

# Study on Relay Protection Scheme in Wind Power Integration Distribute Network

Min Cao<sup>1</sup>, Furong Yin<sup>2</sup>, Yun Xia<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Electric Power Science Research Institute of Yunnan Power Grid Co., Ltd., Kunming Yunnan

<sup>2</sup>Guangzhou Zenithsun Technology Co., Ltd., Guangzhou Guangdong

<sup>3</sup>Beijing Yin diagram simulation technology Co., Ltd., Beijing

Email: 184651549@qq.com

Received: Sep. 1<sup>st</sup>, 2016; accepted: Sep. 20<sup>th</sup>, 2016; published: Sep. 23<sup>rd</sup>, 2016

Copyright © 2016 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

---

## Abstract

Wind power generation system is generally treated as synchronous generators in the relay protection system, and regardless of influence short-circuit current that provided by wind farms. But with large-scale wind power integration distribute network, the selectivity of relay protection devices is reduced by short circuit current provided by wind power generation system, which leads to the maloperation of relay protection device. In order to guarantee the relay protection to meet the requirements of the "four characteristics", this paper, through research and analysis on wind power distribution network fault mechanism, puts forward that distance protection using power frequency fault components of voltage and current which has action speed, clear direction and not affected by the influence of transition impedance is applied to distribution network protection scheme.

## Keywords

Relay Protection System, Wind Power Generation System, Wind Power Integration, Distance Protection Using Power Frequency Fault Components of Voltage and Current

---

# 风电接入配电网后的继电保护方案研究

曹敏<sup>1</sup>, 尹福荣<sup>2</sup>, 夏芸<sup>3</sup>

<sup>1</sup>云南电网有限责任公司电力科学研究院, 云南 昆明

<sup>2</sup>广州致讯信息科技有限责任公司, 广东 广州

<sup>3</sup>北京殷图仿真技术有限公司, 北京  
Email: 184651549@qq.com

收稿日期: 2016年9月1日; 录用日期: 2016年9月20日; 发布日期: 2016年9月23日

## 摘要

现有的继电保护系统中一般将风力发电系统作为同步发电机处理, 不考虑故障下风电场提供的短路电流对继电保护的影响, 但是随着大规模风电接入配电网, 风力发电系统对配电网故障点提供的短路电流将会降低继电保护装置的选择性, 进而导致继电保护装置的误动。为了保证继电保护满足“四性”的要求, 本文通过研究分析风电接入配电网下的故障机理, 提出将具有动作速度快、方向性明确、不受过渡阻抗影响的工频故障分量距离保护应用于配网的保护方案中。

## 关键词

继电保护系统, 风力发电系统, 风电接入, 工频故障分量距离保护继电保护

## 1. 绪论

随着能源危机和环境污染问题的日益严重, 开发利用绿色能源越来越受到重视, 大规模开发以风能、太阳能为代表的各类可再生能源, 已经成为人类社会实现可持续发展的必然选择。

风力发电技术是新能源开发最成熟的, 根据 2014 年中国风电装机容量统计, 2014 年新增装机容量 2335.05 万千瓦, 比 2013 年增长 45.1%, 累计装机容量 1.1476339 亿千瓦, 比 2013 年新增 25.5%。由于风力发电系统具有随机性和间歇性, 且风力发电系统不提供无功补偿, 使得风力发电的输出不断变化, 且无功功率还需要从电力系统中获得, 当风电接入配电网中时, 会影响配电网的继电保护定值。文献[1]介绍了五种风电并网的方式, 并给出了风电并网后对现有电网继电保护的影响; 文献[2]建立了双馈风力发电系统接入 10 kV 配网的仿真模型, 通过仿真分析得出风电的接入容量及故障位置影响线路电流保护的動作情况; 文献[3]分析了双馈风力发电系统输出功率的随机波动性; 文献[4]通过分析分布式发电对保护范围、保护灵敏度的影响, 将智能算法——BP 神经网络应用于自适应电流速断保护方案中, 实现了电流速断保护的自适应功能。

为了提高大规模风电接入后的继电保护运行管理水平, 保证主网运行安全、提高配电网故障隔离的速度, 本文以风力发电为研究对象, 旨在通过研究风力发电系统在配网故障时引起的电气量变化, 揭示配网现有继电保护的不足, 从而提出适用于风力发电系统的继电保护配置方案。由于国内外关于继电保护整定计算软件都已相当成熟但都不包含风力发电系统, 因此研究故障情况下风力发电系统并网对继电保护的影响是非常有意义的。

## 2. 风电接入对配电网继电保护的影响[5]-[7]

配电网系统采用单一电源供电, 接线方式为辐射式, 由于配电网电压等级低且为中性点不接地系统, 保护配置一般采用简单、经济、可靠的三段式电流保护, 即电流速断保护、限时电流速断保护和定时限过电流保护。由于辐射网故障点的故障电流是由单一电源提供的, 因此切除故障仅需跳开系统侧的断路器即可。

当风力发电系统并入配电网后, 如图 1 所示, 当配电网发生故障时, 不仅系统电源向故障点提供短

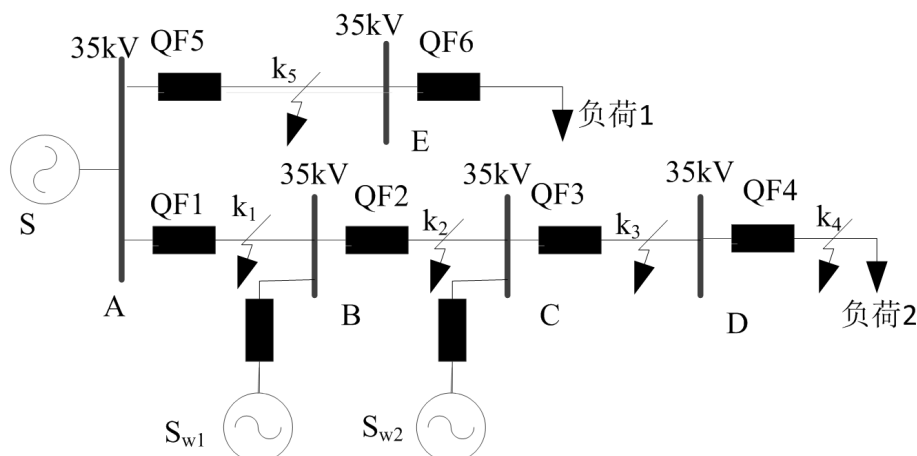


Figure 1. Schematic diagram of wind power access 35 kV distribution network  
图 1. 风电接入 35 kV 配电网示意图

路电流，而且风力发电系统也向故障点提供短路电流，且风力发电系统提供的短路电流的大小、方向与故障点的位置有关。

下面针对 35 kV 配电网系统不同的故障点进行分析风力发电系统对配电网故障的影响：

(1) 当  $k_1$  点或  $k_5$  点处发生短路故障时，系统电源 S 经保护 QF1 向  $k_1$  点或  $k_5$  点提供正向的短路电流，风力发电系统  $S_{w1}$  和  $S_{w2}$  向  $k_1$  点或  $k_5$  点提供反向的短路电流，但由于三段式电流保护不能区分电流方向，当由系统电源和风力发电系统提供的短路电流超过保护定值时，将导致保护 QF1、QF2、QF5 误动作；

(2) 当  $k_2$  点处发生短路故障时，系统电源 S 经保护 QF1 和保护 QF2 向  $k_2$  点提供正向的短路电流，风力发电系统  $S_{w1}$  经保护 QF2 向  $k_2$  点提供正向的的短路电流，同样的，由于三段式电流保护不能区分电流方向，当由系统电源和风力发电系统提供的短路电流超过保护定值时，将导致保护 QF1 误动作；

(3) 当  $k_3$  点处发生短路故障时，系统电源、 $S_{w1}$  和  $S_{w2}$  都向  $k_3$  点提供正向的短路电流，导致保护 QF3 处的电压升高，流过保护 QF2 的故障电流小于风力发电系统未接入时的故障电流，当风力发电系统的分流作用足够大时，将导致保护 QF2 的灵敏度降低，且保护 QF2 处作为保护 QF3 后备保护的过电流保护，将由于风力发电系统的接入不能对线路 BC 的全长保护，导致后备保护的保护区范围缩短。

(4) 当  $k_4$  点处发生短路故障时，由于风力发电系统的接入，流经保护 QF3 的短路电流增大，造成保护 QF3 的电流速断保护的保护区范围延伸到下一级，使速断保护失去选择性。

### 3. 工频故障分量距离保护原理

#### 3.1. 工频故障分量距离保护基本原理

工频故障分量距离保护与电流保护、电压保护和距离保护的不同之处在于，前者用故障分量作为保护的测量电压和电流；后者都是以保护安装处故障点的全电压和电流作为保护的测量电压和电流。工频故障分量距离保护的原理如下：

当电力系统发生故障时，如图 2，可根据叠加原理将故障后电力系统分解为故障前电力系统状态和故障附加状态，分别如图 3、图 4，相应的也可将故障后的电压、电流进行分解。

从图 2、图 3、图 4 中可得，

$$\dot{U}_m = \dot{U}_m^{(0)} + \Delta \dot{U} \quad (1)$$

$$\dot{i}_m = \dot{i}_m^{(0)} + \Delta \dot{i} \quad (2)$$

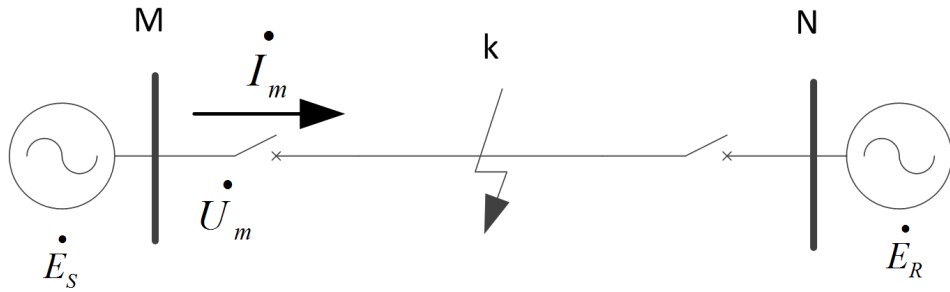


Figure 2. Post fault power system  
图 2. 故障后电力系统

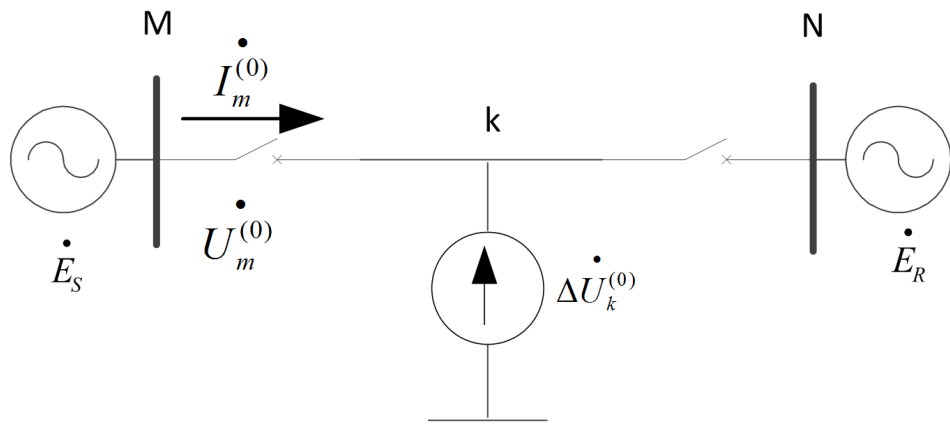


Figure 3. Power system status before fault  
图 3. 故障前电力系统状态

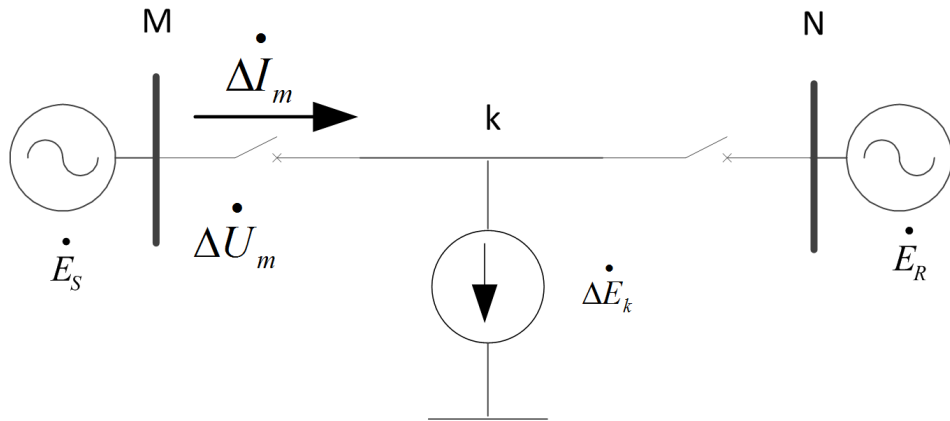


Figure 4. Fault additional state  
图 4. 故障附加状态

式中， $\dot{U}_m$ 、 $\dot{I}_m$  分别代表故障后的电压、电流， $\dot{U}_m^{(0)}$ 、 $\dot{I}_m^{(0)}$  分别代表故障前的电压、电流， $\Delta \dot{U}$ 、 $\Delta \dot{I}$  分别表示故障附加的电压、电流。

由于工频故障分量距离保护[8]-[10]是一种暂态保护，它只反映故障分量中的工频变化量，而且不受负荷状态的影响。也就是说，工频变化量在短路瞬间表现非常显著，当故障进入稳态后，工频变化量的变化为零，其动作判据为：

$$|\Delta \dot{U}_{OP}| \geq \dot{U}_k^{(0)} \quad (3)$$

### 3.2. 工频故障分量距离保护动作特性

正向故障时,以双端电源供电系统保护安装 M 处为例,工频故障分量距离保护的動作特性分析如图 5。

图 5 中,  $Z_s$ 、 $Z_k$ 、 $Z_m$ 、 $Z_{set}$  分别表示系统等值阻抗、故障点到保护安装侧 M 点的阻抗、正向故障时测量阻抗、整定阻抗,  $\Delta \dot{I}$ 、 $\Delta \dot{I}'$  分别表示 M 端电源、N 端电源提供的故障电流。当正向故障时,故障前短路点电压及动作电压分别为:

$$U_k^{(0)} = |\Delta \dot{E}_k| = |-\Delta \dot{I}(Z_s + Z_k) - k \Delta \dot{I} R_g| = |-\Delta \dot{I}| |Z_s + Z_m| \quad (4)$$

$$|\Delta \dot{U}_{OP}| = |\Delta \dot{U} - \Delta \dot{I} Z_{set}| = |-\Delta \dot{I} Z_s - \Delta \dot{I} Z_{set}| = |-\Delta \dot{I}| |Z_s + Z_{set}| \quad (5)$$

其中,  $k$  表示正向故障时工频故障分量电流助增系数,  $k$  的表达式为:

$$k = \frac{\Delta \dot{I} + \Delta \dot{I}'}{\Delta \dot{I}}$$

通过比较式(4)、式(5),可知正向故障时,  $|\Delta \dot{U}_{OP}|$ 、 $U_k^{(0)}$  满足式(3)的关系,即正向故障时,保护可靠动作。

反向故障时,仍以保护安装 M 处为例,工频故障分量距离保护的動作特性分析如图 6。

当反向故障时,故障前短路点电压及动作电压分别为:

$$U_k^{(0)} = |\Delta \dot{E}_k| = |\Delta \dot{I}(Z'_s + Z_k) + k \Delta \dot{I} R_g| = |\Delta \dot{I}| |Z'_s + Z_m| \quad (6)$$

$$|\Delta \dot{U}_{OP}| = |\Delta \dot{U} - \Delta \dot{I} Z_{set}| = |\Delta \dot{I} Z'_s - \Delta \dot{I} Z_{set}| = |\Delta \dot{I}| |Z'_s - Z_{set}| \quad (7)$$

通过比较式(4)、式(5),可知正向故障时,  $|\Delta \dot{U}_{OP}|$ 、 $U_k^{(0)}$  不满足式(3)的关系,即反向故障时,保护可靠不动作。

### 3.3. 工频故障分量距离保护在风电接入的配电网中的工作原理

以图 1 保护安装 QF1 处为例,分别记风机  $S_{w1}$ 、 $S_{w2}$  的电压为  $U_{w1}$ 、 $U_{w2}$ ,线路 AB 的阻抗为  $Z_{AB}$ ,QF1 工频故障分量距离保护 I 段、II 段的整定阻抗为  $Z_{set}^I$ ,当在 QF1 保护 I 段内的  $k_1$  处发生故障时,工频故障分量距离保护特性分析如图 5;当在 QF1 保护 II 段外的  $k_2$  处发生故障时,故障前短路点电压及动作电压分别为:

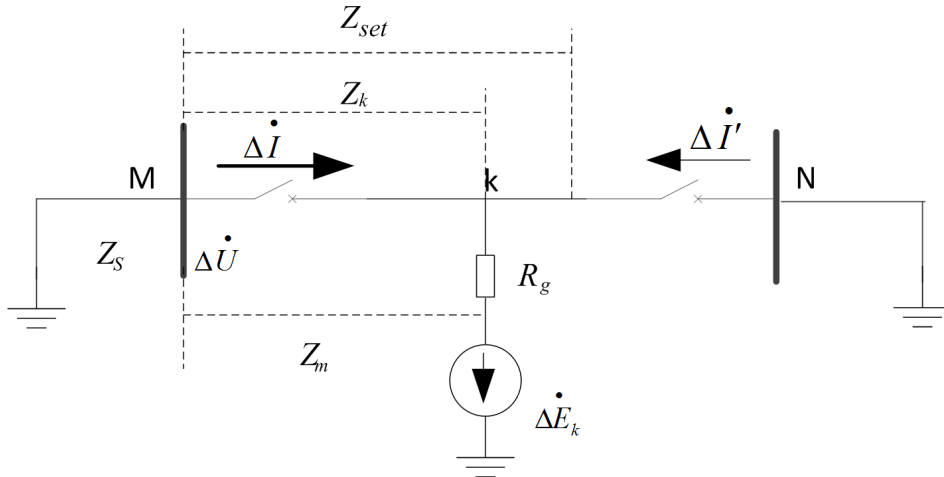


Figure 5. Positive action characteristic analysis  
图 5. 正向动作特性分析等效图

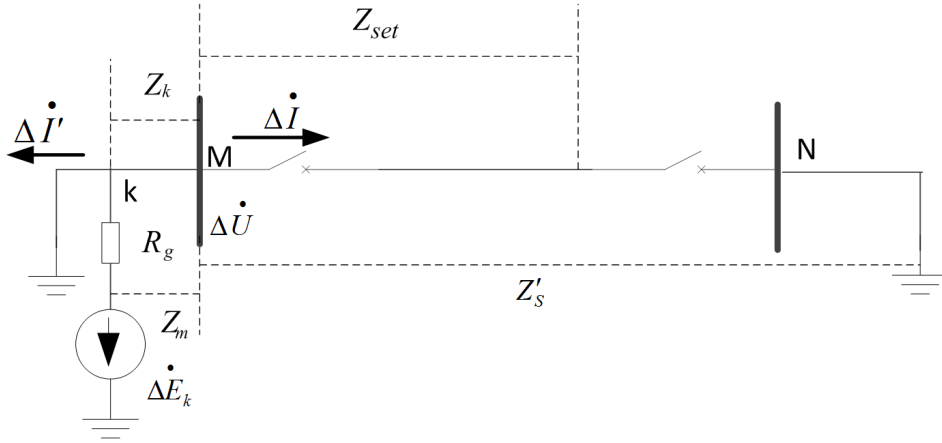


Figure 6. Positive action characteristic analysis  
图 6. 正向动作特性分析等效图

$$U_k^{(0)} = (Z_S + Z_{AB})\Delta I_{AB} + (Z_{Bk2} + R_g)\Delta I_{BC} \quad (8)$$

$$\Delta U_{OP} = -(Z_S + Z_{AB})\Delta I_{AB} - Z_{set}\Delta I_{BC} \quad (9)$$

将式(8)、式(9)代入动作判据式(3)，有：

$$(Z_S + Z_{AB}) + (Z_{Bk2} + R_g) \frac{\Delta I_{BC}}{\Delta I_{AB}} > (Z_S + Z_{AB}) + Z_{set} \frac{\Delta I_{BC}}{\Delta I_{AB}} \quad (10)$$

可知当在  $k_2$  处故障时，由于工频故障分量距离保护采用的是故障分量，从式(10)中可以看出接入风机电源后，其对系统的助增效应对式(10)两侧的影响一样，保证 II 段能可靠动作。

通过以上分析，可知工频故障分量距离保护的优点：该保护继电器测量的是故障分量的电压和电流，且测量量不受故障前负荷、过渡电阻和系统振荡的影响；继电器仅反映故障分量中的工频分量，不反应故障中的高次谐波分量，具有稳定的动作性能；该保护继电器的判据简单，动作速度快，方向性明确。

由于工频故障分量距离保护具有以上优点，本文将将其用于接入风电的配电网的保护方案中。

#### 4. 工频故障分量距离保护在风电接入的配电网中的应用

鉴于工频故障分量距离保护具有良好的方向性，可以弥补电流保护不能识别方向的缺点，本文将工频故障分量距离保护适应于含风力发电系统的配网系统，为考虑典型状况，本文以线路  $k_1$ 、 $k_2$ 、 $k_3$  和  $k_5$  处发生短路故障分析，以 I 段工频故障分量距离保护为例进行分析：

(1) 当  $k_1$  点处发生短路故障时，系统电源 S 经保护 QF1 向  $k_1$  点提供正向的短路电流，风力发电系统  $S_{w1}$  和  $S_{w2}$  向  $k_1$  点提供反向的短路电流，由于工频故障分量距离保护具有很好的方向性，只有当系统电源提供的短路电流超过保护定值时，保护 QF1 才动作，且由于保护 QF2 流过的短路电流是反向的，可靠不动作；

(2) 当  $k_2$  点处发生短路故障时，由于工频故障分量距离保护具有很好的方向性，当  $S_{w2}$  向保护 QF2 提供的短路电流超过保护定值时，由于方向问题，保护 QF2 可靠不动作，只有当由系统电源 S 和风力发电系统  $S_{w1}$  提供的短路电流超过保护 QF2 的定值时，保护 QF2 才动作；

(3) 当  $k_3$  点处发生短路故障时，保护 QF1、QF2 和 QF3 能够很好的配合保护线路；

(4) 当  $k_5$  点处发生短路故障时，系统电源 S 经保护 QF1 向  $k_5$  点提供正向的短路电流，风力发电系统  $S_{w1}$  和  $S_{w2}$  向  $k_5$  点提供反向的短路电流，由于工频故障分量距离保护具有很好的方向性，只有当系统电源

提供的短路电流超过保护定值时,保护 QF5 才动作,且由于流经保护 QF1 和 QF2 的短路电流是反向的,该保护可靠不动作;

通过以上分析可知,工频故障分量距离保护可以很好的保护接入风力发电系统的配电网。

## 5. 结论

风力发电系统接入配电网后,配电网由单一供电系统变为多源供电系统,导致故障点的短路电流大小和方向发生变化,且由于配电网配置的电流保护的保护区与灵敏度易受运行方式的影响,使得电流保护不能很好的保护接入风电的配电网。本文通过分析工频故障分量距离保护的原理及性能,说明工频故障分量距离保护具有很好的方向性、不受过渡阻抗和系统振荡的影响,性能优于电流、电压保护及传统的距离保护,适用于 35 kV 及以下的配电网保护方案。

## 参考文献 (References)

- [1] 保志荣. 风电并网对传统电网的影响分析[J]. 电气工程与自动化, 2014(36): 7-8.
- [2] 宋绍剑, 徐覃萍, 廖碧莲. 风电接入对配电网电流保护的影响研究[J]. 计算机仿真, 2015, 32(1): 137-142.
- [3] 潘晓悦. 风力发电系统输出功率随机波动的仿真分析[J]. 电力与能源, 2012, 32(2): 165-168.
- [4] 束长富, 邵如平, 仲飞. 含分布式电源的配电网继电保护方案[J]. 煤炭工程, 2014, 46(4): 96-98.
- [5] 何世恩, 姚旭, 徐善飞. 大规模风电接入对继电保护的影响与对策[J]. 电力系统保护与控制, 2013, 41(1): 21-26.
- [6] 李丹, 贾琳, 许晓菲, 等. 风电机组脱网原因及对策分析[J]. 电力系统自动化, 2011, 35(22): 41-44.
- [7] 张保会. 风电接入对继电保护的影响(七). 风电场送出电网继电保护配置研究[J]. 电力自动化设备, 2013, 33(7): 1-5.
- [8] 徐岩, 刘泽锴, 应璐曼. 混合 MIDC 馈入下的工频变化量阻抗方向保护动作特性分析[J]. 电力系统保护与控制, 2015, 43(5): 14-20.
- [9] 索南加乐, 河方明, 焦在滨, 等. 工频变化量距离元件特性的研究[J]. 中国电机工程学报, 2010, 30(28): 59-65.
- [10] 宋凯, 邵能灵, 王江海. 工频变化量距离保护在含 DG 配电网中的应用分析[J]. 水电能源科学, 2010, 28(7): 146-149.

### 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: [jee@hanspub.org](mailto:jee@hanspub.org)