

# 变压器的过电流保护

陕西省渭南地区电业局 张付长

过电流保护用来保护外部短路及过载引起的过电流,同时也可用来作为反应变压器内部及引出线故障的其他保护装置的后备保护。过电流保护的整定要躲开电动机启动时流经保护装置所在处电流的最大值,变压器容量较大时保护装置的启动电流将失之过大,因而保护装置对一系列故障的灵敏度也就过小。为了提高保护装置的灵敏度,通常装设带欠电压启动的过电流保护,如果要使低电压启动的过电流保护有满意的效果,必须增加低电压继电器的组数,这将使接线大为复杂化。因此目前有的采用复合电压启动的三相过电流保护,负序电流保护。

## 一、复合电压启动的三相式过电流保护

保护装置的接线见图 1 所示。当对称故障时电压继电器  $V_1$  返回,非对称故障时负序电压继电器  $V_2$  动作,两种情况下电流继电器  $I_1 \sim I_3$  均动作,因而整套保护装置动作将故障切除。

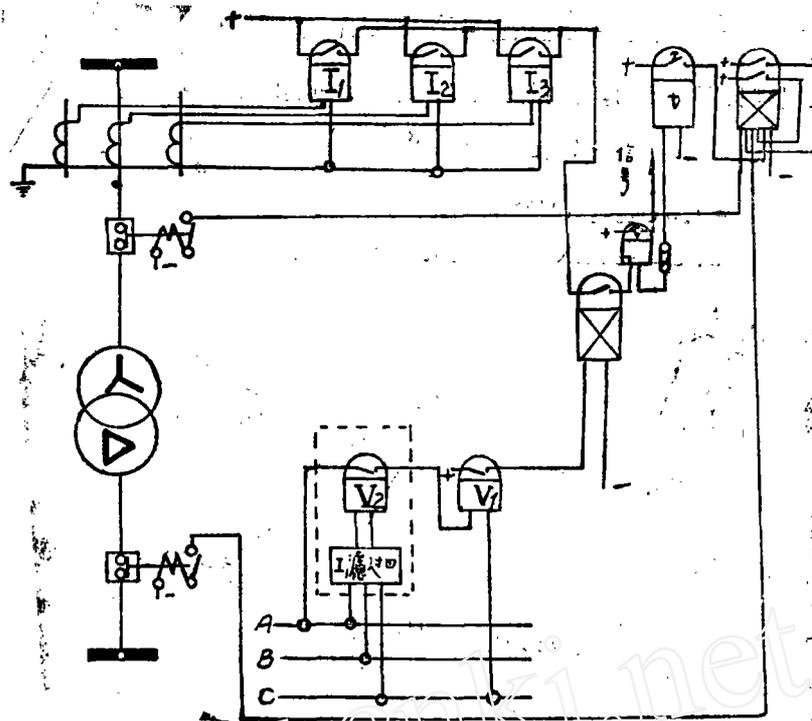


图 1

负序电压继电器的动作原理，内部接线见图 2 所示。

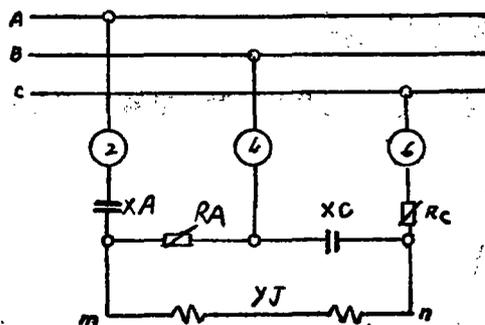


图 2

如图 2 所示，在三相中另序电压是同相的，因此在输入端采用线电压接线就可以消除另序电压的影响，使它不可能在输出端  $m_n$  有反应。

回路中的参数是这样选择的：

$$X_A = \frac{1}{\sqrt{3}} R_A$$

$$X_C = \sqrt{3} R_C$$

当输入端有正序电压加入时，其向量图如图 3 所示。在  $m_n$  端的输出电压为：

$$\dot{U}_{mn(1)} = \dot{U}_{RA(1)} + \dot{U}_{XC(1)} = \frac{\sqrt{3}}{2} \dot{U}_{ab(1)} e^{j30^\circ} + \frac{\sqrt{3}}{2} \dot{U}_{bc(1)} e^{j(-30^\circ)} = 0$$

当输入端有负序电压时，向量见图 4 所示。m-n 端的输出电压为：

$$\begin{aligned} \dot{U}_{mn(2)} &= \dot{U}_{RA(2)} + \dot{U}_{XC(2)} = \frac{\sqrt{3}}{2} \dot{U}_{ab(2)} e^{j30^\circ} + \frac{\sqrt{3}}{2} \dot{U}_{bc(2)} e^{j(-30^\circ)} \\ &= 1.5 \dot{U}_{ab(2)} e^{j30^\circ} \end{aligned}$$

由此可见，输出电压与输入端的负序电压成正比。

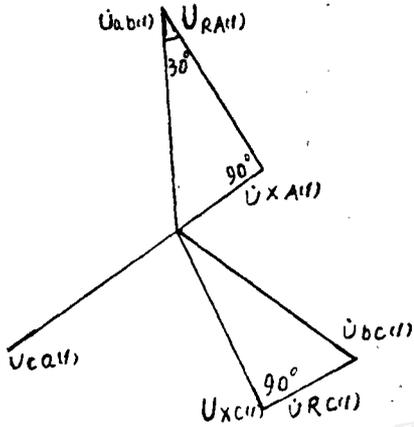


图 3

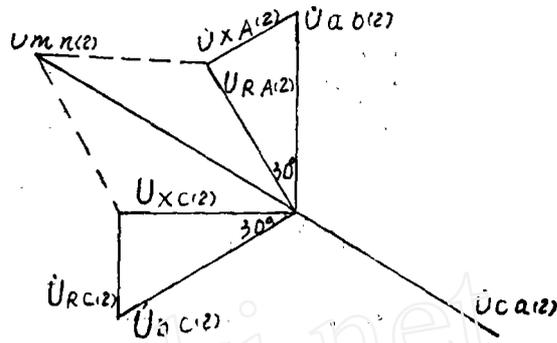


图 4

## 二、负序电流保护

负序电流保护接线见图 5。当对称故障时继电器 I<sub>1</sub>V 起动，非对称故障时继电器 I 起动将故障切除。

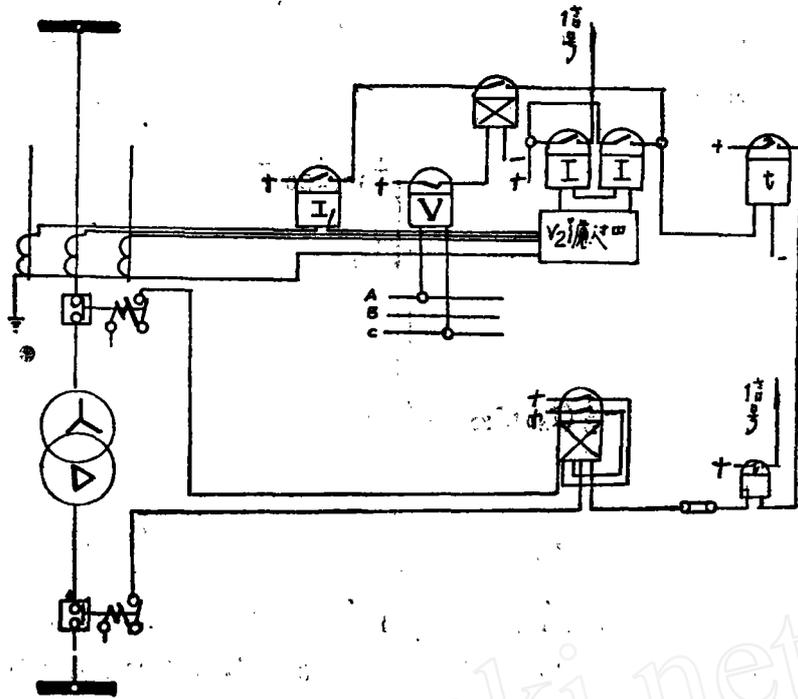


图 5

负序电流继电器动作原理。内部接线见图 6 所示。

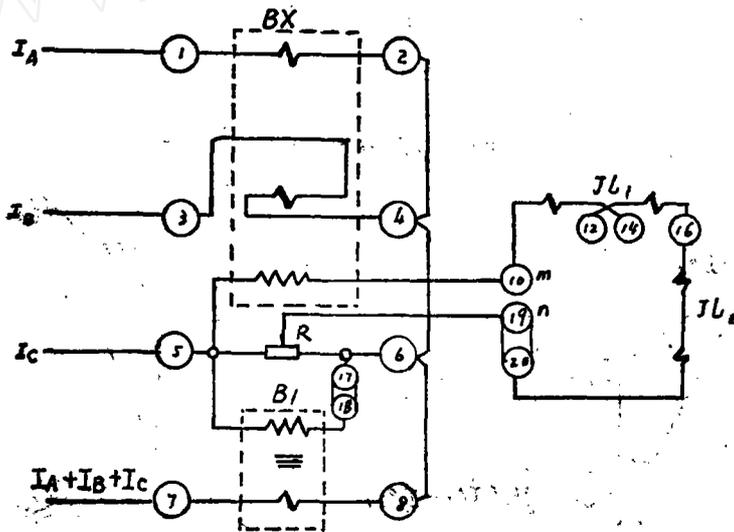


图 6

当  $B_1$  断开时, 输入端有另序电流, 其向量图如图 7 所示。这时在  $m_n$  端的输出电压为:

$$\dot{U}_{m_n(0)} = R \dot{I}_{c0} = R \dot{I}_0$$

当  $B_1$  接入时，其二次电流在  $R$  上的压降为  $R \dot{i}$ 。（变流器  $B_1$  是降压式的，其变流比  $K_B = \frac{1}{3}$ ）。因此  $U_{mn(0)} = 0$

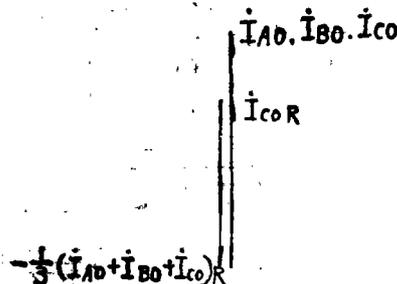


图 7

当输入端有正序电流加入时，向量图见图 8 所示，在  $m_n$  端的输出电压为：

$$\begin{aligned} \dot{U}_{mn(1)} &= -jK(\dot{I}_{A1} - \dot{I}_{B1}) + R\dot{I}_{c1} \\ &= -e^{j90^\circ}K\sqrt{3}\dot{I}_{A1}e^{j30^\circ} + R\dot{I}_{A1}e^{j120^\circ} = (R - j\sqrt{3}K)\dot{I}_{A1}e^{j120^\circ} \end{aligned}$$

式中  $K$  为  $BX$  的感抗 ( $XM$ )，选用其值  $R = \sqrt{3}XM$ ，则  $\dot{U}_{mn(1)} = 0$

当输入端有负序电流加入时，其向量图如图 9 所示，在  $m_n$  端的输出电压为：

$$\begin{aligned} \dot{U}_{mn(2)} &= -jK(\dot{I}_{A2} - \dot{I}_{B2}) + R\dot{I}_{c2} \\ &= jK\sqrt{3}\dot{I}_{c2} + R\dot{I}_{c2} \\ &= (-j^2\sqrt{3}K + R)\dot{I}_{c2} \\ &= (\sqrt{3}K + R)\dot{I}_{c2} \\ &= 2R\dot{I}_{c2} \end{aligned}$$

由此可见，输出电压与输入端的负序电流成正比。

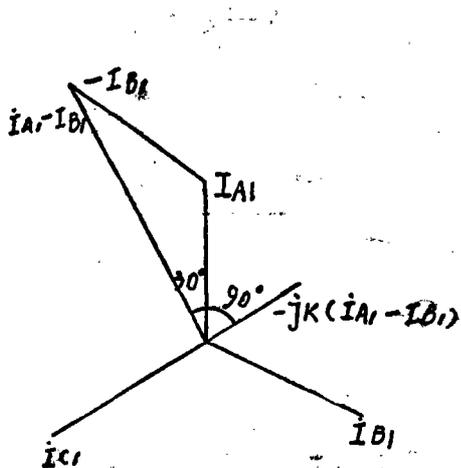


图 8

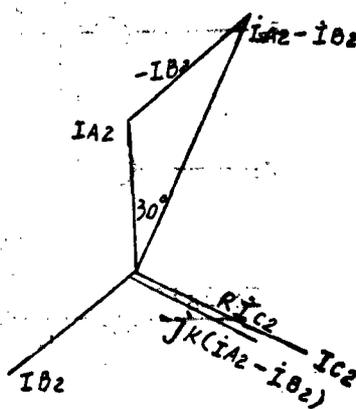


图 9

### 三、保护装置的整定

#### 1. 复合电压起动的过电流保护

(1) 保护动作电流:

$$I_{dz.2} = \frac{K_k}{K_b} I_e$$

式中:  $I_e$ ——变压器额定电流;

$K_k$ ——可靠系数, 采用1.2;

$K_b$ ——返回系数, 采用0.85

(2) 负序电压继电器的动作电压: 躲开正常运行时的不平衡电压。

$$U_{dz.2} = 0.06 U_e$$

式中:  $U_e$ ——额定相间电压。

(3) 接在相间的低电压继电器动作电压: 应躲过电动机自起动的条件确定。

$$U_{dz.2} = (0.6 \sim 0.8) U_e$$

(4) 保护的灵敏度, 按后备保护范围末端短路进行校验。灵敏度不小于1.2。

#### 2. 负序电流保护

双卷变压器

(1) 保护的动作用电流按下列条件整定:

(1) 躲过在被保护变压器中流过最大可能的过负荷电流情况下, 并伴随系统频率降低时, 滤过器的不平衡电流;

$$I_{dz.2} \approx (0.1 \sim 0.2) I_e$$

式中:  $I_e$ ——变压器的额定电流。

上式往往不是决定条件。

(2) 在大电流接地系统中, 保护的动作用电流要按在线路上发生一相断线时与线路另序电流保护在灵敏度上配合:

$$I_{dz.2} \geq K_k \cdot K_{zf} \cdot I_{2d} = K_k K_{zf} \frac{I_{dz.0}}{3} \cdot \frac{Z_{0\Sigma}}{Z_{2\Sigma}}$$

式中:  $K_k$ ——可靠系数, 采用1.2;

$K_{zf}$ ——负序电流分支系数, 其值等于流过保护安装处的负序电流与流过断线点的负序电流之比;

$I_{2d}$ ——流过断线点的负序电流;

$Z_{0\Sigma} \cdot Z_{2\Sigma}$ ——断线点的另序, 负序综合输入阻抗;

$I_{dz.0}$ ——断线线路另序后备段的动作电流。

由于分支系数  $K_{zf}$  通常小于1;  $K_k \cdot Z_{0\Sigma} / Z_{2\Sigma}$  通常小于3, 因此在作概略整定时, 不论电网结构如何  $I_{dz.2}$  可按  $I_{dz.2} \geq I_{dz.0}$  确定。如果这样来整定计算将导致保护灵敏度不够时, 则应按上式进行精确计算。

(3) 在小接地电流电网中, 或在大地接地电流电网中但断线故障发生在受电侧中性点不

接地的终端线路上，躲过相邻线路发生一相断线时流过保护安装处的最大负序电流。

保护动作电流

$$I_{dz.2} = K_K \cdot K_{2fz} \cdot I_{2dX}$$

$$= K_K \cdot K_{2fz} \frac{I_{fh}}{1 + \frac{Z_{2\Sigma}}{Z_{1\Sigma}} + \frac{Z_2}{Z_0}}$$

式中： $K_K \cdot K_{2fz}$ —同上；

$I_{fh}$ —断线前流过断线点的最大负荷电流；

$Z_{1\Sigma}$ 、 $Z_{2\Sigma}$ 、 $Z_{0\Sigma}$ —断线处的正、负、另序综合阻抗；

$I_{2dX}$ —流过断线点的负序电流。

4)在大接地电流电网中，与相邻线路上的另序电流保护在灵敏度上配合。

对于两相接地短路

$$I_{dz.2} \geq K_K^{(1.1)} \frac{K_{2fz}}{K_{0fz}} \cdot \frac{I_{dz.h}}{3} \cdot \frac{Z_{0\Sigma}}{Z_{2\Sigma}}$$

对于单相接地短路

$$I_{dz.2} \geq K_K^{(1)} \cdot \frac{K_{2fz}}{K_{0fz}} \cdot \frac{I_{dz.h}}{3}$$

式中： $K_K$ —可靠系数，对于 $K_K^{(1.1)}$ 采用1.2~1.3，对于 $K_K^{(1)}$ 采用1.1~1.2；

$Z_{2\Sigma}$ 、 $Z_{0\Sigma}$ —系统对接地故障点的负序和另序综合阻抗；

$K_{2fz}$ —负序电流分支系数，其值等于流过保护安装处的负序电流与流过故障线路的负序电流之比；

$I_{dz.h}$ —另序电流保护后备段的动作电流；

$K_{0fz}$ —另序电流分支系数。

5)在小接地电流电网中与相邻线路上的距离保护在灵敏度上配合。

保护动作电流

$$I_{dz.2} \geq K_K \cdot K_{2fz} \frac{E_x}{2 Z_{\Sigma}}$$

式中： $E_x$ —系统的相电势；

$K_K$ —可靠系数，采用1.1~1.2；

$K_{2fz}$ —负序电流分支系数，其值等于流过保护安装处的负序电流与流过故障线路的负序电流之比。

(6)在小接地电流电网中，与相邻线路上的过电流保护在灵敏度上配合。

保护动作电流

$$I_{dz.2} \geq K_K \cdot K_{2fz} \frac{I_{dz.h}}{\sqrt{3}}$$

式中： $K_K \cdot K_{2fz}$ —同上；

$I_{dz.h}$ —装设在相邻线路上相间短路过电流保护的的动作电流；

$\sqrt{3}$ —两相短路时短路电流与其负序电流的比值。

(2) 负序电流保护的灵敏度, 要求不小于1.2。

三卷变压器的负序电流保护与双卷变压器负序电流保护选择条件和计算方法大致相同, 但有以下特点:

(1) 装设在三卷升压变压器的高压侧或中压侧的保护的动作电流选择条件与装设在双卷变压器上的保护相同。但对于中压侧的负序电流保护, 当该侧有电源时, 保护的动作电流应躲过在高压电网内发生不对称短路时流入保护的负序电流。这样往往导致保护灵敏度的严重恶化, 为此, 应考虑在上述保护上加装方向元件。

(2) 装设在三卷变压器的负序电流保护灵敏度应按照属于该保护后备保护区内的相邻线路末端短路校验。

(3) 对于装设在变压器高压侧和中压侧的负序方向电流保护电流元件和负序电力方向元件的灵敏度都应进行校验。因为在很多情况下, 负序电力方向元件比电流元件更有可能拒绝动作, 灵敏度应按保护后备区末端短路进行校验。灵敏度可由下式求得:

$$K_m = \frac{S_{d.2}}{S_{dz.1.2}}$$

式中:  $S_{d.2}$ —在保护安装处负序功率为最小值的运行方式下, 当后备保护区末端发生金属性短路时, 接入保护的负序功率;

$S_{dz.1.2}$ —负序方向继电器的动作功率。

作为后备保护  $K_m$  约为1.5 (在后备保护范围末端短路时); 作为母线主保护  $K_m$  约为2 (在母线上短路时)。

#### 四、几点结论

通过多种典型实例及实际应用计算表明:

1. 复合电压启动的过电流, 负序电流保护要比低电压启动的过电流保护的灵敏度高的多, 并且前二者在变压器后非对称短路时其灵敏度与变压器的结线方式无关, 而且结线也比较简单, 因此用复合电压启动的过电流或负序电流保护代替以往在变压器上装设的低电压启动过电流保护是必要的。

2. 复合电压启动的过电流, 负序电流保护对出线上的两相短路故障在灵敏度上均能满足要求。

3. 一般情况下复合电压启动的过电流保护的灵敏度较负序电流稍好。

4. 负序电流保护整定计算比较复杂, 因此, 在变压器上装设复合电压启动的过电流保护比较合适。

5. 复合电压启动的过电流保护和负序电流保护一般不宜于用在正常运行时有较大的负序电压、电流的电网中 (如带有单相交流电力机车, 单相冶炼电炉等负荷)。