

ДВНЗ “Донецький національний технічний університет ”
Факультет Комп’ютерно-інтегрованих технологій, автоматизації, -
електроінженерії та радіоелектроніки
Кафедра Електричної інженерії

«До захисту допущено»

Завідувач кафедри

_____ к.т.н. Колларов О.Ю.

(підпис)

(ініціали, прізвище)

“ ” _____ 2021 р

**Кваліфікаційна робота
бакалавра**

на тему Автоматизована система управління на основі перетворювача частоти
для електроприводу насосної установки

Виконав: студент 3 курсу, групи ЕЛКзп-18
(шифр групи)

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

та електромеханіка»

_____ Гейко Данило Владиславович

(прізвище та ініціали)

_____ (підпис)

Керівник зав. каф. ЕМ, к.т.н. Калиниченко В. В.

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

_____ (підпис)

Рецензент канд. техн. наук, доц., зав. каф. АТ

Лактіонов І. С

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

_____ (підпис)

Нормоконтроль:

_____ Любименко О. М.

(підпис)

02.06.2021

(дата)

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

Студент

_____ (підпис)

02.06.2021

(дата)

Покровськ – 2021 р.

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

Факультет комп'ютерно-інтегрованих технологій, автоматизації, електроінженерії та радіоелектроніки

Кафедра електричної інженерії

Освітній ступінь: бакалавр

Спеціальність: (141) електроенергетика, електротехніка та електромеханіка

ЗАТВЕРДЖУЮ:

Завідувач кафедри

_____ (Колларов О. Ю.)

« » _____ 2021 р.

ЗАВДАННЯ
НА ДИПЛОМНУ РОБОТУ СТУДЕНТУ

Гейку Данилу Владиславовичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи: _____
«Автоматизована система управління на основі
перетворювача частоти для електроприводу насосної установки»

керівник роботи _____ зав. каф. ЕМ, к. т. н. Калиниченко В. В.

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

затверджені наказом вищого навчального закладу від _____ № _____

2. Строк подання студентом роботи _____ 2 червня 2021 р.

3. Вихідні дані до роботи: _____

Висота підйому _____

Продуктивність насосу _____

Тип приводного двигуна: асинхронний _____

Тип системи керування: скалярний за тиском _____

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

1. Характеристика насосних установок

2. Розрахунок та розробка схеми електроприводу насосної установки

3. Моделювання електроприводу насосу

4. Охорона праці

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

Вісім слайдів презентаційного матеріалу

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Розділи 1 – 3	Калиниченко В. В.		
Охорона праці	Біла Н. С.		
Нормоконтроль	Любименко О. М.		

7. Дата видачі завдання 05 травня 2021 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломного роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1.	Розділ 1	03.05.21 – 12.05.21	
2.	Розділ 2	13.05.21 – 23.05.21	
3.	Розділ 3	24.05.21 – 27.05.21	
4.	Охорона праці	28.05.21 – 31.05.21	
5.			
6.			

Студент _____ Гейко Д. В.
(підпис) (прізвище та ініціали)

Керівник роботи _____ Калиниченко В. В.
(підпис) (прізвище та ініціали)

АНОТАЦІЯ

Гейко Данило Владиславович. Автоматизована система управління на основі перетворювача частоти для електроприводу насосної установки / Випускна кваліфікаційна робота на здобуття освітнього ступеня «Бакалавр» за спеціальністю 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка». – ДВНЗ ДонНТУ, Покровськ, 2021.

Дипломна робота складається зі вступу, основної частини, яка включає три розділи, висновків, переліку джерел посилання та додатку.

У першому розділі розглядалися питання класифікації та порівняльних характеристик насосів, автоматизації насосних установок за допомогою систем електроприводу, регульованого електроприводу як засобу економії енергії, частотного електроприводу.

У другому розділі представлений розрахунок та вибір асинхронного двигуна, вибір частотного перетворювача, вибір датчика тиску, синтез системи керування, математичний опис перетворювача частоти, асинхронного електродвигуна, насосного агрегату, виконані оптимізації контурів струму, швидкості, тиску.

У третьому розділі виконане моделювання розробленої математичної моделі електроприводу насосу в Simulink, отримані графіки перехідних процесів за струмом, за швидкістю, при зміні напору.

Ключові слова: електропривод, насосна установка, зворотний зв'язок, перетворювач частоти, датчик тиску, контур регулювання, система керування.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	6
1 ХАРАКТЕРИСТИКА НАСОСНИХ УСТАНОВОК.....	7
1.1 Класифікація насосів	7
1.2 Порівняльні характеристики насосів	10
1.3 Автоматизація за допомогою систем електроприводу.....	13
1.4 Регульований електропривод як засіб економії енергії	16
1.5 Частотний електропривод.....	20
1.6 Розробка систем автоматичного керування насосних установок.....	24
1.6.1 Характеристика об'єктів керування	25
2 РОЗРАХУНОК ТА РОЗРОБКА СХЕМИ ЕЛЕКТРОПРИВОДУ НАСОСНОЇ УСТАНОВКИ.....	30
2.1 Розрахунок та вибір асинхронного двигуна	30
2.2 Вибір частотного перетворювача	31
2.3 Вибір датчика тиску	33
2.4 Синтез системи керування.....	34
2.4.1 Аналіз частотного регулювання	34
2.4.2 Математичний опис перетворювача частоти.....	37
2.4.3 Математичний опис і структурна схема асинхронного електродвигуна ...	38
2.4.4 Математичний опис і структурна схема насосного агрегату.....	40
2.4.5 Оптимізація контуру регулювання струму	43
2.4.6 Оптимізація контуру регулювання швидкості.....	46
2.4.7 Оптимізація контуру регулювання тиску	47
3 МОДЕЛЮВАННЯ ЕЛЕКТРОПРИВОДУ НАСОСУ	48
ВИСНОВКИ	52
ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ	53
ДОДАТОК А ОХОРОНА ПРАЦІ.....	54

ВСТУП

Збільшення споживання води в промисловості та повсякденному житті вимагає більшого використання існуючих та нових систем водопостачання. З економічної точки зору цю проблему можна швидко та ефективно вирішити, використовуючи джерела підземних вод через те, що джерела підземних вод, як правило, не потребують очищення. Також сюди не входить будівництво складних і дорогих очисних споруд, що займають великі площі, і реагенти не використовуються. Робота насосної станції безперервна і забезпечує необхідні технічні умови для роботи підприємства.

В даний час бажано максимально автоматизувати технічний процес та створити найбільш функціональні та зрозумілі функції для звичайних користувачів. Електричний привід споживає понад 60% електроенергії, а його енергоефективність значно покращується завдяки переходу від нерегульованого асинхронного електроприводу до регулювання, що покращує якісні характеристики технологічного потоку, реалізує автоматизацію виробництва та збільшує енергозбереження та економію ресурсів.

Останнім часом автоматично розробляється, вдосконалюється та впроваджується автоматизована система управління процесами на базі вдосконаленого мікропроцесорного обладнання. У наш час метод використання перетворювача частоти для управління запуском двигуна стає все більш поширеним. Донедавна метод регулювання частоти електричних приводів вважався дорогим і застосовувався лише в широкому діапазоні регулювання швидкості, але із застосуванням більш дешевих та вдосконалених перетворювачів частоти система управління майже стала ідеальним технічним рішенням при пусках або зупинках та в звичайних режимах.

Метою роботи є розробка та моделювання автоматизованою системи управління електроприводу насосної установки.

1 ХАРАКТЕРИСТИКА НАСОСНИХ УСТАНОВОК

1.1 Класифікація насосів

Насосами називають гідравлічні машини, призначення яких є в перекачуванні рідин. Механічна енергія приводного двигуна перетворюється в механічну енергію рухомої рідини, насоси піднімають рідину на певну висоту, переміщують її на потрібну відстань паралельно поверхні Землі або змушують циркулювати в будь-якої замкнутої системі.

Виконуючи одну або декілька наведених функцій, насоси в будь-якому разі є частиною обладнання насосної станції, принципова схема якої з урахуванням умов водопостачання і каналізації зображена на рис. 1.1. На схемі рис. 1.1 представлені: 1 – водоприймач; 2 – насос; 3 – електричний приводний двигун; 4 – трансформатор; 5 – лінія електропередавання; 6 – напірний трубопровід; 7 – водовипуск. У цій схемі в якості привода насоса задіяний електричний двигун, під'єднаний до електричної мережі. Робоча рідина, наприклад вода, всмоктується насосом з нижнього басейну і перекачується по напірного трубопроводу в верхній басейн через перетворення енергії двигуна в енергію рідини. Енергія рідини після проходження через насос завжди є більшою, ніж енергія перед насосом.

Основні параметри насосів, що є визначальними для діапазону змінення режимів роботи насосної станції, склад її обладнання та особливості конструкції, є подача, напір, потужність і коефіцієнт корисної дії (ККД).

Напір являє собою різницю питомих енергій рідини в перетинах після і до насоса, виражену в метрах. Напір, створюваний насосом, визначає граничну висоту підйому або дальність перекачування рідини (відповідно H і L ; див. рис. 1.1).

Подача – обсяг рідини, що подає насос в напірний трубопровід за одиницю часу, зазвичай вимірюється в $\text{м}^3 / \text{год}$ або $\text{л} / \text{с}$.

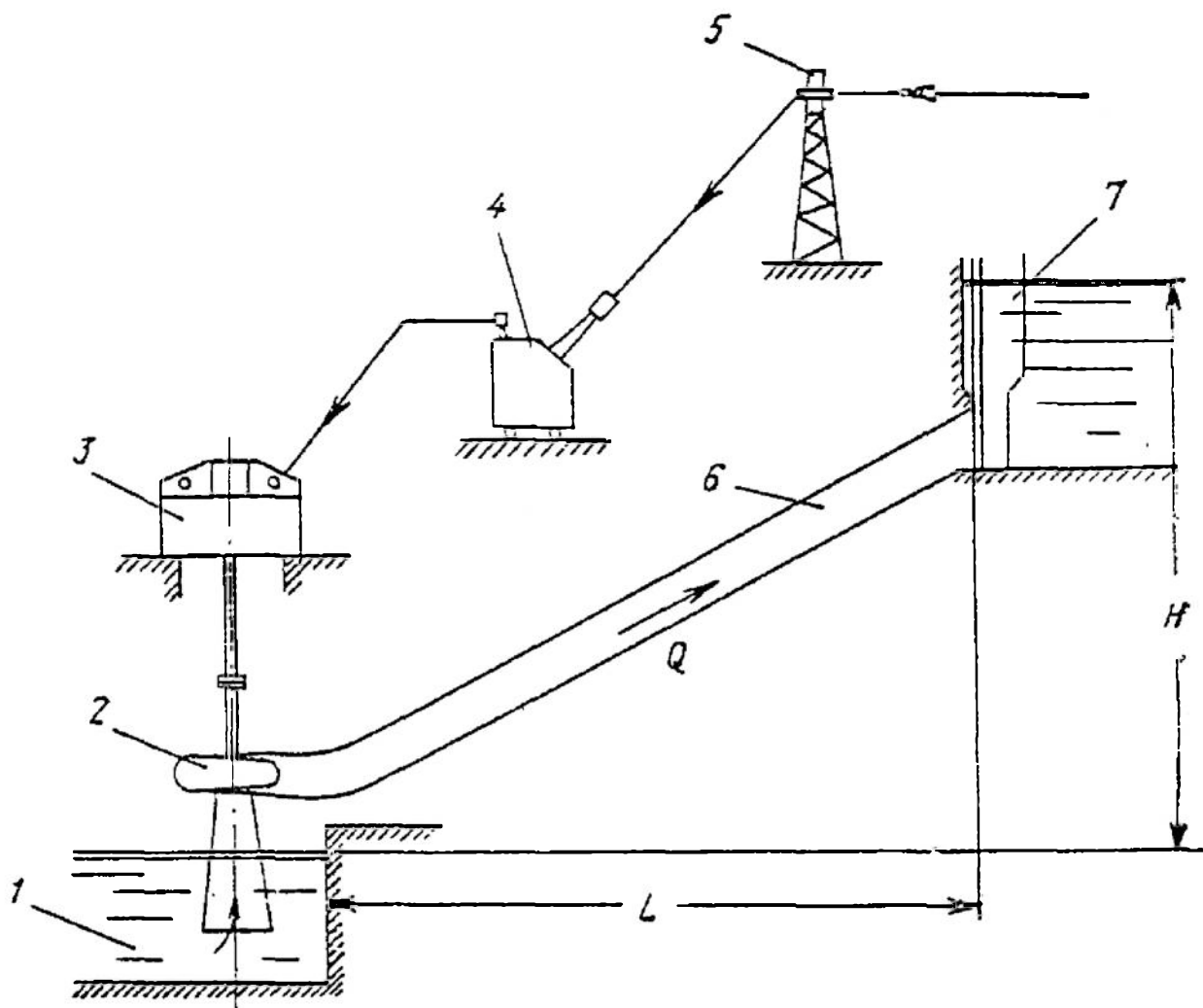


Рисунок 1.1 – Принципова схема насосної станції

Потужність, яку витрачає насос, потрібна для створення необхідного напору та подолання всіх видів втрат, що є неминучими в процесі перетворення механічної енергії, яка підводиться до насоса, в енергію руху рідини через всмоктуючий і напірний трубопроводи. Вимірюється в кВт потужність насоса є визначальною для потужності приводного двигуна і сумарної (встановленої) потужності насосної станції.

Коефіцієнт корисної дії враховує загалом всі види втрат, які пов'язані з перетворенням механічної енергії електричного двигуна в енергію рідини, що рухається. ККД є визначальним для економічної доцільності експлуатації насоса при зміні інших його робочих параметрів (подачі, напору, потужності).

Історія виникнення і розвитку насосів показує, що спочатку вони призначалися виключно для підйому води. Однак в даний час область їх застосування настільки широка і різноманітна, що давати насосу визначення як машини для перекачування води було б однобічним. Окрім водопостачання та каналізації міст, промислових підприємств і електричних станцій насоси знайшли застосування для зрошення й осушення земель, гідроакумулювання енергії, транспортування матеріалів. Існують суднові насоси, живильні насоси котельних установок теплових електростанцій, спеціальні насоси для нафтової, хімічної, харчової паперової, та інших галузей промислового господарства. Насоси використовуються при виконанні будівельних робіт (намив земляних споруд, відкачування води з котлованів, водозниження, подача бетону та будівельних розчинів до споруд і т.п.), при розробці родовищ і транспортуванні корисних копалин гідравлічним способом, при гідровидалення «відходів виробничих підприємств. В якості допоміжних пристроїв насоси служать для забезпечення змащення і охолодження машин.

Виходячи з вищенаведеного, насоси є серед одних з найбільш поширених видів машин, а їх конструктивна різноманітність надзвичайно велика. Через це класифікація насосів за їх призначенням має певні складнощі. Більш логічною є класифікація, заснована на відмінностях за принципом дії. З цієї точки зору всі існуючі в даний час насоси можуть бути розділені на наступні основні групи: лопатеві насоси, об'ємні насоси і струменеві насоси. Особливою групою є водопідйомники деяких спеціальних типів.

Лопатеві насоси перетворюють енергію за рахунок динамічної взаємодії потоку рідини і лопатей обертового колеса, яке і є основним робочим органом насоса.

Об'ємні насоси працюють за принципом витіснення, який полягає в створенні гідравлічної системи, що має змінюється обсяг. Якщо цей обсяг заповнити рідиною, що перекачується, а потім його зменшувати, то рідина буде витіснятися в напірний трубопровід.

Струменеві насоси працюють за принципом змішання потоку рідини зі струменем рідини, пари або газу, що володіє великим запасом кінетичної енергії.

Необхідно відзначити, що, незважаючи на великі відмінності в принципі дії, будові насосів усіх типів, включаючи насоси, що знайшли застосування в системах водопостачання та каналізації, мають задовольняти вимогам, до числа яких в першу чергу відносяться:

- висока надійність та довготривалість роботи;
- економічність і зручність експлуатації;
- можливість зміни робочих параметрів у широких межах зі збереженням високого ККД;
- невеликі габарити і вага;
- простота пристрою, яка полягає в мінімальній кількості деталей і можливій взаємозамінності;
- зручність процесів монтажу і демонтажу.

Вибір типу насоса для кожного конкретного випадку проводять враховуючи його експлуатаційні і конструктивні якості, які найбільш повним чином задовольняють технологічним призначенням даної насосної станції.[1]

1.2 Порівняльні характеристики насосів

Якщо говорити про можливу подачу, то в міру її зростання насоси розташовуються в наступному порядку: об'ємні насоси, відцентрові насоси і осьові насоси. Якщо ж в якості основного параметра розглядати максимально можливе значення напору, то порядок буде зворотним. Що стосується водопідйомників спеціальних типів, то всі вони, включаючи струменеві насоси, в поле $H-Q$ займають області, прилеглі до осей координат і характеризуються малими значеннями або напору, або подачі. Таким чином, практично весь

діапазон напорів від 1-2 до 10 000 м і подач від декількох літрів до 150 000 м³ на годину забезпечується великим числом типорозмірів, добре освоєних промисловістю насосів.

Паралельно з цим при вирішенні питання про використання будь-якого насоса в складі тієї чи іншої технологічної установки вирішальне значення, окрім робочих параметрів, набувають його експлуатаційні якості.

Проаналізуємо в зв'язку з цим переваги і недоліки розглянутих нами насосів і определяюшіє області їх можливого застосування в спорудах систем водопостачання і каналізації.

Лопатеві насоси. Відцентрові і осьові насоси забезпечують плавну і безперервну подачу рідини при високих значеннях коефіцієнта корисної дії. Щодо нескладний пристрій забезпечує високу їх надійність і достатню довговічність. Конструкція проточної частини лопатевих насосів і відсутність поверхонь тертя допускає можливість перекачування забруднених рідин. Простота безпосереднього з'єднання з високооборотними приводними двигунами сприяє компактності насосного агрегату і підвищення його ККД.

Всі ці позитивні якості відцентрових і осьових насосів привели до того, що вони є, по суті, основними насосами всіх споруд водопостачання і каналізації. Відцентрові і осьові насоси широко використовують також в системах оборотного руху рідин, в суднопіднімальних спорудах, на зрошувальних і осушувальних насосних станціях.

До недоліків відцентрових насосів слід віднести обмеженість їх застосування в області малих подач і високих напорів, що пояснюється зниженням ККД при збільшенні числа ступенів. Відомі складності в експлуатації насосних установок з відцентровими насосами виникають також через необхідність їх заповнення рідиною, що перекачується перед включенням в роботу.

Ці недоліки відсутні у вихрових і відцентрово-вихрових насосів. Однак внаслідок невисокого ККД вони знаходять застосування лише в невеликих

автономних системах водопостачання і, крім того, використовуються в якості допоміжних на великих водопровідних і каналізаційних насосних станціях.

Об'ємні насоси. Безперечні переваги властиві поршневым і плунжерним насосам –це високий ККД та можливість подачі незначних обсягів рідини під дуже великим тиском. Нерівномірність подачі у той же час, складність з'єднання з приводним двигуном, наявність клапанів, що легко зношуються, тихохідність, а від цього, великі розміри та маса виключають можливість їх застосування на сучасних насосних станціях систем водопостачання і каналізації високої продуктивності. Лише надзвичайно рідко вертикальні поршневі насоси залишились у застосуванні для підйому води зі свердловин малих діаметрів (до 0,2 м). Модифіковані поршневі насоси використовуються для подачі бетону і розчинів при виробництві та будівельних роботах.

Об'ємні насоси з обертовим рухом робочого органу за будовою більш прості та забезпечують плавну подачу рідини. Але дуже маленькі подачі шестеренних та гвинтових насосів в поєднанні з їх здатністю перекачувати рідини з високою в'язкістю визначали область їх застосування як поживних насосів систем гідроприводу, автоматики й змащення.

Водоструминні насоси. Перевагами гідроелеваторів є невеликі розміри, простота пристрою, здатність перекачувати рідини з великим змістом зважених наносів і висока надійність роботи. Водоструминні насоси знаходять широке застосування при виробництві земляних робіт способом гідромеханізації. Їх застосовують також для відкачування води з глибоких колодязів, артезіанських свердловин, котлованів, траншей, для зниження рівня ґрунтових вод в голкофільтрових установках. На каналізаційних очисних спорудах водоструминні насоси застосовують для підйому шламу, що осів в песколовках піску і для перемішування мулу в метантенках. На великих насосних станціях водоструминні насоси використовуються в якості допоміжних для відсмоктування повітря з основних насосів перед їх запуском і для підвищення всмоктуючої здатності відцентрових насосів.

До недоліків водоструминних насосів відносяться низький ККД і необхідність подачі великого обсягу робочої рідини під тиском. Тому застосування гідроельоватора в кожному конкретному випадку має бути обгрунтовано економічними розрахунками.

Повітряний підйомник. Простота пристрою, легкий догляд і надійність роботи ерліфтів дозволяють їм за певних умов успішно конкурувати з відцентровими насосами при підйомі води з глибоких свердловин, подачі хімічних реагентів і мулу на водопровідних та каналізаційних очисних спорудах. Однак необхідність великого заглиблення форсунки і малий ККД установки змушують кожного разу доводити прийняте рішення техніко-економічним порівнянням варіантів з використанням насосів різних типів.

Гідравлічні тарани, що характеризуються невеликими подачами, знаходять застосування в невеликих установках автономного водопостачання із сезонним, як правило, режимом роботи.

Шнекові насоси можуть виявитися досить ефективними при перекачуванні стічних вод і осаду на невелику висоту (5-8 м)

1.3 Автоматизація за допомогою систем електроприводу

Автоматизація частково або повністю звільняє людину від виконання циклічного процесу або виконати процесу, що виконується за суворо визначеним алгоритмом. В даний час майже всюди можна знайти такий виробничий процес, який в цілому або частково керується автоматично, без допомоги людини, а виробничий персонал лише, в свою чергу, отримує повідомлення у випадку відмови або надзвичайної ситуації. Автоматизація була розроблена завдяки промислово-технічному прогресу. Навіть автоматизація побуту походить від промислового виробництва. У промисловому виробництві люди прагнуть до

прискорення процесу і, отже, збільшення доходу, що спонукає людей застосовувати новітні наукомісткі методи автоматизації. Подібним чином автоматизоване виробництво може звільнити велику кількість робітників, тим самим оптимізуючи робочий час та зайнятість працівників. Якщо наприкінці минулого століття автоматизація була призначена виконавцем рутинних операцій циклу, то тепер, завдяки розробці програмного забезпечення та комп'ютерів, всю виробничу лінію можна автоматизувати без ручного втручання.

Під автоматизацією технологічних процесів розуміють застосування енергії неживої природи в технологічне процесі або його складових частинах для виконання і управління ними без безпосередньої участі людини, здійснюване з метою скорочення трудових витрат, поліпшення умов виробництва, підвищення обсягу випуску і якості продукції. Функції людини - контроль за роботою машини, усунення відхилень від заданого процесу, налагодження автоматизованої машини на обробку іншого виробу. При цьому людина не повинна брати участь у виготовленні кожного виробу, а в звільнене час на нього покладаються функції обслуговування ряду автоматів. Робочий отримує високу кваліфікацію і стає наладчиком, стирається грань між робочим і інженерно-технічним працівником.

У автоматично працюючої машини розрізняють робочі і холості ходи. Останні складаються з допоміжних переходів і допоміжних ходів. При робочих ходах рух частин машини призводить до безпосередньої обробці, наприклад зняття стружки, накочуванням поверхні і т.п. При допоміжних переходах рух частин машин служить для подачі, установки і закріплення заготовки, розкріплення і зняття готової деталі, перемикання швидкостей і подач, включення і виключення верстата тощо. При допоміжних ходах руху частин машин служать для підведення і відведення обробного інструменту.

Автоматичне управління включає комплекс технічних засобів і методів з управління, що забезпечують пуск і зупинку основних і допоміжних пристроїв,

безаварійну роботу, дотримання необхідних значень параметрів відповідно до заданих технологічних вимог.

У багатьох галузях продуктивність технічного обладнання значною мірою залежить від ступеня його автоматизації, а його основною ланкою є електропривод. Досягнення у багатьох галузях науки і техніки (машинобудування, мікроелектроніка, транспорт, космічні технології, видобуток та переробка корисних копалин тощо) дедалі більше підкреслюють її ключову роль. Хоча з цим поняттям стикаються щодня, більшість людей рідко використовують термін "електричний привід": щоб зручно пересуватися в електричках, ліфтах, автомобілях та користуватися різноманітними електроприладами (пилососи, змішувачі, кондиціонери, вентилятори, їжа) (Процесор, пральна машина) машина тощо).

Автоматизовані електроприводи зазвичай не розглядаються як самостійне обладнання, це важлива частина автоматизованої ієрархічної структури. Суть автоматичного електроприводу найбільш яскраво втілена в електричному сталеплавильному обладнанні та металорізальних верстатах з цифровим програмним управлінням, автоматичному механічному обладнанні та автоматичних виробничих лініях. Зрозуміти обладнання та роботу електроприводів - головним чином, щоб зрозуміти фізичні процеси, що відбуваються в них, та порівняти можливості сучасних технологічних рішень та сучасного програмного забезпечення в галузі мікроелектроніки та силової електроніки. Це необхідно всім, чия діяльність безпосередньо пов'язана з проектуванням, виробництвом та експлуатацією обладнання з використанням автоматичного електроприводу та систем управління.

В даний час регульовані приводи постійного струму замінені регульованими приводами змінного струму, що базуються головним чином на асинхронних двигунах короткого замикання. Асинхронні двигуни - найпоширеніші двигуни, але до недавнього часу вони в основному використовувались в нерегульованих електроприводах для обертових

механізмів, що працюють з постійною швидкістю: вентилятори, насоси, компресори, конвеєри.

В останні роки завдяки появі нового покоління транзисторів і тиристорів, а також появі відносно недорогих високошвидкісних мікропроцесорів виробництво та експлуатація автоматичних приводів змінного струму на базі асинхронних двигунів стали економічно доцільними. Це також пов'язано з тим, що технологія виробництва асинхронних двигунів зараз майже повністю автоматизована.

1.4 Регульований електропривод як засіб економії енергії

У § 5,2, 5.3 [1] показано, що режими роботи відцентрових насосів енергетично найбільш ефективно регулювати шляхом зміни частоти обертання їх робочих коліс. Частота обертання робочих коліс може бути змінена, якщо в якості приводного двигуна використовуються регульований електропривод.

Для САУ режимом роботи насосних установок зазвичай використовуються різні види регульованого електроприводу. Електроприводом називають пристрій, що перетворює електричну енергію в механічну. Електропривод - складається з електродвигуна, передавального механізму (трансмисії, муфти, редуктора) і системи управління. В регульований електропривод входять також пристрої для забезпечення зміни частоти обертання агрегату в цілому або тільки насоса. Ці пристрої виконують зазвичай дві функції: є силовими перетворювачами електроенергії і в той же час елементами системи управління.

Регульований електропривод підрозділяється на дві основні групи: постійного і змінного струму.

Процес регулювання частоти обертання будь-якого механізму зручно аналізувати за допомогою механічних характеристик агрегату. Нижче

розглядаються механічні характеристики електродвигунів, які зіставляються з механічними характеристиками насосів або повітродувних машин.

Механічною характеристикою електродвигуна називається залежність його крутного моменту від частоти обертання. Механічні характеристики поділяються на три основних види:

- абсолютно жорсткі (крива 1 на рис. 1.1) - властиві синхронним електродвигунам, робота безпосередньо від живильної електричної мережі, частота обертання яких залишається постійною при зміні крутного моменту;
- жорсткі (крива 2 на рис. 1.1) - властиві асинхронним електродвигунам (в робочій частині характеристики) і електродвигунів постійного струму з паралельним збудженням, частота обертання яких ледь змінюються при зміні крутного моменту;
- м'які (крива 3 на рис. 1.1) - властиві електродвигунам постійного струму з послідовним збудженням, частота обертання яких істотно змінюється при зміні крутного моменту.

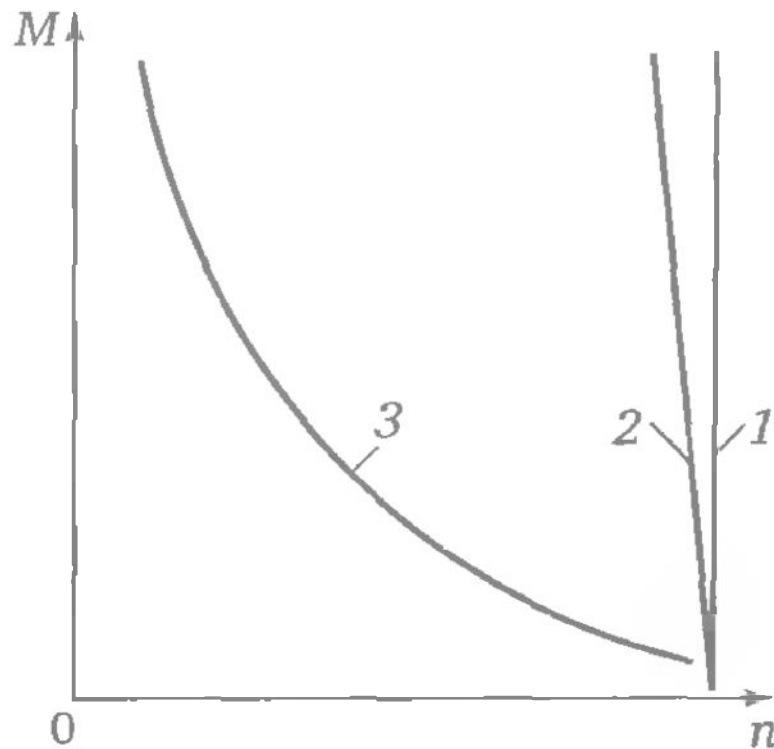


Рисунок 1.2 – Механічні характеристики електродвигунів

Існують і інші різновиди механічних характеристик. Наприклад, механічна характеристика електродвигуна постійного струму зі змішаним збудженням займає проміжне положення між характеристиками електродвигунів з паралельним і послідовним збудженням.

Механічна характеристика асинхронного електродвигуна з резистором, введеним в роторну ланцюг, м'якше аналогічної характеристики короткозамкнутого електродвигуна і т.д.

Механічні характеристики регульованих електроприводів принципово відрізняються від характеристик нерегульованих тим, що в процесі регулювання вони змінюють своє положення, або свою форму, або те й інше одночасно.

Механічною характеристикою механізму, в тому числі насоса, називається залежність його моменту опору від його частоти обертання.

Розглянемо механічні характеристики насосного агрегату, що складається з насоса і електродвигуна. На рис. 1.2 представлені механічні характеристики відцентрового насоса, обладнаного зворотним затвором (крива 1) і електродвигуна з короткозамкненим ротором (крива 2). Різниця значень крутного моменту електродвигуна і моменту опору насоса називається динамічним моментом. Якщо крутний момент двигуна більше моменту опору насоса, динамічний момент вважається позитивним, якщо менше - негативним. Під впливом позитивного динамічного моменту насосний агрегат починає працювати з прискоренням, тобто розганяється. Якщо динамічний момент негативний, насосний агрегат працює з уповільненням, тобто гальмується. У разі рівного розподілу цих моментів має місце сталий режим роботи, тобто насосний агрегат працює з постійною частотою обертання. Ця частота обертання і відповідно їй момент визначаються перетином механічних характеристик електродвигуна і насоса (точка а на рис. 1.2).

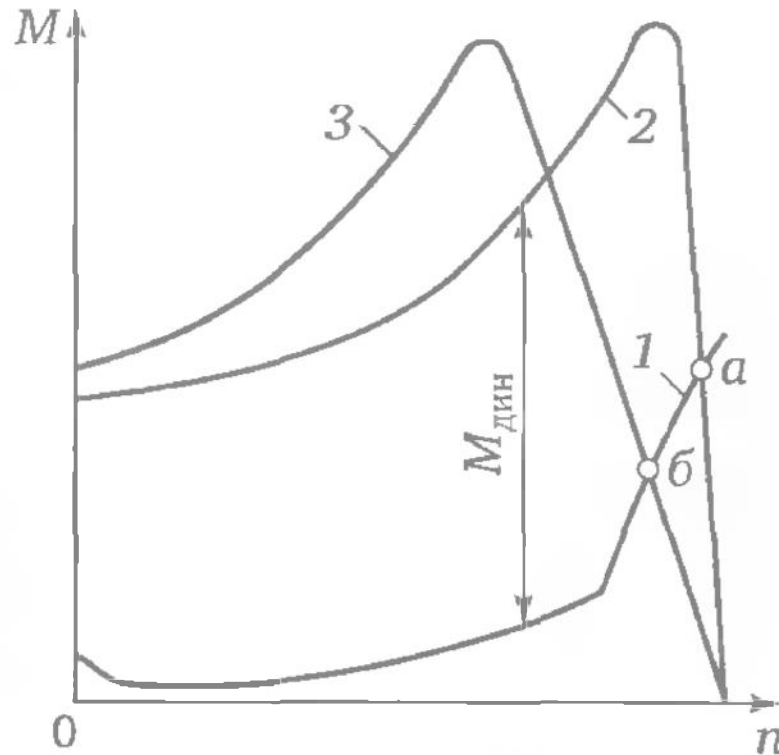


Рисунок 1.3 – Механічні характеристики насосного агрегата

Якщо в процесі регулювання тим чи іншим способом змінити механічну характеристику, наприклад зробити її більш м'якою за рахунок введення додаткового резистора в роторний ланцюг електродвигуна (крива 3 на рис. 1.2), момент обертання електродвигуна стане менше моменту опору. Під впливом негативного динамічного моменту насосний агрегат починає працювати з уповільненням, тобто гальмується до тих пір, поки крутний момент і момент опору знову не врівноважаться (точка б на рис. 1.2). Цій точці відповідає своя частота обертання і своє значення моменту. Таким чином, процес регулювання частоти обертання насосного агрегату безперервно супроводжується змінами крутного моменту електродвигуна і моменту опору насоса.

Регулювання частоти обертання насоса може здійснюватися або зміною частоти обертання електродвигуна, жорстко з'єднаного з насосом, або зміною передавального відношення трансмісії, що з'єднує насос з електродвигуном, який працює з постійною швидкістю. Розглянемо вид регульованого

електроприводу, який застосовується в насосних установках та викликає дослідний інтерес – електропривод з частотним керуванням.

1.5 Частотний електропривод

Широким поширення характеризується у вітчизняній і зарубіжній практиці регульований електропривод змінного струму. Частота обертання електродвигуна змінного струму згідно залежить від частоти струму живлення, числа пар полюсів і ковзання. Змінивши один або кілька параметрів, що входять, можна змінити частоту обертання електродвигуна і з'єднаного з ним насоса.

Основним елементом частотного електроприводу є частотний перетворювач. У перетворювачі постійна частота живильної мережі перетворюється у змінну. Пропорційно частоті змінюється частота обертання електродвигуна, підключеного до виходу перетворювача.

Частотні перетворювачі поділяються на два основних види: з проміжною ланкою постійного струму і з безпосереднім зв'язком. Схеми частотного перетворювача першого виду представлені на рис. 1.3. Перетворювач складається з випрямляча В, фільтра Ф і інвертора І.

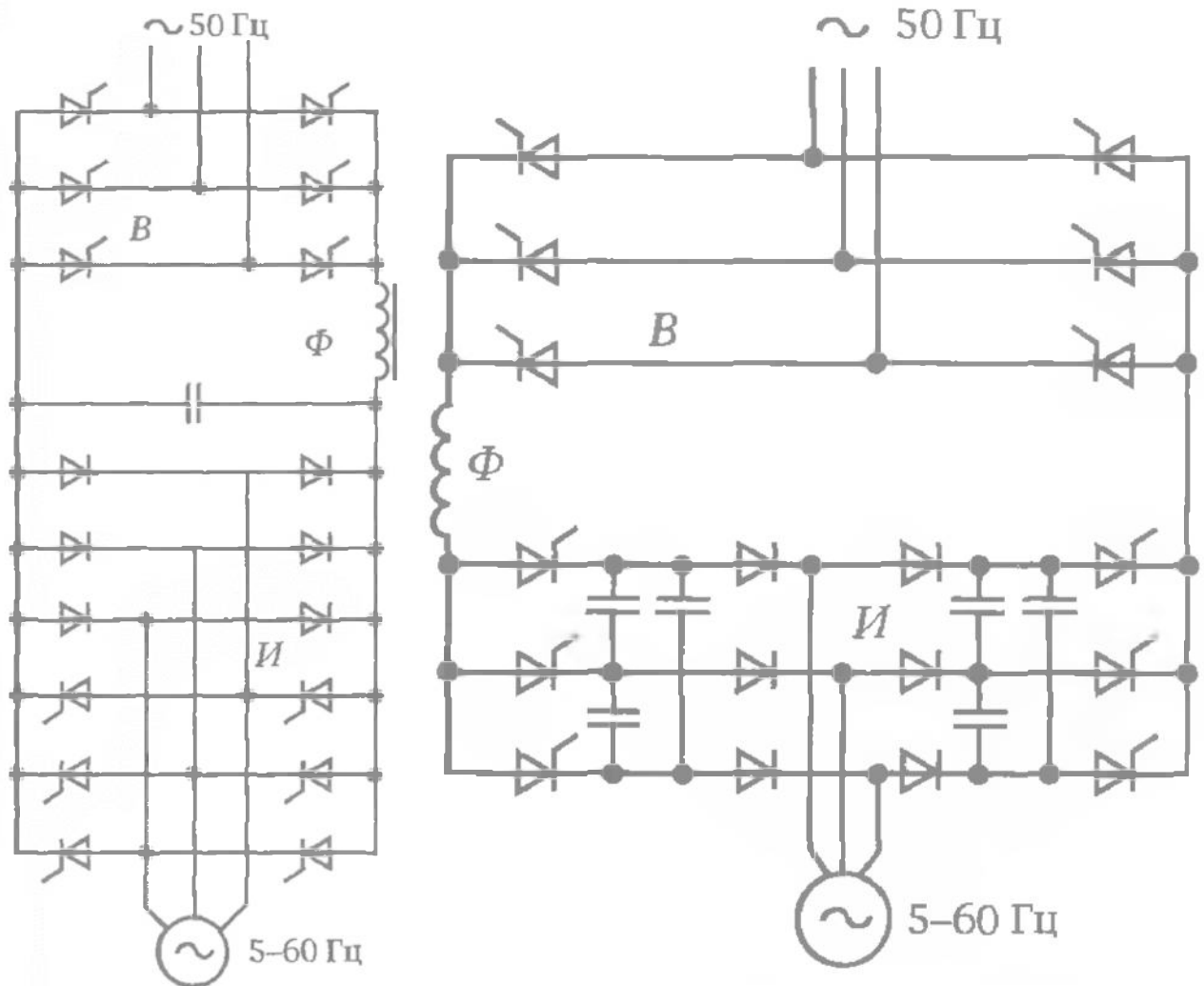


Рисунок 1.4 – Схема частотного електропривода з інвертором напруги (зліва) та інвертором струму (справа)

За допомогою частотного перетворювача практично незмінні мережеві параметри напруга і частота перетворюються в змінні параметри, необхідні для системи управління.

Для забезпечення стійкої роботи електродвигуна, обмежень його перевантаження по струму і магнітному потоку, підтримки високих енергетичних показників в частотному перетворювачі має підтримуватися певне співвідношення між його входними і вихідними параметрами, в залежності від виду механічної характеристики насоса. Ці співвідношення виходять з рівняння закону частотного регулювання Костенко

$$\frac{U_1}{U_2} = \frac{f_1}{f_2} \sqrt{\frac{M_1}{M_2}}.$$

Для насосів, що працюють без статичного напору, чия механічна характеристика описується рівнянням квадратичної параболи, повинне дотримуватися співвідношення.

$$U_1 / f_1^2 = U_2 / f_2^2 = const$$

Для насосів, що працюють зі статичним напором, необхідно дотримуватися більш складне співвідношення.

$$U_1 / f_1^{1+k/2} = U_2 / f_2^{1+k/2} = const$$

де k - показник ступеня в рівнянні механічної характеристики насоса.

На практиці найчастіше в насосних установках використовуються перетворювачі загального призначення, що забезпечують співвідношення

$$U_1 / f_1 = U_2 / f_2 = const \quad (1.1)$$

На рис. 1.4 представлені механічні характеристики асинхронного електродвигуна при частотному регулюванні і дотриманні співвідношення (1.1). При зменшенні частоти f_2 механічна характеристика не тільки змінює своє положення в координатах $n-M$, але трохи змінює свою форму. Зокрема, знижується максимальний момент електродвигуна. Обумовлено це тим, що при дотриманні співвідношення (1.1) і зміні частоти f_1 не враховується вплив активного опору статора на величину крутного моменту двигуна. При частотному регулюванні з урахуванням цього впливу максимальний момент

залишається незмінним, форма механічної характеристики зберігається, змінюється лише її положення.

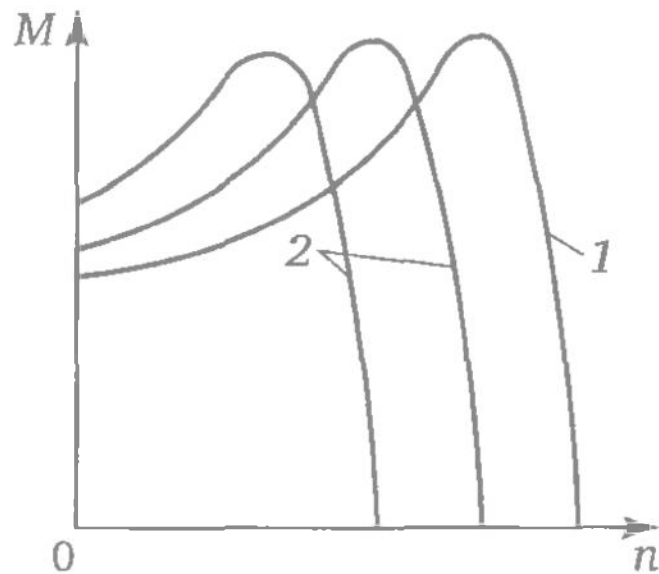


Рисунок 1.5 – Механічні характеристики частотного електроприводу при максимальних (1) та знижених частотах (2)

Частотні перетворювачі виконуються на базі автономних інверторів струму (AIC) або на базі автономних інверторів напруги (AІН). У частотних перетворювачів на базі АІН в ланці постійного струму випрямляється напруга. Згладжує фільтр в цих перетворювачах складається з реактора, включеного послідовно з інвертором, і конденсатора, що підключається паралельно АІН. На виході перетворювача форма кривої вихідної напруги (зазвичай прямокутна) визначається порядком перемикування тиристорів, а форма кривої струму (синусоїдальна) залежить від характеру навантаження.[2]

У частотних перетворювачів на базі АІС в ланці постійного струму випрямляється струм. Фільтр складається з реактора, що включається послідовно з інвертором. На виході перетворювача форма кривої вихідного струму визначається порядком перемикування тиристорів, а форма кривої напруги (синусоїдальна) - характером навантаження.

1.6 Розробка систем автоматичного керування насосних установок

Досвід використання регульованого електроприводу показує, що без створення систем автоматичного керування режимами роботи установок отримати очікуваний економічний ефект є неможливим. Оператор установки не в змозі щохвилини відслідковувати зміни в режимах роботи об'єкта, не може своєчасно змінювати співвідношення частот обертання декількох паралельно працюючих регульованих агрегатів, комутувати нерегульовані агрегати, закривати та відкривати затвори, іншими словами виконувати такі операції, які потрібні для відпрацювання енергозберігаючого режиму роботи установки. Усе стає ще більш складним у завданні управління, якщо кілька установок працюють спільним чином, забезпечуючи загальний технологічний режим подачі води споживачеві, наприклад декілька насосних станцій подають воду в загальну водопровідну мережу. В такому випадку виникає потреба у створенні об'єднаної САУ даними установками, що може забезпечити найбільш вигідний розподіл навантаження поміж цих установок.

Для проєктування енергозберігаючих систем управління необхідно сформулювати основні технологічні вимоги, за дотриманням яких буде забезпечуватися ефективне використання регульованого приводу.

Розробка технологічних вимог вимагає системного підходу до розв'язання сукупних завдань і проблем, які виникають при розробці САУ. Відповідний підхід характеризується спільним розглядом проблем автоматизації та технологічних завдань. При цьому упродовж усіх етапів розробки, проєктування і впровадження САУ пріоритетне значення надається технологічному процесу перекачування води та стоків.

Впровадження технічних рішень при розробці САУ здійснюється комплексно, зачіпаючи складові частини насосних установок, які беруть участь

в технологічному процесі водоподавання і водовідведення, в тому числі: технологічну схему станції, насосне, гідромеханічне та електроенергетичне обладнання тощо. За необхідності зачіпаються компоновальні рішення та вносяться зміни в будівельні частини споруди.

Рішення про побудову САУ на об'єкті приймається на підставі техніко-економічного обґрунтування (ТЕО) та підготовлених технічних пропозицій.

Розробка, проектування, монтаж, налагодження і введення в експлуатацію САУ здійснюється під єдиним науково-технічним керівництвом організації-розробника САУ.

1.6.1 Характеристика об'єктів керування

У системах водовідведення значна частина насосних станцій задіяна в перекачуванні стічних вод з приймального резервуара, до якого стічна вода надходить самотіком або подається іншою насосною станцією, яка розташовується на нижній геодезичній позначці. В даному випадку основним параметром керування є рівень води в резервуарі. При розробці САУ має бути врахований графік припливу стічних вод у приймальний резервуар станції.

Для систем водоподавання є характерним велика різноманітність технологічних рішень, які потрібно враховувати вже на початковій стадії розробки під час вибору принципової схеми САУ. При розробці САУ водопровідної станції, враховують її місце в загальній схемі водопостачання, графік водоспоживання, призначення водопроводу, кількість вододжерел, наявність регулюючих резервуарів, що регулюють насосні станції. Для водопровідних станцій регульованим параметром зазвичай є тиск в напірному колекторі або в точці мережі, що диктує. В окремих випадках параметром регулювання може виступати рівень води в резервуарах.

Для систем оборотного водопостачання є характерним взаємодія різних контурів охолодження води та їх окремих елементів. Як параметри регулювання доводиться використовувати тиск в магістралі і рівень води в резервуарах одночасно. Окремі випадки передбачають використання значення температури або витрати охолоджуючої води. При розробці САУ необхідно передбачити врахування технологічного режиму роботи виробництва, що обслуговується системою оборотного водопостачання через те, що від нього залежить графіки водоспоживання та водовідведення системи.

Для всіх випадків повинні бути враховані цілі, що покладаються в основу керування. До числа таких відносяться:

- забезпечення найменшого споживання енергії насосними агрегатами;
- забезпечення найповнішого усунення надлишкових напорів;
- підтримка заданого тиску в точках мережі, що диктують або в напірному колекторі станції;
- підтримання певного рівня в резервуарах;
- запобігання неконтрольованих перетоків, що переміщуваних середовищ в трубопровідних системах і резервуарах;
- запобігання неекономічних та небезпечних режимів роботи насосних агрегатів (кавітації, гідравлічних ударів) і т.д.

Будемо розглядати найбільш характерні варіанти побудови САУ:

- а) каналізаційна насосна станція, що перекачує стічні води з приймального резервуара на в колектор або очисні споруди. Основною метою керування є стабілізація рівня стічних вод у приймальному резервуарі. Таким чином, в кожен момент часу забезпечується перекачування води в такій кількості, яка надходить в приймальний резервуар;
- б) водопровідна насосна станція, яка подає воду безпосередньо в мережу. Основна мета управління – підтримка заданого тиску в точках мережі,

що диктують або на напірному колекторі. Виходячи з цього, забезпечується подача такої кількості води в мережу, яка необхідна споживачеві;

- в) водопровідна насосна станція, яка подає воду в проміжні резервуари, з яких потім забирається насосами I, III підйому. Завдання управління виявляється ускладненим через необхідність врахування регулюючої здатності резервуарів;
- г) декілька насосних станцій, що подають воду в загальну мережу. У даному варіанті поряд з підтриманням заданого тиску в мережі та врахування коливань рівня в резервуарах постає завдання оптимального розподілу навантаження між станціями, що забезпечить мінімальні енергетичні витрати на подачу води.

У всіх випадках слід пам'ятати, що в кожній насосній установці працює зазвичай декілька насосів паралельно, а іноді і послідовно. В даному випадку зміна режиму роботи одного з насосів має вплив на режим роботи інших насосів, тому спільне завдання для всіх видів САУ полягає в забезпеченні роботи насосів в зоні нормальної роботи, а саме: без перевантаження, без помпажа і кавітації, поза зоною знижених ККД. Дані умови тягнуть за собою вимоги до системи автоматичного управління за відносно рівним розподілом навантажень між насосами, що працюють спільно.

У системах водоподачі та водовідведення насосних установок з малою продуктивністю (до 30 млн м³ / рік) властиві деякі особливості. Такі установки розташовуються, зазвичай, близько до споживачів води, через це вони безпосередньо без значного згладжування сприймають всі зміни в режимі водоспоживання та припливу стічних вод. Потужність насосних агрегатів, що встановлені на об'єктах такого роду, обмежена, зазвичай, 160-250 кВт. Ці об'єкти зазвичай облаштовуються електроприводом на низькій напрузі (380 В). Обслуговуючий персонал даних станцій характеризується нечисленним складом та порівняно невисокою кваліфікацією. Істотна кількість цих об'єктів працюють

на замку, без контролю з боку постійного оперативного персоналу. Через порівняно невеликі потужності основних насосних агрегатів абсолютне значення економії енергії та води на даних станціях відносно невелике. Звідки виходить, що технічні рішення, розроблені для таких об'єктів, не мають передбачати використання складних і дорогих пристроїв, що потребують постійного і безпосереднього спостереження за їхньою роботою з боку висококваліфікованого персоналу. Обслуговування апаратної частини САУ має сенс здійснювати періодично оперативно-виїзними бригадами (ОВБ) із заміною тієї апаратури, що вийшла з ладу резервною та подальшим її ремонтом у централізованих майстернях.

Технічні рішення мають передбачати автоматичне введення резервного обладнання замість тих, що вийшли з ладу і сигналізацію про те, що відбулося на диспетчерський пункт.

Насосні установки із продуктивністю від 20-30 млн м³/рік і вище вирізняються тим, що вони працюють в більш спокійних режимах водоспоживання або припливу стічних вод через наявність акумулюючої здатності резервуарів, колекторів і подібних споруд, а також розосередження в часі та просторі змін у режимах водоспоживання різних споживачів.

Насосні агрегати, що встановлюються на цих об'єктах, звичайно мають потужність в межах 300-1250 кВт. Електричний привод таких насосів, як правило, високовольтний (6 або 10 кВ). Крім асинхронних двигунів з короткозамкнутим ротором, характерних для насосних установок попередньої групи, такі об'єкти досить часто досить часто використовуються синхронні електродвигуни, в особливості при потужностях 630-1250 кВт.

Обслуговуючий персонал цих станцій, як правило, має більш високу кваліфікацію в порівнянні з персоналом насосних установок меншої продуктивності. Часто на обслуговуючий персонал великих насосних установок покладається контроль за роботою насосних установок, що працюють на замку, здійснюваний по каналах телемеханіки. У зв'язку з цим, а також з-за більш

складного пристрою цих об'єктів і важливості місця, займаного ними в загальній схемі водопостачання або водовідведення, вони працюють з постійним оперативним персоналом.

Крім того, порівняно висока потужність насосних агрегатів цих об'єктів і велика їх продуктивність обумовлюють високу абсолютне значення економії енергії і води, одержуваної за рахунок застосування сучасних САУ. Звідси випливає, що технічні рішення, що розробляються для таких об'єктів, можуть передбачати досить складні і відносно дорогі пристрої, що вимагають спостереження за їх роботою кваліфікованого персоналу. Технічні рішення можуть передбачати періодичне втручання оперативного персоналу в роботу САУ, наприклад для зміни уставок значень регульованих параметрів, включення і відключення регульованих і нерегульованих агрегатів за сигналами, які добувають з САУ. При необхідності черговий персонал повинен мати можливість вивести управління тими чи іншими агрегатами з САУ і взяти його на себе.

Найбільші насосні станції великої продуктивності (100 млн м³ / рік і вище) складають велику роль в забезпеченні життєздатності найбільших центрів країни. Багато з цих об'єктів розвиваються протягом декількох десятиліть. На них встановлено різноманітне обладнання, виготовлене в різні періоди їх розвитку. Одинична потужність насосного обладнання цих об'єктів сягає 2500-5000 кВт. Кількість насосних агрегатів доходить до 30, причому розташовані вони часто в різних віддалених один від іншого будівлях. Зі сказаного випливає, що розробка САУ, що забезпечує узгоджену і ефективну роботу великого числа великих насосних агрегатів, є завданням непростим і вимагає індивідуального підходу. При цьому виникає задача виборчого регулюючого впливу на різні насосні агрегати, що входять до складу однієї і тієї ж насосної установки.

2 РОЗРАХУНОК ТА РОЗРОБКА СХЕМИ ЕЛЕКТРОПРИВОДУ НАСОСНОЇ УСТАНОВКИ

2.1 Розрахунок та вибір асинхронного двигуна

Таблиця 2.1 – Параметри насоса

Продуктивність, $m^3 / год$	Напір, m	Швидкість обертання лопатей, об/хв	ККД	Щільність рідини, $кг / m^3$
6,5	125	3000	0,8	1000

Обчислимо необхідну розрахункову потужність, для подальшого вибору двигуна:

$$P = K_z \frac{\rho \cdot g \cdot Q \cdot H}{\eta} = 1,2 \cdot \frac{1000 \cdot 9,81 \cdot 6,5 \cdot 125}{3600 \cdot 0,8} = 3,3 \text{ кВт}$$

де K_z – коефіцієнт запасу;

Q – продуктивність насоса;

g – прискорення вільного падіння;

ρ – щільність рідини;

H – повний напір;

η – ККД насоса.

Обираємо насос AQUATICA 7771863.

Для насоса підходить приводний двигун виробника WEG модель W22 L112M.

Параметри приведені в таблиці 2.2.

Таблиця 2.2 – Параметри обраного асинхронного двигуна

Напруга живлення, U, В	Потужність P, КВт	Номінальний струм, А	Частота обертання, об/хв	ККД, %	$\cos\varphi$
220/380	4	14.2/8.22	2900	85	0,87

2.2 Вибір частотного перетворювача

З енергетичної точки зору потужність є головним параметром електроприводу. Через це при виборі перетворювача частоти першочергово потрібно визначити вимоги до його навантажувальної здатності. Другим значним параметром перетворювача є критерії відповідності напруги мережі живлення. Перетворювачі живляться, як правило, від трифазної мережі змінного струму з напругою 380 В, розкид $+ 10\%$ / $- 15\%$, що цілком є відповідним до вимог вітчизняних стандартів, що висуваються до якості електропостачання.

Станом на зараз на ринку присутня велика кількість різних перетворювачів частоти. Серед провідних виробників опинилися перетворювачі таких фірм, як «Siemens», «Беспер», «ABB», «Omron», «Schneider Electric», «Danfoss», «Mitsubishi», «Delta Electronics».

Оберемо перетворювач фірми «ABB» (рис. 2.1).

Модель сучасного покоління перетворювачів частоти насосної серії. Використовується при управлінні приводами зі змінним навантаженням насосного типу. Новітня модель помітно вирізняється розширеними функціональними можливостями, мінімальними масогабаритними характеристиками, збільшеним діапазоном потужностей.

- Діапазон підтримуваних потужностей 7,5 370 кВт. Можливість керування групою електродвигунів одним перетворювачем;
- Вбудований ПД-регулятор. Керування по вольт-частотній характеристиці U / f ;
- Аналогові та цифрові входи і виходи для регулювання та дистанційного керування;
- Управління та діагностика по лінії;
- Живлення 380 В, 50 Гц.



Рисунок 2.1 – Загальний вигляд перетворювача частоти
«ACS150-03E-08A8-4 від ABB»

Серія спеціально розроблених перетворювачів для керування пристроями, призначеними для транспортування рідин і газів. Такі механізми діляться на три групи:

- Насоси;
- Вентилятори;
- Компресори.

Так як ми приймаємо, що система керування електроприводу – частотна, то потрібно обрати перетворювач частоти ACS150-03E-08A8-4 від ABB. Параметри ПЧ у таблиці 2.2.

Таблиця 2.2 –Параметри перетворювача частоти

Потужність, кВт	Напруга живлення, В	Вхідна частота, Гц	$\cos\varphi$
4	380	50	Контролюється до 1.0

2.3 Вибір датчика тиску

Пристрої отримання інформації про стан технологічного процесу призначені для збору і перетворення інформації без зміни її змісту про контрольованих і керованих параметрах ТП. входом | пристроїв є природні або уніфіковані сигнали, виходом - відповідні значення уніфікованих сигналів.

До пристроїв для отримання інформації про стан процесу, що створює канал збору і перетворення інформації, зараховують чутливі елементи або власне датчики.

Датчики фізичних величин сприймають контрольований параметр і перетворюють його в величину, зручну для передачі підканалах зв'язку або подальшого перетворення.

Основними характеристиками вимірювальних пристроїв для отримання інформації про стан ТП є: вхідні величина, що сприймається і перетворюються датчиком; вихідна величина, яка використовується для передачі інформації; статична і динамічна характеристики датчика; поріг чутливості; основна і додаткові похибки.

В даному ТП в якості вимірювального механізму використовується датчик тиску подачі води (ДД).

Вхідна величина О, яка надходить на вхід датчика ДД, відноситься до класу вхідних величин датчика, що характеризують протікання процесу. Вихідна величина, яка використовується для передачі інформації, моделюється за

амплітудою. Динамічна характеристика датчика визначає поведінку датчика при зміні вхідної величини і визначається внутрішньою структурою датчика і його елементів.

Точність вимірювань тиску води характеризують такі чинники:

- поріг сприйнятливості датчика - мінімальне зміна вхідної величини, що викликає зміна вихідного сигналу;
- головна похибка датчика - максимальна різниця між одержуваної в нормальних експлуатаційних ситуаціях величиною вихідного сигналу і його номінальним значенням, що встановлюється по статичній характеристиці для даної вхідної величини;
- додаткові похибки датчика - похибки, викликані змінами зовнішніх умов у порівнянні з нормальними умовами (температурна похибка та ін.).

Датчики, що забезпечують управління технологічними змінними і керуючими впливами:

2.4 Синтез системи керування

2.4.1 Аналіз частотного регулювання

У роботі проводиться синтез електромеханічної системи керування напором насосного агрегату потужністю 4 кВт, в якості приводного двигуна взятий асинхронний двигун.

Регулювання напору здійснюється зміненням частоти обертання приводного АД. Частотне керування вважається одним з найбільш ефективних способів регулювання швидкості.

Розглянемо основні принципи частотного керування.

Змінюючи частоту струму f_1 пропорційно буде змінюватись швидкість неробочого ходу ω_0 :

$$\omega_0 = \frac{2\pi f_1}{p}, \quad (2.1)$$

де p – число пар полюсів двигуна.

Магнітний потік Φ обернено пропорційний частоті:

$$U_\phi \approx E_{1\phi} = 4,47 f_1 W_1 \Phi_1, \quad (2.2)$$

де $E_{1\phi}$ – електрорушійна сила (ЕРС) статора;

W_1 – число витків фази статорної обмотки.

Через те, що в номінальному режимі магнітна система двигуна є насиченою, то при номінальному значенні напруги $U_{ном}$ допускається тільки збільшення частоти напруги живлення. Таким чином при значеннях f_1 більших $f_{ном}$, відповідно збільшиться ω_0 , а індуктивний опір короткого замикання X_K , і магнітний потік Φ зменшаться, збільшення ω_0 і X_K викликає зменшення критичного моменту $M_{кр}$:

$$M_{кр} = \frac{3U_{1\phi}^2}{2\omega_0 [R_1 \pm \sqrt{R_1^2 + X_K^2}]} \quad (2.3)$$

де R_1 – активний опір статорної обмотки,

$$X_K = X_1 + X_2' \quad (2.4)$$

Критичне ковзання $S_{кр}$ при збільшенні X_K зменшиться

$$S_{кр} = \pm \frac{R_2'}{\sqrt{R_1^2 + X_K^2}} \quad (2.5)$$

де R_2' – активний опір роторної обмотки.

Зменшення частоти $f_1 < f_{ном}$ веде до зниження кутової швидкості ω_0 , а магнітний потік Φ навпаки збільшується. Це веде до глибокого насичення магнітного кола та збільшення намагнічуючого струму I_μ , що, у свою чергу, стає причиною зниження енергетичних показників двигуна (ККД, коефіцієнту потужності). Для того, щоб підтримувати магнітний потік Φ постійним при збільшенні або зменшенні частоти статора f_1 , при зміні частоти необхідно змінити напругу U_1 в кратності до частоти, тобто змінювати ці величини так, щоб виконувався, так званий, закон Костенко

$$\frac{U_1}{f_1} = const$$

Дотримуючись цієї умови ми досягаємо підтримки рівня критичного моменту незмінним.

Регулювання за такого закону є доцільним для електроприводів з постійним навантажувальним моментом $M_c = const$.

Для насосного навантаження, що не є постійним під час роботи установки тобто $M_c = var$ при регулюванні кутової швидкості величини U_1 і f_1 змінюють таким чином, що $U_1 / f_1^2 = const$.

Виходячи з вищесказаного, закон зміни напруги визначається як частотою f_1 , так і характером змін моменту статичного навантаження M_c на валу двигуна. На рис. 2.2 зображені характеристики при змінному моменті навантаження $M_c = var$.

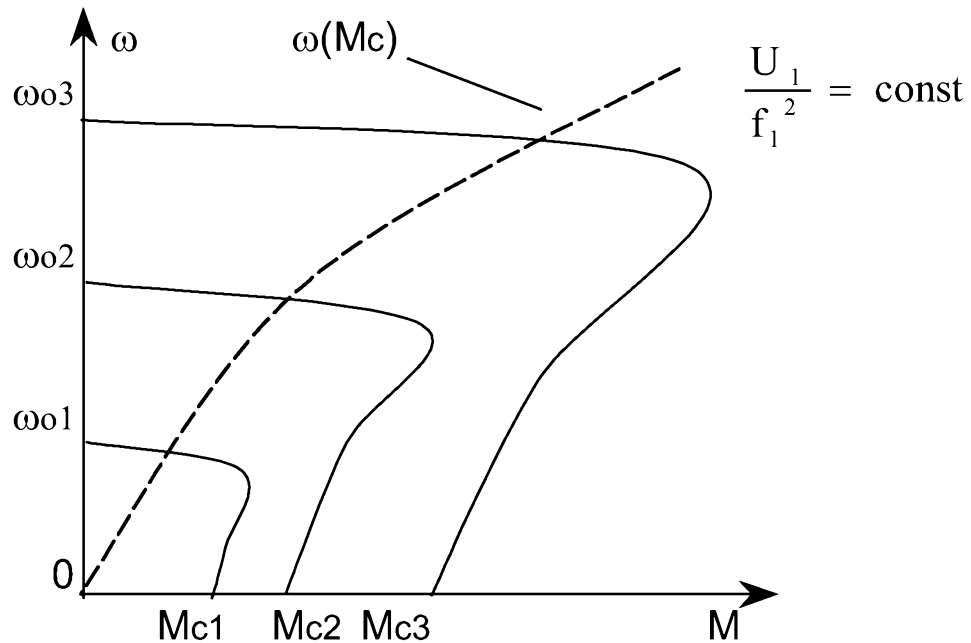


Рисунок 2.2 – Механічні характеристики АД при регулюванні зміною частоти живлення статора

Спосіб регулювання кутової швидкості зі зміною частоти f_1 дозволяє отримувати жорсткий характер механічних характеристик. Втрати потужності при роботі на таких регульовальних характеристиках незначні, так як двигун працює на лінійних ділянках механічних характеристик. За наявності відповідного перетворювача частоти забезпечується широкий діапазон регулювання швидкості.

2.4.2 Математичний опис перетворювача частоти

Перетворювач частоти на IGBT транзисторах є нелінійним дискретним динамічним об'єктом із обмеженою керованістю, але специфіка ПЧ, як нелінійного об'єкта істотно не впливає на роботу системи. В більшості випадків, при розробці систем керування електроприводами випрямляч представляють

аперіодичною ланкою із коефіцієнтом передачі K_B і сталою часу T_B , а інвертор і зовсім вважається безінерційною ланкою K_i . [3]

Для синтезу регуляторів системи керування будемо використовувати лінеаризовану модель перетворювача (рис. 2.3):

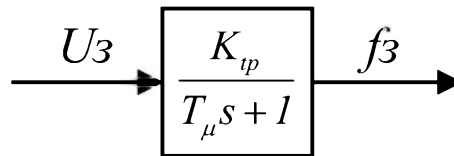


Рисунок 2.3 – Лінеаризована модель перетворювача частоти

На рис. 2.3 відповідно позначено:

K_{tp} – коефіцієнт підсилення ПЧ;

T_μ – постійна часу ПЧ.

2.4.3 Математичний опис і структурна схема асинхронного електродвигуна

На базі Т-подібної схеми заміщення (рис. 2.4) проводиться математичний опис АД і розробка його динамічної моделі.

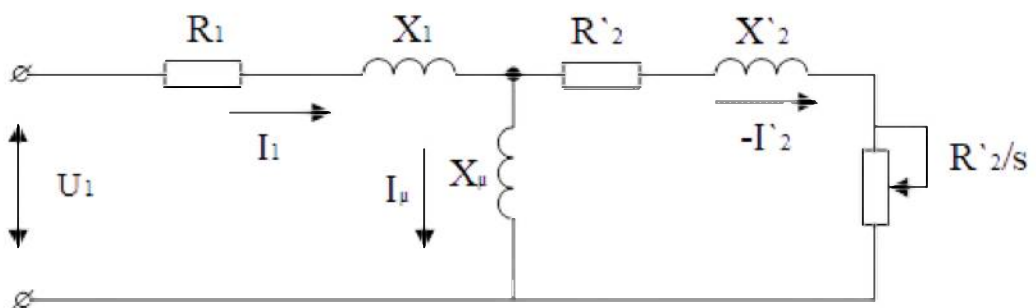


Рисунок 2.4 – Т-подібна схема заміщення АД

На рис. 2.4 прийняті наступні позначення:

R_1, X_1 – відповідно активний і індуктивний опір обмоток статора;

R'_2, X'_2 – відповідно активний і індуктивний опір обмоток ротора, приведені до параметрів обмотки статора;

R_μ, X_μ – відповідно активний і індуктивний опір контуру намагнічування;

R'_2 / s – змінне активне навантаження.

Параметри схеми заміщення зведені в табл. 2.3.

Таблиця 2.3 – Параметри схеми заміщення

Активний опір фази обмотки статора R_c , Ом	0,204
Активний опір фази обмотки ротора R_p , Ом	0,834
Індуктивний опір кола намагнічування X_m , Ом	137
Індуктивний опір статора X_c , Ом	4,633
Індуктивний опір ротора X_p , Ом	0,448

При математичному описі АД, як об'єкта керування, приймають наступні допущення:

- сили намагнічування обмоток двигуна мають синусоїдальний характер розподілу вздовж простору повітряного зазору;
- відсутні втрати в сталі статора і ротора;
- відсутнє насичення магнітного кола.

Для подальшого синтезу регуляторів системи керування використовуємо лінеаризовану модель АД. Структурна схема такої моделі приведена на рис. 2.5.[4]

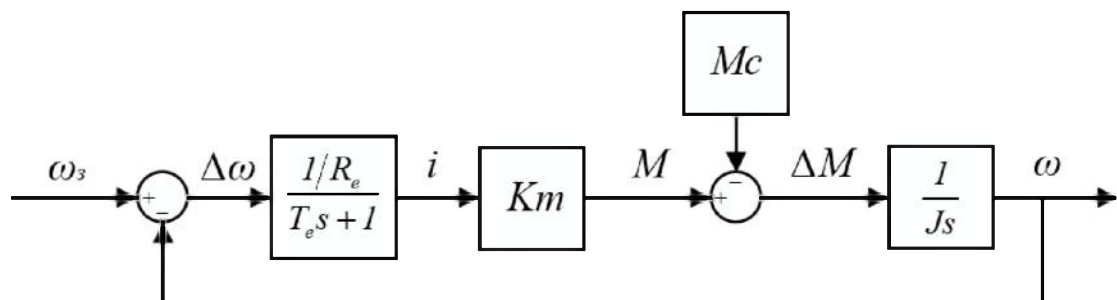


Рисунок 2.5 – Лінеаризована модель АД

На рис. 2.5 прийняті наступні позначення:

K_m – коефіцієнт пропорційності між моментом та струмом;

R_e – еквівалентний активний опір;

T_e – електромагнітна стала часу;

M_c – статичний момент навантаження;

J – приведений до валу двигуна, момент інерції.

2.4.4 Математичний опис і структурна схема насосного агрегату

Напір і подача є основними параметрами насоса.

Подачею Q називається кількість рідини, що перекачується насосом за одиницю часу.

Напором H називається кількість енергії, яка передається одиниці ваги рідини.

Для регулювання подачі насоса шляхом зміни його швидкості обертання для перерахунку параметрів насосів на інші частоти обертання вала часто використовуються формули подоби, які дозволяють визначити параметри насоса на нових режимах роботи, та записуються як

$$\frac{Q_1}{Q_2} = \frac{\omega_1}{\omega_2}; \quad \frac{H_1}{H_2} = \frac{\omega_1^2}{\omega_2^2}. \quad (2.6)$$

Нехай

$$| Q_1 = Q_*, H_1 = H_*, \omega_1 = \omega_*; Q_2 = Q_n, H_2 = H_n, \omega_2 = \omega_n$$

де Q_n, H_n, ω_n – значення параметрів насосу у номінальному режимі;

Q_*, H_*, ω_* – значення параметрів насосного агрегату у поточному стані.

У такому випадку рівняння (2.6) матиме наступний вигляд

$$\frac{Q_*}{Q_H} = \frac{\omega_*}{\omega_H}; \frac{H_*}{H_H} = \frac{\omega_*^2}{\omega_H^2}; \quad (2.7)$$

Поточні значення напору та подачі насоса виразимо з (2.7):

$$Q_* = \frac{Q_H}{\omega_H} \omega_* = a_1 \omega_*; H_* = \frac{H_H}{\omega_H^2} \omega_*^2 = a_2 \omega_*^2; \quad (2.8)$$

де a_1, a_2 – константи.

Насос та гідравлічна мережа є інерційними ланками і виражаються аперіодичною ланкою першого порядку:

$$W_{\text{насос}} = \frac{K_{\text{насос}}}{T_{\text{насос}}s + 1}, \quad (2.9)$$

де $K_{\text{насос}}$ – коефіцієнт передачі насоса по напору;

$T_{\text{насос}}$ – постійна часу насоса.

Як відомо насос є нелінійною складною системою, тому лінеаризуємо його коефіцієнт передачі.

Напір пропорційний квадрату швидкості:

$$H = a\omega^2 \quad (2.10)$$

де a – коефіцієнт, який визначається з робочої точки стабілізації.

Якщо знехтувати інерційністю перетворювача частоти та двигуна, і зв'язком насосного агрегату та електродвигуна через M_c , беручи до уваги, що жорсткість механічної характеристики двигуна в достатній мірі висока, то

структурна схема у випадку керування напором H прийме вигляд, представлений на рис. 2.6:

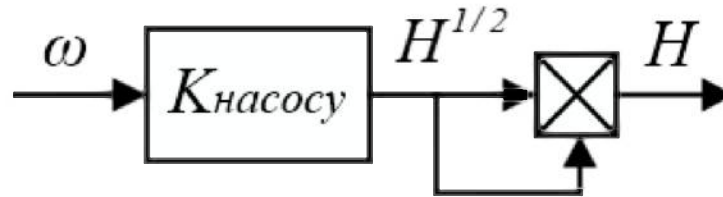


Рисунок 2.6 – Лінеаризована модель насосного агрегату

Вплив сталої часу насосного агрегату на параметри перехідних процесів в системі буде враховано під час моделювання системи.

Таким чином досліджувана система є триконтурною системою керування. Система в собі містить основний контур регулювання тиску та внутрішні до нього контури регулювання обертової швидкості і струму двигуна. При синтезі по керуванню – впливами нехтуємо.[5] Враховуючи вирази для передатних функцій елементів системи структурна схему системи автоматичного керування насосного агрегату прийме вигляд, показаний на рис.2.7:

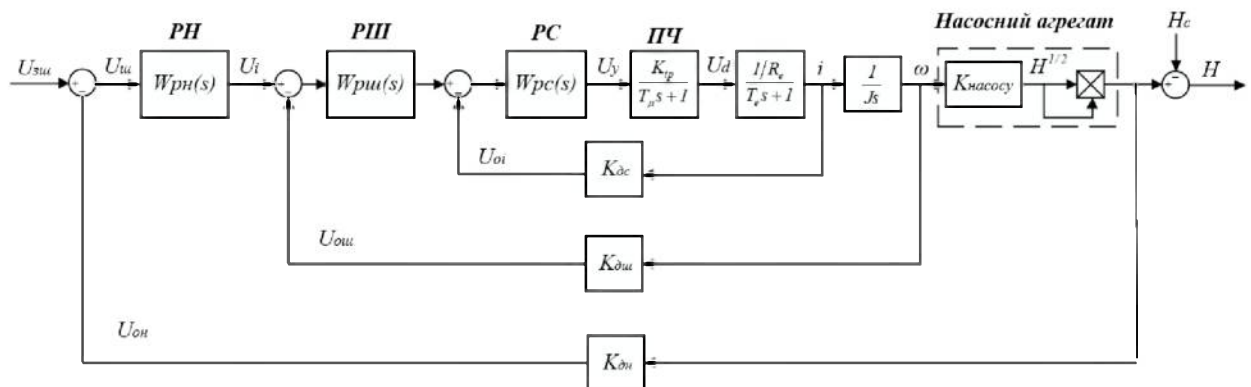


Рисунок 2.7 – Структурна схема САУ насосного агрегату

2.4.5 Оптимізація контуру регулювання струму

Структурна схема контуру регулювання струму з ПІ-регулятором приведена на рис.2.8.

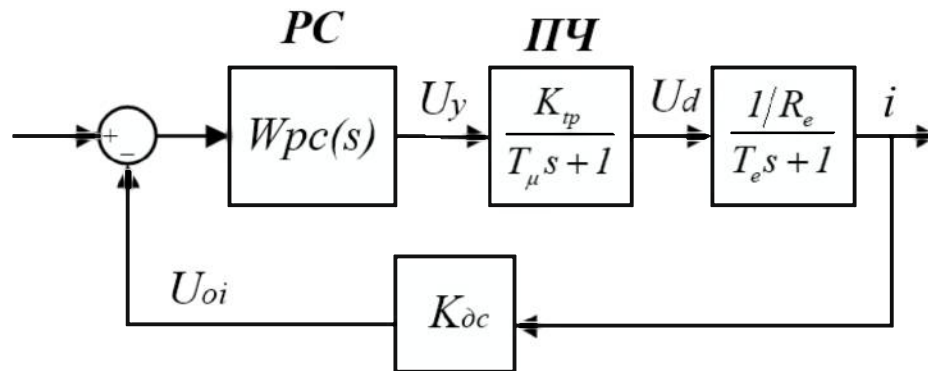


Рисунок 2.8 – Структурна схема контуру струму на базі ПІ – регулятором

Для АД передатна функція має вигляд:

$$W_{AD}(s) = \frac{1/R_e}{T_e s + 1}, \quad (2.11)$$

де R_e – еквівалентний активний опір;

T_e – еквівалентна електромагнітна постійна часу.

Еквівалентна індуктивність контуру намагнічування:

$$L_m = \frac{X_m}{2 \cdot \pi \cdot f_{ном}} = \frac{137}{2 \cdot 3,14 \cdot 50} = 0,436 \text{ Гн}$$

Індуктивність статорного кола

$$L_1 = \frac{X_1}{2 \cdot \pi \cdot f_{ном}} = \frac{4,633}{2 \cdot 3,14 \cdot 50} = 0,015$$

Індуктивність роторного кола

$$L_2 = \frac{X_2'}{2 \cdot \pi \cdot f_{ном}} = \frac{0,448}{2 \cdot 3,14 \cdot 50} = 0,0014$$

Еквівалентна індуктивність кола статора

$$L_C = L_m + L_1 = 0,436 + 0,015 = 0,451$$

Еквівалентний активний опір кола ротора:

$$\begin{aligned} R_e &= 1,825 \left(R_1 + R_2' \cdot \frac{L_m^2}{L_p^2} \right) = \\ &= 1,825 \left(0,204 + 0,834 \cdot \frac{0,436^2}{0,437^2} \right) = 1,887 \text{ Ом} \end{aligned}$$

Еквівалентна індуктивність статорного кола:

$$L_e = 1,825 \left(L_C - \frac{L_m^2}{L_p} \right) = 1,825 \left(0,451 - \frac{0,436^2}{0,437} \right) = 0,029 \text{ Гн}$$

Еквівалентна стала часу T_e роторного кола і коефіцієнт K_M за моментом:

$$T_e = \frac{L_e}{R_e} = \frac{0,029}{1,887} = 0,014$$

Таким чином передатна функція АД має вигляд:

$$W_{AD}(s) = \frac{1/1,887}{0,014s + 1}.$$

Для визначення передатної функції перетворювача частоти, необхідно визначити коефіцієнти передачі і сталу часу перетворювача частоти. [6]

Передатна функція перетворювача частоти має вигляд:

$$W_{ПЧ}(s) = \frac{K_{ПЧ}}{T_{\mu}s + 1}$$

Стала часу та коефіцієнт передачі для регулятора ПЧ:

$$\begin{aligned} T_{\mu} &= 0,01 \text{ с.} \\ K_{ПЧ} &= \frac{U_{ПЧ.\max}}{U_{К.\max}} = \frac{U_{1\Phi.\text{ном}}}{10} = \frac{6000}{10} = 600, \end{aligned} \quad (2.12)$$

де $U_{К.\max} = 10 \text{ В}$ – максимальна напруга задання.

Передатна функція перетворювача частоти:

$$W_{ПЧ}(s) = \frac{600}{0,01s + 1}$$

Загальні коефіцієнти передачі зворотного зв'язку за струмом, шунта та давача струму:

$$K_c = \frac{U_{зс.\max}}{I_{\max}} = \frac{10}{920,4} = 0,011,$$

$$K_{\text{шн}} = \frac{U_{\text{шн.ном}}}{I_{\text{шн.ном}}} = R_{\text{шн.ном}} = 0,01.$$

$$K_{\text{дс}} = \frac{K_c}{K_{\text{шн}}} = \frac{0,011}{0,01} = 0,275.$$

2.4.6 Оптимізація контуру регулювання швидкості

Структурну схему контуру регулювання швидкості з ПД – регулятором наведено на рис.2.9.

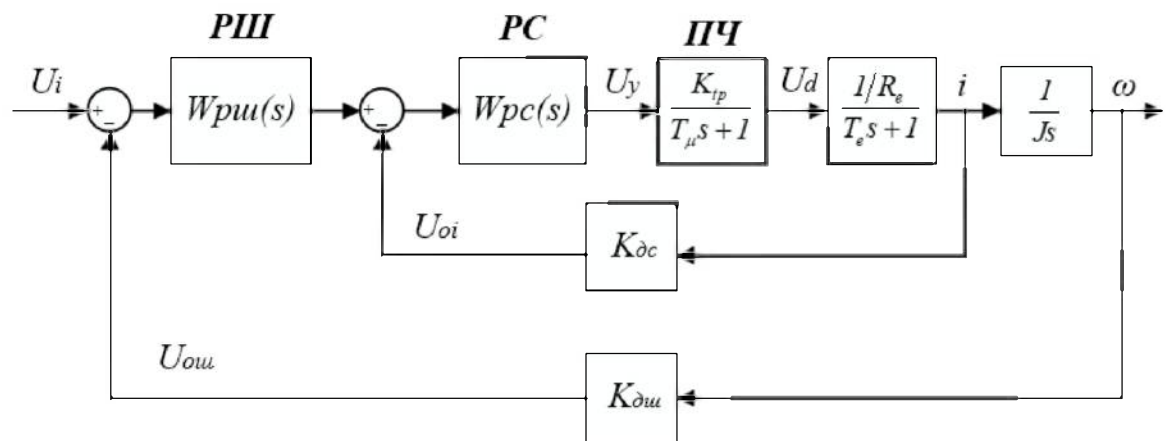


Рисунок 2.9 – Структурна схема контуру регулювання швидкості на базі ПД-регулятора

Коефіцієнти зворотного зв'язку за швидкістю: загальний та датчика швидкості:

$$K_{ш} = \frac{U_{зв.ш. \max}}{\omega_{\max}} = \frac{U_{зв.ш. \max}}{0,105 \cdot n_n} = \frac{10}{0,105 \cdot 2980} = 0,032,$$

де $U_{K, \max} = 10 \text{ В}$ – максимальна напруга задання;

$\omega_{ном}$ – номінальна обертова швидкість приводного двигуна.

$$K_{тг} = \frac{U_{тг.ном}}{\omega_{тг.ном}} = \frac{24}{5000} = 0,0048,$$

$$K_{дш} = \frac{K_{ш}}{K_{тг}} = \frac{0,032}{0,0048} = 6,7.$$

2.4.7 Оптимізація контуру регулювання тиску

Структурну схему контуру регулювання тиску на ПІД – регуляторі тиску зображено на рис. 2.10. Об'єктом регулювання в контурі виступає модель насосного агрегату.

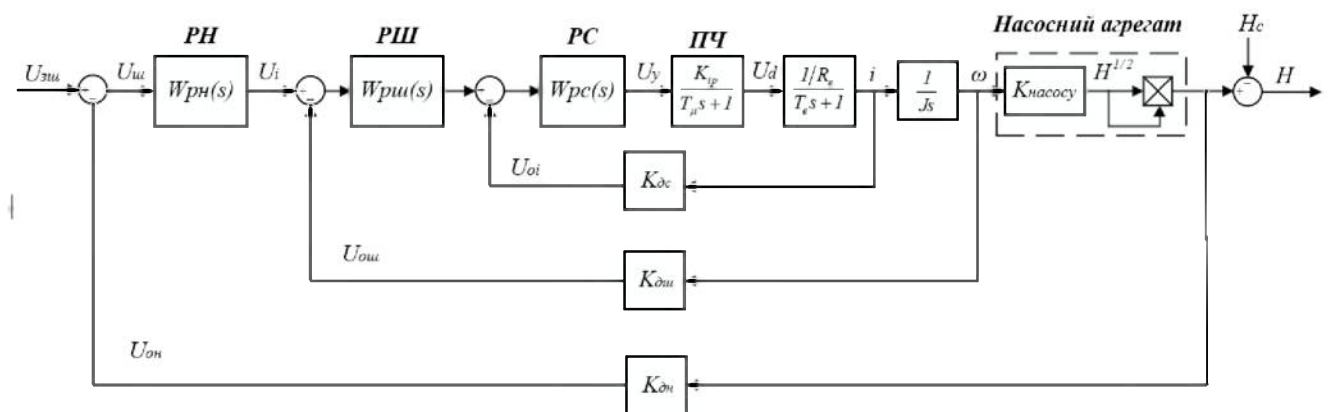


Рисунок 2.10 – Контур регулювання тиску з ПІД – регулятором тиску

Коефіцієнт передачі насосного агрегату:

$$K_{\text{нас}} = \sqrt{\frac{H_n}{\alpha_n^2}} = \sqrt{\frac{180}{311,9^2}} = 0,043 \quad (2.13)$$

Коефіцієнт передачі датчика тиску:

$$K_{\partial\partial} = \frac{U_{\partial}}{H_n} = \frac{10}{180} = 0,056 \quad (2.14)$$

3 МОДЕЛЮВАННЯ ЕЛЕКТРОПРИВОДУ НАСОСУ

Керування асинхронним двигуном реалізується за принципами підлеглого керування, відповідно для кожного контуру розроблений свій регулятор і замикається він зворотним зв'язком за контрольованою змінною.[7-9] На вхід системи із задатчика інтенсивності надсилається сигнал. На рис. 3.1 представлено модель в системі MATLAB.

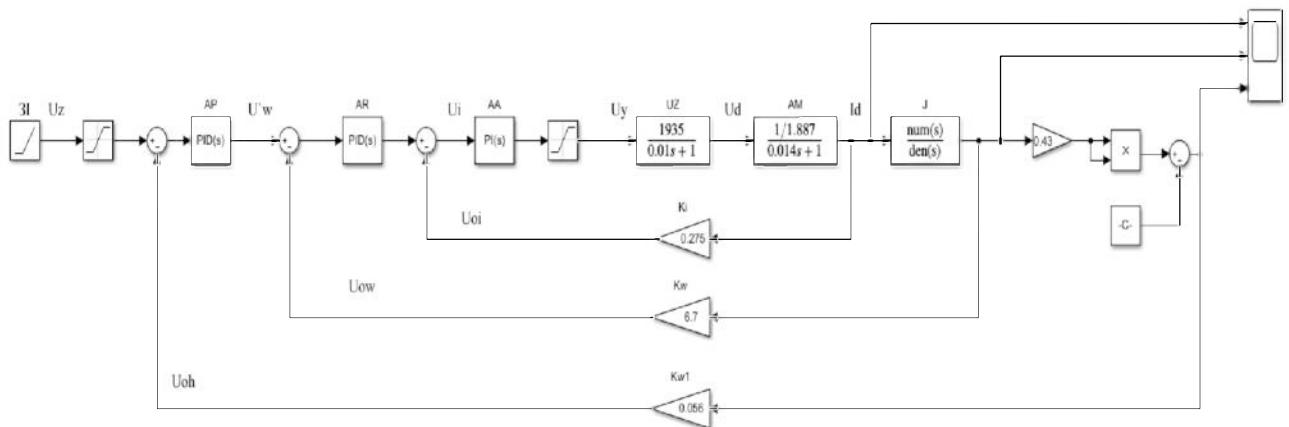


Рисунок 3.1 – Модель частотного электроприводу насосного агрегату

Так як для реальних систем наявність гідроудару є важливим питанням, то задатчиком інтенсивності представляється елемент з бібліотеки Simulink «Ramp» (Лінійно змінюваний сигнал).

Налаштування регуляторів виконується в середовищі Matlab. При зміні вигляду та часу перехідного процесу на виході регулятора, система розраховує оптимальні параметри регуляторів.

На рис. 3.2 показані результати налаштування регуляторів.

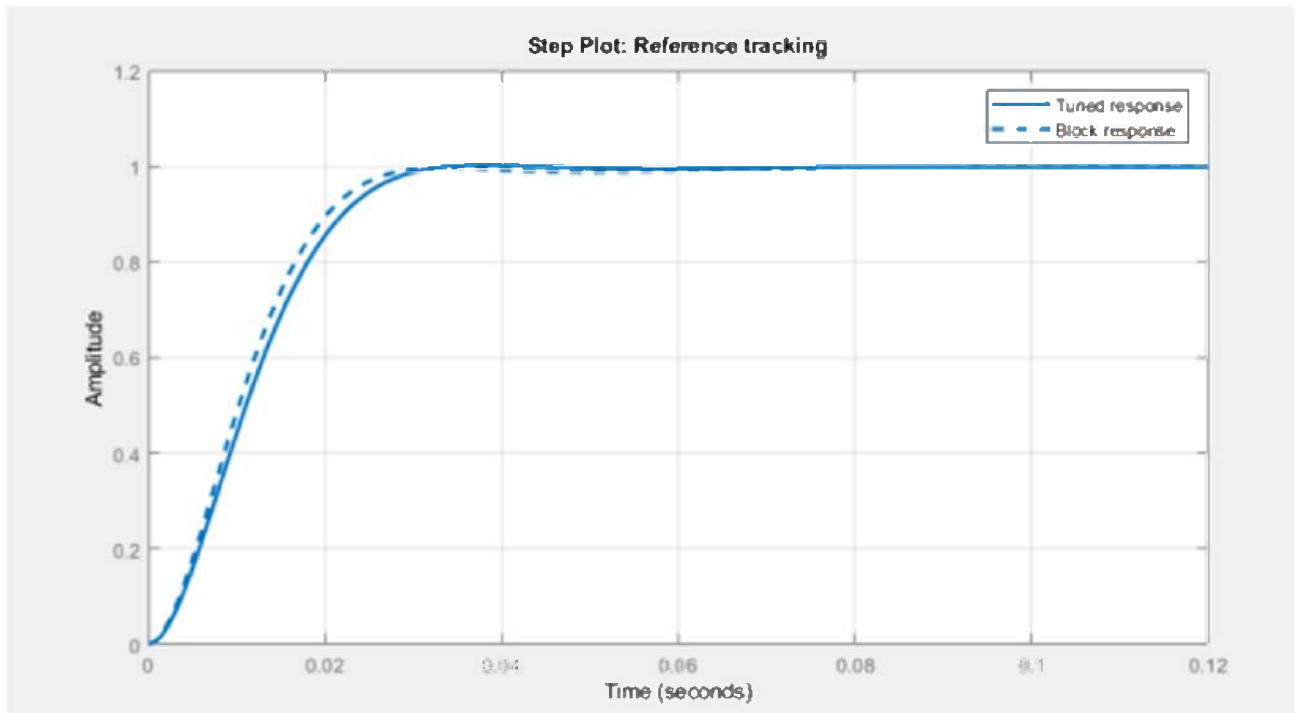


Рисунок 3.2– Відпрацювання завдання ПІ-регулятором струму після оптимізації

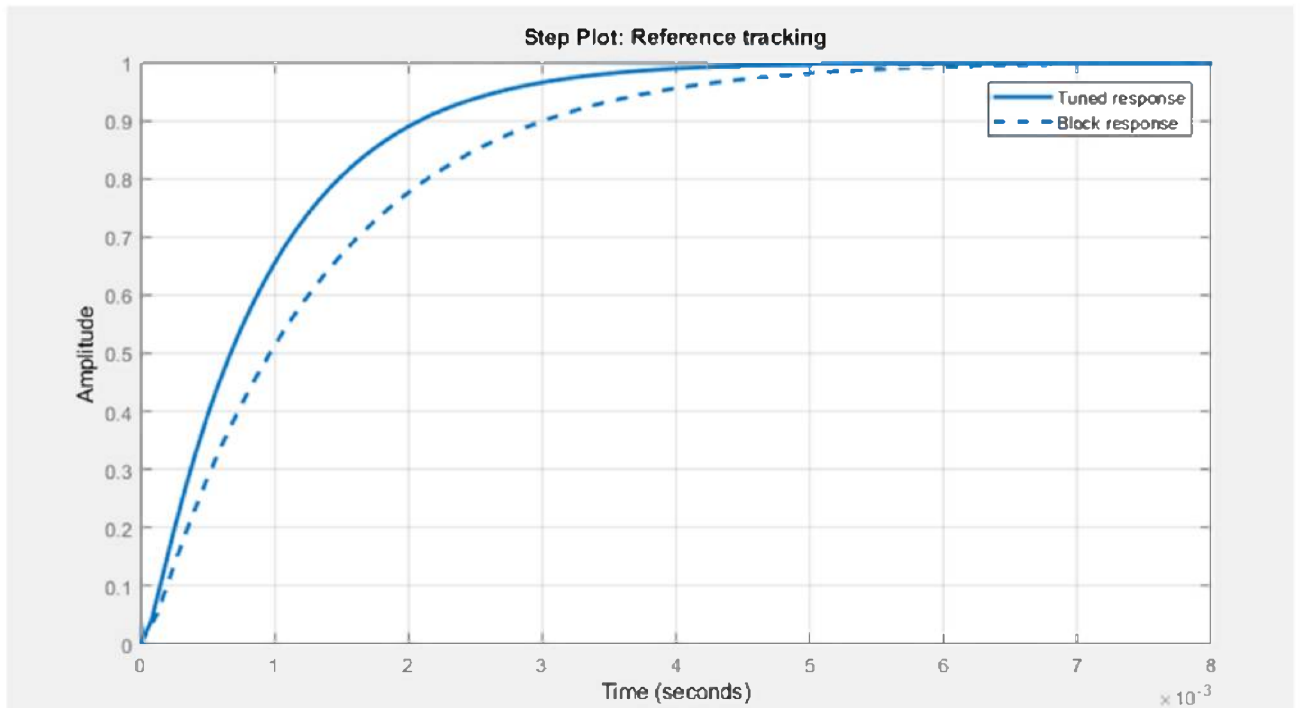


Рисунок 3.3 – Відпрацювання завдання ПІД-регулятором швидкості після оптимізації

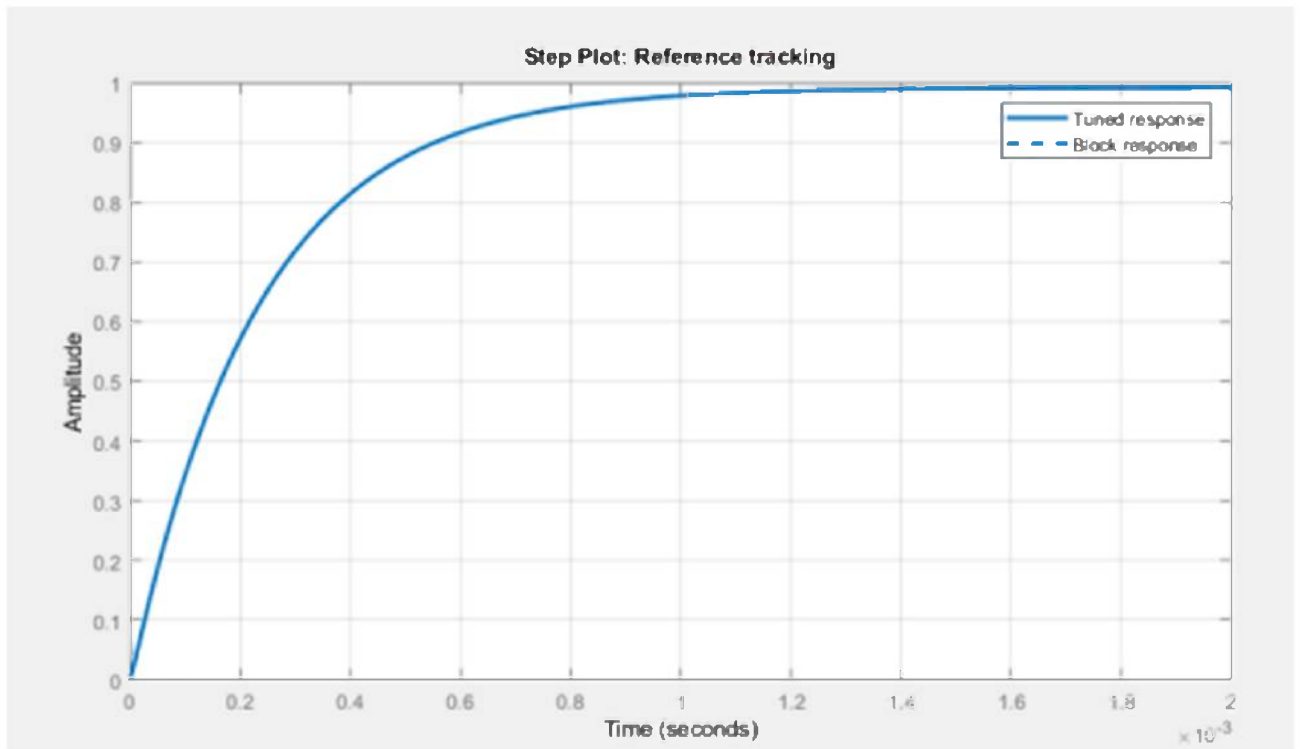


Рисунок 3.4 – Відпрацювання завдання ПІД-регулятором тиску після оптимізації

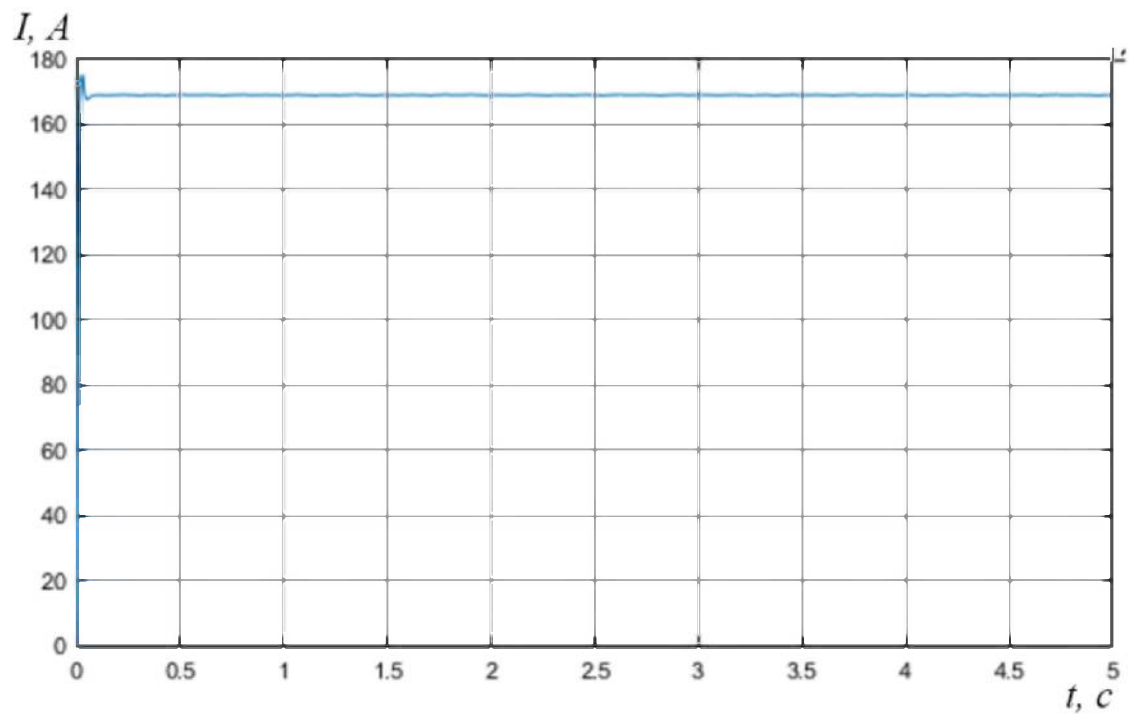


Рисунок 3.5 – Перехідний процес за струмом

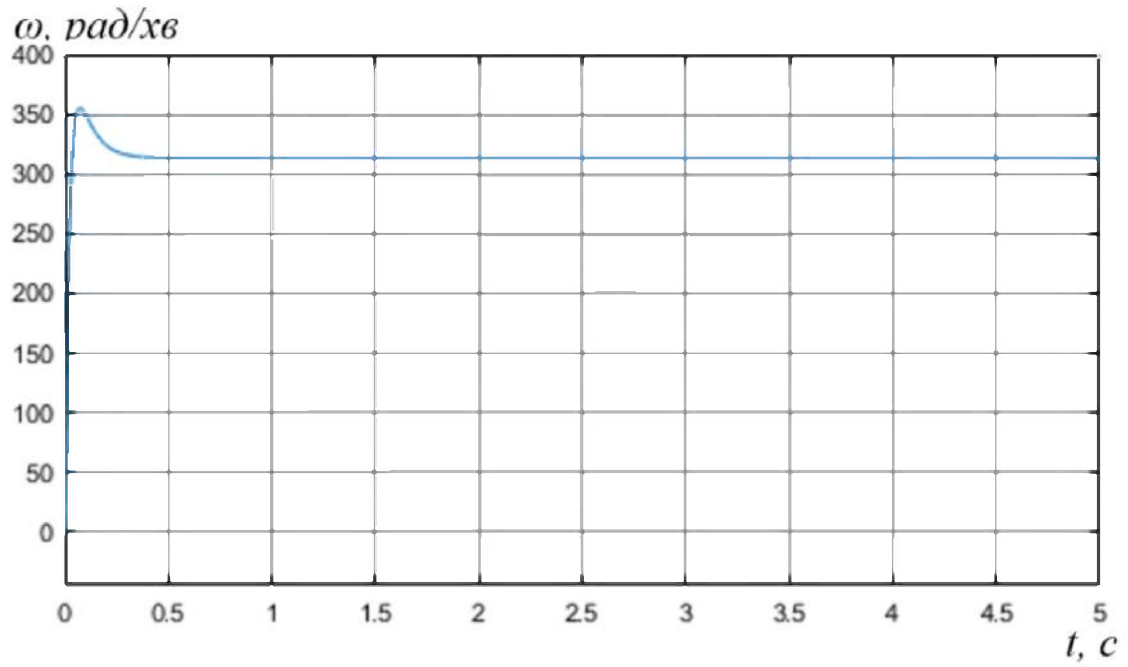


Рисунок 3.6 – Перехідний процес за швидкістю

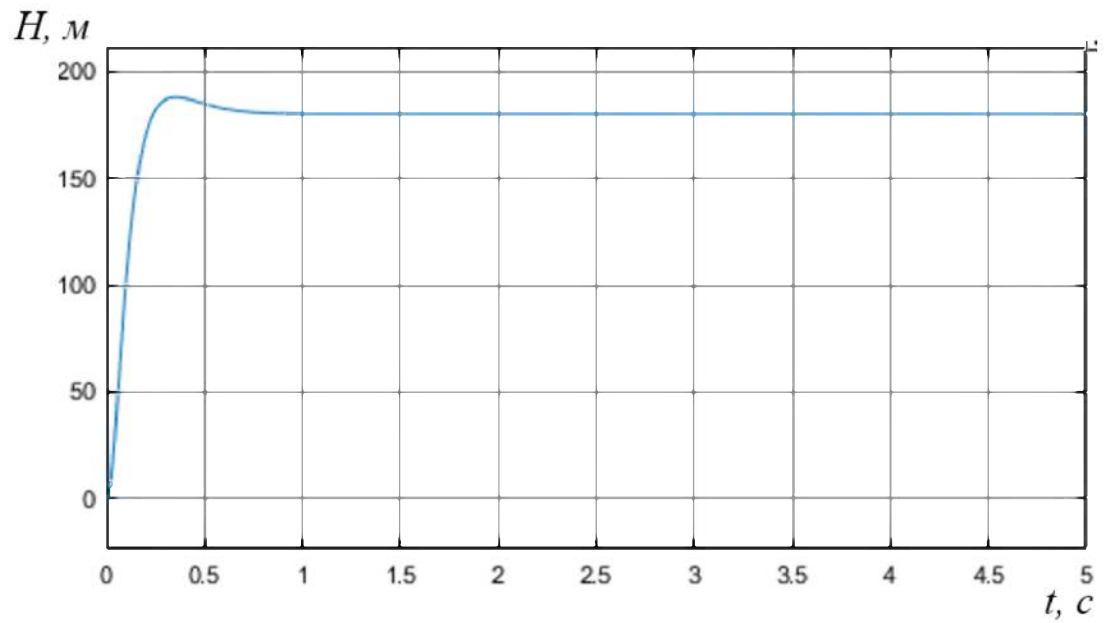


Рисунок 3.7 – Перехідний процес при зміні напору

ВИСНОВКИ

У даній дипломній роботі був розроблений регульований електропривод насосу за схемою перетворювач частоти – асинхронний двигун із автоматичною системою підтримання рівня води в резервуарі. Проведений вибір двигуна, перетворювача частоти, вибір датчика тиску. Розраховані графіки механічної та електромеханічної характеристик і графіки механічної та електромеханічної характеристик на різних частотах живлення.

Проведений математичний опис перетворювача частоти, асинхронного двигуна, насосного агрегату. Синтезовані та оптимізовані контури регулювання струму, швидкості та тиску. Проведена перевірка контурів на відпрацювання стрибкоподібних сигналів.

Розроблена електромеханічна система була зібрана та промодельована в програмному пакеті Simulink/Matlab. Отримані графіки перехідних процесів дають змогу зробити висновок, що розроблений електропривод насосу працює з бажаним алгоритмом і з допустимим перерегулюванням.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. Лезнов Б.С. Энергосбережение и регулируемый привод в насосных и воздухоудувных установках / Б.С. Лезнов – М.: Энергоатомиздат, 2006. 360 с. ил.
2. Вешеневский С.Н. Характеристики двигателей в электроприводе / С.Н. Вешеневский – М.: Энергия, 1977
3. Загорский А.Е. Электродвигатели переменной частоты. М.: Энергия, 1975.
4. Дмитриенко Ю.А. Регулируемый электропривод насосных агрегатов. Кишинев: Штиинца, 1985.
5. Насосы и насосные станции / В.Я Карелин, А.В. Минаев – М.: Стройиздат, 1986.
6. Фащиленко В.Н. Регулируемый электропривод насосных и вентиляторных установок горных предприятий: Учеб. пособие. / В.Н. Фащиленко – М.: Издательство «Горная книга», 2011. —260. с.: ил.
7. Мартынов М.В. Автоматизированный электропривод в горной промышленности / М.В. Мартынов, Н.Г. Переслегин — М.: Недра, 1977.
8. Вишневский К. П. Переходные процессы в напорных системах водоподачи / К. П. Вишневский— М.: Агропромиздат, 1986.— 136 с.
9. Петрик А. Д., Подласов А. В., Евреенко Ю. П. Насосы и мелиоративные насосные станции: Учеб. пособие/Под ред. А. Д. Петрика.— Львов: Вища школа, 1987.— 168 с.

ДОДАТОК А

ОХОРОНА ПРАЦІ

Для забезпечення безпеки робіт, що проводяться в колах вимірювальних приладів, пристроїв релейного захисту та електроавтоматики, вторинні кола (обмотки) вимірювальних трансформаторів струму і напруги повинні мати постійні заземлення. У складних схемах релейного захисту для групи електрично з'єднаних вторинних обмоток вимірювальних трансформаторів допускається виконувати заземлення лише в одній точці.

За необхідності розриву кола струму вимірювальних приладів, пристроїв релейного захисту, електроавтоматики ланцюг вторинної обмотки трансформатора струму попередньо закорачивається на спеціально призначених для цього затискачах або за допомогою випробувальних блоків.

У вторинній ланцюга між трансформаторами струму і встановленою закоротки не допускається проводити роботи, які можуть призвести до розмикання ланцюга.

При роботах у вторинних пристроях і ланцюгах трансформаторів напруги з подачею напруги від стороннього джерела повинні бути вжиті заходи, що виключають можливість зворотної трансформації.

Перевірка, випробування дії пристроїв релейного захисту, електроавтоматики, в тому числі з відключенням або включенням комутаційних апаратів, повинна проводитися відповідно до п.2.3.11 НПАОП.

Виробникові робіт, що має групу IV, з числа персоналу, який обслуговує пристрої релейного захисту, електроавтоматики і т.д., дозволяється суміщати обов'язки допускателя. При цьому він визначає заходи безпеки, необхідні для підготовки робочого місця. Подібне поєднання дозволяється, якщо для підготовки робочого місця не вимагається виконання відключень, заземлення,

встановлення тимчасових огорож в частині електроустановки напругою вище 1000 В.

Виробникові робіт, що має групу IV, одноосібно, а також членам бригади, які мають групу III (на умовах, передбачених п.2.2.13 НПАОП), дозволяється працювати окремо від інших членів бригади у вторинних ланцюгах і пристроях релейного захисту, електроавтоматики і т. п., якщо ці ланцюги і пристрої розташовані в РУ і приміщеннях, де струмовідні частини напругою понад 1000 В відсутні, повністю огорожені або розташовані на висоті, що не вимагає огороження.

Персонал енергопостачальних організацій роботи з приладами обліку споживача проводить на правах відряджених працівників. Ці роботи проводяться бригадою у складі не менше двох працівників.

У приміщеннях РУ записувати покази електрولیчильників допускається працівникові енергопостачальної організації, що має групу III, у присутності представника споживача.

В електроустановках напругою до 1000 В споживачів, що мають обслуговуючий персонал за сумісництвом або за договором (дитячі сади, магазини, медичні, бібліотеки тощо), підготовку робочого місця і допуск до роботи з приладами обліку електричної енергії може проводити оперативний персонал відповідних енергопостачальних організацій по затвердженому переліком робіт, які виконуються в порядку поточної експлуатації, бригадою з двох працівників, які мають групи III і IV, у присутності представника споживача.

Роботи з приладами обліку електроенергії повинні проводитися зі зняттям напруги. У ланцюгах електрولیчильників, підключених до вимірювальних трансформаторів, за наявності випробувальних коробок слід знімати напругу зі схеми електрولیчильника у зазначених коробках.

Роботу з однофазними електрولیчильниками оперативний персонал енергопостачальних організацій, що має групу III, може проводити одноосібно

при знятій напрузі за затвердженим переліком робіт, які виконуються в порядку поточної експлуатації. За відсутності комутаційного апарату до електролічильника в дерев'яних будинках, в приміщеннях без підвищеної небезпеки цю роботу допускається проводити без зняття напруги при знятій навантаженні.

При виконанні робіт, зазначених у пп.8.8, 8.10 НПАОП, за працівниками повинен бути закріплений наказом чи розпорядженням керівництва енергопостачальної організації територіальний ділянка (район, квартал, округ і т.п.). У бланках завдань оперативний персонал повинен відзначати виконання технічних заходів, що забезпечують безпеку робіт в електроустановках.

У енергопостачальних організаціях для проведення робіт з приладами обліку повинні бути складені інструкції або технологічні карти по кожному виду робіт.