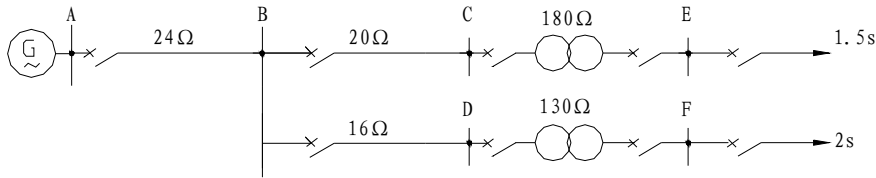


1、如图所示网络，AB、BC、BD线路上均装设了三段式电流保护，变压器装设了差动保护。已知 I 段可靠系数取1.25，II段可靠取1.15，III段可靠系数取1.15，自起动系数取1.5,返回系数取0.85，AB线路最大工作电流200A，时限级差取0.5s，系统等值阻抗最大值为18Ω,最小值为13Ω，其它参数如图示，各阻抗值均归算至115kV的有名值，求AB线路限时电流速断保护及定时限过电流的动作电流、灵敏度和动作时间。



解：（1）相邻线路 I 段保护动作电流确定

由于D母线短路电流比C母线大，因此保护应与BD线路配合，D母线最大短路电流为：[注：理论上说AB线路的II段既要与BC线路I段配合，又要与BD线路I段配合，由于BD线路的阻抗小于BC线路，所以瞬时电流速断保护的動作電流必定大於BC線路，因此與BD線路配合後，也會滿足與BC線路配合的要求。]

$$I_{kD,max} = \frac{115000}{\sqrt{3} \times (13 + 24 + 16)} = 1254A \quad [\text{注：計算短路電流時，電壓可採用平均電壓。}]$$

$$\text{BD線路 I 段動作電流為： } I_{op2}^I = 1.25 \times 1254 = 1568A$$

$$\text{AB線路 II 段動作電流為： } I_{op1}^{II} = 1.15 \times 1568 = 1803A$$

$$\text{被保護線路末端最小短路電流為： } I_{k,min} = \frac{\sqrt{3}}{2} \times \frac{115000}{\sqrt{3} \times (18 + 24)} = 1369A$$

$$\text{靈敏度為： } K_{sen} = \frac{1369}{1803} < 1 \text{ 不滿足要求。}$$

改與相鄰線路 II 段配合，則[注：同理，由於BD線路 II 段限時電流速斷保護動作電流大於BC線路，因此應與BD線路 II 段配合。]

$$I_{kF,max} = \frac{115000}{\sqrt{3} \times (13 + 24 + 16 + 130)} = 363A$$

$$I_{op1}^{II} = 1.3 \times 1.15 \times 363 = 543A$$

$$K_{sen} = \frac{1369}{543} = 2.5 \text{ 滿足要求。}$$

$$\text{動作時間 } t_{op1}^{II} = t_{op2}^{II} + \Delta t$$

（2）定時限過電流保護

$$I_{op1}^{III} = \frac{1.15 \times 1.5}{0.85} \times 200 = 406A$$

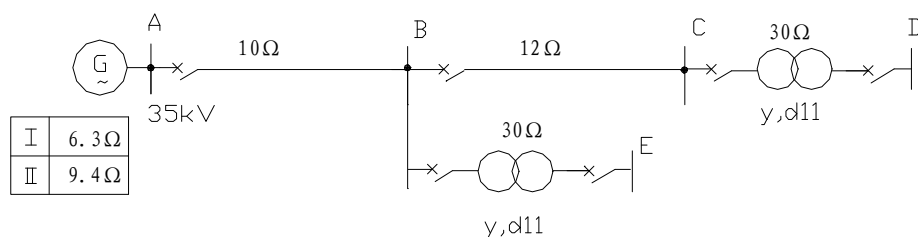
近后备灵敏度: $K_{sen} = \frac{1369}{406} = 3.37$ 满足要求;

远后备灵敏度: $I_{kE.min} = \frac{115000}{2 \times (18 + 24 + 20)} = 927 A$ $K_{sen} = \frac{927}{406} = 2.28$ 满足要求。

[注: 远后备BC线路满足要求, 必然BD也满足要求, 因BC线路阻抗大于BD线路。]

动作时间: $t_{op1} = 3.5s$

2、如图所示35kV单侧电源放射状网络, 确定线路AB的保护方案。变电所B、C中变压器连接组别为Y, d11, 且在变压器上装设差动保护, 线路A、B的最大传输功率为 $P_{max} = 9MW$, 功率因数 $\cos \varphi = 0.9$, 系统中的发电机都装设了自动励磁调节器。自启动系数取1.3。



解: 暂选三段式电流保护作为AB线路的保护方案。

(1) 瞬时电流速断保护

B母线短路最大三相短路电流

$$I_{k.max}^{(3)} = \frac{37000}{\sqrt{3}(6.3 + 10)} = 1310 A$$

[注: 发电机装设自动调节励磁器, 计算短路电流时, 可不考虑衰减。]

$$I_{op} = K_{rel} \cdot I_{k.max}^{(3)} = 1.25 \times 1310 = 1638 A$$

灵敏度检验:

最小运行方式15%处两相短路灵敏度

$$I_{k.min}^{(2)} = \frac{37000}{2(9.4 + 0.15 \times 10)} = 1697 > I_{op}$$

[注: 按此计算能计算出保护区是否达到最小保护区, 不能计算出保护区实际长度。]因此灵敏度满足要求。

当需要计算出保护区长度时, 可由下面计算公式求出最小保护区长度:

$$\frac{37000}{2 \times (9.4 + Z_{min})} = 1638, \quad Z_{min} = \frac{37000}{2 \times 1638} - 9.4 = 1.9 \Omega$$

$$L_{min} = \frac{1.9}{10} \times 100\% = 19\%$$

(2) 限时电流速断保护

1) 按躲过接在B母线上的变压器低压侧母线短路整定

$$I_{k.\max}^{(3)} = \frac{37000}{\sqrt{3}(6.3+10+30)} = 461A$$

$$I_{op} = K_{ma} I_{k.\max}^{(3)} = 1.3 \times 461 = 600A$$

2) 与相邻线路瞬时电流速断保护配合

$$I_{k.\max}^{(3)} = \frac{37000}{\sqrt{3}(6.3+10+12)} = 755A$$

$$I_{op} = 1.15 \times 1.25 \times 755 = 1085A$$

选以上较大值作为动作电流, 则动作电流为1085A。

3) 灵敏度检验

$$I_{k.\min}^{(2)} = \frac{37000}{2(9.4+10)} = 954A$$

$$K_{sen} = \frac{954}{1085} < 1.25$$

改用与变压器低压侧母线短路配合, 选用动作电流600A。[注: 按基本配合原则, 要计算出BC线路II段动作电流, 由于从网络参数可以看出, 与相邻变压器配合的动作电流大于与相邻线路配合的动作电流, 所以可以直接选取与相邻变压器配合, 但应注意的是, 此配合方式已经是II段与II段配合了。]

$$K_{sen} = \frac{954}{600} = 1.59 > 1.25$$

动时间取1s。

(3) 定时限过电流保护

$$I_{w.\max} = \frac{9 \times 10^3}{\sqrt{3} \times 0.95 \times 35 \times 0.9} = 174A \quad [\text{注: 计算式中的}0.95\text{系数考虑电压降低}5\%\text{时, 输送最大功率。}]$$

$$I_{op} = \frac{K_{rel} \cdot K_{ss}}{K_{re}} I_{w.\max} = \frac{1.2 \times 1.3 \times 174}{0.85} = 319A$$

灵敏度校验

1) 按本线路末端最小二相短路电流校验

$$K_{sen} = \frac{954}{319} = 2.99 > 1.5 \quad [\text{注: 线路只能按两相短路条件校验灵敏度。}]$$

2) 按相邻线路末端最小两相短路电流校验

$$I_{k.\min}^{(2)} = \frac{37000}{2(9.4+10+12)} = 589A$$

$$K_{sen} = \frac{589}{319} = 1.85 > 1.2$$

3) 按相邻元件变压器低压侧母线短路校验 (电流保护接线按两相三继电器方式)

$$I_{k.min}^{(3)} = \frac{37000}{\sqrt{3}(9.4+10+30)} = 432A$$

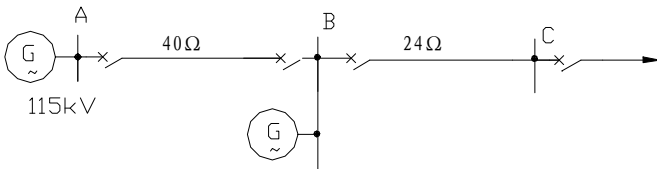
[注：保护采用两相三继电器接线时，灵敏校验值应采用三相短路电流值。]

$$K_{sen} = \frac{432}{319} = 1.35$$

保护时限按阶梯原则，比相邻元件后备保护最大动作时间大一个时限级差 Δt 。

3、网络如图所示，已知：

线路AB(A侧)和BC均装有三段式电流保护，它们的最大负荷电流分别为120A和100A，负荷的自起动系数均为1.8；线路AB第II段保护的延时允许大于1s；可靠系数 $K_{rel}^I = 1.25$ ， $K_{rel}^{II} = 1.15$ ， $K_{rel}^{III} = 1.2$ ， $K'_{rel} = 1.15$ (躲开最大振荡电流时采用)，返回系数 $K_{re} = 0.85$ ；A电源的 $X_{sA.max} = 15\Omega$ ， $X_{sA.min} = 20\Omega$ ；B电源的 $X_{sB.max} = 20\Omega$ ， $X_{sB.min} = 25\Omega$ ；其它参数如图。试决定：线路AB(A侧)各段保护动作电流及灵敏度。



解：1、求瞬时速断电流保护动作电流及灵敏度

AB线路是双电源的线路，因此动作电流必须大于流过A侧开关可能的最大电流。[注：不考虑采用方向元件时。]

1) A电源在最大运行方式下，B母线最大三相短路电流

$$I_{k.max}^{(3)} = \frac{115000}{\sqrt{3}(15+40)} = 1210A$$

2) B电源在最大运行方式下，A母线最大三相短路电流

$$I_{k.max}^{(3)} = \frac{115000}{\sqrt{3}(20+40)} = 1110A$$

3) AB电源振荡时，流过A侧开关最大电流为

$$I_{k.max}^{(3)} = \frac{2 \times 115000}{\sqrt{3}(15+20+40)} = 1770A$$

[注：计及两侧电源相位差为 180° 时振荡电流为最大。]

所以： $I_{op} = 1.15 \times 1770 = 2040A$

$$X_{L.min} = \frac{E}{2I_{op}} - X_{s.min} = \frac{115 \times 10^3}{2 \times 2040} - 20 = 8.19\Omega$$

$$\frac{X_{L.min}}{X_{AB}} \times 100\% = \frac{8.19}{40} \times 100\% = 20.48\% > 15\%$$

(2) 求限时电流速断保护动作值和灵敏系数

$$I_{k.\max}^{(3)} = \frac{115000}{\sqrt{3}\left[\left(\frac{55 \times 20}{55 + 20}\right) + 24\right]} = 1720 A$$

$$I_{op.B} = 1.25 \times 1720 = 2150 A$$

求最小分支系数 $K_{b.\min}$: [注: 由于有电源助增, 流过保护安装处的短路电流不等于短路点总短路电流, 因此需要计及分支影响, 求保护动作值时应采用最小分支系数。]

$$K_{b.\min} = 1 + \frac{15 + 40}{25} = 3.2$$

$$I_{op} = \frac{K_{rel}}{K_{b.\min}} I_{op.B} = \frac{1.15 \times 2150}{3.2} = 773 A$$

$$K_{sen} = \frac{115 \times 10^3}{2 \times 60 \times 773} = 1.25$$

(3)求定时限过电流保护动作电流及灵敏度

$$\text{动作电流为: } I_{op} = \frac{1.2 \times 1.8}{0.85} \times 120 = 305 A$$

$$\text{近后备灵敏度为: } K_{sen} = \frac{115 \times 10^3}{2 \times 60 \times 305} = 3.14 > 1.5 \text{ 满足要求。}$$

当作为远备保护时, 应采用C变电站母线两相短路的最小短路电流, 并计及分支电流影响, 分支系数应计最大值。

$$\text{最大分支系数为: } K_{b.\max} = 1 + \frac{20 + 40}{20} = 4 \text{ [注: 计算灵敏系数时应采用最大分支系数。]}$$

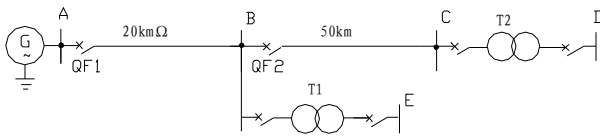
$$\text{总阻抗为: } X_{\Sigma} = \frac{20 \times 40}{20 + 40} = 39 \Omega$$

$$\text{最小两相短路电流为: } I_{k.\min}^{(2)} = \frac{115 \times 10^3}{2 \times 39} = 1470 A$$

$$\text{远后备灵敏度为: } K_{sen} = \frac{1470}{4 \times 305} = 1.21 > 1.2 \text{ 满足要求。}$$

4、如图所示网络中, 已知:

电源等值电抗 $X_1 = X_2 = 5 \Omega$, $X_0 = 8 \Omega$; 线路AB、BC的电抗 $X_1 = 0.4 \Omega / km$, $X_0 = 1.4 \Omega / km$; 变压器T1额定参数为31.5MVA, 110 / 6.6kV, $U_k = 10.5\%$, 其它参数如图所示。试决定线路AB的零序电流保护的Ⅰ段、Ⅱ段、Ⅲ段的动作电流、灵敏度和动作时限。



解：1、计算零序电流

$$\text{线路AB: } X_1 = X_2 = 0.4 \times 20 = 8\Omega ; \quad X_0 = 1.4 \times 20 = 28\Omega ;$$

$$\text{线路BC: } X_1 = X_2 = 0.4 \times 50 = 20\Omega ; \quad X_0 = 1.4 \times 50 = 70\Omega ;$$

$$\text{变压器T1: } X_1 = X_2 = 0.105 \times 110^2 / 31.5 = 40.33\Omega .$$

求B母线短路时的零序电流：

$$X_{1\Sigma} = X_{2\Sigma} = 13\Omega , \quad X_{0\Sigma} = 36\Omega$$

因为 $X_{0\Sigma} > X_{1\Sigma}$ ，所以 $I_{k0}^{(1)} > I_{k0}^{(1.1)}$ 故按单相接地短路作为整定条件，两相接地短路作为灵敏度校验条件。[注：可通过比较正序总阻抗与零序总阻抗的大小，选择单相接地或两相接地短路作为保护动作电流的计算条件。]

$$I_{k0}^{(1.1)} = I_{k1} \times \frac{X_{2\Sigma}}{X_{2\Sigma} + X_{0\Sigma}} \quad [\text{注：按变压器不接地运行计算。}]$$

$$= \frac{E_s}{X_{1\Sigma} + \frac{X_{2\Sigma} \cdot X_{0\Sigma}}{X_{2\Sigma} + X_{0\Sigma}}} \times \frac{X_{2\Sigma}}{X_{2\Sigma} + X_{0\Sigma}}$$

$$= \frac{115000}{\sqrt{3}(13 + \frac{13 \times 36}{13 + 36})} \times \frac{13}{13 + 36} = 780A$$

[注：用正序等效定则求出零序量。]

$$3I_{k0}^{(1.1)} = 3 \times 780 = 2340A$$

$$I_{k0}^{(1)} = \frac{115000}{\sqrt{3}(13 + 13 + 36)} = 1070A$$

[注：求单相接地短路时，零序电流。因零序电流等于正序电

流。]

$$3I_{k0}^{(1)} = 3 \times 1070 = 3210A$$

在线路AB中点短路时， $X_{1\Sigma} = X_{2\Sigma} = 9\Omega$ ， $X_{0\Sigma} = 22\Omega$

$$I_{k0}^{(1.1)} = \frac{115 \times 10^3}{\sqrt{3}(9 + \frac{9 \times 22}{9 + 22})} \times \frac{9}{9 + 22} = 1250A$$

$$3I_{k0}^{(1.1)} = 3 \times 1250 = 3750A$$

B母线的三相短路电流

$$I_{k.B}^{(3)} = \frac{115000}{\sqrt{3}(5+8)} = 5110A$$

求母线C短路时的零序电流：

$$X_{1\Sigma} = X_{2\Sigma} = 33\Omega, \quad X_{0\Sigma} = 106\Omega$$

$$3I_{k0}^{(1.1)} = \frac{3 \times 115000}{\sqrt{3}(33 + \frac{33 \times 106}{33 + 106})} \times \frac{33}{33 + 106} = 813A$$

$$3I_{k0}^{(1)} = \frac{3 \times 115000}{\sqrt{3}(33 + 33 + 106)} = 1158A$$

2、各段保护的整定计算及灵敏度校验

(1) 零序 I 段保护：

$$I_{op}^I = 1.25 \times 3210 = 4010 \text{ A}$$

单相接地短路：

$$4010 = \frac{3 \times 115000}{\sqrt{3}(2 \times 5 + 8 + 2 \times 0.4L + 1.4L)} \quad [\text{注：按某点单相接地短路时，3倍零序电流等于保护定}$$

值，即可求出保护区。]

所以 $L = 14.4km > 0.5 \times 20km$ [注：此值即为最大保护区长度。]

两相接地短路：

$$4010 = \frac{3 \times 115000}{\sqrt{3}(5 + 0.4L + 16 + 2 \times 1.4L)} \quad [\text{注：16为电源零序阻抗的2倍。}]$$

所以 $L = 9 \text{ km} > 0.2 \times 20km$ [注：此值即为最小保护区长度。]

(2) 零序 II 段保护： $I_{op}^{II} = 1.15 \times 1.25 \times 1160 = 1670A$

$$K_{sen} = \frac{2340}{1670} = 1.4 > 1.3 \text{ 满足要求。}$$

动作时限： $t_{op}^{II} = 0.5s$

(3) 零序 III 段保护

因为是110kV线路，可不考虑非全相运行情况，按躲开末端最大不平衡电流整定：

$$I_{op}^{III} = 1.25 \times 1.5 \times 0.5 \times 0.1 \times 5110 = 480A$$

近后备： $K_{sen} = \frac{2340}{480} = 4.9$ 满足要求。

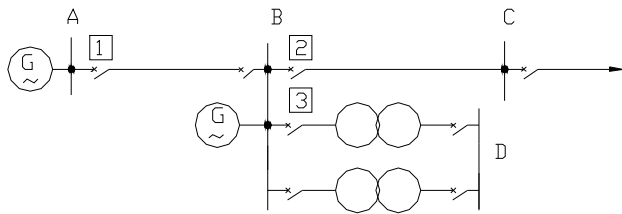
远后备： $K_{sen} = \frac{813}{480} = 1.69$ 满足要求。

动作时限： $t_{op.A}^{III} = t_{op.B}^{III} + \Delta t = 0.5 + 0.5 = 1s$

5、网络参数如图所示，已知：

系统等值阻抗 $X_A = 10\Omega$ ， $X_{B.min} = 30\Omega$ 、最大阻抗为无穷大；线路的正序阻抗 $Z_1 = 0.45\Omega / \text{km}$ ，阻抗角 $\varphi_k = 65^\circ$ ；线路上采用三段式距离保护，阻抗元件均采用方向阻抗继电器，继电器最灵敏角 $\varphi_{sen} = 65^\circ$ ；保护B的III段时限为2s；线路AB、BC的最大负荷电流 $I_{L.max} = 400A$ ，负荷自起动系数为2，负荷的功率因数 $\cos\varphi = 0.9$ ；变压器采用差动保护，变压器容量 $2 \times 15MVA$ 、电压比 $110/6.6kV$ 、电压阻抗百分数 $U_k\% = 10.5\%$ 。

试求保护A各段动作阻抗，灵敏度及时限。



解：1、保护A第 I 段动作阻抗

$$Z_{op.A} = 0.85 \times 0.45 \times 30 = 11.48\Omega \quad [\text{注：距离保护 I 段的动作时间为瞬时动作，可靠系数的取值即为保护区长度，因此，不必计算保护区。}]$$

2、保护A第 II 段动作阻抗

(1) 与保护B第 I 段配合

$$Z_{op.B} = 0.85 \times 0.45 \times 38 = 14.54\Omega$$

分之系数 K_b 最小值的情况是 $X_{B.max} = \infty$ 时，即B电源断开， $K_b = 1$ 。[注：应考虑分支的影响。]

$$Z_{op.A} = K_{rel}(Z_1 L_{AB} + K_b Z_{op.B})$$

$$= 0.85(0.45 \times 30 + 14.54) = 23.83 \Omega$$

(2) 与变电所B降压变压器的速动保护配合

$$Z_{op.A} = K_{rel}(Z_1 L_{AB} + K_b Z_{T.min}) \quad [\text{注：变压器最小阻抗应计及并列运行情况，且电压应采用主抽头电压。}]$$

由于 $Z_T = 10 \times 10.5 \times 110^2 / 15 \times 10^3 = 84.7\Omega$

$$Z_{T.min} = \frac{84.7}{2} = 42.35 \Omega$$

所以 $Z_{op.A} = 0.7(0.45 \times 30 + 42.35) = 39.09\Omega$

取二者较小值为动作阻抗，即 $Z_{op.A} = 23.83\Omega$

灵敏度： $K_{sen} = \frac{23.83}{0.45 \times 30} = 1.77 > 1.5$ 满足要求。

保护动作时间为： $t_{op}'' = \Delta t$ 。

3、保护A第三段动作阻抗

$$Z_{op.A} = \frac{0.9U_N}{K_{rel}K_{re}K_{ss}I_{L,max} \cos(\varphi_{sen} - \varphi_L)} \quad [\text{注：取电压为 } 0.9U_N \text{ 是考虑电压产生波动时，输送功率不变。}]$$

$$= \frac{0.9 \times 110}{\sqrt{3} \times 1.25 \times 1.15 \times 2 \times 0.4 \cos(65^\circ - 26^\circ)}$$

$$= 63.96 \Omega$$

其中： $\varphi_L = \cos^{-1} 0.9 = 26^\circ$

灵敏度：(1)近后备 $K_{sen} = \frac{63.96}{13.5} = 4.73$

(2)远后备 $K_b = \frac{30+10+13.5}{30} = 1.78$ [注：远后备保护可不考虑相邻变压器。]

$$K_{sen} = \frac{Z_{op.A}}{Z_1 L_{AB} + K_{b,max} Z_1 L_{BC}}$$

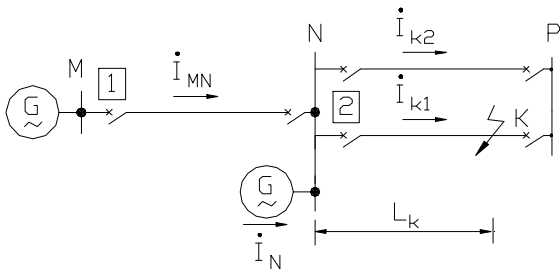
$$= 63.96 / (13.5 + 1.78 \times 17.1)$$

$$= 1.31 > 1.2 \quad \text{满足要求。}$$

动作时限： $t = 2 + 0.5 = 2.5 \text{ s}$

6、网络参数如图所示，已知，线路正序阻抗 $Z_1 = 0.45 \Omega / km$ ，平行线路 $70km$ 、MN线路为 $40km$ ，距离

I段保护可靠系数取0.85。M侧电源最大、最小等值阻抗分别为 $Z_{sM,max} = 25 \Omega$ 、 $Z_{sM,min} = 20 \Omega$ ；N侧电源最大、最小等值阻抗分别为 $Z_{sN,max} = 25 \Omega$ 、 $Z_{sN,min} = 15 \Omega$ ，试求MN线路M侧距离保护的最大、最小分支系数。



解：

最大分支系数：

(1) 最大助增系数

$$K_{b,max} = \frac{Z_{sM,max} + Z_{MN} + Z_{sN,min}}{Z_{sN,min}} = \frac{25 + 40 \times 0.45 + 15}{15} = 3.93$$

(2) 最大汲出系数

显然，当平行线路只有一回路在运行时，汲出系数为1。

总的最大分支系数为 $K_{b\Sigma} = K_{b助}K_{b汲} = 3.93 \times 1 = 3.93$ 。[注：汲出系数最大值为1。]

最小分支系数为：

(1) 最小助增系数

由助增系数公式可得

$$K_{b.min} = \frac{Z_{sM.min} + Z_{MN} + Z_{sN.max}}{Z_{sN.max}} = \frac{20 + 40 \times 0.45 + 25}{25} = 2.52$$

(2) 最小汲出系数

由式最小汲出系数公式可知，平行线路的阻抗可化为长度进行计算，则得

$$K_{b.min} = \frac{Z_{NP1} - Z_{set} + Z_{NP2}}{Z_{NP1} + Z_{NP2}} = \frac{140 - 0.85 \times 70}{140} = 0.575$$
 [注：平行线路速断保护区可根据可靠系数

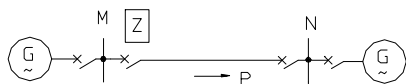
决定。]

总的最小分支系数为 $K_{b\Sigma} = K_{b助}K_{b汲} = 2.52 \times 0.575 = 1.35$ [注：在既有助增，也有汲出时，可分别求出各自的分支系数，它们的乘积为总分支系数。]

7、如图所示双电源系统中， $Z_L = 50 \angle 75^\circ \Omega$ ， $Z_M = 30 \angle 75^\circ \Omega$ ； $Z_N = 20 \angle 75^\circ \Omega$ ，母线M侧距离保护接线方式为线电压两相电流差的方向阻抗继电器，保护采用方向阻抗继电器，其第 I 段的整定阻抗

$Z_{set} = 40 \Omega$ ，灵敏角 $\varphi_{sen} = 75^\circ$ ， $E_M = E_N$ 。问：

- (1) 当系统发生振荡时，两电势相角差为 $\delta = 157.4^\circ$ 时，阻抗继电器会不会误动？
- (2) 系统振荡时，若两电势相角差为 $\delta = 136.4^\circ$ 时，继电器会不会误动作？
- (3) 若系统振荡周期为 1.5s，继电器误动作的时间是多少？



解：(1) $\delta = 157.4^\circ$ 时，振荡电流为：

$$\dot{I}_{swi} = \frac{\dot{E}_M - \dot{E}_N}{Z_\Sigma e^{j75^\circ}} = \frac{\dot{E}_M (1 - e^{-j157.4^\circ})}{100e^{j75^\circ}}$$
 [注：当两侧电势相等时，计算振荡电流的公式。]

$$\dot{U}_M = \dot{E}_M - Z_M \dot{I}_{swi}$$

$$Z_m = [(0.5 - m) - j0.5ctg \frac{\delta}{2}] Z_\Sigma$$

$$m = \frac{Z_M}{Z_\Sigma} = \frac{3}{10}$$

$$Z_m = [(0.5 - \frac{3}{10}) - j0.5ctg \frac{157.4^\circ}{2}] \times 100e^{j75^\circ}$$

$$= 0.2236e^{-j26.6^\circ} \times 100e^{j75^\circ} = 22.36e^{j48.4^\circ}$$

角度为 48.4° 时阻抗继电器动作值为:

$Z_{op} = 40\cos(75^\circ - 48.4^\circ) = 35.7\Omega > 22.36\Omega$ [注: 由于测量阻抗角与灵敏角不同, 因此要判断保护是否误动, 应求出动作阻抗。]

方向阻抗继电器会误动作。

(2) 当 $\delta = 136.4^\circ$ 时

$$Z_m = (0.2 - j0.5\text{ctg}\frac{1136.4^\circ}{2}) \times 100e^{j75^\circ}$$

$$= 28.3e^{j30^\circ}$$

$$Z_{op} = 40\cos(75^\circ - 30^\circ) = 28.3\Omega$$

方向阻抗继电器处临界动作状态。

(3) 继电器误动时间:

$\Delta\delta = (180^\circ - 136.4^\circ) \times 2 = 87.2^\circ$ [注: 距离保护临界动作状态即为圆特性边界, 误动区中点在 180° 处, 乘2即为误动区间。]

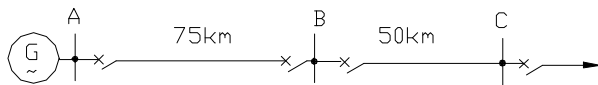
$$t = \frac{\Delta\delta}{360^\circ} T = \frac{87.2^\circ \times 1.5}{360^\circ} = 0.363s$$

8、网络如图所示, 已知: 网络的正序阻抗 $Z_1 = 0.4\Omega/km$, 线路阻抗角 $\varphi_L = 65^\circ$, A、B变电站装有反应相间短路的二段式距离保护, 它的 I、II 段测量元件均系采用方向阻抗继电器。试求 A 变电站距离保护动作值 (I、II 段可靠系数取 0.8)。并分析:

(1) 当在线路 AB 距 A 侧 $55km$ 和 $65km$ 处发生相间金属性短路时, A 变电站各段保护的動作情况。

(2) 当在距 A 变电站 $30km$ 处发生 $R = 12\Omega$ 的相间弧光短路时, A 变电站各段保护动作情况。

(3) 若 A 变电站的电压为 $115kV$, 通过变电站的负荷功率因数为 0.9 , 问送多少负荷电流时, A 变电站距离保护 II 段才会误动作?



解: 1、保护 A 第 I 段整定值

$$Z_{op.A} = 0.8 \times 0.4 \times 75 = 24\Omega$$

保护 A 第 II 段整定值

$$Z_{op.B} = 0.8 \times 0.4 \times 50 = 16\Omega$$

$$Z_{op.A} = 0.8(0.4 \times 75 + 16) = 36.8\Omega$$

1) 在 $55km$ 处短路测量阻抗为 $Z_m = 0.4 \times 55 = 22\Omega$;

2) 在 $65km$ 处短路测量阻抗为 $Z_m = 0.4 \times 65 = 26\Omega$ 。

保护A的I段不动作，II段会动作。

2、在30km 经过渡电阻 $R=12\Omega$ 的弧光短路的测量阻抗为

$$U_m^{(2)} = 2I_k^{(2)}Z_1L + I_k^{(2)}R$$

$$I_m^{(2)} = 2I_k^{(2)}$$

$$Z_m = Z_1L + 0.5R \text{ [相间短路，过渡电阻值每相取一半。]}$$

$$= 30 \times 0.4e^{j65^\circ} + 0.5 \times 12$$

$$= 15.55e^{j44.6^\circ}$$

$$Z_{op}^I = 24 \cos(65^\circ - 44.6^\circ) = 22.5 > 15.55 \text{ [注：取整定阻抗角 } \varphi_{set} = 65^\circ \text{]}$$

$$Z_{op}^{II} = 36.8 \cos(65^\circ - 44.6^\circ) = 34.5 > 15.55$$

故保护A的I、II段均会动作。

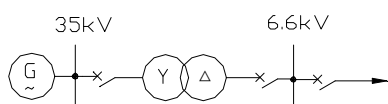
3、求使II段误动的负荷电流

$$\varphi_L = \cos^{-1} 0.9 = 25.8^\circ$$

负荷阻抗为 $36.8 \cos(65^\circ - 25.8^\circ) = 28.5$ 时，方向阻抗继电器就会误动。[注：由整定阻抗求出动作阻抗。]

$$\text{误动时的负荷电流为：} I_L = \frac{110/\sqrt{3}}{28.5} = 2.32kA$$

9、如图所示的降压变压器采用DCD-2（或BCH-2）型构成纵联差动保护，已知变压器的参数为15MVA， $35(1 \pm 2.5\%) / 6.6kV$ ， $U_k = 8\%$ ，Y，d11接线，归算到6.6kV的系统最大电抗 $X_{s,max} = 0.289\Omega$ ，最小电抗 $X_{s,min} = 0.173\Omega$ 。低压侧最大负荷电流为1060A。试求动作电流 I_{op} 、差动线圈匝数 W_d 、平衡线圈匝数 W_b 和灵敏度 K_{sen} 。



解：1、确定基本侧

(1) 变压器一次额定电流

$$1) 35kV \text{ 侧：} I_N = \frac{15}{\sqrt{3} \times 35} = 248A$$

$$2) 6.6kV \text{ 侧：} I_N = \frac{15}{\sqrt{3} \times 6.6} = 1315A \text{ [注：求额定电流应用变压器实际额定电压。]}$$

(2) 电流互感器变比

1) 35kV 侧计算变比及选用变比

$$n_{TA.cal} = \frac{\sqrt{3} \times 248}{5}; \text{ 选用 } n_{TA} = \frac{600}{5} \text{ [注: } \sqrt{3} \text{ 是由于变压器高压侧采用三角形接线。]}$$

2) 6.6kV 侧: 选用 $n_{TA} = \frac{1500}{5}$

(3) 电流互感器二次电流

1) 35kV 侧: $I_{2N} = \frac{\sqrt{3} \times 248}{120} = 3.57A$ [注: $\sqrt{3}$ 为接线系数。]

2) 6.6kV 侧: $I_{2N} = \frac{1315}{300} = 4.38A$

选用变压器低压侧作为基本侧。 [注: 二次电流大的一侧为基本侧。]

(4) 求低压母线三相短路归算到基本侧的短路电流

$$X_T = 0.08 \times \frac{6.3^2}{15} = 0.211\Omega \text{ [注: 计算时应将所有参数都归算至基本侧。]}$$

$$X_\Sigma = 0.173 + 0.211 = 0.384\Omega$$

$$I_{k.max}^{(3)} = \frac{6300}{\sqrt{3} \times 0.384} = 9420A$$

2、基本侧动作电流计算值确定

(1) 按躲过外部短路条件

$$I_{op} = 1.3(1 \times 0.1 + 0.05 + 0.05) \times 9420 = 2450 \text{ A}$$

(2) 按躲过励磁涌流

$$I_{op} = 1.3 \times 1315 = 1710 \text{ A}$$

(3) 按CT二次断线条件

$$I_{op} = 1.3 \times 1060 = 1378 \text{ A}$$

选一次计算动作电流 $I_{op.cal} = 2450A$ [注: 计算动作电流应取三条件的最大值。]

3、确定基本侧差动线圈匝数

$$\text{二次计算动作电流 } I_{op.r.cal} = \frac{2450}{300} = 8.16A$$

工作线圈计算匝数: $W_{w.cal} = \frac{60}{8.16} = 7.35$ 匝 [注: 为防止保护误动, 工作线圈整定值应小于或等于计算值。]

选用差动线圈整定值为 $W_{d.set} = 6$ 匝、平衡线圈整定值为 $W_{b.set} = 1$ 匝

继电器实际动作电流 $I_{op.r} = \frac{60}{7} = 8.56A$ [注: 由于计算值与整定值不同, 所以实际动作电流不等于计

算值。]

一次动作电流为： $I_{op} = 8.56 \times 300 = 2468A$

4、确定35kV侧平衡线圈及工作线圈匝数

$$\begin{aligned}W_{nb.cal} &= \frac{I_{2b}}{I_{2nb}} W_{w.se} - W_{d.se} \\ &= 7 \times (4.38 / 3.57) - 6 \\ &= 2.6 \text{ 匝} \text{ [注：按四舍五入方法确定非基本侧平衡线圈匝数，这样产生的不平衡才是最小的。]}\end{aligned}$$

按四舍五入原则取非基本侧的平衡线圈匝数为 $W_{nb.se} = 3$ 匝

非基本侧工作线圈为 $W_{w.set} = 9$ 匝

5、计算 Δf_{er}

$$\Delta f_{er} = \frac{2.6 - 3}{2.6 + 6} = -0.465 < 0.05 \text{ [注：相对误差应取绝对值。]}$$

所以不必重算动作电流。

6、校验灵敏度

在6.6kV侧两相短路最小短路电流为

$$I_{k.min}^{(2)} = \frac{\sqrt{3}}{2} \left[\frac{6300}{\sqrt{3}(0.289 + 0.211)} \right] = 6300A$$

归算至35kV侧的短路电流为

$$I_{k.max} = \frac{6300 \times 6.3}{37} = 1075A \text{ [注：因电源在高压侧，所以单电源变压器求灵敏系数时，应归算至电源}$$

侧。]

35kV侧流入继电器的电流为

$$I_r = \frac{\sqrt{3} \times 1075}{120} = 15.5A$$

35KV侧继电器动作电流

$$I_{op.r} = \frac{60}{9} = 6.67A$$

保护的灵敏度为： $K_{sen} = 15.5 / 6.67 = 2.3$ 满足要求。

10、在一个降压变电所内装有三台变压器，已知：

变压器参数：7500kVA，35 / 6.6KV，Y,d11， $U_k = 7.5\%$ ；最大工作电流 $I_{w.max} = 1.1I_N$ ；负荷自

起动系数 $K_{ss} = 1.7$ ，返回系数 $K_{re} = 0.85$ ，可靠系数 $K_{rel} = 1.2$ 。35kV母线三相短路容量为100MVA。试选择外部短路过电流保护类型，求出灵敏度。

解：1、确定采用过电流保护

(1) 躲开切除一台变压器时可能的最大负荷电流

$$I_{op} = \frac{1.2 \times 3 \times I_N}{0.85 \times 2} = 2.12I_N \quad [\text{注：当要求出有名值时，可根据额定值求出额定电流，代入即可。}]$$

(2) 躲开最大负荷电流

$$I_{OP} = \frac{1.2 \times 1.7 \times 1.1I_N}{0.85} = 2.64I_N$$

选取 $I_{op} = 2.64I_N$

(3) 短路电流计算

取 $S_b = 7.5MVA, U_{av} = U_b$

$$X_s = 7.5/100 = 0.075 \quad [\text{注：由母线短路容量，可求出系统等值阻抗。}]$$

三台并列运行时，等值标么电抗值为

$$X_{T\Sigma} = \frac{U_k \% \cdot S_b}{3 \times S_N} = \frac{0.075}{3} = 0.025$$

$$X_\Sigma = 0.075 + 0.025 = 0.1$$

三台并列运行时，6.6kV母线三相短路时流过每台变压器短路电流为

$$I_k^{(3)} = \frac{I_N}{3X_\Sigma} = \frac{I_N}{3 \times 0.1} = \frac{10I_N}{3}$$

由于两相短路，在变压器高压侧有一相电流相当于三相短路值。

采用两相三继电器接线时的灵敏度

$$K_{sen} = \frac{\frac{10I_n}{3}}{2.64I_N} = 1.26 < 1.5 \quad (\text{灵敏度不满足要求})$$

2、确定采用低电压起动的过电流保护

电流元件动作电流

$$I_{op} = \frac{1.2I_N}{0.85} = 1.41I_N$$

$$K_{sen} = \frac{\frac{10I_n}{3}}{1.41I_N} = 2.36 > 1.5$$

电压元件动作值：采用三只低压继电器接在6.6kV侧母线相间电压上。

$$U_{op} = \frac{0.9U_N}{K_{rel} \cdot K_{re}} = \frac{0.9U_N}{1.2 \times 1.15} = 0.65U_N$$

当6.6kV母线短路时，保护安装处的残余电压等于零，由此可见，采用低压过电流保护可以满足要求。

11、在某降压变电所内有一台变压器，已知：变压器参数为30 MVA，110/6.3KV，Y，d11接线，
 ；在最小运行方式下，变压器110KV母线三相短路的容量为500MVA；最大负荷电流为
 $I_{L,max} = 1.2I_N$ ；负荷自启动系数为2, 返回系数为0.85, 可靠系数1.25；试问：变压器上能否装设两相两继接
 线的过电流保护作为外部相间短路的后备保护？

解：1、求电流元件动作电流

$$X_{s,max} = \frac{115^2}{500} = 26.45\Omega \quad [\text{注：由母线最大短路容量求出系统等值阻抗。}]$$

$$X_T = \frac{0.105 \times 115^2}{30} = 46.3\Omega$$

$$I_{N,h} = \frac{30000}{\sqrt{3} \times 110} = 157.46A$$

$$I_{op} = \frac{1.25 \times 2 \times 1.2 \times 157.46}{0.85} = 555.7A$$

变压器低压侧三相短路电流最小值：

$$I_{k,min}^{(3)} = \frac{115000}{\sqrt{3}(26.45 + 46.3)} = 913A$$

2、灵敏度计算

保护采用两相两继接线时：

$$K_{sen} = \frac{913}{2 \times 555.7} = 0.82 \quad \text{不满足要求。} \quad [\text{注：采用两相两继电器时，灵敏系数只能采用1/2的三相短路电流值。}]$$

保护采用两相三继接线时：

$$K_{sen} = \frac{913}{555.7} = 1.64 \quad \text{满足要求。}$$

由上述计算可知，过电流保护不能采用两相两继电器接线。

12、水轮发电机上装设了DCD-2（BCH-2）继电器构成高灵敏接线的纵差保护，已知：

发电机参数： $P_N = 3200MW$ ， $U_N = 6.3KV$ ； $I_N = 366.5A$ ， $\cos \varphi = 0.8$ ， $X_d'' = 0.2$ ；电流互感器变比 $n_{TA} = 400 / 5$ 。试确定保护整定参数及灵敏度。

解：1、求平衡线圈

$$W_{b,cal} = \frac{60 \times 80}{1.1 \times 366.5} = 11.9 \quad \text{匝}$$

取平衡线圈匝数 $W_{b,set} = 10$ 匝 [注：因差动继电器差动绕组最大值为20匝。]

2、求差动线圈

因为平衡线圈整定值与计算值不等，因此：

$$W_{d.cal} = \frac{60 \times 80}{1.1 \times 366.5} + 10 = 21.9 \text{ 匝}$$

取差动线圈匝数 $W_{d.set} = 20$ 匝

3、继电器动作电流

$$I_{op.r} = \frac{60}{20} = 3A$$

4.灵敏度

$$K_{sen} = \frac{\sqrt{3} \times 1 \times 366.5}{2 \times 0.2 \times 3 \times 80} = 6.6 > 2 \text{ 满足要求。}$$

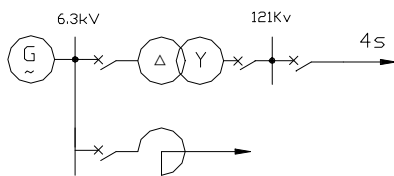
13、如图所示接线中，已知：

发电机参数为：额定功率25MW、 $\cos \varphi = 0.8$ 、次暂态电抗 $X_k'' = 0.129$ 、负序电抗

$X_2 = 0.156$ ，且装有自动励磁调节器；负荷自起动系数 $K_{ss} = 2.5$ ， $\Delta t = 0.5s$ ；接相电流的

过电流保护采用完全星形接线；电流互感器变比为3000/5，电压互感器变比6000/100；当

选用 $S_b = 31250kVA$ ， $U_b = 6.3kV$ 时，变压器和电抗器的正、负序电抗为 0.164。[注：装有自动励磁调节器短路电流可以不计衰减的影响。]



试求发电机后备保护，并完成下列任务：

分析装设过电流保护，低压过电流保护，复合电压起动的过电流保护的负序电流及单元件式低压起动过电流保护的可能性。算出各保护的動作参数，灵敏度、動作时间。

采用过电流保护的可能性

$$I_{NG} = \frac{25000}{\sqrt{3} \times 6.3 \times 0.8} = 2864A$$

保护一次动作电流为：
$$I_{op} = \frac{1.15 \times 2.5}{0.85} \times 2864 = 9687A$$

保护二次动作电流为：
$$I_{op.r} = \frac{9687}{600} = 16.15A$$

保护的灵敏度：

(1) 近后备

在发电机母线两相短路电流为

$$I_{k.min}^{(2)} = \frac{\sqrt{3} \times 1}{0.129 + 0.156} \times 2864 = 17406 A$$

$$K_{sen} = \frac{17406}{9687} = 1.8 > 1.5$$

(2) 远后备

$$X_{\Sigma 1} = 0.129 + 0.164 = 0.293$$

$$X_{\Sigma 2} = 0.156 + 0.164 = 0.32$$

$$I_{k.min}^{(2)} = \frac{\sqrt{3} \times 1}{0.293 + 0.32} \times 2864 = 8092 A \quad [\text{注：正、负序阻抗不相等。}]$$

$$K_{sen} = \frac{9092}{9687} = 0.835 < 1.2$$

由上可见，灵敏度不满足要求，不能采用。

2、分析采用低压起动过流保护

$$\text{保护一次动作电流为：} I_{op} = \frac{1.15}{0.85} \times 2864 = 3866 A$$

$$\text{保护动作电压位：} U_{op} = 0.6 \times 6.3 = 3.78 kV$$

电流元件灵敏度：

$$\text{近后备：} K_{sen} = \frac{17406}{3866} = 4.5 > 1.5$$

$$\text{远后备为：} K_{sen} = \frac{8092}{3866} = 2.1 > 1.2$$

电压元件灵敏度：

$$\text{远后备灵敏度为：} U_{k.max}^{(2)} = 2 \times \frac{8092}{2864} \times 0.164 \times \frac{6.3}{\sqrt{3}} = 3.37 kV \quad [\text{注：将短路电流化为标么值，求出电压乘}$$

以基准值。]

$$U_{k.max}^{(3)} = 6.3 \times \frac{0.164}{0.129 + 0.164} = 3.52 kV \quad [\text{注：三相短路用正序阻抗。}]$$

$$K_{sen} = \frac{3.78}{3.52} = 1.07 < 1.2$$

故也不能采用。

3、分析采用复合电压起动的过流保护

负序电压动作值：

$$U_{op2} = 0.06 \times 6.3 = 0.378kV$$

灵敏度:

- (1) 电流元件灵敏系数同低压过电流保护。
- (2) 低压元件灵敏系数

$$K_{sen} = \frac{1.15 \times 3.78}{3.52} = 1.23 > 1.2 \text{ [注: 考虑对称短路是由不对称转化成对称, 所有在短路初瞬间}$$

存在负序分量, 低压元件已被起动, 只要加入低压元件的电压小于返回电压, 低压元件就不会返回。]

- (3) 负序电压元件灵敏系数

$$X_2 U_b = \frac{0.156 \times 6.3}{0.129 + 0.156} = 3.448kV$$

$$\frac{18}{78} = 9.1 > 1.5$$

$$\frac{0.156 \times 6.3}{0.129 + 0.156 + 2 \times 0.164} = 1.6kV$$

$$\frac{1.6}{378} = 4.24 > 1.2$$

由上面计算可知, 复合电压起动的过电流保护可采用。

保护动作时间 $t_{op} = 5s$ 。

4、分析采用负序电流及单元件式低压起动过流保护的可能性

- (1) 低压元件, 过电流元件计算及灵敏度均同复合起动的电压过电流保护。
- (2) 负序电流元件

动作于信号的电流继电器的动作电流

$$I_{op} = 0.1 I_{NG} = 0.1 \times 2864 = 286.4A$$

动作于跳闸的电流继电器的动作电流

$$I_{op} = \sqrt{A/t} I_N = \sqrt{30/120} \times 2864 = 1432A \text{ [注: A为发电机的热容量常数, 应根据发电机的类型及容量}$$

确定。]

灵敏度:

- 1) 近后备

$$I_{k2.min} = \frac{2864}{0.129 + 0.156} = 10049A$$

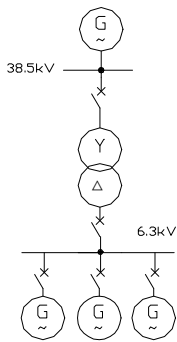
$$K_{sen} = \frac{10049}{1432} = 7 > 1.5$$

- 2) 远后备

$$I_{k2.min} = \frac{2864}{0.129 + 0.156 + 2 \times 0.164} = 4672A$$

$$K_{sen} = \frac{4672}{1432} = 3.26 > 1.2$$

14、某一水电站升压变压器采用DCD-2（BCH-2）差动保护，系统等值网络图如图8-2所示。已知：变压器参数： $S_N=12500kVA$ ， $38.5(1 \pm 2 \times 2.5\%) / 6.3kV$ ， $U_k = 7.5\%$ ，联接方式为Y，d11；阻抗均归算到平均电压为37kV侧欧姆值分别为：系统 $X_{s.min} = 6\Omega$ 、 $X_{s.max} = 10\Omega$ ；变压器 $X_T = 8.2\Omega$ ；发电机 $X_{G.min} = 32.8\Omega$ 、 $X_{G.max} = 68.5\Omega$ 。求变压器差动保护参数整定计算及灵敏度。



解：1、短路电流计算

(1) 发电机母线三相短路系统送到短路点的最大、最小短路电流为

$$I_{k.max} = \frac{37000}{\sqrt{3}(6 + 8.2)} = 1504.4A \quad [\text{注：在低压侧母线短路时的电路电流。}]$$

$$I_{k.min} = \frac{37000}{\sqrt{3}(10 + 8.2)} = 1173A$$

(2) 变压器高压母线三相短路发电机送到短路点的最大、最小短路电流为

$$I_{k.max} = \frac{37000}{\sqrt{3}(22.8 + 8.2)} = 689A \quad [\text{注：在高压侧母线短路时的电流电流。}]$$

$$I_{k.min} = \frac{37000}{\sqrt{3}(68.5 + 8.2)} = 278.5A$$

2、确定基本侧

变压器一次额定电流

$$\text{高压侧: } I_{N.h} = \frac{12500}{\sqrt{3} \times 38.5} = 187.5A$$

$$\text{低压侧 } I_{N.l} = \frac{12500}{\sqrt{3} \times 6.3} = 1146A$$

选择电流互感器变比:

变压器高压侧电流互感器计算变比为 $n_{TA.h.cal} = \frac{\sqrt{3} \times 187.5}{5} = \frac{324.75}{5}$; 选用400/5。

变压器低压侧电流互感器计算变比为 $n_{TA.L.cal} = \frac{1146}{5}$; 选用1500/5。

二次额定电流计算:

高压侧: $I_{2N} = \frac{324.75}{80} = 4.06A$ 低压侧: $I_{2N} = \frac{1146}{300} = 3.82A$

由计算结果可知, 应选35kV侧为基本侧。

3、保护动作电流计算值

(1) 按躲过外部短路产生的最大不平衡电流条件

$$I_{op} = 1.3 \times (1 \times 0.1 + 0.05 + 0.05) \times 1504.4 = 391A$$

(2) 按躲过励磁涌流条件

$$I_{op} = 1.3 \times 187.5 = 244A$$

(3) 按躲电流互感器二次回路断线条件

$$I_{op} = 1.3 \times 187.5 = 244A$$

选用保护计算动作电流 $I_{op} = 391A$

4、确定基本侧工作线圈匝数

加入继电器计算电流为 $I_{op.r.cal} = \frac{\sqrt{3} \times 391}{80} = 8.47A$

工作线圈计算匝数为 $W_{w.cal} = \frac{60}{8.47} = 7.08$ 匝

选用工作线圈匝数为 $W_{w.se} = 7$ 匝、其中差动线圈 $W_{d.set} = 6$ 匝、平衡线圈 $W_{b.set} = 1$ 匝。

继电器实际动作电流 $I_{op.r} = \frac{60}{7} = 8.57A$

5、非基本侧平衡线圈匝数确定

$$\begin{aligned} W_{nb.cal} &= \frac{I_{2b}}{I_{2nb}} W_{w.se} - W_{d.se} \\ &= 7 \times (4.06 / 3.82) - 6 = 1.44 \text{ 匝} \end{aligned}$$

按四舍五入选用平衡线圈 $W_{nb.set} = 1$ 匝

6、计算相对误差 Δf_{er}

$$\Delta f_{er} = \frac{1.44-1}{1.44+6} = 0.059 > 0.05, \text{ 不满足要求, 应重新确定保护动作电流。}$$

重新确定动作电流计算值为: $I_{op} = 1.3(1 \times 0.1 + 0.05 + 0.059) \times 1504.4 = 409A$ 。[注: 由此说明, 基本侧工作线圈匝数7匝已经太大, 取6匝作为计算条件。]

为保证选择性, 应增大动作电流, 即应减少工作线圈匝数。选用 $I_{op} = 462A$ 时, 继电器动作电流为 $I_{op.r} = 10A$ 、差动线圈 $W_{d.set} = 5$ 匝、平衡线圈 $W_{b.set} = 1$ 匝、工作线圈 $W_{w.set} = 6$ 匝; 非基本侧

$$W_{nb.cal} = 1.377 \text{ 匝}, W_{nb.set} = 1 \text{ 匝}, W_{nw.se} = 6 \text{ 匝}$$

7、灵敏度校验

变压低压侧两相短路流入继电器电流

$$I_{k.r} = \frac{\sqrt{3} \times (\frac{\sqrt{3}}{2} \times 1173)}{80} + \frac{1 \times (\frac{\sqrt{3}}{2} \times 311.9) \times \frac{37}{6.3}}{300} = 27.29A$$

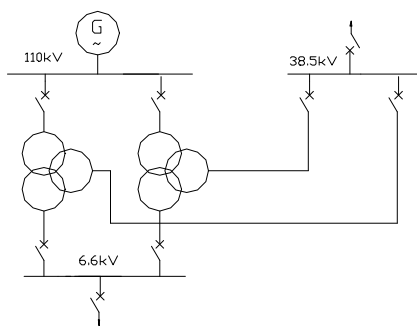
[注: 此式按两侧电源同时运行时计算的灵敏度系数。]

$$K_{sen} = \frac{27.29}{10} = 2.729 > 2 \text{ 满足要求。}$$

15、如图所示某降压变电所内, 已知变压器参数为: $31.5/20/31.5MVA$, $110(1 \pm 2 \times 2.5\%) / 38.5(1 \pm 2 \times 2.5\%) / 6.6kV$, $Y, d11.d11$ 接线; $U_{k.110} = 10.75\%$, $U_{k.38.5} = 0$, $U_{k.6.6} = 6.25\%$; 系统参数

$$X_{s.min} = 0.035, X_{s.max} = 0.052, K_{rel} = 1.3, \text{ 基准容量 } S_b = 31.5MVA。$$

当变压器采用DCD-2 (BCH-2) 型差动继电器构成差动保护时, 试确定保护动作电流, 差动线圈匝数, 平衡线圈匝数和灵敏度。



解: 1、参数计算

变压器电抗分别为

$$X_{T1} = \frac{0.1075 \times 115^2}{31.5} = 45.1\Omega; X_{T2} = 0; X_{T3} = \frac{0.0625 \times 115^2}{31.5} = 26.24\Omega$$

$$\text{系统电抗为 } X_{s.max} = 0.052 \times 115^2 / 31.5 = 21.8\Omega, X_{s.min} = 0.035 \times 115^2 / 31.5 = 14.7\Omega。$$

[注: 由标么值求出归算至高压侧的等值阻抗。]

2、短路电流计算

(1)两台变压器并列运行最大三相短路电流

$$\text{中压侧短路电流为 } I_{k.\max.35}^{(3)} = \frac{115000}{2 \times \sqrt{3}(14.7 + 0.5 \times 45.1)} = 891A \quad [\text{注：变压器并联运行发生短路故障时流过每台变压器短路电流。}]$$

$$\text{低压侧短路电流为 } I_{k.\max.6.6}^{(3)} = \frac{115000}{2 \times \sqrt{3} \times [0.5(26.24 + 45.1) + 14.7]} = 659A$$

(2)单台运行时最大三相短路电流

$$\text{中压侧短路电流为 } I_{k.\max.35}^{(3)} = \frac{115000}{\sqrt{3}(14.7 + 45.1)} = 1110A$$

$$\text{低压侧短路电流为 } I_{k.\max.6.6}^{(3)} = \frac{115000}{\sqrt{3}(14.7 + 45.1 + 26.24)} = 772A$$

(3)在6.6kV侧母线三相短路电流最小值

1) 两台并列运行时

$$I_{k.\min.6.6}^{(3)} = \frac{115000}{2 \times \sqrt{3} \times [0.5(26.24 + 45.1) + 21.8]} = 578A$$

2) 单台运行

$$I_{k.\min.6.6}^{(3)} = \frac{115000}{\sqrt{3}(21.8 + 26.24 + 45.1)} = 713A$$

3、确定基本侧

(1) 变压器一次额定电流计算

$$\text{高压侧 } I_{N.h} = \frac{31500}{\sqrt{3} \times 110} = 165A$$

$$\text{中压侧 } I_{N.m} = \frac{31500}{\sqrt{3} \times 38.5} = 472.4A$$

$$\text{低压侧 } I_{N.l} = \frac{31500}{\sqrt{3} \times 6.6} = 2755.2A$$

(2) 电流互感器变比选择

$$\text{变压器高压侧： } n_{TA.h.cal} = \frac{\sqrt{3} \times 165}{5} \text{、选用} 300/5 \text{。}$$

$$\text{变压器中压侧： } n_{TA.m.cal} = \frac{472.4}{5} \text{、选用} 600/5 \text{。}$$

$$\text{变压器低压侧： } n_{TA.l.cal} = \frac{2755.2}{5} \text{、选用} 3000/5 \text{。}$$

(3) 二次额定电流计算

$$\text{高压侧: } I_{2N.h} = \frac{\sqrt{3} \times 165}{60} = 4.76A \quad \text{中压侧: } I_{2N.m} = \frac{472.4}{120} = 3.94A$$

$$\text{低压侧: } I_{2N.l} = \frac{2755.2}{300} = 4.59A$$

由计算可知，应选取110kV侧为基本侧。

4、确定动作电流

由计算可知，应取单台运行作为动作电流计算条件：

(1) 按最大不平衡电流条件

$$I_{op} = 1.3 \times (1 \times 0.1 + 0.05 + 0.05 + 0.05) \times 1110 = 361A$$

(2) 按励磁涌流和电流互感器二次断线条件

$$I_{op} = 1.3 \times 165 = 214.5A$$

选用计算动作电流为 $I_{op.cal} = 361A$ [注：整定匝数未确定前，动作电流不为实际值。]

从上面计算可知，对并列运行变压器整定计算按单台运行条件为计算方式。因单台运行时外部短路流过差动回路的不平衡电流最大。

5、确定基本侧差动线圈

$$\text{二次动作电流计算值为 } I_{op.r.cal} = \frac{\sqrt{3} \times 165}{60} = 10.4A$$

$$\text{工作线圈计算匝数 } W_{w.cal} = \frac{60}{10.4} = 5.77 \text{ 匝}$$

$$\text{选用整定匝数 } W_{w.set} = W_{d.set} = 5 \text{ 匝} \quad \text{继电器实际动作电流 } I_{op.r} = \frac{60}{5} = 12A$$

6、确定平衡线圈匝数

$$\text{38.5kV侧: } W_{b.cal} = \frac{4.76 - 3.94}{3.94} \times 5 = 1.04 \text{ 匝、选用 } W_{b.set} = 1 \text{ 匝}$$

$$\text{6.6kV侧: } W_{b.cal} = \frac{4.76 - 3.94}{4.59} \times 5 = 0.185 \text{ 匝、选用 } W_{b.set} = 0 \text{ 匝}$$

7、计算相对误差 Δf_{er}

$$\text{对中侧相对误差 } \Delta f_{er} = \frac{1.04 - 1}{1.04 + 5} = 0.0066$$

$$\text{对低压侧相对误差 } \Delta f_{er} = \frac{0.185 - 0}{0.185 + 5} = 0.0357$$

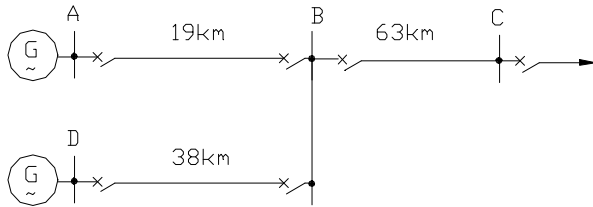
满足要求，不必重新整定。

8、灵敏度计算

$$I_r = \frac{\frac{\sqrt{3}}{2} \times 578 \times \sqrt{3}}{60} = 14.45A \quad [\text{注: 其中 } \sqrt{3}/2 \text{ 是两相短路电流与三相短路电流间的关系, } \sqrt{3} \text{ 是保护接线系数。}]$$

$K_{sen} = 14.45/12 = 1.2 < 2$, 采用DCD-2不满足要求, 应改用其它型式的保护。

16、如图所示网络, 已知 $E_A = E_D = 110/\sqrt{3}kV$, 电源A的电抗 $X_1 = X_2 = 20\Omega$, $X_0 = 31.45\Omega$, 电源D的电抗 $X_1 = X_2 = 12.6\Omega$, $X_0 = 25\Omega$, 所有线路 $X_1 = 0.4\Omega/km$, $X_0 = 1.4\Omega/km$; 可靠系数 $K_{rel}^I = 1.25$, $K_{rel}^{II} = 1.15$ 。试确定线路AB上A侧零序电流保护第II段动作值, 并校验灵敏度。



解: A侧零序II段应与BC和BD的零序保护的I段配合, 取大值作为整定值。

1、与BC线路配合:

$$X_{1\Sigma} = X_{2\Sigma} = \frac{(20 + 7.6)(12.6 + 15.2)}{20 + 7.6 + 12.6 + 15.2} + 25.2 = 39\Omega$$

$$X_{0\Sigma} = \frac{(31.43 + 26.6)(25 + 53.2)}{31.43 + 26.6 + 25 + 53.2} + 88.2 = 121.51\Omega$$

因 $X_{0\Sigma} > X_{1\Sigma}$, 应采用单相接地的零序电流。

$$3I_{k0}^{(1)} = \frac{3 \times 110000}{\sqrt{3}(2 \times 39 + 121.51)} = 955A \quad [\text{注: 短路点总零序电流。}]$$

BC线路保护I段动作电流为

$$I_{op}^I = 1.25 \times 955 = 1190A$$

分支系数:

$$K_b = \frac{3I_{k0,BC}^{(1)}}{3I_{k0,BA}^{(1)}} = \frac{955}{955 \times \frac{25 + 53.2}{25 + 53.2 + 31.43 + 26.6}} = 1.74 \quad [\text{注: 为求流过保护安装处的零序电流, 即保护能测量到的零序电流。}]$$

AB线路保护II段整定值为

$$I_{op}^{II} = 1.15 \times 1190 / 1.74 = 786A \quad [\text{注: 保护安装处实际的零序电流比短路点的小。}]$$

2、与线路BD的零序电流配合时

1)不加方向元件时，动作电流必须躲过母线D或B接地短路时可能出现的最大零序电流。

$$X_{1\Sigma} = X_{2\Sigma} = \frac{12.6 \times (20 + 7.6 + 15.2)}{12.6 + 20 + 7.6} = 9.73\Omega$$

$$X_{0\Sigma} = \frac{25 \times (53.2 + 31.43 + 26.6)}{25 + 53.2 + 31.43 + 26.6} = 20.41\Omega$$

流入接地短路点的零序电流为

$$3I_{k0}^{(1)} = \frac{3 \times 110 \times 10^3}{\sqrt{3}(2 \times 9.73 + 20.41)} = 4780A$$

$$3I_{ko}^{(1.1)} = \frac{3 \times 110 \times 10^3}{\sqrt{3}(9.73 + 2 \times 20.41)} = 3769A$$

流过BD线路的零序电流为

$$3I_{K0}^{(1)} = \frac{4780 \times 25}{25 + 53.2 + 31.43 + 26.6} = 877A$$

$$3I_{K0}^{(1.1)} = \frac{3780 \times 25}{25 + 53.2 + 31.43 + 26.6} = 694A$$

当母线B接地短路时：

$$X_{1\Sigma} = X_{2\Sigma} = 13.8\Omega, \quad X_{0\Sigma} = \frac{(31.43 + 26.6)(25 + 53.2)}{31.43 + 26.6 + 25 + 53.2} = 33.31\Omega$$

流入短路点的零序电流为：

$$3I_{k0}^{(1)} = \frac{3 \times 110 \times 10^3}{\sqrt{3}(2 \times 13.8 + 33.31)} = 3130A$$

$$3I_{ko}^{(1.1)} = \frac{3 \times 110 \times 10^3}{\sqrt{3}(13.8 + 2 \times 33.31)} = 2370A$$

电源E_D侧流过BD线路B侧的零序电流为

$$3I_{k0}^{(1)} = \frac{3130 \times (31.43 + 26.6)}{25 + 53.2 + 31.43 + 26.6} = 1330A$$

$$3I_{k0}^{(1.1)} = \frac{2730 \times (31.43 + 26.6)}{25 + 53.2 + 31.43 + 26.6} = 1010A$$

在BD线路B端出口接地短路时，由电源E_A侧流过保护的零序电流为

$$3I_{k0.AB}^{(1)} = 3130 - 1330 = 1800A$$

$$3I_{k0.AB}^{(1.1)} = 2370 - 1010 = 1360A$$

$$I_{op}^I = 1.25 \times 1330 = 1660A \quad [\text{注：不加方向元件时，既要考虑正方向短路，也要考虑反方向短路。}]$$

采用这个定值后，在显然B端出口处两相接地短路时，保护不可能动作。因此应加方向元件。

2)加方向元件后，BD线路保护的I段按躲开母线D接地的最大零序电流整定

$$I_{op}^I = 1.25 \times 877 = 1090A \quad [\text{注：加方向元件后，只要考虑正方向短路。}]$$

$$\text{线路AB的II段动作电流 } I_{op}^{II} = 1.15 \times 1090 = 1254A$$

定值取1254 A。

$$\text{灵敏度： } K_{sen} = \frac{1360}{1254} = 1.08 < 1.3$$

可采用与BD线路的II段配合，BD线路的II段可按末端有足够灵敏度整定，即

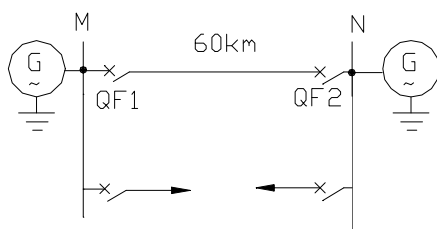
$$I_{op}^{II} = 694 / 1.3 = 534A$$

$$\text{AB线路II段动作电流 } I_{op}^{II} = 1.15 \times 534 = 614A$$

$$\text{灵敏度 } K_{sen} = \frac{1360}{614} = 2.22$$

$$\text{动作时间 } t_{op}^{II} = 1s$$

17、如图所示双电源网络中，已知线路的阻抗 $X_1 = 0.4\Omega/km$ ， $X_0 = 1.4\Omega/km$ ，两侧系统等值电源的参数为：相电势 $E_M = E_N = 115/\sqrt{3}kV$ ， $X_{1M} = X_{2M} = 5\Omega$ ， $X_{1N} = X_{2N} = 10\Omega$ ， $X_{0M} = 8\Omega$ ， $X_{0N} = 15\Omega$ 。试决定线路MN两侧零序电流速断保护I段的整定值及保护范围。



解：1、M侧母线短路电流

$$X_{1\Sigma} = X_{2\Sigma} = \frac{5 \times 34}{5 + 34} = 4.36\Omega$$

$$X_{0\Sigma} = \frac{8 \times 99}{8 + 99} = 7.4\Omega$$

由于 $X_{0\Sigma} > X_{1\Sigma}$ 故按单相接地条件整定。

(1) 流入接地点短路电流为

$$3I_{k0}^{(1)} = \frac{3 \times 115 \times 10^3}{\sqrt{3}(2 \times 4.36 + 7.4)} = 12356A$$

$$3I_{ko}^{(1.1)} = \frac{3 \times 115 \times 10^3}{\sqrt{3}(4.36 + 2 \times 7.4)} = 10396A$$

(2) 流过保护2的零序电流为

$$3I_{k0}^{(1)} = \frac{12356 \times 8}{8 + 84 + 15} = 924A$$

$$3I_{ko}^{(1.1)} = \frac{10396 \times 8}{107} = 777A$$

2、N母线短路时

$$X_{1\Sigma} = X_{2\Sigma} = \frac{29 \times 10}{29 + 10} = 7.44\Omega$$

$$X_{0\Sigma} = \frac{92 \times 15}{92 + 15} = 12.9\Omega$$

(1) 流入接地点短路电流

$$3I_{k0}^{(1)} = \frac{3 \times 115 \times 10^3}{\sqrt{3}(2 \times 7.44 + 12.9)} = 7170A$$

$$3I_{ko}^{(1.1)} = \frac{3 \times 115 \times 10^3}{\sqrt{3}(7.44 + 2 \times 12.9)} = 5992A$$

(2) 流过保护1短路电流

$$3I_{k0}^{(1)} = \frac{7170 \times 15}{107} = 1005A \quad [\text{注：用分流公式计算。}]$$

$$3I_{ko}^{(1.1)} = \frac{5992 \times 15}{107} = 840A$$

3、保护1的 I 段动作值

$$I_{op1}^I = 1.25 \times 1005 = 1256A$$

4、保护2的 I 段如不加方向元件，动作值与保护1相同。

$$I_{op2}^I = 1.25 \times 1005 = 1256A$$

5、保护区长度

$$1256 = \frac{3 \times 115 \times 10^3}{\sqrt{3}(X'_{1\Sigma} + 2X'_{0\Sigma})} \times \frac{15 + 84 - 1.4L_x}{X'_{0\Sigma}} \quad [\text{注：求何处发生两相接地短路的零序电流等于保护定}$$

值。]

$$X'_{1\Sigma} = \frac{(5 + 0.4L_x)(10 + 24 - 0.4L_x)}{5 + 24 + 10} = \frac{170 + 11.6L_x - 0.16L_x^2}{39} \quad [\text{注：求X处接地短路正序总阻抗。}]$$

$$X'_{0\Sigma} = \frac{(8 + 1.4L_x)(15 + 84 - 1.4L_x)}{8 + 84 + 15} = \frac{792 + 129.4L_x - 1.96L_x^2}{107} \quad [\text{注：求X处接地短路时零序总阻抗。}]$$

联立求解即可求出保护1保护长度 L_x ，求保护2方法同上。