



УДК 621.314.1

DOI: 10.31388/2220-8674-2019-1-26

ВПЛИВ КОРЕГУВАЛЬНИХ ЗВОРОТНИХ ЗВ'ЯЗКІВ НА МЕХАНІЧНІ КОЛИВАННЯ ЕЛЕКТРОПРИВОДА ЗІ СПОСТЕРІГАЧЕМ

Стьопкін В. В., к. т. н.

<http://orcid.org/0000-0001-5727-8343>

Ніколенко А. В., к. т. н.

<http://orcid.org/0000-0003-3808-4249>*Національна металургійна академія України*E-mail: vasilstopkin@gmail.com, Моб.: +380663943841

Анотація – в даній роботі розроблена математична модель електропривода зі спостерігачем з метою вибору типу зворотного зв'язку при зміні коефіцієнту співвідношення моментів інерції двигуна та механізму для зменшення коливань швидкості. Спостерігач забезпечує оцінювання швидкості обертання на підставі інформації про напругу живлення та струм двигуна з урахуванням складання системи рівнянь змінних стану.

При проведенні досліджень в систему введена інформація про швидкість. В даній системі замість безпосереднього вимірювання швидкості виконавчого органу використовується спостерігач, який за допомогою вимірюного струму якоря та швидкості виконавчого органу або за різницею швидкостей корегує завдання на швидкість. При дослідженнях впливу корегувальних зв'язків на коливальність швидкостей пружного електропривода були визначені основні типи зворотних зв'язків, які можна використовувати при різних співвідношеннях моментів інерції двигуна та механізму. Недоліками системи автоматичного керування з використанням коригувальних зв'язків є складності розрахунків параметрів ланок при налагодженні. Використання спостерігача стану було доцільним у всьому діапазоні зміни коефіцієнту співвідношення моментів інерції.

Момент навантаження ідентифікується та описується системою диференційних рівнянь, які входять до загальної системи. Спостерігач відновлює вектор координат системи і вектор збурень. Якщо збурення носять випадковий характер, то його математичний опис невідомий. Точне відтворення координат у такому випадку здійснюється у сталому режимі. При зміні навантаження у перехідних режимах спостерігач буде відновлювати координати системи і момент навантаження з помилкою. При здійсненні корекції за різницею швидкостей наявна статична помилка при впливі моменту навантаження. Для компенсації статичної помилки сигнал моменту навантаження в статистиці подається на вхід контуру швидкості через відповідну ланку.

Дана модель системи підпорядкованого регулювання координат зі спостерігачем швидкості та струму навантаження може бути використаною для пружних електроприводів.

Ключові слова: спостерігач, пружний зв'язок, двигун постійного струму, тиристорний перетворювач, постійна часу, регулятор, корегувальна ланка.



Постановка проблеми. У металургійній промисловості використовуються багато електроприводів, які містять в механічній частині пружні елементи. При проведенні синтезу систем керування необхідно вирішувати задачу керування виконавчим механізмом, який пов'язаний з привідним пристроєм кінематичною передачею з пружним зв'язком. При дії періодичних збурень пружні елементи стають причиною виникнення коливань, що викликають значні додаткові динамічні навантаження на електричне та механічне обладнання та відхилення процесів від заданої технології. Динаміка коливального характеру не дозволяє використовувати електричне обладнання за перевантажувальною здатністю, значно скорочує строк служби вузлів та деталей механічної передачі за зносостійкістю та витривалістю [1]. З метою зменшення пружних механічних коливань здійснюють синтез електромеханічних систем (ЕМС) із реалізацією демпфуючої дії електропривода. Методики синтезу параметрів та структур ЕМС, що використовуються на практиці передбачають мінімізацію реакції електропривода на коливання механічної частини. В дійсності в ЕМС необхідно розглядати взаємодію коливань. У роботі [2], синтез параметрів системи автоматичного керування (САК) з мінімізацією реакції електропривода на коливання в механічній частині здійснюється без врахування взаємозв'язку параметрів електричної та механічної підсистем, що зумовлено умовами заданого конструкцією розподілення мас двигуна з механізмом. Робота присвячена питанням впливу корегувальних зворотних зв'язків на механічні коливання пружного електропривода із використанням спостерігаючого пристрою.

Використання спостерігачів є доцільним, де встановлення датчиків змінних стану електропривода ускладнено через умови експлуатації електропривода, наприклад при роботі механізмів у хімічно агресивних та радіоактивних середовищах, а також в умовах вібрації та значних ударних навантажень.

Аналіз останніх досліджень. Відомими є такі основні способи синтезу систем керування з пружними елементами в механічній частині електроприводу [3]: корегування коефіцієнту підсилення регулятора швидкості в системі підпорядкованого регулювання; використання зворотного зв'язку за похідними від швидкості виконавчого валу; використання зворотного зв'язку за різницею швидкостей двигуна та виконавчого органу; створення модального регулятора; створення спостерігаючого пристрою; створення системи замкненої за вектором стану; використання паралельної корекції з непрямым вимірюванням швидкості виконавчого органу та



використанням гнучкого зворотного зв'язку на вхід регулятора струму. Результати практичного застосування перелічених способів синтезу, без спостерігаючого пристрою, розглянуті у роботі [4]. Основними недоліками систем з послідовно-паралельною корекцією є складність розрахунків параметрів корегувальних ланок та труднощі їх налагодження. В роботі [5] розглянута тримасова ЕМС, у якій пружні коливання були зменшені за рахунок використання зворотних зв'язків за різницею швидкостей рухомих мас.

Вплив механізму на роботу електропривода проявляється в його визначенні характеру моменту навантаження. При синтезу САК використовують ідеалізацію, засновану на представленні про жорсткий зв'язок двигуна з механізмом. Це пов'язано з тим, що частота власних пружних коливань механізму виявляється вищою за частоту, що визначає швидкодію САК [6]. При не спрацюванні вказаного припущення синтез системи може призвести до помилкових результатів. Можливі такі випадки, коли підвищення швидкодії ЕМС, що зумовлене застосуванням тиристорних або транзисторних перетворювачів і високоякісних елементів системи керування, іноді неможливе у наслідок суттєвого впливу пружності в механічній передачі на якість перехідних процесів електропривода.

У роботі [7] запропонований узагальнений метод синтезу ЕМС з пружними зв'язками при використанні демпфуючого впливу електропривода з врахуванням ефекту електромеханічного взаємозв'язку.

Розробкою, вивченням та вдосконаленням електроприводів зі спостерігачами стану займалися такі вітчизняні та зарубіжні вчені: Л. В. Акімов, В. І. Колотило, В. С. Марков, В. Б. Клепиков, Н. А. Задорожній, В. В. Панкратов, А. Б. Виноградов, І. Я. Браславський та ін.

Питання чутливості електропривода до зміни його внутрішніх параметрів, відновлення сигналів зворотних зв'язків за допомогою спостерігачів стану, покращення якості керування за рахунок збільшення інформації про координати об'єкта керування розглядалися авторами робіт [8-12].

Формулювання цілей статті. Ціллю роботи є розробка математичної моделі електропривода постійного струму зі спостерігачем стану з компенсуючими зворотними зв'язками для дослідження їх впливу на пружні механічні коливання.

Розробка математичної моделі передбачає: розрахунок структурних параметрів регуляторів та корегуючих зворотних зв'язків електропривода; аналіз впливу пружного зв'язку на контур струму та



швидкості; налагодження контуру швидкості електропривода зі спостерігачем із урахуванням пружного зв'язку.

Основні матеріали дослідження. Математична модель електропривода складається з двигуна постійного струму з тиристорним перетворювачем (ТП) у колі якоря. Двигун має наступні паспортні параметри: номінальна напруга $U_n = 220$ В; номінальний струм $I_n = 101$ А; номінальна частота обертів $n_n = 600$ об/хв; опір кола якоря $R_j = 0,235$ Ом; момент інерції $J_{дв} = 0,57$ кгм². Тиристорний перетворювач має сталу часу $T_{тп} = 0,005$ с. Перевантажувальна здатність двигуна $\lambda = 2$. Співвідношення моментів інерції двигуна та механізму при дослідженні змінювалось у діапазоні $g = 1,5 \div 15$. Частота незатухаючих коливань системи $\Omega_0 = 30$ рад/с. Бажане співвідношення моментів інерції $g_0 = 5,8$. Реактивний момент навантаження $M_r = 0,15 \cdot M_n$, та випадковий активний $M_{st} = 0,4 \cdot M_n$. Регулятор струму – пропорційно-інтегральний (ПІ). Регулятор швидкості – пропорційний (П). ЕРС некомпенсована. Режим роботи змодельований наступним чином – розгін до швидкості $0,9 \cdot \omega_n$, накид навантаження через 2с після початку руху та гальмування до швидкості $0,5 \cdot \omega_n$ через 3,5 с після початку руху.

Математична модель має наступні припущення: моменти та зусилля в системі прикладені до зосереджених мас, що не зазнають деформації; пружні зв'язки невагомі та характеризуються сталим жорстким зв'язком; деформація пружних ланок лінійна; хвильовий рух деформації відсутній.

На рис. 1. наведена модель пружного електропривода при використанні зворотних зв'язків за швидкістю двигуна та виконавчого органу без спостерігача (рис.1, б) та при використанні спостерігача струму та швидкості виконавчого органу (рис.1, в). Налагодження спостерігача полягає в тому, щоб, практично не змінюючи характеру перехідного процесу за завданням, послабити вплив пружних коливань на роботу САК.

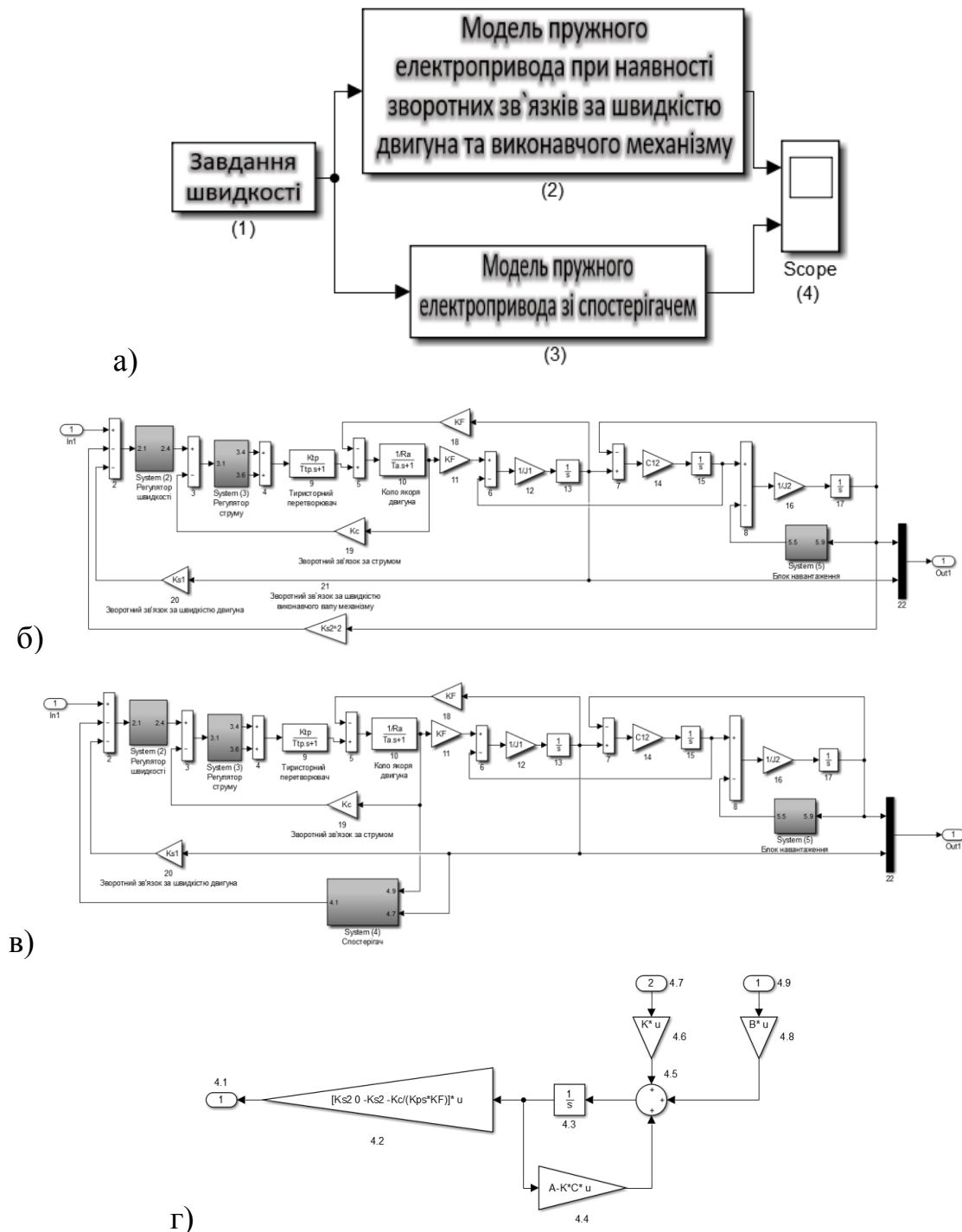


Рис. 1. Модель пружного електропривода: а) загальна модель електропривода; б) модель електропривода без використання спостерігаючого пристрою; в) модель електропривода з спостерігаючим пристроєм; г) модель спостерігаючого пристрою.

Модель електропривода зібрана в пакеті бібліотек Simulink стандартними блоками: 1,3 – блоки завдання на швидкість u_{zs1} , u_{zs2} ; 2, 27 – блок відліку часу; 5, 8, 12, 14, 20, 23, 30 – блоки-суматори; 4, 29 –



блоки логічних перемикачів, що визначають темп розгону привода; 6 – блок П-регулятора швидкості; 7 – блок обмеження на струм; 9-11 – блоки ПІ-регулятора струму; 13 – блок передатної функції ТП; 15 – блок передатної функції двигуна; 16, 19 – блоки конструктивної постійної двигуна KF; 17, 24 – блоки завдання моментів інерції J_1 та J_2 ; 26, 31 – блоки завдання активного M_{st} та реактивного M_r моментів; 21 – блок завдання коефіцієнту жорсткості C_{12} ; 33 – блок коефіцієнта зворотного зв'язку за струмом K_c ; 34 – блок коефіцієнта зворотного зв'язку за швидкістю двигуна K_{s1} ; 35 – блок коефіцієнта зворотного зв'язку за різницею швидкостей K_{s2} ; 37 – осцилограф.

При зміні співвідношення моментів інерції двигуна та механізму у діапазоні $g = 1,5 \div 15$ налагодження САК без врахування спостерігаючого пристрою виконувалося наступним чином. Для значень $g = 3 \div 10$ регулятор швидкості (РШ) розраховувався за формулою:

$$K_{рш} = \frac{K_c \cdot (J_1 + J_2)}{g^{3/4} \cdot T_{тп} \cdot K_{ш1} \cdot KF}, \quad (1)$$

при умові:

$$T_{\mu\omega} \leq \frac{T_{п}}{2 \cdot \sqrt[4]{g}}, \quad (2)$$

де $T_{\mu\omega}$ – мала стала часу контуру швидкості;

$K_{ш1} = 10 / \omega_n$ – коефіцієнт зворотного зв'язку за швидкістю двигуна ω_n ;

$K_c = 10 / I_n \cdot \lambda$ – коефіцієнт зворотного зв'язку за струмом I_n при перевантажувальній здатності λ .

$KF = (U_n - I_n \cdot R_{я}) / \omega_n$ – конструктивний коефіцієнт двигуна в усталеному режимі;

$T_{п} = \sqrt{(J_1 \cdot J_2) / C_{12} (J_1 + J_2)}$ – стала часу пружних коливань;

$C_{12} = \Omega_0 \cdot (J_1 \cdot J_2) / (J_1 + J_2)$ – коефіцієнт жорсткості.

При невиконанні умови (2) здійснювалося переналагодження контуру швидкості шляхом зменшення $K_{рш}$. Додатковий зворотний зв'язок за похідною струму якоря не дав результатів.

Для значень $g = 1 \div 3$ використовувався додатковий зворотний зв'язок за похідною швидкості виконавчого органу при виконанні умови:

$$T_{\mu\omega} = (0,2 \div 0,3) \cdot T_{п}. \quad (3)$$

Якщо умова (3) не виконується, як варіант використовується зворотний зв'язок за другою похідною швидкості виконавчого органу та та різницею швидкостей двигуна та виконавчого органу.

При значеннях $g > 10$ використовувався зворотний зв'язок за похідною швидкості двигуна. Регулятор швидкості мав передаточну функцію:

$$W_{рш} = K_{рш} \cdot \frac{\tau_{рш} p + 1}{\tau_{рш2} p + 1}, \quad (4)$$

де $\tau_{рш} = 0,5 \cdot g^{3/4} \cdot T_n$, $\tau_{рш2} = T_n$ – сталі часу регулятора швидкості ($\tau_{рш2} > \tau_{рш}$).

В даній моделі електропривода (рис.1, в) поряд із використанням корегувальних зв'язків (рис.1, б) запропонований спостерігач стану при вхідних координатах – струм та швидкість виконавчого органу.

Рівняння стану для об'єкту керування мають вигляд:

$$\left\{ \begin{array}{l} \dot{x}_1 = (I_n \cdot KF - x_2) \frac{1}{J_1}; \\ \dot{x}_2 = (x_1 - x_3) \cdot C_{12}; \\ \dot{x}_3 = (x_2 - x_4) \frac{1}{J_2}; \\ \dot{x}_4 = 0, \end{array} \right. \quad \text{або} \quad \left\{ \begin{array}{l} \dot{\omega}_1 = (I_a \cdot KF - M_n) \frac{1}{J_1}; \\ \dot{M}_n = (\omega_{(1)} - x_{(2)}) \cdot C_{12}; \\ \dot{\omega}_2 = (M_n - M_c) \frac{1}{J_2}; \\ \dot{M}_c = 0. \end{array} \right. \quad (5)$$

Параметри спостерігача визначаються з матрично-векторної форми запису:

$$\left. \begin{array}{l} \dot{x} = A \cdot x(t) + B \cdot I_a(t); \\ \omega_1(t) = C \cdot x(t), \end{array} \right\} \quad (6)$$

$$A = \begin{bmatrix} 0 & -\frac{1}{J_1} & 0 & 0 \\ C_{12} & 0 & -C_{12} & 0 \\ 0 & \frac{1}{J_2} & 0 & -\frac{1}{J_2} \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}; \quad B = \begin{bmatrix} \frac{KF}{J_1} \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}; \quad C = [1 \ 0 \ 0 \ 0]; \quad K = \begin{bmatrix} k_{11} \\ k_{21} \\ k_{31} \\ k_{41} \end{bmatrix}.$$

Визначимо матрицю, визначник якої є характеристичним рівнянням замкненої системи спостерігача (рис.1, г):



$$pI - (A - K \cdot C) = \begin{bmatrix} p & 0 & 0 & 0 \\ 0 & p & 0 & 0 \\ 0 & 0 & p & 0 \\ 0 & 0 & 0 & p \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} 0 & -\frac{1}{J_1} & 0 & 0 \\ C_{12} & 0 & -C_{12} & 0 \\ 0 & \frac{1}{J_2} & 0 & -\frac{1}{J_2} \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} k_{11} \\ k_{21} \\ k_{31} \\ k_{41} \end{bmatrix} \cdot [1 \ 0 \ 0 \ 0] =$$

$$= \begin{bmatrix} p + k_{11} & \frac{1}{J_1} & 0 & 0 \\ k_{21} - C_{12} & p & C_{12} & 0 \\ k_{31} & -\frac{1}{J_2} & p & \frac{1}{J_2} \\ k_{41} & 0 & 0 & p \end{bmatrix}$$

$$\det pI - (A - K \cdot C) =$$

$$= p^4 + p^3 \cdot k_{11} + p^2 \cdot \frac{C_{12}}{J_2} + p^2 \cdot \frac{C_{12}}{J_1} - p^2 \cdot \frac{k_{21}}{J_1} + p \cdot \frac{k_{11} C_{12}}{J_2} + p \cdot \frac{k_{31} C_{12}}{J_1} - p \cdot \frac{k_{41} C_{12}}{J_1 \cdot J_2} \cdot$$

Визначимо невідомі коефіцієнти матриці спостерігача:

$$\left. \begin{aligned} k_{11} &= b_3; \\ k_{21} &= C_{12} \frac{J_1}{J_2} + C_{12} - J_1 \cdot b_2; \\ k_{31} &= b_1 \frac{J_1}{C_{12}} - b_3 \frac{J_1}{J_2}; \\ k_{41} &= -\frac{b_0 \cdot J_1 \cdot J_2}{C_{12}}. \end{aligned} \right\}$$

$$K = \begin{bmatrix} b_3 \\ C_{12} \frac{J_1}{J_2} + C_{12} - J_1 \cdot b_2 \\ b_1 \frac{J_1}{C_{12}} - b_3 \frac{J_1}{J_2} \\ -\frac{b_0 \cdot J_1 \cdot J_2}{C_{12}} \end{bmatrix}$$

$$D = \begin{bmatrix} K_{m2} & 0 & -K_{m2} & -\frac{K_c}{K_{pш} \cdot K\Phi} \end{bmatrix}$$

Порівняльні графіки перехідних процесів за швидкістю (1), (2) без використання спостерігаючого пристрою та з ним, наведені на рис. 2. Коливальність за швидкістю та час перехідного процесу при

використанні спостерігача є значно нижчими.

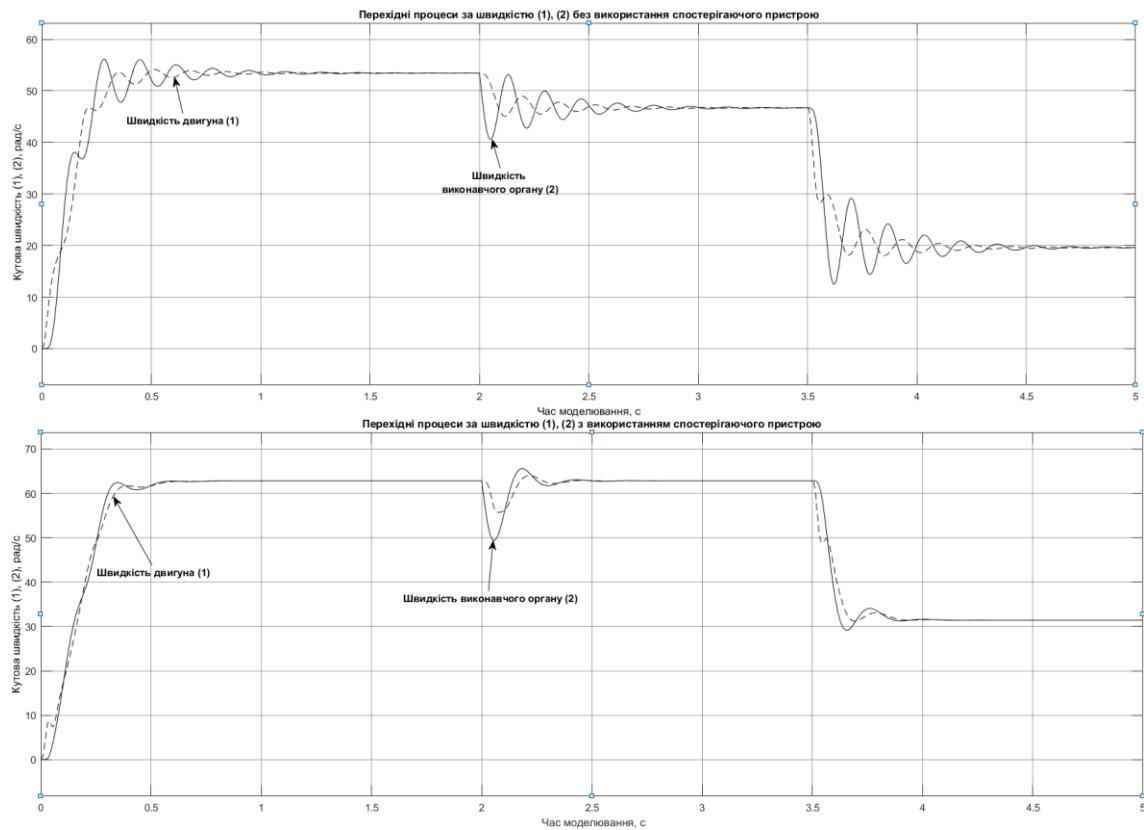


Рис. 2. Порівняльні графіки перехідних процесів за швидкістю (1), (2) без використання спостерігача та з ним

В таблиці 1 наведені результати розрахунків максимального значення швидкостей (1), (2) та часу перехідного процесу. Моделювання здійснювалося за структурною схемою на рисунку 1 при таких способах корегування (СК): 1 – за похідною швидкості виконавчого органу; 2 – за другою похідною швидкості виконавчого органу; 3 – за різницею швидкостей двигуна та виконавчого органу; 4 – за похідною швидкості двигуна; 5 – за похідною струму двигуна; 6 – при використанні спостерігача стану з оцінкою струму двигуна та швидкості виконавчого органу.

Висновок. Враховуючи проведені дослідження впливу корегувальних зв'язків на коливальність швидкостей пружного електропривода були визначені основні типи зворотних зв'язків, які можна використовувати при різних співвідношеннях моментів інерції двигуна та механізму. Недоліками САК з використанням коригувальних зв'язків є складності розрахунків параметрів ланок при налагодженні. Використання спостерігача стану було доцільним у всьому діапазоні зміни $g = 1,5 \div 15$.



Таблиця 1

Результати розрахунків максимального значення швидкостей (1), (2) та часу перехідного процесу

Режим роботи	Співвідношення моментів інерції	Швидкість двигуна (1), виконавчого органу (2) та час перехідного процесу						
		а	$\omega_{1\max}$, рад / с					
Пуск електропривода до номінальної швидкості під номінальним реактивним навантаженням	g	б	$\omega_{2\max}$, рад / с					
		в	t_p , с					
		СК	1	2	3	4	5	6
	15	а	60,5	61,3	57,1	59,4	58,5	59,4
		б	58,3	58,4	59,8	63,2	63,8	61,3
		в	3,1	3,1	3,5	2,9	3,8	2,7
	10	а	59,6	58,3	62,5	59,4	57,5	58,6
		б	58,1	61,4	59,6	61,5	62,1	60,5
		в	2,5	2,1	1,9	2,3	2,5	1,7
	7	а	63,1	57,3	59,8	61,2	58,4	59,5
		б	59,8	59,4	62,8	58,4	59,7	59,3
		в	1,8	1,5	1,4	1,6	1,5	1,35
	5,8	а	59,6	60,2	59,4	63,4	59,4	61,4
		б	62,9	58,3	57,2	60,2	62,3	60,8
		в	1,6	1,4	1,7	1,5	1,4	1,3
	3	а	58,4	63,2	62,1	64,1	62,3	59,8
		б	59,8	59,8	60,4	59,8	57,4	61,3
		в	1,1	0,8	0,8	1,2	0,8	0,7
	2	а	62,3	59,8	61,4	63,2	60,2	59,4
		б	58,4	57,2	57,1	59,4	58,9	57,2
в		0,6	0,8	0,6	0,6	0,5	0,4	
1,5	а	62,1	59,2	57,3	62,3	61,8	60,2	
	б	58,8	57,3	59,6	58,4	59,4	59,8	
	в	1,5	1,4	1,6	1,2	1,4	0,6	
1,05	а	62,8	58,6	60,9	61,2	60,4	62,3	
	б	59,6	59,4	62,4	59,3	58,3	62,9	
	в	1,5	1,8	1,1	1,6	2,3	0,75	

Примітка: СК – спосіб корегування; t_p – час перехідного процесу**Список використаних джерел**

1. Задорожня І. Н., Задорожний Н. А., Тарасов А. Ф. Оцінка впливу механічного демпфування на динаміку електропривода



с упругими связями. *Вестник национального технического университета "ХПИ"*. 2005. № 45. С. 176–180.

2. Зворыкин В. Б., Станциц Г. Ю. Коррекция САР скорости при наличии упругой связи двигателя с механизмом и малых коэффициентах соотношения инерционных масс. *Адаптивні системи автоматичного управління*. 2013. № 1. С. 73–78.

3. Вишнеревский В. Т., Овсянников К. В., Ленецкий Г. С. Анализ способов построения замкнутых систем управления электроприводами, содержащими упругие элементы в механической подсистеме. *Вестник Белорусско-Российского университета*. 2012. № 2. С. 119-125.

4. Кольцов С. В., Концевенко О. В., Овсянников К. В. Последовательно-параллельная коррекция систем управления электроприводами с подчиненным регулированием параметров и упругими связями. *Вестник Белорусско-Российского университета*. 2010. № 3. С. 113-118.

5. Божко В. И., Бажутин Д. В. Подавление упругих колебаний в трехмассовых электромеханических системах путем введения корректирующих обратных связей по разностям скоростей движущихся масс. *Инновационные перспективы Донбасса: материалы Междунар. науч.-практ. конференции (г. Донецк, 20-22 мая 2015 г.)*. Донецк, 2015. Т. 2. С. 28-33.

6. Башарин А. В., Новиков В. А., Соколовский Г. Г. Управление электроприводами. Ленинград: Энергоиздат, 1982. 392 с.

7. Довгань С. М. Дослідження систем електропривода методами математичного моделювання. Дніпропетровськ: НГА України, 2001. 137 с.

8. Акимов Л. В., Колотило В. И., Марков В. С. Динамика двухмассовых систем с нетрадиционными регуляторами скорости и наблюдателями состояния. Харьков, 2000. 93 с.

9. Колотило В. И., Марков В. С. Разработка принципиальной схемы наблюдателя пониженного порядка для тиристорных электроприводов с упругой кинематикой. *Вестник Харьковского государственного политехнического университета*. 2000. № 79. С. 68-70.

10. Система подчиненного регулирования скорости с наблюдателем динамического и статического токов первого порядка / П. Х. Коцегуб и др. *Проблемы создания новых машин и технологий*. 2001. С. 103-109.

11. Стьопкін В. В., Селівьорстова Т. В., Дереза В. О. Дослідження впливу корегувальних зворотних зв'язків на механічні



коливання електропривода засобами Matlab. *Актуальні проблеми автоматизації та управління*: матеріали VI Міжнар. наук.-практ. конференції молодих учених та студентів. Луцьк, 2018. С. 86-91.

12. *Стьопкін В. В., Кажан В. Є., Березін О. О.* Моделювання спостерігаючого пристрою для електропривода механізму скіпового підйомника. *Системні технології*. 2019. № 2. С. 119-125.

ВЛИЯНИЕ КОРРЕКТИРУЮЩИХ ЗВЕНЬЕВ НА МЕХАНИЧЕСКИЕ КОЛЕБАНИЯ ЭЛЕКТРОПРИВОДА С НАБЛЮДАТЕЛЕМ

Степкин В. В., Николенко А. В.

Аннотация – в данной работе разработана математическая модель электропривода с наблюдателем с целью выбора типа обратной связи при изменении коэффициента соотношения моментов инерции двигателя и механизма для уменьшения колебаний скорости.

Наблюдатель обеспечивает оценку скорости вращения на основании информации про напряжение питания и ток двигателя с учетом составления системы уравнений переменных состояния.

При проведении исследований в систему введена информация про скорость. В данной системе вместо непосредственного измерения скорости исполнительного органа используется наблюдатель, который с помощью измеренного тока якоря и скорости исполнительного органа или по разнице скоростей корректирует задание на скорость. При исследованиях влияния корректирующих связей на колебательность скоростей упругого электропривода были определены основные типы обратных связей, которые можно использовать при разных соотношениях моментов инерции двигателя и механизма. Недостатками системы автоматического управления с использованием корректирующих связей являются сложности расчетов параметров звеньев при настройке. Использование наблюдателя состояния было целесообразным во всем диапазоне изменения коэффициента соотношения моментов инерции.

Момент нагрузки идентифицируется и описывается системой дифференциальных уравнений, которые входят в общую систему. Наблюдатель восстанавливает вектор координат системы и вектор возмущений. Если возмущения носят случайный характер, то их описание неизвестно. Точное восстановление координат в таком случае осуществляется в установившемся режиме. При изменении нагрузки в переходных режимах наблюдатель будет восстанавливать координаты системы и момент нагрузки с ошибкой. При осуществлении коррекции по разности скоростей будет статическая ошибка при влиянии момента нагрузки. Для компенсации статической ошибки сигнал момента нагрузки в статике подается на вход контура скорости через соответствующее звено.

Данная модель системы подчиненного регулирования координат с наблюдателем скорости и тока нагрузки может быть использована для упругих электроприводов.



Ключевые слова: наблюдатель, упругая связь, двигатель постоянного тока, тиристорный преобразователь, постоянная времени, регулятор, корректирующее звено.

INFLUENCE OF CORRECTIVE LINKS ON THE MECHANICAL VIBRATIONS OF THE ELECTRIC DRIVE WITH THE OBSERVER

V. Stepkin, A. Nikolenko

Summary

In this work, a mathematical model of an electric drive with an observer in order to select the type of feedback when changing the ratio of the moments of inertia of the engine and the mechanism to reduce speed fluctuations.

The observer provides an estimate of the rotational speed based on information about the supply voltage and the motor current, taking into account the compilation of the system of equations of state variables.

When conducting research, information about speed was entered into the system. In this system, instead of directly measuring the speed of the actuator, an observer is used, which with the help of the measured armature current and the speed of the actuator, or according to the speed difference, corrects the speed reference. In studies of the effect of corrective connections on the oscillatory velocity of the elastic electric drive, the main types of feedbacks were determined, which can be used for different ratios of the moments of inertia of the engine and mechanism. The disadvantages of the automatic control system using corrective connections are the difficulty of calculating the parameters of the links when tuning. The use of the state observer was expedient in the whole range of variation of the ratio of inertia moments.

The moment of load is identified and described by a system of differential equations that are part of the overall system. The observer reconstructs the system coordinate vector and the perturbation vector. If the disturbances are random, their description is unknown. Exact restoration of coordinates in this case is carried out in steady state. When the load changes in transient conditions, the observer will restore the system coordinates and the load moment with an error. In the implementation of the correction for the speed difference will be a static error when the effect of the load moment. To compensate for the static error, the signal of the moment of load in static is fed to the input of the velocity circuit through the appropriate link.

This model of a subordinate coordinate system with an observer of speed and load current can be used for elastic electric drives.

Keywords: observer, elastic coupling, DC motor, thyristor converter, time constant, regulator, corrective link.