

EMS 中状态估计模块生产运行及实用化问题分析

刘 峰

(福建电力调度通信中心,福建 福州 350003)

摘要: 状态估计是能量管理系统(EMS)的主要软件,它是高级应用软件实现的基础。针对几种主流估计算法(如基本加权最小二乘估算法)收敛性虽好,但对大型电力系统存在计算时间长、内存占用大等缺陷的问题,着重介绍了福建省电网所用状态估计算法。简述了状态估计程序及模块的生产运行概况、遥测/遥信量的控制手段、可疑数据的来源以及导致状态估计合格率下降的原因。对生产中存在的参数、变压器分接头估计误差大及对坏数据缺乏分析手段等问题进行分析并给出相关理论解释,提出了增加或完善几种量测量(厂用电、发电机端电压、变压器抽头等)提高状态估计模块精度和性能的若干具体改进建议。探讨了不良数据的检测与辨识、外网等值、权值定义原则、内部不可观测部分的处理、可观测性分析以及参数的估计与辨识这些在状态估计模块实用化中值得关注的 6 个关键问题,且针对各子问题所用方法进行了分析比较并给出了结论,最后对该领域的几个难点、热点研究方向进行了总结和展望。

关键词: 电力系统; 状态估计; 能量管理系统

中图分类号: TM 73

文献标识码: A

文章编号: 1006-6047(2007)04-0118-06

0 引言

状态估计是能量管理系统(EMS)的重要软件,它是高级应用软件实现的基础。目前,对在线应用程序的主体要求是计算速度和收敛可靠性。基本加权最小二乘估计算法虽然收敛性好,但是直接用于大型电力系统存在计算时间长、内存占用大等缺陷,从而受到一定限制。纯支路量测法可得到满意的估计结果且具较丰富的运行经验,但存在节点注入型量测量难以处理的缺陷。逐次型状态估计算法占内存最少,对节点注入型量测量也具有一定的适应能力,但是收敛速度慢、计算时间长、估计质量差,这种情况随着电力系统的规模增大和节点注入型量测量的增多变得愈加严重,这些缺陷限制了其推广应用^[1-3]。综合考虑诸多因素的实用方案是采用快速分解状态估计算法。福建电网状态估计模块采用的算法即为快速分解估计算法,该算法基于基本加权最小二乘法采用了 2 种简化措施。

a. 有功无功分解计算: 借鉴快速潮流算法,结合高压电网特点,采用 $P-\theta, Q-v$ 解耦。采用如上方法降低了阶数,减少了内存占用,提高了每次迭代速度。

b. 雅克比矩阵常数化: 仅利用第 1 次分解得到的因子表对不同自由矢量前推回代,提高迭代修正速度。

快速分解状态估计算法,可以处理支路型量测、注入型量测及电压幅值量测,各量测条件下的非线

性方程如下所示:

a. 支路型量测为

$$P_{ij} = U_i^2 G_{ii} + U_i U_j (G_{ij} \cos \theta_{ij} + B_{ij} \sin \theta_{ij})$$

$$Q_{ij} = -U_i^2 B_{ii} + U_i U_j (G_{ij} \sin \theta_{ij} - B_{ij} \cos \theta_{ij})$$

b. 注入型量测为

$$P_i = U_i \sum_{j=1}^n U_j (G_{ij} \cos \theta_{ij} + B_{ij} \sin \theta_{ij})$$

$$Q_i = U_i \sum_{j=1}^n U_j (G_{ij} \sin \theta_{ij} - B_{ij} \cos \theta_{ij})$$

c. 电压型量测为 U_i 。

1 运行情况分析及建议

1.1 状态估计模块运行概况

福建电网状态估计程序运行周期设为 60 s,历史数据每 5 min 及整点启动一次,省网与华东电网只有两回线,所以外部网络相对比较好处理。坏数据大部分是无功电压数据。由于远方终端装置(RTU)中断导致一个厂站数据全部不刷新时相邻母线受到一定的影响但并不严重,系统中严重的拓扑错误会影响状态估计合格率。有功坏数据除个别点外都可得到确认,但无功和电压坏数据很难得到确认,因为它们不但与潮流有关,还与系统电压水平、设备参数紧密相关,且无功量测精度也不如有功量测。若 RTU 属老一代产品,其遥测精度不够,很多点无功遥测没有采集也影响状态估计精度。随着厂站自动化的发展,大部分已实现综合自动化改造替代传统 RTU 的改变。开关刀闸有传统硬节点过渡到软节点,极

大地改善了遥信准确可靠性。遥测量采集由传统的变送器采样过渡到交流采样,减少了测量中间环节,提高了测量精度。并且综合自动化改造极大扩充了采集容量,突破了传统 RTU 的容量限制。从主站角度而言,省调数据采集和监控(SCADA)采集主要靠直接采集和地调转发实现。在 SCADA 中为某些量测提供了其他数据源,这些措施保证了数据冗余度,在很大程度上消除了各种消极因素对量测量的影响。状态估计预处理也是提高精度的重要环节。如遥测、遥信一致性核对,遥测预处理结果分类警告表,且可人工跟踪操作,屏蔽不合格量测。

遥测(YC)量控制:当发现某线路、变压器或发电机测点明显有误时,可屏蔽该测点,提高状态估计精度。另外,还可对不理想量测点权值设置降低达到改善状态估计精度目的。若某厂站遥测均有问题,但 SCADA 又没有给出量测错误标志,可在厂站量测控制中将该站屏蔽。SCADA 确认准确但状态估计却总是报出可疑数据的厂站可采取牺牲某一不重要量测的方法将该区域所有误差累积至此量测值,可提高状态估计计算精度。

遥信(YX)量控制:通过遥测预处理警告表,及时发现有误遥信并校核,必要时进行遥信对位,确保电网运行方式正确性。通过对遥信量的及时维护,可保证网络拓扑分析软件得到一个相对准确完整的电网实时信息。

产生可疑数据的主要原因:通道故障引起远动信息故障;遥信与实际不对应;RTU 故障或 YC、YX 信息错误;炼钢等冲击负荷影响。

SCADA 数据准确度不高、冗余度不够或运行方式与实际不符皆导致状态估计合格率下降。由状态估计理论可知:电压与状态量只存在一级误差(量测误差),而 P 、 Q 、 I 量测量却存在两级误差(一级量测误差,一级为计算误差),这也影响了状态估计精度和计算量大小。

1.2 状态估计模块运行存在问题

1.2.1 在某些线路估计误差较大

参数是长期困扰自动化人员的一个问题。某些参数往往得不到及时维护,维护人员常自行调整参数以提高状态估计合格率。在运行中发现,某些线路量测被状态估计确定为坏数据,量测值与估计值差别达到 20 MW 甚至更大。但从线路两端量测并结合母线注入时,这个量测却是好的(若某线路两端有功量测值之差在一定范围内可以认为两端量测是好的)。在排除其他可能情况下,怀疑线路参数是否准确,于是对线路参数作了小范围调整,调整后状态估计结果趋于正常,但是因线路调整涉及到多条且是试探性质,运行方式改变后状态估计结果又会变坏。这个问题目前一直没有得到很好的解决,此问题于后续 2.6 节阐述。目前,可用一种方法进行校对,即调度员解合环操作校验参数的准确性。具体步骤

是在操作前用调度员潮流计算得到结果,解环后,与实测值对比即可。

深入分析后发现,参数误差引起状态估计误差增大。不同参数误差对状态估计影响程度不同,即使相同的参数误差对不同量测点的估计误差影响度也不同。重载线路参数误差对状态估计结果影响大,轻载影响小。电抗(Z_x)参数误差对高压电网状态估计结果影响较大;电阻(r)、电容影响度较小。 Z_x 误差对无功功率、电压估计值影响较大; r 对节点电压相角及有功功率估计影响较大。环网网络参数误差对环网潮流影响较大,对环网外支路潮流影响较小。某支路参数误差对与该支路有公共节点的支路潮流影响较大,对与其无公共节点的支路影响较小。

网络参数存在误差的原因如下:

a. 缺少实测参数量而采用设计、计算参数或参数量测条件与实际运行条件差别较大导致参数误差较大;

b. 实际运行参数因改建、改线或环境等原因发生局部变化但却没有得到及时更新所致。

解决办法有:重新计算整定设备参数,完善设备参数管理;与相关专业科室人员做好沟通,对采用设计值的线路、设备明细化并与现场实测对比是否一致。

1.2.2 500 kV 变压器变比敏感,分接头估计误差大

500 kV 多为有载调压,若分接头错误,则电压无功类坏数据较多。由于变压器变比 k 在无功潮流计算中以平方项出现,因此,变比误差对状态估计误差影响较大。

变压器分接头位置和移相角的估计算法主要有 4 种方法。

a. 增广状态估计算法。将变压器分接头位置和相角也当作状态变量与节点电压幅值和相角一起估计,该方法增加了量测方程的非线性程度,降低了量测局部冗余度,与变压器相关的量测成为关键量测,降低了用残差检测和辨识不良数据的能力。

b. 对状态估计计算后的残差进行分析,估计变压器分接头位置和移相角。

c. 将变压器分接头位置和移相角估计与状态估计分开进行,利用变压器局部量测冗余度估计分接头位置和移相角。

d. 在进行变压器分接头位置估计时,考虑变压器相关量测和分接头位置随时间变化的动态信息,将分接头位置随时间变化的过程看作马尔可夫链的状态转移,该方法克服了前 3 种方法只利用一次采样量测数据对量测冗余度和量测质量要求高的缺点,有可能使分接头位置估计实用化^[4]。

1.2.3 对坏数据缺乏分析手段

由于状态估计在理论上的局限性,不能从根本上避免坏数据的误判断。实际生产运行中有时会发生这种情况;在一种运行方式下状态估计认为量测是坏数据,但在另外一种情况下又认为是好的。

坏数据一般有 3 种:不正确的参数、不正确的网

络拓扑信息以及量测误差很大的模拟量测量,即不良量测。

1.3 改进建议

增加或完善以下量测以提高计算精度。

a. 厂用电。比如说,若高压母线高厂变负荷没有采集将影响高压母线注入量测,许多电厂高压母线被认为是零注入节点且赋予最高权重,这将影响状态估计结果精度^[5]。

b. 发电机机端电压。节点母线电压幅值是状态估计重要参数之一,福建电网现有状态估计软件只是采用部分采集,没有采集部分只能通过高压母线电压量测量和变压器抽头量测推算得到机端电压,此时若高压母线电压量测不准或变压器抽头量测有误,则机端电压状态估计结果将会出现较大偏差。若把这样的状态估计结果交给其他高级应用软件计算将引入较大误差,如调度员潮流计算软件若用过低的状态估计机端电压为PV节点计算可能会出现不收敛的情况。

c. 补充或完善具备无功补偿设备的35 kV母线电压和无功补偿设备的无功量测。

d. 变压器抽头是一个很重要的量测量,没有抽头的变压器抽头要增加量测量,已有的要保证其正确性。尽量消除因变压器抽头引起的状态估计误差和坏数据。

通常,通道投资远大于测点投资,因此,一个厂站配置了RTU后应尽量多布测点。发电厂机组升压变压器高压侧应配测点,若仅有机组出口处测点,会影响不良数据检测与辨识的性能。此外,联络变压器各侧均应布点,否则无法实现分接头估计。一般70%左右的厂站安装RTU后系统可观测,此时即可配置状态估计软件。

2 状态估计实用化问题探讨

2.1 不良数据的检测与辨识问题

不良数据是指误差大于某一标准(3~10倍标准方差)的量测数据。对SCADA原始数据检查判断是否存在不良数据并指出具体可疑量测数据的过程称为不良数据的检测,对检测出的不良数据验证是否为真正不良数据的过程称为不良数据的辨识。通常量测错误数据可分为2类:一类是稳定错数(属设备和维修问题);另一类是一次采样周期随机出现的错误数据。状态估计现场安装后的一段时间主要是消除第一类错数,或属设备损坏,或是符号相反。随状态估计使用时间加长和维护工作完善,第1类错数逐渐减少,正常运行中的常见错误如开关状态错误(量测错误或无量测)成为第1类错数的主要原因,第2类错数一般是由量测与传送系统质量或受到干扰而产生^[6]。对于量测系统的要求有2点:保持一定冗余度(一量测系统排除错误数据的能力与量测设备数量及分布有关,应保持量测量总数大于状态量

数);量测分布要均匀。状态估计辨识不良数据的能力来自量测系统的冗余度,能够估计出全部状态量的量测系统具有可观性,去掉不良数据后仍保持可观性的量测系统具可辨识性(可分为一重不良数据和多重不良数据水平,且全网各处不良数据的辨识能力也不相同)。当可观性或可辨识性满足不了要求时,常用预测型或计划型伪量测补充,但若此类伪量测维护不好,会带来很大误差。

据实际运行经验可知,省网不良数据约在10个之内,网局不良数据约为30~40个。含有不良数据的状态估计结果在不良数据附近量测残差会增大,残差方程是不良数据检测与辨识的理论基础,某量测残差是全部量测误差的联合作用的体现。因此某一不良数据 v 也会影响全部残差。一般,残差灵敏度矩阵 W 具对角优势,对应于不良数据的残差项最大,这样可根据残差大小检测可疑数据,这给不良数据的检测与辨识提供了方便。残差灵敏度矩阵 W 决定于电网结构和量测配置数量及分布。但注入型量测和配置薄弱地方量测的对角线优势较弱。

残差方程表达式为

$$r = Wv = z - h(x)$$

式中 r 为量测残差向量; W 为残差灵敏度矩阵; v 为量测误差向量; z 为量测向量; $h(x)$ 为量测方程向量。

2.1.1 不良数据的检测

检测要求是在不漏掉不良数据的前提下尽可能缩小可疑数据范围,具体包括4种检测方法。

a. 粗检测。检测量测数据是否超过规定限值或变化速度超过可能极限,此类数据可直接排除,多数系统在SCADA已经完成粗检测。

b. 残差型检测。包括加权残差检测与标准化残差检测。在一般量测冗余度下检测单个不良数据时标准化残差检测性能优于加权残差检测方法。残差检测的阈值在运行中需要人工调整,状态估计投运初期阈值设置高一些以免产生过多可疑数据从而失去可辨识性;对后期维护状态良好的量测系统可设置较低阈值以免漏掉不良数据。

c. 量测突变检测。量测突变检测是检验最近2次量测量采样变化量是否大于阈值的检测方法。对于2个关系紧密的量测量即存在相关坏数据时,其残差灵敏度矩阵互项值与自项值接近而符号相反,且这2个量测不良数据接近时,它们对应的残差可能会很小,残差检测可能会漏掉它们,在此种情况下需量测突变检测。

d. 残差与突变联合检测是综合上述2种方案的检测方法。不良数据检测实质上是把总的量测数据分为可疑数据与可靠数据2部分,然后对可疑不良数据进行辨识找出具体不良数据以保证状态估计结果精度的方法。残差检测特点是简单直观,但存在残差淹没和残差污染且不适合多个不良相关坏数

据的检测。突变检测在上一次估计结果正确、网络结构保持不变且负荷变化不大时能保证多个不良相关坏数据检测的准确度。因此,可根据上述2种检测方法的优缺点互补进行混合检测^[7-8]。

2.1.2 不良数据的辨识

a. 残差搜索辨识法。该方法需多次状态估计计算从而耗费时间过多,因此无法实际应用于大型电力系统的多个不良数据辨识。

b. 非二次准则辨识法是不将可疑量测直接排除而是在迭代中按照残差大小修改其权重,残差大者降低其权重从而在进一步迭代中削弱其影响以得到准确的状态估计结果。检测、辨识、估计一体化,权重随残差变化过大易导致不收敛,变化过小则又难以消除不良数据对状态估计的影响。非二次准则法对强量测系统和相关性不强的不良数据辨识比较有效,但迭代计算量比较大;对弱量测系统和强相关多不良数据系统辨识常会导致不收敛。

c. 零残差辨识法的思路是不改变权重,通过将可疑量测残差直接置零以达到同样的目的。从状态估计修正方程式可知,不良数据对状态估计结果的影响是通过残差传播至状态量中。该方法与非二次准则方法异曲同工,但非二次准则需修正方程式两侧权重不适合快速分解法,因为左边不再是常数矩阵,零残差法仅改变右边项,因此可用于快速分解法。该方法缺陷是在某些情况下收敛性不好。

d. 总体型估计辨识法。 W 矩阵无逆,其秩为冗余度,量测系统辨识不良数据的最大能力不会超过冗余度,且由于不良数据分布的不均匀性破坏了局部可观性,从而实际中辨识能力远低于这一数值。估计辨识的前提条件是不良数据包含于可疑数据中且可辨识。该方法具有快速直接处理多个不良数据的能力,其不足之处在于如何准确检测可疑数据,既要保证不漏掉不良数据,又要保证可疑数据数量,若可疑数据太多会失去可辨识性,这仍旧是一个非常困难的问题。

e. 逐次型估计辨识法的基本思路是取残差搜索法的逐次试探逻辑和估计辨识法中的残差与状态的线性修正关系,建立一种逐次辨识不良数据但又避免总体迭代的新辨识方法。其计算水平可由总体矩阵操作水平提高到只对少数相关元素操作的水平。

2.2 外部网络等值问题

省网与华东有2条联络线。由于没有外网实时信息,外部量测数据很少,状态估计只能在内网进行,将联络线功率等值为负荷,这种方法简单实用,但是当潮流或调度员培训模拟系统(DTS)利用状态估计结果解合环模拟时,若被操作支路接近边界,则计算结果与实际值误差会较大,状态估计自身计算准确性将受它们影响^[9]。从长远看,应利用外网等值技术由外网调度部门向省调传送外网模型和运行信息,且对等值外网的潮流数据进行筛选,形成树状

结构关键量测,保证等值外网潮流数据无冗余,从而等值外网各节点状态只能由内网外推,因而不会影响内网状态估计结果。

外部网络模型主要有3类。

a. 不降阶潮流模型。外部模型精确,但计算量大幅增加。外部量测量数据很全时可考虑此模型。

b. 静态等值模型(改进WARD法或REI法)。优点是在线速度快、易维护,缺点是外部运行方式变化较大时将引入误差。

c. 混合模型。缓冲系统采用不降阶模型,外部网络采用静态等值模型。

外部网络通过联络线潮流变化影响内部网络,应该尽可能得到那些对内部网络影响很大的实时量测数据,采用不同的外部网络模型,外部网络中的重要量测是不同的,这个问题有必要进一步深入研究。

2.3 权值定义原则问题

该部分讨论权值的定义原则,使其能够兼顾估计精度及数值稳定性两者的要求。按通常的量测定义原则,不同类型量测权重分配是不同的,如伪量测一般在量测不足时使用,可用预测及计划型数据(取自母线负荷预报和发电计划,也属于注入型量测(P, Q ,不过数据精度低、权重小)作为伪量测。此外,根据基尔霍夫定律可得到部分伪量测。量测方程 h 为非线性方程,是用状态量表达的测量, m 维。实际上注入型量测就是所联支路潮流量测的代数和。第1类基尔霍夫型伪量测(PQ0节点1无源母线,即无电源又无负荷,其注入量为零,其权重比一般量测量大一个数量级以上);第2类基尔霍夫型伪量测(零阻抗支路,其两端电压差、相位差皆为零,此时需补充状态量 P_{ij}, Q_{ij} ,此类伪量测也应给予大权重)。

估计结果准确性和数值稳定性是状态估计的2个重要因素,通常按照量测精度选取量测权重,不同类型量测如PQ0节点量测与伪量测权重相差很大,估计结果会具有较高的准确性,但可能对数值稳定性不利。待求解方程组条件数是衡量状态估计数值稳定性的重要指标。从理论而言,条件数小的算法数值稳定性优于条件数大的算法;从实用而言,迭代次数少的算法数值稳定性优于迭代次数多的方法,两者基本一致。

文献[10]中提出了一种新的权值定义原则,能够兼顾协调估计结果精度与数值稳定性两者之间的关系,定义原则有3点。

a. 非关键量测权值根据精度要求确定,能使估计结果保持较高准确性。若出现数值稳定性问题可适当减小大量测权重值。

b. 关键量测,不管是实际量测、虚拟量测还是伪量测,也不管其量测精度如何,取接近非关键量测中去掉那些特大、特小量测后量测权值的平均值作为关键量测权重值,能保证状态估计的数值稳定性。

c. 关键量测残差恒为零,关键量测权重不影响

状态估计结果、状态变量估计误差方差及量测估计误差方差。

2.4 内部不可观测部分的处理问题

一般外部网络不可观测,内部网络也存在不可观测部分,有3种求解方法。

a. 基于潮流的方法在内部网络有多个可观测岛时问题将复杂化。

b. 一次估计方法是统一进行状态估计,计算简单,但是要克服不可观测网络中大量伪量测对内部可观测网络估计结果的影响。

c. 二次估计法则首先对内部可观测区进行状态估计,然后利用发电和负荷计划等伪量测,结合边界节点作为平衡节点求解不可观测区域潮流,最后进行全网状态估计并对不可观测区域数据进行调整以与内部可观测网络匹配。该方法效果较好,为目前省网所用方法。

2.5 可观测与非唯一可观测问题

可观测性分析是指在给定网络和量测集时,能否判断确定系统状态。当采集量测能够覆盖所有母线电压幅值和相位角时,通过状态估计可得到这些值,此时称网络是可观测的。可观性分析实质上是判断根据量测方程能否求解出各节点电压幅值和相角。在远动正常情况下整个电网是可观测的。但实际运行中会因通道或厂站 RTU 故障等原因出现厂站收不到数据的情况,由此电网会出现不可观测区,这给状态估计运行带来了困难,调度人员需要随时看到完整准确的电网运行方式,这就需要状态估计运行不能受厂站量测中断的影响且必须给出完整的电网运行方式,可观测性分析功能重要性由此可见。

在省网状态估计中发现不可观测点后,若为负荷节点,用母线负荷预报数据作为伪量测;若是发电机节点,取当时计划数据为伪量测;对无功不可观测点可通过有功值和功率因数折算而得。状态估计不收敛的原因一般是由于电压和无功量测偏差较大引起,与可观测性无关。

可观测性取决于网络结构和量测配置。因量测量可用性和网络结构随时可能变化,当它们变化时应跟踪检查网络的可观测性。若网络可观测可以进行状态估计;否则需确定不可观测母线及可观测岛,逐岛进行状态估计,或选择伪量测补充进行全网状态估计计算。可观测性也是可检测、可辨识的基础,当删除某可疑量测网络后网络不可观时,网络也就失去了可辨识性。可观测性分析方法主要有数值和拓扑2种方法。拓扑分析方法是在量测网络中搜寻满秩的生成树,若存在则认为网络拓扑可观测。数值分析方法是判断信息矩阵能否成功因子分解且对角线是否出现零值,若无零值则判定网络可观,否则网络不可观。可观测性数值分析方法需大量的矩阵运算,而且不能在可观测分析过程中增加必要的注入伪量测,雅克比矩阵需重新形成并进行因子分解,

速度慢且其分析结果还受数值运算精度的影响,在实际状态估计运行中不可取。进行可观测性分析的另一重要目的是恢复不可观测网络的可观测性,通过增加关键伪量测使网络可观测,且要使估计结果受伪量测的不良影响最小。

非唯一可观测问题是指给定量测集时状态估计出现多解问题,一般在有支路电流幅值量测时存在非唯一可观测性的可能性比较大。

2.6 参数的辨识与估计问题

针对 1.2.1 节状态估计在某些线路存在估计误差较大的问题,研究实用化的参数错误辨识与估计具有重要的现实意义。广义的参数包括线路参数、变压器分接头位置及开关状态,一般线路参数可离线处理,变压器分接头位置及开关状态应实时在线处理。变压器分接头的估计实用化已比较成熟,但支路阻抗参数估计的实用化仍存在一定的需要解决。已有的理论研究主要集中于如何求取参数估计值,一般采用的将参数作为状态变量求解增广矩阵的方法易导致增广参数状态估计数值稳定性变差。此外,采用增广参数后的状态估计只能采用牛顿法求解而不能再利用快速分解法而导致计算耗时大幅增加。理论实践表明,若要实现参数估计实用化必须满足3个条件。

a. 采用增广参数后,状态估计收敛性能及数值稳定性变差概率增加,为避免影响实时状态估计运行,应设计成独立模块运行独立调用或自动启动,不需在线周期运行。

b. 参数估计算法要求数值稳定性及可用性好。首先通过参数辨识算法减少待估计参数,因为过多的待估计参数引入会降低系统可观测性并降低系统冗余度,从而导致状态估计精度降低。

c. 与 EMS 有效集成。开发集成于 EMS 的参数辨识与估计模块。

方法简介:基于残差分析的方法。采用可疑支路潮流补偿量的思路,借助残差灵敏度矩阵及参数辨识数学模型辨识出的那些支路补偿量不为零的支路即为可疑支路。确定可疑支路量后既可构造增广状态估计模型并借助最小二乘法求解可疑支路参数的估计修正值^[1]。

有4个实用化问题。

a. 线性化误差处理。当参数错误偏差较大时采用多步迭代估计。

b. 控制可疑支路集合规模。可疑支路集太少会造成漏检,太多又会导致系统冗余度降低甚至不可估计。可采用灵敏度的方法。

c. 独立估计支路电抗参数。针对高压电网参数特点简化计算。

d. 增广状态变量的不可估计问题。可疑支路并非都存在参数错误,经参数估计可以验证。

参数估计软件设计中可应用快速分解法并可给出可疑参数列表供自动化维护人员参考。常规状态估计可利用最新的 20 个残差文件组与参数辨识数据联系,经参数修正程序后,该区域潮流估计接近量测值,大幅减小了状态估计误差。

除上述 6 个探讨问题外,状态估计领域工程实用化中还有其他几个问题需要考虑,包括:算法的选取问题(算法选择不是孤立的,应统筹考虑系统规模和量测具体配置等因素,结合可观性分析及不良数据的检测与辨识统一进行,使其能够兼顾数值稳定性与快速性的要求);零阻抗支路潮流问题^[12](针对母联开关);量测系统误差估计问题^[13](以上状态估计和不良数据辨识均假设量测误差是相互独立的正态分布随机变量,因此要提高状态估计运行质量,不仅要维护准确的量测误差方差,而且要随时消除量测误差偏移的影响);量测系统的优化配置与评价(不论多么优秀的状态估计算法和不良数据辨识都是在一定的量测配置下发挥作用的;反之,状态估计和辨识理论也可指导量测系统的优化配置,使硬软件联合收到更佳的技术效果)。

3 结论与展望

简要介绍了福建电网 EMS 高级应用软件中的状态估计模块所用算法,然后针对该模块在实际生产运行中出现的几个问题进行了分析并提出了具体建议和对策,进而对状态估计模块实用化中的几个关键性问题进行了分析和探讨。随着电力系统的发展,状态估计的定义也得到了推广和延伸,由此出现了广义状态估计的概念,它不但估计节点电压幅值和相位角,而且还要估计开关状态和线路参数(包括变压器分接头位置)。

自 20 世纪 90 年代以来,随着电力市场的引入,电网得到了迅速发展,这些都给状态估计领域带来许多新的课题和研究方向,可概括为:电力市场下对状态估计新的要求;基于同步相量测量单元(PMU)的实时状态估计研究^[14];面向大系统,开发计算速度快和数值稳定性好的算法;多类型相关坏数据的检测与辨识问题即分布式状态估计的研究^[15]。

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] 祝滨,安军,孙启忠,等. 电力系统状态估计在抚顺电网中的应用与研究[J]. 电力自动化设备,2002,22(8):22-24.
 ZHU Bin,AN Jun,SUN Qi-zhong,et al. Application and study of state estimation in Fushun power system[J]. Electric Power Automation Equipment,2002,22(8):22-24.
 [3] 诸骏伟. 电力系统分析[M]. 北京:水利电力出版社,1995.
 [4] 李碧君,薛禹胜,顾锦汶,等. 电力系统状态估计问题的研究现状和展望[J]. 电力系统自动化,1998,22(11):53-60.
 LI Bi-jun,XUE Yu-sheng,GU Jin-wen,et al. Status quo and prospect of power system state estimation[J]. Automation of Electric Power Systems,1998,22(11):53-60.

[5] 黄滔,卢建刚,张辉. 广东省调提高状态估计计算精度的措施[J]. 电网技术,2004,28(16):78-81.
 HUANG Tao,LU Jian-gang,ZHANG Hui. Measure to improve state estimation calculation accuracy in Guangdong provincial power dispatching centre[J]. Power System Technology,2004,28(16):78-81.
 [6] 于尔铿,刘广一,周京阳,等. 能量管理系统(EMS)[M]. 北京:科学出版社,1998.
 [7] 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(6):18-21.
 LIU Hao. Hybrid detection and identification method of bad data in state estimation[J]. Electrotechnical Journal,1999(6):18-21.
 [8] 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.
 [9] 李碧君,薛禹胜,顾锦汶,等. 状态估计中选取量测权值的新原则[J]. 电力系统自动化,2000,24(8):10-14.
 LI Bi-jun,XUE Yu-sheng,GU Jin-wen,et al. A new criterion of determining measurement weights in power system state estimation[J]. Automation of Electric Power Systems,2000,24(8):10-14.
 [10] 杨滢,孙宏斌,张伯明,等. 集成于 EMS 中的参数估计软件的开发与应用[J]. 电网技术,2006,30(4):43-49.
 YANG Ying,SUN Hong-bin,ZHANG Bo-ming,et al. Development and application of parameter estimation software integrated into EMS[J]. Power System Technology,2006,30(4):43-49.
 [11] 顾全,陆杏全. 电力系统实用状态估计中的两个问题的处理[J]. 电力系统自动化,1998,22(1):26-29.
 GU Quan,LU Xing-quan. Estimation of transformer tap setting and zero-impedance branches power flow[J]. Automation of Electric Power Systems,1998,22(1):26-29.
 [12] 张海波,张伯明. 外网等值自动生成系统中地调侧外网估计误差的阻断[J]. 电力自动化设备,2005,25(7):24-27.
 ZHANG Hai-bo,ZHANG Bo-ming. Method to isolate estimation error from external network in external network real-time equivalent system[J]. Electric Power Automation Equipment,2005,25(7):24-27.
 [13] 王早兰. 同步相量测量技术及在电力系统中的应用[J]. 电力学报,2005,20(1):8-10.
 WANG Zao-lan. Summary of application in power system based on synchronously sampled data of PMU[J]. Journal of Electric Power,2005,20(1):8-10.
 [14] 郑相华,米增强,赵洪山,等. 基于 PMU 的状态估计的研究[J]. 继电器,2004,32(17):16-19.
 ZHENG Xiang-hua,MI Zeng-qiang,ZHAO Hong-shan,et al. Research on state estimation based on PMU[J]. Relay,2004,32(17):16-19.
 [15] 任先成,韩富春. 分布式电力系统状态估计[J]. 电力系统及其自动化学报,2003,15(5):11-13,85.
 REN Xian-cheng,HAN Fu-chun. Distributed power system state estimation[J]. Proceedings of the EPSA,2003,15(5):11-13,85.

(责任编辑:汪仪珍)

作者简介:

刘 峰(1976-),男,山东东营人,工程师,博士,主要研究方向为能量管理系统、电力系统稳定方面工作(E-mail:liuaddress@tom.com)。

(下转第 126 页 continued on page 126)

Operation and practicability of state estimation module in EMS

LIU Feng

(Fujian Electric Power Dispatching and Communication Center, Fuzhou 350003, China)

Abstract: SE(State Estimation) is the main analysis software of EMS(Energy Management System) and also is the basis of advanced application software. Several main ES algorithms(e.g. the least square method with basic weight) have good convergence, but endure disadvantages of long computing time, heavy memory usage and so on for large power systems. An applied fast decoupled algorithm is introduced. The operation survey of SE module, the control of telemetering and telesignalling, the origin of suspicious data and factors influencing the eligible rate of SE are described. The great estimation errors existing in parameters and transformer tap changers and the lack of bad data analysis approaches are analyzed and the relative theoretical explanations are provided. Advices about adding or improving measurements, such as the plant electricity, generator terminal voltage and transformer tap position, are presented to enhance the ES precision. Six key problems in practicability are discussed: the detection and identification of bad data, the external network equivalence, the definition principle of measurement weight, the settlement of internal unobservable section, the observability analysis and the parameter identification and estimation. Countermeasures are compared and concluded. The hot and difficult research fields of SE are also prospected.

Key words: power system; state estimation; energy management system