

一种基于 MAC 的非线性预测励磁控制器的设计

刘辉,李啸骢,韦化

(广西大学电气工程学院,广西 南宁 530004)

摘要:提出了一种新的非线性系统控制设计方法。通过运用预测控制理论中的模型算法控制(MAC)的设计原理,同时引入机端电压偏差积分项,针对单机无穷大系统进行非线性预测控制设计,得到了一种基于模型算法控制的非线性预测励磁控制器。仿真结果表明:这种设计方法不仅能够有效解决由于原动机阶跃输入扰动带来的发电机机端电压偏差问题,而且改善了功角稳定性和发电机机端电压的动态特性。

关键词:非线性预测控制; 模型算法控制; 励磁控制

中图分类号: TM761 **文献标识码:** A **文章编号:** 1003-4897(2005)08-0001-05

0 引言

预测控制理论是工业实践的产物,它具有预测模型、滚动优化和反馈校正三个基本特点,因此预测控制具有对模型的精度要求低,能兼顾被控对象的非线性、时变性因素,以及抗干扰能力强的优点^[1,2]。正因为这些特点,预测控制在石油和航天等工业领域中得到了十分成功的应用。近年来,预测控制方法在电力系统中的应用研究也逐步得到重视。文献[3]利用预测控制方法对模型精度要求低的特点,针对可控串联补偿电容器(TCSC)设计了一种新的预测控制方案。文献[4]结合预测控制理论的超前多步预测的原理,设计了一个自适应电力系统稳定器(PSS)。为了解决电力系统自励过电压问题,文献[5]设计了一个预测系统,用该系统来预测发电机自励行为,以便操作人员可以采取必要的措施来提高系统自励安全。为了克服传统PD控制器的固定控制增益的缺点,文献[6]运用模型预测控制方法,设计了一个基于PD的模型预测控制器。文献[7,8]把预测控制理论与同步发电机的励磁控制相结合,得到了一种新的非线性励磁控制器,既改善了功角稳定性,又改善了发电机机端电压的动态特性,但这种设计方法不能够解决由于原动机阶跃扰动所引起的机端电压偏移问题。

本文将通过将预测控制理论中的模型算法控制(MAC)原理应用到励磁控制器的设计中,同时引入电压偏差的积分项,得到了一种以有功功率、角速度和发电机机端电压偏差为反馈量的非线性预测励磁

控制器,既消除了由于原动机阶跃输入扰动带来的机端电压偏差,达到机端电压精确跟踪的目的,又改善了功角的稳定性和机端电压的动态特性。

1 仿射非线性系统的预测控制

考虑如下的仿射非线性系统:

$$\begin{cases} \dot{X} = f(X) + \sum_{i=1}^m g_i(X) u_i \\ Y = h(X) \end{cases} \quad (1)$$

其中: $X \in R^n$ 为状态向量, u_i 为控制量, 记 $[u_1 \dots u_m]^T = U(t)$, $f(X)$ 与 $g_i(X)$ ($i=1, \dots, m$) 为 n 维函数向量; $h(X)$ 为 m 维输出函数向量。 $f(X)$ 充分可微, $g_i(X)$ 只需一次可微。

规定 X_f 为系统(1)的预测模型状态量, Y_f 为其预测模型输出量, 则其预测模型可表示为:

$$\begin{cases} \dot{X}_f = f(X_f) + \sum_{i=1}^m g_i(X_f) u_i^* \\ Y_f = h(X_f) \end{cases} \quad (2)$$

其中: u_i^* 为有界参考控制量。

规定 X_r 为系统(1)的参考轨迹输入向量。

定义: 在式(1)所描述的系统中, 如果 x_i 中含有控制向量 $U(t)$ 的任意元素, 则 x_i 的预测阶为 1; 否则, 取输出函数为 $y = f_i$, 设该输出函数与系统(1)的关系为 n_i , 则 x_i 的预测阶为 $n_i + 1$, 记为 r_i , 其中, $i=1, \dots, n$ 。

为了考察当前控制向量 $U(t)$ 对下一时刻预测模型状态量 $X_f(t + \Delta t)$, ($\Delta t > 0$) 的控制, 将 $x_{r_i}(t + \Delta t)$ 在 t 处展开为 r_i 阶的 Taylor 级数, 从而将 $X_f(t + \Delta t)$ 表示为 $U(t)$ 的矢量函数如下:

$$X_f(t + \Delta t) = X_f(t) + \Delta V(X_f(t), \Delta t) + \Delta W(X_f(t))U(t) \quad (3)$$

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(50467001); 广西自然科学基金桂科自资助项目(0448025)

式中:

$$V(X_f(t), t) = [v_1(X_f(t), t), \dots, v_n(X_f(t), t)]^T$$

$$v_i = \frac{d^0}{dt^0} f_i + \frac{(t)^2}{2!} L_f^1(f_i) + \dots + \frac{(t)^{r_i}}{r_i!} L_f^{r_i-1}(f_i)$$

$L_f^k(f_i)$ 表示 f_i 对 $f(X)$ 的 k 阶李导数。 f_i 是 $f(X)$ 的第 i 个分量。其中:

$$L_f^0(f_i) = f_i, L_f^1(f_i) = \frac{\partial f_i}{\partial X_f} f, \dots, L_f^{r_i-1}(f_i) = \frac{\partial L_f^{r_i-2}(f_i)}{\partial X_f} f$$

(t) $R^{n \times n}$ 是对角矩阵,其主对角线上的元素是:

$$r_{ii}(t) = \frac{(t)^{r_i}}{r_i!}, i = 1, 2, \dots, n$$

$W(X_f) R^{n \times n}$ 的每一行是以下列形式给出:

$$\begin{cases} w_i = [g_{i1}, \dots, g_{im}] & r_i = 1 \\ w_i = [L_{g1}(L_f^{r_i-2}(f_i)), \dots, L_{gm}(L_f^{r_i-2}(f_i))] & r_i = 2 \end{cases}$$

其中:相对于 g_j 的李导数定义为:

$$L_{g_j}(L_f^{r_i-2}(f_i)) = \frac{\partial(L_f^{r_i-2}(f_i))}{\partial X_f} g_j, j = 1, 2, \dots, m$$

考虑到实际对象中存在着时变或非线性等因素,或多或少地会存在着模型误差,加上系统中的各种随机干扰,使得预测模型不可能与实际对象的输出完全一致。因此,通过将实际对象输出测量值 $X(t)$ 与预测模型输出 $X_r(t)$ 之间的误差,加到模型的预测输出 $X_r(t + \Delta t)$ 上,即得到闭环输出预测,用 $X_p(t + \Delta t)$ 表示

$$X_p(t + \Delta t) = X_r(t + \Delta t) + H[X(t) - X_r(t)] \quad (4)$$

式中:对角阵 H 为误差修正系数矩阵。

同理,可将 $X_r(t + \Delta t)$ 在 t 处展开为 r_i 阶的 Taylor 级数:

$$X_r(t + \Delta t) = X_r(t) + d(t, \Delta t) \quad (5)$$

式中: $d(t, \Delta t) R^n$, 其第 i 个分量表示为:

$$d_i(t, \Delta t) = \frac{(\Delta t)^1}{1!} x_{ri}^{(1)}(t) + \frac{(\Delta t)^2}{2!} x_{ri}^{(2)}(t) + \dots + \frac{(\Delta t)^{r_i}}{r_i!} x_{ri}^{(r_i)}(t) \quad (i = 1, \dots, n)$$

为了找到适当的当前控制量 $U(t)$ 以改善下一时刻的跟踪精度,惩罚 $t + \Delta t$ 时刻的跟踪误差,逐点优化性能指标,达到精确跟踪。所以取当前的控制性能指标为:

$$J(U(t)) = \frac{1}{2} [X_p(t + \Delta t) - X_r(t + \Delta t)]^T Q [X_p(t + \Delta t) - X_r(t + \Delta t)] +$$

$$\frac{1}{2} [U(t) - U^*]^T R [U(t) - U^*] \quad (6)$$

式中:

$Q R^{n \times n}$ 是半正定的, $R R^{m \times m}$ 是正定的。

分别将式 (4) 和式 (5) 代入式 (6), 可以从 $\partial J / \partial U(t) = 0$ 的表达式中求得控制性能指标 J 为最小的唯一控制如下:

$$U(t) = - [[\frac{\partial}{\partial U} W(X_f)]^T Q [\frac{\partial}{\partial U} W(X_f) + R]^{-1} * [[\frac{\partial}{\partial U} W(X_f)]^T Q [X_f + V + HE - X_r - d - RU^*]] \quad (7)$$

式中: E 为实际输出 $X(t)$ 与预测模型输出 $X_r(t)$ 的误差。

上述讨论的基于 MAC 的预测控制原理可用图 1 进行扼要描述。

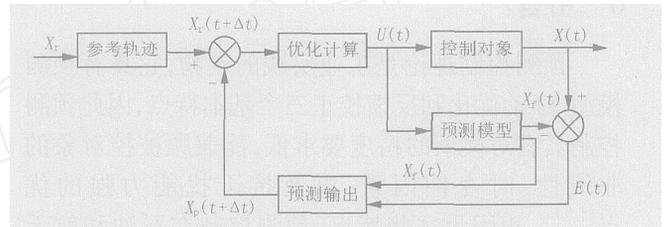


图 1 MAC 系统原理简图

Fig 1 Sketch of model algorithmic control system

2 发电机非线性预测励磁控制设计

2.1 系统状态方程

发电机单机 - 无穷大系统状态方程:

$$\begin{cases} \dot{\delta} = (\omega - \omega_0) \\ \dot{\omega} = \frac{1}{T_J} (P_m - P_e - D(\omega - \omega_0)) \\ \dot{E}_q = -\frac{x_d \Sigma}{T_{d0} x_{d\Sigma}} E_q + \frac{(X_d - x_d) V_s \cos \delta}{T_{d0} x_{d\Sigma}} + \frac{1}{T_{d0}} E_f \end{cases} \quad (8)$$

式中: δ 、 ω 和 E_q 为状态量, 分别表示发电机功角、发电机转子角速度和发电机暂态电势; E_f 为控制量, 表示发电机励磁电压。以往为了简化设计过程的复杂性, 在设计中, 常常略去第 2 个方程分母中的 ω , 认为在动态过程中 $\omega \approx \omega_0$ 。考虑到在大扰动的暂态过程中上述假设会引起较大误差, 因此本文设计中不做此简化。

对于发电机输出的有功功率表达式:

$$P_e = \frac{E_q V_s}{x_{d\Sigma}} \sin \delta + \frac{V_s^2 (x_d - x_q)}{2 x_{d\Sigma} x_{q\Sigma}} \sin(2\delta)$$

将 P_e 相对时间求导, 并整理为:

$$\dot{P}_e = C_{p1} + C_{p2} E_f \quad (9)$$

式中:

$$C_{p1} = l \left(-1 \right) \cot \theta - \frac{x_{d\Sigma}}{x_{d\Sigma} T_{d0}}] P_e - \left(-1 \right) \cdot \frac{V_s^2 (x_d - x_q) \cos 2\theta}{x_{d\Sigma} x_{q\Sigma}} + \frac{V_s^2 (x_d - x_q) \sin 2\theta}{2 (x_{d\Sigma})^2 T_{d0}} + \frac{\left(-1 \right) \cot \theta (x_d - x_q) V_s^2 \cos 2\theta}{x_{d\Sigma} x_{q\Sigma}} + \frac{(x_d - x_q) x_{d\Sigma} V_s \sin 2\theta}{2 x_{q\Sigma} T_{d0} (x_{d\Sigma})^2} \\ C_{p2} = \frac{V_s \sin \theta}{x_{d\Sigma} T_{d0}}$$

对于发电机机端电压表达式:

$$\begin{cases} V_t = \sqrt{V_{td}^2 + V_{tq}^2} \\ V_{td} = \frac{x_q V_s \sin \theta}{x_{q\Sigma}}, V_{tq} = \frac{(x_{d\Sigma} - x_d) E_q + x_d V_s \cos \theta}{x_{d\Sigma}} \end{cases}$$

将 V_t 相对时间求导,并整理为:

$$\dot{V}_t = C_{v1} + C_{v2} E_f \quad (10)$$

式中:

$$C_{v1} = \frac{1}{V} l \left(\frac{x_q V_s \cos \theta}{x_{q\Sigma}} - \frac{x_d V_s \sin \theta}{x_{d\Sigma}} \right) \left(-1 \right) \cot \theta - \frac{(x_{d\Sigma} - x_d) x_{d\Sigma}}{x_{d\Sigma} T_{d0} V_s \sin \theta} P_e + (x_{d\Sigma} - x_d) x_{d\Sigma} \cdot \frac{(x_d - x_q) V_s \cos \theta}{(x_{d\Sigma})^2 x_{q\Sigma} T_{d0}} + \frac{(x_{d\Sigma} - x_d) (x_d - x_q)}{(x_{d\Sigma})^2 T_{d0}} V_s \cos \theta] \\ C_{v2} = \frac{x_{d\Sigma} - x_d}{V_s x_{d\Sigma} T_{d0}}$$

机端电压偏差积分项方程:

$$\dot{I}_v = V_t - V_t^* \quad (11)$$

式中: V_t^* 是电压的参考轨迹。

综合式 (8)、(9)、(10)和 (11),可得以 $[V_t, P_e, I_v]$ 为状态变量的预测模型状态方程式:

$$\dot{X}_f = f(X_f) + g(X_f) u(t), X_{f0} = X(0) \quad (12)$$

式中: $X_f = [V_t, P_e, I_v]^T$, $X_{f0} = [V_{t0}, P_{e0}, 1, 0]^T$

$$f(X_f) = \begin{bmatrix} C_{v1} \\ C_{p1} \\ \frac{1}{T_j} \left(\frac{P_m - P_e}{T_j} - D \left(-1 \right) \right) \\ V_t - V_r \end{bmatrix}, \\ g(X_f) = \begin{bmatrix} C_{v2} \\ C_{p2} \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}, u(t) = E_f$$

2.2 预测模型方程

设预测模型的步长为 t 由式 (3)、(4) 可以求得闭环预测模型输出方程:

$$X_p(t+t) = X_f(t) + V(X_f(t), t) + (t) \cdot W(X_f(t))U(t) + H[X(t) - X_f(t)] \quad (13)$$

按照预测控制理论中关于预测阶的定义,对式 (12) 分别计算出 V_t, P_e, I_v 的预测阶数依次为: $r_1 = 1, r_2 = 1, r_3 = 2, r_4 = 2$ 。并计算出式 (13) 的有关项:

$$(t) = \text{diag} \left[t, t, \frac{(t)^2}{2}, \frac{(t)^2}{2} \right] \quad (14)$$

$$W(t) = \begin{bmatrix} C_{v2} \\ C_{p2} \\ L_g^0 L_f^0(f_3) \\ L_g^0 L_f^0(f_4) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} C_{v2} \\ C_{p2} \\ \frac{\partial f_3}{\partial V_t} C_{v2} + \frac{\partial f_3}{\partial P_e} C_{p2} \\ \frac{\partial f_4}{\partial V_t} C_{v2} \end{bmatrix} \quad (15)$$

$$V(X_f, t) = \begin{bmatrix} L_f^0(f_1) \\ L_f^0(f_2) \\ L_f^0(f_3) + \frac{(t)^2}{2} L_f^1(f_3) \\ L_f^0(f_4) + \frac{(t)^2}{2} L_f^1(f_4) \end{bmatrix} =$$

$$\begin{bmatrix} C_{v1} \\ C_{p1} \\ f_3 + \frac{(t)^2}{2} \left(\frac{\partial f_3}{\partial V_t} f_1 + \frac{\partial f_3}{\partial P_e} f_2 + \frac{\partial f_3}{\partial t} f_3 \right) \\ f_4 + \frac{(t)^2}{2} \left(\frac{\partial f_4}{\partial V_t} f_1 + \frac{\partial f_4}{\partial P_e} f_2 + \frac{\partial f_4}{\partial t} f_3 \right) \end{bmatrix} \quad (16)$$

式中:

$$\frac{\partial f_3}{\partial V_t} = 0, \frac{\partial f_3}{\partial P_e} = -\frac{P_e}{T_j}, \frac{\partial f_3}{\partial t} = \frac{P_e - P_m}{T_j^2} - \frac{D}{T_j},$$

$$\frac{\partial f_4}{\partial V_t} = 1, \frac{\partial f_4}{\partial P_e} = 0, \frac{\partial f_4}{\partial t} = 0$$

2.3 跟踪目标方程

跟踪目标,即参考轨迹 $X_r(t) = [V_t^*, P_e^*, I_v^*]^T$ 是定点的,因为每台发电机的工作点是由调度部门指定的运行曲线,与之相应的各输出状态量在一定的运行区间均是常量,因此有

$$X_r(t+t) = X_r(t) \quad (17)$$

与此相对应的励磁控制器的参考控制量为 E_f^* 。

2.4 预测控制规律

选定误差矩阵 $Q = \text{diag}[q_1, q_2, q_3, q_4]$ 和误差修正系数矩阵 $H = \text{diag}[h_1, h_2, h_3, h_4]$ 以及控制权 $R = \text{diag}[r]$ 。将式 (14) ~ (17) 代入式 (7), 可得到预测控制规律:

$$u(t) = - [[(\partial W(X_f))^T Q (\partial W(X_f) + R)^{-1} * [[(\partial W(X_f))^T Q [X_f + V + HE - X_r - d - RE_f^*]$$

3 仿真结果

在单机无穷大系统模型上, 本文对所提出的非线性预测励磁控制规律 (NPEC) 和传统的积分型线性最优励磁控制 (LOEC) 进行了仿真比较考查。仿真模型的有关参数如下:

$$x_d = 2.12; x_q = 2.12; x_d' = 0.26; x_e = 0.24$$

$$D = 2; T_J = 4.06; T_{d0} = 5.8$$

3.1 有功调节扰动

在 1 s 时有功功率给定值阶跃调高 20% 的情况下, 系统有关状态量 V_t , P_e 和 ω 的响应曲线如图 2 ~ 4 所示。

由图 2 看出, NPEC 和 LOEC 一样在有功调节扰动时, 能保证发电机端电压不产生静态偏移。虽然 NPEC 的超调量较 LOEC 大, 但不超过 4%, 且收敛速度快, 振荡次数少。由图 3、4 可看出, NPEC 对于发电机电磁物理量和机械物理量的控制效果要明显优于 LOEC。

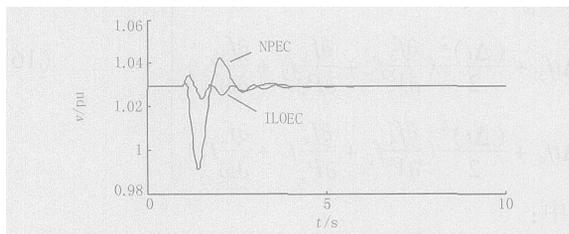


图 2 原动机输入扰动机端电压响应曲线

Fig 2 Terminal voltage response curves for prime mover input disturbance

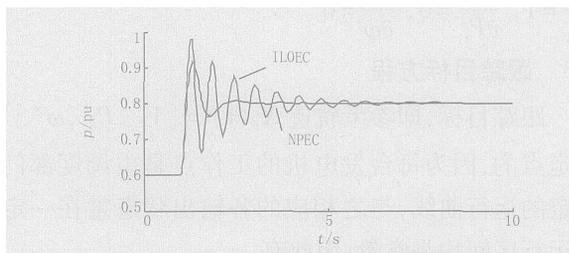


图 3 原动机输入扰动有功功率响应曲线

Fig 3 Active power response curves for prime mover input disturbance

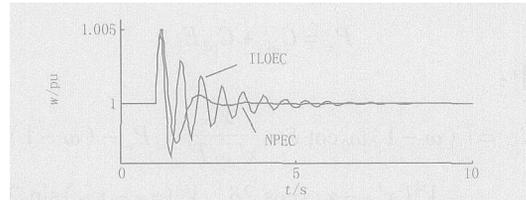


图 4 原动机输入扰动角速度响应曲线

Fig 4 Rotor angular speed response curves for prime mover input disturbance

3.2 调压扰动

在 1 s 时机端电压给定值阶跃调高到 1.1 (约 7%) 的情况下, 系统有关状态量 V_t , P_e 和 ω 的响应曲线如图 5 ~ 7 所示。由图 5 看出, 本文设计的 NPEC 可达到电压精确跟踪的要求。由图 6、7 可看出, NPEC 波动小, 振荡次数少, 收敛快。

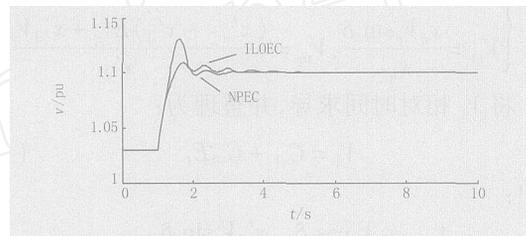


图 5 调压扰动机端电压响应曲线

Fig 5 Terminal voltage response curves for adjusting voltage disturbance

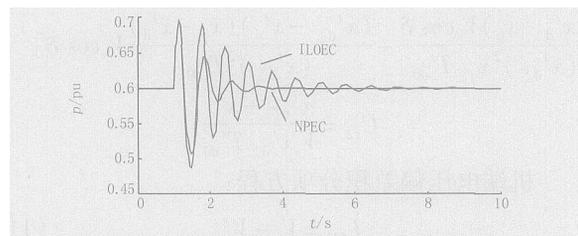


图 6 调压扰动有功功率输出响应曲线

Fig 6 Active power output response for adjusting voltage disturbance

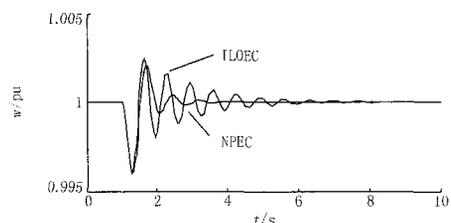


图 7 调压扰动角速度响应曲线

Fig 7 Rotor angular speed response curves for adjusting voltage disturbance

3.3 发电机高压侧线路三相短路扰动

在 0.5 s 时发生三相短路, 0.65 s 时切除故障并

重合闸成功的情况下。系统有关状态量 V_t 、 P_e 和的响应曲线如图 8~10 所示。从图 8、9 可看出,在 NPEC 控制律的作用下,发电机的端电压和电磁功率在故障切除后,能较快地恢复到故障前的运行状态;从图 10 可看出, NPEC 控制律在暂态过程中能很好地平息机组的机械振荡。

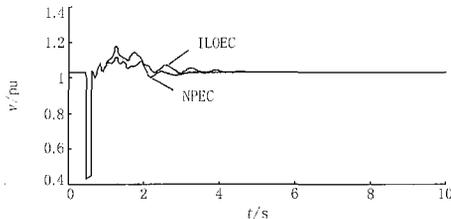


图 8 短路扰动机端电压响应曲线

Fig 8 Terminal voltage response curves for short circuit disturbance

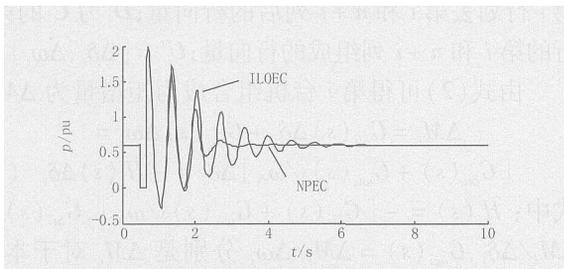


图 9 短路扰动有功功率输出响应曲线

Fig 9 Active power output response curves for short circuit disturbance

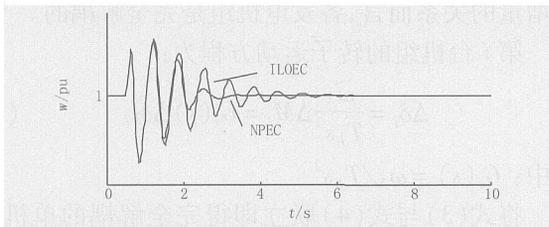


图 10 短路扰动角速度响应曲线

Fig 10 Rotor angular speed response curves for short circuit disturbance

4 结论

本文的研究表明:预测控制这类算法是适用于进行同步发电机非线性励磁控制设计的。在本文中,运用了模型算法控制(MAC)设计的基本原理,体现了预测控制的三大基本特点:预测模型、滚动优化和反馈校正。将所提出的设计思想应用于发电机组的非线性预测励磁控制设计中,找到了一种非线性预测励磁控制规律。数字仿真表明:该控制规律既能保证发电机在动态过程中具有良好的动态性能,提高发电机运行的稳定性,又能保证发电机在进

入稳态时具有良好的静态性能,不会因调功或调压而引起发电机端电压或有功功率对给定值的偏移。

参考文献:

- [1] 舒迪前. 预测控制系统及其应用 [M]. 北京:机械工业出版社, 1996.
SHU Di-qian Predictive Control System and Application [M]. Beijing: China Machine Press, 1996.
- [2] 席裕庚. 预测控制 [M]. 北京:国防大学出版社, 1993.
XI Yu-geng Predictive Control [M]. Beijing: National Defence University Press, 1993.
- [3] Oh T K, MAO Zhi-zhong Improved Model Algorithmic Control Scheme for Thyristor-controlled Series Capacitor [A]. IEEE PES Conference Proceedings on 2001 Power Engineering Society Summer Meeting 2001.
- [4] Ramakrishna G, Malik O P. Adaptive Control of Power Systems Using Radial Basis Function Network Identification and Predictive Control Calculation [A]. IEEE PES Conference Proceedings on 1999 Power Engineering Society Winner Meeting 1999. 989-994.
- [5] Mohamed E A, Swift G W. Prediction of Power System Generator Self-excitation Using Pattern Recognition [J]. IEEE Trans on Power Systems, 1988, 13 (4): 1404-1411.
- [6] Na M G. Auto-tuned PD Controller Using a Model Predictive Control Method for the Steam Generator Water Level [J]. IEEE Trans on Nuclear Science, 2001, 48 (5): 1664-1672.
- [7] 梁志珊, 张化光, 王红月, 等. 同步发电机励磁非线性预测控制 [J]. 中国电机工程学报, 2002, 20 (12): 52-56.
LIANG Zhi-shan, ZHANG Hua-guang, WANG Hong-yue, et al Nonlinear Predictive Control of Synchronous Machine Excitation [J]. Proceedings of the CSEE, 2002, 20 (12): 52-56.
- [8] LIANG Zhi-shan, ZHANG Hua-guang, WANG Hong-yue, et al. Holographic Robust Predictive Control of Synchronous Machine Excitation for Power Systems [A]. IEEE PES Conference Proceedings on 2000 Power Engineering Society Summer Meeting 2000. 181-185.

收稿日期: 2004-07-26; 修回日期: 2004-09-01

作者简介:

刘辉 (1978 -), 男, 博士研究生, 研究方向为电力系统预测控制; E-mail: l_h701@126.com

(下转第 9 页 continued on page 9)

- Eigenvalues of Power System Small Signal Stability [J]. Automation of Electric Power Systems, 1998, 22 (9): 38-42.
- [3] 赵书强,常鲜戎,等. 基于部分惯量中心等值的多机系统特征值计算 [J]. 电力系统自动化, 1998, 22 (9): 43-45.
ZHAO Shu-qiang, CHANG Xian-rong, et al A Partial Center of Inertia Transformation Based Method for Calculating Eigenvalues of Multimachine Power System [J]. Automation of Electric Power Systems, 1998, 22 (9): 43-45.
- [4] Omer B, Awed M. Power System Stability through Eigenvalues Analysis [J]. Adv Model Anal C, 2003, 58 (3-4): 1-9.
- [5] 李晓蕾,刘宪林,等. 基于模糊聚类分析的多机系统特征值计算 [J]. 电力自动化设备, 2003, 23 (1): 76-78
LI Xiao-lei, LU Xian-lin, et al Multimachine Power System Eigenvalue Calculation Based on Fuzzy Clustering Analysis [J]. Electric Power Automation Equipment, 2003, 23 (1): 76-78
- [6] 刘宪林. 基于同步机和水系统详细模型的电力系统小扰动稳定研究 (博士学位论文) [D]. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学, 2002
LU Xian-lin Power System Small Signal Stability Study Using Detailed Model of Synchronous Machine and Hydraulic System, Doctoral Dissertation [D]. Harbin: Harbin Institute of Technology, 2002

收稿日期: 2004-08-25; 修回日期: 2004-09-22

作者简介:

邵锐 (1977 -), 女, 硕士研究生, 研究方向为电力系统分析与控制; E-mail: shaorui@gs.zzu.edu.cn

刘宪林 (1955 -), 男, 教授, 主要从事电力系统分析与控制的教学与研究工作;

王克文 (1964 -), 男, 副教授, 主要从事电力系统分析和稳定研究。

Decoupling and reducing-order method for small signal stability analysis of multimachine power system

SHAO Rui, LU Xian-lin, WANG Ke-wen

(College of Electrical Engineering, Zhengzhou University, Zhengzhou 450002, China)

Abstract: A decoupling and reducing-order method is brought forward to analyze small signal stability of multimachine power system. Resolution forms of transfer function model for n decoupled single-machine system are calculated using the state equation of n -machine system. From full-order closed-loop transfer function of each decoupled single-machine system, reducing-order closed-loop transfer functions for each machine are obtained by the pole-zero cancellations. Using reducing-order closed-loop transfer function, small signal stability of each machine even the whole multimachine system is analyzed efficiently. The example confirms the validity of this method.

This project is supported by National Natural Science Foundation of China (No. 50177028).

Key words: electric power system; small signal stability; decoupling; reducing-order; transfer function

(上接第 5 页 continued from page 5)

李啸骢 (1959 -), 男, 博士, 副教授, 硕士生导师, 研究方向为控制系统计算机辅助设计、电力系统动态仿真及计算机实时控制、电力系统非线性控制、电力系统预测控制;

韦化 (1954 -), 男, 博士, 教授, 博士生导师, 研究方向为电力系统分析计算、内点算法在电力系统中的应用、电力系统控制。

Design of nonlinear predictive excitation control based on MAC

LU Hui, LI Xiao-cong, WEI Hua

(Guangxi University, Nanning 530004, China)

Abstract: A novel scheme for the design of nonlinear system control is proposed in this paper. By employing the principle of Model Algorithmic Control (MAC) in predictive control theory and introducing the deviation integral term of the terminal voltage, a nonlinear predictive excitation control is obtained based on MAC for the single-machine infinite system. The results of simulation show that the scheme can not only solve effectively the deviation problem of terminal voltage caused by the step disturbance of the prime mover, but also, it can improve both power angle stability and dynamic characteristic of the generator terminal voltage.

This project is supported by National Natural Science Foundation of China (No. 50467001).

Key words: nonlinear predictive control; model algorithmic control; excitation control