

# 线路距离保护应对事故过负荷的策略

柳焕章<sup>1</sup>, 周泽昕<sup>2</sup>

(1. 华中电网有限公司, 湖北省 武汉市 430077; 2. 中国电力科学研究院, 北京市 海淀区 100192)

## Post-fault Over-load Maloperation Countermeasure of Transmission Line Distance Protection

LIU Huanzhang<sup>1</sup>, ZHOU Zexin<sup>2</sup>

(1. Central China Grid Company Limited, Wuhan 430074, Hubei Province, China;

2. China Electric Power Research Institute, Haidian District, Beijing 100192, China)

**ABSTRACT:** Existing distance protection of transmission lines depends on setting calculation to avoid operation under over-load conditions. After operation of distance protection, the line load transferring to other transmission lines may result in fault expansion, so it's necessary to find some new countermeasures to avoid the mal-operation of distance protection in post-fault over-load condition. This paper proposed a new criterion to identify between over-load and fault in voltage co-ordinate instead of that in impedance co-ordinate. In the criterion, an operation area was constructed by considering compensation voltage as operation voltage and the polarization voltage as reference voltage. The protection will operate when the operation voltage is in the operation area. In the voltage co-ordinate, the load voltage is on the line between the two power source voltages, so it's easier for the protection to decide whether operate or not. The criterion can identify between fault and over-load radically and make distance protection avoid mal-operating after the load transferring. Its application will be benefit for the stability of power system. Simulation results show that the method is effective.

**KEY WORDS:** over-load restriction; distance protection; compensation voltage; cosine component of voltage; current asymmetry degree; positive sequence power

**摘要:** 目前输电线路距离保护完全依赖于整定计算来躲过过负荷, 而世界上诸多大停电事故均与事故过负荷相关, 负荷转移后距离保护动作会引起事故扩大, 因此必须寻找新的对策来防止线路距离保护在事故后过负荷时误动。摒弃了惯用的距离保护阻抗平面, 提出基于电压平面的判据, 该判据以补偿电压作为动作量, 通过选择一个极化量作为参考量, 在电压平面上构造一个动作区域, 当动作量落在动作区域内时动作。在电压平面上, 负荷点会落在两端电源的连线上, 与阻抗平面相比, 保护更加易于确定是否动作。该判据从根本上区分了负荷与短路, 有效地解决了负荷转移后距离保护动

作的问题, 其应用有利于提高电力系统的安全稳定性。仿真实验验证了该方法的有效性。

**关键词:** 过负荷限制; 距离保护; 补偿电压; 电压余弦分量; 电流不对称度; 正序功率

## 0 引言

世界上诸多大的停电事故与事故过负荷相关, 负荷转移后距离保护动作往往会使事故扩大<sup>[1-3]</sup>。线路过负荷和电力系统振荡可以归为同一大类问题, 即都是由于功角增大而引起距离继电器不正确动作。振荡时功角周期性变化, 而过负荷时功角持续过大。中国的继电保护装置具有识别系统振荡的行之有效的办法, 即振荡闭锁<sup>[4-6]</sup>。继电保护科技人员研发了静态稳定破坏闭锁距离继电器<sup>[4]</sup>, 暂态稳定破坏初期短时开放距离继电器, 随后闭锁距离继电器。数字继电保护时代, 保护界进一步解决了振荡中故障再开放距离继电器<sup>[5]</sup>的问题。振荡闭锁的理论创新和成功实践使中国在这一领域处于世界领先水平, 为中国电力系统安全运行提供了保障。

过负荷是一种比较常见的异常运行状态, 分正常过负荷和事故过负荷。所谓正常过负荷是指线路超过规定的正常运行的最大负荷, 如超稳定极限运行、大机组失磁等。事故过负荷是指当一个输电断面一回或多回线路事故或无事故跳闸, 负荷转移造成剩余运行线路严重过负荷。若剩余运行线路短时间不能承受事故过负荷, 因事故过负荷跳闸, 将造成多条线路相继跳闸, 后果不堪设想。所谓短时间是留给安全自动装置或运行人员消除事故过负荷的时间, 因此, 超高压线路事故过负荷必须引起高

度重视。就距离保护而言，长期以来，过负荷远没有振荡闭锁受重视，一直处理得相对简单，完全依赖整定计算，因而存在安全隐患。

电网的交流互联和提高超高压线路的输送容量可以发挥大电网优势，提高效益，但是，事故过负荷问题更加突出。为了保证过负荷线路距离保护可靠不误动，整定计算按躲过最严重事故过负荷计算。一次系统提供给二次系统整定计算的最大负荷几乎大到难以整定计算的水平，整定计算人员面临两难的境地。按如此极端、极小概率进行负荷计算，则会严重恶化距离继电器的性能；不按此计算，出现这种极小概率事件就是严重的误整定事故，给电网带来灾难。因此必须寻找新的对策来解决线路距离保护应对事故过负荷的问题。

本文彻底摒弃人们熟悉惯用的距离保护阻抗平面，提出基于电压平面的判据，实现了从根本上区分负荷与短路。

## 1 距离保护负荷限制功能的基本要求

对保护装置负荷限制功能的基本要求是，在不降低现有保护灵敏度和耐过渡电阻能力的前提下，有效地防止过负荷时保护误动，即无论正常过负荷还是严重事故过负荷(重载下同塔双回线路一回线路跳闸后负荷转移至运行的另一回线路)，保护装置均不误动。

具体要求如下：

1) 对称短路时，负荷限制功能动作；对称过负荷时，负荷限制功能不动作。

2) 非全相过负荷由现有保护限制，不对称短路故障相负荷限制功能动作，非故障相负荷限制的灵敏度不高于故障相。

3) 暂态稳定破坏前短时开放的 160 ms 内，负荷限制功能的主要任务是防御大负荷突然转移造成保护误动。160 ms 之后的负荷限制仅用于不经振荡闭锁的距离保护段。经振荡闭锁的距离保护段由现有保护的振荡闭锁限制。

4) 负荷限制功能为新增功能，对原有保护不做任何修改，不增加任何定值，装置对外无任何新增痕迹，负荷限制无选相功能。

## 2 距离保护负荷限制原理

基于阻抗平面的距离继电器基本原理是以  $Z = \dot{U} / \dot{I}$  作为动作量，在阻抗平面上构造一个圆特

性或四边形特性的动作区域<sup>[7-11]</sup>。当距离继电器落在动作区域内时保护动作。

基于电压平面的距离继电器原理为：以工作电压(补偿电压) $\dot{U}'$  作为动作量，通过选择一个极化量作为参考量，在电压平面上构造一个动作区域，当  $\dot{U}'$  落在动作区域内时动作，与阻抗平面类似。然而，电压平面的负荷点落在两端电源的连线上，比阻抗平面上易于确定<sup>[12]</sup>。

若任意放大、缩小  $\dot{U}'$  的补偿阻抗， $\dot{U} - \dot{I}Z_L\rho$  ( $\rho$  任意实数)在电压平面上就是一条直线。原点该直线的距离就是  $U\cos\phi$ 。无故障时， $\dot{U}_{[0]} - \dot{I}_{[0]}Z_L\rho$  与两端电源的连线重合， $U_{[0]}\cos\phi_{[0]}$  反映振荡中心电压，送端为“+”、受端为“-”。发生故障时，故障相的  $\dot{U} - \dot{I}Z_L\rho$  脱离两端电源连线，向原点靠近，过渡电阻越小越靠近原点，一般为“+”。 $U\cos\phi = IR$  也反映为测量电阻；无故障时，送端有  $U\cos\phi > \sqrt{2}/2$  pu，受端有  $U\cos\phi < -\sqrt{2}/2$  pu，相间短路时  $-0.2$  pu  $< U_{\phi\phi}\cos\phi_{\phi\phi} < 0.5$  pu，单相接地短路时  $-0.2$  pu  $< U_{\phi}\cos\phi_{\phi} < 0.8$  pu。

同理，可得到正序的  $\dot{U}_1 - \dot{I}_1Z_L\rho$ 。不对称短路时， $\dot{U}_1 - \dot{I}_1Z_L\rho$  天然地介于  $\dot{U}_{[0]} - \dot{I}_{[0]}Z_L\rho$  与  $\dot{U} - \dot{I}Z_L\rho$  之间，严格区分了负荷与短路的  $\dot{U}'$ 。这是因为，故障后的  $\dot{U}'$  包含了全部量；故障前的  $\dot{U}'_{[0]}$  仅有负荷分量； $\dot{U}'_1$  含有负荷分量和正序故障分量，因此易于与负荷相区分。

研究负荷自然涉及到正序功率  $\dot{S}_1 = P_1 + jQ_1 = S_1(\cos\phi_1 + jsin\phi_1)$ 。规定功率正方向为母线指向线路。正方向短路时，正序功率从背侧电源流向安装母线，再流向短路点；反方向短路时，正序功率从短路点流向安装母线，再流向对侧电源。研究发现在功率平面上的 4 个象限恰巧对应 4 种金属性短路时的负荷与短路方向的关系：I 象限对应送端正向短路；II 象限对应受端正向短路；III 象限对应受端反向短路；IV 象限对应送端反向短路。经过渡电阻短路时，送受端和正反向都可能发生误判，一般发生在 4 个象限交替处。要么短路电阻很大，要么发生在轻载  $\delta \approx 0^\circ$  附近，要么发生在极其重载  $\delta \approx 180^\circ$  附近，这种误判无碍于研究负荷限制，非常容易处理。因此，负荷限制的研究集中在 I 象限送端正向短路。

电流不对称度  $m = (I_0 + I_2) / I_1$  是反映不对称短路程度的重要指标<sup>[13]</sup>，它利用电流较准确地反映金属

性短路时的功角 $\delta$ ; 另一个反映负荷的重要指标是 $|U_1 \cos \phi_1|$ , 它是利用电压来较为准确地反映高过渡电阻短路时的功角 $\delta$ 。在 $m-|U_1 \cos \phi_1|$ 二维平面上研究过负荷和振荡闭锁意义重大, 由此, 可在 $m-|U_1 \cos \phi_1|$ 平面上找到更多的区分负荷与短路的特征, 如图1所示。

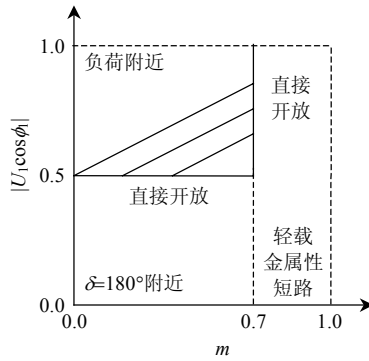


图1  $m-|U_1 \cos \phi_1|$ 坐标下负荷与故障特征  
Fig. 1 Load and fault characteristic in  $m-|U_1 \cos \phi_1|$  coordinate

全相无故障与对称短路时 $m \approx 0$ 。但是: 全相无故障时,  $|U \cos \phi| > \sqrt{2}/2$  pu; 对称短路时 $-0.2$  pu  $< U_1 \cos \phi_1 < 0.5$  pu; 不对称短路时 $m > 0.3$ 。m可作为检测过负荷的第一个物理量。

### 3 实施方案

负荷限制功能动作的充分条件: 只要充分条件满足, 就判定负荷限制动作, 其优先级最高。制定充分条件的目的是保证经小过渡电阻短路时能够可靠地开放距离保护。

负荷限制动作的必要条件: 除了必要条件满足外, 还必须同时满足附加条件, 才判定负荷限制动作。制定必要条件的目的是经较大过渡电阻短路时能够安全开放距离保护<sup>[14]</sup>。

充分条件 1: 对称故障或振荡时, 若 $-0.2$  pu  $< U_1 \cos \phi_1 < 0.5$  pu, 则可开放距离保护。

充分条件 2: 严重不对称故障时, 若 $m > 0.7$ , 则可开放距离保护。

当充分条件不满足时, 利用正序功率 $S_1 = P_1 + jQ_1$ 的4个象限<sup>[15]</sup>, 分别处理。

1) 令 $\phi_1 = \arg(\dot{U}_{\phi\phi_1} / \dot{I}_{\phi\phi_1}) + (90^\circ - \phi_{L1})$ , 若 $0^\circ \leq \phi_1 < 90^\circ$ , 则为送端正向短路。

令 $\phi_{\phi\phi} = \arg(\dot{U}_{\phi\phi} / \dot{I}_{\phi\phi}) + (90^\circ - \phi_{L1})$ , 若 $-0.2$  pu  $< U_{\phi\phi} \cos \phi_{\phi\phi} < 0.5$  pu, 则可开放相间距离继电器。

令 $\phi_{\phi} = \arg(\frac{\dot{U}_{\phi}}{\dot{I}_{\phi} + 3k\dot{I}_0}) + (90^\circ - \phi_{L1})$ , 若 $-0.2$  pu  $< U_{\phi} \cos \phi_{\phi} < 0.5$  pu, 则可开放接地距离继电器。

开放距离继电器的2个必要条件是 $-0.2$  pu  $< U_{\phi} \cos \phi_{\phi} < 0.8$  pu 和 $3I_0 > 300$  A 且 $3I_2 > 300$  A。此时若

满足 $120^\circ < \arg \frac{\dot{U}' - \dot{U}_1}{\dot{U}_1} < 270^\circ - \phi_1 + \alpha$ , 则可开放距离继电器。

若保护中有选相装置, 可借用其选相结果修正 $\alpha$ 。有选相且选相成功后可确定本相为故障相。

需要注意的是: 在这里称本相, 而不称故障相。这是因为, 负荷限制不依赖于选相装置, 只是提高本相、降低超前相、维持滞后相的耐过渡电阻能力。

在标幺制中: 当 $U_1 \cos \phi_1 > 0.5m + 0.5$ 时, 本相的 $\alpha$ 为 $(0.5m + 0.5 - U_1 \cos \phi_1) \times 30^\circ$ ; 当 $U_1 \cos \phi_1 > 0.5m + 0.4$ 时, 滞后相的 $\alpha$ 为 $(0.5m + 0.4 - U_1 \cos \phi_1) \times 45^\circ$ ; 当 $U_1 \cos \phi_1 > 0.5m + 0.3$ 时, 超前相的 $\alpha$ 为 $(0.5m + 0.3 - U_1 \cos \phi_1) \times 60^\circ$ ; 否则,  $\alpha = 0^\circ$ 。

当无选相或选相失败时, 则按上述滞后相处理。

当 $U_1 \cos \phi_1 > 0.5m + 0.4$ 时,  $\alpha = (0.5m + 0.4 - U_1 \cos \phi_1) \times 45^\circ$ ; 否则,  $\alpha = 0^\circ$ 。

2) 当 $90^\circ \leq \phi_1 < 180^\circ$ 时, 为受端正向短路。

此时, 若 $-0.2$  pu  $< U_{\phi\phi} \cos \phi_{\phi\phi} < 0.7$  pu, 则可开放相间距离继电器; 若 $-0.2$  pu  $< U_{\phi} \cos \phi_{\phi} < 0.7$  pu, 则可开放接地距离继电器。

开放相间距离继电器的必要条件是 $-0.2$  pu  $< U_{\phi} \cos \phi_{\phi} < 0.9$  pu。此时, 若满足 $90^\circ < \arg(\frac{\dot{U}' - \dot{U}_1}{\dot{U}_1}) < 270^\circ$ , 则可开放相间距离继电器。

3) 当 $180^\circ \leq \phi_1 < 270^\circ$ 时, 为受端反向短路。

若 $-0.2$  pu  $< U_{\phi\phi} \cos \phi_{\phi\phi} < 0.3$  pu, 则可开放相间距离继电器; 若 $-0.2$  pu  $< U_{\phi} \cos \phi_{\phi} < 0.3$  pu, 则可开放接地距离继电器。

开放相间距离继电器的必要条件是 $-0.2$  pu  $< U_{\phi} \cos \phi_{\phi} < 0.6$  pu。此时, 若满足 $120^\circ < \arg \frac{\dot{U}' - \dot{U}_1}{\dot{U}_1} < 270^\circ$ , 则可开放相间距离继电器。

4) 当 $270^\circ \leq \phi_1 < 360^\circ$ , 为送端反向短路。

此时, 若 $-0.2$  pu  $< U_{\phi\phi} \cos \phi_{\phi\phi} < 0.3$  pu, 则可开放相间距离继电器; 若 $-0.2$  pu  $< U_{\phi} \cos \phi_{\phi} < 0.3$  pu, 则可开放接地距离继电器。

开放相间距离继电器的必要条件是  $-0.2 \text{ pu} < U_\phi \cos \varphi_\phi < 0.6 \text{ pu}$ 。此时，若满足  $90^\circ < \arg \frac{\dot{U}' - \dot{U}_1}{\dot{U}_1} < 240^\circ$ ，则可开放相间距离继电器。

综上所述，正序电压  $\dot{U}_1$  与  $\dot{U}'$  的相位固定，图 2 给出了不同位置故障时二者之间的相位关系。

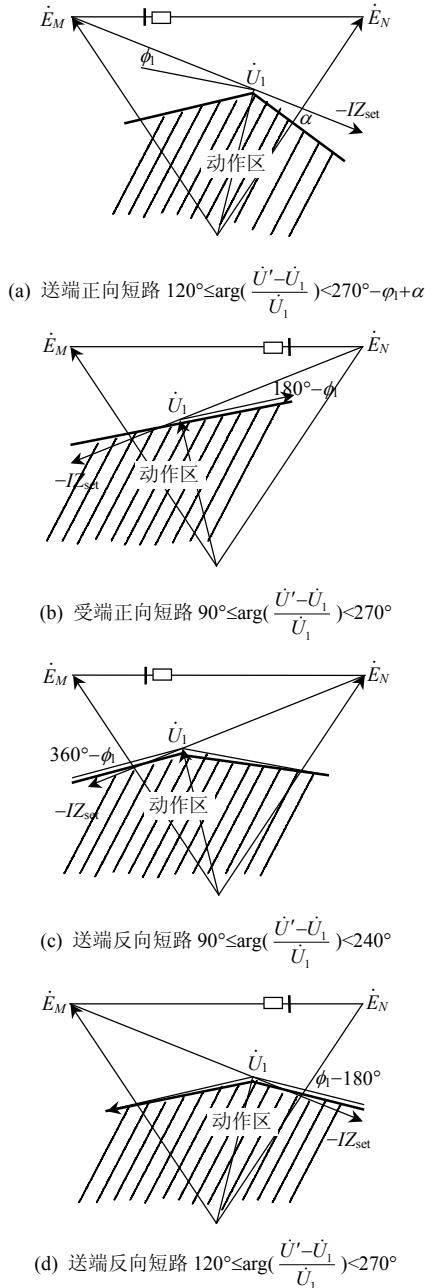


图 2 不同故障位置时的动作区  
Fig. 2 Action area with different fault locations

#### 4 仿真验证

本文利用 RTDS 搭建了 1 000 kV 输电线路模型，验证了不同功角及不同过渡电阻下所提方案的

性能。

图 3 给出了仿真系统图，线路全长 358.5 km，M 侧系统正序阻抗为  $10 \angle 86.67^\circ \Omega$ ，N 侧系统正序阻抗为  $10 \angle 84.66^\circ \Omega$ ，线路正序电阻为  $0.009 39 \Omega/\text{km}$ ，正序感抗为  $0.270 2 \Omega/\text{km}$ ，正序容抗为  $0.230 9 \text{ M}\Omega/\text{km}$ ，零序电阻为  $0.175 7 \Omega/\text{km}$ ，零序感抗为  $0.780 4 \Omega/\text{km}$ ，零序容抗为  $0.367 5 \text{ M}\Omega/\text{km}$ 。K 为故障点，距离母线 P 为线路全长的 80%，系统 M 为送端，系统 N 为受端，保护分别安装在 1 和 2 处，故障类型为 A 相接地故障。



图 3 仿真系统图

Fig. 3 Simulation system

线路两侧电势夹角为  $40^\circ$ ，正常情况下，保护 1 处  $\dot{U}' - \dot{U}_1$  滞后  $\dot{U}_1$   $108^\circ$ ， $\varphi_1$  为  $17.6^\circ$ ， $\alpha$  为  $12.7^\circ$ 。动作区为  $120^\circ < \arg[(\dot{U}' - \dot{U}_1)/\dot{U}_1] < 239.7^\circ$ ，图 4 给出了  $\dot{U}' - \dot{U}_1$  和  $\dot{U}_1$  的相量图，图中阴影部分为动作区，从图中可以看出，过负荷情况下， $\dot{U}' - \dot{U}_1$  处于非动作区，保护不动作。针对不同负荷，进行仿真分析得出，本方案不受负荷大小的影响。

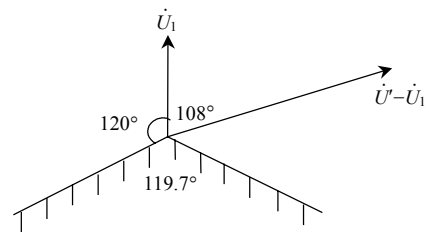


图 4 重负荷下  $\dot{U}' - \dot{U}_1$  与  $\dot{U}_1$  相量图 ( $\delta=40^\circ$ )

Fig. 4 Phase relations between  $\dot{U}' - \dot{U}_1$  and  $\dot{U}_1$  with heavy load ( $\delta=40^\circ$ )

线路两侧电势夹角为  $40^\circ$ 、过渡电阻为  $0 \Omega$  时， $m=0.77$ ，充分条件 2 满足，因此开放距离保护。当过渡电阻增加到  $20 \Omega$  时， $m=0.54$ ，充分条件 2 不满足，需要判断必要条件，此时  $\varphi_1=33.18^\circ$ ，介于  $0^\circ$  和  $90^\circ$  之间，故障点位于送端正方向，保护 1 处  $\dot{U}' - \dot{U}_1$  滞后  $\dot{U}_1$   $137.53^\circ$ ， $\alpha$  为  $0.42^\circ$ ，动作区为  $120^\circ < \arg[(\dot{U}' - \dot{U}_1)/\dot{U}_1] < 236.4^\circ$ ，图 5 给出了对应的相量图，从图中可以看出， $\dot{U}' - \dot{U}_1$  处于动作区，必要条件满足，可开放距离保护。

当线路两侧电势夹角为  $40^\circ$ 、故障电阻增加到  $50 \Omega$  时， $m=0.35$ ，充分条件不满足，此时  $\varphi_1=25^\circ$ ，

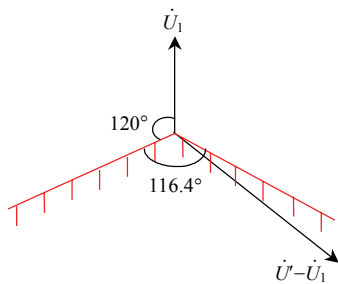


图5 A相接地故障时 $\dot{U}' - \dot{U}_1$ 与 $\dot{U}_1$ 相量图( $\delta=40^\circ, R=20\Omega$ )

Fig. 5 Phase relations between  $\dot{U}' - \dot{U}_1$  and  $\dot{U}_1$  when phase A to ground faults occur( $\delta=40^\circ, R=20\Omega$ )

介于 $0^\circ$ 和 $90^\circ$ 之间,故障点位于送端正方向,保护1处 $\dot{U}' - \dot{U}_1$ 滞后 $\dot{U}_1$ 123.1°,  $\alpha$ 为 $5.7^\circ$ ,动作区为 $120^\circ < \arg[(\dot{U}' - \dot{U}_1)/\dot{U}_1] < 239.3^\circ$ ,必要条件满足,可开放距离保护。

当线路两侧电势夹角固定,故障点向保护1移动时,耐过渡电阻的能力会相应增强。

仿真结果表明,若线路轻载,则K点发生接地故障、过渡电阻为 $100\Omega$ 时,本方案仍然能正确开放距离保护。

## 5 结论

世界上诸多大的停电事故与事故过负荷相关,负荷转移后距离保护动作往往会扩大事故,这一点已经引起专业人士的高度重视,又一直未见到积极有效的对策。本文摒弃通常采用的距离保护阻抗平面,提出了基于电压平面的判据,从而实现了从根本上区分负荷与短路。理论分析表明,在电压平面上,完全可以精确描述并区分过负荷与稳态短路,大量的仿真结果验证了该结论的正确性和有效性。该方案的重要特征是:负荷限制不降低现行保护的灵敏度和耐过渡电阻能力,同时又能有效地防止过负荷;新增负荷限制,对现有保护内部不做任何修改、不增加任何定值,无需新增硬件装置。采用该方案有效解决了负荷转移后距离保护动作的问题,这对提高系统的安全稳定性具有重要作用。

## 参考文献

- [1] 周云海,刘映尚,胡翔勇.大停电事故后的系统网架恢复[J].中国电机工程学报,2008,28(10):32-36.  
Zhou Yunhai, Liu Yingshang, Hu Xiangyong. Power system network reconstruction after blackout [J]. Proceedings of the CSEE, 2008, 28(10): 32-36(in Chinese).
- [2] 葛睿,董昱,吕跃春.欧洲“11·4”大停电事故分析及对我国电网运行工作的启示[J].电网技术,2007,31(3):1-6.  
Ge Rui, Dong Yu, Lü Yuechun. Analysis of large-scale blackout in UCTE power grid and lessons to be drawn to power grid operation in China[J]. Power System Technology, 2007, 31(3): 1-6(in Chinese).
- [3] 印永华,郭剑波,赵建军,等.美加“8·14”大停电事故初步分析及应吸取的教训[J].电网技术,2003,27(10):8-11.  
Yin Yonghua, Guo Jianbo, Zhao Jianjun, et al. Preliminary analysis of large scale blackout in interconnected North America power system grid on August 14 and lessons to be drawn[J]. Power System Technology, 2003, 27(10): 8-11(in Chinese).
- [4] 王梅义.四统一高压线路继电保护装置原理设计[M].北京:水利电力出版社,1990:23,28-32.  
Wang Meiyi. Unity theory design in four aspects of high voltage transmission line protection device[M]. Beijing: China Water Power Press, 1990: 23, 28-32(in Chinese).
- [5] 沈国荣,邓绍龙,朱声石.区分振荡与短路的新原理[J].电力系统自动化,1990,14(1):7-12  
Shen Guorong, Deng Shaolong, Zhu Shengshi. The new principle of discrimination between power swing and short circuit[J]. Automation of Electric Power Systems, 1990, 14(1): 7-12(in Chinese).
- [6] 张华,郑涛,肖仕武.基于电流信号包络线故障熵的超高压输电系统振荡中再故障识别算法[J].电网技术,2008,32(19):78-83.  
Zhang Hua, Zheng Tao, Xiao Shiwu. A recognition algorithm for fault occurred during oscillation of UHVAC power transmission system based on fault entropy of current signal envelopes[J]. Power System Technology, 2008, 32(19): 78-83(in Chinese).
- [7] 王梅义.距离继电器动作行为的分析[J].继电器,1979,7(4):1-65.  
Wang Meiyi. Analysis of distance relay action performance[J]. Relay, 1979, 7(4): 1-65(in Chinese).
- [8] 索南加乐,何方明,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.  
Suonan Jiale, He Fangming, Jiao Zaibin, et al. Research on the characteristics of distance element based on the power-frequency voltage and current variation [J]. Proceedings of the CSEE, 2010, 30(28): 59-65(in Chinese).
- [9] 沈国荣.工频变化量方向继电器原理的研究[J].电力系统自动化,1983,7(1):28-38.

- Shen Guorong. A new directional relay based on the variation of power frequency component[J]. Automation of Electric Power Systems, 1983, 7(1): 28-38(in Chinese).
- [10] 胡玉峰, 柳焕章. 以故障前补偿电压为基准量的距离继电器研究[J]. 中国电机工程学报, 2006, 26(16): 27-32. Hu Yufeng, Liu Huanzhang. Study on distance relay based on pre-fault compensated voltage[J]. Proceedings of the CSEE, 2006, 26(16): 27-32(in Chinese).
- [11] 沈冰, 何奔腾. 基于阻抗轨迹估计的自适应相间距离继电器[J]. 中国电机工程学报, 2007, 27(31): 71-76. Shen Bing, He Benteng. A novel adaptive distance protection based on impedance locus estimation [J]. Proceedings of the CSEE, 2007, 27(31): 71-76(in Chinese).
- [12] 王梅义, 蒙定中, 郑奎璋, 等. 高压电网继电保护运行技术[M]. 北京: 水利电力出版社, 1984: 119-147. Wang Meiyi, Meng Dingzhong, Zheng Kuizhang, et al. Operating technology of high voltage network protection[M]. Beijing: China Water Power Press, 1984: 119-147(in Chinese).
- [13] 朱声石. 高压电网继电保护原理与技术[M]. 北京: 水利电力出版社, 2005: 230-231. Zhu Shengshi. Theory and technology of high voltage network protection[M]. Beijing: China Water Power Press, 2005: 230-231(in Chinese).
- [14] 柳焕章, 李银红. 大电流接地系统线路高阻接地距离继电器[J]. 中国电机工程学报, 2010, 30(34): 93-98. Liu Huanzhang, Li Yinhong. High resistance grounded distance relay in solidly earthed system[J]. Proceedings of the CSEE, 2010, 30(34): 93-98(in Chinese).
- [15] 柳焕章. 阻抗保护分析中电压平面与阻抗平面的变换[J]. 中国电机工程学报, 2004, 24(1): 40-43. Liu Huanzhang. A novel impedance protection analysis method based on the transform from the voltage plane to the impedance plane[J]. Proceedings of the CSEE, 2004, 24(1): 40-43(in Chinese).



柳焕章

收稿日期: 2011-04-26。

作者简介:

柳焕章(1954), 男, 高级工程师, 主要研究方向为继电保护运行管理、整定计算、继电保护原理研究, liuhz@cc.sgcc.com.cn;

周泽昕(1969), 女, 高级工程师, 主要研究方向为继电保护原理及测试、电力系统动态模拟技术, zhouzx@epri.sgcc.com.cn。

(责任编辑 刘浩芳)