

**ЕЛЕКТРОМЕХАНІЧНА СИСТЕМА З КЕРУВАННЯМ
ЗА ВЕКТОРОМ ПРОГНОЗНИХ ЗМІННИХ СТАНУ**

В. М. Столяров

Донбаський державний технічний університет
просп. Леніна, 16, м. Алчевськ, 94204, Україна. E-mail: aems-alchevsk@ukr.net

Досліджується система підлеглого керування з використанням положень теорії модельного прогнозуючого керування. Доведено можливість використання регуляторів класичної системи як блоку вибору керуючої функції системи прогнозного керування, отже достатньо замикання класичної системи за вектором прогнозних змінних стану для отримання нових властивостей. Запропоновано метод моделювання системи з прогнозуванням за допомогою блоку EMBED Matlab. З'ясовано, що розроблена система має низьку чутливість до параметричних і координатних збурень.

Ключові слова: модельне прогнозує керування, прогнозна модель, горизонт прогнозування.

**ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКАЯ СИСТЕМА С УПРАВЛЕНИЕМ
ПО ВЕКТОРУ ПРОГНОЗНЫХ ПЕРЕМЕННЫХ СОСТОЯНИЯ**

В. Н. Столяров

Донбасский государственный технический университет
просп. Ленина, 16, г. Алчевск, 94204, Украина. E-mail: aems-alchevsk@ukr.net

Исследуется система подчиненного управления с использованием положений теории модельного прогнозирующего управления. Доказана возможность использования регуляторов классической системы в качестве блока выбора управляющей функции системы прогнозирующего управления, т.е. достаточно замыкания классической системы по вектору прогнозных переменных состояния для получения новых свойств. Предложен метод моделирования системы с прогнозированием при помощи блока EMBED Matlab. Установлено, что разработанная система имеет низкую чувствительность к параметрическим и координатным возмущениям.

Ключевые слова: модельное прогнозирующее управление, прогнозная модель, горизонт прогнозирования.

АКТУАЛЬНІСТЬ РОБОТИ. Одним з найбільш перспективних методів синтезу автоматичних систем є модельне прогнозує керування (МПК). Цей метод може бути застосований до об'єктів керування будь-якого рівня складності, у тому числі нелінійних та багатозв'язкових. Недоліками методу МПК є відсутність стрункої теорії стійкості систем із МПК та значне навантаження на ресурси мікроконтролера у разі «онлайн»-реалізації алгоритму керування [1]. Проте можливі варіанти застосування різноманітних аспектів теорії систем з МПК, які дозволяють подолати вказані недоліки. В межах цієї роботи досліджено комбінований варіант МПК, який полягає у використанні як базового алгоритму керування системи звичайного алгоритму підлеглого ПІД-керування, що забезпечує стійкість та бажані показники якості, та модельного прогнозування змінних стану об'єкта керування, що надає системі нових якостей.

МАТЕРІАЛ І РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ. Типова «онлайн»-реалізація алгоритму МПК передбачає багаторазове моделювання траєкторії руху системи на деякому майбутньому проміжку часу, який називається горизонтом прогнозування. Це моделювання здійснюється для всіх можливих значень функції керування. Після отриманих результатів обирається те значення функції керування, що мінімізує похибку чи будь-який інший показник якості на інтервалі прогнозу. Системи з таким алгоритмом керування потребують, з одного боку, високопродуктивного мікропроцесору, а з іншого – суттєвого спрощення моделі об'єкта та набору можливих значень функцій керування. Замість багаторазового обчислення прогнозного руху для різних значень керуючої функції обчислимо його одноразово для поточного значення керуючої функції, а наступне значення керуючої функції обчислимо у функції отриманої похибки

$$U[i+1] = f(\Delta X) = f(X_0 * -X_0(t_i + \Delta t_p)) .$$

Запропонований варіант майже ідентичний класичній замкненій системі автоматичного керування,

за винятком того, що замикання відбувається не за вектором змінних стану X , а за прогнозними значеннями керованої величини X_0 . Ланка $f(\Delta X)$, що забезпечує формування величини функції керування на наступному кванті мікропроцесорної системи, має відповідати певним вимогам. Перш за все, це забезпечення монотонного зростання $U[i+1]$ у разі збільшення похибки ΔX . Це може бути як пропорційна ланка, так і ПІ-ланка, якщо треба гарантувати нульову сталу похибку й надати системі астатизм. Отже, як ланка $f(\Delta X)$ може бути використаний регулятор, що синтезується за класичними алгоритмами, наприклад, настройка на модульний або симетричний оптимуми, модальний регулятор та ін. На рис. 1 наведено структурну схему системи автоматичного керування, що містить у зворотному зв'язку прогнозну модель об'єкта, яка обчислює майбутні значення керованої змінної $X_0(t_i + \Delta t_p)$.

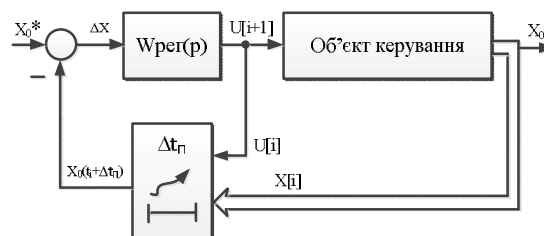


Рисунок 1 – Структурна схема одноконтурної системи з керуванням за вектором прогнозних змінних стану

Як об'єкт керування оберемо позиційний електропривод постійного струму. Повний вектор змінних стану об'єкта формується з чотирьох координат: ЕРС керованого перетворювача ЕПІ, струм якорного ланцюга I, швидкість обертання валу електродвигуна ω та положення механізму S. Базовий ПІД-алгоритм підлеглого керування може бути викорис-

таний як функціональна частина модифікованого алгоритму модельного прогнозування функції керування. За наявності багатьох контурів може бути використано єдину прогнозну модель, проте різні контури можуть вимагати різні горизонти прогнозування у зв'язку з тим, що процеси в них різняться за своєю швидкістю. Горизонт прогнозу для величини змінної зворотного зв'язку деякого контуру має дорівнювати сталій часу цього контуру. Структурну схему системи керування за вектором прогнозних змінних стану наведено на рис. 2.

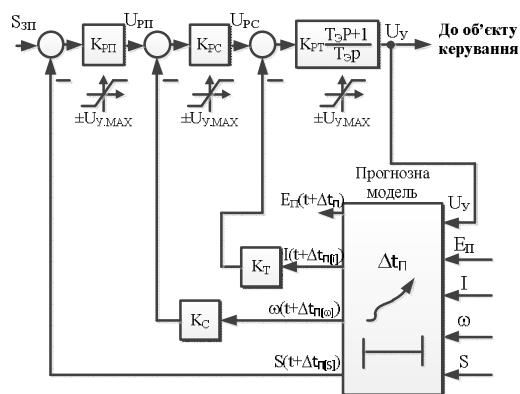


Рисунок 2 – Структурна схема системи електропривода з керуванням за вектором прогнозних змінних стану

Прогнозна модель має здійснювати розрахунок майбутньої траєкторії руху згідно з будь-яким методом чисельного інтегрування, наприклад, методом Ейлера. Моделювання перехідних процесів у базовій та досліджуваній системах виконано за допомогою пакету Matlab/Simulink. Програмна реалізація чисельного інтегрування прогнозної моделі згідно з (2) потребує написання m-коду, що має бути інтегрованою у середовище Simulink. Для цього використано підсистему EMBED-Matlab, яка в середовищі Simulink надана у вигляді блоку «Embedded MATLAB Function». Як свідчать результати цифрового моделювання, у разі варіації параметрів об'єкту керування наявні переваги розробленої системи, що проявляється у значно меншій її чутливості до параметричних збурень. Так базова система втрачає стійкість при підвищенні T_e або зменшенні T_m у 2,5–3 рази, тоді як система з прогнозуванням має задовільні показники якості навіть при чотирикрат-

ній варіації цих параметрів. Збільшення T_p та введення інерційності у зворотні зв'язки за швидкістю та положенням також підводить базову систему до межі стійкості, але майже не впливає на систему з контролем прогнозованих змінних стану.

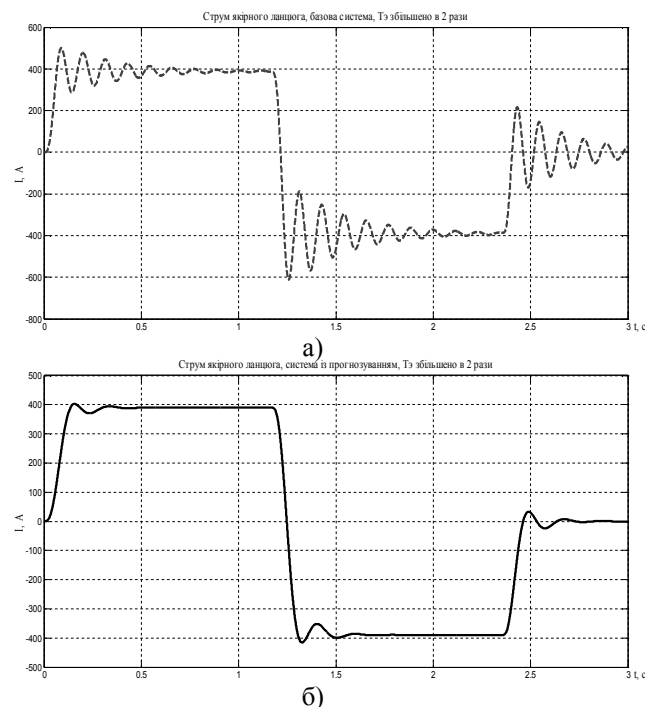


Рисунок 3 – Графіки перехідних процесів струму якоря: а) в базовій системі; б) у системі з прогнозуванням при збільшенні T_e у два рази

ВИСНОВКИ. Розроблена система має низьку чутливість як до параметричних, так і до координатних збурень та може бути реалізована за умов використання сучасної елементної бази. Розроблені принципи керування можуть бути поширені й на сучасні системи керування електроприводами змінного струму.

ЛІТЕРАТУРА

1. Morari M., Lee J.H. Model Predictive Control: Past, Present and Future // *Computers and Chemical Engineering*. – 1999. – № 23. – PP. 667–682.

ELECTROMECHANICAL SYSTEM WITH CONTROL BY THE VECTOR OF PREDICTED STATE

V. Stolyarov

Donbass State Technical University
 prosp. Lenina, 16, Alchevsk, 94204, Ukraine. E-mail: aems-alchevsk@ukr.net

The PID-control system combined with elements of model predictive control theory is being researched. The use of regulators of the classical system as blocks of control function selection of the predictive control system is proved, so it is enough to close classical system by the vector of predicted variables state to obtain better system's capabilities. The method of modeling with the use of EMBED Matlab for prediction is proposed. It was found, that new system has low sensitivity to parametric and coordinate disturbances.

Key words: model predictive control, predictive model, prediction horizon.

REFERENCES

1. Morari, M., Lee J.H. Model Predictive Control: Past, Present and Future // *Computers and Chemical Engineering*. – 1999. – № 23. – PP. 667–682.

Стаття надійшла 1.06.2012.
 Рекомендовано до друку
 к.т.н., доц. Сергіємком С.А.