

基于光电互感器的数字式母线保护

唐治国¹, 许国斌², 张发金¹

(1. 国电南京自动化股份有限公司, 江苏 南京 211100;

2. 定西供电公司, 甘肃 定西 743000)

摘要: 基于传统电流互感器的微机母线保护在母线发生区外故障时, 常因对电流互感器饱和和处理不周而引起保护不正确动作。为彻底解决电流互感器饱和对母线保护影响, 开发了基于数字式光电互感器的数字式母线保护装置。对目前主流的光电互感器 OET700 进行充分研究后, 从软硬件方面给出相应解决方案。硬件方面采用多 CPU 系统, 将数据采集、保护逻辑、人机交互的功能分别由单独 CPU 处理, 有效解决母差保护的资源问题。针对光电互感器无饱和、有谐波、有坏数、有削波等特点, 软件方面采用比率制动、傅氏差动、坏点监测等机制, 给出了相应解决方案。实际运行证明, 该母差保护完全满足电力系统数字式变电站的要求。

关键词: 母线保护; 数字式光电互感器; 差动保护

中图分类号: TM 773

文献标识码: B

文章编号: 1006-6047(2007)05-0118-04

0 引言

智能化开关、光电式互感器、一次运行设备在线状态检测等技术日趋成熟, 以及计算机高速网络在实时系统中的开发应用, 为变电站所有信息的采集、传输实现全数字化处理提供了理论和物质基础。数字化变电站由于在信息采集、传输、处理和输出过程全部数字化, 具有以下优点: 各种功能共用统一的信息平台, 避免设备重复投入; 测量精度高、无饱和、无电流互感器(TA)开路; 二次接线简单; 光纤取代电缆, 大量节省一次设备投资, 电磁兼容性能优越; 信息传输通道都可自检, 可靠性高; 管理自动化。因此, 可提升变电站可靠性、自动化水平, 降低生命周期成本。

作为数字化变电站的一次设备之一的数字式光电互感器 OET 700, 与传统的互感器比较, 具有以下优点^[1]:

a. 采用 Rogowski 线圈实现的大电流传变, 使得光电电流互感器具有无磁饱和、频率响应范围宽、精度高、暂态特性好等优点, 有利于新型保护原理的实现及提高保护性能;

b. 采集器和合并器通过光纤相连, 数字信号在光缆中传输, 增强了抗 EMI 性能, 数据可靠性大幅提高, 具有完善的自检功能, 若出现通信故障或光电互感器故障, 保护装置将会因收不到校验码正确的数据而可以直接判断出互感器异常;

c. 因其体积小, 易绝缘, 无铁芯, 故造价低;

d. 应用领域广。

1 OET 700 数字式光电互感器简介^{①[2-5]}

如图 1 所示, OET 700 数字式光电互感器传感

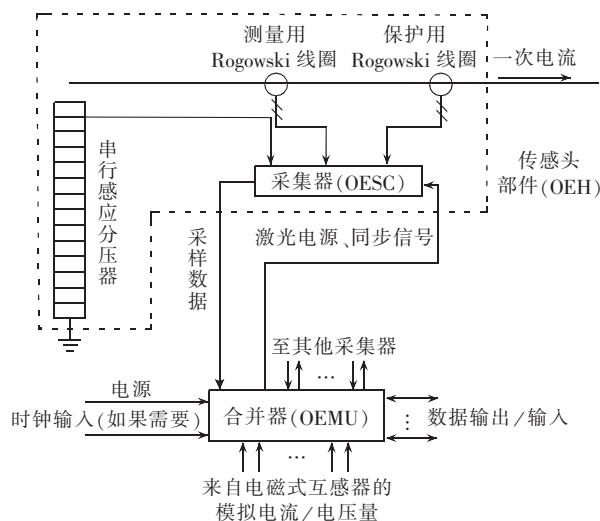


图 1 OET 700 系列互感器工作框图

Fig.1 Block diagram of OET 700 optical current transducer
头部件包括串行感应分压器、Rogowski 线圈、采集器等。传感头部件与电力设备的高压部分等电位, 传变后的电压和电流模拟量由采集器就地转换成数字信号。采集器与合并器间的数字信号传输及激光光源的能量传输全部通过光纤进行。整个回路主要由 3 个部分构成。

a. 采集器主要是把就地模拟量采集后转换为数字量。模拟量进低通滤波和模数转换后进入 CPU 系统, CPU 系统将采样数据打包后按照一定通信协议通过光纤传给合并器。

b. 合并器主要用于接收采集器以及传统电磁式互感器的采样数据。2 种采样数据经过合并器处理后按照 IEC-61850 规约以光信号形式转发给

① 陈应林, 尹秋帆, 曾献华, 等. OET 700 系列数字式光电电流电压互感器说明书, 2004.

保护和测量用。采集器的另一功能是接收来自站级或继电保护装置的同步光信号,实现采集器间的采样同步功能。同时以光能量的形式为采集器提供工作电源。

c. 采样同步。由于母线保护同时接收若干个合并器的输出数据,则这几个合并器需要同步工作。在多数情况下,变电站的合并器都需要同步,使用一个站级同步源给所有合并器发同步信号以实现采样同步。

2 数字式光电互感器母差保护的接入^[6]

母线保护由于其保护特殊性,需要接入大量的交流流量。基于 OET 700 数字式光电互感器的母线保护采用光纤接入来自多个合并器的电流量、电压量。开入量(接入母线保护的隔离刀闸辅助接点、失灵启动开入节点等)和开出量(包括出口跳闸接点、信号接点等)则仍采用传统的输入输出方案,如图 2 所示。

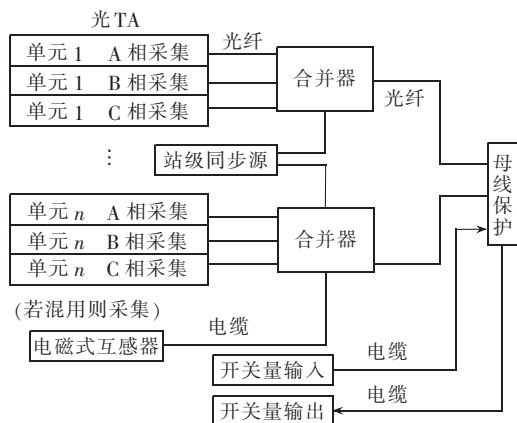


图 2 接入保护工作框图

Fig.2 Connections of optical current transducer to bus protection

若一次系统采用光 TV,则电压模拟量同电流输入类似。若采用光 TA 与传统电磁式混用则通过合并器进行采集一并打包给保护。在技术成熟条件下,开关量输入、开关量输出也可通过光纤进行传输,以实现整个变电站全部设备的数字化。

3 母差保护硬件研制

如图 3 所示,整套数字式母差保护核心硬件由以下几个部分组成。

a. CPU1 模块。主要接收来自合并器的数据。硬件

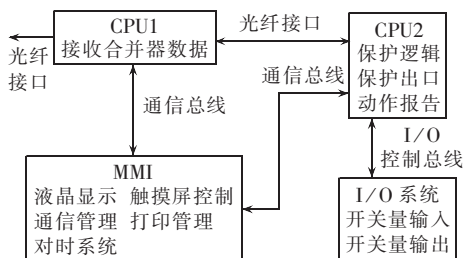


图 3 母线保护硬件框图

Fig.3 Hardware block diagram of bus protection

通过 100 M 光纤,采用 61850 协议与合并器进行数据交换。接收的除了采样数据外,还有一些表明采样数据有效性的标志集。通过对这些标志集的解析,可以对数据的有效性以及光纤通道的状态进行实时检测。软件检测异常后进行闭锁,防患于未然。另一方面通过光纤将接收到采样数据和标志集打包传给 CPU2。CPU1 可以根据实际需要扩展数据通道,扩充到 24 个间隔以上无任何问题,这一点也解决了传统的微机母线保护由于受模拟通道影响,而无法做到 24 个间隔以上的技术难点。

b. CPU2 模块。主要功能为保护算法和逻辑以及信息记录。硬件采用主频达 300 MHz 的 32 位 RISC 架构大资源高速位 CPU 系统。32~256 MByte 的随机存储器,16~512 MByte 的非易失存储器。通过 100 M 光纤以太网作为与 CPU1 数据交换的接口,同时提供波特率大于 2 Mbit/s 的 HDLC 通信接口与 MMI 模块进行数据交换。提供一个 100 M 以太网作为装置调试和动作报告提取接口。

c. MMI 模块。模块采用高性能 32 位 CPU,实时多任务操作系统 VxWorks,256 色 VGA 液晶显示器,采用触摸屏进行人机交互。提供双 100/10 Base-TX 以太网,双 RS-485 通信接口与自动化系统相连。一个 RS-232 串口作为打印接口。通过 GPS 或者 B 码接口电路与整个变电站实现时钟同步。另外,通过 HDLC 接口与 CPU1、CPU2 进行数据交换。

4 软件研制

由于光电互感器采用 Rogowski 线圈,在线路环节中经过大量积分和微分,使得光 TA 具有以下有别于传统 TA 的特性,基于光 TA 的微机母线保护需要充分利用光 TA 的优点——无饱和,保护不用再花大精力处理 TA 饱和这个一直困扰微机母线保护的难题。另一方面则要通过软件处理光 TA 的不足之处,若处理不当易造成母线保护的不正确动作^[7-8]。

4.1 保护配置

同传统的微机母线保护一样,基于光 TA 的母线保护配置以下保护:差动保护、母联失灵保护、母联死区保护、母联充电保护、母联过流保护、母联非全相保护、断路器失灵保护、复合电压闭锁等。所有保护功能均为逻辑图设计,保护流程可视化、图形化、模块化。可根据系统接线要求进行选择配置,配置和维护方便灵活。

4.2 无 TA 饱和、TA 断线概念^[9]

由于光 TA 具有的无磁饱和、精度高、暂态特性好等优点,基于此的母线保护总体而言原理简单化,不用再充分考虑 TA 饱和问题,也不存在 TA 断线的概念。光纤回路异常或者间隔检修时可根据需要选择是否闭锁母差。对于以上 2 种状态,可以通过 CPU1 传来的标志集的解析来判断。当从标志集读到的信息为光纤回路异常,则瞬时闭锁母差 1 周期。若长期异常则告警并闭锁直到光纤回路恢复正常。若从标志集读到信息为光纤回路检修,则本间隔退

出母差保护计算,发事件提示提醒运行人员。具体处理流程如图 4 所示。

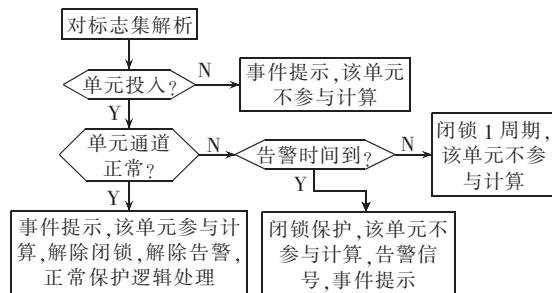


图 4 数据处理流程图

Fig.4 Flowchart of data processing

光 TA 虽然无 TA 饱和,但当一次系统发生较大故障时,存在出现数据超过光 TA 量程的可能。对母线保护而言,发生区外故障时,故障所在间隔由于电流增大超出量程后,波峰谷数据可能采集不到,进而产生削波。由于某个间隔削波后,系统不平衡形成差流(类似传统的 TA 饱和)。基于光 TA 的母线保护采用带比率制动的完全电流差动即可消除削波的影响。作为母线保护存在差动电流和制动电流的概念,差动电流即母线上连接单元的绝对值的和 $I_d = \left| \sum_{j=1}^N i_{dj} \right|$,制动电流为母线上连接单元的绝对值的和 $I_r = \sum_{j=1}^N |i_{rj}|$,带比率制动的完全电流差动判据为除

了差流条件 $\left| \sum_{j=1}^N i_{dj} \right| \geq I_{op}$ (这里 I_{op} 为定值)满足外,差流与制动电流必须满足一定比率关系,即 $I_d > k I_r$ (这里 k 为制动系数整定值)。当母线区内故障时,电流同时流向母线区内故障点,差流基本接近制动电流,两条件同时满足而动作;区外故障时,由于削波形成的差流有可能满足条件,而通过设置一定的 k ,而使差流与制动电流间的比率关系不成立,母差保护不会动作。试验证明通过这种方案可以消除削波对母差保护的影响^[10]。

4.3 对可能出现坏数据的处理

由于光 TA 线路环节经过大量微分和积分,在正常运行过程中采集的电流量有可能在某一时刻产生一尖脉冲,有时该尖脉冲的值很大。而该脉冲用常规算法无法滤除,处理不当可能造成母差保护误启动,甚至保护误出口。为此,一方面可以通过从 CPU1 传来的标志集中解析进行避免。通道异常标志集除了有光纤本身异常外,还有一些数据有效性的标志。只有数据有效才正式参与计算。数据无效则不处理,流程如图 4 所示。由于标志集本身也存在出错的可能(数据无效而标志集未置出相应无效位),为此软件方面采取了下面几种方法进行处理。

a. 差动保护启动判据为差流有效值大于启动值、制动系数满足条件等。对于一些带延时性质的保护,如母联失灵、母联充电等,未发生这类故障时可通过延时条件避免坏数据影响。而故障真正发生

时,坏数据的影响是保护动作时间的延长,而不会造成保护的拒动。

b. 增加采样点差动算法。若通过标志集可以检测出坏数据,则采用闭锁 1 个周期的方案减少对母线保护的影响。由于母线保护数据窗一般为 20 ms,1 个周期后坏数据已不处于数据窗内,因此这个方案是可行的。但若标志集未检测出坏数据,坏数据直接进入差动保护,则有可能造成差动保护误动。为此在 a 基础上增加采样点差动,采用“几取几”算法:如数据窗为 24 点(20 ms),可以在此数据窗内若 18 点甚至更高 20 点满足复合判据(比率制动、波形对称、复合电压闭锁等)后开放出口。试验证明采用点差动后,少数坏点不会造成差动保护的误动作。

c. 试验过程中发现在电流较小情况下,光 TA 传变的正常波形上会叠加一个平滑交变量,最大情况下可达到 20%。为此在以上 2 点处理后,在差动出口逻辑中增加一傅氏差动。只有在整个数据窗内,傅氏差动一直满足保护才能出口,进而滤除交变量的影响。软件流程如图 5 所示。

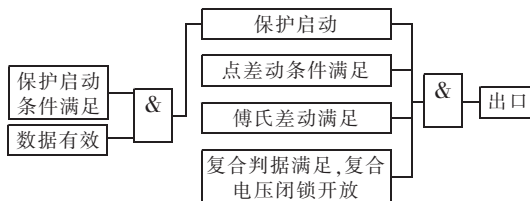


图 5 差动逻辑框图

Fig.5 Block diagram of differential logic

5 结语

根据光 TA 的特性研制开发了一种基于此的数字式母线保护。对与其配套使用的光 TA——OET 700 作了简单阐述,并就光 TA 的数字式母线保护的硬设计作了阐述。软件部分给出了光 TA 的优点,以及实际运用过程中可能遇到的问题,对此问题给出相应的解决方法。试验证明经过此方案开发的数字式母线保护完全可以满足现场运行。

由于目前国内尚无光 TA 以及基于光 TA 的保护方面的标准,使得保护的配置、光 TA 的二次数据传输格式等成为基于光 TA 的微机母线保护应用的主要困难。另外,当母线保护接入较多间隔时通道数据的同步性以及通道的误差也有待于进一步研究。

参考文献:

- [1] 周均德,周有庆,吴桂清,等. 混合式光电电流互感器 Rogowski 线圈传感头设计[J]. 电力自动化设备,2006,26(7):72-74.
ZHOU Jun-de,ZHOU You-qing,WU Gui-qing,et al. Design of Rogowski coil sensor head for hybrid optical current transducer[J]. Electric Power Automation Equipment,2006,26(7):72-74.
- [2] 王政平,康崇,张雪原,等. 光学电流互感器的问题及解决对策[J]. 传感器技术,2005,24(5):5-7.
WANG Zheng-ping,KANG Chong,ZHANG Xue-yuan,et al. Problems and strategies of optical current transducer[J]. Journal of Transducer Technology,2005,24(5):5-7.

- [3] 乔峨,安作平,罗承沐,等. 光电式电流互感器的开发与应用——21世纪互感器技术展望[J]. 变压器,2000,37(1):40-43.
QIAO E,AN Zuo-ping,LUO Cheng-mu,et al. Development and application of optical current transformer;looking forword for instrument transformer technology in 21st century [J]. Trans-former,2000,37(1):40-43.
- [4] 罗苏南,叶妙元. 光学组合互感器的研究[J]. 电工技术学报,2000,15(6):45-49,74.
LUO Su-nan,YE Miao-yuan. Research on optical combined transformer [J]. Transactions of China Electrotechnical Society,2000,15(6):45-49,74.
- [5] 王少奎. 电子式电流互感器的发展现状及研制难点[J]. 变压器,2003,40(5):20-25.
WANG Shao-kui. Development difficult points and present situation of electronic current transformer[J]. Transformer,2003,40(5):20-25.
- [6] 刘青,王增平,徐岩,等. 电子式互感器与继电保护接口的实现[J]. 高压技术,2005,31(4):3-5.
LIU Qing,WANG Zeng-ping,XU Yan,et al. Interface of digital relay protection and electrical transducers[J]. High Voltage Engineering,2005,31(4):3-5.
- [7] 张宇娇,程炯. 光学电流互感器在电力系统应用中出现的问题及处理方法[J]. 电力自动化设备,2006,26(7):101-103.

- ZHANG Yu-jiao,CHENG Jiong. Issues and solutions of optical current transducer used in power system[J]. Electric Power Automation Equipment,2006,26(7):101-103.
- [8] 易本顺,刘延冰,阮芳. 光学电流传感器现场运行性能分析[J]. 中国电机工程学报,1997,17(2):138-140.
YI Ben-shun,LIU Yan-bing,RUAN Fang. Analysis of capabilities of optical current transducer in local running[J]. Proceedings of the CSEE,1997,17(2):138-140.
- [9] 刘青,王增平,徐岩,等. 光学电流互感器对继电保护系统的影响研究[J]. 电网技术,2005,29(1):11-14.
LIU Qing,WANG Zeng-ping,XU Yan,et al. Research on the influence of optical current transducer on protective relaying system[J]. Power System Technology,2005,29(1):11-14.
- [10] 王春生,卓尔友,艾素兰. 母线保护[M]. 北京:中国电力出版社,1987.

(责任编辑:李玲)

作者简介:

唐治国(1977-),男,陕西宝鸡人,工程师,从事微机母线保护的软件开发工作(E-mail:tzg@sac-china.com);

许国斌(1974-),男,甘肃陇西人,工程师,从事继电保护整定计算及电网运行方式安排等工作。

Digital bus protection based on optical current transducer

TANG Zhi-guo¹,XU Guo-bin²,ZHANG Fa-jin¹

(1. Guodian Nanjing Automation Co.,Ltd.,Nanjing 211100,China;

2. Dingxi Power Supply Company,Dingxi 743000,China)

Abstract: When external fault occurs,the microprocessor bus protection with traditional CT (Current Transformer) may operate incorrectly because of CT saturation. To avoid its influence on bus protection,the bus protection device with digital optical current transducer is developed. Solution for optical current transducer OET 700 is proposed. In hardware,multi-CPU system is adopted to effectively solve the resource problem of bus differential protection,in which different functions are implemented in different CPUs,such as data acquisition,protection logic,man-machine interaction and so on. In software,ratio restraint mechanism,Fourier differential and bad data monitoring are applied for processing the harmonics,bad data and clipping of optical current transducer. The practice proves that,the designed bus protection meets requirements of digital substation.

Key words: bus protection; digital optical current transducer; differential protection