

电力系统励磁控制机端电压的迭代学习补偿

于少娟^{1,2}, 许志强³, 白敬彩¹

(1. 太原理工大学机械电子工程研究所, 山西 太原 030024; 2. 太原科技大学电子信息工程学院, 山西 太原 030024; 3. 太原铁路局车辆段, 山西 太原 030024)

摘要: 为提高电力系统稳定性而采取的励磁控制需要有较强的维持机端电压的能力, 通过对实际输出波形幅值的检测, 将设定幅值与检测幅值的偏差及其偏差变化率作为学习控制器的输入, 进行补偿控制, 提高实验结果的准确性, 基于单机无穷大系统将开环迭代学习控制规律与常规PID控制规律进行了比较, 仿真结果表明励磁控制迭代学习补偿器具有精度高、快速性好的特点。

关键词: 励磁控制; 迭代学习补偿; 机端电压

Iterative learning compensation design for terminal voltage of power systems excitation controller

YU Shao-juan,^{1,2} XU Zhi-qiang³, BAI Jing-cai¹

(1. Institute of Mechatronic Engineering, Taiyuan University of Technology, Taiyuan 030024, China;

2. Electronic Information Engineering DEP, Taiyuan University of Science and Technology, Taiyuan 030024, China;

3. Taiyuan Rolling Stock Depot of Taiyuan Railway Branch Bureau, Taiyuan 030024, China)

Abstract: To improve power system stability and maintain the generator terminal voltage on constant value, through the actual output amplitude of the wave detection, the error between amplitude set and the actual amplitude detected and its changing rate act as an input of learning controller, and the method of iterative learning control compensation is applied to excitation controller, to improve the accuracy of the results. Based on single machine to infinite system, the open-loop and closed-loop iterative learning control algorithms are compared with traditional PID control law. Simulation results show that the designed excitation controller with iterative learning compensator with high precision, fast and good characteristics.

Key words: excitation controller; iterative learning compensate; terminal voltage

中图分类号: TM331 文献标识码: A 文章编号: 1674-3415(2009)07-0040-05

0 引言

电力系统是一个结构复杂、具有非线性、不确定性等特性的典型高维动态大系统。为提高电力系统稳定性而采取的措施中, 励磁控制是最行之有效而又经济的手段之一, 励磁控制系统除了完成其基本任务之外, 还担负改善系统的动态品质的任务。而在发电机正常运行情况下, 维持电压水平被看作是励磁控制系统的最基本最主要的任务, 究其原因首先是保证电力系统运行设备的安全。电力系统中的运行设备都有其额定运行电压和最高运行电压, 保持发电机端电压在允许水平上, 是保证发电机及电力系统设备安全运行的基本条件之一, 这就要求发电机励磁系统不但能够在静态下, 而且能在大扰动后的稳态下保证发电机电压在给定的允许水平上。其次要保证发电机运行的经济性。发电机在

额定值附近运行是比较经济的。规程上规定, 大型发电机运行电压不得低于额定值的 90%, 当发电机电压低于 95%时, 发电机应限负荷运行, 其他电力设备也有此问题。再者提高维持发电机电压能力的要求和提高电力系统稳定的要求在许多方面是一致的。由此看来励磁系统应该能维持发电机端(或给定控制点)电压在给定水平。但通常这一电压会随着负荷的变化而发生改变。

针对这一问题, 美国学者提出了一种带有电力系统稳定器(PSS)^[2]的励磁控制方式, 增加一个按发电机转速、功率、频率的二阶超前校正环节。当前, 在励磁系统中获得了广泛应用。但是这种方式仍然存在下述两点不足: 一是由于电力系统稳定器参数的选择多依据特定运行条件来确定, 当系统参数改变时, PSS 设定的有效抑制频率段将偏离系统振荡实际频率段, 控制效果会显著的减弱。二是这

种附加的单变量的励磁控制方式, 即使在小于干扰条件下, 从理论上就不能给出最佳控制效果, 只能在设计得当的条件下给出较好的控制。随着控制理论和技术的发展, 基于现代控制理论的最优控制、鲁棒控制及变结构控制等应用于励磁控制系统中也取得了令人瞩目的成绩。但这些控制方式是基于被控对象的精确数学模型来设计的, 理论上这一类方法不具备对系统参数不确定性的鲁棒性, 用于解决大系统、适应性和强非线性带来的问题时有很大局限性。同时基于样本实验的智能控制、人工神经网络控制、模糊控制、专家系统等, 这类控制的效果决定于样本的质量、数量和试验方法, 仍然很难解决大系统、适应性和非线性等提出的问题。

与此同时, 迭代学习控制理论在近二十多年取得突破性进展, 并且在电力系统中的研究也逐步引起了人们的重视。迭代学习控制通过得到的经验信息, 在控制过程中不断地修正控制量, 逐步改进自身的未来性能, 而且不依赖于被控系统的详细模型, 对于解决电力系统的非线性问题具有很好的适应性。

综上所述, 本文针对电力系统励磁控制中机端电压幅值的衰减直接影响系统的动态品质及其稳定性的问题, 根据迭代学习控制的特点, 利用其原理, 通过对输出波形的检测, 采用开闭环学习算法设计一种经迭代学习控制器进行实时补偿修正, 达到维持该电压在给定水平上的目的。保证较高的控制精度。基于单机无穷大系统, 进行仿真研究, 验证所提方法的可行性。

1 单机无穷大系统模型

励磁控制系统的数学模型如将各个模型的动力过程都考虑进去, 则过于复杂。因此, 为研究方便, 本文对电力系统进行简化, 采用如图 1 所示的具有双回线的单机无穷大母线输电系统。

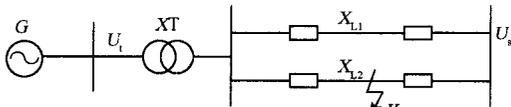


图 1 单机无穷大系统

Fig.1 Single machine to infinite system

假定系统采用晶闸管整流的自并励励磁装置, 发电机与电力系统处于同步运行状态, 输入同步发电机的机械功率在暂态过程中保持不变, 采用隐极式同步发电机, 其转子绕组方程如式(1)所示:

$$\begin{cases} \dot{E}'_q = \frac{1}{T'_{d0}} [E_f - (x_d - x'_d)I_d - E'_q] \\ \dot{E}''_q = \frac{1}{T''_{d0}} [E'_q - (x'_d - x''_d)I_d - E''_q] + \dot{E}'_q \\ \dot{E}'_d = \frac{1}{T'_{q0}} [-E'_d + (x_q - x'_q)I_q] \\ \dot{E}''_{d0} = \frac{1}{T''_{q0}} [E'_d + (x'_q - x''_q)I_q - E''_{d0}] + \dot{E}'_d \end{cases} \quad (1)$$

若以 δ 表示发电机 q 轴电势矢量 E_q 或 E'_q 与无穷大系统母线电压 U_s 之间的夹角, 那么也可以将无穷大母线电压分成 d 轴分量与 q 轴分量:

$$u_{sd} = U_s \sin \delta, \quad u_{sq} = U_s \cos \delta$$

则发电机定子电流可表示为

$$i_d = \frac{E'_q - U_s \cos \delta}{x'_{d\Sigma}}, \quad i_q = \frac{U_s \sin \delta}{x_{q\Sigma}} \quad (2)$$

闭路时间常数与开路时间常数有以下关系:

$$\frac{T'_d}{T'_{d0}} = \frac{x'_d}{x_d}, \quad \frac{T''_d}{T''_{d0}} = \frac{x''_d}{x'_d} \quad (3)$$

将式(2)、(3)代入式(1)中得发电机六阶模型如下:

$$\begin{cases} \dot{\delta} = \omega - \omega_0 \\ \dot{\omega} = \frac{\omega_0 P_m}{H} - \frac{D}{H}(\omega - \omega_0) - \frac{\omega_0 E'_q U_s}{H x'_{d\Sigma}} \sin \delta \\ \dot{E}'_q = \frac{E'_q}{T'_d} + \frac{1}{T'_{d0}} \frac{(x_d - x'_d)}{x'_{d\Sigma}} U_s \cos \delta + \frac{1}{T'_{d0}} U_f \\ \dot{E}''_q = \frac{E'_q}{T'_d} - \frac{1}{T'_d} E'_q - \frac{E'_q}{T''_{d0}} + \frac{1}{T''_{d0}} \frac{(x'_d - x''_d)}{x'_{d\Sigma}} U_s \cos \delta + \frac{1}{T''_{d0}} \frac{(x'_d - x''_d)}{x'_{d\Sigma}} U_s \cos \delta + \frac{1}{T''_{d0}} U_f \\ \dot{E}'_d = \frac{E'_d}{T'_{q0}} + \frac{1}{T'_{q0}} \frac{(x_q - x'_q)}{x_{q\Sigma}} U_s \sin \delta \\ \dot{E}''_{d0} = \frac{E'_d}{T'_{q0}} - \frac{E'_d}{T'_{q0}} - \frac{E'_d}{T''_{q0}} + \frac{1}{T''_{q0}} \frac{(x'_q - x''_q)}{x_{q\Sigma}} U_s \sin \delta + \frac{1}{T''_{q0}} \frac{(x'_q - x''_q)}{x_{q\Sigma}} U_s \sin \delta \end{cases} \quad (4)$$

其中: $x'_{d\Sigma} = x'_d + x_T + x_L$, $x_{q\Sigma} = x_q + x_T + x_L$,

$$x_{L1} = x_{L2} = 2x_L$$

式中: δ 为发电机功角; ω 为发电机转子角速度; ω_0 为发电机稳态角速度; H 为机械惯性常数; D 为阻尼系数; E'_q 为 q 轴暂态电势; x_d 和 x'_d 分别为发电机 d 轴同步电抗和瞬变电抗; x_q 为发电机 q 轴同步电抗; x_T 和 x_{L1} 分别为变压器和线路电抗; T'_{d0} 为发电机定子开路时励磁绕组的时间常数; U_f 为励磁绕组输入电压; U_s 为无穷大系统电压; P_m 为

发电机的机械功率。式中除了 δ 的单位为(rad), ω 的单位为(rad/s), 时间常数 H 和 T'_{d0} 的单位为(s)外, 其余均为标么值。

系统写成标准仿射非线性系统的形式为

$$\begin{cases} \dot{x}(t) = f(t, x(t)) + B(t, x(t))u(t) \\ y(t) = g(t, x(t)) \end{cases} \quad (5)$$

其中: $x(t) \in R^n$, $u(t) \in R^r$, $y(t) \in R^m$ 分别为系统的状态、控制和输出向量。 $f(\cdot)$, $B(\cdot)$, $g(\cdot)$ 分别为相应维数的矩阵或矩阵函数, f 和 g 的结构和参数未知, B 的参数未知。函数 $f(\cdot)$, $B(\cdot)$ 在 $t \in [0, T]$ 时间段内分段连续, $g(\cdot)$ 对于 x , t 均具有偏导数。 $y(t) = U_t = \sqrt{U_{td}^2 + U_{tq}^2} = g(t, x(t))$ 为被控系统输出。式中

$$x = [\delta \quad \omega \quad E'_q \quad E'_d \quad E'_q \quad E'_d]^T$$

$$B(t) = \begin{bmatrix} 0 & 0 & \frac{1}{T'_{d0}} & \frac{1}{T'_{d0}} & 0 & 0 \end{bmatrix}^T$$

$$f(t, x(t)) = \begin{bmatrix} \omega - \omega_0 \\ \frac{\omega_0 P_m - D}{H}(\omega - \omega_0) - \frac{\omega_0 E'_q U_s}{H x'_{d\Sigma}} \sin \delta \\ -\frac{E'_q}{T'_d} + \frac{1}{T'_{d0}} \frac{(x_d - x'_d)}{x'_{d\Sigma}} U_s \cos \delta \\ \frac{E'_q}{T'_d} - \frac{1}{T'_d} E'_q - \frac{E'_q}{T'_{d0}} + \frac{1}{T'_{d0}} \frac{(x_d - x'_d)}{x'_{d\Sigma}} U_s \cos \delta + \frac{1}{T'_{d0}} \frac{(x'_d - x_d)}{x'_{d\Sigma}} U_s \cos \delta \\ -\frac{E'_q}{T'_{q0}} + \frac{1}{T'_{q0}} \frac{(x_q - x'_q)}{x_{q\Sigma}} U_s \sin \delta \\ \frac{E'_q}{T'_{q0}} - \frac{E'_q}{T'_{q0}} - \frac{E'_d}{T'_{q0}} + \frac{1}{T'_{q0}} \frac{(x'_q - x_q)}{x_{q\Sigma}} U_s \sin \delta + \frac{1}{T'_{q0}} \frac{(x_q - x'_q)}{x_{q\Sigma}} U_s \sin \delta \\ U_{td} = \frac{x_q U_s \sin \delta}{x_{q\Sigma}}, \\ U_{tq} = \frac{(x_r + x_l) E'_q + x'_d U_s \cos \delta}{x'_{d\Sigma}} \end{bmatrix}$$

2 基于迭代学习补偿控制的励磁控制器设计

2.1 迭代学习算法

迭代学习控制是一种崭新的智能控制方法, 主要是针对具有重复性或周期性的被控对象, 利用先前的控制经验和测量得到的跟踪误差信号, 通过一定的学习律和反复训练的过程对下一次的控制量进行前馈修正, 从而寻找一个理想的控制输入信号, 使被控系统在有限时间和区间上输出高精度的跟踪理想轨迹。近年来迭代学习控制理论体系越来越成熟, 应用领域也日益广泛。

开闭环迭代学习控制算法同时利用当前的输出误差 $e_{k+1}(t)$ 和上一次的输出误差 $e_k(t)$ 来构成当前的控制输入, 则控制规律为

$$u_{k+1}(t) = u_k(t) + P_o(t)e_k(t) + I_o(t) \int_0^t e_k(\tau) d\tau + D_o(t)\dot{e}_k(t) + P_c(t)e_{k+1}(t) + I_c(t) \int_0^t e_{k+1}(\tau) d\tau + D_c(t)\dot{e}_{k+1}(t) \quad (6)$$

式中: $e_k(t) = y_d(t) - y_k(t)$ 为第 k 次运行时 t 时刻的跟踪误差, $P_o(t)$ 和 $P_c(t)$, $I_o(t)$ 和 $I_c(t)$, $D_o(t)$ 和 $D_c(t)$ 分别为开闭环比例、积分及微分项的学习增益矩阵且有界。

算法的基本结构如图 2 所示。

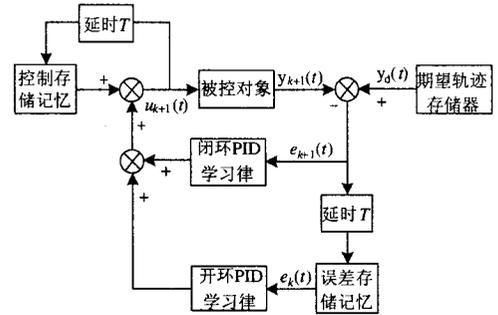


图 2 开闭环 PID 型迭代学习控制的基本结构
Fig.2 Structure of open-closed loop PID iteration learning control

2.2 控制器设计

如果我们把功角的每一次摇摆看作一个控制周期, 那么, 电力系统机电暂态稳定控制便可看作是周期性的控制。

考虑动态方程式(5)所示非线性被控系统, 要求被控对象在 $t \in [0, T]$ 内系统输出 $y(t)$ 精确地跟踪期望输出 $y_d(t)$, 在第 k 次运行时, 系统 (5) 的动态方程可表示为

$$\begin{cases} \dot{x}_k(t) = f(t, x_k(t)) + B(t, x_k(t))u_k(t) \\ y_k(t) = g(t, x_k(t)) \end{cases} \quad (7)$$

采用如式 (6) 开闭环 PID 型迭代学习律

假设系统满足如下条件:

(1) 期望轨迹 $y_d(t)$ 在 $t \in [0, T]$ 上是可达的,

即仅存在唯一的有界输入 $u_d(t)$, 使得系统的状态和输出为期望值 $x_d(t)$ 和 $y_d(t)$, 此时有下式成立:

$$\begin{cases} \dot{x}_d(t) = f(t, x_d(t)) + B(t, x_d(t))u_d(t) \\ y_d(t) = g(t, x_d(t)) \end{cases} \quad (8)$$

(2) 函数 $f(\cdot)$, $B(\cdot)$, $g_x(\cdot)$, $g_t(\cdot)$ 在时间域 $[0, T]$ 上满足一致全局 Lipschitz 条件, 存在常数 k_f ,

k_g, k_{g_x}, k_{g_t} 使得下式成立

$\|h(x_1(t), t) - h(x_2(t), t)\| \leq k_h \|x_1(t) - x_2(t)\|$, 其中 $h \in [f, g, B, g_x, g_t]$.

(3) 第 k 次迭代的系统初始状态误差满足 $\|x_d(0) - x_k(0)\| \leq b_{x_0}, \forall k$.

(4) 存在矩阵 $D_c(t) \in R^{m \times m}$, 使 $\|I + D_c(t)g_x(t, x(t))B(t, x(t))\| \neq 0, \forall t \in [0, T]$, 且 $g_x(t, x(t))B(t, x(t))$ 满秩.

(5) 函数 $g_x(\cdot)$ 和 B 有界, 分别用 b_{g_x} 和 b_B 表示它们的上界, 即 $b_{g_x} = \sup_{t \in [0, T]} \|g_x(t, x(t))\|$,

$$b_B = \sup_{t \in [0, T]} \|B(t, x(t))\|.$$

为了简化证明过程, 采用下列记号:

$$b_{P_o} = \sup_{t \in [0, T]} \|P_o(t)\|, \quad b_{I_o} = \sup_{t \in [0, T]} \|I_o(t)\|,$$

$$b_{D_o} = \sup_{t \in [0, T]} \|D_o(t)\|, \quad b_{P_c} = \sup_{t \in [0, T]} \|P_c(t)\|,$$

$$b_{I_c} = \sup_{t \in [0, T]} \|I_c(t)\|, \quad b_{D_c} = \sup_{t \in [0, T]} \|D_c(t)\|,$$

$$O(\lambda^{-1}) = \frac{1 - e^{-\lambda T}}{\lambda}, \quad b_{u_d} = \sup_{t \in [0, T]} \|u_d(t)\|,$$

$$g_{x_k} = \left. \frac{\partial g(t, x)}{\partial x} \right|_{x=x_k(t)}, \quad g_{t_k} = \left. \frac{\partial g(t, x)}{\partial t} \right|_{x=x_k(t)},$$

$$g_{x_d} = \left. \frac{\partial g(t, x)}{\partial x} \right|_{x=x_d(t)}, \quad g_{t_d} = \left. \frac{\partial g(t, x)}{\partial t} \right|_{x=x_d(t)},$$

$$a_0 = b_{P_o} k_g + b_{D_o} (k_{g_x} f_d + B_d u_d k_{g_x} + b_{g_x} k_f + b_{g_x} u_d k_B + k_{g_t})$$

$$c_0 = b_{I_o} k_g,$$

$$b_0 = b_{P_c} k_g + b_{D_c} (k_{g_x} f_d + B_d u_d k_{g_x} + b_{g_x} k_f + b_{g_x} u_d k_B + k_{g_t})$$

$$d_0 = b_{I_c} k_g,$$

$$\theta = k_f + k_B b_{u_d},$$

$$\eta = \sup_{t \in [0, T]} \|(I + D_c(t)g_x(t, x)B(t, x))^{-1}\|.$$

考虑可重复操作的非线性时变系统(5), 满足假设条件(1)~(5), 在开闭环 PID 型迭代学习律式(6)的作用下, 如果存在 $\rho_1 = \sup_{t \in [0, T]} \|I - D_o g_x(t)B(t)\|$,

使得 $\mu \cdot \bar{\rho}_1 < 1$ 成立, 则存在一个足够大的正常数 λ , 使得当 $k \rightarrow \infty$ 时, $\|y_d(t) - y_k(t)\|_\lambda$, $\|u_d(t) - u_k(t)\|_\lambda$, $\|x_d(t) - x_k(t)\|_\lambda$ 的值有界, 其值

与初始状态误差 $\delta x(0)$ 的值有关, 且当 $\delta x(0)$ 趋于 0 时, 通过反复迭代, 跟踪误差界渐近收敛到 0.

3 仿真结果及分析

为研究发电机的带开闭环 PID 型迭代学习补偿励磁控制规律的效果, 借助 Matlab/Simulink 仿真工具对图 1 所示单机无穷大系统进行仿真, 并将它们与常规 PID 反馈控制规律进行比较.

首先进行期望轨迹的选取, 期望轨迹必须具备可达性, 即可以让迭代学习控制器能够跟踪上, 否则再理想的性能指标也不可能实现. 本文在仿真时将理想的机端电压 $U_t = 1$ 作为期望轨迹, 虽然迭代学习跟踪的轨迹不完全是理想的机端电压, 但能满足允许机端电压在额定电压的 $\pm 5\%$ 范围波动的要求.

其次确定励磁电压的大小, 应具有足够大的强励顶值电压及电压上升速度. 励磁顶值电压是指励磁功率单元在强行励磁时可能提供的最高发电机励磁电压, 它与发电机额定工况时的励磁电压之比称为强励倍数. 电压上升速度通常是指强励开始后最初 0.5 s 内励磁电压上升的倍数, 它是励磁控制系统的重要性能指标之一. 从改善电力系统运行条件和提高系统暂态稳定性来说, 希望强励顶值电压和电压上升速度越大越好, 但这往往受到发电机结构和造价的限制, 一般取强励顶值电压倍数为 1.8~2, 而电压上升速度为每秒 2 倍左右.

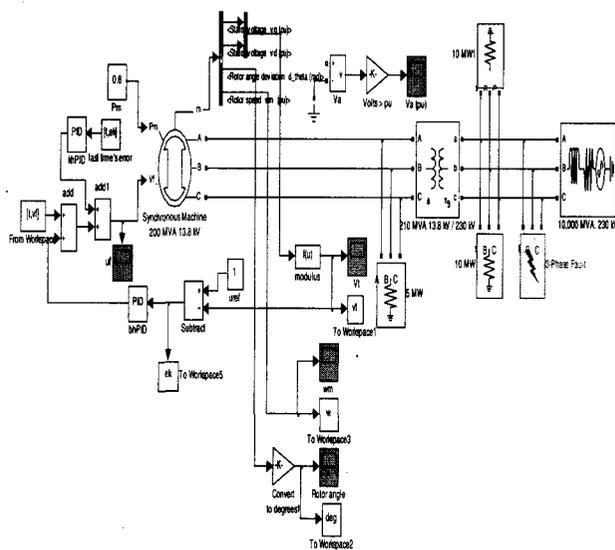


图 3 单机无穷大系统仿真图

Fig. 3 Simulation of single machine to infinite system

采用开闭环 PID 型迭代学习励磁控制的单机无穷大系统仿真图如图 3 所示.

仿真中预设的故障为：当 $t = 0.1$ s 时，变压器高压侧 k 点发生三相对地短路，当 $t = 0.2$ s 时，保护动作并切除故障线路，单回路运行。仿真过程中假设输入机械功率保持恒定， $P_m = P_{m0} = 0.80$ p.u.， $P_n = 10^{10}$ MVA。

根据收敛条件式给出开闭环 PID 型迭代学习控制器参数分别为

$$P_o = 2, I_o = 0.3, D_o = 0.3, P_c = 4, I_c = 0.1, D_c = 4。$$

开闭环 PID 型迭代学习控制器仿真图如图 4 所示。

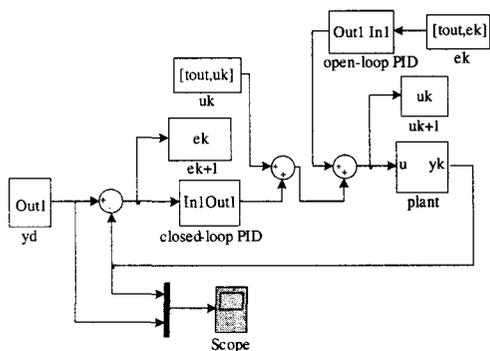


图 4 开闭环学习控制仿真图
Fig.4 Simulation of open-closed loop PID iteration learning control

在常规 PID、开环和开闭环 PID 型迭代学习控制律的作用下，系统的动态响应曲线如图 5、6 所示。

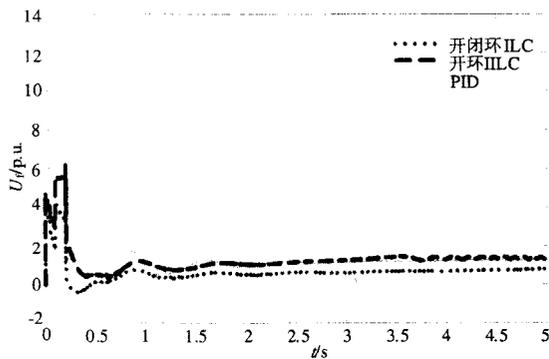


图 5 机端电压误差曲线
Fig.5 Error curve of terminal voltage

从仿真结果图中不难看出，采用迭代学习控制算法设计的两种励磁控制器维持机端电压的能力明显优于常规 PID 控制。采用开环迭代学习算法需迭代 13 次才可将机端电压维持在规定的范围内，由于没有反馈，抗干扰能力差，机端电压有一些波动，而采用开闭环迭代学习算法只需迭代 3 次即可满足要

求，收敛速度快，且振荡幅度也远小于常规 PID 控制。

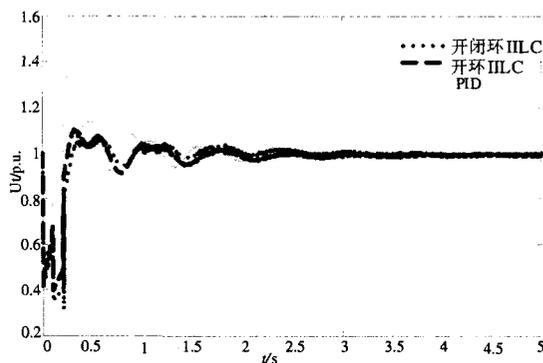


图 6 机端电压输出曲线
Fig.6 Output curve of terminal voltage

4 结论

本文通过理论及仿真实验研究结果表明带迭代学习补偿的控制器对于同步发电机电压运行点变动的适应范围较宽，所设计的控制规律显著地改善了电力系统暂态过程的动态响应，具有较强的维持同步发电机机端电压的能力，能使发电机端电压迅速收敛到允许范围内，有效增强了发电机励磁系统的阻尼，提高电力系统稳定性。并且能保持系统同步运行。这种控制方法可以完全不考虑电力系统数学模型，从而使控制易于实现。对于不同输入信号，只需调整控制器的参数即可得到满意的控制效果，因而控制具有良好的鲁棒性。

5 前景展望

本文将迭代学习控制理论应用于励磁控制系统的设计中，取得了良好的效果，但这还只是处于摸索的阶段，由于该方法较其它控制方法能较好地处理强非线性和时变性问题，因此，其应用前景将不可限量。在本设计中控制目标只有一个机端电压，因此，很难解决控制系统的多目标控制问题，若采用多控制变量用于励磁控制器的设计中，将是我们今后的努力方向。

参考文献

[1] 韩英铎,谢小荣,崔文进.同步发电机励磁控制研究的现状与走向[J].清华大学学报, 2001, 41(4/5):142-146.
HAN Ying-duo, XIE Xiao-rong, CUI Wen-jin. Statusquo and Future Trend in Research on Synchronous Generator Excitation Control[J]. Journal of Tsinghua University (Sci&Tech), 2001, 41(4 / 5): 142-146 .

SSD、SCD 文件。由于本工具采用解析 Schema 文件生成语法结构树来得到元素定义, 具有较好的灵活性和通用性, 在制作山东省保护信息系统工程配置文件时, 体现了这一点。山东省的《继电保护及故障信息系统通信接口规范》中对 IEC61850-6 的 SCL 进行了扩展, 如对一次资源对象元素以及 IED 元素扩展一个 uri 属性^[6], 本工具不用修改任何程序, 只要指定使用山东省保护信息系统的 Schema 文件, 就能自动改变树形视图的层次结构和属性编辑界面, 生成符合其规范的配置文件。

5 结语

在实际使用过程中, 本工具还有一些不足的地方。IEC61850 中一些重要的配置如 GOOSE 配置、报告控制块配置、采样控制块配置等, 使用本工具配置时先要在树形视图上添加节点, 再在属性编辑界面中设置属性, 这种方式不够方便, 也不够直观。下一步要分析和研究通过图形化的方式来实现这些重要的配置, 进一步提高配置工具的实用性和易用性。

参考文献

- [1] 谭文恕. 变电站通信网络和系统协议 IEC61850 介绍[J]. 电网技术, 2001, 25(9): 8-15.
TAN Wen-shu. An Introduction to Substation Communication Network and System-IEC61850[J]. Power System Technology, 2001, 25(9): 8-11.

(上接第 44 页 continued from page 44)

- [2] Ray P S, Duttgupta P B, Bhakta P. Coordinated Multi-machine PSS Design Using both Speed and Electric Power[J]. IEEE Proceedings of Gener, Transm and Distrib, 1995, 142(5): 503-510.
- [3] 蒋铁铮, 陈陈, 曹国云. 同步发电机励磁非线性预测控制技术[J]. 控制与决策, 2005, 20(4).
JIANG Tie-zheng, CHEN Chen, CAO Guo-yun. Nonlinear Predictive Control of Synchronous Machine Excitation[J]. Control and Decision, 2005, 20(4).
- [4] 于少娟. 迭代学习控制理论及应用[M]. 北京: 机械工业出版社, 2005.
YU Shao-juan. Iterative Learning Control Theory and Applications[J]. Beijing: China Machine Press, 2005.
- [5] 徐敏, 林辉. 基于 PSB 的迭代学习励磁控制的仿真研究[J]. 计算机工程, 2005, 31(20): 13-21.
XU Min, LIN Hui. Simulation Research of Iterative Learning in Excitation Control Based on PSB[J]. Computer Engineering, 2005, 31(20): 13-21.
- [6] 兰州, 甘德强, 倪以信, 等. 电力系统非线性鲁棒自适应分

- [2] IEC/TC57, IEC 61850 Communication Networks and Systems in Substations[J]. 2004.
- [3] 樊陈, 陈小川, 马彦宇, 等. 基于 IEC61850 的变电站配置研究[J]. 继电器, 2007, 35(8): 41-44.
FAN Chen, CHEN Xiao-chuan, MA Yan-yu, et al. Research of Configuration About Substation Based on IEC61850[J]. Relay, 2007, 35(8): 41-44.
- [4] 李蓓, 沐连顺, 苏剑, 等. 基于关系模型映射的 IEC61850 SCL 配置器建模[J]. 电网技术, 2006, 30(10): 94-98.
LI Bei, MU Lian-shun, SU Jian, et al. Modeling of IEC61850 SCL Configurator Based on Relational Model Mapping[J]. Power System Technology, 2006, 30(10): 94-98.
- [5] Erich Gamma Richard Helm 等. 设计模式-可复用面向对象软件的基础[M]. 李英军, 等译. 北京: 机械工业出版社, 2005.
- [6] 山东省电力调度中心继电保护及故障信息系统通信与接口规范[S].

收稿日期: 2008-05-16; 修回日期: 2008-07-04

作者简介:

祁忠 (1977-), 男, 工程师, 主要从事变电站自动化系统的研究和开发工作; E-mail: qizhong@nari-relays.com

笃峻 (1975-), 男, 工程师, 主要从事变电站自动化系统的研究和开发工作;

张志学 (1974-), 男, 工程师, 主要从事变电站自动化系统的研究和开发工作。

励磁控制设计[J]. 中国电机工程学报, 2006, 26(17): 1-5.

LAN Zhou, GAN De-qiang, NI Yi-xin, et al. Decentralized Nonlinear Robust Adaptive Excitation Control Design for Power Systems[J]. Proceedings of the CSEE, 2006, 26(17): 1-5.

- [7] Bien Z, Huk K M. Higher-order Iterative Control Algorithm[J]. IEEE Proceedings Part D: Control Theory and Applications, 1999, 136(3): 105-112.

- [8] Kuc T Y, Lee J S, Nam K. An Iterative Learning Control Theory for a Class of Nonlinear Dynamic Systems[J]. Automatica, 2000, 36: 717-725.

收稿日期: 2008-12-01; 修回日期: 2008-12-26

作者简介:

于少娟 (1971-), 女, 副教授, 硕士生导师, 博士, 研究方向为智能控制(学习控制)及其在电力电子传动方向的应用。E-mail: yushao66@public.ty.sx.cn