

Національний університет кораблебудування
імені адмірала Макарова

Навчально-науковий інститут автоматики та електротехніки

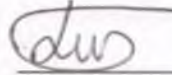
(повна назва інституту/факультету)

Кафедра автоматики

(повна назва кафедри)

«До захисту допущено»

Завідувач кафедри


(підпис)

І. С. Білюк

«26» 12 2024 р.

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на здобуття ступеня магістра

зі спеціальності 141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка
(код та назва спеціальності)

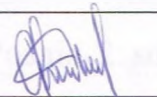
освітня програма Електромеханічні системи автоматизації та електропривод
(назва освітньої програми)

на тему: Автоматизований електропривод насоса
маслонапірної установки

Виконав: студент групи 6371м

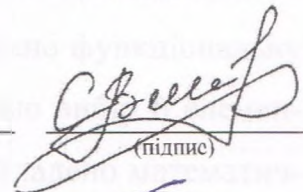
Світайло Валентина Вікторівна

(прізвище, ім'я, по батькові)


(підпис)

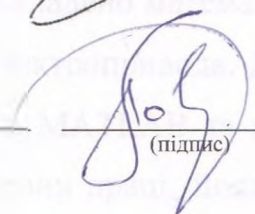
Керівник доц. каф. автоматики, к.е.н.
Шевчук С. В.

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


(підпис)

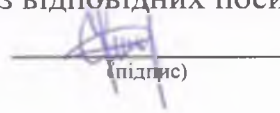
Рецензент доц. каф. СЕЕС, к.т.н.,
доц. Новогрецький С. М.

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


(підпис)

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

Студент


(підпис)

м. Миколаїв – 2024 року

РЕФЕРАТ

Кваліфікаційна робота: 73с., 4 р., 23 рис., 7 табл., 2 дод., 12 джерел.

Ключові слова: асинхронний електропривод, гідроагрегат, маслонапірна установка, моделювання, насос, перехідна характеристика.

Об'єкт дослідження – перехідні процеси в асинхронному електроприводі насоса маслонапірної установки.

Мета роботи – синтез системи керування асинхронного електропривода насоса маслонапірної установки.

Методи дослідження – моделювання перехідних процесів в асинхронному електроприводі насоса маслонапірної установки з використанням сучасної теорії автоматичного керування та електропривода, імітаційне моделювання в MATLAB, обробка та аналіз отриманих результатів.

У першому розділі наведено опис маслонапірної установки МНУ 12,5/2-63 12,5-2НБУ та проаналізовано склад її електрообладнання. Проведено огляд систем керування електроприводів на базі асинхронних двигунів. Розділ 2 містить вибір та обґрунтування методу наукового дослідження, алгоритм дослідження та метод розв'язання поставленого завдання. У розділі 3 побудовано функціональну схему автоматизованого електропривода насоса та обґрунтовано вибір її елементів. Розроблено схему підключення перетворювача частоти. Складено математичний опис об'єкта керування та елементів автоматизованого електропривода. Досліджено динаміку автоматизованого електропривода насоса в MATLAB та проаналізовано якість керування. Розділ 4 містить питання з охорони праці. Додатки містять перелік елементів схеми підключення перетворювача частоти та слайди мультимедійної презентації.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	5
1 ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРИ ЗА ТЕМОЮ ДОСЛІДЖЕННЯ.....	6
1.1 Загальна характеристика маслонапірної установки МНУ 12,5/2-63 12,5-2НБУ	6
1.2 Електрообладнання маслонапірної установки	12
1.3 Огляд систем керування електроприводів на базі асинхронних двигунів	18
2 ЗАГАЛЬНІ ПІДХОДИ І ОСНОВНІ МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕНЬ	28
2.1 Вибір та обґрунтування методу наукового дослідження	28
2.2 Розробка алгоритму дослідження.....	30
2.3 Вибір методів розв’язання поставленої задачі	32
3 АНАЛІЗ І УЗАГАЛЬНЕННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ ДОСЛІДЖЕНЬ	36
3.1 Функціональна схема автоматизованого електропривода	36
3.2 Вибір елементів автоматизованого електропривода.....	40
3.3 Схема підключення перетворювача частоти	44
3.4 Математичний опис об’єкта керування та елементів автоматизованого електропривода	46
3.5 Дослідження динаміки автоматизованого електропривода	56
4 ОХОРОНА ПРАЦІ	62
4.1 Фактори підвищеної небезпеки пов’язані з експлуатацією маслонапірних установок	62
4.2 Правила техніки безпеки при обслуговуванні посудин, що працюють під тиском	62
4.3 Правила техніки безпеки застосовуються персоналом ГЕС під час виконання ремонтних робіт з судинами високого тиску.....	65
4.4 Правила техніки безпеки при обслуговуванні електричних частин МНУ	66
4.5 Заходи щодо забезпечення електробезпеки МНУ	69

ВИСНОВКИ.....	71
СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ	73
ДОДАТОК А. Схема підключення перетворювача частоти.	
Перелік елементів.....	74
ДОДАТОК Б. Мультимедійна презентація	75

ВСТУП

Актуальність теми. Сьогодні стає особливо актуальною проблема енергозбереження в цілому і масового впровадження регульованого електропривода, зокрема, як одного із засобів вирішення цієї проблеми. Отже, застосування частотно-регульованого електропривода, як ефективного засобу енергозбереження на ГЕС, стає з кожним роком все більш актуальним у зв'язку зі зростаючими цінами на енергоносії та тарифами на електроенергію.

Мета і завдання дослідження. Метою роботи є синтез системи керування асинхронного електропривода насоса маслонапірної установки. Щоб досягти поставленої мети, слід розв'язати наступні завдання:

- 1) скласти опис маслонапірної установки МНУ 12,5/2-63 12,5-2НБУ та проаналізувати склад її електрообладнання. Виконати огляд сучасних систем керування електроприводів на базі асинхронних двигунів;
- 2) побудувати функціональну схему автоматизованого електропривода насоса та обґрунтувати вибір її елементів. Розробити схему підключення перетворювача частоти;
- 3) скласти математичний опис об'єкта керування, елементів автоматизованого електропривода та виконати розрахунок їх параметрів;
- 4) дослідити динаміку автоматизованого електропривода насоса в MATLAB та проаналізувати якість керування.

Об'єкт дослідження. Перехідні процеси в асинхронному електроприводі насоса маслонапірної установки.

Предмет дослідження. Структура та параметри регулятора напору/тиску асинхронного електропривода насоса маслонапірної установки, які впливають на якість керування.

Методи дослідження. Моделювання перехідних процесів в асинхронному електроприводі насоса маслонапірної установки з використанням сучасної теорії автоматичного керування та електропривода, імітаційне моделювання в MATLAB, обробка та аналіз отриманих результатів.

1 ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРИ ЗА ТЕМОЮ ДОСЛІДЖЕННЯ

1.1 Загальна характеристика маслонапірної установки МНУ 12,5/2-63 12,5-2НБУ

Кожен гідроагрегат оснащений системою регулювання, яка покликана підтримувати постійність частоти обертання. У зв'язку з тим, що зовнішнє навантаження на генератор змінюється, для підтримки сталої частоти обертання необхідно видавану турбіною потужність автоматично приводити у відповідність із споживаною потужністю. Сталість частоти обертання забезпечується шляхом автоматичної зміни відкриття направляючого апарату. На валу є спеціальний генератор, який при найменшій зміні частоти обертання агрегату видає електричний імпульс в електричну частину регулятора швидкості. Звідти поступає сигнал в гідромеханічну колонку регулятора, де сигнал реалізується в подачу масла під тиском з котла маслонапірної установки (МНУ) у відповідну порожнину сервомотора направляючого апарату.

Сервомотор направляючого апарату повертає лопатки направляючого апарату. Від переміщення сервомотора направляючого апарату поступає зворотний сигнал (зворотний зв'язок) вимкнення в гідромеханічну колонку регулятора і одночасно здійснюється подача масла через маслоприймач в сервомотор робочого колеса для зміни кута розвороту лопатей. Призначення пристрою зворотного зв'язку – забезпечення плавного, без різких поштовхів і маятникових гойдань процесу регулювання. Між відкриттям направляючого апарату і кутом розвороту лопатей робочого колеса увесь час відбувається зв'язок, який називається комбінаторним. Призначення комбінаторного зв'язку – забезпечення і підтримка найвищого ККД турбіни при різних кутах відкриття направляючого апарату.

В результаті зміни відкриття направляючого апарату і кута розвороту лопатей частота обертання агрегату повертається до первинної і імпульс, що йде від спеціального генератора в електричну частину регулятора, знімається. Таким чином, вся система приводиться в рівноважний стан при новій потужності агрегату.

Система регулювання складається з наступних основних вузлів:

- панелі електроустаткування ЭГР-2И1;
- регуляторного генератора ВГМ 99/10-28;
- колонки керування ЭГРК-100-4;
- механізму зворотного зв'язку і командоапарата;
- направляючого апарату;
- маслonaпiрної установки, що забезпечує гiдрaвлiчну частину системи регулювання маслом пiд тиском.

Маслonaпiрна установка МНУ12, 5/2-63-12,5-2НБУ призначена для живлення маслом пiд тиском гiдрaвлiчної частини системи автоматичного регулювання гiдротурбiни. МНУ складається з гiдрaвлiчного акумулятора (ГА), маслonaпiрного агрегату (МНА), сполучених мiж собою гiдрaвлiчною системою трубопроводiв i апаратури автоматики (рисунки 1.1).

ГА складається з двох посудин високого тиску, однієї – маслonaпiрної i однієї – повітряної, сполучених повітряним трубопроводом.

МНУ складається iз зливного бака (поз. 1) i встановлених на ньому насосiв (поз. 47, 48) з електродвигунами (поз. 42, 43). Зливний бак обладнаний: оливним (поз. 65), магнітним (поз. 64) i повітрям (поз. 33) фільтрами; краном (поз. 30) для узяття проб масла; вентилями (поз. 2, 8) для наповнення i спорожнення бака; показником рiвня (поз. 49); датчиками рiвня i температури масла.

Кожен насос обладнаний: зворотним клапаном (поз. 31, 32); перепускним клапаном (поз. 38, 39); запобіжним клапаном (поз. 35, 36).

Посудини ГА, працюючі пiд тиском (поз. 51 i 52) є зварними конструкціями циліндричної форми з еліптичними днищами, виготовлені з листової сталі. Посудини обладнані знімними люками для огляду i ремонту, опорними лапами для установки на фундамент i вантажними пристроями для транспортування. Посудини мають фланці для приєднання трубопроводiв, приладiв автоматики i контролю.

Показчик рівня (поз. 54) масла в ГА встановлений на стінці маслонапірної посудини (поз. 52) і призначений для візуального контролю рівня масла в ГА. Показчик складається із замкового пристрою, скляної прозорої трубки, шкали і прозорого обгороджування. Замковий пристрій складається з верхнього і нижнього замкових вентилів, що мають зворотні кулькові клапани, які запобігають виходу середовища назовні при поломці скляної трубки. Шкала показчика градуйована у відсотках від об'єму ГА.

Зворотний клапан повітря (поз. 34) встановлений на напірному повітряному трубопроводі, що сполучає ГА з повітрозбірником, і призначений для запобігання зворотному потоку повітря після закінчення зарядки. Клапан забезпечений вентилями для від'єднання від повітряної магістралі (поз. 13), для від'єднання від ГА (поз. 12) і для випуску повітря (поз. 11).

РРМ (регулятор рівня масла) (поз. 50) призначений для автоматичної підтримки рівня масла в процесі роботи МНУ. РРМ є клапаном, керованим поплавцем. При підвищенні рівня масла в ГА вище номінального поплавець РРМ своїм штовхальником відкриває клапан, повітря від повітрозбірника через фільтр (поз. 61) поступає в ГА. При пониженні рівня масла поплавець опускається, клапан закривається. У конструкції РРМ передбачений зворотний клапан для запобігання зворотному потоку повітря з ГА за відсутності тиску в повітряній магістралі. РРМ від'єднується від ГА вентилями (поз. 18, 19) і від повітряної магістралі – вентилем (поз. 17).

Зливний бак (поз. 1) є зварною конструкцією прямокутної форми, виготовленою з листової сталі. Бак призначений для збору відпрацьованої масла, її фільтрації, деаерації і деемульсації. На верхньому листі бака розміщуються насоси з електродвигунами, клапанами і арматурою. Внутрішніми перегородками бак розділений на зони чистої і відпрацьованої масла. Між зонами встановлені сітчастий (поз. 65) і магнітний (поз. 64) фільтри. Внутрішня порожнина бака з'єднується з атмосферою через повітряний фільтр (поз. 33).

Спорожнення бака відбувається через вентиль (поз. 8). Для зручності зливу бак має ухил у бік вентиля. Наповнення бака здійснюється через вентиль (поз. 2)

від загальностанційного маслогосподарства. Зливний бак обладнаний люком для огляду, очищення і ремонту. На лицьовій стінці передбачені фланці для приєднання зливних труб і напірного трубопроводу.

Насос (поз. 47, 48) тригвинтовий з гвинтами циклоїдного зачеплення. Гвинти вставлені в обойму, що має бабітову оболонку. Всмоктуючий патрубок має карман, в якому залишається масла після зупинки насоса, що забезпечує наступні пуски насоса, навіть після тривалої зупинки, з гвинтами, зануреними в оливу. Середній гвинт насоса є ведучим, має праву нарізку і обертається за годинниковою стрілкою, якщо дивитися з боку привода. Два інші гвинти – ведені, є такими, що ущільнюють, мають ліву нарізку і обертаються проти годинникової стрілки. Осьове зусилля від тиску масла на торці гвинтів урівноважується тиском масла, що підводиться з напірної камери, у бабітовий підп'ятник через осьове свердління в гвинтах. Масла від переднього підшипника ведучого гвинта відводиться в зливний бак по спеціальній трубці.

Зворотний клапан насоса (поз. 31, 32) встановлений на напірному патрубку насосів і призначений для запобігання зворотному потоку з ГА в насос при його зупинці.

У конструкції клапана передбачений регульований дросель, що забезпечує його безударну роботу. На кришці клапана є пробка для випуску повітря перед першим пуском насоса після монтажу або перевірки технічного стану.

Перепускний клапан складається з трьох вузлів: власне клапанів 38, 39, золотників керування перепускним клапаном і щілинного фільтру (поз. 56, 56а). Перепускний клапан встановлений на напірному патрубку насоса і призначений для зміни напрямку подачі насосами масла в ГА або в зливний бак. Власне клапан є замковим пристроєм з диференціальним поршнем, у якого в нижню порожнину поступає сталий тиск, а у верхню порожнину – керуючий тиск.

Золотник керування є підпружиненим золотником, керованим електромагнітом. Тиск до золотника підводиться через щілинний фільтр, що має замковий пристрій, і нижню порожнину клапана від напірного трубопроводу ОНА. При подачі

живлення на електромагніт якір електромагніту зміщує золотник вниз і масла під тиском поступає через золотник в порожнину над поршнем – клапан закривається.

При вимиканні електроживлення пружина золотника піднімає його вгору, сполучаючи порожнину над поршнем із зливом – клапан відкривається. Для зміни швидкості переміщення затвора в корпусі золотника вбудований регульований дросель. Для забезпечення розвантаження електродвигуна пуск насоса і його зупинка завжди здійснюється при відкритому клапані.

Запобіжний клапан (поз. 35, 36) призначений для запобігання підвищенню тиску в насосі вище допустимого. Клапан прямої дії, складається з диференціального штока, букси і навантажувальної пружини, поміщених в сталевий зварний корпус. Букса служить для напряду штока клапана, розділяє порожнини клапана на напірну і зливну і має вікна для підведення масла до штока. Вставлений у буксу шток утворює з нею у верхній частині замкнену порожнину, сполучену з тиском через дросель, який демпфує різкі переміщення штока, попереджаючи виникнення вібрацій і ударів. Шток з одного боку має різьблення для того, щоб нагвинчувати гайку, регулюючи тим самим притискання пружини, з іншого боку тарілку для відхилення потоку масла при витіканні, що сприяє збільшенню відкриття клапана. У середині штока є осьове свердління для відведення протікань з верхньої частини клапана в зливну трубу. При підвищенні тиску шток опускається вниз, стискаючи навантажувальну пружину і клапан відкривається, сполучаючи напірну порожнину із зливом.

Показчик рівня масла у баку (поз. 49) служить для візуального контролю рівня масла в зливному баку. Показчик встановлений на верхньому листі зливного бака. Показчик складається з штанги з поплавцем і шкали. На зливному баку МНУ змонтовані датчики рівня масла. Там же змонтований датчик температури масла. Датчики фіксують високий, нормальний, низький і аварійно-низький рівні масла. При аварійно-низькому рівні масла, щоб уникнути зриву всмоктування насосів, електродвигуни насосів вимикаються.

1.2 Електрообладнання маслонапірної установки

Конструктивно система керування маслонасосами виконана за блоково-модульним принципом. На передній панелі РСС розташовані наступні органи контролю і керування:

1) вольтметр Р11 контролю напруги живлення двигунів насосів МНУ з перемикачем фаз S11;

2) кнопка S/NOT1 аварійного зупинення насосів МНУ (у тому числі і лекажного маслонасоса), натисненням на яку знімає сигнал «НЕ АВАРІЙНА ЗУПИНКА НАСОСІВ МНУ», що призводить до негайного зупинення насосів МНУ і забороні на пуск;

3) ключ S/LR (Local/Remote) перемикання режимів керування вмиканням маслонасосів ручний/автоматичний;

4) комбіновані кнопки зі світловою індикацією керування насосами МНУ в ручному режимі:

- S1 (Main oil pump 1 start) пуск насоса МНУ №1;
- S2 (Main oil pump 1 stop) зупинення насоса МНУ №1;
- S3 (Main oil pump 2 start) пуск насоса МНУ №2;
- S4 (Main oil pump 2 stop) зупинення насоса МНУ №2;
- H05 (Leakage oil pump start) пуск лекажного насоса;
- H06 (Leakage oil pump stop) зупинення лекажного насоса;

5) кнопка S/ES призначена для квітування реле безпеки аварійного зупинення насосів МНУ (реле – А1).

Схема електрична принципова шафи керування 1РСС (2РСС) представлена на рисунку 1.2.

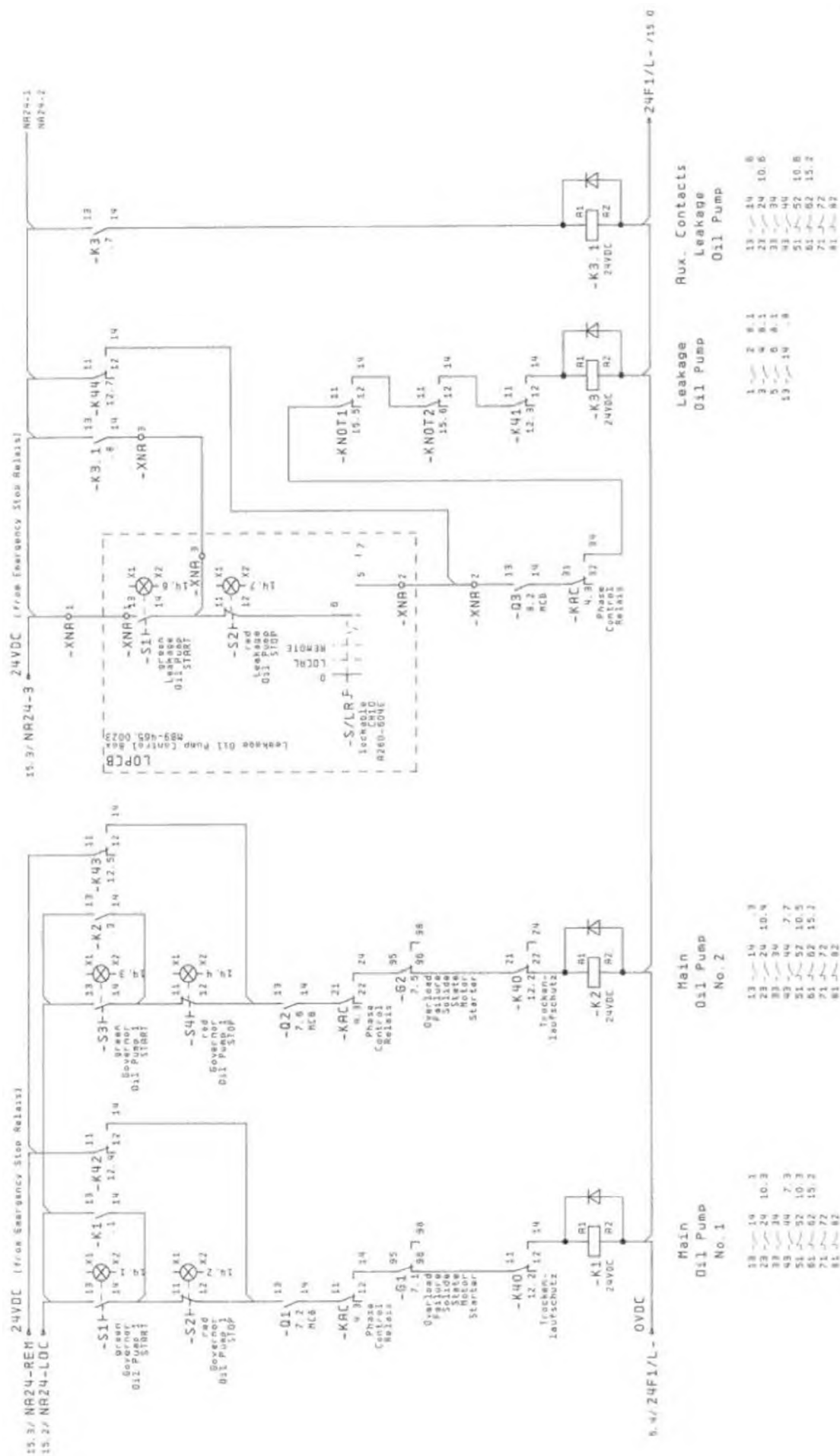


Рисунок 1.2 – Схема електрична принципова шафи керування 1РСС (2РСС)

Перелік елементів схеми електричної принципової, яка представлена на рисунку 1.2, наведено в таблиці 1.1.

Таблиця 1.1 – Перелік елементів схеми електричної принципової шафи керування 1PCC (2PCC)

Позначення	Найменування	Примітка
G1, G2	Пристрій плавного пуску 75kW/400V, 50/60Hz	3RW40 55 – 6BB44
K1, K2, K3.1	Додаткові контакти $U_s=24VDC$, 4No, 4Nc	3RH12 44 – 1BB40
K3 (Q3)	Пускач 2,2kW/400VAC	3RA1120 – 1GD24- 0BB4
KAC	Реле 4xCO, -24В Колодка реле 14pol	GR4WT – 24В GR – S15/4N
K40, K47, KNOT1, KNOT2	Реле 4xCO, -24В Колодка реле 14pol Діод -30.250В	GR4WT – 24В GR – S15/4N
Q1, Q2	Автоматичний вимикач $I_n=160A$ Адаптер шин, від 1 до 160А	3VL2717 – 1AS33 – 0AB1 8US1211 – 4SL01
S1 (H01), S3 (H03)	Кнопка з підсвічуванням 24VDC, green, 1No	3SB3245 – 0AA41
S2 (H02) S4 (H04)	Кнопка з підсвічуванням 24VDC, red, 1Nc	3SB3246 – 0AA41
XNA	Клемник 41А/6мм ²	ZDU 2,5/3AN

В якості пускових пристроїв електродвигунів застосовуються станції тиристорів керування (ТСК) PST-85 фірми АВВ (рисунок 1.3).

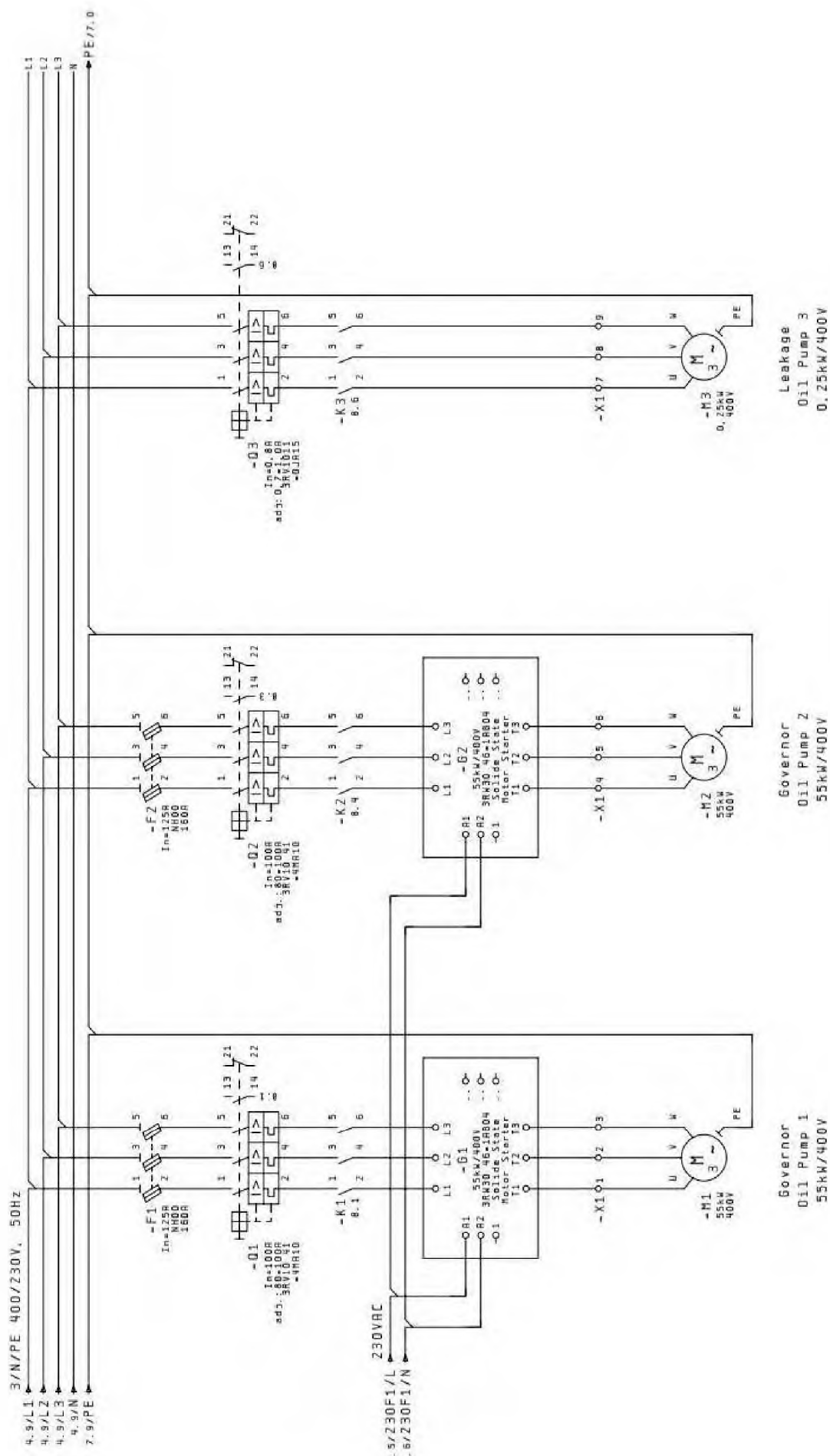


Рисунок 1.3 – Схема електрична принципова електрообладнання МНУ

Станції тиристорів призначені для керування асинхронними електродвигунами з коротко замкненим ротором. Станції виконують операції безконтактного пуску і зупинки електродвигунів. Вони мають високу швидкодію і забезпечують значне обмеження пускових струмів електродвигунів і мають практично необмежене число спрацьовувань (включень-відключень). У схемі станції передбачені максимальний струмовий захист і захист від перевантажень. Схеми блокування і автоматики станції виконані на безконтактних елементах, що дозволяє дистанційно і автоматично керувати електроприводами насосів при тривалості імпульсу в декілька мілісекунд. Станції випускаються з тиристорами, включеними в дві фази за зустрічно-паралельною схемою. Вимикання двигуна забезпечується впродовж половини періоду робочої частоти мережі.

Перелік елементів схеми електричної принципової, яка представлена на рисунку 3, наведено в таблиці 1.2.

Таблиця 1.2 – Перелік елементів схеми електричної принципової електрообладнання МНУ

Позначення	Найменування	Примітка
F1, F2	Автоматичний вимикач $\sim 230\text{В}$ $I_n=13\text{А/С}$, 2pol.	5SX2 213-7
G1, G2	Пристрій плавного пуску $75\text{kW}/400\text{V}$, $50/60\text{Hz}$	3RW40 55-6BB44
K1, K2	Додаткові контакти $U_s=24\text{VDC}$, 4No, 4Nc	3RH12 44-1BB40
K3	Пускач $2,2\text{kW}/400\text{VAC}$	3RA1120 - 1GD24- 0BB4
X1	Клемник $41\text{A}/6\text{мм}^2$	WDU 4
X1	Клемник $232\text{A}/120\text{мм}^2$	WDU 70/95

Система керування МНУ здійснює автоматичну або ручну підтримку заданого значення тиску ($61\text{--}63 \text{ кгс/см}^2$) шляхом пуску/зупинення маслонасосів МНУ №1 і №2, відкриття-закриття перепускних клапанів.

Схемою автоматичного керування МНУ передбачено, що кожен з двох насосів може бути як основним, так і резервним. Вибір робочого насоса здійснюється регулятором в автоматичному режимі шляхом порівняння напрацювання мотогондинника кожного насоса.

Насоси М1 і М2 приводяться в роботу електродвигунами потужністю 55 кВт, напругою живлення 380 В за допомогою пристрою плавного пуску по сигналу від реле тиску типу «EDS 1700»

Насос М3 має електродвигун потужністю 25 кВт, напругою живлення 380 В. Призначений для збору протікань масла з ущільнень сервомоторів направляючого апарату, золотників і перекачування масла в зливний бак МНУ служить лекажний агрегат, встановлений на кришці насос-турбіни. Він також забезпечує перекачування масла при спорожненні системи регулювання і заміні масла в направляючому підшипнику. Лекажний агрегат має зливний бак, розділений фільтром на дві частини. На кришці бака встановлений гвинтовий насос, сполучений за допомогою муфти з електродвигуном. На кришці бака також встановлений датчик рівня масла в зливному баку, що включає в роботу насос, коли рівень масла в зливному баку досягає верхньої відмітки, і відключаючи насос, коли рівень масла у баку опускається до нижньої відмітки.

У разі переповнювання бака при великому надходженні масла або несправності насоса, датчик рівня подає попереджувальний сигнал. Відсутність сигналу другого низького рівня використовується в алгоритмі роботи насоса. За наявності сигналу другого низького рівня в лекажному баці робота лекажного насоса заборонена.

1.3 Огляд систем керування електроприводів на базі асинхронних двигунів

Характерною тенденцією автоматизованого електропривода є все більш широке застосування асинхронних двигунів (АД). Вони прості і надійні в експлуатації, можуть довгостроково працювати при підвищених швидкостях і температурах, в агресивних і вибухонебезпечних середовищах, для їх виготовлення потрібно менше кольорових металів, вони мають менші масу, габарити і вартість. Розширюються й можливості систем керування асинхронних електроприводів за рахунок створення керованих перетворювачів напруги і частоти, а також мікропроцесорних пристроїв з високим швидкодією і великим обсягом пам'яті.

1.3.1 Скалярне керування

Асинхронний електропривод зі скалярним керуванням є в даний час найбільш поширеним. Він застосовується у складі приводів насосів, вентиляторів, компресорів та інших механізмів, для яких важливо підтримувати або швидкість обертання валу двигуна (при цьому використовується датчик швидкості), або технологічний параметр (наприклад, тиск у трубопроводі). Скалярним регулюванням, або U/f -регулюванням швидкості електропривода з АД називають регулювання, при якому зміна швидкості досягається шляхом впливу на частоту напруги на статорі при одночасній зміні модуля цієї напруги. Спосіб регулювання базується на схемі заміщення асинхронного двигуна і на виразі для електромагнітного моменту. Керуваність АД при цьому може забезпечуватися спільним регулюванням або частоти і напруги, або частоти і струму обмотки статора. Перший спосіб прийнято трактувати як частотне керування, другий – як частотно-струмове. Вибір способу і принципу керування визначається сукупністю статичних, динамічних та енергетичних вимог до асинхронного електропривода. Основний недолік згаданих принципів керування полягає в труднощі реалізації бажаних законів регулювання швидкості та моменту АД в динамічних режимах. Пов'язано це з дуже складними електромагнітними процесами, що протікають в АД. Скалярне частотно-струмове керування АД характеризується малим критичним ковзанням і сталістю критичного моменту при

сталості напруги АД, струму та зміни його частоти. Однак в розімкнених системах подібне керування практично виключено, оскільки із збільшенням навантаження (ковзання) різко падає магнітний потік АД і для забезпечення бажаних перевантажувальних здібностей АД з моменту потрібно помітне перевищення номінальних значень напруги живлення і струму статора. У разі якщо до динаміки привода не пред'являється особливих вимог, а статичні характеристики відповідають умовам поставленої задачі, то найбільш простим і ефективним рішенням є використання частотного регулювання в розімкненій системі. У подібних системах частота і напруга живлення АД формуються пропорційно напрузі керування в перетворювачі частоти (ПЧ) на базі автономного інвертора напруги (АІН). Функціональна схема такої системи наведена на рисунку 1.4.

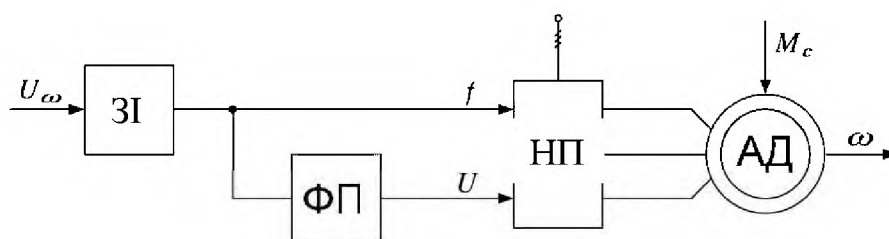


Рисунок 1.4 – Функціональна схема розімкненої системи керування

Тут статор АД підключений до ПЧ з напівпровідниковим перетворювачем ПП, що має два незалежних канали керування амплітудою U і частотою f вихідної напруги або струму. ПП зазвичай являє собою АІН з широтно-імпульсною модуляцією ШІМ. Функціональний перетворювач ФП необхідний для формування закону керування напругою або струмом статора АД в залежності від частоти, тобто частота в такій системі є незалежним параметром, що визначає швидкість обертання АД з точністю до ковзання. Задатчик інтенсивності ЗІ служить для налаштування швидкості наростання і спаду вхідного сигналу, що виключає електричні та механічні перевантаження. Ретельне його налаштування особливо необхідно, якщо ПЧ нереверсивний, тобто не володіє здатністю двостороннього обміну енергією між мережею живлення і АД, оскільки в цьому випадку кінетична енергія, накопичена обертовими масами, при гальмуванні буде розсіюватися в перетворювачі,

створюючи неприпустимі перевантаження або навіть аварійні режими. При частотно-струмовому керуванні, тобто коли ПЧ працює в режимі джерела струму, механічні характеристики АД не залежать від частоти і володіють істотно меншим критичним ковзанням. Крім того, АД розвиває значно більший момент на валу при тім же струмі статора. Тим не менш позитивні властивості частотно-струмового керування можна використовувати тільки в замкненій системі з струмом статора, що змінюється в функції абсолютного ковзання, так як в протилежному випадку необхідна перевантажувальна здатність досягається значним збільшенням напруги та струму, що неприпустимо в тривалому режимі. Формування необхідних статичних і динамічних властивостей асинхронного частотно-регульованого електропривода можливо лише в замкненій системі регулювання. Такими координатами можуть бути струм та ЕРС статора (I_s , E_s), основний магнітний потік АД (ψ), частота обертання (ω) і частота ротора або абсолютного ковзання (β). Функціональна схема замкненої системи керування показана на рисунку 1.5.

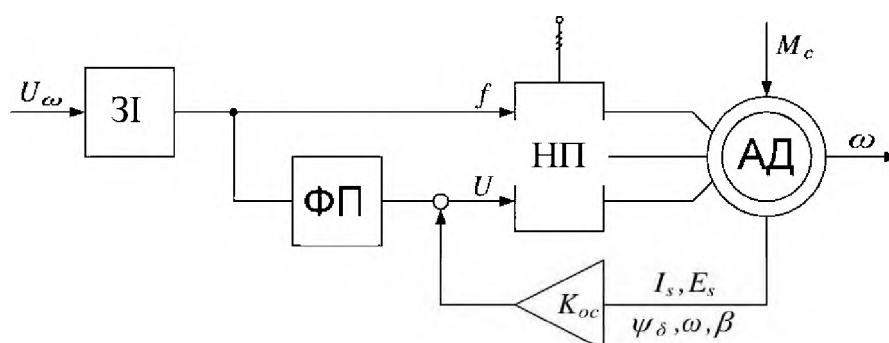


Рисунок 1.5 – Функціональна схема замкненої системи керування

Вибір сигналу зворотного зв'язку визначається безліччю умов: характером навантаження, технічними вимогами до привода, можливістю використання сигналів, що формуються в інших контурах керування. Створення зворотного зв'язку з магнітного потоку в зазорі вимагає установки датчиків Хола, за ЕРС статора – укладання вимірювальної обмотки (витків) пази статора. Сигнали абсолютного ковзання і частоти обертання вимагають встановлення тахогенератора, що найчастіше виправдано тільки у випадку необхідності використання зворотного зв'язку по

швидкості для отримання заданого статизму механічних характеристик. Найбільш доступним сигналом для частотного керування є струм статора, і саме він використовується в більшості приводів широкого застосування. В даний час при розробці електроприводів спостерігається наступна тенденція: для ПЧ, що реалізують просте скалярне керування електродвигуном пропонуються найпростіші схемотехнічні рішення, при цьому не ускладнюються програмне забезпечення та алгоритми роботи IGBT-модулів. Варто зазначити, що важливою перевагою скалярного методу є можливість одночасного керування групою електродвигунів.

1.3.2 Векторне керування

У 1971 р. Ф. Блашки запропонував новий принцип керування. У відповідності з ним рівняння руху розглядаються не в стаціонарній (кларковській) системі координат, а в системі координат Парка-Горева, пов'язаній з потокозчеплення ротора. В цій обертовій системі координат всі основні змінні змінюються не за гармонійним законом, а як в двигуні постійного струму. Це дозволило будувати системи керування АД за тим же принципами, що і системи керування двигунів постійного струму, зокрема за принципом підлеглого керування, який отримав назву Field Oriented Control (FOC – керування по полю машини). У відповідності з цим принципом керування все багатофазні (частіше трифазні) змінні (струми, напруги, потокозчеплення) формують відповідні вектори, поведінка яких розглядається або у векторному вигляді, або в проекціях на дві осі обертової системи координат. Векторне керування теоретично дозволяло досягти в АД тих же регульовальних характеристик, що і в двигунах постійного струму. Однак для реалізації векторного керування треба мати інформацію про всі вектори стану асинхронного двигуна. У 1970-х роках це пропонувалося забезпечувати за рахунок установки всередині АД датчиків Хола, з допомогою яких вимірюється потокозчеплення в повітряному зазорі АД, і тахогенераторів або імпульсних датчиків, які дають можливість виміряти кутову швидкість ротора. Однак встановлення цих датчиків вимагало заміни або доопрацювання величезного парку загальнопромислових АД, які не призначалися для регулювання і не були забезпечені цими датчиками. Наявність тахогенератора

і датчиків Хола істотно погіршували експлуатаційні характеристики АД в порівнянні з двигунами постійного струму. До систем з прямою орієнтацією по полю відносять тільки ті, в яких здійснюється безпосереднє вимірювання потоку з допомогою тих або інших датчиків або в яких потік розраховується за моделлю двигуна, так як це дає можливість, так само як при безпосередньому вимірюванні потоку, побудувати замкнений контур його регулювання. До систем з непрямым вимірюванням, в цьому випадку, відносять тільки системи, в яких потік не вимірюється і не розраховується, а формується шляхом завдання інших змінних. На рисунку 1.6 показаний приклад структури привода, який ілюструє принцип векторного керування з прямою орієнтацією по полю. На даному рисунку АД представлений у вигляді математичної моделі у обертовій системі координат α, β , яка постійно ідентифікує необхідні змінні. Пряме і зворотне перетворення в систему координат α, β здійснюють перетворювачі координат ПК, в функції яких входить перетворення трифазних змінних у двофазні і навпаки. В моделі двигуна за істинним значенням струмів $i_{s\alpha}$ і $i_{s\beta}$ розраховуються значення електромагнітного моменту M_{em} і потокозчеплення ротора ψ , який визначено базовим. Там же розраховується миттєве значення кута повороту ϕ обертової системи координат α, β відносно нерухомої системи координат x, y , яке використовується в схемі ПК, порівнюється з сигналом завдання ψ на вході регулятора потоку РП, а момент двигуна M – з сигналом завдання моменту M на вході регулятора моменту РМ. Контур регулювання моменту виконаний як внутрішній по відношенню до зовнішнього контуру швидкості з регулятором швидкості РШ. Система з непрямою орієнтацією по полю, представлена на рисунку 1.7, не містить вузлів вимірювання або розрахунку потокозчеплення ротора ψ_r . Необхідні сигнали завдання складових струму статора формуються на підставі заданих значень потокозчеплення ψ електромагнітного моменту M_{em} . При визначенні задаються значення струмів та використовується математичний опис двигуна у вигляді структурної схеми з орієнтацією вектора ψ_r по осі α .

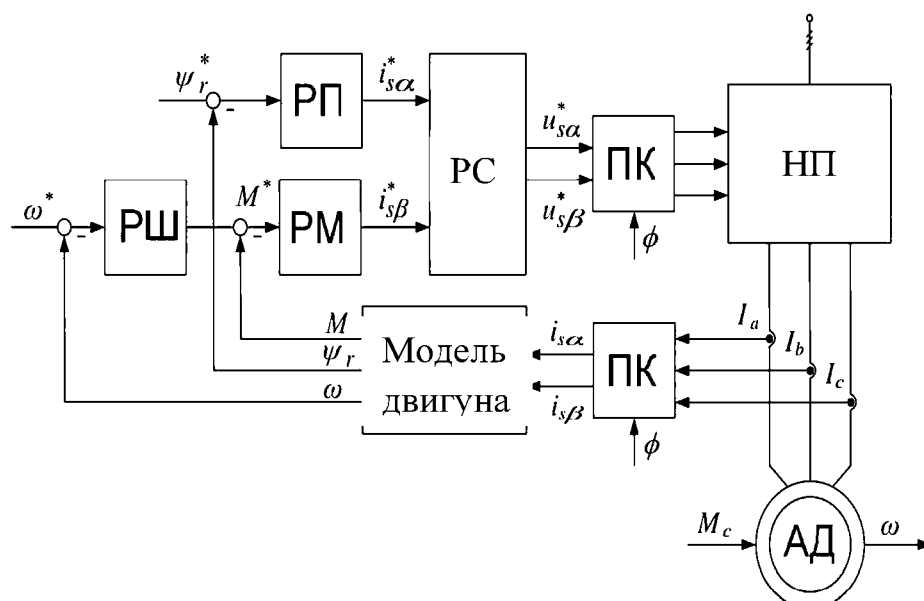


Рисунок 1.6 – Структура привода з прямою орієнтацією по полю

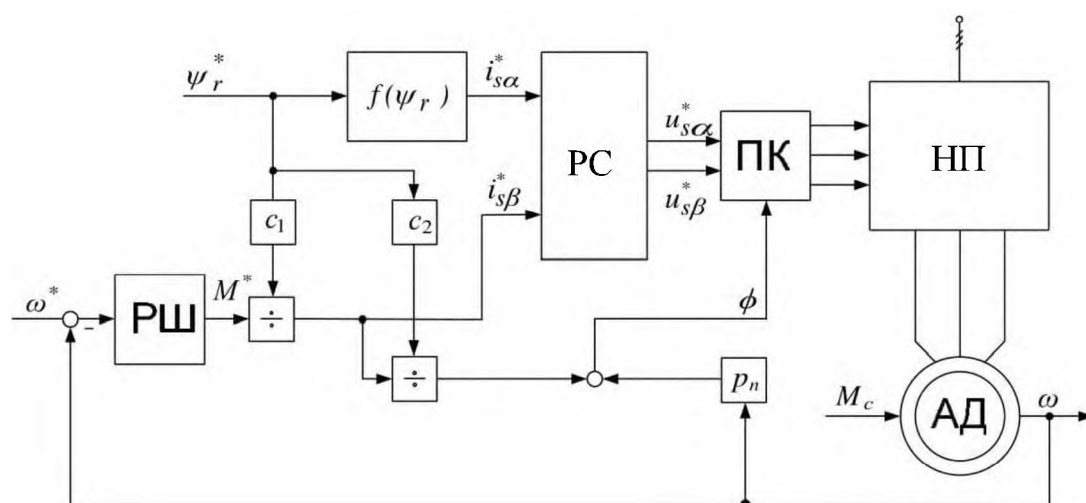


Рисунок 1.7 – Структура привода з непрямою орієнтацією по полю

Як в системах векторного керування з прямим вимірюванням потоку, так і в системах з непрямою вимірюванням потоку відсутність датчиків потокозчеплення компенсується обчисленнями з диференціальних рівнянь, описує роботу АД, в які входять неточно відомі і змінні параметри, такі як опори ротора і статора, приведений момент інерції ротора, момент навантаження. Власні індуктивності ротора і статора, а також їх взаємна індуктивність внаслідок ефекту магнітного насичення мають складну залежність від струму намагнічування. У зв'язку з цим системи векторного керування без спеціальних заходів є дуже чутливими до невизначеності

цих параметрів. Сучасна теорія керування володіє потужним арсеналом методів забезпечення робітності (нечутливості) систем керування до розкиду параметрів. Це адаптивні системи, системи зі змінною структурою, робітні комбіновані системи із спостерігачами та ін. Недоліком розглянутих алгоритмів векторного керування є великий обсяг обчислень при прямому і зворотному взаємних перетвореннях між нерухомою і рухомою системами координат, а також наявність запізнювання у формуванні електромагнітного моменту.

1.3.3 Пряме керування моментом

Для усунення згаданих недоліків були запропоновані алгоритми керування, що отримали назву Direct Torque Control (пряме керування моментом і потокозчепленням). Ці ідеї останнім часом активно розвиваються. Дані електроприводи відпрацьовують стовідсотковий стрибок завдання моменту за 1-2 мс, забезпечують точне регулювання моменту при низьких частотах, включаючи і нульову швидкість, а також забезпечують точність підтримання швидкості на рівні 10 % ковзання асинхронного двигуна без використання датчика швидкості і 0,01 % з використанням датчика швидкості. Системи прямого керування моментом мають ряд характерних ознак:

- наявність у системі релейних гістерезисних регуляторів магнітного потоку статора і електромагнітного моменту асинхронного двигуна;
- наявність в системі електронної моделі двигуна для обчислення керованих координат (потокозчеплення статора двигуна, електромагнітного моменту двигуна, а також частоти обертання ротора для бездатчикових систем);
- наявність табличного (матричного) обчислювача оптимального вектора напруги двигуна;
- наявність ідентифікатора фазового сектора, в якому в поточний момент часу знаходиться вектор потокозчеплення статора двигуна;
- відсутність у явно вираженій формі регуляторів струму статора двигуна;
- відсутність програмної широтно-імпульсної модуляції вихідної напруги перетворювача частоти.

Найбільш складним завданням, що утруднює розробку систем прямого керування моменту, є отримання поточних значень потокозчеплення, моменту і частоти обертання ротора при відсутності датчиків на валу двигуна. В силу специфіки даної системи традиційні методи обчислення параметрів асинхронного двигуна тут не застосовують. У зв'язку з цим виникає завдання розробки адаптивного спостерігача потокозчеплення, моменту і швидкості для системи прямого керування моментом. Основну ідею прямого керування моментом ілюструє рисунок 1.8, на якому в нерухомій системі координат α, β показані вектори потокозчеплень статора ψ_s і ротора ψ_r , а також вісім можливий положень вектора напруги U .

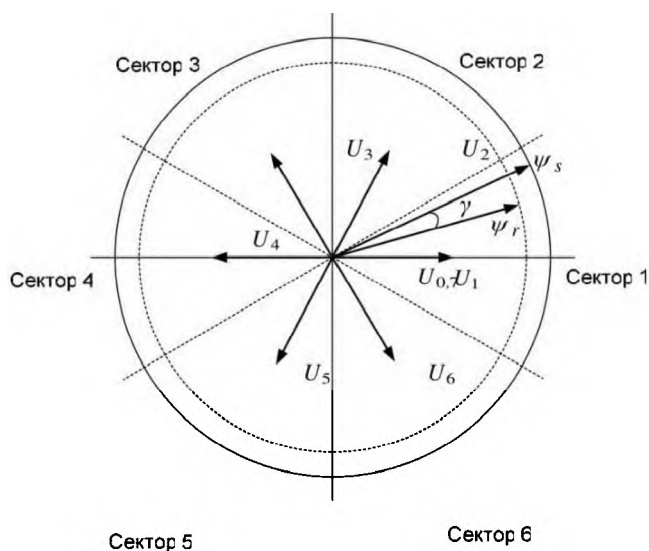


Рисунок 1.8 – Розташування векторів потокозчеплень і напруг в нерухомій системі координат α, β

Електромагнітний момент двигуна M_{em} пропорційний добутку модулів потокозчеплень і синуса кута між ними. Модуль потокозчеплення ротора змінюється повільно, так як стала часу ротора T_r досить велика. Модуль потокозчеплення статора, якщо розглядати невеликий відрізок часу, можна прийняти сталим. Тому керування електромагнітним моментом двигуна здійснюється в основному шляхом зміни кута γ . Це досягається за рахунок вибору вектора напруги, що викликає таку зміну положення ψ_s щодо ψ_r , що забезпечує необхідний знак приросту електромаг-

нітного моменту і одночасно – необхідний знак збільшення модуля потокозчеплення. У кожному з шести секторів нерухомої системи координат α, β існує певний набір векторів напруги для всіх можливих комбінацій необхідних знаків зміни модуля потокозчеплення і моменту. В результаті, незважаючи на те, що векторні перетворення в системі відсутні, а використовуються тільки скалярні регулятори, обертання вектора потокозчеплення статора забезпечується з необхідною частотою при підтримці модуля вектора потокозчеплення на заданому рівні. Функціональна схема системи прямого керування моментом показана на рисунку 1.9.

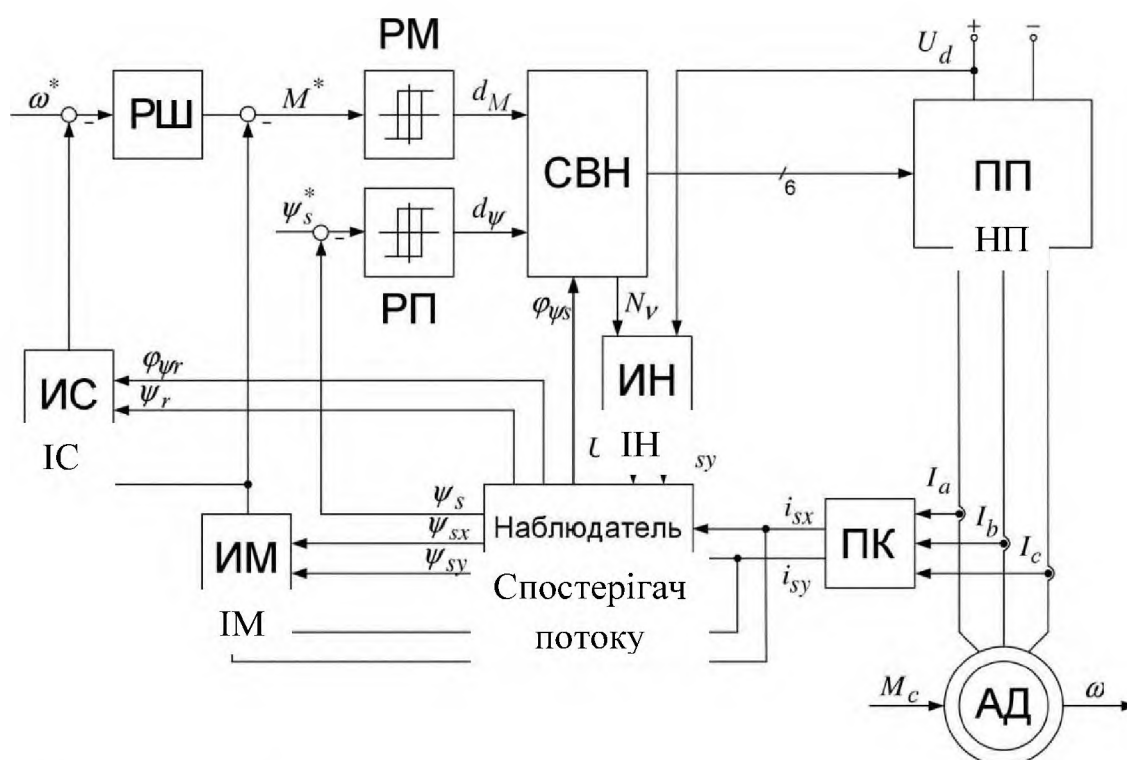


Рисунок 1.9 – Структура привода з прямим керуванням моментом

В релейних регуляторах моменту РМ і потокозчеплення РП порівнюються задані значення регульованих величин з їх значеннями, оціненими з допомогою спостерігача, і формуються логічні сигнали для селектора вектора напруги СВН, який і керує ключовими елементами інвертора. Керування ключами ведеться з урахуванням поточного кута потоку статора $\phi_{\psi s}$. Для досягнення бажаного значення частоти комутації ключів характеристики релейних регуляторів потокозчеплення і

моменту повинні містити гістерезисний допуск, регульований в залежності від поточної частоти обертання магнітного поля. Найбільш важливою частиною системи прямого керування моментом є адаптивний спостерігач регульованих координат, а саме моменту, потокозчеплення і частоти обертання. Ці координати можуть бути отримані на підставі інформації про поточні значення струму і напруги статора, причому напруга статора визначається в ідентифікаторі напруги ІН на підставі інформації про напругу ланки постійного струму U_d перетворювача частоти і поточного номери вектора напруги N_v . Через використання операції інтегрування при обчисленні потокозчеплення статора система дуже чутлива до значенням активного опору статора R_s , так як операція інтегрування призводить до накопичення помилки.

Неточність оцінки активного опору ротора тут, навпаки, не робить істотного впливу на роботу контурів регулювання потокозчеплення та електромагнітного моменту, однак вона впливає на точність обчислення швидкості. Чутливість системи до значення індуктивностей двигуна невелика. Алгоритм прямого керування моментом відрізняє простота (немає перетворення координат і регулювання струмових контурів), робастність по відношенню до невизначеності параметрів і високу швидкодію. Основним недоліком такої системи є те, що задовільна якість перехідних процесів забезпечується тільки в тому випадку, якщо похибка оцінки R_s не перевищує 5 %. У число недоліків також входить наявність пульсацій в електромагнітному моменті і потокозчепленні, що знижує точність регулювання, підвищує електроспоживання і збільшує акустичний шум.

2 ЗАГАЛЬНІ ПІДХОДИ І ОСНОВНІ МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕНЬ

2.1 Вибір та обґрунтування методу наукового дослідження

Метод (греч. *methodos* – шлях, спосіб дослідження, викладу) – система правил і прийомів підходу до вивчення явищ і закономірностей природи, суспільства, мислення; планомірний шлях, спосіб досягнення певних результатів у науковому пізнанні й практичній діяльності; взагалі прийом, спосіб або спосіб дії.

Знання методів має величезне практичне й евристичне значення, тому що воно орієнтує дослідника, допомагає йому вибрати істотне й вичленувати другорядне, намітити шлях сходження від відомого до невідомого, від простого до складного, від одиничного до приватного й загального, від вихідних посилок до висновків.

Методика дослідження – це система правил використання методів, прийомів та способів для проведення будь-якого дослідження. Свідоме застосування науково-обґрунтованих методів слід розглядати як найсуттєвішу умову отримання нових знань.

Кожний метод наукового пізнання слід розглядати як систему регулятивних принципів практичної і теоретичної діяльності людини. Методів пізнання об'єктивної дійсності відомо дуже багато. Правильний вибір методів дослідження потребує знання їх класифікації.

Досить поширеним є поділ основних типів методів за двома ознаками: мети і способу реалізації.

За першою ознакою виділяються так звані первинні методи, що використовуються з метою збору інформації, вивчення джерел, спостереження, опитування та ін. Вторинні методи використовуються з метою обробки та аналізу отриманих даних – кількісний та якісний аналіз даних, їх систематизація та ін.

Візуальні, або графічні, методи – графи, схеми, діаграми, картографи та ін. дають змогу отримати синтезоване уявлення про досліджуваний об'єкт і водночас

наочно показати його складові, їхню питому вагу, причинно-наслідкові зв'язки, інтенсивність розподілу компонентів у заданому об'ємі. Ці методи тісно пов'язані з комп'ютерними технологіями.

У прикладних аспектах гуманітарних наук доцільно використовувати математичні методи. Математичний апарат теорії ймовірностей дає можливість вивчати масові явища в соціології, лінгвістиці. Математичні методи відіграють важливу роль при обробці статистичних даних, моделюванні.

Сучасна методологія вкладає новий зміст у традиційне уявлення про теоретичні (математичні) та емпіричні (експериментальні) методи дослідження в природних і технічних науках.

Складовою частиною наукових досліджень є експеримент.

Експеримент представляє собою науково поставлений дослід або спостереження явища або процесу в точно враховуваних умовах, що дозволяють стежити за ходом експерименту, керувати ним, відтворювати його щоразу при повторенні цих умов.

Серед відомих методів дослідження складних електромеханічних систем можна виділити фізичне, імітаційне, аналогове та математичне моделювання.

Метод фізичного моделювання передбачає дослідження на моделі, яка відтворює основні геометричні, фізичні, динамічні та функціональні характеристики та властивості оригіналу (але не обов'язково всі властивості) та має великі можливості з визначення різноманітних якостей електромеханічних систем ті їх елементів.

Метод математичного моделювання ґрунтується на здатності математично описувати рівняннями різні за природою явища (процеси) та виявляти різні функціональні зв'язки між елементами системи.

Аналогове моделювання базується на однаковому для моделі та натури математичному описі та використовується для імітації на основі аналогової фізичної системи по її елементам. При цьому кожному з фізичних елементів натури в моделі відповідає певний еквівалент. У якості моделей використовуються електричні кола, складені з пасивних та активних елементів.

При математичному моделюванні застосовуються аналітичні та статистичні моделі. Аналітичні моделі більш грубі, враховують менше число факторів, завжди потребують деяких припущень та спрощень. Проте вони більше пристосовані для пошуку оптимальних рішень.

Комп'ютерна модель (або чисельна) – комп'ютерна програма, яка реалізує абстрактну модель деякої системи. Комп'ютерні моделі використовуються для отримання нових знань про об'єкт, що моделюється або для приблизної оцінки поведінки математичних систем, які досить складні для аналітичного дослідження. Комп'ютерне моделювання є одним з ефективних методів вивчення складних систем. Комп'ютерні моделі простіші та їх зручніше досліджувати в силу можливості проводити обчислювальні експерименти в тих випадках, коли реальні експерименти немає можливості проводити через фінансові труднощі або фізичні перешкоди. Для підтримки математичного моделювання розроблені системи комп'ютерної математики, наприклад, Maple, Mathematica, Mathcad, MATLAB, Scilab, VisSim та інші. В даній роботі використовується програма Simulink пакету MATLAB.

2.2 Розробка алгоритму дослідження

Методологія – це система базисних принципів, методів, методик, способів і засобів їх реалізації в організації та побудові науково-практичної діяльності. Вона включає в себе методи теоретичного та емпіричного пізнання і являє собою алгоритм пошуку і досягнення мети.

Основне призначення методики дослідження полягає у тому, щоб на основі відповідних принципів (вимог, умов, обмежень тощо) забезпечити успішне вирішення визначених мети і завдань наукового дослідження.

Алгоритм дослідження представлено в табличній формі (таблиця 2.1).

Таблиця 2.1 – Алгоритм дослідження

Автоматизований електропривод насоса маслonaпiрної установки	
Складання індивідуального плану роботи	
Пошук літератури за темою дослідження, її аналіз, складання бібліографії	
Підготовка теоретичної частини	Опис маслonaпiрної установки МНУ 12,5/2-63 12,5-2НБУ. Аналіз електрообладнання маслonaпiрної установки
	Огляд систем керування електроприводів на базі асинхронних двигунів
	Побудова функціональної схеми автоматизованого електропривода насоса та обґрунтування вибору її елементів. Розробка схеми підключення перетворювача частоти
	Складання математичного опису об'єкта керування та елементів автоматизованого електропривода
Опис процесу дослідження	Дослідження динаміки автоматизованого електропривода в MATLAB
	Аналіз і узагальнення результатів дослідження
Узагальнення результатів моделювання	Інтерпретація отриманих результатів дослідження
	Формулювання висновків
Узагальнення науково-теоретичних результатів	
Розробка заходів з охорони праці	

Алгоритм складено на підставі головних завдань дослідження і наочно відображає його послідовність: мотивацію; формулювання проблеми дослідження; пошук теоретичної основи розв'язання проблеми; розв'язання проблеми. Він розкриває процедуру дослідження і встановлює логічну послідовність виконання структурних розділів і підрозділів кваліфікаційної роботи.

2.3 Вибір методів розв'язання поставленої задачі

Кваліфікаційна робота не передбачає проведення експериментальних досліджень, має теоретичний характер, тому основним методом для відображення отриманих результатів є моделювання.

Моделювання як метод наукового пізнання виникло в зв'язку з необхідністю вирішення завдань, які з тих чи інших причин не можуть бути вирішені безпосередньо. Вони виникають у випадках, коли об'єкт або недосяжний для дослідника, або він ще не існує і потрібно обрати оптимальний варіант його створення, або дослідження реального об'єкта вимагає багато часу та економічно не вигідне тощо. Таким чином, модель виконує функцію проміжної ланки між дослідником та об'єктом пізнання. Метод моделювання передбачає, що об'єкт вивчається не безпосередньо, а шляхом дослідження іншого об'єкта, який є аналогом першого.

Модель (від лат. *modulus* – міра) – це певний умовний образ об'єкта дослідження, котрий замінює останній і перебуває з ним у такій відповідності, яка дозволяє отримати нове знання. Модель будується для того, щоб відобразити характеристики об'єкта (елементи, взаємозв'язки, структурні та функціональні властивості), суттєві з точки зору мети дослідження. Отже, моделювання пов'язане зі спрощенням, огрубінням прототипу, абстрагуванням від ряду його властивостей, ознак, сторін.

Характерною ознакою моделей можна вважати їх спрощеність стосовно оригіналу або реальної життєвої ситуації, яку моделюють. Спрощеність моделей є неминучою, тому що оригінал лише в обмеженій кількості відношень відображується в моделі.

Отже, моделювання з точки зору наукового дослідження – це метод опосередкованого пізнання за допомогою штучних або природних систем, які зберігають певні особливості об'єкта і, таким чином, замінюючи його, дають змогу отримати нове знання про оригінал.

У системному аналізі моделі є дуже важливим компонентом дослідження та проектування нових систем. Не менш важливий і прагматичний аспект моделювання, при якому модель розглядається як засіб керування системою.

Модель є цільовим відображенням об'єкта-оригіналу, що виявляється у множинності моделей одного й того ж об'єкта, тобто для різної мети або завдань дослідження можна будувати різні моделі, тому мета або завдання дослідження визначають, які саме ознаки системи мають бути відображені в моделі. Процес дослідження реальних систем, що охоплює побудову моделі, дослідження її властивостей і перенесення одержаних відомостей на реальну систему, називають моделюванням.

Основна функція моделі – це її використання як засобу пізнання. До конкретизованих (похідних від основної) функцій належать: засіб наукового осмислення дійсності, засіб спілкування, засіб навчання і тренування, інструмент прогнозування, засіб постановки та проведення експерименту.

Головними рівнями дослідження та моделювання систем є мікро- та макро-рівень. Мікрорівневе моделювання системи пов'язане з детальним описом кожного компонента системи, дослідженням її структури, функцій, взаємозв'язків, тощо.

Макрорівневе моделювання полягає в ігноруванні детальної структури системи та вивченні лише загальної поведінки системи як єдиного цілого.

Для детальнішого опису систем використовують моделі складу та моделі структури. Модель складу системи відображає, з яких елементів і підсистем складається система, а модель структури застосовується для відображення відношень між елементами та зв'язків між ними.

Модель структури описує суттєві зв'язки між елементами та підсистемами. При використанні графічних моделей будову систем подають у вигляді так званих структурних схем. Структурні схеми наглядні та містять інформацію про велику кількість властивостей системи.

Залежно від форми подання об'єкта моделювання поділяють на реальне та абстрактне.

При реальному моделюванні використовують можливість дослідження характеристик на реальному об'єкті чи на його частині, а при натурному – проводять дослідження на реальному об'єкті з подальшим обробленням результатів експерименту на основі теорії подібності.

Метод фізичного моделювання передбачає дослідження на моделі, що відтворює основні геометричні, фізичні, динамічні і функціональні властивості “оригіналу” і володіє великими можливостями по визначенню різних якостей електро-механічних систем та їх елементів.

Абстрактне моделювання має різні види: наочне, символічне, математичне. Метод математичного моделювання заснований на здатності математично описувати рівняннями різноманітні за природою явища (процеси) і виявляти різні функціональні зв'язки між елементами системи.

При математичному моделюванні застосовують аналітичні та статистичні моделі. Аналітичні моделі більш грубі, враховують менше число чинників, завжди вимагають деяких припущень і спрощень, проте вони більш пристосовані для пошуку оптимальних рішень. Статистичні методи в порівнянні з математичними громіздкі і погано осяжні.

Дослідження математичної моделі дає змогу отримати характеристики реального об'єкта чи системи. Вигляд математичної моделі залежить як від природи системи, так і від завдань дослідження. Математична модель системи містить, як правило, опис множини можливих станів системи та закон переходу з одного стану в інший. Математичне моделювання охоплює імітаційне, інформаційне, структурне, ситуаційне тощо.

На етапі вибору математичної моделі встановлюються: лінійність і не лінійність об'єкта, процесу або системи, динамічність або статичність, стаціонарність або не стаціонарність, а також ступінь детермінованості досліджуваного об'єкта чи процесу. При математичному моделюванні свідомо відволікаються від конкретної фізичної природи об'єктів, процесів або систем і, в основному, зосереджуються на вивченні кількісних залежностей між величинами, що описують ці процеси.

На базі складених диференційних рівнянь проводиться математичне моделювання системи керування електропривода. За допомогою програми Simulink досліджуються перехідні характеристики системи при зміні задавальних параметрів.

Слід зазначити, що метод моделювання – вивчення явищ за допомогою моделей – сьогодні має особливе значення для вирішення складних фізичних завдань, чому значною мірою сприяє зростанню продуктивності обчислювальної техніки. Саме тому в представленій роботі як основа використано метод моделювання.

3 АНАЛІЗ І УЗАГАЛЬНЕННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ ДОСЛІДЖЕНЬ

3.1 Функціональна схема автоматизованого електропривода

Насос і зовнішня мережа утворюють єдину систему, рівноважний стан якої визначається матеріальним і енергетичним балансом. Матеріальний баланс виражається умовою рівності подачі насоса витраті у зовнішній мережі, енергетичний – рівністю напору насоса напору, який використовується мережею.

У практиці експлуатації насосів нерідко доводиться вдаватися до регулювання їх параметрів, головним чином подачі, рідше - напору. Існують три способи регулювання подачі насосів, відповідно до способів системи керування насосами діляться на три групи.

До першої групи відносяться системи, які включають в себе пристрої, які дроселюють мережу, тобто змінюють характеристику мережі, але не змінюють характеристику насоса. До таких пристроїв можна віднести клапани, електричні засувки та ін. Дроселювання при постійній швидкості обертання електропривода насоса - самий неекономічний, хоча найпоширеніший спосіб регулювання. Він полягає в штучному введенні в магістраль додаткового опору у вигляді дросельної засувки. Спосіб регулювання може застосовуватися тільки у бік зменшення подачі.

Друга група включає пристрої, що змінюють характеристику насоса, але не змінюють характеристику мережі. Прикладом таких пристроїв можуть служити регульовані електродвигуни змінного струму, фрикційні муфти, гідромуфти, та ін. Даний спосіб буде економічний тільки при економічному методі регулювання швидкості електропривода – регулювання подачі води шляхом вимірювання тиску в магістралі, і підтримки заданого рівня тиску.

У третю групу входять пристрої, що змінюють характеристику і мережі, і насоса. Прикладом може служити регульований насос, що працює на магістраль, яка регулюється дросельними засувками.

Автоматичне регулювання може бути залежним і незалежним. Залежне, або програмне, регулювання вважається найбільш досконалим. Заданий параметр при автоматичному регулюванні повинен змінюватися за певним заздалегідь встановленим графіком.

Розрізняють також безперервне або позиційне переривчасте регулювання процесу. При позиційному переривчастому регулюванні подача води то припиняється, то знову відновлюється. При безперервному регулюванні регулятор весь час підтримує задану величину параметра (тиску, витрати) - показника регулювання. Будь-яка зміна цієї величини сприймається чутливим елементом вимірювальної системи і отримана інформація про неузгодженість передається на виконавчий елемент регулятора.

Зміну характеристик насоса можна здійснювати постійно (довготривало) або поточно. При постійному (довготривалому) регулюванні насос перекладається в новий режим роботи на досить тривалий термін. Таке регулювання виконати простіше, ніж регулювати подачу і напір в процесі роботи системи. Під поточним регулюванням мається на увазі безперервна зміна характеристики Q-H в процесі роботи установки в залежності від надходження рідини до насоса або споживання рідини в системі.

Найбільш поширеним на сьогоднішній день є регулювання частоти обертання роторів приводних двигунів, відповідно і робочих коліс насосів, за допомогою перетворювачів частоти (ПЧ), які дозволяють плавно регулювати швидкість електродвигуна насоса, і, тим самим, підтримувати тиск в магістралі при різних витратах рідини, що перекачується. При малих витратах рідини двигун насоса обертается з малою швидкістю необхідною тільки для підтримки номінального тиску, і не витрачає зайвої енергії. При збільшенні витрати рідини перетворювач збільшує частоту обертання електродвигуна, підвищуючи продуктивність насоса при збереженні заданого тиску.

Застосування регульованого асинхронного електропривода для керування насосними агрегатами дозволяє забезпечити:

- плавний пуск електродвигуна, відсутність механічних навантажень на двигун і кидків струму в мережі;
- відсутність гідравлічних ударів;
- ефективне використання споживаної насосним агрегатом потужності у всьому діапазоні регулювання;
- забезпечення коефіцієнта потужності електродвигуна насоса на значенні, близькому до 1;
- зниження рівня шуму при пуску і роботі;
- забезпечення автономної та безпечної роботи.

На рисунку 3.1 наведено функціональну схему автоматизованого електропривода насоса. На схемі введені такі позначення: Н – насос; АД – асинхронний двигун; ПЧ – перетворювач частоти; ФП – функціональний перетворювач; ФС – функціональний перетворювач струму; РТ, ДТ – регулятор та датчик тиску відповідно.

На схемі сигнали i_{sa} і i_{sc} пропорційні миттєвим значенням струмів фаз А і С обмоток статора, з виходу датчиків ДТ_а і ДТ_с надходять в функціональний перетворювач струму, де формуються вихідні сигнали I_1 і I_{1a} , пропорційні відповідно діючому значенню струму статора та активній складовій цього струму. У вузлах Σ_1 та Σ_2 підсумовуються сигнали керування і зворотних зв'язків, що надходять з функціональних пристроїв А1 і А3. Пристрій А4 забезпечує проходження сигналу I_1 на вихід А3 лише при його перевищенні на суматорі Σ_3 сигналу $I_{1\max}$, пропорційного діючим значенням максимально допустимого струму статора АД.

Призначення кожного з контурів зворотних зв'язків та їх вплив на властивість електропривода доцільно розглянути окремо. Так, при дії лише позитивного зворотного зв'язку за струмом з боку А1 по мірі збільшення моменту статичного навантаження АД і відповідного збільшення струму статора на вхід суматора Σ_2 надходить додатковий сигнал u_i , що збільшує сигнал u_u . Отже, в міру збільшення струму статора збільшується і вихідна напруга ПЧ. При цьому його вихідна частота, яка визначається сигналом u_f , залишається постійною, підвищення напруги на обмотках статора АД сприяє компенсації падіння напруги на повному їх опорі і, в результаті, збільшенню потоку намагнічування АД.

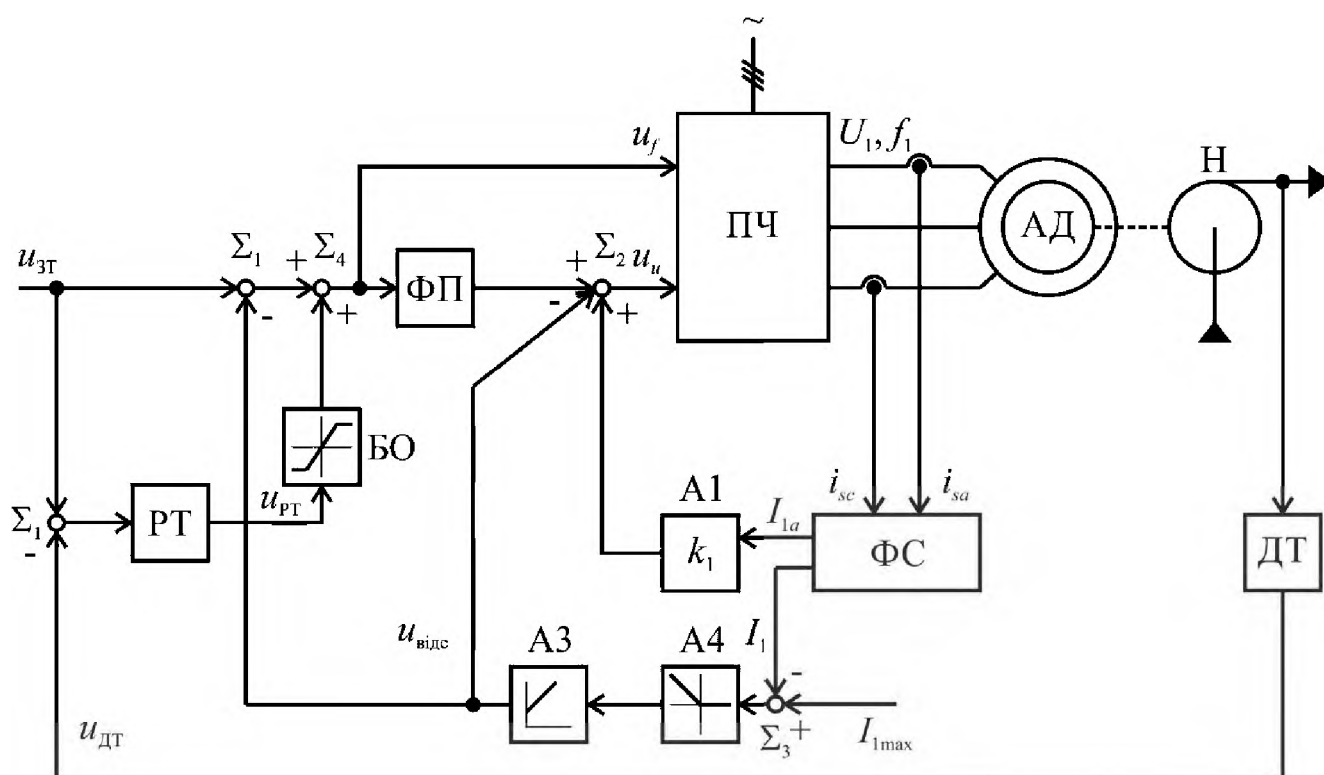


Рисунок 3.1 – Функціональна схема автоматизованого електропривода насоса

Ступінь компенсації визначається коефіцієнтом посилення k_1 ланцюга позитивного зворотного зв'язку за струмом. Очевидно, чим більше k_1 , тим більше буде потік при цьому ж абсолютному ковзанні. Межа збільшення k_1 визначається умовами стійкості замкненої системи керування та допустимими значеннями потоку намагнічування і напруги живлення АД.

У міру зниження частоти напруги живлення повний опір ланцюга намагнічування а, отже, падіння напруги в статорі АД зменшуються. Тому для стабілізації і обмеження потоку намагнічування в замкненій за повним струмом системи ступінь компенсації падіння напруги, тобто коефіцієнт k_1 , треба зменшувати в бік зниження частоти вихідної напруги ПЧ.

Для захисту перетворювача частоти і двигуна від перевантажень за струмом використовується режим струмового відсічення за допомогою суматора Σ_3 . Вихідний сигнал АЗ $u_{вдс}$ може впливати як на зменшення вихідної напруги ПЧ (вузол Σ_2), так і одночасно на зменшення частоти живлення АД (вузол Σ_1).

Канал негативного зворотного зв'язку за тиском містить у собі датчик тиску, вузол Σ_5 підсумовування напруг керування тиском (швидкістю АД) $u_{зТ}$ й зворотного негативного зв'язку за тиском $u_{дТ}$, регулятор тиску РТ, блок БО обмеження його вихідної напруги $u_{РТ}$, а також вузол Σ_4 підсумовування напруги $u_{РТ}$ і результуючої напруги з виходу суматора Σ_1 .

У міру збільшення навантаження на валу АД за рахунок зменшення швидкості АД й, отже, сигналу $u_{РТ}$ збільшується сигнал неузгодженості $\delta = u_{зТ} - u_{дТ} \equiv p_0 - p$. Тут p_0 - заданий тиск, що відповідає вихідному сигналу керування $u_{зТ}$; p - реальний тиск. При $\delta \neq 0$ сигнал $u_{РТ}$ на виході регулятора тиску, підсумовуючись із сигналом $u_{зТ}$ (при $I_1 < I_{1\max}$), за рахунок інтегральної передавальної функції РТ забезпечує збільшення сигналу керування u_f перетворювачем частоти. Одночасно із зміною частоти за рахунок функціонального перетворювача струму ФП змінюється у порівнянні з початковою напругою U_{10} і вихідна напруга перетворювача U_1 . При цьому тиск в системі відновлюється до заданого значення p_0 , тобто забезпечується сталість тиску.

3.2 Вибір елементів автоматизованого електропривода

3.2.1 В якості привідного електродвигуна насосного агрегату МНУ 12,5/2-63 12,5-2 використано трифазний короткозамкнений асинхронний електродвигун типу 4А225М4.

В таблиці 3.1 представлено основні технічні характеристики електродвигуна 4А225М4.

Таблиця 3.1 – Технічні характеристики електродвигуна 4A225M4

Параметр	Значення
Номінальна потужність P_H , кВт	55
Номінальна напруга U_H , В	380
Номінальне значення частоти напруги статора f_{1H} , Гц	50
Номінальна частота обертання n_H , об/хв	1475
Число пар полюсів p_H	2
Номінальний струм I_H , А	105
ККД η , %	93
Кратність максимального моменту λ	$2,2 \times M_H$
Кратність пускового струму	$6,5 \times I_H$
Момент інерції $J_{дв}$, кг·м ²	0,4
Маса m , кг	345

3.2.2 Для системи керування електропривода насосного агрегату обраний перетворювач частоти Lenze 8200 Vector, загальний вигляд якого зображений на рисунку 3.2.



Рисунок 3.2 – Загальний вигляд перетворювача частоти Lenze 8200 Vector

Перетворювачі частоти Lenze 8200 Vector призначені для керування асинхронними електродвигунами потужністю 0,25-90 кВт.

У таблиці 3.2 приведені основні технічні характеристики перетворювача частоти Lenze 8200 Vector 55 кВт.

Таблиця 3.2 – Технічні характеристики перетворювача частоти Lenze 8200 Vector 55 кВт

Показники	Значення
Номінальна потужність, кВт	55
Діапазон регулювання напруги, В	400
Частота живлячої мережі, Гц	50±5 %
Діапазон регулювання частоти, Гц	0-50
Коефіцієнт потужності в номінальному режимі, не менше	0,97
Ступінь захисту	IP20
Габаритні розміри: довжина×ширина×висота, мм	591×340×375
Маса, кг	66

3.2.3 Датчики тиску призначені для роботи в системах автоматичного контролю, регулювання та керування і забезпечують безперервне перетворення тиску в уніфікований аналоговий сигнал та/або цифровий вихідний сигнал дистанційної передачі вимірюваного надлишкового тиску.

Вибір датчика здійснимо виходячи з робочого тиску насоса, тоді максимально високий робочий тиск $p_{\max}$, Па, дорівнює

$$p_{\max}=k \cdot H_{\text{Н}},$$

де k – коефіцієнт запасу, прийmemo $k=1,2$;

$H_{\text{Н}}$ – номінальний напір насосного агрегату $H_{\text{Н}}=63 \text{ м}=6,3 \text{ атм.}$

$$p_{\max}=1,2 \cdot 6,3=7,56 \text{ МПа.}$$

Обираємо датчик EDS-1700 з найближчим більшим робочим тиском.

EDS 1700 з вбудованим елементом для вимірювання тиску, 4-розрядним індикатором і 4 перемикаючими виходами володіє всіма перевагами сучасного електронного манометричного вимикача. 4 точки перемикання і зворотного перемикання можна дуже просто налаштовувати незалежно один від одного за допомогою клавіатури. Крім того, для оптимальної інтеграції в системи контролю є аналоговий вихід (4...20 мА або 0...10 В). Основними сферами застосування манометричного вимикача EDS 1700 є гідравліка й пневматика. Пристрій ідеально працює там, де потрібно часте перемикання (кілька мільйонів операцій), точність точки перемикання протягом тривалого часу або проста і точна настройка.

Можливості датчика:

- інтегрований датчик тиску по технології DMS (з тензорезистором) на мембрані з нержавіючої сталі;
- клас точності 0,5 % або 1 %;
- цифровий дисплей з роздільною здатністю 4 символи;
- простота в експлуатації;
- 4-х граничне реле тиску, незалежно встановлюються верхні і нижні точки перемикання;
- аналоговий вихідний сигнал – за вибором, значка кількість допоміжних додаткових функцій;
- положення при монтажі – за вибором під'єднання тиску знизу або зверху, клавіатура і індикатор обертаються на 180°;
- установка бажаних діапазонів індикації для зображення показників вимірювання.

Загальний вигляд датчика тиску EDS-1700 представлено на рисунку 3.3.



Рисунок 3.3 – Загальний вигляд датчика тиску EDS-1700

3.3 Схема підключення перетворювача частоти

Схема підключення перетворювача частоти призначена для повного відображення взаємозв'язків пристроїв з урахуванням принципів її дії і послідовності роботи. На схемі підключення електричні елементи зображують за допомогою умовних позначень, а також вказують лінії зав'язків між ними, блоками та модулями.

Рекомендована схема підключення перетворювача частоти зображена на рисунку 2.4. Перелік елементів наведено у додатку А.

Перетворювач частоти вже має заводські налаштування на відповідну потужність двигуна потужності перетворювача і з розрахунком на двигун 1475 об/хв., 2-х полюсний. Для першого підключення достатньо подати на живлячі клема U, V, W перетворювача трифазної напруги 380 В (ESMD...L4TXA). На вихідних клеммах з'явиться напруга, частоту якої можна змінювати за допомогою змінного резистора номіналом від 1 до 10 кОм. Максимальна та мінімальна частоти, струм теплового захисту, логіка і закон керування задається за допомогою кодів налаштування зазначених в інструкції з експлуатації.

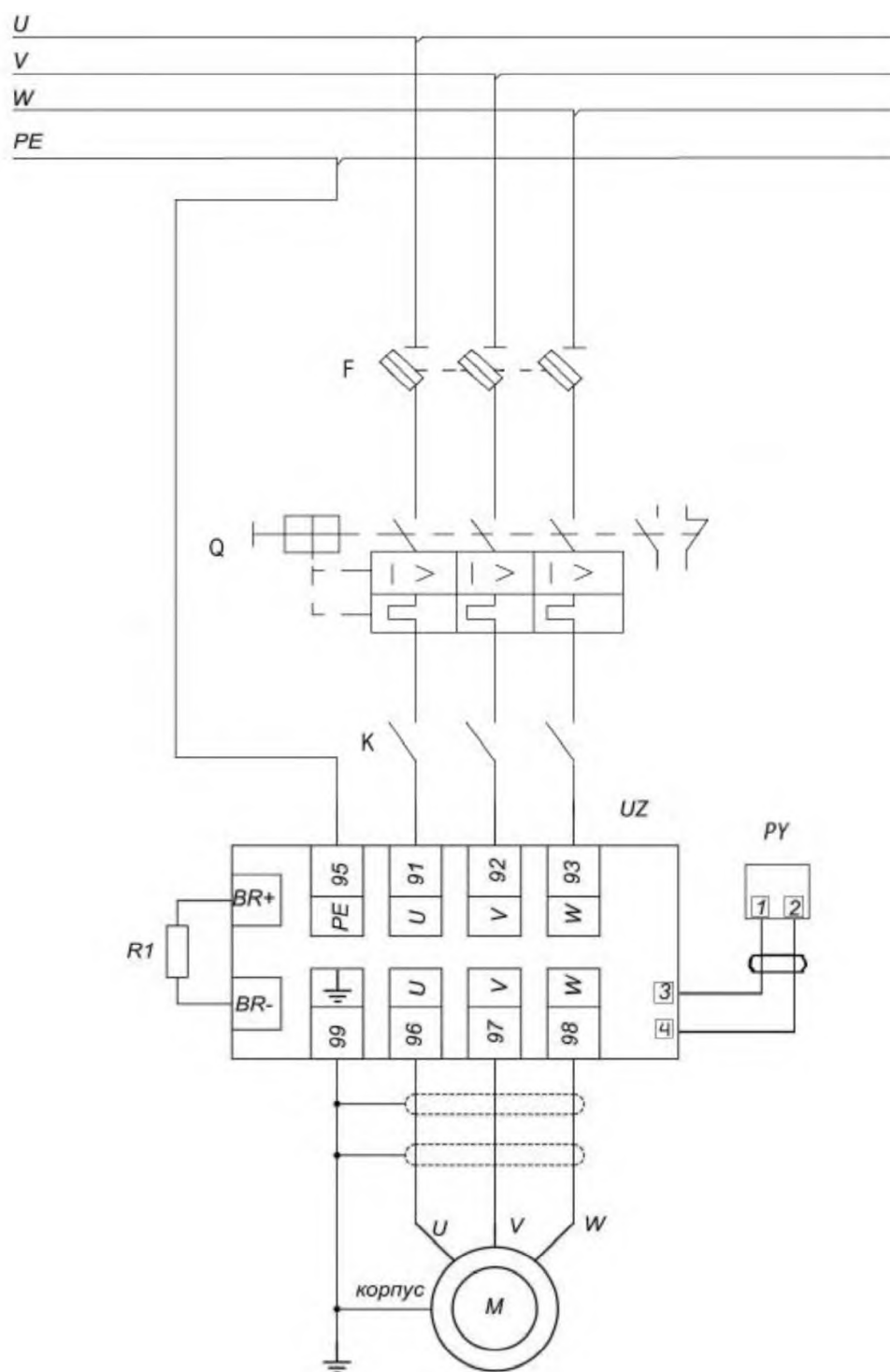


Рисунок 3.4 – Схема підключення перетворювача частоти

3.4 Математичний опис об'єкта керування та елементів автоматизованого електропривода

3.4.1 Математичний опис елементів автоматизованого електропривода

3.4.1.1 Оскільки при стабілізації напору (тиску) система працює в малих відхиленнях щодо робочої точки стабілізації, можливе використання лінійної моделі асинхронного двигуна (рисунок 3.5).

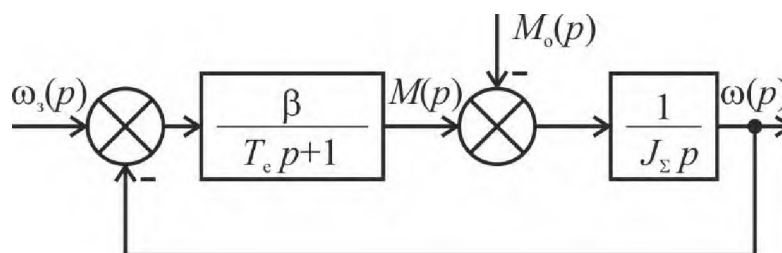


Рисунок 3.5 – Структурна схема лінеаризованої моделі асинхронного двигуна

На рисунку 3.5 прийняті наступні позначення: $\omega_z(p)$, $\omega(p)$ – задана та дійсна кутові швидкості обертання валу асинхронного двигуна, рад/с; β – модуль статичної жорсткості (жорсткість лінійної ділянки механічної характеристики асинхронного двигуна), Н·м·с; T_e – електромагнітна стала часу, с; $M(p)$, $M_o(p)$ – механічний момент двигуна і момент опору відповідно, Н·м; J_Σ – сумарний момент інерції, який приведено до валу двигуна, кг·м².

Передавальна функція лінеаризованої моделі асинхронного двигуна $W_{\text{дв}}(p)$ буде мати вигляд

$$W_{\text{дв}}(p) = \frac{\frac{\beta}{J_\Sigma p (T_e p + 1)}}{1 + \frac{\beta}{J_\Sigma p (T_e p + 1)}} = \frac{\beta}{J_\Sigma T_e p^2 + J_\Sigma p + \beta} = \frac{1}{T_M T_e p^2 + T_M p + 1}, \quad (3.1)$$

де T_M – електромеханічна стала часу, с.

3.4.1.2 Як відомо, перетворювач частоти являє собою нелінійний дискретний динамічний об'єкт з обмеженою керованістю. Однак можна говорити, що специфіка перетворювача, як нелінійного об'єкта суттєво не позначається на роботі системи. Частота зрізу контуру регулювання в якому він знаходиться, значно нижче

частот, суттєвих для динаміки самого перетворювача, при цьому час перехідних процесів у системі помітно перевищує період дискретизації системи. Найчастіше, перетворювач частоти при розрахунках систем керування електроприводів представляють у вигляді аперіодичної ланки з передавальною функцією виду

$$W_{\text{ПЧ}}(p) = \frac{k_{\text{ПЧ}}}{T_{\text{ПЧ}}p + 1}, \quad (3.2)$$

де $k_{\text{ПЧ}}$ – коефіцієнт передачі перетворювача частоти, 1/В·с;

$T_{\text{ПЧ}}$ – стала часу перетворювача частоти, $T_{\text{ПЧ}}=0,01$ с.

3.4.1.3 Опис насоса. Насос являє собою інерційну ланку, яка може бути представлена передавальною функцією

$$W_{\text{нас}}(p) = \frac{k_{\text{нас}}}{T_{\text{нас}}p + 1},$$

де $k_{\text{нас}}$ – коефіцієнт передачі насоса;

$T_{\text{нас}}$ – стала часу насоса, $T_{\text{нас}}=0,001$ с.

Сталою часу $T_{\text{нас}}$ допустимо знехтувати при синтезі системи і вважати насос безінерційною ланкою з передавальною функцією

$$W_{\text{нас}}(p)=k_{\text{нас}}. \quad (3.3)$$

Структурна схема насоса буде мати вигляд, який зображено на рисунку 3.6.

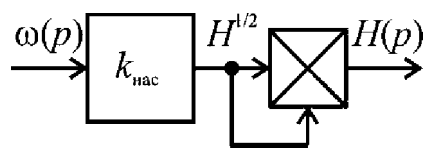


Рисунок 3.6

3.4.2 Побудова структурної схеми

На базі математичного опису елементів функціональної схеми автоматизованого електропривода насоса (п. 3.1, 3.4.1) складено структурну схему системи (рис. 3.7). Система являє собою одноконтурну систему керування, з одним зовнішнім контуром – контуром тиску. На рисунку прийняті наступні позначення: $U_{зт}(p)$ – напруга на виході задатчика тиску, В; $W_{рт}(p)$ – передавальна функція регулятора тиску; $U_{рт}(p)$ – напруга на виході регулятора тиску, В; $U_{дт}(p)$ – напруга на виході датчика тиску, В; $k_{дт}$ – коефіцієнт передачі датчика тиску, В/м.

Навантаження відцентрових і осьових насосів, вентиляторів та інших механізмів вентиляторного типу називається вентиляторним навантаженням. Статичний момент в подібних механізмах залежить від швидкості обертання робочого колеса в другій степені, тому в даній роботі момент опору двигуна приймаємо

$$M_o(p) = k_n \omega^2(p), \quad (3.4)$$

де k_n – коефіцієнт навантаження, Н·м·с².

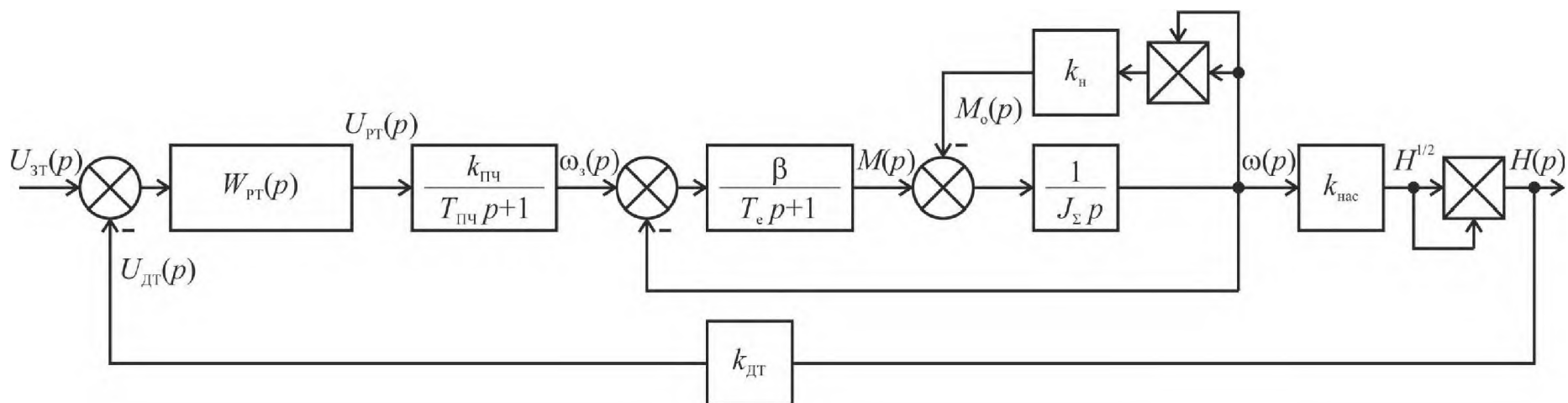


Рисунок 3.7 – Структурна схема автоматизованого електропривода насоса

3.4.3 Розрахунок параметрів елементів структурної схеми

3.4.3.1 Розрахунок параметрів асинхронного двигуна

Модуль статичної жорсткості β , Н·м·с,

$$\beta = \frac{M_H}{\omega_0 - \omega_H}, \quad (3.5)$$

де M_H – номінальний момент асинхронного двигуна, Н·м;

ω_0 – кутова швидкість холостого ходу асинхронного двигуна, рад/с;

ω_H – номінальна кутова швидкість асинхронного двигуна, рад/с.

Номінальне значення моменту M_H знаходимо за формулою

$$M_H = \frac{P_H}{\omega_H}. \quad (3.6)$$

Номінальна кутова швидкість ω_H , рад/с,

$$\omega_H = \frac{2\pi n_H}{60},$$

$$\omega_H = \frac{2 \cdot 3,14 \cdot 1475}{60} = 154,38 \text{ рад/с.}$$

За формулою (3.6) знаходимо M_H

$$M_H = \frac{55000}{154,38} = 356,26 \text{ Н·м.}$$

Швидкість холостого ходу ω_0 , рад/с,

$$\omega_0 = \frac{2\pi f_{1H}}{P_H},$$

$$\omega_0 = \frac{2 \cdot 3,14 \cdot 50}{2} = 157 \text{ рад/с.}$$

Отже знаходимо за формулою (3.5) модуль статичної жорсткості β

$$\beta = \frac{356,26}{157-154,38} = 136 \text{ Н}\cdot\text{м}\cdot\text{с}.$$

Електромагнітна стала часу T_e , с,

$$T_e = \frac{1}{\omega_{0\text{ел}} s_k}, \quad (3.7)$$

де $\omega_{0\text{ел}}$ – кутова швидкість електромагнітного поля АД при його номінальній частоті напруги живлення $f_{1\text{н}}=50$ Гц, $\omega_{0\text{ел}}=314$ рад/с;

s_k – критичне ковзання.

Критичне ковзання s_k

$$s_k = s_n(\lambda + \sqrt{\lambda^2 - 1}), \quad (3.8)$$

де s_n – номінальне ковзання двигуна.

Номінальне ковзання двигуна s_n розраховуємо за формулою

$$s_n = \frac{\omega_0 - \omega_n}{\omega_0},$$

$$s_n = \frac{157-154,38}{157} = 0,017.$$

За формулою (3.8) знаходимо s_k

$$s_k = 0,017 \cdot (2,2 + \sqrt{2,2^2 - 1}) = 0,071.$$

Отже знаходимо за формулою (3.7) електромагнітну сталу часу T_e

$$T_e = \frac{1}{314 \cdot 0,139} = 0,045 \text{ с}.$$

Електромеханічна стала часу T_M , с,

$$T_M = \frac{J_\Sigma}{\beta}, \quad (3.9)$$

де J_Σ – сумарний момент інерції, $\text{кг} \cdot \text{м}^2$.

Сумарний момент інерції J_Σ

$$J_\Sigma = J_{\text{дв}} + J_{\text{нас}},$$

де $J_{\text{нас}}$ – момент інерції насоса, $J_{\text{нас}} = 1,2 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$.

$$J_\Sigma = 0,4 + 1,2 = 1,6 \text{ кг} \cdot \text{м}^2.$$

За формулою (3.9) знаходимо T_M

$$T_M = \frac{1,6}{136} = 0,012 \text{ с.}$$

На основі результатів розрахунків параметрів асинхронного двигуна, передавальна функція двигуна (3.1) буде мати вигляд

$$W_{\text{дв}}(p) = \frac{1}{0,054p^2 + 0,012p + 1}.$$

Коефіцієнт навантаження k_H , $\text{Н} \cdot \text{м} \cdot \text{с}^2$, з виразу (3.4) розраховуємо за формулою

$$k_H = \frac{M_H}{\omega_H^2},$$

$$k_H = \frac{356,26}{154,38^2} = 0,015 \text{ Н} \cdot \text{м} \cdot \text{с}^2.$$

3.4.3.2 Розрахунок параметрів перетворювача частоти

Коефіцієнт передачі перетворювача частоти $k_{ПЧ}$, 1/В·с,

$$k_{ПЧ} = \frac{2\pi f_{1н}}{p_n U_{PT}},$$

де U_{PT} – напруга на виході регулятора тиску, $U_{PT}=10$ В.

$$k_{ПЧ} = \frac{2 \cdot 3,14 \cdot 50}{2 \cdot 10} = 15,71 \text{ 1/В} \cdot \text{с}.$$

Звідси передавальна функція перетворювача частоти (3.2) буде мати вигляд

$$W_{ПЧ}(p) = \frac{15,71}{0,01p+1}.$$

3.4.3.3 Розрахунок параметрів насоса

Постійний коефіцієнт $k_{нас}$

$$k_{нас} = \sqrt{\frac{H_n}{\omega_n^2}},$$

$$k_{нас} = \sqrt{\frac{63}{154,38^2}} = 0,051.$$

3.4.3.4 Розрахунок параметрів датчика тиску

Коефіцієнт передачі датчика тиску $k_{ДТ}$, В/м,

$$k_{ДТ} = \frac{U_{ДТ}}{H_n}.$$

Приймемо для подальших розрахунків $U_{ДТ}=U_{ЗТ}=10$ В, тоді

$$k_{ДТ} = \frac{10}{63} = 0,16 \text{ В/м}.$$

3.4.4 Синтез регулятора тиску

При оптимізації контурів регулювання систем керування електроприводів широке поширення набули два методи стандартного налаштування: оптимум по модулю і симетричний оптимум. В процесі синтезу регулятора надаються певні динамічні властивості, тобто здійснюється вибір його параметрів.

Передавальна функція скоригованої розімкненої системи

$$W_{\text{роз}}(p) = W_{\text{РТ}}(p)W_{\text{НЧ}}(p),$$

де $W_{\text{НЧ}}(p)$ – передавальна функція незмінної частини системи.

$$W_{\text{НЧ}}(p) = W_{\text{ПЧ}}(p)W_{\text{дв}}(p)W_{\text{нас}}(p)k_{\text{ДТ}} = \frac{k_{\text{ПЧ}}k_{\text{нас}}H_{\text{н}}k_{\text{ДТ}}}{(T_{\text{ПЧ}}p+1)(T_{\text{м}}T_{\text{с}}p^2+T_{\text{м}}p+1)}.$$

При налаштуванні на оптимум по модулю передавальна функція розімкненого контуру тиску буде мати вигляд

$$W_{\text{роз}}(p) = \frac{1}{2T_{\text{м}}p(T_{\text{м}}p+1)},$$

де $T_{\text{м}}$ – мала некомпенсована стала часу, $T_{\text{м}}=T_{\text{ПЧ}}=0,01$ с.

Тоді передавальна функція регулятора буде мати вигляд

$$W_{\text{РТ}}(p) = \frac{W_{\text{роз}}(p)}{W_{\text{НЧ}}(p)},$$

$$W_{\text{РТ}}(p) = \frac{\frac{1}{2T_{\text{м}}p(T_{\text{м}}p+1)}}{\frac{k_{\text{ПЧ}}k_{\text{нас}}H_{\text{н}}k_{\text{ДТ}}}{(T_{\text{ПЧ}}p+1)(T_{\text{м}}T_{\text{с}}p^2+T_{\text{м}}p+1)}} = \frac{(T_{\text{ПЧ}}p+1)(T_{\text{м}}T_{\text{с}}p^2+T_{\text{м}}p+1)}{2T_{\text{м}}p(T_{\text{м}}p+1)k_{\text{ПЧ}}k_{\text{нас}}H_{\text{н}}k_{\text{ДТ}}}.$$

Стала часу перетворювача частоти мала і становить 0,01 с, тому можна вважати, що $T_{\text{м}}=T_{\text{ПЧ}}$. Тоді передавальна функція регулятора буде мати вигляд

$$W_{\text{РТ}}(p) = \frac{(T_{\text{м}}T_{\text{с}}p^2+T_{\text{м}}p+1)}{2T_{\text{м}}pk_{\text{ПЧ}}k_{\text{нас}}H_{\text{н}}k_{\text{ДТ}}}. \quad (3.10)$$

Очевидно, що передавальна функція (3.10) є передавальною функцією пропорційно-інтегрально-диференціального регулятора (ПІД-регулятора) з відповідними коефіцієнтами передачі пропорційної k_p , інтегральної k_i і диференціальної k_d складових регулятора.

Коефіцієнт передачі пропорційної частини регулятора k_p

$$k_p = \frac{T_M}{2T_\mu k_{ПЧ} k_{нас} H_H k_{ДТ}},$$

$$k_p = \frac{0,012}{2 \cdot 0,01 \cdot 15,71 \cdot 0,051 \cdot 63 \cdot 0,16} = 0,073.$$

Коефіцієнт передачі інтегральної частини регулятора k_i

$$k_i = \frac{1}{2T_\mu k_{ПЧ} k_{нас} H_H k_{ДТ}},$$

$$k_i = \frac{1}{2 \cdot 0,01 \cdot 15,71 \cdot 0,051 \cdot 63 \cdot 0,16} = 6,2.$$

Коефіцієнт передачі диференціальної частини регулятора k_d

$$k_d = \frac{T_M T_e}{2T_\mu k_{ПЧ} k_{нас} H_H k_{ДТ}},$$

$$k_d = \frac{0,012 \cdot 0,045}{2 \cdot 0,01 \cdot 15,71 \cdot 0,051 \cdot 63 \cdot 0,16} = 0,0033.$$

Підставивши розраховані значення параметрів налаштування регулятора тиску, отримаємо

$$W_{PT}(p) = 0,073 + \frac{6,2}{p} + 0,0033p.$$

3.5 Дослідження динаміки автоматизованого електропривода

3.5.1 Побудова моделі автоматизованого електропривода в MATLAB

Для аналізу динамічних характеристик системи керування електропривода насосного агрегату скористаємося моделюванням системи в програмі Simulink. При моделюванні з використанням Simulink реалізується принцип візуального програмування, відповідно до якого користувач на екрані з бібліотек стандартних блоків створює модель системи і здійснює розрахунки.

У відповідності зі структурною схемою системи (див. рисунок 3.7) складена модель для середовища Simulink. Модель представлена на рисунку 3.8.

Коефіцієнти, які необхідні для моделювання системи, розраховані в п. 3.4.3 та зведені в таблицю 3.3.

Таблиця 3.3

Коефіцієнт	$k_{пч}$, 1/В·с	$T_{пч}$, с	β , Н·м·с	T_e , с	J_{Σ} , кг·м ²	k_n , Н·м·с ²	$k_{нас}$	$k_{дт}$, В/м
Значення	15,71	0,01	136	0,045	1,6	0,015	0,051	0,16

При різкій зміні завдання в системі відбувається форсування сигналу керування і, як наслідок, стрибки струму і моменту. Для того щоб уникнути цих неприємних явищ, використовують задатчики інтенсивності. Задатчик інтенсивності в розрахунковій схемі призначений для формування сигналу завдання тиску U_{3T} , що лінійно змінюється в часі з певним темпом.

Структурна схема задатчика інтенсивності представлена на рисунку 3.9. Як видно з рисунку, підсистема містить Step block (генератор ступінчастого сигналу), нелінійний елемент та інтегратор. Приймаємо величину обмеження нелінійного елемента 10 В, а сталу часу інтегратора $T_{3I}=0,25$ с.

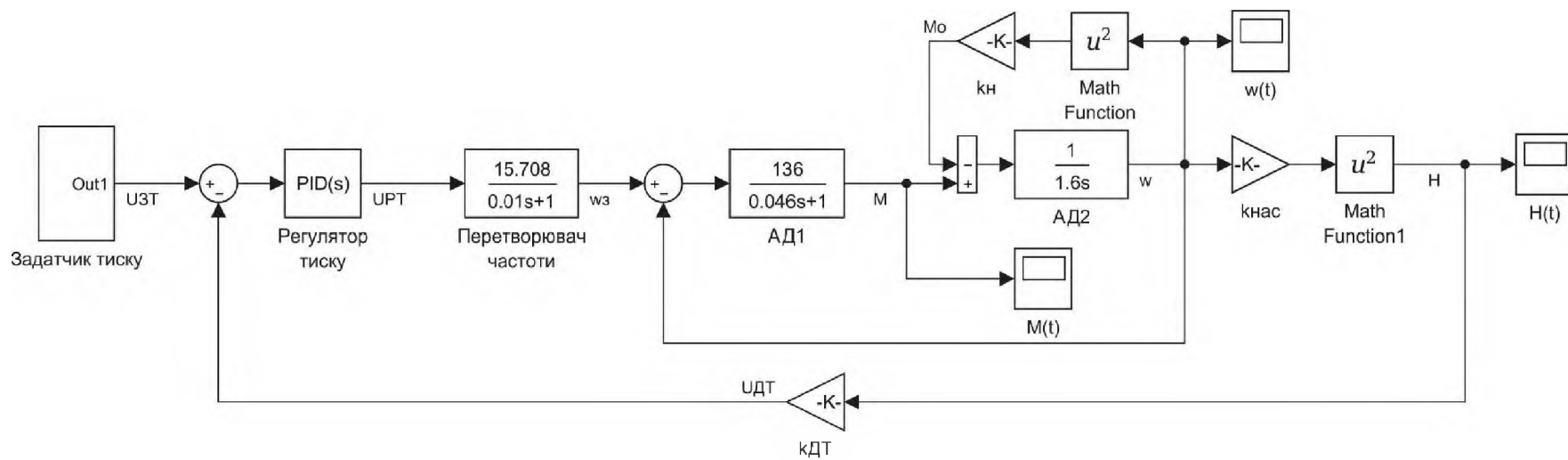


Рисунок 3.8 – Модель автоматизованого електропривода насоса в Simulink

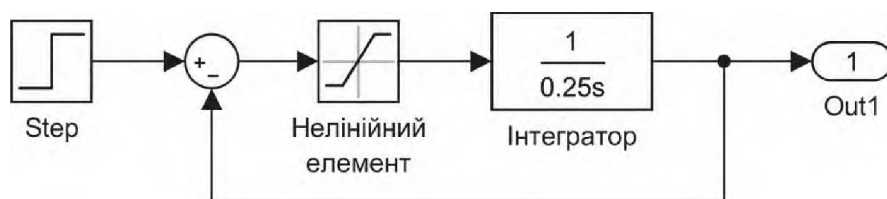


Рисунок 3.9 – Підсистема «Задатчик інтенсивності»

На рисунку 3.8 регулятор тиску представлений стандартним блоком PID(s) з бібліотеки Simulink, який дозволяє реалізувати регулятор (PID, PI, PD, P або I) в моделі з безперервним часом. Вікно налаштування параметрів регулятора представлено на рисунку 3.10.

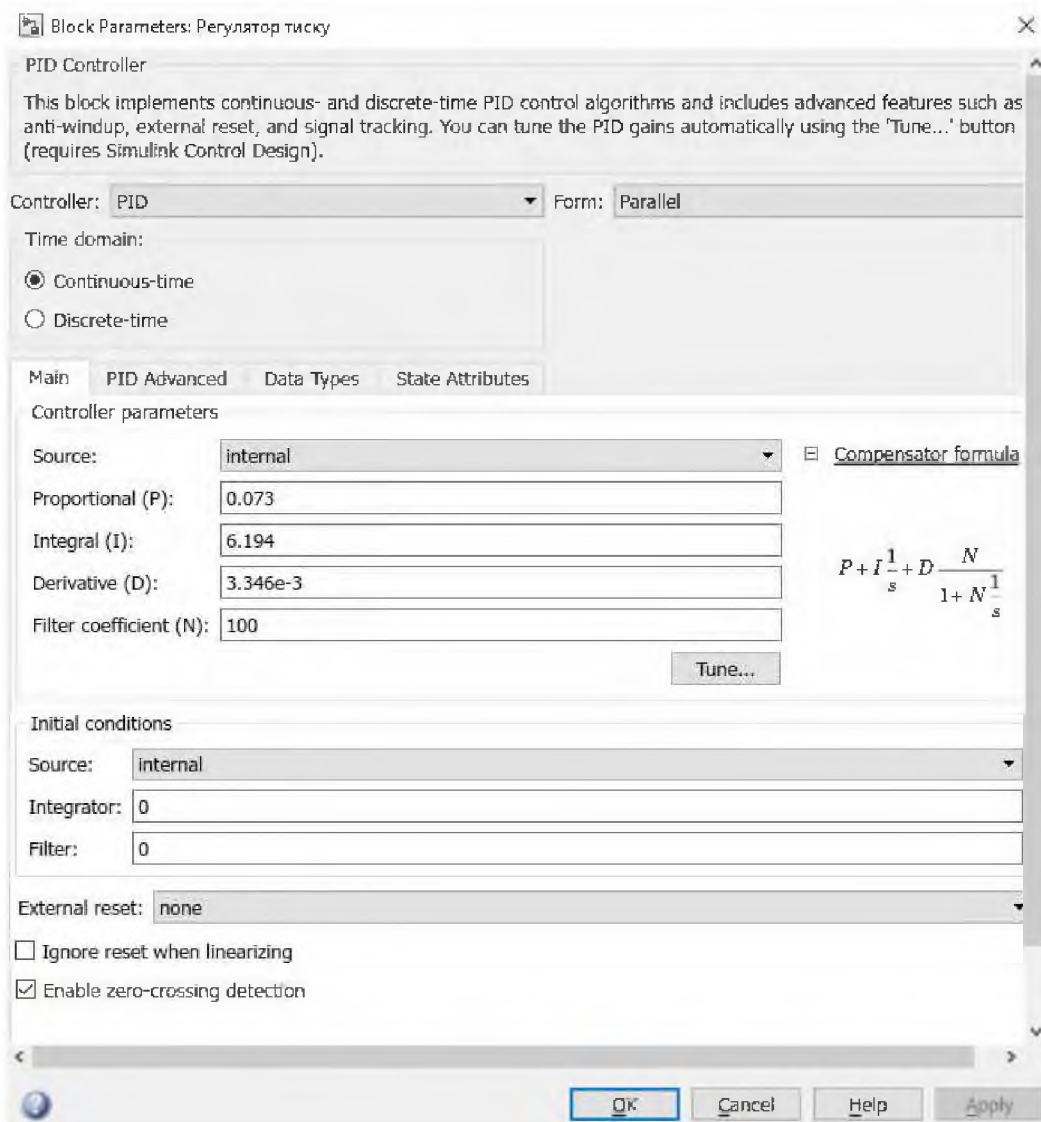


Рисунок 3.10 – Вікно налаштування параметрів блоку «Регулятор тиску»

3.5.2 Аналіз якості системи керування

У результаті моделювання були отримані перехідні характеристики системи керування, які представлені на рисунках 3.11-3.13.

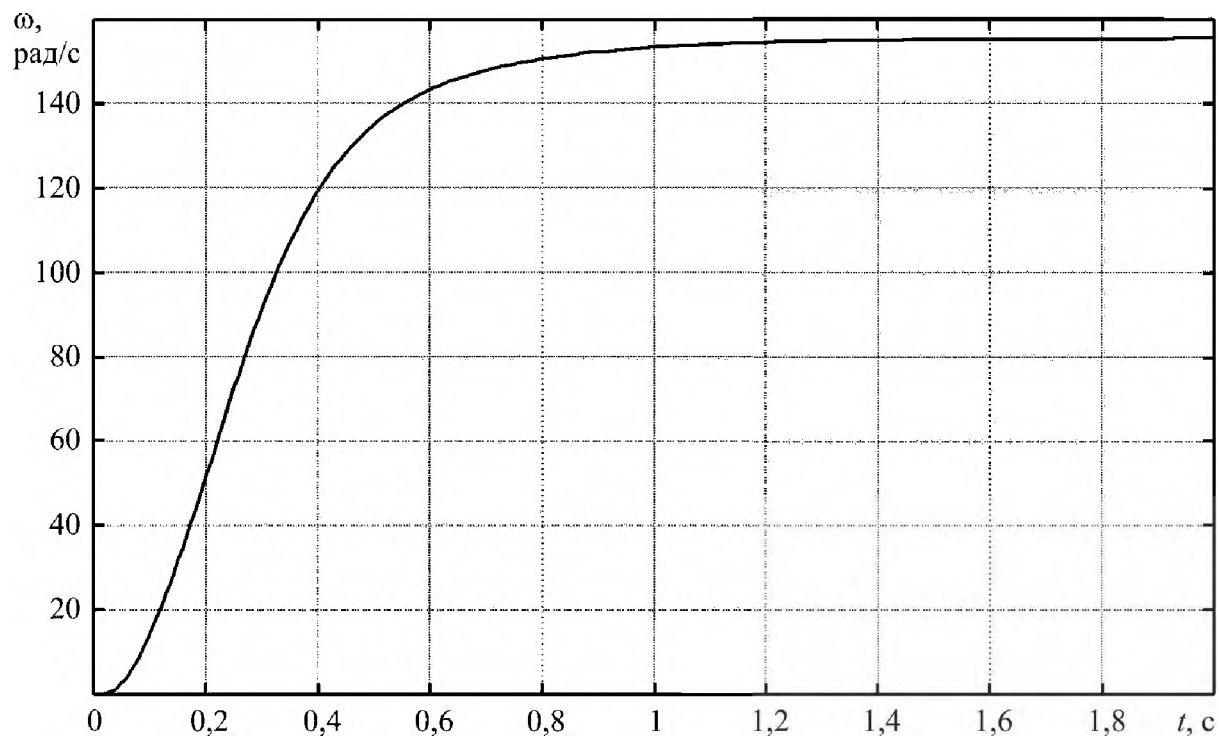


Рисунок 3.11 – Перехідна характеристика кутової швидкості електродвигуна

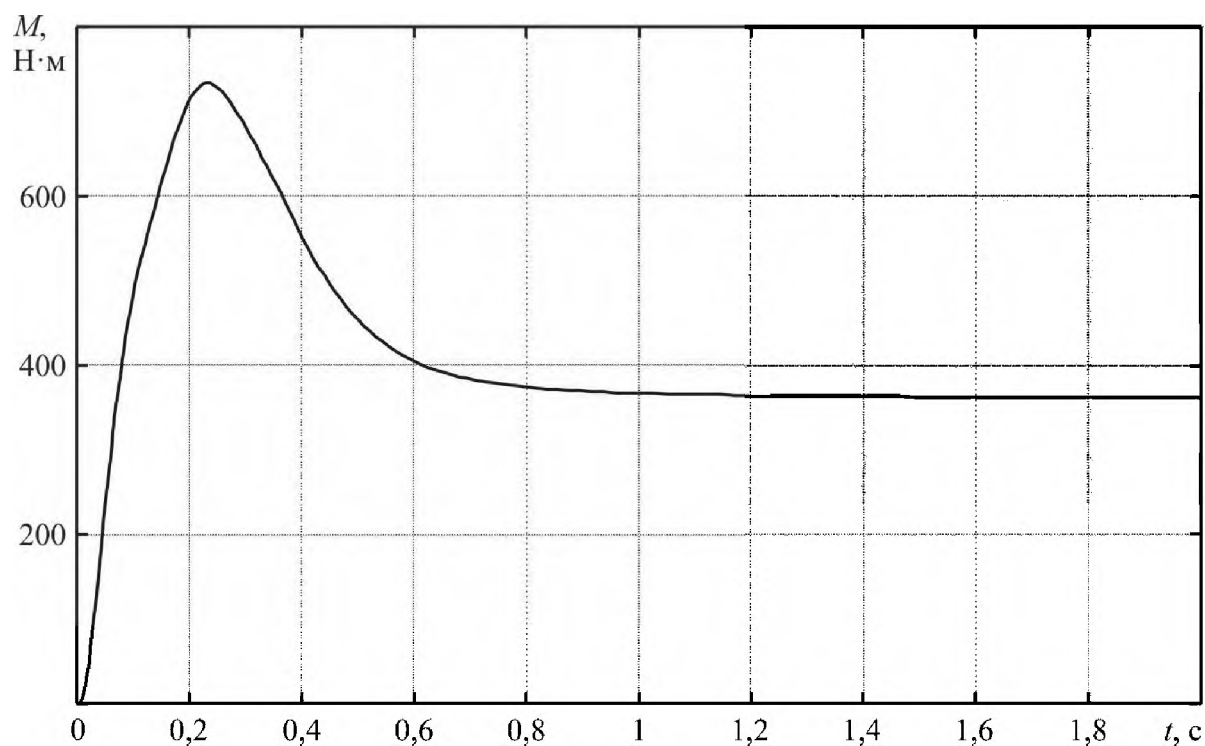


Рисунок 3.12 – Перехідна характеристика моменту електродвигуна

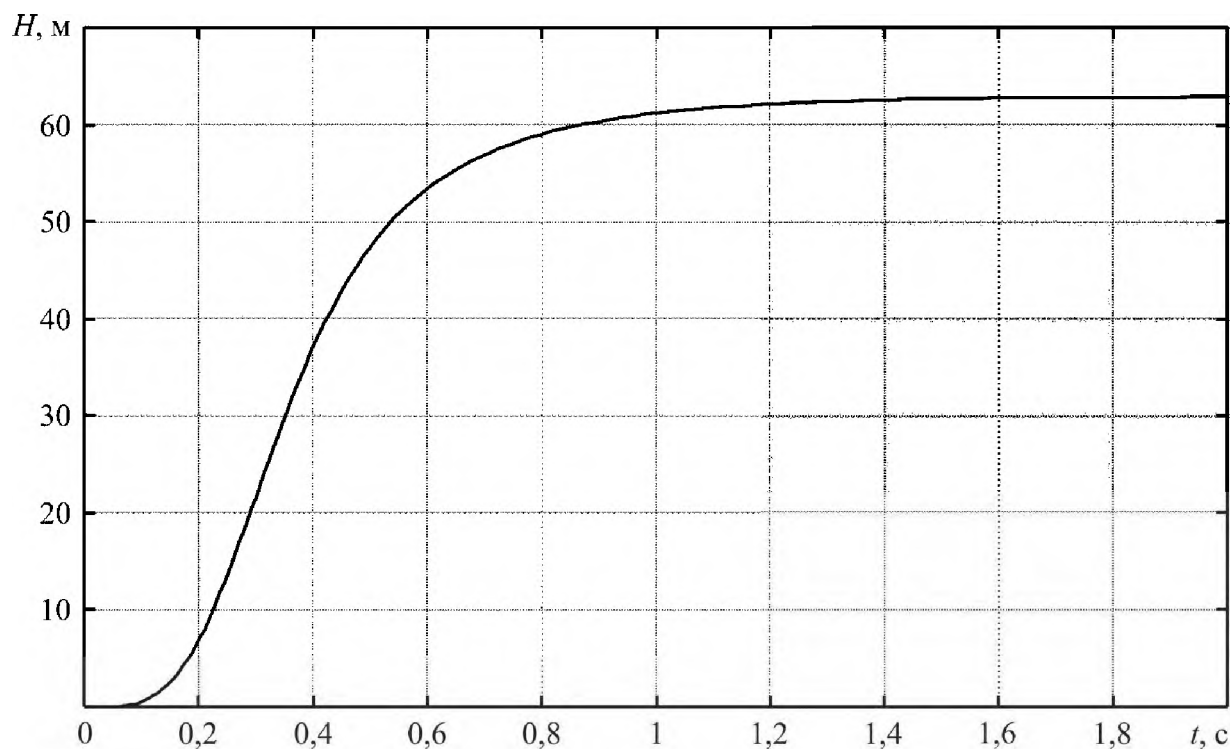


Рисунок 3.13 – Перехідна характеристика напору

Для систем керування важливим є поняття якості перехідних процесів, тобто важливий сам характер протікання процесів, особливо такі фактори, як тривалість, коливальність і динамічне відхилення регульованої змінної від заданої величини.

Проаналізуємо реакцію системи керування на ступінчастий сигнал (рисунок 3.14). Отримані показники якості зведені в таблицю 3.4.

Таблиця 3.4

Параметр	Відносне перерегулювання σ , %	Час встановлення t_p , с	Час наростання t_n , с	Усталена похибка $\varepsilon_{уст}$
Значення	0	1,03	0,49	0

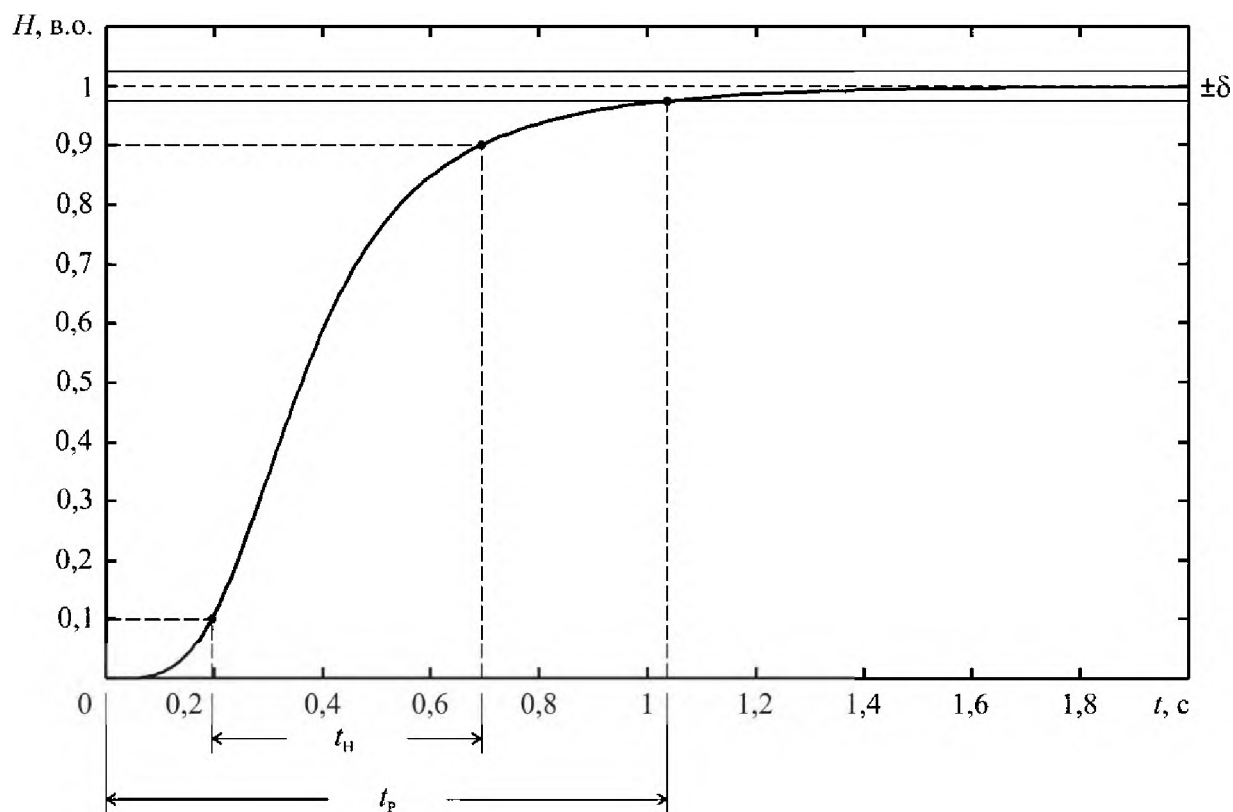


Рисунок 3.14 – Реакція системи керування на ступінчастий сигнал

Відповідно завданню до дипломної роботи перехідний процес повинен відповідати таким показникам: $\sigma \leq 5\%$, $t_p \leq 1,5$ с. Згідно таблиці 3.4 отримані значення не перевищують задані, отже, перехідний процес задовольняє сформульованим у завданні вимогам.

4 ОХОРОНА ПРАЦІ

Охорона праці – це система правових, соціально-економічних, організаційно-технічних, санітарно-гігієнічних і лікувально-профілактичних заходів та засобів, спрямованих на збереження здоров'я і працездатності людини в процесі праці. Метою охорони праці є зведення до мінімуму ймовірності ураження працюючих при максимальному комфорті і продуктивності праці.

4.1 Фактори підвищеної небезпеки пов'язані з експлуатацією маслонапірних установок

Маслонапірні установки можуть представляти для життя і здоров'я обслуговуючого персоналу серйозну небезпеку.

Конструкція і призначення маслонапірні установки зумовили появу наступних небезпечних для життєдіяльності людини факторів:

- наявність електроустановок харчуються струмом високої напруги;
- наявність рухомих частин;
- наявність маслопроводов високого тиску;
- наявність посудин високого тиску.

Експлуатація маслонапірної установки повинно здійснюватися при строгому дотриманні правил експлуатації електроустановок, посудин високого тиску, правил протипожежної безпеки.

4.2 Правила техніки безпеки при обслуговуванні посудин, що працюють під тиском

Персонал ГЕС задіяний при обслуговуванні і експлуатації МНУ повинен знати і дотримуватися наведені нижче правила техніки безпеки з обслуговування посудин високого тиску.

4.2.1 Загальні вимоги безпеки

Обслуговування посудин може бути допущені особи не молодше 18 років, що пройшли медичний огляд, навчання за відповідною програмою, атестовані і мають посвідчення на право обслуговування посудин, що пройшли вступний та первинний інструктаж на робочому місці.

Періодична перевірка знань персоналу який обслуговує посудини повинна проводитися не рідше одного разу на 12 місяців.

Допуск персоналу до самостійного обслуговування посудин повинен оформлятися розпорядженням по підрозділу (цеху).

Інструкція з безпечного обслуговування посудин повинна знаходитися на робочих місцях і видаватися під розписку обслуговуючому персоналу.

На додаток до даної інструкції особи обслуговуючі судини повинні керуватися і виконувати правила будови і безпечної експлуатації посудин, що працюють під тиском; правила пожежної безпеки; правила надання першої допомоги; правила особистої гігієни.

4.2.2 Для забезпечення нормальних умов експлуатації посудини повинні бути забезпечені приладами для вимірювання тиску і температури середовища, запобіжними пристроями, запірною арматурою, манометри.

Манометри не допускаються до застосування у випадках коли:

- прострочений термін повірки;
- стрілка при виключення не повертається на нульову відмітку шкали;
- розбите скло або мають пошкодження, що впливають на правильність свідчення.

Повірка манометрів з їх опломбуванням проводиться не рідше одного разу на 12 місяців.

Для забезпечення безпечних умов необхідно постійно здійснювати контроль за експлуатацією та ремонтом судин.

4.2.3 Щоб уникнути виникнення пожежі не засмічувати канали обтиральним матеріалом не залишати на підлозі масла і легкозаймистих рідин. Первинні засоби пожежогасіння повинні знаходитися в певному і доступному місці.

Робоче місце і проходи повинні бути звільнені від сторонніх предметів.

Виробництво вогневих робіт повинно здійснюватися при дотриманні проти-пожежних заходів, під наглядом відповідальної особи, при наявності наряд-допуску на вогневі роботи.

4.2.4 При отриманні персоналом виробничої травми необхідно вжити заходів по наданню першої допомоги, повідомити в медпункт і повідомити керівництво цеху про те, що сталося.

Порушення правил безпеки, і невжиття заходів щодо усунення несправностей на посудині тягне за собою покарання у порядку, встановленому «Правилами внутрішнього трудового розпорядку підприємств».

Кожен працівник забезпечується спецодягом та ЗІЗ згідно затвердженого переліку: костюм х/б Мі, тип А, Б; рукавиці х/б; окуляри захисні.

До початку роботи з обслуговування посудин високого тиску особи виконують роботи зобов'язані:

- одягнути спеціальний одяг, перевірити справність робочого інструмента і засобів індивідуального захисту;
- отримати наряд-допуск на виконання робіт;
- перевірити наявність на робочому місці переносних знаків і попереджувальних плакатів;
- перевірити готовність робочого місця за нарядом-допуском.

До початку виконання робіт всередині посудини, яка з'єднана з іншою працюючими посудинами, посудина має бути відділена від них і джерела тиску заглушкою.

Застосовувані для відключення посудини заглушки повинні бути відповідної міцності.

Перед початком роботи на приводах пусковий і запірної арматури відключеного судини вивісити плакати «Не включати, працюють люди».

4.3 Правила техніки безпеки застосовуються персоналом ГЕС під час виконання ремонтних робіт з судинами високого тиску

4.3.1 Вчасне усунути виявлені дефекти.

4.3.2 Уважно стежити за показанням приладів

4.3.3 Не залишати посудину без нагляду до повного зниження тиску в ньому. один раз в зміну перевірити запобіжні клапани (шляхом примусового підриву) із записом в журналі.

4.3.4 Експлуатувати посудину відповідно до вимог правил по судинах.

4.3.5 Виконувати своєчасний якісний ремонт і підготовку судин для технічного огляду.

4.3.6 Забороняється під час експлуатації посудини проведення ремонтних робіт всередині посудини або робіт, пов'язаних з ліквідацією негерметичності з'єднань окремих його елементів, що знаходяться під тиском.

4.3.7 Забороняється під час ремонту проводити будь-які конструктивні зміни судин, що працюють під тиском без узгодження з Держнагляд охорони праці, а також без оформлення відповідної документації.

4.3.8 Після ремонту судин із виконанням електрозварювальних та ін. вогневих робіт повинно бути виконано технічний огляд, внутрішній огляд та гідравлічне випробування.

4.3.9 При роботі всередині посудини повинні застосовуватися безпечні світильники на напругу не вище 12 Вольт. Якщо під час технічного оповіщення виявиться, що посудина внаслідок дефектів знаходиться в стані, небезпечному для подальшої експлуатації, робота такого судини повинна бути заборонена.

4.3.10 При зварюванні в посудині слід встановлювати витяжну вентиляцію. Рекомендується застосовувати переносні нормативні місцеві відсмоктувачі, а також подачу повітря безпосередньо під щиток зварника. При відсутності місцевих відсмоктувачів електрозварники повинні застосовувати засоби індивідуального захисту органів дихання.

4.3.11 При тривалій (більше 1 години) роботі в посудину вентилятором або компресором повинно подаватися повітря. Протягом години повинен забезпечуватися не менш ніж 3-х кратним повітрообміном.

4.3.12 Зварювальні роботи всередині ємності повинні проводитися під контролем не менше 2-х спостерігають, що мають кваліфікаційну групу 2 з електробезпеки, які повинні знаходитися зовні зварюваної судини. Електрозварник, який працює всередині судини, повинен мати запобіжний пояс, забезпечений заплічними ремнями і канатом, кінець якого повинен знаходитися у спостерігача.

4.3.13 Під час зварювальних робіт всередині посудини, крім спецодягу, що захищає від іскор і бризок розплавленого металу, зварник повинен забезпечуватися діелектричними рукавичками, калошами і килимком.

4.3.14 Для захисту голови електрозварника від механічних травм та ураження електричним струмом повинні видаватися захисні каски з струмонепровідних матеріалів.

4.3.15 Електрозварник повинен забезпечуватися щитками зі світлофільтром по з покривним склом відповідно до чинного стандарту.

4.4 Правила техніки безпеки при обслуговуванні електричних частин МНУ

Перед початком робіт в електроустановках необхідно виконати організаційні і технічні заходи згідно «ПТЕ і ПТБ електроустановок споживачів».

4.4.1 Організаційними заходами, що забезпечують безпеку роботи в електроустановках, є:

- оформлення роботи нарядом-допуском, розпорядженням або переліком робіт;
- допуск до роботи;
- нагляд під час роботи;
- оформлення перерви в роботі, переходів на інші робочі місця, закінчення роботи.

4.4.2 Технічними заходами, що забезпечують безпеку робіт в електроустановках, є:

- провадження необхідних відключень та вжиття заходів перешкоджаючих подачі напруги до місця роботи внаслідок помилкового включення комутаційної апаратури;
- вивіска заборонних плакатів;
- перевірка відсутності напруги;
- накладення заземлення;
- вивіска плакатів.

Всі ремонтні роботи в діючих електроустановках цеху повинні проводитися не менше, ніж двома особами з кваліфікацією одного з них не нижче 3 групи електробезпеки.

Перед кожним використанням інструменту з ізолюючими ручками і захисних засобів, електромонтер зобов'язаний:

- провести зовнішній огляд;
- перевірити справність і відсутність зовнішніх пошкоджень;
- по клейму перевірити в установках кожної напруги, чи можна їх можна використовувати і термін їх випробування.

Забороняється користуватися несправним інструментом та інструментом, термін випробування якого закінчився.

Черговий, який заступає на чергування, приймає зміну від попереднього, а після закінчення здає зміну наступному за графіком черговому.

Черговий, який приймає зміну, знайомиться з усіма записами в експлуатаційному журналі, перевіряє і приймає матеріали, інструмент, ключі, відомості, захисні засоби, журнали.

Черговий, який здає зміну доводить до відома приймаючого відомості про стан та режим роботи основного устаткування, про зміни в схемах живлення і керування. Повідомляє про електрообладнання, яке виведене в ремонт.

Черговий, який приймає зміну повідомляє вищому начальнику про вступ на чергування та про недоліки, помічені під час приймання зміни.

Ремонт і обслуговування електроустаткування здійснюється одним або декількома електромонтерами, з яких розпорядженням по цеху виділяється бригадир. Кваліфікація бригадира повинна бути не нижче 3 групи електробезпеки.

Робота в електроустановках виконується згідно наряду-допуску з попереднім виконанням технічних заходів згідно «ПТЕ і ПТБ електроустановок споживачів».

При виконанні робіт потрібно виконувати розпорядження керівного електротехнічного персоналу цеху, за винятком розпоряджень, що суперечать правилам безпеки праці робітників або справності обладнання.

Провадження відключень і перемикань в електроустановках:

- включення і відключення на розподільчих силових і освітлювальних шафах здійснюються електромонтером, який має кваліфікацію не нижче 3 групи;
- виконання перемикань на висоті більше 1,3 від підлоги з приставних драбин, підмостків і т.д. здійснюється не менше ніж двома особами, з кваліфікацією одного з них не нижче 3 групи;
- заміна згорілих запобіжників проводиться при знятій напрузі. При неможливості зняття напруги заміну запобіжників дозволяється проводити під напругою, але при знятому навантаженні. При цьому необхідно застосовувати запобіжні окуляри, діелектричні рукавички, ізолюючі кліщі.

Зміна ламп місцевого освітлення проводиться:

- заміна ламп на висоті менш 1,3 м проводиться електромонтером з кваліфікацією не нижче 2 групи.
- на висоті понад 2,5 м — проводиться не менш як двома особами з кваліфікацією не нижче 2 групи при відключеному освітлювальній лінії в діелектричних рукавичках.
- заміна ламп на фермах цеху, що виконується з крана, виконується двома особами з кваліфікацією одного і них не нижче 2 групи, а другого — не нижче 3 групи під керівництвом енергетика або майстра. Заміна ламп проводиться тільки в денний час при повністю відключеній освітлювальній лінії, в діелектричних рукавичках. Особа, яка провадить заміну ламп, обов'язково використовує запобіжний пояс.

При ремонтах освітлювальних установок обов'язково проводиться перевірка правильності підключення проводів до патрона – нульовий до цоколю, фазний – до п'яти патрона.

При виникненні аварійної ситуації необхідно провести відключення від лінії живлення, припинити роботи і повідомити безпосереднього керівника.

Передача зміни під час ліквідації аварії при несправності електрообладнання основних виробничих механізмів забороняється і може бути допущена як виняток з письмового дозволу вищого керівника.

При отриманні травми повідомити адміністрацію і звернутися в медпункт для надання медичної допомоги.

Первинні засоби для гасіння пожежі повинні завжди перебувати в строго визначеному, легко доступному місці. При виникненні пожежі необхідно негайно повідомити в пожежну охорону, відключити обладнання, зняти напругу. Якщо відключити установку неможливо, перерубати дроти з дотриманням запобіжних заходів.

Після закінчення робіт необхідно:

- привести в порядок робоче місце;
- прибрати матеріали, електроапаратуру, інструмент в спеціальні шафи;
- здати електромонтеріві, що приймає зміну, технічну документацію, захисні засоби, зробити запис в оперативному журналі і розписатися в здачі зміни;
- вимити руки і обличчя або прийняти душ.

4.5 Заходи щодо забезпечення електробезпеки МНУ

Для запобігання виникнення іскри при розрядах статичної електрики все технологічне обладнання, трубопроводи, ємності тощо заземляються.

Для огорожі струмоведучих частин в практиці передбачаються сітчасті і суцільні огорожі 1,7 м. Застосовують наступні захисні заходи від ураження людини електричним струмом:

- забезпечення недоступності струмоведучих частин електроустановки (шафи, захисні споруди і т.п.);
- захисне заземлення;
- занулення;
- захисне відключення;
- застосування малої напруги.

ВИСНОВКИ

У кваліфікаційній роботі представлені результати, які узагальнюють теоретичні дослідження автоматизованого електропривода насоса маслonaпiрної установки.

1. В роботі розглянуто опис маслonaпiрної установки МНУ12, 5/2-63-12,5-2НБУ. До складу установки входять гiдравлiчний акумулятор та маслonaпiрний агрегат. Проаналiзовано склад її електрообладнання та виявлено, що привод насоса маслonaпiрного агрегату електричний, на базі асинхронного двигуна з короткозамкненим ротором. Електропривод насоса нерегульований, що призводить до порівняно низької ефективності роботи системи подачі масла.

2. Побудовано функціональну схему автоматизованого електропривода насоса та наведено опис її елементів. В роботі використано одноконтурну систему керування з негативним зворотним зв'язком за напором/тиском.

Застосування регульованого асинхронного електропривода для насоса дає можливість оптимізувати режим роботи технологічного обладнання і максимальний ефект енергозбереження, що забезпечує ресурсозберігаючий режим експлуатації як технологічного, так і електричного обладнання при значно знижених навантаженнях і динамічних впливах, які, в свою чергу, сприяють продовженню в кілька разів ресурсу роботи обладнання і зменшення зниження експлуатаційних витрат на ремонт.

3. Оскільки при стабілізації напору (тиску) система працює в малих відхиленнях щодо робочої точки стабілізації, при математичному описі асинхронного двигуна в роботі використано його лінійну модель. При вирішенні завдання синтезу регулятора для автоматизованого електропривода, з умов забезпечення бажаного/необхідного перехідного процесу, в роботі виконано налаштування на модульний (технічний) оптимум, при якому передбачаються невелике перерегулювання і відносно висока швидкодія.

4. В роботі розглянуто динаміку моделі автоматизованого електропривода насоса за допомогою програмного пакету MATLAB. Отримано перехідні характеристики. Аналіз результатів дослідження якості показав, що автоматизований електропривод має наступні динамічні показники: $\sigma=0\%$, $t_p=1,03$ с.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Маслонапірна установка МНУ 12,5 / 2-63-12,5-2НБУ. Інструкція з експлуатації. «Южно-Українська АЕС».
2. Системи маслонапірної установки МНУ 12,5 / 2-63-12,5-2НБУ.
3. Гуляев И.В. Системы векторного управления электроприводом на основе асинхронизированного вентильного двигателя: монография / И.В. Гуляев, Г.М. Тутаев. – Саранск: Изд-во Мордов. ун-та, 2010. – 200 с.
4. Терехов В.М. Системы управления электроприводов. / В.М. Терехов, О.И. Осипов. – М.: Академия, 2005. – 300 с.
5. Высоковольтные частотные преобразователи Lenze 8200 Vector. Руководство по эксплуатации. – Режим доступа:
http://www.lenze.org.ua/?inc=inverters/01_inv/01e_8200_Vector
6. Датчики давления EDS 1700. Руководство по эксплуатации. – Режим доступа: <http://www.hydac.com.ru/rele-davleniya-eds-1700.html>
7. Башарин А.В. Управление электроприводами: учеб. пособие для вузов / А.В. Башарин, В.А. Новиков, Г.Г. Соколовский. – Л.: Энергоиздат, 1982. – 392 с.
8. Герман-Галкин. С.Г. Matlab & Simulink. Проектирование мехатронных систем на ПК / С.Г. Герман-Галкин. – СПб.: КОРОНА-Век, 2008. – 368 с.
9. Черных И.В. Моделирование электротехнических устройств в MATLAB. SimPowerSystems и Simulink / И.В. Черных. – М.: ДМК Пресс, 2007. – 288 с.
10. Дорф Р. Современные системы управления / Р. Дорф, Р. Бишоп; пер. с англ. Б.И. Копылова. – М.: Лаборатория Базовых Знаний, 2004. – 832 с.
11. Князевский Б.А. Охрана труда в электроустановках. Учебник для вузов. – 3-е изд., перераб. и доп. – М.: Энергоатомиздат, 1983. – 336 с.
12. Жидецький В.Ц. Основи охорони праці: навч. посібник для студентів вищ. навч. Закладів / В.Ц. Жидецький, В.С. Джигирей, О.В. Мельников. – 2-е вид., стер. – Львів: Афіша, 2000. – 348 с.

ДОДАТОК А

Схема підключення перетворювача частоти. Перелік елементів

Таблиця А1

Позначка позначення	Найменування	Кіл.	Примітки
F	Автоматичний вимикач IEK BA88-40 630 A	1	
K	Пускач 2,2 kW/400 VAC	1	
UZ	Перетворювач частоти Lenze 8200 Vector	1	
M	Асинхронний двигун 4A225M4	1	
PY	Датчик тиску EDS-1700	1	
R1	Резистор 330RG	1	
PE	Заземлення	1	
Q	Автоматичний вимикач $I_n=160A$	1	
U	Вхідна силова клемма	1	
V	Вхідна силова клемма	2	
W	Вхідна силова клемма	2	
1-2	Аналоговий вхід	2	
3-4	Аналоговий вихід	2	

ДОДАТОК Б

Мультимедійна презентація

Міністерство освіти і науки України
Національний університет кораблебудування
імені адмірала Макарова

Навчально-науковий
інститут автоматики та електротехніки

Кваліфікаційна робота

на здобуття ступеня магістра
на тему:

«Автоматизований електропривод насоса маслонапірної установки»

Студент магістратури:

Світайло В.В.

Керівник кваліфікаційної роботи
магістра:

доц. каф. автоматики, к.е.н.
Шевчук С.В.

Миколаїв 2024

Рисунок А.1 – Слайд 1 мультимедійної презентації

Мета роботи. Об'єкт і предмет дослідження

Мета роботи	Синтез системи керування асинхронного електропривода насоса маслонапірної установки.
Об'єкт дослідження	Перехідні процеси в асинхронному електроприводі насоса маслонапірної установки.
Предмет дослідження	Структура та параметри регулятора напору/тиску асинхронного електропривода насоса маслонапірної установки, які впливають на якість керування.

Рисунок А.2 – Слайд 2 мультимедійної презентації

Завдання дослідження

- 1 Скласти опис маслянапірної установки МНУ 12,5/2-63 12,5-2НБУ та проаналізувати склад її електрообладнання. Виконати огляд сучасних систем керування електроприводів на базі асинхронних двигунів.
- 2 Побудувати функціональну схему автоматизованого електропривода насоса та обґрунтувати вибір її елементів. Розробити схему підключення перетворювача частоти.
- 3 Скласти математичний опис об'єкта керування, елементів автоматизованого електропривода та виконати розрахунок їх параметрів.
- 4 Дослідити динаміку автоматизованого електропривода насоса в MATLAB та проаналізувати якість керування.

Рисунок А.3 – Слайд 3 мультимедійної презентації

Функціональна схема автоматизованого електропривода насоса

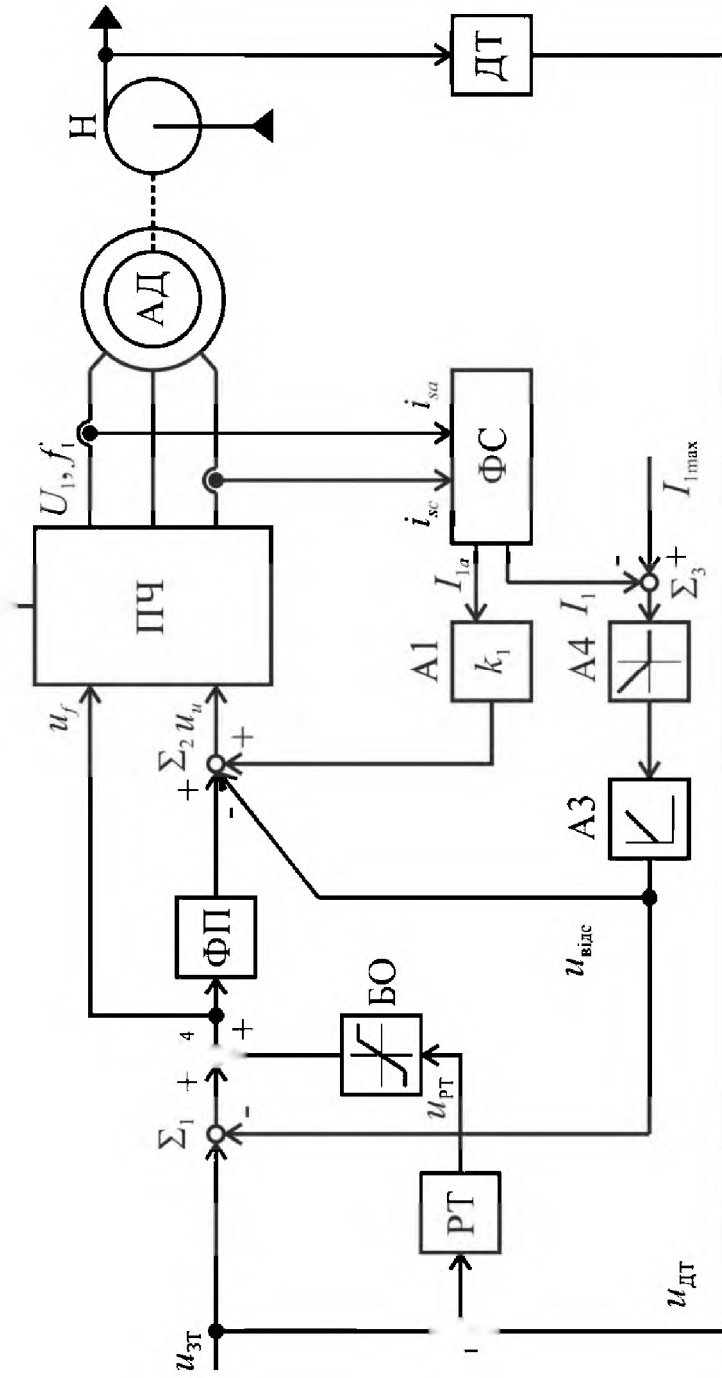


Рисунок А.6 – Слайд 6 мультимедійної презентації

7

Структурна схема автоматизованого електропривода насоса

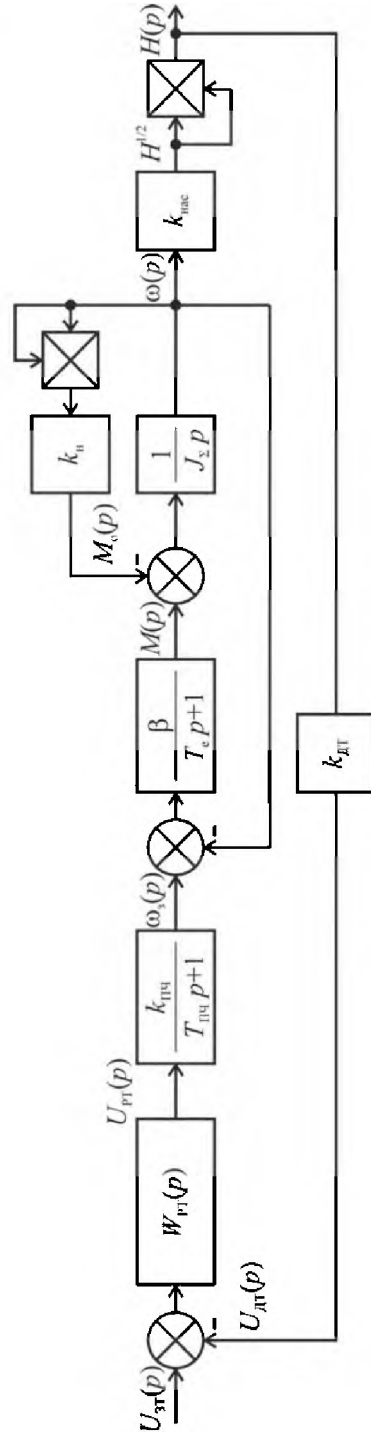


Схема моделювання в МАТЛАВ

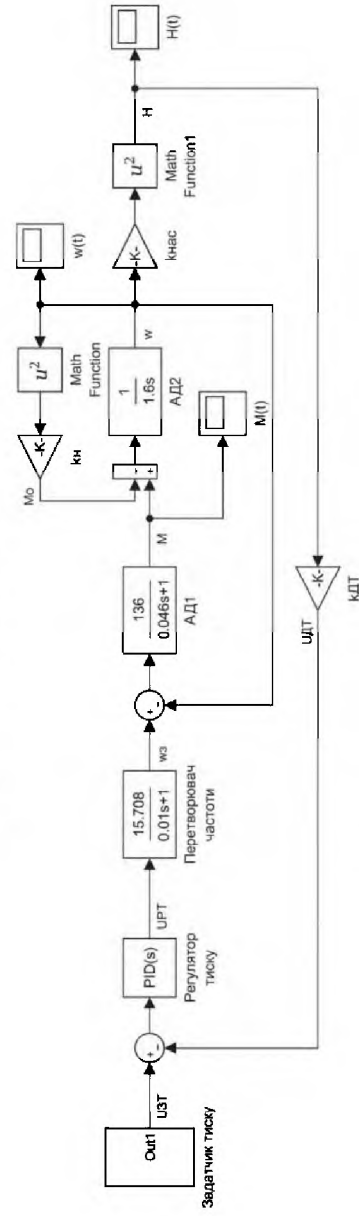


Рисунок А.7 – Слайд 7 мультимедійної презентації

Дослідження динаміки

8

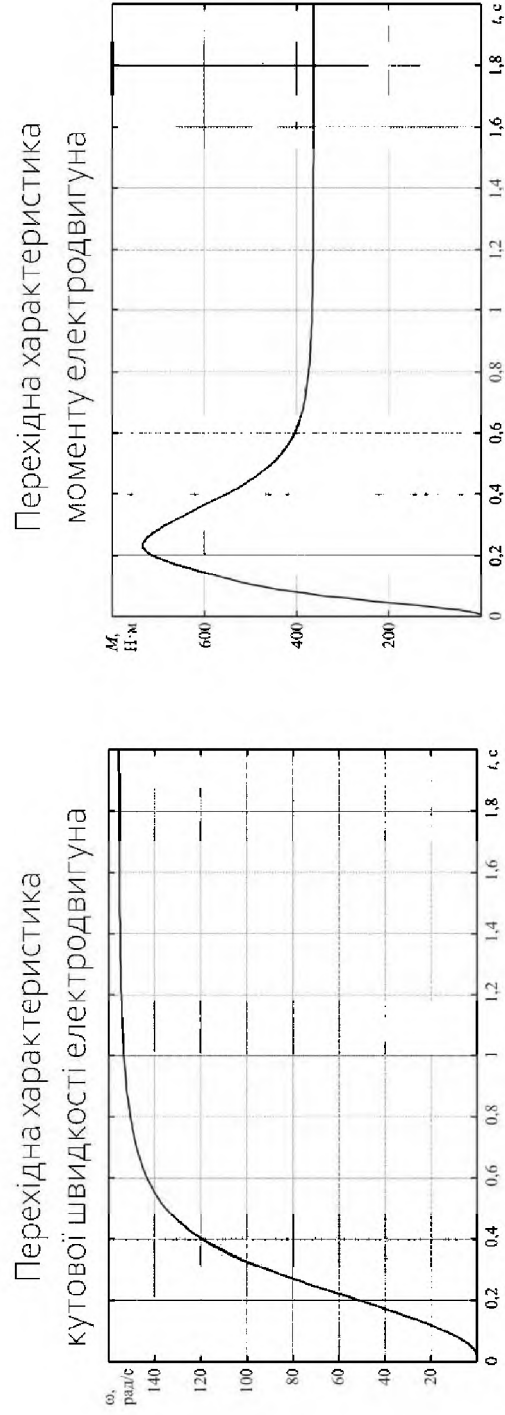
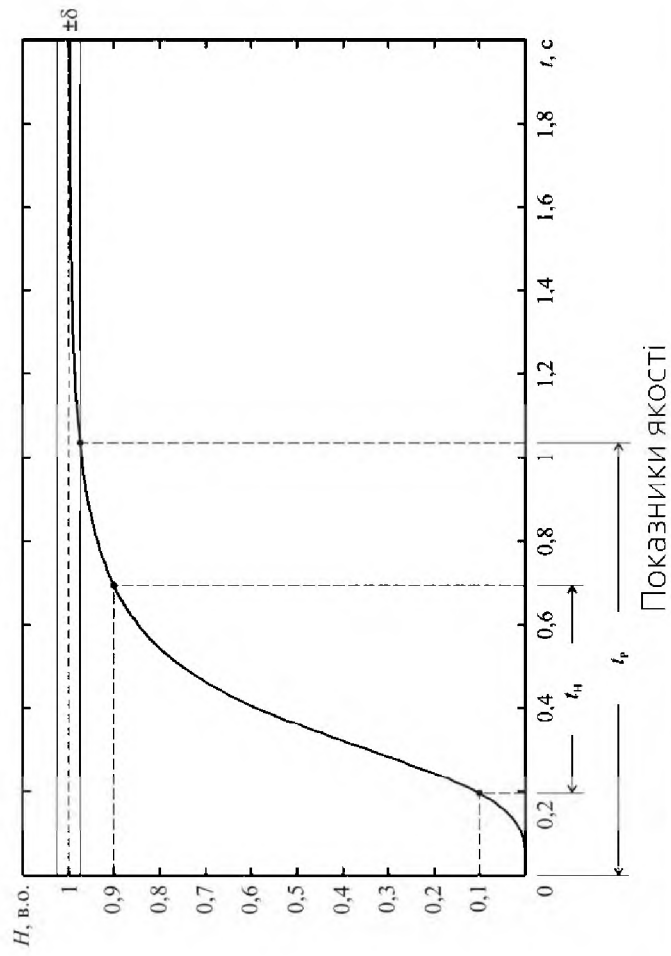


Рисунок А.8 – Слайд 8 мультимедійної презентації

Дослідження динаміки

Реакція системи керування на ступінчастий сигнал



Параметр	Відносне перерегулювання σ , %	Час встановлення t_p , c	Час наростання t_n , c	Усталена похибка $\epsilon_{уст}$
Значення	0	1,03	0,49	0

Рисунок А.9 – Слайд 9 мультимедійної презентації

Висновки

- 1 В роботі розглянуто опис маслонапірної установки МНУ_{12, 5/2-63-12,5-2НБУ}. До складу установки входять гідравлічний акумулятор та маслонапірний агрегат. Проаналізовано склад її електрообладнання та виявлено, що привод насоса маслонапірного агрегату електричний, на базі асинхронного двигуна з короткозамкненим ротором. Електропривод насоса нерегульований, що призводить до порівняно низької ефективності роботи системи подачі масла.
- 2 Побудовано функціональну схему автоматизованого електропривода насоса та наведено опис її елементів. В роботі використано одноконтурну систему керування з негативним зворотним зв'язком за напором/тиском.
Застосування регульованого асинхронного електропривода для насоса дає можливість оптимізувати режим роботи технологічного обладнання і максимальний ефект енергозбереження, що забезпечує ресурсозберігаючий режим експлуатації як технологічного, так і електричного обладнання при значно знижених навантаженнях і динамічних впливах, які, в свою чергу, сприяють продовженню в кілька разів ресурсу роботи обладнання і зменшення зниження експлуатаційних витрат на ремонт.

Висновки

- 3 Оскільки при стабілізації напору (тиску) система працює в малих відхиленнях щодо робочої точки стабілізації, при математичному описі асинхронного двигуна в роботі використано його лінійну модель. При вирішенні завдання синтезу регулятора для автоматизованого електропривода, з умов забезпечення бажаного/необхідного перехідного процесу, в роботі виконано налаштування на модульний (технічний) оптимум, при якому передбачаються невелике перерегулювання і відносно висока швидкодія.
- 4 В роботі розглянуто динаміку моделі автоматизованого електропривода насоса за допомогою програмного пакету MATLAB. Отримано перехідні характеристики. Аналіз результатів дослідження якості показав, що автоматизований електропривод має наступні динамічні показники: $\sigma=0\%$, $t_p=1,03$ с.

Дякую за увагу!