

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

Харківський національний університет імені В. Н. Каразіна
Бахмутський навчально-науковий професійно-педагогічний інститут
Кафедра електромеханічних та комп'ютерних систем

До захисту допущено

Завідувач кафедри


(підпис)

Інна НЕФЬОДОВА
(ім'я, прізвище)

«05» грудня 2024 року

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА (ПРОЄКТ)

рівень вищої освіти другий (магістерський)

спеціальність 141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка

освітньо-професійна Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка

тема «Синтез електромеханічної системи із двигуном постійного струму і підпорядкованим регулюванням швидкості»

Виконав(ла)

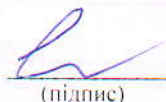
здобувач(ка) групи БД-П23мг
(шифр групи)

Антон ЯБЛОНОВСЬКИЙ
(ім'я, прізвище)


(підпис)

Керівник роботи

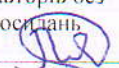
д.т.н., проф. Борис КУЗНЕЦОВ
(науковий ступінь, вчене звання, ім'я, прізвище)


(підпис)

Рецензент роботи

к.т.н., доц. Юрій ЗАЧЕПА
(науковий ступінь, вчене звання, ім'я, прізвище)


(підпис)

Засвідчую, що у цій роботі
немає цитат та вилучень з
праць інших авторів без
відповідних посилань
здобувач (ка) 
(підпис)

Харків – 2024

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

Харківський національний університет імені В. Н. Каразіна

Факультет/ІНІ Бахмутський навчально-науковий професійно-педагогічний інститут

Кафедра Електромеханічних та комп'ютерних систем

Рівень вищої освіти другий (магістерський)

Спеціальність 141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка

Освітньо-професійна програма Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка

ЗАТВЕРДЖУЮ


(підпис)

Завідувач кафедри
Інна НЕФЬОДОВА
(ім'я, прізвище)

«08» жовтня 2024 року

ЗАВДАННЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ (ПРОЄКТ)

Яблоновський Антон Олексійович
(прізвище, ім'я, по батькові здобувача)

1. Тема роботи Синтез електромеханічної системи із двигуном постійного струму і підпорядкованим регулюванням швидкості

керівник роботи Кузнецов Борис Іванович, д. т. н., професор
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом по університету від «08» жовтня 2024 року № 5101-5/3236

2. Строк подання здобувачем роботи «02» грудня 2024 р.

3. Перелік питань, які потрібно розробити: В пояснювальній записці необхідно відобразити аналітичний огляд та опис технологічного процесу, формулювання вимог до електроприводу, енергосиловий розрахунок параметрів технологічного об'єкта, обґрунтування вибору потужності двигуна, вибір електродвигуна та силового електрообладнання, математична модель електромеханічного об'єкта, розрахунок статичних та динамічних параметрів електроприводу, синтез системи керування та дослідження динамічних характеристик електромеханічної системи шляхом моделювання.

4. План роботи

№ з/п	Назви етапів роботи
1	Огляд літературних джерел, нових розробок, опублікованих даних та іншої інформації, пов'язаної з темою роботи
2	Обґрунтування теоретичної бази обраної проблеми.
3	Характеристика об'єктів галузі: стан і стратегії розвитку
4	Дослідження синтезу електромеханічної системи із двигуном постійного струму і підпорядкованим регулюванням швидкості
5	Розробка електромеханічної системи із двигуном постійного струму і підпорядкованим регулюванням швидкості
6	Оформлення першого варіанту тексту, подання його на ознайомлення науковому керівнику
7	Усунення недоліків, написання остаточного варіанту тексту, оформлення дипломної роботи
8	Подання роботи на кафедру, перевірка на плагіат та зовнішнє рецензування роботи
9	Захист дипломної роботи у ЕК

5. Дата видачі завдання «08» жовтня 2024 р.

Здобувач(ка)



(підпис)

Антон ЯБЛОНОВСЬКИЙ

(ім'я, прізвище)

Керівник роботи



(підпис)

Борис КУЗНЕЦОВ

(ім'я, прізвище)

АНОТАЦІЯ

Предметом дослідження є електропривод постійного струму з підпорядкованим регулюванням швидкості, побудований за схемою "тиристорний перетворювач – двигун постійного струму".

У роботі надані технічні характеристики електромеханічного обладнання електроприводу постійного струму з підпорядкованим регулюванням швидкості. Виконано вибір та опис системи електропривода, а також розроблену силову частину електропривода. Крім того, проведено аналіз статичних та динамічних режимів роботи електроприводу.

Розраховані та побудовані статичні, енергетичні і динамічні характеристики впровадженого рішення із використанням програмних пакетів Matlab і Mathcad. У проекті описано заходи з енергозбереження електроприводу механізму, що підвищують його ефективність.

Також проведено розрахунок електропостачання, в результаті чого було здійснено вибір обладнання для живлення електроприводу постійного струму з підпорядкованим регулюванням швидкості, а також для його захисту. Розраховані струми короткого замикання на високій та низькій стороні живильної напруги, що є важливим аспектом для забезпечення безпечної та стабільної роботи системи.

Отримані результати та проведений аналіз дозволяють зробити висновки про доцільність використання розробленого електроприводу в промислових умовах, зокрема для механізмів, що потребують точного контролю швидкості.

ЕЛЕКТРОПРИВОД ПОСТІЙНОГО СТРУМУ, ПІДПОРЯДКОВАНЕ РЕГУЛЮВАННЯ, ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ, ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ

ABSTRACT

The subject of the study is a DC electric drive with subordinate speed regulation, built according to the "thyristor converter - DC motor" scheme.

The paper provides technical characteristics of the electromechanical equipment of a DC electric drive with subordinate speed regulation. The electric drive system is selected and described, as well as the power part of the electric drive is developed. In addition, an analysis of the static and dynamic operating modes of the electric drive is carried out.

The static, energy and dynamic characteristics of the implemented solution are calculated and constructed using the Matlab and Mathcad software packages. The project describes measures for energy saving of the electric drive of the mechanism, which increase its efficiency.

The calculation of the power supply was also carried out, as a result of which the equipment for powering the DC electric drive with subordinate speed regulation, as well as for its protection, was selected. Short-circuit currents on the high and low sides of the supply voltage have been calculated, which is an important aspect for ensuring safe and stable operation of the system.

The results obtained and the analysis performed allow us to draw conclusions about the feasibility of using the developed electric drive in industrial conditions, in particular for mechanisms that require precise speed control.

DIRECT CURRENT ELECTRIC DRIVE, SUBORDINATE REGULATION, SPEED, ENERGY SAVING, ELECTRICAL SUPPLY

ВСТУП

У металургії активно використовуються агломераційні машини, які зазвичай обладнані нерегульованими електричними приводами постійного струму. Однак сучасні вимоги акцентують увагу на енергозбереженні та наданні широкого діапазону регулювання швидкості. У даній випускній роботі розроблено електропривод, який відповідає цим умовам.

Останнім часом для установок з високою потужністю та швидкістю керування все більше використовуються електроприводи з керованими випрямлячами для живлення двигунів постійного струму, а також перетворювачі частоти для живлення асинхронних і синхронних двигунів. Це обумовлено раціональною конструкцією силової частини приводів та перетворювачів, обґрунтуванням методів реверсування в залежності від потужності приводу, масивності установки та параметрів живлення, а також методами підвищення енергетичних показників та незначним впливом тиристорного перетворювача на живлячу мережу.

Подальше удосконалення електроприводів буде досягнуто через більшу інтеграцію тиристорних пристроїв. У цьому напрямі накопичено певний досвід, зокрема розроблено та впроваджено автоматизовані системи для клітьових підйомів з використанням тиристорних комутаторов у роторних ланцюгах підйомних електродвигунів.

Одним з ключових методів зниження динамічних навантажень є обмеження ривка, тобто контроль швидкості зміни рушійних зусиль. З точки зору теорії автоматичного керування, правильним є підхід, який розглядає всю підйомну установку як єдину систему. Це включає привод та систему управління, що дозволяє знайти оптимальну структуру керування для забезпечення заданого режиму роботи.

1 ХАРАКТЕРИСТИКА ЕЛЕКТРОМЕХАНІЧНОГО ОБ'ЄКТУ ТА ЙОГО ЕЛЕКТРООБЛАДНАННЯ

1.1 Характеристики технологічного процесу РЗФ-1

Аційне виробництво є першим етапом металургійного циклу. З метою підвищення обсягів виробництва високоякісної залізорудної сировини — агломерату та окатишів, які є ключовими компонентами шихти для доменних печей, важливо впроваджувати останні досягнення науки, новітньої техніки та передової технології. Це передбачає використання високопродуктивних агрегатів і машин, а також комплексну механізацію й автоматизацію виробничих процесів. Агломераційне виробництво виготовляє офлюсований агломерат, який постачається в доменні цехи комбінату. Залізорудна сировина, флюси, паливо, колошниковий пил, окалина, відсів вапняку та доломіту надходять у вагонах, після чого їх завантажують вагоноперекидачами в бункери. Через систему конвеєрів ці матеріали транспортуються на склади. Згідно з технологічним процесом, ці компоненти ретельно змішуються, дозуються, проходять подрібнення та дроблення, а потім подаються на стадію змішування і огрудкування. До комплексу основного та допоміжного обладнання агломераційного виробництва входять такі елементи: приймальні бункери, склад шихтових матеріалів, відділення дроблення вапняку, блок подрібнення пального, змішувальне відділення, спічний корпус, а також відділення охолодження і сортування агломерату. Принципова схема технологічного процесу агломерації показана на рисунку 1.1 [1].

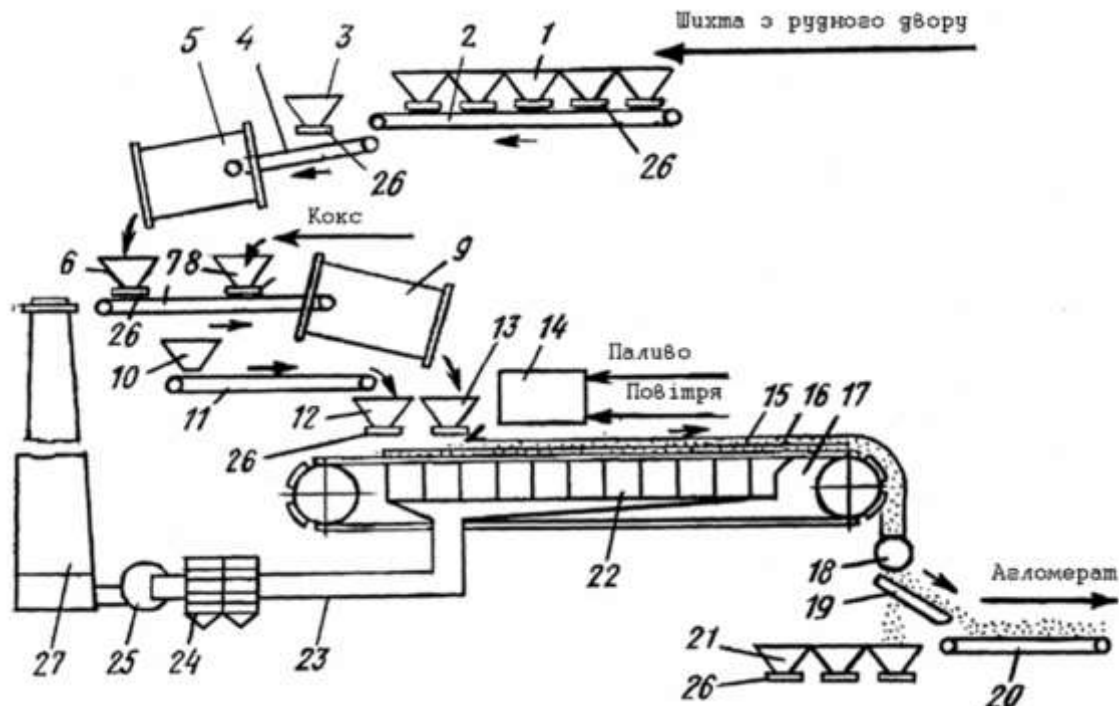


Рисунок 1.1 Схема технологічного процесу виробництва агломерату

З агломераційного процесу є підготовка високоякісної сировини для доменного виробництва. Це досягається шляхом спікання суміші залізорудних концентратів, аглоруд, колошникового пилу, окалини та інших залізовмісних матеріалів з відповідною кількістю флюсу, до якого входять звичайний і доломітизований вапняк, а також вапно. Процес використовує твердий тип пального, зокрема коксова дрібниця, коксовий горішок та антрацитовий штиб [2].

Для забезпечення максимальної продуктивності агломашин і виробництва агломерату високої якості відповідно до стандартів підприємства при мінімальних витратах на сировину і паливо важливо розробити єдину методику контролю та управління спіканням доменного агломерату. Спікання підготовленої шихти є основним етапом у технології виготовлення агломерату високої якості. Цей процес проходить на колосникових ґратах агломераційної машини, де повітря просмоктується, створюючи високі температури, що виникають під час реакції горіння вуглецю у шарі шихти. Колошникові ґрати повинні забезпечувати стабільний живий перетин в межах 8-12%, зменшуючи

розсипання шихти та виключаючи перекоси і випадання самих колосників. Швидкість руху спікальних візків регулюється в залежності від вертикальної швидкості спікання, щоб завершити процес на передостанній вакуум-камері в зоні спікання. Під час нормального ходу агломераційного процесу пиріг агломерату повинен спікатися рівномірно по всій висоті і ширині, не допускаючи утворення гніздів неспеченої шихти. При цьому розпечений шар агломерату має бути не більше $\frac{1}{4}$ висоти пирога над колошниковою решіткою.

Після охолодження пирога в зоні охолодження, наступним етапом є його дроблення одновалковою дробаркою. У хвостовій частині агломашини встановлений грохот для грохочення агломерату, після чого готовий продукт вантажиться у вагони. Кінцевий агломерат проходить через барабан-охолоджувач, де охолоджується водою, і потім подається в бункер повернення через конвеєрну систему.

Агломераційна машина являє собою рухливу стрічку спікальних візків, на яку безперервно рівним шаром завантажується агломераційна шихта. Запалювання шихти горном, що працюють на газовому паливі, її спікання і можливе часткове охолодження агломерату здійснюються за час послідовного проходження спікальних візків над вакуум-камерами. Після спікання (охолодження) візка з агломератом переходять на зірочки розвантажувальної частини, де відбувається розвантаження агломерату в дробарку [3].

Порожні спікальні візки після зірочок розвантажувальної частини потрапляють на нижні похилі напрямні і самопливом рухаються до головної частини машини, де приводними зірочками піднімаються на верхні напрямні і подаються під завантаження шихтою.

Каркас, на якому монтуються всі вузли агломераційної машини, являє собою просторову металоконструкцію і складається з головної, середньої і розвантажувальної частин. По довжині машини каркас має три рухливих з'єднання для компенсації теплових розширень. На каркасі є площадки для обслуговування механізмів машини [5].

Напок руху спікальних візків визначається траєкторією їх переміщення. У головній частині машини напрямні виконані у вигляді зварних дугоподібних балок, які мають змінні шини. У середній частині напрямними для верхнього і нижнього шляху руху візків є залізничні рейки, надійно закріплені на каркасі. У розвантажувальній частині машини траєкторія руху візків задається дугоподібними напрямними, які приварені до бічних щоків. Привод, що керує роботою стрічки спікальних візків, розміщується в головній частині машини та призначений для підйому візків з нижнього похилого шляху на верхній, а також для їх просування по горизонтальному шляху [6].

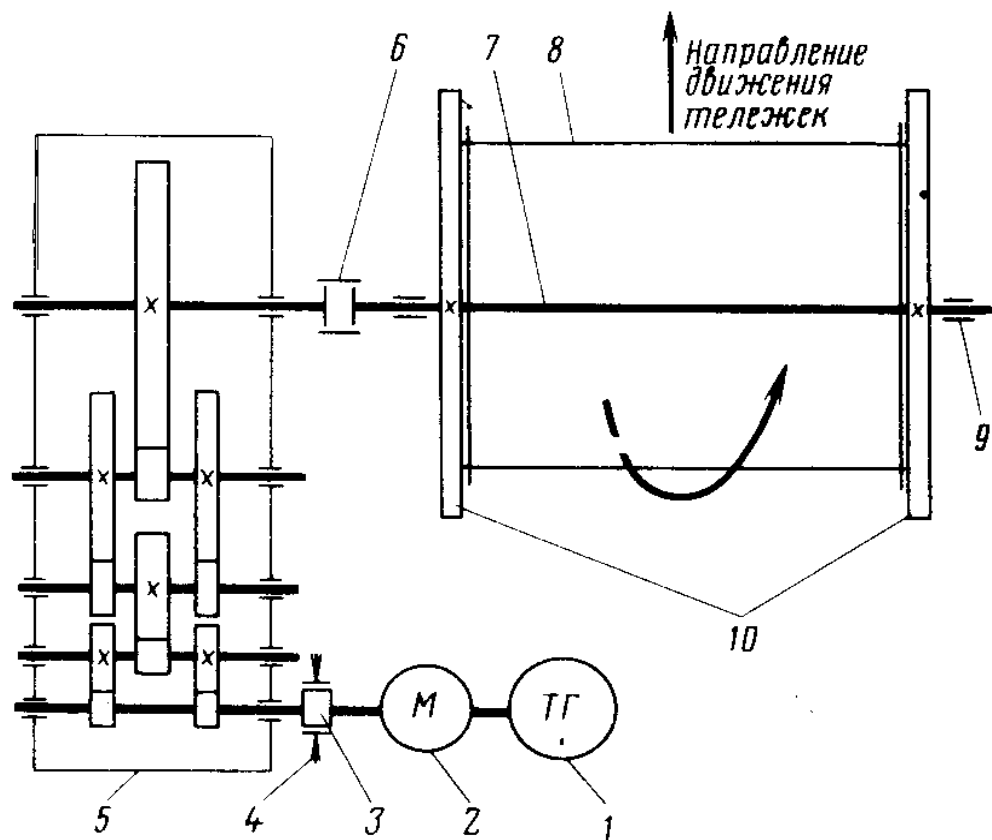


Рисунок 1.2 Кінематична схема приводу стрічки спікальних візків

Привод складається з електродвигуна 2 постійного струму, чотиріступінчастого циліндричного редуктора 5, корінного вала 7 із закріпленими на ньому зірочками 10. Зірочки з'єднані між собою барабаном 8, який має кишені для збору просипу.

При обертанні корінного вала перекидаючись порода зсипається в бункера, розташовані між валом і першою вакуум-камерою. Корінний вал спирається на два сферичних роликopідшипника 9, встановлених в чавунних корпусах [5]. Між електродвигуном і редуктором встановлена еластична муфта 3 і гальмо 4. Вихідний вал редуктора і корінний вал з'єднаний зубчастою муфтою 6.

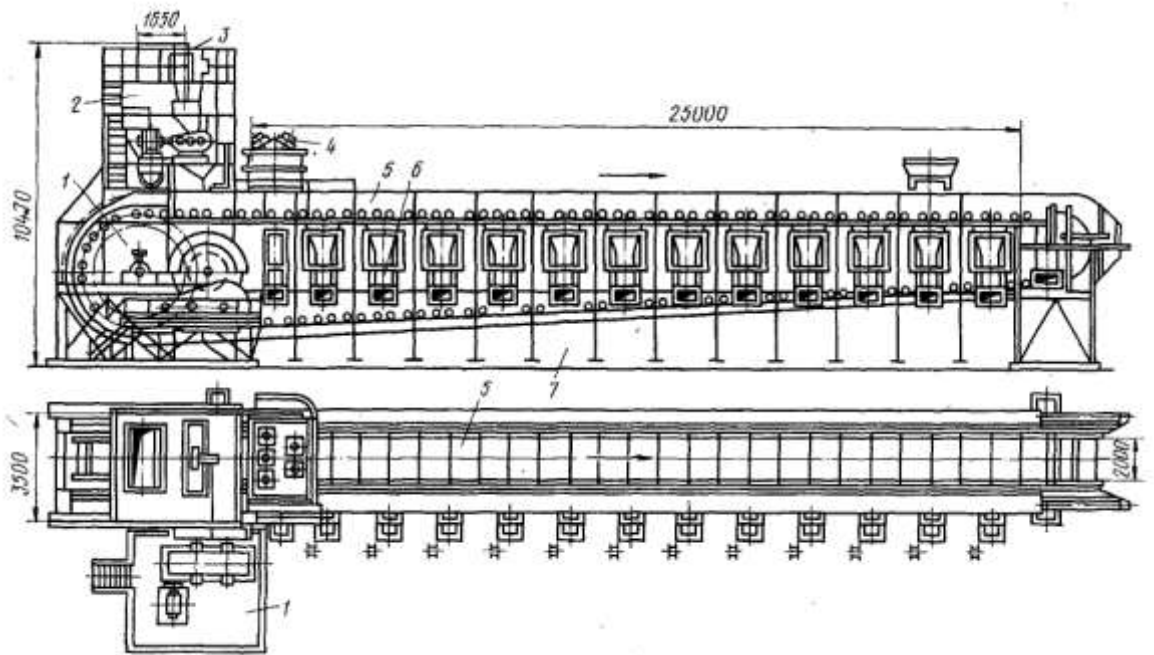


Рисунок 1.3 – Загальний вигляд агломашини АКМ-312

1 - живильники для постілі; 2 - привод агломашини; 3 - запальний горн; 4 - спічні візки; 5 - вакуум-камери; 6 – шибер для регулювання вакууму; 7 - розвантажувальна частина агломашини

Електродвигун серії ДПВ-72 призначений для експлуатації в механізмах верстатів при живленні напругою від електричних пристроїв на напівпровідникових приладах, що утворюють з електродвигуном замкнутий ланцюг. Застосовуються в приводах металорізальних верстатів, маніпуляторах і другом виробничому обладнанні [5].

Потужність двигуна головного приводу витрачається на підйом

спікальних візків провідними зірочками і на подолання сил опору пересуванню їх на горизонтальній ділянці шляху і сил опору притисного пристрою розвантажувальної частини [8].

Схема до розрахунку потужності приводу:

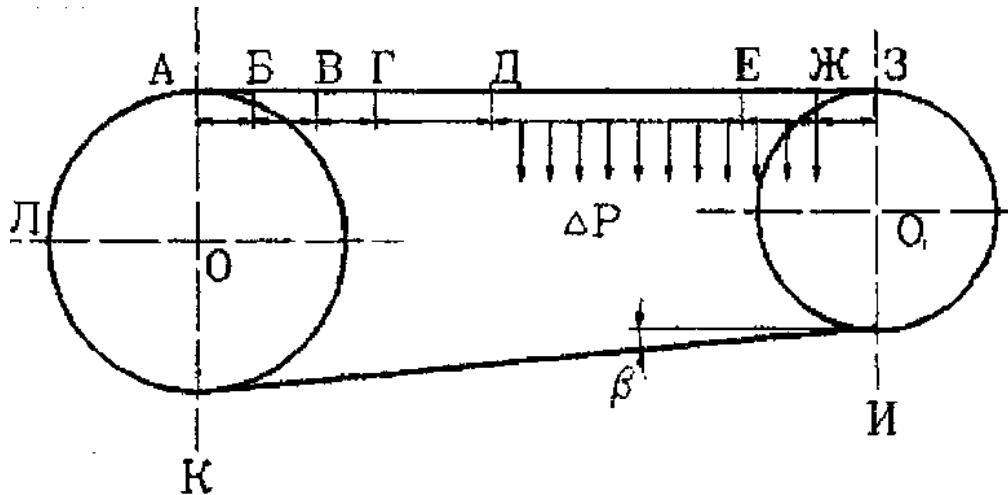


Рисунок 1.4 Траєкторія руху спікальних візків на агломашині

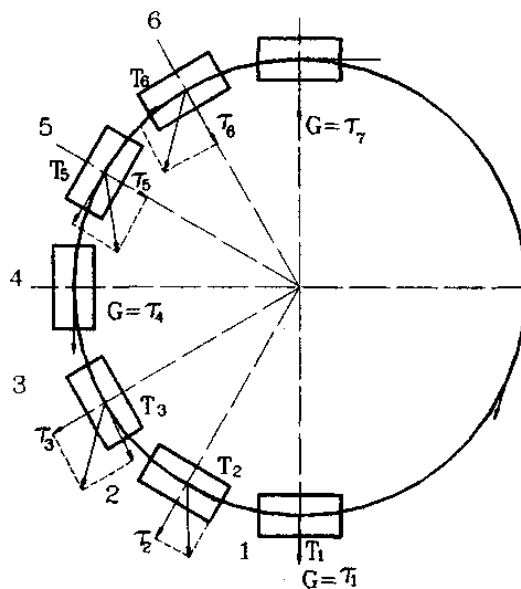


Рисунок 1.5 Схема переміщення палет по колу головної частини конвеєра

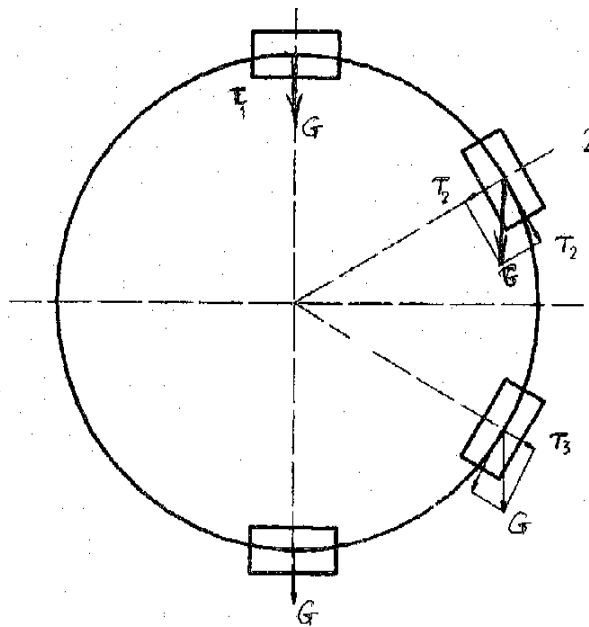


Рисунок.1.6 Схема переміщення палет по колу хвостовій частині конвеєра

Потужність двигуна головного приводу витрачається на підйом спікальних візків провідними зірочками і на подолання сил опору пересуванню їх на горизонтальній ділянці шляху.

$$T_1 = 0; \quad (1.1)$$

$$\tau_1 = G; \quad (1.2)$$

$$T_2 = T_6 = G \cdot \sin \alpha; \quad (1.3)$$

$$\tau_2 = \tau_6 = G \cdot \cos \alpha; \quad (1.4)$$

$$T_3 = T_5 = G \cdot \sin 2\alpha; \quad (1.5)$$

$$\tau_3 = \tau_5 = G \cdot \cos 2\alpha; \quad (1.6)$$

$$T_4 = G ; \quad (1.7)$$

$$\tau_4 = 0 ; \quad (1.8)$$

$$T_7 = 0 ; \quad (1.9)$$

$$\tau_7 = 0 . \quad (1.10)$$

Налянці КА (Рис. 1.4) барабана приводу візок переміщується з нижнього похилого шляху на верхній.

На ділянці дуги ЗИ хвостового приводу здійснюється безконтактний спуск візків з горизонтальної гілки на похил, при цьому не передається зусилля на головний привід.

На похилій ділянці ІК візки, під впливом власної ваги (Рис. 1.7), скочуються у головну частину, створюючи позитивне окружне зусилля на зірочках головного приводу.

$$W = G \cdot \frac{L_{HK}}{l} \cdot (\sin \beta - \cos \beta \cdot (f_n + f_l) \cdot \gamma_l) =$$

$$= 65 \cdot \frac{91,5}{1,5} \cdot (0,055 - 0,998 \cdot 0,023) = 127 \cdot 10^3 \text{ (H)} \quad (1.11)$$

$$G \cdot \sin \beta \quad G \cdot \cos \beta \cdot (f_n + f_l) \cdot \gamma_l$$

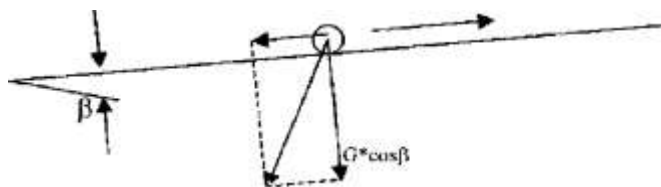


Рисунок 1.7 Дія сил при русі візків по похилому шляху

Загальне окружне зусилля, що діє на зірочки приводу пересування візків:

$$P = T + \tau + F - W = (242 + 7,15 + 459,78 - 127) \cdot 10^3 = 581,93 \text{ (H)} \quad (1.12)$$

Потужність, що витрачається на подолання сумарного зусилля при заданій швидкості пересування візків:

$$N = \frac{P \cdot v \cdot K_1}{\eta} = \frac{58193 \cdot 0,125 \cdot 1,06}{0,9} = 85,7 \cdot 10^3 \text{ (Bm)} \quad (1.13)$$

Як видно із приведених розрахунків, двигун ДПВ-72 обрано вірно.

Передаточне число становить: $i_p = 1420$. Обираємо редуктор за умови $i_{pn} \leq i_{pp}$, взявши найближче табличне значення передаточного числа. Кінематична схема редуктора зображена на рисунку 1.8.

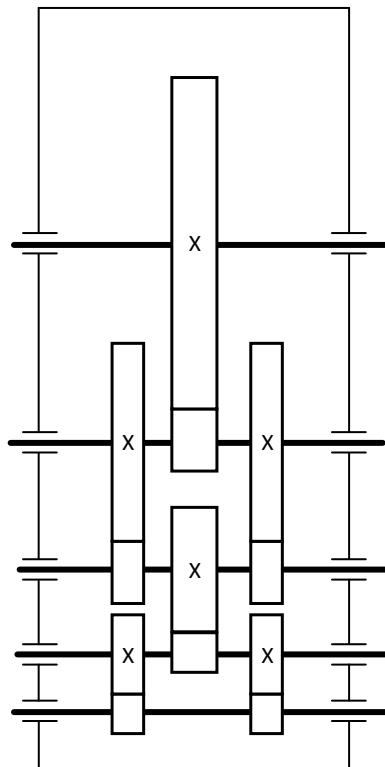


Рисунок 1.8 Кінематична схема зубчатого чотирьох ступінчатого редуктора

Висновки до розділу

У розділі представлена інформація про РЗФ-1 «НКГЗК» ПАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг» та електромеханічне обладнання конвеєра агломащини АКМ-312. На основі зібраних даних щодо механізму та електроприводу агломащини АКМ-312 виконано розрахунок потужності встановленого двигуна та редуктора.

В результаті вибрано двигун постійного струму типу ДП-72, який має потужність 85 кВт та працює на частоті обертання 500 об/хв.

2 ЕЛЕКТРОМЕХАНІЧНІ ТА ЕНЕРГЕТИЧНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ ЕЛЕКТРОПРИВОДА АГЛОМАШИНИ

Загальні вимоги та обґрунтування системи електропривода

Сучасні тенденції експлуатації електропривода агломашин вимагають до нього наступні основні вимоги [10]:

- економічність роботи;
- простота конструкції;
- можливість легкої автоматизації;
- простота компоновки, що забезпечує мінімальні витрати на монтаж, наладку та експлуатацію.

Виходячи з умов технологічного процесу механізму, вимоги до його електроприводу наступні:

Дана система електропривода повинна забезпечувати виконання таких потреб [6]:

1. Необхідний діапазон регулювання швидкості робочої машини, згідно з технічними характеристиками;
2. Плавний пуск і гальмування;
3. Мінімум втрат енергії в перехідних режимах;
4. Необхідну перевантажувальну здатність;
5. Якісні статичні характеристики;
6. Стабілізація необхідної швидкості;
7. Реверсування;
8. Високі енергетичні показники електроприводу;
9. Надійність, економічність, простота у виконанні.

Реалізувати електропривод, що відповідає вищезазначеним вимогам можна наступними способами:

Тиристорний перетворювач-двигун (ТП-Д).

Основні переваги:

- висока швидкодія (зберігається в широкому діапазоні значень

потужності електроприводу) та точність керування;

- дозволяє використовувати малопотужні керуючі пристрої, простіше реалізувати складні закони керування;

Основні недоліки:

- мала перевантажувальна здатність та чутливість до механічних коливань;
- обмежений темп наростання струму і напруги;
- накопичення погіршення стану структури переходу при повторних перевантаженнях певної тривалості.

Генератор-двигун (Г-Д).

Основні переваги:

- Плавність і широкий діапазон регулювання швидкості;
- Можливість рекуперативного гальмування з віддачею енергії в мережу;
- Можливість здобуття сімейства характеристик в будь-якому з чотирьох квадрантів;
- Простота пристрою механізму.

Основні недоліки:

- При великих потужностях - великі габарити;
- Велика інерційність системи;

З урахуванням усіх переваг та недоліків вищезазначених систем, обираємо електропривод у системі ТП-Д.

Характеристика обраної системи електропривода

Тиристорний електропривод – електропривод, в якому режим роботи його виконавчого двигуна (ВД) або іншого виконавчого механізму (ВМ) регулюється перетворюючим пристроєм (ПП) на тиристорах.

В тиристорний електроприводі постійного струму застосовують двигуни постійного струму з послідовним, паралельним, змішаним або незалежним збудженням, регулювання режимів роботи яких можна виробляти

по ланцюгу обмотки якоря або обмотки збудження. В тиристорних електроприводах цього типу, які живляться від джерела змінного струму, ПП служить тиристорний випрямляч струму. Якщо живлення таких тиристорних електроприводів здійснюється від джерела постійного струму, то ПП виконують у вигляді імпульсного регулятора постійного струму або системи «інвертор - випрямляч» з посередником змінного струму підвищеної частоти. В тиристорному електроприводі постійного струму реверсування ВД виробляють зміною напрямку струму в обмотці якоря або обмотці збудження двигуна (при цьому застосовують другий такий же ПП, що включається зустрічно-паралельно з першим по відношенню до ланцюга ВД). Загальна структурна схема ТП-Д представлена на рисунку 2.1:

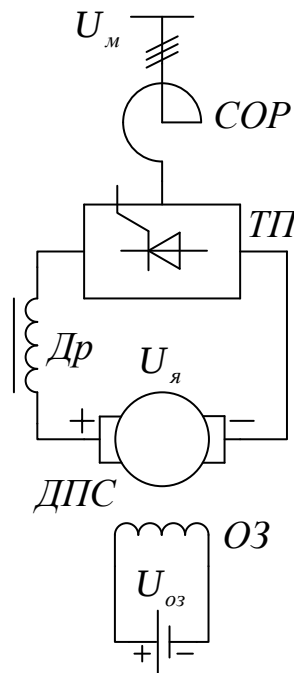


Рисунок 2.1 – Структурна схема електропривода за системою ТП-Д (COP – струмообмежуючий реактор; ТП – тиристорний перетворювач; Др – згладжуючий дросель; ОЗ – обмотка збудження; ДПС – двигун постійного струму $U_{оз}$ – напруга збудження; $U_я$ – напруга якоря; U_m – напруга мережі живлення.)

Для гальванічної розв'язки ланцюгів живлення і навантаження, а також при необхідності узгодити величини напруги джерела живлення та ВД в тиристорному електроприводі використовують трансформатор, включаючи його на вході ПП (якщо тиристорний електропривод живиться від джерела змінного струму) або в його проміжному ланці (при живленні тиристорного електроприводу постійним струмом). Управління переданим через ПП потоком енергії здійснюють за допомогою ручної або автоматичної системи управління та регулювання (СУР), що включає блоки живлення, регулювання частоти і напруги, формування керуючих імпульсів для тиристорів силових ланцюгів ПП, а також блоки захисту від струмів короткого замикання, перевантажень і перенапруженні. Сучасні СУР виконують на типових логічних блоках і інтегральних схемах, які мають малі габарити, високі швидкодію і надійність. Для відводу тепла від тиристорів і ВД використовують природне або примусове повітряне або рідинне охолодження.

За структурною схемою силової частини проводимо вибір наступного обладнання:

- Тиристорний перетворювач;
- Струмообмежуючий реактор;
- Згладжуючий дросель.

Вибір обладнання для силової частини електропривода

Вибір тиристорного перетворювача проводимо, виходячи з таких умов [7]:

- 1) $U_{дн} \geq U_{нов}$ (напруга на виході ТП повинна бути більше або рівною напрузі живлення двигуна);
- 2) $I_{дн} \geq I_{нов}$ (струм перетворювача повинен бути більше або рівний номінальному струму двигуна).

Згідно цих умов обираємо тиристорний перетворювач фірми SIEMENS SIMOREG 6RM70.

Таблиця 2.1

Технічна характеристика перетворювача ВІП-4000УХЛ2.

№	Параметр	Розмірність	Значення
1	Тип перетворювача	–	КТЕ
2	Напруга живлення	В	380
3	Вихідна напруга	В	220
4	Вихідний струм	А	450
5	Напруга збудження	В	220
6	Струм збудження	А	25

Обраний перетворювач задовольняє всім поставленим вимогам (380 В = 380 В, 450 А > 440 А).

Обираємо струмообмежуючий реактор за такою умовою [15]:

$$I_{COP} \geq I_{ндв}. \quad (2.1)$$

Згідно з цієї умови обираємо струмообмежуючий реактор РТСТ-450 з параметрами, вказаними у таблиці 2.2.

Таблиця 2.2

Технічна характеристика струмообмежуючого реактора РТСТ-450.

Тип реактора	Номінальний струм, А	Індуктивний опір, Ом	Активний опір, Ом
РТСТ	450	0,101	0,0038

Обраний струмообмежуючий реактор задовольняє вимогам (450 А > 440 А).

Обираємо згладжуючий дросель за такою умовою [7]:

$$I_{\partial p} \geq I_{\text{н\ddot{o}в}}. \quad (2.2)$$

Згідно з цієї умови обираємо згладжуючий дросель ФРОС-500/0,5 з параметрами, вказаними у таблиці 2.3.

Таблиця 2.3

Технічна характеристика згладжуючого дроселя ФРОС-500/0,5.

Тип	Номинальний струм, А	Індуктивність, мГн
ФРОС	500	0,5

Обраний згладжуючий дросель задовольняє всім вимогам ($500 \text{ А} > 440 \text{ А}$).

Схема заміщення двигуна постійного струму має такий вигляд [7]:

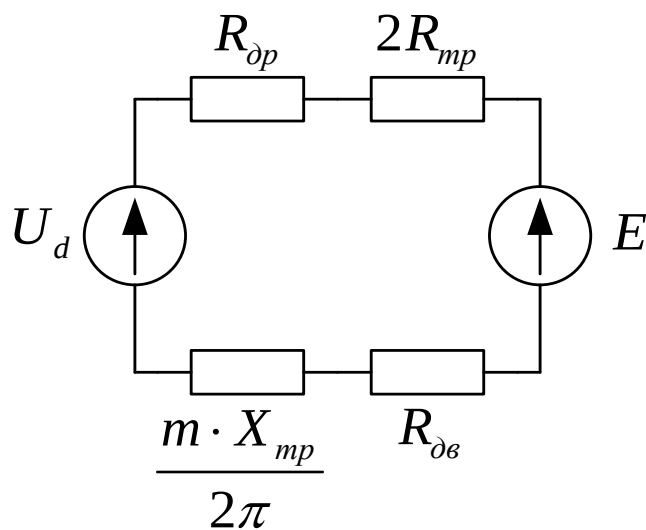


Рисунок 2.2 Схема заміщення електропривода

($R_{\delta в}$ – активний опір якоря двигуна; $R_{\partial p}$ – активний опір згладжуючого дроселя; R_{cop} – активний опір трансформатора; X_{mp} – реактивний опір трансформатора)

Визначаємо номінальну кутову швидкість:

$$\omega_n = \frac{\pi \cdot n_n}{30} = \frac{\pi \cdot 540}{30} = 56,549 \text{ (рад / с)}, \quad (2.3)$$

де n_n – номінальна швидкість обертання двигуна.

Визначаємо номінальний момент двигуна:

$$M_n = \frac{P_n}{\omega_n} = \frac{85 \cdot 10^3}{56,549} = 1503 \text{ (Н} \cdot \text{м)}, \quad (2.4)$$

де P_n – номінальна потужність двигуна.

Визначаємо активний опір якоря двигуна за формулою:

$$R_{\partial\partial} = 0,5 \cdot (1 - \eta_n) \cdot \frac{U_{\partial\partial}}{I_{\partial\partial}}, \quad (2.5)$$

де $U_{\partial\partial}$ – номінальна напруга двигуна;

$I_{\partial\partial}$ – номінальний струм якоря;

η_n – номінальний к.к.д.;

Підставляємо числові значення:

$$R_{\partial\partial} = 0,5 \cdot (1 - 0,88) \cdot \frac{220}{440} = 0,03 \text{ (Ом)}; \quad (2.6)$$

Індуктивність електродвигуна:

$$L_{\partial\partial} = \frac{\gamma \cdot U_n}{p \cdot \omega_n \cdot I_n} = \frac{0,25 \cdot 220}{4 \cdot 56,549 \cdot 440} = 0,553 \cdot 10^{-3} \text{ (Гн)}, \quad (2.7)$$

де $\gamma = 0,25$ – коефіцієнт компенсованості електродвигуна;

$p = 4$ – число пар полюсів;

U_n, ω_n, I_n – номінальні параметри електродвигуна.

Визначаємо коефіцієнт е.р.с. двигуна:

$$k\Phi_n = \frac{U_{ндв} - I_{ндв} \cdot R_{дв}}{\omega_{ндв}} = \frac{220 - 440 \cdot 0,03}{56,549} = 3,657 \text{ (В} \cdot \text{с/рад)}. \quad (2.8)$$

Визначаємо активний опір дроселя:

$$R_{дп} = 0,1 \cdot R_{дв} = 0,003 \text{ (Ом)}; \quad (2.9)$$

Визначаємо опір якірного ланцюга системи:

$$R_e = R_{дв} + R_{дп} + 2 \cdot R_{сop} + \frac{m \cdot X_{сop}}{2 \cdot \pi}, \quad (2.10)$$

де $R_{дв}$ – активний опір якоря двигуна;

$R_{дп}$ – активний опір згладжувального дроселя;

$R_{сop}, X_{сop}$ – активний і реактивний опір струмообмежуючого реактора;

$m = 6$ – коефіцієнт пульсацій.

Підставляємо числові значення:

$$R_e = 0,03 + 0,003 + 2 \cdot 0,0038 + \frac{6 \cdot 0,101}{2 \cdot 3,14} = 0,137 \text{ (Ом)}. \quad (2.11)$$

Швидкісна характеристика електропривода за системою ТП-Д визначається [15]:

$$\omega = \frac{U_{\delta} - I_{\delta\phi} \cdot R_e}{k\Phi_{\delta}} = \frac{U_{d\max} \cdot \cos \alpha - I_{\delta\phi} \cdot R_e}{k\Phi_{\delta}} = \frac{K_{cx} \cdot U_{2mp(l)} \cdot \cos \alpha - I_{\delta\phi} \cdot R_e}{k\Phi_{\delta}} \quad (2.12)$$

Сімейство швидкісних характеристик системи електропривода показані на рис. 2.3:

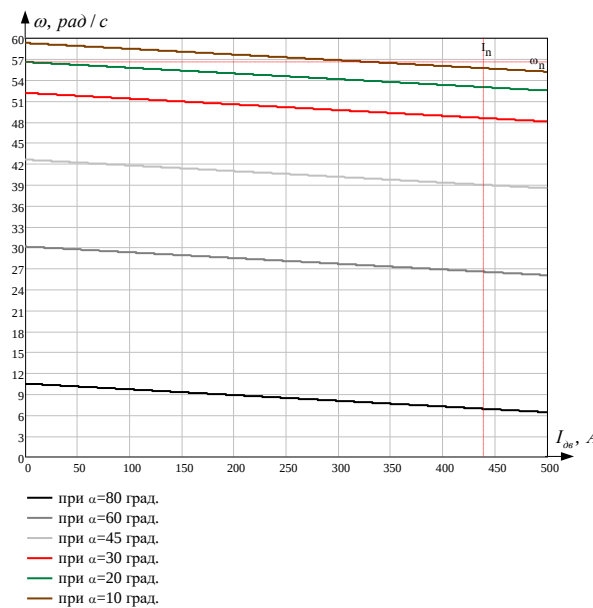


Рисунок 2.3 Сімейство швидкісних характеристик електропривода $\omega = f(I)$

Побудова механічних характеристик системи ТП-Д виконується шляхом розрахунку з підстановкою залежності струму від моменту [15]:

$$I_{\delta\phi} = \frac{M_{\delta\phi}}{k\Phi_{\delta}}; \quad (2.13)$$

Формула для побудови швидкісної характеристики набуває вигляду:

$$\omega = \frac{U_{\phi} - \frac{M_{\phi\phi}}{k\Phi_H} \cdot R_e}{k\Phi_H} = \frac{U_{d\max} \cdot \cos \alpha - \frac{M_{\phi\phi}}{k\Phi_H} \cdot R_e}{k\Phi_H} = \frac{K_{cx} \cdot U_{2mp(l)} \cdot \cos \alpha - \frac{M_{\phi\phi}}{k\Phi_H} \cdot R_e}{k\Phi_H} \cdot (2.14)$$

Сімейство механічних характеристика показано на рисунку 2.4:

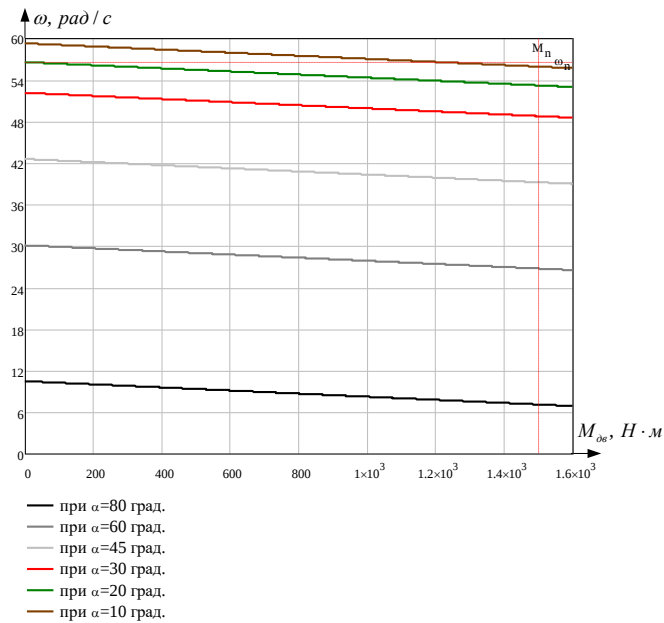


Рисунок 2.4 Сімейство механічні характеристики електропривода
 $\omega = f(M)$

Розрахунок ККД.

ККД електропривода розраховується за виразом [7]:

$$\eta = \frac{P}{P + \Delta P_{\Sigma}} \cdot 100\% = \frac{M \cdot \omega}{M \cdot \omega + \Delta P_{\Sigma}} \cdot 100\%, \quad (2.15)$$

де ΔP_{Σ} - загальні втрати потужності в системі електропривода, які визначаються:

$$\Delta P_{\Sigma} = \Delta P_{\text{пост}} + \Delta P_{\text{змін}} \cdot (2.16)$$

остійні втрати потужності визначаються:

$$\Delta P_{\text{пост}} = k_{\text{мех}} \cdot P_n \cdot \left(\frac{\omega}{\omega_n} \right)^2, \quad (2.17)$$

де $k_{\text{мех}}$ – коефіцієнт механічних втрат; $k_{\text{мех}} = 0,015$.

Змінні втрати потужності визначаються:

$$\Delta P_{\text{змін}} = I_{\text{дв}}^2 \cdot R_e' = I_{\text{дв}}^2 \cdot (R_{\text{дв}} + R_{\text{дп}} + 2 \cdot R_{\text{мп}}). \quad (2.18)$$

Характеристика $\eta = f(\omega)$ приведена на рисунку 2.15:

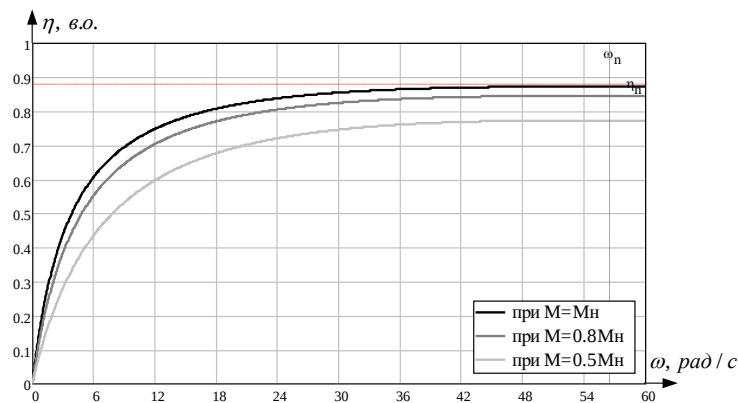


Рисунок 2.5 Сімейство характеристик ККД електропривода $\eta = f(\omega)$

Коефіцієнт потужності електропривода розраховується за виразом [15]:

$$K_n = K_\epsilon \cdot \cos \left(\alpha + \frac{\gamma}{2} \right), \quad (2.19)$$

де $K_\epsilon = 0,955$ – коефіцієнт викривлення, вважається постійним, не залежним від значення струму;

γ – кут комутації, який розраховується за виразом:

$$\gamma = \arccos \left(\cos \alpha - \frac{\sqrt{2} \cdot I_d \cdot X_{\text{мп}}}{\sqrt{3} \cdot U_n} \right) - \alpha. \quad (2.20)$$

Характеристика $\cos\varphi = f(\omega)$ приведена на рисунку 2.6:

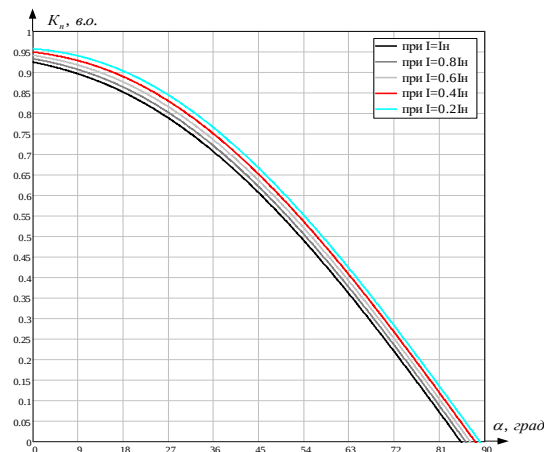


Рисунок 2.6 Сімейство характеристик коефіцієнта потужності електропривода $K_n = f(\alpha)$

Висновки до розділу

Удругому розділі обґрунтовано доцільність використання регульованого електроприводу по системі ТП-Д, виконано вибір перетворювального обладнання, складено і розраховано параметри схеми заміщення електроприводу конвеєра агломашини.

Виконано розрахунки природних характеристик приводного двигуна та електромеханічних та енергетичних характеристик електроприводу у розімкненій системі керування. Характеристики електроприводу мають меншу жорсткість у порівнянні з природними характеристиками приводного двигуна.

3 МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ЕЛЕКТРОПРИВОДА КОНВЕЄРА АГЛОМАШИНИ

Розробка структурної схеми електроприводу

Для подальшого розрахунку перехідних процесів побудуємо модель ТП-Д:

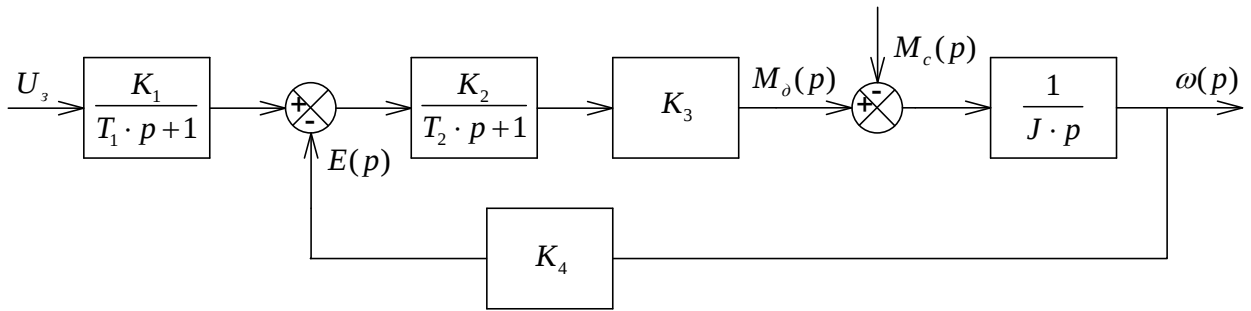


Рисунок 3.1 Структурна схема тягового електропривода за системою ТП-Д

Розрахунок необхідних параметрів.

1) Коефіцієнт підсилення перетворювача:

$$K_1 = \frac{U_c}{U_{zn}} = \frac{220}{10} = 22, \quad (3.1)$$

де $U_c = U_n = 220 \text{ (В)}$;

$U_{zn} = 10 \text{ В}$.

2) Індуктивність силового ланцюгу:

$$L_e = 2 \cdot L_{cop} + L_{dp} + L_{de}, \quad (3.21)$$

де L_{mp} – індуктивність струмообмежувача реактора;

L_{dp} – індуктивність згладжувача дроселя;

$L_{\partial\theta}$ – індуктивність двигуна;

Підставляємо числові значення:

$$L_e = 2 \cdot 0,3215 \cdot 10^{-3} + 0,5 \cdot 10^{-3} + 0,553 \cdot 10^{-3} = 1,696 \cdot 10^{-3} \text{ (Гн)}. \quad (3.22)$$

3) Електромагнітна постійна часу силового ланцюгу:

$$T_2 = \frac{L_e}{R_e} = \frac{1,696 \cdot 10^{-3}}{0,137} = 0,024 \text{ (с)}. \quad (3.23)$$

4) Коефіцієнт двигуна:

$$K_2 = \frac{1}{R_e} = \frac{1}{0,137} = 7,297. \quad (3.24)$$

5) Коефіцієнт моменту тягового електропривода:

$$K_3 = k\Phi_n = \frac{U_{\text{н\partial\theta}} - I_{\text{н\partial\theta}} \cdot R_{\partial\theta}}{\omega_{\text{н\partial\theta}}} = \frac{220 - 440 \cdot 0,03}{56,549} = 3,657 \text{ (В} \cdot \text{с/рад)}. \quad (3.25)$$

6) Коефіцієнт ЕРС тягового електропривода:

$$K_4 = K_3 = 3,657 \text{ (В} \cdot \text{с/рад)}. \quad (3.26)$$

7) Сумарний момент інерції (момент інерції механізму взято з табл. 1.1):

$$\begin{aligned} J_{\Sigma} &= J_{\partial\theta} + \frac{J_{\text{ред}}}{i^2} + \frac{J_{\text{мех}}}{i^2} = J_{\partial\theta} + \frac{0,4 \cdot J_{\partial\theta}}{i^2} + \frac{J_{\text{мех}}}{i^2} = \\ &= 50 + \frac{0,4 \cdot 50}{1420^2} + \frac{86400}{1420^2} = 60,043 \text{ (кг} \cdot \text{м}^2) \end{aligned} \quad (3.27)$$

8) Механічна стала часу:

$$T_1 = T_m = \frac{J_\Sigma \cdot R_e}{k\Phi_n^2} = \frac{60,043 \cdot 0,137}{3,657^2} = 0,513 \text{ (с)}. \quad (3.28)$$

Розробка комп'ютерної моделі розімкненої системи та моделювання режимів роботи

Побудову виконаємо у програмному пакеті MATLAB. Структурна схема ТП-Д для тягового електропривода приймає наступний вигляд:

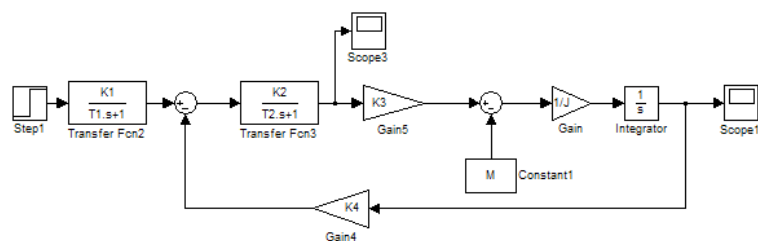


Рисунок 3.2 Структурна модель ТП-Д у середовищі MATLAB

Моделювання виконуємо для наступних режимів:

- 1) Пусковий режим при номінальному навантаженні;
- 2) Пуск при $U_3 = 2 \text{ В}$ та сталому статичному моменті;
- 3) Розгін від $U_3 = 2 \text{ В}$ до $U_3 = 6 \text{ В}$ та від $U_3 = 6 \text{ В}$ до $U_3 = 10 \text{ В}$ при сталому статичному моменті;
- 4) Режим уповільнення від $U_3 = 10 \text{ В}$ до $U_3 = 8 \text{ В}$ навантаження;
- 5) Режим зростання навантаження від $M_c = 0,5 \cdot M_n$ до $M_c = M_n$;
- 6) Режим зменшення навантаження від $M_c = M_n$ до $M_c = 0,5 \cdot M_n$.

Задаємо параметри:

Час моделювання – 10 с;

Час накиду навантаження – 5 с.

Побудова перехідних процесів.

1) Пусковой режим моделюється при сталих значеннях $U_3 = 10 \text{ В}$ і

$$M_c = 1503 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

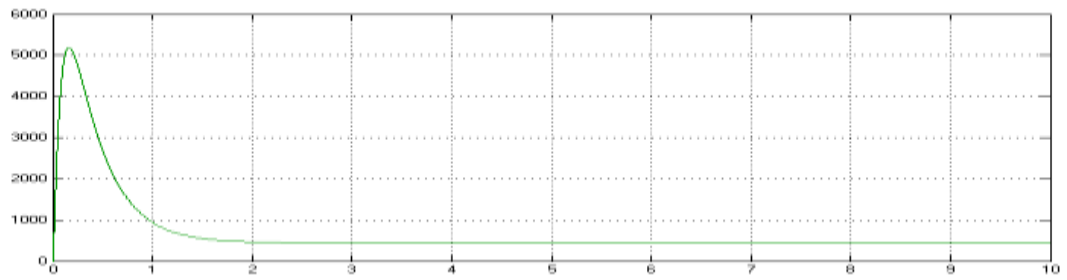


Рисунок 3.3 Перехідний процес $I = f(t)$

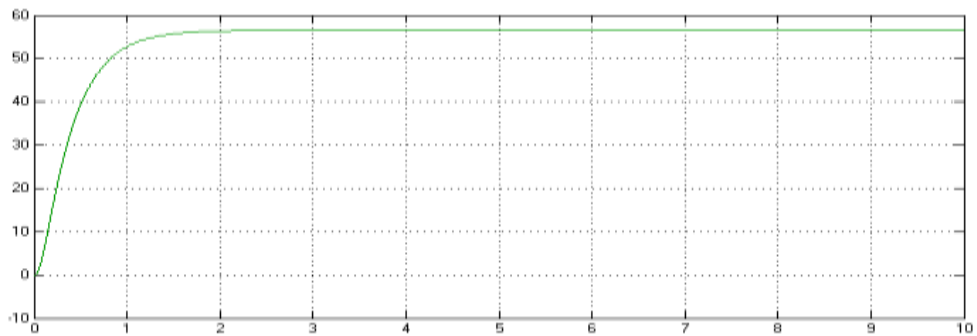


Рисунок 3.4 Перехідний процес $\omega = f(t)$

2) Пусковой режим моделюється при сталих значеннях $U_3 = 2 \text{ В}$ і

$$M_c = 1503 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

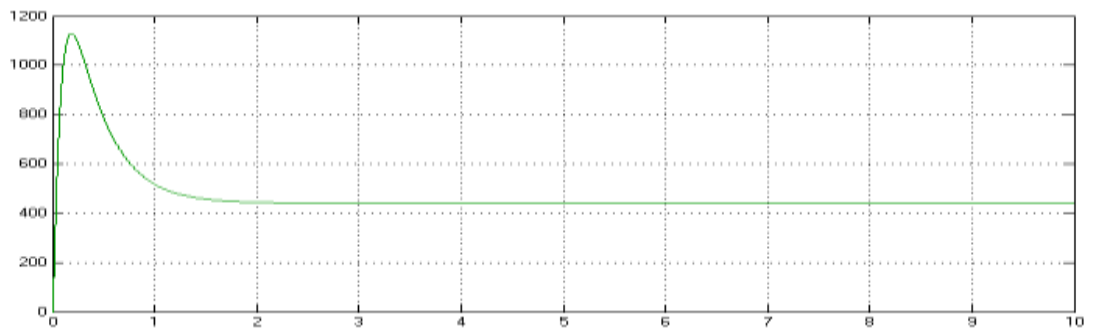


Рисунок 3.5 Перехідний процес $I = f(t)$

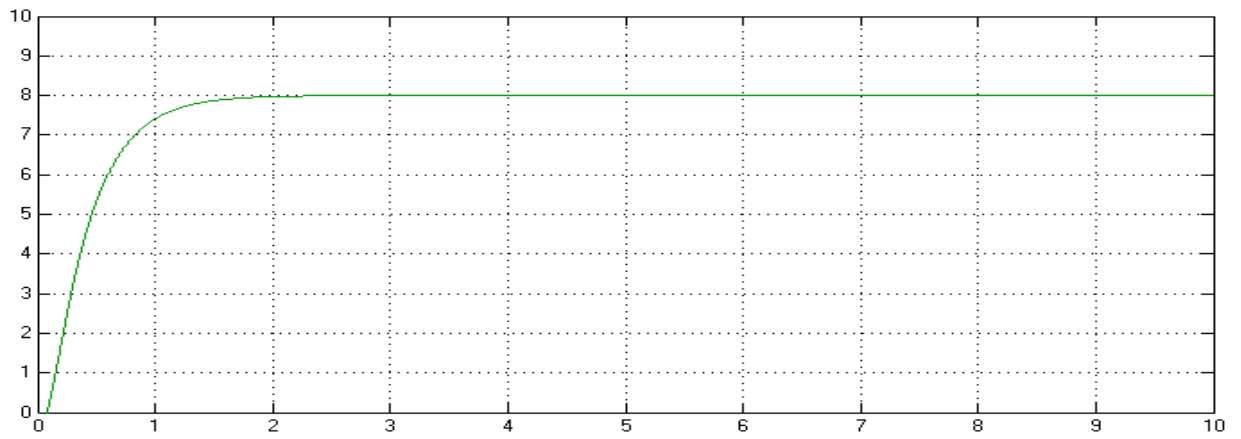


Рисунок 3.6 Перехідний процес $\omega = f(t)$

3) Режим прискорення моделюється при зміні від 2 В до 6 В та від 6 В до 10 В і сталому статичному моменті $M_c = 1503\text{ Н}\cdot\text{м}$

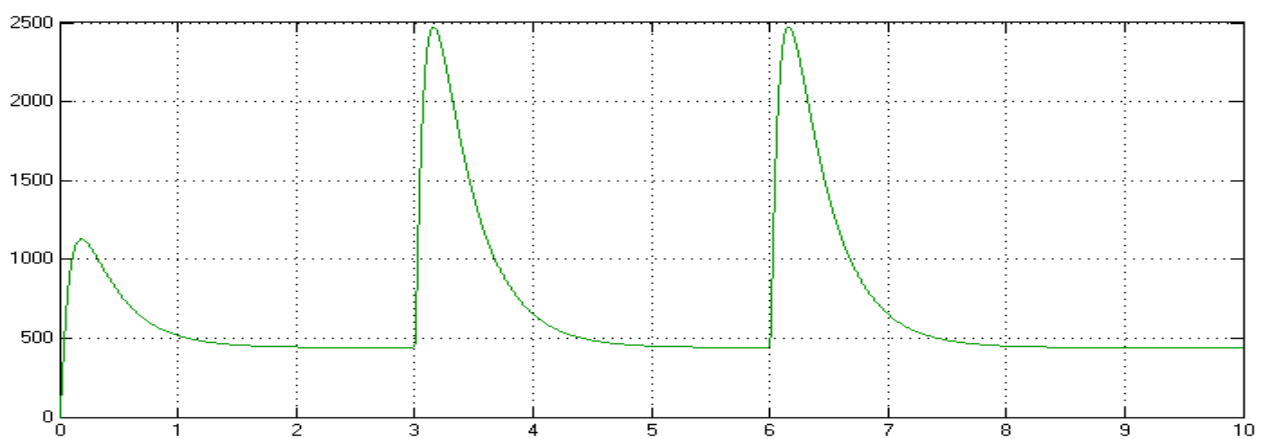


Рисунок 3.7 Перехідний процес $I = f(t)$

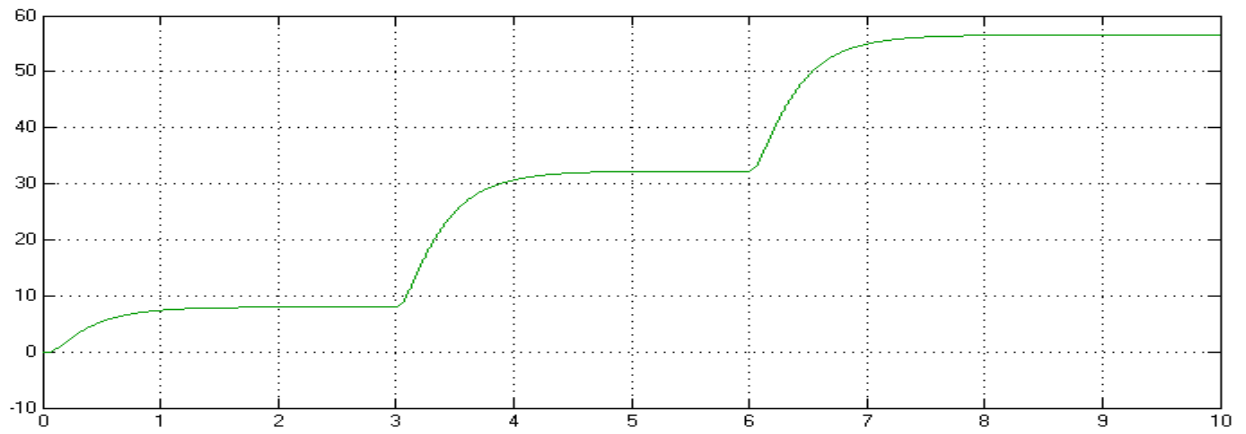


Рисунок 3.7 Перехідний процес $\omega = f(t)$

4) Режим уповільнення моделюється при зміні U_z від 10 В до 8 В і сталому статичному моменті $M_c = 1503 \text{ Н} \cdot \text{м}$

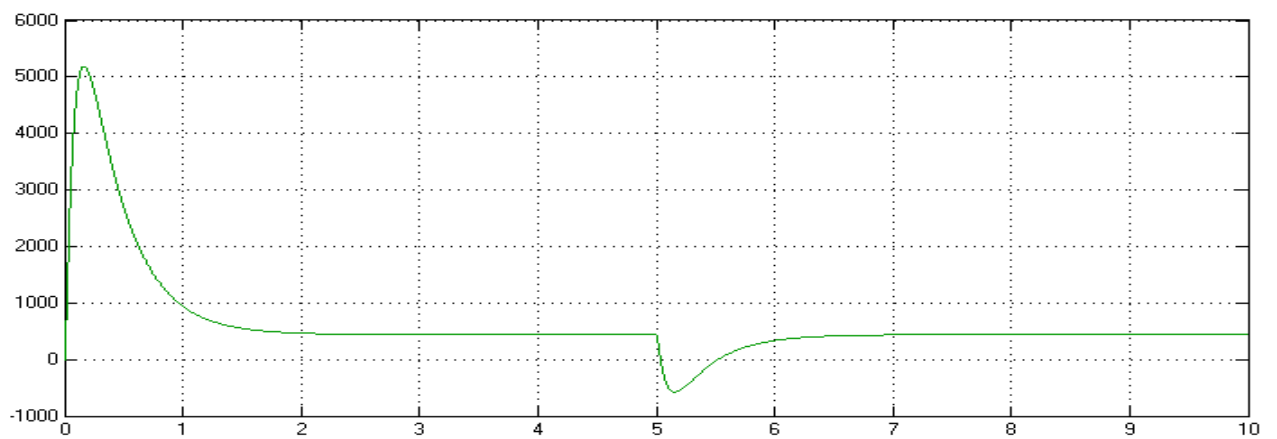


Рисунок 3.8 Перехідний процес $I = f(t)$

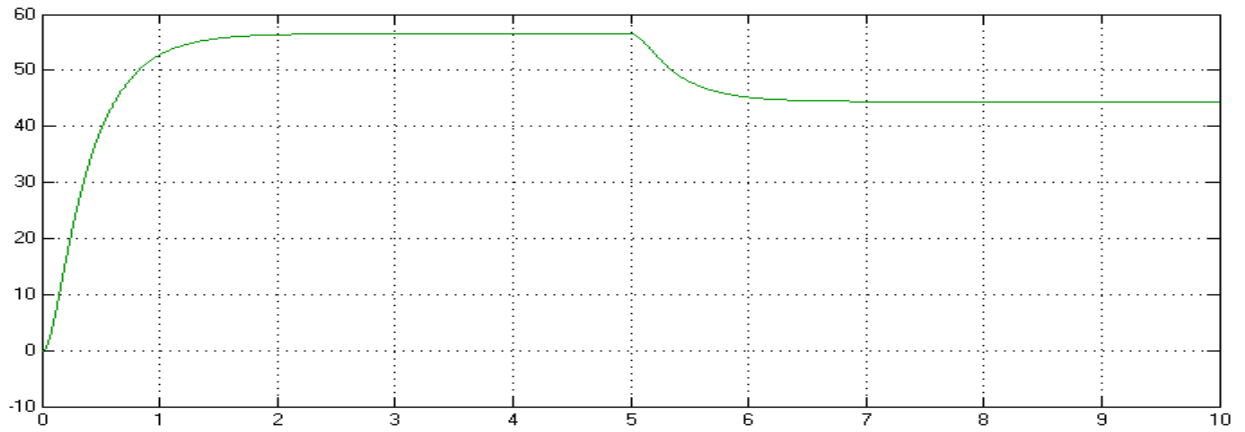


Рисунок 3.9 Перехідний процес $\omega = f(t)$

- 5) Режим зростання навантаження моделюється при сталому значенні $U_s = 10 \text{ В}$ і ступінчатому зростанні статичного моменту M_c від $751,5 \text{ Н} \cdot \text{м}$ до $1503 \text{ Н} \cdot \text{м}$

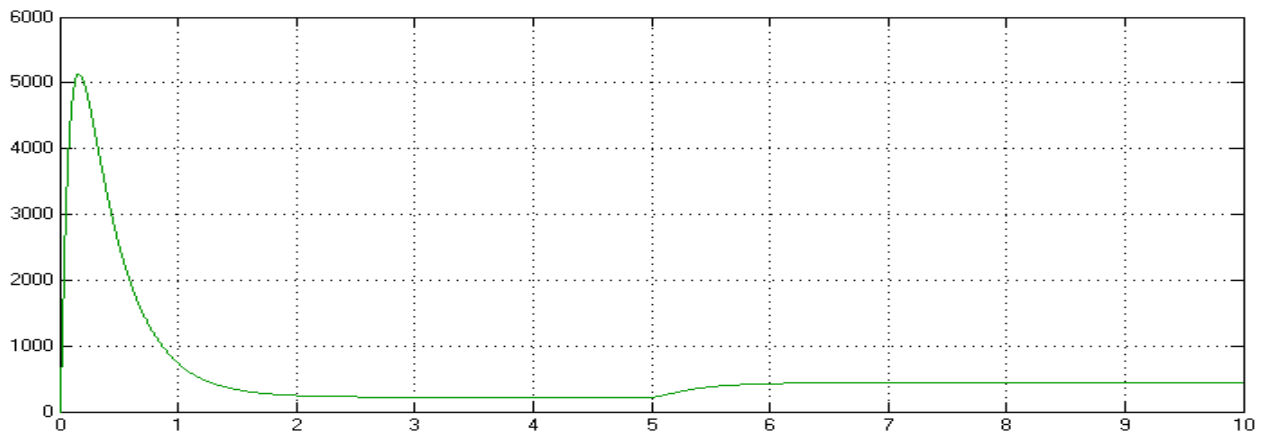


Рисунок 3.10 Перехідний процес $I = f(t)$

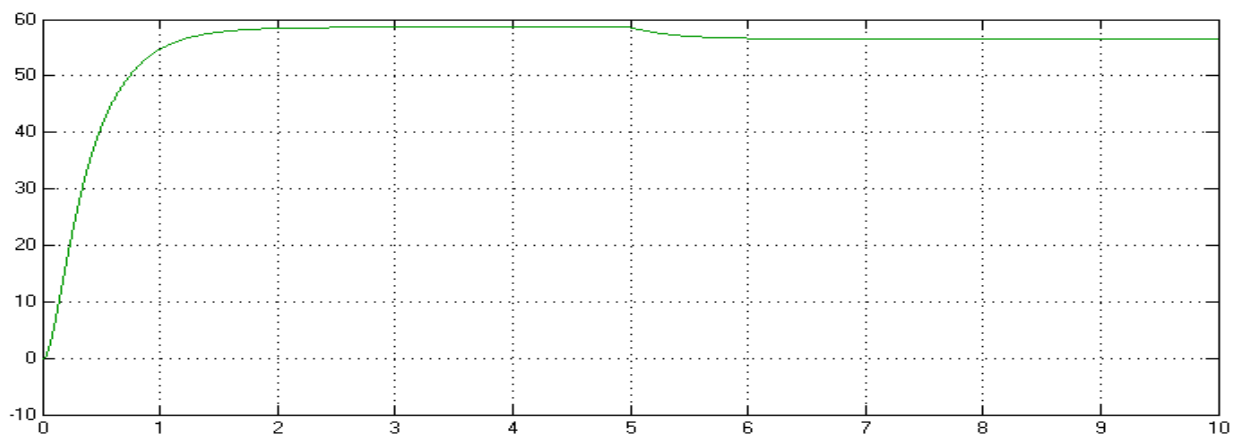


Рисунок 3.11 Перехідний процес $\omega = f(t)$

б) Режим зменшення навантаження моделюється при сталому значенні $U_s = 10 \text{ В}$ і ступінчатому зменшенні статичного моменту M_c від $1503 \text{ Н} \cdot \text{м}$ до $751,5 \text{ Н} \cdot \text{м}$

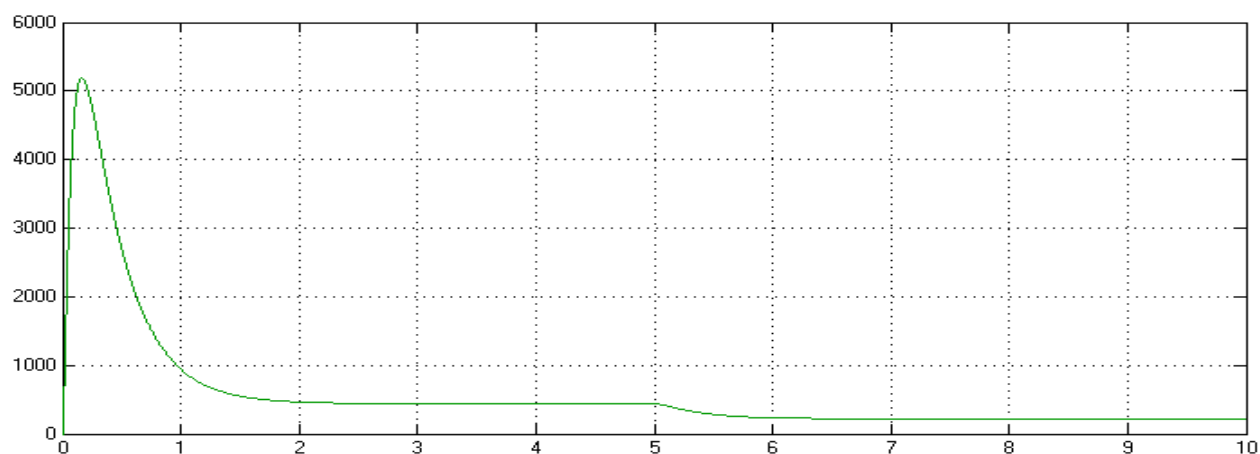


Рисунок 3.12 Перехідний процес $I = f(t)$

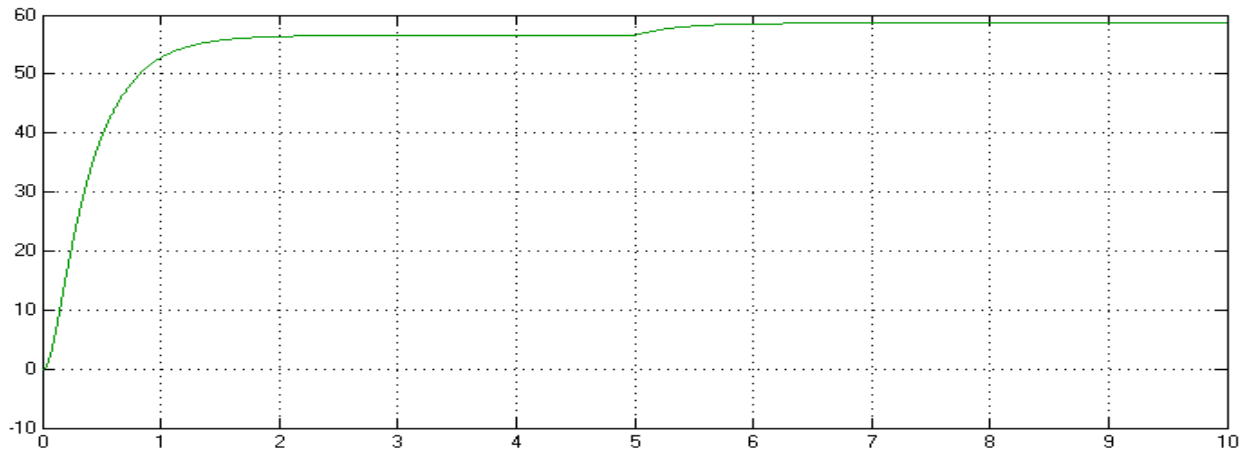


Рисунок 3.13 Перехідний процес $\omega = f(t)$

Розробка замкненої системи електропривода

Системи стабілізації швидкості й моменту підрозділяються за родом струму або типу двигуна й перетворювача на системи електроприводів постійного і змінного струму, за принципом дії – на безперервні (аналогові) і переривчасті (дискретні), за принципом регулювання – на статичні й астатичні.

За структурою системи стабілізації швидкості й моменту електроприводів виконуються трьох видів:

- з модальним керуванням;
- з підлеглим керуванням;
- з адаптивним керуванням.

На рис. 3.14 наведена структурна схема модального керування.

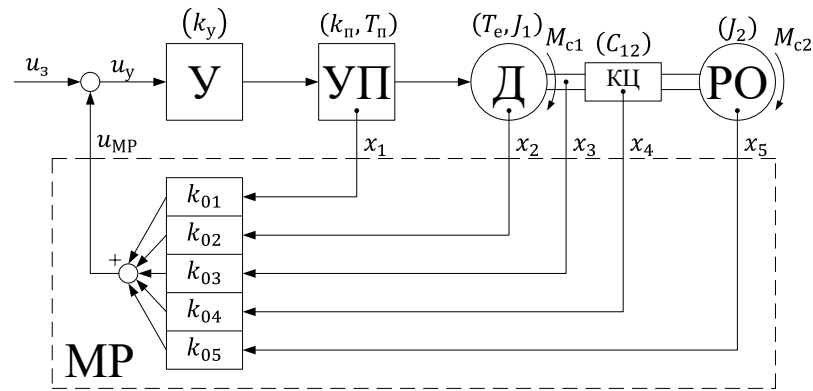


Рисунок 3.14 Структурна схема модального керування

У системі з модальним керуванням для регулювання параметрів системи $X_1, X_2, \dots, X_n$, відповідних елементів електропривода використовуються безперервні й затримані (з відсіченнями) зворотні зв'язки. Відсічення у зворотні зв'язки вводяться для виключення дії зв'язків при певних значеннях параметрів. Сигнали зворотних зв'язків підсумовуються із задаючим сигналом U_3 на вході підсилювача Y , який служить також для підвищення коефіцієнта підсилення системи. Задаючий сигнал, визначає зазвичай вихідний параметр системи (швидкість), але тільки при безперервному зворотному зв'язку, а при зв'язках з відсічками вихідний параметр визначається задаючим сигналом і напругою відсічки. Це викличе певні труднощі при використанні задавачів й особливо при регулюванні декількох параметрів. Тому в таких системах зазвичай використовується регулювання тільки одного параметра (зазвичай швидкості). Налаштування якості регулювання в таких системах здійснюються компромісно для різних параметрів, тому що незалежне налаштування кожного параметра тут неможливе.

На рис. 3.15 наведена схема підлеглого керування електропривода.

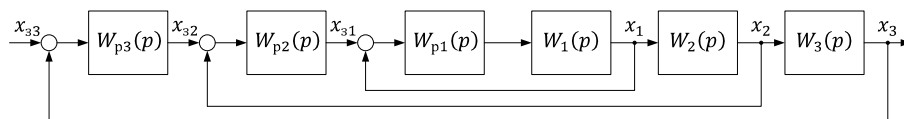


Рисунок 3.15 Структурна схема підлеглого керування

Системи адаптивного керування використовують для об'єктів, параметри яких постійно змінюються, і важко забезпечити оптимальне керування електроприводом. В деяких випадках системи адаптивного керування можуть доповнювати системи підлеглого керування для само налагодження.

З розробкою і впровадженням мікропроцесорних систем і алгоритмів керування підвищується точність керування параметрів електропривода і полегшується налагодження та діагностика.

На рис. 3.17 наведена схема цифрової системи керування:

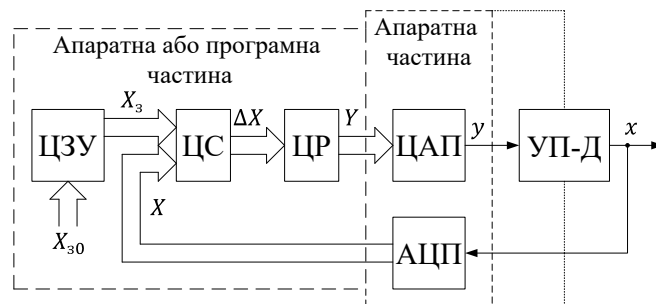


Рисунок 3.17 Структурна схема цифрової системи керування електропривода

Схема цифрової системи керування аналогічна безперервній системи керування з тими ж функціональними вузлами, крім ЦАП і АЦП. Ця система може бути частково або повністю реалізованою на програмному рівні.

Основні переваги цифрової системи: стійкість до перешкод, простота налагодження системи керування на програмному рівні, малі габарити і вартість. Такі системи використовують у випадках необхідності забезпечення високої точності регулювання швидкості і положення електропривода.

Зважаючи всі переваги і недоліки, обираємо систему керування з підлеглим регулюванням параметрів.

Розрахунок регулятора струму

Визначаємо коефіцієнт датчика струму:

$$K_{\text{дс}} = \frac{U_{\text{зн}}}{2 \cdot I_{\text{н}}} = \frac{10}{2 \cdot 440} = 0,011 \text{ (Ом)}. \quad (3.29)$$

Контур струму двигуна налагоджується на модульний оптимум (МО), через що передавальна функція регулятора струму визначається:

$$W_{\text{рс}}(p) = \frac{R_e \cdot (T_2 \cdot p + 1)}{2 \cdot T_{\text{тп}} \cdot p \cdot K_1 \cdot K_{\text{дс}}}, \quad (3.30)$$

де $T_{\text{тп}} = 0,005$ с – некомпенсована стала часу перетворювача.

Підставляємо числові значення:

$$\begin{aligned} W_{\text{рс}}(p) &= \frac{0,137 \cdot (0,012 \cdot p + 1)}{2 \cdot 0,005 \cdot p \cdot 22 \cdot 0,011} = 0,678 + \frac{54,8}{p} \\ &= K_{\text{прс}} + \frac{K_{\text{іпрс}}}{p}. \end{aligned} \quad (3.31)$$

Схема регулятора струму:

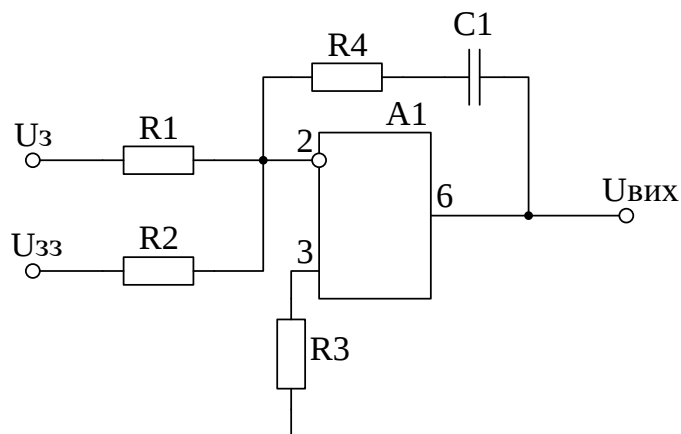


Рисунок 3.18 Схема регулятора струму

Параметри регулятора струму:

$$C_1 = 5 \cdot 10^{-6} \text{ Ф}; \quad (3.32)$$

$$R_3 = 10 \cdot 10^3 \text{ Ом}; \quad (3.33)$$

$$R_1 = R_2 = \frac{1}{C_1 \cdot K_{\text{ірс}}} = \frac{1}{5 \cdot 10^{-6} \cdot 54,8} = 3,65 \cdot 10^3 \text{ (Ом)}; \quad (3.34)$$

$$R_4 = K_{\text{прс}} \cdot R_1 = 0,678 \cdot 3,65 \cdot 10^3 = 2,474 \cdot 10^4 \text{ (Ом)}. \quad (3.35)$$

Розрахунок регулятора швидкості

Визначаємо коефіцієнт датчика швидкості:

$$K_{\text{дш}} = \frac{U_{\text{зн}}}{\omega_{\text{н}}} = \frac{10}{56,549} = 0,177 \left(\frac{\text{В} \cdot \text{с}}{\text{рад}} \right). \quad (3.36)$$

Передавальна функція регулятора швидкості для модульного оптимуму визначається:

$$\begin{aligned} W_{\text{рс}}(p) &= \frac{T_1 \cdot K_{\text{дс}} \cdot \kappa \Phi_{\text{н}}}{2 \cdot T_{\text{тп}} \cdot R_{\text{е}} \cdot K_{\text{дш}}} = \frac{0,513 \cdot 0,011 \cdot 3,657}{2 \cdot 0,005 \cdot 0,137 \cdot 0,177} \\ &= 87,933. \end{aligned} \quad (3.37)$$

Схема регулятора швидкості:

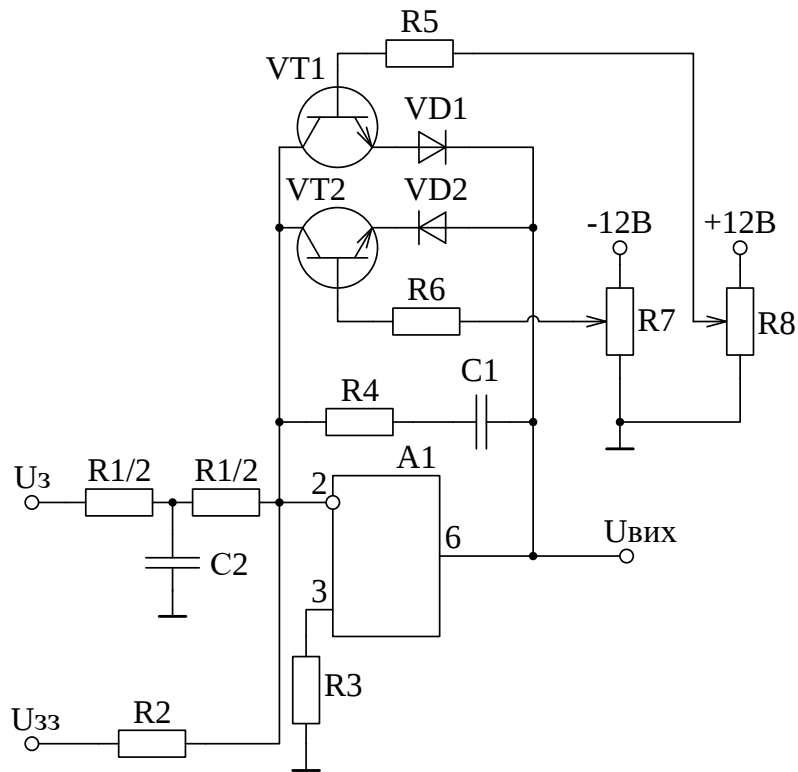


Рисунок 3.19 Схема регулятора швидкості

Визначаємо опір зворотного зв'язку регулятора швидкості:

$$R_{ззш} = R_{зш} \cdot \frac{T_1 \cdot K_{дс} \cdot K\Phi_H}{2 \cdot T_{тп} \cdot R_e \cdot K_{дш}}, \quad (3.38)$$

де $R_{зш} = 5 \cdot 10^3$ Ом.

Підставляємо числові значення:

$$R_{ззш} = 5 \cdot 10^3 \cdot \frac{0,513 \cdot 0,011 \cdot 3,657}{2 \cdot 0,005 \cdot 0,137 \cdot 0,177} = 4,397 \cdot 10^5 \text{ (Ом)}. \quad (3.39)$$

Розрахунок регулятора ЕРС

Визначаємо коефіцієнт датчика ЕРС:

$$K_{де} = \frac{U_{зн}}{U_{н} - I_{н} \cdot R_e} = \frac{10}{220 - 440 \cdot 0,137} = 0,063. \quad (3.40)$$

Передавальна функція регулятора ЕРС для модульного оптимуму визначається:

$$W_{pe}(p) = \frac{T_1 \cdot K_{дс}}{2 \cdot (T_{тп} + T_2) \cdot R_e \cdot K_{де}} = \frac{0,513 \cdot 0,011}{2 \cdot (0,005 + 0,012) \cdot 0,137 \cdot 0,063} = 19,5. \quad (3.41)$$

Схема регулятора ЕРС:

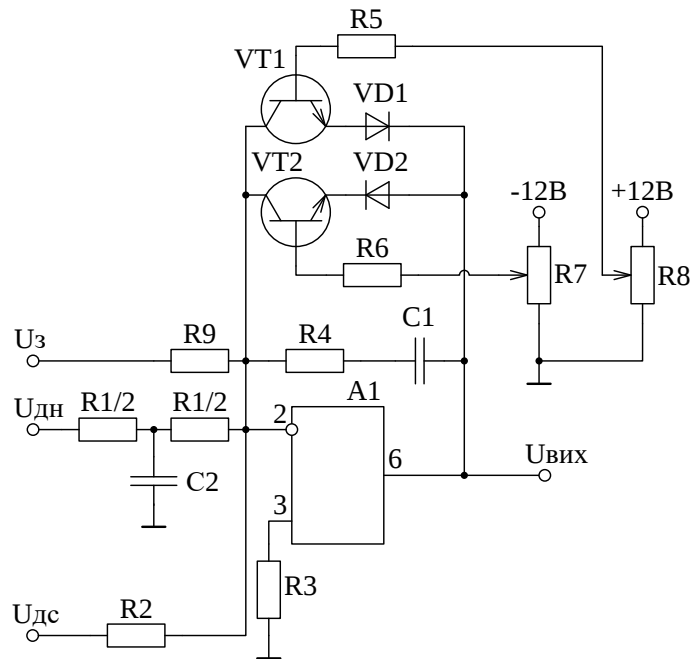


Рисунок 3.20 Схема регулятора поточкозчеплення

Визначаємо опір зворотного зв'язку регулятора ЕРС:

$$R_{зе} = R_{зе} \cdot \frac{T_1 \cdot K_{дс}}{2 \cdot (T_{тп} + T_2) \cdot R_e \cdot K_{де}}, \quad (3.42)$$

де $R_{зе} = 5 \cdot 10^3$ Ом.

Підставляємо числові значення:

$$\begin{aligned} R_{зе} &= 5 \cdot 10^3 \cdot \frac{0,513 \cdot 0,011}{2 \cdot (0,005 + 0,012) \cdot 0,137 \cdot 0,063} \\ &= 9,772 \cdot 10^4 \text{ (Ом)}. \end{aligned} \quad (3.43)$$

Розрахунок і побудова статичних характеристик замкненої системи електропривода

Рівняння системи з урахуванням дії сигналу управління $U_{зш}$ і сигналу навантаження $I_c \cdot R_e$ має вид:

$$\left((U_3 - \omega \cdot K_{дш}) \cdot W_{рш}(p) \cdot W_{кс}(p) - I_c \right) \cdot \frac{R_e}{p \cdot T_m \cdot кФ} = \omega. \quad (3.44)$$

Рішення рівняння відносно ω у статичному режимі ($p = 0$), має вигляд:

$$\omega = \frac{U_3}{K_{дш}} - \frac{R_e \cdot 2 \cdot T_{тп}}{T_1 \cdot кФ} \cdot I_c = \omega_0 - \Delta\omega_0. \quad (3.45)$$

Будуємо сімейство статичних характеристик для замкненої системи:

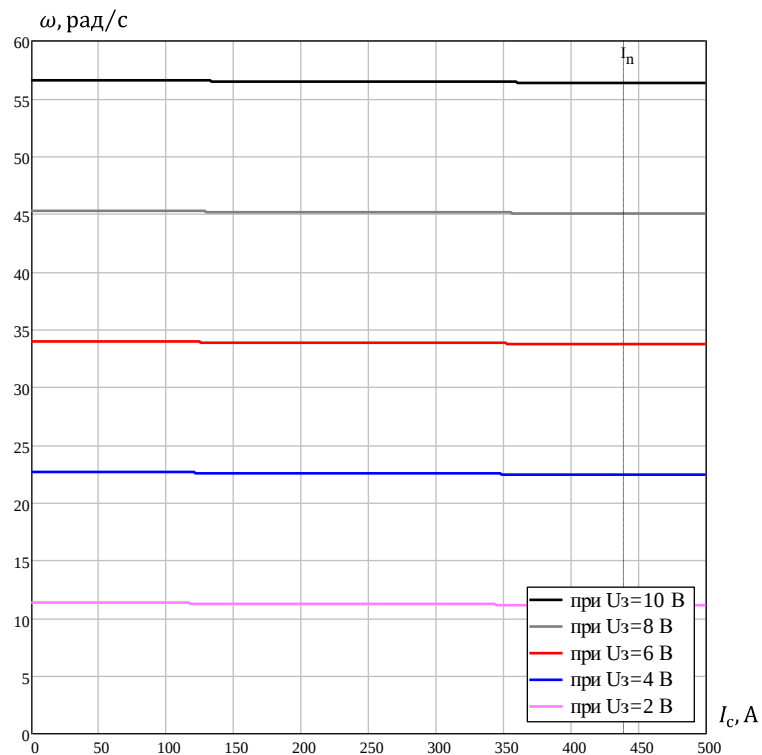


Рисунок 3.21 Статичні характеристики замкненої системи

Розрахунок і побудова перехідних процесів замкненої системи електропривода

Структурна модель замкненої системи електропривода за системою ТП-Д має такий вигляд:

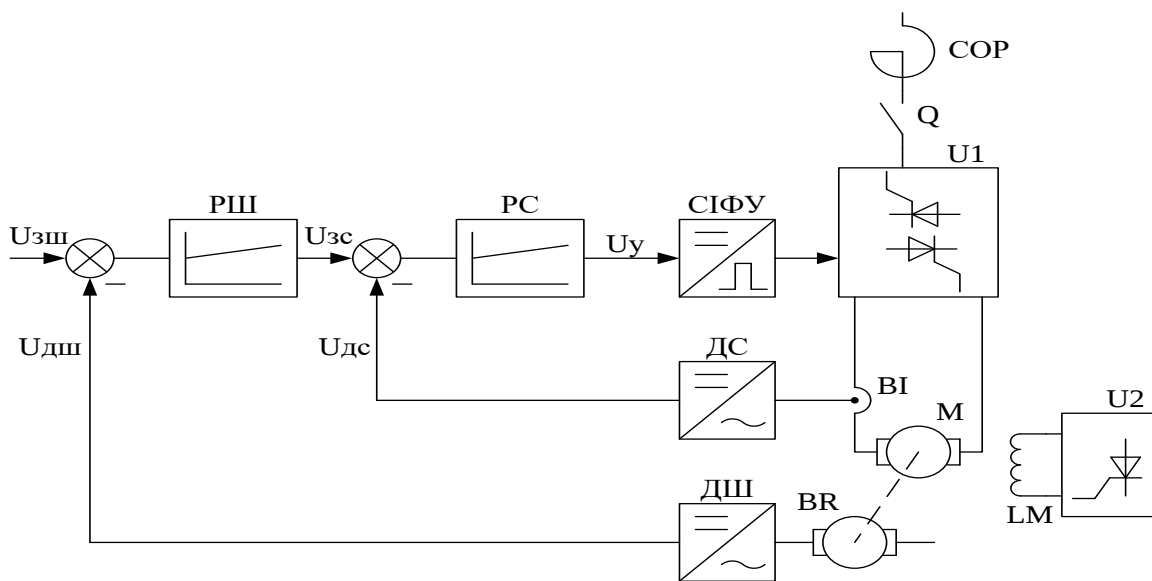


Рисунок 3.22 Структурна модель ЗС ЕП за системою ТП-Д

На рисунку 3.23 представлена загальна принципова схема електроприводу типу ТП-Д у системі підлеглого регулювання із застосуванням ряду різних захистів двигуна і системи управління. Захист від короткого замикання (максимальний струмовий захист) представлений або автоматами з електромагнітним розщиплювачем, або запобіжниками. Можливий захист від короткого замикання двома реле максимального струму, одночасно захищає двигун від надмірно великих кидків струму. при тривалому режимі роботи захист від перегріву, викликаного перевантаженням по струму здійснюється за допомогою автоматів з тепловим розщиплювачем.

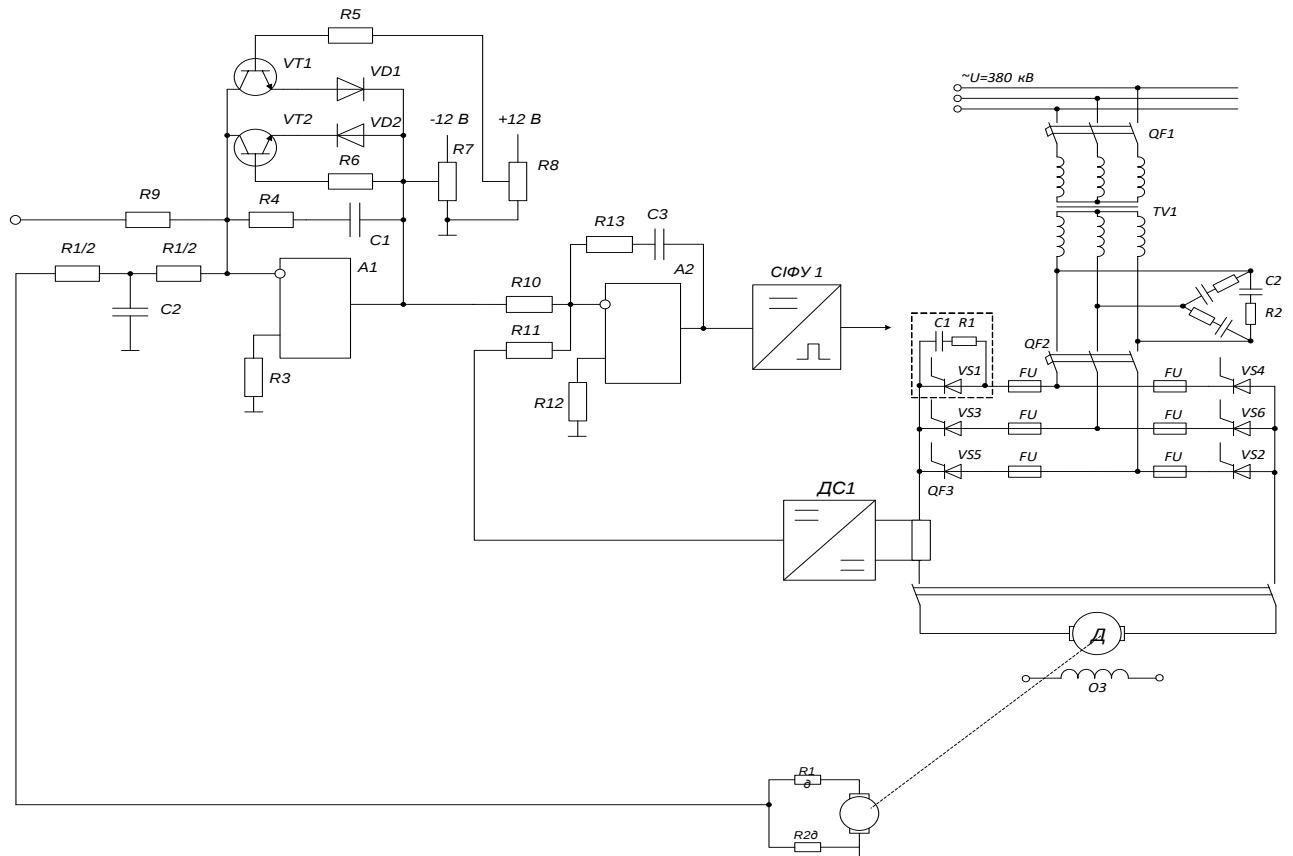


Рисунок 3.23 Принципова схема електроприводу за системою ТП-Д

Математична модель замкненої системи електропривода за системою ТП-Д у середовищі MATLAB має такий вигляд:

Рисунок 3.25 Перехідний процес $I = f(t)$

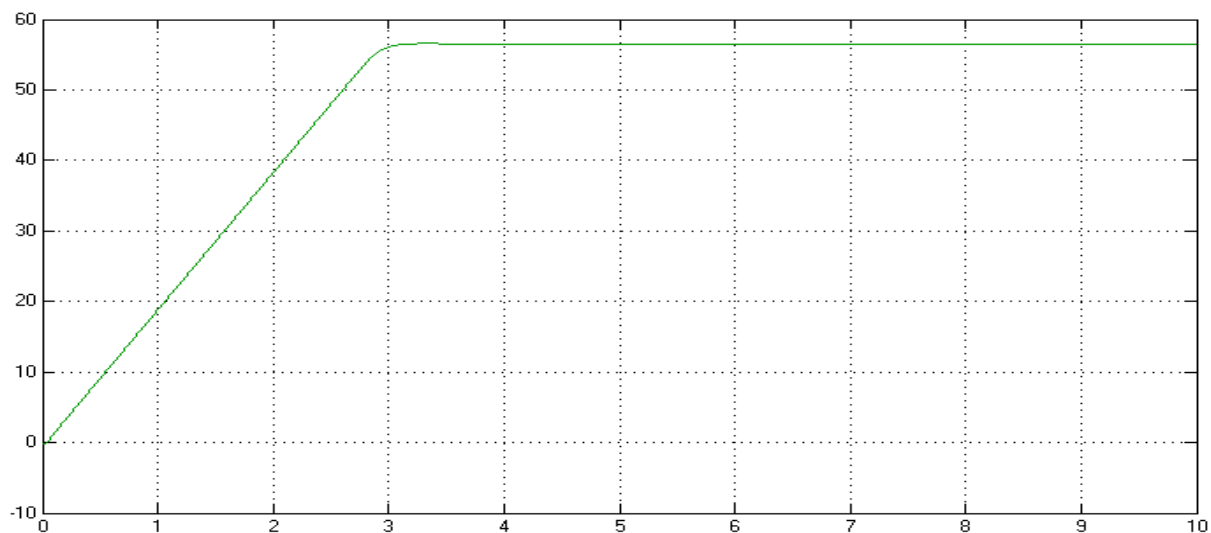


Рисунок 3.26 Перехідний процес $\omega = f(t)$

3) Режим прискорення моделюється при зміні U_3 від 5 В до 10 В і сталому статичному моменті $M_c = 751,5 \text{ Н} \cdot \text{м}$.

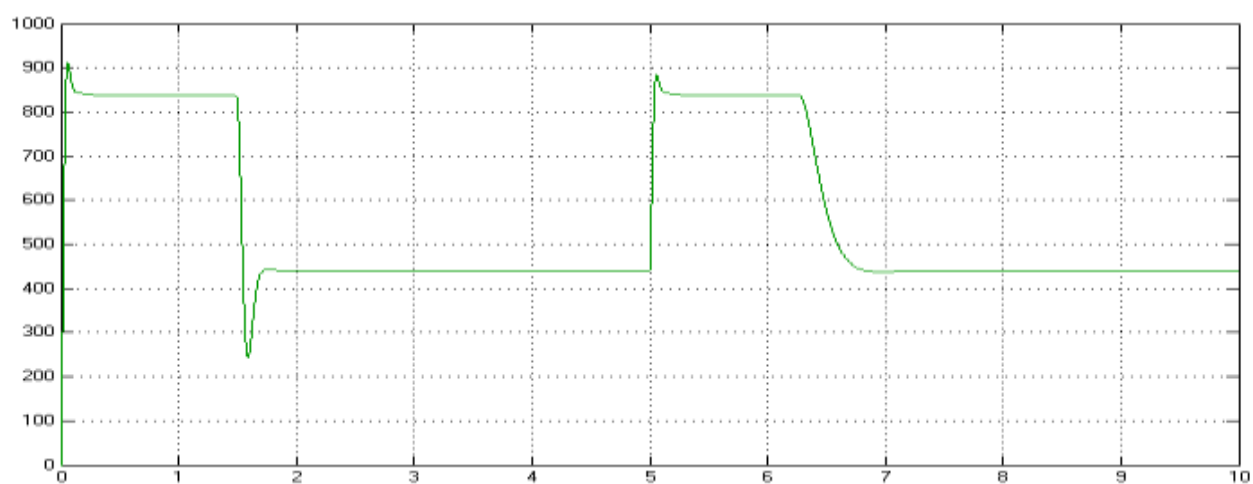


Рисунок 3.27 Перехідний процес $I = f(t)$

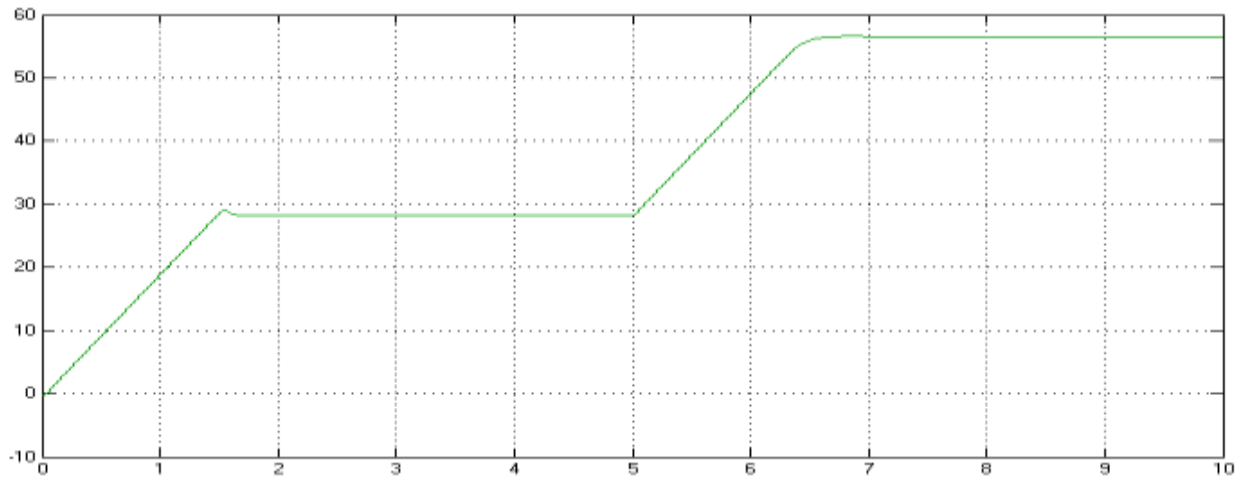


Рисунок 3.28 Перехідний процес $\omega = f(t)$

4) Режим уповільнення моделюється при зміні U_3 від 10 В до 5 В і сталому статичному моменті $M_c = 751,5 \text{ Н} \cdot \text{м}$.

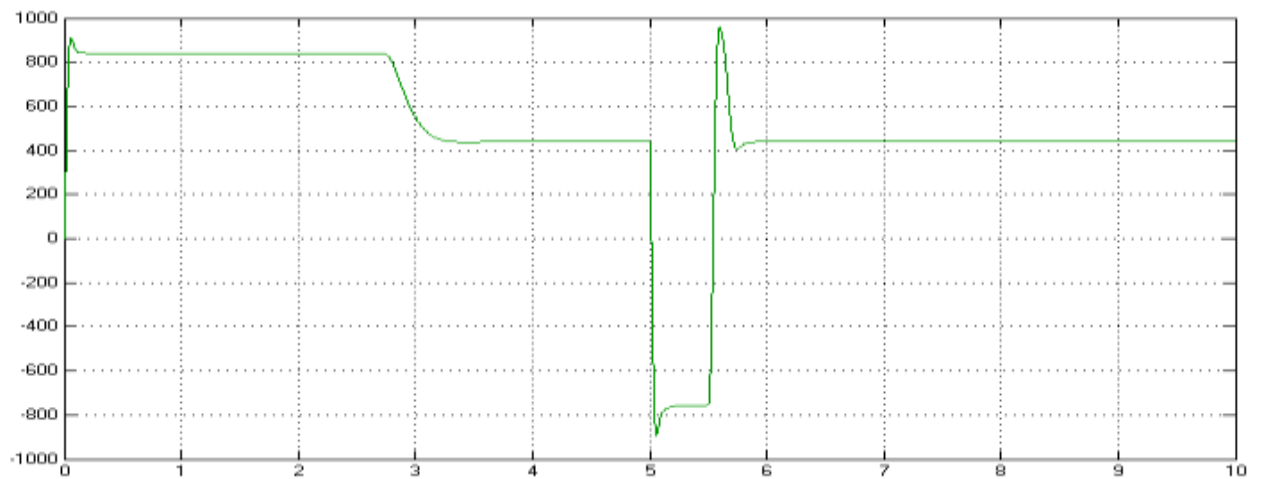


Рисунок 3.29 Перехідний процес $I = f(t)$

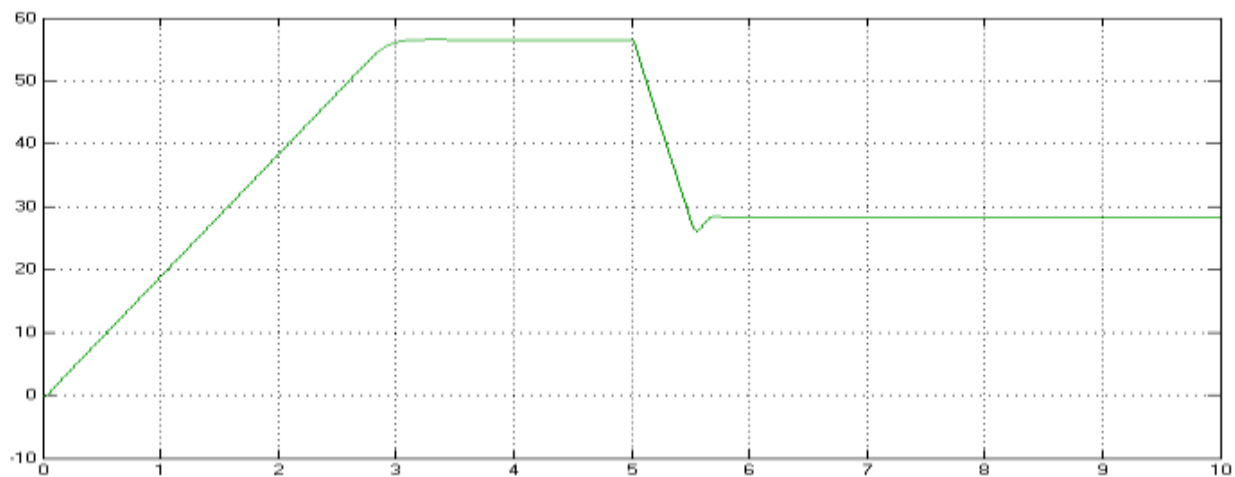


Рисунок 3.30 Перехідний процес $\omega = f(t)$

5) Режим зростання навантаження моделюється при сталому значенні $U_3 = 10$ В і ступінчатому зростанні статичного моменту M_c від 0 до 751,5 Н·м.

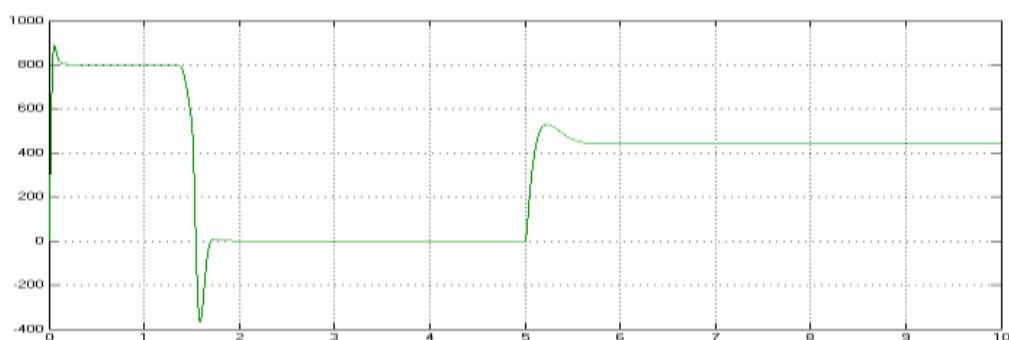


Рисунок 3.31 Перехідний процес $I = f(t)$

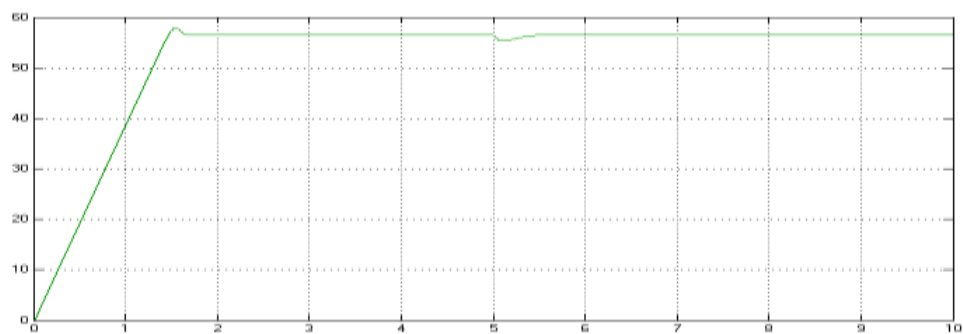


Рисунок 3.32 Перехідний процес $\omega = f(t)$

- 6) Режим зменшення навантаження моделюється при сталому значенні $U_3 = 10 \text{ В}$ і ступінчатому зменшенні статичного моменту M_c від $751,5 \text{ Н} \cdot \text{м}$ до 0.

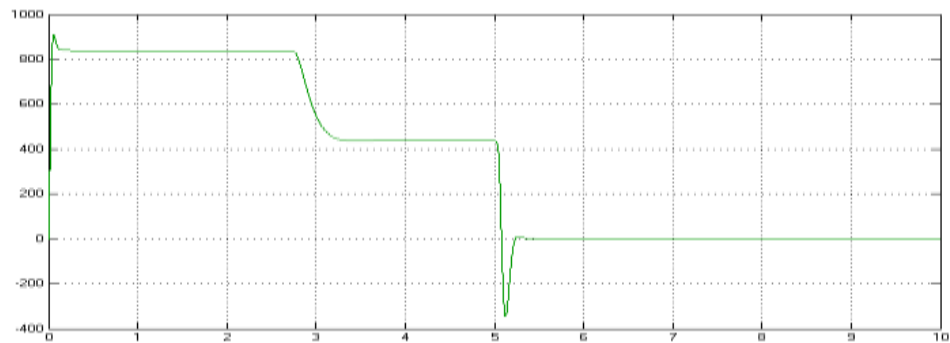


Рисунок 3.33 Перехідний процес $I = f(t)$

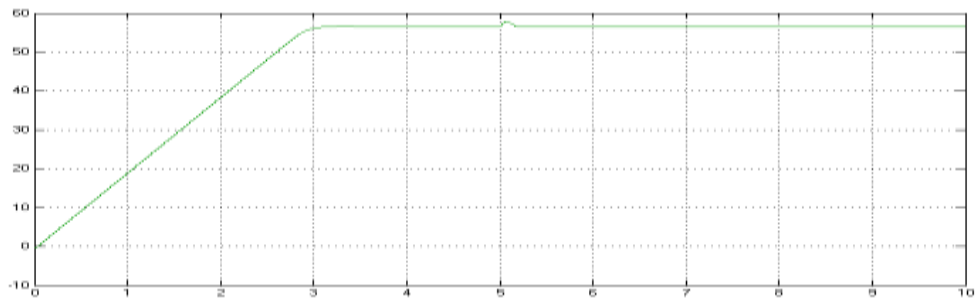


Рисунок 3.34 Перехідний процес $\omega = f(t)$

Висновки до розділу

У розділі представлена структурна схема системи управління. З використанням програми Matlab/Simulink була розроблена математична модель електроприводу. Проведено дослідження типових електромеханічних процесів, що відбуваються під час запуску та регулювання швидкості. Також були виконані розрахунки регуляторів для двоконтурної системи підлеглого управління. Крім того, розроблено математичну модель електропривода ТП-Д у замкненій двоконтурній системі підлеглого управління, а також проведено розрахунки типових електромеханічних процесів, пов'язаних із запуском та регулюванням швидкості..

4 ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ

Схема електропостачання рудо-збагачувальної фабрики

Система електропостачання підприємства складається з джерел живлення та ліній електропередач, що здійснюють подачу електроенергії до підприємства, знижуючих, розподільних та перетворювальних підстанцій а також кабелів і повітряних ліній які зв'язують їх.

Вимоги, що пред'являються до електропостачання підприємств, в основному залежать від споживаної ними потужності і характеру електричних навантажень, особливостей технології виробництва, кліматичних умов, забрудненості навколишнього середовища і інших факторів.

Схеми і конструктивного виконання системи електропостачання повинні забезпечувати можливість зростання споживання електроенергії підприємством без корінної реконструкції системи електропостачання. Вимоги технології надають вирішальне значення при визначенні міри надійності живлення і побудови схеми електропостачання. Недооблік цих вимог може привести як до недостатнього резервування, так і до зайвих витрат.

Джерелом електропостачання дробильної фабрики служить енергосистема, через ГПП (головна підстанція підприємства), що притикається до території дробильної фабрики. Від ГПП до розподільних пристроїв корпусу фабрики електроенергія передається по повітряних лініях електропередач напругою 35кВ. Кожна лінія складається з двох взаємно резервованих кіл.

Розрахунок електричних навантажень

У практиці проектування систем електропостачання мереж до 1000В і вище застосовують різні методи визначення електричних навантажень. Розрахунок електричних навантажень цеху проведемо по номінальній потужності і коефіцієнту використання.

Оскільки потужність споживачів велика і присутні споживачі 1 категорії відповідно до класифікації ПУЕ, то споживачі живляться з шин трансформатора. У цеху прийнята схема електропостачання з однією трансформаторною підстанцією, що включає два трансформатори.

До 1-ї категорії належать технологічні споживачі які забезпечують випуск продукції й перерва в живленні, яких приводить до простою устаткування.

Визначаємо показник силової зборки:

$$m = \frac{P_{ном\max}}{P_{ном\min}} = \frac{900}{50} = 18 \quad (4.1)$$

Визначаємо ефективну кількість електроприймачів:

При $n > 5$ $K_u > 0.2$ $m > 3$ $P_{ном} \neq \text{const}$

$$n_{эф} = \frac{2 \sum P_{ном}}{P_{ном\max}} = \frac{2 \cdot 7644}{900} = 16.98 \approx 17 \text{ шт.} \quad (4.2)$$

Визначаємо коефіцієнт максимуму:

по табл. 2.4 [11] при $K_u = 0.85$ й $n_{эф} = 17$

$$K_M = 1,16$$

Визначаємо максимальну розрахункову потужність навантаження:

Активну:

$$P_M = K_M \cdot P_{cp} = 1,16 \cdot 7423,5 = 8611,26 \text{ кВт} \quad (4.3)$$

Реактивну при $n_{эф} > 10$:

$$Q_M = Q_{cp} = 5491,13 \text{ кВАр} \quad (4.4)$$

Повну:

$$S_M = \sqrt{P_M^2 + Q_M^2} = \sqrt{8611,26^2 + 5491,13^2} = 10213,046 \text{ кВА} \quad (4.5)$$

Визначаємо максимальний розрахунковий струм:

$$I_M = \frac{S_M}{\sqrt{3} \cdot U_n} = \frac{10213}{\sqrt{3} \cdot 6} = 982,75 \text{ А} \quad (4.6)$$

4.3 Вибір кількості й потужності трансформаторів

На внутрішньоцеховій підстанції встановлено 2 трансформатори, з огляду на наявність споживачів 1-ї категорії

Визначаємо коефіцієнт заповнення графіка:

$$K_{з.г.} = \frac{S_{cp}}{S_M} = \frac{\sqrt{P_{cp}^2 + Q_{cp}^2}}{S_M} = \frac{\sqrt{7423,5 + 5491,13}}{10213,046} = 0,904 \quad (4.7)$$

Визначаємо коефіцієнт припустимого навантаження K_n :

По величині Кз.г. і часу максимуму $t=2$ ч.

$$K_n = 1,04$$

Визначаємо номінальну потужність трансформаторів:

$$S_{ном} = \frac{S_m}{K_n} = \frac{10213,046}{1,04} = 9820,23 \text{ кВА} \quad (4.8)$$

Приймаємо до встановлення на внутріцеховій підстанції 2 трансформатори по 10000 кВа

Визначаємо коефіцієнт завантаження в нормальному режимі при максимумі:

$$K_3 = \frac{S_M}{2S_{ном}} = \frac{10213,046}{2 \cdot 10000} = 0,511 \quad (4.9)$$

Що відповідає економічному режиму $K_3=0,5 \div 0,7$.

Перевіряємо встановлену потужність трансформатора в аварійному режимі при відключенні одного трансформатора й необхідності забезпечити електропостачання споживачів 1-ї категорії, у період максимуму із припустимим навантаженням, рівної 140%.

$$1.4 \cdot S_{ном} > K_{3.Г.} \cdot S_M \quad (4.10)$$

$$1.4 \cdot 10000 = 14000 > 0.904 \cdot 10213,046 = 9233,68 \text{ кВА}$$

Отже, обрані потужності трансформаторів (2x10000 кВА) забезпечують електропостачання секції фабрики як у нормальному, так й в аварійному режимах. Остаточно приймаємо до установки 2 трансформатори ТНМ-10000-35/6.

Розрахунок струмів короткого замикання в лініях електропостачання

Для розрахунків струмів к.з. становимо розрахункову схему (рис.4.1) відповідному нормальному режиму роботи схеми електропостачання.

За розрахунковою схемою становимо схему заміщення (рис.4.2) у якій вказуємо опір всіх джерел і споживачів і намічаємо ймовірні крапки для розрахунку струмів к.з.

Визначаємо базисні відносні опори всіх елементів схеми:

Прийнявши базисну потужність $S_6=100 \text{ МВА}$.

Для високовольтної системи приймаємо

$$X_{\sigma 1} = 0.125$$

Для повітряної лінії

$$X_{\sigma 2} = X_{20} l_2 \frac{S_{\sigma}}{U_{cp}^2} = 0.556 \quad (4.11)$$

де $X_{20} = 0.04$ Ом/км – опір повітряної лінії;

$l_2 = 5$ км – довжина повітряної лінії

Для трансформаторів

$$X_{\sigma 3} = \frac{U_{K3} \%}{100} \cdot \frac{S_{\sigma}}{S_n} = \frac{6.5}{100} \cdot \frac{100}{10} = 0.65 \quad (4.12)$$

Для кабельної лінії

$$X_{\sigma 4} = X_{40} \cdot l_4 \frac{S_{\sigma}}{U_{\sigma}^2} = 0.08 \cdot 1 \cdot \frac{100 \cdot 10^6}{6300^2} = 0.222 \quad (4.13)$$

де $X_{40} = 0.08$ Ом/км – опір кабельної лінії;

$l_4 = 1$ км – довжина кабельної лінії.

Для реактора

$$X_{\sigma 5} = \frac{x_p}{100} \cdot \frac{I_{\sigma} U_{ном}}{I_{ном} U_{\sigma}} = \frac{4}{100} \cdot \frac{9622.5 \cdot 6}{1500 \cdot 6} = 0.257 \quad (4.14)$$

$$\text{де } I_{\sigma} = \frac{S_{\sigma}}{\sqrt{3} \cdot U_{\sigma}} = \frac{100}{\sqrt{3} \cdot 6} = 9622.5 \text{ А}$$

Для кабельної лінії живлення двигунів

$$X_{\sigma 6} = X_{\sigma 7} = X_{\sigma 0} \cdot l_6 \frac{S_{\sigma}}{U_{\sigma}^2} = 0.08 \cdot 0.1 \cdot \frac{100 \cdot 10^6}{6000^2} = 0.0222 \quad (4.15)$$

де $X_{\sigma 0} = 0.08$ Ом/км – опір кабельної лінії;

$l_6 = 0.1$ км – довжина кабельної лінії.

Перехідні опори контактів шинопроводів і роз'єднувачів приймаємо $X_8 = 0.06$ Ом

Визначаємо результуючий опір ланцюга короткого замикання:

- до крапки К1

$$X_{\sigma K1} = X_{\sigma 1} + X_{\sigma 2} + X_{\sigma 3} = 1.331 \quad (4.16)$$

- до крапки К2

$$X_{\sigma K2} = X_{\sigma 1} + X_{\sigma 2} + X_{\sigma 3} + X_{\sigma 4} + X_{\sigma 5} + X_{\sigma 6} = 1.832 \quad (4.17)$$

Визначаємо струми к.з. у точці К1 безпосередньо в НН обмотці трансформатора:

- надперехідний і сталий

$$I_{K1} = \frac{I_{\sigma}}{X_{\sigma K1}} = \frac{9,623}{1,331} = 7,231 \text{ кА} \quad (4.18)$$

- ударний

$$I_{K1y} = k_y \cdot \sqrt{2} \cdot I_{K1} = 1.6 \cdot \sqrt{2} \cdot 7.231 = 16.364 \text{ кА} \quad (4.19)$$

де $k_y = 1.6$ - ударний коефіцієнт

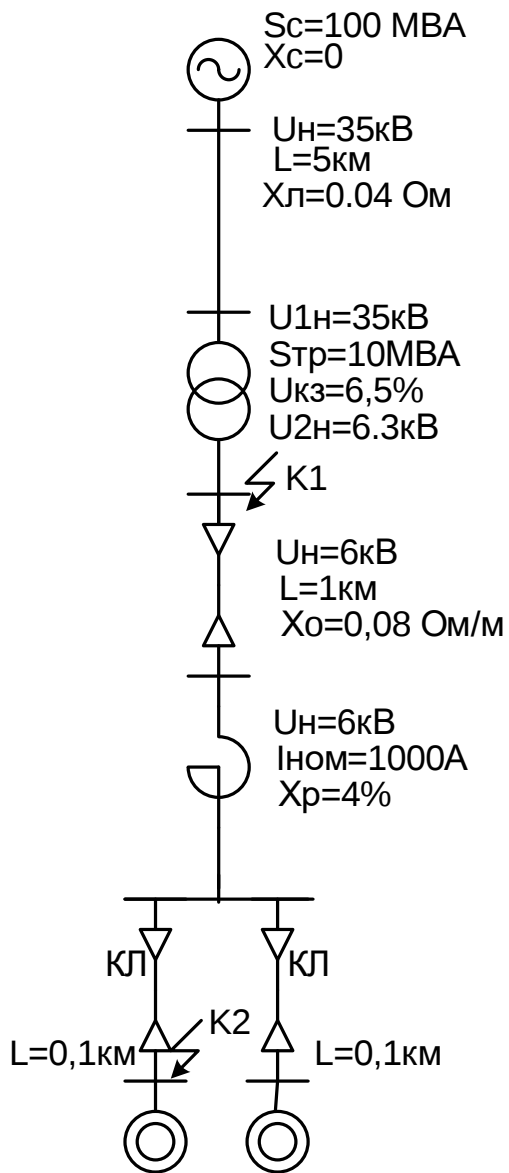


Рисунок 4.1 Розрахункова схема

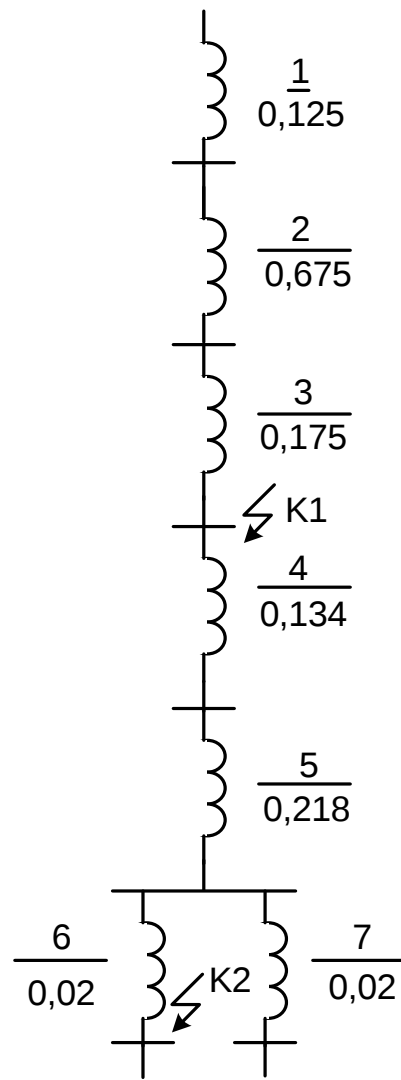


Рисунок 4.2 Схема заміщення

- діюче значення ударного струму

$$I_{K1уд} = I_{K1} \cdot \sqrt{1 + 2(k_y - 1)^2} = 7.231 \cdot \sqrt{1 + 2(1.6 - 1)^2} = 9.484 \text{ кА} \quad (4.20)$$

Визначаємо струми к.з. у точці K2 безпосередньо біля двигунів:

- надперехідний і сталий

$$I_{K2} = \frac{I_{\delta}}{X_{\delta K2}} = \frac{9,623}{1,832} = 5,253 \text{ кА} \quad (4.21)$$

- ударний

$$I_{K2y} = k_y \cdot \sqrt{2} \cdot I_{K1} = 1.6 \cdot \sqrt{2} \cdot 5.253 = 11.887 \text{ кА} \quad (4.22)$$

де $k_y = 1.6$ - ударний коефіцієнт

- діюче значення ударного струму

$$I_{K2уд} = I_{K2} \cdot \sqrt{1 + 2(k_y - 1)^2} = 5.253 \cdot \sqrt{1 + 2(1.6 - 1)^2} = 6.89 \text{ кА} \quad (4.23)$$

Визначаємо надперехідну й сталу потужності к.з. в точці K1:

$$S_{K1} = \frac{S_{\delta}}{X_{\delta K1}} = \frac{100}{1.331} = 75.157 \text{ МВА} \quad (4.24)$$

Визначаємо надперехідну й сталу потужності к.з. в точці K2:

$$S_{K2} = \frac{S_{\delta}}{X_{\delta K2}} = \frac{100}{1.832} = 54.597 \text{ МВА} \quad (4.25)$$

Вибір високовольтної апаратури

Згідно максимальному розрахунковому струму $I_m=982,75$ А згідно ПУЕ вибираємо алюмінієві трьохполосні шини прямокутного перетину з $I_{ном} = 1150$ А перерізом кожної полоси $S=80 \times 6$ мм² (480 мм²) з відстанню між ізоляторами $L=250$ мм, а між шинами $a = 150$ мм.

Перевіряємо шини на динамічну стійкість:

$$i_{дн} = \sqrt{\frac{10 \cdot G \cdot W \cdot a}{1.76} \cdot \frac{10}{L}} = \sqrt{\frac{10 \cdot 90 \cdot 8.5 \cdot 150}{1.76} \cdot \frac{10}{250}} = 161.5 \text{ кА} \quad (3.26)$$

де $G = 90$ МПа - припустима напруга в матеріалі шини;

W - момент опору шини відносно осі

$$W = \frac{b \cdot h^2}{6} = \frac{0.8 \cdot 64}{6} = 8.5 \quad (3.27)$$

За паспортними даними стійкість прийнятих шин:

$$161,5 \text{ кА} < 190 \text{ кА}$$

Умова виконується.

Перевіряємо переріз шин за термічною стійкістю:

$$S_{ш} = \frac{I_{кзш} \cdot \sqrt{t_{пр}}}{c} = \frac{7231 \cdot 2,133}{85} = 181,5 \text{ мм}^2 \quad (3.28)$$

де $t_{пр} = t_{відкл} + 0,05 = 4,5 + 0,05 = 4,55$ с - час дії струму к.з.;

$c = 85$ Ас²/мм² - коефіцієнт, який відповідає різниці теплоти,

виділеної в алюмінієвих шинах до і після к.з.

$$181.5 \text{ мм}^2 < 480 \text{ мм}^2$$

Умова виконується.

Висновки до розділу

Проведено розрахунок електричних навантажень на основі номінальної потужності та коефіцієнта використання. Обрані силові трансформатори, які повністю відповідають сучасним вимогам підприємства. Розраховані лінії електропередач та силові кабелі, проведена їх перевірка на відповідність.

Здійснено також розрахунок струмів короткого замикання та обмежувачів струмів короткого замикання. Вибрано обладнання для розподільчих пристроїв високої напруги, включаючи шини, ізолятори, силові вимикачі, трансформатори струму та трансформатори напруги. Крім того, виконано вибір обладнання для розподільчого пристрою низької напруги, включаючи автоматичні вимикачі, пускачі, плавкі вставки та живлячий провід.

ВИСНОВКИ

На основі даних про механізм та електропривод агломашины проведено розрахунок потужності для встановленого двигуна та редуктора. В результаті вибрано двигун постійного струму типу ДП-72 потужністю 85 кВт та частотою обертання 500 об/хв.

Проведено вибір перетворювального обладнання та розроблено параметри схеми заміщення електроприводу конвеєра агломашины. Відповідно, виконано розрахунки природних характеристик приводного двигуна й електромеханічних і енергетичних характеристик електроприводу в розімкненій системі управління. Завдяки цьому, характеристики електроприводу виявилися менш жорсткими в порівнянні з природними характеристиками двигуна.

З використанням програми Matlab/Simulink була створена математична модель електроприводу, виконано дослідження типових електромеханічних процесів, таких як запуск і регулювання швидкості. Проведено розрахунок електричних навантажень, враховуючи номінальну потужність і коефіцієнт використання. Вибрані силові трансформатори, що відповідають сучасним вимогам підприємства. Також було здійснено вибір обладнання для розподільчих пристроїв високої напруги, включаючи шини, ізолятори, силові вимикачі, трансформатори струму та трансформатори напруги. Крім того, реалізовано вибір обладнання для розподільчого пристрою низької напруги, включаючи автоматичні вимикачі, пускачі, плавкі вставки і живлячий провід.

