

对 I_0 参加比相的接地距离保护的分析计算与评价

合肥工业大学 姚晴林

内 容 提 要

国内外研制了一种以 $I_n \frac{\dot{U}_{\phi R}}{I_0} \leq 0$ 为动作条件的接地距离继电器,并以这种继电器为主要元件构成了接地距离保护,目前国内已有这种类型的保护在试运行。虽然国内外已有若干文献对这种保护进行过分析,但本文以一种不同于这些文献的分析方法来对这种保护进行论述、计算与评价。本文的分析方法较简明并得出一些与其他文献不同的新的结果,例如推论出在这区内接地故障时这种保护所能容许的最大过渡电阻值的计算公式、系统振荡伴随接地故障以及在具有串联电容补偿的线路上这种保护的动作为等。

一、继电器的动作原理及原理上的缺陷

补偿电压 \dot{U}_{AR} 、 \dot{U}_{BR} 、 \dot{U}_{CR} (以下统称为 $\dot{U}_{\phi R}$) 为:

$$\begin{cases} \dot{U}_{AR} = \dot{U}_A - (\dot{I}_A + 3K\dot{I}_0)Z_Y \\ \dot{U}_{BR} = \dot{U}_B - (\dot{I}_B + 3K\dot{I}_0)Z_Y \\ \dot{U}_{CR} = \dot{U}_C - (\dot{I}_C + 3K\dot{I}_0)Z_Y \end{cases} \quad (1)$$

式中 \dot{U}_A 、 \dot{U}_B 、 \dot{U}_C ——保护安装点的相电压;

\dot{I}_A 、 \dot{I}_B 、 \dot{I}_C ——保护安装点的相电流;

\dot{I}_0 ——保护安装点的零序电流;

Z_Y ——继电器的整定阻抗;

$K = \frac{Z_0 - Z_1}{3Z_1}$, Z_0 、 Z_1 为每公里零序、正序阻抗。

当补偿电压 $\dot{U}_{\phi R}$ 滞后于零序电流 \dot{I}_0 时 (滞后的角度为 $0^\circ \sim 180^\circ$), 继电器动作,

即动作条件是 $\frac{\dot{U}_{\phi R}}{I_0}$ 的虚数部分为负, 数学式为:

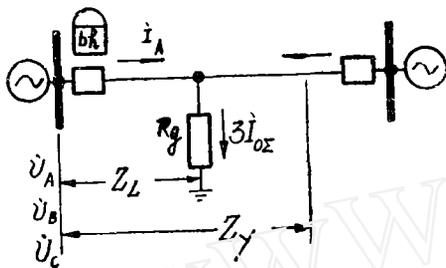
$$I_n \left[\frac{\dot{U}_{\phi R}}{\dot{I}_0} \right] \leq 0 \quad (2)$$

补偿电压是在继电器内形成的。而其物理意义是：正常运行及区外故障时， $\dot{U}_{\phi Y}$ 相当于保护范围末端的相电压；区内故障时， $\dot{U}_{\phi Y}$ 相当于假设短路电流流到故障点后又继续向前流到保护范围末端所形成的相电压。

分别以 $I_m \left| \frac{\dot{U}_{AY}}{\dot{I}_0} \right| \leq 0$ 、 $I_m \left| \frac{\dot{U}_{BY}}{\dot{I}_0} \right| \leq 0$ 、 $I_m \left| \frac{\dot{U}_{CY}}{\dot{I}_0} \right| \leq 0$ 为动作条件可作成 A、B、

C 三个继电器。

设在保护的正方向 Z_{L1} 处发生 A 相经 R_g 单相接地，见图—1。



图—1 A 相经 R_g 单相接地网络图

保护安装点的故障相电压 \dot{U}_A 为：

$$\dot{U}_A = (\dot{I}_A + 3K\dot{I}_0) Z_{L1} + 3\dot{I}_{0z} R_g$$

式中 $3\dot{I}_{0z}$ ——故障点流向地中的总零序电流。

Z_{L1} ——故障点至保护安装点之间的线路正序阻抗，称为短路阻抗。

故障相的补偿电压 \dot{U}_{AY} 为：

$$\dot{U}_{AY} = \dot{U}_A - (\dot{I}_A + 3K\dot{I}_0) Z_Y = (\dot{I}_A +$$

$$+ 3K\dot{I}_0) (Z_{L1} - Z_Y) + 3\dot{I}_{0z} R_g \quad (3)$$

故障相继电器的动作条件为：

$$I_m \left| \frac{\dot{U}_{AY}}{\dot{I}_0} \right| = I_m \left| \frac{\dot{I}_A + 3K\dot{I}_0}{\dot{I}_0} (Z_{L1} - Z_Y) + \frac{3\dot{I}_{0z} R_g}{\dot{I}_0} \right| \leq 0 \quad (4)$$

流经保护安装点的零序电流 \dot{I}_0 与流经接地故障点的总零序电流 \dot{I}_{0z} 之间的相位差角是很小的，尤其对于短路线，可近似认为它们是同相（如此假定可使以下的分析不致繁琐，且基本符合实际）。则式—4 中的 $\frac{3\dot{I}_{0z} R_g}{\dot{I}_0}$ 为实数，它不影响复数 $\frac{\dot{U}_{AY}}{\dot{I}_0}$ 的虚

数部分的正负，故障相（A 相）继电器的动作条件就可转化成：

$$I_m \left| \frac{\dot{I}_A + 3K\dot{I}_0}{\dot{I}_0} (Z_{L1} - Z_Y) \right| \leq 0 \quad (5)$$

整定阻抗 Z_Y 的复角可以整定得与短路阻抗 Z_{L1} 的复角 β 完全相等。

$$Z_{L1} - Z_Y = (|Z_{L1}| - |Z_Y|) e^{j\beta} \quad (6)$$

上式中， $|Z_{L1}|$ 、 $|Z_Y|$ 分别为 Z_{L1} 、 Z_Y 的模；

$$-90^\circ \leq \beta \leq 90^\circ$$

$$\text{设 } \frac{\dot{I}_A + 3K\dot{I}_0}{\dot{I}_0} = m e^{j\gamma} \quad (7)$$

上式中, m 为一个无量纲的正实数, $m > 0$, 而角度 γ 可能为正或负。

将式 - 6、7 代入式 - 5 中, 得故障相继电器的动作条件为:

$$I_m \left\{ m (|Z_{L1}| - |Z_Y|) e^{j(\beta + \gamma)} \right\} \leq 0$$

即 $m (|Z_{L1}| - |Z_Y|) \sin (\beta + \gamma) \leq 0 \quad (8)$

式 - 8 为分析及设计继电器的理论基础。 β 角是短路阻抗角 (即整定阻抗角), 在无串联电容补偿的线路上, $0^\circ < \beta < 90^\circ$; 在有串联电容补偿的线路上, 在电容后面接地故障时, $-90^\circ < \beta < 0^\circ$ 。 γ 角是相量 $\dot{I}_\phi + 3K\dot{I}_0$ 与相量 \dot{I}_0 之间的夹角, \dot{I}_ϕ 为接地故障相的相电流, $\gamma > 0^\circ$ 或 $\gamma < 0^\circ$ 都可能出现。 m 是 $\dot{I}_\phi + 3K\dot{I}_0$ 的模与 \dot{I}_0 的模的比值, 无量纲, $m > 0$ 。 $|Z_{L1}| - |Z_Y|$ 可能为正或为负, 视区外或区内故障而定, 量纲为欧姆。这些参数的不同组合, 可能使式 - 8 的动作条件出现以下四种情况 (在以下的分析中皆认为 Z_{L1} 与 Z_Y 的复角相等, 都为 β):

1、 $0^\circ \leq \beta \leq 90^\circ, 0^\circ \leq \gamma \leq 90^\circ$

在无串联电容补偿的线路上, $0^\circ < \beta < 90^\circ$; 在绝大多数场合, $0^\circ < \gamma < 90^\circ$, 则 $\sin (\beta + \gamma) > 0$, 又 $m > 0$, 故式 - 8 所示的接地故障相的继电器的动作条件转化为:

$$|Z_{L1}| - |Z_Y| \leq 0$$

即 $|Z_{L1}| \leq |Z_Y| \quad (9)$

这是正确的动作条件, 当接地故障点与继电器安装点之间的短路阻抗小于整定阻抗时, 故障相的继电器动作, 反之不动作。故障相继电器有明确的保护范围 (即 Z_Y), 且不受过渡电阻 R_g 的影响。

2、 $0^\circ \leq \beta \leq 90^\circ, \gamma < 0^\circ$, 且 $|\gamma| < \beta$

则 $\sin (\beta + \gamma) > 0$, 又 $m > 0$, 故式 - 8 所示的接地故障相继电器的动作条件也转化为:

$$|Z_{L1}| \leq |Z_Y| \quad (10)$$

这是正确的动作条件。

3、 $0^\circ \leq \beta \leq 90^\circ, \gamma < 0^\circ$, 且 $|\gamma| > \beta$

则 $\sin (\beta + \gamma) < 0$, 又 $m > 0$, 故式 - 8 所示的接地故障相继电器的动作条件转化为:

$$|Z_{L1}| - |Z_Y| \geq 0$$

即 $|Z_{L1}| \geq |Z_Y| \quad (11)$

显然, 这是错误的动作条件, 会造成区内接地故障时 ($|Z_{L1}| < |Z_Y|$), 故障相继电器拒动, 而区外接地故障时 ($|Z_{L1}| > |Z_Y|$), 故障相继电器误动。这种情况 ($\gamma < 0^\circ$, 且 $|\gamma| > \beta$), 在实际电网中是可能发生的, 见图 - 2 及图 - 3 的分析。这是此种类型的接地距离继电器在动作原理上的严重缺陷。

4、 $-90^\circ < \beta < 0^\circ$, 而 $\gamma < 0^\circ$ 或 $0^\circ < \gamma < |\beta|$

$\beta < 0^\circ$ 是输电线路有串联电容补偿, 在电容器后面发生接地故障的情况, Z_{L1} 呈现容性。如果此时 $\gamma < 0^\circ$ 或者 $0^\circ < \gamma < |\beta|$, 则 $\beta + \gamma$ 角处于第四或第三象限, $\sin(\beta + \gamma) < 0$, 又 $m > 0$, 故式—8 所示的接地故障相的继电器的动作条件转化为

$$|Z_{L1}| - |Z_Y| \geq 0$$

即 $|Z_{L1}| \geq |Z_Y|$ (12)

这是错误的动作条件, 同样将导致区外接地故障时误动而区内接地故障时拒动。这种情况在实际电网中具有串联电容补偿的线路上是可能发生的, 这是此种类型的接地距离继电器在动作原理上的又一缺陷。

上述式—3 ~ 式—12 分析的内容虽然是 A 相单相经 R_g 接地时, A 相继电器的动作性能, 但显然这些公式也适用于 B 相 (或 C 相) 单相经 R_g 接地时故障相 B 相 (或 C 相) 继电器的动作性能分析, 也同样适用于两相短路经 R_g 接地时, 两个故障相别的继电器的动作性能分析, 只不过是应把公式中的 \dot{U}_{A1} 、 \dot{I}_{A1} 分别以故障相别的补偿电压、相电流代替之。

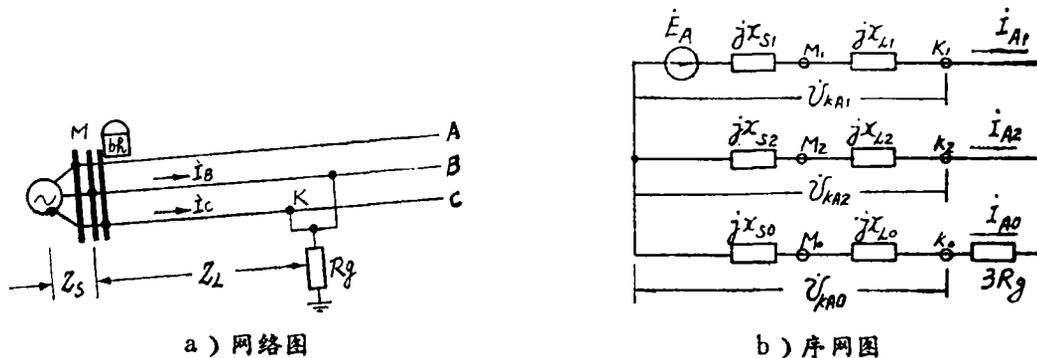
二、保护装置跳闸回路的特点

以这种继电器为主要元件构成的接地距离保护装置, 主要由于以下两点原因, 才不得不把 A、B、C 三相的三个继电器的常开接点串联起来 (去起动跳闸回路) (见参考文献), 也就是只当 A、B、C 三相的三个继电器都动作时, 保护才能动作于跳闸。采用这种特殊的跳闸回路是出自万不得已, 其两点原因是:

1、两相短路经 R_g 接地, 故障相继电器可能误动作

见前述式—11, 在 $0^\circ \leq \beta \leq 90^\circ$, $\gamma < 0^\circ$, 且 $|\gamma| > \beta$ 的情况下, 保护区外接地故障时故障相的继电器会误动。在两相短路经 R_g 接地, R_g 大于某值时就会出现这种情况。

图—2 a、b 是单侧电源输电线路 B、C 两相短路经 R_g 接地的网络图及复合序网图。



图—2 单侧电源 B、C 两相短路经 R_g 接地

忽略线路阻抗及系统阻抗中的电阻成分, $X_{12} = X_{S1} + X_{L1}$, $X_{22} = X_{S2} + X_{L2}$, $X_{02} = X_{S0} + X_{L0}$

$$\dot{i}_{A1} = \frac{\dot{E}_A}{jX_{1\Sigma} + \frac{jX_{2\Sigma}(jX_{0\Sigma} + 3Rg)}{j(X_{2\Sigma} + X_{0\Sigma}) + 3Rg}} = \dot{i}_{A1}^{(1)} (1 + \dot{F}) \quad (13)$$

上式中 \dot{i}_{A1} 为 B、C 两相短路经 Rg 接地时的正序短路电流，

$\dot{i}_{A1}^{(1)} = \frac{\dot{E}_A}{j(X_{1\Sigma} + X_{2\Sigma})}$ 在图—2 中同样的短路点 K 发生 B、C 两相金属性短路时的正序短路电流，

$$\begin{aligned} \dot{F} &= \frac{X_{2\Sigma}^2}{X_{1\Sigma}X_{2\Sigma} + X_{1\Sigma}X_{0\Sigma} + X_{2\Sigma}X_{0\Sigma} - j3Rg(X_{1\Sigma} + X_{2\Sigma})} \\ &= \frac{X_{2\Sigma}^2}{2(X_{1\Sigma}X_{2\Sigma} + X_{1\Sigma}X_{0\Sigma} + X_{2\Sigma}X_{0\Sigma})} + \frac{X_{2\Sigma}^2}{2(X_{1\Sigma}X_{2\Sigma} + X_{1\Sigma}X_{0\Sigma} + X_{2\Sigma}X_{0\Sigma})} e^{j(90^\circ + \varphi)} \\ \varphi &= \arctg \left[\frac{3Rg(X_{1\Sigma} + X_{2\Sigma})}{2(X_{1\Sigma}X_{2\Sigma} + X_{1\Sigma}X_{0\Sigma} + X_{2\Sigma}X_{0\Sigma})} - \frac{X_{1\Sigma}X_{2\Sigma} + X_{1\Sigma}X_{0\Sigma} + X_{2\Sigma}X_{0\Sigma}}{6Rg(X_{1\Sigma} + X_{2\Sigma})} \right] \end{aligned}$$

在式—13 中，设 \dot{E}_A 、 $X_{1\Sigma}$ 、 $X_{2\Sigma}$ 、 $X_{0\Sigma}$ 均为常数，而 Rg 由 $0 \rightarrow +\infty$ 之间变化，则 \dot{F} 及 \dot{i}_{A1} 的变化轨迹为半圆周，见图—3 所示。例如 $Rg = 0$ 、 $Rg = \infty$ 的两个点是：
 $Rg = 0$ ， $\varphi = -90^\circ$

$$\dot{F} = \dot{F}_0 = \frac{X_{2\Sigma}^2}{X_{1\Sigma}X_{2\Sigma} + X_{1\Sigma}X_{0\Sigma} + X_{2\Sigma}X_{0\Sigma}}$$

$$\dot{i}_{A1} = \dot{i}_{A1}^{(1)} + \dot{i}_{A1}^{(2)} \dot{F}_0$$

$Rg = \infty$ ， $\varphi = +90^\circ$

$$\dot{F} = \dot{F}_\infty = 0$$

$$\dot{i}_{A1} = \dot{i}_{A1}^{(1)}$$

图—2 b 中，短路点 K 的 A 相正、负、零序电压为：

$$\dot{U}_{KA1} = \dot{E}_A - jX_{1\Sigma} \dot{i}_{A1}$$

$$\dot{U}_{KA2} = -jX_{2\Sigma} \dot{i}_{A2}$$

$$\dot{U}_{KA0} = -jX_{0\Sigma} \dot{i}_{A0}$$

$$\dot{U}_{KA1} = \dot{U}_{KA2} = \dot{U}_{KA0} - 3Rg \dot{i}_{A0}$$

$$\begin{aligned} \text{则 } \dot{i}_{A2} &= -\frac{\dot{U}_{KA2}}{jX_{2\Sigma}} = -\frac{\dot{E}_A - jX_{1\Sigma} \dot{i}_{A1}}{jX_{2\Sigma}} \\ &= -\dot{i}_{A1}^{(1)} \left(1 - \frac{X_{1\Sigma}}{X_{2\Sigma}} \dot{F} \right) \end{aligned} \quad (14)$$

$$\dot{i}_0 = \dot{i}_{A0} = -(\dot{i}_{A1} + \dot{i}_{A2}) = -\dot{i}_{A1}^{(1)} \left(1 + \frac{X_{1\Sigma}}{X_{2\Sigma}} \right) \dot{F} \quad (15)$$

若 $X_{1\Sigma} = X_{2\Sigma}$ ，则式—14、15 成为：

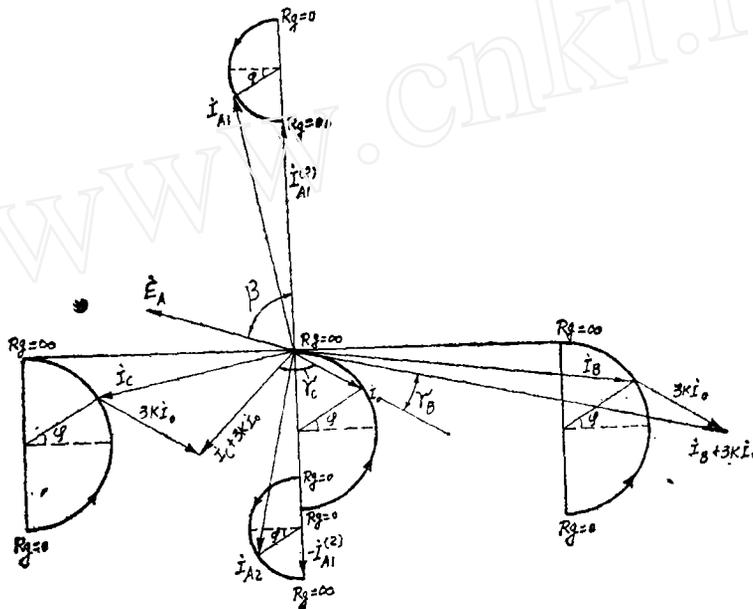
$$\dot{i}_{A2} = -\dot{i}_{A1}^{(1)} (1 - \dot{F}) \quad (16)$$

$$\dot{I}_0 = -2 \dot{F} \dot{I}_{A1}^{(2)} \quad (17)$$

根据式—13、16、17可求出在 $X_{1E} = X_{2E}$ 情况下，BC两相短路经 R_g 接地，而 R_g 由 $0 \rightarrow +\infty$ 变化时，各相全电流 \dot{I}_A 、 \dot{I}_B 、 \dot{I}_C 的变化规律为：

$$\left. \begin{aligned} \dot{I}_A &= \dot{I}_{A1} + \dot{I}_{A2} + \dot{I}_0 = 0 \\ \dot{I}_B &= a^2 \dot{I}_{A1} + a \dot{I}_{A2} + \dot{I}_0 = (-j\sqrt{3} - 3\dot{F}) \dot{I}_{A1}^{(2)} \\ \dot{I}_C &= a \dot{I}_{A1} + a^2 \dot{I}_{A2} + \dot{I}_0 = (j\sqrt{3} - 3\dot{F}) \dot{I}_{A1}^{(2)} \end{aligned} \right\} \quad (18)$$

根据式—13、16、17、18可绘出B、C两相短路经 R_g 接地，忽略负荷电流的影响， R_g 由 $0 \rightarrow \infty$ 变化时， \dot{I}_{A1} 、 \dot{I}_{A2} 、 \dot{I}_0 以及 \dot{I}_B 、 \dot{I}_C 的变化相量图，见图—3所示。



图—3 BC两相短路经 R_g 接地， R_g 由 $0 \rightarrow \infty$ 变化时电流变化的相量图（图中的阻抗角 β 是计及了阻抗中的电阻成分而绘制的）

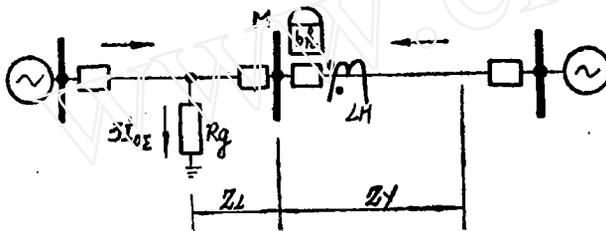
图—3中， \dot{I}_{A1} 随 R_g 变化的半圆直径为 $F_0 \dot{I}_{A1}^{(2)}$ （见式—13）， \dot{I}_{A2} 随 R_g 变化的半圆直径也为 $F_0 \dot{I}_{A1}^{(2)}$ （见式—16）， \dot{I}_{A0} 随 R_g 变化的半圆直径为 $2 F_0 \dot{I}_{A1}^{(2)}$ （见式—17）， \dot{I}_B 及 \dot{I}_C 随 R_g 变化的半圆直径均为 $3 F_0 \dot{I}_{A1}^{(2)}$ （见式—18）。图中的 \dot{I}_{A1} 、 \dot{I}_{A2} 、 \dot{I}_0 、 \dot{I}_B 、 \dot{I}_C 各值为 R_g 等于某值时的电流。由图可见， $\dot{I}_C + 3K\dot{I}_0$ 滞后于 \dot{I}_0 的角度为 γ_C ，根据式—7的 γ 角的定义，此时的 $\gamma_C < 0^\circ$ ，而且图中的 $|\gamma| > \beta$ ，则C相继电器的动作条件就是 $|Z_{L1}| \geq |Z_Y|$ ，见式—11，会区外故障时误动而区内故障时拒动。图中的 $\dot{I}_B + 3K\dot{I}_0$ 导前于 \dot{I}_0 ， $\gamma_B > 0^\circ$ ，B相继电器的动

作条件为 $|Z_{L1}| \leq |Z_Y|$ ，见式—9，是正确的，有明确的保护范围为 $|Z_Y|$ 。从而可得出如下结论：在两相短路经 R_g 接地又 R_g 大于某值时，两个故障相别中的滞后相的继电器会区外故障时误动而区内故障时拒动。为了保证在这种情况下保护装置不致于在区外故障时误跳闸，故跳闸回路采用了A、B、C三相的三个继电器的常开接点串联的方案，以其他两相的继电器来闭锁误动的继电器。

如此三个继电器的常开接点串联去跳闸的方案虽然能保证保护装置在区外故障时不误跳，但是仍然解决不了区内两相短路经 R_g 接地时可能出现的拒动问题。再者，这种跳闸方案只当A、B、C三相的三个继电器的接点都可靠闭合时才跳闸，很明显，在区内故障时它的跳闸可靠性很差。在其他所有的线路保护及元件保护中都没有这种跳闸方案。这个问题也是这种类型的接地距离保护装置的严重缺陷之一。

2、反方向接地故障时，故障相继电器会误动

设在保护装置的反方向 Z_L 处发生A相经 R_g 接地，见图—4。



图—4 反方向A相经 R_g 接地网络图

保护安装点M母线的故障相电压 \dot{U}_A 仍为：
$$\dot{U}_A = (\dot{I}_A + 3K\dot{I}_0)Z_{L1} + 3\dot{I}_{0\Sigma}R_g$$
而流过保护装置的电流是从LH的负极性流进，反转180°，故根据式—1，补偿电压 \dot{U}_{AY} 为：

$$\begin{aligned} \dot{U}_{AY} &= \dot{U}_A - [(-\dot{I}_A) + 3K(-\dot{I}_0)]Z_Y \\ &= (\dot{I}_A + 3K\dot{I}_0)(Z_{L1} + Z_Y) + 3\dot{I}_{0\Sigma}R_g \end{aligned}$$

A相继电器的动作条件为：

$$I_m \left[\frac{\dot{U}_{AY}}{-\dot{I}_0} \right] \leq 0$$

$$\text{即 } I_m \left[\frac{\dot{U}_{AY}}{-\dot{I}_0} \right] = I_m \left[\frac{\dot{I}_A + 3K\dot{I}_0}{-\dot{I}_0} (Z_{L1} + Z_Y) + \frac{3\dot{I}_{0\Sigma}}{-\dot{I}_0} R_g \right] \leq 0 \quad (19)$$

因 $\dot{I}_{0\Sigma}$ 与 \dot{I}_0 的相位近似相同，故 $\frac{3\dot{I}_{0\Sigma}}{-\dot{I}_0} R_g$ 不影响 $\frac{\dot{U}_{AY}}{-\dot{I}_0}$ 的虚数部分的正负，又

整定 Z_Y 的阻抗角等于 Z_{L1} 的阻抗角 β ，则式—19所示的A相继电器的动作条件转化为：

$$I_m \left[-m e^{j\gamma} (|Z_{L1}| + |Z_Y|) e^{j\beta} \right] \leq 0$$

上式中, $\frac{\dot{I}_A + 3K\dot{I}_0}{\dot{I}_0} = me^{j\gamma}$, m 恒为正实数, 而 $|Z_{L1}|$ 、 $|Z_T|$ 也恒为正实数,

则故障相继电器的动作条件又转化为:

$$\begin{aligned} I_m \left[-e^{j(\beta+\gamma)} \right] &\leq 0 \\ -\sin(\beta+\gamma) &\leq 0 \\ 0^\circ \leq (\beta+\gamma) &\leq 180^\circ \end{aligned} \quad (20)$$

若忽略负荷电流, A相接地时, $\dot{I}_A = 3\dot{I}_0$, $\dot{I}_A + 3K\dot{I}_0$ 与 \dot{I}_0 间的夹角 $\gamma = 0^\circ$ 在无串联补偿电容的线路上, $0^\circ < \beta < 90^\circ$, 故式—20的动作条件总能满足。即使计及负荷电流的影响, 式—20的动作条件也能满足。可见, 反方向接地故障时, 故障相的继电器会误动。为了保证在反方向接地故障时, 保护装置不致误跳闸, 就有必要以非故障相的继电器去闭锁故障相继电器。这是这种类型的接地距离保护装置为什么要采用如此特殊的跳闸回路的另一原因。

三、保护装置在接地故障时能容许的最大 R_g 值

以下分析计算区内单相接地及两相短路接地时, 保护能正确动作所容许的最大 R_g 值, 都是以单侧电源的情况分析的。因为单侧电源计算出的 R_g 的最大容许值比双侧电源者大, 后者与前者相比减小的倍数相当于对侧的助增系数, 如果正序、负序、零序网络的分配系数相同的话。如果单侧电源时 R_g 的最大容许值不符合要求, 则双侧电源时 R_g 的最大容许值就肯定更不符合要求。这是为什么本文要以单侧电源的情况来分析计算 R_g 的最大容许值的原因; 再者, 以单侧电源分析, 可使计算过程明晰简化。

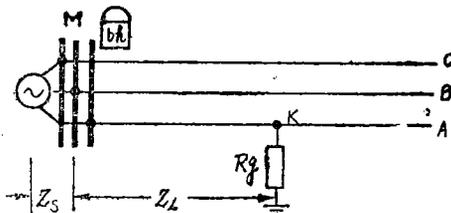
1、单相接地时保护能容许的最大 R_g 值

设单侧电源保护的 正方向 A 相经 R_g 接地, 见图—5。分析中有如下几点前提:

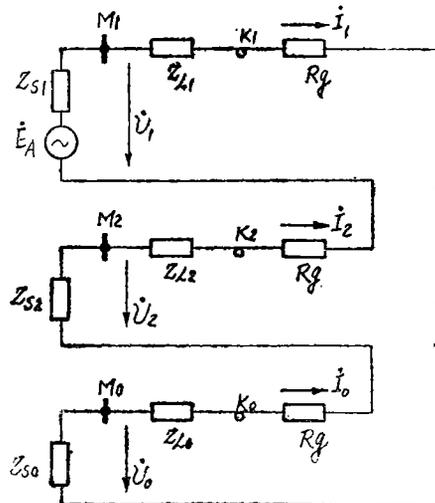
不计负荷电流的影响;

$$Z_{S1} = Z_{S2}, \quad Z_{L1} = Z_{L2};$$

$$K = \frac{Z_{L0} - Z_{L1}}{3Z_{L1}} = \frac{Z_{S0} - Z_{S1}}{3Z_{S1}}$$



a) 网络图



b) 序网图

图—5 A相经 R_g 接地

$$Z_{L0} = (1 + 3K)Z_{L1}, \quad Z_{S0} = (1 + 3K)Z_{S1}$$

$$\dot{I}_1 = \dot{I}_2 = \dot{I}_0 = \frac{\dot{E}_A}{Z_{S1} + Z_{S2} + Z_{S0} + Z_{L1} + Z_{L2} + Z_{L0} + 3Rg}$$

$$= \frac{\dot{E}_A}{3(1+K)(Z_{S1} + Z_{L1}) + 3Rg} \quad (21)$$

$$\dot{I}_A = 3\dot{I}_0, \quad I_B = I_C = 0$$

保护安装点M母线的正序、负序、零序电压 \dot{U}_1 、 \dot{U}_2 、 \dot{U}_0 为:

$$\left. \begin{aligned} \dot{U}_1 &= \dot{E}_A - \dot{I}_1 Z_{S1} = \dot{E}_A - \dot{I}_0 Z_{S1} \\ \dot{U}_2 &= -\dot{I}_2 Z_{S2} = -\dot{I}_0 Z_{S1} \\ \dot{U}_0 &= -\dot{I}_0 Z_{S0} = -\dot{I}_0 (1+3K)Z_{S1} \end{aligned} \right\} \quad (22)$$

根据式22及21, 保护安装点M母线的相电压 \dot{U}_A 、 \dot{U}_B 、 \dot{U}_C 及各相补偿电压 \dot{U}_{AY} 、 \dot{U}_{BY} 、 \dot{U}_{CY} 为:

$$\begin{aligned} \dot{U}_A &= \dot{U}_1 + \dot{U}_2 + \dot{U}_0 = \dot{E}_A - 3(1+K)\dot{I}_0 Z_{S1} \\ &= 3(1+K)\dot{I}_0 Z_{L1} + 3\dot{I}_0 Rg \\ \dot{U}_B &= a^2 \dot{U}_1 + a \dot{U}_2 + \dot{U}_0 = a^2 \dot{E}_A + \dot{I}_0 (Z_{S1} - Z_{S0}) \\ \dot{U}_C &= a \dot{U}_1 + a^2 \dot{U}_2 + \dot{U}_0 = a \dot{E}_A + \dot{I}_0 (Z_{S1} - Z_{S0}) \\ \dot{U}_{AY} &= \dot{U}_A - (\dot{I}_A + 3K\dot{I}_0) Z_Y \\ &= 3(1+K)(Z_{L1} - Z_Y)\dot{I}_0 + 3\dot{I}_0 Rg \end{aligned} \quad (23)$$

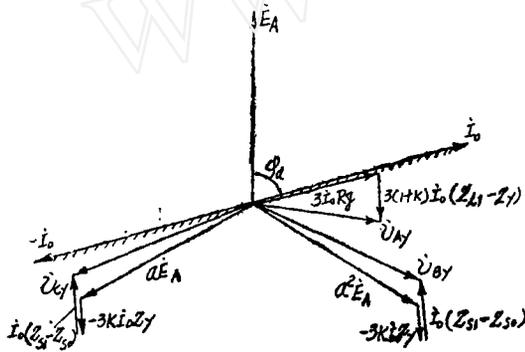
$$\begin{aligned} \dot{U}_{BY} &= \dot{U}_B - (\dot{I}_B + 3K\dot{I}_0) Z_Y \\ &= a^2 \dot{E}_A + \dot{I}_0 (Z_{S1} - Z_{S0}) - 3K\dot{I}_0 Z_Y \end{aligned} \quad (24)$$

$$\begin{aligned} \dot{U}_{CY} &= \dot{U}_C - (\dot{I}_C + 3K\dot{I}_0) Z_Y \\ &= a \dot{E}_A + \dot{I}_0 (Z_{S1} - Z_{S0}) - 3K\dot{I}_0 Z_Y \end{aligned} \quad (25)$$

根据式—21、23、24、25画出保护区内($Z_{L1} < Z_Y$) A相经 Rg 接地时, 各相补偿电压 \dot{U}_{AY} 、 \dot{U}_{BY} 、 \dot{U}_{CY} 与 \dot{I}_0 的相位关系, 见图—6。系统正序阻抗 Z_{S1} 与系统零序阻抗 Z_{S0} 相比较, 何者的值较大都有可能, 视电网具体情况而定, 图—6是以 $Z_{S1} > Z_{S0}$ 绘制的。设保护安装于短线路上, 故图中的 Z_Y 较小。图中的阴影侧为 \dot{U}_{AY} 、 \dot{U}_{BY} 、 \dot{U}_{CY} 滞后于 \dot{I}_0 的区域, 为各相继电器的动作区。

由图—6可见, 区内A相经 Rg 接地故障时, $Z_{L1} < Z_Y$, \dot{U}_{AY} 必定滞后于 \dot{I}_0 , 故障相(A相)的继电器必定动作; 而区外故障时, $Z_{L1} > Z_Y$, \dot{U}_{AY} 必定超前于 \dot{I}_0 , 故障相

(A相)的继电器必定不动作;可见,故障相(A相)的继电器有明确的保护范围为 Z_Y ,且不受 R_g 的影响。B相继电器在区内及区外A相经 R_g 接地时均能动作,因 \dot{U}_{BY} 均滞后于 \dot{I}_0 。而C相继电器的情况不妙, \dot{U}_{CY} 所处的相位状况最不利,如图示, \dot{I}_0 滞后于 \dot{E}_A 的角度 φ_0 随 R_g 的增大而减小,见式—21,当 R_g 大于某值时 \dot{U}_{CY} 就会超前于 \dot{I}_0 ,造成区内A相经 R_g 接地时C相继电器不动作。由于保护装置的跳闸回路是A、B、C三相的三个继电器的常开接点串联的,若C相继电器不动作,就会造成整个保护装置在区内A相接地时拒动。如此看来,在区内单相接地时保护装置的跳闸特性不取决于故障相继电器的特性,而是取决于领前的非故障相继电器的特性(领前的非故障相是指领前于故障相的非故障相,如A相接地,则领前的非故障相为C相)。因此,对于单相经 R_g 接地而言,这种类型的接地距离保护装置的动作特性就本质上变了,并不是式—9、10所论述的那种不受 R_g 影响且有明确保护范围 Z_Y 的故障相继电器的特性了,而是完全依赖于领前的非故障相继电器的特性,它不但受 R_g 的影响且较显著,因随 R_g 的不同它有不同保护范围。



图—6 区内A相经 R_g 接地时, \dot{I}_0 与各相补偿电压的相位关系

见图—6,区内A相经 R_g 接地时,领前的非故障相(C相)继电器的动作条件为 \dot{U}_{CY} 滞后于 \dot{I}_0 ,即

$$I_m \frac{\dot{U}_{CY}}{\dot{I}_0} \leq 0 \quad (26)$$

由式—25及式—21得:

$$\frac{\dot{U}_{CY}}{\dot{I}_0} = 3a(1+K)(Z_{S1} + Z_{L1}) + 3aR_g + Z_{S1} - Z_{S0} - 3KZ_Y \quad (27)$$

将式—27代入式—26中,可得:区内单相经 R_g 接地时,领前的非故障相继电器的动作条件(亦即整个保护装置的动作条件)为:

$$R_g \leq \frac{1}{\sqrt{3}} \left[(1+K)(X_{S1} + X_{L1}) + 2KX_Y + \frac{2}{3}(X_{S0} - X_{S1}) - \sqrt{3}(1+K)(R_{S1} + R_{L1}) \right] \quad (28)$$

上式中 $Z_{L1} = R_{L1} + jX_{L1}$

$Z_{S1} = R_{S1} + jX_{S1}$

$Z_{S0} = R_{S0} + jX_{S0}$

$Z_Y = R_Y + jX_Y$

若忽略电阻,认为 $R_{S1} = R_{L1} = 0$,则式—28化简为:

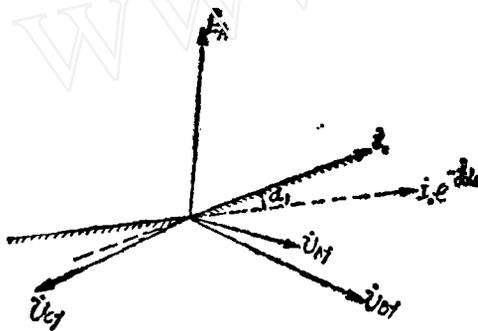
$$R_g \leq \frac{1}{\sqrt{3}} \left[(1+K)(X_{s1} + X_{L1}) + 2KX_r + \frac{2}{3}(X_{s0} - X_{s1}) \right] \quad (29)$$

式—28、29就是区内单相经 R_g 接地时，保护装置仍能动作所容许的最大 R_g 值。例题1的典型数据表明，式—28、29计算得的 R_g 值较小，为了提高保护装置所容许的最大 R_g 值，A、B、C三相的三个继电器的动作条件可以设计成：

$$\left. \begin{aligned} I_m \frac{\dot{U}_{\phi Y}}{I_0} &\leq 0 \\ I_m \frac{\dot{U}_{\phi Y}}{I_0 e^{-j\alpha_1}} &\leq 0 \end{aligned} \right\} \text{构成“或”门动作} \quad (30)$$

式中的 $\dot{U}_{\phi Y}$ 表示 \dot{U}_{AY} 、或 \dot{U}_{BY} 、或 \dot{U}_{CY} ； α_1 角通常不能大于 20° ，如果 α_1 角太大，则保护会失去方向性（分析从略）。为了可靠，考虑一定的裕度，取 α_1 角的最大值为 15° 。

式—30的“或”门动作条件的相量图见图—7，图中的阴影侧为继电器的动作区。



图—7 式—30为动作条件的继电器动作区

在区内A相经 R_g 接地时，领先的非故障相（C相）继电器以式—30为动作条件，即：

$$I_m \frac{\dot{U}_{CY}}{I_0 e^{-j\alpha_1}} = I_m \frac{\dot{U}_{CY}}{I_0 e^{-j15^\circ}} \leq 0$$

将式—27代入上式中得：

$$R_g \leq (1+K)(X_{s1} + X_{L1} - R_{s1} - R_{L1}) + 0.46(X_{s0} - X_{s1} + 3KX_r) + 0.12(R_{s0} - R_{s1} + 3KR_r) \quad (31)$$

若忽略电阻，认为 $R_{s1} = R_{L1} = R_r = 0$ ，则上式化简为：

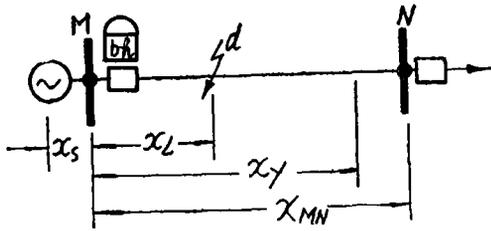
$$R_g \leq (1+K)(X_{s1} + X_{L1}) + 0.46(X_{s0} - X_{s1} + 3KX_r) \quad (32)$$

式—31、32就是区内单相经 R_g 接地时，以式—30为动作条件的保护装置能动作所容许的最大 R_g 值。式—31、32的 R_g 值虽然分别大于式—28、29的 R_g 值，但例题1的计算表明该值仍显得较小，在多数场合不符合要求。由式—31、32可知，线路越短 X_r 越小，接地故障点越靠近保护安装点时 X_{L1} 越小以及系统电抗 X_{s1} 越小时，都将导致容许的 R_g 值越小，对保护越不利。

例题1

已知：见图—8，单侧电源110千伏线路MN采用本文所述的接地距离保护，线路长度5公里，每公里正序电抗为0.4欧。系统电抗 $X_{s1} = X_{s2} = 4$ 欧， $X_{s0} = 10$ 欧。设在保护的正方向1公里处发生单相经 R_g 接地故障。

求：保护装置能容许的最大 R_g 值。



图—8 例题1及2的网络图

若各继电器以式—30为动作条件,根据式—29,得保护能容许的最大Rg值为:

$$R_g \leq \frac{1}{\sqrt{3}} \left[(1+K)(X_{s1} + X_{L1}) + 2KX_f + \frac{2}{3}(X_{s0} - X_{s1}) \right]$$

$$= \frac{1}{\sqrt{3}} \left[(1+0.5)(4+0.4) + 2 \times 0.5 \times 1.7 + \frac{2}{3}(10-4) \right] = 7.1 \text{ 欧}$$

若各继电器以式—30为动作条件,根据式—32,得保护能容许的最大Rg值为:

$$R_g \leq (1+K)(X_{s1} + X_{L1}) + 0.46(X_{s0} - X_{s1} + 3KX_f)$$

$$= (1+0.5)(4+0.4) + 0.46(10-4 + 3 \times 0.5 \times 1.7) = 10.5 \text{ 欧}$$

2. 两相短路接地时保护能容许的最大Rg值

仍以图—2所示的单侧电源网络分析,设在保护的正方向区内ZL处发生B、C两相短路经Rg接地,其电流相量见图—3。在图中 $\dot{I}_c + 3K\dot{I}_0$ 滞后于 \dot{I}_0 , $\gamma_c < 0^\circ$, 当 $|\gamma_c| > \beta$ 时, $\sin(\beta + \gamma) < 0$, C相继电器会拒动,见式—11,从而造成保护装置拒绝跳闸。因此,这时保护装置的动作条件就是:

$$|\gamma_c| \leq \beta$$

$$\left| \arg \frac{\dot{I}_c + 3K\dot{I}_0}{\dot{I}_0} \right| \leq \beta$$

$$\arg \frac{\dot{I}_0}{\dot{I}_c + 3K\dot{I}_0} = \arg \frac{1}{\frac{\dot{I}_c}{\dot{I}_0} + 3K} \leq \beta \quad (33)$$

将式—17的 \dot{I}_0 值、式—18的 \dot{I}_c 值以及式—13的 \dot{F} 值代入到式—33中,可得:

$$\arctg \frac{X_{1Z}X_{2Z} + X_{1Z}X_{0Z} + X_{2Z}X_{0Z}}{\sqrt{3}X_{2Z}^2 - 3R_g(X_{1Z} + X_{2Z}) + 2\sqrt{3}KX_{2Z}^2} \leq \beta$$

解上式,可得区内两相短路经Rg接地时保护能动作所容许的最大Rg值为:

$$R_g \leq \frac{\sqrt{3}X_{2Z}^2(1+2K)}{3(X_{1Z} + X_{2Z})} - \frac{X_{1Z}X_{2Z} + X_{1Z}X_{0Z} + X_{2Z}X_{0Z}}{3(X_{1Z} + X_{2Z}) \operatorname{tg} \beta} \quad (34)$$

如果保护的各继电器以式—30为动作条件,与推导式—34同样的分析过程,可得出区内两相短路经Rg接地时保护能动作所容许的最大Rg值为:

解:

$$X_f = 0.85X_{MN1} = 0.85 \times 0.4 \times 5 = 1.7 \text{ 欧}$$

$$X_{L1} = 0.4 \times 1 = 0.4 \text{ 欧}$$

$$K = K_L = K_S = \frac{Z_0 - Z_1}{3Z_1} = \frac{X_0 - X_1}{3X_1} = \frac{10 - 4}{3 \times 4} = 0.5$$

$$R_g \leq \frac{\sqrt{3} x_{1z}^2 (1+2K)}{3(x_{1z}+x_{2z})} - \frac{x_{1z}x_{2z}+x_{1z}x_{0z}+x_{2z}x_{0z}}{3(x_{1z}+x_{2z})\tan(\beta+\alpha_1)} \quad (35)$$

上式中 $\alpha_1 = 15^\circ$

式—34、35中， $x_{1z} = x_{s1} + x_{L1}$ ， $x_{2z} = x_{s2} + x_{L2}$ ， $x_{0z} = x_{s0} + x_{L0}$ 。可见，两相短路接地时保护装置容许的最大 R_g 值与被保护线路的长短及整定电抗的大小无关，只与短路点的远近、系统电抗及线路阻抗角 β 的值有关，这一点与单相接地时不同。在同一地点故障，两相短路接地时保护装置能容许的最大 R_g 值比单相接地时小。

例题 2

已知：网络见图—8，线路MN的长度为50公里（或其他数值，不影响本题答案，）线路每公里零序电抗为1.2欧，线路阻抗角 $\beta = 72^\circ$ 。在保护的正当方向1公里处发生两相短路经 R_g 接地。其他数据同例题1。

求：保护装置能容许的最大 R_g 值。

解： $x_{1z} = x_{2z} = x_{s1} + x_{L1} = 4 + 0.4 \times 1 = 4.4$ 欧

$x_{0z} = x_{s0} + x_{L0} = 10 + 1.2 \times 1 = 11.2$ 欧

若各继电器以式—2为动作条件，根据式—34，得保护能容许的最大 R_g 值为：

$$\begin{aligned} R_g &\leq \frac{\sqrt{3} x_{1z}^2 (1+2K)}{3(x_{1z}+x_{2z})} - \frac{x_{1z}x_{2z}+x_{1z}x_{0z}+x_{2z}x_{0z}}{3(x_{1z}+x_{2z})\tan\beta} \\ &= \frac{\sqrt{3} \times 4.4^2 (1+2 \times 0.5)}{3(4.4+4.4)} - \frac{4.4 \times 4.4 + 4.4 \times 11.2 + 4.4 \times 11.2}{3(4.4+4.4)\tan 72^\circ} = 1.09 \text{欧} \end{aligned}$$

若各继电器以式—30为动作条件，可将各数据代入式—35中，算得保护能容许的最大 $R_g \leq 2.31$ 欧。

以上例题1及2的典型计算，表明在单相接地时保护所能容许的最大 R_g 值较小（7~10欧），两相短路接地时更小（1~2欧）。这两个实例的情况是单侧电源，若为双侧电源，则保护容许的最大 R_g 值会进一步减小，对保护更加不利。我国及其他许多国家的杆塔接地电阻的标准是最大不超过20欧，在无接地线的架空输电线路发生接地故障时，过渡电阻 R_g 就可能达到20欧，在多岩石的山区 R_g 有时竟达100欧以上。我国电力调度部门在对线路保护进行整定计算时，通常以 $R_g = 10$ 欧作为整定的依据，要求 $R_g \leq 10$ 欧时保护能正确地动作。可见，本文所述的接地距离保护在多数场合还不能很好地满足电力系统运行的要求。

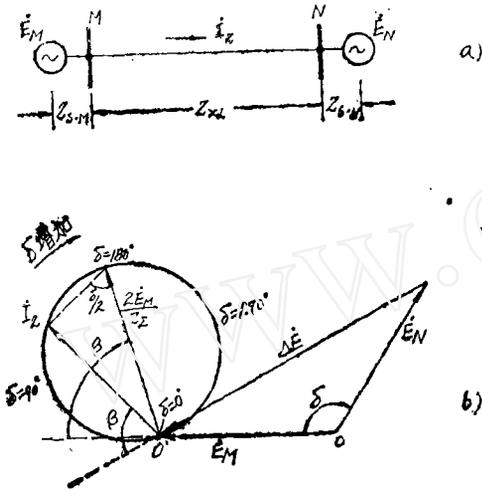
四、系统全相振荡又伴随区外接地故障时保护的動作行为

1. 电力系统全相振荡时的振荡电流 I_z

见图—9，正序阻抗 $Z_x = Z_{s.M} + Z_{x.L} + Z_{s.N}$ ，各阻抗的阻抗角相等为 β 。系统全相振荡时设 $\dot{E}_M = \dot{E}_N$ ，而 \dot{E}_M 与 \dot{E}_N 之间的夹角 δ 随时间在 $0^\circ \sim 360^\circ$ 之间变化，在图—9b中是以相量 \dot{E}_N 不动，而相量 \dot{E}_M 随时间顺时针旋转来表达 δ 角随时间变化。振荡电流 \dot{i}_z 为：

$$\dot{I}_Z = \frac{\dot{E}_M - \dot{E}_N}{Z_Z} = -\frac{\Delta \dot{E}}{Z_Z} = \left(\frac{2\dot{E}_M}{Z_Z} \sin \frac{\delta}{2} \right) e^{j(90^\circ - \frac{\delta}{2})} \quad (36)$$

振荡中 \dot{I}_Z 相量的始端恒为 O' 点, 而其末端随 δ 角变化的轨迹为图示的圆周。 $\delta = 0^\circ$, $I_Z = 0$, 相当于图中的 O' 点; $\delta = 180^\circ$, $\dot{I}_Z = \frac{2\dot{E}_M}{Z_Z}$, 即通过 O' 点的圆的直径, 该直径相量滞后于 \dot{E}_M 的角度为 Z_Z 的阻抗角 β 。



a) 网络图 b) 电压电流相量图
图—9 系统全相振荡

2. 振荡中又发生正方向区外A相经 R_g 接地时, 保护不会误动

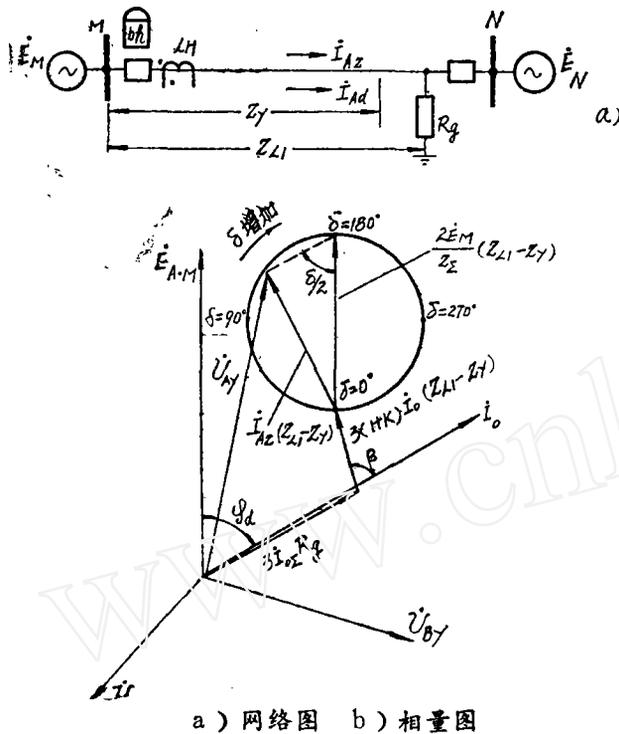
网络图见图—10a。利用叠加原理, 流经M侧保护的故障相电流 $\dot{I}_A = \dot{I}_{AZ} + \dot{I}_{Ad}$, 式中 \dot{I}_{AZ} 为A相振荡电流, \dot{I}_{Ad} 为A相短路电流, 当忽略负荷电流时 $\dot{I}_{Ad} = 3\dot{I}_0$ 。

引用式—23, 故障相补偿电压 \dot{U}_{AY} 为:

$$\begin{aligned} \dot{U}_{AY} &= \dot{U}_A - (\dot{I}_A + 3K\dot{I}_0) Z_Y = \dot{U}_A - \\ &- (\dot{I}_{AZ} + \dot{I}_{Ad} + 2K\dot{I}_0) Z_Y \\ &= 3(1+K)\dot{I}_0(Z_{L1} - Z_Y) + \\ &+ \dot{I}_{AZ}(Z_{L1} - Z_Y) + 3\dot{I}_{0Z} R_g \quad (37) \end{aligned}$$

根据上式, 可绘出 \dot{U}_{AY} 及 \dot{I}_0 的相量关系见图—10b。由于振荡电流 \dot{I}_{AZ} 轨迹圆的直径相量 (即 $\delta = 180^\circ$ 时的 \dot{I}_{AZ} , 见图—9b) 滞后于 $\dot{E}_{A.M}$ 的角度为阻抗角 β , 又区外故障, $Z_{L1} > Z_Y$, 故式—37中的 $\dot{I}_{AZ}(Z_{L1} - Z_Y)$ 轨迹圆的直径相量 (即 $\delta = 180^\circ$ 时的值) 必与 $\dot{E}_{A.M}$ 同方向, 见图—10b。在本图中也是 $\dot{E}_{A.M}$ 相量恒不动, 振荡中 δ 角随时间的变化是以 $\dot{E}_{A.N}$ 相量随时间旋转来表达的 (图中 $\dot{E}_{A.N}$ 未画出)。通过M侧保护装置的 \dot{I}_0 滞后于 $\dot{E}_{A.M}$ 的角度为 φ_d , 见式—21, 由于 R_g 的存在, φ_d 小于 β 。因为图中 $\dot{E}_{A.M}$ 相量不动, 故 \dot{I}_0 相量也不动, 而 \dot{U}_{AY} 相量的末端随 δ 角变化的轨迹为图示的圆周。

由图—10b可见, \dot{U}_{BY} 、 \dot{U}_{CY} 显然滞后于 \dot{I}_0 , 无需详细分析, B、C两相继电器会动作。而 \dot{U}_{AY} 在 $\delta = 0^\circ \sim 360^\circ$ 的任何点都超前于 \dot{I}_0 , 故A相继电器不会动作。得出: 系统振荡中又发生保护的 正方向区外单相经 R_g 接地时, 保护装置不会误跳闸。



图—10 系统振荡中又在保护的正方向区外发生 A 相经 R_g 接地

某文献认为保护的正方向区外单相(例如 A 相)经 R_g 接地, 当 $I_{AZ} > 3(1+K)I_0$ 时, 保护可能会误动, 并认为当振荡中心落于保护区外而在振荡中心附近发生单相经 R_g 接地时, 由于此时 I_0 较小, 保护总是要误动的。这种观点是不妥当的, 由图—10b 显然可见, 因为 $\delta = 180^\circ$ 时的 \dot{I}_{AZ} ($Z_{L1} - Z_Y$) 相量(轨迹圆的直径)恒与 \dot{E}_{A-M} 同方向, 故不管 I_{AZ} 与 $3(1+K)I_0$ 的值谁大谁小, 即使振荡中心在区外又在振荡中心附近发生 A 相接地时, I_{AZ} 可能大于 $3(1+K)I_0$, 但 \dot{U}_{AY} 相量末端随 δ 变化的轨迹圆也不会位于 \dot{I}_0 之下, \dot{U}_{AY} 不会滞后于 \dot{I}_0 , A 相继电器

肯定不会误动, 保护装置肯定不会误跳。〔注: 图—10b 中有意把 I_{AZ} 画得远大于 $3(1+K)I_0$, 而且 R_g 很大则 φ_d 角较小, 本图的极端比例关系在实际电网运行中是不会出现的, 即使在这种对保护最不利的假定的极端比例关系的情况下, \dot{U}_{AY} 仍然不会滞后于 \dot{I}_0 , A 相继电器仍不会误动。〕

至于在全相振荡中发生区外两相短路经 R_g 接地以及非全相振荡伴随区外接地故障时, 保护是否会误动的问题比较复杂, 为篇幅所限, 作者准备在另一文中论述, 此处从略。

五 对保护的评价

1. 在正方向单相接地时, 故障相继电器有明确的保护范围, 且不受 R_g 的影响。在正方向两相短路接地时, 两个故障相别中的导前相的继电器有明确的保护范围, 且不受 R_g 的影响。

2. 在反方向接地故障时, 故障相继电器会误动, 无方向性。在正方向两相短路接地, R_g 大于某值时, 两个故障相别中的滞后相的继电器就会不正确动作(区外故障误

动,区内故障拒动)。因此,如果单纯用故障相继电器的常开接点去跳闸,就会造成误跳及拒跳。为了防止反方向接地故障及正方向区外两相短路接地时的误跳,整个保护装置的跳闸回路需采用A、B、C三相三个继电器的常开接点串联的跳闸方案,以非故障相的继电器来闭锁故障相继电器的误动。这种跳闸回路使整个保护装置的动作特性在本质上变了,不同于故障相继电器的动作特性。以下几项是整个保护装置的主要动作特性及存在的问题。

3. 正方向区内两相短路经 R_g 接地时保护仍可能拒动。由例题2可知单侧电源区内两相短路经 R_g 接地时,保护仍能正确动作所容许的最大 R_g 值很小,大约只 $1\sim 2$ 欧,而且与被保护线路的长短及整定阻抗的大小无关;也就是说, R_g 值一旦大于 $1\sim 2$ 欧,保护就拒动。例题2的情况是单侧电源,若为双侧电源则容许的最大 R_g 值会更小。因此,这种保护装置基本上不能用来保护两相短路经 R_g 接地的故障。

4. 正方向区内单相接地时,保护的跳闸特性并不取决于故障相继电器,而是取决于领先于故障相的非故障相继电器。因此,所谓单相接地时故障相继电器有明确的保护范围且不受 R_g 影响的优点就无任何意义了。在单相接地时,整个保护装置的跳闸特性受 R_g 影响且较显著,保护范围随 R_g 变化。根据例题1的典型实例,单侧电源正方向区内单相接地时保护仍能正确动作所容许的最大 R_g 值也不大,仅 $7\sim 10$ 欧;若为双侧电源,则容许的最大 R_g 值会更小。众所周知, $R_g \geq 7\sim 10$ 欧的情况是屡见不鲜的,因此对单相经 R_g 接地的故障而言,保护的绩效也不算好。

例题1、2的计算,虽然不能作为大多数电网的结论,但至少也是一些典型实例。

5. 由于保护的跳闸回路是采用A、B、C三个继电器的常开接点串联的方案,显然跳闸的可靠性较差。不论什么原因三个继电器中若有任一个继电器的接点不接通,都会造成区内接地故障时保护拒跳。

6. 系统全相振荡或全相振荡中又伴随区外单相经 R_g 接地故障时,保护不会误跳。

[参 考 文 献]

魏连壁 朱震 项中芳 整流型接地距离保护装置的研究 82年12月中国电机工程学会继电保护与自动装置第三次学术会议(南宁召开)的交流论文