

# 对 BCH—1 型差动保护整定计算方法的分析

四川宜宾供电局 陈代云

## 前言

BCH—1型差动继电器，常用作双卷或三卷变压器的差动保护。原有的整定计算方法，常需进行两个以上的方案的整定计算，在核算保护装置的灵敏系数不满足时，计算工作还需重新进行。因而可能要作大量的计算工作后，才能选择出较好的实施方案。

本文从研究影响保护装置的灵敏系数的因素着手，从理论分析的角度，提出选择较好的整定计算方法的方法，并讨论了整定计算中的有关问题及其相互联系。

限于篇幅，本文对原有的整定计算方法不再赘述，请参阅水电部印发的《BCH型差动继电器检验导则》（附整定计算方法）。

## 一、影响保护装置灵敏系数的因素及其计算方法

BCH—1型差动保护的灵敏系数，可以用计算方法求取，方法如下：

建立坐标系如图1。

$$\begin{cases} X = AW_T \text{ (制动安匝)} \\ Y = AW_P \text{ (工作安匝)} \end{cases}$$

制动特性曲线可以用图1中的直线近似地表示。其中使用最安全（即最低）的一条

$$\text{制动曲线的斜率：} K = \frac{252 - 60}{280} \approx 0.69$$

$$\text{用方程表示为：} y = 0.69x + 60 \quad (1)$$

$$\text{或：} x = 1.45y - 87 \quad (2)$$

设制动线圈所在侧的负荷电流产生的制动安匝： $AW_B = I_B W_T = x_1$  这时： $AW_P = 0$

在最小运行方式下，内部两相短路时的制动安匝及工作安匝： $AW_T = x_2$ ， $AW_P = y_2$ 。

由此得到两点： $(x_1, 0)$ ， $(x_2, y_2)$

$$\text{建立两点式方程} \quad \frac{y}{y_2} = \frac{x - x_1}{x_2 - x_1}$$

$$\text{解得：} x = \frac{x_2 - x_1}{y_2} y + x_1 \quad (3)$$

$$\text{联解(2)、(3)两式得: } y = \frac{x_1 + 87}{1.45 - \frac{x_2 - x_1}{y_2}} \quad (4)$$

(4)式为(2)、(3)两式表示的两条直线的交点的纵坐标:  $y = \Delta W_{CP}$  (见图1), 它是核算灵敏系数用的动作安匝。

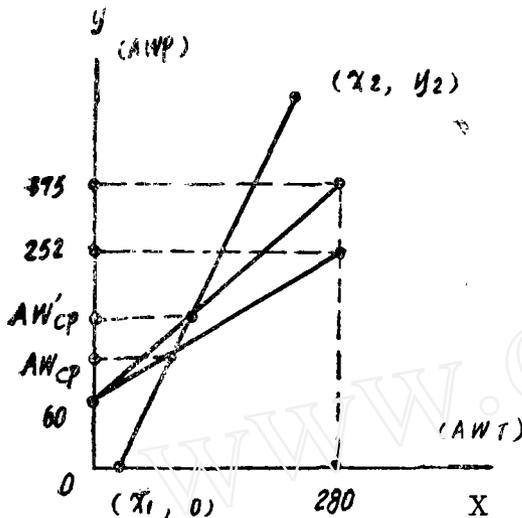


图1 制动特性曲线图

将(4)式改写为(5)式:

$$\Delta W_{CP} = \frac{I_H W_T + 87}{1.45 - \frac{I_{TK.P} W_T}{\Delta W_T}} \quad (5)$$

制动安匝是由负荷电流与短路电流产生:

$$\text{即: } \Delta W_T = I_H W_T + I_{TK.P} W_T \quad (6)$$

$I_{TK.P}$ ——所计算的内部故障时流过制动线圈的电流。

化简(5)式:

$$\Delta W_{CP} = \frac{I_H W_T + 87}{1.45 - \frac{I_{TK.P} W_T}{\Delta W_T}} \quad (7)$$

$$\text{灵敏系数: } K_T = \frac{\Delta W_P}{\Delta W_{CP}} \quad (8)$$

据(7)、(8)式有:

$$K_T = \frac{1.45 \Delta W_P - I_{TK.P} W_T}{I_H W_T + 87} \quad (9)$$

在应用中可以按(7)、(8)两式核算灵敏系数, 它可以直接按(9)式求取灵敏系数。要求:  $K_T < 2$ 。

当  $I_{TK.P} W_T > 150$  安匝时, 使用最高一条制动曲线按(10)式核算  $K_T$ 。

$$K_T' = \frac{\Delta W_P}{\Delta W_{CP}'} = \frac{0.89 \Delta W_P - I_{TK.P} W_T}{I_H W_T + 53} \quad (10)$$

要求:  $K_T' < 1.1 \sim 1.15$

$$\text{制动系数: } K_T = \frac{I_P}{I_T} = K_H \left( \frac{I_{HB}}{I_{TK}} \right)_{M.H.H} \quad (11)$$

$$W_T = \frac{K_T (W_H + W_T)}{n} = \frac{K_H I_{HB} (W_H + W_T)}{n I_{TK}} \quad (12)$$

其中:  $I_{HB} \cdot M.H.H$ ——最大不平衡电流(一次值)。

$I_{TK} \cdot M.H.H$ ——外部故障时流经接制动线圈侧的短路电流最大值(一次值)。

$K_H$ ——可靠系数, 可取  $1.3 \sim 1.5$

$n$ ——最低的一条制动曲线的切线斜率, 一般取  $n = 0.9$ 。

依据(9)、(12)两式, 我们可以很方便地对影响灵敏系数的因素进行分析。

对于核算某一侧内部短路时的灵敏系数而言, 由于网络参数及变压器阻抗值已确

定，故该侧最小运行方式下两相短路时产生的工作安匝 $AW_T$ 为确定的量。 $I_H W_T$ 对灵敏系数有影响，但由于各侧电流互感器二次侧额定电流 $I_H$ 值相差不大，故该项不起主要作用。对灵敏系数影响起主要作用的一项是 $I_{TK} \cdot W_T$ ，它是内部故障时的制动安匝数。当 $I_{TK} \cdot W_T$ 或 $I_H W_T$ 增大时，灵敏系数降低。从提高灵敏系数的角度看，我们希望内部故障时经制动线圈侧送出的短路电流 $I_{TK}$ 较小，这说明制动线圈应选在小电源侧。同时也希望 $W_T$ 较小，这就要求 $I_{TK}$ 的值较大，说明制动线圈应选在外部短路电流最大的一侧。这两点符合外部故障时要求制动作用强而内部故障时则相反的原则。由于计算中除要求灵敏系数合格外，还要兼顾到外部故障时的制动效果，所以制动线圈 $W_T$ 的匝数要选择适当，这一点，我们留待以后叙述。

从(9)、(12)两式中还可以看出 $I_{HB}$ 、 $K_H$ 增大时，都要使 $W_T$ 增大而灵敏系数下降。但当被保护的变压器、C·T及平衡线圈匝数确定后， $I_{HB}$ 即为一确定的量， $K_H$ 可在1.3~1.5之间选择，当灵敏系数不足时，应选较低的 $K_H$ 值。

## 二、实施方案的选择原则

前面我们讨论中提到，制动线圈应选在小电源侧及外部短路电流最大的一侧。如果变压器某一侧为负荷侧（即无电源，我们即视为小电源的极限情况，在内部故障时该侧送出的短路电流 $I_{TK} = 0$ ，这时，制动线圈应接在负荷侧。

关于小电源侧与外部短路电流最大的一侧是否矛盾的问题，在一般情况下，这两个条件是统一的。显而易见，当小电源侧外部短路时，是由大、中电源共同供出短路电流 $I_x$ （见图2），该 $I_x$ 值在大多数情况下就是最大的外部短路电流，但由于变压器各侧阻抗参数的影响，在有些情况下可能例外。遇到这种情况我们可以用(9)式很方便地进行灵敏系数的核算从而选择较好的实施方案。

在有些情况下，为了增强外部短路时的制动作用，欲将制动线圈选在大电源侧，只要经过(9)式核算灵敏系数合格，也是允许的。

从增强制动效果看，需要采用较大的 $K_T$ 值，以增大 $W_T$ ，这与提高灵敏系数是有矛盾的。如果灵敏系数的富余量较大，可以适当提高 $K_T$ 值；如果灵敏系数偏低，可以适当降低 $K_T$ 值。总的来说是两者兼顾之。这里我们用一个逆推的公式，算出 $W_T$ 、 $K_T$ 的允许值，以减少往返计算的工作量。当 $K_T$ 值取其下限 $K_T = 2$ 时，

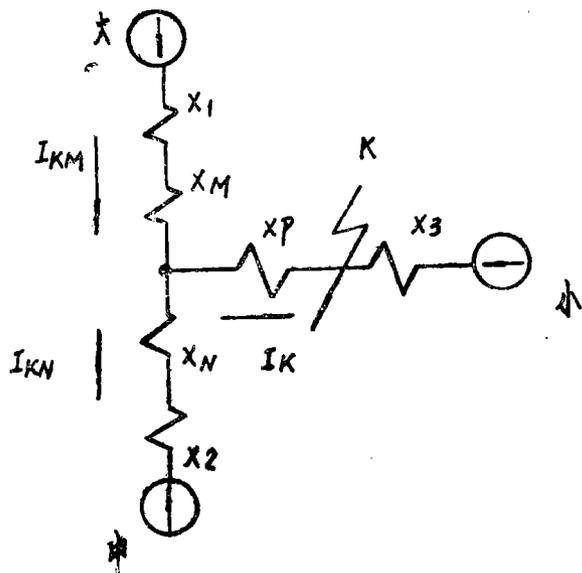


图2 小电源侧外部短路

$W_T$ 、 $K_P$ 的允许值为：

$$W_T = \frac{1.45AW_P - 174}{2I_H + I_{TK.P}} \quad (13)$$

$$K_T = \frac{0.9W_T}{W_H + W_Y} = \frac{1.31AW_P - 157}{(W_H + W_Y)(2I_H + I_{TK.P})} \quad (14)$$

上述两式中， $I_{TK.P}$ 取三侧分别发生内部两相短路（最小运行方式）时流过制动线圈电流最大的值。 $AW_P$ 为相应情况下由各侧短路电流产生的工作安匝数。 $W_H$ 、 $W_Y$ 为制动线圈所在侧的工作及平衡线圈匝数，当制动线圈选在基本侧时，取 $W_Y = 0$ （基本侧接至②，并将继电器⑥、④之间的联片改为⑥、③相联）。

### 三、整定计算实例

被保护变压器规格：31.5/31.5/31.5MVA

电压：110 ± 4 × 2.5% / 33.5 ± 2 × 2.5% / 6.6kV

结线：Y/Y<sub>0</sub>/Δ—12—11组

以变压器容量为基准的网络及变压器阻抗%表示在图3中，其中括弧内为最小运行方式下的阻抗标么值。

短路电流计算见图4至图9。计算中各电压级的平均电压为：115kV、37kV、6.3kV

110kV侧的基准电流取： $I_{B.115} = \frac{31.5}{115\sqrt{3}}$

= 0.158kA

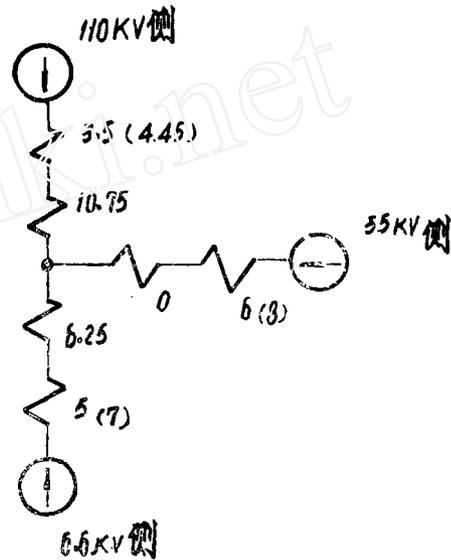


图3 变压器及网络阻抗%

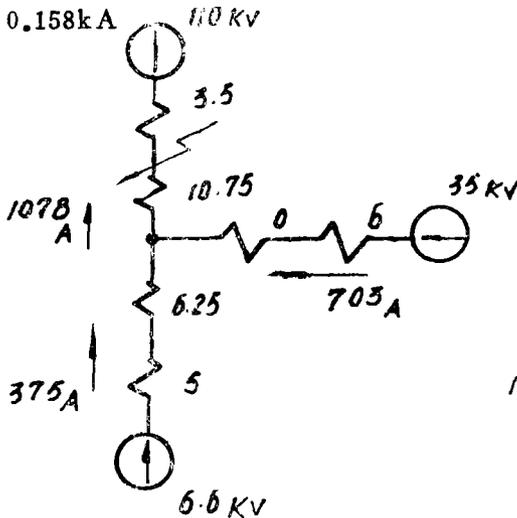


图4 110kV侧外部短路

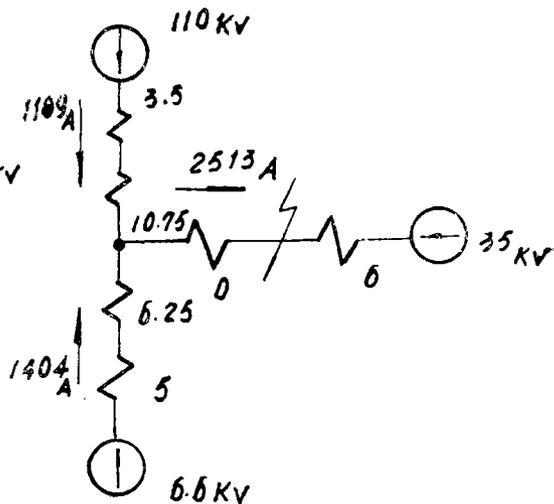


图5 35kV侧外部短路

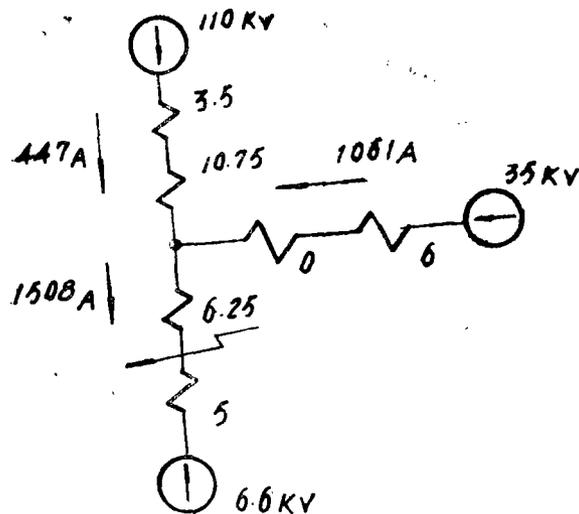


图6 6 kV侧外部短路

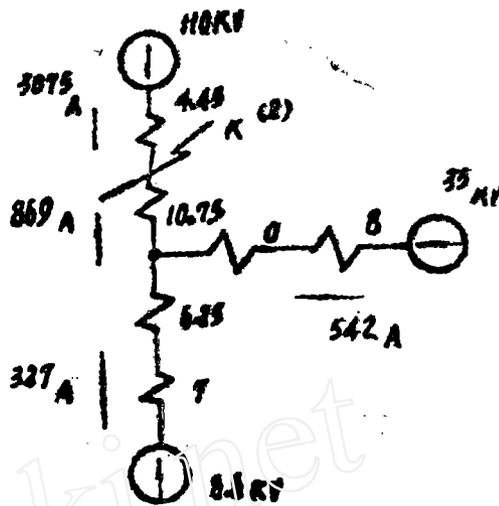


图7 110kV侧内部短路

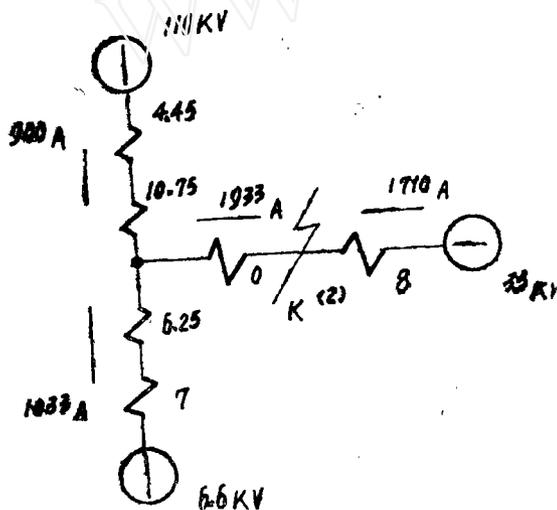


图8 35kV侧内部短路

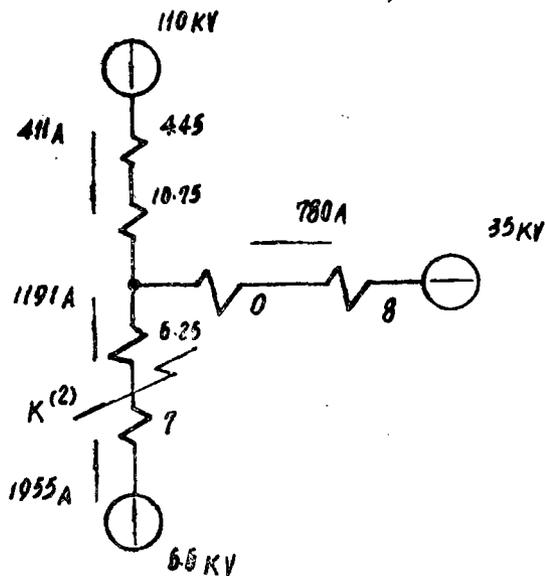


图9 6 kV侧内部短路

图中电流为归算至110kV侧的数值。

短路电流计算图（最大运行方式）

据图4~6计算知：35kV侧（小电源）外部短路电流最大（2513A）。110kV侧（大电源）外部短路电流最小（1078A）。选定制动线圈接35kV侧；同时为验证理论分析，计算制动线圈接110kV侧的情况进行比较。为区别起见，分别以 $W_{T(35)}$ 、 $W_{T(110)}$ 表示。

最小运行方式下各侧内部两相短路电流计算图

计算各侧一次电流额定值，选出电流互感器，确定二次回路额定电流的计算结果。  
110kV侧二次电流额定值最大，选110kV侧为基本侧见表1。

表1

	110kV侧	35kV侧	6kV侧
$I_{HOM}$	165A	475A	2760A
C·T结线	$\Delta$	$\Delta$	Y
结线系数 $K_{CX}$	$\sqrt{3}$	$\sqrt{3}$	1
选择C·T一次 电流计算值	$165\sqrt{3} = 286A$	$475\sqrt{3} = 823A$	2760A
C·T变比 $n_T$	$\frac{300}{5} = 60$	$\frac{1000}{5} = 200$	$\frac{3000}{5} = 600$
二次电流额 定值 $I_H$	$\frac{286}{60} = 4.76A$	$\frac{823}{200} = 4.12A$	$\frac{2760}{600} = 4.6A$

差动保护装置动作值计算：

(1) 躲过最大的外部短路电流：

$$I_{c3} = K_H (K_{ODH} \Delta f I_{K \cdot M \cdot K C} + \Delta U_{110} I_{K \cdot 110 \cdot M \cdot K C} + \Delta U_{35} I_{K \cdot 35 \cdot M \cdot K C} + \Delta f_{B35} I_{K \cdot 35 \cdot M \cdot K C} + \Delta f_{B6} I_{K \cdot 6 \cdot M \cdot K C})$$

$$= 1.3 (1 \times 0.1 \times 2513 + 0.1 \times 1109 + 0.05 \times 2513 + 0.05 \times 2513 + 0.05 \times 1404) = 889A$$

(2) 躲过励磁涌流及单相断线：

$$I_{c3} = K_H I_{HOM} = 1.4 \times 165 = 231A$$

实取  $I_{c3} = 889A$

基本侧二次动作电流：

$$I_{CP \cdot 110} = \frac{I_{c3} K_{CX}}{n_{T110}} = \frac{889\sqrt{3}}{60} = 25.7A$$

$$W_D = \frac{60}{I_{CP \cdot 110}} = \frac{60}{25.7} = 2.3 \text{匝}$$

实取  $W_D = 2 \text{匝}$

$W_{YI}$  接35kV侧， $W_{YII}$  接6kV侧：

$$W_{YI} = \frac{I_{H \cdot 110} - I_{H \cdot 35}}{I_{H \cdot 35}} \cdot W_D$$

$$= \frac{4.76 - 4.12}{4.12} \times 2 = 0.31 \text{匝}$$

$$W_{YII} = \frac{I_{H \cdot 110} - I_{H \cdot 6}}{I_{H \cdot 6}} \cdot W_D$$

$$= \frac{4.76 - 4.6}{4.6} \times 2 = 0.07 \text{匝}$$

实取  $W_{yI} = 0 \text{匝}$      $W_{yII} = 0 \text{匝}$

在最小运行方式下，三侧分别发生内部两相短路时的总工作安匝数  $AW_{P(110)}$ （指110kV侧内部短路，下同）、 $AW_{P(35)}$ 、 $AW_{P(6)}$ 的计算见表2。其中：

$$35\text{kV侧电流为：图中数值} \times \frac{115}{37}$$

$$6.6\text{kV侧电流为：图中数值} \times \frac{115}{6.3}$$

$$\text{各侧 } I_{K2} = \frac{K_{CX} I_K}{n_T}$$

表2

	110kV侧			35kV侧			6kV侧			计算结果 $AWP = \sum AW$
	$I_K$ (A)	$I_{K2}$ (A)	AW	$I_K$ (A)	$I_{K2}$ (A)	AW	$I_K$ (A)	$I_{K2}$ (A)	AW	
$AW_{P(110)}$	3075	88.8	177.6	1685	14.6	29.2	5969	9.95	19.9	226.7
$AW_{P(35)}$	900	26	52	5315	46	92	18856	31.4	62.8	206.8
$AW_{P(6)}$	411	11.9	23.8	2424	21	42	35687	59.5	119	184.8

表3是据表1及表2计算数据列出的 $I_{TK.P(110)}$ （指110kV侧内部短路流过制动线圈的电流，下同）、 $I_{TK.P(35)}$ 、 $I_{TK.P(6)}$ 的数值及 $I_H$ （流过制动线圈的最大负荷电流值）。

表3

	$I_{TK.P(110)}$ (A)	$I_{TK.P(35)}$ (A)	$I_{TK.P(6)}$ (A)	$I_H$ (A)
$W_{T(35)}$	14.6	46	21	4.12
$W_{T(110)}$	88.8	26	11.9	4.76

$W_{T(35)}$ 及 $W_{T(110)}$ 的允许值如下：

$$W_{T(35)M} = \frac{1.45AW_P - 174}{2I_H + I_{TK.P}} = \frac{1.45 \times 206.8 - 174}{2 \times 4.12 + 46} = 2.3 \text{匝}$$

取整数  $W_{T(35)M} = 2 \text{匝}$

$$W_{T(110)M} = \frac{1.45AW_P - 174}{2I_H + I_{TK.P}} = \frac{1.45 \times 226.7 - 174}{2 \times 4.76 + 88.8} = 1.6 \text{匝}$$

取整数  $W_{T(110)M} = 1$  匝

实际计算制动系数  $K_T$  及  $W_T$  值:

$$\Delta f_{B.35} = \frac{W_y \cdot p - W_y \cdot y}{W_y \cdot p + W_d \cdot y} = \frac{0.31 - 0}{0.31 + 2} = 0.134$$

$$\Delta f_{B.6} = \frac{W_y \cdot p - W_y \cdot y}{W_y \cdot p + W_d \cdot y} = \frac{0.07 - 0}{0.07 + 2} = 0.034$$

$$\begin{aligned} K_T &= \frac{K_M}{I_{TK}} (K_{0M} \Delta f_{I_{X.M}} I_{X.M} + \Delta U_{110} I_{M110.M} + \Delta U_{35} I_{X.35.M} \\ &\quad + \Delta f_{B.35} I_{X.35.M} + \Delta f_{B.6} I_{X.6.M}) \\ &= \frac{1.3}{2513} (0.1 \times 2513 + 0.1 \times 1109 + 0.05 \times 2513 + 0.134 \times 2513 + 0.034 \times 1404) \\ &= \frac{1.3 \times 875}{2513} \approx 0.45 \end{aligned}$$

$$W_{T(35)} = \frac{K_T (W_d + W_y)}{n} = \frac{0.45 \times (2 + 0)}{0.9} = 1 \text{ 匝}$$

$$W_{T(110)} = \frac{K_T W_d}{n} = \frac{0.45 \times 2}{0.9} = 1 \text{ 匝}$$

以上计算指出  $W_T$  不能小于上述数值。

利用公式 (9) 核算灵敏系数, 有关数据见表 2、表 3, 计算结果见表 4。在表 4 中,  $K_{Y(110)}$ 、 $K_{Y(35)}$ 、 $K_{Y(6)}$  分别为 110kV 侧、35kV 侧、6.6kV 侧最小运行方式下两相短路时的灵敏系数。表中取  $W_{T(35)} = 1$  匝,  $W_{T(35)} = 2$  匝;  $W_{T(110)} = 1$  匝,  $W_{T(110)} = 2$  匝的情况进行计算, 以便比较。

表 4

	$K_{Y(110)}$	$K_{Y(35)}$	$K_{Y(6)}$
$W_{T(35)} = 1$ 匝	3.45	2.79	2.71
$W_{T(35)} = 2$ 匝	3.145	2.18	2.37
$W_{T(110)} = 1$ 匝	2.615	2.985	2.79
$W_{T(110)} = 2$ 匝	1.566	2.57	2.53

由表 4 不难看出, 在同样的制动匝数下, 制动线圈接 35kV 侧比接 110kV 侧效果好。当  $W_{T(35)} = 2$  匝 (具有较强的制动作用) 及  $W_{T(110)} = 1$  匝 (制动作用较弱) 时的灵敏系数都合格, 当  $W_{T(110)} = 2$  匝时,  $K_{Y(110)} = 1.566 < 2$  已不合格, 这与我们预先计算的, 当  $K_Y \geq 2$  时,  $W_{T(110)} \leq 1.6$  匝的结果相符。

计算结果表明, 应选择制动线圈接 35kV 侧 (小电源、外部短路电流最大侧) 的方案, 这与前面所作理论分析的结果一致。可取  $W_{T(35)} = 2$  匝。因所选方案中制动安匝

# 单侧电源短距离双回线保护问题

邵阳电业局 唐祖念

单侧电源短距离双回线的保护问题，还构成一个现实性问题。采用纵差以选择出故障线，因敷设专用的辅助导线不但增加较多投资，往往通过地段地理条件复杂，又因维修及运行有很多难处，（如接地电阻问题），难以保证可靠性；现场甚不愿采用。采用横差则有一个死区问题；在送端出口三相短路时，因灵敏性不足不能保证可靠动作，此时作为后备的过流保护时限一般又大于0.7秒，对开关遮断故障是不安全的，用户常常不敢采用。为此，如线路首端采用电流平衡保护，而以过流限时作后备，末端采用横差，末端母线如有母联分段可装设限时速断，这些保护及二次回路全在盘上，简明清晰，可以较为安全可靠地解决这一问题。

示意如图：

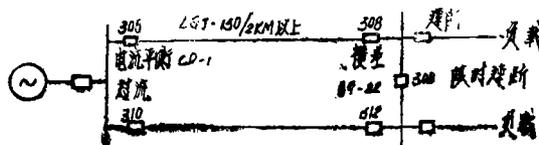


图 一

由于电流平衡保护无方向元件，出口无死区灵敏性高，故电流平衡保护较横差保护可靠。尤其是系统相对线路的阻抗不大的情况之下电流平衡保护的保护区较长，约达全长四分之三，出口短路灵敏性更高，在动作区内故障引起首端动作时，在设计中应考虑闭锁首端另一开关的操作电源后再跳闸，末端横差可动作或相继动作；故障在末端相继动作区内，平衡保护必须等待对侧横差动作后方能相继动作，两相短路是没问题的，横差

$I_{kr}, W_r < 150$ 匝数，故不必按（10）式核算 $K'_r$ 。

## 小 结

本文中提出的对整定计算中有关灵敏系数的理论分析与实际计算结果一致。采用本文提出的整定计算方法，有助于较快地选择整定计算的最佳方案。运用灵敏系数的判断公式及对 $K_r$ 、 $W_r$ 的逆推公式，能估计到计算后出现的结果，从而可以避免不必要的往返运算。缺点是：由于用直线方程代替制动曲线，求得的灵敏系数略低于实际的灵敏系数（约偏低1~2%），因误差较小，故从工程计算的要求上看，仍是可行的。