

АНАЛІЗ СУЧАСНИХ СИСТЕМ КЕРУВАННЯ ЕЛЕКТРОПРИВОДАМИ МЕТАЛООБРОБНИХ ВЕРСТАТІВ

Вінницький національний технічний університет;

Анотація

Проведено аналіз сучасних систем керування електроприводами металообробних верстатів, зокрема нейрорегуляторів та систем на основі вентильних двигунів, які демонструють найвищу перспективність завдяки широкому діапазону регулювання швидкості та здатності забезпечувати необхідні динамічні характеристики. Розглянуті загальні та приватні вимоги до електроприводів головного руху та подач, серед яких високі показники жорсткості, швидкодії, точності, продуктивності та плавності руху. Виконання цих вимог сприяє підвищенню довговічності приводних систем, покращенню якості обробки та зменшенню дефектності готових деталей.

Ключові слова: електропривод, система керування, металообробний верстат, нейрорегулятор, вентильний двигун, головний рух, рух подач, динамічні характеристики, точність, швидкодія, регулювання швидкості.

Abstract

The article presents an analysis of modern control systems for electric drives of metal-cutting machine tools, focusing on neural-network regulators and brushless motor-based systems, which demonstrate the highest potential due to their wide speed regulation range and ability to ensure the required dynamic performance. General and specific requirements for main-motion and feed-motion electric drives are examined, including high stiffness, rapid response, precision, productivity, smooth operation, and compactness. Meeting these requirements increases the durability of drive systems, improves machining quality, and reduces defects in finished parts.

Key words: electric drive, control system, metal-cutting machine tool, neural regulator, brushless motor, main motion, feed motion, dynamic performance, precision, speed regulation.

Вступ

Електроприводи змінного струму сьогодні використовуються практично в усіх сферах промислового виробництва, і одним із ключових завдань їх застосування є забезпечення точного регулювання швидкості. У сучасних системах найбільш поширеними є керовані електроприводи на базі асинхронних двигунів, які забезпечують широкий діапазон регулювання та, у більшості випадків, реалізуються на основі технології векторного керування.

Одним із пріоритетних напрямів розвитку машинобудування є підвищення продуктивності верстатів, а також покращення точності та якості оброблюваних деталей. На параметри обробки значно впливають такі чинники, як вібрації, що виникають у приводних системах, пружні деформації в довгих валах і ремінних передачах, режими різання, зношення різального інструмента, похибки установлення заготовки, а також геометричні відхилення обладнання та різного роду нелінійності, зокрема пов'язані з люфтами та коливаннями струму електродвигуна [1, 2]

Метою роботи є комплексний аналіз сучасних систем керування електроприводами металообробних верстатів з акцентом на нейромережеві регулятори та приводи на основі вентильних двигунів, а також визначення їх здатності забезпечувати високі показники жорсткості, точності, швидкодії та стабільності руху. Дослідження спрямоване на встановлення ключових технологічних вимог до електроприводів головного руху та подач, визначення чинників, що впливають на якість обробки, та обґрунтування перспективних напрямів підвищення ефективності й надійності приводних систем у сучасному машинобудуванні.

Результати дослідження

Динамічні властивості електроприводів головного руху та подач істотно визначають якість технологічного процесу. Механічна частина приводу головного руху передає енергію до виконавчих

вузлів і зазвичай включає двигун та елементи передачі — ремінні приводи, редуктори, коробки швидкостей або муфти. Проте використання коробок швидкостей може негативно впливати на точність обробки через їх нагрівання та наявність зазорів у зубчастих передачах. Натомість застосування ремінних передач дозволяє частково ізолювати шпиндель від двигунових вібрацій, що покращує стабільність процесу обробки.

На діапазон регулювання швидкості електроприводу головного руху верстата впливають такі параметри, як: допустима швидкість різання, матеріал виробу, що обробляється, і максимальний діаметр заготовки. Внаслідок того, що на універсальних верстатах обробляються заготовки з різних матеріалів та різних геометричних параметрів, то й діапазони регулювання можуть відрізнятися.

Стабільність роботи електроприводу головного руху верстата є важливим показником, що характеризує його здатність підтримувати задану швидкість при змінах в напрузі живлення, коливаннях електромагнітного моменту опору електродвигуна, відхиленнях в температурі навколишнього середовища [3].

Серед вимог до приводів верстатів можна виділити як загальні, що відносяться до всіх приводів, так і приватні, що відносяться до конкретного типу приводу. У таблиці 1 наведено вимоги до приводів головного руху та руху подач верстатів.

Таблиця 1 – Вимоги до приводів головного руху та руху подач верстатів

Вимоги до електроприводів верстатів		
Для всіх приводів верстатів	Для конкретного типу приводу	
	Подачі	Головного руху
- низька вартість приводу; - невеликі вага та габарити; - простота управління та обслуговування; - висока надійність і схибленість; - висока швидкодія; - стабільність і повторюваність характеристик; - висока максимальна швидкість; - висока продуктивність; - значний запас стійкості.	- швидкий час відпрацювання керуючого впливу при аперіодичному характері перехідних процесів розгону та гальмування; - високий крутний момент; - здатність витримувати великі навантаження; - висока жорсткість; - висока швидкодія; - висока точність позиціонування; - інші.	- висока точність та плавність; - забезпечення необхідних значень потужності, моменту, швидкості різання; - широкий діапазон регулювання швидкості; - інші.

Методи підвищення продуктивності металообробних верстатів та забезпечення високої якості й точності обробки умовно поділяють на три ключові напрями:

- збільшення жорсткості та вібростійкості конструктивних елементів верстата,
- створення систем керування точністю,
- розроблення математичних моделей прогнозування точності обробки.

Покращення жорсткості верстатних систем досягається шляхом удосконалення конструкцій інструменту та основних елементів технологічної системи — супорта, передньої та задньої бабок тощо. Це реалізується як за рахунок створення нових, так і модернізації існуючих вузлів. Використання сучасних твердосплавних інструментальних матеріалів, зносостійких покриттів, синтетичних алмазів та композитів на основі кубічного нітриду бору значно підвищує якість обробки [2, 4].

Як свідчать результати досліджень, якість обробки суттєво залежить від величини звису інструменту. Зменшення довжини вильоту ріжучого інструменту рекомендовано для зниження рівня вібрацій. Запропонована авторами методика чорнової обробки зі змінною глибиною різання дає змогу зменшити коливання, збільшити ресурс інструменту та підвищити продуктивність.

Приводи головного руху також суттєво впливають на вібростійкість верстата. У системі можуть виникати вільні, вимушені та параметричні коливання, пов'язані з інерційними властивостями заготівлі, зміною навантаження й характеристик пружності. Частка впливу приводу головного руху на загальний рівень вібрацій може досягати 90% [4].

На рисунку 1 приведені різновиди систем керування точністю. Згідно з дослідженнями, у системах управління приводів металорізальних верстатів можуть ефективно використовуватися нейронні мережі, виконані у вигляді нейрорегуляторів [5].

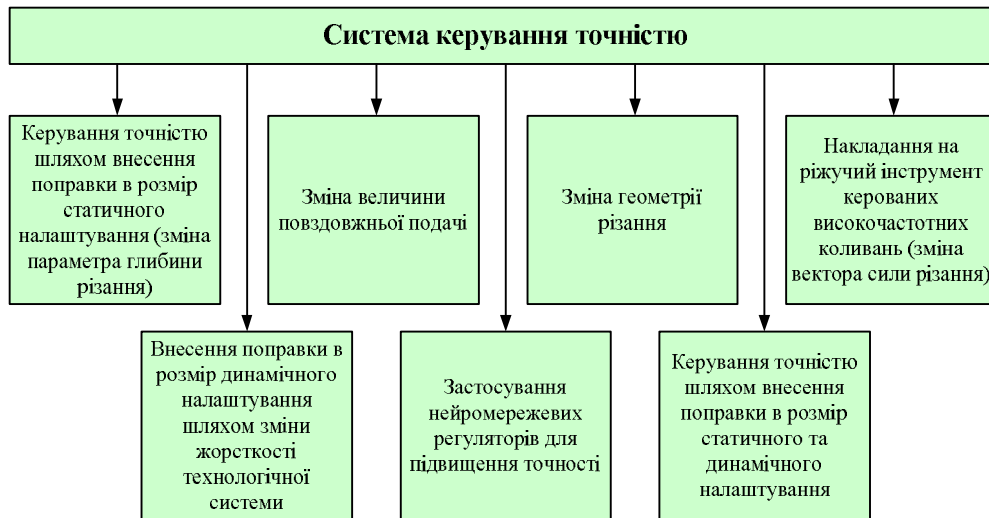


Рис. 1. Системи керування точністю

Функціональна схема векторного управління асинхронним двигуном з датчиком швидкості та нейронним регулятором (НР) з передбаченням приведена на рисунку 2.

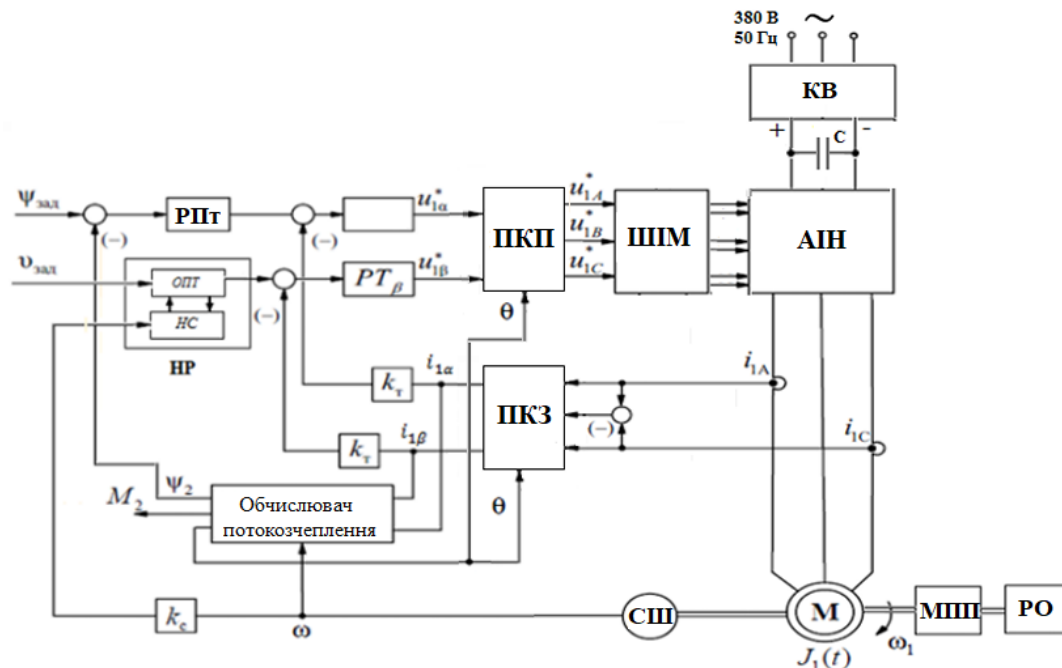


Рис. 2. Системи керування точністю

Система управління інвертором (див. рисунок 2) являє собою двоконтурну систему підпорядкованого регулювання, що включає зворотні зв'язки за швидкістю та струмом. У такій схемі контур струму містить механізм коригування завдання струму, який функціонує як зворотний зв'язок для контуру завдання вихідної частоти інвертора. Така побудова дозволяє більш точно контролювати роботу електроприводу, забезпечує стабільність вихідних параметрів та швидке реагування на зміни навантаження.

Нейрорегулятори, що застосовуються в системах управління, є потужним інструментом для покращення динамічних характеристик приводу верстата [6]. Вони дозволяють адаптивно підлаштовувати параметри керування під змінні умови роботи, враховують нелінійності системи та

зменшують вплив зовнішніх коливань і перешкод. Використання нейрорегуляторів підвищує точність підтримання швидкості та положення інструменту, скорочує час встановлення режимів і підвищує загальну ефективність технологічного процесу.

Висновки

Проведений аналіз показав, що найперспективнішими напрямками розвитку систем керування електроприводами металообробних верстатів є впровадження нейрорегуляторів та використання вентильних двигунів, які забезпечують високі динамічні показники та широкий діапазон регулювання швидкості. Визначені загальні й специфічні вимоги до електроприводів головного руху та подач — такі як жорсткість, швидкодія, точність, плавність ходу та продуктивність — є критично важливими для підвищення ефективності та надійності роботи верстатів. Їхнє дотримання сприятиме збільшенню довговічності приводних систем, покращенню якості обробки та зниженню дефектності готових деталей.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Леві Л. Електропривод та автоматизація верстатів: навчальний посібник / Л. Леві. — Полтава: ПолтНТУ, 2023. — 210 с.
2. Електроустаткування металорізальних верстатів: навчальний матеріал / кол. авт. — К.: 2018. — 95 с.
3. Автоматизований електропривод металорізальних верстатів: навчальний посібник / ДДМА, каф. ЕПП. — Краматорськ: ДДМА, 2019. — 130 с.
4. Долганов В. Автоматизований електропривод у металорізальних верстатах: навчальні матеріали / В. Долганов. — К.: КПІ, 2018. — 42 с.
5. Маринич І. Застосування нейронних регуляторів при моделюванні керування / І. Маринич // Інформаційні технології та суспільство. — 2022. — №1. — С. 45–50.
6. Степанець О. Neural Network Predictive Controller в системах керування / О. Степанець // Молодий вчений. — 2020. — №3. — С. 120–125.

Вячеслав Олександрович Некрутенко — ст. гр. ЕПА-24м, Факультет електроенергетики та електромеханіки.

Володимир Васильович Богачук — к.т.н., доцент кафедри комп'ютеризованих електромеханічних систем і комплексів, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: bogachukvv64@gmail.com.

Олександр Анатолійович Паянок — к.т.н., доцент кафедри комп'ютеризованих електромеханічних систем і комплексів, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: oapayanok@gmail.com.

Науковий керівник: **Володимир Васильович Богачук** — к.т.н., доцент кафедри комп'ютеризованих електромеханічних систем і комплексів, Вінницький національний технічний університет, Вінниця.

Nekrytenko Vyacheslav O. — student of the group EPA-24m, Faculty of Electricity and Electromechanics.

Bogachuk Volodymyr V. — Cand. Sci (Tech.), Associate Professor, Department of computerized electromechanical systems and complexes, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: bogachukvv64@gmail.com.

Payanok Oleksandr A — Cand. Sci (Tech.), Associate Professor, Department of computerized electromechanical systems and complexes, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: oapayanok@gmail.com.

Scientific Supervisor: **Bogachuk Volodymyr V.** — Cand. Sci (Tech.), Associate Professor, Department of computerized electromechanical systems and complexes, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: bogachukvv64@gmail.com.