

## **НАУКОВІ ТА ПРАКТИЧНІ ПРОБЛЕМИ ВИРОБНИЦТВА ПРИЛАДІВ ТА СИСТЕМ**

УДК 681.326(075)

### **МЕТОД УСУНЕННЯ ВЗАЄМНОГО ВПЛИВУ КОНТУРУ РЕГУЛЮВАННЯ ПОЛОЖЕННЯ Й КОНТУРУ СИНХРОНІЗАЦІЇ ДЛЯ БАГАТОДВИГУНОВИХ ЕЛЕКТРОПРИВОДІВ**

*Лукашенко А.Г., ІЕЗ ім. Є.О. Патона, м Київ, Україна*

*Пропонується: метод усунення взаємного впливу контуру регулювання положення й контуру синхронізації для електроприводів, що мають декілька електричних двигунів із різними динамічними характеристиками; модель, яка використовує математичне рівняння для варіювання передаточними функціями відповідних корегуючих ланок у цих контурах*

#### **Вступ. Постановка задачі**

Багато локальних підсистем керування, що вирішують траєкторні задачі, складаються з електродвигунів, перетворюючих та керуючих пристроїв, які об'єднуються під загальною назвою – електропривод. Управління роботою електропривода здійснюється за допомогою електричного блока, який керує електричним перетворювачем або безпосередньо електродвигуном [1-7]. Усі елементи електропривода взаємно пов'язані та в процесі роботи впливають один на одного. До основних недоліків у сучасних локальних підсистемах керування для рішення траєкторних задач за допомогою багатодвигунових електроприводів слід віднести жорсткі вимоги до однакових динамічних характеристик кожного із електродвигунів, чим забезпечується взаємна незалежність контуру регулювання положення й контуру синхронізації [2].

Великий вклад у розв'язання питань побудови локальних підсистем керування, що вирішують траєкторні задачі в промисловості, в тому числі в маніпуляторах при використанні лазерних технологій, внесли відомі вчені: Є.Є. Олександров, В.Д. Байков, В.М. Бродовський, Є.С. Іванов, Ю.Т. Костенко, І.В. Кузьмін, Б.І. Мокін, А.М. Оранський, К.Д. Жук та ін.

Проте, недостатньо освітлені питання, про забезпечення взаємної незалежності контуру регулювання положення й контуру синхронізації при використанні багатодвигунових електроприводів.

Отже, забезпечення скорочення часу налагодження систем керування траєкторіями переміщення маніпуляторів за допомогою багатодвигунових електроприводів та низької вартості цієї системи є актуальною задачею [2].

#### **Основна частина**

Найбільш розповсюдженими за технологічною сутністю до розроблюваного електроприводу є дводвигунові, кожний із яких керується. До основних керуючих складових відносяться: датчики положення та швидкості; регулятори стру-

му; регулятори положення та розузгодження за положенням відповідно; задатчики положення та розузгодження за положенням відповідно; регулятор швидкості та регулятор розузгодження по швидкості відповідно; суматори; інвертори [3].

За допомогою регуляторів струму, що реалізують частотно-струмове управління, забезпечується керування силовою тягою лінійних двигунів пропорційно вхідним сигналам регуляторів струму.

Нехай  $W_{I1}$ ,  $W_{I2}$ ,  $W_{D1}$ ,  $W_{D2}$  – передаточні функції першого і другого регуляторів струму, першого і другого електродвигунів відповідно.

Тоді співвідношення між силою тяги двох лінійних двигунів і вхідним сигналом регулювання струму має вигляд

$$\begin{aligned} W_{I1} W_{D1} &= K_1/(m_1 p), \\ W_{I2} W_{D2} &= K_2/(m_2 p) \end{aligned} \quad (1)$$

де  $K_1$ ,  $K_2$  – коефіцієнти, що визначають співвідношення між силою тяги лінійного двигуна і вхідним сигналом регулювання струму;

$m_1$ ,  $m_2$  – рухомі маси, які переміщують електродвигуни відповідно.

При огляді сучасних маніпуляторів, що випускаються промисловістю використовуються методи, які здійснюють підбір електродвигунів з однаковими динамічними характеристиками, це займає багато часу й збільшує кількість електродвигунів для перебору, що значно впливає на собівартість складних автоматизованих систем переміщення в цілому [4].

Крім того, дводвигуновий електропривод часто використовується в лазерних маніпуляторах порталної конструкції, в яких зміна динамічного навантаження на кожен з двигунів відбувається в процесі роботи комплексу при переміщенні коретки з лазерною голівкою по порталі. При цьому вимога до синхронності переміщення залишається [2].

Для вирішення цієї проблемної задачі пропонується метод, який дозволяє забезпечити взаємну незалежність контуру регулювання положення й контуру синхронізації, при використанні електродвигунів не лише з близькими, але й із суттєво різними динамічними характеристиками і навантаженнями.

Основою цього методу є наступне:

- визначення умов для забезпечення взаємної незалежності контурів регулювання положення і синхронізації;
- формування відповідних передаточних функцій;
- введення корегуючих ланок у керуючу морфоструктуру електродвигунів.

Аналіз формули (1) показав, що умови для забезпечення взаємної незалежності контурів регулювання положення і синхронізації визначаються як рівняння

$$K_1/(m_1 p) = K_2/(m_2 p) \quad (2)$$

Відповідні формули (2) значення  $K_1$ ,  $K_2$  дозволяють вирішити поставлену задачу.

На рис. 1 представлена функціональна схема дводвигунового електропривода, яка використовується у лінійних приводах подач розроблюваного технологічного обладнання з корегуючими ланками 20 і 21.

На рис. 2 наведена образно - знакова модель цього дводвигунового електропривода у вигляді взаємозв'язаних контурів регулювання положення і синхронізації через відповідні передаточні функції.

З аналізу приведеної моделі витікає, що при виконанні умов рівняння:

$$W_{K1} W_{I1} W_{D1} = W_{K2} W_{I2} W_{D2} \quad (3)$$

де  $W_{K1}$ ,  $W_{K2}$ ,  $W_{I1}$ ,  $W_{I2}$ ,  $W_{D1}$ ,  $W_{D2}$  – передаточні функції першої і другої корегуючих ланок, першого і другого регуляторів струму, першого і другого електродвигунів, контури регулювання положення і синхронізації стають взаємно незалежними.

Аналіз роботи взаємозв'язаних контурів регулювання положення і синхронізації наглядно підтверджує, що при виконанні необхідних умов (3) забезпечується взаємно незалежне регулювання контурів положення і синхронізації.

Електропривод (рис 1, 2) працює наступним чином.

На управляючий вхід регулятора 9 положення подається сигнал  $2S_3$ , а на управляючий вхід регулятора 13 розузгодження за положенням – сигнал  $2\Delta S_3$ ,

При цьому  $S_3$  – завдання положення, яке повинно синхронно відпрацьовувати електродвигуни 1 і 5, а  $\Delta S_3$  – завдання розузгодження за положенням, яке повинні підтримувати під час руху електродвигуни 1 і 5.

За допомогою датчиків 2 і 6, 3 і 7 вимірюються поточні положення  $S_1$  і  $S_2$ , швидкості переміщення  $v_1$  і  $v_2$  роторів електродвигунів 1 і 5 відповідно.

Відпрацювання завдань дводвигуновим електроприводом здійснюється за рахунок одночасного функціонування контуру регулювання положення і контуру синхронізації наступним чином.

Завдяки першому контуру ротори двигунів 1 і 5 займають положення  $S_1$  і  $S_2$ , середнє значення яких дорівнює  $S_3$ , коли  $S_1 + S_2 = 2 S_3$ .

За допомогою другого контуру ротори двигунів 1 і 5 займають положення, що задовольняє рівнянню

$$S_2 - S_1 = 2 \Delta S_3.$$

За рахунок одночасного функціонування контурів ротори двигунів 1 і 5 займають положення:

$$\begin{aligned} S_1 &= S_3 - \Delta S_3, \\ S_2 &= S_3 + \Delta S_3. \end{aligned} \quad [2]$$

Незалежність контурів регулювання забезпечується відповідним вибором передаточних функцій:

- $W_S$  і  $W_v$ , що визначають динаміку контуру регулювання положення,
- $W_{\Delta S}$  і  $W_{\Delta v}$ , що визначають динаміку контуру синхронізації.

Це дозволяє досягти бажаних характеристик кожного контуру регулювання окремо.

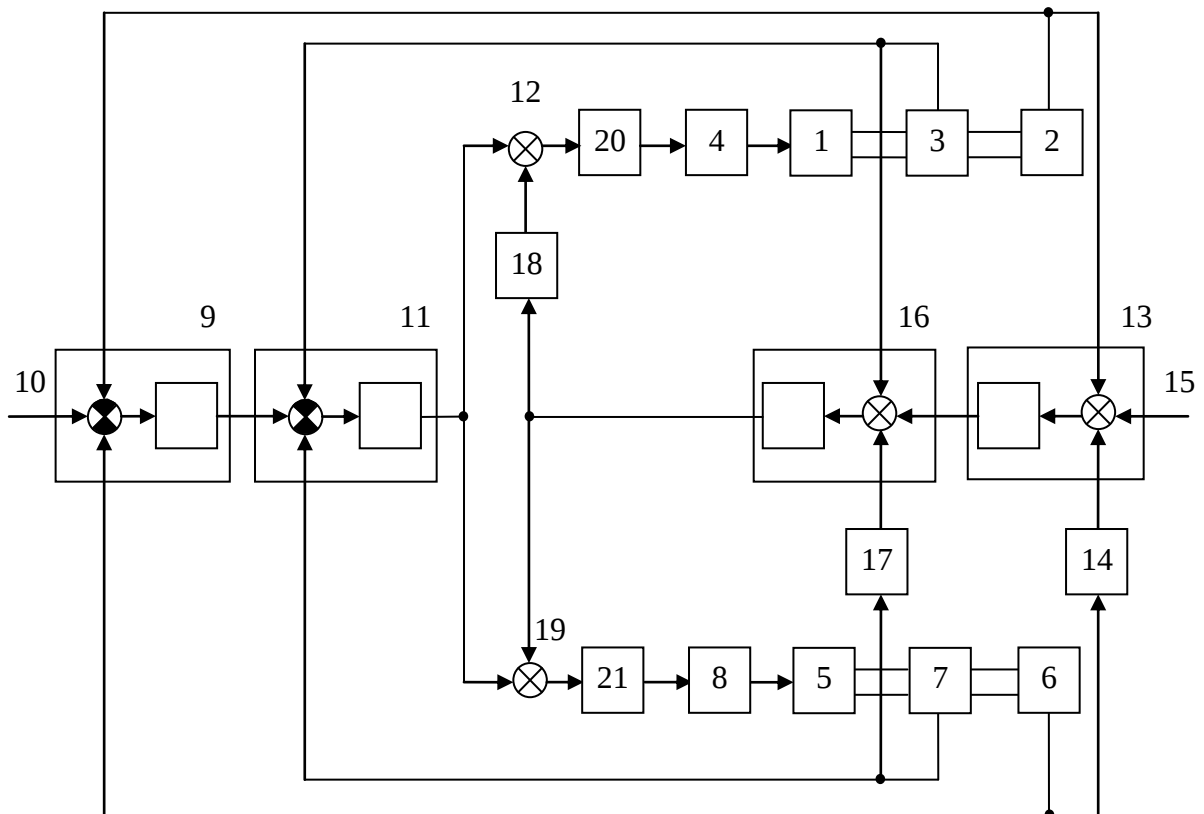


Рис.1. Функціональна схема дводвигунового електропривода:

- 1, 5 – перший та другий двигуни, які керуються;
- 2, 6 – перший та другий датчики положення;
- 3, 7 – перший та другий датчики швидкості;
- 4, 8 – перший та другий регулятори струму;
- 9, 13 – регулятори положення та розузгодження за положенням відповідно;
- 10, 15 – задатчики положення та розузгодження за положенням відповідно;
- 11, 16 – регулятор швидкості та регулятор розузгодження по швидкості відповідно;
- 12, 19 – суматори;
- 14, 17, 18 – інвертори;
- 20, 21 – корегуючі динамічні ланки.

Апробація запропонованого метода усунення взаємного впливу залежності контуру регулювання положення й контуру синхронізації була проведена для дводвигунового електроприводу лазерного технологічного комплексу [5]. В якості керованих двигунів 1 і 5 використовують лінійні синхронні двигуни із частотно-струмовим управлінням, а в якості корегуючих ланок 20 і 21 обираються звичайні підсилювачі.

Згідно рівнянь (1) і (2) передаточні функції корегуючих ланок 20, 21 відповідно є коефіцієнти передачі

$$K_1 = 1,$$

$$K_2 = m_2/m_1 \quad [2]$$

Високі динамічні та статичні характеристики дводвигунового електропривода в цілому підтвердили практичну значимість даного методу.

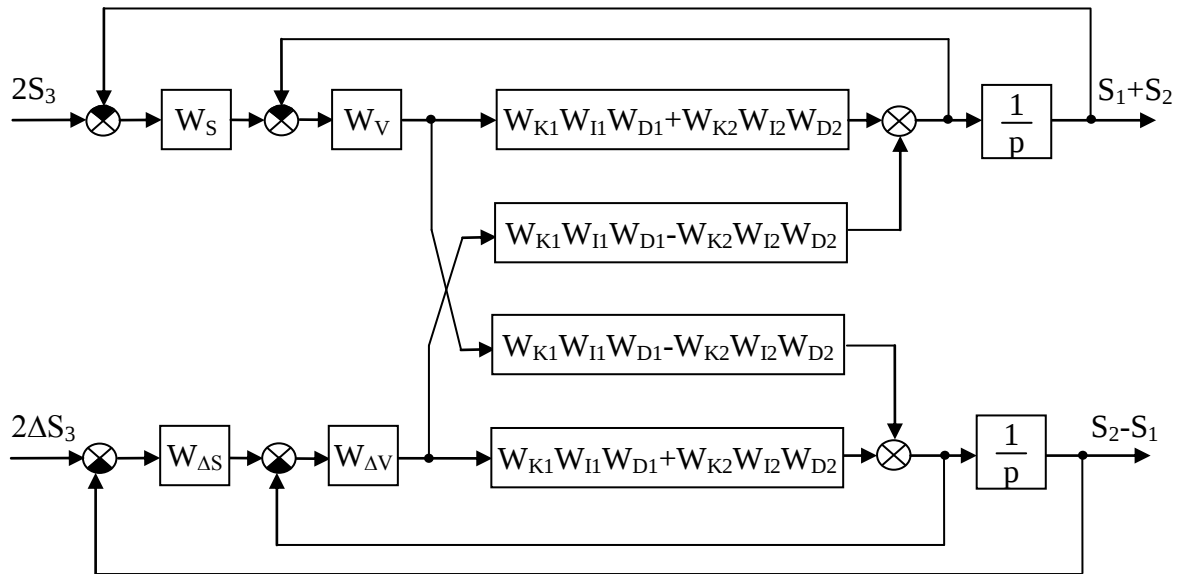


Рис.2. Образно – знакова модель взаємно зв'язаних передаточних функцій дводвигунового електропривода:

$S_1$ -положення ротора першого двигуна;  
 $S_2$ - положення ротора другого двигуна;  
 $S_3$ - середнє завдання положення електродвигунів 1, 5;  
 $\Delta S_3$ - завдання розузгодження за положенням, яке повинні підтримувати під час руху електродвигуни 1, 5;  
 $W_{K1}, W_{K2}$  - передаточні функції корегуючих ланок 20, 21 відповідно;  
 $W_{I1}, W_{I2}$  - передаточні функції регуляторів 4 і 8 відповідно;  
 $W_{D1}, W_{D2}$  - передаточні функції електродвигунів 1, 5 відповідно;  
 $W_S, W_V, W_{\Delta S}, W_{\Delta V}$  - передаточні функції перетворювачів сигналів, що входять в блоки 9,11,13,16 відповідно.

## Висновки

1. Запропоновано метод усунення взаємної залежності контуру регулювання положення й контуру синхронізації для багатодвигунових електроприводів. Відмінною рисою цього методу є:

- простота реалізації;

- скорочення часу налагодження багатодвигунових електроприводів.

2. Запропоновано математичне рівняння, яке характеризує умови вибору передаточних функцій, що дозволяє забезпечувати взаємну незалежність контуру регулювання положення і контуру синхронізації при використанні електричних двигунів із суттєво різними динамічними характеристиками.

3. Запропонована образно-знакова модель взаємно зв'язаних передаточних функцій дводвигунового електропривода, яка наглядно підтверджує напрямок варіювання передаточними функціями відповідних корегуючих ланок у контуру положення й контуру синхронізації

4. Завдяки методу зменшується вартість технологічних комплексів, які їх використовують, значно поширюється галузь застосування багатодвигунових електроприводів, що також сприяє збільшенню конкурентоспроможності на ринку збуту.

Таким чином, введення у морфоструктуру дводвигунового електроприводу корегуючих ланок і відповідний вибір їх передаточних функцій дозволяє забезпечити взаємну незалежність контуру регулювання положення і контуру синхронізації при використанні електродвигунів не тільки з близькими, але й із суттєво різними динамічними характеристиками, які мають не лише окреме управління, але й несуть спільне механічне навантаження.

Отже, завдячуючи такій побудові електроприводу доцільно оцінити ступінь керованості напівавтоматичним маніпулятором, у конструкції якого його застосовують, і точності його рухів.

#### **Література**

1. Пат. 4491. МПК H02P7/42 Устройство для формирования опорных сигналов управления синхронным двигателем / М.И. Ярославцев, В.И. Попов, А.Г. Лукашенко // - №4490467; Заявл. 06.10.88; Опубл. 27.12.94; Бюл. №6 - 4с.
2. Пат. 3182. МПК H02P7/49 Двдвигунний електропривод / М.И. Ярославцев, В.И. Попов, А.Г. Лукашенко // - №490827 ; Заявл. 23.04.91; Опубл. 26.12.94; Бюл. №5 - 4с.
3. Способ регулирования многокоординатного электропривода сварочного автомата. А.с. 2233465 G05B19/41. Букреев В.Г., Гусев Н.В. - № 200232 993/09; Опубл. 2004.07.27; Бюл. №32.
4. Лукашенко А.Г., Лукашенко В.М. Быстродействующий привод для современных прецизионных технологических комплексов // Вісник ЧІТІ. – 1999. – № 2. – С. 73-75.
5. Лукашенко А.Г., Лукашенко В.М. Многодвигательные электроприводы с независимым регулированием линейных перемещений // Вісник Вінницького державного сільськогосподарського інституту. – 1999. – Спец. вип. – С. 138-141.
6. Лукашенко А.Г., Лукашенко В.М. Современный электропривод с частотно-токовым управлением // Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах. – 1999. – № 3. – С. 94-98.
7. Перспективні елементи локальних підсистем керування ВПК верстатів / Лукашенко А.Г., Лукашенко В.М., Лега Ю.Г., Корпань Я.В., Лукашенко М.Г. // Вестник ХНТУ. – 2005. – № 2(22). – С. 174-179.

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <p>Лукашенко А.Г. Метод устранения взаимного влияния контура регулирования положения и контура синхронизации для многодвигательных электроприводов</p> <p>Предлагается: - метод устранения взаимного влияния контура регулирования положения и контура синхронизации для электроприводов, которые имеют несколько электрических двигателей с разными динамическими характеристиками;- образно-знаковая модель для двухдвигательного электропривода; - математическое уравнение, подтверждающее возможность варьирования передаточными функциями в соответствующих корректирующих цепях двух контуров для устранения их взаимного влияния.</p> | <p>Lukashenko A.G. Method of removal of the mutual influencing of contour of adjusting of position and contour of synchronization for multimotive electric drive</p> <p>Offered:- method of removal of the mutual influencing of contour of adjusting of position and contour of synchronization for electric drive which have a few electric engines with different dynamic descriptions;- vividly-sign model for twomotive electric drive;- mathematical equalization, confirmative possibility of varying transmission functions in the proper correctings chains of two contours for the removal of their mutual influencing.</p> |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|

*Надійшла до редакції  
21 вересня 2008 року*

УДК 534.1

## **ПОБУДОВА ДИНАМІЧНИХ МОДЕЛЕЙ ПРУЖНИХ ЕЛЕМЕНТІВ ТЕНЗОРЕЗИСТИВНИХ ВИМІРЮВАЧІВ ЗМІННОГО ТИСКУ. ЧАСТИНА II**

*Тихан М.О., Національний університет "Львівська політехніка", м. Львів, Україна*

*Побудовані динамічні моделі так званих вторинних пружних елементів тензометричних вимірювачів змінного тиску у формі інтегральних рівнянь Вольтерра, що дозволяє найбільш ефективно аналізувати динаміку цих елементів при довільній формі вхідного сигналу*

### **1. Вступ**

Нагадаємо, що в ч. I [1] наголошувалось на тому, що в умовах істотних термовпливів, для зменшення температурної залежності тензорезистивних вимірювачів тиску самі тензорезистори намагаються "ізолювати" від зони найбільшого впливу температури. З цією метою тензорезистори розташовують на так званих вторинних пружних елементах, що спряжені з первинною мембраною, а внутрішню порожнину вимірювача примусово охолоджують.

Очевидно, що для раціонального проектування таких вимірювачів, причому орієнтованих на вимірювання змінного тиску, доцільно мати інженерно зручні математичні залежності, що описують динаміку пружних елементів.

Також нагадаємо, що найчастіше вторинні пружні елементи намагаються проектувати у формі канонічних тіл, а саме- мембран, балок, стержнів, кілець.

### **2. Динамічні моделі вторинних пружних елементів**

#### **2.1. Динаміка вторинного пружного елемента у формі двоопорної балки**

У вимірювачів з вторинним пружним елементом у формі двоопорної балки,