

引用格式: 郭志华, 薛晓慧, 厉娜, 等. 一种智能电表电路暂态故障实时识别方法[J]. 微电子学与计算机, 2023, 40(6): 70-76. [GUO Z H, XUE X H, LI N, et al. A real-time identification method for transient fault of intelligent meter circuit[J]. Microelectronics & Computer, 2023, 40(6): 70-76.] DOI: [10.19304/J.ISSN1000-7180.2022.0413](https://doi.org/10.19304/J.ISSN1000-7180.2022.0413)

## 一种智能电表电路暂态故障实时识别方法

郭志华<sup>1</sup>, 薛晓慧<sup>1</sup>, 厉娜<sup>1</sup>, 孟祥甫<sup>1</sup>, 于洋洋<sup>2</sup>, 刘庚<sup>2</sup>

(1 国网青海省电力公司, 青海 西宁 810008;

2 国网思极紫光(青岛)微电子科技有限公司, 北京 100081)

**摘 要:** 基于故障信号频率的识别模型由于受到周围磁场等的影响,精度较低,为提高智能电表电路暂态故障信号实时识别的准确性,从故障信号处理的方向出发,基于时域粗检测方法,研究了一种智能电表电路暂态故障实时识别方法. 对智能电表电路故障信号采样,使故障信号按照指定的路线传输,就要增加通道的接收能力,利用小波分析方法,对复杂的电信号进行样本预处理,经过时域检测后的信号被统一进行重新分布,以较为简单的方式进行标记;基于小波熵测度的故障信号融合模型,采用信息熵方法融合分离相似故障信号,确定所有智能电表故障电路信号暂态特征;构建基于小波熵测度的故障信号融合模型,在信号谱上完成信号的筛选与分解,实现智能电表电路暂态故障信号实时识别. 实验结果表明,针对智能电表电路接地短路、两相接地短路、相间短路、三相接地短路四种不同类型的暂态故障,通过该方法识别出的故障电压曲线值与实际的值相差小于 0.3 V,具有较高的识别准确性,具备一定的实际应用意义.

**关键词:** 时域粗检测;智能电表;电路暂态故障;识别;传播;截取

中图分类号: TN702

文献标识码: A

文章编号: 1000-7180(2023)06-0070-07

## A real-time identification method for transient fault of intelligent meter circuit

GUO Zhihua<sup>1</sup>, XUE Xiaohui<sup>1</sup>, LI Na<sup>1</sup>, MENG Xiangfu<sup>1</sup>, YU Yangyang<sup>2</sup>, LIU Geng<sup>2</sup>

(1 State Grid Qinghai Electric Power, Xining 810008, Qinghai, China;

2 Smart Shine Microelectronics Technology Co.,Ltd., Beijing 100081, China)

**Abstract:** The identification model based on fault signal frequency has low accuracy due to the influence of surrounding magnetic field. In order to improve the accuracy of real-time identification of transient fault signal of smart meter circuit, from the direction of fault signal processing, a real-time identification method of transient fault of smart meter circuit based on time domain rough detection method is studied. To sample the fault signal of the smart meter circuit and make the fault signal transmit according to the specified route, it is necessary to increase the receiving capacity of the channel. The complex electrical signal is preprocessed by using the wavelet analysis method. The signal after time-domain detection is uniformly redistributed and marked in a relatively simple way; The fault signal fusion model based on wavelet entropy measure adopts the information entropy method to fuse and separate similar fault signals, and determines the transient characteristics of fault circuit signals of all smart meters; A fault signal fusion model based on wavelet entropy measure is constructed to complete the signal screening and decomposition on the signal spectrum, and realize the real-time identification of the transient fault signal of the smart meter circuit. The experimental results show that the difference between the fault voltage curve value identified by this method and the actual value is less than 0.3 V, which has high

identification accuracy and certain practical application significance for the four different types of transient faults of the smart meter circuit, i.e. grounding short circuit, two-phase grounding short circuit, phase to phase short circuit and three-phase grounding short circuit.

**Key words:** rough detection in time domain; smart meter; circuit transient fault; identification; propagation; interception

## 1 引言

智能电表节约了一定的电量与人力资源,但需要随时保养与查看,只有及时发现智能电表和线路上的故障,才能对其进行及时修复.许多学者对此开展了相关研究.其中,文献[1]研究了基于暂态电流的MMC-LVDC 双极短路故障定位方法.该方法采用基于子模块闭锁后的暂态电流的精确定位算法,给出了MMC型FDC系统的等值电路;导出了该模型的瞬时表达式,并构造了包括失效距离和过渡电阻两个未知参数的时间域方程;采用最小二乘法求解,实现短路故障定位.文献[2]研究了谐振接地配电网电弧接地故障暂态分析方法.通过对不同过渡电阻条件下的电弧接地故障的分析,提出了一种基于电弧电压和线路电压信息结合的稳定电弧接地故障识别原理,实现电路暂态故障信号的识别.

传统的故障检测方法较为简单,但只适用于普通的故障检测,不能实时监测与识别多个故障节点,难以针对不同类型故障,有针对性地识别智能电表电路暂态故障,虽然具有一定的作用,但效果并不显著.因此本文利用时域粗检测方法,从故障信号处理的方向出发,进行基于时域粗检测的智能电表电路暂态故障信号实时识别仿真分析.

## 2 故障信号采样

在一定的环境下,信号的传输方式会由周围的磁场强度决定,部分智能电表电路信号波受到高强磁场干扰后,传输方向发生偏离,甚至与原始信号的方向角度相反,这种信号即为智能电表电路故障信号.

为了使故障信号按照指定的路线传输,就要增加通道的接收能力<sup>[3]</sup>,为:

$$h(t) = k \sum_{i=0}^m \alpha_i \chi(t - \delta_L), 0 \leq k \leq L_p - 1 \quad (1)$$

式中, $L_p$ 代表通道; $\alpha_i$ 代表障信号的偏离角度; $\delta_L$ 代表受到干扰后的信号波; $\chi$ 代表传输速度; $k$ 代表传输路线数量; $m$ 代表偏离的角度数量.那么故障信号的传输函数公式为:

$$H(f) = \sum_{i=0}^m \alpha_i e^{2f} \quad (2)$$

在上述公式范围内,故障信号传输函数会根据时域的变化而变化并且向着相同方向传播,证明在不超过阈值 $e^{2f}$ 的条件下,小波分析过程较为成功.

经过智能电表电路检测后,对样本进行小波变换,作为故障信号采样模型的基础<sup>[4]</sup>,公式为:

$$H(\beta) = \sum_{\beta=0}^b \alpha_{\beta} e^{-\beta} \quad (3)$$

式中, $\beta$ 代表原始信号的方向角度,其范围 $b$ 与干扰后的角度恰好相反,在此前提下获得的所有信号都可作为故障信号,该节点即为故障节点,剩余的信号为正常工作状态,不需要进一步分析.

## 3 信号预处理

故障信号预处理的前提是检测到所有信号,然后找到所有涉及的参数<sup>[5]</sup>,获得暂态故障信号变化的所有过程.利用智能电表电路暂态特征参数确定信号的当前状态,准确提取相关信息,完成智能电路参数的转换.

基于信号采样模型利用小波分析对上节获得的智能电表电路检测样本数据完成小波变换后,形成信号的小波变换矩阵,具体如下:

$$A = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & L & a_1 \\ a_{21} & a_{22} & L & a_2 \\ M & M & M & M \\ a_{m1} & a_{m2} & L & a_m \end{bmatrix} \quad (4)$$

式中, $M$ 代表小波分解层数; $L$ 代表信号的波长; $a$ 代表参数.

根据智能电表电路检测幅度的波动情况进行判断,基于信号的不稳定性矩阵会被自动分成多个小矩阵,并且其中的时域范围会逐渐增大<sup>[6]</sup>,可表示为 $\sum = \text{diag}(\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_n)$ , $\lambda$ 代表小波系数, $n$ 代表数量.因此,在分析电路中的故障信号时,智能电表会自动显示线路的各种变化,找出故障信号的发生规律.假设线路的某一段存在暂态故障信号,可用公式表示为:

$$\begin{aligned} M_1 &= \max(x) = \max(\lambda_1, \lambda_2, \lambda_n) \\ M_2 &= \max(x) = \min(\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_n) \\ M_3 &= \bar{x} = \frac{\lambda_1 + \lambda_2 + \dots + \lambda_n}{d} \end{aligned} \quad (5)$$

式中,  $x$  代表任意故障信号;  $\bar{x}$  代表信号集中部分;  $d$  代表输电线路两端的距离. 经过时域检测后的信号会统一进行重新分布, 用较为简单的方式进行标记, 利用其单一的特征来过滤出剩余电路中的信号.

#### 4 智能电表电路暂态故障识别流程

现有输电线路故障模型一般都是从信号时间或频率角度识别故障信号的暂态特性. 但基于故障信号频率的识别模型由于周围磁场的影响, 只能获得近似值, 无法准确识别故障信号的位置<sup>[7]</sup>. 此时, 本文采用信息熵方法对相似的故障信号进行融合和分离, 以获得相似的特征向量, 建立模型如图 1 所示:

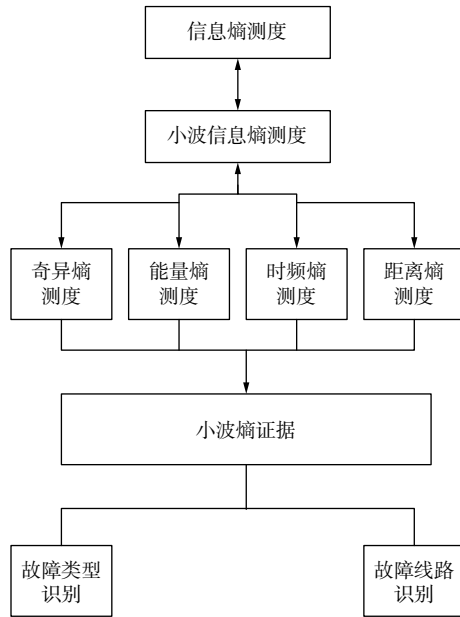


图 1 基于小波熵测度的故障信号融合模型

Fig. 1 Failure signal fusion model based on the wavelet entropy measure

大多数线路故障识别都是通过上述模型来实现的, 但当电网受到干扰而失去稳定性时, 智能电表也会相应地出现差错, 导致故障信号随机切换, 不能在时域检测的条件下进行安全定位, 因此, 有必要利用信息熵对线路进行模拟. 当电网系统正常运行时, 信号传播速度非常快, 因此线路在遇到一些不可抗力因素后会损坏. 为了不改变原来的更换频率, 建立公式为:

$$R_r = \frac{R_e}{\sqrt{1 + I/I_s}} \quad (6)$$

式中,  $R_e$  代表原始线路中存在的电阻;  $R_r$  代表经过处

理后线路中的电阻;  $I$  代表电流;  $I_s$  代表相同条件下损失的电流, 而多出来的端点直接连接大地, 考虑到电路暂态电路的特殊性<sup>[8]</sup>, 就要同时减小电流与电压值, 公式为:

$$I_{\min} = \frac{E_v p}{2\pi R_e^2} \quad (7)$$

式中,  $I_{\min}$  代表输电线路中最小电流;  $E_v$  代表电源周围的磁场强度;  $p$  代表电功率.

智能电表故障信号检测的原理是在不规则信号的情况下截获信号, 定义暂态信号的各个参数, 加快智能电表的识别速度<sup>[9]</sup>, 假设随机一段线路的信号用  $v(t)$  来表示, 那么为了保证信号的连续波动, 将其定义为:

$$V(\delta) = \int_{-\infty}^{+\infty} v(t) e^{-j\delta t} dt \quad (8)$$

式中,  $\delta$  代表信号波;  $e$  代表线路上的电荷;  $j$  代表波动次数;  $t$  代表单位时间. 将其进行预处理后, 得到的暂态信号变化过程可用公式表示为:

$$v(t) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{+\infty} V(\delta) e^{j\delta t} d\delta \quad (9)$$

经过上述处理后得到的信号波动图可以代表单位时间内故障信号的变化过程. 在时域粗检测的基础上, 对一段信号进行滤波和归一化<sup>[10]</sup>, 最后判断处理过程是否准确. 虽然信号的变化需要检测一段时间才能得到具体规律, 但同时, 假设矩阵中每个参数的间隔相同, 可以建立一个尺度函数来准确描述信号的实时变化, 那么函数就表示为:

$$f(v_t) = v(\varepsilon) h(t - \varepsilon) \quad (10)$$

式中,  $v_t$  代表首次检测信号;  $\varepsilon$  代表窗口参数;  $h$  代表变化参数. 将变化后的信号与之前进行对比, 确定最终暂态信号的频谱.

对函数中每个参数随机取值<sup>[11]</sup>, 得到不同阶段信号的频率矩阵, 在时域不变的前提下保证窗口值成比例变化<sup>[12]</sup>, 因此就可以提取出除去暂态信号之外的其他频率信号, 进而明确信号的排列顺序<sup>[13]</sup>, 可用函数表示为:

$$g_f(j, k) = (v(t), \varphi_{j,k}(t)) \quad (11)$$

式中,  $k$  代表反比例系数;  $\varphi_{j,k}$  代表频率函数. 利用智能电表进行离心处理, 直到去除所有分散信号为止.

若输电线路两端的电压与接入电源恒定, 那么矩阵中每层信号的频率与暂态信号的就会有所差别<sup>[14-15]</sup>, 两者的区别可用公式表示为:

$$r_{ab} = \ln \frac{S_a}{S_b}; r_{bc} = \ln \frac{S_b}{S_c}; r_{ca} = \ln \frac{S_c}{S_a} \quad (12)$$

式中, $a, b, c$ 代表每个线路端点; $r$ 代表差异性; $S$ 代表电表。

基于信号在故障时会变得杂乱无章,因此要保证各项参数恒定,留下单一变量,进而选取一段高压线路,构建输电线路分析模型,如图2所示:



图2 输电线路分析模型

Fig. 2 Analysis model of transmission lines

图2中, $M$ 与 $N$ 代表相对的两个方向,在线路长度不变的情况下电流达到最小,智能电表就会根据显示的波长,利用时域粗检测的方法来获得故障位置的空间坐标,进而判断故障信号的具体位置。智能电表电路暂态故障信号实时识别算法如图3:

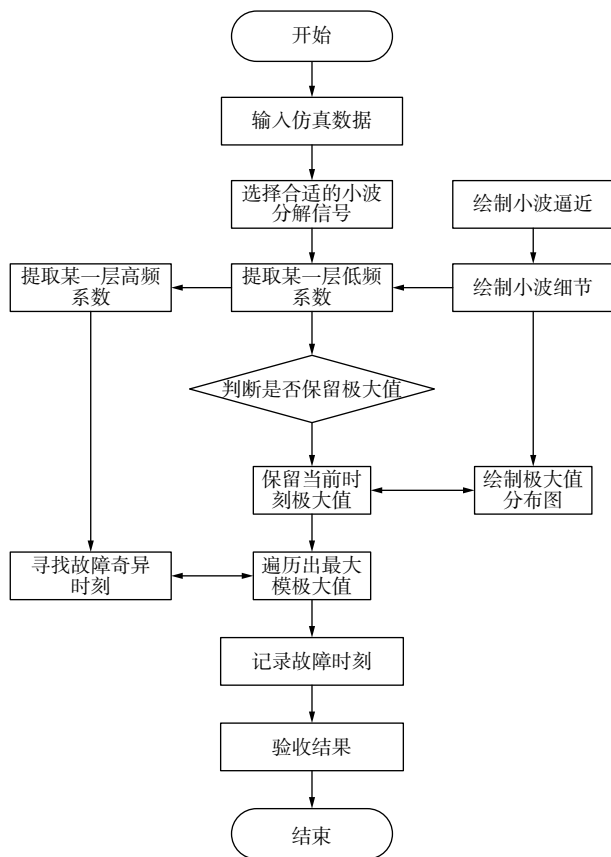


图3 智能电表电路暂态故障信号实时识别算法

Fig. 3 Real-time identification algorithm of transient fault signal of smart meter circuits

## 5 实验分析

为验证提出的基于时域粗检测的智能电表电路

暂态故障信号实时识别方法的合理性,进行常见故障的测试。实验系统主要包含硬件与软件两部分,测试的核心板卡为NI-USB6251,实验数据的采样频率为10 MHz,数据来源为某电力公司数据平台的100个智能电表数据。并应用ATP-EMTP模型,ATP-EMTP提供图形输入软件ATPDraw,支持70个原始文件,278个TACS对象,同时也能提供一些简单的MODELS应用。ATP-EMTP的瞬态过程具有较高的运算能力和较好的性能,采用ATP-EMTP模型和算法能够满足具有较强的适应性、快速和高精度的特点。

利用该模型进行单相接地故障的分析和计算,以获得实际数据的变化情况。单点定位输出时序差分数据。主要结构如图4所示:

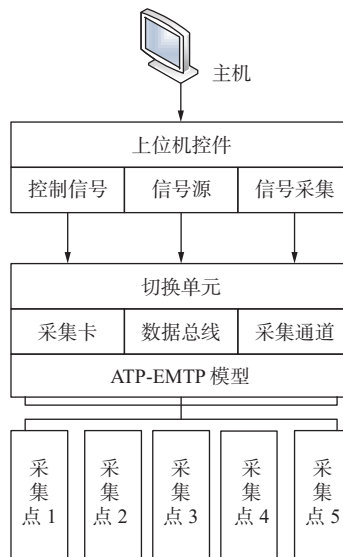


图4 实验测试系统结构

Fig. 4 Experimental test system structure

在实验过程中,通过DAQmx控件下发采集命令,并将其传递到采集点中,通过采集卡将采集的数据传回到计算机中,并存储相关数据。

实验中,人为地使智能电表电路发生故障,主要故障类型如表1所示:

表1 故障类型

Tab. 1 Fault Type

编号	故障模式	故障发生时间
D1	接地短路	5:00
D2	两相接地短路	7:00
D3	相间短路	11:00
D4	三相接地短路	16:00



分别采用所研究的电路暂态故障信号识别方法与另两个方法对故障电路仿真分析,四种不同故障类型的仿真结果如图5、图6、图7、图8所示:

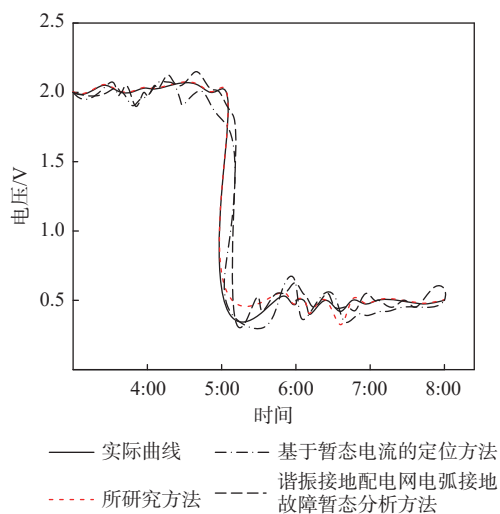


图5 D1故障电压分析

Fig. 5 D1 fault voltage analysis

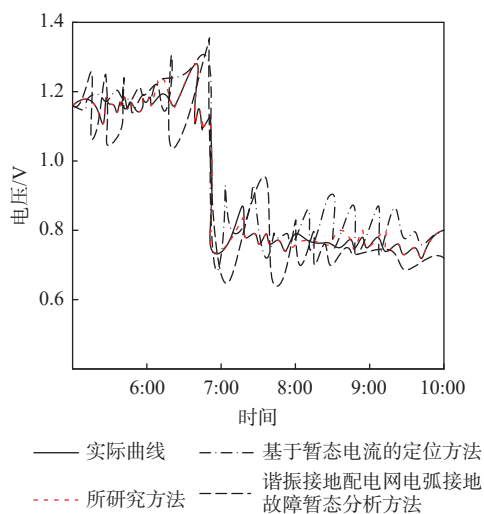


图6 D2故障电压分析

Fig. 6 D2 fault voltage analysis

由图8可知,所研究的智能电表电路暂态故障信号实时识别方法识别出的曲线值与实际的值相差小于0.3 V,基本能够准确识别出故障电压的变化情况。另两种识别方法获得的曲线与实际曲线差距较大,识别的准确性不是很高,应用效果没有所提出的系统效果好。这是因为本文利用小波分析方法对复杂的电信号进行样本预处理,为了故障识别奠定数据基础;采用信息熵方法融合和分离相似的故障信号,以获得相似的特征向量。确定智能电表电路暂态特征,构建基于小波熵测度的故障信号融合模型,在信号谱上完

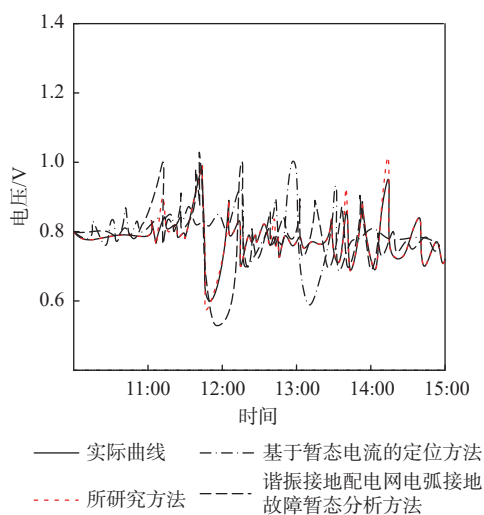


图7 D3故障电压分析

Fig. 7 D3 fault voltage analysis

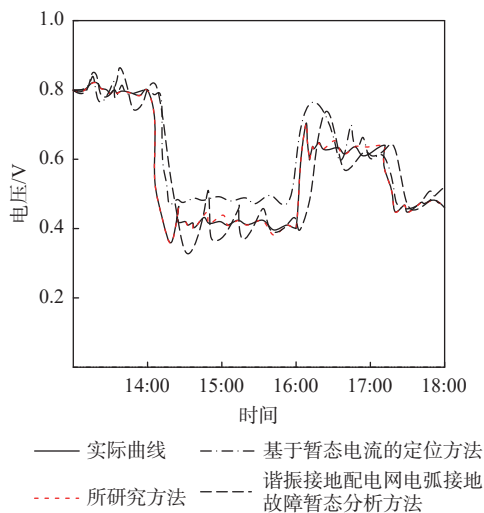


图8 D4故障电压分析

Fig. 8 D4 fault voltage analysis

成信号的筛选与分解,能够在时域检测的条件下进行安全定位,从而提高智能电表电路暂态故障信号实时识别准确性。

## 6 结束语

为了提高故障信号实时识别准确性,开展电表电路暂态故障信号实时识别仿真方法研究。构建基于小波熵测度的故障信号融合模型,在时域粗检测的基础上,对一段信号进行预处理,提取出除去暂态信号之外的其他频率信号,并进行故障信号融合;获得故障位置的空间坐标,判断故障信号的具体位置;实时监测线路的状态,准确地判断故障位置,不断优化电路暂态故障信号识别效果。实验结果表明,针对智能

电表电路不同类型故障,该方法识别结果具有较高的识别准确性,实际应用意义较强。

### 参考文献:

- [1] 高校平, 黄文焘, 邵能灵, 等. 基于暂态电流的 MMC-LVDC 双极短路故障定位方法[J]. 电力系统自动化, 2020, 44(17): 127-135. DOI: 10.7500/AEPS20200106004.
- GAO X P, HUANG W T, TAI N L, et al. Transient current based fault location method of pole-to-pole short-circuit for modular multilevel converter low-voltage direct current[J]. Automation of Electric Power Systems, 2020, 44(17): 127-135. DOI: 10.7500/AEPS20200106004.
- [2] 杨帆, 任伟, 沈煜, 等. 谐振接地配电网电弧接地故障暂态分析与辨识[J]. 电力系统及其自动化学报, 2021, 33(4): 23-31. DOI: 10.19635/j.cnki.csu-epsa.000522.
- YANG F, REN W, SHEN Y, et al. Transient analysis method and identification of arc grounding faults in Petersen coil grounded distribution network[J]. Proceedings of the CSU-EPSA, 2021, 33(4): 23-31. DOI: 10.19635/j.cnki.csu-epsa.000522.
- [3] 戚振彪, 凌松, 刘文烨, 等. 基于高频测试信号注入的配电网故障节点在线识别方法[J]. 电力系统保护与控制, 2020, 48(4): 110-117. DOI: 10.19783/j.cnki.pspc.190399.
- QI Z B, LING S, LIU W Y, et al. On-line fault node identification method for distribution network based on high frequency test signal injection[J]. Power System Protection and Control, 2020, 48(4): 110-117. DOI: 10.19783/j.cnki.pspc.190399.
- [4] 刘婧, 苏良立, 陈昊, 等. 基于智能电表误差检测的非侵入式电网故障定位及运维调度[J]. 电测与仪表, 2021, 58(11): 164-169. DOI: 10.19753/j.issn1001-1390.2021.11.023.
- LIU J, SU L L, CHEN H, et al. Non-intrusive fault location and operation scheduling of power grid based on error detection of smart meters[J]. Electrical Measurement & Instrumentation, 2021, 58(11): 164-169. DOI: 10.19753/j.issn1001-1390.2021.11.023.
- [5] 徐瑞东, 常仲学, 宋国兵, 等. 注入探测信号的直流配电网接地故障识别方法[J]. 电网技术, 2021, 45(11): 4269-4276. DOI: 10.13335/j.1000-3673.pst.2021.1260.
- XU R D, CHANG Z X, SONG G B, et al. Grounding fault identification method for DC distribution network based on detection signal injection[J]. Power System Technology, 2021, 45(11): 4269-4276. DOI: 10.13335/j.1000-3673.pst.2021.1260.
- [6] 张坤, 马朝永, 胥永刚, 等. 快速自适应局部均值分解及轴承故障诊断应用[J]. 振动工程学报, 2020, 33(1): 206-212. DOI: 10.16385/j.cnki.issn.1004-4523.2020.01.023.
- ZHANG K, MA C Y, XU Y G, et al. Fast and adaptive local mean decomposition method and its application in rolling bearing fault diagnosis[J]. Journal of Vibration Engineering, 2020, 33(1): 206-212. DOI: 10.16385/j.cnki.issn.1004-4523.2020.01.023.
- [7] 孙天雨, 郝新, 薛丽敏, 等. 智能电表高阻抗故障检测方法研究[J]. 电测与仪表, 2021, 58(12): 184-189. DOI: 10.19753/j.issn1001-1390.2021.12.027.
- SUN T Y, HAO X, XUE L M, et al. Research on high impedance fault detection method of smart meter[J]. Electrical Measurement & Instrumentation, 2021, 58(12): 184-189. DOI: 10.19753/j.issn1001-1390.2021.12.027.
- [8] 雷少波, 刘丰硕, 李健, 等. 基于小波框架的智能电表台区识别技术研究[J]. 电测与仪表, 2021, 58(10): 193-200. DOI: 10.19753/j.issn1001-1390.2021.10.029.
- LEI S B, LIU F S, LI J, et al. Research on recognition technology of smart electricity meter area based on wavelet frame[J]. Electrical Measurement & Instrumentation, 2021, 58(10): 193-200. DOI: 10.19753/j.issn1001-1390.2021.10.029.
- [9] 高欣, 纪维佳, 赵兵, 等. 不平衡数据集下基于 CVAE-CNN 模型的智能电表故障多分类方法[J]. 电网技术, 2021, 45(8): 3052-3060. DOI: 10.13335/j.1000-3673.pst.2020.2016.
- GAO X, JI W J, ZHAO B, et al. Multi-classification method of smart meter fault types based on CVAE-CNN model under imbalanced dataset[J]. Power System Technology, 2021, 45(8): 3052-3060. DOI: 10.13335/j.1000-3673.pst.2020.2016.
- [10] 江剑峰, 张垠, 田书欣, 等. 基于云理论的智能电表故障数据分析[J]. 电力科学与技术学报, 2020, 35(2): 163-169. DOI: 10.19781/j.issn.1673-9140.2020.02.022.
- JIANG J F, ZHANG Y, TIAN S X, et al. Fault data analysis of smart electricity meter based cloud theory[J]. Journal of Electric Power Science and Technology, 2020, 35(2): 163-169. DOI: 10.19781/j.issn.1673-9140.2020.02.022.
- [11] 宋福海. 面向智能变电站二次系统测试的电磁暂态仿真方法研究[J]. 电力系统及其自动化学报, 2021, 33(2): 25-31. DOI: 10.19635/j.cnki.csu-epsa.000478.
- SONG F H. Research on electromagnetic transient simulation method for secondary system test in smart substation[J]. Proceedings of the CSU-EPSA, 2021, 33(2): 25-31. DOI: 10.19635/j.cnki.csu-epsa.000478.
- [12] 谢超, 李晨曦, 张代润, 等. 基于智能电表量测数

- 据的配网线变关系反向识别[J]. *电力建设*, 2020, 41(11): 94-100. DOI: [10.12204/j.issn.1000-7229.2020.11.010](https://doi.org/10.12204/j.issn.1000-7229.2020.11.010).
- XIE C, LI C X, ZHANG D R, et al. Reverse identification of the relationship of feeder-transformer connectivity in distribution grid applying smart meter measurement data[J]. *Electric Power Construction*, 2020, 41(11): 94-100. DOI: [10.12204/j.issn.1000-7229.2020.11.010](https://doi.org/10.12204/j.issn.1000-7229.2020.11.010).
- [13] 宋晓林, 黄璐涵, 贺云隆, 等. 基于智能电能表采集数据的台户关系识别新方法[J]. *电测与仪表*, 2020, 57(23): 135-140. DOI: [10.19753/j.issn1001-1390.2020.23.018](https://doi.org/10.19753/j.issn1001-1390.2020.23.018).
- SONG X L, HUANG L H, HE Y L, et al. Novel identification method of station-area relationship based on data acquisition by smart meter[J]. *Electrical Measurement & Instrumentation*, 2020, 57(23): 135-140. DOI: [10.19753/j.issn1001-1390.2020.23.018](https://doi.org/10.19753/j.issn1001-1390.2020.23.018).
- [14] 孙仕鑫, 高洁, 王伟, 等. 基于多通道时频域信号的卷积神经网络智能故障诊断技术[J]. *科学技术与工程*, 2021, 21(15): 6386-6393. DOI: [10.3969/j.issn.1671-1815.2021.15.039](https://doi.org/10.3969/j.issn.1671-1815.2021.15.039).
- SUN S X, GAO J, WANG W, et al. Intelligent fault diagnosis technique of convolutional neural networks based on multi-channel time-frequency signals[J]. *Science Technology and Engineering*, 2021, 21(15): 6386-6393. DOI: [10.3969/j.issn.1671-1815.2021.15.039](https://doi.org/10.3969/j.issn.1671-1815.2021.15.039).
- [15] 王保帅, 尹家悦, 胡珊珊, 等. 基于层次分析法和群体决策的智能电能表可靠性分配技术研究[J]. *电测与仪表*, 2021, 58(12): 169-174. DOI: [10.19753/j.issn1001-1390.2021.12.025](https://doi.org/10.19753/j.issn1001-1390.2021.12.025).
- WANG B S, YIN J Y, HU S S, et al. Research on reliability allocation technology of smart meter based on analytic hierarchy process and group decision-making[J]. *Electrical Measurement & Instrumentation*, 2021, 58(12): 169-174. DOI: [10.19753/j.issn1001-1390.2021.12.025](https://doi.org/10.19753/j.issn1001-1390.2021.12.025).

### 作者简介:

郭志华 男,(1972-),学士,高级工程师.主要研究领域为电力计量管理、计量新技术. E-mail: [su16038995@163.com](mailto:su16038995@163.com).

薛晓慧 女,(1971-),学士,高级工程师.主要从事电力计量、采集管理、营销信息化建设.

厉娜 女,(1980-),硕士,高级工程师.主要研究领域为电力计量管理、计量新技术.

孟祥甫 男,(1980-),硕士,高级工程师.主要研究领域为电力计量管理、计量新技术、信息安全.

于洋洋 男,(1986-),学士,工程师.主要研究方向为电力计量管理.

刘庚 男,(1981-),学士,高级工程师.主要研究领域为集成电路、微电子技术.