

# 新息图法电力系统不良数据检测与辨识

张永超, 黄彦全, 宋廷珍, 穆亚东

(西南交通大学电气工程学院, 四川 成都 610031)

**摘要:**不良数据检测和辨识是电力系统状态估计的重要组成部分;所采用的新息图方法,结合动态和静态两方面理论,将具有具体物理意义的的数据(新息向量),转化为虚拟假设条件下的等价表示,并利用基本的电路理论,达到检测和辨识坏数据以及拓扑错误的目的。该方法具有模型简单、快速准确等优点。以 IEEE-14 节点系统算例,初步验证了所提方法的有效性。

**关键词:**不良数据检测与辨识;新息图;拓扑错误

Abstract: Detection and identification of bad data is one of the most important parts of power system state estimation. The innovation graph technique based on dynamic and static theory is presented which translates the material data (innovation vector) into an equivalent variable of another abstract domain for detecting and identifying topology error and bad data using the basic theory of circuit. This method is of simple model, speediness and nicety, whose efficiency is verified by the example of IEEE 14.

Key words: bad data detection and identification; innovation graph; topology error

中图分类号: TM744 文献标识码: A 文章编号: 1003-6954(2009)03-0014-02

在电力系统状态估计过程中,检测和辨识出不良数据,并消除其影响,从而为实时电力系统提供一个可靠的数据库,是状态估计器的一项非常重要的任务。

残差搜索辨识法、非二次准则法、估计辨识法等,主要是将加权残差  $\tilde{r}_k$  或标准残差  $r_k$  作为特征值,根据一定的置信度水平确定一个门槛值,进行假设检验。找到可疑量测数据后,将其在量测数据中降低权值或者直接剔除,重新进行状态估计计算。缺点是容易出现残差污染和残差淹没,造成漏检或误检。

文献 [2] 利用量测配置、网络结构和参数的残差灵敏度矩阵与不良数据的大小之间的定量关系,进行假设检验。张伯明教授等提出的递归量测误差估计辨识方法,用线性递归方式计算量测误差的估计值,不需重新计算残差灵敏度矩阵 [3]。文献 [4] 构造了一个神经网络,用正则新息作为输入变量检测与辨识不良数据;文献 [5] 用反向传播神经网络进行估计前滤波,以典型工况的正确量测为训练样本,以便实时辨识不良数据;但是神经网络的辨识效果直接受到训练样本代表性的影响,较难达到预期目标。

所用新息图法 [6] 是由周苏荃教授提出的,借用动态状态估计理论中的新息向量概念,结合网络图

论,建立新息向量元素在空间上的等量关系;集成了静态和动态两方面的约束,能够快速实时地完成不良数据检测和辨识任务。比之传统方法,具有建模简单、运算量小、计算周期短等优点。

## 1 新息向量及新息图法原理

### 1.1 新息向量为测量值与预报值之差

$$v_{k+2} = z_{k+1} - h(\tilde{x}_{k+1}) \quad (1)$$

式中,  $v_{k+1}$  为新息向量;  $z_{k+1}$  为  $k+1$  时刻实际的测量向量;  $\tilde{x}_{k+1}$  是在  $k$  时刻做出的对  $k+1$  时刻状态向量的预报值;  $h(\tilde{x}_{k+1})$  是对应  $k+1$  时刻测量的预报向量。

### 1.2 新息图 [6]

支路突然断开时,发电机节点注入功率、负荷功率没有发生变化,仅支路潮流发生改变。可以这样理解:支路断开动作,使得各支路潮流在原有值基础上叠加了一个改变量。当仅以这些改变量为研究对象时,它们依照支路拓扑结构,遵循电路基本定律。当已知其中的一部分时,可以求得另外一部分的理论值。

以图 1 所示节点系统为例:各支路均闭合时,其有功潮流大小和方向如图中标示。当支路 6-1 突然断开时,各支路有功潮流改变,其变化量,取决于拓扑

基金项目:四川省应用基础研究项目(07J13-071)

图中的约束,满足基本电路定律(KVL, KCL)。如图 2 所示。

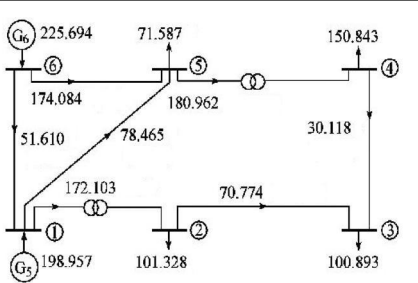


图 1 6 节点系统有功潮流图(单位: MW)

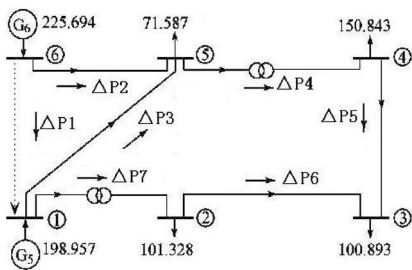


图 2 支路 1-6 突然断开时各支路  $\Delta P$

需要说明的是,对于断开的支路 6-1,相当于在原闭合支路上运用叠加原理,施加了一个与原支路有功等大反向的  $\Delta P_1$ ; 并且,各节点注入和负荷功率不变,将有功  $P$  等同于电流  $I$  则所有支路  $\Delta P$  满足节点电流定律,以及回路电流法。 $\Delta P$  可以求得: 实际测量值(支路断开后)与预报值(假设支路闭合)之差,因而所有  $\Delta P$  值构成新息向量; 图 2 即为新息图。

此时,引入图论相关理论,选定树,依据树支和连支新息等量约束关系,可由测得的连支上  $\Delta P$  值(新息值),推算出所有支路(包括树支)上的  $\Delta P$  值(新息)。

## 2 检测和辨识原理

### 2.1 拓扑错误

对于断开支路,其新息值( $\Delta P$ )较大,因为从能量角度来看,该支路提供了使得系统中所有相关支路潮流发生改变所需的能量。因而,从新息值的大小可以初步判断为断开支路。

### 2.2 不良数据

选定树支和连支后,利用二者关联矩阵,根据连支新息值,可求得系统所有支路的新息值。该结果为基于连支新息的理论值( $\Delta P_{li}$ )。定义差别向量<sup>[6]</sup>  $\Delta v$  为真实新息向量与理论新息向量之差。即,

$$\Delta v = v_{k+1} - v_{li} \quad (1)$$

在一个回路中,若仅有一条树支上出现较大差别向量元素,则该支路上的遥测数据为不良数据。当回路中除连支外,所有树支上均出现较大差别向量元素,则该连支遥测数据为不良数据。

如果检测出连支遥测为坏数据,可以改变树的结构,把连支变换为树支,以消除其对于识别拓扑错误的干扰。

## 3 算例分析

按照上述模型和算法原理,以 IEEE-14 节点系统为例,验证检测和辨识过程。所进行计算系统概况: 节点 14 个,其中含发电机节点 5 个; 变压器支路 3 条。支路数 20, 选择支路 1-2、2-3、2-4、5-6、4-7、6-12、9-14 作为连支, 确定树的结构。

仿真条件: 正常运行状态下, 支路 2-4 突然断开, 同时, 在支路 2-5 有功量测数据加入 10 倍标准差的增量。量测向量来自支路 2-4 断开的潮流计算值, 预报向量为正常运行条件下的有功潮流值。

表 1 IEEE-14 节点系统仿真计算结果

支路号	始点	末点	测量值	预报值	新息值	连支推得新息	差别向量
1	1	2	142.42	147.84	-5.42	-5.42	0
2	1	5	92.03	71.16	20.87	5.42	15.45
3	2	3	90.25	70.01	20.24	20.24	0
4	2	4	0	55.15	-55.15	-55.15	0
5	2	5	66.94	40.97	25.97	29.49	-3.52
6	3	4	-7.47	-24.19	16.72	20.24	-3.52
7	4	5	-96.84	-61.75	-35.09	-30.92	-4.17
8	4	7	26.42	28.36	-1.94	-1.94	0
9	4	9	15.10	16.55	-1.45	-2.05	0.60
10	5	6	46.78	42.79	3.99	3.99	0
11	6	11	8.97	6.73	2.24	2.73	-0.49
12	6	12	8.01	7.61	0.40	0.4	0
13	6	13	18.60	17.25	1.35	0.86	0.49
14	7	8	0	0	0	0	0
15	7	9	26.42	28.36	-1.94	-1.94	0
16	9	10	3.65	5.77	-2.12	-2.73	0.61
17	9	14	8.38	9.64	-1.26	-1.26	0
18	10	11	-5.36	-3.23	-2.13	-2.73	0.60
19	12	13	1.84	1.51	0.33	0.40	-0.07
20	13	14	6.69	5.26	1.43	1.26	0.17

注: 表中量测量的量测值和预报值均为相应支路的有功潮流值, 单位为 MW。

(下转第 47 页)

避雷器损坏造成的变压器出口短路。

(8)加强变电设备的运行管理,及时发现设备缺陷,保证变压器的正常运行。

(9)加强技术监督工作,严禁设备超周期运行,对室内母线及瓷瓶定期清扫,及时进行耐压试验,确保设备绝缘良好。

(10)每年安排 2 次以上的设备红外线普测,积极开展避雷器在线监测、绝缘在线监测、高压开关 SF<sub>6</sub> 气体在线监测等项目,及时掌握设备运行状况。

(11)对新投运的变压器和未作过变形测试的变

压器全部做一次变形测试,保留测试数据,这样,在变压器遭受出口短路冲击后,可以此作为基础数据判断变压器变形程度,认定变压器能否继续运行。对未发生明显绕组变形的变压器,及时投入运行,不仅节省了大量的人力、物力和财力,还大大缩短了检修周期。

(12)加强电网规划、建设的科学管理,合理安排运行方式,限制短路电流,减小出口短路对变压器造成的损害。

(收稿日期:2009-02-13)

(上接第 15 页)

由表 1 可得,支路 4 突然断开时,实际测量值为零,结果,依据式 (1),产生了较大的新息值,但不能由此断定支路 4 发生了拓扑错误。应根据差别向量判断是否存在坏数据,并判定其位置。差别向量一系列数据表明,不存在不良回路,因而,连支上的新息值是准确的;支路 2 对应所选树的树支,鉴于较大的差别向量值,判定其上有功量测为坏数据;完全符合仿真条件,且整个判定过程只需要输入量测数据,便可由所编制的程序快速自动完成计算;计算过程不涉及迭代,所以没有收敛问题,以及重新计算的时间问题。

## 4 结束语

所采用的新息图法<sup>[6]</sup>是一种状态估计前的不良数据检测和辨识新方法,能有效的避免残差污染和淹没,同时不用进行重复繁琐迭代计算过程,节省时间。通过基于 IEEE-14 节点系统的仿真实验,充分验证了所用方法的实用性、高效性,以及对估计前检测和辨识方法的贡献。

文中具体的算法及程序在实现过程中,采用了手动(如输入量测数据等步骤)与电脑自动完成相结合的方式;当实际工程应用中,其完全可以通过相应的数据采集、输入输出接口程序的整合,会同核心的 Matlab 程序,得以实现。如何快速变换树的结构,以及快速表述出连支与整个拓扑系统的关联关系,是一个值得进行系统和完善的研究课题。

## 参考文献

- [1] 于尔铿. 电力系统状态估计 [M]. 北京:水利电力出版社, 1985.
- [2] 刘广一,于尔铿,夏祖治. 状态估计中不良数据可检测及可辨识性的定量分析理论 [J]. 电力系统自动化, 1991, 15(1): 22-26.
- [3] 刘广一,于尔铿,夏祖治. 量测系统误差方估计与修正 [J]. 中国电机工程学报, 1990, 10(6): 31-38.
- [4] 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 [J]. In: 12th PSCC Dresden, 1996. 8.
- [5] Salehfar H, Zhao R. A neural network pre-estimation filter for bad data detection and identification in power system state estimation [J]. Electric power system research, 1995, 34: 127-134.
- [6] 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.

### 作者简介:

张永超 (1979-), 男, 硕士研究生, 从事电力系统状态估计方面的研究工作。

黄彦全 (1961-), 男, 博士, 教授, 从事电力系统状态估计、微机保护和变电站综合自动化方面的研究和教学工作。

宋廷珍 (1980-), 男, 硕士研究生, 从事电力系统继电保护方面的研究工作。

穆亚东 (1980-), 男, 硕士研究生, 从事电力系统自动化检测方面的研究工作。

(收稿日期:2009-04-08)