

小水电自适应式配电线路的重合闸设计*

王清玲¹ 徐岩² 郑文栋³ 杨耿煌³

(1. 广东电网公司茂名供电局 茂名 525000; 2. 国家电网公司北京市石景山供电局 北京 100043;

3. 天津市信息传感与智能控制重点实验室 天津 300222)

摘要: 小水电站与大电网并网运行条件下,存在运行稳定性差、自动重合闸装置无法对故障类型做出准确地判断等问题。当连接线路出现故障时,小水电侧重合闸成功率低。为了解决上述问题,采用检无压的重合方式,对传统的重合闸的控制逻辑进行改进。基于PLC技术设计了小水电自适应式配电线路的重合闸装置,重点解决了重合闸装置与其他继电保护方式的兼容问题,提高带小水电站线路的重合闸成功率。该装置在广东某地区电网的模拟测试结果表明其有效性,文中采用的重合闸装置时间的整定和控制策略,具有一定的工程应用价值。

关键词: 小水电;自动重合闸;检无压;PLC

中图分类号: TM771 **文献标识码:** A **国家标准学科分类代码:** 470.40

Design of adaptive reclosing relay device in distribution lines with small Hydropower

Wang Qingling¹ Xu Yan² Zheng Wendong³ Yang Genghuang²

(1. Guangdong Power Grid. Maoming Power Supply Bureau, Maoming 525000, China;

2. The State Power Grid, Beijing Shijingshan Power Supply Bureau, Beijing 100043, China;

3. Tianjin Key Laboratory of Information Sensing and Intelligent Control, Tianjin 300222, China)

Abstract: When the small hydropower stations are linked with the power system, it becomes difficult to judge the type of the fault which causes the running of the hydropower station unsteadily. If the fault takes place in the distribution line which links to the hydropower stations, the reclosing always fails. In order to solve this problem, adopt non-voltage to reclose and improve the traditional reclosing control logic. A new reclosing relay device based on programmable logic controller is designed to resolve the problem of the compatibility with the other relaying actions and to improve the success rate of reclosing. The simulation running of the device in Guangdong Province proves its effectiveness, the time setting and control strategy of the reclosing device has a certain significance for engineering applications.

Keywords: small hydropower; automatic reclosing; non-voltage check; PLC

1 引言

目前大部分小水电站都是与大电网并网运行,目的是解决小水电站孤立运行时带来的供电不可靠、随负载变化电网频率波动比较大等一系列问题。小水电并网运行中,当电力系统出现故障时,由于小水电运行的不稳定,特别是枯水季节和丰水季节不同导致的功率波动因素,造成小水电侧重合闸装置进行准确合闸的成功率很低^[1]。

小水电系统与大电网的联络线发生故障时,继电保护动作,联络断路器断开,小水电系统与大电网隔离。由于小水电通常不能快速、准确根据故障的特点完成检同期

或检无压,从而完成重合闸操作,因此小水电侧的系统形成了仅有小水电机组供电的孤岛^[2]。通常情况下,孤岛系统有功功率供需往往不平衡,此时线路的频率出现波动。当系统的频率超过一定阈值,导致供电中断,即使瞬时性故障也会导致长时间的供电中断。

考虑小水电的不稳定性方面的因素和设备检定方式,区间线路存在着极低成功率的断路器重合或保护装置重合闸功能处于停用状态。本文在对自适应式配电线路重合闸关键技术进行分析,设计了自适应式配电线路重合闸装置,有效地提高重合闸成功率,提高小水电流域群的供电可靠性。

2 系统的总体设计

自适应重合闸作为电力系统中继电保护装置的主要组成部分,主要是用来提高电网供电的可靠性和保证电网的稳定运行。基于电力系统配电线路的特点,选择 PLC 作为主要控制器。PLC 实现自动重合闸的过程如图 1 所示。重合闸装置启动后,输入信号经 PLC 分析与处理,根据处理结果直接发出重合闸信号,使重合闸装置产生相应的动作。

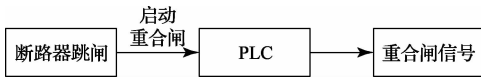


图 1 PLC 实现自动重合闸的过程

2.1 系统的框架设计

该重合闸装置使用的是模块化设计,将继电保护装置由保护功能继电器组和 PLC 两个部分组成。模拟量输入子系统获取电力系统的模拟输入量,模拟量可以通过 2 种方式输入 PLC:一是电力系统的电量通过信号调理后(未经过 AD 转换和数据采集)直接输入 PLC 的模拟量接口;二是经过 A/D 转换和数据采集的数字量经过模拟量输入子系统中的微处理器通过 PROFIBUS 通信接口数据输出,从而实现与 PLC 和主控机进行数据通信^[3]。

当电力系统发生故障时,故障信息就会引起相应的功能继电器产生相应的动作,PLC 采集功能继电器的动作信号,与此同时,将其信号也传回给主控机。经主控机分析后发送信号给 PLC。PLC 根据采集到的继电器信号和主控机的控制信号来对故障进行有效控制。系统框图如图 2 所示。

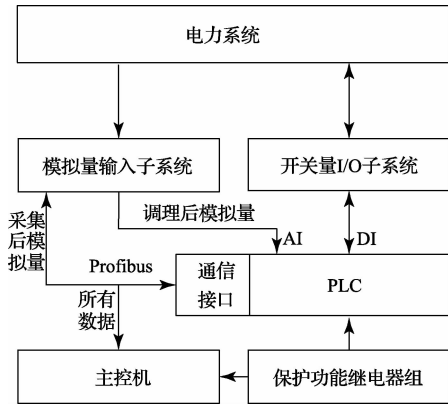


图 2 系统框架

2.2 重合闸系统设计

在电力系统运行过程中,为保证电能的质量,对电网中电压的频率是有一定的范围限制的,当电压的频率超过阈值时,必须快速对系统进行调整。小水电接入配电网中,一旦线路发生故障(如图 3 中③故障点),线路的保护装置就会使线路中②处的断路器断开,从而使小水电与大系统隔离开来。在实际的小水电运行系统中,由于小水电的发电容量、负荷的波动和小水电的发电功率的波动等因素,本地

负荷与小水电不可能出现功率的平衡。小水电侧有功功率的供需不平衡,导致探测点④右侧的电压的频率就会很快开始发生变化,当频率超过阈值时,立即对小水电的机组进行切机。因此当小水电的机组切机之后,应该根据大系统与小水电的具体运行情况和故障类型进行重合闸,以满足小水电与大系统的稳定、可靠的运行。

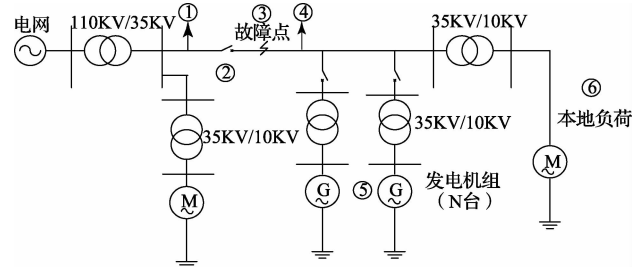


图 3 系统原理示意图

在本设计的重合闸装置是以检查无压的方式进行重合闸操作,使重合闸过程简单、准确、可靠。本设计中重合闸装置利用人工神经网络等人工智能技术^[4-6],改进的重合闸的逻辑结构,使重合闸装置具有对故障类型判断的功能^[7]。

当线路出现故障时,线路中②处断开时,通常小水电站为了运行的经济性,此时小水电不会立即进行切机操作,而是继续让其运行,只有当频率超过规定范围的上限或者下限,小水电才进行切机操作。

当重合闸装置检测到线路的故障为永久性故障时,线路的频率超出频率范围时,此时立即切出发电机组⑤操作,重合闸装置不进行重合闸动作。

当重合闸装置检测到线路的故障为瞬时性故障时,电压的频率超出频率范围时,此时立即切除发电机组⑤操作,然后等到检测点④处的电压变为 0,重合闸装置立即发出合闸的信号,将②处的分段器给合上,与此同时将小水电的发电机组进行发电并网。

3 系统的硬件设计

3.1 可编程逻辑控制器(PLC)

在自动重合闸装置中采用 PLC 作为控制器,使重合闸装置动作的准确性和可靠性得到很大的提高,同时又保留了传统的继电保护设计思想和技术方法。对于实现自动重合闸这样比较复杂的功能,利用 PLC 软件能设计出一个既简单而又符合设计要求的实施方案,并能与其他一些控制功能一起进行设计,二者还能够相互配合。

根据系统控制要求及 I/O 点数的配置,选择合适的机型。考虑到后期设备的改动和控制功能的增加,或者 I/O 的损坏和故障,确定 I/O 点数时需要增加 20% 的余量,以便扩展系统功能。选用西门子 S7-300 系列 PLC 作为主控制器,其型号如下。

S7-300 PLC 主机 CPU: CPU315-2PN/DP(本身带以太网和 PROFIBUS-DP 通信接口,以太网方便笔记本调试)

用 PLC 实现自动重合闸功能所使用的 I/O 分配及接线如图 4 所示。在本设计重合闸中,系统故障信号与 PLC

的接线方式是一个故障信号占用一个 PLC 一个 I/O,便于更加方便对故障进行及时判断。

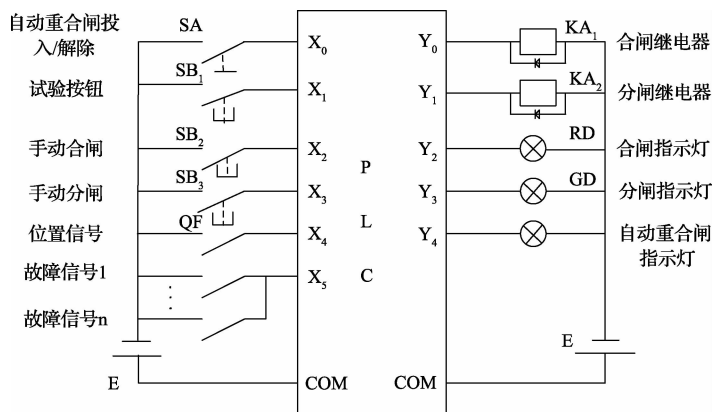


图 4 PLC 的 I/O 分配及接线图

3.2 模拟量输入子系统

在输电线路中,电力系统一次侧电压互感器和电流互感器采集到电信号的幅值一般都比较大,不在测控模块处理的范围内,因此必须转换成低电压、低电流。这些模拟信号还要进行必要的低通滤波,滤除高频分量,这些具体的任务由模拟量采集和信号调理模块完成。输电线路中的二次侧电压、电流经过电压互感器(TV)和电流互感器(TA)根据不同的变比系数转换成电压信号,转换后的信号再进行适当的调理,使之在 PLC 的模拟量输入范围或者 A/D 转换芯片的输入范围之内。输入信号的预处理功能主要由交流(TA/TV)变换电路、信号调理电路等组成,模拟量采集处理过程如图 5 所示^[8]。

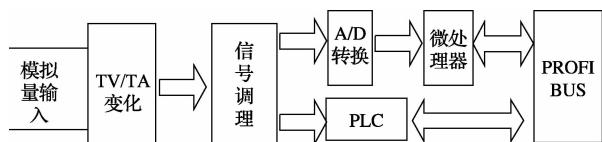


图 5 模拟量采集处理

3.3 开关量 I/O 子系统

电力系统中的隔离开关和断路器位置、本地/远程操作等各种状态量都是线路微机保护装置的输入量;装置对断路器跳合闸的控制是通过输出开关量实现的。输入的开关量主要通过装置的输入继电器,经光电隔离后接入 PLC 的输入端;开关量输出则先由隔离芯片隔离后再通过输出继电器输出,这些都由此模块来完成。

对于重合闸装置来说,外部开关量的检测是保护中的一个重要的环节,输入开关量的正确与否直接关系到装置的保护功能和动作,这是因为保护逻辑的执行取决于外部开关量的状态值。因此,开关量输出回路的可靠性直接反应了继电保护的可靠性。

3.4 主控机

主控机采用工控机,主要实现大数据通信和复杂数据

运行。主控机不仅实现与 PLC 的数据通信,同时与其他智能节点(包括微机继电保护装置)进行数据通信。主控机获取保护功能继电器组的动作信息,结合采集的模拟电量,经过重合闸控制算法,将重合闸控制信息传输到 PLC,从而实现重合闸控制。

4 系统的软件设计

S7-300PLC 是通过西门子 STEP7 V5.5 软件来实现硬件组态,然后根据系统网络通信的功能进行以太网和 PROFIBUS 通信的网络组态。把硬件组态下载到 S7-300 的 CPU 中,如果系统 CPU 上电后 SF 和 BF 故障灯都没有点亮。就可以按照系统控制要求进行程序设计,通过 FC 或者 FB 实现控制功能,并将程序在 PLCSIM 仿真环境中进行初步调试和模拟运行。如果程序在仿真环境下,模拟各种现场环境条件运行都没有问题,可将程序下载到 S7-300CPU 中。在实验室环境通过开关和模拟输入进行在线模拟调试,尽可能模拟各种现场环境和条件进行在线程序运行调试。如果程序设计的问题都排除了,当实际现场条件具备时即可进行实际现场在线调试。

实际现场调试原则:首先检查 PLC 各个开关量和模拟量的输入输出点接线是否正常;然后进行各个点上电后的测量;其次进行 PLC 系统各单元进行本地运行调试;接着进行 PLC 系统远程手动程序运行调试;最后进行 PLC 系统远程自动程序运行调试。在调试各个环节排除程序设计和考虑现场各个忽略的因素,直至系统最终运行正常符合控制要求

用 PLC 实现的自动重合闸装置不仅可以实现传统自动重合闸装置的全部功能,并且还可以实现更加精准的延时和更加灵活地控制。它能够实现的功能包括:重合闸程序能自动复位,以准备好下一个动作;手动操作将断路器断开或手动合闸于永久性故障线路时,闭锁“自动重合闸回路”;具备重合 N 次的功能,完成重合闸规定的次数后,

不再重合闸;根据配电线路上出现瞬时故障的类型,使用PLC的编程软件在程序中设定合适重合闸准备时间,是重合闸装置具有后加速以及防跳等功能^[9-11]。测试用的程序流程图如图6所示。

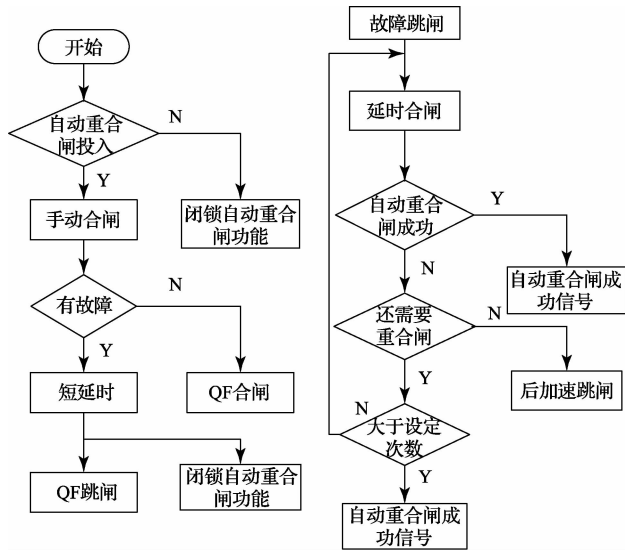


图6 自动重合闸的程序流程图

5 系统运行结果

以茂名一含小水电的配电网系统,对设计的重合闸装置进行模拟测试,并用PSCAD以实际参数进行仿真,并对仿真结果与实际测试进行对比分析。

小水电与大电网通过单回线进行并网,配置三相自动重合闸。当系统出现故障时,进行三相跳闸。表1为4种不同交换功率时,仿真最大合闸时间和实际最大合闸时间,其中合闸时间是以线路跳闸的时刻为计时起点。

表1 不同交换功率下重合闸仿真与实际模拟结果

传输功率 /pu	仿真合闸 时间/s	实际平均 合闸时间/s	误差/s
0.06	2.8	4.16	1.36
0.09	2.03	2.95	0.92
0.15	1.22	2.87	1.04
0.36	0.56	0.74	0.21

当系统出现瞬时性故障时,交换功率越大,小水电与系统失去联系时,小水电中存在剩余功率或者功率缺额越大,小水电因频率的越限切机时间越短。由于实际的重合闸动作时间、熄弧时间等一些时延,导致实际值与理论值有一定的误差。分析表1中结果可知,重合闸时间的长短与联络线上的交换功率大小成反比关系,与理论基本相吻合。因此,此重合闸装置满足设计的要求,可以保证系统的稳定运行。

6 结论

本文提出的重合闸装置设计充分考虑了带小水电

站的电力系统重合闸操作的特点,在控制流程设计中,加入枯水期和丰水期由于季节导致的功率波动因素。根据工程实践需要,对重合闸装置的结构和接口进行改进,解决独立重合闸装置在故障类型判断上的缺陷,提高装置的重合闸成功率,从而提高了小水电系统运行的可靠性。

参考文献

- [1] 魏阳,张俊芳,汤士明,等. 分布式电源接入对配电网距离保护和重合闸的影响的研究[J]. 现代电力, 2014, 31(3): 39-43.
- [2] 石明垒. 含DG配电网的新型保护控制技术研究[D]. 济南: 山东大学, 2014.
- [3] 李小亭,张琛,方立德,等. 基于PLC的小型高精度多相流实验装置测控系统设计[J]. 电子测量与仪器学报, 2014, 28(6): 670-674.
- [4] 李志农,朱明,褚福磊,等. 基于经验小波变换的机械故障诊断方法研究[J]. 仪器仪表, 2014, 35(11): 2423-2432.
- [5] 余岳,栗梅,孙尧,等. 基于模糊去约束法的微电网系统运行优化[J]. 仪器仪表, 2014, 35(5): 1022-1028.
- [6] 周凌波,张方,姜金辉. FTF自适应主动控制算法的参数研究及应用[J]. 国外电子测量技术, 2014, 1(5): 44-47.
- [7] 李永丽,李博通. 带并联电抗器输电线路三相永久性和瞬时性故障的判别方法[J]. 中国电机工程学报, 2010, 30(1): 82-90.
- [8] 何维然. 一种可配置的模拟量采集模块设计[J]. 国外电子测量技术, 2014(10): 42-45.
- [9] 郭旭东,申群太,韩华,等. 一种离网型风力发电系统的不平衡控制策略[J]. 仪器仪表, 2013, 34(8): 1886-11893.
- [10] 刘光晔,曾自强,毛弋. 小水电系统单回并网线路故障时最大重合闸时间的确定[J]. 电网技术, 2012, 36(1): 241-244.
- [11] 张宝全,柳飞云,张军,等. 变电设备电气控制系统故障模拟装置[J]. 电子测量技术, 2014(12): 1-4.

作者简介

王清玲,1982年出生,工学硕士,高级工程师,主要从事电力系统运行管理工作。

徐岩,1982年出生,工学硕士,主要从事电网规划的研究。

郑文栋,1989年出生,在读硕士,主要研究方向为继电保护及小水电运行的研究。

杨耿煌(通讯作者),1978年出生,工学博士,副教授,硕士生导师,主要研究方向为电力系统分析及嵌入式技术。