

不对称断线对龚嘴电站 发、变继电保护的影响(二)

16
54-62, 72

刘炳章

(龚嘴水力发电总厂, 四川乐山, 614900)

TV734

5 不对称计算的一般方法

任何不对称运行都可以看作是三相阻抗不相等, 而断线是其特殊方式。将断相看做断口阻抗 ∞ , 而其余两相在断口相阻抗为零。

与分析不对称短路一样: (a) 首先根据电力系统接线图和参数作出各序网络; (b) 根据断相种类决定断相处的边界条件; (c) 建立复合序网; (d) 计算出断口处电压电流的各序分量; (e) 求各序网中节点电压电流的序对称分量; (f) 综合得全电压、全电流。

分析断线引起的不对称也可以利用对称分量法, 建立各序网络求序分量。但这需要知道与不对称点相联接的整个电网的电势和各序阻抗, 这是很麻烦的计算方法。

因本文要研究断线出现的负序及零序电流, 并且研究断线前后的电流变化规律, 实际上可以避免电势而采用电流叠加原理, 即把不对称运行时正序网络的电流 I_{A1} 看成是断线前的工作电流与断相后断口间电压 ΔU_{A1} 单独作用产生电流之和。即:

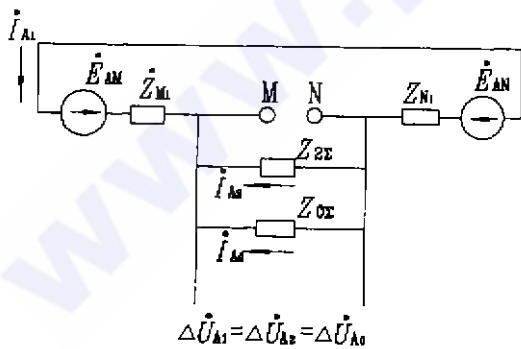


图4 不对称断线等值电路 a

$$\Delta U_{A1} = E_{A\Sigma} - I_{A1} Z_{1\Sigma}$$

$$I_{A1} = \frac{E_{A\Sigma}}{Z_{1\Sigma} + \frac{Z_{2\Sigma} Z_{0\Sigma}}{Z_{2\Sigma} + Z_{0\Sigma}}}$$

$$I_{A2} = -I_{A1} \frac{Z_{0\Sigma}}{Z_{2\Sigma} + Z_{0\Sigma}}$$

$$I_{A1} = I_{HA} + I_{PA1}$$

式中 I_{HA} 是 A 相正常工作电流, I_{PA1} 由 ΔU_{A1} 产生的附加电流, 而 I_{PA1} 由负荷电流及对不对称运行的额外阻抗决定。额外阻抗

$$Z_P = \frac{1}{\frac{1}{Z_{0\Sigma}} + \frac{1}{Z_{2\Sigma}}}$$

$$I_{A1} = I_{HA} + I_{PA1} = I_{HA} - I_{HA} \frac{Z_P}{Z_{1\Sigma} + Z_P}$$

$$= I_{HA} - I_{HA} \frac{1}{\frac{1}{Z_{1\Sigma}} + \frac{1}{Z_{2\Sigma}} + \frac{1}{Z_{0\Sigma}}} \cdot \frac{1}{Z_{1\Sigma}}$$

$$\Delta U_{A1} = \Delta U_{A2} = \Delta U_{A0}$$

$$I_{PA1} = -\Delta U_{A1} / Z_{1\Sigma}$$

$$I_{A2} = -\Delta U_{A2} / Z_{2\Sigma}$$

$$I_{A0} = -\Delta U_{A0} / Z_{0\Sigma}$$

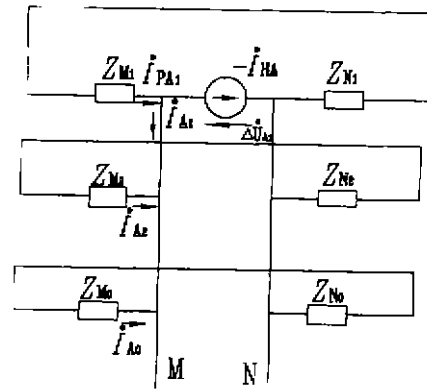


图5 不对称断线等值电路 b

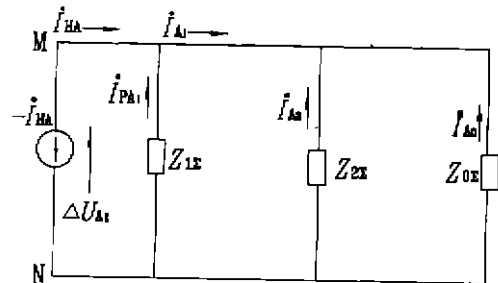


图6 不对称断线等值电路 c

变换一下:

$$I_{A2} = -I_{HA} \cdot \frac{1}{\frac{1}{Z_{1\Sigma}} + \frac{1}{Z_{2\Sigma}} + \frac{1}{Z_{0\Sigma}}} \cdot \frac{1}{Z_{2\Sigma}}$$

$$I_{A0} = -I_{HA} \cdot \frac{1}{\frac{1}{Z_{1\Sigma}} + \frac{1}{Z_{2\Sigma}} + \frac{1}{Z_{0\Sigma}}} \cdot \frac{1}{Z_{0\Sigma}}$$

见等值电路图(见图 4、图 5 和图 6)。

6 不对称计算及其影响

龚嘴电站主接线中,有扩大单元接线(简称两机一大变)及单元接线发变组(简称单机小变)。实际上,由于发电机参数相同,大小变压器短路电压相差无几,在以扩大单元接线发-变组。(260 000 kVA)运行时,机组容量扩大一倍,变压器容量也扩大一倍,故两机大变及单机小变运行,发电机及主要各序分量用各自容量为基准的标出值基本相同,故在分析时两种情况合并成一种。另外,对“单机带大变”及“两机带大变”运行而一台机出口断开这些异常工况一一分析。计算的几条假定:

(a)以发电机视在功率(容量)129 400 kVA 为基准容量;

(b)主变低压侧的厂用分支电抗,按机组容量折算;

$$X_{C1} = 1.2 \times 129\,400 / 1\,800 = 86.2$$

$$X_{C2} = 0.35 \times 129\,400 / 1\,800 = 25.2$$

式中 X_{C1} , X_{C2} 和机组正序电抗 1.1, 负序电抗 0.27, 主变电抗 0.14 相比相当大,这条分支看成开路,不会带来太大误差,计算中可忽略不计。

(c)全厂 4 台主变短路电压略有差别,但为计算方便,一律取 14。

(d)将系统看成无穷大系统,电抗为零。

(e)对 12 万千伏安变(简称小变),26 万千伏安变(简称大变)假定容量差一半,这就使两机一大变和单机一小变的情况相同。

(f)计算中除特别说明者外,均用标么值。发电机主变电流的最后结果都用相应的发电机主变的额定值为基准折算成标么值。

(g)断路计算中都设 A 相断开,其最终结论适用于其余相。

(h)计算中发电机电流取额定值 I_H 运行,标么值为 1,忽略元件电阻。

(i)为作图方便设断相前 I_{HA} 与横轴重合,即 $\angle 0^\circ$

下面分 7 种工况进行讨论:

6.1 主变中性点直接接地单机小变(两机一大

变)运行,主变高压断一相(见图 7)

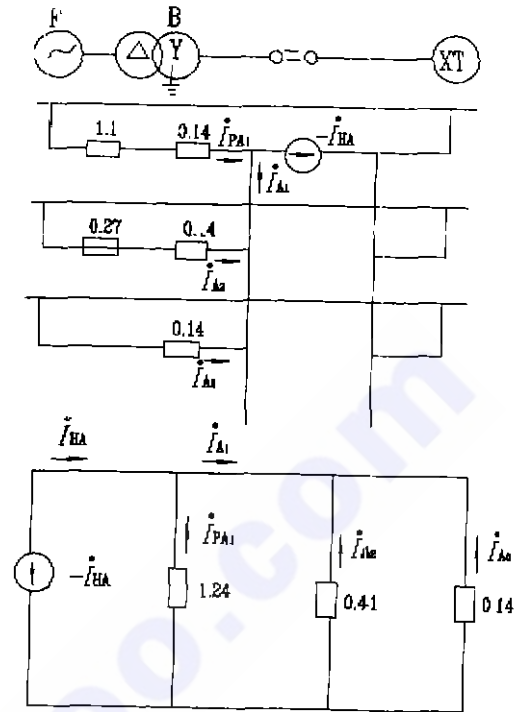


图 7 6.1 方式接线等值电路图

$$X_{F1} = 1.1$$

$$X_{F2} = 0.27$$

$$X_{B1} = X_{B2} = X_{B0} = 0.14 \times 129\,400 / 130\,000 = 0.14$$

注:将 12 万千伏安改成 13 万千伏安,零序电流只流过主变高压侧及低压侧 Δ 中,不会流入发电机。

$$X_{1\Sigma} = X_{F1} + X_{B1} = 1.1 + 0.14 = 1.24$$

$$X_{2\Sigma} = X_{F2} + X_{B2} = 0.27 + 0.14 = 0.41$$

$$X_{0\Sigma} = X_{B0} = 0.14$$

$$I_{A1} = 1 - \frac{1}{\left(\frac{1}{1.24} + \frac{1}{0.41} + \frac{1}{0.14}\right) \cdot 1.24} = 0.92$$

$$I_{A2} = -\frac{1}{\left(\frac{1}{1.24} + \frac{1}{0.41} + \frac{1}{0.14}\right) \cdot 0.41} = 0.23$$

$\angle 180^\circ$

$$I_{A0} = -1 / (10.4 \times 0.14) = -0.69 = 0.69 \angle 180^\circ$$

$$I_A = I_{A1} + I_{A2} + I_{A0} = 0$$

$$I_B = I_{B1} + I_{B2} + I_{B0}$$

$$= a^2 \cdot I_{A1} + a \cdot I_{A2} + I_{A0} = 0.92(\cos 240^\circ + j\sin 240^\circ) - 0.23(\cos 120^\circ + j\sin 120^\circ) - 0.69 = 1.33 \angle 227.2^\circ$$

$$I_C = 1.33 \angle (180^\circ - 47.2^\circ) = 1.33 \angle 132.8^\circ$$

由于主变是 $Y_0/\Delta-11$ 接线,可以作出高低压侧电流向量,低压侧无零序电流。

低压侧电流:

$$I_{a1} = I_{A1} \cdot e^{j30^\circ} = 0.92 \angle 30^\circ$$

$$I_{a2} = I_{A2} \cdot e^{-j30^\circ} = 0.23 \angle 150^\circ$$

$$I_b = I_{b1} + I_{b2} = (0.92 + 0.23) \angle 270^\circ = 1.15 \angle 270^\circ$$

$$I_a = I_{a1} + I_{a2} = 0.92 \angle 30^\circ + 0.23 \angle 150^\circ \\ = 0.92(\cos 30^\circ + j\sin 30^\circ) + 0.23(\cos 150^\circ +$$

$$j\sin 150^\circ)$$

$$= 0.83 \angle 43.8^\circ$$

$$I_c = 0.83 \angle (180^\circ - 43.8^\circ) = 0.83 \angle 136.2^\circ$$

详见向量图(图8)。

可见,在主变本身中性点直接接地工况下,在单机带小变(两机带大变)额定运行,主变高压侧一相断线,将会:

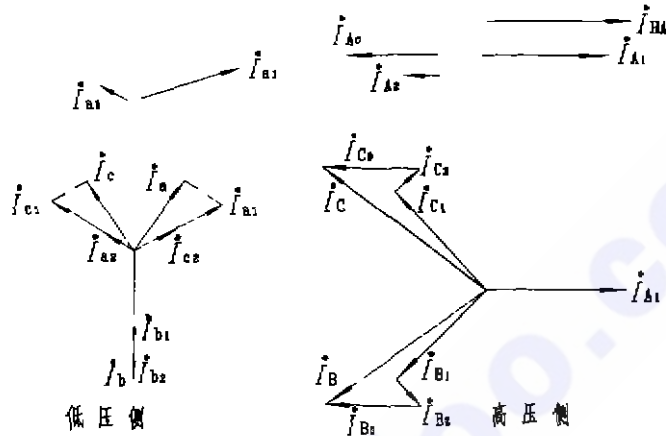


图8 6.1方式主变高低压侧电流向量图

(a)在发电机中出现标么值为0.23的负序电流,能使负序过负荷保护启动发信号,但不能启动跳闸。

(b)按水轮机负序电流允许运行时间 $I_2^2 t \leq 40$ 计算,发电机允许运行时间不应超过

$$t \leq 40 / (0.23)^2 = 755 \text{ s} = 12.5 \text{ min}$$

(c)对负序过负荷0.1 (I_H)定值,则只需断相前主变输送电流: $0.1 / 0.23 = 0.44$ (I_H)即能启动。断相后,机组相电流绝对值,相对于主变高压侧断相的后续相(低压侧)电流最大,此时将为:

$$0.44 \times 1.15 (I_H) = 0.5 (I_H), \text{其余两相 } I = 0.36 (I_H)$$

(d)对负序过流0.6 (I_H)定值,需断相前电流 $0.6 / 0.23 = 2.6$ (I_H)这是不可能的,保护不可能动作。

(e)主变中性点流过零序电流0.69 (I_H),对大变实际值 $591 \times 0.69 = 408 \text{ A}$,对小变实际值 $0.69 \times 272 = 188 \text{ A}$,都能启动零序电流跳闸。

(f)对零序过流定值:

$$\text{大变:需断相前相电流: } I = 0.22 / 0.69 = 0.32 (I_H)$$

$$\text{断相后健全相电流为: } I = 0.32 \times 1.33 = 0.426 (I_H)$$

$$\text{小变:需断相前相电流: } I = 0.44 / 0.69 = 0.64$$

(I_H)

$$\text{断相后健全相电流为: } I = 0.64 \times 1.33 = 0.85$$

(I_H)

6.2 主变中性点直接接地,单机带大变,高压侧断一相(见图9)

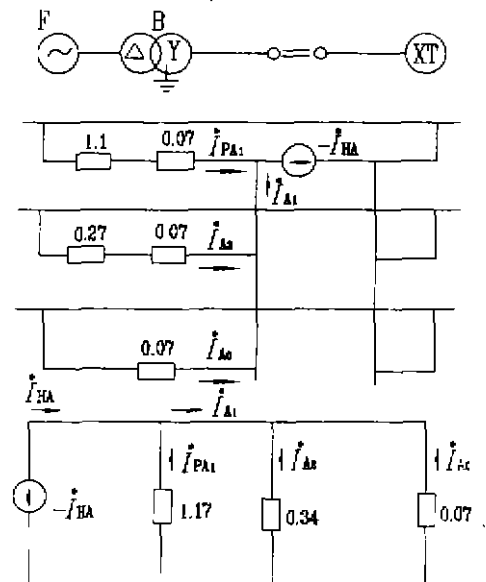


图9 6.2方式接线等值电路图

$$X_{B1} = X_{B2} = X_{B0} = 0.14 \times 129400 / 260000 = 0.07$$

$$X_{1X} = 1.1 + 0.07 = 1.17$$

$$X_{2X} = 0.27 + 0.07 = 0.34, X_{0X} = 0.07$$

$$I_{A1} = 1 - \frac{1}{\left(\frac{1}{1.17} + \frac{1}{0.34} + \frac{1}{0.07}\right) \times 1.17}$$

$$= 0.95 (0.475 \text{——主变电流为基准})$$

$$I_{A2} = -1 / (18.1 \times 0.34) = -0.16 (-0.08)$$

$$I_{A0} = -1 / (18.1 \times 0.07) = -0.79 (-0.395)$$

高压侧:

$$I_A = I_{A1} + I_{A2} + I_{A0} = 0$$

$$I_B = I_{A1} e^{j240^\circ} + I_{A2} e^{j120^\circ} + I_{A0} = 1.53 \angle 218.8^\circ$$

(0.765——主变)

$$I_C = 1.53 \angle (180^\circ - 38.8^\circ) = 1.53 \angle 141.2^\circ$$

(0.765——主变)

同样,根据主变组别及零序电流不流入发电机原理,作出低压侧电流向量。

低压侧:

$$\text{小相 } I_a = I_{a1} + I_{a2} = 0.95 e^{j30^\circ} + 0.16 e^{j150^\circ} = 0.88 \angle 39^\circ$$

$$I_C = 0.88 \angle (180^\circ - 39^\circ) = 0.88 \angle 141^\circ$$

$$\text{大相 } I_b = I_{b1} + I_{b2} = (0.95 + 0.16) \angle 270^\circ = 1.11 \angle 270^\circ$$

见向量图(见图 10)

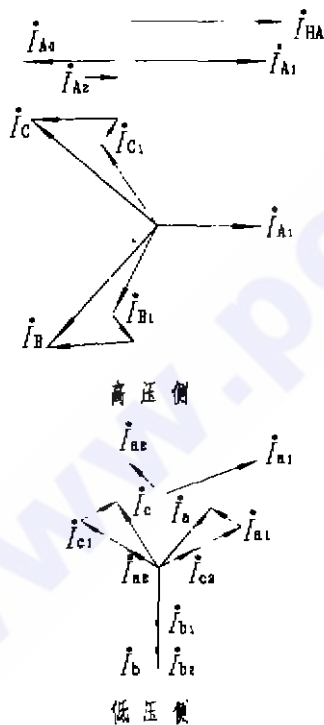


图 10 6.2 方式主变高低压侧电流向量图

可见,在主变本身中性点直接接地工况下,单机带大变额定运行,高压侧一相断线,将会:

(a)在发电机中出现标么值为 0.16 的负序电流,能使负序过负荷保护启动发信号,但不能启动跳闸。

(b)按水轮机负序电流允许运行时间 $I_2^2 t \leq 40$ 计算,发电机最多允许运行 $t = 40 / 0.16^2 = 1560 \text{ s} = 26 \text{ min}$ 。

(c)对负序过负荷 0.1 (I_H) 定值,只需断相前主变输出电流:(主变电流为基准)

$0.5 \times 0.1 / 0.08 = 0.625 (I_H)$ 即能启动 ($0.5 / 0.08 = X / 0.1$) 断相后,机组相电流绝对值相对于主变高压侧断相的后续相(低压侧)电流最大,数值为: $1.11 \times 0.625 = 0.69 (I_H)$,其余两相为 $0.88 \times 0.625 = 0.55 (I_H)$

(d)对负序过流 0.6 (I_H) 定值,需断相前相电流:

$0.6 \times 0.5 / 0.08 = 3.75 (I_H)$ 这是不可能的,保护不可能动作;

(e)主变中性点流过零序电流 0.79,该电流是用发电机电流(即变压器 0.5 (I_H))为基准算出的,折算至大变压器 I_H 为基准,则为 $0.79 / 2 = 0.395$ 实际值为: $591 \times 0.395 = 234 \text{ A} > 120 \text{ A}$ 可以启动跳闸;

(f)对零序过流定值:需断相前相电流 $I = 0.22 \times 0.5 / 0.395 = 0.279 (I_H)$

断相后健全相电流为 $I = 0.765 \times 0.279 = 0.213 (I_H)$

6.3 主变中性点不接地,单机小变(两机大变)运行,高压断一相(见图 11)。

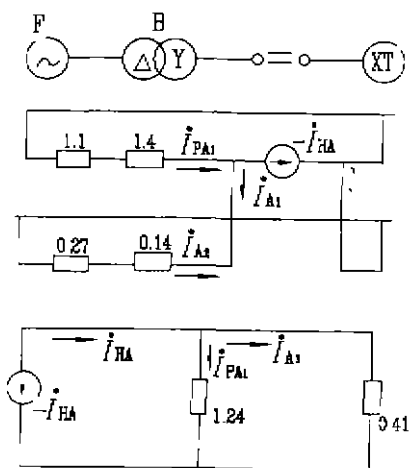


图 11 6.3 方式接线等值电路图

由于中性点不接地, $X_0 = \infty$ 该支路认为开路

$$I_{A1} = 1 - \frac{1}{\left(\frac{1}{1.24} + \frac{1}{0.41}\right) \cdot 1.24} = 0.75$$

$$I_{A2} = -0.75$$

$$I_A = I_{A1} + I_{A2} = 0$$

$$I_B = 1.3 \angle 270^\circ$$

$$I_C = 1.3 \angle 90^\circ$$

低压侧:

$$\text{小相 } I_a = I_{a1} + I_{a2} = 0.75 \angle 90^\circ$$

$$I_c = I_c = 0.75 \angle 90^\circ$$

$$\text{大相 } I_b = 1.5 \angle 270^\circ$$

可见,主变中性点不接地,单机小变(两机大变)运行,高压侧一相断开,将会:

(a)在发电机中出现标么值为 0.75 的负序电流,使负序过流动作跳闸;

(b)如拒跳,按水轮机负序电流允许运行时间: $I_2^2 t \leq 40$ 计算,允许运行 $t \leq 1.2 \text{ min}$

(c)对负序负荷 0.1 (I_H) 定值,只需断相前主变输出相电流 $0.1/0.75 = 0.13$ (I_H) 即可启动。断相后机组相电流绝对值,相对于主变高压侧断相的后续相(低压侧)电流最大,为 $0.133 \times 1.5 = 0.2$ (I_H),其余两相为 $I = 0.133 \times 0.75 = 0.1$ (I_H);

(d)对负序过流 0.6 (I_H) 定值,只需断相前主变输出相电流 $0.6/0.75 = 0.8$ (I_H) 即可启动;断相后,机组相电流绝对值相对主变高压断相的后续相电流最大,为 $0.8 \times 1.5 = 1.2$ (I_H) 其余两相为 $I = 0.8 \times 0.75 = 0.6$ (I_H);

(e)由于主变中性点未接地,无零序电流,零序保护不会启动;

(f)主变高压侧健全两相电流相等,为 0.75 (I_H)

详见向量图(见图 12)

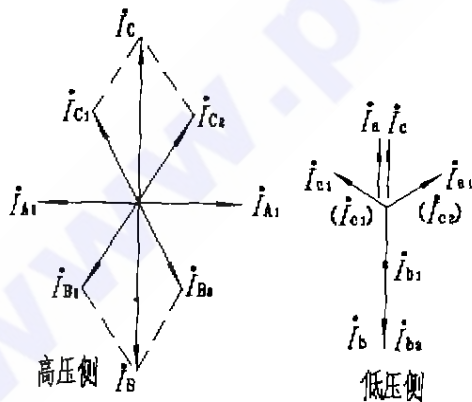


图 12 6.3 方式主变高低压侧电流向量图

6.4 主变中性点不接地,单机大变运行,高压断一相(见图 13)

$$X_{12} = 1.1 + 0.07 = 1.17$$

$$X_{22} = 0.27 + 0.07 = 0.34$$

$$I_{A1} = 1 \cdot \frac{1}{\left(\frac{1}{1.17} + \frac{1}{0.34}\right) \times 1.17} = 0.77$$

(0.385——主变基准)

$$I_{A2} = -0.77 \text{ (0.385——主变基准)}$$

$$I_A = I_{A1} + I_{A2} = 0$$

$$I_B = 1.34 \angle 270^\circ$$

$$I_C = 1.34 \angle 90^\circ$$

换算成大变额定电流 I_H 为基准:

$$I_B = 0.67 \angle 270^\circ$$

$$I_C = 0.67 \angle 90^\circ$$

低压侧:

$$\text{大相 } I_b = 2 |I_{a1}| \angle 270^\circ = 1.54 \angle 270^\circ$$

$$\text{小相 } I_a = I_c = 0.77 \angle 90^\circ$$

详见向量图(各电流量方向同图 12)

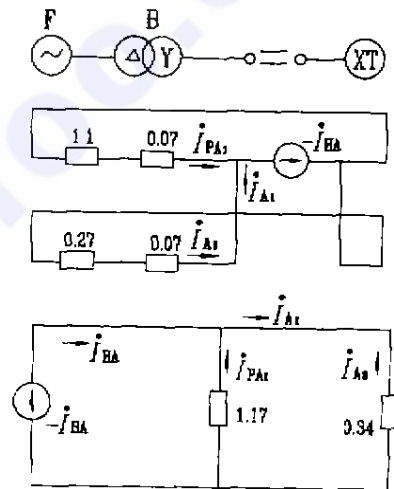


图 13 6.4 方式接线等值电路图

可见,主变中性点不接地,单机带大变运行,高压侧一相断开,将会:

(a)在发电机中出现标么值为 0.77 的负序电流,使负序过流保护动作跳闸。

(b)如拒跳,按水轮机负序电流允许时间 $I_2^2 t \leq 40$ 计算,最大允许运行 $t \leq 40 / (0.77)^2 = 67.5 \text{ s} = 1.1 \text{ min}$

(c)对负序过流 0.1 (I_H) 定值,只需断相前主变输出相电流 0.13 (I_H),即可启动。断相后,机组相电流,相对于主变高压断相的后续相电流最大 $1.54 \times 0.13 = 0.2$ (I_H) 最小相 0.1 (I_H);

(d)对负序过流 0.6 (I_H) 定值,只需断相前相电流: $0.6 / 0.385 \times 0.5 = 0.78$ (I_H) 即可启动。断开后,机组相电流绝对值,相对主变高压断相的后续相最大 1.2 (I_H),其余 0.6 (I_H);

(e) 主变中性点未接地, 零序保护不动作;

(f) 主变高压侧健全相电流相等, 为 $0.67 (I_H)$, (以变压器额定电流为基准);

6.5 单机带小变运行, 机组出口断一相(见图 14)

主变 Δ 侧小电流系统, 无零序电流流过, $X_0 = \infty$ 故零序回路断开。从等值电路图看出, 这种工况与主变不接地运行, 主变高压侧断一相完全相同, 只是故障点在低压侧, 计算出的序分量是断口处的, 求高压侧的量则需由低压向高压折算;

$$I_{a1} = -0.75, I_{a2} = -0.75$$

$$I_0 = 1.3 \angle 270^\circ, I_c = 1.3 \angle 90^\circ$$

高压侧:

$$\text{大相 } I_c = I_{c1} + I_{c2} = 2 |I_{a1}| \angle 90^\circ = 1.5 \angle 90^\circ$$

$$\text{小相 } I_A = I_B = |I_{a1}| \angle 270^\circ = 0.75 \angle 270^\circ$$

详见向量图(见图 15)。

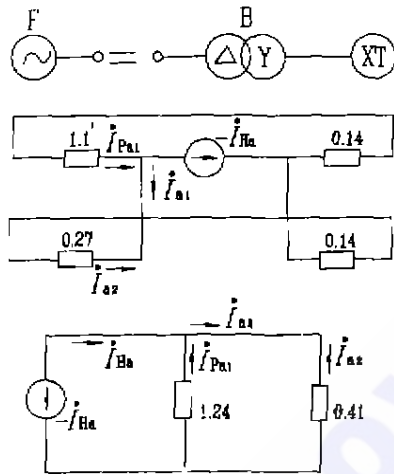


图 14 6.5 方式接线等值电路图

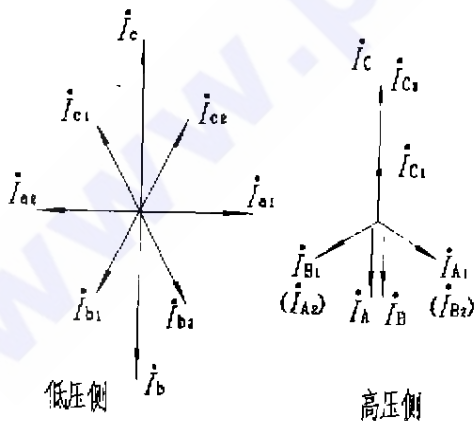


图 15 6.5 方式主变高低压侧电流向量图

可见, 在单机带小变运行, 机组出口断一相将会:

(a) 在发电机中出现标幺值为 0.75 的负序电流, 使负序保护动作跳闸;

(b) 如拒跳, 最长允许运行 1.2 min ;

(c) 对负序过负荷 $0.1 (I_H)$ 定值, 只需断相前机组相电流为 $0.13 (I_H)$ 即可启动。断开后, 机组健全两相电流绝对值相等为 $1.3 \times 0.13 = 0.17 (I_H)$;

(d) 对负序过流 $0.6 (I_H)$ 定值, 需断相前机组相电流为 $0.8 (I_H)$, 断相后机组健全两相电流绝对值相等为 $0.8 \times 1.3 = 1.04 (I_H)$;

(e) 无零序电流, 故主变零序保护不会动作;

(f) 主变高压侧相电流绝对值为相对机组出口断线相的超前相最大, 数值为 $1.5 (I_H)$, 其余两相相等为 $0.75 (I_H)$;

6.6 两机一大变运行, 一台机组出口断一相(见图 16)

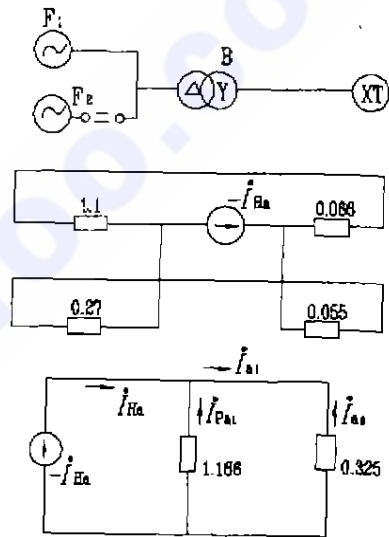


图 16 6.6 方式接线等值电路图

如图两机带一大变, 设 F_2 机出口断一相, 断口处不平衡电流将流过 B 及 F_1 , 故将 F_1, B 看成并联支路电抗合并;

$$X_{B1} = X_{B2} = 0.07$$

$$X_{FB1} = \frac{1.1 \times 0.07}{1.1 + 0.07} = 0.066 (\text{正序})$$

$$X_{FB2} = \frac{0.27 \times 0.07}{0.27 + 0.07} = 0.055$$

$$X_{E1} = 1.1 + 0.066 = 1.166$$

$$X_{E2} = 0.27 + 0.055 = 0.325$$

(a) 非全相机各序电流

$$I_{a1} = 1 - \frac{1}{\left(\frac{1}{1.166} + \frac{1}{0.325}\right) \cdot 1.166} = 0.78$$

$$I_{a2} = -0.78$$

(b) 对未断相机及主变供给的各序电流, 按电抗分配:(见图 17)

$$I_{Fa1} = 0.78 \times 0.066 / 1.1 = 0.047$$

$$I_{Ba1} = 0.78 \times 0.066 / 0.07 = 0.733$$

$$I_{Fa2} = -0.78 \times 0.055 / 0.27 = -0.16$$

$$I_{Ba2} = -0.78 \times 0.055 / 0.07 = -0.62$$

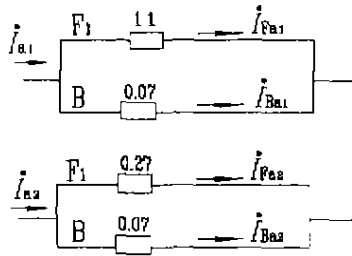


图 17 未断相机及主变
供给各序电流分配图

(c) 非全相机 F_2 的相电流 (见图 18)

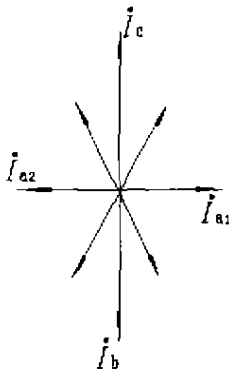


图 18 非全相机电流向量图

$$I_a = I_{a1} + I_{a2} = 0$$

$$I_b = 1.36 \angle 270^\circ$$

$$I_c = 1.36 \angle 90^\circ$$

(d) 全相机 F_1 的相电流 (见图 19)

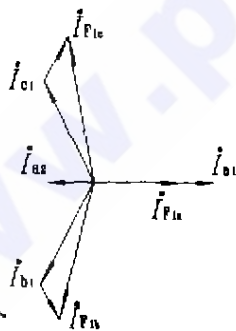


图 19 全相机电流向量图

全相机除与非全相机相联向断口供给正、负序电流外,其本身是一个电源,供出正序电流,设其为额定,标幺值为 1,则其序电流:

$$\text{正序: } I_{a1} = 1 + 0.047 = 1.047$$

$$\text{负序: } I_{a2} = -0.16$$

$$\text{相电流: } I_{Fa} = 1.047 - 0.16 = 0.89$$

$$|I_{F1b}|^2 = 1.05^2 + 0.16^2 - 2 \times 1.05 \times 0.16 \times \cos 120^\circ = 1.29$$

$$|I_{F1b}| = 1.13 = |I_{F1c}|$$

(e) 主变相电流 (见图 20) 用主变额定值为基准

$$\text{正序: } I_{BA1} = 1/2(1 + 0.733) = 0.865$$

$$\text{负序: } I_{BA2} = -1/2 \times 0.62 = -0.31$$

高压侧最大相电流

$$|I_c| = 0.865 + 0.31 = 1.175$$

$$\text{小相: } |I_A|^2 = |I_B|^2 = 0.865^2 + 0.31^2 - 0.865 \times 0.31 = 0.578$$

$$|I_A| = |I_B| = 0.76$$

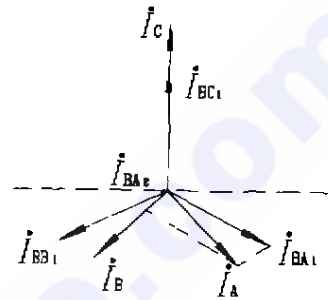


图 20 主变电流向量图

(f) 序电流分布 (见图 21)

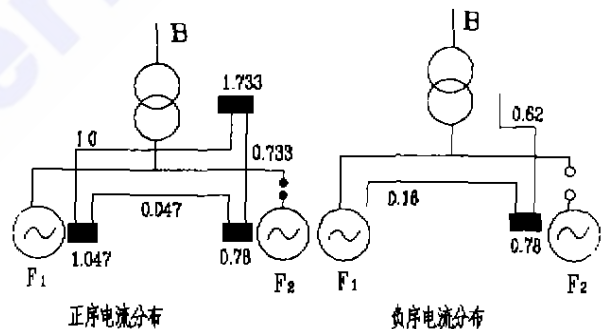


图 21 发电机及变压器的正负序电流分布图

为明确直观,将正、负序电流在主变全相机及非全相机中的分布画于图,图中以机组额定电流为基准。可见,在两机带一大变额定运行一台机出口断一相,将会:

(a) 在非全相机中出现 0.78 的负序电流,使过流动作跳闸,同时也会在全相机中产生负序电流 0.16 启动过负荷信号,全相机三相电流不再平衡。

(b) 若非全相机保护拒跳,最大允许运行

$$40 / (0.78)^2 = 65 \text{ s} = 1 \text{ min};$$

(c) 在非全相机中,对负序过负荷 0.1 (I_H) 定值,只需断相前机组相电流 $I = 0.1 / 0.78 = 0.13$ (I_H);

(d) 在非全相机中,对负序过流 0.6 (I_H) 定值,需断相前机组电流 $0.6 / 0.78 = 0.77$ (I_H),断后健全

相电流相等,为 $0.77 \times 1.36 = 1.04 (I_H)$;

(e) 主变零序保护不会启动;

(f) 主变高压侧相电流绝对值相对于低压侧断开相的超前相电流最大,为 $1.175 (I_H)$,其余两相为 0.76 (以主变电流为基准);

(g) 全相机三相电流不平衡,与非全相机断开相相同的相电流最小,为 0.89 ,其余两相为 1.13 ;

6.7 单机一大变运行,机组出口断一相(见图 22)

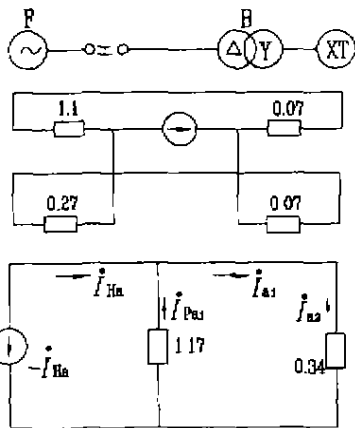


图 22 6.7 方式接线等值电路图

从等值电路图可见,这种情况与主变中性点不接地单机带大变运行,高压断一相相同,只是计算出的序分量是主变低压侧的。

$$I_{a1} = 1 - \frac{1}{\left(\frac{1}{1.17} + \frac{1}{0.34}\right) \times 1.17} = 0.77$$

$$I_{a2} = -0.77$$

$$I_a = 3^{1/2} \cdot |I_{a1}| = 1.34 \angle 270^\circ$$

$$I_c = 1.34 \angle 90^\circ$$

详见向量图(见图 23)

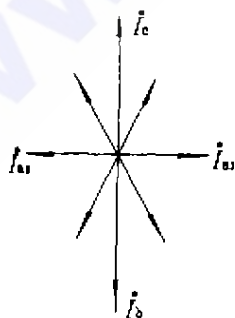


图 23 6.7 方式接线主变低压侧电流向量图

高压侧就不讨论了,因不会出现零序电流。可见,在单机带大变运行,发电机断路器断一相的情况下,将会:

(a) 在定子绕组中出现 0.77 负序电流,造成负

序过流动作跳闸;

(b) 若拒跳,允许运行 1.1 min ;

(c) 对负序过负荷 $0.1 (I_H)$ 定值,只需断相前相电流 $0.13 (I_H)$ 即可启动,断相后机组健全相电流为 $0.13 \times 1.34 = 0.174 (I_H)$;

(d) 对过流 $0.6 (I_H)$ 定值,只需断相前机组相电流 $0.6/0.77 = 0.78$ 即可启动,断后机组健全相电流为 $0.78 \times 1.34 = 1.04 (I_H)$;

(e) 主变零序保护不会动作。

7 负序保护用电流互感器二次断线的影响

7.1 LH 二次正常情况下,负序滤波器的输出(见图 24)

其中 $R = 3^{1/2} X_L, W_a = W_b = W_c = 3W_o, W_{ao} = W_{ao}$

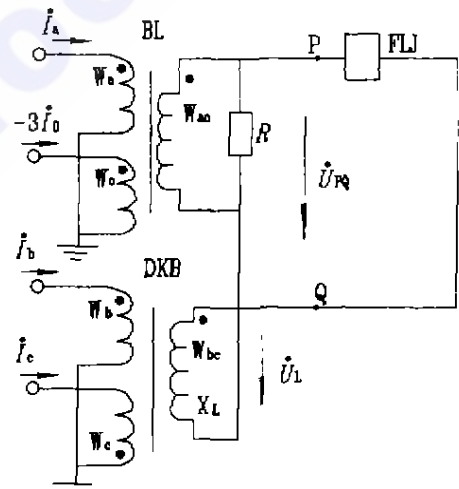


图 24 LH 二次正常,负序滤波器输出接线图

(a) LH 一次电流三相对称,即滤波器原边通入正序电流时,滤波器输出为 0 (见图 25)即 $U_{PQ} = U_R - U_L = 0$

(b) LH 一次三相电流不平衡,即滤波器原边输入负序电流

$U_{PQ} = U_R - U_L = 2U_R = 2I_o 2R$ 即负序滤波器输出电流为原边的 2 倍(见图 25)对负序过流定值 $0.6 (I_H)$,则输出 $1.2 (I_H)$,即 FLJ 需 $1.2 (I_H)$ 才能启动,对负序过负荷 $0.1 (I_H)$ 定值,则输出 $0.2 (I_H)$ 。

(c) 滤波器原边输入零序电流

$$\text{BL 中: } I_{ao} W_a - 3I_o W_o = 0$$

$$\text{DKB 中: } I_{bo} W_b - I_{co} W_c = 0$$

滤波器无输出。

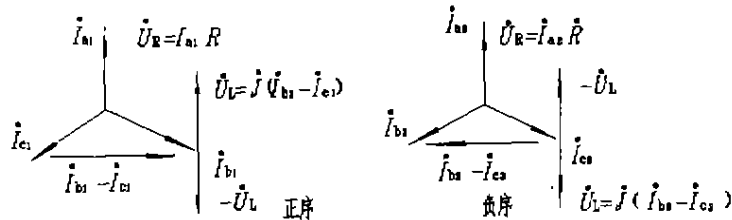


图 25 LH 二次正常, 过滤器输出正负序电流向量图

7.2 一次电流三相平衡 LH 二次断线, 负序滤波器的输出。只研究有效值, 设相电流为额定 I_H

(a) a 相断线 (见图 26)

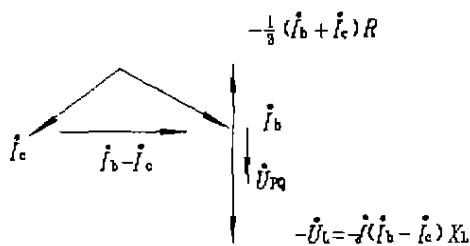


图 26 一次平衡, 二次 a 相断线过滤器输出

$I_a=0$, 由于 LH 二次中性点接地, 在断线时, 相角仍保持 120° , 且有零序输出, $3I_0 = I_b + I_c$, 在 BL 中由地进入, 故 BL 的输出极性与正常相反, 且 $W_0 = 1/3W_a$ 与副边的变化比正常加大了 3 倍, 故输出电流减小 3 倍, 即二次电流为 $1/3(I_b + I_c)$, $U_R = -1/3(I_b + I_c)R$

$$\begin{aligned} U_{PQ} &= U_R - U_L = -1/3(I_b + I_c)R - j(I_b - I_c)X_L \\ &= 1/3I_m^{120^\circ}R - j3^{1/2}I_m^{30^\circ} \cdot X_L \\ &= 2/3R \cdot I_m^{-60^\circ} \end{aligned}$$

$|U_{PQ}| = 2/3I_H R$, 相当于 LH 二次正常情况, 一次侧流过 $1/3 I(I_H)$ 的负序电流, 可见, 负序过流动不了, 负序过负荷能启动发信号。

(b) b 相断线 (见图 27)

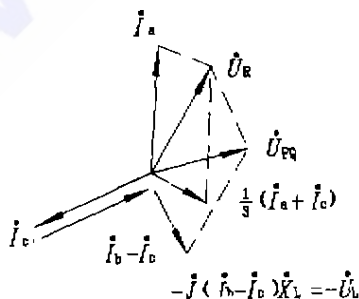


图 27 一次平衡, 二次 b 相断线, 过滤器输出 $I_b=0$, BL 的 W_0 回路流过 $3I_0 = I_a + I_c$

$$U_R = I_a R - 1/3(I_a + I_c)R = (2/3I_a - 1/3I_c)R$$

$$U_L = j(I_b - I_c)X_L = jI_c \cdot 3^{1/2} \cdot R$$

$$\begin{aligned} U_{PQ} &= U_R - U_L = 2/3I_a R - 1/3I_c R + jI_c 3^{1/2} R \\ &= 2/3I_a R \cdot e^{-j60^\circ} = -2/3I_c R \end{aligned}$$

同样, 相当于原边流过 $1/3(I_H) = 0.33(I_H)$ 的负序电流, 过流不动, 过负荷能动。

(c) c 相断线 (见图 28)

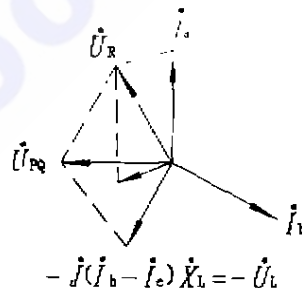


图 28 一次平衡, 二次 c 相断线, 过滤器输出

用同样的方法可以求得: $U_{PQ} = -2/3I_b R$ 负序过流不动, 过负荷能动。

上述分析表明: 正常三相对称运行情况下相对于原边电流的数值为 I 的电流, LH 二次断线的继电器动作电流, 只相当于原边电流输入同数值 I 的负荷电流情况下, 继电器动作电流的 $1/3$ 。即是说, 相当于负序过负荷 $0.1(I_H)$ 定值, 需一次三相对称 $0.3(I_H)$ 二次断线才能动作。机组负荷是不可能带至 $1.8(I_H)$ 的, 二次断线负序过流是不可能动作的。但负序过负荷都是完全可能启动的。

8 结 论

(1) 龚嘴电站发一变组在额定运行工况下, 无论主变高低压母线上发生断线都可能使保护引出跳闸。其中, 主变中性点直接接地工况下, 高压断线由主变零序引出跳闸。在主变中性点不接地工况下, 高压断线和任何形式的发电机出口断线都由负序启动跳闸。

(下转第 72 页)

者是联合泄洪工况下,消能效果均能满足设计要求。消能标准与国内外工程比较是合适的。

坝下水垫塘采用混凝土衬护符合坝工发展趋势。

用动水冲击压力或单位水体下泄功率衡量消能效果,初步建议动水冲击压力控制值为 $(10\sim 15)\times 9.81\text{ kPa}$ 及 $W/V < 10\text{ kW/m}^3$,供讨论和进一步论证。

参 考 文 献

- 1 水利水电科学研究院编. 狭谷建坝布置及消能防冲文集. 北京:水利出版社,1983年
- 2 肖兴斌. 高拱坝泄洪消能技术进展综述. 泄水工程与高速水流, 1994;4

- 3 熊贤禄. 拱坝消能防冲的几个问题. 成都院研究所水电工程研究, 1985年2月
- 4 杨国端. 溢流拱坝的消能防冲和改善措施. 成都院研究所水电工程研究, 1985年2月
- 5 张声鸣. 构皮滩水利枢纽泄洪消能的初步研究. 成都科技大学出版社, 1994年9月
- 6 熊贤禄、葛光. 二滩水电站表孔水舌碰撞. 成都院研究所水电工程研究, 1996年6月第1期
- 7 艾克明. 挑流消能的冲刷及防治. 泄水工程与高速水流, 1995年3月

作者简介

曹祥 男 武汉长江科学院水工所 工程师 学士
肖兴斌 男 武汉长江科学院水工所 高级工程师 学士

(收稿日期:1996-04-10)

(上接第62页)

(2)对于运行电流小于额定的故障,则视运行方式及断线种类不同,保护引出情况不一,可能跳、可能不跳,作为运行人员最应注意的就是这不跳闸的故障,作出准确的判断,并在尽可能短的时间内排除故障。

(3)对于不跳闸的故障判断:

应区别二次断线和一次断线,这时负序过负保护都会启动,但二次断线时一次三相电流平衡,一次断线则三相电流不等。无论高压,低压断线都可用发

电机定子电流表作依据,但高压尚可由开关模拟灯作参考。

判断高低压断线及负序电流大小,应注意最大相电流和最小相电流,最好还要知道断线前电流。建议无论如何先降负荷,必可降低负序电流,减轻对机组的危害。
(全文完)

作者简介

刘炳章 男 龚嘴水力发电总厂 副总工程师 高级工程师

(收稿日期:1997-04-30)

(上接第63页)

(6)金属弹性氟塑料推力瓦具有良好的抗磨性,从1号发电机推力瓦磨损测量标记看,年磨损量为 $0.03\sim 0.04\text{ mm}$,按我厂推力瓦面纯氟塑料厚度 $1\sim 1.5\text{ mm}$ 计算,使用年限可达 $25\sim 30$ 年。

4 检修维护方便、工作量小

(1)使用金属弹性氟塑料推力瓦,检修时不需再研刮瓦面。使发电机推力轴承检修工作量减少,对于推力瓦总面积为 $20\,040\text{ cm}^2$ 的同类型机组来讲,可减少工时300个左右,节省工期 $5\sim 7\text{ d}$ 。

(2)检修盘车方便,自更换金属弹性氟塑料推力瓦以来,盘车时均未涂抹猪油而只是在瓦面喷一层洁净的透平油,便于清扫,省时省料。由于金属弹性氟塑料推力瓦摩擦系数很小($f=0.05$)仅为钨金瓦的 $1/3$,因而盘车时拖动牵引力较小,经测试仅为 $19\,600\text{ N}$ 。克服了巴氏钨金推力瓦盘车拖动牵引力大,钢丝绳积聚张力突放的缺点,使盘车测点到位准

确率高,确保机组的安装、检修质量。

(3)由于金属弹性氟塑料推力瓦面具有一定的弹性,因而在推力瓦受力调整时变的较为简单,3台机推力瓦受力调整后瓦温差均在 4 C 内。

(4)运行一段时间后,停机抽瓦检查,金属弹性氟塑料推力瓦四周环氧有局部脱落现象,脱落的环氧渣有部分随油循环进入到瓦面与镜板之间,使瓦面拉伤,经过简单的修刮处理后,瓦面再未发生损伤现象。

5 结束语

使用金属弹性氟塑料推力瓦,不仅能简便运行人员操作,检修时减轻工人劳动强度,方便检修工作,提高检修质量。更重要的是提高了水轮发电机组的运行可靠性,值得在水电厂推广使用。

作者简介

林云海 男 陕西石泉水力发电厂 工程师

(收稿日期:1997-05-23)