

State Estimation of Micro-Grid Based on Current Amplitude Measurement

Hao Cong^{1,2}, Xiangyang Zhao¹, Wen Luo²

¹School of Automation Science and Electrical Engineering, Beihang University, Beijing

²Jiangxi ENACS Renewable Energy Resources and Micro Grid Innovations Co., Ltd., Ji'an Jiangxi

Email: conghao726@163.com

Received: Jun. 1st, 2015; accepted: Jun. 21st, 2015; published: Jun. 24th, 2015

Copyright © 2015 by authors and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

Abstract

The reliability and accuracy of real-time data in the database is the foundation of control, operation and accurate analysis in the micro-grid energy management. The data collection of the real-time data acquisition system is not complete and there are inaccurate measurements; it's difficult for the power flow calculation and other advanced analysis functions to resolve those problems. So the micro-grid state estimation for the real-time data is imperative. In this paper, seven branches in the micro-grid are analyzed in state estimation after the analysis of the basic principles of state estimation using the real and imaginary parts of the current in branches as the state variables. The deviation of theoretical estimate of the branch current amplitude and the actual value is within the acceptable range.

Keywords

Micro-Grid, Energy Management, State Estimation, Current Amplitude

基于电流幅值量测的微电网状态估计

丛昊^{1,2}, 赵向阳¹, 罗文²

¹北京航空航天大学自动化科学与电气工程学院, 北京

²江西仪能新能源微电网协同创新有限公司, 江西吉安

Email: conghao726@163.com

收稿日期：2015年6月1日；录用日期：2015年6月21日；发布日期：2015年6月24日

摘要

在微电网能量管理中，实时数据库中数据的可靠性和准确性是进行控制、操作及准确分析的基础。数据采集系统中采集的实时数据不齐全以及量测数据不精确是潮流计算等高级分析功能难以解决的，因此对微电网实时数据进行状态估计势在必行。本文在分析了状态估计基本原理的基础上，采用以支路电流的实部和虚部为状态变量的状态估计方法，对微电网中7条支路进行状态估计，其理论估计的支路电流幅值和实际值偏差处于可接受范围之内。

关键词

微电网，能量管理，状态估计，电流幅值

1. 引言

随着电力需求的不断提高，集中式大电网存在一些弊端，运行成本高、难度大、维护费用高，这些难以满足日益增长的安全性以及可靠性。于是，人们提出了微电网[1]的概念，微电网接近负荷，不需要建设大电网进行远距离高压或超高压输电，可以减少线损，节省输配电建设投资和运行费用，还可以有效地实现能源的梯级利用，达到更高的能源综合利用效率。

微电网能量管理系统的目的是作出决策以便更好的利用发电产生的电和热(冷)。该决策的依据为当地设备对热量的需求、气候的情况、电价、燃料成本。因此在保证微电网稳定运行的前提下，调节发电机的输出功率，最大限度的使用可再生能源，减少燃料的消耗是微电网能量管理系统(MEMS)的重要任务。其中，状态估计是能量管理系统(EMS)的核心功能之一[2] [3]，其功能是根据电力系统的各种量测信息，估计出微电网系统当前的运行状态[4] [5]。

微电网状态估计对于提高数据库中数据的可靠性和准确性具有重要意义。由于传统数据采集系统采集的实时测量数据不齐全，同时存在着量测数据不精确，甚至因干扰出现错误数据的问题，导致潮流计算等高级分析功能难以实现[6]。改进的途径有三种：增加量测、改进测量与数据传输系统、状态估计。其中，状态估计是一种利用量测数据的相关性和冗余度，应用计算机技术采用数学处理的方法对运行参数进行处理。

在微电网状态估计中，馈线根节点的电压一般视为精确值而不参与状态估计，而且由于馈线之间除根节点外无电气联系，因此各条馈线可分别进行状态估计，即以馈线作为状态估计的基本单元。

传统的基于电流的配电网状态估计中把电流的数值作为一个整体，而没有将电流的实部与虚部分开，本文将实部与虚部分开，提出应用于微电网的基于电流的状态估计方法，提高了数据的可靠性和准确性，其理论估计的支路电流幅值和实际值偏差处于可接受范围之内。

2. 最小二乘估计法基本原理

状态估计利用冗余的量测或伪量测数据按照一定的准则来估计系统的真实状态[7]。量测都有误差，通常对量测作下面的简化假定：① 随机量测噪声的均值为0；② 量测误差平方的期望值服从标准差为 σ 的正态分布；③ 不同量测之间互不相关。

在给定的系统网络接线、支路参数和量测系统的条件下，反映量测量与系统状态变量之间关系的非线性

性量测方程可写为:

$$z = h(x) + v \quad (1)$$

式中, z 为量测量向量(简称量测向量), x 为状态变量向量(简称状态向量), $h(x)$ 为非线性量测函数, 描述了量测量 z 与状态向量 x 之间的关系; v 为量测误差向量。

基本加权最小二乘状态估计法是以计算得到的状态变量的估计值所对应的测量估计值与测量值之差的加权平方和最小为目标准则的估计方法[8]。它是许多状态估计算法的基础方法。

经过推导可得迭代方程组的形式为

$$\Delta x^{(k)} = G^{-1}(x^{(k)}) H^T(x^{(k)}) R^{-1} [z - h(x^{(k)})] \quad (2)$$

$$x^{(k+1)} = x^{(k)} + \Delta x^{(k)} \quad (3)$$

其中, $Gx^{(k)} = H^T(x^{(k)}) R^{-1} H(x^{(k)})$ 称之为增益矩阵; $H(x)$ 为量测函数的雅可比矩阵, $x^{(k)}$ 、 $x^{(k+1)}$ 分别为第 k 次和第 $k+1$ 次迭代得到的状态变量。

最后, 利用牛拉法求解, 直到满足收敛判据, 就可得到系统状态的估计值 x 。

3. 以支路电流的实部和虚部为状态变量的状态估计方法

电流法状态估计是在前推回代法具有冗余电流测量信息的基础上实现的, 如果配电网各支路电流数据能够给定, 就能利用这些数据对前推回代求出的配电网的运行状态量进行修正, 这里以各支路电流的实部和虚部为状态变量[9] [10]。

(1) 状态变量确定

该方法以支路电流作为状态量, 通过量测变换, 将各种量测都变换成等值的复电流量测。以计算所得的状态变量, 即电流的估计值 I 所对应测量向量估计值 $h(I)$ 与系统真实测量向量 z 之差的加权平方和最小为目标的估计方法, 即满足式(1)中向量 v 的加权平方和最小, 建立目标函数。以支路电流的实部和虚部为状态变量的三相状态估计算法如下:

将复电流相量 $\dot{I}_{l,p}$ 写成直角坐标的形式

$$\dot{I}_{l,p} = I_{l,p}^r + jI_{l,p}^i \quad (4)$$

$I_{l,p}^r$: 支路 l 上 p 相电流的实部;

$I_{l,p}^i$: 支路 l 上 p 相电流的虚部。

则系统的状态变量可表示为:

$$X = [I_1^r, \dots, I_{n_L}^r, I_1^i, \dots, I_{n_L}^i] = [I^r, I^i] \quad (5)$$

I^r : 由所有支路上各相电流的实部所组成的向量;

I^i : 由所有支路上各相电流的虚部所组成的向量。

(2) 量测变换

量测量为支路电流幅值为:

$$I_{l,p}^m = \sqrt{(I_{l,p}^r)^2 + (I_{l,p}^i)^2} \quad (6)$$

即量测函数为:

$$h(I) = \sqrt{(I_{l,p}^r)^2 + (I_{l,p}^i)^2} \quad (7)$$

此时，量测函数为系统状态变量的非线性函数。

(3) 目标函数

$$\min_I J(I) = \sum_{i=1}^{m_p} w'_{i,p} [I_{i,p} - h(I)]^2 \quad (8)$$

(4) 算法流程

状态估计的系统状态初始化非常重要。进行一次前推回代计算可初始化节点电压向量及支路电流的实部和虚部向量。首先设各个节点电压的初值为 1.0 p.u.，利用各节点的注入功率由前推过程得到各支路电流的初值。再利用上步求得的支路电流，加上已知的根节点电压，由回代过程获得各节点电压的初值。支路电流幅值和相角的初始化对状态估计算法的收敛速度有很大的影响[11]。具体步骤如下，流程如图 1 所示。

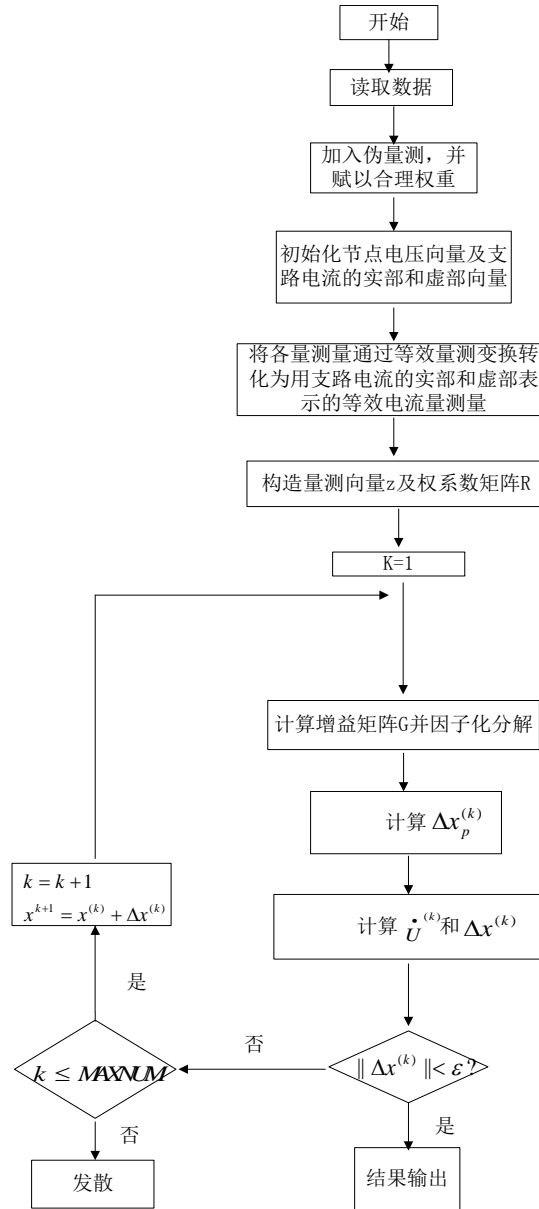


Figure 1. Process of state estimation

图 1. 状态估计算法流程

- a) 读取配电网测量终端电流数据构造测量向量 Z ;
- b) 初始化各支路电流实部和虚部构造状态变量 x ;
- c) 根据状态变量和测量向量计算 $G(x)$ 、 $U^{(k)}$ 、 $\Delta x_p^{(k)}$ 、并计算状态量更新值 Δx ;
- d) 判断 Δx 模值是否满足收敛判据, 若满足, 输出此时状态量, 若不满足, 继续执行 c)。

4. 算例分析

基于 Matlab [12] [13] 仿真软件, 搭建配电网的模型, 线路如图 2:

分析:

(1) 通过各节点的有功、无功注入量和各支路的电流幅值量测, 经过状态估计后, 可由上述表 1 结果得知电流在冗余量测信息的基础上得到一定程度的修正, 提高数据的可靠程度, 估计出微电网系统当前的运行状态。

(2) 偏差较大的节点在实际中需注意是否是因为量测干扰出现的数据错误, 可以通过增加量测、改进测量与数据传输系统或者寻求更合适的状态估计潮流优化方法来提高数据的可靠性与完整性。

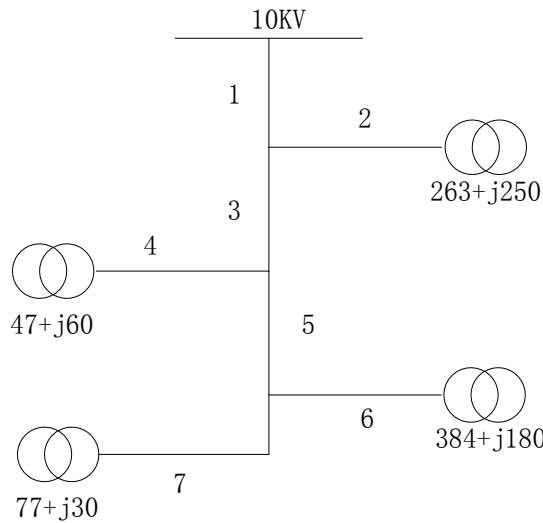


Figure 2. Circuit diagram
图 2. 线路图

Table 1. Comparison of branch current amplitude before and after state estimation
表 1. 状态估计前后的支路电流幅值对比

支路	状态估计前(A相)(单位: A)	状态估计后(A相)(单位: A)	I 偏差(状态估计后 - 状态估计前)
1	97	95.372166581	-1.627833419
2	36.6	36.461471686	-0.138528314
3	58.6	58.62555034049	0.0255503405
4	7.6	7.6147552007	0.0147552007
5	51.5	51.51552063359	0.0155206336
6	42.4	42.42744645629	0.0274464563
7	8.3	8.2863172886	-0.0136827114

5. 结论

利用状态估计原理, 本文在前推回代法的基础上加入了状态估计, 通过多个测量信息获得某一个状态量, 这样可以提高数据的可靠程度。但是, 如果若出于某些原因, 测量结果可能会出现错误数据, 这些不良数据会影响状态估计结果, 因此需要加入不良数据辨识功能, 其目的是检测出明显错误的系统运行数据并剔除出来。另外, 即便测量的数据没有受到干扰, 测量结果也有可信度问题, 可以在测量向量中加入测量权重系数, 这样就可以增加状态估计的准确度。

参考文献 (References)

- [1] 郑漳华, 艾芊 (2008) 微电网的研究现状及在我国的应用前景. *电网技术*, **16**, 27-31.
- [2] Lu, C.N., Teng, J.H. and Liu, W.H.E. (1995) Distribution system state estimation. *IEEE Transactions on Power Systems*, **10**, 229-240.
- [3] Baran, M.E. and Kelle, A.W. (1994) State estimation for real-time monitoring of distribution systems. *IEEE Transactions on Power Systems*, **9**, 1601-1609.
- [4] 于尔铿, 刘广一, 周京阳 (1998) 能量管理系统(EMS). 科学出版社, 北京.
- [5] 于尔铿 (1985) 电力系统状态估计. 水利电力出版社, 北京.
- [6] 张建华, 黄伟 (2010) 微电网运行控制与保护技术. 中国电力出版社, 北京.
- [7] 刘振亚 (2010) 智能电网技术. 中国电力出版社, 北京.
- [8] 张永健 (2009) 电网监控与调度自动化. 中国电力出版社, 北京.
- [9] Lin, W.M. and Teng, J.H. (1996) Distribution fast decoupled state estimation by measurement pairing. *IEEE Proceedings—Generation, Transmission and Distribution*, **143**, 43-48.
- [10] Wang, H.B. and Schulz, N.N. (2004) A revised branch current-based distribution system state estimation algorithm and meter placement impact. *IEEE Transaction on Power Systems*, **19**, 207-213.
- [11] 张伯明, 陈寿孙, 严正 (2007) 高等电力网络分析. 清华大学出版社, 北京.
- [12] 张德喜, 赵磊生 (2010) MATLAB 语言程序设计教程. 中国铁道出版社, 北京.
- [13] 原思聪 (2011) MATLAB 语言与应用技术. 国防工业出版社, 北京.