

基于 SCADA 及 PMU 多时段量测信息的 独立线路参数估计方法

李钦¹, 项凤雏², 颜伟², 卢建刚¹, 余娟², 陈俊², 李世明²

(1. 广东省电力调度中心, 广东省 广州市 510600;

2. 输配电装备及系统安全与新技术国家重点实验室(重庆大学), 重庆市 沙坪坝区 400030)

An Approach to Estimate Parameters of Single Transmission Line Based on Multi-Interval Information Measured by SCADA and Phasor Measurement Units

LI Qin¹, XIANG Fengchu², YAN Wei², LU Jiangang¹, YU Juan², CHEN Jun², LI Shiming²

(1. Guangdong Power Dispatching Center, Guangzhou 510600, Guangdong Province, China;

2. State Key Laboratory of Power Transmission Equipment & System Security and New Technology (Chongqing University), Shapingba District, Chongqing 400030, China)

ABSTRACT: Based on multi-interval information measured by phasor measurement units (PMU) and supervisory control and data acquisition (SCADA) system located at both sides of a single transmission line, five least squares constraints optimization models for parameter estimation of single transmission line are built, in which the measurement equations are composed of following measurements: the active power, reactive power and voltage amplitude are measured by SCADA at both sides of transmission line; the phasors of voltage and current are measured by PMUs; and the phase differences of voltage and current between both sides of transmission line are virtually measured by PMUs. The constraint equations are composed of upper and lower physical constraints of parameter variables. The parameter estimation is solved by lsqnonlin optimization function in Matlab. Based on simulated measurement information of multi typical transmission lines the applicable conditions of all built models are simulated. Simulation results show that the impedance parameters of transmission line can be effectively estimated by four of the built models, which contains PMU measurement, under heavier load and longer length of transmission line.

KEY WORDS: phasor measurement unit (PMU); supervisory control and data acquisition system (SCADA); parameter estimation; augmented state estimation

摘要: 基于单一线路两端的监控与数据采集系统(supervisory control and data acquisition system, SCADA)和相量采集装置(phasor measurement unit, PMU)多时段量测信息,建立了5种独立线路的约束最小二乘参数估计模型,其中,量测方程分别由线路两端有功、无功和电压幅值的 SCADA 量测、电流与电压相量的 PMU 量测以及线路两端电压相角差的

PMU 虚拟量测组合形成,约束方程为参数变量的上下限约束。采用 Matlab 的 lsqnonlin 优化函数求解参数估计问题,并基于多条典型线路的模拟量测信息仿真分析了所有模型的适用条件。结果表明,在负荷较重、线路较长条件下,利用所建含 PMU 量测的 4 种模型,都可以有效估计出线路的阻抗参数。

关键词: 相量测量单元; 监控与数据采集系统; 参数估计; 增广状态估计

0 引言

输电线路参数的准确性是各种电网分析计算的基础^[1-3]。由于种种原因,线路参数往往存在一些错误,从而影响在线或离线计算程序的可信度,因此,对于可疑线路,有必要根据已有量测信息重新估计其参数。

为了减小电网参数误差、避免参数错误,增广状态估计法^[4]、偏移向量法^[5-6]、法方程估计法^[7]、卡尔曼滤波估计法^[8]、残差灵敏度分析法^[9]等传统参数估计方法相继被提出。在算法上,除了常规的牛顿迭代法,一些新的优化方法逐渐应用于参数估计,如遗传算法^[9-10]、粒子群优化方法^[11-12]和 Tabu 搜索方法^[13]等。早期,这些方法主要基于监控和数据采集系统(supervisory control and data acquisition, SCADA)量测信息,近年来,随着广域测量系统(wide area measurement system, WAMS)在电力系统中的广泛应用,基于相量采集装置(phasor measurement unit, PMU)高精度相量信息的参数估计方法^[14-17]也被提出。文献[14-16]都是基于全网量

测信息进行的参数估计, 由于涉及到的参数和量测都较多, 各种误差相互影响, 从而会对参数估计的效果产生一定的影响; 文献[17]虽然是基于单条线路的量测信息建立的参数估计模型, 但是没有分析负荷的轻重和阻抗参数的大小对参数估计值的影响, 而且文章的重点在参数错误辨识, 对于参数估计的实现过程介绍不够清楚; 文献[18-19]分别采用单条线路的多时段 SCADA 和 PMU 量测进行参数估计, 没有考虑参数变量的物理约束, 且文献[19]还没有考虑线路两端电压相角差的约束, 仿真时, 二者都利用一个时段的精确潮流状态加上正态分布的随机误差形成多时段的量测状态, 没有考虑多时段的负荷变化, 不符合实际情况, 其结论的有效性有待进一步验证。

本文考虑多时段 SCADA 的功率和电压幅值量测信息、PMU 的电流电压相量量测信息以及线路两端电压相角差的虚拟量测信息, 计及线路物理参数有效性的上下限约束, 基于增广状态估计方法, 建立 5 种独立线路的多时段参数估计优化模型。然后采用 Matlab 的 lsqnonlin 优化函数求解, 并基于多条典型线路的模拟量测信息, 对上述 5 种模型的有效性及其适用条件进行仿真分析。

1 最小二乘状态估计及参数估计的增广状态估计方法

电力系统状态估计的量测方程为

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

式中: \mathbf{z} 为实时 m 维量测量; \mathbf{x} 为 n 维状态量, 包括电压幅值和相角; \mathbf{v} 为量测误差(假设量测误差服从均值为 0、标准方差为 σ 的正态分布); \mathbf{h} 为用状态量 \mathbf{x} 和电网参数表示的量测函数。

状态估计的加权最小二乘目标为

$$\min J(\mathbf{x}) = [\mathbf{z} - \mathbf{h}(\mathbf{x})]^T \mathbf{W} [\mathbf{z} - \mathbf{h}(\mathbf{x})] \quad (2)$$

式中 \mathbf{W} 起加权作用。

参数估计的增广状态估计, 就是将待估计的参数作为变量, 将其与原来的节点状态量(节点电压矢量)一起进行估计。相应的增广状态估计量测方程为

$$\mathbf{z} = \mathbf{h}(\mathbf{x}, \mathbf{p}) + \mathbf{v} \quad (3)$$

式中 \mathbf{p} 为参数状态量。

2 线路的参数估计模型

2.1 线路的 SCADA 量测方程

本文中所采用的线路模型为传统的 π 型等效模型, 如图 1 所示, 其中: 下标 1 和 2 表示首端和末端节点; P 和 Q 表示有功功率和无功功率; i 表示

电流相量($\dot{I} = I \angle \theta$, I 表示电流幅值, θ 表示电流相角); \dot{U} 表示电压相量($\dot{U} = U \angle \delta$, U 表示电压幅值, δ 表示电压角度); g 和 b 分别表示线路的电导和电纳; B 表示线路的对地电纳。

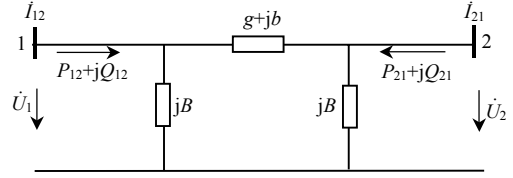


图 1 π 型线路等效模型

Fig. 1 π type equivalent transmission line model

输电线路两端的 SCADA 测量信息有两端电压幅值 U_1 和 U_2 、两端有功 P_{12} 和 P_{21} 、两端无功 Q_{12} 和 Q_{21} , 相应的功率和电压量测方程为

$$\begin{cases} \hat{U}_{s2,t} = U_{1,t}, \hat{U}_{s2,t} = U_{2,t} \\ \hat{P}_{s12,t} = U_{1,t}^2 g - U_{1,t} U_{2,t} g \cos \delta_{12,t} - U_{1,t} U_{2,t} b \sin \delta_{12,t} \\ \hat{Q}_{s12,t} = -U_{1,t}^2 B - U_{1,t}^2 b + U_{1,t} U_{2,t} b \cos \delta_{12,t} - \\ \quad U_{1,t} U_{2,t} g \sin \delta_{12,t} \\ \hat{P}_{s21,t} = U_{2,t}^2 g - U_{1,t} U_{2,t} g \cos \delta_{12,t} + U_{1,t} U_{2,t} b \sin \delta_{12,t} \\ \hat{Q}_{s21,t} = -B U_{2,t}^2 - U_{2,t}^2 b + U_{1,t} U_{2,t} g \sin \delta_{12,t} + \\ \quad U_{1,t} U_{2,t} b \cos \delta_{12,t} \end{cases} \quad (4)$$

式中: 上标符号“ $\hat{\cdot}$ ”表示相关量测变量的量测值; 下标 s 表示 SCADA 量测; t 表示 t 时刻; $\delta_{12} = (\delta_1 - \delta_2)$ 表示线路首末端电压的相角差。

2.2 线路的 PMU 量测方程

对于两端加装 PMU 量测的线路, 可得到精度较高的电压和电流相量, 其中包括幅值与相角测量信息。若采用电压的幅值与相角实际量测信息以及电流的实部和虚部虚拟量测信息来建立 PMU 的量测方程, 可表示为

$$\begin{cases} \hat{U}_{p1,t} = U_{1,t}, \hat{U}_{p2,t} = U_{2,t} \\ \hat{\delta}_{p1,t} = \delta_{1,t}, \hat{\delta}_{p2,t} = \delta_{2,t} \\ \text{Re}(\hat{I}_{p12,t}) = \hat{I}_{p12,t} \cos \hat{\theta}_{p12,t} = \\ \quad g(U_{1,t} \cos \delta_{1,t} - U_{2,t} \cos \delta_{2,t}) - \\ \quad b(U_{1,t} \sin \delta_{1,t} - U_{1,t} \sin \delta_{2,t}) - U_{1,t} B \sin \delta_{1,t} \\ \text{Im}(\hat{I}_{p12,t}) = \hat{I}_{p12,t} \sin \hat{\theta}_{p12,t} = \\ \quad g(U_{1,t} \sin \delta_{1,t} - U_{2,t} \sin \delta_{2,t}) + \\ \quad b(U_{1,t} \cos \delta_{1,t} - U_{2,t} \cos \delta_{2,t}) + U_{1,t} B \cos \delta_{1,t} \\ \text{Re}(\hat{I}_{p21,t}) = \hat{I}_{p21,t} \cos \hat{\theta}_{p21,t} = \\ \quad g(U_{2,t} \cos \delta_{2,t} - U_{1,t} \cos \delta_{1,t}) - \\ \quad b(U_{2,t} \sin \delta_{2,t} - U_{1,t} \sin \delta_{1,t}) - U_{2,t} B \sin \delta_{2,t} \\ \text{Im}(\hat{I}_{p21,t}) = \hat{I}_{p21,t} \sin \hat{\theta}_{p21,t} = \\ \quad g(U_{2,t} \sin \delta_{2,t} - U_{1,t} \sin \delta_{1,t}) + \\ \quad b(U_{2,t} \cos \delta_{2,t} - U_{1,t} \cos \delta_{1,t}) + U_{2,t} B \cos \delta_{2,t} \end{cases} \quad (5)$$

式中: Re 和 Im 分别表示电流相量的实部和虚部;

下标 p 表示 PMU 量测; 其它符号意义同上。

线路两端电压相角差的虚拟量测方程为

$$\hat{\delta}_{p1,t} - \hat{\delta}_{p2,t} = \delta_{1,t} - \delta_{2,t} \quad (6)$$

2.3 独立线路的多时段参数估计优化模型

考虑参数估计值的物理意义, 则增加参数变量的有效性约束

$$\begin{cases} g_{\min} < g < g_{\max} \\ b_{\min} < b < b_{\max} \\ B_{\min} < B < B_{\max} \end{cases} \quad (7)$$

结合式(7)的参数约束以及式(4)—(6)的量测方程, 采用增广状态估计方法, 可建立带上下限约束与加权最小二乘目标的参数估计优化模型。其一般形式为

$$\begin{aligned} \min J(\mathbf{x}) &= [\mathbf{z} - \mathbf{h}(\mathbf{x}, \mathbf{p})]^T \mathbf{W} [\mathbf{z} - \mathbf{h}(\mathbf{x}, \mathbf{p})] \quad (8) \\ \text{s.t. } & \mathbf{p}_{\min} < \mathbf{p} < \mathbf{p}_{\max} \end{aligned}$$

根据量测方程的不同组合, 可形成不同的加权最小二乘目标函数, 并建立不同的线路参数估计约束优化模型, 本文建立了如下 5 种模型:

1) 模型 1(M1)。由量测方程(4)形成目标函数, 建立基于 SCADA 量测的线路参数估计模型。

2) 模型 2(M2)。由量测方程(5)形成目标函数, 建立基于 PMU 量测的线路参数估计模型。

3) 模型 3(M3)。由量测方程(5)和(6)组合形成目标函数, 建立基于 PMU 量测的考虑电压相角差虚拟量测方程的线路参数估计模型。

4) 模型 4(M4)。由量测方程(4)和(5)组合形成目标函数, 建立基于 PMU 和 SCADA 混合量测的线路参数估计模型。

5) 模型 5(M5)。由量测方程(4)(5)(6)组合形成目标函数, 建立基于 PMU 和 SCADA 混合量测的考虑电压相角差虚拟量测方程的线路参数估计模型。

为了增加量测方程的冗余度, 以上模型都包含多个时段的量测方程, 其中, 不同时段的电压状态变量不一样, 但假设参数不变。

式(8)所描述的参数估计模型, 是一个包含变量上下限约束的最小二乘优化问题。采用 Matlab7.0 的 lsqnonlin 函数可以较好地求解这一优化问题。本文基于 Matlab 语言和 lsqnonlin 函数, 编制了参数估计程序, 实现了参数估计的仿真分析。

3 算例仿真与分析

3.1 算例数据

3.1.1 典型线路参数

本文仿真采用了 5 种典型线路, 其型号和单位长度参数如表 1 所示。

表 1 典型线路单位长度参数

Tab. 1 The per-unit-length parameters of typical line					
编号	型号	电压/kV	$r_1/(\Omega/\text{km})$	$x_1/(\Omega/\text{km})$	$b_1/(\mu\text{S}/\text{km})$
L1	LGJ-400	220	0.08	0.4	2.8
L2	LGJ-2×400	220	0.04	0.31	3.9
L3	LGJ-4×300	500	0.0387	0.2927	4.52
L4	LGJ-4×400	500	0.02382	0.2724	4.88
L5	LGJ-4×500	500	0.0151	0.261	5.16

3.1.2 线路两端量测数据的模拟

假设所有量测误差的均值都为 0。对于 SCADA, 电压和电流的幅值标准差为 0.75%, 相角的标准差为 0.9%。在此基础上通过误差传递方法^[20]确定有功和无功的标准差; 对于 PMU, 电压和电流的幅值标准差为 0.5%, 相角标准差为 0.6%。

给定线路首端第一个时段电压和电流的幅值和相角。按照电流幅值等差递增 0.1% 的原则, 产生电流幅值的 T 个状态; 再假设首端电压幅值(额定电压)和电流相角不变, 形成线路送端电压、电流以及有功和无功的 T 个状态值。在此基础上, 基于线路给定的阻抗导纳参数, 计算线路受端电压、电流以及功率的 T 个状态值, 由此模拟形成线路首末端电压、电流与功率的 T 组量测真值。然后基于给定的 PMU 和 SCADA 量测误差信息, 采用 Matlab 正态分布随机函数 normrnd 模拟产生线路两端 T 组量测的随机误差, 再叠加真值形成 PMU 和 SCADA 的量测信息。经过大量仿真发现, 当 $T \geq 4$ 时, 采用本文 5 种模型都能得到比较稳定的估计结果。

3.2 仿真结果与分析

基于本文的 5 种模型及对应的参数估计方法, 考虑不同的线路长度和负载水平, 对 5 种典型线路的参数进行了优化估计, 仿真结果具体见表 2 和表 3, 表中的电流是指线路首端第一个时段的电流幅值。

根据表 2 的结果对比不同模型的参数估计误差。模型 M2—M5 的误差较接近, 模型 M1 的相对误差最大且比前者大很多。这说明完全基于 SCADA 量测数据进行单条线路的参数估计可能产生较大的误差, 而考虑 PMU 量测信息后, 参数估计精度有明显提高。

表 2 重载长线路的参数估计结果
Tab. 2 Results of parameter estimation of long line with heavy load

线路	长度/km	电流/A	模型	参数估计值与真值相对误差/%		
				R	X	B
L1	50	450	M1	25.06	11.80	15.01
			M2	4.93	0.33	6.21
			M3	4.93	0.33	6.21
			M4	5.47	0.64	3.23
			M5	5.46	0.63	3.23
L2	70	550	M1	16.52	9.63	8.26
			M2	2.76	0.48	2.48
			M3	2.77	0.48	2.48
			M4	6.89	0.65	2.59
			M5	7.40	0.44	2.57
L3	82	775	M1	16.34	14.41	9.99
			M2	6.61	0.78	1.33
			M3	6.23	0.74	1.33
			M4	7.87	0.79	1.77
			M5	7.77	0.88	1.77
L4	102	1055	M1	11.83	15.44	22.15
			M2	5.04	0.24	1.71
			M3	5.04	0.24	1.71
			M4	4.40	0.47	2.73
			M5	4.35	0.43	2.72
L5	130	1280	M1	18.31	15.33	14.69
			M2	9.43	0.75	1.20
			M3	9.44	0.75	1.20
			M4	5.88	0.24	1.14
			M5	6.07	0.15	1.14

根据表 2 的结果对比不同参数的估计误差。对模型 M2—M5, 电抗误差最小, 对地电纳误差次之, 电阻误差最大。主要原因是线路电阻相对电抗小很多, 相应电阻对线路两端的量测量影响小很多, 从而当通过量测信息估计参数时, 电阻的估计值就可能有较大误差。

根据表 2 的结果对比不同线路、不同参数的相对误差。对模型 M2—M5 和线路 L1—L5, 电阻误差相对电抗和电纳的误差有逐渐增大趋势, 主要是因为从线路 L1 到 L5, 其 r_1 与 x_1 的比值逐渐减小, 相应电阻对量测状态的影响也越小, 从而导致电阻估计值的相对误差越大。

对比表 3 和表 2 的参数估计相对误差可知, 除了对地电纳, 表 3 中电阻和电抗的误差比表 2 的对应量大很多, 而表 3 的线路长度和负载电流比表 2 的对应量小很多。这说明在线路较短(阻抗较小)和负载较轻的情况下, 采用本文优化方法很难得到比较精确的参数估计值。实际中, 小阻抗线路的参数实测也常常存在很大误差, 因此, 如何有效解决小阻抗线路的参数估计问题, 还需要进一步深入研究。

表 3 轻载短线路的参数估计结果
Tab. 3 Results of parameter estimation of short line with light load

线路	长度/km	电流/A	模型	参数估计值与真值相对误差/%		
				R	X	B
L1	15	200	M1	58.17	57.93	38.14
			M2	32.56	35.66	0.98
			M3	55.71	4.22	0.98
			M4	88.23	11.76	9.05
			M5	54.71	14.43	8.36
L2	20	250	M1	77.93	52.08	14.35
			M2	62.83	73.79	1.38
			M3	43.48	13.69	2.10
			M4	65.87	75.13	1.67
			M5	68.50	76.23	7.40
L3	35	445	M1	53.03	55.8	6.80
			M2	36.06	7.25	2.39
			M3	23.15	10.74	2.39
			M4	25.29	62.34	1.34
			M5	31.63	63.59	0.47
L4	40	475	M1	63.84	54.08	8.04
			M2	61.55	72.91	2.37
			M3	67.20	65.74	2.26
			M4	49.50	70.61	0.55
			M5	56.87	71.88	0.85
L5	45	500	M1	72.89	62.12	7.08
			M2	41.37	64.40	2.01
			M3	62.88	70.86	2.39
			M4	57.21	51.55	1.82
			M5	56.77	71.77	2.63

4 结论

1) 单独利用线路两端 SCADA 量测信息, 很难有效估计线路的阻抗导纳参数。

2) 当线路传输功率较大时, 利用线路两端的 PMU 量测信息或 PMU 和 SCADA 混合量测信息, 采用本文方法, 可以有效估计长线路的阻抗和对地电纳参数; 而传输功率较小时, 线路参数的估计误差明显增大。

3) 相对于电抗, 线路电阻较小, 故线路电阻参数估计值的相对误差比电抗和对地电纳的大, 而且电阻与电抗的比值越小(大截面分裂导线), 电阻的估计误差越大。

4) 如何有效估计小阻抗线路的参数, 还需进一步研究。

参考文献

- [1] 王明俊. 我国电网调度自动化的发展: 从 SCADA 到 EMS[J]. 电网技术, 2004, 28(4): 43-46.
Wang Mingjun. Development of dispatching automation technology in China: from SCADA to EMS[J]. Power System Technology, 2004, 28(4): 43-46(in Chinese).

- [2] 辛耀中. 新世纪电网调度自动化技术发展趋势[J]. 电网技术, 2001, 25(12): 1-10.
Xin Yaozhong. Development trend of power system dispatching automation technique in 21st century[J]. Power System Technology, 2001, 25(12): 1-10(in Chinese).
- [3] 张海波, 张伯明, 王志南, 等. 地区电网外网等值自动生成系统的开发与应用[J]. 电网技术, 2005, 29(24): 10-15.
Zhang Haibo, Zhang Boming, Wang Zhinan, et al. Development and application of real-time external network equivalent system for sub-transmission network[J]. Power System Technology, 2005, 29(24): 10-15(in Chinese).
- [4] 于尔铿. 电力系统状态估计[M]. 北京: 水利电力出版社, 1985: 189-205.
- [5] Liu W H E, Wu F F, Lun S M. Estimation of parameter errors from measurement residuals in state estimation[J]. IEEE Trans on Power Systems, 1992, 7(1): 81-89.
- [6] 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 Hongbin, Zhang Boming, et al. Development and application of parameter estimation software integrated into EMS[J]. Power System Technology, 2006, 30(4): 43-49(in Chinese).
- [7] Liu W H E, Lim S L. Parameter error identification and estimation in power system state estimation[J]. IEEE trans on Power Systems, 1995, 10(1): 200-209.
- [8] Slutsker I W, Clements K A. Real time recursive parameter estimation in energy management systems[J]. IEEE Trans on Power Systems, 1996, 11(3): 1393-1399.
- [9] 何桦, 柴京慧, 卫志农, 等. 基于量测残差的改进参数估计[J]. 电力系统自动化, 2007, 31(4): 33-36.
He Hua, Chai Jinghui, Wei Zhinong, et al. Improved method of parameter estimation based on measurement residuals[J]. Automation of Electric Power Systems, 2007, 31(4): 33-36(in Chinese).
- [10] Julio C, Stacchinide S, Milton B, et al. Treatment of multiple network parameter errors through a genetic-based algorithms[J]. Electric Power Systems Research, 2009, 11(79): 1546-1552.
- [11] 袁晓辉, 王乘, 张勇传, 等. 粒子群优化算法在电力系统中的应用[J]. 电网技术, 2004, 28(19): 14-19.
Yuan Xiaohui, Wang Cheng, Zhang Yongchuan, et al. A survey on application of particle swarm optimization to electric power systems[J]. Power System Technology, 2004, 28(19): 14-19(in Chinese).
- [12] 卞晓猛, 邱家驹, 许旭锋. 电力系统静态线路参数启发式估计[J]. 中国电机工程学报, 2008, 28(1): 41-46.
Bian Xiaomeng, Qiu Jiaju, Xu Xufeng. A heuristic method for static line parameter estimation in power systems[J]. Proceedings of the CSEE, 2008, 28(1): 41-46(in Chinese).
- [13] 宁辽逸, 孙宏斌, 吴文传, 等. 基于状态估计的电网支路参数估计方法[J]. 中国电机工程学报, 2009, 29(1): 7-13.
Ning Liaoyi, Sun Hongbin, Wu Wenchuan, et al. State estimation based branch parameter estimation method for power grid[J]. Proceedings of the CSEE, 2009, 29(1): 7-13(in Chinese).
- [14] 李大路, 李蕊, 孙元章, 等. 计及广域测量信息的状态估计错误参数识别与修正[J]. 电力系统自动化, 2008, 32(14): 11-15.
Li Dalu, Li Rui, Sun Yuanzhang, et al. Recognizing and correcting the wrong parameters in state estimation considering the WAMS measurements[J]. Automation of Electric Power Systems, 2008, 32(14): 11-15(in Chinese).
- [15] 柴京慧, 李书敏, 何桦. 基于PMU及多时间断面的输电网络参数估计[J]. 电力系统自动化, 2009, 33(11): 49-52.
Chai Jinghui, Li Shumin, He Hua. Parameter estimation based on PMU and multi-cases of SCADA for electricity transmission network[J]. Automation of Electric Power Systems, 2009, 33(11): 49-52(in Chinese).
- [16] 吴昊, 闫文瑾, 何桦. 基于多方式电网断面的输电网络参数估计[J]. 电网技术, 2009, 33(18): 89-92.
Wu Hao, Yan Wenjin, He Hua. Parameter estimation of power transmission network based on multi-cases of power flow operating conditions[J]. Power System Technology, 2009, 33(18): 89-92(in Chinese).
- [17] 陈晓刚, 易永辉, 江全元, 等. 基于WAMS/SCADA混合量测的电网参数辨识与估计[J]. 电力系统自动化, 2008, 32(5): 1-5.
Chen Xiaogang, Yi Yonghui, Jiang Quanyuan, et al. Network parameter identification and estimation based on hybrid measurement for WAMS/SCADA[J]. Automation of Electric Power Systems, 2008, 32(5): 1-5(in Chinese).
- [18] Olarte A, Diaz H. Transmission line's parameter estimation using state estimation algorithms[C]//2008 IEEE Power & Energy Society General Meeting (PES2008), Pittsburgh, USA: IEEE, 2008.
- [19] Borda C, Olarte A, Diaz H. PMU-based line and transformer parameter estimation[C]//2009 IEEE Power Systems Conference and Exposition(PSCE2009). Seattle, Washington, USA: IEEE, 2009.
- [20] 费业泰. 误差理论与数据处理[M]. 北京: 机械工业出版社, 1981: 38-40.



李钦

收稿日期: 2010-07-09。

作者简介:

李钦(1980), 男, 工程师, 主要从事电网调度自动化系统的运行维护工作, E-mail: liqin99@gmail.com;

项凤雏(1981), 男, 硕士研究生, 主要研究方向为电力系统参数估计, E-mail: xfc0115@163.com;

颜伟(1968), 男, 教授, 博士生导师, 主要从事电力系统优化运行与控制方面的研究工作。

(责任编辑 褚晓杰)