(1982—),男,硕士研究生,研究方向为电力系统继电保护. E-mail: wkc@smail.hust.edu.cn
林湘宁(1970—),男,博士,教授,研究方向为电力系统继电保护与控制。
鲁文军(1971—),男,博士研究生,研究方向为电力系统继电保护。

Principle and Realization of the Hierarchical Region Protective System for Power Systems

WU Kecheng, LIN Xiangning, LU Wenjun, LIU Pei

(Huazhong University of Science and Technology, Wuhan 430074, China)

Abstract: Currently, the main protection used in the high-voltage power system is mainly the pilot protection based on power line carrier communication while the backup protection makes decisions with local information. This paper analyzes the problems existing in the pilot protection and the traditional backup protection. Considering the advantages of fiber optic communication, a new hierarchical region protective system is proposed, which locates a fault by sharing electric information transmitted through optic fiber. By working in collaboration with the pilot protection and the backup protection, it can further strengthen the first line of defense of the power system. A detailed description is made of the structure and the work process of the region protective system. The principles of the zero and negative sequence directional protection and synthetic fault phase selection are dealt with. Many types of fault have been simulated with EMTP, especially the complex faults inside and outside the region, with the correctness of the region protective system verified by the results.

Key words: power systems; hierarchical region protective system; mechanism of synthetic decision; zero and negative sequence directional protection; synthetic fault phase selection