

**НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»**

Факультет електроенерготехніки та автоматики

(повне найменування інституту, факультету)

Кафедра автоматизації електромеханічних систем та електроприводу

(повна назва кафедри)

«До захисту допущено»

Завідувач кафедри

(підпис) Сергій ПЕРЕСАДА

“ ____ ” _____ 2021 р.

Дипломний проект

на здобуття ступеня бакалавра

за освітньо-професійною програмою «Електромеханічні системи
автоматизації, електропривод та електромобільність»
спеціальності 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»
(код і назва)

на тему: Електромеханічна система бігової доріжки

Виконав (-ла): студент (-ка) IV курсу, групи ЕП-71
(шифр групи)

Шен Гоцін

(прізвище, ім'я, по батькові)

盛国庆

(підпис)

Керівник асистент Желінський Микола Миколайович
(посада, науковий ступінь, вчене звання, прізвище, ім'я, по-батькові)

(підпис)

Консультант _____
(назва розділу) (посада, вчене звання, науковий ступінь, прізвище, ім'я, по-батькові) (підпис)

Рецензент ст.викл., к.т.н., Монахов Євген Андрійович
(посада, науковий ступінь, вчене звання, науковий ступінь, прізвище, ім'я, по-батькові) (підпис)

Засвідчую, що у цьому дипломному
проекті немає запозичень з праць інших
авторів без відповідних посилань.

Студент (-ка) 盛国庆
(підпис)

Київ – 2021 р.

ВІДОМІСТЬ ДИПЛОМНОГО ПРОЕКТУ

№ з/п	Формат	Позначення	Найменування	Кількість листів	Примітка
1	A4		Завдання на дипломний проект	2	
2	A4	141.0088.031.БР	Пояснювальна записка	77	
3	A1	141.0088.031.БР	Креслення загального виду	1	
4	A1	141.0088.031.БР	Схема електрична принципова	1	
5	A1	141.0088.031.БР	Структурна схема алгоритму керування	1	
6	A1	141.0088.031.БР	Результати досліджень перехідних процесів	1	

				141.0088.031.БР		
	ПІБ	Підпис	Дата	Відомість дипломного проекту	Лист	Листів
Розробн.	Шен Гоцін	盛国庆	08.06		2	77
Керівн.	Желінський М. М.		09.06			
Консульт.						
Н/контр.	Желінський М. М.		09.06			
Зав.каф.	Пересада С. М.				КП ім. Ігоря Сікорського Каф. АЕМС-ЕП Гр. ЕП -71	

Пояснювальна записка до дипломного проекту

на тему: Електромеханічна система бігової доріжки

**Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»**

Факультет електроенерготехніки та автоматики

(повна назва)

Кафедра автоматизації електромеханічних систем та електроприводу

(повна назва)

Рівень вищої освіти – перший (бакалаврський)

Спеціальність – 141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка

(код і назва)

Освітньо-професійна програма – Електромеханічні системи автоматизації, електропривод та електромобільність

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

_____ Сергій ПЕРЕСАДА

(підпис)

«__» _____ 2021 р.

**ЗАВДАННЯ
на дипломний проект студенту**

Шен Гоцін

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема проекту: Електромеханічна система бігової доріжки

керівник проекту: _____ асистент Желінський Микола Миколайович

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

затверджені наказом по університету від «__» _____ 20__ р. № _____

2. Термін подання студентом проекту 09.06.2021р.

3. Вихідні дані до проекту: Максимальна вага людини $m = 130$ кг, швидкість бігу $v = 4.3$ м/с, коефіцієнт тертя $\mu = 0.4$, діаметр барабана $d = 0.06$ м.

4. Зміст пояснювальної записки: Вступ; 1 Аналітичний огляд електромеханічної системи на основі бігової доріжки; 2 Розрахунок та вибір основних елементів електромеханічної системи; 3 Алгоритм векторного

керування кутовою швидкістю асинхронного двигуна; 4 Дослідження динамічних та статичних режимів електромеханічної системи; 5 Розробка схеми керування асинхронним двигуном; Висновки.

5. Перелік графічного матеріалу (із зазначенням обов'язкових креслеників, плакатів, презентацій тощо): Креслення загального виду електромеханічної системи бігової доріжки (формат A1); схема електрична принципова керуючого пристрою (формат A1); структурна схема алгоритму керування; результати дослідження статичних та динамічних режимів (формат A1).

6. Консультанти розділів проекту*

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв

* Якщо визначені консультанти. Консультантом не може бути зазначено керівника дипломного проекту.

7. Дата видачі завдання: 30 березня 2021 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН – ГРАФІК

№ з/п	Назва етапів виконання дипломного проекту	Обсяг, с	Термін виконання етапів проекту	Примітка
1.	Аналітичний огляд електромеханічної системи на основі бігової доріжки.	15	09.04.2021	виконано
2.	Розрахунок та вибір основних елементів електромеханічної системи.	7	20.04.2021	виконано
3.	Алгоритм векторного керування кутовою швидкістю асинхронного двигуна	11	10.05.2021	виконано
4.	Дослідження статичних та динамічних режимів електромеханічної системи.	11	15.05.2021	виконано
5.	Розробка (опис) схеми керування.	10	28.05.2021	виконано
Оформлення пояснювальної записки та графічної частини. Підготовка презентації			03.06.2021	виконано
Разом		60-90		

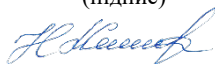
Студент

盛国庆

(підпис)

Гоцін ШЕН

Керівник проекту



(підпис)

Микола ЖЕЛІНСЬКИЙ

РЕФЕРАТ

Бакалаврська робота складається із вступу, п'яти розділів, висновка, з переліку джерел посилання і додатка (77 сторінок пояснювальної записки, 28 рисунків, 4 таблиці, 40 використаних джерел та 2 додатки).

Мета роботи – розробка електромеханічної системи бігової доріжки на основі асинхронного двигуна.

Предмет дослідження – алгоритм прямого векторного керування кутовою швидкістю асинхронного двигуна.

В даному дипломному проєкті на основі аналітичного огляду сформовані вимоги до електроприводу електричної бігової доріжки, на основі параметрів і характеристик обрано систему векторного керування кутовою швидкістю. Розраховано та обрано асинхронний двигун 4A90L4Y3. На основі опису системи керування сформована модель електромеханічної системи в пакеті прикладних програм Matlab Simulink. Методом математичного моделювання, отримані графіки динамічних режимів бігової доріжки, які відповідають в завданні вимогам. Здійснено вибір перетворювача частоти та представлено його налаштування.

БІГОВА ДОРІЖКА, ЕЛЕКТРОМЕХАНІЧНА СИСТЕМА, ВЕКТОРНЕ
КЕРУВАННЯ, ЕЛЕКТРОПРИВОД, АСИНХРОННИЙ ДВИГУН, ПЕРЕХІДНІ
ПРОЦЕСИ, ПЕРЕТВОРЮВАЧ ЧАСТОТИ

					141.0088.031.БР			
					Електромеханічна система бігової доріжки Реферат	Літ.	Маса	Масштаб
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата				
Розроб.		Шен Гоцін	盛国庆	08.06				
Перевір.		Желінський М. М.	Ж. Желінський	09.06				
Т. Контр.						Аркуш 7	Аркушів	77
Реценз.		Монахов С. А.	С. А. Монахов	09.06		КПІ ім. Ігоря Сікорського, кафедра АЕМС-ЕП, ФЕА, група ЕП-71		
Н. Контр.		Желінський М. М.	Ж. Желінський	09.06				
Затверд.		Пересада С. М.						

SUMMARY




The bachelor's work consists of an introduction, five chapters, a conclusion, a list of reference sources and an appendix (77 pages of explanatory note, 28 figures, 4 tables, 40 sources used and 2 appendices).

The purpose of the work is to develop an electromechanical treadmill system based on an asynchronous motor.

The subject of research is the algorithm of direct vector control of the angular velocity of an asynchronous motor.

In this diploma project on the basis of analytical review the requirements to the electric drive of an electric treadmill are formed, on the basis of parameters and characteristics the system of vector control of angular speed is chosen. An asynchronous motor of type 4A90L4U3 is calculated and selected. Based on the description of the control system, a model of the electromechanical system in the Matlab Simulink application package is formed. By the method of mathematical modeling, graphs of dynamic modes of the treadmill are obtained, which meet the requirements in the task. The frequency converter is selected and its settings are presented.

TREADMILL, ELECTROMECHANICAL SYSTEMS, VECTOR CONTROL, ELECTRIC DRIVE, ASYNCHRONOUS MOTOR, TRANSIENT PROCESSES, FREQUENCY CONVERTER

					141.0088.031.BW								
					Electromechanical system of a treadmill Summary				Let.		Mass	Scale	
Ch.	Sheet	№ document	Sign.	Date									
Develop.		Guoqing Sheng	盛国庆	08.06									
Check.		M. Zhelinskyi		09.06									
T. contr.									Sh.	8	Sheets	77	
Review.		E. Монахов		09.06	Igor Sikorsky KPI, FEA, AEMS-ED, EP-71								
N. contr.		M. Zhelinskyi		09.06									
Approv.		S. Peresada											

ЗМІСТ

ВСТУП	11
1 АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД ЕЛЕКТРОМЕХАНІЧНОЇ СИСТЕМИ НА ОСНОВІ БІГОВОЇ ДОРІЖКИ	13
1.1 Опис електромеханічної системи бігової доріжки.....	13
1.2 Способи керування електромеханічної системи бігової доріжки	17
1.3 Формулювання вимог до електромеханічної системи.....	25
Висновки до розділу 1	26
2 РОЗРАХУНОК ТА ВИБІР ОСНОВНИХ ЕЛЕМЕНТІВ ЕЛЕКТРОМЕХАНІЧНОЇ СИСТЕМИ.....	28
2.1 Визначення потужності та вибір електродвигуна	28
2.2 Перевірка двигуна за перевантажувальною здатністю.....	29
2.3 Розрахунок параметрів асинхронного двигуна	30
Висновки до розділу 2	34
3 АЛГОРИТМ ВЕКТОРНОГО КЕРУВАННЯ КУТОВОЮ ШВИДКІСТЮ АСИНХРОННОГО ДВИГУНА	35
3.1 Формулювання задачі векторного керування.....	35
3.2 Формулювання задачі прямого векторного керування.....	37
Висновки до розділу 3	44
4 ДОСЛІДЖЕННЯ ДИНАМІЧНИХ ТА СТАТИЧНИХ РЕЖИМІВ ЕЛЕКТРОМЕХАНІЧНОЇ СИСТЕМИ.....	45
4.1 Дослідження динамічних характеристик в номінальному режимі	45
4.2 Дослідження динамічних характеристик в режимі ходьби.....	50
Висновки до розділу 4	55
5 РОЗРОБКА СХЕМИ КЕРУВАННЯ АСИНХРОННИМ ДВИГУНОМ	56
5.1 Типові вимоги до перетворювачів та функціональна схема асинхронного електроприводу	56
5.2 Розрахунок силової частини	58
5.3 Налаштування перетворювача частоти	62
Висновки до розділу 5	65

	10
ВИСНОВКИ.....	66
ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ	67
ДОДАТОК А Плакати графічної частини	71
ДОДАТОК Б Специфікація.....	76

ВСТУП

В даний час біг користується міжнародною популярністю і високо цінується медичними та спортивними колами. Це найбільш ефективний і науковий спосіб зберегти здоров'я тіла і розуму, і він стає все більш популярним.

Біг на довгі дистанції на відкритому повітрі колись був найпопулярнішою формою вправ серед населення. Вдихати свіже ранкове повітря уздовж усадженої деревами алеї і слухати спів птахів на гілках може не тільки зробити приємність тілу і розуму, а й розважити тіло. Просто в міру того, як атмосфера міста стала брудною, а ритм життя став напруженим, біг на довгі дистанції на відкритому повітрі став менш популярним, а бігові доріжки стали найпопулярнішим фітнес-обладнанням для фітнесу в даний час. Бігові доріжки не тільки позбавляють нас від вихлопів автомобілів, але і дозволяють тренуватися в будь-який час у зручний для нас час.

Електрична бігова доріжка вже багато років користується популярністю у всьому світі. Бігове полотно приводиться в рух двигуном, що дозволяє людям пасивно бігати або ходити з різною швидкістю. Оскільки електронне допоміжне обладнання на електричній біговій доріжці виконує безліч функцій, що тренуються можуть працювати в різних умовах, таких як біг по рівній поверхні, біг в гору, біг по схилу, біг зі змінною швидкістю і т. д.. Люди можуть тренуватися відповідно до їх власними цілями вправ. Бігова доріжка може відображати швидкість, час, частоту серцевих скорочень, калорії, ритм, відстань і інші показники бігу, коли культурист виконує вправи, так що культурист може в будь-який час регулювати інтенсивність тренування відповідно до свого фізичного стану.

В даний час більшість бігових доріжок є електричні бігові доріжки. Двигуни постійного струму широко використовуються в системах регулювання швидкості бігової доріжки з хорошими характеристиками регулювання швидкості. З розвитком технології силової електроніки двигуни

змінного струму характеризуються зручним обслуговуванням і простою конструкцією. Він використовується в системі керування швидкістю бігової доріжки, а перетворювач частоти як пристрій керування системою керування швидкістю двигуна змінного струму привертає все більше і більше уваги.

Таким чином, метою даної бакалаврської роботи є створення електромеханічної системи бігової доріжки на основі асинхронного двигуна.

1 АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД ЕЛЕКТРОМЕХАНІЧНОЇ СИСТЕМИ НА ОСНОВІ БІГОВОЇ ДОРІЖКИ

1.1 Опис електромеханічної системи бігової доріжки

Бігова доріжка – це пристрій, який зазвичай використовується для ходьби, бігу або лазіння, залишаючись на одному місці. Бігові доріжки були введені до розробки механічних машин, щоб використовувати силу тварин або людей для виконання роботи, часто це тип млина, керованої людиною або твариною, ступаючим сходами бігового колеса для подрібнення зерна [1].

Останнім часом бігові доріжки замість цього використовувалися в якості тренажерів для бігу або ходьби на одному місці. Замість того, щоб приводити в дію млин користувачем, пристрій забезпечує рухому платформу з широкою конвеєрною стрічкою, що приводиться в рух електродвигуном або маховиком. Ремінь переміщається назад, що вимагає від користувача ходьби або бігу зі швидкістю, що відповідає ременя. Швидкість руху полотна - це швидкість ходьби або бігу. Таким чином, швидкість бігу можна контролювати і вимірювати. Дорожчі версії для важких умов експлуатації мають привід від електродвигуна (зазвичай від електродвигуна). Простіші, легкі і менш дорогі версії пасивно пручаються руху, рухаючись тільки тоді, коли ходунки штовхають стрічку ногами. Останні відомі як ручні бігові доріжки.

З постійним розвитком суспільства ми починаємо наносити все більший і більший збиток навколишньому середовищу. Погіршення стану навколишнього середовища робить нам все важче підтримувати своє здоров'я. Через суворих умов навколишнього середовища в багатьох місцях більше неможливо виконувати необхідні нам справи. Таким чином, домашня бігова доріжка відповідає вимогам часу і дає людям новий спосіб вправ.

Бігові доріжки використовуються не тільки в повсякденних заняттях людей, але також в світі спорту і навіть в лікуванні, щоб допомогти деяким пацієнтам одужати. Багато функцій змушують людей приділяти бігових доріжках все більше уваги. У той же час попит на бігові доріжки також зростає,

і функції бігових доріжок також збільшуються. В результаті відділ досліджень і розробок знову почав інтегрувати бігову доріжку, використовуючи різне електронне допоміжне обладнання, так що функція бігової доріжки більше не є єдиним спортивним біговим обладнанням, а багатофункціональним обладнанням з безліччю функцій. Медичні і спортивні бігові доріжки можуть навіть записувати і відображати частоту серцевих скорочень користувача, щоб контролювати фізичний стан бігуна в режимі реального часу.

Основні типи бігових доріжок за рушійною силою [2]:

1) Механічна бігова доріжка



Рисунок 1.1 – Механічна бігова доріжка

Механічна бігова доріжка (рис. 1.1) – активна бігова доріжка, в якій для створення сили використовується тертя між ногами бігуна і біговим полотном, а бігове полотно обертається під дією сили. Коли ви припиняєте тренування, бігова доріжка також перестає рухатися, немає необхідності підключати електрику. Ця бігова доріжка є оригінальною, найпростішою біговою доріжкою. Механічні бігові доріжки відносно прості і практично не мають функцій. Їм можна зустріти тільки вправи, орієнтовані на ходьбу. Робота з

інструментом щодо проста і підходить для людей з легкими вправами, таких як літні люди і люди з повільною ходьбою [3].

Плюси:

1. Масагабаритні показники. Механічні бігові доріжки не обов'язково оснащувати двигунами. Крім того, бігові доріжки, амортизатори та інші пристрої механічних бігових доріжок мають просту конструкцію, яка за вагою й обсягом набагато менше електричних бігових доріжок. Вага нетто більшості механічних бігових доріжок, представлених на ринку, становить близько 20 кілограмів, що становить лише одну третину від ваги електричних бігових доріжок. Його можна повністю скласти і притулити до стіни, заощадивши багато місця, коли він не використовується [4].

2. Енергозбереження. Механічну бігову доріжку не потрібно підключати до джерела живлення, і вона взагалі не генерує електроенергію.

3. Ціна дешева. Ціна на механічні бігові доріжки в основному коливається в межах 50-100 доларів; ціна на електричні бігові доріжки перевищує 200 доларів.

4. Хороша керованість. При бігу на механічній біговій доріжці не потрібно слідувати за біговою стрічкою, як на електричній біговій доріжці. Швидкість можна регулювати за бажанням. Коли ви хочете зупинитися, ви можете зупинитися негайно.

Мінуси:

1. Поручні. Механічні бігові доріжки повинні використовувати нахил вниз, щоб бігове полотно могло відкотитися назад. Для нормального бігу ви повинні триматися за поручні, оскільки при обертанні педалей назад легко викликати дисбаланс тіла. Цей вид вправ істотно відрізняється від звичайного бігу.

2. Погана амортизація і високий рівень шуму. Система амортизації механічних бігових доріжок погано працює, що не тільки впливає на спортивний комфорт, але і створює спортивний шум.

3. Бігова доріжка невеликого розміру. Більшість бігових стрічок механічних бігових доріжок не перевищують 35 см в ширину і 110 см в довжину, що набагато менше, ніж у електричних бігових доріжок.

2) Електрична бігова доріжка

Електрична бігова доріжка (рис. 1.2) – висококласне обладнання для тренажерних залів і сімей. В цій біговій доріжці бігове полотно проводиться в рух через двигун, щоб люди могли пасивно бігати або ходити з різною швидкістю. Пасивне формування бігу та ходьби виглядає майже так само, як біг або ходьба по землі [5].



Рисунок 1.2 – Електрична бігова доріжка LIDAK TT900

В порівнянні зі звичайним бігом і ходьбою, вона може змусити людей бігати на 1/3 більше, ніж при звичайному бігові. При цьому споживати більше енергії, ніж при звичайній ходьбі. Крім того, оскільки електронне допоміжне обладнання на електричній біговій доріжці має безліч функцій, можна працювати в різних умовах, таких як біг по рівній поверхні, біг в гору, біг по схилу, біг зі змінною швидкістю. Режим можна вибрати залежно від мети вправ.

Плюси:

- Висока надійність і зручність експлуатації;

- Плавність ходу, рівномірність навантаження;
- Великий функціонал;
- Підходить для більш тривалих тренувань;
- Наявність амортизації.

Мінуси:

- Висока вартість;
- Габаритність (вирішується за допомогою складних варіантів);
- Значне споживання електроенергії.

Більшість бігових доріжок виконують такі основні функції [6]:

1. Вікно світлодіодного дисплея призначне для допомоги користувачам в отриманні різної спортивної інформації, в тому числі: відображення швидкості, відлік часу, відстань пробігу, відображення нахилу і споживання калорій. Крім того, на більш досконалих бігових доріжках, також відображається програма вправ, для кращого розуміння ситуації під час тренування.

2. Зручні і прості кнопки керування, в тому числі: пуск, зупинка, регулювання швидкості, регулювання нахилу, вибір керування програмою. Досконаліші бігові доріжки можуть забезпечувати прямий вибір програм вправ.

3. Попередньо встановлене комп'ютерне програмне керування (3, 4 або більше груп).

4. Функція безпечного магнітного замка для аварійного відключення живлення.

1.2 Способи керування електромеханічної системи бігової доріжки

Асинхронний двигун складається в основному з двох частин [7]:

Статор - це нерухома частина електродвигуна. Ця частина забезпечує електромагнітне поле, необхідне для обертання обертової частини двигуна. Він складається з ряду штамповок з прорізами для трифазної обмотки. Кожна обмотка відокремлена від іншої обмотки на 120 градусів.

Ротор - це обертається частина двигуна. Найбільш поширений тип ротора в асинхронних двигунах (або асинхронних двигунах) - це ротор з короткозамкненим ротором. Ротор має форму якоря з сердечником циліндричної форми. Навколо сердечника є паралельні прорізи, через які проходить струм. Сердечник має стрижень з алюмінію, міді або сплаву.

Принцип роботи: функціонування асинхронного двигуна здійснюється на основі властивості трифазного струму, здатного створювати в обмотках статора вращаюче магнітне поле. У розглянутих електродвигунах синхронна частота обертання електромагнітного поля пов'язана прямо пропорційною залежністю з власною частотою змінного струму [8].

В результаті дії магнітної індукції на сердечник ротора, в ньому виникне ЕРС, яка, в свою чергу, викликає появу електричного струму в замкнутому провіднику. Виникне сила Ампера, під дією якої замкнутий контур почне обертання навздогін за магнітним полем. У номінальному режимі роботи частота обертання ротора трохи відстає від швидкості обертання створюваного в статорі магнітного поля. При збігу частот відбувається припинення магнітного потоку, ток зникає в обмотках ротора, внаслідок чого припиняється дія сили. Як тільки швидкість обертання валу відстане, змінними струмами магнітних полів, відновлюється дія амперової сили.

Повсюдне використання асинхронних двигунів з короткозамкненим ротором обумовлено їх незаперечними перевагами [9]:

- стабільністю роботи на оптимальних навантаженнях;
- високою надійністю в експлуатації;
- низькі експлуатаційні витрати;
- довговічністю функціонування без обслуговування;
- порівняно високими показниками ККД;
- невисокою вартістю, в порівнянні з моделями на основі фазних роторів і з іншими типами електромоторів.

З недоліків можна відзначити:

- високі пускові струми;

- чутливість до перепадів напруги;
- низькі коефіцієнти ковзань;
- необхідність в застосуванні пристроїв, таких як перетворювачі частоти, пускові реостати тощо., для поліпшення характеристик електромотора;

Електродвигун з короткозамкненим ротором потребують додаткових комутаційних керуючих пристроїв, у випадках, коли виникає необхідність регулювати швидкість.

Системи автоматичного керування на основі асинхронних двигунів використовуються в усіх галузях промисловості. У більшості електромеханічних систем основною задачею є керування кутовою швидкістю асинхронного двигуна. Основними способами регулювання швидкості в електромеханічній системі на основі асинхронного двигуна є частотне скалярне та векторне керування [10].

Частотне керування асинхронного двигуна, автором якого є Костенко М. П. [11], є найпростішим способом керування асинхронним двигуном з короткозамкненим ротором, який розглядався як основний до появи векторних методів.

Принцип скалярного керування простий: сигнал певного співвідношення напруга / частота подається на клеми електродвигуна і це співвідношення зберігається постійним у всьому діапазоні частот, для того щоб зберегти постійним потік намагнічування електродвигуна.

Керування проводиться без зворотного зв'язку, і точність підтримки швидкості є функцією ковзання двигуна, яке залежить від навантаження, так як частота накладається на обмотці статора. Для того, щоб поліпшити продуктивність двигуна на низьких швидкостях, деякі приводи використовують спеціальні функції, такі як компенсація ковзання (ослаблення зміни швидкості як функції навантаження) і підвищення крутного моменту (збільшення коефіцієнта U / f для компенсації падіння напруги на статорі), так що крутний момент двигуна підтримується постійним. Це є найбільш широко використовуваним типом керування завдяки своїй простоті, а також тому, що

більшість додатків не вимагають високої точності або швидкої зміни швидкості [12].

Векторне керування забезпечує високі швидкодія і точність керування швидкістю електродвигуна і крутного моменту. Векторне керування може бути з розімкненим контуром (без датчиків зворотного зв'язку) або із замкнутим контуром (з датчиками зворотного зв'язку).

Зворотній зв'язок по швидкості – датчик швидкості (наприклад, інкрементальний енкодер), встановлюється на електродвигуні. Даний режим забезпечує високу точність керування, як крутним моментом, так і швидкістю двигуна навіть при дуже низьких (і нульовій) швидкостях.

Бездатчикового керування - простіше, ніж регулювання із замкнутим контуром, але його дія обмежена особливо на дуже низьких швидкостях.

На більш високих швидкостях даний режим практично так само гарний, як і векторне керування зі зворотним зв'язком.

При використанні векторного керування досягаються наступні переваги [13]:

- висока точність регулювання кутової швидкості може бути досягнута без датчика швидкості;
- за умов низьких частот забезпечується плавне обертання ротора;
- забезпечення номінального моменту на валу двигуна за нульової кутової швидкості (з датчиком швидкості);
- швидка реакція на зміну навантаження;
- можливість забезпечення такого режиму роботи двигуна, в якому зменшуються втрати на намагнічування, тим самим підвищуючи ефективність двигуна.

Незважаючи на переваги, метод векторного керування має і певні недоліки: для реалізації алгоритма необхідно знати параметри двигуна, вплив змін параметрів на динамічні та статичні показники.

Основна відмінність між цими двома типами керування полягає в тому що, що скалярний керування враховує тільки величини миттєвих електричних

величин (магнітного потоку, струму і напруги), прикладених до статора, з рівняннями на основі еквівалентної електричного кола електродвигуна, тобто рівняннями стаціонарного стану. З іншого боку, при векторному керуванні розраховуються миттєві електричні величини, що впливають на потяг ротора в якості векторів і його рівняння ґрунтуються на просторовій динамічній моделі двигуна. Асинхронний двигун при векторному керуванні розглядається як двигун постійного струму, з окремо керованими моментом і потоком [14].

Залежно від співвідношення параметрів вхідного і вихідного валів передачі поділяють на [15]:

- редуктори (знижуючі передачі);
- мультиплікатори (підвищують передачі).

Основні типи механічної передачі є наступними [16]:

1. Триланковий механізм, в якому два рухомих ланки є зубчастими колесами, що утворюють з нерухомим ланкою (стійкою) обертальну або поступальну пару, називається зубчастої передачею (рис. 1.3).



Рисунок 1.3 – Зубчаста передача

До переваг зубчастих передач слід віднести сталість передавального числа і можливість здійснення його в широких межах; високий ККД; застосування в широкому діапазоні навантажень і швидкостей; довговічність і надійність в роботі; малі габарити в порівнянні з іншими типами передач при рівних умовах; порівняно невеликі навантаження на вали і опори; відносну простоту і економічність виготовлення.

Недоліки: необхідність високої точності монтажу коліс; шум при роботі (особливо на великих швидкостях); незахищеність від перевантажень; можливість виникнення значних динамічних навантажень через вібрації, джерелом яких є неточні виготовлення і (або) складання; незбалансованість [17].

2. Ремінна передача (рис. 1.4) зазвичай складається з ременя, провідного колеса і веденого колеса. Принцип дії - натяг, при якому для створення натягу використовується тертя між контактною поверхнею ременя і шківом. Коли провідне колесо обертається, ведене колесо приводиться в рух за рахунок тертя, так що потужність провідного вала передається на ведений вал [18].

Залежно від застосування ремінні приводи можна розділити на загальнопромислові приводні ремені, автомобільні приводні ремені, приводні ремені для сільськогосподарських машин і приводні ремені для побутових приладів.



Рисунок 1.4 – Ремінна передача

Найбільші переваги спостерігаються в передачах з зубчастими (поліклінового) ременями.

Переваги ремінних передач:

- можливість передачі руху на значні відстані;
- плавність і безшумність роботи;
- захист механізмів від коливань навантаження внаслідок пружності ременя;
- захист механізмів від перевантаження за рахунок можливого прослизання ременя;
- простота конструкції і експлуатації (не вимагає мастила).

Недоліки ремінних передач:

- підвищені габарити (при рівних умовах діаметри шківів в 5 разів більше діаметрів зубчастих коліс);
- мінливість передавального числа внаслідок проковзування ременя;
- підвищене навантаження на вали і їх опори, пов'язана з великим попереднім натягом ременя (в 2-3 рази більше, ніж у зубчастих передачах);
- низька довговічність ременів (1000-5000 годин) [19].

3. Ланцюгова передача (рис. 1.5) заснована на принципі зачеплення ланцюга і зірочок. Ланцюгова передача складається з ведучої зірочки; відомої зірочки; ланцюги, яка охоплює зірочки і зачіпається за них зубами; натягачів; змащувальних пристроїв; огорожі [20].

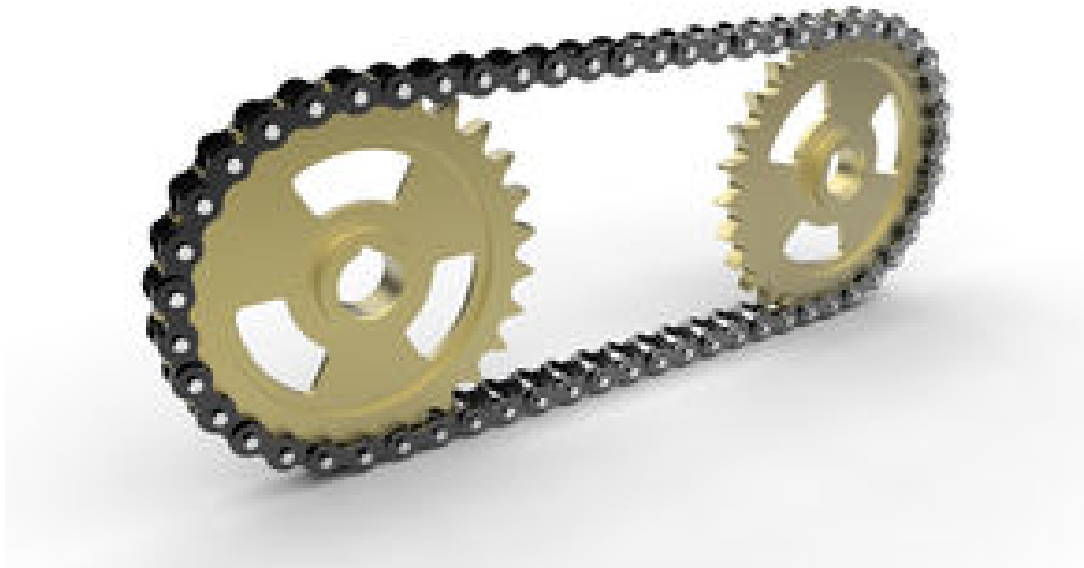


Рисунок 1.5 – Ланцюгова передача

У порівнянні з ремінною передачею, перевагами ланцюгової передачі є:

- відсутність ковзання;
- ті ж самі умови роботи;
- компактна конструкція;
- невелике навантаження на вал;
- високий ККД (близько 98%);
- промисловий ланцюговий привід можна використовувати в середовищі

з високою температурою і високою вологістю.

Недоліками ланцюгової передачі є:

- використання тільки для передачі між паралельними валами;
- нерівномірна миттєва швидкість, яка є не стабільною;
- шум;
- вартість виготовлення є вищою, ніж у ремінної передачі.

4. Черв'ячна передача (рис. 1.6) складається з черв'яка і сполученого з ним черв'ячного колеса. Кут схрещування осей у ортогональних передачах зазвичай дорівнює 90° ; неортогональні передачі зустрічаються рідко. Черв'ячні передачі відносяться до передач зачепленням, в яких рух здійснюється за принципом гвинтової пари [21].



Рисунок 1.6 – Черв'ячна передача

Переваги черв'ячних передач:

- велике передавальне число;
- плавність і безшумність роботи;
- висока кінематична точність;
- самоторможіння.

Недоліки черв'ячних передач:

- низький ККД;
- високий знос, заїдання;
- використання дорогих матеріалів;
- високі вимоги до точності складання.

1.3 Формулювання вимог до електромеханічної системи

Основна функція бігової доріжки полягає у формуванні злітно-посадкової смуги шляхом руху бігового ремня. Напрямок бігу спортсмена абсолютно протилежний напрямку бігу злітно-посадкової смуги, щоб досягти фіксованого положення відносно землі.

Спрощена структурна схема електричної бігової доріжки зображена на рис. 1.7. В основному складається з наступних частин: 1 – еластомери, 2 – двигун, 3 – полікліновий ремінь, 4,6 – барабани, 5 – бігове полотно і дека [22].

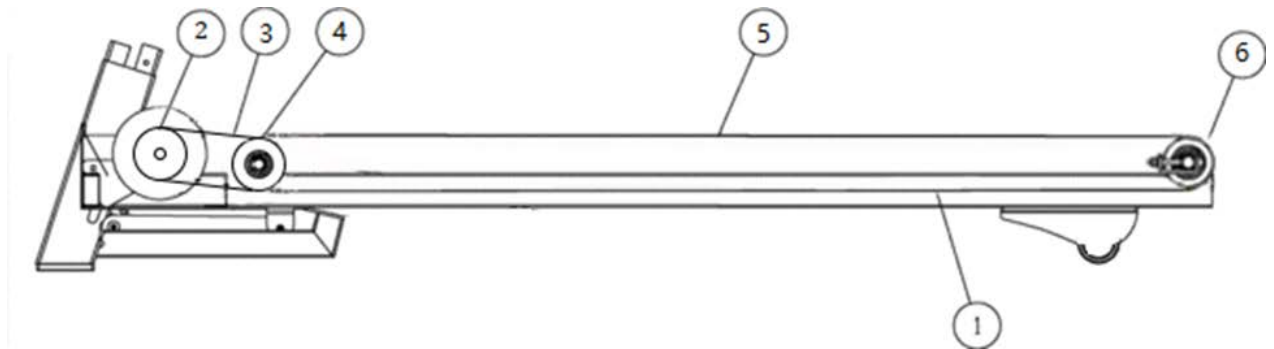


Рисунок 1.7 – Спрощена структурна схема електричної бігової доріжки

Технічні характеристики електричної бігової доріжки [23]:

Правильно підібрана потужність, вироблювана приводним двигуном, безпосередньо впливає на довговічність бігової доріжки. Цей параметр залежить від ваги людини. Зазвичай номінальна потужність домашніх бігових доріжок: 1.0НР, 1.25НР, 1.5НР, 1.75НР, 2.0НР, 2.5НР, 2.75НР, 3.0НР. Більше 3.0НР. вважаються комерційними, де НР = кінські сили (1 кінські сили = 735Вт), потужність домашньої бігової доріжки зазвичай складає від 1 кВт до 2.5 кВт.

Розмір бігової доріжки: довжина бігової доріжки зазвичай становить не менше 130 см, а ширина не менше 50 см..

Швидкість: бігові доріжки розрізняються по максимальній швидкості. Найбільш популярною є 0-16 км/год.

Висновки до розділу 1

1. В даному розділі представлено аналітичний огляд електромеханічної системи бігової доріжки та функції, які передбаченні в більшості бігових доріжок, розглянуто способи керування та основні типи механічних передач. Встановлено, що більшість електричних бігових доріжок мають двигун потужністю в діапазоні від 1 до 2.5 кВт.

2. На основі виконаного огляду сформовано основні вимоги до електроприводу.

2 РОЗРАХУНОК ТА ВИБІР ОСНОВНИХ ЕЛЕМЕНТІВ ЕЛЕКТРОМЕХАНІЧНОЇ СИСТЕМИ

2.1 Визначення потужності та вибір електродвигуна

При бігу або ходьбі по біговій доріжці вага, який несе бігова доріжка, зазвичай в 0.9 – 2.6 рази перевищує вагу людського тіла, і бігова доріжка повинна підтримувати постійну стійкість, задовольняючи навантаження і підтримуючи швидкість, обрану бігуном.

Для виконання розрахунків приймемо вихідні дані [24] для електричної бігової доріжки, які наведено в табл. 2.1.

Таблиця 2.1 – Вихідні данні

Параметри	Значення
Максимальна вага людини, m	130 кг
Діаметр барабана, d	60 мм
Коефіцієнт сухого тертя, μ [25]	0.4
Швидкість бігу, v	4.3 м/с

Максимальний обертаючий момент:

$$M_{\max} = F \cdot r = \mu mgr = 0.4 \cdot 130 \cdot 9.8 \cdot 0.03 = 15.3 \text{ Нм} \quad (2.1)$$

де M_{\max} – максимальний обертаючий момент Нм, $r = \frac{d}{2}$ – радіус барабана м,

F – сила на барабан Н.

З формули кругового руху $v = \omega r = \frac{\pi n}{30} r$, можемо отримати наступні

формули:

$$\begin{aligned} \omega &= \frac{v}{r} = \frac{4.3}{0.03} = 143 \text{ рад / с}, \\ n &= \frac{30 \cdot \omega}{\pi} = \frac{30 \cdot 143}{3.14} = 1367 \text{ об / хв} \end{aligned} \quad (2.2)$$

де n – частота обертання об / хв, ω – кутова частота обертання в рад / с.

Прийmemo, радіус ведучого шківa дорівнює радіусу веденого шківa.

Для визначення потужності двигуна використовується формула:

$$P = M_{\max} \omega = 15.3 \cdot 143 = 2.18 \text{ кВт} \quad (2.3)$$

На підставі отриманих результатів розрахунку вибираємо асинхронний електродвигун 4A90L4Y3 [26] з частотою обертання 1500 об / хв, паспортні дані представлені в табл. 2.2.

Таблиця 2.2 – Паспортні дані двигуна 4A90L4Y3

Номінальна потужність	$P_{2n} = 2.2 \text{ кВт}$
Число пар полюсів	$p_n = 2$
Номінальна лінійна напруга статора	$U_{1n} = 380 \text{ В}$
Коефіцієнт потужності	$\cos \varphi = 0.83$
Момент інерції	$J_d = 0.0056 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$
Номінальна частота напруги статора	$f = 50 \text{ Гц}$
Перевантажувальна здатність	$\lambda = 2.4$
Критичне ковзання	$s_k = 0.33$
Коефіцієнт корисної дії	$\eta = 0.80$
Номінальне ковзання	$s_n = 0.051$
Параметри Г-подібної схеми заміщення (відносні одиниці)	
Активний опір статора	$\overline{R_1}' = 0.098$
Індуктивний опір розсіювання статора	$\overline{x_1}' = 0.076$
Індуктивний опір намагнічуючого контуру	$\overline{x_\mu} = 2.1$
Приведений активний опір ротора	$\overline{R_2}'' = 0.06$
Приведений індуктивний опір розсіювання ротора	$\overline{x_2}'' = 0.13$

2.2 Перевірка двигуна за перевантажувальною здатністю

Перевірка попередньо обраного двигуна по перевантажувальній здатності здійснюється по максимальному моменту за умови [27]:

$$M_{\max} \leq \lambda M_n. \quad (2.4)$$

де $\lambda = 2.4$ – перевантажувальна здатність; M_n – номінальний момент вибраного двигуна.

Для знаходження номінального моменту розрахуємо:

Кутова частота напруги статора:

$$\omega_{0n} = 2\pi f = 2\pi \cdot 50 = 314.1 \text{ рад / с.} \quad (2.5)$$

Швидкість ідеального холостого ходу двигуна:

$$\omega_{xx} = \frac{\omega_{0n}}{p_n} = \frac{314.1}{2} = 157 \text{ рад / с.} \quad (2.6)$$

Номінальну швидкість двигуна:

$$\omega_n = \omega_{xx} (1 - s_n) = 157(1 - 0.051) = 149 \text{ рад / с.} \quad (2.7)$$

Використовуючи (2.7) отримаємо номінальний момент двигуна:

$$M_n = \frac{P_{2n}}{\omega_n} = \frac{2200}{149} = 14.8 \text{ Нм.} \quad (2.8)$$

Критичний момент двигуна (по перевантажувальній здатності λ):

$$M_k = \lambda \cdot M_n = 2.4 \cdot 14.8 = 35.5 \text{ Нм.} \quad (2.9)$$

Отримуємо $M_{\max} = 15.3 \text{ Нм} \leq \lambda M_n = 35.5 \text{ Нм}$, тому попередньо вибраний двигун проходить по перевантажувальній здатності.

2.3 Розрахунок параметрів асинхронного двигуна

Номінальні діючі значення фазної напруги та струму статора:

$$U_n = U_{In} / \sqrt{3} = \frac{380}{\sqrt{3}} = 220 \text{ В},$$

$$I_n = \frac{P_{2n}}{3U_n \cos \varphi \eta} = \frac{2200}{3 \cdot 220 \cdot 0.83 \cdot 0.80} = 5.03 \text{ А.} \quad (2.10)$$

Амплітудні значення фазної напруги і струму статора:

$$U_{na} = \sqrt{2} \cdot U_n = \sqrt{2} \cdot 220 = 310.3 \text{ В},$$

$$I_{na} = \sqrt{2} \cdot I_n = \sqrt{2} \cdot 5.03 = 7 \text{ А.} \quad (2.11)$$

В режимі холостого ходу при $R_1 = 0$ амплітудне значення потокозчеплення статора:

$$\psi_{1XX} = \frac{U_{na}}{\omega_{0n}} = \frac{310.3}{314} = 0.99 \text{ Вб.} \quad (2.12)$$

На рис. 2.1 представлено математична модель Т-подібної схеми заміщення асинхронного двигуна, в той час як приведені параметри відповідають Г-подібній схемі заміщення (рис. 2.2). З Г-подібної схеми в Т-подібну схему заміщення використовується методика, яка наведена нижче [28].

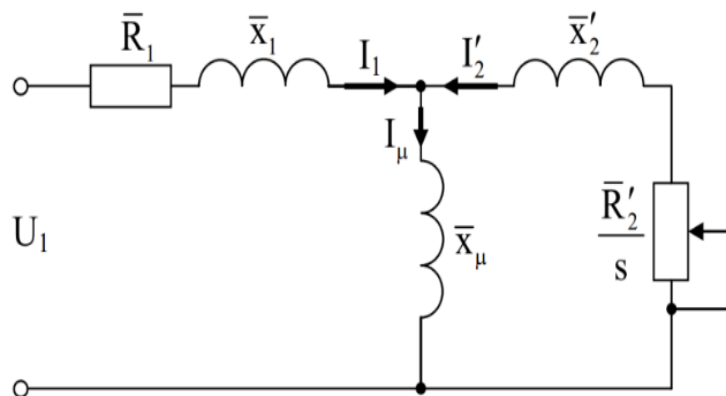


Рисунок 2.1 – Т-подібна схема заміщення асинхронного двигуна

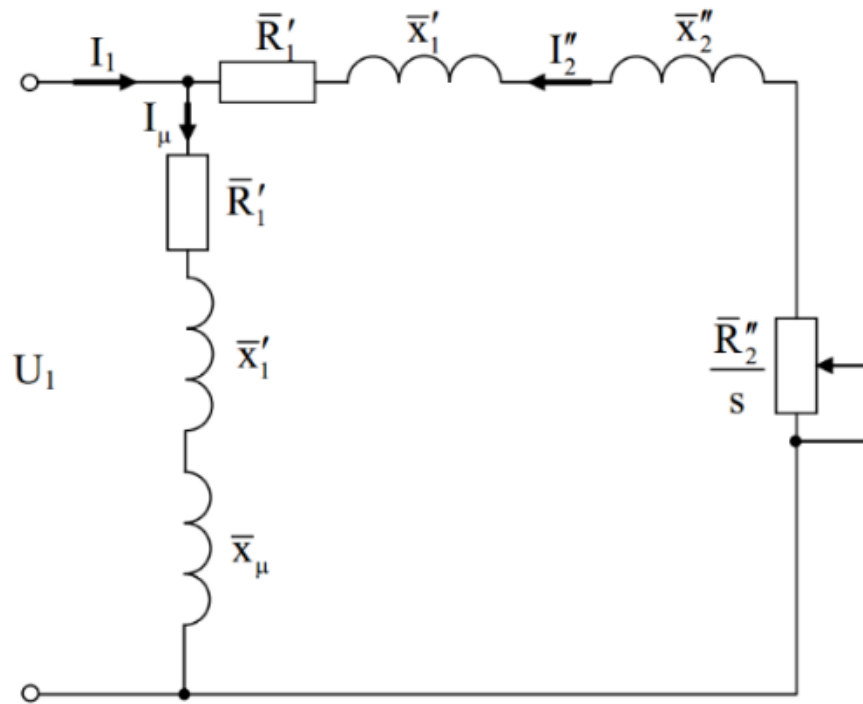


Рисунок 2.2 – Г-подібна схема заміщення асинхронного двигуна

Розраховуємо коефіцієнт перерахунку між Г-подібною та Т-подібною схемами заміщення асинхронного двигуна:

$$c_1 = \frac{\bar{x}_\mu + \sqrt{4 \cdot \bar{x}_1' \cdot \bar{x}_\mu + \bar{x}_\mu^2}}{2 \bar{x}_\mu} = \frac{2.1 + \sqrt{4 \cdot 0.076 \cdot 2.1 + 2.1^2}}{2 \cdot 2.1} = 1.04 \quad (2.13)$$

Розраховуємо параметри Т-подібної схеми заміщення у відносних одиницях:

$$\begin{aligned} \bar{x}_1 &= \frac{\bar{x}_1'}{c_1} = \frac{0.076}{1.04} = 0.07, \\ \bar{R}_1 &= \frac{\bar{R}_1'}{c_1} = \frac{0.098}{1.04} = 0.09, \\ \bar{x}_2' &= \frac{\bar{x}_2''}{c^2} = \frac{0.13}{1.04^2} = 0.12, \\ \bar{R}_2' &= \frac{\bar{R}_2''}{c^2} = \frac{0.06}{1.04^2} = 0.06. \end{aligned} \quad (2.14)$$

Параметри Т-подібної схеми заміщення в абсолютних одиницях:

$$\begin{aligned}
x_1 &= \overline{x_1} \frac{U_n}{I_n} = 0.07 \cdot \frac{220}{5.03} = 3.2 \text{ Ом}, \\
R_1 &= \overline{R_1} \frac{U_n}{I_n} = 0.09 \cdot \frac{220}{5.03} = 4.1 \text{ Ом}, \\
x_2' &= \overline{x_2'} \frac{U_n}{I_n} = 0.12 \cdot \frac{220}{5.03} = 5.3 \text{ Ом}, \\
R_2 &= \overline{R_2'} \frac{U_n}{I_n} = 0.06 \cdot \frac{220}{5.03} = 2.4 \text{ Ом}, \\
x_\mu &= \overline{x_\mu} \frac{U_n}{I_n} = 2.1 \cdot \frac{220}{5.03} = 91.5 \text{ Ом}.
\end{aligned} \tag{2.15}$$

Індуктивності розсіювання статора і ротора:

$$\begin{aligned}
L_{1\sigma} &= \frac{x_1}{\omega_0} = \frac{3.2}{314} = 0.010 \text{ Гн}, \\
L_{2\sigma} &= \frac{x_2'}{\omega_0} = \frac{5.3}{314} = 0.017 \text{ Гн}.
\end{aligned} \tag{2.16}$$

Індуктивність намагнічуючого контуру:

$$L_m = \frac{x_\mu}{\omega_0} = \frac{91.5}{314} = 0.291 \text{ Гн}. \tag{2.17}$$

Індуктивності статора і ротора:

$$\begin{aligned}
L_1 &= L_m + L_{1\sigma} = 0.291 + 0.010 = 0.301 \text{ Гн}, \\
L_2 &= L_m + L_{2\sigma} = 0.291 + 0.017 = 0.308 \text{ Гн}.
\end{aligned} \tag{2.18}$$

На основі проведених розрахунків обчислюються значення параметрів $\alpha, \alpha_1, \beta, \gamma, \sigma$:

$$\alpha = \frac{R_2}{L_2} = \frac{2.4}{0.308} = 7.8 \text{ Ом / Гн}, \alpha_1 = \frac{R_1}{L_1} = \frac{4.1}{0.301} = 13.7 \text{ Ом / Гн}. \tag{2.19}$$

$$\begin{aligned}
\sigma &= L_1 \left(1 - \frac{L_m^2}{L_1 \cdot L_2}\right) = 0.301 \left(1 - \frac{0.291^2}{0.301 \cdot 0.308}\right) = 0.026 \text{ Гн}, \\
\beta &= \frac{L_m}{L_2 \cdot \sigma} = \frac{0.291}{0.308 \cdot 0.026} = 36.2 \text{ 1 / Гн}, \\
\gamma &= \frac{R_1}{\sigma} + \alpha \cdot L_m \cdot \beta = \frac{4.1}{0.026} + 7.8 \cdot 0.291 \cdot 36.2 = 242 \text{ Ом / Гн}, \\
\mu_1 &= \frac{3}{2} \cdot \frac{L_m}{L_2} = \frac{3}{2} \cdot \frac{0.291}{0.308} = 1.42.
\end{aligned}
\tag{2.20}$$

В табл. 2.3 представлені розраховані параметри двигуна 4A90L4Y3.

Таблиця 2.3 – Розраховані параметри асинхронного двигуна 4A90L4Y3

P_{2n} , кВт	2.2	R_1 , Ом	4.1
ω_{xx} , рад / с	157	R_2 , Ом	2.4
ω_n , рад / с	148	L_1 , Гн	0.301
M_n , Н·м	14.8	L_2 , Гн	0.308
M_k , Н·м	35.5	L_m , Гн	0.291
λ	2.4	α , Ом / Гн	7.8
I_{na} , А	7.1	α_1 , Ом / Гн	13.7
ψ_{1xx} , Вб	0.99	σ , Гн	0.026
η	0.8	β , 1 / Гн	36.2
$\cos \varphi$	0.83	γ , Ом / Гн	242
J_d , кг·м ²	0.0056	μ_1	1.42

Висновки до розділу 2

1. З вихідних даних розраховано потужність двигуна. Після розрахунку потужності, згідно отриманого значення обрано асинхронний електродвигун 4A90L4Y3 з потужністю 2.2 кВт.

2. Після обраного двигуна проведено перевірку двигуна за перевантажувальною здатністю, з якої встановлено, що вибраний двигун проходить по перевантажувальній здатності.

3. Розраховано номінальні параметри асинхронного двигуна, які будуть використані для дослідження статичних та динамічних режимів електромеханічної системи.

3 АЛГОРИТМ ВЕКТОРНОГО КЕРУВАННЯ КУТОВОЮ ШВИДКІСТЮ АСИНХРОННОГО ДВИГУНА

В даному розділі буде представлено формулювання задачі векторного керування асинхронним двигуном та алгоритм прямого векторного керування кутовою швидкістю. Для більш повного розкриття даної теми розроблено структурну схему алгоритму прямого векторного керування.

3.1 Формулювання задачі векторного керування

Для моделювання систем керування асинхронним двигуном використовуємо математичну модель, яка записується в стаціонарній системі координат $a - b$ [29].

$$\begin{aligned}\dot{\omega} &= \frac{1}{J}(M - M_c) - v\omega, \quad M = \mu(\psi_{2a}i_{1b} - \psi_{2b}i_{1a}), \\ \dot{i}_{1a} &= -\gamma i_{1a} + \alpha\beta\psi_{2a} + \beta p_n \omega \psi_{2b} + \frac{1}{\sigma} u_{1a}, \\ \dot{i}_{1b} &= -\gamma i_{1b} + \alpha\beta\psi_{2b} - \beta p_n \omega \psi_{2a} + \frac{1}{\sigma} u_{1b}, \\ \dot{\psi}_{2a} &= -\alpha\psi_{2a} - p_n \omega \psi_{2b} + \alpha L_m i_{1a}, \\ \dot{\psi}_{2b} &= -\alpha\psi_{2b} + p_n \omega \psi_{2a} + \alpha L_m i_{1b},\end{aligned}\tag{3.1}$$

де M_c – момент навантаження, ω – кутова швидкість ротора, $(u_{1a}, u_{1b})^T$ – компоненти вектора напруги статора, $(i_{1a}, i_{1b})^T$ – компоненти вектора струму статора в системі координат $(a - b)$, $(\psi_{2a}, \psi_{2b})^T$ – компоненти вектора потокозчеплень ротора, v – коефіцієнт в'язкого тертя. Додатні константи, що відносяться до електричних і механічних параметрів асинхронного двигуна:

$$\sigma = L_1 \left(1 - \frac{L_m^2}{L_1 L_2} \right), \quad \beta = \frac{L_m}{\sigma L_2}, \quad \mu = \frac{3}{2} p_n \frac{L_m}{J L_2}, \quad \alpha = \frac{R_2}{L_2}, \quad \gamma = \left(\frac{R_1}{\sigma} + \alpha L_m \beta \right),$$

де J – повний момент інерції ротора, p_n – число пар полюсів, L_1, L_2 – індуктивності статора і ротора, R_1, R_2 – опори статора і ротора, L_m – індуктивність намагнічуючого контуру [30].

Алгоритми векторного керування асинхронним двигуном записуються в синхронній системі координат $(d-q)$, яка відносно стаціонарної системи координат обертається з швидкістю ω_0 (рис 3.1).

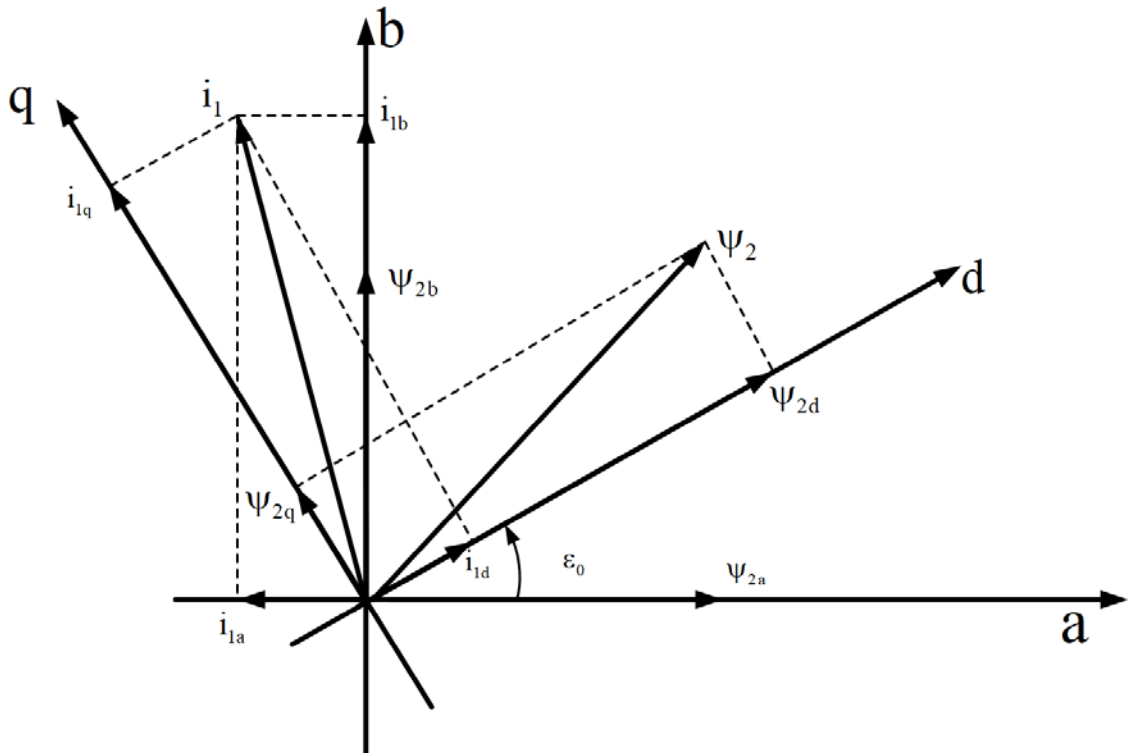


Рисунок 3.1 – Розташування векторів асинхронного двигуна

Перетворення координат визначаються:

$$\begin{aligned} \mathbf{x}^{(d-q)} &= \mathbf{e}^{-J\varepsilon_0} \mathbf{x}^{(a-b)} \\ \mathbf{x}^{(a-b)} &= \mathbf{e}^{J\varepsilon_0} \mathbf{x}^{(d-q)} \end{aligned} \quad \text{де} \quad \mathbf{e}^{J\varepsilon_0} = \begin{bmatrix} \cos\varepsilon_0 & -\sin\varepsilon_0 \\ \sin\varepsilon_0 & \cos\varepsilon_0 \end{bmatrix} \quad (3.2)$$

де ε_0 – кутове положення системи координат $(d-q)$ відносно стаціонарної системи координат $(a-b)$, $\mathbf{x}^{(y-z)}$ – двовимірний вектор струму, потоку і напруги статора.

Задача відпрацювання траєкторій кутової швидкості – потокозчеплення формулюється при наступних припущеннях: [31]:

- струм статора і кутова швидкість ротора вимірюються;
- відомі і незмінні параметри асинхронного двигуна;
- невідомий, постійний та обмежений момент навантаження M_c ;
- траєкторії потокозчеплення $\psi^* > 0$ та кутової швидкості ω^* є обмеженими функціями.

В умовах цих припущень відбувається проектування алгоритмів прямого векторного керування, які забезпечують:

- глобальне асимптотичне відпрацювання заданих траєкторій швидкості – потокозчеплення:

$$\lim_{t \rightarrow \infty} \tilde{\omega} = 0, \quad \lim_{t \rightarrow \infty} \tilde{\psi} = 0, \quad (3.3)$$

при умові обмеженості всіх внутрішніх змінних.

- асимптотичне орієнтування по вектору потокозчеплення ротора

$$\lim_{t \rightarrow \infty} \psi_q = 0 \quad (3.4)$$

- асимптотичну лінеаризацію підсистеми швидкості до лінійної повністю керованої форми.
- асимптотичну розв'язку процесів керування в електромеханічній та електромагнітній підсистемах.

Синтез виконано в два етапи: спочатку синтезовано підсистему керування модулю вектора потокозчеплення ротора, а потім підсистему керування кутовою швидкістю.

3.2 Формулювання задачі прямого векторного керування

Повний алгоритм прямого векторного керування асинхронним двигуном з використанням спостерігача замикання магнітного потоку зниженого порядку включає [32]:

- спостерігач магнітного потоку асинхронного двигуна:

$$\begin{aligned} |\dot{\hat{\psi}}| &= -\alpha |\hat{\psi}| + \alpha L_m i_d, \\ \dot{\varepsilon}_0 &= \omega_0 = \omega + \frac{\alpha L_m i_q}{|\hat{\psi}|}. \end{aligned} \quad (3.5)$$

- регулятор потокозчеплення:

$$\begin{aligned} i_d^* &= \frac{1}{\alpha L_m} (\alpha \psi^* - x_\psi + \dot{\psi}^* - k_\psi \tilde{\psi}), \\ \dot{x}_\psi &= k_{\psi i} \tilde{\psi}. \end{aligned} \quad (3.6)$$

- регулятор струму по осі d:

$$\begin{aligned} u_d &= \sigma (\gamma i_d^* - \alpha \beta |\hat{\psi}| - \omega_0 i_q - x_d + \dot{i}_d^* - k_{id} \tilde{i}_d), \\ \dot{x}_d &= k_{ii} \tilde{i}_d. \end{aligned} \quad (3.7)$$

$$\dot{i}_d^* = \frac{1}{\alpha L_m} \{ \ddot{\psi}^* + \alpha \dot{\psi}^* - k_\psi [-(\alpha + k_\psi) \tilde{\psi} + \alpha L_m \tilde{i}_d - x_\psi] - \dot{x}_\psi \}. \quad (3.8)$$

- регулятор кутової швидкості:

$$\begin{aligned} i_q^* &= \frac{1}{\mu \psi^*} (-k_\omega \tilde{\omega} + \hat{M}_c + \dot{\omega}^*), \\ \dot{\hat{M}}_c &= -k_{\omega i} \tilde{\omega}. \end{aligned} \quad (3.9)$$

- модифікований регулятор струму по осі q:

$$\begin{aligned} u_q &= \sigma \left[\gamma i_q^* + \omega_0 i_d + \beta \omega \psi^* + \dot{i}_{q1}^* - k_{iq} \tilde{i}_q - \frac{1}{\psi^*} (\dot{\psi}^* \tilde{i}_q + \zeta) \right], \\ \dot{\zeta} &= k_{\eta i} (\psi^* \tilde{i}_q). \end{aligned} \quad (3.10)$$

$$\dot{i}_{q1}^* = \frac{1}{\mu \psi^*} \left[-k_\omega (-k_\omega \tilde{\omega} + \mu \psi^* \tilde{i}_q) - \dot{\hat{M}}_c + \dot{\omega}^* \right] - \frac{\dot{\psi}^*}{\psi^*} i_q^*. \quad (3.11)$$

Реальні прикладені напруги дорівнюють:

$$\begin{pmatrix} \mathbf{u}_a \\ \mathbf{u}_b \end{pmatrix} = \begin{bmatrix} \cos \varepsilon_0 & -\sin \varepsilon_0 \\ \sin \varepsilon_0 & \cos \varepsilon_0 \end{bmatrix} \begin{pmatrix} \mathbf{u}_d \\ \mathbf{u}_q \end{pmatrix} \quad (3.12)$$

Рівняння динаміки похибок відпрацювання координат в електромеханічній підсистемі асинхронного двигуна в силу дії алгоритму керування мають вигляд:

$$\begin{aligned} \dot{\hat{M}}_c &= k_{\omega i} \tilde{\omega}, \\ \dot{\tilde{\omega}} &= -k_{\omega} \tilde{\omega} - \hat{M}_c + \mu(\tilde{\psi}_{2d} + \tilde{\psi})\tilde{i}_{1q} + \mu\psi^* \tilde{i}_{1q} + \mu(\tilde{\psi}_{2d} + \tilde{\psi})\tilde{i}_{1q}^* - \mu\tilde{\psi}_{2q}\tilde{i}_{1d} - \mu\tilde{\psi}_{2q}\tilde{i}_{1d}^*, \\ \dot{x}_q &= k_{ii} \tilde{i}_{1q}, \\ \dot{\tilde{i}}_{1q} &= -k_i \tilde{i}_{1q} + \psi^* (\alpha\beta\tilde{\psi}_{2q} - \beta p_n \omega^* \tilde{\psi}_{2d}) - x_q - \frac{k_{\omega}}{\mu} \tilde{M}_c - \tilde{\omega} p_n \tilde{\psi}_{2d} \psi^* \beta + \\ &\quad + \frac{k_{\omega}}{\mu} (\tilde{\psi}_{2d} + \tilde{\psi})\tilde{i}_{1q}^* - \frac{k_{\omega}}{\alpha L_m} \tilde{\psi}_{2q}\tilde{i}_{1d}^* + k_{\omega} (\tilde{\psi}_{2d} + \tilde{\psi})\tilde{i}_{1q} - k_{\omega} \tilde{\psi}_{2q}\tilde{i}_{1d}. \end{aligned} \quad (3.13)$$

Рівняння динаміки похибок відпрацювання координат в електромагнітній підсистемі:

$$\begin{aligned} \dot{x}_{\psi} &= k_{\psi i} \tilde{\psi}, \\ \dot{\tilde{\psi}} &= \alpha L_m \tilde{i}_{1d} - (\alpha + k_{\psi}) \tilde{\psi} - x_{\psi}, \\ \dot{x}_d &= k_{ii} \tilde{i}_{1d}, \\ \dot{\tilde{i}}_{1d} &= \beta p_n \tilde{\omega} \tilde{\psi}_{2q} - k_{id} \tilde{i}_{1d} + \alpha\beta\tilde{\psi}_{2d} - x_d + \beta p_n \omega^* \tilde{\psi}_{2q}, \\ \dot{\tilde{\psi}}_{2d} &= \omega_2 \tilde{\psi}_{2q} - \alpha \tilde{\psi}_{2d}, \\ \dot{\tilde{\psi}}_{2q} &= \alpha \tilde{\psi}_{2q} - \omega_2 \tilde{\psi}_{2d}. \end{aligned} \quad (3.14)$$

Об'єднана нелінійна система (3.13), (3.14), яка описує динамічну поведінку АД в процесі відпрацювання кутової швидкості і модуля вектора потокозчеплення ротора, має десятий порядок, і тому для дослідження її стійкості використовуються властивості запропонованої декомпозиції на електромеханічну та електромагнітну підсистеми.

Структура похибок відпрацювання в ізольованих контурах регулювання кутової швидкості і модифікованому контурі регулювання струму уніфікована і задана лінійним диференціальним рівнянням другого порядку з характеристичним рівнянням

$$p^2 + k_p p + k_i = 0 \quad (3.15)$$

де k_p і k_i – значення коефіцієнтів пропорційної та інтегральної дії регуляторів швидкості та струму.

Використання стандартних налаштувань контурів регулювання для розрахунку коефіцієнтів регуляторів забезпечує асимптотичну стійкість композитної системи:

$$k_i = \frac{k_p^2}{2} (\xi = 0.707) \quad (3.16)$$

де ξ – коефіцієнт демпфування.

Розрахунок коефіцієнтів зворотних зв'язків за пропорційною (k_{iq}, k_{id}) та інтегральною k_{ii} складовими регуляторів струму визначається за допомогою співвідношень:

$$\begin{aligned} k_{ii} &= \frac{k_i^2}{2} (\xi = 0.707), \\ k_{ii} &= \frac{k_i^2}{4} (\xi = 1), \\ k_{\psi i} &= \frac{(\alpha + k_{\psi})^2}{2} (\xi = 0.707), \\ k_{\psi i} &= \frac{(\alpha + k_{\psi})^2}{4} (\xi = 1). \end{aligned} \quad (3.17)$$

Необхідне розділення за часом процесів у зовнішньому контурі потокозчеплення та внутрішньому контурі струму досягається умовою:

$$\omega_{0c} \geq (2 \div 3)\omega_{0\psi}, \quad (3.18)$$

де значення власної частоти недемпфованих коливань контурів регулювання струму ω_{0c} та потокозчеплення $\omega_{0\psi}$ визначається відомими рівняннями:

$$\begin{aligned} \omega_{0c}^2 &= k_{ii}, \\ \omega_{0\psi}^2 &= k_{\psi i}. \end{aligned} \quad (3.19)$$

Для перетворення вектора струму статора з трифазної системи координат в двофазні за умови симетричної системи без нульової послідовності використовують матрицю наступного вигляду:

$$\begin{aligned} \mathbf{Q} = [3 \rightarrow 2] &= \begin{bmatrix} \frac{3}{2} & 0 & 0 \\ 0 & \frac{\sqrt{3}}{2} & \frac{\sqrt{3}}{2} \end{bmatrix}; \\ \mathbf{Q}^{-1} = [2 \rightarrow 3] &= \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ -\frac{1}{2} & \frac{\sqrt{3}}{2} \\ -\frac{1}{2} & -\frac{\sqrt{3}}{2} \end{bmatrix}. \end{aligned} \quad (3.20)$$

У загальному вигляді перетворення трифазних змінних на двофазні може бути записано таким чином:

$$\begin{aligned} \mathbf{x}_{ab01} &= \mathbf{Q} \mathbf{x}_{abcs} \\ \mathbf{x}_{dq02} &= \mathbf{Q} \mathbf{x}_{abcr} \end{aligned} \quad (3.21)$$

де $\mathbf{x}_{ab01} = (x_{1a}, x_{1b}, x_{10})^T$, $\mathbf{x}_{dq02} = (x_{2dr}, x_{2qr}, x_{20})^T$ – вектори двофазних змінних статора і ротора; $\mathbf{x}_{abcs} = (x_{as}, x_{bs}, x_{cs})^T$, $\mathbf{x}_{abcr} = (x_{ar}, x_{br}, x_{cr})^T$ – вектори трифазних

змінних статора і ротора. Вектор \mathbf{x} в (3.24) використовується для визначення векторів напруг, струмів та потокозчеплень електричної машини.

Структурна схема системи прямого векторного керування швидкістю АД зображена на рис. 3.2.

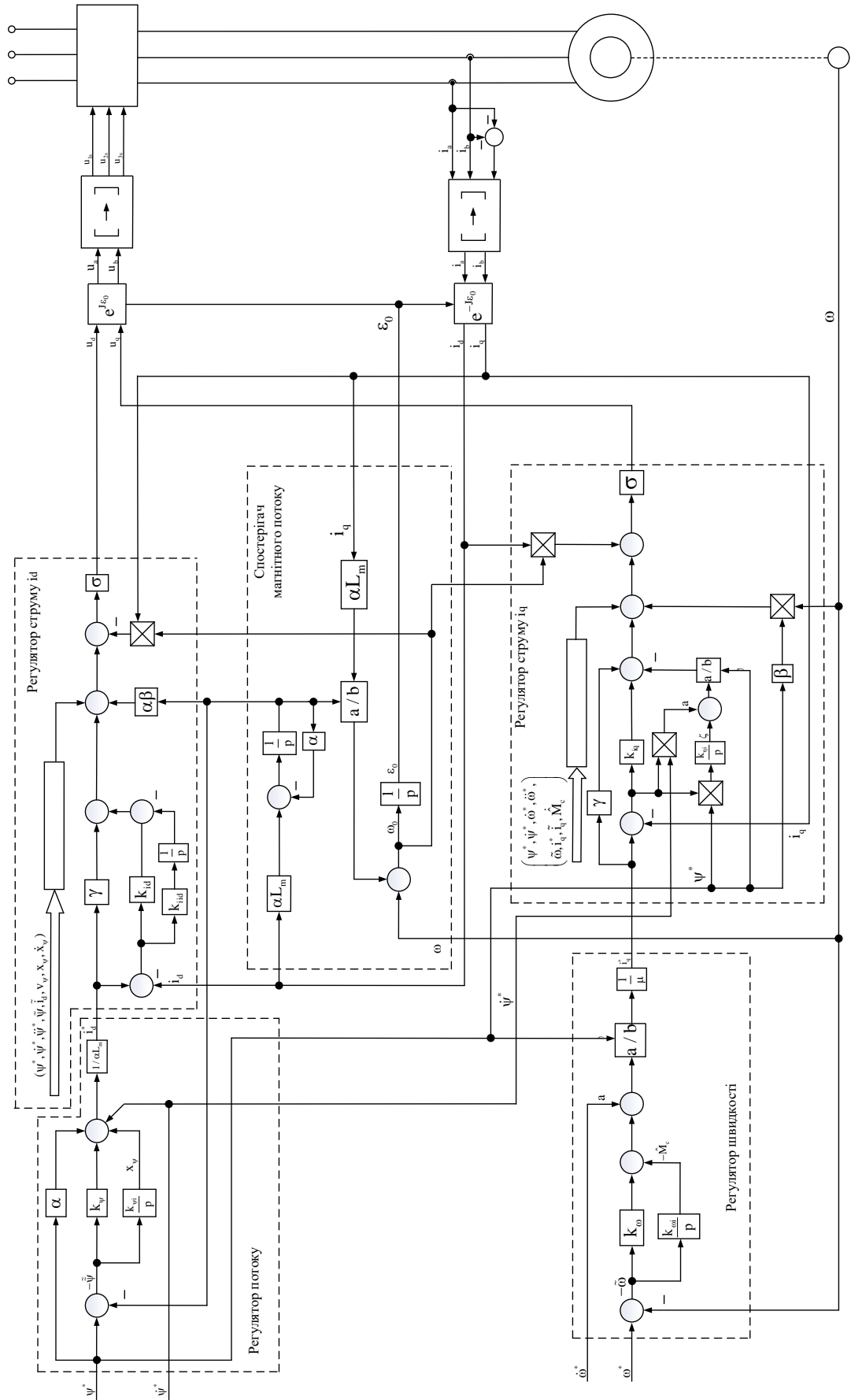


Рисунок 3.2 – Структурна схема алгоритму прямого векторного керування

Висновки до розділу 3

1. Розроблено алгоритм прямого векторного керування кутовою швидкістю асинхронного двигуна, в якому завданнями є модуль вектора потокзчеплення ротора та кутова швидкість.

2. Отримано математичну модель керування асинхронним двигуном в середовищі Matlab Simulink та складено структурну схему алгоритму векторного керування для дослідження статичних та динамічних режимів електромеханічної системи.

4 ДОСЛІДЖЕННЯ ДИНАМІЧНИХ ТА СТАТИЧНИХ РЕЖИМІВ ЕЛЕКТРОМЕХАНІЧНОЇ СИСТЕМИ

В цьому розділі проведено дослідження динамічних характеристик в номінальному режимі та в режимі ходьби.

Для дослідження використано наступну послідовність операцій керування:

1) за 0.2 с відбувається збудження двигуна, потім коли потокозчеплення досягає сталого рівня в час рівний 0.3 с відбувається розгін двигуна від нуля до 143 рад/с, яка відповідає максимальній лінійній швидкості 4.3 м/с, траєкторія заданої швидкості має обмежені першу та другу похідні за часом і сформована так, щоб динамічний момент при її відпрацюванні був рівним 2-х кратним номінальному;

2) під час роботи двигуна, на інтервалі часу 0.3 – 1.8 с прикладається постійний момент навантаження $M_{\max} = 15.3$ Нм, який відповідає максимальному обертаючому моменту;

3) на інтервалі часу 1.5 с – 1.8 с відбувається гальмування двигуна до нульової швидкості;

4) для моделювання прийнято наступні налаштування алгоритму: пропорційний та інтегральний коефіцієнти регулятора швидкості: $k_{\omega} = 100$, $k_{\omega i} = 5000$; пропорційний та інтегральний коефіцієнти регулятора струму: $k_i = 500$, $k_{ii} = 125000$; пропорційний та інтегральний коефіцієнти регулятора потоку $k_{\psi} = 100$; $k_{\psi i} = 5000$.

4.1 Дослідження динамічних характеристик в номінальному режимі

Перехідні процеси дослідження динамічних характеристик при відомих параметрах наведено на рис. 4.1 – 4.3.

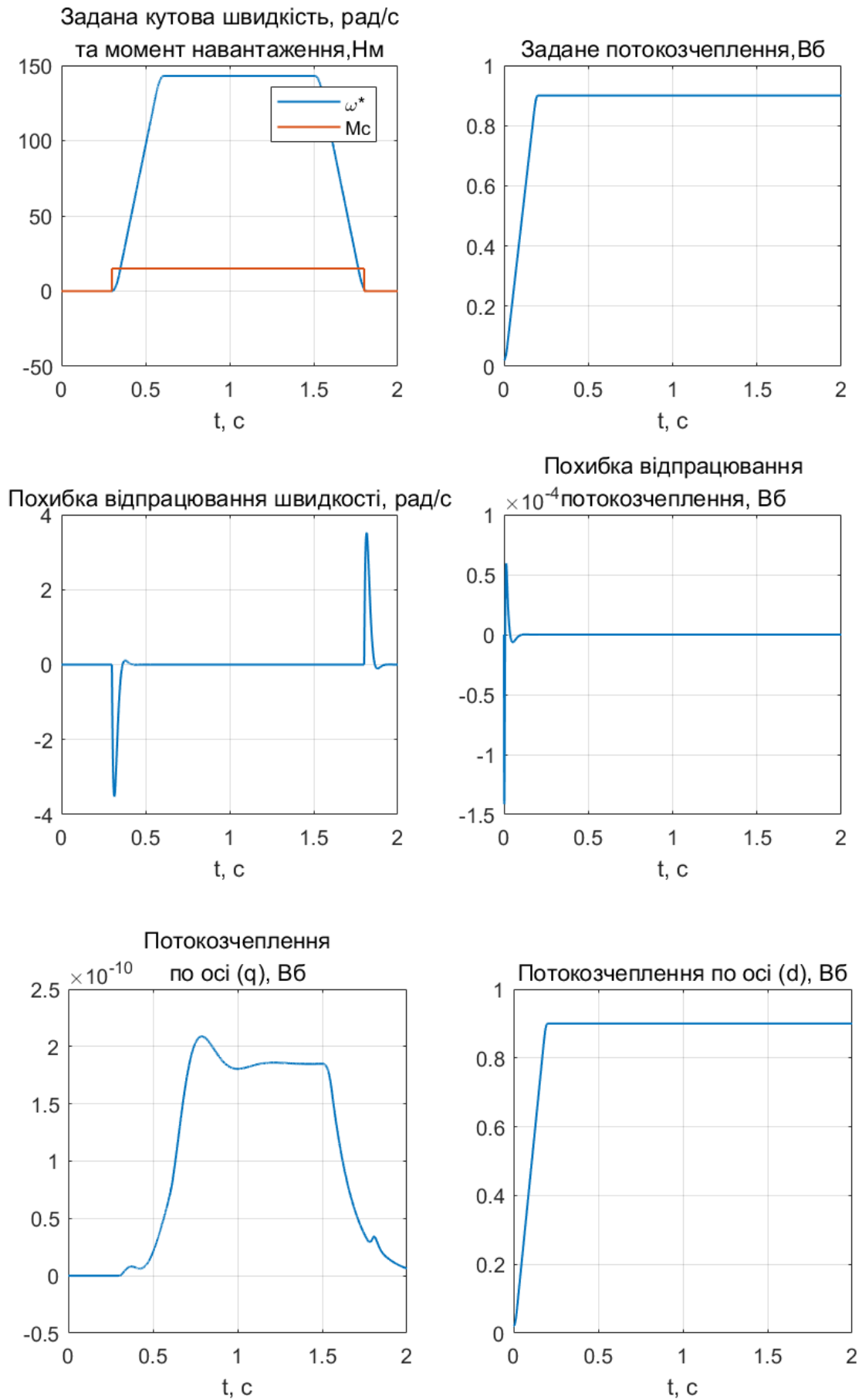


Рисунок 4.1 – Перехідні процеси системи прямого векторного керування

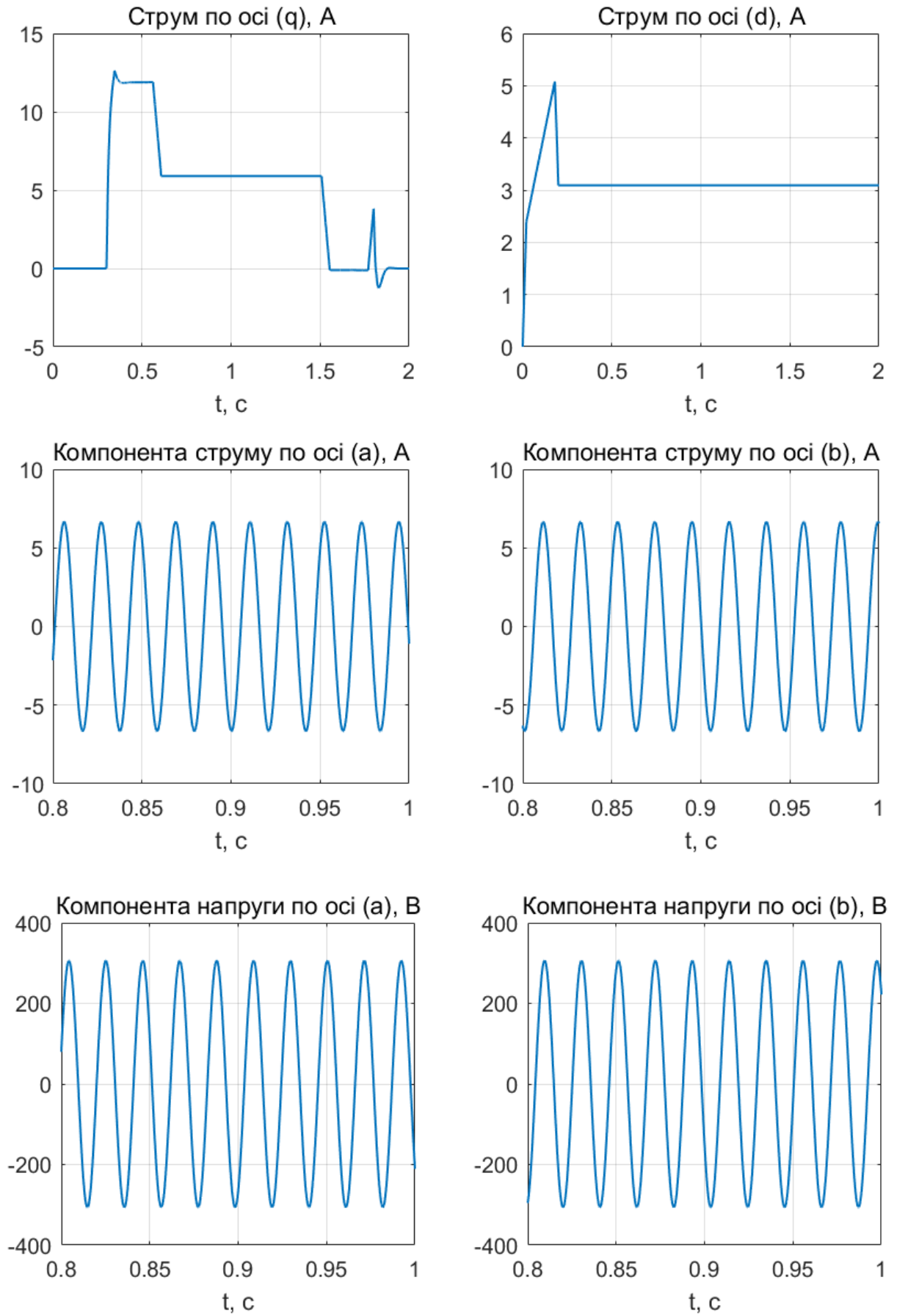


Рисунок 4.2 – Перехідні процеси системи прямого векторного керування

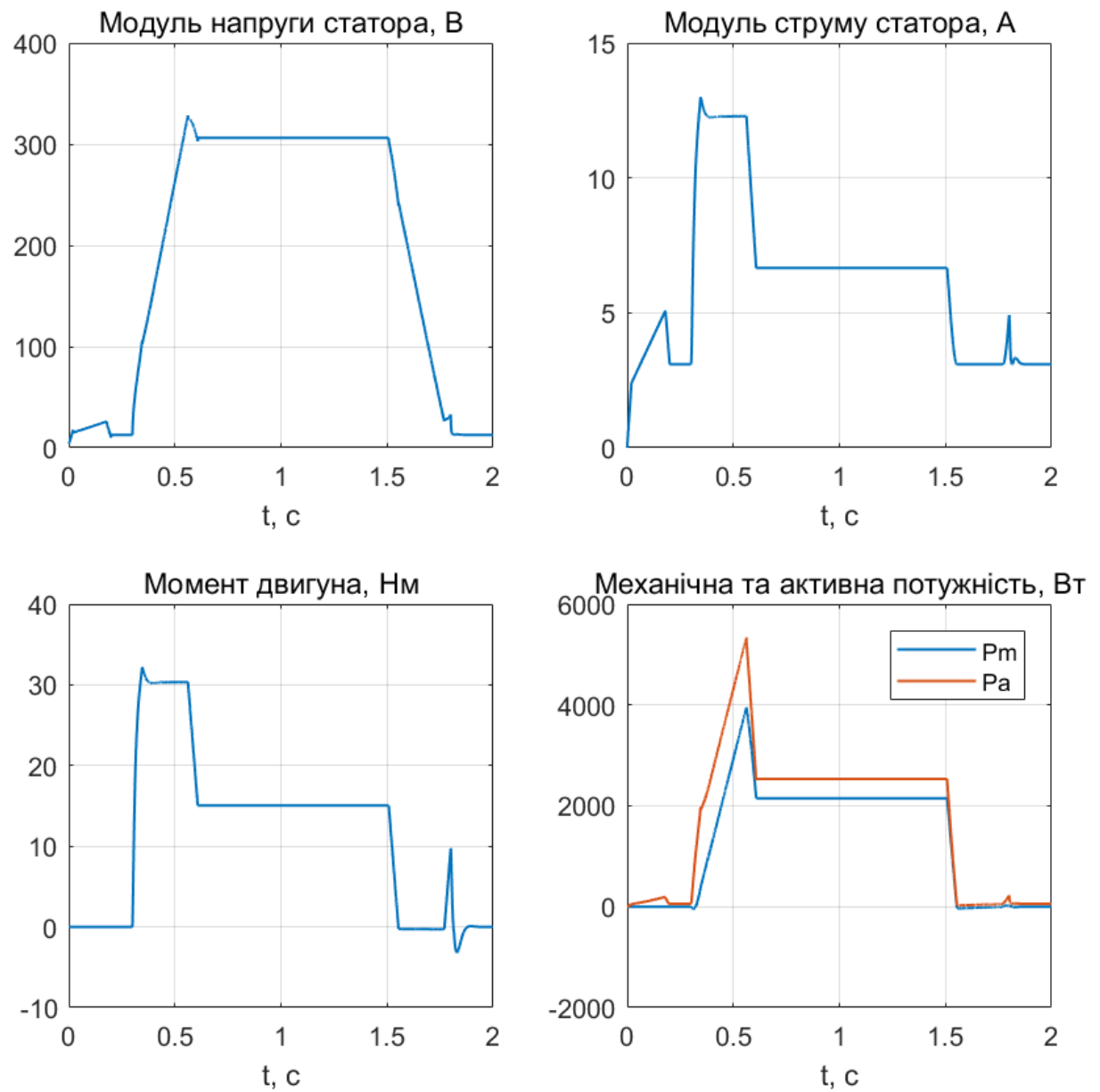


Рисунок 4.3 – Перехідні процеси системи прямого векторного керування

ККД при відпрацюванні номінального моменту навантаження для заданої швидкості зображено на рис 4.4.

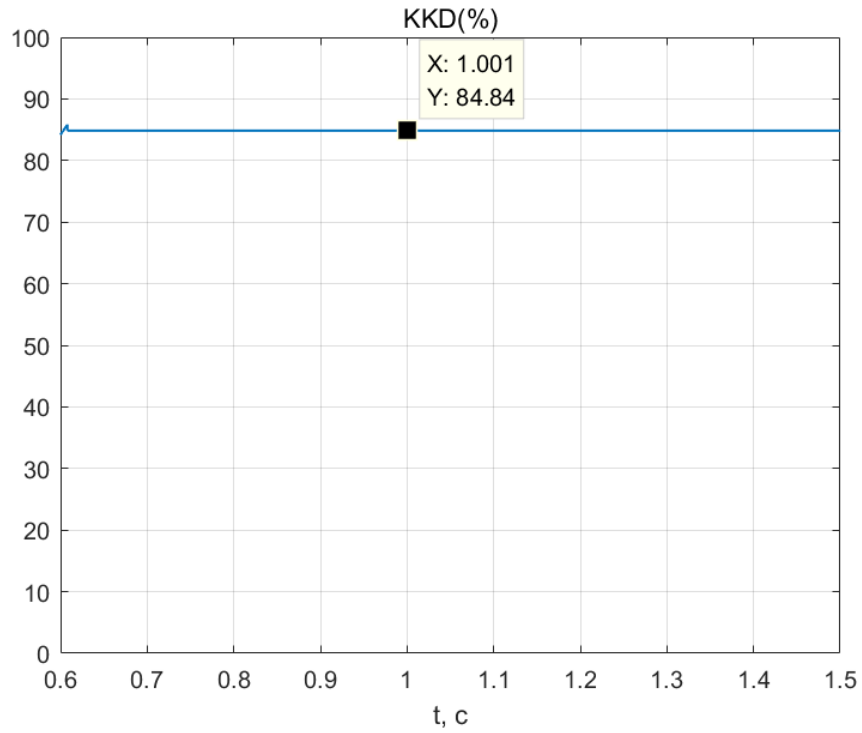


Рисунок 4.4 – ККД при відпрацюванні номінального моменту навантаження для заданої швидкості

Лінійна швидкість бігової доріжки зображено на рис. 4.5.

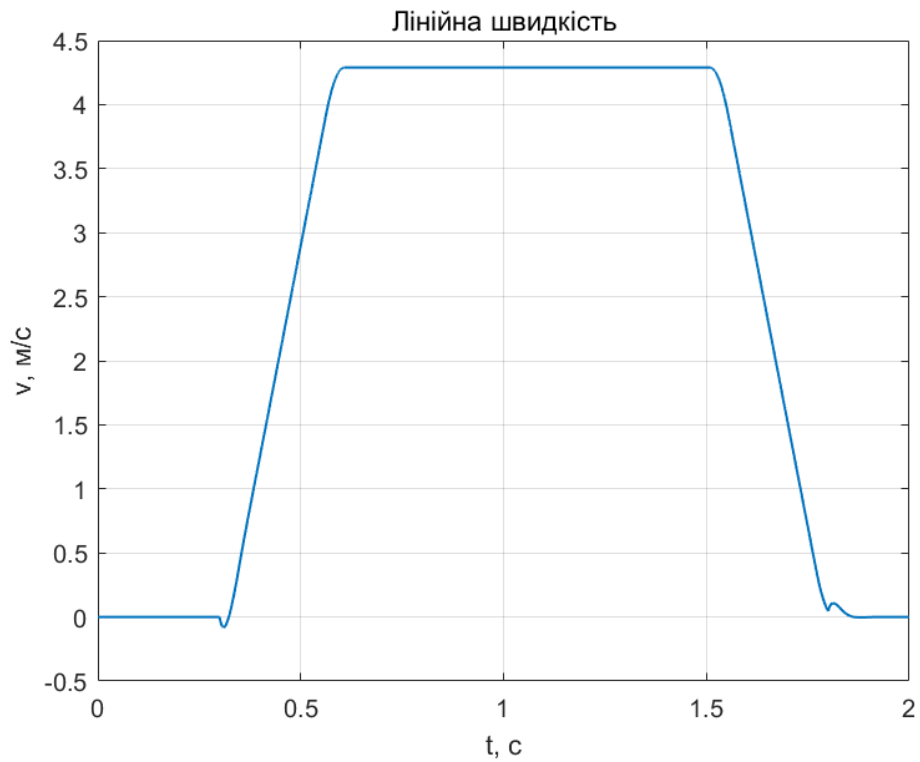


Рисунок 4.5 – Лінійна максимальна швидкість бігової доріжки

Як видно з графіків перехідних процесів, система відпрацьовує задане потокозчеплення, похибка відпрацювання асимптотично спадає до нуля. При відпрацюванні заданої траєкторії, бачимо що при пуску і гальмуванні двигуна при накиданні та скиданні моменту навантаження з'являється динамічна похибка з величиною ± 3.8 рад/с.

Коли крутний момент навантаження збільшується, модуль напруги статора збільшується, щоб компенсувати вплив крутного моменту і гарантувати, що кутова швидкість досягає номінального рівня.

За графіками активної та реактивної потужності видно, що в момент розгону двигуна та при накиданні навантаження потужність зростає. Але при гальмуванні двигуна потужність стає зі знаком мінус, тобто двигун переходить в так званий рекуперативний режим та віддає енергію в мережу.

При відпрацюванні заданого моменту отримана траєкторія лінійної швидкості бігової доріжки відповідає заданій.

4.2 Дослідження динамічних характеристик в режимі ходьби

Для виконання цього тесту слід лише на виході блоку завдання виставити швидкість $\omega = 33$ рад / с. Важливим у цьому дослідженні є те, що прикладений момент має бути таким самим, як і у тесті моделювання системи за номінальних параметрів. Отримані результати перехідних процесів системи прямого векторного керування показані на рис. 4.6 – 4.8.

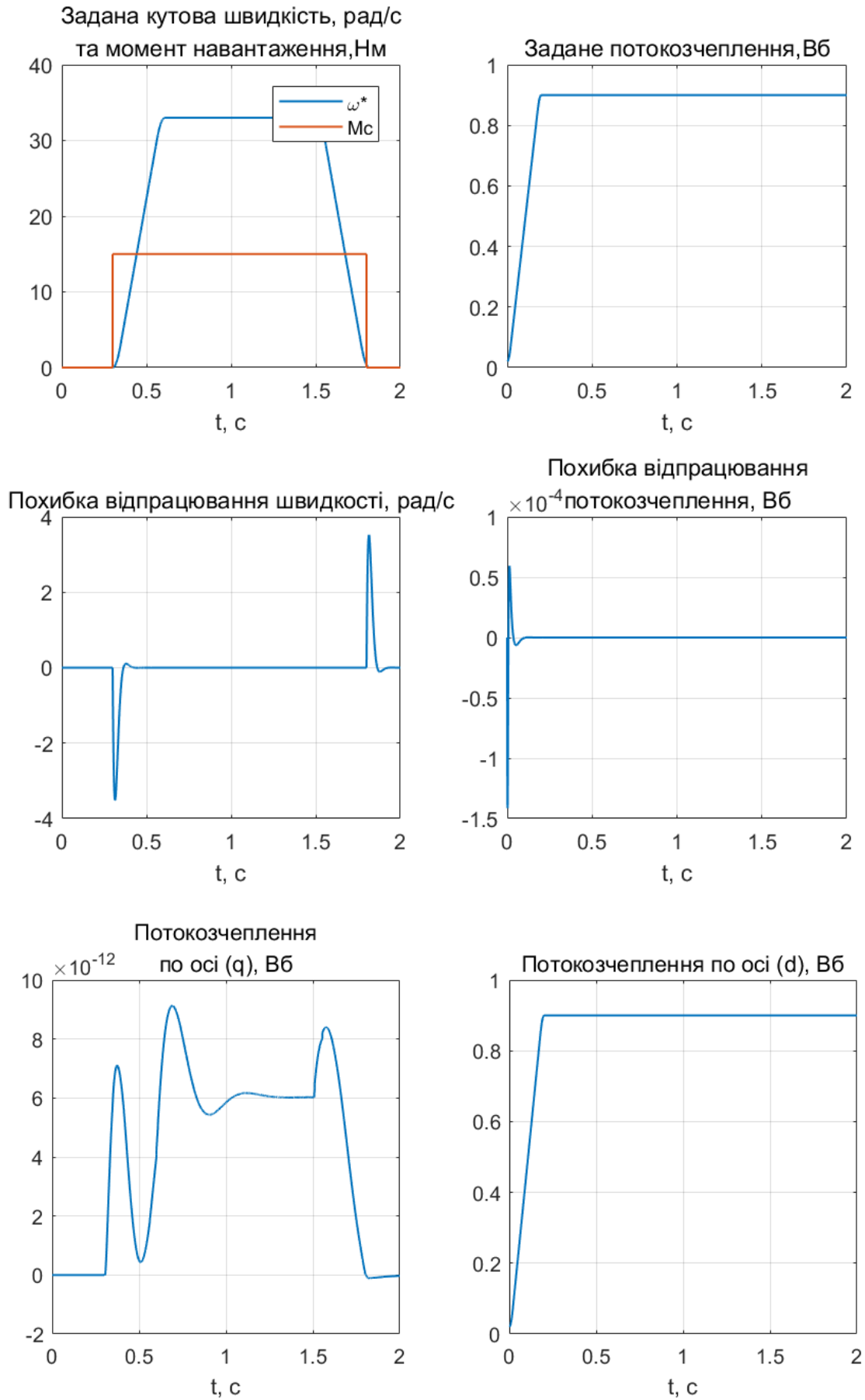


Рисунок 4.6 – Перехідні процеси при відпрацюванні малої швидкості

$$\omega = 33 \text{ рад/с}$$

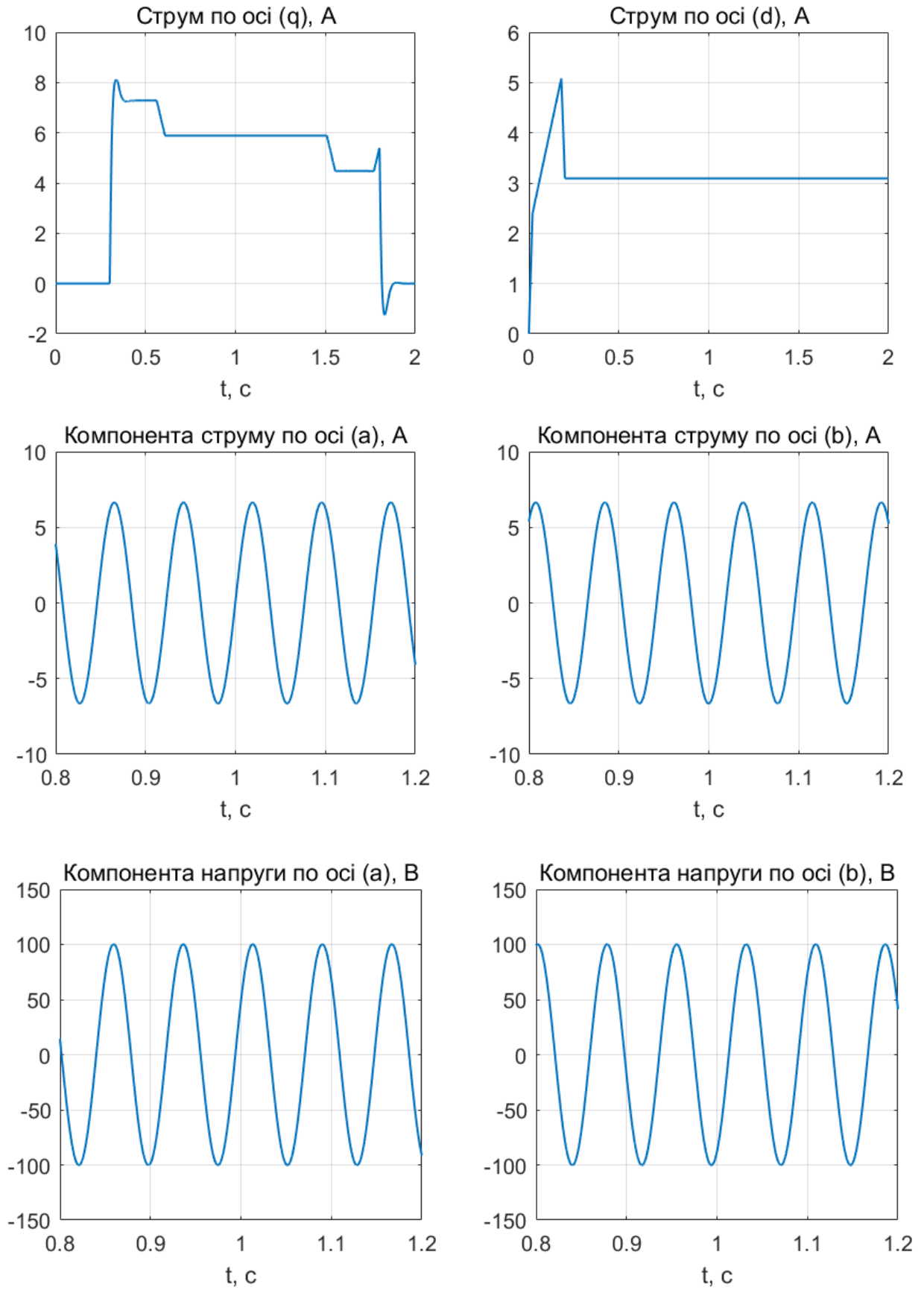


Рисунок 4.7 – Перехідні процеси при відпрацюванні малої швидкості

$$\omega = 33 \text{ рад / с}$$

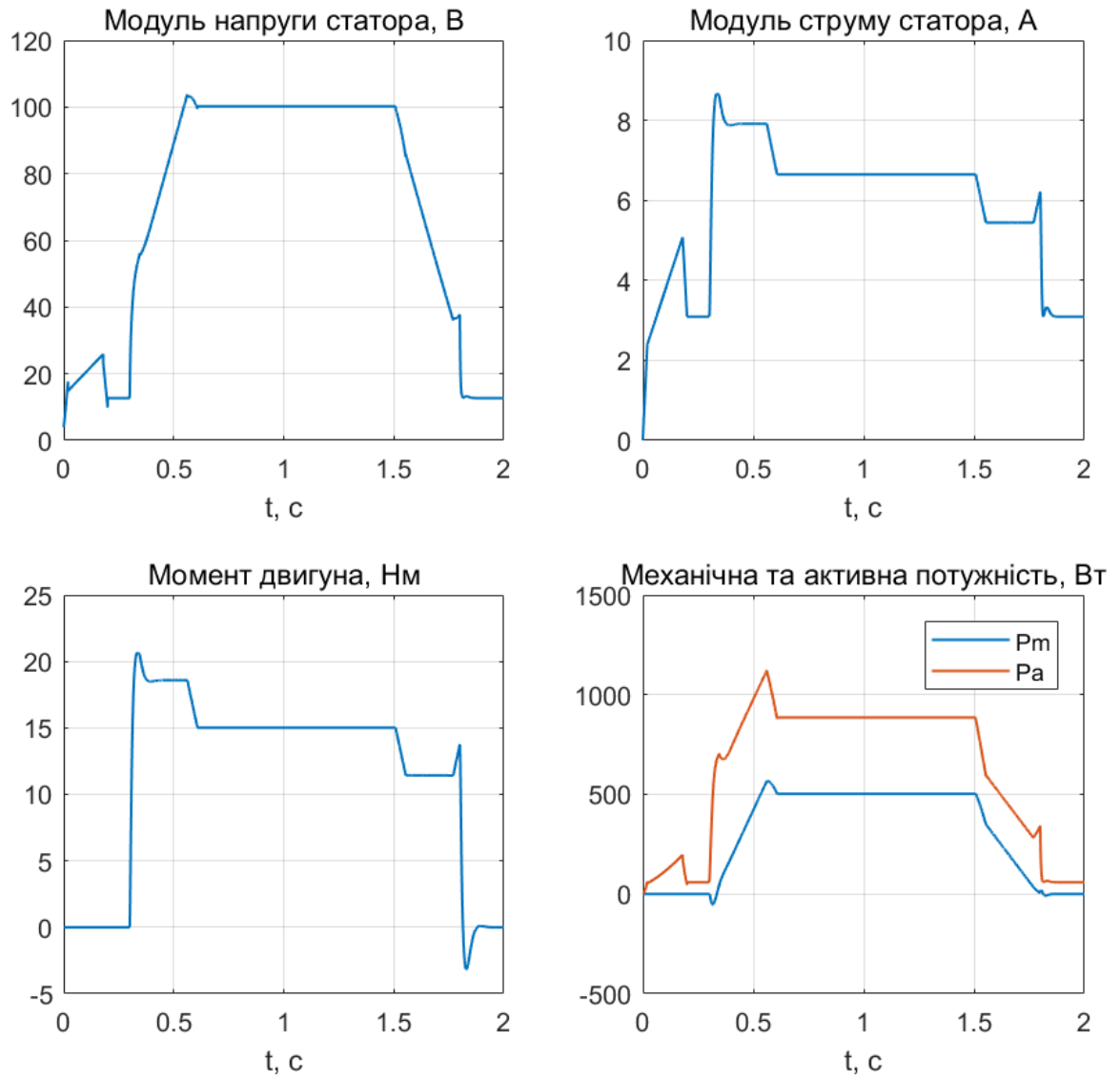


Рисунок 4.8 – Перехідні процеси при відпрацюванні малої швидкості
 $\omega = 33$ рад / с

ККД при відпрацюванні номінального моменту навантаження для малої швидкості $\omega = 33$ рад / с зображено на рис. 4.9.

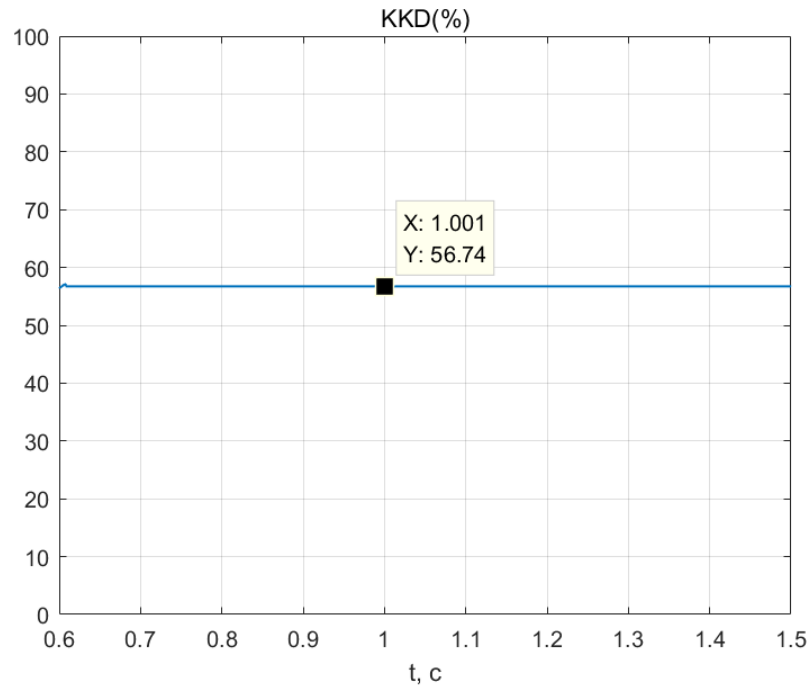


Рисунок 4.9 – ККД при відпрацюванні номінального моменту навантаження для малої швидкості $\omega = 33$ рад / с

Лінійна швидкість електричної бігової доріжки для режиму ходьби зображено на рис.4.10.

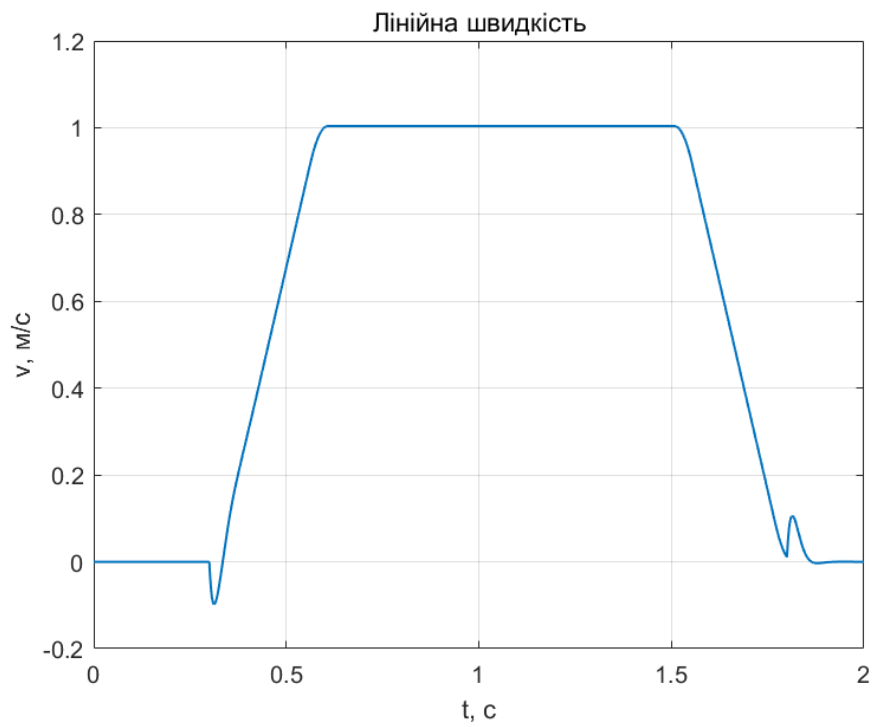


Рисунок 4.10 – Лінійна швидкість бігової доріжки для режиму ходьби

Висновки до розділу 4

1. Досліджено динамічні характеристики при відомих параметрах асинхронного двигуна в номінальному режимі та в режимі малої швидкості (ходьби). В результаті встановлено, що система асимптотично відпрацьовує завдання кутової швидкості та потокозчеплення, що видно із динаміки похибок. Процеси керування потокозчепленням і кутовою швидкістю розв'язані між собою, тобто під час прикладання моменту змін в контурі потокозчеплення не має. Виконується умова переорієнтування, оскільки потокозчеплення по осі q має нульове значення.

2. При дослідженні номінальної та нижче (на 77%) від номінальної швидкості встановлено, що показники якості не змінюються, тобто похибка відпрацювання кутової швидкості залишилась незмінною.

3. Часове розділення у зовнішньому контурі потокозчеплення та внутрішньому контурі струму забезпечується за рахунок вибору інтегральних компонент.

5 РОЗРОБКА СХЕМИ КЕРУВАННЯ АСИНХРОННИМ ДВИГУНОМ

Для практичної реалізації спроектованої системи слід мати обладнання, яке буде виконувати обрахунки керуючих дій за найменш можливий проміжок. У рамках цього розділу буде представлено типові вимоги до перетворювачів та функціональна схема асинхронного електроприводу, вибір основних елементів та налаштування перетворювача частоти.

5.1 Типові вимоги до перетворювачів та функціональна схема асинхронного електроприводу

Асинхронні електродвигуни широко використовуються в якості приводів промислового обладнання, насосних агрегатів, регулюючої арматури та інших пристроїв. Основним недоліком цих електричних машин є постійна швидкість обертання, великі пускові струми. За допомогою частотних перетворювачів можливо усунути ці недоліки і суттєво розширити сферу застосування електродвигунів змінного струму [33].

Розглянувши технічні характеристики сучасних перетворювачів частоти, як Siemens, ABB, Mitsubishi та ін., можна сформулювати загальні вимоги, які ставляться кінцевим споживачем до сучасних асинхронних приводів:

Напруга живлення – 3ф*380 В. 50 Гц або 220 В 50 Гц однофазна.

Вихідна частота 0...400 Гц.

Алгоритми керування що реалізуються перетворювачами:

1. Традиційне регулювання частоти з квадратичним законом або лінійною характеристикою U / f , з можливістю компенсації IR і компенсації ковзання.
2. Векторне бездатчикове керування.
3. Векторне керування з датчиком швидкості.

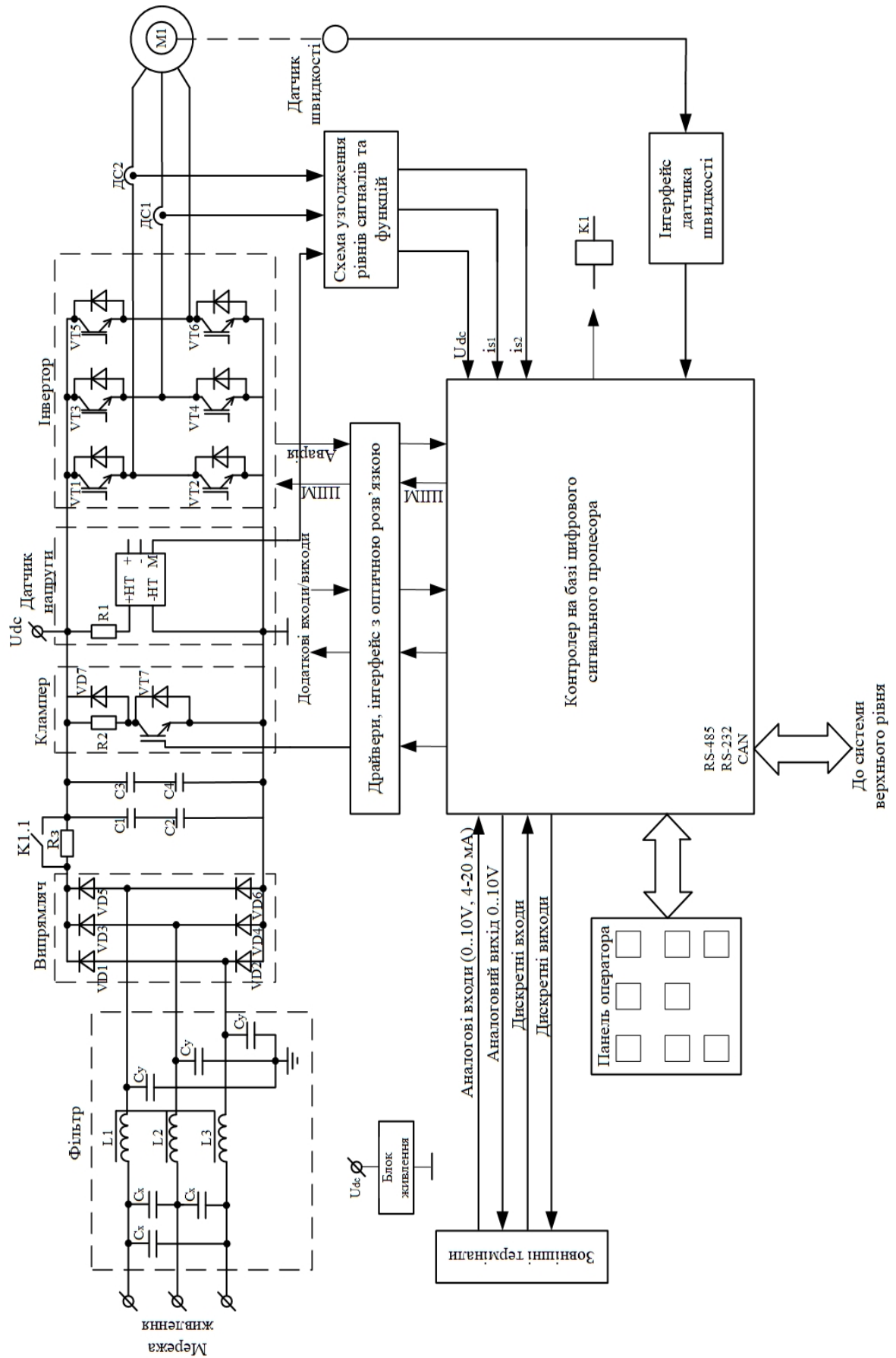


Рисунок 5.1 – Функціональна схема асинхронного електроприводу

В стандартній конфігурації електропривод має забезпечувати наступні мінімальні інтерфейсні можливості [33]:

1. Дискретних гальванічно-розв'язаних входів – 6.
2. Аналогових входів $0 \dots 10 \text{ В}$ – 1 канал, $4 \dots 20 \text{ мА}$ – 1 канал.
3. Аналоговий вихід $0 \dots 10 \text{ В}$.
4. Виходів релейного типу – 2
5. Вбудований ПД-регулятор технологічного параметру.
6. Внутрішній ключ клампера на малих потужностях (до 15 кВт).
7. Можливість підключення фотоімпульсного датчика швидкості (енкодера).
8. Забезпечує джерела живлення $+10 \text{ В}$ і $+24 \text{ В}$ для надання послуг для зовнішніх підключень аналогових і дискретних сигналів.

На рис. 5.1. представлено типову функціональну схему електроприводу, яка побудована на основі перетворювача частоти з ланкою постійного струму. Основою асинхронного електроприводу є перетворювач частоти, який вміщує в собі перетворюваний та керуючий пристрій [33].

Перетворювач зазвичай вміщує в собі такі дві складові [34]:

- силову частину, яка включає в себе некерований випрямляч, інвертор, вхідний фільтр, клампер, зарядне коло, ємність фільтра випрямляча, датчик напруги ланки постійного струму, датчики вихідного струму, блок живлення;
- керуючий контролер, який забезпечує реалізацію різних алгоритмів та допоміжні функції.

5.2 Розрахунок силової частини

Вибір перетворювача частоти. Для попередньо розрахованого двигуна 4A90L4Y3 з потужністю $P_{2n} = 2.2 \text{ кВт}$ вибираємо готовий перетворювач частоти типу ACS550-01-05A4-4 [35].



Рисунок 5.2 – Перетворювач частоти ACS550-01-05A4-4

Таблиця 5.1 – Технічні характеристики (посилання)

Номінальний струм:	5.4 А
Потужність двигуна:	2.2 кВт
Тип керування:	векторне
Напруга:	380 В
Фазність	трифазний

Частотний перетворювач ACS 550 був створений як найбільш зручний в установці, введення параметрів і налагодження електроприводу. Перетворювач частоти простий в експлуатації і має широкий діапазон вбудованих функцій, таких як захисна функція відключення моменту і можливість послідовного програмування, що в свою чергу, дозволяє зменшити кількість додаткової керуючої електроніки. ПЧ має низку додаткових опцій і різноманітні функціональні можливості для керування швидкістю асинхронних двигунів.

Для вибору датчиків струму та напруги розраховцемо номінальні діючі та амплітудні значення фазної напруги та струму статора, які мають вигляд як у (2.10), (2.11).

Максимальне значення струму в фазі двигуна визначається перевантажувальною здатністю k_{ov1} , яка в загальному випадку залежить від конкретного типу механізму і дорівнює орієнтовно $k_{ov1} = (1.4 - 2)$.

Прийнявши перевантажувальну здатність $k_{ov1} = 1.8$, розрахуємо максимальний струм на виході перетворювача частоти:

$$I_{\max} = k_{ov1} I_{na} = 1.8 \cdot 7 = 12.6 \text{ A.} \quad (5.1)$$

При живленні перетворювача від трифазної мережі живлення $U_{\text{grid}} = 380 \text{ В}$, при ідеальній фільтрації напруга в ланці постійного струму буде $U_{\text{dcn}} = \sqrt{2} U_{\text{grid}} = 540 \text{ В}$.

Максимально допустима зворотна напруга повинна бути як мінімум в 1.5 рази вище максимальної напруги в ланці постійного струму:

$$U_{ce} > 1.5 U_{dc \max} \quad (5.2)$$

Максимальна напруга в ланцюзі постійного струму сучасних перетворювачів залежить від допустимого напруги встановленого конденсатора електролітичного фільтра, яке становить приблизно 750 В.

Отже,

$$U_{ce} = 1.5 \cdot 750 = 1125 \text{ В.} \quad (5.3)$$

Як датчик напруги буде підключатись паралельно в ланку постійного струму.

Обрано датчик напруги LV 100-1200 [36], який вимірює напругу в межах 0-1200 В. Максимальна напруга ланки постійного струму відповідно до (5.3) становить 1125 В, тому датчик із виміром до 1200 В повністю задовольняє поставлені до нього вимоги.



Рисунок 5.3 – Зовнішній вигляд датчика напруги LV 100-1200

Максимальний струм, який можливо виміряти відповідно до (5.1) становить 12.6 А, тому обрано датчик струму GO 15-SME/SP4 [37] із виміром до 15 А.

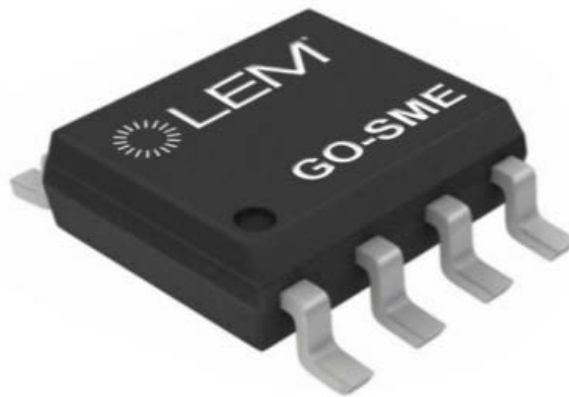


Рисунок 5.4 – Зовнішній вигляд датчика струму GO 15-SME/SP4

Вибір датчика кутової швидкості. Спроектowana система векторного керування передбачає наявність точного і безперебійного сигналу зворотнього зв'язку за швидкістю, із переліку пристроїв, які вимірюють швидкість, обрано енкодер.

Оскільки максимальна частота обертання даного асинхронного двигуна складає 1500 об/хв, обрано енкодер [GTS06-OC-RA100A-2M – Gtech](#) [38], який є оптичним і вимірює частоти обертання до 5000 об/хв.



Рисунок 5.5 – Зовнішній вигляд обраного енкодера

5.3 Налаштування перетворювача частоти

Для налаштування приводів ABB ACS 550 необхідно їх під'єднати до ПК за допомогою кабелю RS 232 [39]. На привод необхідно подати напругу живлення, ввімкнувши автоматичний вимикач та перемкнути кнопку Local/Remote на пульті керування (рис. 5.6). На ПК повинно бути встановлено програмне забезпечення Drive Window Light.



Рисунок 5.6 – Пульти керування перетворювачем частоти

Для початку процесу налаштування необхідно запустити програму DriveWindow Light. В вікні програми треба обрати меню File і обрати опцію New Online Drive. В результаті програма встановить зв'язок з під'єднаним до ПК електроприводом. У вікні програми з'явиться вікно зі списком параметрів електроприводу та повідомлення Connection OK.

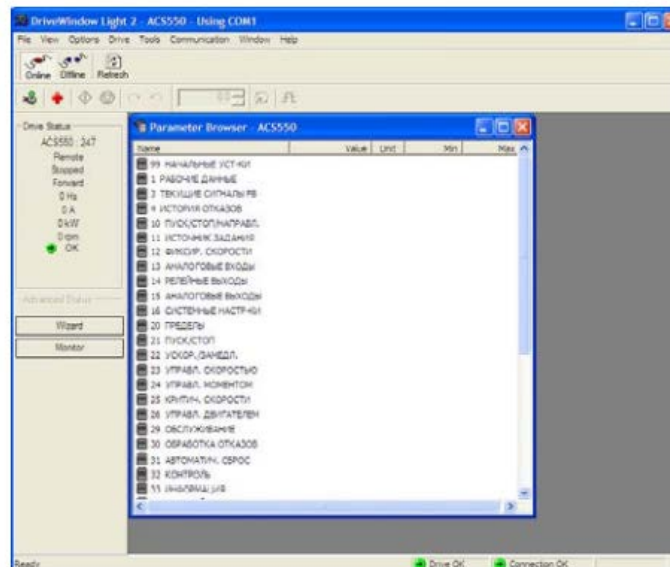


Рисунок 5.7 – Вікно параметрів електроприводу

1. Першим етапом налаштування є вибір мови вікна налаштування.

Параметр 9901 (мова) визначає мову вікна налаштування. Для переходу до наступної процедури необхідно натиснути Next.

2. Другий етап налаштування зводиться до введення паспортних даних електродвигуна [40].

Параметр 9905 (номінальна напруга двигуна) визначає номінальну напругу двигуна.

Параметр 9906 (номінальний струм двигуна) визначає номінальний струм двигуна.

Параметр 9907 (номінальна частота двигуна) визначає номінальну частоту двигуна.

Параметр 9908 (номінальна швидкість двигуна) визначає номінальну швидкість двигуна.

Параметр 9909 (номінальна потужність двигуна) визначає номінальну потужність двигуна.

Для переходу до наступної процедури необхідно натиснути Next.

3. Наступний етап – налаштування прикладних макросів керування та вибору законів керування.

Параметр 9902 (прик. макрос) визначає макрос керування. Для даної електромеханічної системи бігової доріжки вибирається векторне керування швидкістю (Speed). Для переходу до наступної процедури необхідно натиснути Next.

4. Наступний етап – налаштування параметрів керування швидкістю.

Параметр 2001 (мінімальна швидкість) мінімально допустима швидкість обертання.

Параметр 2002 (максимальна швидкість) максимально допустима швидкість обертання.

Параметр 2007 (мінімальна частота) мінімально допустиме значення частоти на виході приводу.

Параметр 2008 (максимальна частота) максимально допустиме значення частоти на виході приводу.

Параметр 2202 (час прискорення) час прискорення від нульової частоти до максимальної.

Параметр 2203 (час сповільнення) час сповільнення від максимальної частоти до нульової.

5. Наступний етап – налаштування параметрів пуску/зупинки.

Параметр 2101 (режим пуску) вибір способу пуску двигуна.

Параметр 2102 (режим зупинки) вибір способу зупинки двигуна.

Для переходу до наступної процедури необхідно натиснути Next.

6. Наступний етап – налаштування параметрів захисту.

Параметр 1601 (дозвіл на роботу) визначає джерело сигналу дозволу на роботу.

Параметр 2003 (максимальний струм) визначає максимальний вихідний струм.

Параметр 2014 (виб.макс.момента) керує вибором одного з двох значень максимального допустимого обертового моменту.

Параметр 3003 (зовнш. відмова) визначає вхід, на який подається сигнал зовнішньої відмови.

Параметр 3101 (кількість спроб) встановлює число автоматичних скидань, які дозволяється виконувати протягом часу, заданого параметром 3102.

Параметр 3102 (час спроб) задає період часу, протягом якого підраховуються і обмежується кількість операцій скидання.

Параметр 3103 (затримка) встановлює час затримки між визначенням відмови і спробою перезапуску приводу.

Параметр 3108 (автск.зовн.відмов) задає дозвіл/заборону автоматичного скидання для функції обробки зовнішньої відмови.

Для переходу до наступної процедури необхідно натиснути Next.

7. Наступний етап – налаштування вихідних сигналів.

Параметр 1502 (мін.знач.авих.1) встановлює мінімальне значення відображеної величини.

Параметр 1503 (макс.знач.авих.1) встановлює максимальне значення відображеної величини.

Параметр 1504 (мін.авих.1) встановлює мінімальний вихідний струм.

Параметр 1505 (макс.авих.1) встановлює максимальний вихідний струм.

Висновки до розділу 5

1. Представлено типові вимоги до перетворювачів та функціональну схему асинхронного електроприводу. Розглянуто призначення основних модулів та елементів перетворювача.

2. Розраховано параметри та вибрано основні складові силових частин електроприводу, а також показано процедуру налаштування перетворювача.

ВИСНОВКИ

В результаті виконання дипломного проекту розроблено електромеханічну систему бігової доріжки на основі асинхронного двигуна.

1. Проаналізовано існуючі на ринку вироби, їх конструктивні особливості, описано основні функції та компоненти. Представлено недоліки, після аналізу яких були поставлені вимоги до електроприводу. Розглянуто основні способи керування кутовою швидкістю асинхронного двигуна.

2. З вихідних даних було розраховано потужність двигуна, після розрахунку потужності, згідно отриманого значення, обрано асинхронний електродвигун 4A90L4Y3 з потужністю 2.2 кВт. Проведена його перевірка за перевантажувальною здатністю, з якої встановлено, що вибраний двигун проходить по перевантажувальній здатності.

3. Виконано дослідження шляхом математичного моделювання алгоритму прямого векторного керування кутовою швидкістю асинхронного двигуна та показано, що розроблена система забезпечує асимптотичне регулювання кутової швидкості та потокозчеплення. Компонента струму статора i_d відповідає за регулювання потокозчеплення, а компонента струму статора i_q відповідає за регулювання кутової швидкості. Процеси в механічній та електромагнітній підсистемах повністю розв'язані.

4. Розроблено функціональну схему асинхронного електропривода, розраховано параметри, вибрано основні складові силової частини електроприводу та показано процедуру налаштування перетворювача.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

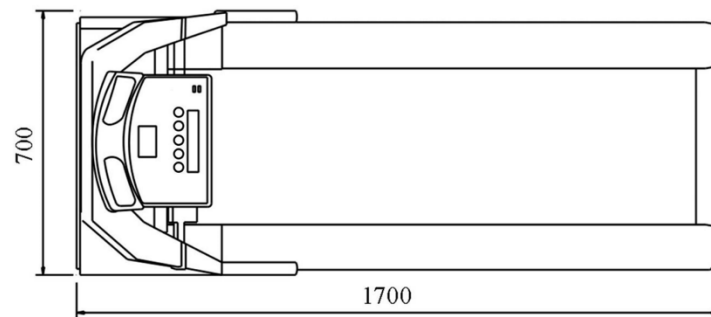
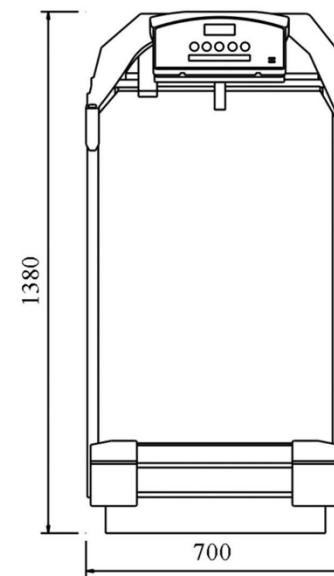
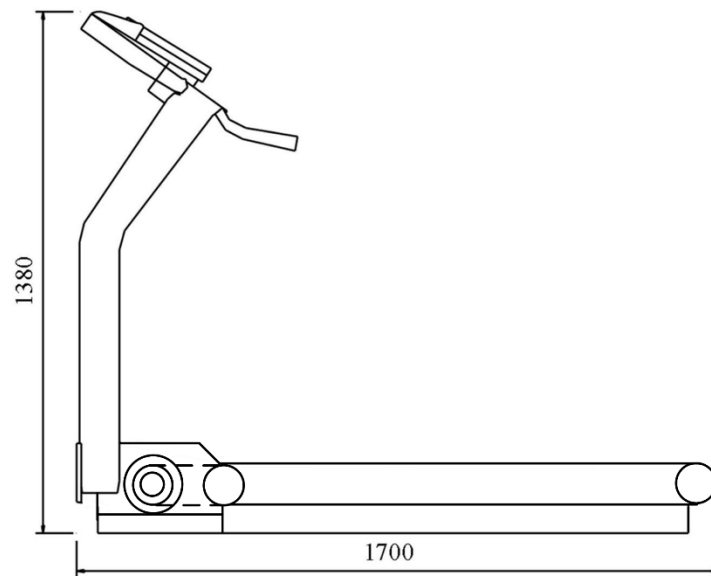
1. 唐春风, 电动跑步机种类及性能分析. 《文体用品与科技》 - 2007 年 9 期
2. Як правильно займатися на біговій доріжці для схуднення? URL: <https://mishel-style.com.ua/yak-pravilno-zajmatisya-na-bigovij-dorizhci-dlya-sхудnennya/> (дата звернення: 10.04.2021).
3. Як вибрати бігову доріжку для дому. URL: <http://radka.in.ua/krasa/iak-vibrati-bigovy-dorijky-dlia-domy.html> (дата звернення: 12.04.2021).
4. 机械跑步机的优缺点. URL: <http://www.jinlaiba.com/archives/20058.html> (дата звернення: 12.04.2021).
5. Вибір бігової доріжки - електрика або механіка? URL: <https://uk.deltaclassic4literacy.org/1704-choosing-a-treadmill-electrician-or-mechanic.html> (дата звернення: 12.04.2021)
6. 电 动 跑 步 机 RT 700 使 用 说 明 . URL: <https://www.impulsefitness.com/u/cms/www/201701/11071730gv6d.pdf>
7. Асинхронные электродвигатели. URL: <http://hardmotors.by/elektrodvigateli/sample-page/poleznaya-informaciya/asinxronnyj-elektrodvigatel> (дата звернення: 15.04.2021)
8. Петухов С.В., Кришьянис М.В. Учебное пособие: Электропривод промышленных установок. Архангельск, 2015. 303 с.
9. Асинхронный двигун з короткозамкненим ротором. URL: <https://best-diy-site.com/2695899->
10. Макаров А. М., Сергеев А. С., Крылов Е. Г., Сердобинцев Ю. П. Системы управления автоматизированным электроприводом переменного тока: учеб. Пособие. ВолгГТУ. Волгоград, 2016. 192 с.
11. Костенко М. П. Работа многофазного асинхронного двигателя при переменном числе периодов. Электричество. 1925. № 2.

12. Ловейкін В.С., Ромасевич Ю.О. Методичні вказівки для самостійної роботи з дисципліни „Основи електропривода” для студентів напряму підготовки 6.100101 – „Енергетика та електротехнічні системи в АПК”. Ніжин: 2011. 98 с.
13. Методи керування та апаратна реалізація сучасних перетворювачів частоти. URL: http://nauka.tsatu.edu.ua/print-journals-tdatu/13-2/13_2/26.pdf (дата звернення: 20.04.2021)
14. Чиликин М. Г., Сандлер А. С. Общий курс электропривода: Учебник для вузов. – М. : Энерговидав, 1981. – 576 с.
15. Основні і похідні параметри механічних передач. URL: <https://helpiks.org/6-62593.html> (дата звернення: 22.04.2021)
16. Скойбеда А. Т., Василенок В. Д. Детали машин: учебно-методическое пособие для студентов машиностроительных специальностей: в 3 ч. Минск : БНТУ, 2019. Ч. 1: Механические передачи. 2019. 215 с.
17. Антонюк. В. Е. Зубчатые передачи. Нормативно-методическое обеспечение точности зубчатых передач на этапе проектирования. Минск: Беларуская навука, 2016. 251 с.
18. Коновалов А. Б., Гребенникова В. М., Ременные передачи: учебное пособие, СПб, 2011. 106 с.
19. Осипов А. А., Першин В. Ф., Дёмин О. В. Механика. Часть I : учебное пособие. 2010. 104 с.
20. Воробьев Н.В. Цепные передачи. М., "Машиностроение", 1968. 252 с.
21. Worm Gear Pair. URL: <https://khkgears.net/pdf/3015/worm-gears.pdf> (дата звернення: 26.04.2021)
22. 杨翠丽, 谭文达. 多功能电动跑步机设计. 齐齐哈尔工程学院, 黑龙江 齐齐哈尔.
23. Інструкція з експлуатації, бігова доріжка з електричним приводом, модель HT-9164E. URL: https://housefit.ua/pdf/gAZp6r5OB41448265869_HT-9164E_ukr.pdf (дата звернення: 26.04.2021)

24. 电动跑步机整体设计. URL: <https://www.zx168.com/p-54593.html?fs=1>
(дата звернення: 30.04.2021)
25. 常用材料及物体的摩擦因数表. URL: <http://www.jxzl.cn/changyongziliao/19.html> (дата звернення: 02.05.2021)
26. Пересада С. М., Ковбаса С. М. Теорія мехатронних систем – 1, Методичні вказівки до виконання розрахунково-графічної роботи для студентів денної та заочної форми навчання напряму підготовки 6.050702 – "Електромеханіка" спеціальності "Електромеханічні системи автоматизації та електропривод", К.: НТУУ "КПІ", 2011 р., 96 с.
27. Методичні вказівки до курсової роботи з кредитного модуля «Теорія електропривода» для студентів спеціальності 141 – «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка» спеціалізації «Електромеханічні системи автоматизації та електропривод» / Уклад. С.П.Колесніченко, Н.Д. Красношопка, К.: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2017. 27 с.
28. Толочко О. І. Моделювання електромеханічних систем. Математичне моделювання систем асинхронного електроприводу: навчальний посібник. Київ, НТУУ «КПІ», 2016. 150 с.
29. Пересада С. М., Ніконенко Є. О. Керування електроприводами. Методичні вказівки до виконання курсового проекту для студентів напрямку підготовки 6.050702 – "Електромеханіка" спеціальності "Електромеханічні системи автоматизації та електропривод": навч. посіб. Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2020. 52 с.
30. W. Leohnard. Control of Electric Drives. Berlin, Germany: Springer-Verlag, 1995.
31. Пересада С. М. Алгоритм векторного керування кутовою швидкістю асинхронного двигуна без вимірювання струмів статора. URL: <https://epa.kpi.ua/files/conference/fea/2007/04.pdf> (дата звернення: 10.05.2021)

32. Шрамко Ю. Ю. Конспект лекцій з дисципліни «Автоматизовані електромеханічні системи». ДДТУ, 2016. 86 с.
33. Ковбаса С. М., Шаповал І. А. Силові перетворювачі електроприводів. Методичні розрахунково-графічної роботи для студентів напрямку підготовки бакалавра спеціальності 141 – Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка, спеціалізації " Електромеханічні системи автоматизації, електропривод та електромобільність", К.: "КПІ ім. Ігоря Сікорського", 2019 р. 25с.
34. Практична реалізація систем векторного керування. URL: <https://thelib.info/mehanika/3168457-rozdil-4-praktichna-realizaciya-sistem-vektornogo-keruvannya/> (дата звернення: 12.05.2021)
35. Технічна специфікація частотного перетворювача ACS550-01-05A4-4. URL: <https://eleksun.com.ua/acs550-01-05a4-4-preobrazovatel-chastoty-ac550-22kvt-380v-abb.html> (дата звернення: 18.05.2021)
36. Технічна специфікація датчика напруги LV 100-1200. URL: https://www.lem.com/sites/default/files/products_datasheets/lv_100_-_1200.pdf (дата звернення: 22.05.2021)
37. Технічна специфікація датчика струму GO 15-SME/SP3. URL: https://www.lem.com/sites/default/files/products_datasheets/go_8-15-sme_sp4_series.pdf (дата звернення: 24.05.2021)
38. Технічна специфікація енкодера GTS06-OC-RA100A-2M – Gtech. URL: https://www.rcscomponents.kiev.ua/product/enkoder-opticheskij-inkrementnyj-200-impulsov-lpd3806-200bm-g5-24c-gtech_168196.html (дата звернення: 26.05.2021)
39. Що таке інтерфейс RS-232? URL: <https://aveon.ru/services/004/> (дата звернення: 28.05.2021)
40. ACS550 User's Manual, ACS550-01 Drives (0.75...160 kW). URL: https://library.e.abb.com/public/313b6ebaf237059fc1257d0a0048fd68/EN_ACS550_01_UM_H_A4.pdf (дата звернення: 30.05.2021)

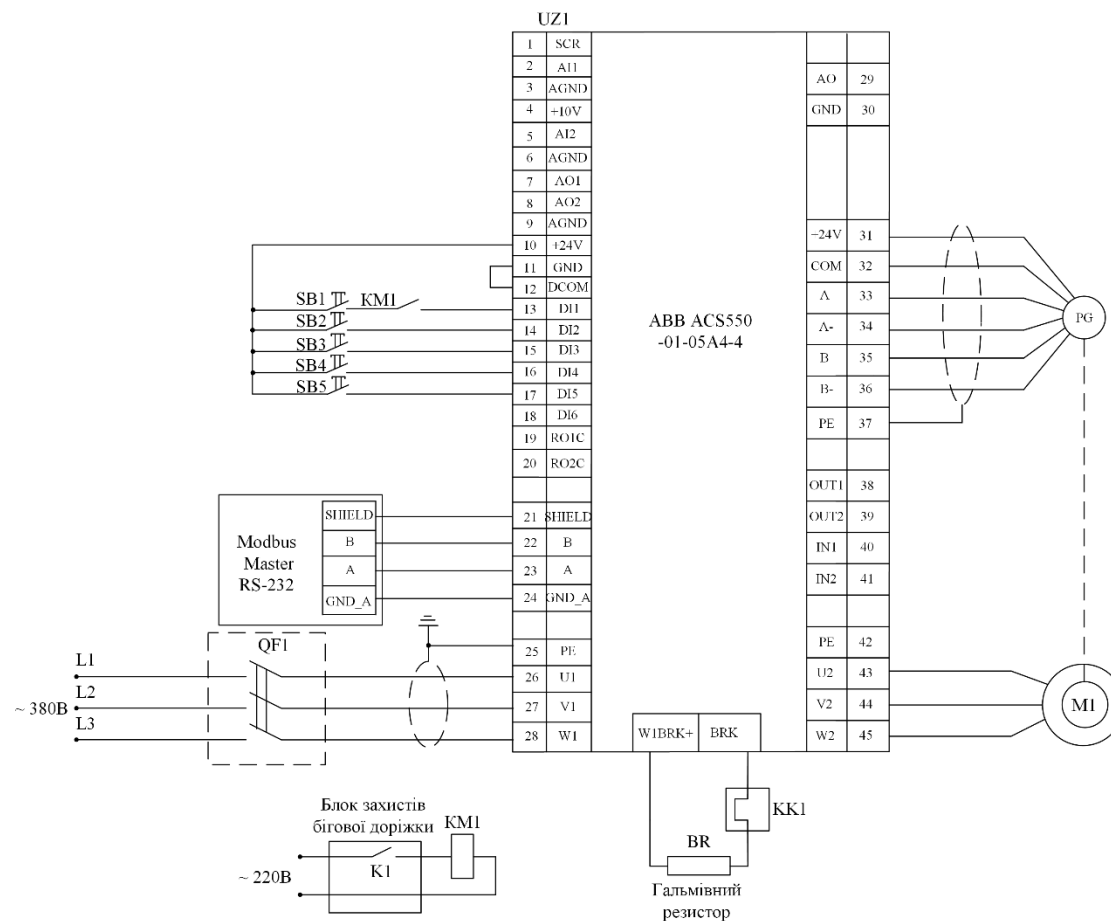
ДОДАТОК А Плакати графічної частини



Таблиця – Технічні характеристики бігової доріжки

Найменування	Значення
Максимальна вага користувача:	130 кг
Розмір(довжина, ширина та висота):	1700мм×700мм×1380мм
Тип приводу:	електричний
Потужність двигуна:	2.2 кВт
Максимальна швидкість бігу :	4.3 м/с

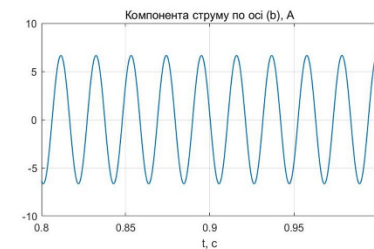
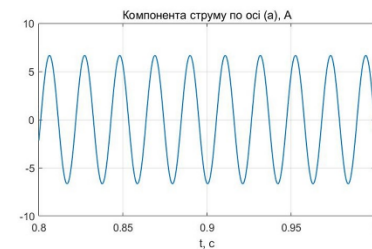
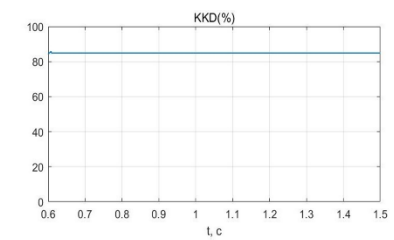
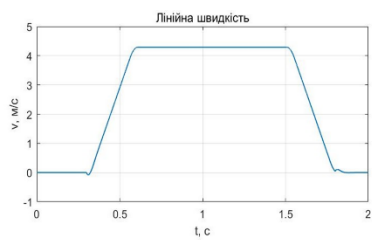
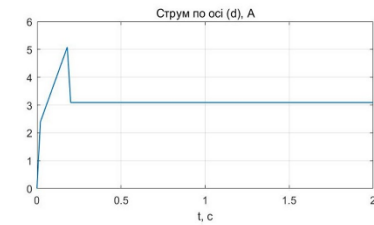
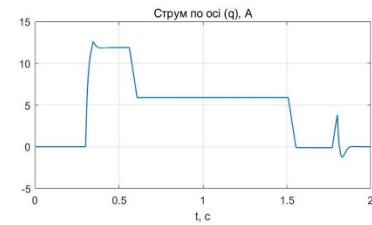
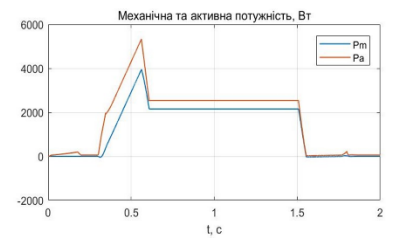
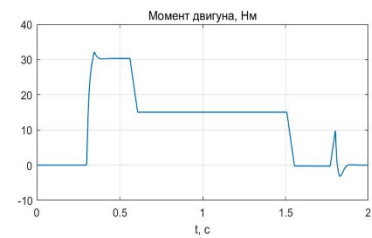
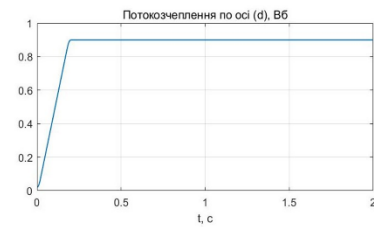
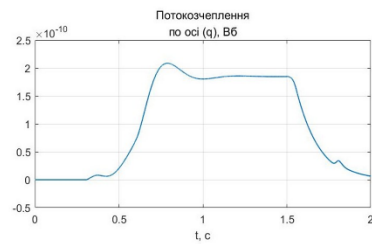
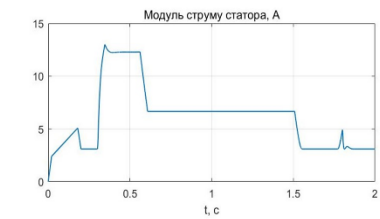
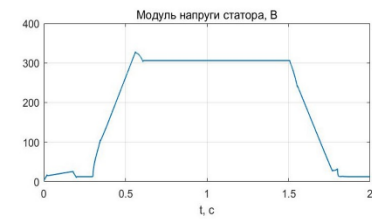
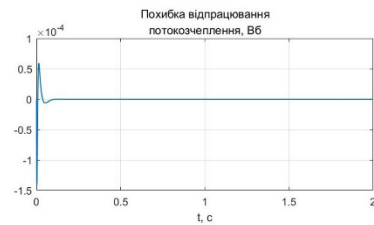
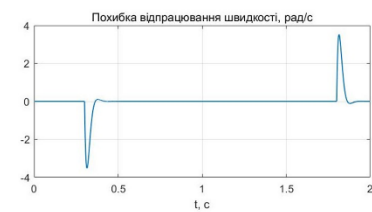
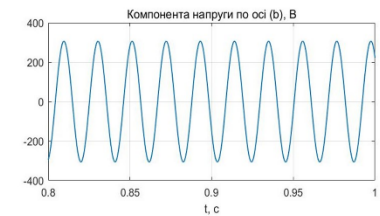
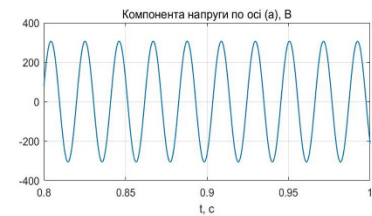
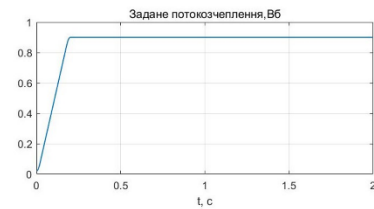
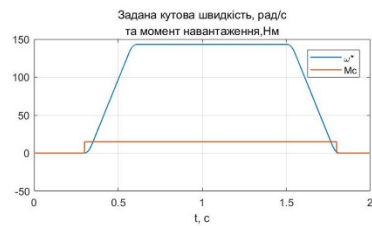
					141.0088.031.БР				
№	Дат.	№ докум.	Ізмен.	Дата	Електромеханічна система бігової доріжки				
Підприємство	Відом.	Стор.	Відом.	Стор.					
Підприємство	Відом.	Стор.	Відом.	Стор.	Креслення загального виду				
Т. автор.	Модель	С. А.	Відом.	Стор.					
Рисунки	Модель	С. А.	Відом.	Стор.	КТП ім. Петра Савченка 840-АВСУ-011				
Рисунки	Модель	С. А.	Відом.	Стор.					
Рисунки	Модель	С. А.	Відом.	Стор.	Рис. 222-71				
Рисунки	Модель	С. А.	Відом.	Стор.					



Умовні позначення:

UZ1 – Перетворювач частоти
 QF1 – Автоматичний вимикач;
 SB1 – Старт/Стоп;
 SB2 – Аварійний стоп;
 SB3 – Номінальна робоча швидкість ходьби;
 SB4 – Номінальна робоча швидкість бігу;
 SB5 – Перевищена швидкість бігу;
 KM1 – Реле захисту бігової доріжки;
 K1 – Контакт контролю швидкості
 PG – Енкодер;
 BR – Гальмівний резистор;
 M1 – Асинхронний двигун.

				141.0088.031.БР					
				Електромеханічна система					
				бігової доріжки					
				Схема електричної привода					
				Лист 11		Лист 11			
				КПІ ім. Петра Великого					
				Київ, АСУ-011					
				Р. 121-71					

[illegible]

ДОДАТОК Б Специфікація

