

基于行波原理的优化组合故障测距技术

于桂音, 陈平, 徐丙垠, 哈恒旭

(山东理工大学电气与电子工程学院, 山东 淄博 255049)

摘要: 对现代D型双端和A型单端输电线路行波故障测距原理的准确性和可靠性进行了综合评价。在此基础上, 提出了基于这两种行波原理的优化组合测距思想, 并成功用于实际故障暂态行波分析。与单独的D型或A型行波测距方案相比, 本方案的最大优点是能够利用A型行波原理对D型行波原理给出的测距结果进行验证和校正, 从而同时提高了测距可靠性和准确性。实际应用表明, 优化组合行波测距方案是可行的, 并且测距精度得到明显提高。

关键词: 输电线路; 行波; 故障测距; 全球定位系统

An optimal combined transmission line fault location technique based on travelling wave principles

YU Gui-yin, CHEN Ping, XU Bing-yin, HA Heng-xu

(Shandong University of Technology, Zibo 255049, China)

Abstract: A general appraisal is given to the modern Type D double-ended and Type A single-ended transmission line fault location principles based on travelling waves in accuracy and reliability. Based on this, an optimal combined fault location idea is presented based on the two types of travelling wave principles, which is applied to the actual fault generated transient travelling wave analysis successfully. Compared with the separate Type D or Type A travelling wave based fault location scheme, the most important virtue of the presented scheme is that the Type D based fault location result can be validated and calibrated by Type A travelling wave principle, thereby both of the location reliability and accuracy are improved. The actual applications show that the presented optimal combined fault location scheme is feasible, and the fault location accuracy is improved evidently.

This project is supported by National Natural Science Foundation of Shandong Province(No.2004ZX26).

Key words: transmission lines; travelling waves; fault location; GPS

中图分类号: TM711; TM77 文献标识码: A 文章编号: 1003-4897(2008)09-0011-05

0 引言

输电线路行波故障测距技术因具有测距精度高和适用范围广等优点, 一直为继电保护专业人员所关注^[1]。早在20世纪50年代, 国外就研制出A、B、C、D等基本型式的行波故障测距装置, 但因存在可靠性差、构成复杂以及价格昂贵等问题, 终究没有得到推广应用。

20世纪80年代, 国内外在早期A型行波测距原理的基础上, 提出了集保护和测距为一体的行波距离保护原理^[2,3]。但由于测距算法不可靠以及现场试验条件的限制, 行波距离保护没有得到进一步的发展。

20世纪90年代初, 我国提出了利用电流暂态分量的现代行波故障测距技术^[4], 从而推动了输电线路行波测距技术的商业化发展。

文献[5~7]对利用电流暂态分量的现代行波故障测距技术进行了进一步研究, 并研制出集现代A型单端、D型双端和E型单端等多种行波测距原理为一体的XC系列现代行波故障测距系统。文献[8]系统地总结了现代行波故障测距系统需要解决的关键技术问题。

近几年来, 现代行波测距技术逐渐在直流输电线路、普通配电线路、铁路电力自闭/贯通线路上获得了实际应用^[9-11], 并取得了较好的效果。

理论分析和实际应用表明, 尽管D型行波原理能够在线自动给出测距结果, 但其可靠性和准确性受给定线路长度和授时系统的影响。当给定线路长度存在较大误差或者授时系统工作不正常时, D型行波测距结果是不可信的。另一方面, A型单端行波原理尽管具有更高的准确性, 但由于测距算法不成熟而难以自动给出正确的测距结果。

显然, 如果能够将D型双端和A型单端行波测

基金项目: 山东省自然科学基金资助项目(2004ZX26)

距原理配合使用,必然能够进一步提高行波测距的可靠性和准确性。为此,本文提出了基于这两种现代行波原理的优化组合测距思想,并成功用于实际故障暂态行波分析。

1 现代 D 型双端行波原理

1.1 原理分析

D 型双端行波原理利用线路内部故障产生的初始行波浪涌到达线路两端测量点时的绝对时间之差值计算故障点到两端测量点之间的距离。

设线路 MN 故障产生的初始行波浪涌到达 M 端和 N 端测量点时的绝对时间分别为 T_M 和 T_N , 则故障距离可以表示为:

$$\begin{cases} D_{MF} = \frac{1}{2}[L + v(T_M - T_N)] \\ D_{NF} = \frac{1}{2}[L + v(T_N - T_M)] \end{cases} \quad (1)$$

式中: D_{MF} 和 D_{NF} 分别为 M 端和 N 端测量点到故障点的距离; L 为线路 MN 的长度; v 为波速度。

为了准确标定故障初始行波浪涌到达故障线路两端测量点的绝对时间,在线路两端均需装设行波采集系统。两端行波采集系统中必须配备高精度和高稳定度的实时时钟,而且需采用内置高精度授时系统(如 GPS 接收模块)的电力系统同步时钟实现精确秒同步,以使得两端系统的时钟误差平均不超过 $1 \mu\text{s}$ 。

1.2 综合评价

(1) 准确性

D 型双端行波原理利用线路长度、波速度和故障初始行波浪涌到达故障线路两端母线时的绝对时间之差值计算故障距离。因此,能否获得准确的线路长度、波速度和故障初始行波浪涌到达时刻,将直接影响测距准确性。

严格来讲,无论是传统的故障测距原理,还是行波故障测距原理,其测距结果表示故障点到线路末端的实际导线长度。但巡线时往往将测距结果当作地理上的水平距离并以此作为查找故障和计算测距误差的依据,而并不考虑线路弧垂的影响。同样,线路全长也是以水平距离的形式预先给定。当线路较长时,计及弧垂影响后的实际导线长度与导线水平长度相差较大。

故障暂态行波具有从低频到高频的连续频谱,其中不同频率分量的传播速度是不相同的。行波分量的频率越低,其传播速度越慢;行波分量的频率越高,其传播速度也越快,并且越趋于一致(接近光速)。随着电压等级的不同,输电线路暂态行波中高

频分量的传播速度大约在光速的 97%~99% 范围内变化,具体可以利用线路结构参数进行计算,也可以实际测量。

为了获得准确的测距结果,故障初始行波浪涌的到达时刻应定义为其中能够到达测量点的最高频率分量的到达时刻。从时域来看,故障初始行波浪涌的到达时刻就是其波头起始点所对应的时刻,该时刻的测量误差取决于采样频率和授时系统的时间误差。采样频率越高,对故障初始行波波头起始位置的标定误差越小;授时系统的时间误差越小,对故障初始行波波头起始时刻的标定误差越小。目前,现代行波故障测距系统的采样频率一般为 1 MHz,且广泛采用全球定位系统(GPS)作为授时系统,其标称误差一般不超过 $1 \mu\text{s}$ 。

在正常运行情况下,波速度、行波采样频率和授时系统对 D 型双端行波原理的测距准确性影响不大,一般只会带来几百米的测距误差。但是,在实际应用中发现,对于长线路(如直流输电线路),有时给定的线路长度存在较大误差,甚至达到几公里,这将对 D 型双端行波原理的测距精度产生很大影响。

(2) 可靠性

D 型双端行波原理不需要检测来自故障点和系统中其它波阻抗不连续点的反射波,并且能够自动给出故障测距结果,因而具有很高的自动测距可靠性,这也是这种原理最为优越之处。

研究发现, GPS 接收机普遍存在输出信号瞬时不稳定、卫星失锁以及时钟跳变等问题^[12]。如果直接利用 GPS 接收机输出的时间信息和秒脉冲信号(1PPS)实现 D 型双端行波原理,则必将对测距可靠性带来一定影响。在实际应用中也发现,在个别情况下, GPS 时间系统紊乱所导致的 D 型双端行波测距误差可达到 20 km 左右。

2 现代 A 型单端行波原理

2.1 原理分析

根据所检测反射波性质的不同,可以将 A 型单端行波原理分为 3 种运行模式,即标准模式、扩展模式和综合模式^[7]。

标准模式下的 A 型单端行波原理利用线路故障后在线路一端(本端)测量点提取的第 1 个正向行波浪涌与其在故障点反射波之间的时延 Δt 计算本端测量点到故障点之间的距离,其计算公式为:

$$D_{MF} = \frac{1}{2}v\Delta t \quad (2)$$

式中: v 为波速度。

扩展模式下的 A 型单端行波原理利用线路故障后在本端测量点提取的第 1 个反向行波浪涌与经过故障点透射过来的故障初始行波浪涌在对端母线反射波之间的时延 $\Delta t'$ 计算对端母线到故障点之间的距离, 其计算公式为:

$$D_{NF} = \frac{1}{2} v \Delta t' \quad (3)$$

综合模式下的 A 型单端行波原理通过识别本端测量点在线路故障后提取到的第 2 个反向行波浪涌实现故障测距。具体说来, 当第 2 个反向行波浪涌为本端第 1 个正向行波浪涌在故障点的反射波时, 二者之间的时延对应于本端测量点到故障点之间的距离; 当第 2 个反向行波浪涌为故障初始行波浪涌在对端母线的反射波时, 它与本端第 1 个反向行波浪涌之间的时延对应于对端母线到故障点之间的距离。

在绝大多数情况下, 同一母线上往往连接有多回 (3 回以上) 线路, 从而可以利用基于电流暂态分量的直接波形分析法实现 A 型行波原理^[7]。

2.2 综合评价

(1) 准确性

A 型单端行波原理利用故障暂态行波在故障点与任一端母线之间的传播速度和传播时间计算故障距离。因此, 能否获得准确的波速度和行波传播时间, 将直接影响测距准确性, 其中波速度的影响已经在第 1.2 节进行了分析。

为了获得准确的测距结果, 行波传播时间应定义为能够到达测量点的最高频率分量的传播时间。这样, 在时域中两个行波浪涌之间的时间延迟可以定义为二者波头起始点之间的时间间隔。该时间间隔的测量误差取决于采样频率, 即采样频率越高, 测量误差越小。

由于 A 型单端行波原理不受线路长度和授时系统时间误差的影响, 因而能够提供比 D 型双端行波原理更为准确的测距结果。

(2) 可靠性

A 型单端行波原理的可靠性主要表现在两个方面, 一是故障点反射波和对端母线反射波的可靠识别, 二是来自故障方向的行波浪涌与干扰信号的可靠识别。

故障点反射波和对端母线反射波的性质主要取决于两端母线的接线方式^[1,4]。当母线上除故障线路外无其它出线时, 故障初始行波浪涌在母线的反射波会在几个微秒内发生极性翻转, 从而给故障点反射波和对端母线反射波的检测和识别造成困难。在一般情况下, 故障点反射波和对端母线反射波都能够到达线路一端的测量点, 因而标准模式和扩展模

式下 A 型单端行波原理的测距结果之和应近似等于线路全长。据此可以对故障点反射波和对端母线反射波进行进一步确认, 并对故障测距结果的正确性进行验证, 从而提高测距可靠性。从实测波形来看, 通过人工波形分析, 一般都能够可靠地区分故障点反射波和对端母线反射波, 但由于行波波形畸变以及故障初始行波浪涌中存在高频振荡等复杂因素的影响, 现有的各种单端行波故障测距算法 (包括小波算法) 均难以可靠地标定故障点反射波和对端母线反射波的到达时刻。

来自故障方向的行波浪涌与干扰信号的可靠识别, 也是构造实时测距算法时所面临的重要问题之一。检测行波浪涌最经典的算法是相关函数法和匹配滤波器法, 但由于行波在传播过程中其波形会发生畸变, 降低了这些算法的可靠性。

3 优化组合行波测距的基本思想

以上分析表明, D 型双端行波原理能够在线自动给出故障点位置, 但其测距结果受给定线路长度和授时系统的影响。当给定线路长度存在较大误差或者授时系统工作不正常时, D 型行波测距结果是不可信的。A 型单端行波原理具有更高的准确性, 但由于测距算法不成熟而难以自动给出正确的测距结果。

本文的研究表明, 在离线状态下, 借助于专门研制的行波波形分析软件, 可以利用 A 型原理对 D 型原理给出的行波测距结果进行验证和校正, 从而获得更为理想的测距结果, 这就是基于行波原理的优化组合测距思想。

在实际应用中, 优化组合行波测距包含以下 2 个步骤:

(1) 初测

初测就是利用 D 型双端行波原理初步测量故障点位置。如果被监视线路两端的行波采集与处理系统之间具备通信条件, 当线路发生故障后, 两端采集与处理系统将自动调取对方的故障启动报告, 并自动给出 D 型行波测距结果。也可以通过行波分析主站自动或人工调取故障线路两端采集与处理系统的故障启动报告, 进而自动给出 D 型行波测距结果。如果不具备通信条件或者通信临时中断, 可以在线路故障后由线路一端所在变电所通过人工拨打电话的方式询问线路对端采集与处理系统记录到的故障初始行波浪涌到达时间, 进而通过本端行波采集与处理系统提供的离线 D 型行波测距组件给出测距结果。

(2) 验证和校正

以初测获得的本端测量点 (或对端母线) 到故

障点的距离为基准, 根据 A 型单端行波原理, 借助于专用的离线行波波形分析软件, 通过人工和计算机辅助分析本端记录到的故障暂态波形, 验证在允许的误差范围内 (一般不超过 ± 1 km) 是否存在由故障点反射波 (或对端母线反射波) 引起的暂态分量。如果在允许的误差范围内存在由故障点反射波 (或对端母线反射波) 引起的暂态分量, 则表明根据 D 型行波原理获得的粗测结果是可信的 (验证正确), 而且最终可给出经过进一步校正后的测距结果 (即 A 型行波测距结果)。如果在允许的误差范围内不存在由故障点反射波 (或对端母线反射波) 引起的暂态分量, 则表明粗测结果是不可信的 (验证错误), 因而只能单独根据 A 型单端行波原理分析出故障点位置。

对于只利用电流暂态分量构成的现代行波故障测距系统, 为了更好的运用优化组合行波测距方案, 一般要求能够采集同母线上 3 回以上线路的电流暂态信号。

4 实际应用

4.1 初测结果验证正确的实例

2002 年 4 月 5 日 14 时 33 分 7 秒, 黑龙江绥化电业局所管辖的 220 kV 康绥甲线发生 B 相接地故障, 故障线路两端的电流暂态波形如图 1 所示, 其中两个波形窗口显示的是线路两端记录到的三相电流暂态波形 (采样频率为 1 MHz, 下同), 每个波形窗口上方文字提示区域显示的距离为粗测结果 (根据 D 型双端行波原理获得的本端测量点与故障点之间的距离), 每个波形窗口内右上角显示的距离为校正后的测距结果 (根据 A 型单端行波原理获得的本端测量点与故障点之间的距离)。

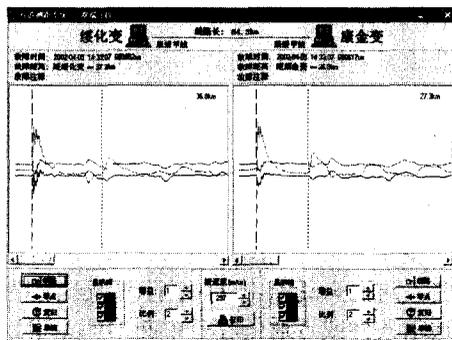


图 1 康绥甲线两端故障电流暂态波形及行波测距结果 (2002 年 4 月 5 日)

Fig. 1 The fault current transient waveforms recorded at the two terminals of Kang-Sui line No. 1 and the travelling wave based fault location results (April 5, 2002)

对于图 1 所示的线路故障, 粗测获得的故障点位置距绥化变和康金变分别为 37.3 km 和 26.9 km。从线路任一端记录的暂态波形来看, 在允许的误差范围内均存在由故障点反射波引起的暂态分量, 因而粗测结果是可信的, 而且经过进一步校正后的故障点位置距绥化变和康金变分别为 36.8 km 和 27.3 km。实际故障点距绥化变 37 km, 粗测误差为 300 m, 校正后的误差为 200 m。

2002 年 4 月 16 日 4 时 29 分 39 秒, 康绥甲线再次发生 B 相接地故障, 故障线路两端的电流暂态波形如图 2 所示, 粗测获得的故障点位置距绥化变和康金变分别为 9.2 km 和 55 km。从线路任一端记录的暂态波形来看, 在允许的误差范围内均存在由故障点反射波引起的暂态分量, 因而粗测结果是可信的, 而且经过进一步校正后的故障点位置距绥化变和康金变分别为 8.9 km 和 55.5 km。实际故障点距绥化变 8.955 km, 粗测误差为 245 m, 校正后的误差为 55 m。

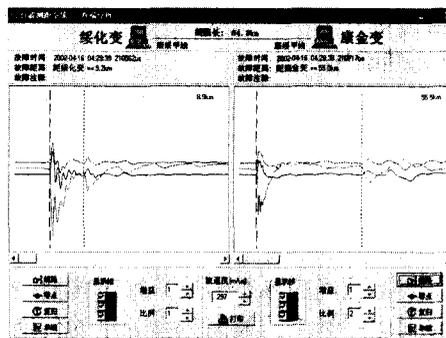


图 2 康绥甲线两端故障电流暂态波形及行波测距结果 (2002 年 4 月 16 日)

Fig. 2 The fault current transient waveforms recorded at the two terminals of Kang-Sui line No. 1 and the travelling wave based fault location results (April 16, 2002)

4.2 初测结果验证错误的实例

2007 年 3 月 16 日 18 时 4 分 13 秒, 重庆超高压局所管辖的 500 kV 长万二线发生 B 相接地故障, 故障线路两端的电流暂态波形如图 3 所示, 粗测获得的故障点位置距万县变和长寿变分别为 8.9 km 和 161 km。从万县端记录的暂态波形来看, 真正的故障点反射波出现在距离本端 27.3 km 处。从长寿端记录的暂态波形来看, 真正的故障点反射波出现在距离本端 142.5 km 处。显然, 粗测结果是不可信的 (与 A 型行波测距结果相差接近 20 km)。进一步查明给定的线路长度是基本准确的, 于是怀疑 GPS 授时系统在线路故障期间的工作是不正常的。实际故障点距万县变 27 km 左右, 与 A 型行波测距结果

相符,且测距误差不超过 500 m。

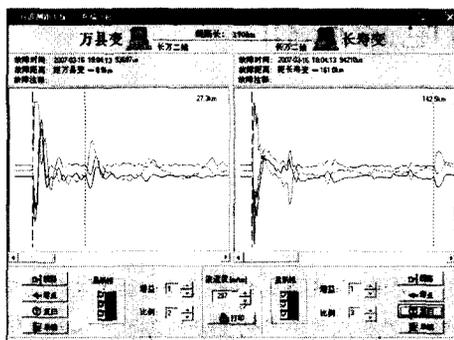


图3 长万二线两端故障电流暂态波形及行波测距结果

Fig.3 The fault current transient waveforms recorded at the two terminals of Chang-Wan line No. 2 and the travelling wave based fault location results

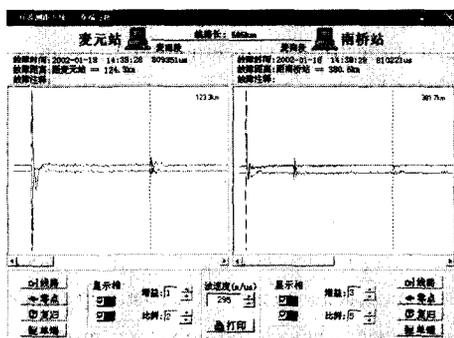


图4 麦南段两端故障电流暂态波形及行波测距结果

Fig. 4 The fault current transient waveforms recorded at the two terminals of Mai-Nan HVDC line and the travelling wave based fault location results

2002年1月18日14时38分28秒,葛洲坝—麦元—南桥±500 kV 直流输电线路在麦元中继站到上海南桥换流站之间的区段内发生故障,该区段内线路两端的电流暂态波形如图4所示。原先给定本区段线路全长为513 km,粗测获得的故障点位置距麦元站128.3 km。从麦元端记录的暂态波形来看,真正的故障点反射波出现在距离本端123.3 km处。从南桥端记录的暂态波形来看,真正的故障点反射波出现在距离本端381.7 km处。显然,粗测结果是不可信的(与A型行波测距结果相差5 km)。进一步研究发现,给定的该区段线路长度存在较大误差,实际线路长度应为在该区段线路两端获得的A型行波测距结果(标准模式)之和,即 $123.3+381.7=505$ (km)。由此重新获得的D型行波测距结果为距麦元站124.3 km,距南桥站380.6 km,与A型行波测距结果之间的偏差基本上在允许范围之内。实际故障点距南桥站384.15 km,线路长度修正后D型

行波原理的测距误差为3.55 km,A型行波原理的测距误差为2.45 km。

5 结语

本文提出了一种基于现代D型双端和A型单端输电线路行波故障测距原理的优化组合测距方案。通过4个实例分析表明,本方案可以利用A型原理对D型原理给出的行波测距结果进行验证和校正,以消除线路长度误差和卫星授时系统紊乱对D型行波测距原理的影响,并进一步提高测距精度。

本文的研究还表明,尽管A型行波测距原理目前还难以自动给出正确的测距结果,但通过人工离线应用A型行波测距原理,并借助于专门研制的行波波形分析软件,仍然能够迅速获得准确的故障点位置。

参考文献

- [1] 葛耀中. 新型继电保护和故障测距的原理与技术(第2版)[M]. 西安: 西安交通大学出版社, 2007. GE Yao-zhong. New Types of Protective Relaying and Fault Location Theory and Techniques, 2nd Edition[M]. Xi'an: Xi'an Jiaotong University Press, 2007.
- [2] Crossley P A, McLaren P G. Distance Protection Based on Travelling Waves[J]. IEEE Trans on Power Apparatus and Systems, 1983, 102(9): 2971-2983.
- [3] 徐丙垠, 朱锡贵, 马长贵. 行波特征鉴别式距离保护原理的研究[J]. 中国电机工程学报, 1989, 9(3): 1-8. XU Bing-yin, ZHU Xi-gui, MA Chang-gui. A Distance Protection Scheme Based on Travelling Wave Characteristics Recognition[J]. Proceedings of the CSEE, 1989, 9(3): 1-8.
- [4] 徐丙垠. 利用暂态行波的输电线路故障测距技术(博士学位论文)[D]. 西安: 西安交通大学, 1991. XU Bing-yin. Fault Location Technology of Transmission Lines Based on Travelling Waves, Doctoral Dissertation[D]. Xi'an: Xi'an Jiaotong University, 1991.
- [5] 陈平. 利用暂态电流行波的输电线路故障测距装置的研制(硕士学位论文)[D]. 西安: 西安交通大学, 1994. CHEN Ping. Development of a Transmission Line Fault Locator Based on Transient Current Travelling Waves, Thesis[M]. Xi'an: Xi'an Jiaotong University, 1994.
- [6] 董新洲. 小波理论应用于输电线路故障测距研究(博士学位论文)[M]. 西安: 西安交通大学, 1996. DONG Xin-zhou. Study of Wavelet Theory Applied in Fault Location of Transmission Lines Based on Travelling Waves, Thesis[D]. Xi'an: Xi'an Jiaotong University, 1996.
- [7] 陈平. 输电线路现代行波故障测距及其应用研究(博士学位论文)[M]. 西安: 西安交通大学, 2003.

(下转第20页 continued on page 20)

参考文献

- [1] Tinney W F, Hart C E. Power Flow Solution by Newton's Method[J]. IEEE Trans on PAS, 1967, 86(11):1449-1460.
- [2] Scott B. Review of Load Flow Calculation Methods[J]. Proceedings of IEEE, 1974, 62(7): 916-929.
- [3] Amerongen R A M. A General Purpose Version of the Fast Decoupled Load Flow[J]. IEEE Trans on Power Systems, 1989, 4(2): 760-770.
- [4] Nguyen H L. Newton-Raphson Method in Complex Form[J]. IEEE Trans on Power Systems, 1997, 12(3): 1355-1358.
- [5] 张伯明,相年德. 电网计算中的广义网络流的回路分析及其在线应用(II)-在线潮流计算中的应用[J]. 清华大学学报, 1986,26(5):22-31.
ZHANG Bo-ming, XIANG Nian-de. The Loop Analysis Theorem of General Network Flow and Its Application in Real-time Computation(II) —Application in On-line Load Flow[J]. Journal of Tsinghua University, 1986,26(5):22-31.
- [6] 程浩忠. 电力系统直角坐标潮流二次方程新的表达式[J]. 中国电机工程学报, 1996,16(3):211-213.
CHENG Hao-zhong. A Novel Quadratic Formulation of Load Flow Equations in Rectangular Coordinates[J]. Proceedings of the CSEE, 1996, 16(3):211-213.
- [7] 朱凌志,周双喜. 电压稳定分析的潮流算法研究[J]. 电力系统自动化, 2000, 24(5): 1-4.
ZHU Ling-zhi, ZHOU Shuang-xi. Study on Power Flow Arithmetic for Voltage Stability Analysis[J]. Automation of Electric Power Systems, 2000, 24(5): 1-4.
- [8] 于继来,王江,柳焯. 电力系统潮流计算的几点改进[J]. 中国电机工程学报, 2001, 21(9): 88-93.
YU Ji-lai, WANG Jiang, LIU Zhuo. Improvements on Usual Load Flow Algorithms of Power System[J]. Proceedings of the CSEE, 2001, 21(9):88-93.
- [9] 赵晋泉,江晓东,张伯明. 潮流计算中 PV-PQ 节点转换逻辑的研究[J]. 中国电机工程学报, 2005, 25(1): 54-59.
ZHAO Jin-quan, JIANG Xiao-dong, ZHANG Bo-ming. Study on PV-PQ Bust Type Switching Logic in Power Flow Computation[J]. Proceedings of the CSEE, 2005, 25(1): 54-59.
- [10] 王宗义,郭志忠. 电流型牛顿法潮流[J]. 继电器, 2005,33(18):27-29.
WANG Zong-yi, GUO Zhi-zhong. Newton Load Flow Algorithm Based on Current Balance Equations[J]. Relay, 2005, 33(18):27-29.
- [11] 薛永端,徐丙垠,李京,等. 铁路 10kV 自闭/贯通线路行波故障测距技术[J]. 电力系统自动化, 2006, 30(5): 68-73.
XUE Yong-duan, XU Bing-yin, LI Jing, et al. Traveling Waves Based Fault Location in 10 kV Automatic Blocking and Continuous Railway Power Lines[J]. Automation of Electric Power Systems, 2006, 30(5): 68-73.
- [12] 王元虎,周东明. 卫星时钟在电网中应用的若干技术问题[J]. 中国电力, 1998, 31(2): 10-12, 16.
WANG Yuan-hu, ZHOU Dong-ming. Some Technical Problems of Satellite Clock Applied on Power Network[J]. Electric Power, 1998, 31(2): 10-12, 16.

收稿日期: 2007-09-24; 修回日期: 2007-10-27

作者简介:

王宗义(1971-),男,博士,高级工程师,从事电力交易及电力市场研究工作; E-mail: zywang0531@hotmail.com

郭志忠(1961-),男,博士,教授,博士生导师,当前主要研究方向为电力系统分析与控制、电力系统光学测量技术、电网络分析。

(上接第 15 页 continued from page 15)

- CHEN Ping. Modern Travelling Wave Based Fault Location of Transmission Lines and Its Applications, Doctoral Dissertation[M]. Xi'an: Xi'an Jiaotong University, 2003.
- [8] 徐丙垠,李京,陈平,等. 现代行波测距技术及其应用[J]. 电力系统自动化, 2001, 25(23): 62-65.
XU Bing-yin, LI Jing, CHEN Ping, et al. Modern Travelling Wave Based Fault Location Technology and Its Application[J]. Automation of Electric Power Systems, 2001, 25(23): 62-65.
- [9] CHEN Ping, XU Bing-yin, LI Jing. A Traveling Wave Based Fault Locating System for HVDC Transmission Lines[A]. In: Proceedings of 2006 International Conference on Power System Technology[C]. Chongqing: 2006.
- [10] 季涛,孙同景,徐丙垠,等. 配电混合线路双端行波故障测距技术[J]. 中国电机工程学报, 2006, 26(12): 89-94.
JI Tao, SUN Tong-jing, XU Bing-yin, et al. Study on Fault Location of Distribution Mixed Feeders Based on Double Terminal Method of Traveling Waves[J]. Proceedings of the CSEE, 2006, 26(12): 89-94.

收稿日期: 2007-09-14; 修回日期: 2007-11-30

作者简介:

于桂音(1953-),男,副教授,研究方向为电力系统故障监测; E-mail: sdygy@126.com

陈平(1969-),男,博士,副教授,研究方向为电力系统继电保护;

徐丙垠(1961-),男,博士,教授,博士生导师,主要研究方向为电力系统继电保护。