

# 中阻母线电流差动保护差动电路承受的电压

朱景云

(许昌继电器研究所, 河南 许昌 461000)

中图分类号: TM773

文献标识码: A

文章编号: 1003-4897(2000)-01-0016-04

## 1 前言

中阻抗比例制动母线电流差动保护装置由于动作速度快,不受TA饱和的影响,很快在我国电力系统高压和超高压母线上得到推广应用,发挥了很大作用,效果显著。为了进一步分析这种原理,试图从差动回路所获得的电压来了解它的工作情况,加深认识。但由于本人水平所限,对中阻抗比例制动原理的母线电流差动保护粗浅的知识,不当之处在所难免,请专家们予以指正。

## 2 中阻抗比例制动母线电流差动保护工作情况和输入的电压

为了分析中阻抗比例制动母线电流差动保护工作情况和输入的电压,引用具体的JMH-1型母线保护原理接线图,如图1所示。

为了便于理解先以两个联接单元一

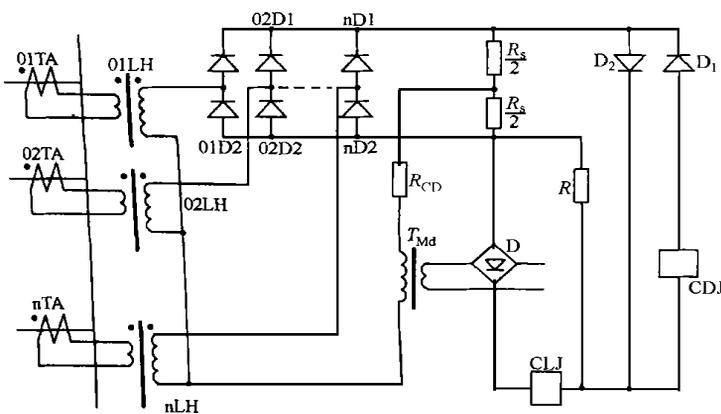
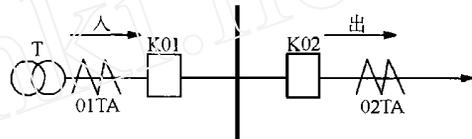
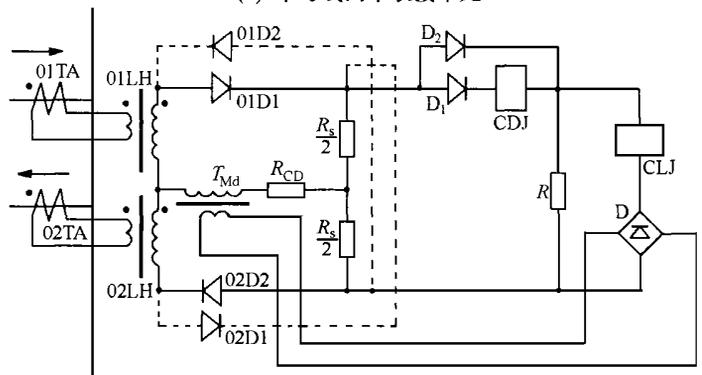


图1 JMH-1型母线差动保护原理简图

一出的接线入手,见图2a。图2a的母差保护可以画



(a) 单母线两个联接单元



(b) 差动保护原理简图

图2 两个联接元件的母线保护接线原理

成如图2b的形式。从图2b看到:差动回路接在相敏回路两臂中点。相敏回路由两个辅助变流器二次输出电势供电,其极性根据流入母线还是流出母线而定。正常时,设01LH为流入母线电流,02LH为流出母线电流,此时二个电势为同方向,两臂中点对称平衡,输入两电势又相等,则接在两臂中点的差动回路两端的电压差为零,差动回路就没有输出,而制动回路是相敏回路的一个臂,即 $R_s$ 两端,其输出即为制动电压。差动继电器CDJ接于差动回路与制动回路之间,此时仅有制动电压,其电流通过 $D_2$ 二极管和R电阻,而CDJ则由二极管 $D_1$ 而阻断。CDJ和CLJ差流继电器都不动作。

图2b中电流方向按输入母线电流为正,输出母线电流为负时的正半周绘制的,相敏回路通过实线二极管组成。负半周时,相敏回路则通过虚线二极管组成。以正半周时重画成图3a。图中 $Z_{01LH}$ ,  $Z_{02LH}$ 为包括输入TA回路折算到辅助TA二次侧的

收稿日期: 1999-10-22

作者简介: 朱景云(1930-),男,教授级高工,长期从事电力系统继电保护与自动化的研究工作。

内阻抗,  $E_{01LH}, E_{02LH}$  为辅助 TA 输出二次电势。正常运行正半周时, 由图可知

$$I_T = \frac{E_{01LH} + E_{02LH}}{Z_{01LH} + R_{02D1} + Z_{02LH} + R_{02D2} + \frac{R_s(R_{D2} + R)}{R_s + R_{D2} + R}}$$

式中,  $R_{D2}$  ——  $D_2$  二极管的电阻。

若  $Z_{01LH} = Z_{02LH}, E_{01LH} = E_{02LH}$  则 a, b 两点间电压差等于零。当电势不等参数不对称不平衡时 a, b 之间有电压, 则此时  $U_d = U_s + U_{D1} + I_{CDJ} R_{CDJ}$

$$U_d = (n_d I_{CD} - I_{CDJ}) R$$

$$U_s = (I_T + I_{CDJ}) R_s / 2 + (I_T + I_{CDJ} - I_{CD}) R_s / 2$$

求得  $I_{CD} = \frac{R_s}{n_d R + R_s / 2} I_T + \frac{I_{CDJ}(R_s + R + R_{CDJ}) + U_{D1}}{n_d R + R_s / 2} = SI_T + K$

式中  $U_d$  —— 差动电压 (V);  $U_s$  —— 制动电压 (V);  $I_{CDJ}$  —— CDJ 继电器中电流 (A);  $R_{CDJ}$  —— CDJ 继电器线圈电阻 ( $\Omega$ );  $U_{D1}$  ——  $D_1$  二极管上压降;  $I_T$  —— 制动电流, 自  $E_{01LH}$  流出的电流 (A);  $I_{CD}$  —— 差动回路电流;  $R$  —— 差动电压的电阻 ( $\Omega$ );  $R_s$  —— 制动电压的电阻 ( $\Omega$ )。

另外, 由

$$E_{01LH} - I_T Z_{01LH} - U_{01D1} - (I_T + I_{CDJ}) R_s / 2 =$$

$$E_{02LH} - I_L Z_{02LH} - U_{02D2} - (I_T + I_{CDJ} - I_{CD}) R_s / 2$$

$$I_{CD} = \frac{E_{01LH} - E_{02LH}}{R_s / 2} - \frac{I_T E_{01LH} - I_L E_{02LH}}{R_s / 2}$$

$$I_{CD} = I_T - I_L$$

式中  $I_L$  —— 制动电流, 流回  $E_{02LH}$  的电流 (A)。

当  $Z_{01LH} = Z_{02LH}$  时, 则  $I_{CD} = \frac{E_{01LH} - E_{02LH}}{Z_{01LH} + R_s / 2}$

当  $Z_{01LH} \neq Z_{02LH}$  时, 即使  $E_{01LH} = E_{02LH}$ , 差动回路都会有不平衡电压, 有电流:

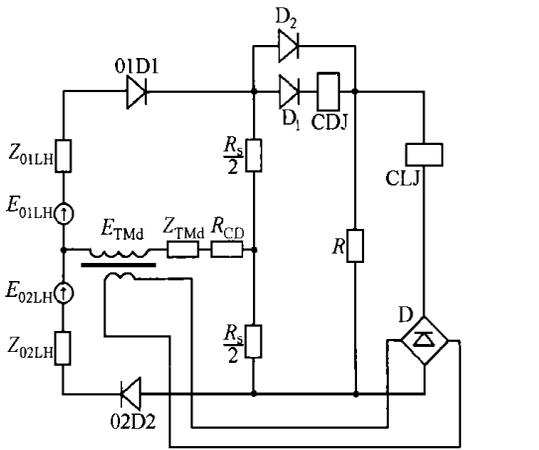
$$I_{CD} = \pm \frac{I_T Z_{LH}}{Z_{01LH} + R_s / 2}$$

此时加到差动回路的电压为这两个联接单元辅助变流器二次电势之差。由文献<sup>[1]</sup>知道

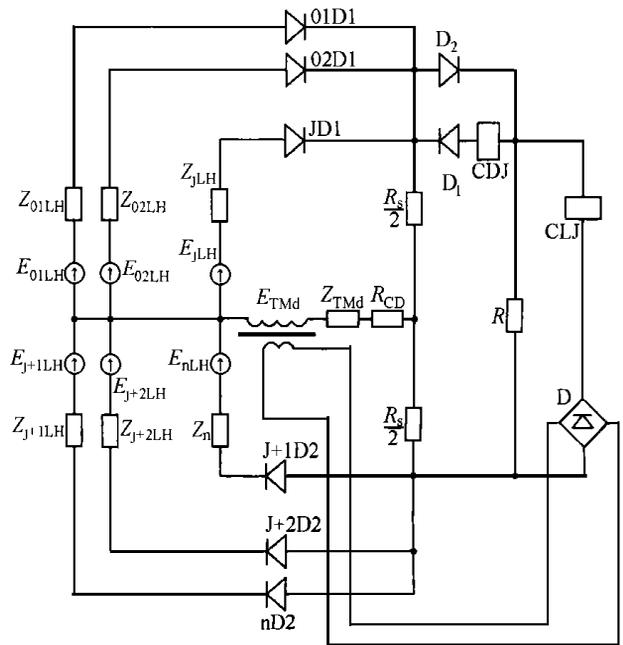
$$I_{CDDR} = \frac{R_s I_T}{n_d R + R_s / 2} + \frac{I_{CDJZ}(R_s + R + R_{CDJ}) + U_{D1}}{n_d R + R_s / 2} = SI_T + K$$

式中,  $I_{CDDR}$  —— 刚好使 CDJ 动作的差动电流 (A);  $I_{CDDZ}$  —— CDJ 继电器的动作电流 (A)。

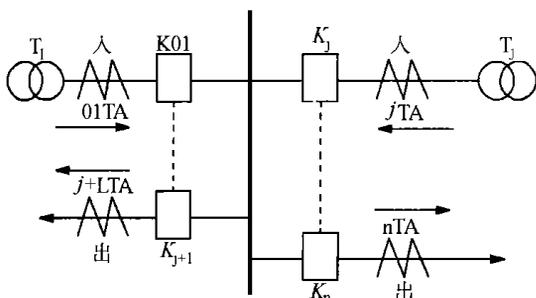
只要参数不对称不平衡不大,  $E_{01LH}, E_{02LH}$  的差不大,  $I_{CD} < I_{CDDZ}$ , 即  $I_{CDJ} < I_{CDDZ}$ , CDJ 继电器就不会



(a) 两个联接单元的相敏回路



(c) 多个联接单元的相敏回路



(b) 单母线多个联接单元

图 3 正半周相敏回路图

动作(见文献<sup>[1]</sup>),亦即此时无论  $I_T$  为何值(变流器未饱和),  $U_s > U_d + U_{CD}$ , 使得流过 CDJ 继电器的电流总小于它的动作电流,或阻断电流。

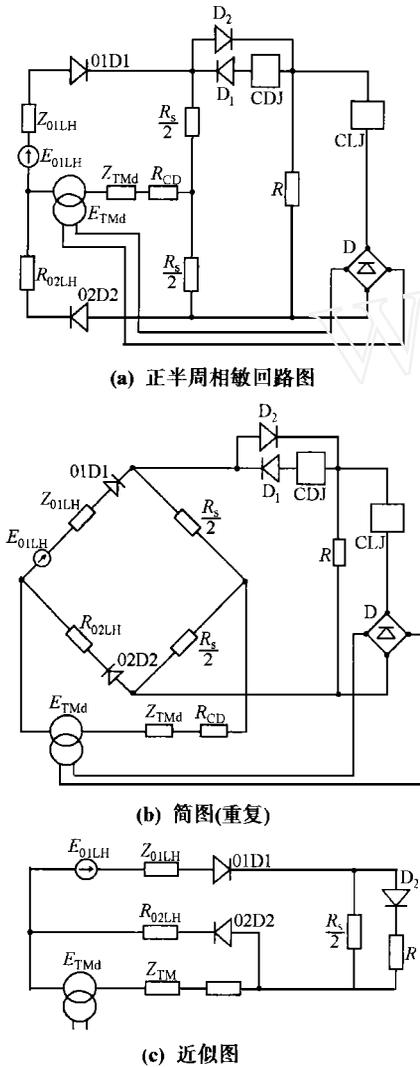


图4 两个联接单元区外故障输出 TA 饱和简图

当发生母线区外故障 TA 未饱和正半周时,其情况与正常运行情况相同。当发生母线区外故障流出母线 TA 完全饱和时,假定  $E_{02LH} = 0$ ,  $Z_{02LH} = R_{02LH}$ , 此时差动回路电流为(见文献<sup>[1]</sup>):

$$I_{CD} = \frac{R_{02LH} + R_s/2}{R_{02LH} + R_T + R_s/2} I_T$$

因为  $R_s \ll R_T$ , 所以图 4b 可简化为图 4c, 则

$$I_{CD} = \frac{R_{02LH} I_T}{R_{02LH} + R_T} = S I_T$$

式中  $R_T = Z_{TMd} + n_d^2 Z_{TMd} + 2 n_d^2 R_D + n_d^2 R_{CLJ} + R_{CD}$ ;

$Z_{TMd}$ ,  $Z_{TMd}$  ——分别为差流变流器一次、二次漏阻抗( ) ;

- $n_d$  ——差流变流器变比 ;
- $n_d^2 R_D, n_d^2 R_{CLJ}$  ——分别为整流桥二极管电阻, CLJ 差流继电器线圈电阻折算到一次侧的值( ) ;
- $R_{CD}$  ——差动回路附加电阻( ) ;
- $R_{02LH} = n^2 (R_{CT} + R_e + r_1) + r_2$  ;
- $R_{02LH}$  ——辅助 TA 饱和时二次侧总电阻( ) ;
- $R_{CT}$  ——主 TA 二次线圈电阻 ;
- $R_e$  ——主 TA 到辅助 TA 电缆电阻(单向, ) ;
- $r_1$  ——辅助 TA 一次侧线圈电阻( ) ;
- $r_2$  ——辅助 TA 二次侧线圈电阻( ) ;
- $n$  ——辅助 TA 变比。

只要  $S = \frac{R_{02LH}}{R_{02LH} + R_T} < S$ , 则在母线区外故障 TA 饱和时, 母线差动保护不会误动作, 亦即此时  $U_s > U_d, CDJ$  中受  $D_1$  阻断而无电流。

一次现场实际母线区外故障实测数据

$S = 0.67, R_T = 220$  , 当  $n = 5$  1 时,  $R_{02LH} = 57.9$  ; 当  $n = 20$  1 时,  $R_{01LH} = 713$  。前者  $S = 0.765, S > S$ 。显然后者是不满足中阻比例制动母线电流差动保护的稳定运行的条件(见文献<sup>[2]</sup>)。

当发生母线区内短路, 输入输出均有电源, 且 TA 未饱和时, 正半周图 3a 可画成图 5, 负半周电流则通过虚线二极管和下面  $R_s/2$ 。此时输入电势可简化为等值单电源, 即

$$E_{LH} = \frac{E_{01LH} Z_{02LH} + E_{02LH} Z_{01LH}}{Z_{01LH} + Z_{02LH}}$$

$$Z_{LH} = \frac{Z_{01LH} Z_{02LH}}{Z_{01LH} + Z_{02LH}} + \frac{U_{01D1}}{I} = Z_{LH} + \frac{U_{01D1}}{I}$$

此时

$$U_s = (I_T + I_{CD}) R_s/2, U_d = (n_d I_{CD} - I_{CD}) R$$

$$U_d U_s = I_{CD} (R_{CD} + R_{D1} + R_s/2)$$

$$I_{CD} = \frac{R_s/2}{n_d R} I_T + \frac{(R_s + R + R_{CD} + R_{D1}) I_{CD}}{n_d R}$$
 , 只要

$I_{CD} < I_{CDZ}$ , 也即  $I_{CD} < I_{CDR}$ , CDJ 继电器就动作。也即此时

$$U_s > U_d + U_{CD} + U_{D1} + U_{R_s/2}$$

另外, 由图 5 回路节点电流知

$$I_{CD} = I_T \quad \frac{I_C}{I_T} = 1 > S$$

当发生母线区内故障, 流出母线侧为馈线无电源时, 母差保护亦简化成如 4a, 但此时仅将  $Z_{02LH}$  改为空载阻抗, 或近似用电流代替 TA 饱和时的近似电阻, 则其差动回路中电流为

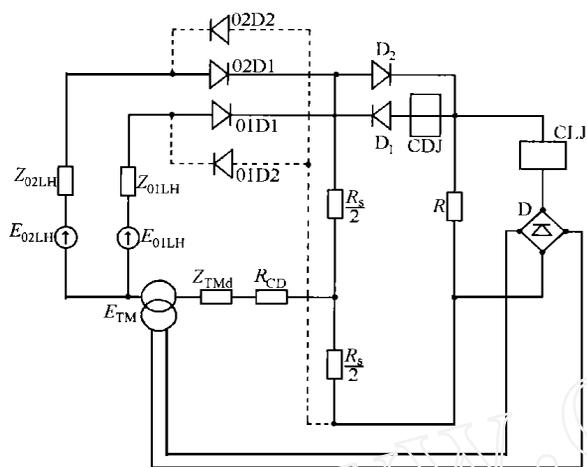


图5 两个联接单元区内故障 CT未饱和简图

$$I_{CD} = \frac{Z_{01LH} + R_s/2}{Z_{02LH} + R_T + R_s/2} (I_T + I_{CDJ}) - \frac{X_{02LH}}{X_{02LH} + R_T}$$

$$(I_T + I_{CDJ}) = S (I_T + I_{CDJ})$$

式中  $X_{02LH}$  —— 馈线空载无电源时辅助 TA 的空载电抗(包括主 TA 等在内的值)

当  $S > 1$ , CDJ 继电器动作(见文献<sup>[11]</sup>)。

当母线区内故障 TA 饱和时,因故障初瞬间 TA 不会饱和,在约 1/4 周内能正确传变一次电流,所以 CDJ 差动继电器能在 TA 饱和之前正确动作,并通过记忆回路保证母差保护可靠动作跳闸。

从上述分析看到,加在母差保护回路中的输入电压,仅仅是辅助 TA 二次输出的电势。

当多个联接单位时,中阻抗比例制动母线电流差动保护接线原理可简化画成如图 3b 和图 3c 所示。此时,各辅助 TA 输入输出电势和漏阻抗可等效为等值的单回路,假定二极管的管压降都相等,输入为  $J$ ,输出为  $n - J$ ,即可求得

$$E_{LH} =$$

$$\frac{E_{01LH} Z_{02LH} \dots Z_{0nLH} + E_{02LH} Z_{03LH} \dots Z_{0nLH} Z_{01LH} + \dots + E_{0nLH} Z_{01LH} \dots Z_{0n-1LH}}{Z_{02LH} \dots Z_{0nLH} + Z_{03LH} \dots Z_{0nLH} Z_{01LH} + \dots + Z_{01LH} \dots Z_{0n-1LH}}$$

$$Z_{LH} = \frac{Z_{01LH} \dots Z_{0nLH}}{Z_{02LH} \dots Z_{0nLH} + Z_{03LH} \dots Z_{0nLH} Z_{01LH} + \dots + Z_{01LH} \dots Z_{0n-1LH}} + U_{DI} / I$$

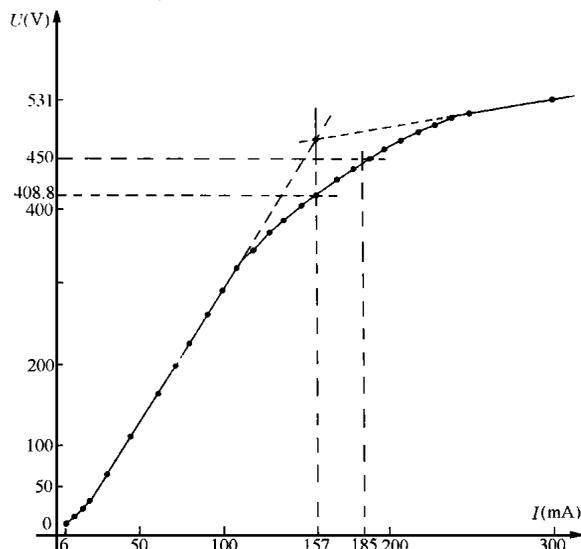
$$I = Z_{LH} + U_{DI} / I$$

由此看出加到回路的输入电势,不再是单个联接单元的电势,而是等效电势。因此差动回路承受的电压与辅助 TA 的二次输出电压有关。

### 3 辅助 TA 的伏安特性及其二次最大峰值

JMH-1 型母线保护所采用的辅助变流器的饱和电压不大于 500V。实测一台辅助变流器的伏安特性见图 6。从图中看到其拐点电压约为 450V。拐点以后,铁芯饱和,二次电压波形畸变,其峰值不会超

过拐点时的峰值,因此,辅助变流器的二次电压不会超过此值。考虑到每批辅助变流器的离散,拐点电压取  $1.5 \times 450 = 600V$ ,即其最高可能峰值  $\sqrt{2}600V$  不会超过 1000V。



一次 120 匝二次 600 匝 ( $R_1$  0.5,  $R_2$  29.5 测试导线 0.2~0.3),用 EC890D 型表测二次电压  
165.7V 以下用 200V 量程 203V 以上用 700 量程  
用 T24-A-V 型表测一次电流  
图 6 JMH-1 型母线差动保护辅助变流器伏安特性

### 4 中阻母差保护相敏回路可能承受的电压

从上述加在相敏回路的电压可以看到,当区外故障 TA 未饱和时,为输入、输出电流辅助变流器二次电压之和,而差动回路在参数对称平衡下,两端电压差为零;区内故障 TA 未饱和时,因为此时都为输入电流,辅助变流器二次电压并联按等效电压向相敏回路供电。当  $n$  回联接单元,则区内短路 TA 未饱和时的等效电势为

$$E_{LH} =$$

$$\frac{E_1 Z_{02LH} \dots Z_{0nLH} + E_2 Z_{03LH} \dots Z_{0nLH} Z_{01LH} + \dots + E_n Z_{01LH} \dots Z_{0n-1LH}}{Z_{02LH} \dots Z_{0nLH} + Z_{03LH} \dots Z_{0nLH} Z_{01LH} + \dots + Z_{01LH} \dots Z_{0n-1LH}}$$

若辅助 TA 二次漏阻抗相等,则

$$E_{LH} = \frac{E_1 + \dots + E_n}{n}$$

为  $n$  个二次电势之和的平均值,亦即等效电势不可能超过其中的最大值。因此,在此情况下相敏回路承受电压也不可能大于辅助 TA 二次最大电势值。

由此看来, JMH-1 型中阻母差保护差动回路,当区内区外故障时,可能承受辅助 CT 二次电势过高的电压击穿的可能性不大。(下转第 50 页)

$I_{r \min}$ , 所以没有进入比率制动区; 由于  $I_d > I_{d \min}$ , 所以误动了。

(2) 文<sup>[1]</sup>计算分析中的失误

参见文<sup>[1]</sup>第60页, 有  $I_1^* = 1.14$  (标么电流)。

在求单相短路电流高压侧有名值  $I_d^{(1)}$  时, 计算式中  $I_1^*$  不应在分母而应在分子上, 即

$$I_d^{(1)} = I_1 + I_2 + I_0 = 3(S_j/\sqrt{3}U_j) I_1^* = 1224A^* \text{ (原为 } 941.7A)$$

折算到低压侧时有

$$I_d = 1224 \times 242/\sqrt{3} \times 13.8 = 12392A \text{ (原为 } 9543.7A)$$

文<sup>[1]</sup>在计算故障分量电流时直接将  $9543.7 - 4100 = 5443.7A$  (4100 为故障前负荷电流), 即将短路电流  $I_d$  与负荷电流作算术相减, 实际上它们之间有很大的相位差, 应是相量相减。进一步认为  $I_r = 5443.7A < I_{r \min} = 1.04 \times I_n = 1.04 \times 5977 = 6216A$ , 位于图1的水平段, 因没有制动作用而造成误动。

应该理解  $I_d$  为近于纯电感电流, 它的近似计算 ( $E/X_\Sigma$ ) 中已假设电势  $E = 1$ , 即空载额定电压, 如果计及负荷的存在,  $E$  不可能等于 1, 因此在求  $I_1^*$ 、 $I_d^{(1)}$  和  $I_d$  时既然没有考虑负荷 ( $E = 1$ ), 则这些电流即可粗略地视为故障分量电流, 由于  $I_d = 12392A > I_{r \min} = 6216A$ , 已经进入比率制动区了 (图1斜线段)。

可是保护装置记录的  $I_r = I_{r \min} = 2.6A$  (二次值), 与上述分析不符, 这应该问这些记录值的可信程度如何, 也就是说装置本身有什么问题。

### Re-discussion on the maloperation of WYB-01 fault component differential protection of generator-transformer set

CHEN Yong-ting, XU Zhen-yu, WANG Wei-jian  
(Qinghua University, Beijing 100084, China)

**Abstract:** The author presents some different objections against the analysis on the maloperation of WYB - 01 differential protection in Gezhouba Erjiang Power Plant and points out the existing question of the protection in development, production, testing and setting.

**Key words:** fault component; generator-transformer set; differential protection

(上接第19页)

参考文献:

[1] 程利军. JMH-1 型母线保护原理、整定及运行的探讨.

继电器, 1997, 25(3): 30~37.

[2] 程利军. 1996年11月15日贵州清镇电厂母线保护误动事故分析. 继电器, 1997, (4): 54~57.

## 5 我们的初步结论

(1) 千万不要将制动电流退回去用全电流, 应该坚持用故障分量电流, 真正实现故障分量差动保护。

(2) 图1中实线动作特性是错误的, 它不是故障分量差动保护正确整定应有的特性 (如图1中的虚线, 黑色部分为动作盲区)。

(3) 决不可用更改二次极性的办法来达到减小因装置本身或其它问题所引起的不平衡电流。当然如果原来接线有错, 应该将错误的改正过来。停机状态下, 三侧三相电流的产生原因应查明。

由于我们对 WYB-01 保护装置和现场情况了解不多, 文中错误难免, 欢迎进一步交流看法。

\* 这里沿用文<sup>[1]</sup>的标法, 即  $\dot{I}_1 = \dot{I}_2 = \dot{I}_0$  的关系式, 应该指出: 1) 此关系式为故障点单相短路边界条件, 不是分支电流的关系式。2) 受电侧 (220kV) 是否有电源? 3) 受电侧降压变压器的 220kV 侧中性点是否直接接地? 这些条件均与计算有关。

参考文献:

- [1] 李毅军. 对故障分量原理的微机型发变组差动保护装置在运行中一些问题的探讨. 继电器, 1996, (4): 55-62.
- [2] 张旭东, 卢放, 柳焕章. 负序方向型发电机匝间短路保护误动分析及改进. 电力系统自动化, 1999, 23(11): 42-44.
- [3] 李毅军. WYB-01 型保护装置运行中一些问题的分析及解决方法. 电力系统自动化, 1997, 21(2): 64-66.
- [4] 王维俭. 电气主设备继电保护原理与应用. 北京: 中国电力出版社, 1998.

### The voltage loaded by the differential circuit of busbar medial impedance current differential protection

ZHU Jing-yun

(Xuchang Relay Research Institute, Xuchang 461000, China)