

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

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

ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА

до випускної кваліфікаційної роботи

бакалавра

(освітньо-кваліфікаційний рівень)

Тимуш Віктор Андрійович

(прізвище, ім'я, по батькові здобувача)

на тему Електромеханічне обладнання металургійного виробництва.

Асинхронний електропривод екструдера агрегату для накладання пластмасової ізоляції, поліпропіленової нитки

(повна назва теми)

за матеріалами

(повна назва бази дослідження)

науковий керівник	К.Т.Н, доцент	-	Пироженко А.В.
	(наук. ступінь, вчене звання)		(підпис) (прізвище, ініціали)

Робота допущена до захисту в ЕК

Протокол засідання кафедри

від _____ 2026__р. № _____

Завідувач кафедри

(підпис)

Є.О. Модло

Наук. ступень, вчене звання

Ініціали, прізвище

**ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ЕКОНОМІКИ І ТЕХНОЛОГІЙ
НАВЧАЛЬНО-НАУКОВИЙ ТЕХНОЛОГІЧНИЙ ІНСТИТУТ**

Кафедра Електричної інженерії і автоматизації

Рівень вищої освіти бакалавр

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

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри Електричної інженерії і автоматизації

В.о. зав. каф.

Модло Є.О.

(підпис)

(посада, вчене звання,
прізвище ініціали)

« »

2026 року

ЗАВДАННЯ

НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ БАКАЛАВРА СТУДЕНТУ(КИ)

Тимуш Віктор Андрійович

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема кваліфікаційної роботи бакалавра Електромеханічне обладнання металургійного виробництва. Асинхронний електропривод екструдера агрегату для накладання пластмасової ізоляції, поліпропіленової нитки

керівник кваліфікаційної роботи Пироженко Андрій Володимирович, к.т.н., доцент
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом закладу вищої освіти від «06»04.2026 р. № 237-ст

2. Строк подання студентом кваліфікаційної роботи до кафедри 01.06.2026

3. Вихідні дані до кваліфікаційної роботи бакалавра: статті, патенти, промислові дослідження

Об'єкт розробки і дослідження – асинхронний регульований електропривод екструдера агрегату для накладання пластмасової ізоляції, поліпропіленової нитки

Характер навантаження: тривале постійне навантаження; тяжкий пуск (короткочасний режим); тривала робота на знижених частотах; сигнал керування – аналоговий – м'який пуск екструдера – діапазон регулювання швидкості $D=1:1000$ – режим роботи S1

Тип системи електроприводу: рід струму – змінний, асинхронний електродвигун з короткозамкненим ротором (АД КЗ); перетворювач частоти з автономним інвертором напруги та ШІМ-керуванням – нереверсивний (із реалізацією реверсу на електронному рівні за потреби), напруга змінного струму 380 В, відхилення напруги мережі +10 %, -15 %, частоти мережі 50 Гц ± 2 %. Діапазон регулювання швидкості – 1:100 (із застосуванням векторного керування). Електропривод нереверсивний. Перерегулювання швидкості – не більше 5 % (для забезпечення стабільності товщини ізоляції та нитки). Час регулювання швидкості – не більше 4 с.

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

4.1 Аналітична частина;

4.2 Основна частина.

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

1 Загальний вигляд

2 Функціональна схема

3	Структурна схема
4	Структурна схема САУ
5	Вибір засобів для реалізації проекту АС
6	Вибір засобів для реалізації проекту АС
7	Принципова електрична схема
8	Результати моделювання

6. Консультанти розділів кваліфікаційної роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
1 Аналітична частина	к.т.н., доцент Пироженко А.В.		
2 Основна частина	к.т.н., доцент Пироженко А.В.		

7. Дата видачі завдання «06» ____ 04 ____ 2026р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

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

Студент

(підпис)

Тимуш В.А.

(прізвище та ініціали)

Керівник кваліфікаційної роботи

(підпис)

Пироженко А.В.

(прізвище та ініціали)

РЕФЕРАТ

Тимуш В.А. «Електромеханічне обладнання металургійного виробництва. Асинхронний електропривод екструдера агрегату для накладання пластмасової ізоляції, поліпропіленової нитки» – Бакалаврська робота. – Кривий Ріг, 2026. 66 с., 37 рис., 11 табл., 13 джерел.

Об'єкт дослідження – електромеханічні та теплові процеси в асинхронному електроприводі екструзійного агрегату під час переробки полімерних матеріалів.

Предметом дослідження є закони та методи частотного керування асинхронним двигуном, структури систем автоматичного регулювання швидкості шнека екструдера, а також схеми силової електроніки та алгоритми захисту привода від перевантажень.

У роботі розроблено систему автоматизованого електропривода шнекового екструдера на базі асинхронного двигуна та перетворювача частоти Danfoss VLT 6400, що реалізує алгоритм векторного керування для забезпечення стабільної швидкості виходу продукту. Автором створено математичну модель електропривода в середовищі MATLAB/Simulink, яка враховує динаміку взаємозв'язків між контурами потокозчеплення, струму та швидкості, що дозволило оптимізувати параметри системи без натурних випробувань. Результати імітаційного моделювання підтвердили високу якість перехідних процесів, де час виходу на режим становить не більше 3 секунд при перерегулюванні менше 0,01. Впровадження цієї системи гарантує високу геометричну точність кабельної ізоляції завдяки ефективній компенсації коливань тиску розплаву та підвищує загальну енергоефективність технологічного агрегату.

Ключові слова: полімерна ізоляція, екструдер, електропривод, система автоматичного регулювання, оптимізація, статичні динамічні характеристики, показники якості регулювання

ЗМІСТ

ВСТУП	8
1 АНАЛІТИЧНА ЧАСТИНА	9
1.1 Технологічний процес накладання полімерної ізоляції	9
1.2 Типи екструдерів	13
1.3 Опис, кинематика та особливості одношнекового екструдера	16
1.4 Принцип дії черв'ячного пресу	18
1.5 Режим роботи електроприводу екструдера	22
1.6 Технічні вимоги до електроприводу екструдера	23
2 ОСНОВНА ЧАСТИНА	24
2.1 Розрахунок потужності та вибір електродвигуна	24
2.2. Вибір електродвигуна	26
2.3. Розрахунок параметрів силового ланцюга	27
2.4. Розрахунок статичних характеристик регульованого електроприводу	32
2.5 Проектування системи векторного керування асинхронним електроприводом на базі інвертора напруги	38
2.6 Векторна система керування	41
2.6.1 Оптимізація контуру струму	41
2.6.2 Оптимізація контуру потокозчеплення ротора	44
2.6.3 Оптимізація контуру швидкості	47
2.6.4 Моделювання процесів у САУ РЕП з використанням моделі електродвигуна у нерухомій системі координат	50
2.7 Розробка функціональної схеми електроприводу змінного струму на базі перетворювача частоти Danfoss VLT 6400 та асинхронного двигуна	55
2.8 Заходи із охорони праці та безпеки при експлуатації горизонтально-фрезерного верстата	58
2.8.1 Аналіз шкідливих і небезпечних виробничих факторів при експлуатації горизонтально-фрезерного верстата	58
2.8.2 Засоби зниження дії небезпечних і шкідливих виробничих чинників	61

2.8.3 Пожежна безпека та санітарія	62
ВИСНОВКИ	64
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	65

ВСТУП

У сучасному кабельному виробництві якість і надійність готової продукції (кабелів, проводів, елементів) безпосередньо залежить від точності ведення технологічного процесу. Екструзія – це безперервний та динамічний процес, де найменше відхилення швидкості обертання шнека призводить до різнотовщинності ізоляції або дефектів поліпропіленової нитки. Використання регульованого асинхронного електроприводу з частотним керуванням є найбільш перспективним рішенням, оскільки поєднує високу надійність короткозамкнутого двигуна і гнучкість інтелектуальних систем автоматизації. Оптимізація такої системи дозволяє не тільки підвищити якість продукції, а й суттєво знизити енерговитрати. Енергетичну основу виробництва на даний час становить електричний привід, технічний рівень якого визначає ефективність технологічного процесу. У зв'язку зі зростанням вимог до якості продукції, підвищенням продуктивності технологічних агрегатів широкого поширення набули регульовані електроприводи. Незважаючи на великі досягнення у створенні регульованих приводів змінного струму, електропривод постійного струму продовжує залишатися затребуваним. Система регулювання діаметра екструдера лінії TL–60 призначена для використання у кабельному виробництві, де необхідна висока точність накладання ізоляції та робота електроприводу екструдера, що залежить від швидкості руху жили. Черв'як екструдера приводиться в обертання від двигуна постійного струму, при цьому швидкість обертання визначається величиною лінійної швидкості руху жили. Регулятором швидкості обертання електродвигуна є регульований електропривід БТУ–3601–484704, як складова частина системи регулювання діаметра. У даній випускній кваліфікаційній роботі необхідно виконати розрахунок елементів і характеристик силового контуру електроприводу, оптимізацію параметрів системи автоматичного регулювання. Проектування системи автоматизованого керування здійснюється у часовій області з використанням методів чисельного моделювання.

1 АНАЛІТИЧНА ЧАСТИНА

1.1 Технологічний процес накладання полімерної ізоляції

Головним методом створення ізоляційних шарів та захисних оболонки для кабельно-провідникової продукції виступає екструзія. Процес реалізується на шнекових (черв'ячних) пресах і полягає у видавлюванні розігрітого матеріалу через формуючу голівку. В основі методу лежать властивості термопластів і реактопластів: при нагріванні вони переходять у в'язкотекучий стан, що дозволяє формувати навколо жили кабелю рівномірний трубчастий шар.

В якості матеріалу для ізоляції використовують поліетилен, це твердий полімер білого кольору, що отримується шляхом полімеризації етилену. Це доступна сировина, яка виробляється при переробці природного газу або нафти. У промисловості виділяють три основні типи поліетилену, що відрізняються за щільністю: низька щільність (ПЕНП): синтезується під високим тиском (150–200 МПа) при температурі близько 200 °С. Для прискорення реакції додається невелика кількість кисню. Висока та середня щільність (ПЕВП/ПЕСП): Виробляються при нижчому тиску з використанням спеціальних металоорганічних каталізаторів.

Структура та фізичні властивості

Поліетилен має лінійну будову. Оскільки молекулярні групи $-\text{CH}_2-$ неполярні, міжмолекулярні зв'язки щодо нього слабкі. Це зумовлює помірну твердість та невисоку температуру плавлення. Через регулярну структуру матеріал легко кристалізується: У ПЕНП ступінь кристалічності становить 50–70 % (через наявність бічних відгалужень $-\text{CH}_3$ і $-\text{C}_2\text{H}_5$, які заважають щільній упаковці молекул). У ПЕВП цей показник досягає 80–90 %, що робить його більш щільним. Цінується в кабельній техніці за свої унікальні властивості: Діелектричні якості: Високі параметри ізоляції стабільні в широкому діапазоні частот і температур. ПЕНП за твердістю та стійкістю до зносу, проте його

електричні показники трохи гірші через залишки каталізаторів, які складно повністю видалити.

З цієї причини ПЕВП частіше застосовують для тонкостінної ізоляції (монтажні дроти), а ПЕНП - для силових і підводних кабелів. Модифікації та добавки Для поліпшення властивостей поліетилену застосовують різні присадки: Стабілізатори: Захищають від старіння, дозволяючи експлуатувати кабель при $+70^{\circ}\text{C}$. сонячного світла (світлостабілізація). Бутилкаучук або поліізобутилен: Додаються (5–35%) для запобігання розтріскуванню при контакті з активними речовинами (маслами, милом). У ньому створюються поперечні зв'язки між молекулами (за допомогою хімікатів або опромінення), що робить його стійким до коротких замикань. Для пожежонебезпечних зон виробляють поліетилен, що самозагасає. У його структуру вводять атоми хлору чи фтору, які пригнічують горіння. Хоча такий матеріал менш горючий, його механічні та електричні властивості дещо нижчі, ніж у чистого полімеру. Основні технічні дані полімерів систематизовані в таблицях 1.1 та 1.2.

Поліпропілен отримують полімеризацією пропілену в присутності металокомплексних каталізаторів, Циглера-Натта (наприклад, суміш TiCl_4 та AlR_3): $n\text{CH}_2=\text{CH}(\text{CH}_3) \rightarrow [\text{CH}_2-\text{CH}(\text{CH}_3)-]_n$. наприклад, каталізаторів Циглера. Параметри, що використовуються для отримання поліпропілену близькі до тих, яких одержують поліетилен низького тиску. При цьому, залежно від конкретного каталізатора може виходити будь-який тип полімеру або їх суміші. Поліпропілен випускається у вигляді порошку білого кольору або гранул з насипною щільністю 0,4-0,5 г/см³. Поліпропілен випускається стабілізованим, пофарбованим та незабарвленим. Гранули поліпропілену та поліетилену наведено рис. 1.1. Схема агрегату для накладання пластмасової ізоляції чи оболонки показано на рис.1.2. Крім преса, в агрегат входять віддає, тягове та приємні пристрої, а також ряд додаткових вузлів, наявність яких викликає але особливістю переробки конкретного полімеру чи кабельного виробу.

Таблиця 1.1

Характеристики поліетилену

Характеристика	Поліетилен низької щільності	Поліетилен високої щільності	Поліетилен негорючий	Поліетилен зшитий ненаповнений
Щільність, кг/м ³	920	950	1250	920
Межа міцності при розриві, МПа	10–13	22–30	8	15
Відносне подовження при розриві, %	400–600	300–900	400	450
Модуль пружності при вигині, МПа	150–250	550–800	-----	-----
Температура розм'якшення, °C	108–120	125–135	104–115	160
Морозостійкість, °C	-70	-70	-60	-70
Вологостійкість	В	В	3	-----
Горючість	Горить	Горить	Затухає	Горить
Стійкість до агресивних середовищ	В	В	В	В
Питома теплоємність, Дж/(кг·°C)	(1,5–7) 10 ³	-----	-----	-----
Коефіцієнт теплопровідності, Вт/(м·°C)	0,25–0,32	-----	-----	-----
Електрична міцність, МВ/м (товщ. = 1 мм)	45–60	45–60	40	50
Питомий об'ємний опір, Ом·м	10 ¹⁵	10 ¹⁵	10 ¹⁵	-----
Діелектрична	2,3	2,1–2,4	2,5	2,5
Тангенс кута діелектричних втрат	(3–5) 10 ⁻⁴	(3–5) 10 ⁻⁴	(3–5) 10 ⁻⁴	10 ⁻³
Максимальна робоча температура, °C	85	85	75	90
Технологічність	Д	Д	Д	

Таблиця 1.2

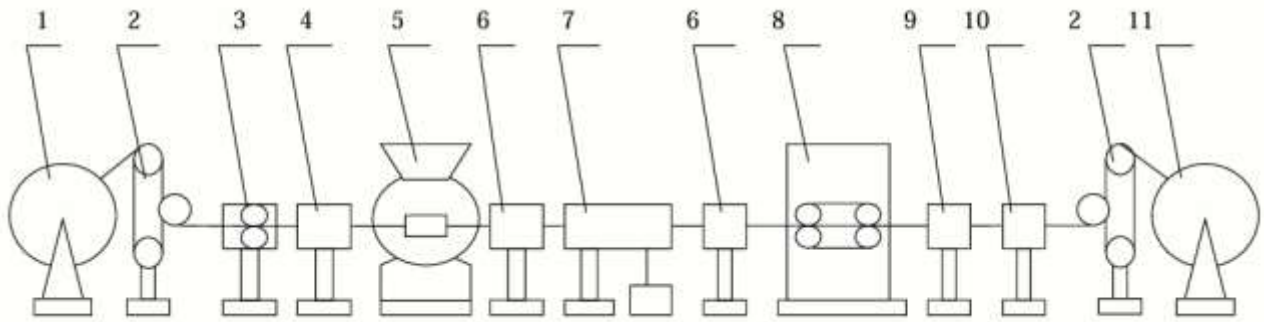
Характеристики поліпропілену

Показники / марка	01П10/002	02П10/003
Насипна щільність, кг/л, не менше	0,47	0,47
Показник текучості розплаву, г/10 хв	≤ 0	0,2-0,4
Відносне подовження при розриві, %, не менше	600	500
Межа текучості при розриві, кгс/см ² , не менше	260	280
Стійкість до розтріскування, год, не менше	400	400
Характеристична в'язкість у декаліні при 135°, 100 мл/г	-	-
Вміст ізотактичної фракції, не менше	-	-
Вміст атактичної фракції, не більше	-	-
Морозостійкість, С, не нижче	-5	-5

**Рис. 1.1. Гранули поліпропілену та поліетилену**

Примітка. Джерело: Розроблено із використанням [3]

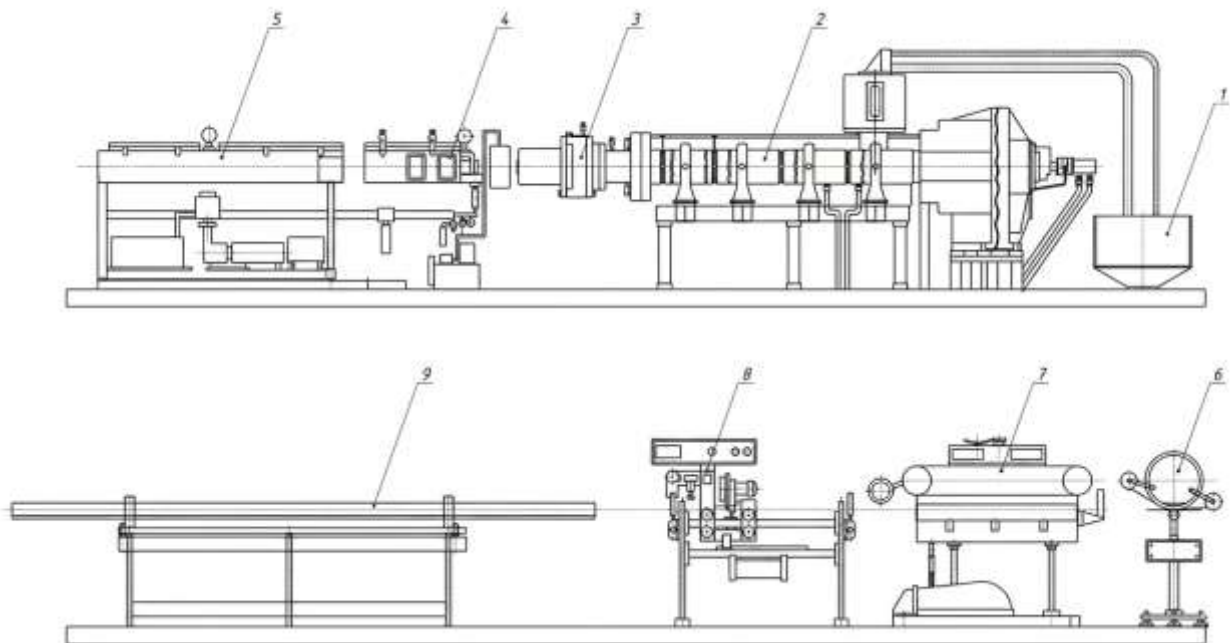




1 - пристрій, що віддає; 2 – компенсатори; 3 – система роликів; 4 – підігрівний пристрій; 5 – екструдер; 6 – датчик діаметра; 7 – ванна; 8 -тяговий пристрій; 9 – апарат сухого випробування; 10 – лічильник довжини; 11 - приймальний пристрій.

Рис.1.2. Схема агрегату для накладання пластмасової ізоляції

Примітка. Джерело: Розроблено із використанням [3]



1 - пневматичний завантажувач; 2 - черв'ячний екструдер; 3 - формуюча головка екструдера; 4 - калібруючий пристрій; 5 - водяна ванна охолодження; 6 - маркувальний пристрій; 7 - тягучий пристрій; 8 - відрізний пристрій; 9 - приймальний пристрій

Рис.1.3. Загальний вид лінії для виробництва поліпропіленових труб

Примітка. Джерело: Розроблено із використанням [3]

1.2 Типи екструдерів

Екструзія – метод формування в екструдері виробів або напівфабрикатів необмеженої довжини продавлювання розплаву полімеру через формуючу головку з каналами необхідного профілю. Для цього використовують шнекові або черв'ячні екструдери (рис.1.4).



Рис. 1.4. Класифікація екструдерів

Примітка. Джерело: Розроблено із використанням [3]

Виробництво різних видів виробів методом екструзії здійснюється шляхом підготовки розплаву в екструдері та надання екструдату тієї чи іншої форми за допомогою продавлювання його через формуючі головки відповідної конструкції з наступним охолодженням, калібруванням і т.д.

За будовою та принципом роботи основного вузла, що продавлює розплав у головку, екструдери поділяються на шнекові, безшнекові та комбіновані.

Основним обладнанням для переробки пластмас методом екструзії служать шнекові машини, звані також черв'ячними пресами.

В окремих випадках переробки пластмас застосовуються безшнекові, або дискові, екструдери, в яких робочим органом, що продавлює розплав головку, є диск особливої форми. Рухаюча сила, що продавлює розплав, створюється в них за рахунок розвитку в розплаві нормальних напруг, спрямованих перпендикулярно дотичним (збігаються з напрямком обертання диска). Дискові екструдери застосовуються, коли необхідно отримати покращене змішування компонентів суміші. Через неможливість розвивати високий тиск формування такі екструдери застосовуються для отримання виробів з відносно невисокими механічними характеристиками та невеликою точністю геометричних розмірів.

Комбіновані екструдери мають в якості робочого органу пристрій, що поєднує шнекову і дискову частину, і називаються черв'ячно-дисковими. Застосовуються для забезпечення хорошого змішувального ефекту, особливо під час переробки композитів. На них переробляються розплави пластмас, що мають низьку в'язкість та досить високу еластичність. Шнекові екструдери можуть бути різних типів: одно- та двошнекові; одно- та двоступінчасті; універсальні та спеціалізовані; з осцилюючим (вздовж осі) і одночасно обертовим шнеком; із зоною дегазації та без неї; з обертанням шнеків в одну і протилежні сторони, і т.д.п.

1.3 Опис, кинематика та особливості одношнекового екструдера

Найбільш простим є одношнековий екструдер без зони дегазації (рис. 1.3). Основними елементами екструдера є циліндр, що обігрівається, шнек (з охолодженням або без нього), сітки, розміщені на решітці, і формуюча головка. Залежно від природи полімеру, технологічних режимів переробки застосовуються шнеки різного профілю, зокрема різним характером зміни глибини h нарізки довжиною шнека (рис. 1.5-1.7).

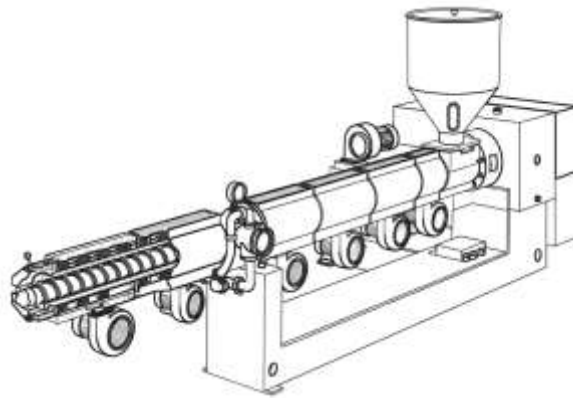
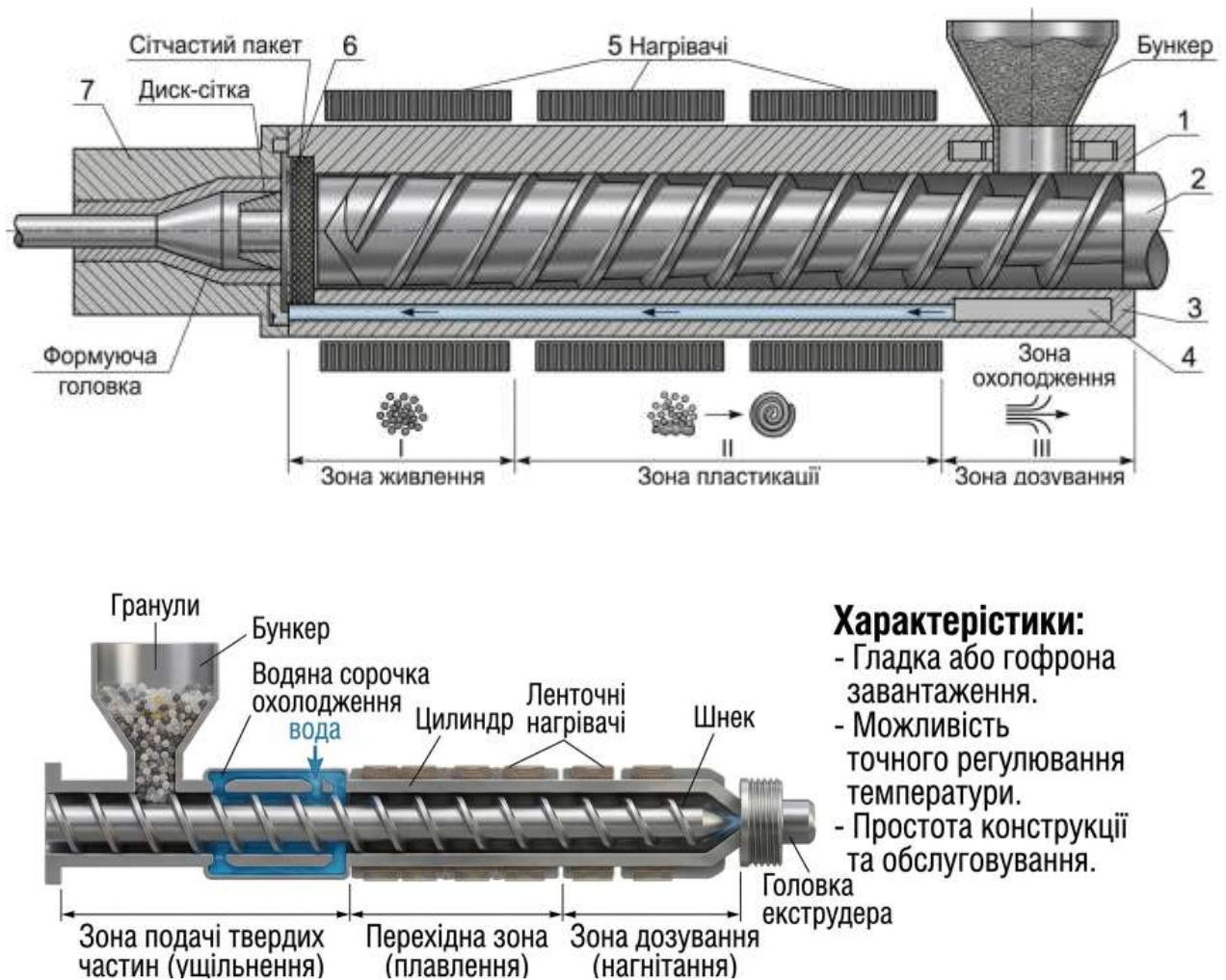


Рис. 1.5. Схема одношнекового екструдера

Примітка. Джерело: Розроблено із використанням [3]

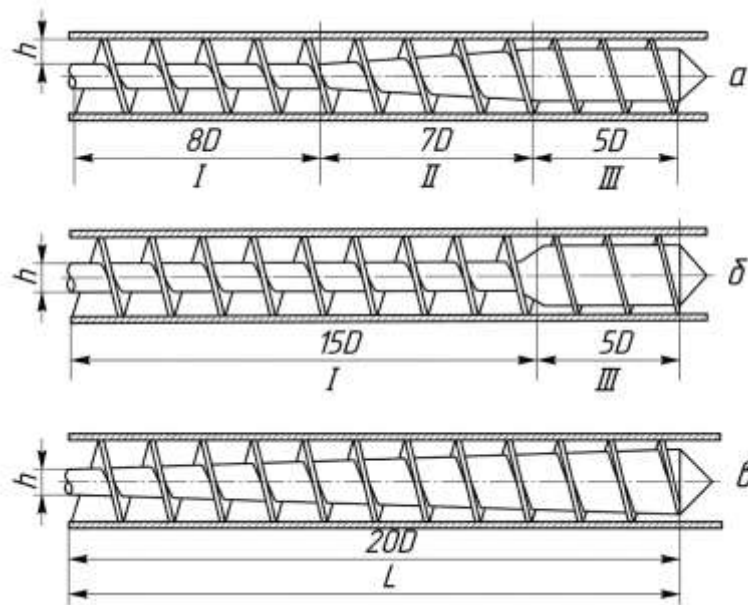


1 - завантажувальний отвір; 2 - шнек (черв'як); 3 - корпус циліндра; 4 - зона завантаження з охолодженням; 5 – електронагрівачі; 6 - решітка з фільтром;
7 - формувальна головка (фільсера)

I - зона живлення: матеріал знаходиться в твердому стані (гранули); II - зона пластикації: матеріал плавиться за рахунок тепла нагрівачів і внутрішнього тертя; III - зона дозування: матеріал повністю розплавлений, гомогенізований і під стабільним тиском подається в головку

Рис. 1.6. Шнековий екструдер

Примітка. Джерело: Розроблено із використанням [3]



а-шнек загального призначення з трьома (I, II, III) геометричними зонами; б- шнек для переробки висококристалічних полімерів (в-шнек для екструзії ПВХ; D-зовнішній діаметр; L-довжина(технологічна) шнека; h-глибина нарізки шнека

Рис. 1.7. Основні типи шнеків

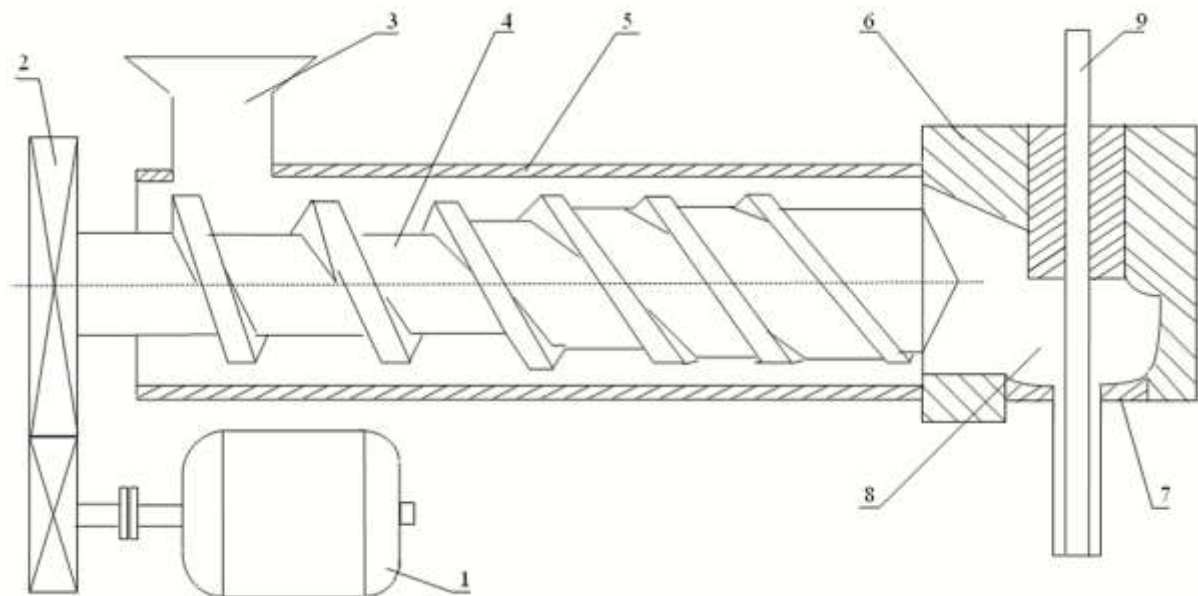
Примітка. Джерело: Розроблено із використанням [3]

]

1.4 Принцип дії черв'ячного пресу

Черв'яковий прес є основним технологічним вузлом агрегату для накладання ізоляції або оболонки із полімерних матеріалів. Схематичний пристрій такого преса показано рис. 1.8. Черв'ячний прес (екструдер) складається з циліндра, що обігрівається, всередині якого обертається черв'як, і головки з інструментом, що формує. Циліндр преса приєднується до корпусу, в якому розміщені шестерний або черв'ячний редуктор і зав'язаний підшипник, що сприймає осьове навантаження черв'яка. Циліндр преса приєднується до корпусу консольно або з підтримуючими стійками. Розміри черв'ячних пресів визначаються внутрішнім діаметром їх циліндра, а також відношенням ефективної довжини циліндра стандартних пресів приймається рівною від 4 до 24 внутрішніх його діаметрів. Для переробки термопластичних матеріалів

відношення довжини до діаметру (L/D) у стандартних пресах лежить в межах від 12 до 24, для переробки гуми від 4 до 12. Циліндри збільшеної довжини мають велику поверхність теплопередачі та забезпечують кращий розігрів та перемішування перероблюваного матеріалу, в результаті чого досягається велика однорідність пластичної маси. Основною робочою частиною преса є хробак (шнек). Він має винтову нарізку і, обертаючись, захоплює матеріал, що нагрівається, ущільнює його, гомогенізує та подає в голівку преса. Для ущільнення матеріалу обсяг витка черв'яка на виході робиться менше обсягу на вході; відношення цих обсягів називається компресією (ступенем стиснення). Компресія забезпечується або шляхом зменшення глибини нарізки при постійному кроці, або шляхом зменшення кроку різьблення по довжині черв'яка.



1 – електродвигун; 2 – редуктор; 3 – завантажувальна зона; 4 – черв'як; 5 – циліндр; 6 – головка преса; 7 – форми інструмент (дорн і матриця); 8 – розплав

Рис. 1.8. Схема черв'ячного преса

Примітка. Джерело: Розроблено із використанням [3]

Стінки черв'яка і циліндра, канали головки, різні деталі, що зустрічають по дорозі потоку, створюють опір перебігу розплаву. Це веде до збільшення тиску всередині преса, який стає максимальним, приблизно наприкінці дозуючої зони перед головкою. Таким чином, між кінцем циліндра (максимальний тиск) та

початком циліндра (атмосферний тиск) існує різниця тисків або протитиск, що перевищує у кілька десятків разів атмосферне. Наявність цього протитиску необхідна для стиснення матеріалу та отримання монолітної гомогенної ізоляції без повітряних включень. Однак через протитиск зменшується кількість матеріалу, що надходить у головку, що, зрештою, призводить до зменшення об'ємної продуктивності преса.

Передатна функція екструдера

Розрахунки продуктивності пресів ґрунтуються на принципі накладання трьох різних потоків у каналі черв'яка. Крім основного потоку маси прямого потоку $Q_{пр}$ (рис.1.9) розглядаються зворотний потік $Q_{обр}$ і потік витіку $Q_{ут}$. Потік $Q_{обр}$ спрямований на зустріч основного потоку каналом черв'яка, а потік $Q_{ут}$ проходить по зазору між стінками циліндра та витками різьблення черв'яка. Потоки $Q_{обр}$ і $Q_{ут}$ викликані наявністю протитиску в циліндр преса. Слід мати на увазі, що насправді має місце рух результуючого потоку Q , а не окремих зазначених складових. Застосовуючи принцип суперпозиції можна записати:

$$Q = Q_{пр} - Q_{обр} - Q_{ут} \quad (1.1)$$

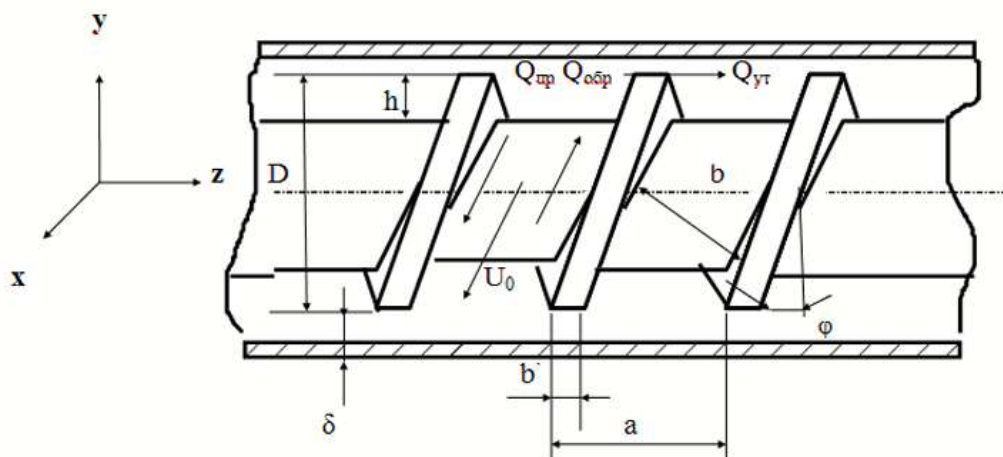


Рис. 1.9. Частина циліндра преса та черв'яка

Примітка. Джерело: Розроблено із використанням [3]

Рівняння для об'ємної продуктивності має вигляд:

$$Q = \frac{\pi^2 \cdot D^2 \cdot n \cdot h \cdot \sin \varphi \cdot \cos \varphi}{2} - \frac{\pi \cdot D \cdot h^3 \cdot \sin^2 \varphi}{12\mu} \cdot \frac{P_2 - P_1}{L_{12}} - \frac{\pi^2 \cdot D^2 \cdot \delta^3 \cdot \operatorname{tg} \varphi}{12\mu \cdot b} \cdot \frac{P_2 - P_1}{L_{12}} \quad (1.2)$$

$$Q = \frac{A \cdot n}{1 + 1/K \cdot (B + C)} \quad (1.3)$$

Рівняння (1.3) говорить про те, що продуктивність преса при ізотермічному витиску ньютонівської рідини визначається в першу чергу геометричними розмірами черв'яка, циліндра та формуючого інструменту і частотою обертання черв'яка [2].

Екструдер можна уявити безінерційною ланкою та провести розрахунок за наступною формулою:

$$d_{iz} = K_{ек} \cdot \omega \quad (1.4)$$

де d_{iz} - діаметр ізолюваної жили ($d_{iz} \approx Q$), мм;

$K_{ек}$ - коефіцієнт передачі екструдера;

$\omega = 2\pi \cdot \frac{n}{30}$ - кутова частота обертання черв'яка, s^{-1}

Можно уявити черв'ячний прес аперіодичською ланкою першого порядку:

$$d_{iz} = \frac{K_{ек} \cdot \omega}{1 + T_{ек} \cdot p} \quad (1.5)$$

де $T_{ек}$ - постійна часу екструдера, обумовлена, головним чином, в'язкістю ізоляційного матеріалу. Визначається експериментально і є індивідуальною для кожного черв'ячного преса.

1.5 Режим роботи електроприводу екструдера

Для черв'ячних машин характерно те, що величина статичного моменту опору практично не пов'язана зі швидкістю обертання. Коли швидкість шнека стабілізується, навантаження все одно може циклічно змінюватися через температурні стрибки або недостатню однорідність суміші в робочій зоні. Подібні коливання інколи становлять чверть від базового показника моменту. Як правило, технологічний процес вимагає безступінчастої зміни швидкості в межах від п'ятикратного до десятикратного діапазону. Така необхідність обумовлена інтеграцією черв'ячних механізмів у потокові лінії, що випускають продукцію з полімерів.

Для черв'ячного преса (екструдера) правильний вибір режиму роботи та виконання технічних вимог до електроприводу впливають на якість полімерної ізоляції, стабільність товщини оболонки та загальну продуктивність лінії.

Режим роботи електроприводу екструдера

Згідно зі стандартною класифікацією, електропривод черв'ячного преса працює у тривалому режимі (S1). Особливості протікання режиму S1 в екструдерах:

- тривале постійне навантаження: після виходу на робочий режим (коли полімер розігрітий і подається стабільно), двигун годинником працює з практично постійним навантаженням. Перевантаження виникають в основному під час пуску або порушення температурного режиму.

- тяжкий пуск (короткочасний режим): старт преса - це найкритичніший момент. Якщо матеріал у зоні черв'яка охолонув, для зсуву шнека потрібен пусковий момент, що перевищує номінальний у 1,5-2,5 рази (сухе тертя, висока в'язкість непрогрітого пластику).

- тривала робота на знижених частотах: при налаштуванні лінії або виробництві специфічних кабелів привод може довго працювати на малих обертах. При цьому погіршуються умови самовентиляції двигуна, що потребує особливої уваги для його охолодження.

1.6 Технічні вимоги до електроприводу екструдера

Черв'яковий прес відноситься до механізмів з важкими умовами пуску та високою чутливістю до стабільності швидкості.

До його електроприводу пред'являються такі жорсткі вимоги:

а) механічні та навантажувальні характеристики:

Постійний момент у всьому діапазоні ($M = const$): статичний момент опору екструдера практично не залежить від швидкості обертання, але жорстко залежить від в'язкості матеріалу. Привід повинен забезпечувати повний номінальний момент як на мінімальних, так і на максимальних оборотах.

б) Вимоги до регулювання швидкості

Широкий діапазон регулювання:

- зазвичай потрібна плавна (безступінчаста) зміна частоти обертання в діапазоні від 5:1 до 10:1 (у деяких сучасних високоточних лініях - до 20:1).

Висока жорсткість характеристик і точність підтримання швидкості (0,5-1)%.

Стабільність оборотів критично важлива: будь-які коливання швидкості призводять до пульсації тиску розплаву полімеру, через що товщина ізоляції кабелю стає нерівномірною.

в) захист та надійність. Обов'язкове примусове охолодження: оскільки двигун працює в режимі S1 на малих швидкостях, стандартний вентилятор на валу (самовентиляція) не справляється. Необхідний незалежний вентилятор («наїзник»), що працює постійно. Обмеження по моменту (захист від поломки шнека): в системі управління має бути реалізована швидка відсікання по струму/моменту. Якщо в зону черв'яка потрапить нерозплавлена гранула або сторонній предмет, привід повинен миттєво зупинитися, щоб не зламати дорогий шнек. Таким чином, електродвигун екструдера має забезпечувати наступні технічні параметри: сигнал керування – аналоговий; м'який пуск екструдера; діапазон регулювання швидкості $D=1:1000$; режим роботи S1; енергозбереження; управління з пульта оператора.

2 ОСНОВНА ЧАСТИНА

2.1 Розрахунок потужності та вибір електродвигуна

Розглянемо розрахунок потужності електродвигуна, заснований на тому, що під час роботи черв'ячного преса енергія витрачається на пластичну деформацію та видавлювання суміші з вихідного отвору головки P_d , кВт, на тертя оброблюваного матеріалу в черв'ячному пресі P_t , кВт, а також на тертя в зубчастих передачах та підшипниках машини та редуктора [3].

Корисна потужність:

$$P_d = S \cdot \sigma_T \cdot v \cdot 10^{-3} \quad (2.1)$$

де $S = 0,0007 \text{ м}^2$ - переріз вихідного отвору;

$\sigma_T = 250000000 \text{ Па}$ – напруги течії (тиск суміші);

$v = 3,3 \text{ м/с}$ – лінійна швидкість виходу заготовки.

$$P_d = 0,0007 \cdot 250000000 \cdot 3,3 \cdot 10^{-3} = 57,75 \text{ (кВт)}$$

Потужність P_t витрачається на тертя про внутрішню поверхню циліндра $P_{t,ц}$ і на тертя об поверхню черв'яка. Розрахуємо першу складову:

$$P_{t,ш} : P_t = P_{t,ц} + P_{t,ч} \quad (2.2)$$

$$P_{t,ц} = 0,263 \cdot D \cdot L \cdot t_r \cdot n \cdot f \quad (2.3)$$

де $D = 0,125 \text{ м}$ – діаметр черв'яка;

$L = 3,63 \text{ м}$ – довжина циліндра;

$t_r = 0,13 \text{ м}$ - крок нарізки;

$n = 100 \text{ об/хв}$ – частота обертання хробака;

$f = 0,7$ - коефіцієнт тертя суміші про метал.

$$P_{т,ц} = 0,263 \cdot 0,125 \cdot 3,63 \cdot 0,13 \cdot 100 \cdot 0,7 = 1,08 \text{ (кВт)} \quad (2.4)$$

Розрахуємо другу складову:

$$P_{т,ш} = \frac{1 - \eta}{\eta} \cdot P_{д} \quad (2.5)$$

$$\eta = \operatorname{tg} \alpha / \operatorname{tg}(\alpha + \beta)$$

$$\eta = \operatorname{tg} 20^\circ / \operatorname{tg}(20^\circ + 20^\circ) = 0,43 \quad (2.6)$$

де $\alpha = 20^\circ$ – кут підйому гвинтової лінії черв'яка;

$\beta = 20^\circ$ - кут тертя суміші про черв'як.

$$P_{т,ш} = \frac{1 - 0,43}{0,43} \cdot 57,75 = 76,5 \text{ кВт} \quad (2.7)$$

$$P_{т} = 1,08 + 76,5 = 77,8 \text{ кВт}$$

Розрахуємо повну споживану потужність з урахуванням втрат у передачах і підшипниках редуктора та двигуна:

$$P_{п} = (P_{д} + P_{т}) / \eta_{р} \eta_{дв} \quad (2.8)$$

$$P_{п} = (57,75 + 77,8) / 0,8 \cdot 0,91 = 186,2 \text{ кВт}$$

$\eta_{р} = 0,8$ – ККД редуктора;

$\eta_{дв} = 0,91$ – ККД двигуна.

2.2. Вибір електродвигуна

Сьогодні на виробництві важлива гнучкість налаштування та висока продуктивність, тому скрізь ставлять готові автоматизовані електроприводи. Найбільш актуальний варіант – це трифазний асинхронний двигун. Він завоював ринок, тому що конструктивно простий, надійний у важких умовах роботи, невибагливий в обслуговуванні і коштує набагато дешевше за машини постійного струму.

Раніше неможливо було нормально регулювати швидкість, але з появою доступних перетворювачів частоти (ПЧ) ця проблема зникла. Сучасний частотно-регульований асинхронний привід за своїми характеристиками працює не гірше, ніж класичний привід постійного струму.

Щоб двигун не згорів від погіршення умов охолодження, його потужність вибирають із запасом у 25–50% від розрахункової.

$$P_{\text{АД}} = (1,25 \div 1,5) \cdot P_{\text{РАСЧ}} = 1,25 \cdot 200 = 250 \text{ кВт}; \quad (2.9)$$

Обрано двигун: 6A355S4Y3. Каталожні дані двигуна типу 6A355S4Y3 представлені в таблиці 2.1.

Таблиця 2.1

Каталожні дані двигуна типу 6А355S4У3

Найменування параметра	Позначення	Значення
Тип двигуна	—	6А355S4У3
Номінальна фазна напруга	U	220 В
Номінальна потужність двигуна	P	250 кВт
Номінальне ковзання	s	1,7%
ККД у режимі номінальної потужності	η_H	94,5%
Коефіцієнт потужності у режимі номінальної потужності	$\cos \varphi_H$	0,92
Динамічний момент інерції	$J_{\partial в}$	7 кг·м ²
Кратність пускового струму	$k_I = I_n / I_H$	7
Кратність пускового моменту	$k_p = M_n / M_H$	1
Кратність максимального моменту	$k_{max} = M_K / M_H$	1,9
Кратність мінімального моменту	$k_{min} = M_{min} / M_H$	0,9

2.3. Розрахунок параметрів силового ланцюга

Схема заміщення асинхронного двигуна представлена рис. 2.1.

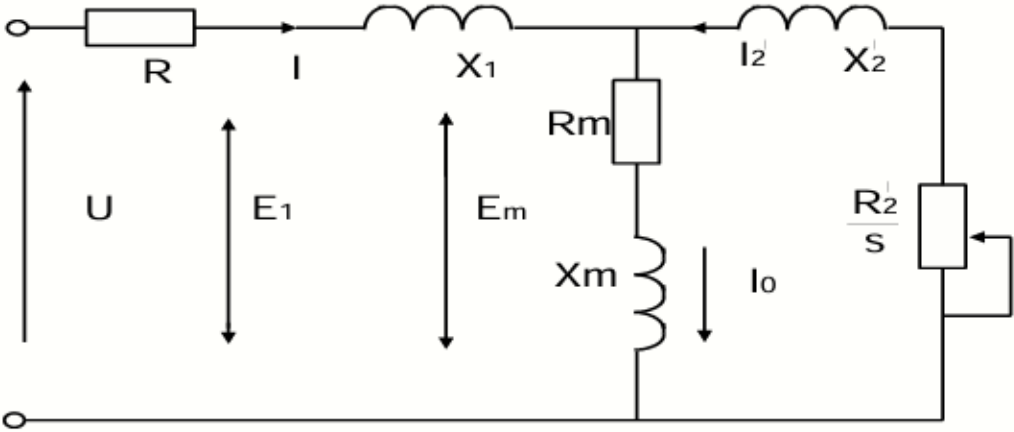


Рис. 2.1. Схема заміщення асинхронного двигуна

Примітка. Джерело: Розроблено із використанням [5]

Нехтуємо в даному розрахунку втратами в сталі, тоді $R_m = 0$.

Найменування параметра / розрахунку	Розрахункова формула та підстановка значень	Результат
Номінальний струм статора	$I_{1n} = P_n / (3 \cdot U_{1n} \cdot \cos \varphi_n \cdot \eta_n) = 250000 / (3 \cdot 220 \cdot 0,92 \cdot 0,945)$	435,689 А
Синхронна кутова швидкість	$\omega_0 = (2\pi \cdot f) / p = (2\pi \cdot 50) / 2$	157,08 рад/с
Номінальний момент	$M_n = P_n / \omega_0 = 250000 / 157,08$	1591,5 Н·м

Для асинхронних двигунів найбільший ККД досягається при завантаженні на 10–15% менше від номінального. Більшість двигунів через стандартну дискретну шкалу потужностей працюють з деяким недовантаженням. Тому ККД при номінальному навантаженні та навантаженні $\beta = 0,75$ практично рівні між собою: $\eta_n = \eta_{0,75}$ [4].

Коефіцієнт потужності асинхронного двигуна при частковому навантаженні $\beta = 0,75$ істотно відрізняється від аналогічного показника в номінальних умовах експлуатації. Це істотно визначає загальна потужність машини. Для більшості стандартних промислових серій асинхронних двигунів це зміна з високою точністю описується графічною залежністю, показаною на рисунку 2.2.

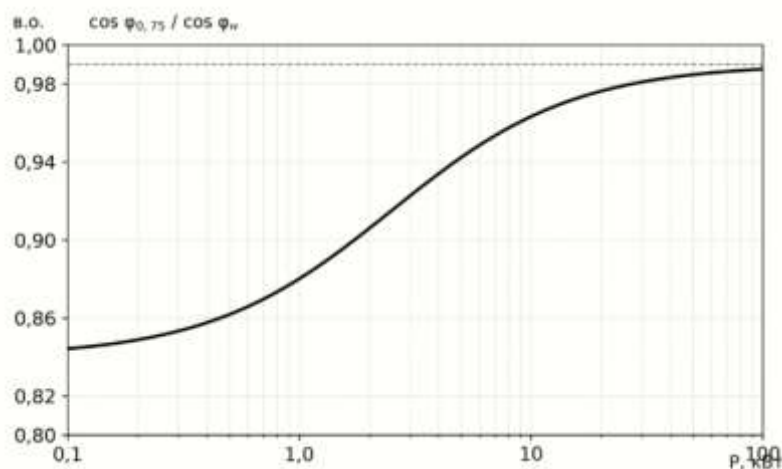


Рис. 2.2. Залежність відношення $\cos \varphi_{0,75} / \cos \varphi_n$ від номінальної потужності асинхронних двигунів

Примітка. Джерело: Розроблено із використанням [5]

За залежністю, наведеною на рисунку 2.2, визначимо відношення коефіцієнту потужності при неповній загрузці $p=0,75$ до значення цього ж коефіцієнту при повному навантаженні, для даної потужності двигуна:

$$\cos \varphi_{0,75} / \cos \varphi_n = 0,99. \quad (2.10)$$

Коефіцієнт потужності при завантаженні $p=0,75$:

$$\cos \varphi_p = 0,99 \cdot \cos \varphi_n = 0,965 \cdot 0,92 = 0,911. \quad (2.11)$$

Ток статора при частковій загрузці $p=0,75$:

$$I_{11} = \frac{P_n \cdot p_1}{m \cdot U_1 \cdot \cos \varphi_p \cdot \eta_p} = \frac{250000 \cdot 0,75}{3 \cdot 220 \cdot 0,911 \cdot 0,945} = 330,067 \text{ A}. \quad (2.12)$$

Розрахуємо ток холостого ходу:

$$I_0 = \sqrt{\frac{I_{11}^2 - \left[p_1 I_{1n} \cdot \frac{1-s_n}{1-p_1 s_n} \right]^2}{1 - \left(p_1 \cdot \frac{1-s_n}{1-p_1 s_n} \right)^2}} = \sqrt{\frac{330,067^2 - \left[0,75 \cdot 435,689 \cdot \frac{1-0,017}{1-0,75 \cdot 0,017} \right]^2}{1 - \left(0,75 \cdot \frac{1-0,017}{1-0,75 \cdot 0,017} \right)^2}} = 83,51 \text{ A}. \quad (2.13)$$

Розрахуємо з формули Клосса значення критичного ступеня:

$$\begin{aligned} s_k &= s_n \frac{k_{\max} + \sqrt{(k_{\max})^2 - [1 - 2 \cdot s_n \cdot \beta (k_{\max} - 1)]}}{1 - 2 \cdot s_n \cdot \beta (k_{\max} - 1)} = \\ &= 0,017 \cdot \frac{1,9 + \sqrt{1,9^2 - [1 - 2 \cdot 0,017 \cdot 1 \cdot (1,9 - 1)]}}{1 - 2 \cdot 0,017 \cdot 1 \cdot (1,9 - 1)} = 0,062 \end{aligned} \quad (2.14)$$

Значення коефіцієнта β знаходиться в діапазоні 0,6–2,5, тому в першому приближенні приймаємо $\beta = 1$.

Розрахуємо коефіцієнт A_1 :

$$\begin{aligned} A_1 &= mU_{1H}^2(1-s_H)/(2 \cdot C_1 \cdot k_{\max} \cdot P_H) = \\ &= 3 \cdot 220^2 \cdot (1-0,017)/(2 \cdot 1,014 \cdot 1,9 \cdot 250000) = 0,148. \end{aligned} \quad (2.15)$$

$$C_1 = 1 + I_0/2k_i I_{1H} = 1 + \frac{83,51}{2 \cdot 7 \cdot 435,689} = 1,014.$$

Активний опір ротора, розрахуємо до обмотки асинхронного двигуна:

$$R_2' = A_1/(\beta + 1/s_k)C_1 = 0,148/(1 + 1/0,062) \cdot 1,014 = 0,008512 \text{ Ом}, \quad (2.16)$$

Розрахуємо активний опір статорної обмотки:

$$R_{11} = C_1 \cdot R_2' \cdot \beta = 1,014 \cdot 0,008512 \cdot 1 = 0,008629 \text{ Ом}. \quad (2.17)$$

Розрахуємо параметр γ , який дозволяє визначити індуктивний опір короткого замикання X_{KH} :

$$\begin{aligned} \gamma &= \sqrt{(1/s_k^2) - \beta^2} = \sqrt{(1/0,062^2) - 1^2} = 16,146. \\ X_{KH} &= \gamma \cdot C_1 \cdot R_2' = 16,146 \cdot 1,014 \cdot 0,008512 = 0,139 \text{ Ом}. \end{aligned} \quad (2.18)$$

Розрахуємо індуктивний опір розсіювання роторної обмотки, який наведено до статорного:

$$\begin{aligned} X_{2\sigma}' &= 0,58 \cdot X_{KH} / C_1 = 0,58 \cdot 0,139 / 1,014 = 0,08 \text{ Ом}. \\ L_{2H}' &= \frac{X_{2\sigma}'}{2 \cdot \pi \cdot 50} = \frac{0,08}{2 \cdot 3,14 \cdot 50} = 0,0002537 \text{ Гн}. \end{aligned} \quad (2.19)$$

Розрахуємо індуктивний опір статорної обмотки:

$$X_{1\sigma} = 0,42 \cdot X_{\text{кн}} = 0,42 \cdot 0,139 = 0,059 \text{ Ом.}$$

$$L_{1\sigma} = \frac{X_{1\sigma}}{2 \cdot \pi \cdot 50} = \frac{0,059}{2 \cdot 3,14 \cdot 50} = 0,0001863 \text{ Гн.} \quad (2.20)$$

Розрахуємо ЕРС гілки намагнічування $1E$, наведена потоком повітряного зазору обмотці статора в номінальному режимі:

$$\begin{aligned} E_1 &= \sqrt{(U_{1j} \cos \varphi_{1H} - R_1 I_{1H})^2 + (U_{1j} \sin \varphi_{1H} - X_1 I_{1H})^2} = \\ &= \sqrt{(220 \cdot 0,92 - 0,008629 \cdot 435,689)^2 + (220 \cdot \sin(\arccos(0,92)) - 0,059 \cdot 435,689)^2} = \\ &= 207,716 \text{ В.} \end{aligned} \quad (2.21)$$

Розрахуємо індуктивний опір намагнічування:

$$X_{\mu H} = E_1 / I_0 = 207,716 / 83,517 = 2,487 \text{ Ом.} \quad (2.22)$$

$$L_{\mu H} = \frac{X_{\mu H}}{2 \cdot \pi \cdot 50} = \frac{2,487}{2 \cdot 3,14 \cdot 50} = 0,007917 \text{ Гн.} \quad (2.23)$$

Розрахуємо номінальне потокозчеплення ротора:

$$\Psi_{2H} = \sqrt{2} \cdot I_0 \cdot L_m = \sqrt{2} \cdot 83,51 \cdot 0,00791 = 0,934 \text{ Вб} \quad (2.24)$$

Розрахуємо повну індуктивність ланцюга статора:

$$L_1 = L_{\sigma 1} + L_{\mu} = 0,000186 + 0,00791 = 0,008 \text{ Гн.} \quad (2.25)$$

Розрахуємо повну індуктивність ланцюга ротора:

$$L'_2 = L'_{\sigma 2} + L_{\mu} = 0,000253 + 0,00791 = 0,00816 \text{ Гн.} \quad (2.26)$$

Розрахуємо коефіцієнти структурної схеми:

$$(2.27)$$

$$K_r = \frac{L_\mu}{L'_2} = \frac{0,00791}{0,00816} = 0,969;$$

$$L_e = L_1 - \frac{L_\mu^2}{L'_2} = 0,008 - \frac{0,00791^2}{0,00816} = 0,00033 \text{ Гн};$$

$$R_e = R_1 + R'_2 \cdot K_r^2 = 0,00862 + 0,00851 \cdot 0,969^2 = 0,0166 \text{ Ом};$$

$$A_r = \frac{R'_2}{L'_2} = \frac{1,735}{0,106} = 1,04$$

2.4. Розрахунок статичних характеристик регульованого електроприводу

Розрахунок природних характеристик $\omega=f(I)$, $\omega=f(M)$ системи регульованого електроприводу. Визначення синхронної кутової швидкості

$$\omega_0 = \frac{2\pi \cdot f_c}{p} = \frac{2 \cdot 3,14 \cdot 50}{2} = 157,08 \text{ рад/с.} \quad (2.28)$$

Розрахунок критичного моменту двигуна у руховому режимі:

$$M_{кр} = \frac{3 \cdot U_{in}^2}{2 \cdot \omega_0 \cdot (R_1 + \sqrt{R_1^2 + X_{кн}^2})} = \frac{3 \cdot 220^2}{2 \cdot 157,08 \cdot (0,00862 + \sqrt{0,00862^2 + 0,139^2})} = 3148,3 \text{ Н·м}; \quad (2.29)$$

Розрахунок критичного ковзання у руховому режимі:

$$s_k = s_n \frac{k_{\max} + \sqrt{(k_{\max})^2 - [1 - 2 \cdot s_n \cdot \beta(k_{\max} - 1)]}}{1 - 2 \cdot s_n \cdot \beta(k_{\max} - 1)} =$$

$$= 0,017 \cdot \frac{1,9 + \sqrt{1,9^2 - [1 - 2 \cdot 0,017 \cdot 1 \cdot (1,9 - 1)]}}{1 - 2 \cdot 0,017 \cdot 1 \cdot (1,9 - 1)} = 0,062 \quad (2.30)$$

Розраховуємо природну механічну характеристику $\omega=f(M)$: (2.31)

$$M(\omega) = \frac{3 \cdot U_{in}^2 \cdot R'_2}{\omega_0 \cdot \frac{\omega_0 - \omega_i}{\omega_0} \left[\left(R'_1 + \frac{R'_2}{\frac{\omega_0 - \omega_i}{\omega_0}} \right)^2 + X_{KH}^2 \right]} =$$

$$= \frac{3 \cdot 220^2 \cdot 0,008512}{157,08 \cdot \frac{157,08 - \omega_i}{157,08} \left[\left(0,00862 + \frac{0,008512}{\frac{157,08 - \omega_i}{157,08}} \right)^2 + 0,139^2 \right]}$$

Задаємося декількома значеннями частоти обертання ω_i і будуємо характеристику $\omega=f(M)$:

Таблиця 2.2

M, Н·м	0	3118	1060	582	400
ω , рад/с	157,08	147,7	100	50	0

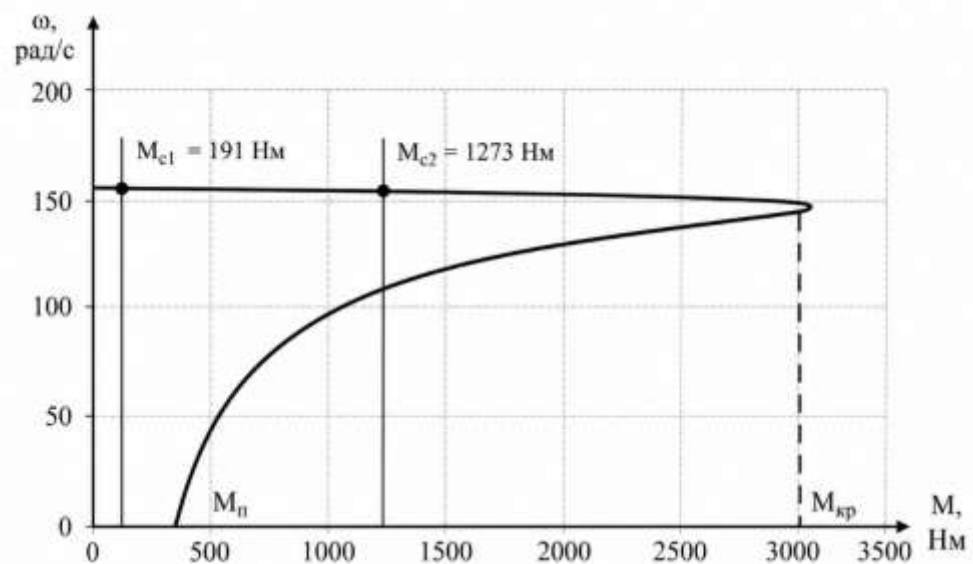


Рис. 2.3. Природна механічна характеристика $\omega=f(M)$

Примітка. Джерело: Розроблено із використанням [5]

Розрахуємо відносний струм ротора для відповідної ω_i :

$$I_2'(\omega) = \frac{U_{in}}{\sqrt{\left(R_1 + \frac{R_2'}{\frac{\omega_0 - \omega_i}{\omega_0}}\right)^2 + X_k^2}} = \frac{220}{\sqrt{\left(0,00862 + \frac{0,008512}{\frac{157,08 - \omega_i}{157,08}}\right)^2 + 0,139^2}}; \tag{2.28}$$

Розрахуємо струм статора для відповідної ω_i :

$$I_1(\omega) = \sqrt{I_0^2 + (I_2')^2 + 2 \cdot I_0 \cdot I_2' \cdot 0,673} = \sqrt{83,517^2 + (I_2')^2 + 2 \cdot 83,517 \cdot I_2' \cdot 0,673}; \tag{2.29}$$

Таблиця 2.3

I_1, A	83,51	555,1	624,6	625,9	626,2
$\omega, \text{ рад/с}$	157,08	150	100	50	0

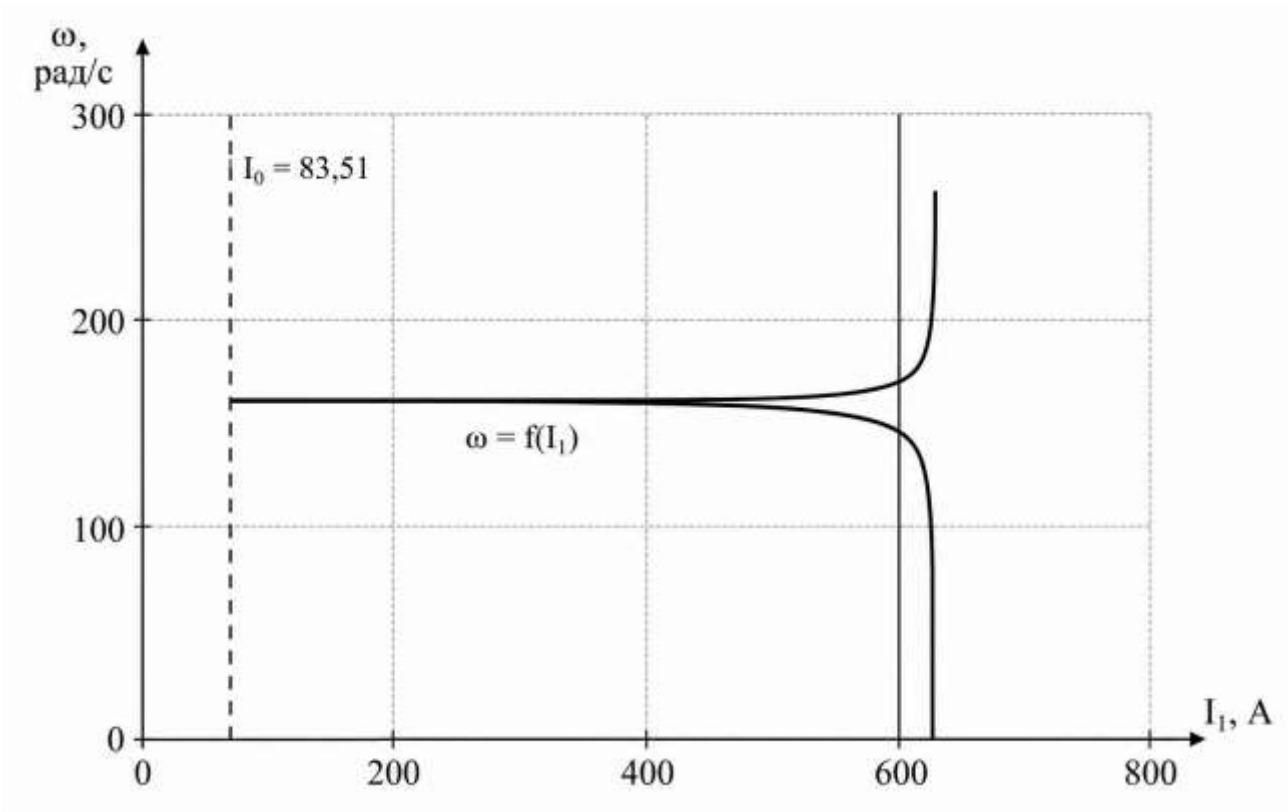


Рис. 2.4. Природна електромеханічна характеристика $\omega = f(I_1)$

Примітка. Джерело: Розроблено із використанням [5]

Розроблено динамічну модель асинхронного двигуна 6A355S4У3. Моделювання асинхронного двигуна в середовищі Simulink Matlab у природних одиницях. Імітаційна модель досліджуваного асинхронного двигуна представлена на рис. 2.5.

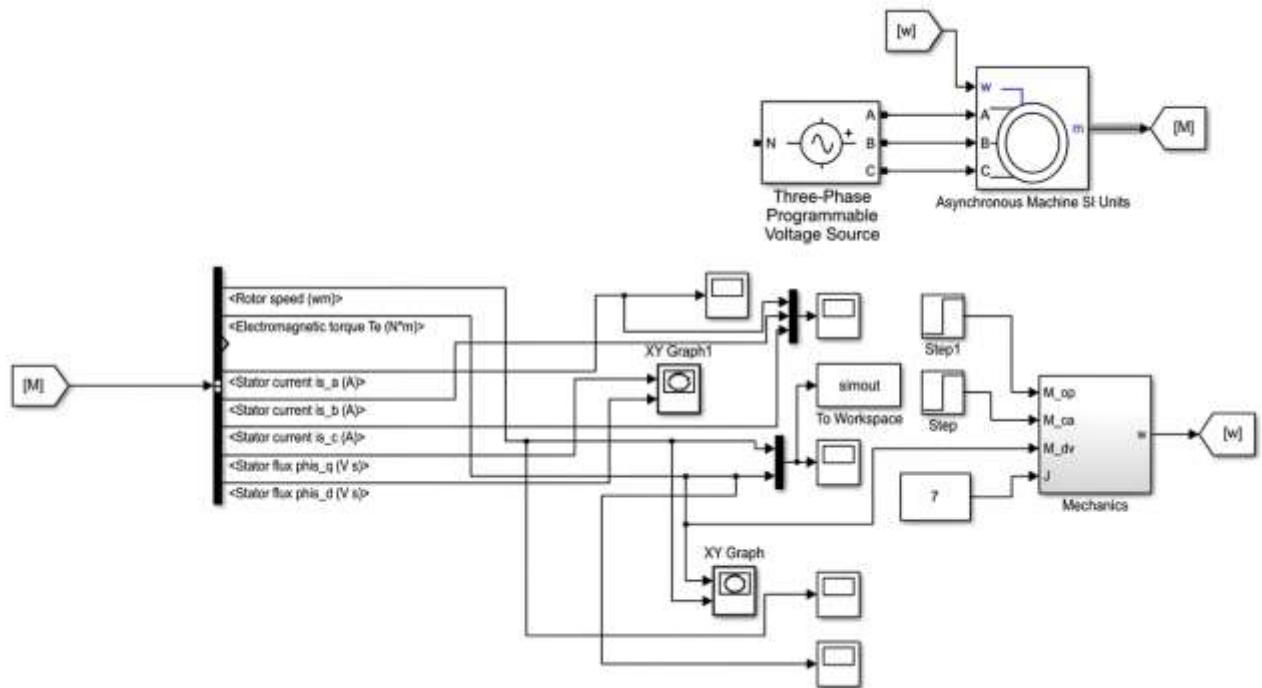


Рис. 2.5. Імітаційна модель короткозамкнутого асинхронного двигуна

Примітка. Джерело: Розроблено із використанням [5]

Графіки перехідних процесів моменту $M(t)$ та швидкості $\omega(t)$ наведено на рис. 2.6 та 2.7.

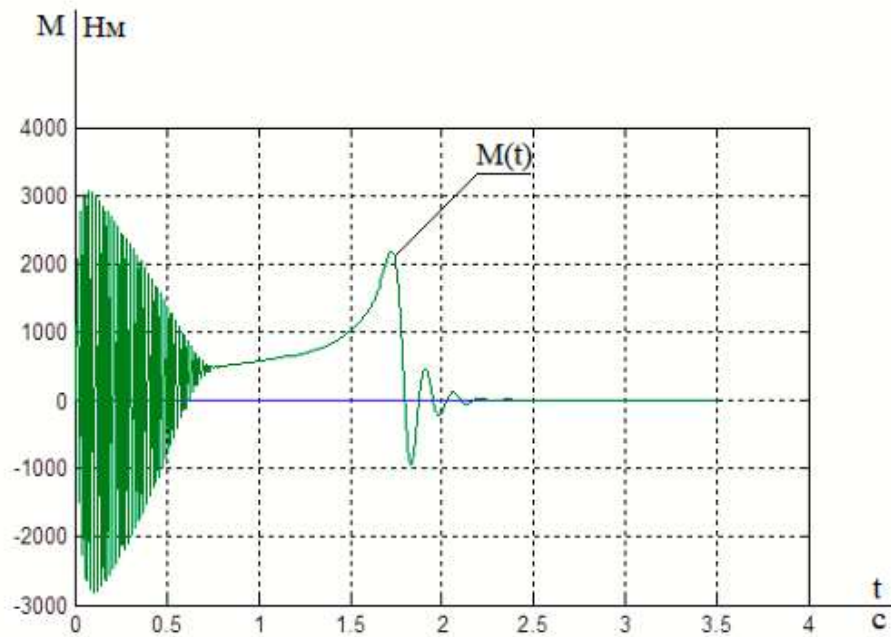


Рис. 2.6. Перехідні процеси електромагнітного моменту під час пуску короткозамкнутого асинхронного двигуна 6А355S4У3 прямим включенням у мережу

Примітка. Джерело: Розроблено із використанням [5]

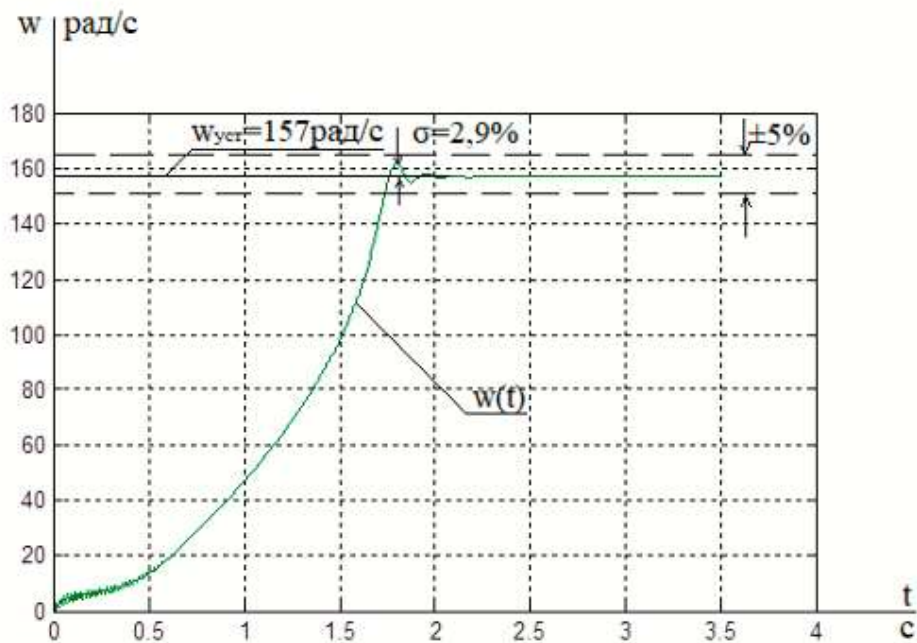


Рис. 2.7. Перехідні процеси швидкості при пуску короткозамкнутого асинхронного двигуна 6А355S4У3 прямим включенням у мережу при моделюванні в нерухомій системі координат

Примітка. Джерело: Розроблено із використанням [5]

Динамічна механічна характеристика досліджуваного двигуна представлена рис. 2.8.

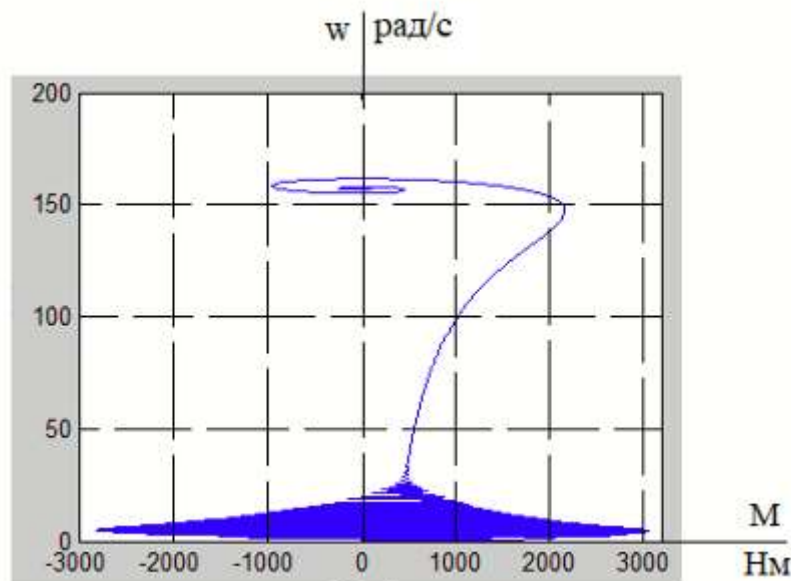


Рис. 2.8. Динамічна механічна характеристика при запуску на холостому ході

Примітка. Джерело: Розроблено із використанням [5]

З аналізу динамічних характеристик рис. 2.6-2.8 можна зробити висновок, що перехідний процес пуску короткозамкнутого асинхронного двигуна може мати коливальний характер не тільки на початку ділянці, але і на кінцевій ділянці, причому швидкість двигуна перевищує синхрону. На практиці коливання кутової швидкості та моменту двигуна на кінцевій ділянці перехідного процесу спостерігаються не часто.

Дослідження показують, що максимальні значення динамічного моменту можуть перевищувати критичний момент двигуна при пуску прямим включенням в мережу в 4 рази, що необхідно враховувати під час розробки та виготовлення електроприводів.

2.5 Проектування системи векторного керування асинхронним електроприводом на базі інвертора напруги

На рис. 2.10 показано структурну схему нелінійної системи автоматичного управління регульованим електроприводом, де використовується модель двигуна в нерухомих координатах. Оскільки алгоритми управління реалізуються в системі координат, що обертається, а фактичні струми і напруги вимірюються в нерухомій, ці елементи вимагають взаємного узгодження. Для зв'язку регуляторів та моделі двигуна застосовують координатні перетворювачі. Перехід між нерухомою та обертовою системами координат виконують за допомогою прямого та зворотного перетворень Парку.

$$\left. \begin{aligned} i_x &= i_\alpha \cos\theta + i_\beta \sin\theta \\ i_y &= -i_\alpha \sin\theta + i_\beta \cos\theta \end{aligned} \right\},$$

$$\left. \begin{aligned} i_\alpha &= i_x \cos\theta - i_y \sin\theta \\ i_\beta &= i_x \sin\theta + i_y \cos\theta \end{aligned} \right\}.$$
(2.20)

На структурній схемі малюнка 3.10 ці перетворення здійснюються блоками ПКП (прямий перетворювач координат) та ОКП (зворотний перетворювач координат).

Блок ВП (обчислювач потоку) розраховує модуль і кут повороту вектора потокосцеплення ротора, використовуючи інформацію про проекції вектора потокосцеплення на осі α та β нерухомої системи координат. Розрахуємо за формулами:

$$|\psi_2| = \sqrt{\psi_{2\alpha}^2 + \psi_{2\beta}^2};$$

$$\theta_{\psi_2} = \arctg\left(\frac{\psi_{2\beta}}{\psi_{2\alpha}}\right).$$
(2.21)

Нелінійностями у представленому електроприводі є обмеження на виході регуляторів. Введення обмежень обумовлено необхідністю обмеження

максимальної амплітуди напруги обмоток АТ, обмеження струмів у статорних обмотках АТ, а також обмеження моменту на валу двигуна. Оптимальні обмеження регуляторів мають такі значення:

$$\begin{aligned} U_X &= 0,312 \cdot U_{\max} = 0,312 \cdot \sqrt{2} \cdot U_{1\phi n} = 97 B; \\ U_Y &= 0,95 \cdot U_{\max} = 0,95 \cdot \sqrt{2} \cdot U_{1\phi n} = 295,5 B; \\ I_X &= 1,5 \cdot I_{\text{нпр}} = 1,5 \cdot \sqrt{2} \cdot I_{1\phi n} = 924 A; \\ I_Y &= 2 \cdot I_{\text{нпр}} = 2 \cdot \sqrt{2} \cdot I_{1\phi n} = 1232 A. \end{aligned} \quad (2.22)$$

Зміну частоти обертання двигуна будемо робити зміною частоти мережі живлення, за допомогою перетворювача частоти (ПЧ), який в свою чергу, з'єднується з обмотками статора [5]. Більшість сучасних перетворювачів частоти побудовано за схемою подвійного перетворення. Вони складаються з таких основних частин: - Ланки постійного струму - силового трифазного імпульсного інвертора - системи управління.

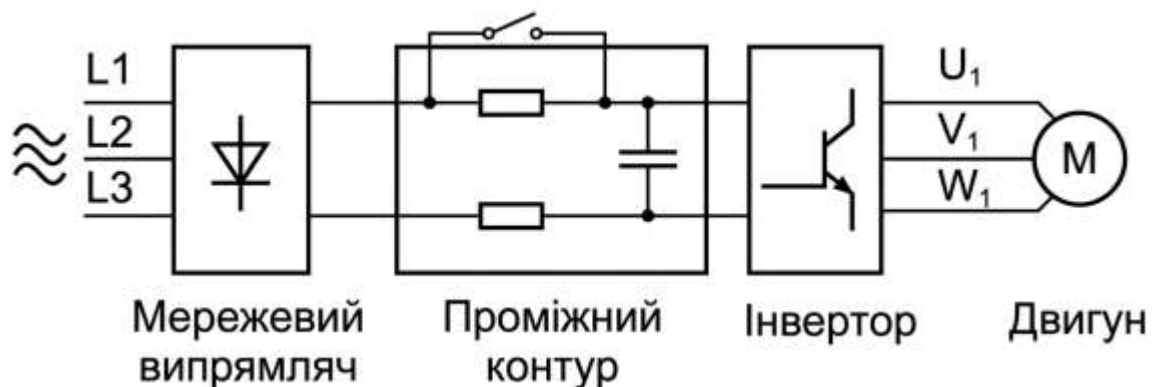


Рис. 2.9. Блок-схема силової частини перетворювача частоти

Примітка. Джерело: Розроблено із використанням [5]

ПЧ для живлення обмотки статора АТ з КЗ ротором вибирається з умов

$$I_{\text{н.ПЧ}} \geq I_{\text{н.д.}}, \quad U_{\text{н.ПЧ}} \geq U_{\text{н.д.}}$$

Обираємо перетворювач частоти Danfoss VLT 6400 HVAC (виробництво фірми Danfoss, Німеччина) з наступними паспортними даними $P = 315 \text{ кВт}$

Вихідні параметри: $I_{\text{н.}} = 586 \text{ А}$; $U_{\max} = 380 \text{ В}$;

Цей перетворювач частоти має такі характеристики: корпус Compact IP20 або IP54; може виготовлятися без фільтра придушення високих частот або з фільтром класу A₁ і B; максимальна асиметрія для мережі живлення 1,5 % від U_н;

Інші характеристики наведені у таблиці 2.4.

Таблиця 2.4

Технічні характеристики перетворювача частоти

Назва параметра, позначення	Значення
Номінальна потужність, P _н	315 кВт
Номінальний струм, I _{н.ппч}	586 А
Максимальний струм, I _{макс}	586,5 А
Максимальна напруга, U _{макс}	380 В
Частота мережі, f _с	50(60) Гц
Коефіцієнт потужності, cosφ	0,98
Максимальний струм короткого замикання, I _{кзмакс}	1840 А
Вихідна напруга, U _{вих}	0-100% від U _{жив}
Вихідна частота, f _{вих}	0-120 Гц
Номінальна напруга двигуна, U _{н.дв}	380 В
Частота двигуна, f _{дв}	50(60) Гц
Пусковий момент, M _{пуск}	110% протягом 1 хв.
Пусковий момент, M _{пуск}	160% протягом 1/2 хв.
Запізнювання	0,003 с
Роздільна здатність по f	0,003 Гц
Діапазон регулювання швидкості, D _{рег.швидкості}	1:1000
Критичний момент розгону, M _{кр.розг}	100%
Момент перевантаження, M _{перевгр}	110%
Час зміни швидкості	1-3600 с
Маса, m	21 кг
Вологість при роботі	95% без конденсації
Температура навколишнього середовища, t _{окр}	не більше 40 °С
Мінімальна температура навколишнього середовища, t _{min}	0- (-10) °С
Габаритні розміри: А	2010 мм
Габаритні розміри: В	1200 мм
Габаритні розміри: С	600 мм

2.6 Векторна система керування

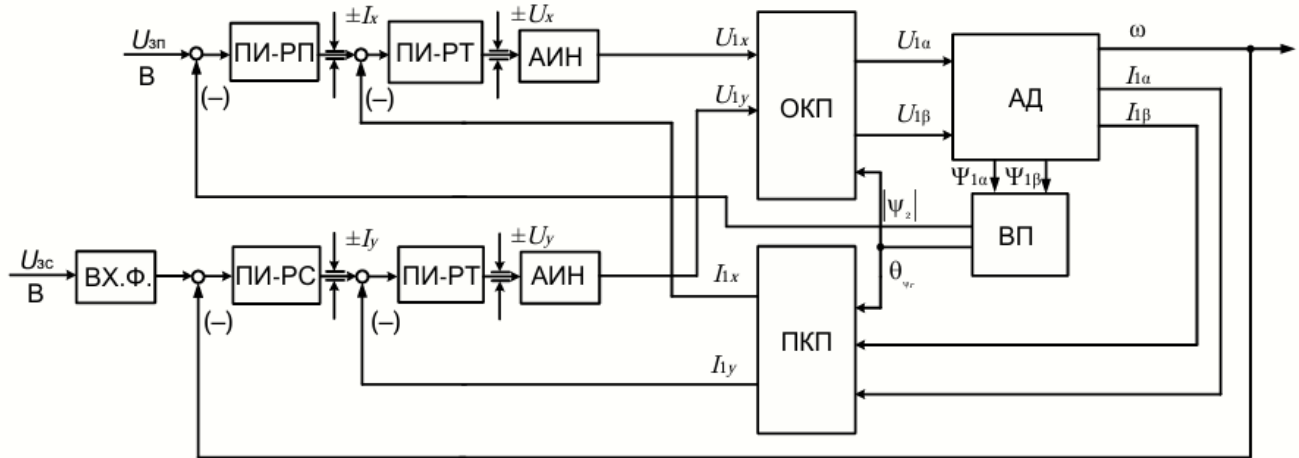


Рис. 2.10. Функціональна схема нелінійної САУ РЕП

Примітка. Джерело: Розроблено із використанням [5]

2.6.1 Оптимізація контуру струму

Структурну схему контуру регулювання складової струму статора i_{sx} представлено на рис. 2.11

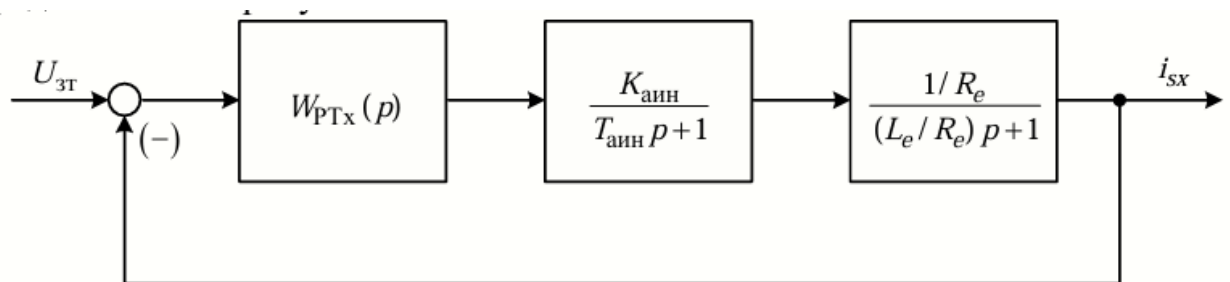


Рис. 2.11. Структурна схема контуру регулювання складової струму статора i_{sx}

Примітка. Джерело: Розроблено із використанням [5]

Перетворювач частоти представлений у системі електроприводу аперіодичною ланкою першого порядку. Приймаємо значення коефіцієнта посилення перетворювача рівним одиниці:

$$k_{\text{аин}} = 1. \quad (2.23)$$

Еквівалентна постійна часу перетворювача:

$$T_{\text{аин}} = \frac{0,5}{f_{\text{шм}}} = \frac{0,5}{10000} = 0,00005 \text{ с.} \quad (2.24)$$

Контур струму налаштовуємо на модульний оптимум. У цьому випадку приймаємо ПІ-регулятор з передатною функцією:

$$W_{\text{рт}}(p) = k_{\text{рт}} \cdot \frac{T_{\text{рт}} \cdot p + 1}{T_{\text{рт}} \cdot p}. \quad (2.25)$$

Приймаємо малу постійну часу, що не компенсується, контуру струму рівної постійної часу автономного інвертора напруги:

$$T_{\text{мт}} = T_{\text{аин}} = 0,00005.$$

Розрахуємо коефіцієнт передачі регулятора струму:

$$k_{\text{рт}} = \frac{L_e}{K_{\text{аин}} \cdot a_{\text{т}} \cdot T_{\text{аин}}} = \frac{0,00033}{1 \cdot 2 \cdot 0,00005} = 3,3 \quad (2.26)$$

де $a_{\text{т}} = 2$ – коефіцієнт оптимізації.

Розрахуємо постійну часу регулятора струму:

$$T_{\text{рт}} = \frac{L_e}{R_e} = \frac{0,00033}{0,0166} = 0,0198. \quad (2.27)$$

Очікувані показники роботи замкнутого контуру струму: – помилка, що встановилася:

$$\Delta I_{\text{уст}} = 0; \text{ – перерегулювання: } \sigma = 4,3\%;$$

– час першого погодження:

$$t_{\text{пу1}}^{(5)} = 4,1 \cdot T_{\text{мт}} = 4,1 \cdot 0,00005 = 0,000205 \text{ с};$$

- час перехідного процесу при відпрацюванні ступінчастого керуючого впливу: $t_{py2}^{(5)} = 4,1 \cdot T_{\mu T} = 4,1 \cdot 0,00005 = 0,000205$ с;

Імітаційна модель замкнутого контуру струму представлена рис.2.12.

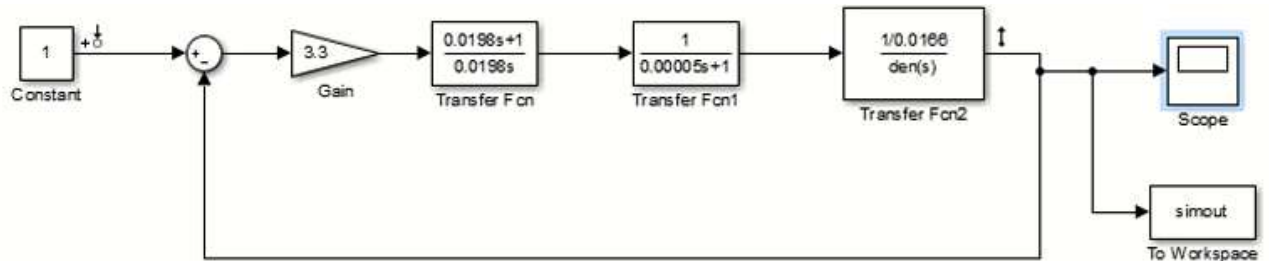


Рис. 2.12. Імітаційна модель замкнутого контуру струму

Примітка. Джерело: Розроблено із використанням [6]

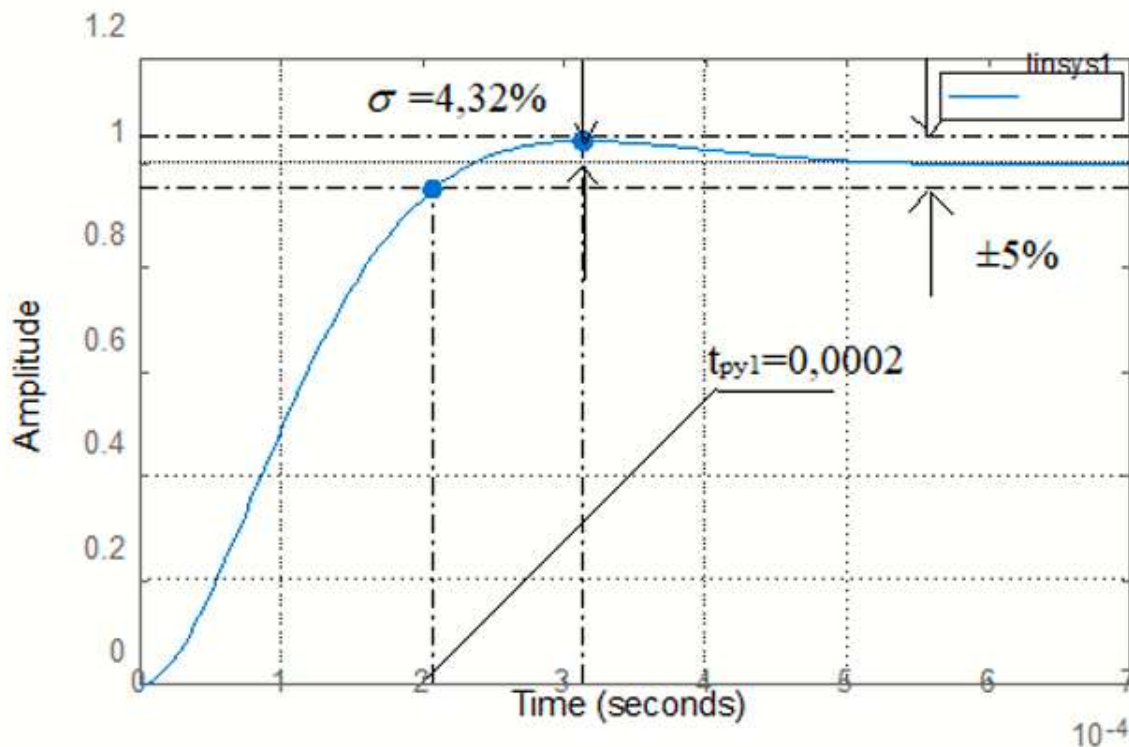


Рис. 2.13. Перехідний процес у контурі струму

Примітка. Джерело: Розроблено із використанням [6]

Зведемо теоретичні та експериментальні показники якості роботи лінеаризованого контуру струму до таблиці 2.5.

Таблиця 2.5

Показники якості перехідних процесів управління чи лінеаризованого контуру струму, оптимізованого за МО

$t_{py1}^{(5)}, c$	$t_{py2}^{(5)}, c$	$\sigma, \%$	$\Delta I_{уст}, A$
Очікувані показники			
0,127	0,127	4,3	0
Результати моделювання			
0,106	0,106	4,33	0

Порівнюючи очікувані показники якості перехідного процесу в контурі струму, оптимізованого МО, з результатами моделювання, можна сказати, що теоретичні значення зійшлися з набутими. Контур регулювання складової струму статора i_{sy} аналогічний за своєю структурою контуру, отриманого в результаті наведеної вище оптимізації.

2.6.2 Оптимізація контуру потокозчеплення ротора

Структурна схема контуру потокозчеплення ротора представлена на рис.2.14.

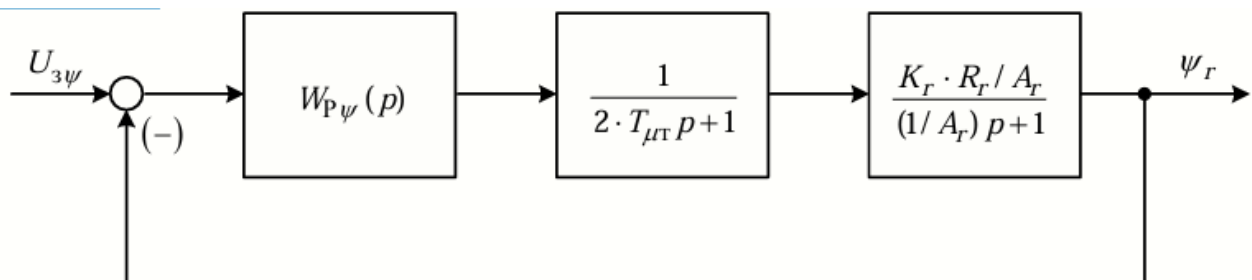


Рис. 2.14. Структурна схема контуру потокозчеплення ротора

Примітка. Джерело: Розроблено із використанням [7]

Внутрішній оптимізований контур струму представлений усіченою функцією передачі:

$$W_{3.к.т.}(p) = \frac{1}{2 \cdot T_{\mu T} \cdot p + 1}. \quad (2.28)$$

Контур потокозчеплення ротора налаштовуємо на модульний оптимум. У цьому випадку приймаємо ПІ-регулятор з передатною функцією:

$$W_{p\psi}(p) = k_{p\psi} \cdot \frac{T_{p\psi} \cdot p + 1}{T_{p\psi} \cdot p}. \quad (2.29)$$

Розрахуємо коефіцієнт передачі регулятора потокозчеплення ротора:

$$k_{p\psi} = \frac{1}{K_r \cdot R_r \cdot a_{II} \cdot a_T \cdot T_{\mu T}} = \frac{1}{0,969 \cdot 0,00851 \cdot 2 \cdot 2 \cdot 0,00005} = 606340 \quad (2.30)$$

де $\alpha_\psi = \alpha_T = 2$ - коефіцієнти оптимізації.

Розрахуємо постійну часу регулятора потокозчеплення ротора:

$$T_{p\psi} = \frac{1}{A_r} = \frac{1}{1,04} = 0,961 \text{ с}. \quad (2.31)$$

Очікувані показники роботи замкнутого контуру струму: – помилка, що встановилася:

$\Delta\psi_{уст} = 0$; – перерегулювання: $\sigma = 8,14 \%$;

– час першого погодження:

$t_{py1}^{(5)} = 7 \cdot T_{\mu T} = 7 \cdot 0,00005 = 0,00035 \text{ с}$;

- час перехідного процесу при відпрацюванні ступінчастого керуючого впливу: $t_{py2}^{(5)} = 12 \cdot T_{\mu T} = 12 \cdot 0,00005 = 0,0006 \text{ с}$;

Імітаційна модель замкнутого контуру потокозчеплення ротора представлена на рис. 2.15.

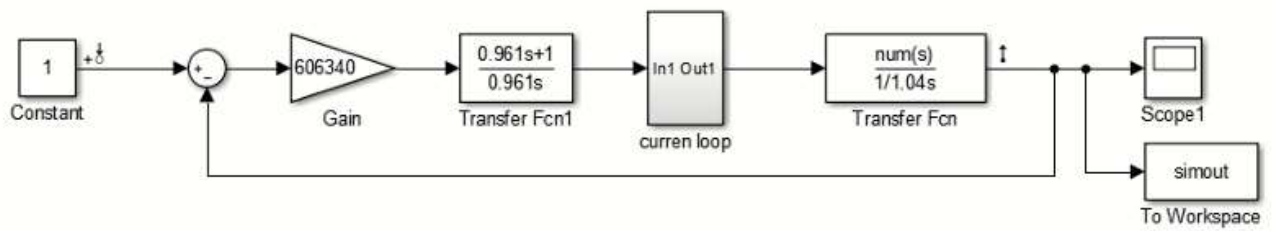


Рис. 2.15. Імітаційна модель замкнутого контуру потокозчеплення ротора

Примітка. Джерело: Розроблено із використанням [7]

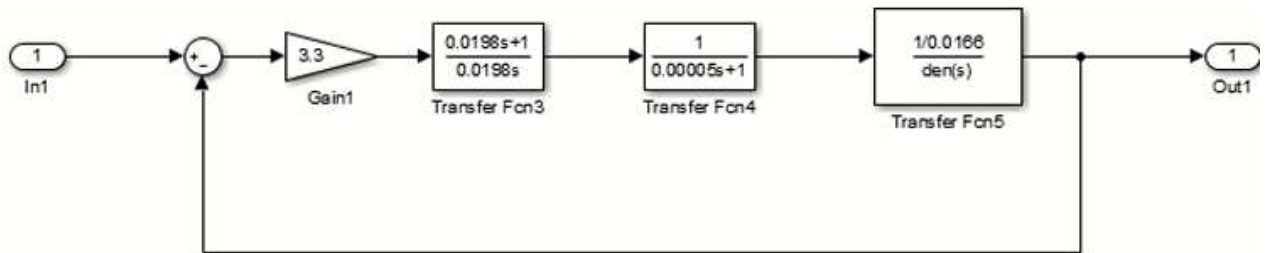


Рис. 2.16. Імітаційна модель підсистеми «Current Loop»

Примітка. Джерело: Розроблено із використанням [7]

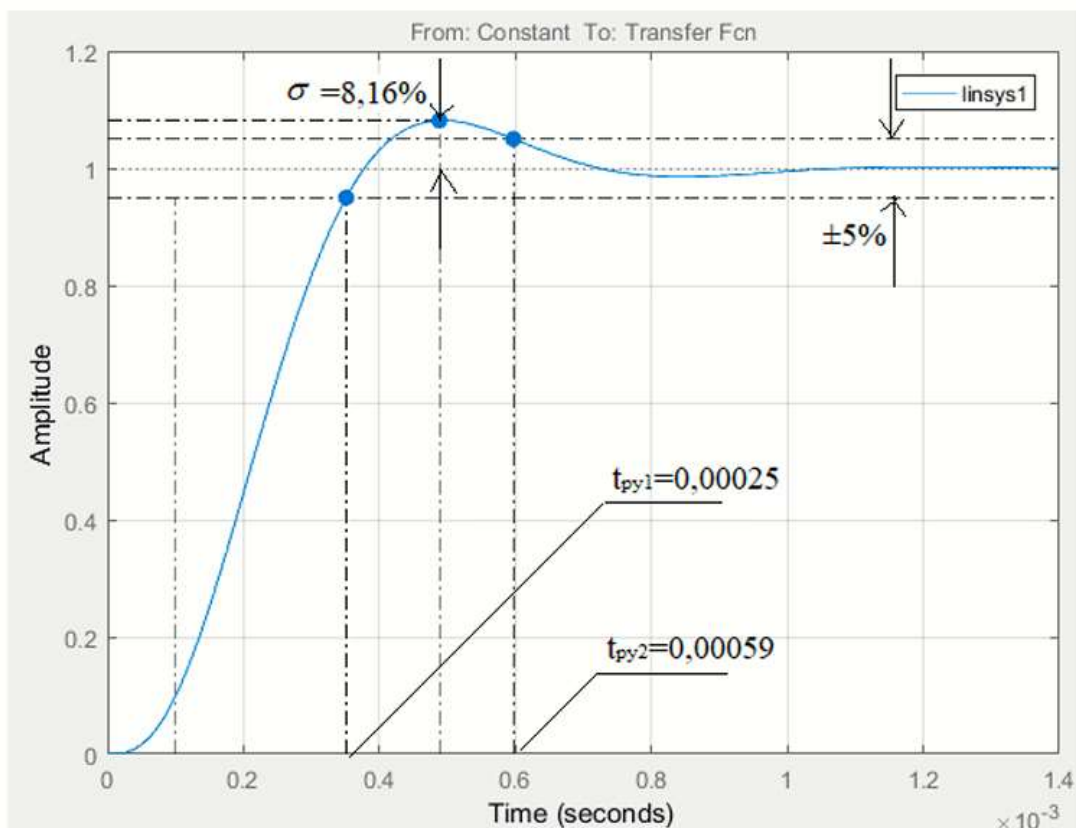


Рис. 2.17. Перехідний процес у контурі потокозчеплення ротора

Примітка. Джерело: Розроблено із використанням [7]

В таблиці 2.6 наведені показники якості роботи лінеаризованого контуру струму

Таблиця 2.6

Показники якості роботи лінеаризованого контуру струму

$t_{py1}^{(5)}, c$	$t_{py2}^{(5)}, c$	$\sigma, \%$	$\Delta\psi_{уст}, Bб$
Очікувані показники			
0,00035	0,0006	8,14	0
Результати моделювання			
0,00025	0,00059	8,16	0

Примітка. Джерело: Розроблено із використанням [7]

Порівнюючи очікувані показники якості перехідного процесу в контурі потокозчеплення, оптимізованого за МО, з результатами моделювання, можна сказати, що теоретичні значення зійшлися з отриманими з допустимою похибкою [5].

2.6.3 Оптимізація контуру швидкості

Структурна схема контуру швидкості представлена на рисунку 2.18

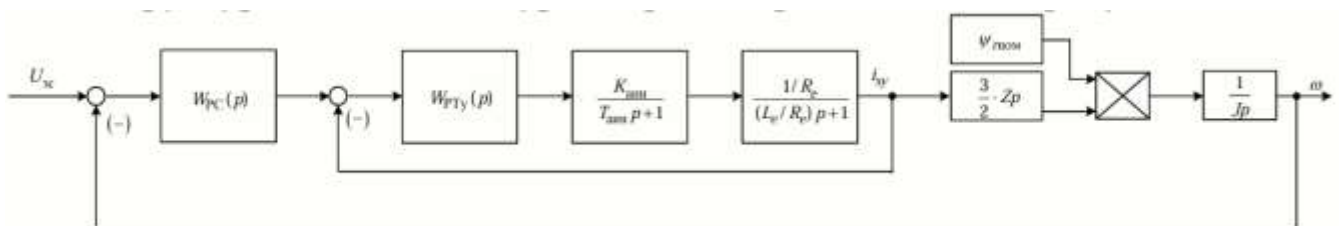


Рис. 2.18. Структурна схема контуру швидкості

Примітка. Джерело: Розроблено із використанням [7]

Контур швидкості налаштовуємо на симетричний оптимум. У цьому випадку приймаємо ПІ-регулятор з передавальною функцією:

$$W_{pc}(p) = k_{pc} \cdot \frac{T_{pc} \cdot p + 1}{T_{pc} \cdot p}. \quad (2.32)$$

Для зменшення впливу роботи контуру поточкозчеплення на динаміку контуру швидкості приймаємо малу постійну часу контуру швидкості, що не компенсується:

$$T_{\mu c} = 32 \cdot T_{\mu T} = 32 \cdot 0,00005 = 0,0016 \text{ с.} \quad (2.33)$$

$$T_{\mu c} = 32 T_{\mu T},$$

Розрахуємо коефіцієнт передачі регулятора швидкості:

$$k_{pc} = \frac{J \cdot 98}{1,5 \cdot z_p \cdot \psi_{2H} \cdot a_c \cdot 1024 \cdot T_{\mu T}} = \frac{7 \cdot 98}{1,5 \cdot 2 \cdot 0,934 \cdot 8 \cdot 1024 \cdot 0,00005} = 674,8 \quad (2.34)$$

де $a_c = 8$ – коефіцієнт оптимізації.

Розрахуємо постійну часу регулятора швидкості:

$$T_{pc} = 98 \cdot T_{\mu T} = 98 \cdot 0,00005 = 0,0049 \text{ с.} \quad (2.35)$$

Для зменшення перерегулювання контуру швидкості, налаштованого на симетричний оптимум, на вхід контуру встановлюємо фільтр (аперіодична ланка першого порядку) з постійної часу:

$$T_{\text{вх.ф}} = 32 \cdot 4 \cdot T_{\mu T} = 32 \cdot 4 \cdot 0,00005 = 0,0064 \text{ с.} \quad (2.36)$$

Очікувані показники роботи замкнутого контуру струму з фільтром на вході:

- помилка, що встановилася: $\Delta \omega_{уст} = 0$;
- перерегулювання: $\sigma = 8,1 \%$;
- час першого погодження: $t_{py1}^{(5)} = 7 \cdot T_{\mu c} = 7 \cdot 0,0016 = 0,0112 \text{ с}$;
- час перехідного процесу при відпрацюванні ступінчастого керуючого впливу: $t_{py2}^{(5)} = 12 \cdot T_{\mu T} = 12 \cdot 0,0016 = 0,0192 \text{ с}$;

Імітаційна модель замкнутого контуру швидкості представлена на рис. 2.19.

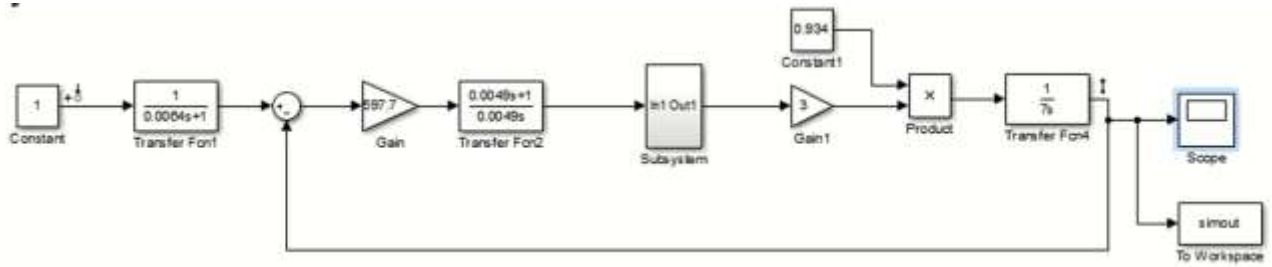


Рис. 2.19. Імітаційна модель замкнутого контуру швидкості

Примітка. Джерело: Розроблено із використанням [7]

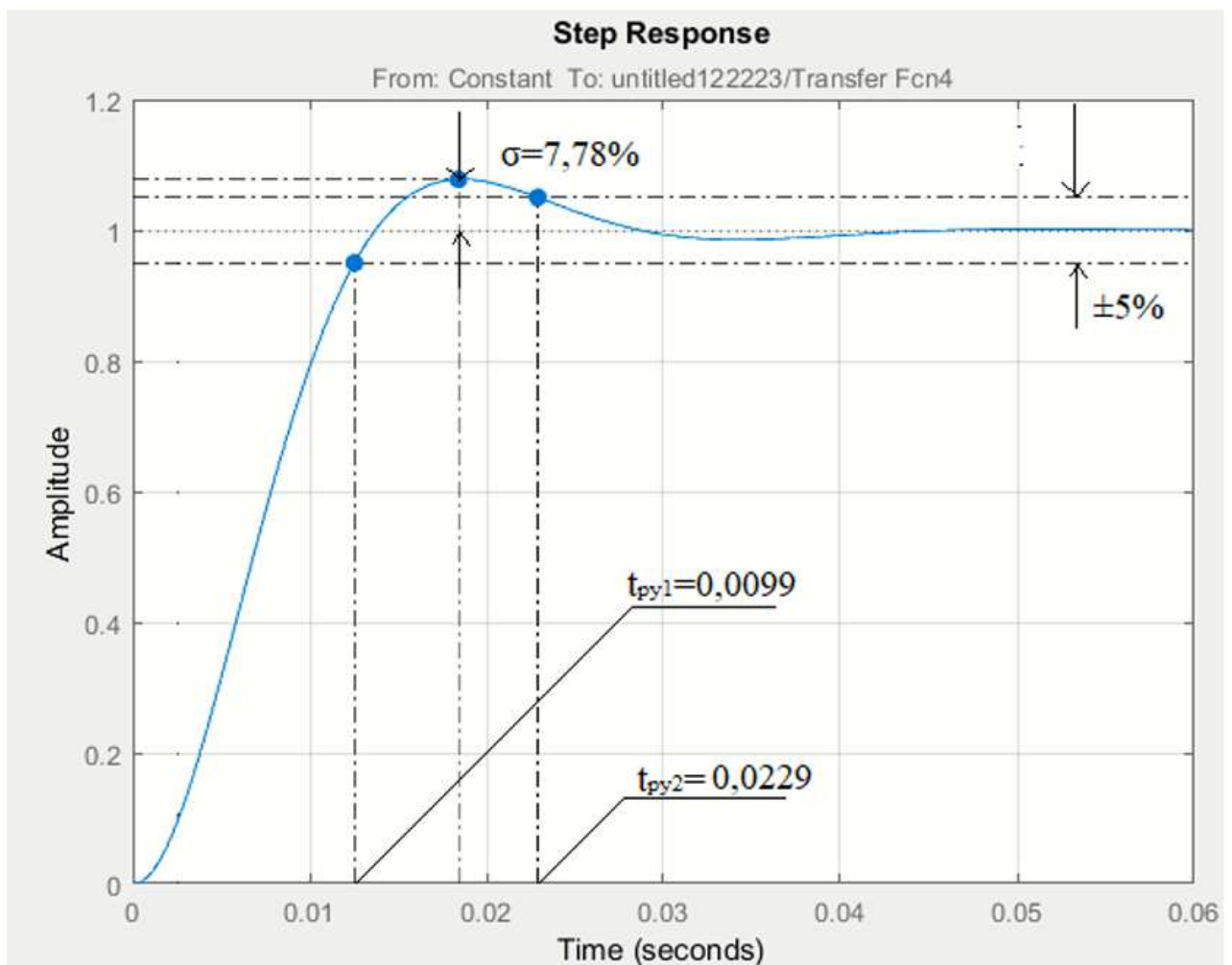


Рис. 2.20. Перехідний процес у контурі швидкості

Примітка. Джерело: Розроблено із використанням [7]

Зведемо теоретичні та експериментальні показники якості роботи лінеаризованого контуру струму до таблиці 2.7.

Таблиця 2.7

Показники якості перехідних процесів з управління чи неаризованого контуру швидкості, оптимізованого по СО

$t_{py1}^{(5)}$, с	$t_{py2}^{(5)}$, с	σ , %	$\Delta\omega_{уст}$, рад/с
Очікувані показники			
0,0112	0,0192	8,1	0
Результати моделювання			
0,0099	0,0229	7,78	0

Примітка. Джерело: Розроблено із використанням [7]

Порівнюючи очікувані показники якості перехідного процесу в контурі швидкості, оптимізованого СО з фільтром на вході, з результатами моделювання, можна сказати, що теоретичні значення зійшлися з отриманими з припустимою похибкою.

2.6.4 Моделювання процесів у САУ РЕП з використанням моделі електродвигуна у нерухомій системі координат

Імітаційна модель САУ РЕП з використанням моделі двигуна нерухомій системі координат представлено рисунку 2.21.

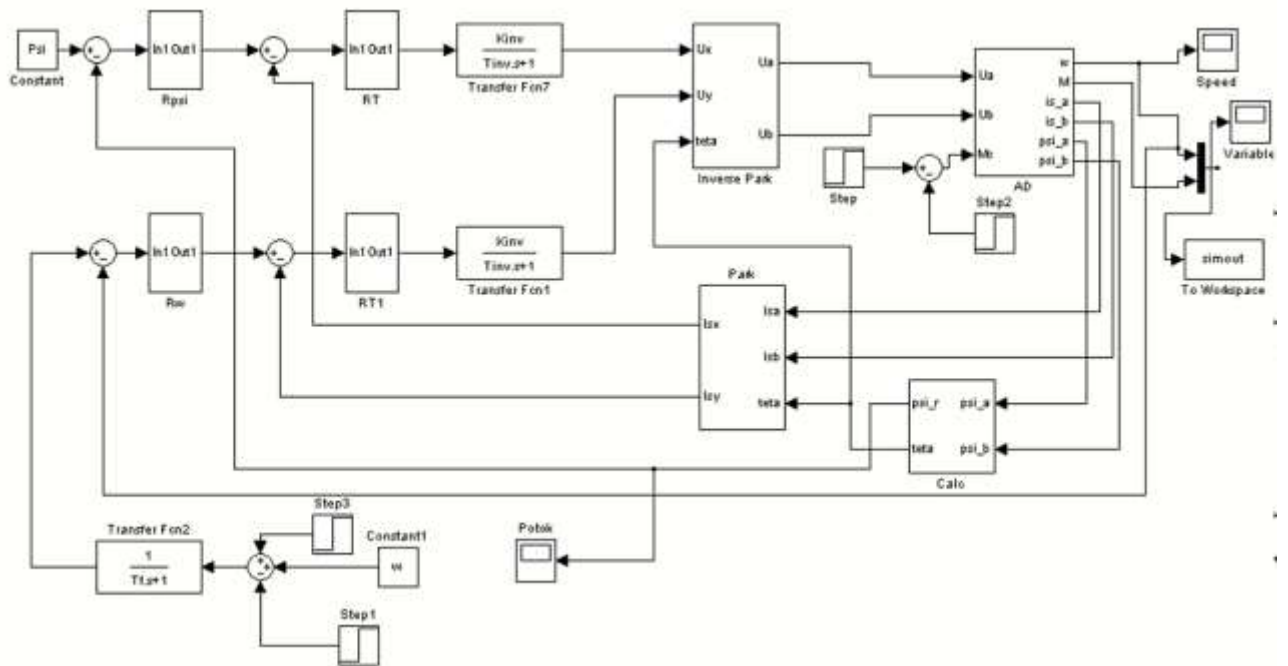


Рис. 2.21. Імітаційна модель нелінійної САУ РЕП у програмному середовищі MATLAB Simulink

Примітка. Джерело: Розроблено із використанням [8]

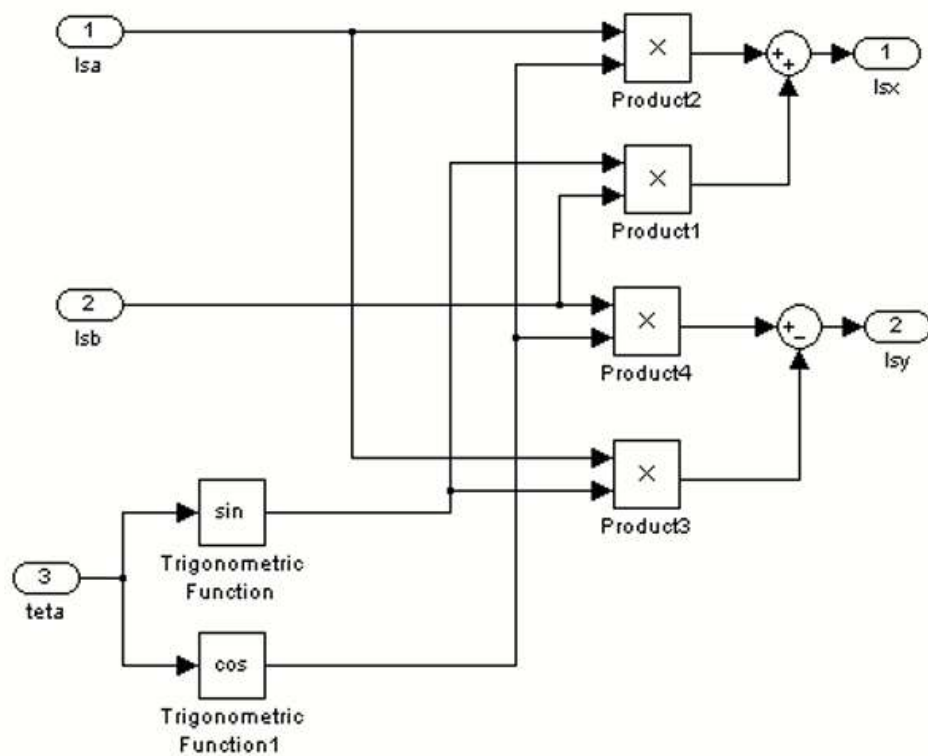


Рис. 2.22. Підсистема "Park"

Примітка. Джерело: Розроблено із використанням [8]

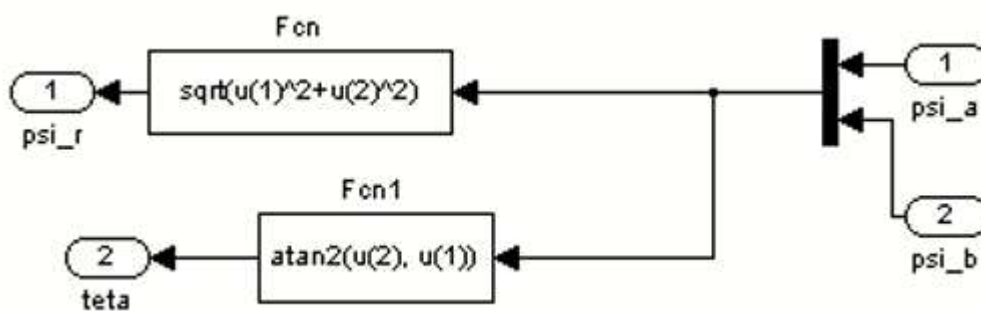


Рис. 2.23. Підсистема "Calc"

Примітка. Джерело: Розроблено із використанням [8]

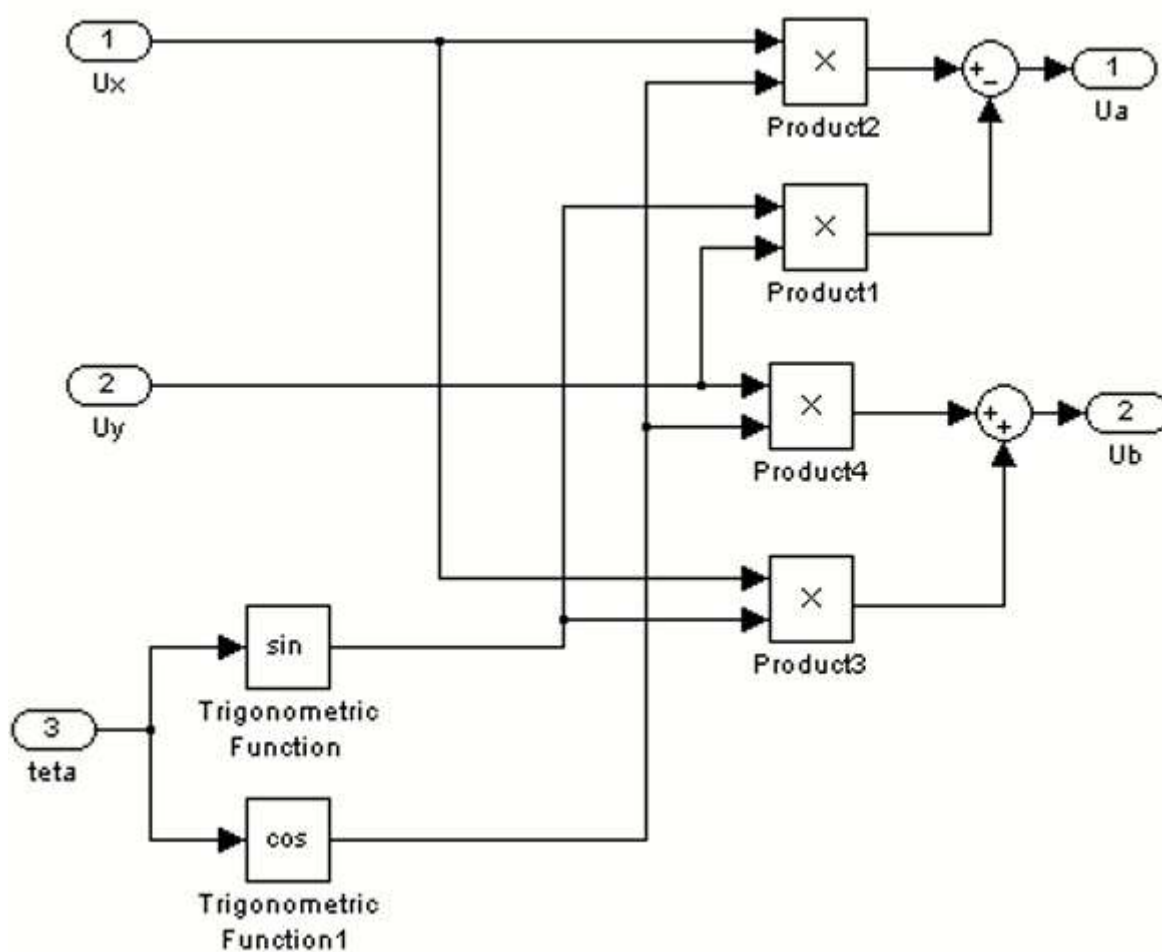


Рис. 2.24. Підсистема "Inverse Park"

Примітка. Джерело: Розроблено із використанням [8]

Підсистеми регуляторів з обмеженнями вихідних сигналів:

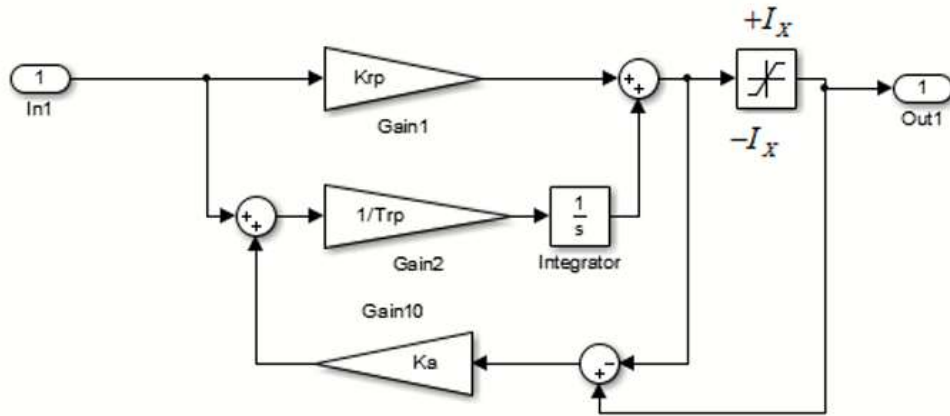


Рис. 2.25. Підсистема "Inverse Park"

Примітка. Джерело: Розроблено із використанням [8]

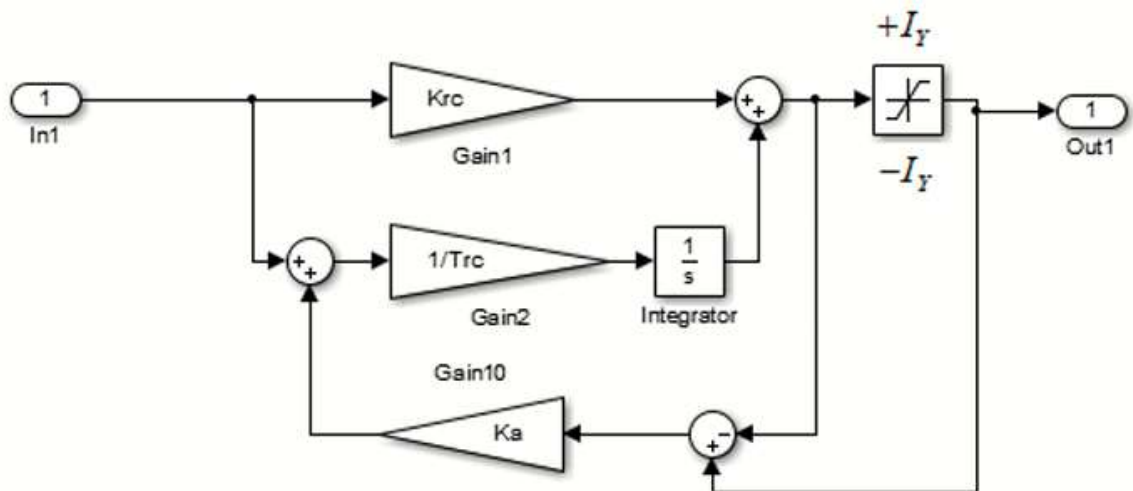


Рис. 2.26. Підсистема R_r нелінійного регулятора потокозчеплення швидкості

Примітка. Джерело: Розроблено із використанням [8]

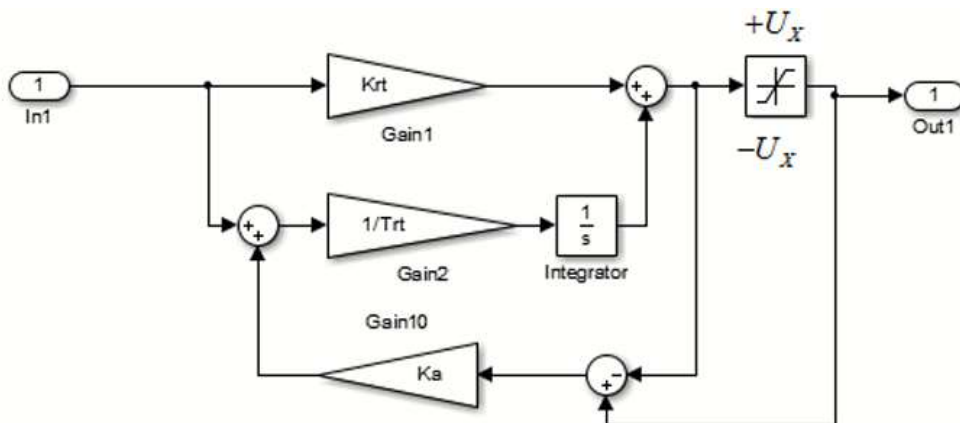


Рис. 2.27. Підсистема «RT» проєкції вектора I_{Ix} струму статора

Примітка. Джерело: Розроблено із використанням [8]

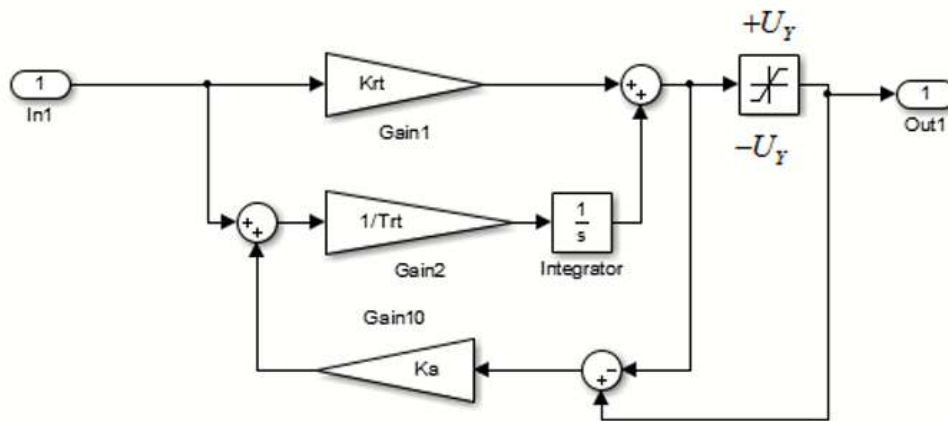


Рис. 2.28. Підсистема «RT1» проекції вектора I_{Ly} струму статора

Примітка. Джерело: Розроблено із використанням [8]

В системі з обмеженнями вихідної напруги регуляторів векторної системи управління здійснимо:

- пуск, накидання та скидання навантаження та зупинку електроприводу
- зняти перехідні процеси швидкості, моменту.

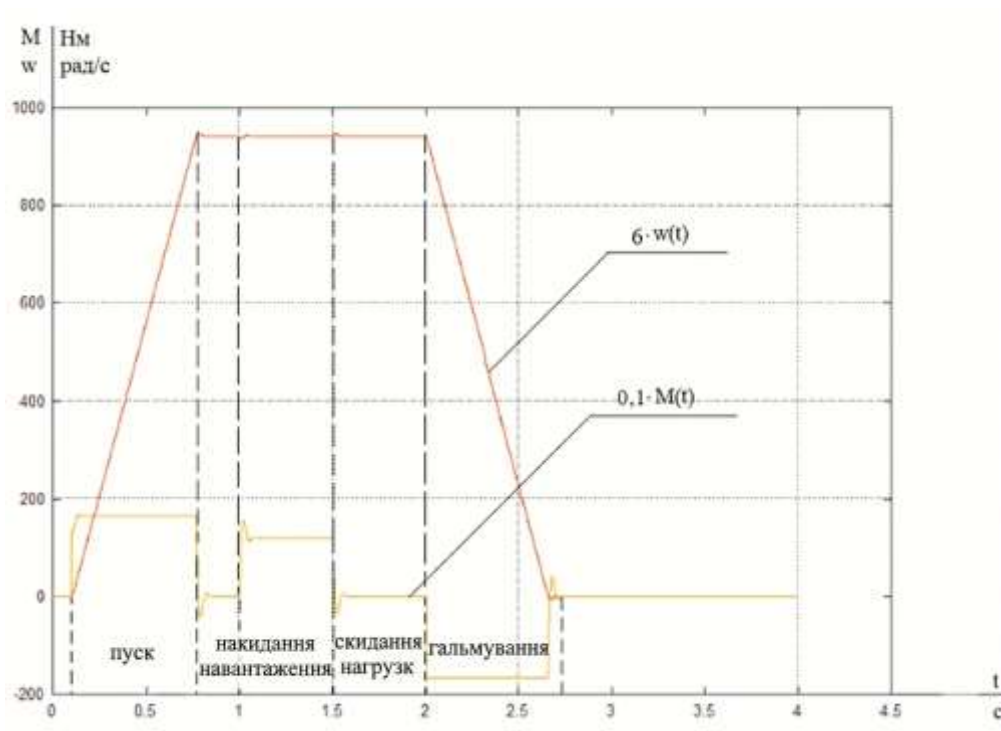


Рис. 2.29. Пуск (на швидкості $\omega_{\text{сп.ном}}$), накидання, скидання навантаження та зупинка електроприводу

Примітка. Джерело: Розроблено із використанням [8]

2.7 Розробка функціональної схеми електроприводу змінного струму на базі перетворювача частоти Danfoss VLT 6400 та асинхронного двигуна

В основі контуру управління частотного перетворювача лежить мікроконтролерний вузол, побудований з урахуванням цифрового сигнального процесора (DSP). За своїми технічними властивостями та архітектурними особливостями цей процесор аналогічний спеціалізованій серії чіпів C2000 Motor Control від Texas Instruments. Повну функціональну схему розробленої мікропроцесорної системи управління показано рис. 2.30.

На цю систему покладено виконання таких основних завдань:

Управління інвертором: формування ШІМ-сигналів для комутації силових транзисторів з можливістю зміни частоти, що несе, в межах від 2 до 16 кГц.

Робота з аналоговою периферією: прийом та обробка сигналів від внутрішніх та зовнішніх датчиків у стандартних форматах струму та напруги (4...20 мА, 0...10 В, ± 10 В).

Зв'язок із комутаційною апаратурою: взаємодія з ланцюгами релейної логіки, кнопками та сигналізацією через дискретні порти вводу/виводу (+24 В) з обов'язковим використанням гальванічної розв'язки для захисту низьковольтної частини.

Моніторинг та візуалізація: безперервний контроль робочих параметрів приводу силами вбудованого контролера та виведення актуальної інформації на графічний екран.

Гнучкість управління: запуск, зупинка та регулювання параметрів приводу як локально (з вбудованою панелі або кнопкового поста), так і дистанційно (за допомогою команд від зовнішнього контролера через інтерфейс RS-485)

Оперативне налаштування: перегляд та коригування конфігурації ПЧ у реальному часі. Налаштування можна виконувати з локального пульта віддалено через RS-485 або безпосередньо з ноутбука по USB-інтерфейсу.

Енергонезалежна пам'ять: збереження робочих уставок приводу при відключенні живлення, а також функція швидкого скидання параметрів до базових заводських налаштувань.

Мережевий контроль: відстеження стану мережі живлення та автоматичний безпечний перезапуск електроприводу після короткочасних просадок або зникнення напруги.

Реєстрація аварій: фіксація нештатних ситуацій із записом точного часу та характеру помилки до журналу аварій. Вся історія подій зберігається в незалежній пам'яті і доступна для аналізу через дисплей, RS-485 або USB.

Імпульси управління від мікропроцесорного ядра передаються затвори силових ключів через плати драйверів. Драйвери тут виступають у ролі буферних елементів, що узгоджують рівні сигналів логічної частини та силової схеми. Крім того, вони виконують найважливішу захисну функцію: при фіксації

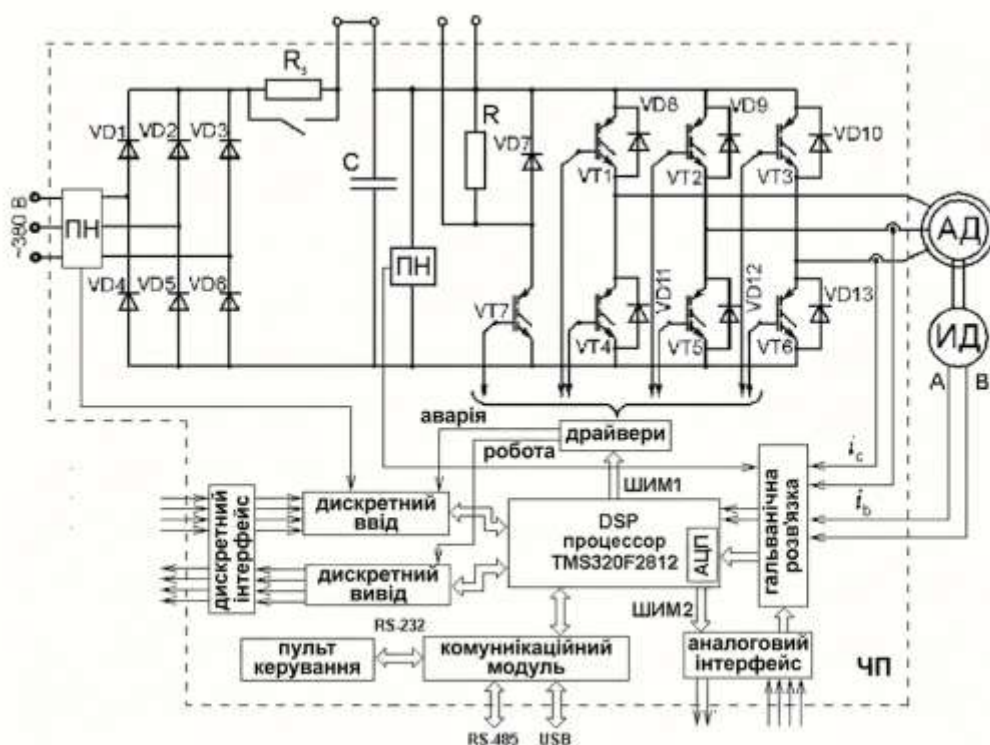


Рис. 2.30. Функціональна схема ЕП на базі АТ та ПЧ Danfoss VLT 6400

Примітка. Джерело: Розроблено із використанням [8]

На збільшених швидкостях обертання ЕП гальмівні режими реалізуються перемиканням АД в генераторний режим за допомогою зниження частоти напруги живлення. Рекуперація енергії в мережу в гальмівних режимах неможлива, тому через силовий ключ VT7 в ланцюг постійного струму вводиться додатковий опір RT для скидання енергії. При роботі на низьких швидкостях для ефективного гальмування використовується режим динамічного гальмування постійним струмом, який подається на дві фази статора обмотки.

Конструктивно всі складові ПЧ розміщуються на кількох платах, встановлених у пластиковому корпусі. Як система охолодження ПЛ використовується металевий радіатор. На верхній кришці розташований рухомий пульт керування з кнопками та графічним індикатором. Прямо під кришкою знаходиться плата управління з елементами системи, роз'єм для зв'язку з пристроями по USB і клемами для підключення ланцюгів керування та сигналізації. Крім модуля з IGBT-транзисторами, на охолоджувальному радіаторі розташовані силовий ключ для організації гальмування, випрямляч мосту та датчик для контролю теплового режиму перетворювача частоти. Для додаткового охолодження різних складових перетворювача частоти корпусі встановлений малогабаритний вентилятор із регульованою частотою обертання.

2.8 Заходи із охорони праці та безпеки при експлуатації екструзійної лінії

Метою даного розділу є аналіз небезпечних та шкідливих факторів при роботі екструзійної лінії TL–60 виробництва телефонного кабелю. Розробка вимог та заходів з техніки безпеки, аналіз пожежної безпеки та вироблення заходів, спрямованих на запобігання пожеж.

2.8.1 Аналіз шкідливих і небезпечних виробничих факторів при експлуатації екструзійної лінії

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

- при обриві жил, оскільки напруга жил та їхня швидкість досить великі;
- при попаданні частин одягу і волосся в механізми лінії, що крутяться;
- можливість ураження електричним струмом.

Небезпеки психологічної групи пов'язані з шумом і монотонністю служінні лінії, що призводить до зниження уваги, підвищення травматизму.

До шкідливих факторів відносяться:

- вібрація обладнання;
- запиленість;
- недостатня освітленість;
- несприятливий мікроклімат.

Несприятливі умови довкілля шкідливо впливають на організм працюючого, знижують реакцію, підвищують стомлюваність. До шкідливих факторів відносяться несприятливий мікроклімат, виробничий пил, шкідливі гази та пари, недостатня освітленість.

Категорія робіт з енерговитрат, пов'язана з виробництвом телефонного кабелю, 2а (фізична середньої тяжкості, енерговитрати до 200 ккал/год).

Мікроклімат виробничого приміщення характеризуються:

1. Температурою повітря:

- у холодну пору року $t = (18 \div 20) \text{ }^{\circ}\text{C}$;
- у теплу пору року $t = (21 \div 23) \text{ }^{\circ}\text{C}$;

2. Вологістю повітря:

- у холодну пору року $(30 \div 60)\%$;
- у теплу пору року $(30 \div 60)\%$;

3. Швидкість руху повітря:

- у холодну пору року 0,2 м/с;
- у теплу пору року 0,3 м/с.

Система опалення цеху – водяна, з вбудованими у будівельні конструкції нагрівальними елементами.

Наявність у виробничих приміщеннях шкідливих парів та газів викликають отруєння та професійні захворювання. Отруєння шкідливими речовинами може виникнути під час розігріву поліетиленової маси до температури близько 220 °С. Пари належать до першого класу небезпеки (надзвичайно (небезпечні речовини), тому робоче місце має загальнообмінну вентиляцію. Виробничі пилю, що складаються в основному з дрібних частинок міді, відносяться до четвертого класу небезпеки (малонебезпечні). У аналізованому виробництві боротьба з пилом ведеться за допомогою промислового пилососа, оскільки технологічний процес вимагає ліквідації пилу. Виробничий процес відноситься до 1а групи (надлишки явного тепла незначні, відсутні значні виділення вологи, пилу, особливо забруднюючих речовин).

Робота виконується у спецодязі, із застосуванням засобів індивідуального захисту (респіратори). Допоміжні приміщення мають вбиральне обладнання та душові кімнати. Виробництво відноситься до третьої категорії вібрації, виробничі шуми незначні.

У таблиці 2.8 наведено допустимі рівні звукового тиску, виміряні у восьми октанових смугах із середньгеометричними частотами.

Таблиця 2.8

Допустимі рівні звукового тиску, виміряні у восьми октанових смугах із середньгеометричними частотами

Рівні звукового тиску, Дб, в октанових смугах із середньгеометричними частотами							
63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
99	92	86	83	80	78	78	74

Примітка. Джерело: Розроблено із використанням [10]

Необхідні умови для зниження шуму:

Все обладнання, що застосовується на ділянці обробки, для зниження шуму встановлено на віброопорах. На даній ділянці, при виконанні заходів щодо скорочення проникнення шумів на вулицю, світлові отвори доцільно закладати склоблоками.

Шкідливим виробничим фактором є вібрація: механічні коливання твердих тіл, які передаються організму людини. Вони можуть бути причиною розладу серцево-судинної та нервової системи, а також опорно-рухової системи людини. Вимірювання вібрації проводиться приладом ВШВ-003-М2, забезпеченим датчиком вібрації, рівень вібрації, (згідно [ГОСТ 12.1.012-90 ССБТ.]) до 90 Дб. Нормативним документом, що розглядає рівні шуму для різних категорій робочих місць, службових приміщень є ГОСТ 12.1.003–2014. ССБТ.

Безпека на виробництві значною мірою залежить від освітлення. Основне завдання освітлення з виробництва – створення найкращих умов зору трудящих. Це завдання можна вирішити лише освітлювальною системою, яка має відповідати вимогам. Освітленість на робочому місці має відповідати характеру зорової роботи. Роботи належать до розряду IV Р. Необхідна норма освітлення ЕНОР=250 ЛК. Для створення ЕНОР застосовується поєднане освітлення: природне та загальне люмінесцентне освітлення. Для створення раціональних умов освітлення важливе значення має ретельний та регулярний догляд за установками природного та штучного освітлення. Необхідно стежити за справністю схем включення, регулярно замінювати лампи, що перегоріли. На виробництві для захисту органів зору від ультрафіолетового та інфрачервоного

випромінювання та сліпучої яскравості видимого світла застосовують захисні окуляри, щитки, шоломи. На підприємствах необхідно регулярно проводити організаційні заходи щодо забезпечення безпеки праці.

2.8.2 Засоби зниження дії небезпечних і шкідливих виробничих чинників

Дане приміщення, згідно з ПУЕ, відноситься до категорії низької небезпеки ураження електричним струмом. До роботи на лінії допускаються особи, які добре вивчили правила обслуговування та управління лінією та пройшли інструктаж щодо дотримання правил техніки безпеки. До робіт з налагодження електроприводу допускаються не менше двох осіб за письмовим дозволом керівника. При налаштуванні схем, заміні запобіжників тощо, необхідно використовувати прилади та засоби захисту, призначені для робіт на електроустановках до 1000 В. Засоби захисту, до яких належать гумові калоші, килимки, ізоляція інструменту тощо, повинні перевірятись перед кожним використанням. При налагодженні приводу необхідно застосування забороняючих та попереджувальних плакатів. Випробування електроприводу здійснюється спочатку на холостому ходу потім під навантаженням.

Для безпечної роботи механічної частини електроприводу необхідно мати огороження, що мають відповідну міцність. Під час роботи лінії не допускається брати пучок жил до рук поблизу працюючих органів лінії.

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

2.8.3 Пожежна безпека та санітарія

Пожежна безпека є одним із найважливіших розділів охорони праці з виробництва. Істотну роль у профілактиці та запобіганні пожеж грає правильний вибір режиму роботи електроустаткування з з урахуванням класу з пожежонебезпеки, застосування блискавковідводів. Усі виробничі приміщення з пожежонебезпеки поділяються на п'ять основних категорій. У процесі одержання виробу на лінії видимі ознаки, що зумовлюють виникнення пожежі, відсутні і, отже, дане виробництво згідно з федеральним законом від 22.07.2013 р. №123 – ФЗ можна віднести до категорії Д (виробництво, в якому вогнетривкі речовини та матеріали, що перебувають у холодному стані). Однак, у даному технологічному

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

- системою запобігання пожежі;
- системою протипожежного захисту;
- організаційно-технічними заходами.

Системи запобігання пожежі та протипожежному захисту, забезпечують збереження матеріальних цінностей. Економічна ефективність повинна розраховуватися з урахуванням ймовірності виникнення пожежі та можливих збитків від нього. Запобігання пожежі має досягатися запобіганням утворення пального середовища. Це має забезпечуватись мінімально можливе застосування

горючих матеріалів. Зміст газів, парів, суспензій і легкозаймистих рідин має бути по можливості поза межами займання.

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

Вогнегасники різних видів відносяться до класу переносних засобів пожежогасіння. Вогнегасники, придатні до експлуатації, повинні мати бирку та маркування та повинні бути пофарбовані в червоний колір. Заряджання та перезаряджання всіх типів вогнегасників повинна виконуватись відповідно до інструкцій з експлуатації. Вогнегасники повинні розташовуватися в помітних і легко до пустим місцях, де виключено потрапляння сонячних променів.

Таблиця 2.9

Кількість первинних засобів пожежогасіння

Цех	S цеху, м ²	Вогнегасники: ВВ-5 (ОУ-5)	Вогнегасники: ВХП-10 (ОХП-10)	Ящик з піском, м ³ / шт.*
Екструзійна лінія	300	1	2	1

Примітка. Джерело: Розроблено із використанням [10]

Пожежний ручний інструмент та інвентар, розміщений на об'єкті, підлягає періодичному обслуговуванню, що включає таке: очищення від пилу, бруду та корозії; відновлення відповідного забарвлення. Ящики з піском повинні бути укомплектовані лопатою та мати вмістність до 3 м³.

На робочому місці кожен верстат повинен бути оснащений захищеною апаратурою. Повинне бути передбачене блокування та захист на випадок короткого замикання та перевантажень, забезпечення можливості зняття напруги всього обладнання за допомогою розташованих поза приміщенням рубильників.

Для куріння мають бути відведені спеціальні місця. У виробничих приміщеннях повинна забезпечуватися можливість евакуації людей та обладнання у разі пожежі.

ВИСНОВКИ

Метою випускної кваліфікаційної роботи було дослідження електроприводу екструдера на основі двигуна змінного струму. Досліджено електропривод змінного струму, визначено його параметри, статичні та динамічні характеристики. У роботі запропоновано реалізувати систему РЕП екструдера як систему автоматичного управління, виконану на модульній, програмній структурі, що перебудовується, з можливістю реалізації законів векторного управління в замкнутій структурі контурами струму, швидкості і потокозчеплення. У ході імітаційного моделювання динамічних режимів роботи встановлено, що розроблена система відпрацьовує задану діаграму руху та забезпечує необхідні показники якості:

- швидкість виходить на задане значення з величиною перерегулювання не більше 0,01 базового значення;

- час перехідного процесу не перевищує 3 с.

Ключова перевага векторного закону регулювання над скалярним полягає у підвищеній якості перехідних характеристик, але при цьому необхідно здійснити налаштування регуляторів контурів потоку, швидкості і струму, правильно вибравши постійні часу контурів. У разі застосування законів векторного управління в системі РЕП екструдера були отримані приблизно однакові результати відхилення швидкості при накиданні і скиданні навантаження.

Таким чином, розроблена система РЕП екструдера повністю задовольняє технічним вимогам.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Бойко М. Г., Федоренко О. В. Виробництво кабелів і проводів із пластмасовою та гумовою ізоляцією: навч. посіб. Харків : НТУ «ХПІ», 2017. 240 с.
2. Афанасьєва П. В., Ковальова К. М. Кабелі, дроти та шнури: довідник Київ: Техніка, 2015. 412 с.
3. Клепиков В. Б., Руднєв Ю. В. Автоматизований електропривод промислових установок: підручник для зВО. Харків: Еспада, 2018. 384 с.
4. Маляр В. С. Розрахунок та характеристики асинхронних двигунів у системах електропривода : навч. посіб. Львів: Видавництво Львівської політехніки, 2019. 196 с.
5. Ткачук О.І., Вовк В.М., Кузнецов Д.О. Системи керування асинхронними частотно-регульованими електроприводами: навч. посіб. Київ: Каравела, 2021. 288 с.
6. Морозов В.В. Управління проєктами: від планування до реалізації: навч. посіб. Київ: КНЕУ, 2016. 320 с.
7. Бушуєв С.Д. Підручник для бакалаврів. Київ: Саміт-Книга, 2020. 440 с.
8. Варналій З.С. Основи підприємницької діяльності: довідник підприємця. Київ: Знання, 2019. 380 с.
9. Олійник О.В., Шорникова Н. М. Аудит та облік розрахунків з оплати праці на підприємстві: навч. посіб. Житомир: ПП «Рута», 2018. 112 с.
10. ДСТУ EN 614-1:2019 (EN 614-1:2006 + A1:2009, IDT). Безпечність машин. Ергономічні принципи проєктування. Частина 1. Термінологія та загальні принципи.
11. ДСТУ 9221:2023 Безпека у надзвичайних ситуаціях. Гранично допустимі рівні напруг дотику та струмів. Київ: УкрНДНЦ, 2023.
12. ДСТУ 9113:2021 Електробезпека. Захисне заземлення та занулення електроустановок. Технічні вимоги та правила улаштування. Київ: УкрНДНЦ, 2021.

13.ДСТУ 8749:2017 Охорона атмосферного повітря. Правила встановлення допустимих викидів забруднюючих речовин промисловими підприємствами. Київ: УкрНДНЦ, 2017.



Метадані

ДОКУМЕНТ

Заголовок

141-83-2026врб

Автор

141-83-2026врб

Науковий керівник / Експерт

Модло Є.

ІД документу

334168293

ОРГАНІЗАЦІЯ

Назва організації

STATE UNIVERSITY OF ECONOMICS AND TECHNOLOGY

Підрозділ

STATE UNIVERSITY OF ECONOMICS AND TECHNOLOGY

ЗВІТ

Дата звіту

6/4/2026

Дата редагування

—

Обсяг знайдених подібностей

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



6590

Кількість слів



53036

Кількість символів

Тривога

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

Заміна букв		25
Інтервали		0
Мікропробіли		0
Білі знаки		0
Парафрази (SmartMarks)		127

Джерела

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

10 найдовших фраз		Копір тексту
#	НАЗВА ТА АДРЕСА ДЖЕРЕЛА URL (НАЗВА БАЗИ)	КІЛЬКІСТЬ ІДЕНТИЧНИХ СЛІВ (ФРАГМЕНТІВ)
1	https://polyplastic.ua/ua/news/news-101.html	159 (2.41 %)

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

Я, Тимуш Віктор Андрійович, підтримую політику Державного університету економіки і технологій з академічної доброчесності і відкритого доступу. Стверджую, що кваліфікаційна бакалаврська робота «Електромеханічне обладнання металургійного виробництва. Асинхронний електропривод екструдера агрегату для накладання пластмасової ізоляції, поліпропіленової нитки» виконана самостійно та не містить академічного плагіату. Я не надавав і не одержував недозволену допомогу під час підготовки цієї роботи. Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають покликання на відповідне джерело.

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

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

Дата 01.06.2026

Підпис