

主动配电网状态估计功能测试平台设计

王 丰¹,李庆生²,唐学用²,凌万水¹,韩玘桓¹

(1. 上海金智晟东电力科技有限公司,上海 200233;

2. 贵州电网有限公司电网规划研究中心,贵州 贵阳 550003)

摘 要:为了解决主动配电网状态估计功能测试和验证缺乏方法和手段的问题,在电力系统仿真软件提供的状态估计功能模块的基础上,搭建了针对多种分布式电源接入的主动配电网状态估计功能测试平台。被测试主站导入测试平台基于模型标准导出的模型文件,满足模型一致型要求。测试平台基于主站注入法,将仿真软件提供的数据转化为标准规约数据,满足配电自动化主站模型接入数据的要求。以潮流计算结果叠加误差的方法为状态估计提供实验量测数据。搭建了包含多种分布式电源的主动配电网测试案例,针对提出的状态估计算法计算精度和坏数据处理能力评价指标进行计算,验证其有效性。在测试平台产生的大量测试案例和数据基础上,利用大数据分析针对状态估计算法给出了统计性评估指标,为主动配电网状态估计的功能测试提供了切实有效的手段。

关键词:电力系统仿真软件;状态估计计算;测试框架;主动配电网;大数据分析

文章编号:2096-4633(2019)09-0065-07 **中图分类号:**TM72 **文献标志码:**B

随着分布式能源大量接入配电网,以能源单向流动为管理模式的传统配电网无法针对分布式能源进行有效的管控。国际大电网会议 C6 委员会提出了主动配电网的概念,旨在解决大规模间歇式可再生能源的电网兼容性和优化一次能源结构等问题^[1]。主动配电网可观性和可控性的要求,对配电网状态估计提出了更高的要求。配电网状态估计利用了有限量测数据的冗余性,来提高数据精度,自动排除随机干扰,以数学方法对当前量测进行“过滤”,对不可观测数据进行补充来保证系统运行断面数据的完整和可靠,从而为下游高级应用提供数据基础^[2-7]。

关于主动配电网中状态估计的技术,文献[8]进行了全面的叙述,然而针对主动配电网状态估计的算法应用,缺乏一个明确的测试方法。文献[9]以主动配电网协调控制要求,利用 DIgSILENT (digital simulation and electrical network) 实时仿真功能,测试控制设备和主站系统的运行性能,为主动配电网的运行测试提供了平台设计。针对主动配电网高级应用功能的测试(如状态估计),由于缺乏测试标准、检验步骤繁琐、检验过程存在较大的不确定性,还没有一个明确的实施方法。本文在电力系统仿真软件 DIgSILENT 的状态估计模块功能的基础上,搭建了主

动配电网状态估计功能测试平台。将被测试状态估计的计算结果同 DIgSILENT 状态估计模块计算结果进行比较,利用误差度量指标校验状态估计算法。测试平台提供的大量测试数据,可以利用大数据分析方法来衡量状态估计算法对量测误差的处理能力,评估算法的计算边界和收敛能力。目前,该方法已体现在贵州电网公司科技项目贵州电网主动化管理与评估体系研究(067600KK52170015)中。

1 DIgSILENT 软件状态估计功能介绍

DIgSILENT 提供了非常丰富的元件模型^[10],具有丰富的电力系统分析功能。DIgSILENT 状态估计模块包含三个部分:不良数据检测和辨识、可观性分析以及加权最小二乘状态估计。三部分的关系如图 1 所示。

DIgSILENT 状态估计软件功能选项,包括:针对不同量测的控制(是否参与计算、量测精度的设置、不良数据检测规则配置),针对状态估计算法的控制(迭代精度、迭代次数、收敛依据等)。利用 DIgSILENT 内部的数据库结构,状态估计的结果可以从界面显示出来,包括:量测值、估计值、偏差(绝对值/百分数)、是否可用、是否设置为伪量测、是否坏数据等。DIgSILENT 的状态估计模块针对量测设

置、可观性分析、坏数据检测和估计算法上,都提供了丰富的功能,做为对照算法验证被测试状态估计算法功能。

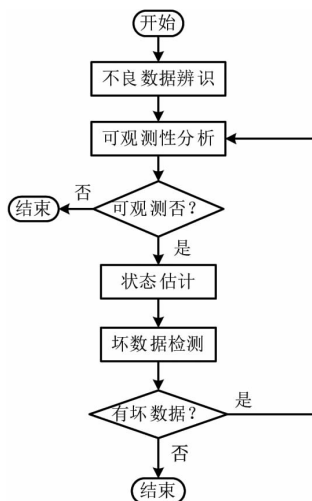


图 1 DIgSILENT 状态估计流程

Fig. 1 State estimation process in DIgSILENT

2 基于 DIgSILENT 接口的测试方法设计

DIgSILENT 提供了丰富的对外数据接口方式^[11]。本文提出的测试平台针对测试数据、测试模型和测试结果接口的要求,采用了以下三种接口方式:利用 DIgSILENT OPC 接口,将仿真信号转换为物理信号,注入给配电网主站系统,为主站提供量测数据;利用 DIgSILENT 提供的 CIM (common information model) 模型^[12]导出接口,将被测试网络模型以 CIM 格式导出给主动配电网主站系统,实现了模型的一致;利用 DIgSILENT 的 DGS^[13] 格式文件,将结果数据导出,为验证被测试配电自动化状态估计算法提供量测数据和对照计算结果。三种数据接口如图 2 所示。

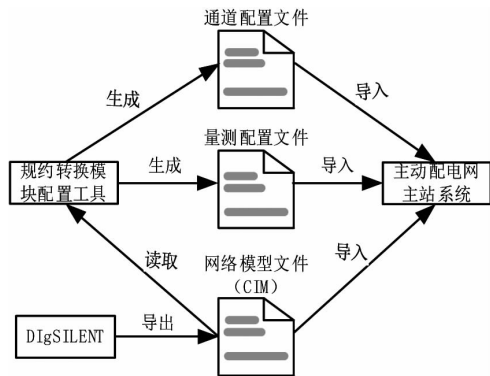


图 2 流程图

Fig. 2 Flow diagram

2.1 测试系统量测数据接口设计

配电自动化主站支持 IEC60870 - 5 - 104 配电自动化标准规约。测试平台利用协议转换模块将 OPC (OLE for process control) 数据转换成 IEC60870 - 5 - 104 协议类型数据,同主动配电网主站之间利用标准 104 规约进行数据通信,实现了仿真量测数据对主动配电网主站平台的量测注入^[14]。

协议转换模块的配置工具根据主动配电网主站状态估计针对开关遥信和有功、无功、电流、电压遥测数据要求,生成 OPC 标签^[15],实现了 OPC Server 的自动配置,完成 SCADA 数据注入功能。

2.2 DIgSILENT 状态估计 OPC 标签配置

通过启动 DIgSILENT 的时域仿真模式,将电网的仿真数据,发送到 OPC Server。规约转换通讯接口 (OPC Client) 读入配置文件的信息体地址数据,放入实时库对应位置,104 规约程序将此数据传递给主动配电网主站 SCADA 系统。DIgSILENT 启动状态估计时,设备对象的量测值域为状态估计提供输入,结果域为状态估计的估计值。利用 DIgSILENT 提供的“中转”量测数据对象 (external DAT measurement),将状态估计的输入量测域作为“中转”数据的来源,然后将“中转”数据配置 OPC 接口。通过这种方式保证了对主动配电网主站注入量测数据和内部 DIgSILENT 状态估计输入量测的一致性。图 3 给出了 DIgSILENT“中转”量测的配置界面。

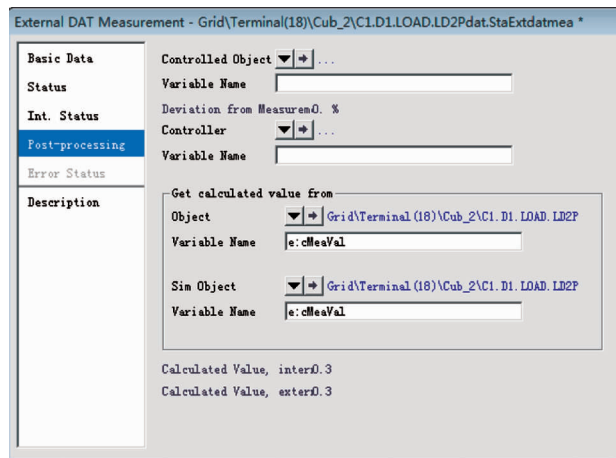


图 3 DIgSILENT“中转”量测配置界面

Fig. 3 Configuration dialogue of external DAT measurement

图 4 给出了测试平台针对 DIgSILENT 状态估计和时域仿真功能模块的数据流。

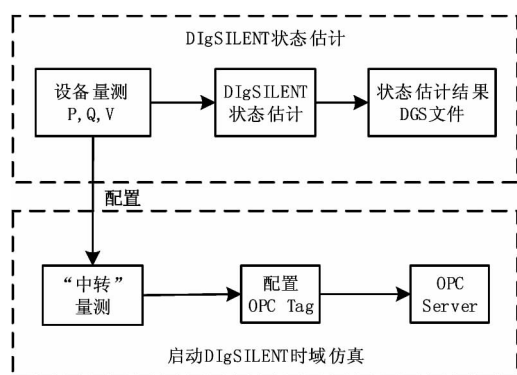


图4 DIgSILENT 状态估计测试数据流

Fig. 4 State estimation test data flow in DIgSILENT

2.3 状态估计测试结果比较设计

配电网采集到的数据量巨大,处理的过程又易受随机需求响应、应急减灾等因素的影响,针对状态估计算法^[16,17]在配电网,特别是主动配电网的应用必须经过严格的测试。设计测试案例时,可以针对网络模型和扰动量进行设计。在潮流计算结果的基础上叠加大扰动量,以观察状态估计针对量测数据的处理能力;也可以针对量测进行消减,以判断状态估计的可观测性判断能力。

利用 DIgSILENT 建立针对配电网状态估计计算的多个测试案例,计算结果以 DGS 格式导出。其导出内容包括以下信息:量测类型、量测值、估计值、量测误差、是否坏数据、量测精度等。DIgSILENT 的状态估计计算完成后,将其结果同潮流计算结果进行比较,给出针对估计算法的误差指标,做为状态估计计算的对照结果。图5给出了状态估计结果误差指标计算流程图。其中 Δ 表示在潮流计算基础上叠加的误差,做为状态估计的量测误差。

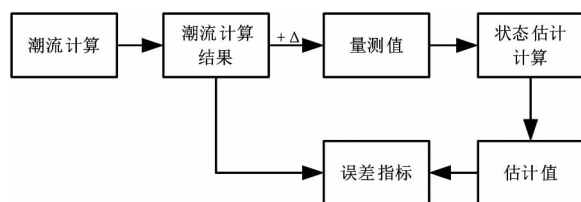


图5 状态估计结果误差指标计算流程

Fig. 5 Error index calculation process for state estimation results

3 状态估计测试评估方法

可以利用针对量测的坏数据判断来验证状态估计坏数据的处理能力。针对 DIgSILENT 的坏数据集合和被测试主站系统的状态估计结果中的坏数据

集合进行一致性校验。校验指标包括:整体重合度比率,用来衡量共有数据针对全部来源数据的重合度。个体重合度比率,用来衡量共有数据针对个体来源的重合度。通过这两个指标可以衡量算法针对坏数据检验的偏离度。当两个比率都接近1时,可以认为针对坏数据的检验是一致的。重合度指标的示意如图6所示。

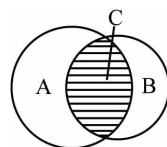


图6 重合度示意图

Fig. 6 Overlapping index diagram

测试 A 和 B 的整体重合度比率:

$$O_{all} = \frac{C}{A + B - C}$$

测试 A 的个体重合度比率:

$$O_A = \frac{C}{A}$$

测试 B 的个体重合度比率:

$$O_B = \frac{C}{B}$$

式中, A 表示测试结果 A 的坏数据集合; B 表示测试结果 B 的坏数据集合; C 表示 A 和 B 测试结果共有的坏数据集合。整体重合度是为了表征两个测试结果的趋同性,越接近1,越相似。个体重合度比率表征相对两个测试结果的偏离度。如 O_A 表示 A 包含 B 的程度; O_B 表示 B 包含 A 的程度。

利用 DIgSILENT 潮流计算的结果做为估计真值进行比较,来衡量主动配电网状态估计计算结果的准确性。采用以下指标来衡量计算偏差:

绝对误差率表示了偏离的大小,占总体量测值的大小。绝对误差率按如下公式计算:

$$|E| = \frac{\sum_{i=1}^n |\hat{x}_i - x_i|}{\sum_{i=1}^n |x_i|} \quad (1)$$

还可以计算两个向量的平均相对误差,作为评估计算算法相对误差的指标。平均相对误差按如下公式计算:

$$|e| = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{|\hat{x}_i - x_i|}{|x_i|} \quad (2)$$

式中, $\hat{x}_i$ 为测试组的计算结果向量; x_i 为对照组结果向量, n 为向量个数。在计算过程中, 剔除了对照组为零值的情况。

4 基于大数据分析的评估方法

测试平台基于 DIgSILENT 仿真较为真实地反映电力系统实际运行状况, 可以产生大量测试数据, 为大数据分析计算提供基础^[18-19], 提供衡量状态估计算法的统计结果。以衡量计算偏差的绝对误差为大数据研究的目标属性, 根据叠加误差 (Δ) 的不同, 生成计算偏差误差的大数据样本空间。根据状态估计计算可能误差产生的原因, 确立量测误差为特征属性。对每个测试案例场景下的目标属性和特征属性集合, 采用最小二乘法进行回归, 形成表达目标属性和特征属性关系的一次多元多项式, 如下公式 (3) 所示。

$$\Delta E_s = a_{s1}x_{s1} + a_{s2}x_{s2} + a_{s3}x_{s3} + \cdots + a_{sn}x_{sn} \quad (3)$$

式中, ΔE_s 为计算偏差误差; $x_{s1}, x_{s2}, \cdots, x_{sn}$ 为各个量测值上的叠加误差; $a_{s1}, a_{s2}, \cdots, a_{sn}$ 为回归系数, 可以基于大数据方法计算出。回归系数反映了量测误差对计算偏差影响的统计结果, 根据标准算法计算出的回归系数, 可以用来建立量测误差测试

案例集。针对被测试系统状态估计算法, 计算所有 n 个测试案例的偏差误差的均值 (μ) 和均方差 (σ), 如下公式 (4) 和 (5) 所示。

$$\mu = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \Delta E_{si} \quad (4)$$

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (\Delta E_{si} - \mu)^2} \quad (5)$$

其中, 均值越接近零表明了状态估计算法针对量测误差的处理能力越好, 均方差越小表明算法的稳定性越好, 给出了大数据下衡量算法性能的统计结果。

5 算例分析

在 DIgSILENT 中搭建四变电站主动配电网测试算例模型 (如图 7 所示)。各个开关设备的有功/无功量测、单端设备 (负荷、分布式能源、储能设备) 的有功/无功量测、母线的电压量测。10 kV 各条馈线段的电阻/电抗都取为 0.01 欧姆, 各个负荷的有功、无功分别为 300 kW 和 100 kVar; 35 kV 连接外电网线路电阻和电抗分别取为 0.21 欧姆和 0.373 欧姆。DIgSILENT 潮流计算结果如下表 1 所示。

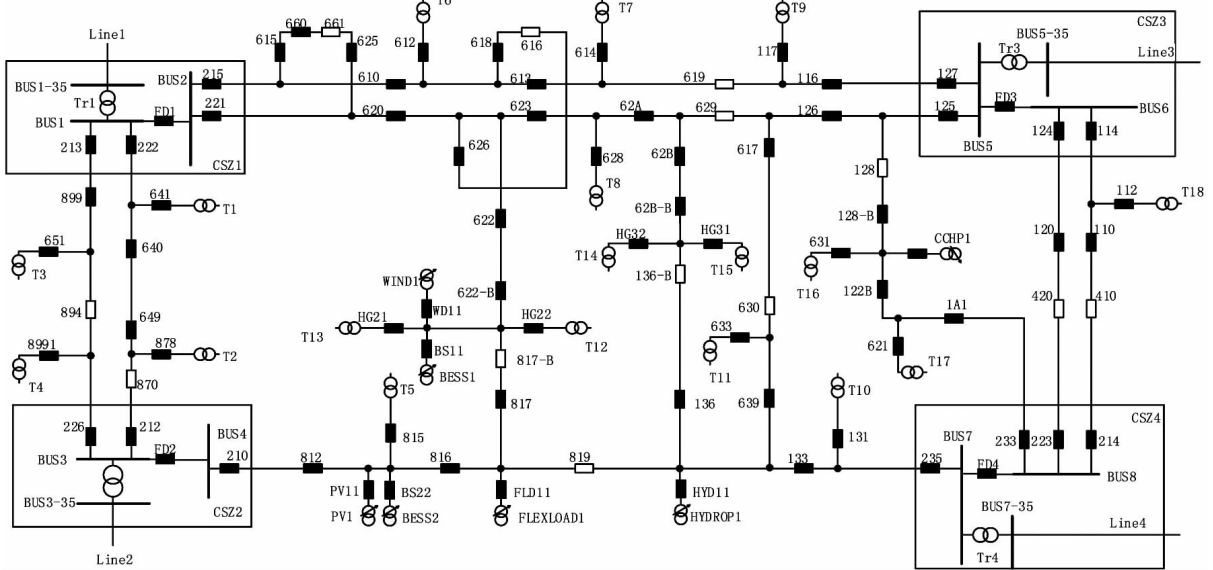


图 7 四变电站主动配电网示意图

Fig. 7 Schematic diagram of active distribution network of four substations

将潮流计算的结果, 填入状态估计量测输入, 进行计算。将电压幅值量测的权重调高 (10 倍于一般量测), 可以得到与潮流计算基本无差的支路潮流有功、无功结果。

以下针对不同的测试案例, 执行 DIgSILENT 状态估计计算, 进行评估。

案例一: 将所有的负荷量测有功增大 30%, 无功量测增大 80%。

表 1 主要母线节点潮流计算结果

Tab. 1 Power flow calculation results of main bus node voltage

母线	电压幅值/kV	电压相角/度	母线	电压幅值/kV	电压相角/度
BUS - 35	35	0	BUS3	9.980 635	-0.189 89
BUS1 - 35	34.967 66	-0.040 30	BUS4	9.980 635	-0.189 89
BUS3 - 35	34.992 86	-0.007 57	BUS5	10.008 72	0.151 045 8
BUS5 - 35	35.004 35	0.007 155	BUS6	10.008 72	0.151 045 8
BUS7 - 35	35.044 0	0.040 53	BUS7	10.064 35	0.522 839 8
BUS1	9.955 411	-0.493 46	BUS8	10.064 35	0.522 839 8
BUS2	9.955 411	-0.493 46			

场景 A:使用 DIgSILENT 缺省坏数据检查门槛参数运行状态估计,可以将负荷量测有功坏数据全部检测出来(36 个)。此时针对估计真值(潮流值)计算的量测平均相对误差和绝对误差率如表 2 所示。

表 2 案例一场景 A 误差计算结果

Tab. 2 Calculation results for scenario A of case I

平均相对误差	绝对误差率
0.011 0	0.037 9

场景 B:放宽坏数据检查门槛(增大 50%),此时只有部分坏数据被检测出来(21 个)。此时的量测平均相对误差和绝对误差率如表 3 所示。

表 3 案例一场景 B 误差计算结果

Tab. 3 Calculation results for scenario B of case I

平均相对误差	绝对误差率
0.094 5	0.070 3

两种情况的坏数据整体重合度比率和部分重合度比率如表 4 所示。

表 4 案例一重合度计算结果

Tab. 4 Overlap index results for Case I

整体重合度	A 部分重合度	B 部分重合度
0.583	0.583	1.000

可以看出,A 检测出的坏数据包含 B 检测出坏数据的比率为 0.583;而 B 中包含有 A 坏数据为 1。如果 A 为对照标准,则 B 只是检测出来 58.3%的坏数据,效果不是很理想。如果 B 为对照标准,则 A 不仅全部检测出坏数据,并且将一些非坏数据的也认为是坏数据了。在状态估计测试评估中,可以采用 DIgSILENT 状态估计结果作为对照标准,以此校

验主动配电网状态估计坏数据检测效果。

案例二:将所有开关量测有功增加 10%,无功增加 10%。

场景 A:利用 DIgSILENT 缺省参数运行状态估计,在坏数据中可以将 11 个量测坏数据检测出来。此时计算的有功量测的平均相对误差和绝对误差率如表 5 所示。

表 5 案例二场景 A 误差计算结果

Tab. 5 Calculation results for Scenario A of case II

平均相对误差	绝对误差率
0.0590	0.1198

场景 B:放宽坏数据检查门槛(增大 50%),此时只有 9 个量测坏数据被检测出来,此时计算的有功量测平均相对误差和绝对误差率如表 6 所示。

表 6 案例二场景 B 误差计算结果

Tab. 6 Calculation results for scenario B of case I

平均相对误差	绝对误差率
0.178 2	0.132 6

两种情况的坏数据整体重合度比率和部分重合度比率如表 7 所示。

表 7 案例二重合度计算结果

Tab. 7 Overlap index calculation results for case II

整体重合度	A 部分重合度	B 部分重合度
0.818 2	0.818 2	1.000

由以上两个测试案例可以看出,针对不同量测扰动情况,采用平均相对误差和绝对误差率可以针对不同状态估计算法的精度进行评估。在衡量坏数据检验能力时,整体重合度用来衡量两种算法结果的趋同性;而部分重合度,可以基于标准参照,来衡

量另一种情况的偏移程度。利用整体重合度结合部分重合度的方法,可以用来衡量状态估计针对坏数据的处理能力,并给出度量。

6 结论

本文在 DigSILENT 状态估计模块功能的基础上,提出了一种利用 DigSILENT 数据接口实现主动配电网主站系统状态估计应用模型搭建、量测配置和量测注入的方法,并在此基础上进行了主动配电网状态估计的功能测试。

采用以上测试方法,针对状态估计测试时,本文利用 DigSILENT 搭建主动配电网四变电站模型,并在此基础上构建了状态估计量测模型,对状态估计计算进行了测试。利用整体重合度和部分重合度对状态估计的坏数据辨识能力进行评估,采用平均相对误差和绝对误差率对状态估计计算精度进行评估。算例表明总体重合度和部分重合度相结合的方法,可以有效评估状态估计对坏数据的辨识能力。平均相对误差和绝对误差率可以给出状态估计计算精度的度量,为验证主动配电网状态估计算法提供了测试手段。

参考文献:

- [1] 刘洪,徐正阳,葛少云,等.考虑储能调节的主动配电网有功—无功协调运行与电压控制[J].电力系统自动化,2019,43(11):51–58.
LIU Hong, XU Zhengyang, GE Shaoyun, et al. Coordinated operation of active-reactive power and voltage control for active distribution network considering regulation of energy storage[J]. Automation of Electric Power Systems, 2019, 43(11): 51–58.
- [2] JESUS P M, QUINTANA A A. Distribution system state estimation model using a reduced quasi-symmetric impedance matrix[J]. IEEE Transactions on Power Systems, 2015, 30(06): 2856–2866.
- [3] ALIMARDANI A, THERRIEN F, ATANACKOVIC D, et al. Distribution systems state estimation based on nonsynchronized smart meters[J]. IEEE Trans on Smart Grid, 2015, 6(06): 2919–2928.
- [4] 王少芳,刘广一,黄仁乐,等.多采样周期混合量测环境下的主动配电网状态估计方法[J].电力系统自动化,2016,40(19): 30–36.
WANG Shao Fang, LIU Gangyi, HUANG Renle, et al. State estimation method for active distribution networks under environment of hybrid measurements with multiple sampling periods[J]. Automation of Electric Power Systems, 2016, 40(19): 30–36.
- [5] 卫志农,陈胜,孙国强,等.含多类型分布式电源的主动配电网

分布式三相状态估计[J].电力系统自动化,2015,39(09):68–74.

WEI Zhihong, CHEN Sheng, SUN Guoqiang, et al. Distributed three-phase state estimation for active distribution network integrated with different types of distributed generators[J]. Automation of Electric Power Systems, 2015, 39(09): 68–74.

- [6] 蔡永智,陈皓勇,万楚林.基于最小二乘估计融合的分布式电力系统动态状态估计[J].电力系统自动化,2016,40(08):29–35+113.
CAI Yongzhi, CHEN Haoyong, WAN Chulin. Distributed dynamic state estimation for power systems based on least square estimation fusion[J]. Automation of Electric Power Systems, 2016, 40(08): 29–35+113.
- [7] 刘健,沈兵兵,赵江河,等.现代配电自动化系统[M].北京:中国水利电力出版社,2013.
- [8] 吴在军,徐俊俊,余星火,等.主动配电网状态估计技术评述[J].电力系统自动化,2017,41(13):182–191.
WU Zaijun, XU Junjun, YU Xinghuo, et al. Review on state estimation technique of active distribution network[J]. Automation of Electric Power Systems, 2017, 41(13): 182–191.
- [9] 陈云辉,刘东,凌万水,等.主动配电网协调控制的仿真测试平台[J].电力系统自动化,2015,39(09):54–60.
CHEN Yunhui, LIU Dong, LING Wanshui, et al. Simulation test bed for coordinated control of active distribution network[J]. Automation of Electric Power Systems, 2015, 39(09): 54–60.
- [10] 董炜,潘秋萍,雷金勇,等.BPA与DigSILENT动态模型的比较与数据转换[J].电力系统自动化,2016,40(08):140–146.
DONG Wei, PAN Qiuping, LEI Jinyong, et al. Comparison and data conversion between dynamic models of BPA and DigSILENT[J]. Automation of Electric Power Systems, 2016, 40(08): 140–146.
- [11] FRANCISCO M. GONZALEZ-LONGATT, JOSÉ LUIS RUEDA, Powerfactory applications for power system analysis[M]. New York: Springer, 2014.
- [12] 夏天雷,王林青,江全元.基于IEC 61970标准的风光储建模方案[J].电力系统自动化,2015,39(19):9–14.
XIA Tianlei, WANG Linqing, JIANG Quanyuan. IEC 61970 standard based modeling scheme of wind power, photovoltaic power, energy storage[J]. Automation of Electric Power Systems, 2015, 39(19): 9–14.
- [13] 孙雯,戎晓雪,别朝红,等.基于DigSILENT数据接口DGS的含风电电力系统随机潮流分析[J].电网与清洁能源,2014,30(10):102–110.
SUN Wen, RONG Xiaoxue, BIE Zhaohong, et al. Analysis of probabilistic load flow in power grid integrated with wind farms based on DGS data interface of DigSILENT[J]. Power System and Clean Energy, 2014, 30(10): 102–110.
- [14] 刘健,张志华,陈宜凯,等.适用于含DG配电网故障处理性能测试的主站注入测试技术[J].电力系统自动化,2017,41

(13):119-124+132.

LIU Jian,ZHANG Zhihua,CHEN Yikai,et al. Host injection test technology for fault handling performance test of power distribution network with DG[J]. Automation of Electric Power Systems,2017,41(13):119-124+132.

[15] 翁嘉明,刘东,王云,等. 信息物理融合的有源配电网故障仿真测试技术研究[J]. 中国电机工程学报,2018,38(02):497-504.

WENG Jiaming,LIU Dong,WANG Yun,et al. Research on Fault Simulation of Active Distribution Network Based on Cyber Physical Combination[J]. Proceedings of the CSEE,2018,38(02):497-504.

[16] DAVIDE DELLA GIUSTINA, MARCO PAU,PAOLO ATTILIO PEGORARO,et al. Electrical distribution system state estimation: measurement issues and challenges[J]. IEEE Instrumentation & Measurement Magazine,2014,17(06):36-42.

[17] DAMAVANDI M G,KRISHNAMURTHY V,MARTI J R. [J]. Robust meter placement for state estimation in active distribution systems[J]. IEEE Transactions on Smart Grid,2015,6(04):1972-1982.

[18] 戴庆华,晏治喜,漆铭钧,等. 智能配电网大数据典型应用场景研究[J]. 电力大数据,2018,21(11):43-49.

DAI Qinghua,YAN Zhixi,QI Mingjun,et al. Research on typical application scenario of big data in smart distribution network[J]. Power Systems and Big Data,2018,21(11):43-49.

[19] 赵月辉,彭钰莹,顾全,等. 含分布式能源的主动配电网实时拓扑追踪[J]. 电力大数据 2018,20(6):44-50.

ZHAO Yuehui,PENG Yuying,GU Quan,et al. Real timetopology tracing for active power distribution network with distributed energ[J]. Power systems and big data. 2018,20(06):44-50.

收稿日期:2019-07-11

作者简介:



王 丰(1973),男,硕士,工程师。主要从事智能配电网、配电自动化、调度自动化研究工作。

(本文责任编辑:范 斌)

Design of test bed of state estimation functions for active distribution network

WANG Feng¹,LI Qingsheng²,TANG Xueyong²,LING Wanshui¹,HAN Qihuan¹

(1. Shanghai Wiscom Sunest Power Technology Co.,Ltd.,Shanghai 200233,China;

2. Power Grid Planning and Research Center of Guizhou Power Grid Co.,Ltd.,Guiyang 550003 Guizhou,China)

Abstract: In order to solve the problem that testing and verifying of state estimation for active distribution network is lack of feasible method and means,based on the state estimation function of power system simulation software,a test bed for state estimation functions for active distribution network with various types of distributed energy sources is established. The distribution automation master station imports the standard network model file generated by the test bed to keep the testing model consistent. Based on the host injection method,test bed converts the data provided by power system simulation software to standard protocol data for distribution automation master station. The test bed superimposes power flow results with noise signals as the measurement data for state estimation testing. An active distribution network test case including distributed energy resources has been established to calculate the indices presented for evaluating the precision of calculation and bad data handling capability. The effectiveness of the indices is verified by the test case. With numerous test cases and test data generated,the statistical evaluation index for the state estimation algorithm are given by using big data analysis method,which provides a feasible means for state estimation functional testing.

Key words:power system simulation software;state estimation;test bed;active distribution network;big data analysis