

新型广域后备保护方案的研究

林霞, 高厚磊

(山东大学电气工程学院, 山东 济南 250061)

摘要: 对一种新型广域后备保护方案进行研究。该保护利用现代通信网络和时间同步技术,通过对广域范围内的故障电流及开关位置信息的采集和综合分析,判断故障区域和开关动作情况,利用实时网络拓扑图和跳闸函数实现最优后备保护跳闸方案。它不存在传统后备保护中动作时限和动作区域相互配合的问题,能大大缩短保护的整体动作时间,优化后备保护的整体功能。应用实例证明了该保护所具有的优点。

关键词: 电力系统; 广域后备保护; 电流差动; 跳闸函数; 动作时间

中图分类号: TM77 **文献标识码:** A **文章编号:** 1003-4897(2005)07-0084-05

0 引言

我国电力系统继电保护的配置一直沿用主保护加后备保护的配置模式。以 220 kV 系统为例,线路保护一般以高频纵联保护作为主保护,三段式方向距离、零序保护作为后备;母线保护以电流差动保护构成主保护;主变保护以电流差动作为主保护,多段式方向(零序)过流保护作为后备。以上主保护的保护区均是元器件本身,后备保护则是通过多段式保护的时限、动作定值和动作区的相互配合来实现的,构成一定区域间的整体保护。

随着电网规模的不断发展,其网络构成和电流流向日趋复杂,这给后备保护的定值、时限的配合造成很大困难,最终导致后备保护动作时限的不断延长(数秒),不利于快速切除故障。针对以上问题,不少作者根据现代技术提出了新的后备保护构成思想^[1,2]。本文在前人工作的基础上,对一种基于现代技术的新型广域后备保护方案进行可行性研究。该后备保护系统独立于传统保护,通过实时处理全局信息并与传统主保护进行配合实现最优后备保护功能。文章分三部分对该保护的基本概念和功能、保护原理和动作判据、实际系统应用结果等进行详细介绍和分析,最后给出明确结论。

1 广域后备保护的基本概念和功能

本文研究的广域后备保护其构成概念如图 1 所示。广域保护区覆盖一个以上的变电站以及联系变电站的输电线路。它按元件以开关为基准将广域保护区划分为若干个保护分区,即母线保护区、线路保护区和主变保护区,各分区有重叠部分以完成区域间无缝隙的保护配合。

广域保护区内所有被保护元件的开关上都配置有终端单元(TU),同时在调度中心或一主要变电站设置一中央单元(CU)。所有 TU 在 GPS 时间基准下同步采集当地电流、电压信号、主保护出口信息以及开关位置信息,并将带有“时标”的采样信息经高速通信网送至 CU;同时它能接收并执行 CU 发来的命令信息。故障情况下, CU 根据接收到的信息首先判定故障分区,然后根据主保护和开关的状态信息判断该分区内的故障是否已被正确切除。若故障没有在规定的时间内被切除, CU 将向相关 TU 发出跳闸命令将断路器跳开,起到后备保护的作用。

广域后备保护的功能:(1)在当地主保护投入运行的情况下,用作后备保护;(2)在断路器失灵的情况下,作为断路器失灵保护;(3)当主保护退出运行时,可以选择切换至主保护运行方式,独立充当主保护及后备保护。

本文不涉及保护的具体实现问题,即在后面的分析中假定:保护系统所需要的通信网络满足要求、GPS 时间同步系统工作正常、TU 和 CU 已具备所要求的功能。实际上,在当前技术条件下,上述假定均能实现。

2 保护原理及判据

2.1 故障分区判定及后备保护基本原理

广域保护以各元件保护分区作为基本单元、以电流差动原理进行故障分区的判定。以线路保护分区为例,可采用性能优越的分相电流纵差保护原理进行故障检测。中央单元 CU 在获得终端 TU 实时采样数据后,根据不同的差流计算公式实时计算出各分区差流。如差流不超过各区设定的门坎值,各区仍进行正常的采样计算,并不进行故障分析处理。

当任一分区发生差流越限时,即判定该分区为故障分区并立即启动相应的故障分析判断子程序。

进入故障分析程序后,首先检测该区主保护跳闸出口信号以判断主保护动作情况(后面假定高电平为动作信号),然后检测故障区域开关的位置信息以判断开关的动作情况。经大约 100 ms 延时(假定主保护动作时间为 30 ms,开关跳闸时间为 40 ms,保护复

归时间为 30 ms)后,如故障分区差流依然存在,说明故障未被成功隔离,按以下两种情况考虑:如属于主保护动作失败而导致,则 CU 立即通过跳闸函数发出跳闸命令,跳开故障区开关;如主保护动作成功而开关未成功跳开,则 CU 根据实时网络拓扑结构设定跳闸函数,启动失灵开关的相邻保护分区,跳开其所有开关。

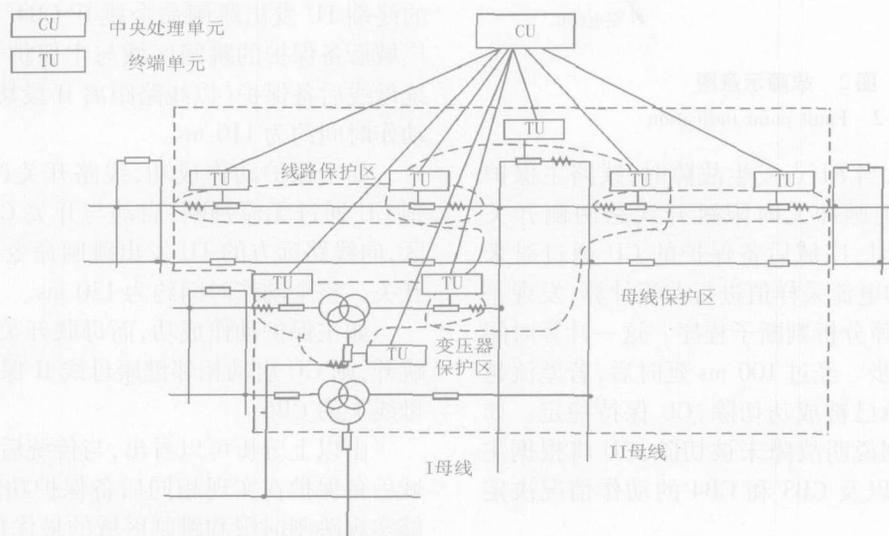


图 1 广域保护分区示意图

Fig 1 Division of the wide-area protection

广域保护不仅可以与现有的保护系统配合使用,也可独立完成保护功能。当本地保护需要检修退出运行时,只需改变广域保护跳闸函数中的设置,在 CU 经差流选定故障区后,可无延时发出跳闸命令,跳开故障区域开关。

2.2 跳闸函数和逻辑的设计思想

中央单元 CU 实时采集广域保护区内各开关和刀闸的位置信息,一旦运行方式改变,反映网络拓扑结构的开关、刀闸位置信息会实时上传至 CU,网络拓扑图会随之刷新(如图 2 所示网络,1G 刀闸位于合位,CB4 运行于 I 母)。基于面向对象的程序设计思想,对每一个开关进行节点编号,作为开关的 ID,并使这一编号与网络拓扑图中的对应编号相一致。定义类,其中包括参数(性质)和函数运算(差流计算和跳闸函数的操作),每一个开关可对应一个对象,对象通过对类内函数的访问和继承,形成每一个开关的特有性质,以此确定保护配置原则和跳闸策略。通过改变类内跳闸函数的参数设置,相应开关对应的保护策略会因为继承关系自动更改。这里需要指出的是:母联开关与一般线路开关的性质标识

要有区分。对于母联代路的情况,可将线路开关节点编号赋值给代路母联开关,网络拓扑图随之改变,程序进入代路运行状态。线路开关所有保护设置参数、有关信息被传递给母联开关。通过数据加载的方式,可方便的实现切换。保护跳闸策略的改变可通过网络拓扑图实时刷新和跳闸函数的不同参数设定来加以实现。以下为一具体跳闸函数例子。

当线路发生故障,主保护动作,开关跳闸失败,跳闸函数相应参数满足: $DO_1 = 1, t > 100 \text{ ms}, I_{\text{linediff}} > I_{\text{setdiff}}, I_{\text{CB}} = 0$, 则参数 $TRIP_{\text{line}} = 0, TRIP_{\text{bus}} = 1$ 。

这里 $DO_1 = 1$ 指当地主保护跳闸出口继电器启动; $t > 100 \text{ ms}$ 是指当地主保护动作到出口及继电器复归所需的物理时间, $I_{\text{linediff}} > I_{\text{setdiff}}$ 表明故障差流依然存在, $I_{\text{CB}} = 0$ 指失灵开关仍有故障电流流过, $TRIP_{\text{line}} = 0$ 指不再单独向原始故障线路开关发跳闸命令, $TRIP_{\text{bus}} = 1$ 指对失灵开关相联的母线保护区发出远方跳闸命令,跳开相联母线保护区所有开关。这一母线的的所有开关由实时网络拓扑图确定,无论运行方式如何动态变化,这一操作跳开的均是当前运行在该母线上的所有开关。

2.3 不同后备保护功能及延时分析

(1) 线路后备及断路器失灵保护

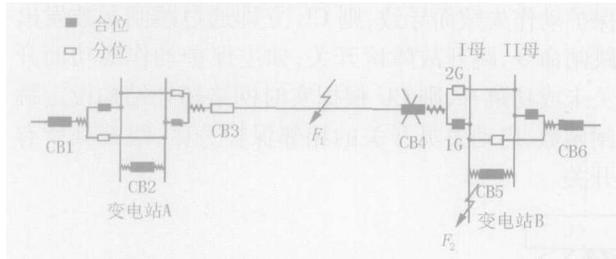


图 2 故障示意图

Fig 2 Fault point indication

如图 2 所示,当 F_1 点发生故障时,线路主保护应动作,发出跳闸脉冲无时限跳开线路两侧开关 CB_3 和 CB_4 。此时,广域后备保护的 CU 通过对来自 CB_3 和 CB_4 的电流采样值进行差流计算,发现差流越限后进入故障分析判断子程序。这一计算时间基本与主保护同步。经过 100 ms 延时后,若差流越限消失,说明故障已被成功切除, CU 保持稳定。如差流继续存在,则说明故障未被切除, CU 将根据主保护的动作情况以及 CB_3 和 CB_4 的动作情况决定跳闸策略。

如主保护无出口跳闸信号,则 CU 向线路两端的 TU 发出跳闸命令,跳开 CB_3 和 CB_4 。此时,广域后备保护跳闸区域与主保护相同,其动作时间大约为 110 ms (不包括开关跳闸时间)。

如主保护动作成功,线路开关 (如 CB_4) 失灵,则 CU 向有关 TU 发出跳闸命令跳开变电站 B 母线 I 上的所有开关 (包括母联开关)。此时,广域后备保护跳闸区域与传统断路器失灵保护相同,其动作时间大约为 110 ms。

(2) 母线后备及断路器失灵保护

如图 2 所示,当 B 变电站 I 母线上的 F_2 点发生

故障时,母线主保护 (如母差保护) 应动作,跳开与此母线相联的所有开关。此时的广域后备保护根据来自 CB_4 、 CB_5 终端 TU 的电流采样值,已判定为该母线区内故障。经过 100 ms 延时后,若差流越限仍未消失,则 CU 根据主保护的动作情况执行如下跳闸方式:

如主保护动作失败,则 CU 立即向故障区域内的终端 TU 发出跳闸命令跳开 CB_4 和 CB_5 。此时,广域后备保护的跳闸区域与主保护相同,但小于传统母线后备保护 (以线路距离 II 段切除故障),保护动作时间约为 110 ms。

如主保护动作成功,线路开关 (如 CB_4) 失灵,则 CU 通过无流判断,启动与开关 CB_4 相关的线路区,向线路远方的 TU 发出跳闸命令,跳开对侧 CB_3 开关。整个动作时间约为 130 ms。

如主保护动作成功,而母联开关 CB_5 未能成功跳开,则 CU 启动相邻健康母线 II 保护分区,跳开 II 母线上的 CB_6 。

由以上分析可以看出,与传统后备保护相比,广域后备保护在实现相同后备保护功能的情况下,能够实现跳闸时限和跳闸区域的最优化。

3 实例分析

图 3 为山东枣庄电网一次系统示意图,除 220 kV 邹滕线开环运行外,十里泉电厂、滕州电厂、杜庙变、建国变、夏庄变 220 kV 母线合环运行。夏庄变十夏线 #23 开关、滕夏线 #25 开关运行在 I 母线,建夏线 #26 开关运行在 II 母线,母联合环运行。下面以该系统夏庄变电站区域为例,对传统后备保护与广域后备保护的工作情况进行比较。表 1 为 220 kV 夏庄站保护典型配置。

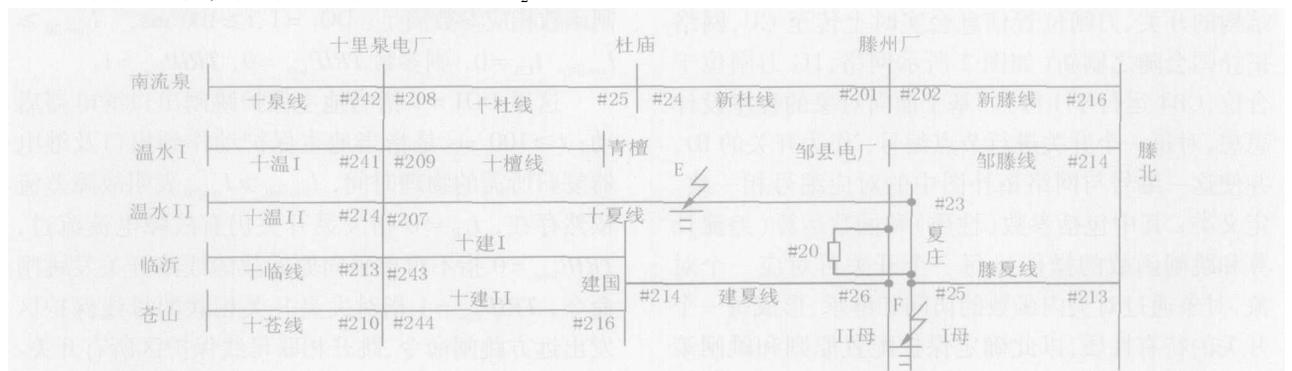


图 3 枣庄电网 220 kV 系统图

Fig 3 220 kV power system of Zaozhuang district

表 1 夏庄变电站保护类型配置表

Tab 1 Configuration of the relay protection in Xiazhuang substation

	主保护	保护类型	后备保护	保护类型
220 kV 线路保护	LFP-901A	零序方向高频纵差 (工频变化量方向保护)	段式 方向距离	距离保护 接地距离 相间距离
	LFP-902A	四边形方向距离 高频纵差	段式 方向距离	距离保护 接地距离 相间距离
母差保护	BP-2A型 母线保护	比率差动	母联失灵保护 充电保护	
变压器保护	LFP-972A 差动保护	电流纵差保护	LFP-973E 高后备保护	复合电压闭锁方向过流 零序方向过流 间隙零序过流 不接地零序过压 过负荷
	LFP-974C 非电量保护	气体瓦斯保护		失灵保护 冷控失电保护
三相不一致	LFP-923C型 断路器启动失灵 及三相不一致	失灵保护 充电保护 过流保护 不一致保护		

例 1:当十夏线 E点发生故障,夏庄 #23开关主保护动作失败,对侧十厂站的 #207开关已成功跳开。

主保护动作失败后,传统的后备保护是通过本线路的距离、零序保护作为后备的,以相间故障为例:如故障点在 #23开关距离保护 I段范围内,则后备保护的动作为 20 ms(继电器固有动作时间);如故障点在距离 II段范围内,保护的动作用还要加上 0.5 s延时。如后备保护动作再次失败,则应由健康线路对侧开关即滕北站 #213开关、建国变 #214开关的距离 II段或 III段动作切除故障,II III段动作时限均需要进行级差配合,动作时限可达为 1.5 s或更长。

广域后备保护经线路分区完成差流计算,判断差流越限后进入故障分析程序。100 ms延时后故障差流依然存在,同时检测到 #23主保护动作失败,CU通过跳闸函数向终端单元发出跳闸信号,跳开 #23开关,保护动作时间约 110 ms,保护动作时序图如图 4所示。

例 2:十夏线 E点发生线路故障时,主保护动作成功,夏庄站 #23开关拒动。

#23开关拒动后,传统上应由 #23开关的失灵启动装置去启动位于 220 kV母差上的开关失灵保护,经短延时 300 ms跳开母联 #20开关缩小故障范围,经长延时 600ms跳开与 #23开关同在 母线上的 #25开关。由于失灵启动装置本身还要躲过开关动作延时约 100 ms,所以开关失灵保护的出口时间在

700 ms以上。

广域保护通过差流计算,以及接收 #23主保护动作信息,判断为 #23开关失灵。经 100 ms延时后,跳闸函数向 I母线发出跳闸命令跳开母联 #20和 #25开关。保护的动作为 110 ms,保护动作时序图如图 5所示。

例 3:夏庄变 220 kV I母线 F点发生故障,母差保护或开关拒动。

传统上,如线路开关 #23、#25未成功跳开,则需线路对侧开关即滕北 #213开关和十厂站 #207距离 II段跳闸切除故障。由于环网的时限级差配合,本例中两台开关的距离 I段延时均为 1.5 s;如母联 #20开关拒动,造成故障电流未切除,应由母联失灵保护动作,延时 0.3 s后跳开 II母线的 #26开关来最后切除故障。

广域后备保护在故障发生后,通过差流计算首先确定出 I母线为故障母线。经过 100 ms延时后,如果母差保护动作失败,则 CU启动,跳开 I母所联开关,动作时间约为 110 ms。如果 #23、#25任一开关拒动,则通过对开关电流采样值的无流判断,启动相邻的十夏线或滕夏线保护分区,跳开对侧十厂站 #207或滕北 #213开关,整个动作过程约为 170 ms;如母联 #20开关拒动,则同理启动 II母线差动分区,跳开 II母线 #26开关,整个动作过程约为 170 ms,快于传统保护。

以上实例分析中,只涉及 220 kV线路及母联系

统,未分析广域保护中主变压器保护分区及各侧开关的动作行为,主变压器及各侧开关同属于广域保护的变压器保护分区,而各侧开关又分属于各侧相邻的母线保护分区,变压器保护分区在故障情况下的动作原理及行为与母线及线路保护分区类似,本文不再单独讨论。

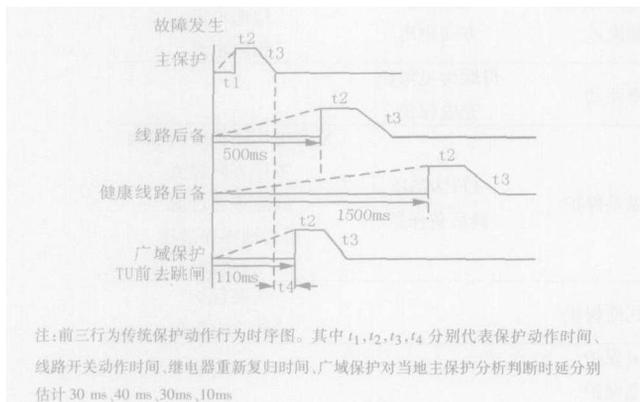


图 4 例 1 时序图

Fig 4 Comparison of operation time for case one

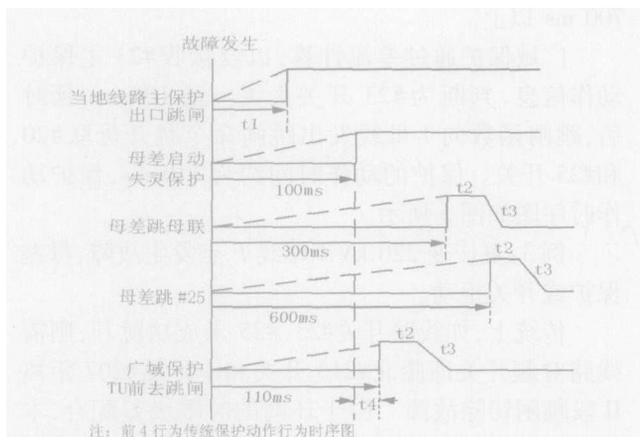


图 5 例 2 时序图

Fig 5 Comparison of operation time for case two

4 总结

本文讨论的广域后备保护利用现代通信技术和 GPS 时间同步技术,通过对保护区内的实时信息进行综合分析,实现广域范围内所覆盖元件的后备保护功能。它采用性能良好的电流差动原理进行故障元件判定,根据相关主保护的动作情况及实时网络拓扑结构设定跳闸函数,实现跳闸策略。与传统后备保护相比,具有故障检测可靠性高、动作时限短且稳定、跳闸区域(停电范围)更趋合理等优点。应用实例结果表明,该保护方案是行之有效的。

参考文献:

- [1] 熊小伏,周家启,等.快速后备保护研究[J].电力系统自动化,2003,27(11):45-47.
XDNG Xiao-fu, ZHOU Jia-qi, et al Research on Fast Operating Backup Protection[J]. Automation of Electric Power Systems, 2003, 27(11): 45-47.
- [2] Serizawa Y, Myoujin M, et al Wide-area Current Differential Backup Protection Employing Broadband Communications and Time Transfer Systems[J]. IEEE Trans on Power Delivery, 1998, 13(4): 1046-1052.

收稿日期: 2004-07-12; 修回日期: 2004-09-08

作者简介:

林霞(1975-),女,硕士研究生,研究方向为广域保护; E-mail: boulevard@126.com

高厚磊(1963-),男,博士,教授,博导,主要从事电力系统继电保护、故障测距、广域同步测量及广域保护方面的研究。

Study of a new type of wide-area backup protection scheme

LN Xia, GAO Hou-lei

(School of Electrical Engineering, Shandong University, Jinan 250061, China)

Abstract: A new relaying scheme for the wide-area backup protection is studied in this paper. Based on the technology of modem communication network and time synchronization, through the information sampling of the fault current and comprehensive analysis of CB status, it detects the fault area and CB operation, and provides an optimal backup protection scheme using the topology of real-time power network and the tripping function. The proposed relaying scheme can reduce fault clearance time greatly by minimizing the integer time of a backup trip without the problem of coordinating tripping time limit and tripping region in the conventional system. The scheme is evaluated with the case of a real power system.

Key words: power system; wide-area backup protection; current differential protection; tripping function; tripping time