

Вінницький національний технічний університет

(повне найменування вищого навчального закладу)

Факультет електроенергетики та електромеханіки

(повне найменування інституту, назва факультету (відділення))

Кафедра комп'ютеризованих електромеханічних систем і комплексів

(повна назва кафедри (предметної, циклової комісії))

Бакалаврська кваліфікаційна робота на тему:

**«Модернізація системи керування електропривода подачі металорізального
верстату»**

Виконав: студент 4 курсу, гр. ЕМСА-216
спеціальності 141 – Електроенергетика,
електротехніка та електромеханіка

(шифр і назва напрямку підготовки, спеціальності)

Ілля БОНДАР

(ім'я ПРІЗВИЩЕ, підпис)

Керівник: к.т.н., доцент кафедри КЕМСК

Олександр ПАЯНОК

(ім'я ПРІЗВИЩЕ, підпис)

«20» травня 2025 р.

Рецензент: к.т.н., доц. каф. ЕСБЕМ

Войтов І.Л.

(прізвище та ініціали)

«10» червня 2025 р.

Допущено до захисту

Зав. кафедри

«3» червня 2025 р.

Вінниця ВНТУ – 2025 рік

Вінницький національний технічний університет
Факультет Електроенергетики та електромеханіки
Кафедра комп'ютеризованих електромеханічних систем і комплексів
Рівень вищої освіти перший (бакалаврський)
Галузь знань 14 – Електрична інженерія
Спеціальність 141 – Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка
Освітньо-професійна програма «Електромеханічні системи автоматизації»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувачкафедри

К.Т.Н., доц.

Микола МОШНОРІЗ

“18” лютого 2025 року

**З А В Д А Н Н Я
НА БАКАЛАВРСЬКУ ДИПЛОМНУ РОБОТУ СТУДЕНТУ**

Бондару Іллі Олександровичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи: Модернізація системи керування електропривода подачі металорізального верстату

Керівник роботи Паянок Олександр Анатолійович, к.т.н., доц. каф.КЕМСК

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

затверджені наказом вищого навчального закладу від “20” березня 2025 року №97

2. Термін подання студентом роботи 03.06.2025р.

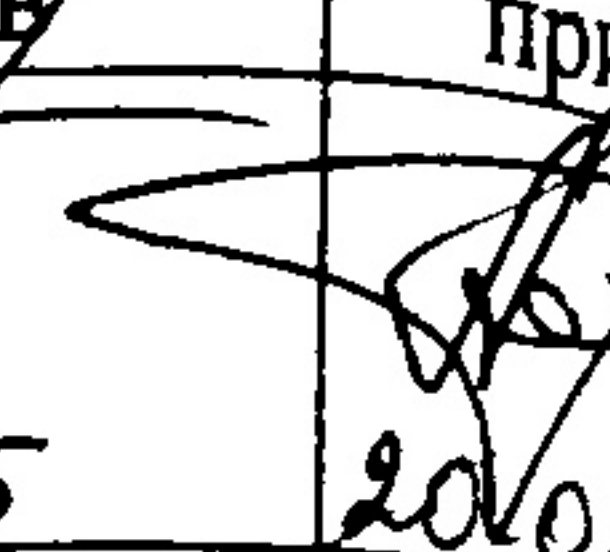
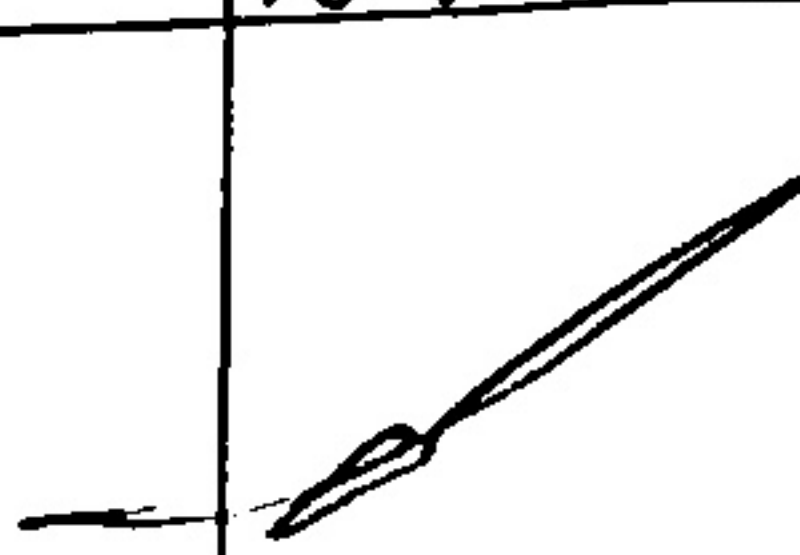
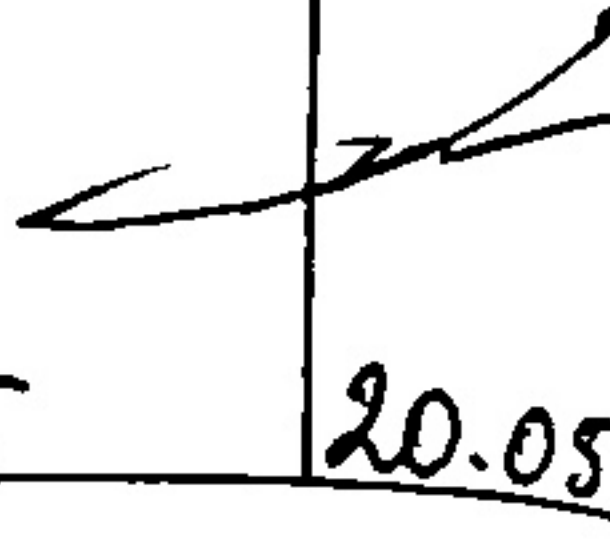
3. Вихідні дані до роботи: Максимальний діаметр заготовки, м – 0,220; Максимальна довжина оброблюючої поверхні, м – 0,640; Максимальний швидкість при холостаму ході, м/хв – д 8,5; Прискорення, м/с² - 0,5; Маса супорта, кг – 30; Передаточне число редуктора – 3,5; Діаметр ходового гвинта, м - 0,0035; Довжина ходового гвинта, м – 1; Крок різьби ходового гвинта, м - $10 \cdot 10^{-3}$; Коефіцієнт тертя f - 0.01; Коефіцієнт корисної дії гвинтової передачі - 0,91; Коефіцієнт корисної дії редуктора - 0,95

4. Зміст текстової частини: Вступ; Коротка характеристика виробничого механізму і режимів його роботи. Розрахунок статичних навантажень і тахограми руху робочого органа виробничого механізму. Попередній розрахунок потужності приводного двигуна. Техніко-економічне обґрунтування вибору системи електропривода. Вибір електродвигуна за потужністю і швидкістю обертання. Розрахунок динамічних навантажень та побудова навантажувальної діаграми електропривода. Перевірка вибраного двигуна за нагрівом, перевантажувальною здатністю та умовами пуску. Розрахунок статичних характеристик приводного двигуна. Розробка системи керування електричного привода. Розробка математичної моделі САЕП. Моделювання перехідних процесів САЕП. Розробка зразка привода подачі металорізального верстату з числовим програмним керуванням за допомогою мікропроцесора Simatic S7 фірми “Siemens”. Висновки.

5. Перелік ілюстративного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень): Мета, задачі та об'єкт дослідження. Загальна характеристика, будова, особливості механізму. Техніко-економічне обґрунтування вибору СЕП. Розрахунок потужності двигуна. Вибір двигуна. Техніко-економічне обґрунтування вибору СЕП. Вибір двигуна та його перевірка. Розробка схеми електричної структурної САЕП. Розрахунок схеми

силового перетворювача. Схема електрична принципова керування ЕП. Мікропроцес
 реалізація системи керування ЕП. Алгоритми реалізації робочого циклу системи керу
 ЕП. Дослідження динамічних характеристик СЕП. Висновки.

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	викон прий
Спеціальна частина	к. т. н., доц. каф. КЕМСК Паянок О.А,	 18.02.25	 20.05.25
Охорона праці	Зав. каф. БЖДПБ, д.пед.н., проф. Кобилянський О. В.	 18.02.25	 20.05.25

7. Дата видачі завдання 18.02.2025р

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів роботи	Строк виконання етапів роботи	При
1	Формування та затвердження теми бакалаврської дипломної роботи (БДР)	18.02.2025	визн
2	Виконання спеціальної частини БДР. Перший рубіжний контроль виконання БДР	06.05.2025	визн
3	Виконання спеціальної частини БДР. Другий рубіжний контроль виконання БДР	20.05.2025	визн
4	Виконання розділу «Охорона праці»	20.05.2025	визн
5	Попередній захист БДР	03.06.2025	визн
6	Нормоконтроль БДР	03.06.2025	визн
7	Рецензування БДР	10.06.2025	визн
8	Захист БДР	19.06.2025	визн

Студент


(підпис)

Бондар 5.0
(прізвище та ініціали)

Керівник роботи


(підпис)

Паянок
(прізвище та ініціали)

АНОТАЦІЯ

Бакалаврська дипломна робота складається з 116 сторінки формату А4, на яких є 21 рисуноків, 16 таблиць, список використаних джерел містить 22 найменування.

Здійснено удосконалення електропривода подачі металорізального верстату. На основі техніко-економічних показників вибрано систему електропривода, розраховано та вибрано електродвигун, перевірено його за нагрівом, перевантажувальною здатністю та умовами пуску, досліджено характеристики в статистичному та динамічному режимах, а також розроблено електричні схеми САЕП привода подачі металорізального верстату. Для перевірки модернізованої САЕП проведено моделювання в ППП Matlab, а також – перевірка на стійкість та якість.

Ключові слова: електропривод подачі, металорізальний верстат, перетворювач частоти.

ABSTRACT

The bachelor's thesis consists of 116 pages of A4 format, on which there are 21 figures, 16 tables, the list of used sources contains 22 names.

The electric drive of the feed of the metal-cutting machine has been improved. Based on the technical and economic indicators, the electric drive system has been selected, the electric motor has been calculated and selected, it has been tested for heating, overload capacity and starting conditions, the characteristics in statistical and dynamic modes have been studied, and the electrical circuits of the SAEP of the feed drive of the metal-cutting machine have been developed. To test the modernized SAEP, modeling was carried out in the Matlab programming language, as well as a stability and quality check.

Keywords: electric feed drive, metal-cutting machine, frequency converter.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	5
1 ХАРАКТЕРИСТИКИ ТА РЕЖИМИ РОБОТИ ЕЛЕКТРОПРИВОДУ	
ПОДАЧІ	8
1.1 Загальна характеристика	8
1.2 Висновок.....	14
2 РОЗРАХУНОК ПОТУЖНОСТІ ДВИГУНА ЕЛЕКТРОПРИВОДА	
ПОДАЧІ.....	15
2.1 Розрахунок основних величин.....	16
2.2 Розрахунок статичних навантажень.....	20
2.3 Попередній розрахунок потужності приводного двигуна.....	23
3 ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ ВИБОРУ	
СИСТЕМИ ЕЛЕКТРОПРИВОДА ПРИВОДА ПОДАЧІ.....	25
3.1 Вимоги до електроприводів подачі.....	25
3.2 Економічне обґрунтування вибору системи електропривода.....	28
4 МОДЕРНІЗАЦІЯ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ ЕЛЕКТРОПРИВОДА	
ПОДАЧІ МЕТАЛОРІЗАЛЬНОГО ВЕРСТАТУ.....	32
4.1 Вибір електродвигуна та його перевірка за перевантажувальною	
здатністю та умовами пуску.....	32
4.2 Розрахунок статичних характеристик приводного двигуна	34
4.3 Розробка схеми електричної функціональної системи керування	
електропривода.....	39
4.4 Розрахунок системи керування електропривода.....	51
4.5 Розробка схеми електричної принципової керування	
електроприводом.....	60
4.6 Мікропроцесорна реалізація системи керування електропривода подачі	63
4.7 Розробка схеми електричної принципової керування електроприводом	67
5 РОЗРАХУНОК ТА ПОБУДОВА ДИНАМІЧНИХ РЕЖИМІВ РОБОТИ	
ЕЛЕКТРОПРИВОДА.....	74

6 ОХОРОНА ПРАЦІ.....	79
ВИСНОВКИ.....	94
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	95
Додаток А Технічне завдання.....	98
Додаток Б Ілюстративні матеріали.....	103
Додаток В Протокол перевірки кваліфікаційної роботи.....	117

ВСТУП

Актуальність теми. Одним із найперспективніших напрямів розвитку сучасного промислового виробництва є автоматизація. Останнім часом зростає інтерес до підвищення "гнучкості" автоматизованого обладнання, що досягається через активне впровадження програмного управління. Це, своєю чергою, призводить до ускладнення конструкційних рішень.

Системи числового програмного керування (ЧПК) стали універсальним інструментом керування верстатами, який знаходить застосування у всіх основних категоріях обладнання.

Використання верстатів із ЧПК суттєво змінило підхід до металообробки, забезпечуючи вищу економічну ефективність. Основними перевагами обробки на такому обладнанні є: зростання продуктивності праці оператора за рахунок зменшення часу на основні та допоміжні операції (зокрема переналагодження), можливість обслуговування кількох верстатів одночасно, підвищена точність виготовлення деталей, зменшення потреби у спеціальних пристосуваннях, а також скорочення або повна відмова від операцій розмітки та слюсарного доопрацювання.

Однією з важливих переваг обробки на верстатах із числовим програмним керуванням є суттєве зниження частки фізично важкої праці, що виконується вручну. Це також зменшує потребу в висококваліфікованих універсальних операторах-верстатниках і змінює структуру кадрів у металообробних цехах.

Прагнення збільшити обсяги виробництва за допомогою ЧПК-обладнання, прискорити оновлення продукції в галузі машинобудування та уникнути дефіциту кваліфікованих операторів стимулювало розвиток гнучких виробничих модулів (ГВМ) і гнучких виробничих систем (ГВС).

Ці рішення представляють собою інтегровані комплекси, що включають багатоопераційні (або багатоцільові) верстати з ЧПК, роботизовані засоби

транспортування та мікроелектронні керуючі системи з адаптивною структурою.

Завдяки впровадженню ГВМ і ГВС стало можливим забезпечити ефективну роботу обладнання протягом усього добового циклу. Крім того, відкриваються перспективи для впровадження “безлюдного” виробництва, коли основна частина персоналу задіяна лише у першій — найпродуктивнішій — зміні, а в другій і третій змінах працює мінімальний черговий персонал або взагалі немає потреби в його присутності.

Сучасне машинобудування зіштовхується з двома ключовими завданнями: впровадженням автоматизації, зокрема розробкою гнучких виробничих систем (ГВС), та підвищенням надійності й довговічності машин.

На поточному етапі розвитку техніки, промислові роботи з програмованим управлінням та подібне обладнання залишаються практично єдиним ефективним способом автоматизації процесів у серійному та дрібносерійному виробництві.

У сфері масового виробництва впровадження робототехніки економічно доцільне, оскільки дає змогу значно скоротити терміни проектування та виготовлення, а також дозволяє використовувати автоматичні лінії. Це відкриває можливість замінити раніше необхідне спеціалізоване допоміжне обладнання — таке як транспортні системи, орієнтуючі пристрої тощо — на універсальні робототехнічні рішення.

Використання систем числового програмного керування не лише трансформувало принципи організації праці в металообробних підрозділах, а й суттєво змінило конструктивні особливості самих верстатів.

Ця робота присвячена актуальному завданню — удосконаленню системи електропривода механізму подачі металорізального верстата. У рамках дослідження передбачається надати загальну характеристику механізму та особливостей його функціонування в різних режимах, виконати розрахунок необхідної потужності, обґрунтовано підібрати електродвигун, силовий перетворювач та систему керування. Крім того, планується здійснити

модельовання роботи вдосконаленої автоматизованої системи електропривода з урахуванням її поведінки в динамічних режимах, а також розробити відповідні електричні схеми, необхідні для реалізації проекту.

Метою бакалаврської кваліфікаційної роботи є підвищення надійності та ефективності виконання токарних операцій за рахунок вдосконалення електричної схеми шляхом впровадження сучасних засобів автоматизації.

Об'єктом дослідження в роботі виступає електропривод подачі токарного верстату.

Предметом дослідження є математичні моделі та структури, які дозволяють підвищити енергетичну ефективність електропривода токарного верстату.

В процесі наповнення роботи необхідно виконати такі **завдання**:

- привести коротку характеристику приводу подачі токарного верстату;
- виконати аналіз характеристик досліджуваного електродвигуна приводу подачі;
- виконати техніко-економічне обґрунтування вибору системи електропривода;
- здійснити розрахунок, вибір та побудову структурної, функціональної та електричної принципової схем керування електроприводу;
- для вибраної системи електроприводу виконати розрахунок механічних характеристик електродвигуна, модельовання перехідних процесів та розрахунок динаміки електропривода;
- визначити комплекс заходів щодо безпечної експлуатації об'єкта керування та попередження дії іонізуючого випромінювання.

Особистий внесок здобувача. Основні результати бакалаврської кваліфікаційної роботи отримано автором самостійно.

Апробація результатів роботи. Основні положення і результати досліджень доповідались та обговорювались на науково-технічній конференції «Молодь в науці: дослідження, проблеми, перспективи» (МН-2025).

1 ХАРАКТЕРИСТИКИ ТА РЕЖИМИ РОБОТИ ЕЛЕКТРОПРИВОДА ПОДАЧІ

1.1 Загальна характеристика

Металорізальні верстати (див. рисунок 1.1) — це технологічне обладнання, призначене для обробки металевих заготовок шляхом різання. Такі машини повинні відповідати вимогам щодо продуктивності, точності та якості виконання операцій. Металообробне обладнання є базовим елементом машинобудівного комплексу. Від його технічного рівня та експлуатаційних характеристик значною мірою залежить ефективність виробництва, якість кінцевої продукції та її собівартість. Саме тому металорізальні верстати постійно модернізуються та вдосконалюються з метою підвищення їхніх технічних і технологічних можливостей.



Рисунок 1.1 – Зовнішній вигляд металорізального верстата типу 1к62

Класифікація металорізальних верстатів здійснюється залежно від виду обробки, що визначається вибраною технологічною схемою та використанням інструментом. Відповідно до типу виконуваних операцій,

верстати поділяються на технологічні групи. Загалом, за способом обробки всі металорізальні верстати можна розділити на дев'ять основних груп:

1. **Токарні верстати** — об'єднані за технологічною ознакою точіння.
2. **Свердлильні та розточувальні верстати** — призначені для створення та обробки отворів.
3. **Шліфувальні, полірувальні, а також верстати для заточування й доведення** — виконують обробку абразивними інструментами.
4. **Комбіновані верстати та обладнання, що використовує електричний струм або пов'язані з ним фізичні процеси** (електроерозійна, анодно-механічна, ультразвукова обробка).
5. **Зубо- і різьбооброблювальні верстати** — застосовуються для створення евольвентних і гвинтових поверхонь.
6. **Фрезерні верстати** — використовуються для обробки плоских поверхонь, виступів, пазів і фасонних елементів.
7. **Стругальні, довбальні та протяжні верстати.**
8. **Верстати для розрізання матеріалів** — призначені для поділу прокату на заготовки за допомогою різних типів інструментів.
9. **Інші типи верстатів, які не ввійшли до попередніх категорій,** зокрема обладнання для балансування, правки тощо.

Металорізальні верстати також класифікують за характером виробничого процесу. За цією ознакою вони поділяються на три основні типи:

- Універсальні верстати — призначені для виконання широкого спектра оброблювальних операцій, таких як точіння, свердління, нарізання різьби тощо. Вони забезпечують гнучкість виробництва й використовуються для виготовлення різноманітних деталей.
- Спеціалізовані верстати — застосовуються для обробки однотипних за формою деталей, які можуть відрізнятися між собою

розмірами. До цієї категорії належать, наприклад, зубооброблювальні або різьбооброблювальні верстати.

- Спеціальні верстати — це обладнання, яке розроблене для обробки конкретної деталі з фіксованими характеристиками. Такі верстати використовуються у великосерійному або масовому виробництві для забезпечення високої точності й продуктивності.

Залежно від вимог до точності обробки поверхонь деталі, металорізальні верстати поділяються на три категорії: верстати звичайної точності, підвищеної точності та прецизійні, які забезпечують особливо високу точність.

На рисунку 1.2 показано основні частини токарно-гвинторізного верстата моделі 1K62.

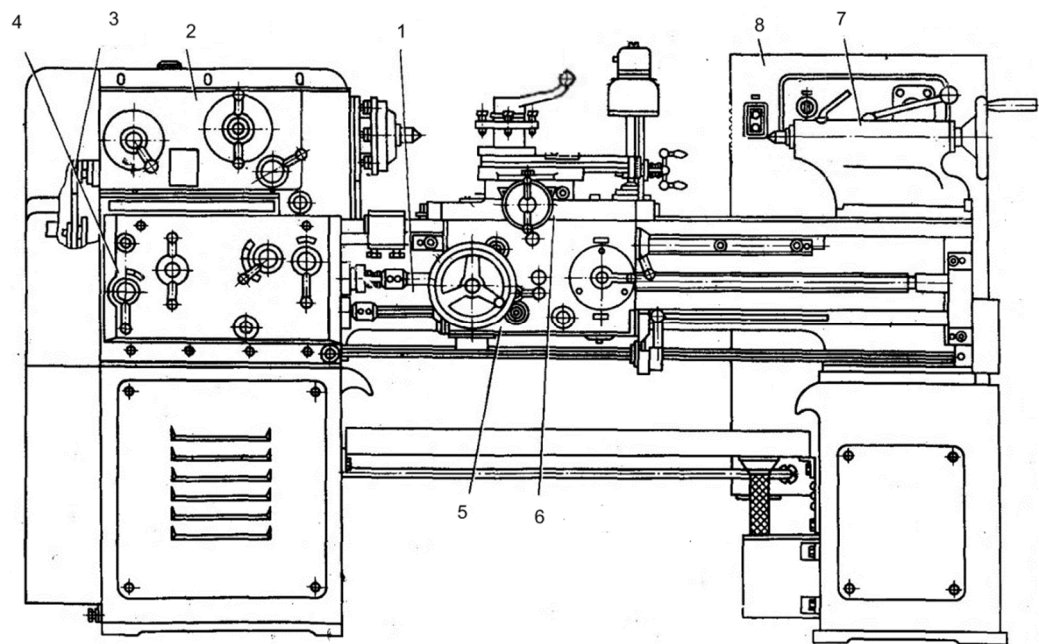


Рисунок 1.2 – Основні частини токарно-гвинторізного верстата моделі 1K62

На рисунку 1.1: 1 – станина; 2 – коробка швидкостей; 3 – коробка передач; 4 – коробка подач; 5 – фартух; 6 – супорт; 7 – задня бабка; 8 – електрообладнання;

Крім того, за габаритами та масою заготовок, які підлягають обробці, верстати класифікують наступним чином:

- нормальні — призначені для обробки деталей масою до 10 тонн;
- великогабаритні — використовуються для виробів масою від 10 до 30 тонн;
- важкі — здатні працювати з деталями масою від 30 до 100 тонн;
- унікальні — призначені для обробки надвеликих заготовок, що важать понад 100 тонн.

Під час обробки деталей на металорізальних верстатах необхідно забезпечити відносний рух ріжучого інструмента та заготовки. У конструкції верстатів виділяють два основні типи рухів. Головний рух — це той, у процесі якого безпосередньо відбувається різання матеріалу інструментом. Рух подачі, у свою чергу, відповідає за поступове переміщення інструмента вздовж поверхні заготовки або переміщення самої заготовки з метою знімання шару металу. Ці два рухи вважаються основними або робочими.

Окрім основних, у верстатах реалізуються також допоміжні рухи. Для забезпечення повноцінної роботи необхідна наявність механізмів і пристроїв, які відповідають за установку, закріплення, переміщення інструмента, контроль за ходом обробки, закріплення й знімання заготовок, проведення налагоджувальних операцій, а також за системи охолодження, змащування тощо [2].

На рисунку 1.2 ілюстровано приклади різних способів механічної обробки.

У випадку токарної обробки (рисунок 1.2, а), головний рух (1) здійснюється шляхом обертання заготовки (3), тоді як рух подачі (2) виконується у вигляді поступального переміщення інструмента (різця) (4).

При поздовжньому струганні (рисунок 1.2, б) головний рух (1) виконує заготовка (3), а подачу (2) забезпечує інструмент — різець (4).

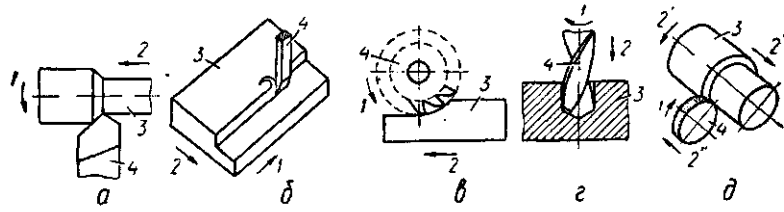


Рисунок 1.2 – Типові способи обробки металів на металорізальних верстатах

У процесі фрезерування (рисунок 1.2, в) головний рух (1) виконується шляхом обертання ріжучого інструмента — фрези (4), а подача (2) реалізується за рахунок поступального руху заготовки (3).

Під час свердління (рисунок 1.2, г) обидва рухи — головний (1) і рух подачі (2) — здійснюються інструментом, тобто свердлом (4), яке одночасно обертається та переміщується поступально. При цьому заготовка (3) залишається нерухомою.

У випадку шліфування (рисунок 1.2, д) головний рух (1) забезпечується обертанням інструмента — шліфувального круга (4). Рух подачі в цьому випадку має два компоненти: обертовий (2') та поступальний (2''), які можуть здійснювати як сам інструмент, так і заготовка (3) [2].

На рисунку 1.3. зображено кінематичну схему приводу подачі токарного верстату.

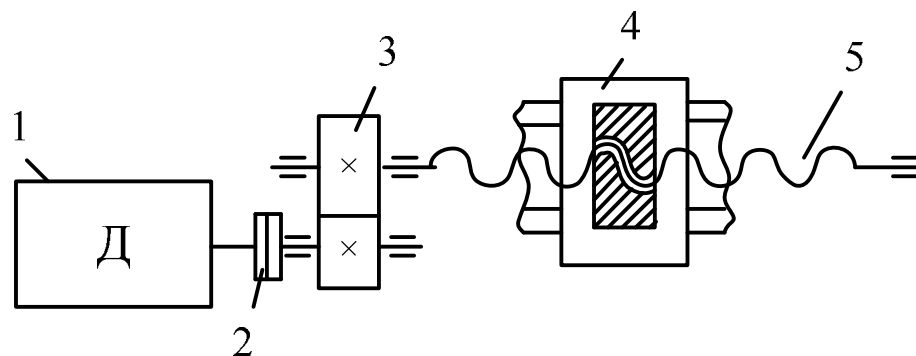


Рисунок 1.3 – Кінематична схема приводу подачі токарного верстату

На рисунку 1.3: 1 - двигун; 2 – муфта; 3 – редуктор; 4 – супорт; 5 – ходовий гвинт.

Для забезпечення руху подачі на металорізальних верстатах в якості передавального елемента застосовується редуктор і передача типу гвинт — гайка кочення, що відповідає за поступальне переміщення супорта верстата.

Для досягнення оптимальних режимів роботи таких верстатів необхідно реалізувати можливість регулювання швидкості подачі, тобто руху супорта. Цю функцію виконує регульований електропривод. Важливо, щоб привод подачі працював із постійним моментом ($M = \text{const}$). У механізмах подачі основні зусилля витрачаються на подолання тертя під час переміщення вузлів верстата.

Приводи подачі мають забезпечувати надширокий діапазон регулювання швидкості — не менше ніж у 10 000 разів ($D > 10000$), адже в станках з числовим програмним керуванням (ЧПК) мінімальна подача обмежується дискретністю системи керування і зворотного зв'язку. Лише точне відпрацювання кожного дискретного кроку приводом дозволяє досягти високої точності та низької шорсткості поверхні обробки.

Крім того, системи подачі повинні мати високі швидкості холостого ходу, а також забезпечувати швидкий розгін і гальмування, а також здатність ефективно реагувати на раптові зміни навантаження (скиду чи накиду) [1].

На допустиму швидкість різання, яку може забезпечити різець, впливають такі фактори, як стійкість ріжучого інструмента, фізико-механічні властивості оброблюваного матеріалу, параметри подачі та глибина різання, геометрія ріжучої частини різця, а також застосування змащувально-охолоджувальних рідин і максимально допустимий рівень зносу різця.

Відхилення від заданих значень швидкості різання або подачі може призвести до погіршення якості обробленої поверхні або зниження продуктивності верстата. Тому головною вимогою до електроприводів металорізальних верстатів є підтримання стабільної швидкості різання навіть при зміні навантаження, що виникає через коливання під час запуску. Для

цього на верстатах використовують електродвигуни з жорсткими механічними характеристиками [1].

В останні роки в приводах подачі дедалі частіше застосовують крокові двигуни, головною перевагою яких є можливість забезпечення точного позиціонування робочого органу у будь-який момент часу.

1.2 Висновок

Аналіз типової роботи металорізального верстата дозволяє зробити висновок, що для привода механізму подачі найбільш доцільно застосовувати системи електропривода, які забезпечують можливість регулювання швидкості в бік зменшення від номінального значення, а також підтримують реверсування і електричне гальмування, мають підвищений пусковий момент тощо. До таких систем належать електроприводи на основі широтно-імпульсних перетворювачів з двигунами постійного струму (ШП-ДПС), тиристорні перетворювачі з двигунами постійного струму (ТП-ДПС) та перетворювачі частоти для асинхронних двигунів (ПЧ-АД). Остаточний вибір системи здійснюється на основі техніко-економічного аналізу доступних варіантів.

2 РОЗРАХУНОК ПОТУЖНОСТІ ДВИГУНА ЕЛЕКТРОПРИВОДА ПОДАЧІ

У цій роботі розглядається позиційний привод подачі токарного верстата. Для переміщення по кожній координаті передбачений окремий привід, тому розробка ведеться для одного контуру керування. Використання цифрової системи управління (ЦСУ) дозволяє суттєво підвищити точність та якість обробки, спростити кінематику приводу подачі, виключити необхідність застосування багатоступінчатих редукторів і розширити технологічні можливості верстата.

Кінематична схема приводу подачі наведена на рисунку 2.1. Обертальний рух від електродвигуна через одноступінчатий редуктор (Р) передається на ходовий гвинт. За допомогою передачі гвинт-гайка обертальний рух перетворюється у поступальний рух супорта (С). На ходовому гвинті встановлений датчик зворотного зв'язку (ДЗЗ), який дає змогу контролювати частоту обертання гвинта шляхом цифрового диференціювання.

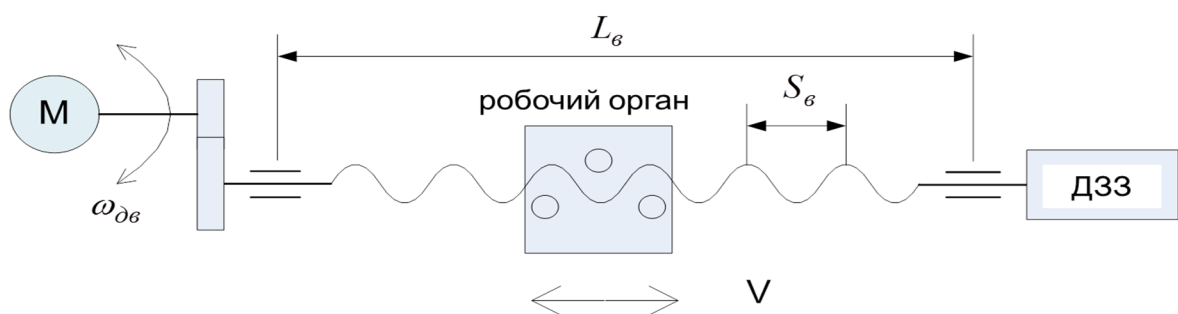


Рисунок 2.1 – Кінематична схема приводу

Така система забезпечує глибоке регулювання швидкості і високоточний контроль переміщення столу по координаті.

2.1 Розрахунок основних величин

Для розрахунку тахограми роботи механізму розглянемо найскладніший режим експлуатації — чорнове точіння. В якості оброблюваного матеріалу обираємо заготовку зі штампованої сталі марки 40Х. Для розрахунку приймаються максимальні параметри: діаметр заготовки $D = 220$ мм та максимальна довжина точіння $l = 640$ мм. Вимогами до якості поверхні встановлено шорсткість не більше 2,5 мкм.

Визначаємо розміри різця. Для токарного верстата 1К62 з висотою центрів 200 мм вибираємо прохідний прямий вигнутий різець моделі 2102-0055 з твердосплавною пластинкою Т5К10 [3].

Геометричні параметри різця:

$H \times B = 25 \times 16$ мм; $\gamma_{\phi} = -10^{\circ}$; $\gamma = 15^{\circ}$; $\alpha_{\text{черн}} = 8^{\circ}$; , $\phi = 45^{\circ}$; $\phi_1 = 45^{\circ}$, $\lambda = 0^{\circ}$.

Глибину різання та подачу обираємо відповідно до довідкових даних з розрахунку режимів різання [3]. Для чорнового точіння приймаємо глибину різання $t = 3$ мм. Величина подачі визначається з урахуванням оброблюваного матеріалу, діаметру заготовки та глибини різання. В даному випадку обираємо максимальне значення подачі $S = 1,3$ мм/об [3].

Визначаємо швидкість різання:

$$v = \frac{C_v}{T^m t^x S^y} K_v, \quad (2.1)$$

де C_v — коефіцієнт, який залежить від умов обробки (для чорнкової обробки $C_v = 340$) [3];

T — стійкість різця ($T = 60$ хв) [3];

x , y , m — показники степеня (при S до 0,3 мм/об: $x = 0,15$, $y = 0,2$, $m = 0,2$) [3];

K_v – Коригувальний коефіцієнт, що формується з кількох окремих коефіцієнтів, кожен з яких враховує вплив конкретного фактора на швидкість різання.

Для різців із пластиною з твердого сплаву K_v визначається:

$$K_v = K_{\mu v} K_{nv} K_{uv} K_{\phi v} K_{ov}, \quad (2.2)$$

де K_{nv} – корегуючий коефіцієнт, який враховує стан поверхні заготовки при чорновій обробці ($K_{nv} = 0,8$) [3];

K_{uv} – корегуючий коефіцієнт, який враховує матеріал ріжучої частини ($K_{uv} = 0,65$) [3];

$K_{\phi v}$ – корегуючий коефіцієнт, який враховує головний кут різця - для $\phi = 45^\circ$ ($K_{\phi v} = 1,0$) [3];

K_{ov} – корегуючий коефіцієнт, який враховує вид обробки ($K_{ov} = 1$) [3];

$K_{\mu v}$ – загальний поправочний коефіцієнт, що враховує вплив фізико-механічних властивостей обробляючого матеріалу.

$$K_{\mu v} = \left(\frac{750}{\sigma} \right)^{nv}. \quad (2.3)$$

де $nv = 1$ – береться із довідника по розрахунках режимів різання [3];

σ – межа міцності сталі (для сталі 40X $\sigma = 1000$ МПа) [3].

$$K_{\mu v} = \left(\frac{750}{1000} \right)^1 = 0,75.$$

Загальний корегуючий коефіцієнт для різця рівний:

$$K_v = 0,75 \cdot 0,8 \cdot 0,65 \cdot 1 \cdot 1 = 0,39.$$

Швидкість різання рівна:

$$v = \frac{340}{60^{0,2} 3^{0,15} \cdot 1,3^{0,2}} \cdot 0,39 = 47,06 \text{ (м/хв)}.$$

Визначаємо частоту обертання шпинделя, що залежить від швидкості різання та діаметра заготовки:

$$n = \frac{1000v}{\pi D}, \quad (2.4)$$

$$n = \frac{47,05}{3,14 \cdot 0,22} = 68,109 \quad (\text{об/хв}).$$

Визначимо силу різання:

$$F_z = 9,81 \cdot C_p \cdot t^x \cdot S^y \cdot v^n \cdot K_p, \quad (2.5)$$

де C_p – Коефіцієнт, який враховує характеристики оброблюваного матеріалу, матеріалу ріжучої частини різця та умови обробки ($= 300$) [3].;

K_p – Загальний коригувальний коефіцієнт представляє собою чисельне значення, що дорівнює добутку кількох коефіцієнтів, кожен з яких відображає вплив окремого фактора на величину сили різання:

$$K_p = K_{\mu p} K_{\phi p} K_{\gamma p} K_{\lambda p}, \quad (2.6)$$

де $K_{\mu p}$ – корегуючий коефіцієнт, який враховує вплив якості оброблювального матеріалу;

$K_{\phi p}$ – корегуючий коефіцієнт, який враховує головний кут різця ($K_{\phi p} = 1$) [3];

$K_{\gamma p}$ – корегуючий коефіцієнт, який враховує передній кут різця ($K_{\gamma p} = 1,25$) [3];

$K_{\lambda p}$ – корегуючий коефіцієнт, який враховує кут нахилу головного леза ($K_{\lambda p} = 1$) [3];

$$K_{\mu p} = \left(\frac{\sigma}{750} \right)^{0,75} = 1,24. \quad (2.7)$$

Загальний корегуючий коефіцієнт рівний:

$$K_p = 1,24 \cdot 1 \cdot 1,25 \cdot 1 = 1,55.$$

Показники степеня ($x = 1$; $y = 0,75$; $n = -0,15$) [3];

Сила різання при чорновому точінні рівна:

$$F_z = 9,81 \cdot 300 \cdot 3^1 \cdot 1,3^{0,75} \cdot 47,05^{-0,15} \cdot 1,55 = 9356 \text{ (Н)}.$$

Знаходимо довжину робочого ходу L , яка складається із наступних складових:

$$L = l + l_1 + l_2, \quad (2.8)$$

де l – довжина оброблюваної поверхні;

l_1 – величина шляху врізання

l_2 – величина перебігу різця [3], приймаємо $l_2 = 3$ мм;

Величина шляху врізання

$$l_1 = t \cdot \operatorname{ctg} \varphi + 2, \quad (2.9)$$

$$l_1 = 3 \cdot \operatorname{ctg} 45 + 2 = 5 \text{ (мм)}.$$

$$L = 640 + 5 + 3 = 648 \text{ (мм)}.$$

За заданої частоти обертання заготовки n та величини подачі S можна обчислити швидкість переміщення супорта верстата при заданому режимі різання:

$$v_c = n \cdot S, \quad (2.10)$$

$$v_c = 68,109 \cdot 1,3 \cdot 10^{-3} = 0,089 \text{ (м/с)}.$$

Час пуску або гальмування супорта верстата:

$$t_{\pi} = t_r = \frac{v}{a}, \quad (2.11)$$

$$t_{\pi} = t_a = \frac{0,089}{0,5} = 0,221 \text{ (с)}.$$

Шлях, який проходить різець за час пуску або гальмування:

$$s_{\pi} = s_{\Gamma} = \frac{v^2}{2 \cdot a}, \quad (2.12)$$

$$s_i = s_a = \frac{0,089^2}{2 \cdot 0,5} = 9,8 \cdot 10^{-3} \text{ (м)}.$$

Час усталеного режиму:

$$t_{\text{уст}} = \frac{L - (s_{\pi} + s_{\Gamma})}{v}, \quad (2.13)$$

$$t_{\text{óñò}} = \frac{0,648 - (9,8 \cdot 10^{-3} + 9,8 \cdot 10^{-3})}{0,089} = 15,5 \text{ (с)}.$$

Час роботи при навантаженні за один прохід:

$$t_1 = t_{\pi} + t_{\text{уст}} + t_{\Gamma}, \quad (2.14)$$

$$t_1 = 0,059 + 15,5 + 0,059 = 15,62 \text{ (с)}.$$

Визначимо радіус редукції механічного передачного пристрою головного електроприводу верстата:

$$\rho = \frac{t^* \cdot 10^{-3}}{2 \cdot \pi \cdot i}, \quad (2.15)$$

де t^* – крок гвинта ($t^* = 10 \text{ мм}$);

i – передаточне число редуктора ($i = 3,5$).

$$\rho = \frac{10 \cdot 10^{-3}}{2 \cdot 3,14 \cdot 3,5} = 4,55 \cdot 10^{-4} \text{ (м)}.$$

2.2 Розрахунок статичних навантажень

Статичний момент на валу двигуна включає такі компоненти: момент, який виникає під час руху різця $M_{\text{пр}}$ та моменту тертя $M_{\text{тр}}$:

$$M_{\text{ст}} = M_{\text{пр}} + M_{\text{тр}}. \quad (2.16)$$

де $M_{\text{пр}}$ – момент пружності, що створюється при русі різця;

$M_{тр}$ – момент тертя;

Момент, що створюється при русі різця знаходиться:

$$M_{пр} = \frac{F_z \rho}{\eta_{гп} \cdot \eta_p}, \quad (2.17)$$

де $\eta_{гп}$ та η_p – ККД гвинтової передачі та редуктора відповідно.

$$M_{пр} = \frac{9256 \cdot 4,55 \cdot 10^{-4}}{0,91 \cdot 0,95} = 4,924 \text{ (Нм)}.$$

Момент тертя складається:

$$M_{тр} = M_{напр} + M_{гв} + M_{оп}, \quad (2.18)$$

де $M_{напр}$ – момент тертя на валу двигуна від сили тертя в направляючих.

$M_{гв}$ – момент в гвинтовій передачі;

$M_{оп}$ – момент в опорах гвинта;

Момент тертя на валу двигуна від сили тертя в направляючих:

$$M_{напр} = \frac{F_{тр} \cdot \rho}{\eta_{гп} \cdot \eta_p}, \quad (2.19)$$

де $F_{тр}$ – сила тертя в направляючих

$$F_{тр} = f_{тр} \cdot g \cdot m, \quad (2.20)$$

де $f_{тр}$ – коефіцієнт тертя в направляючих ($f_{тр} = 0,01$);

g – прискорення вільного падіння ($g = 9,81 \text{ м/с}^2$);

m – маса робочого органу.

$$F_{тр} = 0,01 \cdot 9,8 \cdot 30 = 2,943 \text{ (Н)},$$

$$M_{напр} = \frac{2,943 \cdot 7,583 \cdot 10^{-4}}{0,91 \cdot 0,95} = 2,581 \cdot 10^{-3} \text{ (Нм)}.$$

Момент в гвинтовій передачі:

$$M_{\text{гв}} = 0,032 \cdot F_x \cdot \frac{t^* \cdot 10^{-3}}{3}, \quad (2.21)$$

$$M_{\text{гв}} = 0,032 \cdot 9356 \cdot \frac{10 \cdot 10^{-3}}{3} = 0,998 \text{ (Нм)}.$$

Момент в опорах гвинта:

$$M_{\text{оп}} = 2,21 \cdot 10^{-7} \cdot k \cdot d_{\text{п}} \cdot \frac{F_x}{3}, \quad (2.22)$$

де k – кількість підшипників ходового гвинта ($k = 2$);

$d_{\text{п}}$ – внутрішній діаметр підшипників ($d_{\text{п}} = 30 \text{ мм}$).

$$M_{\text{оп}} = 2,21 \cdot 10^{-7} \cdot 2 \cdot 30 \cdot \frac{9356}{3} = 0,041 \text{ (Нм)},$$

Результуючий момент тертя:

$$M_{\text{тр}} = 2,581 \cdot 10^{-3} + 0,998 + 0,041 = 1,04 \text{ (Нм)}.$$

Сумарний статичний момент:

$$M_{\text{ст}} = 4,924 + 1,04 = 5,965 \text{ (Нм)}.$$

Тахограма і навантажувальна діаграма робочого механізму представлена на рисунку 2.1.

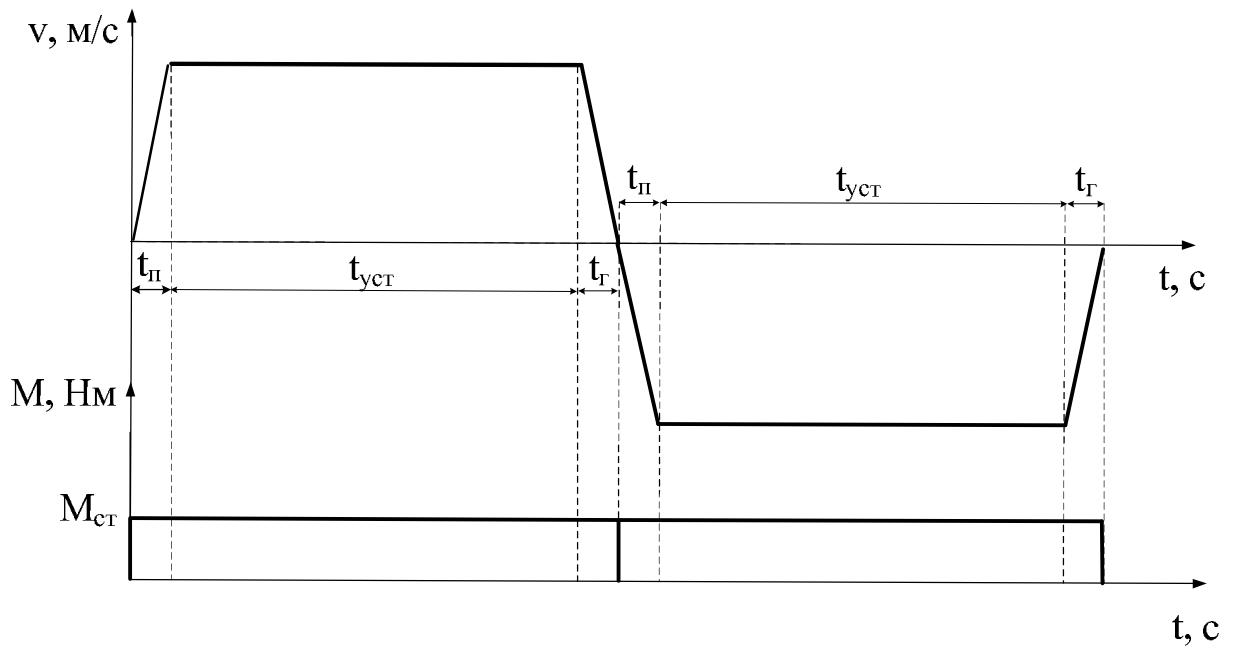


Рисунок 2.1 – Тахограма та навантажувальна діаграма робочого механізму

2.3 Попередній розрахунок потужності приводного двигуна

Розрахуємо частоту обертання на валу двигуна:

$$n = \frac{30 \cdot v_{\max}}{\pi \cdot \rho}, \quad (2.23)$$

де $v_{\max}$ – максимальна швидкість переміщення супорта (без навантаження).

$$n = \frac{30 \cdot 8,5}{60 \cdot 3,14 \cdot 4,55 \cdot 10^{-4}} = 2975 \text{ (об/хв)}.$$

Визначимо потужність двигуна:

$$P = K_3 \cdot \omega \cdot M_{\text{ст}}, \quad (2.24)$$

де K_3 – коефіцієнт запасу ($K_3 = 1,1 \dots 1,5$);

ω – кутова швидкість при даному режимі різання.

$$\omega = \frac{v_c}{\rho}, \quad (2.25)$$

$$\omega = \frac{0,089}{4,55 \cdot 10^{-4}} = 194,614 \text{ (рад/с)},$$

$$P = 1,5 \cdot 194,614 \cdot 5,965 = 2081 \text{ (Вт)}.$$

Висновок

Було проведено попередній розрахунок потужності приводного двигуна. Частота обертання визначалась у режимі холостого ходу, коли швидкість переміщення супорта досягає максимальної величини. Потужність розраховувалась, виходячи з максимальної сили різання та максимальної робочої швидкості різання. Відповідно до стандартного ряду потужностей обрано двигун потужністю 2,2 кВт.

3 ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ ВИБОРУ СИСТЕМИ ЕЛЕКТРОПРИВОДА ПОДАЧІ

3.1 Вимоги до електроприводів подач

Створення багатоопераційних верстатів і освоєння високостійких і швидкорізальних інструментів забезпечили можливість здійснення на одному верстаті фрезерування, точіння, свердління. Це зажадало збільшення обертального моменту на валу виконавчого двигуна, розширення діапазону робочих подач і настановних переміщень, підвищення швидкодії приводу як при керуючій дії, так і при збуренні по навантаженню. Необхідність задоволення цих вимог призвела до зміни конструкції приводів подачі та використання в них спеціальних двигунів.

Спрощення кінематики механізмів подачі в свою чергу викликало зниження приведеного моменту інерції приводу. В результаті зменшилися навантаження на двигун при холостих переміщеннях, і зросла складова сила різання в загальному навантаженні приводу в режимі відпрацювання. Останнє збільшило коливання навантаження на електроприводі, що посилило вимоги до його статичної та динамічної жорсткості. Вимоги до якісних показників регулювання приводів подач формуються відповідно з необхідністю забезпечення максимальної продуктивності, найбільшої точності відпрацювання, низької шорсткості оброблюваної поверхні, високої точності позиціонування робочих органів верстата і стабільності розмірів партії оброблюваних деталей.

На верстатах з великою кількістю настановних переміщень і малим ходом гвинта важлива не стільки абсолютна швидкість швидкого ходу, скільки швидкодія приводу і системи ЧПУ.

Однак зростання прискорень збільшує навантаження в механічній частині приводу, допустимий рівень яких обмежений її міцністю. Тип системи ЧПУ так само лімітує мінімальні значення часу розгону і уповільнення

приводу. Це пов'язано з обмеженням максимальної величини неузгодженості, які може відпрацьовувати система без втрати інформації.

Вимірювальні пристрої в системі ЧПУ повинні забезпечувати великі діапазони вимірювань при малих значеннях допустимої похибки, тому роздільна здатність і точність датчиків положення повинні бути значно вищі допустимої неточності відпрацювання. При лінійних робочих характеристиках всі елементи вимірювальних пристроїв повинні володіти високою надійністю, малою інерційністю і незначними моментами тертя.

Незадовільні властивості приводу подач, особливо при збуреннях за навантаженням, призводять до зростання шорсткості оброблюваного виробу. Тому необхідно домагатися високої швидкодії приводу в умовах скидання і накидання навантаження при широкому діапазоні регулювання, а так само в умовах реверсу двигуна під навантаженням на самих малих швидкостях обертання.

Розробка завадостійких систем, здатних надійно виконувати свої функції в умовах цехової експлуатації, набуває особливу активність в умовах зростання рівня автоматизації виробництва і впровадження безвідходної і маловідходної технології. Одним із засобів збільшення надійності устаткування є підвищення його ремонтпридатності. У зв'язку з цим потрібна висока ступінь уніфікації вузлів і окремих елементів приводів подач, оснащеність їх пристроями діагностики, простота налагодження та обслуговування.

Стабільність позиціонування і розмірів оброблених виробів на верстатах ЧПУ залежить від стабільності характеристик приводів подач, датчиків положення і системи ЧПУ. При досить великому коефіцієнті посилення, стабільність характеристик в основному визначається стабільністю параметрів вхідного підсилювача і тахогенератора. На малих швидкостях обертання дрейф нуля посилюється і падіння напруги в щіткових контактах тахогенератора стає співрозмірним з корисним сигналом. Тому допустима

стабільність вхідного сигналу і сигналу зворотного зв'язку не повинна перевищувати 10% від корисного сигналу.

Задоволення перерахованих вимог призвело до ускладнення приводів подач, що дозволило забезпечити оптимальне узгодження приводів з верстатом та пристроєм ЧПУ.

До електроприводу подач пред'являються такі вимоги:

- мінімальні розміри електродвигуна при високому обертальному моменті;
- висока максимальна швидкість;
- значна перевантажувальна здатність приводу в режимах короткочасною і повторно-короткочасного навантаження;
- широкий діапазон регулювання;
- висока стабільність характеристик;
- висока швидкодія при розгоні і гальмуванні, підключенні і відключенні навантаження;
- висока рівномірність руху при різному навантаженні при всіх швидкостях аж до найменших;
- зручність конструктивної установки двигуна на верстаті і вбудовування керованих перетворювачів в шафи і ніші шаф і ніші верстатів.

Для вибору найкращого варіанту розглянемо такі системи електроприводів:

Двигуни постійного струму знаходять широке застосування в промисловості де потрібне широке і плавне регулювання швидкості обертання. Іншою системою електроприводу постійного струму є система тиристорний перетворювач – двигун (ТП-Д). Суттєвою перевагою тиристорного перетворювача є його досить мала інерційність по відношенню до генератора постійного струму. Це полегшує формування необхідних динамічних характеристик електроприводу.

Перетворювач частоти (ПЧ – АД) дозволяє плавно регулювати швидкість двигуна 5...7 в широкому діапазоні, а отримані характеристики мають високу жорсткість з високими показниками і малими втратами. Хоча процес регулювання частоти в цій системі має свої недоліки. Для створення перетворювача необхідно чотири електричних машини, розраховані на повну потужність споживача, що визначає габаритність установки і її вартість, особливо при великих потужностях.

Тиристорний регулятор напруги (ТРН-АД), має широке розповсюдження за рахунок великого ККД, простоти в обслуговуванні і дозволяє реалізувати різні функції по керуванню і оптимізації режимів ЕП, а також може змінювати напрям швидкості АД, тобто реверс. Недоліком є те, що зміна напруги живлення суттєво впливає на критичний момент, в результаті чого штучна характеристика має криві, що мало придатні для регулювання швидкості, так як по мірі зниження навантаження різко зменшується критичний момент двигуна і тим самим його перевантажувальні властивості, а діапазон регулювання швидкості дуже малий.

Використовуючи критерій приведених затрат визначаємо використання якої з розглянутих систем ЕП буде найбільш економічно вигідним для електроприводу подачі.

Розраховуємо варіант системи електроприводу ШПП-ДПС.

3.2 Економічне обґрунтування вибору системи електропривода

Визначаємо споживану потужність системи електроприводу:

$$P_1 = P_n / \eta_n, \quad (3.1)$$

$$P_1 = 2,2 / 0,88 = 2,39 \text{ (кВт)}.$$

Втрати потужності:

$$\Delta p = P_1 - P_n, \quad (3.2)$$

$$\Delta p = 2,39 - 2,2 = 0,19 \text{ (кВт)}.$$

Приймаємо тривалість роботи системи електроприводу рівною одній робочій зміні, тобто $t_{\text{год}} = 8$ год. Кількість робочих днів в 2025 році складатиме $t_d = 250$ днів.

Тоді тривалість роботи обладнання на рік:

$$t_p = t_{\text{год}} \cdot t_d, \quad (3.3)$$

$$t_p = 8 \cdot 250 = 2000 \text{ (год/рік)}.$$

Розрахуємо річну вартість втрат електроенергії в системі електроприводу, виходячи з тривалості роботи обладнання, величини втрат потужності та діючого тарифу на електроенергію.

$$\Delta w = \Delta p \cdot t_p \cdot T, \quad (3.4)$$

де T – тариф на електроенергію. Згідно з Умовами та Правилами здійснення підприємницької діяльності з постачання електричної енергії за регульованим тарифом, затвердженими постановою НКРЕ від 13.06.1996 року №15/1 та постановою НКРЕКП від 24.04.2017 року № 538 вартість електроенергії для електрифікованого залізничного транспорту із ПДВ вираховується: (вартість електроенергії – 6,85грн/(кВт·год) без ПДВ, вартість розподілу – 2,26 грн/(кВт·год) без ПДВ, $c = 1,2 \cdot (6,85 + 2,26) = 10,93$ грн/(кВт·год) з ПДВ).

$$\Delta w = 0,19 \cdot 2000 \cdot 10,93 = 4181,9 \text{ (грн/рік)}.$$

Визначаємо нормовані затрати на амортизацію (оновлення основних засобів виробництва) в сумі 15 від вартості системи електроприводу.

$$A = 0,15 \cdot (C + D), \quad (3.5)$$

де C – вартість системи керування, $C = 13044$ (грн),

D – вартість електродвигуна, $D = 4089$ (грн);

$$A = 0,15 \cdot (13044 + 4089) = 2569,95 \text{ (грн/рік)}.$$

Таблиця 3.1 – Розрахунок затрат на утримання електроприводу

Система електроприводу	ШП-ДПС	ПЧ-АД	ТП-ДПС
Потужність двигуна, кВт	2,2	2,2	2,2
ККД двигуна та системи	0,9	0,92	0,83
Спожита потужність двигуна, кВт	2,44	2,39	2,65
Тривалість роботи, год/добу	8	8	8
Тривалість роботи, днів/рік	250	250	250
Тривалість роботи, год/рік	2000	2000	2000
Втрати потужності, кВт	0,24	0,19	0,45
Тариф електроенергії, грн/кВт год	10,93	10,93	10,93
Вартість втрат електроенергії, грн/рік	5343,6	4181,9	9850,2
Вартість двигуна D , грн	7358	4089	7358
Вартість системи C , грн	12840	13044	15024
Нормовані затрати на амортизацію 15%($C+D$)	3029,7	2569,95	3357,3
Експлуатаційні затрати (ремонт + тех. обслуг)	1240	1180	1270
Вартість експлуатації електроприводу, грн	29811,3	25064,9	36859,5

Вартість впровадження та експлуатації системи електроприводу:

$$Z = C + D + A + E + E_{\text{л}}, \quad (3.6)$$

де E – експлуатаційні затрати, $E = 280$ грн/рік;

$$Z = 4089 + 13044 + 2657,7 + 1180 + 4181,9 = 25064,9 \text{ (грн)}.$$

Розрахунок систем електроприводів ШП-ДПС, ТП-ДПС та ПЧ-АД проведено за (3.1) – (3.8) аналогічно та приведений в таблиці 3.1.

Висновок: Аналізуючи показники таблиці 3.1, можна зробити висновок, що найбільш вигідними з точки зору економічних показників є система змінного струму, оскільки навіть із врахуванням необхідності виконання заміни тягових електричних двигунів вона знаходиться приблизно на одному рівні по величині зведених витрат з системами ТП-Д та ШП-Д.

Оскільки в нашому випадку важливим критерієм у виборі системи електроприводу є рівень спожитої електроенергії, тому вибираємо систему ПЧ-АД. Використання плавного частотного пуску забезпечить:

- обмеження пускових струмів двигуна, виключення великих коливань по формі механічних моментів при прямому пуску електродвигуна від мережі, що підвищує довговічність двигуна і механічної частини;
- зниження теплових ударних навантажень при прямому пуску;
- виключення підвищених електродинамічних зусиль в обмотках двигуна, що призводить до механічного руйнування ізоляції обмоток;
- виключення великих пускових струмів в мережах, що особливо важливо для районів з недостатньою потужністю електроенергетичних систем на шляху проходження газопроводів.

Врахувавши результати техніко-економічного порівняння та відповідність вимогам, що висуваються до системи ЕП, вибираємо систему керування ПЧ-АД.

4 МОДЕРНІЗАЦІЯ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ ЕЛЕКТРОПРИВОДА ПОДАЧІ МЕТАЛОРІЗАЛЬНОГО ВЕРСТАТУ

4.1 Вибір електродвигуна та його перевірка за перевантажувальною здатністю та умовами пуску

Згідно розрахункових даних для привода подачі металорізального верстату вибираємо АД з КЗ ротором типу 4А80В2У3 (таблиця 4.1).

Таблиця 4.1 – Технічні дані приводного двигуна типу 4А80В2У3

Параметри	Значення
Номінальна потужність $P_{\text{ном}}$, кВт	2,2
Номінальна напруга $U_{\text{ном}}$, В	380
Номінальна швидкість обертання $n_{\text{ном}}$, об/хв	2850
Коефіцієнт потужності $\cos\varphi_{\text{ном}}$	0,87
Коефіцієнт корисної дії $\eta_{\text{ном}}$, %	83
Кратність пускового моменту двигуна $\lambda_{\text{м пуск}}$	2,4
Кратність максимального моменту двигуна $\lambda_{\text{м max}}$	2,9
Номінальний струм статора $I_{\text{л ном}}$, А	4,7
Кратність пускового струму $\lambda_{\text{л}}$	6,5
Момент інерції ротора $J_{\text{рот}}$, кг·м ²	0,85

Номінальний момент приводного двигуна:

$$M_{\text{ном}} = 9550 \cdot \frac{P_{\text{ном}}}{n_{\text{ном}}}, \quad (4.1)$$

$$M_{\text{ном}} = 9550 \cdot \frac{2,2}{2850} = 7,3 \text{ (Н·м)}.$$

Номінальна кутова швидкість обертання приводного двигуна:

$$\omega_{\text{ном}} = 0,1047 \cdot \pi_{\text{ном}}. \quad (4.2)$$

$$\omega_{\text{ном}} = 0,1047 \cdot 2850 = 298,395 \text{ (с}^{-1}\text{)}.$$

Пусковий момент двигуна:

$$M_{\text{пуск}} = \lambda_{\text{м пуск}} \cdot M_{\text{ном}}, \quad (4.3)$$

$$M_{\text{пуск}} = 2,4 \cdot 7,3 = 17,7 \text{ (Н·м)}.$$

Максимальний момент двигуна:

$$M_{\text{max}} = \lambda_{\text{m max}} \cdot M_{\text{ном}}, \quad (4.4)$$

$$M_{\text{max}} = 2,9 \cdot 7,3 = 22,44 \text{ (Н·м)}.$$

Навантажувальна діаграма електропривода приведена на рисунку 4.1.

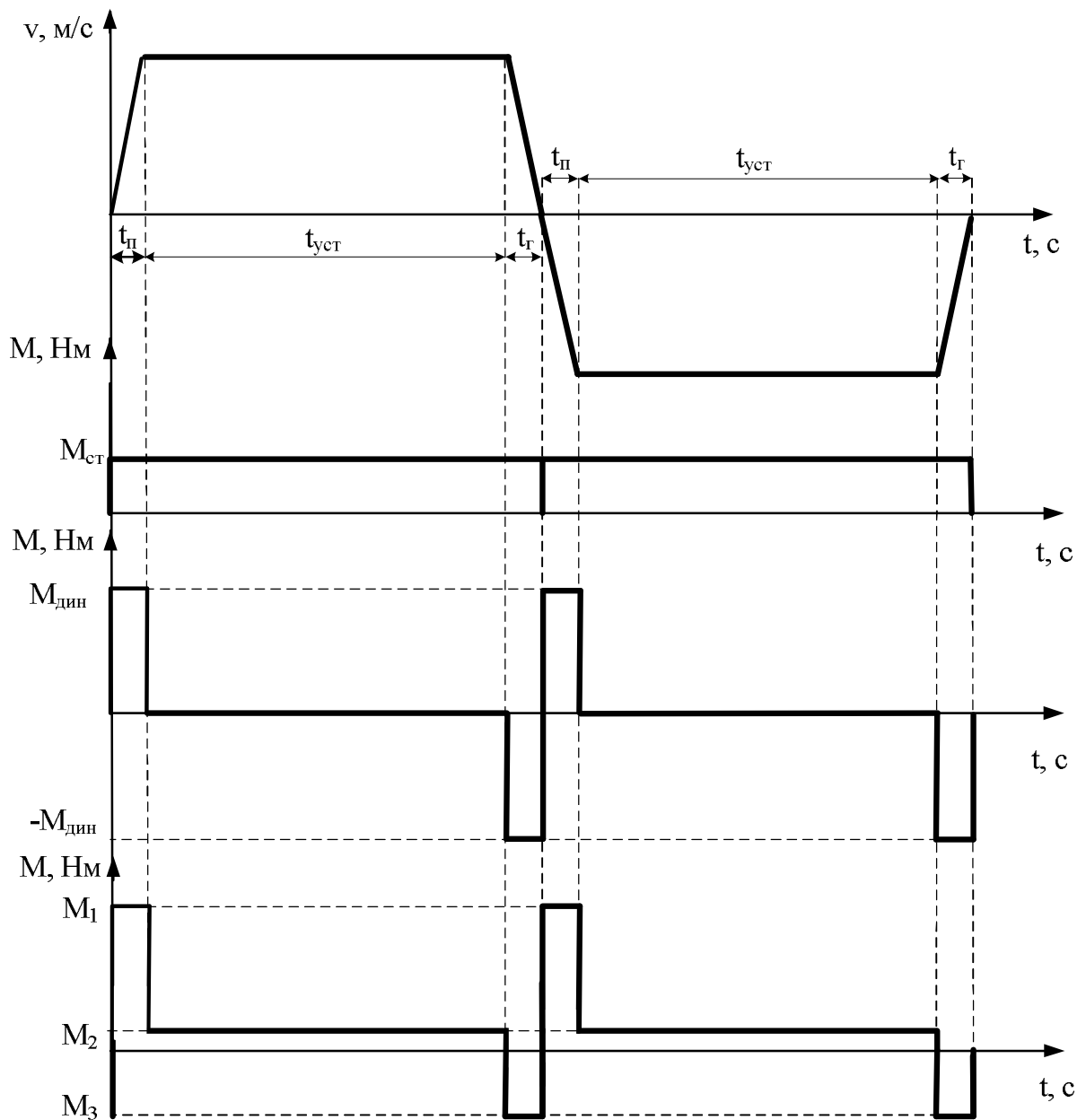


Рисунок 4.1 – Навантажувальна діаграма електропривода і тахограма роботи електропривода

Умова перевірки двигуна на перевантажувальну здатність:

$$M_{\text{дв.макс}} \geq M_1, \quad (4.5)$$

де $M_{\text{дв.макс}}$ – критичний момент приводного двигуна,

$$M_{\text{дв.макс}} = M_{\text{max}} = 22,44 \text{ (Н·м)}, \quad (4.6)$$

$$M_1 = 21,42 \text{ (Н·м)}.$$

Відповідно до умови (4.5):

$$22,44 \geq 20,42.$$

Умова перевірки на перевантажувальну здатність виконується.

Перевірка двигуна за умовою пуску:

$$k_u^2 \cdot M_{\text{дв.пуск}} \geq M_{\Sigma \text{ р. нав. п }}, \quad (4.7)$$

де k_u – коефіцієнт, який враховує можливе падіння напруги в мережі при пуску ($k_u = 0,95$),

$$k_u^2 \cdot M_{\text{дв.пуск}} = 0,95^2 \cdot 15,33 = 21,05 \text{ (Н·м)}.$$

Відповідно до умови (4.7):

$$21,05 \geq 20,43.$$

Отже, перевірка за умовами пуску виконується.

4.2 Розрахунок статичних характеристик приводного двигуна

Для побудови природної механічної характеристики асинхронного двигуна з короткозамкненим ротором можна застосувати як формулу Клосса, так і формулу Чекунова.

Механічна характеристика за формулою Клосса має вигляд:

$$M(s) = \frac{2 \cdot M_K \cdot (1 + a \cdot s_K)}{\frac{s}{s_K} + 2 \cdot a \cdot s_K + \frac{s_K}{s}}, \quad (4.8)$$

де M_k – критичний момент двигуна;

s – ковзання;

s_k – критичне ковзання.

Всі необхідні параметри взяті з паспортних даних електродвигуна.

Критичний момент двигуна:

$$M_k = M_{\max}, \quad (4.9)$$

$$M_k = 22,44 \text{ (Н·м)}.$$

Синхронна кутова швидкість двигуна:

$$\omega_0 = \frac{2 \cdot \pi \cdot f_l}{p}, \quad (4.10)$$

де f_l – частота напруги живлення ($f_l = 50$ Гц);

p – число пар полюсів електричної машини ($p = 1$),

$$\omega_0 = \frac{2 \cdot 3,14 \cdot 50}{1} = 314,1 \text{ (с}^{-1}\text{)}.$$

Синхронна швидкість обертання двигуна:

$$n_0 = \frac{60 \cdot f_l}{p}, \quad (4.11)$$

$$n_0 = \frac{60 \cdot 50}{1} = 3000 \text{ (об/хв)}.$$

Номінальне ковзання:

$$s_{\text{ном}} = \frac{n_0 - n_{\text{ном}}}{n_0}, \quad (4.12)$$

$$s_{\text{ном}} = \frac{3000 - 2850}{3000} = 0,05.$$

Критичне ковзання:

$$s_k = s_{\text{ном}} \cdot (\lambda_{m \max} + \sqrt{\lambda_{m \max}^2 - 1}), \quad (4.13)$$

$$s_k = 0,05 \cdot (2,9 + \sqrt{2,9^2 - 1}) = 0,281.$$

Механічні втрати приймають рівними 5% від номінальної потужності:

$$P_{\text{мех}} = 0,05 \cdot P_{\text{ном}}, \quad (4.14)$$

$$P_{\text{мех}} = 0,05 \cdot 2,2 = 110 \text{ (Вт)}.$$

Розрахунковий активний опір ротора приведенний до статора:

$$R'_p = \frac{1}{3} \cdot \frac{P_{\text{ном}} + P_{\text{мех}}}{I_{\text{ном}}^2 \cdot \frac{1 - s_{\text{ном}}}{s_{\text{ном}}}}, \quad (4.15)$$

$$R'_p = \frac{1}{3} \cdot \frac{2200 + 110}{4,7^2 \cdot \frac{1 - 0,05}{0,05}} = 1,835 \text{ (Ом)}.$$

Номінальна фазна напруга:

$$U_{\phi.\text{ном}} = \frac{U_{\text{ном}}}{\sqrt{3}}, \quad (4.16)$$

$$U_{\phi.\text{ном}} = \frac{380}{\sqrt{3}} = 219,393 \text{ (В)}.$$

Розрахунковий активний опір статора:

$$R_c = \frac{U_{\phi.\text{ном}} \cdot \cos\varphi \cdot (1 - \eta_{\text{ном}})}{I_{\text{ном}}} - C^2 \cdot R'_p - \frac{P_{\text{мех}}}{3 \cdot I_{\text{ном}}^2}, \quad (4.17)$$

де C – розрахунковий коефіцієнт ($C = 1,031$),

$$R_c = \frac{219,393 \cdot 0,87 \cdot (1 - 0,83)}{4,7} - 1,031^2 \cdot 1,835 - \frac{110}{3 \cdot 4,7^2} = 3,294 \text{ (Ом)}.$$

Коефіцієнт a :

$$a = \frac{R_c}{R'_p}, \quad (4.18)$$

$$a = \frac{3,294}{1,835} = 1,795.$$

Вираз (4.8) набуде вигляду:

$$M(s) = \frac{2 \cdot 22,44 \cdot (1 + 1,795 \cdot 0,281)}{\frac{S}{0,281} + 2 \cdot 1,795 \cdot 0,281 + \frac{0,281}{S}}.$$

Механічна характеристика за формулою Чекунова:

$$M(s) = M_k \cdot \frac{2 + (s^2 - s_k^2) \cdot K_s}{\frac{s}{s_k} + \frac{s_k}{s}}, \quad (4.19)$$

де K_s – розрахунковий коефіцієнт:

$$K_s = \frac{\frac{\lambda_{m \text{ пуск}}}{\lambda_{m \text{ max}}} \cdot \left(\frac{1}{s_k} + s_k \right) - 2}{1 - s_k^2}, \quad (4.20)$$

$$K_s = \frac{\frac{2,4}{2,9} \cdot \left(\frac{1}{0,281} + 0,281 \right) - 2}{1 - 0,281^2} = 1,278.$$

Вираз набуде вигляду:

$$M(s) = 22,44 \cdot \frac{2 + (s^2 - 0,281^2) \cdot 1,278}{\frac{s}{0,281} + \frac{0,281}{s}}.$$

Рівняння, яке описує залежність швидкості обертання двигуна від ковзання має вигляд:

$$\omega(s) = \omega_0 \cdot (1 - s). \quad (4.21)$$

Для побудови механічної характеристики за відповідними рівняннями використано програмне забезпечення Mathcad.

На рисунку 4.2 показані механічні характеристики асинхронного двигуна з короткозамкненим ротором, побудовані окремо за формулами Клосса (характеристика 1) та Чекунова (характеристика 2).

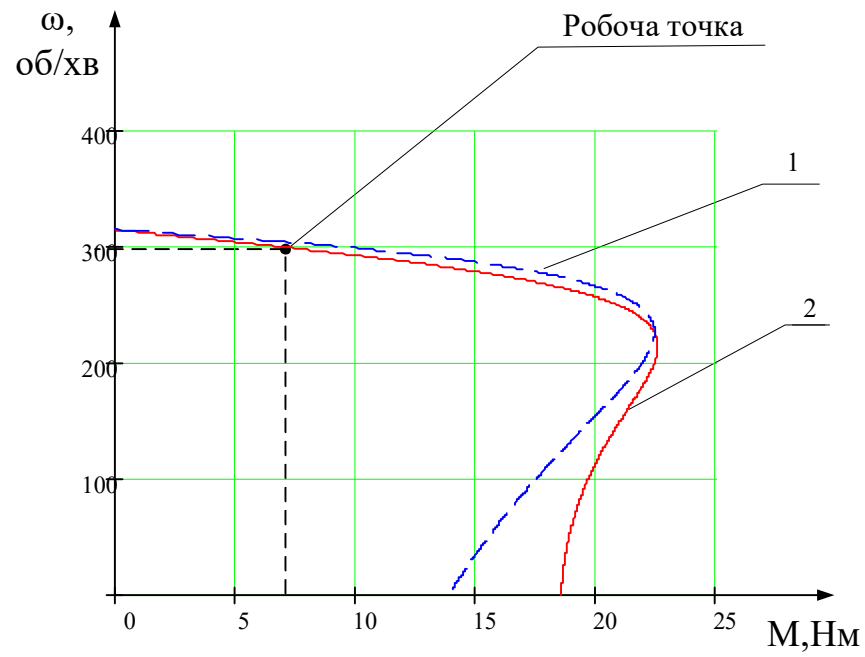


Рисунок 4.2 – Природні механічні характеристики АД з КЗ ротором побудовані за формулами Клосса (1) та Чекунова (2)

4.3 Розробка схеми електричної функціональної системи керування електропривода

В якості основи обрана двоконтурна система підпорядкованого керування зі зворотними зв'язками за струмом і швидкістю (рисунок 4.3).

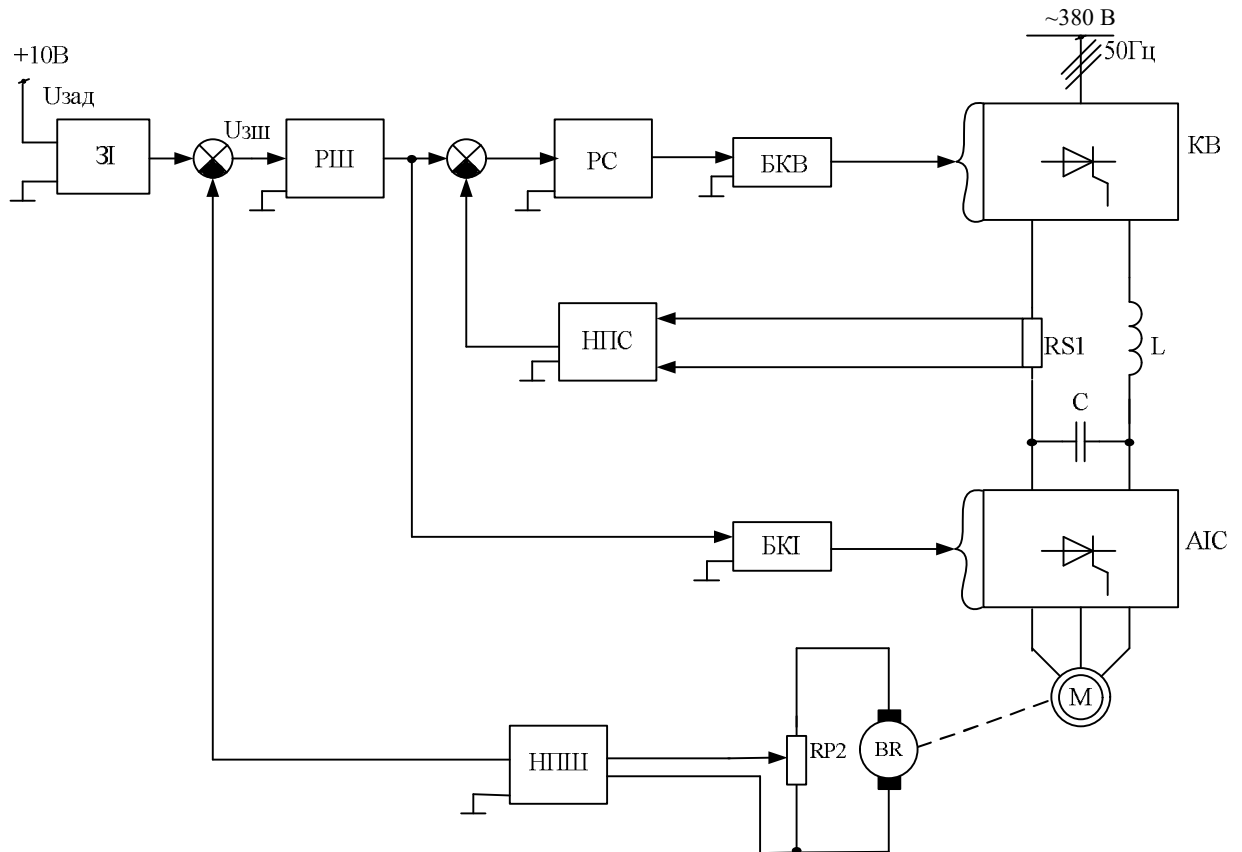


Рисунок 4.3 – Схема функціональна електропривода за системою ПЧ-АД

На рисунку 4.3: $U_{\text{зад}}$ – задаюча напруга; ЗІ – задавач імпульсів; РШ – регулятор швидкості; РС – регулятор струму; KB – керований випрямляч; АІН – автономний інвертор напруги; BR – тахогенератор; НПС – нормований перетворювач струму; НПШ – нормований перетворювач швидкості; БОС – блок обмеження струму; БКВ(І) – блок керування випрямляча; БКІ – блок керування інвертора.

Керуюча система має двоконтурну структуру, що включає регулятори струму (РС) і швидкості (РШ). Зворотний сигнал за струмом надходить із датчика струму (RS), розташованого в ланцюзі постійного струму. Регулятор

швидкості відповідає за формування керуючого сигналу для контуру струму та інвертора СІФК (AV2). Датчик зворотного зв'язку по швидкості формує контур регулювання швидкості.

Впровадження зворотних зв'язків дозволяє досягти необхідної статичної точності підтримки швидкості обертання і забезпечує високі динамічні характеристики приводу.

4.31 Розрахунок і вибір силового перетворювача

Оскільки регулювання швидкості обертання двигуна передбачає зміну частоти живлення, обираємо частотний перетворювач із проміжною ланкою постійного струму (див. рисунок 4.4).

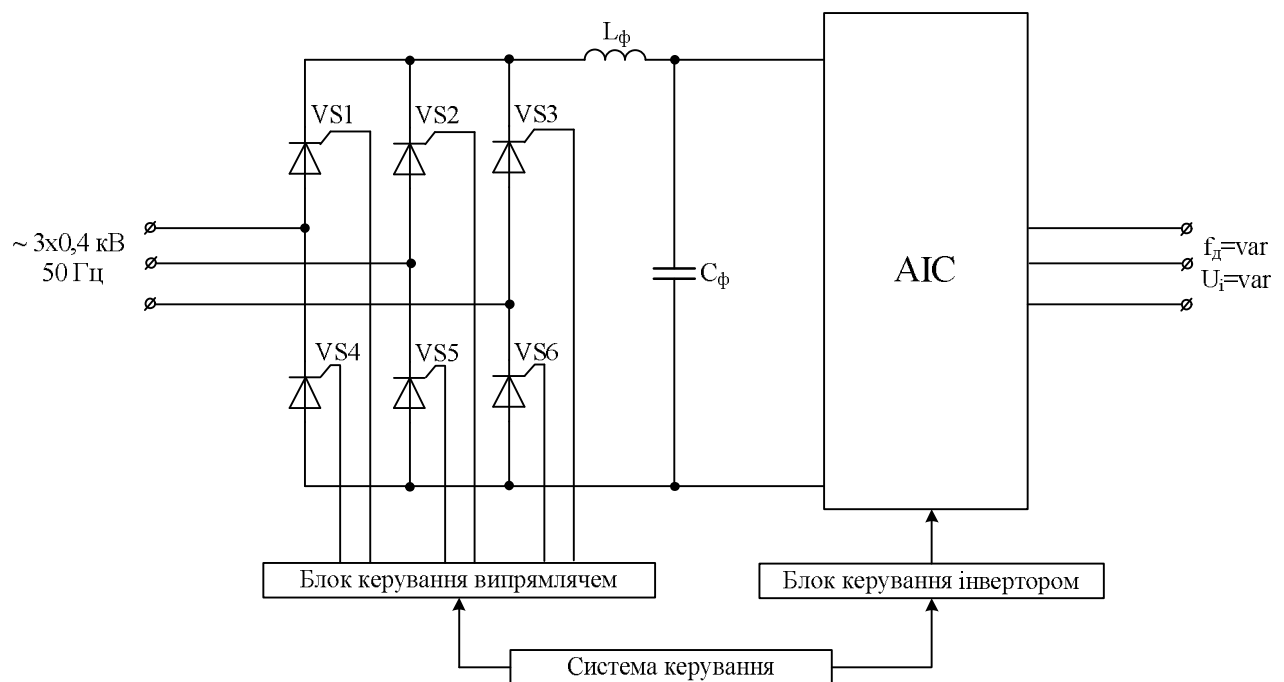


Рисунок 4.4 – Схема перетворювача частоти на базі автономного інвертора струму

Змінний струм мережі з фіксованою частотою перетворюється в постійний за допомогою керованого трифазного мостового випрямляча (КВ). Для зниження пульсацій випрямленої напруги використовується LC-фільтр. Постійна напруга надходить на автономний інвертор АІС, який виконує

зворотне перетворення у змінний струм. Сам інвертор відповідає за регулювання струму, формуючи на виході періодичну електричну криву.

4.3.2 Розрахунок і вибір силового трансформатора

Фазний струм вторинної обмотки трансформатора:

$$I_{2\phi} = k_i \cdot k_{I_2} \cdot I_{дн}, \quad (4.22)$$

де k_i - коефіцієнт відхилення форми струму від прямокутної ($k_i=1,05$);
 k_{I_2} - коефіцієнт, що залежить від схеми з'єднання тиристорів ($k_{I_2}=0,815$).

$$I_{2\phi} = 1,05 \cdot 0,815 \cdot 4,7 = 4,02 \text{ (A)}.$$

Коефіцієнт трансформації:

$$k_{тр} = \frac{U_{1л}}{U_{2л}}, \quad (4.23)$$

$$k_{тр} = \frac{660}{380} = 1,71$$

Фазний струм первинної обмотки трансформатора:

$$I_{1\phi} = \frac{I_{2\phi}}{k_{тр}}, \quad (4.24)$$

$$I_{1\phi} = \frac{4,7}{1,71} = 2,74 \text{ (A)}.$$

Потужність трансформатора розраховуємо таким чином: спочатку знаходимо E_{d0} а потім визначаємо потужність трансформатора.

$$E_{d_0} = 1,35 \cdot U_{дн}, \quad (4.25)$$

$$E_{d_0} = 1,35 \cdot 440 = 594 \text{ (В)},$$

$$S_{тр} = k_s \cdot E_{d_0} \cdot I_{дн}, \quad (4.26)$$

де k_s - коефіцієнт типової потужності ($k_s=1,045$);

$I_{дн}$ - номінальний струм двигуна.

$$S_{тр} = 1,045 \cdot 594 \cdot 4,7 = 2917,4 \text{ (ВА)}.$$

Відповідно до отриманих розрахункових даних та довідкових матеріалів обираємо трансформатор моделі ТСП-125/0,7-УХЛ4 (04), основні технічні характеристики якого наведені в таблиці 4.2.

Таблиця 4.2 – Номінальні дані трансформатора ТС-6,3/0,7-УХЛ4 (04)

Параметр	Значення
Номінальна потужність S_n , кВА	6,3
Номінальна напруга первинної обмотки U_1 , В	660
Номінальна напруга вентильної обмотки (вторинної обм.) U_2 , В	410
Струм вентильної обмотки I , А	164
Напруга після перетворювача U_d , В	460
Струм після перетворювача I , А	9,5
Напруга короткого замикання $U_{кз}$, %	4,5
Струм холостого ходу $I_{хх}$, %	3
Потужність холостого ходу $P_{хх}$, кВт	0,04
Потужність короткого замикання $P_{кз}$, кВт	0,15

Номінальний фазний струм первинної обмотки трансформатора:

$$I_{1н} = \frac{S_n}{\sqrt{3} \cdot U_{1н}}, \quad (4.27)$$

$$I_{1н} = \frac{6,3}{\sqrt{3} \cdot 0,66} = 5,5 \text{ (А)}.$$

Номінальний фазний струм вторинної обмотки трансформатора:

$$I_{2н} = \frac{S_n}{\sqrt{3} \cdot U_{2н}}, \quad (4.28)$$

$$I_{2н} = \frac{6,3}{\sqrt{3} \cdot 0,41} = 8,87 \text{ (А)}.$$

Оскільки номінальний струм вторинної обмотки вибраного трансформатора $I_{2н} > I_{2ф}$ - розрахункового струму вторинної обмотки трансформатора, то трансформатор вибрано правильно.

Розрахунковий опір кола випрямленого струму:

$$R_{\text{розр}} = R_{\text{ст}} + R_{\text{перетв}}, \quad (4.29)$$

де $R_{\text{перетв}}$ – опір перетворювача.

$$R_{\text{перетв}} = 2R_{\text{тр}} + R_{\text{екв}} + mX_{\text{т}} / 2\pi, \quad (4.30)$$

$$R_{\text{тр}} = \frac{\Delta P_{\text{кз}}}{m \cdot I_{\text{лн}}^2 \cdot K_{\text{тр}}^2}, \quad (4.31)$$

$$R_{\text{тр}} = \frac{150}{3 \cdot 5,5^2 \cdot 26,3^2} = 0,002 \quad (\text{Ом}),$$

$$R_{\text{екв}} = \frac{R_{\text{тр}}}{3}, \quad (4.32)$$

$$R_{\text{екв}} = \frac{0,002}{3} = 0,0008 (\text{Ом}),$$

$$R_{\text{перетв}} = 2 \cdot 0,0086 + 0,0008 + 3 \cdot 0,0348 / 2 \cdot 3,14 = 0,035 (\text{Ом}),$$

$$R_{\text{розр}} = 7,5 + 0,035 = 7,535 (\text{Ом}).$$

Необхідне значення випрямленої напруги для підтримки заданої швидкості:

$$U_{\text{d0}} = U_{\text{н}} + 1,7 \cdot I_{\text{дн}} \cdot R_{\text{розр}},$$

$$U_{\text{d0}} = 380 + 1,7 \cdot 3,6 \cdot 7,535 = 426,1 \quad (\text{В}). \quad (4.33)$$

4.3.3 Розрахунок і вибір тиристорів

Тиристиори обираються з врахуванням таких параметрів:

- максимально допустима зворотна напруга $U_{\text{зв.мах}}$;
- максимально допустимий середній струм $I_{\text{ср.мах}}$.

Максимально допустима амплітудна напруга на тиристорі:

$$U_{\text{мах}} = k_{\text{зн}} \cdot \sqrt{2} \cdot U_{\text{л}}, \quad (4.34)$$

де k_{3H} – коефіцієнт запаса по напрузі ($k_{3H}=1,25$);

$U_{\text{л}}$ – лінійна напруга живлення двигуна ($U_{\text{л}}=380$ В),

$$U_{\text{max}} = 1,25 \cdot \sqrt{2} \cdot 380 = 671,75 \text{ (В)}.$$

Середній струм через тиристор для трифазної мостової схеми:

$$I_{\text{cp}} = \frac{\lambda \cdot I_{\text{н}}}{m_{\text{н}}}, \quad (4.35)$$

де $m_{\text{н}}$ – кількість фаз мережі живлення ($m_{\text{н}} = 3$);

де λ – коефіцієнт, що враховує збільшення струму в перехідному процесі ($\lambda = 2,9$),

$$I_{\text{cp}} = \frac{2,9 \cdot 4,7}{3} = 4,54 \text{ (А)}.$$

Середній струм, приведений до класифікаційних параметрів тиристора:

$$I_{\text{пр}} = k_{3i} \cdot I_{\text{cp}}, \quad (4.36)$$

де k_{3i} – коефіцієнт запаса по струму ($k_{3i}=2$),

$$I_{\text{пр}} = 2 \cdot 4,54 = 9,09 \text{ (А)}.$$

За отриманими даними вибираються тиристори таким чином, щоб були виконані умови:

$$\begin{cases} U_{\text{зв. max}} \geq U_{\text{max}}; \\ I_{\text{пр. max}} \geq I_{\text{пр}}. \end{cases} \quad (4.37)$$

Вибираємо тиристор [13] типу T132-20 з $U_{\text{обр. max}}=700$ В, $I_{\text{пр. max}}=20$ А.

4.3.4 Розрахунок індуктивності згладжуючого дроселя

Необхідну індуктивність знайдемо за даною формулою:

$$L = \frac{U_{d2}}{\omega_c \cdot \Delta I_{d2}} \cdot \left[\frac{\sqrt{1 - \left(\frac{3}{\pi} \cdot \cos \beta\right)^2}}{\frac{3}{\pi} \cdot \cos \beta} - \arccos\left(\frac{3}{\pi} \cdot \cos \beta\right) + \beta - \frac{\pi}{2 \cdot \sqrt{3}} \cdot \operatorname{tg} \beta \right], \quad (4.38)$$

де ΔI_{d2} - допустимі пульсації струму в реакторі.

$$\Delta I_{d2} = (0.05 \div 0.1) \cdot I_d, \quad (4.39)$$

$$\Delta I_{d2} = (0.05 \div 0.1) \cdot 3.6 = 0.18 \div 0.36.$$

Приймаємо $\Delta I_{d2} = 0.3$ А.

$$L = \frac{400}{314.16 \cdot 0.3} \cdot \left[\frac{\sqrt{1 - \left(\frac{3}{3.14} \cdot \cos \frac{\pi}{6}\right)^2}}{\frac{3}{\pi} \cdot \cos \frac{\pi}{6}} - \arccos\left(\frac{3}{\pi} \cdot \cos \frac{\pi}{6}\right) + \frac{\pi}{6} - \frac{\pi}{2\sqrt{3}} \cdot \operatorname{tg} \frac{\pi}{6} \right] \approx 0.67$$

(Гн)

Еквівалентна ємність комутуючих конденсаторів :

$$C_e = \frac{I_d \cdot t_B}{U_{d2}}, \quad (4.40)$$

де t_B -час вимикання тиристорів ($t_B = 1.5$ мс).

$$U_{d2} \geq (1.2 \div 1.3) \cdot \sqrt{6} \cdot U_c, \quad (4.41)$$

де U_c -напруга статора.

$$U_{d2} \geq (1.2 \div 1.3) \cdot \sqrt{6} \cdot 380 = 1116.97 \div 1210.05 \text{ (В)}.$$

Вибираємо $U_{d2} = 1200$ В.

$$C_e = \frac{3.6 \cdot 1.5 \cdot 10^{-3}}{1200} \approx 45 \text{ (мкФ)}.$$

4.3.5 Розрахунок фільтра

Величину індуктивності дроселя можна розрахувати за допомогою наступної формули:

$$L_{\text{др}} = \frac{U_{\text{д}} \cdot 100}{\sqrt{2} \cdot p \cdot \omega_1 \cdot \delta \cdot I_{\text{н}}}, \quad (4.42)$$

де p – пульсність випрямляча ($p = 2$);

δ – максимально допустиме відносне значення амплітуди пульсацій струму на вході. ($\delta = 5\%$);

ω_1 – кругова частота:

$$\omega_1 = 2 \cdot \pi \cdot f_1, \quad (4.43)$$

де f_1 – частота напруги мережі,

$$\omega_1 = 2 \cdot 3,14 \cdot 50 = 314 \text{ (с}^{-1}\text{)},$$

$$L_{\text{др}} = \frac{460 \cdot 100}{\sqrt{2} \cdot 2 \cdot 314 \cdot 5 \cdot 4,7} = 3,41 \text{ (мГн)}.$$

Вибираємо дросель СРОС-63/6УХЛ4 [14] $L_{\text{др}} = 3,5 \text{ мГн}$ з $R_{\text{др}} = 6,8 \text{ мОм}$.

Індуктивний опір дроселя:

$$X_{\text{др}} = L_{\text{др}} \cdot \omega_1, \quad (4.44)$$

$$X_{\text{др}} = 3,41 \cdot 314 = 1070,7 \text{ (мОм)}.$$

Ємність конденсатора:

$$C_{\Phi} = \frac{I_{\text{н}}}{2 \cdot U_{\text{л}} \cdot k_{\text{п}} \cdot \omega_0}, \quad (4.45)$$

де $k_{\text{п}}$ – коефіцієнт пульсацій ($k_{\text{п}} = 0,1$),

$$C_{\Phi} = \frac{4,7}{2 \cdot 400 \cdot 0,1 \cdot 314} = 776 \cdot 10^{-6} \text{ (Ф)}.$$

З [7] вибираємо конденсатор типу SMD 1808 на 1200 мкФ.

4.3.6 Розрахунок і вибір елементів захисту силового кола

Загальні вимоги до апаратів керування, електричних кіл управління, регулювання та захисту включають:

- забезпечення надійної та точної роботи установки;
- наявність достатньої термічної стійкості як у звичайному режимі роботи, так і при короткому замиканні;
- здатність протистояти впливу електродинамічних сил;
- можливість ввімкнення і вимкнення електричних пристроїв у всіх режимах роботи електричного кола;
- мінімальні розміри, масу та вартість;
- надійну ізоляцію з достатньою електричною міцністю і опором у всіх режимах роботи.

Магнітні пускачі застосовуються для прямого пуску, зупинки та захисту короткозамкнених асинхронних електродвигунів.

Для запуску даного двигуна буде використано магнітний пускач типу ПМ12-010100 400В ІЕК, технічні характеристики якого наведені в таблиці 4.3.

Таблиця 4.3 – Номінальні параметри магнітного пускача

Параметри	Величина
Номінальна напруга $U_{\text{ном}}$, В	22-680
Номінальна потужність $P_{\text{ном}}$, кВт	3
Номінальний струм $I_{\text{ном}}$, А	10
Номінальний тепловий струм I_{th} , А	4,1

Вибір автоматичних вимикачів проводимо за умовами:

$$U_{\text{на}} \geq U_{\text{мер}}, \quad (4.46)$$

Номінальний струм автомата:

$$I_{\text{на}} \geq I_{\text{лн}}, \quad (4.47)$$

Номінальний струм розщеплювача:

$$I_{\text{нр}} \geq I_{2\text{н}}, \quad (4.48)$$

$$I_{\text{а.кз}} = \frac{I_{\text{дн}}}{U_{\text{кз}\%} \cdot k_{\text{тр}}}, \quad (4.49)$$

де $k_{\text{тр}}$ – коефіцієнт трансформації;

$U_{\text{кз}\%}$ – номінальна напруга автомата.

$$I_{\text{а.кз}} = \frac{3.6}{6,5 \cdot 2,5} = 0,22 \quad (\text{кА}).$$

Максимальна напруга спрацювання:

$$U_{\text{спр}} = 1,1 \cdot U_{\text{дн}}, \quad (4.50)$$

$$U_{\text{спр}} = 1,1 \cdot 380 = 418 \quad (\text{В}).$$

Враховуючи перелічені вимоги, вибираємо навантажувальний вимикач типу S 201 – D6 [15], номінальні характеристики якого наведені у таблиці 4.4.

Таблиця 4.4 – Номінальні параметри автоматичного вимикача

Параметри	Позначення	Величина
Номінальний струм, А	$I_{\text{на}}$	10
Номінальна напруга, В	$U_{\text{на}}$	380
Номінальний струм розщеплювача, А	$I_{\text{нрозч}}$	50
Номінальний струм відсічки		30
Максимальний струм відключення, кА	$I_{\text{мах.відкл}}$	15
Максимальна відмикаюча здатність, кВ	U	6
Максимальна напруга, В	$U_{\text{мах}}$	440
Мінімальна робоча напруга, В	$U_{\text{вмін}}$	24

Вибираємо електротеплове реле типу ТРН; $I_{\text{ном}} = 10\text{А}$. Вибираємо кнопочні елементи SB1 – кнопка “Пуск” КУ-1; SB2 – кнопка “Стоп” КУГ-1

Таблиця 4.5 – Апарати керування та захисту

Позначення на схемі	Назва апарату	Тип	К-ть
		380В	
KK1	Електротеплове реле	ТРН-8	1
SB1	Кнопка “Пуск”	КУ-1	1
SB2	Кнопка “Стоп”	КУГ-1	1

4.3.7 Вибір перетворювача частоти

Відповідно до розрахункових параметрів обираємо стандартний промисловий перетворювач частоти. Потужність перетворювача підбирається згідно з номінальною потужністю електродвигуна приводу:

$$P_{\text{і âð}} \geq P_{\text{і î î}} , \quad (4.51)$$

$$P_{\text{і âð}} \geq 2,2 \text{ (кВт)}.$$

Максимальна потужність, яку повинен забезпечувати перетворювач частоти:

$$P_{\text{і âð.max}} \geq M_{\text{max}} \cdot \omega_{\text{і î î}} , \quad (4.52)$$

де M_{max} – максимальний момент, який розвиває приводний двигун за цикл роботи, Н·м;

$\omega_{\text{ном}}$ – номінальна кутова швидкість приводного двигуна, с^{-1} ,

$$P_{\text{і âð.max}} \geq 22,44 \cdot 298,395 = 6695,98 \text{ (Вт)} \approx 6,7 \text{ (кВт)}.$$

На основі розрахункових даних обираємо частотний перетворювач Altivar ATV71HU22N4 (ATV71, 2,2 кВт, 3-фазний) виробництва компанії Schneider Electric [16]. Технічні характеристики цього перетворювача наведені в таблиці 4.6.

Таблиця 4.6 – Технічні характеристики перетворювача частоти

Пок азн ики	Параметри
Но мер по кат ало гу	ATV-28HD12N4
Но мін аль на пот ужн ість пер етв орю вач а, кВт	2,2
Но мін аль на пот ужн ість дви гун а, кВт	7,5
Нап руг а, В	3 380-500
Час тот а, Гц	50-60
Ліні йни й	25,8 23,7

стр ум, А при U ₁ при U ₂	
Пот ужн ість роз сію ван ня при ном інал ьно му нав ант аже нні, кВт	281
Ма кси мал ьни й стр ум к.з., кА	22
Но мін аль ний стр ум, А при 380 В при 500 В	17 15,6

Максимальний перехідний струм при 460 В, А	25,5
Маса, кг	6,1

4.3.8 Вибір програмованих логічних реле та модулів розширення

Для реалізації ефективного керування роботою установки було обрано програмоване логічне реле Logo від відомої компанії Siemens. Це реле забезпечує надійне та гнучке управління приводом подачі металорізального верстата. Для розширення функціональних можливостей системи керування разом із базовим реле використовуються два аналогові модулі розширення тієї ж фірми. Вони дозволяють підключати додаткові аналогові сигнали, що необхідно для точного контролю параметрів процесу.

Технічні характеристики обраного процесора CPU, а також модулів розширення наведені у таблиці 4.7. Ці характеристики включають основні параметри, що впливають на продуктивність і сумісність системи, такі як кількість входів/виходів, типи підтримуваних сигналів, швидкодія та інтерфейси зв'язку. Разом із частотним перетворювачем, що відповідає за регулювання швидкості обертання електродвигуна, ця система забезпечує високоточне та стабільне керування приводом подачі верстата.

Таблиця 4.7 – Технічні характеристики CPU та модулів розширення

На зва	Тип	Н а п р у г а ж и в л е н н я	В х о д и	В и х о д и
Пр ог ра мо ва не ре ле	L O G O 1 2 /	1 2/ 2 4 В	8 ци ф ро ви х 24 В	4 ре ле йн их (1 0 А, ~2 30 В)
Ан ал ог ов ий мо ду ль ро зш ир ен ня	L O G O А М 2	1 2/ 2 4 В	2 ан ал ог ов их 0 ... 10 В 0 ... 20 м А	—
Ан ал ог	L О	1 2/ 2	—	2 ан ал

ОВ ИЙ МО ДУ ЛЬ РО ЗШ ИР ЕН НЯ		4 В		ОГ ОВ ИХ 0 ... 10 В 0 ... 20 М А
--	--	--------	--	---

4.4 Розрахунок системи керування електропривода

4.4.1 Розрахунок необхідних коефіцієнтів підсилення та передатніх коефіцієнтів системи

Коефіцієнт передачі двигуна визначається так:

$$\omega_n = \frac{\pi \cdot n_{ном}}{30}, \quad (4.53)$$

$$\omega_n = \frac{3,14 \cdot 2850}{30} = 298,3 \text{ (рад/с)},$$

$$K_d = \frac{\omega_n}{U_n - I_{дн} \cdot R_d}, \quad (4.54)$$

$$K_d = \frac{298,3}{380 - 4,7 \cdot 15} = 0,964.$$

Коефіцієнт підсилення перетворювача:

$$K_n = \frac{E_{d0}}{U_y}, \quad (4.55)$$

$$K_n = \frac{513}{10} = 51,3.$$

Необхідний коефіцієнт підсилення розімкненої системи:

$$k = \frac{M_H \cdot D \cdot (d^2 + e^2 / D^2) \cdot R_2'}{m \cdot U^2 \cdot f_{0*} \cdot \delta \cdot \omega_H} - 1, \quad (4.56)$$

де M_H - номінальний момент двигуна ($M_H = 7,3$);

D - діапазон регулювання швидкості;

f_{0*} - відносна частота в замкнутій системі ($f_{0*} = 1$),

δ - точність регулювання ($\delta = 0,01$).

$$D = \frac{n_{MAX}}{n_{MIN}}, \quad (4.57)$$

$$D = \frac{2850}{30} = 95,$$

$$d = \frac{R_1}{X_\mu}, \quad (4.58)$$

$$X_\mu = \omega \cdot L_\mu, \quad (4.59)$$

$$X_\mu = 314 \cdot 0,144 = 45,21 \text{ (Ом)},$$

$$d = \frac{0,44}{45,21} = 0,009,$$

$$e = 1 + \tau_1, \quad (4.60)$$

де τ_1 - коефіцієнт розсіювання ($\tau_1 = 0,5$).

$$e = 2,05,$$

$$k = \frac{7,3 \cdot 95 \cdot (0,009^2 + \frac{1,05^2}{2^2}) \cdot 0,021}{\frac{3 \cdot 220^2 \cdot 0,01}{297}} - 1 = 52,8$$

4.4.2 Вибір тахогенератора та його передатна функція

Тахогенератор вибирається за частотою обертання двигуна:

$$n_{т.г.} \geq n_n, \quad (4.61)$$

де $n_{т.г.}$ – номінальна частота обертання тахогенератора.

Оскільки номінальна швидкість обертання електродвигуна становить $n_n = 2950$ обертів за хвилину, для контролю частоти обертання вибираємо тахогенератор типу ТГП-2-1,6. Цей тахогенератор має номінальну частоту обертання $n_{тг} = 3000$ об/хв, що близько до номінальної швидкості двигуна, а також номінальну вихідну напругу $U_{н.тг} = 200$ В, що дозволяє забезпечити точний зворотний зв'язок по швидкості для системи керування приводом.

Коефіцієнт підсилення тахогенератора:

$$K_{тг} = \frac{U_{н.тг}}{\omega_{н.тг}}, \quad (4.62)$$

де $U_{н.тг.}$ – номінальна напруга тахогенератора;

$\omega_{н.тг.}$ – номінальна кутова швидкість тахогенератора:

$$\omega_{н.тг} = \frac{\pi \cdot n_{н.тг}}{30}, \quad (4.63)$$

$$\omega_{н.тг} = \frac{3,14 \cdot 3000}{30} = 314,159 \text{ (рад/с)}.$$

$$K_{тг} = \frac{200}{314,159} = 0,637.$$

Коефіцієнт підсилення підсилювача:

$$K_{п} = \frac{K_p}{K_{тг.} \cdot K_d \cdot K_{т.п.} \cdot K_{пот.}}, \quad (4.64)$$

$$K_{п} = \frac{41,6}{1,1 \cdot 0,225 \cdot 51,3 \cdot 0,5} = 3,53.$$

де $K_{пот}$ – коефіцієнт передачі потенціометра.

Необхідний коефіцієнт зворотнього зв'язку:

$$\gamma_{33} = \frac{\Delta\omega_p - \Delta\omega_{\text{зад}}}{\Delta\omega_{\text{зад}} \cdot K_{\text{тп}} \cdot K_{\text{підс}} \cdot K_{\text{д}}}, \quad (4.65)$$

$$\gamma_{33} = \frac{31,2 - 9}{9 \cdot 51,3 \cdot 3,53 \cdot 0,4} = 0,034.$$

Уточнене значення коефіцієнту передачі потенціометра:

$$K_{\text{пот.}} = \frac{\gamma_{3.3.}}{K_{\text{т.г.}}}, \quad (4.66)$$

$$K_{\text{пот.}} = \frac{0,034}{1,1} = 0,03.$$

Передаточна функція тахогенератора:

$$W_{\text{тг}}(p) = \frac{K'_{\text{тг}}}{T_{\text{фс}}p + 1}, \quad (4.67)$$

$$K'_{\text{тг}} = \frac{E_{\text{тг}}}{\omega_{\text{тг}}} \cdot \frac{R_{\text{пс}}}{R_{\text{ятг}} + R_{\text{пс}} + R_{\text{фс}}}, \quad (4.68)$$

де $E_{\text{тг}}$ - ЕРС тахогенератора;

$R_{\text{пс}}$ - опір потенціометра ($R_{\text{пс}}=3$ Ом);

$R_{\text{фс}}$ - опір фільтра ($R_{\text{фс}}=4,7$ Ом);

$T_{\text{фс}}$ - постійна часу фільтра.

$$E_{\text{тг}} = U_{\text{тг}} + R_{\text{ятг}} \cdot I_{\text{ятг}}, \quad (4.69)$$

$$E_{\text{тг}} = 120 + 10,7 \cdot 0,1 = 170(\text{В}),$$

$$K'_{\text{тг}} = \frac{170}{100} \cdot \frac{3}{500 + 3 + 4,7} = 1,7,$$

$$T_{\text{фс}} = \frac{R_{\text{пс}} \cdot C_{\text{фс}}}{R_{\text{ятг}} + R_{\text{пс}} + R_{\text{фс}}} \cdot (R_{\text{ятг}} + R_{\text{фс}}), \quad (4.70)$$

де $C_{\text{фс}}$ - ємність фільтра ($C_{\text{фс}}=15 \text{ мкФ}$).

$$T_{\text{фс}} = \frac{3 \cdot 15 \cdot 10^{-6}}{50 + 3 + 4,7} \cdot (10,7 + 4,7) = 2,51 \cdot 10^{-6} \text{ (с)},$$

$$W_{\text{тг}}(p) = \frac{0,19}{2,51 \cdot 10^{-6} p + 1}.$$

4.4.3 Розрахунок та вибір шунта

Коефіцієнт підсилення шунта:

$$k_{\text{ш}} = \frac{U_{\text{ш.н}}}{I_{\text{ш.н}}}, \quad (4.71)$$

де $U_{\text{ш.н}}$ – номінальна напруга шунта ($U_{\text{ш.н}}=75 \text{ мВ}$);

$I_{\text{ш.н}}$ – номінальний струм шунта, приймається рівним номінальному струму двигуна ($I_{\text{ш.н}}=4,7 \text{ А}$).

$$k_{\text{ш}} = \frac{75 \cdot 10^{-3}}{4,7} = 0,016 (\text{Ом}).$$

З довідника обираємо шунт типу 75ШИСВ.2 – 15А, який розрахований на максимально допустимий струм у колі якоря двигуна з урахуванням можливих перевантажень. Це означає, що шунт здатен витримувати струм до 15 Ампер без пошкоджень і забезпечувати точне вимірювання струму в робочих режимах двигуна, включно з короткочасними піковими навантаженнями. Таким чином, вибраний шунт гарантує надійний захист і коректне функціонування системи контролю струму.

$$\lambda I_{\text{н}} = 2,2 \cdot 4,7 = 10,34 (\text{А}). \quad (4.72)$$

Далі уточнюється значення коефіцієнта підсилення шунта, прийнявши $k_{\text{ш}} = R_{\text{ш}}$, тобто $k_{\text{ш}} = 0,016 \text{ Ом}$.

Коефіцієнт підсилення сенсора струму:

$$k_{n.cc} \leq \frac{10}{k_{ш} \cdot \lambda \cdot I_H}, \quad (4.73)$$

$$k_{n.cc} \leq \frac{10}{3,7 \cdot 10^{-3} \cdot 2,2 \cdot 4,7} = 111,682$$

За результатами розрахунку вибираємо стандартний коефіцієнт підсилення сенсора струму $k_{ш} = 112$.

Коефіцієнт передачі зворотного зв'язку за струмом:

$$k_{cc} = k_{ш} \cdot k_{n.cc}, \quad (4.74)$$

$$k_{cc} = 3,7 \cdot 10^{-3} \cdot 112 = 0,41.$$

Передаюча функція сенсора струму:

$$K_{дс} = \frac{K_{дс}}{pT_{фс} + 1}, \quad (4.75)$$

$$K_{дс} = \frac{133,3}{2,51 \cdot 10^{-6} p + 1}.$$

4.4.4 Розрахунок параметрів контуру струму

Не скомпенсована мала стала часу контуру струму:

$$T_{\mu c} = T_{гп} + T_{фс} + T_{дс}, \quad (4.76)$$

$$T_{\mu c} = 0,008 + 2,51 \cdot 10^{-6} + 2,51 \cdot 10^{-6} = 0,008(c).$$

Контур струму формуємо, спираючись на застосування модульного критерію. Відповідно, передатна функція замкненого контуру струму, оптимізованого за цим критерієм, має вигляд:

$$\Phi(p) = \frac{I_d(p)}{U_{з.с}(p)} = \frac{1/K_c}{1 + 2T_{\mu c}p + 2T_{\mu c}^2 p^2}. \quad (4.77)$$

Передатну функцію коригувального пристрою можна побудувати з використанням стандартного ПІ-регулятора, принципова схема підключення якого наведена на рисунку 4.5.

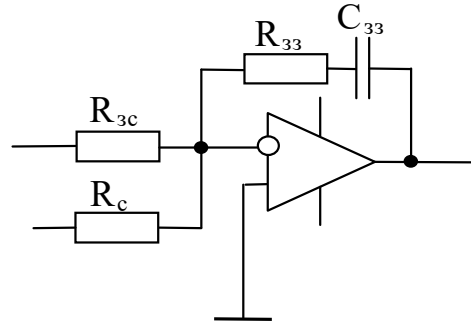


Рисунок 4.5 – Принципова схема ПІ-регулятора

Передаточна функція ПІ-регулятора:

$$R(p) = \frac{1 + R_{33} \cdot C_{33} \cdot p}{R_{33} \cdot C_{33} \cdot p}. \quad (4.78)$$

Задаємося $C_{33} = 1$ мкФ. Тоді:

$$R_{33} = \frac{T_y}{C_{33}}, \quad (4.79)$$

$$R_{33} = \frac{0,00205}{10^{-6}} \approx 2,05 \text{ (кОм)}.$$

Максимальна вихідна напруга контуру швидкості дорівнює $U = 24$ В. У цьому випадку коефіцієнт підсилення в колі зворотного зв'язку за струмом становить:

$$K_{\text{стр}} = \frac{U_{\text{зс max}}}{\lambda I_{\text{дн}}}, \quad (4.80)$$

$$K_{\text{стр}} = \frac{24}{2,3 \cdot 133} = 0,079,$$

$$R_c = \frac{2T_{\mu c} K_{гп} K_{ш}}{R_{розр} C_{зз}}, \quad (4.81)$$

$$R_c = \frac{2 \cdot 0,008 \cdot 49,5 \cdot 0,001}{0,151 \cdot 10^{-6}} \approx 6(\text{кОм}),$$

$$R_{зс} = \frac{U_{зс \max} \cdot R_c}{K_{ш} K_{дс} \lambda I_{двax}}, \quad (4.82)$$

$$R_{зс} = \frac{24 \cdot 6000}{0,001 \cdot 133,3 \cdot 2,3 \cdot 133} \approx 3,125(\text{кОм}).$$

Вибираємо регулятор реалізований на базі операційного підсилювача типу К140УД2а.

4.4.5 Розрахунок параметрів контуру швидкості

Не скомпенсована мала стала часу контуру швидкості:

$$T_{\mu ш} = 2T_{\mu c} + T_{дш}, \quad (4.83)$$

$$T_{\mu ш} = 2 \cdot 0,008 + 2,51 \cdot 10^{-6} = 0,016(\text{с}).$$

Контур швидкості формуємо, спираючись на застосування модульного критерію. Передаточну функцію коригувального пристрою можна реалізувати за допомогою стандартного П-регулятора, принципова схема підключення якого представлена на рисунку 4.6.

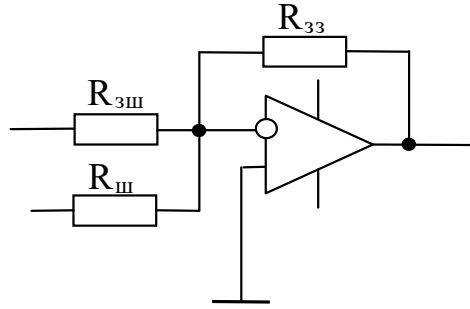


Рисунок 4.6 – Принципова схема П-регулятора

Задаємося $R_{зш}=5,1$ кОм, $U_{зшmax}=24$ В. Тоді відношення опорів:

$$\frac{R_{зш}}{R_{ш}} = \frac{U_{зшmax}}{K_{тр} \omega_{max}}, \quad (4.84)$$

$$R_{ш} = \frac{5100}{0,4} \approx 12,75 (\text{кОм}).$$

Коефіцієнт підсилення регулятора швидкості:

$$K_{рш} = \frac{K_{стр} T_m}{2T_{мш} K_{ш} K_d R_{розр}}, \quad (4.85)$$

$$K_{рш} = \frac{0,0076 \cdot 0,18}{2 \cdot 0,016 \cdot 0,001 \cdot 0,5 \cdot 0,151} = 0,5.$$

Зі схеми П-регулятора маємо:

$$\frac{R_{зз}}{R_{ш}} = K_{рш}, \quad (4.86)$$

$$R_{зз} = 12750 \cdot 501 \approx 6,4 (\text{МОм}).$$

Коефіцієнт підсилення кола зворотнього зв'язку за швидкістю:

$$K_{ш} = K_{тр} \frac{R_{зш}}{R_{ш}}, \quad (4.87)$$

$$K_{ш} = 0,19 \cdot \frac{5100}{12750} = 0,076.$$

Регулятор частоти (РЧ) вибираємо з такими ж даними.

Головним елементом регулятора є операційний підсилювач. Для всіх регуляторів обираємо операційні підсилювачі загального призначення типу К140УД2а (див. таблицю 4.8).

Таблиця 4.8 – Номінальні параметри операційного підсилювача К140УД2а

Параметри	Позначення	Величина
Напруга живлення, В	$U_{ж.оп}$	$\pm 12,6$
Струм споживання, мА	$I_{с.оп}$	16
Коефіцієнт підсилення	$K_{оп}$	> 35000

4.5 Розробка схеми електричної принципової керування електроприводом

Одна з варіантів схем автоматичного керування асинхронним двигуном з короткозамкненим ротором — це керування за допомогою тиристорного перетворювача частоти (ТПЧ) з автономним інвертором струму (АІС), що наведено в додатку Б та на рисунку 4 пояснювальної записки.

Живлення електропривода здійснюється від трифазної мережі 380 В, 50 Гц. Автоматичний вимикач QF1 відповідає за подачу живлення на силове коло. Напруга проходить через цей вимикач і подається на перетворювач частоти, який складається з керованого випрямляча та автономного інвертора струму.

Вхідним сигналом блока керування є: задаюча напруга $U_{з,с}$, що визначає частоту АІС, напруга негативного зворотного зв'язку по випрямленому струмі

U_i , що знімається із сенсора струму DA1 і напруга U_{ω} негативного зворотного зв'язку по кутовій швидкості АД, що знімається з сенсора ДС.

Блок керування виконаний на чотирьох операційних підсилювачах, виконаних на інтегральних мікросхемах.

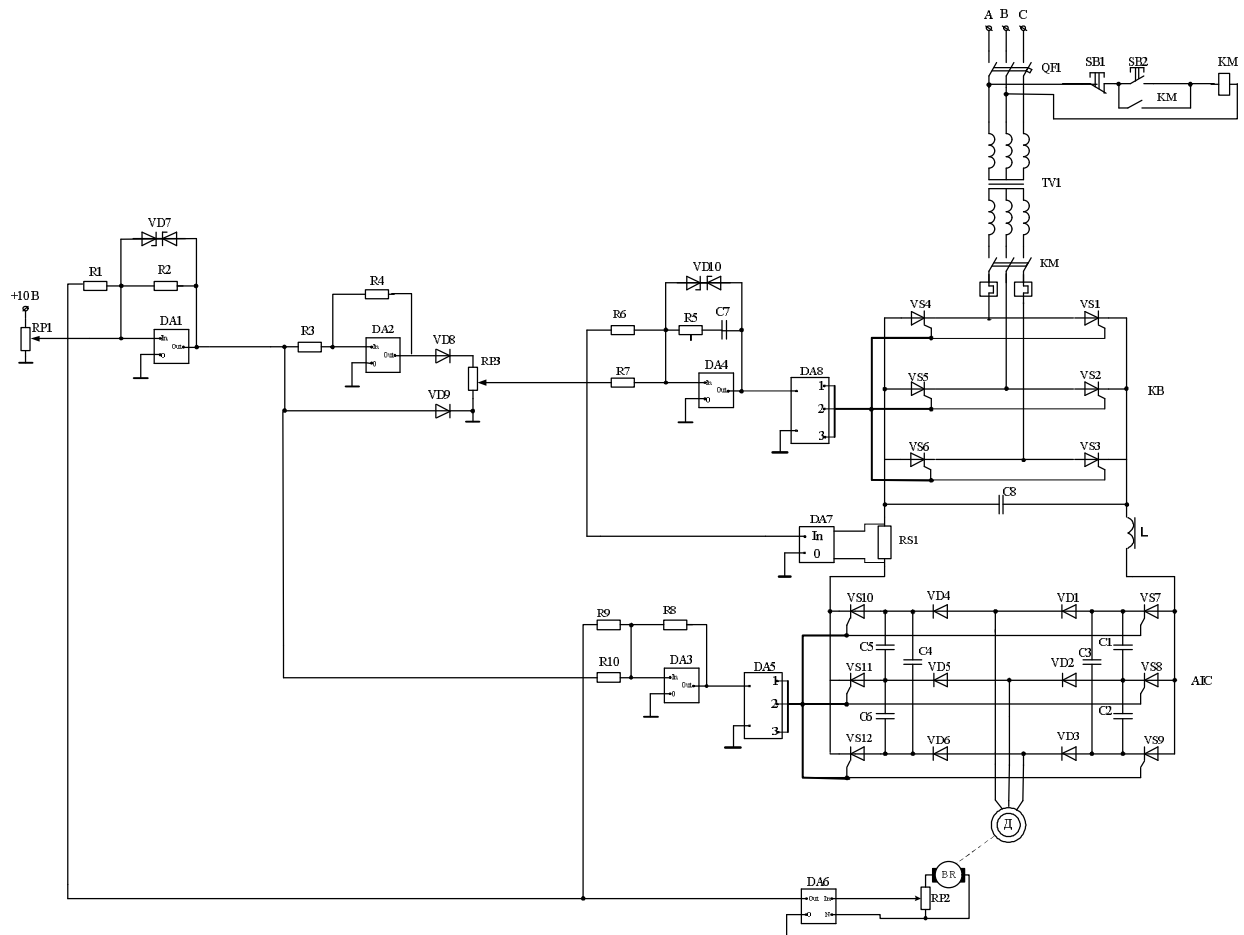


Рисунок 4.7 – Схема електрична принципова системи керування

Регулювання випрямленого струму виконується за допомогою регулятора струму (РС), який керує кутом вмикання тиристорів керованого випрямляча (KB) через систему фазо-імпульсного керування випрямлячем А1. Регулятор струму РС побудований на операційному підсилювачі за схемою ПІ-регулятора. На його вхід через резистори R10 і R11 подаються сигнали негативного зворотного зв'язку по струму U_i і задаючий сигнал $U_{з,т}$, пропорційний модулю ковзання двигуна. РТ забезпечує в статичних режимах точну відповідність струму статора задаючому сигналу $U_{з,т}$ незалежно від вхідної частоти АІС.

За допомогою регулятора ковзання (РК), який працює аналогічно П-регулятору, здійснюється віднімання від задаючої напруги $U_{з,с}$ сигналу U_{ω} , пропорційного кутовій швидкості ротора, і підсилення різницевого сигналу, тобто виробляється сигнал, пропорційний ковзанню двигуна.

Оскільки полярність випрямленої напруги в колі залишається незмінною, тоді як ковзання може змінювати свій знак, відповідно змінюється і полярність задаючої напруги $U_{з,т}$ повинен зберігатися незмінним незалежно від знаку ковзання.

Операція виділення модуля напруги $|U_{\beta}|$ відбувається з допомогою діодів V14, V15 і інвертора знаку, зібраного на підсилювачі П.

На вході регулятора частоти (РЧ) відбувається підсумовування сигналів: напруги, пропорційної ковзанню, з виходу регулятора ковзання (РК), та сигналу кутової швидкості, що надходить із сенсора ДС. У результаті формується напруга, яка відповідає бажаній частоті роботи автономного інвертора струму (АІС) і забезпечує необхідний режим роботи асинхронного двигуна, а напруга U_f з виходу РЧ подається на систему управління інвертором А2.

Стабілітрон V13 призначений для обмеження ковзання, а отже, значення струму в перехідних і аварійних режимах.

При подачі задаючої напруги $U_{з,с}$ відкривається стабілітрон V13 і в перший момент напруга $U_{\beta} = U_{\beta\max}$, так як $\omega = 0$. Із зростанням кутової швидкості здійснюється частотний пуск двигуна за умови постійного ковзання, що забезпечує сталі значення струму статора та моменту двигуна. Після завершення процесу пуску напруга U_{ω} стає близькою до $U_{з,с}$. Стабілітрон V13 закривається, і кутова швидкість приводу встановлюється в відповідності з задаючим сигналом.

Стабілітрон V16 обмежує максимальний рівень сигналу управління випрямлячем U_{α} , тобто максимальне значення ЕРС у режимах випрямлення й інвертування.

Для керування приводним двигуном застосовується перетворювач, який має забезпечувати на виході номінальну напругу 380 В та струм не менше 5 А.

4.6 Мікропроцесорна реалізація системи керування електропривода подачі

Принципова електрична схема мікропроцесорної реалізації системи керування за допомогою лабораторного обладнання фірми Siemens наведена на рисунку 4.8.

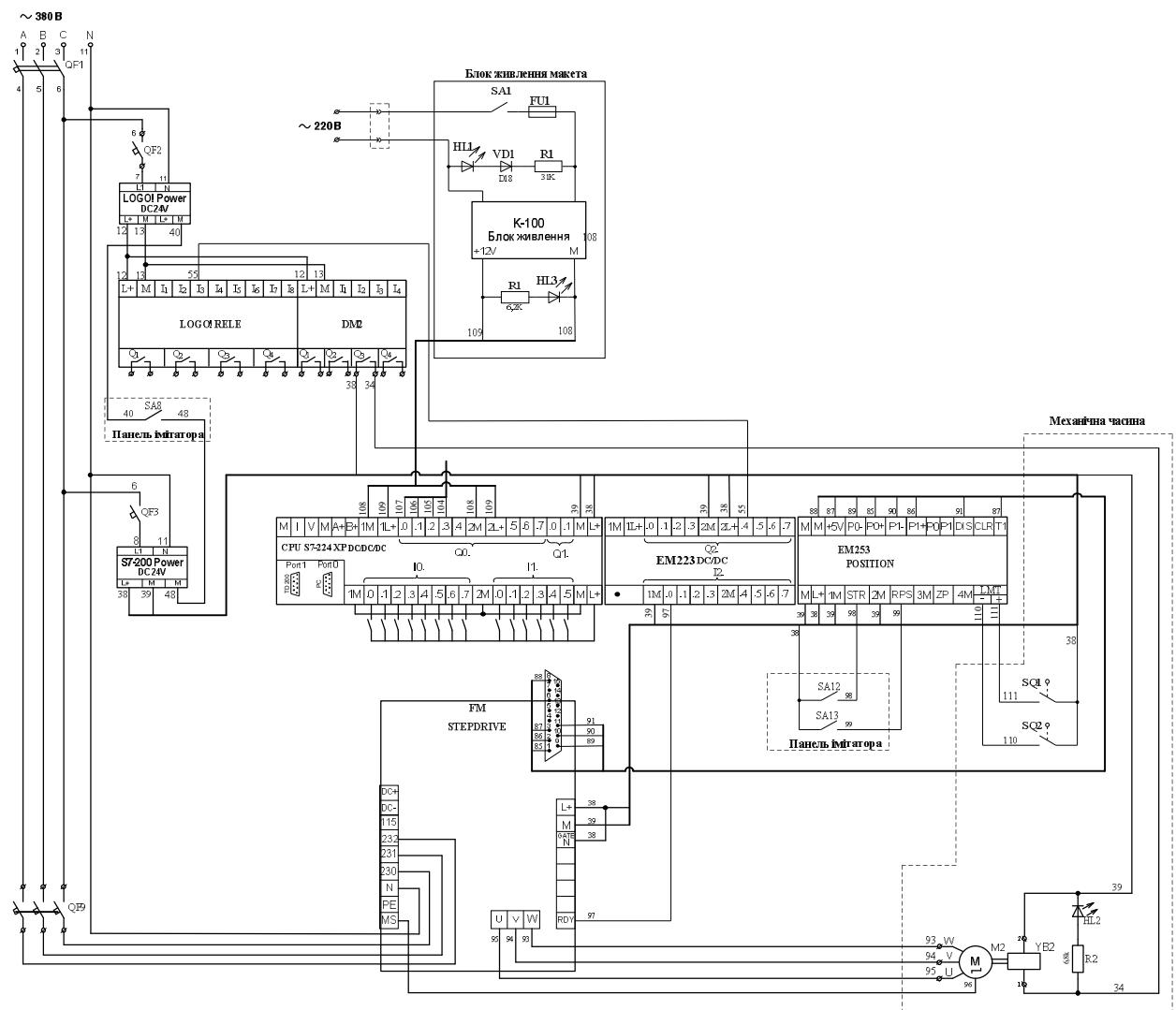


Рисунок 4.8 – Схема електрична принципова

Автомат QF1 є ввідним. Автомати QF2 та QF3 призначені для подачі напруги 220 В змінного струму на блоки живлення LOGO! Power DC 24V та

S7-200 Power DC 24V, що забезпечують живлення мікроконтролерів LOGO! 12/24 RC і S7-224 XP DC/DC/DC відповідно.

Напруга від зовнішньої трифазної мережі 380 В змінного струму подається на схему шляхом увімкнення ручного перемикача SA1. Про надходження напруги сигналізують світлодіоди HL1 (для змінної напруги) та HL3 (для постійної напруги). У цей момент живлення отримує блок K-100, який забезпечує подачу 12 В постійного струму на кроковий двигун A1-15. Живлення та керування двигуном здійснюється за допомогою ключів, які комутуються відповідно до закладеного алгоритму роботи мікроконтролера S7-224 XP DC/DC/DC.

Після надходження керуючого сигналу мікроконтролер LOGO! 12/24 RC, відповідно до заданої програми, комутує релейний вихід Q3 цифрового модуля розширення DM8.

Загальна логіка керування реалізується центральним процесором CPU S7-224 XP згідно з наперед заданим алгоритмом роботи.

Центральний процесор CPU S7-224 XP здійснює безпосереднє керування кроковим двигуном, який відповідає за подачу заготовки, а також — через модуль розширення EM253, що підключений до силового модуля позиціонування FM STEPDRIVE — забезпечує керування приводом переміщення робочого органу (платформи з закріпленням різцем). Взаємодія між оператором і системою відбувається за допомогою текстового дисплея TD 200.

У першому циклі виконання програми (див. рисунок 14.6) після ініціалізації системи відбувається скидання вмісту відповідних регістрів пам'яті. Після натискання кнопки F1 «ПУСК» виконується пошук опорної точки з нульовими координатами, а також запуск тестового профілю переміщення, що дозволяє переконатися у відсутності помилок у роботі системи.

Оскільки розміри заготовки можуть змінюватися, виникає потреба починати обробку з точки, максимально наближеної до її фактичного розташування. Для цього реалізовано ручний режим керування, за якого оператор самостійно переміщує робочий орган у потрібне положення. Натискання й утримання кнопки F3 викликає рух робочого органу вправо (у позитивному напрямку), а кнопки F4 — уліво (негативний напрямок). Під час переміщення оператор відстежує поточні координати робочого органу на текстовому дисплеї.

Наступним кроком є встановлення бажаних параметрів обробки заготовки:

- швидкість врізання	min = 0,5 мм/с	max=10.0 мм/с
- швидкість проходу	min = 1,0 мм/с	max=20.0 мм/с
- координата переміщення	min = 0,0 мм	max=150,0 мм
- кількість проходів	min = 1	max=20

Якщо введені оператором параметри виходять за межі допустимого діапазону, програма автоматично коригує їх, встановлюючи гранично допустимі мінімальні або максимальні значення.

Після завершення виконання програми обробки робочий орган (РО) автоматично повертається в опорну точку з нульовими координатами. Після цього можливо або повторити обробку з попередньо заданими параметрами, або змінити їх за необхідністю.

У разі завершення окремого циклу програми або введення некоректних даних, користувач може зупинити виконання натисканням кнопки F2 «СТОП» і повернутися до етапу введення параметрів.

Якщо під час роботи програми виникають помилки або РО з якихось причин виходить за межі робочого поля (обмеженого кінцевими вимикачами), система автоматично виконує аварійну зупинку, переводячи процесор у режим STO (аварійне блокування).

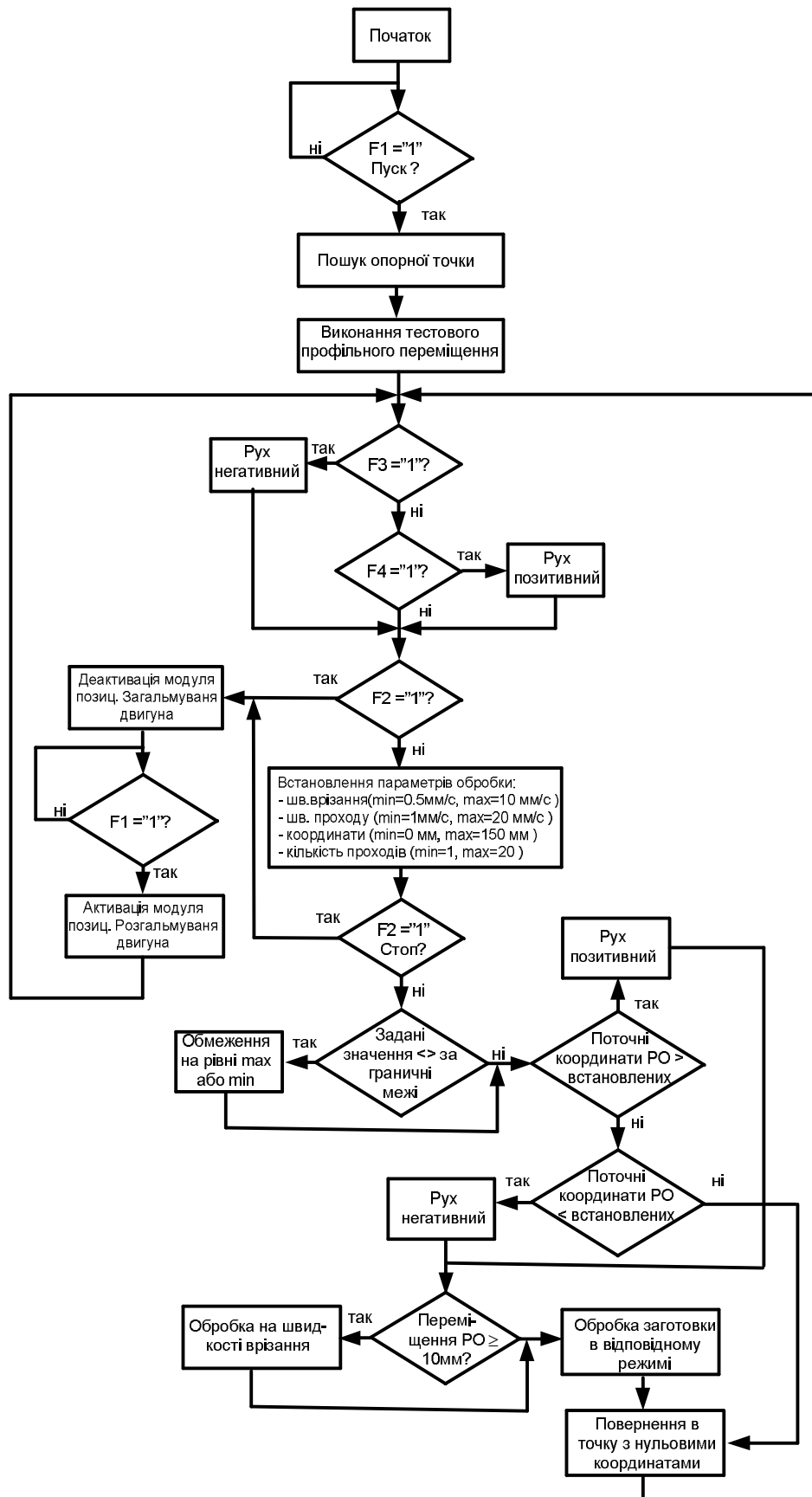


Рисунок 4.9 – Алгоритм роботи системи керування на базі обладнання фірми Siemens

4.7 Розробка схеми електричної принципової керування електроприводом

4.7.1 Розробка загального алгоритму функціонування системи

Програмне керування верстатом є типовим завданням управління в реальному часі. Це вимагає ефективного поєднання апаратних і програмних ресурсів системи з зовнішніми пристроями. Загалом, управління устаткуванням полягає в обміні інформацією між комп'ютером (ЕОМ), що виконує керування, та підключеними до нього зовнішніми пристроями.

Блок-схема головного модуля програми управління верстатом наведена на рисунку 4.10. Цей модуль виконує роль диспетчера, який направляє роботу системи за одним із двох можливих режимів роботи верстата: автоматична обробка (AUTO) або ручне керування (HAND). Перед вибором режиму запускається підпрограма SYSINIT, яка здійснює ініціалізацію системи керування. Під час ініціалізації виконуються такі операції: підготовка силової частини приводів і електроавтоматики, встановлення робочих органів у початкове (нульове) положення, а також скидання системи керування приводами і інформаційної системи. Після ініціалізації необхідно підтвердити початок роботи, інакше програма завершується із відповідним повідомленням.

Режим автоматичної обробки починається з підпрограми RDPRG, яка дозволяє ввести програму обробки з клавіатури або завантажити готову програму з диска. Програма вводиться покадрово — кожен кадр відповідає окремій технологічній операції (наприклад, увімкнення шпинделя або обробка круглого контуру з заданими координатами). Для перевірки та конвертації вхідної програми у внутрішній формат даних системи використовується підпрограма-транслятор CHECK. Після перетворення даних відбувається запит на початок обробки. Якщо користувач підтверджує початок, запускається циклічне виконання програми обробки.

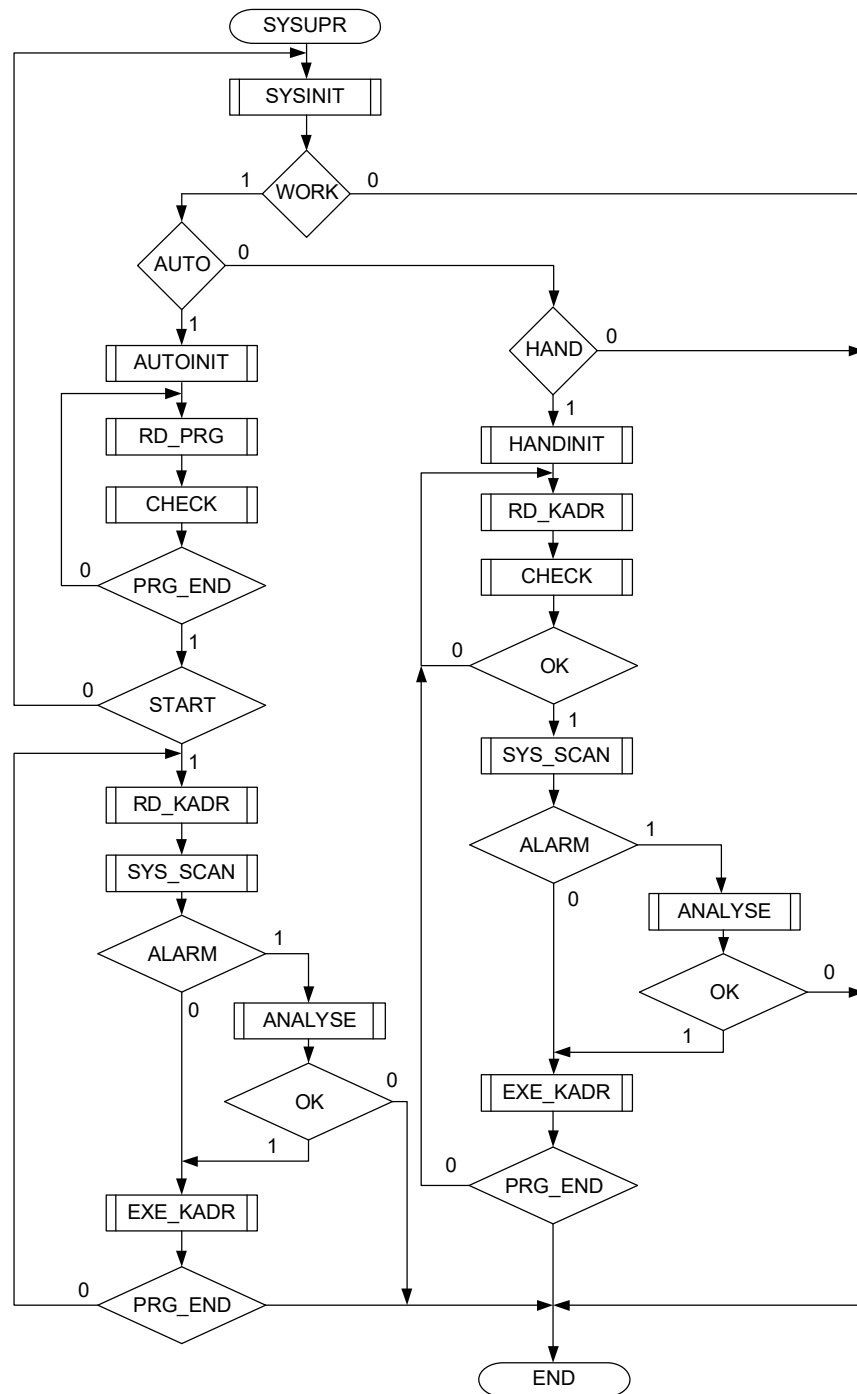


Рисунок 4.10 – Блок-схема алгоритму головного модуля програми управління

Виконується зчитування кадру керуючої програми підпрограмою RD_KADR та його подальший аналіз: визначаються тип інтерполяції, робочий квадрант, величина переміщення, напрямки переміщення по осях та інші параметри. Таким чином готується необхідна інформація для підпрограм нижчого рівня — інтерполятора, регулятора тощо.

Перед обробкою кадру здійснюється перевірка верстата на наявність аварійних ситуацій підпрограмою SYSSCAN. Якщо виникає аварія (ALARM=1), запускається підпрограма ANALYSE, яка аналізує несправність і визначає можливість її усунення. У разі успішного усунення помилки керування передається підпрограмі виконання кадру EXE_KADR.

Ця підпрограма включає в себе модулі лінійної та кругової інтерполяції, обробку зчитування й обчислення положення та швидкості виконавчих механізмів, регулятори та інші підпрограми нижчого рівня.

Процедури основної програми і виконувані ними дії приведені в таблиці 4.9.

Таблиця 4.9 – Процедури головного модуля

Процедура	Виконувані дії
SYSINIT	Підготовка системи до роботи, установка робочих органів в нульове положення, скидання блоку управління приводами і інформаційної системи, включення силових ланцюгів і ланцюгів захисту.
RDPRG	Введення програми, що управляє.
CHECK	Перевірка коректності команд. Трансляція вхідної програми у формат, використовуваний при обміні інформацією в системі. Формування масиву кадрів.
RD_KADR	Читання і аналіз кадру: визначення виду інтерполяції, робочого квадранта, величин переміщення і швидкостей по координатах. Визначення технологічних функцій
EXE_KADR	Відрібок кадру програми, що управляє. Формування кодів управління, відрібок заданих переміщень.
HANDINIT	Підготовка системи до роботи в ручному режимі
AUTOINIT	Підготовка системи до роботи в автоматичному режимі
SYS_SCAN	Читання стану електроавтоматики верстата: стану кінцевих вимикачів, контактів реле захит і силових контакторів.
ANALYSE	Аналіз аварійної ситуації, визначення можливості продовження роботи верстата.

Ручний режим роботи запускається підпрограмою INITHAND, яка виконує необхідне налаштування параметрів системи. Після цього

починається основний робочий цикл, що стартує зі зчитування стану пульта оператора за допомогою підпрограми RD_KADR. Перевірка коректності введеної команди здійснюється підпрограмою CHECK. Якщо перевірка проходить успішно, запускається програма SYS_SCAN, а подальші дії відбуваються аналогічно тим, що описані для автоматичного режиму роботи.

4.7.2 Розробка програмного забезпечення блоку управління приводом подачі

Програма управління приводом подачі консолі в автоматичному режимі повинна виконувати наступні функції:

- прийом інформації з датчика положення;
- обчислення значення швидкості методом числового диференціювання;
- цифрове регулювання швидкості і положення;
- інтерполяційні розрахунки.

Блок-схема процедури керування приводом подачі консолі наведена на рисунку 4.11. Ця процедура є підпрограмою головного модуля управління верстатом.

Процедура починається зі скидання лічильника періодів дискретності та запису початкових значень швидкості і управляючого сигналу в стек — ці дані потрібні для регулювання швидкості. Після цього запускається таймер, який забезпечує роботу системи в реальному часі.

Після запуску таймера відбувається виконання процедури зчитування датчиків SENSOR. Результатом цієї процедури є значення переміщень робочих органів за поточний інтервал дискретності $N[k]$, а також величини переміщень відносно початку кадру $N1$. Наступним кроком є визначення швидкості робочого органу за цей інтервал дискретності.

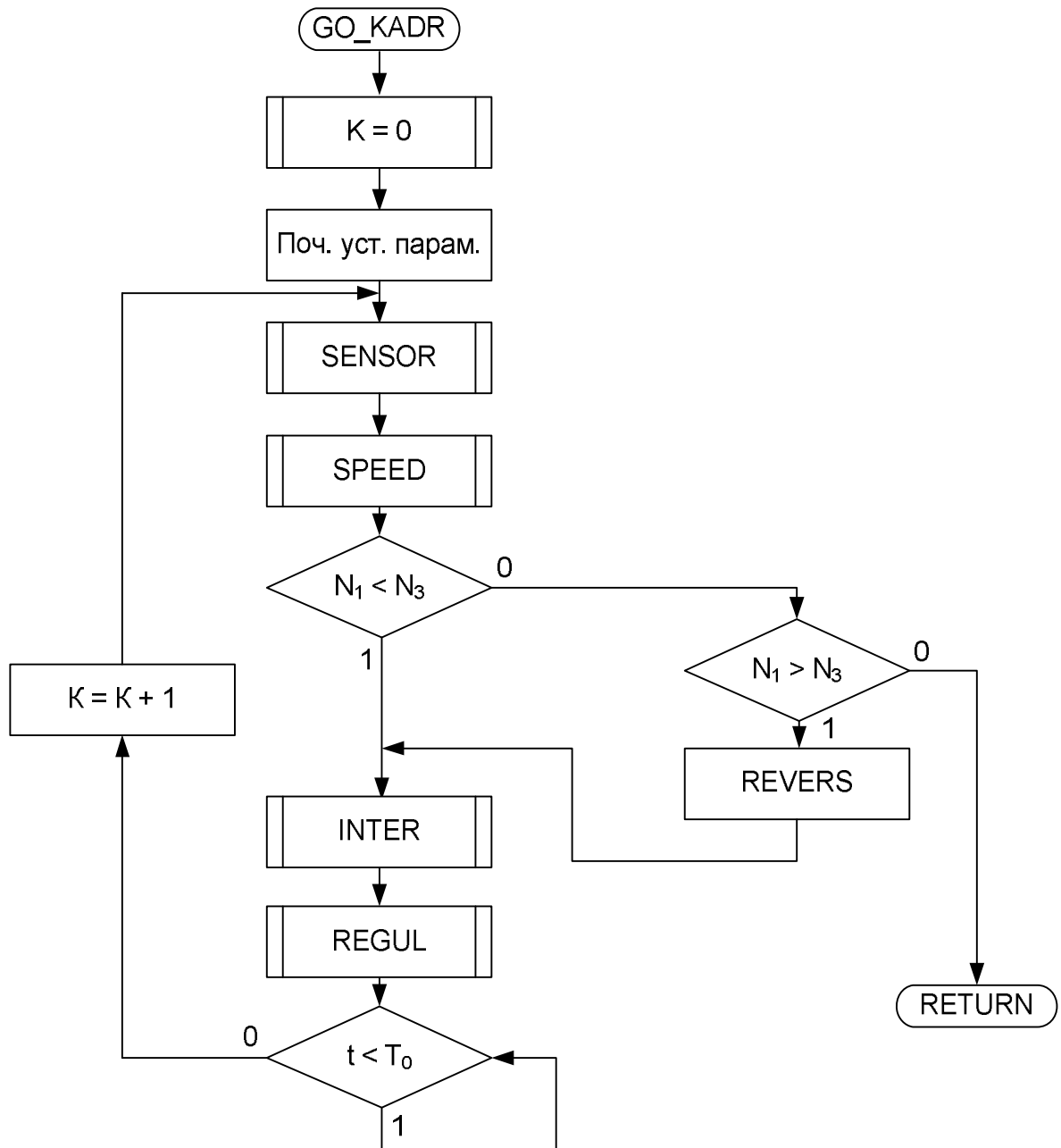


Рисунок 4.11 – Блок-схема програми управління приводом подачі консолі

Відстеження положення робочого органу здійснюється шляхом порівняння поточного значення переміщення N_1 із заданим у кадрі керуючої програми значенням N_3 . Якщо N_1 менше за N_3 , тобто необхідна позиція ще не досягнута, активується підпрограма інтерполяційних обчислень INTER. Потім виконується цифрове регулювання швидкості відповідно до різницевого рівняння регулятора швидкості у процедурі REGUL.

Якщо ж $N1$ перевищує $N3$, тобто робочий орган через якісь причини вийшов за межі потрібної позиції, подається сигнал реверсу на двигун приводу, після чого повторно виконуються процедури інтерполяції та регулювання швидкості. Після їх завершення визначається стан таймера. Якщо час, що минув від початку циклу, менший за період дискретності системи $T0$, виконується цикл очікування, доки t не досягне $T0$. Коли $t = T0$, вихід з циклу очікування, збільшення лічильника періодів на одиницю та ініціалізація таймера.

Цей цикл повторюється до тих пір, поки поточне переміщення $N1$ не дорівнюватиме або не перевищуватиме задане значення $N3$. У такому випадку відбувається вихід з процедури керування приводом (кінець кадру).

Блок-схема процедури обслуговування наведена на рисунку 4.12.

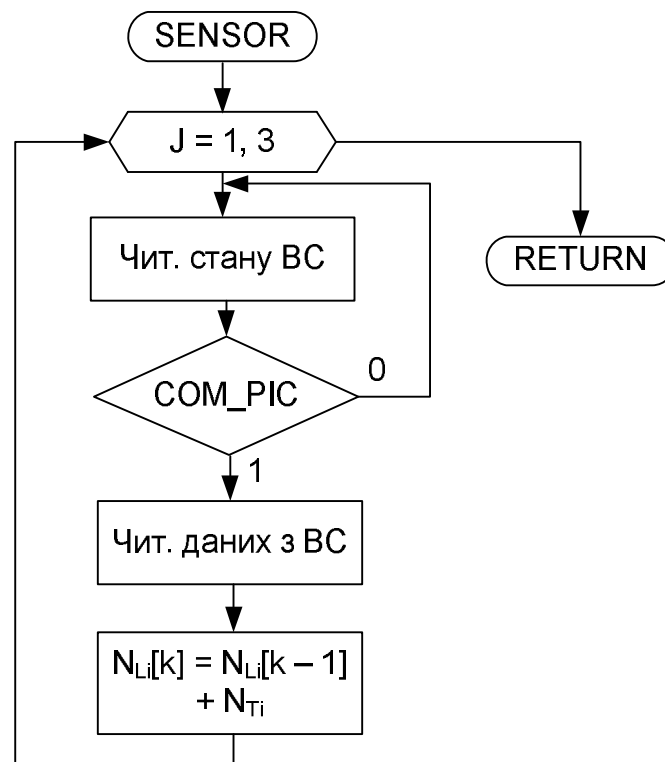


Рисунок 4.12 – Блок-схема процедури обслуговування датчиків

Для отримання даних про переміщення за трьома координатами організовано цикл, який починається з перевірки стану вимірювальної системи ВС.

Блок-схема процедури визначення швидкості обертання валу двигуна наведена на рисунку 4.13.

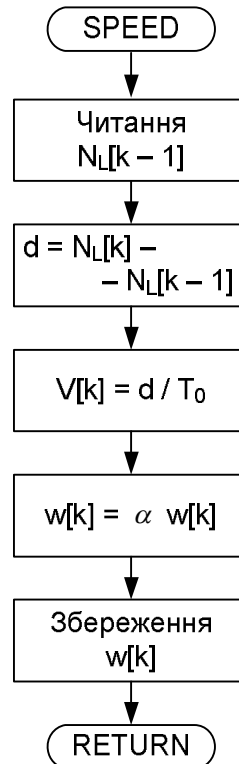


Рисунок 4.13 – Блок-схема процедури визначення швидкості

Як уже згадувалося, одиничне значення розряду COM_PIC запускає зчитування коду переміщення в ЦЕВМ.

Підпрограма SPEED виконує обчислення швидкості обертання двигуна за допомогою числового диференціювання.

5 РОЗРАХУНОК ТА ПОБУДОВА ДИНАМІЧНИХ РЕЖИМІВ РОБОТИ ЕЛЕКТРОПРИВОДА

Перехідний, або динамічний, режим електропривода — це стан роботи, при якому привод переходить з одного стабільного режиму в інший. Такий перехід відбувається під час запуску, гальмування, реверсування, скидання або підключення навантаження. Ці режими супроводжуються змінами електрорушійної сили, кутової швидкості, моменту та струму [18].

Вивчення перехідних процесів у роботі привода дає змогу коректно визначити потужність приводного двигуна, розробити систему керування і оцінити вплив електропривода на продуктивність та якість роботи механізмів, які він приводить у рух [18].

Модель асинхронного двигуна з короткозамкненим ротором у середовищі Simulink наведена на рисунку 5.1.

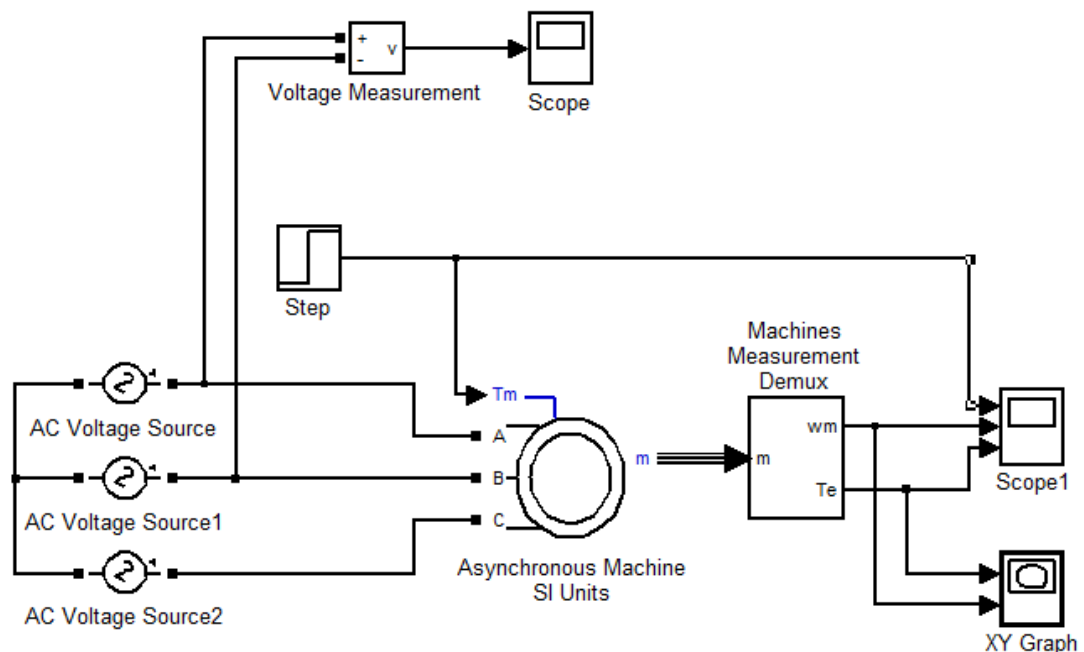


Рисунок 5.1 – Модель АД в Simulink

Для настройки моделі АД необхідно додатково розрахувати такі параметри:

- приведена індуктивність розсіювання статора і ротора:

$$L'_c = L'_p = \frac{U_{\phi.\text{ном}}}{4 \cdot \pi \cdot f_1 \cdot (1 + C^2) \lambda_I \cdot I_{\text{ном}}}, \quad (5.1)$$

де $U_{\phi.\text{ном}}$ – номінальна фазна напруга при з'єднанні обмоток статора в зірку, В;

λ_I – кратність пускового струму.

Номінальна фазна напруга при з'єднанні обмоток статора в зірку:

$$U_{\phi.\text{ном}} = \frac{U_{\text{ном}}}{\sqrt{3}} = \frac{380}{\sqrt{3}} = 219,393 \text{ (В)}. \quad (5.2)$$

$$L'_c = L'_p = \frac{219,393}{4 \cdot \pi \cdot 50 \cdot (1 + 1,0023^2) 6,5 \cdot 4,7} = 0,005585 \text{ (Гн)};$$

- індуктивність статора:

$$L_c = \frac{U_{\phi.\text{ном}}}{2 \cdot \pi \cdot f_1 \cdot I_{\text{ном}} \sqrt{1 - \cos^2 \phi} - \frac{2}{3} \cdot \frac{2 \cdot \pi \cdot f_1 \cdot M_{\text{max}}}{p \cdot U_{\phi.\text{ном}}} \cdot \frac{S_{\text{ном}}}{S_k}}, \quad (5.3)$$

$$L_c = \frac{219,393}{2 \cdot \pi \cdot 50 \cdot 4,7 \sqrt{1 - 0,77^2} - \frac{2}{3} \cdot \frac{2 \cdot \pi \cdot 50 \cdot 22,44}{1 \cdot 219,393} \cdot \frac{0,05}{0,281}} = 0,249 \text{ (Гн)};$$

- індуктивність кола намагнічування:

$$L_m = L_c - L'_c = 0,249 - 0,005585 \approx 0,243 \text{ (Гн)}. \quad (5.4)$$

Отримані результати розрахунків внесемо до параметрів налаштування моделі (див. рисунок 5.2).

В якості навантаження для моделюваного двигуна використовується розрахунковий момент статичного опору виробничого механізму.

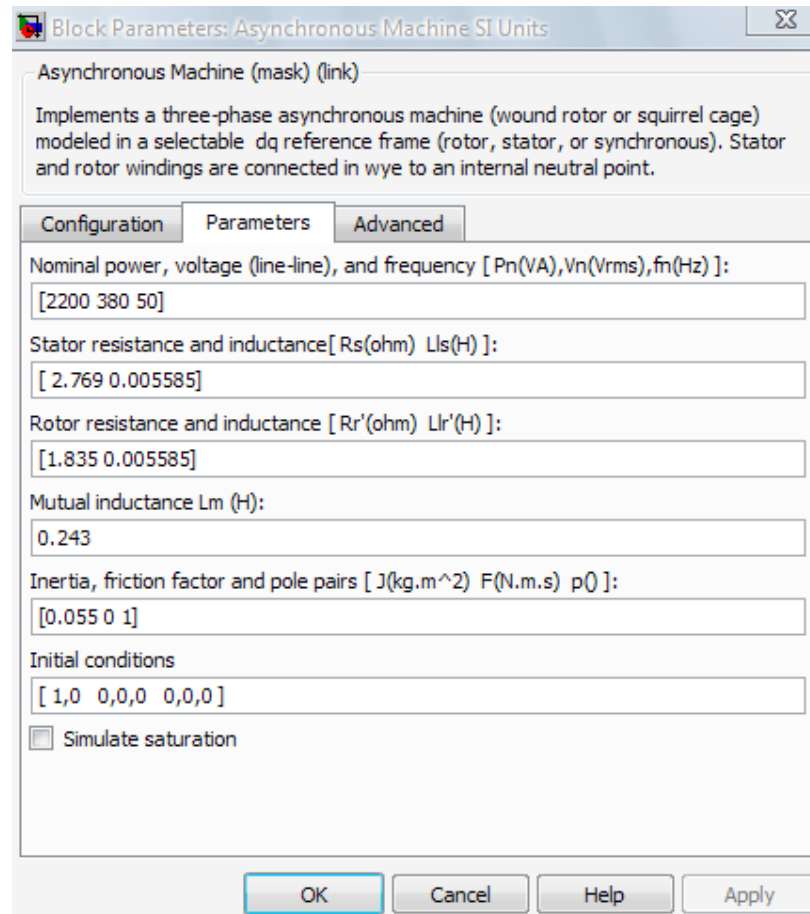


Рисунок 5.2 – Вікно настройки параметрів АД

Результати моделювання приведені на рисунках 5.3 та 5.4.

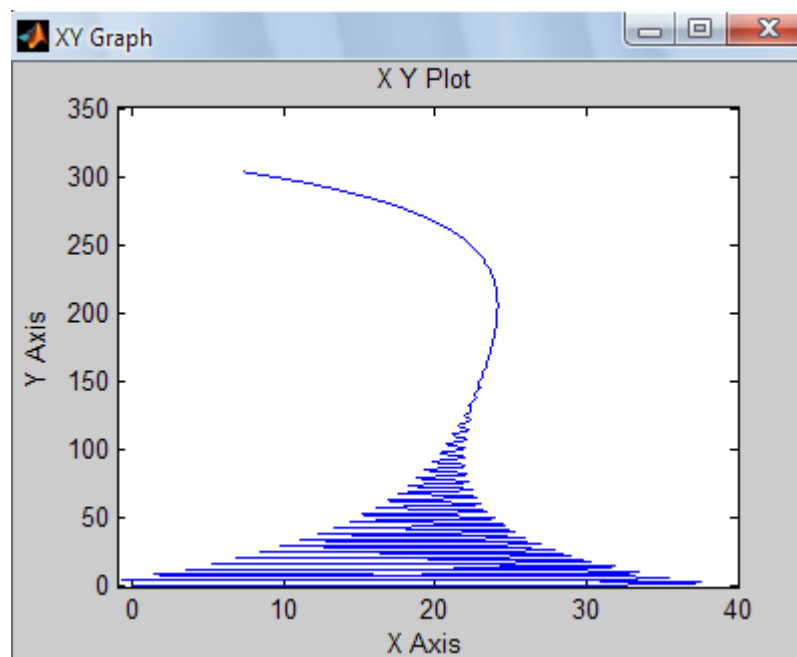


Рисунок 5.3 – Механічні характеристики АД

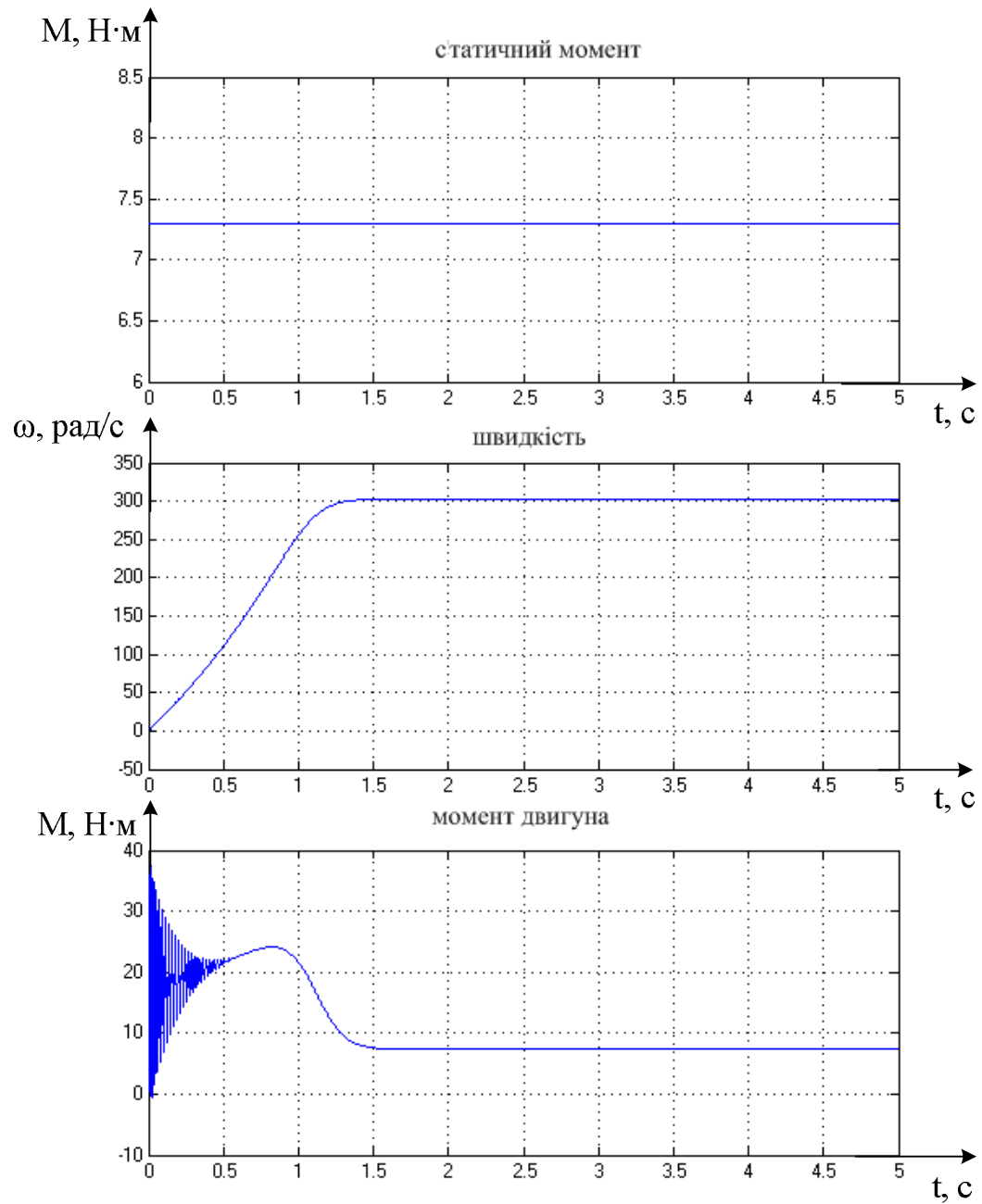


Рисунок 5.4 – Характеристики приводного двигуна (АД) виробничого механізму

Модель перетворювача частоти — асинхронного двигуна (ПЧ-АД) у Simulink, побудована відповідно до розрахунків із розділу 10 та структури, показаної на рисунках 10.2 і 10.9, наведена на рисунку 5.5.

Результати моделювання подано на рисунку 5.6.

Загальний вигляд моделі ПЧ-АД у прикладному програмному пакеті Simulink (Matlab) представлений наступним чином.

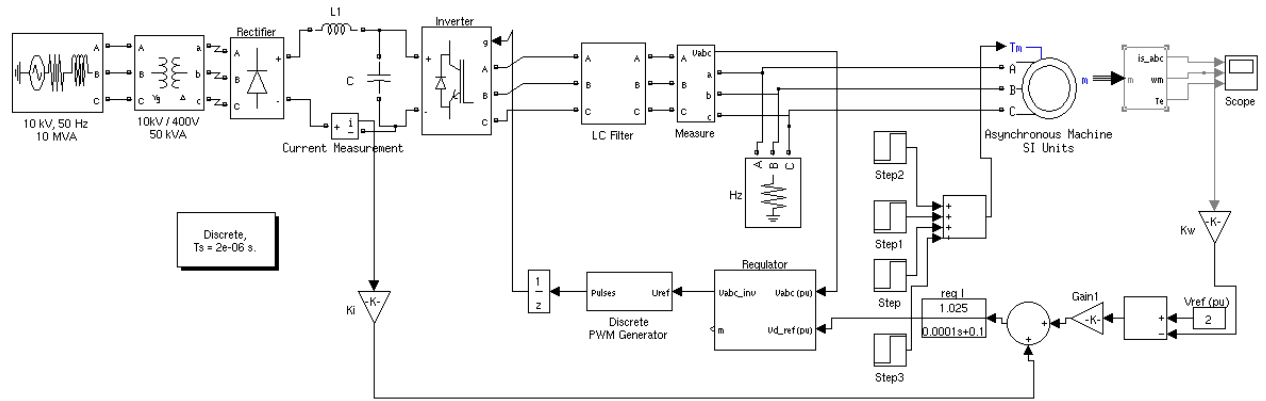
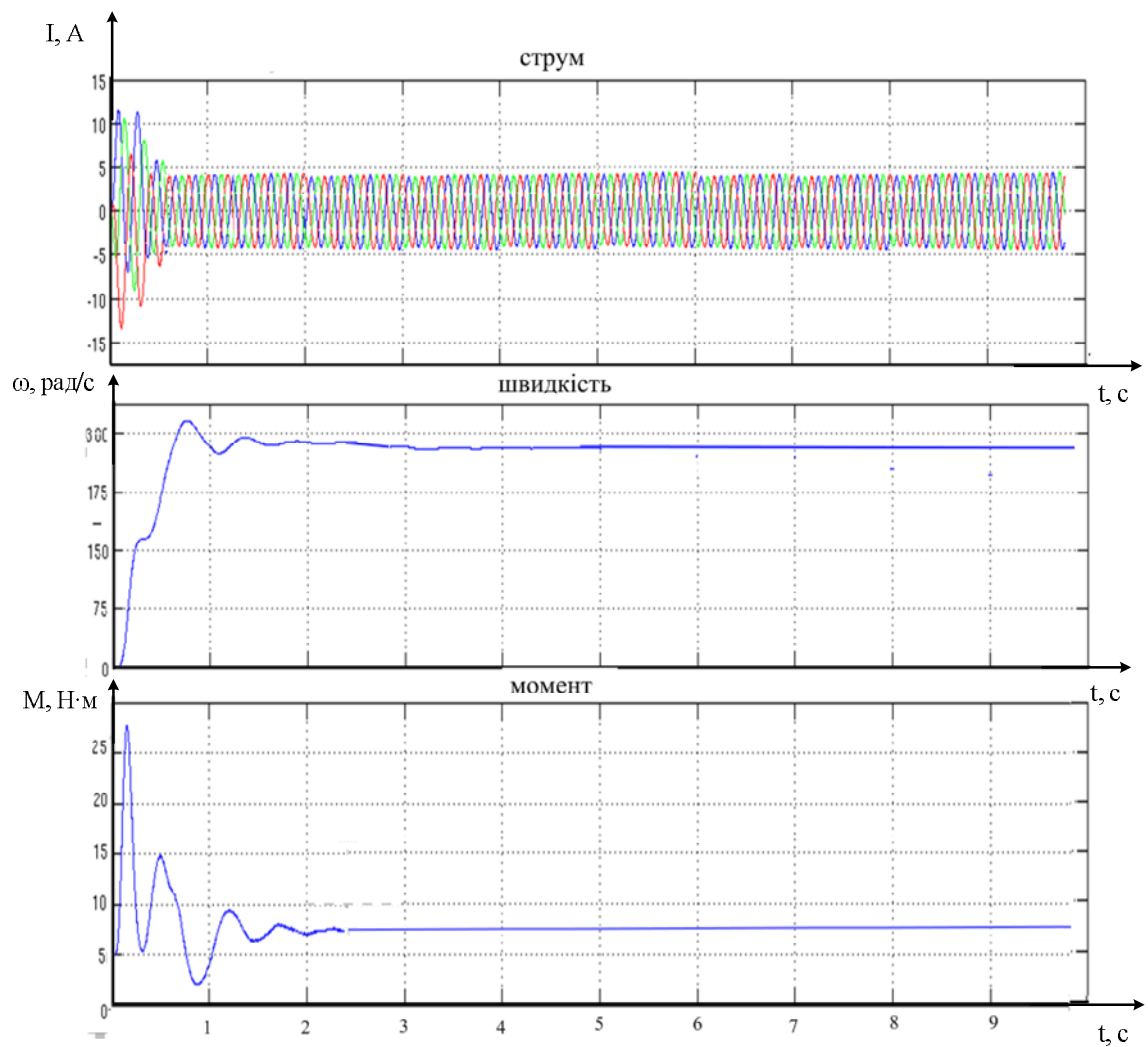


Рисунок 5.5 – Модель ПЧ-АД в Simulink

Рисунок 5.6 – Характеристики САЕП при номінальному
завантаженні механізму

6 ОХОРОНА ПРАЦІ

6.1 Загальні положення

У випусковій бакалаврській роботі розробляється електропривод токарного верстату з розробкою позиційного приводу подачі. У ремонтно-механічному цеху підприємства, крім токарних верстатів, встановлено велику кількість обладнання з різними виробничими потужностями, умовами експлуатації, та характером виробничого середовища. Підприємство відноситься до I категорії електропостачання, живлення здійснюється від двох підстанцій 10/0,4 кВ, які знаходиться на відстані 0,4 км.

На електромонтерів з обслуговування технологічного обладнання ремонтно-механічного цеху впливають за ГОСТ 12.0.003-74 такі небезпечні та шкідливі виробничі фактори:

а) фізичні:

- рухомі машини і механізми;
- рухомі частини виробничого обладнання;
- вироби, заготовки, матеріали, що пересуваються;
- підвищена та знижена температура поверхонь обладнання;
- підвищена запиленість та загазованість повітря робочої зони;
- підвищена та знижена температура повітря робочої зони;
- підвищена та знижена рухомість повітря;
- підвищена та знижена вологість повітря;
- підвищений рівень шуму на робочому місці;
- підвищений рівень вібрації;
- небезпечне значення напруги в електричному колі, замикання якого може відбутись через тіло людини;
- підвищений рівень інфрачервоної радіації;
- нестача природного освітлення;
- недостатнє освітлення робочої зони;

- гострі кромки, задирки та шорсткість на поверхнях заготовок, інструментів та обладнання;
- в) психофізіологічні:
 - фізичні перевантаження (динамічні)
 - нервово-психічні перевантаження (монотонність праці, перенапруга аналізаторів).

6.2 Технічні рішення з безпечної експлуатації об'єкта

Живлення здійснюється від п/ст 10/0,4 кВ кабельними лініями, що прокладені в траншеях. У приміщенні цеху використовується трифазна чотирьохпровідна мережа із заземленою нейтраллю напругою 380/220 В. Умови праці за ступенем небезпеки ураження працівників електричним струмом є умовами з підвищеною небезпекою, тому що підлога у робочому приміщенні є струмопровідною.

В якості захисту від ураження людей електричним струмом застосовується заземлення. Крім того безпека експлуатації при нормальному режимі роботи забезпечується застосуванням ізолювальних пристроїв, огороженням струмоведучих частин, використанням малих напруг. Особи, що обслуговують електроустановки повинні користуватися ЗІЗ - спецвзуття, рукавиці. Засоби захисту необхідно періодично випробувати, їх слід захищати від механічних пошкоджень, впливу факторів, що погіршують їх діелектричні властивості.

В установках напругою до 1 кВ огороження роблять суцільними. Безпечні відстані між огороженнями і не ізольованими струмоведучими частинами регламентується ПУЕ і в установках до 1 кВ із суцільними огороженнями – 5 см. Висота розміщення не огорожених струмоведучих частин залежить від значення напруги і рівня підготовки людей, що працюють з електроустаткуванням. Струмоведучі частини напругою до 1 кВ у місцях, де працюють люди, висота розміщення повинна бути не менше 3,5 м. Постійний

контроль за ізоляцією, тому що протягом часу відбувається старіння ізоляції, що може привести до пробію і створити небезпеку при дотику людини до ізольованих проводів. Використовують наступні кольори для маркування ізоляції: чорна - для силових ланцюгів; червона - для ланцюгів керування.

Обов'язкова установка захисного заземлення та захисного відключення. При роботі з електроустаткуванням використовують основні і додаткові електрозахисні засоби. До основних відносяться: ізолюючі штанги; ізолюючі і струмовимірювальні кліщі; слюсарно-монтажні інструменти з ізолюючим руків'ям. До додаткових відносяться: діелектричні рукавички; переносне заземлення; огорожуючі пристосування; плакати та знаки безпеки.

На ключах керування і приводах роз'єднувачів віддільників і вимикачах навантаження, а також на підставках запобіжників, за допомогою яких може бути подана напруга до місця робіт, вивішують плакат: "Не включати - працюють люди". На вентилях, що закривають доступ повітря в пневматичні приводи таких апаратів, вивішується плакат: "Не відкривати - працюють люди".

Передбачена проектом апаратура повинна експлуатуватися у відповідності з паспортними значеннями номінального струму та напруги. В процесі експлуатації слід постійно контролювати стан контактних сполучень та ізоляції апаратури, відсутність слідів дуги та оплавлення ошиновування, опір ізоляції силових та освітлювальних мереж, правильність підключення. На всіх підготовлених місцях роботи після накладається заземлення вивішується плакат "Працювати тут".

Зону обробки універсальних верстатів, призначених для обробки заготовок діаметром до 630 мм включно, необхідно обгороджувати захисним пристроєм (екраном). З боку, протилежного робочому місцю, у цій зоні також повинен бути екран. Затискні патрони універсальних токарних та токарно-револьверних верстатів повинні мати огороження, яке можна легко

відводити убік під час установлювання та знімання заготовок, не обмежуючи технологічні можливості верстатів.

Забороняється згвинчувати патрон (планшайбу) раптовим гальмуванням шпинделя. Згвинчувати патрон (планшайбу) ударами кулачків об підставку допускається тільки у разі його ручного обертання; в цьому випадку повинні застосовуватись підставки з довгими ручками.

Допускається закріплювати в кулачковому патроні без підпирання центром задньої бабки тільки короткі, завдовжки не більше двох діаметрів, зрівноважені деталі; в іншому разі для підпирання необхідно використовувати задню бабку. Для обробки в центрах деталей завдовжки 12 діаметрів і більше, а також у разі швидкісного та силового різання деталей завдовжки 8 діаметрів і більше необхідно застосовувати додаткові опори (люнети). Перед обробкою деталей в центрах спочатку необхідно перевірити закріплення задньої бабки і тільки після встановлення деталі змастити центр; задній центр під час виконання робіт також повинен періодично змащуватись, а у разі обробки довгомірних деталей – повинен перевірятись також осьовий затискач.

Пруткові токарні автомати та пруткові револьверні верстати повинні мати по всій довжині прутків огороження, оснащене шумопоглинальним пристроєм. У разі застосування огороження у вигляді напрямних труб, що обертаються разом із прутками (або коли прутки із заднього боку виступають за межі огорожі), прутковий магазин повинен мати кругове огороження по всій довжині. Розміщений зовні верстата пристрій для подавання прутків повинен мати огороження, яке не перешкоджає доступу до цього пристрою. Універсальні верстати у разі використання їх для обробки прутків повинні бути, за необхідності, оснащені пристроєм, який обгороджує пруток з боку задньої частини шпинделя. Пруток не повинен виступати за відгороджувальний пристрій.

Різці необхідно закріплювати з мінімально можливим вильотом з різцетримача (виліт різця не повинен перевищувати більше ніж у 1,5 раза висоту державки) і не менше ніж двома болтами. Різальна кромка різця повинна виставлятись по осі оброблюваної деталі. Для правильного установалення різців відносно осі центрів та підвищення надійності закріплення їх у супорті необхідно застосовувати шліфовані прокладки. Прокладки повинні відповідати лінійним опорам частини державки різців.

Для обробки в'язких металів (сталей), що дають зливну стрічкову стружку, необхідно застосовувати різці з викружками, накладним і стружколамачами або стружкозавивачами. Для обробки крихких металів (чавуну, бронзи тощо) з утворенням мілко-подрібненої сталеві стружки необхідно застосовувати захисні пристрої: спеціальні стружковідвідники, прозорі екрани або індивідуальні щитки для захисту обличчя.

У разі замінювання супорта, під час установалювання або знімання деталей та інструмента, ручної обробки деталі (зачищення, шліфування), усунення биття револьверну головку та супорт з інструментом необхідно відводити на безпечну відстань. Для зачищення виробів на верстаті шкуркою або порошком необхідно застосовувати притискні колодки.

Забороняється під час виконання робіт на металообробних верстатах токарної групи:

- користуватись затискними патронами, – якщо спрацьовані робочі площини кулачків;
- працювати з необертним центром задньої бабки – у разі швидкісного різання;
- працювати без закріплення патрона сухарями – для запобігання самовідвертанню у разі реверсування;
- гальмувати обертання шпинделя натискуванням руки на обертів частини верстата або деталі;
- залишати в револьверній головці інструмент, який не використовується

для обробки даної деталі;

- перебувати між деталлю та верстатом – під час установлення деталі на верстат;

- притримувати руками кінець важкої деталі або заготовки, що відрізається;

- класти деталі, інструмент та інші предмети на станину верстата та кришку передньої бабки;

- закладати та подавати рукою у шпиндель оброблюваний пруток – у разі ввімкненого верстата;

- вимірювати оброблювану деталь скобою, калібром, масштабною лінійкою, штангенциркулем, мікрометром тощо – до повного зупинення верстата, відведення супорта та револьверної головки на безпечну відстань;

- заточувати короткі різці без застосування відповідної оправки.

6.3 Технічні рішення з гігієни праці і виробничої санітарії

6.3.1 Мікроклімат

Основними нормативними документами, що регламентують параметри мікроклімату виробничих приміщень, є ДСН 3.3.6.042-99 [20].

Мікроклімат цеху характеризується наступними чинниками: температурою повітря, відносною вологістю повітря, швидкістю руху повітря, інтенсивністю теплового випромінювання.

Роботи по обслуговуванню технологічного обладнання відносяться до категорії Па по важкості праці.

Допустимі норми температури, відносної вологості та швидкості руху повітря в робочій зоні виробничих приміщень приведені в таблиці 6.1.

Таблиця 6.1 – Допустимі норми параметрів повітря на непостійних робочих місцях

Період року	Категорія робіт	Температура, °С		Відносна вологість	Швидкість руху, X
Холодний	Іа	20-24	15-24	75	не більше 0,3
Теплий		21-28	17-29	65 при 26 °С	0,2-0,4

6.3.2 Склад повітря робочої зони

Забруднення повітря робочої зони регламентується гранично-допустимими концентраціями (ГДК) в мг/м³.

При металообробці виділяється пил нетоксичний. При роботі системи вентиляції, провітрюванні у приміщенні може попадати пил та інші шкідливі речовини, які виділяються при технологічних процесах в цеху і знаходяться повітрі навколишнього середовища. Їх ГДК відповідно до [18] наведено в таблиці 6.2.

Таблиця 6.2 – Гранично допустимі концентрації шкідливих речовин для повітря атмосфери, в робочій зоні верстатника

Назва речовини	ГДК, мг/м ³		Клас небезпечності
	Максимально разова	Середньо добова	
Пил нетоксичний	0,5	0,15	4

Для забезпечення складу повітря робочої зони передбачені наступні рішення:

- застосування пиловідсмоктуючих агрегатів з рукавними фільтрами, які встановленні безпосередньо на дільницях біля обладнання із яких очищене повітря поступає у виробниче приміщення;
- необхідно проводити контроль за ГДК шкідливих речовин у

приміщенні;

- застосовувати природну вентиляцію: організовану і неорганізовану.

6.3.3 Виробниче освітлення

Робота токарних верстатів найчастіше відбувається в приміщеннях з штучним освітленням, яке повинно забезпечувати правильну роботу очей і наближати до оптимальних умов зорове сприйняття, яке буває при природному сонячному освітленні.

У тих випадках, коли одного природного освітлення не вистачає, встановлюється суміщене освітлення. При цьому додаткове штучне освітлення застосовується не тільки в темний, але і в світлий час доби.

Штучне освітлення по характеру виконуваних завдань ділиться на робоче, аварійне, евакуаційне.

Людина має як центральний (колбочковий), так і периферійне (палочковий) зір. Перше – для сприйняття кольорів і об'єктів малих розмірів, друге - для сприйняття навколишнього фону і великих об'єктів. Центральний зір вимагає великої яскравості, а палочкове діє у сутінках або напівтемряві. Враховуючи, що при роботі з дисплеями задіяно саме центральний зір, стає зрозумілою необхідність достатнього освітлення приміщення, де знаходиться комп'ютер. Самі загальні правила організації освітлення полягають у наступному:

1) слід уникати великого контрасту між яскравістю екрану і навколишнього простору. Оптимальним вважається їх вирівнювання.

2) забороняється робота з комп'ютером в темному або напівтемному приміщенні, Освітлення в приміщеннях з ПК повинно бути змішаним: природним - за рахунок сонячного світла - і штучним.

В якості джерел загального штучного освітлення краще всього використовувати освітлювальні прилади, які створюють рівномірну освітленість шляхом розсіяного або відбитого світлорозподілу (світло від ламп падає безпосередньо на стелю) і виключають відблиски. Відповідно до санітарних норм, це мають бути переважно люмінесцентні лампи типу ЛБ з

розсіювачами або екрануючими ґратами. Пульсації світла люмінесцентних ламп діють дратівливо на зір і нервову систему операторів, тому для зменшення коефіцієнта пульсації використовуйте лампи, укомплектовані високочастотними пускорегулюючими апаратами. Слід зазначити, що існують спеціальні люмінесцентні лампи, наприклад, фірми «VitaLight R», які випромінюють світло різного «якості», імітуючи, таким чином, повний спектр природного сонячного світла. Ці лампи менше дратують, ніж будь-які інші лампи штучного освітлення.

Відповідно до ДБН В.2.5-28-2018, роботи з токарними верстатами, потребують освітлення, яке характеризується розрядом зорової роботи III, підрозряд «в».

Нормовані значення штучного, природного та суміщеного освітлення наведені в таблиці 6.3.

Таблиця 6.3 – Вимоги до освітлення приміщень виробничих підприємств

Харак-ка зорової роботи	Найменший або еквівалентний розмір об'єкта розрізнення, мм	Розряд зорової роботи	Під-розряд зорової роботи	Контраст об'єкта з фоном	Характеристика фону	Штучне при системі комбінованого освітлення		Природне Ен пр	Сумісне Е сум
						всього	у т. ч. від загального		
Середньої точності	Від 0,3 до 0,5 включно	III	в	малий середній великий	світлий середній темний	600	200	-	3,0

Для загального освітлення приміщень рекомендується використовувати головним чином, світлодіодні лампи, що обумовлюється наступними перевагами: високою світловою віддачею (до 75 лм/Вт і більше); довгим часом використання (до 10000 годин); малою яскравістю поверхні, що світиться; спектральним складом випромінюючого світла (для деяких видів ламп цей склад є близьким до природного світла, що забезпечує гарну передачу

кольорів). Разом з тим необхідно врахувати і недоліки цих ламп: висока пульсація світлого потоку та пов'язана з цим можливість стробоскопічного ефекту; для запалювання та горіння лампи необхідно включення послідовно з ним пускорегулюючих апаратів; працездатність ламп залежить від температури оточуючого середовища, до кінця часу роботи світловий потік зменшується більш ніж на половину від номінального.

Світильники з світлодіодними лампами розміщують рядами; що дозволяє здійснювати їх послідовне включення (відключення) в залежності від величини природної освітленості.

6.4 Виробничий шум

На підприємстві джерелом шуму є обладнання, машини, механізми та верстати – механічний шум.

Шум – це хаотична сукупність різних за силою і частотою звуків, що заважають сприйняттю корисних сигналів і негативно впливають на людину.

Постійна дія сильного шуму може не лише негативно вплинути на слух, але й викликати інші шкідливі наслідки - дзвін у вухах, запаморочення, головний біль, підвищення втоми, зниження працездатності.

Шум має кумулятивний ефект, тобто акустичні подразнення, накопичуючись в організмі людини, все сильніше пригнічують нервову систему. Тому перед втратою слуху від впливу шумів виникає функціональний розлад центральної нервової системи. Особливо шкідливий вплив шуму позначається на нервово-психічній діяльності людини. Процес нервово-психічних захворювань вищий серед осіб, що працюють у гомінких умовах, ніж у людей, що працюють у нормальних звукових умовах.

При санітарно-гігієнічному нормуванні шуму використовують два методи:

- нормування за гранично допустимим спектром шуму;
- нормування рівня звуку за шкалою А шумоміра.

За характером спектру шум - широкосмуговий з безперервний спектром шириною більше октави; за тональною характеристикою постійний; за походженням - гідродинамічний.

Допустимі рівні звукового тиску, рівні звуку і еквівалентні рівні звуку на робочих місцях приймаються за вимогами СН 32.23-85 і наведені в таблиці 6.4.

Для зменшення рівня шуму до допустимого в цеху двигуни виконуються в металевому кожусі, а також виконують змащення, застосовують пластмасові деталі, використовують протишумні навушники, які закривають вушну раковину.

Таблиця 6.4 – Допустимі рівні звукового тиску

Робоче місце	Рівні звукового тиску в октавних смугах з середньгеометричними частотами, Гц									Рівні звукового тиску, ДБА
	31,5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	
На постійних робочих місцях у виробничих приміщеннях та на території підприємства	107	95	87	82	78	75	73	71	69	80

6.5 Виробничі вібрації

Вібрацією називають механічні коливання пружних тіл або систем, коли відбувається переміщення центра їх ваги в просторі відносно статичного стану. Загальна вібрація передається на тіло через опорні поверхні людини, що стоїть чи сидить (підшви ніг або сидниці).

Таблиця 6.5 – Допустимі рівні вібрації на постійних місцях

Вид вібрації	Октавні смуги з середньгеометричними частотами, Гц									
	2	4	8	16	31,5	63	125	250	500	1000
Загальна вібрація:	$\frac{1,3}{108}$	$\frac{0,45}{99}$	$\frac{0,22}{93}$	$\frac{0,2}{92}$	$\frac{0,2}{92}$	$\frac{0,2}{92}$	-	-	-	-
На постійних робочих місцях в виробничих приміщеннях										

В чисельнику середньоквадратичне значення вібрації, м/с 10^{-2} , знаменнику - логарифмічні рівні вібрації, дБ.

Основними методами колективного віброзахисту є зниження вібрації шляхом дії на джерело виникнення: відстрочка від режиму резонанс; динамічне гасіння коливань, заміна конструктивних елементів уставок і будівельних конструкцій. Засоби індивідуального захисту діляться на засоби для ніг, рук та тіла працюючого

6.6 Пожежна безпека

Пожежна безпека – стан об’єкта, при якому з регламентованою ймовірністю виключається можливість виникнення та розвиток пожежі і впливу на людей її небезпечних факторів, а також забезпечується захист матеріальних цінностей.

Причинами пожеж та вибухів на підприємстві є порушення правил і норм пожежної безпеки, невиконання Закону "Про пожежну безпеку".

Небезпечними факторами пожежі і вибуху, які можуть призвести до травми, отруєння, загибелі або матеріальних збитків є відкритий вогонь, іскри, підвищена температура, токсичні продукти горіння, дим, низький вміст кисню, обвалення будинків і споруд.

За стан пожежної безпеки на підприємстві відповідають її керівники, начальники цехів, майстри та інші керівники.

Приміщення механічного цеху згідно (ОНТП 24) відноситься до категорії Г з зонами П-ІІІ (зони за межами приміщення, в якому використовуються горючі рідини з температурою спалаху $> 61^{\circ}\text{C}$ або тверді горючі речовини, горючий пи́л, волокна). До категорії Г відносяться негорючі речовини і матеріали в гарячому, розжареному або розплавленому стані, процес обробки яких супроводжується виділенням променевої теплоти, іскор та полум'я, а також горючі гази, рідини і тверді речовини, які спалюються або утилізуються у вигляді палива.

Механічний цех розташований у будівлі ІІ ступеня вогнестійкості.

До ІІ ступеня вогнестійкості відносяться будівлі з несучими і огорожувальними конструкціями з природних та штучних кам'яних матеріалів, бетону або залізобетону із застосуванням листових та плиткових негорючих матеріалів. В покриттях будівель допускається застосовувати незахищені сталеві конструкції. Мінімальні межі вогнестійкості будівельних конструкцій (у хвиликах) та максимальні межі поширення вогню по них (см) за ДБН В.1.1.7-2002 наведено в таблиці 6.6.

Таблиця 6.6 – Мінімальні межі вогнестійкості будівельних конструкцій та максимальні межі поширення вогню по них

Ступінь вогнестійкості і будинків	Мінімальні межі вогнестійкості будівельних конструкцій (у хвиликах) і максимальні межі поширення вогню по них (см)								
	стіни				коло-ни	сходові площад-ки, костури, сходи, балки, марші сходових кліток	пере-криття між по-верхові (у т.ч. горищні та над підва-лами	елементи суміщених покриттів	
	несучі та сходових кліток	само-несучі	зов-ніш-ні не-несу-чі	внут-рішні не-несучі (пере-город-ки				пли-ти, насти-ли, прого-ни	балки, ферми, арки, рами
ІІ	REI 120 M0	REI 60 M0	E 15 M0	EI 15 M0	R 120 M0	R 60 M0	REI 45 M0	RE 15 M0	R 30 M0

Протипожежні перешкоди і мінімальні межі їх вогнестійкості за ДБН В.1.1.7-2002 наведено в таблиці 6.7.

Таблиця 6.7 – Протипожежні перешкоди і мінімальні межі їх вогнестійкості

Протипожежні перешкоди	Типи протипожежних перешкод або їх елементів	Мінімальна межа вогнестійкості протипожежної перешкоди (у хвиликах)	Тип заповнення прорізів, не нижче	Тип протипожежного тамбуршлюзу, не нижче
Стіни	2	REI 60	2	1
Перегородки	2	EI 15	3	2
Перекриття	3	REI 45	2	1

Найбільшу відстань до евакуаційного виходу визначаємо за об'ємом приміщення та ступені вогнестійкості будівлі – не нормується.

В таблиці 6.8 наведена допустима кількість поверхів і площа поверху в межах пожежного відсіку будівлі відповідно до ступеня вогнестійкості.

Таблиця 6.8 – Допустима кількість поверхів і площа поверху в межах пожежного відсіку будівлі.

Категорія будівлі (пожежних відсіків)	Допустима кількість поверхів	Ступінь вогнестійкості будівлі	Площа поверху в межах пожежного відсіку, м ² , будівель		
			Одноповерхових	багатоповерхових	
				2 поверхи	3 поверхи і більше
Г	1	II	не обмежується		
			5200	-	-

Мінімальні відстані між будівлями і спорудами відповідно до II ступеня вогнестійкості становлять 9 м.

У випадку виникнення пожежі робітники повинні: прийняти всі заходи по ліквідації вогню; місце, яке загорілось слід гасити вогнегасником; при загоранні електропроводів слід відключити лінію, а ізоляцію електропроводів

необхідно гасити тільки вуглекислотним вогнегасником або піском; зупинити обладнання.

На території підприємства розташований 1 пожежний щит (стенд), до комплексу засобів пожежогасіння, які розміщені на ньому, включені: вогнегасники ВП-5 – 3 шт., ящик з піском – 1 шт., покривало з негорючого теплоізоляційного матеріалу або повсті розміром 2 м х 2 м – 1 шт., гаки – 3 шт., лопати – 2 шт., лом – 2 шт., сокири – 2 шт.

Ящик для піску має місткість 1,0 м³ та бути укомплектований совковою лопатою. Конструкція ящика повинна забезпечувати зручність діставання піску та виключати попадання опадів.

ВИСНОВКИ

В результаті виконання бакалаврської кваліфікаційної роботи на тему «Модернізація системи керування електропривода подачі металорізального верстату» була розроблена система управління електроприводом подовжньої подачі токарно-гвинторізного верстата.

Використання мікропроцесорної системи в системах керування електроприводами дозволило значно підвищити гнучкість верстата та забезпечити можливість інтеграції з високорівневими ЕОМ, які працюють у режимі розподілу часу і здатні оптимально організувати управління великими технологічними завданнями.

Основні досягнення роботи:

- Виконано розрахунок електромеханічної системи та обрано двигун змінного струму на основі отриманих даних.
- Розроблено структурну та функціональну схеми системи керування приводом подачі, а також підібрано засоби зв'язку виконавчого механізму з системою управління.
- Проведено математичний опис системи управління та синтезовано ПІД-регулятор. Управління здійснюється за допомогою перетворювача частоти та асинхронного двигуна (ПЧ-АД), що є доцільним, оптимальним, сучасним і економічно вигідним рішенням.
- Запропоновано варіант мікропроцесорної реалізації на базі обладнання Siemens, який дозволяє повністю імітувати всі технологічні процеси та операції електропривода подачі.
- Розроблено блок-схеми алгоритмів керування, що описують роботу системи у ручному, налагоджувальному та автоматичному режимах.
- Крім того, сформульовано основні принципи безпечної експлуатації автоматизованого електропривода подачі верстата, що є важливою складовою для забезпечення тривалої та безаварійної роботи обладнання в умовах інтенсивного виробничого середовища.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Мельников, Є.І. *Електропривод у верстатах з ЧПУ: навч. посібник* / Є.І. Мельников, І.В. Мельников. — Харків: ХНАДУ, 2014. — 212 с.
2. Бабенко, В.П. *Електроприводи верстатів: підручник* / В.П. Бабенко, О.В. Костін. — К.: Ліра-К, 2016. — 288 с.
3. Левицький, С.Ф. *Електромеханічні системи автоматизованого виробництва: електропривод* / С.Ф. Левицький. — Львів: Видавництво Львівської політехніки, 2010. — 340 с.
4. Шульга, А.А. Автоматизований електропривод металорізальних верстатів: навчальний посібник / А.А. Шульга, І.І. Полупан, А.А. Ткаченко. — Краматорськ: Донецький державний технічний університет, 2010. — 124 с.
5. Голуб А.П., Кузнєцов Б.І., Опришко І.О., Соляник В.П.. Системи керування електроприводами: Навчальний посібник. - К.: НМК ВО, 1992. – 352 с.
6. Павленко, Т.П. Автоматизований електропривод загальнопромислових механізмів: конспект лекцій / Т.П. Павленко, О.В. Донець, О.М. Петренко. — Харків: Харківський національний університет міського господарства імені О.М. Бекетова, 2018. — 132 с.
7. Бочков, В.М. Обладнання автоматизованого виробництва: підручник / В.М. Бочков, Р.І. Сілін. — Львів: Видавництво Львівської політехніки, 2015. — 404 с.
8. Белов М. П. Автоматизований електропривод типових виробничих механізмів і технологічних комплексів: підручник для студ. вищ. навч. закладів / М.П. Белов, В.А. Новіков, Л. Н. Розсудів. - 3-є изд., вип. - М.: Видавничий центр Академіям, 2007. - 576 с. ISBN 978-5-7695-4497-2
9. Розподілені мікропроцесорні системи: конспект лекцій [Електронний ресурс]: для підготовки докторів філософії в галузі знань 17 Електроніка та телекомунікація за спеціальністю 171 Електроніка за

спеціалізацією «Електронні системи» / КПІ ім. Ігоря Сікорського ; уклад.: Т. О. Терещенко – Електронні текстові данні (1 файл:5544 кбайт). – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2018. – 192 с.

10. Програмувальні інтелектуальні реле [Електрон. ресурс] – Режим доступу: <http://muromremont.ru/639-post>

11. Логвінова Н. О. Зменшення експлуатаційних витрат за допомогою енергооптимального руху поїздів / Н. О. Логвінова, Д. О. Босий, О. М. Полях. – Вісн. Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – Д., 2012. – Вип. 42. – С. 110–113.

12. Визначення енергозощаджуючих режимів ведення поїздів / Д. М. Кислий. – Наука та прогрес транспорту. Вісник Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту, 2016, № 1 (61). – С. 71 – 84.

13. Казачковський М. М. Комплектні електроприводи: Навчальний посібник. - Дніпропетровськ :Національний гірничий університет,2003.-226 с.

14. Моделювання електроприводів: Навч. посібник / Л.Д. Костинюк, В.І. Мороз, Я.С. Паранчук. - Львів: Видавництво Національного університету «Львівська політехніка», 2004. - 404 с.

15. Чорний О.П., Луговой А.В., Д.Й. Родькін, Сисюк Г.Ю., Садовой О.В. Моделювання електромеханічних систем. – Кременчук, 2001. – 376 с.

16. Воронов Р.В – Дисертація: «Тягові електромеханічні системи з живленням двох двигунів від одного інвертора», Харків 2020 1-97с.

17. Казачковський М. М. Комплектні електроприводи: Навчальний посібник. - Дніпропетровськ: Національний гірничий університет, 2003 – 226 с.

18. Zagirnyak M., Romashykhina Zh., and Kalinov A., (2013), Improved Reliability of Diagnostics of Induction Motor Broken Rotor Bars, Proceedings of the XVI International Symposium on Electromagnetic Fields in Mechatronics, Electrical and Electronics Engineering, Ohrid, Macedonia, 2 – 14th September.

19. Кобилянський О.В., Терещенко О.П. Методичні вказівки щодо опрацювання розділу охорона праці в дипломних проектах і роботах студентів електротехнічних спеціальностей. – Вінниця 2003. – 46 с. управління моментом синхронного двигателя с постоянными магнитами. Известия Томского политехнического университета. 2011. Т. 319. № 4.

20. Модернізація системи керування електропривода транспортної лінії припортового заводу / О.А. Паянок, М.М. Матевосян – Матеріали конференції «ЛІІ Науково-технічна конференція підрозділів Вінницького національного технічного університету», Вінниця, 2023. [Електронний ресурс]. URL: <https://conferences.vntu.edu.ua/index.php/all-feem/all-feem-2023/paper/view/17445/14518> – Вінниця : ВНТУ, 2023. – 3 с.

21. ДСНіП «Гігієнічна класифікація праці за показниками шкідливості та небезпечності факторів виробничого середовища, важкості та напруженості трудового процесу». Наказ МОЗ № 248 від 08.04.2014.

22. ДСТУ-Н Б А 3.2-1: 2007 Настанова щодо визначення небезпечних і шкідливих факторів та захисту від їх впливу при виробництві будівельних матеріалів і виробів та їх використання в процесі зведення та експлуатації об'єктів будівництва. URL: <https://profidom.com.ua/a-3/a-3-2/824-dstu-n-b-a-3-2-12007-nastanova-shhodo-viznachenna-nebezpechnih-i-shkidlivih-faktoriv>.

23. НПАОП 40.1-1.21-98 (ДНАОП 0.00-1.21-98) Правила безпечної експлуатації електроустановок споживачів. URL:

1. https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=48644.

Додаток А

Міністерство освіти і науки України
Вінницький національний технічний університет
Факультет електроенергетики та електромеханіки

ЗАТВЕРДЖУЮ

Зав.кафедри КЕМСК

К.Т.Н., доц.

 Микола МОШНОРИЗ

4 " березня 2025 р.

ТЕХНІЧНЕ ЗАВДАННЯ

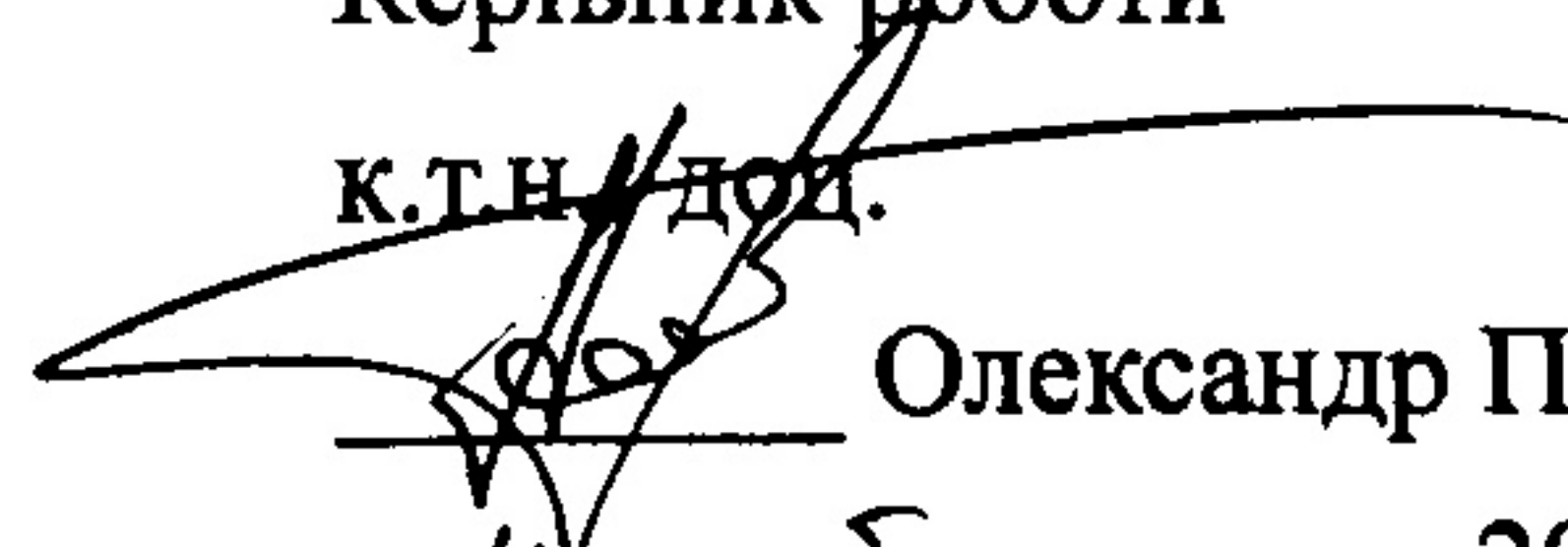
на бакалаврську дипломну роботу

МОДЕРНІЗАЦІЯ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ ЕЛЕКТРОПРИВОДА
ПОДАЧІ МЕТАЛОРІЗАЛЬНОГО ВЕРСТАТУ

08-24.БДР.003.00.000 ТЗ

Керівник роботи

К.Т.Н., доц.

 Олександр ПАЯНОК

« 4 » березня 2025 р.

Виконав: ст. гр. ЕМСА-216

 Ілля БОНДАР

« 4 » березня 2025 р.

Вінниця ВНТУ 2025

1. Загальні відомості

Повне найменування розробки – «Модернізація системи керування електропривода подачі металорізального верстату».

Скорочене найменування розробки – «Модернізація системи керування електропривода подачі металорізального верстату».

Замовник – Кафедра компютеризованих електромеханічних систем і комплексів.

Підстави для розробки

Індивідуальне завдання та наказ ректора Вінницького національного технічного університету про затвердження тем бакалаврських кваліфікаційних робіт.

3. Призначення розробки і галузь використання

Електропривод подачі металорізального верстата призначений для лінійного переміщення супорта верстата, на якому закріплений різець для зняття шару металу із заготовки.

4. Вимоги до розробки

Електропривод подачі металорізального верстату повинен забезпечувати надійну роботу. Експлуатація здійснюється в цехових умовах.

5. Комплектація розробки

Виріб складається з електродвигуна, системи керування та робочого органу. Вихідний вал двигуна з'єднаний з робочим органом через редуктор та з'єднувальні муфти.

6. Елементна база

Двигун, апаратура керування і захисту, провідники, кабелі і т.п. виробництва України, країн близького зарубіжжя та Європи.

7. Конструктивне виконання

Електропривод виготовляється окремими блоками, котрі реалізуються у відповідності до вимог електробезпеки у пило-вологозахищеному виконанні.

8. Технічні характеристики

Таблиця 4.7 – Технічні характеристики CPU та модулів розширення

Назва	Тип	Напруга живлення	Виходи
Програмоване реле	LOGO 12 / 24	12 / 24 В	8 цифрових 4 релейних (10 А, ~230 В)
Аналог	LOGO	12 / 24 В	—

О Г О В И Й М О Д У Л Ь Р О З Ш И Р Е Н Н Я		4 В	Л О Г О В И Х 0 ... 1 0 В 0 ... 2 0 м А	
А Н А Л О Г О В И Й М О Д У Л Ь Р О З Ш И Р	LOGO A Q 2	1 2 / 2 4 В	—	аналоговых 0...10 В 0...20 мА

е н н я				
------------------	--	--	--	--

9. Показники технологічності

Електропривод подачі металорізального верстата – двигун, апарати керування і захисту, провідники, кабелі тощо. Виконується на сучасній елементній базі, його монтаж, заземлення, струмопровід повинні відповідати правилам улаштування електроустановок.

10. Джерела розробки

1. Мельников, Є.І. *Електропривод у верстатах з ЧПУ: навч. посібник* / Є.І. Мельников, І.В. Мельников. — Харків: ХНАДУ, 2014. — 212 с.
2. Бабенко, В.П. *Електроприводи верстатів: підручник* / В.П. Бабенко, О.В. Костін. — К.: Ліра-К, 2016. — 288 с.
3. Левицький, С.Ф. *Електромеханічні системи автоматизованого виробництва: електропривод* / С.Ф. Левицький. — Львів: Видавництво Львівської політехніки, 2010. — 340 с.
4. Шульга, А.А. *Автоматизований електропривод металорізальних верстатів: навчальний посібник* / А.А. Шульга, І.І. Полупан, А.А. Ткаченко. — Краматорськ: Донецький державний технічний університет, 2010. — 124 с.

11. Технічне обслуговування і ремонт

Технічне обслуговування здійснюється слюсарями-електромонтажниками відповідної кваліфікації та відповідний контингент фахівців. Технічний огляд механізму здійснюється мінімум один раз на 3 місяці. Ремонт здійснюється інженерами-електромеханіками та техніками-електромеханіками, фахівцями з електромеханічних систем автоматизації та електропривода.

12 Живлення електропривода

Живлення електропривода повинно бути виконане напругою 380 В від силової мережі підприємства.

13. Порядок контролю та прийняття

Виконання етапів графічної та розрахункової документації бакалаврської дипломної роботи контролюється керівником згідно з графіком виконання роботи. Прийняття роботи здійснюється комісією затвердженою зав. кафедрою згідно з графіком захисту.

14. Матеріали, що подаються до захисту БКР

Пояснювальна записка БКР, ілюстративні матеріали, протокол попереднього захисту БКР на кафедрі, відгук наукового керівника, відгук рецензента, протоколи складання державних іспитів, анотації до БКР українською та іноземною мовами, довідка про відповідність оформлення БКР діючим вимогам.

15. Вимоги до оформлення БКР

Вимоги викладені в «Положенні про кваліфікаційні роботи у Вінницькому національному технічному університеті (БКР, МКР)», 2024 р.

Додаток Б
(обов'язковий)

ІЛЮСТРАТИВНА ЧАСТИНА

**МОДЕРНІЗАЦІЯ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ ЕЛЕКТРОПРИВОДА
ПОДАЧІ МЕТАЛОРІЗАЛЬНОГО ВЕРСТАТУ**

Мета, задачі та об'єкт дослідження

Об'єктом бакалаврської кваліфікаційної роботи є електропривод подачі токарного верстату.

Предметом бакалаврської кваліфікаційної роботи є математичні моделі та структури, які дозволяють підвищити енергетичну ефективність електропривода токарного верстату.

Метою бакалаврської кваліфікаційної роботи є підвищення надійності та ефективності виконання токарних операцій за рахунок вдосконалення електричної схеми шляхом впровадження сучасних засобів автоматизації.

В процесі виконання поставленої мети необхідно вирішити такі **задачі**:

- привести коротку характеристику приводу подачі токарного верстату;
- виконати аналіз характеристик досліджуваного електродвигуна приводу подачі;
- виконати техніко-економічне обґрунтування вибору системи електропривода;
- здійснити розрахунок, вибір та побудову структурної, функціональної та електричної принципової схем керування електроприводу;
- для вибраної системи електроприводу виконати розрахунок механічних характеристик електродвигуна, моделювання перехідних процесів та розрахунок динаміки електропривода;
- визначити комплекс заходів щодо безпечної експлуатації об'єкта керування та попередження дії іонізуючого випромінювання.

Загальна характеристика, будова, особливості механізму



Рисунок 1.1 – Зовнішній вигляд металорізального верстата типу 1К62

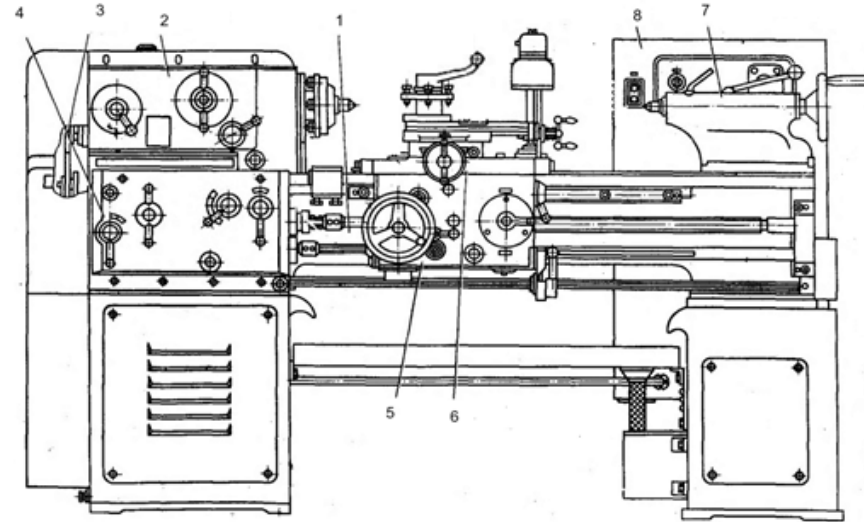


Рисунок 1.1 – Основні частини токарно-гвинторізного верстата моделі 1К62

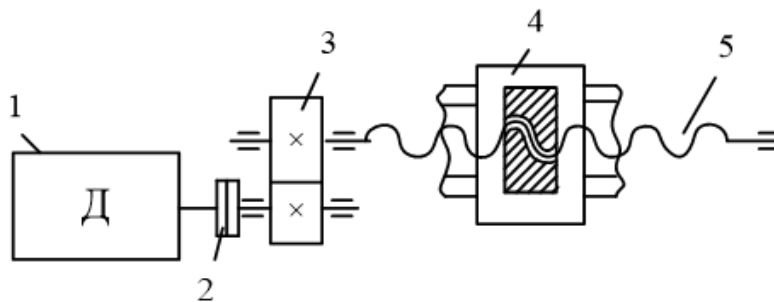


Рисунок 1.3 – Кінематична схема приводу подачі токарного верстату

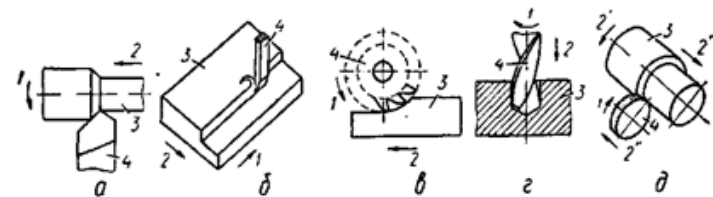


Рис. 8.1. Типові способи обробки металів на металорежущих станках

Рисунок 1.4 – Типові способи обробки металів на металорізальних верстатах

Техніко-економічне обґрунтування вибору СЕП

Таблиця 3.1 – Розрахунок затрат на утримання електроприводу

Система електроприводу	ШП-ДПС	ПЧ-АД	ТП-ДПС
Потужність двигуна, кВт	2,2	2,2	2,2
ККД двигуна та системи	0,9	0,92	0,83
Спожита потужність двигуна, кВт	2,44	2,39	2,65
Тривалість роботи, год/добу	8	8	8
Тривалість роботи, днів/рік	250	250	250
Тривалість роботи, год/рік	2000	2000	2000
Втрати потужності, кВт	0,24	0,19	0,45
Тариф електроенергії, грн/кВт год	10,93	10,93	10,93
Вартість втрат електроенергії, грн/рік	5343,6	4181,9	9850,2
Вартість двигуна Д, грн	7358	4089	7358
Вартість системи С, грн	12840	13044	15024
Нормовані затрати на амортизацію 15%(С+Д)	3029,7	2569,95	3357,3
Експлуатаційні затрати (ремонт + тех. обслуг)	1240	1180	1270
Вартість експлуатації електроприводу, грн	29811,3	25064,9	36859,5

Розрахунок потужності двигуна. Вибір двигуна

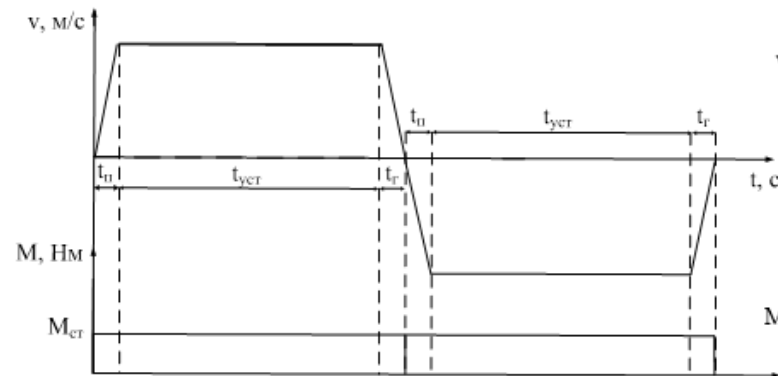


Рисунок 2.1 – Тахограма та навантажувальна діаграма робочого механізму

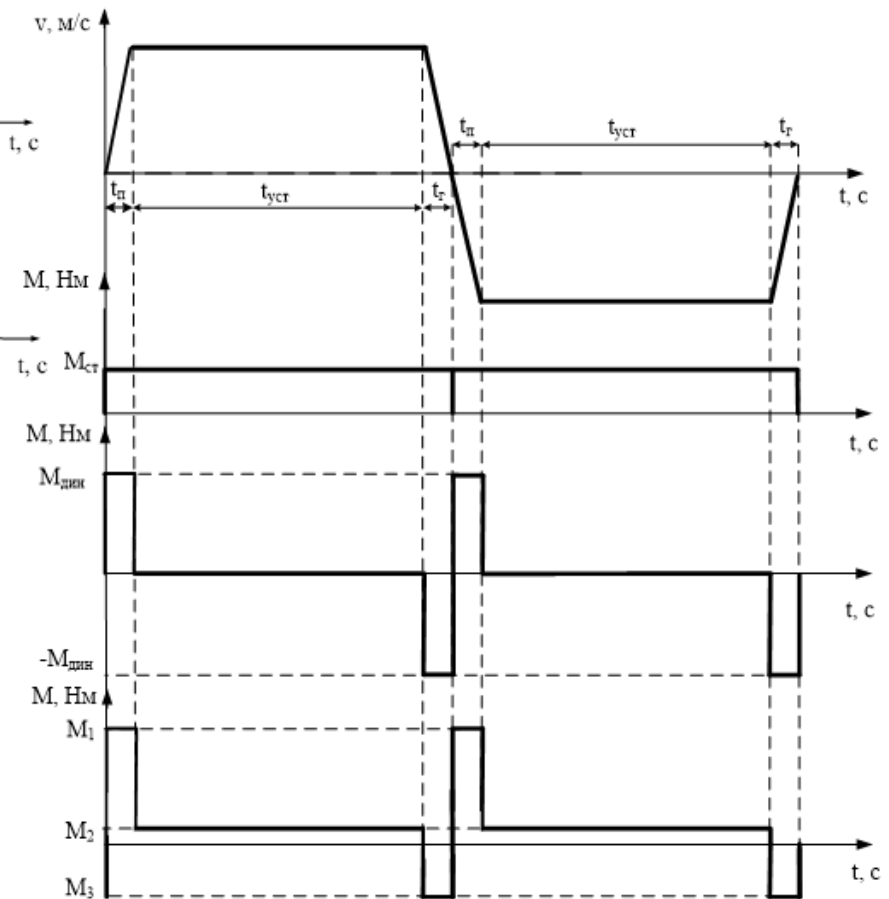


Рисунок 2.2 – Навантажувальна діаграма електропривода і тахограма роботи електропривода

Вибір двигуна та його перевірка

Для побудови природної механічної характеристики АД з КЗ ротором можна скористатись як формулою Клосса, так і формулою Чекунова.

Механічна характеристика за формулою Клосса:

$$M(s) = \frac{2 \cdot M_k \cdot (1 + a \cdot s_k)}{\frac{s}{s_k} + 2 \cdot a \cdot s_k + \frac{s_k}{s}}, \quad (4.8)$$

де M_k – критичний момент двигуна; s – ковзання; s_k – критичне ковзання.

Механічна характеристика за формулою Чекунова:

$$M(s) = M_k \cdot \frac{2 + (s^2 - s_k^2) \cdot K_s}{\frac{s}{s_k} + \frac{s_k}{s}}, \quad (4.19)$$

де K_s – розрахунковий коефіцієнт:

$$K_s = \frac{\frac{\lambda_{m \text{ пуск}}}{\lambda_{m \text{ max}}} \cdot \left(\frac{1}{s_k} + s_k \right) - 2}{1 - s_k^2}, \quad (4.20)$$

Таблиця 4.1 – Технічні дані приводного двигуна типу 4A80B2Y3

Параметри	Значення
Номінальна потужність $P_{\text{ном}}$, кВт	2,2
Номінальна напруга $U_{\text{ном}}$, В	380
Номінальна швидкість обертання $n_{\text{ном}}$, об/хв	2850
Коефіцієнт потужності $\cos \varphi_{\text{ном}}$	0,87
Коефіцієнт корисної дії $\eta_{\text{ном}}$, %	83
Кратність пускового моменту двигуна $\lambda_{m \text{ пуск}}$	2,4
Кратність максимального моменту двигуна $\lambda_{m \text{ max}}$	2,9
Номінальний струм статора $I_{1 \text{ ном}}$, А	4,7
Кратність пускового струму λ_I	6,5
Момент інерції ротора $J_{\text{рот}}$, кг·м ²	0,85

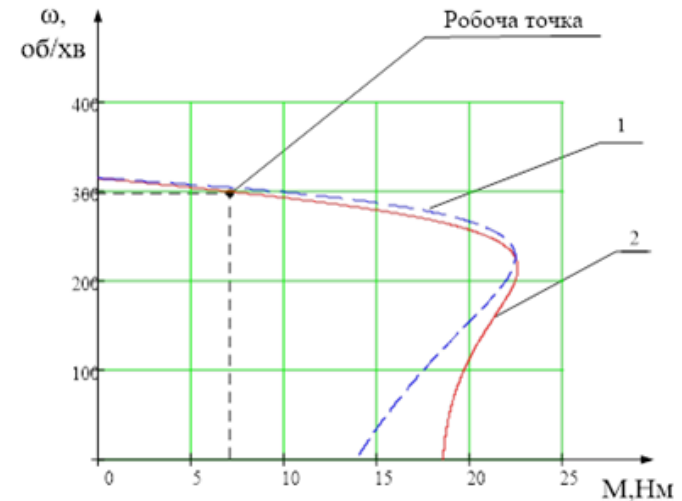


Рисунок 4.1 – Рисунок 4.2 – Природні механічні характеристики АД з КЗ ротором побудовані за формулами Клосса (1) та Чекунова (2)

Розробка схеми електричної структурної САЕП

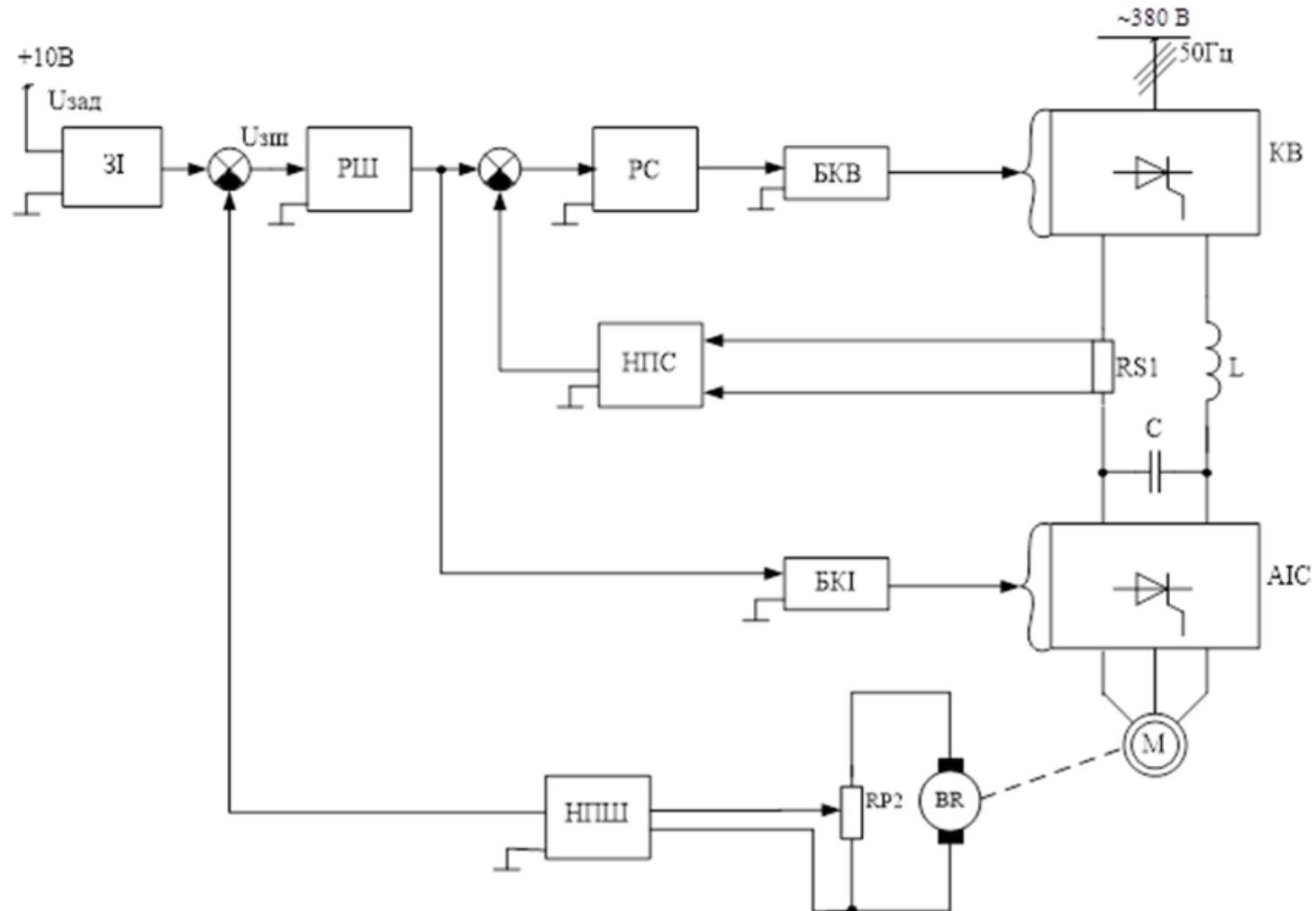


Рисунок 4.3 – Структурна схема силової частини асинхронного тягового привода шахтного електровоза

Розрахунок схеми силового перетворювача

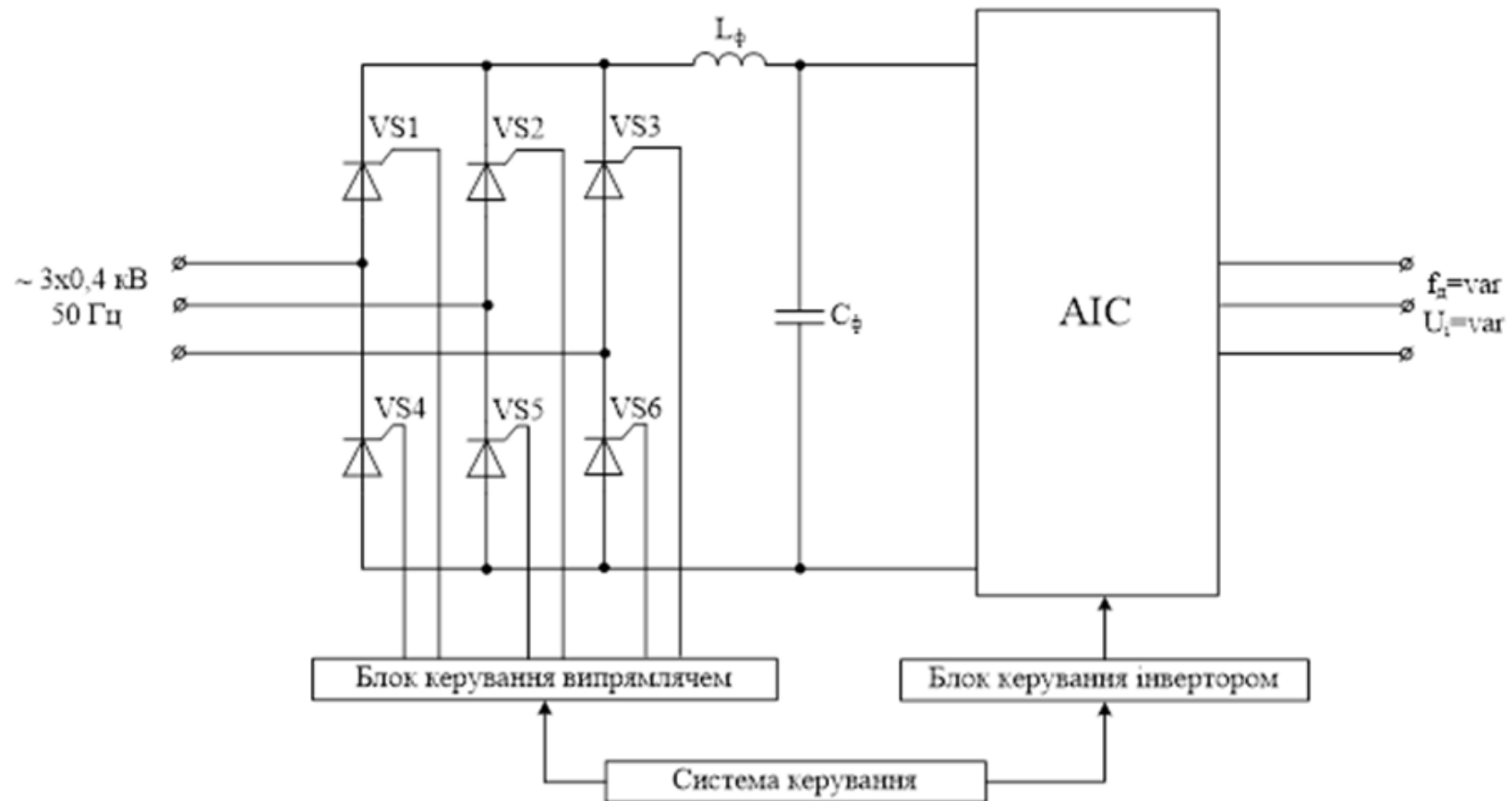


Рисунок 4.4 – Схема перетворювача частоти на базі автономного інвертора струму

Схема електрична принципова керування ЕП

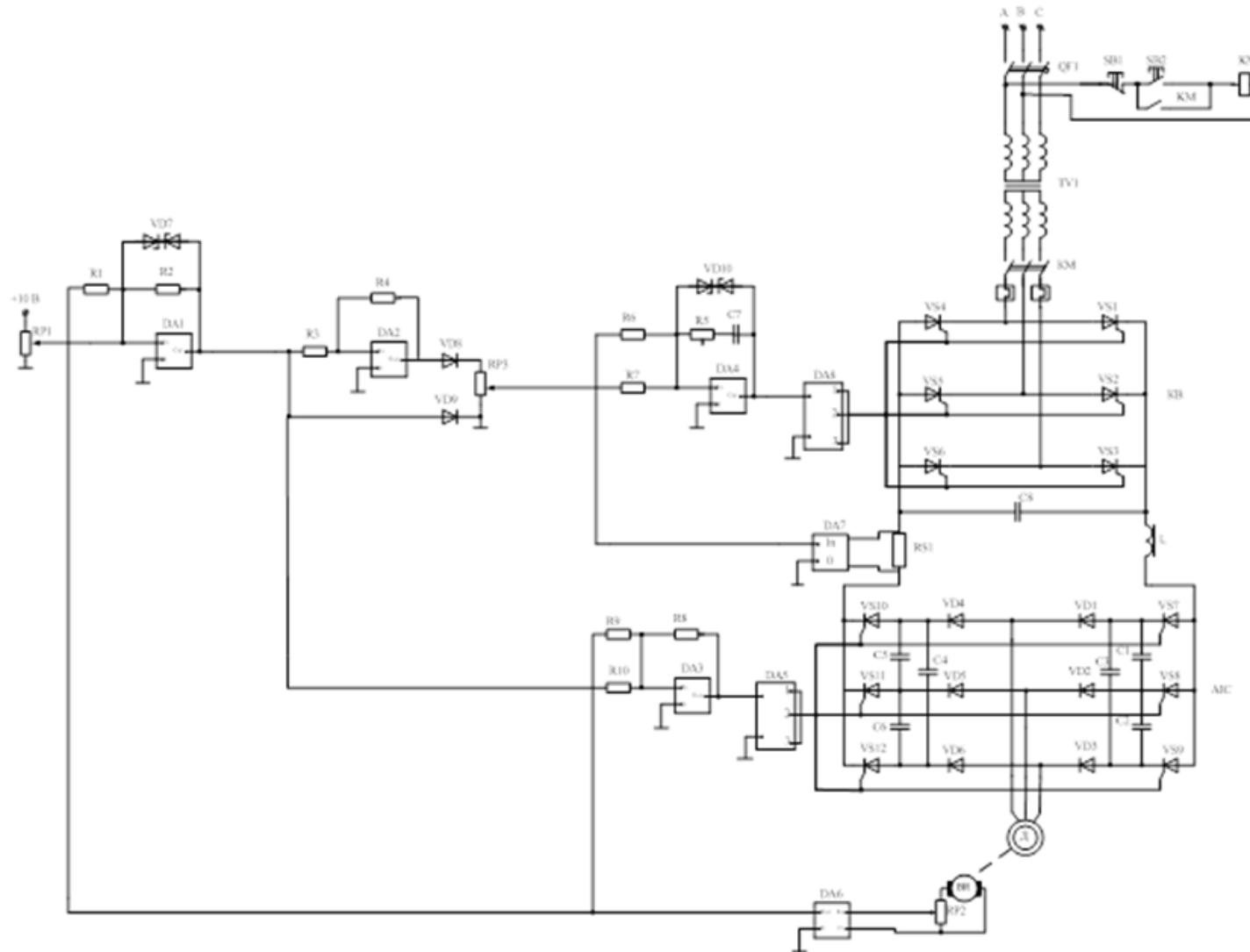


Рисунок 5.1 – Схема електрична принципова системи ЕП типу ПЧ

Мікропроцесорна реалізація системи керування ЕП

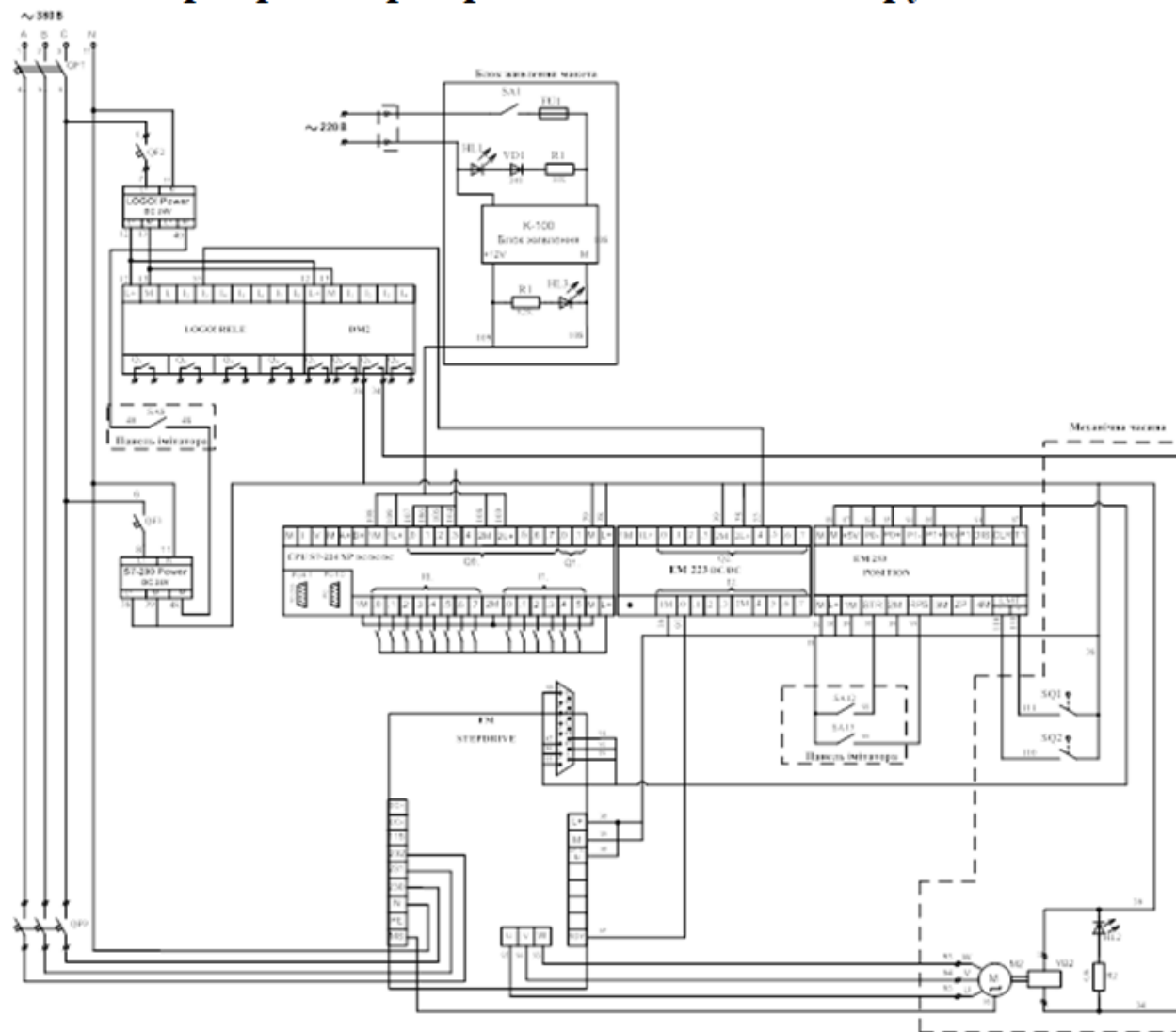


Рисунок 5.2 – Схема електрична принципова мікропроцесорних реалізації системи керування

Алгоритми реалізації робочого циклу системи керування ЕП

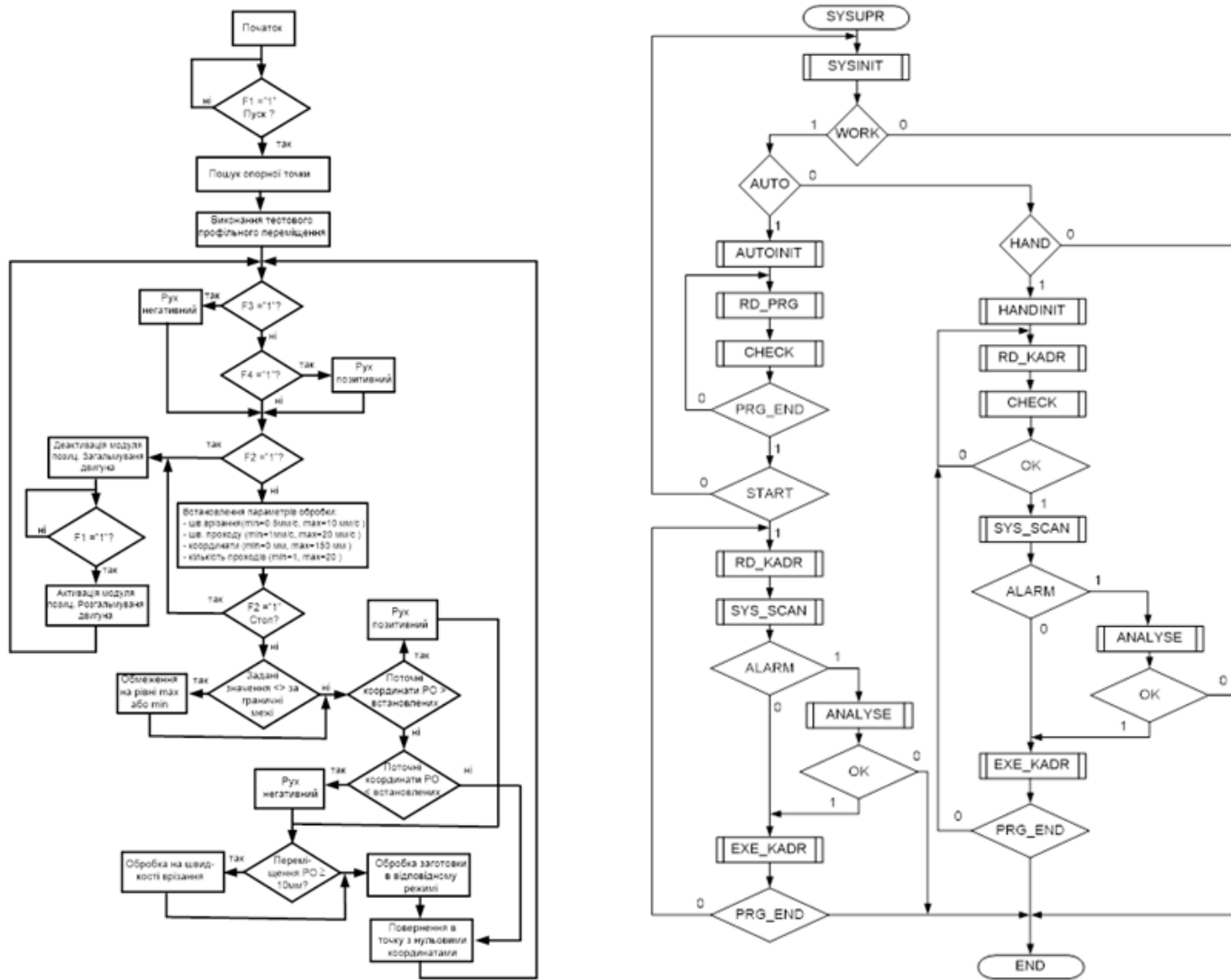


Рисунок 5.3 – Блок-схеми алгоритмів головного модуля програми управління

Дослідження динамічних характеристик СЕП

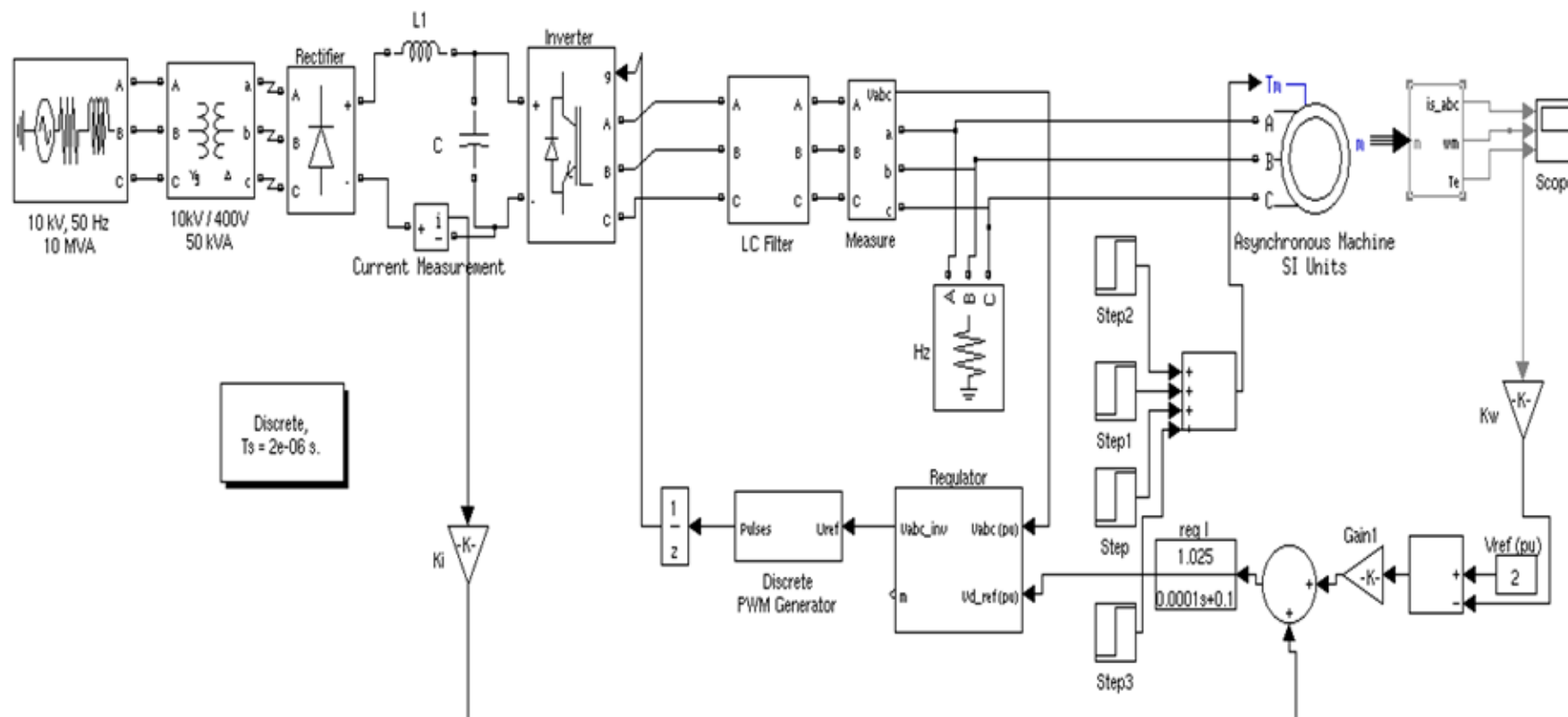


Рисунок 5.4 – Модель ПЧ-АД в Simulink

Дослідження динамічних характеристик СЕП

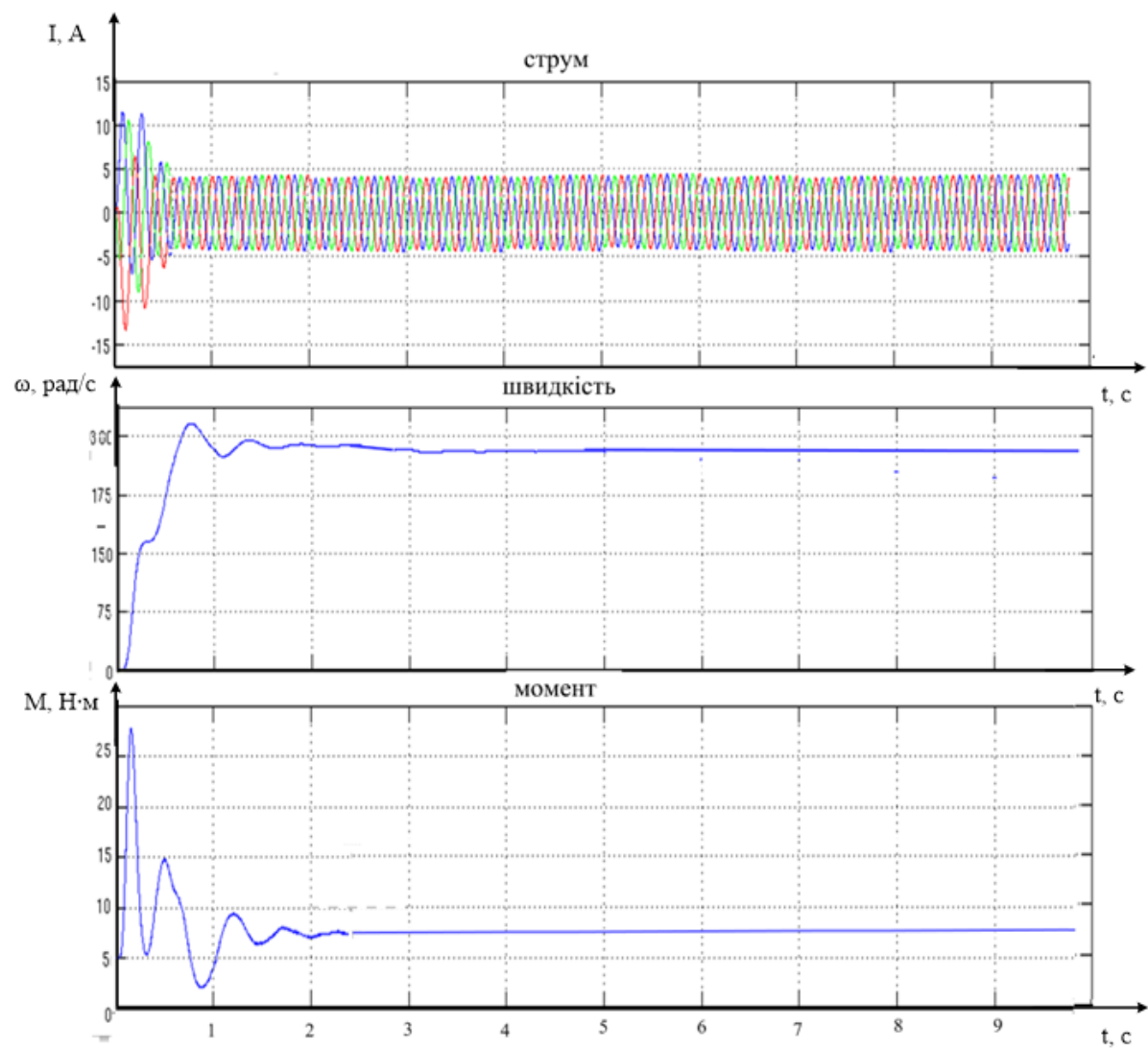


Рисунок 5.5 – Характеристики САЕП при номінальному завантаженні механізму

ВИСНОВКИ

Отримані такі результати дослідження:

- В роботі виконаний розрахунок електромеханічної системи, вибраний двигун змінного струму за розрахованими даними.
- Розроблена структурна і функціональна схеми системи управління приводом подачі, вибрані засоби з'єднання виконавчого механізму з системою управління.
- Виконаний математичний опис системи управління і синтез ПІД-регулятора. Управління здійснюється з допомогою ПЧ-АД, що є доречним, оптимальним, сучасним та економічно вигідним.
- Запропоновано варіант мікропроцесорної реалізації з використанням обладнання фірми Siemens, що дозволяє в повній мірі імітувати всі технологічні процеси та операції в електропривода подачі.
- Розроблено блок-схеми алгоритмів управління, які характеризують роботу системи управління в ручному, налагоджувальному і автоматичному режимах роботи.

Крім того, сформульовано основні принципи безпечної експлуатації автоматизованого електропривода подачі верстату, що є важливою складовою для довготривалої та безаварійної роботи обладнання в умовах інтенсивного виробничого середовища.

08-24.БДР.003.00.000

Модернізація системи керування
електропривода подачі
металорізального верстату

Літ.			Маса	Масштаб
Аркуш			Аркушів	
ВНТУ, гр. ЕМСА-216				

Зм.	Арк.	№ докумен.	Підпис	Дата
Розробив:		Бондар І.О.		27.05
Перевірив		Паянок О.А.		28.05
Т. контр.				
Рецензент		Войтюк		02.06
Норм. кон		Паянок О.А.		03.06
Затверд.		Мошноріз М.М.		07.06

ПРОТОКОЛ ПЕРЕВІРКИ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ

Назва роботи: Модернізація системи керування електропривода подачі металорізального верстату

Тип роботи: бакалаврська кваліфікаційна робота

Підрозділ: кафедра КЕМСК, ФЕЕЕМ, гр. ЕМСА-23мс

Коефіцієнт подібності текстових запозичень, виявлених у роботі системою StrikePlagiarism 23,10 %

Висновок щодо перевірки кваліфікаційної роботи (відмітити потрібне)

☒ Запозичення, виявлені у роботі, є законними і не містять ознак плагіату, фабрикації, фальсифікації. Роботу прийняти до захисту

☐ У роботі не виявлено ознак плагіату, фабрикації, фальсифікації, але надмірна кількість текстових запозичень та/або наявність типових розрахунків не дозволяють прийняти рішення про оригінальність та самостійність її виконання. Роботу направити на доопрацювання.

☐ У роботі виявлено ознаки плагіату та/або текстових маніпуляцій як спроб укриття плагіату, фабрикації, фальсифікації, що суперечить вимогам законодавства та нормам академічної доброчесності. Робота до захисту не приймається.

Експертна комісія:

Зав. кафедри КЕМСК Мошноріз М.М.

(прізвище, ініціали, посада)

Гарант ОП

Мошноріз М.М.

(прізвище, ініціали, посада)

(підпис)
(підпис)

Особа, відповідальна за перевірку

(підпис)

Паянок О.А.

(прізвище, ініціали)

З висновком експертної комісії ознайомлений(-на)

Керівник

(підпис)

Паянок О.А.

(прізвище, ініціали, посада)

Здобувач

(підпис)

Бондар І.О.

(прізвище, ініціали)