

# 提高输电线路微机保护选择性的在线整定技术

丁书文<sup>1</sup>, 米朝清<sup>1</sup>, 赵 勇<sup>2</sup>

(1. 郑州电力高等专科学校, 河南 郑州 450004; 2. 河南电力试验研究所, 河南 郑州 450007)

**摘要:** 从输电线路微机距离保护受故障过渡电阻影响出发, 提出了利用自适应技术, 使微机距离保护动作整定值随线路故障时故障点过渡电阻大小自适应调整, 从而能较好地解决了过渡电阻对微机保护动作造成的保护范围超越和缩短现象。

**关键词:** 自适应; 输电线路; 微机保护; 超越; 缩短

**中图分类号:** TM773

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1003-4897(2001)02-0023-03

## 1 引言

在超高压电网中, 由于输电线路的走线引起的接地过渡电阻的增加, 对输电线路反映高阻接地故障的保护能力提出了更高的要求, 因而如何提高微机保护承受大过渡电阻能力的研究在输电线路微机保护中占有重要的地位。传统的输电线路继电保护接地距离继电器和方向阻抗继电器的整定值反映了可能出现的最恶劣的故障情况, 它依据的规则基于整定策略、拓扑结构、设定的运行工况以及经验。然而那些随时间变化的参数以及故障随机参数的影响在固定的整定值中很难给予全面考虑。如故障接地电阻和负荷电流的影响。由此会常常造成保护范围的超越和缩短。

在现有的接地距离保护方案中, 以  $I_0$  极化方式承受过渡电阻的能力较强<sup>[1]</sup>, 然而在常规模拟方式保护中, 由于受技术手段的限制, 使得  $I_0$  极化阻抗继电器仍存在不少弊端。至于在实际运作中如何完全消除过渡电阻对距离保护的影响, 目前从技术方面还达不到<sup>[2]</sup>。所以如何在新原理中通过采用新的计算方法来尽可能地削弱过渡电阻的影响, 仍然是人们追求的目标。本文提出了输电线路微机保护整定值自适应算法理论, 能较好地解决输电线路故障过渡电阻对微机保护动作造成的超越和缩短问题。通过电磁暂态仿真程序 (EMTP) 数字仿真计算, 验证了所选自适应算法的正确性和实用性。

## 2 保护动作的超越与缩短现象分析

对于图 1 所示的双端电源系统, 在经过过渡电阻  $R_f$  发生单相短路 (例如 A 相故障) 时, 对侧电源对  $R_f$  有助增电流的情况下, 由于两侧电势角及阻抗角不相同, 使流过  $R_f$  的电流  $I_f$  与  $I_M$  的相位不同。

$$\text{有式子: } \dot{U}_A = (\dot{I}_A + 3K\dot{I}_0) Z_L + 3\dot{I}_{f0} R_f \quad (1)$$

$$Z_m = \frac{\dot{U}_A}{\dot{I}_A + 3K\dot{I}_0} = Z_L + \frac{3\dot{I}_{f0} R_f}{\dot{I}_A + 3K\dot{I}_0} = Z_L + Z_R \quad (2)$$

$$\text{其中: } Z_R = \frac{3\dot{I}_{f0}}{\dot{I}_A + 3K\dot{I}_0} R_f,$$

$$\text{令 } \frac{\dot{I}_{f0}}{\dot{I}_A + 3K\dot{I}_0} = m e^j \quad (3)$$

$m$  为一个无量纲的正实数, 为  $\dot{I}_{f0}$  与  $(\dot{I}_A + 3K\dot{I}_0)$  的相角差, 可为正也可为负, 当  $m = 0$  时, 由式 (2) 可知, 过渡电阻的大小不影响测量电抗值的大小。但当  $m \neq 0$  时, 这时  $M$  侧的保护测量阻抗值  $Z_m$  中的电抗值  $X_m$  可能大于或小于短路电抗值, 从而会引起保护范围内拒动或超越误动现象。

针对上述情况, 设整定阻抗  $Z_Y$  的阻抗角与线路的正序阻抗角相等, 取为  $\varphi_L$ ,  $Z_Y$  矢量的末端为 A 点。不考虑串联补偿电容的情况, 则  $0^\circ < \varphi_L < 90^\circ$ ; 有:

1) 当  $0^\circ < \varphi < \varphi_L$  时,  $Z_R$  呈现感性, 设线路发生区内故障, 则  $|Z_L| < |Z_{cd}|$ , 但由于  $Z_R$  矢量末端的影响, 使得  $Z_m$  落入保护动作区 (四边形  $XPRO$ ) 外, 造成保护范围的缩短。如图 2(a) 所示。

2) 当  $-90^\circ < \varphi < 0^\circ$  时,  $Z_R$  呈现容性, 若线路发生区外故障, 则  $|Z_L| > |Z_{cd}|$ , 但由于  $Z_R$  的影响, 可能使  $Z_m$  矢量末端落入动作区内, 造成保护范围的超越。如图 2(b) 所示。

## 3 故障测量元件动作特性边界的自适应变化

由图 (2) 可见, 若能使阻抗继电器 (故障测量元件) 的动作特性边界  $XP$  以  $Z_Y$  (整定阻抗) 矢端为轴心, 通过旋转  $\theta$  角度, 动作特性由四边形  $XPRO$  变

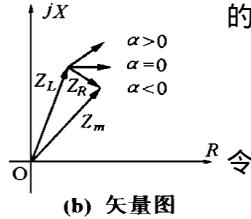
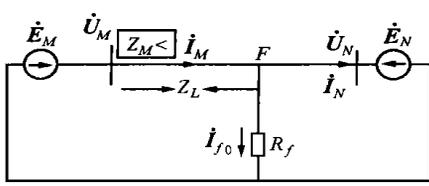


图1 双端电源线路上过渡电阻对测量阻抗的影响

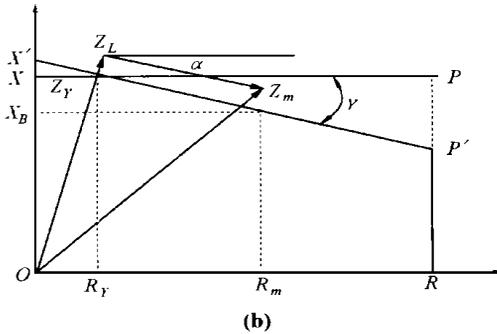
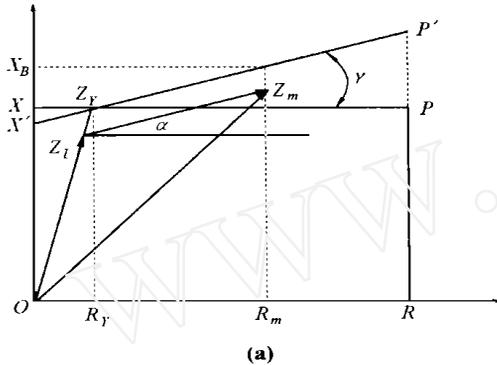


图2 动作特性与 Z<sub>m</sub> 的关系

为四边形 X P R O, 保护仍能正确动作, 即可消除过渡电阻的不利影响。

$$\text{由式(3)可得: } \alpha = \text{Arg} \frac{\dot{I}_{f0}}{\dot{I}_A + K3 \dot{I}_0} \quad (4)$$

实际上, 保护是测不到流过过渡电阻的电流  $i_f$  的, 所以角度  $\alpha$  也无法直接测量到。但是, 流经保护安装点的零序电流  $\dot{I}_f$  与流过接地电阻的零序电流  $\dot{I}_{f0}$  之间的相位差很小, 因此可以将  $\dot{I}_f$  的相角进行补偿后代替  $\dot{I}_{f0}$  的相角, 即

$$\alpha = \text{Arg} \frac{\dot{I}_{f0}}{\dot{I}_A + K3 \dot{I}_0} = \text{Arg} \frac{\dot{I}_0}{\dot{I}_A + K3 \dot{I}_0} + \gamma \quad (5)$$

其中  $\gamma$  角为系统在短路点 F 两侧网络的零序等效阻抗的相角差, 它与系统的零序网络结构、变压器中性点接地情况、系统中有关元件的零序参数、接地短路发生的地点有关。但保护区末端 Y 处, 在大多数运行情况下  $\gamma$  角变化不大, 而且可预先按系统

的零序网络结构计算, 记作  $\gamma_0$ 。

$$\text{令 } \beta = \text{Arg} \frac{\dot{I}_0}{\dot{I}_A + K3 \dot{I}_0} = \gamma_0 \quad (6)$$

$$\beta = \text{Arg} \frac{\dot{I}_0}{\dot{I}_A + K3 \dot{I}_0} + \gamma = \gamma_0 + \gamma \quad (7)$$

$$\text{一般地, 有 } \beta = \gamma_0 + \gamma \quad (8)$$

若正好在保护范围末端 Y 点发生短路, 则式(8)为零, 即此时保护范围既不超越也不缩小。若在 Y 点附近短路时,  $\beta$  角和  $\gamma_0$  角接近相等, 故  $\beta$  角和  $\gamma$  角也接近相等。因此, 当线路保护范围末端附近发生短路故障时, 通过采集值实时计算出  $\beta$  角的大小, 再计算出  $\gamma$  角的大小, 将图 2 中的动作边界特性线 X P 旋转角度  $\gamma$ , 为斜线 X P', 使之根据过渡电阻的大小自适应改变角度  $\beta$ , 这样可以克服过渡电阻引起的保护范围的缩短和超越。

#### 4 动作边界整定值自适应策略

通过上面的分析, 为实现动作特性边界的自适应, 必须实时计算出  $\beta$  角, 而计算  $\beta$  角必须先计算出  $\gamma$  角。具体实现过程如下:

(1) 当确定保护的動作范围后, 根据系统运行条件, 先离线计算出保护范围末端处发生接地故障时系统在短路点 F 两侧网络的零序等效阻抗的相角差  $\gamma_0$ 。

(2) 考虑到保护范围末端不同地点短路时,  $\gamma$  角不同, 因此, 实用上还要考虑一定的裕度。本文这里取  $1^\circ$ 。同时, 为了保证继电保护动作的选择性, 以消除保护故障区外超越现象,  $1^\circ$  的裕度角只取正值。

(3) 因  $\beta$  角需要实时计算出, 根据下文分析可知, 实际上计算机不必求出  $\beta$  角、 $\gamma$  角的大小, 而只需求出其对应的正切数值即可。而  $\beta$  角的正切值  $\text{tg} \beta$  值, 可利用数据采集的瞬时值  $i_0(t_n)$  和  $i_A(t_n)$  进行实时计算。

$$\text{令 } i_0(t_n) = \frac{1}{3} [i_a(t_n) + i_b(t_n) + i_c(t_n)]$$

$$i_A(t_n) = i_a(t_n) + K3 i_0(t_n)$$

参见文献<sup>[3,4]</sup>的计算分析, 计算出  $\text{tg} \beta$  值, 其中,  $T_1$  为基频周期。

$$\text{tg} \beta = \frac{i_0(t_n) \cdot i_A \left[ t_n - \frac{T_1}{4} \right] - i_0 \left[ t_n - \frac{T_1}{4} \right] \cdot i_A(t_n)}{i_0(t_n) \cdot i_A(t_n) + i_0 \left[ t_n - \frac{T_1}{4} \right] \cdot i_A \left[ t_n - \frac{T_1}{4} \right]} \quad (9)$$

(4) 计算  $\text{tg} \beta$ : 因  $\beta = \gamma_0 + \gamma$ , 而  $\gamma_0$  角和  $\text{tg} \gamma_0$  已预

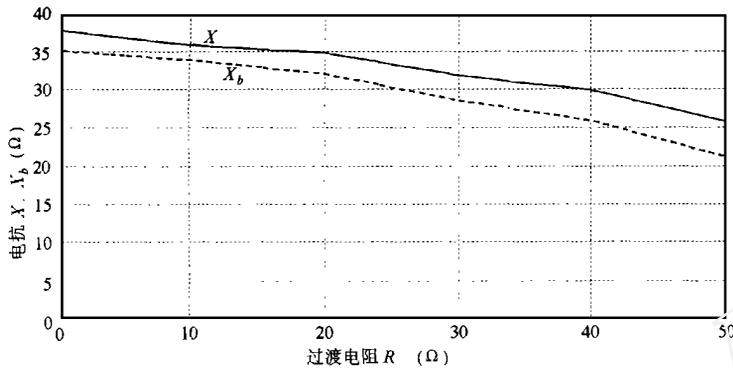


图3 保护范围外侧故障时计算电抗和整定电抗与过渡电阻的关系图

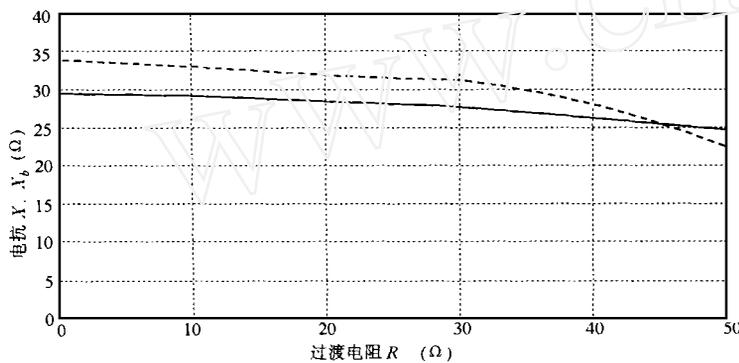


图4 保护范围内侧故障时计算电抗和整定电抗与过渡电阻的关系图

先计算出,所以,  $\text{tg}$  可利用下面的和角公式计算

$$\text{tg} \gamma = \text{tg}(\alpha + \beta) = \frac{\text{tg} \alpha + \text{tg} \beta}{1 - \text{tg} \alpha \text{tg} \beta} \quad (10)$$

(5) 确定用于测量阻抗  $Z_m$  之电抗部分  $X_m$  作比较的动作特性比较值  $X_B$ , 由图2可知, 将整定阻抗  $Z_Y$  分解为  $R_Y$  和  $X_Y$ , 将测量阻抗  $Z_m$  也分解为  $R_m$  和  $X_m$ , 从而可得下式:

$$X_B = X_Y + (R_m - R_Y) \text{tg} \gamma \quad (11)$$

由于  $\text{tg} \gamma$  是实时计算出的,  $X_B$  也是随  $\text{tg} \gamma$  的变化而改变, 从而做到了动作特性边界值跟随过渡电阻的大小而实时改变。当用测量电抗  $X_m$  与自适应整定电抗  $X_B$  作比较时, 就可以大大减小保护末端短路时  $R_f$  的影响。

## 5 数字仿真

### 5.1 仿真模型及方法

设定系统的采样周期为 1ms, EMTP 程序产生电流和电压信号的步长也为 1ms, 为了真实模拟输电线路故障前后的实际情况, EMTP 程序既产生输电线路正常运行的信号, 又产生故障时的电流和电压信号。利用 EMTP 产生一个周期的故障前信号来模拟输电线路的正常运行情况, 再产生三个周

期的故障后信号来模拟输电线路故障后的参数变化情况。EMTP 仿真程序产生信号的依据模型为图1所示, 其主要参数设置为: 正序阻抗:  $Z_1 = 0.170 + j 0.420 / \text{km}$ ; 零序阻抗:  $Z_0 = 0.320 + j 1.500 / \text{km}$ ; 系统等效阻抗:  $Z_M = j 12.500$ ,  $Z_N = j 12.500$ ; 线路两侧电源电势:

$$E_M = 115 \sin(\omega t), \quad E_N = 110 \sin(\omega t + 5^\circ)$$

### 5.2 线路故障保护范围超越现象仿真

对于过渡电阻造成保护范围的超越现象, 采用电抗整定值自适应方法, 在保护范围外侧设置不同数值的过渡电阻进行仿真实验, 得出不同过渡电阻的计算电抗  $X$  和自适应的整定电抗值  $X_b$ , 其计算电抗  $X$  和整定电抗  $X_b$  与过渡电阻  $R_f$  的关系如图3所示。

从图3可以看出, 由于过渡电阻的影响, 保护范围末端的区外故障稳态超越较严重现象, 通过采用整定电抗的自适应方法后, 总能使  $X < X_b$ , 从而完全避免了输电线路的保护区外超越现象, 即保证了保护装置动作的选择性。

### 5.3 线路故障保护范围缩短现象仿真

对于保护范围内的稳态缩短现象, 实验中在保护范围内侧设置了不同的过渡电阻数值进行了仿真, 同样也根据计算电抗、自适应整定电抗与过渡电阻的仿真结果绘制了它们的对应关系图, 图4就是不同过渡电阻值下与计算电抗、自适应整定电抗的关系图。

从图4可以看出, 对于保护范围末端的区内故障, 过渡电阻对计算电抗的影响较小, 采用整定电抗的自适应方法后, 躲开过渡电阻的能力受到一定限制, 但仍然能躲开 40 多欧姆及以下的过渡电阻, 在实际使用中已能满足了大部分故障情况下的需要。

## 6 结束语

自适应在微机保护中的应用一直是电力工程师的研究热点。本文利用自适应技术, 提出了一种对线路电抗整定值采取自适应的新方案, 可以完全消除由于过渡电阻使输电线路保护范围末端所出现的稳态超越问题; 同时, 由于过渡电阻使保护范围末端所出现的保护范围缩短现象得到了较好的抑制, 使其动作性能得到大大改善。当然, (下转第 28 页)

化轨迹的线性拟合可以将用常规算法测出的距离进行再次估计,从而得到较准确的估计值。此外输电线路快速自动重合闸前后过渡电阻的变化也可被测距装置所利用。

#### 参考文献:

- [1] Zhang Q, Zhang Y, Song W and Yu Y. Transmission line fault location for phase-to-earth fault using one-terminal data IEE Proc Gener Transm Distrib, 1999, 146(2).
- [2] Z Q B G Weller M A. Redfern Accurate fault location tech

nique for distribution system using fault-generated high-frequency transient voltage signal. IEE Proc-ener Transm Distrib, 1999, 146(1).

收稿日期: 2000-07-13

作者简介: 夏大洪(1957-),男,硕士,讲师,长期从事电力系统保护、自动化方面的研究; 葛耀中(1929-),男,教授,博士生导师,从事继电保护及安全自动装置的教学和科研工作; 刘浩芳(1970-),女,硕士研究生,讲师,主要研究方向为电力系统微机保护。

### Increase accuracy of fault location using change of fault path resistance

XIA Da-hong<sup>1</sup>, GE Yao-zhong<sup>2</sup>, LIU Hao-fang<sup>1</sup>

(1. Shengli Oil Field Shandong, Dongying 257004, China; 2. Xi'an Jiaotong University, Xi'an 710049, China)

**Abstract:** It is difficult to eliminate the effect of fault current from remote end due to fault path resistance on the accuracy of fault location, but when fault path resistance changes by stages, the distance and the resistance measured at one end have a liner relationship. Through simulating measured values, the measured distance of zero fault resistance can be estimated. The technique can be used in microprocessor protection and fault location devices directly.

**Keywords:** transmission lines; fault location; relaying protection

(上接第25页) 对于110kV系统,若出现输电线路故障时过渡电阻极大,超过了50 $\Omega$ 时,本文方案仍在保护应具有的选择性下,不误动,等待输电线路配置的其他保护动作跳闸。

#### 参考文献:

- [1] 叶萍,陈德树.微机距离保护中几种接地距离继电器方案的比较.电力系统自动化,1994,18(6).
- [2] 朱声石.高压电网继电保护原理与技术.北京:水利电力出版社,1995:226~228.
- [3] Moore PJ等(英).自适应数字式距离保护.南京:电力

系统继电保护论文汇编,南京自动化研究所,1994,6:102~106.

- [4] 丁书文.输电线路微机保护的算法研究与实现.武汉水利电力大学硕士学位论文,1999,3.

收稿日期: 2000-06-05; 改回日期: 2000-08-01

作者简介: 丁书文(1967-),男,硕士,讲师,主要从事电力系统继电保护和自动化的教学、研究与开发; 米朝清(1970-),男,学士,讲师,主要从事电力系统微机应用方面的研究; 赵勇(1967-),男,硕士,工程师,主要从事变电站自动化系统及微机保护的研究与开发。

### The on line setting technology for improving the selectivity of microcomputer based protection of transmission line

DING Shu-wen<sup>1</sup>, MI Chao-qing<sup>1</sup>, ZHAO Yong<sup>2</sup>

(1. Zhengzhou Electric Power College, Zhengzhou 450004, China; 2. Henan Power Research Institute, Zhengzhou 450007, China)

**Abstract:** This paper analyzed the influence of the transition resistance of fault on transmission line microcomputer protection and presented taking advantage of the adaptive technology, and made the setting of microcomputer based distance protection adaptive adjust. Then, the problem about overreach and shortening on microcomputer based protection zone of transmission line would be well settled.

**Keywords:** self-adaptive; transmission line; microcomputer protection based; overreach; shortening