

УДК 685.513.685

SYNTHESIS OF FULL AND REDUCED OBSERVERS IN TWO-MASS ELECTROMECHANICAL SYSTEM

S. Baluta, I. Burlyai, L. Kopulova, J. Klymenko
National University of Food Technologies

Key words:

Full order observer
Reduced observer
Luenberger observer

Article history:

Received 14.07.2013
Received in revised form
18.09.2013
Accepted 21.10.2013

Corresponding author:

S. Baluta
Email:
npnuft@ukr.net

ABSTRACT

The method of synthesis of full and reduced observer on the basis of Luenberger observer is presented in the article. Input variables of a mechanical subsystem of speed regulation of the main drive are the determined variables, namely torque setting and load torque. Analytical formulations of a feedback vector of full and reduced observer depending on the position of poles of the observer have been received. Damping properties and dynamics of the observer are set by parameters of time constant of the observer and factor of damping of the observer. Comparison of properties of various condition observers with the help of singular values has shown that when changing the moment of control system loading on variables of a condition with full and reduced observer there is proper drive and loading rotary speed damping per minute. Thus, almost the entire frequency range of drive speed oscillations and load speed is better damped by a system with reduced observer, than by a system with the observer of a full order. The analysis of transitive characteristics on disturbance, depending on the observer used has allowed establishing the fact that setting the torque of a larger scale is a necessary part of disturbance characteristics in system with the observer of a full order. The use of the reduced observer allows more dynamical regulation of deviation at load jump; the fluctuations caused by change of load torque on a shaft are much more effectively damped in a closed looped control system on condition with the reduced observer in comparison with using other regulators.

СИНТЕЗ ПОЛНОГО И СОКРАЩЕННОГО НАБЛЮДАТЕЛЕЙ ДВУХМАССОВОЙ ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ

С.Н. Балута, И.Ю. Бурляй, Л.А. Копылова, Ю.А. Клименко
Национальный университет пищевых технологий

В статье представлен метод синтеза полного и сокращенного наблюдателя на основе наблюдателя Льюинбергера. Входными величинами механической подсистемы регулирования скорости главного привода являются детерминированные переменные уставка момента и момент нагрузки. На основе задания

положения полюсов характеристического уравнения получены аналитические выражения вектора обратной связи полного и сокращенного наблюдателя. Демпфирующие свойства и динамика наблюдателя задаются с помощью постоянной времени и коэффициента демпфирования наблюдателя. Выполнено сравнение свойств различных наблюдателей состояния с помощью сингулярных значений, которое показало, что при изменении момента нагрузки системы управления по переменным состояниям с полным и редуцированным наблюдателем имеют хорошее демпфирование частоты вращения привода и нагрузки. При этом почти во всем диапазоне частот колебания частоты вращения привода и частоты вращения нагрузки лучше демпфируются системой с редуцированным наблюдателем, чем системой с наблюдателем полного порядка. Анализ переходных характеристик по возмущению, в зависимости от использованного наблюдателя, позволил установить, что в характеристиках возмущения отработка отклонения в системе с наблюдателем полного порядка требует большей уставки момента. Использование редуцированного наблюдателя обуславливает более динамичную отработку отклонения при скачке нагрузки; колебания, вызванные изменением момента нагрузки на валу, значительно эффективнее демпфируются в замкнутой системе управления по состоянию с сокращенным наблюдателем по сравнению с другими регуляторами.

Ключевые слова: наблюдатель полного порядка, сокращенный наблюдатель, наблюдатель Люинбергера.

Во время горячей прокатки металла возникают колебания технологических параметров — толщины, давления прокатки, натяжения полосы и т. д. Система управления исполнительными механизмами автоматизированной системы управления приводным двигателем прокатной клетки должна обеспечивать минимально возможные значения статического и динамического падения скорости при входе полосы в валки. Характер переходных процессов, обусловленных входением полосы в клетку, в результате работы системы регулирования необходимо приблизить к апериодическому, а время протекания переходного процесса должно составлять не более 0,1—0,3 с. Необходимое качество регулирования может быть достигнута при управлении по переменным состояниям. Неизмеримые переменные состояния, необходимые для регулирования, могут быть получены с помощью наблюдателей [1].

Разработка полного и сокращенного наблюдателей при регулировании по переменным состояниям частоты вращения двухмассовой электромеханической системы, работающей при быстропеременных нагрузках с целью обеспечения необходимого качества регулирования.

Рассмотрим модель наблюдателя электромеханической системы главного привода клетки. Для системы регулирования частоты вращения главного привода используются измеренное число оборотов приводного двигателя ω_1 и вычисленное значение вращающего момента двигателя M_M , поэтому наблюдатель состояния должен воссоздавать угол скручивания вала $\Delta\vartheta$ и частоту вращения нагрузки ω_H .

Наблюдатель синтезируем как наблюдатель возмущения [2]. На основании учета в наблюдателе модели возмущения (дополнительный интегратор) в стационарном режиме оцененный момент возмущения включает все моменты возмущения. Наблюдатель возмущения для исходной системы может быть синтезирован в виде:

– наблюдателя полного порядка с пятью переменными состояниями $\tilde{\mathbf{X}} = \begin{bmatrix} \tilde{\omega}_1 & \tilde{\vartheta}_1 & \tilde{\omega}_2 & \tilde{\vartheta}_2 & \tilde{M}_H \end{bmatrix}^T$ и измеряемой величины угла поворота ротора двигателя ϑ_1 объекта регулирования;

– наблюдателя полного порядка с четырьмя переменными состояниями $\tilde{\mathbf{X}} = \begin{bmatrix} \tilde{\omega}_1 & \Delta\tilde{\vartheta} & \tilde{\omega}_2 & \tilde{M}_H \end{bmatrix}^T$ и измеряемой величиной частоты вращения двигателя ω_m на выходе объекта регулирования;

– редуцированного наблюдателя.

Возможность реализации регулятора зависит от того, насколько интенсивны шумы измерительных приборов и в каком диапазоне изменяются параметры системы [2]:

– при наличии интенсивных шумов в измеренных величинах рекомендуется использовать наблюдатель полного порядка, а его полюса выбирают таким образом, чтобы отфильтровать измерительный шум;

– при полном наблюдателе, в отличие от редуцированного наблюдателя, достигается существенно лучшее подавление шумов, меньшая чувствительность относительно колебаний параметров и более медленные колебания при скачках возмущения. Лучшие переходные характеристики редуцированного наблюдателя можно объяснить меньшим порядком системы: переходные процессы в системах более низкого порядка при прочих равных условиях принципиально затухают быстрее, чем в системах более высокого порядка [2].

Синтез полного наблюдателя. Входными величинами механической подсистемы регулирования скорости главного привода являются детерминированные переменные уставка момента M_u и момент нагрузки M_H [3]. Для оценки величин используется наблюдатель Люинбергера (рис. 1), который описывается уравнением вида:

$$\dot{\hat{x}} = (A - LCT)\hat{x} + Bu + Ly.$$

Неизмеримый момент нагрузки M_H воспроизводится на основе предположения о постоянстве изменения функции момента нагрузки на отдельных участках [3]:

$$\frac{d\tilde{M}_H}{dt} = 0.$$

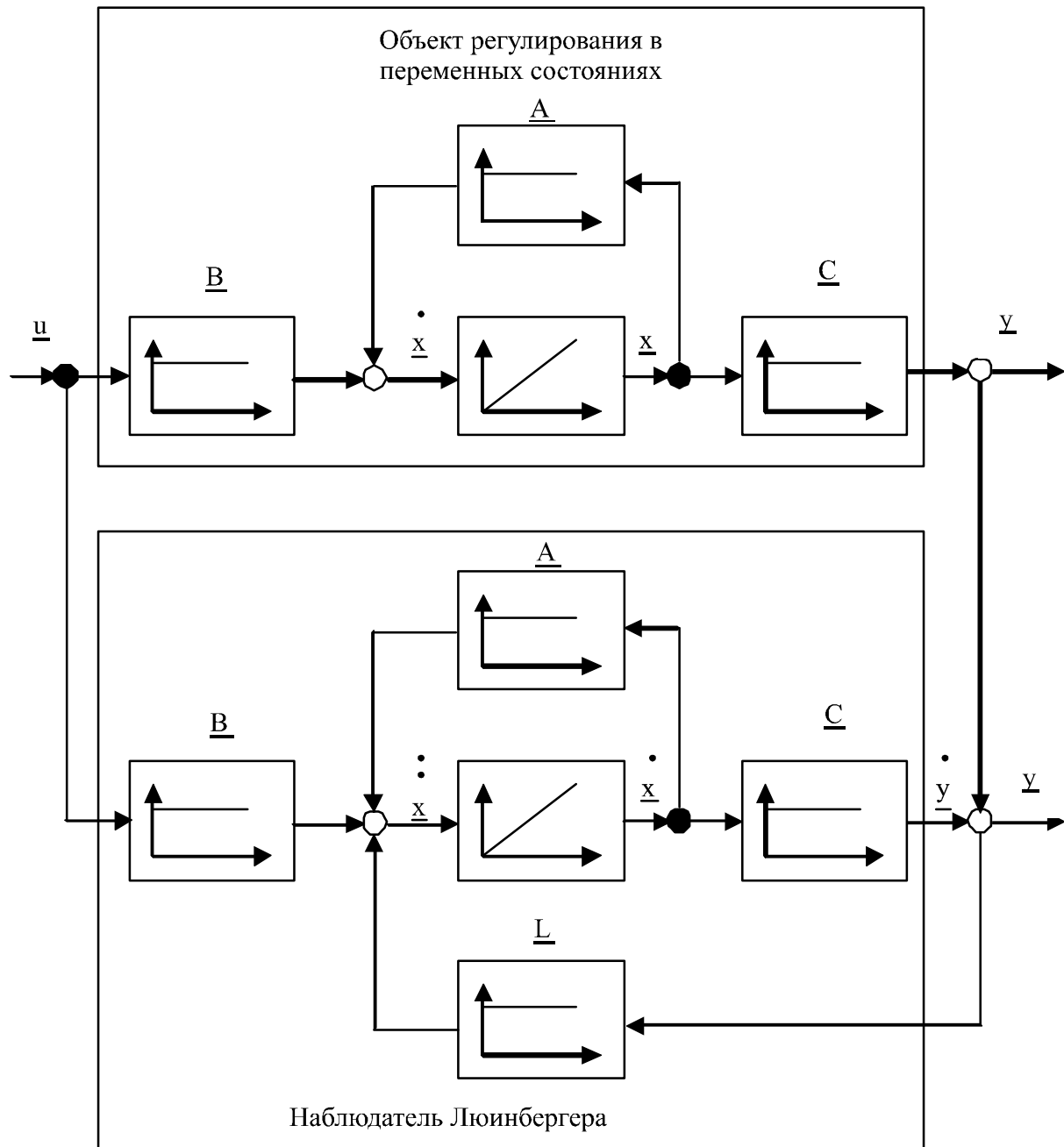


Рис. 1. Обобщенная модель наблюдателя Люинберга

Наблюдатель Люинберга только асимптотически воспроизводит форму кривой значений переменной состояния, поэтому быстрые или стохастические изменения момента нагрузки не допускаются. В этом случае должен применяться, например, фильтр Калмана [2].

Для наблюдателя ЕМС главного привода клетки вычисляем критерий наблюдаемости Калмана на основе матрицы наблюдения Q_H [2]:

$$Q_H = \begin{bmatrix} C & CA & \dots & CA^{n-1} \end{bmatrix},$$

$$\text{rank}(Q_H) = n.$$

Наблюдатель описывает объект управления в виде:

$$\begin{aligned} \frac{d}{dt} \tilde{X} &= \tilde{A} \cdot \tilde{X} + \tilde{B} \cdot \tilde{u} = \\ &= \frac{d}{dt} \begin{bmatrix} \tilde{\omega}_1 \\ \Delta \tilde{\theta} \\ \tilde{\omega}_2 \\ \tilde{M}_H \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -\frac{D_{12}}{J_1} & -\frac{C_{12}}{J_1} & \frac{D_{12}}{J_1} & 0 \\ 1 & 0 & -1 & 0 \\ \frac{D_{12}}{J_2} & \frac{C_{12}}{J_2} & -\frac{D_{12}}{J_2} & -\frac{1}{J_2} \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \tilde{\omega}_1 \\ \Delta \tilde{\theta} \\ \tilde{\omega}_2 \\ \tilde{M}_H \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \frac{1}{J_1} \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} \cdot M_u \end{aligned} \quad (1)$$

Согласование расчетной модели наблюдателя с результатами измерений реального объекта регулирования производим с помощью вектора обратной связи L :

$$L = [l_{\omega_1} \quad l_{\Delta\theta} \quad l_{\omega_2} \quad l_{M_H}]^T \quad (2)$$

Дифференциальные уравнения состояния наблюдателя определяют как

$$\frac{d}{dt} \tilde{X} = \tilde{A} \cdot \tilde{X} + \tilde{B} \cdot \tilde{u} + L(\omega_1 - \tilde{\omega}_1) = \left(\tilde{A} - L \cdot \tilde{C}^T \right) \tilde{X} + \tilde{B} \cdot \tilde{u} + L \cdot \omega_1 \quad (3)$$

Вектор измерений наблюдателя формируется следующим образом:

$$\tilde{C} = [1 \quad 0 \quad 0 \quad 0]^T.$$

Вектор обратной связи L формируется путем задания положения собственных значений матрицы $\left(\tilde{A} - L \cdot \tilde{C}^T \right)$ на s — плоскости с помощью уравнения:

$$\det(s \cdot E - A + L \cdot C^T) = \prod_{i=1}^4 (s - \chi_{Hi}).$$

Успешная работа регулятора состояния обеспечивается за счет того, что динамика наблюдателя выше, чем динамика регулятора, которая задается синтезом регулятора состояния:

$$\operatorname{Re}(\chi_{Hi}) \ll \operatorname{Re}(\chi_{i+1}), \quad i = 1, \dots, 4$$

Демпфирующие свойства и динамика наблюдателя задаются с помощью параметров постоянной времени наблюдателя T_H ($T_H > 0$) и коэффициента демпфирования наблюдателя K_H :

$$\chi_{H1,2} = -\frac{\sqrt{2}K_H}{2T_H} \pm j \frac{\sqrt{2}}{2T_H} \quad ;$$

$$\chi_{H3,4} = -\frac{K_H}{2T_c} \pm j \frac{1}{T_c}.$$

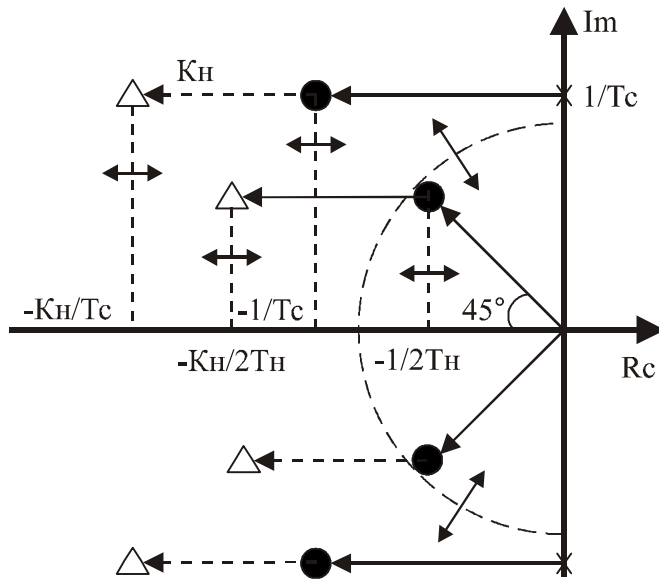


Рис. 2. Сравнение собственных значений разомкнутого (x) и замкнутого контура (•) при ПИ-регулировании состояния упрощенного электрического для замкнутого контура наблюдателя (Δ) (для простоты представлен только специальный случай $T_H = T_P$ и $K_P = 1$)

Так как полюса наблюдателя должны располагаться левее от полюсов реального контура с регулятором, то действует ограничение, что $K_H > 1$. Решая характеристическое уравнение в аналитическом виде, получаем значения вектора обратной связи полного наблюдателя:

$$L = \begin{bmatrix} l_{\omega 1} \\ l_{\Delta \theta} \\ l_{\omega 2} \\ l_{M_H} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 2k_H \left(\frac{\sqrt{2}}{2 \cdot T_H} + \frac{1}{T_c} \right) - \frac{D_{12} \cdot J_{\Sigma}}{J_1 \cdot J_2} \\ -\frac{J_1}{C_{12}} \left[(k_H^2 + 1) \left(\frac{1}{2T_H^2} + \frac{1}{T_c^2} \right) + \frac{4k_H^2}{\sqrt{2}T_H T_c} \right] + l_{\omega 1} \frac{J_1 D_{12}}{J_2 C_{12}} + L_{\omega 2} \\ \frac{J_1}{C_{12}} \frac{k_H (k_H^2 + 1)}{T_H T_c} \left(\frac{1}{T_H} + \frac{\sqrt{2}}{T_c} \right) - \frac{J_1}{J_2} l_{\omega 1} - \frac{D_{12}}{C_{12} J_2} l_{M_H} \\ \frac{(k_H^2 + 1)^2 J_1 J_2}{2C_{12} T_H^2 T_c^2} \end{bmatrix} \frac{D_{12}}{C_{12}} + \frac{J_{\Sigma}}{J_2}$$

Синтез редуцированного наблюдателя состояния. Для редуцированного наблюдателя главного привода клетки понижение порядка наблюдателя происходит в результате отказа от наблюдения измеряемой частоты вращения двигателя ω_1 . Это обуславливает более высокую динамику оценки параметров [4].

Исходя из стандартной формы состояния объекта управления

$$\dot{\underline{x}} = \underline{A} \times \underline{x} + \underline{B} \times \underline{u}$$

вектор переменных представим в виде измеримых величины состояния k и величины состояния g , которые воссоздаются в наблюдателе:

$$\underline{x} = \begin{bmatrix} \underline{g} \\ \underline{k} \end{bmatrix}.$$

Используя новый вектор переменных, получим матричное уравнение объекта управления в виде:

$$\begin{bmatrix} \dot{\underline{g}} \\ \dot{\underline{k}} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \underline{A}_{11} & \underline{A}_{12} \\ \underline{A}_{21} & \underline{A}_{22} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \underline{g} \\ \underline{k} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \underline{B}_1 \\ \underline{B}_2 \end{bmatrix} \cdot \underline{u}.$$

Представим это уравнение в виде двух уравнений:

$$\begin{aligned} \dot{\underline{g}} &= \underline{A}_{11} \cdot \underline{g} + \underline{A}_{12} \cdot \underline{k} + \underline{B}_1 \cdot \underline{u} \\ \dot{\underline{k}} - \underline{A}_{22} \cdot \underline{k} - \underline{B}_2 \cdot \underline{u} &= \underline{A}_{21} \cdot \underline{g} \end{aligned}$$

Вектор g является искомым вектором состояния, а k вектор известных переменных. Полученное уравнение представим в общем виде

$$\begin{aligned} \dot{x} &= Ax + Bu, \\ y &= Cx + Du \end{aligned}$$

используя следующие аналогии: \underline{x} соответствует \underline{g} ; \underline{A} соответствует \underline{A}_{11} ; $B \cdot u$ соответствует $\underline{A}_{12} \cdot \underline{k} + \underline{B}_1 \cdot \underline{u}$; y соответствует $\dot{\underline{k}} - \underline{A}_{22} \cdot \underline{k} - \underline{B}_2 \cdot \underline{u}$; вектору C соответствует \underline{A}_{21} .

Проведя аналогичные замены в уравнении наблюдателя, получим систему уравнений, которая служит для оценки сокращенного вектора состояния g :

$$\dot{\tilde{\underline{g}}} = (\underline{A}_{11} - L \cdot \underline{A}_{21}) \cdot \tilde{\underline{g}} + (\underline{A}_{12} \cdot \underline{k} + \underline{B}_1 \cdot \underline{u}) + L \left(\dot{\underline{k}} - \underline{A}_{22} \cdot \underline{k} - \underline{B}_2 \cdot \underline{u} \right).$$

Для исключения производной от измеренных величин k заменим эту переменную через вектор искомых величин g и оценочное значение нового дополнительного вектора состояния γ :

$$\tilde{\underline{g}} = \tilde{\underline{\gamma}} + L \cdot \underline{k}.$$

Уравнение редуцированного наблюдателя состояния для новой переменной имеет вид:

$$\dot{\tilde{\underline{\gamma}}} = (\underline{A}_{11} - L \cdot \underline{A}_{21}) \cdot \tilde{\underline{\gamma}} + (\underline{B}_1 - L \cdot \underline{B}_2) \cdot \underline{u} + \left[(\underline{A}_{11} - L \cdot \underline{A}_{21})L + \underline{A}_{12} - L \cdot \underline{A}_{22} \right] \cdot \underline{k}.$$

Введем новые матрицы наблюдателя:

$$\underline{A}_{sH} = (\underline{A}_{11} - L \cdot \underline{A}_{21})$$

$$B_{SH,u} = (B_1 - L \cdot B_2)$$

$$B_{SH,k} = \left[(A_{11} - L \cdot B_{21}) \cdot L + A_{12} - L \cdot A_{22} \right].$$

Схема редуцированного наблюдателя показана на рис. 3.

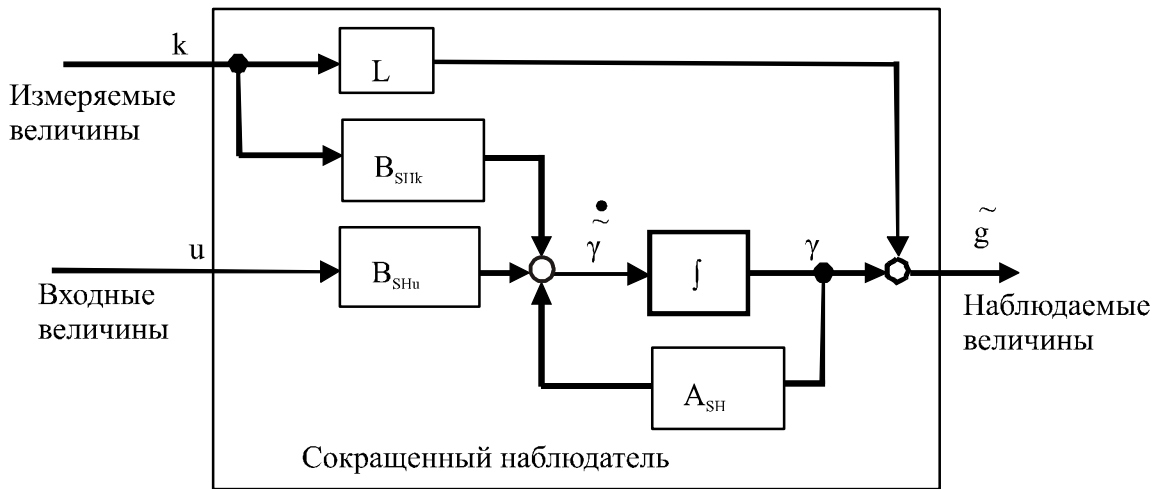


Рис. 3 Схема редуцированного наблюдателя

Матрицы системы и управляющий сигнал задаются с помощью выражений:

$$k = \omega_1, \quad g = \begin{bmatrix} \tilde{\Delta g} \\ \tilde{\omega}_2 \\ \tilde{M}_H \end{bmatrix}; \quad u = M_u \quad B_1 = b_1 = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}; \quad B_2 = \begin{bmatrix} -1 \\ J_1 \end{bmatrix};$$

$$A_{11} = \begin{bmatrix} 0 & -1 & 0 \\ \frac{C_{12}}{J_2} & -\frac{D_{12}}{J_2} & -\frac{1}{J_2} \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}; \quad A_{12} = a_{12} = \begin{bmatrix} 1 \\ \frac{D_{12}}{J_1} \\ 0 \end{bmatrix};$$

$$A_{21} = \begin{bmatrix} -\frac{C_{12}}{J_1} & \frac{D_{12}}{J_1} & 0 \end{bmatrix}; \quad A_{22} = \begin{bmatrix} \frac{D_{12}}{J_1} \end{bmatrix}.$$

Вектор коэффициентов обратных связей l_{SH} определяют решением характеристического уравнения наблюдателя [4]:

$$\det(s \cdot E - A_{11} - l_{SH} \cdot a_{21}) = \prod_{i=1}^3 (s - \chi_{SH,i})$$

путем задания положения собственных значений матрицы $(A_{11} - l_{SH} \cdot a_{21}^T)$ в отрицательной полуплоскости комплексной плоскости.

По аналогии с синтезом наблюдателя полного порядка полюса задают, как указано ниже:

$$\chi_{SH,i} = -\frac{K_H}{T_H}; \quad \chi_{SH2,3} = -\frac{K_H}{T_c} \pm j \frac{1}{T_c}.$$

Для задания полюсов наблюдателя используют предельные ограничения, (такие же, как и для наблюдателя полного порядка):

$T_H \geq T_R$ — постоянная времени как мера динамики наблюдателя;

$K_H > 1$ — мера демпфирования динамики наблюдателя.

Вектор обратных связей редуцированного наблюдателя формируется на основании следующего уравнения:

$$L_{SH} = \begin{bmatrix} -\frac{J_1}{C \cdot T_C} \left\{ K_H \frac{(2T_H + T_C)}{T_H} - D \left[-\frac{K_H}{T_H} \left(2K_H + \frac{D}{C} (K_H^2 + 1) \right) \right] \right\} \\ J_1 \left[-\frac{K_H}{C \cdot T_H T_C} \left(2K_H + \frac{D(K_H^2 + 1)}{C \cdot T_C} + \frac{1}{J_2} \right) \right] \\ \frac{K_H (K_H^2 + 1) J_1 J_2}{T_H T_C^2 C} \end{bmatrix}.$$

При условии отсутствия естественного демпфирования колебаний $D \approx 0$ уравнение упрощаются:

$$L_{SH} = \begin{bmatrix} -\frac{J_1}{C \cdot T_C} K_H \frac{(2T_H + T_C)}{T_H} \\ J_1 \left[-\frac{K_H}{C \cdot T_H T_C} \left(2K_H + \frac{1}{J_2} \right) \right] \\ \frac{K_H (K_H^2 + 1) J_1 J_2}{T_H T_C^2 C} \end{bmatrix}.$$

Схема замкнутой системы регулирования с помощью регулятора состояния и редуцированного наблюдателя показана на рис. 4.

Сравнение свойств различных наблюдателей состояния. Сравнение может проводиться с помощью сингулярных значений [3]. Упрощенно сингулярное значение можно рассматривать как зависимость усиления канала от входного сигнала к выходному сигналам от частоты. На рис. 5 показаны сингулярные значения замкнутой системы управления по задающему воздействию.

Сравнение сингулярных значений для замкнутой системы управления по состоянию с наблюдателем полного порядка и редуцированным наблюдателем при скачке возмущающего момента показывает следующее:

– при изменении момента нагрузки обе системы имеют хорошее демпфирование частоты вращения привода и нагрузки;

– почти во всем диапазоне частот вращения привода и нагрузки частоты колебания лучше демпфируются системой с редуцированным наблюдателем, чем системой с наблюдателем полного порядка.

Сингулярные значения замкнутой системы управления по состоянию с ПИ регулятором для колебаний с частотами от 7 до 12 Гц показывают, что по сравнению с замкнутой системой управления по состоянию в широком диа-

– колибання, вызванні зміною моменту навантаження на валу, значно ефективніше демпфуються в замкнутій системі управління по стану з скороченим спостережателем порівняно з іншими регуляторами. При цьому регулятор з спостережателем повного порядку має суттєво більші недоліки.

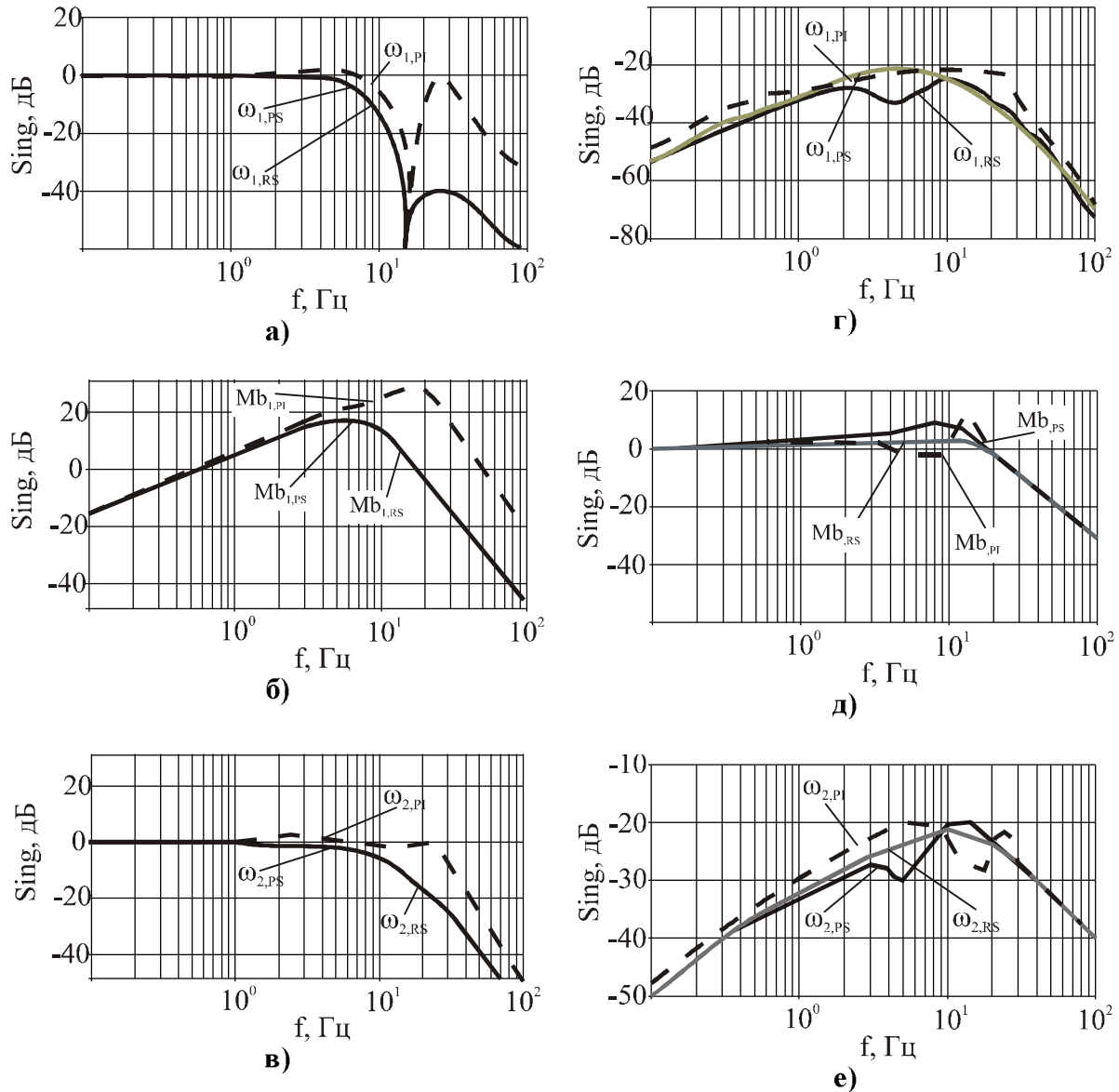


Рис. 5. Сингулярні значення каналу передачі

Характеристики регулювання по возмущенню регулятора стану з редуцираним спостережателем обумовлені більш динамічним зміною змінних стану при скачку навантаження (рис. 7).

Редуцираний спостережачий частоту обертання навантаження відновлює з затримкою в часі в межах декількох мілісекунд, а спостережателю повного порядку для цього потрібно приблизно десять мілісекунд.

При використанні регуляторів з високим посиленням і наявності в реальних установках вимірального шуму виникає питання впливу точності обробки моменту і впливу шумів на характеристики системи і

качество регулирования. Проведенные исследования (рис. 8) показали, что измерительный шум не оказывает большого влияния на точность замкнутой системы управления по состоянию как с наблюдателем полного порядка, так и с редуцированным наблюдателем.

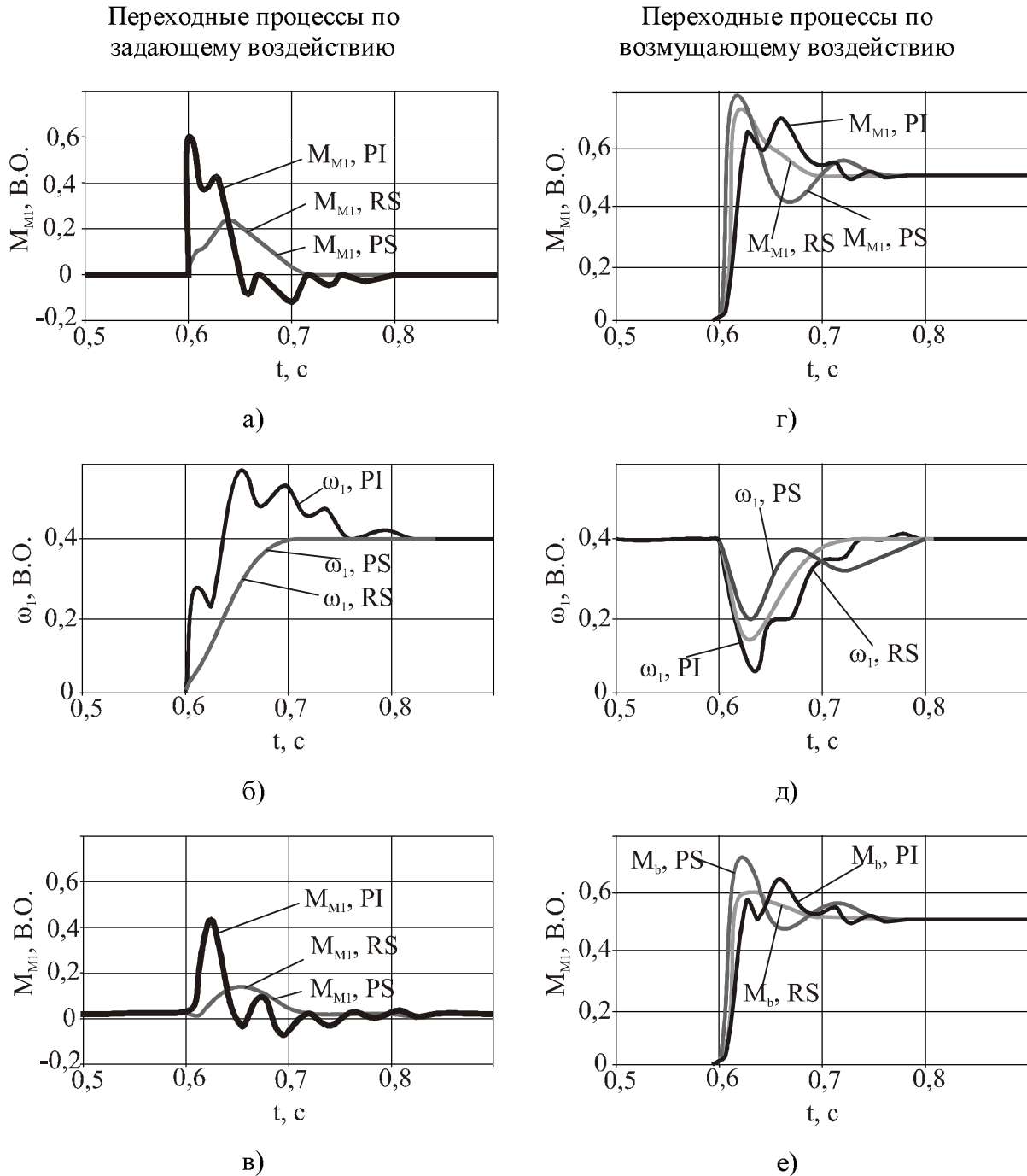


Рис. 6. Сравнение переходных характеристик при регулировании по заданию и величины возмущения при ПИ регулировании состояния с наблюдателем полного порядка и редуцированным наблюдателем (переходная характеристика при 4 % изменению уставки частоты вращения и при 50 % — набросе нагрузки (переходные характеристики регулирования состояния системы для задающей величины идентичны)).

$\omega_2, \text{B.O.}$

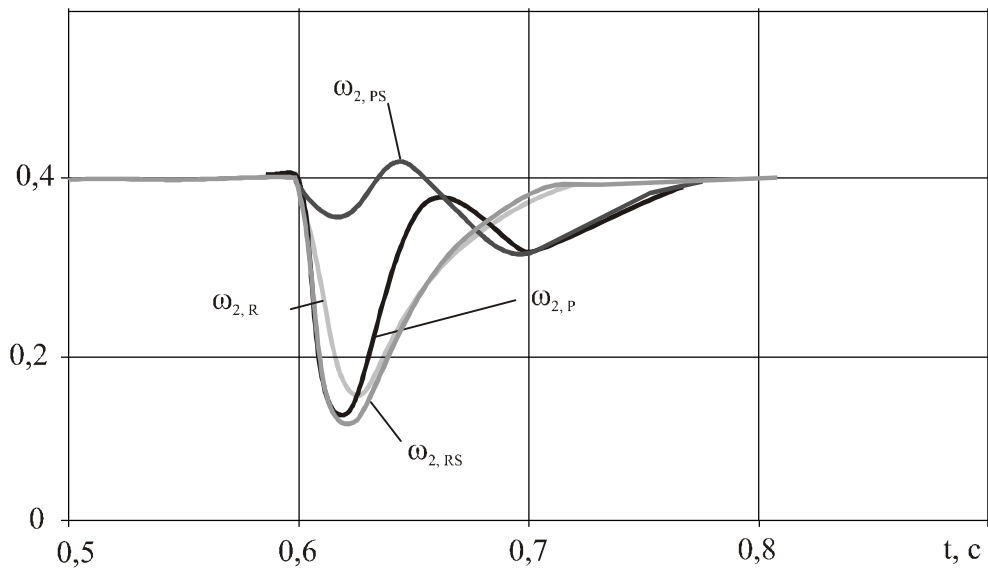


Рис. 7. Сравнение наблюдаемых и измеренных переменных состояния (частота вращения нагрузки) для наблюдателя полного порядка и редуцированного наблюдателя при моделировании наброса нагрузки ($f_{\text{факт}} = 4 \text{ кГц}$)

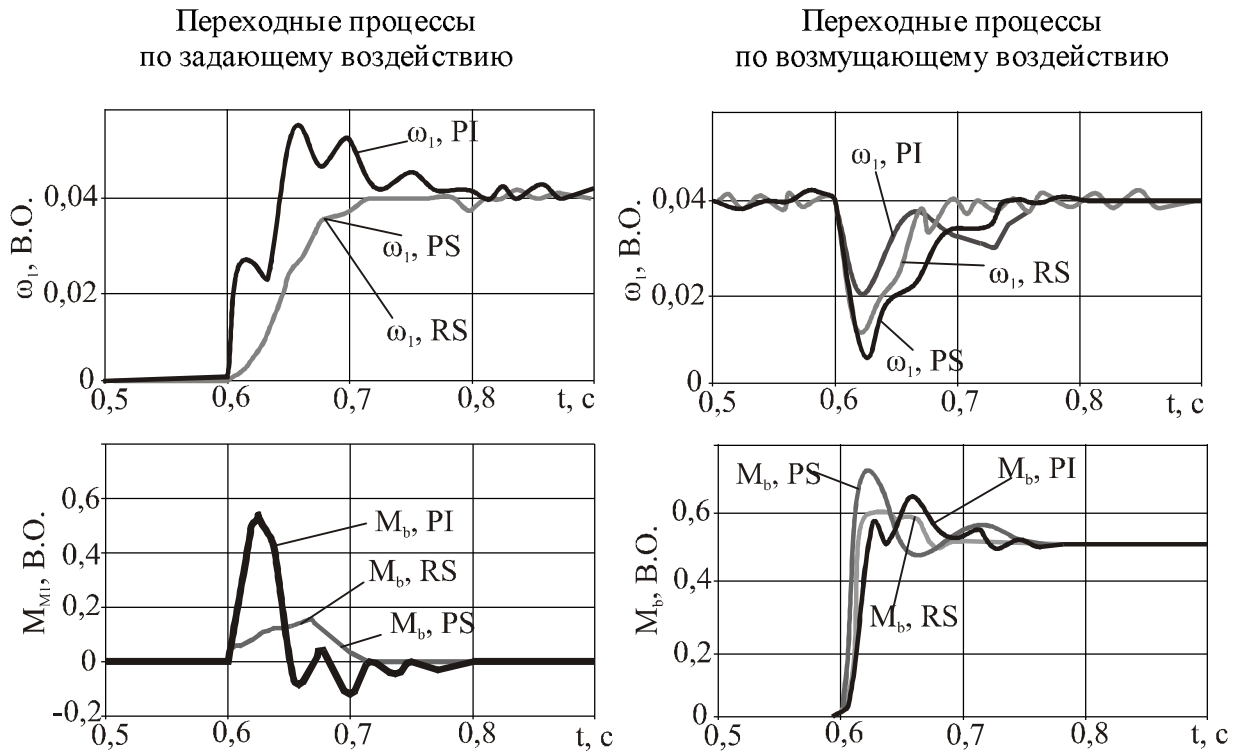


Рис. 8. Сравнение характеристик задающей величины и величины возмущения для замкнутой системы управления с ПИ регулятором и системы управления по состоянию с ПИ регулятором при использовании наблюдателя полного порядка и редуцированного наблюдателя при моделировании изменения уставки частоты вращения и наброса нагрузки при наличии измерительного шума со среднеквадратичным отклонением 0,5 % (переменные состояния представлены без наложения измерительного шума)

Выводи

Применение редуцированного наблюдателя позволяет обеспечить высокую динамику регулирования торсионных колебаний вала двухмассовой электромеханической системы.

При наличии в измерительных сигналах высокого уровня шума вопрос применения полного или редуцированного наблюдателя необходимо решать отдельно в каждом случае.

Литература

1. *Балюта С.М.* Частотнорегульовані електромеханічні системи з інтелектуальним керуванням в системах автоматизації технологічних процесів. — Київ: НУХТ, 2005. — 281 с.
2. *Толочко О.І.* Аналіз та синтез електромеханічних систем зі спостерігачами стану НОРД-ПРЕСС.— Донецьк, 2004.— 352 с.
3. *Кузнецов Б.И., Никитина Т.Б., Коломиец В.В.* Синтез электромеханических систем со сложными кинематическими цепями.— Харьков: УИПА. 2005. — 512 с.
4. *Мирошник И.В.* Теория автоматического управления. Линейные системы.— СПб.: Питер, 2005. — 336 с.

СИНТЕЗ ПОВНОГО І СКОРОЧЕНОГО СПОСТЕРІГАЧІВ ДВОМАСОВОЇ ЕЛЕКТОМЕХАНІЧНОЇ СИСТЕМИ

С.М. Балюта, І.Ю. Бурляй, Л.О. Копилова, Ю.О. Клименко

Національний університет харчових технологій

У статті представлено метод синтезу повного та скороченого спостерігача на основі спостерігача Люінбергера. Вхідними величинами механічної підсистеми регулювання швидкості головного приводу є детерміновані змінні: уставка моменту і момент навантаження. На основі завдання положення полюсів характеристичного рівняння отримано аналітичні вирази вектора зворотного зв'язку повного та скороченого спостерігача. Демпфуючі властивості і динаміка спостерігача задано за допомогою постійної часу і коефіцієнта демпфування спостерігача. Виконано порівняння властивостей різних спостерігачів стану за допомогою сингулярних значень, яке показало, що при зміні моменту навантаження системи управління за змінними стану з повним і скороченим спостерігачем мають відповідне демпфування частоти обертання приводу й навантаження. При цьому майже у всьому діапазоні частот коливання частоти обертання приводу і частоти обертання навантаження краще демпфуються системою зі спрощеним спостерігачем, ніж системою зі спостерігачем повного порядку. Аналіз перехідних характеристик за збуренням, залежно від використаного спостерігача, дозволив встановити, що в характеристиках збурення відпрацювання відхилення в системі зі спостерігачем повного порядку вимагає більшої уставки моменту. Використання спрощеного спостерігача обумовлює більш динамічне від-

працювання відхилення при стрибку навантаження; коливання, що викликані зміною моменту навантаження на валу, значно ефективніше демпфуються в замкнутій системі управління за змінними стану зі скороченим спостерігачем порівняно з іншими регуляторами.

Ключові слова: *спостерігач повного порядку, скорочений спостерігач, спостерігач Люінбергера.*