

## ВИКОРИСТАННЯ СПОСТЕРІГАЧА СТАНУ ДЛЯ ІДЕНТИФІКАЦІЇ ШВИДКОСТІ ПЕРЕМІЩЕНЬ У ПОЗИЦІЙНІЙ СИСТЕМІ РОБОТОТЕХНІЧНОГО ПРИСТРОЮ

С. С. Старостін, к.т.н., доц., Г. С. Сергієнко, ас.  
 Донецький національний технічний університет  
 вул. Артема, 58, 83000, м. Донецьк, Україна  
 E-mail: sergii.starostin@dtf.donntu.edu.ua

Розглянуто аспекти ідентифікації миттєвої швидкості електроприводу в позиційній системі з імпульсним датчиком переміщень. Показано, що визначення швидкості переміщень на основі оцінки змінення положення за певний інтервал часу може призводити до неприпустимих флуктуацій у процесі позиціонування. Використання спостерігача стану дозволяє уникнути цих негативних явищ.

**Ключові слова:** позиційна система, спостерігач, ідентифікація швидкості.

**Вступ.** Реалізація позиційних систем координатних електроприводів робототехнічних пристроїв потребує вирішення задачі регулювання швидкості переміщень виконуючих органів [1, 2]. При цьому доцільно інформацію щодо швидкості отримувати на основі позиційних датчиків, у якості яких досить часто застосовують імпульсні датчики переміщень. Між тим, припустима роздільна здатність вимірювання положення може бути недостатньою з точки зору якісного регулювання швидкості. Уникнути застосування датчиків положення із завищеними технічними характеристиками можливо за рахунок ідентифікації швидкості переміщень за допомогою спостерігача стану.

**Аналіз попередніх досліджень.** Досвід використання спостерігача стану для визначення миттєвої швидкості електроприводу на основі імпульсного датчика переміщень подано, наприклад, у [3]. При цьому забезпечується ідентифікація навантаження електроприводу, що поряд з інформацією про миттєву швидкість дозволяє покращити динамічні властивості регулювання.

На питання ідентифікації швидкості електроприводу на основі позиційного датчика з низькою роздільною здатністю було спрямовано розробки, відображені в [4]. Результат досягнуто завдяки реалізації фільтра Калмана. Це потребує суттєвих обчислювальних витрат, на негативні аспекти чого звернуто увагу в [5], де альтернативно запропоновано асимптотичне диференціювання кута повороту вала імпульсного датчика за принципом спостерігача Люенбергера. Між тим, у [5] не враховується керуючий вплив на об'єкт з боку системи регулювання.

При цьому є ймовірними знижені динамічні властивості ідентифікації.

Використання варіанту спостерігача стану для позиційної системи запропоновано в [6] з наступною модифікацією, розглянутою в [7]. При цьому увагу приділено позитивному ефекту з точки зору покращення динамічних характеристик регулювання. Але ідентифікація миттєвої швидкості електроприводу за допомогою спостерігача дає підстави для аналізу щодо впливу варіантів визначення швидкості на властивості позиційного регулювання.

**Мета роботи.** Здійснити аналіз ефективності використання спостерігача стану в позиційній системі регулювання з точки зору ідентифікації швидкості електроприводу.

**Матеріал і результати дослідження.** Систему позиційного електроприводу, розроблену для робототехнічного пристрою із замкненою кінематикою [6, 7], характеризує рис. 1, де подано два варіанти системи. Один варіант відповідає структурі підпорядкованого регулювання з пропорційним регулятором положення (П-РП) і регулятором швидкості, що має пропорційну (П-РШ) та інтегральну частину (І-РШ), яка забезпечує астатичні властивості регулювання за збуреннями, обумовленими механічним навантаженням. У другому варіанті передбачено зазначену астатичність реалізовувати без І-РШ за допомогою сигналу щодо величини навантаження  $i_c^{\#}$ , ідентифікованого спостерігачем. Цей сигнал спільно з регулятором швидкості визначає завдання на струм двигуна  $i_s^{\#}$ , від якого залежить рушійна сила лінійного приводу  $F$ .

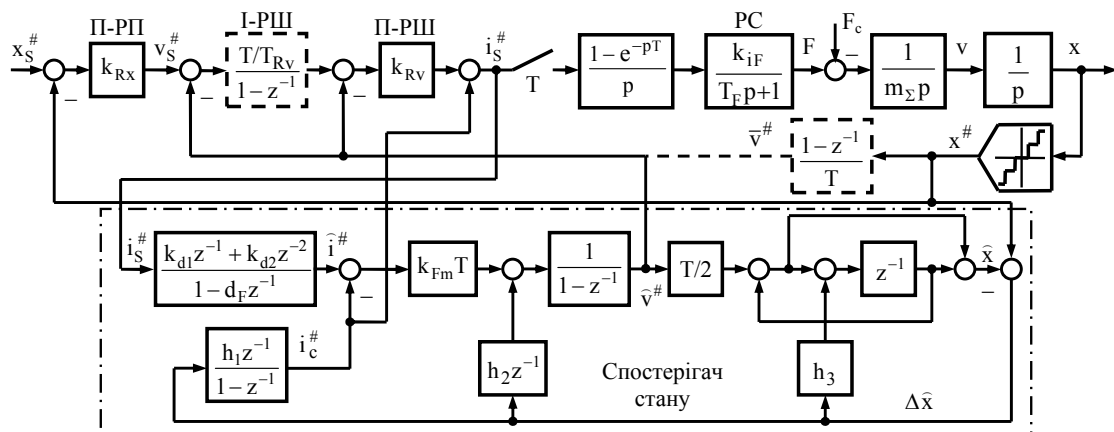


Рисунок 1 – Структурна схема системи позиційного регулювання

На рис. 1 позначено:  $k_{R_x}$ ,  $k_{R_v}$  – коефіцієнти передачі регуляторів;  $T$  – інтервал дискретності регулювання;  $T_{R_v}$  – стала інтегрування І-РШ. Динамічні властивості регулювання сили характеризує аперіодична ланка РС з коефіцієнтом передачі  $k_{iF}$  та сталою часу  $T_F$ . У спостерігачі маємо:  $k_{d1}$ ,  $k_{d2}$ ,  $d_F$  – параметри, що відображають зв'язок середньої величини струму  $\hat{i}^\#$ , ідентифікованого спостерігачем, із завданням на струм індуктора лінійного двигуна  $i_S^\#$ . Параметр  $k_{Fm} = k_{iF}/m_\Sigma$  враховує сумарну масу рухомих частин механізму  $m_\Sigma$ . Корекцію стану спостерігача забезпечують зв'язки з коефіцієнтами  $h_1$ ,  $h_2$ ,  $h_3$ .

У схемі (рис. 1) відображено ефект квантування сигналу за рівнем на основі нелінійної ланки між фактичним положенням  $x$  і величиною положення  $x^\#$ , визначеного за допомогою імпульсного датчика. Ланка з передавальною функцією  $(1 - z^{-1})/T$  відповідає переходу до середньої швидкості руху  $\bar{v}^\#$  з урахуванням зміння положення за інтервал часу  $T$ . Спостерігач стану реалізовано на основі дискретної математичної моделі об'єкту регулювання, знайденої за методикою, розглянутою в [8].

У першому варіанті системи позиційного регулювання без використання спостерігача маємо зворотний зв'язок за середньою швидкістю. При цьому параметри системи регулювання згідно з модульним критерієм [9] розраховуємо за формулами:

$$k_{Rv1} = \frac{(1-d_v)^2}{2k_{Fm}[k_{v1} + k_{v2}(2-d_v)]}; \quad (1)$$

$$T_{Rv} = \frac{2 - k_{Rv1}k_{Fm}}{k_{Rv1}k_{Fm}} \cdot T; \quad (2)$$

$$k_{Rx1} = \frac{1}{2T_{Rv} - T}, \quad (3)$$

де  $d_v = \exp(-T/T_v)$ ;  $T_v$  – стала часу, що визначає динаміку регулювання швидкості електроприводу;  $k_{v1} = 1 - T_v(1 - d_v)/T$ ;  $k_{v2} = T_v(1 - d_v)/T - d_v$ .

За такими параметрами регуляторів з урахуванням параметра об'єкта регулювання  $k_{Fm}$ , заданого у відповідності до результатів автоматичної настройки системи [7] і роздільній здатності вимірювання положення  $\delta x = 0,004$  мм, маємо процес регулювання при стрибку завдання відповідно до рис. 2.

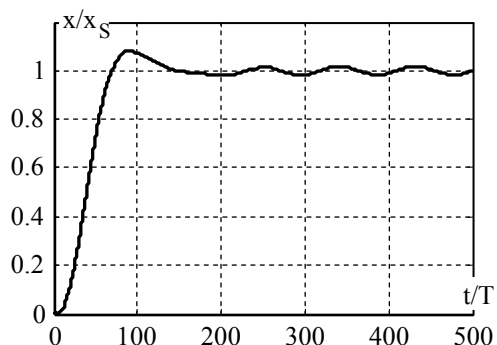


Рисунок 2 – Часова діаграма процесу позиційного регулювання при визначенні швидкості руху за допомогою імпульсного датчика переміщень

Отже, присутні суттєві флуктуації положення в усталеному режимі, що обумовлено низьким розділенням при визначенні швидкості руху на основі інформації від імпульсного датчика переміщень.

При другому варіанті регулювання з ідентифікацією навантаження електропривода та миттєвої швидкості руху за допомогою спостерігача маємо параметри пропорційних регуляторів швидкості та положення:

$$k_{Rv2} = \frac{(1-d_v)^2}{k_{Fm}[k_{v1}(1+d_v) + k_{v2}(3-d_v)]}; \quad (4)$$

$$k_{Rx2} = \frac{k_{Rv2}k_{Fm}}{2T}. \quad (5)$$

У результаті при використанні спостерігача стану позиційному регулюванню відповідає процес, поданий на рис. 3.

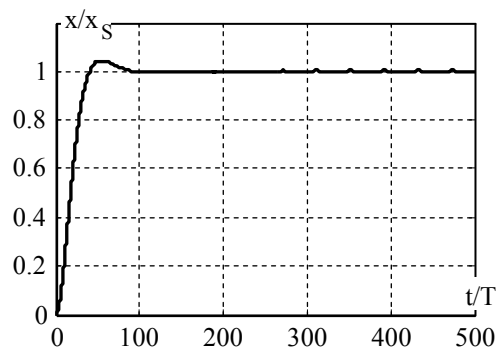


Рисунок 3 – Часова діаграма процесу позиційного регулювання при використанні спостерігача стану

Отже, порівняння рис. 2 та рис. 3 свідчить, що крім збільшення швидкості регулювання отримуємо суттєво менші флуктуації положення в усталеному режимі.

Розглянемо більш детально ефект, який дає спостерігач щодо ідентифікації швидкості переміщень. Отже, роздільна здатність визначення швидкості безпосередньо на основі інформації імпульсного датчика переміщень дорівнює:

$$dv = dx/T. \quad (6)$$

Цю величину можна зменшити за рахунок збільшення інтервалу дискретності  $T$ , але це негативно позначиться на динамічних характеристиках системи регулювання.

Між тим, відносно швидкості  $v^\#$  (рис. 1) спостерігача характеризує передавальна функція:

$$K_v(z) = \frac{\hat{v}(z)}{v^\#(z)} = \frac{q_1 z^{-1} + q_2 z^{-2}}{1 + p_1 z^{-1} + p_2 z^{-2} + p_3 z^{-3}}, \quad (7)$$

де  $q_1 = T(h_2 - h_1 k_{Fm} T)$ ;  $q_2 = -h_2 T$ ;

$p_1 = 2h_3 - 3 + T(h_2 - h_1 k_{Fm} T)/2$ ;

$p_2 = 3 - 4h_3 - h_1 k_{Fm} T^2/2$ ;  $p_3 = 2h_3 - h_2 T/2 - 1$ .

Таким чином, з цього погляду спостерігач має властивості дискретного фільтра 3-го порядку.

Динамічні властивості спостерігача стану залежать від параметрів коригуючих ланок (рис. 1), які визначені за модульним критерієм [9]:

$$h_1 = K_{c3}; \quad h_2 = k_{Fm} K_{c2}; \quad h_3 = \frac{K_{c1}}{2} + \frac{h_2 T}{4}, \quad (8)$$

$$\text{де } K_{c1} = \frac{1 - d_c}{1 + d_c}; \quad K_{c2} = \frac{K_{c1}^2}{k_{Fm} T (2 - K_{c1})};$$

$$K_{c3} = \frac{-k_{Fm} K_{c2}^2}{2 K_{c1}}; \quad d_c = \exp(-T / T_c); \quad k_{Fm} = \frac{k_{iF}}{m_s};$$

$T_c$  – фіктивна стала часу, від якої залежить швидкість функціонування спостерігача.

Передавальні функції (7) відповідають амплітудна ( $L$ ) та фазова ( $\theta$ ) частотні характеристики, зображені на рис. 4.

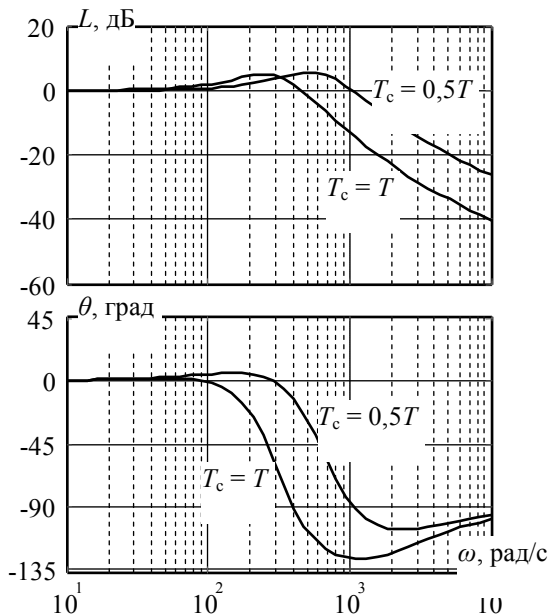


Рисунок 4 – Частотні характеристики спостерігача стану відносно ідентифікованої швидкості переміщень

З рис. 4 випливає, що з позицій ідентифікації швидкості переміщень спостерігач уявляє з себе низькочастотний фільтр, що сприяє зменшенню високочастотних флуктуацій швидкості, обумовлених квантуванням за рівнем інформації щодо положення виконуючого органу. Заглушення флуктуацій знаходиться в прямій залежності від величини сталої часу  $T_c$ . Це підтверджують результати дослідження функціонування спостерігача, охарактеризовані рис. 5 – 6, на яких відображено відхилення визначеного значення швидкості від фактичної величини для режиму переміщень з усталеною швидкістю. Це відхилення по відношенню до роздільної здатності  $\delta v$  знаходимо за формулою:

$$\Delta v_* = (\hat{v} - v) / dv. \quad (9)$$

Для порівняння на рис. 5 подано інформацію щодо відносної амплітуди флуктуацій швидкості  $v^{\#}$ , розрахованої на основі припущення переміщення за інтервал дискретності системи регулювання.

Величина коливань дорівнює  $\delta v$ , що відповідає очікуванням.

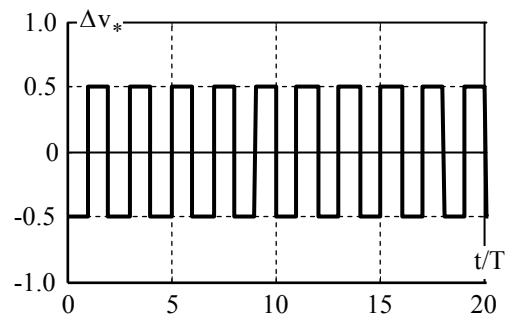
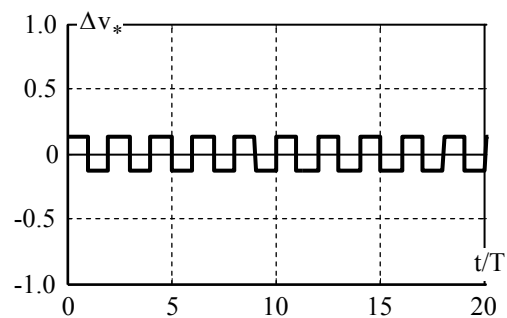
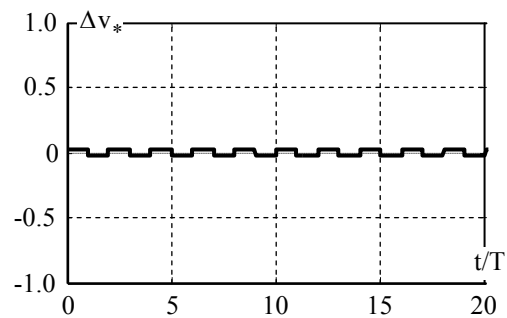


Рисунок 5 – Часова діаграма флуктуацій швидкості переміщень, визначеної за допомогою імпульсного датчика

Колівання ідентифікованої швидкості – у 4 рази менше  $\delta v$  при настройці спостерігача відповідно до  $T_c = 0,5 T$  (рис. 6, а). Зменшення швидкості спостерігача в 2 рази при  $T_c = T$  призводить до зниження амплітуди коливань у 20 разів (рис. 6, б). Однак зрозуміло, що при цьому необхідно відповідно зменшувати швидкість системи регулювання.



а)  $T_c = 0,5T$



б)  $T_c = T$

Рисунок 6 – Часові діаграми флуктуацій швидкості переміщень, визначеної за допомогою спостерігача стану з різною швидкістю

Ідентифікацію швидкості переміщень було апробовано на експериментальній установці позиційного лінійного електропривода, яку характеризує схема, подана на рис. 7. Основу системи становить лінійний двигун, індуктор  $D$  якого переміщується вздовж циліндричної напрямної  $H$ . Управління двигуном забезпечує контролер DS1103 фірми "dSpace" за допомогою спеціального пере-

творювача  $UZ$ , який забезпечує регулювання струму двигуна згідно завданню  $i_s$   $i$ , відповідно, формування рушійної сили. Визначення положення  $x^{\#}$  здійснюється завдяки імпульсному датчику переміщень, умонтованому в індуктор двигуна.

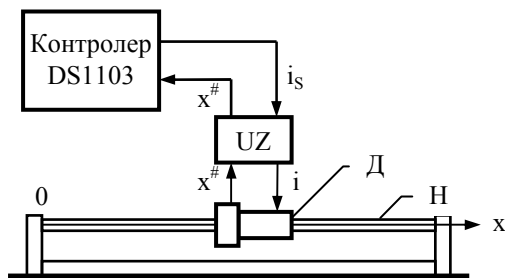


Рисунок 7 – Схема експериментальної системи позиційного лінійного електропривода

Система позиційного регулювання має наступні дані:

- інтервал дискретності регулювання  $T = 1$  мс;
- стала часу регулювання сили  $T_F = 0,5$  Т;
- стала часу швидкодії регулювання  $T_V = 4$  Т;
- стала часу швидкодії спостерігача  $T_C = T$ ;
- параметр об'єкту регулювання  $k_{Fm} = 31$  Н/(А·кз).

У результаті експериментів було підтверджено ефективність використання спостерігача для ідентифікації миттєвої швидкості переміщення та навантаження електропривода. Один з характерних процесів позиційного регулювання відображено на рис. 8. Порівняння з рис. 3 свідчить про практичний збіг експериментальних результатів з комп'ютерним моделюванням.

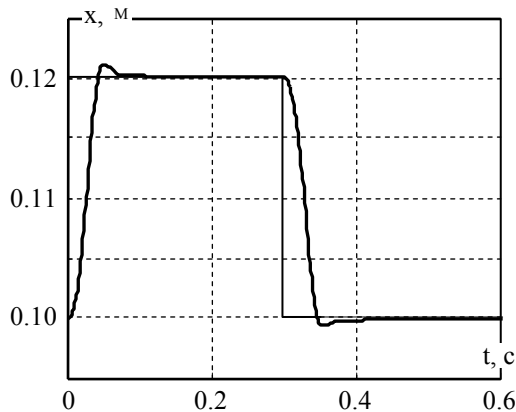


Рисунок 8 – Часова діаграма процесу позиційного регулювання, отриманого експериментально

**Висновки.** Використання спостерігача стану при позиційному регулюванні дозволяє ідентифікувати миттєву швидкість електропривода, що забезпечує уникнення негативного ефекту флуктуацій швидкості переміщень та положення.

1. Merlet J.-P. Parallel Robots. – Dordrecht: Springer, 2006. – 394 p.

2. Siciliano B., Sciavicco L., Villani L., Oriolo G. Robotics: Modelling, Planning and Control. – London: Springer, 2009. – 632 p.

3. Старостин С.С. Наблюдатель-предиктор состояния в цифровой системе регулирования скорости электропривода // Проблемы автоматизированного электропривода. Теория и практика: Сборник научных трудов конференции. – Харьков: Основа, 1997. – С. 176 – 177.

4. Bellini A., Bifaretti S., Constantini S. A Digital Speed Filter for Motion Control Drives with a Low Resolution Position Encoder // Proceedings of EPE-PEMC 2002 Conference (Croatia, Cavtat & Dubrovnik, 9-11 Sept. 2002). – 12 p.

5. Потапенко Е.М., Потапенко Е.Е., Казуро ва А.Е. Асимптотическое дифференцирование ступенчатых сигналов в задачах управления скоростью и перемещением // Наук.-техн. збірник "Електромашинобудування та електрообладнання". – Київ: Техніка, 2006. – Вып. 66. – С. 286 – 288.

6. Старостин С.С., Сафонов А.П. Позиційне управління робототехнічним пристроєм із замкнутою кінематикою // Вісник Кременчуцького державного університету. – Кременчук, 2010. – Вып. 3/2010 (62). – Ч. 1. – С. 41–44.

7. Старостин С.С., Сергієнко Г.С. Автоматичне настроювання позиційної системи управління робототехнічним пристроєм із замкнутою кінематикою // Вісник Національного технічного університету "Харківський політехнічний інститут". Тем. вип. "Проблеми автоматизованого електропривода. Теорія та практика". – Харків, 2010. – Вып. 28. – С. 163–165.

8. Старостин С.С. Урахування дискретних властивостей силових перетворювачів електроенергії при синтезі електромехатронних систем / Вісник Національного технічного університету "Харківський політехнічний інститут". Тем. вип. "Проблеми автоматизованого електропривода. Теорія та практика". – Харків, 2005. – Вып. 45. – С. 348 – 351.

9. Старостин С.С. Оптимізація дискретних регуляторів та спостерігачів стану електромеханічних об'єктів // Наук.-техн. збірник "Електромашинобудування та електрообладнання". – Київ: Техніка, 2004. – Вып. 63. – С. 17– 25.

Стаття надійшла 02.06.2011 р.  
Рекомендовано до друку к.т.н., доц.  
Сергієнко С.А.

## ПРИМЕНЕНИЕ НАБЛЮДАТЕЛЯ СОСТОЯНИЯ ДЛЯ ИДЕНТИФИКАЦИИ СКОРОСТИ ПЕРЕМЕЩЕНИЙ В ПОЗИЦИОННОЙ СИСТЕМЕ РОБОТОТЕХНИЧЕСКОГО УСТРОЙСТВА

*С. С. Старостин, к.т.н., доц., А. С. Сергиенко, асс.*

*Донецкий национальный технический университет*

*ул. Артема, 58, 83000, г. Донецк, Украина*

*E-mail: sergii.starostin@dtf.donntu.edu.ua*

Рассмотрены аспекты идентификации мгновенной скорости электропривода в позиционной системе с импульсным датчиком перемещений. Показано, что определение скорости перемещений на основе оценки изменения положения за определенный интервал времени может приводить к недопустимым флуктуациям в процессе позиционирования. Применение наблюдателя состояния позволяет избежать этих отрицательных явлений.

**Ключевые слова:** позиционная система, наблюдатель, идентификация скорости.

## APPLICATION OF STATE SPACE OBSERVER FOR SPEED IDENTIFICATION IN ROBOTIC POSITION SYSTEM

*S. Starostin, Cand.Sc. (Eng.), Assoc. Prof., G. Sergiienko, ass.*

*Donetsk National Technical University*

*vul. Artema, 58, 83000, Donetsk, Ukraine*

*E-mail: sergii.starostin@dtf.donntu.edu.ua*

The aspects of instantaneous speed identification in a position system with incremental motion transducer are considered. It is shown that the speed estimation based on position variation during the time interval can result to undesirable fluctuation in positioning process. The application of state space observer allows avoiding such negative appearances.

**Key words:** position system, observer, speed identification.