

## ЗМЕНШЕННЯ ПОРЯДКУ МОДЕЛІ ЕЛЕКТРОПРИВОДУ ЛАНКИ ЗВАРЮВАЛЬНОГО МАНІПУЛЯТОРА

Павлюков М.С., Ляшенко І.М., магістранти, Приймак Б.І., к.т.н., доц.  
КПІ ім. Ігоря Сікорського, кафедра автоматизації електромеханічних систем  
та електроприводу

**Вступ.** В установці, призначеній для зварювання поворотних стиків циліндричних конструкцій, переміщує пальник дволанковий зварювальний маніпулятор (ЗМ) з прямокутною кінематичною схемою. Одна ланка маніпулятора забезпечує поперечне горизонтальне переміщення пальника відносно центра стику зварюваних деталей, а інша – вертикальне. Ланки ЗМ оснащені регульованими за швидкістю електроприводами з малоінерційними двигунами постійного струму. Для поліпшення надійності та експлуатаційних характеристик на двигуни не встановлено давачі швидкості, а застосовуються спостерігачі швидкості. Математична модель такого електроприводу має четвертий порядок. Це вдвічі вище ніж у типових, замкнутах за швидкістю електроприводах, які зазвичай описуються моделлю 2-го порядку.

Положення пальника визначається встановленим на ЗМ лазерним давачем (ЛД). Такий давач формує на своєму виході поточні значення відхилення пальника від центра стику і від поверхні деталей. Однак в отримуваному від ЛД сигналі можуть існувати істотні завади. Тому при синтезі цифрової системи регулювання положення ланки ЗМ необхідне врахування особливостей ЛД у зворотному зв'язку. При цьому для отримання не надто складного регулятора положення стає актуальною задача зменшення порядку моделі об'єкта керування, тобто її редукція. Саме ця задача розглядається у даній роботі.

**Метою роботи** є редукція моделі регульованого за швидкістю електроприводу ланки зварюваного маніпулятора.

**Матеріали дослідження.** Укрупнена структура системи автоматичного регулювання (САР) швидкості ланки маніпулятора представлена на рис. 1. На позначено:  $W_\phi, W_{нк}, W_{зз}$  – передатні функції відповідно фільтра ( $\Phi$ ) у вигляді аперіодичної ланки 1-го порядку, прямого каналу (ПК) системи та спостерігача швидкості (СШ) двигуна;  $\omega$  – кутова швидкість вала двигуна;  $i_r$  – передатне число редуктора (Р);  $u_\omega, u_\omega^*$  – сигнали завдання швидкості та виходу фільтра відповідно;  $U_\gamma, I_\gamma$  – напруга та струм якоря двигуна;  $M_n$  – момент навантаження двигуна;  $v$  – лінійна швидкість ланки маніпулятора.

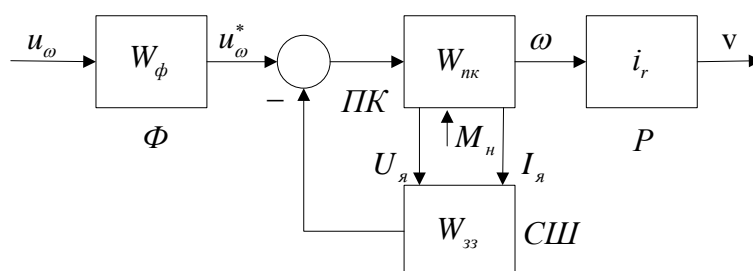


Рисунок 1 – Укрупнена структура САР швидкості ланки маніпулятора

Передатна функція САР швидкості має наступний вигляд:

$$W(s) = \frac{2.72s^2 + 170s + 1700}{8.8 \cdot 10^{-6}s^4 + 0.008283s^3 + 0.2314s^2 + 3.405s + 18}, \quad (1)$$

де  $s$  – оператор перетворення Лапласа. Полюси (1) дорівнюють  $p_1 = -913.26$ ;  $p_{2,3} = -9.6187 \pm 12.4i$ ;  $p_4 = -9.043$ .

Як бачимо, полюс  $p_1$  майже на два порядки більший ніж інші. Це засвідчує можливість редукування моделі системи.

Для здійснення редукації застосуємо методи Ганкеля та Шура [1-3] і виберемо кращий із них. При цьому для обчислень використаємо наявні в середовищі MATLAB функції. Згідно з [2], сингулярні числа Ганкеля відображають міру внеску кожної змінної стану системи у її вагову характеристику. Тому суть способу Ганкеля полягає у тому, що для отримання редукованої моделі слід вилучити ту її частину, якій відповідають малі сингулярні числа, а значить і незначний вклад у вагову характеристику.

Сингулярні числа Ганкеля для вихідної моделі з описом (1) отримаємо за допомогою функції  $hksv$ . Ці числа графічно представлені рис. 2.

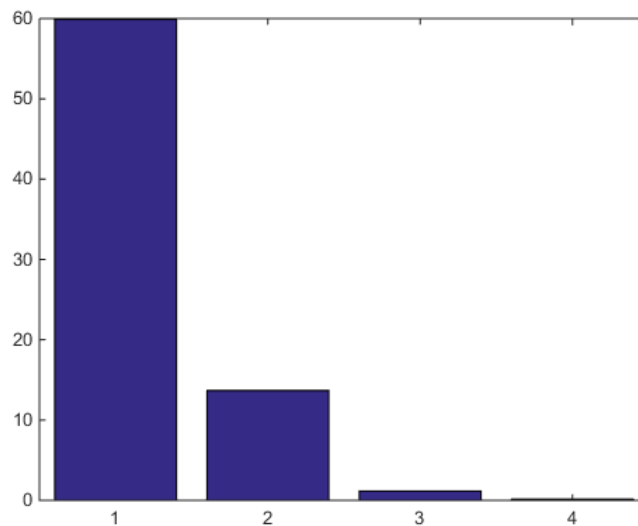


Рисунок 2 – Ганкеліві сингулярні числа для вихідної моделі

Згідно з [3], кількість домінуючих сингулярних чисел Ганкеля визначають можливий порядок редукованої системи. Як видно із рис. 2, порядок моделі (1) може бути зменшений до 2-го. Для отримання редукованих моделей скористаємось функціями середовища MATLAB. Як наслідок, отримана редукована за методом Ганкеля модель з передатною функцією

$$W_{\text{Hankel}}(s) = \frac{203.2s + 22680}{s^2 + 22.83s + 245.5}, \quad (2)$$

та редукована за методом Шура модель, що має передатну функцію

$$W_{\text{Schur}}(s) = \frac{278.6s + 20604}{s^2 + 20.97s + 222.9}. \quad (3)$$

Перевірку якості процедури редукування можна здійснити шляхом співставлення характеристик не редукованої та редукованої моделей у

частотній та часовій областях. Для моделей з передатними функціями (1)-(3) були побудовані частотні амплітудні та фазові характеристики, які представлені на рис. 3. Як видно з цього рисунку, фазові характеристики вихідної та редукованих моделей є досить близькими до частоти зрізу, а амплітудні – мало відрізняються як у низькочастотній, так і в середньо частотній ділянках.

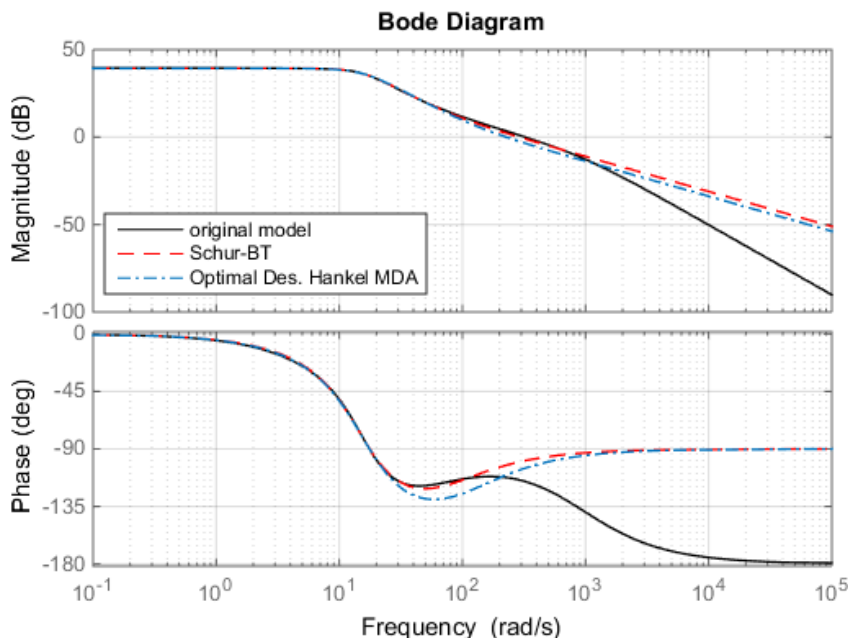


Рисунок 3 – ЛАХ та ЛФХ вихідної та редукованих моделей

Тепер визначимо реакції вихідної та редукованих моделей на одиничне стрибкоподібне завдання. Отримані перехідні характеристики  $h(t)$  представлені на рис. 4. Як бачимо, криві перехідних процесів редукованих моделей практично співпадають між собою і мало відрізняються від перехідної характеристики вихідної моделі. Проте усталені значення перехідних процесів вихідної та редукованих моделей відрізняються в 1.023 рази.

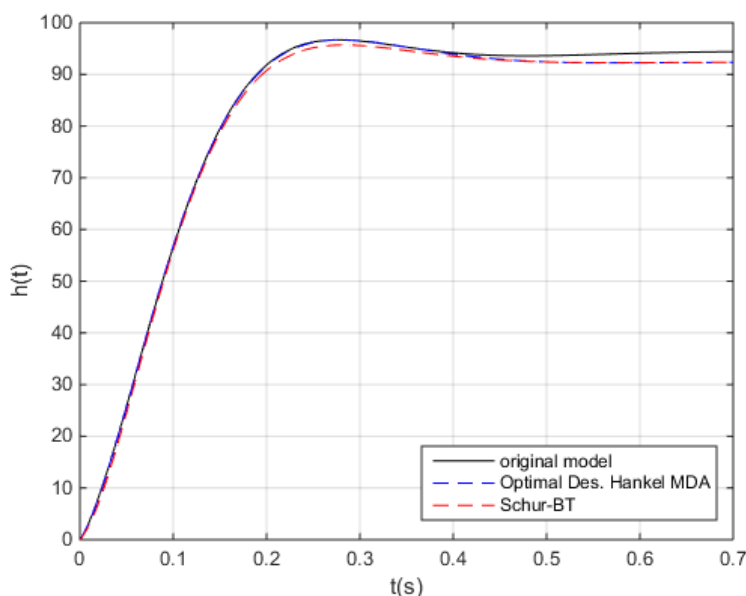


Рисунок 4 – Перехідні характеристики вихідної та редукованих моделей

Далі визначимо реакції вихідної та редукованих моделей на імпульсне завдання. Отримані вагові характеристики  $w(t)$  представлені на рис. 5. Як видно з рисунка, криві перехідних процесів вихідної та редукованих моделей розташовані досить близько. Проте дещо менша відстань між ваговими характеристиками вихідної моделі та редукованої моделі, що отримана за методом Ганкеля. Тому саме їй слід віддати перевагу.

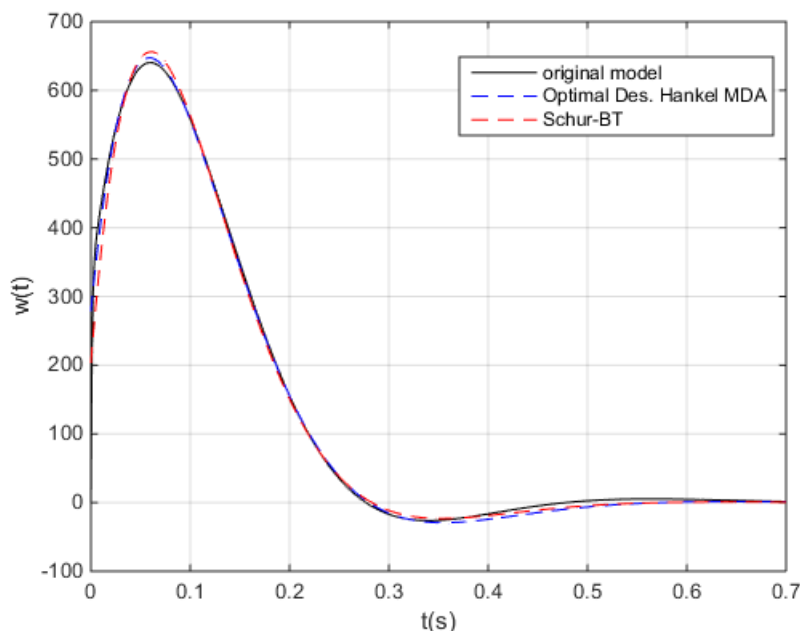


Рисунок 5 – Вагові характеристики вихідної та редукованих моделей

Згідно із сказаним вище, для вирівнювання усталених значень помножимо передатну функцію (2) на 1.023. Тоді остаточна редукована передатна функція САР швидкості ланки маніпулятора буде

$$W_{red}(s) = \frac{207.9s + 23202}{s^2 + 22.83s + 245.5} \quad (4)$$

**Висновки.** В статті наведено розв'язання задачі редукації моделі регульованого за швидкістю електроприводу ланки зварюваного маніпулятора з 4-го до 2-го порядків. Для отримання результату було застосовано два методи – Ганкеля і Шура. Порівняння логарифмічних частотних та часових характеристик вихідної та редукованих моделей дозволило встановити, що обидва методи дали досить добрі результати. Проте за близькістю вагових характеристик дещо кращою є модель, яка отримана за методом Ганкеля.

#### Перелік посилань

1. Genesio R., and Milanese M. A note on the derivation and use of reduced order models // – IEEE Trans. Automat. Control, Vol. AC-21.1976 – p.122.
2. Huijun Gao et al. Hankel norm approximation of linear systems with time-varying delay: continuous and discrete cases //– J. Control. 2004– p.1520.
3. Abraham A., Pappa N., Honc D., Sharma R. A Hybrid Method for Determination of Effective Poles Using Clustering Dominant Pole Algorithm // Engineering and Technology International Journal of Electrical and Computer Engineerin. 2015 – p.115.