

DOI: 10.7667/PSPC180056

# 双通信电源系统自动母联开关的设计与实现

王福生, 陈 峥, 胡 博, 丰 田, 王圣杰

(国网宁夏电力公司信息通信公司, 宁夏 银川 750001)

**摘要:** 当前双通信电源系统已经在国家电网公司各中心站和各电压等级变电站通信机房得到广泛应用, 但部分负载仍处于单路供电状态。为避免供电负载掉电而引起业务中断, 进一步提高双通信电源系统的可靠性, 对传统双通信电源系统及其存在的问题进行分析。并在此基础上, 以嵌入监测保护为手段, 以控制逻辑为目的, 提出一种双通信电源系统自动母联开关的设计方案。该方案实现了负载掉电情况下双电源系统的无缝切换。最终, 通过仿真实验表明, 该自动母联开关运作稳定, 应对故障瞬时作出反应且灵敏可靠, 能更好满足现实需求。

**关键词:** 自动母联开关; 双通信电源系统; 供电可靠性

## Design and implementation of automatic bus coupler switch for dual communication power system

WANG Fusheng, CHEN Zheng, HU Bo, FENG Tian, WANG Shengjie

(Information & Communication Company of Ningxia Electric Power Corp, Yinchuan 750001, China)

**Abstract:** Currently, dual communication power supply system has been widely used in different central stations and communication rooms of substations with different voltage levels in State Grid Corporation of China, but some of the loads are still in the single-channel power supply state. In order to avoid power service interruption caused by power cut of power supply load, the reliability of the dual-communication power supply system is further improved, and the traditional dual-communication power supply system and its existing problems are analyzed. On this basis, this paper designs an automatic bus coupler switch for dual communication power supply system, which takes the automatic bus coupler switch as the idea, the embedded monitoring protection as a means, and the control logic as a goal. In the case of power failure, the dual power supply system can switch seamlessly. Finally, simulation experiments show that the automatic bus-link switch operates stably, responds to faults instantaneously, sensitively and reliably, and can better meet actual needs.

This work is supported by National Natural Science Foundation of China (No. 61403127) and Science and Technology Project of State Grid Corporation of China (No. 526800150054).

**Key words:** automatic bus coupler switch; dual communication power supply system; power supply reliability

## 0 引言

可靠的通信电源系统是电力通信网正常稳定运行的前提和基础。为提高通信设备的供电可靠性, 国家电网公司提出了建设双电源系统的要求, 其中两套电源要求为相互独立的电源。国家电网发布的Q/GDW175-2013《变压器、高压并联电抗器和母线保护及辅助装置标准化设计规范》中, 明确提出“母线开关应能自动识别母联的充电状态, 合闸于死区

故障时, 应瞬时跳母联, 不应误切除运行母线”<sup>[1]</sup>。

因此, 为进一步提高双电源系统的可靠性, 避免单路供电负载由于掉电引起业务中断, 本文研究设计出一种双通信电源系统自动母联开关, 打破正常情况下的两个电源独立运行, 从而当单套通信电源系统失效后, 能确保相关负载连续供电。下文通过分析不同的故障模型, 讨论如何设计出高效的电路, 利用仿真试验验证自动母联开关切换功能的正确性。

## 1 双电源系统及存在问题

当前双电源系统主要由两台独立运行的通信电

源组成,如图1所示。正常情况下由通信电源直接为负载供电,当双路市电同时停电或通信电源故障时,转由蓄电池为负载供电。当前各站点蓄电池的后备时长一般为6—8 h,如果超出后备时长,蓄电池供电电压不足,将导致负载掉电。两台通信电源间用母联开关连接,主要用于单台电源临时检修或故障时,将负载临时转由另一台电源承载,避免重要单路供电负载断电。当电源系统有故障时,母联开关的闭合和断开动作均需要检修人员到场操作实现,由于部分变电站路途遥远,从发现故障到检修人员到现场操作一般需4 h<sup>[2-3]</sup>。

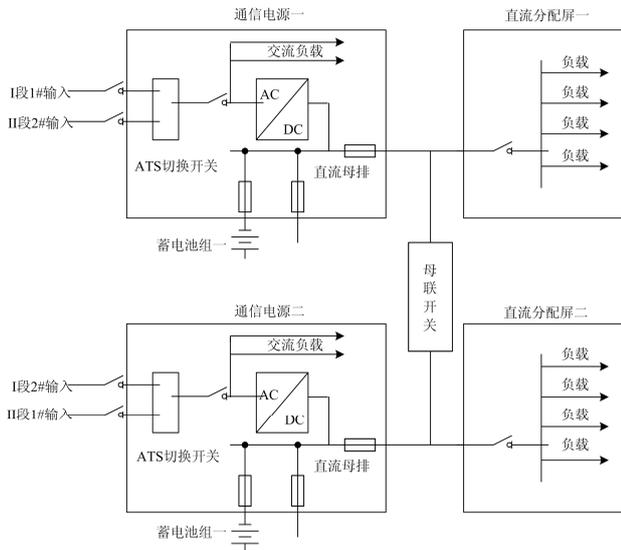


图1 双电源系统典型系统结构图<sup>[4-5]</sup>

Fig. 1 Dual power system typical system structure

从失压的类型看,当前双电源系统重要单路供电负载的断电风险分以下三种情况:

1) 蓄电池容量不足,后备时长短。单组蓄电池容量不足,不能提供4 h的后备时长。随着电压缓慢下降,在操作人员到达现场前,蓄电池输出电压下降到阈值以下,单路供电负载不能正常工作。

2) 蓄电池故障,电压迅速降低。当蓄电池存在故障时,由开关电源切换为蓄电池供电后,蓄电池输出电压以很快的速度跌落到0 V,导致单路供电负载掉电。

3) 负载短路,导致负载端电压降低。若负载短路,将导致负载端电压迅速降低,为避免同时对两套电源系统造成损害,此时要避免母联开关闭合。

针对以上双电源系统的弊端,提出增设自动母联开关的方法,该母联开关能够在上述情况发生时,在保证电源系统安全的情况下实现双路电源的无缝切换,确保单路供电负载的安全稳定运行。

## 2 系统设计思路

### 2.1 设计需求分析

为更好地确保系统安全稳定运行,需要分析不同故障情况下自动母联开关所需具备的功能,对故障模型进行原理分析。

#### 2.1.1 故障模型一: 蓄电池容量不足导致缓慢失压

这种情况一般是由于市电长时间停电或者电源故障,且蓄电池容量不足,导致无法为负载提供可靠供电。该情况下,输出电压下降缓慢,对电压检测电路和母联开关控制电路的响应速度要求较低。

此种类型的故障必须要解决的是环流问题。环流的产生主要是由于两台电源存在压差。假设当故障侧蓄电池输出电压下降到44 V时,母联开关闭合,而此时另一套正常电源的输出电压为54 V,存在10 V的压差。此时系统的等效电路如图2所示<sup>[6-11]</sup>。

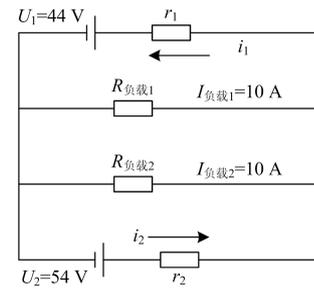


图2 电源产生压差等效图

Fig. 2 Power supply differential pressure equivalent

推算过程如式(1)和式(2)。

$$U_2 - i_2 r_2 = U_1 + i_1 r_1 \quad (1)$$

$$i_2 = i_1 + I_{\text{负载1}} + I_{\text{负载2}} \quad (2)$$

根据式(1)和式(2)计算可得

$$i_2 = [U_2 - U_1 + (I_{\text{负载1}} + I_{\text{负载2}}) r_1] / (r_1 + r_2) \quad (3)$$

假设正常情况下每路负载的电流为10 A,母联开关闭合后总的负载电流为20 A。根据长期的运维经验,单节蓄电池的内阻一般为0.3~0.7 mΩ,蓄电池组的内阻r1、r2为14 mΩ左右。据此可以计算出i2的电流大于350 A。

这个大小的环流将导致电池熔丝烧断和所有空气开关脱扣,造成所有负载掉电和业务中断。为避免环流的出现,在电源输出端加上隔离二极管。利用隔离二极管的电压单向导通性,避免在两组蓄电池之间形成回路。如图3所示,D1A和D2A可以分别避免在蓄电池组一和蓄电池组二中产生的环流<sup>[12-15]</sup>。

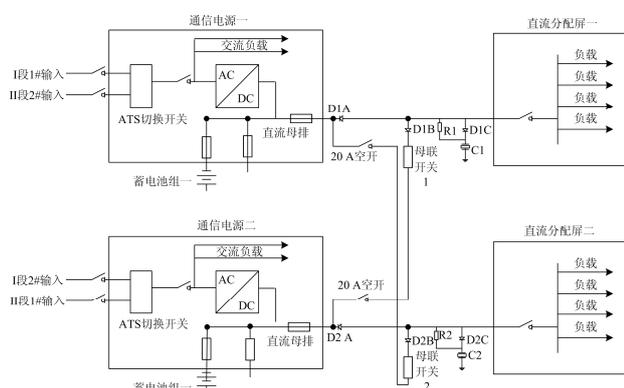


图3 利用隔离二极管作电压单向导通性改良后的电路图

Fig. 3 Circuit diagram of improved unidirectional continuity using isolation diodes for voltage

### 2.1.2 故障模型二：蓄电池故障导致突然失压

当市电停电或电源故障时，蓄电池不能为负载供电，输出电压闪落。因此必须采取一定的储能缓冲措施，在输出电压闪落到母联开关接通这段时间内，由储能电路供电，确保负载端电压的连续性<sup>[16]</sup>。

本文采用电容储能，利用电容放电避免电压闪落。类似于故障模型一，如果采用非极性电容作为储能器件，当母联开关闭合时也会出现类似环流的冲击电流，因此需要采取极性电容设计储能电路。极性电容充电为单向充电，电容电压是缓慢升高的。当母联开关闭合时，虽然负载电压迅速拉高，但是由于电容电压缓慢升高，不会产生冲击电流。如图3所示，C1和C2为避免电压闪落的极性电容。

### 2.1.3 故障模型三：负载短路导致负载端电压降低

负载短路会引起负载端电压突然降低。在采取了储能措施后，即使电源失压，负载端电压也不会急剧下跌，如果出现负载端电压下跌，则出现了负载短路情况。为避免故障扩大化，负载短路情况下不宜闭合母联开关<sup>[17]</sup>。如图3所示，在母联开关前增加了一个20A保护空开，如果出现因为负载短路导致的电压闪落，可以确保在母联开关闭合后，能够在11ms左右的短时间内迅速切断母联关系，确保另一套电源系统的安全。此外，还专门设计了负载短路监测电路，避免母联开关在负载短路的情况下闭合。

## 2.2 母联开关系统电路设计

整个母联开关系统电路包括欠压监测模块、母联开关控制模块和负载短路保护模块共3个模块，分别用于实时监测电源输出电压，控制母联开关闭合和断开，避免负载短路情况下闭合母联开关造成双电源系统损坏。

### 2.2.1 母联开关选择

由于欠压监测电路和控制电路的响应速度都是微秒级的，所以从发现欠压到母联开关闭合，花费的时间主要来自继电器的机械接点的动作，大的接触器动作时间是百毫秒级的，小型继电器的响应速度可控制在15ms以内<sup>[18-19]</sup>。因为在接触器动作完成之前由电容放电维持电压，所以由式(4)可以看出接触器的动作时间越长，需要的电容容量越大，如果采用百毫秒级大型接触器，需要配置0.5F的电容，其体积和成本都是无法接受的，计算公式为

$$C \cdot dU = I \cdot dT \quad (4)$$

采用小型继电器做接点，其负载电流有限，不能高于10A。为保障负载供电的可靠性，本文设定从发现欠压(此处以44V为例)到母联开关接通，负载端电压不能低于40V。据此可以计算出储能电容C的大小为37500μF。在实际设计中，采用了20只2200μF电容并联的结构。

### 2.2.2 欠压监测模块设计

自动母联开关设计的关键在于要确保在电源突然失压时，保证输出不间断，因此电压监测需要很强的实时性，对电压的变化要有很快的响应速度。这就要求电压信号不能深度滤波，否则会影响电压监测的响应速率。欠压监测模块的电路原理如图4所示，当被监测电压小过欠压点，就形成欠压信号，触发UXJ(接点控制双稳触发单元)使继电器接点接通<sup>[20]</sup>。

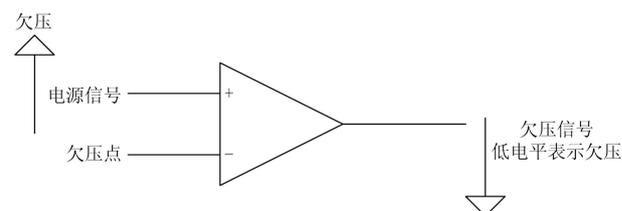


图4 欠压监测电路

Fig. 4 Undervoltage monitoring circuit

### 2.2.3 母联开关控制模块设计

母联开关控制电路的设计核心是触发单元设计，通过条件信号触发这些单元，并由触发单元负责记忆(保持)控制状态。为实现精准、安全的母联开关闭合和断开操作，共设计了以下三种触发单元。

#### 1) 接点控制双稳触发单元 UXJ

如图5上半部分所示，UXJ主要通过监测电压的变化来控制接点的接通和断开。当电源输出电压欠压时，就会产生欠压信号，触发UXJ使接点接通。当电源电压恢复到正常值以上时，会产生恢复信号，触发UXJ使接点断开<sup>[21]</sup>。

#### 2) 欠压锁定双稳触发单元 ULK

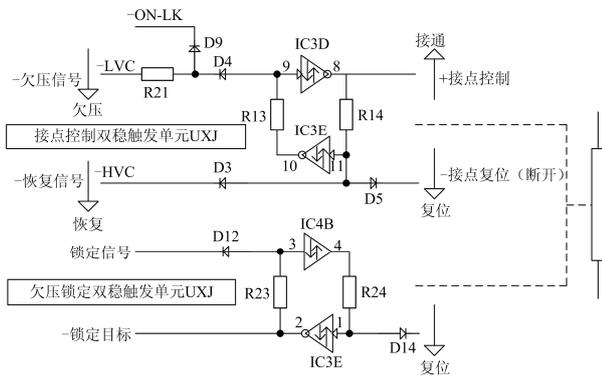


图5 接点控制双稳触发单元和欠压锁定双稳触发单元

Fig. 5 Contact control bistable triggering unit and undervoltage lockout bistable triggering unit

如图5下半部分所示,当电源电压恢复后,接点复位,使母联开关断开,继续保持双电源供电模式。但是电源恢复供电后,可能存在运行不稳定及反复欠压和复压的情况。为保护另外一台电源,应避免母联开关反复闭合和断开。这项功能主要由 ULK 实现,当接点恢复后,在时间窗内(1 min)再次出现欠压,则会形成锁定信号,触发 ULK 锁定欠压状态,锁定控制会使 UXJ 一直处于接点接通状态,直到人工复位。

3) 锁定定时单稳触发单元 UTT

如图6所示,UTT为定时单元,主要配合 ULK 实现时间窗设置。每次当电压恢复正常,恢复信号触发 UXJ 控制接点断开,同时也会触发 UTT 输出一个时间窗口,在这个窗口内如果再次出现欠压,就触发 ULK 进入欠压锁定状态,使接点一直保持接通,直到人工复位。

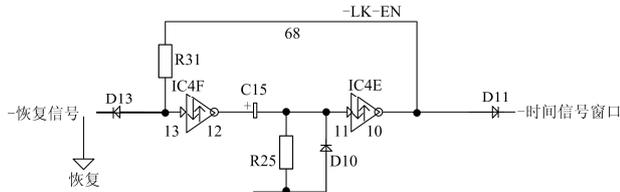


图6 锁定定时单稳触发单元 UTT

Fig. 6 Locking timing monostable trigger unit UTT

2.2.4 负载短路保护模块的设计

负载短路是自动母联开关设计面临的难题,处理不当将导致两台电源故障,业务全部中断,造成重大损失。因此需要设计快速、精准的短路检测电路。只通过负载端的电压高低无法精确判断是否为短路,还需增加负载端电压跌落速度检测来判断是否为短路。负载电压跌落速度过快和负载电压太低都会判断为负载短路,无论哪种情况发生,都不

允许接点闭合。负载短路监测电路的原理图如图7所示。

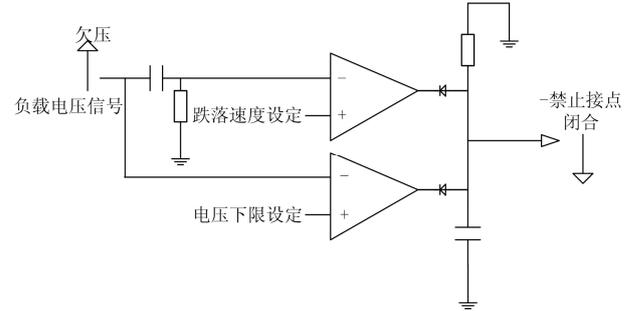


图7 负载短路监测

Fig. 7 Load short circuit monitoring

3 验证与评价

为验证上述双通信电源系统自动母联开关功能的可靠性和稳定性,下面分别针对三种故障模型进行仿真实验,通过记录输出端电压的变化,观察负载电压的情况并予以评价。

3.1 故障模型一: 电源输出电压缓慢下降

如图8所示,红色曲线为电源电压波形,当处于 10 ms 时输出电压从 54 V 出现缓慢下降,62 ms 时下降到欠压点 44 V(绿色水平线代表欠压临界),此处,母线一旦发现欠压低于设定阈值(44 V)时,母联开关瞬时接通备用电源,其中阈值设定一般取 20%~55%的额定电压范围,即

$$U_{busdar} \leq (20\% - 55\%)U_{nomal}$$

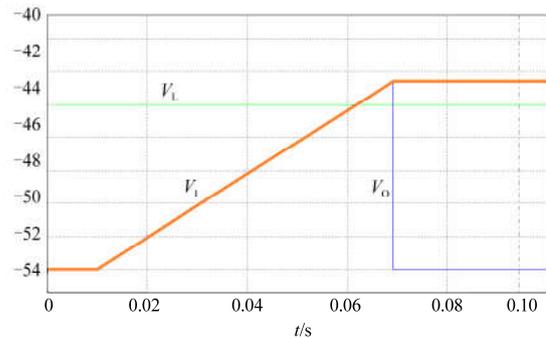


图8 故障模型一: 电源输出电压缓慢下降

Fig. 8 Fault model I: power output voltage slowly decreased

图中蓝色曲线为负载端的电压波形,从 62 ms 开始接收到欠压信号后,经过 8 ms 的延时切换,负载电压恢复至 54 V;当时长 70 ms 时,电源输出电压降低到了 42.6 V,并达到稳定。此时系统根据降压变化已自动实现无缝切换到另一台电源供电。总体评价该模型达到了有效展示所设计系统的稳降压特性。

### 3.2 故障模型二：电源输出突然失压

如图 9 所示, 红色曲线为电源输出电压波形, 可见当供电时长 10 ms 时, 电压从 54 V 直线下降到 0 V。蓝色曲线为负载端的电压波形, 当电源输出电压处于 10 ms 时, 负载端的电压瞬时出现波动现象, 波动是由于残压产生的, 本系统波动幅度不大, 在允许值内, 否则会造成电源故障或母合失败。如图所经过约 8 ms 跌落到 52.24 V, 当母联开关闭合后, 就立刻恢复到原来的 54 V, 其得益于储能单元的放电设计, 致使系统负载电压连续性比缓慢跌落更理想。

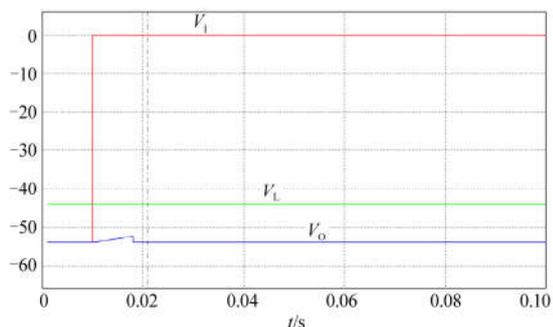


图 9 故障模型二：电源输出突然失压

Fig. 9 Failure model II: power output suddenly lost pressure

### 3.3 故障模型三：负载突然短路

如图 10 所示, 红色曲线为电源输出电压波形, 电源输出电压一直维持稳定, 没有变化。绿色曲线为继电器接点电平控制波形。蓝色曲线为负载端的电压波形, 在 50 ms 时, 若负载发生短路, UPS 模块瞬动的保护反应使终端备用电源输出接点控制没有出现任何闭合指示, 始终处于零电平状态。经多次模拟数据分析, 该系统的快速保护参数整定提供可靠的运作理论依据, 符合设计预期。

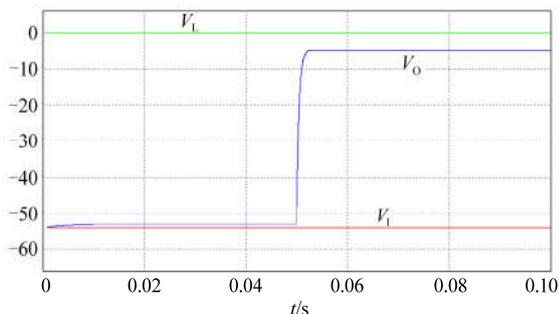


图 10 故障模型三：负载突然短路

Fig. 10 Fault model III: sudden short circuit of load

## 4 结论

上文实践证明, 提出的直流双电源系统自动母

联开关设计方案具有一定的优越性, 通过实验仿真各种故障, 确定该母联开关实用可靠, 满足单路输入设备的不间断供电需求, 能在各种非负载短路的失压情况下, 保证负载端的电压在正常范围之内, 在负载短路的情况下能够避免母联开关的闭合, 有效保证了双电源系统的安全。综上所述, 本文设计的自动母联开关满足单路输入设备的不间断供电需求, 达到了设计要求。后期将不断深化母联开关的设计研发, 为双电源系统的稳定可靠运行提供了新的思路。

### 参考文献

- [1] 国家电网公司. 变压器、高压并联电抗器和母线保护及辅助装置标准化设计规范: Q/GDW175—2013[S]. 北京: 国家电网公司, 2013.
- [2] 白晨, 曹璐, 张佳宜. 电力通信电源系统维护方案的探讨[J]. 陕西电力, 2011, 39(2): 45-47.  
BAI Chen, CAO Lu, ZHANG Jiayi. Probe into power source system maintenance scheme of electric power communication[J]. Shaanxi Electric Power, 2011, 39(2): 45-47.
- [3] 曾自怡. 通信高频开关电源双重化改造方案[J]. 电力系统通信, 2010, 31(5): 69-71.  
ZENG Ziyi. The upgrading of high-frequency switching power supply system[J]. Telecommunications for Electric Power System, 2010, 31(5): 69-71.
- [4] FALAGHI H, HAGHIFAM M R. ACO based algorithm for distributed generation sources allocation and sizing in distribution systems[C] // 2007 IEEE Lausanne Power Tech, July 1-5, 2007, Lausanne, Switzerland: 555-560.
- [5] 徐生昶. 高频开关电源系统的双母线运行方式[J]. 电力系统通信, 2016, 27(7): 1-3.  
XU Shengchang. Operating mode of double busbars on high frequency switch communication power supply system[J]. Telecommunications for Electric Power System, 2016, 27(7): 1-3.
- [6] 龚仁喜, 潘少博, 郭小璇, 等. 一种无桥 PFC 变换器的预测电流控制算法[J]. 广西大学学报(自然科学版), 2017, 42(5): 1679-1684.  
GONG Renxi, PAN Shaobo, GUO Xiaoxuan, et al. A predictive current control algorithm for a bridgeless PFC converter[J]. Journal of Guangxi University (Natural Science Edition), 2017, 42(5): 1679-1684.
- [7] 姜爱华, 李彦, 梁妮晓, 等. 拟态物理学优化算法在分布式电源选址定容中的应用[J]. 广西大学学报(自然科学版), 2017, 40(3): 660-666.  
JIANG Aihua, LI Yan, LIANG Nixiao, et al. Locating and sizing of distributed generations using artificial physics

- optimization[J]. Journal of Guangxi University (Natural Science Edition), 2017, 40(3): 660-666.
- [8] 杨贵, 孙磊, 李力, 等. 区域保护与控制系统网络拓扑方案研究[J]. 电力系统保护与控制, 2015, 24(9): 60-66. YANG Gui, SUN Lei, LI Li, et al. Research on regional protection and control system network topology[J]. Power System Protection and Control, 2015, 24(9): 60-66.
- [9] 詹昕, 向铁元, 陈红坤, 等. 基于搜索矢量拟态物理学算法的微电网脆弱性评估及重构[J]. 电工技术学报, 2014, 24(2): 120-126. ZHAN Xin, XIANG Tiejuan, CHEN Hongkun, et al. Vulnerability assessment and reconfiguration of microgrid based on search vector artificial physics optimization algorithm[J]. Transactions of China Electrotechnical Society, 2014, 24(2): 120-126.
- [10] 詹昕, 向铁元, 曾爽, 等. 基于拟态物理学优化算法的微电网功率优化[J]. 电力自动化设备, 2013, 32(4): 30-36. ZHAN Xin, XIANG Tiejuan, ZENG Shuang, et al. Microgrid power optimization based on artificial physics optimization algorithm[J]. Electric Power Automation Equipment, 2013, 32(4): 30-36.
- [11] 王汪兵, 王先培, 尤泽樟, 等. 电力通信网关键节点辨识方法研究[J]. 电力系统保护与控制, 2017, 34(4): 44-49. WANG Wangbing, WANG Xianpei, YOU Zezhang, et al. Research on key node identification method in electric power communication network[J]. Power System Protection and Control, 2017, 34(4): 44-49.
- [12] 曾鸣, 杜楠, 张鲲, 等. 不同负荷模型下基于粒子群算法的分布式电源选址和定容优化问题研究[J]. 华东电力, 2016, 24(3): 34-39. ZENG Ming, DU Nan, ZHANG Kun, et al. Siting and sizing optimization for distributed power in different load models based on particle swarm algorithm[J]. East China Electric Power, 2016, 24(3): 34-39.
- [13] 郭壮志, 吴杰康, 孔繁镍. 基于仿电磁学算法和数据包络分析的水火电力系统多目标优化调度[J]. 中国电机工程学报, 2015, 36(4): 16-19. GUO Zhuangzhi, WU Jiekang, KONG Fangnie. Multi-objective optimization scheduling for hydrothermal power systems based on electromagnetism-like mechanism and data envelopment analysis[J]. Proceedings of the CSEE, 2015, 36(4): 16-19.
- [14] 狄立, 郑征, 夏旻, 等. 基于快速密度聚类的电力通信网节点重要性评估[J]. 电力系统保护与控制, 2016, 44(13): 90-95. DI Li, ZHENG Zheng, XIA Min, et al. Node importance evaluation of electric power communication network based on fast density clustering[J]. Power System Protection and Control, 2016, 44(13): 90-95.
- [15] 曾瑛, 朱文红, 邓博仁, 等. 基于电网影响因子的电力通信网关键节点识别[J]. 电力系统保护与控制, 2016, 44(2): 102-108. ZENG Ying, ZHU Wenhong, DENG Boren, et al. Crucial node decision algorithm based on power network impact factor in electric power communication network[J]. Power System Protection and Control, 2016, 44(2): 102-108.
- [16] 赵晋泉, 邓晖, 吴小辰, 等. 基于广域响应的电力系统暂态稳定控制技术评述[J]. 电力系统保护与控制, 2016, 44(5): 1-9. ZHAO Jinquan, DENG Hui, WU Xiaochen, et al. Review on power system transient stability control technologies based on PMU/WAMS[J]. Power System Protection and Control, 2016, 44(5): 1-9.
- [17] 崔力民, 耿子惠, 舒勤, 等. 考虑电网关联度的电力通信网关键环节识别[J]. 电力建设, 2017, 64(5): 124-132. CUI Limin, GENG Zihui, SHU Qin, et al. Key link identification in electric power communication network considering grid correlation degree[J]. Electric Power Construction, 2017, 64(5): 124-132.
- [18] MIMO Xin, LI Jie, CHEN Xi. Research on reliability assessment method of electric power communication network and application[C] // 2012 China International Conference on Electricity Distribution, September 10-14, 2012, Shanghai, China: 1-3.
- [19] GUO Jinghong. Study on the structure of electric power communication network of strong and smart grid in China[C] // International Conference on Power System Technology, October 24-28, 2010, Hangzhou, China: 44-54.
- [20] 蒋康明, 曾瑛, 邓博仁, 等. 基于业务的电力通信网风险评估方法[J]. 电力系统保护与控制, 2013, 24(5): 24-32. JIANG Kangming, ZENG Ying, DENG Boren, et al. Risk evaluation method of electric power communication network based on services[J]. Power System Protection and Control, 2013, 24(5): 24-32.
- [21] 杨忠礼, 赵慧光, 张光衡. 影响备自投正确动作原因分析[J]. 电力系统保护与控制, 2008, 36(21): 106-110. YANG Zhongli, ZHAO Hui Guang, ZHANG Guangheng. Cause analysis on affecting the correct operation of standby power source automatic put-in devices[J]. Power System Protection and Control, 2008, 36(21): 106-110.

收稿日期: 2018-01-11; 修回日期: 2018-05-24

作者简介:

王福生(1985—), 男, 硕士, 工程师, 从事通信电源支撑系统运行维护工作。E-mail: WFS1985@163.com

(编辑 葛艳娜)