



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 103389646 A

(43) 申请公布日 2013. 11. 13

(21) 申请号 201310283079. 9

(22) 申请日 2013. 07. 05

(71) 申请人 西安交通大学

地址 710049 陕西省西安市咸宁西路 28 号

(72) 发明人 冯斌 梅雪松 孙挪刚 叶超

牟恩旭 任建功

(74) 专利代理机构 西安通大专利代理有限责任

公司 61200

代理人 徐文权

(51) Int. Cl.

G05B 13/04 (2006. 01)

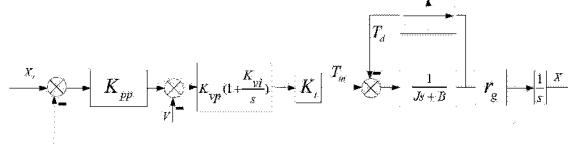
权利要求书2页 说明书7页 附图2页

(54) 发明名称

一种伺服进给系统闭环辨识方法

(57) 摘要

本发明公开了一种伺服进给系统闭环辨识方法,针对开环辨识方法应用范围有限、可辨识参数种类少、运行方式不安全、不稳定等缺点,提出采用闭环辨识方法来实现对系统特征参数的辨识。该方法主要通过对伺服进给系统进行建模,在闭环状态下,输入激励信号并采集位置反馈信号,应用该辨识方法,实现对伺服进给系统参数的辨识。通过对伺服进给系统进行闭环辨识,可对其动态特性进行有效评估,为伺服进给系统优化奠定了基础,提高了其优化的效率,同时对伺服进给系统故障诊断提供参考依据。



1. 一种伺服进给系统闭环辨识方法,其特征在于,包括以下步骤:

- 1) 首先将激励位置指令 X_r 输入到伺服进给系统;
- 2) 伺服进给系统按照激励位置指令进行运动,在运动过程中采集激励位置指令 X_r 及反馈位置输出 X ;
- 3) 将反馈位置输出 X 进行差分,得到反馈速度输出 V ;
- 4) 采用滤波算法对反馈速度输出 V 进行滤波得到 V_{filter} ;
- 5) 依据伺服进给系统建立输入与输出之间的传递函数并建立系数方程,利用拉普拉斯反变换得到其时间域离散传递函数,在此基础上,对时间域离散传递函数两端进行积分操作得到闭环辨识方程;
- 6) 将伺服进给系统受到的外界摩擦干扰 T_d 简化为库伦摩擦;
- 7) 将滤波得到 V_{filter} 、激励位置指令 X_r 、外界摩擦干扰 T_d 及反馈位置输出 X 代入到建立的闭环辨识方程中并采用积分公式求值,在此基础上,利用最小二乘法,得到闭环辨识方程的解;
- 8) 将闭环辨识方程的解代入到系数方程中,求得伺服进给系统参数。

2. 根据权利要求 1 所述的伺服进给系统闭环辨识方法,其特征在于:步骤 1) 中,所述激励位置指令 X_r 为正弦扫频信号。

3. 根据权利要求 1 所述的伺服进给系统闭环辨识方法,其特征在于:步骤 4) 中,采用的滤波算法为五点法,通过五点法滤除外界干扰及差分噪声对测试结果的影响。

4. 根据权利要求 1 所述的伺服进给系统闭环辨识方法,其特征在于:步骤 5) 中,所述依据伺服进给系统建立输入与输出之间的传递函数,如下式所示:

$$x(s) = \frac{b_2 + a_3 \frac{1}{s}}{s^2 + a_1 s + a_2 + a_3 \frac{1}{s}} x_r(s) - \frac{\frac{r_g}{J}}{s^2 + a_1 s + a_2 + a_3 \frac{1}{s}} T_d(s)$$

其中, a_1, a_2, a_3, b_2 为传递函数各项系数, J 为等效惯量, r_g 为丝杠导程, 上述传递函数的各项系数, 可由与伺服进给系统参数相关的方程即系数方程决定, 系数方程为下式所示:

$$\left\{ \begin{array}{l} \alpha_2 = \frac{1}{a_2}, \alpha_1 = \frac{a_1}{a_2}, \alpha_3 = \frac{a_3}{a_2}, \beta_2 = \frac{b_2}{a_2} \\ a_1 = \frac{B + K_t K_{vp} r_g}{J} \\ a_2 = \frac{K_t K_{pp} K_{vp} r_g + K_t K_{vp} K_{vi}}{J} \\ a_3 = \frac{K_t K_{pp} K_{vp} K_{vi} r_g}{J} \\ b_2 = \frac{K_t K_{pp} K_{vp} r_g}{J} \end{array} \right.$$

其中, K_t 为力矩常数, K_{pp} 为位置环控制增益, K_{vp} 为速度环比例增益, K_{vi} 为速度环积分增益, B 为等效阻尼, $\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3, \beta_2$ 为时间域离散传递函数的各项系数。

5. 根据权利要求 4 所述的伺服进给系统闭环辨识方法,其特征在于:对所述传递函数

进行拉普拉斯反变换得到的时间域离散传递函数,如下式所示:

$$x(k) = \alpha_3 e(k) - \alpha_1 v(k) - \alpha_2 a(k) + \beta_2 x_r(k) - \frac{r_g}{J} T_d(k)$$

其中, $e(k)$ 为位置误差积分信号, $a(k)$ 为反馈加速度信号, $v(k)$ 为反馈速度信号, 两端积分可得闭环辨识方程, 如下式所示:

$$\int_0^t x(t) dt = \alpha_3 \int_0^t e(t) dt - \alpha_1 x(t) - \alpha_2 \dot{x}(t) + \beta_2 \int_0^t x_r(t) dt - \frac{r_g}{J} \int_0^t T_d(t) dt .$$

6. 根据权利要求 1 所述的闭环辨识方法, 其特征在于: 步骤 7) 中, 所述的积分公式为牛顿积分公式。

一种伺服进给系统闭环辨识方法

技术领域

[0001] 本发明属于数控机床技术领域,涉及一种辨识方法,尤其是一种针对伺服进给系统闭环辨识的方法。

背景技术

[0002] 在工业自动化应用过程中,常需要对被控对象的特性参数进行辨识。在辨识了被控对象的特性参数后,才可以设计出匹配并满足需求的控制器。随着工业技术的不断发展,辨识对象复杂多变,采集数据中可能混入各种干扰。众多关于辨识的方法纷纷被提出,辨识问题也单独成为一门学科,理论上的研究成果也越来越多的应用于工业生产过程中,辨识方法的研究一直具有应用背景。目前,伺服进给系统的辨识主要集中在开环状态下对被控对象特征参数的辨识,但其应用范围仅限于自主开发的运动控制系统或开放式运动控制系统,且由于在开环状态下,其安全性不足,对被控对象特征参数的辨识不足以对整个系统的动态特性进行评估,限制了其应用范围。

发明内容

[0003] 本发明针对现有技术的缺点,提供一种伺服进给系统闭环辨识方法,该方法通过对系统输入激励信号及输出位置反馈信号,基于建立的系统动力学模型,采用辨识算法,实现对系统特征参数的辨识。

[0004] 本发明的目的是通过以下技术方案来解决:

[0005] 这种伺服进给系统闭环辨识方法,包括以下步骤:

[0006] 1)首先将激励位置指令 X_r 输入到伺服进给系统;

[0007] 2)伺服进给系统按照激励位置指令进行运动,在运动过程中采集激励位置指令 X_r 及反馈位置输出 X ;

[0008] 3)将反馈位置输出 X 进行差分,得到反馈速度输出 V ;

[0009] 4)采用滤波算法对反馈速度输出 V 进行滤波得到 V_{filter} ;

[0010] 5)依据伺服进给系统建立输入与输出之间的传递函数并建立系数方程,利用拉普拉斯反变换得到其时间域离散传递函数,在此基础上,对时间域离散传递函数两端进行积分操作得到闭环辨识方程;

[0011] 6)将伺服进给系统受到的外界摩擦干扰 T_d 简化为库伦摩擦;

[0012] 7)将滤波得到 V_{filter} 、激励位置指令 X_r 、外界摩擦干扰 T_d 及反馈位置输出 X 代入到建立的闭环辨识方程中并采用积分公式求值,在此基础上,利用最小二乘法,得到闭环辨识方程的解;

[0013] 8)将闭环辨识方程的解代入到系数方程中,求得伺服进给系统参数。

[0014] 进一步,上述步骤 1) 中,所述激励位置指令 X_r 为正弦扫频信号。

[0015] 进一步,上述步骤 4) 中,采用的滤波算法为五点法,通过五点法滤除外界干扰及差分噪声对测试结果的影响。

[0016] 进一步,上述步骤 5)中,所述依据伺服进给系统建立输入与输出之间的传递函数,如下式所示:

$$[0017] \quad x(s) = \frac{b_2 + a_3 \frac{1}{s}}{s^2 + a_1 s + a_2 + a_3 \frac{1}{s}} x_r(s) - \frac{\frac{r_g}{J}}{s^2 + a_1 s + a_2 + a_3 \frac{1}{s}} T_d(s)$$

[0018] 其中, a_1 、 a_2 、 a_3 、 b_2 为传递函数各项系数, J 为等效惯量、 r_g 为丝杠导程, 上述传递函数的各项系数, 可由与伺服进给系统参数相关的方程即系数方程决定, 系数方程为下式所示:

$$[0019] \quad \left\{ \begin{array}{l} \alpha_2 = \frac{1}{a_2}, \alpha_1 = \frac{a_1}{a_2}, \alpha_3 = \frac{a_3}{a_2}, \beta_2 = \frac{b_2}{a_2} \\ a_1 = \frac{B + K_t K_{vp} r_g}{J} \\ a_2 = \frac{K_t K_{pp} K_{vp} r_g + K_t K_{vp} K_{vi}}{J} \\ a_3 = \frac{K_t K_{pp} K_{vp} K_{vi} r_g}{J} \\ b_2 = \frac{K_t K_{pp} K_{vp} r_g}{J} \end{array} \right.$$

[0020] 其中, K_t 为力矩常数, K_{pp} 为位置环控制增益, K_{vp} 为速度环比例增益, K_{vi} 为速度环积分增益, B 为等效阻尼, α_1 、 α_2 、 α_3 、 β_2 为时间域离散传递函数的各项系数。

[0021] 进一步, 对上述传递函数进行拉普拉斯反变换得到的时间域离散传递函数, 如下式所示:

$$[0022] \quad x(k) = \alpha_3 e(k) - \alpha_1 v(k) - \alpha_2 a(k) + \beta_2 x_r(k) - \frac{r_g}{J} T_d(k)$$

[0023] 其中, $e(k)$ 为位置误差积分信号, $a(k)$ 为反馈加速度信号, $v(k)$ 为反馈速度信号, 两端积分可得闭环辨识方程, 如下式所示:

$$[0024] \quad \int_0^t x(t) dt = \alpha_3 \int_0^t e(t) dt - \alpha_1 x(t) - \alpha_2 \dot{x}(t) + \beta_2 \int_0^t x_r(t) dt - \frac{r_g}{J} \int_0^t T_d(t) dt$$

[0025] 进一步, 上述步骤 7) 中, 所述的积分公式为牛顿积分公式。

[0026] 本发明具有以下有益效果:

[0027] (1) 本发明采用的闭环辨识方法, 具有应用范围广、安全性高、稳定性好、可辨识参数的种类多等优点。

[0028] (2) 本发明通过对伺服进给系统进行闭环辨识, 可对其动态特性进行有效评估, 为伺服进给系统优化奠定了基础, 提高了其优化的效率, 同时对伺服进给系统故障诊断提供参考依据。

附图说明

[0029] 图 1 是伺服进给系统框图;

[0030] 图 2 是激励位置指令图；

[0031] 图 3 是反馈位置指令图。

具体实施方式

[0032] 本发明的伺服进给系统闭环辨识方法包括以下步骤：

[0033] 1) 首先将激励位置指令 X_r 输入到伺服进给系统，激励位置指令 X_r 为正弦扫频信号，如式(1)所示：

[0034] $X_r(t) = \sin(2\pi ft)$, $t = 0, Ts, 2Ts, \dots, NTs$

[0035] $f = 0:1:f_{lim}$ (1)

[0036] 式中 : Ts 为采样周期, f 为正弦位置指令的频率。 f_{lim} 为系统的估计带宽值, 一般取 100Hz。为了简化计算, N 为 4 的整数倍。

[0037] 2) 伺服进给系统按照激励位置指令进行运动, 在运动过程中采集激励位置指令 X_r 及反馈位置输出 X ；

[0038] 3) 将反馈位置输出 X 按照式(2)进行差分运算, 得到反馈速度输出 V ；

$$[0039] V(k) = \frac{X(k) - X(k-1)}{Ts} \quad (2)$$

[0040] 4) 采用如式(3)所示的五点滤波算法对反馈速度输出 V 进行滤波得到 $V_{filtered}$ ；

$$[0041] V_{filtered}(k) = \begin{cases} \frac{1}{5}(3V(1) + 2V(2) + V(3) - V(5)) & k=1 \\ \frac{1}{10}(4V(1) + 3V(2) + 2V(3) + V(4)) & k=2 \\ \frac{1}{5}(V(k-2) + V(k-1) + V(k) + V(k+1) + V(k+2)) & 2 < k < N-1 \\ \frac{1}{10}(V(n-3) + 2V(n-2) + 3V(n-1) + 4V(n)) & k=N-1 \\ \frac{1}{5}(-V(n-4) + V(n-2) + 2V(n-1) + 3V(n)) & k=N \end{cases} \quad (3)$$

[0042] 5) 依据伺服进给系统如图 1 所示, 建立输入与输出之间的传递函数, 如式(4)所示, 可得到与伺服进给系统参数相关的系数方程, 如式(5)所示。利用拉普拉斯反变换得到其时间域离散传递函数, 如式(8)所示, 在此基础上, 等式两端积分得到闭环辨识方程, 如式(9)所示；

$$[0043] x(s) = \frac{b_2 + a_3 \frac{1}{s}}{s^2 + a_1 s + a_2 + a_3 \frac{1}{s}} x_r(s) - \frac{\frac{r_g}{J}}{s^2 + a_1 s + a_2 + a_3 \frac{1}{s}} T_d(s) \quad (4)$$

[0044] 其中, a_1, a_2, a_3, b_2 为传递函数各项系数, J 为等效惯量、 r_g 为丝杠导程, 上述传递函数的各项系数, 可由与伺服进给系统参数相关的方程即系数方程决定, 系数方程为下式所示：

$$\begin{cases}
 \alpha_2 = \frac{1}{a_2}, \alpha_1 = \frac{a_1}{a_2}, \alpha_3 = \frac{a_3}{a_2}, \beta_2 = \frac{b_2}{a_2} \\
 a_1 = \frac{B + K_t K_{vp} r_g}{J} \\
 a_2 = \frac{K_t K_{pp} K_{vp} r_g + K_t K_{vp} K_{vi}}{J} \\
 a_3 = \frac{K_t K_{pp} K_{vp} K_{vi} r_g}{J} \\
 b_2 = \frac{K_t K_{pp} K_{vp} r_g}{J}
 \end{cases} \quad (5)$$

[0046] 其中, K_t 为力矩常数, K_{pp} 为位置环控制增益, K_{vp} 为速度环比例增益, K_{vi} 为速度环积分增益, B 为等效阻尼, α_1 、 α_2 、 α_3 、 β_2 为时间域离散传递函数的各项系数。

[0047] 利用拉普拉斯反变化, 得:

$$x(t) = \alpha_3 e(t) - \alpha_1 \dot{x}(t) - \alpha_2 \ddot{x}(t) + \beta_2 x_r(t) - \frac{r_g}{J} T_d(t) \quad (6)$$

[0049] 其中, $e(t)$ 为位置误差积分, 如式(7)所示

$$e(t) = \int_0^t (x_r(t) - x(t)) dt \quad (7)$$

[0051] 将式(6)离散化, 得:

$$x(k) = \alpha_3 e(k) - \alpha_1 v(k) - \alpha_2 a(k) + \beta_2 x_r(k) - \frac{r_g}{J} T_d(k) \quad (8)$$

[0053] 其中, $e(k)$ 为位置误差积分信号, $a(k)$ 为反馈加速度信号, $v(k)$ 为反馈速度信号, 两端积分可得:

$$\int_0^t x(t) dt = \alpha_3 \int_0^t e(t) dt - \alpha_1 x(t) - \alpha_2 \dot{x}(t) + \beta_2 \int_0^t x_r(t) dt - \frac{r_g}{J} \int_0^t T_d(t) dt \quad (9)$$

[0055] 6) 在运动过程中, 将伺服进给系统受到的外界干扰简化为库伦摩擦, 其正负方向库伦摩擦表达式如式(10)所示, $PV(v(k))$, $NV(v(k))$ 按照式(11)及(12)进行计算;

[0056] 库伦摩擦干扰可以表示为:

$$T_d(v(k)) = PV(v(k))T_d^+ + NV(v(k))T_d^- \quad (10)$$

[0058] 其中,

$$\begin{cases}
 PV(v(k)) = \frac{1}{2} \operatorname{sgn}(v(k))(1 + \operatorname{sgn}(v(k))) \\
 NV(v(k)) = -\frac{1}{2} \operatorname{sgn}(v(k))(1 - \operatorname{sgn}(v(k)))
 \end{cases} \quad (11)$$

$$\operatorname{sgn}(v(k)) = \begin{cases} 0 & |v(k)| < \Omega_d \\ 1 & v(k) > \Omega_d \\ -1 & v(k) < -\Omega_d \end{cases} \quad (12)$$

[0061] Ω_d 为较小的速度值, 取 0.3mm/s。

[0062] 7) 将滤波得到 V_{filter} 、激励位置指令 X_r 及反馈位置输出 X 及库伦摩擦 T_d 代入到建立的闭环辨识方程中, 采用如式(13)所示的牛顿积分公式, 对方程中的积分进行求值, 如式(14)所示。利用最小二乘法如式(15)所示, 可求得最优的参数估计值数组;

$$[0063] \int_a^b x(t)dt \approx \frac{b-a}{90} (7x(a) + 32x(a+h) + 12x(a+2h) + 32x(a+3h) + 7x(b))$$

$$[0064] h = \frac{b-a}{4} \quad (13)$$

$$[0065] \begin{bmatrix} \int_0^{4Ts} X(t)dt \\ \int_0^{8Ts} X(t)dt \\ \vdots \\ \int_0^{NTs} X(t)dt \end{bmatrix} =$$

[0066]

$$\begin{bmatrix} \int_0^{4Ts} e(t)dt & -X(4Ts) & -V(4Ts) & \int_0^{4Ts} Xr(t)dt & -\int_0^{4Ts} PV(v(t)) & -\int_0^{4Ts} NV(v(t)) \\ \int_0^{8Ts} e(t)dt & -X(8Ts) & -V(8Ts) & \int_0^{8Ts} Xr(t)dt & -\int_0^{8Ts} PV(v(t)) & -\int_0^{8Ts} NV(v(t)) \\ \vdots & & & & & \\ \int_0^{NTs} e(t)dt & -X(NTs) & -V(NTs) & \int_0^{NTs} Xr(t)dt & -\int_0^{NTs} PV(v(t)) & -\int_0^{NTs} NV(v(t)) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \alpha_3 \\ \alpha_1 \\ \alpha_2 \\ \beta_2 \\ \frac{r_g}{J} T_d^+ \\ \frac{r_g}{J} T_d^- \\ \frac{r_g}{J} T_d^- \end{bmatrix}$$

[0067] (14)

[0068] 定义

[0069]

$$\Phi_{cl} = \begin{bmatrix} \int_0^{4Ts} e(t)dt & -X(4Ts) & -V(4Ts) & \int_0^{4Ts} Xr(t)dt & -\int_0^{4Ts} PV(v(t)) & -\int_0^{4Ts} NV(v(t)) \\ \int_0^{8Ts} e(t)dt & -X(8Ts) & -V(8Ts) & \int_0^{8Ts} Xr(t)dt & -\int_0^{8Ts} PV(v(t)) & -\int_0^{8Ts} NV(v(t)) \\ \vdots & & & & & \\ \int_0^{NTs} e(t)dt & -X(NTs) & -V(NTs) & \int_0^{NTs} Xr(t)dt & -\int_0^{NTs} PV(v(t)) & -\int_0^{NTs} NV(v(t)) \end{bmatrix}$$

$$[0070] \quad \theta_{cl} = \begin{bmatrix} \alpha_3 \\ \alpha_1 \\ \alpha_2 \\ \beta_2 \\ \frac{r_g}{J} T_d^+ \\ \frac{r_g}{J} T_d^- \end{bmatrix} \quad Y_{cl} = \begin{bmatrix} \int_0^{4T_s} X(t) dt \\ \int_0^{8T_s} X(t) dt \\ \vdots \\ \int_0^{NT_s} X(t) dt \end{bmatrix}$$

$$[0071] \quad \widehat{\theta}_{cl} = (\Phi_{cl}^T \Phi_{cl})^{-1} \Phi_{cl}^T Y_{cl} \quad (15)$$

[0072] 8) 由最优的参数估计值数组 $\widehat{\theta}_{cl}$, 通过系数方程, 在已知伺服进给系统参数 : 等效惯量 J、丝杠导程 rg、力矩常数 Kt, 可求得伺服进给系统其它相关参数 : 位置环控制增益 Kpp、速度环比例增益 Kvp、速度环积分增益 Kvi、等效阻尼 B、摩擦力矩 Td ;

[0073] 下面结合附图对本发明做进一步详细描述 :

[0074] 1、伺服进给系统框图

[0075] 本发明所述的伺服进给系统框图, 如图 1 所示, 该框图中的主要参数有 : 位置指令 X_r 、位置环控制增益 Kpp、速度环比例增益 Kvp、速度环积分增益 Kvi、力矩常数 Kt、等效惯量 J、等效阻尼 B、丝杠导程 rg、反馈位置 X、反馈速度 V、摩擦力矩 Td、指令力矩 T_m 。

[0076] 以下给出本发明的一种具体实施例的仿真测试结果 :

[0077] 控制仿真对象为采用三菱交流伺服系统的 X-Y 轴精密伺服工作台, X 轴伺服电机的主要参数, 如表 1 所示, 通过闭环辨识, 其辨识结果如表 2 所示。

[0078] 表 1X 轴伺服电机主要参数

[0079]	轴	电机型号	扭矩常数 / N.m/V	惯量 / kg.m ²	丝杠导程
[0080]	X	HF-SP152	2.6875	0.003	16mm

[0081] 表 2 闭环辨识的结果

参数	X 轴	辨识值
K_{PP}	190	173.4282
(位置环比例增益)		
K_{VP}	0.06	0.0629
[0082]	(速度环比例增益)	
K_{VT} (速度环积分补偿)	83.3333	88.9542
B (粘性阻力系数)	0.02734	0.0257
T_{coul}^+ (正向库仑力)	0.5667	0.5891
T_{coul}^- (反向库仑力)	-0.8920	-0.8944

[0083] 2、激励位置指令图

[0084] 本发明所述的激励位置指令图,如图 2 所示,从图可以看出,激励位置指令为幅值为 1 的扫频信号,频率逐渐加大。

[0085] 3、反馈位置图

[0086] 本发明所述的反馈位置指令图,如图 3 所示,从图可以看出,反馈指令较好的跟随了激励位置指令。

[0087] 综上所述,本发明为了实现对闭环相关参数的辨识。由辨识结果可以看出,由于数据处理过程中,差分噪声、滤波等都对结果准确性有影响,辨识值比较接近真实值。该辨识结果能够对伺服进给系统的动态特性进行评估及分析。

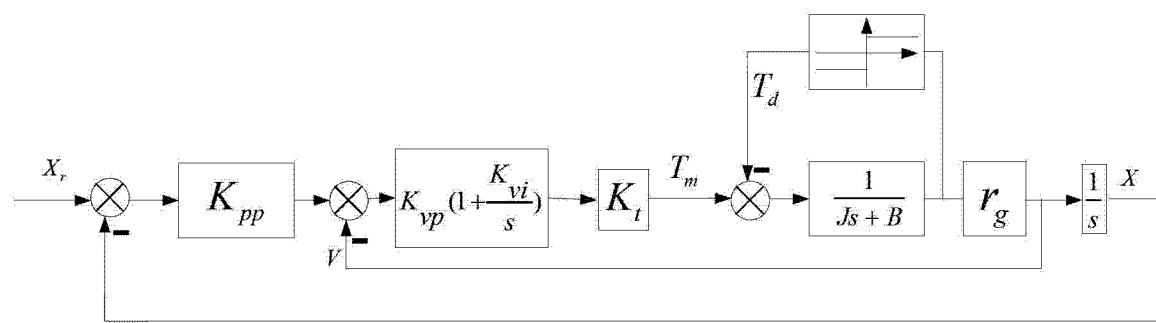


图 1

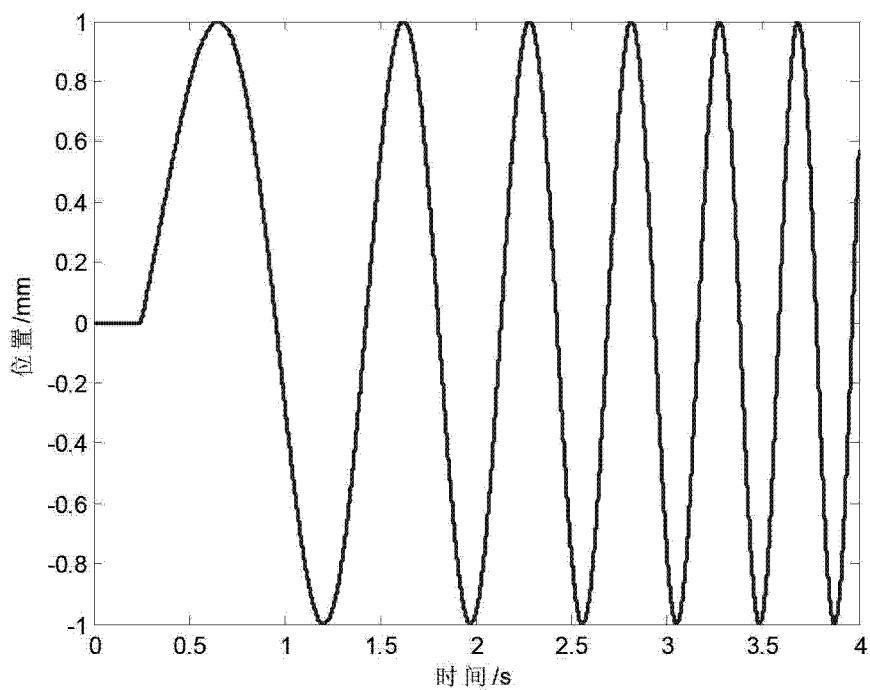


图 2

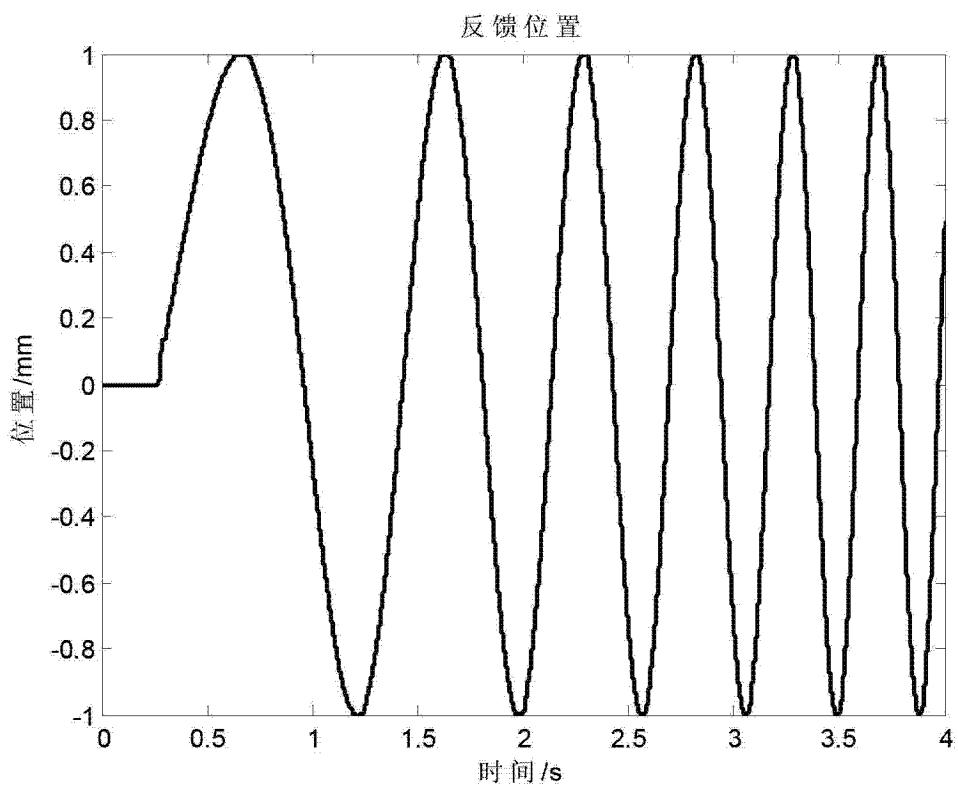


图 3