

和误差10%)，能可靠躲越外部故障。

3. 能可靠躲越励磁涌流。提高发电机端电压至1.15V(额定电压90V)在低压侧空载投入20多次，最大涌流电流达8倍多额定电流。继电器均不动作。

本继电器虽然经过实验室试验和动态模拟试验，灵敏度比较高，躲越涌流和外部故障的能力是可以的，但还需经过现场运行考验，还可能存在问题，请读者多提宝贵意见。

## 大型同步发电机所用的BFL—9型 负序反时限过流保护装置

许昌继电器研究所 涂永泽、杜社斌

目前，国内大部采用两段式定时限负序过流保护来构成发电机的负序过流保护。它的第一段反映负序过负荷，动作于信号；而第二段则反映负序过电流，动作于跳闸。但是，这个保护不能确切的反映发电机转子的热特性，所以满足不了大型机组的要求。

由于当系统发生不对称短路或断线故障时，发电机定子绕组将通过负序电流，并在发电机的气隙中建立负序旋转磁场。造成转子上感应出两倍额定频率的电流。引起转子表面很大的附加发热。而且该频电流在转子中部沿轴向流通和转子本体端段附近转向刷架方向，形成闭合回路，更引起各部件的接触面的局部高温，可能引起严重的电灼伤，甚至有绝缘击穿等危险。

随着我国电力事业的发展，单机容量不断提高，而发电机的体积增大却不是太大，其特点在于采用了内冷绕组，允许绕组导体上有很大的电流密度，大大提高了发电机的利用系数，但同时也决定了它的弱点——过热性能差，允许的发热时间常数很小。直接危害发电机的安全运行。

因此，大型发电机组需要采用比较能够模拟发电机的热特性的负序反时限过流保护装置为其故障不对称和持续不对称的负序过流保护。

发电机的热特性也即其承担负序电流的能力用什么来判断呢？目前国内外有下列几种不同的判据：

(1) 将转子的发热看成绝热过程，则普遍采用公式： $\int_0^t i_2^2 dt = I_{2*}^2 t$

式中： $i_2$ ——负序电流瞬时值；

$I_{2*}$ ——等效值，均以标么值表示；

$t$ ——时间(秒)。

假定负序磁场在转子表面感应电流的深度都是相同的，即不考虑表层中存在不同的组成材料；同时，认为转子感应电流所产生的损耗热量全部用来升高转子表层的温度。

由能量不灭关系得到  $Q = \frac{I^2 r t}{C r \cdot V}$

式中： $I$ ——表层电流；

- r —— 表层电阻；
- V —— 表层体积；
- Cr —— 金属的比热容 (瓦·秒/厘米<sup>3</sup>·°C)

经简化，能近似得到：

$$Q = (I_{2*}^2 t) \frac{p \cdot \Lambda_1^2 K^2}{Cr \cdot d^2}$$

式中：Λ<sub>1</sub> —— 定子线负荷 (安/厘米)

K —— 定子负序电流 I<sub>2</sub> 与转子相应感应电流的比率，考虑到激磁分量后，可以近似的取 K = 0.95；

p —— 转子感应电流的金属回路的电阻系数 (欧·厘米)

d —— 电流的深透度 (厘米)

也即  $I_{2*}^2 t = \frac{Cr d^2 Q}{p \Lambda_1^2 K^2} = A$

式中：A —— 发电机允许过热的时数常数。

对每台发电机都有它相应的 A 值，通常各国对大型汽轮发电机采用的 A 值为 4—8。

(2) 由于转子发热过程不可能是真正的绝热过程，一般在短延时时可以不予考虑，而在小负序电流长延时，它的散热就不能再予以忽略，所以通常对上述绝热假定下得到的判

据  $I_{2*}^2 t = A$  中引入了修正系数 K<sub>2</sub>，即： $t = \frac{A}{I_{2*}^2 \cdot K_2^2}$ ，

其中：K<sub>2</sub> = 0.775 I<sub>2</sub>(∞) 而 I<sub>2</sub>(∞) = 5%。

(3) 清华大学更是做了大量的试验和研究工作，建议将整个热特性曲线看成两部分组成，在 I<sub>2\*</sub> 较大时以 I<sub>2\*}^2 t = A 作为判据，而 I<sub>2\*</sub> 较小时采用 I<sub>2\*}^2 \sqrt{t} = B 作为判据，通常 B 值为 A 值的 1/8。</sub></sub>

对于特性曲线的上下限一般这样予以选择：下限大都定为 1000%，同时定限延时也定为 1000%。对上限有的国家将保护做成全部反时限的，以求在大的负序电流下，能够保证发电机的安全；而比较多的国家则将上限定为一定的数值 (如 58%、70%、150% I<sub>11</sub>)，负序电流超过此上限后，保护呈定时限特性，使之可以与其他主保护和后备保护相配合。

根据上述对保护的要求，许昌继电器研究所与清华大学共同研究试制，完成了 BFL-9 型负序反时限过流保护，经动模试验和现场试验后，投高井电厂予以试运行。现将保护装置介绍如下：

保护的方框图示于图 1，原理图见图 2。

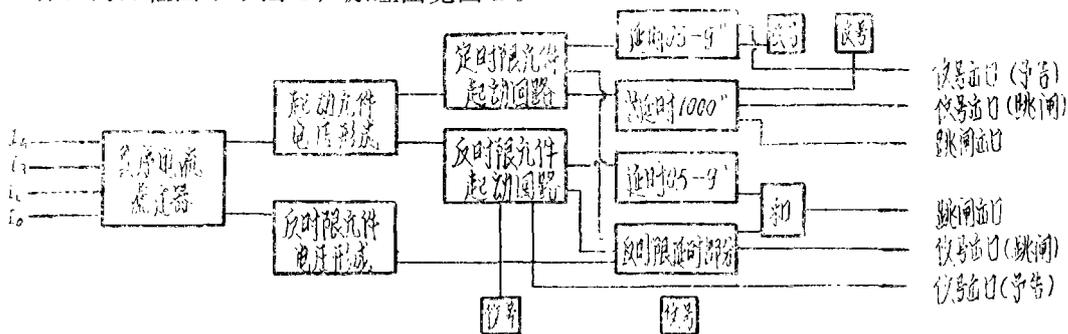


图 1 BFL-9 负序过流保护的方框图

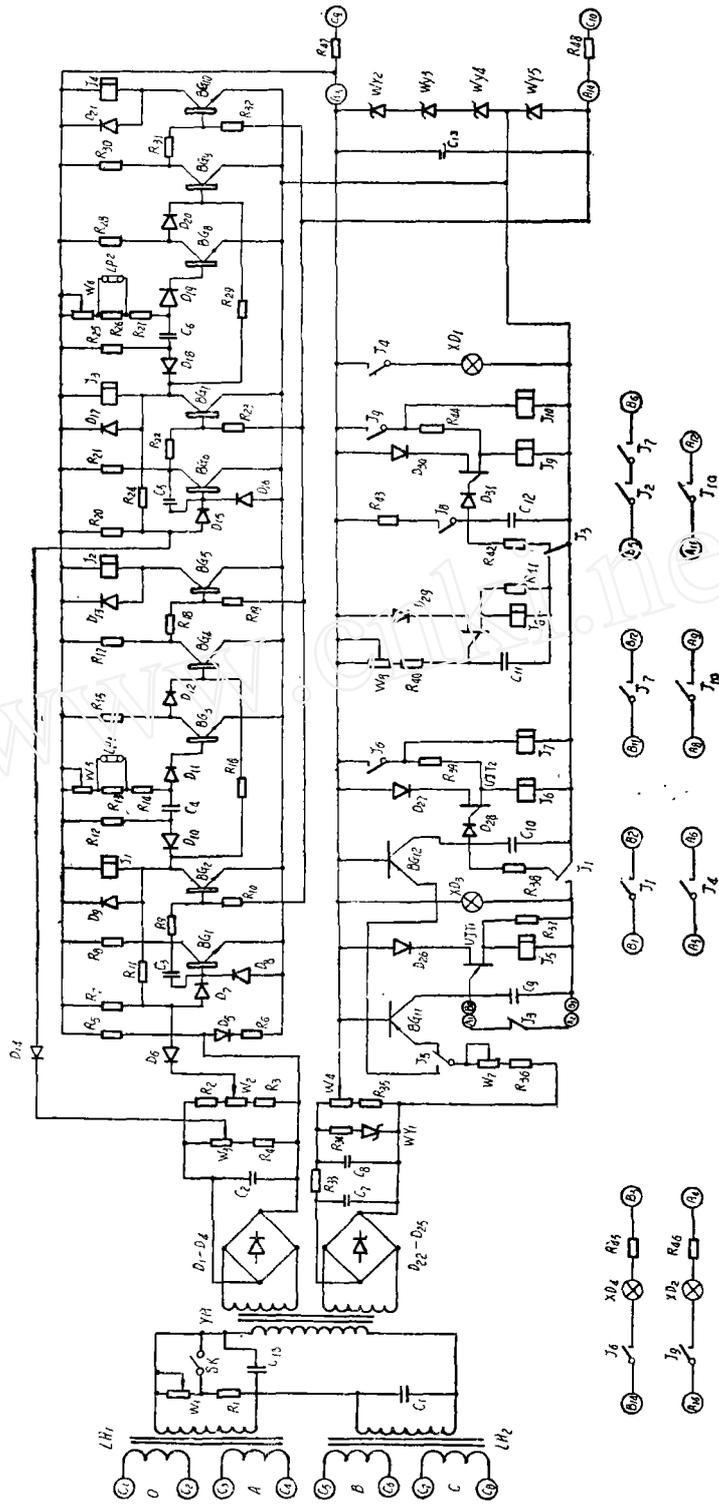


图 2 原理接线图



但是  $E_1$  只决定了电容  $C$  的充电电流，而它的充电电压还是由  $E_2$  决定，并不受  $E_1$  的限制。

b) 两级充电回路：见图 4，用恒流回路给电容充电。

$$\text{第一级充电时间 } t_1 = \frac{C_1 U_1}{I_{c1}} = \frac{C_1 \cdot R_c \cdot U_1}{U}$$

其中： $U_1$ ——单结晶体管  $U J T_1$  的击穿电压。

$U$ ——加在反时限延时部分的反映负序电流  $I_2$  的直流电压。

单结晶体管  $U J T_1$  击穿，继电器  $J_1$  动作，经  $\Delta t$  后返回，在此保持时间内，电容  $C_2$  的充电

$$\text{电压 } \Delta u = \frac{U \cdot \Delta t}{R_c \cdot C_2}$$

设  $U_2$  为单管  $U J T_2$  的击穿电压，则使电容  $C_2$  充电至  $U_2$ ，需要继电器  $J_1$  动作  $n$  次，

$$n = \frac{U_2}{\Delta u} = \frac{U_2 R_c C_2}{U \Delta t}$$

使电容充电至  $U_2$ ，而  $U J T_2$  击穿的总时间

$$t = n t_1 = \frac{U_2 R_c C_2}{U \Delta t} \cdot \frac{U_1 R_c C_2}{U} = \frac{U_1 U_2 R_c^2 C_1 C_2}{U^2 \Delta t} = \frac{K_1}{U_2} = \frac{A}{I_{2*}^2}$$

$$\text{即 } I_{2*}^2 t = A$$

所以此线路不用专门复杂的调整，就可得到比较理想的特性曲线，可是前面在介绍恒流源时已经作了忽略  $U_{be}$  的假设，当  $I_{2*}$  比较大时， $U$  值也比较大， $U_{be} = 0.5 \text{ v}$  可以忽略，但是  $I_{2*}$  较小时， $U$  值也仅几伏，此时  $U_{be}$  就不能再忽略，也即使长延时比理论计算的要大些，再在反时限元件电压形成回路并接上  $R$  和  $W_y$ ，适当选择  $R$  的阻值和  $W_y$  的击穿电压，

能使特性曲线得到修正，满足  $t = \frac{A}{I_{2*}^2 - K_2^2}$  又如在电压形成回路串入  $W_y$ ，合理选择

参数，能够满足以  $I_{2*}^2 t = A$  和  $I_{2*}^2 \sqrt{t} = B$  组成的特性曲线要求。

保护装置按  $t = \frac{A}{I_{2*}^2 - K_2^2}$  进行调整后的主要技术参数：

### 1. 定时限部分整定范围：

负序动作电流  $I_{定} = 0.2 - 0.5 \text{ A}$ ，

预告信号延时  $t = 0.5 - 9 \text{ s}$ ，

定时限长延时  $t_{定} = 800 - 1200 \text{ s}$ ；

### 2. 反时限部分整定范围：

负序动作电流  $I_{反} = 0.3 - 0.8 \text{ A}$ ，

反时限特性曲线  $t = \frac{A}{I_{2*}^2 - K_2^2}$ ，

$A = 4 - 8$        $K_2^2 = [0.775 I_2(\infty)]^2 = [0.775 \times 5\%]^2 = 0.0015$ ，

反时限上限时间  $t = 0.5 - 9 \text{ s}$ ；

### 3. 允许误差:

动作电流允许误差不大于5%。

动作延时允许误差不大于5%。

反时限延时与特性曲线偏差不大于10%。

保护允许在环境温度 $-20^{\circ}\text{C}$ — $+50^{\circ}\text{C}$ 范围内正常工作。

保护通过实验室试验和动模试验,完全能够满足特性的要求,但是我们的工作尚处在试制和试运行阶段,还需在实践中进行验证和进一步提高。另外,介绍中可能有许多不妥处,仅供讨论和了解负序反时限保护时参考。

**编者按:**本期刊登西南电力设计院李嘉陵同志写的“在消弧线圈接地系统中利用五次谐波零序功率方向鉴别故障线路”一文。文中介绍的五次谐波原理装置,目前在小电流接地系统开始采用。文中所提出的讨论问题,希读者参加讨论,另外,五次谐波量在各个系统不一样,而且同一系统时刻有变化,其变化规律,影响因素尚需进一步探讨和揭示,敬请读者多研究提供这方面的资料。

## 在消弧线圈接地系统中利用五次谐波 零序功率方向鉴别故障线路

西南电力设计院 李嘉陵

消弧线圈接地系统发生单相接地故障后仍可带接地点运行,但此时危害较大,因此要求尽速找出故障线路。在结构简单的电网中可以采用逐条拉开线路的方法查找故障线,但在馈线数较多或结构复杂的电网中采用这个方法就十分麻烦,容易造成操作错误,甚至因为负荷的缘故而无法采用,因此要求装设自动指示故障线路的设备。

利用首半波原理的接地信号装置能适用于结构复杂的电网,具有灵敏度较高,能反映网络性故障等优点,但是由于外因(雷击等)引起的接地有可能在该相电压较小时发生,或不同线路两点接地短路后,保护可能将后接地的接地点保留下来,这二种情况下这种原理的装置不能动作或不正确指示故障线路。

本文介绍的装置是在故障发生后鉴别线路上五次谐波零序功率的方向。这种原理的装置经在110千伏电网上人工接地试验证明性能良好。由于原理的限制,它不能指示闪络故障。

### 一、基本原理:

故障后零序电压中存在除基波外的各高次谐波电压,其中一般是五次谐波电压最突出,它随运行方式而变化,资料表明大多数电网可含有0.4%~1.0%左右的五次谐波电压。由于250周时消弧线圈感抗较50周时大五倍而电网容抗却小五倍,故五次谐波电容电流几乎不能