

大型发电机组失步预测及保护综述

张毅刚, 张保会

(西安交通大学电力工程系, 陕西 西安 710049)

【摘要】 对发电机失步预测及保护不同设计思想进行了综述和评价, 根据实现的原理将装置分为间接反映功角、直接测量功角或转速和基于能量原理的失步预测。介绍了不同原理在实际应用中的优缺点, 总结了在设计发电机失步预测装置时应注意的问题和失步预测及保护的发展方向。

【关键词】 发电机; 失步预测; 失步保护

1 引言

在现代电力系统中, 随着机组容量的增大, 发电机变压器电抗值也增大, 而电力网络的发展又使系统等值阻抗下降了, 所以当有扰动发生, 振荡中心很容易落在发电机机端或升压变压器内。机端电压的持续波动严重影响厂用辅机的正常运转, 甚至使一些重要的电动机制动而导致停机停炉; 振荡过程中, 当发电机电势和系统电势的夹角为 180° 时, 振荡电流的幅值将接近机端三相短路时流过发电机的电流, 振荡电流的持续出现可能使发电机定子绕组端部遭受机械损伤, 其热效应将造成定子绕组过热。此外, 在短路伴随系统振荡的情况下, 还会加剧发电机轴系的扭振, 引起大轴的机械损伤, 甚至断裂^[1~4]。对于电力系统来说, 当一台发电机与系统失步, 如果没有及时采取措施, 可能扩大到整个电力系统, 甚至造成整个系统的崩溃。

因此, 对大型发电机组应装设失步预测及保护装置。本文根据实现失步预测的原理将装置分为间接反映功角、直接测量功角或转速和基于能量原理的失步预测。在介绍了一些典型方案的基础上, 分析了它们在实际应用中的优缺点。

2 间接反映功角的失步预测

在一定的假设条件下, 由于视在阻抗、振荡中心电压、电流电压变化率等和功角存在一定的函数关系, 因此可以通过这些电量的变化来间接反映功角的变化, 如果加入一定比例的变化率, 就具有预测功能。

2.1 阻抗型失步预测^[11, 13, 14]

在简单的双机系统中, 当假定两侧电势相等, 则视在阻抗 Z_j 可表示为:

$$Z_j = \left(\frac{1}{2} Z - Z_M\right) - j \frac{1}{2} Z \operatorname{ctg} \frac{\alpha}{2} \quad (1)$$

其中: Z 为发电机到系统总的联系阻抗, Z_M 为测量点的背侧阻抗, α 为两侧电势的夹角。

由于视在阻抗和功角存在简单的函数关系, 且易于实现, 因此在实际中的应用较多, 如双阻抗型、透镜型等等。文献^[13]给出了加入电阻变化率的失步预测方案, 动作方程可表示为:

$$R + K \frac{dR}{dt} > A \quad (2)$$

其中: K 为预测系数, A 为整定值。

2.2 测量振荡中心电压的失步预测^[3, 6]

在图1所示简单双机系统中, 假定 $\dot{E}_G = \dot{E}_S = \dot{E}$, 振荡中心电压可表示为:

$$U_Z = E \cos \frac{\alpha}{2} \quad (3)$$

$$\frac{dU_Z}{dt} = -\frac{1}{2} E \sin \frac{\alpha}{2} \frac{d\alpha}{dt} \quad (4)$$

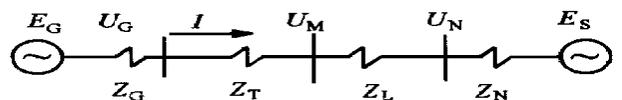


图1 简单双机系统图

该方案的动作方程为:

$$U_Z + K \frac{dU_Z}{dt} > A \quad (5)$$

其中: K 为比例系数。

A 为整定值, 与动稳极限角有关。

振荡中心电压 U_Z 可以通过下式来获得:

$$\dot{U}_Z = \dot{U}_G - \dot{I} \cdot Z_Z \quad (6)$$

其中: U_G 为发电机端电压, i 为机端电流。

Z_Z 为由测量点到振荡中心点的补偿阻抗。

在图2所示的动作特性中, U_Z 表示振荡中心电压的幅值, $\frac{dU_Z}{dt}$ 表示振荡中心电压的变化率, 通过振荡中心电压进入折线、的时间差区分振荡和短

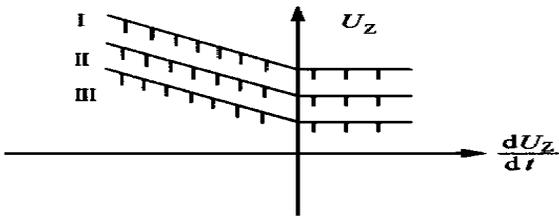


图2 反映振荡中心电压的动作特性

路,进入折线 的动作区时发出失步信号。

2.3 利用电压和电流变化率的失步预测^[8]

文献^[8]介绍了利用 $K = [dU/dt]/[dI/dt]$ 的变化来反映功角变化的失步预测方案,在图1所示简单的双机系统中,假定两侧的电势相等,以 E_s 为参考相量,相量图如图3所示。

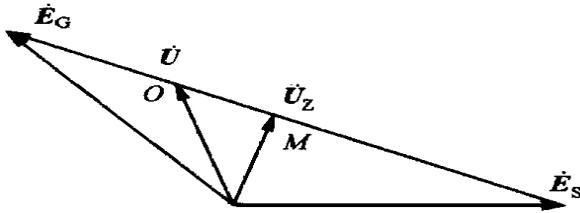


图3 电压向量图

由图1和图3可知,系统内任一点O的电压为:

$$\dot{U} = \dot{E}_G - I \left(\frac{1}{2} Z - Z_{OM} \right) \quad (7)$$

$$\dot{E}_G = \dot{E}_s e^j \quad (8)$$

$$I = \frac{\dot{E}_G - \dot{E}_s}{Z} \quad (9)$$

其中: Z 为发电机电势到系统等值电势的总阻抗, Z_{OM} 为任意一点O到振荡中心M间的阻抗。将(8)

(9)两式代入(7)式,可求出任一点的电压为:

$$\dot{U} = \dot{E}_s \left(\frac{1}{2} - \frac{Z_{OM}}{Z} \right) + \dot{E}_s \left(\frac{1}{2} + \frac{Z_{OM}}{Z} \right) e^j \quad (10)$$

由(8)(9)两式可得到:

$$I = \frac{2 \dot{E}_s}{Z} \sin \frac{\delta}{2} \quad (11)$$

$$U = E_s \cdot \sqrt{\cos^2 \frac{\delta}{2} + \left(2 \frac{Z_{OM}}{Z} \sin \frac{\delta}{2} \right)^2} \quad (12)$$

$$\text{令 } K = \frac{d}{d} \frac{U}{U} = \frac{d}{d} \frac{U}{U} \frac{d}{d} \frac{1}{d} = \frac{d}{d} \frac{1}{U} \quad (13)$$

可求得 为:

$$= 2 \arctg \left(\frac{1}{2 K Z} \sqrt{(Z^2 - 4 Z_{OM}^2)^2 - 16 K^2 Z_{OM}} \right) \quad (14)$$

与 K 在 $[0 < <]$ 内一一对应,通过 K 的变化可以反映 的变化。

对这类失步预测装置的评价:

阻抗(电阻)型失步预测装置能反映各种原因造成的失步,它受发电机调节系统的影响较小,在预测动态稳定性方面准确性较高,反映电阻分量的装置在区分不失步的摇摆和失步在灵敏性上较阻抗型略高。反映振荡中心电压的失步预测装置在失步边缘区段灵敏度较高,加入变化率后的装置具有预测功能,能在失步前发出失步信号。反映电流电压变化率的预测装置对于由重大扰动引起的失步事故能做出快速预测,有利于采取控制措施,保持系统稳定。

这类装置的不足之处:

(1) 单纯反映阻抗(电阻)的失步继电器只能在发电机失步时给出信号,这对于启动控制、选择有利时机开断电流及维持系统稳定很不利。加入阻抗(电阻)的变化率后,装置具有一定的预测功能,但 Z_{jm} 、 R 都不是 t 的线性函数,而且在故障期间常伴随有网络的操作和变换,这使得时间常数 K 不易整定,太小预测作用不强,太大又有误动的危险。

(2) 由于振荡中心电压和功角的简单函数关系是在假定两侧电势相等,各元件阻抗角都相等的理想条件下给出的,在实际系统中它不能准确跟踪功角的变化,所以存在计算误差。另外,随网络结构的变化振荡中心是在不断地变化的,用以计算 U_Z 的补偿阻抗只用一个定值代表肯定存在误差。

(3) 反映电流电压变化率的预测装置随网络参数的变化 K 值也在变化,这需要在大量离线计算基础上确定 K 值和 在不同网络结构下的对应关系,这在实际运行中来回切换很不方便,而且对于大中型电网,运行方式难以一一列举。

(4) 由于系统不失步的最大摇摆角与扰动前系统的功角及扰动后网络结构的变化等因素有关,而定值 A 以常数给出,使之不能严格区分稳定的摇摆和失步。

3 直接测量功角或转速的失步预测

这类装置利用通讯来获得对端功角或转速,从而计算出功角差,利用数学方法从已有数据预测发展趋势,当预测到功角大于整定值时启动控制或发跳闸令。

3.1 直接测量功角的失步预测^[10,18,19,20]

在正常运行时预测装置测量发电机的输入输出功率、电压、电流,并通过通讯获得对端参考机的电

流电压,从而获得正常运行时的相角差 δ_0 、功率 P_0 等数据。当检测到扰动时,利用泰勒级数法预测功角的变化。当已知 t_0, t_1, t_2 时刻的数据 $\delta(t_0), \delta(t_1), \delta(t_2)$,由下式算出 t 时刻的 $\delta(t)$:

$$\delta(t) = \delta(t_0) + \omega(t-t_0) + \frac{1}{2}\alpha(t-t_1)(t-t_0) \quad (15)$$

式中 $\omega = [\delta(t_1) - \delta(t_0)] / (t_1 - t_0)$

$$\alpha = [\delta(t_2) - \delta(t_1)] / (t_2 - t_1)$$

$$\beta = (\omega - \alpha) / (t_0 - t_2)$$

功角 $\delta(t)$ 可由对 $\omega(t)$ 积分进行预测,即

$$\begin{aligned} \delta(t) &= \int_{t_2}^t \omega(t) dt + \delta(t_2) \\ &= \delta(t_2) + \omega(t-t_2) + \frac{1}{2}[\alpha(t^2 - t_2^2) - \omega(t-t_2)(t-t_2)] + \frac{1}{6}[\beta(t^3 - t_2^3) - 3\omega(t-t_2)(t-t_2)^2 + 3\alpha(t-t_2)^3] \end{aligned} \quad (16)$$

预测示意图如下图所示:

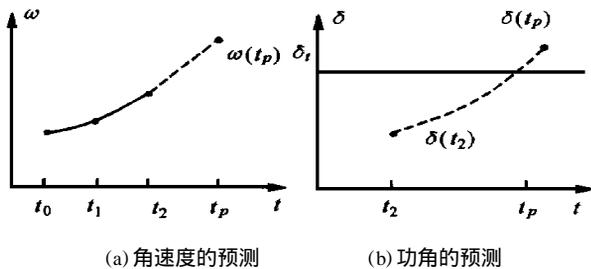


图4

当时段 t 采用一个工频周期时,用上述方法可以预测 0.2~0.3s 内 δ 的变化。当发电机与参考机功角 $\delta_g(t)$ 及 $\delta_r(t)$ 分别由上式算出时,其功角差 $\delta_{gr}(t)$ 可由下式算出,即:

$$\delta_{gr}(t) = \delta_g(t) - \delta_r(t) + \delta_{gr}(0) \quad (17)$$

如果 $\delta_{gr}(t)$ 在某一预定时间 t_p 内超过相角域值 δ_t ,则将出现失步。

文献^[10]介绍了时间序列多点自回归模型(AR)预测算法,该方法具有速度快,精度高,预测时间长特点。该模型可表示为:

$$Y(N) = \Phi(N) \cdot A_P(N) + E(N) \quad (18)$$

其中: $E(N)$ 为误差矩阵

$A_P(N)$ 为系数矩阵

$\Phi(N)$ 为观测矩阵

通过按模型误差的方差为最小来确定模型参数,得到:

$$Y(N) = \Phi^T(N) A_P(N) \quad (19)$$

若在 $N+1$ 时刻获得了新的测量值 $Y(N+1)$,则有:

$$A_P(N+1) = A_P(N) + K_{N+1}[Y(N+1) - \Phi_{N+1}^T \cdot A_P(N)] \quad (20)$$

K_{N+1} 为增益矩阵

以此类推,不断地用新的测量值来修正模型参数,使预测模型不断地跟踪已变化了的新情况,从而提高了预测精度。

3.2 直接测量角速度的失步预测^[17]

文献^[17]提出了基于发电机角速度的失步预测方案。该方案首先将电力系统分为两群,每群选几台有代表性的发电机,一个安装于发电机转子上的测速装置用于实测转子的转速。相角差可以通过式(21)来获得:

$$\delta(t) = \delta_0 + \int \omega dt \quad (21)$$

同时根据角速度的变化利用最小二乘法来预测 0.2~0.3s 后的相角 $\delta(t)$,当预测到两机间相角差超过某一整定值,并且仍在增大时认为出现失步。当一群中的某一发电机相对于另一群中的所有发电机都失步时,即认为该发电机失步。

对这类装置的评价:

(1) 基于相角或角速度的失步预测方案能较准确计算出相对于参考系的相角,所以预测精度能得到改善。

(2) 由于装置要获得大量的实时参数,数据的测量和传输需要使用通讯手段,一旦通讯故障,整个装置都将失灵。

(3) 在振荡开始的暂态时刻,因为扰动及故障切除,使得功角变化比较剧烈,采用数据拟合的方法预测,步长太大,预测误差将明显增大,而在动态摇摆过程中功角变化比较缓慢,太小又不能起到预测效果,因此这类方法应有自动调整预测步长的能力,或在故障清除后动态摇摆过程中采用这种方法。

4 基于能量原理的失步预测装置

这类装置通过比较发电机加速动能和最大势能的大小来预测失步,它包括基于等面积定则的失步预测和利用能量函数的失步预测。

4.1 基于等面积定则的失步预测^[5,6,7,16]

在单机-无穷大系统中,假定发电机暂态电势 E 在扰动前后不变,正常运行时输出功率为:

$$P_e = \frac{E U}{X} \sin \delta = P_M \sin \delta \quad (22)$$

其中: X 为发电机到系统之间总的联系阻抗 正常运行时的功角特性如图 5 曲线 1 所示,故

障时功角特性变为曲线 2, 设此时传输功率极限为 $K_1 P_M \sin$ 。故障切除后变为曲线 3, 功率极限为 $K_2 P_M \sin$ 。

设故障切除时刻的功角为 $\delta(k)$, 加速面积为:

$$A = \int_{\delta_0}^{\delta(k)} (P_T - K_1 P_M \sin) d\delta \quad (23)$$

最大减速面积为:

$$B = \int_{\delta(k)}^{\pi - \delta_s} (K_2 P_M \sin - P_T) d\delta \quad (24)$$

当 $A = B$ 时发出暂态不稳定信号^[5]。理论上在故障的极限切除时刻可预知发电机的不稳定性。

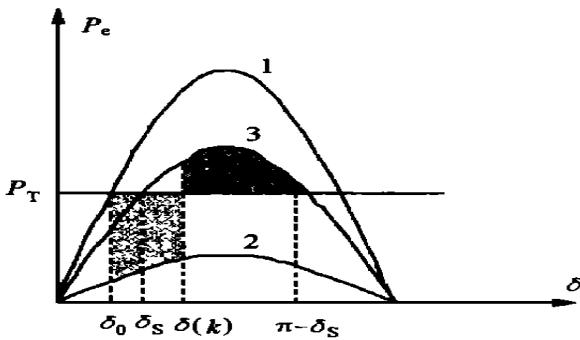


图 5 等面积定则示意图

文献^[16]介绍了采用双机模型下的等面积定则实现的自适应失步保护。在等值双机系统中, 负荷用恒定阻抗代表, 发电机模型为经典模型, 将双机系统变换为单机-无穷大母线系统, 使用等面积定则进行失步预测, 当网络结构有变化时, 修改等值参数。

反映有功功率及其变化量的失步预测也是根据等面积定则导出的。文献^[6]根据等面积定则近似简化计算出在不同运行功率 P_0 下允许的最大 P 值, 临界失步边界近似用 $P_0 + K \cdot P = P_m$ 来代替。该方案的动作方程为:

$$P_0 + K \cdot P = P_m \quad (25)$$

其中, P_0 为正常运行时的输出功率, P 为不平衡功率, K 为常系数, P_m 为功率极限。

4.2 基于能量函数的失步预测^[9,12,15]

文献^[9]利用李亚普诺夫直接法, 来预测发电机的暂态稳定性。在单机无穷大系统中, 取能量函数为:

$$V = \frac{1}{2} M^2 \omega^2 - \int_{\delta} (P_T - P_e) d\delta \quad (26)$$

其中: P_T 为输入的机械功率, P_e 为输出的电磁功率, δ_s 为故障清除后稳定平衡点对应的功角, 为相对于同步转速的转差, M 为转动惯量。对应第

i 种故障清除后的网络变化, 网络的临界能量为:

$$V_{cri} = - \int_{\delta_i^u}^{\delta_i^s} (P_T - P_e) d\delta \quad i = R \quad (27)$$

其中: δ_i^s, δ_i^u 为第 i 种故障清除后系统的稳定和 不稳定平衡点, R 为故障清除后的网络拓扑域。

系统正常运行时预想当前运行方式下第 i 种故障清除后的网络结构, 求得 δ_i^s, δ_i^u , 代入(27)式求得 V_{cri} 并存储以备暂态不稳定预测用。当故障发生后, 首先估计当全线速动保护动作切除故障时系统的稳定性, 如果预估结果是稳定的, 转入实时预测, 直至故障切除。

在暂态不稳定预估中, 近似认为不平衡功率为常数, 设全线速动保护切除故障的时间为 T_{Cl} , 则 T_{Cl} 时刻功角变化量为:

$$\delta_{cl} = \frac{1}{2} t_{cl}^2 \cdot \frac{P_e}{M} \quad (28)$$

估计在全线保护动作后系统的暂态能量为:

$$V_{sys} = \frac{1}{2} t_{cl}^2 \cdot \frac{P_e^2}{M} - \int_{\delta}^{\delta + \delta_{cl}} (P_T - P_e) d\delta \quad (29)$$

其中: P_e 为扰动清除后发电机的输出功率。当 $V_{cri} - V_{sys} < 0$ 时, 判为系统暂态不稳定。

进入实时暂稳预测时, 装置实时测量故障后每时段的不平衡功率 $P(n)$, 利用逐步梯形积分可求得 n 时段的功角差 $\delta(n)$ 及功角 $\delta(n)$ 。 n 时段末的暂态能量为:

$$V_{sys}(n) = \sum_{i=1}^n P(n) \cdot \delta(n) - \int_{\delta}^{\delta(n)} (P_T - P_e) d\delta \quad (30)$$

根据当前网络拓扑取出对应的临界能量并比较, 当 $V_{cri} - V_{sys} < 0$ 时, 判为系统不稳定。

对这类装置的评价:

(1) 基于等面积定则的失步预测方案预测速度快, 理论上在故障的极限切除时刻可以预知发电机的不稳定性。而且该方法计算量小, 易于实现, 可以应用于实时计算。

(2) 由于使用发电机的经典模型, 因此只适用于首摆稳定性的计算; 当计及调速器、重合闸等的作用时, 发电机有可能在多摆后失稳, 而等面积定则不能处理这种情况。另外对于送端系统较大, 而受端系统相对薄弱时, 大的扰动有可能使受端系统电压严重下降, 在这种情况下, 如果不计及对端电压的降低, 使用等面积定则会产生一定的误差, 甚至误判。

(3) 利用 GPS 实测相角提高了相角测量的精度,并且可以计及对端电压、网络参数的变化对功角测量的影响,但是是否稳定的判别仍然需要预知网络承受扰动的能力,即最大的减速面积或系统极限能量,而这是难于准确估计的。

(4) 利用有功功率及功率变化量的失步预测装置对某些重大扰动引起的失步事故能够快速动作,理论上在扰动瞬间给出预测结果。但它仅能反映简单系统中某些暂态稳定破坏事故,在较复杂网络中应用存在一定困难。

(5) 在单机-无穷大模型下,李亚普诺夫直接法和等面积定则是等效的,但通过能量函数所获得的系统稳定条件往往是充分的,而不是必要的,因此由李亚普诺夫函数所获得的系统稳定域比实际稳定域要小,即李亚普诺夫直接法的稳定判据是个保守的判据。所以在实际应用中有误动的危险。能量函数法要预估系统故障后的网络拓扑,即需计算出各种可能扰动情况下的临界能量,因此它只能作为失步预测的辅助判据,用于快速的暂稳预测和控制。

5 结语

综上所述,要实现发电机失步预测的快速性和准确性,需注意以下问题:

(1) 正确选取发电机模型及系统模型

准确快速预测发电机失步依赖于对发电机及系统模型的精确描述^[21]。一般用于计算暂稳的发电机模型为固定阻抗后一恒定电势,电势一般选 E , 阻抗选 X_d ; 系统模型采用单机无穷大模型或双机模型。但对于发电机不同运行状态及发生扰动后振荡中心位置的不同,使用同一模型就会产生一定的误差。如当发电机欠励运行时,就需要计及 q 轴的影响^[22]; 还有,当发电机高压母线分支线出口发生三相短路时,故障清除后的暂态稳定极限,当不考虑发电机的变压器电势 $d\phi/dt$ 得出的稳定极限较考虑该项有很大差异,这是由于后者考虑了短路电流直流分量的阻尼的缘故。

(2) 多种预测原理互为补充

从扰动到失步,发电机及系统参数、状态变量在不同阶段呈现不同特征,而各种失步预测原理各有优缺点,因此应充分发挥各种预测原理的长处,在不同阶段采用不同的预测方法,文献^[9]较好地解决了这个问题。对于单机-无穷大系统或双机系统,暂态稳定的分析可采用等面积定则。因为这种方法计算量小,预测速度快,且相对准确。当预测到暂态稳定

时,进入动稳计算,此时可利用相角或角速度的变化预测以后的振荡过程。另外,考虑到扰动产生失步的多样性,对失步预测装置应配备不同原理的预测方案,对稳定性的监测层层设防,互为补充确保装置的可靠性。当预测出发电机将失步且振荡电流对断路器开断有利时,发出跳闸命令,否则要等到电流摇摆至对断路器开断有利时再发跳闸令。

(3) 自动适应故障前后的网络参数变化

网络参数直接影响扰动后的稳定性,各种预测装置应该自动适应网络参数的变化。为了获得暂稳计算的初值,需要定时计算当前运行状态的网络参数,有条件的话,可通过与调度中心通讯来获得系统的网络参数。当检测到故障时,要尽可能多地搜集故障信息,包括开关量的变化,或利用通讯手段获得故障后的网络拓扑。

[参考文献]

- [1] 袁季修. 电力系统安全稳定控制. 北京: 中国电力出版社, 1996.
- [2] 王梅义, 吴竟昌, 蒙定中. 大电网系统技术. 北京: 水利电力出版社, 1991.
- [3] 王维俭, 侯炳蕴. 大型机组继电保护理论基础. 北京: 水利电力出版社, 1989.
- [4] 张保会. 电力系统失步快速预测理论及装置实现方法的研究. 西安交通大学博士学位论文, 1988. 4.
- [5] 张保会, 葛耀中. 简单电力系统及大型发电机失步预测保护装置的研究. 西安交通大学, 1990. 8.
- [6] 冯载生. 电力系统振荡预测装置的研究. 西安交通大学学报, 1978 (1).
- [7] 王增平, 高中德, 毕天姝, 柳焯. 基于能量原理的新型发电机失步预测及失步保护的研究. 电力系统自动化, 1997, 21(11).
- [8] 宋聚忠, 张项安. 一种新型的发电机失步预测及失步保护方案. 第六届全国继电保护学术研讨会论文集, 1996. 11.
- [9] 张保会, 阎海山, 钱国明. 电力系统安全稳定控制装置. 西安交通大学, 1997. 10.
- [10] 李国庆. 电力系统暂态稳定预测控制的研究. 电力系统自动化, 1994, 18(3).
- [11] J. L. 不列克勃恩等著, 陈志强译. 继电保护的应用.
- [12] 邓中. 发电机失步预测微机保护. 全国高等学校电力系统及其自动化专业第一届学术年会论文集(下), 1995.
- [13] C W Taylor, J M Haner etc. A New Out-of-Step Relay With The Rate Of Resistance Augmentation. IEEE Trans on Power Apparatus and Systems, 1983, PAS-102(3).

(下转第 21 页)

统的运行方式,使得保护工作在较优化的工作状态,在保证保护的选择性的前提下,可以大大提高系统的灵敏度系数。这里提出的在线整定技术,没有考虑电流保护和它保护的配合问题,如果考虑和其它保护的配合,将使得这种技术更加完善。

[参考文献]

- [1] 贺家李等. 电力系统继电保护原理. 北京:水电出版社, 1984.

- [2] 葛耀中. 自适应继电保护及其前景展望. 电力系统自动化, 1997, 21(9).
[3] 周步祥等. 综合监控系统的测量反相补偿技术. 继电器, 1998, 26(4).

收稿日期:1998—11—18

作者简介:周步祥(1965-),男,副教授,研究方向为电力系统自动化及计算机应用技术;李烈忠(1928-),男,副教授,研究方向为电力系统继电保护及远动技术。

THE ON-LINE SETTING TECHNOLOGY FOR IMPROVING THE SENSITIVITY OF CURRENT PROTECTION

ZHOU Bu-xiang, LI Lie-zhong

(Sichuan University, Chengdu 610065, China)

Abstract According to the contradiction between the selectivity and the sensitivity with current protection, the on-line setting technology based on the micro-computer relays is presented in this paper. The sensitivity is obviously improved for the same protecting zone by this technology. It is not only self-adaptive for current relaying protection on different operation modes, but also simple and reliable. It has practical values.

Keywords current protection; sensitivity; on-line setting

(上接第5页)

- [14] J M Haner, T D Laughlin, C W Taylor. Experience With the R-Rdot Out-of-Step Relay. IEEE Trans On Power Systems, 1986, PWRD-1(2).
[15] Willian R, Roemish Edward T Wall. A New Synchronous Generator Out-of-Step Relay Scheme (Part I and II). IEEE Trans on Power Apparatus and Systems, 1985, PAS-104(3).
[16] V Centeno, A Gphadhe, etc. An Adaptive Out-of-Step Relay. IEEE Trans on Power Delivery, 1997, 12(1).
[17] Y Morioka, K Tomiyama, etc. System Separation Equipment To Minimize Power System Instability Using Generator's Angular-Velocity Measurements. IEEE Trans on Power Delivery, 1993, 8(3).
[18] Y Ohura, M Suzuki, etc. A Predictive Out-of-step Protection System Based on Observation of the Phase Difference Between Substations. IEEE Trans on Power Delivery, 1990, 5(4).
[19] M Takhashi, K Matsuzawa, etc. Fast Generation Shedding Equipment Based on the Observation of Swings of Generators. IEEE Trans on Power Systems, 1988, 3(2).
[20] Burnett R O. Synchronized Phasor Measurements of a Power System Event. IEEE Trans on Power Systems, 1994, 9(3).
[21] CIGRE 34. 01 WG Report, Protection Against Out-of-step Operation of Large Synchronous Machines. Electra, 1977, (50).
[22] CIGRE SC11 Report, Draft Guidelines on Some of the Synchronous Generator Abnormal Operation Conditions. CIGRE Paper, 1980, :11~13.

收稿日期:1998—12—28

作者简介:张毅刚(1970-),男,硕士,现从事发电机失步预测的研究;张保会(1953-),男,教授,博士生导师,IEEE高级会员,主要研究方向为电力系统稳定性及其紧急控制、电力系统继电保护、变电站综合自动化和配电网自动化等。

OVERVIEW OF GENERATOR OUT-OF-STEP PREDICTION AND PROTECTION

ZHANG Yi-gang, ZHANG Bao-hui

(Xi'an Jiaotong University, Xi'an 710049, China)

Abstract This paper summarizes and evaluates various schemes on generator out-of-step prediction and protection. According to the theories used in the devices, these schemes can be divided into three types: schemes reflecting the generator angle indirectly, schemes based on measuring the generator angle or angular-velocity and schemes based on the energy principle. The advantage and disadvantage of the schemes in application are also pointed out. At last, some suggestions on designing the out-of-step relay are presented.

Keywords generator; out-of-step prediction; out-of-step protection