З вищенаведеного бачимо, що збільшення коефіцієнта посилення K_{0U} навіть до 500 одиниць практично не впливає на зміну ковзання s в часі та області D-розбиття, а, отже, статична стійкість не порушується.

Висновки

1. Як показали дослідження на простій та складній схемах, збільшити коефіцієнт посилення K_{0U} вище 100 одиниць так, щоб не порушувалась статична стійкість, без будь-яких змін в АРЗ СД генератора неможливо. Правильно змодельована проста схема енергосистеми дає змогу переносити результати дослідження на складну схему.

2. Інерційно-диференційна ланка з постійними часу T_1=1 і T_2=100, ввімкнена послідовно в АРЗ СД, завдяки своїй АЧХ дає змогу отримати високі коефіцієнти посилення за відхиленням напруги, не порушуючи при цьому статичної стійкості режиму роботи електроенергетичної системи. Ми досягли значення коефіцієнта посилення K_{0U}=500 одиниць, що за однакових систем відносних одиниць відповідає закордонним аналогам. Можливе подальше збільшення коефіцієнта посилення, але чи потрібна нам така точність підтримання напруги на виводах генератора, якщо вхідні дані вимірюються з похибкою 5%?

1. Юрганов А.А., Кожевников В.А. Регулирование возбуждения синхронных генераторов. – СПб., 1996. – 248 с. 2. Баран П.М., Коновал В.С., Скрипник О.І., Скрипник О.О. Принципи побудови режимного навчально-тренувального комплексу ДАКАР // Вісн. Держ. ун-ту "Львівська політехніка". – 1997. – № 301. – С. 61–68. 3. Баран П.М., Дембіцька Я.Д., Скрипник О.І. Методика вибору параметрів каналів стабілізації автоматичних регуляторів збудження на основі імітаційної динамічної моделі електроенергетичної системи // Технічна електродинаміка. – 1998. – № 5. – С. 60–64.

УДК 62-83

А.П. Кушнір
Національний університет “Львівська політехніка”,
кафедра електропривода та автоматизації промислових установок

СПОСІБ КОМПЕНСАЦІЇ НУЛІВ ПЕРЕДАВАЛЬНОЇ ФУНКЦІЇ СПОСТЕРІГАЧІВ ДВОМАСОВИХ ПОЗИЦІЙНИХ СИСТЕМ

© Кушнір А.П., 2003

Розглянуто спосіб компенсації нулів передавальної функції спостерігачів двомасових позиційних систем за допомогою його корекції за декількома координатами. Досліджено динаміку та статику такої системи, а також її чутливість до параметричних збурень.

The method of compensation of transfer function zeros of the observers two mass positional systems with the help of its correction with several coordinates is reviewed. Dynamics and statics of such system and its sensitivity to parametric perturbations are investigated.

Постановка проблеми

Для реалізації різних структур електромеханічних систем автоматичного керування і тим самим отримання необхідних динамічних та статичних властивостей необхідно мати

Lviv Polytechnic National University Institutional Repository http://ena.lp.edu.ua

інформацію про координати регулювання. Дуже часто не всі з них можна виміряти безпосередньо. У цьому випадку використовують спостерігачі. Крім того, спостерігачі дають можливість забезпечити астатизм електромеханічної системи до дії збурення без введення інтегральних складових в регулятори [1-4]. При цьому до кінця не вирішене питання щодо їх синтезу.

Аналіз останніх досліджень

Проблемі синтезу спостерігачів присвячена велика кількість робіт і всі вони здійснюють синтез спостерігачів згідно з відомою [5, 6] методикою шляхом знаходження коренів системи алгебраїчних рівнянь, записаної на основі рівності характеристичного полінома спостерігача

$$H_{сп}(p) = \det\left(p\mathbf{E} - \mathbf{A} + \mathbf{LC}\right) \tag{1}$$

і якоїсь стандартної форми $H_{ст}(p)$ розподілу коренів характеристичного рівняння. Тут **E** – одинична матриця, **A** – матриця стану об’єкта; **L** – матриця зворотних зв’язків; **C** – матриця виходу.

Якщо передавальна функція спостерігача має нулі, то його динаміка, як і будь-якої електромеханічної системи, залежить не тільки від полюсів, але і від значень цих нулів.

Задачі дослідження

– Дослідження динамічних і статичних характеристик синтезованих електромеханічних систем зі спостерігачами.

– Компенсація нулів передавальної функції спостерігача для двомасової позиційної системи модального регулювання.

– Забезпечення заданих динамічних характеристик спостерігача і електромеханічної системи в цілому.

Основний матеріал

Вираз матрицевої передавальної функції спостерігача має вигляд

$$\mathbf{W_{сп}}(\mathbf{p}) = \left(p\mathbf{E} - \mathbf{A} + \mathbf{LC}\right)^{-1}\mathbf{B_к}\,, \tag{2}$$

де $\mathbf{B_к}$ – матриця входу.

Якщо в передавальних функціях визначених з (2) присутні нулі, то традиційний метод синтезу не дає змоги враховувати їх вплив на динамічні властивості спостерігача, а отже, і на електромеханічну систему в цілому. Для цього необхідно застосувати інший спосіб синтезу спостерігачів.

У виразі (2) для нормованої двомасової позиційної системи без урахування дії дисипативних сил складові мають такий вигляд: $\mathbf{C} = \begin{vmatrix} 0 & 0 & 0 & 1 \end{vmatrix}$,

$$\mathbf{A} = \begin{vmatrix} 0 & -\dfrac{1}{T_{м1}} & 0 & 0 \\ \dfrac{1}{T_c} & 0 & -\dfrac{1}{T_c} & 0 \\ 0 & \dfrac{1}{T_{м2}} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \end{vmatrix},\ \mathbf{L} = \begin{vmatrix} L_{14} & L_{24} & L_{34} & L_{44} \end{vmatrix}^T,\ \mathbf{B_к} = \begin{vmatrix} \dfrac{1}{T_{м1}} & 0 & 0 & 0 \end{vmatrix}^T.$$

Проведені дослідження показали, що спостерігач для двомасової позиційної системи буде спостережним лише тоді, коли вимірюється значення φ і його корекція здійснюється за

Lviv Polytechnic National University Institutional Repository http://ena.lp.edu.ua

розузгодженням $\tilde{\varphi} = \varphi - \hat{\varphi}$. Тому знайдемо вираз передавальної функції спостерігача $W_{сп}(p) = \hat{\varphi}(p)/M_1(p)$ на основі (2) з корекцією тільки за φ:

$$W_{сп}(p) = \frac{1}{T_{м1}T_cT_{м2}\left[p^4 + L_{44}p^3 + \left(L_{34} + (T_{м1}T_c)^{-1} + (T_cT_{м2})^{-1}\right)p^2 + \left(L_{44}(T_{м1}T_c)^{-1} + \rightarrow\right.\right.}$$

$$\overline{\left.\left.\rightarrow L_{44}(T_cT_{м2})^{-1} + L_{24}(T_{м2})^{-1}\right)p + L_{34}(T_{м1}T_c)^{-1} + L_{14}(T_cT_{м2})^{-1}\right]} \ . \qquad (3)$$

Як видно з виразу (3), динаміка спостерігача такої двомасової позиційної системи визначається тільки полюсами його передавальної функції і тому традиційний підхід до синтезу даного спостерігача є коректним.

Якщо ж дію дисипативних сил у двомасовому об'єкті враховувати, а необхідність цього обгрунтовано в роботі [7], то синтез спостерігача для позиційної двомасової системи матиме свої особливості. Записавши вираз моменту внутрішнього в'язкого тертя $M_f(p) = K_c\Delta\omega$ (K_c – нормоване значення коефіцієнта внутрішнього в'язкого тертя, $\Delta\omega$ – різниця швидкостей обох мас) отримаємо таку матрицю стану **A**:

$$\mathbf{A} = \begin{vmatrix} -\dfrac{K_c}{T_{м1}} & -\dfrac{1}{T_{м1}} & \dfrac{K_c}{T_{м1}} & 0 \\ \dfrac{1}{T_c} & 0 & -\dfrac{1}{T_c} & 0 \\ \dfrac{K_c}{T_{м2}} & \dfrac{1}{T_{м2}} & -\dfrac{K_c}{T_{м2}} & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \end{vmatrix} .$$

Передавальна функція $W_{сп}(p) = \hat{\varphi}(p)/M_1(p)$ тепер буде такою:

$$W_{сп}(p) = \frac{(T_cT_{м2})^{-1} + K_cT_{м2}^{-1}p}{T_{м1}\left[p^4 + \left(K_cT_{м1}^{-1} + K_cT_{м2}^{-1} + L_{44}\right)p^3 + \left(L_{44}K_cT_{м2}^{-1} + L_{34} + (T_{м1}T_c)^{-1} + \rightarrow\right.\right.}$$

$$\overline{\rightarrow + L_{44}K_cT_{м1}^{-1} + (T_cT_{м2})^{-1}\Big)p^2 + \Big(L_{44}(T_{м1}T_c)^{-1} + L_{14}K_cT_{м2}^{-1} + L_{44}(T_cT_{м2})^{-1} + \rightarrow}$$

$$\overline{\left.\left.\rightarrow + L_{24}T_{м2}^{-1} + L_{34}K_cT_{м1}^{-1}\right)p + L_{34}(T_{м1}T_c)^{-1} + L_{14}(T_cT_{м2})^{-1}\right.} \ . \qquad (4)$$

Аналізуючи вираз (4), видно, що динаміка спостерігача буде залежати не тільки від полюсів, але й від нулів його передавальної функції. Якщо підходити до синтезу спостерігача традиційним шляхом [6], то його коефіцієнти визначатимуться без урахування нулів.

Дослідимо, як таке нехтування нулями передавальної функції при синтезі, вплине на динаміку спостерігача. Для цього прирівняємо характеристичний поліном передавальної функції (4) до якоїсь стандартної форми розподілу коренів, наприклад, біноміальної, залишивши поза увагою чисельник. Тоді коефіцієнти L_{14}, L_{24}, L_{34}, L_{44} визначаться так:

$$L_{14} = \frac{-2K_c^2T_{м1}T_cT_{м2} - K_c^2T_{м1}^2T_c + 4\omega_oK_cT_{м1}^2T_cT_{м2} + T_{м1}^2T_{м2} - K_c^2T_cT_{м2}^2 + \rightarrow}{T_{м1}^3T_cT_{м2}}$$

$$\underline{\rightarrow + 4\omega_oK_cT_{м1}T_cT_{м2}^2 + T_{м1}T_{м2}^2 - 6\omega_o^2T_{м1}^2T_cT_{м2}^2 + \omega_o^4T_{м1}^3T_c^2T_{м2}^2} \ ;$$

Lviv Polytechnic National University Institutional Repository http://ena.lp.edu.ua

$$L_{24}=\frac{2K_cT_{м1}T_{м2}+K_cT_{м2}^2-\omega_o^4K_cT_{м1}^2T_c^2T_{м2}^2+K_cT_{м1}^2-4\omega_oT_{м1}^2T_{м2}-\to}{T_{м1}^2T_cT_{м2}}$$

$$\underline{\to -4\omega_oT_{м1}T_{м2}^2+4\omega_o^3T_{м1}^2T_cT_{м2}^2}\;;$$

$$L_{34}=\frac{2K_c^2T_{м1}T_cT_{м2}+K_c^2T_{м1}^2T_c-4\omega_oK_cT_{м1}^2T_cT_{м2}-T_{м1}^2T_{м2}+K_c^2T_cT_{м2}^2-\to}{T_{м1}^2T_cT_{м2}^2}$$

$$\underline{\to -4\omega_oK_cT_{м1}T_cT_{м2}^2-T_{м1}T_{м2}^2+6\omega_o^2T_{м1}^2T_cT_{м2}^2}\;;$$

$$L_{44}=\frac{-K_cT_{м2}-K_cT_{м1}+4\omega_oT_{м1}T_{м2}}{T_{м1}T_{м2}}\,.$$

Результати цифрового моделювання синтезованого таким чином спостерігача, коли $K_c \neq 0$, показані на рис. 1. Тут крива 1 відповідає перехідній функції спостерігача з такими параметрами: $T_{м1}$ = 0,1211 с, T_c = 0,0412 с, $T_{м2}$ = 0,1211 с, $\omega_{сп}$ = 200 c^{-1}, K_c = 1,5. Очевидно, що дана перехідна функція навіть близько не відповідає стандартній біноміальній формі, на яку було налаштовано спостерігач. Все це свідчить про необхідність удосконалення методу синтезу спостерігачів, передавальні функції яких мають не тільки полюси, але й нулі.

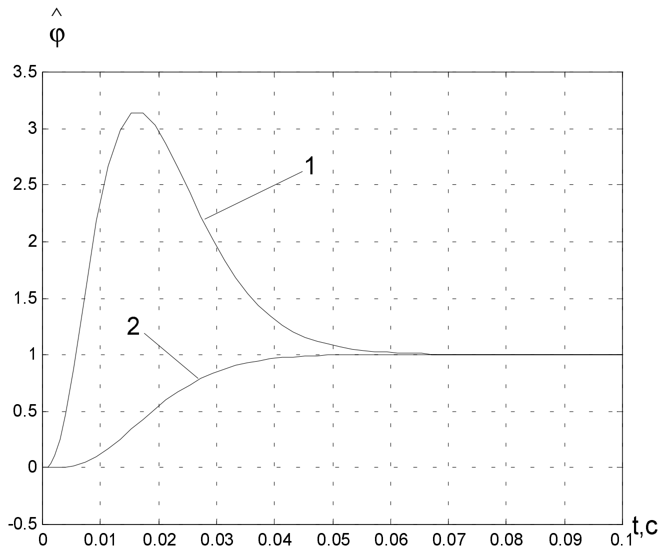

Рис. 1. Перехідні функції в спостерігачі з корекцією за φ (крива 1) та з корекцією за ω_1 і φ (крива 2)

Щоб вирішити проблему синтезу спостерігача, в якому у передавальній функції присутні нулі, необхідно застосувати іншу методику синтезу. Для цього пропонується здійснювати корекцію спостерігача не за однією, а за декількома координатами, аналогічно, як це зроблено в роботі [8] для двомасової системи регулювання швидкості. Для досліджуваного спостерігача пропонується здійснювати корекцію за ω_1 і за φ. Тут уже слід говорити не про рядок, а про матрицю виходу **C**.

$$\mathbf{C}=\begin{vmatrix}1&0&0&0\\0&0&0&0\\0&0&0&0\\0&0&0&1\end{vmatrix}.$$

Lviv Polytechnic National University Institutional Repository http://ena.lp.edu.ua

Зручність такого подання матриці **C** полягає в тому, що тепер **L** в (1) можна записати в загальному вигляді, як

$$\mathbf{L}=\begin{vmatrix}L_{11} & L_{12} & L_{13} & L_{14}\\ L_{21} & L_{22} & L_{23} & L_{24}\\ L_{31} & L_{32} & L_{33} & L_{34}\\ L_{41} & L_{42} & L_{43} & L_{44}\end{vmatrix}$$ і складова **LC** в (2) матиме вигляд: $$\mathbf{LC}=\begin{vmatrix}L_{11} & 0 & 0 & L_{14}\\ L_{21} & 0 & 0 & L_{24}\\ L_{31} & 0 & 0 & L_{34}\\ L_{41} & 0 & 0 & L_{44}\end{vmatrix}.$$

Тепер в синтезі спостерігача братимуть участь вісім коефіцієнтів, що входять в **LC**. Визначимо ці коефіцієнти. Для цього знайдемо вираз передавальної функції спостерігача відносно сигналу завдання $W_{\text{сп}}(p)=\hat{\varphi}(p)/M_1(p)$. Отримаємо:

$$W_{\text{сп}}(p)=\frac{-L_{41}p^2+\left(-L_{31}-L_{41}K_cT_{\text{м}2}^{-1}+K_cT_{\text{м}2}^{-1}\right)p+(T_cT_{\text{м}2})^{-1}-L_{21}T_{\text{м}2}^{-1}-L_{41}(T_cT_{\text{м}2})^{-1}}{T_{\text{м}1}\left[\begin{aligned}&p^4+\left(K_cT_{\text{м}1}^{-1}+L_{44}+L_{11}+K_cT_{\text{м}2}^{-1}\right)p^3+\left(L_{31}K_cT_{\text{м}1}^{-1}-L_{21}T_{\text{м}1}^{-1}+\right.\\ &+(T_{\text{м}1}T_c)^{-1}+L_{11}K_cT_{\text{м}2}^{-1}-L_{41}L_{14}+L_{44}K_cT_{\text{м}2}^{-1}+L_{44}K_cT_{\text{м}1}^{-1}+(T_cT_{\text{м}2})^{-1}+\\ &\left.+L_{34}+L_{11}L_{44}\right)p^2+\left(L_{31}L_{44}K_cT_{\text{м}1}^{-1}+L_{31}(T_{\text{м}1}T_c)^{-1}+L_{11}L_{44}K_cT_{\text{м}2}^{-1}+\right.\\ &+L_{44}(T_cT_{\text{м}2})^{-1}+L_{44}(T_{\text{м}1}T_c)^{-1}+L_{34}K_cT_{\text{м}1}^{-1}+L_{11}L_{34}-L_{31}L_{14}+L_{24}T_{\text{м}2}^{-1}-\\ &-L_{41}L_{34}K_cT_{\text{м}1}^{-1}-L_{21}L_{44}T_{\text{м}1}^{-1}+L_{14}K_cT_{\text{м}2}^{-1}+L_{11}(T_cT_{\text{м}2})^{-1}-L_{41}L_{14}K_cT_{\text{м}2}^{-1}+\\ &\left.+L_{41}L_{24}T_{\text{м}1}^{-1}\right)p+L_{11}L_{24}T_{\text{м}2}^{-1}-L_{41}L_{14}(T_cT_{\text{м}2})^{-1}+L_{14}(T_cT_{\text{м}2})^{-1}+\\ &+L_{11}L_{44}(T_cT_{\text{м}2})^{-1}+L_{31}L_{44}(T_{\text{м}1}T_c)^{-1}-L_{41}L_{34}(T_{\text{м}1}T_c)^{-1}+L_{31}L_{24}T_{\text{м}1}^{-1}+\\ &+L_{34}(T_{\text{м}1}T_c)^{-1}-L_{21}L_{34}T_{\text{м}1}^{-1}-L_{21}L_{14}T_{\text{м}2}^{-1}\end{aligned}\right]}. \qquad (5)$$

Щоб позбутися нулів передавальної функції (5), прирівняємо $L_{31}=K_c/T_{\text{м}2}$, $L_{41}=0$. З іншого боку, умову $H_{\text{сп}}(p)=H_{\text{ст}}(p)$ можна забезпечити, якщо для даного випадку певним чином вибрати тільки чотири коефіцієнти спостерігача, тому що $H_{\text{ст}}(p)$ є поліномом четвертого порядку. Отже, надлишковими є ще два коефіцієнти, які можна вибрати нульовими. Аналізуючи знаменник виразу (5), приймемо $L_{21}=0$, $L_{11}=0$. Тоді $W_{\text{сп}}(p)=[T_{\text{м}1}T_cT_{\text{м}2}H_{\text{сп}}(p)]^{-1}$, де:

$$\begin{aligned}H_{\text{сп}}&=p^4+\left(K_cT_{\text{м}1}^{-1}+K_cT_{\text{м}2}^{-1}+L_{44}\right)p^3+\left((T_cT_{\text{м}2})^{-1}+L_{34}+K_c^{\,2}(T_{\text{м}1}T_{\text{м}2})^{-1}+(T_{\text{м}1}T_c)^{-1}+\rightarrow\right.\\ &\left.\rightarrow+L_{44}K_cT_{\text{м}2}^{-1}+L_{44}K_cT_{\text{м}1}^{-1}\right)p^2+\left(L_{44}(T_{\text{м}1}T_c)^{-1}+L_{44}(T_cT_{\text{м}2})^{-1}+K_c(T_{\text{м}1}T_cT_{\text{м}2})^{-1}+\rightarrow\right.\\ &\left.\rightarrow+L_{34}K_cT_{\text{м}1}^{-1}+L_{24}T_{\text{м}2}^{-1}+L_{44}K_c^{\,2}(T_{\text{м}1}T_{\text{м}2})^{-1}\right)p+L_{44}K_c(T_{\text{м}1}T_cT_{\text{м}2})^{-1}+\rightarrow\\ &\rightarrow+L_{24}K_c(T_{\text{м}1}T_{\text{м}2})^{-1}+L_{34}(T_{\text{м}1}T_c)^{-1}+L_{14}(T_cT_{\text{м}2})^{-1}.\end{aligned}$$

Решта коефіцієнтів вибирається з умови $H_{\text{сп}}(p)=H_{\text{ст}}(p)$.

Lviv Polytechnic National University Institutional Repository http://ena.lp.edu.ua

У результаті проведеного синтезу отримається нормована структурна схема спостерігача, яка показана на рис. 2.

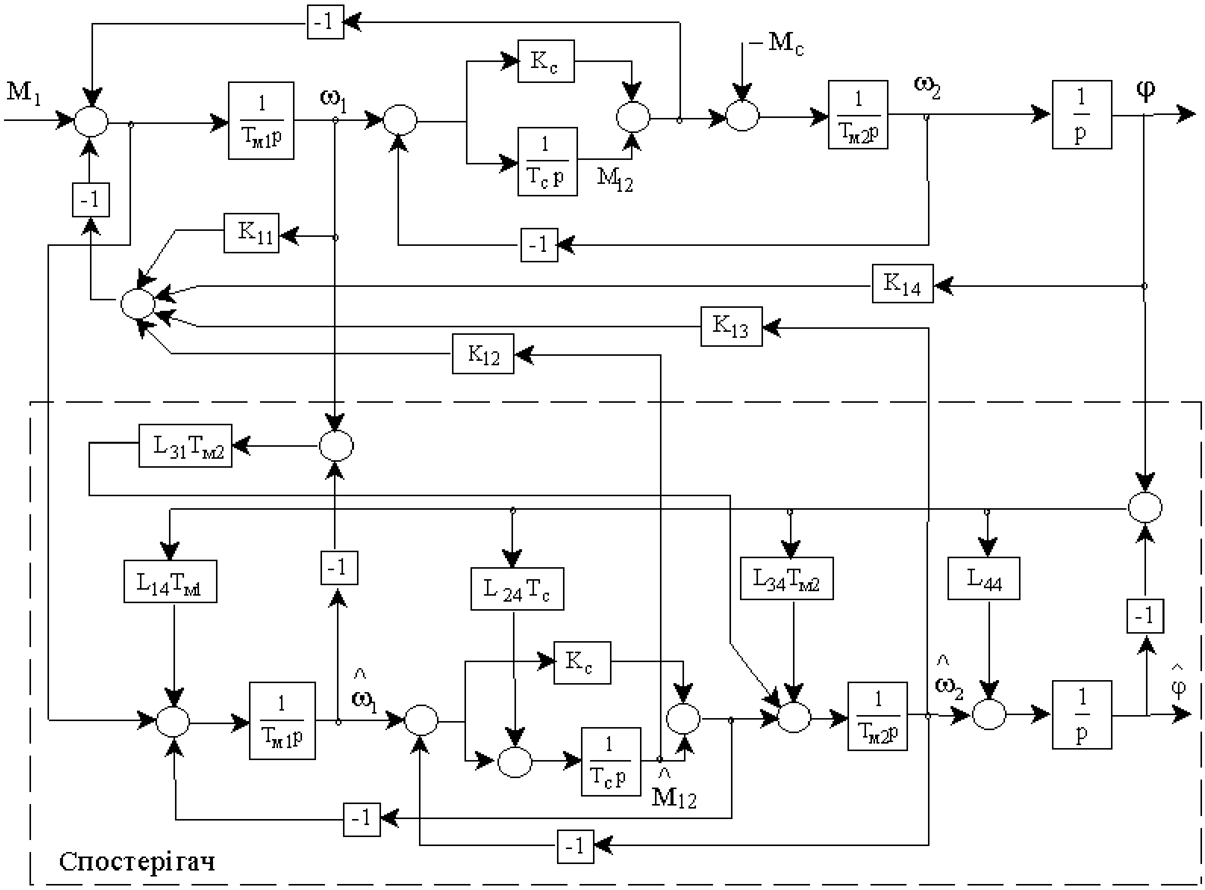

Рис. 2. Нормована структурна схема двомасової позиційної системи зі спостерігачем

На рис. 1 (крива 2) показана перехідна функція такого спостерігача, який налаштовано на біноміальну форму з параметрами, наведеними вище. Як видно з аналізу цієї кривої, перехідний процес $\hat{\varphi}(t)$ спостерігача тепер повністю відповідає налаштуванню на біноміальну форму.

Дослідимо, як буде себе поводити синтезований спостерігач у складі системи модального регулювання (СМР) (рис. 2). При цьому слід мати на увазі, що при введенні спостерігача в таку систему при абсолютному збігу параметрів об'єкта і спостерігача, динамічні характеристики спостерігача не мають значення, тому що на його коректуючих входах будуть нульові сигнали, а спостерігач є абсолютно точною моделлю об'єкта. У реальних системах визначення параметрів об'єкта є неточним. Тому були проведені дослідження на цифровій моделі СМР з двома типами спостерігачів, якщо розрахункові значення T_c, K_c, $T_{м1}$, $T_{м2}$ відрізняються від реальних. Так, на рис. 3 показані перехідні функції, коли корекція здійснюється тільки за φ (крива 1), а також, коли корекція здійснюється за ω_1 та φ (крива 2), причому відмінність параметра T_c в об'єкті і спостерігачі становила 30 %, а для K_c – 18 %.

На рис. 4. показані перехідні функції, коли $T_{м1} = T_{м2}$ і вони відрізнялися на 15 % від сталих часу реального об'єкта (кривій 1 відповідає корекція за φ, кривій 2 – за ω_1 та φ). Як

Lviv Polytechnic National University Institutional Repository http://ena.lp.edu.ua

видно з рис. 4, традиційна СМР є чутливіша до зміни електромеханічної сталої часу $T_{м1}$, $T_{м2}$, ніж СМР зі спостерігачем, де корекція відбувається за двома координатами.

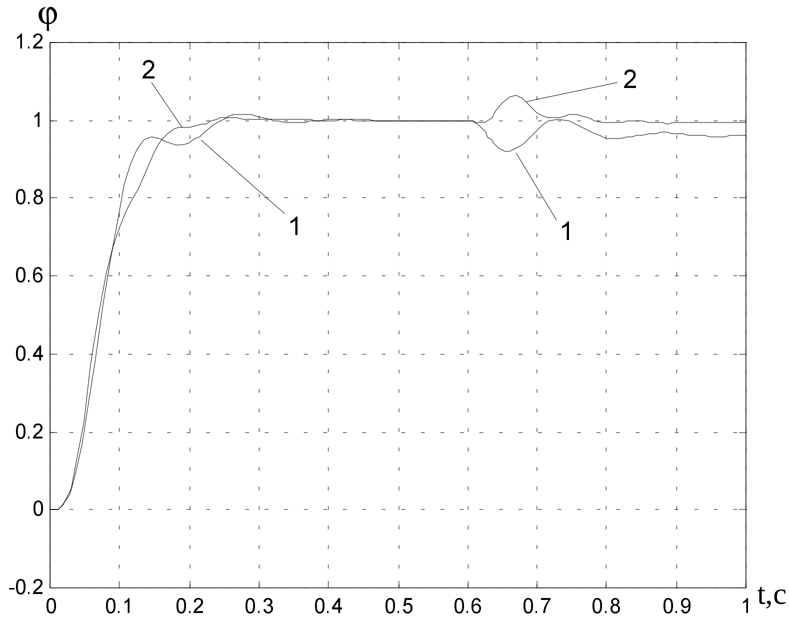

Рис. 3. Перехідні функції в системі модального регулювання з двома типами спостерігачів, при незбігу значення параметрів об'єкта T_c , K_c з розрахунковими (ω_0 = 50 c^{-1})

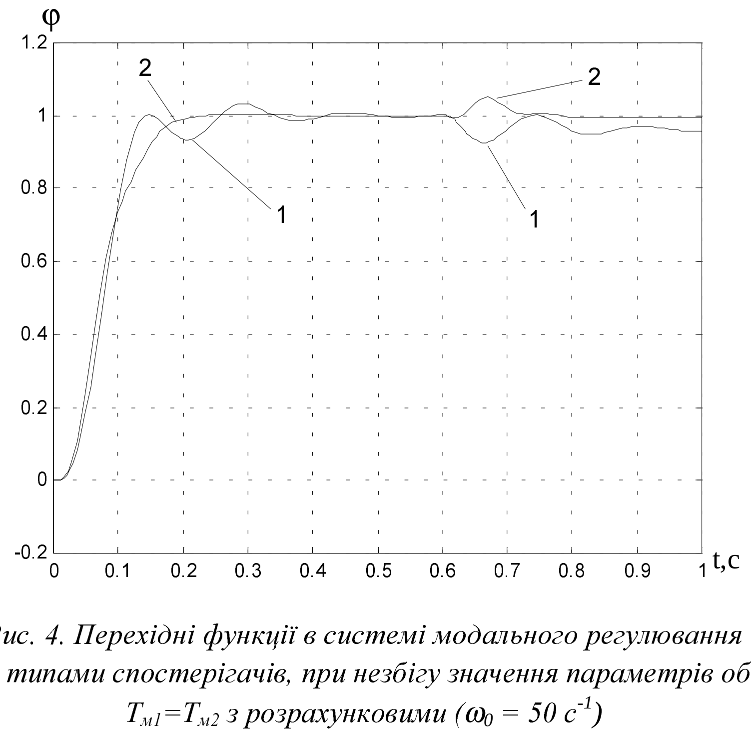

Рис. 4. Перехідні функції в системі модального регулювання з двома типами спостерігачів, при незбігу значення параметрів об'єкта $T_{м1}=T_{м2}$ з розрахунковими (ω_0 = 50 c^{-1})

Дослідження, які проілюстровані на рис. 3–4, підтвердили, що в разі корекції спостерігача за двома координатами синтезована СМР є менш чутлива до параметричних збурень.

Lviv Polytechnic National University Institutional Repository http://ena.lp.edu.ua

Аналізуючи отримані результати з погляду статичних і динамічних характеристик СМР при дії збурення у вигляді моменту статичного навантаження M_c, можна відзначити, що корекція спостерігача за двома координатами забезпечує астатизм системі, чого немає в СМР зі спостерігачем, синтезованим традиційно. Крім цього, при значеннях $\omega_0=50c^{-1}$, при яких проводили дослідження синтезованих СМР, спостерігається зміна знака динамічної похибки при накиді навантаження, а також зменшується її існування майже в 2,5 раза порівняно з традиційними системами. У принципі впливати на величину динамічної похибки можна шляхом вибору значення ω_0 аж до отримання повної нечутливості системи до дії M_c.

Висновки

– Компенсація нулів передавальної функції спостерігача, шляхом введення двох коректуючих сигналів забезпечує меншу чутливість електромеханічної системи до параметричних збурень у системі.

– Застосування даного способу побудови спостерігача двомасової позиційної системи дає можливість отримати астатичну СМР з можливістю регулювання динамічної похибки при дії M_c.

– Синтез спостерігача з корекцією за двома координатами усуває методологічні протиріччя його синтезу.

1. Автоматизированные электромеханические системы с модальными регуляторами и наблюдателями состояния // Сб. науч. статей под ред. В.Б. Клепикова, Л.В. Акимова. – Харьков, 1997. – 89 с. 2. Акимов Л.В., Долбня В.Т., Колотило В.И. Системы управления электроприводами постоянного тока с наблюдателями состояния. – Харьков, 1998. – 117 с. 3. Акимов Л.В., Колотило В.И. Электромеханические системы скорости и положения с наблюдателями состояния. – Харьков, 1999. – 81 с. 4. Акимов Л.В., Колотило В.И., Марков В.С. Динамика двухмассовых систем с нетрадиционными регуляторами скорости и наблюдателями состояния. – Харьков, 2000. – 93 с. 5. Кузовков Н.Т. Модальное управление и наблюдающие устройства. – М., 1976. – 198 с. 6. Башарин А.В., Новиков В.А., Соколовский Г.Г. Управление электроприводами. – Л., – 1982. – 392 с. 7. Лозинський О.Ю., Марущак Я.Ю., Кушнір А.П. Особливості синтезу електромеханічних систем з пружними елементами і урахуванням дії дисипативних сил // Вісн. Нац. ун-ту "Львівська політехніка". – 2002. – № 449. – С. 116–120. 8. Марущак Я.Ю., Кушнір А.П. Особливості синтезу спостерігачів, передавальні функції яких мають нулі // Вісн. Харків. держ. техн. ун-ту. – 2002. – № 12. – С. 457–459.

Lviv Polytechnic National University Institutional Repository http://ena.lp.edu.ua