

### Перелік посилань

1. Review of Methods for Real-Time Loss Minimization in Induction Machines, - IEEE. DEC.2010
2. M. N. Uddin and S. W. Nam, "New online loss-minimization-based control of an induction motor drive," *IEEE Trans. Power Electron.*, vol. 23, no. 2, pp. 926–933, Mar. 2008.
3. S. M. Yang, "Loss-minimization control of vector-controlled induction motor drives," *J. Chin. Inst. Eng.*, vol. 26, no. 1, pp. 37–45, 2003.
4. I. Kioskeridis and N. Margaris, "Loss minimization in induction motor adjustable-speed drives," *IEEE Trans. Ind. Electron.*, vol. 43, no. 1, pp. 226–231, Feb. 1996.
5. D. H. Clayton, S. D. Sudhoff, and G. F. Grater, "Electric ship drive and power system," in *Proc. Int. Power Modulator Symp.*, 2000, pp. 85–88.
6. P. Prempraneerach, J. Kirtley, C. Chryssostomidis, M. D. Triantafyllou, and G. E. Karniadakis "Stochastic modeling of integrated power system coupled to hydrodynamics in the all-electric ship," in *Proc. Int. Symp. Power Electron. Elect. Drives Autom. Motion*, 2008, pp. 563–568.

## ПАРАМЕТРИЧНИЙ СИНТЕЗ СИСТЕМИ ПІДПОРЯДКОВАНОГО РЕГУЛЮВАННЯ ПОЛОЖЕННЯ

**Березюк Є.Ю., магістрант, Толочко О.І., д.т.н., проф.**

*КПІ ім. Ігоря Сікорського, кафедра автоматизації електромеханічних систем та електроприводу*

**Вступ.** При параметричному синтезі систем підпорядкованого регулювання зазвичай використовують спрощені умови модульного оптимуму, що породжують метод подвійних пропорцій, коли стала часу інтегрування кожного наступного контуру виявляється вдвічі більше сталої часу інтегрування попереднього контуру. Таке налаштування забезпечує невелике перерегулювання в перехідних функціях кожного контуру (5-8%).

Особливістю систем регулювання положення, які працюють в режимі позиціонування, є те, що для них іноді навіть така мала величина перерегулювання є неприпустимою. Зменшити перерегулювання в перехідній функції контуру положення без зміни налаштування внутрішніх контурів (швидкості і струму) можна тільки за рахунок збільшення сталої часу інтегрування зовнішнього контуру, що призводить до зниження його швидкодії.

**Метою даної роботи** є розробка методики синтезу системи регулювання положення, що забезпечує зниження перерегулювання її перехідної функції без зменшення швидкодії.

**Матеріали і результати дослідження.**

Для того, щоб система регулювання положення могла забезпечити задану точність позиціонування і високу якість перехідних процесів, систему можна будувати на базі електродвигуна постійного струму (ДПС) з незалежним

збудженням, а також на базі асинхронного (АД) або синхронного двигуна (СД) з векторним потокоорієнтованим керуванням. У всіх трьох випадках передавальна функція замкнутого контуру регулювання положення (КРП) з підлеглим йому інтегруючим контуром швидкості при нехтуванні впливом внутрішнього зворотного зв'язку за ЕРС двигуна і впливом перехресних зв'язків в  $dq$ -моделях АД і СД мають вигляд:

$$K_{\text{КРП}}(p) = \frac{1}{G_{\text{КРП}}(p)} = \frac{1}{T_{\text{п}}T_{\text{с}}T_{\text{т}}T_{\mu}p^4 + T_{\text{п}}T_{\text{с}}T_{\text{т}}p^3 + T_{\text{п}}T_{\text{с}}p^2 + T_{\text{п}}p + 1}, \quad (1)$$

де  $T_{\text{п}}, T_{\text{с}}, T_{\text{т}}$  – сталі часу інтегрування розімкнутих контурів положення, швидкості і струму відповідно;  $T_{\mu}$  – мала не компенсуюча постійна часу приводу.

Перехідна функція КРП при налаштуванні системи на модульний оптимум (метод подвійних пропорцій)

$$T_{\text{т}} = 2T_{\mu}, \quad T_{\text{с}} = 2T_{\text{т}} = 4T_{\mu}, \quad T_{\text{п}} = 2T_{\text{с}} = 8T_{\mu} \quad (2)$$

зображена на рис. 1 (крива 1). Як бачимо, вона має перерегулювання 6%.

При збільшенні сталої часу інтегрування контуру положення в 1,25 раз без зміни налаштування внутрішніх контурів

$$T_{\text{т}} = 2T_{\mu}, \quad T_{\text{с}} = 2T_{\text{т}} = 4T_{\mu}, \quad T_{\text{п}} = 2,5T_{\text{с}} = 10T_{\mu}. \quad (3)$$

перехідна функція набуває майже аперіодичного характеру (див. криву 2 на тому ж малюнку).

Досить часто при синтезі позиційних приводів використовують стандартні характеристичні поліноми Бесселя, що забезпечують перерегулювання порядку (1-2)% і поліном з біноміальними коефіцієнтами, гарантуючий повну відсутність перерегулювання.

Перехід від коефіцієнтів відповідних стандартних нормованих поліномів до постійних часу інтегрування розімкнутих контурів системи підпорядкованого регулювання положення здійснювався за методикою, викладеною в [1]. В результаті застосування цієї методики отримано:

для розподілу Бесселя

$$T_{\text{т}} = 2.2222T_{\mu}, \quad T_{\text{с}} = 1.9286T_{\text{т}} = 4.2857T_{\mu}, \quad T_{\text{п}} = 2.3333T_{\text{с}} = 10T_{\mu} \quad (5)$$

і для біноміального розподілу

$$T_{\text{т}} = 2.6667T_{\mu}, \quad T_{\text{с}} = 2.25T_{\text{т}} = 6T_{\mu}, \quad T_{\text{п}} = 2.6667T_{\text{с}} = 16T_{\mu}. \quad (6)$$

Відповідні перехідні функції представлені на рис. 1 кривими 3 і 4.

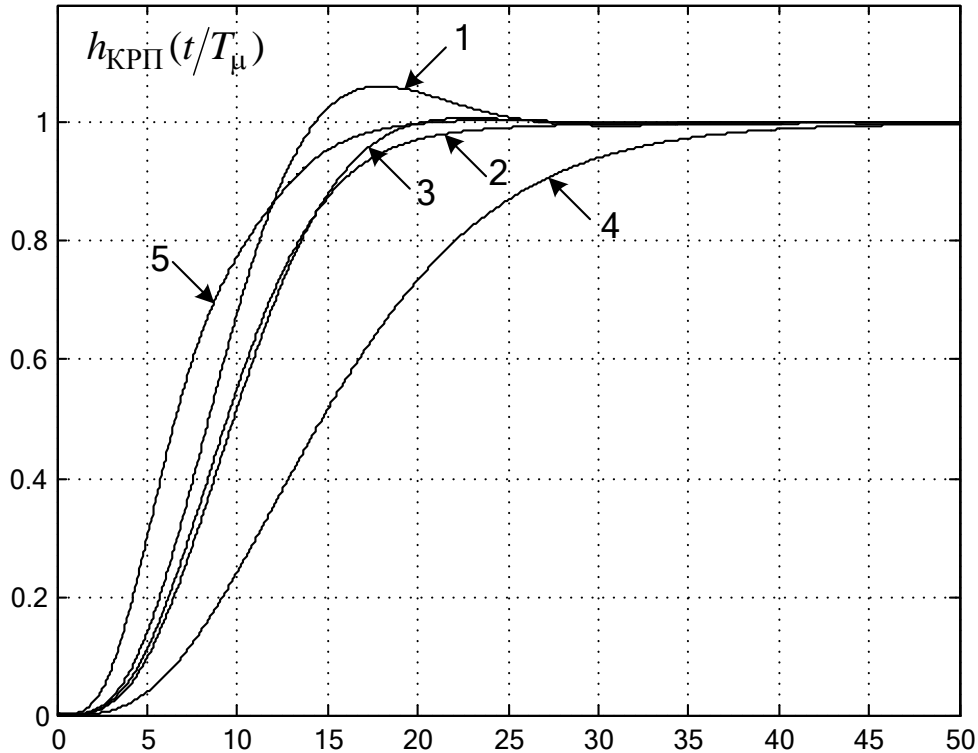


Рисунок 1 – Перехідні функції КРП при різних налаштуваннях регуляторів струму, швидкості та положення

Як бачимо, зменшення перерегулювання розглянутими методами призводить до зниження швидкодії.

Для того, щоб отримати перехідну функцію КРП без перерегулювання, але з високим темпом наростання сигналу скористаємося інструментами оптимізації, включеними у склад пакета MATLAB, зокрема функцією

$$P = \text{lsqnonlin}(f, P_0)$$

яка здійснює пошук вектора параметрів  $\mathbf{P} = [p_1 \ p_2 \ \dots \ p_k]$  довільної, в загальному випадку нелінійної функції  $f(x, \mathbf{P})$  деяким ітераційним методом з умови мінімізації функціоналу

$$F = \sum_{i=1}^n f(x_i, \mathbf{P})^2 \tag{7}$$

при заданому векторі початкових наближень  $\mathbf{P}_0$ .

Нелінійна функція може бути задана посиланням на Simulink-модель.

Виконаємо пошук сталих часу  $T_{\text{п}}$ ,  $T_{\text{с}}$ ,  $T_{\text{т}}$  за такою методикою:

1) розробимо Simulink-модель об'єкта регулювання (див. рис. 2) і збережемо її у файлі `src.m`:

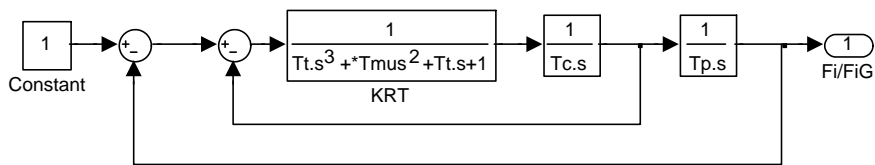


Рисунок 2 – Simulink-модель замкнутого контуру регулювання положення

2) складемо MATLAB-функцію для розрахунку оптимізованої функції часу за допомогою моделювання системи рис. 2:

```
function F = lsqSRP(T)
Tt = T(1); Tc = T(2); Tp = T(3);
opt = simset('solver','ode5','SrcWorkspace','Current', 'MaxStep', 0.05);
[t,x,y] = sim('srp',[0 50],opt); F = abs(1-y(:,1));
```

3) складемо програму оптимізації:

```
T0=[2 4 8]
opt = optimset('LargeScale','off', 'Display','iter', 'TolX',1e-6, 'TolFun',1e-6);
T=lsqnonlin(@lsqSRP,T0,[],[],opt)
Tt = T(1), Tc = T(2), Tp = T(3)
```

В результаті виконання останньої програми отримані такі параметри даної системи:

$$T_T = 0.9111T_\mu, \quad T_C = 3.0263T_T = 2.7573T_\mu, \quad T_\Pi = 2.6535T_C = 7.3165T_\mu. \quad (8)$$

Перехідна функція КРП при таких параметрах представлена на рис.1 кривою 5.

Порівняння отриманих перехідних функцій наочно демонструє переваги налаштування, отриманої за допомогою запропонованої методики параметричної оптимізації. Крива 5 має не тільки найменше значення інтегрального квадратичного відхилення перехідної функції від заданого значення, але ще і найвищу швидкодію. Слід зазначити, що використання параметрів (3), (4) і (5) змінює налаштування не тільки контуру положення, але і контурів швидкості і струму в порівнянні з загальноприйнятими налаштуваннями контурів в складі СПР. При бажанні змінити налаштування зовнішнього контуру без зміни налаштування внутрішніх контурів в даній системі слід скористатися методикою структурного синтезу, викладеної в [1].

**Висновки.** Отже, параметричний синтез системи підпорядкованого регулювання положення дозволяє отримати найвищу швидкодію, в порівнянні з методом подвійних пропорцій, стандартних характеристичних поліномів Бесселя та характеристичного полінома з біноміальними коефіцієнтами. А також забезпечити разом з високою швидкістю відсутність перерегулювання, яке є неприпустимим в системах регулювання положення, які працюють в режимі позиціонування.

#### Перелік матеріалів

1. Толочко О.І. Аналіз та синтез електромеханічних систем зі спостерігачами стану. – Донецьк: Норд-Прес, 2004. – 298 с.
2. Толочко О.И., Коцегуб П.Х., Розкаряка П.И. Применение метода стандартных полиномов при синтезе системы подчиненного регулирования положения // Вісник Східноукраїнського національного університету ім. В.Даля. – Луганськ. – 2007. – №11 (117). Ч.1. – С. 188-193.