

# 微型功率方向继电器内角整定计算研究

姚晴林<sup>1</sup>, 姚武<sup>2</sup>, 张学深<sup>2</sup>

(1. 合肥工业大学电力系, 安徽 合肥 230009; 2. 许昌继电器研究所, 河南 许昌 461000)

**摘要:** 保护相间短路的模拟式功率方向继电器内角的整定值只有两个(30°、45°), 用户只能在这两个值中选其一; 分析并提出了保护相间短路的微型功率方向继电器内角的准确整定计算公式, 用户可以整定为该公式的计算值或至少为最合理的值, 从而能显著提高方向继电器的动作灵敏度及可靠性, 具有新见解及应用价值。

**关键词:** 微机保护; 功率方向继电器; 内角; 整定计算

**中图分类号:** TM588.1<sup>+</sup>5 **文献标识码:** A **文章编号:** 1003-4897(2000)04-0009-04

保护相间短路的功率方向继电器的动作方程为:

$$U_K I_K \cos(\alpha_K + \theta) > 0 \quad (1)$$

式中:

$U_K$ ——加于方向继电器的电压;

$I_K$ ——加于方向继电器的电流;

$\alpha_K$ —— $\dot{U}_K$ 与 $\dot{I}_K$ 之间的相角,  $\dot{U}_K$ 超前于 $\dot{I}_K$ 时 $\alpha_K$ 为正,  $\dot{U}_K$ 滞后于 $\dot{I}_K$ 时 $\alpha_K$ 为负;

$\theta$ ——方向继电器的内角。

$\dot{U}_K$ 、 $\dot{I}_K$ 采用90°接线方式, 动作特性见图1所示, 其主要优点是: 对于各种类型的正方向两相短路, 都至少有两个方向元件能正确动作, 无死区; 例如BC两相短路,  $\dot{I}_{KB} = \dot{I}_B$ 、 $\dot{I}_{KC} = \dot{I}_C$ 为短路电流, 很大,  $\dot{U}_{KB} = \dot{U}_{CA}$ 、 $\dot{U}_{KC} = \dot{U}_{AB}$ , 不是两个故障相的相间电压, 也较大, 由式(1)可见, 只要合理地整定内角 $\theta$ ,  $K_B$ 、 $K_C$ 两个方向继电器必能正确动作。

以下分析正方向三相短路及两相短路时方向继

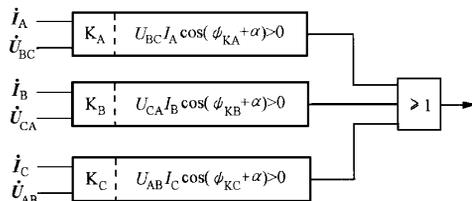


图1 微机方向继电器动作特性框图

电器的动作性能, 以求得最佳的内角 $\theta$ 的整定值, 使

收稿日期: 1999-11-21

作者简介: 姚晴林(1932-), 男, 教授, 从事继电保护研究工作。

正方向短路时方向继电器动作的灵敏度最高或尽可能的高, 反方向短路时可靠地不动作。

## 1 三相短路

见图2正方向任意某地点三相短路, 保护安装点母线的相电压为 $\dot{U}_A$ 、 $\dot{U}_B$ 、 $\dot{U}_C$ , 电流为 $\dot{I}_A$ 、 $\dot{I}_B$ 、 $\dot{I}_C$ , 各滞后于相应的相电压一个角度 $\delta$ ,  $\delta$ 为线路阻抗角。见图3所示, 加于 $K_A$ 继电器的电压 $\dot{U}_{KA} = \dot{U}_{BC}$ 、电流 $\dot{I}_{KA} = \dot{I}_A$ 、 $\alpha_{KA} = -(90^\circ - \delta)$ ; 加于 $K_B$ 继电器的电压 $\dot{U}_{KB} = \dot{U}_{CA}$ 、电流 $\dot{I}_{KB} = \dot{I}_B$ 、 $\alpha_{KB} = -(90^\circ - \delta)$ ; 加于 $K_C$ 继电器的电压 $\dot{U}_{KC} = \dot{U}_{AB}$ 、 $\dot{I}_{KC} = \dot{I}_C$ 、 $\alpha_{KC} = -(90^\circ - \delta)$ 。由于三个继电器处于完全相同的对称情况下, 所以只分析 $K_A$ 即可, 其他两个继电器类同。

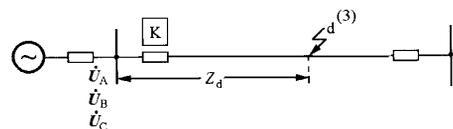


图2 三相短路示意图

根据式(1), 得 $K_A$ 方向继电器的动作方程为

$$U_{KA} I_{KA} \cos(\alpha_{KA} + \theta) > 0$$

式中  $\alpha_{KA} = -(90^\circ - \delta)$

$$U_{BC} I_A \cos(\delta - 90^\circ + \theta) > 0 \quad (2)$$

$\delta$ 一般在 $0^\circ \sim 90^\circ$ 之间。由式(2)可见, 若整定方向继电器的内角 $\theta = 90^\circ - \delta$ , 则正方向三相短路时, 式(2)中的 $\cos(\delta - 90^\circ + \theta) = \cos 0^\circ = 1$ ,  $K_A$ 的动作灵敏度最高, 同理 $K_B$ 、 $K_C$ 的动作灵敏度也最高; 而当反方向三相短路时, 动作特性方程中 $\cos(\alpha_K + \theta) = \cos(\delta - 90^\circ + \theta + 180^\circ) = \cos 180^\circ = -1$ , 三个方

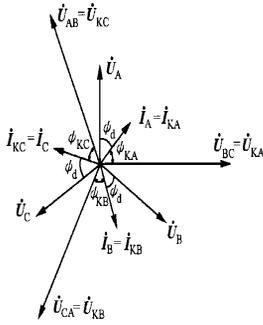


图3 正方向某处三相短路时加于方向继电器的电压电流相量图

向继电器都是最可靠地不动作。

由式(2),又得,对任何线路(即任何 $\alpha_d$ ),只要整定在 $0^\circ < \alpha < 90^\circ$ 的范围内,正方向三相短路时,余弦值皆大于零,式(2)皆能满足,只是余弦值并非为“+1”,继电器皆能可靠地动作。

## 2 两相短路

以 AB 两相短路为例进行分析

1) BC 两相短路点为保护安装处正方向的某任意点

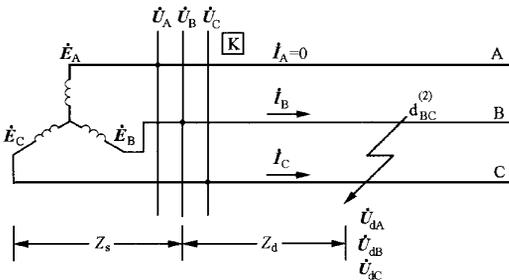


图4 在保护安装处正方向某任意点两相短路网络图

网络图见图4,短路点至保护安装处之间的阻抗为 $Z_d$ ,保护安装处至电源间的系统阻抗为 $Z_s$ ,短路点的电压为 $\dot{U}_{dA}$ 、 $\dot{U}_{dB}$ 、 $\dot{U}_{dC}$ ,保护安装处母线电压为 $\dot{U}_A$ 、 $\dot{U}_B$ 、 $\dot{U}_C$ ,电流电压相量图见图5所示。

$$\begin{aligned} \dot{U}_B &= \dot{U}_{dB} + \dot{I}_B Z_d, & \dot{U}_C &= \dot{U}_{dC} + \dot{I}_C Z_d \\ \dot{U}_A &= \dot{E}_A = \dot{U}_{dA}, & \dot{I}_B &= -\dot{I}_C \\ \dot{I}_B &\text{ 滞后于 } \dot{E}_{BC} \text{ 的相角为 } \alpha_s \text{ (近似为 } \alpha_d) \end{aligned}$$

$$\alpha_s = \arctg \frac{X_s + X_d}{R_s + R_d} \approx \arctg \frac{X_d}{R_d} = \alpha_d$$

由图5可见,加于继电器 $K_B$ 的电压 $\dot{U}_{KB} = \dot{U}_{CA}$ 、电流 $\dot{I}_{KB} = \dot{I}_B$ , $\dot{U}_{KB}$ 与 $\dot{I}_{KB}$ 间的夹角 $\alpha_{KB}$ 为

$$\alpha_{KB} = -(90^\circ - \alpha_d + \alpha)$$

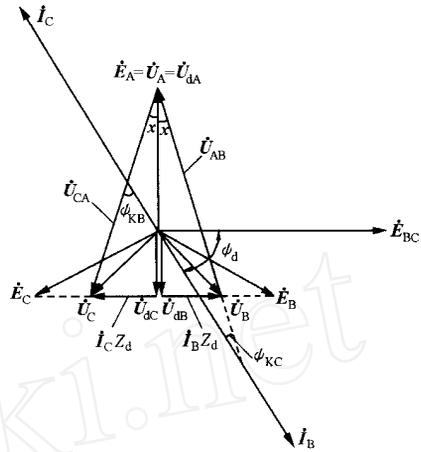


图5 正方向某任意点 BC 两相短路、电压电流相量图

由 $K_B$ 继电器的动作方程为

$$U_{CA} I_B \cos(\alpha_{KB} + \alpha) > 0$$

$$\text{即 } U_{CA} I_B \cos(\alpha_d - 90^\circ - \alpha + \alpha) > 0 \quad (3)$$

加于继电器 $K_C$ 的电压 $\dot{U}_{KC} = \dot{U}_{AB}$ 、电流 $\dot{I}_{KC} = \dot{I}_C$ , $\dot{U}_{KC}$ 与 $\dot{I}_{KC}$ 间的夹角 $\alpha_{KC}$ 为:

$$\alpha_{KC} = -(90^\circ - \alpha_d - \alpha)$$

则 $K_C$ 继电器的动作方程为

$$U_{AB} I_C \cos(\alpha_{KC} + \alpha) > 0$$

$$\text{即 } U_{AB} I_C \cos(\alpha_d - 90^\circ + \alpha + \alpha) > 0 \quad (4)$$

式(3)、式(4)中的 $\alpha$ 角在 $0^\circ < \alpha < 30^\circ$ 的范围内, $\alpha$ 角的具体值与两相短路点的位置有关,而短路点的位置是无法确定的,可以为正方向的任何点,因此 $\alpha$ 的具体值无法求出,不能直接利用式(3)、式(4)来求得继电器内角的最佳整定值。只能以两种极限情况(其一为正方向两相短路点十分靠近保护安装点、相当于 $\alpha = 0^\circ$ ,其二为正方向两相短路点离保护安装点很远且 $Z_s \rightarrow 0$ ,相当于 $\alpha = 30^\circ$ )分析之,找出在这两种极限情况下正方向两相短路时方向继电器能可靠动作的角整定值,那么该整定值必然也能保证在两相短路点位于正方向的任意点时(相当于 $0^\circ < \alpha < 30^\circ$ )方向继电器会可靠动作。以下对这两种极限情况进行分析。

2) BC 两相短路点靠近保护安装点且为正方向网络图见图(4),但 $Z_d \rightarrow 0$ ;电压电流相量图见图6所示。

$$\dot{U}_{dA} = \dot{U}_A = \dot{E}_A, \quad \dot{U}_{dB} = \dot{U}_B, \quad \dot{U}_{dC} = \dot{U}_C$$

$$\dot{I}_A = 0, \quad \dot{I}_B = -\dot{I}_C$$

$\dot{I}_B$  滞后于  $\dot{E}_{BC}$  的相角为:

$$\alpha_s = \arctg \frac{X_s + X_d}{R_s + R_d} = \arctg \frac{X_s}{R_s} \approx \arctg \frac{X_d}{R_d} = \alpha_d$$

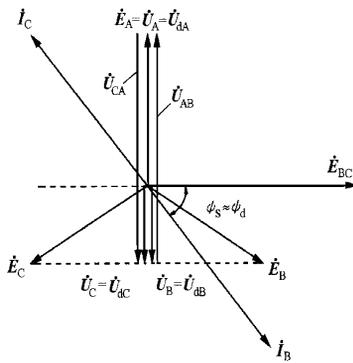


图6 正方向BC两相短路点靠近保护安装点的电压电流相量图

对于 K<sub>B</sub>:  $\dot{U}_{KB} = \dot{U}_{CA}$ ,  $\dot{I}_{KB} = \dot{I}_B$

$$K_B = \dot{U}_{CA} \wedge \dot{I}_B = - (90^\circ - \phi_d)$$

对于 K<sub>C</sub>:  $\dot{U}_{KB} = \dot{U}_{AB}$ ,  $\dot{I}_{KC} = \dot{I}_C$

$$K_C = \dot{U}_{AB} \wedge \dot{I}_C = - (90^\circ - \phi_d)$$

K<sub>B</sub> 的动作方程为:

$$U_{CA} I_B \cos(\phi_d - 90^\circ + \alpha) > 0 \quad (5)$$

K<sub>C</sub> 的动作方程为:

$$U_{AB} I_C \cos(\phi_d - 90^\circ + \alpha) > 0 \quad (6)$$

可见,式(5)、式(6)与式(2)完全相同,则由式(5)、式(6)得出的结论也与式(2)相同,即:

- (1) 不管  $\phi_d$  等于任何值,假若整定  $\alpha = 90^\circ - \phi_d$ ,则在保护安装点附近正方向两相短路时,  $\cos(\phi_d - 90^\circ + \alpha) = \cos 0^\circ = 1$ ,三个方向继电器中的两个及其“或”门出口动作的灵敏度最高;而且在保护安装点正方向不管任何地点三相短路时,三个方向继电器动作的灵敏度也都最高。

(2) 不管  $\phi_d$  (一般  $\phi_d$  值在  $0^\circ \sim 90^\circ$  之间) 等于任何值,假若整定  $\alpha$  在  $0^\circ < \alpha < 90^\circ$  范围内,则在保护安装点附近正方向两相短路以及正方向任何地点三相短路时,方向继电器的“或”门出口都能可靠正确动作。

3) 在保护安装点正方向很远处 BC 两相短路且  $Z_s \ll Z_d$

极限情况  $Z_s \rightarrow 0$ ,  $\dot{U}_A = \dot{E}_A = \dot{U}_{dA}$   
 $\dot{U}_B = \dot{E}_B - \dot{I}_B Z_s = \dot{E}_B$   
 $\dot{U}_C = \dot{E}_C - \dot{I}_C Z_s = \dot{E}_C$   
 $\dot{I}_A = 0, \quad \dot{I}_B = -\dot{I}_C$

电流电压相量图见图7所示。

对于 K<sub>B</sub>:  $\dot{U}_{KB} = \dot{U}_{CA}$ ,  $\dot{I}_{KB} = \dot{I}_B$ ,

$$K_B = - (90^\circ - \phi_d + 30^\circ) = \phi_d - 120^\circ$$

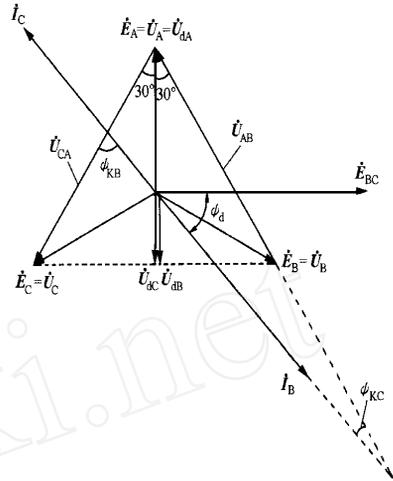


图7 正方向BC两相短路点距保护安装点很远 ( $Z_s \ll Z_d$ ) 的电压电流相量图

对于 K<sub>C</sub>:  $\dot{U}_{KC} = \dot{U}_{AB}$ ,  $\dot{I}_{KC} = \dot{I}_C$ ,

$$K_C = - (90^\circ - \phi_d - 30^\circ) = \phi_d - 60^\circ$$

K<sub>B</sub> 的动作方程为

$$U_{CA} I_B \cos(\phi_d - 120^\circ + \alpha) > 0 \quad (7)$$

K<sub>C</sub> 的动作方程为

$$U_{AB} I_C \cos(\phi_d - 60^\circ + \alpha) > 0 \quad (8)$$

由式(7)、式(8)可得:不管任何  $\phi_d$  情况, K<sub>B</sub> 能正确动作的条件为  $30^\circ < \phi_d < 120^\circ$ , K<sub>C</sub> 能正确动作的条件为  $\phi_d - 30^\circ < \phi_d < 60^\circ$ ;而同时满足式(7)、式(8)的角整定范围为  $30^\circ < \alpha < 60^\circ$ 。

### 3 保护相间短路的微机型方向继电器内角整定计算方法

归纳式(2)、(5)、(6)、(7)、(8),可得出保护相间短路的微机型方向继电器内角最佳整定计算方法为:

1) 对既定的输电线路(或其他的被保护对象如变压器等),  $\phi_d$  值为已知,欲使式(2)、(5)、(6)中的  $\cos(\phi_d - 90^\circ + \alpha)$  为正值最大(即为1),则必须

$$\phi_d - 90^\circ + \alpha = 0^\circ$$

即  $\alpha = 90^\circ - \phi_d$

所以内角  $\alpha$  的整定值  $\alpha_{zd} = 90^\circ - \phi_d$  (9)

2) 校验按式(9)计算得的  $\alpha_{zd}$  是否在下列范围内:

$$30^\circ < \alpha_{zd} < 60^\circ \quad (10)$$

(1) 如果按式(9)计算得的  $\alpha_{zd}$  在  $30^\circ < \alpha_{zd} < 60^\circ$  的范围内,则选用式(9)的计算值为整定值  $\alpha_{zd}$ 。

(2) 如果按式(9)计算得的  $\alpha_{zd} < 30^\circ$ ,则选用整

定值  $z_d = 30^\circ$ 。

(3) 如果按式(9)计算得的  $z_d > 60^\circ$ , 则选用整定值  $z_d = 60^\circ$ 。

以上述方法校验及选用  $z_d$  的目的是为了保证选用的  $z_d$  不但能满足式(2)、(5)、(6)的要求, 并能满足式(7)、(8)的要求, 而且又能达到正方向相间短路时方向继电器“或”门出口有尽可能高的灵敏度。

这种整定计算方法的优点是:

1) 按式(9)计算得  $z_d$ , 如果该  $z_d$  又满足式(10)的要求, 则选用该值作为内角  $\alpha$  的整定值。其优点是: 当保护安装处正方向任何地点三相短路或保护安装处正方向附近发生一切类型的两相短路时, 方向继电器的“或”门出口动作的灵敏度最高(即动作方程中的余弦值为“+1”); 而当保护安装处正方向其他任何地点发生一切类型的两相短路时, 方向继电器的“或”门出口也能可靠地动作(即动作方程中

的余弦值为正数, 但并非为“+1”)。

2) 如果按式(9)计算得的  $z_d < 30^\circ$ , 不满足式(10)的要求, 则选用  $z_d = 30^\circ$ ; 或者按式(9)计算得的  $z_d > 60^\circ$ , 也不满足式(10)的要求, 则选用  $z_d = 60^\circ$ 。这种整定结果与传统的模拟式方向保护只能在  $30^\circ$ 、 $45^\circ$  二者中选择其一为整定值的方法相比, 前者在正方向相间短路时的动作灵敏度也必定高于后者。

本文所述的  $z_d$  整定计算方法从根本上抛弃了传统的只在  $30^\circ$ 、 $45^\circ$  两值中任择其一为整定值的不合理的约束, 充分发挥了微机保护整定值可按动作方程的最佳考虑来设置的数字化优点。

参考文献:

- [1] 贺家李, 宋从矩. 电力系统继电保护原理(第二版). 水利电力出版社, 1985, 11.

### Study on interior angle setting calculation of microprocessor - based directional power relay

YAO Qing-lin<sup>1</sup>, YAO Wu<sup>2</sup>, ZHANG Xue - shen<sup>2</sup>

(1. Hefei Industrial University, Anhui 230009, China; 2. Xuchang Relay Research Institute, Henan 461000, China)

**Abstract:** There are only two set values ( $30^\circ, 45^\circ$ ) for interior angle of the stimulated directional power relay as the protection in phase to phase short circuit fault. An accurate setting formula for interior angle of the microprocessor - based directional power relay as the protection in phase to phase short - circuit fault is proposed and analyzed, users can set  $z_d$  as a calculation value or at least an optimum in the formula. Therefore the operation sensitivity and reliability of the directional relay would be improved greatly. The opinion is new and practical.

**Key words:** microprocessor - based protection; directional power relay; interior angle; set calculation

(上接第 8 页)

- [3] 王祖佑. 电力系统稳态运行计算机分析. 水利电力出版社, 1987.

- [4] 西安交通大学等. 电力系统计算. 水利电力出版社, 1978.

### Analysis of convergence of PQ load-flow for system with small impedance branches

YAO Yu-bin<sup>1</sup>, CAI Xing-guo<sup>1</sup>, CHEN Xue-yun<sup>1</sup>, GAI Zhi-wu<sup>2</sup>

(1. Harbin Institute of Technology, Harbin 150001, China; 2. Northeast China Forestry University, Harbin 150040, China)

**Abstract:** Analysis of the variation of the voltage magnitude and phase angle at both ends of small impedance branches is presented. This analysis is based on element equations of PQ decoupled load flow which has a good convergence for a system with small impedance branches. The analysis also demonstrates that the PQ decoupled load flow method may be used to develop fast, superior and robust algorithms.

**Key words:** PQ decoupled load flow; convergence; small impedance branches