

电力系统不良数据检测与辨识方法的现状与发展

刘莉¹, 翟登辉², 姜新丽²

(1. 沈阳工程学院, 辽宁 沈阳 110136; 2. 沈阳理工大学, 辽宁 沈阳 110159)

摘要: 电力系统不良数据的存在会降低电力系统状态估计的收敛性能, 甚至造成电力系统状态估计的失败。回顾了国内外对电力系统不良数据检测与辨识方法的历史现状与发展, 从对检测和辨识不良数据的各种方法研究的时间顺序以及类别上出发, 将其分成基于传统方法和基于新理论方法这两大类并对其分别进行了详细阐述, 分析了各个算法的自身特点以及存在的问题, 并对该领域值得进一步研究的问题和方向进行了展望。

关键词: 电力系统; 不良数据; 检测; 辨识; 状态估计

Current situation and development of the methods on bad-data detection and identification of power system

LIU Li¹, ZHAI Deng-hui², JIANG Xin-li²

(1. Shenyang Institute of Engineering, Shenyang 110136, China; 2. Shenyang Ligong University, Shenyang 110159, China)

Abstract: Power system bad data can reduce convergence efficiency of state estimation, even can result in state estimation failure. This paper firstly reviews the current situation and development of the detection and identification of bad data from home and abroad. Then starting from the chronological study and categories of various methods of the detection and identification of bad data, it divides it into two categories, which are based on the traditional methods and new theoretical methods, and describes their differences in detail. And the characteristics of each algorithm, as well as inadequacy, are analyzed. Finally, this paper prospects the problems of worth studying in this area.

Key words: power system; bad data; detection; identification; state estimation

中图分类号: TM71 文献标识码: A 文章编号: 1674-3415(2010)05-00143-05

0 引言

目前电力系统发展速度很快, 电力网络的结构和运行模式也变得越来越复杂, 人们对电能的质量和网络运行的可靠性也提出了更高的要求, 对中心调度来说, 调度自动化已成为必不可少的一环, 但实时量测系统由于安排还不够合理, 冗余度低, 再加上通道传输等原因, 必须对实时量测数据进行不良数据的检测和辨识, 电力系统中的不良数据可能会影响调度员做出错误的决策, 进而影响电力系统的正常运行, 甚至可能威胁整个电力系统的安全。因此, 为了确保电力系统的稳定安全运行, 对不良数据的处理有着非常重要的意义。

所谓不良数据, 指的是测量误差很大的测量量。不良数据检测与辨识是电力系统状态估计的重要功能之一, 其功能是在获得状态估计值的基础上

依靠系统提供的多余信息, 发现和排除测量采样数据中偶然出现的少数不良数据, 以提高状态估计的可靠性。它激发了国内外许多学者的研究兴趣, 他们以数学、控制理论以及其他理论为指导, 并结合电力系统的特点, 在理论上对不良数据检测与辨识进行了大量的研究。迄今为止, 对不良数据检测与辨识这两方面取得了大量成果, 然而仍有不少问题未得到妥善解决, 随着电力系统规模的不断扩大, 电力工业管理体制不断向市场化迈进, 对不良数据的处理有了更高的要求, 各种新理论和新技术不断出现, 为更准确地进行不良数据的检测与辨识提供了可能。本文就电力系统不良数据的检测与辨识现状与发展进行了综合论述, 并对该领域值得研究的问题进行展望。

1 不良数据的研究现状

不良数据的检测与辨识对状态估计结果的正确性起至关重要的作用, 因此, 一直为国内外学者所关注^[1]。近期, 基于较前沿的数据挖掘技术方法普遍

基金项目: 沈阳市电网节能与控制重点实验室建设项目 (1072032-1-00)

被学术界认可并被实际应用所证明, 这种方法就是从大量的、不完全的、模糊的、随机的实际应用数据中提取正确、未知、可理解的以及有价值的信息, 通过使用这种技术, 存在于海量信息中的新的、有价值的信息可以被及时、有效地发现。于是, 数据挖掘技术也就很自然地应用在了电力系统当中, 特别是在不良数据的处理上涌现了很多的新方法和新理论; 目前, 不良数据的处理已经成为一个热门课题, 国内外已经提出了多种不良数据检测与辨识的方法, 大致分为以下两类:

(1) 传统的不良数据检测方法有目标函数极值检测法、加权残差 R_w 、检测法或标准化残差 R_n 检测法、测量量突变检测法等。传统的不良数据辨识方法主要有残差搜索法、非二次准则法、零残差法、估计辨识法^[2]等。

(2) 相对传统的一些新理论和新方法主要有基于数据挖掘的模糊数学法、神经网络法、聚类分析法、间隙统计法等。

2 传统的不良数据检测与辨识方法

针对传统的不良数据检测方法, 文献[3]将其大体分为两类: 量测量残差检测和量测量突变检测, 这类方法简单, 直观, 但有其缺陷, 前者检测的不良数据的可靠性不强, 存在误检(即可靠数据被检测为不良数据)和漏检(即有的不良数据没有被查出来)的问题, 于是文献[4]针对文献[3]中方法的缺点, 就将其与状态预估结合起来以克服其缺点; 后者可靠的前提是相邻采样时刻电力网络结构不变, 且前一时刻的量测数据可靠, 文献[5]就将上述文献[3-4]的两种方法结合起来在不同情况下选择相应的检测方法。

黄彦全^[6]采用突变量检测和抗差估计相结合的方法, 先检测出突变量, 再用抗差法进行检测, 并在 IEEE118 节点网络上进行了验证, 该方法的结果说明: 该方法既克服存在突变量时的误检, 又克服了漏检的情况, 有效地检测出不良数据, 确保了状态估计结果的可靠性。

传统数据辨识方法都是将加权残差 R_w 或者标准残差 R_n 作为特征值, 利用概率论的假设检验, 按照一定的置信水平确定一个门槛值, 然后对量测资料进行“非此即彼”的二值逻辑判断。1979年, 我国文献[7-8]分别独立地提出了不良数据的估计识别方法, 可用于多个不良数据的分析, 这两种估计识别方法虽然数学处理上略有不同, 但是基本思想是一致的。文献[9-14]所介绍的方法的共同缺点就是很可能出现残差污染和残差淹没现象, 从而造成漏检

和误检, 在出现多个不良数据的情况下, 使用这种方法经常会发生错误辨识的现象, 影响了辨识效果。由于这种常规的不良数据辨识算法采用非线性残差方程, 辨识过程中需要多次状态估计的计算, 因此计算量极大。此外采用线性化残差方程, 利用残差灵敏度矩阵的子矩阵计算测量的估计值, 由于灵敏度矩阵是高维满阵, 因此这种方法计算量仍很大。

近年来, 国内外学者^[15-18]对上述方法进行了研究, 提出了许多有益的改进意见。首先用于抑制量测误差影响的方法是在迭代过程中改变量测量的权值, 但是却增加了迭代次数, 甚至不收敛, 基于正则残差用检测方法, 可较好地检测与辨识单个或者多个不相关不良量测, 用增益矩阵的稀疏矩阵和用修正的量测值取代不良量测, 加快了该方法的速度。针对文献[10]中的非二次准则法, 应用快速 GivenS 变换, 将新量测增加到已处理过的量测集中, 可以用增益函数的增量近似代替正则残差的平方, 避免了计算残差灵敏度矩阵。文献[19]通过分析量测误差对残差的影响范围, 从而分离量测误差的传播区域, 以避免在全系统内检测辨识不良数据, 用降阶模型进行处理, 只需计算阶数不高的残差灵敏度矩阵元素。上述对基于加权正则残差方法的改进, 克服了该方法计算量大的缺点。

1990年我国学者相年德教授等人^[7]提出用估计的测量误差检测和辨识不良测量, 利用残差与测量误差之间的线性关系, 用降阶残差灵敏度矩阵计算测量误差的估计值, 张伯明等人^[20]在文献[8]的基础上进行了改进, 提出了递归测量误差估计辨识法, 用线性递归方式计算测量误差的估计值, 当增删可疑测量集中的测量时, 不需要计算降阶残差灵敏度矩阵的元素, 也不需要再估计, 大大加快了计算速度。Mili 等人^[9-10]同样利用降阶残差灵敏度矩阵和测量误差的估计值, 提出了假设检验辨识(hypothesis testing identification, 缩写为 HTI)的方法, 并能证明这些误差估计值之间不相关。1991年 vemPatiN 等人^[21]利用正交变换在行处理方面的优势对文献[9-10]中的 HTI 方法进行了改进, HTI 方法成功的关键是将全部不良测量列入可疑测量集。Yen 在考虑测量精度、测量仪表和数据传输可靠性的基础上提出联合优化和辨识方法。

3 新理论在不良数据检测与辨识中的应用

不良数据的处理一直是状态估计领域令人头痛的问题, 尤其是有多种不良数据存在时更加困难, 许多学者尝试用新理论解决这些难题^[22-33]。随着新理论的出现, 特别是数据挖掘技术在电力系统中的

实际应用以来,很多新方法就应用在电力系统不良数据辨识当中。

3.1 模糊学及其它理论在不良数据中的应用

1996年刘浩^[22]根据模糊数学理论提出了一种新的检测不良数据的动态聚类方法,它采用了标准残差 R_n 和两相邻采样时刻的量测数据差值 Δz ,作为两个特征进行模糊聚类分析,有效地克服了残差污染和残差淹没现象;文献[23]应用模糊聚类分析方法 ISODATA,寻求良数据和不良数据的聚类中心,并通过 R_n 和 Δz 两个特征值,迭代计算每一量测值的隶属度,再以0.5作为分界线,快速、准确地辨识出不良数据。文献[24]针对上述方法指出,动态聚类方法需要根据一定的经验准则事先选取某些聚类参数,如希望的聚类数目、初始分类矩阵等,然后按照某种聚类准则对各样本进行依次训练调节,直至目标函数收敛到最小为止;同时,由于在聚类算法中自变量待聚类点的坐标值与目标函数都是离散量,必然存在着许多局部极值。因此初始分类矩阵的选择对聚类结果有着很大的影响。

1975年,美国Michigan大学的Holland教授首次提出遗传算法(genetic algorithm, GA),该算法因具有全局优化搜索能力和鲁棒性强等特点而受到众学者们的重视,并且在电力系统领域开始得到了应用^[25];文献[25]在文献[23]ISODATA的基础上,用遗传算法形成初始分类矩阵,然后通过遗传操作进行迭代计算,最终获得全局最优解,从而进行了准确的不良数据辨识,避免了初始聚类中心对分类结果的影响。

3.2 数据挖掘在不良数据处理中的应用

随着神经网络的出现,由于具有处理非线性输入输出关系的能力,神经网络技术成为经常被使用的方法。文献[27]构造了一个反向传播神经网络,用于估计前的滤波,能辨识多种形式的量测误差,包括一致不良量测,采用典型工况的正确量测量数据作为反向传播神经网络的训练样本,以便实时监控能正确检测和辨识不良数据;文献[28]基于Kohonen的自组织映射(self organizing map, SOM)的数据投影技术,比较原始量测、正则残差和正则信息三种输入变量区别不良数据的能力,认为正则信息适于预计辅助状态估计器的预滤波阶段,是辨识不良数据阶段最好的输入变量,构造了一个基于(group method of data handling, GMDH)的神经网络,它采用正则信息作为输入变量检测和辨识不良数据。然而,神经网络方法的不足之处在于高度依赖网络的训练过程,训练样本的选定及其代表性将直接影响最后辨识的效果,阈值选取带有很大的主观性和经验性,使得实际应用比较困难。

针对神经网络方法的不足之处,2000年Tibshirini R., walther G^[29]提出了间隙统计的数据挖掘算法(Gap Statistic Algorithm, GSA),但是当时很多方面还有待于进一步完善,尤其是在参考数据集的产生问题上还没有一个很完善的过程;Shyh-Jier Huang等人^[30]在2002年就运用了GSA算法来对不良数据进行了处理,但是2003年在IEEE陆续出现了基于GSA方法应用的论文,说明这种方法有其一定的应用价值。目前GSA算法已经被广泛研究^[31-32],文献[32]指出GAP是一种应用于聚类分析中的方法,可以有效地估计数据集最合适的聚类数量。它通过产生一个参考的数据集,将参考数据与待检测数据的聚类离散度特性进行比较,判断两者之间的gap值,挖掘出隐藏在数据集内部的最合适聚类个数的信息。参考数据集的选取对结果的判断非常重要,但是在聚类个数较多时其计算量较大,期望能够有一种更加快速的算法来满足这种要求。另外,在①多个不良数据同时出现;②相互关联不良数据出现的情况下,单纯GSA方法进行电力系统不良数据辨识会出现误判^[31];于是2005年葛成等人^[32]针对文献[31]中的GSA算法的基础上又提出了一种判断聚类个数的新方法——基于GSA的肘形判据,并结合江苏局部电网的实时测量数据进行仿真分析,结果表明此方法克服了GSA算法出现的错误,具有很好的准确性和可靠性,计算速度也有很大的提高,是对原有GSA方法的改进和完善。就GSA方法而言,同时国内文献[33-34]也提出了将GSA聚类算法的数据挖掘技术融合神经网络技术和聚类算法的优点,应用于电力系统不良数据的辨识中,与传统的状态估计方法相比,此方法可避免残差污染和残差淹没现象。另外,在处理不良数据上运用抗差估计理论也是目前不少学者正在研究的课题^[35]。

4 结论

从目前国内外对电力系统不良数据检测与辨识方法的现状分析可知,应用于电力系统不良数据的检测与辨识的算法,主要有传统的状态估计方法与数据挖掘算法等新理论。

(1) 文章针对传统的不良数据检测方法的目标函数极值检测法、标准化残差 R_n 检测法等,以及不良数据辨识方法主要有残差搜索法、非二次准则法、估计辨识法^[49]等进行了详细的分析和论述。其中一些算法的缺点就是很可能出现残差污染和残差淹没现象,从而造成漏检和误检,由于这种常规的不良数据辨识算法采用非线性残差方程,辨识过程中需

要多次状态估计的计算,因此计算量极大,在实际应用上存在不足。

(2) 与传统的不良数据辨识方法相比,一些新理论如模糊数学和数据挖掘算法应运而生,显示出了数据挖掘对潜在问题以及规律有更高的预见性和较好的检测能力,如基于GSA的聚类算法能对电力系统不良数据进行正确检测和辨识,有效避免了误检和漏检现象。因此将较前沿的数据挖掘技术应用在电力系统不良数据检测和辨识当中,有着较好的前景。

5 研究方向展望

电力系统不良数据检测和辨识的研究已有很长时间,并且取得了丰硕的研究成果,随着新理论、新技术的不断涌现,在理论方面特别是在实际应用需要方面,检测和辨识不良数据仍有很多问题值得深入研究。我们认为在以下几个方面有重要的研究价值:

(1) 抗差估计理论^[35]应用于电力系统不良数据检测和辨识的进一步研究。

(2) 虽然基于数据挖掘的GSA的肘形判据应用于电力系统不良数据检测和辨识的仿真结果比较理想,但这只是原来一些方法相比的结果;再说,究竟将其应用在实际当中,效果如何有待进一步研究,目前已有将聚类分析用于状态估计的文献,因此,可以考虑将GSA与电力系统状态估计相结合,用于电力系统不良数据检测和辨识。

(3) 目前提出了一种新的方法——基于有效指数的k-means聚类算法^[36],可以考虑将这种算法应用在电力系统不良数据检测和辨识当中,如果结果理想,则比文中提到的GSA算法要简便,而且效果会更好。

(4) 新理论应用在电力系统不良数据检测和辨识中的理论探讨和实用化的可行性研究。并且这些理论应用在多种类型和多个相关不良数据的检测和辨识的研究。

参考文献

- [1] M B Do Cutto Filho, et al. Bibliography on Power System State Estimation(1968-1989)[J]. IEEE Trans on Power System, 1990, 5(3).
- [2] Huang Shyh-Jier. Enhancement of Anomalous Data Mining in Power System Predicting-Aided State Estimation[J]. IEEE Trans on power Systems, 2004, 19(1): 610-619.
- [3] Baldick R, Clements K A, Pinjo-Dazigal Z, et al. Implementing Non-Quadratic Objective Functions for State Estimation and Bad Data Rejection[J]. IEEE Trans on Power Systems, 1997,12(1).
- [4] 刘浩. 状态估计中不良数据的混合检测辨识法[J]. 电工技术杂志, 1999, 11(6): 18-20.
LIU Hao. Hybrid Detection and Identification Method of Bad Data in State Estimation[J]. Electro Technical Journal, 1999, 11(6): 18-20(in Chinese).
- [5] 张海波, 李林川. 电力系统状态估计的混合不良数据检测方法[J]. 电网技术, 2001, 25(10): 17-20.
ZHANG Hai-bo, LI Lin-chuan. A Hybrid Approach for Detection of Bad Data in Power System State Estimation[J]. Power System Technology, 2001, 25(10): 17-20(in Chinese).
- [6] Wu F F. Power System State Estimation: a Survey[J]. Electrical Power & System, 1990, 12(2).
- [7] 相年德, 王世纓, 于尔铿. 电力系统状态估计中的不良数据估计识别法[J]. 清华大学学报, 1979, 19(4): 1-19.
XIANG Nian-de, WANG Shi-ying, YU Er-keng. The Estimation-Identification Approach of Bad Data in Power System State Estimation[J]. Journal of Tsinghua University, 1979, 19(4): 1-19(in Chinese).
- [8] 马志强. 系统的可观测性与不良数据的再估计识别[J]. 电网技术, 1979, 3(2): 66-79.
MA Zhi-qiang. The System Observability and Bad Data Identification of the Re-estimation[J]. Power System Technology, 1979, 3(2): 66-79(in Chinese).
- [9] Mili L, Chenial M G, Rousseeuw P J. Robust State Estimation of Electrical Power Systems[J]. IEEE Transaction on Circuits and Systems(1): Fundamental Theory and Applications, 1994, 41(5).
- [10] Mili L, Chenial M G, Viachare N S, et al. Robust State Estimation Based on Project Statistic[J]. IEEE Trans on Power Systems, 1996, 11(2).
- [11] Holten L, Gjesvik A, Anm S, et al. Comparison of Different Methods for State Estimation[J]. IEEE Trans on Power Systems, 1988, 3(4).
- [12] Handschin E, Kliokys E. Transformer Tap Position Estimation and Bad Data Detection Using Dynamic Signal Modeling[J]. IEEE Trans on Power Systems, 1995, 10(2).
- [13] Celik M K, Abur Ali. A Robust WLAV State Estimator Using Transformations[J]. IEEE Trans on Power Systems, 1997, 12(1).
- [14] Charytoniuk W, Chen M S, Kotas P, et al. Demand Forecasting in Power Distribution Systems Using Nonparametric Probability Density Estimation [J]. IEEE Trans on Power Systems, 1999, 14(4): 1200-1206.
- [15] 于尔铿. 电力系统状态估计[M]. 北京: 水利电力出版社, 1985.

- YU Er-Keng. State Estimation of Power System[M]. Beijing: Hydraulic and Electric Power Press, 1985(in Chinese).
- [16] 李钊年. 电力系统状态估计中的不良数据辨识[J]. 青海大学学报: 自然科学版, 2001, 19(1): 49-51.
- LI Zhao-nian. Identification of Bad Data of Electric Power System State Estimation[J]. Journal of Qinghai University, Natural Science Edition, 2001, 19(1): 49-51(in Chinese).
- [17] 刘浩. 电力系统状态估计、检测及辨识[J]. 电力系统及其自动化学报, 1999, 11(4): 36-38.
- LIU Hao. State Estimation and Detection and Identification of Power System[J]. Proceedings of the EPSA, 1999, 11(4): 36-38. (in Chinese).
- [18] 刘浩, 崔巍. R_N 检测与状态预估相结合的不良数据检测辨识法[J]. 电力系统及其自动化学报, 2001, 13(2): 39-43.
- LIU Hao, CUI Wei. The Detection and Identification Method of Bad Data Combined R_N Detection and State Forecast[J]. Proceedings of the EPSA, 2001, 13(2): 39-43. (in Chinese).
- [19] Koglin H J, Neisius T, beißler G, et al. Bad Data Detection and Identification[J]. Electrical Power & Energy Systems, 1990, 12(2).
- [20] Zhang B M, LoKL. A Resursive Measurement Error Estimation Identification Method for Bad Data Analysis in Power system State Estimation[J]. IEEE Trans on Power & Systems, 1991, 6(1).
- [21] Vempati N, Shoultz R R. Sequential Bad Data Analysis in State Estimation Using Orthogonal Transformation[J]. IEEE Trans on Power Systems, 1991, 6(1).
- [22] 刘浩, 刘玉田. 模糊数学在状态估计不良数据检测辨识中的应用[J]. 电力系统及其自动化学报, 1996, 8(3): 50-57.
- LIU Hao, LIU Yu-tian. The Application of Fuzzy Mathmatics at Bad Data Detection and Identifaction of State Estimation[J]. Proceedings of the EPSA, 1996, 8(3): 50-57 (in Chinese).
- [23] 卫志农, 张云岗, 郑玉平. ISODATA 方法在配网状态估计不良数据辨识中的应用[J]. 河海大学学报, 2002, 30(2): 97-100.
- WEI Zhi-nong, ZHANG Yun-gang, ZHENG Yu-ping. The Application of ISODATA in the Bad Data Identification of the State Estimate of the Distribution Power System[J]. Journal of Hohai University, 2003, (2): 97-100(in Chinese).
- [24] 戴晓辉, 李敏强, 寇纪淞. 基于遗传算法的动态聚类方法[J]. 系统工程理论与实践, 1999, 19(10): 108-116.
- DAI Xiao-hui, LI Min-qiang, KOU Ji-song. A Dynamic Clustering Method Based on Genetic Algorithms[J]. System Engineering Theory & Practice, 1999, 19(10): 108-116(in Chinese).
- [25] 高山, 单渊达. 遗传算法搜索优化及其在机组启停中的应用[J]. 中国电机工程学报, 2001, 21(3): 45-48.
- GAO Shan, SHAN Yuan-da. Advanced Genetic Algorithm Approach to Unit Commitment with Searching Optimization[J]. Proceedings of the CSEE, 2001, 21(3): 45-48(in Chinese).
- [26] 卫志农, 张云岗, 郑玉平. 基于量测量突变检测新方法[J]. 中国电机工程学报, 2002, 22(6): 34-37.
- WEI Zhi-nong, ZHANG Yun-gang, ZHENG Yu-ping. The Improvement of Measurement Suddenly-change Detection Method[J]. Proceedings of the CSEE, 2002, 22(6): 34-37(in Chinese).
- [27] Salehfar H, Zhao R. A Neutral Network Pre-estimation Filter for Bad Data Detection and Identification in Power System State Estimation[J]. Electric Power System Research, 1995, 34: 127-134.
- [28] Souza J C S, Leite da Silva A M, Alves da Silva A P. Information Debugging in Forecasting-Aided State Estimation using a Pattern Analysis Approach[A]. in: 12th PSCC[C]. Dresden: 1996. 1214-1220.
- [29] Tibshiriu R, Walther G, Hastie T. Estimating the Number of Clusters in a Dataset via the Gap Statistic[R]. Unpublished Technical Report: Stanford University, 2000.
- [30] Jeu H J, Min Lin. Enhancement of Power System Data Debugging Using GSA-based Data-mining Technique[J]. IEEE Trans on Power System, 2002, 17(11): 1022-1029.
- [31] 张斌. 基于 GSA 的数据挖掘在电力系统不良数据辨识中的应用[D]. 南京: 南京理工大学, 2003.
- ZHANG Bin. Application of GSA-based Data Mining for Identifying Bad Data of Power System[D]. Nanjing: Nanjing University of Science and Technology, 2003(in Chinese).
- [32] 葛成. 基于 GSA 的电力系统不良数据辨识方法研究[D]. 南京: 南京理工大学, 2005.
- GE Cheng. Study of Power System Data Debugging Using GSA-based Data-mining Technique[D]. Nanjing: Nanjing University of Science and Technology, 2005(in Chinese).
- [33] 杨伟, 胡军, 吴军基. 基于 GSA 的电力系统不良数据辨识算法[J]. 继电器, 2005, 33 (22): 41-44.
- YANG Wei, HU Jun, WU Jun-ji. The Identification Algorithm of Bad Data in Power System Based on GSA[J]. Relay, 2005, 33 (22): 41-44(in Chinese).
- [34] 吴军基, 杨伟, 葛成, 等. 基于 GSA 的肘形判据用于电力系统不良数据辨识[J]. 中国电机工程学报, 2006, 26(22): 23-28.

(下转第 152 页 continued on page 152)

- HU Lin-xian, DU Wan-sen, LI Jian-xin. A New Fault Recorder Based on DSP+MCU Double CPUS[J]. Relay, 2005, 34 (9): 54-57.
- [12] 张延冬, 焦彦军, 张举. 基于嵌入式系统的故障录波器设计[J]. 继电器, 2005, 33 (3): 62-65.
ZHANG Yan-dong, JIAO Yan-jun, ZHANG Ju. Design of Fault Recorder Based on Embedded System[J]. Relay, 2005, 33 (3): 62-65.
- [13] 严桂, 贾存良, 黄文芳. 基于嵌入式系统的电力故障录波器[J]. 仪表技术与传感器, 2008(1): 47-49.
YAN Gui, JIA Cun-liang, HUANG Wen-fang. Power Fault Recorder Based on Embedded System[J]. Instrument Technique and Sensor, 2008(1): 47-49.
- [14] 罗毅. 分布式故障录波系统[J]. 电力系统自动化, 2001, 25(20): 59-62.
LUO Yi. Distributed Fault Recorder System[J]. Automation of Electric Power Systems, 2001, 25(20): 59-62.
- [15] 鲁国刚, 刘骥, 张长银. 变电站的数字化技术发展[J]. 电网技术, 2006, 30(10): 499-504.
LU Guo-gang, LIU Ji, ZHANG Chang-yin. The Technology Development of Substation Digitization[J]. Power System Technology, 2006, 30(10): 499-504.
- [16] 徐礼葆. 开放式数字化变电站自动化系统的讨论[J]. 继电器, 2004, 32 (6): 40-43.
XU Li-bao. Discussion of Open Digitalized Substation Automation System[J]. Relay, 2004, 32 (6): 40-43.
- [17] 刘青. 光学电流互感器对继电保护系统的影响研究[J]. 电网技术, 2005, 29 (1): 11-15.
- LIU Qing. Research on the Influence of Optical Current Transducer on Protective Relaying System[J]. Power System Technology, 2005, 29 (1): 11-15.
- [18] 梁晓兵, 周捷, 杨永标, 等. 基于 IEC 61850 的新型合并单元的研制[J]. 电力系统自动化, 2007, 31 (7): 85-89.
LIANG Xiao-bing, ZHOU Jie, YANG Yong-biao, et al. Development of a New Type of Merging Unit Based on IEC 61850[J]. Automation of Electric Power Systems, 2007, 31 (7): 85-89.
- [19] 杨永标, 丁孝华, 黄国方, 等. 基于 IEC 61850 的数字化故障录波器的研制[J]. 电力系统自动化, 2008, 32 (13): 58-61.
YANG Yong-biao, DING Xiao-hua, HUANG Guo-fang, et al. Development of Digital Fault Recorder Based on IEC 61850[J]. Automation of Electric Power Systems, 2008, 32 (13): 58-61.

收稿日期: 2009-03-20; 修回日期: 2009-10-12

作者简介:

陈昊琳 (1986-), 女, 硕士研究生, 从事光学技术及其在电力系统中应用与建筑电气方面的研究工作; E-mail: haolinchen_0@126.com

张国庆 (1969-), 男, 博士, 副教授, 硕士生导师, 从事光学技术及其在电力系统中应用与继电保护方面的研究工作;

郭志忠 (1961-), 男, 博士, 教授, 博士生导师, 从事光学技术及其在电力系统中应用以及电力系统分析与控制的研究工作。

(上接第 147 页 continued from page 147)

- WU Jun-ji, YANG Wei, GE Cheng, et al. Application of GSA-based Elbow Judgement on Bad-data Detection of Power System[J]. Proceedings of the CSEE, 2006, 26(22): 23-28(in Chinese).
- [35] Korres G N, Contaxis G L. A Reduced Model for Bad Data Processing in State Estimation[J]. IEEE Trans on Power Systems, 1991, 6(2).
- [36] 高利军, 王辉, 张望. 个性化服务中自适应聚类算法的研究[J]. 微电子学与计算机, 2007(12).
GAO Li-jun, WANG Hui, ZHANG Wang. Research on Automatically Clustering Algorithm in Web Personalize Service[J]. Microelectronics & Computer, 2007(12)(in Chinese).
- 收稿日期: 2009-00-00; 修回日期: 2009-00-00
- 作者简介:
- 刘莉 (1963-), 女, 教授, 博士后, 主要研究方向为电力系统分析与控制、配电自动化、智能技术在电力系统中的应用;
- 翟登辉 (1984-), 男, 硕士研究生, 主要研究方向为电力系统状态估计、智能技术在电力系统中的应用。E-mail: zdh11123@126.com