

DOI: 10.7667/PSPC201636

## 基于站域信息的备自投研究

梁鑫钰<sup>1</sup>, 李伟<sup>2</sup>, 张哲<sup>1</sup>, 李仲青<sup>2</sup>, 尹项根<sup>1</sup>, 郭雅蓉<sup>2</sup>

(1. 强电磁工程与新技术国家重点实验室(华中科技大学), 湖北 武汉 430074; 2. 中国电力科学研究院, 北京 100192)

**摘要:** 为了提高备自投装置的自适应性, 改善其性能, 根据智能变电站的技术特点, 提出一种基于站域信息的备自投构建方法。该方法将整个变电站内的备自投功能用一套装置集中实现。通过构建基础备自投单元, 并对其信息进行配置和合理组合, 可满足不同接线方式下备自投的应用要求。综合利用支路开关状态信息和电流信息, 对变电站运行方式进行在线辨识, 据此对备自投功能进行调整, 以提高备自投装置的自适应能力。此外, 利用站域信息共享的技术优势, 优化站内不同备自投间的配合, 提高不同运行工况下的备自投性能。数字仿真结果验证了所提方法的有效性。

**关键词:** 站域信息; 备自投; 通用性; 自适应; 协调配合; 过负荷联切; 分布式电源

### Automatic bus transfer based on substation area information

LIANG Xinyu<sup>1</sup>, LI Wei<sup>2</sup>, ZHANG Zhe<sup>1</sup>, LI Zhongqing<sup>2</sup>, YIN Xianggen<sup>1</sup>, GUO Yarong<sup>2</sup>

(1. State Key Laboratory of Advanced Electromagnetic Engineering and Technology, Huazhong University of Science and Technology, Wuhan 430074, China; 2. China Electric Power Research Institute, Beijing 100192, China)

**Abstract:** In order to improve the adaptability and performance of automatic bus transfer equipment, a method of automatic bus transfer based on substation area information is proposed according to the technical features of intelligent substation. Based on basic configuration unit of automatic bus transfer and its information configuration and reasonable combination, the automatic bus transfer equipment can meet the application requirements under various connection modes. Through using branch switch state information and current information, the operation mode of substation can be identified online. According to the result of online identification, the automatic bus transfer function is adjusted to improve the adaptability. In addition, the coordination between different automatic bus transfer and the performance of automatic bus transfer device can be improved by using the technical advantages of substation information sharing. The correctness of the method is verified by digital simulation.

**Key words:** substation area information; automatic bus transfer; universality; self-adaptive; coordination; overload cutoff; distributed generation

## 0 引言

备自投是备用电源自动投入装置的简称, 是供电配电网中的重要自动装置<sup>[1-2]</sup>。变电站接线方式多样, 运行方式复杂, 要求备自投对此具有良好的适应能力。目前的主要做法是, 根据主接线方式, 配置不同的备自投装置, 导致备自投种类繁多, 成本较高, 且不利于现场的运行维护<sup>[3-4]</sup>。当电网运行方式变化时, 需要通过人工干预方式进行调整, 降低了装置运行的可靠性。此外, 传统备自投由于可获

取信息有限, 导致其在过负荷联切以及分布式电源接入等情况下的动作性能存在不足, 不能满足实际需要, 从而退出运行<sup>[5-8]</sup>。

近年来, 随着计算机技术和通信技术的发展, 以及 IEC 61850 标准的颁布与实施, 使得变电站继电保护和控制系统可以利用的信息资源发生了显著的变化, 从而为改善和提高传统备自投性能带来了契机和条件<sup>[9-11]</sup>。国内外针对备自投存在的问题开展了大量的研究工作。针对备自投的自适应性问题, 文献[12]提出了一种新的备自投自适应建模方法, 该方法将复杂的备自投模型分解, 以减少模型设计的复杂性。文献[13]结合 IEC61850 标准中变电站配

置信息描述文件(SCD), 提出了“电气岛”的概念, 利用新的拓扑建模思路, 实现备自投的自适应性。此外, 一些文献针对备自投装置在实际应用中存在的问题进行研究<sup>[14-17]</sup>, 但在各级备自投配合问题、含分布式电源接入的备自投问题等方面还需进一步研究。

本文提出了一种站域备自投构建方法, 通过基础备自投单元的合理配置以及运行方式的在线辨识, 实现不同类型的备自投功能。利用站域信息共享的技术优势, 进一步改善备自投的性能。最后, 采用数字仿真方法, 对所提出的站域备自投方案进行了仿真验证。

### 1 站域备自投通用性的设计方案

站域备自投旨在通过一套备自投装置实现整个变电站的备自投功能。由于实际备自投类型复杂, 因此, 在站域备自投设计中, 首先需要解决不同类型备自投的统一构建问题, 以实现备自投的通用性设计。

#### 1.1 备自投典型接线方式分析

实际应用中, 备自投根据备用电源接入方式、电网运行方式以及所控备投开关的不同, 分为进线备自投、分段断路器备自投和变压器备自投等三种基本形式, 并衍生出了多种复杂的工作模式。典型的备自投接线方式如图 1 所示。

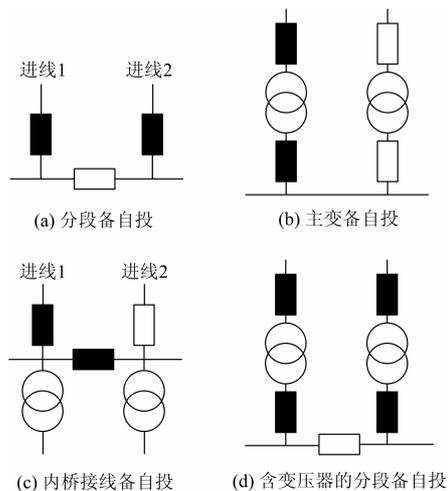


图 1 典型备自投接线方式

Fig. 1 Typical connection mode of automatic bus transfer

根据上述备自投典型接线的结构特点, 在站域备自投系统设计中, 将整个变电站不同形式的备自投视为由图 2 所示的基础备自投配置单元组合而成, 通过备自投配置信息, 形成所需的站域备自投的功能配置。

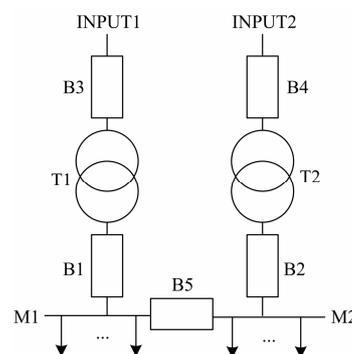


图 2 基础备自投配置单元

Fig. 2 Basic configuration unit of automatic bus transfer

#### 1.2 站域备自投的通用性实现原理

站域备自投的实现原理如图 3 所示, 首先, 通过对基础备自投配置单元进行信息配置, 形成所需的备自投接线方式; 在此基础上, 通过各基础备自投单元的组合搭配, 实现整个变电站的备自投功能。

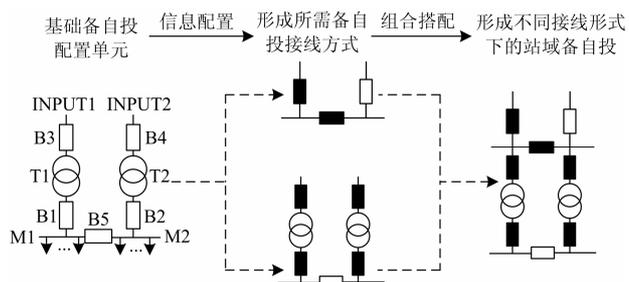


图 3 利用站域信息实现备自投原理

Fig. 3 Principle of realize automatic bus transfer by using substation area information

每个基础备自投单元所需配置信息根据其应用特点分为变电站结构配置信息、出线配置信息、模拟量通道号和开关量通道号配置信息及其他配置信息等。

变电站结构配置信息主要用于接线方式的获取, 其基本信息如表 1 所示。

表 1 变电站结构配置信息

Table 1 Structure configuration information of substation

控制位	0	1	2	3
置 0 含义	不含变压器	不含高压侧断路器	不含母线分段开关	未配置母线保护
置 1 含义	含变压器	含高压侧断路器	含母线分段开关	配置母线保护

出线配置信息主要用于完成备自投过负荷联切功能以及含分布式电源接入情况下的备自投功能。其中每条出线配置信息包括该出线的负荷重要程度、是否接入分布式电源等信息。

模拟量通道号用于获取实现备自投功能所需的模拟量, 这些模拟量主要包括进线电流、进线电压、母线电压、分段开关电流及出线电流等。

开关量通道号用于获取备自投所需的开关量状态信息, 并实现开出控制, 主要包括各个断路器的开入接点通道号、开出接点通道号以及各保护动作信号通道号等。

其他配置信息是实现备自投功能所需的相关信息, 主要包括变压器绕组容量、备自投动作时间、充电时间等。

### 2 备自投自适应性解决方案

当备自投的接线方式确定以后, 需要根据当前的运行方式来确定备自投的逻辑功能。此外, 备自投在运行过程中可能会改变运行方式, 所以站域备自投需要具有工作方式在线辨识功能, 不断监测每个备自投配置单元运行方式的变化情况, 以便实时调整备自投策略。在站域备自投设计中, 可利用信息共享的技术优势, 通过支路电流信息和断路器辅助接点位置信息之间的相互校核, 提高运行方式辨识的可靠性。

工作方式在线辨识方法具体步骤如下:

#### (1) 电流信息的可靠性判断

采用电流信息辅助判断断路器状态前, 首先对电流信息的正确性进行校验。其基本原理是, 当电流信息正确时, 相关进、出线电流瞬时值应满足基尔霍夫电流定律约束。若满足, 则认为电流信息正确, 可用于断路器状态的校核。否则, 表明电流信息出错, 不能用于断路器状态的辅助判断。

当电流信息校验通过时, 若连续几个电流采样值低于无流门槛值时, 则可认为该支路断开, 否则认为支路导通。

#### (2) 断路器运行状态辨识

当断路器的辅助接点位置信息为跳位时, 若断路器支路电流低于无流门槛值, 则认为断路器处于开断状态; 若断路器支路电流高于无流门槛值, 则认为断路器辅助接点信息有误, 断路器的实际运行状态设置为闭合(导通)状态, 并发出告警。

当断路器的辅助接点位置信息为合位时, 若断路器支路电流高于无流门槛值, 则认为断路器处于导通状态; 若断路器支路电流低于无流门槛值, 此时有两种情况: 一是该进线处于轻载状态; 二是说明该断路器辅助接点信息有误。由于轻载情况下备自投对恢复供电实际意义不大, 所以这种情况下暂时闭锁备自投, 并发出告警。

#### (3) 运行方式自适应调整方法

当备自投单元各断路器的运行状态确定后, 可据此对备自投方式进行在线调整。以图 2 为例, 假设  $Bin1-Bin5$  分别表示图中断路器  $B1-B5$  的运行状态辨识结果, 0 表示闭合, 1 表示断开;  $con$  为分段断路器  $B5$  的配置信息, 0 表示无分段断路器, 1 表示有分段断路器; 两条进线  $INPUT1$ 、 $INPUT2$  的运行状态用通断变量  $Channel1$ 、 $Channel2$  表征, 0 表示导通, 1 表示断开。

配置信息中若配置有高压侧断路器, 则  $Channel1=(Bin1||Bin3)$ ,  $Channel2=(Bin2||Bin4)$ ; 若无高压侧断路器, 则  $Channel1=Bin1$ ,  $Channel2=Bin2$ 。

根据分段断路器配置信息  $con$  以及  $Channel1$ 、 $Channel2$  和  $Bin5$  的实时状态信息可实现备自投运行方式的自适应调整。当图 4 所示的逻辑输出为 1 时, 则备自投工作在一主一备运行方式。其中  $Channel1$ 、 $Channel2$  中值为 0 的, 其对应的进线为主供进线。

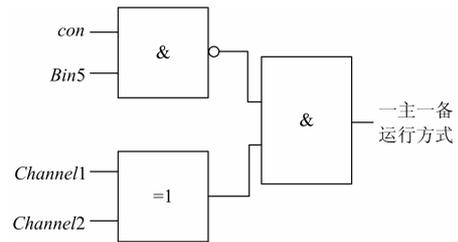


图 4 一主一备运行方式判断逻辑

Fig. 4 Judgement logic of one-main and one-backup mode

当图 5 所示的逻辑输出为 1 时, 则备自投自动切换成分段备投方式。

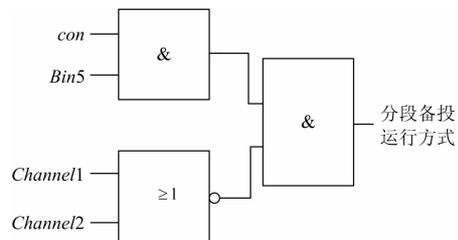


图 5 分段备投运行方式判断逻辑

Fig. 5 Judgement logic of section breaker backup mode

### 3 利用站域信息改善备自投性能

#### 3.1 不同电压等级备自投协调配合策略

当变电站各电压等级均配置备自投时, 原则上要求高压侧备自投先动作, 低压侧备自投后动作。在传统备自投方式中, 由于高、低压侧备自投之间缺乏信息交互, 只能通过延长低压备自投的动作时

间来满足上述应用要求。这种做法存在的主要问题是, 当仅需低电备自投动作时, 其动作时限较长, 影响供电的恢复速度。

在站域备自投中, 由于各电压等级的备自投功能集中配置, 可通过实时判断高、低压备自投的动作情况, 对低压备自投的动作时间进行在线调整, 以改善备自投性能。当高压备自投启动时, 低压备自投采用较长的动作时限; 而高压备自投未动作, 低压备自投则自动降低动作时间, 以加快供电恢复。低压备自投的动作逻辑如图 6 所示。

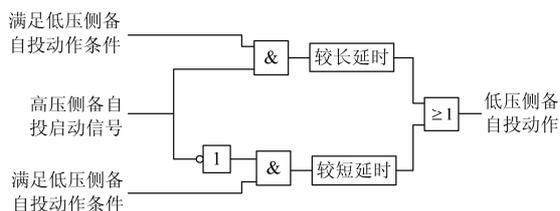


图 6 低压侧备自投动作逻辑

Fig. 6 Action logic of low-voltage side automatic bus transfer

### 3.2 备自投过负荷联切策略

两个主变容量不相同且备用主变容量较小, 或者在备自投动作后运行的主变的台数减少的情况下, 需要考虑备自投产生的过负荷情况。由于线路设计时通常考虑了一线带两变的情况, 线路参数以及互感器参数都能满足要求, 所以一般不考虑线路过负荷情况<sup>[18]</sup>。对于备自投造成的变压器过负荷问题, 一般可以采用静态过负荷联切和动态过负荷联切两种解决方案。静态过负荷联切即是按预设切负荷方案, 对负荷支路进行投退控制。其原理简单, 实现方便, 但可能导致过切问题, 造成不必要的负荷损失。动态过负荷联切方式可根据实际负荷情况, 自动调整切负荷支路, 有助于提高供电可靠性。但该方式需要备自投装置具有对变压器及馈线负荷的在线监测手段, 以及对馈出线路联切的控制手段, 这在传统备自投中实现起来较为困难。动态过负荷联切功能在具有站域信息共享优势的智能变电站中实现起来比较方便, 同时也可以采用更为智能的过负荷联切策略。按照负荷重要程度对负荷进行分类, 优先切除重要程度低的负荷, 实时监测出线功率, 实现精确切负荷。

动态过负荷联切分在具体实施中又大致分为两种方法<sup>[19]</sup>, 一种是在过负荷发生之前预切负荷, 根据当前信息计算出需要切除的负荷量, 在备供开关合闸前预先切除部分负荷防止过负荷发生; 另一种是在过负荷发生之后切负荷, 在备供开关合闸后, 确实发生过载, 再根据实际情况进行切负荷。

两种方案均存在不足, 预切负荷有可能过多的切掉负荷, 例如某些电动机在失电后会自动退出运行, 相当于自动切除一部分负荷, 而此时过负荷联切程序并不知道有负荷会自动退出运行, 会导致切掉过多的负荷; 过负荷后联切可以直观的反应过负荷情况, 但是设备需要承受一定时间的过负荷, 会对设备会产生危害。

因此, 针对不同的情况应采取不同的联切策略。对于一主一备运行方式的备自投, 由于两台主变容量相差不会很大, 过负荷不会很严重, 可以采用备自投动作后联切负荷; 对于分段备自投方式的备自投, 由于工作变压器由两台变为一台, 过负荷较多, 可以采用预切负荷来防止过负荷。在站域备自投中, 针对不同运行方式采取不同的联切负荷策略不仅可以减少过负荷对设备的危害, 又可以有效降低预切负荷时过量切负荷。

### 3.3 含分布式电源接入的备自投策略

随着分布式发电技术的发展, 配电变电站接入分布式电源的情况日益增多, 在此情况下, 当主供进线发生短路故障并清除故障后, 由于分布式电源的存在可能导致母线不会失压或者缓慢失压, 传统备自投采用检无压启动, 会导致备自投装置无法正常工作, 影响供电可靠性。

为解决上述问题, 一种可行的解决方案是, 当出线含有分布式电源支路时, 可利用进线保护动作信号启动备自投装置。在断开主供线路后, 首先检定电压、频率能否满足检同期备投条件。当满足检同期合闸条件则进行检同期备投; 若在设定时间内持续不满足检同期备投条件, 则切除分布式电源支路, 并进行检无压备投, 以使其它负荷支路恢复供电。上述方法可在保证供电可靠性的前提下, 有效提高分布式电源的利用率。

含分布式电源接入情况下备供断路器合闸逻辑如图 7 所示。

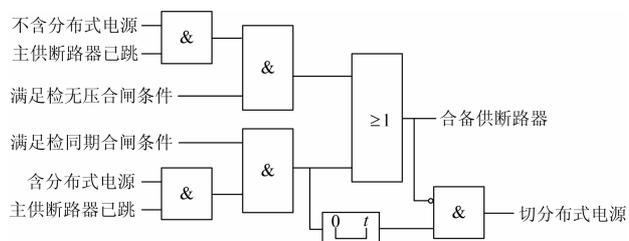


图 7 含分布式电源接入时备供断路器合闸逻辑  
Fig. 7 Logic of closing standby power circuit breaker with distributed generator

### 4 仿真实验

在 PSCAD 中对本文所述的站域备自投构建方案进行仿真分析。以图 8 所示 110 kV 变电站为例，来验证本文所提出的备自投方法。其中两台变压器容量均为 40 MVA，4 条出线故障前的实时功率与负荷重要程度分别为 4.2 MVA，3 级；20.7 MVA，1 级；8.4 MVA，2 级；16.5 MVA，3 级。

首先，通过配置信息和运行方式的在线辨识，确定高、低压侧备自投的运行方式。结果为该变电站高压侧备自投工作在一主一备的工作方式，低压侧备自投工作在互为备用方式。在整个系统正常工作完成备自投的充电过程。

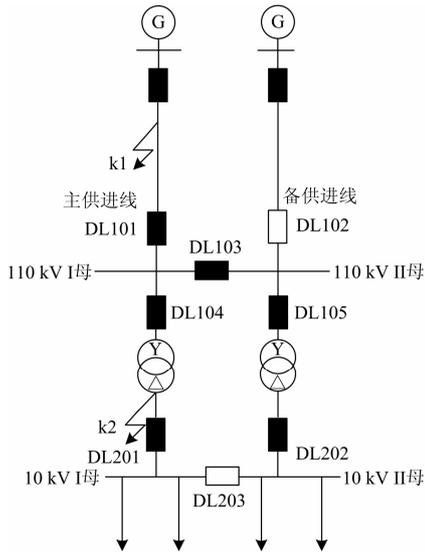


图 8 变电站接线方式

Fig. 8 Connection mode of substation

$k_1$  点发生单相接地故障时的仿真结果如图 9 所示。

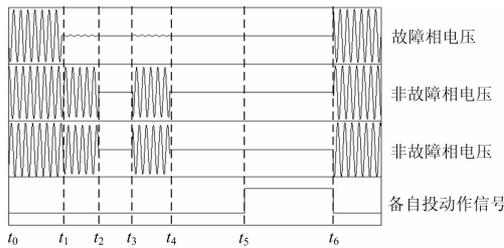


图 9  $k_1$  点单相接地故障时 110 kV-I 母各相电压与备自投动作信号

Fig. 9 Three-phase voltage of 110 kV-I bus and action signal of automatic bus transfer when single-phase fault occurs in point  $k_1$

$t_1$  时刻， $k_1$  点发生单相接地故障； $t_2$  时刻线路保护动作切除故障； $t_3$  时刻该线路重合闸进行重合；

$t_4$  时刻保护动作，再次切除故障； $t_5$  时刻备自投达到动作时间切除进线断路器 DL101；确认 DL101 确实跳开后，于  $t_6$  时刻合上备供进线断路器 DL102，恢复整个变电站的供电。由于高压侧备自投启动，低压侧备自投将采用较长的动作时限，在此期间高压侧备自投动作恢复了供电，低压侧备自投将不会动作。

$k_2$  点发生两相接地故障时的仿真结果如图 10 所示。

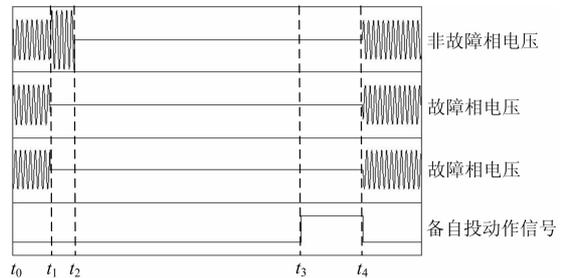


图 10  $k_2$  点两相接地故障时 10 kV-I 母各相电压与备自投动作信号

Fig. 10 Three-phase voltage of 10 kV-I bus and action signal of automatic bus transfer when phase-phase to ground fault occurs in point  $k_2$

$t_1$  时刻  $k_2$  点发生两相接地故障； $t_2$  时刻变压器保护动作切除故障，此时高压侧备自投不再满足动作条件，放电，且低压侧备自投将自动采用较短的动作时限； $t_3$  时刻低压侧备自投达到动作时间，再次发跳闸命令跳断路器 DL104 和 DL201； $t_3 \sim t_4$  时刻，启动预切负荷功能，过负荷量为 9.8 MVA，切除负荷为 16.5 MVA、重要程度为 3 级的出线； $t_4$  时刻确认主供断路器已切除，合分段断路器 DL203，恢复整个变电站的供电。

上述仿真结果验证了本文所提的站域备自投方案的可行性以及改善备自投策略的正确性。

### 5 结论

本文提出了基于站域信息的备自投的实现方法。该方法利用基础站域备自投配置单元组合的方法实现备自投的通用性，通过运行方式的在线辨识实现备自投的自适应性，并且利用站域信息共享的优势，改善了备自投的性能。与此同时，该方法将整个变电站的备自投用一套备自投装置实现，有助于降低设备成本，方便运行维护，更好满足实际应用要求。

## 参考文献

- [1] 阳靖, 成钢强, 常学武, 等. 110 kV 及以下电网中备自投装置特殊问题的分析[J]. 湖南电力, 2011, 31(增刊 1): 130-132.  
YANG Jing, CHENG Gangqiang, CHANG Xuewu, et al. Analysis of automatic bus transfer special problems under 110 kV power grid[J]. Hunan Electric Power, 2011, 31(S1): 130-132.
- [2] 黄常抒, 胡云花. 备自投装置接线中的问题及应对措施[J]. 电力自动化设备, 2009, 29(4): 147-149.  
HUANG Changshu, HU Yunhua. Wiring errors of automatic bus changeover and countermeasures[J]. Electric Power Automation Equipment, 2009, 29(4): 147-149.
- [3] 秦贵锋, 张沛超. 基于 IEC 61850 标准的站域备自投装置[J]. 电力系统保护与控制, 2012, 40(16):126-129.  
QIN Guifeng, ZHANG Peichao. Station level automatic switchover device based on the IEC61850 standard[J]. Power System Protection and control, 2012, 40(16): 126-129.
- [4] 彭海, 江晗, 杨晶. 一种可实现自适应双向互投的备自投方案研究[J]. 电气技术, 2009(7): 34-38.  
PENG Hai, JIANG Han, YANG Jing. The research of one new adaptive bidirectional auto-switch-in device of stand-by power supply scheme[J]. Electrical Engineering, 2009(7): 34-38.
- [5] 相咸政, 陈晖, 李臻, 等. 适应安控系统的微机备用电源自动投入策略[J]. 电力系统自动化, 2006, 30(4): 84-86.  
XIANG Xianzheng, CHEN Hui, LI Zhen, et al. Backup power operation strategies for power system safety and stability control[J]. Automation of Electric Power Systems, 2006, 30(4): 84-86.
- [6] 许航. 含 DG 的变电站备用电源投切控制的相关问题的研究[D]. 合肥: 合肥工业大学, 2010.  
XU Hang. Research on the problem relating to automatic bus transfer of substation with DG connected[D]. Hefei: Hefei University of Technology, 2010.
- [7] 古卫婷, 刘晓波, 古卫涛. 变电站备自投装置存在问题及改进措施[J]. 继电器, 2007, 35(10): 70-71.  
GU Weiting, LIU Xiaobo, GU Weitao. Problems existing in bus-bar automatic transfer switch and measures for improvement[J]. Relay, 2007, 35(10): 70-71.
- [8] 文屹, 董凯达, 刘孝旭, 等. 多层次一体化备自投系统的研究及应用[J]. 电力系统保护与控制, 2015, 43(23): 104-110.  
WEN Yi, DONG Kaida, LIU Xiaoxu, et al. Study and application of multi-level unified auto-transfer-switch system[J]. Power System Protection and control, 2015, 43(23): 104-110.
- [9] 浮明军, 刘昊昱, 董磊超. 智能变电站继电保护装置自动测试系统研究和应用[J]. 电力系统保护与控制, 2015, 43(1): 40-44.  
FU Mingjun, LIU Haoyu, DONG Leichao. Research and application of relay protection automatic test system for smart substation[J]. Power System Protection and Control, 2015, 43(1): 40-44.
- [10] 李忠安, 王娇, 张惠刚, 等. IEC61850 过程层网络通信分析诊断工具设计[J]. 电力系统保护与控制, 2015, 43(1): 93-97.  
LI Zhongan, WANG Jiao, ZHANG Huigang, et al. Design of process layer network communication fault diagnosis and analysis tool based on IEC61850[J]. Power System Protection and Control, 2015, 43(1): 93-97.
- [11] 梅德冬, 樊瑞, 周斌. IEC 61850 模型信息的规则表达与校验研究[J]. 电力系统保护与控制, 2015, 43(3): 131-136.  
MEI Dedong, FAN Rui, ZHOU Bin. Research on regular expressions and check of IEC 61850 model information[J]. Power System Protection and Control, 2015, 43(3): 131-136.
- [12] 刘延乐, 刘文颖, 王传起, 等. 电网备自投自适应建模方法研究[J]. 电力系统保护与控制, 2012, 40(6): 40-45.  
LIU Yanle, LIU Wenying, WANG Chuanqi, et al. Research of self-adapted modeling methods for the BATS[J]. Power System Protection and Control, 2012, 40(6): 40-45.
- [13] 秦贵锋, 王明, 张进. 智能变电站自适应备自投应用[J]. 电力自动化设备, 2012, 32(6): 111-115.  
QIN Guifeng, WANG Ming, ZHANG Jin. Application of adaptive automatic switchover devices in smart substation[J]. Electric Power Automation Equipment, 2012, 32(6): 111-115.
- [14] 刘仁恭. 10 kV 备自投自适应运行方式投退的研究[D]. 广州: 华南理工大学, 2010.  
LIU Rengong. Studies on the control of 10 kV BZT device based on automatic adaptive operation model[D]. Guangzhou: South China University of technology, 2010.
- [15] 鲍有理, 张宇. 重载变电站备自投装置改进研究[J]. 机电工程, 2014, 31(12): 1644-1647.  
BAO Youli, ZHANG Yu. Improvement study of

- automatic bus transfer device in overloaded substation[J]. Journal of Mechanical & Electrical Engineering, 2014, 31(12): 1644-1647.
- [16] 张承周, 刘仁恭, 杨欢欢, 等. 考虑安自装置约束的 10 kV 备自投自适应投退策略[J]. 电力系统保护与控制, 2012, 40(18): 86-90.
- ZHANG Chengzhou, LIU Rengong, YANG Huanhuan, et al. Self-adaption 10 kV automatic switching devices strategies considering security automatic equipment constraints[J]. Power System Protection and Control, 2012, 40(18): 86-90.
- [17] 苏宜强, 孔璐, 伏祥运, 等. 单母线分段接线中备用电源自动投入装置的改进[J]. 电力系统自动化, 2012, 36(22): 120-122.
- SU Yiqiang, KONG Lu, FU Xiangyun, et al. Improvement of automatic transfer switch for backup power supply used in sectionalized single-bus configuration[J]. Automation of Electric Power Systems, 2012, 36(22): 120-122.
- [18] 范寿忠. 备自投过负荷联切功能的实现[J]. 电力系统保护与控制, 2010, 38(5): 139-140.
- FAN Shouzhong. Application of overload cutting of automatic standby power switch devices[J]. Power System Protection and Control, 2010, 38(5): 139-140.
- [19] 李德胜. 330 kV 变电站备用电源自动投入控制策略研究[D]. 南京: 南京航空航天大学, 2014.
- LI Desheng. Research on control strategies of reserve power source automatic device in 330 kV substation[D]. Nanjing: Nanjing University of Aeronautics and Astronautics, 2014.
- 
- 收稿日期: 2016-03-31; 修回日期: 2016-06-18
- 作者简介:
- 梁鑫钰(1990-), 男, 硕士研究生, 研究方向为电力系统保护与控制; E-mail: 363083238@qq.com
- 李伟(1983-), 男, 博士, 工程师, 研究方向为电力系统继电保护; E-mail: liwei2@epri.sgcc.com.cn
- 张哲(1962-), 男, 博士, 教授, 研究方向为电力系统继电保护与安全控制。E-mail: zz\_mail2002@163.com
- (编辑 张爱琴)