

# 微机型发电机相位比较式纵差动保护

合肥工业大学 姚晴林 邹东霞 福建电力试验研究所 林韩

许昌继电器研究所 宋聚忠 张项安

**摘要** 传统原理的发电机纵差动保护都是比较发电机两端(中性点侧和机端)电流之和及差的幅值,或在比较幅值的基础上演变出其他一些动作判据。当前已投产的微机型及集成电路型发电机纵差动保护也基本上是这种传统的比较电流幅值的动作原理。本文首次提出一种新型的相位比较式发电机纵差动保护,比较发电机两端电流的相位;由于动作原理上的改进,从根本上消除了不平衡电流的影响,显著提高动作灵敏度。本文还首次提出一种实现两个相量进行相位比较的新算法,计算量小,响应速度快。

**关键词** 微机型发电机纵差保护 相位比较算法

## 1 各种运行状态下发电机中性点侧及机端电流间的相角差

图1为发电机纵差动保护装置端子以外的单相原理接线(纵差保护实为三相接线,图中只画出一相的接线)。图中 $CT_n$ 、 $CT_m$ 为发电机中性点侧及机端的电流互感器,其极性图1所示; $\dot{I}'_n$ 、 $\dot{I}'_m$ 为 $CT_n$ 、 $CT_m$ 的一次侧电流; $\dot{i}_n$ 、 $\dot{i}_m$ 为 $CT_n$ 、 $CT_m$ 的二次侧电流,即加于纵差保护端子上的电流。设 $\dot{I}'_n$ 与 $\dot{I}'_m$ 间的相角差为 $\theta$ ,即

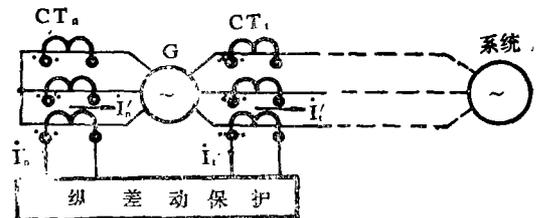


图 1 (1)

$$\theta = \left| \arg \frac{\dot{I}'_n}{\dot{I}'_m} \right|$$

### 1.1 发电机正常运行和差动保护外部短路

正常运行或外部短路时,流过 $CT_n$ 、 $CT_m$ 一次侧的电流恒为同一个电流, $\dot{I}'_n = \dot{I}'_m$ ,见图1所示。如果 $CT_n$ 、 $CT_m$ 各自的角度误差都为零或者二者的角度误差虽不为零但完全相等,则由于 $\dot{I}'_n$ 及 $\dot{I}'_m$ 都是从互感器的正极性流入,故它们的二次侧电流 $\dot{i}_n$ 、 $\dot{i}_m$ 必同相位,即 $\theta = 0^\circ$ 。但实际上 $CT_n$ 、 $CT_m$ 是有角度误差的,而且二者的角度误差一般不可能完全相等;在铁芯饱和时 $CT_n$ 、 $CT_m$ 的角度误差最大,但也不超过 $7^\circ$ ,否则为不合格 $CT$ ,不准出厂。为了差动保护整定计算之需,分析在最不利情况下( $CT_n$ 、 $CT_m$ 中一个的角度

误差为  $0^\circ$ ，另一个的角度误差为  $7^\circ$ ），发电机外部短路时， $\dot{I}_n$  与  $\dot{I}'_n$  间的最大相角差  $\theta_{max}$  为：

$$\theta_{max} = 7^\circ \quad (2)$$

### 1.2 发电机并网运行时差动保护内部机端短路

以发电机机端差动保护范围内三相短路为例分析，见图 2。为了校验差动保护内部短路时动作灵敏度之需，分析在最不利情况下内部短路时  $\dot{I}_n$  与  $\dot{I}'_n$  间的最小相角差  $\theta_{min}$  之值。

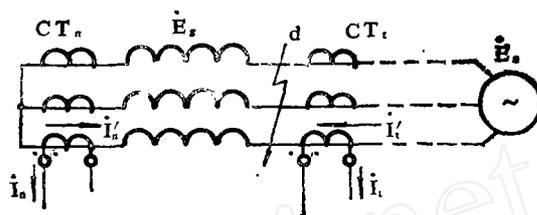


图 2

#### 1.2.1 系统侧为送电端发电机侧为受电端

此时，系统电势  $\dot{E}_s$  超前于发电机电势  $\dot{E}_g$  的角度通常都小于  $60^\circ$ ，取其最大值为  $70^\circ$ ；无限大系统母线到短路点  $d$  之间的系统阻抗  $Z_{sd}$  的阻抗角的最小值取为  $60^\circ$ ，则  $\dot{I}'_s$  滞后于  $\dot{E}_s$  的角度为  $60^\circ$ ；发电机的阻抗角取最大值为  $90^\circ$ ，则  $\dot{I}'_g$  滞后于  $\dot{E}_g$  的角度为  $90^\circ$ 。由图 3 相量图分析可见，在最不利情况下，发电机内部相间短路，电流互感器一次侧电流  $\dot{I}'_n$  与  $\dot{I}'_n$  间的最大相角差  $\alpha_{max} = 100^\circ$ 。

在纵差保护范围内短路时，假若  $\dot{I}'_n$  与  $\dot{I}'_n$  同相位，则由于  $\dot{I}'_n$  从  $CT_n$  的负极性流进而  $\dot{I}'_n$  从  $CT_n$  的正极性流进，就得到互感器的二次电流  $\dot{I}_n$  与  $\dot{I}'_n$  的相位差角为  $180^\circ$  的结论。实际上，见图 3 所示，互感器一次侧电流  $\dot{I}'_n$  与  $\dot{I}'_n$  的最大相角差  $\alpha_{max}$  可达  $100^\circ$ ，又考虑到  $CT_n$ 、 $CT_n$  的角度误差（一个为最大角度误差  $7^\circ$ ，另一个角度误差为零这种极限情况），则可得：发电机端为受电端的情况下，在纵差动保护内部短路时，互感器二次电流  $\dot{I}_n$  与  $\dot{I}'_n$  的最小相角差  $\theta_{min}$  为：

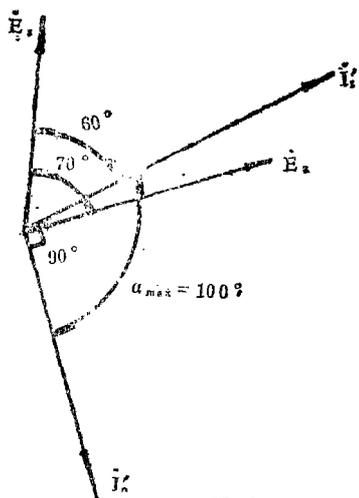


图 3

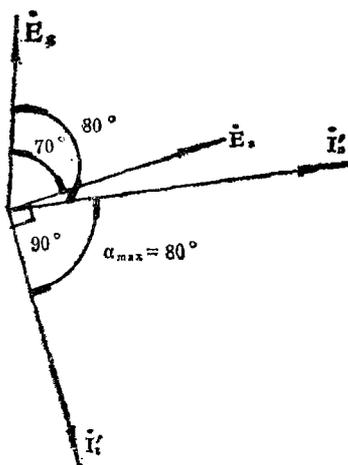


图 4

$$\theta_{\dot{I}_n, \dot{I}'_n} = 180^\circ - \alpha_{n, n} - 7^\circ = 180^\circ - 100^\circ - 7^\circ = 72^\circ \quad (3)$$

### 1.2.2 发电机侧为送电端系统侧为受电端

仍以发电机机端三相短路分析。此时， $\dot{E}_g$  超前于  $\dot{E}_s$  的角度取其最大值为  $70^\circ$ ；系统至短路点的阻抗角取其最大值为  $86^\circ$ ；发电机的阻抗角取其最小值为  $86^\circ$ ；见图 4 相量分析，可得  $\dot{I}'_n$  与  $\dot{I}'_n$  间的最大相角差  $\alpha_{n, n} = 90^\circ - (80^\circ - 70^\circ) = 80^\circ$ 。同理，由于  $\dot{I}'_n$  从  $CT_n$  的正极性流进， $\dot{I}'_n$  从  $CT_n$  的负极性流进，又考虑  $CT_n$  与  $CT_n$  角度误差的极限差别为  $7^\circ$ ，则得：发电机端为送电端的情况下，在纵差保护内部短路时，互感器的二次电流  $\dot{I}'_n$  与  $\dot{I}'_n$  间的最小相角差为：

$$\theta_{\dot{I}'_n, \dot{I}'_n} = 180^\circ - \alpha_{n, n} - 7^\circ = 180^\circ - 80^\circ - 7^\circ = 93^\circ \quad (4)$$

需指出，图 3、图 4 虽然是以保护范围内部机端三相短路分析的，但其结论同样适用于内部机端一切类型的相间短路。当内部机端三相短路时，图中的  $\dot{E}_s$ 、 $\dot{E}_g$  可视为相电势（如 A 相电势  $\dot{E}_{AS}$ 、 $\dot{E}_{Ag}$ ）， $\dot{I}'_n$ 、 $\dot{I}'_n$  可视为同名相的电流（如 A 相电流  $\dot{I}_{AS}$ 、 $\dot{I}_{Ag}$ ）。当内部机端两相短路时（如 A B 两相短路），图中的  $\dot{E}_s$ 、 $\dot{E}_g$  可视为短路的两相间的电势（如  $\dot{E}_{AB.S}$ 、 $\dot{E}_{AB.g}$ ）， $\dot{I}'_n$ 、 $\dot{I}'_n$  可视为短路的两相中相序超前的一相的相电流（如  $\dot{I}_{AS}$ 、 $\dot{I}_{Ag}$ ）。

### 1.3 发电机并网运行时定子绕组内部短路

只能用近似的方法分析发电机定子绕组内部的相间短路。下面以各种因素同时出现对保护动作最不利的情况分析，即分析此时两互感器一次侧电流  $\dot{I}'_n$  与  $\dot{I}'_n$  间的最大相角差  $\alpha_{n, n}$  的值，从而得出两互感器二次电流  $\dot{I}'_n$  与  $\dot{I}'_n$  间的最小相角差  $\theta_{\dot{I}'_n, \dot{I}'_n}$  的值。

发电机定子绕组内部三相短路点 d 距中性点之间的每相匝数与每相总匝数之比为  $\gamma$ ，设短路点 d 十分靠近中性点， $\gamma$  值很小，见图 5 所示的接线图

设发电机侧为送电端，系统侧为受电端，发电机电势  $\dot{E}_g$  超前于系统等值发电机电势  $\dot{E}_s$  的功率角取最大值为  $70^\circ$ 。 $\dot{I}'_n$  由  $\gamma \dot{E}_g$  产生， $\dot{I}'_n$  滞后于  $\gamma \dot{E}_g$  的角度为发电机的阻抗角取最小值为  $80^\circ$ 。 $\dot{I}'_n$  是  $\dot{E}_s - (1 - \gamma) \dot{E}_g$  产生的， $\dot{I}'_n$  滞后于  $\dot{E}_s - (1 - \gamma) \dot{E}_g$  的角度为系统至短路点之间总阻抗的阻抗角（包括输电线路），取最大值为  $75^\circ$ 。因设  $\gamma$  值极小， $E_g \approx E_s$ ，则  $(1 - \gamma) E_g \approx E_s$ ，见图 6 所示，故  $\dot{E}_s$  与  $\dot{E}_s - (1 - \gamma) \dot{E}_g$  之间的夹角约为  $55^\circ$ ，得  $\dot{I}'_n$  与  $\dot{I}'_n$  之间的最大相角差  $\alpha_{n, n}$  为：

$$\alpha_{n, n} = 120^\circ \quad (5)$$

因  $\dot{I}'_n$  从  $CT_n$  正极性流入， $\dot{I}'_n$  从  $CT_n$  负极性流入，又考虑  $CT_n$  及  $CT_n$  的角度误差的最大差别为  $7^\circ$ ，故  $\dot{I}'_n$  与  $\dot{I}'_n$  间的最小相角差  $\theta_{\dot{I}'_n, \dot{I}'_n}$  为：

$$\begin{aligned} \theta &= 180^\circ - \alpha_{n, n} - 7^\circ \\ &= 180^\circ - 120^\circ - 7^\circ = 53^\circ \end{aligned} \quad (6)$$

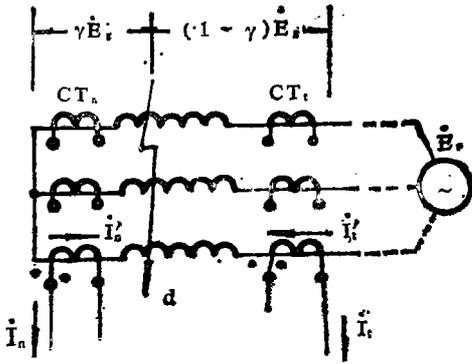


图 5

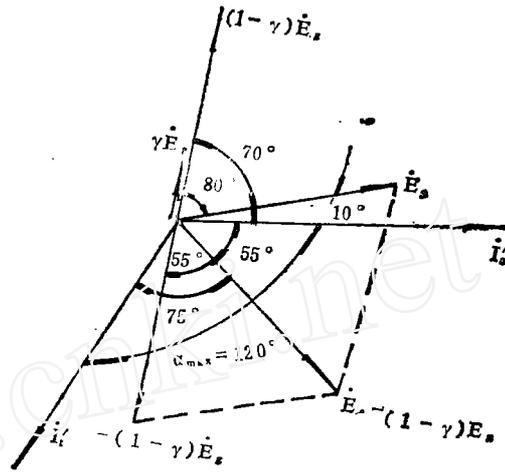


图 6

## 2 相位比较式发电机纵差动保护

### 2.1 纵差动保护主要动作判据的基本方程

主要动作判据的基本方程为：

$$\theta = \left| \arg \frac{\dot{I}_n}{\dot{I}_i} \right| \geq \theta_{zd} \quad (7)$$

式中  $\theta_{zd}$ ——保护的整定角，或称起动角。该动作判据是三相式保护，各相保护的动作判据皆为式 7，构成“或”门跳闸，原理逻辑框图见图 7 中实线所示。

#### 2.1.1 $\theta_{zd}$ 的整定

在差动保护外部相间短路时，保护应可靠地不动作。根据式 2，在外部相间短路时， $\dot{I}_n$  与  $\dot{I}_i$  间的最大相角差  $\theta_{max} = 7^\circ$  故  $\theta_{zd}$  应大于  $7^\circ$ ，并应具有相当大的裕度角选取。

$$\theta_{zd} = 35^\circ \sim 40^\circ \quad (8)$$

这样整定，裕度角较大，为  $28^\circ \sim 33^\circ$ ，这是考虑到保护装置本身还有误差，例如微机通道、模拟滤波、采样等硬件的误差；还考虑到外部短路时两组电流互感器铁芯严重饱和，其最大角度误差可能会超过  $7^\circ$  等因素。

#### 2.1.2 纵差动保护内部短路时，主判据的灵敏度

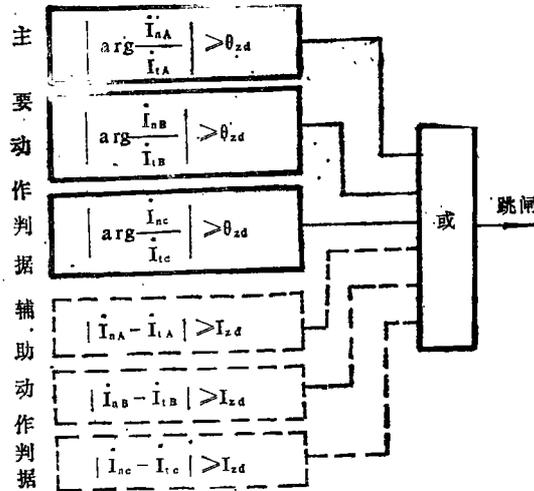


图 7

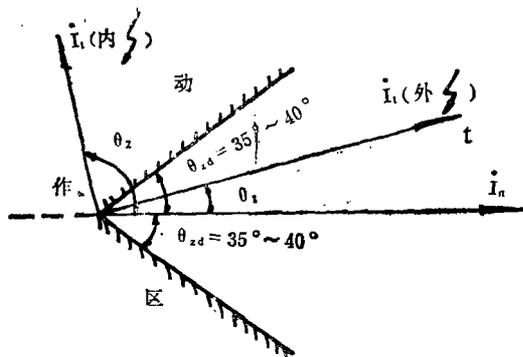


图 8

变不同的方向来表达不同的 $\theta$ 角,见图8所示,图中的阴影侧为保护的动作用区, $\theta_1$ 相当于外部短路, $\theta_2$ 相当于内部短路。

发电机并网前或解列后的单独运行中,只要有少许的负荷电流(如厂用电负荷),就有少许的 $\dot{I}_1$ ,就能实现 $\dot{I}_n$ 与 $\dot{I}_1$ 的比相。在这种情况下发电机差动保护内部短路, $\theta$ 也会远大于 $\theta_{rd}$ ,保护的主判据也能可靠地动作。

## 2.2 纵差动保护的辅助动作判据

发电机并网前或解列后的单独运行中,假若无机压负荷,负荷电流为零,此时差动保护内部短路, $\dot{I}_n$ 为短路电流,但 $\dot{I}_1 = 0$ ,致使 $\dot{I}_n$ 与 $\dot{I}_1$ 无法比相,主判据不会动作,故需要增设下述的辅助动作判据:

$$|\dot{I}_n - \dot{I}_1| \geq I_{rd} \quad (9)$$

式9就是传统的幅值比较式发电机纵差保护的动作用判据,整定电流 $I_{rd}$ 可取为1.3倍的发电机额定电流,为了保证电流互感器断线时辅助判据不误动。辅助判据的原理逻辑框图见图7中虚线所示。这样,纵差动保护就具有双重化判据:在发电机并网运行时,主判据作为纵差保护内部相间短路时的主保护,灵敏度很高,而辅助判据作为此时的辅助保护;在发电机并网前及解列后的单独运行中,辅助判据就成为内部相间短路的主保护了。

## 2.3 提高纵差动保护动作灵敏度的措施

2.3.1 主判据采用负序电流 $\dot{I}_{n2}$ 与 $\dot{I}_{12}$ 进行相位比较其动作用方程为:

$$\theta = \left| \arg \frac{\dot{I}_{n2}}{\dot{I}_{12}} \right| \geq \theta_{rd} \quad (10)$$

式中,选取整定角 $\theta_{rd} = 35^\circ \sim 40^\circ$ 。

采用负序电流进行相位比较能显著提高纵差动保护内部不对称相间短路时的动作灵敏度。见图9,设在保护范围内部两相短路 $d^{(2)}$ ,图9(a)为系统接线图,图9(b)为负序网络图,图9(c)为负序电流相量图。 $\dot{I}'_{n2}$ 、 $\dot{I}'_{12}$ 是互感器 $CT_n$ 、 $CT_1$ 一次侧的负序电流,它们都是由于短路点出现负序电压 $\dot{V}_{fz}$ 而产生的。 $\dot{I}'_{n2}$ 与 $\dot{I}'_{12}$ 间的相角差仅取决于短路点两侧(指发电机中性点到短路点为一侧,系统到短路点为另一侧)负序阻抗角的大小,而

发电机并网运行时,若发电机侧为送电端,则差动保护内部机端相间短路时, $\dot{I}_n$ 与 $\dot{I}_1$ 间最小的相角差 $\theta_{min} = 93^\circ$ 见式4;若发电机侧为受电端,则差动保护内部机端相间短路时, $\theta_{min} = 73^\circ$ 见式3;发电机定子绕组内部相间短路时, $\theta_{min}$ 也大于 $53^\circ$ 见式6;可见,差动保护内部短路时, $\theta_{min}$ 均大于 $\theta_{rd}$ ,保护的主判据均能可靠地动作,灵敏度高,无死区。

以 $\dot{I}_n$ 相量不动,为基准,而以 $\dot{I}_1$ 相量改

与发电机的电势  $\dot{E}_g$  与系统电势  $\dot{E}_s$  间的相角差无关。见图 9 (c), “ $-\dot{I}'_{n2}$ ” 滞后于  $\dot{V}_{d2}$  的角度为发电机的负序阻抗  $Z_{g2}$  的阻抗角, 取其最大值为  $90^\circ$ ; “ $-\dot{I}'_{t2}$ ” 滞后于  $\dot{V}_{d2}$  的角度为系统至短路点之间的负序阻抗  $Z_{s2}$  的阻抗角, 取其最小值为  $60^\circ$ , 则得  $\dot{I}'_{n2}$  与  $\dot{I}'_{t2}$  之间的相角差最大值  $\alpha_{max} = 30^\circ$ 。

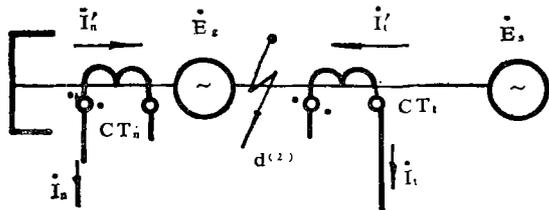


图 9 (a)

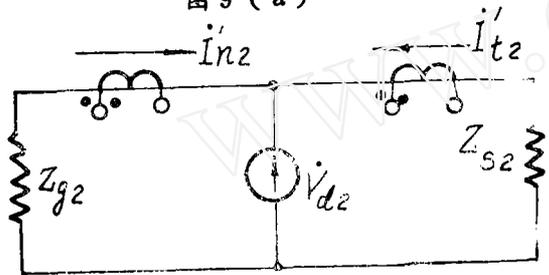


图 9 (b)

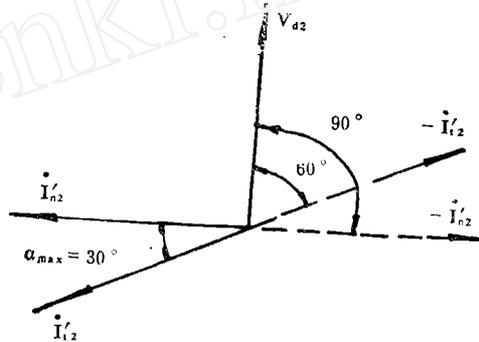


图 9 (c)

见图 9 (b),  $\dot{I}'_{n2}$  从  $CT_n$  的正极性流入, 而  $\dot{I}'_{t2}$  从  $CT_t$  的负极性流入, 又计及  $CT_n$ 、 $CT_t$  角度误差的最大差别为  $7^\circ$ , 则得  $CT_n$ 、 $CT_t$  二次侧负序电流  $\dot{I}_{n2}$  与  $\dot{I}_{t2}$  的最小相角差  $\theta_{min}$  为:

$$\theta_{min} = 180^\circ - \alpha_{max} - 7^\circ = 180^\circ - 30^\circ - 7^\circ = 143^\circ \quad (11)$$

式 3、式 4 与式 11 相比较, 可见: 保护若采用全电流  $\dot{I}_n$ 、 $\dot{I}_t$  来实现相位比较, 在内部不对称相间短路时,  $\theta_{min} = 93^\circ$  (见式 4) 或  $\theta_{min} = 73^\circ$  (见式 3); 而保护若采用负序电流  $\dot{I}_{n2}$ 、 $\dot{I}_{t2}$  来实现相位比较, 在内部不对称相间短路时,  $\theta_{min} = 143^\circ$  (见式 11), 故采用负序电流进行相位比较能显著提高内部不对称短路的灵敏度, 因式 3、式 4 与式 11 的整定角  $\theta_{sd}$  是相同的值, 都整定为  $35^\circ \sim 40^\circ$ 。

三相对称短路时, 无持续性负序电流, 这时保护的主要动作判据不能用式 10 所表达的负序电流相位比较, 仍需采用式 7 所表达的全电流相位比较。

### 2.3.2 主判据采用故障分量进行相位比较

故障状态可分解成正常负荷状态与附加状态的叠加, 故障后的参量可分解成负荷分量与故障分量的叠加。故障分量是故障后才出现的量, 因此反应故障分量的保护不受正常负荷状态、系统振荡、短路点过渡电阻等因素的影响, 性能优越。

设  $\Delta \dot{I}_n$ 、 $\Delta \dot{I}_t$  为全电流  $\dot{I}_n$ 、 $\dot{I}_t$  的故障分量;  $\Delta \dot{I}_{n2}$ 、 $\Delta \dot{I}_{t2}$  为负序电流  $\dot{I}_{n2}$ 、 $\dot{I}_{t2}$  的故障分量。以故障分量来实现比相, 则主要动作判据式 7、式 10 分别演变成为式 12、式 13。

$$\left| \arg \frac{\Delta \dot{I}_{a1}}{\Delta \dot{I}_{a2}} \right| \geq \theta_{zd} \quad (12)$$

$$\left| \arg \frac{\Delta \dot{I}_{a2}}{\Delta \dot{I}_{a1}} \right| \geq \theta_{zd} \quad (13)$$

上式中，整定角 $\theta_{zd}$ 仍选取为 $35^\circ \sim 40^\circ$ 。

## 2.4 电流互感器断线

微机若判断出 $CT_{aA}$ 、 $CT_{aB}$ 、 $CT_{aC}$ 及 $CT_{1A}$ 、 $CT_{1B}$ 、 $CT_{1C}$ 共6个互感器中只有一个互感器的二次电流为零，其余5个互感器的二次电流都不为零，则为断线，保护立即发出断线信号，不必闭锁本保护，因为本保护的主判据及辅助判据在电流互感器断线时都不会误动。

上述6个互感器同时有2个或2个以上断线不予考虑，因实际上不会发生。

若上述6个互感器的二次电流同时都为零，则表明是发电机单独运行且负荷电流为零的情况，保护不发出任何信号。

## 2.5 本保护装置实际采用的方案

本微机型发电机纵差动保护实际采用的动作方案见图10所示。

图10为三重化微机型发电机纵差动保护，适用于大容量发电机，动作的可靠性极高。

在发电机并网运行时，若差动保护范围内部三相对称短路，无负序电流，式12及式9都会动作，式12的灵敏度高，为主保护，式9为辅助保护；若保护范围内部发生不对称相间短路，有负序电流，则式12、式13、式9都会动作，灵敏度以式13最高、式12次之，式9又次之，可认为式13、式12为主保护，而式9为辅助保护。在发电机单独运行时（例如并网前及解列后），若内部相间短路，只式9动作，式9就是主保护了。

## 3 两个相量进行相位比较的新算法

在判断保护的主要动作判据（相位比较原理的式12、式13）是否满足时，若直接计算两个相量的夹角，例如 $\arg(\Delta \dot{I}_{a1} / \Delta \dot{I}_{a2})$ ，则计算量大，占用的微机内存和耗费的机时都很多。本文首次提出一种间接实现两个相量进行相位比较的新算法。

### 3.1 介绍两个命题

#### 3.1.1 命题1

设 $x(t) = \sin \omega t$ ，表示 $\dot{X}$ 相量；把 $\dot{X}$ 相量幅值不变地向朝前方向（逆时针）移相某任意角度 $\beta$ ，得到新的相量 $\dot{X}_\beta$ ，见图11所示。

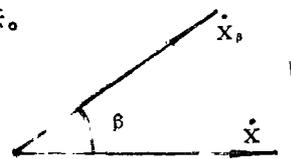


图11

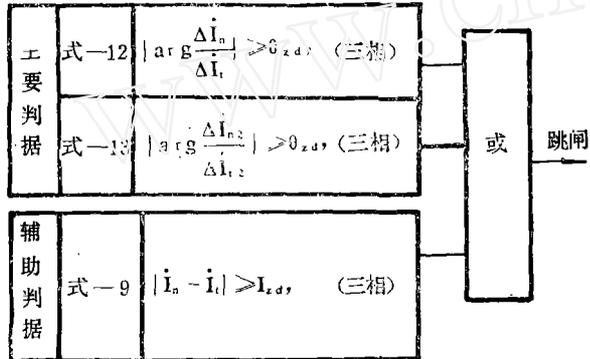


图10

实现  $\dot{X}_\beta$  的两采样值算法为:

$$x_\beta(t) = \sin(\omega t + \beta) = Z \sin(\beta + 30^\circ) \cdot x(t) - 2 \sin \beta \cdot x(t - \Delta T) \quad (14)$$

如果采样频率是基频的12倍, 则  $\omega \Delta T = 30^\circ$ 。式14可由相量法或待定系数法推导出, 该命题可用来以两个采样值求取一个相量向前移相任意的  $\beta$  角度后得到的新相量。

### 3.1.2 命题 2

设正弦基波相量  $\dot{X}$  和  $\dot{Y}$  的表达式分别为:

$$x(t) = \sin \omega t$$

$$y(t) = \sin(\omega t + \varphi)$$

若  $x(t) \cdot y(t - \Delta t) - x(t - \Delta t) \cdot y(t) > 0$

则相量  $\dot{Y}$  超前于  $\dot{X}$ , 否则为  $\dot{X}$  超前于  $\dot{Y}$ 。

证明:

$$\begin{aligned} & x(t) \cdot y(t - \Delta T) - x(t - \Delta T) \cdot Y(t) \\ &= \sin \omega t \cdot \sin(\omega t + \varphi - 30^\circ) - \sin(\omega t - 30^\circ) \cdot \sin(\omega t + \varphi) \\ &= \sin \omega t [\sin(\omega t + \varphi) \cdot \cos 30^\circ - \cos(\omega t + \varphi) \cdot \sin 30^\circ] \\ &\quad - (\sin \omega t \cdot \cos 30^\circ - \cos \omega t \cdot \sin 30^\circ) \cdot \sin(\omega t + \varphi) \\ &= \sin 30^\circ [\cos \omega t \cdot \sin(\omega t + \varphi) - \sin \omega t \cdot \cos(\omega t + \varphi)] \\ &= \frac{1}{2} \sin \varphi \end{aligned}$$

$\varphi$  角是相量  $\dot{Y}$  超前于相量  $\dot{X}$  的正角度。当  $\sin \varphi > 0$  时,  $0^\circ < \varphi < 180^\circ$ , 则表明  $\dot{y}$  超前于  $\dot{X}$ ; 当  $\sin \varphi < 0$  时,  $180^\circ < \varphi < 360^\circ$ , 则表明  $\dot{Y}$  滞后于  $\dot{X}$ 。命题 2 得到证明。

3.2 利用命题 1、2, 实现  $|\arg(\Delta \dot{I}_n / \Delta \dot{I}_1)| \geq 40^\circ$  的计算判断。

3.2.1 根据命题 2, 可计算判断出  $\Delta \dot{I}_n$  及  $\Delta \dot{I}_1$  中谁超前谁滞后。例如假设  $\Delta \dot{I}_n$  超前于  $\Delta \dot{I}_1$  的相角为正角度  $\theta$  ( $0^\circ < \theta < 180^\circ$ )。

3.2.2 根据命题 1, 把滞后的相量  $\Delta \dot{I}_1$  振幅不变地向朝前方向(逆时针)移相  $40^\circ$ , 得到新的相量  $\dot{A}$ ,  $\dot{A}$

$= \Delta \dot{I}_1 e^{j40^\circ}$ , 见图 12 所示。

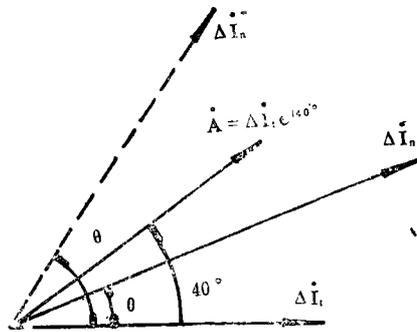


图 12

3.2.3 由命题 2, 可计算判断出相量  $\dot{A}$  和相量  $\Delta \dot{I}_n$  谁超前谁滞后。假若判断出  $\dot{A}$  超前于  $\Delta \dot{I}_n$  (见图 12 中的实线  $\Delta \dot{I}_n$ ), 则表明  $\theta = |\arg(\Delta \dot{I}_n / \Delta \dot{I}_1)| < 40^\circ$ , 动作判据不满足, 纵差动保护不动作; 反之, 假若判断出  $\dot{A}$  滞后于  $\Delta \dot{I}_n$  (见图 12 中的虚线  $\Delta \dot{I}_n$ ), 则表明  $\theta = |\arg(\Delta \dot{I}_n / \Delta \dot{I}_1)| > 40^\circ$ , 动作判据满足, 纵差动保护动作。

上述间接比较相位的算法大大节省了软件开销, 在微机保护实时处理系统中易于实现, 而且所采用的两个命题都是两采样值算法。响应速度快。