

基于 Hamilton 模型的永磁同步风力发电系统中混沌运动的 H_∞ 控制*

任丽娜[†] 刘福才 焦晓红 李俊义

(燕山大学西校区工业计算机控制工程河北省重点实验室, 秦皇岛 066004)

(2011 年 6 月 2 日收到; 2011 年 8 月 5 日收到修改稿)

针对永磁同步风力发电系统的混沌运动现象, 提出了基于系统 Hamilton 模型的 H_∞ 控制方案, 使得系统脱离混沌, 运行稳定. 首先将永磁同步风力发电系统模型经过一系列状态变换, 转化为类 Lorenz 经典数学模型, 并验证了系统在一定参数区域内存在混沌现象. 随后基于 Hamilton 系统充分利用系统物理结构和无需补偿“无功功率”的优点, 建立了混沌系统的 Hamilton 模型, 并考虑了系统存在外扰情况下的 H_∞ 控制方法. 本文所设计的控制器不仅简单易实现而且反映了系统内部结构以及动态特性的信息. 仿真实验证明了控制器的有效性.

关键词: 永磁同步发电机, 风力发电系统, 混沌控制, Hamilton 模型

PACS: 05.45.Gg, 05.45.Ac, 05.45.Pq, 05.45.Xt

1 引言

混沌是非线性动力学系统在一定条件下出现的一种随机运动形式, 普遍地存在于工程, 医学, 生物及经济等各学科领域. 自 1989 年 DC-DC 变换器电子电路混沌现象被证实^[1], 混沌现象引起了电力专业研究学者的重视, 并随之展开了对电机传动系统中混沌现象的研究. 研究表明电机在一定参数下, 出现转速或转矩的剧烈振荡、控制性能不稳、系统不规则的电磁噪声等混沌现象, 这将直接影响电机的动态性能^[2,3]. 永磁电机基于其机械损耗小、运行效率高等优点在各种工程实际中被广泛应用. 本文考虑将之应用于风力发电系统中, 不失一般性, 风力发电系统也可以看作是一种电机传动运动过程, 它将风能通过电机转化为电能. 由于风的随机性以及并网所需的功率变换器, 使得风力发电系统的运行过程更为复杂. 文献 [4, 5] 分别针对风力发电系统中的发电功率时间序列和状态参数时间序列采用相空间重构法进行建模分析, 均证明了风力发电系统中存在混沌现象. 文献 [6] 研究了双馈风力发电系统在一定的控制输入和电机机械参数的情况下出现混沌现象, 为系统设计和控制

提供了有价值的参考. 由此可知永磁同步风力发电系统在一定条件下也会出现混沌现象, 下文将对此进行验证, 那么如何控制和消除这种混沌现象, 使得风力发电系统安全可靠运行是一个不能忽略的研究问题.

在电机混沌现象研究中, 张波等人将永磁电机模型经过变换, 得到了一个类 Lorenz 方程的永磁电机混沌运动模型^[7]. 李忠等人利用 Lyapunov 指数和容量维对该模型进行分析, 进一步验证了永磁电机中混沌运动的存在性^[8]. 同时相应地出现了大量的混沌控制方法: 文献 [9] 提出了采用纳入轨道和强迫迁徙方法控制 PMSM (permanent magnet synchronous motor) 中的混沌; 文献 [10] 利用状态延迟反馈研究了 PMSM 中的混沌控制; 文献 [11] 将 PMSM 混沌模型进行状态反馈准确线性化, 随后对线性系统运用最优控制进行设计; 文献 [12] 考虑了直驱永磁风力发电系统中混沌运动的滑模变结构控制方案, 但整体模型还是以电动机的形式给出的; 还有自适应控制、基于 Backstepping 设计的控制方法等先进控制算法都被考虑并应用于 PMSM 中的混沌控制研究^[13,14]. 上述方法均有各自的优缺点, 即能够从理论上解决系统中的混沌问题, 但

* 河北省自然科学基金 (批准号: F2010001322) 资助的课题.

[†] E-mail: renlina0419@yahoo.com.cn

都有各自的遗留问题有待进一步解决.

为此, 本文考虑将 H_∞ 控制算法用于永磁同步风力发电系统中混沌控制, 并将系统混沌模型表示成标准端口受控 Hamilton 形式, 因为这种表达形式可以明显地反映出系统的结构特性, 并且在控制器的设计中无须补偿系统的“无功功率”, 使得控制器结构简单. 同时针对风力发电系统存在的外部干扰, 可以利用 H_∞ 鲁棒控制算法进行处理, 最后通过数值仿真研究, 证明了所设计控制器的有效性.

2 永磁同步风力发电系统混沌模型

2.1 永磁同步风力发电系统模型

永磁同步风力发电系统的机械部分是由风力机和永磁电机构成. 风力机在风的作用下旋转, 随即带动永磁电机转动, 一旦达到切入风速就可以并网发电. 风力机的动态方程为

$$J \frac{d\omega}{dt} = T_m - T_e - B\omega, \quad (1)$$

其中, $T_m = P_M/\omega$, $P_M(v) = \rho\pi r^2 C_p(\lambda, \beta) v^3/2$, T_m 表示风对风轮机产生的驱动转矩, P_M 是风在风轮机上产生的机械功率, 也即表示风轮机所俘获的风能, ρ 空气密度, r 风力机转子半径, v 为风速, $C_p(\lambda, \beta)$ 表示功率系数, 由风力机的类型和运行条件决定, β 为桨距角, λ 是叶尖速比, ω 表示风机的转子转速, T_e 为发电机输出的电磁转矩, J 为风力系统的转动惯性系数, B 代表风力发电系统摩擦系数.

永磁电机在风力机的带动下转动, 其动态方程可以描述为

$$\begin{aligned} \frac{di_d}{dt} &= -\frac{1}{L} R_a i_d + \omega_e i_q - \frac{1}{L} u_d, \\ \frac{di_q}{dt} &= -\frac{1}{L} R_a i_q - \omega_e i_d + \frac{1}{L} \omega_e \psi_f - \frac{1}{L} u_q, \end{aligned} \quad (2)$$

永磁发电机转矩方程为

$$T_e = n_p [(L_d - L_q) i_d i_q + \psi_f i_q] = n_p \psi_f i_q, \quad (3)$$

式中, u_d, u_q 分别为发电机 d, q 轴的电压分量, i_d, i_q 为发电机 d, q 轴的电流分量, L_d, L_q 为 d, q 的电感, R 为定子电阻, ψ_f 为永磁体的磁链, ω_e 为发电机电角频率, 且 $\omega_e = n_p \omega$, n_p 是电机极对数. 由于转子结构为对称形式, 可假设 $L_q = L_d = L$, 可使得模型结构清晰.

永磁同步风力发电系统整体动态方程为

$$\begin{aligned} \frac{d\omega}{dt} &= \frac{1}{J} [T_m - B\omega - T_e], \\ \frac{di_d}{dt} &= -\frac{1}{L} R_a i_d + \omega_e i_q - \frac{1}{L} u_d, \\ \frac{di_q}{dt} &= -\frac{1}{L} R_a i_q - \omega_e i_d + \frac{1}{L} \omega_e \psi_f - \frac{1}{L} u_q. \end{aligned} \quad (4)$$

2.2 永磁同步风力发电系统混沌模型

张波等人通过时间尺度变换和线性仿射变换, 首次将永磁电机模型变换成无量纲的类 Lorenz 方程的动态模型 [7], 永磁同步风力发电系统 (4) 在此变换方法下, 定义 $\tilde{t} = t/\tau$, $x_1 = \tilde{\omega}_e = \tau\omega_e$, $x_2 = \tilde{i}_d = i_d/k$, $x_3 = \tilde{i}_q = i_q/k$, 其中, $\tau = L/R$, $k = B_e/n_p\tau\psi_f$, $B = n_p B_e$. 则可得以下方程:

$$\begin{aligned} \dot{x}_1 &= -\sigma(x_1 + x_3) + \tilde{T}_m, \\ \dot{x}_2 &= -x_2 + x_1 x_3 - \tilde{u}_d, \\ \dot{x}_3 &= -x_3 - x_1 x_2 + \gamma x_1 - \tilde{u}_q, \end{aligned} \quad (5)$$

其中, $\gamma = \frac{\psi_f}{kL}$, $\sigma = \frac{B_e \tau n_p}{J}$, $\tilde{T}_m = \frac{n_p \tau^2}{J} T_m$, $\tilde{u}_d = \frac{1}{Rk} u_d$, $\tilde{u}_q = \frac{1}{Rk} u_q$, 可见, 变换后的永磁同步风力发电系统动态方程 (5) 与经典的 Lorenz 方程结构类似, 此时选取系统参数 $\sigma = 5.46$, $\gamma = -25$, $\tilde{T}_m = \tilde{u}_d = \tilde{u}_q = 0$ 时, 系统 (5) 呈现混沌特性如图 1.

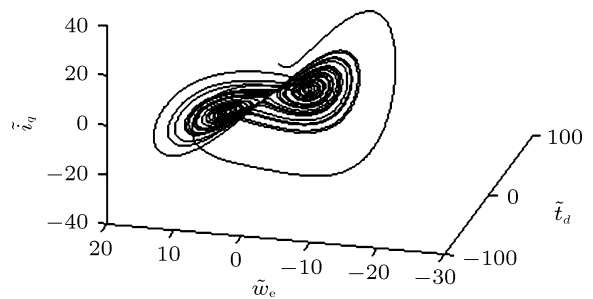


图 1 永磁同步风力发电系统中的混沌吸引子

2.3 混沌系统的 Hamilton 模型

选择混沌系统 (5) 的 Hamiltonian 能量函数为

$$H(x) = \frac{1}{2} x^T D^{-1} x = \frac{1}{2} [x_1^2 + x_2^2 + x_3^2], \quad (6)$$

则系统 (5) 可写成 Hamilton 模型为

$$\dot{x} = [J(x) - R(x)] \frac{\partial H(x)}{\partial x} + g(x)u(x)$$

$$= \begin{bmatrix} -\sigma & 0 & -\sigma \\ 0 & -1 & x_1 \\ \gamma & -x_1 & -1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \omega \\ i_d \\ i_q \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \tilde{T}_m \\ -\tilde{u}_d \\ -\tilde{u}_q \end{bmatrix}, \quad (7)$$

根据 Hamilton 模型要求, 通过观察可以选择

$$\mathbf{J}(\mathbf{x}) = \begin{bmatrix} 0 & 0 & -\sigma \\ 0 & 0 & x_1 \\ \sigma - x_1 & 0 & 0 \end{bmatrix}, \quad \mathbf{R}(\mathbf{x}) = \begin{bmatrix} \sigma & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ \sigma - \gamma & 0 & 1 \end{bmatrix},$$

$$\mathbf{g}(\mathbf{x}) = \text{diag}[1, 1, 1].$$

2.4 控制问题形成

实际风力发电系统中, 由于受风轮转速、电气装置和元件所承受的最大功率的限制, 因而最佳风力机运行状态可根据文献 [15] 给出的三种状态区域运行策略得到, 则一定变化风速下均有期望的转速和扭矩运行曲线, 即 ω^*, T_m^* .

另外, 永磁同步风力发电机采用零 d 轴电流矢量控制策略, 即 $i_d = 0$, 则电磁转矩与定子电流呈线性关系, 使电机的转矩控制环节得到简化.

通过以上分析, 风力发电系统期望的运行状态量为 $\omega = \omega^*, i_d = 0, i_q = (T_m^* - B\omega^* - J\dot{\omega}^*)/n_p\psi_f$, 即系统平衡点. 那么对应到混沌系统 (7) 的平衡点为 $\mathbf{x}^* = [\tau\omega_e^* \ 0 \ (T_m^* - B\omega^* - J\dot{\omega}^*)/kn_p\psi_f]^T$, 可以理解为风力发电系统一旦进入混沌状态, 可通过控制电压将混沌状态中的状态向量渐近趋于希望平衡点状态, 并脱离混沌.

另外, 考虑系统 (7) 存在一些外界干扰, 可描述为

$$\dot{\mathbf{x}} = [\mathbf{J}(\mathbf{x}) - \mathbf{R}(\mathbf{x})] \frac{\partial H(\mathbf{x})}{\partial \mathbf{x}} + \mathbf{g}(\mathbf{x})(\mathbf{u}(\mathbf{x}) + \mathbf{w}), \quad (8)$$

其中, $\mathbf{w} = [w_1 \ w_2 \ w_3]^T$ 为系统所受到的外部干扰. 因此从控制理论的角度来看, 系统 (8) 的控制问题就是设计一个状态反馈控制器 \mathbf{u} , 使得相应的闭环系统满足

1) $\mathbf{w} = [w_1 \ w_2 \ w_3]^T = 0$ 时, 系统在平衡点 (x_1^*, x_2^*, x_3^*) 渐近稳定, 即当 $t \rightarrow \infty$ 时, 有 $x_1 \rightarrow x_1^*, x_2 \rightarrow x_2^*, x_3 \rightarrow x_3^*$.

2) $\mathbf{w} \neq 0$ 时, 干扰量对系统性能的影响被抑制在一定的指标下, 即有

$$\int_0^T \mathbf{z}^T \mathbf{z} dt \leq \gamma^2 \int_0^T \mathbf{w}^T \mathbf{w} dt,$$

$$\forall T > 0, \forall \mathbf{w} \in L^2,$$

其中, z 是系统的评价信号, γ 是一设定的正常数, 代表干扰抑制水平.

3 控制器设计

针对混沌系统 (8), 利用 Hamilton 能量函数整形定律及 H_∞ 鲁棒控制理论 [16,17], 得到混沌系统控制器. 有如下的定理.

定理 对于系统 (8), 针对以上所提出的控制问题, 可设计如下控制器满足闭环系统控制要求:

$$\mathbf{u} = \boldsymbol{\alpha}(\mathbf{x}) + v,$$

$$\boldsymbol{\alpha}(\mathbf{x}) = \begin{bmatrix} \tilde{T}_m^* \\ J_{12}x_1^* - (x_1 - J_{23})x_3^* \\ + J_{12}x_1 - r_2x_2 - J_{23}i_q \\ -\sigma x_1^* + (1 + r_3)x_3^* \\ + (\sigma - \gamma)x_2 - r_3x_3 + J_{23}x_2 \end{bmatrix}, \quad (9)$$

$$v = -\frac{1}{2} \{ \gamma^{-2} I + h^T(\mathbf{x})h(\mathbf{x}) \} g^T(\mathbf{x}) \frac{\partial H_d}{\partial \mathbf{x}}.$$

证明 将控制输入 $\boldsymbol{\alpha}(\mathbf{x})$ 代入系统 (7) 中, 根据 Hamilton 能量函数整形理论, 系统可整形为

$$\dot{\mathbf{x}} = [\mathbf{J}_d(\mathbf{x}, p) - \mathbf{R}_d(\mathbf{x}, p)] \frac{\partial H_d(\mathbf{x}, p)}{\partial \mathbf{x}} + \mathbf{g}(\mathbf{x})(\mathbf{v} + \mathbf{w}), \quad (10)$$

其中, $H_d(\mathbf{x})$ 为期望的 Hamilton 函数, 为

$$H_d(\mathbf{x}) = \frac{1}{2}(\mathbf{x} - \mathbf{x}^*)^T \mathbf{D}^{-1}(\mathbf{x} - \mathbf{x}^*) \quad (11)$$

并且有 $\partial H_d(\mathbf{x})/\partial \mathbf{x} = (\mathbf{x} - \mathbf{x}^*)$, $\partial^2 H_d(\mathbf{x})/\partial \mathbf{x}^2 = \mathbf{I}$, 当 $\mathbf{x} = \mathbf{x}^*$ 时, $\partial H_d(\mathbf{x})/\partial \mathbf{x} = 0$ 并且 $H_d(\mathbf{x})$ 的海森矩阵 $\partial^2 H_d(\mathbf{x})/\partial \mathbf{x}^2 > 0$, 满足稳定条件, 可知所设计的闭环系统在平衡点是稳定的. 这里的 $\mathbf{J}_d(\mathbf{x})$ 和 $\mathbf{R}_d(\mathbf{x})$ 代表期望的互联矩阵和阻尼矩阵. 可以选择

$$\mathbf{J}_c(\mathbf{x}) = \begin{bmatrix} 0 & -J_{12} & J_{13} \\ J_{12} & 0 & -J_{23} \\ -J_{13} & J_{23} & 0 \end{bmatrix},$$

$$\mathbf{R}_c(\mathbf{x}) = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 \\ r_{21} & r_2 & 0 \\ 0 & 0 & r_3 \end{bmatrix},$$

其中, $J_{13} = 0, J_{12} = -\dot{x}_1^*/i_d, J_{23} = c, c$ 是可以调节的自由参数, $r_1 = 0, r_2, r_3$ 为待定阻尼系数. $\mathbf{J}_c(\mathbf{x})$

和 $\mathbf{R}_c(\mathbf{x})$ 分别为满足如下等式的函数阵

$$\begin{aligned} \mathbf{J}_d(\mathbf{x}) &= \mathbf{J}(\mathbf{x}) + \mathbf{J}_c(\mathbf{x}) = -\mathbf{J}_d^T(\mathbf{x}), \\ \mathbf{R}_d(\mathbf{x}) &= \mathbf{R}(\mathbf{x}) + \mathbf{R}_c(\mathbf{x}) \geq 0, \end{aligned} \quad (12)$$

则可实现 $T_m = T_m^*$ 最佳风能俘获的目的。

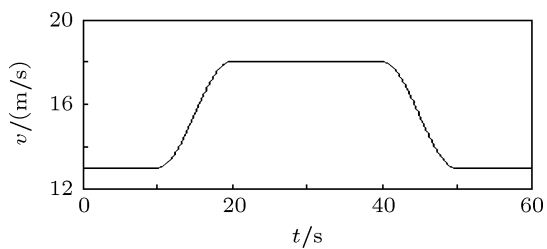


图2 给定风速

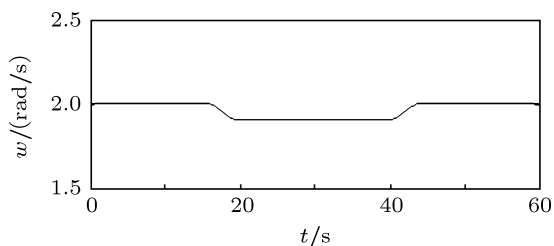


图3 期望转速

此时, 选择系统 (10) 的能量函数为

$$V(\mathbf{x}) = H_d(\mathbf{x}) \quad (13)$$

那么沿着系统 (10) 的轨迹对时间的微分计算有

$$\begin{aligned} \dot{V} &= \frac{\partial^T H_d}{\partial \mathbf{x}} [\mathbf{J}_d(\mathbf{x}, p) - \mathbf{R}_d(\mathbf{x}, p)] \frac{\partial H_d}{\partial \mathbf{x}} \\ &\quad + \frac{\partial^T H_d}{\partial \mathbf{x}} \mathbf{g}(\mathbf{x})(v + \mathbf{w}), \end{aligned} \quad (14)$$

将控制器 v 代入上式, 可得

$$\begin{aligned} \dot{V} &= -\frac{\partial^T H_d}{\partial \mathbf{x}} \mathbf{R}_d(\mathbf{x}) \frac{\partial H_d}{\partial \mathbf{x}} + \frac{\partial^T H_d}{\partial \mathbf{x}} \mathbf{g}(\mathbf{x}) \\ &\quad \times \left\{ -\frac{1}{2} [\gamma^{-2} \mathbf{I} \right. \\ &\quad \left. + \mathbf{h}^T(\mathbf{x}) \mathbf{h}(\mathbf{x})] \mathbf{g}^T(\mathbf{x}) \frac{\partial H_d}{\partial \mathbf{x}} + \mathbf{w} \right\}, \end{aligned} \quad (15)$$

进一步针对外部干扰, 选取系统性能评价信号为

$$\mathbf{z} = \mathbf{h}(\mathbf{x}) \mathbf{g}^T(\mathbf{x}) \frac{\partial H_d}{\partial \mathbf{x}}, \quad (16)$$

其中

$$\mathbf{h}(\mathbf{x}) = \begin{bmatrix} q_1(x_1 - x_1^*) & 0 & 0 \\ 0 & q_2 x_2 & 0 \\ 0 & 0 & q_3(x_3 - x_3^*) \end{bmatrix}.$$

$q_i \geq 0$ ($i = 1, 2, 3$) 为加权系数。

则 (15) 式可重新写为

$$\begin{aligned} \dot{V}(\mathbf{x}) &\leq -\frac{\partial^T H_d}{\partial \mathbf{x}} \mathbf{R}_d(\mathbf{x}) \frac{\partial H_d}{\partial \mathbf{x}} \\ &\quad + \frac{1}{2} \left\{ \gamma^2 \|\boldsymbol{\omega}\|^2 - \|\mathbf{z}\|^2 \right\}, \quad \forall \mathbf{w}, \end{aligned} \quad (17)$$

可见, 系统对外部干扰 \mathbf{w} 具有 L_2 干扰抑制特性。并且闭环系统满足控制目的 (1) 和 (2), 进而定理得证。

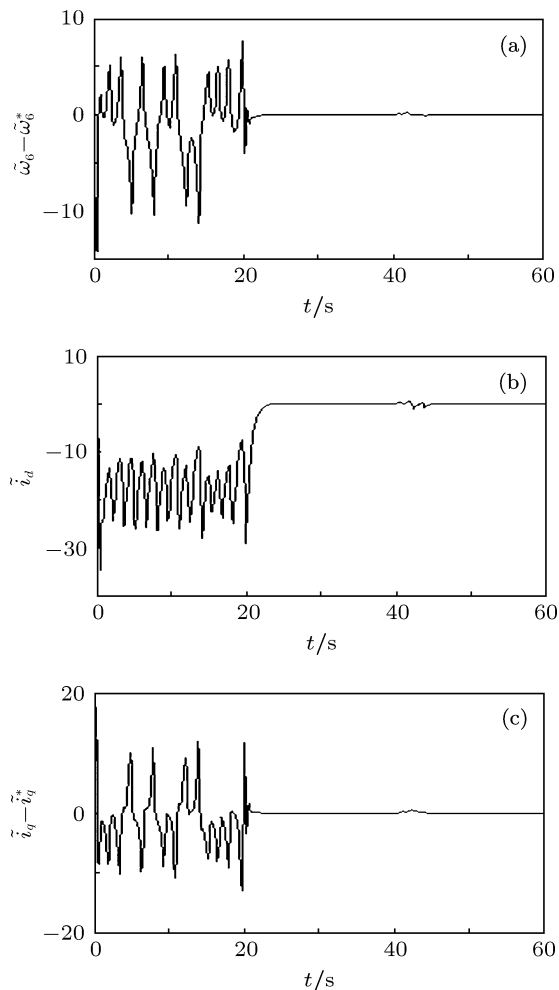


图4 系统状态变量 (a) 转速误差曲线; (b) d 轴电流误差曲线; (c) q 轴电流误差曲线

4 仿真研究

为了效验所提出控制策略的有效性, 选取一永磁同步风力发电系统进行仿真研究, 其中各个物理参数选择如下

$$\begin{aligned} J &= 100 \text{ kg}\cdot\text{m}^2, \quad r = 1.2 \text{ m}, \quad L = 0.051 \text{ H}, \\ R_a &= 4 \Omega, \quad n_p = 16 \end{aligned}$$

控制器参数选为

$$c = 0.5, \quad r_2 = r_3 = 1, \quad \gamma = 0.1,$$

$$q_1 = q_2 = q_3 = 1.$$

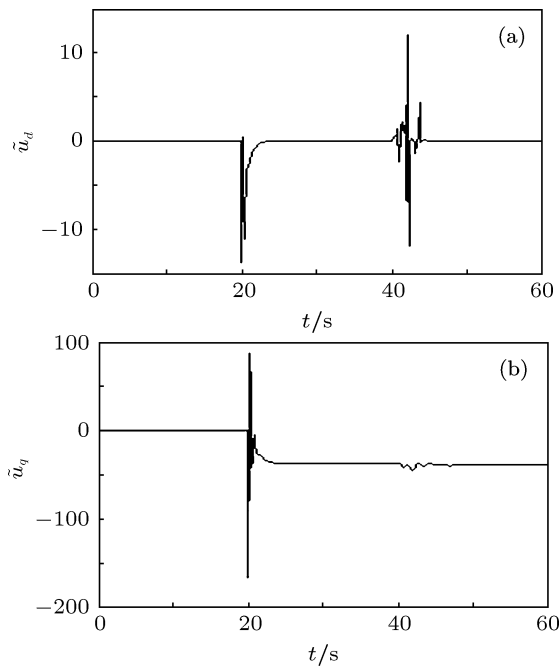


图5 控制输入 (a) d 轴控制电压; (b) q 轴控制电压

不失一般性, 给出一段风速范围内的仿真结果: 风速给定如图 2 所示, 期望的风轮机转速如图 3 所示, 假设系统 20 s 之前在无控制输入的情况下进入混沌状态, 在加入控制之后, 系统脱离混沌状态, 并且系统的各个状态量能迅速追踪上期望的状态变量, 如图 4 所示, 说明所设计的控制器在外扰以及混沌状态下, 能够很好地达到控制目的, 具有良好的控制效果.

5 结论

本文将电机混沌特性扩展到实际应用系统中的风力发电系统中, 并对其进行了混沌运动验证, 表明风力发电系统在一些特殊条件和参数下会出现混沌现象, 严重地影响了风力发电系统的安全运行. 鉴于此, 本文针对混沌系统提出了 Hamilton 建模思想, 并基于此模型设计了前馈控制器和抑制外扰的 H_∞ 控制器, 实现了控制目的. 仿真结果证实了控制器的有效性.

- [1] Kuroe Y, Hayashi S 1989 *IEEE Power Electron. Spec. Conf. Rec.* 923
- [2] Wang X Y, Wu X J 2006 *Acta Phys. Sin.* **55** 5083 (in Chinese) [王兴元, 武相军 2006 物理学报 **55** 5083]
- [3] Krishan R 1991 *IEEE Trans on Power Electronics* **6** 695
- [4] Wang L J, Liao X Z, Gao S, Dong L 2007 *Transactions of Beijing Institute of Technology* **27** 1078 (in Chinese) [王丽婕, 廖晓钟, 高爽, 冬雷 2007 北京理工大学学报 **27** 1078]
- [5] An X L, Jiang D X 2010 *Electric Power Automation Equipment* **30** 15 (in Chinese) [安学利, 蒋东翔 2010 电力自动化设备 **30** 15]
- [6] Yang L H, Ma X K, Dai D 2009 *Chaos, Solitons and Fractals* **41** 2741
- [7] Zhang B, Li Z, Mao Z Y 2001 *Proc. CSEE.* **21** 40 (in Chinese) [张波, 李忠, 毛宗源 2001 中国电机工程学报 **21** 40]
- [8] Zhang B, Li Z, Mao Z Y 2001 *Control Theory Appl.* **18** 589 (in Chinese) [张波, 李忠, 毛宗源 2001 控制理论与应用 **18** 589]
- [9] Li Z, Zhang B, Mao Z Y 2002 *Control Theory Appl.* **18** 53 (in Chinese) [李忠, 张波, 毛宗源 2002 控制理论与应用 **18** 53]
- [10] Ren H P, Liu D, Li J 2003 *Proc. CSEE.* **23** 175 (in Chinese) [任海鹏, 刘丁, 李洁 2003 中国电机工程学报 **23** 175]
- [11] Wei D Q, Luo X S, Fang J Q, Wang B H 2006 *Acta Phys. Sin.* **55** 54 (in Chinese) [韦笃取, 罗晓曙, 方锦清, 汪秉宏 2006 物理学报 **55** 54]
- [12] Yang G L, Li H G 2009 *Acta Phys. Sin.* **58** 7552 (in Chinese) [杨国良, 李惠光 2009 物理学报 **58** 7552]
- [13] Wei D Q, Luo X S, Wang B H, Fang J Q 2007 *Phys. Lett. A* **363** 71
- [14] Yu J P, Chen B, Yu H S, Gao J W 2011 *Nonlinear Analysis* **12** 671
- [15] Song Y D, Dhinakaran B, Bao X Y 2000 *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics* **85** 293
- [16] Wei A R, Wang Y Z 2010 *Automatic* **46** 2008
- [17] Sun Y Z, Jiao X H, Shen T L 2007 *Adaptive Nonlinear Control of Power Systems* (Beijing: Press of tsinghua University) (in Chinese) [孙元章, 焦晓红, 申铁龙 2007 电力系统非线性鲁棒控制 (北京: 清华大学出版社)]

Hamiltonian model-based H_∞ control of chaos in permanent magnet synchronous generators for wind power systems*

Ren Li-Na[†] Liu Fu-Cai Jiao Xiao-Hong Li Jun-Yi

(Key Laboratory of Industrial Computer Control Engineering of Hebei Province, West Campus of Yanshan University, Qinhuangdao 066004, China)

(Received 2 June 2011; revised manuscript received 5 August 2011)

Abstract

Aiming at chaos in the wind turbine systems, the H_∞ control strategy is presented based on the Hamiltonian model, which makes systems disengage chaos and operate stably. Firstly, the permanent magnet synchronous generator of wind power system is transformed into a model which is similar to a Lorenz-like classical mathematic model through a series of transforms, and demonstrates existing chaos phenomena when its parameter values are in a certain range. Then, the Hamiltonian model of chaos system is established by taking full advantage of the physics structure of wind power system without the compensation of workless forces. Moreover, an H_∞ controller is investigated under the external disturbance. This controller is not only simple but also can reflect the interior structure and dynamic characteristics of system. The proposed strategy proves to be valid by simulations.

Keywords: permanent magnet synchronous generator, wind power system, chaos control, Hamiltonian model, H_∞ control

PACS: 05.45.Gg, 05.45.Ac, 05.45.Pq, 05.45.Xt

* Project supported by the Natural Science Foundation of Hebei, China (Grant No. F2010001322).

[†] E-mail: renlina0419@yahoo.com.cn