

从整定图像谈中间品种的方案探索

江西省电力试验研究所 张旭俊

提 要

本文从整定图像入手，导出线路保护方案的评价指标，给出优选整定的程序，研究了电流元件的改进，并探讨了中间品种的方案拟制

在开式电网小接地系统中，由于距离保护结构复杂，线路主保护总希望首先能用简单保护来满足。由于系统运行方式的变化会导致电流、电压型的保护范围明显伸缩，严重的情况下甚至会失去保护区，人们已经感到“从设计、运行的观点看来，在电流保护与距离保护之间缺少一个中间品种……”^①。

本文从提出“整定图像”这一新概念入手，导出系统参数和各类保护评价指标之间的关系，探索“中间品种”，把保护从“简”到“繁”的梯阶给排出来，从而指出保护优选的整定方法。从整定图像可看出各种组合保护的弊端，从而为中间品种的方案探索指明方向。

一、简化模式

如图一，示出单端供电网络，它具有 x_m 、 x_r 、 Z_1 、 Z_4 四个特征参数。其中 X_m (X_r) 为系统最大(小)运行方式下的系统阻抗，因而有 $X_m < X_r$ 。 Z_1 为保护确保动作的有效保护区； Z_4 为保护可能超越的最大延伸范围。如图，对定时限速断而言，它必须确保全线，故 $Z_1 = Z_L$ ；它不能超越主变低压侧，故 $Z_4 = Z_L + Z_r$ 。对于任何一个实际问题，只要适当改变一下概念，总可转为如上的简化模式。

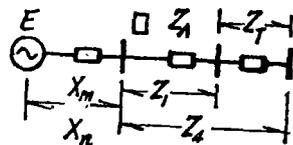


图 一

二、折角坐标

设系统阻抗为 x ，短路阻抗为 Z ，当 K^3 故障时，流过安装处的电流和残压可计算如下：

①：见“继电保护和自动装置设计技术规程SDJ6—76修订说明”

$$I_K = \frac{E}{X + Z} \quad (1)$$

$$U_K = \frac{E \cdot Z}{X + Z} \quad (2)$$

如暂时假定 x 、 Z 均为纯电抗^②，则就能用实数表徵它们的大小。如图二，以 x 作横轴， Z 作纵轴，它就是 (x, Z) 折角坐标，原点相当于保护安装处。设 I_D 、 U_D 为电流、电压型保护的整定值，则有：

1. 令 $I_K = I_D$ ，可得 I_D 线的轨迹方程是

$$X + Z = \frac{E}{I_D} = \text{常数} \quad (3)$$

它是一条倾角为 -45° 的斜线。

2. 令 $U_K = U_D$ ，可得 U_D 线的轨迹方程是

$$\frac{Z}{X} = \frac{U_D}{E - U_D} = \text{常数} \quad (4)$$

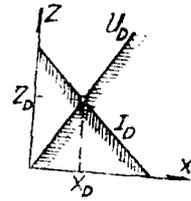
它是一条穿过坐标原点的直线。

如图二，电流型保护动作条件为 $I_K \geq I_D$ ，故它的动作区为 I_D 线以下的阴影区；电压型保护动作条件为 $U_K \leq U_D$ ，故它的动作区为 U_D 线以下的阴影区。

在折角坐标上 U_D 和 I_D 线交点的坐标可算出如下：

$$X_D = \frac{E - U_D}{U_D} Z_D; \quad Z_D = \frac{U_D}{I_D} \quad (5)$$

如果 U_D 、 I_D 是电流电压型保护的整定值，则 Z_D 是它的最大保护范围，而 X_D 是与 Z_D 对应的系统中运行方式的系统阻抗。



图二

三、A、M、B区

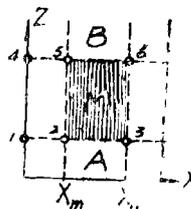
根据系统特征参数，如图三，在 (X, Z) 坐标上用虚线划出一个“井”字区。显然故障参数 (X, Z) 实际可能的点，只能落在 $X_m < X < X_n$ 的窄带范围内。根据必须的保护范围 Z_1 和允许伸缩的区间 Z_r ，我们进一步把窄带分成 A、M、B 三个区域。为了确保选择性要求：

- (1) 当 A 区内故障时，保护应可靠动作。
- (2) 当 B 区内故障时，保护应可靠制动。
- (3) 伸缩区 M 内故障时，保护动作与否，都不影响其选择性。

性。

在实例整定计算中，常引出灵敏系数 K_{sI} 、 K_{sU} 和避越系数 K_{HI} 、 K_{HU} 。设

② 详见后面整定公式 A 普遍性一段说明



图三

$$\left. \begin{array}{l} I_{\text{q}} > I_{\text{D}} > I_{\text{H}} \\ U_{\text{q}} < U_{\text{D}} < U_{\text{H}} \end{array} \right\} \quad (6)$$

为了概念统一, 所有 I 、 U 值均指 K^3 故障时的值, 并引出:

$$\frac{I_{\text{q}}}{I_{\text{D}}} = \frac{2}{\sqrt{3}} K_{\text{qI}}; \quad \frac{U_{\text{D}}}{U_{\text{q}}} = K_{\text{qU}} \quad (7)$$

$$\frac{I_{\text{D}}}{I_{\text{H}}} = K_{\text{HI}}; \quad \frac{U_{\text{H}}}{U_{\text{D}}} = K_{\text{HU}} \quad (8)$$

在折角坐标上, I_{q} 线称作电流灵敏线, 若 A 区位在灵敏线以下, 则电流元件就能以 K_{qI} 的灵敏系数可靠动作, 由于 $I_{\text{K}}^{(2)} = \frac{\sqrt{3}}{2} I_{\text{K}}$, 为了在 K^2 故障下确有 K_{qI} 的灵敏度, 故要求 $\frac{I_{\text{q}}}{I_{\text{D}}} = \frac{2}{\sqrt{3}} K_{\text{qI}}$, 这是唯一特殊的地方。同理 U_{q} 为电压灵敏线。

在折角坐标上, I_{H} 线称作电流避越线, 若 B 区位在避越线以上, 则电流元件就能以 K_{HI} 的避越系数可靠制动。同理 U_{H} 为电压避越线。

四、整定图像

为了以下书写方便, 在图三中还标出①、②、③、④、⑤、⑥六个点, 并以 Z_1 — Z_6 符号分别表示各点横、纵坐标之和, 即

$$\left. \begin{array}{l} Z_1 = Z_1; \quad Z_2 = X_{\text{m}} + Z_1; \quad Z_3 = X_{\text{s}} + Z_1 \\ Z_4 = Z_1 + Z_{\text{T}}; \quad Z_5 = X_{\text{m}} + Z_4; \quad Z_6 = X_{\text{s}} + Z_4 \end{array} \right\} \quad (9)$$

所谓整定图像, 系指各类保护在临界条件下的图像, 现分述于下:

(一) 电流保护 (I 型) 为了确保选择性, 要求:

1. I_{q} 线必须穿过③点, 即

$$I_{\text{q}} = \frac{E}{Z_3} = \frac{2}{\sqrt{3}} K_{\text{qI}} I_{\text{D}} \quad (10)$$

2. I_{H} 线必须穿过⑤点, 即

$$I_{\text{H}} = \frac{E}{Z_5} = \frac{I_{\text{D}}}{K_{\text{HI}}} \quad (11)$$

联解上述两式可得:

$$\Pi_{\text{I}} = K_{\text{qI}} K_{\text{HI}} = \frac{\sqrt{3}}{2} \frac{Z_5}{Z_3} \quad (12)$$

其中 Π_{I} 称作电流元件的储备模数, 根据可靠系数均等分配的观点, 即 $K_{\text{qI}} = K_{\text{HI}}$, 可引出电流保护的评价指标 K_{I} 为:

$$K_{\text{I}} = \sqrt{\Pi_{\text{I}}} = \sqrt{\frac{\sqrt{3}}{2} \frac{Z_5}{Z_3}} \quad (13)$$

电流保护的整定图像见表中附图, 在 I_{q} 和 I_{H} 线之间称保护的非可靠区, 它应位

在允许伸缩区M内。为了满足可靠性，一般应有 $K_I > 1.3$ 。

(二) 电压保护(U型)为了确保选择性, 要求:

1. U_V 线必须穿过②点, 即

$$U_V = \frac{E Z_1}{Z_2} = \frac{U_D}{K_{UV}} \quad (14)$$

2. U_H 线必须穿过⑥点, 即

$$U_H = \frac{E Z_4}{Z_6} = K_{HV} U_D \quad (15)$$

联解上述两式可得,

$$\Pi_U = K_{UV} K_{HV} = \frac{Z_4 Z_2}{Z_1 Z_6} \quad (16)$$

同理可引出电压保护的评价指标 K_U 为:

$$K_U = \sqrt{\Pi_U} = \sqrt{\frac{Z_4 Z_2}{Z_1 Z_6}} \quad (17)$$

(三) 电流电压保护(V型)为了确保选择性, 要求:

1. 灵敏性要求A区必须同时位在 I_V 线和 U_V 线动作区以内, 即要求(10)和(14)式必须同时满足。

2. 避越性要求B区必须不落在 $U_H \cdot I_H$ 的逻辑“和”区域内。在图像上看, 它要求 U_H 线和 I_H 线的交点纵坐标应等于 Z_4 , 由(5)式可知它应符合:

$$Z_H = \frac{U_H}{I_H} = Z_4 = K_{HV} K_{HI} \frac{U_D}{I_D} = K_{HV} K_{HI} Z_D \quad (18)$$

联解(10)、(14)、(18)式可得入型保护的储备模数 Π_Λ 如下:

$$\Pi_\Lambda = K_{VI} K_{UV} K_{HV} K_{HI} = \frac{\sqrt{3}}{2} \frac{Z_2 Z_4}{Z_1 Z_3} \quad (19)$$

由表中附图可见, 这个保护在整定图像上的边界具有“入”字的形状, 故亦以此简称之。

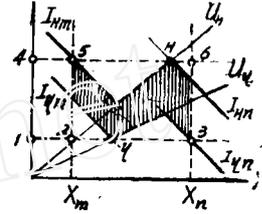
由于 Z_D 是 U_D 线和 I_D 线相交点的短路阻抗, 依照距离保护的整定方式, 只要 $\frac{Z_4}{Z_D} = K_H = K_{HV} K_{HI}$ 能大于1.2~1.3也就可满足要求, 因而评价指标可按 $K_{VI} = K_{UV} = K_H$ 的条件来确定, 即

$$K_\Lambda = \sqrt[3]{\Pi_\Lambda} = 3\sqrt{\frac{\sqrt{3}}{2} \frac{Z_2 Z_4}{Z_1 Z_3}} \quad (20)$$

为了更可靠地避越, 也可按 $K_{VI} = K_{UV} = K_{HI} = K_{HV}$ 的条件来确定评价指标, 特称之为 $K_{\Lambda H}$, 有:

$$K_{\Delta H} = \sqrt[4]{\Pi_{\Delta}} = \sqrt[4]{\frac{\sqrt{3} Z_2 Z_4}{2 Z_1 Z_3}} \quad (21)$$

(四) 组合保护(N型) 组合保护的逻辑可表示为: $I_Z = U I_n + I_m$, 它是由 $U \cdot I_n$ 保护和 I_m 保护并联输出构成, 且整定值 $I_m \gg I_n$ 。为了确保选择性, 如图四作为临界条件要求:



图四

1. 灵敏性要求 A 区应位在 $U I_n + I_m$ 组合保护的灵敏线以下, 即

(1). I_{Qn} 线必须穿过③点, 即

$$I_{Qn} = \frac{E}{Z_3} = \frac{2}{\sqrt{3}} K_{Qn} I_D \quad (22)$$

(2). U_Q 线和 I_{Qm} 线交点的短路阻抗 Z_Q 应该等于 Z_1 , 即

$$Z_Q = \frac{U_Q}{I_{Qm}} = Z_1 = \frac{\sqrt{3}}{2} \frac{U_D}{I_D} \frac{1}{K_{Qn} K_{Qm}} \quad (23)$$

2. 避越性要求 B 区应位在 $U I_n + I_m$ 组合保护的避越线以上, 即

(1). I_{Hm} 线必须穿过⑤点, 即

$$I_{Hm} = \frac{E}{Z_5} = \frac{I_D^*}{K_{Hm}} \quad (24)$$

(2). U_H 线和 I_{Hn} 线交点的短路阻抗 Z_H 应该等于 Z_4 , 即

$$Z_H = \frac{U_H}{I_{Hn}} = Z_4 = K_{Hu} K_{Hn} \frac{U_D}{I_D} \quad (25)$$

联解(22)~(25)各式, 可得 N 型保护的储备模数为:

$$\Pi_N' = K_{Qn} K_{Qm} K_{Qn} K_{Hu} K_{Hn} K_{Hm} = \frac{3 Z_5 Z_4}{4 Z_3 Z_1} \quad (26)$$

同理若把 $K_H = K_{Hu} K_{Hn}$ 合作一个, 可得 N 型保护的评价指标 K_N 为

$$K_N = \sqrt[4]{\Pi_N} = \sqrt[4]{\frac{3 Z_5 Z_4}{4 Z_3 Z_1}} \quad (27)$$

同理为了更可靠地避越, 也可按全部可靠系数均等分配的原理, 来确定 K_{NH} 评价指标如下:

$$K_{NH} = \sqrt[6]{\Pi_N} = \sqrt[6]{\frac{3 Z_5 Z_4}{4 Z_3 Z_1}} \quad (28)$$

五、方案梯阶

如表一、表二给定整定方案梯阶表, 依保护复杂程度排队, 它们分别是: U 、 I 、 I_{Δ}^{-} 、 Δ 、 Δ_{Δ} 、 N 、 N_{Δ}^{-} 、 Z 等八种。其中:

(1). U 和 I 为同阶保护, 即复杂程度相当, 为避免 U 型保护因电压回路断线而造成误动, 只需用过流保护的瞬动接点去闭锁它。

(2). Z 为距离保护, 虽有最好的评价指标, 但因结构复杂应尽可能避免采用。

(3). I_{Δ} 、 Λ_{Δ} 、 N_{Δ} 为派生方案。其特点是电流元件对同一地点的 K^2 、 K^3 故障具有相同的灵敏度, 它可由特殊设计的半导体保护完成; 也可由三只电流继电器接在 Y/Δ 中间变流器后而构成。它将使 I_{Δ} 、 Λ_{Δ} 的储备模数增加 $\sqrt{\frac{2}{3}}$ 倍, 使 N_{Δ} 的储备模数增加 $\frac{4}{3}$ 倍。

(4). 从表一整定图像可见, 方案的复杂化将使保护对系统运行方式大变化时的适应性增加。

(5). 一次动作整定值算式如表二所示, 在依评价指标选择最佳方案后, 如果需要, 在确定具体整定值时, 还可根据侧重倾向, 对全部可靠系数进行再分配, 但它们的连乘积必须等于储备模数——它是由系统参数按表一公式计算而确定的^⑥。

整定公式的普遍性: 管理导出评价指标过程中借助了整定图像的概念(它需要假定所有阻抗为纯感抗), 但在推导整定计算公式时, 对阻抗 Z_1 、 \dots 、 Z_n 是没有附加条件限制的, 因而它完全可以扩充至全阻抗的概念。读者通过和已知一些整定公式细心对比后, 是不难信服的。

六、实例计算

如表三举出两例, 均属简化模式, 系统参数 Z_1 、 X_m 、 X_n 、 Z_T 是按复数形式给出的。

例一: 令人感兴趣的是: 最简单的 U 型保护就取得了很高的评价指标 $K_u = 1.615$ 。此例中存在 $K_u > K_{\Delta} > K_N$, 即保护评价指标的次序和保护复杂程度次序正相反, 初看起来颇令人费解。其实它表明在此系统参数条件下, 对采用电压元件指标有利, 而对采用电流元件指标不利, 由于评价指标是按可靠系数均等的前提推出的, 因而每多用一个电流元件, 将使电压元件的可靠系数多受一次牵连, 反而使总评价指标降低。由此可见, 对一组具体系统参数而言, 并不是保护愈复杂它的评价指标就愈高, 这正是优选整定法需要发挥作用的地方。

为了正确理解这一点, 可借助于整定图像。如图五, 从灵敏线和避越线之间的间隔, 一看可知, 对此例有 $K_I \ll K_u$ 。当采用 Λ 型保护时, 其避越线变为 I_H' 和 U_H' , 它们相交于 H 点, 若有 $K_I < K_{\Delta} < K_u$ 的倒置现象, 则 H 点必位在 (X_m, X_n) 窄带区之外, 如图五所示。对有效的 (X_m, X_n) 区内而言, Λ 型保护的避越边界实只相当于 U 型, 这种现象简称为边界不同型。通过仔细分析可得出严格的**边界不同型判据**如下:

若评价指标存在下列两种倒置现象之一者, 则在 Λ 型、 N 型整定图像上将呈现边界不同型。这两种倒

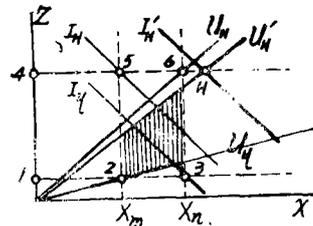


图 五

表一 评价标准和整定图像

编号	方案名称	逻辑表达式	储备模数	评价指标	整定图像
1	U	U	$\Pi_U = \frac{Z_2 Z_4}{Z_6 Z_1}$	$K_U = \sqrt{\Pi_U}$	
2	I	I	$\Pi_I = \frac{\sqrt{3}}{2} \frac{Z_5}{Z_3}$	$K_I = \sqrt{\Pi_I}$	
3	IΔ	IΔ	$\Pi_{I\Delta} = \frac{Z_5}{Z_3}$	$K_{I\Delta} = \sqrt{\Pi_{I\Delta}}$	
4	Λ	UI	$\Pi_{\Lambda} = \frac{\sqrt{3}}{2} \frac{Z_2 Z_4}{Z_3 Z_1}$	$K_{\Lambda} = \sqrt[3]{\Pi_{\Lambda}}$	
5	ΛΔ	UIΔ	$\Pi_{\Lambda\Delta} = \frac{Z_2 Z_4}{Z_3 Z_1}$	$K_{\Lambda\Delta} = \sqrt[3]{\Pi_{\Lambda\Delta}}$	
6	N	UIIn + Im	$\Pi_N = \frac{3}{4} \frac{Z_5 Z_4}{Z_3 Z_1}$	$K_N = \sqrt[5]{\Pi_N}$	
7	NΔ	UIInΔ + ImΔ	$\Pi_{N\Delta} = \frac{Z_5 Z_4}{Z_3 Z_1}$	$K_{N\Delta} = \sqrt[5]{\Pi_{N\Delta}}$	
8	Z	Z	$\Pi_Z = \frac{Z_4}{Z_1}$	$K_Z = \sqrt{\Pi_Z}$	

表二

整定算式和储备模数再分配

方案名称	逻辑表达式	一次动作整定值标准式	储备模数再分配
U	U	$U = K_{\text{qu}} \frac{Z_1}{Z_2} U_0$	$\Pi_U = K_{\text{qu}} K_{HU}$
I	I	$I = K_{HI} \frac{I_0}{Z_5}$	$\Pi_I = K_{\text{qu}} K_{HI}$
I_Δ	I_Δ	$I_\Delta = K_{HI} \frac{Z_6}{Z_5}$	$\Pi_\Delta = K_{\text{qu}} K_{HI}$
\wedge	UI	$U = K_{\text{qu}} \frac{Z_1}{Z_2} U_0$	$\Pi_\wedge = K_{\text{qu}} K_{\text{qu}} K_H$
		$I = \frac{\sqrt{3}}{2} \frac{I_0}{K_{\text{qu}} Z_3}$	其中 $K_H = K_{HU} K_{HI}$
\wedge_Δ	UI_Δ	$U = K_{\text{qu}} \frac{Z_1}{Z_2} U_0$	$\Pi_{\wedge_\Delta} = K_{\text{qu}} K_{\text{qu}} K_H$
		$I = \frac{I_0}{K_{\text{qu}} Z_3}$	其中 $K_H = K_{HU} K_{HI}$
		$I_n = \frac{\sqrt{3}}{2} \frac{I_0}{K_{\text{qu}} Z_3}$	$\Pi_N = K_{\text{qu}} K_{\text{qu}} K_{\text{qu}} K_{Hm} K_H$
N	$UI_n + I_m$	$U = \sqrt{3} I_n Z_4 Z_6 / K_H$	其中 $K_H = K_{Hn} K_{Hu}$
		$I_m = K_{Hm} \frac{I_0}{Z_5}$	
N_Δ	$UI_{n_\Delta} + I_{m_\Delta}$	$I_{n_\Delta} = \frac{I_0}{K_{\text{qu}} Z_3}$	$\Pi_{N_\Delta} = K_{\text{qu}} K_{\text{qu}} K_{\text{qu}} K_{Hm} K_H$
		$U = \sqrt{3} I_{n_\Delta} Z_4 Z_6 / K_H$	其中 $K_H = K_{Hn} K_{HU}$
		$I_{m_\Delta} = K_{Hm} \frac{I_0}{Z_5}$	
Z	Z	$Z = Z_4 Z_6 / K_{HZ}$	$\Pi_Z = K_{\text{qu}} K_{HZ}$

③：表一、表二中、 Z_1, \dots, Z_6 均采用标么值。

表 三

		例 一	例 二			例 一	例 二
系 统 参 数	Z_1	$0.306 + j0.434$	$0.54 + j0.706$	评 价 指 标	K_U	1.615	1.700
	X_m	12.247	11.034		K_I	1.183	1.101
	X_n	12.570	12.048		$K_{I\Delta}$	1.276	1.183
	Z_T	12.230	12.160		K_{Δ}	1.576	1.228
计 算 阻 抗 模 值	Z_1	0.531	0.889		$K_{\Delta\Delta}$	1.655	1.286
	Z_2	2.698	1.821		K_N	1.440	1.281
	Z_3	3.020	2.805		$K_{N\Delta}$	1.525	1.358
	Z_4	2.681	2.916		K_Z	2.250	1.81
	Z_5	4.920	3.936		方 案 选 择	$K_U = 1.615$	$K_N = 1.281$
	Z_6	5.243	4.943				$K_{\Delta\Delta} = 1.286$

置现象是:

$$(1). K_U > K_{\Delta H} > K_{NH}$$

$$(2). K_I > K_{\Delta H} \text{ (参见公式(21), (28))}$$

虽则对例一复阻抗情况下, 难以应用整定图像的概念, 但在本质上仍能用边界不同型判据来粗略解释: 由于边界不同型, 保护复杂化不但没有带来对系统变化的适应性增加, 反而导致评价指标的无谓的降低, 所以不可取。

例二: 由于系统运行方式变化大, 评价指标在 1.25 以上较简单的保护有: $K_{\Delta\Delta} = 1.286$ 和 $K_N = 1.281$ 。对常规保护而言, 我们倾向于选 K_N , 若是特制半导体保护则可选 K_{Δ} 。

七、中间品种的探索

从整定图像看, 距离保护的优点在于它的整定边界是一条水平线, 因而评价指标最高。但电流、电压等组合保护, 却因整定边界的锯齿边棱过于陡峻(“电流棱”和横轴交角 -45° , “电压棱”的延线必经坐标原点), 致使保护的不可靠区不能有效地压缩, 影响了评价指标的提高。由此可见, 改进弊端的关键应使“边棱”变坦。带电压制动的电流保护能具有这一特点, 它相当于近似距离保护方案。它的动作方程可写出为:

$$\Delta u = \left| \dot{I} Z_Y \right| - \left| K \dot{U} \right| > \left| \dot{I}_P Z_Y \right| \quad (29)$$

它和全阻抗继电器的差别在于有门坎 $\left| \dot{I}_P Z_Y \right|$ 。当 $\dot{U} = 0$ 时, (29)式就转为

$$I > I_P \quad (30)$$

其中 I_P 为无制动电压下的电流动作值。

一般情况下, (29)式是具有制动电压的电流保护, 简称“中间品种”, 引用公式(1)、(2)可得“中间品种”的边界方程为:

$$\frac{EZ_Y}{X+Z} - \frac{KE \cdot Z}{X+Z} = \frac{EZ_Y}{Z_P} \quad (31)$$

其中 $Z_P = \frac{E}{\dot{I}_P}$, 经化简后可得:

$$\frac{Z_Y}{Z_P} X + \frac{KZ_P + Z_Y}{Z_P} Z = Z_Y \quad (32)$$

在折角坐标上(32)式是一条倾斜的直线, 现讨论如下:

(1). 当出口短路时, 即 $Z = 0$, 可得 $X_A = Z_P$

(2). 假定系统为无穷大电源, 即 $X = 0$, 可得 $Z_B = \frac{Z_P Z_Y}{KZ_P + Z_Y}$ 它相当于全电压制动下的保护范围, 若以 I_u 表示全电压下的动作电流, 它应为

$$I_u = \frac{E}{Z_B} = \frac{E(KZ_P + Z_Y)}{Z_P Z_Y} \quad (33)$$

由 $Z_B < X_A$ 可知, 中间品种的整定边界是一条较为平坦的斜线, 参见图六。

(3). 在最大运行方式下, 即 $X = X_m$, 由(32)式可解出交点的纵坐标 Z_H , 且它应满足避越的条件, 于是有

$$Z_H = \frac{(Z_P - X_m) Z_Y}{KZ_P + Z_Y} = \frac{Z_A}{K_H} \quad (34)$$

(4). 在最小运行方式下, 即 $X = X_n$, 由(32)式可解出交点的纵坐标 Z_q , 且它应满足灵敏度条件, 于是有

$$Z_q = \frac{(Z_P - X_n) Z_Y}{KZ_P + Z_Y} = K_q Z_1 \quad (35)$$

由(34)/(35)可得中间品种的储备模数为:

$$\Pi_\Phi = K_q K_H = \left(\frac{Z_A}{Z_1} \right) \frac{Z_P - X_n}{Z_P - X_m} \quad (36)$$

根据均等分配的原则, 即 $K_H = K_q$, 可得中间品种的评价指标为:

$$K_\Phi = \sqrt{\Pi_\Phi} = \sqrt{\left(\frac{Z_A}{Z_1} \right) \frac{Z_P - X_n}{Z_P - X_m}} \quad (37)$$

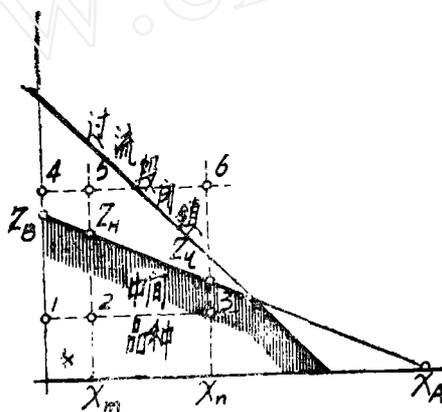
依(34) × (35)可得均等分配的条件为

$$\frac{K_q}{K_H} = \frac{(Z_P - X_m)(Z_P - X_n) Z_Y^2}{(KZ_P + Z_Y)^2 Z_1 Z_A} = 1 \quad (38)$$

代入关系(33), 可得 I_u/I_P 在均等分配时应满足的条件为:

$$\frac{I_u}{I_p} = \sqrt{\frac{(Z_p - X_m)(Z_p - X_n)}{Z_1 Z_4}} \quad (39)$$

由(37)可知,适当整定 Z_p 就能使 $K_{中}$ 达到一定的要求。若 $Z_p \rightarrow \infty$,公式(37)就蜕化为距离保护的评价指标,同时也产生了失压下会误动的问题。若 Z_p 有界,且 $I_p = \frac{E}{Z_p}$ 大于过流段的整定值,则中间品种就不存在失压误动的问题。若 I_p 小于第二段过流整定值,则中间品种仍需采用过流段的闭锁,其整定图像如图六。



图六 中间品种的整定图像

为了达到均等分配的理想状态, I_u 和 I_p 的动作值必须符合(39)式。若不能满足(39)式的关系,则避越系数和灵敏系数分别可由(34)、(35)及(33)推出如下:

$$K_H = \left(\frac{I_u}{I_p} \right) \frac{Z_4}{Z_p - X_m} \quad (40)$$

$$K_Q = \left(\frac{I_p}{I_u} \right) \frac{Z_p - X_n}{Z_1} \quad (41)$$

八、中间品种的方案抑制

如图七是中间品种方案的一种设想,它的内容分两部分:

1. 以中间品种作速断或Ⅱ段
2. 以纯电流作过流段或Ⅱ段

(一) 电流元件的改进

如图设计电流元件具有三相电流统一整定,且对同一地点 K^3 、 K^2 故障能具有相同的灵敏度的优点

因为三只电流变压器,分别通入 \dot{I}_A , $-(\dot{I}_A + \dot{I}_C)$, \dot{I}_C 三相电流,可避开B相故障,故可有2/3机会只跳一接地点。二次电压线圈Y接,经三相全波整流、电容储

峰、统一电位器整定，经稳压管门坎输入到触发级。现分析特性如下：

(1). K^3 时，由于三相电流相等，且彼此相差 120° 角，故二次电压输出为 $U_{AB} = U_{BC} = U_{CA} = \sqrt{3} I_K Z$

(2). K^2 时，由于两相电流相差 180° ，以 K^{BC} 为例，二次电压输出为 $U_{BC} = 2U_{AB} = 2U_{CA} = 2I_K^{(2)} Z = \sqrt{3} I_K Z$ ，其中 $I_K^{(2)} = \frac{\sqrt{3}}{2} I_K$ 。

可见输入到三相整流桥中最大一个线电压 U_{BC} 对 K^3 、 K^2 而言都是相同的，因而整流后的峰值相同。但 K^3 时整流波形平滑，有 $U_{峰} = 1.05U_{均}$ ； K^2 时整流波形波峰大，有 $U^{(2)}_{峰} = 1.57U_{均}$ 。

由于如图接线具有 $U_{峰} = U^{(2)}_{峰}$ ，因而只要触发级能按峰值触发动作，就能对同一地点的 K^3 、 K^2 故障具有相同的灵敏度。

如图所示的触发级，正好具有按峰动作的特点。究其原因，是由于 C_3 的储峰、稳压管的门坎、抗干扰电容 C_4 的延时展宽作用等三个因素的综合作用^④。一组试验数据表明，此电路其整流电压的动作值对 K^3 、 K^2 故障时分别为：

1. K^3 故障时 $U_{动作 \cdot 峰} = 1.05U_{动作 \cdot 均} = 1.05 \times 11V = 11.6V$

2. K^2 故障时 $U^{(2)}_{动作 \cdot 峰} = 1.57U^{(2)}_{动作 \cdot 均} = 1.57 \times 7.5V = 11.8V$ 可见对 K^3 、 K^2 故障时，其峰值动作电压同为 $11.6 \sim 11.8V$ 左右。此外它们对三种两相短路具有完全的对称性。

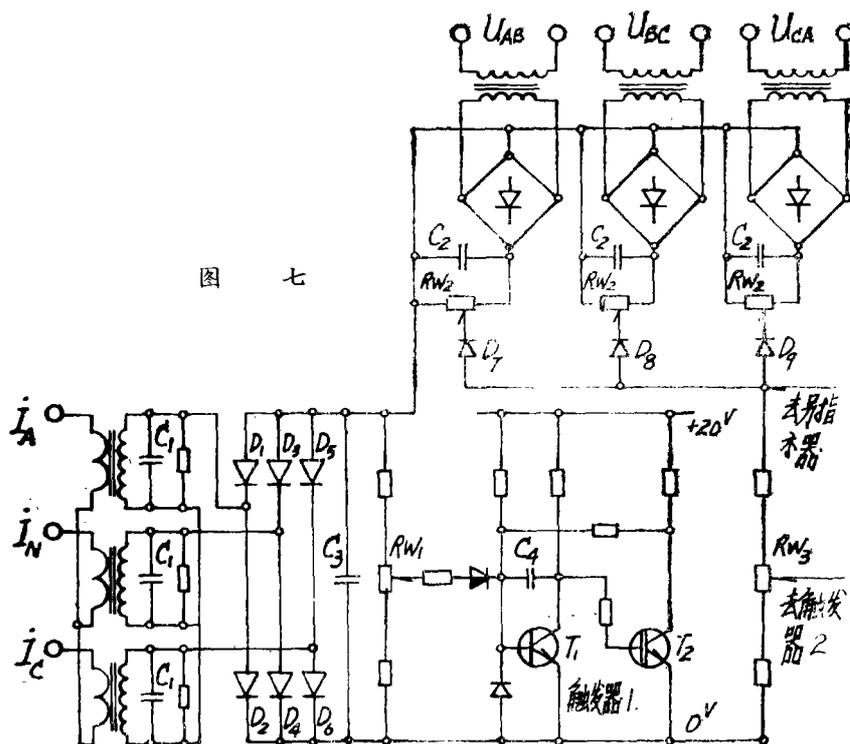


图 七

④ 也可按“发电机、变压器晶体管型保护继电器原理”图8—17构成。

(二) 中间品种接线

如图七,三个线电压经隔离变压器、整流滤波构成三个可调的制动电压。在 $|\dot{I}Z_Y - \dot{U}_{AB}|$, $|\dot{I}Z_Y - \dot{U}_{BC}|$, $|\dot{I}Z_Y - \dot{U}_{CA}|$ 的三个臂中,由二极管 $D_1 \sim D_3$ 构成最大值输出器。当 K^{BC} 时, $|\dot{I}Z_Y - \dot{U}_{BC}|$ 臂电压最大,故此项电压输至整定电位器 RW_3 ,从而构成了故障相补偿电压的输出,即 $|\dot{I}Z_Y - K\dot{U}|$ 。其中 K 是制动电压的抽取系数,它由三只 RW_2 电位器分相整定。此项电压经稳压管的门坎,送向触发级 2,调节 RW_1 就能改变无制动电压下的电流动作值 I_P 。此后再调节 RW_2 就能改变全电压制动下的电流动作值 I_u ,从而达到中间品种的整定。

有时为了简便,我们可以分别用调整 K 和 Z_P 把中间品种做成两段式。

例如,若第 II 段按距离保护整定,应选用另指示器作触发级,调节 RW_2 ,即调节 K 值使 $|\dot{I}Z_Y| - |K\dot{U}| = 0$,它是一条水平线,且

$$Z_{HII} = \frac{Z_Y}{K}$$

此时第 I 段就按带制动电压的电流保护整定,调节 RW_3 ,调节 Z_P 可有:

$$Z_{HI} = \frac{Z_Y(Z_P - X_m)}{KZ_P + Z_Y} < \frac{Z_Y}{K}$$

根据系统情况可事先确定 I、II 段的最大允许延伸范围 Z_{HI} , X_{HII} ,并验算可靠保护区的灵敏系数。

中间品种也可按相序分量构成全阻抗继电器,其动作方程为

$$|\dot{I}_1 Z_Y| + |\dot{I}_2 Z_Y| + |\dot{U}_2| - |\dot{U}_1| > |\dot{I}_P Z_Y|$$

由于这种结构,电流、电压均能做到三相统一整定,因而 I、II 段均可直接构成距离保护,而不必构成门坎式的近似距离保护。它的缺点在于采用了相序滤波器,结构稍繁,且三相之间总存在一些整定值不对称问题。

对需要方向元件闭锁的复杂线路保护而言,宜直接采用方向阻抗继电器。