

DOI: 10.7667/PSPC151312

# 一种同名相转换性故障变压器差动保护防拒动的研究

陈继瑞<sup>1</sup>, 张营伟<sup>2</sup>, 邓茂军<sup>1</sup>, 姚东晓<sup>1</sup>

(1. 许继电气公司技术中心, 河南 许昌 461000; 2. 许继风电科技有限公司, 河南 许昌 461000)

**摘要:** 为解决变压器差动保护在发生区外故障 CT 饱和转区内同名相故障 CT 饱和导致的差动保护拒动问题, 提出一种差流点差饱和和开放识别方案。若为单电源 CT 饱和时饱和和段差流采样点将会很小或出现间断。若为多电源单 CT 饱和时差流趋于正常波形。利用差流采样点的比率制动关系及制动电流间断角的特性, 通过识别一周波内满足比率制动特性与间断点的总采样点数, 来判断是否区内故障。仿真结果表明, 该方法适用于变压器差动保护同名相转换性故障识别。

**关键词:** 变压器; CT 饱和; 同名相; 间断角; 转换性故障; 区内饱和

## Research of a transformer differential protection against refusing action about the same phase transformation faults

CHEN Jirui<sup>1</sup>, ZHANG Yingwei<sup>2</sup>, DENG Maojun<sup>1</sup>, YAO Dongxiao<sup>1</sup>

(1. Technology Center, XJ Electric Co., Ltd., Xuchang 461000, China;

2. XJ Wind Power Technology Co., Ltd., Xuchang 461000, China)

**Abstract:** To solve the problem of transformer differential protection refusing action, when outside fault CT saturation transferring the same phase inside fault with CT saturation, this paper puts forward a scheme based on differential current sampling points differentia saturated open. For a single power supplying when differential current sampling points of CT saturation periods will be small or presenting interruptive angles; if multiple power supplying and single CT saturation, differential currents return to normal waveforms. It uses ratio braking relations of differential current sampling point and characteristics of the braking current interruptive angle, by identifying total sampling points of meeting ratio braking characteristics and interruptive points within a cyclic wave, to judge whether the fault in the area. The simulation results show that this method is suitable for the identification of the same phase fault about transformer differential protection.

**Key words:** transformer; CT saturation; same phase; interruptive angle; transform fault; the area of saturation

## 0 引言

随着国民经济的迅速发展, 对工业、民用业等各个领域的用电量也大幅度的增加。大容量、高电压的变压器不断投入电网运行, 变压器价格昂贵, 在电网中的作用较为重要。因此, 变压器差动保护对保护变压器本体的可靠性显的尤为重要; 另外, 高电压变压器的本体结构以及大容量、高电压等级又会使变压器发生故障时, 故障电流中往往夹杂大量的谐波、直流非周期分量, 容易导致变压器采样的 CT 发生饱和<sup>[1]</sup>, 特别是当同名相转换性区内故障 CT 饱和时, 容易引起差动保护拒动, 给电网安全运行带来隐患。

针对区外故障引起的 CT 饱和问题, 大多采用比率制动的方法来克服, 但是比率制动系数取值较

为困难, 制动系数取太高将导致差动保护灵敏性降低; 反之, 制动系数取太低差动保护抗区外 CT 饱和能力将降低。因此, 常规做法往往配置时差法、差分法、区内外故障识别等方法来解决 CT 饱和带来的差动保护误动, 但是对于区外故障 CT 饱和和转同名相区内故障 CT 饱和的情况, 上述方法均无法保证变压器差动保护可靠动作<sup>[2-4]</sup>。因此, 本文提出一种识别一周波内满足比率制动特性与间断采样点总个数的方法来开放差动保护, 并通过 RTDS 模型仿真验证了该方法对于发生区外转区内同名相故障 CT 饱和时, 变压器差动保护可以有效开放。

## 1 CT 饱和特征分析

变压器的 CT 饱和与一次接线型式密切相关, 现在变电站运行的大容量、高电压等级变压器往往

以联络变为主, 通常为高、中压侧均带有电源, 仅高压侧带有电源两种情况, 其一次接线图如图 1 所示。以 220 kV 接线型式为例说明, 图中 CT1、CT2、CT3 与 CT4 分别是高压侧 CT, 中压侧 CT, 低压侧 1、2 分支 CT, 构成变压器差动保护的差流计算方程。从图 1 中可以看出, 若仅高压侧带电源, 则发生区内故障 CT 饱和时, 仅有 CT1 会饱和; 若高、中压侧均带电源时, 发生区内饱和时, CT1 与 CT2 均有可能会饱和。

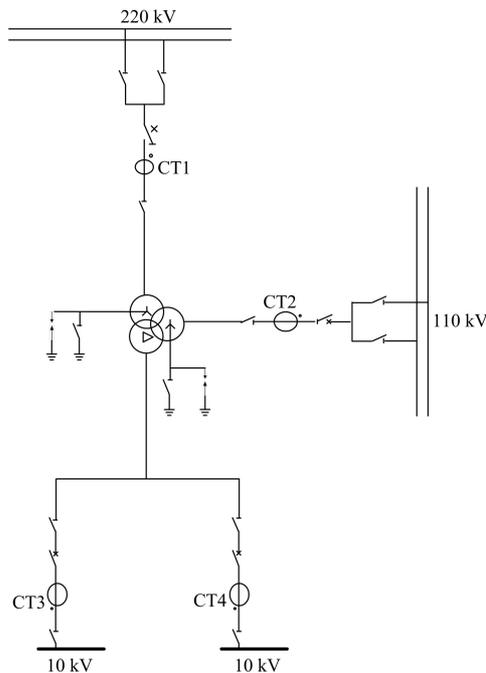


图 1 变压器一次接线图

Fig. 1 Transformer circuit wiring diagram

### 1.1 区外故障 CT 饱和特性分析

当电流互感器一次侧通过大电流时, CT 铁芯迅速被磁化, 磁通维持在饱和值附近不变化, 当 CT 一次侧电流增加时, CT 铁芯内的磁通含量将不再随励磁电流呈函数特性增加。因此, 这就会导致 CT 二次侧传变的电流特性与一次侧电流的特性不再一致, 表现为比实际传变的电流值偏小, 甚至当 CT 严重饱和时, 二次侧饱和区的传变电流将会趋于 0<sup>[5-7]</sup>, CT 传变特性如图 2 所示, 图中  $i_1$  为正常传变电流,  $i_2$  为饱和后的传变电流。若此时发生区外故障就会导致差动平衡方程被打破, 出现较大的差动电流, 引起差动保护误动, 区外故障保护误动录波如图 3 所示。

为了弥补区外故障引起差动保护误动, 常使用时差法的区内外故障识别判据, 利用 CT 传变的线性区来快速判断出区内外故障, 线性区如图 2 中  $i_1$  和  $i_2$  曲线重合的部分所示, 根据 CT 的励磁特性,

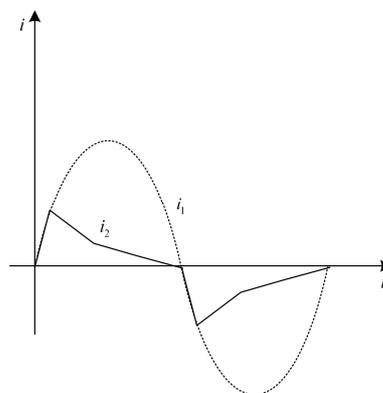


图 2 CT 饱和传变特性图

Fig. 2 Diagram of CT saturation characteristics

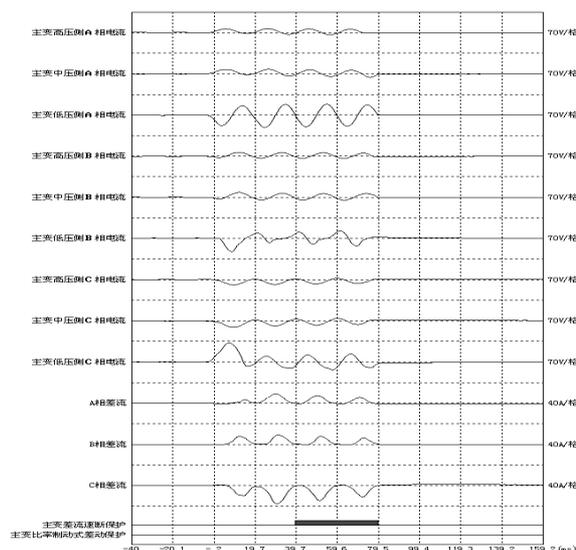


图 3 变压器区外故障 CT 饱和和录波图

Fig. 3 Waveforms of outside transformer fault causing CT saturation

往往在电流过零点附近都会出现一段线性区域, 区内外故障判别可以利用短暂的线性区来完成判别。

时差法的区内外判据方程如下:

$$\begin{cases} |i_{qdk}| > 1.25 |i_{qd(k-T)}| + k_1 I_e & (1) \\ |I_{opk}| > k_2 \times |I_{rk}| & (2) \\ |I_{opk}| > k_3 I_e & (3) \\ |I_{opk} - I_{op(k-2T)}| > k_4 I_e & (4) \end{cases}$$

式(1)中  $i_{qdk}$ ,  $i_{qd(k-T)}$  分别为当前周波与一周前周波的增量差流点差; 式(2)中  $I_{opk}$ ,  $I_{rk}$  分别为当前周波点差差流、制动差流; 式(4)中  $I_{op(k-2T)}$  为两周前的点差差流;  $k_2$  为比率制动系数;  $k_1$ 、 $k_3$ 、 $k_4$  为启动门槛系数;  $I_e$  为基准电流。

当一个周波中连续 3 个差流采样点, 满足式(1)时, 启动区内外判据, 并对满足式(1)的采样点, 依次进行式(2)、式(3)、式(4)的方程判别, 若该采样点均满足, 则对该采样点进行计数; 当一个周波里连续 3 个采样点中有 2 个采样点均满足式(2)一式(4), 则判为区内故障; 否则, 判别为区外故障。

虽然, 该方法可以简单、快速地判别出区内外故障, 并且对于 24 点采样的周波其抗饱和能力达到 5 ms, 抗饱和能力强; 但是, 为了保证不多次进行区内外故障判别, 常常以差流判据来进行保持; 所以区外故障 CT 饱和时, 在线性区内差流忽略为 0, 到饱和区时出现差流, 时差法将判别为区外故障, 在区外故障消失前, 差流状态保持住区外状态; 当同时出现同名相别的转换性区内故障时, 导致差动保护开放不了, 引起差动保护拒动。为解决这种情况常采用 CT 饱和开放判据来识别区内故障进行开放差动保护<sup>[8]</sup>。

## 1.2 转换性区内故障 CT 传变特性分析

220 kV 等级变压器保护常采用 P 级型号 CT, P 级 CT 的特性只考虑了稳态电流传变误差, 没有考虑 CT 暂态过程中非周期分量的影响, 因此当故障电流中伴随较大的非周期分量时, 差流回路中不平衡电流就会急剧增加, 引起 CT 发生暂态饱和, 导致采样回路失真<sup>[9-10]</sup>, 影响差动保护正常动作, CT 饱和波形如图 4 所示。



图 4 CT 饱和波形特性图

Fig. 4 Waveforms of CT saturation characteristics

当发生同名相转换性区内故障时, 常规方法是利用延时躲过非周期分量的衰减, 当差流中的非周期分量衰减近似于正常故障波形时, 通过常规的 CT 抗饱和判据把关验证, 识别差流为正常故障波形时开放差动保护。

常规的 CT 抗饱和判据方程如下:

### 1) 原始差流采样值饱和和开放判据

$$\begin{cases} |I_{op(k)}| > \lambda_L \cdot I_{op\max} \\ |I_{op(h)}| > \lambda_H \cdot I_{op\max} \\ k \geq a_L \text{ 且 } h \geq a_H \quad k, h \in (1, N) \end{cases} \quad (5)$$

式中:  $I_{op\max}$  为一个周波中最大差流采样点;  $I_{op(k)}$ ,

$I_{op(h)}$  分别为一个周波中满足  $\lambda_L$ 、 $\lambda_H$  制动关系的采样点值;  $a_L$ 、 $a_H$  为阈值;  $N$  为一个周波采样点数。

原始差流采样值饱和和开放判据, 基于一周波  $N$  点采样的采样波形中有  $a_L$  个以上采样点满足  $\lambda_L$  倍制动关系且同时有  $a_H$  个以上采样点满足  $\lambda_H$  倍制动关系时, 判据识别为正常故障, 开放差动保护。

### 2) 微分差流采样值饱和和开放判据

$$\begin{cases} |I_{d(m)}| > h \cdot I_{d\max} \\ h \geq a, m \in (1, N) \end{cases} \quad (6)$$

式中:  $I_{d\max}$  为一个周波中最大微分差流采样点;  $I_{d(m)}$  为经过微分算法处理后的一个周波中满足  $h$  倍制动关系的微分差流采样点值。

微分差流采样值饱和和开放判据对差流中的直流分量有一定的消减作用, 基于一周波  $N$  点采样的微分差流采样波形中有  $a$  个以上采样点满足  $h$  倍制动关系时, 判据识别为正常故障, 开放差动保护。

由于常规 CT 抗饱和判据均是基于当发生同名相转换性故障时, 故障电流的波形衰减为近似于正常故障波形时, 才能正确识别出来; 当出现区外故障 CT 饱和和区内故障 CT 饱和时, 就会导致常规判据识别不出来区内故障, 导致差动保护拒动<sup>[11-15]</sup>。因此, 基于常规 CT 饱和判据的弊端, 提出一种差流点差饱和和开放方法, 来避免发生同名相区外故障 CT 饱和和区内故障 CT 饱和时差动拒动的情况。

## 2 差流点差饱和和开放方法原理

差流点差饱和和开放方法, 考虑到当发生区内故障 CT 饱和时, 一般为带电源侧 CT 容易发生饱和; 若变压器仅一侧带电源且该 CT 发生饱和时, 其饱和区和采样点将减小, 严重饱和时将趋于 0, 其特性表现为差动电流与制动电流都较小; 若是多侧带电源, 仅一侧 CT 发生饱和时, 此时另外一侧的电源将会提供一定的差流, 其特性表现为差动电流减小, 而制动电流变化不明显。

综合上述区内故障 CT 饱和的特性, 差流点差饱和和开放方法的判别方程如下:

$$\begin{cases} |I_{op(k)}| > h_{op} \cdot I_{r(k)} \\ k \geq a_{op}, k \in (1, N) \end{cases} \quad (7)$$

$$\begin{cases} |I_{r(k)}| < h_r I_n \\ k \geq a_r, k \in (1, N) \end{cases} \quad (8)$$

式中:  $I_{op(k)}$ 、 $I_{r(k)}$  分别为差流中的差流采样点值、差流制动电流采样点值;  $h_{op}$  为比率系数;  $h_r I_n$  为制动电流采样点阈值;  $I_n$  为额定电流;  $N$  为一个周

波采样点数。

当一个周波  $N$  点采样值中, 满足式(7)或式(8)的采样点达到  $a_{op} + a_r$  个以上时, 判别为区内故障, 开放差动保护。

该方法通过式(7)差流与制动电流的比率制动关系, 找出满足差动动作方程的采样点值, 并且有一定的抗区外 CT 饱和和能力; 式(8)通过识别制动电流的采样点值, 找出区内故障 CT 饱和和区的采样点, 并记录满足式(7)或式(8)的采样点数, 当总采样点数大于等于  $a_{op} + a_r$  个点时, 开放差动保护; 配合上述的常规 CT 饱和和开放判据, 一起把关变压器差动保护。

## 2.1 试验模型接线及参数

利用实时数字仿真系统(RTDS)验证改进后的变压器同名相区外故障 CT 饱和和区内故障 CT 饱和和开放判据的差动保护性能, 变压器仿真模型如图 5 所示, 变压器模型参数如表 1 所示。

表 1 变压器模型参数

Table 1 Transformer model parameters

名称	参数
变压器容量	240 MVA
变压器变比	220 kV/110 kV/10 kV
变压器接线方式	Yn/Yn/D-12-11
高-中短路阻抗	0.103
中-低短路阻抗	0.605
高-低短路阻抗	0.187
CT1、CT2 变比	1 250 A/1 A
CT3 变比	2 500 A/1 A
CT4 变比	4 000 A/1 A

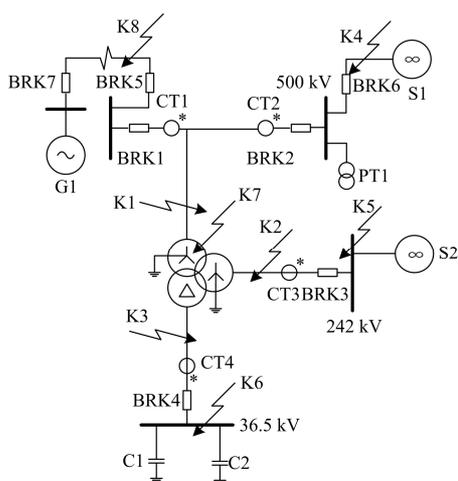


图 5 变压器电气接线图

Fig. 5 Transformer wiring diagram

## 2.2 点差 CT 饱和和开放判据仿真结果

差动保护定值: 差流启动定值为  $0.4I_e$ , 差流制

动系数  $S$  为 0.5, 制动电流定值为  $0.8I_e$ 。针对改进的点差 CT 饱和和开放判据, 验证了变压器发生区外故障 CT 饱和和区内故障 CT 饱和时变压器差动保护的开放特性; 试验表明区内故障 CT 饱和和时, 差动保护能可靠开放, 结果如图 6 所示。

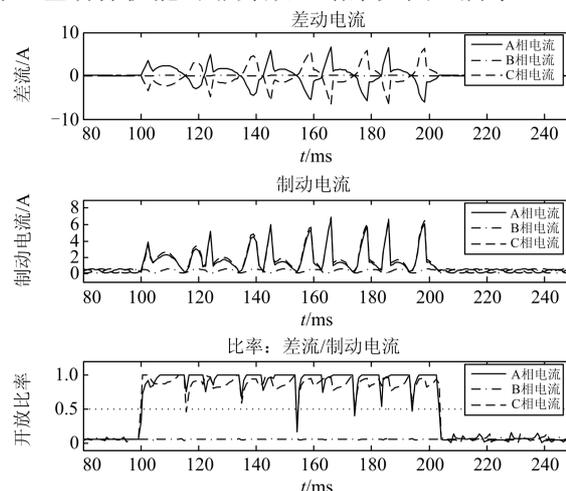


图 6 变压器转换性故障波形图

Fig. 6 Waveforms of transformer's conversion fault

## 3 结语

本文通过对 CT 饱和的特性进行了研究, 以及对变压器保护发生区外故障 CT 饱和时常规的抗饱和和方法的优缺点进行了分析, 提出了一种差流点差 CT 饱和和开放的方法, 来解决当发生同名相故障区外区内 CT 饱和和时变压器差动保护拒动。通过实验仿真表明了该方法可以有效地开放差动保护。

另外, 该方法算法简单、容易实现, 并且对于其他保护在防转换性区内故障 CT 饱和和时也适用, 只需通过修改判据的采样点数与比率系数即可。

## 参考文献

- [1] 李旭, 黄继东, 倪传坤, 等. 不同电流互感器混用对线路差动保护的影响及对策的研究[J]. 电力系统保护与控制, 2014, 42(3): 141-145.  
LI Xu, HUANG Jidong, NI Chuankun, et al. Influence of mixing different types of current transformers on line differential protection and the countermeasures[J]. Power System Protection and Control, 2014, 42(3): 141-145.
- [2] 公茂法, 夏文华, 张晓明, 等. 基于 HHT 的抗 CT 饱和和变压器故障识别新方法[J]. 电力系统保护与控制, 2013, 41(22): 64-70.  
GONG Maofa, XIA Wenhua, ZHANG Xiaoming, et al. New method to identify transformer fault with anti-CT saturation based on HHT[J]. Power System Protection and Control, 2013, 41(22): 64-70.

[3] 曾铁军, 郑茂然, 苏泽光, 等. 基于突变量阻抗原理的差动保护的研究[J]. 电力系统保护与控制, 2014, 42(1): 115-118.  
ZENG Tiejun, ZHENG Maoran, SU Zeguangu, et al. Study on the differential protection based on the principle of variable impedance[J]. Power System Protection and Control, 2014, 42(1): 115-118.

[4] 胡家为, 葛荣尚, 尹明铉, 等. CT过饱和特性及对过流速断保护的影响[J]. 电力系统保护与控制, 2013, 41(16): 133-138.  
HU Jiawei, GE Rongshang, YIN Mingxuan, et al. Characteristics of CT over-saturation and its influence on over-current/instantaneous trip protection[J]. Power System Protection and Control, 2013, 41(16): 133-138.

[5] 高吉普, 徐长宝, 陈建国, 等. 基于网络采样的变压器差动保护异步闭锁技术研究[J]. 电力系统保护与控制, 2014, 42(3): 105-110.  
GAO Jipu, XU Changbao, CHEN Jianguo, et al. Research on asynchronous blocking technology of transformer differential protection based on network sampling[J]. Power System Protection and Control, 2014, 42(3): 105-110.

[6] 詹勤辉, 王世祥, 周贺. 母差保护误动原因分析与防范[J]. 电力系统保护与控制, 2008, 36(18): 91-92.  
ZHAN Qinhuai, WANG Shixiang, ZHOU He. Causes and prevention of the differential protection malfunction[J]. Power System Protection and Control, 2008, 36(18): 91-92.

[7] 景胜, 刘向阳. 变流器饱和和引起母差保护误动事故的分析[J]. 继电器, 2004, 32(2): 70-71.  
JING Sheng, LIU Xiangyang. Analysis of a maloperation of busbar differential protection caused by CT saturation[J]. Relay, 2004, 32(2): 70-71.

[8] 刘玉东, 王增平, 张志梅, 等. 基于CT饱和和综合判据的变压器差动保护的研究[J]. 继电器, 2007, 35(17): 1-4.  
LIU Yudong, WANG Zengping, ZHANG Zhimei, et al. Study of transformer differential protection based on the CT-saturation-integrate-method[J]. Relay, 2007, 35(17): 1-4.

[9] 李岩, 陈德树, 张哲, 等. 鉴别电流互感器饱和的改进时差法研究[J]. 继电器, 2001, 29(11): 1-4.  
LI Yan, CHEN Deshu, ZHANG Zhe, et al. Research of the improved time difference method to distinguish TA's saturation[J]. Relay, 2001, 29(11): 1-4.

[10] 何奔腾, 马永生. 电流互感器饱和对母线保护的影响[J]. 继电器, 1998, 26(2): 16-20.  
HE Benteng, MA Yongsheng. The influence of current transformer on bus protection[J]. Relay, 1998, 26(2): 16-20.

[11] 戈文祺, 汪友华, 陈学广, 等. 电力变压器铁心剩磁的测量与削弱方法[J]. 电工技术学报, 2015, 30(16): 10-16.  
GE Wenqi, WANG Youhua, CHEN Xueguang, et al. Method to measure and weaken the residual flux of the power transformer core[J]. Transactions of China Electrotechnical Society, 2015, 30(16): 10-16.

[12] 李振华, 李红斌, 张秋雁, 等. 一种高压电子式电流互感器在线校验系统[J]. 电工技术学报, 2014, 29(7): 229-236.  
LI Zhenhua, LI Hongbin, ZHANG Qiuyan, et al. An online calibration system for high voltage electronic current transformers[J]. Transactions of China Electrotechnical Society, 2014, 29(7): 229-236.

[13] 陈学伟, 高厚磊, 向珉江, 等. 基于电子式互感器微分输出的改进R-L模型距离保护算法[J]. 电工技术学报, 2014, 29(6): 283-289.  
CHEN Xuewei, GAO Houlei, XIANG Minjiang, et al. Improved R-L model distance protection algorithm based on differential output of electronic transducers[J]. Transactions of China Electrotechnical Society, 2014, 29(6): 283-289.

[14] 冯宇, 谢超, 王玲, 等. 电子式电压互感器谐波传变特性分析[J]. 高压电器, 2014, 50(11): 97-102.  
FENG Yu, XIE Chao, WANG Ling, et al. Analysis on harmonic transfer characteristics of electronic voltage transformers[J]. High Voltage Apparatus, 2014, 50(11): 97-102.

[15] 王玲, 汪本进, 吴士普, 等. 电子式电流互感器暂态特性检测系统研究[J]. 高压电器, 2014, 50(11): 86-91.  
WANG Ling, WANG Benjin, WU Shipu, et al. Study on transient characteristics test method of electronic current transformer[J]. High Voltage Apparatus, 2014, 50(11): 86-91.

收稿日期: 2015-07-29; 修回日期: 2015-09-08

作者简介:

陈继瑞(1984-), 男, 硕士, 中级工程师, 主要从事电力系统继电保护产品研发工作; E-mail: 790321152@qq.com

张营伟(1962-), 男, 本科, 高级工程师, 从事继电保护产品质量工作;

邓茂军(1975-), 男, 硕士, 高级工程师, 从事电力系统继电保护产品研发工作。

(编辑 周金梅)