

DOI: 10.7667/PSPC161288

## 基于最大概率的故障指示器故障判定方法

郑国华<sup>1</sup>, 黄朵<sup>1</sup>, 张伟<sup>2</sup>, 吴孝彬<sup>3</sup>, 赵建勋<sup>3</sup>, 梁安韬<sup>3</sup>, 梁丽军<sup>3</sup>

(1. 福建电力职业技术学院, 福建 泉州 362000; 2. 积成电子股份有限公司, 山东 济南 250100;  
3. 福建奥通迈胜电力科技有限公司, 福建 福州 350000)

**摘要:** 为解决配电网故障指示器信号错报及漏报情况下的故障判定问题, 分析了故障指示器的特点, 提出了配电网最小故障判定区域的概念。基于配电网最小故障判定区域建立了故障指示器故障判定数学模型。分析了故障指示器信号特点, 以“三选二”原则提出了一种基于概率的故障指示器组合信号处理方法。结合最小故障判定区域模型和故障指示器组合信号, 以故障指示器之间的相互依赖关系为依托, 提出了一种基于最大概率的故障指示器故障判定方法。该方法以各区域假设故障后的模拟故障信号与实际情况下的故障信号之间的相似度表征故障发生的最大可能区域, 并给出了详细公式。该方法在故障信号漏报和错报较少情况下具有很好的容错性, 能够较为准确地确定故障区域。并且给出各个区域的可能概率, 提供了故障备选方案, 方便调度与运检人员干预排查故障, 具有较好的现场应用价值。

**关键词:** 配电网; 最大概率; 故障指示器; 故障判定

### A method for fault diagnosis of fault indicator based on maximum probability

ZHENG Guohua<sup>1</sup>, HUANG Duo<sup>1</sup>, ZHANG Wei<sup>2</sup>, WU Xiaobin<sup>3</sup>, ZHAO Jianxun<sup>3</sup>, LIANG Antao<sup>3</sup>, LIANG Lijun<sup>3</sup>

(1. Fujian Electric Power Technical College, Quanzhou 362000, China; 2. Jicheng Electronics Corporation, Jinan 250100, China;  
3. Fujian Automation Electric Power Technology Co., Ltd., Fuzhou 350000, China)

**Abstract:** In order to solve the problem of distribution fault diagnosis in case of misreporting or failed-report of fault indicator information, the characteristics of the fault indicator are analyzed, and the concept of the minimum fault judgment area of the distribution network is developed. Based on which, the mathematical model of fault indicator fault diagnosis is evaluated. The characteristics of fault indicator signals are analyzed. Based on two-in-three principle, a probabilistic fault indicator combination signal processing method is proposed. Based on the combination of the minimum fault judgment area model, the fault indicator combination signal and the interdependence between the fault indicators, a fault diagnosis method based on maximum probability is proposed. The method is based on the similarity between the simulated fault signal and the real fault signal, and the detailed formula is given. The method has good fault-tolerance in the case of misreporting or failed-report of fault indicator information, which can more accurately determine the fault area. The probability of each region is given, and fault alternatives are provided. The proposed approach is feasible and valuable for the dispatching and maintenance personnel to deal with the fault.

**Key words:** distribution network; maximum probability; fault indicator; fault judgment

## 0 引言

随着智能配电网建设的逐步推进, 确保配电网运行安全, 缩短故障停电时间, 提高供电可靠性被广泛关注。

馈线自动化是配电网实现故障判定及隔离的有效措施, 故障指示器作为馈线自动化的重要终端设备, 以其体积小, 价格低, 带电安装无需停电,

对短路及接地故障皆有较好的适应性等特点在当前配电网中被广泛应用<sup>[1-6]</sup>。

目前, 基于故障指示器的馈线自动化故障判定方法主要有3类<sup>[6-16]</sup>: 统一矩阵法、概率估计法、人工智能法。在实际应用中, 由于现场环境多变, 例如温度、湿度变化大, 沙尘及灰尘多, 维护不及时等都会导致采集装置准确度受损, 导致电网正常运行时故障指示器误报信号, 而电网故障时故障指

示器又漏报信号的情况。大量错误信号的引入，导致传统的基于故障指示器的故障判定产生经常性误判，失去了其原本的意义。

文献[12]提出了一种通过网络描述矩阵和故障信息矩阵计算故障判断矩阵的方法，该方法通过矩阵运算和判定规则即可定位故障区间，但是在故障信息不健全时将会导致故障定位失效。文献[13]提出了一种基于可信度的多区段故障诊断方法，该方法将故障定位问题转化为故障概率估计问题，在处理不健全信息方面有一定效果，但是根据故障信号数量确定的故障概率并不一定正确反映现实故障情况，且结果受权重系数影响大。文献[14-15]提出了基于人工智能的遗传算法和蚁群算法，该方法在健全信息下皆能取得较好的结果，但在非健全信息的情况下结果不明显。文献[16]提出了一种基于最差原则的故障指示器故障判定方法，但是该方法在故障误报信号处于馈线末端时将会造成较大误差，且各个区域之间的故障可能性无法言明，无备用选择方案。综上所述，研究一种适合于故障指示器漏报或错报信息的故障指示器故障判定方法具有重要的现实意义。

本文结合配电网故障指示器定位的特点，提出了一种基于最大概率的故障指示器故障判定方法。该方法通过分析故障指示器特点，建立了最小故障判定区域模型。分析了故障指示器信号特点，以“三选二”原则提出了一种基于概率的故障指示器组合信号处理方法。结合最小故障判定模型和故障指示器组合信号，以故障指示器之间的相互依赖关系为依托，提出了一种基于最大概率的故障指示器故障判定方法。

### 1 故障指示器特点及最小故障判定区域模型建立

故障指示器短路故障的判定条件有 6 种以上，

而目前市场通用的设备，至少会选择其中的两种判定条件，即第一个条件是故障指示器经历突变故障电流，并持续一定时间；第二个条件是故障指示器检测到失压。只有满足了这两个条件故障指示器才判定线路发生短路故障，并启动故障翻牌，同时将故障信号上送到监控主站系统。

而为了尽可能地将故障隔离在最小区域并缩短停电时间，目前的馈线自动化大多会配置具有就地保护功能的用户分界开关或多级保护，如此发生故障时，即便故障点上游故障指示器全部经历故障电流，但是由于只有分界开关跳闸使其下游失压，从而导致只有分界开关与故障点之间的故障指示器能够上报故障信息并成功翻牌，而其他故障指示器皆不动作。如此，故障指示器的故障判定方法将与 FTU/DTU 的故障判定方法有所不同。

称变电站出线断路器、用户分界开关或线路多级保护开关为电源开关。称由故障指示器和电源开关为边界的最小连通系为最小故障判定区域。最小故障判定区域的内部只有非电源开关、刀闸、馈线段及配变等一次设备，无其他智能终端设备。称组成最小故障判定区域的故障指示器为相邻故障指示器。从电源开关开始，沿潮流方向，处于某故障指示器电源开关侧的故障指示器为该故障指示器的上游故障指示器，处于某故障指示器末梢端的故障指示器称为该故障指示器的下游故障指示器。

如图 1 所示为某配电网络，由两条馈线组成，STA1、STA2 为变电站；DS1、DS2 为配电站；SP1—SP3 为开闭所；#1—#7 为各变电站、配电站及开闭所母线；S1、S10 为变电站出线断路器开关，S9 为用户分界开关；S2—S8、S11—S19 为配电室及开闭所负荷开关，S20 为线路高压开关做联络开关用；T1—T13 为配电变压器；D1—D13 为架空线路高压刀闸；FI0—FI16 为故障指示器。

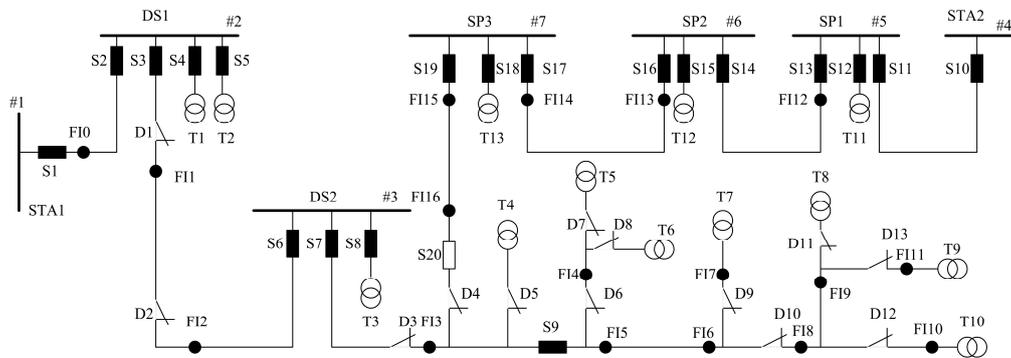


图 1 一个简单的配电网络

Fig. 1 A simple distribution network

按上述定义, 图 1 所述以 S1 为出线开关的馈线, 其最小故障判定区域划分如表 1 所示。

表 1 最小故障判定区域

Table 1 Minimum fault decision region

区域 W <sub>1</sub>	区域 W <sub>2</sub>	区域 W <sub>3</sub>	区域 W <sub>4</sub>	区域 W <sub>5</sub>	区域 W <sub>6</sub>	区域 W <sub>7</sub>
S1, F10	F10, F11	F11, F12	F12, F13	F13, S9	S9, F14, F15	F14
区域 W <sub>8</sub>	区域 W <sub>9</sub>	区域 W <sub>10</sub>	区域 W <sub>11</sub>	区域 W <sub>12</sub>	区域 W <sub>13</sub>	区域 W <sub>14</sub>
F15, F16	F16—F18	F17	F18—F110	F19, F111	F110	F111

由表 1 可知, 最小故障判定区域 W<sub>7</sub>、区域 W<sub>10</sub>、区域 W<sub>13</sub> 及区域 W<sub>14</sub> 只有一个故障指示器, 表示其处于配电馈线的末梢区域, 可判定其下游设备故障。

## 2 基于概率的故障指示器故障信号处理

在实际应用中由于故障指示器安装位置、制作工艺、运行检修等情况的影响, 导致故障指示器上报的故障翻牌信号存在大量误报和漏报的情况, 如果直接使用这些非准确信号判定故障范围, 将导致巨大误差。

若除故障翻牌信号外兼顾使用电流突变信号, 这两种信号的使用非但不会使故障判定更准确, 反而会更差, 因为不能确定哪一种信号是正确的, 例如故障翻牌信号的准确概率为  $P(A)$ , 电流突变信号的准确概率为  $P(B)$ , 而考虑两种情况下的准确概率  $P(U)$  将变成  $P(A)P(B)$ , 很显然  $P(U)$  将小于  $P(A)$  或者  $P(B)$ 。

若同时考虑故障翻牌信号(A)、电流突变信号(B)、场强突变信号(C), 由“三选二”准则以两个相同趋势信号表示的结果为最终结果, 其概率为  $P_i(i=1\sim 8)$ , 其各自可能情况如表 2 所示, 其中 1 表示有信号, 0 表示无信号, 单一信号的正确概率为 95%。各种情况下的概率分布图如图 2 所示。

表 2 各种情况下的概率分布表

Table 2 Probability distributions for each case

情况	A	B	C	$P_i$	情况	A	B	C	$P_i$
1	0	0	0	0.000 125	5	1	0	0	0.002 375
2	0	0	1	0.002 375	6	1	0	1	0.045 125
3	0	1	0	0.002 375	7	1	1	0	0.045 125
4	0	1	1	0.045 125	8	1	1	1	0.857 375

由表 2 可知, 根据“三选二”准则, 第 1、2、3、5 种情况下的信号判定是错误的, 其错误概率为 4 种情况下的概率和, 即 0.007 25。反之, 信号判定正确情况下的概率为 0.992 75。图 2 可以很直观地反映 8 种情况下的概率分布情况及运用“三选二”准则进行故障判定的正确概率与错误概率的对比情况。由此可知, 以“三选二”准则确定的信号正确率比单一信号正确率高很多。

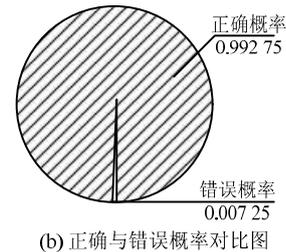
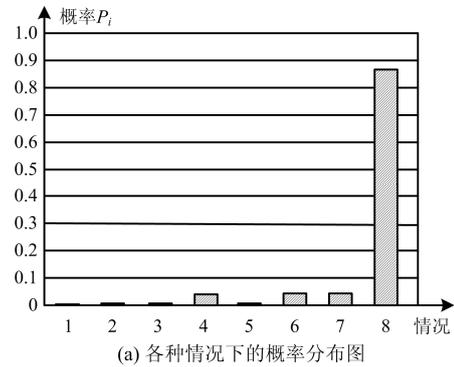


图 2 各种情况下的概率分布图

Fig. 2 Probability distributions for each case

## 3 基于最大概率的故障指示器故障判定方法

经过“三选二”规则筛选处理过的故障指示器信号其正确率大大提升, 但是也并不是完全正确的, 在实际故障判定过程中还需结合其周边其他故障指示器的故障信号综合判定。

每一个故障发生时, 故障区域上下游故障指示器皆会伴随着不同的故障报警信息, 反之, 如果实际各个故障指示器的报警信息与假设某一个故障区域发生故障时各个故障指示器的模拟报警信息相似, 则可以判定故障可能发生在该假设区域, 而相似度越大, 则该区域发生故障的概率就越大, 此即为基于最大概率的故障指示器故障判定思想。

针对开环运行配电网, 故障发生时, 故障区域上游与电源开关相连的主路径上经历突变故障电流和突变场强, 并导致电源开关跳闸, 故障指示器翻牌, 而故障区域下游所有故障指示器皆未经历突变故障电流, 故障指示器不翻牌。

针对闭环运行配电网, 故障发生时, 故障区域两侧至电源开关的主路径上的故障指示器皆经历突变故障电流和突变场强, 并导致电源开关跳闸, 故障指示器动作翻牌, 其他非主路径上的故障指示器不经历故障电流, 不应动作。

由以上分析可知, 故障发生时, 所有的故障指示器分成两类, 一类是经历突变故障电流, 动作翻牌的主路径故障指示器; 另一类是未经历突变故障电流, 不动作的非主路径故障指示器。

故此,在已有故障指示器报警信息的情况下,各个最小故障判定区域发生故障的条件概率最大者即为发生短路故障的最大概率区间,具体描述如下。

设  $m$  个故障指示器将馈线分割成  $n$  个最小故障判定区域,各个故障指示器所上报的故障信息经第 2 节所述方法处理后形成矩阵  $L$ , 具体为

$$L=[l_1, l_2, l_3, \dots, l_m] \quad (1)$$

设第  $i$  个最小故障判定区域  $x_i$  发生故障时,各个故障指示器应该上报的故障信息形成矩阵  $K_i$ , 具体为

$$K_i=[k_{i1}, k_{i2}, k_{i3}, \dots, k_{im}] \quad (2)$$

其中,  $l_j=1, k_{ij}=1$  表示第  $j$  个故障指示器上送故障信号,  $l_j=0, k_{ij}=0$  表示第  $j$  个故障指示器无故障信号,  $j=0, 1, 2, \dots, m$  为故障指示器数。

若故障指示器  $j$  的模拟故障信号  $k_{ij}$  与实际故障信号  $h_j$  相同时,取先验概率为  $P(\alpha)$ ,若模拟故障信号  $k_{ij}$  与实际故障信号  $h_j$  不同时,取先验概率为  $P(\beta)$ 。

故障指示器信号错误的情况一般分为两种:一种是漏报,即故障指示器流过故障电流而未上报故障信息;一种是误报,即故障指示器未流过故障电流而上报故障信息。设故障指示器  $j$  流过故障电流但漏报故障信息的概率为  $p_{Mj}$ ,则正确上报的概率为  $1-p_{Mj}$ 。设故障指示器  $j$  未流过故障电流但是误报故障信息的概率为  $p_{Ej}$ ,则不误报的概率为  $1-p_{Ej}$ 。根据运行经验,一般取  $p_{Mj}$  为 0.1~0.2,  $p_{Ej}$  为 0.05~0.10<sup>[17]</sup>。因故障指示器厂商和安装技术及运行环境的不同,上述两概率可根据各地运行情况做适当调整。

由上可知,故障指示器可分为经历故障电流和未经历故障电流两类,其收到故障信息完全正确的概率即先验概率  $P(\alpha)$  可表示为

$$P(\alpha_j)=1-(p_y p_{Mj} + p_n p_{Ej}) \quad (3)$$

其收到故障信息完全错误的概率即先验概率  $P(\beta)$  可表示为

$$P(\beta_j)=p_y p_{Mj} + p_n p_{Ej} \quad (4)$$

$p_y$  为故障指示器经历故障电流的概率,在工程中可以近似用故障馈线的占比表示,具体根据各地区配网规模而定,取值可为 0.001~0.01;  $p_n$  为故障指示器未经历故障电流的概率,为  $1-p_y$ 。由上可知先验概率  $P(\alpha)$  可取 0.8999~0.9495,先验概率为  $P(\beta)$  可取 0.0505~0.1001。

则某一个最小故障判定区域  $x_i$  在已有故障指示器信息矩阵  $L$  的约束条件下发生故障的条件概率为

$$\delta(x_i | L) = \frac{g(x_i) + f(x_i)}{m} \quad (5)$$

$$g(x_i) = \sum_{j=1}^m (l_j \odot k_{ij}) P(\alpha_j) \quad (6)$$

$$f(x_i) = \sum_{j=1}^m (l_j \oplus k_{ij}) P(\beta_j) \quad (7)$$

式中:  $\odot$  为同或运算;  $\oplus$  为异或运算;  $g(x_i)$  为模拟故障信号与实际故障信号完全相同的故障指示器的先验概率和;而  $f(x_i)$  为模拟故障信号与实际故障信号完全不同的故障指示器的先验概率和。

而最小故障判定区域  $x_i$  发生故障的相对概率为

$$P(x_i | L) = \frac{\delta(x_i | L)}{\sum_{i=1}^n \delta(x_i | L)} \times 100\% \quad (8)$$

显然,  $P(x_i | L)$  相对概率最大的最小故障判定区域就是最大可能发生故障的区域。

#### 4 实例

如图 1 所示配电网络,当以 S1 为出线开关的馈线中的区域  $W_{12}$ (FI9, FI11)发生故障时,开关 S9 跳闸,故障指示器 FI5、FI8、FI9 上送故障信号,而其他故障指示器皆未上送故障信号。可知,故障指示器 FI6 漏报故障信号,故障指示器先验概率  $P(\alpha)$  取 0.9,先验概率  $P(\beta)$  取 0.1。

假设各个故障指示器信号已经通过第 2 节所述方法进行了组合处理,根据第 3 节所述方法假设区域  $W_6$  发生故障,则由式(1)~式(7)可知:

$$\delta(W_6) = (0.9 \times 6 + 0.1 \times 2) / 8 = 0.7$$

假设区域  $W_7$  发生故障,则由式(1)~式(7)可知:

$$\delta(W_7) = (0.9 \times 4 + 0.1 \times 4) / 8 = 0.5$$

同理,分别假设区域  $W_8$ — $W_{14}$  发生故障,计算其各个区域的条件概率如表 3 所示。

表 3 各区域条件概率及相对概率

Table 3 Probability of conditional probability and relative probability of each region

	区域 $W_6$	区域 $W_7$	区域 $W_8$	区域 $W_9$	区域 $W_{10}$
$\delta(x L)$	0.7	0.5	0.7	0.6	0.5
$P(x L)$	12.281%	8.772%	12.281%	10.526%	8.772%
	区域 $W_{11}$	区域 $W_{12}$	区域 $W_{13}$	区域 $W_{14}$	
$\delta(x L)$	0.7	0.8	0.6	0.6	
$P(x L)$	12.281%	14.031%	10.526%	10.526%	

由式(8)计算区域  $W_6$ 、区域  $W_7$  的相对概率为

$$P(W_6) = 0.7 / 5.7 = 12.281\%$$

$$P(W_7) = 0.5 / 5.7 = 8.772\%$$

同理,区域  $W_8$ — $W_{14}$  的相对概率如表 3 所示。由表 3 可以分析出,区域  $W_{12}$  的概率最大为 14.031%,

为最可能发生故障的区域, 区域  $W_9$ 、 $W_{13}$ 、 $W_{14}$  的概率次之, 为故障备选方案, 而区域  $W_7$  与区域  $W_{10}$  概率最小, 为最不可能发生故障的区域。

## 5 结论

分析了故障指示器的特点, 提出了配电网最小故障判定区域的概念, 并基于配电网最小故障判定区域建立了故障指示器故障判定数学模型。

分析了故障指示器信号特点, 以“三选二”原则提出了一种基于概率的故障指示器组合信号处理方法。

结合最小故障判定模型和故障指示器组合信号, 以故障指示器之间的相互依赖关系为依托, 提出了一种基于最大概率的故障指示器故障判定方法。该方法以各区域假设故障后的模拟故障信号与实际情况下的故障信号之间的相似度表征故障发生的最大可能区域。

该方法在漏报和错报信息较少情况下具有很好的容错性, 能够较为正确地确定故障区域, 并且给出各个区域的可能概率, 提供了备选故障方案, 方便调度与运检人员人工干预排查故障。

## 参考文献

- [1] 童宁, 余梦琪, 林湘宁, 等. 基于相电流高频特征识别的配电网故障指示器原理[J]. 电工技术学报, 2015, 30(12): 465-471.  
TONG Ning, YU Mengqi, LIN Xiangning, et al. Study for fault indicator based on the fault phase current feature recognition for the distribution network[J]. Transactions of China Electrotechnical Society, 2015, 30(12): 465-471.
- [2] 陈煦斌, 秦立军. 配网故障指示器最优配置研究[J]. 电力系统保护与控制, 2014, 42(3): 100-104.  
CHEN Xubin, QIN Lijun. Optimal configuration of fault indicator in distribution network[J]. Power System Protection and Control, 2014, 42(3): 100-104.
- [3] 张炳达, 陈雄. 基于稍峰组的馈线故障寻址新方法[J]. 电工技术学报, 2016, 31(7): 115-122.  
ZHANG Bingda, CHEN Xiong. A new method of feeder fault addressing based on treetop peaks[J]. Transactions of China Electrotechnical Society, 2016, 31(7): 115-122.
- [4] 高洪雨, 陈青, 徐丙垠, 等. 一种馈线自动化仿真培训系统[J]. 电力系统保护与控制, 2016, 44(10): 131-136.  
GAO Hongyu, CHEN Qing, XU Bingyin, et al. A simulation training platform for feeder automation[J]. Power System Protection and Control, 2016, 44(10): 131-136.
- [5] 杨萃源, 舒勤. 基于线模行波突变的配电网全架空线路单相接地的多端检测定位新方法[J]. 电力系统保护与控制, 2016, 44(9): 21-28.  
YANG Luoyuan, SHU Qin. A new multiterminal detecting location method of single-phase grounding to the overhead-line for distribution network based on travelling-wave mutation of line-mode[J]. Power System Protection and Control, 2016, 44(9): 21-28.
- [6] 张伟. 一种智能分布式馈线自动化故障判定方法[J]. 电力系统保护与控制, 2013, 41(5): 108-113.  
ZHANG Wei. An intelligent distributed feeder automation fault judgment[J]. Power System Protection and Control, 2013, 41(5): 108-113.
- [7] 刘健, 程红丽, 毕鹏翔. 配电网的简化模型[J]. 中国电机工程学报, 2001, 21(12): 77-82.  
LIU Jian, CHENG Hongli, BI Pengxiang. A simplified model for distribution system[J]. Proceedings of the CSEE, 2001, 21(12): 77-82.
- [8] 刘健, 张志华, 张小庆. 配电自动化主站的容错故障定位方法[J]. 电力系统保护与控制, 2016, 44(20): 6-11.  
LIU Jian, ZHANG Zhihua, ZHANG Xiaoqing. Fault location with robustness for distribution automation systems (DAS)[J]. Power System Protection and Control, 2016, 44(20): 6-11.
- [9] 刘鹏程, 李新利. 基于多种群遗传算法的含分布式电源的配电网故障区段定位算法[J]. 电力系统保护与控制, 2016, 44(2): 36-41.  
LIU Pengcheng, LI Xinli. Fault-section location of distribution network containing distributed generation based on the multiple-population genetic algorithm[J]. Power System Protection and Control, 2016, 44(2): 36-41.
- [10] 康忠健, 田爱娜, 冯艳艳, 等. 基于零序阻抗模型故障特征的含分布式电源配电网故障区间定位方法[J]. 电工技术学报, 2016, 31(10): 214-221.  
KANG Zhongjian, TIAN Aina, FENG Yanyan, et al. Fault section locating method based on zero sequence impedance model fault feature in distribution network with distributed generators[J]. Transactions of China Electrotechnical Society, 2016, 31(10): 214-221.
- [11] HUANG Junhui, GE Shaoyun, HAN Jun, et al. A diagnostic method for distribution networks based on power supply safety standards[J]. Protection and Control of Modern Power Systems, 2016, 1: 8pp.  
DOI 10.1186/s 41601-016-0020-2
- [12] 唐述宏, 季涛, 宋红梅. 基于GPRS技术的配电线路故障自动定位系统[J]. 电力自动化设备, 2006, 26(8): 59-62.  
TANG Shuhong, JI Tao, SONG Hongmei. Auto fault

- locating system for distribution feeders based on GPRS technique[J]. Electric Power Automation Equipment, 2006, 26(8): 59-62.
- [13] 姜桂秀, 张炳达, 江滔. 新型基于故障指示器的配电网故障寻址方法[J]. 电源技术, 2014, 38(9): 1702-1705.  
JIANG Guixiu, ZHANG Bingda, JIANG Tao. A new method of distribution network fault addressing based on fault indicator[J]. Chinese Journal of Power Sources, 2014, 38(9): 1702-1705.
- [14] 郑涛, 潘玉美, 郭昆亚, 等. 基于免疫算法的配电网故障定位方法研究[J]. 电力系统保护与控制, 2014, 42(1): 77-83.  
ZHENG Tao, PAN Yumei, GUO Kunya, et al. Fault location of distribution network based on immune algorithm[J]. Power System Protection and Control, 2014, 42(1): 77-83.
- [15] 刘文轩, 严凤, 田霖, 等. 基于 LVQ 神经网络的配电网故障定位方法[J]. 电力系统保护与控制, 2012, 40(5): 90-95.  
LIU Wenxuan, YAN Feng, TIAN Lin, et al. LVQ neural network approach for fault location of distribution network[J]. Power System Protection and Control, 2012, 40(5): 90-95.
- [16] 郑国华, 黄朵, 王军锋, 等. 基于最差原则的故障指示器故障判定方法[J]. 工矿自动化, 2015, 41(11): 39-43.  
ZHENG Guohua, HUANG Duo, WANG Junfeng, et al. A fault diagnosis method of fault indicator based on the worst principle[J]. Industry and Mine Automation, 2015, 41(11): 39-43.
- [17] 刘健, 赵倩, 程红丽, 等. 配电网非健全信息故障诊断及故障处理[J]. 电力系统自动化, 2010, 34(7): 50-56.  
LIU Jian, ZHAO Qian, CHENG Hongli, et al. Robust fault diagnosis and restoration for distribution grids[J]. Automation of Electric Power Systems, 2010, 34(7): 50-56.

收稿日期: 2016-08-12; 修回日期: 2016-10-19

作者简介:

郑国华(1969—), 男, 硕士, 副教授, 主要从事教学管理与电气工程技术研究;

黄朵(1983—), 男, 学士, 助教, 主要从事电力专业教学与电气工程技术研究;

张伟(1982—), 男, 硕士, 高级工程师, 研究领域为配电网自动化。E-mail: zhangweiieslab@163.com

(编辑 魏小丽)