

МОДЕЛЮВАННЯ МЕХАНІЗМУ КОМПЕНСАЦІЇ ЛЮФТА З ПРУЖНИМ ЕЛЕМЕНТОМ

¹Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут»

Досліджено вплив компенсатора люфту з пружним елементом на динамічні характеристики регульованого електроприводу, розроблено рекомендації щодо його застосування.

Ключові слова: пружний компенсатор люфту, математична модель, дослідження, вплив, динаміка, електропривод.

Вступ

Актуальною проблемою для верстатобудування, робототехніки, слідкувальних систем різного технологічного призначення є підвищення точності електроприводів, яка суттєво залежить від похибок у механічних передачах (МП), зумовлених наявністю люфтів. Відомо, що наявність люфту в електромеханічній системі призводить до суттєвого погіршення точності та плавності відпрацювання вихідної координати, а також веде до можливості зменшення запасу стійкості системи та виникнення автоколивань [1].

Для усунення впливу люфтів використовуються пристрої силової та електромеханічної вибірки зазорів в МП, які створюють розпір у зубчастому зачепленні. З цією метою застосовують різні зубчасті колеса або додаткові кінематичні кола з жорсткою фіксацією або пружними елементами. Пружні елементи можуть виконуватися у вигляді пружини, яка вставляється у спеціальні пази між розрізними колесами та розгортає їх, або у вигляді тарілчастої пружини, яка розташовується між косозубими зубчастими колесами і розтискає їх в осьовому напрямку до тих пір, поки зубці не увійдуть до контакту із суцільним колесом. Аналогічний принцип закладений у кінематичних схемах з торсіоном [2, с. 393].

Перевагами пружних компенсаторів люфту є автоматична, постійна і повна вибірка зазорів у кінематичному колі, компенсація температурних змін та зношування зубців, створення попереднього натягу в усіх ланках. До недоліків слід віднести внесення додаткової нелінійності виду «однобічна пружність» у кінематичний ланцюг [2, с. 394]. Врахування вказаної нелінійності доцільно при проектуванні та дослідженні високодинамічних ЕМС підвищеної точності.

Метою дослідження є вивчення впливу пристроїв вибірки люфтів з пружними елементами на динамічні показники електроприводу.

Результати досліджень

Для визначення впливу механізму компенсації люфту з пружним елементом розроблено його математичну модель [3] та проведено моделювання у складі двомасової електромеханічної системи з урахуванням пружності основного робочого валу МП.

Узагальнена кінематична схема механічної передачі з пристроєм вибірки люфту, яка відповідає більшості конструкцій пружних компенсаторів, а також відповідна графічна модель показані на рис. 1. На рисунку позначені: M — передаваний обертальний момент МП; $\Delta\varphi_z$ — величина зазору; $M_{p,n}$ — момент попереднього натягу механізму вибірки люфту; c_1 — пружність елементів кінематичного кола; c_2 — пружність компенсатора зазору; ВОРМ — виконавчий орган робочої машини.

Особливість нелінійності (рис. 1б) полягає в тому, що пружність c_2 діє тільки в одному напрямку руху МП і лише в межах зазору. Після вибірки люфту МП знов стає «жорсткою» і характеризується лише пружністю власних елементів c_1 . При протилежному напрямку руху пружність c_2 на роботу МП не впливає. За малих значень моментів внутрішніх сил (пружного та в'язкого тертя), що не перевищують значення моменту попереднього натягу, компенсатор люфту на роботу МП не впливає і жорсткість системи визначається лише жорсткістю вала.

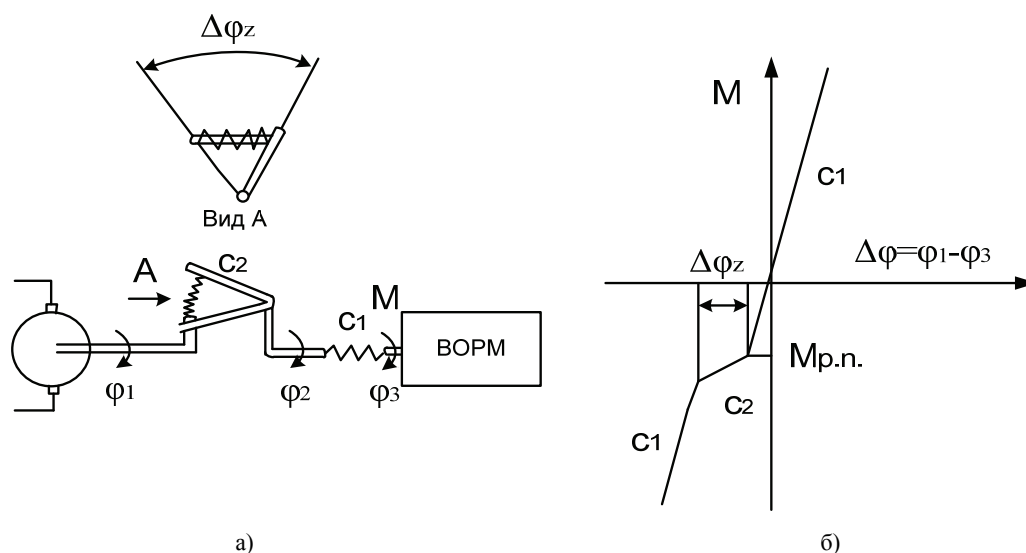


Рис. 1: а — кінематична схема; б — модель механізму вибірки люфту з одним пружним елементом

Для режимів роботи з частою зміною напрямку руху можливо також використання компенсаторів люфту із двома однаковими пружними елементами (рис. 2).

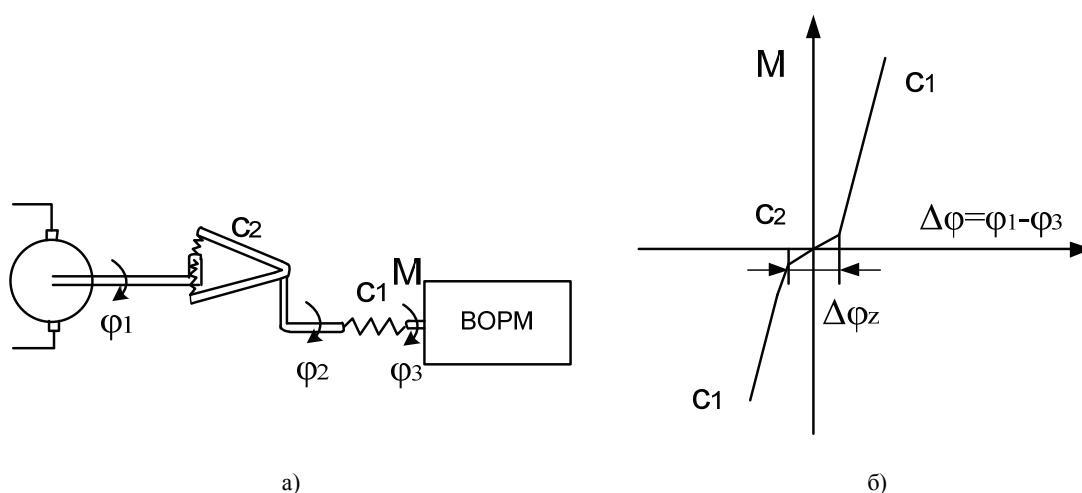


Рис. 2: а — кінематична схема; б — модель механізму вибірки люфту з двома пружними елементами

Розглянемо вплив компенсатора люфту на динаміку електропривода. Для визначення величини похибки, що зумовлена наявністю пружного компенсатора, проведено моделювання двомасової електромеханічної системи з механізмом вибірки люфту (рис. 1) на основі двигуна постійного струму потужністю 3,2 кВт з підпорядкованим регулюванням швидкості при налаштуванні на симетричний оптимум. Керувальною дією є ступінчастий сигнал завдання швидкості із подальшим реверсом. В момент часу 7,5 с прикладається номінальне навантаження.

Перехідні процеси швидкості та помилки відпрацювання швидкості показані на рис. 3, де позначені: ω_d — задана швидкість, $\Delta\omega_d$ — помилка відпрацювання швидкості в системі без пружного компенсатора, $\Delta\omega_p$ — помилка відпрацювання швидкості з урахуванням пружного компенсатора (див. рис. 1).

З отриманих графіків перехідних процесів видно, що наявність компенсатора позитивно впливає на показники якості електропривода, зменшуючи похибки по швидкості та динамічні навантаження у МП.

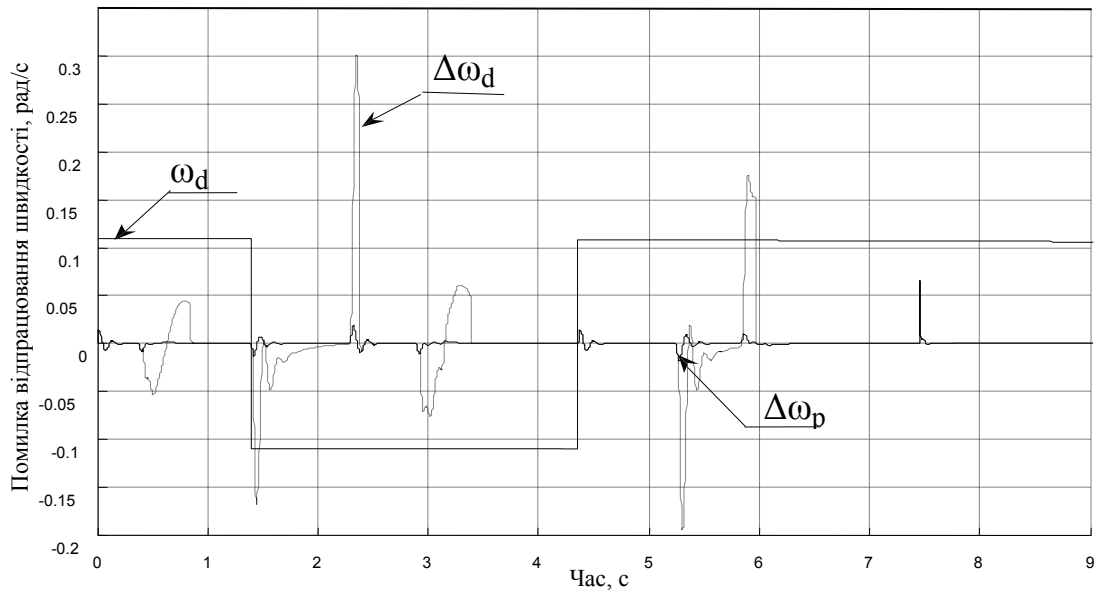


Рис. 3. Помилки відпрацювання завдання по швидкості

Проведемо дослідження впливу механічних параметрів компенсатора на динаміку системи. До таких параметрів відносяться жорсткість пружного елемента, момент попереднього натягу та величина люфту.

Результати моделювання відповідних перехідних процесів під час пуску двигуна показані на рис. 4 у вигляді помилки швидкості. Графіку 1 відповідає зменшення величини люфту $\Delta\varphi_z$ в 5 разів у порівнянні з базовою моделлю, графіку 2 — збільшення жорсткості пружини c_2 в 5 разів, графіку 3 — збільшення моменту попереднього натягу M_{pn} в 5 разів. Графік 4 відповідає базовим характеристикам МП: $c_1 = 2 \cdot 10^5$ Нм/рад; $c_2 = 10^3$ Нм/рад, $M_{pn} = 1$ Нм, $\Delta\varphi_z = 1$ градус.

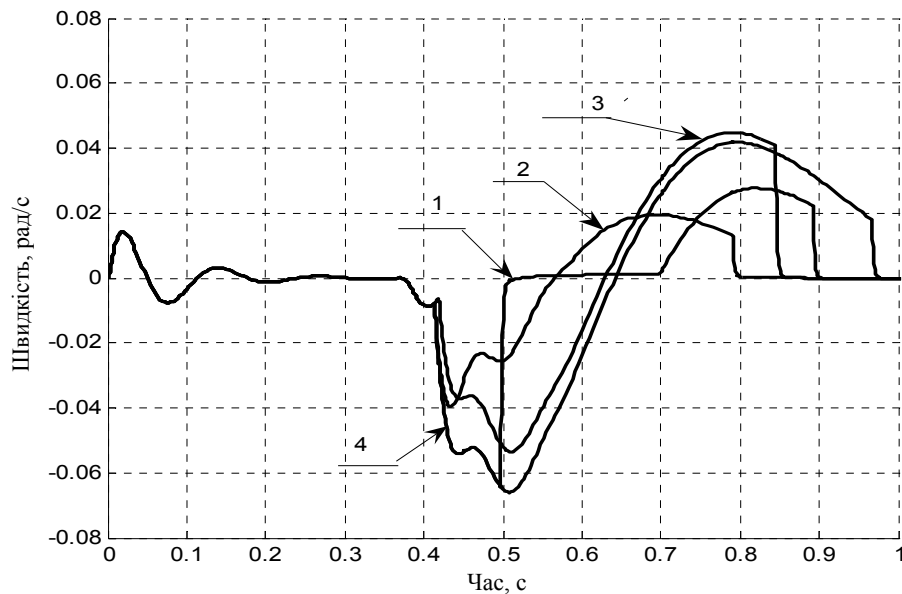


Рис. 4. Графіки розузгодження швидкостей вхідного та вихідного вала МП

Отримані результати свідчать про доцільність зменшення величини люфту шляхом удосконалення МП, збільшення жорсткості пружини компенсатора та моменту її попереднього натягу. При цьому зменшення величини зазору призводить до зменшення часу узгодження швидкостей, а збільшення моменту попереднього натягу пружини — до зменшення величини помилки.

Додатково досліджено особливості використання компенсатора люфту з характеристикою типу «двобічна пружність» (див. рис. 2).

Моделювання проведено для системи підпорядкованого керування швидкості в режимах пуску та реверсу для обох компенсаторів з параметрами МП, вказаними вище. При цьому враховувався коефіцієнт в'язкого тертя $\mu = 20 \text{ Нм}\cdot\text{с}$. Результати моделювання показані на рис. 5.

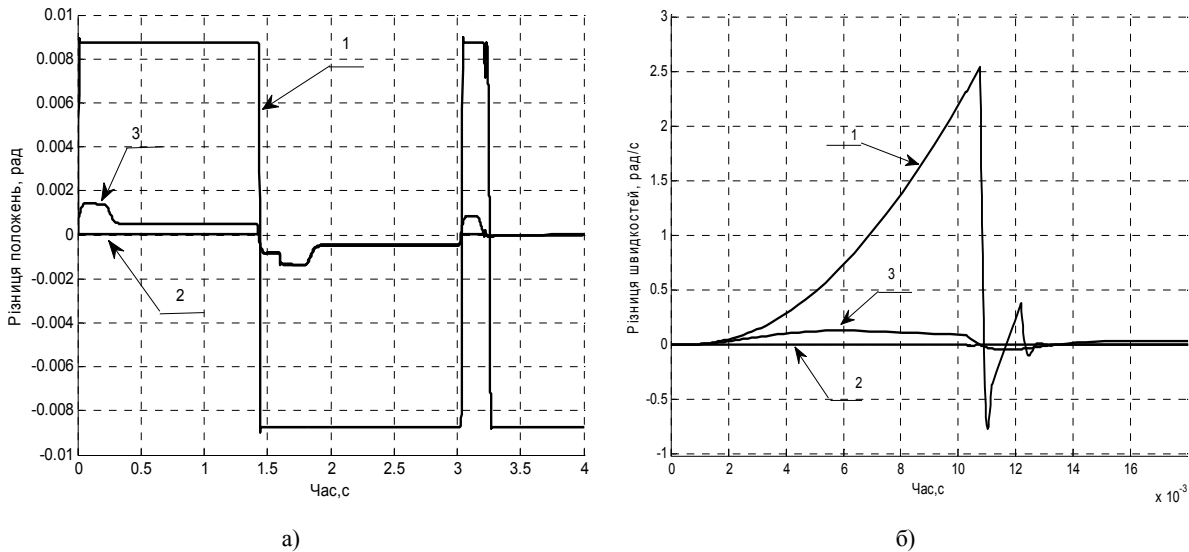


Рис. 5. Різниця: а — положень; б — швидкостей, — вхідного та вихідного вала МП;

1 — без компенсатора; 2 — з компенсатором з одним пружним елементом;
3 — з компенсатором з двома пружними елементами

Результати моделювання вказують на те, що використання компенсаторів з двобічною пружністю менш ефективно у порівнянні із компенсатором з одним пружним елементом.

Висновки

Проведені дослідження свідчать, що введення в кінематичне коло МП пружного компенсатора значно зменшує похибку швидкості та підвищує точність системи. Врахування пружного елемента в системах компенсації люфту важливе для систем підвищеної точності за значних перерегулювань та відпрацюванні реверсивного сигналу завдання.

Найбільший вплив на динамічну точність має величина жорсткості компенсатора. Так зі збільшенням жорсткості значною мірою зменшується амплітуда помилки по швидкості, а також час перехідного процесу. Однак цей шлях обмежений зменшенням ККД редуктора та збільшенням зношування ланок кінематичного ланцюга.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Проектирование систем со сложными кинематическими цепями / [И. Н. Богаенко, А. Д. Белянский, Б. В. Новоселов и др.]. — К. : Техніка, 1996. — 283 с.
2. Електромеханічні системи автоматичного керування та електроприводи : навч. посіб. для студ. ВНЗ / [М. Г. Попович, О. Ю. Лозинський, В. Б. Клепиков та ін.]. — К. : Либідь, 2005. — 680 с.
3. Теряев В. І. Дослідження механізму компенсації люфту з пружним елементом / В. І. Теряев, А. О. Мельник // Сучасні проблеми електроенергетичної та автоматики : доповіді Міжнародної науково-технічної конференції молодих учених, аспірантів і студентів. — Київ : Політехніка, 2010. — С. 314—316.

Рекомендована кафедрою електромеханічних систем автоматизації в промисловості і на транспорті ВНТУ

Стаття надійшла до редакції 17.11.2015

Теряев Віталій Іванович — канд. техн. наук, доцент, доцент кафедри автоматизації електромеханічних систем та електроприводу, e-mail: kpivit@gmail.com.

Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут», Київ

V. I. Teriaiev¹

Modeling of Mechanism of Backlash Compensation with Resilient Element

¹National Technical University of Ukraine «Kyiv Polytechnic Institute»

The influence of backlash compensator with the resilient element on dynamic characteristics of the controlled electric drive has been studied; the recommendations for its usage have been developed in the paper.

Keywords: resilient backlash compensator, mathematical model, research, effect, dynamics, electric drive.

Teriaiev Vitalii I. — Cand. Sc. (Eng.), Assistant Professor, Assistant Professor of the Chair of Automation of Electromechanical Systems and Electric Drive, e-mail: kpivit@gmail.com

В. И. Теряев¹

Моделирование механизма компенсации люфта с упругим элементом

¹Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт»

Исследовано влияние компенсатора люфта с упругим элементом на динамические характеристики регулируемого электропривода, разработаны рекомендации по его применению.

Ключевые слова: упругий компенсатор люфта, математическая модель, исследование, влияние, динамика, электропривод.

Теряев Виталий Иванович — канд. техн. наук, доцент, доцент кафедры автоматизации электромеханических систем и электропривода, e-mail: kpivit@gmail.com