

УДК 621.9;62-82

В.Н. Тихенко, д-р техн. наук

ЭЛЕКТРОГИДРАВЛИЧЕСКИЙ СЛЕДЯЩИЙ ПРИВОД С РЕДУЦИРОВАННЫМ НАБЛЮДАТЕЛЕМ СОСТОЯНИЯ

Аннотация. Рассмотрены вопросы технической реализации редуцированного наблюдателя состояния для электрогидравлического следящего привода металлообрабатывающих станков с целью повышения точности обработки деталей на металлообрабатывающих станках.

В. М. Тихенко, д-р техн. наук

ЕЛЕКТРОГІДРАВЛІЧНУ СПОСТЕРЕЖЕННЯ ПРИВІД З РЕДУКУВАННЯ СПОСТЕРІГАЧЕМ СТАНУ

Анотація. Розглянуті питання технічної реалізації редуційованого спостерігача стану електрогідравлічного стежного привода металорізальних верстатів для підвищення точності обробки деталей металообробними верстатами.

Valentin N. Tikhenko, ScD

ELECTRO-HYDRAULIC SERVO DRIVE WITH THE REDUCTION OF STATE OBSERVERS

Abstract. The problems of technical implementation of the reduced observer status for electrohydraulic tracking machine tool drive to improve the accuracy of machining on machine tools.

В электрогидравлических следящих гидроприводах (ЭГСП) станков, как и в любой системе автоматического регулирования, можно выделить объект управления и управляющее устройство или регулятор. Задачей регулятора является формирование сигналов управления, действие которых на привод должно обеспечивать требуемые характеристики процесса обработки на станке. Традиционно при проектировании ЭГСП использовались детерминированные математические модели, а возмущающие воздействия принимались как постоянные величины.

В отличие от простых механических систем на стохастические процессы в ЭГСП станков влияют случайные изменения характеристик процесса резания, рабочей жидкости, а также гидромеханические явления [3]. Создание эффективно функционирующих ЭГСП без учета вероятностного характера протекающих в них процессов при действии случайных возмущений невозможно. Для этого в приводе формируют дополнительные обратные связи, что позволяет создавать адаптивные ЭГСП [3].

Одним из методов повышения эффективности функционирования ЭГСП является использование электронных корректирующих устройств, входными координатами которых являются доступные измерению координаты состояния приводов (положения выходного звена, перепад давлений в полостях гидродвигателя выходного звена и др.), а выходными – составляющие восстановленного вектора координат состояния, используемые для организации дополнительных обратных связей по координатам состояния. На практике такое корректирующее устройство реализуют из двух частей: наблюдателя, который восстанавливает координаты состояния, и набора обратных связей по этим координатам, формирующим требуемое модальное управление.

К основным этапам проектирования адаптивных ЭГСП с моделями можно отнести следующие: построение математических моделей управляемого

процесса; задание функции (или критерия) качества с условием цели адаптации; построение адаптивных алгоритмов, которые обеспечивают достижение поставленной цели. Непосредственная практическая осуществимость и применимость наблюдателей состояния существенно ограничена условием полной определенности об объекте.

Линеаризованная модель замкнутой системы ЭГСП станка может быть представлена передаточной функцией [1]

$$W(s) = \frac{x_1(s)}{u(s)} = \frac{b_2 s^2 + b_1 s + b_0}{s^4 + a_3 s^3 + a_2 s^2 + a_1 s + a_0}, \quad (1)$$

где коэффициенты a_i и b_j связаны с конструктивными параметрами привода и объекта управления.

При создании адаптивных систем с эталонной моделью удобно использовать векторное дифференциальное уравнения состояния

$$\dot{x} = Ax + b'u \quad (2)$$

и векторное алгебраическое уравнение выхода

$$y = Cx, \quad (3)$$

где A, C, b' – матрицы соответствующих размеров, составленные из коэффициентов, определяемых конструктивными параметрами привода и объекта управления.

С учетом передаточной функции (1) выражения (2) и (3) можно представить в матричном виде

$$\dot{x} = \begin{pmatrix} \dot{x}_1 \\ \dot{x}_2 \\ \dot{x}_3 \\ \dot{x}_4 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \\ -a_0 & -a_1 & -a_2 & -a_3 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \\ x_4 \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} 0 \\ b'_2 \\ b'_3 \\ b'_4 \end{pmatrix} u; \\ y = [1 \ 0 \ 0 \ 0]x,$$

где $b'_2 = b_2$; $b'_3 = b_1 - a_3 b_2$; $b'_4 = b_0 - a_3(b_1 - a_3 b_2) - a_2 b_2$.

Для обеспечения объекту управления желаемой динамики составим уравнения эталонной модели

$$\dot{x}_i = \begin{pmatrix} 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \\ -a_0^i & -a_1^i & -a_2^i & -a_3^i \end{pmatrix} x_i + \begin{pmatrix} 0 \\ b_2^i \\ b_3^i \\ b_4^i \end{pmatrix} u;$$

$$y_i = x_1^i.$$

Выбор параметров эталонной модели зависит от требований, предъявляемых к замкнутой системе (времени переходного процесса, перерегулирования, астатизма и т.д.). При этом, естественно, она должна быть устойчивой.

С учетом введения адаптивного сигнала ошибка наблюдения ($e = x - x_i$) [1]

$$\dot{e} = A_i e + \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ \Delta a_0 & \Delta a_1 & \Delta a_2 & \Delta a_3 \end{pmatrix} x + \begin{pmatrix} 0 \\ \Delta b_2 \\ \Delta b_3 \\ \Delta b_4 \end{pmatrix} u - bz,$$

где $\Delta a_i = a_i - a_i^i$; $\Delta b_j = b_j^i - b_j^i$ для всех i и j .

Задание минимизируемой функции (или критерия) качества с условием цели адаптации необходимо осуществить в виде

$$J_e = e^T P e; P = P^T; P > 0,$$

где матрица P удовлетворяет матричному неравенству

$$A_i^T P + P A_i < 0. \quad (5)$$

Для непосредственного вычисления P неравенство (5) заменяется равенством, у которого правая часть является отрицательно определенной симметричной матрицей Q . Значения матриц P и b_m позволяют определить параметры сигнального алгоритма.

В связи с тем, что при вычислении ошибки e измеряется только одна переменная x_1 , используем наблюдатель пониженной размерности (стационарный редуцированный наблюдатель) третьего порядка. Для построения наблюдателя необходимо произвести разбиение матриц A_m и B_m на блоки:

$$A_{11}^i = 0; A_{12}^i = [1 \ 0 \ 0]; A_{21}^i = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ -a_0^i \end{bmatrix};$$

$$A_{22}^i = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \\ -a_1^i & -a_2^i & -a_3^i \end{bmatrix};$$

$$b_1^i = 0; b_2^i = \begin{bmatrix} b_2^i \\ b_3^i \\ b_4^i \end{bmatrix};$$

$$[A_{22}^i - L A_{12}^i] = \begin{bmatrix} -l_1 & 1 & 0 \\ -l_2 & 0 & 1 \\ -l_3 - a_1^i & -a_2^i & -a_3^i \end{bmatrix};$$

$$[A_{21}^i - L A_{11}^i] = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ -a_0^i \end{bmatrix}; [b_2^i - L b_1^i] = \begin{bmatrix} b_2^i \\ b_3^i \\ b_4^i \end{bmatrix}.$$

В этом случае уравнение наблюдателя

$$\dot{x} = [A_{22}^i - L A_{12}^i] + A_{21}^i y + \begin{pmatrix} l_1 \\ l_2 \\ l_3 \end{pmatrix} \dot{y} + b_2^i u.$$

Матрица L определяется в соответствии с рекомендациями по выбору динамики наблюдателя, который при сохранении свойств наблюдателя полного порядка является наблюдателем с наименьшей по сложности реализацией [2]. Сформированный сигнал коррекции привода, представляющий собой линейную комбинацию сигналов, пропорциональных координатам его состояния с коэффициентами передачи, выбранными из условия обеспечения заданного модального управления, подается на входной усилитель электрических сигналов ЭГСП.

Получение сигналов, пропорциональных перемещению и скорости выходного звена гидродвигателя, не вызывает трудностей. Сложнее выбрать датчик перепада давлений в полостях гидродвигателя, так как большинство выпускаемых промышленностью датчиков индукционного типа имеют характеристику с петлевой нелинейностью. Как показывает практика, допустимая ширина петли в характеристике таких датчиков, используемых в наблюдателях, не должна превышать 0,2 МПа. Такой параметр имеют тензометрические датчики давлений на керамической основе.

Чтобы пульсации рабочей жидкости не повлияли на функционирование ЭГСП, в электронную часть наблюдателя необходимо вводить фильтр высоких частот.

Использование ЭГСП с редуцированным наблюдателем состояния создает возможности для повышения точности работы многокоординатного станка в следящих режимах обработки.

Список использованной литературы

1. Борцов Ю.А. Электромеханические системы с адаптивным и модальным управлением / Ю.А. Борцов, Н.Д. Поляков, В.В. Путов. – Л.: Энергоатомиздат, 1984. – 216 с.
2. Ермаков С.А. Реализация корректирующих устройств электрогидравлических приводов с наблюдателями состояния / С.А. Ермаков, И.Е. Золотарев, А.В. Кудинов. // Пневматика и гидравлика. – 1989. – Вып. 14. – С. 102-113.
3. Струтинський В.Б. Стохастичні процеси у гідроприводах верстатів / В.Б. Струтинський, В.М. Тихенко. – Одеса: Астропринт, 2009. – 456 с.
4. Тихенко В.Н. Анализ и синтез гидравлических следящих приводов с обратными связями по нагрузке / В.Н. Тихенко // Вест. Нац. техн. ун-та Украины «КПИ». – 2000. – Вып. 38. – С. 79-83.

Получено 11.07.2011



Тихенко
 Валентин Николаевич,
 д-р техн. наук, доц. каф.
 металлорежущих станков,
 метрологии и сертификации
 Одесск. нац. политехн. ун-та,
 тел. (048) 734-85-55