

可控串补自适应模糊阻尼控制策略研究

王 辉, 韦泽垠, 王耀南

(湖南大学 电气与信息工程学院, 湖南 长沙 410082)

摘要: 早期的模糊控制器设计, 主要依赖于专家经验, 而且只是采用近似推理的方法。针对可控串补非线性系统, 设计了一种直接自适应模糊控制器。建立模糊控制器逼近误差和控制器参数之间的线性关系, 用 Lyapunov 稳定性理论设计参数的自适应律, 不仅调节模糊规则结论参数, 同时调节隶属函数的参数。将该控制策略应用于含可控串补电力系统中, 提出可控串补自适应模糊阻尼控制器的设计方法。仿真表明该控制器对系统发电机摇摆具有良好的阻尼作用, 提高了系统的稳定性。

关键词: 自适应模糊控制; Lyapunov 稳定性理论; T-S 模型; 可控串补阻尼控制

中图分类号: TM 712

文献标识码: A

文章编号: 1006-6047(2006)10-0013-04

0 引言

早期的模糊控制器设计, 采用有经验的操作者的一套启发式决策规则, 根据系统所观察到的性能和要求构造模糊规则和隶属函数, 手动调节模糊控制器的参数。然而, 这种控制器主要依赖于专家经验, 而且只是采用近似推理的方法^[1]。近来, 许多研究者建议利用 Lyapunov 稳定性理论分析方法构造模糊控制器^[2-3], 将鲁棒自适应控制理论和模糊估计理论结合, 在保证系统稳定和性能更优的基础上自动调节模糊控制器的参数, 但在大量的研究中只局限于调节模糊规则结论参数, 这并不能保证模糊系统的估计特性最优, 从而影响控制器的性能。为了解决这个问题, 本文设计了不仅可调节模糊规则结论参数, 同时也可以调节隶属函数参数的模糊自适应控制器, 结合了传统控制算法和模糊逻辑算法的优点, 具有较高的稳定性和鲁棒性, 并且调节灵活^[1]。

可控串补(TCSC)是一种重要的 FACTS 装置, 加装在长距离高压输电线路中可起到灵活调节系统潮流、提高系统暂态稳定极限、增强系统阻尼、消除次同步谐振等作用。具有扰动的 TCSC 系统是一类非线性系统, 目前国内外对 TCSC 的作用和控制策略进行了大量的研究, 但通常都只是采用近似线性化模型^[4], 将线性化理论应用于非线性系统。本文将所设计的控制策略应用于含 TCSC 电力系统中, 提出 TCSC 自适应模糊阻尼控制器的设计方法。通过对系统处于不同运行点受到不同干扰下的仿真, 表明所提出的自适应模糊阻尼控制具有良好的鲁棒性。

1 TCSC 系统结构

含 TCSC 的单机无穷大系统如图 1 所示, 其中 G

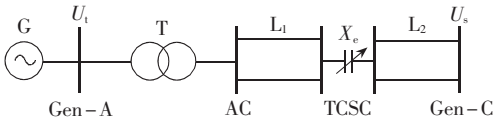


图 1 含 TCSC 单机无穷大电力系统简图

Fig.1 A single-machine infinite power system with TCSC

为发电机, U_s 为无限大系统母线电压, U_1 为发电机端电压, X_e 为 TCSC 的阻抗。

假定 $\mathbf{x} = [\Delta\delta, \Delta\omega, \Delta P]^T$ 且 $\mathbf{x} \in R^n$, $\Delta\delta$ 为功角微分, $\Delta\omega$ 为角速微分, ΔP 为功率变化量, 则安装 TCSC 的单机无穷大系统可用一阶非线性状态方程式表示:

$$\begin{cases} \dot{x}_1 = x_2 \\ \dot{x}_2 = -\frac{\omega_0}{T_J} x_3 \\ \dot{x}_3 = f(x_1, x_2, x_3) + g(x_1, x_2, x_3)u \\ y = \Delta\delta \end{cases} \quad (1)$$

其中 $f(\cdot)$ 和 $g(\cdot)$ 是未知非线性函数, u 为 TCSC 阻尼控制的输出量, T_J 为发电机转动惯量时间常数。

2 问题的陈述

考虑一种特定的 n 阶非线性系统:

$$\mathbf{x}^{(n)} = f(\mathbf{x}, \dot{\mathbf{x}}, \dots, \mathbf{x}^{(n-1)}) + g(\mathbf{x}, \dot{\mathbf{x}}, \dots, \mathbf{x}^{(n-1)})u_p \quad (2)$$

此处 $f(\cdot)$ 和 $g(\cdot)$ 是未知非线性函数, $u_p \in R$, $y \in R$ 分别为系统的输入和输出。假定 $\mathbf{x} = (x_1, x_2, \dots, x_n)^T = (x, \dot{x}, \dots, x^{(n-1)})^T \in R^n$ 是可测量的, 要求在所有信号有界的情况下, 输出 y 跟踪一个给定有界参考信号 $y_m(t)$ 。

3 模糊逻辑系统描述

由于模糊逻辑系统具有万能逼近特性, 其中具有广义高斯隶属函数 $\exp\left(-\left|\frac{x-b}{a}\right|^c\right)$ 的模糊逻辑系统改变其参数可以逼近三角形、梯形或一些其他

隶属函数^[1]。本文设计一种模糊控制器来逼近式(2)中的未知非线性函数 $f(\cdot)$ 和 $g(\cdot)$,并直接自动调节模糊控制器的参数使得逼近误差最小。

考虑一种多输入单输出模糊控制器,从状态向量 $(x, \dot{x}, \dots, x^{(n-1)})^T \in R^n$ 映射到输入 $u \in R$ 。模糊逻辑系统如图 2 所示,使用 Takagi - Sugeno 模型和以下的 IF - THEN 控制规则为

R_l : IF x_1 is F_1^l and $\dots$ and x_n is F_n^l
THEN $u = K_1^l g_1(\underline{x}) + K_2^l g_2(\underline{x}) + \dots + K_m^l g_m(\underline{x})$ (3)
其中, F_l^i 是模糊子集, $l=1,2,\dots,M$ 。 $g_1(\underline{x})$ 、 $g_2(\underline{x})$ 、 $\dots$ 、 $g_m(\underline{x})$ 是状态向量的任意已知函数。 K_1^l 、 K_2^l 、 $\dots$ 、 K_m^l 是模糊规则结论部分的常数。

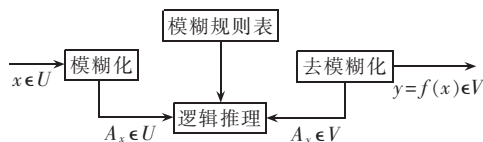


图 2 模糊逻辑系统基本框图

Fig.2 Fundamental block diagram of fuzzy logic system

本文采用乘积推理方法、单值模糊化和加权平均去模糊的方法,得到最后输出为

$$u(\underline{x}) = \frac{\sum_{l=1}^M (\prod_{i=1}^n \mu^{F_i^l}(x_i)) \cdot (K_1^l g_1(\underline{x}) + \dots + K_m^l g_m(\underline{x}))}{\sum_{l=1}^M (\prod_{i=1}^n \mu^{F_i^l}(x_i))} \quad (4)$$

用高斯函数作为模糊系统的隶属函数:

$$\mu^{F_i^l}(x_i) = \exp\left(-\left(\frac{x_i - c_i^l}{\sigma_i^l}\right)^2\right) \quad (5)$$

式中 $i=1,2,\dots,n$; $l=1,2,\dots,M$; $j=1,2,\dots,m$ 。

令 $\theta = (K_1^1, \dots, K_m^1, \dots, K_m^2, \dots, K_m^M)^T$, c, σ 分别为式(5)中的 c_i^l 、 σ_i^l 元素向量,且

$\xi(\underline{x}) = (\xi_1^1(\underline{x}), \dots, \xi_m^1(\underline{x}), \xi_1^2(\underline{x}), \dots, \xi_m^2(\underline{x}), \dots, \xi_m^M(\underline{x}))^T$
其中

$$\xi_j^l(\underline{x}) = \frac{g_j(\underline{x}) \prod_{i=1}^n \mu^{F_i^l}(x_i)}{\sum_{l=1}^M (\prod_{i=1}^n \mu^{F_i^l}(x_i))} \quad (6)$$

则

$$u(\underline{x}) = \theta^T \xi(\underline{x}) = \theta^T \xi(\underline{x} | c, \sigma) \quad (7)$$

定义模糊控制器和理想控制器之间的估计误差为

$$\varepsilon(\underline{x}) = u(\underline{x}) - u^*(\underline{x}) \quad (8)$$

定理 1^[2] 函数估计误差 $\varepsilon(\underline{x})$ 能被表达为

$$\varepsilon(\underline{x}) = \phi_\theta^T \xi(\underline{x} | c, \sigma) + \phi_c^T u_c + \phi_\sigma^T u_\sigma + d_u(\underline{x}) \quad (9)$$

其中 $\phi_\theta = \theta^* - \theta$, $\phi_c = c^* - c$, $\phi_\sigma = \sigma^* - \sigma$, $u_c = \frac{\partial u}{\partial c}$,

$u_\sigma = \frac{\partial u}{\partial \sigma}$, $|d_u| \leq w^* \cdot Y$, θ^* 、 c^* 、 σ^* 为模糊估计器的

最优参数向量, $w^* \in R^4$ 为一未知有界常数, $Y = [1, \|\theta\|, \|c\| \cdot \|\theta\|, \|\sigma\| \cdot \|\theta\|]^T$ 。

4 模糊自适应控制器设计

本文利用 Lyapunov 稳定性理论设计参数的自适应律,不仅调节模糊规则结论参数,同时调节隶属函数的参数。

设定 $e = y_m - y$, $\underline{e} = (e, \dot{e}, \dots, e^{(n-1)})^T$, $\underline{k} = (k_n, \dots, k_1)^T \in R^n$ 为多项式 $h(s) = s^n + k_1 s^{n-1} + \dots + k_n$ 在左半平面的根, $v(t) = y_m^{(n)} + \underline{k}^T \underline{e}$, 如果 $f(\cdot)$ 和 $g(\cdot)$ 为已知非线性函数,应用反馈线性化理论^[3],知道在某个平衡点将存在理想的反馈控制:

$$u^* = \frac{1}{g(\underline{x})} [-f(\underline{x}) + v(t)] \quad (10)$$

若应用以上控制 u^* 代替式(2)中的 u_p ,则得:

$$e^{(n)} + k_1 e^{(n-1)} + \dots + k_n e = 0 \quad (11)$$

即 $\lim_{t \rightarrow \infty} e(t) = 0$ 。

因此,将系统方程(2)两边分别加上 $g(\underline{x})u^*(\underline{x})$,根据式(9)(10),构造以下误差方程:

$$\dot{\underline{e}} = \underline{A} \underline{e} + \underline{g}(\underline{x}) [u(\underline{x}) - u^*(\underline{x})] = \underline{A} \underline{e} + \underline{g}(\underline{x}) \times [\phi_\theta^T \xi(\underline{x} | c, \sigma) + \phi_c^T u_c + \phi_\sigma^T u_\sigma + d_u(\underline{x})] \quad (12)$$

$$\underline{A} = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 & \dots & 0 \\ 0 & 0 & 1 & & 0 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & 0 & 0 & \dots & 1 \\ -k_n & -k_{n-1} & \dots & & -k_1 \end{bmatrix} \quad (13)$$

$$\underline{g}(\underline{x}) = [0 \quad 0 \quad \dots \quad g(\underline{x})]^T$$

因为 $\underline{k} = (k_n, \dots, k_1)^T \in R^n$ 为多项式 $h(s) = s^n + k_1 s^{n-1} + \dots + k_n$ 在左半平面的根,因此总能找到对称正定矩阵 P 满足以下 Lyapunov 函数方程:

$$\underline{A}^T P + P \underline{A} = -Q$$

其中, Q 为任意对角正定矩阵。

定义以下 Lyapunov 函数:

$$V = \frac{1}{2} \underline{e}^T P \underline{e} + \frac{g(\underline{x})}{2\gamma_1} \phi_\theta^T \phi_\theta + \frac{g(\underline{x})}{2\gamma_2} \phi_c^T \phi_c + \frac{g(\underline{x})}{2\gamma_3} \phi_\sigma^T \phi_\sigma + \frac{g(\underline{x})}{2\gamma_4} \phi_w^T \phi_w$$

根据式(12)得:

$$\begin{aligned} \dot{V} = & -\frac{1}{2} \underline{e}^T Q \underline{e} + \underline{e}^T P \underline{g}(\underline{x}) [\phi_\theta^T \xi(\underline{x} | c, \sigma) + \phi_c^T u_c + \phi_\sigma^T u_\sigma + \\ & d_u(\underline{x}) - \text{sgn}(\underline{e}^T P \underline{g}(\underline{x})) w^T Y] + \frac{1}{\gamma_1} \phi_\theta^T \dot{\phi}_\theta + \frac{1}{\gamma_2} \phi_c^T \dot{\phi}_c + \frac{1}{\gamma_3} \phi_\sigma^T \dot{\phi}_\sigma + \frac{1}{\gamma_4} \phi_w^T \dot{\phi}_w \leq -\frac{1}{2} \underline{e}^T Q \underline{e} + \frac{1}{\gamma_1} \times \\ & \phi_\theta^T g(\underline{x}) [\gamma_1 \underline{e}^T P_n \xi(\underline{x}) + \dot{\phi}_\theta] + \frac{1}{\gamma_2} \phi_c^T g(\underline{x}) [\gamma_2 \underline{e}^T \times \\ & P_n u_c + \dot{\phi}_c] + \frac{1}{\gamma_3} \phi_\sigma^T g(\underline{x}) [\gamma_3 \underline{e}^T P_n u_\sigma + \dot{\phi}_\sigma] + \frac{1}{\gamma_4} \times \\ & \phi_w^T g(\underline{x}) [\gamma_4 \text{sgn}(\underline{e}^T P \underline{g}(\underline{x})) \underline{e}^T P_n Y + \dot{\phi}_w] \end{aligned} \quad (14)$$

构建以下控制律^[5]:

$$u_p = u - u_{co}$$
$$u_{co}$$
 为补偿控制,控制器结构如图 3 所示。

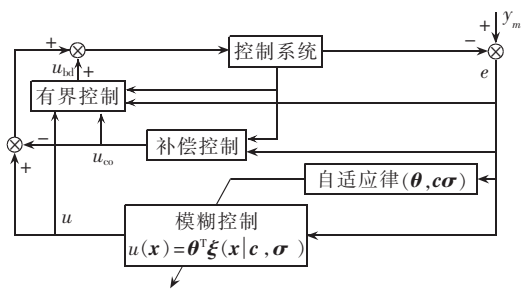


图 3 直接自适应模糊控制器结构图

Fig.3 Configuration of direct self-adaptive fuzzy controller

为了补偿模糊控制器的估计误差,减小估计误差 $\varepsilon(\underline{x})$ 的余项 $d_u(\underline{x})$ 对所设计的 Lyapunov 函数负面影响,根据式(9),设定 $u_{co} = \text{sgn}(\underline{e}^T \underline{P} \underline{g}(\underline{x})) \underline{w}^T \underline{Y}$ 。

选择自适应控制律为

$$\dot{\underline{\theta}} = \gamma_1 \underline{e}^T \underline{P}_n \underline{\xi}(\underline{x}), \dot{\underline{c}} = \gamma_2 \underline{e}^T \underline{P}_n u_c, \dot{\underline{\sigma}} = \gamma_3 \underline{e}^T \underline{P}_n u_{\sigma} \quad (15)$$

$$\dot{\underline{\omega}} = \gamma_4 \text{sgn}(\underline{e}^T \underline{P} \underline{g}(\underline{x})) \underline{e}^T \underline{P}_n \underline{Y}$$

其中, $\underline{P}_n$ 是矩阵 $\underline{P}$ 的最后一行,则由式(14)得:

$$\dot{\underline{V}} \leq -\frac{1}{2} \underline{e}^T \underline{Q} \underline{e} \leq 0$$

5 TCSC 模糊自适应阻尼控制器设计

对于图 1 所示的含 TCSC 的单机无穷大系统, TCSC 的控制输入与输出之间存在一定的惯性,本文将 TCSC 本身惯性及阻尼控制的惯性用如下—阶惯性放大环节表示^[6]:

$$\Delta X_e = \frac{k_e}{1+s\tau_c} u$$

式中 τ_c 为 TCSC 本身惯性时间常数和阻尼控制系统惯性时间常数之和; k_e 为阻尼控制的放大倍数,本文选 $k_e = 100$ 。

令 $y_m = 0$, 则 $e = y_m - y = -\Delta\delta, y^{(3)} = f(\underline{x}) + g(\underline{x})u$ 。

通过对含 TCSC 系统阻尼特性的研究可知^[4],在系统稳态运行时,如果受到一小的干扰导致功角减少,角速度及角加速度增大($\Delta\delta < 0, \Delta\omega > 0, \Delta P < 0$),发电机轴将受到加速力矩的作用,系统处于加速过程,应增大 TCSC 的触发角,减少容抗,增大线路的阻抗;相反如果功角增大,角速度及角加速度减少($\Delta\delta > 0, \Delta\omega < 0, \Delta P > 0$),发电机转子将受到制动作用,系统处于减速过程,应减少 TCSC 的触发角,增大容抗,减少线路阻抗。

本文选择 $\underline{x} = [\Delta\omega, \Delta P]^T$, 取 $\underline{k} = (k_2, k_1)^T = (1, 2)^T$ 使得多项式 $h(s) = s^2 + k_1 s + k_2 = 0$ 的根在左半平面,确定正定矩阵 $\underline{Q} = \text{diag}(10, 10)$, 得到对称正定矩阵

$\underline{P} = \begin{bmatrix} 15 & 5 \\ 5 & 5 \end{bmatrix}$, 选择学习律 $\gamma_1 = 200, \gamma_2 = 4, \gamma_3 = 10$,

$\gamma_4 = 0.1$; 定义 $\Delta\omega$ 和 ΔP 的模糊规则集 F_1^i 和 F_2^{j2} , 设定 $l_1 = l_2 = 1, 2, \dots, 5, \Delta\omega$ 的论域为 $[-0.01 \ 0.01]$, ΔP 的论域为 $[-1.0 \ 1.0]$, 经尺度变换到 $[-2 \ 2]$ 的基本论域,隶属函数如图 4 所示高斯函数(x 为输入, μ 为隶属度), θ, σ, c 的隶属函数也如图 4 所示。

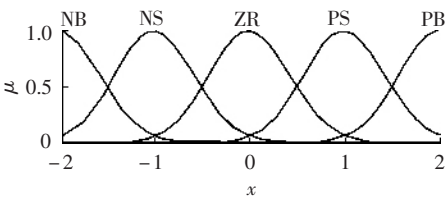


图 4 $\Delta\omega$ 和 ΔP 的模糊隶属函数

Fig.4 Membership functions of $\Delta\omega$ & ΔP

同时根据式(6)和输入隶属函数建立模糊基本函数:

$$\xi^{l_1, l_2}(\underline{x}) = \frac{\prod_{i=1}^2 \mu^{F_i^l}(x_i)}{\sum_{l=1}^5 (\prod_{i=1}^2 \mu^{F_i^l}(x_i))}$$

$g_j(\underline{x})$ 设为 1, 并考虑以下模糊规则:

R_l : IF $\Delta\omega$ is F_1^l and ΔP is F_2^l
THEN $u = K_0^l + K_1^l \Delta\omega + K_2^l \Delta P$

建立规则库, 设定 25 条规则, 参数 θ 由表 1 获得^[7]。

表 1 $\Delta\omega$ 和 ΔP 规则表
Tab.1 Rule of $\Delta\omega$ & ΔP

$\Delta\omega$	ΔP				
	NB	NS	ZR	PS	PB
NB	-0.3	-0.18	-0.06	0	0.03
NS	-0.24	-0.12	-0.03	0.03	0.075
ZR	-0.15	-0.075	0	0.075	0.15
PS	-0.075	-0.03	0.03	0.12	0.24
PB	-0.03	0	0.06	0.18	0.3

最后获得控制信号:

$$u(\underline{x}) = \underline{\theta}^T \underline{\xi}(\underline{x}) = \underline{\theta}^T \underline{\xi}(\underline{x} | \underline{c}, \underline{\sigma})$$

并采用以下自适应律调节参数 $\underline{\theta}, \underline{\sigma}, \underline{c}$:

$$\dot{\underline{\theta}} = \gamma_1 \underline{e}^T \underline{P}_n \underline{\xi}(\underline{x}), \dot{\underline{c}} = \gamma_2 \underline{e}^T \underline{P}_n u_c, \dot{\underline{\sigma}} = \gamma_3 \underline{e}^T \underline{P}_n u_{\sigma}$$
$$\dot{\underline{\omega}} = \gamma_4 \text{sgn}(\underline{e}^T \underline{P} \underline{g}(\underline{x})) \underline{e}^T \underline{P}_n \underline{Y}$$

6 仿真

为验证所设计的模糊自适应控制器对含 TCSC 装置系统的控制性能, 利用 Matlab 软件对图 3 所示单机无穷大系统进行仿真, 仿真时假定, 当系统稳态运行点分别为 $P_{e0} = 0.3, P_{e0} = 1.1$ 时, 系统受到如下干扰: $t = 0 \text{ s}$ 时, SC 母线发生 ($\Delta P = 0.3, \Delta Q = 0.2$) 的节点功率扰动, $t = 0.1 \text{ s}$ 后扰动消失。由于 $\Delta\omega$ 较难测量, ΔP_e 可由 TCSC 装设点测量的电压电流近似求得, 当忽略发电机的阻尼及发电机机械功率 P_m 恒定时, $\Delta\omega$ 可由下式求取:

$$\Delta\omega = \frac{\omega_0}{\tau_J} \int (\Delta P_m - \Delta P_e) dt$$

设定参数如下:

线路参数 $X_T=0.1, X_{11}=0.24, X_{12}=0.24$;

发电机参数 (Gen-A) $X_d=1.2, X_d'=0.2, X_q=1.2, X_q'=0.1, \tau_J=15.0, D=60, P_m=1.58, U=1.0 \angle 0^\circ$;

TCSC 参数 $C=119 \mu\text{F}, X_L=4.5 \Omega$ 。

仿真结果如图 5、6 所示, 图中实线为有自适应模糊控制器, 虚线为无自适应模糊控制器。

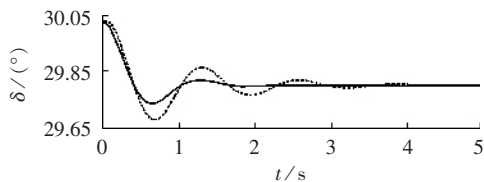


图 5 $P_{e0}=0.3$ 时功角曲线

Fig.5 Power angle curve when $P_{e0}=0.3$

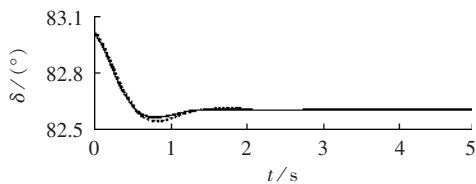


图 6 $P_{e0}=1.1$ 时功角曲线

Fig.6 Power angle curve when $P_{e0}=1.1$

从以上曲线可以看出: 系统在不同的运行点时, TCSC 的自适应模糊阻尼控制器对系统的阻尼、功角稳定均有明显改善, 这足以表明其适应性和鲁棒性。

7 结论

本文设计了一种新型的模糊自适应控制器, 可以在线调整模糊控制器的全部参数。将其应用于可控串补控制系统中, 提出了可以实时控制的 TCSC 自适应模糊阻尼控制器。仿真表明该控制器对系统发电机摇摆具有良好的阻尼作用, 提高了系统的稳定性, 为其在电力系统中的实际应用提供了可能。

参考文献:

[1] 张化光, 何希勤. 模糊自适应控制理论及其应用[M]. 北京: 北京

航空航天大学出版社, 2002.

- [2] LEU Yih-guang, LEE Tsu-tian. Observer-based adaptive fuzzy - neural control for unknown nonlinear dynamical systems [J]. IEEE Trans on S M C, 1999, 29(5): 583-591.
- [3] 贺超英, 王辉. 一类非线性系统的自适应控制[J]. 计算技术与自动化, 2003, 22(2): 39-42.
HE Chao-ying, WANG Hui. Adaptive control of a class of nonlinear system[J]. Computing Technology and Automation, 2003, 22(2): 39-42.
- [4] FANG D Z, Y. Xiao-dong. Oscillation transient energy function applied to the design of a TCSC fuzzy logic damping controller to suppress power system interarea mode oscillations [J]. IEE Proc Gener Transm Distrib, 2003, 150(2): 233-238.
- [5] WANG Li-xin. Stable adaptive fuzzy control of nonlinear systems [J]. IEEE Trans on Fuzzy Systems, 1993, 1(2): 146-155.
- [6] 律方成, 梁志瑞, 陈志业. 可控串补自适应模糊阻尼控制策略的设计与仿真[J]. 电力系统及其自动化学报, 2001, 13(6): 28-31.
LÜ Fang-cheng, LIANG Zhi-rui, CHEN Zhi-ye. The design and simulation of adaptive fuzzy damping controller of TCSC [J]. Proceedings of the EPSA, 2001, 13(6): 28-31.
- [7] KACZOREK T, STAJNIAK A. Local reachability and minimum energy control of 2-D continuous - discrete linear systems[C]//Proc 10th Int Conf Systems Engineering. UK: [s.n.], 1994: 558 - 565.
- [8] ALOLOWI B, KHALIL H K. Robust adaptive output feedback control of nonlinear systems without persistence of excitation[J]. Automatic, 1997, 33(11): 2025-2033.
- [9] ZHAO Ya-nan, COLLINS E G. Fuzzy PI control of an industrial weigh belt feeder[C]//Proceedings of the American Control Conference. Anchorage, USA: [s.n.], 2002: 3534-3539.
- [10] LEE H J, PARK J B, CHEN G. Robust fuzzy control of nonlinear systems with parametric uncertainties[J]. IEEE Trans on Fuzzy Systems, 2001, 9(2): 369-379.

(责任编辑: 李 玲)

作者简介:

王 辉(1960-), 男, 湖南沅江人, 教授, 研究方向为非线性控制、智能控制、自适应控制、高等电力电子技术(E-mail: hwang1960@163.com);

韦泽垠(1981-), 男, 广西南宁人, 硕士, 研究方向为模式识别与智能系统。

Study of self-adaptive fuzzy damping control strategy of TCSC

WANG Hui, WEI Ze-yin, WANG Yao-nan

(College of Electrical & Information Engineering, Hunan University, Changsha 410082, China)

Abstract: The earlier design of fuzzy controller is mostly based on experts' experience and only the approximate consequence method is adopted. Based on the nonlinear system of TCSC (Thyristor Controlled Series Capacitor), a direct self-adaptive fuzzy controller is designed. The linear relationship between the approach error and fuzzy controller parameters is established firstly. The parameter self-adaptive rule designed by Lyapunov stability theory adjusts both fuzzy rule conclusion parameters and membership function parameters. The control strategy is then applied in the power system with TCSC and a design method of TCSC self-adaptive fuzzy damping controller is provided. The simulation shows that the controller has good damping function to generator swing and the system stability is improved.

Key words: adaptive fuzzy control; Lyapunov stability theory; T-S model; TCSC damping control