

中图分类号: TP 391.9

文献标识码: A

# 单相接地故障负序选线方法的研究

刘 伟, 孙延国, 康文利, 曲 鹏, 张海燕

( 东北石油大学 电气信息工程学院 黑龙江 大庆 163318)

**摘 要:** 基于不对称故障时负序网络在单电源放射性网络的拓扑结构, 研究了负序电流的相角变化规律。研究结果表明, 在单电源放射性网络中, 当网络中发生单相接地故障时, 故障线路与非故障线路的负序电流相角相差趋于  $180^\circ$ , 以此选出在这类输电网络中发生单相接地故障时的故障线路。由于该方法需要判断的量仅有负序电流的相角, 所以选线方法方便易行。大量仿真验证了方法的正确性和有效性。

**关键词:** 故障选线; 负序; 不对称故障

## Research of Fault Line Selection for Single Phase to Earth Fault in Networks with Negative Current

LIU Wei, SUN Yanguo, KANG Wenli, QU Peng, ZHANG Haiyan

( College of Electricity Information Engineering, Northeast Petroleum University, Daqing 163318, China)

**Abstract:** The variation patterns of the phase angle of negative current were studied based on the negative sequence network in single power source radioactive network's topology. Study results showed that when asymmetric faults of single phase occurred in single power source radioactive network. The phase angle of negative sequence current between the fault line and the normal line tends  $180^\circ$ . Based on the character of negative current in this kind of network, we can select the fault line. Because this method only needs to judge the phase angle of negative sequence current, so the selection method is easy to put into execution. The correctness and effectiveness of this method were verified by numerous simulations.

**Key words:** fault line selection; negative sequence; asymmetric fault

## 1 引 言

电力系统的中性点接地方式可划分为中性点直接接地和中性点非直接接地。在我国低压配电网中, 广泛采用中性点不接地或经消弧线

流接地系统, 在提高供电可靠性上具有优越性, 从而在我国的配电网中得到广泛应用<sup>[1]</sup>。然而, 单相接地故障发生后, 接地相的相电压降为零, 系统中非故障相的相电压上升为原电压的  $\sqrt{3}$  倍, 若长期运行, 将使非接地相绝缘薄弱处发生对地击穿, 事故扩大为相间短路。同时, 弧光接地还会引起全系统过电压, 进而损坏设备, 破

基金项目: 黑龙江省普通高等学校青年学术骨干支持计划资助项目( 1055G04)

坏系统安全运行,因此必须在规定的时间内找出故障线路,尽快排除故障<sup>[2-3]</sup>。目前国内外研究的选线方法主要有稳态量和暂态量两种,但是故障的暂态过程比较短,而且其中包含着许多干扰信号,提取的特征量不能准确进行选线,使得选线的可靠性下降。因此,在小电流接地系统中广泛采用稳态量选线方法,应用较多的是零序电流比幅比相法和五次谐波比幅选线法<sup>[4]</sup>。在我国的电力网络中由变电所到用户的分布网络大都是放射状的,例如油田的变电所到油井的输电网络中,由于梯接比较多,当发生单相接地故障时,往往只能判断出是哪一条线路发生了单相接地故障,而不能判断出是这条线路的哪一条支路。对于此类故障笔者应用故障运行中的负序电流流向的特点,对负序选线方法进行了研究。

## 2 小电流接地系统发生单相接地时的稳态量分析

我国配电网一般都采用中性点不直接接地方式,即小电流接地系统,它包括中性点不接地系统和中性点经消弧线圈接地系统<sup>[5-6]</sup>。假设线路3发生A相接地故障如图1。

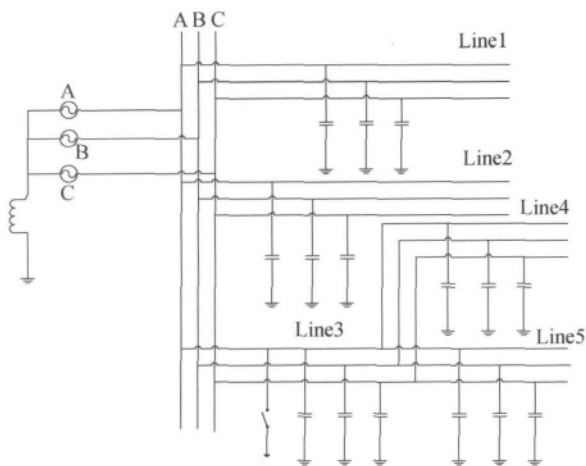


图1 小电流接地系统发生单相接地时的示意图

Fig. 1 Diagram of single-phase earth in Undercurrent earth system

对故障系统进行等效如图2<sup>[7]</sup>所示,其中 $\Sigma$

$C_A, \Sigma C_B, \Sigma C_C$  分别表示各相对地电容的总和,并假设三相对地电容值相等。

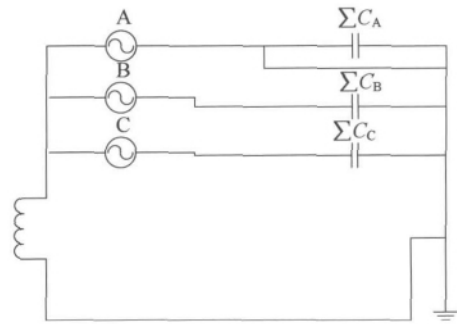


图2 系统故障等效电路图

Fig. 2 Equivalent circuit diagram of system failure

对称分量法是分析不对称故障的常用方法,根据对称分量法,一组不对称的三相量可以分解为正序、负序和零序三相对称的三相量。在不同序别的对称分量作用下,电力系统的各元件可能呈现不同的特性<sup>[8]</sup>。将故障系统应用对称分量法进行等效,负序等效系统如图3所示。

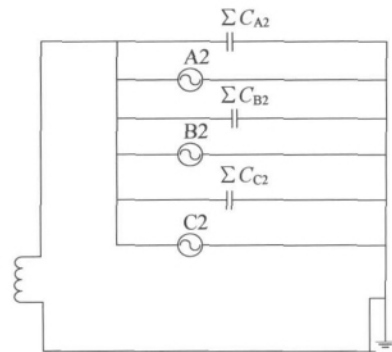


图3 系统负序等效电路图

Fig. 3 Equivalent circuit diagram of system negative sequence

取A相进行分析如图4所示。

由等效电路图中的电流方向可知系统中的负序电流方向如图5所示。

经过分析系统中的负序电流方向,可以得出:故障线路的负序电流是流向母线,而非故障相的电流是远离母线。图5中只有线路3的负序电流方向是流向母线,而其他线路的负序电流方向是背离母线,即线路3的负序电流与其他线路中的反向,所以,可以找出故障线路为线路3。

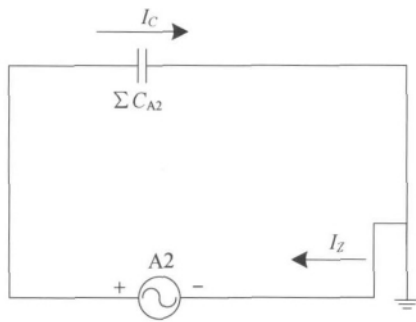


图4 负序A相等效电路图

Fig.4 Equivalent circuit diagram of negative sequence A

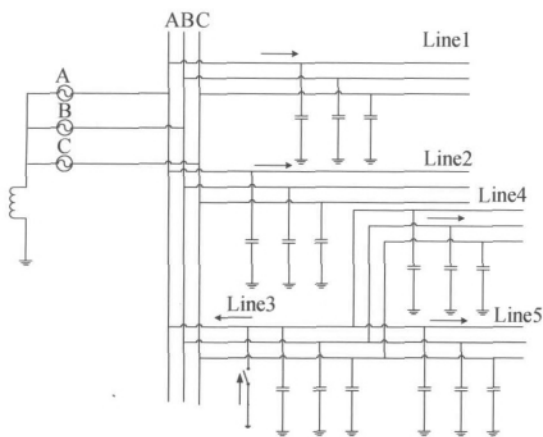


图5 系统中的负序电流方向

Fig.5 Diagram of current direction in negative sequence system

### 3 小电流接地系统单相接地故障仿真选线分析

故障线路电力系统仿真模型如图6所示。

#### 3.1 线路3故障仿真

假设线路3发生A相接地故障,经仿真得线路1、2、3、4、5的负序电流仿真(图7—图11)。

由各线路仿真图可以看出,线路1、2、4、5的负序电流相位为 $90^\circ$ 左右。而故障线路3的相位大约在 $-90^\circ$ ,即非故障线路与故障线路的电流相位相差 $180^\circ$ 左右,方向相反,因此判断线路3发生单相接地故障。

#### 3.2 线路5故障仿真

对于发生在梯接线路的单相接地故障,假设故障线路为线路5,则各线路负序电流如图12—图16所示。

由仿真图可知各支路的电流中线路1、2、4相位为 $90^\circ$ 左右,线路3、5的相位为 $-90^\circ$ 左右,两者大约相差 $180^\circ$ ,方向相反,此时故障线路为离母线最远的线路,即线路5。

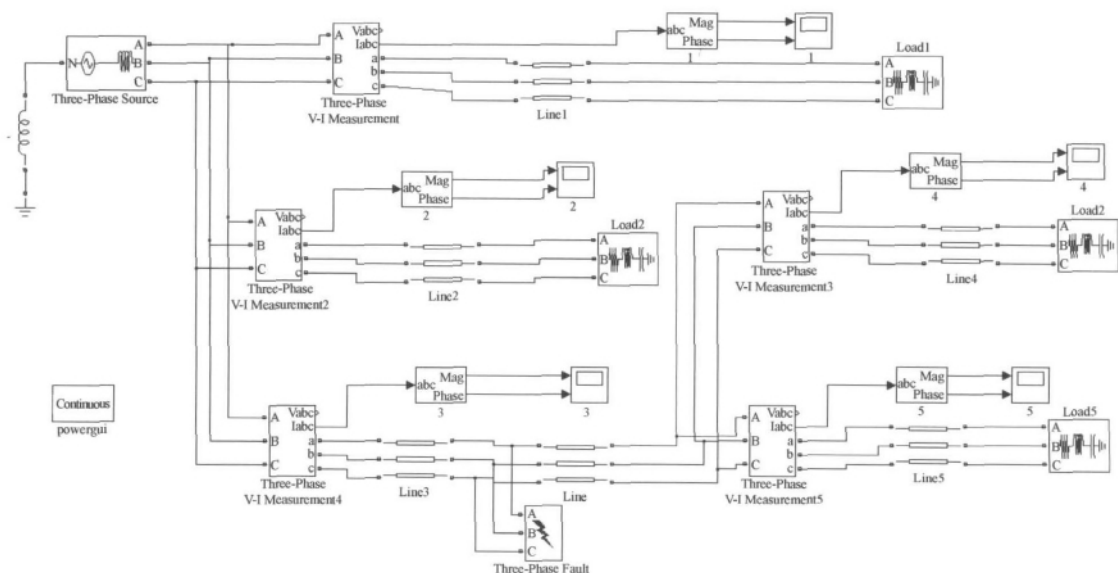


图6 故障线路电力系统仿真模型

Fig.6 Faulty line simulation model in electrical power system

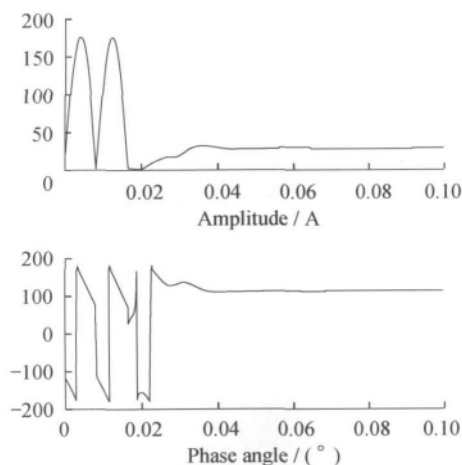


图 7 线路 1 负序电流仿真图

Fig. 7 Negative sequence current simulation diagram of Line 1

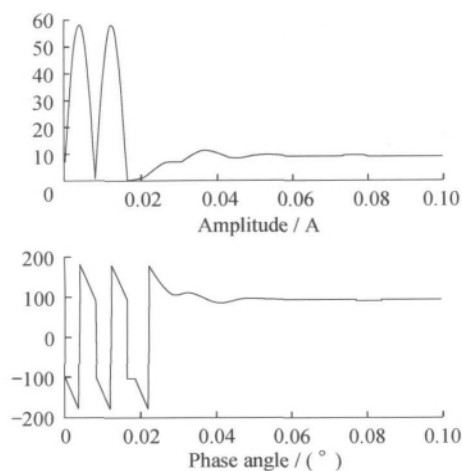


图 8 线路 2 负序电流仿真图

Fig. 8 Negative sequence current simulation diagram of Line 2

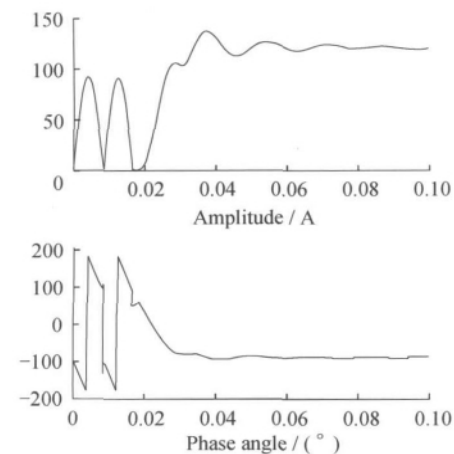


图 9 线路 3 负序电流仿真图

Fig. 9 Negative sequence current simulation diagram of Line 3

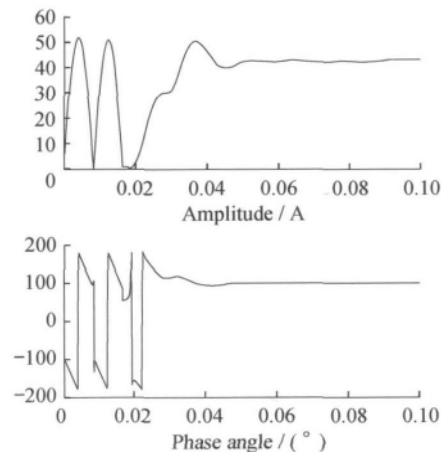


图 10 线路 4 负序电流仿真图

Fig. 10 Negative sequence current simulation diagram of Line 4

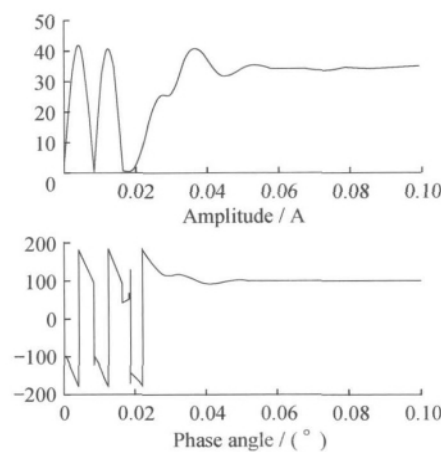


图 11 线路 5 负序电流仿真图

Fig. 11 Negative sequence current simulation diagram of Line 5

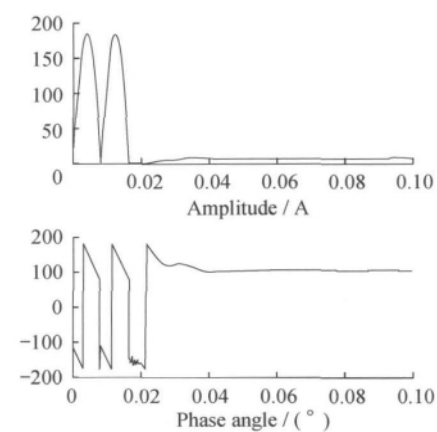


图 12 线路 1 负序电流仿真图

Fig. 12 Negative sequence current simulation diagram of Line 1

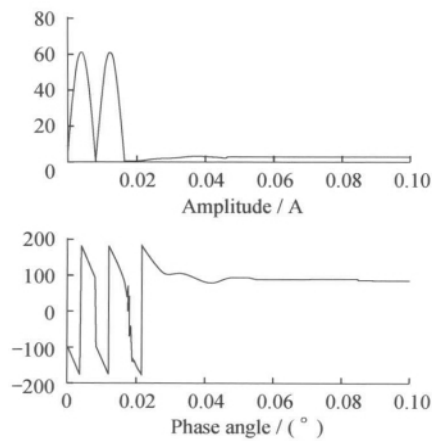


图 13 线路 2 负序电流仿真图

Fig. 13 Negative sequence current simulation diagram of Line 2

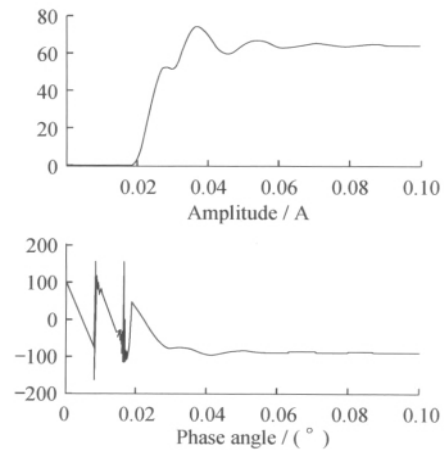


图 16 线路 5 负序电流仿真图

Fig. 16 Negative sequence current simulation diagram of Line 5

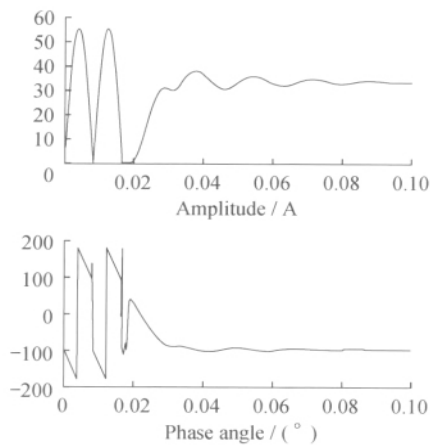


图 14 线路 3 负序电流仿真图

Fig. 14 Negative sequence current simulation diagram of Line 3

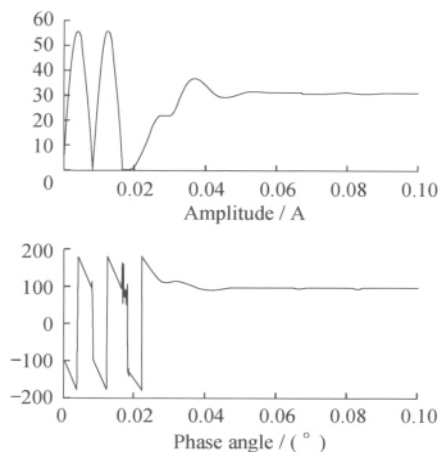


图 15 线路 4 负序电流仿真图

Fig. 15 Negative sequence current simulation diagram of Line 4

### 3.3 母线故障仿真

当把故障点设为母线时,则各线路的负序电流如图 17—图 21 所示。

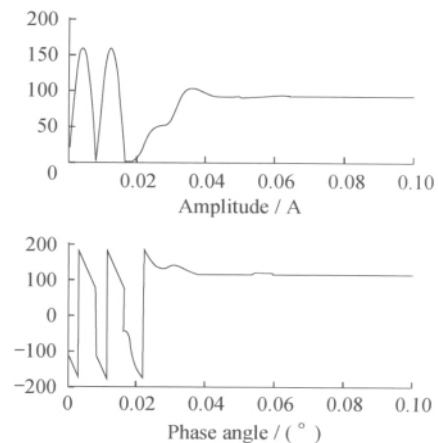


图 17 线路 1 的负序电流仿真图

Fig. 17 Negative sequence current simulation diagram of Line 1

由仿真图可知,当故障发生在母线时,各线路中存在负序电流,且方向相同。

通过仿真结果可看出,当线路发生故障时,负序电流由故障点向电网各线路放射状地流出。于是可根据线路中的电流方向来判断发生故障的是哪一条线路。由此得出选线方法:当电网中只有一条线路的负序电流方向与其他线路方向相反,则故障为这一条线路。若某一条线路的多

条支路的负序电流方向相反,则故障线路为离母线最远的那一条支路。当母线发生故障时,各线路可检测出负序电流,且负序电流方向相同,可凭此判断故障线路为母线。

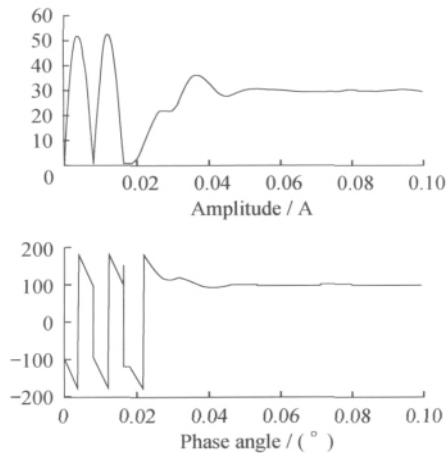


图 18 线路 2 的负序电流仿真图

Fig. 18 Negative sequence current simulation diagram of Line 2

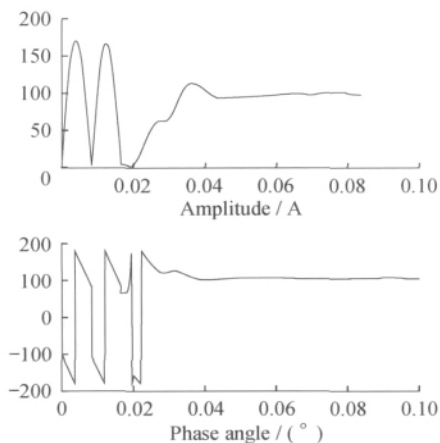


图 19 线路 3 的负序电流仿真图

Fig. 19 Negative sequence current simulation diagram of Line 3

## 4 结论

基于单电源放射状电力传输网络发生单相接地故障时其统一的负序网络,考察各线路中负序电流的相角,判断其流向,凭此提出一种故障

选线方法。该方法需要测量的量少,简单易行,但因负序电流受负荷不平衡的影响很大,所以该技术有待于进一步研究,以满足现场实际要求。

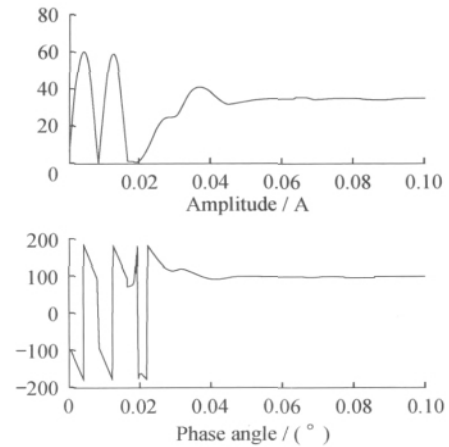


图 20 线路 4 的负序电流仿真图

Fig. 20 Negative sequence current simulation diagram of Line 4

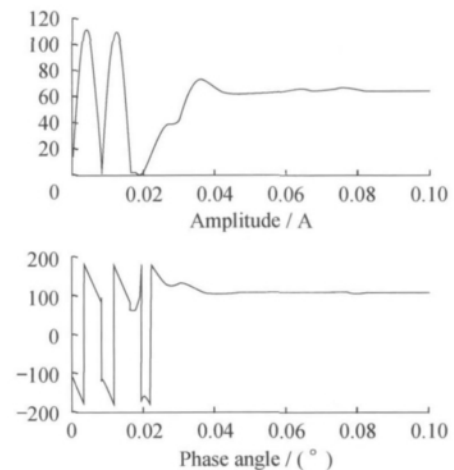


图 21 线路 5 的负序电流仿真图

Fig. 21 Negative sequence current simulation diagram of Line 5

## 参考文献:

- [1] 申双葵. 小电流接地系统单相接地故障选线的研究 [D]. 成都: 西南交通大学 2009.  
SHEN Shuangkui. Single-phase ground fault line selection in small current grounding system [D]. Chengdu: Xinan Jiaotong University 2009.

- [2] 李福寿. 中性点非有效接地电网的运行[M]. 北京: 水利电力出版社, 1993.  
LI Fushou. Neutral non-effectively grounded grid operation [M]. Beijing: China Water Power Press, 1993.
- [3] 肖白, 束洪春, 高峰. 小电流接地系统单相接地故障选线方法综述[J]. 继电器, 2001, 29(4): 16-20.  
XIAO Bai, SHU Hongchun, GAO Feng. The selection methods of small current grounding system single-phase ground fault line [J]. Relay, 2001, 29(4): 16-20.
- [4] 张小桃, 乔小梅, 王爱军. 小电流接地系统故障选线分析[J]. 华北水利水电学院学报, 2010, 36(6): 90-91.  
ZHANG Xiaotao, QIAO Xiaomei, WANG Aijun. The fault line analysis of small current grounding system [J]. Journal of North China Institute of Water Resources and Hydropower, 2010, 36(6): 90-91.
- [5] 要焕年, 曹梅月. 电力系统谐振接地[M]. 北京: 中国电力出版社, 2000.  
YAO Huannian, CAO Meiyue. Power system resonant grounded [M]. Beijing: China Electric Power Press, 2000.
- [6] 贺家李, 宋从矩. 电力系统继电保护原理[M]. 北京: 中国电力出版社, 2001.  
HE Jiali, SONG Congju. Power system protection principle [M]. Beijing: China Electric Power Press, 2001.

- [7] 屠雪勇. 基于小波理论的小电流接地系统单相接地故障研究[M]. 杭州: 浙江大学出版社, 2006.  
TU Xueyong. Small current grounding system based on wavelet theory of single-phase ground fault [M]. Hangzhou: Zhejiang University Press, 2006.
- [8] 何仰赞, 温增银. 电力系统分析[M]. 武汉: 华中科技大学出版社, 2001: 166.  
HE Yangzan, WEN Zengyin. Power system analysis [M]. Wuhan: Press of Huazhong University of Science and Technology, 2001: 166.



刘 伟 男(1971-), 黑龙江人, 教授, 博士, 主要研究方向为电力系统智能控制研究。



孙延国 男(1987-), 山东人, 硕士, 主要研究方向为电力自动化系统。

(上接第 71 页)

- [9] Deborah Vakas. Commander behavior and course of action selector in JWRARS [C] // Proceedings of the 2001 Winter Simulation Conference, Arlington, VA, USA: WSC, 2001: 697-705.
- [10] Rao V B, Rao H V. C++ neural networks and fuzzy logic [M]. New York, NY: MIS Press, 1995.



陈亚洲 男(1971-), 山东嘉祥人, 高级工程师, 主要研究方向为面向作战决策的建模仿真需求分析与应用。



刘建平 男(1966-), 陕西蓝田人, 高级工程师, 主要研究方向为联合作战运筹分析。