

Національний університет кораблебудування
імені адмірала Макарова

Навчально-науковий інститут автоматики та електротехніки

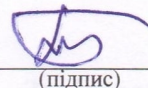
(повна назва інституту/факультету)

Кафедра автоматики

(повна назва кафедри)

«До захисту допущено»

Завідувач кафедри



(підпис)

I. С. Білюк

« 15 » 06

2026 р.

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на здобуття ступеня бакалавра

зі спеціальності 141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка

(код та назва спеціальності)

освітня програма Електротехніка та електротехнології

(назва освітньої програми)

на тему: «Автоматизація системи керування привода подач токарного верста-
та»

Виконав: студент VI курсу, групи 43113

Загребелін Віктор Андрійович

(прізвище, ім'я, по батькові)

Керівник ст. викл. каф. автоматики, доц. НУК Фоменко А.М.

(посада, науковий ступінь, вчене звання, прізвище та ініціали)

Нормоконтроль викладач каф. автоматики, Савченко О.В.

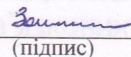
(посада, науковий ступінь, вчене звання, прізвище та ініціали)

Рецензент доц. ка ф. СЕЕС, к.т.н., доц. Новоргецький С.М.

(посада, науковий ступінь, вчене звання, прізвище та ініціали)

Засвідчую, що у цій кваліфікаційній ро-
боті немає запозичень з праць інших ав-
торів без відповідних посилань.

Студент


(підпис)

м. Миколаїв – 2026 року

Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова

Інститут, факультет Навчально-науковий інститут автоматики та електротехніки
Кафедра автоматики
Освітній ступінь бакалавр
Галузь знань 14 «Електрична інженерія»
(шифр і назва)
Спеціальність 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»
(шифр і назва)
Освітня програма «Електротехніка та електротехнології»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри, к.т.н. доцент

Василь О.Г. Васильєв
«18» 06 2026 року

ЗАВДАННЯ
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ БАКАЛАВРА СТУДЕНТУ

Загребелін Віктор Андрійович

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи «Автоматизація системи керування приводом подачі токарного верстата»

керівник роботи Фоменко Андрій Миколайович, старший викладач, доцент НУК,
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом вищого навчального закладу від «22» квітня 2026 року № 286-УЧ.

2. Строк подання студентом роботи 10.06.2026р.

3. Вихідні дані до роботи Двигун постійного струму типу ПБСТ з потужністю 0,8 кВт. Напруга живлення 380 В. Двоконтурна система підпорядкованого керування двигуна постійного струму. Час перехідного процесу не більш 0.15с. Еквівалентний момент на валу двигуна 7,3 Нм. Швидкість робочого ходу механізму подачі, та мінімальної робочої подачі 4,8 м/хв. Крок ходового гвинта 2,4 мм/об. Маса вузла, що переміщується 36 кг. Середній діаметр ходового гвинта 20 мм. Середня довжина ходового гвинта 1,3 м. Постійна часу фільтру датчика струму та швидкості 0,66

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) 1 Опис технологічного обладнання. 2 Вибір комплектного електропривода, 3 Розрахунок параметрів системи керування. 4 Охорона праці.

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень) 1 Загальний вигляд верстата, 2 Функціональна схема системи керування, 3 Структурна схема системи керування, 4 Перехідні характеристики системи керування

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання ви- дав	завдання прийняв

7. Дата видачі завдання 10.02.2026

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	<i>Опис технологічного обладнання.</i>	27.02.26	
2	<i>Вибір комплектного електропривода.</i>	28.03.26	
3	<i>Розрахунок параметрів системи керування.</i>	25.04.26	
4	<i>Аналіз динамічних характеристик</i>	09.05.26	
5	<i>Охорона праці.</i>	22.05.26	
6	<i>Графічна частина</i>	20.06.26	

Студент

Зашифр
(підпис)

Загребелін В.А.
(прізвище та ініціали)

Керівник роботи

[Підпис]
(підпис)

Фоменко А.М.
(прізвище та ініціали)

РЕФЕРАТ

Кваліфікаційна робота: 69 с., 4 р., 21 рис., 3 табл., 18 джерел.

Ключові слова: електропривод постійного струму, привод подач, перехідна характеристика, свердлильний верстат, двоконтурна система керування.

Мета роботи – підвищення показників якості системи привода подач токарно-гвинторізного верстата. Ціль роботи – розробка автоматичної системи керування приводом подач токарно-гвинторізного верстата.

Розглянуто загальний вигляд та кінематику верстата. Приведений опис існуючої системи керування. Виявлено основні недоліки, а також запропоновані шляхи вдосконалення даного процесу.

Виконано огляд існуючих схем керування й сформульовані технічні вимоги до нової проекрованої системи. Розроблено схему математичної моделі системи керування.

Для забезпечення високих показників автоматизації керування була спроектована двоконтурна система підпорядкованого керування двигуна постійного струму, що дозволяє реалізувати закони керування.

У роботі також проведено моделювання проекрованої системи, результатом якого є показники стійкості та динамічні показники. Також отримані перехідні характеристики при різних типах роботи привода. Аналіз результатів моделювання показав, що така система повністю задовольняє вимогам технологічного процесу, підтримує постійну швидкість обертання і відробляє задачі виробництва.

На ряду з цим у роботі розглянуті питання охорони праці.

ЗМІСТ

Вступ.....	6
1. Опис технологічного обладнання.....	8
1.1. Опис, призначення та область використання верстата 1М63 та технічні характеристики.....	8
1.2. Опис кінематики верстата.....	12
1.3. Опис існуючої системи керування.....	19
1.4. Постановка задачі проектування.....	22
2. Вибір комплектного електропривода.....	23
2.1. Вибір електродвигуна.....	23
2.2. Опис вибраного електропривода.....	24
2.3. Опис обраної системи керування.....	26
2.4. Вибір структурної схеми електропривода.....	30
3. Розрахунок параметрів системи керування електроприводом.....	32
3.1. Розрахунок параметрів комплектного електропривода (виконавчого двигуна і силового перетворювача).....	32
3.2. Розрахунок індуктивності реактора електропривода.....	42
3.3. Розрахунок параметрів об'єкту керування.....	47
3.4. Розрахунок параметрів регулятора й елементів контуру регулювання струму.....	48
3.5. Розрахунок параметрів регулятора й елементів контуру регулювання швидкості.....	50
3.6. Побудова статичних характеристик.....	53
3.7. Дослідження динамічних характеристик систем.....	54
4. Охорона праці	58
4.1. Аналіз небезпечних та шкідливих факторів на підприємстві....	60
4.2. Захисне заземлення установки.....	62
4.3. Заходи щодо техніки безпеки.....	65
Висновки.....	67
Перелік посилань.....	68

ВСТУП

Автоматизація виробництва на основі автоматичних систем для розвитку й удосконалювання існуючих і технологічних виробництв, що створюються, є одним з важливих напрямків виробництва.

Особливістю сучасного етапу розвитку автоматизації виробництва є поява й масове застосування якісно нових технічних засобів, виготовлення мереж на базі автоматичних систем. Впровадження автоматизованих систем керування технологічними процесами здобуває особливого значення в зв'язку з ростом вимог до швидкості обчислення, переробки й видачі інформації, автоматичному контролю за процесами виробництва. Тому розробка й дослідження структур і режимів функціонування автоматизованих систем керування технологічними процесами є актуальним завданням. Використання автоматичних систем дозволяє на порядок знизити витрати, забезпечує підвищення ефективності й розширення функціональних можливостей.

Основною, визначальною метою керування устаткуванням, технологічними й виробничими процесами за допомогою автоматизованих систем керування є підвищення продуктивності праці, поліпшення якості продукції й використання матеріально-сировинних і паливно-енергетичних ресурсів. Подальше вдосконалювання автоматизованих систем керування пов'язане з підвищенням їхньої економічної ефективності шляхом індустриального створення автоматизованих технологічних комплексів з автоматизованих систем керування технологічними процесами.

Рівень автоматизації виробничих процесів, продуктивність праці і якість продукції, визначається силовою частиною, основу якої становлять регульовані електричні машини.

Метою дипломної роботи є розробка автоматичної системи керування електропривода подач токарно-гвинторізного верстата.

У роботі розглядається комплексний підхід до синтезу автоматичної системи керування на прикладі керування приводом подач токарно-гвинторізного верстата.

Розглядаються питання підвищення рівня автоматизації системи керування приводом подач токарно-гвинторізного верстата

Основною задачею даної системи є керування приводом подач верстата в умовах реальної роботи протягом всього виробничого процесу. У ході дипломної роботи проведений оптимальний вибір двигуна, у процесі чого нерегульований асинхронний двигун було замінено на двигун постійного струму, для можливості регулювання швидкості в більш широкому діапазоні та можливості установки ЧПК.

Загальне завдання, що стоїть перед системою керування є регулювання і підтримка постійної швидкості обертання двигуна привода подач токарно-гвинторізного верстата, хаотичній зміні навантаження, що приводить до оптимальної підтримки технологічного процесу. Для поліпшення показників привода подач токарно-гвинторізного верстата була обрана і розрахована двоконтурна система підпорядкованого керування ДПТ.

У кваліфікаційній роботі показана побудова математичної моделі двоконтурної системи підпорядкованого керування двигуна постійного струму, що дозволяє оцінити показники якості.

1 Опис технологічного обладнання

1.1 Опис, призначення та область використання верстата 1М63 та технічні характеристики

Верстати токарної групи найбільш поширені в машинобудуванні та металообробці порівняно з металорізальними верстатами інших груп. До складу цієї групи входять токарно-гвинторізні, токарно-револьверні, токарно-карусельні, токарні автомати і напівавтомати та інші верстати.

Токарно-револьверні верстати призначені для обробки малих і великих груп деталей складної форми з прутка або штучних заготовок, що вимагають застосування великої кількості найменувань інструменту.

Токарно-карусельні верстати призначені для обробки різноманітних за формою деталей, у яких діаметр набагато більше довжини. Ці верстати відрізняються від інших токарних верстатів вертикальним розташуванням осі обертання планшайби, до якої кріпиться оброблювана деталь.

Токарні автомати призначені для обробки деталей з прутка, а токарні напівавтомати - для обробки деталей з прутка і штучних заготовок деталей.

Токарно-гвинторізні верстати призначені для зовнішньої і внутрішньої обробки, включаючи нарізування різьблення, одиничних і малих груп деталей.

Призначення і область застосування токарного верстата 1М63.

Токарно-гвинторізні верстати 163 серії одні з найпоширеніших, призначений для обробки деталей середніх і великих розмірів, в умовах одиничного і дрібносерійного виробництва. На верстаті можна робити зовнішнє і внутрішнє точіння, включаючи точіння конусів, розточування, свердління і нарізування різьблень (метричної, модульної, дюймової та пітчевої).

Технічні характеристики і жорсткість конструкція станини, каретки, шпинделя верстата дозволяють повністю використовувати можливості роботи на високих швидкостях різання із застосуванням різців з швидкорізальної сталі або

оснащених пластинами з твердих сплавів при обробці деталей з чорних і кольорових металів.

Супорт верстата має механічне переміщення верхньої частини, що дозволяє виробляти точіння довгих конусів. Точіння коротких конусів також здійснюється рухом верхньої частини супорта.

Зміна величин подач та налаштування на крок нарізати різьблення здійснюються перемиканням зубчастих коліс коробки подач і налаштуванням гідари змінних шестерень.

Супорт має швидке переміщення в поздовжньому і поперечному напрямках, яке здійснюється від індивідуального електродвигуна.

Загальний вигляд верстата 1М63 з позначеннями його складових частин представлені на рисунку 1.1.[17]

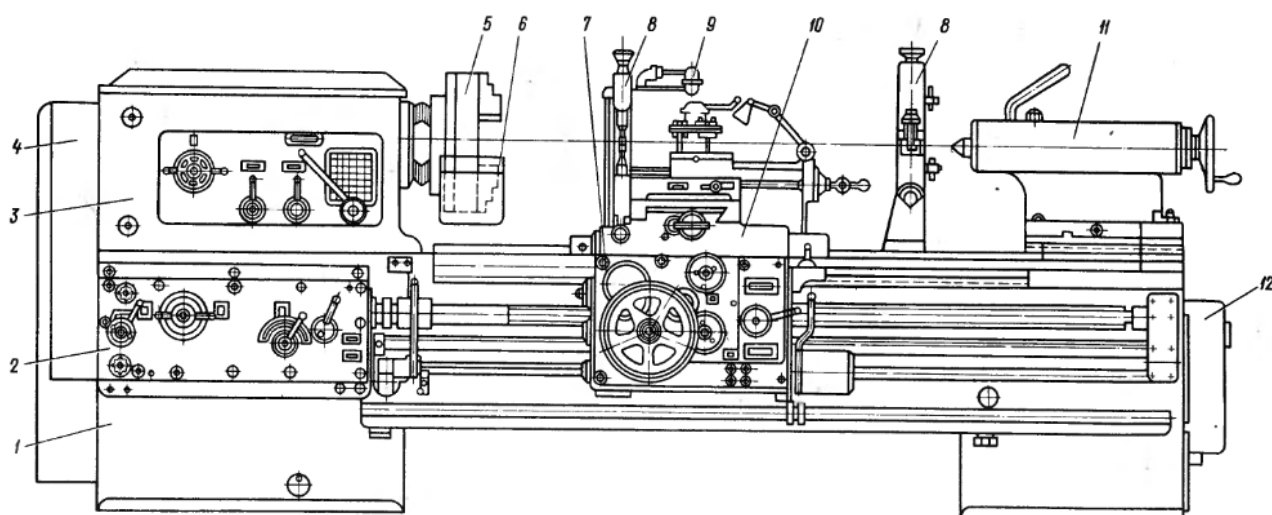


Рисунок 1.1 – Загальний вигляд верстата

1 Станина; 2 Коробка подач; 3 Коробка швидкостей; 4 Приклон та змінні шестерні; 5 Приналежності; 6 Кожух захисний; 7 Фартук; 8 Люнети;
9 Система охолодження; 10 Супорт; 11 Задня бабка; 12 Електрообладнання.

Для більш яснішого представлення роботи верстата на рисунку 1.2 зображені основні органи управління токарно-гвинторізного верстата 1М63 та їх призначення.

На рисунку показані основні рукоятки та кнопки верстата, які використовуються користувачем в процесі експлуатації.

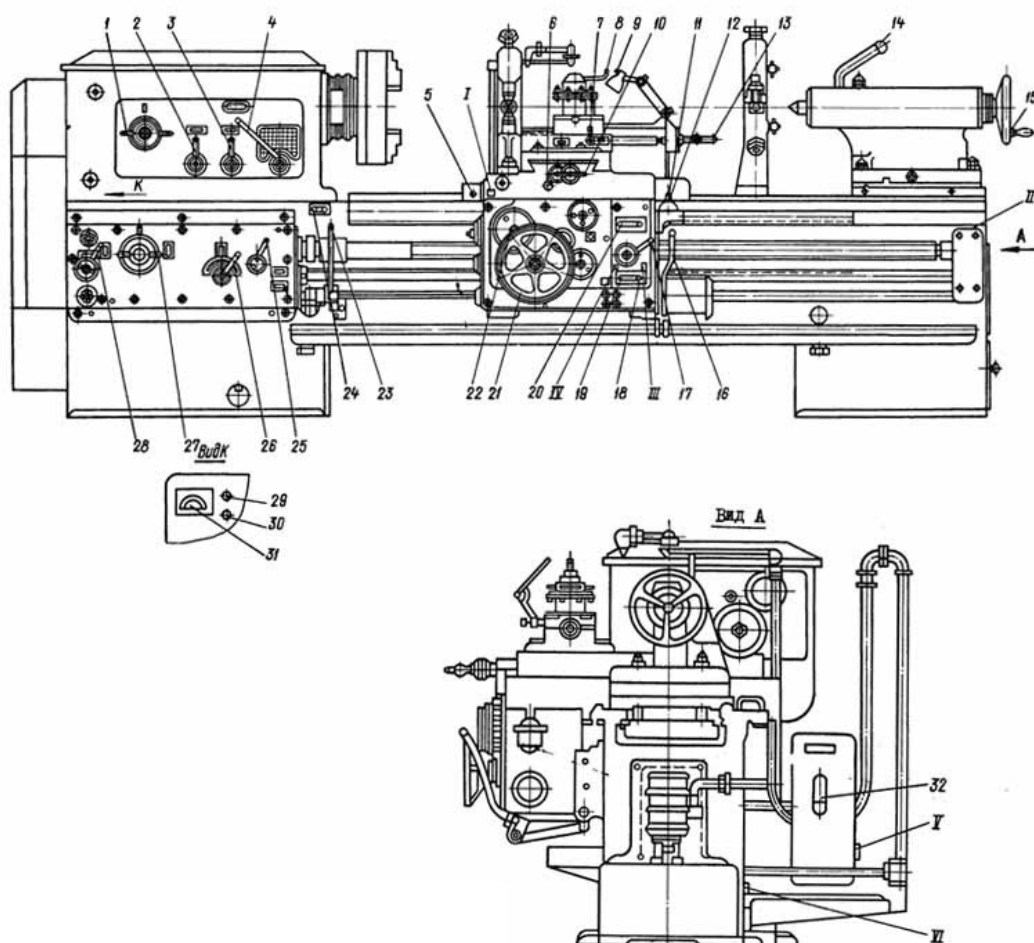


Рисунок 1.2 – Органи управління токарно-гвинторізного верстата 1М63 і їх призначення.

1 Рукоятка установки частоти обертання шпинделя; 2 Рукоятка установки нормального і збільшеного кроку різьблення; 3 Рукоятка установки правої і лівої різьби і подач; 4 Рукоятка установки частоти обертання шпинделя;

5 Рукоятка плунжерного насоса змащення напрямних поздовжнього переміщення супорта і ходового гвинта; 6 Витяжна кнопка включення механічної поперечної подачі супорта; 7 Рукоятка включення механічного переміщення різцевих санчат; 8 Рукоятка повороту і кріплення резцової головки; 9 Вимикач освітлення; 10 Рукоятка річний поперечної подачі супорта; 11 Кнопка включення прискореного переміщення супорта; 12 Хрестовий перемикач управління робітниками і прискореними переміщеннями супорта;

13 Рукоятка ручного переміщення різцевих санчат; 14 Рукоятка кріплення пінолі задньої бабки; 15 Рукоятка переміщення пінолі задньої бабки;

16 Рукоятка управління фрикціоном; 17 Рукоятка включення гайки ходового гвинта; 18 Вимикач насоса охолодження; 19 Перемикач режимів роботи супорта; 20 Пост управління включення і виключення головного приводу;

21 Маховик ручного поздовжнього переміщення супорта; 22 Витяжна кнопка включення зубчастого колеса рейкової передачі поздовжнього переміщення супорта; 23 Рукоятка управління фрикціоном; 24 Пост управління включення і виключення головного приводу; 25 Рукоятка включення ходового гвинта або ходового валика; 26 Рукоятки установки величини подачі або кроку різблення; 27 Рукоятки установки величини подачі або кроку різблення; 28 Рукоятка настройки подачі і нарізування різби; 29 Сигнальна лампа наявності напруги; 30 Сигнальна лампа включення електромагнітного гальма; 31 Показчик навантаження; 32 Вимикач.

Таблиця 1.1 – Технічні характеристики токарно-гвинторізного верстата 1М63 [3]

Назва параметру	Од. виміру	Значення
Найбільший діаметр виробу, який встановлюється над станиною	мм	700
Найбільший діаметр виробу, який оброблюється над станиною	мм	630
Найбільший діаметр оброблюваного виробу над супортом	мм	350
Найбільший діаметр виробу, який оброблюється над виїмкою станини	мм	900
Найбільша довжина оброблювальної заготовки	мм	3000
Довжина виїмки в станині від торця фланця	мм	450
Кількість ступенів частот обертання шпинделя		22
Діаметр циліндричного отвору в шпиндел	мм	105

Продовження таблиці 1.1

Межі частоти обертання шпинделя	об / хв	10...1250
Межі поздовжніх робочих подач супорта	мм / об	0,033...1,0
Межі поперечних робочих подач супорта	мм / об	0,013...0,31
Межі робочих подач різцевих санчат	мм / об	0,01...1,76
Межі кроків нарізаються метричних різьблень	мм	1... 224
Прискорене переміщення поздовжнього супорта	мм / хв	5,2
Прискорене переміщення поперечного супорта	мм / хв	2
Найбільшу вагу встановлюваної заготовки	кг	3500
Потужність приводу головного руху	кВт	13

Габаритні розміри верстата 1М63 подані у таблиці 1.2

1.2 Опис кінематики верстата

Від головного електродвигуна, вміщеного в лівій тумбі верстата, обертання передається клиновими ремнями на приводний шків першого (фрикційного) вала коробки швидкостей.

Таблиця 1.2 – Габаритні розміри верстата 1М63

Довжина	мм	5250
Ширина	мм	1780
Висота	мм	1550
Маса	кг	5750

Рух на вал VIII змінних зубчастих коліс передається через наступні кінематичні ланцюги:

- для налаштування на нормальний крок безпосередньо від шпинделя через зубчасті колеса 25-33, 30-34 або 25-33, 29-36-34 при роботі на всіх щаблях частоти обертання шпинделя;
- для настройки на збільшений крок і збільшення подачі:

- безпосередньо від валу III коробки швидкостей через муфту 15 і зубчасті колеса 14-9-32, 30-34 або 14-9-32, 29-36-34, що дає збільшення кроку в 16 разів при роботі на 1-6 ступенях частоти обертання шпинделя (10-31,5 об / хв);

- безпосередньо від валу IV коробки швидкостей через зубчасті колеса 18-14-9-32, 30-34 18-14-9-32, 29-36-34, що дає збільшення кроку в 16 разів при роботі на 7-12 щаблях частоти обертання шпинделя (25-80 об / хв) або в 4 рази при роботі на 13-18 ступенях (100-315 об / хв).

Кінематичні ланцюги нарізування різьблень:

- Метричні різьблення:

Рух передається через змінні зубчасті колеса 37-39-40-42 на вал XI коробки подач, далі через муфту 46-47, зубчасті колеса (48, 49, 51, 53, 55) - (66-67-68-69-70 -71-72-73), муфту 74-75, зубчасті колеса (76, 77) - (58, 59), 60-78, 79-62, муфту 63-64 на гвинт 117.

- Дюймові різьблення:

Рух передається через змінні зубчасті колеса 37-39-40-42 на вал XI коробки подач, далі через зубчасті колеса 45-65, (66, 67, 68, 69, 70, 71, 72, 73) - (48, 49, 51, 53, 55), 56-75, (76, 77) - (58, 59), 60-78, 79, 62, муфту 63-64 на гвинт 117.

- Модульні різьблення:

Рух передається через змінні зубчасті колеса 39-37, 38-40-41 на вал XI коробки подач, далі через муфту 46-47, зубчасті колеса (48, 49, 51, 53, 55) - (66, 67, 68, 69, 70, 71, 72, 73), муфту 74-75, зубчасті колеса (76, 77) - (58, 59), 60-78, 79-62, муфту 63-64 на гвинт 117.

- Пітчеві різьблення:

Рух передається через змінні зубчасті колеса 39-37, 38-40-41 на вал XI коробки подач, далі через зубчасті колеса 45-65, (66, 67, 68, 69, 70, 71, 72, 73) - (48, 49, 51, 53, 55), 56-75, (76, 77) - (58, 59), 60-78, 79-62, муфту 63-64 на гвинт 117.

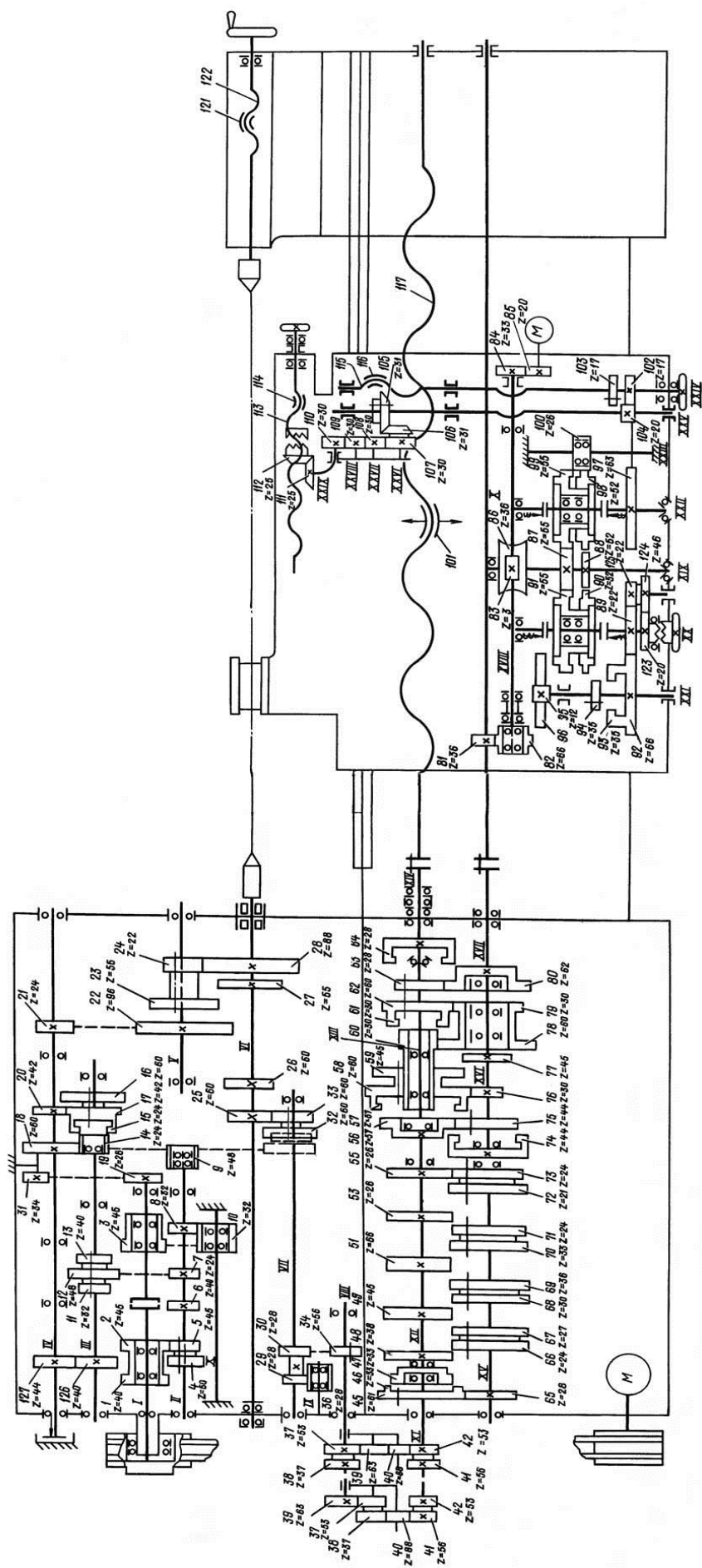


Рисунок 1.3—Кінематична схема верстата 1М63

При нарізуванні дюймових, модульних, пітчевих і метричних різьблень не можна використовувати механізм прискореного переміщення каретки в початкове положення, за винятком випадків нарізування метричних різьб, які мають крок, кратний кроку ходового гвинта (крок ходового гвинта дорівнює 12 мм).

Кінематичні ланцюги подач:

- поздовжні подачі;
- поперечні подачі.

У поздовжньому ланцюгу подачі рух передається через змінні зубчасті колеса 37-39-40-42 на вал XI коробки подач, далі через зубчасті колеса кінематичного ланцюга метричної різьби, губчасті колеса 63-80 на ходовій вал XVII і губчасті колеса фартуха 81-82, черв'ячну пару 83-86, губчасті колеса 87-91, муфту зчеплення, зубчасті колеса 89-92, муфту 93-94, зубчасте колесо 95 на рейку 96.

Коробка швидкостей кріпиться до лівої головної частини станини. Приводний шків 6 (рисунок 1.4) коробки швидкостей отримує рух від електродвигуна через клиноремінну передачу.

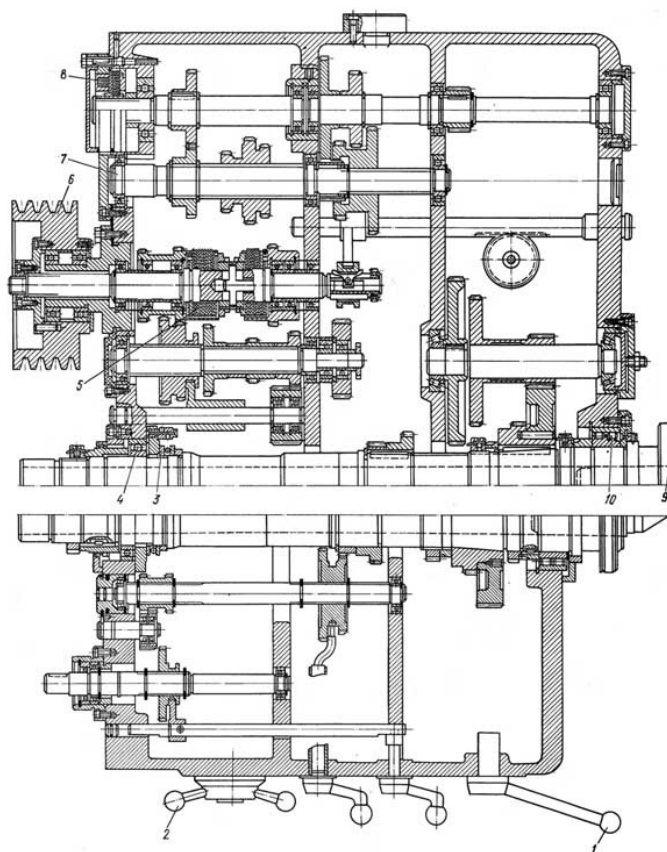


Рисунок 1.4 – Розгортка коробки швидкостей

Регулювання механізму головного руху ступеневе. Обертання шківів приводить в рух цілий ряд шестерень коробки швидкостей, послідовним перемиканням яких можна отримати 24 швидкості обертання шпинделя, з яких дві перекриваються. Найвищі шість швидкостей шпиндель отримує безпосередньо від валу 7, що сприяє різкому підвищенню ККД верстата при роботі на високих швидкостях, а також значного зменшення шуму.

Установка певних частот обертання шпинделя здійснюється пересуванням зубчастих коліс по валах за допомогою двох рукояток 2 і 1, що знаходяться на передній частині коробки швидкостей. Всі зубчасті колеса виконані з якісної сталі з відповідною термообробкою і сидять на шліцьових валиках, що обертаються в кулькових і роликових підшипниках. Передньою опорою сталевого пустотілого шпинделя 9 є радіальний дворядний регульований роликотпідшипник 10 з короткими циліндричними роликами, а задній – радіально-упорний шарикотпідшипник 4. Осьове навантаження на шпиндель сприймається упорним шарикотпідшипником 3, що знаходиться біля задньої опори шпинделя.

Для пуску, зупинки і включення швидкого зворотного ходу існує фрикційна пластинчаста муфта 5. Введення в дію муфти вчиняється рукоятками, що знаходяться на станині у передній бабки і на фартуку.

Гальмування шпинделя проводиться автоматично в момент вимикання фрикційної муфти за допомогою електромагнітної муфти 8.

Супорт конструкції має поздовжнє переміщення по напрямним станини та поперечні – за напрямними каретки 1 (рисунки 1.5).

Обидва переміщення можуть бути ручними або механічними, а механічні – робочими або прискореними. Обертова частина супорта 2 має напрямні для переміщення верхньої частини супорта 4 з різцевою головкою 3.

Верхня частина супорта також може переміщуватись вручну або механічно. Гайка поперечного гвинта 6 має пристрій для вибору люфта. Основне зусилля поперечного гвинта та гвинта верхніх санчат сприймаються упорними шарикотпідшипниками 5.

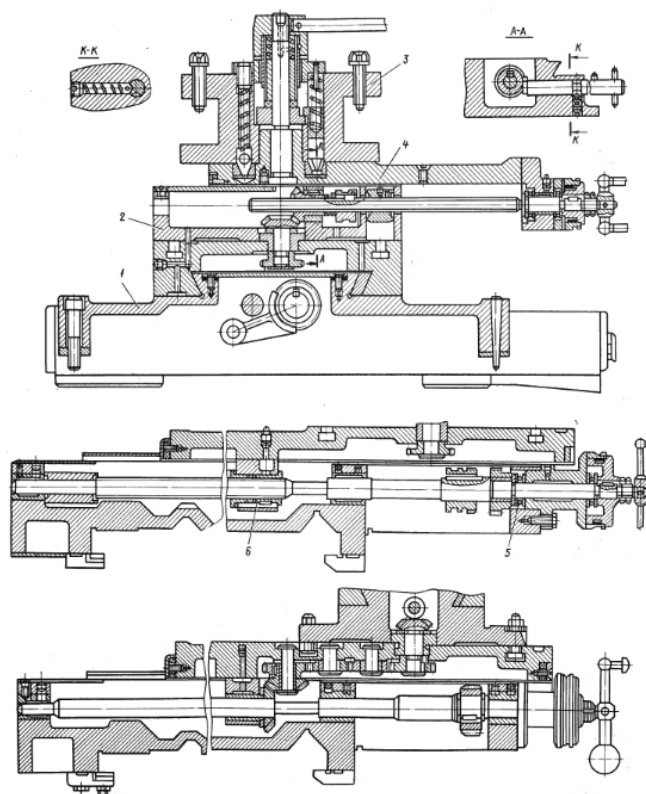


Рисунок 1.5 – Супорт

Фартух закритого типу зі знімною передньою стінкою. Фартух отримує рух від коробки подач через ходовий гвинт при нарізуванні різьблень або через ходовий вал при виконанні інших робіт (рисунок 1.6).

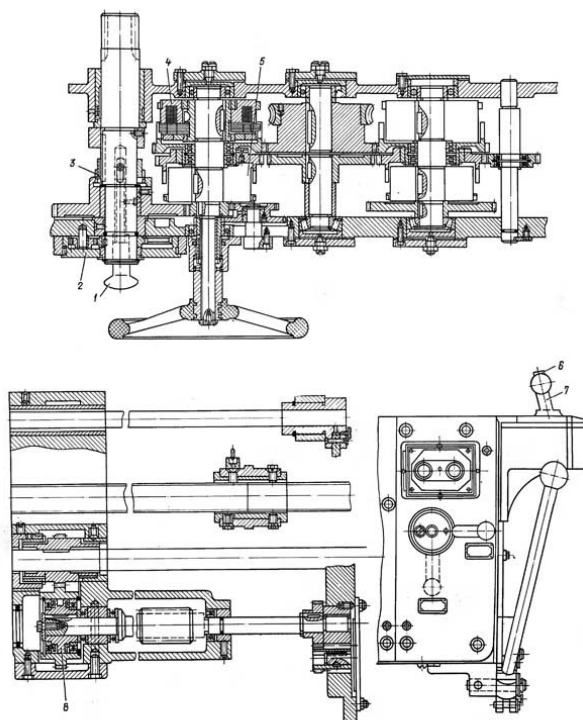


Рисунок 1.6 – Фартух

Завдяки наявності електромагнітних муфт 4 і 5 управління фартухом зосереджено в одних поворотних рукоятці 7, розташованій з правого боку фартуха. Напрямок повороту цієї рукоятки збігається з напрямком необхідного руху подач або швидкого переміщення каретки і поперечних санчат. При цьому для забезпечення швидкого переміщення треба натиснути на кнопку 6, що знаходиться на самій рукоятці.

Завдяки наявності у фартусі обгонів муфти 8, включення прискореного ходу можливо при включеній робочій подачі.

Щоб уникнути одночасного включення ходового гвинта і ходового вала передбачена електричне блокування.

Електродвигун швидкого переміщення супорта розташований з правого боку фартуха. На передній частині фартуха знаходиться лімб 2 поздовжнього точіння з ціною поділки 1 мм. З метою виключення впливу механізму фартуха при нарізуванні різьблень валик рейкового зубчастого колеса поздовжньої подачі відключається від цього механізму шляхом вштовхування знаходиться всередині валика витяжної кнопки 1, яка розчіпляє муфту внутрішнього зачеплення 3.

Коробка подач закритого типу, двохосьова. Переключення відповідних рукояток та, за необхідністю, установку змінних зубчатих колес можна отримати налаштування механізму подач для різання нормального ряду метричних, модульних, дюймових та пітчевих різьблень, а також отримання необхідних подач при токарній обробці (рисунок 1.7)

Для різання точних та спеціальних різьблень можна використовувати пряме включення ходового гвинта.

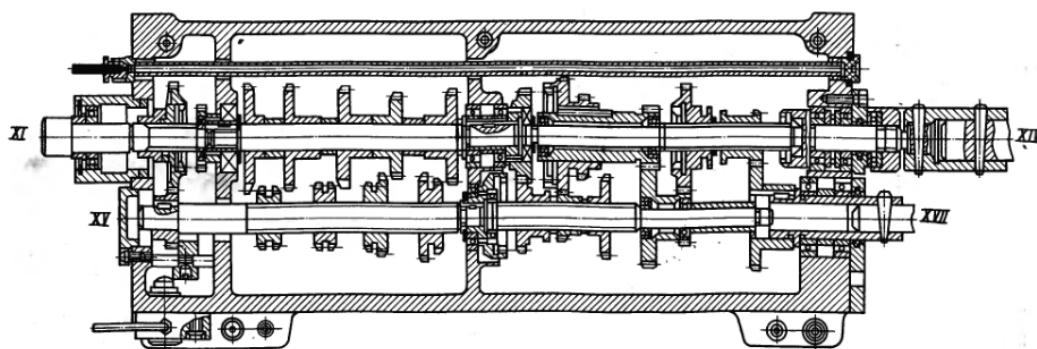


Рисунок 1.7 – Коробка подач.

1.3 Опис існуючої системи керування

Для того, щоб більш детально розглянути систему керування верстата 1М63, на рисунку 1.8 подана його електрична схема.[17]

З наведеної схеми видно, що верстат містить нерегульований асинхронний двигун з релейно-контактною системою керування (РКСК).

Вона виконує основну функцію керування електроприводом: автоматичний розгін, гальмування, реверсування і зупинку двигунів. Керуючим пристроєм електроприводу в РКСК є командний пристрій, що містить кнопки і ключі управління, і функціональна частина системи, що забезпечує необхідне керування за допомогою реле часу, швидкості та струму. Перетворювальний пристрій являє собою силовий перемикаючий пристрій, що містить контактори. Функціональна частина РКСК може виконуватися в безконтактному вигляді з використанням програмованих контролерів.

Керування головним приводом

Пуск електродвигуна здійснюється натисканням однієї з кнопок "пуск" 1КУ або 2КУ (розташованих на пультах каретки та біля коробки подач) при вимкненому фрикціоні. При цьому контакт кінцевого вимикача ВК замкнутий. Пускач КШ отримує живлення і підключає електродвигун головного руху до мережі. Одночасно з пускачем КШ отримують живлення реле часу РВ і 1РВ.

Керування обертанням шпинделя здійснюється за допомогою фрикціона, що включається від рукоятки.

При відключеному фрикціоні контакт ВК залишається замкнутим, реле часу РВ, 1РВ і гальмівна муфта включені. При цьому загоряється сигнальна лампа 2ЛС. При роботі двигуна головного руху на холостому ході, реле часу РВ, налаштоване на витримку 2,5-3 хвилин, відключає котушку магнітного пускача і відповідно двигун від мережі. Одночасно, реле часу 1РВ, налаштоване на витримку 25 секунд втрапить живлення і відключить гальмівну муфту.

Значення струму електродвигуна головного приводу залежно від напруги: $380\text{В} = 29\text{А}$; $400\text{В} = 27\text{А}$; $415\text{В} = 26,5\text{ А}$; $440\text{В} = 25\text{А}$; $500\text{В} = 22\text{А}$.

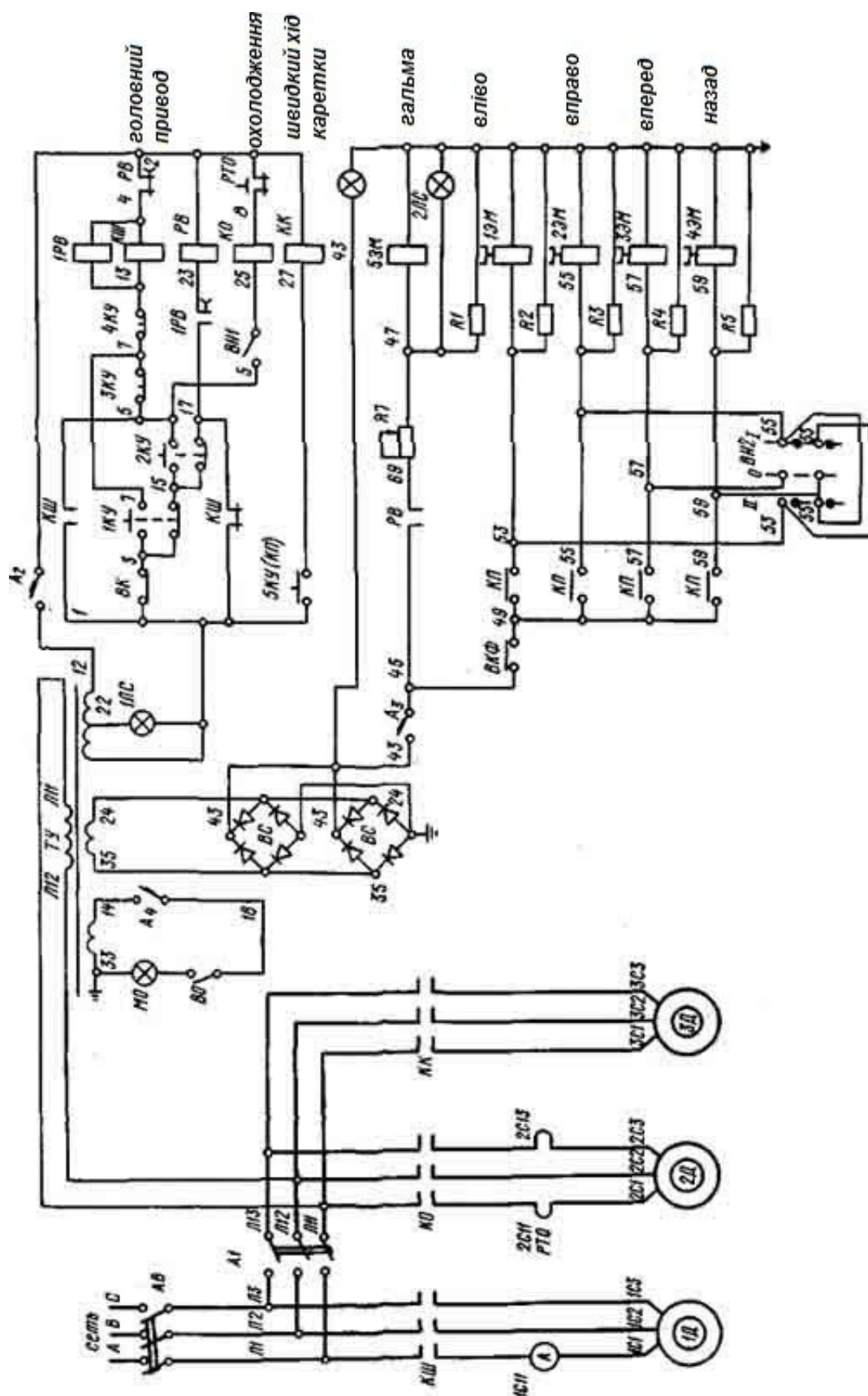


Рисунок 1.8 — Електрична схема верстата 1М63

При включенні фрикціонна контакт ВК розривається, відключає реле часу РВ і забезпечує роботу верстата. Зупинка двигуна здійснюється натисканням на одну з кнопок "стоп" ЗКУ або КУ. При цьому через контакт КШ включається реле РВ і гальмівна муфта 5ЕМ. Контроль за навантаженням електродвигуна здійснюється за амперметром.

Керування приводом подач

У фартуху верстата є чотири електромагнітні фрикційні муфти, дві з яких використовуються для керування переміщенням каретки в поздовжньому напрямку і дві - для керування переміщенням супорта в поперечному напрямку.

Керування муфтами проводиться рукояткою хрестового перемикача, встановленого на фартуху верстата, що має 5 положень: одне - вертикальне нейтральне і 4 похилих, які відповідають напрямку переміщення супорта і каретки.

Включення електродвигуна прискореного ходу при будь-якому положенні рукоятки перемикача забезпечується пусковою кнопкою поштовху, вбудованої в головку рукоятки хрестового перемикача.

Щоб уникнути одночасного включення маткової гайки і електромагнітних муфт, передбачений блокувальний кінцевий вимикач ВКФ, встановлений усередині фартуха, який обриває ланцюг живлення муфт при вмиканні маточної гайки.

Для запобігання пробією електромагнітних муфт та зменшення іскроутворення на контакті при відключенні котушки, передбачені розрядні резистори R1 ... R5.

На фартуху верстата є перемикач режимів роботи на три положення, який включає муфти відповідно на:

- токарну роботу;
- конусне точіння (внутрішнє), замикає контакти 53,57 (1-2), 55-59 (5-6);
- конусне точіння (зовнішнє), замикає контакти 53-59 (3-9), 55-57 (7-2).

Привод охолодження

Привод охолодження здійснюється від електронасоса типу ПА-22, 0,12 кВт (0,163 к.с.) 2800 об / хв при 50 Гц, 3350 об / хв, при 60 Гц. Пуск і зупинка електродвигуна здійснюється включенням перемикача, встановленого на фартуху верстата.

1.4 Постановка задачі проектування

В результаті проведеного аналізу можна зробити наступні висновки:

- верстат 1М63 призначений для обробки деталей середніх і великих розмірів, в умовах одиничного і дрібносерійного виробництва;
- існуюча електрична схема верстата є як морально так і фізично застарілою;
- електроприводи подачі не є автоматизованими, що робить неможливим залучення сучасних систем числового керування;

Метою дипломної роботи є розробка системи автоматичного керування електропривода подач токарно-гвинторізного верстата. Для досягнення мети необхідно розв'язати наступні задачі:

- провести вибір електродвигуна для верстата;
- розробити функціональну та структурну схему системи автоматичного керування електропривода подач токарно-гвинторізного верстата;
- визначити параметри та провести опис вибраного комплектного електропривода;
- розглянути питання охорони праці.

Перспективним напрямком підвищення продуктивності токарно-гвинторізних верстатів є автоматизація приводів подач і створення на їх базі верстатів з ЧПУ.

2 Вибір комплектного електропривода

2.1 Вибір електродвигуна

У першому розділі була розглянута електрична схема токарно-гвинторізного верстата 1М63, виходячи зі змісту якої, можна зробити висновок, що у приводі подач використовується нерегульований асинхронний двигун з релейно-контакторною системою керування. Для того, щоб з'явилася можливість встановити ЧПК на верстат, необхідно замінити існуючий асинхронний двигун, який є більш надійний, на двигун постійного струму, який забезпечить регулювання швидкості в більш широкому діапазоні.

Початковим етапом розрахунку приводу є вибір виконавчого двигуна. Від правильного вибору двигуна залежить забезпечення всіх технологічних режимів обробки і необхідних динамічних характеристик, а також конструкція механічної частини приводу.

Відсутність силового редуктора обумовила зниження загального моменту інерції механізму і збільшення припустимого для приводу за умовами механічної тривалості прискорення. Це забезпечило скорочення часу перехідних процесів, збільшення продуктивності верстатів, поліпшення якості обробки внаслідок підвищення швидкодії всієї електромеханічної системи приводу подачі як по керуючому впливу, так і по навантаженню.

Крім того, для правильного вибору двигуна необхідно знати закони його регулювання й управління в перехідних режимах. Як правило, у механізмах подач, регулювання швидкості двигуна здійснюється при постійному моменті зміною напруги на якорі. Закон управління при розгоні і гальмуванні реалізується системою управління верстатом або пристроєм числового програмного керування (ПЧПК). Найбільш поширеними законами управління є стрибкоподібний і лінійно-змінний, проте можливі й інші форми сигналів, що задають.

Для токарно-гвинторізного верстата вибираємо двигун серії ПБСТ, розрахунок параметрів якого буде приведений нижче.

Двигуни серії ПБС (ПБСТ) призначені для роботи в широкорегульованих електроприводах із діапазоном регулювання до 1:2000 (для верстатобудування). Вони мають п'ять габаритів (із другого по шостий) і виконуються як з умонтованим тахогенератором (ПБСТ), так і без нього (ПБС).

Двигуни серії ПБСТ виготовляються з незалежним збудженням, без послідовної обмотки, що стабілізує. Стійка робота двигуна постійного струму (ДПС) забезпечується схемою керування електропривода. Напруга збудження встановлюється при замовленні і може бути 110 або 220В.

Двигуни допускають регулювання частоти обертання вище від номінальної (при постійній потужності) – ослабленням поля головних полюсів або при короткочасних режимах тривалістю не більше 5 хвилин при повному потоці – зміною напруги на якорі. При цьому для ДПС із напругою 110 В допускається підвищення напруги при номінальному струмі якоря до 220 В, із напругою 220В - до 330В, із напругою 440В - до 510В.

2.2 Опис вибраного електропривода

В даний час при проектуванні електроустаткування металорізальних верстатів одним із найбільш раціональних способів є використання комплектних електроприводів, що задовольняють заданим технологічним вимогам. Для приводів подач випускаються комплектні електроприводи: ЕТУ 3601, ЕТ6, ЕПУ1 – тиристорні трифазні з двоконтурною системою підкореного регулювання і ряд інших.

Для токарно-гвинторізного верстата вибираємо електропривод серії ЕТУ 3601, розрахунок параметрів якого буде приведений нижче.

Електроприводи типу ЕТУ 3601 призначені для створення на основі високомоментних двигунів постійного струму швидкодіючих широкорегулюємих (з діапазоном регулювання до $1 \div 10000$) приводів подач металорізальних верстатів, у тому числі верстатів з числовим програмним керуванням (ЧПК). [12]

Електроприводи випускаються в двох кліматичних виконаннях: УХЛ та О категорії розміщення 4 відповідно до ДСТ 15150 – 69 і ДСТ 15543 – 70.

У частині впливу механічних факторів зовнішнього середовища електроприводи відповідають групі умов експлуатації МІ за ДСТ 17516 –72.

Технічні дані:

Живлення електроприводів здійснюється від трифазної мережі:

– напругою 220 чи 380 В частоти 50 Гц – для постачань у райони з помірним кліматом.

– напругою 220, 230, 400, 415 В частоти 50 Гц і напругою 220, 380, 440, 460 В частоти 60 Гц – для постачань на експорт у країни з помірним і тропічним кліматом.

При цьому силова частина підключається до мережі через трансформатор. Припустимі коливання напруги мережі живлення від мінус 15 до 10% номінального значення. Припустимі коливання частоти живильної мережі $\pm 2\%$ номінального значення.

Електроприводи повинні забезпечити регулювання швидкості двигуна в діапазоні від плюс $n_{\max}$, до мінус $n_{\max}$.

Електроприводи забезпечують смугу пропускання частот замкнутої системи регулювання, частоти обертання не менш 200 рад/с.

Електроприводи мають наступні види захистів:

- максимальну – струмову від зовнішніх і внутрішніх коротких замикань;
- від перевантаження двигуна;
- від зниження напруги мережі;
- від перенапруг;
- від перевищення максимальної швидкості;
- від обриву кола тахогенератора.

Електроприводи є електродинамічно стійкими при коротких замиканнях і внутрішніх порушеннях протягом часу дії захисту і комутаційної апаратури.

Електроприводи мають:

- сигналізацію стану «включено» і «відключено»;
- сигналізацію спрацьовування максимального – токового захисту від

перевантаження двигуна;

- блокування, що забезпечує нормальну роботу при будь – якій послідовності включення комутаційної і захисної апаратури, у тому числі при включенні комплектного пристрою загальним комутаційним апаратом.

Блок захисту повинен мати:

- сигналізацію від перевищення максимальної швидкості;
- сигналізацію від перевищення установленної швидкості;
- сигналізацію від обриву кола тахогенератора.

Корпус має болт для підключення шини заземлення.

Показники надійності електроприводів:

- середній наробіток на відмовлення повинна бути не менш 4000 г;
- установлений безвідмовний наробіток не менш 400г;
- середній термін служби 15 років;
- установлений термін служби 7 років.

Склад виробу.

До складу електроприводу входять:

- блок перетворювача;
- трансформатор узгоджуючий;
- дросель;
- автоматичний вимикач;
- електродвигун серії ДПУ, ПБВ чи ПБСТ;
- блок захистів;
- реактор комутаційний;
- панель (для двигунів які не мають джерела живлення обмотки збудження).

2.3 Опис обраної системи керування

Найбільше поширення серед систем керування швидкістю двигуна постійного струму отримали системи, в яких швидкість регулюється зміною напруги на якорі двигуна, за рахунок керованого електричного перетворювача (генератора, керованого ти-

ристорного або транзисторного випрямляча, широтно-імпульсного перетворювача) при підпорядкованому контурі регулювання струму двигуна. На рисунку 2.1 приведена функціональна схема електропривода з двоконтурною системою підпорядкованого регулювання з регуляторами швидкості та струму. Двигун Д з незалежним збудженням (обмотка збудження ОЗД) отримує живлення від керованого перетворювача – тиристорного перетворювача ТП. [15, 17]

Узгодження номінальних напруг живильної мережі ТП $\sim U_c$, його вихідної напруги та току якоря двигуна здійснюється за допомогою трансформатора Т. Застосування трансформатора Т дозволяє: забезпечити номінальну напругу на виході перетворювача при мінімальному куті керування його тиристорами та, отже, при максимальному коефіцієнті потужності електропривода; обмежити швидкість зміни току через тиристори при їх комутації та коротких замиканнях у випадках аварійних режимів в силовому ланцюгу ТП; потенціально розділити високовольтні ланцюги живлення ТП та якорного ланцюга живлення, що підвищить експлуатаційну надійність та безпеку їх обслуговування.

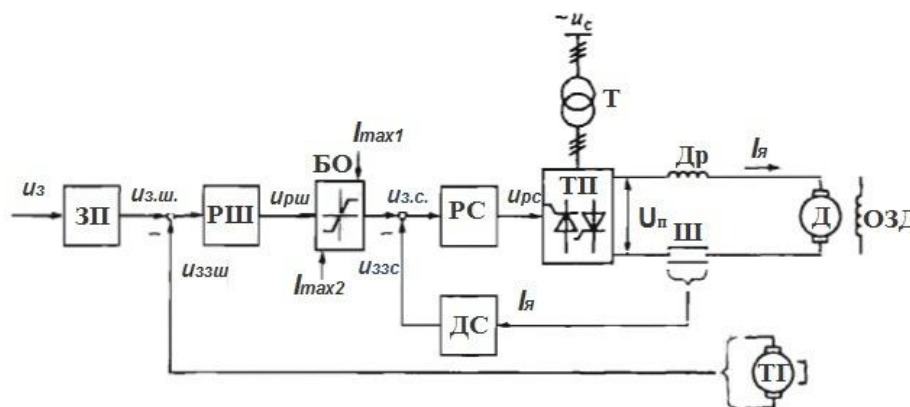


Рисунок 2.1 – Функціональна схема електропривода з підкореним керуванням струму та швидкості.

При необхідності покращення умов комутації току якоря двигуна, за рахунок обмеження зміни його швидкості, в ланцюзі якоря двигуна встановлюється дросель Др.

Система керування електропривода містить в собі два контури регулюван-

ня: внутрішній контур струму якоря (КС) та зовнішній контур швидкості (КШ).

Контур струму містить в собі силову частину електропривода з виходом по струму якоря $I_{\text{я}}$, ланцюг зворотного зв'язку за струмом та регулятор струму РС. На вході РС порівнюються напруга задання струму якоря $u_{\text{з.с.}}$ та напруга зворотного зв'язку $u_{\text{звс}}$, яка поступає з датчика струму ДС. На вхід ДС подається напруга з шунту Ш, яка пропорційна струму якоря ланцюга двигуна. Блок БО обмежує вихідну напругу $u_{\text{рш}}$ регулятора швидкості РШ.

Контур швидкості містить в собі замкнений КС, ланцюг від'ємного зворотного зв'язку за швидкістю двигуна та регулятор швидкості. На вході РШ порівнюються напруги задання швидкості $u_{\text{з.ш.}}$, яка подається з виходу пристрою, що задає закон зміни швидкості електропривода ЗП, та напруга зворотного зв'язку за швидкістю $u_{\text{звш}}$, яка поступає з тахогенератора ТГ. Регулятор швидкості може бути як пропорційним (при не високих вимогах до точності регулювання швидкості), так і пропорційно-інтегральним (при необхідності абсолютно статичної точності регулювання).

Пристрій, ЗП формує бажаний закон зміни швидкості електропривода. Наприклад, лінійний з заданим постійним прискоренням (задатчик інтенсивності), за експонентою (інерційна вхідна ланка) або синусоїдальний (як тестовий сигнал для зняття частотних характеристик електропривода).

Блок БО обмежує вихідну напругу РШ і тим самим максимальну напругу задання струму $u_{\text{з.с.}}$ якоря двигуна, забезпечуючи в замкненому КС якоря двигуна обмеження цього струму на рівні максимально допустимого значення I_{max} . Рівень обмеження статичної характеристики БО незалежно регулюється сигналами I_{max1} , I_{max2} .

Система імпульсно-фазового керування тиристорами забезпечує працездатність електропривода при наступних нелінійних перекручуваннях живильної

мережі: комутаційних провалах до 10% амплітудного значення і кутовою тривалістю до 10 електричних градусів у будь-якій точці синусоїди.

Система імпульсно-фазового керування (СІФК) призначена для перетворення постійної керуючої напруги, вироблюваної системою автоматичного регулювання комплектних пристроїв у послідовність прямокутних керуючих імпульсів відповідної фази, що подаються на керуючі виводи тиристорів силових вентильних комплектів.

СІФК складається з трьох ідентичних каналів фазозміщення і керуючого органа КО (рисунок 2.2).

Кожен канал СІФК виконаний за принципом одноканального керування двома протифазними вентилями випрямного моста, що практично виключає асиметрію протифазних керуючих імпульсів. Канали фазозміщення виконані по вертикальному принципі керування з лінійно зростаючою опорною напругою.

З метою забезпечення максимальної швидкодії реверсивного керованого випрямляча при використанні одного комплекту СІФК, лінійно зростаюча напруга виконана безупинною у всьому діапазоні регулювання, а кожен канал підготовляється до видачі керуючого імпульсу не тільки до початку кожного напівперіоду синхронізуючої напруги, але й у будь-який момент часу від спеціального сигналу (U_p), формованого логічним пристроєм роздільного керування в момент відліку ним безструмової паузи при переключенні силових комплектів вентилів, причому повторні керуючі імпульси з'являються в тих каналах, де опорна напруга перевищує нове значення керуючої напруги.

СІФК містить у собі наступні вузли (рисунок 2.2):

- джерело синхронізуючої напруги ДСН;
- три формувача імпульсів ФхЗ (на рисунку 2.2 зображений один формувач імпульсів);
- керуючий орган КО;
- шість підсилювачів імпульсів ПІ;
- 12 вступних пристроїв (ВІ).

Формувач імпульсів складається у свою чергу з наступних вузлів: фільтра Φ , двох граничних елементів ПІ1, ПІ2, формувача синхронізуючих імпульсів П, генератора пилоподібної напруги Г, нуля – органа $\&$, RS – тригера Т, формувача тривалості імпульсів S.

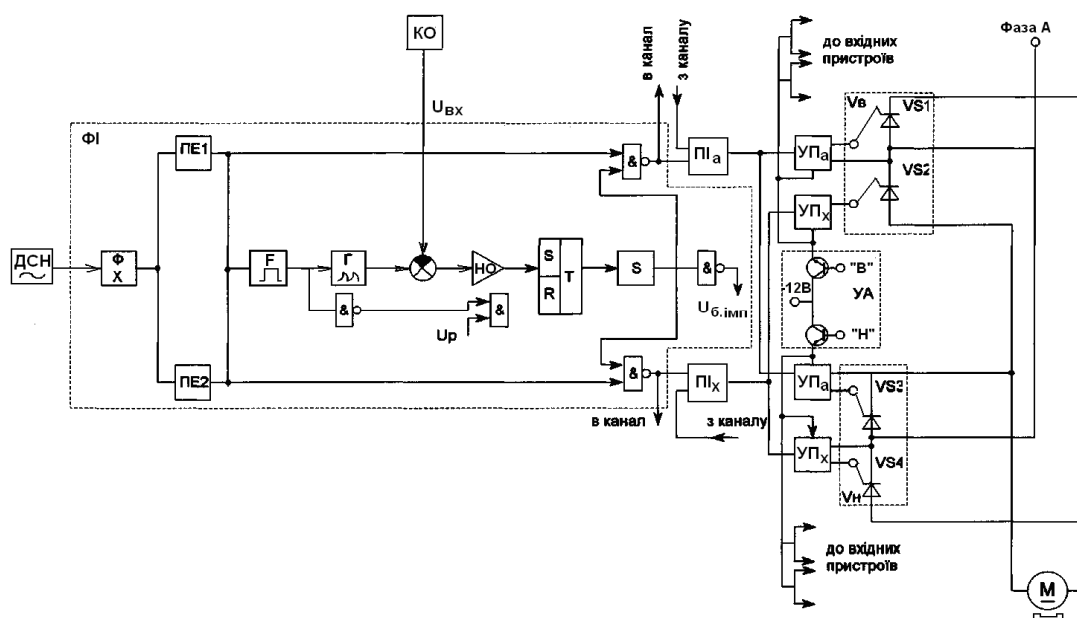


Рисунок 2.2 – Функціональна схема каналу СІФК електропривода ЕТУ 3601

2.4 Вибір структурної схеми електропривода

На рисунку 2.3 зображена структурна схема обраного електропривода. [4]

Вона відповідає наступним допущенням: регульовальна характеристика керованого перетворювача лінійна; струм якорного ланцюга двигуна безперервний; відсутня реакція якоря двигуна; момент інерції, приведений до валу двигуна, постійний; інерційність датчиків струму і швидкості не враховується зважаючи її малості.

Елементи, що входять до структурної схеми:

РШ – регулятор швидкості;

РС – Регулятор струму;

ТП – тиристорний перетворювач;

ДС – датчик струму;

ДШ – датчик швидкості.

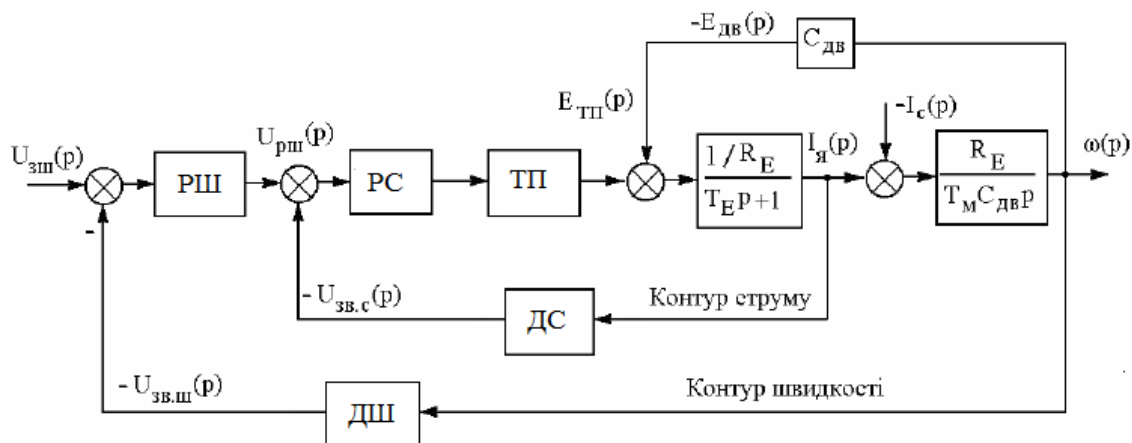


Рисунок 2.3 – Структурна схема системи керування ЕТУ 3601.

Передаточні функції елементів системи керування електроприводом:

$$W_{\text{рш}}(p) = k_{\text{рш1}} + \frac{1}{T_{\text{рш}} \cdot p} - \text{передаточна функція регулятора швидкості};$$

$$W_{\text{рс}}(p) = k_{\text{рс}} + \frac{1}{T_{\text{рс}} \cdot p} - \text{передаточна функція регулятора струму};$$

$$W_{\text{тп}}(p) = \frac{k_{\text{п}}}{T_{\text{п}} \cdot p + 1} - \text{передаточна функція тиристорного перетворювача};$$

$$W_{\text{дс}}(p) = \frac{k_{\text{зс}}}{T_{\text{дс}} \cdot p + 1} - \text{передаточна функція датчика струму};$$

$$W_{\text{дш}}(p) = \frac{k_{\text{зш}}}{T_{\text{дш}} \cdot p + 1} - \text{передаточна функція датчика швидкості}.$$

3 Розрахунок параметрів системи керування електроприводом

3.1 Розрахунок параметрів комплектного електропривода (виконавчого двигуна і силового перетворювача)

Для розрахунку параметрів КЕП будемо використовувати наступні вихідні данні, які були задані викладачем, для виконання дипломної роботи.

$M_e = 7,3 \text{ (Н} \cdot \text{м)}$ - еквівалентний момент на валу двигуна, визначений по навантажувальній діаграмі.

$v_{\text{шх}} = 4,8 \text{ (м/хв)}$ - швидкість швидкого ходу робочого органу механізму подачі.

$v_{\text{рmin}} = 4,8 \text{ (мм/хв)}$ - швидкість мінімальної робочої подачі.

$t_{\text{гв}} = 2,4 \text{ (мм/об)}$ - крок ходового гвинта.

$m = 36 \text{ (кг)}$ - маса вузла, що лінійно переміщується.

$d_{\text{ср}} = 20 \text{ (мм)}$, середній діаметр ходового гвинта

$l_{\text{гв}} = 1,3 \text{ (м)}$ - середня довжина ходового гвинта.

$T_{\text{дс}} = 0,66 \text{ (мс)}$ - постійна часу фільтру датчика струму.

$T_{\text{дш}} = 0,66 \text{ (мс)}$ - постійна часу фільтру датчика швидкості.

У випадку установки ідвигуна на ходовий гвинт $i_p = 1$ (передаточне число редуктора).

Необхідна максимальна частота обертання двигуна, n_{max} , об/хв,

$$n_{\text{max}} = \frac{v_{\text{шх}} \cdot i_p}{t_{\text{гв}}} = \frac{0,08 \cdot 1}{0,0024} = 33,3 \text{ (об / хв)}.$$

Частота обертання двигуна на швидкому ході, ω_{max} , рад/с,

$$\omega_{\text{max}} = 2 \cdot \pi \cdot n_{\text{max}} = 2 \cdot 3,14 \cdot 33,3 = 209 \text{ (рад / с)}.$$

Мінімальна частота обертання двигуна, n_{min} , об/хв,

$$n_{\min} = \frac{v_{\text{pmin}} \cdot i_p}{t_{\text{ГВ}}} = \frac{0,08 \cdot 10^{-3} \cdot 1}{0,0024} = 0,033 \text{ (об / хв)}.$$

Частота двигуна на мінімальній робочій подачі, $\omega_{\min}$, рад/с ,

$$\omega_{\min} = 2 \cdot \pi \cdot n_{\min} = 2 \cdot 3,14 \cdot 0,033 = 0,209 \text{ (рад / с)}.$$

Визначення моментів інерції

Момент інерції вузла, що переміщується, $J'_{\text{мех}}$, кг · м² ,

$$J'_{\text{мех}} = (m + m_{\text{дет}}) \cdot \left(\frac{t_{\text{ГВ}}}{2 \cdot \pi \cdot i_p} \right)^2 = (36 + 18) \cdot \left(\frac{0,024}{2 \cdot 3,14 \cdot 1} \right)^2 = 0,788 \cdot 10^{-5} \text{ (кг · м}^2\text{)},$$

де $m, m_{\text{дет}}$ – маса верстата і деталі відповідно, кг,

$$m_{\text{дет}} = 0,5 \cdot m = 0,5 \cdot 36 = 18 \text{ (кг)},$$

$t_{\text{ГВ}}$ – крок гвинта, мм.

Момент інерції ходового гвинта, $J'_{\text{ГВ}}$, кг · м² ,

$$J'_{\text{ГВ}} = \frac{\pi \cdot d_{\text{ГВ}}^4 \cdot l_{\text{ГВ}} \cdot \rho}{32 \cdot i_p^2} = \frac{3,14 \cdot (20 \cdot 10^{-3})^4 \cdot 1,3 \cdot 7850}{32 \cdot 1^2} = 1,6 \cdot 10^{-4} \text{ (кг · м}^2\text{)},$$

де $\rho = 7850 \left(\frac{\text{кг}}{\text{м}^3} \right)$ – густина сталі.

Сумарний момент інерції механізму, J'_{Σ} , кг · м² ,

$$J'_{\Sigma} = J'_{\text{мех}} + J'_{\text{гв}} = 0,788 \cdot 10^{-5} + 1,6 \cdot 10^{-4} = 1,68 \cdot 10^{-4} \text{ (кг} \cdot \text{м}^2 \text{)}.$$

Визначення моментів двигуна

Складова від зусиль різання вздовж осі O_i , F_i , H ,

$$F_i = 10000 \text{ (Н)}.$$

Коефіцієнт корисної дії механічної передачі «гвинт - гайка» із натягом, η_1

$$\eta_1 = 0,9.$$

Коефіцієнт корисної дії механічної передачі «гвинт - гайка» при установці двигуна на ходовий гвинт, η_2 ,

$$\eta_2 = 1.$$

Момент на валу двигуна від сили різання, $M_{\text{різ}}$, $\text{Н} \cdot \text{м}$,

$$M_{\text{різ}} = \frac{F_i \cdot t_{\text{гв}}}{2 \cdot \pi \cdot i_p \cdot \eta_1 \cdot \eta_2} = \frac{10000 \cdot 0,0024}{2 \cdot 3,14 \cdot 1 \cdot 0,9 \cdot 1} = 4,24 \text{ (Н} \cdot \text{м)}.$$

Коефіцієнт тертя від напрямних ковзання із змащенням при змішаному терті, $f_{\text{тер}}$,

$$f_{\text{тер}} = 0,1.$$

Прискорення вільного падіння, g , $\frac{\text{м}}{\text{с}^2}$,

$$g = 9,8 \left(\frac{\text{м}}{\text{с}^2} \right).$$

Момент тертя, $M_{\text{тер}}, H \cdot m$,

$$M_{\text{тер}} = \frac{(m + m_{\text{дет}}) \cdot f_{\text{тер}} \cdot g \cdot t_{\text{гв}}}{2 \cdot \pi \cdot i_p \cdot \eta_1 \cdot \eta_2} = \frac{(36 + 18) \cdot 0,1 \cdot 9,8 \cdot 0,0024}{2 \cdot 3,14 \cdot 1 \cdot 0,9 \cdot 1} = 0,0225 \text{ (} H \cdot m \text{)}.$$

Статичний момент на валу двигуна від сил різання і тертя, $M'_{\text{ст}}, H \cdot m$,

$$M'_{\text{ст}} = M_{\text{різ}} + M_{\text{тер}} + M_G = 4,24 + 0,0225 + 0 = 5,694 \text{ (} H \cdot m \text{)},$$

де $M_G = 0$ - додатковий момент.

Тривалість включення

$$TB = 80\%.$$

Статичний момент, $M_{\text{ст}}, H \cdot m$,

$$M_{\text{ст}} = \frac{M'_{\text{ст}} \cdot TB}{100} = \frac{5,694 \cdot 80}{100} = 4,555 \text{ (} H \cdot m \text{)}.$$

При виборі двигуна серії ПБСТ зі збудженням від постійних магнітів основними даними служать еквівалентний момент і максимальна частота обертання.

$$M_n \geq M_e; \quad n_{\text{дв. max}} \geq n_{\text{номпріб. max}} \text{ відповід. } v_{\text{ш.х}}.$$

Вибираємо двигун з $M_n \geq M_e$, серія ПБСТ – 32МУ з наступними технічними даними: [13]

$$P_n = 800 \text{ (Вт)} - \text{номінальна потужність двигуна};$$

$$U_n = 110 \text{ (В)} - \text{номінальна напруга двигуна};$$

$$I_{\text{н}} = \frac{P_{\text{н}}}{U_{\text{н}}} = 7,27 \text{ (A)} - \text{номінальний струм двигуна};$$

$$\eta = 75\% - \text{КПД двигуна};$$

$$n_{\text{н}} = \frac{1000}{60} = 16,6 \text{ (об/с)} - \text{номінальна частота обертання двигуна};$$

$$\omega_{\text{н}} = 2 \cdot \pi \cdot n_{\text{н}} = 2 \cdot 3,14 \cdot 16,6 = 104 \text{ (рад/с)};$$

$$R_{\text{я}} = 0,61 \text{ (Ом)} - \text{опір якоря двигуна при } 15^{\circ} \text{C};$$

$$R_{\text{дп}} = 0,61 \text{ (Ом)} - \text{додатковий опір двигуна при } 15^{\circ} \text{C};$$

$$L_{\text{я}} = 8 \cdot 10^{-3} \text{ (Гн)} - \text{індуктивність якоря двигуна};$$

$$J_{\text{дв}} = 0,024 \text{ (кг} \cdot \text{м}^2) - \text{моменти інерції якоря двигуна};$$

$$M_{\text{н}} = 7,8 \text{ (Н)} - \text{номінальний момент двигуна}.$$

Приведений момент інерції привода, $J'_{\text{пр}}, \text{ кг} \cdot \text{м}^2$,

$$J'_{\text{пр}} = J'_{\Sigma} + J_{\text{дв}} = 1,68 \cdot 10^{-4} + 0,024 = 0,0242 \text{ (кг} \cdot \text{м}^2).$$

Вибір електропривода

Вибір комплектного електропривода для приводу подач верстата відбувається по:

- 1) $I_{\text{пр}}$ – номінальному струму електропривода
- 2) $U_{\text{пр}}$ – номінальній напрузі електропривода

$$U_{\text{пр}} > U_{\text{max}},$$

де U_{max} – максимальна напруга на двигуні, необхідна для забезпечення n_{max} при швидкому переміщенні робочого органа.

Для двигунів із збудженням від постійних магнітів U_{max} визначити із співвідношення

$$\frac{U_{\max}}{n_{\max}} = \frac{U_n}{n_n}.$$

Для двигунів з обмоткою збудження вказується $U_{\max}$, припустиме в обмеженому проміжку часу, і $n_{\max}$, яке не можна перевищувати по технічних умовах і яке може бути отримане при U_n на якорі і ослабленню магнітного потоку збудження. В зв'язку з тим, що ЕД приводів подач регулюються тільки в першій зоні (напругою на якорі), для відомого $U_{\max}$ визначити $n_{\max}$ при номінальному потоку збудження по вище вказаному співвідношенню. У випадку одержання розрахункового значення $n_{\max}$ більшого по величині, ніж припустиме по технічним умовам, $n_{\max}$ обмежують на рівні припустимого. Це значення $n_{\max}$ використовується в подальших розрахунках.

Номінальний струм електропривода вибирається по номінальному струму двигуна з урахуванням перевантаження. Максимальний струм двигуна не повинен перевищувати максимально-припустимий струм електропривода. Величина струму перевантаження залежить від тривалості перевантаження.

Наприклад, електропривод ЭТУ3601 припускає перевантаження по струму не менше $6I_n$ протягом 0,2 сек, що відповідає режиму пуску. У сталих режимах роботи прийняти перевантаження двигуна по струму $2I_{н.ед}$, тобто прийняти

$$I_{пр} > 2I_{н.ед}.$$

Припускається вибір комплектного ЕП із $I_{пр} < 2I_{н.ед}$ з обмеженням струму на відповідному рівні ($I_{пр}$), а при виборі двигуна серії ПБСТ можна вибрати комплектний ЕП із $I_{пр} = 4I_{н.дв}$ відповідно до допустимого протягом 10с перевантаження для двигунів серії ПБСТ. Комплектний ЕП має такі захисти : максимально-струмову, від перевищення температури двигуна при перевантаженнях, від зниження напруги мережі, від перенапруг.

Вибір типу ЕП, його технічні характеристики, склад і функціональна схема - по довіднику «Комплектні тиристорні електроприводи» за редакцією В.М. Перельмутера, с.5 – 33, [11].

Максимальна напруга на двигуні, необхідна для забезпечення $n_{\max}$ при швидкому переміщенні робочого органа, $U_{\max}$, В,

$$U_{\max} = \frac{U_n \cdot n_{\max}}{n_n} = \frac{110 \cdot 33,3}{16,6} = 221 \text{ (В)}.$$

Номінальний струм привода, з урахуванням перевантаження, I'_{np} , А,

$$I'_{np} = 4 \cdot I_n = 4 \cdot 7,27 = 29,08 \text{ (А)}.$$

Обираємо електропривод ЕТУ 3601-3620 з наступними технічними даними:[18]

Таблиця 3.1 – Технічні дані для ЕТУ 3601-3620

Тип ЕП	Номінальна випрмлена напруга, В	Номінальний випрямлений струм, А	Потужність трансформатора, кВА	Тип двигуна
ЕТУ 3601-3620	230	40	7,3; 14,6; 29,1; 58; 93; 117	ПБСТ

Так як $U_{np} > U_{\max}$, то був обраний електропривод з номінальною напругою

$U_{np}=230$ В, та номінальним струмом $I_{np}=40$ А.

Розрахунок параметрів тиристорного перетворювача

Значення випрямленої електрорушійної сили (ЕРС), E_{0n} , В,

$$E_{0n} = 1,1 \cdot U_n = 1,1 \cdot 230 = 253 \text{ (В)}.$$

Фазна ЕРС первинної обмотки трансформатора, $E_{1\phi}$, В,

$$E_{1\phi} = 220 \text{ (В)}.$$

Фазна ЕРС вторинної обмотки трансформатора, $E_{2\phi}$, В,

$$E_{2\phi} = \frac{E_{0п}}{2,34} = \frac{253}{2,34} = 108 \text{ (В)}.$$

Коефіцієнт трансформації, q ,

$$q = \frac{E_{1\phi}}{E_{2\phi}} = \frac{220}{108} = 2,037.$$

Номинальна потужність електропривода, $P_{пр}$, Вт,

$$P_{пр} = U_{np} \cdot I_{np} = 230 \cdot 40 = 9200 \text{ Вт}.$$

Типова потужність трансформатора, S'_T , ВА,

$$S'_T = 1,04 \cdot P_{пр} = 1,04 \cdot 9200 = 9568 \text{ (ВА)},$$

де 1,04 коефіцієнт, який використовуються для розрахунку потужності трансформатора для трифазної мостової схеми випрямляча, яка використовується у електроприводах ЕТУ 3601.

Так як $S'_T < 14600 \text{ (ВА)}$, то приймаємо $S_T = 14600 \text{ (ВА)}$. [7]

Номинальний струм первинної обмотки трансформатора, $I_{1н}$, А,

$$I_{1н} = \frac{S_T}{3 \cdot E_{1\phi}} = \frac{14600}{3 \cdot 220} = 22,1 \text{ (А)}.$$

Номінальний струм вторинної обмотки трансформатора, $I_{2н}$, A ,

$$I_{2н} = \frac{S_T}{3 \cdot E_{2\phi}} = \frac{14600}{3 \cdot 108} = 45,1 \text{ (A)}.$$

Вибираємо потужність втрат короткого замикання, та напругу короткого замикання []

Потужність втрат короткого замикання, $P_{кз}$, $Вт$,

$$P_{кз} = 550 \text{ (Вт)}.$$

Напруга короткого замикання, $U_{кз}$, $В$,

$$U_{кз} = 5,2 \text{ (В)}.$$

Активний опір, R_1 , $Ом$,

$$R_1 = \frac{P_{кз}}{3 \cdot I_{2н}^2} = \frac{550}{3 \cdot 45,1^2} = 0,09 \text{ (Ом)}.$$

Активний опір фази трансформатора, R'_ϕ , $Ом$,

$$R'_\phi = \frac{R_1}{2 \cdot q^2} = \frac{0,09}{2 \cdot 2,037^2} = 0,0109 \text{ (Ом)}.$$

Напруга трансформатора, U , $В$,

$$U = \frac{E_{1\phi} \cdot U_{кз}}{100} = \frac{220 \cdot 5,2}{100} = 11,4 \text{ (В)}.$$

Повний опір, z , $Ом$,

$$z = \frac{U}{I_{\text{н}}} = \frac{11,4}{22,12} = 0,515 \text{ (Ом)}.$$

Індуктивний опір, що живить мережі, x_1 , $Ом$,

$$x_1 = \sqrt{z^2 - R_1^2} = \sqrt{0,515^2 - 0,0903^2} = 0,507 \text{ (Ом)}.$$

Індуктивний опір фази трансформатора, x'_ϕ , $Ом$,

$$x'_\phi = \frac{x_1}{2 \cdot q^2} = \frac{0,507}{2 \cdot 2,037^2} = 0,061 \text{ (Ом)}.$$

Для трифазної мостової схеми випрямляча, яка використовується у електроприводах ЕТУ 3601:

$$R_\phi = 2 \cdot R'_\phi = 2 \cdot 0,0109 = 0,022 \text{ (Ом)},$$

$$x_\phi = 2 \cdot x'_\phi = 2 \cdot 0,061 = 0,122 \text{ (Ом)}.$$

Знайдемо еквівалентний внутрішній опір тиристорного перетворювача, $R_{\text{еп}}$, $Ом$,

$$R_{\text{еп}} = \left(\frac{m_2}{2 \cdot \pi}\right) \cdot x_\phi + R_\phi = \left(\frac{3}{2 \cdot 3,14}\right) \cdot 0,122 + 0,022 = 0,0801 \text{ (Ом)},$$

де $m_2 = 3$ — число фаз вторинної обмотки трансформатора

Уточнення значення

$$E_{0\text{п}} = U_{\text{п}} + R_{\text{еп}} \cdot I_{\text{пр}} = 230 + 0,0801 \cdot 40 = 233,2 \text{ (В)},$$

$$E_{2\phi} = \frac{E_{\phi\Pi}}{2,34} = \frac{233,2}{2,34} = 99,66 \text{ (В)}.$$

Еквівалентна індуктивність тиристорного перетворювача, $L_{\text{еп}}, \text{Гн}$,

$$L_{\text{еп}} = \frac{x_{\phi}}{2 \cdot \pi \cdot f_{\text{мер}}} = \frac{0,122}{2 \cdot 3,14 \cdot 50} = 3,89 \cdot 10^{-4} \text{ (Гн)},$$

де $f_{\text{мер}} = 50 \text{ (Гц)}$ – частота мережі.

3.2 Розрахунок індуктивності реактора електропривода

У вентильному електроприводі реактори виконують наступні основні функції: зменшують зону переривчастих струмів, згладжують пульсації випрямного струму, обмежують струм через вентилі в перший півперіод напруги, що живить, при короткому замиканні на стороні випрямного струму. У реверсивному вентильному ЕП на реактори покладаються додаткові задачі: обмеження зрівняльних струмів при спільному керуванні вентильними групами, обмеження швидкості наростання аварійного струму при перекиданні інвертора. Індуктивність реактора залежить від його призначення, силової схеми перетворювача і розташування реактора в схемі.

Вибір тиристорів по граничних значеннях параметрів режиму

- 1) максимальне значення середнього струму у відкритому стані, $I_{\text{в}}, \text{А}$,

$$I_{\text{в}} = 0,33 \cdot I_{\text{пр}} = 0,33 \cdot 40 = 13,2 \text{ (А)}.$$

- 2) повторювана імпульсна напруга в закритому стані, $U_{\text{зmax}}, \text{В}$,

$$U_{\text{зmax}} = 1,05 \cdot E_{0\Pi} = 1,05 \cdot 233,2 = 245 \text{ (В)}.$$

Обираємо тиристори типу T112 – 16 – 3 з наступними параметрами:

[1]

$$I_{\text{вс}} = 16 \text{ (A)},$$

$$U_{\text{зс}} = 300 \text{ (B)},$$

$$I_{\text{удр}} = 200 \text{ (A)},$$

де $I_{\text{удр}}$ – струм, що ударно не повторюється, у відкритому стані.

Обмеження зрівняльних струмів.

$$\omega_{\text{с}} = 2 \cdot \pi \cdot f_{\text{мер}} = 2 \cdot 3,14 \cdot 50 = 314,159 \text{ (рад/с)}$$

Стала двигуна, $C_{\text{дв}}$, $B \cdot \text{с}$,

$$C_{\text{дв}} = \frac{U_{\text{н}} - I_{\text{н}} \cdot \beta_{\text{т}} \cdot (R_{\text{я}} + R_{\text{дп}})}{\omega_{\text{н}}} = \frac{110 - 7,27 \cdot 1,24 \cdot (0,61 + 0,61)}{104} = 0,952 \text{ (B} \cdot \text{с)},$$

де $\beta_{\text{т}} = 1,24$ – температурний коефіцієнт.

Максимально допустимий протягом пів періоду струм вентиля, $I_{\text{дон}}$, A,

$$I_{\text{дон}} = I_{\text{удр}} = 200 \text{ (A)}.$$

Початковий струм у момент короткого замикання, $I_{\text{поч}}$, A,

$$I_{\text{поч}} = I_{\text{н}} = 7,27 \text{ (A)}.$$

ЕРС двигуна в момент перекидання, $E_{\text{поч}}$, B,

$$E_{\text{поч}} = C_{\text{дв}} \cdot \omega_{\text{мах}} = 0,952 \cdot 209,2 = 199 \text{ (B)}.$$

Опір якірного кола при струмі перекидання, $R_{пер}$, Ом,

$$R_{пер} = 1,5 \cdot \beta_t \cdot (R_{я} + R_{дон}) = 1,5 \cdot 1,24 \cdot (0,61 + 0,61) = 2,27 \text{ (Ом)}.$$

Індуктивність, що необхідна для аварійного струму на час спрацьовування захисту, $L_{\Sigma пер}$, Гн,

$$L_{\Sigma пер} = \frac{\frac{0,01 \cdot R_{пер}}{I_n \cdot \left(\frac{E_{поч}}{R_{пер}} - I_{поч} \right)}}{\frac{E_{поч}}{R_{пер}} - I_{дон}} = \frac{\frac{0,01 \cdot 2,27}{7,27 \cdot \left(\frac{199}{2,27} - 7,27 \right)}}{\frac{199}{2,27} - 200} = -3,46 \cdot 10^{-7} \text{ (Гн)}.$$

Індуктивність додаткового реактора, $L_{дп1}$, Гн,

$$L_{дп1} = L_{\Sigma пер} - L_{я} = -3,46 \cdot 10^{-7} - 8 \cdot 10^{-3} = -0,008 \text{ (Гн)}.$$

Обмеження струму через тиристори при короткому замиканні.

При короткому замиканні на стороні постійного струму реактор, що токообмежує, повинен обмежити швидкість наростання аварійного струму, щоб він не перевищив небезпечного для тиристорів значення на протязі власного часу спрацьовування захисних пристроїв. Обмеження струму через вентилі може бути отримане за рахунок індуктивності розсіювання обмоток трансформатора й індуктивності в ланцюзі постійного струму.

Початковий струм в момент короткого замикання, $I_{поч}$, А,

$$I_{поч} = I_{в} = 13,2 \text{ (А)}$$

де $I_{в}$ – струм вентиля.

Величина спільної індуктивності, $L_{\Sigma кз}$, Гн,

$$L_{\Sigma_{\text{кз}}} = \frac{3,64 \cdot E_{2\phi}}{\omega_c \cdot (I_{\text{доп}} - I_{\text{поч}})} = \frac{3,64 \cdot 108}{314 \cdot (200 - 13,2)} = 6,7 \cdot 10^{-3} \text{ (Гн)},$$

де $I_{\text{доп}} = I_{\text{удр}}$.

Індуктивність додаткового реактора, $L_{\text{др2}}$, Гн,

$$L_{\text{др2}} = L_{\Sigma_{\text{кз}}} - L_{\text{еп}} = 0,0067 - 0,000389 = 0,00631 \text{ (Гн)}.$$

Обмеження зони преривчастих струмів.

Переривчастий струм можливий при роздільному керуванні вентильними групами.

Еквівалентний опір якірного поля двигуна, R_e , Ом,

$$R_e = R_{en} + R_{nep} = 0,0801 + 2,27 = 2,35 \text{ (Ом)}.$$

$$\alpha_{\text{max}} = a \cos\left(\frac{\omega_{\text{min}} \cdot c_{\phi} + I_n \cdot R_e}{E_{0n}}\right) = a \cos\left(\frac{0,209 \cdot 0,952 + 40 \cdot 2,35}{233,2}\right) = 1,155,$$

$$\alpha_{\text{max}} = 66,5 \text{ (град)}.$$

Число пульсацій за період, p ,

$$p = 2 \cdot m_2 = 2 \cdot 3 = 6,$$

$$k_{zp} = \left(1 - \frac{\frac{\pi}{p} \cdot \cos\left(\frac{\pi}{p}\right)}{\sin\left(\frac{\pi}{p}\right)}\right) \cdot \sin(\alpha_{\text{max}}) = 0,085.$$

Величина граничного струму, I_{zp} , А,

$$I_{zp} = 0,25 \cdot I_{np} = 0,25 \cdot 40 = 10 \text{ (А)}.$$

Індуктивність ланцюга випрямленого струму, при заданому значенні кута регулювання, $L_{\Sigma \bar{p}}, Гн$,

$$L_{\Sigma \bar{p}} = \frac{k_{cp} \cdot E_{0n}}{\omega_c \cdot I_{cp}} = \frac{0,085 \cdot 233,2}{314 \cdot 10} = 0,0063 (Гн) .$$

Індуктивність додаткового реактора, $L_{дрз}, Гн$,

$$L_{дрз} = L_{\Sigma \bar{p}} - (L_{я} + L_{en}) = 0,0063 - (8 \cdot 10^{-3} + 0,000389) = 0,00205 (Гн) .$$

Згладжування пульсації випрямленого струму

Кут керування, α ,

$$\alpha = 80^0 .$$

Кратність основної гармоніки, k ,

$$k = 1 .$$

Припустимо діюче значення основної гармоніки струму, p_1 ,

$$p_1 = 10 .$$

Амплітудне значення основної гармоніки, $E_{пmax}, В$,

$$\begin{aligned} E_{пmax} &= \frac{2 \cdot E_{\phi n} \cdot \cos(\alpha) \cdot \sqrt{1 + k^2 \cdot p^2 \cdot (tg(\alpha))^2}}{k^2 \cdot p^2 - 1} = \\ &= \frac{2 \cdot 233,2 \cdot \cos(80) \cdot \sqrt{1 + 1^2 \cdot 6^2 \cdot (tg(80))^2}}{1^2 \cdot 6^2 - 1} = 78,774 (В) \end{aligned}$$

Величина індуктивного кола випрямленого струму, $L_{\Sigma \Pi}, Гн$,

$$L_{\Sigma \Pi} = \frac{E_{пmax} \cdot 100}{\sqrt{2} \cdot k \cdot p \cdot \omega_c \cdot I_{\Pi} \cdot p_1} = \frac{78,774 \cdot 100}{\sqrt{2} \cdot 1 \cdot 6 \cdot 314 \cdot 40 \cdot 10} = 0,0074 (Гн) .$$

Індуктивність додаткового реактора, $L_{др4}$, Гн,

$$L_{др4} = L_{\Sigma\Pi} - (L_{я} + L_{еп}) = 0,0074 - (8 \cdot 10^{-3} + 0,000389) = -0,001 \text{ (Гн)}.$$

Приймаємо $L_{др} = L_{др2} = 6,31 \cdot 10^{-3} \text{ (Гн)}.$

Знаходимо еквівалентну індуктивність якірного кола двигуна, L_{ϵ} , Гн,

$$L_{\epsilon} = L_{др} + L_{я} + L_{еп} = 0,00631 + 8 \cdot 10^{-3} + 0,000389 = 0,0147 \text{ (Гн)}.$$

3.3 Розрахунок параметрів об'єкта керування

Розрахунок параметрів об'єкта керування проводиться для аналізу динамічних властивостей системи.

Електромагнітна стала часу якірного кола двигуна, T_{ϵ} , с,

$$T_{\epsilon} = \frac{L_{\epsilon}}{R_{\epsilon}} = \frac{0,0147}{2,35} = 0,00626 \text{ (с)}.$$

Електромеханічна стала часу, $T_{м}$, с,

$$T_{м} = \frac{J'_{пр} \cdot R_{\epsilon}}{C_{дв}^2} = \frac{0,0242 \cdot 2,35}{0,952^2} = 0,0627 \text{ (с)}.$$

Напруга керування на вході тиристорного перетворювача, що відповідає максимальній електрорушійній силі на виході $U_{кmax} = 10 \text{ (В)}.$

Коефіцієнт передачі тиристорного перетворювача, $k_{п}$,

$$k_{п} = \frac{E_{\phi\Pi}}{U_{кmax}} = \frac{233,2}{10} = 23,3.$$

Стала часу тиристорного перетворювача, T_{π} , с,

$$T_{\pi} = \frac{1}{p \cdot f_{\text{мер}}} = \frac{1}{6 \cdot 50} = 0,0033 \text{ (с)}.$$

3.4 Розрахунок параметрів регулятора й елементів контуру регулювання струму

Напруга зворотного зв'язку за струмом, $U_{\text{ззс}}$, В,

$$U_{\text{ззс}} = 10 \text{ (В)}$$

Максимально допустимий струм двигуна при перехідному процесі, I_{max} , А,

$$I_{\text{max}} = 4 \cdot I_{\text{н}} = 4 \cdot 7,27 = 29,1 \text{ (А)}.$$

Передавальний коефіцієнт зворотного зв'язку за струмом, $k_{\text{ззс}}$, $\frac{\text{В}}{\text{А}}$,

$$k_{\text{ззс}} = \frac{U_{\text{ззс}}}{I_{\text{max}}} = \frac{10}{29,1} = 0,344 \frac{\text{В}}{\text{А}}.$$

Налагодження регулятора струму.

Некомпенсована мала стала часу, T_{μ} , с,

$$T_{\mu} = T_{\pi} + T_{\text{дс}} = 0,0033 + 0,66 \cdot 10^{-3} = 0,00396 \text{ (с)},$$

де $T_{\text{дс}}$ – постійна часу фільтра датчика струму.

Коефіцієнт передачі та стала часу ПІ – регулятора струму

$$k_{\text{pc}} = \frac{R_{\text{е}} \cdot T_{\text{е}}}{2 \cdot T_{\mu} \cdot k_{\text{н}} \cdot k_{\text{ззс}}} = \frac{2,35 \cdot 0,00626}{2 \cdot 0,00396 \cdot 23,3 \cdot 0,344} = 0,232,$$

$$T_{\text{pc}} = \frac{T_{\text{e}}}{k_{\text{pc}}} = \frac{0,00626}{0,232} = 0,027 \text{ (с)}.$$

Розрахунок параметрів регулювання регулятора струму

Струм шунта, $I_{\text{ш}}, A$,

$$I_{\text{ш}} = 10, 20, 40, 100, 200 \geq I_{\text{max}}, I_{\text{ш}} = 40 \text{ (A)}.$$

Напруга шунта, $U_{\text{ш}}, B$,

$$U_{\text{ш}} = 75 \cdot 10^{-3} \text{ (B)}$$

Коефіцієнт передачі шунта

$$k_{\text{ш}} = \frac{U_{\text{ш}}}{I_{\text{ш}}} = \frac{75 \cdot 10^{-3}}{40} = 0,00187.$$

Коефіцієнт передачі датчика струму, $k_{\text{дс}},$

$$k_{\text{дс}} = \frac{U_{\text{ззс}}}{U_{\text{ш}}} = \frac{10}{75 \cdot 10^{-3}} = 133,333.$$

Задамося ємністю, $C_{\text{зз2}}, \Phi$,

$$C_{\text{зз2}} = 10^{-6} \text{ (}\Phi\text{)},$$

$$R_{\text{зз2}} = \frac{T_{\text{e}}}{C_{\text{зз2}}} = \frac{0,00626}{10^{-6}} = 6,26 \cdot 10^3 \text{ (Ом)},$$

$$R_3 = \frac{T_{\text{pc}}}{C_{\text{зз2}}} = \frac{0,027}{10^{-6}} = 2,7 \cdot 10^4 \text{ (Ом)},$$

$$R_4 = \frac{k_{ш} \cdot k_{дс} \cdot R_3}{k_{ззс}} = \frac{0,00187 \cdot 133 \cdot 2700}{0,344} = 1,956 \cdot 10^4 (Ом).$$

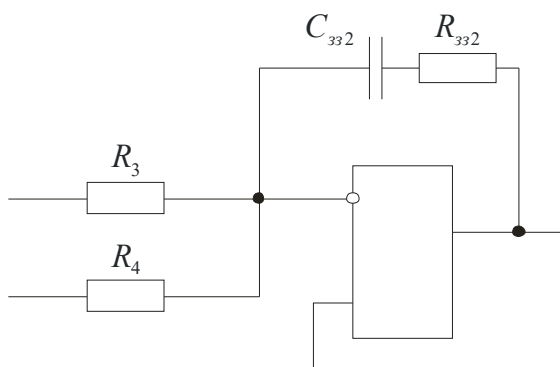


Рисунок 3.1 ПІ – регулятор струму

3.5 Розрахунок параметрів регулятора і елементів контуру регулювання швидкості

Об'єктом регулювання зовнішнього контуру швидкості є замкнутий контур струму і ланка, що описує механічний опір двигуна.

$$k_{м} = \frac{R_{en}}{C_{дв}} = \frac{0,0801}{0,952} = 0,0841$$

Напруга зворотного зв'язку за швидкістю, $U_{ззш}$, В,

$$U_{ззш} = 10(B).$$

Передавальний коефіцієнт зворотного зв'язку за швидкістю, $k_{ззш}$,

$$k_{ззш} = \frac{U_{ззш}}{\omega_{max}} = \frac{10}{209} = 0,047.$$

Налагодження П-регулятора швидкості

Еквівалентна стала часу контуру швидкості, $T_{\mu\text{ш}}$, с,

$$T_{\mu\text{ш}} = 2 \cdot T_{\mu} + T_{\text{дш}} = 2 \cdot 0,00396 + 0,00066 = 0,00858 \text{ (с)}.$$

Коефіцієнт підсилення П – регулятора швидкості, $k_{\text{рш}}$,

$$k_{\text{рш}} = \frac{J'_{\text{пр}} \cdot k_{\text{ззс}}}{2 \cdot T_{\mu\text{ш}} \cdot C_{\text{дв}} \cdot k_{\text{ззш}}} = \frac{0,0242 \cdot 0,344}{2 \cdot 0,0085 \cdot 0,952 \cdot 0,0478} = 10,7.$$

Налагодження ІІІ- регулятора швидкості, $k_{\text{рш1}}$,

$$k_{\text{рш1}} = \frac{T_{\text{м}} \cdot C_{\text{дв}} \cdot k_{\text{ззс}}}{2 \cdot T_{\mu\text{ш}} \cdot R_{\text{е}} \cdot k_{\text{ззш}}} = \frac{0,0627 \cdot 0,952 \cdot 0,344}{2 \cdot 0,00858 \cdot 2,35 \cdot 0,0478} = 10,7.$$

Стала часу ІІІ – регулятора швидкості, $T_{\text{рш1}}$, с,

$$T_{\text{рш1}} = \frac{4 \cdot T_{\mu\text{ш}}}{k_{\text{рш1}}} = \frac{4 \cdot 0,00858}{10,7} = 3,21 \cdot 10^{-3} \text{ (с)}.$$

Розрахунок параметрів П-регулятора швидкості

Напруга тахогенератора $U_{\text{тг}}$, В,

$$U_{\text{тг}} = 10 \text{ (В)}.$$

Коефіцієнт передачі тахогенератора, $k_{\text{тг}}$,

$$k_{\text{тг}} = \frac{U_{\text{тг}}}{\omega_{\text{н}}} = \frac{10}{104} = 0,0962.$$

$$R_1 = 10 \text{ (Ом)},$$

$$R_{331} = k_{\text{рш}} \cdot R_1 = 10,7 \cdot 10 = 107 \text{ (Ом)},$$

$$R_2 = \frac{k_{\text{тг}} \cdot R_1}{k_{33\text{ш}}} = \frac{0,0962 \cdot 10}{0,0478} = 20,126 \text{ (Ом)}.$$

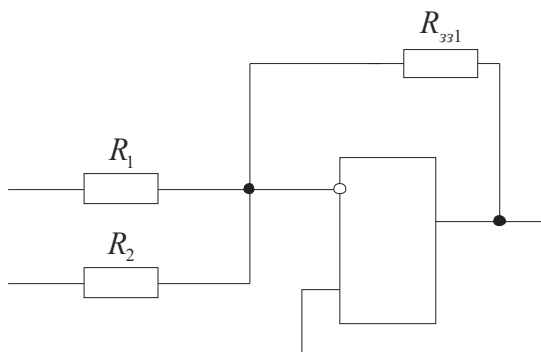


Рисунок 3.2 П – регулятор швидкості

Розрахунок параметрів ПІ – регулятора швидкості

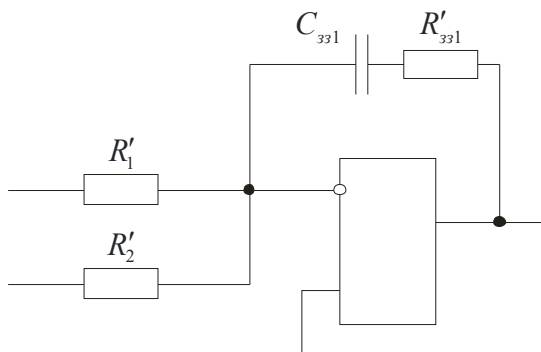


Рисунок 3.3 ПІ – регулятор швидкості

$$C_{331} = 10^{-6} \text{ (Ф)},$$

$$R'_{331} = \frac{4 \cdot T_{\text{шп}}}{C_{331}} = \frac{4 \cdot 0,00858}{10^{-6}} = 3,432 \cdot 10^4 \text{ (Ом)},$$

$$R'_1 = \frac{T_{\text{рш1}}}{C_{\text{зз1}}} = \frac{0,00321}{10^{-6}} = 3,21 \cdot 10^3 \text{ (Ом)},$$

$$R'_2 = \frac{k_{\text{тг}} \cdot R'_1}{k_{\text{ззш}}} = \frac{0,0962 \cdot 3,21 \cdot 10^3}{0,0478} = 6,46 \cdot 10^3 \text{ (Ом)}.$$

3.6 Побудова статичних характеристик для розімкненої і замкнутої системи керування

Для розімкненої системи:

- статична характеристика при мінімальній робочій подачі

$$\omega_{2\text{min}}(I) = \omega_{\text{min}} - \frac{R_{\text{е}}}{C_{\text{дв}}} \cdot I;$$

- статична характеристика при номінальній робочій подачі

$$\omega_{2\text{н}}(I) = \omega_{\text{н}} - \frac{R_{\text{е}}}{C_{\text{дв}}} \cdot I;$$

- статична характеристика при максимальній робочій подачі

$$\omega_{2\text{max}}(I) = \omega_{\text{max}} - \frac{R_{\text{е}}}{C_{\text{дв}}} \cdot I;$$

Для замкнутої системи:

- статична характеристика при мінімальній робочій подачі

$$\omega_{1\text{min}}(I) = \omega_{\text{min}} - \frac{k_{\text{ззс}}}{k_{\text{ззш}} \cdot k_{\text{рш1}}} \cdot I;$$

- статична характеристика при номінальній робочій подачі

$$\omega_{1\text{н}}(I) = \omega_{\text{н}} - \frac{k_{\text{ззс}}}{k_{\text{ззш}} \cdot k_{\text{рш1}}} \cdot I;$$

- статична характеристика при максимальній робочій подачі

$$\omega_{1\max}(I) = \omega_{\max} - \frac{k_{33c}}{k_{33ш} \cdot k_{рш1}} \cdot I.$$

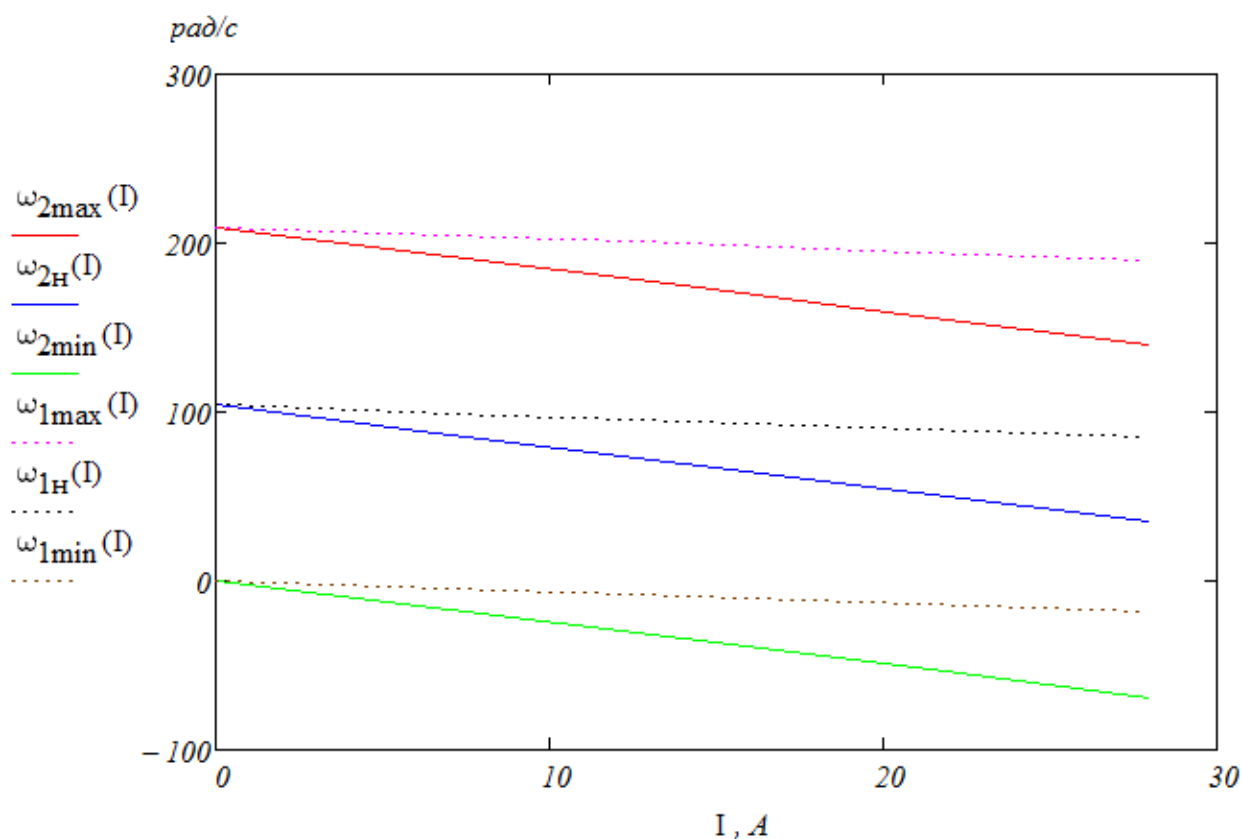


Рисунок 3.4 – Статичні характеристики для розімкненої і замкненої системи керування

3.7 Дослідження динамічних характеристик системи

У цьому розділі необхідно проаналізувати характер перехідних процесів струму якоря $i(t)$ і ЕРС тиристорного перетворювача $u(t)$ відповідно до зміни частоти обертання вала ЕД (ωt).

Дослідити і порівняти характер перехідних процесів:

- із П- регулятором;
- із ПІ- регулятором;
- із фільтром на вхід ПІ-регулятора швидкості.

На підставі структурної схеми, яка зображена на рисунку 2.3, для дослідження динамічних характеристик системи керування електроприводом,

побудуємо математичну модель СКЕП, із використанням пакета програм Simulink, програми Matlab. [5]

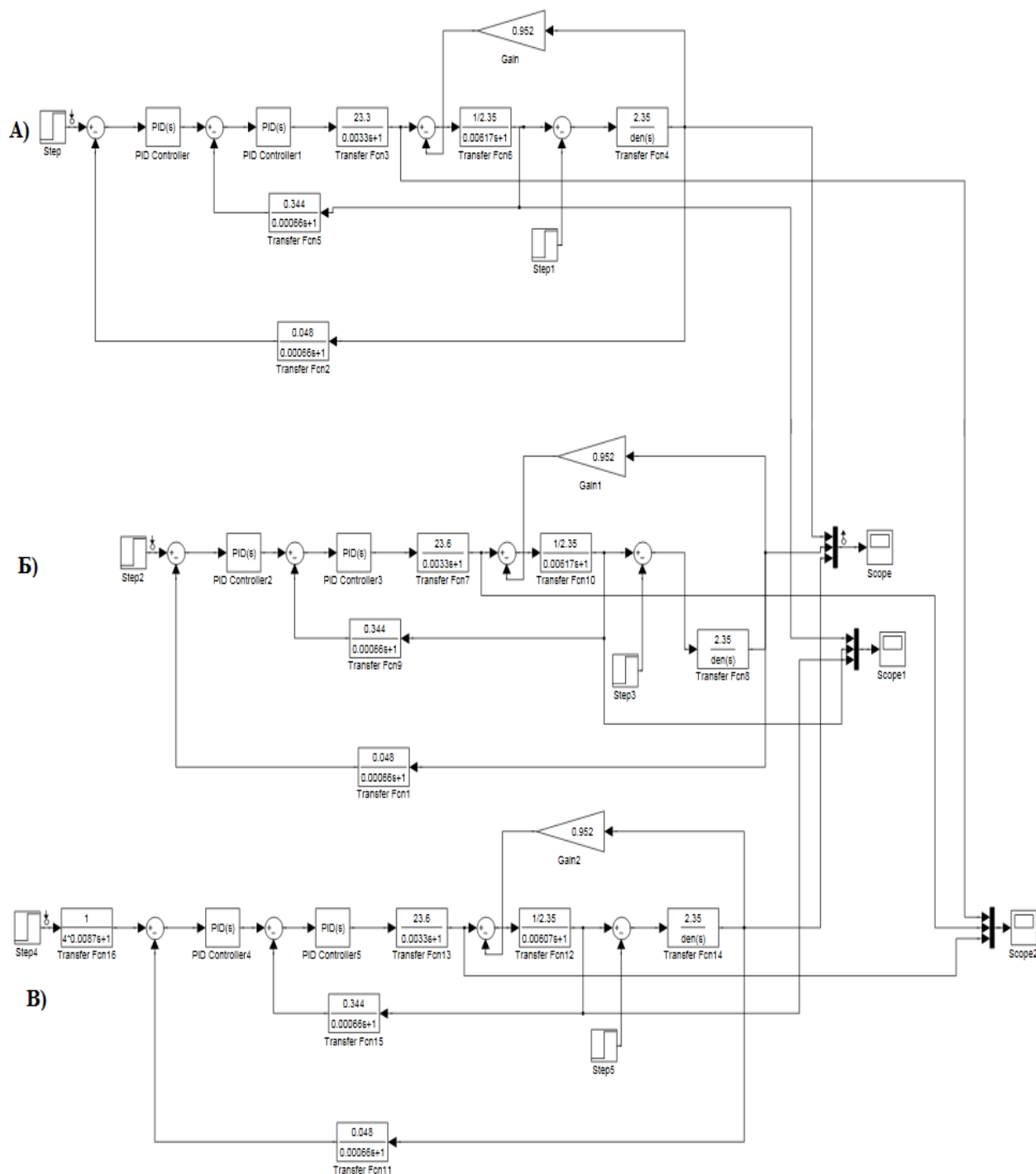
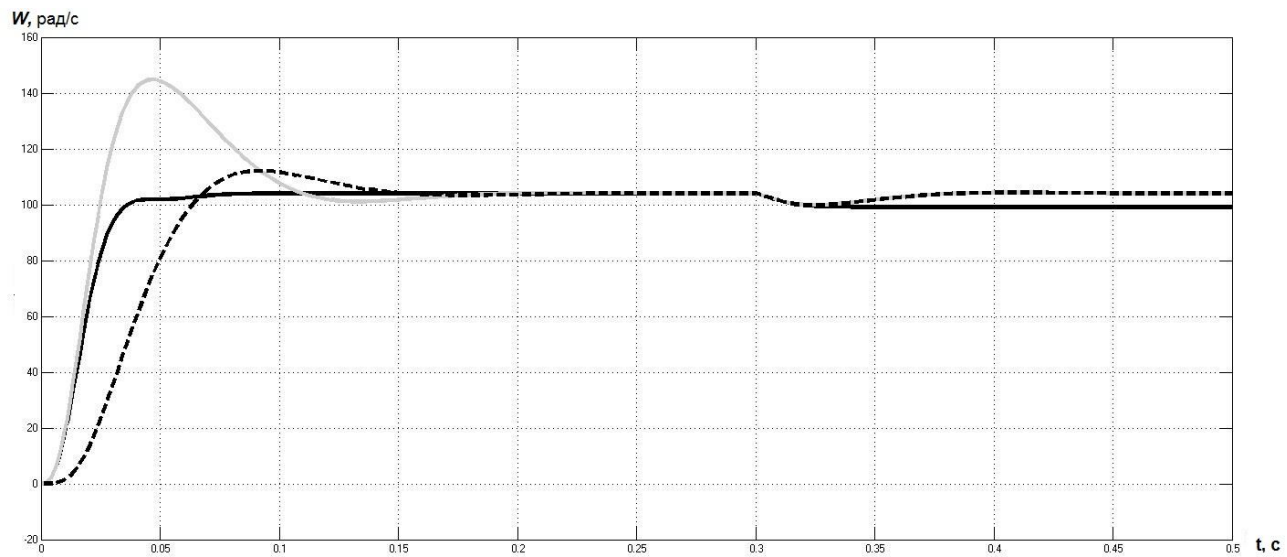


Рисунок 3.5 – Структурні схеми замкнутих систем:

- а) з П-регулятором швидкості; б) з ПІ-регулятором швидкості;
- в) з ПІ-регулятором швидкості і фільтром.



— з П-регулятором швидкості

— з ПІ-регулятором швидкості

--- з ПІ регулятором швидкості і фільтром на вході

Рисунок 3.6 – Перехідна характеристика швидкості двигуна

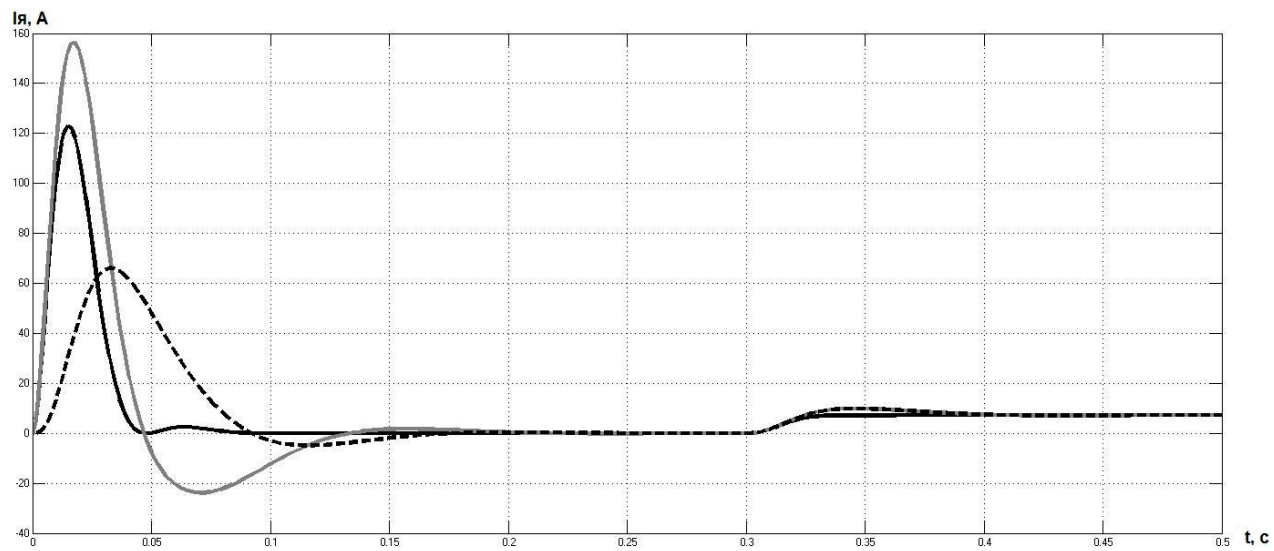


Рисунок 3.7 – Перехідна характеристика струму якоря

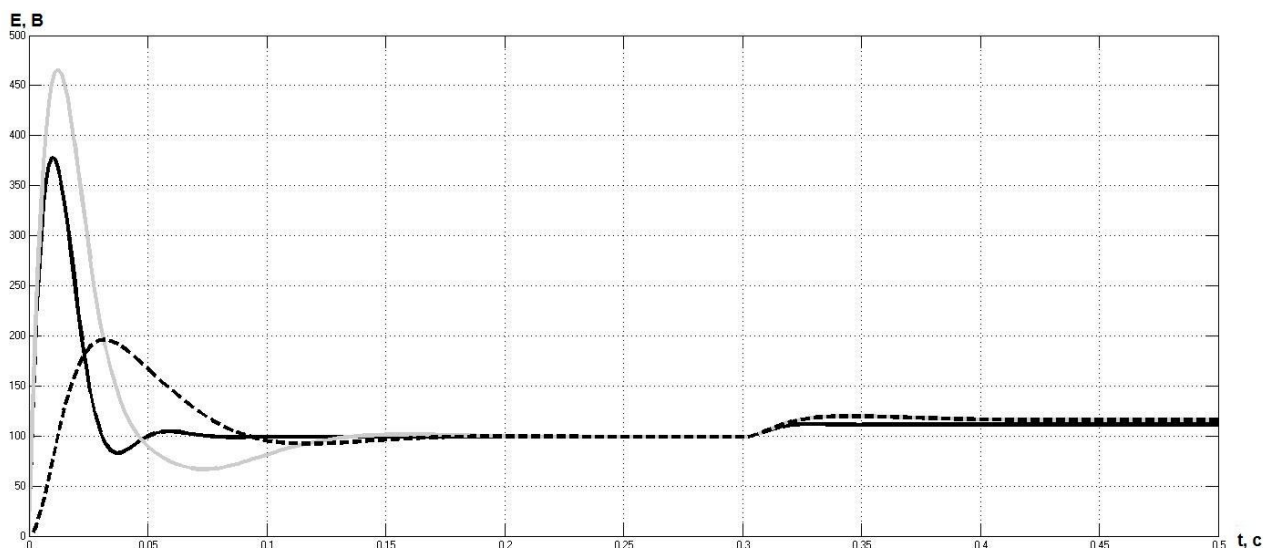


Рисунок 3.8 – Перехідна характеристика ЕДС двигуна

Для знаходження показників якості використаємо лінійний аналіз в середовищі Simulink програма MATLAB.

Peak Response - максимальне значення перехідного процесу;

σ_a – плавний пуск; $\sigma_6 = 40,4\%$; $\sigma_b = 7,25\%$.

Setting Time - час регулювання - інтервал часу, протягом якого перехідний процес входить в інтервал $\pm \Delta$ % щодо сталого значення. Час перехідного процесу становить: $T_a = 0,042$ (с); $T_6 = 0,148$ (с); $T_b = 0,133$ (с).

Були побудовані статичні і динамічні характеристики замкнутої системи. На перехідних характеристиках видно що система відпрацьовує сигнал. Визначив основні показники якості системи а саме перерегулювання та час перехідного процесу. Замкнута система з П-регулятором швидкості хоч має плавний пуск, проте під час навантаження не виходить на номінальну швидкість обертів, що не стосується інших наведених систем. Замкнута система з ПІ-регулятором швидкості має високе перерегулювання $\sigma_6 = 40,4\%$ більше допустимої величини 30%, та час перехідного процесу $T_6 = 0,148$ (с). Найкращі показники якості має замкнута система з ПІ-регулятором швидкості і фільтром. $\sigma_b = 7,25\%$, $T_b = 0,133$ (с).

4 Охорона праці

Охорона праці – це система правових, соціально-економічних, організаційно-технічних, санітарно-гігієнічних і лікувально-профілактичних мір і засобів спрямованих на збереження здоров'я і працездатності людини в процесі праці.

В Україні систематично проводиться робота зі створення здорових і безпечних умов праці: розробляються і впроваджуються санітарні норми, правила техніки безпеки, система стандартів безпеки праці (ССБП), правила пристрою електроустановок (ПУЕ), правила технічної експлуатації (ПТЕ), правила техніки безпеки (ПТБ), норми і правила пожежної безпеки і вибухової безпеки, норми радіаційної безпеки й ін.

Знання нормативних документів і основних законодавчих актів про охорону праці: Конституції України; Закон України про охорону праці; Закон України про охорону здоров'я; Про пожежну безпеку; Кодексів законів про працю й інших документів, виконання відповідних правил забезпечать безпечні умови праці, що дуже важливо в справі збереження здоров'я трудящих.

Комплекс організаційних і технічних заходів і засобів, що запобігають нещасливим випадкам на виробництві, називається технікою безпеки.

Була створена Система стандартів по безпеці праці, що являє собою комплекс великого числа взаємозалежних стандартів, спрямованих на забезпечення безпеки праці, вона має велике значення в створення здорових і безпечних умов праці. Ця система встановлює: загальні вимоги і норми по видах небезпечних і шкідливих виробничих факторів; загальні вимоги безпеки до виробничого устаткування і процесів; вимоги до засобів захисту працюючих; методи оцінки безпеки праці.

Підвищення безпеки виробництва і поліпшення умов праці приводять до зниження виробничого травматизму, професійних захворювань, інвалідності, що зберігає здоров'я робочому персоналу й одночасно приводить до зменшення витрат на оплату пільг і компенсації за роботу в несприятливих умовах праці, на оплату наслідків такої роботи, на лікування.

Організація охорони праці на підприємстві є однією з найважливіших задач і обов'язків адміністрації. Адміністрація підприємств, установ зобов'язана забезпечувати належне технічне устаткування всіх робочих місць і створювати на них умови роботи, що відповідають правилам по охороні праці.

Діюче трудове законодавство встановлює, що відповідальність за організацію праці в цілому по підприємству несуть його директор і головний інженер. По окремих підрозділах така відповідальність покладена на відповідних керівників цих підрозділів (начальників цехів, ділянок, майстрів і т.д.). Вони зобов'язані стежити за протипожежним станом виробничого устаткування, а також за своєчасним збиранням із приміщення спалених відходів виробництва, за відключенням непрацюючих електроприймачів.

Охорона праці (ОП) являє собою систему законодавчих актів, соціально-економічних, організаційних, технічних, гігієнічних і лікувально-профілактичних заходів і засобів, що забезпечують безпеку роботи, схоронність здоров'я й працездатності людини (робітника) у процесі праці.

Охорона праці охоплює велике коло питань:

- Правових – по трудовому законодавству;
- Технічних – по техніці безпеки роботи й пожежної безпеки;
- Санітарних – по гігієні праці й промисловій санітарії;
- Організаційних – методів безпечної роботи, що забезпечують постановку, і контролю за виконанням заходів щодо ОП і ін.

Техніка безпеки - система організаційних і технічних заходів і засобів, що запобігають впливу на працюючих небезпечних виробничих факторів. Це поліпшення технічних процесів, впровадження нових машин і механізмів, інструментів, автоматизація виробничих процесів, індивідуальний захист.

Техніка безпеки вивчає виробниче устаткування, умови роботи й поведінку людей на роботі (психологія праці).

Пожежна безпека включає комплекс заходів щодо попередження пожеж, підвищенню пожежної безпеки в технології виробництва.

Гігієна праці вивчає вплив умов праці на здоров'я людини й розробляє заходи щодо створення нормальних умов повітряного середовища, освітленості, знижен-

ню шуму й вібрації й інше, з метою зниження негативних впливів на здоров'я людей.

Виробнича санітарія - система гігієнічних і санітарно-технічних заходів і засобів шкідливих факторів, що запобігають вплив, на працюючих.

На здоров'я людини, її життєздатність і життєдіяльність великий вплив мають небезпечні і шкідливі фактори. Небезпечний фактор – це дія на людину, що в певних умовах призводить до травми, а в окремих випадках – до раптового погіршення здоров'я або до смерті. Шкідливий фактор – це фактор дії на людину, який в певних умовах призводить до захворювань або зниження працездатності. До визначаючих ознак небезпечних і шкідливих факторів відносяться: можливість безпосередньої негативної дії на організм людини; ускладнення нормального функціонування органів людини; можливість порушення нормального стану елементів виробничого процесу, в результаті якого можуть виникнути аварії, вибухи, пожежі, травми.

4.1 Аналіз небезпечних та шкідливих факторів на підприємстві

Небезпечні і шкідливі фактори на підприємстві, за впливом на людину поділяються на три групи: 1) активні; 2) пасивно-активні; 3) пасивні.

До активних належать фактори, що можуть вплинути на людину завдяки своїй енергії. Вони діляться на такі підгрупи:

- механічні фактори, що характеризуються кінетичною і потенціальною енергією і механічним впливом на людину: кінетична енергія рухомих елементів робота, шум, вібрація, прискорення, гравітаційне тяжіння, невагомість, статичне напруження;

- термічні фактори, що характеризуються тепловою енергією та аномальною температурою: температура нагрітих і охолоджених предметів і поверхонь, температура відкритого вогню і пожежі, температура хімічних реакцій і інших джерел.

- електричні фактори: електричний струм, статичний електричний заряд;
- психофізіологічні: стрес, втома, незручна поза та інші.

- хімічні фактори: порушення природного газового стану повітря, наявність шкідливих домішок у повітрі; газоповітряні викиди, у яких міститься пил бокситу, пил вапняку, аерозолі луґу, окисі вуглецю, азоту та інше;

У процесі діяльності підприємства в атмосферне повітря викидається, в середньому, близько 4,5 тис. тонн забруднюючих речовин. Основні забруднюючі речовини: тверді - пил бокситу, вапняку, цементу, газоподібні - окисли азоту, вуглецю, аерозолі луґу;

До пасивно-активної групи належать фактори, що активізуються за рахунок енергії, носіями якої є людина або обладнання: гострі нерухомі предмети, малий коефіцієнт тертя, нерівність поверхні, по якій переміщується людина і машина, а також нахил і підйом.

До пасивних належать ті фактори, які впливають опосередковано: небезпечні властивості, що пов'язані з корозією матеріалів, накипом, недостатньою міцністю конструкцій, підвищеними навантаженнями на механізми і машини та інше. Формою прояву цих факторів є руйнування, вибухи та інші види аварій.

Фактори характеризуються потенціалом, якістю, часом існування або дії на людину, імовірністю появи, масштабами зони дії.

Акустичне середовище є важливим компонентом в загальному середовищі буття: людина існує в світі звуків. Екстремальні умови в акустичному середовищі створюються в основному при наближенні звукового тиску до больового порогу, або при таких рівнях шуму, що ускладнюють сприйняття звукових сигналів. Больовий поріг звукового тиску складає приблизно 130 дБ. Одна вже при 100 дБ шум викликає загальну втому, знижує працездатність і якість роботи, а при 110-120 дБ діє гнітюче. При рівні шуму 110 дБ неможливе безпосереднє спілкування.

В проектуванні робочих місць необхідно виходити з того, що недопустимий рівень шуму сягає вище 80 дБ і він потребує використання засобів індивідуального захисту працівників. Захисні заходи передбачають створення звукоізоляції виробничих приміщень, використання звукопоглинаючих матеріалів і індивідуальних засобів захисту (заглушки для вух, і т. п.).

4.2 Захисне заземлення установки

Для захисту людей від ураження електричним струмом при пошкодженні робочої ізоляції в електроустановках і переході напруги з струмоведучих частин на металеві не струмоведучі частини застосовується захисне заземлення. Захисне заземлення - навмисне електричне з'єднання із землею або її еквівалентом металевих не струмоведучих частин електричного встаткування, які можуть виявитися під напругою.

Призначення захисного заземлення - усунути ураження людей електричним струмом з появою напруги на конструктивних частинах електричного устаткування. Захисне заземлення слугує для зниження виникаючого на металевих частинах устаткування електричного струму до безпечної величини. Принцип його дії полягає в тому, що між заземленим корпусом устаткування й землею створюється металеве з'єднання великої провідності, тому струм, що проходить через тіло людини, стає не небезпечним для життя.

Заземлювач — провідник (електрод), або декілька металевих провідників, з'єднаних між собою, які з'єднані із землею. Заземлювачі бувають природні, які з'єднані із землею (струмоведучі частини комунікацій, споруд промислового або іншого призначення), які використовують для заземлення, та штучні — які спеціально виконані з метою заземлення.

Заземлюючий провідник — провідник, який з'єднує заземлюючі частини із заземлювачем. Якщо заземлюючий провідник має два або більше відгалужень, його називають магістраллю заземлення.

Вихідні дані для розрахунку захисного заземлення привода робота:

- напруга заземлюючої установки $U = 380 \text{ В}$;
- допустимий опір заземлюючого пристрою: $R_d = 4 \text{ Ом}$;
- тип заземлювача: металевий кут;

Розміри заземлювача:

- довжина кута: $l = 2,5 \text{ м}$;
- глибина закладання кута від поверхні $t_0 = 0,6 \text{ м}$;
- ширина кута: $b = 40 \cdot 10^{-3} \text{ м}$;

- з'єднувальна полоса: протяжна круглого перерізу;
- діаметр $d = 25 \cdot 10^{-3}$ м.

Існує два методи розрахунку захисного заземлення:

- метод коефіцієнту використання електродів (враховує одношарову структуру ґрунту та використовується для розрахунку простих заземлювачів);
- метод наведених потенціалів (враховує багатошарову структуру ґрунту та використовується для розрахунку складних заземлювачів).

Для подальшого розрахунку будемо користуватись методом використання електродів.

1) Визначаємо допустимий опір заземлюючого пристрою для установки до 1000 В ($U = 380$ В) – $R_d = 4$ Ом.

2) Визначаємо питомий опір ґрунту:

$\rho = 30$ Ом·м – для заданого типу ґрунту – чорнозем;

3) Визначаємо розміри та матеріал заземлювача: обираємо кутовий заземлювач, який закладається у землю.

4) Для обраного типу заземлювача знаходимо опір розтіканню одного заземлювача, Ом:

$$R_1 = \frac{\rho}{2\pi l} \left(\ln \frac{2,1 \cdot l}{b} + \frac{1}{2} \ln \frac{4,2t+l}{4,2t-l} \right) = \frac{30}{2 \cdot 3,14 \cdot 2,5} \left(\ln \frac{2,1 \cdot 2,5}{40 \cdot 10^{-3}} + \frac{1}{2} \ln \frac{4,2 \cdot 1,85 + 2,5}{4,2 \cdot 1,85 - 2,5} \right) = 9,952 \text{ Ом.}$$

$$t = t_0 + \frac{l}{2}, \quad t = 1,85 \text{ м, глибина закладання, яка дорівнює відстані від поверхні}$$

землі до середини заземлювача.

Так як $R_1 > R_d$ – прийняття одного штучного заземлювача неприпустимо, тому необхідно приймати декілька штучних заземлювачів, які з'єднано паралельно.

5) Визначаємо необхідне число паралельних з'єднань:

$\eta_b = 1$ - коефіцієнт використання заземлювачів, який враховує взаємне екранування.

$$n' = \frac{R_1}{\eta_b \cdot R_d} = \frac{9,952}{1 \cdot 4} = 2,488.$$

округлюємо, $n = 2$ – число електродів.

Визначаємо фактичний коефіцієнт використання заземлювачів, який враховує їх взаємне екранування.

$$\eta_0 = 0,81.$$

6) Визначаємо фактичний опір вертикально закладених заземлювачів, Ом:

$$R_{\dot{A}0} = \frac{R_1}{n \cdot \eta_0} = \frac{9,952}{2 \cdot 0,81} = 6,143 \text{ Ом.}$$

Для зв'язку вертикальних заземлювачів використовуємо з'єднувальну полосу. Опір розтіканню з'єднувальної полоси визначаємо як опір розтіканню протяжного круглого заземлювача, розташованого в землі.

7) Визначаємо довжину полоси, яка з'єднує вертикальні заземлювачі:

$a = 1 \cdot l$ м., - відстань між заземлювачами.

$$l' = 1,05 \cdot a \cdot n = 1,05 \cdot 2,5 \cdot 2 = 5,25 \text{ м.}$$

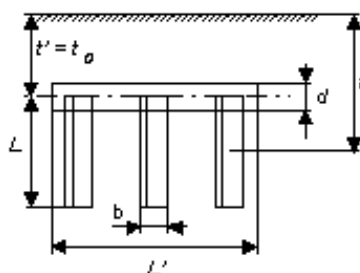


Рисунок 4.1 - Розташування заземлювача в землі

$$t' = t_0 = 0,6 \text{ м.}$$

Визначаємо опір розтіканню полоси:

$$R_{l'} = \frac{\rho}{2 \cdot \pi \cdot l'} \cdot \ln\left(\frac{l'^2}{d \cdot t'}\right) = \frac{30}{2 \cdot 3,14 \cdot 5,25} \cdot \ln\left(\frac{5,25^2}{25 \cdot 10^{-3} \cdot 0,6}\right) = 6,836 \text{ Ом.}$$

Визначаємо коефіцієнт використання полоси:

$$\eta_I = 0,82.$$

8) Визначаємо опір полоси:

$$R_I = \frac{R_{l'}}{\eta_I} = \frac{6,836}{0,82} = 8,336 \text{ Ом.}$$

9) Визначаємо фактичний опір заземлюючого пристрою, яке складається з двох вертикальних заземлювачів та з'єднувальної полоси:

$$R_C = \frac{R_{AO} \cdot R_I}{R_{AO} + R_I} = \frac{6,143 \cdot 8,336}{6,143 + 8,336} = 3,537 \text{ Ом.}$$

Порівнюємо: $R_C < R_d$, $3,537 \text{ Ом.} < 4 \text{ Ом.}$

Висновок: розрахований заземлюючий пристрій задовольняє умовам.

4.3 Заходи щодо техніки безпеки

На підприємстві проводять заходи для усунення наступних шкідливих факторів: вібрація, шум, викид пилу у повітря.

Ослаблення вібрацій досягають наступними конструктивними й технологічними мірами: врівноваженням, балансуванням обертових частин для забезпечення плавності роботи машини; усуненням дефектів і розхитаності окремих частин; використанням динамічних гасителів вібрацій; пружною підвіскою агрегатів і амортизацією (включенням проміжних пристроїв між машиною й підставою). Амортизатори виконують у вигляді сталевих пружин, ресор, прокладок з гуми і т.п.

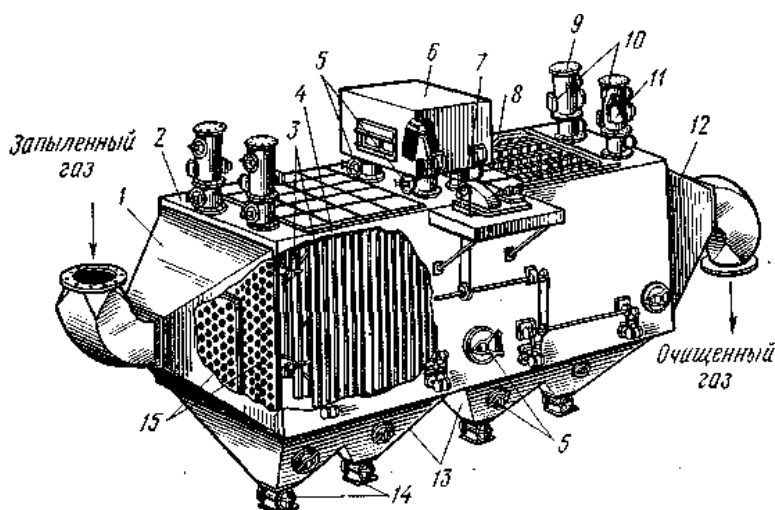
Загальні технологічні процеси супроводжуються виділенням великої кількості пилу. Відповідно припустима концентрація пилу у повітрі не повинна перевищувати 6 мг/м^3 , а запиленість газів та аспираційного повітря – не більше 80 мг/м^3 .

Електрофільтр (рисунки 4.2) – один з найбільш ефективних пилоочисних апаратів. Принцип очищення газу в електрофільтрі заснований на придбанні зваженими в газі частками електричного заряду при впливі електричного поля високої напруги (до 100000 В).

Очищення газів від пилу в електрофільтрах відбувається в такий спосіб.

Між двома різнойменно зарядженими електродами (позитивно зарядженим анодом і негативно зарядженим катодом) пропускається газовий потік, що містить частки пилу. Під впливом електричного поля високої напруги молекули газу або повітря іонізуються, тобто здобувають електричний заряд. Іонізовані молекули переміщуються від одного електрода до іншого, у результаті чого відбувається

електричний розряд у газі й утвориться замкнутий електричний ланцюг між електродами.



1 – дифузор, 2 – корпус, 3 – коронуючі електроди, 4 – осаджуючі електроди, 5 – люки, 6, 9 – ізоляторні коробки, 7 – привод струшуючих механізмів, 8 – кришка монтажного люка, 10 – елементи електричного обігріву ізолятора, 11 – опорно-прохідний ізолятор, 12 – конфузор, 13 – бункери для пилу, 14 – секторні затвори, 15 – газорозподільні решітки.

Рисунок 4.2 – Горизонтальний електрофільтр

Частки пилу під бездіяльністю електричного поля здобувають негативний заряд і під впливом сил притягання переміщуються до поверхні позитивно зарядженого електрода, де осаджуються. Цей електрод називається осаджуючим, а другий — коронуючі. Коронуючі електроди ізольовані від осаджуючих, які заземлюються. Осілий на електродах пил періодично або безупинно струшується в бункер за допомогою вібраторів.

Залежно від напрямку руху запиленого газового потоку електрофільтри підрозділяються на горизонтальні та вертикальні. Електрофільтр одержує живлення від агрегату, що перетворює змінний електричний струм у постійний. Витрата електроенергії в електрофільтрах на очищення 1000 м^3 газу становить $0,13 - 0,2 \text{ кВт/год}$. Продуктивність електрофільтрів по газу від 20000 до $500000 \text{ м}^3/\text{г}$.

Висновки

У Кваліфікаційній роботі було розглянуто систему керування електропривода токарно-гвинторізного верстата.

Аналіз існуючої системи керування електроприводом токарно-гвинторізного верстата виявив, що система має ряд недоліків, які не дають змоги залучення сучасних систем числового керування. Система керування, яка була встановлена на верстаті, не давала змоги регулювання швидкості двигуна в більш широких діапазонах, та не було можливості встановлення пристрою числового програмного керування. Отже, було запропоновано, замінити існуючу систему електропривода на двоконтурну систему підпорядкованого керування двигуна постійного струму, використання якої дає змогу позбавитись недоліків, які були описані вище.

В даній роботі розглянута двоконтурна система підпорядкованого керування двигуном постійного струму, що дозволяє застосувати в автоматизованому приводі верстата пристрій для автоматизації керування електропривода.

При оцінці показників якості керування проектованої системи, було проведено моделювання, отримана схема математичної моделі системи. Отримані криві перехідних процесів. Аналіз отриманих даних показав, що застосування проектованої системи підвищить показники приводу і його швидкодію. Найкращі показники якості має замкнута система з ПІ-регулятором швидкості та фільтром на вході.

Були розглянуті питання по охороні праці на виробництві, проаналізовані питання охорони навколишнього середовища.

Автоматична система керування задовольняє вимогам виробничого процесу, надійна в експлуатації, і дозволить поліпшити процес виробництва.

Перелік посилань

1. Кодра Ю. В., Стоцько З. А. Технологічні машини. Розрахунок і конструювання : навчальний посібник / за ред. З. А. Стоцька. – Львів : Видавництво Національного університету «Львівська політехніка», 2015. – 312 с.
2. Лавріненко Ю. М., Марченко О. С., Савченко П. І., Синявський О. Ю., Войтюк Д. Г., Лисенко В. П. Електропривод : підручник / за ред. Ю. М. Лавріненка. – К. : Ліра-К, 2009. – 504 с. – ISBN 978-966-96938-8-4.
3. Бочков В.М., Металорізальні верстати/ В. М. Бочков, Р.І Сілін, О.В. Гаврильченко. – Львів: Видавництво Національного університету Львівська політехніка, 2009. – 268 с.
4. Васильєв О.Г., Методичні вказівки до виконання курсового проекту з курсу «Системи керування електроприводами»/ О.Г. Васильєв, А.М. Фоменко, А.С. Віштакалюк. – Миколаїв: УДМТУ, 2006 р. – 65с.
5. Shetty D., Kolk R. A. Mechatronics System Design. – 2nd Edition. – Boston : Cengage Learning, 2011. – 672 p. – ISBN 978-1-4390-6198-5.
6. Sen P. C. Thyristor DC Drives. – New York : Wiley, 1981. – 307 p. – ISBN 978-0-471-06070-3.
7. Казачковський М. М., Комплектні електроприводи: Навчальний посібник/ М. М. Казачковський . – Дніпропетровськ : Національний гірничий університет, 2003. – 226с.
8. Костинюк Л. Д., Моделювання електроприводів: Навч. Посібник / Л. Д. Костинюк, В. І. Мороз, Я. С. Паранчук. – Львів : Видавництво Національного університету «Львівська політехніка», 2004. – 404с.
9. Теряєв В. І. Автоматизований електропривод : навч. посібник : ч. 2 [Електронний ресурс]. – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2022. – 204 с.
10. Bose B. K. Modern Power Electronics and AC Drives. – Upper Saddle River : Prentice Hall, 2002. – 738 p. – ISBN 978-0-13-016743-9.
11. Mohamed A. El-Sharkawi M. A. Fundamentals of Electric Drives. – 2nd Edition. – Boston : Cengage Learning, 2019. – 336 p. – ISBN 0-534-95222-4.
12. Попович М. Г., Електромеханічні системи автоматичного керування

та електроприводи : Навч. Посібник / М. Г. Попович, О. Ю. Лозинський, В. Б. Клепиков. – К.: Либідь, 2005. – 680с

13. Hughes A., Drury B. Electric Motors and Drives: Fundamentals, Types and Applications. – 5th Edition. – Oxford : Newnes, 2019. – 511 p. – ISBN 978-0-08-102615-1.

14. Mohan N. Electric Drives: An Integrative Approach. – 3rd Edition. – Minneapolis : MNPERE, 2003. – 544 p.

15. Sen P. C. Thyristor DC Drives. – New York : Wiley, 1981. – 307 p. – ISBN 978-0-471-06070-3.

16. Baliga B. J. Fundamentals of Power Semiconductor Devices. – 2nd Edition. – Cham: Springer, 2019. – 1063 p. – ISBN 978-3-319-93987-2.

17. Moshchenok V. Metalworking by Cutting. Machines and Tools : textbook. – Kharkiv : KhADI, 2025. – 368 p.

18. Altintas Y. Manufacturing Automation: Metal Cutting Mechanics, Machine Tool Vibrations, and CNC Design. – 2nd Edition. – Cambridge : Cambridge University Press, 2012. – 366 p. – ISBN 978-0-521-17247-9.

ЗАГАЛЬНИЙ ВИГЛЯД ВЕРСТАТА

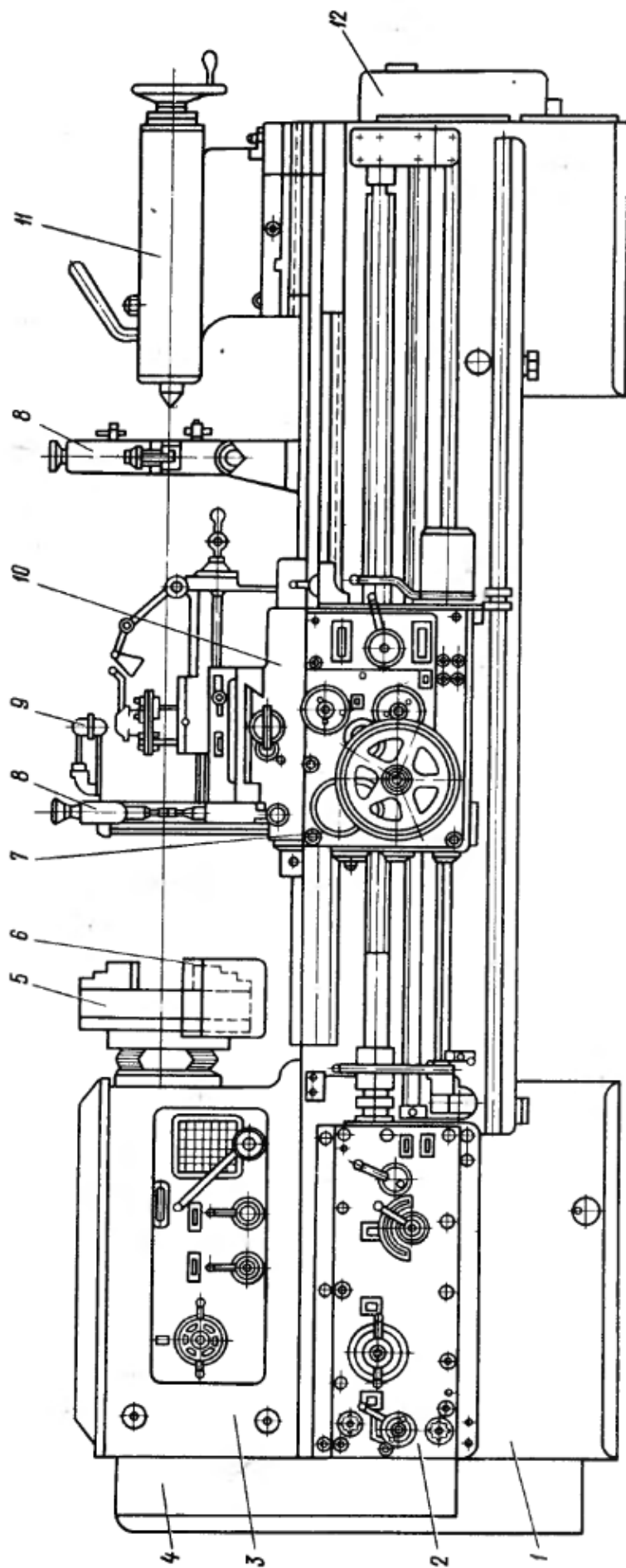


Рисунок А.1 – Слайд 1 мультимедійної презентації

ФУНКЦІОНАЛЬНА СХЕМА СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ

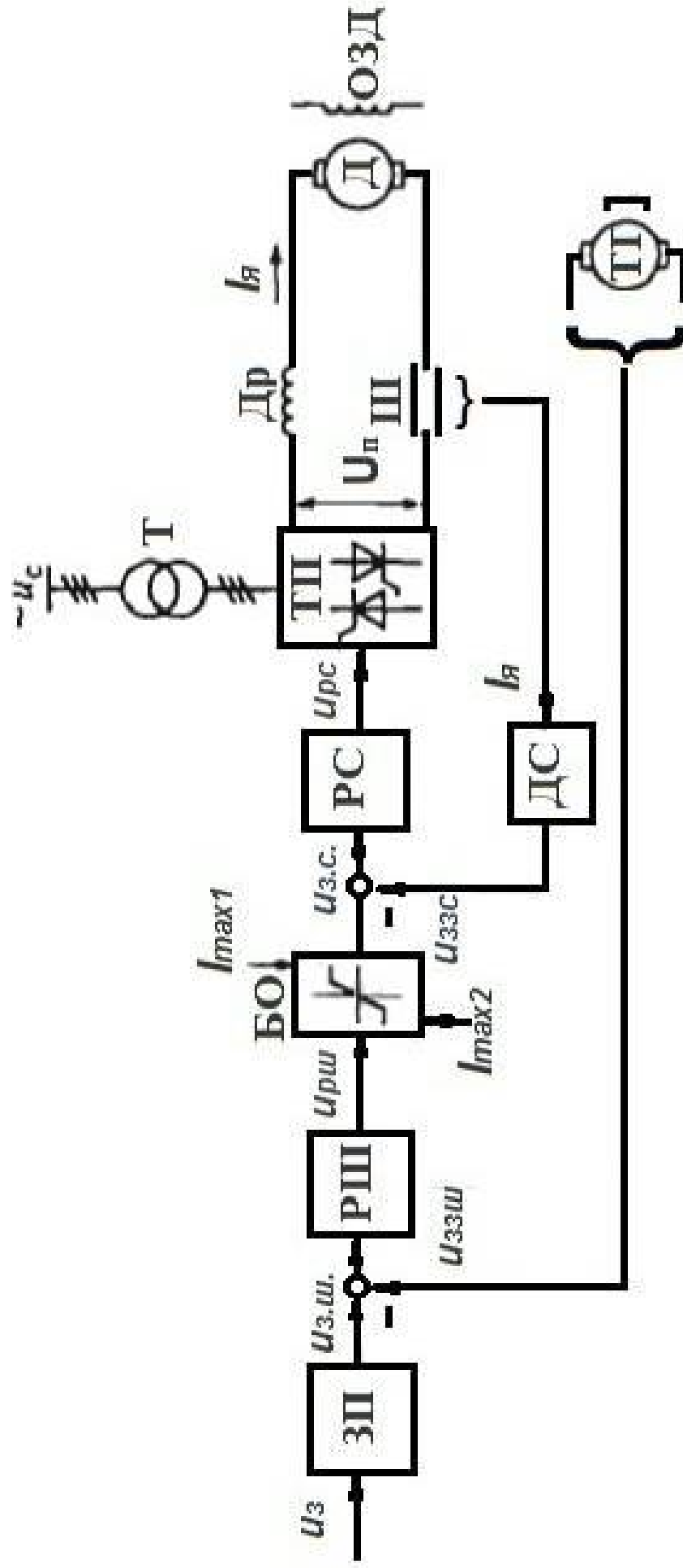


Рисунок А.2 – Слайд 2 мультимедійної презентації

СТРУКТУРНА СХЕМА СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ

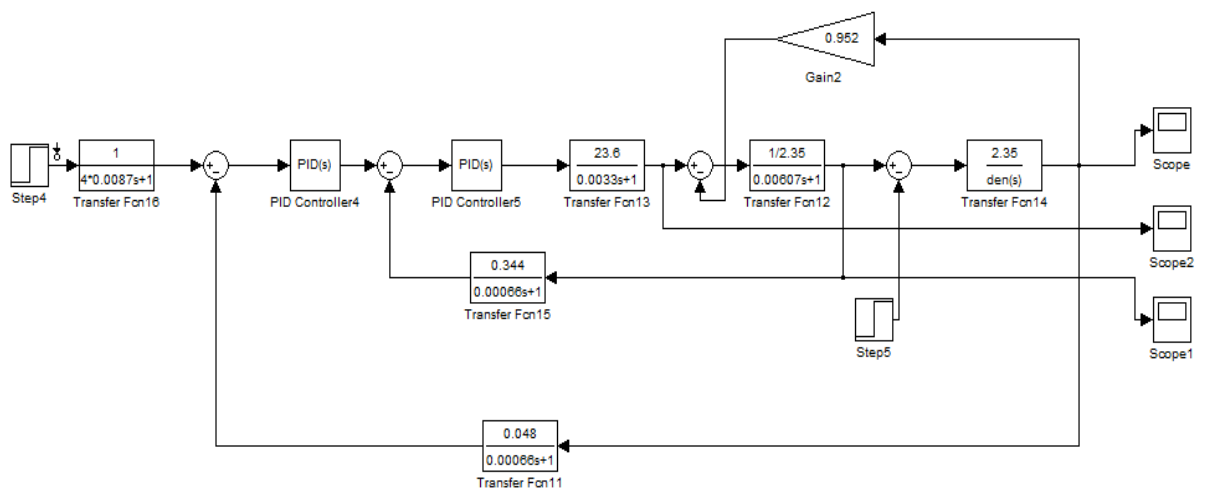
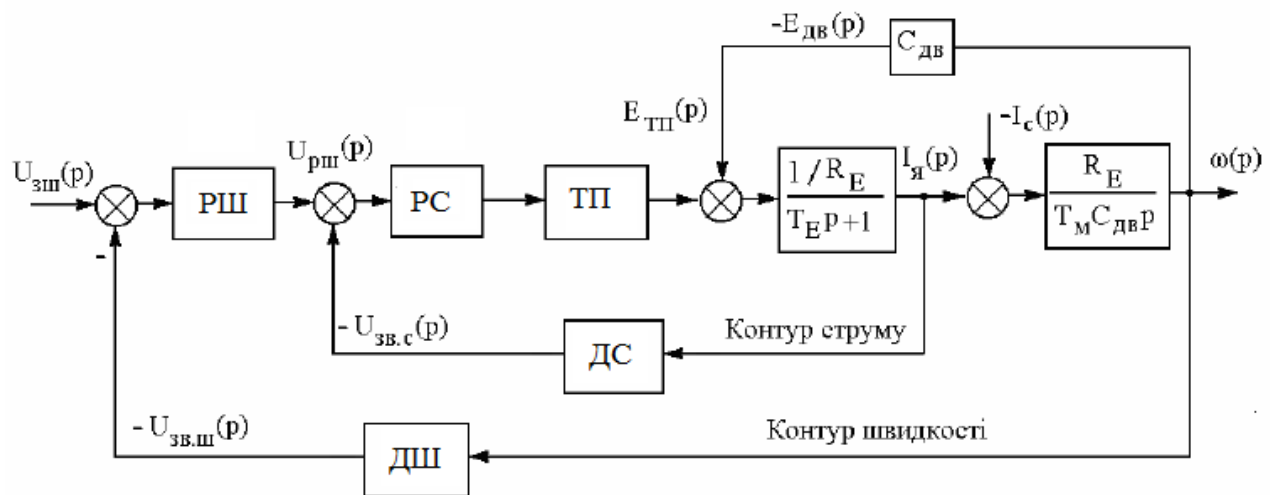
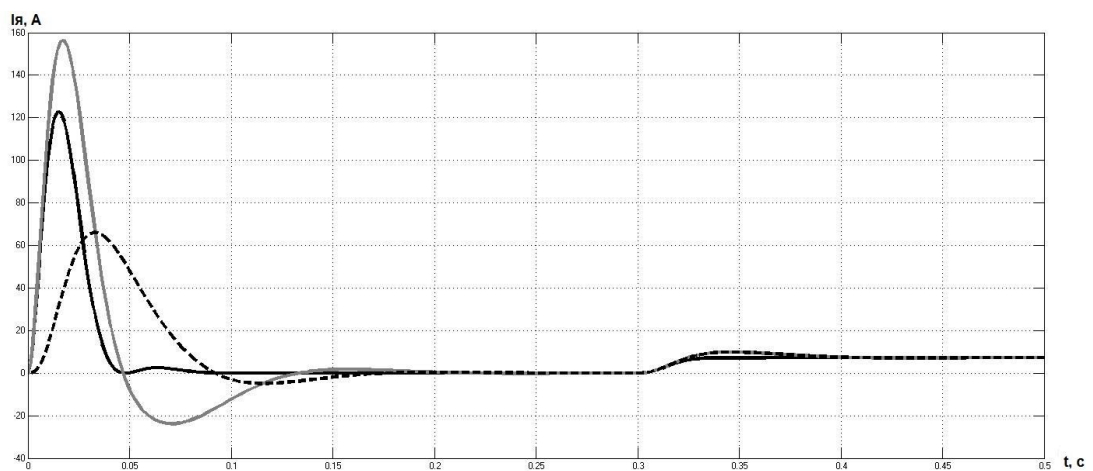
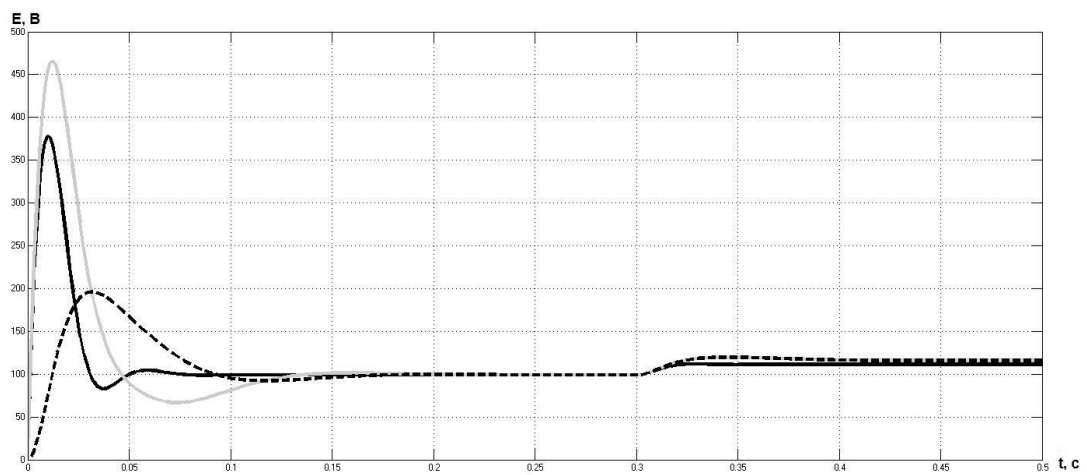
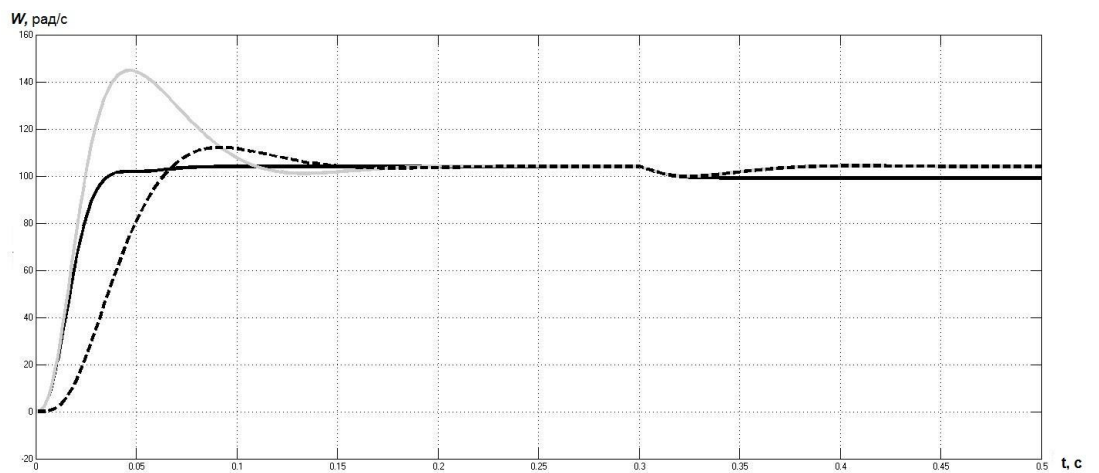


Рисунок А.3 – Слайд 3 мультимедійної презентації

ПЕРЕХІДНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ



— з П-регулятором швидкості; — з ПІ-регулятором швидкості

--- з ПІ регулятором швидкості і фільтром на вході

Рисунок А.4 – Слайд 4 мультимедійної презентації