

The Measurement Error Analysis of the Current Transformer Connection under Way in 3/2 Circuit Breaker Main Electrical Connection

Liming Gao, Erqiang Xu, Yan Zhao, Sansheng Shi, Chunhong Wu

State Grid Henan Electric Power Research Institute, Zhengzhou Henan

Email: hndlgaoliming@163.com

Received: Jan. 21st, 2017; accepted: Feb. 3rd, 2017; published: Feb. 10th, 2017

Abstract

According to the “and phase” current connection characteristics of the transformer under way in 3/2 circuit breaker main electrical connection, the current transformer parallel operation “and current” error characteristics are analyzed in detail. In addition, the paper puts forward the error consistency of current transformer and the specific requirements for the operation mode of the grid in order to reduce the influence of the connection factors.

Keywords

Current Transformer, And Phase Connection, Error Analysis

3/2断路器接线方式下电流互感器接线计量误差分析

高利明, 徐二强, 赵岩, 史三省, 吴春红

国网河南省电力公司电力科学研究院, 河南 郑州

Email: hndlgaoliming@163.com

收稿日期: 2017年1月21日; 录用日期: 2017年2月3日; 发布日期: 2017年2月10日

摘要

根据3/2断路器接线方式下电流互感器的“和相”接线特点, 详细分析了并联运行电流互感器的“和电

文章引用: 高利明, 徐二强, 赵岩, 史三省, 吴春红. 3/2 断路器接线方式下电流互感器接线计量误差分析[J]. 智能电网, 2017, 7(1): 9-15. <https://doi.org/10.12677/sg.2017.71002>

流”误差特性，以及提出了该接线方式下对电流互感器误差一致性和对电网运行方式的具体要求，以减小接线因素的影响。

关键词

电流互感器，和相接线，误差分析

Copyright © 2017 by authors and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

3/2 断路器接线方式因运行调度灵活，倒闸操作方便，运行可靠性高等优点广泛应用于 500 kV 及以上电压等级变电站。3/2 断路器主接线，各出线一般不安装电流互感器，而是将线路相邻两个断路器支路的电流互感器的二次绕组并联运行，以两支路电流相量和代表出线电流，计量接线方式见图 1 (仅列 A 相电流互感器)，“和相”电流接线方式下的关口电能计量装置的准确性与并联运行电流互感器的误差特性和电网运行方式密切相关，以下对并联运行电流互感器“和相”电流误差特性做详细分析。

2. 不同运行方式下的电流关系

“和相”电流计量方式是指两台电流互感器(TA)二次侧按照同名端方式接入电能表。图1中，以线路A为例，设流入线路A电能表的二次电流为 $\dot{I}_2(A)$ ，TA1一次电流为 $\dot{I}_1(1)$ ，二次电流为 $\dot{I}_2(1)$ ，TA2一次电流为 $\dot{I}_1(2)$ ，二次电流为 $\dot{I}_2(2)$ ，在不同运行状态下“和相”电流有如下关系[1]：

- (1) 当线路A向1QF、2QF供电或1QF、2QF向线路A供电，此时电流关系 $\dot{I}_2(A) = \dot{I}_2(1) + \dot{I}_2(2)$ ；
- (2) 当线路A、2QF向1QF供电或1QF向线路A、2QF供电，此时电流关系 $\dot{I}_2(A) = \dot{I}_2(1) - \dot{I}_2(2)$ ；
- (3) 当线路A、1QF向2QF供电或2QF向线路A、1QF供电，此时电流关系 $\dot{I}_2(A) = \dot{I}_2(2) - \dot{I}_2(1)$ ；
- (4) 当1QF、2QF互相供电(线路A停电)，此时电流关系 $\dot{I}_2(A) = \dot{I}_2(1) - \dot{I}_2(2)$ 或 $\dot{I}_2(A) = \dot{I}_2(2) - \dot{I}_2(1)$ ；
- (5) 线路A和500 kV I母互相供电，此时电流关系 $\dot{I}_2(A) = \dot{I}_2(1)$ ，线路A和线路B互相供电，此时电流关系 $\dot{I}_2(A) = \dot{I}_2(2)$ 。

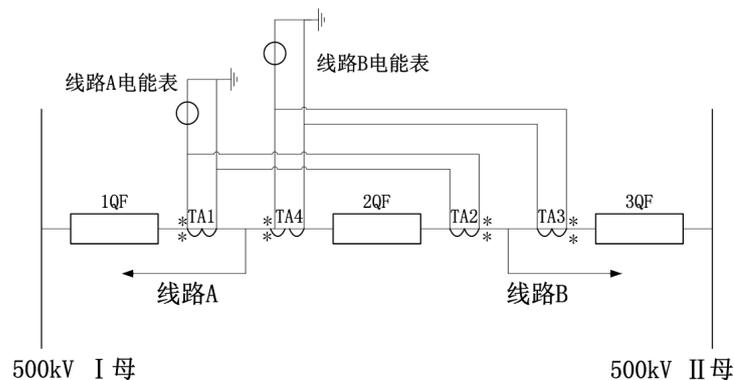


Figure 1. “And phase current” metering wiring
图1. “和相电流”计量接线方式

从以上分析可知，流入电能表的电流为两台 TA 二次电流的相量和，不同运行方式下电流可能为两台 TA 二次电流之和或二次电流之差，也有可能为单台 TA1 的二次电流或单台 TA2 的二次电流。

3. “和电流”误差分析

3.1. 并联影响分析

电流互感器二次并联运行，如何并联连接将直接影响每台互感器实际运行条件下的误差，即并联影响程度有差异：两台电流互感器的二次电流流经二次回路中的共同负载，任何一台电流互感器的等效二次负荷在不同的运行状态下是不相同的。因此即使其中一台的运行负荷点不变，只要另一台的运行负荷点发生变化，前者的等效二次负荷就会变化，进而就会影响到它的误差。并联影响可由下述极限情况看出：当 1QF 断路器断开，与之对应的 TA1 中无电流时，但二次侧仍并联在电流互感器二次回路中，它将成为另一台运行中互感器 TA2 的二次负荷，从而影响运行中互感器的误差。从公式(1)可以看出，电流互感器的合成误差与分流电流大小有关。

$$\varepsilon = \frac{K(\dot{I}_{S2} - \dot{i}_{m1}) - \dot{I}_1}{\dot{I}_1} \quad (1)$$

如图 2(a)，二次并联于电能表端时，由于作用于 TA1 铁芯绕组的电压最小，仅为电能表端电压 I_2Z ，因此二次分流电流，即流过 TA1 铁芯绕组的励磁电流 I_{m1} 最小，并联影响最小。

$$\dot{i}_{m1} = \frac{\dot{I}_2 Z}{Z_{m1}} \approx \frac{\dot{I}_{S2} Z}{Z_{m1}} \quad (2)$$

其中，励磁阻抗 $|Z_m| = \frac{2\pi f \mu S N^2}{L}$ ，是电磁式电流互感器结构参数。

如图 2(b)，二次并联于互感器侧时，由于作用于 TA1 铁芯绕组的电压最大，为电能表端电压 I_2Z 和相应二次导线压降 $2I_{S2}R$ 的相量和，因此流过 TA1 铁芯绕组的励磁电流 I_{m1} 最大，并联影响最大。

$$\dot{i}_{m1} = \frac{\dot{I}_2(2R + Z)}{Z_{m1}} \approx \frac{\dot{I}_{S2}(2R + Z)}{Z_{m1}} \quad (3)$$

二次并联于互感器侧，由于二次导线阻抗远大于表计电流回路阻抗，未运行的电流互感器作为负荷，

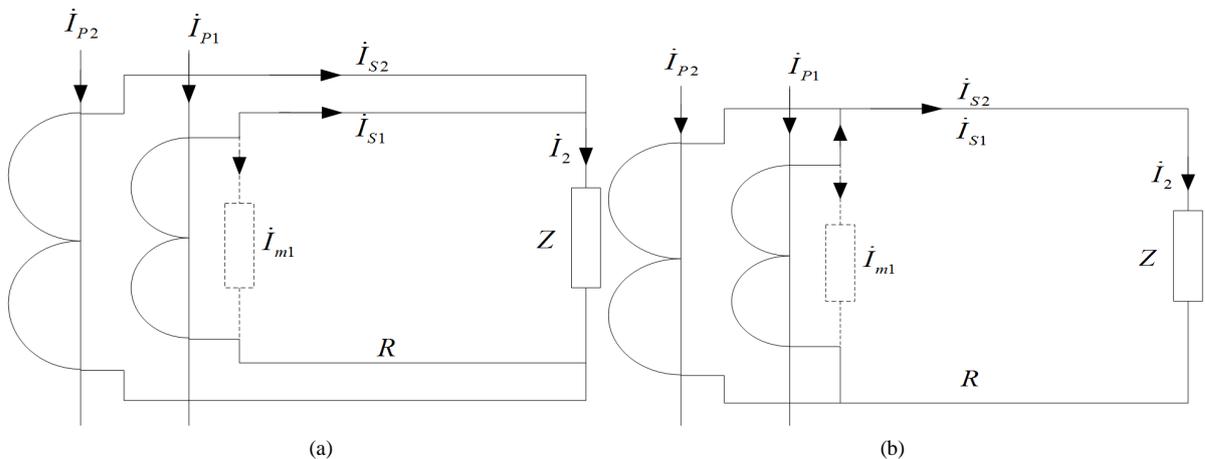


Figure 2. (a) Parallel connection in the electric energy meter; (b) Parallel connection at the current transformer

图2. (a) 二次并联于电能表端；(b) 二次并联于互感器侧

分流电流比例将会大些, 这样流入表计的电流就小些。因此, 两互感器的二次宜在电能表端并联, 且两互感器的二次电缆线应有相同的电阻值, 此时并联影响最小[2] [3]。

3.2. 误差分析

电流互感器并联运行的前提条件是要求两台电流互感器一次接入两断路器支路为相同相, 且额定电流比相同。假设一次电流分别用 \dot{I}_{P1} , \dot{I}_{P2} 表示, 二次电流分别用 \dot{I}_{S1} , \dot{I}_{S2} 表示, 比差用 f_1 、 f_2 表示, 角差用 δ_1 、 δ_2 表示, 额定变比均为 K_N , 且 \dot{I}_{P2} 领先 \dot{I}_{P1} 一个角 Ψ :

$$\dot{I}_{P2} = (I_{P2}/I_{P1})\dot{I}_{P1}e^{j\Psi} \quad (4)$$

$$f_1 + j\delta_1 = \frac{-K_N\dot{I}_{S1} - \dot{I}_{P1}}{\dot{I}_{P1}} \quad (5)$$

$$f_2 + j\delta_2 = \frac{-K_N\dot{I}_{S2} - \dot{I}_{P2}}{\dot{I}_{P2}} \quad (6)$$

“和电流”的比差 f 和相位差 δ 可表达为

$$f + j\delta = \frac{-K_N(\dot{I}_{S1} + \dot{I}_{S2}) - (\dot{I}_{P1} + \dot{I}_{P2})}{\dot{I}_{P1} + \dot{I}_{P2}}$$

$$f = \frac{1}{1 + (I_{P2}/I_{P1})^2 + 2(I_{P2}/I_{P1})\cos\Psi} \times \left\{ [1 + (I_{P2}/I_{P1})\cos\Psi] f_1 + (I_{P2}/I_{P1})(f_2 \cos\Psi - \delta_2 \sin\Psi) + (I_{P2}/I_{P1})\delta_1 \sin\Psi + (I_{P2}/I_{P1})^2 f_2 \right\} \quad (7)$$

$$\delta = \frac{1}{1 + (I_{P2}/I_{P1})^2 + 2(I_{P2}/I_{P1})\cos\Psi} \times \left\{ [1 + (I_{P2}/I_{P1})\cos\Psi] \delta_1 + (I_{P2}/I_{P1})(f_2 \sin\Psi + \delta_2 \cos\Psi) - (I_{P2}/I_{P1})f_1 \sin\Psi + (I_{P2}/I_{P1})^2 \delta_2 \right\} \quad (8)$$

由式(6)和式(7)可知, “和电流”的误差与两台电流运行条件下的误差、一次电流间的角度及其电流比例有关, “和电流”的比差和角差为:

$$f = f_2 + \frac{1}{1 + (I_{P2}/I_{P1})^2 + 2(I_{P2}/I_{P1})\cos\Psi} \times \left\{ [1 + (I_{P2}/I_{P1})\cos\Psi] \Delta f + (I_{P2}/I_{P1}) \Delta \delta \sin\Psi \right\} = f_2 + \Delta f_F \quad (9)$$

$$\delta = \delta_2 + \frac{1}{1 + (I_{P2}/I_{P1})^2 + 2(I_{P2}/I_{P1})\cos\Psi} \times \left\{ [1 + (I_{P2}/I_{P1})\cos\Psi] \Delta \delta - (I_{P2}/I_{P1}) \Delta f \sin\Psi \right\} = \delta_2 + \Delta \delta_F \quad (10)$$

其中 $\Delta f = f_1 - f_2$, $\Delta \delta = \delta_1 - \delta_2$ 。若令两台电流互感在同一负荷点情况下, 其附加比差、附加角差的变化曲线如图 3~图 6。

从公式(9)、(10), 图 3~图 6 可以得到结论:

(1) “和电流”附加比差随着一次电流 \dot{I}_{P2} 和 \dot{I}_{P1} 间相角差 Ψ 的增大呈上升趋势, Ψ 角接近 180° 时急剧增大, 附加角差随相角差 Ψ 的增大呈较大变化趋势; 也可以看出, 两台电流互感器的误差一致性较好, “和电流”附加误差越小。

(2) 在 Ψ 角大于 90° 的情况下, 附加比差、附加角差误差随着电流比值 $\Psi \dot{I}_{P2}/\dot{I}_{P1}$ 的增大而增大, 即 $\dot{I}_{P2}/\dot{I}_{P1}$ 越接近 1 误差越大。因此, “和电流”小于其中一台电流互感器的运行电流时, 要求两台电流互感器的运行电流差别越大越好。

(3) 在 Ψ 角为 0° 和 180° 时, “和电流”误差公式简化为:

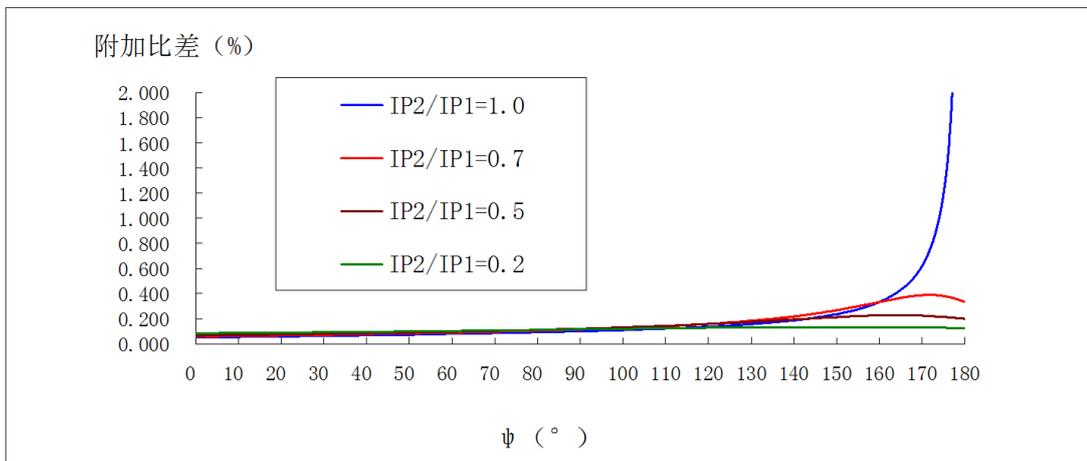


Figure 3. Curve: Additional error of ratio error of “and current” with the change of ψ ($\Delta f = 0.1\%$, $\Delta\delta = 0.1\%$)
图3. $\Delta f = 0.1\%$, $\Delta\delta = 0.1\%$ (即3.4')时, “和电流”比差附加误差随 ψ 变化曲线

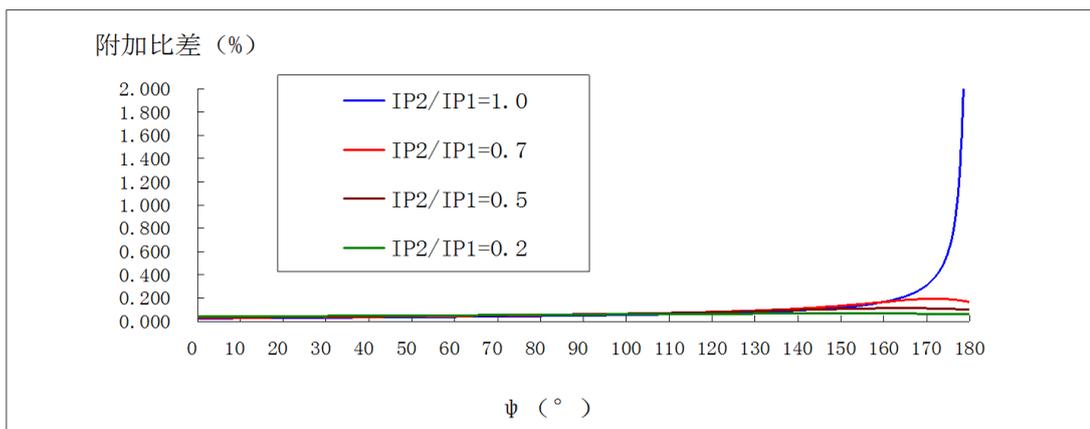


Figure 4. Curve: Additional error of ratio error of “and current” with the change of ψ ($\Delta f = 0.05\%$, $\Delta\delta = 0.05\%$)
图4. $\Delta f = 0.05\%$, $\Delta\delta = 0.05\%$ (即1.7')时, “和电流”比差附加误差随 ψ 变化曲线

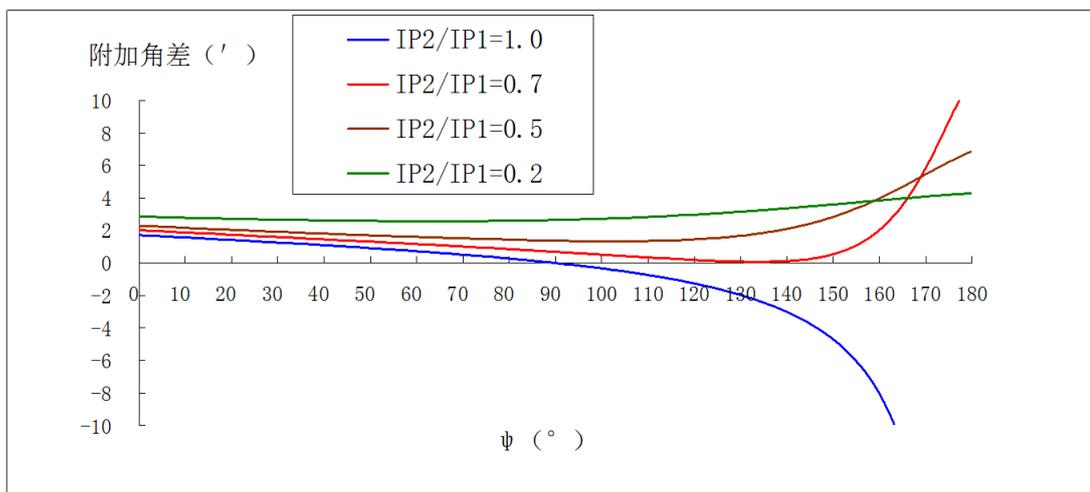


Figure 5. Curve: Additional error of phase error of “and current” with the change of ψ ($\Delta f = 0.1\%$, $\Delta\delta = 0.1\%$)
图5. $\Delta f = 0.1\%$, $\Delta\delta = 0.1\%$ (即3.4')时, “和电流”角差附加误差随 ψ 变化曲线

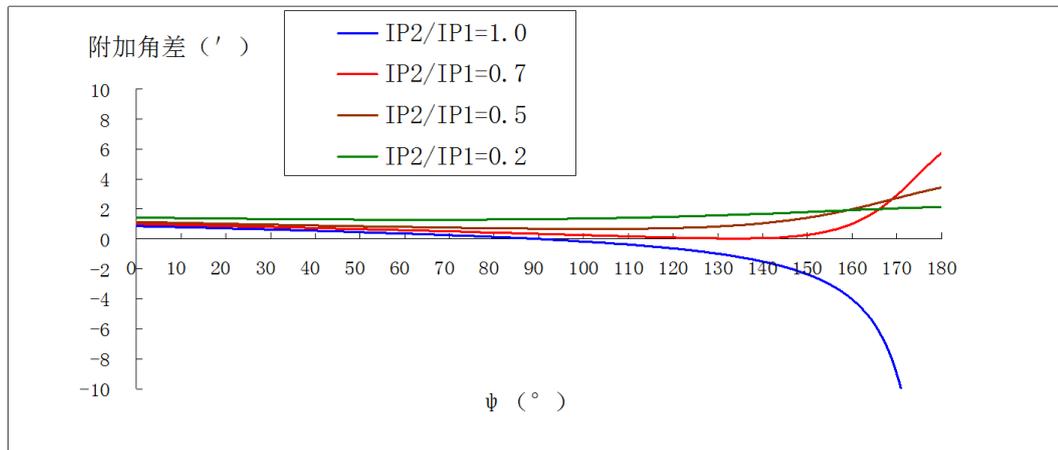


Figure 6. Curve: Additional error of phase error of “and current” with the change of ψ ($\Delta f = 0.1\%$, $\Delta\delta = 0.1\%$)

图6. $\Delta f = 0.1\%$, $\Delta\delta = 0.1\%$ (即3.4') 时, “和电流” 角差附加误差随 ψ 变化曲线

$$f = \frac{I_{P1}}{I_{P1} \pm I_{P2}} f_1 + \frac{I_{P2}}{I_{P1} \pm I_{P2}} f_2 = f_2 + \frac{I_{P1}}{I_{P1} \pm I_{P2}} \Delta f$$

$$\delta = \frac{I_{P1}}{I_{P1} \pm I_{P2}} \delta_1 + \frac{I_{P2}}{I_{P1} \pm I_{P2}} \delta_2 = \delta_2 + \frac{I_{P1}}{I_{P1} \pm I_{P2}} \Delta\delta$$

Ψ 角为 0° 时, 符号取正号, “和电流” 的误差小于单台电流互感器误差的较大者, 如果一次电流相同, $f = \frac{f_1 + f_2}{2}$, $\delta = \frac{\delta_1 + \delta_2}{2}$;

Ψ 角为 180° 时, 符号取负号, “和电流” 误差与单台电流互感器相比, 将被放大。如果 “和电流” 为较大一次电流的 $1/2$, 则附加误差为运行条件下两台电流互感器误差差值的 2 倍。

4. 减少 “和电流” 误差的方法和要求

根据以上分析, $3/2$ 断路器接线下两台电流互感器二次并联运行时, 为了减小 “和电流” 接线的附加误差, 并联运行的两台电流互感器应满足如下要求:

- (1) 并联运行两台电流互感器的额定电流比应相同, 一次侧接入相同相;
- (2) 两台电流互感器的二次侧应在计量屏接线端子排处并联, 以减小并联影响;
- (3) 两台电流互感器的误差曲线要平坦, 且误差一致性要好; 宜选用 0.2 S 级电流互感器, 两台电流互感器应使用同批次的电流互感器, 误差曲线的偏差应不大于额定电流下误差限值的 $1/4$, 每台电流互感器 5% 与 20% 额定电流下的误差变化不大于额定电流下误差限值的 $1/2$;
- (4) 合理安排运行方式, 两支路电流相位差 Ψ 在 $(0^\circ \sim 90^\circ)$ 区间, 有利于减少出线电流互感器 “和相” 误差; 避免 “和电流” 小于相邻断路器支路电流的运行方式, 不可避免时, 尽量增大两台电流互感器运行电流的差值, 该电流差值不宜小于两电流互感器中较大电流值的 $1/2$ 。例如较大二次电流为 0.6 A, 则差值电流应不小于 0.3 A。

5. 结束语

随着电力系统主网架由 220 kV 向 500 kV、1000 kV 电压等级升级, 超、特高压厂站不断增多, 电能计量装置设计和运维相关人员应了解 $3/2$ 断路器电气主接线电能计量装置的特点, 熟悉电流互感器并联接线方式下的误差特点, 熟悉对电流互感器误差一致性和对电网运行方式的具体要求, 确保关口电能计量装置精准计量。

参考文献 (References)

- [1] 常仕亮, 等. 3/2 断路器接线计量方式的探讨[J]. 电工技术, 2011(5): 28-29.
- [2] 国家电网公司营销部. 国家电网公司输变电工程通用设计电能计量装置分册学习读本[M]. 北京: 中国电力出版社, 2008.
- [3] 宋继成. 220-500kV 变电所接线设计[M]. 北京: 中国电力出版社, 2004.

期刊投稿者将享受如下服务:

1. 投稿前咨询服务 (QQ、微信、邮箱皆可)
2. 为您匹配最合适的期刊
3. 24 小时以内解答您的所有疑问
4. 友好的在线投稿界面
5. 专业的同行评审
6. 知网检索
7. 全网络覆盖式推广您的研究

投稿请点击: <http://www.hanspub.org/Submission.aspx>

期刊邮箱: sg@hanspub.org