

ENERGETICS

Удосконалення електропривода подач багатоцільового верстата

**Білюк Іван Сергійович¹, Савченко Олег Валерійович²,
Якименко Андрій Олександрович³, Бессоновський Юрій Сергійович⁴,
Бральчук Владислав Олександрович⁵, Гуляєв Андрій Валентинович⁶,
Дріжаполов Сергій Володимирович⁷**

¹ кандидат технічних наук, доцент;
Національний університет кораблебудування ім. адм. Макарова; Україна

² завідувач лабораторіями кафедри автоматики;
Національний університет кораблебудування ім. адм. Макарова; Україна

³ студент кафедри автоматики;
Національний університет кораблебудування ім. адм. Макарова; Україна

⁴ студент кафедри автоматики;
Національний університет кораблебудування ім. адм. Макарова; Україна

⁵ студент кафедри автоматики;
Національний університет кораблебудування ім. адм. Макарова; Україна

⁶ студент кафедри автоматики;
Національний університет кораблебудування ім. адм. Макарова; Україна

⁷ студент кафедри автоматики;
Національний університет кораблебудування ім. адм. Макарова; Україна

Анотація. Проведено аналіз роботи системи керування електропривода подачі багатоцільового верстата.

Ключові слова: багатоцільовий верстат, електропривод, електродвигун постійного струму, перехідна характеристика, математичне моделювання, показники якості системи керування, нелінійна система.

Сучасні верстати – це верстати, які здатні виконувати обробку деталей з точністю до мікрометрів, важкі верстати для опрацювання великих деталей розмірами в декілька десятків метрів, верстати для фізико-хімічних методів опрацювання, верстати-автомати для контурного програмного опрацювання дуже важких по формі деталей. Багатоцільові верстати призначені для свердління, розсвердлювання, зенкерування, розгортання, нарізання різьблення, розточування, фрезерування та інших видів обробки. Вдосконалення сучасних верстатів повинно

ENERGETICS

забезпечувати підвищення швидкостей робочих та допоміжних рухів при відповідному підвищенні потужності привода головного руху або приводу подачі. Саме це і є основною метою даної роботи. Прогнозується, що підвищення швидкодії приведе до зміни параметрів системи, усунення усталеної помилки керування та ін.

Багатоцільові верстати – це верстати, оснащені ЧПК і пристроєм автоматичної зміни інструментів, призначені для комплексної обробки за одну установку корпусних деталей і деталей типу тіл обертання [2]. Багатоцільові верстати випускають з одним шпинделем і багатопозиційним інструментальним магазином (місткістю 12–120 інструментів), при цьому інструмент замінюється в шпинделі автоматично за програмою (за 5–6 с); з револьверної інструментальної головкою (число інструментів 5–8, при цьому зміна інструменту за 2–3 с) здійснюється поворотом револьверної головки; з револьверною голівкою і інструментальним магазином, що дозволяє в процесі різання замінювати інструмент в непрацюючих шпинделях револьверної головки. Продуктивність багатоцільових верстатів в 4–10 разів вище продуктивності універсальних верстатів завдяки різкому зменшенню частки допоміжного часу в циклі обробки і, отже, збільшення (до 60–75%) частки машинного часу в цьому циклі. Скороченню допоміжного часу сприяють автоматична заміна інструменту; висока швидкість (до 20 м/хв) швидких переміщень (на допоміжних ходах) виконавчих органів; настройка інструменту на розмір поза верстата; виключення контрольних операцій та ін. В багатоцільових верстатах використовують змінні інструментальні магазини із заздалегідь налаштованими на розмір інструментами, що скорочує час на переналагодження верстата. На даних верстатах можна здійснювати свердління, розсвердлювання, зенкерування, розгортання, нарізання різьблення, розточування, фрезерування та інші види обробки. На багатоцільових верстатах здійснюють, як правило, остаточну обробку деталей.

Верстат IP500MФ4 (рис. 1) призначений для свердління, зенкерування, розгортання, розточування отворів в корпусних деталях, фрезерування по контуру, нарізування різьблень мітчиками в умовах серійного виробництва. Крім автоматичної зміни інструментів верстат має автоматичну зміну столів-супутників. Ємність магазину – 30 інструментів [2].

Система ЧПК – комбінована з лінійною і круговою інтерполяцією. Верстат укомплектований різними пристроями ЧПК і від цього залежить дискретність завдання переміщень, але в

ENERGETICS

середньому вона становить 0,002 мм. Число керованих координат – 8, з них одночасно 3/2. Є 79 коректорів (ця цифра змінюється в різних типах пристроїв ЧПК). Введення програми з перфострічки (код. ISO, EUA) або від ЕОМ; зчитування з перфострічки – фотоелектричне, відпрацьовуються автоматичні цикли по ISO. Деякі з пристроїв ЧПК, що працюють з верстатом, мають діагностику несправностей механічних, електричних, електронних і гідравлічних систем верстата.



Рисунок 1

Для привода подач використано двигун ПБСТ, який призначений для роботи з діапазоном регулювання від 1:2000 (для верстатобудування) в широко регульованих електроприводах. Вони мають 5 габаритів – з другого по шостий, і виконуються як із вбудованим тахогенератором (ПБСТ), так і без нього (ПБС) [3].

Для системи керування приводу подач було обрано електропривод типу ЕТУ-3601, який призначений для створення на основі високомоментних двигунів постійного струму швидкодіючих, широкорегулюючих (з діапазоном регулювання до 1÷10000) приводів подач металорізальних верстатів, у тому числі верстатів з числовим програмним керуванням (ЧПК). Функціональна схема привода наведена на рис. 2.

ENERGETICS

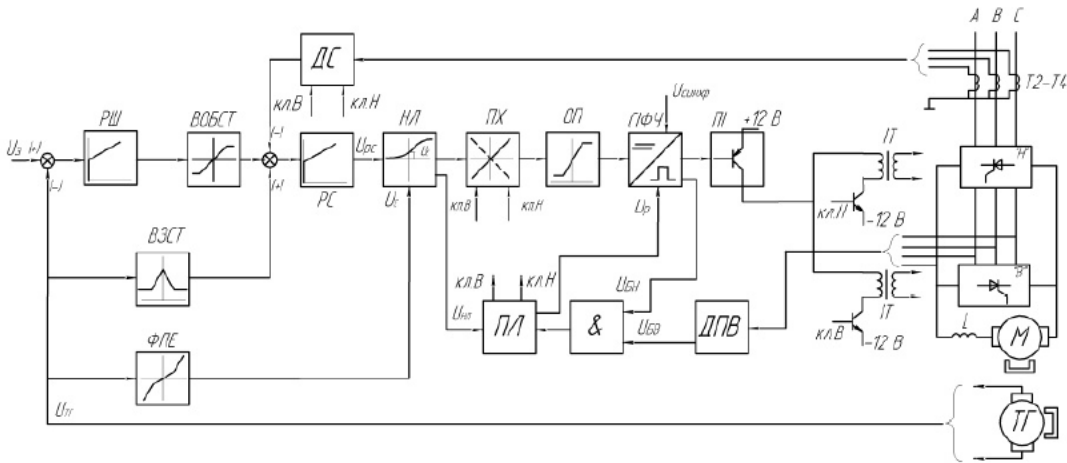


Рисунок 2

Тиристорні електропривода ЕТУ-3601 призначені для створення реверсивних систем керування електродвигунами постійного струму механізмів подачі металорізучих верстатів у тому числі і верстатів із ЧПК. Саме тому привод широко розповсюджений. Забезпечення необхідних статичних і динамічних характеристик приводу подач, забезпечення оптимального закону обмеження струму, щонайкраще реалізується в двоконтурній системі підпорядкованого регулювання параметрів із П- або ПІ-регуляторами струму і швидкості. Для підвищення продуктивності верстатів переміщення виконавчих органів в зону обробки здійснюється на швидких ходах тими ж електроприводами подачі, що короткочасно працюють на частотах обертання вище номінальних, за рахунок подачі на якорь двигуна напруги, вище номінальної. Збільшення швидкості швидких переміщень до 10 м/хв. і зниження швидкості установочних переміщень для верстатів із ЧПК потребує значного діапазону регулювання (до 10000:1).

В системі використано силовий трансформатор серії ТСП – 16/0,7 – УХЛ4 [5], який має номінальну потужність 7.3 кВА. Після розрахунку параметрів системи керування, були отримані данні, які зведено в таблиці 1.

Таблица 1

Параметри системи керування										
T_{pc}	K_{pc}	T_e	T_μ	$K_{рш}$	$K_{рш1}$	$T_{рш1}$	$K_{ззш}$	$T_{\mu ш}$	$T_{ТП}$	$k_{ТП}$
0,0066	0.41	0.0027	0.004	37.7	38	0.00095	0.025	0.009	0.0033	43.18

Побудуємо модель системи керування електроприводом верстату у модулі Simulink програмного пакету Matlab на основі

ENERGETICS

розрахованої математичної моделі. Структурна схема, яка включає до свого складу П – регулятор, ПІ –регулятор та фільтр показана на рис. 3.

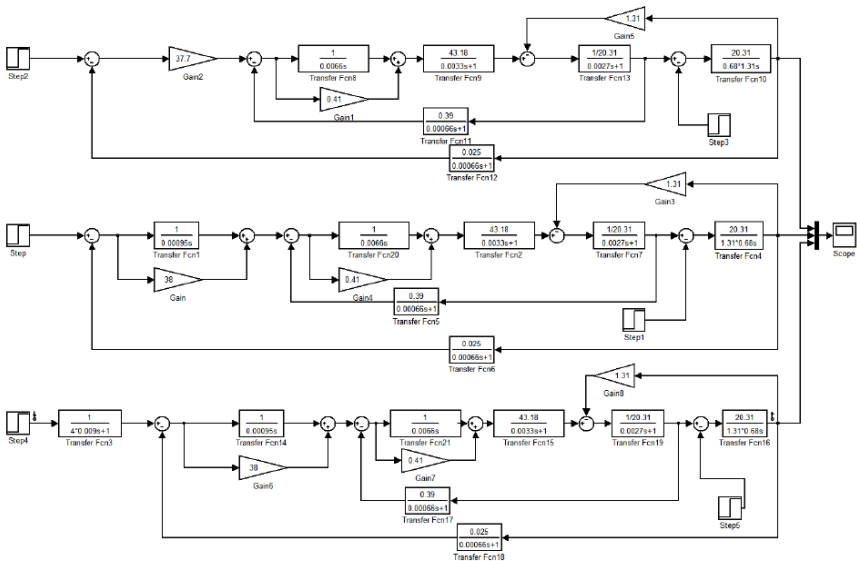


Рисунок 3

Також, використовуючи модель системи керування, зображену на рис.3 отримаємо перехідні характеристики за кутовою швидкістю для всіх типів регуляторів. Результат представлений на рис. 4, де 1 – система з П-регулятором швидкості, 2 – система з ПІ-регулятором швидкості, 3 – система з ПІ-регулятором швидкості з фільтром на вході

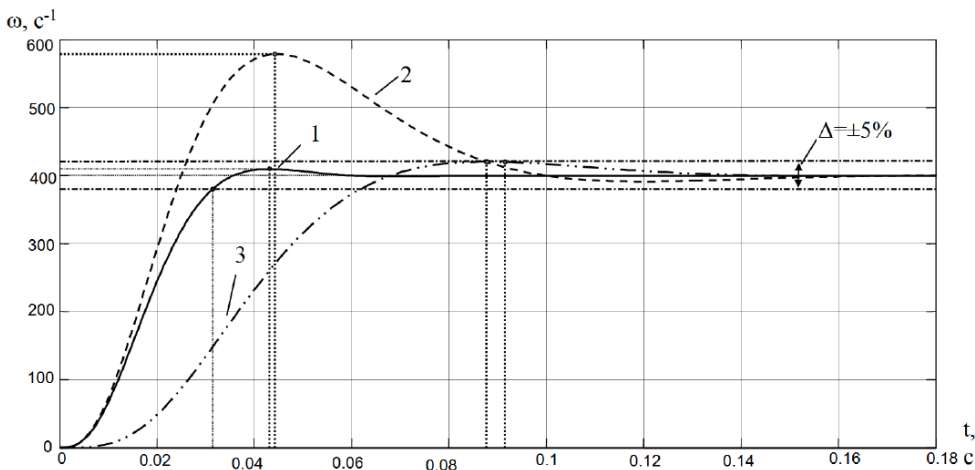


Рисунок 4

ENERGETICS

Таким чином система з П-регулятором швидкості статичної помилки не має, час регулювання $t_p = 0,0314$ с, перерегулювання $\sigma = 2,42\%$. Система з ПІ-регулятором швидкості статичної помилки не має, час регулювання $t_p = 0,0879$ с, перерегулювання $\sigma = 44,7\%$. Система з ПІ-регулятором і фільтром статичної помилки не має, час регулювання $t_p = 0,0915$ с, перерегулювання $\sigma = 5,11\%$.

Також необхідно перевірити всі системи керування на стрибок навантаження. Для цього за допомогою блоків Step3, Step1, Step5 задамо навантаження розміром 35% від номінального в момент часу 0,25с. Результат перевірки представлено на рис. 5, де 1 – система з П-регулятором швидкості, 2 – система з ПІ-регулятором швидкості, 3 – система з ПІ-регулятором швидкості із фільтром на вході.

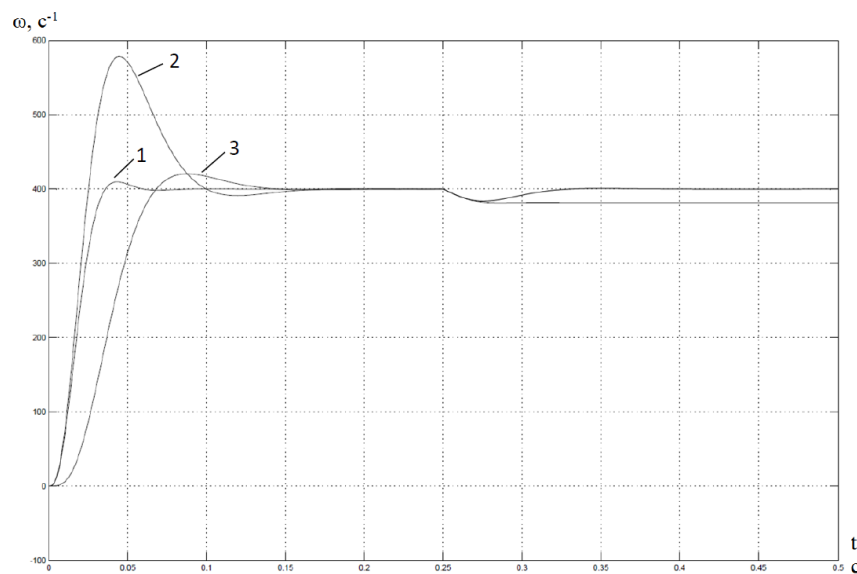


Рисунок 5

Результати перевірки показали, що після навантаження система з П-регулятором швидкості отримує статичну помилку [3, 4]. Не зважаючи на дуже високі показники якості системи з П-регулятором швидкості статична помилка не дає змоги використовувати цю систему. Система з ПІ-регулятором має дуже високе перерегулювання 44.7%. Тому найкращою системою керування виявляється система керування із ПІ-регулятором із фільтром на вході. Її остаточні показники якості:

- запас стійкості за амплітудою $\Delta L = 7,3$ дБ,
- запас стійкості за фазою $\Delta \varphi = 22,7$ град,
- час перехідного процесу $t_p = 0,0915$ с,

ENERGETICS

– перерегулювання $\sigma=5,11\%$.

Висновок

Метою роботи був аналіз швидкодії електромеханічної системи горизонтально-розточувального верстата та шляхи її підвищення.

Для аналізу був обраний багатоцільовий верстат IP500ПМФ4. Знайдені його технічні параметри та склад електрообладнання і функціональна схема роботи електроприводу. Побудована математична модель роботи системи керування та обчислені її параметри. За отриманими даними побудували структурну схему підпорядкованого регулювання та промодельювали її для трьох варіантів виконання системи керування електроприводом: з П-регулятором; ПІ-регулятором; та ПІ-регулятором із фільтром на вході. Отримали статичні та динамічні характеристики системи. Результати дослідження показують:

– П-регулятор не усуває усталену помилку керування, тому не може бути ефективним рішенням.

– ПІ-регулятор усуває усталену помилку керування, але має занадто великий показник перерегулювання $\delta = 43,7\%$.

– ПІ-регулятор із фільтром на вході системи також усуває усталену помилку керування, але має найкращі якісні показники керування: час перехідного процесу $t_p = 0,0915$ с та перерегулювання $\delta = 5,11\%$.

Тому робимо висновок, що оптимальний вибір – ПІ-регулятор із фільтром на вході.

References:

- [1] Васильєв О.Г. «Методичні вказівки до виконання курсового проекту з курсу «Системи управління електроприводами»»/ О.Г. Васильєв, А.М. Фоменко, А.С. Віштакалюк, Миколаїв, 2003.
- [2] ІВОС. (б. р.). Багатоцільовий верстат IP500МФ4: керівництво з експлуатації (500ПМФ4.000.001 РЕ2).
- [3] Клименко, В. В., & Пилипчук, М. І. (2013). Металорізальні верстати. Центр учбової літератури.
- [4] Білюк, І., Савченко, О., Гаврилов, С., Майборода, О., Чубчик, М., & Чубчик, С. (2022). Проектування системи керування 3 фазного безколекторного двигуна постійного струму. *Scientific Collection «InterConf+»*, (28), 292–301.
- [5] Biliuk, I., Savchenko, O., Havrylov, S., Shareyko, D., Maiboroda, O., & Fomenko, A. (2022). Automation of Drilling Rig Rotor Electric Drive. *Grail of Science*, (16), 175–182.