

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ЕКОНОМІКИ І ТЕХНОЛОГІЙ
НАВЧАЛЬНО-НАУКОВИЙ ТЕХНОЛОГІЧНИЙ ІНСТИТУТ

ННІ/факультет	<i>Навчально-науковий технологічний інститут</i>
Кафедра	<i>Електричної інженерії та автоматизації</i>
Спеціальність	<i>141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка</i>
Форма навчання	<i>денна</i>

ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА

до випускної кваліфікаційної роботи

бакалавра

(освітньо-кваліфікаційний рівень)

Ганцов Богдан Дмитрович

(прізвище, ім'я, по батькові здобувача)

на тему *«Електромеханічне обладнання механічного виробництва.
Електропривод головного руху фрезерного станка з числовим програмним
керуванням»*

(повна назва теми)

за матеріалами **ПАТ "АМКР"**

(повна назва бази дослідження)

науковий керівник **доцент, к.п.н.**

(наук. ступінь, вчене звання)

Модло Є.О.

(підпис)

(прізвище, ініціали)

Робота допущена до захисту в ЕК

Протокол засідання кафедри

від _____ 2026__р. № _____

Завідувач кафедри

(підпис)

Є.О. Модло

Наук. ступінь, вчене звання

Ініціали, прізвище

ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ЕКОНОМІКИ І ТЕХНОЛОГІЙ
НАВЧАЛЬНО-НАУКОВИЙ ТЕХНОЛОГІЧНИЙ ІНСТИТУТ

Кафедра Електричної інженерії і автоматизації

Рівень вищої освіти бакалавр

Спеціальність 141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка
(шифр і назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри Електричної інженерії і автоматизації

В.о. зав каф.

Модло Є.О.

(підпис)

(посада, вчене звання,
прізвище ініціали)

« »

2026__ року

ЗАВДАННЯ

НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ БАКАЛАВРА СТУДЕНТУ(КИ)

Ганцов Богдан Дмитрович

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема кваліфікаційної роботи бакалавра Розробка електропривода
головного руху фрезерного станка з числовим програмним керуванням

керівник кваліфікаційної роботи , к.т.н., доцент

(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом закладу вищої освіти від «06»04.2026 р. № 238-ст

2. Строк подання студентом кваліфікаційної роботи до кафедри

3. Вихідні дані до кваліфікаційної роботи бакалавра: статті,

патенти, промислові дослідження

Об'єкт розробки і дослідження – електропривод головного руху фрезерного верстату з числовим програмним управлінням.

Характер навантаження – робота в тривалому режимі, близьким до безперервного режиму S1

Тип системи електроприводу: режим роботи електропривода - повторно-короткочасний S1, рід струму – постійний, тиристорний перетворювач – реверсивний, напруга змінного струму 10 кВт та 380 В, відхилення напруги мережі +10 %, -15 %, частоти мережі 50 Гц±2 %, Зусилля різання 3000Н, швидкість різання 78м/хв

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити):

4.1 Аналітична частина;

4.2 Основна частина.

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень)

1 Кінематична схема вертикально-фрезерного верстата з ЧПУ

2 Функціональна схема електроприводу головного руху

3 Принципова схема системи управління електроприводом

4 Структурна схема

5 Результати моделювання

6. Консультанти розділів кваліфікаційної роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
1 Аналітична частина	Модло Є.О., доцент		
2 Основна частина	Модло Є.О., доцент		

7. Дата видачі завдання «__20__» ____04_____ 2026р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів кваліфікаційної роботи	Примітка
1.	Аналітична частина	30.04.2026	
2.	Основна частина	05.05.2026	
3.	Оформлення пояснювальної записки	11.05.2026	
4.	Виконання графічної частини	26.05.2026	
5.	Подання роботи до кафедри	01.06.2026	
6.	Захист роботи в ЕК	19.06.2026	

Студент

(підпис)

Ганцов Б.Д.

(прізвище та ініціали)

Керівник кваліфікаційної роботи

(підпис)

Модло Є.О.

(прізвище та ініціали)

РЕФЕРАТ

Ганцов Б. Д. «Розробка електропривода головного руху фрезерного станка з числовим програмним керуванням» – Бакалаврська робота. – Кривий Ріг, 2026. 77 с., 25 рис., 1 табл., 14 джерел.

Об'єкт досліджень – фрезерний верстат з числовим програмним управлінням.

Предмет дослідження – електропривод головного руху фрезерного верстату з числовим програмним управлінням.

Метою роботи є розробка електроприводу головного руху фрезерного верстата з числовим програмним управлінням.

У випускній роботі представлено опис фрезерного верстата з ЧПУ.

В окремому розділі розглянуто загальні вимоги до електроприводів та вимоги до електроприводів головного руху зокрема.

У ході виконання випускної роботи було проведено огляд існуючих систем електроприводу, дано обґрунтування вибору системи електроприводу, а також викладено розробку та опис принципової схеми системи управління електроприводом.

У роботі дано математичне обґрунтування розробленим системам, складено їх структурні та принципові схеми, здійснено розрахунок параметрів.

Досліджено розроблений ЕП методом імітаційного моделювання. Наведено аналіз отриманих перехідних процесів.

ЕЛЕКТРОПРИВОД, ВЕРСТАТ З ЧИСЛОВИМ ПРОГРАМНИМ
УПРАВЛІННЯМ, ЕЛЕКТРОДВИГУН, ТИРИСТОРНИЙ ПЕРЕТВОРЮВАЧ.

ЗМІСТ

ВСТУП	8
1 АНАЛІТИЧНА ЧАСТИНА	10
1.1 Верстати з числовим програмним управлінням	10
1.2 Характеристика об'єкта	16
1.3 Опис пристрою ЧПУ 2С42	24
1.4 Електропривод головного руху фрезерного верстата з ЧПК	29
1.5 Вимоги до електроприводу станків головного руху	31
1.5.1 Загальні вимоги до електроприводів	31
1.5.2 Вимоги до електроприводу головного руху	34
2 ОСНОВНА ЧАСТИНА	38
2.1 Розрахунок потужності і вибір двигуна	38
2.2 Огляд систем електроприводу	40
2.3 Обґрунтування та вибір системи електроприводу	45
2.4 Розробка та опис принципіальної схеми системи управління електроприводом	46
2.4.1 Опис роботи електроприводу	46
2.4.2 Силова схема	48
2.4.3 Регулятор швидкості	50
2.4.4 Регулятор струму	51
2.5 Синтез аналогової системи підлеглого двухзонного регулювання швидкості	52
2.5.1 Вибір датчиків швидкості та струму	52
2.5.2 Визначення параметрів контуру регулювання швидкості при номінальному потоці	56
2.6 Визначення параметрів контуру регулювання збудження при номінальній швидкості	58
2.7 Розрахунок динамічних режимів у пакеті MATLAB	61

2.8 Заходи із охорони праці та безпеки при експлуатації фрезерного станка з числовим програмним керуванням	68
2.8.1 Аналіз небезпечних і шкідливих виробничих чинників	68
2.8.2 Засоби зниження дії небезпечних і шкідливих виробничих чинників	69
2.8.3 Інженерно-технічні заходи захисту від ураження електричним струмом	70
2.8.4 Пожежна безпека	71
ВИСНОВКИ	74
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	75
ДОДАТКИ	77

ВСТУП

Одним з напрямків автоматизації обробки металів у виробництві, забезпечення різкого підвищення продуктивності праці, зниження вартості та підвищення якості продукції є впровадження верстатів з числовим програмним управлінням (ЧПУ). Основними перевагами верстатів з ЧПУ є: обробка деталей на одному верстаті без переналагодження та переустановки, вивільнення значної кількості універсальних верстатів і кваліфікованих верстатників, скорочення термінів підготовки виробництва, скорочення потреби у спеціальному оснащенні та інструменті, усунення розмітки, підвищення якості. Широке застосування верстатів з ЧПУ викликає значні зміни у загальній організації виробництва завдяки можливості багатOVERSTATного обслуговування, швидкої переналагодження на виробництво нових виробів, інтенсифікації та якісного поліпшення виробничого процесу та скорочення циклу обробки виробів, впровадження розрахунково-технічних норм та зменшення частки важкої ручної праці. Сучасні верстати з ЧПУ (третього покоління), так звані багатоцільові верстати, характеризуються високим рівнем автоматизації, комплексністю обробки, збільшеним (до 5-6) числом керованих за програмою координат. Застосування розточувальних верстатів з ЧПУ особливо вигідно, оскільки розточування корпусних деталей пов'язане з великою кількістю переходів і вимагає застосування спеціальних пристроїв для встановлення та вивірювання деталі при її обробці в різних положеннях. Якщо на звичайних верстатах частка машинного часу становить 25-30 % фонду робочого часу, то для розточувальних верстатів з ЧПК питома вага машинного часу становить 60 %. При обробці кількох отворів на горизонтально-розточувальних або координатно-розточувальних верстатах (відстань між цими отворами повинна витримуватися з дуже високою точністю, що вимірюється мікронами) перестановка інструментів або вироби з одного положення в інше вимагає великої уваги, часу і високої кваліфікації робочого або спеціальних пристроїв, кондукторів. Система ЧПУ звільняє робітника від цих трудомістких операцій, виконуючи їх з набагато

більшими продуктивністю та точністю. При заміні оброблюваної деталі на нову достатньо замінити програму, що управляє. У верстатах з програмним керуванням застосовуються кулькові гвинтові пари з попереднім натягом, роликові напрямні, гідростатичні напрямні (коли мастило подається на напрямні під тиском), застосовуються заходи для підвищення жорсткості і точності обробки і складання основних вузлів і деталей, а також зменшення температурних деформацій вузлів.

1 АНАЛІТИЧНА ЧАСТИНА

1.1 Верстати з числовим програмним управлінням

Верстат з ЧПУ дозволяє здійснювати взаємне переміщення деталі та інструменту по команді без застосування матеріального аналога деталі (кулачків, шаблонів, копіїв), що оброблюється. У сучасних моделях верстатів із ЧПУ складання керуючої програми здійснюється оператором за допомогою клавіатури мікро-ЕОМ, а редагування програми – у режимі діалогу з графічним дисплеєм. Зважаючи на те, що програма складається заздалегідь, то завдяки швидкій зміні програмоносія верстат з ЧПУ переналагоджується в короткий час на обробку іншої деталі.

Основні переваги верстатів з ЧПУ наступні: простота модифікації технологічного процесу шляхом внесення коригувальних команд на програмоносій або запам'ятовуючий пристрій мікро-ЕОМ; оптимальні режими обробки з використанням максимальних можливостей верстата; виключення попередніх ручних розмічувальних та пригінних робіт; підвищення точності та ідентичності деталей; підвищення продуктивності праці за рахунок скорочення допоміжного та машинного часу обробки; скорочення числа перестановок деталей при обробці та термінів підготовки виробництва.

Функції верстатника спрощуються і зводяться до встановлення та знімання деталі, контролю за циклом обробки, зміни інструменту. Завдяки автоматичному позиціонуванню усуваються помилки оператора при встановленні координат. Коефіцієнт використання верстатів з ЧПУ вище, ніж універсальних, завдяки скороченню часу налагодження, зміни інструментів, контролю та підвищення відсотка машинного часу в циклі роботи верстата (до 75 %).

Системи програмного управління поділяються на циклові та числові. Конструкції металорізальних верстатів із цикловим програмним керуванням відрізняються різноманіттям пристроїв, що задають програму циклу обробки (штекерні та клавішні панелі, панелі з перемикачами, барабани з перфокартами,

перфострічками тощо). До верстатів зі штекерною системою програмного управління відносяться горизонтально-фрезерні верстати моделей 6A82Г, 6A12П, 6B13П та ін.

У верстатах моделей 6A82Г і 6A12П програмується переміщення столу в трьох напрямках, включення механізму вибору зазору в гвинтовій парі поздовжнього ходу столу, автоматичне опускання консолі на 1,0 мм під час прискореного ходу столу і зворотній подачі в попереднє положення. На цих верстатах можна проводити обробку за програмою, що включає до 24 переходів. Налаштування верстата для роботи за програмою складається з двох операцій: розміщення штекерів на пульті згідно з заданою програмою і розміщення кулачків у Т-подібних пазах столу.

Носієм програми в верстатах з цикловим програмним управлінням є барабан, що обертається, з рядами отворів, в які вставляються штифти. Розстановкою штифтів задаються всі необхідні команди, і навіть величини переміщень у десятковій системі числення. Виконання та точність переміщень здійснюються за допомогою обчислювальних пристроїв із застосуванням індуктивних датчиків. На відміну від "жорстких" програмоносіїв (перфорована стрічка або карта, магнітна стрічка, фотострічка та ін.) даний спосіб завдання програми дозволяє швидко підготувати нову програму при зміні об'єкта виробництва. Крім того, легко відкоригувати програму, не перериваючи обробки.

Верстат моделі 6530Ц призначений для напівавтоматичної обробки деталей. Система циклового програмного управління дозволяє відповідно до програми проводити обробку площин. за трьома координатами. Можлива також багатопрхідна обробка заготовок.

Числові системи програмного управління (ЧПУ), що застосовуються на фрезерних верстатах, бувають двох видів: замкнуті з приводом безперервного переміщення робочих органів та безперервним контролем датчиками зворотного зв'язку та розімкнені, в яких переміщення робочих органів точно дозовано кроковими двигунами, без застосування датчиків зворотного зв'язку.

До верстатів з числовим програмним управлінням відносяться верстати моделей 6М11ФЗ, 6Р11ФЗ, що випускаються на базі вертикально-фрезерного консольного, верстата моделі 6М11, верстат 6М13ГЕ-2, 6М13ГЕ-2 (6Н13ФЗм) адаптивним контролем моделі 6Р13ФЗ та вертикально-фрезерний консольний верстат з револьверною головкою та числовим програмним управлінням моделі 6Р13ФЗ, вертикально-фрезерний верстат з хрестовим столом та числовим програмним управлінням моделі ЛФ66ФЗ Львівського заводу фрезерних верстатів; вертикально-фрезерний верстат з числовим програмним управлінням моделі МА655 ЕНІМС та заводу «Станкоконструкція»; вертикально-фрезерний верстат з хрестовим столом та числовим програмним управлінням моделі 654ФЗ.

Верстат ФП-4, аналогічний за технічними характеристиками верстата 6Н3ФЗ, оснащений круглим столом та призначений для обробки деталей кільцевого типу. Багатокоординатним верстатом є ФІ-11 (5 координат), який призначений для обробки великогабаритних деталей просторово-складних фасонних поверхонь подвійної кривизни.

Фрезерні верстати призначені для виконання широкого спектра обробних операцій, зокрема різання, свердління та точного позиціонування отворів у деталях різної складності. Дані верстати забезпечують високу точність обробки та застосовуються в сучасному машинобудуванні.

Як вихідні заготовки можуть використовуватись матеріали різного типу: деревина; метали та їх сплави; керамічні матеріали; полімери; природний камінь.

Залежно від конструктивного виконання фрезерні верстати поділяються на такі основні групи: Консольні верстати: широкоуніверсальні; горизонтальні; вертикальні. Безконсольні верстати: горизонтальні; вертикальні.



Рис.1.1. Вертикально-фрезерний консольний верстат

Примітка. Джерело: Розроблено із використанням [1]



Рис.1.2. Вертикально-фрезерний консольний верстат

Примітка. Джерело: Розроблено із використанням [1]

Консольні фрезерні верстати є найбільш поширеними в промисловості. Їх характерною особливістю є наявність консолі - вузла, на якому закріплюється робочий стіл із заготовкою. Переміщення консолі здійснюється по напрямних станини, що забезпечує подачу в різних координатах. При цьому шпиндель у більшості випадків виконує лише обертальний рух без додаткових переміщень.

У безконсольних верстатах, зокрема з числовим програмним керуванням (ЧПК), конструкція передбачає обмежене переміщення столу (як правило, у поздовжньому та поперечному напрямках), тоді як шпиндель має розширені

функціональні можливості, включаючи вертикальне переміщення. Така компоновка дозволяє підвищити жорсткість системи та точність обробки. Числове програмне керування (ЧПК) являє собою систему автоматизованого управління технологічним процесом, при якій послідовність операцій задається у вигляді програми, записаної на відповідному носії або в пам'яті системи керування.

У фрезерних верстатах із ЧПК застосовуються такі типи програм:

Позиційне керування - передбачає задання лише кінцевих координат переміщення інструмента; використовується переважно у свердлильних і розточувальних операціях.

Контурне керування - забезпечує рух інструмента за заданою траєкторією, що є необхідним при обробці складних поверхонь.

Комбіноване керування - поєднує можливості позиційного та контурного режимів; широко застосовується в універсальних обробних центрах.

Багатоконтурні системи - найскладніші системи керування, що забезпечують одночасний контроль декількох координат і технологічних параметрів верстата.

Залежно від виду оброблюваного матеріалу фрезерні верстати з ЧПК класифікуються на: верстати для обробки металів; верстати для обробки деревини; фрезерно-гравірувальні верстати універсального призначення.

Сучасні фрезерні верстати з ЧПК є високотехнологічними системами, що забезпечують автоматизовану обробку деталей із високою точністю та повторюваністю. Вони оснащуються багатовісними системами керування, автоматичною зміною інструменту та високошвидкісними шпинделями, що дозволяє значно підвищити продуктивність виробництва.

1.2 Характеристика об'єкта

Об'єктом бакалаврської роботи є вертикальний консольно-фрезерний верстат. Схема вертикально-фрезерний верстат з ЧПУ мод. 6P13ФЗ наведена на

рис.1.3-1.4. На рис.1.5 наведено розташування органів керування верстатом з ЧПУ моделі 6P13Ф3. Консольний вертикально-фрезерний верстат з ЧПУ мод. 6P13Ф3 (рис. 1.3), виконаний на базі верстата моделі 6P13, призначений для обробки кінцевими та радіусними фрезами плоских або просторових деталей складного профілю (штампів, прес-форм, кулачків тощо) з чорних, кольорових металів та інших матеріалів у дрібносерійному та серійному. Об'ємна обробка досягається поєднанням переміщення столу верстата з деталлю в горизонтальній площині по двох координатах і вертикального переміщення шпиндельної головки з різальним інструментом.

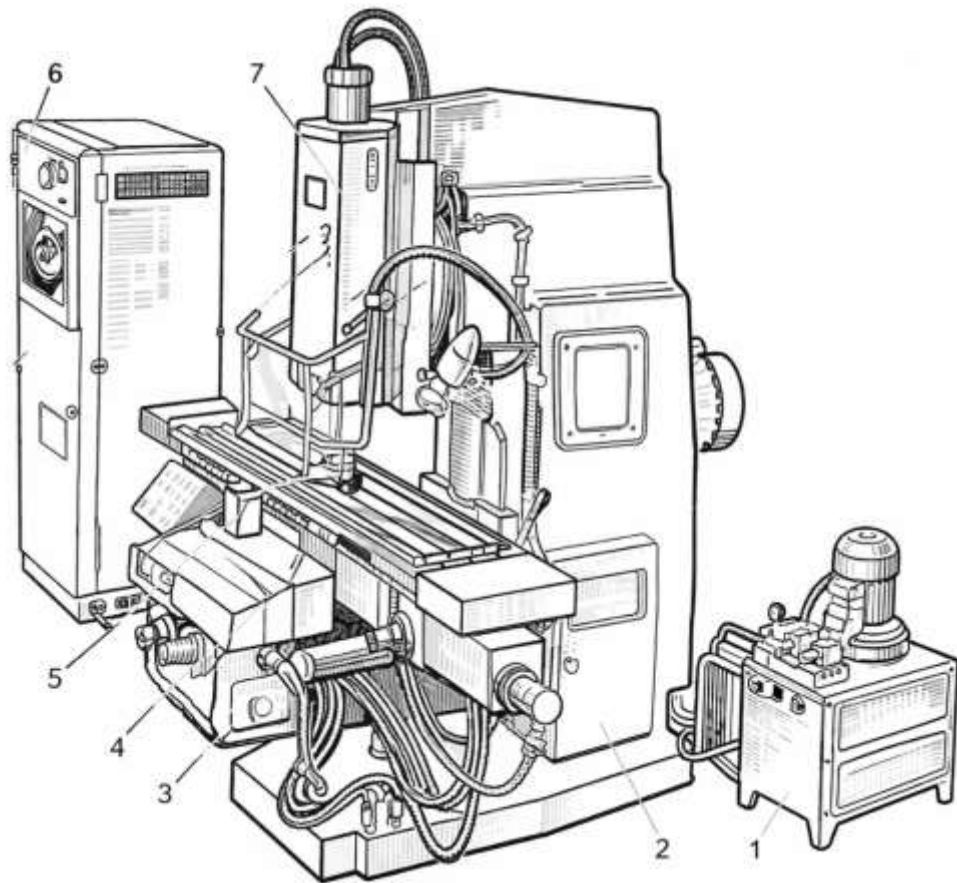
Основні рухи у верстаті. Головний рух - обертання шпинделя; рух подачі - переміщення санок у поперечному, столу в поздовжньому та шпиндельної головки у вертикальному напрямках; допоміжні рухи - настановні переміщення вузлів верстата. Кінематична схема верстата зображена на рис. 1.6.

Оброблювана заготовка закріплюється на робочому столі верстата, після чого різальний інструмент (фреза), який приводиться в рух електроприводом головного руху, здійснює обертання. У результаті цього відбувається зняття шару матеріалу та формування необхідної геометрії деталі.

Механізм головного руху верстата представляє звичайну коробку швидкостей, в якій 18 різних частот обертань шпинделя (в діапазоні 40-2000 об / хв) виходять за рахунок перемикання двох потрійних ($z = 19-22-16$ і $z = 37-46-26$) і одного подвійного ($z = 82$). Джерелом потужності служить електродвигун М1 ($N = 7,5$ кВт, $n = 1450$ об / хв).

Механізм подачі.

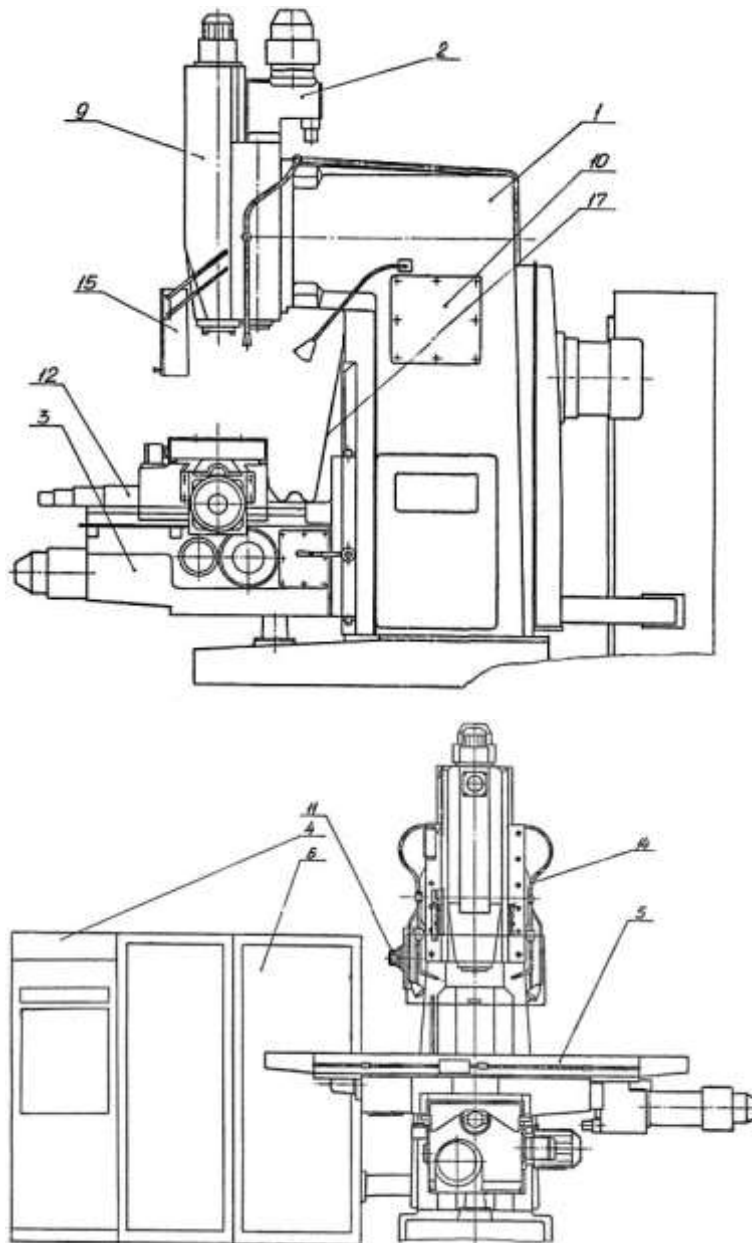
Заготівля, що встановлюється на столі верстата, при обробці переміщається у горизонтальній площині у двох взаємно перпендикулярних напрямках - поздовжньому та поперечному.



1-гідростанція; 2-станина; 3-консоль (робочий стіл подовжній хід); 4-поперечні салазки (поперечний хід) ; 5- консоль (вертикальний хід); 6-пристрій програмного управління; 7-шпиндельна головка (вертикальний хід)

Рис. 1.3. Вертикально-фрезерний верстат з ЧПУ мод. 6P13ФЗ

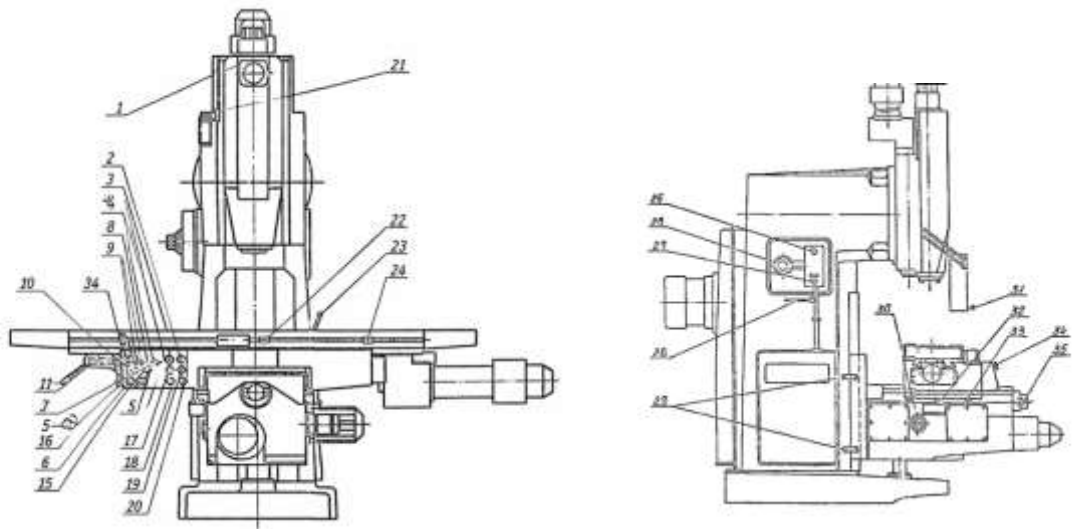
Примітка. Джерело: Розроблено із використанням [2]



1 - станіна (6P13Ф3-37.10); 2 - редуктор (6P13Ф3-37.25); 3 - консоль (6P13Ф3-37.61); 4 - короб електромонтажний (6P13Ф3-37.068); 5 - стіл та салазки (6P13Ф3-37.70); 6 - електроустаткування (6P13Ф3-37.80); 9 - головка шпиндельна (6P13Ф3-01.38); 10 - коробка швидкостей (6P13Ф3-01.32); 11 - коробка перемикачів швидкостей (6P13Ф3.50); 12 - захист напрямних (6P13Ф3.74); 14. - охолодження (6P13Ф3.90); 15 - огороження (6P13Ф3.91); 17 - захисний пристрій (6M13П.91)

Рис. 1.4. Вертикально-фрезерний верстат з ЧПУ мод. 6P13Ф3

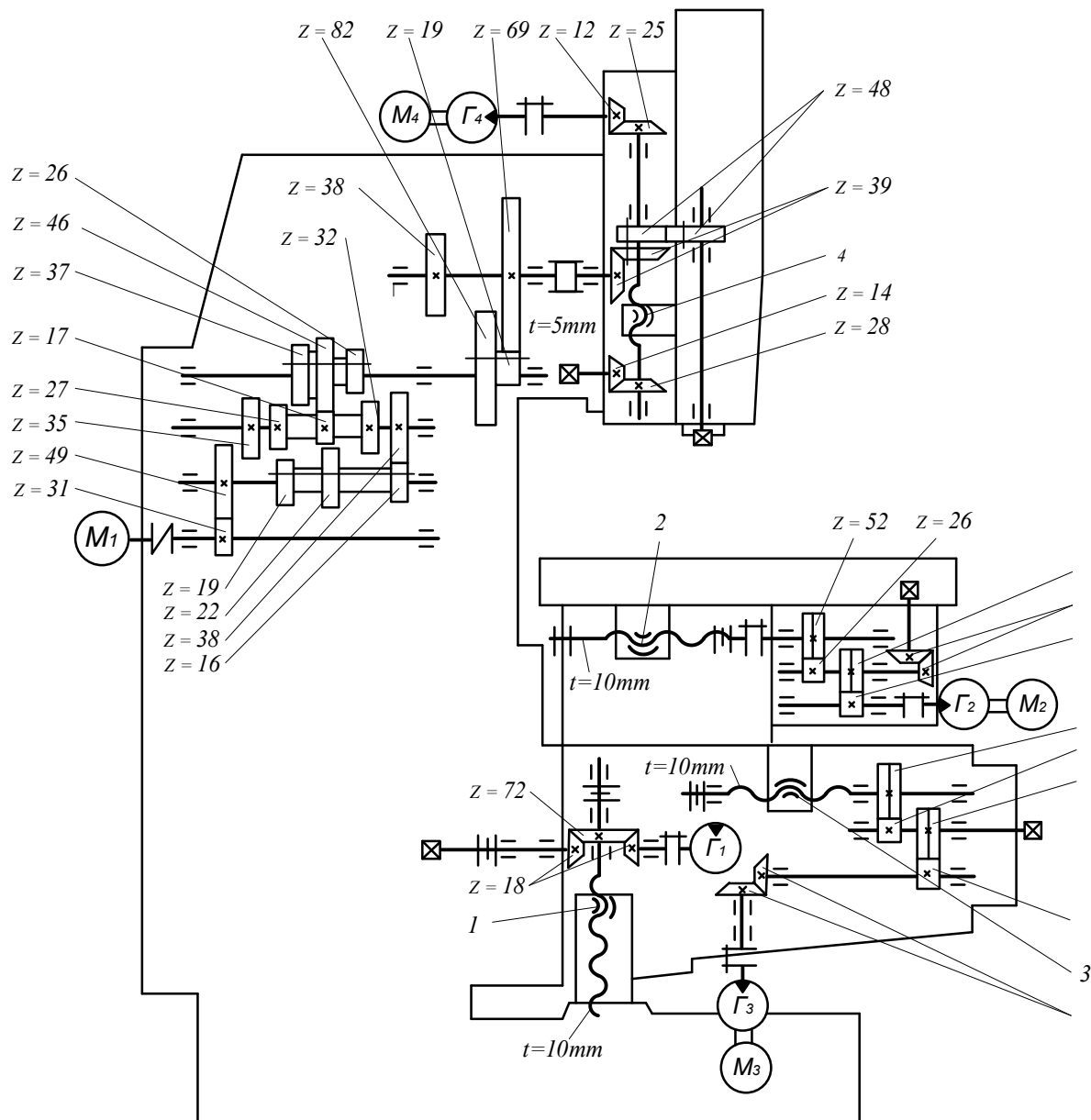
Примітка. Джерело: Розроблено із використанням [2]



1 - кулачки обмеження ходу повзуна; 2 - кнопка "Віджимання інструменту";
 3 - кнопка "Затискач інструменту"; 4 - тумблер увімкнення насоса охолодження;
 5 - тумблер включення координати Z; 6 - тумблер включення координати Y; 7 -
 тумблер включення координат X; 8 - тумблер технологічної зупинки; 9 -тумблер
 ручного та автоматичного режиму робіт; 10 - перемикач вибору величини подачі;
 11 - ручне поздовжнє переміщення столу; 12 - тумблер включення подач; 13 -
 тумблер установки координат у нульове положення; 14 - кнопка "Пуск
 програми"; 15 - кнопка крокового переміщення вузлів; 16 - кнопка "Пуск
 шпинделя"; 17 - кнопка "Консоль вгору"; 18 - кнопка "Стоп шпиндель"; 19 –
 кнопка "Консоль вниз"; 20 - кулачки установки в нуль координати Z; 21 -
 кулачки установки на нуль координати X; 22 - рукоятка затискача консолі на
 станині; 23 - кулачки обмеження поздовжнього ходу; 24 - кнопка "Всі стоп"; 25 -
 показчик швидкостей; 26 - кнопка "Поштовх шпинделя"; 27 – рукоятка
 перемикачів швидкостей; 28 - кулачки обмеження ходу консолі; 29 - ручне
 вертикальне переміщення консолі; 30 - рукоятка підйому та опускання огорожі;
 31 - кулачки установки в нуль координати Y; 32 - кулачки обмеження
 поперечного ходу столу; 33 - кнопка "Всі стоп"; 34 - ручне поперечне
 переміщення столу

Рис. 1.5. Розташування органів керування верстатом з ЧПУ моделі 6P13Ф3

Примітка. Джерело: Розроблено із використанням [2]



1 – гідростанція; 2 – циліндр; 3 - реверсивний золотник; 4 - електромагніт

Рис. 1.6. Кінематична схема вертикально-фрезерного верстата з ЧПУ мод. 6P13Φ3

Примітка. Джерело: Розроблено із використанням [2]

Шпиндель верстата разом з повзуном може переміщатися по вертикалі. Ці три рухи здійснюються від трьох виконавчих верстатів. Кожен виконавчий механізм (M1, M2, M3) забезпечений кроковим двигуном, який керує гідродвигуном (Г2, Г3, Г4), а останній, у свою чергу, приводить у рух робочий орган 7 верстата через зубчасті колеса та кулькову гвинтову пару (2, 3, 4). Кожному імпульсу, що надходить у кроковий двигун, відповідає переміщення

повзуна зі шпинделем чи столу на 0,01 мм. Швидкість подачі змінюється від 20 до 600 мм/хв. Консоль верстата зі столом та санками має настановне вертикальне переміщення від гідромотора Г1 через пару конічних коліс та гвинтову пару 1. У верстаті передбачено ручне переміщення вузлів.

Гідравлічний привод здійснює поздовжнє та поперечне переміщення столу та вертикальне переміщення повзуна та консолі. Гідравлічний привод складається з наступних основних вузлів: гідростанції 1 з насосами і контрольно-регулюючою апаратурою; гідропідсилювачів з кроковими електродвигунами М2-М4, що стежать золотниками 32-34 і гідродвигунами 9 Г2-Г4 для переміщення столу і повзуна; гідродвигунами Г1 і реверсивного золотника 31 для переміщення консолі; циліндра 2 і реверсивного золотника 3 для віджимання інструменту шпинделі верстата. Масло від гідростанції підводиться до золотників. При надходженні сигналів з вузла числового управління до того чи іншого крокового електродвигуна останній спрацьовує і, переміщуючи стежить золотник, відкриває доступ масла до гідромотора, який передає рух кінцевому органу кінематичного ланцюга.

Управління гідромотором Г1 вертикального переміщення консолі здійснюється за допомогою двох електромагнітів 5 і 6 і реверсивного золотника 31. Гідроциліндр 2 віджиму інструменту спрацьовує при включенні електрозолотника 3. Потік масла направляється в гідроциліндр 2, шток якого, переміщаючись, стискає пружину. Затискач інструменту відбувається за допомогою пружини, як тільки виключається електромагніт 4 [3].

1. Основні елементи схеми (розташування)

Головний привод (ліва частина): М1 - електродвигун головного руху. Далі йде коробка швидкостей (набір зубчастих коліс $z=16\ldots 82$). Через систему валів і шестерень обертання передається на: шпиндель (верхня права частина)

Призначення: забезпечує обертання фрези

Шпиндельний вузол (верх справа)

Вертикально розташований шпиндель. Передача через конічні та циліндричні шестерні ($z=48$, $z=39$, $z=28\dots$). Є механізм вертикального переміщення (подача по осі Z)

Тут відбувається: обертання інструменту, подача інструменту вниз/вгору

Приводи подач (права нижня частина): M2, M3 - електродвигуни подач. Через редуктори і передачі: гвинтові пари ($t = 10$ мм), зубчасті передачі. Забезпечують рух: X - поздовжній рух столу; Y - поперечний рух; Z - вертикальний рух

Гвинтові передачі: позначення: $t = 10$ мм. Це ходові гвинти. Перетворюють: обертання двигуна $\rightarrow$ у поступальний рух столу або шпинделя

Проміжні передачі і муфти: Позначені як Г1, Г2, Г3, Г4. Виконують: увімкнення/вимкнення передач зміну напрямку, захист від перевантажень

2. Принцип роботи станка

2.1. Головний рух (різання): вмикається двигун M1. Обертання проходить через коробку швидкостей. Передається на шпиндель. Шпиндель обертає фрезу. Це основний процес різання

2.2. Рухи подач (керуються ЧПУ): вмикаються двигуни M2, M3. Через редуктори і гвинти: переміщується стіл або шпиндель. Рух координується системою ЧПУ. Забезпечується: точність автоматизації обробки

2.3. Формування траєкторії. ЧПУ задає: швидкість, напрямки, координати руху. Одночасно працюють: обертання шпинделя, подачі по 3 осях. У результаті формується потрібна поверхня деталі.

Таким чином, кінематична схема станка мод. 6P13ФЗ забезпечує передачу руху від електродвигунів до виконавчих органів через систему зубчастих передач і гвинтових пар. Головний рух здійснюється шпинделем, а рухи подач реалізуються по трьох координатах за допомогою окремих приводів, що дозволяє виконувати складну обробку деталей у автоматичному режимі під керуванням ЧПУ.

Системою числового програмного керування (СЧПК) називають сукупність функціонально взаємопов'язаних і взаємодіючих технічних і

програмних засобів, які забезпечують числове програмне керування верстатом. Згідно з цим означенням СЧПК складається з таких основних елементів: системи технологічної підготовки, системи підготовки керувальних програм і пристрою числового програмного керування (ПЧПК). Структуру СЧПК металорізальним верстатом показано на рис. 1.7.

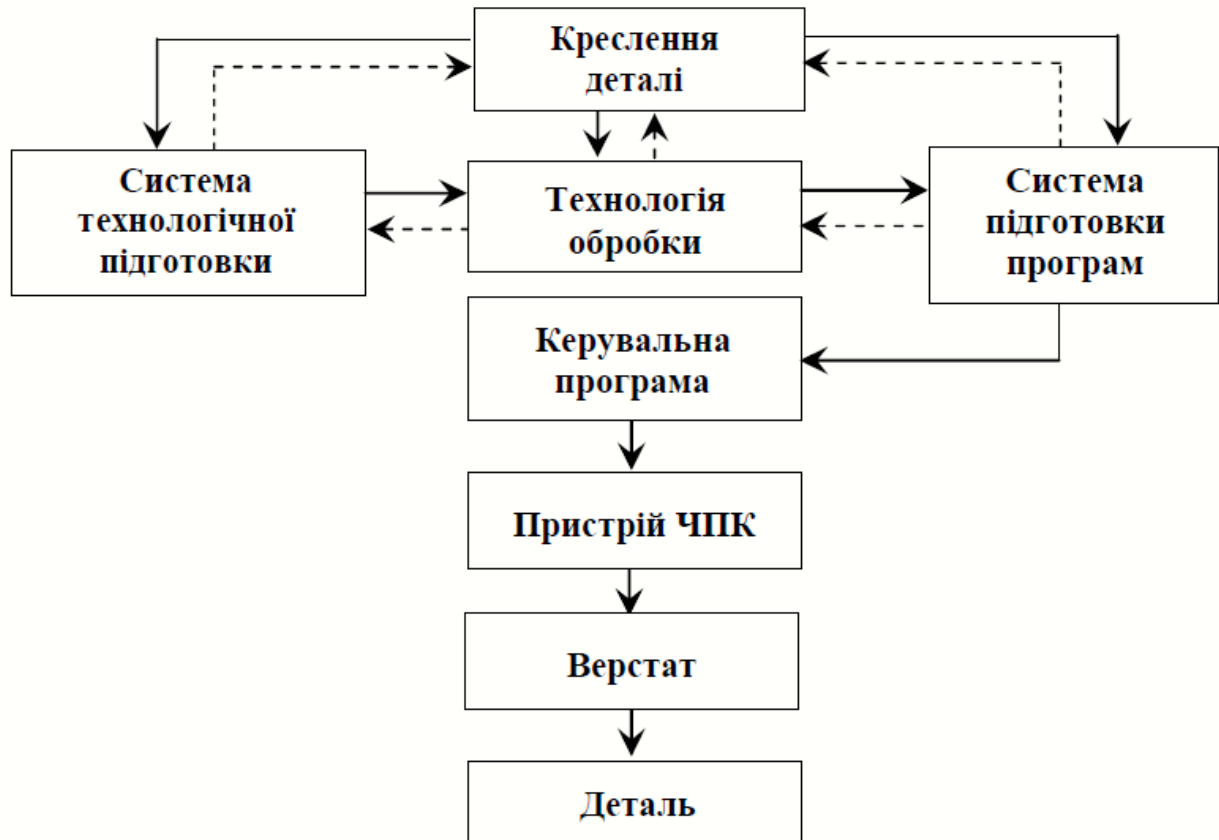


Рис. 1.7. Структура системи ЧПК металорізальних верстатів

Примітка. Джерело: Розроблено із використанням [2]

Система технологічної підготовки призначена для розробки технологічного процесу обробки заготовки, вибору оптимальних режимів різання, підготовки технологічного оснащення для виконання процесу обробки з метою отримання готового виробу. Система підготовки програм призначена для обробки початкових даних щодо геометрії поверхонь деталей, параметрів верстата та їх пристроїв ЧПК.

Керувальною програмою (КП) називають сукупність команд мовою програмування, яка відповідає заданому алгоритму функціонування верстата під час

обробки конкретної заготовки. КП розробляють для виконання кожної з технологічних операцій, яка виконується на верстаті з ЧПК. КП містить два види інформації — геометричну і технологічну. Геометрична інформація -координати точок траєкторії руху інструмента, технологічна - дані про швидкість різання (частоту обертання шпинделя), подачу, номер інструмента тощо.

Пристрій числового програмного керування - це пристрій, який видає керувальні сигнали на виконавчі органи верстата згідно з КП та інформацією про стан керованого об'єкта. Пристрій ЧПК складається з електронного пульта з дисплеєм для відображення інформації, двигунів, вимірювальних перетворювачів і виконавчих механізмів.

1.3Опис пристрою ЧПУ 2С42

Система 2С42 є багатофункціональним мікропроцесорним комплексом, побудованим на базі керуючої обчислювальної машини (типу «Електроніка-60»), і виконує:

- інтерпретацію керуючих програм;
- формування траєкторії руху інструмента;
- керування приводами подач і головного руху;
- обробку сигналів з датчиків; взаємодію з оператором.

Склад пристрою

До складу ЧПУ 2С42 входять такі основні блоки:

Обчислювальний блок- Мікро-ЕОМ («Електроніка-60»). Виконує:
обробку програм, логічні операції керування, координацію всіх вузлів системи

Блоки введення/виведення: Блок вхідних сигналів. Приймає сигнали від:
датчиків положення, кінцевих вимикачів, систем зворотного зв'язку

Блок вихідних сигналів

Формує сигнали для: приводів виконавчих механізмів

Блок керування приводами

Забезпечує: керування електроприводами подач; регулювання швидкості та положення реалізацію інтерполяції руху

Блок адаптивного керування

Виконує: оптимізацію режимів обробки, корекцію подачі залежно від навантаження, підвищення точності та продуктивності

Блок зв'язку з датчиками

Здійснює: збір інформації про стан верстата; передачу даних у систему керування; контроль параметрів обробки

Додаткові вузли

Таймер - формування часових інтервалів

Годинник реального часу - синхронізація процесів

Інтерфейсний блок

Інтерфейс (6 модулів). Забезпечує зв'язок між: центральним процесором та периферійними пристроями

Периферійні пристрої

Пульт корекції, пульт ручного керування, електронна друкарська машинка, перфоратор

Блок перетворення кодів

Спеціалізовані модулі (БОСІ, ФСУ)

Принцип роботи

Керуюча програма вводиться в систему. Мікро-ЕОМ виконує її обробку. Формуються сигнали керування. Через інтерфейс вони передаються до приводів. Датчики забезпечують зворотний зв'язок. Система коригує рух у реальному часі

Основні функції: інтерполяція (лінійна, кругова); позиціонування інструмента; автоматична зміна режимів; діагностика та контроль; ручне та автоматичне керування

Переваги: підвищення точності обробки; автоматизація виробництва гнучкість налаштування; можливість адаптивного керування

ЧПУ 2С42 є ефективною системою керування верстатами, що поєднує обчислювальні можливості, керування приводами та зворотний зв'язок, забезпечуючи високий рівень автоматизації та якості обробки.

ЧПУ моделі 2С42 побудовано за принципом пристрою ЧПУ типу CNC з вільним програмуванням алгоритмів управління. В якості приводу використовується привід подач постійного струму, а в якості датчиків зворотного зв'язку - трансформатор або індуктосин, що обертається. Пристрій використовується для керування складними та багатоопераційними верстатами (обробними центрами), що служать для обробки деталей типу тіл обертання (включаючи нарізування різьблення), і координатно - розточувальними верстатами. Число керованих координат всього/одночасно 8/3. Використовувана, у пристрої, мікро ЕОМ разом із необхідним математичним забезпеченням реалізує заданий склад алгоритмів управління (введення – висновок обчислення траєкторії та швидкостей переміщення робочих органів верстата, видачу керуючих послідовностей команди та інших.). Керуюча інформація вводиться з восьмидоріжкової перфострічки та вручну з пульта керування. Завдання розмірів може здійснюватися в абсолютних значеннях. Інформація кодується в ISO коді. Інтерполяція – лінійна та кругова. Пристрій має функціонально модульний принцип побудови.

Структурна схема ПЧПК моделі 2С42 представлена рис. 1.8.

Основним вузлом пристрою ЧПУ є мікро ЕОМ «Електроніка – 60», яка забезпечує керування всіма блоками. Основними модулями мікро ЕОМ є центральний процесор (ЦП), ПЗП, ОЗП та ОЗП після відключення живлення. ЦП виконує всі необхідні арифметико - логічні операції для обробки інформації та управляє розподілом часу використання каналу зовнішніми пристроями. Основними функціональними блоками ЦП є мікропроцесорний набір БІС, що складається з БІС управління, БІС регістрового та арифметико-логічного пристрою та двох – трьох ПЗУ мікрокоманд. ПЗУ призначено для обертання та видачі в ЦП інформації із системно – технологічних та функціональних програм (наприклад, мікропрограми, табличні дані та ін.).

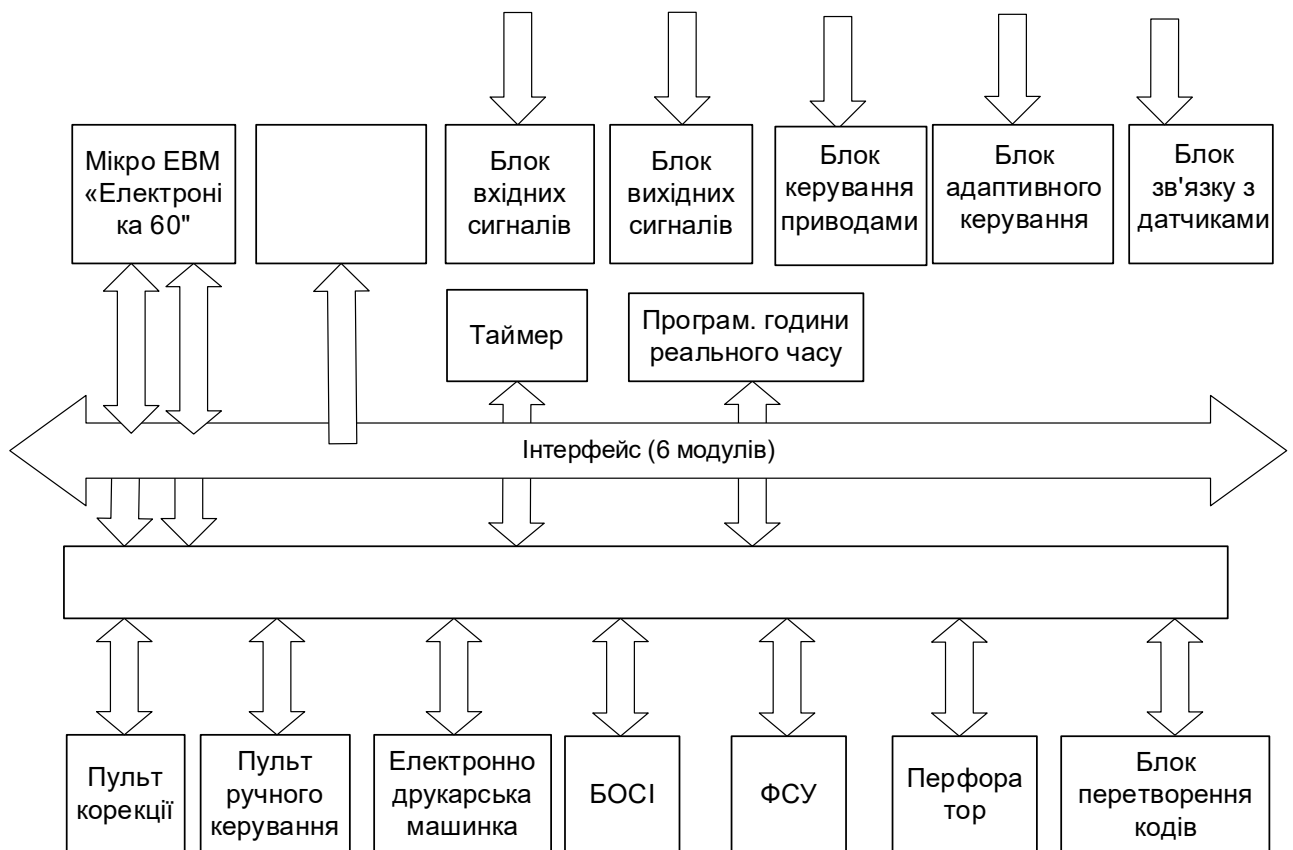


Рис. 1.8. Структурна схема ПЧПК 2С42

Примітка. Джерело: Розроблено із використанням [2]

Обсяг інформації, що зберігається 12 до 16 - розрядних слів. Час вибірки інформації ≤ 55 нс. ОЗУ призначається для зберігання програми, різноманітних констант та задоволення потреб ЦП, ємність ОЗП ЧК 16 - розрядних слів. Запис та зчитування інформації здійснюється під управлінням ЦП. Тривалість циклу запису $< 1,5$ мкс, а тривалість циклу зчитування $< 1,8$ мкс. Збереження інформації після відключення живлення досягається за рахунок живлення від акумуляторів. ОЗУ після відключення живлення використовується для зберігання і неруйнівного зчитування констант, даних корекції на розмір інструменту, плаваючих нулів та інших даних при відключенні основних джерел живлення. Ємність пам'яті 1024 16 - розрядних слова. Час запису та зчитування $< 1,5$ мкс ОЗП підключаються до каналу мікро – ЕОМ. Інтерфейс зв'язку зі верстатом є пристроєм, що виконує функції зв'язку каналу мікро ЕОМ з рядом блоків керуючих верстатом. Блоки вхідних та вихідних сигналів забезпечує безконтактну видачу сигналів на верстат та безконтактний прийом сигналів від

верстата. Вони забезпечує видачу технологічних та допоміжних команд. Блок управління приводами призначений формування напруги управління приводами, і навіть корекції цих напруг під час використання блоку адаптивного управління. Кожен канал управління складається з двох ЦАП, один з яких перетворює код помилки по дорозі, а інший код швидкісної компенсації. У режимі контурної обробки блок управління приводом здійснює перетворення коду помилки по шляху і коду швидкісної компенсації у напруги відповідної полярності і величини, підсумовування цих величин і видачу сумарного сигналу на електропривод верстата. Блок адаптивного управління використовується забезпечення оптимального закону управління приводом подач. При цьому аналоговий сигнал датчика крутного моменту перетворюється на цифрову форму і подається в блок управління приводами. Блок зв'язку з датчиками призначений для вимірювання переміщень робочого органу верстата та перетворення цих переміщень сигнал зворотного зв'язку. Таймер є спеціалізованим блоком, що видає сигнали з інтервалом, що визначається частотою генератора 100 кГц і програмного - заданою величиною. Після закінчення заданого інтервалу часу відбувається переривання програми. Переривання з допомогою таймера проводиться у випадках, коли потрібно переривання програми через задані інтервали. Вимога переривання від таймера має вищий пріоритет проти звичайним вимогою переривника від зовнішніх блоків. Програмований годинник реального часу служить для відліку тимчасових інтервалів різної тривалості. Розмір інтервалів задається програмно і може змінюватися від 10 до 0,7 з. Годинник реального часу можна використовувати як інтервальний таймер. Вони підключаються до лінії переривання від зовнішніх пристроїв. Інтерфейс є пристрої, що виконують функції зв'язку каналу мікро ЕОМ. Пульти корекції призначений для зміни швидкості головного руху та швидкості подачі. Пульт ручного управління дозволяє задавати режими роботи пристрою, проводити ручне введення даних, вести діалог з пристроєм і здійснювати редагування програми. Фотозчитуючий пристрій призначений для зчитування з перфоленти і передачі через інтерфейс в ЦП. Блок перетворення кодів використовується для

перетворення двійково - десятичного коду в двійковий код і двійкового коду в двійково - десятковий. Час виконання перетворення 700 нс.

Управління пристроєм ЧПУ моделі 2С42 проводиться відповідно до програми обробки деталі та алгоритмів управління, що зберігаються в ПЗУ. Інформація про програму обробки деталі, нанесена на перфострічку, зчитується фотозчитуючим пристроєм, надходить в ОЗУ ЦП і запам'ятовується в ньому. ЦП здійснює весь процес обробки інформації (включаючи і інтерполяцію) з урахуванням даних корекції програми та сигналів зворотного зв'язку по дорозі і видає її в електронні блоки, в тому числі і в блок управління приводами. Останній формує напругу керування приводами (у разі використання блоку адаптивного керування з обліків його вихідних сигналів) та спрямовує його у слідкуючий привод.

1.4 Електропривод головного руху фрезерного верстата з ЧПК

Електропривід головного руху є одним із ключових вузлів фрезерного верстата, оскільки саме він забезпечує обертання шпинделя з необхідними швидкісними та динамічними характеристиками.

1. Призначення електропривода

Електропривод головного руху виконує такі функції: забезпечує обертання різального інструмента (фрези); реалізує задані режими різання (швидкість, момент); підтримує стабільність обертів при змінному навантаженні; забезпечує плавний пуск і гальмування.

2. Регулювання швидкості обертання

Швидкість шпинделя є одним із головних параметрів процесу різання. У сучасних верстатах вона регулюється: безступінчасто (електронним способом); у широкому діапазоні (до 20 000–60 000 об/хв у сучасних моделях).

Застосовуються такі методи: частотне регулювання; векторне керування; замкнуті системи зворотного зв'язку (енкодери).

3. Система зворотного зв'язку

Для підвищення точності роботи електропривода використовуються: енкодери; тахогенератори; датчики положення.

Вони дозволяють: точно підтримувати швидкість; контролювати положення шпинделя; підвищувати якість обробки.

6. Взаємодія з системою ЧПК

Електропривод інтегрується з системою числового програмного керування, яка: задає швидкість обертання шпинделя; координує рухи по осях; оптимізує режими різання.

Сучасні системи ЧПК повністю автоматизують процес обробки, що забезпечує високу точність і повторюваність виготовлення деталей .

Електропривод головного руху фрезерного верстата з ЧПК є складною електромеханічною системою, яка визначає ефективність, точність і продуктивність обробки.

1.5 Вимоги до електроприводу станків головного руху

1.5.1 Загальні вимоги до електроприводів

Вимоги до електроприводів визначаються технологією обробки, конструктивними особливостями верстата, різальним інструментом, функціональними можливостями системи ЧПУ. Основні технологічні вимоги полягають у забезпеченні: необхідних технологічних режимів обробки з використанням сучасного ріжучого інструменту; максимальної продуктивності; необхідної точності обробки; високої чистоти оброблюваної поверхні (зниження шорсткості); повторюваності розмірів деталей в оброблюваній партії (стабільності).

При всьому різноманітті верстатів вимоги, що пред'являються до приводів верстатів, визначаються, головним чином, не тим, до якої групи відноситься верстат, а для якого руху призначений привод: головного руху, подачі або допоміжного, так як саме це визначає потужність і момент, спосіб регулювання

швидкості, діапазони регулювання, необхідну плавність регулювання і вимог до динаміки. швидкості. Розширення технологічних можливостей верстатів, і в першу чергу багатоцільових верстатів (обробних центрів), забезпечило можливість проведення на одному верстаті різних технологічних режимів: фрезерування, свердління і розточування або точення, свердління і розточування і т. д., а освоєння нового твердосплавного і керамічного інструменту істотно підвищило. Розширення технологічних режимів обробки на одному верстаті з використанням сучасного ріжучого інструменту призвело до ускладнення встановлених електроприводів, збільшення встановленої потужності двигуна головного руху, обертових моментів двигунів подач, розширення діапазон регулювання швидкості головного приводу, робочих подач і установочних переміщень, збільшення швидкодії всіх приводів, при керуючому і обурювальному впливах, посилення вимог до стабільності і рівномірності обертання електродвигунів всіх приводів. Вимога підвищення продуктивності також призвело до збільшення потужності та максимальної швидкості приводу головного руху; до збільшення швидкості швидкого ходу приводів подач; збільшення максимальних робочих подач; зниження часів розгону та гальмування, позиціонування приводів подач та допоміжних переміщень та орієнтації шпинделя. Задоволення вимогам зниження шорсткості і підвищення точності при обробці і позиціонуванні посилило вимоги до електроприводів за значенням похибок в встановилися і перехідних режимах при різних збурювальних впливах, розширення діапазону регулювання і збільшення чутливості електроприводів по вхідному дії, навантаження збільшення швидкодії при збуренні по навантаженню та при реверсі під навантаженням на малій швидкості. Для забезпечення повторюваності розмірів деталей в оброблюваної партії та високої точності позиціонування необхідно мати високостабільний привід з високою рівномірністю переміщення та аперіодичним перехідним процесом при зміні швидкості. Дуже важливою вимогою до електроприводів верстатів з ЧПУ, особливо при їх роботі в автоматизованому виробництві, є забезпечення їх високої надійності як щодо збереження

параметрів, так і безаварійності та ремонтпридатності. Підвищенню надійності роботи електроприводів значною мірою сприяють наявність технологічних запасів за параметрами окремих електронних елементів і схемним рішенням, коректний монтаж електроустаткування, своєчасне проведення профілактичних заходів та встановлення необхідної системи діагностики, що дозволяє швидко визначати та усувати несправності. Поява низькошвидкісних високомоментних двигунів помірних габаритів дозволило суттєво скоротити механічну частину коробки подач, а в ряді випадків повністю її виключити, встановивши виконавчий двигун безпосередньо на ходовий гвинт. Виняток коробки подач призвело до підвищення потужності механічної передачі, підвищення ККД і зниження моменту інерції електромеханічного приводу. У верстатах зросла складова від різання в загальному навантаженні приводів подач. У більшості сучасних верстатів навантаження на двигун при робочих подачах без різання становить не більше 20-30% номінальної. Зростання складової від сил різання в загальному навантаженні на привід подачі збільшив коливання навантаження на електроприводі подачі при різанні, що посилило вимоги до статичної та динамічної жорсткості приводу подачі. Збільшення швидкості швидких переміщень і зниження швидкості установочних переміщень призвели до значного збільшення діапазону регулювання. Максимальна робоча подача сучасних багатоцільових верстатів становить 30 - 50% швидкості швидких переміщень. Повний діапазон регулювання подач у верстатах фрезерної, розточувальної та токарної груп становить 100 - 10000, а в карусельних розширюється до 30000 - 40000. Теоретично діапазон регулювання приводу подачі кожної осі в верстатах з ЧПУ при контурному фрезеруванні нескінченний (наприклад, Реально мінімальна подача обмежена чутливістю електроприводу. Швидкість швидких переміщень залежить від характеристик механічної частини приводу, можливостей системи ЧПУ (зокрема від максимальної частоти сигналу управління приводом від системи ЧПУ), дискретності управління, максимальної кутової швидкості приводного електродвигуна, коефіцієнта редукції передачі від двигуна до механізму та інших обмежень, що вносяться системою ЧПУ.

Мінімальна швидкість приводу визначається технологічними вимогами, дискретністю управління та чутливістю електроприводу. Особливо високі вимоги пред'являються динамічним характеристикам приводу по управляючому і обурювальному вплив. Незадовільні динамічні властивості регульованого електроприводу, особливо при збуренні по навантаженню, є причиною підвищеної шорсткості поверхні, тому дуже важливо забезпечити високу швидкодію приводу при скиданні і накидання навантаження, а також реверсі двигуна під навантаженням на найменших швидкостях. Стабільність позиціонування і обробки значною мірою залежить від стабільності електромеханічної системи приводів подач, яка визначається стабільністю її ланок, і в першу чергу електроприводу, датчика положення і системи ЧПУ. Стабільність характеристик електроприводу при досить великому коефіцієнті підсилення визначається стабільністю нуля вхідного підсилювача регулятора та стабільністю датчика швидкості - тахогенера. Найбільша відносна нестабільність має місце при малих швидкостях, коли корисний сигнал співмірний з дрейфом нуля підсилювача і падінням напруги в щітковому контакті тахогенератора. Іншим фактором, що впливає на стабільність, а отже, і на ідентичність параметрів при обробці партії деталей, є характер перехідного процесу з керуючого впливу в замкнених системах електроприводів, що стежить і регулюється. При аперіодичному перехідному процесі при русі в один бік не відбувається розкриття люфтів у механічних вузлах, а також відсутня вплив гістерези, що призводить до суттєвого підвищення стабільності та точності позиціонування та обробки. У верстатах з контурною і контурно-позиційною системами ЧПУ (класи верстатів Ф3 і Ф4) у механізмах подач застосовуються електроприводи, що слідкують. У верстатах з позиційними системами ЧПУ в механізмах подач (клас Ф2) можуть застосовуватися і електроприводи, що стежать і регулюються, без безперервного зворотного зв'язку по положенню. У верстатах із цифровою індикацією (клас Ф1), як правило, застосовуються регульовані електроприводи без зворотного зв'язку за становищем. Однак для розширення діапазону регулювання в цих та інших верстатах в механізмах подач

можлива установка так званих автономних електроприводів з датчиками положення, встановленими безпосередньо на двигунах, з введенням в перетворювачі пристроїв для обробки сигналів датчиків і замикання системи по дорозі. В даний час розроблені та узгоджені між країнами РЕВ єдині технічні вимоги до електроприводів головного руху та подач верстатів з ЧПУ.

1.5.2 Вимоги до електроприводу головного руху

Класифікація електроприводів головного руху постійного струму

Електроприводи повинні відповідати вимогам стандарту РЕВ СТ РЕВ 3572-82 [2]. Електроприводи головного руху постійного струму класифікуються за такими ознаками: за способом виконання силового перетворювача: тиристорні на основі керованих вентилів, транзисторні (транзисторно-тиристорні) на основі широтно-імпульсних перетворювачів; за способом регулювання швидкості: зміною напруги на якорі електродвигуна (однозонні), зміною напруги на якорі електродвигуна і струму збудження (двохзонні); за наявністю реверсу швидкості електродвигуна: реверсивні, неревверсивні; за способом реверсу: реверсивні електроприводи з реверсом струму якоря електродвигуна при живленні від двокомплектного перетворювача, реверсивні електроприводи з реверсом струму збудження електродвигуна. Якщо головний привід повинен працювати в слідкувальному режимі (зі зворотним зв'язком по положенню), то електропривод повинен бути виконаний з реверсом струму якоря електродвигуна, що живиться від двокомплектного перетворювача.

В іншому випадку чутливість приводу при різнополярних збурення буде недостатня для забезпечення стійкості слідкуючого приводу.

Вимоги до складу електроприводів

До складу електроприводу входять:

- електродвигун постійного струму з незалежним збудженням або збудженням від постійних магнітів (двигун може комплектуватися датчиком швидкості, вентилятором та іншими пристроями);

- напівпровідниковий перетворювач;
- блок живлення обмотки збудження двигуна;
- трансформатор або струмообмежувальні реактори; автоматичний вимикач.

Вимоги до мережі живлення щодо стійкості до зовнішніх впливів та управління відповідають аналогічним вимогам приводів подач. При $n \leq n_{\text{ном}}$ максимальний струм електроприводу, допустимий протягом не більше 10 с. Діапазон регулювання швидкості електроприводу: 200, 500 і 1000. Якщо головний привід повинен працювати в режимі очікування, діапазон регулювання повинен бути збільшений до 10 000 і більше. У вимогах до систем захисту головному приводі додається захист від обриву струму збудження. Вимоги до конструкції та надійності приводів головного руху та подач ідентичні. Елементи та вузли електроприводів можуть конструктивно виконуватись у вигляді виїмних блоків або знімних панелей. Однотипні блоки або панелі повинні бути взаємозамінними. Розрахунки та експериментальні перевірки слідчих приводів на верстатах з ЧПУ показали, що перелічені загальні вимоги потребують коригування, особливо в частині діапазону регулювання, рівномірності обертання, динамічних параметрів по керуючому і обурювальним впливам.

Якісні вимоги до приводів верстатів можна сформулювати так:

- мінімальні габарити електродвигуна при високих значеннях крутного моменту і потужності;
- висока максимальна швидкість;
- значні навантаження приводу в короткочасному та повторно-короткочасному режимах роботи;
- широкий діапазон регулювання;
- висока стабільність характеристик, і в першу чергу підсилювача та тахогенератора;
- висока швидкодія при аперіодичному характері перехідних процесів розгону та гальмування;

- висока швидкодія при накиданні та скиданні навантаження при реверсі під навантаженням на найменших швидкостях;
- висока рівномірність руху при різному навантаженні на всіх швидкостях аж до найменших;
- висока надійність та ремонтпридатність;
- зручність конструктивної установки двигунів на верстаті та вбудовування перетворювачів у шафи та ніші верстатів;
- малі габаритні розміри та витрата активних матеріалів;
- невелика витрата дефіцитних матеріалів;
- простота налагодження та експлуатації;
- мала енергоємність;
- висока уніфікація вузлів та окремих елементів;
- висока економічність та мала вартість.

Як видно з перерахованих, а також багатьох інших вимог, суміщення всіх їх в одному пристрої принципово неможливо. Тому при проектуванні та застосуванні верстатних електроприводів у кожному конкретному випадку задоволення одним вимогам досягається на шкоду іншим. Через це конкретний вибір електроприводів верстатів можливий лише за наявності достатньо повної інформації щодо сучасних та перспективних електроприводів, а також при правильному формулюванні вимог до приводів і розрахунку основних параметрів механізму та приводу [2].

Таким чином, основні технологічні вимоги полягають у забезпеченні: необхідних технологічних режимів обробки з використанням сучасного ріжучого інструменту; максимальної продуктивності; необхідної точності обробки; високою чистотою поверхні, що обробляється. Дуже важливою вимогою до електроприводів верстатів з ЧПК, особливо при їх роботі в автоматизованому виробництві, є забезпечення їх високої надійності як щодо збереження параметрів, так і безаварійності, та ремонтпридатності. Підвищення надійності роботи електроприводів у значною мірою сприяють наявність

технологічних запасів за параметрами окремих електронних елементів та схемним рішенням.

Фрезерний верстат – це верстат для обробки металевих виробів, що обертається фрезою під час поступального переміщення заготовки. На фрезерних верстатах можна обробляти плоскі та фасонні поверхні з прямими та гвинтовими утворюючими.

2 ОСНОВНА ЧАСТИНА

2.1 Розрахунок потужності і вибір двигуна

Кожен вид обробки характеризується оптимальними значеннями швидкостей, зусиль і потужностей, що залежать від матеріалу деталі, матеріалу та геометрії ріжучого інструменту, які визначаються за емпіричними формулами або за спеціальними картами технологічних нормативів. У металорізальних верстатах при розрахунках режимів різання зазвичай, минаючи визначення зусилля різання і моменту, за емпіричними формулами або таблицями карт підраховують потужність різання. Далі, з урахуванням втрат у передачах, знаходять значення потужності на валу двигуна для кожного переходу обробки деталі і на холостому ходу, а потім будують навантажувальні діаграми у вигляді необхідної потужності двигуна за цикл.

Попередньо вибирають двигун, виходячи із середнього значення навантаження за цикл із запасом на 20-30 % за потужністю $P_{\text{ном}} = (1,2-1,3)P_{\text{ср}}$, де $P_{\text{ном}}$ - номінальна потужність двигуна;

$P_{\text{ср}}$ -середнє значення необхідної потужності за цикл.

Обраний двигун перевіряють по нагріванню для отриманої діаграми навантаження методом середніх втрат для асинхронного двигуна та методом еквівалентних значень для двигунів постійного струму. У даній роботі двигун вибираємо за найбільшим значенням потужності різання:

$$P_z = (F_z \cdot V) / 60, \quad (2.1)$$

де F_z - зусилля різання, що дорівнює 3000 Н;

V -швидкість різання, що дорівнює 78 м/хв;

$$P_z = 3000 \cdot 78 / 60 = 3900 \text{ Вт.}$$

Потужність на валу двигуна визначається з урахуванням втрат на тертя.

$$P_o = P_z / \eta_{\text{т}}, \quad (2.2)$$

де η_n - к.п.д. передач від шпинделя до двигуна, куди входять редуктори, коробки швидкостей та інші передачі, що дорівнює 0,75.

Для токарних, фрезерних, свердлильних верстатів к.п.д. при повному навантажі становить 0,7-0,8, для шліфувальних верстатів 0,8-0,9.

Попередній вибір двигуна проводиться з умови:

$$P_H > (1,2-1,3)P_d$$

$$P_H = 1,3 \cdot 4875 = 6337,5 \text{ Вт.} \quad (2.2)$$

Відповідно до довідника виберемо двигун типу 2П225, $P_H = 7,5 \text{ кВт}$, $I_H = 40,9 \text{ А}$, $U_H = 220 \text{ В}$, $n_H = 500 \text{ об/хв}$, $M_H = 14,6 \text{ кг-м}$, $2p = 4$, $2a = 2$, $R_{\pi} = 0,459 \text{ Ом}$, $R_{дп} = 0,239 \text{ Ом}$, $N = 702$, $f = 16,66 \text{ Гц}$, $J = 0,534 \text{ кгм}^2$, $R_B = 34,78 \text{ Ом}$, $n_{\max} = 1800 \text{ об/хв}$, $I_{BH} = 3,04 \text{ А}$, $\Phi_H = 0,01619 \text{ Вб}$, $W_B = 835$, $U_{BH} = 146 \text{ В}$.

Швидкість різання визначається співвідношенням $V = \pi \cdot d \cdot n$.

При обертальному головному русі в верстатах токарної групи, розточних, фрезерних, свердлильних та шліфувальних момент на шпинделі від зусилля ре-
пізнання дорівнює:

$$M_p = \frac{F_z \cdot d}{2},$$

$$M_p = \frac{3000 \cdot 0,2}{2} = 300 \text{ Н·м} \quad (2.3)$$

Момент статичного опору на валу двигуна визначається залежністю:

$$M_c = \frac{M_p}{i \cdot \eta_n}, \quad (2.4)$$

$$M_c = \frac{300}{3 \cdot 0,78} \cdot \frac{1}{9,81} = 13,06 \text{ кгс·м}$$

Вибраний двигун перевіряємо по моменту:

$$M_H \geq M_c,$$

$$14,6 \text{ кг·м} \geq 13,06 \text{ кг·м} \quad (2.5)$$

2.2 Огляд систем електроприводу

Висока якість і продуктивність обробки на верстатах з ЧПУ, обумовлені можливістю використання сучасного різального інструменту, отриманням необхідної точності і чистоти поверхонь, що обробляються, а також повторюваності розмірів деталей в партії, повністю визначаються електроприводом цих верстатів.

Сучасні верстати з ЧПУ будуються на базі серійних регульованих електроприводів різних типів. Розглянемо деякі з них.

Електропривод серії ЕТЗІ реверсивний трифазний тиристорний на інтегральних елементах, виготовляється для потреб народного господарства та для постачання на експорт. Привід призначений для руху робочих органів механізмів, плавного регулювання частоти обертання і живиться від трифазної мережі змінного струму частоти 50 або 60 Гц через силовий трансформатор вторинними обмотками, з'єднаними зіркою.

Блок регулювання складається з блоку силових вентилів (БСВ), підсилювача напівпровідникового (УП) з обмежувачем струму (СО), блоку управління тиристорами (БУ), блоку живлення (БП) та панелі адаптивного управління (БА)

БСВ призначений для перетворення змінної напруги в регульовану випрямлену напругу. БСВ містить анодну і катодну групу тиристорів, зібрану за трифазною нульовою схемою, яка живиться від вторинних обмоток силового трансформатора (ТВ).

Підсилювач напівпровідниковий (УП) призначений для посилення сигналу неузгодженості між заданим та фактичним значенням. Задане значення сигналу надходить від тахогенератора і пропорційно до частоти обертання двигуна.

УП складається з двох послідовно з'єднаних операційних підсилювачів, виконаних на інтегральних мікросхемах, захищених ланцюгами обмеження вихідної напруги і живиться від ланцюгів подвійної стабілізації напруги живлення. УП містить пристрій обмеження струму двигуна (ЗІ).

БО призначений для формування імпульсів керування тиристорами анодної та катодної групи. БО призначений для живлення ланцюгів управління приводу і складається з чотирьох трифазних мостових випрямлячів та стабілізаторів напруги.

БА призначений для автоматичного керування приводом, залежно від параметрів іншого стороннього двигуна. БА складається з п'яти операційних підсилювачів, керованих сигналами від стороннього двигуна.

Дроселі L1 і L2 призначені для згладжування напруги живлення якоря двигуна і обмеження зрівнювальних струмів, що виникають.

Задатчик швидкості ЗС складається з двох резисторів і призначений для встановлення необхідної частоти обертання. Застосування двох резисторів викликано необхідністю точної установки частоти обертання двигуна у великому діапазоні зміни частоти його обертання. Задатчик швидкості живиться стабілізованою напругою. Перемикач S2 здійснює зміну напрямку обертання двигуна.

Силовий трансформатор ТБ призначений для поділу ланцюгів живлення від ланцюгів приводу, дозволяє для різних напруг мережі живлення мати привод на одну напругу.

У верстатах з ЧПУ також набули поширення і електроприводи зарубіжних фірм такі як електроприводи серії "мезоматик" виробництва Чехословаччини, "Фанук" виробництва Японії, "Кемтор" виробництва Болгарії. Розглянемо функціональну схему (рис. 2.1) електроприводу головного руху типу „Кемтор”.

Електропривод серії „Кемтор” призначений для управління приводами головного руху токарних фрезерних та інших верстатів і являє собою електропривод постійного струму з двозонним регулюванням швидкості. $P = \text{const}$ за рахунок ослаблення струму збудження за номінального значення напруги якоря ($D = 1:3,5$).

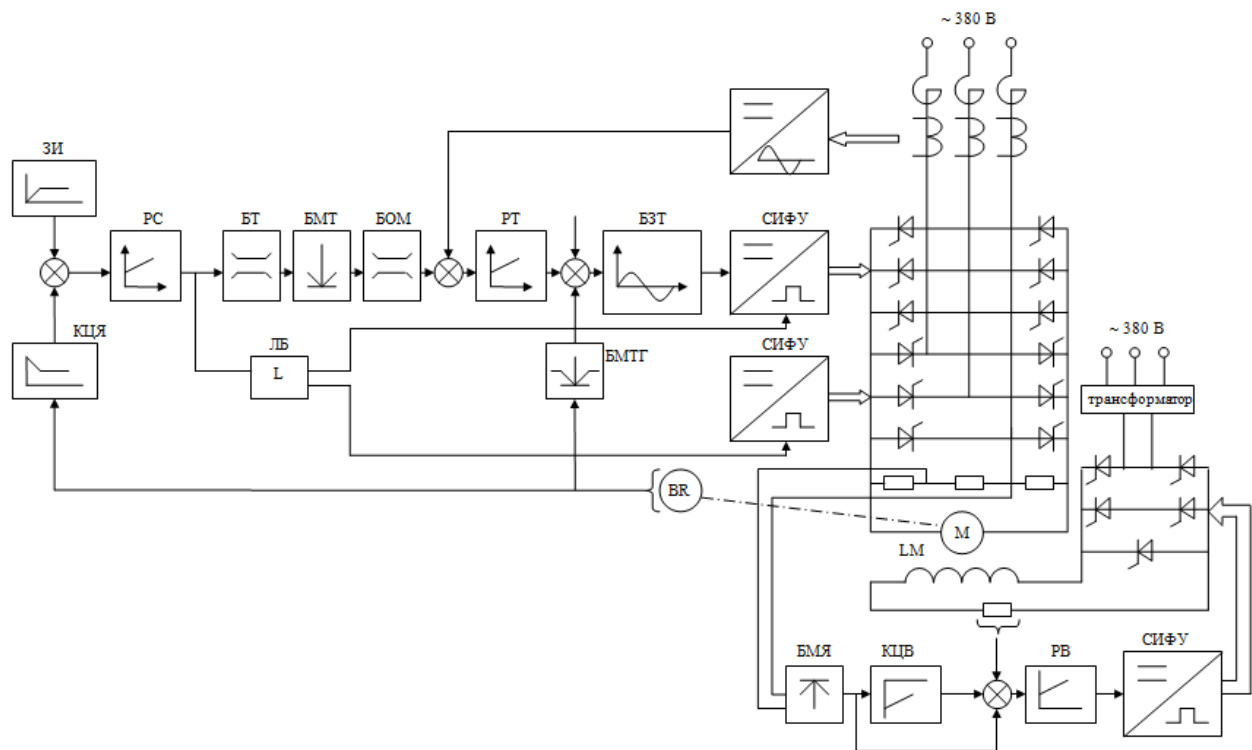


Рис. 2.1. Функціональна схема електроприводу головного руху «Кемтор»

Примітка. Джерело: Розроблено із використанням [2]

До складу електроприводу входять:

- 1) перетворювач тиристорний для живлення якоря та обмотки збудження двигуна;
- 2) електродвигун постійного струму з незалежним збудженням та вбудованими тахогенератором та вентилятором;
- 3) комутаційний трифазний дросель;
- 4) трансформатор для живлення обмотки збудження;
- 5) комутаційний блок.

Тиристорний перетворювач живлення якірного ланцюга виконаний на двох сполучно з'єднаних трифазних мостових випрямлячах. Живлення перетворювачів від мережі здійснюється через трифазний анодний реактор, що захищає його від комутаційних струмів і коротких замикань. Управління реверсивного перетворювача роздільне. Система автоматичного регулювання виповна за двоконтурною схемою підлеглого регулювання з регуляторами швидкості та струму.

швидкості РС та зворотним зв'язком по струму ія на вхід керуючого органу УО через резистор R97.

Управління тиристорами провадиться від триканальної СІФУ.

Для забезпечення сталості коефіцієнта посилення системи в режимах безперервного переривчастого струму введено нелінійну ланку (НЗ) та функціональний перетворювач ЕРС (ФПЕ).

Узгодження реверсивного сигналу нелінійної ланки (НЗ) з нереверсивною регулювальною характеристикою УО здійснює перемикач характеристик (ПХ), керований логічним пристроєм (ЛУ). Струмообмеження (установка максимального струму приводу) забезпечується резистором R25.

Вузол залежного струмообмеження УЗТ зменшує установку струмообмеження для покращення комутації двигуна в режимі ослаблення поля. Канал регулювання потоку і ЕРС двигуна містить ПІ - регулятор струму збудження РТВ і ПІ - регулятор ЕРС РЕ.

Електропривод виконаний за залежним від напруги не якоря принципом регулювання швидкості. Цей привід забезпечує роботу двигуна в першій зоні при постійному магнітному потоці і в другій зоні регулювання при постійній потужності двигуна.

Для забезпечення роботи ФПЕ тільки в першій зоні регулювання він запитаний від датчика напруги. Вузол відповідності УС призначений виявлення відповідності швидкості двигуна заданому значенню.

Блок захисту здійснює блокування сигналу на виході РС (транзистором VT6), що задає сигналу на вході РС (транзистором VT3) керуючих імпульсів.

Блокування сигналу, що задає, здійснюється при перевищенні швидкістю значення n_{max} або при виникненні перенапруги на двигуні.

Електроприводи серії ЕПУ 1 різних виконання забезпечують діапазон регулювання швидкості 1000 - 10000, струм, що випрямляється 25 - 630 А, випрямлений напруга 115, 230, 460 В.

2.3 Обґрунтування та вибір системи електроприводу

Високий рівень автоматизації верстатів з ЧПУ, необхідність вибору оптимального режиму різання і зменшення часу переміщення вузлів обумовило широке впровадження в них регульованих електроприводів. Механізми головного руху забезпечують процес різання.

В даний час при проектуванні електрообладнання металорізальних верстатів одним з найбільш раціональних шляхів є використання комплектних електроприводів, що задовольняють заданим технічним вимогам.

У сучасних верстатах з ЧПУ для приводу головного руху в більшості випадків застосовується електродвигун постійного струму, що отримує живлення від тиристорного перетворювача.

На підставі короткого огляду існуючих електроприводів і з урахуванням вимог, що пред'являються до проєктованих електроприводів, найбільш підходящим є електропривод постійного струму реверсивним тиристорним перетворювачем з роздільним управлінням і двозонним регулюванням швидкості.

Застосування тиристорного перетворювача обумовлено тим, що в системах, в яких двигун живиться від керованого перетворювача, введенням зворотних зв'язків вдається отримати не тільки жорсткі механічні характеристики в верстаті, але і можливо сформувати необхідну якість перехідних режимів при пуску, гальмуванні та реверсуванні.

Силова схема перетворювача виконана за реверсивною трансформаторної трифазної зустрічно з'єднаної мостової схеми. Трифазна мостова схема знайшла найбільше застосування, так як вона володіє кращими енергетичними показниками, кращим використанням живлячих трансформаторів, а також можливістю захисту трансформаторів струмообмежуючими реакторами. Управління групами перетворювача – роздільне. При роботі однієї групи пристрій логіки забороняє подачу імпульсів управління на іншу групу, і навпаки. При роздільному управлінні виключається необхідність у зрівняльних

реакторах, покращується ККД електроприводу, оскільки немає втрат у зрівняльному контурі.

2.4 Розробка та опис принципіальної схеми системи управління електроприводом

2.4.1 Опис роботи електроприводу

Система електроприводу виконана за двоконтурною схемою підлеглого регулювання з пропорційно - інтегральними регуляторами струму та швидкості.

Тиристорний перетворювач живлення якірного ланцюга виконаний на двох сполучно з'єднаних трифазних мостових випрямлячах у вигляді тиристорних модулів. Управління реверсивним перетворювачем - роздільне, без зрівняльних струмів. Перетворювач обмотки збудження виконаний у вигляді нереверсивного напівкерованого однофазного випрямляча. Регулятор струму збудження передбачає можливість налаштування мінімальної і максимальної величини струму. Передбачена гальванічна розв'язка сигналів керуючих від ланцюга якоря. Велика кількість електронних захистів та ланцюгів діагностики значно полегшує експлуатацію приводу та усунення несправностей. Блок – схема електроприводу наведено на рис. 2.3.

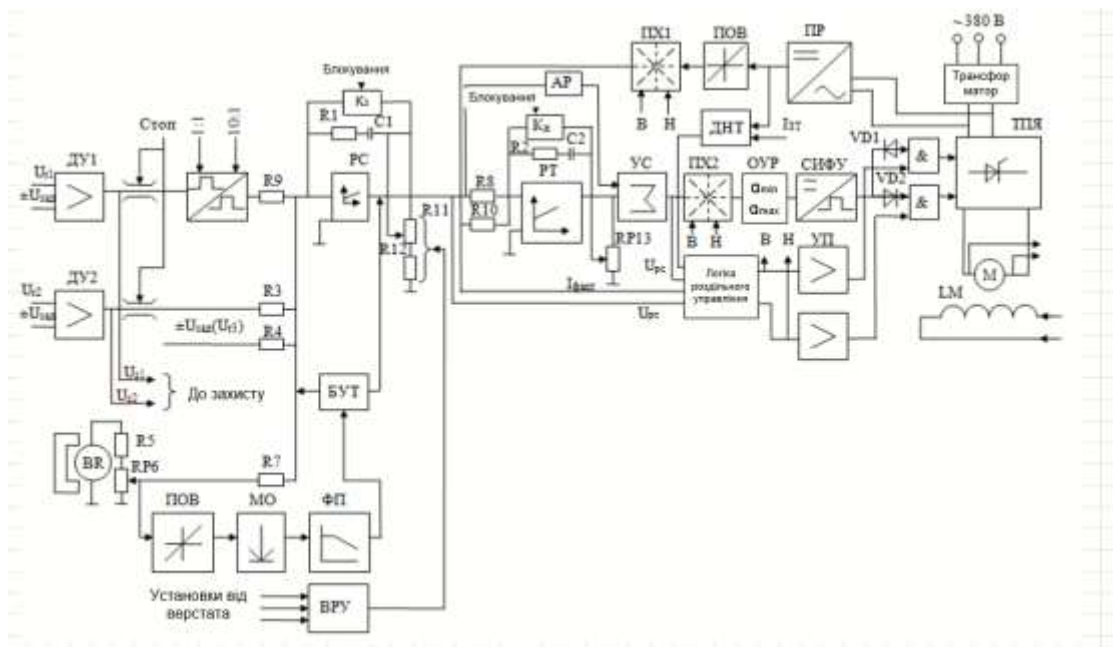


Рис. 2.3. Блок – схема електроприводу

Примітка. Джерело: Розроблено із використанням [3]

Елементи блок – схеми електроприводу:

ДУ1, ДУ2 - диференціальні підсилювачі сигналу, що задає;

К1... К4 – ключі;

ЗІ – задатчик інтенсивності;

РС – регулятор швидкості;

РТ – регулятор струму;

АР – адаптивний регулятор;

УС - підсумовувач, що підсумовує;

ПХ1, ПХ2 – перемикачі параметрів;

ОУР - обмежувач кутів регулювання;

СІФУ - система імпульсно - фазового управління;

І - схеми "І";

БЛ – блок логіки;

УЛ - підсилювач логіки;

ПОВ – повторювач;

МО – схема виділення модуля;

ФП – функціональний перетворювач;
ВРУ – блок зовнішнього регулювання посилення;
ПР – перетворювач;
ДНТ – датчик нульового струму;
ТПЯ - тиристорний перетворювач якоря;
ВР – тахогенератор;
М – двигун;
ДНЯ – датчик напруги якоря;
РНЯ - регулятор напруги якоря;
ССр - схема порівняння;
ДТВ – датчик струму збудження;
РТВ – регулятор струму збудження;
ТБО – тиристорний перетворювач збудження;
LM – обмотка збудження;

2.4.2 Силова схема

Силова схема виконана на безпотенційних тиристорних модулях у вигляді реверсивного шестиімпульсного випрямляча за мостовою схемою. Тиристорні модулі розташовуються на загальному радіаторі і мають природне охолодження. живлення випрямляча здійснюється від мережі змінного струму 380 (50 Гц) через трансформатор.

Передбачені захисту RC - ланцюжки від комутаційних перенапруження. У первинної ланцюга змінного струму і ланцюга якоря включені силові запобіжники.

Управління групами перетворювача – роздільне. При роботі однієї групи пристрій логіки забороняє подачу імпульсів керуючи іншою групою і навпаки.

Характерною особливістю трифазних мостових керованих схем випрямляча є необхідність подачі на керуючий електрод одного імпульсу шириною не менше 60 ел. градусів або двох коротких, що подаються через 60 ел.

градусів. Тільки при цьому забезпечується умова безперервності ланцюга протікання струму, так як в бруківці одночасно проводять струм два вентиля: вентиль до анода якого підводиться найпозитивніша напруга, і вентиль, до катода якого підводиться найнегативніша напруга.

Перший імпульс пари визначає кут відкриття тиристора в позитивній напівхвилі напруги живлення, другий - в негативній напівхвилі (режим переривчастого струму). У разі безперервного струму другий імпульс підтверджує необхідність відкриття даного тиристора при комутації інших вентилів.

Зсув між парами імпульсів однією фази різних груп випрямлячів – 180 ел. градусів.

Частота вихідної напруги якоря в 6 разів перевищує частоту мережі, що створює сприятливі умови для підтримки безперервного струму без додаткових елементів, що згладжують.

Прийнята на рис. 2.4. нумерація тиристорів відповідає черговості їх включення.

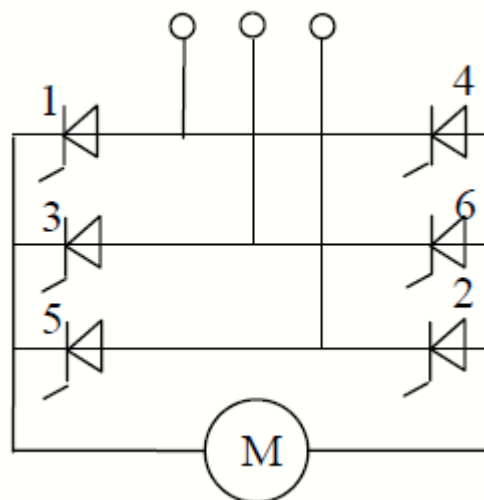


Рис. 2.4. Схема нумерації тиристорів

Примітка. Джерело: Розроблено із використанням [3]

2.4.3 Регулятор швидкості

Регулятор швидкості виконаний у вигляді пропорційно - інтегрального регулятора на операційному підсилювачі DA5 (6) і має чотири входи:

- 1) вхід для підключення напруги, що задає $\pm U_{\text{зад}}$ через диференціальний підсилювач DA1 (7), мінаючи задатчик інтенсивності (через фільтр R48, C16);
- 2) вхід для підключення $U_{\text{зад}}$ з використанням задатчика інтенсивності (через фільтр R58, C17);
- 3) вхід для підключення при необхідності будь-якого зовнішнього впливу (через фільтр R60, C18);
- 4) вхід для підключення зворотного зв'язку за частотою обертання (через фільтр R62, C19).

Балансування регулятора здійснюється потенціометрами RP5 (грубо) та RP4 (точно). Блокування РС і створення нульових початкових умов інтегрування здійснюється польовими транзисторами VT3(2) і VT3(3) при подачі на вхід логічного елемента DD1(12) сигнал БЛОКУВАННЯ зі схеми логіки блокування.

Коефіцієнт передачі РС плавно регулюється в діапазоні 1:10 потенціометром RP6. Крім того, передбачено 3 зовнішні канали зміни коефіцієнта передачі шляхом подачі напруги +24В в ланцюги інвертуючих входів P6(7), P7(1), P7(7).

Установка необхідного коефіцієнта передачі здійснюється, відповідно потенціометрами RP7, RP8, і RP9. Наявність подібних ланцюгів дозволяє легко оптимізувати перехідні процеси при використанні багатошвидкісних коробок швидкостей.

Передбачено ланцюг зовнішнього виключення інтегруючої складової шляхом подачі напруги +24В ланцюг інвертуючого входу ОУ DA6(1). При цьому шунтується конденсатор C22.

Установка максимальної частоти обертання проводиться за допомогою потенціометра RP3 в ланцюгу дільника сигналу тахогенератора.

Вихідна напруга РС є задаючим для регулятора струму, тим самим здійснюється підпорядковане регулювання.

2.4.4 Регулятор струму

Регулятор струму РТ виконаний у вигляді адаптивного пропорційно-інтегрального регулятора.

На інвертуючому вході ОУ DA1(6), що представляє собою класичний ПІ - регулятор струму, алгебраїчно підсумовуються вихідна напруга регулятора швидкості РС, що є величиною завдання струму якоря $I_{зад}$, і напруження пропорційне фактичної величини струму $I_{я}$.

Балансування ПІ - регулятора здійснюється потенціометром RP2, а регулювання коефіцієнта передачі потенціометром RP3.

Ключем на польовому транзисторі VT1 при подачі на вхід логічного елемента DD6(9) сигналу БЛОКУВАННЯ зі схеми логіки блокування здійснюється блокування і створення нульових початкових умов інтегрування РТ.

Для компенсації зменшення коефіцієнта передачі тиристорного перетворювача при роботі в зоні переривчастих струмів передбачений адаптивний регулятор АР на ОУ DA2(6), що являє собою типовий функціональний уси-

Літель. На його вході, що інвертує, сумуються вихідна напруга регулятора швидкості РС ($U_{зад}$), величина якого може регулюватися потенціо-метром RP1, і напруга, пропорційна напрузі тахогенератора Утг, що надходить з повторювача на ОУ DA13(1). Балансування АР виконується по-тенціометр RP4.

При малих вхідних сигналах коефіцієнт передачі ОУ DA2(6) визначається величиною резистора R16 і маєма максимальну величину. У міру зростання вхідної напруги послідовно, залежно від полярності, відкриваються діоди VD1 ... VD3 або VD4 ... VD6, шунтуючи резистор R16. Коефіцієнт передачі зменшується.

Характеристика адаптивного регулятора показано на рис. 2.5. При збільшенні частоти обертання зона роботи схеми адаптації звужується. Мостова

схема на діодах VD7...VD10 та стабілітроні VD1 обмежує максимальну вихідну напругу адаптивного регулятора.

Вихідні напруга ПІ – регулятора на ОУ DA1(6) і адаптивного регулятора на ОУ DA2(6) сумуються на ОУ DA4(1), чим забезпечуються високі динамічні характеристики електроприводу при роботі в зоні струмів, що перериваються.

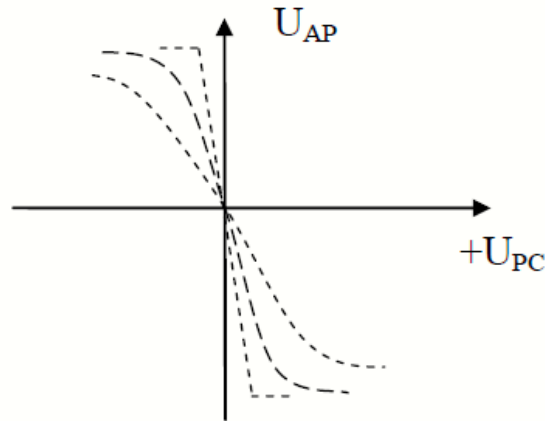


Рис. 2.5. Характеристика адаптивного регулятора

Примітка. Джерело: Розроблено із використанням [3]

Мостова схема в ланцюзі зворотного зв'язку на діодах VD11...VD14 та стабілітроні VD2 обмежує максимальну вихідну напругу суматора.

2.5 Синтез аналогової системи підлеглого двухзонного регулювання швидкості

2.5.1 Вибір датчиків швидкості та струму

Вибір типу датчиків визначається вимогами системи ЕП, конструктивними особливостями механічної системи верстата; умовами експлуатації. Для вимірювання кутової швидкості обертання як датчик швидкості приймемо тахогенератор постійного струму типу СЛ-161. Як датчик струму приймемо шунт з коефіцієнтом передачі, рівним 1,5 мВ/А.

$$\left. \begin{aligned}
 U_{\Sigma} &= R_{\Sigma} i_{\Sigma} \cdot (1 + pT_a) \cdot i_{\Sigma} + e \\
 U_{\Sigma} &= \frac{R_{\Sigma}}{K} \cdot (1 + pT_e) \cdot \Phi \\
 e &= \kappa \cdot \Phi \cdot \omega \\
 M &= \kappa \cdot \Phi \cdot i_{\Sigma} \\
 M - M_c &= J \cdot \frac{d\omega}{dt}
 \end{aligned} \right\} \quad (2.6)$$

Структурна схема двигуна відповідна системі рівнянь 2.6 приведено рис. 2.6.

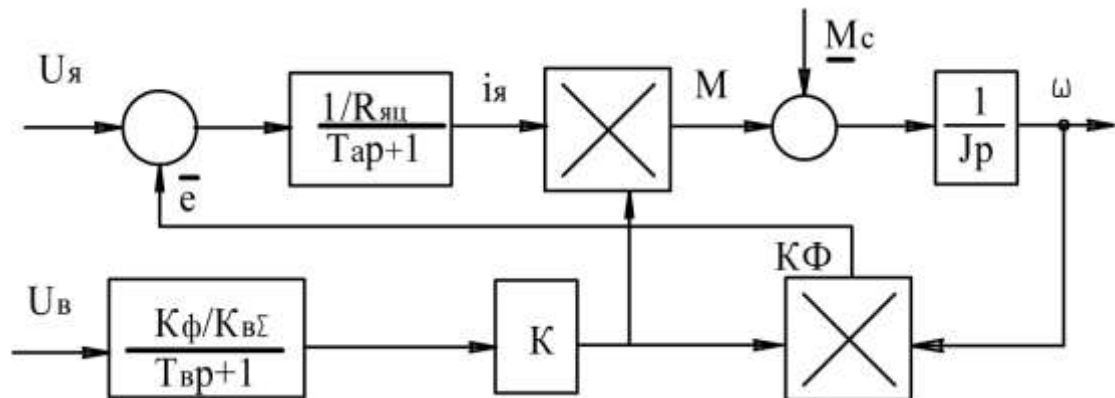


Рис. 2.6. Структурна схема двигуна

Примітка. Джерело: Розроблено із використанням [3]

Номінальна кутова швидкість двигуна:

$$\omega_H = \frac{\pi \cdot n_H}{30} \quad (2.7)$$

де n_H - номінальна кількість обертів двигуна, що дорівнює 500 об/хв,

$$\omega_H = \frac{3,14 \cdot 500}{30} = 523,5 \text{ рад/с}$$

Максимальна кутова швидкість двигуна з урахуванням діапазону у 2 зоні:

$$\begin{aligned}
 \omega_{\max} &= \frac{\pi \cdot n_{\max}}{30}, \\
 \omega_{\max} &= \frac{\pi \cdot 500 \cdot 3}{30} = 104,7 \text{ рад/с}.
 \end{aligned} \quad (2.8)$$

Значення конструктивного коефіцієнта двигуна:

$$K = \frac{p \cdot N}{2 \cdot \pi \cdot a}, \quad (2.9)$$

де p - число пар полюсів, рівне 2;

a - число паралельних гілок, що дорівнює 1;

N - число витків обмотки якоря, що дорівнює 702,

$$K = \frac{2 \cdot 702}{2 \cdot 3,14 \cdot 1} = 223,45.$$

Сумарний активний опір якірного ланцюга:

$$\begin{aligned} R_{я.л.} &= R_{я.} + R_{\partial л.}, \\ R_{я.л.} &= 0,459 + 0,239 = 0,698 \text{ Ом}. \end{aligned} \quad (2.10)$$

Індуктивність обмотки якоря:

$$\begin{aligned} L_{я} &= \frac{0,6 U_H}{p \cdot \omega \cdot I_H}, \\ L_{я} &= \frac{0,6 \times 220}{2 \cdot 52,35 \cdot 40,9} = 0,0308, \text{ Гн} \end{aligned} \quad (2.11)$$

Електромагнітна постійна часу обмотки якоря двигуна:

$$\begin{aligned} T_{я} &= \frac{L_{я}}{R_{я}} \\ T_{я} &= 0,0308 / 0,698 = 0,0442, \text{ с}. \end{aligned} \quad (2.12)$$

Для спрощення розрахунків еквівалентну індуктивність якірного ланцюга приймемо:

$$\begin{aligned} L_{\Sigma} &= 1,5 L_{я}, \\ L_{\Sigma} &= 1,5 \times 0,0308 = 0,0462, \text{ Гн}. \end{aligned} \quad (2.13)$$

Еквівалентний опір якірного ланцюга:

$$R_{\Sigma} = \frac{U_H - \kappa \Phi \cdot \omega_H}{I_H}, \quad (2.14)$$

де Φ -номінальний потік двигуна, рівний 0,0203 Вб

$$R_{\Sigma} = \frac{220 - 223,5 \cdot 0,01619 \cdot 52,5}{40,9} = 0,75.$$

Електромагнітна постійна часу якірного ланцюга:

$$\begin{aligned} T_{\Sigma} &= L_{\Sigma} / R_{\Sigma}, \\ T_{\Sigma} &= 0,0462 / 0,75 = 0,0618 \text{ с.} \end{aligned} \quad (2.15)$$

Сумарний момент інерції:

$$\begin{aligned} J_{\Sigma} &= 1,21 \cdot J_{\partial\partial}, \\ J_{\Sigma} &= 1,21 \cdot 0,534 = 0,646 \text{ кг} \cdot \text{м}^2. \end{aligned} \quad (2.16)$$

де $J_{\partial\partial}$ - момент інерції двигуна, рівний $1,05 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$

Електромеханічна постійна часу механізму:

$$\begin{aligned} T_M &= \frac{J_{\Sigma} \cdot R_{\Sigma}}{(\kappa \cdot \Phi_H)^2}, \\ T_M &= \frac{0,646 \cdot 0,75}{(3,61)^2} = 0,037 \text{ с.} \end{aligned} \quad (2.17)$$

Максимальне значення випрямної ЕРС перетворювача якоря:

$$\begin{aligned} E_{do} &= 1,35 \cdot U_{2л}, \\ E_{do} &= 1,35 \cdot 230 = 310,5 \end{aligned} \quad (2.18)$$

де $U_{2л}$ - лінійна напруга вторинної обмотки трансформатора, що дорівнює 230 В,

Номінальна ЕРС двигуна:

$$\begin{aligned} E_H &= \kappa \Phi_H \cdot \omega_H, \\ E_H &= 3,61 \cdot 52,3 = 189,4 \text{ В.} \end{aligned} \quad (2.19)$$

Коефіцієнт лінеаризації кривої намагнічування:

$$\begin{aligned} K_{\Phi} &= \Delta \Phi / \Delta I_B, \\ K_{\Phi} &\approx 0,0081 / 1,152 = 0,0053. \end{aligned} \quad (2.20)$$

2.5.2 Визначення параметрів контуру регулювання швидкості при номінальному потоці

Структурна схема контуру швидкості з підлеглим контуром струму якоря наведено на рис. 2.7.

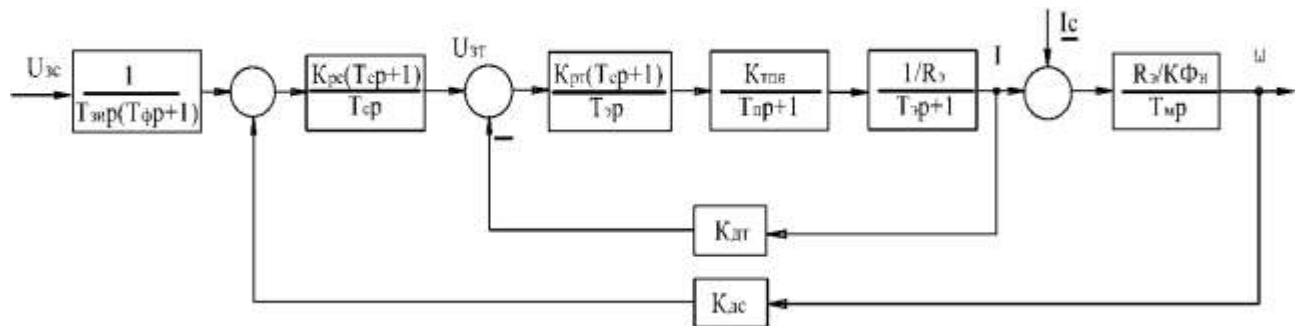


Рис. 2.7. Структурна схема контуру швидкості з підлеглим контуром струму якоря

Примітка. Джерело: Розроблено із використанням [3]

Коефіцієнт зворотного зв'язку за струмом:

$$K_{\text{дт}} = \frac{U_{\text{з.т.мах}}}{\lambda \cdot I_{\text{н}}}, \quad (2.21)$$

де $U_{\text{з.т.мах}}$ - напруга завдання струму з урахуванням перевантаження, що дорівнює 10 В,

$\lambda=2$ – коефіцієнт перевантаження,

$$K_{\text{дт}} = \frac{10}{2 \cdot 40,9} = 0,0978.$$

Коефіцієнт посилення тиристорного перетворювача якоря:

$$\begin{aligned} K_{\text{тп}} &= E_{\text{до}}/U_{\text{у}}, \\ K_{\text{тп}} &= 283,5/10 = 31,05 \end{aligned} \quad (2.22)$$

Постійну часу, що не компенсується, контуру струму якоря приймемо рівної часу тиристорного перетворювача:

$$T_m = T_n = 0,003 \text{ с}, \quad (2.23)$$

З метою налаштування контуру струму на модульний (технічний) оптимум параметри струму якоря приймемо наступними:

$$T_{pm} = T_{\Sigma} = 0,0616 \text{ с}. \quad (2.24)$$

Коефіцієнт передачі регулятора:

$$K_{ртя} = \frac{T_{\Sigma} \cdot R_{\Sigma}}{2T_m \cdot K_{ття} \cdot K_{\partial т}}, \quad (2.25)$$

$$K_{ртя} = \frac{0,0368 \cdot 0,75}{2 \cdot 0,003 \cdot 28,35 \cdot 0,122} = 1,33, \text{ с}.$$

Коефіцієнт зворотного зв'язку за швидкістю:

$$K_{\partial с} = \frac{U_{ззс}}{\omega_n} = \frac{U_{зз \max}}{\omega_{\max}}, \quad (2.26)$$

де $U_{зсн}$ - напруга завдання номінальної швидкості, що дорівнює 3,33 В.

$U_{зсmax}$ - напруга завдання максимальної швидкості, що дорівнює 10 В.

$$K_{\partial с} = 10/104,7 = 0,0955. \quad (2.27)$$

При налаштуванні контуру швидкості на симетричний оптимум постійну часу регулятора швидкості приймемо $T_c = 8T_m = 0,024, \text{ с}.$

Коефіцієнт передачі регулятора швидкості при номінальному потоці:

$$K_{рс} = \frac{\kappa \Phi_n \cdot K_{\partial т} \cdot T_m}{4T_{\mu} \cdot K_{\partial с} \cdot R_{\Sigma}}, \quad (2.28)$$

$$K_{рс} = \frac{3,61 \cdot 0,0978 \cdot 0,0368}{4 \cdot 0,003 \cdot 0,0955 \cdot 0,75} = 15,11,$$

З метою зменшення перерегулювання у контурі швидкості на його вході включають фільтр з постійною часу:

$$T_{\phi} = 8 \times T_{\mu} = 8 \times 0,003 = 0,024 \text{ с}. \quad (2.29)$$

Для завдання допустимого темпу розгону та гальмування приводу на вході контуру швидкості встановлюється задатчик інтенсивності з постійною часу:

$$T_{зи} = \frac{\omega_n \cdot J_{\Sigma}}{U_{ззс} \cdot K_{фн} \cdot I_n}, \quad (2.30)$$

$$T_{зи} = \frac{52,35 \cdot 0,646}{3 \cdot 3,61 \cdot 40,9} = 0,0227, \text{ с.}$$

2.6 Визначення параметрів контуру регулювання збудження при номінальній швидкості

Структурна схема контуру регулювання ЕРС з підлеглим контуром збудження струму показано на рис. 2.8

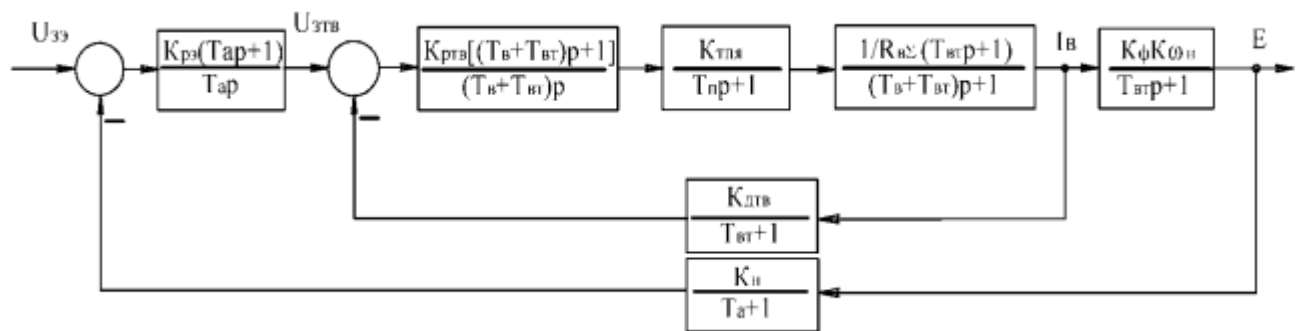


Рис. 2.8. Структурна схема контуру регулювання ЕРС з підлеглим контуром струму збудження

Примітка. Джерело: Розроблено із використанням [3]

Коефіцієнт зворотного зв'язку за струмом збудження:

$$K_{дтв} = \frac{U_{зтв}}{I_{нн}}, \quad (2.31)$$

$$K_{дтв} = \frac{10}{3,04} = 3,28.$$

Сумарний опір обмотки збудження:

$$R_{б\Sigma} = 1,38 \times R_{б} \quad (2.32)$$

$$R_{б\Sigma} = 1,38 \times 34,78 = 47,9$$

Коефіцієнт посилення тиристорного перетворювача збудження (мостова однофазна схема):

$$\begin{aligned} K_{mтв} &= 0,9 U_a / U_y \\ K_{mтв} &= 0,9 \times 220 / 10 = 19,8. \end{aligned} \quad (2.33)$$

Постійна часу ланцюга обмотки збудження:

$$\begin{aligned} T_{\phi} &= 2 p x W_{\phi} x K \Phi / R_{\phi} \Sigma, \\ T_{\phi} &= 4 \times 835 \times 0,0053 / 47,9 = 0,37, c. \end{aligned} \quad (2.34)$$

Постійна часу контуру вихрових струмів:

$$T_{\phi} = 0,1 T_{\phi} = 0,037, c. \quad (2.35)$$

Приймається рівною постійній часу датчика зворотного зв'язку струму збудження $T_{\phi т} = T_{\phi тв}$.

Постійна часу тиристорного перетворювача приймається рівною некомпенсованої постійної часу $T_{\mu} = T_n = 0,003 c$.

Контур струму збудження налаштовується на модульний оптимум з ПІ-регулятором. Постійна часу регулятора струму збудження:

$$\begin{aligned} T_{ртв} &= T_{\phi} + T_{\phi т}, \\ T_{ртв} &= 0,369 + 0,0369 = 0,405, c. \end{aligned} \quad (2.36)$$

Коефіцієнт посилення регулятора струму збудження:

$$\begin{aligned} K_{ртв} &= \frac{(T_{\phi} + T_{\phi т}) \cdot R_{\phi} \Sigma}{2 \cdot T_{\mu} \cdot K_{mтв} \cdot K_{\phi тв}}, \\ K_{ртв} &= \frac{0,405 \cdot 47,9}{2 \cdot 0,003 \cdot 19,8 \cdot 3,28} = 50,1, \end{aligned} \quad (2.37)$$

Коефіцієнт зворотного зв'язку по ЕРС:

$$K_H = U_{зэн} / E_H, \quad (2.38)$$

де $U_{зэн}$ - напруга завдання номінальної ЕРС, що дорівнює 10 В,

$$K_H = 10 / 189,2 = 0,052.$$

Постійна часу датчика зворотного зв'язку з ЕРС. приймається рівною електромагнітній постійній часу двигуна $T_{\phi е} = T_A$.

Налаштування контуру ЕРС проводиться на модульний оптимум. При цьому регулятор ЕРС в даному курсовому проекті, ПІ та І.

Використання ПІ-регулятора більш доцільно, так як при застосуванні І-регулятора швидкодія контура ЕРС для сучасних двигунів недостатньо з точки зору допустимого відхилення ЕРС при розгоні. При цьому постійна часу ПІ-регулятора ЕРС може бути обрана з умови компенсації електромагнітної постійної часу обмотки якоря T_a або постійної часу контуру струму збудження. Нехай $T_{PE}=T_A$

Тоді коефіцієнт посилення ПІ-регулятора ЕРС:

$$K_{pэ} = \frac{T_a \cdot K_{дтв}}{2 \cdot T_{\mu\omega} \cdot K_{\Phi} \cdot K \cdot \omega_n \cdot K_n}, \quad (2.39)$$

де $T_{\mu\omega}=2T_{\mu}$

$$K_{pэ} = \frac{0,026 \cdot 3,28}{2 \cdot 2 \cdot 0,003 \cdot 0,0052 \cdot 223,5 \cdot 52,35 \cdot 0,052} = 3,67,$$

Якщо налаштувати контур ЕРС для роботи на максимальній швидкості, то на швидкостях $\omega < \omega_{\max}$ частота зрізу ЛАЧХ контуру ЕРС буде зменшуватися пропорційно зменшенню $K_{\Phi-\omega}$.

Також було здійснено розрахунок динамічних режимів за допомогою пакета "MATLAB", для ПІ та І-регуляторів ЕРС при їх налаштуванні на номінальну швидкість. Графіки перехідних процесів представлені на рис.2.10.

Судячи з отриманих графіків перехідних процесів можна сказати, що при використанні І-регулятора швидкодія контуру ЕРС менша порівняно з контуром, який використовував ПІ-регулятор, хоча перерегулювання по ЕРС також менше. Переважним у використанні для сучасних двигунів постійного струму є ПІ-регулятор.

2.7 Розрахунок динамічних режимів у пакеті MATLAB

Розрахунок динамічних режимів виконуємо у пакеті MATLAB. Для перевірки правильності розрахунку параметрів системи регулювання досліджуємо перехідні процеси у контурах:

- контур струму якоря;
- контур швидкості з підлеглим контуром струму якоря;
- контур струму збудження;
- контурі ЕРС двигуна з підлеглим контуром струму збудження.

Проводимо моделювання при двозонному регулюванні швидкості на підставі структурної схеми, наведеної на рис.2.9. Розраховуємо такі перехідні процеси:

- розгін на холостому ходу до $\omega_{тах}$;
- розгін на холостому ходу в два ступені: від 0 до ω_n і від ω_n до $\omega_{тах}$;
- Розгін до $\omega_{тах}$ під навантаженням $M_c = M_n / DII$;
- розгін під навантаженням від 0 до при $M_c = M_n$, і від ω_n до $\omega_{тах}$ при $M_c = M_n / DII$.

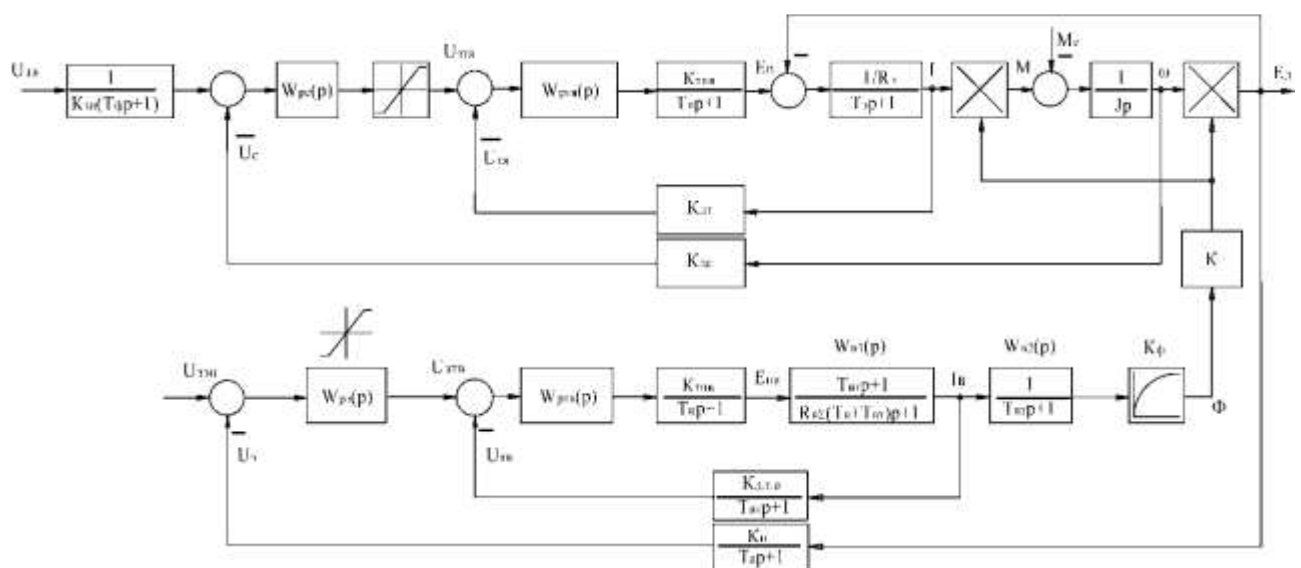


Рис. 2.9. Структурна схема системи двозонного регулювання

Примітка. Джерело: Розроблено із використанням [3]

Отримані в результаті моделювання перехідні процеси можна переглянути та проаналізувати на рисунках 2.10 – 2.17.

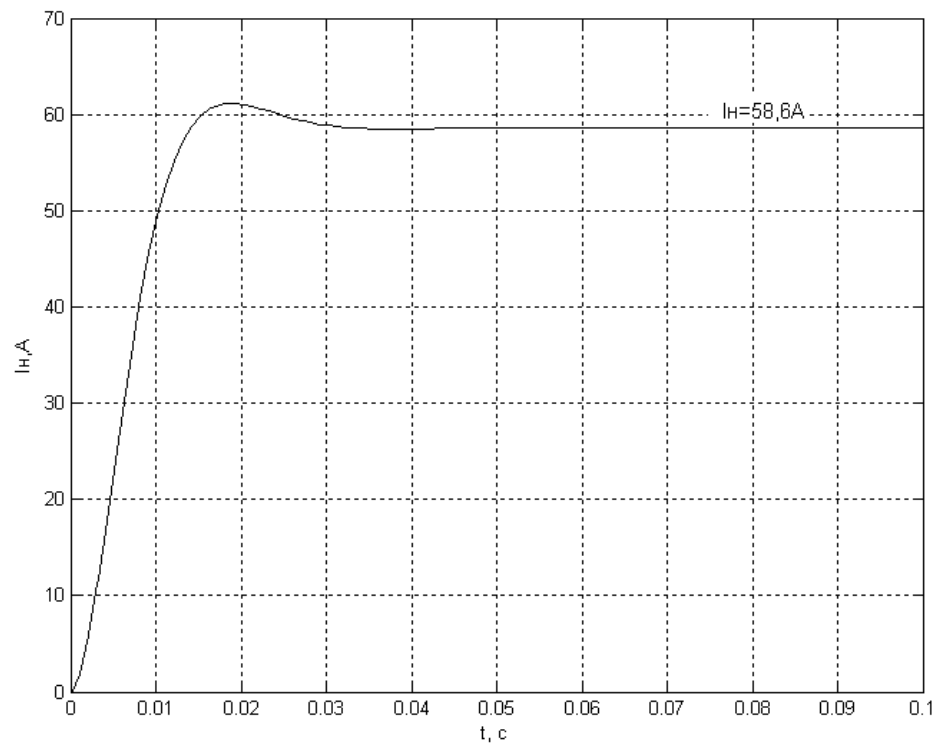


Рис. 2.10. Перехідний процес у контурі струму якоря

Примітка. Джерело: Розроблено із використанням [3]

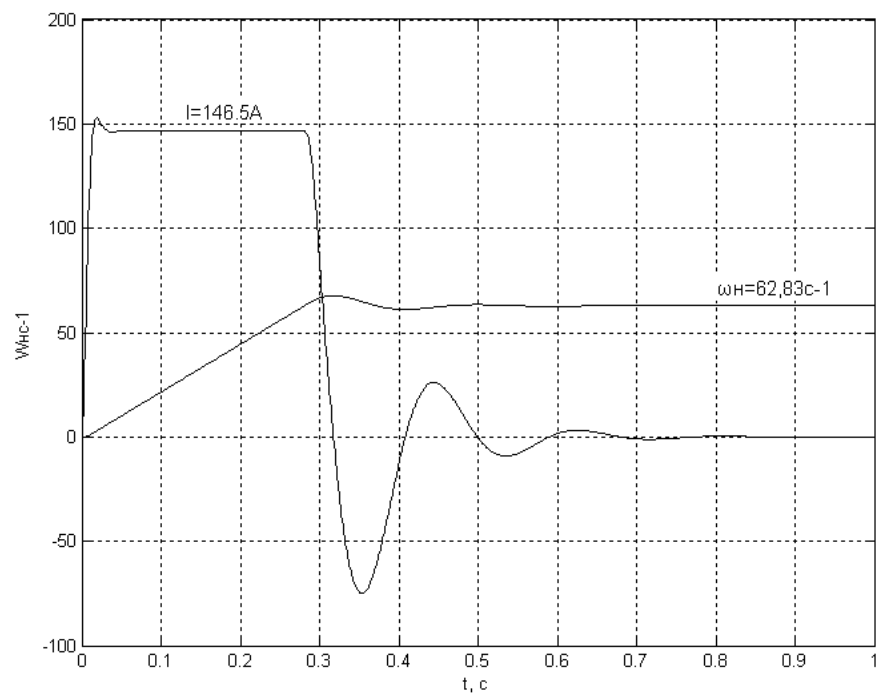


Рис. 2.11. Перехідний процес у контурі регулювання швидкості

Примітка. Джерело: Розроблено із використанням [3]

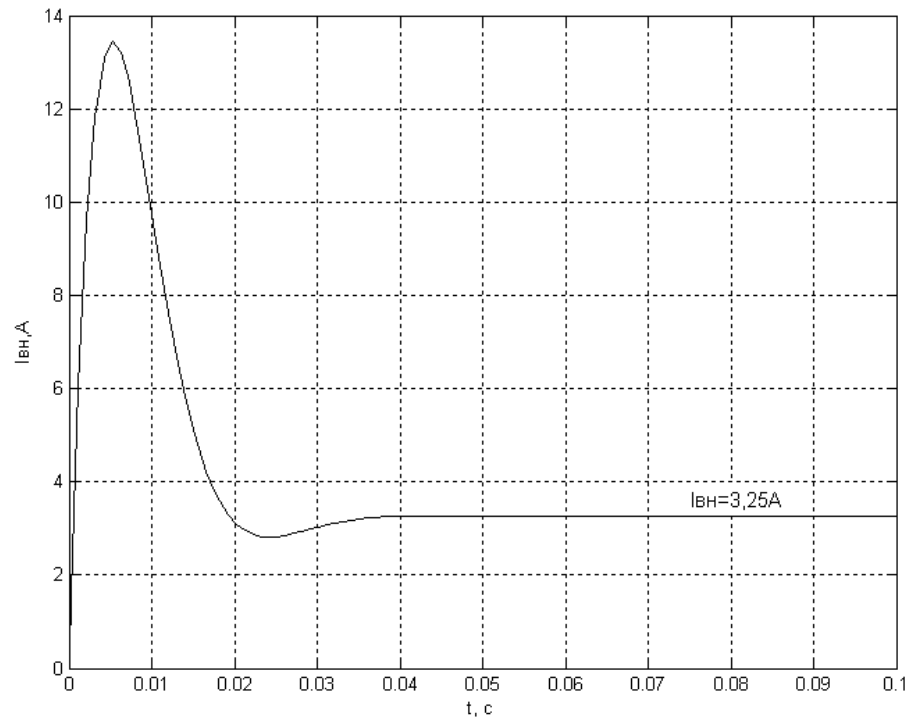


Рис. 2.12. Перехідний процес у контурі струму збудження

Примітка. Джерело: Розроблено із використанням [3]

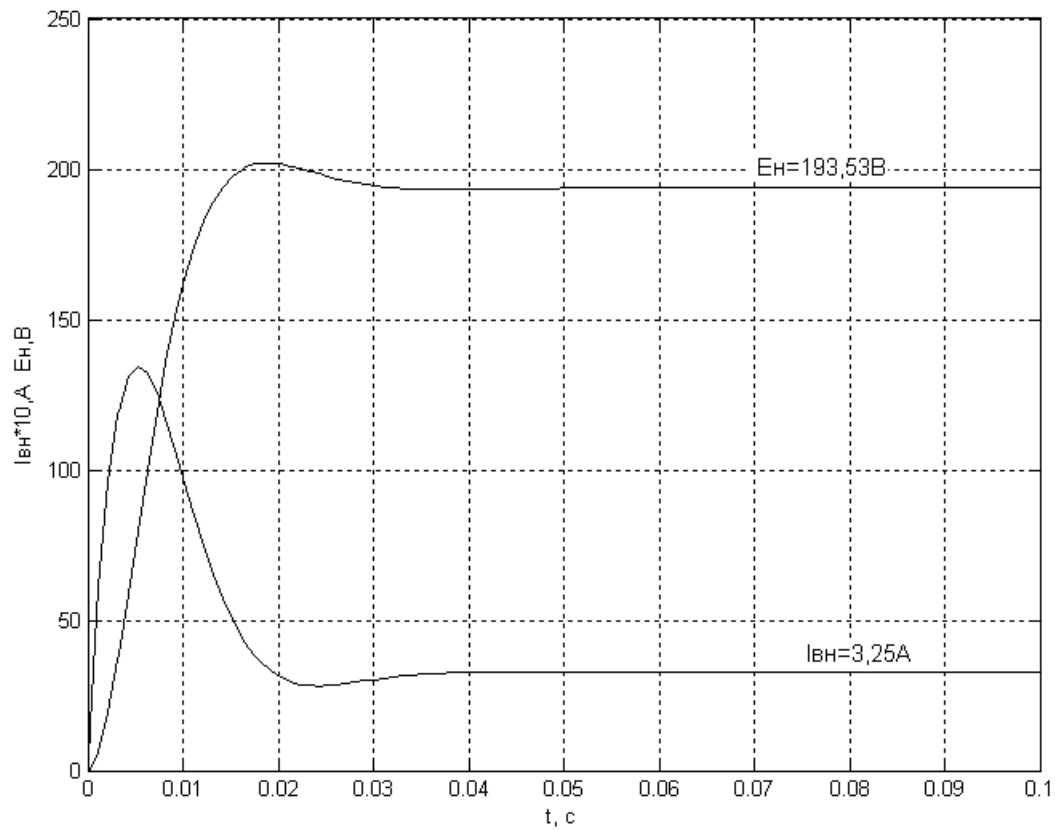


Рис. 2.13. Перехідний процес у контурі ЕРС

Примітка. Джерело: Розроблено із використанням [3]

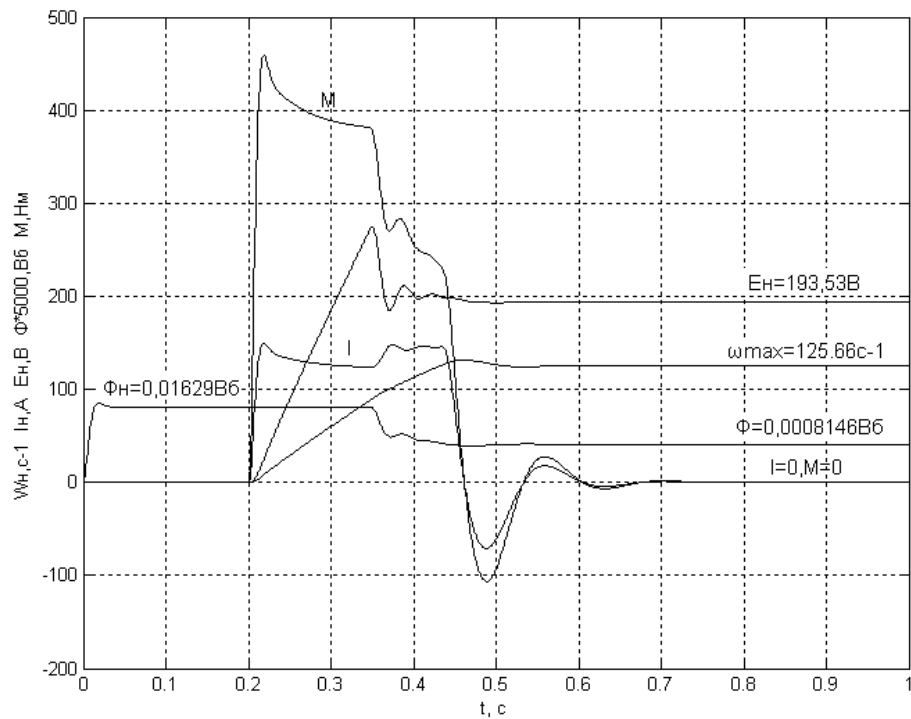


Рис. 2.14. Перехідний процес у системі: розгін на холостому ході до max

Примітка. Джерело: Розроблено із використанням [3]

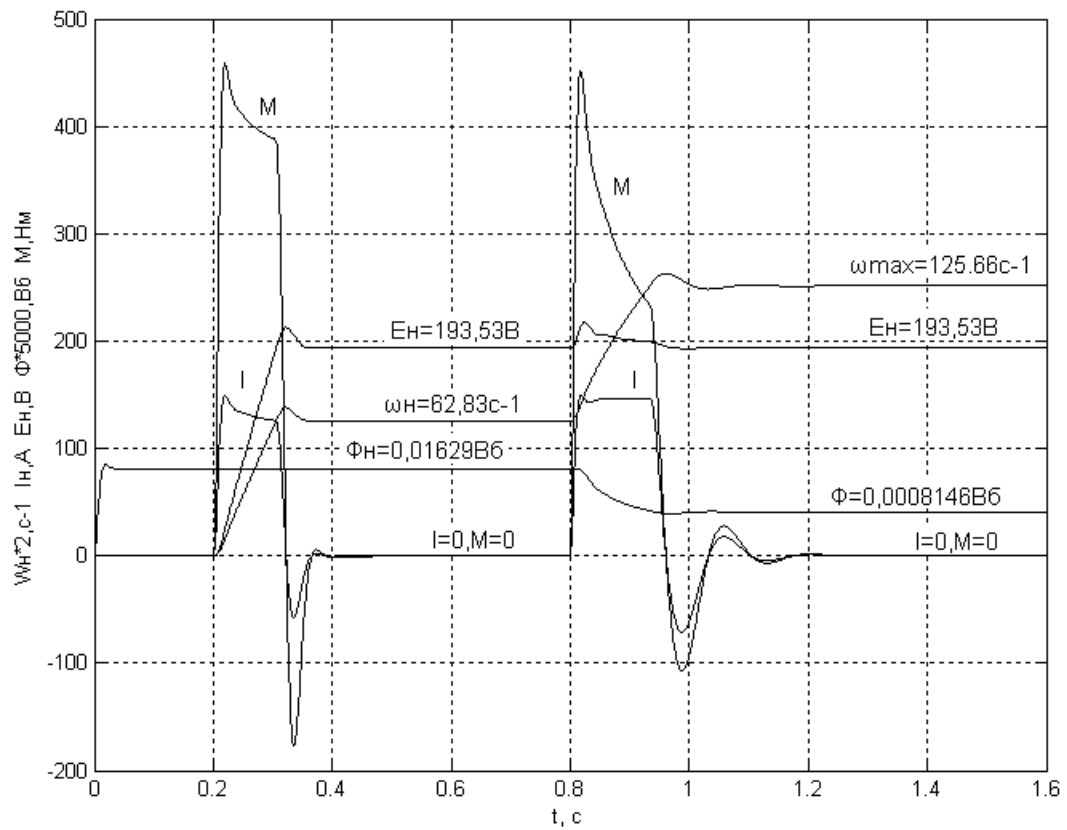


Рис. 2.15. Перехідний процес у системі: розгін на холостому ході в два

ступені від 0 до ω_n і від ω_n до ω_{max}

Примітка. Джерело: Розроблено із використанням [3]

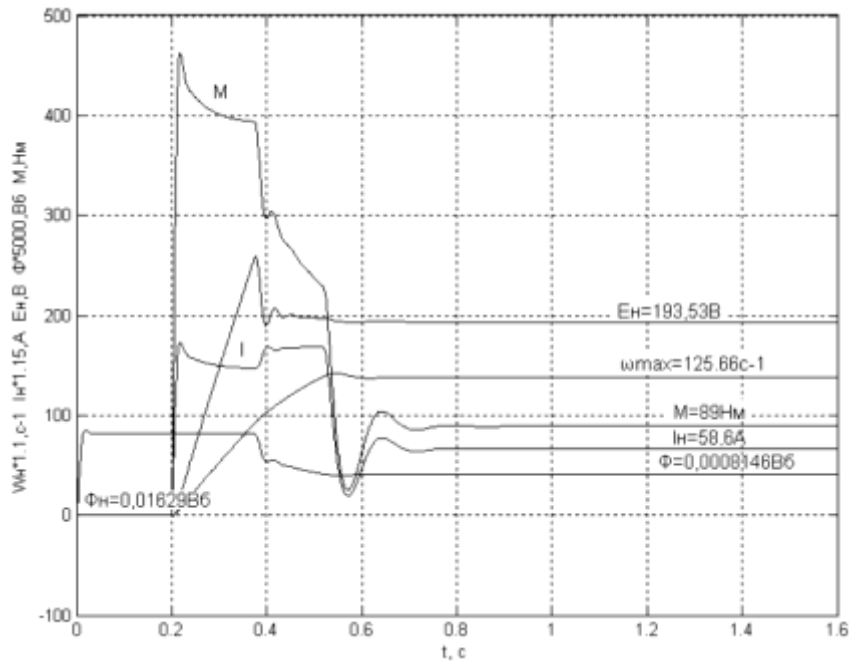


Рис. 2.16. Перехідний процес у системі: розгін під навантаженням до $\omega_{\max}$ при $M_c = M_{\text{сн}}/D\Pi$

Примітка. Джерело: Розроблено із використанням [3]

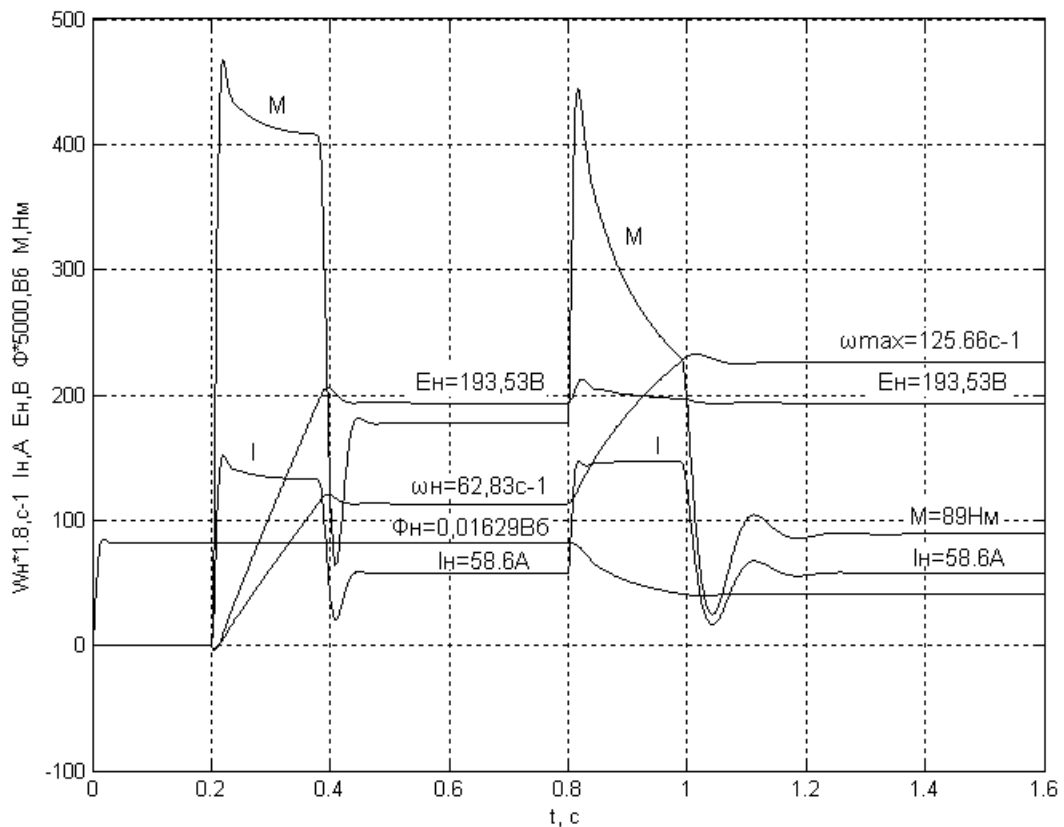


Рис. 2.17. Перехідний процес у системі: розгін під навантаженням у два ступеня від 0 до ω_n і від ω_n до $\omega_{\max}$. при $M_c = M_{\text{сн}}/D\Pi$

Примітка. Джерело: Розроблено із використанням [3]

Висновки

Консольний вертикально-фрезерний верстат з ЧПУ мод. 6P13ФЗ, виконаний на базі верстата моделі 6P13, призначений для обробки кінцевими та радіусними фрезами плоских або просторових деталей складного профілю (штампів, прес-форм, кулачків тощо) з чорних, кольорових металів та інших матеріалів у дрібносерійному та серійному виробництві. Обробка досягається поєднанням переміщення столу верстата з деталлю в горизонтальній площині по двох координатах і вертикального переміщення шпиндельної головки з різальним інструментом. Основні рухи у верстаті. Головний рух - обертання шпинделя; рух подачі-переміщення санок у поперечному, столу в поздовжньому та шпиндельної головки у вертикальному напрямках; допоміжні рухи - настановні переміщення вузлів верстата. Джерелом потужності служить електродвигун М1 ($N = 7,5$ кВт, $n = 1450$ об/хв).

Основні параметри ЕП головного руху наведено у таблиці 2.1.

Таблиця 2.1

Найменування параметрів	Значення параметрів
Номінальна потужність двигуна, кВт	7,5
Номінальний струм двигуна, А	40,9
Частота обертання, об/хв	500
Номінальна напруга,	220
Частота мережі живлення, Гц	50

Верстати з ЧПК характеризуються виробничою гнучкістю, тобто можливістю швидкого переналагодження для виготовлення різних деталей. Для цього потрібно тільки змінити керувальну програму та верстатний пристрій і встановити необхідні різальні інструменти у магазин чи револьверну головку. Саме через це верстати з ЧПК є основним видом обладнання сучасного серійного машинобудівного виробництва. Обробка на верстатах з ЧПК забезпечує необхідну геометричну точність завдяки підвищеній жорсткості, вищій точності позиціювання і повторюваності траєкторії руху інструмента відносно оброблюваної заготовки. За однією і тією самою програмою можна виготовити будь-яку кількість практично ідентичних деталей.

Верстати з ЧПК забезпечують вищу, порівняно з верстатами з ручним керуванням, продуктивність технологічних операцій завдяки використанню максимальних швидкостей робочих органів під час виконання холостих встановлювальних переміщень, а також використання оптимальних режимів різання (зокрема використання режиму підтримання постійної швидкості різання в процесах токарної обробки).

2.8 Заходи із охорони праці та безпеки при експлуатації фрезерного станка з числовим програмним керуванням

Завдання охорони праці полягає в тому, щоб звести до мінімуму ймовірність ураження працюючого під дією небезпечного виробничого фактора або захворювання під дією шкідливого виробничого фактора з одночасним забезпеченням комфортних умов при максимальній продуктивності праці.

Верстат з ЧПК - це пристрій, який автоматично керується за допомогою спеціального комп'ютера і програми обробки (керувальної програми), яка розроблена на основі креслення деталі, операційного ескізу і змісту технологічної операції. Основна перевага верстатів з ЧПК - можливість автоматизації виробництва. Функція робітника-оператора, який обслуговує верстат з ЧПК, полягає тільки у встановленні заготовки у верстатний пристрій та натисканні кнопки для виконання автоматичного циклу обробки цієї заготовки. Верстати з ЧПК можуть працювати практично автономно, випускаючи продукцію стабільно високої якості. Ця перевага дозволяє використовувати багатOVERSTATне обслуговування, коли один оператор виробляє продукцію на двох і більше верстатах одночасно.

Метою даного розділу є аналіз небезпечних та шкідливих факторів при роботі горизонтально-фрезерного верстата (за нормативно-технічною документацією на обладнання ПЗ «НМЗ», інструментального цеху), розробка вимог та заходів з техніки безпеки, виробничої санітарії, аналіз пожежної безпеки та вироблення заходів, спрямованих на запобігання пожежам.

2.8.1 Аналіз небезпечних і шкідливих виробничих чинників

Досліджуваний електропривід працює у приміщенні, яке згідно з ПУЕ відноситься до приміщення без підвищеної небезпеки, сухе не запилене. Для безпечної роботи людини велике значення має покриття, опір якого більше 0,2

МОм і відноситься до струмопровідного. Приміщення цеху виконано з негорючих матеріалів першого ступеня вогнестійкості.

Напруга живлення лінії 220 і 380 В. Лінія відноситься до електроустановок до 1000 В. Обслуговування доручається особам, що мають кваліфікацію, що відповідає чинним вимогам.

Основні види небезпек належать до фізичної групи впливів. Дані травми можуть виникнути:

- при попаданні частин одягу і волосся в механізми лінії, що крутяться;
- можливість ураження електричним струмом.

Небезпеки психологічної групи пов'язані з шумом та монотонністю в обслуговуванні верстата, що призводить до зниження уваги, підвищення травматизму.

До шкідливих факторів належать:

- вібрація обладнання;
- несприятливий мікроклімат.

Несприятливі умови довкілля шкідливо впливають організм працюючого, знижують реакцію, підвищують стомлюваність. До виробничих шкідливостей належать несприятливий мікроклімат, виробничий пил, шкідливі гази та пари, недостатня освітленість

2.8.2 Засоби зниження дії небезпечних і шкідливих виробничих чинників

Одним з пріоритетів є безпека операторів та обслуговуючого персоналу. Особлива увага приділяється панелям управління, їх висота повинна регулюватися таким чином, щоб користувачеві було зручно працювати в сидячому або стоячому положенні. Також вони повинні бути чітко видно і впізнавані для того, щоб їх можна було надійно використовувати без зволікання, швидко та однозначно. Так, наприклад, стандартне розташування органів управління зменшує можливість помилки, коли оператор переходить з однієї

машини на іншу подібного типу, що функціонує по тому ж виробничому циклу і така робота не призведе до додаткових ризиків.

Робота виконується у спецодязі. Допоміжні приміщення мають гардеробне обладнання та душові кімнати. Виробництво відноситься до третьої категорії вібрації, виробничі шуми незначні.

Безпека на виробництві значною мірою залежить від освітлення. Основне завдання висвітлення з виробництва - створення найкращих умов зору трудящих. Це завдання можна вирішити лише освітлювальною системою. Освітленість на робочому місці має відповідати характеру зорової роботи. У разі робота на вертикально-фрезерном верстаті належить до зорової роботи IV Р (СНиП 23-05-95). Необхідна норма освітлення $E_{НОР} = 200$ ЛК. Для створення ЕНОР застосовується поєднане освітлення: природне та загальне люмінесцентне освітлення.

Для створення раціональних умов освітлення важливе значення має ретельний та регулярний догляд за установками природного та штучного освітлення. Необхідно стежити за справністю схем включення, регулярно замінювати лампи, що перегоріли. На підприємствах має бути спеціально виділена особа, яка завідує експлуатацією освітлення.

На виробництві для захисту органів зору від ультрафіолетового та інфрачервоного випромінювання та сліпучої яскравості видимого світла застосовують захисні окуляри.

Для захисту органів слуху застосовують: навушники, антифони, беруші.

На підприємствах необхідно регулярно проводити організаційні заходи щодо забезпечення безпеки праці.

2.8.3 Інженерно-технічні заходи захисту від ураження електричним струмом

До роботи в цеху допускаються особи, які добре вивчили правила обслуговування та управління верстатом і пройшли інструктаж щодо

дотримання правил техніки безпеки. До робіт з налагодження електроприводу допускаються не менше двох осіб за письмовим дозволом керівника.

При налаштуванні схем, заміні запобіжників тощо. необхідно використовувати прилади та засоби захисту, призначені для робіт на електроустановках до 1000 В. Засоби захисту, до яких відносяться гумові калоші, килимки, ізоляція інструменту і т.д., повинні перевірятися перед кожним використанням. При налагодженні приводу необхідно застосування плакатів, що забороняють і попереджають. Випробування електроприводу здійснюється спочатку на холостому ходу, потім під навантаженням.

Для безпечної роботи механічної частини електроприводу необхідно мати огороження, що мають відповідну міцність.

Усі струмопровідні частини електроприводу, проводка повинні бути огорожені та не доступні для випадкового дотику. З цією метою електропривод розміщується у корпусі, захищеному від доступу. Частина проводки в робочій зоні лінії полягає в металорукаві або в спеціальні захисні щитки. Усі металеві частини, які можуть опинитися під напругою, мають бути заземлені. Електропривод повинен бути забезпечений аварійним вимикачем для повного зняття напруги з електродвигуна, проводки та приладів.

2.8.4 Пожежна безпека

Пожежна безпека є одним із найважливіших розділів охорони праці з виробництва. Істотну роль у профілактиці та запобіганні пожеж грає правильний вибір режиму роботи електроустаткування з урахуванням класу з пожежонебезпеки. Всі виробничі приміщення по пожежонебезпеці поділяються на п'ять основних категорій. У процесі отримання виробу на лінії видимі ознаки, що зумовлюють виникнення пожежі, відсутні і, отже, це виробництво згідно [16] можна віднести до категорії Д (виробництво, в якому вогнетривкі речовини та матеріали, що знаходяться в холодному стані). Приміщення пожежної небезпеки належить до класу П-1 (ПУЭ). Однак, у даному технологічному процесі пожежа

може виникнути через короткого замикання, що викликають високу температуру нагрівання провідників, що веде до їх виплавлення з ізоляційного матеріалу. У цьому відношенні небезпечні неприпустимі електричні навантаження проводів і обмоток електричних машин. У місцях поганого контакту з'єднання провідників унаслідок великого перехідного опору виділяється велика кількість тепла. Це призводить до підвищення температури та займання ізоляції. Було встановлено загальні вимоги пожежної безпеки до об'єктів різного призначення всіх галузей народного господарства під час будівництва та експлуатації. Пожежна безпека повинна забезпечуватись:

- Системою запобігання пожежі;
- Системою протипожежного захисту;
- Організаційно-технічними заходами.

Системи запобігання пожежі та протипожежного захисту, що забезпечують збереження матеріальних цінностей, слід застосовувати за наявності економічної ефективності від їх впровадження. Економічна ефективність повинна розраховуватися з урахуванням ймовірності виникнення пожежі та можливої шкоди від неї. Запобігання пожежі має досягатися запобіганням утворення пального середовища. Це повинно забезпечуватись мінімально можливим застосуванням горючих матеріалів.

Автоматичні установки пожежогасіння та установки пожежної сигналізації, введені в об'єкт, повинні відповідати вимогам проектної документації та галузевим стандартам.

Вогнегасники різних видів належать до класу переносних засобів пожежогасіння. Вогнегасники, придатні до експлуатації, повинні мати бирку та маркування та повинні бути пофарбовані у червоний колір. Заряджання та перезаряджання всіх типів вогнегасників повинно виконуватись відповідно до інструкцій з експлуатації. Вогнегасники повинні розташовуватися в помітних та легко доступних місцях, де виключено потрапляння сонячних променів. Кількість первинних засобів пожежогасіння визначається за [16].

Пожежний ручний інструмент та інвентар, розміщений на об'єкті, підлягає періодичному обслуговуванню, що включає таке:

1. Очищення від пилу, бруду та корозії;
2. Відновлення відповідного забарвлення.

Ящики з піском повинні бути укомплектовані лопатою і мати місткість до 3 м³.

На робочому місці кожен верстат має бути оснащений захищеною апаратурою. Повинна бути передбачена блокування та захист на випадок короткого замикання та перевантажень, забезпечення можливості зняття напруги всього обладнання за допомогою розташованих поза приміщенням рубильників. Для куріння мають бути відведені спеціальні місця. У виробничих приміщеннях має забезпечуватись можливість евакуації людей та обладнання у разі пожежі.

ВИСНОВКИ

У ході виконаної роботи було здійснено: опис зовнішнього вигляду фрезерного верстата з числовим програмним управлінням моделі 6P13Ф3, а також представлена його кінематична схема; детально було зроблено опис пристрою ЧПУ 2С42 та представлена його структурна схема. Було зроблено попередній розрахунок потужності двигуна, на основі чого обрано необхідний двигун моделі 2П225 потужністю 7,5 кВт. На основі огляду існуючих систем електроприводів було обрано комплектний електропривод серії ЕПУ1-2...П. Також було зроблено опис принципової схеми системи керування електроприводом та обрані ПІ-регулятори швидкості та струму. Розраховані динамічні режими роботи системи за допомогою ЕОМ, а також коефіцієнти та ланки системи підлеглого регулювання. Була складена математична модель, і отримані графіки перехідних процесів у контурі швидкості, в системі підлеглого регулювання в режимі розгону на холостому ході та під навантаженням та ін. Наведено аналіз отриманих перехідних процесів.

Також виконано техніко-економічне обґрунтування прийнятого варіанту електроприводу та подано розділ охорони праці та навколишнього середовища. На основі перерахованих вище параметрів можна зробити висновок, що розроблений електропривод задовольняє заданим вимогам.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Боровик А.І. Технологічна оснастка механоскладального виробництва.- К. : Кондор. 2008. 728 с.
2. Програмування обробки на верстатах з ЧПУ: довідник. Л.: Машинобудування, 1990. 588 с.
3. Дерібо О. В. Основи технології машинобудування. Частина 1 : навч. посіб. Вінниця: ВНТУ, 2013. 125 с.
4. Дерібо О. В. Основи технології машинобудування. Частина 2 : навчальний посібник. Вінниця: ВНТУ, 2015. 116 с.
5. Дерібо О.В., Дусанюк Ж.П, Пурдик В.П. Технологія машинобудування. Курсове проектування. Вінниця, 2013. 123 с.
6. Кирилович В.А., Мельничук П.П., Яновський В.А. Нормування часу та режимів різання для токарних верстатів з ЧПУ. Житомир: ЖІТІ, 2001. 600 с.
7. Муляр Ю.І., Дерібо О.В. Програмування токарної обробки на верстатах з ЧПК: навчальний посібник. Вінниця: ВНТУ, 2004. 91 с.
8. Муляр Ю. І. Програмування багатоінструментальної обробки на верстатах з ЧПК : навчальний посібник. Вінниця: ВНТУ, 2006. 192 с.
9. Методичні вказівки для виконання лабораторних робіт з дисципліни «САП верстатів з ЧПК». Уклад. Д. О. Лозінський, О. В. Петров, О. М. Мироненко. Вінниця: ВНТУ, 2018. 42 с.
10. Стіскін Г.М., Гаєвський В.Д. Токарні верстати з оперативним програмним управлінням. К.: Техніка, 1989. 176 с.
11. Якимов О. В. Технологія автоматизованого машинобудування : підручник Одеса : ОНПУ, 2005. 410 с.
12. Learning SOLIDWORKS 2022 Modeling, Assembly and Analysis /Randy H. Shih: SDC Publications, 2022. 542 p.
<https://www.solidcam.com/subscription/documentation>

- 13.Шеремет В.О., Каракаш О.І., Маранчук В.Ф. Довідниковий посібник керівника та спеціаліста гірничо-металургійного підприємства з охорони праці: навч. посіб. Дніпропетровськ: ПП Ліра ЛТД, 2005. 653 с.
14. Жидецький В.Ц. Практикум з охорони праці : навчальний посібник. Львів : Афіша, 2000. 352 с. SBN 966-7760-09-X.



Метадані

ДОКУМЕНТ

Заголовок

141-8д-2026врб

Автор

141-8д-2026врб

Науковий керівник / Експерт

Модло Є

ID документу

334133404

ОРГАНІЗАЦІЯ

Назва організації

STATE UNIVERSITY OF ECONOMICS AND TECHNOLOGY

підпис

STATE UNIVERSITY OF ECONOMICS AND TECHNOLOGY

ЗВІТ

Дата звіту

6/2/2026

Дата редагування

—

Обсяг знайдених подібностей

Коефіцієнт подібності визначає, який відсоток тексту по відношенню до загального обсягу тексту було знайдено в різних джерелах. Зверніть увагу, що високі значення коефіцієнта не автоматично означають плагіат. Звіт має аналізувати компетентна / уповноважена особа.



11281

Кількість слів



87181

Кількість символів

Тривога

У цьому розділі ви знайдете інформацію щодо текстових спотворень. Ці спотворення в тексті можуть говорити про МОЖЛИВІ маніпуляції в тексті. Спотворення в тексті можуть мати навмисний характер, але частіше характер технічних помилок при конвертації документа та його збереженні, тому ми рекомендуємо вам підходити до аналізу цього модуля відповідально. У разі виникнення запитань, просимо звертатися до нашої служби підтримки.

Заміна букв		33
Інтервали		0
Мікропробіли		1
Білі знаки		0
Парафрази (SmartMarks)		294

Джерела

Нижче наведений список джерел. В цьому списку є джерела із різних баз даних. Колір тексту означає в якому джерелі він був знайдений. Ці джерела і значення Коефіцієнту Подібності не відображають прямого плагіату. Необхідно відкрити кожне джерело і проаналізувати зміст і правильність оформлення джерела.

10 найдовших фраз			Колір тексту
#	НАЗВА ТА АДРЕСА ДЖЕРЕЛА URL (НАЗВА БАЗИ)	КІЛЬКІСТЬ ІДЕНТИЧНИХ СЛІВ (ФРАГМЕНТІВ)	
1	http://4ua.co.ua/manufacture/yb3ac78a4d53a88421316d36_0.html	148 (1.31 %)	

ЗГОДА здобувача освіти Державного університету економіки і технологій про
перевірку кваліфікаційної роботи на прояви академічного плагіату
та розміщення в Репозитарії ДУЕТ

Я, Ганцов Богдан Дмитрович, підтримую політику Державного університету економіки і технологій з академічної доброчесності і відкритого доступу. Стверджую, що кваліфікаційна бакалаврська робота «Електромеханічне обладнання механічного виробництва. Електропривод головного руху фрезерного станка з числовим програмним керуванням» виконана самостійно та не містить академічного плагіату. Я не надавав і не одержував недозволену допомогу під час підготовки цієї роботи. Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають покликання на відповідне джерело.

Із чинним Положенням про запобігання та виявлення академічного плагіату в роботах здобувачів вищої освіти Державного університету економіки і технологій ознайомлений. Чітко усвідомлюю, що в разі виявлення у кваліфікаційній роботі порушення норм академічної доброчесності робота не допускається до захисту або оцінюється незадовільно.

Також я поінформований, що відповідно до пункту 5.8 «Положення про Репозитарій (електронну базу даних) Державного університету економіки і технологій» згадана робота буде розміщена в Електронному архіві Університету (Репозитарії ДУЕТ) та ознайомлений з умовами такого розміщення.

Дата

Підпис