

DOI: 10.7667/PSPC151983

不受非同步采样影响的母线差动保护方案研究

雷明¹, 王文森², 康小宁², 刘峰¹, 裘峰源¹

(1. 国家电网公司陕西省电力公司, 陕西 西安 710048; 2. 西安交通大学电力设备电气绝缘
国家重点实验室, 陕西 西安 710049)

摘要: 提出了一种新的母线保护原理, 该原理通过引入母线电压对现有差动判据进行等式变形得到, 可有效消除电流采样非同步的影响。结合陕西电网实际工程, 建立了相应的母线故障仿真模型。仿真分析了母线区内、外各种故障情况下, 所提保护判据和常规母差保护的動作情况。仿真研究表明, 常规母差保护判据在采样数据不同步时, 存在区内故障误选相问题和区外故障误动问题; 而所提方案可有效消除采样非同步的影响, 区内故障保护可靠動作, 区外故障可靠不动。同时, 保护的定值整定原则与常规母差保护相同, 无需特殊整定。

关键词: 智能变电站; 母线差动保护; 采样同步; 不平衡电流

Research on the busbar differential protection scheme immune to asynchronous sample data

LEI Ming¹, WANG Wensen², KANG Xiaoning², LIU Feng¹, QIU Fengyuan¹

(1. State Grid Shaanxi Electric Power Company, Xi'an 710048, China; 2. State Key Laboratory of Electrical Insulation and Power Equipment, Xi'an Jiaotong University, Xi'an 710049, China)

Abstract: This paper proposes a new method of busbar differential protection, which is deduced from conventional busbar differential protection by introducing busbar voltages and can eliminate the impact of asynchronous sample data. In order to analyze the characteristics of the proposed method, a PSCAD busbar simulation model based on real substation of Shaanxi grid is built. The simulations of internal and external faults show that, the conventional busbar differential protection will malfunction while using asynchronous sampling data, and the proposed method can operate correctly during same circumstances. Meanwhile, the proposed method can use the conventional busbar differential protection setting value directly. Therefore, it is easy to apply the proposed method in practice.

This work is supported by National Natural Science Foundation of China (No. 51177127).

Key words: smart substation; busbar differential protection; synchronous sampling; unbalanced current

0 引言

母线差动保护是母线故障的主要保护形式。差动保护原理基于基尔霍夫电流定律, 具有简单可靠的特点。母差保护在工程上遇到的主要技术问题是区外故障同时, 电流互感器 TA 饱和导致的母差保护误动问题, 这方面已有大量的文献进行研究和分析, 本文并不以此为研究重点。

近年来, 随着分布式母线差动保护的发展和智能变电站技术的发展, 为智能变电站保护带来新的问题, 文献[1-2]采用概率灵敏度和元件灵敏度分别

评估“直采直跳”模式下继电保护系统的元件灵敏度和重要度, 该方法可以指出智能变电站继电保护系统的薄弱环节。在众多问题中, 如何避免采样不同步引起差动保护误动问题日益受到重视。这是因为差动保护原理对采样同步有严格的要求, 这体现在采样时刻的同步和相量计算数据窗的同步两个方面, 而分布式母差保护由于采集单元的分散布置, 引起了常规集中式母线差动保护不会遇到的采样同步问题^[3-8]。同时, 在智能变电站的应用中, 基于“网采网跳”的母线冗余式保护可以在不增加硬件投资的情况下, 实现母线保护的双重化^[9], 这对提高重要的 110 kV 智能变电站母线保护可靠性具有重要意义。例如现有运行规程规定 220 kV 以上的智能变电站配置双重化的母线差动保护, 而 110 kV 智能站母线

基金项目: 国家自然科学基金面上项目 (51177127) 和国家电网陕西省电力公司科技合作项目

保护只配置单一的母线差动保护。在我国西北地区电网, 330 kV 变电站的 110 kV 系统其作用与其他地区电网的 220 kV 系统相近, 但上述规程规定则很难满足 110 kV 母线保护可靠性的要求。因此在这种情况下, 若能利用智能变电站的信息共享技术, 采用“网采网跳”方式实现母线保护的准双重配置, 具有很大的工程意义。但这同样需要解决采样不同步可能引起的母差保护误动问题。

现有对差动保护采样同步技术的研究可以分为两大类: 一类是如何确保分布式采样系统的采样数据同步的方法研究, 其中, 文献[10]中提出了基于 GPS 精确对时的差动保护采样同步方法; 文献[11]中指出对于“直采直跳”的母线差动保护, 由于采样环节的延时相对固定, 合并单元可以不依赖同步信号, 对每个间隔均按照既定的延时进行向前修正; 文献[12]提出一种利用主单元中 IEEE1588 对时芯片的高精度时钟发生器实现个采集单元的同步, 这类方法的共同问题是需要增加额外的投入, 安全性略低。另一类是研究不受采样不同步影响的差动保护方案, 其中, 文献[13]中提出利用方向原理实现母线差动保护, 方向原理只需要获得每个间隔单元的功率方向, 在实现数据同步时不会对通讯网络产生过大的负担, 但方向元件在纯负荷线路存在误判的可能; 文献[14]采用引入电压量构成导纳式差动判据, 避免了采样同步的影响, 但需要对保护进行另外的整定。

本文在文献[14]的基础上提出一种不受采样数据不同步影响的母线差动保护实现方案, 该方案既不受采样时刻不同步的影响, 也不受采样数据窗不同步的影响, 同时避免了文献[14]方法引起的定值整定问题, 无需另行整定定值。

1 差动保护原理

我们以图 1 说明差动保护原理。

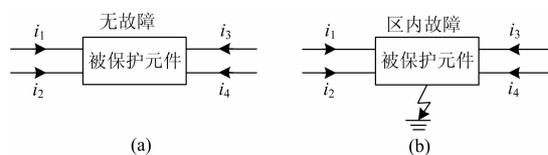


图 1 差动保护原理说明图

Fig. 1 Schematic diagram of differential protection

对于图 1(a), 当被保护元件正常运行或存在外部故障时, 根据基尔霍夫电流定律有

$$\sum_{k=1}^N i_k(t) = 0 \quad (1)$$

式中: i_k 为流入被保护元件的各支路电流; N 为与

被保护元件相连的支路数。

该式也可以写成相量形式, 如式(2)。

$$\left| \sum_{k=1}^N \dot{i}_k \right| = 0 \quad (2)$$

对于图 1(b), 当被保护元件内部故障时, 根据基尔霍夫电流定律有

$$\sum_{k=1}^N \dot{i}_k(t) = i_f(t) \quad (3)$$

式中, i_f 为被保护元件故障时故障支路电流。

写成相量形式:

$$\left| \sum_{k=1}^N \dot{i}_k \right| = |i_f| \quad (4)$$

以上是差动保护区分区内、区外故障的基本思想。式(1)和式(3)表明差动保护原理上对采样时刻同步有严格要求。而式(2)和式(4)表明将瞬时值差动形式变成相量形式时, 相量计算需要采用相同时间窗(数据窗)数据计算得到。这就从原理上说明采样不同步和数据不同步都会对差动判据产生影响。

在分布式母线差动保护及基于网采网跳的智能变电站母线保护中, 由于采样操作的分散性, 采样同步及数据窗同步有时无法保证。在这情况下必须有相应的处理方法避免因不同步采样数据导致的保护误动, 为此, 本文提出了一种替代方案。

2 不受采样同步影响的母线差动保护原理

本文所提的原理是在如下假设的基础上提出的, 即: 所有与母线保护相关的间隔 IED 独立采集与本间隔有关的电流和母线电压, 同一间隔的电流、电压采样是同步完成的。对于目前的分布式母线保护采集单元配置及现有的智能变电站的合并单元 MU 配置, 其电流、电压信息的采集均符合这一假设。

为了方便叙述, 我们用图 2 简单系统来说明本文提出方法。

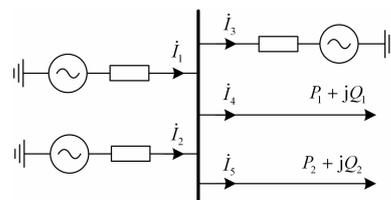


图 2 一种母线接线示意图

Fig. 2 Schematic diagram of a busbar connection

常规母线差动保护的判据可以简单地写为如式(2), 为简化分析, 先不考虑制动特性。

$$\left| \sum \dot{i}_i \right| > I_{cd.set} \quad (5)$$

式中： i_i 为第*i*条支路(间隔)的电流相量； $I_{cd.set}$ 为差动电流保护启动门槛。

根据上节的分析，式(5)对电流采样的同步性有严格要求，这体现在采样时刻的同步性及相量计算使用的数据窗的同步性两方面。

我们对式(5)作如下等式变形：

$$|\dot{U}_k| \left| \sum \frac{i_i}{\dot{U}_i} \right| > I_{cd.set} \quad (6)$$

式(5)和式(6)是完全等价的，其中 \dot{U} 为母线电压相量，进一步变形

$$|\dot{U}_k| \left| \sum \frac{i_i}{\dot{U}_i} \right| > I_{cd.set} \quad (7)$$

式中： \dot{U}_k 为某一间隔采集的母线电压相量，其选择是任意的； \dot{U}_i 为第*i*个间隔采集的母线电压相量，在采样完全同步，且不考虑采集回路误差时，它们满足 $\dot{U}_k = \dot{U}_i$ 。

式(5)至式(7)均是在采样同步基础上的等式变形，下面我们考虑采样不同步，则式(7)可通过引入不同步角差变形为

$$|\dot{U}_k| \left| \sum \frac{i_i e^{j\delta_i}}{\dot{U}_i e^{j\delta_i}} \right| > I_{cd.set} \quad (8)$$

即

$$|\dot{U}_k| \left| \sum \frac{i'_i}{\dot{U}'_i} \right| > I_{cd.set} \quad (9)$$

式中： i'_i 为第*i*个间隔实采的电流相量； \dot{U}_i 为第*i*个间隔实采的电压相量； i'_i 为同一情形下，假设采样同步时第*i*个间隔采集的虚拟电流相量； \dot{U}'_i 为同一情形下，假设采样同步时第*i*个间隔采集的虚拟电压相量。

它们之间的关系为

$$\begin{cases} i'_i = i_i e^{j\delta} \\ \dot{U}'_i = \dot{U}_i e^{j\delta} \end{cases} \quad (10)$$

式中， δ_i 是第*i*个间隔采样数据与基准间隔*k*采样数据间的相角差。

从式(7)到式(9)的变形可以看出，通过引入母线电压相量，消除了不同步采样对差动判据的影响。

应当指出，上述推导是针对相量形式的差动判据得到的。理论上讲，上述变形在故障稳态时是严格成立的，但是对于故障暂态，由于相量提取算法因暂态波形产生计算误差，上述变形将可能导致不平衡电流的增加，需要进行仿真分析。

对于其他几种常见的差动保护判据，可以利用同样的思想对判据作如下变形。

全电流母差保护：

$$|\dot{U}_k| \left| \sum \frac{i_i}{\dot{U}_i} \right| > I_{cd.set} \quad (11)$$

故障分量母差保护：

$$|\Delta \dot{U}_k| \left| \sum \frac{\Delta i_i}{\Delta \dot{U}_i} \right| > I_{cd.set} \quad (12)$$

利用这种差动判据计算出的差动电流本文称之为等效差动电流，定值可选择现有常规母线差动保护的整定值，无需另行整定。在母差保护中，通常采用电流最大的支路电流作为制动量，因此制动电流的计算不涉及同步问题。但若采用其它方法确定制动电流(例如采用 $|\Delta i_1 + \Delta i_2|$ 得到制动电流)，上述方案仅作简单推广即可消除不同步的影响。在下文的叙述中将这种方法称为等效电流差动保护。

3 仿真实验

3.1 仿真模型说明

为了分析本文所提方案的性能，本文以西北电网 330 kV 富平变为基础建立了相应的 PSCAD 仿真模型，分析了该变电站 110 kV 母线区内、外故障时保护的动作情况。变电站接线图如图 3 所示。富平变主要一次设备情况如表 1 所示。

富平 330 kV 变电站中 110 kV 母线过程层设备配置采用合并单元与智能终端一体化装置，线路 PT 与本间隔电流共用合并单元。图中 *k* 为母线区内故障点，*k*₁、*k*₂、*k*₃、*k*₄ 分别代表母线区外不同位置的故障点。仿真的采样速率为每周波 80 点。

表 1 富平 330 kV 变电站建设规模

Table 1 Main parameters of Fuping 330 kV substation

序号	项目	本期规模
1	主变压器	2×240 MVA
2	330 kV 出线	4 回
3	110 kV 出线	8 回
4	35 kV 并联电容器	2×2×20 MVar
5	35 kV 并联电抗器	2×1×30 MVar

为了与常规差动保护进行对比分析，本文重点研究了在数据同步和不同步两种情况下，利用故障分量构成的常规母线差动保护判据和本文提出的等效电流母线差动保护判据的动作情况。IEC61850 规定传输延时造成的不同步时间应小于 3 ms，作为极端情况本文选取不同步时间为 5 ms。分别仿真了两种方法在只有单个间隔数据不同步和存在多个间隔采样数据不同步时的动作情况。在仿真中同时考虑到过渡电阻，故障初始相位，负荷参数的变化对各种判据的影响。

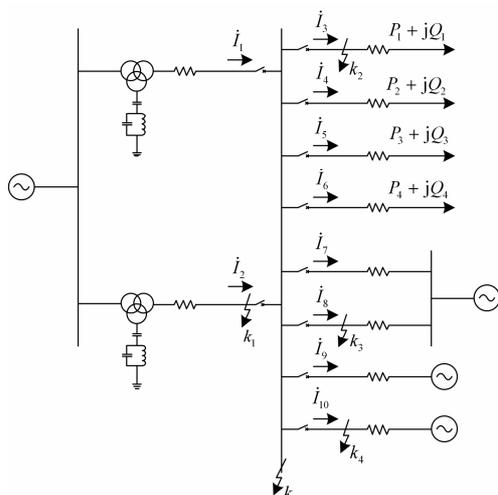


图3 富平变 110 kV 母线接线示意图

Fig. 3 110 kV main system in Fuping substation

3.2 区外故障仿真

故障点选择为区外故障点 k_1 , 故障类型为 A 相接地故障, 过渡电阻 20Ω 。利用故障后 2 周波数据进行仿真计算(共 160 个采样点), 计算结果如图 4 所示。图 4 中 A、B、C 三相电流分别用“*”、“+”和“o”代表的不同线形表示, 图中横坐标为制动电流值, 纵坐标为差动电流值。

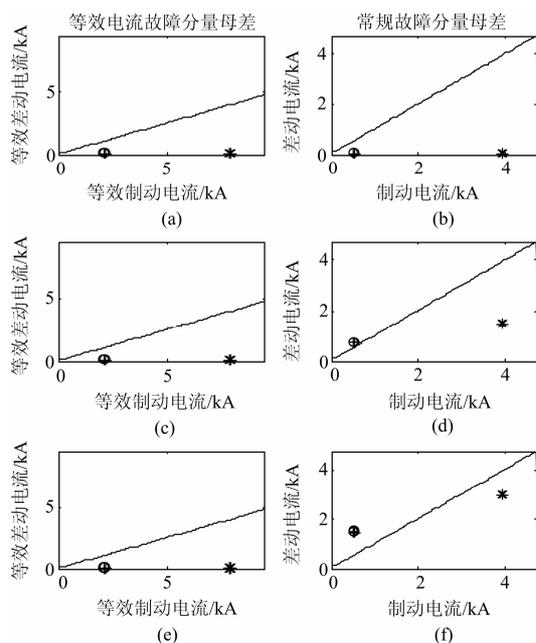


图4 两种母差判据在区外故障时的差动特性图

Fig. 4 External fault diagrams of the two differential criterions

图 4 中(a)、(c)和(e)为等效电流差动保护判据仿真结果; (b)、(d)和(f)为常规故障分量电流差动保护判据仿真结果。其中图 4(a)和(b)是采样完全同步时判据的仿真结果, 可以看出两个判据均可靠不动。

图 4(c)和(d)是存在单个间隔与其它间隔采样不同步时的仿真结果, 可以看出常规故障分量电流差动保护判据, 其故障相处于临界动作状态, 存在误动风险, 健全相的不平衡电流明显增大; 但等效电流母线差动保护判据不平衡电流几乎没有变化, 保护可靠不动。图 4(e)和(f)是存在 3 个间隔采样不同步时的仿真结果, 常规故障分量差动保护健全相不平衡电流进一步增大, 故障相保护误动, 但此时等效电流差动保护不平衡电流仍维持一个很小的值, 保护可靠不动。

对于在区外故障点 k_1 位置出现 BC 接地故障, BC 相间故障以及三相短路故障时, 仿真结果与 A 相接地故障仿真结果类似, 不再一一详细列出, 仅将这三种故障情况下, 数据不同步时两种差动保护判据动作结果列于表 2 中, 表中“是”表示差动保护动作, “否”表示差动保护不动作。

表 2 两种差动保护在三个间隔回路数据不同步时 k_1 位置故障动作情况

Table 2 Simulation result with k_1 fault using asynchronous sampling data

故障类型	相名	故障分量电流差动	等效电流差动
BCG	A 相	是	否
	B 相	是	否
	C 相	是	否
BC	A 相	是	否
	B 相	否	否
	C 相	否	否
ABCG	A 相	是	否
	B 相	是	否
	C 相	是	否

为了进一步研究不同故障条件下, 两种保护判据的动作情况。本文还仿真了不同过渡电阻、故障初始相角和不同负荷水平情况下两种动作判据的动作情况。表 3 给出了采样不同步时, 两种判据在不同过渡电阻情况下, 仿真中出现的最大不平衡电流数值, 该结果表明, 区外故障越严重, 常规差动保护判据的不平衡电流越大, 误动可能性越大; 而本文方案的不平衡电流则很小, 不会误动。不同故障初始相角和不同负荷水平时的仿真结果基本一致。同时, 对区外不同故障点的仿真结果也类似, 在此不再赘述。

此外, 本文还对包括常规全电流差动判据、常规故障分量电流差动判据及本文所提判据进行了仿真分析, 研究了不同负荷水平, 不同故障类型, 不同过渡电阻, 不同故障起始时刻条件下, 几种典型

表 3 有三个互感器数据不同步时不同过渡电阻下
差动保护差动电流数据(电流单位: kA)

Table 3 Differential current comparison of two criterions
during external fault with different fault resistance
using asynchronous sample data (kA)

		0 Ω	20 Ω	50 Ω	100 Ω
故障分量 电流 差动	I_{cd}	12.357	2.679	1.115	0.2518
	I_{zd}	19.083	4.153	1.693	0.1114
等效电 流差动	I_{cd}	1.350×10^{-4}	3.011×10^{-5}	1.284×10^{-5}	6.543×10^{-6}
	I_{zd}	36.367	7.995	3.295	1.668

判据在区外故障时动作情况。仿真表明,在采样同步时,几种判据均能可靠不动作。但当采样不同步时,常规的全电流差动、故障分量差动保护均存在误动问题,而本文方法均能可靠工作。同时,本文方法在故障稳态时不存在不平衡电流,而在故障暂态时,不平衡电流也很小,常规整定的差动定值完全可以克服该不平衡电流的影响,无需另行整定。

3.3 区内故障仿真

故障点选择为区内故障点 k , 故障类型为 A 相接地故障, 过渡电阻 20Ω 。利用故障后 2 周波数据进行仿真计算(共 160 个采样点), 计算结果如图 5 所示。图 5 中 A、B、C 三相电流分别用“*”、“+”和“o”代表的不同线形表示, 图中横坐标为制动电流值, 纵坐标为差动电流值。

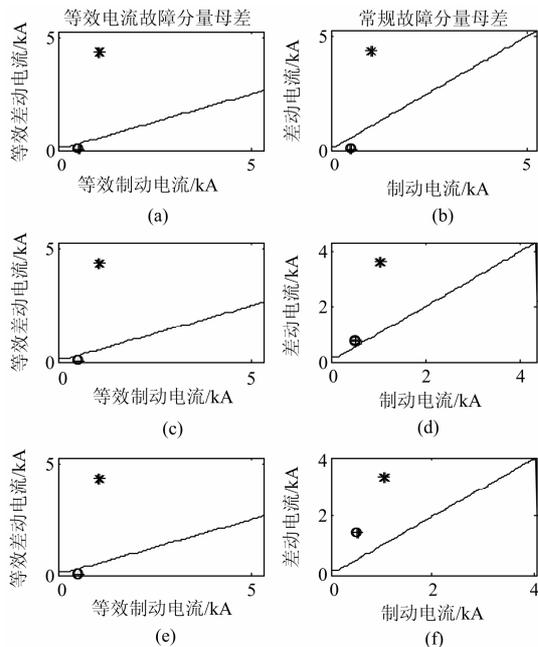


图 5 两种母差判据在区内故障时的差动特性图

Fig. 5 Internal fault diagrams of the two differential criterions

图 5 中(a)、(c)和(e)为等效电流差动保护仿真

结果; (b)、(d)和(f)为常规故障分量电流差动保护仿真结果。其中图 5(a)和(b)是与母线所连所有间隔数据同步时的仿真结果, 可以看出此时两种母差判据计算结果均能正确切除母线区内故障。图 5(c)和(d)是存在单个间隔与其它间隔采样不同步时的仿真结果, 由图可知, 当数据不同步时, 常规故障分量母差计算的健全相不平衡电流增大, 存在选相错误, 但等效电流保护的不平衡电流不会增大, 健全相保护可靠不动作。图 5(e)和(f)是存在 3 个间隔采样不同步时的仿真结果, 常规故障分量差动保护健全相不平衡电流进一步增加, 但等效电流保护的不平衡电流不会增大, 健全相保护可靠不动作。以上分析表明区内故障时, 两种保护方案均能可靠动作, 但常规故障分量差动保护判据存在误选相问题。

对于母线区内的两相接地故障, 两相相间故障以及三相短路故障情况(过渡电阻为 20Ω), 仿真结果与 A 相接地故障仿真结论类似, 在此不再赘述。

此外, 本文还对包括常规全电流差动判据、常规故障分量电流差动判据及本文所提判据进行了仿真分析, 研究了不同负荷水平, 不同故障类型, 不同过渡电阻, 不同故障起始时刻条件下, 几种典型判据在区内故障时动作情况。仿真表明, 在采样同步时, 几种判据均能可靠动作切除区内故障。但当采样不同步时, 常规的全电流差动、故障分量差动保护虽不存在拒动问题, 但均存在误选相问题, 而本文方法均能可靠动作, 且选相正确。

4 结论

本文在文献[14]的基础上提出了一种不受采样不同步影响的母线差动保护实现方案。该方案通过引入电压量, 理论上可完全消除因采样时刻不同步及数据窗不同步引起的稳态不平衡电流。在采样不同步及数据窗不同步情况下, 本文方法引起的暂态不平衡电流很小, 满足母线差动保护的要求。仿真分析结果表明: 常规全电流差动保护、故障分量差动保护在区外故障且数据不同步时, 存在误动情况; 在区内故障且数据不同步时, 虽不存在拒动可能, 但存在误选相问题。而本文所提方案在各种区、内外故障条件下, 均能够可靠识别故障区域, 正确动作。同时本文所提方案无需增加新的定值, 按常规母线差动保护整定定值即可。本文方法可应用于分布式母线保护并适用于智能变电站基于网络采集的母线冗余式保护, 消除了采样不同步对母线差动保护的影响。

参考文献

[1] 王同文, 谢民, 孙月琴, 等. 智能变电站继电保护系统

- 可靠性分析[J]. 电力系统保护与控制, 2015, 43(6): 58-66.
WANG Tongwen, XIE Min, SUN Yueqin, et al. Analysis of reliability for relay protection systems in smart substation[J]. Power System Protection and Control, 2015, 43(6): 58-66.
- [2] 徐长宝, 庄晨, 蒋宏图. 智能变电站二次设备状态监测技术研究[J]. 电力系统保护与控制, 2015, 43(7): 127-131.
XU Changbao, ZHUANG Chen, JIANG Hongtu. Technical research of secondary equipments' state monitoring in smart substation[J]. Power System Protection and Control, 2015, 43(7): 127-131.
- [3] 倪兆瑞, 王延安. 智能变电站合并单元延时特性现场测试仪的设计[J]. 电力系统保护与控制, 2014, 42(10): 119-124.
NI Zhaorui, WANG Yanan. Design of field testing instrument for merging unit delay characteristics in smart substation[J]. Power System Protection and Control, 2014, 42(10): 119-124.
- [4] 黄灿, 肖驰夫, 方毅, 等. 智能变电站中采样值传输延时的处理[J]. 电网技术, 2011, 35(1): 5-10.
HUANG Can, XIAO Chifu, FANG Yi, et al. A method to deal with packet transfer delay of sampled value in smart substation[J]. Power System Technology, 2011, 35(1): 5-10.
- [5] 高东学, 智全中, 朱丽均, 等. 智能变电站保护配置方案研究[J]. 电力系统保护与控制, 2012, 40(1): 68-71.
GAO Dongxue, ZHI Quanzhong, ZHU Lijun, et al. Configuration project of protect unit according to levels for smart substation[J]. Power System Protection and Control, 2012, 40(1): 68-71.
- [6] 吴国旻, 王庆平, 李刚. 基于数字化变电站的集中式保护研究[J]. 电力系统保护与控制, 2009, 37(10): 15-18.
WU Guoyang, WANG Qingping, LI Gang. Study of centralized protection based on digital substation[J]. Power System Protection and Control, 2009, 37(10): 15-18.
- [7] 李斌, 马超, 贺家李, 等. 基于 IEC61850 的分布式母线保护方案[J]. 电力系统自动化, 2010, 34(20): 66-70.
LI Bin, MA Chao, HE Jiali, et al. Distributed busbar protection scheme based on IEC 61850[J]. Automation of Electric Power Systems, 2010, 34(20): 66-70.
- [8] 稽建飞, 袁宇波, 王立辉, 等. 某 110 kV 智能变电站合并单元异常情况分析及对策[J]. 电工技术学报, 2015, 30(8): 254-260.
JI Jianfei, YUAN Yubo, WANG Lihui, et al. Analysis and countermeasure on abnormal operation of one 110 kV intelligent substation merging unit[J]. Transactions of China Electrotechnical Society, 2015, 30(8): 254-260.
- [9] 朱林, 陈金富, 段献忠. 数字化变电站冗余体系结构的改进及其可靠性和经济性评估[J]. 电工技术学报, 2009, 24(10): 147-151.
ZHU Lin, CHEN Jinfu, DUAN Xianzhong. Improvement of redundant architecture in digital substation and its reliability & economic assessment[J]. Transactions of China Electrotechnical Society, 2009, 24(10): 147-151.
- [10] 卜强生, 宋亮亮, 张道农, 等. 基于 GPS 对时的分散采样差动保护同步测试方法研究[J]. 电力系统保护与控制, 2013, 41(22): 149-153.
BU Qiangsheng, SONG Liangliang, ZHANG Daonong, et al. Research on the test method of distributed sampling differential protection synchronization based on GPS time[J]. Power System Protection and Control, 2013, 41(22): 149-153.
- [11] 王晓晨, 黄继东. 基于直采直跳模式的智能变电站的母线保护应用研究[J]. 电力系统保护与控制, 2011, 39(19): 150-154.
WANG Xiaochen, HUANG Jidong. Practical research on point-to-point model of bus protection in smart substation[J]. Power System Protection and Control, 2011, 39(19): 150-154.
- [12] 王攀峰, 周晓龙, 杨恢宏. 一种面向数字化变电站的母线保护方案[J]. 电力系统保护与控制, 2009, 37(12): 48-51.
WANG Panfeng, ZHOU Xiaolong, YANG Huihong. A scheme of busbar protection in digital substation[J]. Power System Protection and Control, 2009, 37(12): 48-51.
- [13] 刘伟, 倪传坤, 杨恢宏, 等. 智能变电站分布式母线保护实现方案[J]. 电力系统保护与控制, 2011, 39(16): 139-141.
LIU Wei, NI Chuankun, YANG Huihong, et al. Implementation of distributed busbar protection applied to smart substation[J]. Power System Protection and Control, 2011, 39(16): 139-141.
- [14] YANG Chengcheng, SONG Guobing, SHEN Quanyu. A novel principle dispensing with data synchronization for distributed bus protection[C] // Institution of Engineering and Technology: 11th Conference on Developments in Power System Protection, 2014: 1-6.

收稿日期: 2015-11-12

作者简介:

雷明(1965-), 男, 本科, 高级工程师, 从事电力系统继电保护专业技术工作;

王文森(1990-), 男, 通信作者, 在读硕士研究生, 研究方向为电力系统继电保护; E-mail: wangwensen@yeah.net

康小宁(1965-), 男, 博士, 副教授, 研究方向为电力系统继电保护。

(编辑 张爱琴)