

DOI: 10.13234/j.issn.2095-2805.2024.2.345

中图分类号: TM464

文献标志码: A

供电电源系统电能质量稳定性监测方法

贾伯岩¹, 贾静然¹, 卢锦玲², 王文轩³, 景 皓¹

(1. 国网河北省电力有限公司电力科学研究院, 石家庄 050000; 2. 华北电力大学电气与电子工程学院, 保定 071003; 3. 国网沧州供电公司, 沧州 061000)

摘要: 监测供电电源系统电能质量是保障电力系统与用户侧设备安全运行的有效方法, 为保障供电电源系统电能质量, 研究供电电源系统电能质量稳定性监测方法。基于希尔伯特-黄变换 HHT(Hilbert-Huang transform) 算法监测供电电源系统电能质量信号帧中谐波频率与幅值, 并检测电能质量扰动信号的扰动时间幅值与频率等, 以此实现监测系统电能质量稳定性。通过实验检测不同压力(不同电能质量信号帧数量)条件下监测到的电能质量信号的丢帧率和准确率及电能质量信号传输时延, 测试结果显示所研究方法可实现电能质量的监测。

关键词: 供电电源系统; 电能质量; 稳定性监测; 谐波; 信号帧数量

Monitoring Method for Power Quality Stability of Power Supply System

JIA Boyan¹, JIA Jingran¹, LU Jinling², WANG Wenxuan³, JING Hao¹

(1. State Grid Hebei Electric Power Research Institute, Shijiazhuang 050000, China; 2. School of Electrical and Electronic Engineering, North China Electric Power University, Baoding 071003, China; 3. State Grid Cangzhou Electric Power Supply Company, Cangzhou 061000, China)

Abstract: Monitoring the power quality of power supply system is an effective method for ensuring the safe operation of power system and user-side equipment. To ensure the power quality of power supply system, a monitoring method for its power quality stability is studied. Based on the Hilbert-Huang transform(HHT) algorithm, the harmonic frequency and amplitude of the power quality signal frame of power supply system are monitored, and the disturbance time amplitude and frequency of the power quality disturbance signal are detected, so as to realize the power quality stability of monitoring system. The frame loss rate, accuracy and transmission delay of the monitored power quality signals under different pressures(with different numbers of power quality signal frames) were tested by experiments, and results show that the proposed method can realize the monitoring of power quality.

Keywords: Power supply system; power quality; stability monitoring; harmonic wave; number of signal frames

随着分布式电源的快速发展以及电力电子技术的不断成熟, 供电电源系统发展趋势逐渐转变为智能化与小型化^[1], 由此导致的电能质量问题得到电力系统相关部门与社会大众的普遍关注。供电电源系统电能质量的稳定输出能够保障电网用

户侧设备的正常运行, 对人们的日常生活有着重要意义^[2]。供电电源系统电能质量稳定性问题主要分为谐波畸变问题与故障导致的暂态问题^[3]。为保障电力系统运行的安全性与经济性, 需要及时准确地监测供电电源系统电能质量的稳定性^[4]。

在大量非线性负荷和电力电子元器件投入电网以及众多分布式电源的并网条件下, 供电电源系统电能质量会出现不稳定的现象, 为此, 本文提出一种供电电源系统电能质量稳定性的监测方法。当谐波扰动量增大时, 会使稳态输出电压出现高频

收稿日期: 2021-08-03; 修回日期: 2021-09-16, 2021-10-19, 2021-10-29; 录用日期: 2021-11-08; 网络首发日期: 2022-02-18

基金项目: 国家电网有限公司科技项目资助(kj2020-051)

This work is supported by Science and Technology Project of State Grid Co., Ltd. under the grant kj2020-051

率、大幅度的波动,这将严重影响电能质量,进而影响供电电源系统的供电效率,甚至危害系统设备。考虑到供电电源系统电能质量的特性,以信号丢帧率、准确率以及传输时延作为电能质量稳定性的评估指标。采集的初始电能质量信号由于噪声导致特征难以辨识,这给电能质量信号分析带来了困难,本文考虑到这一点,提出利用经验模态分解法对初始信息进行处理,由此去除了噪声的干扰并凸显了特征信号信息。此时信号信息具有随机不间断特性,为得到更为清晰的电能信号,提出采用 Hilbert 变换方法进一步处理信号,提高信号的辨识度。在不同压力(不同电能质量信号帧数量)条件下,根据监测到的电能质量信号的各项指标,实现对电能质量稳定性的分析与监测。

1 供电电源系统电能质量稳定性监测方法

1.1 供电电源系统电能质量稳定性监控器设计

供电电源系统电能质量监控器有三大模块,分别是电能信息采集器、电能信息处理器和电能信息存储器,具体结构如图 1 所示。

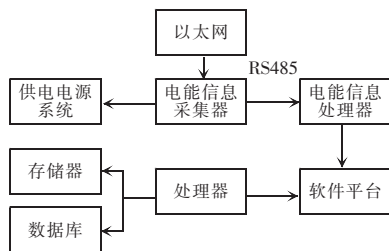


图 1 监测器硬件结构

Fig. 1 Hardware structure of monitor

设计电能信息采集器位于监测器结构前端,其主要功能是采集供电电源系统电能质量信息,同时清除冗余信息。设计电能信息处理器位于监测器结构中,其主要功能是处理电能信息采集器所采集的电能质量信息。设计电能信息存储器位于监测器结构底层,其主要功能为存储监测器所获取的相关信息,同时向相关管理人员展示所获取的相关信息。监测器配备特有的 LED 显示屏幕,可实时呈现

监控信息,方便管理人员查阅^[5]。在电能信息采集器向电能信息处理器传输信息时,通过以太网和 RS485 电气特性标准进行连接,保证了快速传递和保密性。

1.2 电能质量稳定性监测算法

供电电源系统电能质量稳定性监测算法采用希尔伯特-黄变换 HHT(Hilbert-Huang transform)算法,监测能够体现供电电源系统电能质量稳定性的信号谐波频率与幅值,同时监测电能质量扰动信号的扰动时间幅值与频率等。但在采集与检测电能质量信号时,存在噪声的干扰,因此,利用经验模态分解和 Hilbert 变换相结合,实现降低信号噪声且完整地保留下反映信号突变特征的奇异点,实现电能质量稳定性监测。

1.2.1 经验模态分解

采用经验模态分解法^[6]在采集的初始电能质量信号内提炼固有模态函数 IMF(intrinsic mode function)^[7],以此凸显初始电能质量信号的局部特征信息。IMF 主要特征表现为极值点与过零点数量基本一致^[8]和同局部上限值与局部下限值相连的两条包络线均值在任意区域处均为 0^[9]。IMF 提炼的详细过程如下。

以 $x(t)$ 表示监测器所采集的初始电能质量信号,按照 $x(t)$ 的局部上限值与局部下限值,上包络与下包络均值 m_{11} 的计算公式为

$$m_{11} = \frac{1}{2} [v_1(t) + v_2(t)] \quad (1)$$

式中, $v_1(t)$ 和 $v_2(t)$ 分别为上包络与下包络。

以 g_{11} 表示 $x(t)$ 和初始包络 j_{11} 间的差值,其计算公式为

$$g_{11} = x(t) - j_{11} \quad (2)$$

假设 g_{11} 并非 IMF,则将其作为新的 $x(t)$,再次执行式(2) k 次,得到第 k 次筛选获取的数据 g_{1k} ,即

$$g_{1k} = g_{1(k-1)} - j_{1k} \quad (3)$$

式中: $g_{1(k-1)}$ 为第 $k-1$ 次筛选获取的数据; j_{1k} 为: $g_{1(k-1)}$ 上下包络的均值。

以 S_0 作为上述 k 步迭代的终止标准^[10],即根据上述过程所获取的值是否是 IMF 分量确定 S_0 ,计算公式为

$$S_D = \sum_{i=0}^o \left| \frac{|g_{1(k-1)}(t) - g_{1k}(t)|^2}{g_{1(k-1)}^2(t)} \right| \quad (4)$$

通常情况下, S_D 取值范围为[0.2, 0.3]。在 g_{1k} 符合 S_D 标准的条件下, 可使

$$g_{1k} = c_1 \quad (5)$$

式中, c_1 为一个 IMF。

$$x(t) - c_1 = o \quad (6)$$

式中, o 为新的 $x(t)$ 。循环上述步骤能够获取若干个 IMF, 直至 $o(t)$ 大体表现为单调趋势为止^[11]。由此可得

$$x(t) = \sum_{i=1}^n c_i + o \quad (7)$$

通过式(7)能够充分说明经验模态分解的完备性。

1.2.2 Hilbert 变换

以 $X(t)$ 表示随机不间断实信号, 其 Hilbert 正变换和反变换可分别表示为

$$Y(t) = \frac{1}{\pi} \int_{-\infty}^{+\infty} \frac{X(\tau)}{T - \tau} d\tau \quad (8)$$

$$X(t) = \frac{1}{\pi} \int_{-\infty}^{+\infty} \frac{t(\tau)}{T - \tau} d\tau \quad (9)$$

式中: T 为当前时刻; τ 为积分变量。

基于式(8)和式(9)构建的复共轭对能够获取解析信号为

$$Z(t) = X(t) + jY(t) = a(t)e^{j\delta(t)} \quad (10)$$

式中, $a(t)$ 和 $\delta(t)$ 分别为瞬时振幅和相位, 其计算公式为

$$a(t) = \sqrt{[X^2(t) + Y^2(t)]} \quad (11)$$

$$\delta(t) = \arctan \frac{Y(t)}{X(t)} \quad (12)$$

基于上述过程, 获取瞬时频率 $f(t)$, 即

$$f(t) = \frac{1}{2\pi} \frac{d\delta(t)}{dt} \quad (13)$$

进一步能够得到

$$X(t) = \operatorname{Re} \sum_{i=1}^n a_i(t) e^{j\delta_i(t)} = \operatorname{Re} \sum_{i=1}^n a_i(t) e^{j\int \omega_i(t) dt} \quad (14)$$

式中: Re 表示取实部; $\omega(t)$ 为解析信号的虚部。

Hilbert 频谱 $H(\omega, t)$ 可表示为

$$H(\omega, t) = \operatorname{Re} \sum_{i=1}^n a_i(t) e^{j\int \omega_i(t) dt} \quad (15)$$

$H(\omega, t)$ 能够准确反映供电电源系统电能质量信号幅值在整个频率段上受频率与时间波动影响的规律^[12]。

依照初始信号长度对上次 Hilbert 频实施积分处理, 即

$$H(\omega) = \int_0^T H(\omega, t) dt \quad (16)$$

式中, $H(\omega)$ 为 Hilbert 边际频, 能够描述供电电源系统电能质量信号幅值, 其受频率波动影响显著。

1.3 电能质量稳定性分析

在获取供电电源系统电能信号后, 利用基于 HHT 的电能质量稳定性监测算法监测供电电源系统电能质量信号帧中谐波频率、幅值以及电能质量扰动信号的扰动时间、频率与幅值等, 将固定时间内完整的电能质量监测数据存储至数据库内。在不同压力(不同电能质量信号帧数量)条件下^[13], 通过监测到的电能质量信号的丢帧率、准确率和传输时延, 分析电能质量的稳定性。

1.3.1 电能质量信号丢帧率计算

以 ϕ_L 表示电能质量稳定性监测过程中电能质量信号帧的丢帧率, 其计算公式为

$$\phi_L = 1 - \frac{n_R}{n_S} \quad (17)$$

式中, n_R 为固定测试时间内获取的电能质量信号帧数, 可经由统计数据库内包含时间标记的数据帧获取^[14]; n_S 为固定测试时间内电能质量信号采集命令数。

1.3.2 电能质量信号准确率计算

以 ϕ_C 表示电能质量信号监测结果准确率, 其计算公式为

$$\phi_C = \frac{n_C}{n_U} \quad (18)$$

式中, n_C 为固定监测时间内准确监测的电能质量信号帧数; n_U 为固定测试时间内 Hilbert 变换处理的帧数。

1.3.3 电能质量信号传输时延计算

在发送电能质量信号采集命令前将本地计算机时间写入信号帧^[15], 并在接收到信号帧的条件下, 存储信号帧接收时间, 由此确定电能质量信号传输

时延,即

$$t_T = t_R - t_S \quad (19)$$

式中, t_R 和 t_S 分别为本地计算机时间和电能质量信号帧接收时间。

2 测试分析

为验证本文所研究方法的应用效果,选取某供电电源系统为实验对象,采用本文方法对其电能质量稳定性进行测试,该供电电源系统结构如图 2 所示。L 是火线, N 是零线, KM 是控制启停的接触器, FU 是熔断器, Q 是电源开关, S 是操纵开关。

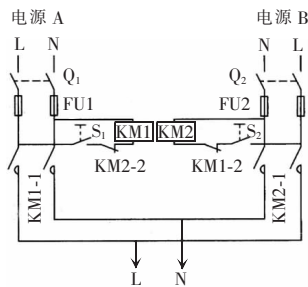


图 2 供电电源系统结构

Fig. 2 Structure of power supply system

该供电电源系统为双电源供电系统,接入两个 10 kV 电源, 负荷额定电压 220 V, 负荷额定功率 10 kW, 通过快速切换开关与装机容量为 500 kVA 的变压器相连, 实现供电电源切换, 减少功率单元内的直流电容。变压器降低电压后, 通过隔离开关将低压电传输给供电设备。

2.1 数据采集精度测试

在设定的实验环境下, 采用本文方法测试目标供电电源系统电能质量的稳定性, 图 3 为测试过程中数据采集效率。

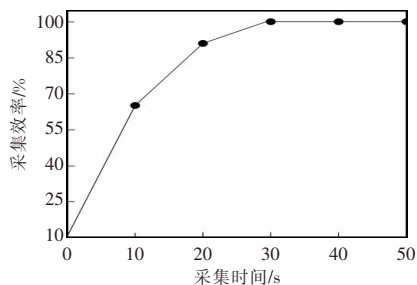


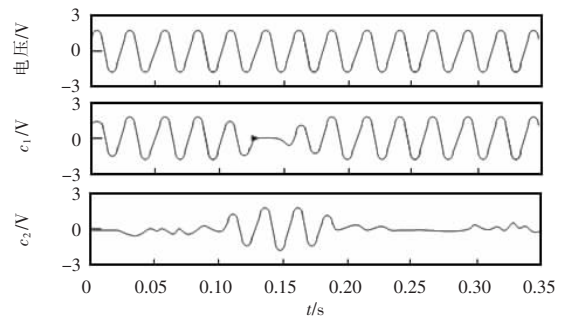
图 3 测试过程中数据采集效率

Fig. 3 Efficiency of data acquisition in testing process

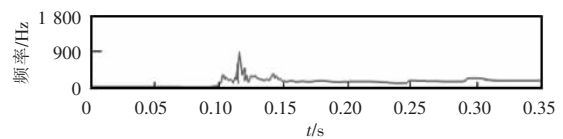
分析图 3 可得, 本文方法测试过程中, 数据采集效率较快, 基本在 30 s 内即可将数据采集效率提升至 100%, 由此显著提升了监测电能质量稳定性的实时性。

2.2 电能质量谐波信号的 HHT 分析

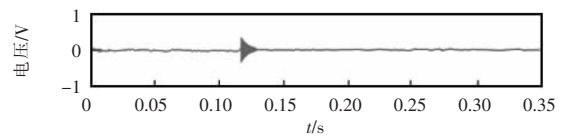
暂态振荡信号取代初始物理过程曲线位置导致各 IMF 无法成像实际的物理过程, 可定义为模态混叠现象。在初始信号内引入一个已知高频信号, 通过对比提取频率高于引入信号或波动与引入信号雷同的信号, 以此获取暂态振荡信号的振荡幅值。设定采样频率与振荡频率分别为 3 250 和 550 Hz, 信号突变时间与振荡幅值分别为 0.013 s 和 0.337 5 V。采用本文方法监测暂态振荡信号的发生时刻及频率, 结果如图 4 所示。



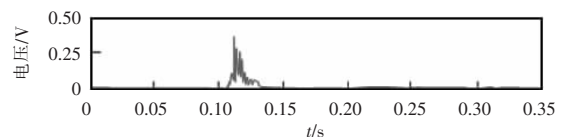
(a) 暂态振荡信号与 IMF 分量



(b) 瞬时频率



(c) 分离的暂态振荡信号



(d) 振荡幅值

图 4 电能质量监测分析

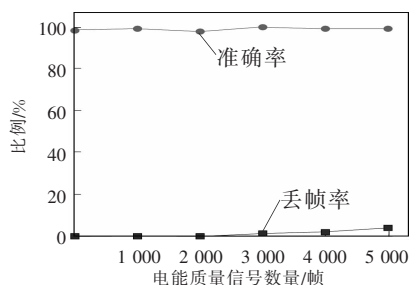
Fig. 4 Power quality monitoring analysis

图 4(a) 所示为目标监测过程中暂态振荡信号, c_1 和 c_2 表示 IMF 分量, 0.013 s 时产生信号突变,

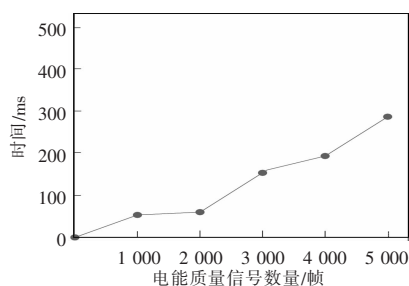
c_1 和 c_2 均作出反应,可以看出,两者能够由暂态信号进行补偿,取代初始物理过程中曲线位置,因此在 c_2 内生成的信号同 c_1 正常频率相对应。引入一个已知高频信号,即图 4(b),对其实施经验模态分析,获取 c_1 与引入信号后新的 c_1 的差值,结果如图 4(c)所示。通过计算 c_1 的 Hilbert 包络幅值上限能够得到振荡信号的振荡幅值为 0.350 5 V,如图 4(d)所示。由此,对比振荡幅值的差值,可有效监测供电电源系统电能质量的稳定性。

2.3 稳定性测试结果

设定电能质量数据帧更新率为 1 Hz,数量由 0 提升至 1 000 帧,持续 5 min,使电能质量数据帧达到 5 000 帧。在此条件下获取本文方法对目标稳定性的测试结果,如图 5 所示。



(a) 准确率与丢帧率



(b) 传输时延

图 5 目标稳定性测试结果

Fig. 5 Results of target stability test

分析图 5 可得,随着电能质量信号数量逐渐增多,目标丢帧率呈上升状态:在电能质量信号数量达到 2 000 帧时,目标的丢帧率达到 0%左右;在电能质量信号数量达到 5 000 帧时,目标的丢帧率达到 5%左右。丢帧率显著上升是由于目标通信服务程序无法实时响应 ip 包导致断线问题发生,令目标丢帧率上升。随着电能质量信号数量逐渐增多,

监测的准确率始终高于 99.5%,由此说明目标在数据传输与处理过程中具有较高的精度,误差可忽略。电能质量信号数量逐渐达到 5 000 帧时,目标传输时延始终低于 300 ms,且波动幅度较小,说明本文方法监测电能质量稳定性具有较高的传输效率。

2.4 应用效果

采用本文方法对目标稳定性进行测试,以此选取满足使用需求的目标,对无法满足使用需求的目标及时进行维护与更新,能够显著提升供电电源系统电能质量稳定性的监测效果。将采用本文方法测试目标稳定性前后供电电源系统电能质量稳定性监测错误率变化情况,与文献[7]和文献[11]方法进行对比,结果如表 1 所示。

表 1 供电电源系统错误率结果对比

Tab. 1 Comparison of error rate result of power supply system

月份	采用本文方法前	采用本文方法后	文献[7]方法	文献[11]方法
1	1.82	0.81	1.42	1.35
2	1.97	0.86	1.66	1.25
3	1.66	0.72	1.53	1.23
4	1.46	0.49	1.23	1.38
5	1.33	0.51	1.32	1.24
6	1.24	0.46	1.12	1.26
7	1.69	0.78	1.54	1.23
8	1.88	0.82	1.86	1.74
9	1.86	0.90	1.54	1.54
10	1.39	0.48	1.35	1.34
11	1.45	0.50	1.24	1.21
12	1.79	0.83	1.07	1.57

分析表 1 可得,采用本文方法选取的目标监测供电电源系统电能质量稳定性后,错误率呈显著下降趋势,而其他两种方法电能质量稳定性监测的错误率远高于应用本文方法后的监测结果,由此说明本文方法能够显著降低供电电源系统电能质量稳定性监测的错误次数,提升电能质量稳定性的分析效果。

由此可见,本文方法可适用于非平稳信号突变点的检测,而传统方法对于实际信号的高频部分和

高频噪声难以进行有效区分,对非平稳信号突变的检测能力要差得多。

3 结语

本文研究供电电源系统电能质量稳定性监测方法,利用经验模态分解法突出了信号特征,采用 Hilbert 变换方法对信号特征进行了变换分析,并从丢帧率、准确率和传输延时 3 个角度完成了对供电电源系统电能质量稳定性的判定,实现了对电能质量稳定性的分析。通过实验验证了本文方法的性能,测试结果显示本文方法能够降低供电电源系统电能质量稳定性监测的错误率,为电能质量的分析和进一步提升提供了一定的参考。

参考文献:

- [1] 刘豪,甘昭辉,蒋朝阳,等. 基于直流供电系统电能质量分析的牵引整流变压器绕组故障诊断[J]. 变压器, 2019, 56(10): 40-47.
Liu Hao, Gan Zhaohui, Jiang Zhaoyang, et al. Winding fault diagnosis of traction rectifier transformer based on power quality analysis of dc power supply system [J]. Transformer, 2019, 56(10): 40-47 (in Chinese).
- [2] 戴丽君,成明华. 基于 SVG 的电力机车供电系统电能质量综合补偿技术研究[J]. 电力电容器与无功补偿, 2020, 41(1): 66-71.
Dai Lijun, Cheng Minghua. Study on comprehensive compensation technology for power quality of electric locomotive power supply system based on SVG [J]. Power Capacitor & Reactive Power Compensation, 2020, 41(1): 66-71 (in Chinese).
- [3] 何彦平,吴兆彬,刘海潮. 基于 MATLAB 的电力系统短路故障下暂态稳定性的仿真分析[J]. 电子设计工程, 2020, 28(2): 165-168.
He Yanping, Wu Zhaobin, Liu Haichao. The simulation and analysis about transient stability on power system under short circuit fault by MATLAB [J]. Electronic Design Engineering, 2020, 28(2): 165-168 (in Chinese).
- [4] 王彬,孙勇,吴文传,等. 协同电网安全性与经济性的新能源优先实时调度方法及应用[J]. 电力系统自动化, 2020, 44(16): 128-139.
Wang Bin, Sun Yong, Wu Wenchuan, et al. Real-time prior dispatch method for renewable energy with safety and economy coordination of power grid and its application [J]. Automation of Electric Power Systems, 2020, 44(16): 128-139 (in Chinese).
- [5] 燕刚,杨亚丽,刘华,等. 智能变电站监控系统雪崩自动测试系统的开发及应用[J]. 电力系统保护与控制, 2019, 47(18): 190-195.
Yan Gang, Yang Yali, Liu Hua, et al. Development and application of reference data avalanche automatic test system of smart substation monitoring system [J]. Power System Protection and Control, 2019, 47(18): 190-195 (in Chinese).
- [6] 赵会茹,赵一航,郭森. 基于互补集合经验模态分解和长短期记忆神经网络的短期电力负荷预测[J]. 中国电力, 2020, 53(6): 52-59.
Zhao Huiru, Zhao Yihang, Guo Sen. Short-term load forecasting based on complementary ensemble empirical mode decomposition and long short-term memory [J]. Electric Power, 2020, 53(6): 52-59 (in Chinese).
- [7] 周金,高云鹏,吴聪,等. 基于改进小波阈值函数和 CEEMD 电能质量扰动检测[J]. 电子测量与仪器学报, 2019, 33(1): 146-153.
Zhou Jin, Gao Yunpeng, Wu Cong, et al. Detection of power quality disturbances based on improved wavelet threshold function and CEEMD [J]. Journal of Electronic Measurement and Instrumentation, 2019, 33(1): 146-153 (in Chinese).
- [8] Sahani M, Dash P K. FPGA-based semisupervised multi-fusion RDCNN of process robust VMD data with online kernel RVFLN for power quality events recognition [J]. IEEE Transactions on Neural Networks and Learning Systems, 2022, 33(2): 515-527.
- [9] 闫群民,李玉娇. 基于多频段电力系统稳定器的电力系统暂态稳定性优化策略[J]. 现代电力, 2020, 37(2): 139-144.
Yan Qunmin, Li Yujiao. Optimization strategy of power system transient stability based on multi-band power system stabilizer [J]. Modern Electric Power, 2020, 37(2): 139-144 (in Chinese).
- [10] 苏安龙,孙志鑫,何晓洋,等. 基于多元经验模式分解的电力系统低频振荡模式辨识[J]. 电力系统保护与控制,

- 2019, 47(22):1 13-125.
- Su Anlong, Sun Zhixin, He Xiaoyang, et al. Identification of power system low frequency oscillation mode based on multivariate empirical mode decomposition [J]. Power System Protection and Control, 2019, 47(22): 113-125 (in Chinese).
- [11] 张宝群, 胡长斌, 马龙飞, 等. 基于小信号稳定性分析的含 VSG 微电网电能质量主动控制[J]. 电力系统自动化, 2019, 43(23): 210-216.
- Zhang Baoqun, Hu Changbin, Ma Longfei, et al. Active power quality control for microgrid with virtual synchronous generator based on small-signal stability analysis [J]. Automation of Electric Power Systems, 2019, 43(23): 210-216 (in Chinese).
- [12] 袁小明, 李胜. 电力系统中变换器电流时间尺度动态过程分析的幅值/频率调制方法[J]. 中国电机工程学报, 2020, 40(15): 4732-4743.
- Yuan Xiaoming, Li Sheng. An amplitude/frequency modulation based method of voltage source converter for power systems dynamic analysis in current control timescale [J]. Proceedings of the CSEE, 2020, 40(15): 4732-4743 (in Chinese).
- [13] 屈志坚, 范明明, 周锐霖, 等. 海量配电网调度监测信息的非主行键倒排索引查询技术[J]. 电力系统保护与控制, 2018, 46(23): 168-174.
- Qu Zhijian, Fan Mingming, Zhou Ruilin, et al. Inverted index query technique of non-primary key for mass dispatch and monitoring information of distribution network [J]. Power System Protection and Control, 2018, 46(23): 168-174 (in Chinese).
- [14] 李伟, 霍雪松, 张明, 等. 基于残差全连接神经网络的电力监控系统异常行为检测方法[J]. 东南大学学报(自然科学版), 2020, 50(6):1062-1068.
- Li Wei, Huo Xuesong, Zhang Ming, et al. Abnormal behavior detection method for power monitoring system based on fully connected residual neural network [J]. Journal of Southeast University(Natural Science Edition), 2020, 50(6): 1062-1068 (in Chinese).
- [15] Wang Lishu, Feng Guanghuan, Zhang Xu, et al. Design and performance test of concentration solar PV/TE compound power generation system [J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2018, 34(15): 246-254.



贾伯岩

作者简介:

贾伯岩(1978-),男,本科,正高级工程师。研究方向:配网运行分析。E-mail: dyjby1978@163.com。

贾静然(1990-),女,通信作者,硕士,工程师。研究方向:配网运行分析和技术研究。E-mail:jingranjia1990@126.com。

卢锦玲(1971-),女,博士,副教授。研究方向:配网运行分析和技术研究。E-mail: lujinling@126.com。

王文轩(1985-),男,硕士,高级工程师。研究方向:配网自动化技术和配网不停电作业。E-mail:mandp1985@163.com。

景皓(1982-),女,硕士研究生,高级工程师。研究方向:配电自动化技术研究。E-mail:jinghaohb1982@126.com。