

**Національний університет кораблебудування
імені адмірала Макарова**

Навчально-науковий інститут автоматики і електротехніки
(повне найменування інституту, назва факультету)

Суднових електроенергетичних систем
(повна назва кафедри)

Рекомендовано до захисту

Завідувач кафедри СЕЕС
д.т.н., доц. Обрубов А.В.
“05” червня 2026 року

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА
на здобуття ступеня вищої освіти "бакалавр"

на тему:

**"Проектні дослідження електромеханічної системи
перевантажувальної норії"**

Виконав: студент IV курсу, групи 4367стЗ
напряму підготовки (спеціальності)
141 "Електроенергетика, електротехніка
та електромеханіка"
(шифр і назва напряму підготовки, спеціальності)


Козлов Дмитро Михайлович
(прізвище та ініціали)


Керівник к.т.н., доц. Авдєєва О.А.
(прізвище та ініціали)


Рецензент к.т.н., доц. Білюк І.С.
(прізвище та ініціали)

м. Миколаїв 2026 р.

**Національний університет кораблебудування імені адмірала
Макарова**

Інститут Навчально-науковий інститут автоматики і електротехніки
Кафедра Суднових електроенергетичних систем
Освітньо-кваліфікаційний рівень бакалавр
Напрямок підготовки 141 "Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка"
(шифр і назва)

«ЗАТВЕРДЖУЮ»

Гарант освітньої програми

д. т. н., проф.

Волянська Я. Б.



"15" лютого 2026 р.

**ЗАВДАННЯ
НА ДИПЛОМНУ РОБОТУ СТУДЕНТУ**

Козлову Дмитру Михайловичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема проекту (роботи): Проектні дослідження електромеханічної системи
перевантажувальної норії

керівник проекту (роботи) Авдєєва О.А., к.т.н., доцент

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

затверджені наказом ректора від "22" квітня 2026 р. №286-уч.

2. Строк подання студентом проекту (роботи) до 15.06.2026 р.

3. Вихідні дані до проекту (роботи) момент на валу електропривода
 $M = 11 \text{ Н}\cdot\text{м}$; частота обертання $n = 2000 \text{ об/хв}$.

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки:

4.1. Аналіз конструкції та технологічних процесів норії.

4.2. Проектні дослідження електроприводу перевантажувальної норії.

4.3. Динамічне дослідження системи керування.

4.4. Охорона праці.

5. Перелік графічного матеріалу:

5.1. Загальна конструкція норії.

5.2. Схема електрична принципова силової частини електроприводу.

5.3. Структурна схема системи автоматичного регулювання.

5.4. Дослідження динамічних характеристик системи керування.

6. Консультанти розділів проекту (роботи)

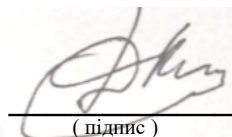
Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
4	Авдєєва О.А.		
			3.06.2026

7. Дата видачі завдання 15.02.2026 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

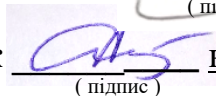
№ з/п	Назва етапів дипломного проекту (роботи)	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Аналіз конструкції та технологічних процесів норії.	6.04.2026	виконано
2	Проектні дослідження електроприводу перевантажувальної норії.	20.04.2026	виконано
3	Динамічне дослідження системи керування.	7.05.2026	виконано
4	Охорона праці.	3.06.2026	виконано

Студент


(підпис)

Козлов Д.М.
(прізвище та ініціали)

Керівник


(підпис)

К.Т.Н., доц. Авдєєва О.А.
(прізвище та ініціали)

АНОТАЦІЯ

У дипломній роботі розглядаються питання автоматизації роботи зерноперевантажувальної норії. Основу роботи складає розробка і дослідження системи автоматичного керування електроприводом вказаної установки.

На основі вихідних даних і технічних вимог, та на підставі порівняльного аналізу існуючих типів систем автоматичного керування електроприводами постійного струму обрана система автоматичного керування зі зворотними зв'язками по струму і швидкості на базі тиристорного перетворювача, яка дозволяє забезпечити необхідний режим роботи електропривода з меншими енергетичними витратами і кращими показниками якості перехідного процесу.

Ключові слова: перевантажувальна норія,, електропривід, система керування.

ANNOTATION

Thesis deals with the automation of grain handling. The basis of the work is the development and research of the automatic control system of the electric drive of the specified installation.

On the basis of initial data and technical requirements, and on the basis of the comparative analysis of existing types of systems of automatic control of electric drives of a direct current the system of automatic control with feedback on current and speed on the basis of the thyristor converter is chosen. and better indicators of the quality of the transition process.

Keywords: transfer bucket elevator, electric drive, control system.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	5
1. АНАЛІЗ КОНСТРУКЦІЇ ТА ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСІВ НОРІЇ.....	7
1.1. Загальні відомості про конвеєри.....	8
1.2. Основні типи конвеєрів.	9
1.3. Склад зерноперевантажувальної норії	11
1.4. Підготовка до роботи.	15
1.5. Робота норії.....	17
1.6. Технічні характеристики зерноперевантажувальної норії.....	18
2. ПРОЕКТНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ЕЛЕКТРОПРИВОДУ ПЕРЕВАНТАЖУВАЛЬНОЇ НОРІЇ.....	19
2.1. Розрахунок елементів електроприводу	20
2.2. Тиристорний пристрій керування ЕТУ-3601.....	24
2.3. Розрахунок додаткового устаткування електроприводу	38
3. ДОСЛІДЖЕННЯ ДИНАМІКИ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ	43
3.1. Математична модель двигуна при живленні від тиристорного перетворювача	44
3.2. Дослідження динаміки розробленої системи	49
3.3. Моделювання динамічних режимів електроприводу за допомогою Simulink	53
4. ОХОРОНА ПРАЦІ	64
4.1. Загальні положення системи охорони праці.	65
4.2. Аналіз небезпечних і шкідливих факторів при роботі з зерноперевантажувальною норією.	67
4.3. Заходи техніки безпеки щодо запобігання впливу небезпечних і шкідливих факторів в роботі устаткування.	69
ВИСНОВКИ.....	71
ЛІТЕРАТУРА.....	72

ВСТУП

Електропривод являє собою електромеханічну систему, що складається з двигуна, перетворювального, передатного й керуючого пристроїв, призначену для надавання руху виконавчим органам робочої машини й керування цим рухом.

При виборі системи електропривода необхідно враховувати сукупність вимог, висунутих до електропривода.

Основними вимогами, які повинні бути безумовно виконані при проектуванні електропривода, є вимоги технологічні:

- повинна бути забезпечена задана продуктивність механізму, ніколи зниження продуктивності не окупається зниженням вартості устаткування;
- переміщення робочого органа повинне виконуватися в межах заданого часу;
- прискорення робочої машини не повинне перевищувати заданого (припустимого) значення;
- відхилення швидкості усталеного режиму не повинне перевищувати заданого значення (заданого етатизму);
- на вимогу робочої машини електропривод повинен забезпечувати реверс.

До вимог, що забезпечують надійну й економічну роботу електропривода протягом строку експлуатації устаткування відносяться:

- величина еквівалентного струму (моменту) повинна бути в межах $0,85 \dots 1$ її припустимого значення;
- тиристорний перетворювач і двигун повинні витримувати виникаючі короткочасні перевантаження;
- величини опорів пускових і гальмових резисторів не повинні відрізнятися від розрахункових значень більш ніж на 5 %;
- величина еквівалентного по нагріванню струму резисторів повинна бути в межах $0,7 \dots 1$ тривалого струму резистора найбільш навантаженого щабля;

					141.4367ст3.БР.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- економічність системи електропривода повинна бути максимальною, що забезпечує мінімум капітальних витрат і мінімум витрат енергії.

При розробці вимог до електропривода необхідно враховувати умови електропостачання робочої машини (можливі коливання напруги від +10 % до -15 % від номінальної напруги живильної мережі), а також можливі зміни технологічного процесу (розкид мас переміщуваних вантажів викликає зміну статичного моменту від +10 % до -10 % від номінального моменту статичного навантаження).

Розрізняють регульований електропривод, параметри руху якого можуть змінюватися по зовнішніх командах, і нерегульований. Сучасним видом регульованого електропривода є електропривод постійного струму, у якому регулювання здійснюється зміною середнього значення напруги, прикладеного до якоря електродвигуна постійного струму. Останнім часом як джерело регульованої напруги постійного струму використовують, як правило, тиристорні перетворювачі.

Експлуатаційні якості конвеєра (продуктивність, зручність і простота обслуговування й надійність роботи) багато в чому залежать від того, як вдало розроблена система керування.

До систем керування висувають вимоги безпеки, легкості й зручності маніпулювання, оптимальної швидкодії. Усім цим вимогам відповідають комплектні тиристорні електроприводи. Їх використання дозволяє виконати усі вимоги технологічного процесу, а також сприяє комплексній автоматизації підприємства.

Метою дипломної роботи є розробка системи керування електропривода зерноперевантажувальної норії.

					141.4367ст3.БР.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

1. АНАЛІЗ КОНСТРУКЦІЇ ТА ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСІВ НОРІЇ

1.1. Загальні відомості про конвеєри

Конвеєр - машина безперервної дії для переміщення сипких, шматкових або штучних вантажів. Основна класифікаційна ознака конвеєра - тип тягового і грузоперевантажувального органу. Розрізняють конвеєри із стрічковим, ланцюговим, канатним і іншими тяговими органами і конвеєри без тягового органу (гвинтові конвеєри, інерційні конвеєри, вібраційні конвеєри, роликові конвеєри). За типом грузоперевантажувального органу конвеєри можуть бути стрічковими, пластинчастими, скребковими, тележечними.

Найбільш поширені конвеєри:

- конвеєри з гумовою або сталевую стрічкою, що рухається зі швидкістю 1-5 м/с;
- конвеєри, грузоперевантажувальний орган яких - сталеве полотно, що складається з окремих шарнірно зчленованих пластин, яке переміщується зі швидкістю до 1 м/с;
- конвеєри, що мають ланцюг зі скребками, рухомими в жолобі або коробі зі швидкістю до 1 м/с;
- конвеєри підвісні грузонесучі з каретками, наглухо приєднаними до ланцюга, і штовхаючі конвеєри, каретки яких можуть відділятися від ланцюга разом з вантажем, переводитися по стрілках на інші шляхи і зупинятися у робочого місця. Ці конвеєри можуть мати автоматичну адресацію кареток з вантажами, що виконується за певною програмою. Швидкість конвеєра до 45 м/хв, довжини конвеєра до декількох кілометрів;
- конвеєри візкові для переміщення важких одиничних вантажів у візках, сполучених тяговим ланцюгом, що переміщуються по рейкових шляхах зі швидкістю 1,2 - 7,5 м/с;

					141.4367стЗ.БР.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- конвеєри ковшові і конвеєри люлечні з ковшами або люльками, підвішеними на ланцюзі, що переміщається із швидкістю 0,16 - 0,4 м/с;
- конвеєри, в яких вантаж, що транспортується, переміщається уздовж гвинта (шнека), що обертається в трубі. Залежно від роду вантажу (насипного або рідкого) частота обертання конвеєра 50 - 150 об/хв;
- конвеєри інерційні, що коливаються, для переміщення сипких і кусковатих вантажів шляхом поворотно-поступальної ходи з прискореним зворотним ходом;
- конвеєри вібраційні, однострубні або двотрубні конвеєри, транспортний жолоб або труба яких здійснюють поворотно-поступальну ходу з великою частотою. Конвеєри вібраційні застосовуються для транспортування вантажів у вигляді порошків, отруйних, гарячих;
- конвеєри роликові (рольганги) - гравітаційні конвеєри, що розташовуються з ухилом 2-5°, ролики обертаються під дією сили тяжіння вантажу і приводу конвеєра (з груповим приводом).

Відомі деякі типи спеціалізованих конвеєрів - стакери, елеватори, ескалатори та ін.

Конвеєри знайшли застосування в різних галузях промисловості при виробництві навантажувально-розвантажувальних робіт, для забезпечення безперервності технологічного процесу, для виконання ряду послідовних операцій в потоковому виробництві. Конвеєри є одним з основних засобів здійснення комплексної механізації і автоматизації виробництва.

1.2. Основні типи конвеєрів

1.2.1. Конвеєри горизонтальні. Горизонтальні конвеєри (як правило, цих конвеєрів не менше двох) транспортують зерно на магістральні конвеєри. Конвеєри горизонтальні можуть бути завдовжки від 10 до 50 і більше метрів.

Конвеєр горизонтальний зображений на рис 1.1.

					141.4367стЗ.БР.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



Рис 1.1. Конвеєр горизонтальний

Конвеєр стрічковий горизонтальний призначений для транспортування зерна. Конвеєр стрічковий горизонтальний може бути застосований для транспортування інших сипких вантажів, наприклад, щебеня, піску, глини та ін.

Конвеєр стрічковий може застосовуватися як самостійна одиниця, так і в комплекті конвеєрів.

1.2.2. Норії зернові.

Норії зернові застосовуються як підйомно-транспортне устаткування для транспортування зерна і інших дрібних сухих матеріалів у вертикальному напрямі. Матеріал, що транспортується, поступає через завантажувальний носок в ковши або вибирається ковшами з дна башмака і переміщається органом, що транспортується, до верхньої голівки, де відбувається розвантаження ковшів в розвантажувальний патрубок.

Норії виготовляються як в одинарному, так і здвоєного виконання. Норії забезпечуються автоматично діючим гальмівним пристроєм, що

					141.4367стЗ.БР.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

оберігає стрічку від зворотного ходу і датчиками підпору і контролю швидкості.

Норія стрічкового типу (з ковшами без дна) призначена для вертикального транспортування зерна і продуктів його переробки. Застосовується на підприємствах по переробці зерна і його продуктів.

Норія виготовляється по 1 категорії ГОСТ 15150-89 кліматичного виконання «У». Загальний вигляд норії стрічкової ковшової зображений на рис 1.2.

Норії комплектуються секціями труб наступних типів: гладка, натяжна (монтажна), оглядова, аспіраційна.

Комплектуються норії як металевими, так і полімерними ковшами. На сьогоднішній день найбільш популярні ковши з полімерних матеріалів. Вони запобігають травмуванню зерна і насіння за рахунок еластичності кромки, мають легшу вагу і виключають іскріння, яке характерне для сталевих ковшів. Застосування полімерних ковшів виключає налипання важко сипких і вологих продуктів і зменшуючи навантаження на норійну стрічку, збільшують її термін служби.

1.3. Склад зерноперевантажувальної норії

Норія складається (рис. 1.3) з головки з приводом 1, башмака 2, труб прямих 3, труби з оглядовим люком 4, труби з натяжним і оглядовим люками 5, труби з аспіраційним патрубком 6, труби з аспіраційним патрубком і датчиком 7, засувки 8, патрубка випускного 9, ковшів з дном і без дна 10, ремня 11.

У комплект постачання норії входять основні вузли перераховані нижче: голівка, приводи, засувки, башмак, труби, ковши з дном і без дна, ремінь, щит керування.

					141.4367стЗ.БР.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

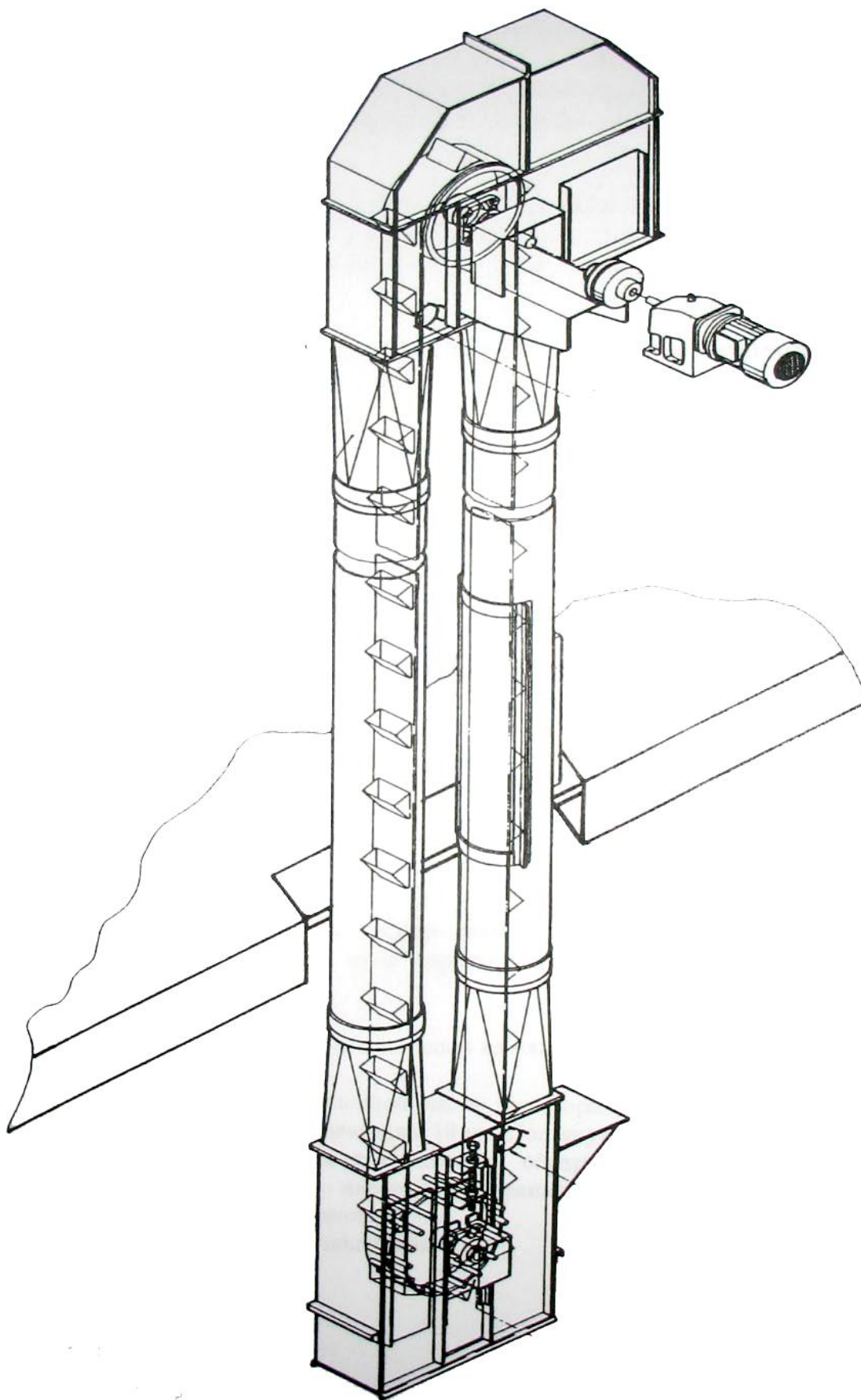


Рис 1.2. Загальний вигляд норії стрічкової ковшової

					141.4367стЗ.БР.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

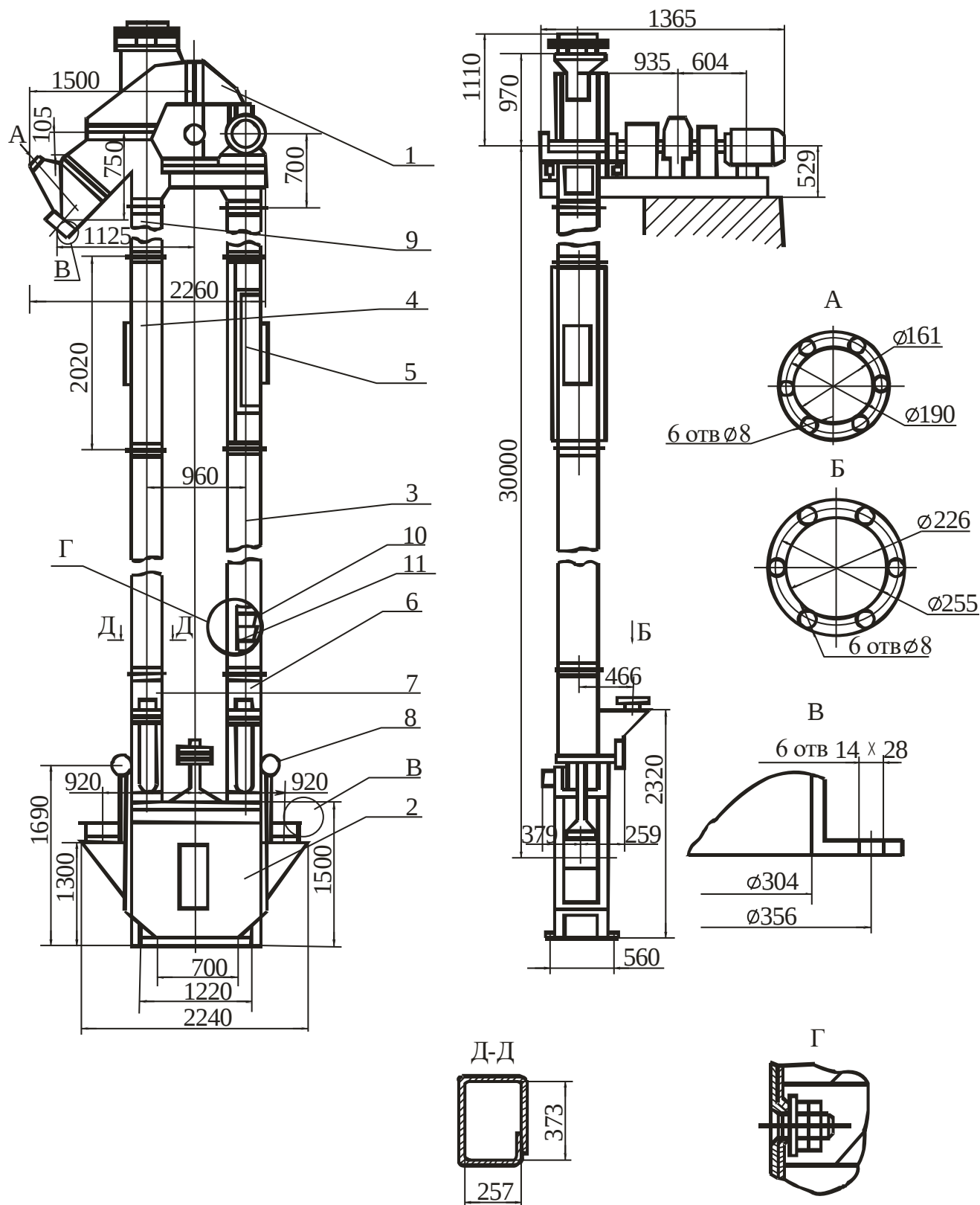


Рис. 1.3 Норія стрічкова ковшова

					141.4367стЗ.БР.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Голівка норії з приводом складається з: горловини, кожуха переднього і заднього, виготовлених з листової сталі і сполучених між собою на болтах з вертикальним і горизонтальним роз'ємом. У верхній частині горловини є випускний патрубок з регульованим козирком для усунення зворотного висипання зерна, що транспортується.

У нижній частині горловини є фланці для приєднання норійних труб. Привод складається з двигуна, редуктора, гальма і сполучних муфт.

Приводний вал з барабаном спирається на шарикопідшипники. Корпуси шарикопідшипників встановлюються на рамі. Гальмо вмонтовується на швидкохідному валу редуктора й двигуна і є стрічковий запобіжний ремінь від зворотного ходу при раптових зупинках приводу.

На передньому козирку встановлюється вибухорозрядник у вигляді патрубку з поліетиленовою плівкою.

Башмак норії складається з корпусу і натягача з барабаном. Корпус башмака має два приймальних носки для прийому зерна і два фланця для приєднання норійних труб. На кронштейнах башмака кріпиться клемний ящик. У приймальні носки встановлені шибера, керовані рейковими механізмами. На башмаку встановлений конечник, призначений для відключення двигуна в крайньому нижньому положенні натяжного барабана.

Корпус башмака норії в нижній частині має дві висувні засувки, призначені для очищення барабана. Дві бічні стінки корпусу знімні, кріпляться болтами до корпусу і через них проводиться технічний огляд натягача.

Засувка складається з рейкового механізму і шиберів. Кронштейни рейкового механізму кріпляться до труб норії при монтажу. Керування засувками здійснюється вручну.

Норії укомплектовуються секціями труб наступних типів: прямі, з оглядовим люком, з натяжним і оглядовим люками, з аспіраційним патрубком і датчиком, додатково можуть бути труби з роликом та вибухорозрядні.

					141.4367стЗ.БР.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Труби виготовляються з листової сталі прямокутного перетину і на кінцях мають фланці для з'єднання між собою.

Труби норії є огорожею для тягового органу, а також оберігають навколишнє середовище від пилу, що виділяється при роботі норії.

Тяговим органом норії є ремінь (стрічка), що огинає верхній приводний і нижній натяжний барабани, а робочим органом - ковші. Ковші встановлюються двох типів: без дна і з дном. Ковші без дна встановлюються 12 шт. на 1 погонний метр. Ковші з дном встановлюються з інтервалом близько 1,5 м.

1.4. Підготовка норії до роботи

Монтаж норії проводити в наступній послідовності:

Перед початком монтажу норії звільняється за допомогою розчинника з оброблених незабарвлених деталей і вузлів, що не контактують з продуктом, антикорозійне покриття, протираються оброблені поверхні чистою ганчіркою. Виконується ревізія підшипникових вузлів норії, редуктора, гальма.

Виставляється башмак по схилу так, щоб осі валів барабанів головки і башмака лежали в одній вертикальній площині. Башмак закріплюється.

Встановлюється головка з приводом на місце по рівню і закріплюється рама. Після закінчення монтажу і прогону норії на холостому ході, поверхня усередині рами заливається бетоном.

Заміряється відстань між фланцями кожуха головки і башмака норії і при необхідності укорочуються крайні прямі труби на потрібну величину. Вмонтовуються норійні труби, фланцеве з'єднання здійснюється через прокладки. При цьому звертається увага на співвісність труб, зсув фланців відносно один - одного і щільність стиків.

Встановлюють кронштейни засувки на труби, забезпечивши вільне переміщення засувки і приварюють їх до труб.

					141.4367стЗ.БР.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

При транспортуванні і зберіганні ременя при мінусовій температурі монтаж ременя проводиться тільки після витримки його протягом доби при температурі + 15 ...+25° С, або протягом 30 хв. при температурі +50° С.

З метою зменшення розтягування під час роботи стрічки, вона піддається її попередньому розтягуванню протягом трьох діб. Маса натяжного вантажу повинна бути до 400 кг на одну гілку.

За шаблоном пробиваються в стрічці отвори під ковші. Заводять стрічку на барабан, стягують кінці її в натяжному люці за допомогою спеціального пристосування (барабан башмака при цьому повинен знаходитися в крайньому верхньому положенні) і з'єднують їх, при цьому, стик ременя, прилеглий до барабана, повинен бути обернений убік, зворотний руху ременя, при цьому не допускається перекіс. При тривалому простой, норії ремінь або знімається з барабанів, або ослаблюють натягнення.

Встановлюються і закріплюються на стрічці ковші.

Підключається і заземлюється двигун і інша апаратура.

Приєднуються головки і труби до аспіраційної мережі.

Перед початком роботи проводиться зовнішній огляд норії і, усуваються відмічені недоліки, при цьому звертається увага на якість монтажних з'єднань, наявність занулення і заземлення електроустаткування, наявність мастила у всіх вузлах, що підлягають змащенню, правильність натягнення стрічки, наявність і правильність установки кінцевого вимикача, очищається башмак від сміття і сторонніх предметів.

Прокручується норія уручну, регулюється схід стрічки на сторону регулювальним гвинтом і при цьому необхідно, щоб стрічка не сходила на сторону і ківш не зачіпав труби. Збіг норії стрічки до кромки барабанів не повинен перевищувати 20 мм.

При роботі на холостому ході протягом 2-х годин впевнюються у відсутності сторонніх шумів, сухого тертя, підвищеного нагріву двигуна і редуктора, збігу стрічки, а також у своєчасному спрацьовуванні кінцевого

					141.4367стЗ.БР.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

вимикача, датчика рівня і контролю швидкості. У разі виявлення, відмічені недоліки усуваються.

Собачка гальма на заводі-виготівнику ставиться на запобіжник (дротяні скоби або пружинні шайби) для запобігання можливої поломки при первинному пуску норії. Перед включенням гальма в роботу, впевнюються у відповідності напрямку обертання собачок необхідному напрямку руху стрічки з ковшами, після чого знімають обмежувачі з собачок.

1.5. Робота норії

Пуск норії проводиться до початку завантаження в наступній послідовності:

- приводиться в рух тяговий орган від приводу;
- впевнюються в стабільному русі норії на холостому ході;
- відкривають засувку приймального носка башмака норії;
- включають подачу зерна до норії через приймальний носок;
- регулюють подачу продукту, не допускаючи перевантаження норії.

Робота норії в нормальному тривалому режимі:

- зерно, подане в башмак, зачерпується ковшами і піднімається до головки норії. При обгинанні верхнього барабана, ковші під дією відцентрової сили розвантажуються;

- на трубі з аспіраційним патрубком встановлені мембранні датчики, що подають сигнал при перевантаженні башмака зерном;

- під час раптової зупинки норії при обриві ремня спрацьовує гальмівний пристрій приводу, що запобігає самовільному переміщенню тягового органу в напрямі, зворотному робочому.

Щоб уникнути «завалу» норії, необхідно до її включення переконатися в можливості безперешкодного прибирання транспортованого зерна, а перед зупинкою припинити подачу зерна в норію.

					141.4367стЗ.БР.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

1.6. Технічні характеристики зерноперевантажувальної норії

Згідно вимог до технологічного процесу, електропривод зерноперевантажувального конвеєра повинен забезпечувати постійну швидкість руху стрічки транспортера при будь-якому допустимому навантаженні.

Алгоритм функціонування електроприводу, що розробляється, заданий у вигляді діаграми навантаження, представленої на рис. 1.4, а і тахограми представленою на рис 1.4, б.

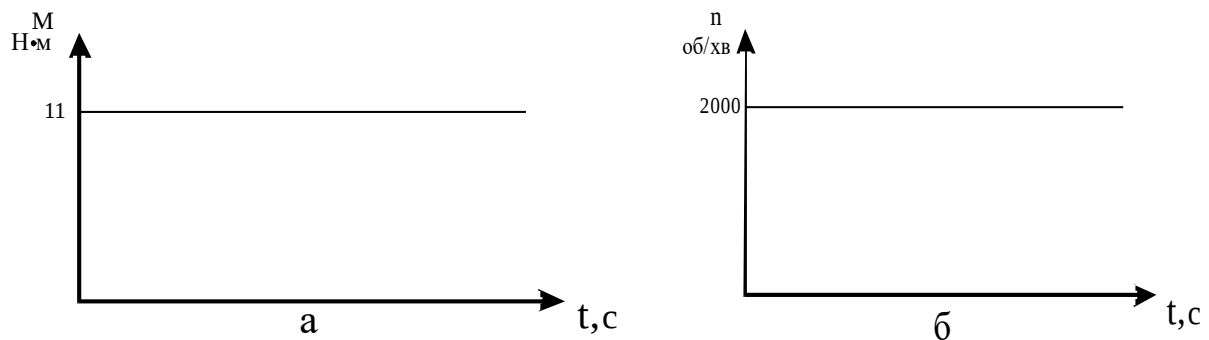


Рис. 1.4. Навантажувальні діаграми приводу

Роботу електропривода, згідно вимогам технологічного процесу, забезпечує система керування на базі тиристорного перетворювача.

Високу точність регулювання частоти обертання електропривода можна досягти за допомогою комплектного електроприводу на базі тиристорного перетворювача ЕТУ 3601. До його переваг можна віднести високий ККД, велику надійність, невисоку вартість і простоту наладки [1].

Електропривод забезпечує смугу пропускання частот замкнутої системи регулювання частоти обертання не менше 200 рад/с, допускає перевантаження по струму близько $6I_{ном}$ протягом часу 0,2 с. Перевищення температури різних частин електроприводу при цьому повинне бути не вище за межі, обумовлені в технічних умовах на комплектуючі вироби.

					141.4367стЗ.БР.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

2. ПРОЕКТНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ЕЛЕКТРОПРИВОДУ ПЕРЕВАНТАЖУВАЛЬНОЇ НОРІЇ

2.1. Розрахунок елементів електроприводу

Згідно навантажувальної діаграми (рис 1.4), момент на валу електропривода складає $M = 11$ Нм, а частота обертання $n = 2000$ об/хв. Розрахуємо необхідну потужність електродвигуна.

$$P = M \cdot \omega = \frac{M \cdot \pi \cdot n}{30} = \frac{11 \cdot 3.14 \cdot 2000}{30} = 2302.6 \text{ Вт} \quad (2.1)$$

Цим вимогам відповідає електродвигун постійного струму ПБСТ – 42МО [10].

2.1.1. Розрахунок параметрів двигуна.

Параметри двигуна ПБСТ-42МО:

Номінальний момент, Н·м	$M_H = 11.6$
Номінальна частота обертання, об/хв.	$n_n = 2200$
Номінальна напруга, В	$U_n = 110$
Коефіцієнт корисної дії двигуна, %	$\eta_{ДВ} = 86$
Максимальна частота обертання в тривалому режимі, об/хв.	$n_{\max} = 4000$
Момент інерції якоря, кг·м ²	$J_{Я} = 0.046$
Опір обмотки якоря при 150°C, Ом	$R_{Я} = 0.12$
Індуктивність обмотки якоря, Гн	$L_{Я} = 2.6 \cdot 10^{-3}$
Номінальна потужність, Вт	$P_n = 2600$
Максимальна потужність, Вт	$P_{\max} = 3600$
Опір додаткових полюсів, Ом	$R_{ДП} = 0.07$

Номінальний струм двигуна

$$I_n = \frac{P_n}{U_n} = \frac{2600}{110} = 23,63 \text{ А.} \quad (2.2)$$

					141.4367стЗ.БР.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Номинальна швидкість двигуна

$$\omega_{дв} = \frac{\pi \cdot n_n}{30} = \frac{3.14 \cdot 2200}{30} = 230,3 \text{ рад/с.} \quad (2.3)$$

Номинальний момент двигуна

$$M_H = \frac{P_n}{\omega_{дв}} = \frac{2600}{230,3} = 11,01 \text{ Н·м.} \quad (2.4)$$

Електромагнітний коефіцієнт двигуна

$$C_e = \frac{U_n - I_n \cdot (R_{я} + R_{дп}) \cdot \beta_T}{\omega_{дв}}, \quad (2.5)$$

де $\beta_m = 1,24$ - температурний коефіцієнт.

$$C_e = \frac{110 - 23,63 \cdot (0,12 + 0,07) \cdot 1,24}{230,3} = 0,45. \quad (2.6)$$

Електромеханічний коефіцієнт двигуна

$$C_m = \frac{M_H}{I_n} = \frac{11,28}{23,63} = 0,47 \text{ Нм/А.} \quad (2.7)$$

2.1.2. Вибір тиристорного перетворювача.

Номинальний струм електропривода визначається по номинальному струму двигуна з урахуванням перевантаження $I_{нп} \geq 2I_n$

$$I_{нп} = 4 \cdot I_n = 4 \cdot 23,63 = 94,54 \text{ А.} \quad (2.8)$$

Номинальна потужність тиристорного перетворювача

$$P_{н.тп} = U_{тп} \cdot I_{тп} = 220 \cdot 40 = 8800 \text{ Вт.} \quad (2.9)$$

Для живлення двигуна вибираємо тиристорний пристрій керування серії ЕТУ3601-3627 з наступними параметрами [5]:

Виконання по реверсу	реверсивний
Номинальний випрямлений струм, А	40

					141.4367ст3.БР.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Номинальна випрямлена напруга, В	230
Напруга живлення ланцюгів керування, В	380
Частота живлячої мережі, Гц	50, 60
Перевантаження по струму	до 6
Діапазон регулювання частоти обертання двигуна	до 1:10000
Номинальний режим роботи	тривалий
Напруга вентильної обмотки, В	205
Номинальний струм вентильної обмотки, А	41

2.1.3. Вибір силового трансформатора.

Номинальна лінійна напруга вторинних обмоток (розрахункова)

$$U_{2л} = \frac{U_{ТП}}{1,15} = \frac{220}{1,15} = 191,3 \text{ В.} \quad (2.10)$$

Потрібна потужність трансформатора

$$P_{TP} = 1,045 \cdot P_{н.ТП} = 1,045 \cdot 8800 = 9,196 \cdot 10^3 \text{ Вт.} \quad (2.11)$$

Для живлення тиристорного перетворювача вибираємо ввідний трансформатор ТСЗП - 16/0.7-УХЛ4 [2] з наступними параметрами:

Напруга вентильної обмотки, В	$U_{2л} = 205$
Струм вентильної обмотки, А	$I_2 = 41$
Напруга перетворювача, В	$U_{пр} = 230$
Струм перетворювача, А	$I_{пр} = 50$
Потужність холостого ходу, Вт	$P_{xx} = 140$
Потужність короткого замикання, Вт	$P_{кз} = 550$
Потужність короткого замикання, %	$U_{кз} = 52$
Потужність трансформатора, Вт	$S_T = 4,2 \cdot 10^3$
Напруга первинних обмоток, В	$U_{1л} = 380$
Струм холостого ходу, %	$I_{xx} = 10$

2.1.4. Розрахунок силового трансформатора.

Коефіцієнт трансформації

					141.4367ст3.БР.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$k_{TP} = \frac{U_{1л}}{U_{2л}} = \frac{380}{205} = 1,854. \quad (2.12)$$

Номінальний струм первинної обмотки

$$I_{1н} = \frac{P_{TP}}{\sqrt{3} \cdot U_{1л}} = \frac{9196}{\sqrt{3} \cdot 380} = 13,97 \text{ А}. \quad (2.13)$$

Фазна напруга вторинної обмотки

$$U_{2ф} = \frac{U_{2л}}{\sqrt{3}} = \frac{205}{\sqrt{3}} = 118,35 \text{ В}. \quad (2.14)$$

Діюче значення фазової ЕРС вторинної обмотки

$$E_{2ф} = 1,15 \cdot U_{2ф} = 1,15 \cdot 118,5 = 136,11 \text{ В}. \quad (2.15)$$

Номінальний фазовий струм вторинної обмотки

$$I_{2н} = \frac{P_{TP}}{3 \cdot U_{2ф}} = \frac{9196}{3 \cdot 118,35} = 25,89 \text{ А}. \quad (2.16)$$

Повний опір фази трансформатора

$$Z = \frac{U_{КЗ} \cdot E_{2ф}}{I_{2н}} = \frac{5,2 \cdot 136,11}{25,89} = 0,259 \text{ Ом}. \quad (2.17)$$

Активний опір фази трансформатора, приведений до вторинної обмотки

$$R_{\phi} = \frac{P_{КЗ}}{3 \cdot I_{2н}^2} = \frac{550}{3 \cdot 25,89^2} = 0,27 \text{ Ом}. \quad (2.18)$$

Реактивний опір фази трансформатора

$$X = \sqrt{R_{\phi}^2 - Z^2} = \sqrt{0,27^2 - 0,259^2} = 0,075 \text{ Ом}. \quad (2.19)$$

Індуктивність фази трансформатора, приведена до вторинної обмотки

$$L_{TP, \phi} = \frac{X}{2 \cdot \pi \cdot f_c} = \frac{0,075}{2 \cdot 3,14 \cdot 50} = 0,000238 \text{ Гн}. \quad (2.20)$$

					141.4367ст3.БР.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

2.1.5. Розрахунок тиристорного перетворювача.

До розрахункових параметрів тиристорного перетворювача відносяться:

$R_{\text{еп}}$ - еквівалентний внутрішній опір ТП,

$L_{\text{еп}}$ - еквівалентна індуктивність ТП,

$E_{\text{оп}}$ - ЕРС при повністю відкритих тиристорах ($\alpha=0$),

$m = 6$ - фазність.

Еквівалентний внутрішній опір ТП

$$R_{\text{ТП}} = \frac{m}{2 \cdot \pi} \cdot X \cdot R_{\phi} = \frac{6}{2 \cdot 3.14} \cdot 0.075 \cdot 0.27 = 0.322 \text{ Ом.} \quad (2.21)$$

Індуктивність тиристорного перетворювача

$$L_{\text{ТП}} = 2 \cdot L_{\text{ТР}} = 2 \cdot 0.000238 = 0.0004774 \text{ Гн.} \quad (2.22)$$

ЕРС при повністю відкритих тиристорах

$$R_{\text{ТП}} = \frac{m}{2 \cdot \pi} \cdot X \cdot R_{\phi} = \frac{6}{2 \cdot 3.14} \cdot 0.075 \cdot 0.27 = 0.322$$

$$E_{\text{оп}} = U_{\text{ТП}} + U_{\text{Т}} + R_{\text{ТП}} \cdot I_{\text{ТП}} = 230 + 1 + 0.322 \cdot 40 = 243.88 \text{ В,} \quad (2.23)$$

де $U_{\text{Т}} = 1 \text{ В}$ - падіння напруги на тиристорі.

Уточнюємо

$$E_{2\phi} = \frac{E_{\text{оп}}}{1.17} = \frac{243.88}{1.17} = 208.44 \text{ В.} \quad (2.24)$$

Комутаційний опір випрямленої схеми ТП

$$R_k = m \cdot f_c \cdot L_{\text{ТР},\phi} = 6 \cdot 50 \cdot 2.387 \cdot 10^{-4} = 0.072 \text{ Ом.} \quad (2.25)$$

2.2. Тиристорний пристрій керування ЕТУ-3601

У перетворювач ЕТУ входять: реверсивна мостова силова схема, система керування цим перетворювачем і система регулювання електроприводу [4, 5].

					141.4367ст3.БР.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Особливості ЕТУ 3601:

- керування комплектами роздільне;
- система імпульсно-фазового керування (СІФК) одна на два комплекти, але з цієї причини на вході СІФК ставлять перемикач характеристик;
- пристрій логічний, позиційного типу, контроль нуля струму непрямої, за допомогою датчика провідності вентилів.

Пристрої ЕТУ являють собою тиристорні перетворювачі із системою керування тиристорами, набором регуляторів, пристроїв захисту, джерел живлення, у тому числі обмотки збудження двигуна [9].

У тиристорний пристрій входять:

- 1) пристрій керування;
- 2) збудник для живлення обмотки збудження;
- 3) силовий автоматичний вимикач;
- 4) струмообмежуючий реактор;
- 5) комутаційний реактор для тиристорного перетворювача обмотки збудження.

У силову частину перетворювача входять два силових випрямлячі, згладжуючий дросель і струмообмежуючий реактор.

У систему керування реверсивним тиристорним перетворювачем з роздільним керуванням входять вузли, що здійснюють: формування, посилення, гальванічну розв'язку керуючих імпульсів, а також вибір необхідного для роботи комплекту вентилів, його блокування при наявності струму в силовому ланцюзі й відлік паузи при перемиканні комплектів.

У даному перетворювачі застосована багатоканальна синхронна система імпульсно-фазового керування (СІФК) з вертикальним принципом керування й пилкоподібною опорною напругою. У перетворювачах з роздільним керуванням комплекти працюють по черзі, не накладаючись у часі. На інтервалі роботи кожного комплекту в каналі СІФК йде формування керуючих імпульсів тільки на два тиристори (на фазний і на протифазний)

					141.4367стЗ.БР.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

саме цього робочого комплекту. Кількість каналів – три, тобто в кожному каналі формуються керуючі імпульси для тиристорів, підключених до однієї фази. Діаграми роботи фазного й протифазного тиристорів у статичному режимі зміщені в часі на 180° , що дозволяє при пілкоподібній опорній напрузі використати один вузол генератора розгортаючої напруги, у кожному каналі СІФК, запускаючи його двічі за період синхронізуючими імпульсами.

Для організації принципу роздільного керування комплектами реверсивного вентильного перетворювача необхідний логічний сигнал про відсутність струму в силовому ланцюзі. Формування цього сигналу здійснює датчик провідності вентилів (контроль відсутності струму непрямої - по напрузі на силових тиристорах).

У контур струму якоря крім тиристорного перетворювача і якірного ланцюга електродвигуна входять: датчик струму, регулятор струму, нелінійна ланка й функціональний перетворювач ЕРС двигуна.

Перемикач характеристик погоджує реверсивний вхідний сигнал нелінійної ланки з однополярною регульовальною характеристикою СІФК. У статичному режимі роботи на виході перемикача характеристик формується тільки негативна полярність вихідного сигналу. Регульовальних елементів у перемикачі характеристик немає, тому налаштування не потрібно.

У перетворювачі ЕТУ-3601 живлення всіх функціональних частин здійснюється від джерела живлення, що включає трансформатор і блок живлення. Безпосередньо блок живлення містить діодні випрямлячі, фільтрові конденсатори, два параметричних стабілізатори напруги. Для контролю напруги в живильній мережі в блоці живлення алгебраїчно підсумовуються (з різними коефіцієнтами передачі) невідфільтрована напруга +24 В і відфільтрована -12 В. Результуючий сигнал надходить у вузол захисту й блокування.

Вузол захисту й блокування забезпечує захист перетворювача:

1) від надмірно більших струмів (максимальний-струмовий захист);

					141.4367ст3.БР.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- 2) від тривалого перевантаження по струму (тепловий захист);
- 3) при зниженні напруги в живильній мережі;
- 4) захист від погіршення умов охолодження в пристроях із примусовим охолодженням.

Крім того, вузол здійснює наступне блокування: забороняє формування керуючих імпульсів у СІФК, а також шунтує ланцюги зворотних зв'язків регуляторів струму й ЕРС при відсутності зовнішньої команди “Деблокировка”. Тим самим забезпечується безструмовий стан перетворювача й нульові початкові стани регуляторів;

Адаптивний регулятор струму дозволяє лінеаризувати структуру вентильного електропривода в режимі переривчастих струмів і тим самим різко поліпшити динамічні властивості системи автоматичного регулювання. Він складається з регулятора струму, нелінійної ланки й функціонального перетворювача ЕРС.

Датчик напруги призначений для гальванічної розв'язки системи керування від силової частини й одержання на виході напруги, пропорційної ЕРС або напрузі двигуна.

Пристрій відповідності призначений для виявлення відповідності швидкості обертання двигуна заданому значенню.

Вхідний пристрій служить для гальванічного розділення силового ланцюга й ланцюга керування. Він складається з розділяючого трансформатора, захисних і розв'язуючих діодів, а також резисторів, один із яких обмежує струм у первинній обмотці трансформатора й захищає від перевантаження підсилювачі імпульсів, а інший разом з конденсатором шунтує керуючий перехід тиристора, підвищуючи його завадостійкість.

Керуючий орган служить для узгодження виходу системи регулювання із входами каналів фазозміщення СІФК й для установки кутів $\alpha_{\text{МІН}}$, $\alpha_{\text{МАКС}}$, $\alpha_{\text{Н}}$.

У пристрої ЕТУ є дві сигнальні лампи:

- 1) лампа наявності напруги;

					141.4367стЗ.БР.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

2) лампа спрацьовування захисту.

2.2.1. Функціональна схема тиристорного перетворювача

Функціональна схема електроприводу на базі перетворювача ЕТУ 3601 представлена на рис. 2.1.

Система регулювання двоконтурна, з підлеглим регулюванням. Внутрішній контур – це контур струму з адаптивним регулятором. Зовнішній контур швидкості має вузол залежного струмообмеження, щоб максимально використовувати можливості високомоментних двигунів.

Вузол захисту і блокування здійснює:

- максимальний струмовий захист;
- захист від перевантаження по струму (тепловий захист);
- захист при зниженні напруги в живлячій мережі.

Окрім захисту вузол захисту і блокування здійснює блокування за допомогою контактного сигналу, який поступає з системи електроавтоматики механізму (за відсутності цього сигналу (деблокування) регулятори зашунтовані, управляючі імпульси зняті).

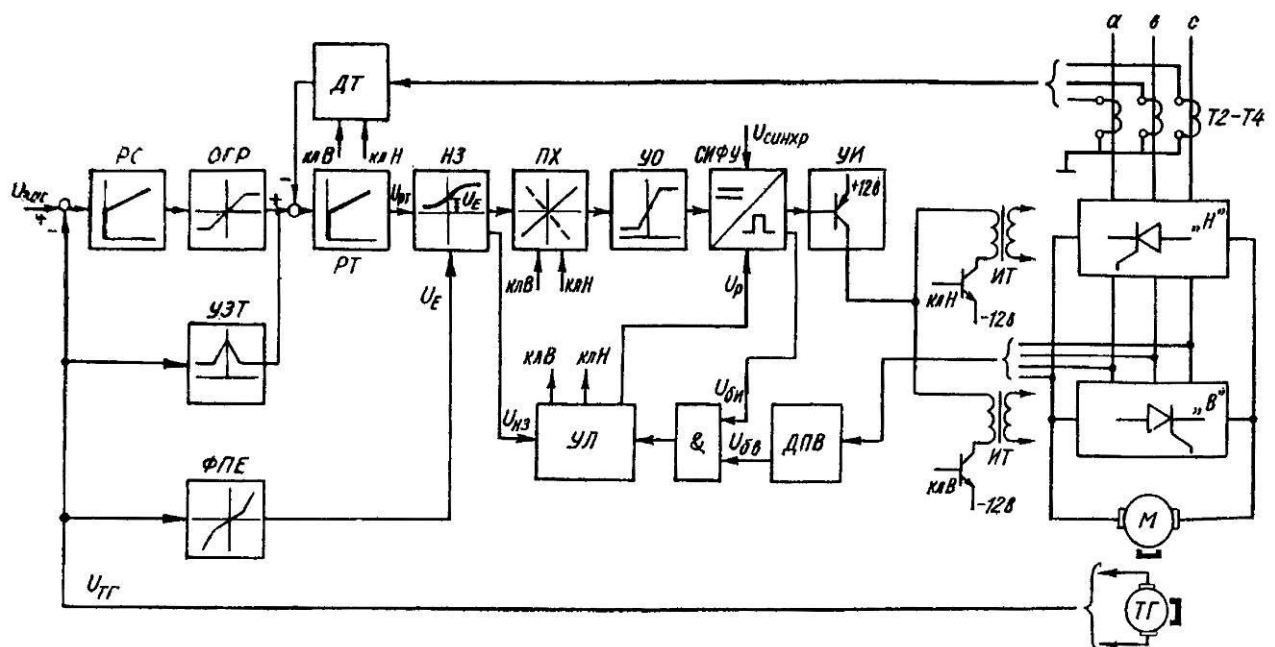


Рис. 2.1. Функціональна схема електроприводу

					141.4367стЗ.БР.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

2.2.2. Силова частина.

Принципову схему силової частини електроприваду наведено на рис. 2.2. Реверс в випрямленій напруги сягається за рахунок антипаралельного з'єднання двох мостових трифазних комплектів тиристорів. При роботі одного комплекту пристрій логіки забороняє подачу імпульсів управління на інший.

Специфікою роботи трифазної мостової керованої схеми випрямлення в області переривчастого струму є необхідність формування здвоєних імпульсів для керування тиристорами.

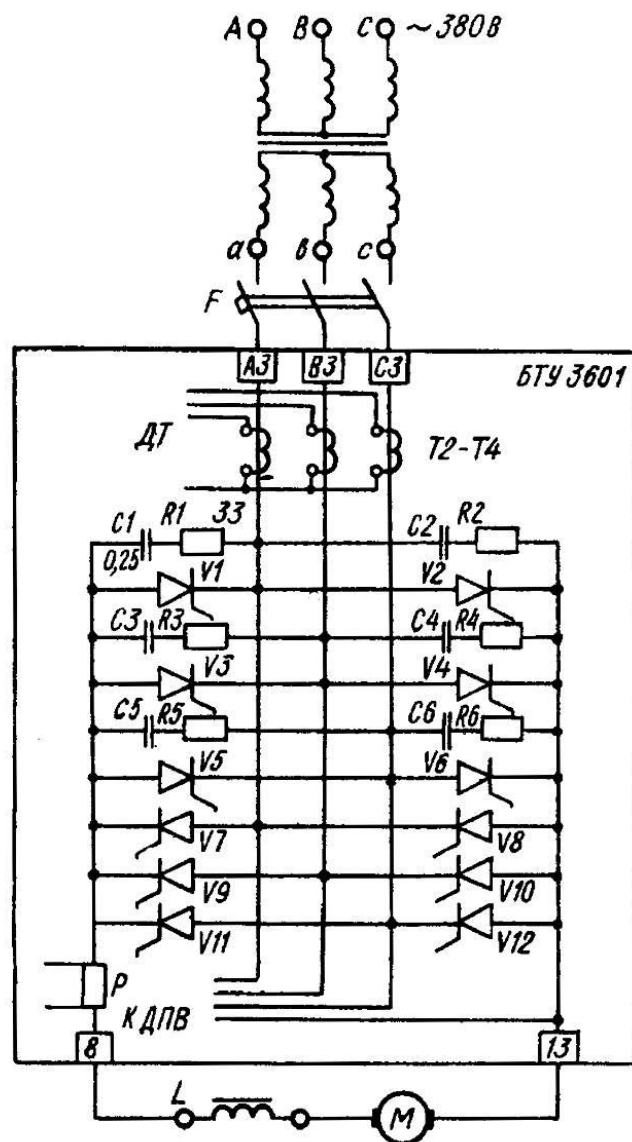


Рис. 2.2. Схема електрична принципова силової частини електроприводу

На рис 2.3 наведена форма імпульсів керування одним з тиристорів моста в стаціонарному режимі. Один імпульс керування пари визначає кут відкриття тиристора в позитивній напівхвилі, інший - у негативній напівхвилі фазної напруги. Зрушення між парами імпульсів на протифазних тиристорах моста – 180 ел. град., на тиристорах однієї групи (анодної або катодної) – 120 ел. град.

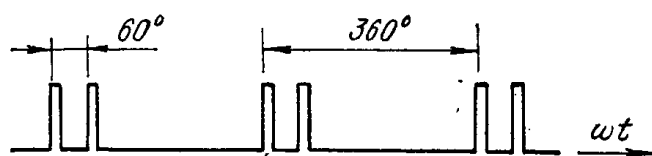


Рис. 2.3. Форма імпульсів керування на тиристорі
мостової схеми випрямлення

Часова діаграма роботи мостової керованої схеми випрямлення в області переривчастого струму, при ЕРС двигуна, рівній нулю, відсутності індуктивності в якірному ланцюзі й куті регулювання α 90 ел. град наведена на рис. 2.4. У мостовій схемі повинні одночасно перебувати в провідному стані мінімум два тиристири. Напруги на анодах у них зрушені відносно один одного на 60 ел. град. Тому, щоб спочатку одержати провідний стан тиристорів, необхідно хоча б на один тиристор подати два зрушених на 60 ел. град імпульси.

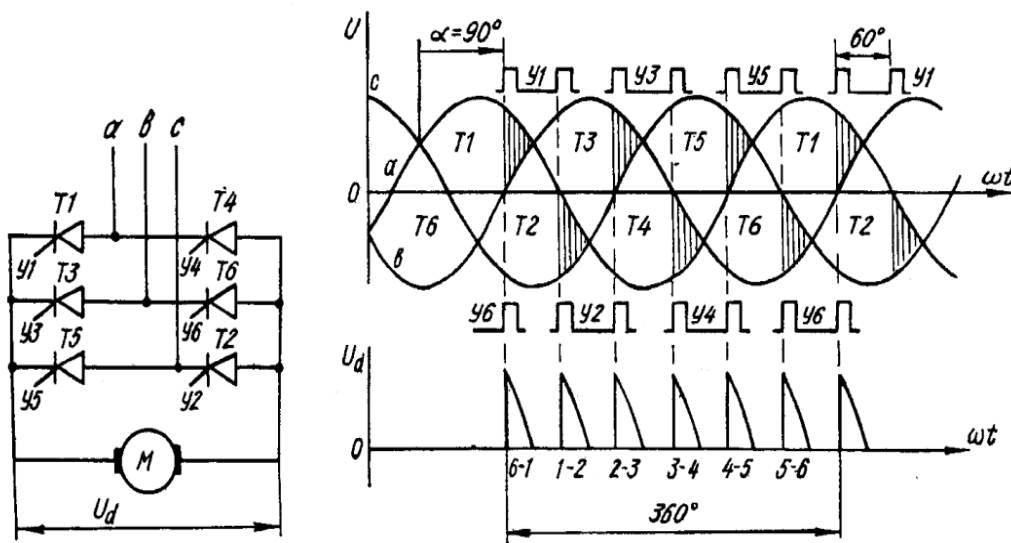


Рис. 2.4. Часова діаграма роботи мостової схеми випрямлення
в режимі переривчастих струмів

Для режиму безперервного струму цього буде досить, щоб всі наступні тиристори, що вступають у роботу, підтримували провідний стан перетворювача при керуванні ними одиночними імпульсами, оскільки в режимі безперервного струму включений раніше тиристор перебуває в провідному стані до приходу імпульсу на наступний тиристор. В області переривчастого струму перетворювач починає й припиняє роботу шість разів за період, а кожний тиристор два рази, тому здвоєні імпульси необхідно подавати на всі тиристори.

Випрямлена напруга в режимі переривчастого струму приймає нульове значення при куті регулювання $\alpha=120$ ел. град.

2.2.3. Система імпульсно-фазового керування.

Система імпульсно-фазового керування (СІФК), функціональна схема якої представлена на рис. 2.5 – багатоконтурна (трьохканальна), синхронна, з пилкоподібною опорною напругою і вертикальним принципом керування.

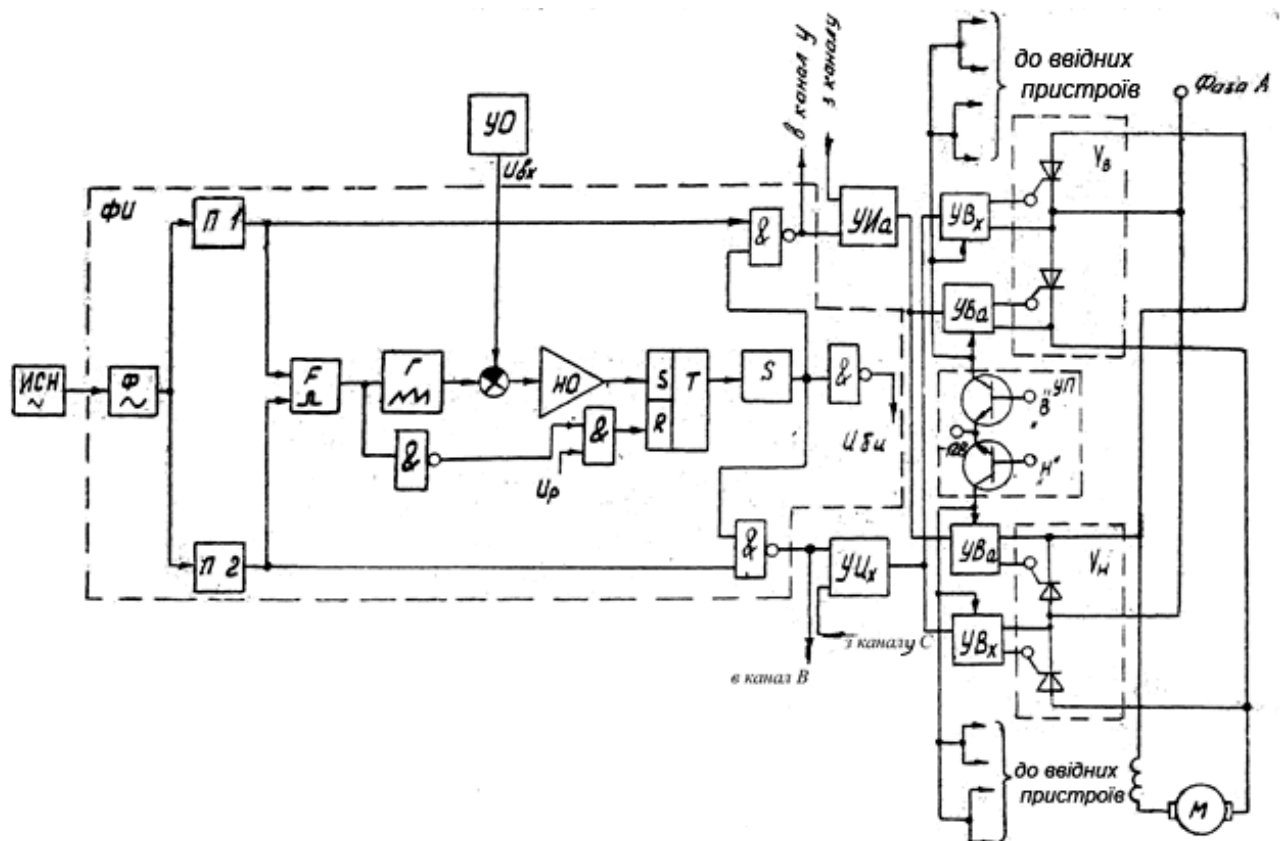


Рис. 2.5. Функціональна схема каналу СІФК

У кожному каналі СІФК формуються управляючі імпульси на тиристори однієї фази.

Канал СІФК складається з фільтру, порогових елементів (першого і другого), формувача синхронізуючого імпульсу, нуль органу, формувача тривалості імпульсів, розподільника імпульсів.

Фільтр (Ф) – призначений для фільтрації синхронізуючої напруги і для зрушення цієї напруги на заданий кут (звично на 300 або 600) з таким розрахунком, щоб початок опорної напруги співпадав з точкою природної комутації.

Пороговий елемент (ПЕ) – перетворює синусоїдальний сигнал в логічний, формуючи дозволені зони для видачі управляючих імпульсів на тиристори.

Формувач синхронізуючого імпульсу (ФСІ) – призначений для формування синхроімпульсів, що зривають інтеграцію в ГПН. Синхроімпульси формуються двічі за період в точках природної комутації.

Генератор пилкоподібної напруги (ГПН) – формує опорну напругу і побудований на базі інтегратора.

Нуль орган (НО) – фіксує момент рівності опорної і керуючої напруги. Оскільки $U_{оп}$ завжди позитивне, то U_{y*} повинне бути тільки негативним (-1...-9 В).

Формувач тривалості імпульсів (ФТІ) – формує управляючий імпульс заданої тривалості (7...10 ел. град).

Розподільник імпульсів (РІ) – розподіляє сформовані керуючі імпульси на фазний і протифазний вентилі даної фази.

Об'єднання виходів логічних елементів ФСІ можливе тільки в тих випадках, коли вихідні каскади елементів пасивні або мають колекторний вихід (в даному випадку відкритий колекторний вихід).

Нуль-орган (НО) представляє з себе операційний підсилювач без зворотного зв'язку. Діоди V9 і V10 служать для захисту від перевантажень входу. Опір R19 служить приведення негативного сигналу НО до нульового

					141.4367стЗ.БР.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

логічного. Нульовим сигналом НО перемикається RS-тригер і в контрольній точці (8) формується логічний нуль. Повернення тригера в початковий стан здійснюється синхронізуючим імпульсом, тобто у момент початку чергової пили.

ФТІ – одновібратор, побудований на транзисторі V6 відкритий (протікає базовий струм через R10), C2 заряджений, плюс зліва. При формуванні нуля в контрольній точці V6 закривається і залишається закритим, поки не розрядиться конденсатор C2. Транзистор V7 служить для захисту бази від зворотної напруги. Зняття управляючих імпульсів здійснюється подачею сигналу від УЗ і Б. Можна заборонити подачу управляючих імпульсів нульовим сигналом на вході RS-тригера.

На вході СІФК включений управляючий орган і перемикач характеристик (ПХ). ПХ призначений для узгодження різнополярного сигналу з системи регулювання (АРТ) з однополярною вхідною характеристикою СІФК (на вхід СІФК подають тільки негативний сигнал). У сталому статичному режимі на виході ПХ тільки негативні сигнали, позитивні можуть бути тільки в динамічних режимах (показані пунктиром).

ПХ побудований на операційному підсилювачі і транзисторному модулі на вході, і забезпечує передачу сигналу з інверсією або без неї. При забороні роботи ключі В і Н відкриті. На вході ОУ нульовий вхідний сигнал, на виході теж нуль. Коли закритий ключ В, вхідний керуючий сигнал U_y поступає на інвертуючий вхід А1 (коефіцієнт передачі до $= -1$). Коли закритий ключ Н сигнал керування поступає на неінвертуючий вхід через дільника R2-R13 з коефіцієнтом $1/3$ і посилюється в три рази операційним підсилювачем (до $= 1$).

Керуючий орган (УО) – служить для обмеження сигналу керування в діапазоні, який визначає мінімальний і максимальний сигнал керування ($\alpha_{\min}$ відповідає $U_y^* = -1B$; $\alpha_{\max}$ відповідає $U_y^* = -9B$). Так само служить для установки початкового кута керування ($\alpha_0 = 120^\circ$).

					141.4367ст3.БР.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Підсилювач імпульсів (ПІ) – ключовий підсилювач на складових транзисторах (6 штук). У перетворювачі встановлено 12 вузлів імпульсних трансформаторів (по кількості тиристорів). З підсилювача імпульсів сигнали поступають на обидві групи тиристорів, але в кожен момент часу працює та група, яка сигналом з логічного пристрою ключами Н1 і В1 підключена до джерела живлення –15 В.

Призначення імпульсного трансформатора – для гальванічної розв'язки системи керування і силової схеми, і для посилення по струму.

Шунтуючи первинну обмотку, діод захищає від перенапруження транзисторні ключі як підсилювачів, так і В1 і Н1. Діод, що знаходиться нижче, призначений для розв'язки вузлів імпульсного трансформатора однієї групи. Діод у вторинній обмотці забезпечує подачу на управляючий електрод тиристора тільки позитивних імпульсів. Резистор і конденсатор у вторинній обмотці забезпечують перешкодостійкість і перешкодозахисність каналу передачі управляючого імпульсу. Додатково дроти зв'язку імпульсного трансформатора і тиристора виконують у вигляді витої пари з кроком 3 витки на 1см. Це ставить в однакові умови зв'язку, що йдуть до управляючого електроду і катода.

2.2.4. Система регулювання електроприводу

Система регулювання – двоконтурна (з підлеглим регулюванням), зовнішній контур швидкості, а внутрішній – струму.

Контур струму – адаптивний, в якому так само використовується зворотний зв'язок по ЕРС.

Контроль випрямленого струму здійснюється за допомогою трансформаторів змінного струму, включених на вході перетворювача, і двох нульових трифазних випрямлячів, навантажених на низькоомний опір.

Підключення сигналу з датчику струму потрібної полярності на вхід регулятора струму здійснюється за допомогою транзисторної збірки V16, яка управляється логічним пристроєм. При забороні роботи комплектів “В” і “Н” обидва транзистори цієї збірки будуть відкриті, тому сигнал датчику струму

					141.4367стЗ.БР.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

рівний нулю (управління транзисторами здійснюється по каналу колектор-база). При роботі комплексу “В” позитивним сигналом В2 закривається нижній транзистор V16 і на вхід регулятора струму поступає сигнал ($-I_d$), через резистори R64, R68.

Адаптивний регулятор струму

Адаптивний регулятор струму, функціональна схема якого представлена на рис. 2.6, включає: основний ПІ-регулятор, нелінійну ланку, функціональний перетворювач ЕРС.

Основний регулятор струму виконує функцію підсумовування сигналів завдання і зворотного зв'язку, а так само формує необхідні статичні і динамічні характеристики системи. За допомогою регульованого резистора R33 здійснюється обмеження вихідного сигналу від 0 до 10 В. Цим резистором здійснюється установка другого ступеня обмеження струму (аналог попереджувального струмового обмеження).

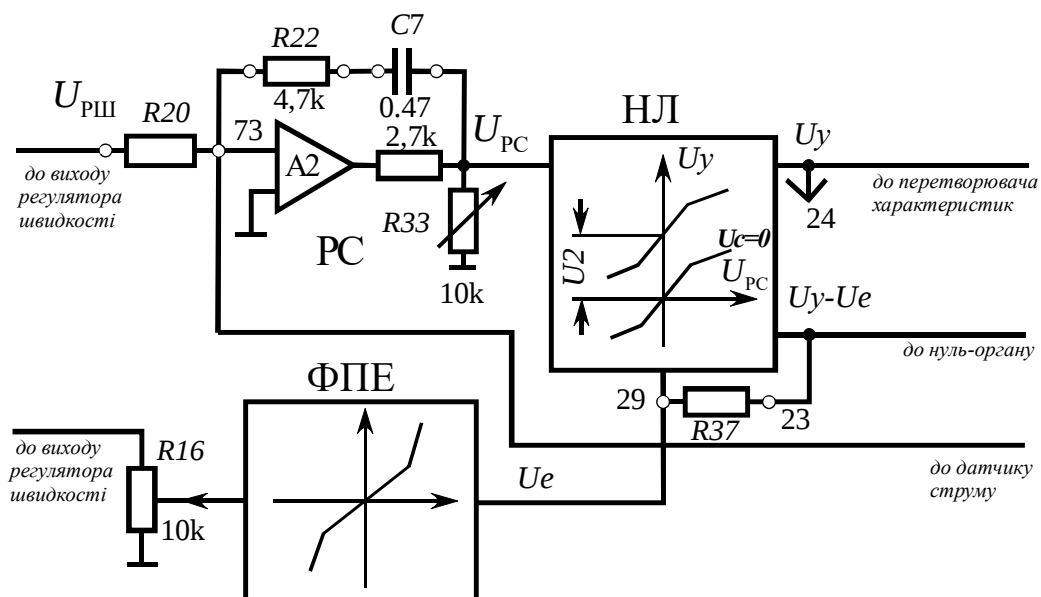


Рис. 2.6. Функціональна схема регулятора струму

Нелінійна ланка виконує функції:

- підсумовування сигналів регулятора струму (РС) і функціонального перетворювача ЕРС двигуна (ФПЕ);

					141.4367ст3.БР.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- функція нелінійного перетворення сигналу регулятора струму (для малих сигналів регулятора струму коефіцієнт великий, для великих сигналів коефіцієнт посилення зменшується і стає незмінним). Зміна коефіцієнта здійснюється за рахунок включення нелінійних елементів в ланцюг зворотного зв'язку (V9–V14). При правильно налагодженому ФПЕ сигнал регулятор струму пропорційний випрямленому струму. ФПЕ служить для введення позитивного зворотного зв'язку по ЕРС. ФПЕ формує на вході СІФК такий сигнал управління, при якому в режимі ідеального холостого руху управляючі імпульси формуються в такий момент часу, при якому миттєве значення випрямленої ЕРС рівно ЕРС двигуна. Налаштування ФПЕ здійснюється при номінальній швидкості на холостому русі за допомогою R16. При правильно набудованому ФПЕ сигнал з регулятора струму рівний нулю.

Регулятор швидкості.

Функціональна схема регулятора швидкості представлена на рис. 2.7.

Для діапазону 1:1000 регулятор швидкості будується на операційному підсилювачі А1. Для діапазону 1:10000 на вході А1 встановлюється попередній підсилювач регулятора швидкості, побудований по схемі модулятор–підсилювач–демодулятор (М–У–Д). Це термо- і часостабільний підсилювач з коефіцієнтом посилення ≈ 80 , а А1 переводиться в режим інтегратора з малою постійною часу, і все це охоплюється загальним зворотним зв'язком. Установка струму здійснюється R17. Зсув нуля регулятору струму компенсується за допомогою спеціальної схеми (використовується R3). Для електроприводу з високомоментними двигунами, на вході регулятора струму підключається вузол залежного струмообмеження, який міняє установку струмового обмеження залежно від швидкості. Коли сигнал регулятора струму перевищує рівень сигналу, формованого на вході А1 і А2 УЗТ, включаються діоди V4 або V5, які фіксують потенціал у регулятору струму на рівні сигналу А1, А2. Для зниження уставки максимального струму (застосовується для роботи одного

					141.4367стЗ.БР.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

перетворювача на декілька двигунів) до клемнику перетворювача, через відповідні контакти, повинен бути підключене опір, що шунтує R17.

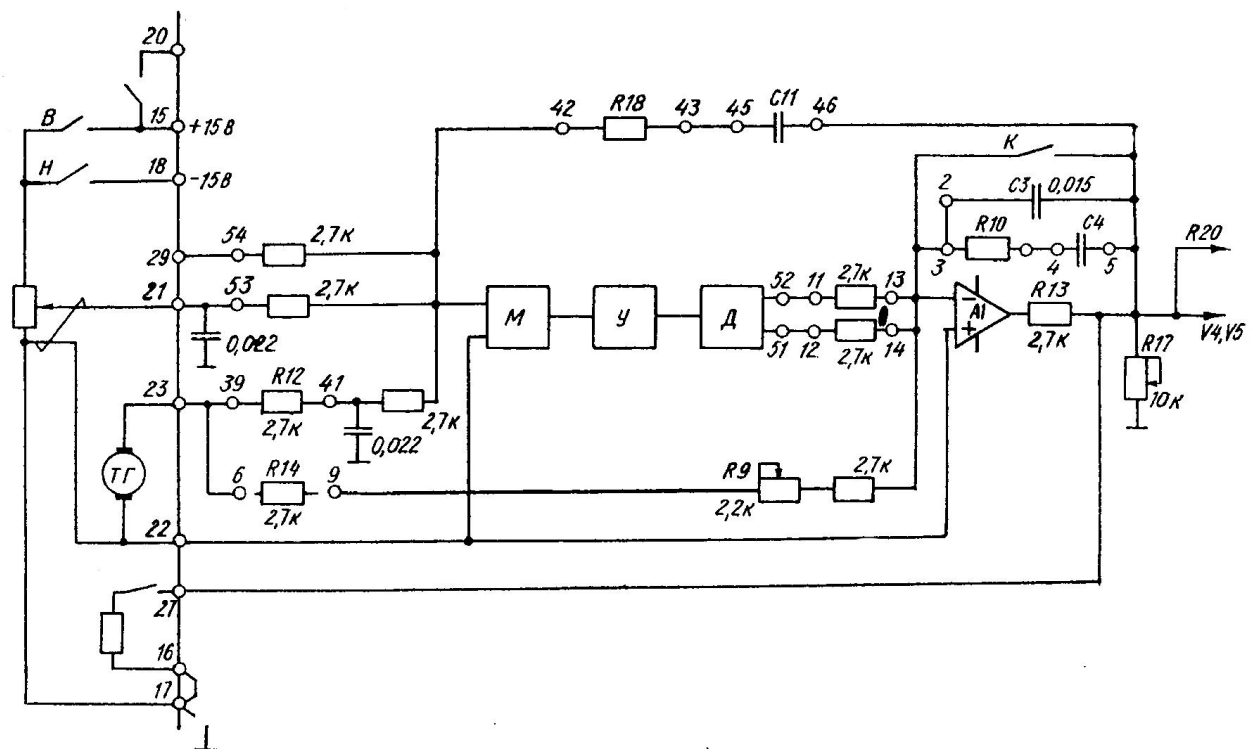


Рис. 2.7. Функціональна схема регулятора швидкості

2.2.5. Джерело живлення

Джерело живлення складається з трифазного трьохобмоткового трансформатора, випрямлячів (мостових і нульових) і двох параметричних стабілізаторів.

Джерело живлення формує:

- синхронізуючу напругу для СІФК;
- напруга $\pm 24\text{В}$ і $\pm 12\text{В}$, відфільтроване стабілізоване $\pm 15\text{В}$, а так само сигнал U_c (служить для контролю вихідної змінної напруги при посадці напруги в одній з фаз більш ніж на 50%). Цей сигнал має нульовий логічний рівень і через вузол захисту і блокування знімає управляючі імпульси в СІФУ. У параметричних стабілізаторах рівень вихідної напруги визначається стабілітронами 32 і 37, для підстроювання послідовно включені діоди. Коли

живляча напруга нормальна – сигнал $U_c > 7,5V$, коли в одній з фаз напруга зменшується на 50% з'являються провали в U_c , сигнал сприйматиметься як нульовий логічний.

Здійснення захисту: максимальна струмова (від перевантаження по струму), теплова, від зниження напруги в живлячій мережі, а так само блокування, яке знімає управляючі імпульси за відсутності контактного сигналу деблокування. За рахунок останнього здійснюється трьохпозиційна робота двохпозиційного ЛПУ.

2.3. Розрахунок додаткового устаткування електроприводу

При роботі тиристорного перетворювача на якір двигуна у ряді випадків необхідний згладжувальний дросель. Цю необхідність слід перевірити, оскільки параметри силового ланцюга тиристорного перетворювача і конструктивні особливості двигуна можуть допускати бездросельний варіант приводу [12].

2.3.1. Обмеження зрівнювальних струмів.

Зрівнювальні реактори застосовуються для обмеження зрівнювальних струмів при сумісному керуванні вентильними групами. Застосовуємо роздільне керування. $L_{зр} = 0$.

2.3.2. Обмеження струму при однофазному опрокидуванні інвертора.

Для мостової схеми випрямляча виконуємо вибір тиристорів. Вибираємо низькочастотні тиристори по граничним значенням параметрів режиму:

- по максимальному значенні середнього струму у відкритому стані

$$I_B = 0,33 \cdot I_{HI} = 12,6 \text{ А.} \quad (2.26)$$

- по повторюваній напрузі в закритому стані

$$U_{обр. \max} = 2,09 \cdot E_{OI} = 509,7 \text{ В.} \quad (2.27)$$

					141.4367ст3.БР.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Виходячи з даних умов вибираємо тиристори типу Т222-20-6 з характеристиками:

$$I_{oc} = 20 \text{ A};$$

$$U_{зпс} = 600 \text{ В};$$

$$I_{oc.уд} = 300 \text{ А}.$$

$I_{нач} = 9,54 \text{ А}$ - початковий струм в момент короткого замикання при максимальному навантаженні електроприводу.

$I_{доп} = I_{oc.уд} = 300 \text{ А}$ - максимально допустимий струм вентиля протягом півперіоду.

$$R_{on} = \beta_m (R_{я} + R_{он}) \cdot 1,5 = 1,24 \cdot (0,74 + 0,486) \cdot 1,5 = 2,28 \text{ Ом}; \quad (2.28)$$

$$E_{нач} = C_e n_{max} = 1,308 \cdot 3,75 \cdot 10^3 = 4906 \text{ В}. \quad (2.29)$$

$$L_{\Sigma on} = 0,01 \frac{K_{on}}{I_n \frac{\frac{E_{нач}}{R_{on}} - I_{нач}}{\frac{E_{нач}}{R_{on}} - I_{нач}}} = 0,01 \frac{2,28}{9,545 \frac{\frac{4906}{2,28} - 9,545}{\frac{4906}{2,28} - 300}} = 0,00206 \text{ Гн}. \quad (2.30)$$

2.3.3. Обмеження струму через тиристори при замиканні на стороні постійного струму.

При короткому замиканні на стороні постійного струму струмообмежуючий реактор повинен обмежувати швидкість наростання аварійного струму, щоб він не перевищив небезпечного для тиристорів значення протягом часу спрацьовування захисних приладів. Обмеження струму через вентиля може бути отримано за рахунок індуктивності розсіювання обмоток трансформатора і індуктивності у ланцюзі постійного струму.

Потрібна величина загальної індуктивності для мостової схеми:

$$\omega_c = 2\pi f = 2 \cdot 3,14 \cdot 50 = 314 \text{ рад/с}, \quad (2.31)$$

					141.4367ст3.БР.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$L_{\Sigma} = \frac{3,64 E_{2\phi}}{\omega_c (I_{\text{дон}} - I_{\text{нач}})} = \frac{3,64 \cdot 208}{314 \cdot (300 - 9,545)} = 0,00831. \quad (2.32)$$

Індуктивність додаткового реактора:

$$L_{\text{др}} = L_{\Sigma} - (L_{\text{yp}} + L_{\text{mn}}) = 0,00831 - (0 + 4,7 \cdot 10^{-4}) = 0,00783 \text{ Гн}. \quad (2.33)$$

2.3.4. Обмеження зони переривистих струмів.

Переривистий струм може виникнути при роздільному керуванні тиристорами. Для отримання зони гранично-непереривного режиму при заданому значенні кута керування ланцюг випрямленого струму повинен мати певну індуктивність.

Визначаємо еквівалентний опір двигуна

$$\begin{aligned} R_e &= R_{mn} + \beta_m (R_{\text{я}} + R_{\text{он}}) \cdot 1,5 = \\ &= 0,322 + 1,24(0,74 + 0,486) \cdot 1,5 = 2,6 \text{ Ом}. \end{aligned} \quad (2.34)$$

Мінімальна частота обертання двигуна

$$\omega_{\min} = n_{\text{раб. min}} \frac{\pi}{30} = 1,874 \frac{3,14}{30} = 0,196 \text{ рад/с}. \quad (2.35)$$

Максимальний кут керування тиристорами

$$\begin{aligned} \alpha_{\max} &= \arccos \left(\frac{C_e \omega_{\min} + I_n R_e}{E_{\text{он}}} \right), \\ \alpha_{\max} &= \arccos \left(\frac{1,308 \cdot 0,196 + 9,545 \cdot 2,603}{243} \right) = 84,1^\circ. \end{aligned} \quad (2.36)$$

Величина переривистого струму

$$I_{n.\text{ep}} = 0,25 I_n = 0,25 \cdot 9,545 = 2,386 \text{ А}. \quad (2.37)$$

Граничний коефіцієнт

					141.4367ст3.БР.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$k_{ep} = \left(1 - \frac{\pi}{p'} \operatorname{ctg} \left(\frac{\pi}{p'} \right) \right) \sin(\alpha_{\max}), \quad (2.38)$$

$$k_{ep} = \left(1 - \frac{3,14}{6} \operatorname{ctg} \left(\frac{3,14}{6} \right) \right) \sin(84,092) = 0,093.$$

Індуктивність, необхідна для обмеження зони переривистих струмів

$$L_{\Sigma np} = \frac{k_{ep} E_{on}}{\omega_c I_{n.ep}} = \frac{0,093 \cdot 243}{314 \cdot 2,386} = 0,03 \text{ Гн.} \quad (2.39)$$

Індуктивність реактора для обмеження зони переривистих струмів:

$$L_{op} = L_{\Sigma np} - (L_{я} + L_{yp} + L_{mn}) = 0,03 - 0,017 = 0,013 \text{ Гн.} \quad (2.40)$$

2.3.5. Згладжування пульсацій випрямленого струму.

Пульсації випрямленої напруги приводять до пульсацій випрямленого струму, які погіршують комутацію двигуна і призводять до його нагріву. Найбільшу амплітуду мають основні гармоніки ($k = 1$). Амплітуди гармонік більш великої кратності ($k = 2,3$) значно менші, а дія реакторів на них більш ефективна, тому розрахунок індуктивності дроселя ведеться тільки по основній гармоніці, тобто при $k = 1$. Визначаємо максимально можливу величину амплітудного значення першої гармонічної складової випрямленої напруги при $\alpha = 80^\circ$

$$E_{nm} = E_{on} \frac{2 \cos(\alpha)}{k^2 p'^2 - 1} \sqrt{1 + k^2 p'^2 \operatorname{tg}^2(\alpha)}, \quad (2.41)$$

$$E_{nm} = 243 \frac{2 \cos(80)}{1^2 6^2 - 1} \sqrt{1 + 1^2 6^2 \operatorname{tg}^2(80)} = 82,4 \text{ В.}$$

По відомій амплітуді основної гармоніки і допустимому значенні основної гармоніки $P_1 = 10$ визначаємо необхідну величину індуктивності ланцюга випрямленого струму:

$$L_{\Sigma n} = \frac{E_{nm} 100}{\sqrt{2} k p' \omega_c P_1 I_n} = \frac{82,4 \cdot 100}{\sqrt{2} \cdot 1 \cdot 6 \cdot 10 \cdot 9,545} = 0,032 \text{ Гн.} \quad (2.42)$$

					141.4367ст3.БР.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Індуктивність додаткового реактора

$$L'_{\partial p} = L_{\Sigma n} - (L_{\text{я}} + L_{yp} + L_{mn}) = 0,032 - 0,017 = 0,015 \text{ Гн.} \quad (2.43)$$

Виходячи з вище приведених розрахунків остаточна індуктивність додатного реактора в ланцюзі якоря двигуна $L_{\text{др}} = 0,015 \text{ Гн.}$

Виходячи з умови: вибираємо згладжуючий дросель ДС-50/15 з такими характеристиками:

Номінальний струм, А 50

Індуктивність, мГн 15

Еквівалентна індуктивність якірного ланцюга двигуна з урахуванням розрахованого дроселя:

$$L_{e\Sigma} = L_{\text{я}} + L_{yp} + L_{mn} + L'_{\partial p}, \quad (2.44)$$

$$L_{e\Sigma} = 0,0167 + 0 + 0,00047 + 0,015 = 0,032 \text{ Гн.}$$

					141.4367ст3.БР.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

3. ДОСЛІДЖЕННЯ ДИНАМІКИ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ

Для оцінки показників якості керування проведемо моделювання. Побудова характеристик здійснюється за допомогою математичного пакету Matlab та інструментарію Simulink і Control System Toolbox.

3.1. Математична модель двигуна при живленні від тиристорного перетворювача

3.1.1. Визначення передавальних функцій основних елементів системи.

Як правило, застосовують розширену структурну схему, оскільки в процесі регулювання швидкості здійснюється і контроль підтримки струму двигуна на допустимому рівні [6].

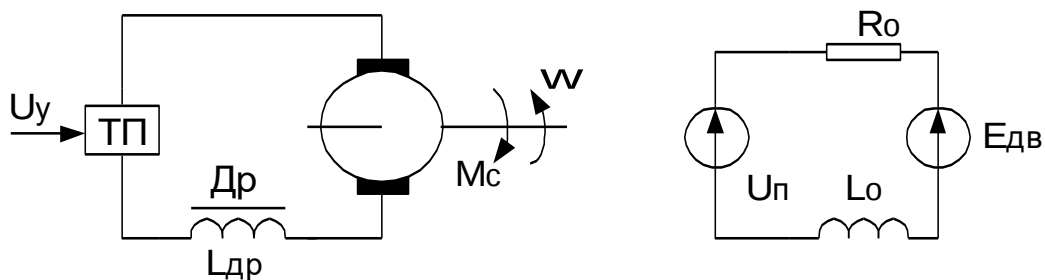


Рис. 3.1. Двигун постійного струму при живленні від тиристорного перетворювача

Вважаючи, що тиристорний перетворювач - безінерційний елемент, система рівнянь, що описує електропривод має вигляд:

$$U - E = L \frac{di}{dt} + IR_y, \quad (3.1)$$

$$M_{\partial s} - M_c = J \frac{d\omega}{dt}, \quad (3.2)$$

Коефіцієнти передачі по ЕРС і моменту в системі СІ однакові, тому будемо їх позначати як - K

					141.4367ст3.БР.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$K_{\omega} = \frac{U}{\omega_0}, \quad (3.3)$$

$$K_m = \frac{M_{\text{н}}}{I_{\text{н}}}, \quad (3.4)$$

Запишемо рівняння в операторній формі

$$U - E = L_0 p I + R_0 I, \quad (3.5)$$

$$M_{\text{дв}} - M_c = J p \omega, \quad (3.6)$$

де $\frac{d}{dt} = p$.

Виразимо з рівняння (3.5) струм I , а з (3.6) – швидкість ω , розділимо рівняння і позначимо:

$$I_e = \frac{L_0}{R_0}, \quad (3.7)$$

$$\frac{U - E}{R_0} = T_e p I + I, \quad (3.8)$$

тоді

$$I = \frac{U - E}{R_0(T_e p + 1)}, \quad (3.9)$$

$$\omega = \frac{M_{\text{дв}} - M_c}{J p}, \quad (3.10)$$

Одержимо передавальні функції між напругою і струмом і між моментом і швидкістю.

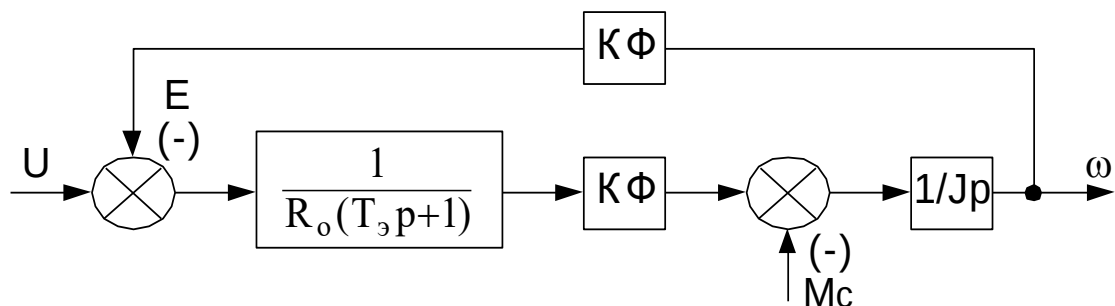


Рис. 3.2. Структурна схема двигуна

					141.4367стЗ.БР.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$W_i(p) = \frac{1}{R_0(T_e p + 1)}, \quad (3.11)$$

$$W_\omega(p) = \frac{1}{Jp}.$$

Розглянемо передавальну функцію всієї системи по керуючій дії

$$W_{ynp}(p) = \frac{\omega(p)}{U(p)} = \frac{W_i(p) \cdot k\Phi \cdot W_\omega(p)}{1 + W_i(p) \cdot k\Phi^2 \cdot W_\omega(p)}, \quad (3.12)$$

Підставляючи (3.7)-(3.10), отримаємо

$$W_{y\phi}(p) = \frac{\frac{k\Phi}{R_0 Jp(T_e p + 1)}}{1 + \frac{k\Phi^2}{R_0 Jp(T_e p + 1)}} = \frac{k\Phi}{R_0 Jp(T_e p + 1) + k\Phi^2} =$$

$$= \frac{\frac{1}{k\Phi}}{1 + J \frac{R_0}{k\Phi^2} p(T_e p + 1)}.$$

$$W_{ynp}(p) = \frac{\frac{1}{k\Phi}}{T_e T_e p^2 + T_e p + 1}, \quad (3.13)$$

де $\frac{1}{k\Phi}$ - коефіцієнт передачі ЕП по керуючій дії.

Розглянемо передавальну функцію по збурюючій дії

$$W_{зб}(p) = \frac{\omega(p)}{M_c(p)}, \quad (3.14)$$

при $U_\pi = 0$

$$W_{зб}(p) = \frac{W_\omega(p)}{1 + W_\omega(p)k\Phi^2 W_i(p)}, \quad (3.15)$$

					141.4367стЗ.БР.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$W_{зб}(p) = \frac{\frac{1}{Jp}}{1 + \frac{1}{Jp} \cdot \frac{k\Phi^2}{R_o(T_e p + 1)}} = \frac{\frac{R_o}{k\Phi^2}(T_e p + 1)}{J \frac{R_o}{k\Phi^2} p(T_e p + 1)} = \frac{\frac{R_o}{k\Phi^2}(T_e p + 1)}{T_m T_e p^2 + T_m p + 1}. \quad (3.16)$$

Характер перехідного процесу по керуючій дії визначається коренями характеристичного рівняння системи

$$T_m T_e p^2 + T_m p + 1 = 0, \quad (3.17)$$

- коли корені рівняння будуть дійсними негативним при $T_m < 4T_e$, в такому випадку в системі буде аперіодичний характер перехідного процесу;

- у випадку коли корені комплексні спряжені – коливальний характер перехідного процесу.

Чисельник передавальної функції по збурюючій дії є паралельно включеною диференціально-пропорційною ланкою. Наявність диференціальної складової підвищує динамічність перехідного процесу.

3.1.2. Складання структурної схеми системи керування електроприводу.

В автоматизованому електроприводі в процесі регулювання треба контролювати і обмежувати ряд координат на допустимому рівні (струм, напруга і т.д.), тому сучасні системи електроприводу багатоконтурні.

У кожного параметра свій регулятор, тому можна забезпечити оптимальність налаштувань кожного контуру. Ланцюг регулювання визначається зовнішнім контуром (в даному випадку контуром швидкості). Вихідний сигнал регулятора швидкості є задаючим для внутрішнього контуру. Контур струму є підлеглим контуру швидкості, отже, це система з підлеглим регулюванням параметрів.

Структурна схема системи підлеглого керування координат електроприводу зображена на рис. 3.3.

					141.4367ст3.БР.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

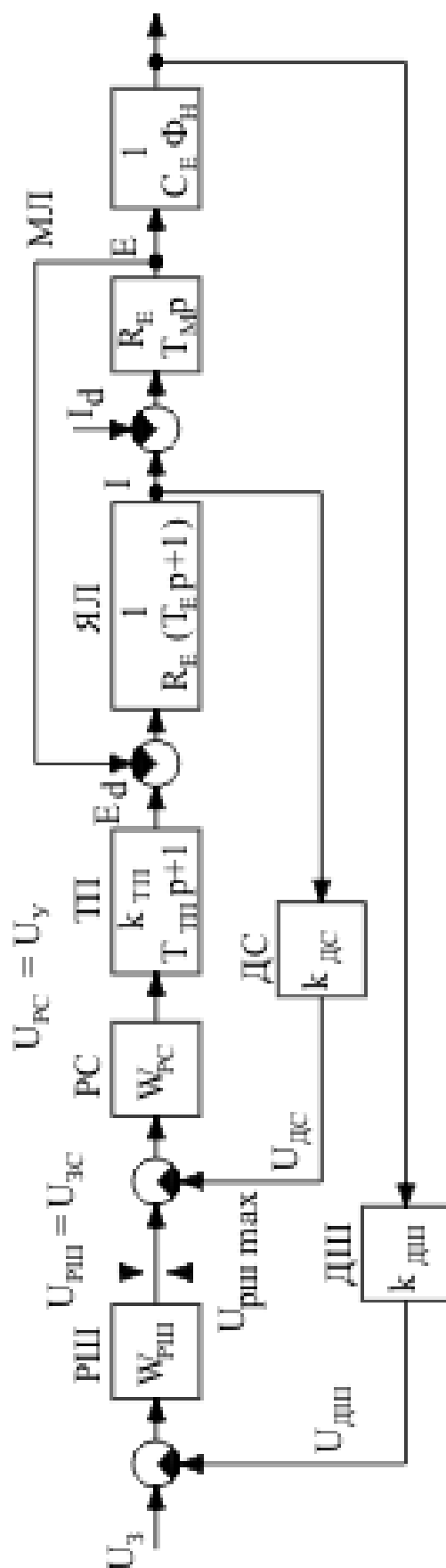


Рис. 3.3. Структурна схема розробленої системи керування

На схемі умовно позначено:

РШ– регулятор швидкості

РС – регулятор струму

ТП – тиристорний перетворювач

ЯЛ – якірний ланцюг двигуна

МЛ – механічна частина двигуна

ДС – датчик струму

ДШ – датчик швидкості

3.1.3. Переваги розробленої системи керування:

- можливість реалізації оптимальних законів керування кожного параметра;

- простота обмеження максимальних значень регульованої величини за рахунок обмеження сигналу на вході відповідного регулятора. Обмеження струму здійснюється за рахунок обмеження вихідного сигналу регулятору швидкості, який є задаючим для контуру струму. Максимальна швидкість приводу обмежується за рахунок обмеження максимальних сигналів завдання на вході системи;

- спрощується розрахунок, наладка і реалізація. Оптимізація системи починається з внутрішнього контуру, який надалі представлений у вигляді ланки з достатньо простою передавальною функцією, що входить до складу об'єкту зовнішнього контуру.

3.1.4. Недоліки розробленої системи керування:

- швидкодія системи знижується зі збільшенням кількості контурів регулювання;

- росте мала постійна часу контурів регулювання.

3.2. Дослідження динаміки розробленої системи

3.2.1. Розрахунок постійних часу двигуна/

Опір тиристорного перетворювача

					141.4367ст3.БР.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$R'_{mn} = R_k + 2 \cdot R'_\phi = 0,072 + 2 \cdot 0,048 = 0,169 \text{ Ом.} \quad (3.18)$$

Активний опір згладжуючого дроселя

$$R_{dp} = \frac{U_n \cdot 0,01}{I_n} = \frac{110 \cdot 0,01}{23,636} = 0,047 \text{ Ом.} \quad (3.19)$$

Еквівалентний опір якінного ланцюга при живленні від тиристорного перетворювача

$$R_{e.я} = R_я + R_{\phi n} + R'_{mn} + R_{dp}, \quad (3.20)$$

$$R_{e.я} = 0,12 + 0,07 + 0,169 + 0,047 = 0,405 \text{ Ом.}$$

Електромагнітна постійна якінного ланцюга двигуна при живленні від тиристорного перетворювача

$$T_{e.mn} = \frac{L_{e\Sigma}}{R_{e.я.}} = \frac{0,015}{0,405} = 0,036 \text{ с.} \quad (3.21)$$

Електромеханічна постійна часу якінного ланцюга при живленні від тиристорного перетворювача

$$T_{m.mn} = \frac{R_{e.я} \cdot J_{np}}{C_e \cdot C_m} = \frac{0,405 \cdot 0,046}{0,453 \cdot 0,477} = 0,086 \text{ с.} \quad (3.22)$$

3.2.2. Розрахунок постійних часу тиристорного перетворювача.

Коефіцієнт передачі тиристорного перетворювача

$U_{y.max} = 10 \text{ В}$ - напруга керування на вході ТП

$$K_{mn} = \frac{E_{on}}{U_{y.max}} = \frac{271,58}{10} = 27,158. \quad (3.23)$$

Постійна часу тиристорного перетворювача

$$T_{mn} = \frac{1}{2 \cdot m \cdot f_c} = \frac{1}{2 \cdot 6 \cdot 50} = 0,00167 \text{ с.} \quad (3.24)$$

3.2.3. Розрахунок постійних часу регулятора струму.

Передатна функція регулятора струму

$$W_{pt} = k_{pt} \frac{T_{uz} p + 1}{T_{uz} p}.$$

					141.4367ст3.БР.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Ланцюг регулятора струму представлений на рис. 3.4.

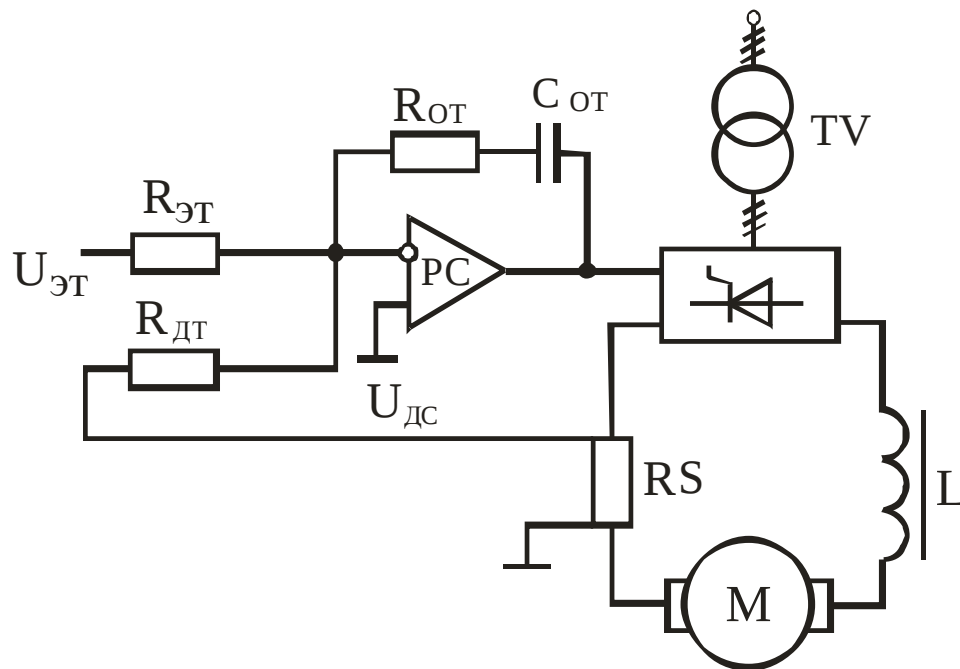


Рис. 3.4. Ланцюг регулятора струму

Задаючись швидкістю електроприводу, визначаємо параметри корегуючої ланки регулятора струму

$$\omega_p = 50 \text{ рад/с.}$$

Коефіцієнт передачі датчику струму

$$k_{om} = \frac{U_{om}}{I_{mn}} = 0,095 \text{ В/А.} \quad (3.25)$$

$$K = 0,223 \cdot U_{2л} = 0,223 \cdot 205 = 45,715. \quad (3.26)$$

Приймаємо опір резистора $R_{om} = 56000 \text{ Ом} = 56 \text{ кОм}$.

Визначаємо ємність конденсатора C_{om}

$$C_{om} = \frac{0,7 \cdot K \cdot k_{om}}{R_{om} \cdot \omega_p \cdot R_{e.я.}} = \frac{0,7 \cdot 45,715 \cdot 0,095}{56000 \cdot 50 \cdot 0,405} = 2,67 \text{ мкФ.} \quad (3.27)$$

Визначаємо опір резистора R_{om}

$$R_{om} = \frac{T_{e.mn}}{C_{om}} = \frac{0,036}{2,67 \times 10^{-6}} = 1,345 \cdot 10^4 \text{ Ом.} \quad (3.28)$$

Приймаємо опір резистора $R_{zm} = 20000 \text{ Ом} = 20 \text{ кОм}$.

					141.4367ст3.БР.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Визначаємо коефіцієнт передачі регулятора струму

$$k_{pm} = \frac{T_{e.mn} \cdot R_{e.я.}}{2 \cdot T_{mn} \cdot K_{mn} \cdot k_{\partial m}} = \frac{0,036 \cdot 0,405}{2 \cdot 0,00167 \cdot 27,158 \cdot 0,095} = 1,698. \quad (3.29)$$

Постійна часу регулятора струму

$$T_{pm} = R_{om} \cdot C_{om} = 1,345 \cdot 10^4 \cdot 2,67 \cdot 10^{-6} = 0,036 \text{ с.} \quad (3.30)$$

3.2.4. Розрахунок постійних часу регулятора швидкості

Передатна функція регулятора швидкості

$$W_{pc} = k_{pc} \frac{T_{uz} p + 1}{T_{uz} p}.$$

Ланцюг регулятора швидкості представлений на рис. 3.5.

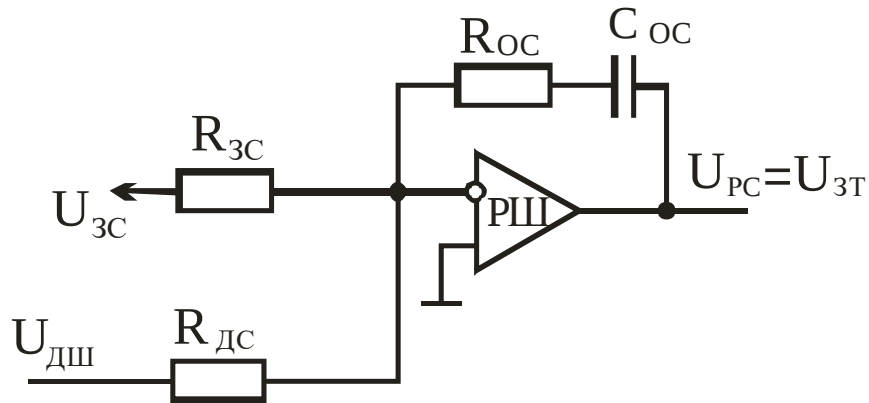


Рис. 3.5. Ланцюг регулятора швидкості

Приймаємо опір резистора $R_{zc} = 2700 \text{ Ом} = 2,7 \text{ кОм}$.

Приймаємо опір резистора $R_{oc} = 4000 \text{ Ом} = 4 \text{ кОм}$.

Визначаємо ємність конденсатора C_{oc}

$$C_{oc} = \frac{2,45 \cdot R_{\partial m} \cdot k_{mz} \cdot R_{e.я.}}{R_{oc} \cdot R_{zm} \cdot k_{\partial m} \cdot \omega_p^2 \cdot T_{m.mn}}, \quad (3.31)$$

$$C_{oc} = \frac{2,45 \cdot 5600 \cdot 0,02 \cdot 0,405}{4000 \cdot 2000 \cdot 0,095 \cdot 50^2 \cdot 0,086} = 0,681 \text{ мкФ.}$$

Визначаємо опір резистора R_{oc}

$$R_{oc} = \frac{2,88}{C_{oc} \cdot \omega_p} = \frac{2,88}{6,814 \times 10^{-7} \cdot 50} = 84530 \text{ Ом.} \quad (3.32)$$

Постійна часу регулятора швидкості

$$T_{pc} = R_{oc} \cdot C_{oc} = 84530 \cdot 6,814 \times 10^{-7} = 0,058 \text{ с.} \quad (3.33)$$

Визначаємо коефіцієнт передачі регулятора швидкості

$$k_{pc} = \frac{R_{oc}}{R_{zc}} = \frac{84530}{2700} = 31,3. \quad (3.34)$$

3.3. Моделювання динамічних режимів електроприводу за допомогою Simulink

Програма Simulink є додатком до пакета Matlab. При моделюванні з використанням Simulink реалізується принцип візуального програмування, відповідно до якого, користувач на екрані з бібліотеки стандартних блоків створює модель пристрою і здійснює розрахунки. При цьому, на відміну від класичних способів моделювання, користувачеві не потрібно досконально вивчати мову програмування і чисельні методи математики, а досить загальних знань, потрібних при роботі на комп'ютері та, природно, знань тієї предметної області, в якій він працює.

Simulink є досить самостійним інструментом Matlab, і при роботі з ним зовсім не потрібно знати сам Matlab і інші його додатки. Він містить додаткові бібліотеки блоків для різних областей застосування (наприклад, LTI-Viewer інструментарію Control System Toolbox – пакета для розробки систем керування; Power System Blockset – моделювання електротехнічних пристроїв; Digital Signal Processing Blockset – набір блоків для розробки цифрових пристроїв і т.ін).

При роботі з Simulink користувач має можливість модернізувати бібліотечні блоки, створювати свої власні, вибирати метод рішення диференціальних рівнянь, а також спосіб зміни модельного часу (з фіксованим або змінним кроком).

					141.4367ст3.БР.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

У ході моделювання є можливість стежити за процесами, що відбуваються в системі. Для цього використовуються спеціальні пристрої спостереження, що входять до складу бібліотеки Simulink. Результати моделювання можуть бути представлені у вигляді графіків або таблиць.

3.3.1. Створення моделі Simulink.

Для створення моделі в середовищі Simulink необхідно послідовно виконати ряд дій:

3.3.1.1. Створити новий файл моделі за допомогою команди File/New/Model, або використовуючи кнопку  на панелі інструментів (тут і далі, за допомогою символу “/”, зазначені пункти меню програми, які необхідно послідовно вибрати для виконання зазначеної дії).

3.3.1.2. Розташувати блоки у вікні моделі. Для цього необхідно відкрити відповідний розділ бібліотеки (Наприклад, Sources - Джерела). Далі, указавши курсором на необхідний блок і натиснувши на ліву клавішу “миші” - “перетягнути” блок у створене вікно. *Клавішу миші потрібно тримати натиснутою.* На рис 3.6 показане вікно моделі, що містить блоки.

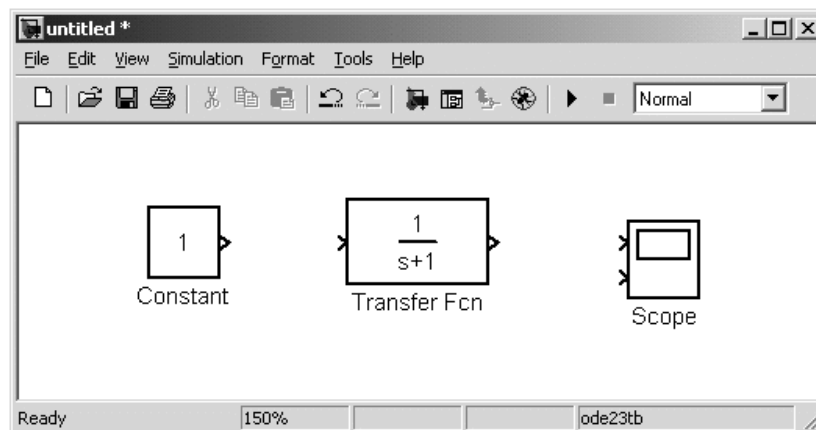


Рис 3.6. Блоки Simulink

Для видалення блоку необхідно вибрати блок (указати курсором на його зображення і натиснути ліву клавішу “миші”), а потім натиснути клавішу Delete на клавіатурі.

Для зміни розмірів блоку потрібно вибрати блок, встановити курсор в один з кутів блоку і, натиснувши ліву клавішу “миші”, змінити розмір блоку (курсор при цьому перетвориться у двосторонню стрілку).

3.3.1.3. Далі, при необхідності, потрібно змінити параметри блоку, установлені програмою “за замовчуванням”. Для цього необхідно двічі клацнути лівою клавішею “миші”, вказавши курсором на зображення блоку. Відкриється вікно редагування параметрів даного блоку. При завданні чисельних параметрів варто мати на увазі, що як десятковий роздільник повинна використовуватися крапка, а не кома. Після внесення змін потрібно закрити вікно кнопкою ОК. На рис. 3.7 показаний блок, що моделює передавальну функцію і вікно редагування параметрів даного блоку.

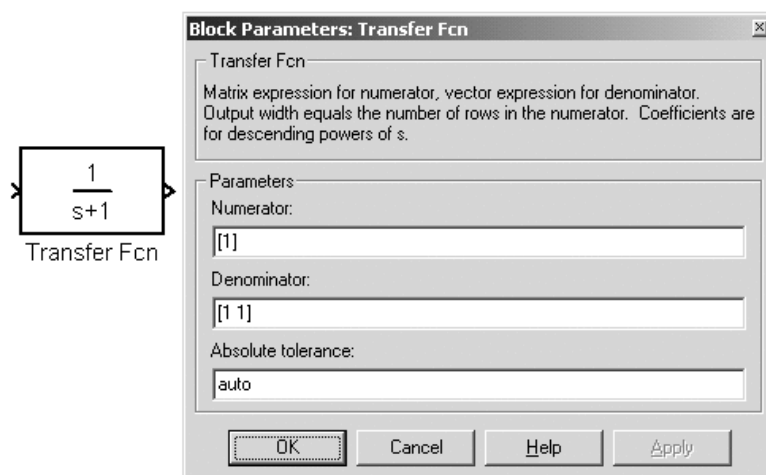


Рис 3.7. Настроювання блока TransferFcn

3.3.1.4. Після установки на схемі всіх блоків з необхідних бібліотек потрібно виконати з'єднання елементів схеми. Для з'єднання блоків необхідно вказати курсором на “вихід” блоку, а потім, натиснувши і, не відпускаючи ліву клавішу “миші”, провести лінію до входу іншого блоку. Після чого відпустити клавішу. У випадку правильного з'єднання зображення стрілки на вході блоку змінює колір. Для створення точки розгалуження в сполучній лінії потрібно підвести курсор до передбачуваного вузла і, натиснувши *праву* клавішу “миші”, простягнути лінію. Для видалення лінії

потрібно вибрати лінію (так само, як це виконується для блоку), а потім натиснути клавішу Delete на клавіатурі. Схема моделі, в якій виконані з'єднання між блоками, показана на рис. 3.8.

Вікно моделі містить наступні елементи (рис. 3.8):

1. Заголовок, з назвою вікна. Знову створеному вікну привласнюється ім'я Untitled з відповідним номером.
2. Меню з командами File, Edit, View і т.д.
3. Панель інструментів.
4. Вікно для створення схеми моделі.
5. Рядок стану, що містить інформацію про поточний стан моделі, та процесу моделювання

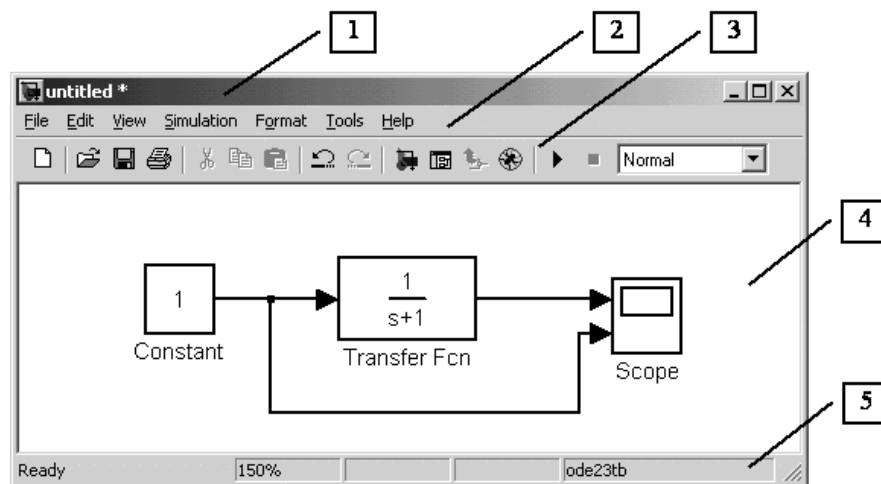


Рис 3.8. Области керування та додаткової інформації
в вікні Simulink

3.3.1.5. Після складання розрахункової схеми необхідно зберегти її у вигляді файлу на диску, вибравши пункт меню File/Save As... у вікні схеми й указавши папку та ім'я файлу. Варто мати на увазі, що ім'я файлу не повинне перевищувати 32 символів, повинне починатися з букви і не може містити символи кирилиці та спеціальні символи. Ця ж вимога ставиться і до шляху файлу (до тих папок, у яких зберігається файл). При наступному редагуванні схеми можна користуватися пунктом меню File/Save. При повторних запусках програми SIMULINK завантаження схеми здійснюється за

					141.4367стЗ.БР.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

допомогою меню File/Open... у вікні оглядача бібліотеки або з основного вікна MATLAB.

3.3.1.6. Виконання розрахунку

Запуск розрахунку виконується за допомогою вибору пункту меню Simulation/Start. або натиснення кнопки ► на панелі інструментів. Процес розрахунку можна завершити достроково, вибравши пункт меню Simulation/Stop або натиснувши кнопку ■. Розрахунок також можна зупинити (Simulation/Pause) і потім продовжити (Simulation/Continue).

3.3.2. Моделювання системи.

Здійснимо моделювання за допомогою Simulink тієї системи, яка задана структурною схемою рис. 3.3.

Для складання моделі використовуємо стандартні блоки Simulink, отимаємо модель представлену на рис. 3.10

Далі потрібно лінеаризувати модель навколо робочої точки, для цього в Simulink використовуються вхідний та вихідний порти, символи яких зображені на рис. 3.9.

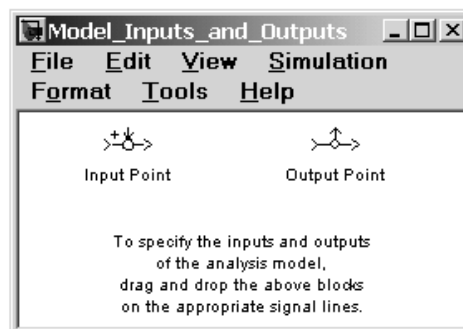


Рис. 3.9. Порти лінеаризації моделі

Установлюємо блок Input Point на вході і блок Output Point на виході досліджуваної системи.

					141.4367ст3.БР.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

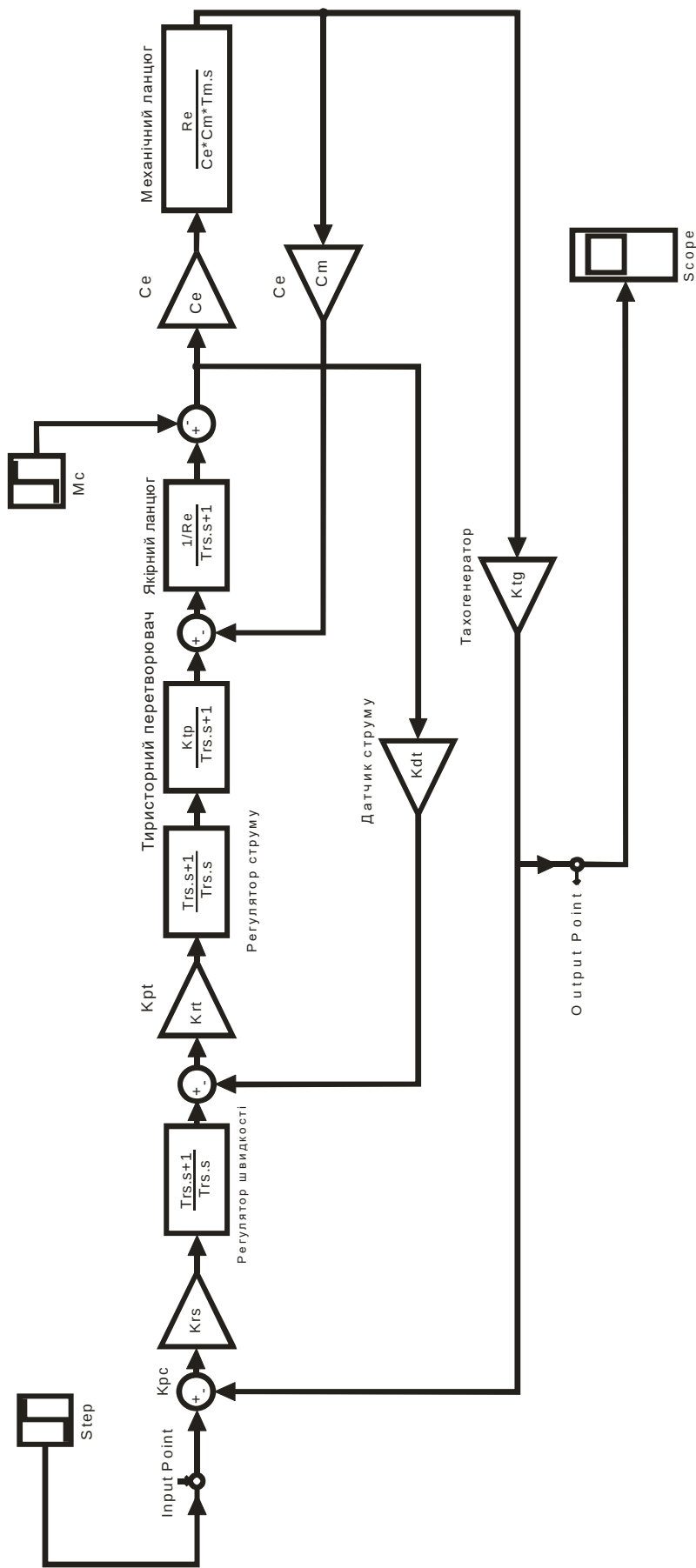


Рис. 3.10. Імітаційна модель розробленої системи

3.3.2.1. У вікні LTI Viewer виконуємо команду Simulink\Get Linearized Model.

Дана команда виконує лінеаризацію моделі й будує реакцію системи на одиничний східчастий вплив. Якщо система має кілька входів і виходів і для всіх їх установлені блоки Input Point і Output Point, то на графіку буде відображено кілька вікон, які зображують реакцію на кожному виході при впливі на кожний вхід.

3.3.3.4. Для одержання інших характеристик системи необхідно виконати команду Edit\Plot Configuration... у вікні LTI Viewer. У результаті виконання цієї команди відкриється вікно Plot Configuration, показане на рис. 3.12.

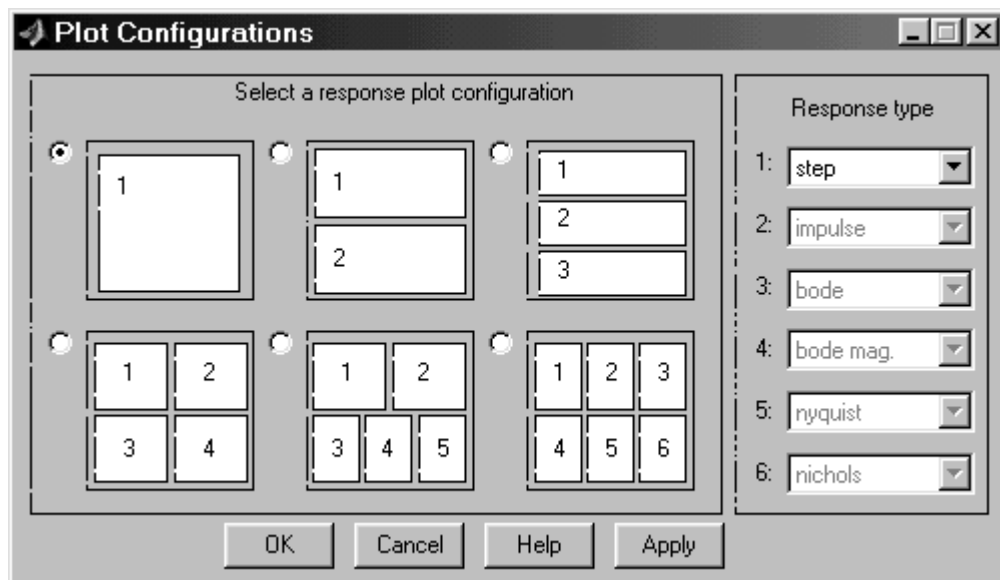


Рис. 3.12. Настроювання вигляду вікна характеристик

У вікні, що відкрилося, можна вибрати число відображуваних графіків (панель Select a response plot configuration) і вид відображуваних графіків (панель Response type). Для побудови доступні наступні графіки (діаграми):

- step – Реакція на одиничний східчастий вплив.
- impulse – Реакція на одиничний імпульсний вплив.
- bode – Логарифмічні амплітудні й фазова частотні характеристики.

- bode mag – Логарифмічна амплітудна частотна характеристика.
- nyquist – Діаграма Найквіста.
- nichols – Годограф Ніколса.
- sigma – Сингулярні числа.
- pole/zero – Нулі та полюси системи.

На рис. 3.13 наведений приклад вікна Simulink LTI-Viewer з декількома різними характеристиками довільної системи.

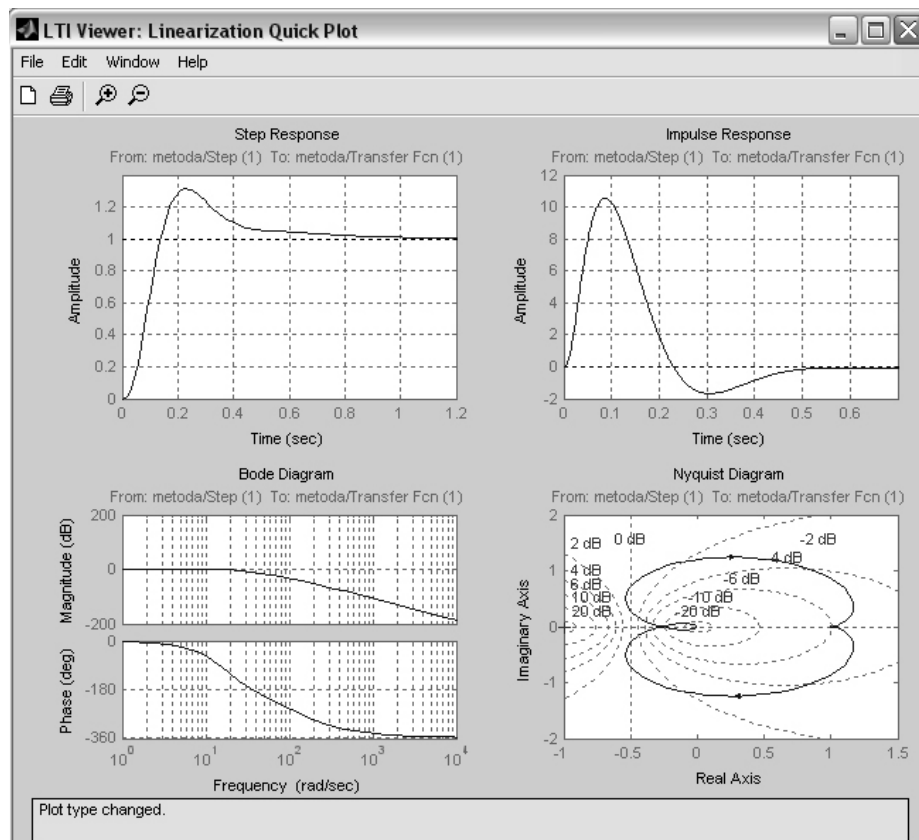


Рис. 3.13 Результати моделювання у вікні LTI-Viewer

Настроювання зовнішнього вигляду графіків можна виконати за допомогою команди Edit\Line Styles...(установка виду і кольору ліній, виду маркерів).

3.3.3.5. Установка параметрів розрахунку перехідного процесу (вкладка Characteristics). Дана вкладка дозволяє задати параметри, встановлені "за замовчуванням", для обчислення часу наростання і часу перехідного процесу.

За замовчуванням Simulink LTI-Viewer обчислює час перехідного процесу як час, коли перехідна функція входить в 2% зону і більше не виходить із неї (параметр Show setting time within). Також можна змінити параметри для обчислення часу перехідного процесу (Show rise time from). На даній вкладці є також прапорець Unwrap phase, установка якого дозволяє уникнути відображення розривів у фазочастотній характеристиці, пов'язаних з областю визначення функції $\arctg$, що обчислює фазовий зсув.

Логарифмічні частотні характеристики показані на рис. 3.14.

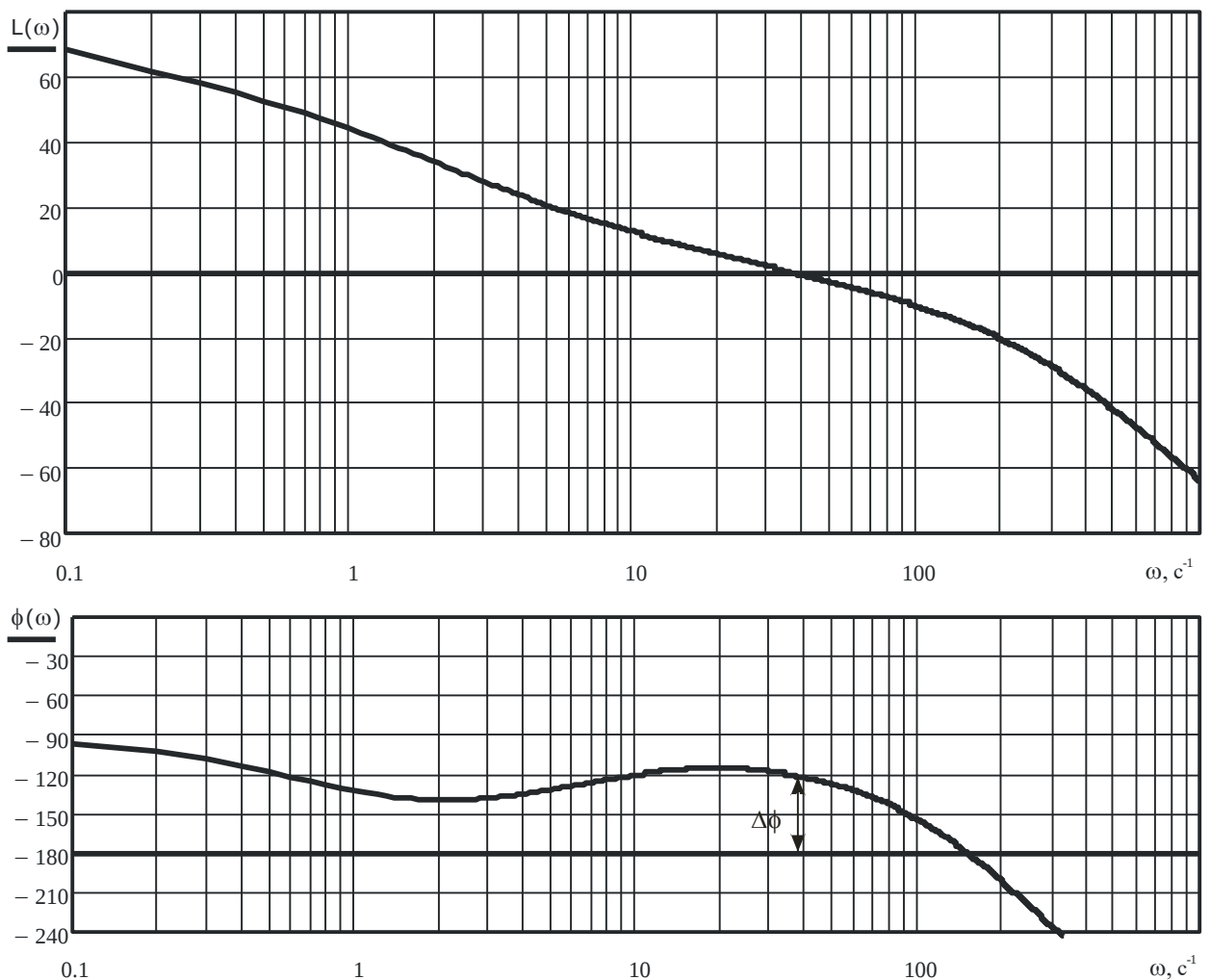


Рис. 3.14. ЛАЧХ та ЛФЧХ системи при живленні від тиристорного перетворювача

Оцінюючи стійкість системи керування за логарифмічним критерієм можна зробити висновок, що система є стійкою. Так як запас стійкості по

амплітуді рівний $\Delta L = 20,5 \text{ dB}$ при частоті 408 рад/с . Запас стійкості по фазі дорівнює $\Delta\varphi = 63,1^\circ$ при частоті $53,7 \text{ рад/с}$.

Проаналізуємо реакцію системи на одиничну ступеневу дію. На рис. 3.15. показана реакція системи на одиничний східчастий вплив (перехідна характеристика).

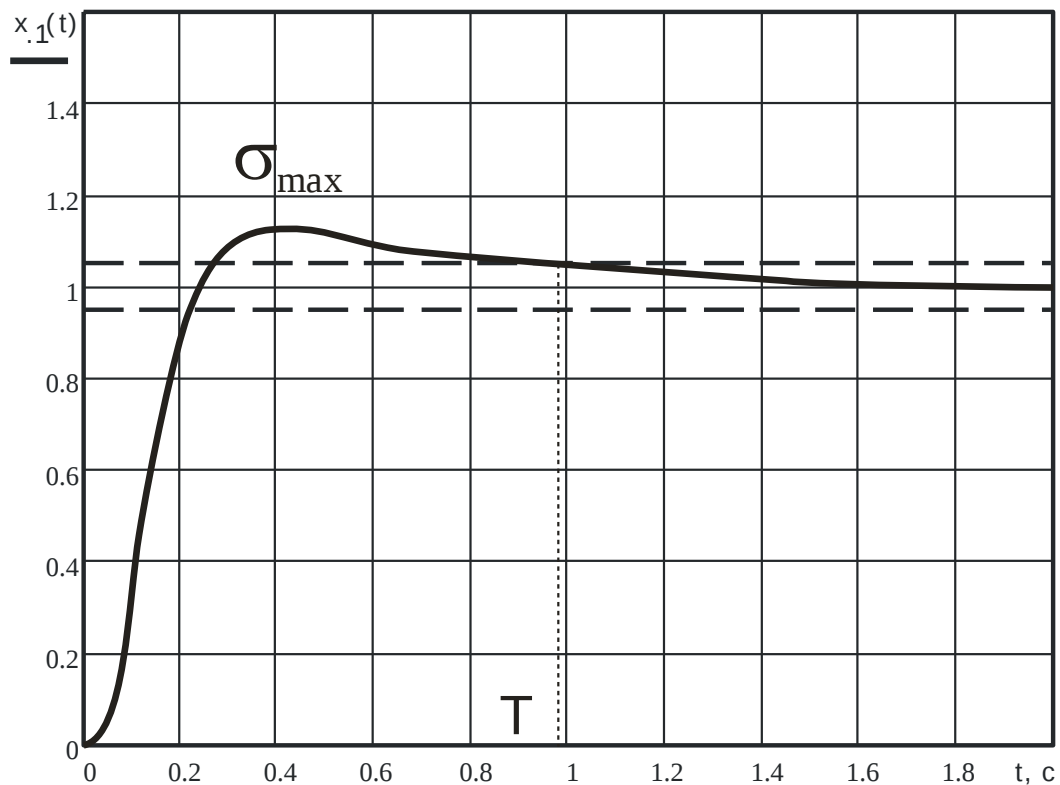


Рис. 3.15. Перехідна характеристика системи

По реакції системи на ступеневу дію можна визначити показники якості керування, які реалізуються цією системою. Перерегулювання $\sigma_{\max} = 17,2 \%$, що є задовільним, швидкодія $T_{\max} = 1 \text{ с}$, що є доволі високим показником.

Проаналізуємо, як зміняться показники перехідного процесу при зміні коефіцієнту передачі ПІ-регулятора швидкості. Приймаємо коефіцієнт передачі $k_{рш1} = 5$, $k_{рш2} = 10$, $k_{рш3} = 31,3$.

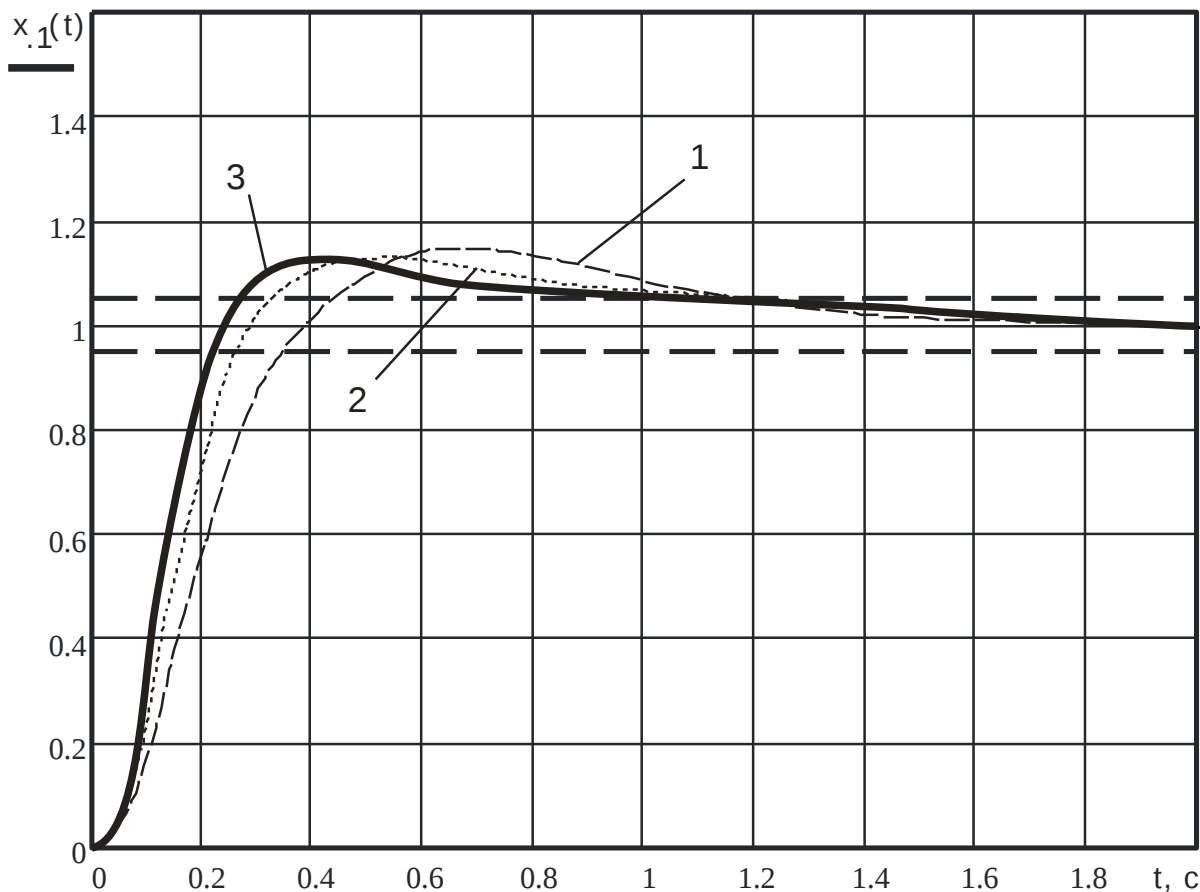


Рис. 3.16. Перехідна характеристика системи
при різних $k_{рш} = 5, 10, 31,3$

Таким чином, при збільшенні коефіцієнту передачі регулятора швидкості зменшується перерегулювання та час перехідного процесу.

Найкращі показники отримані при $k_{рш} = 31,3$, проте збільшення коефіцієнту передачі регулятора приводить до підвищення чутливості системи до змін її внутрішніх параметрів та погіршує завадостійкість системи.

4. ОХОРОНА ПРАЦІ

4.1. Загальні положення системи охорони праці

Охорона праці - це система правових, соціально-економічних, організаційно-технічних, санітарно-гігієнічних та лікувально-профілактичних заходів та засобів, спрямованих на збереження здоров'я і працездатності людей в процесі праці (ст. 1 Закону "Про охорону праці"). Як правовий інститут охорона праці - це чималий комплекс правових норм [7].

Ст. 4 Закону "Про охорону праці" формулює принципи державної політик у сфері охорони праці. Ці принципи в силу вказаного їх визначення, слід кваліфікувати і як принципи інституту охорони праці, які підлягають застосуванню при відсутності відповідних конкретних правових норм, і як такі, що визначають напрямки подальшого розвитку інституту охорони праці, і обов'язки держави, які вона взяла на себе і має додержувати при здійсненні своїй політики у майбутньому.

З урахуванням викладеного, принципи, зазначені ст. 4 Закону "Про охорону праці", мають певне регулятивне значення, названій статті закріплені такі принципи:

1) пріоритет життя і здоров'я працівників відносно результатів виробничої діяльності підприємства, повна відповідальність власника за створення безпечних і нешкідливих умов праці;

2) комплексне вирішення завдань охорони праці на засадах національних програм з цих питань, а також з урахуванням інших напрямків економічної і соціальної політики, досягнень в галузі науки, техніки охорони здоров'я;

3) соціальний захист працівників, повне відшкодування шкоди особам потерпілим від нещасних випадків на виробництві та професійних захворювань;

4) установлення єдиних нормативів з охорони праці для всіх підприємств

					141.4367стЗ.БР.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

незалежно від форм власності і видів їх діяльності;

5) використання економічних методів управління охороною праці: проведення політики пільгового оподаткування, то сприяє створенню безпечних та нешкідливих умов праці, участь держави в фінансуванні заходів з охорони праці;

6) здійснення навчання населення, професійної підготовки та підвищення кваліфікації працівників з питань охорони праці;

7) забезпечення координації діяльності державних органів, установ, організацій та об'єднань громадян, що вирішують різні проблеми охорони здоров'я, гігієни та безпеки праці, а також співробітництво.

Умови праці на робочому місці, безпека технологічних процесів, машин, механізмів, устаткування та інших засобів виробництва, стан засобів колективного та індивідуального захисту, що використовуються працівником, а також санітарно-побутові умови повинні відповідати вимогам нормативних актів про охорону праці.

Власник або уповноважений ним орган повинен впроваджувати сучасні засоби техніки безпеки, які запобігають виробничому травматизмові, і забезпечувати санітарно-гігієнічні умови, що запобігають виникненню професійних захворювань працівників.

На власника або уповноважений ним орган покладається систематичне проведення інструктажу (навчання) працівників з питань охорони праці, протипожежної охорони.

Охорона праці - один з центральних інститутів трудового права. Він має виключно практичне значення. Недодержання вимог охорони праці створює небезпеку для здоров'я і життя працівників. У свою чергу і ті, кого законодавець називає власником або уповноваженим ним органом, несуть сувору, у тому числі й кримінальну, відповідальність за порушення правил охорони праці.

					141.4367стЗ.БР.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

4.2 Аналіз небезпечних і шкідливих факторів роботі з зерноперевантажувальною норією.

З точки зору впливу небезпечних і шкідливих факторів при роботі з зерноперевантажувальною норією можна виділити такі фактори: вплив електричного струму; вплив шуму; вплив вібрації; вплив пилу на органи дихання та зору; недостатня освітленість приміщення.

Тривале перебування людини в зоні комбінованого впливу різних несприятливих факторів може привести до професійного захворювання.

Розглянемо більш детально вплив цих факторів на працівника.

4.2.1. Вплив електричного струму.

Робота норії можлива завдяки електричному струмові, до джерел якого вона підключаються, тому існує небезпека ураження користувача струмом. Щоб уникнути нещасних випадків варто строго дотримуватися правил електробезпеки.

Небезпека електричного струму на відміну від інших небезпек збільшується тим, що людина не в змозі без спеціальних приладів виявити напругу дистанційно, а також швидкоплинністю поразки - небезпека виявляється, коли людина вже уражена [8].

Ураження струмом приводить до різних порушень в організмі, викликаючи як місцеву поразку тканин і органів, так і загальне ураження організму.

Людина відчуває дратівну дію перемінного струму промислової частоти силою 0,6 -1,5 мА і постійного струму 5-7 мА. Ці струми не представляють серйозної небезпеки для організму людини, тому що при такій силі струму можливе самостійне звільнення людини від контакту зі струмоведучими частинами.

Для перемінного струму промислової частоти сила невідпускаючого струму знаходиться в межах 6-20 мА. Постійний струм не викликає невідпускаючого ефекту, але приводить до сильних болючих відчуттів, сила такого струму 15-80 мА і більше.

					141.4367стЗ.БР.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

4.2.2. Вплив шуму.

Звук - це розповсюдження звукової хвилі в пружному середовищі. Він характеризується частотою звукових коливань, амплітудою та часовими змінами коливань.

Звуковий спектр поділяється на інфразвук, частота коливань звукової хвилі якого знаходиться в межах від 0 до 20 Гц - людина цих звуків не відчуває. Звуки з частотою від 20 до 20 000 Гц - звуковий діапазон, який людина чує. Частота від 20 000 Гц до 109 Гц - ультразвук, від 109 і вище - гіперзвук - людське вухо їх не сприймає [3].

Шум - це коливання звукової хвилі в звуковому діапазоні, що характеризується змінною частотою і амплітудою, непостійні в часі, які не несуть корисної інформації людині.

Вібрація - це механічні коливання, що призводять до розладу життєвих функцій людини, шкідливо впливають на роботу обладнання та руйнують будівельні конструкції.

4.2.3. Шум. Загальні поняття та визначення.

Звукові коливання будь-якого середовища виникають при порушенні його стаціонарного стану під впливом збурюючої сили. Частки середовища починають коливатися відносно положення рівноваги, при цьому швидкість цих коливань (коливальна швидкість) значно менша швидкості розповсюдження звукових хвиль (швидкості звуку), яка залежить від пружних властивостей, температури та щільності середовища.

Під час звукових коливань у повітрі утворюються зони зниженого та підвищеного тиску, які визначають звуковий тиск. Звуковим тиском зветься різниця між миттєвим значенням повного тиску та середнім тиском в незбуреному середовищі.

Несприятливий вплив шуму на людину залежить не тільки від рівня звукового тиску, а й від частотного діапазону шуму, а також від рівномірності його впливу впродовж часу.

					141.4367стЗ.БР.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Кожне джерело шуму може бути представлене своїми утворюючими тонами у вигляді залежностей рівня звукового тиску від частоти (частотним спектром шуму або просто спектром). Спектри шумів можуть бути лінійчастими (дискретними), суцільними та змішаними. Більшість джерел шуму на підприємствах мають змішаний або суцільний спектр.

4.3. Заходи техніки безпеки щодо запобігання впливу небезпечних і шкідливих факторів в роботі устаткування

Технічні засоби електробезпеки включають: ізоляцію струмопровідних частин, захисне заземлення, замулення, захисне вимикання, малу напругу, вирівнювання потенціалів, електричне розділення, загороджувальні пристрої, запобіжну сигналізацію, блокування, знаки безпеки, засоби індивідуального захисту та інші.

Ізоляція — захист струмоведучих елементів обладнання, що забезпечує її нормальну роботу і захист від ураження електричним струмом.

У нормальних виробничих умовах ізоляцію мережі слід перевіряти не менше одного разу на рік. Опір ізоляції силових і освітлювальних електропроводів має бути не менше 0,5 МОм.

Захисне заземлення — навмисне електричне з'єднання металічних неструмоведучих частин електрообладнання, які можуть опинитися під напругою із заземлюючим пристроєм.

Для запобігання впливу на організм людини під час роботи устаткування звукових коливань доцільно застосувати звукоізоляцію:

- установка силових блоків перетворювачів при зборці на пружні амортизатори;
- ізолювання внутрішньої поверхні джерела живлення гофрованою гумою, що поглинає звукові коливання.

Для зменшення впливу електромагнітних полів на працівників, що знаходяться в зоні дії устаткування, варто також застосовувати захисні

					141.4367стЗ.БР.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

заходи. У їх число можуть входити організаційні, інженерно – технічні і лікарсько-профілактичні заходи.

В даному випадку доцільно екранувати блок джерела живлення металевими аркушами або металевою сіткою з гарною провідністю. Такі міри не викликають утруднень виходячи з розмірів блоку.

Усі дії по ремонту і профілактиці устаткування повинні виконуватися тільки після відключення його від живильної мережі.

					141.4367стЗ.БР.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ВИСНОВКИ

Основною задачею дипломного проекту була розробка системи автоматичного керування електроприводом зерноперевантажувальної норії.

Відповідно до мети дипломного проекту на підставі порівняльного аналізу існуючих типів систем автоматичного керування електроприводами постійного струму на базі тиристорного перетворювача, обрана система автоматичного керування зі зворотними зв'язками по струму і швидкості на базі тиристорного перетворювача ЕТУ 3601 яка дозволяє забезпечити необхідний режим роботи електропривода з меншими енергетичними витратами і кращими показниками якості перехідного процесу – $t_{\max}$, $\sigma_{\max}$.

Підвищено рівень надійності і термін служби у результаті розробки системи автоматичного керування.

Знижено споживання енергії на 10% завдяки раціональному вибору системи автоматичного керування і низьких втрат. Невеликі габарити тиристорного перетворювача сприяють зручному компонуванню з електроприводом.

Використання такої системи автоматичного керування дозволяє виконувати вимоги охорони праці і навколишнього середовища.

З метою зменшення впливу електромагнітних полів на працівників, що знаходяться в зоні дії устаткування норії треба екранувати блок джерела живлення металевими аркушами або металевою сіткою з гарною провідністю. Такі заходи не викликають утруднень виходячи з розмірів блоку.

					141.4367стЗ.БР.ПЗ	Арк.
						83
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ЛІТЕРАТУРА

1. Башарин Н.К. Управление электроприводами: Учебное пособие для вузов. / Н. К. Башарин, В. А. Новиков, Г. Г. Соколовский. — Л.: Энергоиздат, 1982 г.
2. Пілецький В.Т. Вибір елементів реверсивних тиристорних перетворювачів електроприводів постійного струму. / В. Т. Пілецький. — К.:ІСДО, 1994 г.
3. Долин П. А. Справочник по технике безопасности. / П. А. Долин. — М.: Энергоатомиздат, 1984 г.
4. Ключев В.И. Электропривод и автоматизация общепромышленных механизмов: Учебник для вузов. / В. И. Ключев, В. М. Терехов. — М.: Энергия, 1980 г.
5. Комплектные тиристорные электроприводы: Справочник / [Евзеров И.Х., Горобец А.С., Мошкович Б.И. и др.]. Под ред. В. М. Перельмутера. — М.: Энергоатомиздат, 1998 г.
6. Копылов И.П. Математическое моделирование электрических машин: Учебник для вузов по спец. « Электрические машины». / И. П. Копылов — М.: Высшая школа, 1987 г.
7. Охрана труда в машиностроении, / Под ред. Юдина Е.Я.: Уч. для вузов. — М.: Машиностроение, 1976 г.
8. Правила технической эксплуатации электроустановок потребителей и правила техники безопасности при эксплуатации электроустановок потребителей.
9. Справочник по автоматизированному электроприводу / Под. ред. Елисеева М.А.- М.: Энергоатомиздат, 1983.-682 с.
10. Справочник по электрическим машинам: В 2 т. / Под общ. ред. Копылова И.П. и Клокова Б.К. Т. 1. — М.: Энергоатомиздат, 1988 г.

					141.4367стЗ.БР.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

11. Титце У. Полупроводниковая схемотехника: Справочное руководство. / У. Титце, К. Шенк. Пер. с Нем. – М.: 1982.

12. Чиликин М.Г. Общий курс электропривода: Учебник для вузов./ М. Г. Чиликин, А. С. Сандлер. – 6-е изд., доп. и перераб. – М.: Энергоиздат, 1981 г.

					141.4367ст3.БР.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		