

DOI: 10.7652/xjtuxb201812016

利用非全相运行故障录波数据的线路参数计算

梁振锋, 李文睿, 张惠智, 康小宁

(1. 西安理工大学水利水电学院, 710048, 西安; 2. 西安交通大学电气工程学院, 710049, 西安)

摘要: 针对采用单相重合闸的特/超高压输电线路,提出了一种利用重合闸期间非全相运行故障录波数据的线路参数时域计算方法。对于非故障线路,正序、零序参数分别选择线模及零模集中参数模型进行计算。对于故障线路,正序参数选择非故障相相间线模集中参数模型进行计算。若二次电弧未熄灭,选择三相耦合线路模型计算故障线路零序参数;若二次电弧熄灭,选择零模集中参数模型计算故障线路零序参数。依据所选模型建立微分电路方程,将线路两端电压和电流采样值作为已知量,利用最小二乘法计算线路参数。采用 ATP-EMTP 软件的仿真结果表明,所提方法能够得到非故障线路和故障线路的正序参数和零序参数,且选择合适的模型可以提高参数计算精度,其中正序电阻、电感、电容的误差分别小于 1%、0.5%、0.23%,零序电阻、电感、电容的误差分别小于 0.12%、0.1%、0.04%。

关键词: 非全相运行;线路参数;故障录波数据;单相重合闸;故障线路;非故障线路

中图分类号: TM721 **文献标志码:** A **文章编号:** 0253-987X(2018)12-0106-06

Calculation of Line Parameters by Using Fault Recording Data of Non-All Phase Operation

LIANG Zhenfeng, LI Wenrui, ZHANG Huizhi, KANG Xiaoning

(1. School of Water Resources and Hydroelectric Engineering, Xi'an University of Technology, Xi'an 710048, China;
2. School of Electrical Engineering, Xi'an Jiaotong University, Xi'an 710049, China)

Abstract: Aiming at the UHV transmission line with single-phase reclosing, a time-domain line parameters calculation method using fault recording data of non-full phase operation during reclosing is proposed. For the non-faulty lines, the positive sequence and zero-sequence parameters are calculated respectively by the equivalent model of linear mode and zero-mode central parameters. With regard to the faulty lines, the positive sequence parameters are calculated using the non-faulty phase-to-phase linear-mode parameter equivalence model. If the secondary arc is not extinguished, the faulty line zero-sequence parameters are calculated using the three-phase coupled line model. If the secondary arc is extinguished, the zero-sequence centralized parameter model is used to calculate the faulty line zero-sequence parameters. The selected calculation model is adopted to establish differential circuit equations, the voltage and current samples at both ends of the line are set as known parameters, and the least squares method is used to calculate the line parameters. Simulation results of ATP-EMTP show that the proposed method can obtain the positive sequence parameters and zero-sequence parameters of

收稿日期: 2018-03-20。 作者简介: 梁振锋(1974—),男,博士,副教授。 基金项目: 陕西省自然科学基金基础研究计划资助项目(2014JM7293)。

网络出版时间: 2018-08-19 网络出版地址: <http://kns.cnki.net/kcms/detail/61.1069.T.20180819.2029.002.html>

non-faulty lines and faulty lines, and a suitable model can improve the accuracy of parameter calculation. Among them, the errors of positive sequence resistance, inductance and capacitance are less than 1%, 0.5% and 0.23% respectively, and the errors of zero-sequence resistance, inductance and capacitance are less than 0.12%, 0.1% and 0.04% respectively.

Keywords: non-full-phase operation; line parameters; fault recording data; single-phase reclosing; faulty line; non-faulty line

输电线路工频参数是电力系统潮流计算、暂态稳定计算、继电保护整定计算等工作的基础资料,其精度决定了计算结果的可靠性^[1],对电网的安全稳定运行具有重要的意义^[2-4]。

目前,输电线路参数获取方法主要有理论计算法、离线测量法、带电测量法等。由于环境、运行工况等复杂因素,以及需要预知和代入计算的参量较多,理论计算法不能真实地反映线路参数的情况。离线测量法需要试验装置且仅针对特定工况,难以反映不同运行环境下的线路参数。因此,利用电力系统运行数据的参数计算方法得到了广泛应用^[5-8]。

文献[9-12]提出了一系列利用同步相量测量装置(PMU)得到的同步相量数据的输电线路参数识别方法。文献[13]提出了基于数据采集监视控制系统及 PMU 多时段测量信息的线路参数估计方法。受 PMU 数量及安装位置的影响,这些方法在未安装 PMU 的线路上无法采用。文献[14]提出了基于输电线路 π 型等效模型的非对称输电线路参数在线测量方法。文献[15-16]提出了基于故障录波数据的输电线路参数计算方法。文献[14-16]的方法均首先利用录波数据获取电流、电压相量值,进而计算线路参数,相量值的计算受电网频率波动及故障暂态分量的影响。故障录波装置接于保护用互感器二次侧,互感器误差会影响线路参数计算结果。近年来,采用电子式互感器的智能变电站发展迅速,电子式互感器的准确度可达到 0.2 级^[17],为故障录波数据应用于线路参数计算奠定了基础。

特/超高压线路通常采用单相重合闸,当线路发生单相接地故障时,由于特/超高压线路保护动作速度快、短路故障持续时间短,且存在非周期分量、谐波等暂态分量,采用故障相断路器跳开前的数据很难获取精确的线路参数。继电保护动作跳开故障相断路器后,系统进入非全相运行,特/超高压输电线路重合闸时间不小于 0.6 s^[18]。

本文提出一种利用单相重合闸期间非全相运行故障录波数据的线路参数时域计算方法。以 A 相接地故障、保护动作跳开故障相断路器为例,对于非

故障线路,正序参数和零序参数分别选择线模 π 型集中参数模型和零模 π 型集中参数模型进行计算。对于故障线路,正序参数选择 B、C 相间线模 π 型集中参数模型进行计算。零序参数的识别模型受二次电弧是否熄灭的影响,分两种情况:若二次电弧未熄灭,重合失败,选择线路的三相耦合模型^[19]进行计算;若重合前二次电弧熄灭,重合成功,选择三相耦合模型或零模 π 型集中参数模型进行计算。根据所选模型建立微分方程,将线路两端电压和电流采样值作为已知量,将线路参数作为待求量,应用最小二乘法实现故障线路和非故障线路的参数计算。仿真结果表明,本文方法能够得到非故障线路和故障线路的正序参数和零序参数,且计算结果精度较高。

1 输电线路参数计算模型的选择

1.1 非故障线路参数计算模型

对于非故障线路,虽然线路参数对称,但线路两侧的三相电流和电压不对称,利用凯伦贝尔变换将电压和电流分解成线模分量和零模分量,分别与线路的线模集中参数模型和零模集中参数模型相对应。选择线模集中参数模型计算线路正序参数;选择零模集中参数模型计算线路零序参数。其中,正序参数可以利用任意两相相间线模集中参数模型进行计算。

1.2 故障线路参数计算模型

对于故障线路,单相接地短路、保护动作跳开故障相断路器,经重合闸重合成功的时序关系如图 1 所示。

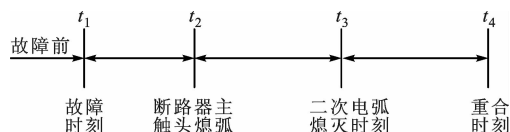


图 1 线路故障、保护动作及重合成功时序关系

图 1 中,输电线路与系统之间的连接关系(或系统的网络拓扑)在 t_1 、 t_2 、 t_3 、 t_4 4 个时刻均会发生变化。本文将利用 $t_2 \sim t_4$ 之间的故障录波数据计算单回输电线路的线路参数。需要指出的是,二次电弧

的熄灭受很多因素的影响,包括不确定因素,因此二次电弧的熄灭时间具有随机性^[20]。若 t_3 接近 t_4 ,甚至延伸至 t_4 ,则重合闸将失败。

根据重合闸情况,可以选择不同的线路参数计算模型。以 A 相接地短路故障为例,对于正序参数,线路两端故障相断路器跳开后,健全相 B、C 相之间的线模集中参数模型与故障相线路二次电弧是否熄灭无关。因此,本文选择健全相 B、C 相之间线模集中参数模型计算正序参数。

计算零序参数所采用的模型受二次电弧是否熄灭影响,分两种情况讨论。

(1)二次电弧未熄灭,重合失败。若重合闸失败,即二次电弧在重合时可能未熄灭。由于重合闸时间内 A 相对地电压低,对地电容储能很小,利用零模集中参数模型计算线路零序参数,零序电容存在较大误差。本文选择三相耦合模型计算线路的零序参数,因为在三相耦合模型中健全相 B 相或 C 相对地电压均接近额定值。因此,可基于 B 相或 C 相线路建立方程求解对地电容。

(2)重合前二次电弧熄灭,重合成功。若重合成功,在 $t_3 \sim t_4$ 时间段内故障线路的线路三相参数对称,仅电流、电压不对称。与非故障线路相同,用 Karranbauer 变换将三相不对称电压和电流分解成零模分量和线模分量,利用零模集中参数模型计算零序参数。当然,也可选择三相耦合模型计算线路零序参数,但与零模集中参数模型相比,三相耦合模型方程复杂、计算量大,受电流、电压误差影响大,零序电容误差大。

2 输电线路参数计算

2.1 正序参数的计算

以 A 相接地故障为例,线路的 B、C 两相相间线模 π 型集中参数模型如图 2 所示。

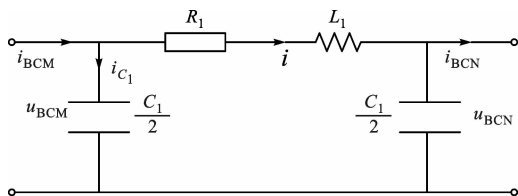


图 2 线路 B、C 相间线模 π 型集中参数模型

由基尔霍夫电流定律(KCL),可得

$$i_{BCM} - i_{BCN} = \frac{C_1}{2} \frac{du_{BCM}}{dt} + \frac{C_1}{2} \frac{du_{BCN}}{dt} \quad (1)$$

分析式(1),得

$$C_1 = 2(i_{BCM} - i_{BCN}) / \left(\frac{du_{BCM}}{dt} + \frac{du_{BCN}}{dt} \right) \quad (2)$$

求解式(2),可得线路的正序电容 C_1 。

基于 C_1 计算结果和基尔霍夫电压定律(KVL),可得

$$u_{BCM} - u_{BCN} = R_1 \left(i_{BCM} - \frac{C_1}{2} \frac{du_{BCM}}{dt} \right) + L_1 \left(\frac{di_{BCM}}{dt} - \frac{C_1}{2} \frac{d^2 u_{BCM}}{dt^2} \right) \quad (3)$$

求解式(3),可得线路的正序电阻 R_1 和正序电感 L_1 。

2.2 零序参数的计算

(1)利用零模等效模型计算零序参数。线路的零模集中参数模型如图 3 所示。

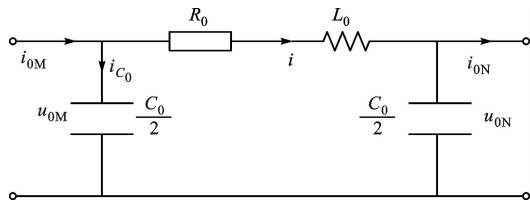


图 3 线路零模 π 型集中参数模型

由 KCL,可得

$$i_{0M} - i_{0N} = \frac{C_0}{2} \frac{du_{0M}}{dt} + \frac{C_0}{2} \frac{du_{0N}}{dt} \quad (4)$$

同 2.1 节分析过程,得

$$C_0 = 2(i_{0M} - i_{0N}) / \left(\frac{du_{0M}}{dt} + \frac{du_{0N}}{dt} \right) \quad (5)$$

$$u_{0M} - u_{0N} = R_0 \left(i_{0M} - \frac{C_0}{2} \frac{du_{0M}}{dt} \right) + L_0 \left(\frac{di_{0M}}{dt} - \frac{C_0}{2} \frac{d^2 u_{0M}}{dt^2} \right) \quad (6)$$

求解式(5)和式(6),可得线路的零序电阻 R_0 、零序电感 L_0 和零序电容 C_0 。

(2)利用线路三相耦合模型计算零序参数。线路三相耦合模型如图 4 所示。基于 B 相线路,采用 KCL 列写微分方程,可得

$$i_{BM} - i_{BN} = i_{C_s B} + i_{C_m BC} + i_{C_m AB} \quad (7)$$

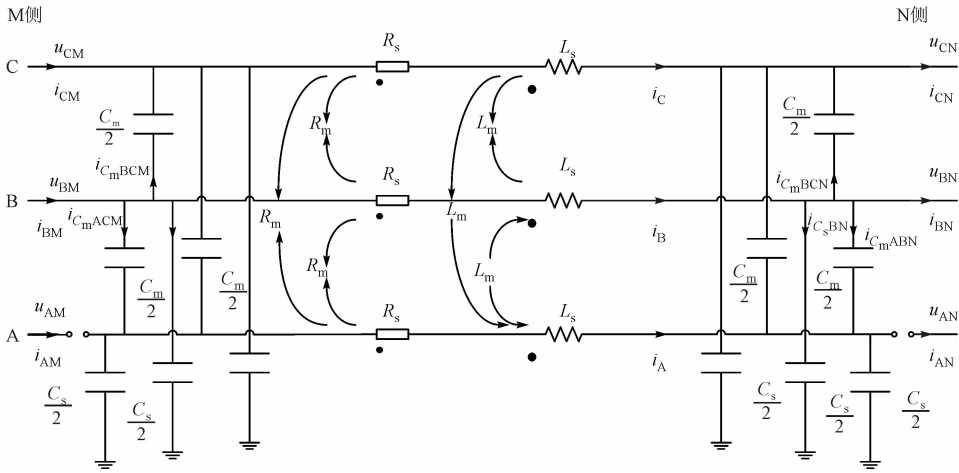
其中

$$i_{C_s B} = i_{C_s BM} + i_{C_s BN} = \frac{C_s}{2} \frac{du_{BM}}{dt} + \frac{C_s}{2} \frac{du_{BN}}{dt} \quad (8)$$

$$i_{C_m BC} = i_{C_m BCM} + i_{C_m BCN} = \frac{C_m}{2} \frac{d(u_{BM} - u_{CM})}{dt} + \frac{C_m}{2} \frac{d(u_{BN} - u_{CN})}{dt} \quad (9)$$

$i_{C_m AB}$ 的推导与式(9)相同。整理式(7),可得

$$i_{BM} - i_{BN} = \frac{C_s}{2} \left(\frac{du_{BM}}{dt} + \frac{du_{BN}}{dt} \right) + \frac{C_m}{2} \left[\frac{2du_{BM} + 2du_{BN} - du_{CM} - du_{CN} - du_{AM} - du_{AN}}{dt} \right] \quad (10)$$



C_s 、 C_m 分别是线路的对地、相间电容; R_s 、 L_s 是线路自电阻、自电感; R_m 、 L_m 是线路的相间互电阻、互电感

图 4 线路三相耦合模型

根据三相线路相参数与序参数的转换关系可知 $C_0 = C_s$, 可求得线路零序电容。

基于 B 相线路, 采用 KVL 列写微分方程

$$u_{BM} - u_{BN} = R_s i_B + R_m (i_A + i_C) + L_s \frac{di_B}{dt} + L_m \left(\frac{di_A}{dt} + \frac{di_C}{dt} \right) \quad (11)$$

其中

$$i_A = i_{AM} - i_{C_sAM} - i_{C_mABM} - i_{C_mACM} = i_{AM} - \frac{C_s}{2} \frac{du_{AM}}{dt} - \frac{C_m}{2} \frac{d(u_{AM} - u_{BM})}{dt} + \frac{C_m}{2} \frac{d(u_{AM} - u_{CM})}{dt} \quad (12)$$

i_B 、 i_C 的推导与式(12)相同。同理, 对于 C 相线路可得

$$u_{CM} - u_{CN} = R_s i_C + R_m (i_A + i_B) + L_s \frac{di_C}{dt} + L_m \left(\frac{di_A}{dt} + \frac{di_B}{dt} \right) \quad (13)$$

根据三相线路相参数与序参数的转换关系可知零序阻抗、 $Z_0 = Z_s + 2Z_m$, 进而求得线路零序电阻 R_0 和零序电感 L_0 。

3 数据处理过程

(1) 录波数据的获取。通过故障录波装置获取故障线路或非故障线路两侧的电流、电压采样值。

(2) 低通滤波及数据窗的选择。本文选取输电线路的 π 型集中参数模型计算线路参数。高压输电线路在故障相断路器跳开后的暂态过程中, 电流、电压中含有谐波和衰减非周期性分量。故障录波数据中的高频分量, 与本文所选模型不对应^[21], 会导致参数计算存在较大误差。

为了提高参数计算精度, 本文首先对故障录波

数据进行低通滤波, 以滤除高频分量, 且数据窗长度选为 100 ms。其次, 选择故障相断路器跳开后一段时间后的数据计算线路参数。本文采用 500 kV 输电线路进行仿真验证, 而 500 kV 系统的暂态过程持续时间约为 80~200 ms, 因此本文采用故障相断路器跳开 200 ms 后或重合前 100 ms 的数据计算线路参数。

(3) Karranbauer 变换。对于零模集中参数模型和线模集中参数模型, 需利用 Karranbauer 变换将三相不对称电压和电流分解成线模分量和零模分量。

(4) 求解线路参数。对于正序参数, 利用最小二乘法求解式(2)和式(3); 对于零序参数, 利用最小二乘法求解式(5)、式(6)或式(10)、式(11)和式(13)。

4 仿真验证

500 kV 线路的等效双电源系统如图 5 所示。该系统包含有 DE、EF 和 PQ 3 条线路。其中, M 侧系统正序阻抗 $X_{1M} = 1.05 + j43.18 \Omega$, 零序阻抗 $X_{0M} = j29.09 \Omega$; N 侧系统正序阻抗 $X_{1N} = 1.06 + j44.92 \Omega$, 零序阻抗 $X_{0N} = j37.47 \Omega$ 。线路参数为 $R_1 = 0.0208 \Omega/\text{km}$, $R_0 = 0.1148 \Omega/\text{km}$, $L_1 = 8.984 \times 10^{-4} \text{ H}/\text{km}$, $L_0 = 2.886 \times 10^{-4} \text{ H}/\text{km}$, $C_1 = 1.29 \times 10^{-8} \text{ F}/\text{km}$, $C_2 = 5.2 \times 10^{-9} \text{ F}/\text{km}$ 。

利用 ATP-EMTP 对图 5 所示系统进行故障仿真。假定 0.04 s DE 线路发生 A 相接地短路故障, 0.1 s 线路两侧故障相断路器跳开, 系统进入非全相运行状态, 0.7 s 二次电弧熄灭, 1.1 s 线路两侧重合闸重合。

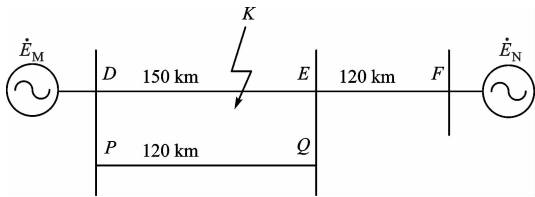


图 5 500 kV 线路的等效电源仿真系统图

表 1 为非故障线路的参数计算结果,表 2 为故障线路的正序参数计算结果。

表 1 非故障线路参数计算结果

非故障线路 参数	EF 段		PQ 段	
	计算值	误差/%	计算值	误差/%
R_1/Ω	2.479 6	0.657	2.479 6	0.657
R_0/Ω	13.764 6	0.083	13.764 6	0.083
X_1/H	0.107 5	0.286	0.107 5	0.286
X_0/H	0.034 6	0.092	0.034 6	0.092
$C_1/\mu\text{F}$	1.550 3	0.149	1.550 3	0.149
$C_0/\mu\text{F}$	0.624 2	0.029	0.624 2	0.029

表 2 故障线路正序参数计算结果

故障线路正序参数	计算值	误差/%
R_1/Ω	3.091 2	0.923
X_1/H	0.134 1	0.490
$C_1/\mu\text{F}$	1.939 4	0.227

经大量的仿真计算发现,故障线路正序参数以及非故障线路正序参数和零序参数的计算结果几乎与重合闸重合时二次电弧是否熄灭无关,与分析结论一致。表 1 和表 2 计算结果均为利用二次电弧熄灭后的数据计算得到的参数,其中故障线路和非故障线路的正序参数均选择 B、C 相间线模集中参数模型计算的。

由表 1 和表 2 仿真结果可见,与文献[13]提出的算法及文献[19]的解耦算法相比,本文的线路参数计算结果误差更小,具有优势。

表 3 为二次电弧未熄灭时故障线路的零序参数计算结果。

表 3 电弧未熄灭时故障线路零序参数计算结果

故障线路 零序参数	三相耦合模型		零模线路模型	
	计算值	误差/%	计算值	误差/%
R_0/Ω	17.816 4	3.463	17.228 2	0.048
X_0/H	0.043 3	0.023	0.043 0	0.674
$C_0/\mu\text{F}$	0.780 1	0.013	1.169 7	49.962

由表 3 计算结果可见:采用三相耦合模型计算

故障线路零序参数,零序电阻误差为 3.463%;若采用零模集中参数模型计算,则零序电容的误差高达 49.962%。因此,在故障相二次电弧未熄灭时应选择三相耦合模型计算故障线路的零序参数。

由表 4 计算结果可见,二次电弧熄灭后,无论采用三相耦合模型还是零模集中参数模型计算故障线路的零序参数,误差均较小。但是,基于零模集中参数模型的计算方法方程更简单,计算量更小,受录波数据误差影响小,因此若重合成功,应选用重合前 100 ms 的数据,利用零模集中参数模型计算故障线路零序参数。

表 4 电弧熄灭后故障线路零序参数计算结果

故障线路 零序参数	三相耦合模型		零模线路模型	
	计算值	误差/%	计算值	误差/%
R_0/Ω	17.200 7	0.112	17.200 3	0.114
X_0/H	0.043 3	0.023	0.043 3	0.023
$C_0/\mu\text{F}$	0.781 0	0.128	0.780 3	0.040

5 结 论

针对采用单相重合闸的特/超高压输电线路,本文提出了一种基于重合闸期间非全相运行状态下故障录波数据的时域线路参数计算方法。本文方法受非周期分量和谐波等暂态分量的影响较小,所得线路参数精度高。

本文考虑了重合闸期间二次电弧对线路参数计算结果的影响,依据二次电弧是否熄灭,选择了不同输电线路参数计算模型。对于非故障线路,正序参数选择线模模型,零序参数选择零模模型。对于故障线路,正序参数选择非故障相间线模模型;若二次电弧未熄灭,零序参数的计算只能选择三相耦合模型;若二次电弧熄灭,建议采用零模模型计算零序参数。采用 ATP-EMTP 软件的仿真结果表明,本文所选择的计算模型正确,计算所得线路参数精度较高。

利用实际故障录波数据进行线路参数计算时,仍有很多问题需要解决:①电流、电压互感器(尤其是常规电磁式互感器)的误差会影响到参数计算的精度;②输电线路两侧故障录波装置的采样频率可能不同;③线路两侧故障录波数据的同步性对参数计算的影响。以上问题需要进一步研究。

参考文献:

[1] 赵艳军. 输电线路参数测量技术 [M]. 北京: 中国电力出版社, 2014: 1-2.

- [2] 李灏,戴亮,陈力,等. 基于智能电网调度控制系统的超高压输电线路参数修正方法 [J]. 电气技术, 2017(6): 48-53.
LI Hao, DAI Liang, CHEN Li, et al. The correction method for ultra high voltage transmission line parameters based on smart grid dispatching and control system [J]. Electrical Technology, 2017(6): 48-53.
- [3] 梁志瑞,牛胜锁,靳楠. 交流输电线路参数测量现状及发展趋势 [J]. 电力系统自动化, 2017, 41(11): 181-191.
LIANG Zhirui, NIU Shengsuo, JIN Nan. Current status and development trend of AC transmission line parameter measurement [J]. Automation of Electric Power Systems, 2017, 41(11): 181-191.
- [4] 曾兵,吴文传,张伯明. 基于 Karush-Kuhn-Tucker 最优条件的电网可疑参数辨识与估计 [J]. 电网技术, 2010, 34(1): 56-61.
ZENG Bing, WU Wenchuan, ZHANG Boming. A method to identify and estimate network parameter errors based on Karush-Kuhn-Tucker condition [J]. Power System Technology, 2010, 34(1): 56-61.
- [5] 梁志瑞,武长青,苏海锋,等. 一种耦合传输线参数在线测量方法 [J]. 电力系统保护与控制, 2012, 40(8): 126-130.
LIANG Zhirui, WU Changqing, SU Haifeng, et al. A parameter measuring method of coupling transmission lines [J]. Power System Protection and Control, 2012, 40(8): 126-13.
- [6] 梁志瑞,宫瑞邦,牛胜锁,等. 双回路耦合输电线路的零序参数在线测量 [J]. 电力自动化设备, 2013, 33(7): 70-74.
LIANG Zhirui, GONG Ruibang, NIU Shengshu, et al. Online measuring of zero-sequence parameters for coupled double-circuit transmission line [J]. Electric Power Automation Equipment, 2013, 33(7): 70-74.
- [7] 方丽华,胡志坚. 含 T 接线互感线路参数带电测量方法及工程应用 [J]. 电网技术, 2010, 34(4): 204-208.
FANG Lihua, HU Zhijian. A new method for live line measurement of zero-sequence parameters of transmission line containing T-connection transmission line with mutual inductance and its engineering application [J]. Power System Technology, 2010, 34(4): 204-208.
- [8] 李炜,汤吉鸿,于雅玲,等. 利用电压及电流双端测量信息的高压输电线路正序参数测量方法及应用 [J]. 电网技术, 2011, 35(4): 103-107.
LI Wei, TANG Jihong, YU Yaling, et al. An approach to measure positive-sequence parameters of HV transmission line by using two-terminal measured voltage and current data and its application [J]. Power System Technology, 2011, 35(4): 103-107.
- [9] 王茂海,鲍捷,齐霞,等. 基于 PMU 实测数据的输电线路参数在线估计方法 [J]. 电力系统自动化, 2010, 34(1): 25-27, 31.
WANG Maohai, BAO Jie, QI Xia, et al. Online estimation of transmission line parameters based on PMU measurements [J]. Automation of Electric Power Systems, 2010, 34(1): 25-27, 31.
- [10] 常鲜戎,崔赵俊,张海生. 基于 PMU 数据的输电线路参数跟踪估计 [J]. 电力科学与工程, 2014, 30(4): 28-32.
CHANG Xianrong, CUI Zhaojun, ZHANG Haisheng. Transmission line parameters estimation based on PMU data [J]. Electric Power Science and Engineering, 2014, 30(4): 28-32.
- [11] 薛安成,周健,黄梓华,等. 输电线路零序参数的在线自适应 IGG 抗差辨识方法 [J]. 电网技术, 2016, 40(12): 3923-3929.
XUE Ancheng, ZHOU Jian, HUANG Zihua, et al. On-line adaptive IGG robust identification method for zero sequence parameters of transmission line [J]. Power System Technology, 2016, 40(12): 3923-3929.
- [12] 薛安成,张兆阳,毕天姝. 基于自适应抗差最小二乘的线路正序参数在线辨识方法 [J]. 电工技术学报, 2015, 30(8): 202-209.
XUE Ancheng, ZHANG Zhaoyang, BI Tianshu. On-line identification of transmission line positive-sequence parameters based on adaptive robust least squares [J]. Transactions of China Electrotechnical Society, 2015, 30(8): 202-209.
- [13] 李钦,项凤雏,颜伟,等. 基于 SCADA 及 PMU 多时段量测信息的独立线路参数估计方法 [J]. 电网技术, 2011, 35(2): 105-109.
LI Qin, XIANG Fengchu, YAN Wei, et al. An approach to estimate parameters of single transmission line based on multi-interval information measured by SCADA and phasor measurement units [J]. Power System Technology, 2011, 35(2): 105-109.
- [14] 赵进全,尹建华,夏建生,等. 一种非对称输电线路参数的在线测量方法 [J]. 西安交通大学学报, 2016, 50(2): 80-84.
ZHAO Jinqian, YIN Jianhua, XIA Jiansheng, et al. An online measuring method of the parameters for asymmetric transmission lines [J]. Journal of Xi'an Jiaotong University, 2016, 50(2): 80-84.

(下转第 136 页)