

一种新型的电力系统广域网后备保护

丁力,苗世洪,刘沛,林湘宁

(华中科技大学电气与电子工程学院,湖北 武汉 430074)

摘要: 随着电网的大范围互联,现有的继电保护理论及技术有待于进一步提高。提出了一种新型的广域网后备保护系统设计方案,该方案从整个电网的角度对电力系统的故障进行分析,有效地解决了级联跳闸等技术难题,增强了电力系统安全运行的可靠性。给出了广域网后备保护系统使用的硬件平台,并详细论述了软件设计的总体结构。

关键词: 广域网; 后备保护; 级联跳闸

中图分类号: TM771 **文献标识码:** A **文章编号:** 1003-4897(2006)06-0001-05

0 引言

广域保护是近几年国内外一个新兴的研究课题,它的提出建立在计算机技术和通信技术发展的基础上,与大型互联电网的安全性和稳定性要求有密切的关系。尤其1996年美国大停电、2003年夏季美加互联电网崩溃事故和欧洲部分国家大范围停电事故的相继发生,人们进一步认识到应该加强从整体或区域电网的角度进行继电保护和自动控制,这不仅要加强继电保护本身的可靠性,还要配合继电保护的配合,加强对故障后不稳定系统的安全控制。

CIGRE的一项研究表明,27%的电力系统的扰动可以归因于保护系统的误动作^[1];NERC的一项报告研究了北美电网17年的运行数据,发现63%的系统大扰动都与保护有关^[2]。由于保护过载、设置不当和尚未发现的继电保护故障导致的保护误动,在不同程度上,起到了引发或者传播电力系统扰动的作用。其根本原因在于传统的保护所采用的是单元式保护原理,即根据保护单元的单独决策来隔离故障,而没有从系统的观点出发来作出有利于整个系统的具有系统优化和协调功能的保护动作策略。在继电保护体系中,后备保护的不正确动作对系统的影响尤其重大,这也是造成电力系统级联跳闸的主要原因。

随着计算机技术和通讯技术的发展,电力系统线路保护可以突破传统线路保护的单元化设计思路,因此本文提出了一种新型的广域网后备保护。这种设计,在传统的后备保护系统中增设了基于整个系统的智能控制处理环节,增强了电力系统的安全

全防御的第一道防线的安全可靠性。

1 保护的覆盖区域及系统结构

1.1 覆盖区域

本方案所研究的广域网覆盖三个220 kV的变电站和四条220 kV输电线路,其网络关联示意图如图1所示。其中,p1~p8为8个断路器。

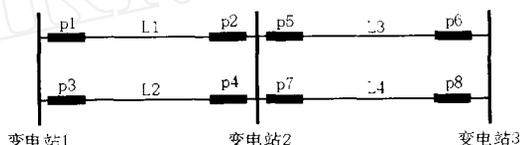


图1 广域后备保护网络关联示意图

Fig 1 Relationship of wide-area backup protection

1.2 系统结构

传统的线路后备保护是基于单个保护单元的,孤立的按固定规律运行,为了可靠性而牺牲整个系统的安全稳定性。在特殊情况下如果频率或电压下降速度过快,可能安全自动装置来不及动作,系统已经发生严重的崩溃事故。此外,目前使用的保护判据、安全自动控制判据大都是基于本地量构成,反映的只是系统某点或很小一个区域的运行状态,不能反映较大区域电网的安全运行水平,装置之间缺乏相互协调和配合,难以做到对系统进行优化控制。这样将会导致系统某点发生故障后安全水平下降,造成继电保护和安全自动装置相继动作。由于这些装置之间缺乏相互的配合协调,可能进一步扩大故障影响范围,引起系统发生连锁跳闸等严重事故^[3,4]。

文中所提出的广域线路后备保护系统分为两大部分:广域线路后备保护主站系统和子站系统。主

站系统由一个保护主站和一个后台监控机组组成,安装在省调度中心。子站系统由三个保护子站组成,每个变电站分别安装一个保护子站。保护主站通过光纤网协调管理三个保护子站,根据三个保护子站上传的故障信息进行故障定位并做出动作协调机制,保护范围不局限于某个单一元件,而是保护一个区域,故障发生时能避免故障范围的扩大,为一定区域内的输电线路提供选择性好、可靠性高的保护。系统结构示意图如图 2 所示。

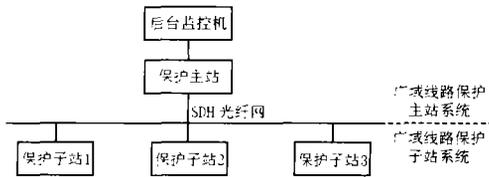


图 2 广域后备保护系统结构示意图

Fig 2 System structure of wide-area backup protection

2 保护原理

2.1 功能分配

1) 广域保护主站系统的功能

A. 保护主站完成的功能

电网正常运行时,收集各广域保护终端的测量数据,监测电网的运行状态并把测量数据转发给后台机,转发后台机对子站系统远程设置的各种参数,以及定时广播对时报文,使子站与主站的时钟同步。

发生故障或异常情况时,起动广域保护策略,根据收集到的子站信息,进行故障点的定位,在此基础上综合考虑安全稳定等因素从而给出正确的保护决策,防止事故范围的扩大。故障处理完成后通知各子站系统上传录波数据,并转发给后台机。

管理专用光纤信道的使用,协调各子站的通信,保证数据传输的时间确定性和实时性。

B. 后台监控机完成的功能

目标区域电网运行状态显示,包括潮流、线路电流、母线电压、断路器状态等信息。

维护整个广域线路后备保护系统的数据库,如参数设置数据库、历史记录数据库、故障录波数据库、实时测量数据等,同时管理各种分析所需的数据。

故障或异常情况处理完成后进行故障分析(包括对各种方向元件的分析),发现电网运行时存在的故障隐患,完善保护系统对故障的处理机制。

对广域保护系统在发生故障时的运行情况进

行仿真。

2) 广域保护子站系统中的各个保护子站的功能

实时测量线路电流、母线电压及各种开关量(断路器状态、保护信号等)。

阻抗测量和零负序电流电压的计算。

发生故障或异常情况时,各保护终端要完成故障信息(零负序及阻抗方向元件、系统运行方式和故障类型的判断)的计算并上传给主站,然后执行决策主机下发的保护决策。

具有故障录波功能,故障处理完成后,将故障录波数据上传到主站系统。

2.2 工作模式

该保护有三种工作模式:正常模式、故障处理模式和调试模式。电网正常运行时,保护系统处于正常模式下,监测电网内各种开关的状态、其它保护故障启动信号和各种电气量的变化。当检测到故障时,保护切换到故障处理模式,进行故障判断并确定最佳的故障切除方案。广域线路后备保护可以对不必要动作的传统后备保护发闭锁信号。

1) 正常模式

保护主站监视保护区域内的开关状态、所有保护的故障启动信号和电气量采样数据,保护子站除了包含传统的保护功能外,还要按照主站的要求采集本地的开关量和母线电压、线路电流等电气量,并通过广域数据网定时发送给主站。

2) 故障处理模式

保护区域内发生故障时,对故障反映最灵敏的保护子站最先启动故障处理模式,并立即向保护主站发送故障启动信号。保护主站收到故障启动信号后,立即切换到故障处理模式,并向其它子站发送故障启动信号,启动整个系统的故障处理模式。进入故障处理模式后,保护子站上传给保护主站以下数据和信息:

本地所有相关线路的方向元件结果。

所对应线路的断路器辅助触点信息。

对应这些线路的主保护、后备保护动作信息。

本地检测到的系统当前运行状态,包括:全相、非全相、是否振荡等。

保护主站在收到各个子站上传的数据信息后,根据相应方向元件测量值和系统运行方式确定故障发生的区域,根据传统保护动作信息、断路器辅助触点信息和系统运行状态确定各保护子站应该采取何种故障处理措施。保护主站完成决策后发送给保护

子站以下命令和信息:

1) 故障点的定位信息:故障在区外、故障在区内,且给出故障线路识别符。

2) 子站应该采取的措施:

针对故障诊断结果为发生故障的线路,有以下几种情况:

开放传统后备保护,若该线路的主保护或传统后备保护在规定的时间内已经隔离故障,子站则置可能加速的标志,并通知主站,等待重合闸后加速等操作结束后经主站通知保护返回。

开放传统后备保护,若该线路的主保护或传统后备保护在规定的时间内未能隔离故障,子站则就地发出后备保护动作失败的信号,并通知主站,由主站综合判断并下发跳闸失败决策。

针对故障诊断结果为未发生故障的线路,有以下几种情况:

故障发生后其后备保护可能误动作的线路,子站就地发出闭锁传统后备保护的信号。

远方的后备保护拒动,如果主站通知本子站相关线路的后备保护动作,子站就地发出开放传统后备保护的信号。

3) 调试模式

调试模式是为了进行参数的修改而设定的一种无故障模式。当处于调试模式时,程序按最简单的方式运行,保护不能进入故障处理模式。

2.3 故障启动及返回判据

故障启动条件如下,并且各个条件进行或逻辑组合作为进入故障处理模式的判据。

- 1) 反映相电流突变的三点启动法。
- 2) 反映全电流的零序过流测量元件。
- 3) 本地其他主保护启动。
- 4) 主站通知启动。

故障处理模式返回条件如下,所有条件满足达4s后,故障返回,返回启动继电器。

- 1) 相电流和零序电流小于定值。
- 2) 任意相间阻抗不在动作区内。
- 3) 主站通知返回。

另外,采样值采用全波傅氏差分算法。并且当子站出现运行异常情况时,如系统自检失败、开入回路故障、CT/PT断线、通讯网络故障等,子站不进入故障处理模式,并发送运行异常报告。

2.4 故障区域定位

故障定位包括故障类型的判断和故障点的定位,同系统是否全相运行有关。

1) 全相运行(线路两端都为全相运行)

故障类型的判断,可以采用零负序电流比相方式,附加阻抗确认。

故障点的定位采用零负序分量方向元件附加阻抗确认。线路两端任何一种同类型方向元件同为正向,则确定该线路为故障线路。当零负序元件灵敏度不足时,采用相间阻抗方向元件辅助判断。其判断方法见非全相运行情况。

2) 非全相运行(线路两端不同时为全相运行)

故障类型的判断采用阻抗元件方式。

故障点的定位采用四边行动作特性的阻抗方向元件,具体定位方法如下:

有一端是全相运行,另一端是两相运行(例如 a 相断开),则判全相运行的 z_a (阻抗方向元件),如果 z_a 为正向,则判为故障线路,否则再判线路两端的 z_b, z_c, z_{bc} ,如果线路两端任一种同类型方向元件同为正,则判为故障线路。

有一端是全相运行,另一端为三相断开,则判全相运行的序分量方向元件(灵敏度足够的情况下),否则判阻抗方向元件,任一为正向则判为故障线路。

两端都是三相断开,则判为故障线路。但在这种情况下,不再对该线路做动作。

一端是三相断开,另一端是两相运行,且任一方向元件是正相,则判为故障线路。

两端都是两相运行,且断开相相同(例如都断开 a 相),则判 z_b, z_c, z_{bc} ,线路两端任一同类型方向元件同为正向,则判为故障线路。

两端都是两相运行,但断开相不同(例如,一端断开 a 相,一端断开 b 相),即故障类型判断错误,则判为故障线路。

3 实现方案

3.1 硬件平台

在所给出的保护系统设计方案中,广域保护后台机采用普通 PC 机,主要运行后台监控软件、数据库以及进行系统仿真,而广域保护主站和保护子站采用高集成化的 APC B500 系列嵌入式工业控制模板,实现大部分的测量、保护及控制功能。广域保护装置采用了两块 APC B500 系列工业控制模板,即 APC B5094B (CPU 模板)、APC B5467 (DSP 模板)。APC B500 系列控制模板是本系统的硬件核心。

3.2 程序设计

保护装置的软件部分包括数据采集及计算程序、广域保护决策程序和人机交互程序。其中,数据

采集及计算程序主要完成模拟量采样、故障启动判断、故障计算等功能;广域保护决策程序主要负责开关量采集、故障处理决策、保护出口;人机交互程序主要完成面板信号灯控制、键盘、显示器管理等人机对话功能。本文主要论述广域保护决策程序。

广域保护决策程序包括主站程序和子站程序,主站程序侧重于全区域的故障处理决策,子站程序侧重于本地量监测和配合主站完成故障处理。

1) 主站程序

主站程序主要包括主程序、1 ms定时中断程序和故障决策程序。

主程序主要负责整个程序的大体流程,协调各个子部分的工作。

1 ms定时中断的优先级最高,主要负责提供时钟基准和一些变量的计数工作,并按时对看门狗进行复位。

故障决策程序主要负责故障点的定位及保护决策的制定。

2) 子站程序

子站程序主要包括主程序、1 ms定时中断程序、DSP触发中断程序和保护出口程序。

主程序主要负责整个程序框架,协调各部分的工作。

1 ms定时中断的优先级最高,提供时钟基准、开关量采集以及一些重要数据的实时判断等。

DSP触发中断优先级次于子站和中心站之间的通讯中断。主要负责采集 DSP传送上来的启动返回判别数据以及故障信息。

保护出口程序负责执行主站下发的决策。

装置启动后,主程序按一定的周期被 1 ms定时中断和 DSP触发中断打断,进入中断程序完成相应的任务。如果检测到故障或接收到启动信号,主程序将进入故障处理模块,否则进入正常运行模块。

3.3 通信方案

广域保护的实现是建立在可靠的数据通讯基础之上的,数据信息必须进行标准的定义,数据的交换必须准确、高效,通讯系统传输数据必须快速,满足保护装置对时间的要求^[5]。

由于主站要与三个子站互通数据,为了避免通讯出错,且能够实现保护装置在时间上的要求,广域保护主站与子站之间采用主从式光纤通讯,而保护主站与后台机之间则采用 485通讯,波特率均为 57 600 bps

1) 子站与主站通讯

主站向子站发送指令,子站返回数据,主站收到数据不用发送应答帧,若出错,在两侧都作事故记录(按一定格式),不进行重发。

数据帧分为三级:一级数据帧优先级最高,包括子站启动信息等;二级数据帧次之,包括告警信息、开关变位信息等;三级数据帧优先级最低,包括交流电压电流等。

2) 主站与后台机通讯

主站向后台机发送数据,后台机无需返回帧。当后台机需要对参数进行修改(如:定值、波特率、时间)时,在接收到数据帧后,返回一个参数修改命令帧。另外,后台机在修改定值或子站与主站的波特率时必须通知主站处于调试模式,主站再通知各个子站都处于调试模式后才能修改,如果只是修改主站和后台机的波特率则不需要进入调试模式。

数据帧和命令帧中必须包含同步码、功能码、通信地址和校验码。每帧数据都必须进行校验码的核对,如果出错,则放弃该组数据。

4 举例

假设在 L1线路上发生 A相接地故障,此时子站 1和子站 2都能满足故障启动条件,由于各个子站之间时间配合上不能完全同步,假定子站 1率先故障启动。

子站 1故障启动后,将立即通知主站故障启动。主站在接收到故障启动信息后再通知子站 2和子站 3启动(子站 2可能在主站通知它启动前已经满足故障启动条件自启动了),从而实现整个保护系统进入故障处理状态。

主站根据三个子站上传的保护信息判断出线路 L1是故障线路,并下发决策给各个子站。三个子站得到的决策如下:

子站 1:开放 P1的传统后备保护,闭锁 P3的传统后备保护。

子站 2:开放 P2的传统后备保护,闭锁 P4、P5和 P7的传统后备保护。

子站 3:闭锁 P6和 P8的传统后备保护。

三个子站按照各自得到的决策发出命令,在规定的时间内,假定子站 1的 P1保护端拒动,L1线路故障未能隔离,子站 1将向主站发出动作失败信号。主站根据接收到的动作失败信息将重新作出以下决策:

子站 1:无需作出任何动作。

子站 2:开放 P4的传统后备保护。

子站 3:无需作出任何动作。

本文不考虑动作失败两次以上的情况,在重新作出决策之后,保护系统将等待故障返回后返回正常模式或延时返回正常模式。

由于篇幅有限,其它故障情况在此不再一一列举。

5 结论

随着电网的大范围互联,电力系统的稳定性成为更加关心和突出的问题。针对目前电力系统存在的级联跳闸问题,本文提出了一种新型的广域网后备保护设计方案,该方案以光纤网作为通讯手段,在传统的后备保护系统中增设了基于整个系统的智能控制处理环节,有效地解决了电力系统级联跳闸的问题,增强了电力系统的安全防御的第一道防线的安全可靠性。它有如下特点:

1) 同传统主保护相比

采用基于广域数据采集的保护原理,从原理上避免了基于本地量线路保护的局限性。

主要用作电网的后备保护,速动性方面仍不如传统主保护,但在灵敏度、选择性和可靠性方面优于它们。

保护范围不局限于单一线路,而是多条线路多条母线的电网系统。

功能上不仅可以实现故障切除和隔离,还可以实现故障区域定位、安全稳定控制等。

2) 同传统后备保护相比

不依靠延时实现选择性。采用多点综合判断保证选择性,能满足复杂电网保护配合的要求。

可实现自适应协调机制。根据多点的信息判断出系统的运行状态,灵活、合理地配置保护方案,准确判断出各种故障和异常情况,提高传统后备保护的可靠性。

能实现故障区域定位。

并且,本文的研究是以三个变电站为基础的,随着计算机技术和通讯技术的发展,可以采用金字塔状结构来给各个地区的变电站分组(一个地区作为一个小组),每组作为一个子单元,各个子单元把数据传给其上级子单元,最后汇总到最高级别中心站处,这样便可以实现成千上万个变电站之间的联合。而且,随着 61850 规约的成熟,广域保护必将能够获得更加广泛的前景。

最后应该指出,广域保护在国内外都还是很新的东西,只有通过不断的实践创新,广域保护方案才能被推广开来并逐渐成熟。

参考文献:

- [1] CIGRE Report An International Survey of the Present Status and the Perspective of Long-term Dynamics in Power Systems[A]. CIGRE Task Force. 1995.
- [2] Disturbance Analysis Working Group. Review of Selected Electric System Disturbances in North America, NERC [A]. Princeton (New Jersey): 1979-1995.
- [3] Sidhu T S, et al Bibliography of Relay Literature, 2000 IEEE Committee Report[J]. IEEE Trans on Power Delivery, 2002, 17 (1): 75-84.
- [4] Taylor C W. Improving Grid Behavior [J]. IEEE Spectrum, 1999, 36 (6): 40-45.
- [5] 孙军平,盛万兴,王孙安. 新一代变电站自动化网络通信系统研究 [J]. 中国电机工程学报, 2003, 23 (3): 16-19, 145.
SUN Jun-ping, SHENG Wan-xing, WANG Sun-an Study on the New Substation Automation Network Communication System [J]. Proceedings of the CSEE, 2003, 23 (3): 16-19, 145.

收稿日期: 2005-09-27; 修回日期: 2005-12-13

作者简介:

丁力 (1982 -),男,硕士研究生,研究方向为微机继电保护;
E-mail: hus619@yahoo.com.cn

苗世洪 (1963 -),男,博士,副教授,从事电力系统继电保护、电力系统分析控制的研究;

刘沛 (1944 -),女,博士生导师,教授,从事继电保护及变电站自动化的研究。

A new type of wide-area backup protection in power system

D NGLi, MAO Shi-hong, LU Pei, LN Xiang-ning

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

Abstract: The theory and technology of relay protection need to be improved under the union of power systems. Thereby, a new scheme of wide-area backup protection is presented. The scheme takes an analysis from the whole power system to solve the problem of cascade trip in power system effectively and increase the stability of power system. The hardware is discussed, and design of the protection software including the software framework is detailed.

Key words: wide-area protection system; backup protection; cascade trip