

一种变压器保护采样可靠性及涌流识别方案的研究

陈继瑞¹, 张营伟¹, 刘洁², 邓茂军¹, 倪传坤¹

(1. 许继集团有限公司, 河南 许昌 461000; 2. 西部机场集团置业(西安)有限公司, 陕西 西安 710000)

摘要: 为解决智能电网运行中因采样数据异常及变压器励磁涌流不能正确识别导致的变压器保护动作可靠性不高的问题, 提出一种变压器保护采样可靠性及涌流识别的研究方案。对于采样数据异常问题, 提出一种利用两路 AD 采样数据实时相互校验并共同把关保护逻辑出口的方案。同时针对涌流识别问题, 提出一种差流谐波互闭锁+空投时按相综合谐波开放及恢复性涌流时按相差流二次谐波低“三取二”的方案。通过实验仿真, 验证了涌流识别方案的有效性。

关键词: 变压器; 智能电网; 恢复性涌流; 三取二; 励磁涌流; 双 AD

A research of transformer protection about sampling reliability and inrush current identification

CHEN Jirui¹, ZHANG Yingwei¹, LIU Jie², DENG Maojun¹, NI Chuankun¹

(1. XJ Group Corporation, Xuchang 461000, China; 2. Western Airport Group Home Buyers (Xi'an) Co., Ltd., Xi'an 710000, China)

Abstract: To solve the problem that the reliability of transformer protection tripping is not high because abnormal sampling data and excitation inrush current cannot be identified properly in smart grid, this paper puts forward a research scheme about sampling data reliability and inrush current identification of transformer protection. For the problem of abnormal sampling data, it gives a method which uses double AD sampling data to real-timely check each other and control protection logic outlet together. At the same time, for excitation inrush current identification problems, it proposes a method of differential current harmonics mutually atresia plus synthesis harmonic open by phase on no-load energizing and secondary harmonic low “two out of three” by phase differential current when restorative excitation inrush current happened. Simulation results verify the effectiveness of inrush current identification scheme.

Key words: transformer; smart grid; restorative flow; two out of three; inrush current; double AD

0 引言

近年来, 随着智能变电站技术的逐渐成熟, 智能变电站大范围的被投入电网运行, 变压器保护误动现象时有发生, 究其原因主要表现为两个方面:

(1) 智能变电站过程层广泛采用互感器、采集器及合并单元等环节的配合, 实现数字采样回路, 采样回路如图 1。复杂的数字采样回路较容易引起采样数据异常, 导致变压器保护误动^[1]; 例如, 2012 年广东阳江核电变电站及河北苏正变, 在现场投运调试期间, 均出现由于互感器的某一路采集器异常, 导致该路采样输出量值偏大造成保护误动作, 分析现场调试数据发现, 保护定值为: 1 A, 施加量值为 0.95 A, 但第一路异常采样为 1.03 A, 第二路采样值为 0.95 A, 不满足双 AD 校验判据, 出现保护误

动。(2) 变压器空投时励磁涌流及区外故障切除时的恢复性涌流的影响, 容易引起变压器保护的误动。

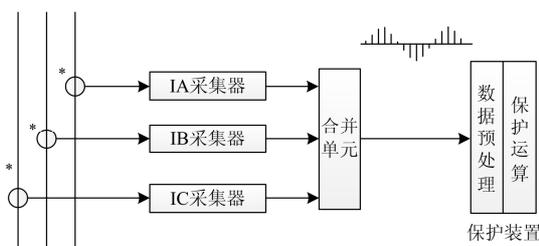


图 1 数字采样回路结构图

Fig. 1 Digital sampling circuit diagram

综上所述, 针对变压器保护误动的缺点, 提出一种变压器保护采样可靠性及涌流识别的方案。通过对采样回路异常原因的分析, 利用互感器的双

AD 采样数据, 通过滑动数据窗实时计算两路 AD 幅值并校验数据偏差, 将两路 AD 采样数据都用于逻辑运算共同把关保护出口, 提高了采样回路的可靠性, 减少了由双 AD 不一致带来的采样异常导致差动保护误动; 另外, 通过对变压器励磁涌流类型的分析, 提出一种差流二次谐波互闭锁, 在变压器空投时采用按相综合谐波开放差动保护; 在恢复性涌流时, 按相差流二次谐波低“三取二”开放差动保护的方法。

下面主要从双 AD 采样回路数据异常处理和变压器涌流识别两方面来分析研究。

1 双 AD 方案设计原理的分析与研究

智能变电站中为了提高数据采样的有效性与可靠性, 常采用同源双 AD 的采样回路设计方式, 回路设计如图 2 所示, 每路采样系统通过双 AD 采集系统接入合并单元(MU), 在合并单元(MU)进行数据同步后, 再由 MU 输出两路数字量采样给同一套变压器保护装置, 保护装置内部对两路 SV 采样数据进行处理后, 再用于保护逻辑运算^[2]。

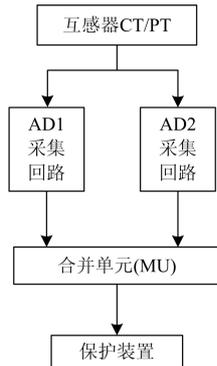


图 2 同源双 AD 采样回路

Fig. 2 Homologous pairs of AD sampling circuit

1.1 基于滑动数据窗的双 AD 判据

由于接入保护装置的双 AD 采样数据为同源数据, 数据源均在互感器二次侧。且两路采样数据经过两路完全独立的采集回路, 然后又经过合并单元的不同步处理, 处理环节较多, 往往因外界干扰、回路硬件本身因素, 引起两路采样数据会有一定的偏差, 而不是完全相等, 这样保护应用数据时就无法确定哪路 AD 正常。

对于该问题, 常规做法是默认取其中一路 AD 采样数据供保护逻辑运算用, 而另一路 AD 采样数据用来与第一路 AD 采样数据进行互校验, 通过滑动数据窗实时取出单周波两路 AD 的采样数据, 然后通过全周傅里叶滤波算法, 计算出工频的采样幅值, 其滑动数据窗采样如图 3 所示^[3]。

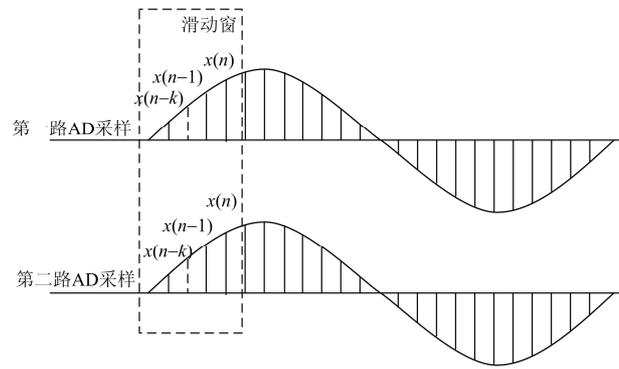


图 3 滑动数据窗采样图

Fig. 3 Sliding data window sampling diagram

保护 CPU 在计算出两路 AD 采样数据幅值后, 对两路 AD 每周波采样数据幅值进行比较, 若两路 AD 的采样幅值误差过大, 则保护认为采样数据异常, 瞬时闭锁保护; 否则, 若两路 AD 的采样幅值误差精度满足要求, 则保护认为采样数据有效, 直接用于保护逻辑运算, 同时继续比较下一滑动窗数据窗数据幅值误差, 并重复以上步骤。设双 AD 实时滑动数据窗幅值分别为 x 和 y , 判别公式如下:

$$\begin{cases} |x - y| > a \times I_n \\ |x - y| > b \times \min\{x, y\} \end{cases} \quad (1)$$

$$\begin{cases} |x - y| > a \times U_{qn} \\ |x - y| > b \times \min\{x, y\} \end{cases} \quad (2)$$

其中: 式(1)为电流双 AD 采样判据; 式(2)为电压双 AD 采样判据; I_n 为变压器额定电流; U_{qn} 为变压器额定相电压; a, b 分别为绝对门槛相和对门槛。

这种方案虽然可以提高保护装置对采样数据识别的可靠性, 但是主要依赖对双 AD 判据门槛的取值, 若是取值误差过大, 则双 AD 判据不能正确识别采样数据异常, 容易引起保护误动; 反之若取值误差过小, 又容易误判采样异常, 导致保护误闭锁, 因此需要对双 AD 判据进行改进。

1.2 改进的双 AD 识别方案

为了保证双 AD 判据的严谨性, 针对双 AD 门槛取值误差的范围缺陷, 对上述双 AD 判据进行了改进, 即: 在利用滑动数据窗判别的同时, 将两路 AD 采样数据均用于保护逻辑运算, 其中一路 AD 用于保护动作逻辑运算, 而另一路 AD 数据用保护启动逻辑运算, 同时参与第一路 AD 数据的实时互校验, 与逻辑把关保护出口, 其逻辑图如图 4 所示。另外, 由于现场目前的变电站大多采用双套保护配置, 即: 针对同一台断路器机构, 配置两套不同厂家的保护装置, 可以有效防止任一套保护拒动, 导致的断路器拒动。

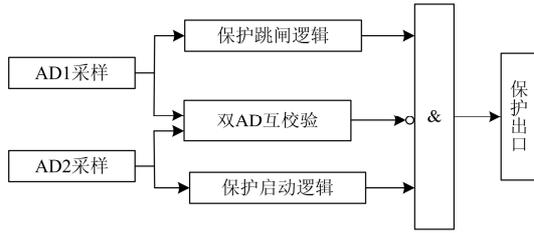


图4 改进的双AD回路

Fig. 4 Improved double AD circuits

改进的双AD识别方案，通过将第二路AD采样数据用于启动逻辑，并参与保护动作的把关，所以当采样回路出现异常，表现为一路AD幅值大于保护定值，另一路AD幅值小于保护启动定值，且两路AD采样的误差满足要求，此时双AD判据失效，但通过启动逻辑的把关，保护将不会误动，该方案提高了双AD判据的严谨性及可靠性。

2 变压器保护励磁涌流识别方案的研究

随着国民经济突飞猛进的发展，高压远距离输电线路的增多，导致电网容量剧增，更多的大容量变压器被投入电网运行。由于空投变压器或故障恢复时产生的励磁涌流对变压器的可靠运行带来巨大隐患。由于励磁涌流受到变压器合闸角、容量、剩磁以及本身生产材料等诸多因素的影响，导致励磁涌流波形中的谐波含量分散性较大，有的相别谐波大于15%，而有的相别小于7.5%，导致变压识别涌流方法大都采用差流谐波或闭锁，但当变压器空投于匝间故障或发生区外到区内的转换性故障时受励磁涌流的影响，非故障相别的谐波闭锁差动保护，又会引起保护延时动作甚至拒动，影响电网的正常运行^[4-7]。

针对空投和发生转换性故障时励磁涌流的影响，本文提出一种变压器励磁涌流识别方法用来对励磁涌流进行识别，闭锁或开放差动保护。该方法首先判别差动保护是否启动，在差动保护启动时判别三相差流中二次谐波含量，在三相差流中二次谐波含量均低时开放三相差动保护，否则判断变压器是否为空投，在变压器处于空投时，根据各相电流中综合谐波含量低来开放差动保护；在变压器处于非空投时，采用三相差流谐波中任两相二次谐波含量低时，来开放差动保护。本方法不仅弥补了变压空投时因某相差流谐波含量低导致的空投误动，同时也保证了空投变压器于故障及区外转区内故障产生励磁涌流时能快速开放差动保护，提高了装置的可靠性，识别方法流程图如图5所示。

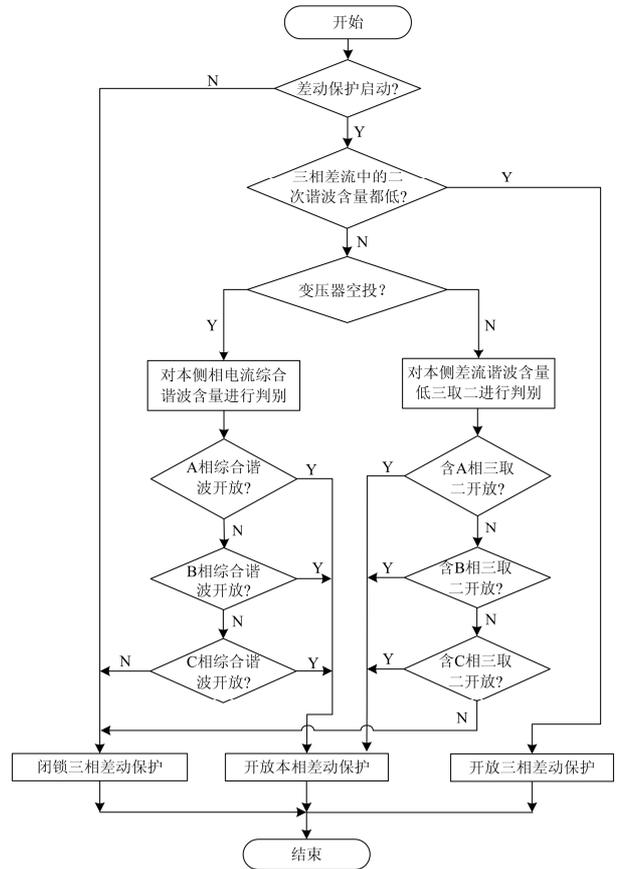


图5 变压器励磁涌流识别流程图

Fig. 5 Flow chart of transformer excitation inrush current identification

2.1 变压器励磁涌流识别方案实施步骤

(1) 差动保护启动判别：任一相差流大于0.8倍差动保护启动电流定值和0.2倍差动基准电流中较小者时启动差动保护，判别方程为

$$I_{op} > 0.8 \min \{ I_{op,0}, 0.2 I_e \} \quad (3)$$

式(3)中： I_{op} 为变压器保护差动电流； $I_{op,0}$ 为变压器保护启动电流定值； I_e 为变压器基准电流，若差动保护未启动时，直接闭锁三相差动保护，不再进行后续步骤的判别。

(2) 计算A、B、C三相差流中的二次谐波含量，当某相差流大于 $0.8 \min \{ I_{op,0}, 0.2 I_e \}$ 且二次谐波含量大于定值时判为该相二次谐波含量高，否则判为该相二次谐波含量低，判别方程为

$$\begin{cases} I_{d2} > k_{xb2} I_{d1} \\ I_{d1} > 0.8 \min \{ I_{op,0}, 0.2 I_e \} \end{cases} \quad (4)$$

式(4)中： I_{d2} 为差动电流中的二次谐波含量； I_{d1} 为差动电流中的基波电流； k_{xb2} 为二次谐波制动系数。

若三相差流中二次谐波含量都低时，开放三相

差动保护, 否则判断变压器是否处于空投。

(3) 变压器某侧空投判别: 当变压器某侧任一相有流且变压器其他侧各相均无流时, 说明变压器该侧为空投, 采用按相电流综合谐波含量低判据来开放差动保护; 否则, 判别为恢复性涌流, 为防止恢复性涌流引起差动保护误动, 采用差流谐波含量低三取二判据来闭锁差动保护。

例如高压侧任一相有流且中压侧、低压侧均无流判别为高压侧空投, 判别方程为

$$\begin{cases} \max\{I_{Ha}, I_{Hb}, I_{Hc}\} > \alpha \\ \max\{I_{Ma}, I_{Mb}, I_{Mc}\} < \alpha \\ \max\{I_{La}, I_{Lb}, I_{Lc}\} < \alpha \end{cases} \quad (5)$$

式(5)中: $\max\{I_{Ha}, I_{Hb}, I_{Hc}\} > \alpha$ 表示高压侧有流; $\max\{I_{Ma}, I_{Mb}, I_{Mc}\} < \alpha$ 表示中压侧无流; $\max\{I_{La}, I_{Lb}, I_{Lc}\} < \alpha$ 表示低压侧无流; α 为无流门槛。当判别变压器为非空投即恢复性涌流时, 不再对相电流综合谐波进行判别, 直接进行相差流二次谐波含量低三取二判别, 以有效地识别恢复性涌流对故障变压器的影响。

(4) 变压器某侧综合谐波含量判别: 当本侧差流大于差动最小动作定值时启动判别, 相电流综合谐波幅值=原始相电流采样点积分幅值-相电流基波幅值, 且该相电流综合谐波含量小于门槛值判为该相电流综合谐波开放, 判别方程为

$$I_{\Phi z} = \oint I_{\Phi'} - I_{\Phi 1} \quad (6)$$

$$\begin{cases} I_{\Phi z} < k_z I_{\Phi 1} \\ k_p \times I_{\Phi 1} > I_{op,0} \end{cases} \quad (7)$$

式(6)中: $I_{\Phi 1}$ 为相电流基波幅值; $I_{\Phi'}$ 为原始相电流采样点值; $I_{\Phi z}$ 为相电流综合谐波幅值; k_z 为综合谐波开放系数; k_p 为变压器本侧平衡系数。

(5) 若变压器判别为空投, 则对空投侧的 A、B、C 相电流综合谐波含量进行判别, 若 A 相电流综合谐波 $I_{\Phi z} > k_z \times I_{\Phi 1}$, 继续判别 B、C 相综合谐波含量, 若 A、B、C 相电流综合谐波均大于门槛值, 闭锁三相差动保护; 否则, 开放对应相差动保护。

(6) 若变压器判别为非空投, 启动变压器 A、B、C 相差动电流的二次谐波低三取二判别, 若 A 相差流二次谐波含量低, 且 B、C 相任一相差流谐波含量低, 则开放 A 相差动保护; 否则, 闭锁三相差动保护。

2.2 RTDS 试验仿真验证

利用实时数字仿真系统(RTDS)验证变压器励磁涌流识别方案的差动保护性能, 变压器仿真模型

如图 6 所示, 保护装置接线图如图 7 所示, 变压器模型参数如表 1 所示。

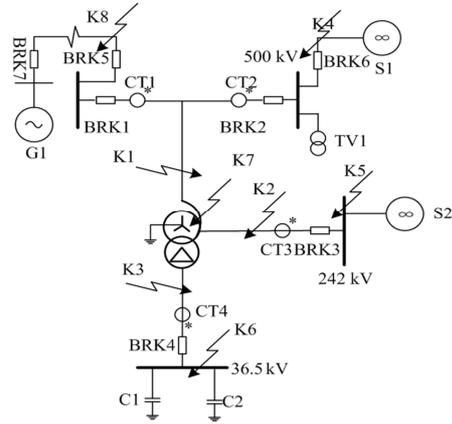


图 6 变压器电气接线图

Fig. 6 Transformer wiring diagram

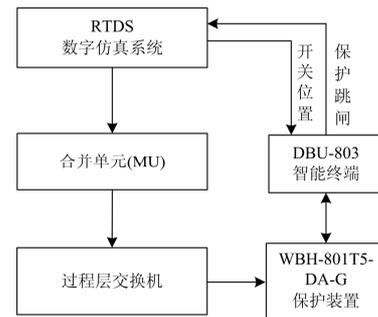


图 7 保护装置接线图

Fig. 7 Protection equipment wiring diagram

表 1 变压器模型参数

Table 1 Transformer model parameters

名称	参数
变压器容量	1 000 MVA
变压器变比	500 kV/242 kV/36.5 kV
变压器接线方式	Y0 / Δ -12-11
高-中短路阻抗	0.12
中-低短路阻抗	0.38
高-低短路阻抗	0.22
CT1、CT2 变比	1 250 A/1 A
CT3 变比	2 500 A/1 A
CT4 变比	5 000 A/1 A

差动保护定值: 差流启动定值为 $0.4I_c$, 差流制动系数 S 为 0.5, 二次谐波制动系数为 0.15。针对变压器差动保护励磁涌流判据, 验证了空投和手合于故障时变压器差动保护的可靠性。试验结果表明, 空充试验时, 差动保护可靠不动作, 波形如图 8 所示; 手合于故障试验时, 差动保护可以快速动作, 波形如图 9 所示。

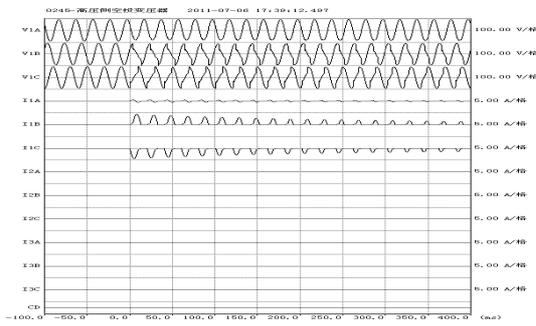


图 8 高压侧空投波形图

Fig. 8 Waveform of transformer closed without load at high-voltage side

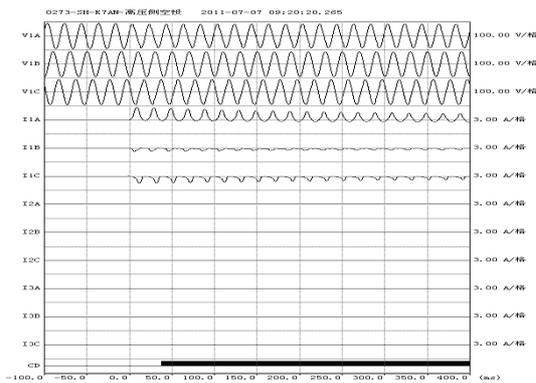


图 9 空投高压侧 A 相接地故障波形图

Fig. 9 Waveform of transformer closed without load when phase A earth fault at high-voltage side

3 结语

本文对提出的双 AD 判据原理进行了分析与研究,对常规做法的缺陷进行改进。改进后的双 AD 判别方案,不仅可以避免因采集回路 AD 异常引起的保护误动,也降低了因双 AD 阈值选取缺陷导致的双 AD 采样异常判别不出来而引起的保护误动。

本文对提出的变压器励磁识别方案进行了详细的分析,该方案继承了差流二次谐波三相或闭锁在变压器空投中的优点,同时由于采用了空投时按相电流综合谐波开放判据以及“恢复性涌流”时按差流二次谐波含量低“三取二”开放判据,避免了或闭锁方案在变压器空投于故障及发生区外转区内的转换性故障时因非故障相励磁涌流谐波闭锁导致的差动保护延时甚至拒动的缺点,提高了差动保护动作的可靠性。且该方法适用于所有电压等级需要识别励磁涌流的变压器差动保护,适用范围广。

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] 张巧霞,贾华伟,叶海明,等.智能变电站虚拟二次回路监视方案设计及应用[J].电力系统保护与控制,2015,43(10):123-128.
 ZHANG Qiaoxia, JIA Huawei, YE Haiming, et al. Design and application of virtual secondary circuit monitoring in smart substation[J]. Power System Protection and Control, 2015, 43(10): 123-128.
 [3] 李秀丽,李文正,鲍都都,等.基于电子式互感器双 A/D 采样的差动保护可靠性方案研究[J].电力系统保护与控制,2012,40(16):106-110.
 LI Xiuli, LI Wenzheng, BAO Dudu, et al. Research of the differential protection reliability scheme based on the electronic transformer double A/D sampling[J]. Power System Protection and Control, 2012, 40(16): 106-110.
 [4] 傅伟,赵莉华,梁勇,等.多台变压器空载合闸励磁涌流及其抑制方案的研究[J].电力系统保护与控制,2015,43(1):28-33.
 FU Wei, ZHAO Lihua, LIANG Yong, et al. Study on no-load closing inrush current of transformer group and suppression measures[J]. Power System Protection and Control, 2015, 43(1): 28-33.
 [5] 凌光,苏斌.一种基于差流波形特征的励磁涌流识别方法[J].电力系统保护与控制,2015,43(6):19-24.
 LING Guang, SU Bin. A method to identify inrush current based on waveform characteristics of differential current[J]. Power System Protection and Control, 2015, 43(6): 19-24.
 [6] 王增平,王雪.基于改进主成分分析的变压器励磁涌流识别方法[J].电力系统保护与控制,2011,39(22):1-5.
 WANG Zengping, WANG Xue. Inrush current recognizing in power transformer based on modified principal component analysis[J]. Power System Protection and Control, 2011, 39(22): 1-5.
 [7] 邓茂军,姚东晓,倪传坤,等.基于电子式互感器的变压器励磁涌流识别方法[J].电力系统保护与控制,2013,41(18):149-153.
 DENG Maojun, YAO Dongxiao, NI Chuankun, et al. Inrush current recognition in power transformer based on electronic transformer[J]. Power System Protection and Control, 2013, 41(18): 149-153.

收稿日期:2015-08-17; 修回日期:2015-10-27

作者简介:

陈继瑞(1984-),男,硕士,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;

刘洁(1968-),女,大专,工程师,从事房地产电气自动化工作。

(编辑 姜新丽)