

# 微机型主变差动保护误动原因分析及对策

龚洪金<sup>1</sup>, 顾燕明<sup>2</sup>, 秦莉敏<sup>3</sup>

(1. 平高集团河南英博电气有限公司, 河南 郑州 450001; 2. 宝钢设备检修有限公司, 上海 201900;  
3. 郑州市电业局, 河南 郑州 450006)

**摘要:** 微机保护得到了广泛的应用, 但还存在不明原因的误动情况。简单介绍了主变差动保护的基本原理, 并通过对国内几起高、中、低压系统的微机型主变差动保护误动原因分析总结, 归纳出新建变电站、运行中变电站、改造变电站主变差动保护误动的几种可能原因, 并提出了防止主变差动误动的对策, 在实际应用中起到了较好的效果。该文所介绍的主变差动误动原因和对策对线路纵差保护也有一定的借鉴经验。

**关键词:** 变压器; 差动保护; 误动; 暂态特性; 线路纵差保护

## Analysis and countermeasures of misoperation of microcomputer-based transformer differential misprotection

GONG Hong-jin<sup>1</sup>, GU Yan-ming<sup>2</sup>, QIN Li-min<sup>2</sup>

(1. HenanWinboth Electric Co.,Ltd, Zhengzhou 450001,China; 2.Baogang Equipment Maintenance Co.,Ltd, Shanghai 201900, China; 3.Zhengzhou Electric Power Bureau, Zhengzhou 450006,China)

**Abstract:** The microcomputer based protection are widely used, but still there are maloperations sometimes with unidentified reasons. The paper introduces the differential basic principles of main transformer, and analyses the reason of tiny model transformer differential protection misoperation in a few high, medium and low voltage transformer substation. Lastly, the paper gives some answers of avoiding false actions of transformer differential protection, also brings forward some advice of avoiding maloperation of line differential protection.

**Key words:** transformer; differential protection; maloperation; transient characteristic; line differential protection

中图分类号: TM77

文献标识码: B

文章编号: 1003-4897(2007)13-0077-05

## 0 引言

在电力系统中, 主变是承接电能输送的主要设备, 作为主设备主保护的微机型纵联差动(简称纵差或差动)保护, 虽然经过不断的改进, 但是还存在“原因不明”误动作的情况, 这将造成主变的非正常停运, 影响大面积地区的供电, 甚至是造成系统振荡, 对电力系统供电的稳定运行是很不利的。本文在总结了同行对几起高、中、低压等级主变差动继电器保护误动原因分析的基础上, 结合自身多年的工作经验, 对新建变电站、运行中变电站、改造变电站的主变差动误动可能原因进行总结, 并提出了防止主变差动误动的对策, 以供同行借鉴参考。

## 1 主变差动保护原理简介<sup>[1,2]</sup>

主变差动保护一般包括: 差动速断保护、比率差动保护、二次谐波制动的比率差动保护, 不管哪

种保护功能的差动保护, 其差动电流都是通过主变各侧电流的矢量和得到。

①比率差动的原理及动作特性(见图1)。

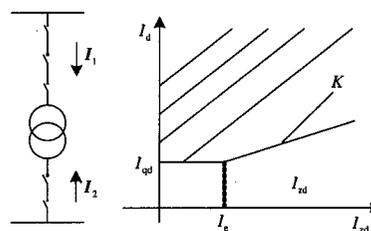


图1 比率差动动作特性曲线

Fig.1 Characteristic curve of percent-ratio differential operation

比率差动动作特性方程:

$$I_d > I_{qd} \quad I_{zd} < I_e$$

$$|I_d - I_{qd}| > k |I_{zd} - I_e| \quad I_{zd} > I_e$$

式中:  $I_{qd}$  为差动电流起动定值;  $I_d$  为差动电流动作

值,  $I_1$ 、 $I_2$  的矢量和;  $I_{zd}$  为制动电流、 $K$  为比率制动系数;  $I_e$  为变压器的额定电流。

即: 当  $I_{zd} < I_e$  时, 比率差动不带制动作用,  $I_{zd} > I_e$  时, 比率差动有较大的制动作用。

### ②差动速断的作用

差动速断是在较严重的区内故障情况下, 快速跳开变压器各侧断路器, 切除故障点。

## 2 主变差动保护误动作原因分析

下面按新建变电站、运行中变电站、改造变电站三个方面进行说明, 这种分类方法并不是绝对相互区别, 只是为了便于同行在分析问题时优先考虑现实问题。

### 2.1 新建变电站主变差动误动作原因分析

新建变电站的主变差动保护误动在主变差动保护误动中占了较大的比例, 但这种情况的误动作绝大多数在主变投运带负荷试运行的 72 小时就会被发现。根据现场经验大概可以总结为以下几个方面。

1) 定值的不合理造成主变差动保护误动作, 具体包括以下几个方面。

#### a. 定值选择不正确造成误动作

差动速断是取变压器的励磁涌流和最大运行方式下穿越性故障引起的不平衡电流两者中的较大者。定值计算部门往往根据运行经验将差动速断定值取为  $5 \sim 6 I_e$ 。这样, 就会造成主变在空载合闸时出现误跳闸。

一般比率差动电流和制动电流都在额定情况下计算得到, 但现场变压器却在一般运行方式下运行(一般运行方式下的电流并不等于额定电流), 由于电流互感器(简称 CT)变比、同型系数、计算误差的影响, 就会导致变压器实际运行时形成一定的差电流, 导致比率差动保护误动作。

#### b. 二次 CT 接线方式选择不正确造成误动作

对于微机保护来说, 实现高、低压侧电流相角的转移由软件来完成, 不管高压侧是采用 Y 型接线还是采用  $\Delta$  型接线, 都能得到正确的差动电流, 和传统的常规继电保护比较起来, 实际运用更方便、灵活, 但也是由于这种灵活性、方便性, 往往导致现场的差动保护误动作。

对于一次绕组采用 Y/ $\Delta$ \_11 或 Y/ $\Delta$ \_1 的主变来说, 为了消除相角差引起的差电流, 通常主变高压侧的 CT 接成  $\Delta$  型方式。而对于微机保护来说却没有必然的要求, 只需要对应的接线方式与保护整定值设置一致。如果二次 CT 接线方式整定值选择不正确, 就不能实现高压侧相角的转移, 高低压侧差电流在正常运行情况下就不能平衡, 从而造成差动

保护误动作。

2) 现场施工接线错误造成主变差动保护误动作。

#### a. CT 极性接反导致误动作

一般来说每一个厂家根据自己产品采用的算法特点有规定一种默认的同名端指向。如果现场的 CT 极性接反, 在主变正常运行情况下, 差动电流回路就会产生差流, 从而造成差动保护误动作; 在主变故障情况下, 差动电流回路电流相互抵消, 从而造成差动保护拒动作。

#### b. 相序接反导致误动作

电力系统正常的相序为正序, 也就是以 A 相为基准, B 相比 A 相超前  $120^\circ$ , C 相比 A 相滞后  $120^\circ$ 。如果主变任意一侧的 CT 出现相序接错的情况, 就会形成差电流, 导致主变差动保护误动作。现以两圈 Y/ $\Delta$ \_11 变压器, CT 采用 Y/Y 接线方式为例, 对高压侧 CT 的 B、C 相接错情况说明如下, 其它情况运算原理类似, 这里不再说明。

为了方便推导, 引入以下向量因子:

$$\partial = e^{j120^\circ} = -\frac{1}{2} + j\frac{\sqrt{3}}{2}; \quad \beta = e^{j30^\circ} = \frac{\sqrt{3}}{2} + j\frac{1}{2}$$

电流幅值  $A=1$ ; 基准电流  $i_a=1$ 。

Y/ $\Delta$ \_11 变压器的正常电流表示如下:

$$\text{高压侧二次电流: } \begin{cases} I_{ah} = A_h i_a \\ I_{bh} = \alpha^2 A_h i_a \\ I_{ch} = \alpha A_h i_a \end{cases} \quad (1)$$

$$\text{低压侧二次电流: } \begin{cases} I_{al} = \beta^{11} A_l i_a \\ I_{bl} = \beta^{11} \alpha^2 A_l i_a \\ I_{cl} = \beta^{11} \alpha A_l i_a \end{cases} \quad (2)$$

若二次 CT 采用 Y/Y 接线方式, 微机保护软件内部处理以后得到差动回路高压侧电流:

$$\begin{cases} I_{ah}' = (I_{ah} - I_{bh}) / \sqrt{3} = \beta^{11} A_h i_a \\ I_{bh}' = (I_{bh} - I_{ch}) / \sqrt{3} = \beta^{11} \alpha^2 A_h i_a \\ I_{ch}' = (I_{ch} - I_{ah}) / \sqrt{3} = \beta^{11} \alpha A_h i_a \end{cases} \quad (3)$$

正常得到最终的差动电流:

$$\begin{cases} I_{cda} = \beta^{11} (A_h i_a - K_k A_l i_a) \\ I_{cdb} = \beta^{11} (\alpha^2 A_h i_a - K_k \alpha^2 A_l i_a) \\ I_{cdc} = \beta^{11} (\alpha A_h i_a - K_k \alpha A_l i_a) \end{cases} \quad (4)$$

注:  $K_k$  为低压侧调整系数。

当 B、C 相序接错以后, 软件实现差动回路相角调整的方法得到了错误的结果如下:

$$\begin{cases} I_{cda} = \beta^1 A_h i_a - K_k \beta^{11} A_1 i_a \\ I_{cdb} = \beta^1 \alpha^2 A_h i_a - K_k \beta^{11} \alpha^2 A_1 i_a \\ I_{cdc} = \beta^1 \alpha A_h i_a - K_k \beta^{11} \alpha A_1 i_a \end{cases} \quad (5)$$

这样差动回路在正常运行情况下将产生  $\sqrt{3}$  倍穿越电流幅值的差动电流, 很容易导致主变差动保护误动作。

c. CT 中性线没有按照一点接地原则接线导致差动保护的二次电流回路接地时, 包括各侧 CT

的二次电流回路必须通过一点可靠接于接地网。因为一个变电站的接地网各点并非绝对等电位, 在不同点之间有一定的电位差, 当发生区外短路故障时, 有较大的电流流入接地网, 各点之间将会产生较大的电位差。如果差动保护的二次电流回路在接地网的不同点接地, 地网中的不同接地点间的电位差产生的电流将会流入保护二次回路, 这一电流将可能增加差动回路中的不平衡电流, 使差动保护误动作。

d. 开关操作回路存在寄生现象导致误动作

对采用两套独立运行的双直流系统的变电站, 当高低压侧开关操作回路存在寄生现象, 亦即两套直流系统之间存在寄生回路时, 容易造成保护误动。广东 220 kV 东湖变电站曾就因为该原因导致连续两次主变保护误动作事故<sup>[3]</sup>。

其根本原因是因为存在寄生回路以后, 当某一组操作回路进行操作过程中, 由于寄生回路的存在造成 STJ 上存在一个电压, 当这个电压达到或接近动作值时, 造成 STJ 动作, 高低压侧开关同时跳闸。这种事故只有开关动作记录, 不会产生 SOE 记录, 容易造成类似于差动保护误动作, SOE 丢失的假象。

## 2.2 运行中变电站主变差动误动作原因分析

运行中的变电站出现差动保护误动作的也不少见, 但对于某一个变电站来说, 这种误动作情况不是经常性的出现, 而是要满足一定的条件, 甚至变电站正常运行很长时间以后才会出现, 现在就根据现场经验大概总结为以下几个方面。

a. P 类 CT 的暂态饱和特性导致误动作<sup>[4~6]</sup>

CT 的饱和实际就是铁芯中的磁通达到饱和, 而磁通就是 CT 二次绕组感应电动势对时间的积分。按是否考虑短路电流的暂态过程, CT 分为 P 和 TP 两大类。P 类 CT 要求在稳态情况下不饱和, 而 TP 类 CT 则要求在稳态和暂态的情况下都不饱和。

短路电流一般含有非周期分量, 而 CT 的励磁特性是按工频设计的, 在传变等效频率很低的非周

期分量时, 铁心磁通(即励磁电流)需要大大增加, 这将使 CT 的传变特性严重恶化。当一次电流存在非周期分量导致 CT 暂态饱和时, 二次电流的波形示例如图 2。图 2 中  $T_p$  为 50 ms,  $R_{2n}$  为 4  $\Omega$ ,  $R_2$  为 2  $\Omega$ 。

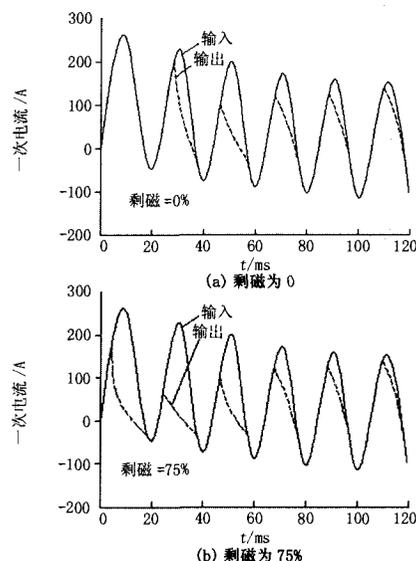


图 2 CT 有剩磁时的暂态饱和二次电流波形  
Fig.2 Current wave of temporary saturation when CT has remanence

由图 2 可知, 非周期分量导致 CT 暂态饱和时二次电流波形是不对称的, 开始饱和的时间较长, 如图 2(a) 为 30 ms。但铁心有剩磁时, 将加重饱和程度和缩短开始饱和时间, 如图 2(b), 饱和开始时间为 6 ms。对铁心中剩磁的影响必须给予足够的注意, 因为 CT 由于短路电流引起暂态饱和和形成剩磁后, 在正常运行的电流情况下, 剩磁很难消除。

由上面的分析可知, 当采用 P 类 CT 时, 当外部存在故障、外部故障切除瞬间、外部存在间歇性的短路情况等均容易导致主变差动保护误动作。从国内多起主变差动误动作的例子也得到进一步证明。

b. 变压器低压侧真空断路器绝缘性能不好时, 会导致差动保护误动作<sup>[7]</sup>

当一个变电站内存在一台主变运行、另一台主变冷备用时, 如果备用变压器的低压侧真空泡存在放电现象, 会导致两台主变的差动保护误动作。

冷备用主变低压侧断路器真空泡存在放电现象, 相当于变压器空投, 将在主变低压侧绕组产生励磁涌流, 而高压侧断路器处于分开位置, 没有电流, 且差动保护的二次谐波制动判据仅检测高压侧电流中的谐波电流, 从而不能闭锁差动保护, 导致冷备用主变差动保护误动作。

该励磁涌流通过低压侧母线流过运行中变压器的低压侧绕组,因为励磁涌流中含有较大的非周期分量,不能完全传到运行变压器的高压侧绕组,在差动回路中形成一定的差电流,当满足一定的条件时,可导致运行变的差动保护误动作。

### c. 变压器 Y 型侧转变造成差动保护误动作<sup>[9]</sup>

由《电力系统分析》<sup>[10]</sup>可知,对于  $Y_0/\Delta$  接线的变压器,当 Y 侧流过零序电流时,它只在  $\Delta$  绕组中形成环流,而流不到绕组以外的线路上去。

对于 Y/ $\Delta$  接线的变压器, Y 侧经过间隙零序接地,当发生单相接地或者间隙放电时, Y 型接线就转换成了  $Y_0$  接线方式, Y 侧将流过零序电流,而  $\Delta$  侧外部没有电流,当零序电流足够大时,必然导致主变差动保护动作。

## 2.3 改造变电站主变差动误动作原因分析

### a. CT 变比提供不准确造成差动保护误动作

在非电力系统内变电站的改造中,由于现场的 CT 比较陈旧、铭牌不清、早期设备清单又不详细等原因,曾出现过多起因为 CT 变比提供不准确而造成主变差动保护误动作的事例。

如果 CT 变比提供不准确,必然造成低压侧调整系数不准确,在正常运行情况下,必然会形成一定的差电流,从而造成主变差动保护误动作。

### b. 主变各侧 CT 不匹配造成差动保护误动作

通常主变差动回路选用的 CT 均是能躲过暂态饱和特性的带气隙的 D 类或 PR 类 CT,然而在变电站改造更换 CT 的过程中,忽视了这一点,将某一次 CT 更换成 P 类或者同时将两侧 CT 更换为 P 类的,这样在外部故障存在时,当满足一定条件时,必然将导致主变差动保护误动作。

## 3 防止主变差动保护误动作的对策

1) 对于新建变电站和改造变电站的那些原因造成的主变保护误动情况,应该严格按照国家相关标准、文件或者厂家说明书执行,每一个流程均需要严格把关。特别是主变初次投运,一定要带负荷查看差电流,根据现场负荷情况再适当调整定值。

2) 对于 P 类 CT 的暂态饱和和特性造成主变差动保护误动作有以下几点改进方法:

a. 采用 D 类、PR 类带气隙的或者是 TPY 类的或者是光电流变换器等抗暂态饱和的 CT;

b. 提高微机继电保护装置抗饱和的能力,特别是抗暂态饱和的能力。

对保护装置采用的判别方法主要是利用 CT 饱和后的电流特征确定。

根据这个特点变压器差动保护可以设一个 CT

饱和时的附加稳定特性区,它能够区分出这种变压器区内、外故障情况,对发生在被保护变压器区外的故障引起的 CT 饱和,利用故障发生最初的短时间内,可以通过高值的初始制动电流检测出来,此制动电流会将工作点短暂的移至附加稳定特性区内。反之,当变压器区内故障时,由于差动电流很大,其与制动电流的比值引发的工作点会立即进入比率差动保护的動作特性区内。因此,保护通过测量的电流量值引发的工作点是否在附加稳定特性区内,在短时间内由此判别做出决定。一旦检查出是由外部故障引起的 CT 饱和,可以选择自动闭锁比率差动保护,并在整定时间内一直有效闭锁比率差动保护,直到整定的时间到时才解除闭锁。

目前这一成果在国内也得到了广泛的应用,收到了一定的效果。

### c. 对于 110 kV 以下系统,也可以采取以下方法:

①适当提高 CT 的一次额定电流,目的是减小外部短路电流的倍数,降低 CT 饱和程度;

②减小二次额定电流和二次负荷阻抗,使实际二次负荷降低,提高实际准确限值系数;

③注意中间小 CT 的传变性能,需用较大容量的 CT。

### 3) 对于 $Y_0$ 侧零序电流影响的处理

a. 对  $Y_0$  侧 CT 二次电流进行 Y/ $\Delta$ , 降低零序电流的影响;

b. 采用消零处理方式,  $Y_0$  侧三相电流同时减去一个零序电流  $I_0$ ;

c. 采用零序比率制动的差动保护,根据稳态零序电流分量的大小开放或闭锁差动保护<sup>[9]</sup>。

## 4 结束语

本文根据现场的实际情况,分析总结了变压器差动保护误动作的几种原因,并提出了相应的改进方法。虽然只是针对变压器的纵差保护进行分析,但其中一些经验总结也适用于线路纵差保护的工程借鉴,希望能给同行的产品开发、现场运行、维护和使用带来一些经验借鉴和帮助。

## 参考文献

- [1] 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, 1994.  
HE Jia-li, SONG Cong-ju. Principle of Power System Protective Relaying[M]. Beijing: China Electric Power Press, 1994.
- [2] 罗钰玲, 吕铁民, 陈家楣, 等. 电力系统微机继电保护[M]. 北京: 人民邮电出版社, 2005.  
LUO Yu-ling, LV Tie-min, etc. Computer Relay Protection of Power System[M]. Beijing: China People's

- Telecon Press, 2005.
- [3] 宋伟新. 两次主变保护误动作原因查找及防范[J]. 电力安全技术, 2003.  
SONG Xin-wei. Analysis of Transformer Protect Misaction And Prevention[J]. Security Technology of Power System, 2003.
- [4] 袁季修, 盛和乐. 电流互感器的暂态饱和及应用计算[J]. 继电器, 2002.  
YUAN Ji-xiu, SHENG He-le. The Transient Saturation of Current Transformer and Its Application Calculation[J]. Relay, 2002.
- [5] 王维俭, 李芙英. 纵联差动原因不明误动的分析和对策[J]. 电力系统自动化, 1999, 23(18).  
WANG Wei-jian, LI Fu-ying. Analysis and countermeasure for misoperation of Longitudinal Differential Protection with Unclear Reason[J]. Automation of Electric Power Systems, 1999, 23(18).
- [6] 丁浩杰. 变压器差动保护用电流互感器饱和的原因分析及解决办法[J]. 广东电力.  
DING Hao-jie. Analysis of Current Transformer Saturation in Transformer Differential Protection and Solution to it[J]. Guangdong Electric Power, Guangdong Electric Power.
- [7] GB 16847-1997(idt. IEC 44 6 1992), 保护用电流互感器暂态特性要求[S].  
GB 16847-1997(idt. IEC 44 6 1992), Requirements for Protective Current Transformers for Transient Performance[S].
- [8] 熊列彬, 陈小川, 陈德明, 等. 秦沈线变压器差动保护误动作原因分析. 电力系统自动化[J], 2005, 29(8).  
XIONG Lie-bin, CHEN Xiao-Chuan, CHEN De-ming, et al. Analysis of Transformer Differential Protect Misaction[J]. Automation of Electric Power Systems, 2005, 29(8).
- [9] 徐习东, 方愉冬, 等. 变压器差动保护的隐患[J]. 电力系统自动化, 2005, 29(13).  
XU Xi-dong, FANG Yu-dong, et al. Hidden Defect of Transformer Differential Protection[J]. Automation of Electric Power Systems, 2005, 29(13).
- [10] 李光琦. 电力系统分析[M]. 北京: 中国电力出版社, 1995.  
LI Guang-qi. Temporary Attitude Analysis of the Power System[M]. Beijing: China Electric Power Press, 1995.

收稿日期: 2006-08-16

作者简介:

龚洪金(1978-), 男, 学士, 主要从事变电站综合自动化项目的技术和管理工作. E-mail: snghj@sina.com

(上接第 5 页 continued from page 5)

- [7] 曾祥君, Li K K, Chan W L, 尹项根, 等. 信息融合技术在故障选线中的应用[J]. 继电器, 2002, 30(9): 15-20.  
ZENG Xiang-jun, Li K K, Chan W L, YIN Xiang-gen, et al. Earth Fault Feeder Detection with Information Fusion[J]. Relay, 2002, 30(9): 15-20.
- [8] 穆大庆. 消弧线圈接地电网中单相接地保护的新原理探讨[J]. 继电器, 2001, 29(6): 26-27, 34.  
MU da-qing. Study on a New Principle of Single-phase Earth Protection for Arc-suppression Coil Grounded System[J]. Relay, 2001, 29(6): 26-27, 34.
- [9] 穆大庆, 尹项根, 甘正宁. 中性点不接地系统中单相接地保护的新原理探讨[J]. 长沙电力学院学报(自然科学版), 2005, 20(1): 6-9.  
MU Da-qing, YIN Xiang-gen, GAN Zheng-ning. Exploration of New Principle of Single-phase Earth Protection for the System with Floating Neutral Point[J]. Journal of Changsha University of Electric Power(Natural Science), 2005, 20(1): 6-9.
- [10] 何奔腾, 胡为进. 能量法小电流接地选线原理[J]. 浙江大学学报(自然科学版), 1998, 32(4): 451-457.  
HE Ben-teng, HU Wei-jin. A New Principle to Detect the Grounded Line in a Neutral Point Indirectly Grounded Power System Based on the Energy Function[J]. Journal of Zhejiang University(Natural Science), 1998, 32(4): 451-457.
- [11] 贾清泉, 刘连光, 杨以涵, 等. 应用小波检测故障突变特性实现配电网小电流故障选线保护[J]. 中国电机工程学报, 2001, 21(10): 78-82.  
JIA Qing-quan, LIU Lian-guang, YANG Yi-han, et al. Abrupt Change Detection With Wavelet for Small Current Fault Relaying[J]. Proceedings of the CSEE, 2001, 21(10): 78-82.
- [12] 操丰梅, 苏沛浦. 小波变换在配电自动化接地故障检测中的应用研究[J]. 电力系统自动化, 1999, 23(13): 33-36.  
CAO Feng-mei, SU Pei-pu. Study on the Application of Wavelet Transform to Detect Earth-fault in Distribution Automation System[J]. Automation of Electric Power Systems, 1999, 23(13): 33-36.
- [13] 毛鹏, 孙雅明, 张兆宁, 等. 小波包在配电网单相接地故障选线中的应用[J]. 电网技术, 2000, 24(6): 9-13, 17.  
MAO Peng, SUN Ya-ming, ZHANG Zhao-ning, et al. Wavelet Packet Based Detection of Phase-to-ground Fault in Distribution Automation System[J]. Power System Technology, 2000, 24(6): 9-13, 17.

收稿日期: 2006-07-10; 修回日期: 2007-02-11

作者简介:

穆大庆(1964-), 男, 工程硕士, 副教授, 主要研究方向为电力系统继电保护及自动控制技术等; E-mail: mudaqing64@163.com

莫京军(1961-), 男, 学士, 副教授, 主要研究方向为电力系统继电保护及电力电子等。