

УДК 621.34: 62-50

Микропроцессорная реализация наблюдателей состояния и нагрузки для электромеханотронных модулей

Колганов А.Р., д-р техн. наук, Лебедев С.К., Гнездов Н.Е., кандидаты техн. наук

Предложена методика расчета предельно достижимой динамики наблюдателей при их реализации в микропроцессорной системе управления, выполняющей расчеты в числах с фиксированной точкой без переполнения переменных. Для наблюдателей полного, с астатизмом первого и второго порядков определены максимальные значения полос пропускания. Приведено описание экспериментальной установки и программного обеспечения.

Ключевые слова: электромеханотронные модули и системы, электропривод, наблюдатель состояния, микропроцессор.

Microprocessor Implementation of State and Load Observers for Electromechanotronic Modules

A.R. Kolganov, Doctor of Engineering, S.K. Lebedev, N.E. Gnezdov, Candidates of Engineering

The authors suggest a calculation method of ultimate realizable dynamics of observers during their realization in microprocessor control system which calculates in numbers with fixed point without overflowing of variables. Maximum values of pass bands are defined for observers of first and second order astatism. The description of experimental installation and software is given.

Key words: electromechanotronic modules and systems, electric drive, state observer, microprocessor.

Одной из проблем при создании энерго-сберегающих электромеханотронных модулей и систем является обеспечение «информационной прозрачности» объекта управления. Решение этой задачи может быть получено либо за счет применения многочисленных датчиков (преобразователей физических величин в электрические сигналы), либо за счет использования устройств косвенного вычисления переменных, к которым относятся и наблюдатели состояния.

Обеспечению «информационной прозрачности» с помощью датчиков препятствуют следующие факторы:

- конструктивные и технико-экономические ограничения на применение датчиков (ограничение габаритов и веса системы, высокие затраты на приобретение, установку и обслуживание датчиков);
- принципиальная невозможность измерения ряда важных переменных с помощью датчиков (приведенные механические нагрузки, эквивалентные упруго-вязкие моменты и т. д.);
- внесение датчиками недопустимых статических и динамических погрешностей.

Наблюдатели состояния позволяют получить информацию о состоянии объекта и возмущениях по доступной входной и выходной ин-

формации, а также по параметрам его математической модели [1].

Существенный импульс к расширению использования наблюдателей в электромеханотронных системах, в частности в быстродействующих системах электроприводов переменного тока, дал переход управляющих устройств на цифровую микропроцессорную элементную базу.

В настоящее время производительность и быстродействие *DSP*-микроконтроллеров для управления электродвигателями позволяют осуществлять цифровую реализацию наблюдателей состояния, синтезированных в рамках непрерывных систем.

Интенсивное использование наблюдателей и учет новых факторов сложности при описании объектов управления и режимов их работы подстегивает интерес исследователей к способам, методам, алгоритмам синтеза и настройки наблюдателей, повышению качества восстановления координат объекта.

Ранее авторами были разработаны методики синтеза наблюдателей состояния и нагрузки с повышенным порядком астатизма, заданной полосой пропускания и компенсацией динамической ошибки восстановления [2, 3].

При этом для совершенствования метода стандартных коэффициентов предложены выражения и алгоритмы выбора среднегеометрического корня наблюдателей [4] как по заданному времени регулирования, так и по требуемой полосе пропускания, что также позволяет корректно

¹ Работа выполнена при поддержке ФЦП «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» (гос. контракт №02.740.11.0067)

$$\left\{ \begin{aligned} \hat{\Omega}_1^*(k+1) &= \hat{\Omega}_1^*(k) + k_{m1}(M^*(k) - \hat{M}_{y\epsilon}^*(k)) + \\ &+ k_{\tau 1}(\hat{\Omega}_1^*(k) - \hat{\Omega}_1^*(k)); \\ \hat{M}_y^*(k+1) &= \hat{M}_y^*(k) + k_{\Omega 1}(\hat{\Omega}_1^*(k) - \hat{\Omega}_2^*(k)) + \\ &+ k_{\Omega 2}(\hat{\Omega}_1^*(k) - \hat{\Omega}_1^*(k)); \\ \hat{\Omega}_2^*(k+1) &= \hat{\Omega}_2^*(k) + k_{m2}(\hat{M}_{y\epsilon}^*(k) - \hat{M}_c^*(k)) + \\ &+ k_{\tau 2}(\hat{\Omega}_1^*(k) - \hat{\Omega}_2^*(k)); \\ \hat{M}_{y\epsilon}^*(k+1) &= \hat{M}_y^*(k+1) + \\ &+ k_{\Omega 3}(\hat{\Omega}_1^*(k+1) - \hat{\Omega}_2^*(k+1)); \\ d\hat{M}_c^*(k+1) &= d\hat{M}_c^*(k) + k_{\Omega 4}(\hat{\Omega}_1^*(k) - \hat{\Omega}_1^*(k)); \\ \hat{M}_c^*(k+1) &= \hat{M}_c^*(k) + d\hat{M}_c^*(k+1) + \\ &+ k_{\Omega 5}(\hat{\Omega}_1^*(k) - \hat{\Omega}_1^*(k)), \end{aligned} \right.$$

где $k_{m1} = \frac{m_{\Omega}}{m_M} \frac{\tau}{J_1}$; $k_{m2} = \frac{m_{\Omega}}{m_M} \frac{\tau}{J_2}$; $k_{\Omega 1} = \frac{m_M}{m_{\Omega}} \tau c$;

$k_{\Omega 2} = \frac{m_M}{m_{\Omega}} \tau l_2$; $k_{\Omega 3} = \frac{m_M}{m_{\Omega}} b$; $k_{\Omega 4} = \frac{m_M}{m_{\Omega}} \tau l_4$;

$k_{\Omega 5} = \frac{m_M}{m_{\Omega}} \tau l_5$; $k_{\tau 1} = \tau l_1$; $k_{\tau 2} = \tau l_3$; m_M – размер-

ность момента; m_{Ω} – размерность скорости.

Для определения максимально возможной полосы пропускания наблюдателя $f_{пр.макс}$ при заданных периоде расчета и размерностях переменных нами разработана программа в одной из систем компьютерной математики.

В программе учтены соотношения среднегеометрического корня ω_{0s} и полосы пропускания $f_{пр}$ при биномиальном распределении корней характеристического уравнения наблюдателя [4].

При параметрах объекта $J_1 = 0,055 \text{ кгм}^2$, $J_2 = 0,277 \text{ кгм}^2$, $c = 553,633 \text{ Нм/рад}$ и $b = 0,83 \text{ Нмс/рад}$, периоде расчета $\tau = 1 \cdot 10^{-3} \text{ с}$ и размерностях переменных $\Omega : 0,000488 \text{ рад/с}$ (4-х байтовая знаковая переменная); $M : 1,192 \cdot 10^{-7} \text{ Нм}$ (4-х байтовая знаковая переменная) получены значения $f_{пр.макс}^{HCA2} = 9,7 \text{ Гц}$ и $\omega_{0s.макс}^{HCA2} = 188 \text{ с}^{-1}$.

Аналогичные расчеты, выполненные для наблюдателей состояния полного и с астатизмом первого порядков [2], дали следующие значения: $f_{пр.макс}^{HCP} = 329,2 \text{ Гц}$, $\omega_{0s.макс}^{HCP} = 4064 \text{ с}^{-1}$ и $f_{пр.макс}^{HCA1} = 46,2 \text{ Гц}$, $\omega_{0s.макс}^{HCA1} = 701 \text{ с}^{-1}$.

Как видим, с повышением порядка наблюдателя для соблюдения условия его работы в линейной зоне приходится в разы снижать его полосу пропускания. При этом можно не выполнять требования технического задания по динамике и точности восстановления переменных.

Выйти из данной ситуации можно, увеличив размерность переменных или уменьшив период расчета. И то и другое связано с повышением затрат на аппаратную часть системы управления.

В связи с этим представляется рациональным использование не только более мощного микроконтроллера, но и переход к вычислениям с плавающей точкой.

В последнее время на рынке DSP-микроконтроллеров появились продукты, включающие модуль вычислений с плавающей точкой. Передовой в этом отношении компанией, занимающей более половины рынка, является американская *Texas Instruments*. Серия выпускаемых микроконтроллеров *TMS320F2833x* обладает производительностью до 300 миллионов операций с плавающей точкой в секунду.

Поэтому для создания экспериментальной установки был выбран DSP-микроконтроллер *TMS320F28335* (рис. 2, 3).

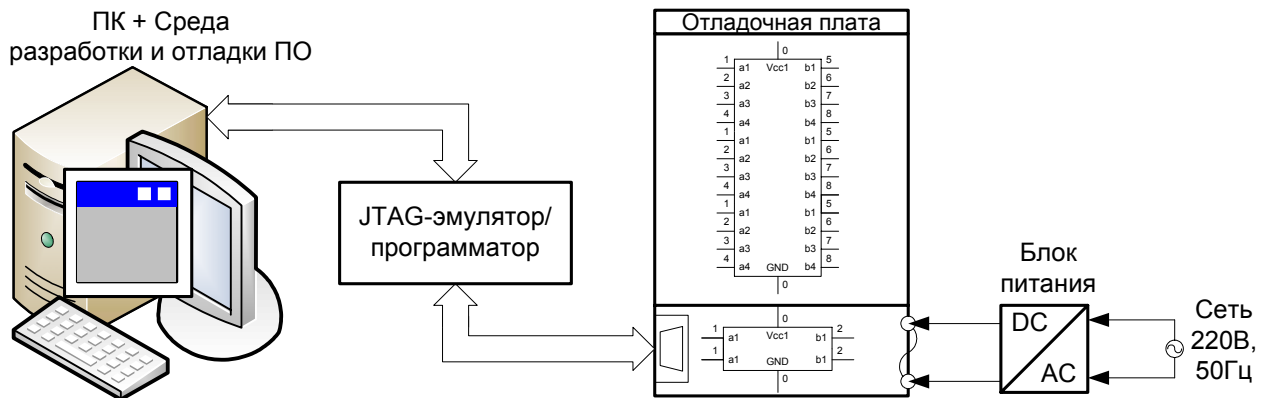


Рис. 2. Функциональная схема экспериментальной установки



Рис. 3. Внешний вид экспериментальной установки

Основным элементом экспериментальной установки является отладочная плата, которая, с одной стороны, через блок питания подключается к сети переменного тока, а с другой стороны, через промежуточное устройство (*JTAG*-эмулятор или конвертер *USB-CAN*) соединена с персональным компьютером с установленной на нем средой программирования и отладки программ для микроконтроллера отладочной платы.

Разработка программного обеспечения для проведения экспериментов выполнялась в два

этапа. Сначала с помощью инструмента *Embedded Target for TI C2000 DSP* имитационные модели системы «объект – наблюдатель состояния» были транслированы в программный код на языке *C*, затем проведена корректировка полученного кода с учетом особенностей отладочной платы и *TMS320F28335*. Экспериментальные исследования подтвердили работоспособность и качества наблюдателей, полученные по предложенным методикам.

Список литературы

1. Колганов А.Р., Буренин С.В. Алгоритмы и программы функционального проектирования систем управления электромеханическими объектами: Учеб. пособие / Иван. гос. энерг. ун-т. – Иваново, 1997.
2. Анализ вариантов построения регуляторов и наблюдателей САУ с упругими связями / А.Б. Виноградов, В.Ф. Глазунов, Н.Е. Гнездов, С.К. Лебедев // Изв. вузов. Техн. текст. пром. – 2003. – №5. – С.87–93.
3. Лебедев С.К., Коротков А.А. Алгоритмы синтеза наблюдателей нагрузки электропривода // Вестник ИГЭУ. – 2009. – Вып. 3. – С. 5–8.
4. Гнездов Н.Е., Коротков А.А., Лебедев С.К., Выбор параметров стандартных распределений при синтезе электроприводов // Вестник ИГЭУ. – 2008. – Вып. 3. – С. 14–16.

Колганов Алексей Руфимович,
ГОУВПО «Ивановский государственный энергетический университет имени В.И. Ленина»,
доктор технических наук, профессор, зав. кафедрой электропривода и автоматизации промышленных установок,
телефон (4932) 26-97-09,
e-mail: klg@drive.ispu.ru

Лебедев Сергей Константинович,
ГОУВПО «Ивановский государственный энергетический университет имени В.И. Ленина»,
кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры Электропривода и автоматизации промышленных установок,
телефон (4932) 26-97-09,
e-mail: lebedev@drive.ispu.ru

Гнездов Николай Евгеньевич,
ГОУВПО «Ивановский государственный энергетический университет имени В.И. Ленина»,
кандидат технических наук, доцент кафедры Электропривода и автоматизации промышленных установок,
телефон (4932) 26-97-08,
e-mail: gnezdov@drive.ispu.ru