УДК 677.052-185

РЕАЛИЗАЦИЯ НАБЛЮДАТЕЛЯ СОСТОЯНИЙ ДЛЯ УПРАВЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКОЙ СИСТЕМОЙ РОВНИЧНОЙ МАШИНЫ

К.А.ПОЛЯКОВ, А.Е. ПОЛЯКОВ, А.В.ШИЛОВ

(Радиотехнический институт им. академика А.Л.Минца, Московский государственный текстильный университет им.А.Н.Косыгина)

В настоящей статье анализируется возможность реализации наблюдателя состояний типа Люенбергера для электромеханической системы ровничной машины (РМ).

Рассмотрим электромеханическую систему привода приемного вала РМ [1], описываемую уравнением состояний:

$$\dot{\underline{x}} = f(\underline{x}, \underline{u}, t), \qquad (1)$$

где $\underline{x} \in R^n$ – вектор состояния; $\underline{u} \in R^m$ – входной вектор.

Выходной сигнал системы задается посредством

$$\underline{y}(t) = q((\underline{x}, \underline{u}, t) + \underline{v}(t)), \qquad (2)$$

где $\underline{y} \in R^p$ – вектор сигнала на выходе; $\underline{V}$ – $\in R^p$ – нулевое среднее значение вектора флуктационного шума, загрязняющего выходной сигнал.

Задача может быть определена как получение наилучшей возможной оценки состояния $\underline{x}(t)$ в результате измерений входа $\underline{u}(t)$ и выхода $\underline{y}(t)$.

На основании теории обычных дифференциальных уравнений можно получить $\underline{x}(t)$ в качестве однозначного решения уравнения (1) для заданного входа $\underline{u}(t)$ при условии, что известно первоначальное состояние $\underline{x}(0)$. Однако на практике $\underline{x}(0)$ неизвестно.

Основная идея применения наблюдателя типа Люенбергера, который первоначально предлагался для линейной системы, состояла в использовании модели для генерации оценки состояний. Действительный выход системы сравнивался с выходом модели, а разница подавалась обратно в модель таким образом, что ошибка оценки асимптотически снижалась до нуля. Это определяется посредством следующей линейной модели [2]:

$$\dot{\underline{x}}(t) = A\underline{x}(t) + B\underline{u}(t), \qquad (3)$$

$$\underline{y}(t) = C\underline{x}(t), \qquad (4)$$

где предполагается, что выход не имеет шума.

Наблюдатель состояний описывается следующей моделью [3]:

$$\underline{x}\ (t) = A\,\underline{x}\ (t) + B\underline{u}(t) + К[\underline{y}(t) - C\underline{x}(t)]. \qquad (5)$$

Ошибка наблюдения определяется выражением:

$$\underline{\tilde{x}}(t) = \underline{x}(t) - \underline{x}(t). \qquad (6)$$

Посредством вычитания (5) из (3) и используя (2) и (4), можно получить следующее:

$$\dot{\underline{\tilde{x}}} = (A - KC)\ \underline{\tilde{x}}.$$

Таким образом, ошибка наблюдения $\underline{\tilde{x}}(t)$ будет приближаться к нулю асимптотически, если все собственные значения матрицы А–КС имеют отрицательные вещественные части.

Для реализации наблюдателя состояний, использующего метод блочно-импульсной функции [4], необходимо решить итеративно уравнение состояния для наблюдателя, заданного моделью (5), которая может быть перегруппирована в уравнение

$$\underline{x}\ (t) = (A - КC)\ \underline{x}\ (t) + B\underline{u}(t) + K\underline{y}(t). \qquad (7)$$

Уравнение (7) подобно выражению (5), кроме A, которое заменено на (A – KC), имеет дополнительный вход $K\underline{y}(t)$.

Вследствие того, что наблюдатель Люенбергера был получен для линейных систем, для нелинейных систем применена линеаризованная версия нелинейной динамической модели с необходимостью соблюдения условия линеаризации после каждого шага, использующего текущие оценки состояний.

Нелинейный наблюдатель Люенбергера для электромеханических систем, описываемых уравнениями (1) и (2), может быть определен дифференциальным уравнением:

$$\underline{x} = f(\underline{x}, \underline{u}, t) + K(\underline{y} - \underline{y}), \qquad (8)$$

где $\underline{y}$ – выходной сигнал, получаемый из оценки состояния $\underline{x}$ посредством соотношения

$$\underline{y}\ (t) = q(\underline{x}, \underline{u}, t). \qquad (9)$$

Для того, чтобы наблюдатель состояний мог дать оценки, которые сходятся с их действительными значениями, необходимо, чтобы ошибка оценки состояния $\underline{x}$, определяемая в уравнении (8), приближалась к нулю по мере увеличения t.

При вычитании (8) из (9) получим:

$$\dot{\tilde{\underline{x}}} = f(\underline{x}, \underline{u}, t) - f(\underline{x}, \underline{u}, t) -$$
$$- K[q(\underline{x}, \underline{u}, t) - q(\underline{x}, \underline{u}, t)]. \qquad (10)$$

Следовательно, необходимо выбрать матрицу коэффициентов усиления (K) таким образом, чтобы уравнение (10) представляло асимптотически устойчивую систему.

Для упрощения используем расширение ряда Тейлора f(.) и q(.) относительно рабочей точки x_0. Оставляя члены первого порядка, получим следующую аппроксимацию:

$$\dot{\tilde{\underline{x}}} = (A - KC)\ \tilde{\underline{x}},$$

$$A^{\Delta} = \partial f/\partial x \Big|_{\underline{x} = \underline{x}_0} ;\ C^{\Delta} = \partial p/\partial x \Big|_{\underline{x} = \underline{x}_0} .$$

Необходимо выбрать матрицу коэффициентов усиления таким образом, чтобы вещественные части собственных значений (A – KC) имели отрицательные значения.

При решении практических задач возможно разделить пространство состояний на небольшое число областей так, чтобы для каждой из них было бы достаточно определенного значения K-матрицы.

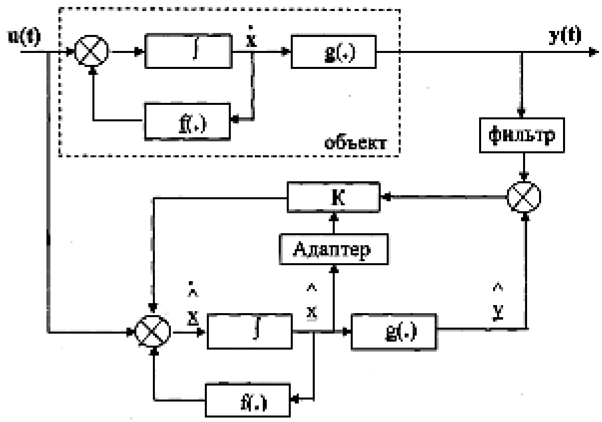

Рис. 1

Для моделирования электромеханической системы с адаптивным наблюдателем может быть использована структурная схема, приведенная на рис.1.

Система управления приводом приемного вала крутильно-мотального механизма ровничной машины без учета влияния гибких и упругих связей в кинематических передачах и наличии наблюдателя положения храпового механизма замка может рассматриваться как линейная система второго порядка, описываемая следующими уравнениями [5]:

$$\begin{pmatrix} \dot{x}_1 \\ \dot{x}_2 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0 & -2 \\ 1 & -3 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x_1 \\ x_2 \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} 1 \\ -2 \end{pmatrix}; \quad y = [0\,1] \begin{pmatrix} x_1 \\ x_2 \end{pmatrix} + y(t).$$

Прикладываемый к системе входной сигнал задан посредством

$$u(t) = 2\cos 0{,}23t - \cos 2{,}76t - \cos 0{,}98t.$$

Выходной сигнал системы при отсутствии шума может быть вычислен следующим образом:

$$y(t) = c_1e^{-t} + c_2e^{-2t} - 8{,}758186\cos(0{,}23t - 0{,}283129) +$$
$$+ 0{,}971396\cos(3{,}76t - 1{,}462932) + 3{,}641298\cos(0{,}98t - 0{,}809646),$$

где константы c_1 и c_2 зависят от начальных условий.

Линейная система, а также функция входного сигнала были промоделированы на ЭВМ при $c_1 = c_2 = 0$. Выбран интервал дискретизации, равный 0,05 с, и реализованы два случая: а) – выходной сигнал без шума и б) – выходной сигнал, загрязненный белым шумом.

При моделировании наблюдателя, использующего блочно-импульсные функции, выбрана следующая матрица коэффициентов усиления:

$$K = [-31 \quad -7],$$

помещающая полюса наблюдателя на -6 в p-плоскости.

Наблюдатель тестировался при нулевом начальном условии и выявил удовлетворительные характеристики при наличии шума и без фильтра. По истечении 25 интервалов дискретизации ошибка снизилась примерно до 2%. С использованием фильтра ошибка стала 0,5 % по истечении 25 интервалов дискретизации.

Затем моделировалась нелинейная система второго порядка:

$$\left.\begin{aligned} \dot{x}_1 &= x_2, \\ \dot{x}_2 &= -3x_1 - 2x_1^2 - x_2 + u, \\ y &= x_1. \end{aligned}\right\}$$

Используя линеаризацию системы относительно $x_1 = 0$ и $x_2 = 0$ был спроектирован наблюдатель состояний второго порядка для получения собственных значений на –3 и –4:

$$\begin{aligned} x &= x_2 - 6y, \\ x_2 &= -3x_1 - 2x_1^2 = x_2 + u - 3y. \end{aligned} \qquad (11)$$

Нелинейная система (11) промоделирована на ЭВМ при ступенчатом входном сигнале. Получены оценки для бесшумового случая, а также с 10%-ным шумом, добавляемым к выходному сигналу.

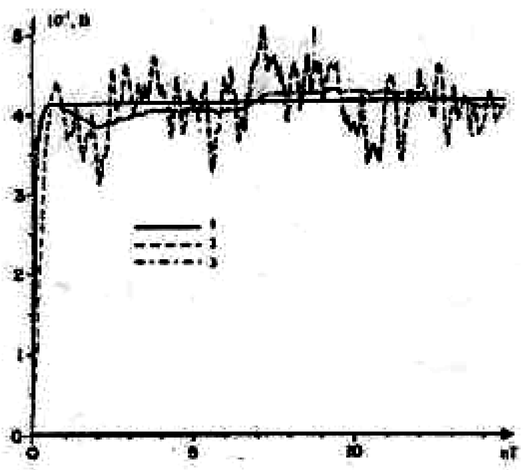

Рис. 2

Результаты приведены на рис.2, где показана оценка переходного процесса для нелинейного случая: 1 – отсутствие шума; 2 – наличие шума без фильтра; 3 – наличие шума (с фильтром). Из рисунка следует, что нелинейный наблюдатель с фильтром работает удовлетворительно даже в присутствии шума.

ВЫВОДЫ

Результаты имитационного моделирования указывают на то, что состояния наблюдателя отслеживают достаточно точно действительные состояния системы. Однако устойчивость алгоритма можно гарантировать только в случае незначительной ошибки наблюдения.

При реализации блочно-импульсной функции нет необходимости в фильтре для шума низкого уровня. Необходимо тщательно определить тип микропроцессора. Для оперативной (в темпе поступления информации) работы необходимо, чтобы вычисления для наблюдателя завершались в пределах одного интервала дискретизации. Важен выбор интервала дискретизации (Т), который зависит от постоянных времени системы.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Поляков К.А., Поляков А.Е.* // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 2000, №1. С.105…109.
2. *Кузовков Н.Т.* Модальное управление и наблюдающие устройства. – М.: Машиностроение, 1976.
3. *Доруссо П., Рой Р.* Пространство состояний в теории управления. – М.: Наука, 1970.
4. *Солодовников В.В.* Теория сложности и проектирование систем управления. – М.: Наука, 1990.
5. *Zou H., Tewfir A.H.* Parameterization compactly supported orthonornal wavelets. //IEEE Transactions on Signal Processing. –V.41, Mar. 2003.

Рекомендована кафедрой электротехники. Поступила 20.10.07.