

基于新息图法的电力系统不正常事件识别方法

李子清¹, 辛 旺², 邓永红³

(1. 自贡电业局, 四川 自贡 643000; 2. 北碚供电局, 重庆 400700; 3. 乐山电业局, 四川 乐山 614800)

摘要:新息图法在识别负荷突变、不良数据和拓扑变化的识别方面较之传统的状态估计方法,具有计算过程简单,对测量冗余要求较低的优越性。新息图法结合了静态状态估计和动态状态估计的优点,利用新息差矢量在新息网络中的特征,能够对恶劣条件下的不正常事件准确识别并加以修正。通过 IEEE-30 节点系统算例,对新息图识别不正常事件的过程进行了分析,证明了方法的有效性。

关键词:电力系统状态估计; 新息图; 坏数据; 拓扑错误

Abstract: The innovation graph technique has a simpler calculation process and less requirements of measuring the redundancy in the identification of sudden load change, bad data and topology error. The innovation graph technique combines the advantages of static state estimation with dynamic state estimation, and uses the performance feature of the innovation difference vector in innovation graph network to identify and modify the abnormal events. Using IEEE-30 bus system, the identification process of abnormal events by innovation graph technique is analyzed and the validity of the proposed method is proved.

Key words: state estimation of power system; innovation graph; bad data; topology error

中图分类号: TM711 文献标志码: A 文章编号: 1003-6954(2011)06-0040-03

0 引言

随着特高压技术和智能电网的发展,拥有一个准确反应电力系统实时运行状态的数据库就显得更为重要。电力系统状态估计就是要完成对实时测量数据的滤波,消除遥测和遥信数据中存在的错误,为电力系统的在线控制和分析提供准确参考。

电力系统不正常事件包括负荷突变、坏数据和拓扑错误三类^[1],对三类不正常事件的识别是状态估计程序的核心。文献[1]通过对量测系统的实际量测进行等效电流量测变换,并根据误差传播理论改变相应的量测权值,降低坏数据的影响。文献[2]、[3]在状态估计过程中对量测量限值做出合理估计,以此来排除坏数据。文献[4]根据调度人员经验判断运行状态,用计算机程序来模拟这种规则,充分利用已有的历史数据库以及当时的现象来推断开关状态。这种方法不需要大的计算,但对硬件要求较高,当网络结构变化,就得修正数据库,重新修订规则。文献[5]提出了一种用最小绝对值的方法来识别网络拓扑,在正常状态估计的基础上增加一种网络结线的状态矢量,辨识网络结线的状态矢量结果来识别拓扑结构。文献[6]提出了一种在状态估计之前识别拓扑

错误和坏数据的方法,为新的状态估计方法的研究指出了一个很好的方向。在动态状态估计识别拓扑错误方面,借助神经网络识别拓扑错误^[7]的研究较多。

新息图法^[9]是周苏荃教授提出的比较新的状态估计方法之一,该方法结合了静态和动态状态估计的优点,将动态状态估计中的新息向量运用到直流潮流模型中,成为新息网络。结合新息网络中新息差矢量所表现出的电气特征,实现对不正常事件的准确识别。在恶劣条件下,例如坏数据与拓扑错误共存且相关时,也能够准确识别。相比于其他状态估计方法,新息图法对测量冗余要求较低,计算简便,识别也更加准确。这里通过对坏数据和拓扑错误同时存在的情况进行了研究,通过对 IEEE-30 节点算例的分析,说明了新息图法在识别坏数据和拓扑错误同时存在的恶劣条件下,依然能够准确快速地对不正常事件加以识别。

1 新息差网络的建立

新息图法识别负荷突变、坏数据以及拓扑错误的基础是新息网络图。新息网络图^[10]是新息矢量的载体,新息矢量是指测量值与预报值之差,即

$$P_{innv} = z - P_{pre} \quad (1)$$

式中 P_{innv} 为新息矢量; z 为该时刻的测量值; P_{pre} 为上一时刻对该时刻的预报值, 可以通过节点负荷预报获得。根据新息矢量的定义, 将实测运行网络和预报网络中对应的各电气量作差, 即可得到新息网络中的各电气量。

对于一个 n 节点 b 支路网络, 在节点负荷基本不变的前提下, 还可以由连支有功新息推算出其余支路的有功新息矢量, 文献 [11] 中称之为连支推算新息。

$$P_{recon} = C^T P_{innv \cdot link} \quad (2)$$

式中 $P_{innv \cdot link}$ 为 $b - n + 1$ 条连支上的有功新息矢量; P_{recon} 为连支推算新息矢量; C 为 $(b - n + 1) \times b$ 阶回路 - 支路关联矩阵。

可见, 如果该电力网络中存在一种生成树, 使得每个回路的连支支路上都有量测, 则此网络的连支推算新息就能够根据式 (2) 计算得到, 然后就可以进一步进行负荷突变、不良数据的辨识。

新息矢量和连支推算新息矢量是通过两种不同的渠道获得的, 将新息矢量和连支推算新息矢量之差称为新息差矢量^[11], 即

$$P_{dif} = P_{innv \cdot Tree} - P_{recon \cdot Tree} \quad (3)$$

式中 P_{dif} 为新息差矢量; $P_{innv \cdot Tree}$ 是树支上的新息矢量; $P_{recon \cdot Tree}$ 是连支推算新息矢量。连支的新息差矢量显然为零。

图 1 以 5 节点系统为例描述了连支推算新息网络和新息差网络之间的关系, 并在新息差网络中标记出了节点 4 处存在负荷突变时的突变回路以及连支 2-5 存在坏数据时的不良回路。

2 不正常事件的识别原理

2.1 坏数据的识别

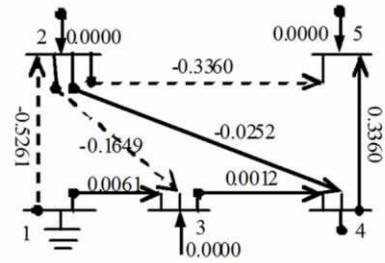
由于数据采集、传输等原因, 实时遥测量数据除包含正常的测量噪声外, 也包含少量的不良数据。在新息差网络中, 如果不良数据存在于连支上, 则显现不良回路, 如图 1(b) 中虚线所示回路; 如果不良数据存在于树支上, 则呈现出某条树支支路单个新息差元素明显偏大。

2.2 拓扑错误的识别

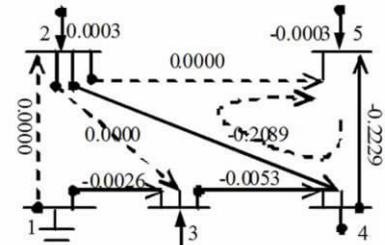
文献 [12] 中为了更清楚识别拓扑错误, 采用支路修正潮流值与支路功率预估值之比检测和辨识网络结构的变化。

支路潮流预估值向量 P_{pre} 和排除了坏数据以后的

连支推算新息向量 P_{recon} 相加, 可得到修正潮流向量。



(a) 连支推算新息图



(b) 新息差图

图 1 IEEE-5 节点系统新息网络图

$$P_{correct} = P_{pre} + P_{recon} \quad (4)$$

式中, 修正潮流向量 $P_{correct}$ 反映了实际运行中电力系统各支路的潮流情况。

新息图为有源网, 当网络结构发生变化时, 连支推算新息明显偏离零值, 修正潮流与预估值相差较大。

如果支路由闭合变为断开时, 当前时刻的修正潮流值近似为零, 而前一时刻做出的预估值明显地偏离零值, 此时有

$$R = P_{correct} / P_{pre} \approx 0 \quad (5)$$

相反, 如果支路由断开变为闭合时, 目前时刻的修正潮流值明显偏离零值, 而前一时刻做出的预估值近似等于零, 修正预估值比为

$$R = P_{correct} / P_{pre} \approx \infty \quad (6)$$

无拓扑结构变化时, 新息图为无源网, 连支推算新息向量基本等于零, 支路的修正潮流和排除坏数据后的测量值一般近似等于其预估值, 修正预估值比在 1 附近。

3 算例分析

以 IEEE-30 节点系统为例, 如图 2 所示, 图中实线为树支, 虚线为连支。以节点 1 为参考节点。

在支路 2-4 处设置一个测量坏数据, 支路 3-4 和支路 6-7 处各设置一个拓扑变化。运行 Matlab 新息图程序, 结果如表 1 所示。

表1 IEEE-30系统新息图法部分计算数据

支路号	左节点	右节点	测量值	预报值	新息值	连支推算新息	新息差	修正潮流	修正预估比
1	1	2	1.389 72	1.010 54	0.379 19	0.368 99	0.010 20	1.379 53	1.365 14
2	1	3	0.044 06	0.413 05	-0.368 99	-0.368 99	0.000 00	0.04406	0.106 67
3	2	4	0.000 00	0.169 92	-0.169 92	-0.169 92	0.000 00	0.000 00	0.000 00
4	3	4	0.000 01	0.361 79	-0.361 78	-0.368 99	0.007 21	-0.007 20	0.019 91
5	2	5	0.636 78	0.927 05	-0.290 26	-0.290 26	0.000 00	0.636 78	0.686 90
6	2	6	0.543 54	0.211 73	0.331 81	0.829 18	-0.497 37	1.040 91	4.916 22
7	4	6	0.154 74	0.183 32	-0.028 58	-0.537 78	0.509 21	-0.354 46	1.933 56
8	5	7	—	0.231 050	—	-0.290 263	—	-0.059 21	0.256 28
9	6	7	0.289 77	0.000 01	0.289 76	0.290 26	-0.00 050	0.290 27	25 242.92
10	6	8	-0.010 84	-0.011 57	0.000 73	0.000 54	0.000 19	-0.011 03	0.953 32
11	-6	9	0.153 68	0.153 57	0.000 11	-0.000 44	0.000 55	0.153 13	0.997 12
12	-6	10	0.127 40	0.127 38	0.000 02	0.001 23	-0.001 21	0.128 61	1.009 62
13	9	11	-0.179 12	-0.179 31	0.000 19	0.000 00	0.000 19	-0.179 31	1.000 00
14	9	10	0.332 41	0.332 85	-0.000 44	-0.000 44	0.000 00	0.332 41	0.998 67
15	-4	12	0.270 12	0.271 08	-0.000 96	-0.001 13	0.000 17	0.269 95	0.995 83

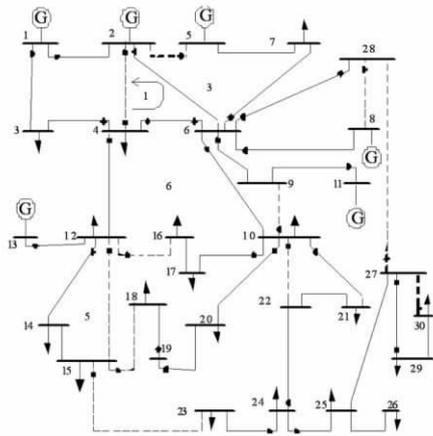


图2 IEEE-30节点系统网络图

表1中列举了15条支路的计算数据,从表中可以看出,修正预估比在零附近的有支路2-4、3-4,支路6-7的修正预估比非常大,可以认为是无穷大。但不能由此确定,支路2-4、3-4是断开型拓扑变化,支路6-7是闭合型拓扑变化。考察各支路的新息差数据,可以看到,支路2-6和支路4-6的新息差明显偏大,围绕连支2-4构成了不良回路,如图1中回路1所示,由此可以判定,支路2-4上存在连支型坏数据,使得测量值为零,干扰了拓扑变化的判断。

在排除了连支2-4的坏数据之后,用其预报值代替不良量测,计算得到新息值为零,连支推算新息为零,新息差为零,修正潮流为预报值与连支推算新息值之和,为0.169 92,从而计算出正确的修正预估比为1,说明支路2-4上不存在拓扑变化。

剩下的支路3-4,修正预估比接近零值,说明其上存在闭合型拓扑变化,支路6-7,修正预估比为无

穷大,说明其上存在断开型拓扑变化。如果返回调度中心的遥信信息没有正确反映出这两个拓扑变化,则这两条支路的遥信信息存在错误,即拓扑错误;如果遥信信息正确反映了这两处拓扑变化,则修正预估比也同时正确反映出拓扑变化的存在。

4 结 论

新息图法能够准确快速地识别坏数据和拓扑错误,对坏数据和拓扑错误同时存在的恶劣条件下也能有效识别。相比于传统的动态和静态状态估计算法,没有复杂的迭代计算过程,计算简便、速度快,对测量冗余要求较低,适合在线运行,在电力系统中应用前景广阔。

参考文献

- [1] 张伯明,王世纓,相年德. 电力系统动态状态估计中不正常事件的处理[J]. 中国电机工程学报,1993,13(3): 52-58.
- [2] 倪小平,张步涵. 基于等效电流量测变换的状态估计及不良数据检测与辨识方法[J]. 电网技术,2002,26(8): 12-15.
- [3] Al-Othman, A. K. Irving, M. R. Analysis of Confidence Bounds in Power System State Estimation with Uncertainty in both Measurements and Parameters[C]. Series on Energy and Power Systems, Proceedings of the Fourth IASTED International Conference on Power and Energy Systems, 2004: 389-393.

(下转第70页)

5 结 论

采用容量换算法和电流换算法对蓄电池容量进行检测,最后建立蓄电池充放电模型,即蓄电池充放电电压、电流和功率随时间变化的数学表达式,通过海志(HAZ)型号为HQB2-300的铅酸蓄电池仿真验证,蓄电池充电端电压随时间不断增大,充电电流随时间不断减小,充电功率与充电电流走势基本一致。这里所建模型反映了蓄电池的充放电特性,适用于监控系统。

参考文献

[1] 徐海明,王全胜. 直流电源设备使用与维护[M]. 北京:中国电力出版社,2007.

[2] 于崇干,邹昌泉. 应用HOXIE公式计算蓄电池容量[J]. 蓄电池,2006,12(3):38-42.

[3] 黎廷广. 变电站阀控蓄电池运行维护[J]. 电工技术,2008(2):59-60.

[4] 顾宁. 浅谈变电站直流系统优化[J]. 广东科技,2010,19(10):126-128.

[5] 刘森,张海凤,李书勇. 广州换流站直流电源系统的改造设计与实施[J]. 电力系统保护与控制,2009,37(9):49-52.

[6] 闫晓丽. 变电站直流系统运行维护及故障处理[J]. 电气时代,2010(12):80-81.

[7] 李冬辉,史临潼. 发电厂和变电站直流系统接地故障检测总体方案[J]. 电网技术,2004,29(1):56-59.

[8] Ceraolo M. New Dynamical Models of Lead-acid Batteries[J]. IEEE Transactions on Power Systems,2000,15(4):1184-1190.

[9] 王欣伟,韩肖清,门汝佳. 太阳能风能发电系统中铅酸蓄电池建模与仿真[J]. 山西电力,2009,153(2):23-26.

[10] Song Zhang, Deam Edwards. Three-dimensional Conductivity Model for Porous Electrodes in Lead Acid Batteries[J]. Journal of Power Sources,2007,172(2):957-961.

[11] Matthias Durr, Andrew Cruden, Sinclair Gair, et al. Dynamic Model of a Lead Acid Battery for Use in a Domestic Fuel Cell System[J]. Journal of Power Sources,2006,161(2):1400-1411.

[12] 徐海明,王全胜. 变电站直流电源设备使用与维护:阀控密封铅酸电池[M]. 北京:中国电力出版社,2007.

[13] 汪海鑫. 电力系统用阀控式密封铅酸电池的选择和应用[M]. 北京:中国电力出版社,2001.

作者简介:

黄媛(1974)女,博士研究生,主要从事电力系统分析与控制;

吕林(1963)男,教授,硕士,主要从事配电网自动化方面的研究;

陈井锐(1986)男,硕士研究生,研究方向为配电网和微电网的分析与计算及其电动汽车分析。

(收稿日期:2011-10-08)

(上接第42页)

[4] Al-Othman, A. K. Irving, M. R. Uncertainty Modeling in Power System State Estimation[C]. IEE Proceedings: Generation, Transmission and Distribution, 2005(152):233-239.

[5] Nisheeth. Practical Experience with Rule-based On-line Topology Error Detection[C]. IEEE Power Industry Computer Application Conference held in Scottsdale, Arizona. May 4-7, 1993: 841-847.

[6] H. Singh, F. L. Alvarado. Network Topology Determination Using Least Absolute Value State Estimation[J]. IEEE Trans. PWRs, 1995, 10(3): 1159-1163.

[7] L. Mili, G. Steeno, F. Dobraca, D. French. A Robots Estimation Method for Topology Error Identification[J]. IEEE Transaction on Power Systems, 1999, 14(4): 1469-1476.

[8] Souza J C S, Leite da Silva A M, Alves da Silva A P. On-line Topology Determination and Bad Data Suppression in

Power System Operation Using Artificial Neural Networks[J]. IEEE Trans PWRs, 1998, 13(3): 796-803.

[9] 周苏荃,柳焯. 新息图法状态估计[J]. 继电器,2000,28(4):1-5,23.

[10] 周苏荃,柳焯. 新息图法拓扑错误辨识[J]. 电力系统自动化,2000,24(4):23-27.

[11] 周苏荃,张艳军. 新息图状态估计多相关不良数据辨识[J]. 电力系统及其自动化学报. 2008,20(4):1-6.

[12] 周苏荃,柳焯. 新息图法识别多重网络结构动态变化[J]. 中国电机工程学报,2001,21(10):67-72.

作者简介:

李子清(1987),男,甘肃金昌人,四川省电力公司自贡电业局,主要研究方向为变电站设计与规划;

辛旺(1986),男,重庆北碚人,重庆市电力公司北碚供电局,主要研究方向为电力系统调度与运行;

邓永红(1985),男,湖南邵阳人,四川省电力公司乐山电业局五通供电局,主要研究方向为电力系统调度与运行。

(收稿日期:2011-06-01)