

基于 GPS 的广域保护终端装置研究

阳世荣¹,王少荣²,程时杰²

(1.武汉第七〇一研究所,湖北 武汉 430064;

2. 华中科技大学 电气与电子工程学院,湖北 武汉 430074)

摘要: 为从整体或区域电网的角度提升继电保护系统的性能、构建实际的广域保护系统,介绍了一种基于全球定位系统(GPS)的广域保护终端装置。该保护终端装置采用模块化结构,每个终端都配置了 GPS 信号模块和远程通信模块,可通过专用的通信网络共享电网广域信息。阐述了由该终端装置构成的保护系统利用电网广域信息进行保护策略的制定,实现电网中不同地点保护之间动作的协调配合,实现快速的和最小范围的故障隔离,加速后备保护的动作,改善后备保护的性能,并能实现自适应保护。最后,从应用的角度讨论了该装置在实际运行中需要注意的 GPS 信号可靠性与通信可靠性等关键问题。

关键词: 广域保护; GPS; 终端装置; 动作协调; 后备保护

中图分类号: TM 732

文献标识码: A

文章编号: 1006-6047(2007)02-0065-04

0 引言

现代电力系统结构日趋复杂,交换容量日益增加,电网电压等级不断提高,对电网的安全性提出了新的挑战。由于现有保护一般是依据本地电气量工作的,难以在广域范围内实现保护装置之间的动作协调。因而,后备保护的速度难以得到进一步提高。广域保护能利用广域信息,在广域范围内实现不同保护之间的动作配合,改善继电保护性能^[1-5]。更进一步,正如文献[6]指出的那样,广域保护能从整体或区域电网的角度协调继电保护装置和自动控制装置的动作,加强对故障后系统不稳定状态的控制。

提出了一种基于全球定位系统(GPS)的广域保

护终端装置的构造方法,该终端装置利用 GPS 信号作为统一的时钟源,将广域同步信息引入保护系统。分布在电力系统各厂站的广域保护终端装置通过专用的继电保护信息网,共享广域同步信息,构成广域保护系统。广域保护终端装置利用广域信息进行故障判断,实现空间上分布的保护之间动作的协调配合,可以显著缩短后备保护的动作时间。广域同步信息的引入,也使得终端装置可以方便地实现自适应保护和故障定位。

阐述了广域同步信息的获取方式,说明了广域保护终端装置的结构特点、广域保护的功能实现,分析比较了由这种终端装置构成的广域保护相对于常规后备保护的性能改善。最后,阐述了在实际运行中需要注意的 GPS 信号可靠性与通信可靠性等关键问题,并讨论了所构造的广域保护的适用范围。

收稿日期:2006-01-16;修回日期:2006-07-24

1 广域同步状态信息的获取

电力系统地域广阔、设备众多,想获得全系统关键节点及主要设备的运行状态的同步信息,必须依赖于全系统统一的高精度时间基准。GPS 传递的时间与国际标准时间保持高度同步,一般精度在 $1\text{ }\mu\text{s}$ 之内,因而在电力系统实时状态同步监测中得到广泛应用。

一般的商用 GPS 接收机价格比较低廉,在各厂站均可以安装。利用 GPS 信号作为广域保护终端装置的标准时间源,就可以方便地将电力系统广域同步状态信息引入继电保护系统。与传统的微机继电保护装置相比,广域保护终端装置增加了 GPS 信号处理单元、广域同步状态信息处理模块和远程通信模块。能实现全网同步采样,并给采集到的电网状态量贴上时间标签,通过远程通信模块与其他终端装置通信,实现广域同步状态信息共享。

2 广域保护终端装置的结构

广域保护终端装置结构如图 1 虚线框内所示。

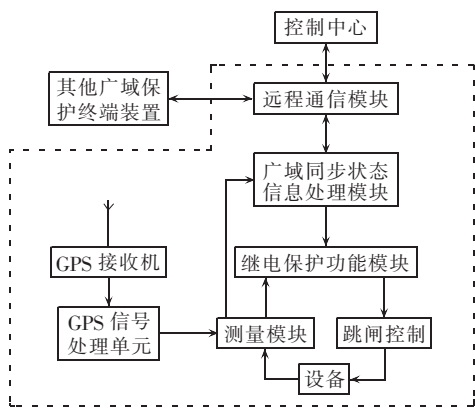


图 1 广域保护终端装置的结构

Fig.1 Structure of wide-area protection terminal device

GPS 接收机输出的秒脉冲信号分为 2 路:一路用来同步终端装置的内部时钟,使系统内各装置都运行在统一的时间基准上;另一路经 GPS 信号处理单元分频后直接用作测量模块的采样脉冲。同时, GPS 信号处理单元还对 GPS 接收机输出的绝对时间代码进行初始化处理。测量模块在全网统一采样脉冲作用下对电网状态进行实时采集与处理,并在下一个采样脉冲到来之前,将采集与处理结果贴上时间标签送给断电保护功能模块和广域同步状态信息处理模块,广域同步状态信息处理模块通过远程通信模块与其他终端装置实现信息共享,并可以把同步状态信息传递给控制中心。

当本地设备故障时,仅由继电保护功能模块发出跳闸信号,迅速隔离故障,同时本地的故障状态信息及动作状态也迅速传递到电网的其他终端装置;当电网内其他设备故障时,广域同步状态信息处理模块接收到远方传送来的状态信息,运行广域

保护算法,控制继电保护功能模块的输出信号,实现不同终端装置之间保护动作的协调与配合;当系统运行方式改变时,广域信息处理模块可根据新的全网状态信息在线计算新的动作整定值,传递给保护模块,实现自适应保护;在电网出现大的扰动时,控制中心能根据全网实时同步状态信息,协调控制各重要节点保护装置的动作,避免电网因为连锁跳闸而崩溃。

由于广域同步信息的共享是广域保护功能实现的基础,所以,终端装置还要对 GPS 信号与通信网络状态进行实时监测,一旦出现 GPS 信号丢失或远程通信错误,广域同步状态信息处理模块立即退出运行,终端装置仅仅利用本地检测量完成保护功能,回到传统的微型继电保护运行方式。

3 广域保护功能实现

3.1 保护动作配合与在线整定

广域保护终端装置通过远程通信模块相互联系并接受控制中心的统一协调,构成广域保护系统,利用广域信息实现保护动作配合与在线整定。下面以图2所示系统为例,简述其功能实现。

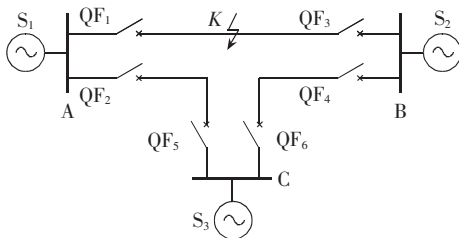


图 2 环网系统

Fig.2 Loop network system

系统正常运行时,各终端装置实时监测系统状态,做例行判断,并共享网络状态信息。

单电源系统如图 3 所示。当 AB 间的 K 点发生短路故障时, A、B 处的终端装置检测到故障信息, 其继电保护功能模块输出跳闸信号, 跳开断路器 QF₁、QF₃, 迅速隔离故障。同时, A、B 处的终端装置将跳闸后的本地状态信息传送给网络上的其他终端装置。QF₁、QF₃ 跳闸后, 线路 AC、BC 上的潮流发生变化, 为防止因为线路过负荷而误跳闸, A、B 处断路器 QF₂、QF₄ 跳闸信号立即被闭锁, 远方变电站 C 处的终端装置根据新的网络状态信息重新整定动作值, 防止断路器 QF₅、QF₆ 误跳闸, 实现自适应保护功能。

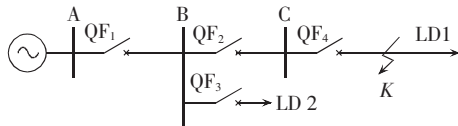


图 3 单电源系统

Fig.3 Single source system

断路器 QF_1 、 QF_3 跳闸后,原来由线路 AB 传输的功率将由线路 AC、BC 承担。线路 AC 的传输功率有可能超过其极限传输功率。为避免系统解列,A、C 处

的终端装置接受控制中心的统一协调,与系统中的自动控制装置进行动作时序配合;即暂时不跳开断路器 QF_2 、 QF_5 ,而是通过自动控制装置在 S_1 处切机、在 S_2 处切负荷,调整线路传输功率,使系统回复稳定运行。这样可避免因保护装置连锁跳闸而导致的大面积、长时间停电。

当系统进行正常的开关变位时,各终端装置通过共享信息,确认为正常的开关操作,只根据变化了的网络状态信息进行保护配置和整定。

3.2 缩短后备保护动作时间

常规的电压、电流保护,往往会由于保护时限的配合带来许多问题。如图3所示,为保证保护的选择性,图3中断路器 QF_1 、 QF_2 和 QF_4 所在线路的Ⅲ段电流保护按阶梯原则进行保护配合。线路越接近电源,其Ⅲ段电流保护动作延时就越长。如果负荷端线路发生短路故障,如图3所示的 K 处,而本线路的断路器 QF_4 拒动,相邻线路的断路器 QF_2 也拒动,这时必须由远离故障点的断路器 QF_1 动作来隔离故障。此时按常规的Ⅲ段电流保护配置方式,就意味着要较长的延时, QF_1 才会跳闸,从而导致故障对设备的损害程度增大,甚至可能引发更严重的故障。

在共享广域同步状态信息之后,各线路的Ⅲ段电流保护之间通过各保护节点状态信息的比较(也包括各断路器的状态),满足条件后立即动作,使得后备保护的動作速度大大提高。图3所示单电源系统, K 处短路故障时, QF_1 、 QF_2 和 QF_4 处终端装置均能检测到短路电流, QF_4 处的终端装置根据本地故障检测量,快速判别故障类型和故障区,控制 QF_4 跳闸,同时在网络上共享本地的状态信息。

当 QF_4 跳闸信号输出后, QF_1 、 QF_2 和 QF_4 处终端装置仍能检测到短路电流,并根据共享的状态信息可判定 QF_4 拒动,则由 QF_2 立即跳闸。如果 QF_2 也拒动,其状态信息被实时传递到 QF_1 处的终端装置, QF_1 立即跳闸。这样,广域分布的各终端装置通过共享广域信息,上一级的后备保护可以免去阶梯延时直接跳闸,加速远后备动作,快速切除故障。一般,相邻线路Ⅲ段保护的阶梯延时为几百毫秒,而实时通信网的通信延时仅为几十毫秒^[7]。因而,广域保护终端装置对后备保护动作加速的效果是明显的。

3.3 双端法故障定位

基于GPS的广域保护终端装置能够实现双端法故障测距。长线路两端的终端装置在GPS同步脉冲触发下进行采样,每个采样数据被贴上统一的时间标签,通过远程通信模块共享。当线路发生故障时,终端装置内的广域信息处理模块运行故障定位程序,利用故障后2~3个周期的两端同步电压和电流数据进行定位计算。文献[8]指出,由于双端法故障测距采用两端同步电压、电流信号,而无需知道两端的系统参数及其余部分的运行状态,因此定位算法程序大为简化,而且能有效地克服过渡阻抗对测距精度的影响。

3.4 其他功能

如前文所述,基于GPS的广域保护终端装置可实

现全网状态信息实现同步监测。因此,可在广域保护系统的控制中心建立电网实时信息数据库,为系统状态估计、安全分析、稳定预测等提供参考依据。如果加入高速多通道采集模块,广域分布的终端装置还可完成电力系统多点暂态过程同步记录,为电力系统暂态过程分析提供数据依据。

4 GPS信号可靠性与通信可靠性

4.1 GPS信号可靠性

广域保护终端装置通过共享广域同步信息,构成广域保护系统。所以,GPS信号的稳定性是广域保护功能实现的关键。终端装置的GPS信号处理单元实验检测GPS信号,一旦GPS信号失效,终端装置立即退出广域保护系统。文献[9]介绍了一种利用GPS秒脉冲信号生成高精度时钟的新方法,所设计的GPS同步时钟发生装置不仅精度高、稳定性好,而且在GPS信号失效时,能够正常稳定地工作长达8h,并已成功地应用于湖南电网同步状态监测系统。采用这种GPS同步时钟发生装置,当GPS卫星信号丢失或错误时,在发出告警信号后,广域保护终端装置仍可在短时间内(几个小时)维持正常运行。这样就避免了由于GPS卫星信号短时失效,而导致终端装置退出广域保护系统,大幅度提高了广域保护系统的运行效率。

4.2 通信可靠性

在通信可靠性无法得到保证的情况下,保护的动作应该独立于通信系统。而广域保护系统是由广域保护终端装置接入通信网络构成,所以通信的可靠性是广域保护正常运行的另一关键。继电保护对信息传输的快速性和可靠性要求很高,同时,在进行通信网络设计时也要充分利用现场和已有的、成熟的通信设备和通信技术。由于继电保护信息独特的重要性,故认为应在以太网和SDH光纤环网的基础上构建专门的继电保护信息网。广域保护终端装置通过继电保护信息网共享广域同步信息,实现广域保护功能。终端装置实时监测通信信道状态,一旦出现通信故障则退出广域保护系统,恢复传统的继电保护运行方式。为确保通信可靠性,重要的厂站之间,应架设备用的通信信道。另一方面,要建立一个用于终端装置间通信的统一的通用数据对象模型,并对其进行标准的语义定义,保证保护装置之间能够高效、准确地交换数据信息。信息传输的可靠性还需要通信协议来保证。TCP/IP协议有较高的可靠性,在电力系统通信中得到了广泛的应用,但是由于带有确认和重传功能,不利于信息的快速传输。文献[10]提出可用UDP/IP协议取代TCP/IP,UDP/IP不是面向链接的,不具备接受确认和重传功能,在保证网络不发生较严重拥塞的前提下可作为一种折衷方案。

5 结论

对基于GPS的广域保护终端装置及其在继电保

护中的应用进行了初步的研究。广域保护终端装置既可以实现传统的继电保护功能,也可以通过继电保护信息网构造广域保护系统,实现广域保护功能。其最主要的用途在于实现广域分布的保护装置的动作配合,避免故障范围的进一步扩大;缩短后备保护的动作时间,加速故障隔离。同时,也能实现自适应保护、双端法故障定位等功能。

需要说明的是,快速切除故障元件的主保护是不需要广域信息的。基于主保护的可靠性和速动性要求,基于本地信息进行故障判断简单而可靠。而且由于被保护的目标是单一设备,使用被保护元件两端信息已经足够判别是否故障。因此,广域保护终端装置的广域保护功能较适用于远距离输电线路后备保护动作配合、区域输电网的后备保护加速以及故障定位等方面。

下一步的工作是开展广域保护算法的研究,进一步强化终端装置的广域保护功能,不仅利用广域信息完成继电保护保护功能,而且还能把继电保护与自动控制装置结合起来,构建继电保护和区域稳定控制一体化系统,维护电网的安全和稳定。

参考文献:

- [1] 张保会. 广域动态信息条件下电网安全紧急控制的研究[J]. 电力自动化设备, 2005, 25(8): 1-8.
ZHANG Bao-hui. Study on network security stability and emergency control system based on wide area dynamic information[J]. Electric Power Automation Equipment, 2005, 25(8): 1-8.
- [2] 胡学浩. 美加联合电网大面积停电事故的反思和启示[J]. 电网技术, 2003, 27(9): 2-6.
HU Xue-hao. Rethinking and enlightenment of large scope blackout in interconnected north America power grid[J]. Power System Technology, 2003, 27(9): 2-6.
- [3] 卢强, 董新洲. 继电保护与电力系统灾变防治[J]. 继电器, 2005, 33(14): 1-5.
LU Qiang, DONG Xin-zhou. Protective relaying and electric power system collapse prevention[J]. Relay, 2005, 33(14): 1-5.
- [4] 张保会. 电网继电保护与实时安全性控制面临的问题与需要开展的研究[J]. 电力自动化设备, 2004, 24(7): 1-6.
ZHANG Bao-hui. Problems on protection relay & urgency control

- system in interconnected power network of China and studies needed[J]. Electric Power Automation Equipment, 2004, 24(7): 1-6.
- [5] 张保会. 加强继电保护与紧急控制系统的研究提高互联电网安全防御能力[J]. 中国电机工程学报, 2004, 24(7): 1-6.
ZHANG Bao-hui. Strengthen the protection relay and urgency control systems to improve the capability of security in the interconnected power network[J]. Proceedings of the CSEE, 2004, 24(7): 1-6.
 - [6] KARLSSON D, MESSING L, AKKE M S. Wide area protection and emergency control[C]//Developments in Power System Protection. New York: IEEE/PES, 2004: 746-751.
 - [7] 李刚, 王少荣, 程时杰. 广域电网同步状态监测系统实时通信[J]. 电网通信, 2004, 28(18): 39-43.
LI Gang, WANG Shao-rong, CHENG Shi-jie. Real-time communication in a synchronous system for wide area power systems[J]. Power System Technology, 2004, 28(18): 39-43.
 - [8] 苏进喜, 解子凤, 秦荃华, 等. 基于GPS的新型输电线路故障定位装置的研制[J]. 电网技术, 1999, 23(6): 19-22.
SU Jin-xi, XIE Zi-feng, QIN Quan-hua, et al. A new device for fault location of transmission line based on GPS[J]. Power System Technology, 1999, 23(6): 19-22.
 - [9] 张鹏, 王少荣, 程时杰. 电网状态监测系统GPS同步时钟的稳定性研究[J]. 继电器, 2004, 32(23): 18-22.
ZHANG Peng, WANG Shao-rong, CHENG Shi-jie. Stability study of GPS synchronous clock in the status monitoring system of power network[J]. Relay, 2004, 32(23): 18-22.
 - [10] 崔沅, 程林, 孙元章, 等. 电力系统实时决策系统中的实时通信[J]. 电力系统自动化, 2002, 26(8): 6-10.
CUI Yuan, CHENG Lin, SUN Yuan-zhang, et al. Real-time communication in real-time control and analysis system for power systems[J]. Automation of Electric Power Systems, 2004, 26(8): 6-10.

(责任编辑: 李玲)

作者简介:

阳世荣(1980-), 男, 湖南衡阳人, 硕士研究生, 研究方向为电力系统运行与控制、广域保护技术(E-mail: oyangdee@163.com);

王少荣(1980-), 男, 浙江金华人, 副教授, 研究方向为电力系统运行控制, 电力系统继电保护;

程时杰(1945-), 男, 湖北武汉人, 教授, 博士研究生导师, 研究方向为电力系统运行与控制、人工智能在电力系统控制中的应用。

Research on wide-area protection terminal device based on GPS

YANG Shi-rong¹, WANG Shao-rong², CHENG Shi-jie²

(1. Wuhan 701 Institute, Wuhan 430064, China;

2. Huazhong University of Science & Technology, Wuhan 430074, China)

Abstract: To improve the performance of the relay protection and build actual wide-area protection system from the viewpoint of whole or district power network, a wide-area protection terminal device based on GPS(Global Positioning System) is introduced. It adopts modularized structure, each terminal equips with GPS signal module and telecommunication module, and shares the wide-area information of power network via special communication network. The protection system composed of terminal devices uses wide-area information to establish the protective strategy to realize the coordination and cooperation of protections at different places in power network and the fast and least area fault isolation. The action of backup protection is speeded up, its performance improved and the adaptive protection realized. The reliability of GPS signal and communication, to which the attention should be paid in application, are discussed.

Key words: wide-area protection; GPS; terminal device; action coordination; backup protection