

基于分布式功能的站域保护

和敬涵¹, 李倍¹, 刘琳¹, 张浩²

(1. 北京交通大学电气学院, 北京 100080; 2. 国网冀北电力公司, 北京 100053)

摘要: 由于保护设备配置以及数据获取的单一化, 影响现有智能保护方案在设备故障时的可靠性。为了提高保护方案的可靠性, 保证设备故障或者数据丢失情况时保护方案的可靠运行, 提出了保护功能分散化、信息获取多元化、数据处理并行化的优化方案。包括以智能保护设备 IED 为基础构建了基于二次保护信息的 RIED; 将源数据发送给多个 IED/RIED 构成数据冗余, 提高数据冗余性; 通过不同的算法实现相同的功能, 并将算法分散到不同的 IED, 提高算法的冗余性; 利用保护算法的中间量信息实现设备可靠性监测。分析表明该优化方案可有效地提高设备故障及数据丢失时的保护性能, 增加了保护方案的可靠性。

关键词: 分布式保护; 站域保护; 冗余信息; 中间量

Station domain protection based on distributed function

HE Jing-han¹, LI Bei¹, LIU Lin¹, ZHANG Hao²

(1. School of Electrical Engineering, Beijing Jiaotong University, Beijing 100080, China;

2. State Grid Jibei Electric Power Company Limited, Beijing 100053, China)

Abstract: In the existing smart protection schemes, due to the simplification of protective equipment configuration and data acquisition, when the device fails, the entire protection program will be in lower reliability. In order to improve the reliability of protection schemes, this paper proposes an optimization program with protection decentralization, diversified information acquisition and parallel data processing. When the equipment failure or data loss situation occurs, the protection scheme is still able to operate reliably. This program constructs the RIED based on the secondary protection information; transfers the source data to multiple IED/RIED to build data redundancy; uses various algorithms to achieve the same functions, spreads the algorithm to different IEDs to improve the algorithm redundancy; and uses an intermediate amount of information of protection algorithms to achieve equipment reliability monitoring. Analysis shows that the optimization scheme can effectively improve the protection performance in the conditions of equipment failure and data loss, increasing the reliability of the protection scheme.

This work is supported by National Natural Science Foundation of China (No. 51277009).

Key words: distributed protection; station domain protection; redundant information; intermediate information

中图分类号: TM77 文献标识码: A 文章编号: 1674-3415(2014)06-0026-07

0 引言

计算机科学技术的快速发展, 分布式的并行计算将是未来的发展趋势。分布式计算通过将一个大功能计算需求任务分成多个独立的小的任务, 并通过分散的处理单元处理完成这些小的功能任务, 之后将所有的计算结果汇总, 从而实现一个功能的分布式化。对于计算行业, 分布式计算的好处将是大大降低计算的时间; 对于智能保护行业, 分布式计算

的好处是大大提高保护的可靠性能, 因为由于多个分布式单元对同一个数据源的不同处理, 使得整个分布式系统中, 将会产生大量的冗余处理信息。

在现有智能保护方案中, 包括集成保护^[1], 还有以本地信息、多变电站信息、多数据源等为基础的保护与控制方案^[2-4], 能够实现信息共享下的新型的保护方案, 然而其并不能够保证保护的可靠性能。

集成保护方案通过获取系统的全景信息, 进行处理判断, 其较单信息保护优势明显; 基于本地信息、多变电站信息的保护方案, 通过获取传统保护的可靠信息, 来实现加速后备保护方案, 保护性能

基金项目: 国家自然科学基金 (51277009)

优越。然而由于方案的单一性,一旦上述方案的保护设备出现故障,将使得保护方案本身不可靠。

为了提高保护设备在现场中的可靠性,需要构建具有冗余性能的保护方案。首先,对于传统设备(线路、母线、变压器)构建智能保护设备 IED;其次基于这些 IED 设备的二次保护信息构成智能保护 RIED(Redundancy IED);第三通过将源数据冗余性的发送给多个 IED、RIED,以此构成数据冗余;第四通过不同的算法实现同一个功能,并将算法分散到不同的 IED,计算出保护动作信号,以此构建算法冗余。从而实现了整个系统保护设备的冗余性能,如果某个设备出现故障:(1)利用与之相关的 IED 设备的二次信息,来实现其原有的保护功能;(2)由于同一个数据源分配到了不同的 IED,故可通过其他的获取了该数据源的 IED,来实现故障 IED 的功能;(3)由于某个保护功能的不同算法实现,故可以通过其他的利用另外一种算法实现该保护功能的 IED,来实现故障 IED 的功能。

近年来,相关方面的研究已有很多成果。文献[5]提出了广域保护多 Agent 系统动态协作机制;文献[6]研究了集成保护装置保护插件的硬件实现方案,指出现有通信技术完全能够满足大数据的通信;文献[7]提出了一种基于 MAS 的系统保护方案,具体说明了个保护之间的协作机制;文献[8]对广域继电保护做了综述,指出广域继电保护与稳控的结合是未来的发展方向;文献[9]提出了将变压器状态监

测与主保护跳闸功能一体化的方案;文献[10]提出并研制了能模拟实际继电保护系统外部动作行为,在线协同检验与调试各种基于 IEC61850 智能继电保护装置的软件测试系统;文献[11]提出的算法利用线路一侧电压、电流故障分量的测量值推算另一侧电压故障分量,以推算值与测量值的比值识别故障元件,该算法有助于解决传统后备保护整定配合复杂,潮流转移时易误动等问题;文献[12]提出了利用区内、外故障时,综合阻抗有明显的区别来实现广域保护;文献[13]分析了基于 PRP 协议的变压器差动保护过程总线构架及其运行机制;文献[14]详细地介绍了广域测量保护监测系统;文献[15]阐述了多核处理器在电力二次保护测控装置中的应用;文献[16]提出了一种基于 IEC 61850 标准的保护设备重构方案。

本文通过对 IEC61850 规约、智能变电站以及广域保护技术的研究,分析信息共享、保护协作、多源信息利用等,提出了基于分布式功能的站域保护,不仅能够提高设备的可靠性能,还能够实现对设备的监测功能。

1 站域保护

1.1 站域保护的范畴

站域保护的范畴为该变电站与其他变电站相连接输电线路对侧断路器内的范围,包括对侧母线及与之相连的开关。如图 1 所示。

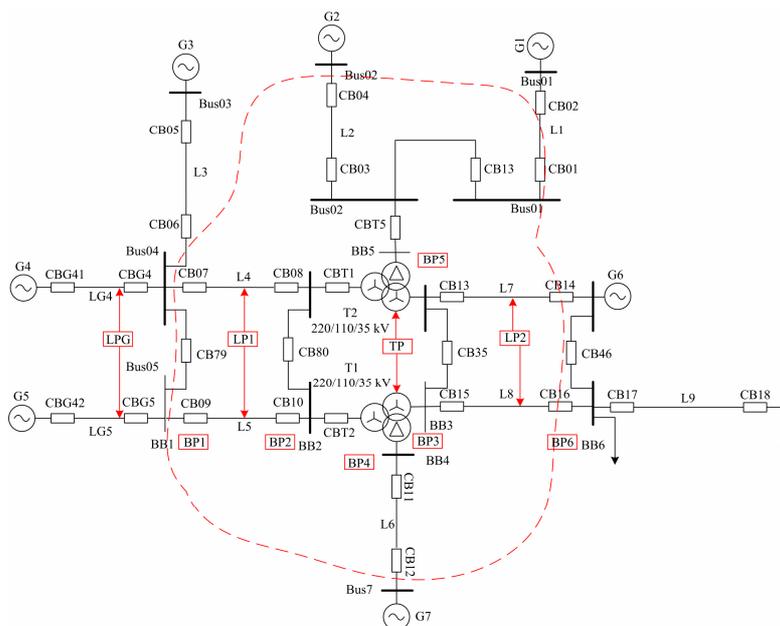


图 1 站域保护范围

Fig. 1 Scope of station domain protection

1.2 保护设备 IED

如图 2 所示，间隔层设备 R1、R2、R3、R4、R5 通过获取其保护区内的数据源，实现保护某一电力设备的功能，他们的保护算法是传统的保护算法，

例如线路、母线保护 IED 装置，其保护算法可以是：距离保护、差动保护、方向保护等。由于这些传统算法的优势以及快速性，其作为主保护并不能完全被取代。

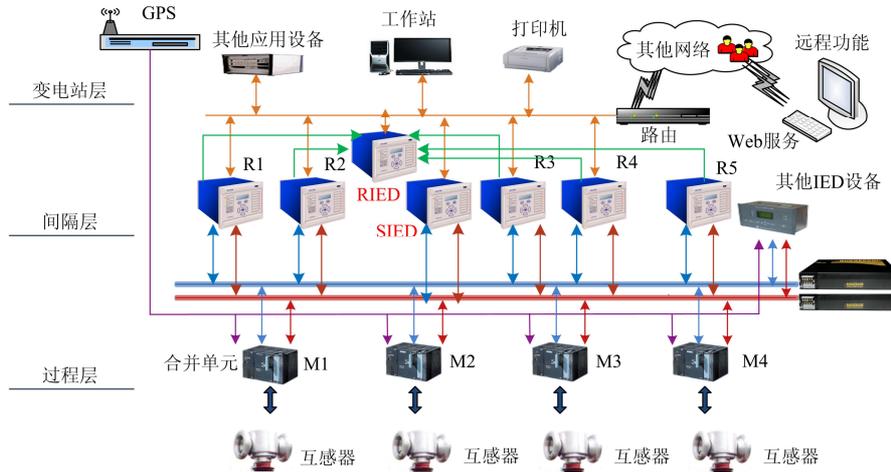


图 2 智能保护设备 IED
Fig. 2 IED

1.3 冗余保护 RIED

所谓 RIED，其在智能变电站的结构中，处于间隔层，其通过间隔层内的所有 IED 设备获取二次保护信息，例如保护装置是否正常、保护装置是否发出动作信号、保护装置故障判断是否在阀值内等。对采集到的二次数据进行处理，例如矩阵关联，信息融合等，来实现后备式的保护。

1.4 智能保护 SIED

所谓 SIED，也处于间隔层，其权限将比普通 IED 权限低一级，即如果 IED 和 SIED 发出的保护结果不相同，优先权是 IED 设备；SIED 设备利用一次电压、电流信息，或者二次保护信息，通过智能算法，例如 SVM、遗传算法、神经网络等来实现对信息的纠错以及对故障的判断。另外一个功能是实现了对隐含故障的检测，利用智能算法做数据的深度挖掘，得出对隐含故障的可信度判别。

2 分布式功能

2.1 分布式的背景

在电力系统中，数据源是电压、电流，为了使分布式功能能够实现，应使实现功能的各个步骤相互独立，使其在不同的 IED 装置中进行处理而互不影响。如图 3 所示，电压、电流量处理后能够被使用到的数据有：(1)FFT 分析的相角和幅值；(2)阻抗和阻抗角；(3)三序分量；(4)小波分析；这些数据可以被用来实现不同的功能。

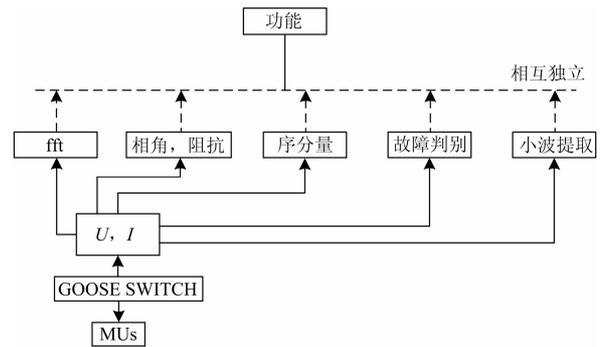


图 3 分布式实现
Fig. 3 Realization of the distributing

如图 4 所示，描述的是系统内分布式功能的拓扑图，IED 在完成本职工作的同时，承担起其他的计算任务。例如 IED1 在完成本职工作的同时，将要辅助替代完成其他功能中的一个独立的任务比如做 fft 分析；IED2 将辅助的替代完成其他功能中的独立任务序分量计算。这样的好处是，每个 IED 都

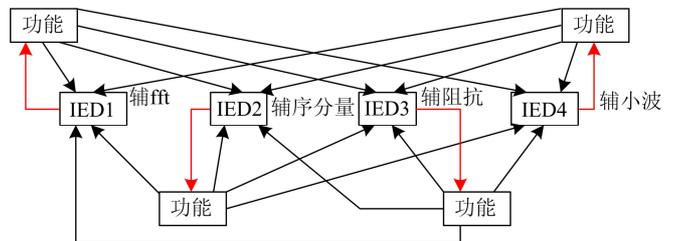


图 4 分布式功能
Fig. 4 Function of distributing

承担着其他功能的一部分功能任务, 在某一个 IED 出现故障的时候, 其他的 IED 可以代替其实现其功能; 由于同一个数据源只是被多个 IED 设备接收了, 其在通信上并没有额外的开销, 只是 IED 的处理能力需要提升, 这在现在多核并行处理的处理器中是容易解决的^[15]。

2.2 简单分布式功能的实现

如图 5 所示, 描述的是母线保护功能的冗余性, 两个 IED 设备 BP1(Bus Protection)、BP2, 通过 BP1 订阅的多个 MU(Merging Unit)数据进行数据的初步

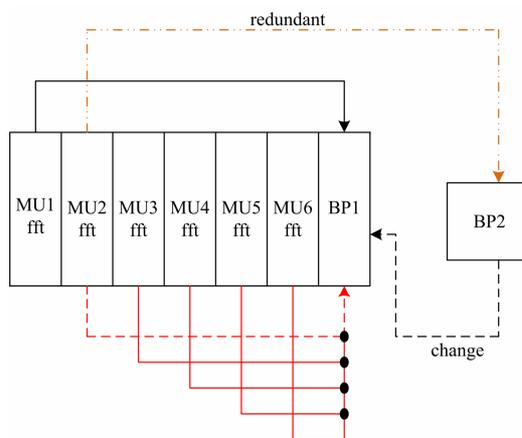


图 5 母线算法迁移

Fig. 5 Migrating of the bus protection

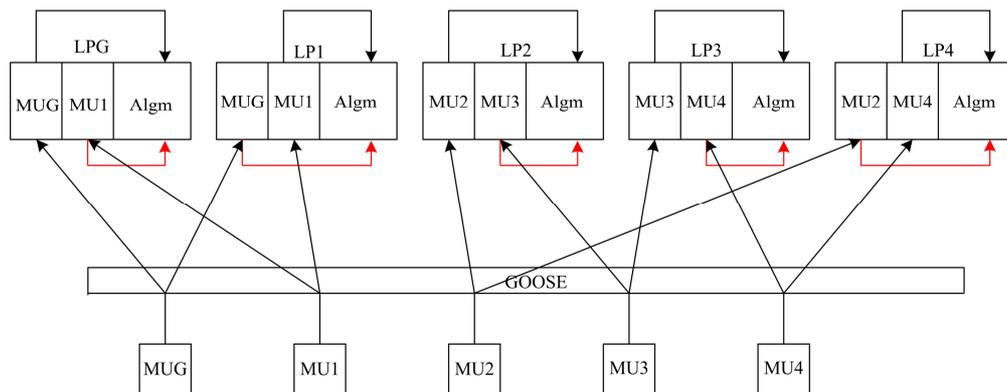


图 6 数据冗余

Fig. 6 Data redundancy

2.3.2 算法冗余

如图 7 所示, 分析算法冗余提高设备的可靠性。例如线路保护, 常用的有距离保护、方向保护、差动保护。故此将三种算法分散到不同的 IED 设备中进行判断得出保护动作信息, 之后根据这些信息综合判断是否动作。由于不同的保护算法需要的初步处理的数据是不相同的, 如距离保护需要计算出

处理获得母线保护算法需要的数据信息, 这些通过设备自身并行计算功能进行处理。在设备没有故障的情况下, 处理的初步数据将构成一种数据备份; 而在设备故障的情况下, 例如 BP2 出现故障, 其数据源的数据 MU2 经过 BP1 的并行内核的处理, 利用 BP1 的保护算法就可以实现 BP2 的保护功能了, BP1 与 BP2 都是母线保护设备, 所以其保护算法本质上是相同的。

2.3 基于分布式功能的 IED

2.3.1 数据冗余

LPG(Line Protection)、LP1、LP2、LP3、LP4 是普通的 IED 设备, 为了实现设备的可靠性能, 将分布式并行功能引入各个 IED 设备中。如图 6 所示, 为了实现设备故障之后其功能不丧失, 将通过临近 IED 设备利用其数据源代替之。MUG 是 LPG 的数据源, 将此数据源分别发送给 LPG 和 LP1, 同样 MU1 数据源分别发送给 LPG 和 LP1; 此时数据量并没有增大, 只是数据源被两个目的地址接受了; 此时两个 IED 设备通过并行的内核计算两个数据源, 正常情况下, LPG 和 LP1 还是通过各自数据源通过逻辑算法判断是否动作, 设备出现故障情况下, 例如 LPG 故障, 此时发出一个故障信号给 LP1, LP1 识别之后, 就对其内处理的 MUG 数据通过逻辑算法判断是否动作。这样就实现了设备间的冗余, 提高可靠性能。

的阻抗和阻抗角、方向保护需要计算出功率方向、差动保护需要计算出的幅值和相角。而从合并单元获取的原始数据报文 SMV 报文给出的是时间和幅值的关系。所以三种保护方案需要不同的数据处理算法。故此如图 7 所示, 每个 IED 设备在完成各自的保护功能算法的同时, 还将计算其他的数据源依据此算法的保护逻辑; 另外每个 IED 的功能将会有

冗余的两个保护算法在其他的 IED 中来实现这个功能。例如 LPG 将实现线路保护的功能，其数据源将发送给三个 IED 设备 LPG、LP1、LP2，每个 IED 设备通过不同的方式进行处理得到不同的初步处理数据，之后根据每个 IED 的算法逻辑实现保护动作的判断，最后综合所有算法的结果做出是否动作的逻辑。这样的优点在于，正常情况下，故障的判别来自三个不同的逻辑，可靠性更高；故障情况下，

例如 LPG 设备出现故障后，其功能需求将会通过 LP1、LP2 的算法来实现，由于 LP1、LP2 是通过不同的算法做出的逻辑判断，这就使得做出正确判断的可能性更高，从而很大程度上提高了设备的可靠性；另外，还可以使得具有不同功能的 IED 设备之间互相交互，例如将上述部分线路保护 IED 换成母线 IED，同一个数据源，经过不同类型的 IED，依然可以在设备故障的情况下，起到替代的作用。

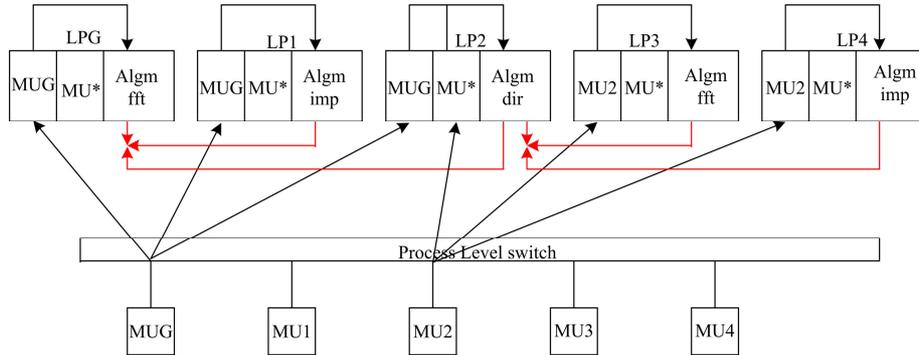


图 7 算法冗余

Fig. 7 Algorithm redundancy

2.4 具有分布式功能的 IED 的内部配合

如图 8 所示流程图，一个虚拟网络内的多个数据源 MU 发送到目的 IED，此 IED 剥离出本地数据源，并对本地数据源进行保护算法判断；其他数据源经过数据处理后，首先进行判断是否有收到其对应的 IED 故障信号，若收到有故障信号，则将与之相对的数据源进行保护算法判断，若未收到故障信号，则判断其他 IED 是否有数据丢失，若数据有丢失，则将此数据发送到丢失数据的 IED，若其他 IED 数据正常，则丢弃此数据。

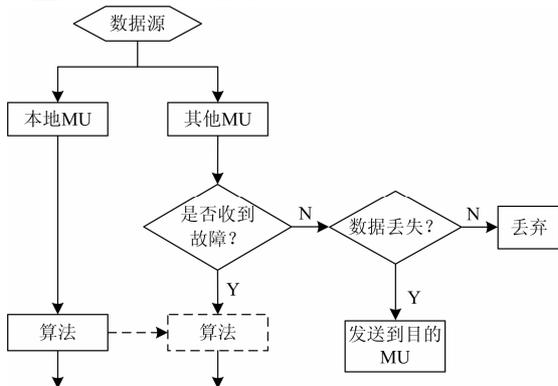


图 8 流程图 1

Fig. 8 Flow chart 1

如图 9 所示流程图，本地要实现算法冗余，则接收其他 IED 的保护算法信号，之后进行综合判断，发出动作信号；而对其他数据源而言，在收到相关

IED 出现故障的信号后，就要承担起故障 IED 的保护功能，所以其算法需要进行一些改动，而若未有收到 IED 出现故障信号，则将这些非本地数据通过本地的算法实现此算法下的保护动作信号，而后发送出去。

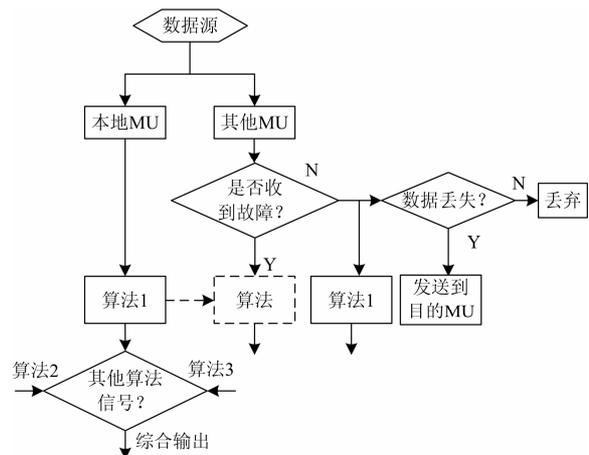


图 9 流程图 2

Fig. 9 Flow chart 2

2.5 后备保护

上述方案实现了各个 IED 的互相冗余，提高可靠性能，保证了 IED 正常的发挥主保护的功能，然而在断路器出现拒动的情况下，需要有断路器失灵保护，在没有配备失灵保护的情况下，将引入 RIED 设备的加速后备保护功能，如果此时 RIED 功能丧

失, 就利用 IED 的传统后备保护方案。

RIED 利用各个 IED 设备上传的冗余保护信息, 来实现系统的加速后备保护方案。由于 RIED 设备获取的是系统内所有 IED 设备的保护信息, 故 RIED 将会实现两种功能: (1)利用这些冗余信息进行信息融合来实现故障 IED 的功能; (2)利用这些信息来实现后备加速保护。

如图 10 所示, RIED 将从多个保护 IED 设备中获取信息, 而从图 1 的拓扑结构上来看, 母线保护 1 (简称 BP1) 与母线保护 2 (简称 BP2) 能够在一定

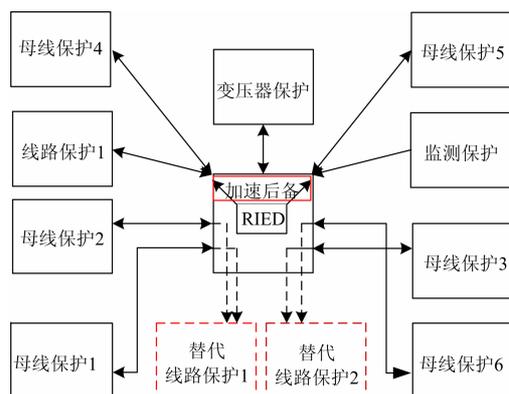


图 10 后备保护

Fig. 10 Backup protection

定的功能上替代线路保护 1 (简称 LP1): 当线路 1 出现故障时, LP1 将产生故障方向信息; 而 BP1 与 BP2 也能够产生故障方向信息, 因此在 LP1 失灵的情况下, 可以由 BP1 与 BP2 两者的信息交换, 联合替代 LP1 实现保护功能。

2.6 保护设备监测功能

IED 设备中并行计算将会产生多个数据源的初步处理信息, 将这些初步处理数据以及保护算法计算产生的中间量信息上传, 通过对这些信息进行处理和判断, 可以实现对设备的故障预警, 同时还可以实现其他改进的保护功能。下面将以距离保护算法为例, 对此进行说明。

如图 11 所示, 由于 CB-07 和 CB-08 数据源通过距离保护算法, 将会得出中间量 $\dot{Z} = \dot{U} / \dot{I}$, 线路 L4 的阻抗是已知的 \dot{Z}_{L4} , 另外可以通过公式求得线路 L4 的阻抗

$$\dot{Z}_{L4} = \frac{\dot{U}_{07} - \dot{U}_{08}}{\dot{I}} = \frac{\dot{U}_{07}}{\dot{I}} - \frac{\dot{U}_{08}}{\dot{I}}$$

所以通过上传的中间量 \dot{Z}_{07} 、 \dot{Z}_{08} 之差的值来进行设备故障预警。如果这个差的值与 \dot{Z}_{L4} 相差很大, 那么可以说明从 MU 数据源到保护设备计算保护算法的这些环节中某个环节出现了故障, 由此发出告警信号: 表明此设备出现了故障。

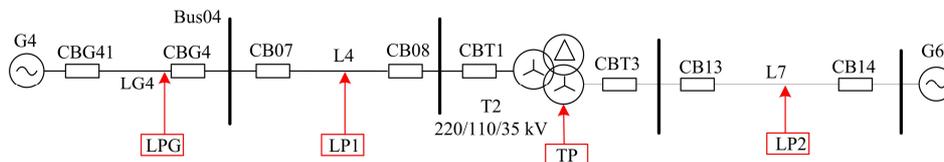


图 11 双端网络 1

Fig. 11 Double-end network 1

图 12 描述的是利用距离保护的中间计算量阻抗来实现对设备的功能监测。CB07 处的距离保护一段整定为线路全长的 80%, 距离二段将超过本线路到达下一段线路的一段内, 所以在本线路故障发生在二段内的时候, CB-07 测得的阻抗 $\dot{Z}_1 + \dot{Z}_x \leq \dot{Z}_L$ 故通过 CB-07 数据源计算出的中间量阻抗 $\dot{Z}_1 + \dot{Z}_x$ 来

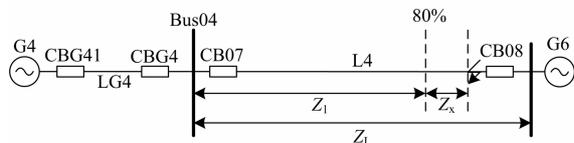


图 12 双端网络 2

Fig. 12 Double-end network 2

判断。当 I 段不启动, 而此值小于 \dot{Z}_L , 则故障是发生在本线路二段内, 否则发生在了下一段线路。这样就实现了对保护设备的功能监测。

3 结论

本文论述了功能分布来提高设备的可靠性能, 通过冗余设置, 使得同一个数据源能够独立地在多个设备中进行处理, 实现功能冗余; 而多个设备对同一个功能的不同实现算法, 又实现了算法冗余。从文中分析可见功能与算法的分布和冗余提升了设备的可靠性。文中还提出将每个 IED 设备内的处理中间量上传可实现对设备的功能监测。

参考文献

- [1] 薄志谦, 和敬涵, 董新洲. 电力系统的集成保护[J]. 继电器, 2005, 33(14): 6-10, 47.
BO Zhi-qian, HE Jing-han, DONG Xin-zhou. The integrated protection for power network[J]. Relay, 2005, 33(14): 6-10, 47.
- [2] 马磊, 王增平, 马静. 基于本地多信息的后备保护研究[J]. 继电器, 2006, 34(4): 6-9.
MA Lei, WANG Zeng-ping, MA Jing. Study on local multi-information backup protection[J]. Relay, 2006, 34(4): 6-9.
- [3] 董新洲, 丁磊, 刘琨, 等. 基于本地信息的系统保护[J]. 中国电机工程学报, 2010, 30(22): 7-13.
DONG Xin-zhou, DING Lei, LIU Kun, et al. System protection based on local information[J]. Proceedings of the CSEE, 2010, 30(22): 7-13.
- [4] 李斌, 薄志谦. 面向智能电网的保护控制系统[J]. 电力系统自动化, 2009, 33(20): 7-12.
LI Bin, BO Zhi-qian. Investigation on protection and control of smart grid[J]. Automation of Electric Power Systems, 2009, 33(20): 7-12.
- [5] 李振兴, 尹项根, 张哲, 等. 广域保护多 Agent 系统动态协作机制[J]. 电力系统保护与控制, 2012, 40(3): 36-40.
LI Zhen-xing, YIN Xiang-gen, ZHANG Zhe, et al. Dynamic cooperation mechanism of wide area protection system based on multi-Agent[J]. Power System Protection and Control, 2012, 40(3): 36-40.
- [6] 修荣堃, 姜永晖. 数字化变电站集成保护装置保护插件的研制[J]. 电工技术, 2012, 5(4): 5-6, 12.
- [7] 秦纪平, 刘前进. 基于 MAS 的协同保护方案研究[J]. 南方电网技术, 2008, 2(3): 66-69.
QIN Ji-ping, LIU Qian-jin. Research of coordinating protection scheme based on MAS[J]. Southern Power System Technology, 2008, 2(3): 66-69.
- [8] 丁伟, 何奔腾, 王慧芳, 等. 广域继电保护系统研究综述[J]. 电力系统保护与控制, 2012, 40(1): 145-155.
DING Wei, HE Ben-teng, WANG Hui-fang, et al. Overview of wide-area relaying protection system[J]. Power System Protection and Control, 2012, 40(1): 145-155.
- [9] 张保会, 郝治国, BO Zhi-qian. 智能电网继电保护研究的进展(三)——保护功能的发展[J]. 电力自动化设备, 2010, 30(3): 1-6.
ZHANG Bao-hui, HAO Zhi-guo, BO Zhi-qian. Development of relay protection for smart grid (3): development of protection function[J]. Electric Power Automation Equipment, 2010, 30(3): 1-6.
- [10] 宋杰, 靳希, 鲍伟, 等. 基于 IEC61850 的智能继电保护装置协同测试系统的研究[J]. 电力系统保护与控制, 2012, 40(5): 59-63, 68.
SONG Jie, JIN Xi, BAO Wei, et al. Research of intelligent relay-protection devices collaborative testing system based on IEC61850[J]. Power System Protection and Control, 2012, 40(5): 59-63, 68.
- [11] 何志勤, 张哲. 基于故障电压比较的广域后备保护新算法[J]. 电工技术学报, 2012, 27(7): 274-283.
HE Zhi-qin, ZHANG Zhe. A novel wide area backup protection algorithm based on fault voltage comparison[J]. Transactions of China Electrotechnical Society, 2012, 27(7): 274-283.
- [12] 李振兴, 尹项根. 基于综合阻抗比较原理的广域继电保护算法[J]. 电工技术学报, 2012, 27(8): 179-186.
LI Zhen-xing, YIN Xiang-gen. A study of wide-area protection algorithm based on integrated impedance comparison[J]. Transactions of China Electrotechnical Society, 2012, 27(8): 179-186.
- [13] 莫峻, 谭建成. 基于并行冗余协议的高可靠性过程总线通信研究[J]. 电工技术学报, 2012, 27(4): 263-268.
MO Jun, TAN Jian-cheng. Highly reliable process bus communication parallel based on redundancy protocol[J]. Transactions of China Electrotechnical Society, 2012, 27(4): 263-268.
- [14] TERZIJA V, VALVERDE G, CAI D, et al. Wide-area monitoring, protection, and control of future electric power networks[J]. Proceedings of the IEEE, 2011, 99(1): 80-93.
- [15] 周华良, 夏雨, 汪世平, 等. 多核处理器在中低压保护测控一体化装置中的应用[J]. 电力系统自动化, 2011, 35(24): 84-88.
ZHOU Hua-liang, XIA Yu, WANG Shi-ping, et al. Application of multi-core processors in low-and-medium-voltage relay protection devices integrated with measurement and control function[J]. Automation of Electric Power Systems, 2011, 35(24): 84-88.
- [16] 苗斌, 童晓阳. 基于 IEC 61850 标准的保护设备重构方案[J]. 电力系统自动化, 2012, 36(23): 87-92.
MIAO Bin, TONG Xiao-yang. Reconfiguration scheme of protection equipments based on IEC61850[J]. Automation of Electric Power Systems, 2012, 36(23): 87-92.

收稿日期: 2013-06-03; 修回日期: 2013-10-15

作者简介:

和敬涵(1964-), 女, 博士, 教授, 主要研究方向为继电保护;

李倍(1991-), 男, 硕士研究生, 主要研究方向为继电保护; E-mail: 12121501@bjtu.edu.cn

刘琳(1988-), 女, 博士研究生, 主要研究方向为继电保护。