

图九

c、保护的灵敏度：发电机空载中心点经电弧电阻接地，接地电阻达9KΩ保护仍能动作。

d、三次谐波最小动作值不大于0.5v。

6、本保护通过实验室试验，清华大学动模试验及清华大学校电站现场试验，动作正确，并投高井电厂试运行，但我们工作尚处于试制和试运行阶段，还需在实践中验证和进一步提高，错误之处，请各单位指正。

## BCD—24型变压器差动保护

许昌继电器研究所 王孝纾、钟锡龄

### 一、保护的选型：

变压器差动保护是反映相间短路，高压侧单相接地短路以及匝间、层间短路故障的主保护，与发电机、母线和线路相比，变压器差动保护有以下主要特点：

#### 1. 匝间短路电流小：

匝间短路是变压器内部故障的主要形式，但一般匝间短路时，流入差回路的电流小于额定电流，因此要求继电器有较小的正定值。

### 2. 不平衡电流大:

由于变压器有调压抽头及差动保护所用的各侧电流互感器特性不同, 在外部故障时流入差动继电器的不平衡电流很大, 可能引起误动作, 因此继电器必须带制动特性。

### 3. 励磁涌流:

变压器空载投入时(或外部故障切除后), 产生大大超过额定电流的励磁涌流, 必须采取措施, 防止差动保护在这种情况下误动作。

设计保护大型变压器的差动继电器, 在保证选择性的条件下, 特别强调其灵敏度, 要求继电器动作电流的额定范围为  $0.1 \sim 0.5 I_N$  (其中  $I_N$  为继电器的额定电流)。为了保证选择性, 就必须可靠地躲过:

- 励磁涌流
- 穿越短路电流引起的不平衡电流。

对于不平衡电流, 可采取制动的方法来解决, 采取制动后, 能降低继电器动作电流, 有利于反应区内短路故障。

但对于励磁涌流, 采取制动是不可行, 将会使继电器的灵敏度降低。

变压器励磁涌流的特点:

- (1) 涌流峰值很高, 有时可达 5—10 倍额定电流;
- (2) 在励磁电流达到峰值以前, 其中含有数值很大的非周期分量和高次谐波分量 (主要是二次谐波和三次谐波), 因此励磁涌流变化曲线为尖顶波, 且几乎完全偏于时间轴的一侧, 其波形不同于正弦波, 而是间断的, 间断角约  $120^\circ$  左右。

为了探讨差动保护的可行性, 国内外有关部门对于变压器空载投入及内部短路电流波形进行了大量的分析研究, 现将分析结果列于表 2。

表 2: 500KVA 变压器三相内铁式  $\Delta/\Delta 60/6.6$  KV  $\Delta/\Delta 66$  KV 侧空载投入励磁涌流的谐波成份:

(摘自《电网技术》第 3 期傅集)

| 谐波成份 | 外部故障 |      |      | 内部故障   |       |
|------|------|------|------|--------|-------|
|      | 第一谐波 | 第二谐波 | 第八谐波 | LH 不饱和 | LH 饱和 |
| 基波   | 99   | 100  | 100  | 100    | 100   |
| 二次谐波 | 58   | 58   | 53   | 38     | 0     |
| 三次谐波 | 62   | 63   | 35   | 9      | 4     |
| 四次谐波 | 25   | 23   | 20   | 1      | 32    |
| 五次谐波 | 4    | 5    | 7    | 7      | 9     |
| 六次谐波 | 2    | 3    | 3    | 1      | 2     |

表 2: 500KVA 变压器三相内铁式  $\Delta/\Delta 60/6.6$  KV  $\Delta/\Delta 66$  KV 侧空载投入励磁涌流的谐波成份。

| 电流分量  | 各 相 励 磁 涌 流 |     |     |     |     |     |   |
|-------|-------------|-----|-----|-----|-----|-----|---|
|       | L           | H   | △   | 结   | 线   | 结   | 线 |
|       | A           | B   | C   | A   | B   | C   |   |
| $I_1$ | 100         | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 |   |
| $I_0$ | 68          | 25  | 63  | 65  | 0   | 60  |   |
| $I_2$ | 30          | 100 | 45  | 30  | 105 | 35  |   |
| $I_3$ | 10          | 40  | 20  | 12  | 43  | 20  |   |

表3：励磁涌流波形分析（“OHM”54卷№6）

|      | 12000KV A | 10KV A | 单相变压器 I | 单相变压器 II |
|------|-----------|--------|---------|----------|
| 基 波  | 100       | 100    | 100     | 100      |
| 直流分量 | 59        | 62     | 57.7    | 58       |
| 二次谐波 | 64.5      | 50     | 63      | 63       |
| 三次谐波 | 24.5      | 9.4    | 26.8    | 22       |
| 四次谐波 | 11        | 5.4    | 5.1     | 5        |
| 五次谐波 | 4.4       |        | 4.1     | 3.4      |

从以上三表分析可知，励磁涌流中除基波外，二次谐波和直流分量占很大比重。而内部故障时，故障电流中除基波外，其他高次谐波分量都很少，仅在内部故障电流互感器饱和的情况下，三次谐波分量所占的比重可达30%左右。因此，利用励磁涌流中含有很大成份的二次谐波这一特点来区分励磁涌流和短路电流。即当变压器空载合闸时，利用励磁涌流中的二次谐波分量作为制动分量，外部故障时利用比率制动来躲过不平衡电流，而内部故障时利用基波分量作为动作量，这是采用二次谐波制动的差动保护原理依据。同时，有认为利用三次谐波作为内部故障时的助动因素，以消除电流互感器饱和对继电器的影响。虽然在内部故障电流互感器饱和产生比较大的三次谐波，但在励磁涌流的情况下，三次谐波分量也占比较大的比例，而两者相差不多，这样利用三次谐波助动将降低躲避励磁涌流的能力。为了消除LH饱和的影响，可装设一速切元件。

根据这情况，许昌继电器研究所和清华大学电力系共同研制了BCD-24型差动保护。

## 二、工作原理简介：

1. BCD-24型差动保护的原理接线图见图1

用于差动保护的电流互感器二次线卷按环流法原理构成。变压器各侧电流互感器的变化误差用FY-1型自耦变流器来补偿。

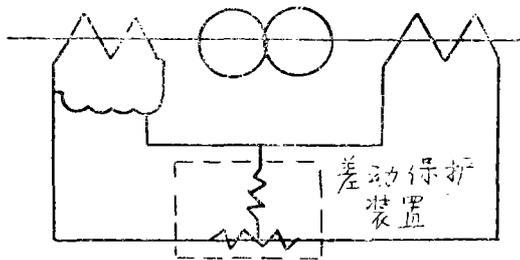


图1 差动保护装置

2. 保护的原理方块图见图 2

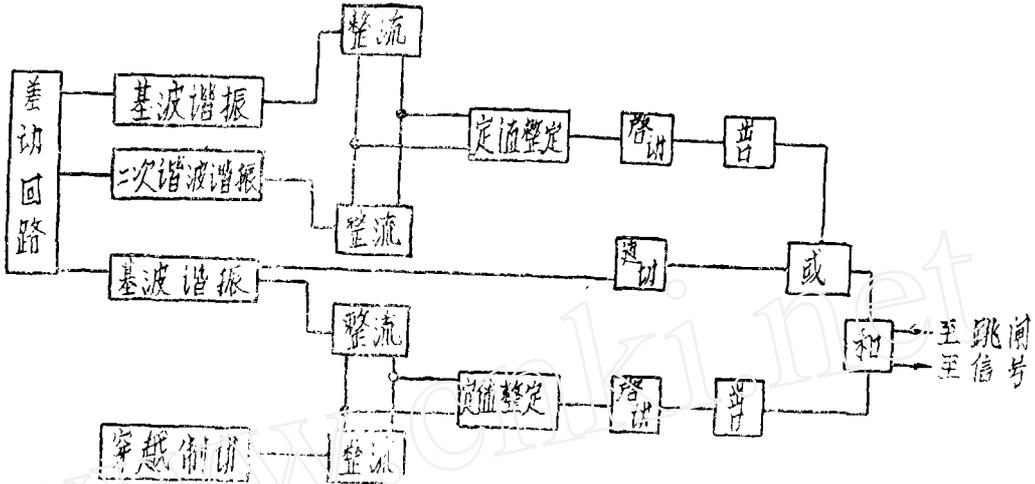


图 2

3. 交流回路：包括二次谐波制动和比率制动两部分，整流后用环流式比较，既能保证继电器的可靠性又提高了继电器的灵敏度。

a. 涌流闭锁部分见图 3

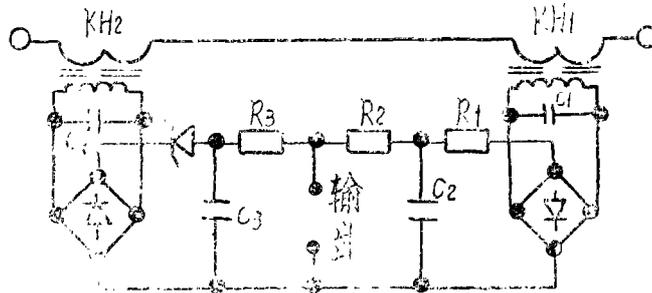


图 3

$KH_1$  为 50 Hz 谐振回路， $KH_2$  为 100 Hz 谐振回路均接于差电流回路中。 $KH_1$ 、 $KH_2$  为带气隙的电抗变压器，利用二次线卷之电感和电容  $C_1$ 、 $C_4$  组成 50 Hz 和 100 Hz 的并联谐振回路，品质因素作得比较高。考虑到最坏的情况，即当励磁涌流中二次谐波分量仅占基波分量的 20% 时，也能保证在变压器

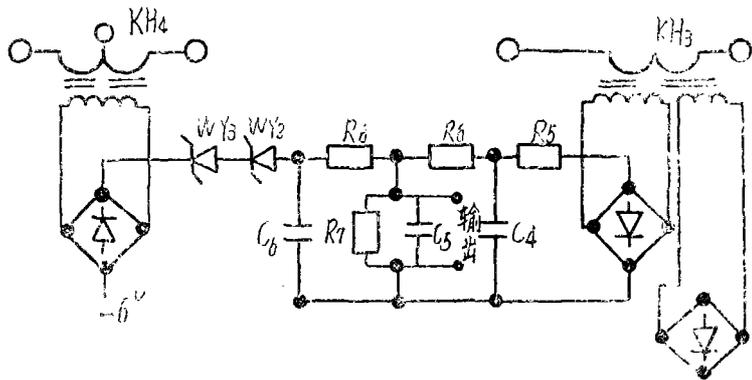


图 4

空载投入时不误动作，制动比做成 5—7 调整  $R_9$  的数值可以改变制动比。

b. 比率制动部分见图 4

$KH_3$  和  $KH_4$  为电压互感器， $KH_3$  的二次有两个绕组，一个绕组和  $KH_4$  的二次绕组经整流后组成环流法比较，在制动侧接有稳压管  $WY_2$ 、 $WY_3$  及  $-6V$  以得到保护的制动曲线为一折线如图 5，在  $1.3 I_H$  以前不起制动作用，以提高保护的灵敏度。

$KH_3$  的另一个绕组经整流后接一小型继电器，构成差回路的速切部分，其动作整定范围为  $10-15 I_H$ ，出口接点与涌流闭锁部分接点并联，藉以克服可能由  $LH$  饱和而出现较大三次谐波，降低继电器的灵敏度或出现的拒动。

4. 直流部分：（见图 6）涌流闭锁和比率制动部分分别有各自的单稳触发电路和分别调整定值，两个逻辑回路的出口继电器的接点串联，这样分工明确，提高了可靠性。

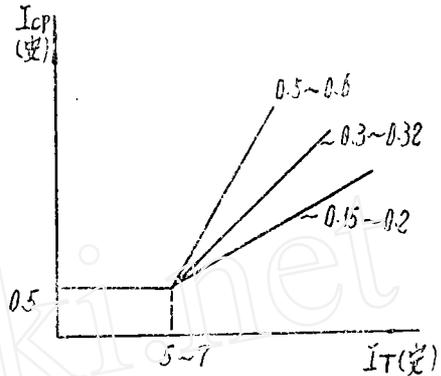


图 5

### 三、主要技术指标：

1. 动作电流为  $0.1 \sim 2.5 A$
2. 制动比为  $5 \sim 7$
3. 制动系数为  $0.15 \sim 0.2$ ； $0.3 \sim 0.35$ ； $0.5 \sim 0.6$
4. 动作时间不大于  $50 ms$

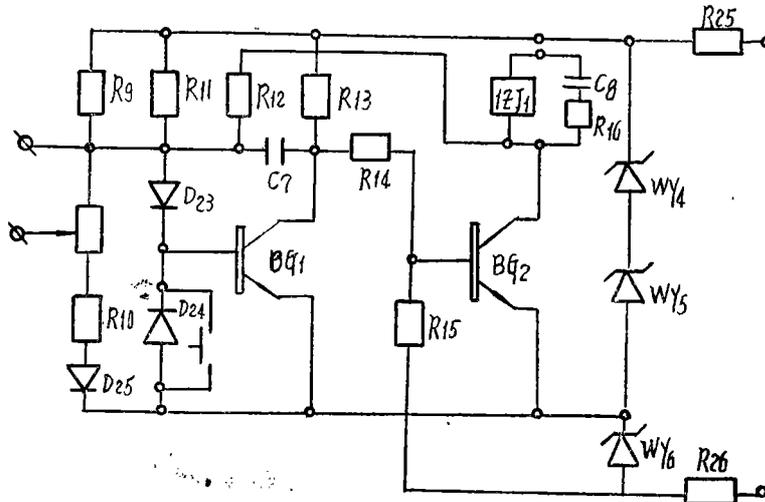


图 6

### 四、动模试验结果：

1. 保护能反映  $1.5\%$  的匝间短路。
2. 保护能正确反映变压器内部故障及  $LH$  饱和时的内部故障（按三倍额定电流  $LH$  饱

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2.0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。而且该频率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各种不同的组成材料；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；