

ДВНЗ «Донецький національний технічний університет»
Факультет машинобудування, електроінженерії та хімічних технологій
Кафедра електричної інженерії

«До захисту допущено»

Завідувач кафедри

(підпис) О. КОЛЛАРОВ
(ініціали, прізвище)

« ____ » _____ 2022 р.

Кваліфікаційна робота
бакалавра

на тему Обґрунтування параметрів роботи електроприводів підйомних установок

Виконав студент 3 курсу, групи ЕЛКЗп-19
(шифр групи)

спеціальності підготовки 141 «Електроенергетика, електротехніка та
(шифр і назва спеціальності підготовки)

та електромеханіка»

Роман ЄДИНАК

(ім'я та прізвище)

(підпис)

Керівник ст.викл. каф., І. ПРИДАТЬКО

(посада, науковий ступінь, вчене звання, ініціали, прізвище)

(підпис)

Рецензент _____

(посада, науковий ступінь, вчене звання, ініціали, прізвище)

(підпис)

Нормоконтроль:

О. ЛЮБИМЕНКО

(підпис)

Засвідчую, що у цій випускній кваліфікаційній роботі немає запозичень з праць інших авторів без відповідних посилань.

Студент _____

(підпис)

(дата)

(дата)

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ДЕРЖАВНИЙ ВИЩИЙ НАВЧАЛЬНИЙ ЗАКЛАД
«ДОНЕЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ»**

Факультет машинобудування, електроінженерії та хімічних технологій

Кафедра електричної інженерії

Освітній ступінь: бакалавр

Спеціальність: електроенергетика, електротехніка та електромеханіка

ЗАТВЕРДЖУЮ:

Завідувач кафедри

_____ (О. КОЛЛАРОВ)

« _____ » _____ 2022 р.

**ЗАВДАННЯ
НА ДИПЛОМНУ РОБОТУ СТУДЕНТУ**

Роману ЄДИНАКУ

(ім'я та прізвище)

1. Тема роботи: Обґрунтування параметрів роботи електроприводів
підйомних установок

керівник роботи Ігор ПРИДАТЬКО, ст. викл.

(ім'я та прізвище, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом вищого навчального закладу від _____ № _____

2. Строк подання студентом роботи 10 червня 2022 року

3. Вихідні дані до роботи: Розробити систему

підпорядкованого регулювання струму та частоти обертання

електроприводу з двигуном постійного струму для роботи підйомної

установки з наступними параметрами: годинна продуктивність підйому –

400 т/год.; висота підйому – 210 м; статичний запас міцності – 6,5;

значення прискорення та уповільнення – не більше 1,2 м/с²; коефіцієнт

шкідливих опорів – 1,15; двигун – постійного струму, тихохідний;

коефіцієнт еквівалентності навантаження – 1,25; коефіцієнт запасу по

напрузі – 1,1; коефіцієнт, що враховує падіння напруги на вентилях при

комутації – 1,1, коефіцієнт запасу по струму – 2,5; коефіцієнт пульсацій

врівноважуючого струму – 0,25

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

1. Огляд загальних способів керування підйомними установками.

2. Визначення проблемних питань роботи підйомних установок.

3. Розрахунок електромеханічних параметрів роботи підйомної установки.

4. Моделювання роботи електроприводів.

5. Огляд питань безпечної експлуатації приводів підйомних установок.

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

Десять слайдів презентаційного матеріалу.

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Ініціали, прізвище та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Розділи 1 – 4	І. ПРИДАТЬКО, ст. викл.		
Розділ 5	О. КОЛЛАРОВ, доц. каф.		
Нормоконтроль	О. ЛЮБИМЕНКО, доц. каф.		

7. Дата видачі завдання 02 травня 2022 року

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1.	Розділ 1	02.05.22 – 08.05.22	
2.	Розділ 2	09.05.22 – 15.05.22	
3.	Розділ 3	16.06.22 – 22.05.22	
4.	Розділ 4	23.05.22 – 04.06.22	
5.	Розділ 5	05.06.22 – 10.06.22	
6.			

Студент _____
(підпис)

Роман ЄДИНАК _____
(ім'я та прізвище)

Керівник роботи _____
(підпис)

Ігор ПРИДАТЬКО _____
(ім'я та прізвище)

АНОТАЦІЯ

Роман ЄДИНАК. Обґрунтування параметрів роботи електроприводів підйомних установок / Випускна кваліфікаційна робота на здобуття освітнього рівня «бакалавр» за спеціальністю 141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка – ДВНЗ ДонНТУ, Луцьк, 2022.

Дипломна робота складається зі вступу, основної частини, яка включає чотири розділи, висновків, списку використаних джерел та додатків.

У першому розділі наведено загальні відомості про підйомні установки – визначено способи керування підйомними установками та огляд застосованості у приводах електричних машин.

У другому розділі були визначені проблемні питання роботи підйомних установок.

У третьому розділі були розраховані електромеханічні параметри роботи підйомної установки.

У четвертому розділі здійснено моделювання роботи електроприводів з двигунами постійного струму.

Ключові слова: підйомна установка, привод, електрична машина, електромеханічні параметри, силова частина, тиристор, моделювання

ЗМІСТ

	стор.
ВСТУП	6
1 ЗАГАЛЬНІ ВІДОМОСТІ ПРО ПІДЙОМНІ УСТАНОВКИ	7
1.1 Загальні відомості про способи керування підйомними установками	7
1.2 Огляд застосованості приводів електричних машин на підйомних установках	10
2 ОГЛЯД ПРОБЛЕМНИХ ПИТАНЬ РОБОТИ ПІДЙОМНИХ УСТАНОВОК	19
3 РОЗРАХУНОК ЕЛЕКТРОМЕХАНІЧНИХ ПАРАМЕТРІВ РОБОТИ ПІДЙОМНОЇ УСТАНОВКИ	25
3.1 Визначення механічних параметрів роботи підйомної установки	26
3.2 Розрахунок та вибір елементів силової частини електроприводу приводу підйомної установки	36
4 МОДЕЛЮВАННЯ РОБОТИ ЕЛЕКТРОПРИВОДІВ З ДВИГУНАМИ ПОСТІЙНОГО СТРУМУ	45
ВИСНОВКИ	50
СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ	51
ДОДАТОК А. ГРАФІЧНА ЧАСТИНА	55
ДОДАТОК Б. ОРГАНІЗАЦІЯ ЕКСПЛУАТАЦІЇ ЕЛЕКТРОУСТАНОВОК	61
ДОДАТОК В. ПЕРЕЛІК ЗАУВАЖЕНЬ НОРМОКНТРОЛЕРА	78

ВСТУП

У приводах підйомних установок можуть бути використані різноманітні типи двигунів – асинхронні, двигуни постійного струму та інші. Той чи інший тип приводного двигуна залежить від потужності та призначення підйомної установки.

Якщо брати до уваги приводи з асинхронними двигунами, то у якості таких використовуються двигуни з фазними роторами. Цей тип двигунів дозволяє здійснювати регулювання режимів їх роботи шляхом введення у ланцюг ротора додаткових резисторів. Застосування таких приводів мають досить багато недоліків, що вимагає пошуку та впровадження нових технологій у електроприводах.

З іншого боку, для дослідження позитивних ефектів від впровадження тих чи інших заходів досить корисним є здійснення перевірки своїх передбачень шляхом моделюванням на противагу проведенню експериментів. Даний спосіб дозволяє розробити та реалізувати можливість регулювання приводних двигунів з використанням контролерів за принципами широтно-імпульсної модуляції.

Негативним фактором, що впливає на роботу асинхронних двигунів, є наявність коливань, що викликаються пружними властивостями підйомних канатів. Ці негативні фактори можуть бути знівельовані шляхом відповідного керування роботою електроприводу.

1 ЗАГАЛЬНІ ВІДОМОСТІ ПРО ПІДЙОМНІ УСТАНОВКИ

1.1 Загальні відомості про способи керування підйомними установками

Одним з найрозповсюдженіших використань підйомних установок є гірничі підприємства. Там вони виступають життєво-важливою ланкою для зв'язку між поверхнею і підземними виробками, вони забезпечують необхідний транспортний та технологічний зв'язок, здійснення комунікацій та іншого [1].

Підйомні установки повинні мати високий рівень безпеки, експлуатаційної надійності та економічності роботи. Зазначене вимагає проведення наукових і практичних досліджень підйомних установок, що вже працюють та вводяться в експлуатацію, з метою визначення параметрів, що забезпечують їх оптимальність та стабільність, або визначення заходів з їх покращення або упорядкування.

Підйомні установки складаються з кількох основних частин [1]:

- підйомної машини,
- приводного двигуна,
- підйомних канатів,
- гальмівного пристрою,
- пристроїв контролю та керування.

Підйомна машина розташовується у верхній частині ствола, до якої під'єднується приводний двигун. Підйомні канати прикріплюються до барабана підйомної машини і намотуються, або змотуються з цих барабанів. До підйомних канатів прикріплюється підйомна посудина, у яку завантажуються корисний вантаж [1].

Барабан підйомної машини приводиться в рух від приводного двигуна напряму (тихохідні двигуни) або через редуктор (швидкохідні двигуни). У якості приводних можуть застосовуватися машини постійного та змінного

струму. До недавнього часу у більшості підйомних систем використовували асинхронні двигуни з фазним ротором, для яких характерно можливість регулювання частоти обертання та крутного моменту двигуна за допомогою регулятора рідинного резистора в роторі [1].

Номінальні параметри роботи підйомних машин визначається рядом факторів: величиною вантажопідйомності, прискоренням та заданими значеннями швидкості руху підйомної посудини, що визначається необхідними значеннями продуктивності підйомної системи. Керування підйомної машини здійснюється в автоматизованому режимі – частина операцій (розгін, рівномірний рух, гальмування) відбувається в автоматичному режимі, а частина (пуск, дотяжка, стопоріння, зупинка) – в ручному. Автоматичне керування здійснюється з використанням засобів дистанційного контролю швидкості руху та положення підйомної посудини у вертикальній площині [2].

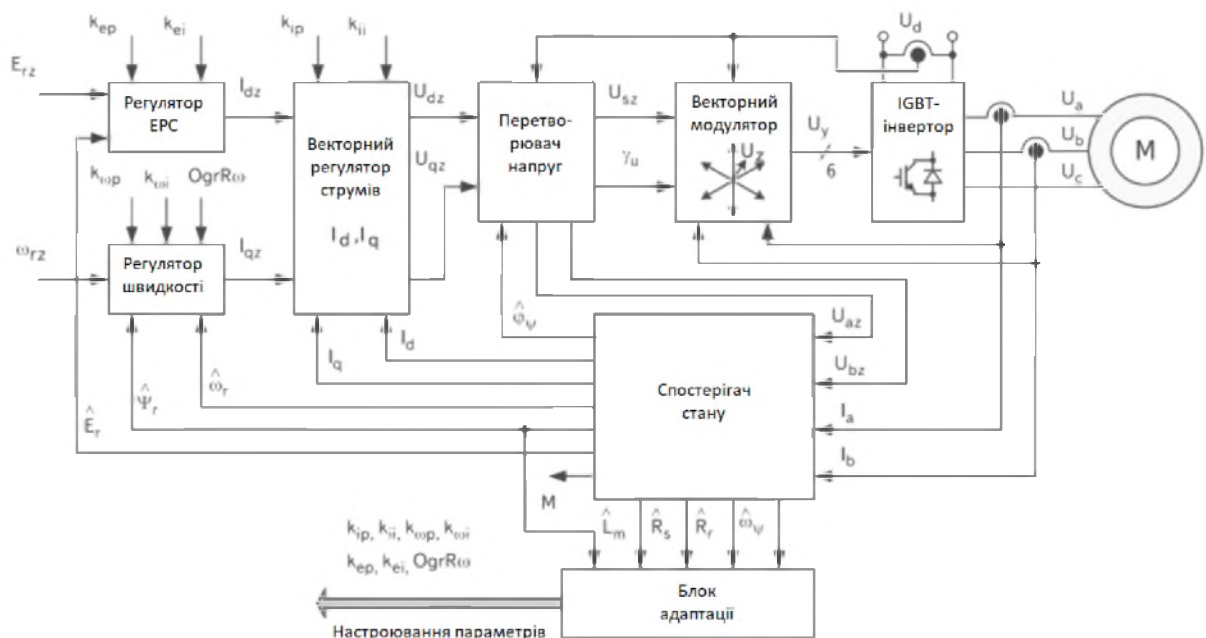


Рисунок 1.1 – Загальноприйнята структурна схема електроприводу асинхронного двигуна [3]

Особливістю роботи приводних двигунів підйомних установок є наявність різних режимів: двигунного, динамічного гальмування, генераторного та необхідністю здійснювати прямий та реверсивний рух. З міркувань безпеки та експлуатаційної надійності необхідним є застосування ефективної гальмівної системи. Динамічне гальмування знаходить використання для уповільнення обертального руху барабана та поступального підйомної посудини. Найкращих показників динамічного гальмування можна забезпечити при застосуванні асинхронних двигунів з фазним ротором, що досягається шляхом відключення статорних обмоток від джерела змінного струму та подачі на них постійного струму. У режимі динамічного гальмування електричний двигун виступає у якості генератора. Величину гальмування можна регулювати шляхом регулювання величини опору в роторному ланцюзі [4].

Тип та погонна вага підйомних канатів має суттєвий вплив на роботу підйомної системи, а отже, і приводних двигунів. Збільшення глибини ведення робіт, вимагає збільшення перетину і довжини канатів. Дане твердження істотно впливає на стабільність поведінки системи та появу небажаних коливальних ефектів і їх передачі на механізми, що обертаються. Коливання, що виникають, завдають іноді надмірні навантаження як на сам канат, що призводить до їх обриву, так і на системи приводу та режим роботи системи керування підйомним двигуном [1].

Останнім часом більш широкого застосування стали набувати підйомні машини, у приводі яких використовуються двигуни постійного струму, особливостями яких є можливість застосування простих та надійних способів регулювання частоти обертання та величини крутного моменту. А у приводах з асинхронними двигунами замість реостатного керування широке використання знайшли системи живлення з регулюванням за допомогою силових напівпровідникових елементів. Недоліками асинхронних двигунів з фазним ротором, що керуються

шляхом введення опорів у роторну обмотку є: необхідність частого обслуговування, необхідність постійного обслуговування, повільна реакція на зміну режимів роботи. Зазначені недоліки обмежують можливості керування у такий спосіб та необхідність впровадження нових, більш досконалих та прогресивних методів та способів керування підйомними двигунами. Потрібна система приводу для існуючих асинхронних машин із контактним. У якості таких пристроїв можуть бути використані тиристорні перетворювачі, побудовані на базі силових елементів, у функції якого входить здійснення комутації напівпровідникових елементів для реалізації принципів широтно-імпульсної модуляції [5].

У якості комутаційних пристроїв можуть виступати [6]:

- кремнієві керовані випрямлячі – тиристори (GTO),
- паралельно з'єднані тиристори – симистори (GCT),
- біполярні транзисторів (BJT),
- біполярні транзистори з ізольованим затвором (IGBT),
- польові транзистори (MOSFET),

Популярності також набувають комбіновані технології використання напівпровідникових пристроїв, які здатні задовольнити увесь необхідний діапазон продукування заданих значень параметрів.

1.2 Огляд застосованості приводів електричних машин на підйомних установок

Природний історичний розвиток пристроїв керування електроприводами призвів до того, що найбільш бажаними до використання пристроями (для підйомних систем значної потужності з тихохідними двигунами) на базі напівпровідникових силових перетворювачів, стали циклоконвертори змінного струму, що приходять на

заміну тиристорним приводам постійного струму. При цьому досить важливо здійснити чіткий вибір типу та типорозміру приводної електричної машини та самої системи приводу. Це дозволить підібрати найкращі параметри для найбільш економічної роботи системи [7].

Підйомні установки здебільшого вимагають забезпечення високого значення пускового та номінального крутного моменту при невисоких значеннях частоти обертання. При цьому регулювання частоти обертання має бути безперервним і плавним, що визначається вимогою запобігання виникненню «провокаційних» коливань електричних та механічних параметрів, що можуть призвести до аварійних станів. На підйомну машину також покладено завдання розгону та гальмування підйомної посудини з найменшими витратами енергії.

Під час роботи, а особливо під час процесу перемикання у контролерах у мережі виникають гармоніки, які призводять до пульсації крутного моменту (при високому значенні частоти пульсацій) та частоти обертання (при низькій частоті пульсацій). Гармонічні коливання викликають у мережі живлення проблеми якості постачання електричної енергії і призводить до енергетичних втрат.

Одним з важливих показників роботи електроприводу є витрати електричної енергії, що у кінцевому випадку визначає застосованість того чи іншого способу регулювання.

Максимальна потужність під час пуску приводного двигуна – до 80% усіх витрат при їх роботі, а поняття розсіювання енергії мають визначальне значення. Але основною вимогою до підйомних установок і електроприводів, що забезпечують їх роботу, є висока надійність системи, що розглядається, наявність резерву окремих систем та обов'язкове використання засобів контролю усіх параметрів роботи. Не останню роль у цьому відіграють гальмівні властивості як самого приводу так і гальмівних механізмів, що повинні працювати за умов забезпечення значення нормованої величини уповільнення [8].

До деяких приводів додатково пред'являють вимоги по протистоянню шкідливим впливам зовнішнього середовища (підвищена вологість, запиленість, наявність вибухонебезпечних газів та інше), яке може викликати досить негативні явища при роботі системи.

Електричні машини і змінного і постійного струму можуть бути з однаковими по вірогідності та можливості застосування, більш того, за умови використання засобів регулювання. Приводи змінного струму знаходять більш широкого застосування у порівнянні з приводами постійного струму завдяки вищим параметрам надійності, ефективності та економічних міркувань, особливо на максимально-можливих режимах роботи. На рис. 1.2 наведено класифікацію електричних приводів, що знайшли застосування на підйомних установках [9].

У останні роки у приводах потужних підйомних установок з двигунами постійного струму найбільшого застосування набули тиристорні перетворювач постійного струму. У даних системах напруга живлення якоря двигуна керує величиною крутного моменту, для чого на тиристорні затвори подаються імпульси від перетворювача і керує формою хвилею синусоїди. Для зміни полярності постійного струму використовують властивості керованих перетворювачів, які з'єднано обернено паралельно (рис. 1.3). Даний прийом дозволяє отримати усі можливі режими роботи приводу для отримання практично будь-яких значень частоти обертання та крутного моменту [10].

Перетворювачі підключаються безпосередньо до мережі живлення, що викликає виникнення спотворень показників роботи цих мереж – струмів, напруг, частоти. Ситуація погіршується при одночасному ввімкненні кількох потужних приводів на кількох підйомах.



Рисунок 1.2 – Класифікація електроприводів електричних машин, що можуть бути застосовані на підйомних установках

Зазначену проблему можна вирішити шляхом впровадження статичної компенсації за рахунок фільтрів та обладнання для підвищення значення коефіцієнта потужності. Це дозволить досягти високої гнучкості по управлінню, сягати високих значень загального ККД.

Електропривод, що керує параметрами статора двигуна, підключений на пряму до мережі живлення, показано на рис. 1.4. [10]

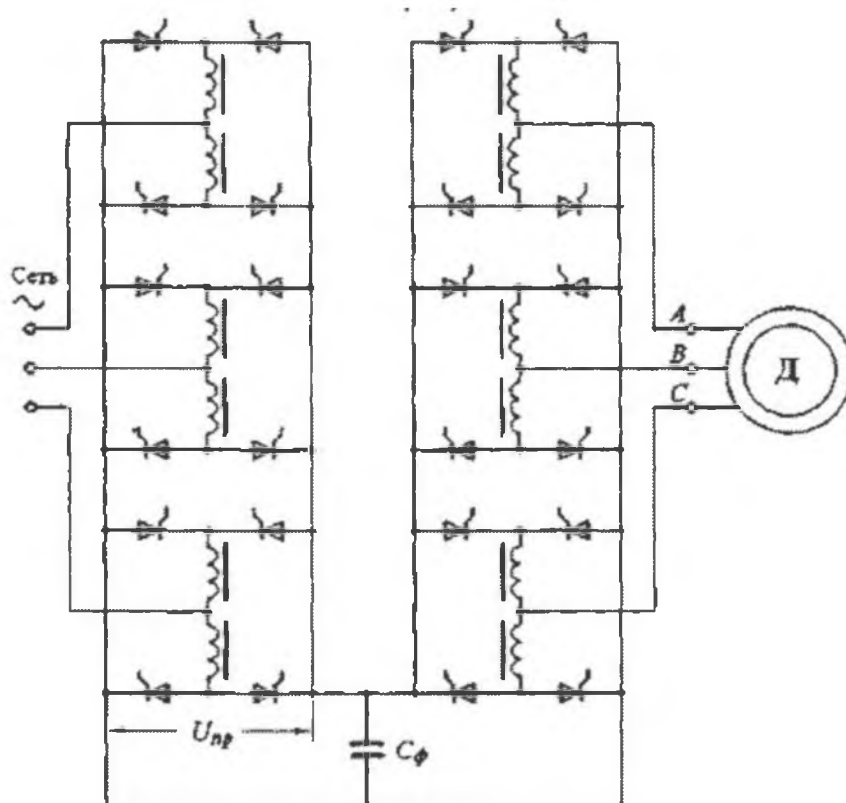


Рисунок 1.3 – Керований дволанковий перетворювач

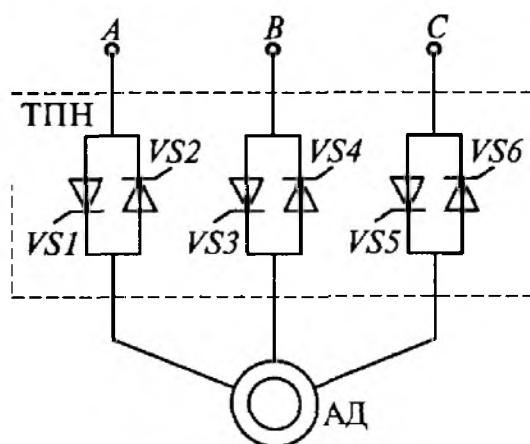


Рисунок 1.4 – Схема силової структури системи «тиристорний перетворювач напруги» – «асинхронний двигун»

Частота обертання ротора асинхронного двигуна за даною схемою керується шляхом контролю частоти живлячої напруги. Перетворювач являє собою циклоконвертор, який дозволяє з високим ступенем ефективності здійснювати перетворення величини напруги і частоти, що

надходить від джерел живлення, шляхом їх регулювання для регулювання частоти обертання асинхронного двигуна. Циклоконвертори використовують для управління електромеханічними параметрами роботи асинхронних двигунів з використанням принципу ШІМ (рис. 1.5) [11].

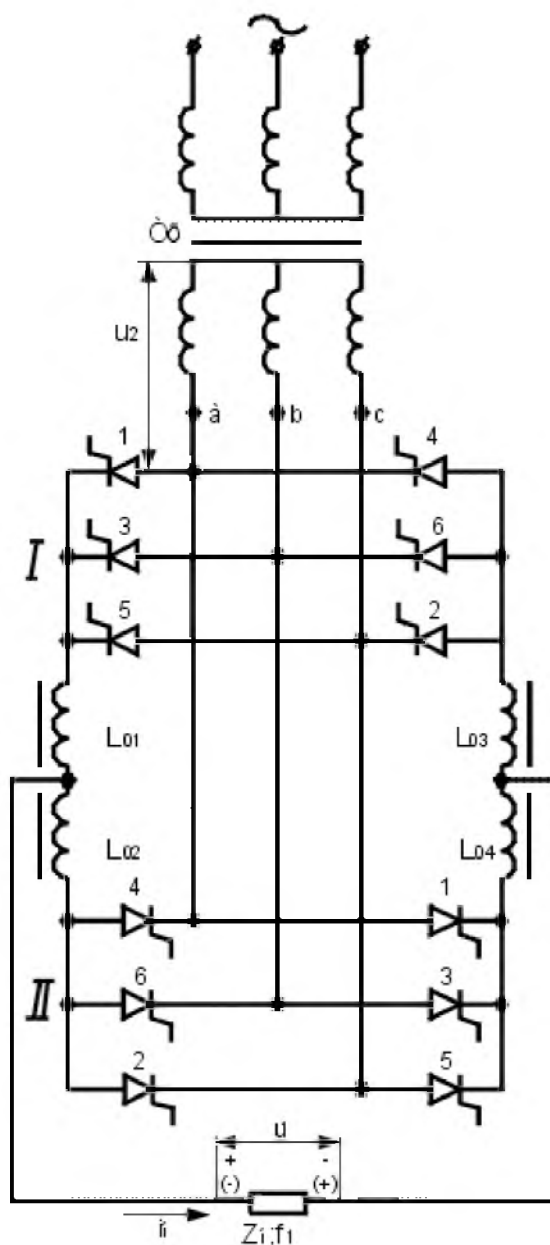


Рисунок 1.5 – Схема силової структури циклоконвертора

Кут відкриття тиристора може бути змінений у такий спосіб, щоб середнє значення вихідної напруги змінювалося синусоїдально (рис. 1.7). Величина кута відкриття призводить до зміни значення вихідної частоти

напруги живлення. У якості пристрою керування можуть бути використані системи частотно-імпульсного керування [12].

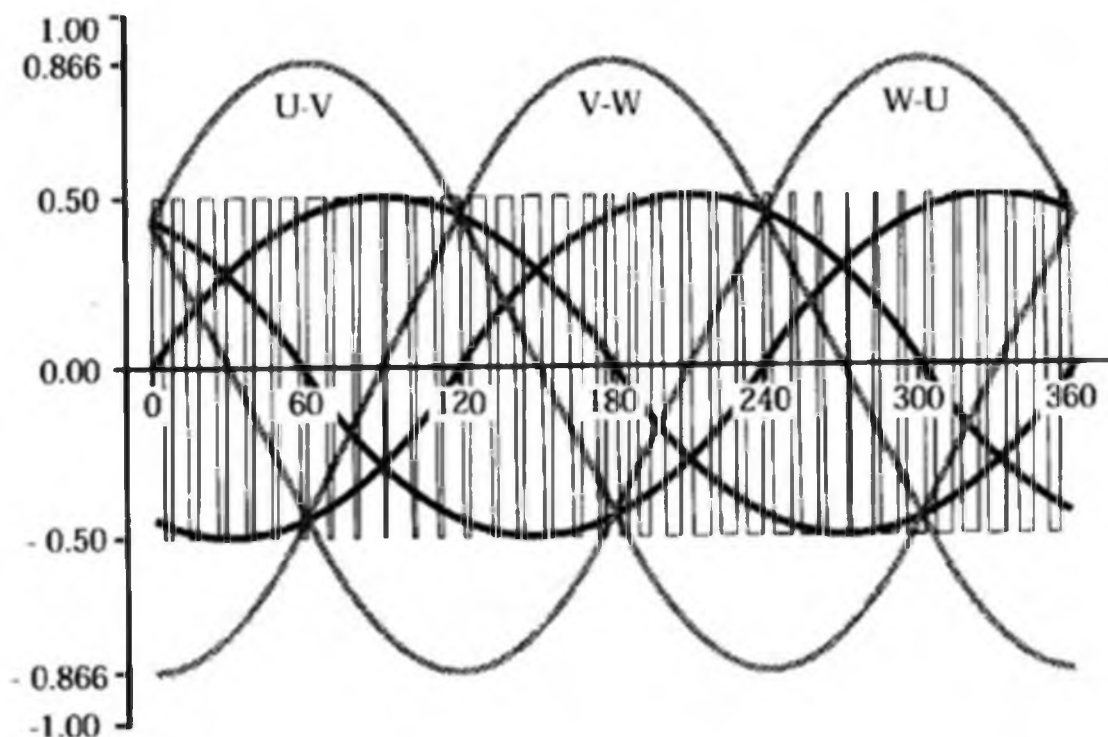


Рисунок 1.6 – Вигляд вихідної напруги синусоїдно-керуючої ШІМ

Один з перетворювачів пропускає струм під час позитивного напівперіоду, а другий – під час негативного напівперіоду хвилі вихідного струму циклоконвертора. У кожен фазу ввімкнено повністю керовані тиристорні мости, з'єднані зустрічно, що дозволяє перетворювачу працювати як у якості випрямляча, так і у якості інвертора, що дозволяє отримати різноманітні механічні характеристики приводу. Основним недоліком даного виду перетворювачів є продукування значної кількості гармонійних коливань струму, що «викидаються» у мережу живлення, які можуть викликати проблеми у роботі чутливих споживачів, що підключено до тієї ж мережі. На рис. 1.7 показано схему керування асинхронного двигуна з фазним ротором, яка дозволяє обмежити спотворення форми струмів і напруг живлячої мережі з огляду на те, що магнітозчеплення двигуна дозволяє використати асинхронний двигун у якості фільтра [13].

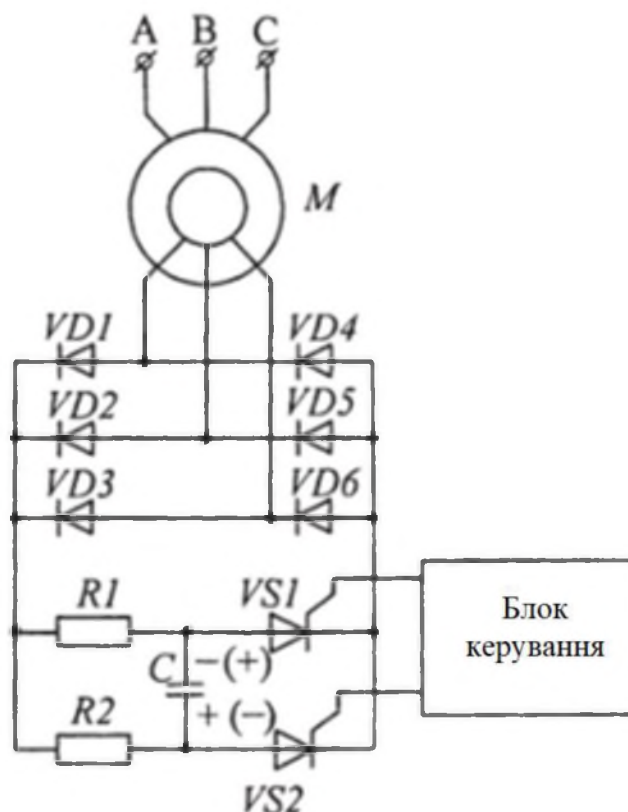


Рисунок 1.7 – Схема керування асинхронним двигуном з фазним ротором

Експлуатація асинхронних двигунів з фазними роторами вимагає більш ретельної уваги та є більш дорожчою у порівнянні з асинхронними двигунами з короткозамкненими роторами. У разі керування за допомогою резисторів використовується принцип розсіювання теплової енергії, що негативним чином відображається на загальній ефективності електроприводу. З метою керування частотою обертання двигунів постійного струму застосовують принцип зміни живлячої напруги за допомогою перетворювачів із зовнішнім керуванням, що дозволяє змінювати згадане значення частоти у широких межах, особливо навколо номінального значення. Для роботи схеми живлення перетворювача використовують сигнал від контролера, який визначає змінну напруги на затискачах двигуна. Дане керування може бути реалізовано в один з двох способів: регулюванню і контролю значення напруги або струму [14].

Зазначений контроль можна здійснити за допомогою пропорційно-інтегральних пристроїв (ПІ- або ПІД-контролерів). Зазначені контролери здатні виключити затримку регулювання, що забезпечує високу швидкість роботи системи керування.

Електроприводи з двигунами постійного струму знайшли широке застосування на підйомних установках та дозволяють здійснювати регулювання частоти обертання якоря, забезпечувати часті пуски, відповідний режим гальмування, точність позиціонування підйомної посудини та швидке реверсування напрямку обертання. Перевагами приводів з постійними двигунами є менше значення експлуатаційних витрат у порівнянні з приводами з асинхронними двигунами [15].

2 ОГЛЯД ПРОБЛЕМНИХ ПИТАНЬ РОБОТИ ПІДЙОМНИХ УСТАНОВОК

Сучасні підйомні установки технологічних підприємств є складними комплексами, до яких пред'являють високі експлуатаційні вимоги та вимоги зменшення витрат з їхнього обслуговування.

Системи управління приводами підйомних установок повинні забезпечити максимальну точність та визначені параметри швидкості та прискорення з дотриманням встановленого рівня безпеки та параметрів надійності.

Електроприводи структурно складаються з приводних двигунів, які приєднано до електричної мережі через перетворювачі визначеної конструкції та системи керування для відтворення заданого режиму роботи підйомної установки. Проектування приводів підйомних установок залежить від умов роботи останніх та вимог до цієї роботи з огляду на протікання технологічного процесу. Зазначені комплекси досить часто комплектуються на основі попереднього досвіду або експериментальним шляхом за умов меншої конструктивної складності при забезпеченні високих експлуатаційних параметрів роботи підйомної установки. Помилкове компонування електромеханічної частини підйомних установок та вибір параметрів роботи електроприводу призводить до ненадійності роботи та аварійних станів [16].

На потужних енергоємних виробництвах найбільшого використання знайшли підйомні установки, у приводі яких застосовані асинхронні двигуни з живленням від перетворювачів частоти на базі силових напівпровідників. Їх використання дозволило отримати сімейство електромеханічних характеристик у всій площині частот обертання і крутного моменту.

Основними чинниками, що визначають тип та потужність підйомної установки є [17]:

- необхідна продуктивність підйомної установки,
- технологічні параметри вантажопідйомності,
- висота підйому,
- припустима швидкість руху підйомної посудини,
- наявна номенклатура підйомних машин,
- сучасність типів перетворювачів частоти та систем керування,
- наявність відповідних вимірювальних інструментів,
- загальний режим роботи підприємства.

Специфіка роботи підйомних систем полягає у наявності широкого кола проблемних питань, що можуть викликати аварійні ситуації, які можна згрупувати наступним чином:

- джерелом яких є механічна частина,
- викликані відмовою електричної частини,
- пошкодження або вихід з ладу елементів підйомної посудини та шляху руху.

Основною енергомеханічною проблемою, що характерна для підйомних установок є стан ввімкнення, який полягає у тому, що після подачі напруги живлення на приводний двигун, генерується не достатній крутний момент. Даний крутний момент повинен крім безпосереднього зрушення підйомної посудини, забезпечити плавність та безперервність цього руху. Даний процес є досить складним для контролю через відсутність відповідних теоретичних і практичних розробок у даній царині. Слабоконтрольовані або не контрольовані рухи підйомної посудини є небажаним явищем, що може призвести до аварійних станів. Найкращим інструментом для дослідження зазначених процесів є математичні та/або комп'ютерні моделі, які вимагають знання теоретичних залежностей, що описують залежності, за якими працює система. Більш того, специфіка роботи підйомних систем вимагає використання різних налаштувань

систем керування у залежності від необхідних значень колової швидкості (частоти) обертання та крутного моменту [18].

За наявності зазначеної ситуації, необхідно встановлення приводних двигунів збільшеної потужності зі збільшеним значенням крутного моменту. Кожен з цих двигунів характеризується певним значенням крутного моменту, який крім рушення підйомної посудини, повинен забезпечити уникнення явища «відкату» – зворотного руху підйомної посудини проти напрямку вектора швидкості руху.

Аналіз аварійних станів підйомних установок показує можливі шляхи пошуку недопущення таких ситуацій. Застосування різноманітних методів діагностики підйомної системи вимагають розробки алгоритмів діагностики несправностей. Необхідно також враховувати стан навколишнього середовища, у якому працює обладнання підйомних установок, що можуть бути досить складними для їх виключення, та режими роботи, які відрізняються високою інтенсивністю та циклічністю, наявні часті пуски, зупинки, зміна напрямку обертання та режими гальмування [19].

Підйомні установки повинні бути постачені сучасними системами автоматизованими управління, побудованими на базі сучасних мікроконтролерів для забезпечення високого рівня надійності роботи системи. Канали керування та контролю мають бути оснащеними пристроями введення-виведення та відповідними датчиками та реле, за допомогою яких здійснюється сприйняття та/або аналіз сигналів, що сприймаються, а у деяких випадках – формування згенерованого сигналу на управління устаткуванням.

При застосуванні засобів перетворення електричної енергії на вході у двигун може забезпечити доволі низьке значення напруги живлення з відповідним значенням частоти струму, що призводить до зниження реактивного опору двигуна у порівнянні з номінальним режимом і, як наслідок, погіршення керувальних можливостей та неможливості вірного

визначення початкового значення прискорення або уповільнення з дотриманням вимог правил безпеки. Тобто, необхідність високого значення прискорення для усунення «відкату» вимагає встановлення високого значення амплітуди струмів, що відповідають критичним значенням параметрів роботи перетворювачів. Іншими негативними факторами можуть виступати режим частих пусків і зупинок на коротких проміжках часу, що може призводити до пошкодження окремих елементів системи керування. Дані міркування вимагають визначення оптимальних параметрів значень вихідної напруги, які зможуть забезпечити задані режими пуску і зупинки при обмеженні значень пускових струмів, що знижує вірогідність перевантаження і пошкодження системи керування взагалі та силових елементів зокрема [20].

Для забезпечення надійності роботи даної системи необхідна реалізувати двоканальну концепцію контролю параметрів роботи підйомної системи. При цьому отримані сигнали, що сприймаються та контролюються, підлягають взаємному порівнянню у режимі реального часу.

Для контролю параметрів роботи підйомної установки можна виділити наступні пристрої [20]:

- датчики швидкості,
- імпульсні датчики,
- шляхові датчики;
- температурні датчики,
- датчики (трансформатори) струму,
- датчики (трансформатори) напруги.

На систему управління та контролю роботи підйомної системи покладено наступні завдання [21]:

- збирання та зберігання параметрів роботи,
- забезпечення працездатності захисних схем роботи,
- надійне керування системою гальмування,

- визначення необхідної у даний момент частоти обертання електроприводу,
- забезпечення постійності керування електричною та механічною частиною приводу,
- контроль лінійної швидкості руху підйомної посудини,
- контроль поточного положення підйомної посудини,
- здійснення захисту від перевищення швидкості (колової частоти обертання),
- впровадження захисту від перевантаження у електромеханічних частинах,
- застосування захисту від напуску та провисання канату.

Захищеність підйомних установок можна відобразити через класифікацію способів контролю, в основу яких покладено ознаку місця розташування точки контролю та швидкість виявлення аварійного стану. За часом спрацьовування можна виділити наступні періоди [22]:

- спрацьовування пристрою контролю,
- формування умов для забезпечення спрацьовування пристрою контролю,
- тривалість відновлення пружних властивостей пристрою контролю,
- заспокоєння хвилі пружної деформації канату,
- період запізнювання,
- тривалість перехідного процесу у двигуні,
- власний час спрацювання пристрою контролю.

Можна сказати, що у теперішній час відсутні спеціальні датчики, які дозволяють здійснювати контроль положення петлі хвостового канату. Датчики контролю натягу канату повинні прикріплюватися безпосередньо до канату над підвісним пристроєм і можуть бути одно-, дво- та триопорними.

Відсутність надійних засобів передачі інформації про положення підйомної посудини викликає необхідність створення бездротових видів

зв'язку і передачі інформації. У якості передавачів можуть виступати петльові антени визначеної робочої площини, з різним кутом їхньої установки та різним значенням опору.

Для більш швидкого досягнення поставленої мети доцільним є використання комп'ютерних моделей, які можуть заздалегідь визначити параметри роботи підйомних електродвигунів, систем керування та перетворювачів, врахувати специфіку роботи підйомної установки, встановити взаємний вплив електричних і механічних параметрів роботи при різних режимах. Моделювання дозволить здійснити всебічний аналіз роботи підйомної установки у всіх режимах. Складені моделі дозволять виконати вибір значення пускового моменту, розрахувати оптимальний час пуску двигуна, які залежать від величини моменту спротиву на валу. Моделі дозволяють виокремити характерні проблемні питання, визначити шляхи їх розв'язання та надати практичні рекомендації для отримання необхідного результату.

3 РОЗРАХУНОК ЕЛЕКТРОМЕХАНІЧНИХ ПАРАМЕТРІВ РОБОТИ ПІДЙОМНОЇ УСТАНОВКИ

Вимоги по точності зупинки та обмеження значень прискорень і уповільнень підйомної посудини визначають принципи роботи електроприводу та засоби автоматизації. Це також накладає обмеження на діапазон регулювання швидкості руху і визначає закладені електродинамічні якості електроприводу. Серед вимог, що пред'являються до електроприводів потужних підйомних установок, можна виділити наступні [23]:

- висока швидкодія спрацьовування,
- забезпечення можливості регулювання частоти обертання у визначеному діапазоні,
- підтримка сталості значень прискорення та уповільнення,
- забезпечення заданої продуктивності підйомної установки,
- обмеження значень крутного моменту та якірного струму двигуна у припустимих межах,
- стійкість роботи при перехідних процесах.

Зазначені вимоги можуть бути реалізовані на основі електроприводів з високим ступенем керованості, до яких можна віднести такі, що виконані за системою «генератор-двигун» (ГД) або «тиристорний перетворювач-двигун» (ТП–Д), які базуються на двигунах постійного струму.

Система «генератор-двигун» забезпечує високі регульовальні властивості та тривалий термін експлуатації, однак має високі масо-габаритні показники та високі експлуатаційні вимоги, вимагає регулярного висококваліфікованого та коштовного обслуговування.

Система «тиристорний перетворювач-двигун» за своїми властивостями є досить близькою до системи «Г-Д», але замість електромашинного використовується тиристорний перетворювач,

складеного на базі одного або двох випрямлячів з можливостями регулювання напруги за рахунок впливу на тиристори.

3.1 Визначення механічних параметрів роботи підйомної установки

Одним зі способів зниження собівартості продукції є зниження витрат на оплату електричної енергії, значна частка якої споживається підйомними установками.

Таблиця 3.1 – Зведені характеристики підйомних установок

Найменування	Найменування споруд та підйомних установок і їх параметри		
	Головний ствол	Допоміжний ствол	
	скіповий підйом	клітьовий підйом	скіповий підйом
Тип підйому	двоскіповий	двоклітьовий	двоскіповий
Призначення	видача гірської маси	допоміжні операції	видача породи
Глибина роботи	210 м	210 м	210 м
Тип підйомної машини	2Ц4×1,8	2Ц5×2,3	2Ц4×1,8
Тип і передаточне число редуктора	—	ЦО-18 11,5	ЦО-18 10,54
Тип і типорозмір двигуна	пост. струму ПБК-285/60	асинхронний ДА-213-34-20	асинхронний АКН-2-18-36-24
Потужність двигуна	950 кВт	850 кВт	500 кВт
Частота обертання двигуна	40 об/хв.	295 об/хв.	245 об/хв.
Підйомна посудина: тип, об'єм, вантажопідйомність	скіп 10,6 м³, 9,0 т	кліть одноповерхова на вагонетку типу ВГ-3,3	скіпи 4,0 м³, 5,9 т
Швидкість підйому	≈ 6,0 м/с	≈ 6,7 м/с	≈ 4,9 м/с

Головними вимогами до підйомних установок є забезпечення відповідної продуктивності за умови найменших витрат, надійності, безперервності і забезпечення вимог безпеки.

Значення раціональної вантажопідйомності підйомної посудини здійснюємо за формулою, т [24]:

$$m_{p.в} = A_z \cdot \frac{4 \cdot \sqrt{H_n} + t_n}{3600}, \quad (3.1)$$

де A_z – годинна продуктивність підйому, $A_z = 400$ т/год.,

H_n – висота підйому, $H_n = 210$ м,

t_n – тривалість паузи, попередньо приймаємо $t_n = 8$ с.

$$m_{p.в} = 400 \cdot \frac{4 \cdot \sqrt{210} + 8}{3600} = 7,33 \text{ т.}$$

Даному значенню задовольняє підйомна посудина – скіп 2СН9,5-1, характеристики якої наведено у табл. 3.1.

Таблиця 3.1 – Характеристики скіпа 2СН9,5-1 [24]

Параметр	Позначення	Значення
Ємність кузова скіпа	V	9,5 м ³
Вантажопідйомність	G	8,0 т
Вага скіпа з причіпним пристроєм	Q	6,9 т
Висота скіпа з останнього жимка	H_c	9,52 м
Перевищення рами над бункером	$h_{пер.}$	0,3 м
Розвантажувальна ділянка шляху	h_p	2,17 м
Відстань між осями скіпів	S_0	2,1 м

Відомості про надстволову будівлю: висота споруди – 39 м, висота бункера – 23 м [24].

Погонну масу одного метра головного канату розрахуємо за формулою, кг/м [24]:

$$m_{к.р.} = \frac{(m_{ван.} + m_c) \cdot z \cdot \gamma_0}{\sigma_с - H_0 \cdot z \cdot \gamma_0}, \quad (3.2)$$

де $\sigma_с$ – межа міцності матеріалу дротів, $\sigma_с = 2000$ МПа,

γ_0 – об'ємна вага матеріалу дротів, $\gamma_0 = 0,1$ МН/м³,

z – статичний запас міцності, $z = 6,5$,

H_0 – значення відвісу канату, $H_0 = 275$ м.

$$m_{к.р.} = \frac{(8000 + 6900) \cdot 6,5 \cdot 0,1}{2000 - 275 \cdot 6,5 \cdot 0,1} = 5,32 \text{ кг/м.}$$

Погонну відносну вагу канату розрахуємо за формулою, Н/м [24]:

$$p_k = m_k \cdot g = 5,32 \cdot 9,81 = 52,19 \text{ Н/м.} \quad (3.3)$$

Обираємо канат типу *ЛК-Р*, параметри якого наведено у табл. 3.1.

Таблиця 3.1 – Характеристики обраного канату [24]

Параметр	Позначення	Значення параметра
Діаметр канату	d_k	39,5 мм
Каталожне значення маси одного метра канату	m_k	5,740 кг/м
Розривне зусилля всіх дротів у канаті	$F_{роз}$	1145 кН

Фактичний запасу міцності канату розрахуємо за формулою [24]:

$$z_{\phi} = \frac{F_{\text{роз}}}{Q + G + p_{\kappa} \cdot H_0} = \frac{1145 \cdot 10^3}{87,1 \cdot 10^3 + 70 \cdot 10^3 + 52,19 \cdot 275} = 6,68 \geq 5 \quad (3.4)$$

Діаметр барабана підйомної машини розрахуємо за формулою, м [24]:

$$D_{\phi} \geq 79 \cdot d_{\kappa} \geq 79 \cdot 0,0395 = 3,12 \text{ м.} \quad (3.5)$$

Максимальний статичний натяг канату розрахуємо за формулою, Н [24]:

$$\begin{aligned} F_{\text{ст.макс}} &= Q + G + p_{\kappa} \cdot H_0 = \\ &= 87,1 \cdot 10^3 + 70 \cdot 10^3 + 52,19 \cdot 275 = 171,75 \cdot 10^3 \text{ Н} \end{aligned} \quad (3.6)$$

Різницю статичних натягів гілок канату розрахуємо за формулою, Н [24]:

$$\Delta F_{\text{ст}} = Q + p_{\kappa} \cdot H_n \quad (3.7)$$

де H_n – висота підйому, $H_n = 262,2$ м

$$\Delta F_{\text{ст}} = Q + p_{\kappa} \cdot H_n = 87,1 \cdot 10^3 + 52,19 \cdot 262,2 = 100,78 \cdot 10^3 \text{ Н.}$$

Попередньо приймаємо підйомну машину 2Ц-3,5, для якої діаметр барабана дорівнює $D_{\phi} = 3,5$ м.

Фактичне значення ширини барабану розрахуємо за формулою, м [24]:

$$B_{p.} = \left(\frac{H_n + l_3}{\pi \cdot D_{\phi}} + n_{mp} + n_0 \right) \cdot (d_{\kappa} + \varepsilon) \leq B \quad (3.8)$$

де l_3 – запас канату на випробування, $l_3 = 25$ м,

n_{mp} – кількість витків тертя, $n_{mp} = 4$,

n_0 – додаткова кількість витків на розтягання, $n_0 = 1$,

ε – зазор між суміжними витками, $\varepsilon = 2 \cdot 10^{-3}$ м.

$$B_{p.} = \left(\frac{262,2 + 25}{3,14 \cdot 3,5} + 4 + 1 \right) \cdot (0,0395 + 0,002) = 1,29 \text{ м.}$$

Приймаємо до застосування підйомну машину $2Ц-3,5 \times 1,8$, параметри якої наведено у табл. 3.2.

Таблиця 3.2 – Характеристики підйомної машини $2Ц-3,5 \times 1,8$ [24]

Параметр	Позначення	Значення параметра
Діаметр барабана	D_6	3,5 м
Ширина барабана	B	1,8 м
Зазор між барабанами	B_2	0,22 м
Максимальний статичний натяг канату	$F_{ст. max}$	180 кН
Різниця статичних натягів гілок канату	$\Delta F_{ст}$	180 кН
Припустима швидкість підйому	$V_{дон}$	10 м/с
Маховий момент машини без редуктора та електродвигуна	GD_6^2	3700 кН·м ²

Діаметр копрового шківа визначається розрахуємо за формулою, м [24]:

$$D_{шк} \geq 79d_k = 79 \cdot 0,0395 = 3,12 \text{ м} \quad (3.9)$$

Приймаємо шків $ШК-4$, параметри якого наведено у табл. 3.3.

Таблиця 3.3 – Характеристики шківів ШК-4 [24]

Параметр	Позначення	Значення параметра
Діаметр шківів	$D_{шк}$	4 м
Маховий момент	$GD_{шк}^2$	342 кН·м ²

Віднесення осі машини від осі підйому розрахуємо за формулою, м [24]:

$$b = 0,6 \cdot H_{\kappa} + D_{\sigma} + 8 = 0,6 \cdot 39 + 3,5 + 8 = 34,9 \text{ м.} \quad (3.10)$$

Довжину струни канату розрахуємо за формулою, м [24]:

$$L_{стр} = \sqrt{(H_{\kappa} - c)^2 + (b + 0,5 \cdot D_{шк})^2} \quad (3.11)$$

де c – перевищення осі підйомної машини над устям, $c = 0,8$ м.

$$L_{стр} = \sqrt{(39 - 0,8)^2 + (34,9 + 0,5 \cdot 4)^2} = 53,1 \text{ м}$$

Кут нахилу струни до горизонту розрахуємо за формулою, град [24]:

$$\beta = \arctg \frac{H_{\kappa} - c}{b - 0,5 \cdot D_{шк}} = \arctg \frac{39 - 0,8}{34,9 - 0,5 \cdot 4} = 49,26^{\circ} \quad (3.12)$$

Значення зовнішнього кута девіації розрахуємо за формулою, град [24]:

$$\alpha_1 = \arctg \frac{B + 0,5 \cdot B_2 - 0,5 \cdot S_0 - n_{mp}(d_k + \varepsilon)}{L_{cmp}} =$$

$$= \arctg \frac{1,8 + 0,5 \cdot 0,22 - 0,5 \cdot 2,1 - 4 \cdot (0,0395 + 0,002)}{53,1} = 0,749^\circ \leq 1^\circ 30'$$
(3.13)

Значення внутрішнього кута девіації розрахуємо за формулою, град [24]:

$$\alpha_2 = \arctg \frac{S_0 + B_2 - 2(B - B_{p.})}{2 \cdot L_{cmp}} =$$

$$= \arctg \frac{2,1 + 0,22 - 2 \cdot (1,8 - 1,29)}{2 \cdot 53,1} = 0,701^\circ \leq 1^\circ 30'$$
(3.14)

Час руху підйомної посудини розрахуємо за формулою, с [24]:

$$T = T_y - t_n = \frac{3600 \cdot m_{ван.}}{A_z} - t_n$$
(3.15)

де T_y – тривалість підйомного циклу, с,

t_n – уточнене значення тривалості паузи, $t_n = 8$ с.

$$T = \frac{3600 \cdot 8}{400} - 8 = 64 \text{ с.}$$

Середню швидкість підйому розрахуємо за формулою, м/с [24]:

$$V_{сер} = \frac{H_n}{T} = \frac{262,2}{64} = 4,1 \text{ м/с.}$$
(3.16)

Максимальну розрахункову швидкість підйому розрахуємо за формулою, м/с [24]:

$$V_{m.poz} = \alpha \cdot V_{сер}. \quad (3.17)$$

де α – коефіцієнт швидкості, $\alpha = 1,25$.

$$V_{m.poz} = \alpha \cdot V_{сер} = 1,25 \cdot 4,1 = 5,125 \text{ м/с.}$$

Частоту обертання барабана підйомної машини розрахуємо за формулою, об./хв. [24]:

$$n_6 = \frac{60 \cdot V_{m.poz}}{\pi \cdot D_6} = \frac{60 \cdot 5,125}{3,14 \cdot 3,5} = 27,98 \text{ об./хв.} \quad (3.18)$$

Частоту обертання підйомного двигуна за відсутності редуктора приймаємо дорівнюючій частоті обертання барабана підйомної машини:

$$n_{дв.} = n_6 \quad (3.19)$$

Фактичну швидкість руху підйомної посудини розрахуємо за формулою, м/с [24]:

$$V_{m.ф} = \frac{\pi \cdot D_6 \cdot n_c \cdot (1-s)}{60 \cdot U} \quad (3.20)$$

де n_c – прийнята синхронна частота обертання двигуна, $n_c = 36$ об./хв.,

U – передавальне відношення редуктора, за його відсутності $U = 1$,

s – величина ковзання двигуна, $s = 0,025$.

$$V_{m.ф} = \frac{3,14 \cdot 3,5 \cdot 36 \cdot (1-0,025)}{60 \cdot 1} = 6,43 \geq V_{m.poz}$$

Орієнтовне значення еквівалентного зусилля розрахуємо за формулою, Н [24]:

$$F_{екв.ор} = k \cdot Q \cdot \xi \quad (3.21)$$

де k – коефіцієнт шкідливих опорів, $k = 1,15$,

ξ – коефіцієнт еквівалентності навантаження, $\xi = 1,25$.

$$F_{екв.ор} = k \cdot Q \cdot \xi = 1,15 \cdot 87,1 \cdot 10^3 \cdot 1,25 = 125206 \text{ Н.}$$

Розрахункове значення потужності двигуна розрахуємо за формулою, кВт [24]:

$$P_{екв.ор} = \frac{F_{екв.ор} \cdot V_{т.ф}}{1000} = \frac{125206 \cdot 6,43}{1000} = 805 \text{ кВт} \quad (3.22)$$

У якості приводного обираємо тихохідний двигун постійного струму П2-630-214-4КУ4, характеристики якого наведено у табл. 3.3.

Таблиця 3.3 – Характеристики двигуна П2-630-214-4КУ4 [24]

Параметр	Позначення	Значення параметра
Номінальна потужність	$P_{ном}$	1000 кВт
Номінальна частота обертання	$n_{ном}$	36 об./хв.
Напруга живлення	U_H	600 В
Струм якоря	I_H	2060 А
Номінальний момент,	M_H	276 кН·м
Маховий момент ротора двигуна	GD_{δ}^2	380 кН·м ²
Коефіцієнт перевантаження	$\gamma_{пер.}$	2

Приведену масу підйомної установки розрахуємо за формулою, кг [24]:

$$m_{np} = m_{ван.} + 2 \cdot m_c + 2 \cdot m_k \cdot L_{г.к} + \frac{1}{g} \left(\frac{2GD_{шк}^2}{D_{шк}^2} + \frac{GD_{б}^2}{D_{б}^2} + \frac{GD_{д}^2}{D_{д}^2} \right) \quad (3.23)$$

де $L_{г.к}$ – повна довжина однієї гілки головного канату, $L_{г.к} = 429$ м.

$$m_{np} = 8 + 2 \cdot 6,9 + 2 \cdot 5,74 \cdot 10^{-3} \cdot 422 + \frac{1}{9,8} \cdot \left(\frac{2 \cdot 342}{4^2} + \frac{3700}{3,5^2} + \frac{380}{3,5^2} \right) = 64993 \text{ кг}$$

Прискорення руху підйомної посудини розрахуємо за формулою, м/с² [24]:

$$a_1 = \frac{F_{ном} \cdot \gamma_{роз} - k \cdot Q - p_k H_n}{m_{np}} \quad (3.24)$$

де $F_{ном}$ – номінальне зусилля, що розвивається приводом на барабані, Н [24]:

$$F_{ном} = 1000 \cdot P_{ном} \cdot \frac{\eta_{ред}}{V_{т.ф}} = 1000 \cdot 1000 \cdot \frac{1}{6,43} = 155520 \text{ Н} \quad (3.25)$$

$\gamma_{роз.}$ – розрахунковий коефіцієнт перевантаження, який розрахуємо за формулою [24]:

$$\gamma_{роз.} = 0,75 \cdot \gamma_{таб} = 0,75 \cdot 2 = 1,5 \quad (3.26)$$

$$a_1 = \frac{F_{ном} \cdot \gamma_{роз} - k \cdot Q - p_{\kappa} H_n}{m_{np}} =$$

$$= \frac{155520 \cdot 1,5 - 1,15 \cdot 78480 - 52,19 \cdot 262,2}{64993} = 1,99 \text{ м/с}^2$$

При значенні прискорення $a_1 > 1,2 \text{ м/с}^2$, приймаємо $a_1 = 1,2 \text{ м/с}^2$

Сповільнення руху підйомної посудини розрахуємо за формулою, м/с^2 [24]:

$$a_3 = \frac{\frac{4}{3} \cdot k \cdot Q - p_{\kappa} H_n}{m_{np}} = \frac{\frac{4}{3} \cdot 1,15 \cdot 78480 - 52,19 \cdot 262,2}{64993} = 1,64 \text{ м/с}^2 \quad (3.27)$$

З огляду на те, що $a_3 > 1,2 \text{ м/с}^2$, то сповільнення визначимо за формулою, м/с^2 [24]:

$$a_3 = \frac{\frac{2}{3} \cdot k \cdot Q - p_{\kappa} \cdot H_n}{m_{np}} = \frac{\frac{2}{3} \cdot 1,15 \cdot 78480 - 52,19 \cdot 262,2}{64993} = 0,82 \text{ м/с}^2 \quad (3.28)$$

3.2 Розрахунок та вибір елементів силової частини електроприводу приводу підйомної установки

Схема системи підпорядкованого регулювання струму та частоти обертання наведено на рис. 3.1.

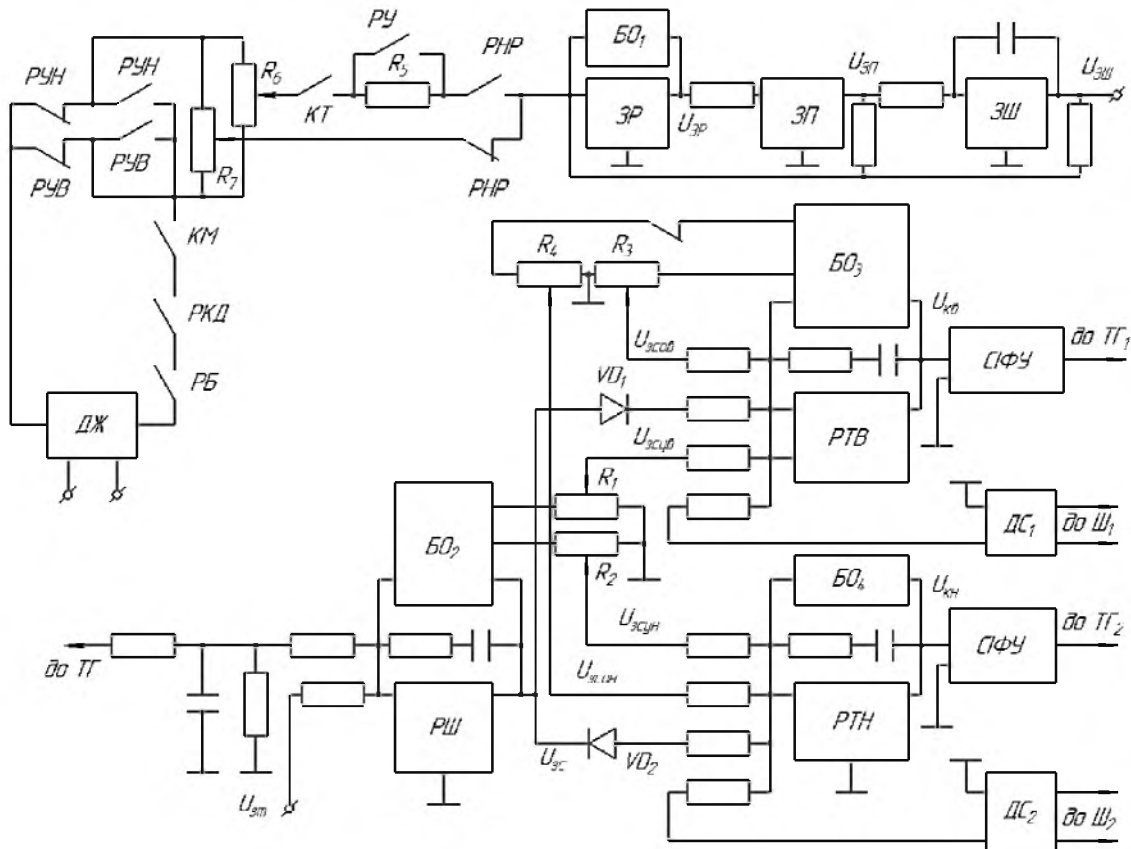


Рисунок 3.1 – Система підпорядкованого регулювання струму та частоти обертання

Система управління електроприводом створена за двоконтурною структурою підпорядкованого регулювання струму та частоти обертання.

Контур регулювання струму містить два незалежні канали регулювання та вимірювання струму з ПІ-регуляторами (PTB і PTH), кожен з яких здійснює керування окремою групою тиристорів. На входи регуляторів струму подаються:

- сигнали негативного зворотного зв'язку струму $U_{зсн}$ та $U_{зсн}$ з датчиків струму $ДС_1$ і $ДС_2$ і по три задані сигнали: зрівняльного струму $U_{зсн}$ та $U_{зсн}$ з потенціометрів R_1 і R_2 , які отримують живлення від блоку обмеження $БО_2$ регулятора частоти обертання,

- початкового струму двигуна $U_{зсн}$ та $U_{зсн}$ з потенціометрів R_3 і R_4 на період, що відбувається перед зняттям зусилля з механічного гальма при пуску, і струму двигуна $U_{зс}$ з виходу регулятора швидкості $РШ$, ця напруга

завдяки роздільним діодам VD_1 і VD_2 надходить на регулятор струму лише тиристорної групи, яка працює при заданому напрямку струму двигуна.

Завдання відповідної полярності сигналів струмів (реального та заданого) відповідає випрямлячому режиму роботи тиристорних груп. Обмеження вихідної напруги регуляторів струму здійснюється блоками BO_3 та BO_4 , топологія яких побудована на стабілітронах.

Регулятор швидкості $PШ$ має передатну функцію ПІ-ланки і налаштований на досягнення симетричного оптимуму, при якому виникає статична помилка, яка може викликати коливання значення частоти обертання. Це призводить до виникнення відповідного значення помилки, що вимагає уповільнення руху шляхом збільшення часу дотягування підйомної посудини. Значення динамічної помилки і помилки по навантаженню можна довести до нуля шляхом підвищення коефіцієнта посилення у розімкнутому контурі. Помилка може накопичуватися внаслідок інерційності роботи ПІ-регулятора, та може бути виключена шляхом дотримання лінійності наростання сигналу керування. Цьому також сприяє використання задатчика швидкості другого роду, який крім того істотно зменшує перерегулювання контрольованого параметра. У результаті регулювання отримаємо жорстку механічну характеристику роботи двигуна.

Оптимальний режим роботи системи під час прискорення та гальмування, за умови обмеження величини прискорення (уповільнення) і недопущення «відкатів» та «ривків», формується задатчиком інтенсивності роботи системи, який складається з послідовно з'єднаних задатчиків:

- ривка ($ЗР$), який виконано за схемою операційного підсилювача, що має релейну характеристику, а керування значенням вихідної напруги $U_{ЗР}$ з забезпечується блоком обмеження BO_1 ,

- прискорення ($ЗП$), швидкість зміни вихідної напруги $U_{ЗП}$ якого визначається лише налаштуванням задатчика і не залежить від напруги $U_{ЗР}$,

– швидкості (III), який зібраний за схемою інтегратора, а швидкість і напрямок зміни його вихідної напруги $U_{зи}$ залежать від значення та полярності $U_{зн}$. В якості датчика швидкості можна використати тахогенератор.

Джерелами сигналів для датчиків струму виступають шунти з номінальним значенням струмів і номінальним падінням напруги. У ланцюги напруги, що надходить від джерела живлення $ДЖ$, включені контакти реле захисних блокувань. Реле PUB і PUN своїми контактами визначають полярність задаючої напруги і напрямок обертання двигуна. Увімкнення реле нормальної роботи (PNP) відповідає режиму руху підйомної посудини із заданою швидкістю. При пуску вмикається реле P_1 , яке підключає вхід «задатчика ривка» до джерела задаючої напруги і реле PU , яке своїм замикаючим контактом шунтує додатковий резистор R_5 , що дозволяє забезпечити задане значення частоти обертання двигуна. При підході підйомної посудини до місця зупинки реле PU «відпадає» і вводить у ланцюг опір резистора R_5 . Це призводить до зменшення величини сигналу завдання частоти обертання та переходу на знижене її значення. Контакт KT керує роботою електромагнітного гальма ($ЕМГ$). Реле $PKД$ контролює замкнутий стан контактів блокувальних пристроїв підйомної установки. Реле $PБ$ здійснює блокування на початку кожного рейсу підйомної посудини при замкнених контактах ланцюга захисних блокувань.

Схему силових ланцюгів керування приводом з двигуном постійного струму представлено на рис. 3.2.

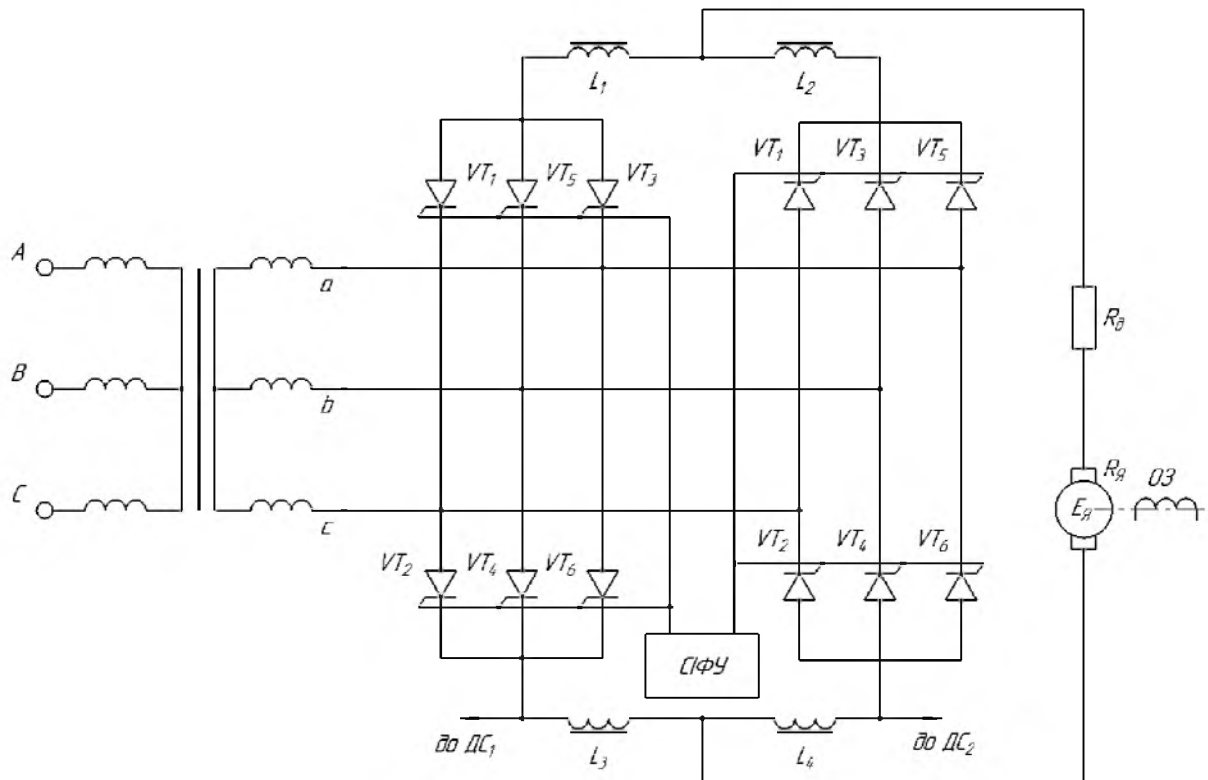


Рисунок 3.2 – Силова частина системи управління

Двигун отримує живлення від тиристорного перетворювача, що може реалізувати реверс двигуна. Сам перетворювач складено за мостовою схемою, а ввімкнення груп тиристорів є зустрічно-паралельним і взаємно узгоджені. Реактори $L_1 - L_4$ призначені для обмеження та врівноваження струмів. Тиристорний перетворювач приєднується до мережі відбувається через узгоджувачий трансформатор, потужність якого розрахуємо за формулою, [25]:

$$S_{TP} = k_U \cdot k_r \cdot U_H \cdot I_H \quad (3.29)$$

де k_U – коефіцієнт запасу по напрузі, $k_U = 1,1$ [25],

k_r – коефіцієнт, який враховує падіння напруги на вентилях при комутації, $k_r = 1,1$ [25].

$$S_{TP} = 1,1 \cdot 1,1 \cdot 600 \cdot 2060 = 1495,56 \cdot 10^3 \text{ В} \cdot \text{А}$$

У якості узгоджуючого приймаємо трансформатор трифазний силовий трансформатор типу *ТМ-1600-6*, характеристики якого наведено у табл. 3.4 [26].

Таблиця 3.4 – Характеристики трансформатора *ТМ-1600-6*

Параметр	Позначення	Значення параметра
Номінальна потужність	P_{mp}	1600 кВА
Напруга на первинній обмотці	U_1	6000 В
Напруга на вторинній обмотці	U_2	600 В
Напруга к.з. при 75 °С	$u_{кз}$	6 В
Номінальна частота мережі живлення	f	50 Гц

Середнє значення струму, що протікає через тиристор, у трифазній мостовій схемі розрахуємо за формулою [25]:

$$I_B = \frac{I_H \cdot k_{3I}}{3}, \quad (3.30)$$

де k_{3I} – коефіцієнт запасу по струму, $k_{3I} = 2,5$ [25],

$$I_B = \frac{2060 \cdot 2,5}{3} = 1716,67 \text{ А.}$$

Максимальну зворотну напругу на вентилі розрахуємо за формулою [25]:

$$U_{зв. \max} = 1,478 \cdot k_{3U} \cdot U_H \quad (3.31)$$

де k_{3U} – коефіцієнт запасу по напрузі, $k_{3U} = 2,5$ [25],

$$U_{зв. \max} = 1,438 \cdot 2,5 \cdot 600 = 2216,78 \text{ В}$$

У якості силового елемента обираємо тиристор типу *T683-2500*, характеристики якого наведено у табл. 3.5 [27].

Таблиця 3.5 – Характеристики тиристора типу *T683-2500*

Параметр	Позначення	Значення параметра
Зворотна напруга	$U_{зв}$	2200 В
Струм	I	2500 А

Для захисту схеми випрямляча від короткого замикання необхідно передбачити застосування автоматичного вимикача, струм вимикання якого розрахуємо за формулою [28]:

$$I_{авт} = 2,5 \cdot I_H \cdot \frac{U_{2H}}{U_{1H}} = 2,5 \cdot 2060 \cdot \frac{600}{6000} = 515 \text{ А} \quad (3.32)$$

У якості автоматичного вимикача обираємо тип *A-3144*, характеристики якого наведено у табл. 3.6 [29].

Таблиця 3.6 – Характеристики автоматичного вимикача *A-3144*

Параметр	Позначення	Значення параметра
Номінальний струм вимикача	$I_{вим.}$	600 А
Число полюсів	n_n	3
Рід розчеплення	—	електромагнітний

Уставка на струм миттєвого спрацювання	$I_{уст.}$	4200 А
--	------------	--------

Значення індуктивності обмежуючих реакторів розрахуємо за формулою, Гн [28]:

$$L_{вр.} = \frac{k_{вр.} \cdot U_A}{314 \cdot I_{вр.}} \quad (3.33)$$

де $k_{вр.}$ – коефіцієнт пульсацій врівноважуючого струму, $k_{вр.} = 0,25$ [28],

U_A – амплітудне значення напруги, яке розрахуємо за формулою, В [28]:

$$U_A = \sqrt{2} \cdot U_H = \sqrt{2} \cdot 600 = 848,53 \text{ В} \quad (3.34)$$

$I_{вр.}$ – значення врівноважуючого струму, який розрахуємо за формулою, А [28]:

$$I_{вр.} = 0,1 \cdot I_H = 0,1 \cdot 2060 = 206 \text{ А}, \quad (3.35)$$

$$L_{вр.} = \frac{0,25 \cdot 848,53}{314 \cdot 206} = 3,28 \cdot 10^{-3} \text{ Гн.}$$

Для даної схеми вибираємо реактор типу *СРОМ 1000/10У1* характеристики якого наведено у табл. 3.7 [30].

Таблиця 3.7 – Характеристики *реактора СРОМ 1000/10У1*

Параметр	Позначення	Значення параметра
Номінальний струм	I_{pn}	250 А
Номінальна індуктивність	L_{pn}	0,05 мГн
Падіння напруги	$\Delta U_{\partial p}$	2 В

4 МОДЕЛЮВАННЯ РОБОТИ ЕЛЕКТРОПРИВОДІВ З ДВИГУНАМИ ПОСТІЙНОГО СТРУМУ

На практиці є досить широкий спектр схем управління приводами з двигунами постійного струму, та усі вони базуються на можливостях керування величиною напруги живлення на основі широтно-імпульсної модуляції. Перевагою такого керування дозволяє отримати швидку ступінь реагування приводу на зміну крутного моменту, шляхом найпростішої реалізації даного регулювання.

На рис. 4.1 наведено схему регулювання двигуном постійного струму з використанням перетворювача, побудованого на базі IGBT-транзистора. Керування IGBT-транзистора реалізується шляхом зовнішнього впливу на керований затвор. Керування реалізується шляхом послідовного ввімкнення електричних елементів, які керується за допомогою виробки сигналу елементарної логіки. Спрацювання IGBT-транзистора відбувається при відповідному позитивному значенні напруги, а вимикання у протилежному випадку. Складена схема моделювання заснована на стандартних блоках, що реалізують різноманітні пристрої [31 – 36].

На рис. 4.2 наведено схему регулювання двигуном постійного струму з використанням перетворювача, побудованого на базі GTO-тиристора з затвором, що вмикається і відмикається за допомогою керуючого сигналу, що подається на цей затвор [31 – 36].

За результатами моделювання отримуємо графіки зміни характерних параметрів роботи двигуна постійного струму у функції часу (рис. 4.3).

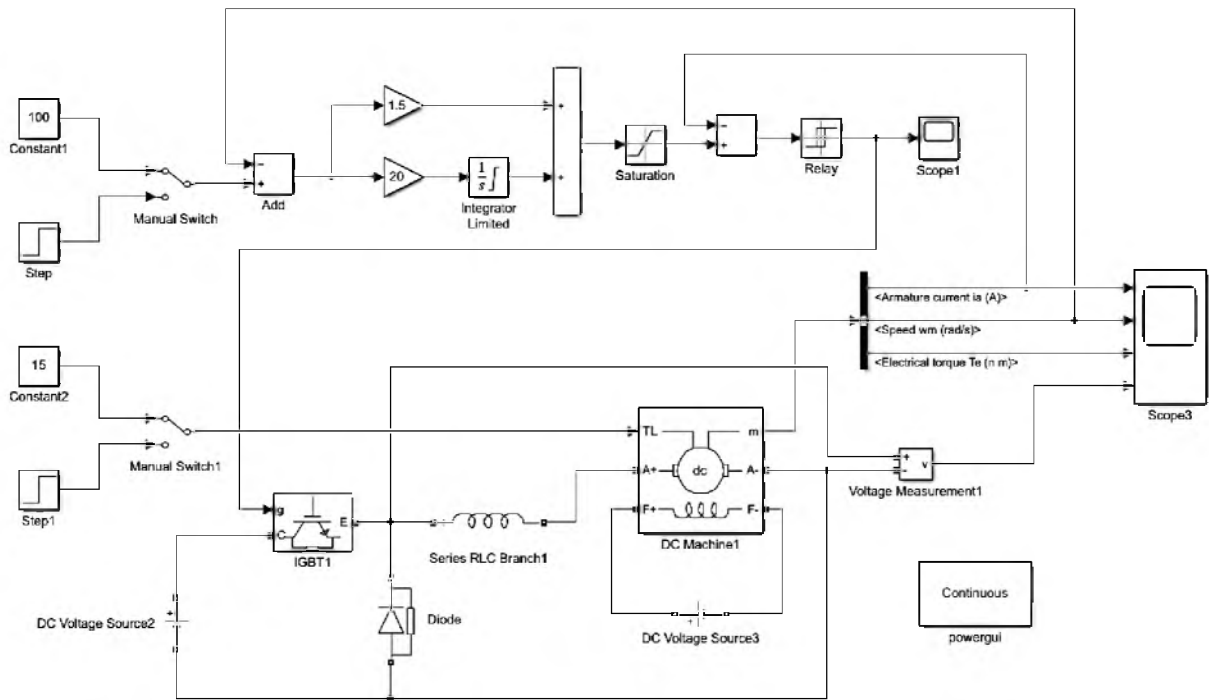


Рисунок 4.1 – Схема регулювання двигуном постійного струму з використанням перетворювача, побудованого на базі IGBT-транзистора

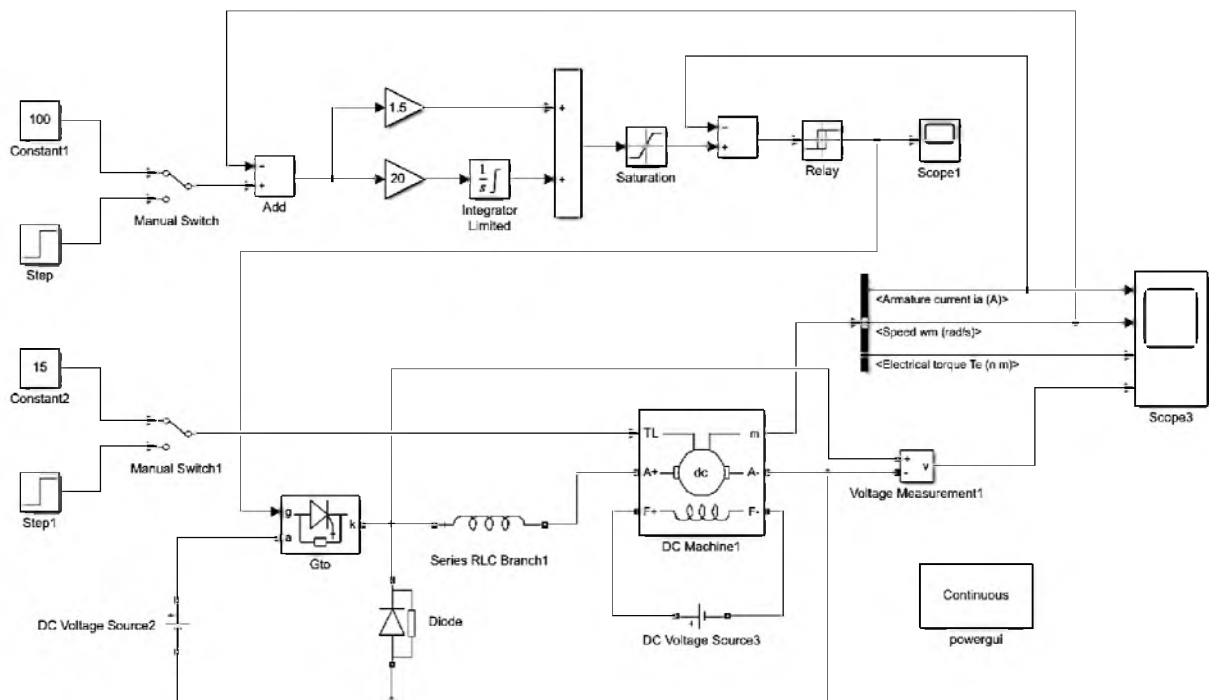


Рисунок 4.2 – Схема регулювання двигуном постійного струму з використанням перетворювача, побудованого на базі GTO-тиристора

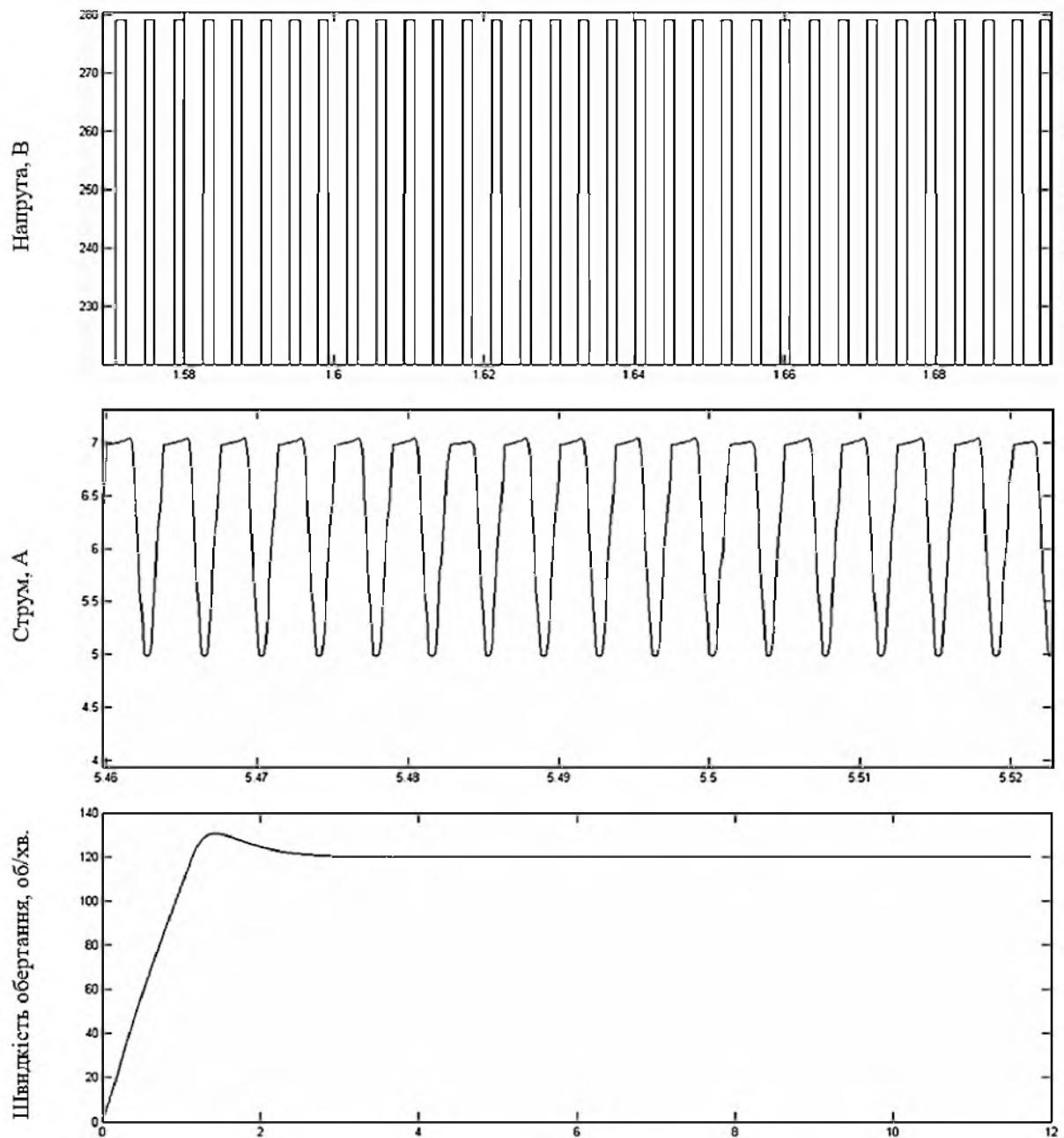


Рисунок 4.3 – Результати моделювання систем із замкнутим контуром на базі IGBT-транзистора та GTO-тиристора

На рис. 4.4 наведено схему живлення двигуна постійного струму від перемикача типу MOSFET – біполярного транзистора, який виступає ідеальним перемикачем і яким можна керувати шляхом подачі сигналу на затвор. Сигнал може бути або позитивним або негативним, що викликає або спрацювання або відключення пристрою MOSFET [31 – 36].

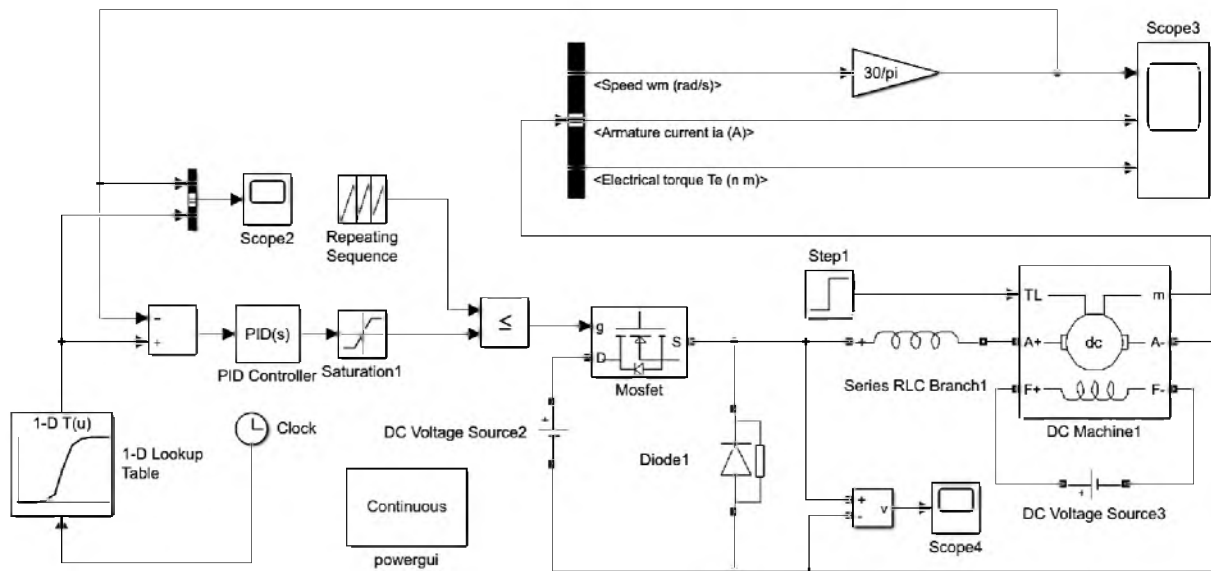


Рисунок 4.4 – Схема живлення двигуна постійного струму від перемикача типу MOSFET

За результатами моделювання побудуємо графіки параметрів роботи двигуна у функції часу (рис. 4.5).

Створені моделі дозволяють ілюструвати поведінку електричних машин, що використовуються у різноманітних технологічних процесах для пошуку можливості регулювання та/або стабілізації визначених параметрів.

Двигуни постійного струму забезпечують передачу заданої потужності при живленні від перетворювачів на базі силових напівпровідникових елементів.

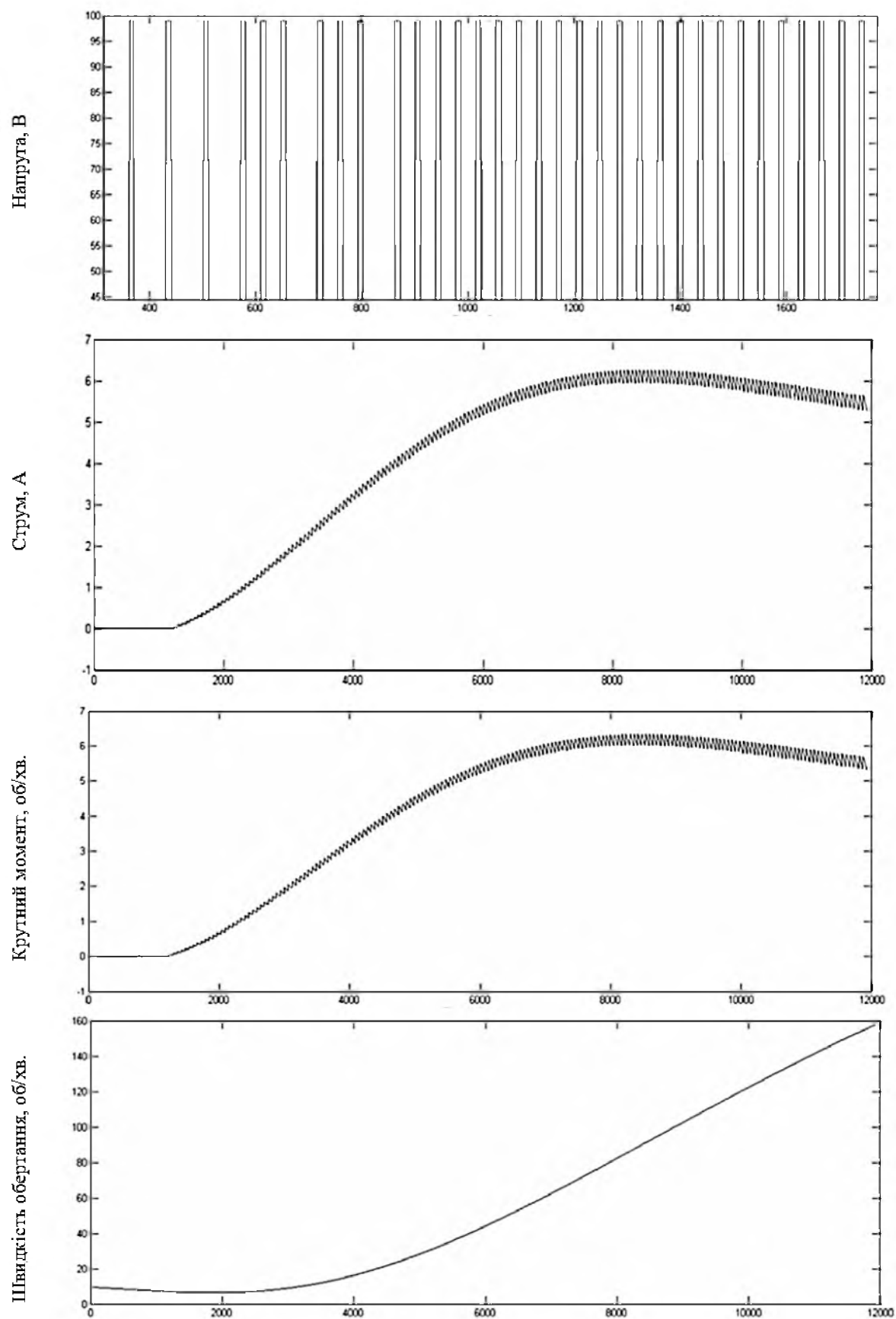


Рисунок 4.5 – Результати моделювання живлення двигуна постійного струму від перемикача типу MOSFET

ВИСНОВКИ

Двигуни у електроприводах промислових механізмів повинні забезпечити задані режими роботи. Такі режими можуть бути забезпечені перетворювачами частоти – електронними пристроями, що дозволяють здійснювати безперервне регулювання крутного моменту та частоти обертання.

Реалізація роботи приводу шляхом створення фізичної моделі є досить складним і «затратним» завданням та не дозволяє отримати та проаналізувати значну кількість явищ, що відбуваються у приводах. Більш доступними для здійснення дослідження є прикладні програми, що дозволяють здійснити комп'ютерне моделювання.

Комп'ютерне або імітаційне моделювання було здійснене за допомогою програми Matlab, яка дозволяє здійснити розв'язання різноманітних завдань, забезпечити задані параметри, що відповідають реальним процесам, що протікають у реальності. Модель визначає поведінку системи під впливом зовнішніх факторів та прогнозувати майбутні стани з визначенням електромеханічних параметрів роботи досліджуваної системи.

Представлені у дослідженні типи напівпровідникових силових елементів, робота яких була змодельована, дозволять отримати задані електромеханічні характеристики і забезпечити заданий режим керування двигуном. У якості регульовального параметра були обрана частота обертання відносно її номінальної значення у широкому діапазоні регулювання.

Силові елементи, крім усього іншого, дозволяють реалізувати захисні функції у електроприводах, що дозволяє значно підвищити надійність їх роботи.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Яценко О.Ф., Селівра С.О., Коломієць В.С. Шахтні підйомні установки. Навчальний посібник – Донецьк: ДонНТУ, 2012. – 180 с.
2. Стационарные машины. – Том 1. Рудничные подъемные установки: Учебник для вузов. – М.: Издательство Московского государственного горного университета, 2006. – 477 с.
3. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://cutt.ly/QJeaR8k>
4. Димашко А.Д., Гершиков И.Я., Кривневич А.А. Шахтные электрические лебёдки и подъёмные машины. Справочник. – М.: Недра, 1973. – 364 с.
5. Москаленко В.В. Электрический привод: учебник для студентов высш. учеб. заведений. – М.: Издательский центр «Академия», 2007. – 368 с.
6. Абрамович М.И., Диоды и тиристоры в преобразовательных установках / М.И. Абрамович, В.М. Бабайлов и др. – М.: Энергоатомиздат, 1992. – 432с.
7. Силовые полупроводниковые приборы: Справочник / О.Г. Чебовский, Л.Г. Моисеев, Р.П. Недшивин. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Энергоатомиздат, 1985. – 400 с.
8. N. Mohan, M. Undeland, and W. P. Robbins, Power Electronics: Converters, Applications and Design. Hoboken, NJ: Wiley, 1995. Н. Мохан.
9. Ключев В.И. Теория электропривода: Учеб. для вузов. – 2-е изд. Перераб. и доп. – М.: Энергоатомиздат, 2001. – 704 с.
10. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://carscomfort.ru/asinhronnyj-dvigatel/tiristornyj-preobrazovatel-napryazheniya-asinhronnyj-dvigatel.html>
11. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://valvol.ru/topic2566.html?view=print>

12. [Электронный ресурс]. – Режим доступа:
https://eti.su/articles/elektroprivod/elektroprivod_776.html
13. [Электронный ресурс]. – Режим доступа:
https://studme.org/301118/tehnika/tiristornoe_upravlenie_elektroprivodom
14. Вольдек А.И., Попов В.В. Электрические машины. Машины переменного тока: Учебник для вузов. – СПб.: Питер, 2010. – 350 с.
15. Jabłoński M.: Maszyny prądu stałego, Wydawnictwo Politechniki Łódzkiej, 1973 , wersja elektroniczna Biblioteka Politechniki Łódzkiej Jabłoński
16. Черный А.П., Родькин Д.И., Калинов А.П., Воробейчик О.С. Мониторинг параметров электрических двигателей электромеханических систем: Монография. – Кременчуг: ЧП Щербатых А.В., 2008. – 246 с.
17. Галкин В.И., Шешко Е.Е., Транспортные машины: Учебник для вузов. – М.: Издательство «Горная книга», Издательство МГГУ, 2010. – 588 с.
18. Ключев В.И. Учебное пособие по курсу «Теория автоматизированного электропривода»: Ч.1. Динамика электромеханических систем / В.И. Ключев. – М.: Моск. энергет. ин-т, 1978. – 90 с.
19. Малашкина В.А., Малеев В.Б. Ремонт и эксплуатация стационарного оборудования шахт: Справочник рабочего. – М.: Недра, 1990. – 329 с.
20. Техническое обслуживание и ремонт горно-шахтного оборудования / А.Н.Коваль, А.М.Горлин, В.И.Чекавский и др. – М.: Недра, 1987. – 344 с.
21. Католиков В.Е., Динкель А.Д., Седунин А.М. Автоматизированный электропривод подъемных установок глубоких шахт. – М.:Недра, 1983. – 270 с.
22. Малиновский А.К., Автоматизированный электропривод машин и установок шахт и рудников: Учебник для вузов. – М.: Недра, 1987. – 277 с.

23. Кочетков В.П. Основы электропривода: учеб. пособие. / В.П. Кочетков. – 2-е изд., испр. – Абакан: Сиб. федер. ун-т; ХТИ – Филиал СФУ, 2007. – 272 с.

24. Методические указания к проектированию шахтных подъемных установок /Сост.: Н.И. Яценко, П.Ф. Зима, В.В. Гулин. – Донецк: ДПИ. 1988. – 48 с.

25. Воронин П.А. Силовые полупроводниковые ключи: семейства, характеристики, применение. Изд. 2-е, перераб. и доп. – М.: Издательский дом Додэка-XXI, 2005. – 384 с.

26. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://cableshop.od.ua/p834367974-transformator-serii-1600.html>

27. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://asenergi.com/catalog/tiristory-silovye/t683.html>

28. Кочетков В.П., Багаутинов Г.А. Теория автоматизированного электропривода: учеб. пособие. – Екатеринбург: Изд-во Урал. ун-та, 1992. – 328 с.

29. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://promservis.cn.ua/avtomat-a-3144.html>

30. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.docme.su/doc/929036/uchebno---metodicheskoe-obespechenie-samostoyatel. noj-raboty-...>

31. Kenjo, T. (1991) Electric Motors and their Controls. New York: Oxford Science Publications.

32. Мелешин В.И. Транзисторная преобразовательная техника. М.: Техносфера, 2005. – 632 с.

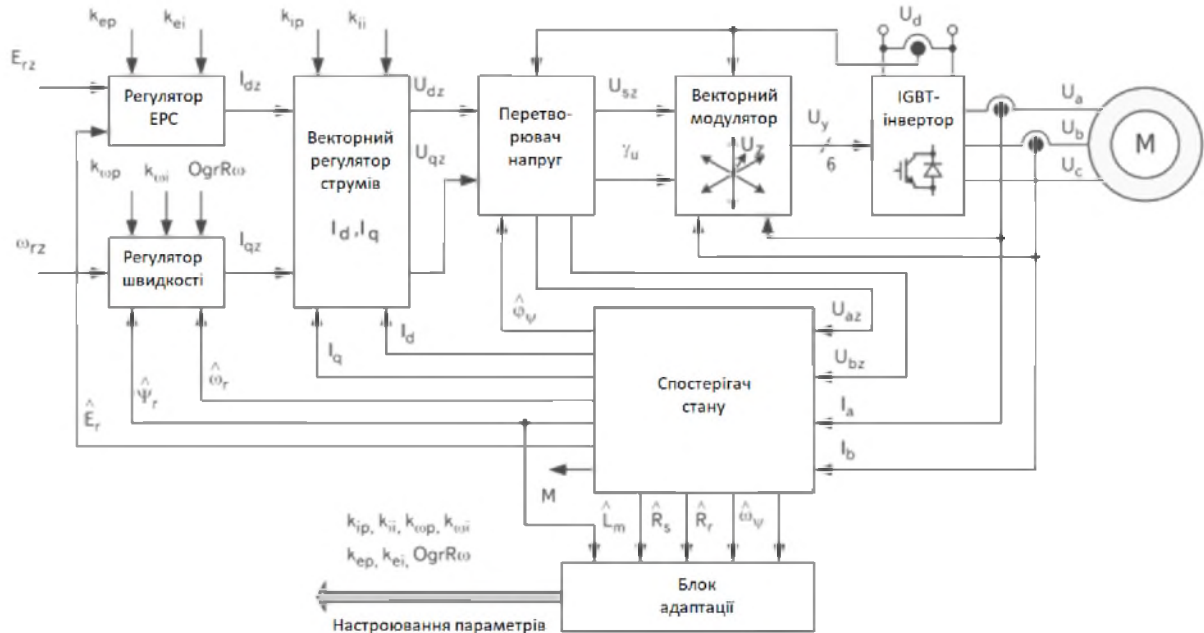
33. Шрейнер Р.Т. Математическое моделирование электроприводов переменного тока с полупроводниковыми преобразователями частоты. – Екатеринбург: УРО РАН, 2000. – 654 с.

34. Герман-Галкин С.Г. Matlab & Simulink. Проектирование мехатронных систем на ПК. – Санкт-Петербург: КОРОНА-Век, 2008. – 368 с.

35. Терёхин В.Б. Разработка моделей элементов и систем автоматизированного электропривода в среде Matlab: учебное пособие / В.Б. Терёхин – Северск: СТИ НИЯУ МИФИ, 2017. – 511 с.

36. Черных И.В. Моделирование электротехнических устройств в MATLAB, SimPowerSystems и Simulink/ И.В. Черных. – М.: ДМКПресс; СПб: Питер, 2008. – 288 с.

ДОДАТОК А. ГРАФІЧНА ЧАСТИНА



Загальноприйнята структурна схема електроприводу асинхронного двигуна



Класифікація електроприводів електричних машин, що можуть бути застосовані на підйомних установках

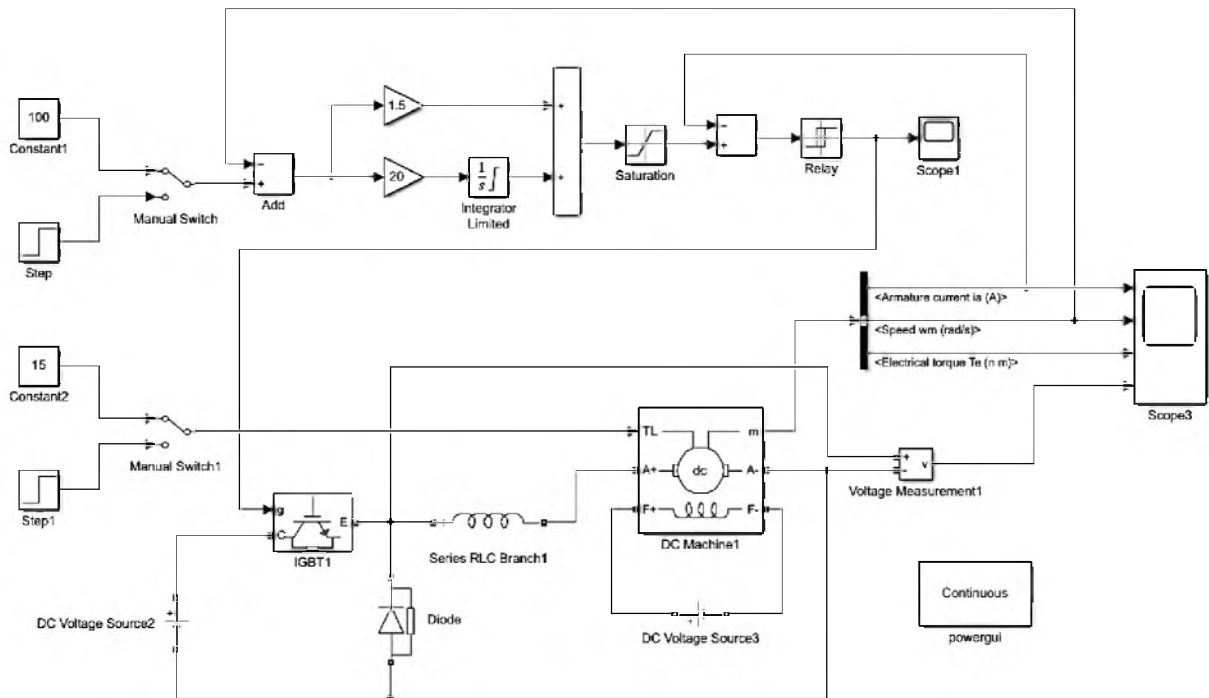


Схема регулювання двигуном постійного струму з використанням перетворювача, побудованого на базі IGBT-транзистора

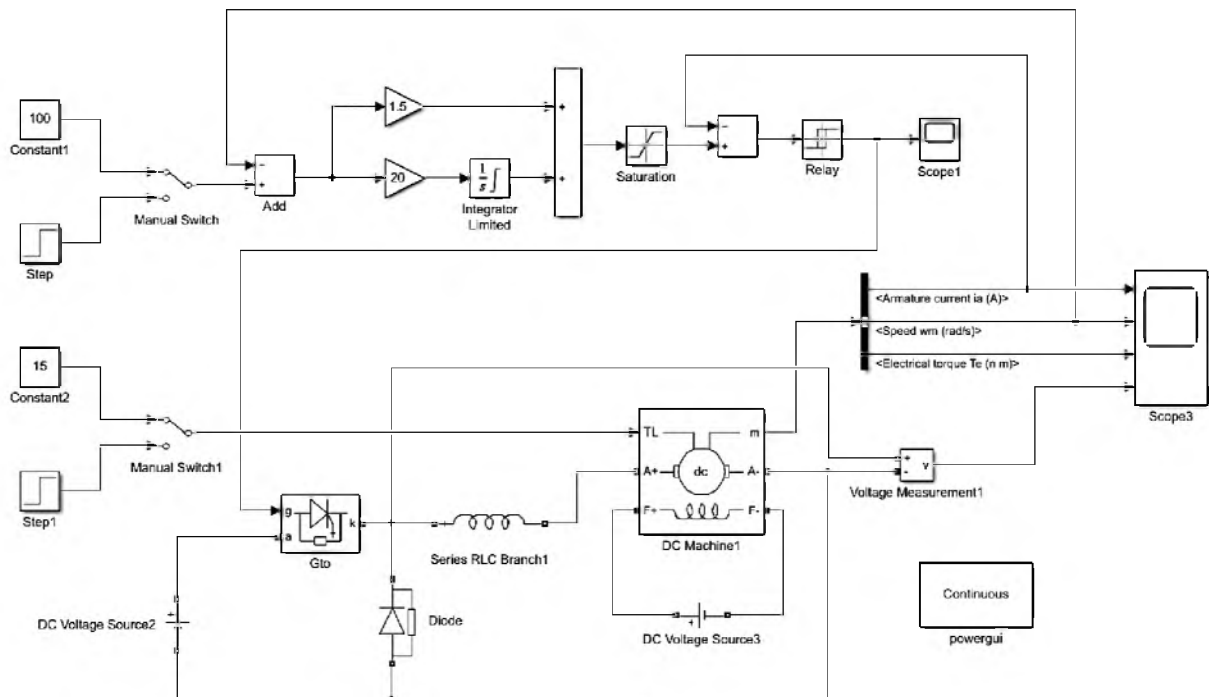
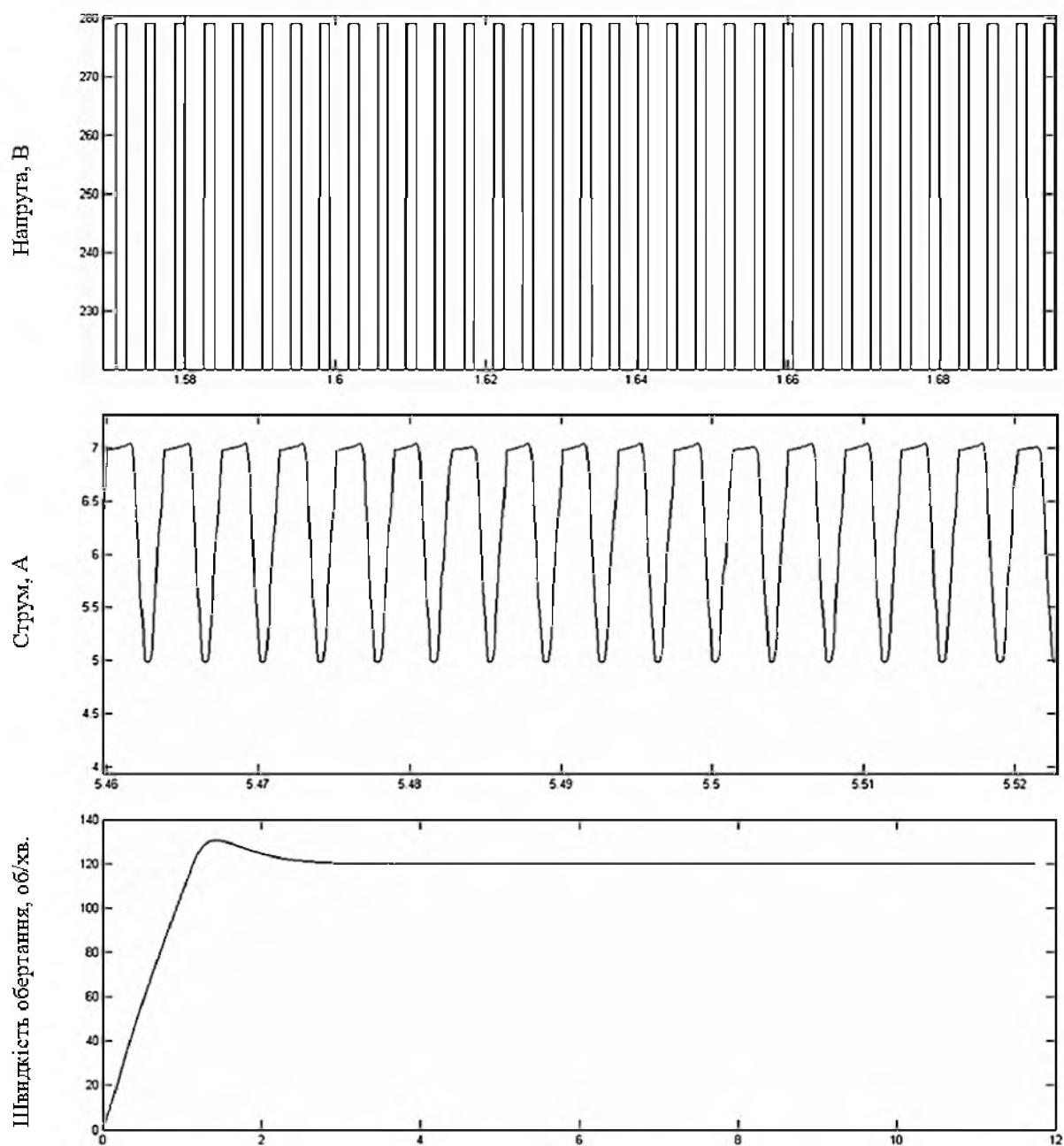


Схема регулювання двигуном постійного струму з використанням перетворювача, побудованого на базі GTO-тиристора



Результати моделювання систем із замкнутим контуром на базі IGBT-транзистора та GTO-тиристора

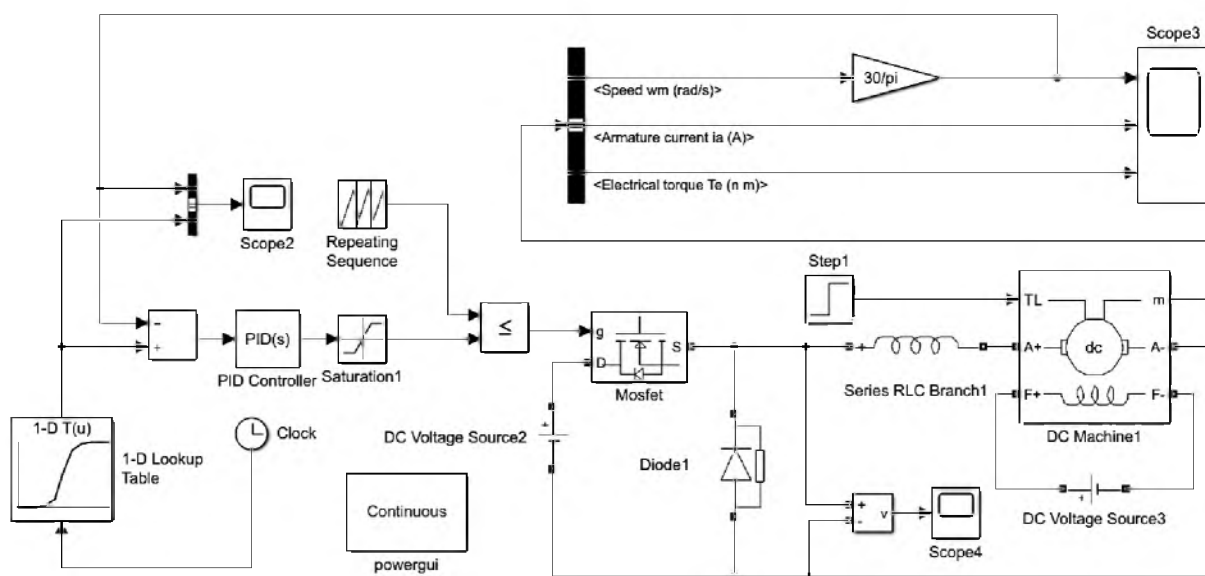
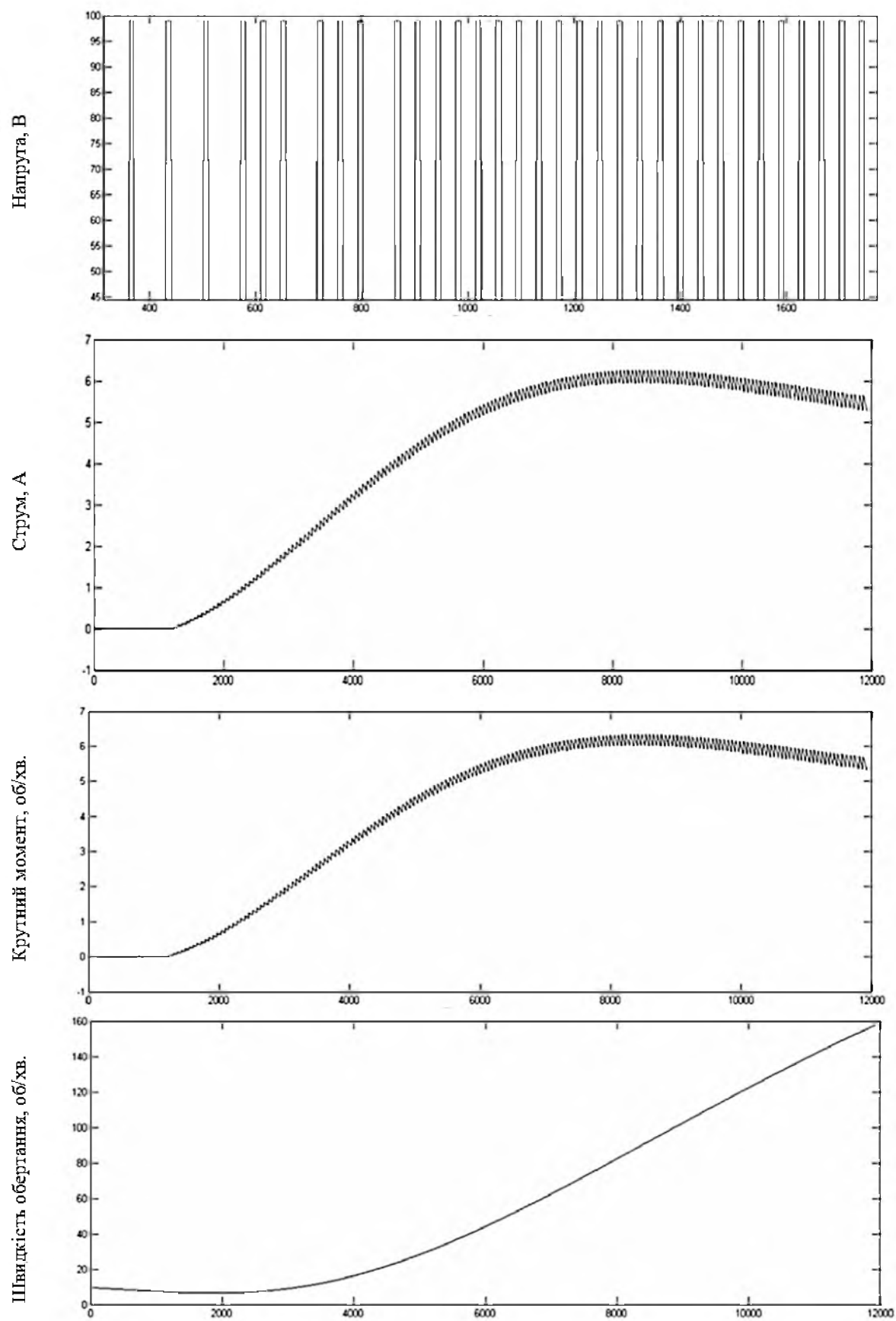


Схема живлення двигуна постійного струму від перемикача типу MOSFET



Результати моделювання живлення двигуна постійного струму від перемикача типу MOSFET

ДОДАТОК Б. ОРГАНІЗАЦІЯ ЕКСПЛУАТАЦІЇ ЕЛЕКТРОУСТАНОВОК

5.1. Обов'язки працівників

5.1.1. Обслуговування діючих електроустановок, проведення в них оперативних перемикань, організацію та виконання ремонтних, монтажних чи налагоджувальних робіт і випробувань повинні здійснювати спеціально підготовлені та атестовані електротехнічні працівники.

У споживачів, як правило, має бути створена електротехнічна служба (відділ, група), укомплектована необхідною кількістю електротехнічного персоналу, залежно від класу напруги живлення, складності та обсягу обслуговуваних електроустановок.

У разі відсутності атестованого обслуговуючого персоналу допускається визначити спеціалізовану організацію, відповідальну за технічну експлуатацію та обслуговування електроустановок споживача. Ця організація згідно з постановою Кабінету Міністрів України від 15.10.2003 N 1631 "Про затвердження Порядку видачі дозволів Державним комітетом з нагляду за охороною праці та його територіальними органами" повинна мати відповідний дозвіл на проведення робіт в електроустановках. У цьому разі відповідальність за технічно грамотну та безпечну експлуатацію електрогосподарства споживача повинна визначатись договором, укладеним між споживачем і цією організацією.

За відсутності такого обслуговування експлуатація електроустановок забороняється.

5.1.2. Власник електроустановки повинен забезпечити організацію:

- експлуатації електроустановок (електротехнічного та електротехнологічного обладнання) згідно з вимогами цих Правил, інших чинних НД та Правил користування електричною енергією, затверджених постановою НКРЕ від 31.07.96 N 28, зареєстрованих у Міністерстві юстиції України 02.08.96 за N 417/1442 (у редакції постанови НКРЕ від

17.10.2005 N 910, зареєстрованої у Міністерстві юстиції України 18.11.2005 за N 1399/11679);

- надійної роботи електроустановок і безпечного їх обслуговування;
- виконання заходів із запобігання використанню технологій і методів роботи, що негативно впливають на навколишнє природне середовище;
- дотримання встановлених режимів споживання електричної енергії та потужності;
- виконання приписів органів державного нагляду.

5.1.3. Для безпосереднього виконання функцій щодо організації експлуатації електроустановок керівник (роботодавець) повинен призначити особу, відповідальну за електрогосподарство споживача (далі - особа, відповідальна за електрогосподарство), та особу, яка буде її замінювати у разі відсутності.

Особу, відповідальну за електрогосподарство, та особу, яка буде її замінювати, призначають з числа спеціалістів, кваліфікація яких відповідає вимогам Правил та які пройшли навчання з питань технічної експлуатації електроустановок, правил пожежної безпеки та охорони праці.

Після успішної перевірки знань з питань технічної експлуатації електроустановок, правил пожежної безпеки та охорони праці та присвоєння цим особам IV групи з електробезпеки для обслуговування електроустановок напругою до 1000 В та V групи з електробезпеки для обслуговування електроустановок напругою понад 1000 В ці особи наказом споживача допускаються до виконання своїх обов'язків.

За наявності в споживача посади головного енергетика обов'язки особи, відповідальної за електрогосподарство, як правило, покладаються на нього. Допускається виконання обов'язків особи, відповідальної за електрогосподарство, та/або її заступника, за сумісництвом.

Організація вищого рівня споживача може призначати особу, відповідальну за електрогосподарство, для своїх структурних підрозділів.

5.1.4. Споживачі, у яких електрогосподарство включає тільки ввідно-розподільний пристрій, освітлювальні установки, прилади побутового призначення напругою до 220 В, особу, відповідальну за електрогосподарство, можуть не призначати.

Відповідальність за технічно грамотне та безпечне користування електроустановкою за письмовою згодою територіального підрозділу Держенергонагляду покладається на керівника споживача. Ця особа повинна пройти навчання в СНЗ за 8-годинною програмою. Надалі вона проходить інструктаж в енергопостачальній організації з питань технічної та безпечної експлуатації електроустановок в обсязі знань, що відповідає II групі з електробезпеки, про що робиться запис у журналі інструктажу споживачів і в договорі про користування електроенергією.

За умови відсутності змін в умовах виробництва та складі електрообладнання періодичність проведення інструктажів встановлюється один раз на два роки.

Якщо під час здійснення енергетичного нагляду будуть виявлені порушення умов експлуатації та умов електроспоживання, то постачання електроенергії повинно бути припинене або обмежене в установленому порядку до призначення на цьому об'єкті особи, відповідальної за електрогосподарство, або електроустановку необхідно передати на обслуговування спеціалізованій організації.

5.1.5. Експлуатація електроустановок з напругою понад 1000 В, власниками яких є населення, дозволяється у разі, якщо споживач має V групу з електробезпеки або оформив договір про надання послуг щодо обслуговування електроустановок зі спеціалізованою організацією або з фізичною особою.

5.1.6. Особа, відповідальна за електрогосподарство (спеціалізована організація), повинна забезпечити:

1) розроблення і проведення організаційних і технічних заходів, що включають:

- утримання електроустановок у робочому стані та їх експлуатацію згідно з вимогами цих Правил, ПУЕ, ПБЕЕ, інструкцій та інших НД;
 - дотримання заданих електропередавальною (електропостачальною) організацією режимів електроспоживання і договірних умов споживання електричної енергії та потужності;
 - виконання заходів з підготовки електроустановок підприємства до роботи в осінньо-зимовий період;
 - раціональне використання паливно-енергетичних ресурсів;
 - оптимальне споживання реактивної потужності та економічні режими роботи компенсуючих пристроїв;
 - упровадження автоматизованих систем і приладів вимірювання та обліку електричної енергії;
 - своєчасний і якісний ремонт електроустановок;
 - зменшення аварійності та травматизму;
 - забезпечення промислової безпеки;
 - підвищення надійності роботи електроустановок;
 - навчання і перевірку знань цих Правил, ПБЕЕ, ПУЕ, ПБЕ, Правил пожежної безпеки в Україні, виробничих (посадових і експлуатаційних) інструкцій та інструкцій з охорони праці для електротехнічного (електротехнологічного) персоналу;
 - охорону навколишнього природного середовища (у залежності від покладених функцій);
- 2) удосконалення мережі електропостачання споживача з виділенням на резервні зовнішні живильні лінії навантажень струмоприймачів екологічної та аварійної броні;
- 3) розроблення комплексу заходів, спрямованих на запобігання травматизму, зниженню рівня промислової безпеки, загибелі тварин, пошкодженню обладнання, можливим негативним екологічним та іншим наслідкам у разі припинення або обмеження електропостачання, здійсненого у встановленому порядку;

4) розслідування технологічних порушень в роботі електроустановок та оперативне повідомлення про них територіальному підрозділу Держенергонагляду;

5) розроблення та дотримання норм витрати палива, електричної енергії, їх своєчасний перегляд під час удосконалення технології виробництва та впровадження нової техніки;

6) проведення діагностування технічного стану електроустановок;

7) проведення вимірів споживання електричної енергії та потужності в установлений електропередавальною організацією характерний режимний день літнього та зимового періодів і подання в установлені терміни добових режимних графіків до електропередавальної організації та територіального підрозділу Держенергонагляду;

8) систематичний контроль за графіком навантаження споживача; розроблення постійно діючих заходів з регулювання добового графіка електричного навантаження, зниження граничних величин споживання електричної потужності в години максимуму навантаження мережі електропередавальної організації;

9) виконання графіка обмеження споживання електричної енергії, потужності та аварійного відключення споживачів; розробку заходів щодо зниження споживання електричної енергії та потужності для забезпечення встановлених режимів електроспоживання у відповідності до доведених графіків обмеження;

10) ведення обліку (у спеціальному журналі) щодобового споживання електричної енергії і навантаження в години контролю максимуму електричної потужності та надання інформації електропередавальній організації і відповідному територіальному підрозділу Держенергонагляду (на їх вимогу);

11) розроблення із залученням технологічних та інших підрозділів, а також спеціалізованих інститутів і проектних організацій перспективних планів зниження енергоємності продукції, яка випускається, упровадження

енергозберігаючих технологій, теплоутилізаційних установок, використання вторинних паливно-енергетичних ресурсів, запровадження прогресивних форм економічного стимулювання;

12) облік та аналіз аварій і нещасних випадків, а також ужиття заходів з усунення причин їх виникнення;

13) розроблення виробничих інструкцій та інструкцій з охорони праці і пожежної безпеки для працівників енергетичної служби;

14) надання інформації на вимогу Держенергонагляду у відповідності до нормативно-правових актів;

15) ведення документації з електрогосподарства згідно з вимогами нормативно-правових актів;

16) розроблення інструкцій про порядок дій обслуговуючого персоналу у разі виникнення аварійних та надзвичайних ситуацій, пожеж;

17) додержання вимог санітарних норм і правил щодо умов праці на робочих місцях обслуговуючого персоналу згідно з підрозділом 5.7 цих Правил.

5.1.7. Працівник, який виявив порушення цих Правил або помітив несправність електроустановки, колективного або індивідуального засобу захисту, зобов'язаний повідомити про це свого безпосереднього керівника, а за його відсутності - керівника вищого рівня.

У тих випадках, коли несправність в електроустановці становить явну небезпеку для людей чи для самої установки, а усунути цю несправність може працівник, який її виявив, він повинен зробити це негайно за умови дотримання вимог правил безпеки, а потім повідомити про цей випадок безпосереднього керівника.

5.1.8. Керівники споживачів повинні забезпечити безперешкодний доступ на свої об'єкти посадових осіб органів державного нагляду та контролю, надання їм інформації і документів, необхідних для здійснення ними своїх повноважень та виконання виданих цими органами приписів у зазначені терміни.

5.1.9. Контроль і нагляд за виконанням вимог цих Правил, відповідно до своїх обов'язків, здійснюють спеціалісти енергослужби, служби охорони праці споживача та організацій вищого рівня.

5.1.10. Державний нагляд за виконанням вимог цих Правил відповідно до Закону України "Про електроенергетику" та Положення про державний енергетичний нагляд за режимами споживання електричної і теплової енергії, затвердженого постановою Кабінету Міністрів України від 07.08.96 N 929, із змінами та доповненнями, здійснюють Держенергонагляд, а також відповідно до своїх функціональних обов'язків інші вповноважені організації.

5.2. Вимоги до працівників і їх підготовка

5.2.1. Обслуговування електроустановок споживачів, у тому числі виконання ремонтних, монтажних, налагоджувальних робіт і оперативних перемикань в електроустановках, повинні здійснювати спеціально підготовлені електротехнічні працівники, а саме: керівники і фахівці, оперативні, виробничі та оперативно-виробничі працівники.

5.2.2. Обслуговування установок електротехнологічних процесів (електрозварювання, електролізу, електротермії тощо) вантажопідіймальних механізмів, ручних електричних машин, переносних та пересувних струмоприймачів, складного енергонасиченого виробничо-технологічного обладнання, під час роботи якого необхідно постійно проводити технічний нагляд, зміну, коригування ведення технологічних режимів за допомогою штатних засобів регулювання електроапаратури, електроприводів, повинні здійснювати спеціально підготовлені електротехнологічні працівники, які мають навички та знання для безпечного виконання робіт з технічного обслуговування закріпленої за ними установки.

5.2.3. Перелік посад та професій електротехнічних та електротехнологічних працівників, яким необхідно мати відповідну групу з електробезпеки, затверджує роботодавець.

5.2.4. Електротехнологічні працівники виробничих цехів і дільниць, які здійснюють експлуатацію електротехнологічних установок, повинні мати групу з електробезпеки II і вище.

Керівники структурних підрозділів, яким безпосередньо підпорядковані електротехнологічні працівники, повинні мати групу з електробезпеки не нижчу, ніж у підлеглих працівників. Вони повинні здійснювати технічне керівництво цими працівниками і контроль за їхньою роботою.

5.2.5. Працівники, які обслуговують електроустановки споживачів або технологічні процеси, які базуються на використанні електричної енергії, повинні мати вік понад 18 років.

При прийнятті на роботу, а також періодично стан здоров'я працівників повинен засвідчуватися медичним оглядом.

5.2.6. Роботодавець відповідно до ГНД 34.12.102-2004 та ДНАОП 0.00-4.12-05 з урахуванням місцевих умов та складу енергетичного обладнання повинен затвердити положення про навчання з питань технічної експлуатації електроустановок, охорони праці та про перевірку знань з цих питань.

Навчання з технічної експлуатації електроустановок включає такі форми роботи з працівниками, що обслуговують електричні установки: проведення самого навчання з питань технічної експлуатації електроустановок, правил пожежної безпеки, перевірку знань з цих питань, а також інструктажі, стажування, дублювання, проведення аварійних тренувань та допуск до роботи.

5.2.7. Для виконання роботи в електроустановках, розміщених у вибухонебезпечних або пожежонебезпечних зонах, працівник повинен пройти спеціальне навчання за програмою пожежно-технічного мінімуму

відповідно до НАПБ Б.02.005-2003. Порядок організації навчання визначається НАПБ Б 06.001-2003.

5.2.8. Електротехнічні та електротехнологічні працівники повинні проходити інструктажі. Залежно від характеру і часу проведення інструктажі поділяються на: вступний, первинний, повторний, позаплановий, цільовий.

За результатами проведеного інструктажу особа, яка інструктує (шляхом опитування), повинна переконатись, що працівник засвоїв питання, з яких проводився інструктаж.

Проведення інструктажів можна здійснювати разом з інструктажами з охорони праці і фіксувати у відповідному журналі.

Відповідальність за організацію та проведення інструктажів, усіх форм навчання та перевірки знань з питань технології робіт, пожежної безпеки та охорони праці покладається на роботодавця.

5.2.9. У процесі трудової діяльності працівники проходять такі види навчання з питань технічної експлуатації електроустановок:

- професійне навчання кадрів на виробництві, яке проводиться відповідно до Положення про професійне навчання кадрів на виробництві, затвердженого спільним наказом Міністерства праці та соціальної політики України і Міністерства освіти і науки України від 26.03.2001 N 127/151, зареєстрованого в Міністерстві юстиції України 06.04.2001 за N 315/5506;
- періодичне навчання в СНЗ;
- щорічне навчання на виробництві.

5.2.10. У кожного споживача для персоналу, який забезпечує виробничі процеси в електроенергетиці, повинні бути затверджені керівництвом план-графіки на проведення щорічного навчання на виробництві та періодичного навчання в СНЗ.

5.2.11. Особи, відповідальні за електрогосподарство, проходять не рідше одного разу на три роки періодичне навчання з питань технічної експлуатації електроустановок.

5.2.12. Щорічне навчання на виробництві проходять електротехнічні та електротехнологічні працівники, які зайняті на роботах з підвищеною небезпекою або там, де є потреба в професійному доборі. Списки цих працівників щорічно складаються та затверджуються роботодавцем.

5.2.13. Після закінчення навчання з питань технічної експлуатації електроустановок працівник повинен пройти перевірку знань з питань технології робіт, правил пожежної безпеки (далі - перевірка знань з технології робіт).

Результати перевірки знань з технології робіт заносяться в журнал установлені форми та підписуються всіма членами комісії. Якщо перевірка знань декількох працівників проводилась в один день і склад комісії не змінювався, то члени комісії можуть підписатися один раз після закінчення роботи комісії. При цьому необхідно вказати словами загальну кількість осіб, у яких перевірено знання з технології робіт.

5.2.14. Новопризначені працівники, що прийняті на роботу, пов'язану з обслуговуванням електроустановок, або при перерві в роботі понад один рік, проходять первинну перевірку знань.

Первинна перевірка знань працівників повинна проводитись у терміни, установлені програмами і планами їх підготовки.

Допускається при проведенні перевірки знань використання контрольно-навчальних засобів на базі персональних електронно-обчислювальних машин для всіх видів перевірок, з наступним усним опитуванням, окрім первинної. У цьому разі запис у журналі перевірки знань не відміняється.

5.2.15. Допускається не проводити перевірку знань з технології робіт у працівника, якого прийнято на роботу за сумісництвом з метою покладення на нього обов'язків особи, відповідальної за електрогосподарство, при одночасному виконанні таких умов:

- якщо з моменту перевірки знань у комісії за основним місцем роботи минуло не більше одного року;
- енергоємність електроустановок, їх складність в організації експлуатації електрогосподарства за сумісництвом не вища, ніж за місцем основної роботи.

5.2.16. У разі переходу на інше підприємство чи переведення на іншу роботу (посаду) у межах одного підприємства або у зв'язку з перервою в роботі особі з електротехнічних працівників, яка успішно пройшла перевірку знань, рішенням комісії може бути підтверджена та група з електробезпеки, яку вона мала до переходу або перерви в роботі.

5.2.17. Періодичність навчання та періодичної перевірки знань з питань технології робіт, правил пожежної безпеки та охорони праці (далі - перевірка знань) з присвоєнням відповідної групи з електробезпеки проводиться в такі терміни:

- первинне навчання та перевірка знань усіх працівників до початку виконання роботи;
- для працівників, які безпосередньо організовують та проводять роботи з оперативного обслуговування діючих електроустановок чи виконують у них налагоджувальні, електромонтажні, ремонтні, профілактичні випробування або експлуатують електроустановки у вибухонебезпечних, пожежонебезпечних зонах, - один раз на рік;
- для адміністративно-технічних працівників, які не належать до попередньої групи, а також для працівників з охорони праці, допущених до інспектування електроустановок, - один раз на три роки.

Перевірка знань з питань правил пожежної безпеки в працівників, які обслуговують електроустановки у вибухонебезпечних і

пожежонебезпечних зонах, здійснюється один раз на рік, в інших випадках - один раз на три роки.

Забороняється допуск до роботи працівників, які не пройшли навчання та перевірку знань з питань технології робіт, правил пожежної безпеки, охорони праці, а також у разі закінчення терміну дії попередніх періодичних перевірок знань. Комісією з перевірок знань працівникові може бути присвоєна група з електробезпеки, яку він мав до перерви в роботі.

5.2.18. Позачергову перевірку знань працівнику здійснюють незалежно від терміну проведення попередньої перевірки знань у разі:

- уведення в дію нової редакції або перероблених правил;
- переведення працівника на іншу роботу або призначення на іншу посаду, що потребує додаткових знань;
- при перерві в роботі на даній посаді понад шість місяців;
- незадовільної оцінки знань працівника - у терміни, визначені комісією з перевірки знань, але не раніше ніж через два тижні;
- вимог органів Держенергонагляду та Державного комітету України з промислової безпеки, охорони праці та гірничого нагляду (далі - Держгірпромнагляд).

5.2.19. Для проведення перевірки знань електротехнічного та електротехнологічного персоналу керівник споживача повинен своїм наказом призначити комісію з перевірки знань.

Головою комісії призначається керівник споживача або його заступник, до службових обов'язків яких входить організація роботи з питань технічної експлуатації електроустановок, охорони праці.

До складу комісії споживача з перевірки знань входять спеціалісти служби охорони праці, представники юридичних, виробничих, технічних служб, представник профспілки або вповноважена найманими працівниками особа з питань охорони праці.

Комісія вважається правочинною, якщо до її складу входять не менше трьох осіб.

У разі потреби створюються комісії в окремих структурних підрозділах, їх очолюють керівники відповідних підрозділів чи їх заступники.

5.2.20. Перевірку знань з питань технології робіт, правил пожежної безпеки та охорони праці проводять:

1) в особи, відповідальної за електрогосподарство споживача (головного енергетика), його заступника - комісія за участю керівника споживача (його заступника) або комісія організації вищого рівня, інспектора Держенергонагляду, Держгірпромнагляду;

2) в осіб, відповідальних за електрогосподарство структурних виробничих підрозділів, - комісія за участю особи, відповідальної за електрогосподарство споживача. Склад комісії затверджує керівник споживача;

3) у решти працівників - комісія споживача або його підрозділів, склад яких визначає та затверджує керівник споживача, за участю особи, відповідальної за електрогосподарство споживача (підрозділу). До складу вказаних комісій, як правило, повинен уходити безпосередній керівник того працівника, чиї знання перевіряє комісія.

Члени комісій структурних підрозділів повинні пройти перевірку знань правил в центральній комісії споживача.

5.2.21. Споживачі, чисельність яких не дає змоги створити комісію з перевірки знань з питань технології робіт, перевірку знань проходять у комісії територіальних підрозділів Держенергонагляду.

У роботі такої комісії, як правило, бере участь керівник споживача, працівники якого проходять перевірку знань, або представники організацій вищого рівня.

Комісії для перевірки знань з питань технології робіт можуть також створюватись при СНЗ. Вони призначаються наказом (розпорядженням)

керівника СНЗ за погодженням з відповідним територіальним підрозділом Держенергонагляду. Члени комісії повинні пройти перевірку знань в територіальному підрозділі Держенергонагляду. Головою комісії призначається старший державний інспектор з енергетичного нагляду.

5.2.22. Дозволяється проводити окремо перевірку знань, крім випадку, зазначеного в підпункті 1 пункту 5.2.20:

- з питань технічної експлуатації електроустановок, правил та інструкцій з пожежної безпеки за участю інспектора Держенергонагляду;
- з питань охорони праці та інших нормативних актів з охорони праці за участю інспектора Держгірпромнагляду.

У цьому випадку роблять окремі записи в журналі перевірки знань.

Право оперативних переговорів та оперативних перемикань надається особі, відповідальній за оперативну роботу споживача, при проведенні перевірки знань у комісії з перевірки знань за участю інспектора Держенергонагляду. Представник диспетчерської служби структурного підрозділу електропередавальної організації може брати участь у роботі цієї комісії.

5.2.23. Перевірка знань кожного працівника здійснюється індивідуально. Результати перевірки оформляються протоколом та записуються у журнал установленої форми. Записи оформляються окремо з питань технології робіт, правил пожежної безпеки та охорони праці за підписом усіх членів комісії.

Керівники споживачів наприкінці року повинні подавати до інспекції Держенергонагляду графік перевірки знань електротехнічних працівників на наступний рік.

Про дату перевірки знань представники інспекцій повинні бути повідомлені споживачем не пізніше ніж за 20 днів до її початку.

5.2.24. Споживачі, які не мають можливості проводити навчання безпосередньо у себе та створити комісію з перевірки знань з технології робіт, проходять навчання в навчальних закладах та установах, які

отримали відповідне рішення Держенергонагляду на проведення навчання з питань технології робіт. Перевірка знань з технології робіт таких посадових осіб проводиться комісією, створеною Держенергонаглядом.

У роботі такої комісії, як правило, бере участь керівник споживача, працівники якого проходять перевірку знань, або представники організації вищого рівня.

Перевірка знань осіб, відповідальних за електрогосподарство споживачів, незалежно від форм власності та відомчої підпорядкованості, допускається в комісії підприємств вищого рівня або засновників.

5.2.25. Після успішної перевірки знань працівник допускається до стажування тривалістю 2 - 15 змін і дублювання на робочому місці у відповідності до вимог ГНД 34.12.102-2004.

Допуск оформлюється наказом або розпорядженням керівника споживача (структурного підрозділу) з визначенням тривалості стажувань та призначенням працівника, відповідального за стажування.

5.2.26. Стажування проводиться під час спеціальної підготовки та під час підготовки на нову посаду. У процесі стажування працівник повинен:

- закріпити знання щодо правил технічної експлуатації електрообладнання, правил безпечної експлуатації технологічного обладнання та пожежної безпеки, технологічних і посадових інструкцій, інструкцій з охорони праці;
- оволодіти навичками орієнтування у виробничих ситуаціях у нормальних і аварійних умовах;
- засвоїти в конкретних умовах технологічні процеси та методи безаварійного керування обладнанням з метою забезпечення вимог технічної експлуатації, безпеки праці та економічної експлуатації устаткування, що обслуговується.

5.2.27. Керівник споживача або структурного підрозділу може звільняти від стажування працівника, що має стаж за фахом не менше трьох років, що переходить з одного робочого місця на інше, де характер його роботи і тип устаткування, на якому він працюватиме, не змінюються.

Тривалість стажування працівника встановлюється індивідуально в залежності від його рівня професійної освіти, досвіду роботи, професії (посади).

Після закінчення стажування і перевірки знань ремонтні працівники допускаються до самостійної роботи, а оперативні - до дублювання.

Тривалість дублювання на робочому місці встановлюється рішенням комісії з перевірки знань і залежить від кваліфікації працівника та складності обладнання, яке він обслуговуватиме, але не менше шести змін.

5.2.28. Під час дублювання особа, що навчається, може робити оперативні перемикання або інші роботи в електроустановці тільки з дозволу і під наглядом відповідального працівника, який її навчає.

Відповідальним за правильність дій дублера і дотримання ним нормативних документів та інструкцій є як працівник, який навчає, так і сам дублер.

5.2.29. На підприємстві під керівництвом особи, відповідальної за електрогосподарство, електротехнічні працівники повинні проходити протиаварійні тренування на робочих місцях і відпрацьовувати способи та прийоми запобігання порушенням у роботі обладнання та швидкої ліквідації несправностей і аварій.

5.2.30. Керівники спеціалізованих організацій, персонал яких виконує технічне обслуговування і експлуатацію електроустановок споживачів чи проводить у них монтажні, налагоджувальні, ремонтні роботи, випробовування і профілактичні вимірювання за договором, повинні проходити перевірку знань відповідно до вимог цих Правил.

5.2.31. Навчання та перевірка знань працівників навчальних закладів, які організовують та проводять навчання з використанням електричного

обладнання, здійснюється згідно з вимогами цих Правил та нормативних документів, діючих у відповідній галузі.

5.2.32. Відповідальними за своєчасну перевірку знань в електротехнічних та електротехнологічних працівників є керівники підрозділів споживача, у підпорядкуванні яких перебувають ці працівники.

ДОДАТОК В.
ПЕРЕЛІК ЗАУВАЖЕНЬ НОРМОКОНТРОЛЕРА

Позначення документа	Документ	Умовне позначення	Зміст зауваження

Дата _____