

文章编号:1000-582X(2006)07-0046-04

保护型馈线自动化原理及实现方案*

周念成,黄俊,赵渊,林明星

(重庆大学电气工程学院 高电压与电工新技术教育部重点实验室,重庆 400030)

摘要:提出了一种基于通讯的保护型馈线自动化方案.配电网中相邻连接的保护单元相互交换带方向的故障信息,实现馈线故障快速切除,完成故障隔离和系统重构,瞬时性故障通过重合闸恢复供电.在光调制解调器(MODEM)中通过编码将通讯功能和电平(即故障标志)传输功能分开,故障标志传输不需要专用的通道.光MODEM之间的帧传送是自主的,相邻MODEM间能够快速地传送电平信号,实现了点对点的故障信息交换.提出的快速保护方案通过了动模实验,在实际配电系统中运行了2年,对有通讯通道的城市配电系统有实用价值.

关键词:馈线自动化;差动保护;故障隔离;系统重构;光调制解调器

中图分类号:TM77

文献标识码:A

采用保护方式实现馈线自动化具有快速故障隔离的优点,这需要分段开关或环网柜进线开关必须使用断路器^[1].利用通讯通道实现配电网保护也取得了较多研究成果^[2-8],文献[2]分析了双方向闭锁式方向保护和允许式方向保护,指出闭锁式保护适合于配电网快速保护.这类技术实现的关键是得到相邻保护单元的故障状态,因此,通讯方式的选择至关重要.文献[4]利用光纤以太网快速通讯,在架空线路通讯子网的中心节点,并处于主干网环路上设立子站,故障发生后各配电终端单元(FTU)的故障状态发送到子站,子站优先处理确定故障位置.该方案主要依赖于子站,如子站破坏时转换为FTU之间通讯较复杂,FTU确定子站已退出运行需要一段时间;保护定值也需变化,增加了实现难度.文献[5]利用配电网光通讯系统实现点对点的控制字信息交换,完成闭环配电网保护的配合和高速动作,这种馈线保护需专用一条光纤通讯通道.文献[6]提出了利用CAN总线通讯,将所有FTU和配电站构成对称型多主站网络结构,总线上所有节点都可以成为主节点,正常运行时配电站为主节点,FTU为从节点,采用Polling方式进行通讯;馈线故障时FTU成为主节点,主动将故障信息上报.这种方案的实质与文献[4]一样,但CAN总线速度远低于光纤以太网.文献[7]采用LonWorks局域网,当线路故障

时首先由变电站出线开关跳闸,启动重合闸,并向Lon网发出暂停SCADA通讯命令,线路上各FTU立即停止SCADA通讯,相邻FTU及变电站广播故障电流标志,并接收相邻FTU的故障电流标志.该方案先发暂停SCADA通讯命令,由于每套FTU通讯状态不同,停发的时间也有差异,同时总线上每套FTU广播发送故障信息时,必将出现总线仲裁,因此得到故障标志的延时时间不是完全确定的.

目前,利用保护方式完成的配电自动化方案一般需专用光纤通道实现点对点通讯,这将成倍地增加了通讯网的成本.不用专用通道的方案并没有实现真正意义上的点对点故障信息传递,只是在SCADA通讯时,分时利用通讯通道,通讯时间和保护的可靠性都有影响.笔者在馈线系统保护理论的基础上^[8],完善了保护型馈线自动化的原理,在实现方案上首次提出利用同一光纤通讯通道,在光MODEM中将通讯功能和电平(即故障标志)传输功能分开.光MODEM之间的帧传送是自主的,每经过一个光MODEM,信道编码帧都会重新生成,其他站有故障也不会影响本站的重新生成帧.故障标志只在相邻MODEM间快速地传送,同时FTU的SCADA通讯功能不受影响. FTU利用的交换故障信息完成故障检测、隔离和网络重构.由于该光MODEM只是在编码中增加了电平位,不额外地增加

* 收稿日期:2006-03-16

作者简介:周念成(1969-),男,重庆梁平人,重庆大学讲师,博士,主要从事电力系统继电保护、配电自动化和电力系统可靠性的研究.

硬件成本.

1 保护型馈线自动化原理

1.1 配电网馈线系统保护原理

在高压线路保护中,高频保护、电流纵联差动保护都是依赖快速通讯实现的主保护,馈线系统保护是在多于2个装置之间通信的基础上实现的区域保护^[3].双向闭锁式电流方向保护是馈线系统保护的一种实现方式^[8].

在故障发生时,双向闭锁式电流方向保护(故障状态差动保护)首先判断故障电流的方向,采取故障电流正方向时信号不发信,反方向发送禁止动作信号的原理构成.用图1和图2说明保护动作原理.M侧和N侧是指2B的两侧相邻的保护单元.双电源供电,d点发生故障,对于2B保护装置,接收信号的信号组合方式见表1,表中的允许跳闸是保护装置出口跳闸的必要条件.对于接收M侧和N侧双端信息的馈线保护装置,根据双端信号有无,信号组合有4种方式,如表1中方式1、方式2、方式3和方式4所示.单电源供电时(如图1所示),由于短路点下一级保护(如图1中3B保护装置)没有短路电流,信号组合方式没有表1中的方式2.双向闭锁式电流方向保护适合于多电源环网闭环运行、开环运行方式以及单电源辐射方式运行.

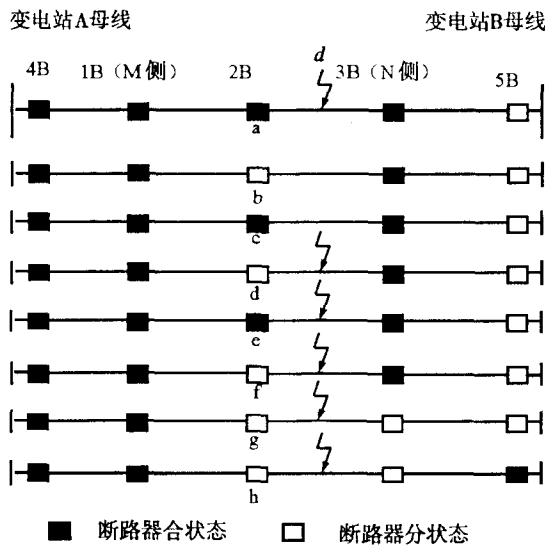


图1 单端电源供电的保护工作原理分析

1.2 故障隔离

故障隔离的任务是最小范围内隔离故障点,即启动离故障点最近的断路器跳闸,由馈出线后备保护动作隔离拒动的断路器.

故障隔离中需确定离故障点最近的断路器,称为故障边界.故障边界的检测方法是利用系统保护接收

故障启动握手信号的时间来确定边界,辅助以本保护装置无电流且失压作为判据.故障隔离是在故障发生后,完成了保护、重合、后加速的“分→合→分”动作循环以后再启动.如图1(d-g)中,d点发生永久性故障,2B后加速保护动作后,3B已判定为故障边界,发出隔离跳闸命令.故障隔离后设置故障闭锁标志,故障闭锁标志未解除,禁止合闸.故障闭锁标志可以由手动或失电侧恢复供电解除.

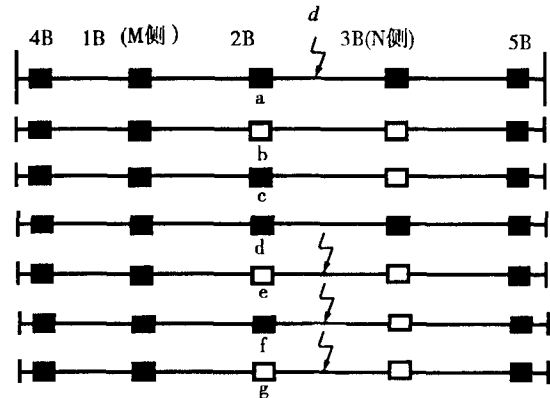


图2 双电源供电系统保护工作原理分析

表1 信号组合方式及其解释

组合方式	方式1	方式2	方式3	方式4
M侧收信	无	有	无	有
N侧收信	无	无	有	有
故障定位	两侧开关之间	M侧开关之外	N侧开关之外	信号交换
跳闸判决	允许跳闸	禁止跳闸	禁止跳闸	禁止跳闸

确定断路器拒动的条件是故障发生后,快速保护发出跳闸指令但是断路器没有动作,馈出线后备保护以 Δt 延时切除了故障.断路器失灵后,由馈出线后备保护作为补救措施.

1.3 系统重构

重构器动作的启动条件是系统单侧失电或单侧来电,这和保护的重合闸所采用的不对应启动原理不同.系统恢复原则:在无故障闭锁前提下,单侧电源来电延时进行合闸,两侧电源来电禁止合闸.如图1(h)中,3B故障隔离且故障闭锁,5B没有故障闭锁标志,发出重构合闸命令,恢复5B与3B之间的供电,用以缩小停电范围.

1.4 多分枝网络

配电网中,常常有多分枝连接,如图3所示的系统中,6B有5条分枝连接.双向闭锁式电流方向保护中根据电流方向将与之连接的保护分为M侧和N侧

两组:M 侧由 1B、2B 和 3B 组成,N 侧由 4B 和 5B 组成.M 侧和 N 侧各自的接收信号相或后合成为 M 侧和 N 侧信号.图 3 中,1B、2B 和 3B 为正方向,不发信,采用“或”逻辑,相或后合成 M 侧信号为“无”信号;4B、5B 为正方向,不发信,相或后 N 侧信号也为“无”信号.故障电流流过 6B,6B 本身的电流保护已启动,根据方式 1 允许跳闸条件,6B 保护跳闸.

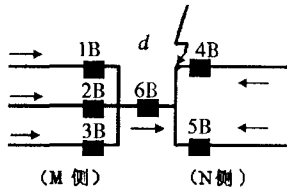


图 3 多分枝接线保护动作分析

保护配置了重合闸以及后加速保护.重合闸主要用于瞬时故障后恢复供电.为了防止重合闸抢动,在重合闸的配置中,相邻保护装置的重合闸按“检同期”和“检无压”设定.重合闸是双向的,M 侧或 N 侧故障,保护动作后重合闸都启动.

利用故障电流方向与故障电流幅值大小原理构成的双向闭锁式电流方向保护作为馈线系统的主保护,变电站馈出线整定一个小的 Δt 延时的过流保护作为后备保护,利用主备保护原理构成完整的馈线快速保护系统.

2 通讯解决方案

2.1 光 MODEM 的改进

为了完成保护、隔离、重构、数据采集、系统维护等功能,必须使用既能进行数据通讯又能交换电平信号的专用光纤通讯设备,称这种能传输电平和串行信号的设备为复合型光纤调制解调器,简称复合光 MODEM.光 MODEM 设备的系统构成如图 4 所示.

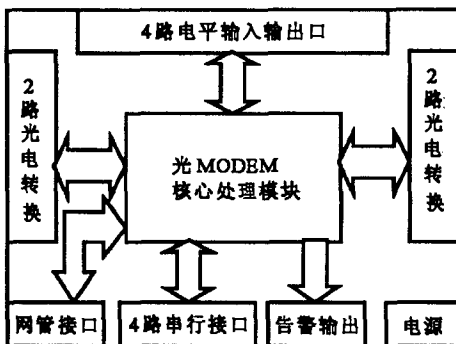


图 4 光 MODEM 系统构成图

光 MODEM 中核心处理模块的软件主要由以下 5 部分组成:

- 1) 线路编码及控制;

- 2) 忙闲检测;
- 3) 环网倒换;
- 4) 告警处理;
- 5) 网管控制.

光 MODEM 的功能模块分为 6 部分:线路编码及控制模块,光/电转换模块,异步数据接口电路,报警输出电路,网管控制电路,电源模块等.光 MODEM 设计西向、东向、南向和北向共 4 对光接口.东西向和南北向的物理光接口设计成模块,需要时可以随时增加,设备内部提供 4 套信道编解码器,分别对应 4 个光方向.如果主站(TM)有 4 个方向的光通道,下行的串口数据将在 4 个方向上的光通道上同时发出,而接收还应用原有的通道保护机制,从东西向选择一个方向接收上行信道,从南北向选择一个方向接收上行信道,然后将得到的 2 个接收相与后输出;如果从站(ADM)有 4 个方向的光通道,它将从这个站的东向西选择一个接收,也就是从主站发出下行信道,在南北向的下行信道发送出去,同时,南北向得到的数据将与本地的串口输入相与,在东西向的上行信道中发送出去.这样做就可以使用光 MODEM 组成一个非常灵活的网络拓扑.

通过修改光 MODEM 的信息帧结构,添加一个 (1 bit) 数据位 E_x 到信息帧中,用来携带电平状态标志,完成电平信号的交换.光 MODEM 接收到电平标志后,为防止抖动帧电平,采用 3 取 2 的方式输出接点信号(或者 8 取 5).改造后的光 MODEM 仍具备多方向的链接功能.复合光 MODEM 中电平传输性能:

- 1) 帧传送时间理论设计间隔为 $9.4 \mu s$.

2) 光 MODEM 之间的帧传送是自主的,每经过一个光 MODEM,信道编码帧都会重新生成,其他光 MODEM 或 FTU 有故障也不会影响本 MODEM 的重新生成帧.

3) 对于电平传输,本段线路故障不会影响其它段工作,但是 RS232 异步数据会因为倒换而产生少许误码.

2.2 数据通讯接口

串口符合 RS232C/RS422/RS485 标准,有选择开关进行切换.串口数量为 3 个以上的通讯口.

1) 对于普通的双口光 MODEM 可以组成链状网络、环状网络、辐射网络,有自愈功能.配电自动化系统可以在局部区域内设立通讯主-辅站,通讯主-辅站能在通讯故障下自动切换,通讯故障修复后能自动恢复.

2) 对于有 3 个及以上光口的光 MODEM,允许 1 个主站多个辅站方式运行.除能与普通双向的光 MO-

DEM的功能外,还可以组成分支网络、多环相切网络、星型网络.在主站因故障退出后,辅站之间相互协商自动选择出1个辅助站升级为主站.

3)允许通过远方遥控,完成主站与辅助站之间的交换调整.

4)通讯故障情况下,在主备站之间切换通道时,数据切换间断时间小于100 ms.

3 动模实验和实际运行

为了验证笔者提出的配网快速保护方案,在重庆大学电气工程学院动模实验室进行了动模实验,动模实验接线如图5所示.

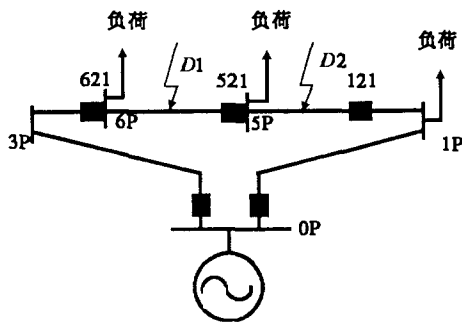


图5 动模接线图

每台断路器对应使用1台快速保护设备,即621、521和121对应使用3台保护装置.电压接线跨接在断路器两侧,采集 U_{AB} 和 U_{BC} ,在PT二次侧将B相短接接地,与配网实际接线方式一致.3台保护装置之间使用光纤通讯.图中OP、1P、3P、5P、6P为原动模实验室接线的母线,用来接分散负荷,采用1个外部电源模拟系统供电.3套保护的重合闸按621和121“检同期”,521“检无压”整定.短路点选择在621与521之间的 D_1 点和521与121之间的 D_2 点. D_1 和 D_2 点又分为3种短路方式:始端(5%)、中点(50%)和末端(95%),每个短路点采用瞬时性短路和永久性短路各一次.

测试了每套保护动作、重合闸、后加速、故障边界检测、故障隔离和重构等功能,实验结果表明,笔者提出的保护方案动作正确可靠.

基于双向闭锁式电流方向保护工作原理的配电系统快速保护方案于2003年4月投入实际运行,选择了人口稠密的商业区,涉及3对配电线路(411—631、420—632、404—624),其中420—632和404—624为手拉手简单馈线,411—631线路有一个T型分枝,共使用15套保护装置.投运时作了各种短路试验,装置正确动作.系统运行2年来效果良好.

4 结论

随着配电网络通讯系统的不断完善,特别是城市配电光通讯网的建立,基于通讯的配电线路保护能够有选择性地实现快速故障隔离和系统重构,是配电自动化发展方向.通过对保护型配馈线自动化原理和方案的研究,得出以下结论:

1)根据配电网的特点,双向闭锁式电流方向保护满足配电线路快速保护的各种要求,适合于多分枝配电网.双向闭锁式电流方向保护是保护型配馈线自动化的基础.

2)提出的保护型配馈线自动化方案能可靠地判断故障边界,实现快速故障隔离和系统重构,有效地减少用户停电时间.

3)根据光复用技术的基本思想,利用现有光纤通讯通道,将数据通讯和相邻保护装置信息交换分开.保护信息只传递布尔信号,在相邻光MODEM之间高速传递(小于100 μ s),同时FTU的SCADA通讯功能不受影响.并研制成了与常规光MODEM成本一样的复合光MODEM.

4)动模实验和实际运行验证了笔者提出的保护型配馈线自动化方案的正确性.

参考文献:

- [1] 林功平,徐石明,罗剑波. 配电自动化终端技术[J]. 电力系统自动化,2003,27(12):59-62.
- [2] 肖永,邹庆,周念成. 配电线路快速保护原理及分析[J]. 重庆大学学报(自然科学版),2004,27(11):30-33.
- [3] 焦振有,焦邵华,刘万顺. 配电网馈线系统保护原理及分析[J]. 电网技术,2002,26(12):73-78.
- [4] 程干江. 智能馈线自动化方案[J]. 电力系统自动化,2001,25(9):42-44.
- [5] SHEN KUN-YUAN, GU JYH-CHERNG. Protection Coordination Analysis of Closed-loop Distribution System [Z]: PowerCon 2002 International Conference, Kunming China, 2002.
- [6] 朱锡贵,国志宏,贾明泉. 有通道馈线故障处理技术[J]. 电力系统自动化,2000,24(10):33-35.
- [7] 陈歆技,单渊达,吴杰. 基于CAN总线的新型馈线自动化系统[J]. 电力系统自动化,2000,24(19):47-49.
- [8] ZHOU NIANCHENG, ZHAO YUAN, JIA YANHAI, et al. Principle and Application of System Protection Scheme to Distribution Network [Z]. 2005 IEEE/PES Transmission and Distribution Conference & Exhibition: Asia and Pacific, Dalian China, 2005.

(下转第63页)

