

## ПОРІВНЯЛЬНИЙ АНАЛІЗ ЕЛЕКТРОПРИВОДІВ ВЕРСТАТІВ З ЧИСЛОВИМ ПРОГРАМНИМ КЕРУВАННЯМ

Толочко О.І., д.т.н., проф., Носихін М.М., студент

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

**Вступ.** В даний час верстат з числовим програмним керуванням (ЧПК) є основним виробничим модулем сучасного виробництва. Верстати з ЧПК використовуються як для автоматизації дрібносерійного виробництва, так і для виробництва великих серій. Процес розвитку систем ЧПК істотним чином пов'язаний із загальними тенденціями розробки нових поколінь мікропроцесорів, каналів передачі інформації та програмного забезпечення. Спад виробництва базових галузей вітчизняної промисловості привів до суттєвого відставання машинобудування, в тому числі, виготовлення верстатів з ЧПК. У промисловості України досі працюють значна кількість верстатів зі старими моделями пристроїв ЧПК.

**Мета роботи** – виконати аналітичний огляд існуючих електроприводів станків з ЧПК, виявити їх переваги та недоліки.

**Матеріали дослідження.** Сучасні багатофункціональні верстати і промислові роботи оснащені багатодвигунними електроприводами, які здійснюють переміщення виконавчих органів за кількома координатним осях, що представлено на рисунку 1 [1].

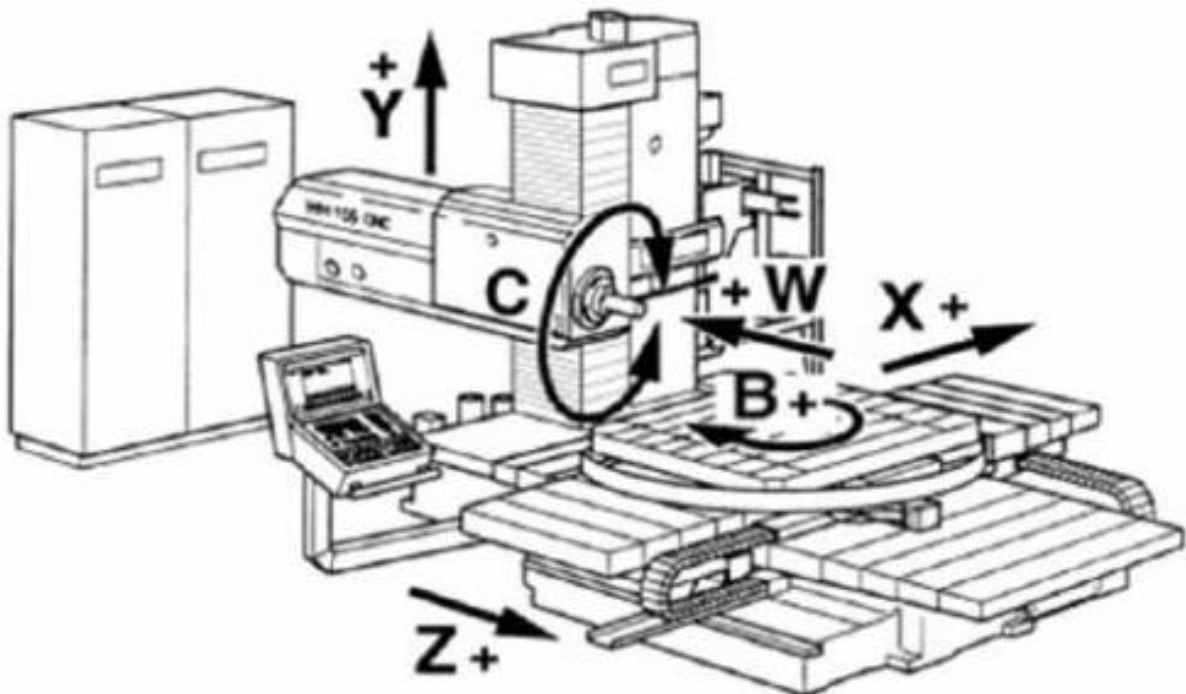


Рисунок 1 – Система приводів фрезерного верстату з числовим програмним керуванням

Керування роботою верстата з ЧПК виконується з використанням типових систем, формуючих команди у відповідності до заданої в цифровій формі програмою. Створення високопродуктивних мікроконтролерів, які складають програмне ядро числового програмного керування дає можливість з їх допомогою автоматично виконувати безліч геометричних і технологічних операцій, а також здійснювати пряме цифрове керування системою електроприводів і електроавтоматикою.

На сьогоднішній день є декілька різновидів електроприводів станків з ЧПК. Процес металообробки різанням здійснюється за допомогою взаємного переміщення оброблюваної заготовки і різця.

При обробці прийнято виділяти основні рухи та допоміжні переміщення.

До основних відносять головний рух різання, що має найбільшу швидкість і потужність, що забезпечує необхідне зусилля різання, а також рух подачі, необхідний для переміщення робочого органу по просторової траєкторії із заданою швидкістю. Для отримання поверхні виробу заданої форми робочі органи верстата формують потрібну траєкторію зі встановленою швидкістю і зусиллям. Електроприводи формують робочим органам обертальний і поступальний рух, поєднання яких забезпечує необхідне взаємне переміщення.

В даний час приводи переважно виконують на базі надійних електродвигунів змінного струму з частотним керуванням, що показано на рис.2 [2].

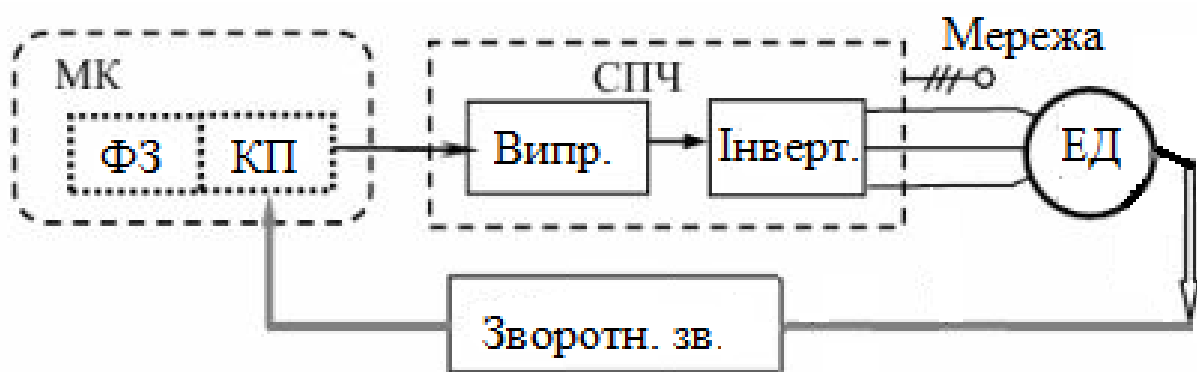


Рисунок 2 – Типова функціональна схема електроприводу

Електропривод складаються з таких функціональних блоків:

- 1) виконавчий електродвигун (ЕД);
- 2) силовий перетворювач частоти (СПЧ);
- 3) мікроконтролер (МК), що виконує функції керуючого пристрою (КП) і формувача завдання (ФЗ).

Промисловий перетворювач частоти містить випрямляч і силовий інвертор, що формує з використанням мікропроцесорного керування вихідну ШІМ синусоїдальної напруги з необхідними параметрами, що визначаються сигналами пристрою керування.

Необхідний діапазон регулювання швидкості обертання залежить від діаметрів оброблюваних виробів, їх матеріалів і багатьох інших факторів. В

сучасних автоматизованих верстатах з числовим програмним керуванням привід головного руху виконує ускладнені функції, пов'язані з нарізуванням різьби, обробкою деталей різного діаметра і багато інших.

У приводах подач також потрібні досить великі діапазони зміни швидкості. Часто швидке переміщення робочих органів в зону обробки також здійснюється за допомогою приводу подач, що значно збільшує діапазон зміни швидкості і ускладнює системи управління приводами.

Загальний вигляд сучасного верстату з числовим програмним керуванням подано на рис. 3 [4].



Рисунок 3 – Загальний вигляд верстату з числовим програмним керуванням

Механічна частина приводу може представляти складну кінематичну конструкцію. Зазвичай виділяють наступні елементи [1]:

- 1) ротор електродвигуна, що створює момент (крутний або гальмівний);
- 2) механічну передачу, тобто систему, що визначає характер руху (обертальний, поступальний) і швидкість переміщення (редуктор);
- 3) робочий орган, що перетворює енергію руху в корисну роботу.

У верстатах існують наступні системи електроприводів:

- 1) Транзисторний або тиристорний перетворювач – двигун постійного струму (ДПС);
- 2) Перетворювач частоти – асинхронний двигун.

Система транзисторний перетворювач – двигун постійного струму [6] відрізняється високою швидкодією перетворювача. Стала часу перетворювача при напівпровідниковому широтно-імпульсному модуляторі не перевищує 0,005с. Відповідно можливість створення швидкодіючих електроприводів істотно розширюються. Такі системи досить прості в керуванні. Транзисторний

перетворювач в порівнянні з тиристорним перетворювачем має перевагу, пов'язану з відсутністю режиму переривчастих струмів, який знижує якість регулювання швидкості.

Як правило, тиристорні перетворювачі постійного струму застосовується для приводів більшої потужності, ніж транзисторні. Однак обидві системи з двигуном постійного струму мають високу вартість і необхідність проведення профілактичних робіт в щітково-колекторному вузлі.

Розвиток засобів силової електроніки і цифрової обчислювальної техніки сприяло їх заміні в електроприводах безконтактними двигунами постійного струму [5], що дозволило поліпшити енергетичні показники і підвищити надійність верстатного обладнання. Однак безконтактні двигуни відрізняє порівняно висока вартість внаслідок наявності постійних магнітів.

За принципом дії безколекторний двигун являє собою електричну машину постійного струму з магнітоелектричним індуктором на роторі і обмотками якоря на статорі. Кількість статорних обмоток і число полюсів магнітів ротора вибирається в залежності від необхідних характеристик двигуна. Їх збільшення сприяє поліпшенню плавності ходу і керованості, проте призводить до ускладнення конструкції.

У верстатному електроприводі переважно застосовується структура з трьома якірними обмотками, виконаними у вигляді декількох з'єднаних секцій, і системи збудження від постійних магнітів з декількома парами полюсів.

Найбільш простим, дешевим і надійним електричним двигуном є асинхронний короткозамкнений двигун [6]. Як було встановлено, можливості регулювання, аналогічні можливостям зміни напруги на якорі двигуна постійного струму з незалежним збудженням, в асинхронному електроприводі забезпечуються шляхом зміни частоти напруги і струму обмотки статора. Формування механічних характеристик асинхронного двигуна при частотному керуванні підпорядковане завданню забезпечення необхідної перевантажувальної здатності і жорсткості характеристик у всьому діапазоні регулювання швидкості. Для реалізації можливостей необхідно здійснювати живлення обмотки статора двигуна від керованого перетворювача частоти.

Коефіцієнт корисної дії ПЧ-АД з вентильним перетворювачем трохи нижче, ніж в системі ТП - ДПС, якщо є ланка постійного струму, так як при цьому перетворення напруги і струму здійснюється двічі.

Коефіцієнт потужності в цій системі близький до значення коефіцієнта потужності в системі ТП - ДПС, якщо в якості ланки постійного струму використовується тиристорний перетворювач. Він досить високий тільки в системах з некерованим випрямлячем, однак при цьому відсутня можливість рекуперації енергії в мережу в гальмівних режимах електропривода. Використання режимів рекуперації енергії може істотно знижувати споживання енергії верстатом за цикл роботи, тому при порівнянні варіантів системи цей фактор необхідно враховувати.

Поява нових синхронних і асинхронних двигунів, які забезпечують сталість крутного моменту в широкому діапазоні частот обертання (синхронні змінного струму – робоча частота обертання до 40000 об/хв, асинхронні – до

12000 об/хв), дозволило повністю відмовитися від всіх механічних передач в ланцюзі головного руху, і результатом є розробка мотор-шпинделів (безпосередньо шпиндель верстата є одночасно і ротором електродвигуна). З метою зниження впливу тепловиділення двигуна на шпиндель верстата використовується рідинне охолодження електродвигуна.

В якості таких двигунів можуть бути використані асинхронні електродвигуни 1PH2 фірми «Сіменс» (рис. 4) [2]. Вбудовані двигуни 1PH2 використовуються на верстатах з підвищеними вимогами до якості обробки, точності і плавності ходу.



Рисунок 4 – Фотографія асинхронного вбудованого електродвигуна 1PH2 фірми Siemens

Переваги від використання:

- компактна конструкція, завдяки відсутності механічних компонентів: балансира двигуна, пасової передачі, редукторної коробки і шпиндельного датчика;

- висока питома потужність, завдяки рідинного охолодження;

- висока точність обробки внаслідок точного обертання шпинделя на малих обертах, так як немає впливу поперечних зусиль приводу;

- повний номінальний момент обертання доступний у всьому діапазоні частот обертання;

- підвищена жорсткість шпиндельного приводу, завдяки монтажу компонентів двигуна між головними підшипниками шпинделя;

- низький рівень шуму, завдяки видаленню багатьох раніше використовуваних елементів верстата;

- передача моменту обертання на шпиндель відбувається без зазору і з силовим зачепленням через циліндричну ступінчасту пресову посадку.

Ротор монтується на шпиндель термічної стикуванням.

Пресове з'єднання може бути роз'єднане гідравлічним методом без порушення стикуються поверхонь.

Знаходять застосування і синхронні електродвигуни (рис. 5).



Рисунок 5 – Фотографія вбудованого синхронного електродвигуна моделі 1FE1 фірми Siemens

Переваги використання вбудованого синхронного двигуна аналогічні перевагам застосування асинхронного, проте він має ряд додаткових переваг:

- максимальна частота обертання до 40000 об/хв;
- ротор залишається холодним внаслідок збудження постійними магнітами, як наслідок – значне зменшення втрат потужності в роторі і менше нагрівання підшипників;
- потрібно менший тепловідвід при тій же потужності по порівняно з 1PH2, тобто збільшення ККД.

Структурна схема управління головним приводом з синхронним електродвигуном (рис. 6) передбачає безтрансформаторне живлення і рекуперацію енергії при гальмуванні [7].

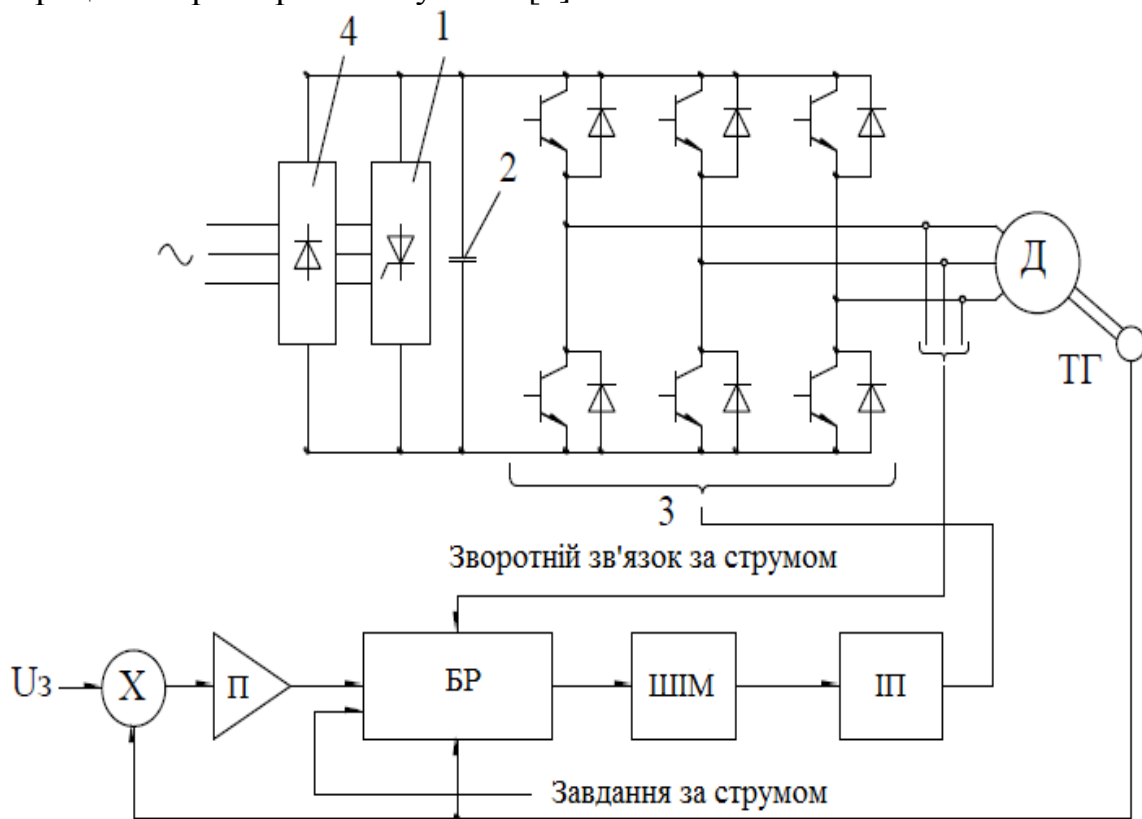


Рисунок 6 – Структурна схема керування головним приводом з двигуном змінного струму



На схемі позначені: Д – синхронний двигун зі збудженням від постійних магнітів; ТГ – тахогенератор; ШІМ – блок широтно-імпульсної модуляції; ПІ – імпульсний підсилювач;  $U_s$  – завдання швидкості; БР – блок регулятора; П – підсилювач; 1 – пристрій рекуперативного гальмування; 2 – конденсатор; 3 – високовольтні транзистори з шунтуючими діодами; 4 – випрямляч.

Даний привод забезпечує постійну потужність на валу двигуна в досить широкому діапазоні частот обертання.

Двигуни, завдяки їх високій частоті обертання, дозволяють використовувати знижувальну передачу з великим відношенням.

Транзисторний блок керування в поєднанні з вентильним блоком рекуперації працює так, що при гальмуванні енергія повертається в мережу живлення змінного струму. Це дозволяє реалізувати високу частоту чергування прискорення і уповільнення і забезпечити високу якість процесу гальмування. Електронний блок регулятора струму дозволяє зменшити вібрації і шум у всьому діапазоні частот обертання, а введення в схему керування головного приводу датчика кута повороту забезпечує орієнтацію шпинделя і зупинку його у фіксованому положенні, що необхідно в верстатах для автоматичної зміни інструменту.

**Висновки.** Для приводу головного руху верстатів підходять як електропривод постійного струму, так і електропривод змінного струму. Беручи до уваги такі фактори, як приблизно однакову вартість перетворювачів постійного і змінного струму та наявність у двигунах постійного струму щіточно-колекторного вузлу більш доцільно застосовувати для головних приводів верстатів без редукторні приводи змінного струму. Найбільш зручними для створення безредукторних електроприводів є синхронні двигуни постійного струму, форма яких може варіюватися від схожої на диск (застосовується у мотор-колесах) до схожої на олівець (застосовується у верстатах).

#### Перелік посилань

1. <http://electricalschool.info/elprivod/1598-jelektroprivody-stankov-s-chpu.html> (дата звернення 12. 11. 2018).
2. <http://www.energyland.info/files/library/c70a04472193bf16f0cafefbed4978ae.pdf> (дата звернення 12. 11. 2018).
3. <http://www.servotechnica.spb.ru/magazine/part2.html> (дата звернення 14. 11. 2018).
4. <http://mash-xxl.info/info/703669/> (дата звернення 14. 11. 2018).
5. [http://www.uss-stanko.com/press/stanki\\_tokarn\\_cnc.htm](http://www.uss-stanko.com/press/stanki_tokarn_cnc.htm) (дата звернення 18. 11. 2018).
6. <https://www.bibliofond.ru/view.aspx?id=550525> (дата звернення 18. 11. 2018).
7. [http://diplom-college.ru/a/kimb/files/23892/26230/operator\\_ChPU.pdf](http://diplom-college.ru/a/kimb/files/23892/26230/operator_ChPU.pdf) (дата звернення 20. 11. 2018).