

DOI: 10.19783/j.cnki.pspc.181429

一种基于 GOOSE 通信的过负荷并切方法

刘海涛¹, 肖留江², 牛健¹, 姜鑫², 白森珂², 负保记^{2,3}, 宋国兵⁴

(1. 国网宁夏电力有限公司电力科学研究院, 宁夏 银川 750001; 2. 西安科技大学, 陕西 西安 710054; 3. 西安西瑞保护与控制技术有限公司, 陕西 西安 710054; 4. 西安交通大学电气工程学院, 陕西 西安 710000)

摘要: 为了快速切除过负荷和提高切除的选择性, 设计了一种基于 GOOSE 通信的过负荷并切方法。该方法能实时对负荷情况进行检测, 在系统过负荷时, 改过负荷多级轮切方式为并切方式, 并加入了负荷自动恢复功能。对 35 kV 配电网进行仿真, 结果表明, 采用该方法能有效提高过负荷切除的选择性和快速性, 可有效避免负荷多切或少切; 同时具备负荷自动恢复功能, 能减少停电时间, 提高供电可靠性。

关键词: 过负荷联切; 并切; 负荷自动恢复; GOOSE 通信

Overloading and cutting method based on GOOSE communication

LIU Haitao¹, XIAO Liujiang², NIU Jian¹, JIANG Xin², BAI Senke², YUN Baoji^{2,3}, SONG Guobing⁴

(1. State Grid Ningxia Electric Power Co., Ltd. Electric Power Research Institute, Yinchuan 750001, China; 2. Xi'an University of Science and Technology, Xi'an 710054, China; 3. Xi'an Xirui Control Technology CO., LTD., Xi'an 710054, China; 4. School of Electrical Engineering, Xi'an Jiaotong University, Xi'an 710000, China)

Abstract: In order to quickly remove the overload and improve the selectivity of the resection, an overload and cutting method based on GOOSE communication is designed. This method can detect the load situation in real time. When the system is overloaded, the mode of multi-stage one round after round resection load will change to the one-time resection mode, and the automatic load recovery function is added. A 35 kV power distribution network is used for simulation. The results show that the method can effectively improve the selectivity and rapidity of overload removal and avoid more or less cutting of load; it has the function of automatic recovery, which can reduce the power outage time and enhance the reliability of power supply.

This work is supported by National Key Research and Development Program of China (No. 2016YFB0900603) and Science and Technology Project of State Grid Corporation of China (No. 52094017000W).

Key words: overload cutting; one-time resection mode; automatic load recovery; GOOSE communication

0 引言

在配电网自动化的大趋势下, 基于 IEC61850^[1] 的过负荷联切已有多篇文献进行阐述: 文献[2-3]提到了利用 IEC61850 进行装置间通讯, 但并未给出具体实施方案; 文献[4-5]分析了普通过负荷联切只以电流作为启动判据的不足, 并给出了加入有功功率作为辅助判据的改进; 文献[6]针对在过负荷发生前后切除负荷提出了动态过负荷联切的两种方法; 文献[7]针对文献[6]两种方法的不足, 提出了在不同

应用场合采取不同的联切策略; 文献[8]提出了使用原母联保护的电流通道, 接入主变高压侧电流, 作为过负荷联切的电流判据, 但这样会增加现场线路复杂程度, 文献[8]还提出了线路在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; 文献[9]给出了联切的具体逻辑, 但是切除速度不够快, 设备容易损伤。前述文献的过负荷联切都没有负荷自动恢复功能。文献[10-13]对变压器的过载能力进行了深入探讨; 文献[14-16]对短期负荷预测进行了研究; 文献[17]介绍了一种优先级的排序方法。

基于上述文献的一些缺陷和优势, 本文设计了一种基于 GOOSE 通信^[18-20]机制的过负荷并切方

基金项目: 国家重点研发计划资助(2016YFB0900603); 国家电网公司科技项目资助(52094017000W)

法,能实时对负荷情况进行检测,对过负荷进行同时切除,加快过负荷切除速度,并加入了负荷自动恢复功能,减少停电时间,提高供电可靠性。

1 设计原理

为了判定过负荷的准确性,采用以主变压器低压侧线路或开闭所进线电流为主,有功功率为辅,作为启动依据,并利用 GOOSE 信号实时监测线路当前运行情况,在过负荷时,发布联切相关报文。

考虑制作工艺、运行环境、使用场景等差异,油浸式变压器正常周期性过载设定为 1.2 倍额定负载,把过负荷并切的门槛值 $I_{set,q}$ 设为 1.2 倍额定电流,考虑到变压器可以过载运行,设置 1.2 倍过载运行时间为 $T(I_{set,q})$ 和 T 可根据现场实际情况进行调整)。

在进行过负荷联切时,不再使用负荷轮切,而是采取过负荷并切,一次性切除多余负荷,提高切除速度,其原理为:对每条出线按照所带负荷的负荷等级由低到高排序,当联切逻辑启动时,当前进线电流为 I ,出线电流为 $I_k(k=1,2,\dots,n; 1\sim n$ 为等级由低到高的出线序号),额定电流为 I_e ,应切除电流为 $I_q = I - I_e$,每条出线电流按照负荷等级由低到高依次相加,当电流和大于应切除电流 I_q 时,一次性切除这几个负荷;在负荷切除完成或系统运行一段时间后,若系统出现剩余容量,则从未接入的线路集合中按照等级从高到低的顺序恢复供电,负荷自动恢复的原则是总负荷不超过额定容量(即线路额定电流)。线路在手动切除、接地、正在检修、故障的情况下,退出负荷自动恢复功能。

2 实现逻辑

由于单母分段供电方式与单母不分段供电方式在本逻辑中区别不大,本设计只以单母不分段供电方式为例。

出线分级规则为:先按照负荷等级分为 I、II、III 级;同一等级再按照容量大小进行分级(负荷容量大的等级高于容量小的),如出线 $k、j$ 为同一等级,但出线 k 的负荷容量小于出线 j ,则出线 j 的等级高于出线 k 。

对出线按照上述规则由低到高进行排序,如:有十条出线 1~10,出线 3、5、7 为一级负荷,容量大小顺序为 7、3、5,则一级负荷中等级由小到大顺序为 5、3、7;同理,二级负荷为出线 2、6,剩下的出线 1、4、8、9、10 为三级负荷,按照排序规则等级由小到大排序后的顺序为:8、1、9、4、10、6、2、7、3、5。在计算时, $I_k(k=1\sim 10)$ 与前述顺

序一一对应, I_1 对应出线 1 的电流值, I_2 对应出线 4 的电流值,以此类推, I_{10} 对应出线 5 的电流值。当进线电流 I 达到切负荷的整定值 $I_{set,q}$ 时,依据额定有功功率 $P = \sqrt{3}UI \geq P_{set,q}$,判定其可靠性,同时满足时,并且达到两种判据的过负荷持续时间为 t ,由于过负荷情况是变化的,且过负荷越严重,允许过负荷运行时间越短,所以利用功率求得允许过负荷时间:

$$\sqrt{3}U \times \int_0^t I(t)dt \geq \sqrt{3}U \times 1.2I_e \times T$$

方程可化简为

$$\int_0^t I(t)dt \geq 1.2I_e \times T$$

T 为 1.2 倍过负荷时允许持续时间,可根据实际情况调整,当满足上式时,在 t 时刻启动过负荷并切逻辑。

① 启动条件: $I \geq I_{set,q}, P \geq P_{set,q}$,

$$\int_0^t I(t)dt \geq 1.2I_e \times T;$$

② 对工作出线进行排序;

③ 应切除负荷: $I_q = I - I_e$;

④ $I_{q1} = I_1, I_{q2} = I_1 + I_2, \dots$;

⑤ 当 $I_{qk} \geq I_q$ 时停止叠加;

⑥ 切除 I_{qk} 中对应的出线。

过负荷并切流程图如图 1 所示。

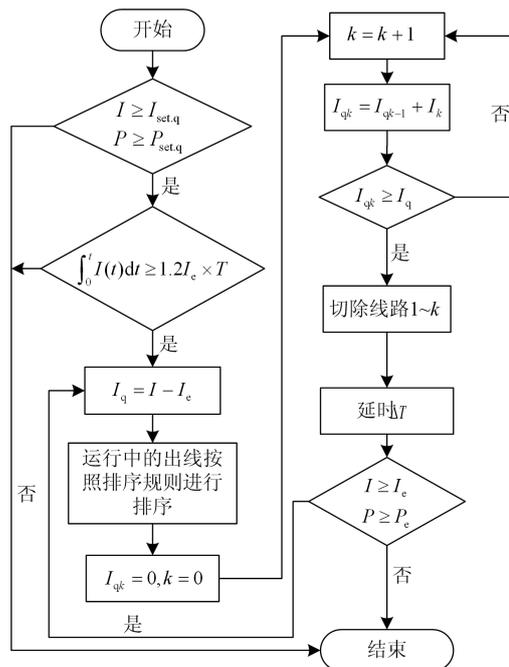


图 1 过负荷并切流程图

Fig. 1 Overload and cut flow chart

在过负荷并切逻辑启动时, 进线保护装置根据接收到当前流过出线保护的电流有效值进行计算, 在计算后, 需要跳闸的线路利用带有控制字的信号实现与其他线路的区别, 对出线发布跳闸报文, 切除多余负荷。逻辑原理图如图 2 所示。

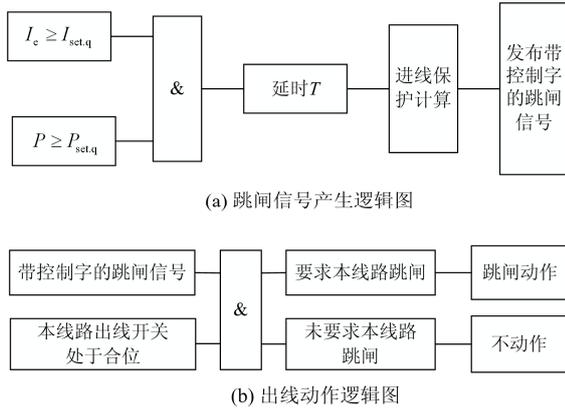


图 2 过负荷并切逻辑原理图

Fig. 2 Overload and cut logic schematic

在负荷切除完成或系统运行一段时间后, 系统出现剩余容量, 进行负荷自动恢复时, 设除去闭锁线路外剩下的未接入线路为 m 条, 等级由低到高排序为 $1 \sim m$, 当进线电流 I 小于供电恢复电流启动值 $I_{set,h}$ 时, 依据有功功率 $P \leq P_{set,h}$ 确定其可靠性, 同时满足时, 启动负荷自动恢复, 电流值以断电前的电流值为参考, 其逻辑为

① 启动条件 $I \leq I_{set,h}, P \leq P_{set,h}$;

② 闭锁手动切除线路、接地线路、正在检修线路和故障线路;

③ 对未接入线路进行排序;

④ 可以恢复的电流 $I_h = I_c - I$;

⑤ 比对: $I_m \leq I_h$, 若成立, 则恢复 I_m , 若不成立, 再比对下一条出线 I_{m-1} ;

⑥ 当恢复一条出线后, 延时一段时间容量还有剩余: $I' \leq I_{set,h}$, 再恢复下一条, 直到不能继续恢复, 结束。

流程图如图 3 所示。

在并切完成时, 或者运行一段时间后, 若系统容量出现剩余, 达到恢复过程的门槛值(借助 GOOSE 通信实时进行检测), 在负荷恢复逻辑启动时, 闭锁不允许自动恢复线路, 然后利用被切除线路在断电前的电流有效值, 经过计算后, 由进线保护向已跳闸但可以恢复的出线发出合闸命令(不包含手动切除线路); 运行一段时间后, 若还有剩余, 进行下一轮恢复。逻辑原理图如图 4 所示。

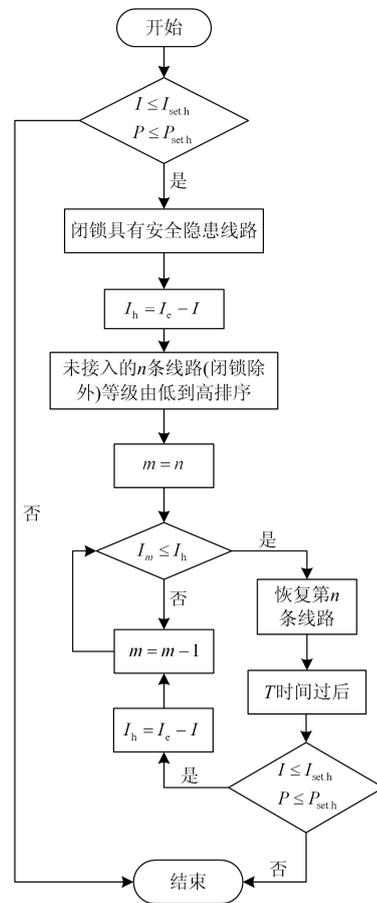
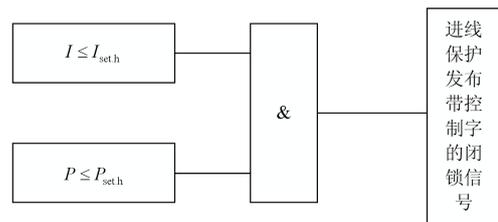
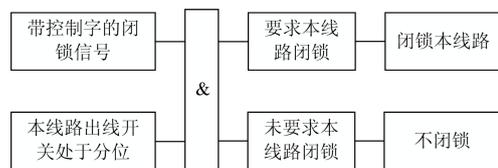


图 3 负荷自动恢复流程图

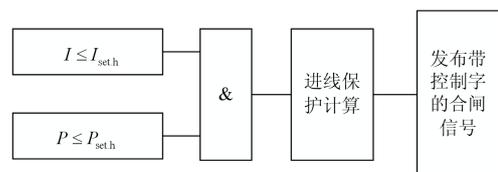
Fig. 3 Load automatic recovery flow chart



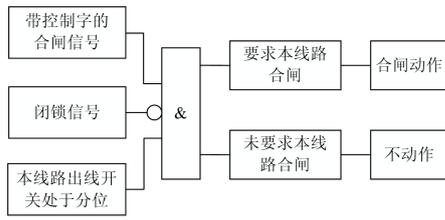
(a) 闭锁信号产生逻辑图



(b) 出线闭锁逻辑图



(c) 合闸信号产生逻辑图



(d) 出线合闸动作逻辑图

图 4 负荷自动恢复逻辑原理图

Fig. 4 Load automatic recovery logic schematic

3 GOOSE 通信简介

IEC61850 是关于变电站自动化系统通信体系结构的一个国际标准, 是一个最新技术的集成。GOOSE 通信是 IEC61850 的一种实时应用, 能传递开关量信息, 并且 GOOSE 通信机制包含数据有效性检查和防止数据丢失的重发功能, 确保了数据的及时性和可靠性, 同时能对线路的负荷情况进行实时监测。

本设计利用 GOOSE 通信这种机制, 对需要的数据进行传输, 能有效确保接收方所收到数据的及时性和可靠性, 并且能克服不同设备间通信的困难; 同时能对线路的负荷情况进行实时监测, 以保证在负荷发生变化时, 保护装置及时、可靠地做出反应。

在本设计中, 需要传输的数据包括: ① 当前处于合闸的出线; ② 当前处于分闸的出线; ③ 线路接地刀闸分合闸情况; ④ 对手动切除线路、故障线路、检修线路、接地线路的闭锁信号; ⑤ 当前流过各出线的电流的有效值。

4 针对 GOOSE 传输的时钟数据可能不同步的处理

GOOSE 在传输数据时, 有 10 ms 左右的传输时间, 且每个保护单元的数据传输延时时间不是固定的, 所以在有多个出线保护装置时, 可能出现同一时刻进线保护接收到的时标电流值的时标不一致的情况。

针对这一情况, 由于负荷在短时间内变化情况不大, 可以采取以下方式进行处理:

- ① 在采样时, 应在同一时刻采样;
- ② 在系统过负荷后到并切逻辑启动还有一段延时时间 T , 取启动时刻前最后一组时标一致的电流有效值进行计算。

5 仿真

用 Matlab 软件对本设计进行仿真, 仿真模型如图 5 所示。该模型是一个 35 kV 的配电网络, 有 10

条出线, 额定容量 25 MVA, 进线额定电流 $I_e = 400$ A, 并切启动值: $I_{set,q} = 480$ A, $P_{set,q} = 29$ MVA。

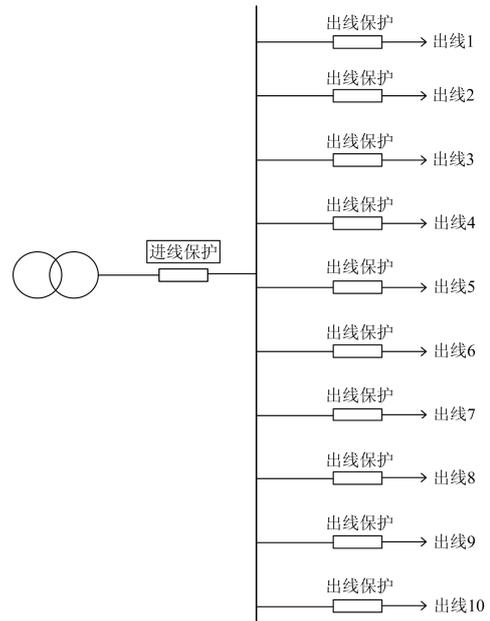


图 5 线路模型

Fig. 5 Line model

负荷正常时, 并切程序和负荷自动恢复程序不启动, 线路不动作。

在某一时刻, 线路过负荷达到设置的启动值, 开始计算持续时间, 当达到延时时, 进入并切程序: 首先对线路进行排序, 排序结果如图 6(a)所示, 接下来是对多余负荷进行切除, 用于负荷切除计算的电流值取 $t-1$ 时刻的有效值(t 时刻与 $t-1$ 时刻的时间差应大于 10 ms), 保证时标一致, 结果如图 6(b)所示。

当负荷切除后, 进入恢复程序, 进行线路负荷自动恢复, 输出结果如图 7 所示。

当系统运行一段时间后, 出现容量剩余, 再次进入恢复程序, 恢复可以恢复的出线; 系统再运行一段时间再次达到可以恢复的值, 再进行恢复。重复上述过程, 直到未闭锁的出线全部恢复完毕。结果如图 8 所示。



(a) 线路排序结果

```

排序后各线路电流  $I_{in}$ =
1 至 5 列
23.7794 35.6546 47.5634 59.4316 59.4428

6 至 10 列
47.5498 59.4272 47.5543 59.4274 71.3224

 $I_n$ =
111.0605

切除线路序号  $h$ =
8
1
9
4
    
```

(b) 切除线路

图 6 负荷切除

Fig. 6 Load removal

```

负荷恢复
待恢复线路序号
4

恢复线路电流排序结果
59.4316

线路序号排序结果
4

 $I_n$ =
60.2376

恢复出线序号  $h$ =
4
    
```

(c) 第三次恢复结果

图 8 负荷自动恢复结果

Fig. 8 Automatic load recovery results

```

负荷切除后的进线电流  $I_n$ =
344.7233

负荷恢复启动
可恢复电流值  $I_n$ =
55.2767

恢复出线序号  $h$ =
9

电流值
47.5634

负荷恢复后的进线电流  $I_n$ =
392.2867
    
```

图 7 负荷恢复结果

Fig. 7 Load recovery results

```

负荷恢复
待恢复线路序号
1 4 8

恢复线路电流排序结果
23.7794 35.6546 59.4316

线路序号排序结果
8 1 4

 $I_n$ =
28.0979

恢复出线序号  $h$ =
8
    
```

(a) 第一次恢复结果

```

负荷恢复
待恢复线路序号
1 4

恢复线路电流排序结果
35.6546 59.4316

线路序号排序结果
1 4

 $I_n$ =
43.5513

恢复出线序号  $h$ =
1
    
```

(b) 第二次恢复结果

仿真结果完全与本设计符合。

6 总结

本文设计的过负荷并切，能对线路进行实时监测。在系统过负荷时，不使用负荷轮切，而是同时对多余负荷进行快速准确切除；并能在系统有容量剩余时对有安全隐患的线路进行闭锁，对安全线路进行负荷自动恢复。

本设计在保证选择性的前提下，提高了动作的速动性和供电的可靠性。

参考文献

- [1] IEC61850 communication networks and system in substation[S]. 2004.
- [2] 崔应宁, 李曼玲. 电网备自投系统应用与分析[J]. 煤炭技术, 2012, 31(6): 50-52.
CUI Yingning, LI Manling. Application and analysis of power grid self-investment system[J]. Coal Technology, 31(6): 50-52.
- [3] 姚成, 徐石明, 桑林, 等. 基于电网调度自动化系统实现备用电源自动投入[J]. 电力系统自动化, 2009, 33(24): 75-77.
YAO Cheng, XU Shiming, SANG Lin, et al. Automatic power supply of standby power supply based on power grid dispatching automation system[J]. Automation of Electric Power Systems, 2009, 33(24): 75-77.
- [4] 康权, 张鸿飞, 李益, 等. 基于 IEC 61850 的主变过负荷联切装置设计[J]. 湖南电力, 2011, 31(1): 22-24.
KANG Quan, ZHANG Hongfei, LI Yi, et al. Design of main transformer overload cutting device based on IEC 61850[J]. Hunan Electric Power, 2011, 31(1): 22-24.
- [5] 及洪泉, 闫晓丁, 任祖怡. 微机变压器过负荷联切装置及应用[J]. 电力系统自动化, 2004, 28(16): 86-87, 96.
JI Hongquan, YAN Xiaoding, REN Zuyi. Microcomputer transformer overload combined cutting device and application[J]. Automation of Electric Power Systems,

2004, 28(16): 86-87, 96.

[6] 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 automatic input control strategy of backup power supply for 330 kV substation[D]. Nanjing: Nanjing University of Aeronautics and Astronautics, 2014.

[7] 梁鑫钰, 李伟, 张哲, 等. 基于站域信息的备自投研究[J]. 电力系统保护与控制, 2016, 44(20): 50-56.
LIANG Xinyu, LI Wei, ZHANG Zhe, et al. Self-investment research based on station domain information[J]. Power System Protection and Control, 2016, 44(20): 50-56.

[8] 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. Implementation of self-injection and load-cutting function[J]. Power System Protection and Control, 2010, 38(5): 139-140.

[9] 陈海东, 贲保记, 代文章, 等. 基于 GOOSE 机制的开闭所保护的研究[J]. 电力系统保护与控制, 2013, 41(13): 134-138.
CHEN Haidong, YUN Baoji, DAI Wenzhang, et al. Research of switch substation's protection based on GOOSE mechanism[J]. Power System Protection and Control, 2013, 41(13): 134-138.

[10] 刘睿, 张宗喜, 蒋伟, 等. 油浸式配电变压器过载能力研究[J]. 科学技术与工程, 2016, 16(36): 166-172.
LIU Rui, ZHANG Zongxi, JIANG Wei, et al. Research on overload capacity of oil-immersed distribution transformer[J]. Science and Technology and Engineering, 2016, 16(36): 166-172.

[11] 赵莉华, 刘丹华, 张宗喜, 等. 混合绝缘系统油浸式配电变压器过载能力分析 & 结构优化[J]. 水电能源科学, 2017, 35(10): 180-183.
ZHAO Lihua, LIU Danhua, ZHANG Zongxi, et al. Overload capacity analysis and structure optimization of oil-immersed distribution transformer of hybrid insulation system[J]. Hydro-electric Energy Science, 2017, 35(10): 180-183.

[12] 朱柳慧. 变压器过载能力优化及运行风险评估方法[D]. 上海: 上海交通大学, 2013.
ZHU Liuhui. Method of transformer overload capacity optimization and operation risk assessment[D]. Shanghai: Shanghai Jiaotong University, 2013.

[13] 郭志红, 马强, 陈玉峰, 等. 油浸电力变压器过载能力核算模型参数敏感性研究[J]. 电气技术, 2016(9): 77-82.
GUO Zhihong, MA Qiang, CHEN Yufeng, et al. Study on overload capacity calculation model parameter sensitivity of oil-immersed power transformer[J]. Electrical Engineering, 2016(9): 77-82.

[14] 陈丽娜, 张智晟, 于道林. 基于广义需求侧资源聚合的电力系统短期负荷预测模型[J]. 电力系统保护与控制, 2018, 46(15): 45-51.
CHEN Lila, ZHANG Zhisheng, YU Daolin. Short-term load forecasting model of power system based on generalized demand side resource aggregation[J]. Power System Protection and Control, 2018, 46(15): 45-51.

[15] 李啸骢, 李春涛, 从兰美, 等. 基于动态权值相似日选取算法的短期负荷预测[J]. 电力系统保护与控制, 2017, 45(6): 1-8.
LI Xiaowei, LI Chuntao, CONG Lanmei, et al. Short-term load forecasting based on dynamic weight similarity selection algorithm[J]. Power System Protection and Control, 2017, 45(6): 1-8.

[16] 顾熹, 廖志伟. 基于相空间重构和高斯过程回归的短期负荷预测[J]. 电力系统保护与控制, 2017, 45(5): 73-79.
GU Xi, LIAO Zhiwei. Short-term load forecasting based on phase space reconstruction and Gaussian process regression[J]. Power System Protection and Control, 2017, 45(5): 73-79.

[17] 肖辅盛, 高适, 邓超志, 等. 一种基于检修风险收益输电设备检修优先级排序方法[J]. 电力系统保护与控制, 2017, 45(22): 45-51.
XIAO Fusheng, GAO Shi, DENG Chaozhi, et al. A prioritization method for maintenance and repair of power transmission and transformation equipment based on maintenance risk[J]. Power System Protection and Control, 2017, 45(22): 45-51.

[18] 张帆, 竹之涵, 刘之尧, 等. 面向通用对象的变电站事件(GOOSE)实时解和预警系统[J]. 电力系统保护与控制, 2009, 37(23): 92-95.
ZHANG Fan, ZHU Zhihan, LIU Zhiyao, et al. Substation event (GOOSE) real-time solution and early warning system for universal objects[J]. Power System Protection and Control, 2009, 37(23): 92-95.

[19] 范建忠, 马千里. GOOSE 通信与应用[J]. 电力系统自动化, 2007, 31(19): 89-90.
FAN Jianzhong, MA Qianli. GOOSE communication and application[J]. Automation of Electric Power Systems, 2007, 31(19): 89-90.

[20] HAUD J, JANZ A, RUDOLPH T, et al. A pilot project for testing the standard drafts for open communication in substations — first experiences with the future standard IEC61850[C] // Proceedings of CIGRE 2000, August 28-September 2, 2000, Paris, France.

收稿日期: 2018-11-15; 修回日期: 2018-12-29

作者简介:

刘海涛(1978-), 男, 高级工程师, 研究方向为智能变电站二次设备测试与评价; E-mail: hetton@126.com

肖留江(1994-), 男, 通信作者, 硕士研究生, 研究方向为电力系统继电保护; E-mail: XiaoLJ13388224086@163.com

牛健(1993-), 男, 硕士研究生, 主要研究智能站继电保护. E-mail: niuxiaojian01@163.com

(编辑 张爱琴)