

# 过功率继电器

浙江省电力中心试验所 张朝庭

我省超高压输电系统中，采用了电气制动、远方高频启动切机、逆功率方向解列和在跨省的重载联络线上采用“两相运行”等手段，提高了系统稳定。上述自动装置中的起动元件，都要使用过功率继电器，用它判断输送功率的大小和潮流方向。

在两相运行中的过功率继电器，起下述作用：

1. 反映某水电厂送出的有功达给定值时，创造好机组由调相自动转为发电运行的必要条件。

2. 当跨省重载联络线在倒送功率时，一旦此功率超过某一稳定极限值，自动使综合重合闸装置在发生永久性单相接地短路时，能实现非全相（两相）运行数分钟。

3. 在枢纽变电所中，反映相邻线路跳闸后，本线路输送的功率在某方向超过稳定极限时，联锁切负荷。

过功率继电器尚无制造产品。用半导体元件——二极管乘法器、三极管多谐振荡器开关电路及霍尔元件等可制成过功率继电器，但较复杂，可靠性目前还不高。为了满足系统运行可靠性和迫切性的要求，作者采用了较为简单的方法，用国产正流型功率继电器（上继厂LLG—1型另序方向）改制了14只过功率继电器，于1974年投入系统运行，至今效果良好。

改制的过功率继电器，由于利用交流电压正流助磁，返回系数受电压波动，变化较大，有待进一步改进。作者在此提出，引起大家共同关心过功率继电器正式产品的诞生。错误之处，望加指正。

## 一、改制原理

按绝对值比较的正流型功率方向继电器，上继厂LLG—1型另序方向继电器原理接线见图一。

从图二的向量分析，利用余弦定律，可得：

$$\begin{aligned} \dot{U}_1 &= \sqrt{U_I^2 + U_H^2 - 2 U_I U_H \cos(\pi - \alpha)} \\ &= \sqrt{U_H^2 + 2 U_I U_H \cos \alpha + U_I^2 \cos^2 \alpha - U_I^2 \cos^2 \alpha + U_I^2} \\ &= \sqrt{(U_H + U_I \cos \alpha)^2 + U_I^2 (1 - \cos^2 \alpha)} \dots \dots \dots (1) \end{aligned}$$

同理：

$$\begin{aligned} \dot{U}_2 &= \sqrt{U_H^2 + U_I^2 - 2 U_I U_H \cos \alpha} \\ &= \sqrt{(U_H - U_I \cos \alpha)^2 + U_I^2 (1 - \cos^2 \alpha)} \dots\dots\dots (2) \end{aligned}$$

设计参数，使  $U_H \gg U_I$ ，故 (1) (2) 两式根号内的第二项，可以略去，而得：

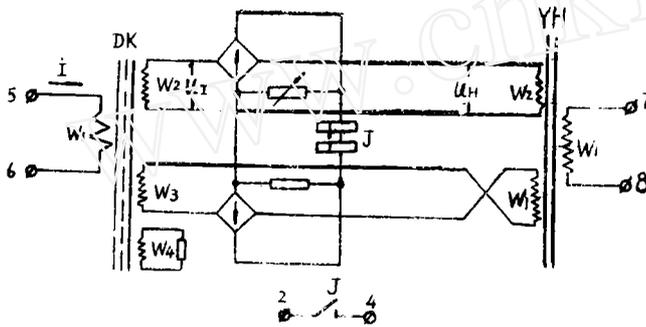
$$\dot{U}_1 = U_H + U_I \cos \alpha \dots\dots\dots (3)$$

$$\dot{U}_2 = U_H - U_I \cos \alpha \dots\dots\dots (4)$$

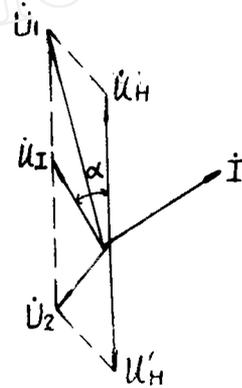
正流后，按绝对值比较  $|\dot{U}_1| - |\dot{U}_2|$ ，执行元件为极化继电器，因此具有动作方向性，设动作电流为  $I_{CP}$ 。

$$(3) - (4) \text{ 式，即得： } I_{CP} = K I \cos \alpha \dots\dots\dots (5)$$

$K$ ——系数，与电抗变压器DK转移阻抗和正流系数有关。



图一 LLG—1型功率继电器原理接线图



图二 向量图

从 (5) 式可见，若使  $\cos \alpha$  为功率因数  $\cos \varphi$ ，继电器便可反映有功电流了。

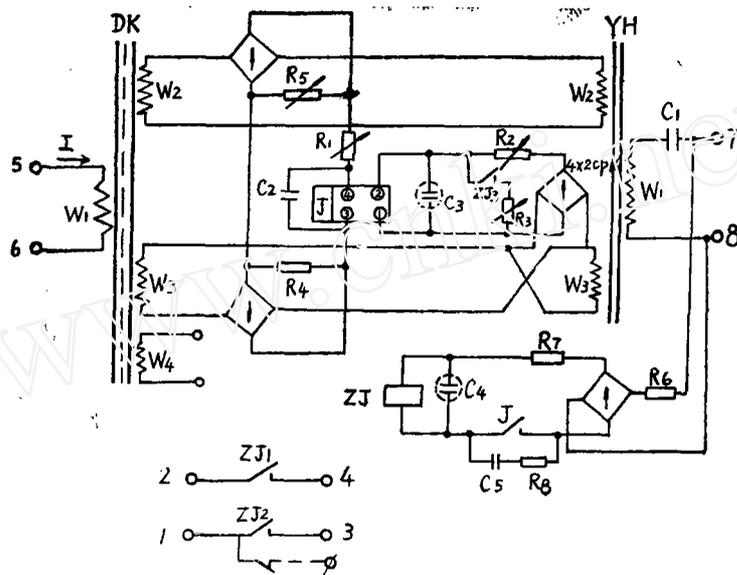
电抗变压器DK的二次电压超前一次电流约  $90^\circ$ ，如继电器按  $0^\circ$  接线，即电流和电压都接在同名相上，需使变压器YH的二次电压也接近相电压  $90^\circ$ ，即最大灵敏角为  $0^\circ$ 。为此目的，在变压器YH一次线圈串联电容器  $C_1$  进行移相（还达不到要求，再在电抗互感器  $W_4$  线圈上并连适当电阻）。相电压的大部分降落在  $C_1$  上，约30%的电压加在变压器YH上，从而保证了继电器的热稳定。因为原厂家设计的参数勿需考虑长期通电，仅当短路时出现数秒钟的另序电压才起作用，故线径细（0.2毫米），阻抗小。如用其他方法移相，显然直接将原继电器接在相电压上，绝不容许长期运行的。

串联了电容器  $C_1$  后， $U_H$  虽然减小了，但在二次电流为额定值或过负荷的情况下，仍然满足  $U_H \gg U_I$  的要求。如需接成和电流（反映双回线输送的总功率）或反映主变功率，可将电抗变压器DK的  $W_1$  匝数减少。

以上分析仅解决了继电器能反映有功电流的问题，在运行电压不变时，才可间接反映有功功率，实际上是不可能的。

采用非线性电感的相敏电路、二极管乘法器能消掉(1)(2)两式的根号，使之成为 $K U_I U_H \cos \varphi$ ，可反映有功功率，但很复杂。仔细分析过功率继电器运行特点很有必要。它不同于一般的功率方向继电器，前者是在系统运行正常时，要求功率在某方向超过一定数量时，才使其动作，在线路故障时，不要求动作；后者只允许被保护线路短路时才动作(另序方向)。显然，正常运行方式时，电压容许变化幅度是有限( $0.8U_H \sim 1.1U_H$ )的。

改制的过功率继电器见图三



图三、过功率继电器原理接线图

将极化继电器(JH-1Y型)两组线圈由串接分开，一组4200匝③—④接成反映有功电流，另一组①—②8800匝接由交流助磁，反映运行电压，进行磁的综合后，反映有功功率。于是继电器的动作电流由两部分组成：

$$I_{cP} = I_{cP1} + I_{cP2} \\ = K_1 I \cos \varphi + K_2 U$$

$$\text{令 } IU \cos \varphi \approx K_1 I \cos \varphi + K_2 U \dots \dots \dots (6)$$

当电压U在给定的范围内变化时，改变系数 $K_1 K_2$ ，(7)式可以做到极其近似相等。

实际上，当运行电压降低时，助磁电流减少，要求动作的有功电流加大；电压升高，与此相反，使动作的有功功率几无变化。

各回路调正具有独立性，助磁电阻 $R_2$ 一次调正好后，勿需再动了。正定动作功

率，调正电阻  $R_1$ ，且呈比例线性关系。

由于极化继电器返回系数低，加上助磁，可能动作后不返回。为了调正返回功率、扩大接点数量和提高继电器的绝缘水平，加了一只 JZX-2F 型小中间继电器 ZJ，其线圈接在交流电压正流滤波回路中，并受极化继电器的接点控制；它的一付常开接点旁路助磁，与电阻  $R_3$  配合调正返回功率，其他接点是过功率继电器出口接点。所有元件全装在原继电器盒内，用印刷电路板代替原厂家铭牌地位。有的继电器用钮子开关短路部分电阻  $R_1$ ，便于于进行中临时切换正定值（其上标注了两个定值）。

系统短路时，过功率继电器不会动作。短路时输送功率降低、短路相剩余功率更小，实际上，小中间继电器 ZJ 的动作电压，选择电阻  $R_7$  使其动作值为 70%，短路时动不了。

继电器线圈上并联了电容器后，不仅消除了接点抖动，还使动态（冲击）动作功率接近正定值的 90%，这有好处。无论电压互感器接在母线侧或线路侧（即继电器运行中总是带电的），如果运行时的实际功率因数低，视在功率大，在单相重合闸过程中，不会因电流合闸相角刚好与电压同相而发生误动作。

## 二、正定试验结果：

设要求正定动作功率为  $P_Y$ ，CT 变比为  $K_T$ ，P·T 变比为  $K_H$ ，继电器采用  $0^\circ$  接线，用一只过功率继电器接在任意相上反映三相总功率。则继电器端上的动作功率  $P_{CP}$ ：

$$P_{CP} = \frac{P_Y}{3K_T \cdot K_H} = IU \cos \varphi$$

$$I_{CP} = \frac{P_{CP}}{U \cos \varphi} \dots \dots \dots (7)$$

例：一次三相动作功率  $P_Y = 140$  兆瓦，

$$k_T = \frac{600}{5} = 120, \quad k_H = \frac{220,000}{100} = 2200$$

$$P_{CP} = \frac{140 \times 10^6}{3 \times 2200 \times 120} = 176 \text{ 瓦}$$

先调电阻  $R_6$ ，使两比较回路平衡，即当电流为零，电压为额定值时，极化继电器线圈 3—4 间电压为零。改变移相器使  $\cos \varphi = 0.8$ ，电压在上限、额定和下限三种情况下调正助磁电阻  $R_2$ ，使其动作功率尽量相等。 $R_2$  调好后就不再动了。按 (7) 式计算  $I_{CP}$ ，调正电阻  $R_1$ ，使实际的动作电流为  $I_{CP}$ 。最后调电阻  $R_3$ ，改变返回功率。

某 220KV 变电所装的 \*03 过功率继电器试验报告摘要：

一次三相动作功率：140 兆瓦（180 兆瓦）

继电器端子上的动作功率（两个定值）：176 瓦（227 瓦）

作用：220KV 重载联络线跳闸，另一条 220KV 联络线倒送过功率动作，连锁切相邻 110KV 线路。

### (1) 绝缘电阻：

1000 伏摇表 > 1000 兆欧

2500 伏摇表 1 分钟后 > 350 兆欧

- ( 2 ) 极化继电器:  
动作电流 ( 3 - 4 ) 2 毫安, 返回电流 1 毫安。
- ( 3 ) 助磁电阻  $R_2 = 56K \Omega$   
正定电阻  $R_1 = 11.3K \Omega$  (  $14.339K \Omega$  )  
返回电阻  $R_3 = 112 \Omega$
- ( 4 ) 小中间继电器 ZJ:  
动作电压 ( 交流相电压 ) 42.5 伏  
返回电压: 13 伏
- ( 5 ) 动作功率特性:  
电压变化 63 ~ 46 伏,  $\cos \varphi$  变化 1 ~ 0.6  
动作功率  $P_{CP} = 163 \text{瓦} \sim 170 \text{瓦}$  (  $221 \sim 241 \text{瓦}$  )  
冲击动作功率 =  $0.88P_{CP}$   
返回系数  $0.75 \sim 0.96$  。