

非线性励磁控制中输出函数对系统性能的影响

李啸骢¹, 程时杰¹, 韦 化², 王少荣¹

(1. 华中科技大学电力系, 湖北省武汉市 430074; 2. 广西大学电气工程学院, 广西壮族自治区南宁市 530004)

摘要:发现在进行非线性系统的非线性控制设计时,状态方程中输出函数的选取对线性化以后系统状态方程的形式有很大的影响,进而影响到所设计的控制器性能。在此研究结果的基础上,改进了电力系统非线性控制器的设计方法,可以在统一的非线性控制设计框架下同时对多个状态量的性能指标提出要求,兼顾受控系统多个状态量的响应特性,使系统的动态性能和静态性能能够很好地协调,实现高性能的非线性控制。将改进的设计方法应用于发电机组的励磁控制,采用逆系统非线性控制原理设计了一种具有综合性能指标的非线性励磁控制规律。将所设计的多指标非线性励磁控制律用于单机无穷大电力系统的同步发电机组中进行仿真实验,其结果表明所提出的控制器不仅能明显地提高发电机的动态稳定性,而且能准确地将发电机的端电压控制在其给定值上运行,不会因受扰而发生偏移。

关键词:非线性励磁控制;多指标控制;逆系统方法

中图分类号: TM761; O231.2

0 引言

非线性控制方法在电力系统中已有多年的应用研究,在许多方面都取得了很大的进展。但被控系统各状态量的动、静态性能的综合协调问题较难解决。本文研究工作旨在为解决这一问题寻找一条有效的途径。

在线性最优控制设计中,人们都十分了解决定系统性能的指标函数是二次型性能指标函数,改变二次型性能指标函数中权矩阵 Q, R 中的元素取值,就能达到改变系统控制性能的目的。但是在非线性控制设计中,决定系统性能指标的因素是什么?设计中如何改变和调整系统的控制性能?这些问题目前鲜有研究,但却是很有意义的研究课题。

考虑到这样的事实:在非线性控制设计中,由非线性空间到线性空间的变换,与输出函数的选取有着密切的联系。因此,输出函数的选取,将在很大程度上决定着经非线性变换后所得到的线性状态方程的形式,也必然会影响到受控系统的动、静态特性。据此,本文对电力系统非线性控制器的设计方法提出了改进,即通过将输出函数选取为多个状态量的组合形式,来实现对系统多个状态量的动、静态性能进行综合协调,从而达到提高系统的整体综合性能的目的。这一思路如果被验证,将为设计具有不同性

能指标的非线性控制装置提供有效的途径。本文以发电机励磁控制器为设计对象,展开对改进方法的探讨。

鉴于微分几何非线性设计方法和逆系统非线性设计方法具有等价性^[1,2],即在选取相同输出函数的情况下,这两种设计方法得到的设计结果是一致的。因此,本文拟采用数学概念相对直观、设计过程较简便的逆系统方法进行非线性励磁控制律的设计。

1 应用逆系统方法实现非线性系统的状态反馈线性化^[3,4]

逆系统非线性控制设计方法适用范围较广,不一定要求系统为仿射非线性系统。设有如下一般形式的单输入单输出非线性控制系统(称为原系统):

$$\Sigma: \begin{cases} \dot{X}(t) = f(X, u) \\ y(t) = h(X) \end{cases} \quad (1)$$

$$(2)$$

式中: X 为 n 维状态向量; u 为控制标量; y 为输出标量; $h(X)$ 为输出函数。

用逆系统方法求解原系统非线性控制律的过程如下。

假设 $h(X)$ 中不显含 u , 即 $\partial h / \partial u = 0$ 。首先将 y 对 t 求导数,并定义:

$$y^{(i)} = \nabla h_{i-1}(X) \dot{X} = \nabla h_{i-1}(X) f(X, u) \triangleq h_i(X, u) \quad (3)$$

如此依次求导,若在 $i=r$ 时有 $\partial h_r / \partial u \neq 0$, 则可得到如下显含 u 的方程式:

$$y^{(r)} = h_r(X, u) \quad (4)$$

此时称 r 为原系统的相对阶数。由上式可求得：

$$u = h_r^{-1}(X, y^{(r)}) \quad (5)$$

将式(5)代入式(1),并将状态变量 X 替换为 $\hat{X}$,将原系统的输出作为现系统的输入,将原系统的输入作为现系统的输出,同时以式(5)作为现系统的输出函数,即可构成原系统的逆系统如下：

$$\hat{\Sigma}: \begin{cases} \dot{\hat{X}}(t) = f(\hat{X}, h_r^{-1}(\hat{X}, y^{(r)})) \\ u = h_r^{-1}(\hat{X}, y^{(r)}) \end{cases} \quad (6)$$

在逆系统 $\hat{\Sigma}$ 中令 $y^{(r)} = v$,又可构成原系统的 r 阶积分逆系统如下：

$$\hat{\Sigma}_r: \begin{cases} \dot{\hat{X}}(t) = f(\hat{X}, h_r^{-1}(\hat{X}, v)) \\ u = h_r^{-1}(\hat{X}, v) \end{cases} \quad (8)$$

将 $\hat{\Sigma}_r$ 串接在 Σ 的前面,即可构成 r 阶伪线性系统,该系统可由如下方程描述：

$$y^{(r)} = v \quad (10)$$

有关伪线性系统的构成也可用图1来描述。图中,第1行为原系统 Σ 的状态方程和输出方程,第2行为 r 阶积分逆系统 $\hat{\Sigma}_r$ 的状态方程和输出方程。两系统串接后,其外部特性即输入 v 与输出 y 之间的关系,表现为由线性微分方程式(10)描述的线性关系。由于其内部结构仍是非线性关系,故称串联后的系统为伪线性系统。

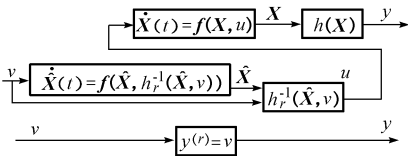


图1 伪线性系统构成
Fig. 1 Structure of virtual linear system

在图1中,取 $\hat{X}(t) = X(t)$,可得到由图2描述的等效伪线性系统。关于 $\hat{X}(t) = X(t)$ 的理论依据,请参阅文献[4]。

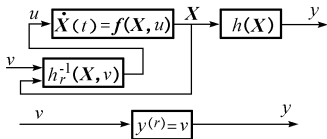


图2 等效伪线性系统构成
Fig. 2 Structure of equivalent virtual linear system

上述原系统可逆(即伪线性系统存在)的充分必要条件是相对阶数 $r \leq n$ 。

在伪线性系统获得以后,即可按线性控制理论来设计线性反馈控制律 v ,将其代入式(10)进而代入式(5),就可获得非线性反馈控制律 u 。

在伪线性系统(10)中,令：

$$[y, y^{(1)}, \dots, y^{(r-1)}]^T = [z_1, z_2, \dots, z_r]^T = Z \quad (11)$$

就可得到如下的线性状态方程：

$$\begin{cases} \dot{z}_1 = z_2 \\ \dot{z}_2 = z_3 \\ \vdots \\ \dot{z}_{r-1} = z_r \\ \dot{z}_r = v \end{cases} \quad (12)$$

若按二次型线性最优控制理论来设计线性反馈控制律 v ,对于调节器问题则有：

$$v = -KZ = -k_1 z_1 - k_2 z_2 - \dots - k_r z_r = -k_1 y - k_2 y^{(1)} - \dots - k_r y^{(r-1)} \quad (13)$$

相应的二次型性能指标为：

$$J = \lim_{t \rightarrow \infty} \frac{1}{2} \int_0^t (Z^T Q Z + v^T R v) dt \quad (14)$$

式中; Q 为正定或半正定的 $r \times r$ 阶权矩阵; R 为正定的 1×1 阶权矩阵; v 为标量,为了公式表达的完整性,这里写成向量形式。

由式(5)和式(13)可以看出,所得到的非线性控制律 u 和线性控制律 v 都与输出函数的选取有着密切的关系。因此,输出函数的选取在非线性控制设计中是至关重要的。

过去在电力系统的非线性控制设计中,习惯于将 y 仅选为由单状态量构成,即: $y(t) = x_i$,由此,所得到的线性控制律 v 中就只含有此单状态量 x_i 及其相应阶微分量的反馈信息。不难理解,这样的控制律不是一个全状态反馈控制律,因此在这样的控制律的作用下,要对全系统状态量的动、静态性能指标进行综合协调就是一件十分困难的事情。

在上述分析的基础上,本文对电力系统非线性控制器的设计方法提出了改进,即通过将输出函数选取为多个状态量的组合形式,以此来实现对系统多个状态量的动、静态性能进行综合协调。若取输出函数与需控制的各状态量为如下所示的线性关系：

$$y = h(X) = [c_1, c_2, \dots, c_n][x_1, x_2, \dots, x_n]^T = cX \quad (15)$$

则在变换后的伪线性系统中,状态量 Z 可表达为：

$$z_i = y^{(i-1)} = [c_1, c_2, \dots, c_n] X^{(i-1)} \quad i = 1, 2, \dots, r \quad (16)$$

写为矩阵形式,即：

$$Z = CX_r \quad (17)$$

式中：

$$X_r = [X^T, X^{(1)T}, \dots, X^{(r-1)T}]^T$$

$$C_{r \times (r \times n)} = \text{diag}(\underbrace{c, c, \dots, c}_r)$$

因此,式(14)所示的性能指标在原非线性系统中具有如下形式:

$$J = \lim_{t \rightarrow \infty} \frac{1}{2} \int_0^{\infty} (\mathbf{Z}^T \mathbf{Q} \mathbf{Z} + \mathbf{v}^T \mathbf{R} \mathbf{v}) dt = \lim_{t \rightarrow \infty} \frac{1}{2} \int_0^{\infty} (\mathbf{X}_r^T \mathbf{C}^T \mathbf{Q} \mathbf{C} \mathbf{X}_r + \mathbf{v}^T \mathbf{R} \mathbf{v}) dt \quad (18)$$

式(18)清楚地表明了按式(15)选取输出函数时,对原系统状态量提出的控制性能指标。可以看出,那些被选入输出函数的状态量及其相应阶的微分量,都会在变换后的伪线性系统中得到表现,从而在二次型性能指标中受到约束。从这个意义上来说,输出函数的选取体现了对所设计的非线性控制器的性能指标要求,它代表着未来系统将对哪些状态量加以约束。

2 具有综合性能指标的非线性励磁控制律的设计

对于单机无穷大电力系统,有如下状态方程:

$$\begin{bmatrix} \dot{E}_q' \\ \dot{\delta} \\ \dot{\omega} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{-E_q + E_{qe}}{T_{d0}'} \\ \omega - \omega_0 \\ \frac{1}{T_j} [\omega_0 (-P_e + P_m) - D(\omega - \omega_0)] \end{bmatrix} \quad (19)$$

式中:

$$E_q = E_q' + (x_d - x_d') i_d \quad (20)$$

$$\begin{cases} U_f = \sqrt{U_d^2 + U_q^2} \\ U_{fq} = E_q - x_d i_d \\ U_{fd} = x_q i_q \end{cases} \quad (21)$$

$$P_e = \frac{E_q' U}{x_{d\Sigma}'} \sin \delta + \frac{U^2 (x_{d\Sigma}' - x_{q\Sigma})}{2x_{d\Sigma}' x_{q\Sigma}} \sin 2\delta \quad (22)$$

式中: E_q' , δ 和 ω 为状态变量,分别代表发电机暂态电势、发电机功角和发电机转子角速度; E_{qe} 为控制量,代表发电机励磁电压; P_m 为扰动量,代表发电机的输入机械功率。

为了获得满意的多指标非线性励磁控制律,本文考虑输出函数的选取如下:①首先确定输出函数中应包含哪些物理量,为准确维持发电机端电压在给定值上运行,输出函数中必须含有 $\Delta U_f = U_f - U_{f0}$,又为了能通过励磁调节来提高发电机运行的稳定性,输出函数中应当含有 $\Delta \delta$ 或 $\Delta \omega$,考虑对发电机转子动态特性的控制具有一定的超前性,同时也为了便于控制系统的实现,这里取 $\Delta \omega = \omega - \omega_0$ 。②确定输出函数的运算表达形式,经过大量的推导以及对发电机动态过程的分析,确定了如下组合形式的输出函数:

$$y = h(\mathbf{X}) = c_1 \Delta U_f + c_2 \Delta \omega \quad (23)$$

对上述输出函数求一阶导数得:

$$\dot{y} = a(\mathbf{X}) + b(\mathbf{X}) E_{qe} \quad (24)$$

式中:

$$a(\mathbf{X}) = \frac{c_1 (-x_e E_q' + x_e x_d E_q i_d)}{x_{d\Sigma}' T_{d0}' U_f} + \frac{c_2 [\omega_0 (-P_e + P_m) - D \Delta \omega]}{T_j} + c_1 \left(-\frac{E_q x_d' - x_d' x_d i_d}{x_{d\Sigma}'} \sin \delta + \frac{x_q^2 i_q}{x_{q\Sigma}} \cos \delta \right) \frac{U}{U_f} \Delta \omega$$

$$b(\mathbf{X}) = \frac{c_1 x_e U_{fq}}{x_{d\Sigma}' T_{d0}' U_f}$$

由式(24)可解得非线性控制律为:

$$E_{qe} = \frac{\dot{y} - a(\mathbf{X})}{b(\mathbf{X})} \quad (25)$$

令 $\dot{y} = v$, 得一阶伪线性系统:

$$\dot{y} = v \quad (26)$$

由此很容易求得线性反馈控制律:

$$v = -k_1 y = -k_1 (c_1 \Delta U_f + c_2 \Delta \omega) \quad (27)$$

将式(27)代入式(25)可得到完整的非线性控制律。

3 仿真结果及分析

为验证多指标非线性励磁控制律的有效性,将该励磁控制律应用于单机无穷大系统进行数字仿真。同时,为比较选取不同输出函数对控制效果的影响,还选取了另外2种不同的输出函数^[5,6],即 $y = \Delta \delta$ 和 $y = \Delta U_f$ 。为叙述方便,将以 $y = \Delta \delta$ 为输出函数的控制称为1型控制,其响应曲线标记为1;将以 $y = \Delta U_f$ 为输出函数的控制称为2型控制,其响应曲线标记为2;将以 $y = c_1 \Delta U_f + c_2 \Delta \omega$ 为输出函数的控制称为3型控制,其响应曲线标记为3。采用的单机无穷大电力系统的模型参数为: $x_d = 1.5859$, $x_q = 1.5859$, $x_d' = 0.2902$, $x_e = 0.4$, $D = 2$, $T_j = 6.5$, $T_{d0}' = 8.38$, $U = 1$ 。初始运行工况为: $P_0 = 0.9$, $\delta_0 = 56.0441^\circ$, $Q_0 = 0.1025$, $U_{f0} = 1.1015$ 。

对于所提出的多指标非线性励磁控制律的控制效果,本文进行了大量的仿真计算,限于篇幅,这里仅给出如下3种较有代表性的仿真计算结果。

3.1 输入机械功率 $\Delta P_m = 10\%$ 的扰动

该项仿真的目的在于揭示机械功率变化对机端电压的影响情况。系统有关状态量 $\Delta \delta$, ΔU_f 和 P_e 的响应曲线由图3~图5给出。

由图3可见,在3型控制律的作用下,系统的机械动态特性明显优于其他两种控制律。在2型、3型控制律的作用下,随着输出电磁功率的增加,其发电机功角都相应有所拉大,以适应电磁功率的变化。但1型控制律因以 $y = \Delta \delta$ 为控制指标,因此当电磁功率变化时仍能控制使 $\Delta \delta = 0$,这意味着在系统动态

过程平息下来后,各发电机节点间的功角差不会发生变化。正因为如此,由图 4 可见,在机械功率的扰动下,1 型控制律不能保证机端电压在原给定点上运行,其 ΔU_f 稳态值收敛于 0.04。这表明系统已出现约为 $\Delta U_f=4\%$ 的静差。而 2 型和 3 型控制律由于在其输出函数中都含有状态指标量 ΔU_f ,从而对 ΔU_f 均表现出很好的约束特性,能有效地控制机端电压无静差,具有良好的电压调节特性。由图 5 可见,在 3 种控制律的作用下,电磁功率均能很好地跟踪输入机械功率,其动态情况以 3 型控制效果最佳。

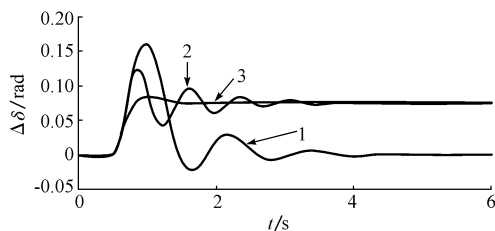


图 3 发电机机械功率扰动时功角偏差响应曲线
Fig. 3 Simulation results of $\Delta\delta$ to disturbance of P_m

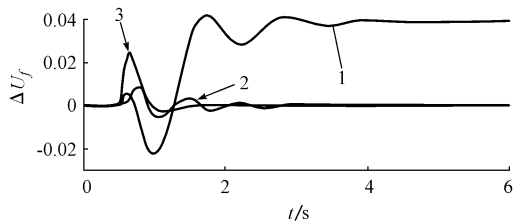


图 4 发电机机械功率扰动时端电压偏差响应曲线
Fig. 4 Simulation results of ΔU_f to disturbance of P_m

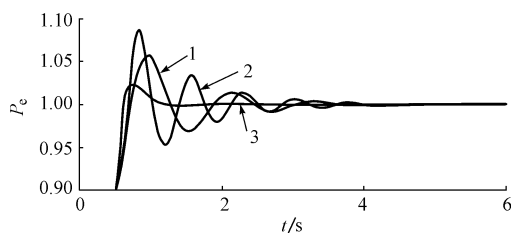


图 5 发电机机械功率扰动时电磁功率响应曲线
Fig. 5 Simulation results of P_e to disturbance of P_m

3.2 励磁调节器参考电压 $\Delta U_f=5\%$ 的扰动

此项仿真的目的是为了考查机端电压跟踪其给定值的能力。图 6、图 7 给出了参考电压发生 $\Delta U_f=5\%$ 的阶跃变化时,系统状态量 ΔU_f 和 $\Delta\delta$ 的响应曲线。由图 6 可见,在 2 型和 3 型控制律中,由于发电机端电压的偏差量直接参与调节过程,因此机端电压均能准确跟踪给定值,并且两曲线的动态响应效果相近,但曲线 2 的振荡频率较高。由图 7 中的曲线 2 和曲线 3 比较,则看出 3 型控制律比 2 型控制律能更快地使发电机功角的摆动进入稳定状态。这是因为 3 型控制律的输出函数中不仅针对状态量 ΔU_f 提出指标要求,而且对状态量 $\Delta\omega$ 也提出了指标要

求。因此 3 型控制律比 2 型控制律具有更好的功角稳定控制效果。而 1 型控制律中由于不含有发电机端电压的反馈信息,因此无法进行该方案的仿真。

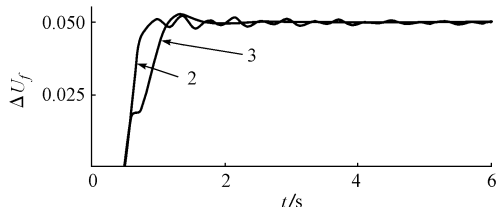


图 6 发电机调压扰动时端电压偏差响应曲线
Fig. 6 Simulation results of ΔU_f to disturbance of to change given value

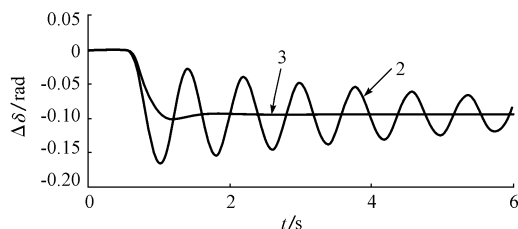


图 7 发电机调压扰动时功角偏差响应曲线
Fig. 7 Simulation results of $\Delta\delta$ to disturbance of to change given value

3.3 发电机高压侧出线短路扰动

在发电机出线变压器高压侧发生三相短路, 0.15 s 后短路被切除并重合闸成功的情况下,系统有关状态量 U_f , P_e , δ 的动态响应曲线由图 8~图 10 给出。

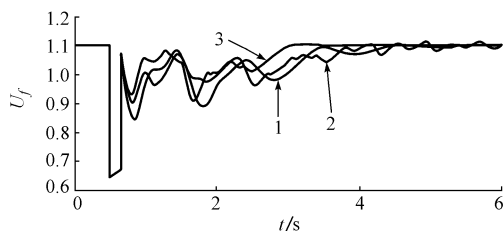


图 8 发电机三相短路扰动时端电压响应曲线
Fig. 8 Simulation results of U_f to a three phase fault

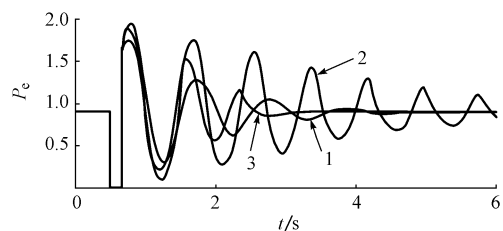


图 9 发电机三相短路扰动时电磁功率响应曲线
Fig. 9 Simulation results of P_e to a three phase fault

由图 8、图 9 可见,3 种控制律均能在短路切除后使发电机的端电压和输出电磁功率迅速得到恢复。但以 3 型控制律作用下的机端电压恢复最快,输

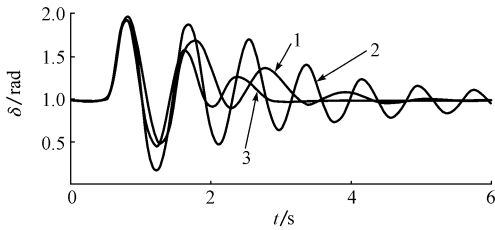


图 10 发电机三相短路扰动时功角响应曲线
Fig. 10 Simulation results of δ to a three phase fault

出电磁功率的摆动平息最早。图 10 表明, 3 型控制律在暂态过程中对机组机械振荡的平息效果最好, 1 型次之, 2 型最差。

图 11 给出了短路持续 0.199 s 后切除, 系统状态量 δ 的动态响应曲线。由图可见, 在 1 型、2 型控制律的作用下, 此时系统将失去同步。但在 3 型控制律的作用下, 系统仍能保持稳定运行。

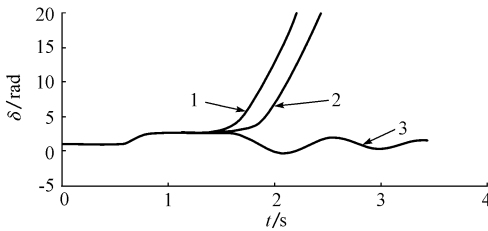


图 11 发电机三相短路持续 0.199 s 切除后功角响应曲线
Fig. 11 Simulation results of δ to a three phase fault be cleared after 0.199 s

3.4 仿真分析

从上述仿真实验结果可见, 由于 3 型控制律的输出函数取为系统多个状态量的组合, 其中既对发电机电磁物理量 ΔU_f 提出指标要求, 又对机械物理量 $\Delta \omega$ 提出指标要求, 因此 3 型控制律能很好地协调发电机的电磁和机械物理量的动、静态性能, 使发电机的整体综合性能有明显提高。而 1 型、2 型控制律, 由于其输出函数仅分别包含其中的单个状态量, 因此构成的控制装置难以对另外的状态量的变化进行有效的控制。它们在整体综合控制性能上是无法与 3 型控制律相比的。以上结果表明, 本文对电力系统非线性控制器的设计方法提出的改进是可行的, 并有着广泛的应用价值。

4 结语

本文提出在非线性控制器的设计中, 闭环系统的动、静态性能在很大程度上由设计时所选取的系统输出函数所决定。在这一点上, 非线性控制与线性最优控制有很大不同。输出函数的恰当选取, 对设计出满意的非线性控制律有着至关重要的作用。

基于以上认识, 本文改进了电力系统非线性控

制器的设计方法, 即通过将输出函数选为多状态变量组合的形式, 设计出能满足系统运行要求的具有实用价值的非线性控制律。这种改进方法能使所设计的非线性控制律中含有更多的可调参数, 以便有效地调控系统的动、静态性能。它为设计具有综合性能的非线性控制系统提供了一条简便、有效的途径。

将所提出的改进方法应用于发电机的非线性励磁控制设计中, 成功地设计了一种高性能的非线性励磁控制规律, 按此控制规律实现的发电机励磁控制器既具有使发电机机端电压无静差调节的优点, 同时又很好地改善了发电机的功角动态响应特性, 提高了系统的稳定性。使发电机的整体综合性能有明显提高。所设计的多指标非线性励磁控制律采用可实际测量的物理量进行反馈, 便于实现, 具有很好的工业实用价值。

参考文献

- 1 李东海, 苗建明, 姜学智, 等 (Li Donghai, Miao Jianming, Jiang Xuezhi, et al). 逆系统方法在电力系统中的应用 (The Inverse System Method Applied to Power System Control). 电网技术 (Power System Technology), 1997, 21(7): 10~12
- 2 李东海, 姜学智, 李立勤, 等 (Li Donghai, Jiang Xuezhi, Li Liqing, et al). 应用逆系统方法求解电力系统的非线性控制律 (The Inverse System Method Applied to the Derivation of Power System Nonlinear Control Laws). 华北电力大学学报 (Journal of North China Electric Power University), 1997, 24(4): 65~70
- 3 Lu Q, Sun Y Z. Decentralized Nonlinear Optimal Excitation Control. IEEE Trans on Power Systems, 1996, 11(4): 1957~1962
- 4 李春文, 冯元锷 (Li Chunwen, Feng Yuankun). 多变量非线性控制的逆系统方法 (The Inverse Method of Multivariable Nonlinear Control). 北京: 清华大学出版社 (Beijing: Tsinghua University Press), 1991
- 5 周雪松, 马幼捷, 贾振江, 等 (Zhou Xuesong, Ma Youjie, Jia Zhenjiang, et al). 微机非线性励磁控制的理论研究 (Theoretical Study on Microcomputer Based Nonlinear Excitation Controller). 中国电力 (Electric Power), 1997, 30(3): 3~6
- 6 李啸骥, 颜卓胜, 韦化 (Li Xiaocong, Yan Zhuosheng, Wei Hua). U 型非线性抗扰励磁控制律设计 (Anti-disturbance Design of the Nonlinear Excitation Regulator). 中国电机工程学报 (Proceedings of the CSEE), 1999, 19(9): 72~75

李啸骥 (1959—), 男, 博士研究生, 副教授, 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。E-mail: lhtsj@263.net

程时杰 (1945—), 男, 教授, 博士生导师, 研究方向为电力系统控制、人工智能在电力系统中的应用、电力系统机电耦合和轴系扭振分析、电力系统无功 (电压) 稳定性分析、电力系统运行与管理、电力系统超导应用研究。

韦化 (1954—), 男, 博士, 教授, 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。

(下转第 48 页 continued on page 48)

(上接第 10 页 continued from page 10)

INFLUENCES OF THE OUTPUT FUNCTION ON THE SYSTEM PERFORMANCES IN NONLINEAR EXCITATION CONTROL

*Li Xiacong*¹, *Cheng Shijie*¹, *Wei Hua*², *Wang Shaorong*¹

(1. Huazhong University of Science and Technology, Wuhan 430074, China)

(2. Guangxi University, Nanning 530004, China)

Abstract: It is found that in the design of nonlinear control, selection of the output function of a nonlinear system can greatly affect the formulation of the linearized state space, which then affects the performance of the nonlinear controller. Taking this fact into account, a new output function for synchronous generator is formulated for the design of a high performance excitation control. The proposed nonlinear excitation controller can coordinate the dynamic and steady-state performance of the system well. Simulation results show that both the dynamic and steady-state performance of the synchronous generator with the proposed controller are greatly improved. Regulation of the generator terminal voltage and the stability of the generator unit are enhanced by the developed control. The proposed controller is valuable for industrial applications.

This project is supported by National Key Basic Research Special Fund of China (G1998020319).

Key words: nonlinear excitation control; multi-index control; inverse system method