

基于数字化变电站过程层的分布式母线保护的研制

操丰梅, 宋小舟, 秦应力

(北京四方继保自动化股份有限公司研发中心, 北京市 100085)

摘要: 结合 IEC 61850 协议特征、数字化变电站过程层的通信特点及母线保护的特殊要求等提出了基于数字化变电站过程层的分布式母线保护实现方案,并分析了分布式母线保护所涉及的关键问题之一同步采样控制方法,评述了分布式母线保护的通信模式。

关键词: 数字化变电站; 过程层; IEC 61850; 面向通用对象的变电站事件; 分布式母线保护

中图分类号: TM77; TM764

0 引言

随着新型互感器技术、智能开关技术和网络通信技术的发展,以一次设备智能化、二次设备网络化为主要特征的数字化变电站技术成为目前研究的技术热点。随着数字化变电站进程的大力推进,电力系统运营商要求实现基于 IEC 61850 的 2 层(变电站层和间隔层)结构发展到 3 层(变电站层、间隔层和过程层)结构,变电站完全数字化的需求日趋强烈。为此,对应用于数字化变电站的分布式母线保护的需求也日益迫切。分布式母线保护具有间隔多、数据实时性要求高、数据通信量大等特点,因此,其研制难度较其他数字保护大得多。本文将结合 IEC 61850 协议的特征^[1]、数字化变电站过程层的特点^[2]和分布式母线保护的特定需求展开分析。

1 间隔保护的实现方案

图 1 是基于单个间隔单元信息的间隔保护实现方案。从图中可以看出,过程层包括面向模拟量的合并单元和面向开入、开出量的控制单元 2 个部分,它们通过过程层以太网交换机与间隔层保护智能电子设备(IED)进行通信,为间隔层保护 IED 提供所需的模拟量和开入量等信息。间隔层保护 IED 将判断结果下传到过程层 IED,通过过程层控制单元执行跳闸和闭锁命令。

2 分布式母线保护的实现方案

母线保护与间隔保护的区分在于它的信息不是来源于单个间隔单元,而是一组间隔单元。其要求是:各间隔单元上传的模拟量完全基于同一采样时刻的采样值,对采样同步的要求较高;要求采样数据

能实时传送;通过过程层交换机交换的数据量大,要求中央处理单元中的数据接口模块具有较大的数据缓存空间和很强的数据处理能力;母线故障时要求过程层交换机能实时传送跳闸命令。

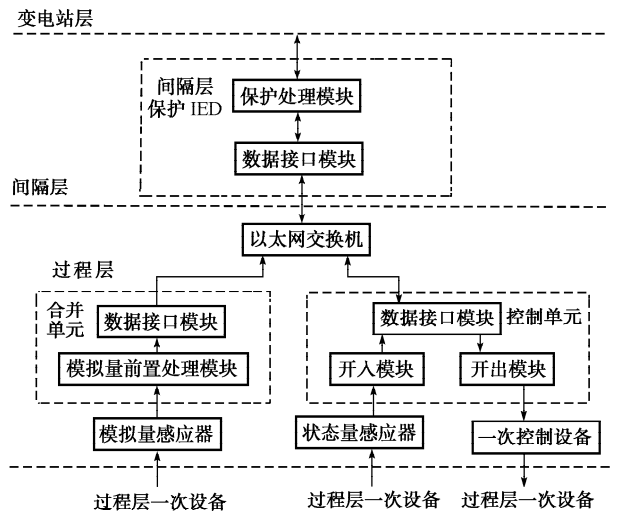


图 1 间隔保护的实现方案
Fig. 1 Scheme for realizing the bay protection

因并发的保护跳闸单元较多,若采取原有的点名式跳闸方式将急剧加大过程层交换机的信息流量,导致不同间隔跳闸不一致。为此,采取 IEC 61850 中的发布者/订阅者(P/S)模式,通过面向通用对象的变电站事件(GOOSE)向过程层控制单元发布母线保护的特定行为(如 I 母动作或 II 母动作),过程层控制单元根据采取的开入状态决定是否跳闸。

分布式母线保护基本实现方案见图 2。分布式母线保护包括中央处理单元、间隔处理单元和中央处理单元与各间隔单元的数据交换网络 3 部分。为保证分布式母线保护数据交换的实时性,要求以太网交换机具有实时传送采样值和跳闸命令的能力,

收稿日期: 2007-08-10; 修回日期: 2007-11-27。

可设置优先级,支持虚拟局域网(VLAN),满足 IEC 61850-9-2 采样值^[3]实时上传的要求和 IEC 61850-8-1 GOOSE^[4]的要求,并将跳闸信息从中央处理单元下传到多个间隔单元,传输延时小于 4 ms。

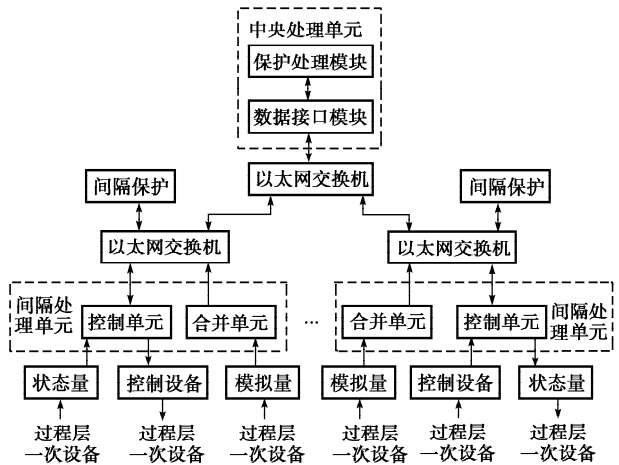


图 2 分布式母线保护实现方案

Fig. 2 Scheme for realizing the distributed busbar protection

2.1 中央处理单元

为保证母线保护的可靠性,中央处理单元中的保护 CPU 插件采取双冗余配置,即设置 CPU1 插件和 CPU2 插件,每个 CPU 插件上由前置处理数据 CPU 和保护 CPU 组成,二者之间通过中间介质交换数据。为了均衡各 CPU 的负担,在中央处理单元中设置另一块 CPU 插件 CPU3。CPU3 完成从各间隔交换机中收集状态量信息,处理后通过内部总线传送给保护 CPU1 和 CPU2 插件,同时接受 CPU1 和 CPU2 插件跳闸出口信息,通过二取二控制方式,将跳闸命令转换成 GOOSE 报文,通过数据交换网络下发到各间隔单元进行跳闸。除此功能外,CPU3 还兼做内部同步时钟源,定时下发对时命令,对间隔处理单元中的合并单元同步采样进行控制。CPU1 和 CPU2 中的数据接口模块仅执行模拟量收集工作,有益于减轻数据处理工作量,减少数据缓存的空间。中央处理单元实现方案见图 3。

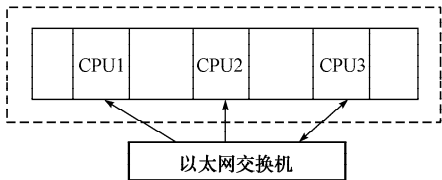


图 3 中央处理单元的构成
Fig. 3 Structure of central unit

2.2 间隔处理单元

图 2 是模拟量和开关量均数字化时分布式母线

的实现方案,此时间隔处理单元由合并单元和控制单元组成。另外,针对不同的过程层情况,间隔处理单元的实现方式有所不同,具体实现方案如下。

2.2.1 模拟量、开关量均未数字化

图 4 为模拟量和开关量均未数字化时的间隔处理单元构成图。如果在间隔处理单元中设置人机接口(MMI)和管理插件,并且其 CPU 功能强大时,则间隔处理单元还可以兼做本间隔的后备保护,如过流保护等。

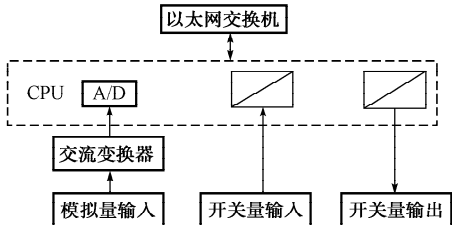


图 4 间隔处理单元的构成方案 1
Fig. 4 First scheme of bay unit

2.2.2 模拟量数字化,开关量非数字化

针对此种情况有 2 种实现方案。一种方案是模拟量保持数字接口,而开关量保持模拟接口,即开入和开出通过控制电缆与中央处理单元中的开入模块和开出模块相连。这相对于集中式母线保护来说只是模拟量采样数据来源不同,其他没有任何区别。另一种方案是为了减少前一种方案中的二次控制电缆,对开入、开出实行就地数字化。开入数字化后通过过程层交换机上传至中央处理单元中的 CPU3; CPU3 收集到开入量后,通过中央处理单元的内部总线传送到保护 CPU1 和 CPU2,保护 CPU1 和 CPU2 对保护行为进行判断,并将判断结果通过内部总线通知 CPU3,CPU3 再将判断结果以 GOOSE 方式下传到各间隔处理单元去执行跳闸操作。具体实现方案如图 5 所示。

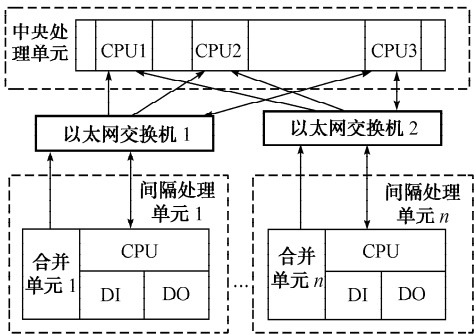


图 5 基于模拟量数字化的分布式母线保护方案
Fig. 5 Scheme of distributed busbar protection based on MU

2.3 同步采样

母线是一种跨多间隔的系统,母线保护所需的量来自母线所连接的所有进出线。因此,各间隔同步采样是实现母线保护的关键,是分布式母线保护的一个重大难题。对集中式母线保护来说,母线保护所需的电流量和电压量都是通过电缆连接的,以电磁波的传输速度传送到保护装置,此时认为各通道的采样是完全同步的。但对分布式母线保护来说,各间隔处理单元初始工作状态不同步,其所需数据就地采样,然后通过光纤介质以有限的速率上传,因此,必须通过某种方式来控制所有关联的间隔同时采样,这是保证分布式母线保护可靠性的首要条件。一个完善的分布式母线保护,其同步手段不能单一,以免因唯一的同步源丢失而导致母线保护退出运行,因此,应该考虑 2 种以上的同步源,当一种同步源丢失时能自动切换到另外的同步源。

2.3.1 外部时钟同步

外部时钟同步是通过外设的同步时钟发生装置实现的。在同步时钟发生装置中用硬件方式实现多路同步定时高速串口,通过点对点的方式与间隔层合并单元的对时口之一相连,满足分布式母线保护定时精度的要求(小于等于 $5\ \mu\text{s}$),如图 6 所示。

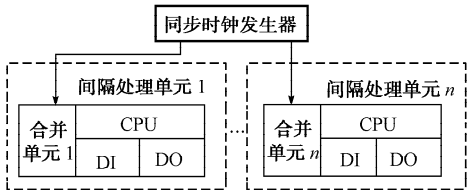


图 6 分布式母线保护外同步方案

Fig. 6 External timer scheme of distributed busbar protection

2.3.2 内部时钟同步

内部时钟同步是通过中央处理单元中的 CPU3 实现的,其定时网络采用高速通信串口,以星形网络方式与各间隔层合并单元的另一对时口相连,如图 7 所示。它采取了与外部时钟同步相同的脉冲编码方式,便于实现内外时钟的切换。

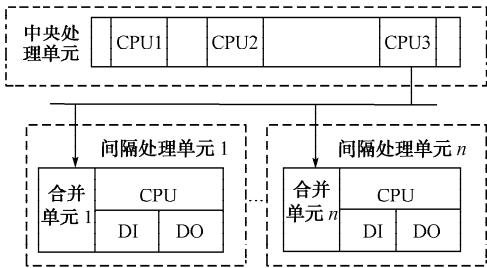


图 7 分布式母线保护内同步方案

Fig. 7 Internal timer scheme of distributed busbar protection

2.4 分布式母线保护涉及的几个重要问题

2.4.1 电压闭锁

目前国内母线保护的出口方式由电流元件和电压闭锁元件串联后实现,母线保护中电压闭锁元件只是用来作为开放或闭锁电流差动保护或断路器失灵保护的一个条件,不参与电流差动保护和断路器失灵保护判断,所以对电压和电流的同步性要求可以不做制约性要求,它的处理等同于电流,只是属性为电压而已。在完全数字化的变电站中,合并单元只是模拟量的简单收集,不具有任何保护功能,此时电压判别只能在中央处理单元中进行,可将数字化后的电压量作为过程层交换机中的一个数据点传送到中央处理单元的 CPU1 和 CPU2 中。

2.4.2 断路器失灵保护

断路器失灵保护需要间隔层其他保护如线路保护或变压器保护的跳闸信息或断路器控制单元的失灵启动信号^[5]。对于完全数字化的变电站,这些信息需要通过间隔层网络进行交换。线路保护或变压器保护或断路器控制单元通过间隔层网络将母线保护所需的信息以 GOOSE 报文发送,母线保护从间隔层网络上接收相关的 GOOSE 报文,通过解析获取与断路器失灵保护相关联的信息,然后进行断路器失灵保护判别。如果仅从保护信息传输的角度考虑,其实现方式有 2 种:通过管理插件中转;通过 CPU3 插件本身的网络接口直接处理。前一种方式的可靠性决定于管理插件,从保护的可靠性上考虑,不推荐该方式,应优先选用后一种方式。

2.4.3 分布式母线保护开关量传送方式^[6-9]

IEC 61850 支持 2 种通信模式:客户/服务器(C/S)模式;P/S 模式。母线保护关联着多个间隔,一方面,它需获取各个间隔的开入量,另一方面,当保护动作时需同时跳开多个间隔的断路器。从上行开入量来看,因为某一间隔的开入量既要被本间隔的保护装置和测控装置所利用,又要被跨间隔的母线保护所利用,如果选用 C/S 模式,显然信息共享不可能。从下行开出量来看,如果按 C/S 模式去跳闸,母线保护花费的时间较长,甚至可能导致不同间隔跳闸时刻差异较大。鉴于以上原因,选择 P/S 模式最合适,当母线保护动作跳闸时,母线保护只需在网上发布母线保护动作信息,间隔处理单元中的控制单元根据自身的开关量信息确定是否去跳闸。间隔层中央处理单元和过程层控制单元之间的配合是通过模型配置文件实现的,在整个通信过程中二者均有可能作为发布者和订阅者。在工程实施过程中,系统集成商使用系统配置器对间隔层设备及控制单元的接口控制文件(ICD)进行处理。首先读入

并显示发布者的 ICD,从中获取其作为 GOOSE 发布者用于发送的 GoCB(GOOSE control block)和 Data set,根据 Data set 各成员的含义,在订阅者的 ICD 中使用 Input 语句添加与其类型相同的镜像逻辑节点,这些逻辑节点可以看做发布者在订阅者一侧的镜像,与发布者 Data set 中的顺序和类型一致。当作为订阅者的 IED 接收到发布者发送的 GOOSE 后,将 Data set 中各成员信息写入对应的镜像逻辑节点,经过配置,作为订阅者的 IED 配置后的功能描述文件(CID——configured IED description)就包含了与发布者的 IED GOOSE 接收信息相关的镜像逻辑节点。经过上述配置,在间隔层设备 CID 中,添加了间隔层设备作为 GOOSE 订阅者所收到的所有 GOOSE 信息的镜像逻辑节点,这些信息可能来自本间隔控制单元,也可能来自多个间隔控制单元。在控制单元的 CID 中,添加了控制单元作为 GOOSE 订阅者所收到的所有 GOOSE 信息的镜像逻辑节点,这些信息可能来自本间隔的 IED 如线路保护,也可能来自基于多个间隔的 IED 如母线保护。

参考文献

[1] 任雁铭,秦立军,杨奇逊. IEC 61850 通信协议体系介绍和分析. 电力系统自动化,2000,24(8):62-64.
REN Yanming, QIN Lijun, YANG Qixun. Study on IEC 61850 communication protocol architecture. Automation of Electric Power Systems, 2000, 24(8): 62-64.

[2] 殷志良,刘万顺,杨奇逊,等. 基于 IEC 61850 标准的过程总线通信研究与实现. 中国电机工程学报,2005,25(8):84-88.
YIN Zhiliang, LIU Wanshun, YANG Qixun, et al. Research and implementation of the communication of process bus based on IEC 61850. Proceeding of the CSEE. 2005, 25(8): 84-88.

[3] IEC 61850-9-2 Communication networks and systems in

substations; Part 9-2 specific communication service mapping (SCSM)——sampled values over ISO/IEC 8802-3 link. 2004.

[4] IEC 61850-8-1 Communication networks and systems in substations; Part 8-1 specific communication service mapping (SCSM)——mappings to MMS (ISO 9506-1 and ISO 9506-2) and to ISO/IEC 8802-3. 2004.

[5] 王春生,卓乐友,艾素兰. 母线保护. 北京:水利电力出版社,1993.

[6] RECKERD D, VICO J. Application of peer-to-peer communication for protection and control at Seward distribution substation// Proceedings of 58th Annual Conference for Protective Relay Engineers, Apr 5-7, 2005, College Station, TX, USA. Piscataway, NJ, USA: IEEE Computer Society, 2005: 40-45.

[7] 范建忠,马千里. GOOSE 通信与应用. 电力系统自动化,2007,31(19):85-90.
FAN Jianzhong, MA Qianli. GOOSE and its application. Automation of Electric Power Systems, 2007, 31(19): 85-90.

[8] 王照,任雁铭. IEC 61850 数据集模型的应用. 电力系统自动化,2005,29(2):61-63.
WANG Zhao, REN Yanming. Application of a data-set model in IEC 61850. Automation of Electric Power Systems, 2005, 29(2): 61-63.

[9] 何卫,唐成虹,张祥文,等. 基于 IEC 61850 的 IED 数据结构设计. 电力系统自动化,2007,31(1):57-60.
HE Wei, TANG Chenghong, ZHANG Xiangwen, et al. Design of data structure for IED based on IEC 61850. Automation of Electric Power Systems, 2007, 31(1): 57-60.

操丰梅(1969—),女,通信作者,硕士,主要研究方向:电力系统微机母线保护和数字化变电站数字保护。E-mail: caofengmei@sf-auto.com

宋小舟(1969—),男,高级工程师,主要研究方向:电力系统微机母线保护。

秦应力(1952—),男,副总工程师,主要研究方向:电力系统微机保护和数字化变电站数字保护。

Research on Distributed Busbar Protection Based on Digital Substation Process Level

CAO Fengmei, SONG Xiaozhou, QIN Yingli
(Beijing Sifang Automation Co Ltd, Beijing 100085, China)

Abstract: With the rapid advance of the digital substation, the demand for distributed busbar protection applied in the substation is becoming increasingly urgent. Based on the requirement of distributed busbar protection, the characteristics of IEC 61850 and the communication at the process level, this paper proposes a scheme for realizing distributed busbar protection at the process level, with the key problems, namely, the method of synchronous sampling and communication mode analyzed as well.

Key words: digital substation; process level; IEC 61850; GOOSE; distributed busbar protection