

Міністерство освіти і науки України
Сумський державний університет
Факультет електроніки та інформаційних технологій
Кафедра комп'ютеризованих систем управління

ЗАТВЕРДЖУЮ:

Зав. кафедри КСУ

_____ Т. В. Коротка

_____ 2021 р.

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА МАГІСТРА
АВТОМАТИЗОВАНЕ УПРАВЛІННЯ РЕЖИМАМИ РОБОТИ
НАСОСНОГО АГРЕГАТА АПЕ 720-185-6

Виконала:
студентка групи СУм-01

Івченко Ю.О..

Керівник роботи:
к. т. н., доцент

Черв'яков В. Д.

РЕФЕРАТ

Івченко Юлія Олександрівна. Автоматизоване управління режимами роботи насосного агрегата АПЕ 720-185-6. Кваліфікаційна робота магістра. Сумський Державний Університет, Суми, 2021 р.

Робота містить 33 сторінки основного тексту, 21 рисунок, 2 таблиці; список використаних джерел з 10 найменувань.

Робота присвячена методам й засобам автоматизованого управління режимами роботи насосного агрегата АПЕ 720-185-6. Запропоновані алгоритмічні і технічні рішення щодо автоматизації процесів функціонування агрегату в режимах, передбачених технологічним регламентом енергоблоку ТЕС. Запропоновано SCADA - систему диспетчерізації управління режимами роботи агрегату.

Ключові слова: насосний агрегат, управління, режим, електропривод, температура, тиск, контролер, SCADA – система.

ABSTRACT

Ivchenko Yuliia Oleksandrivna. Automated control of operating modes of the pump unit APE 720-185-6. Qualifying work of the master. Sumy State University, Sumy, 2021y.

The work contains 33 pages of the main text, 21 figures, 2 tables; list of used sources from 10 names.

The work is devoted to methods and means of automated control of operating modes of the pump unit APE 720-185-6. Algorithmic and technical solutions for automation of the unit operation processes in the modes provided by the technological regulations of the TPP power unit are proposed. SCADA is proposed - a system of dispatching control of operating modes of the unit.

Keywords: pump unit, control, mode, electric drive, temperature, pressure, controller, SCADA system

Міністерство освіти і науки України
Сумський державний університет
Кафедра комп'ютеризованих систем управління

ЗАТВЕРДЖУЮ
В.о. зав. кафедри
_____ Коротка Т.В.
“ ____ “ _____ “ 2021 р.

ЗАВДАННЯ
на кваліфікаційну роботу магістра

Тема роботи: Автоматизоване управління режимами роботи насосного агрегата АПЕ 720-185-6. Затверджено наказом ректора університету № 0866-VI від 19 листопада 2021 р.

Термін подання закінченої роботи 24.12.2021 р.

Вихідні дані до роботи: завдання кафедри, технічна документація, матеріали авторської розробки дипломного проекту «Система автоматизації насосного агрегата АПЕ 720-185-6» (СумДУ, 2020 р.).

Зміст роботи: конструктивно-технологічна характеристика об'єкта автоматизації, функціональна схема автоматизації, режимний регламент функціонування насосного агрегата, функціональна та структурна схеми системи управління насосним агрегатом в цілому і відцентровим насосом, контури регулювання технологічних перемінних, аналіз якості регулювання, комп'ютерно-інтегрована система управління агрегатом.

Графічні матеріали: функціональна схема автоматизації, функціональні та структурні схеми локальних систем управління.

Календарний план

Ном ер етапу	Зміст етапу проектування	Терміни виконання
1	Аналіз завдання кафедри. Підбір та аналіз літератури	02.11.2021 – 10.11.2021
2	Конструктивно-технологічна характеристика об'єкта автоматизації.	11.11.2021 – 15.11.2021
3	Технологічні засади автоматизації процесів управління насосним агрегатом. Режимний регламент. Об'єкт і предмет дослідження. Задачі дослідження	16.11.2021 – 20.11.2021
4	Локальні системи автоматичного регулювання. Аналіз перехідних процесів.	21.11.2021 – 10.12.2021
5	Комп'ютерно-інтегрована система диспетчерського управління насосним агрегатом	11.12.2021 – 20.12.2021
7	Технічне оформлення кваліфікаційної роботи та її презентації. Перевірка на відсутність плагіату. Подання роботи до захисту.	21.12.2021– 24.12.2021

Дата видачі завдання «01» 11. 2021 р

Керівник проекту:
к. т. н., доцент

Черв'яков В. Д.

До виконання прийняла:
студентка групи СУМ-01

Івченко Ю.О.

ЗМІСТ

СПИСОК СКОРОЧЕНЬ ТА УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ	3
ВСТУП.....	4
РОЗДІЛ 1 АРХІТЕКТУРА ОБ'ЄКТА АВТОМАТИЗАЦІЇ.....	6
1.1 Функціональна структура насосного агрегата АПЕ 720-185-6.....	6
1.2 Режимний регламент експлуатації насосного агрегата	10
1.3 Технологічний алгоритм роботи насосного агрегата.	10
1.4 Функціональна схема автоматизації НА. Декомпозиція функцій управління.....	13
1.5 Мета роботи. Об'єкт і предмет дослідження	14
1.6 Постановка задач дослідження	15
РОЗДІЛ 2 АВТОМАТИЗОВАНЕ УПРАВЛІННЯ НАСОСНИМ АГРЕГАТОМ В РІЗНИХ РЕЖИМАХ РОБОТИ.....	16
2.1 Алгоритм управління в режимі «Робочий»	16
2.2 Алгоритм управління в режимі «Резервний»	17
2.3 Алгоритм управління в режимі «Ремонтний»	18
2.4 Засоби технічної реалізації процесу управління	19
РОЗДІЛ 3 ДОСЛІДЖЕННЯ МЕТОДІВ ПУСКУ ДВИГУНА НАСОСНОГО АГРЕГАТА	21
3.1 Предмет дослідження.....	21
3.2 Метод «зірка - трикутник»	22
3.3 Метод плавного запуску	24
3.4 Метод запуску двигуна перетворювачем частоти.....	25
3.5 Висновки проведеного дослідження	26
РОЗДІЛ 4 КОМП'ЮТЕРНО-ІНТЕГРОВАНА СИСТЕМА УПРАВЛІННЯ НАСОСНИМ АГРЕГАТОМ	27
4.1 Програмований логічний контролер Simatic S7 CPU 1510SP.....	27
4.2 Програмне забезпечення роботи технологічного контролера	28
4.3 Диспетчеризація управління насосним агрегатом на базі SCADA –системи	29
ВИСНОВОК.....	31
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	32

СПИСОК СКОРОЧЕНЬ ТА УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ

ТЕС – Теплова електростанція
НА – Насосний агрегат
АПЕ – агрегат живильний електронасосний
ПЛК - програмований логічний контролер
ПЕ – живильний електронасос
БЩУ – блочний щит управління
ОП – операторська панель
ЦП – центральний процесор
СУ – система управління
САУ – система автоматичного управління
КУ – контур управління
v0 - початкове значення сигналу,
t1 - момент часу крокової зміни сигналу,
v1 - значення сигналу від часу t1,
t2 - час наступної зміни сигналу,
v2 - значення сигналу від часу t2.

ВСТУП

В енергетичному комплексі України велику долю енергогенеруючих об'єктів займають теплові електростанції (ТЕС). Технологічна структура ТЕС передбачає наявність живильного насоса, на якого покладається задача живлення парогенератора водою під високим тиском. Живильний насос у сукупності із допоміжним обладнанням створює насосний агрегат (НА). Насосні агрегати і парогенератори, що використовуються на ТЕС, є енергоємними об'єктами технології. Задоволення строгих вимог щодо технологічних параметрів пари досягається засобами автоматизації процесів подачі води і перетворення її у високотемпературну пару під великим тиском. Перший з цих процесів виконується НА.

У даній роботі вирішуються задачі автоматизованого управління режимами роботи насосного агрегата типу АПЕ 720-185-6, який застосовується на багатьох ТЕС в Україні. Метою роботи є забезпечення НА теплових електростанцій функціонально повними засобами автоматизованого управління режимами роботи. Об'єктом дослідження є технологічний процес подачі живильної води в котел парогенератора за допомогою НА. Предметом дослідження є система автоматизованого управління режимами роботи НА типу АПЕ 720-185-6.

Базуючись на матеріалах нашої попередньої роботи у вигляді дипломного проекту (кваліфікаційної роботи бакалавра) «Система автоматизації насосного агрегата типу АПЕ 720-185-6», а також на результатах аналізу відомих технічних рішень у цієї галузі техніки, поставлені задачі дослідження:

- розробити алгоритмічні бази процесів управління насосним агрегатом в режимах: робочий, резервний, ремонтний ;
- методами комп'ютерного моделювання провести дослідження методів пуску двигуна НА;
- розробити алгоритм роботи технологічного контролера;
- Запропонувати варіант застосування SCADA- системи для диспетчерського контролю і управління насосним агрегатом.

Практичними результатами роботи є алгоритми управління виконавчими механізмами насосного агрегата у різних режимах експлуатації, що реалізуються комп'ютерними засобами у функціональній схемі автоматизації насосного агрегата, і SCADA – система диспетчерського контролю і управління процесами функціонування агрегата.

Матеріали роботи були викладені на Міжнародній науково-технічній конференції, тема роботи «Дослідження методів пуску асинхронного двигуна насосного агрегату».[12]

Автор роботи приймав участь в першому турі всеукраїнського конкурсу студентських робіт.

РОЗДІЛ 1 АРХІТЕКТУРА ОБ'ЄКТА АВТОМАТИЗАЦІЇ

1.1 Функціональна структура насосного агрегата АПЕ 720-185-6

Насосні агрегати застосовуються в різних сферах нашого життя, в тому числі і на атомних і тепло-електростанціях. Основна задача НА – живлення парового котла робочою рідиною. Але для подачі води не підійде будь-який насос, для цих потреб було розроблено ціле сімейство насосів, які мають назву «живильні». Як правило за конструкцією вони горизонтальні, центробіжні і однопотоківі. Такі насоси здатні перекачувати рідину дуже високої температури у великих об'ємах і протягом довгого проміжку часу. Для кращого розуміння ролі насоса в енергетичній області, потрібно більш детально розібратися в процесах, які там проходять. Нижче зображена технологічна схема виробничого процесу.[1]

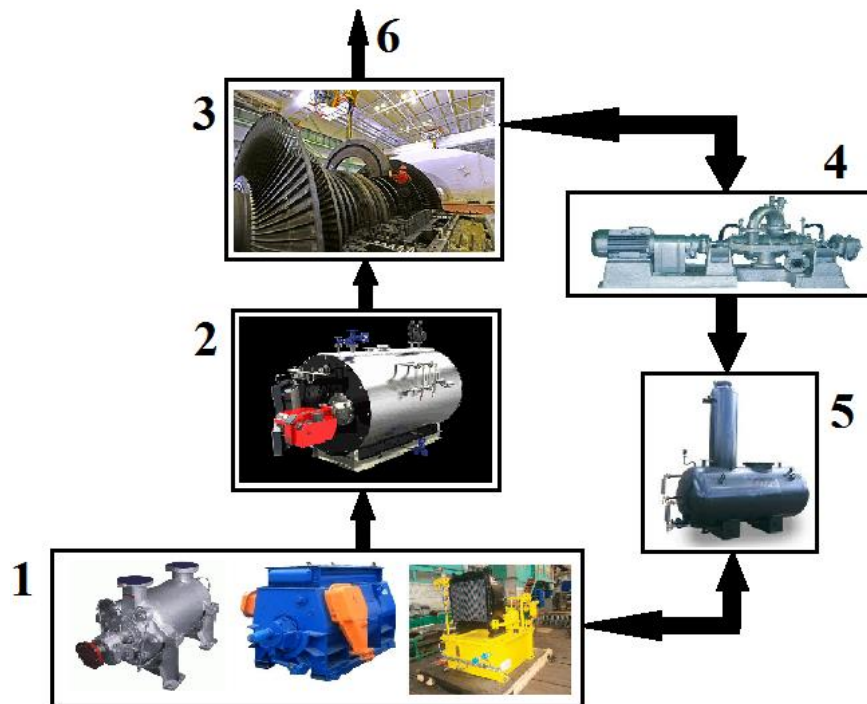


Рисунок 1.1 - Технологічна схема виробничого процесу: 1 – насосний агрегат, що складається з насоса, двигуна та маслоустановки; 2 – паровий котел; 3 – турбіна; 4 – конденсаторний насос; 5 – деаератор; 6 – вказує на подальший процес вироблення енергії.

Як видно з рисунку, насос забирає воду з деаератора і подає в паровий котел. Там рідина нагрівається і переходить в газоподібний стан і під великим тиском подається на турбіну, яка починає обертатися і видобуває електроенергію. Далі пара конденсується і збирається конденсаторним насосом і направляється в деаератор після чого цикл починається з початку [1].

Структурна схема автоматизації наведена на кресленні СУ.м-01 6.151.03.А1.

Для живлення котлів водою потрібно використовувати спеціалізовані насоси, потужності яких буде достатньо для подачі. При підборі такого насоса треба враховувати дуже багато показників, одними з основних є: тиск на виході з насосу, напір а також подача. У нашому випадку ми зупинилися на насосному агрегаті АПЕ 720-185-6, далі про нього більш детально[11]

Насосний агрегат це сукупність пристроїв, що зазвичай складається з насоса, двигуна і маслоустановки. Агрегат АПЕ 720-185-6 складається з наступних основних механізмів:

- насоса ПЕ 720-185-6 ($Q = 720 \text{ м}^3 / \text{год}$, $H = 2030 \text{ м}$);
- двигуна 2АЗМ-5000/6000 У4;
- маслоустановки Н17.330.300.00;
- вентиля і дросельних пристроїв лінії рециркуляції. [2]

Насос ПЕ 720-185-6 призначений для забезпечення водою з температурою 165°C стаціонарних парових котлів з абсолютним тиском до $13,7 \text{ МПа}$ ($140 \text{ кгс} / \text{см}^2$). Розріз насоса типу ПЕ представлений на рисунку 1.2.

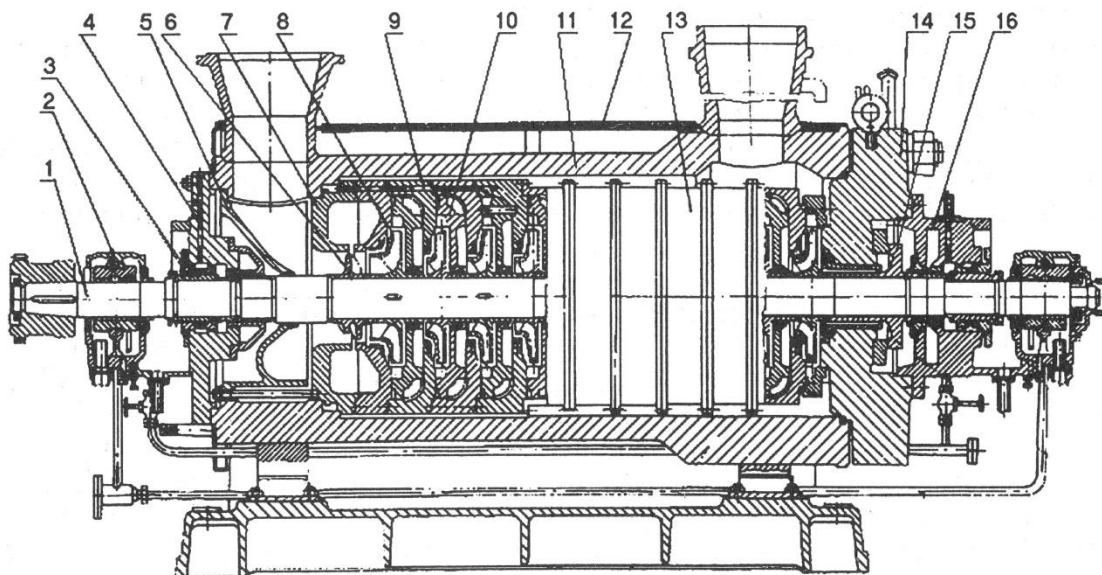


Рисунок 1.2 – Розріз насоса типу ПЕ: 1 - вал, 2 - підшипник, 3 - торцеве ущільнення валу, 4 – вхідна кришка, 5 – підвід кільцевої, 6 – попередньо-включене колесо, 7 – кришка, 8 – робоче колесо, 9 – секція, 10 – направляючий апарат, 11 – зовнішній корпус, 12 –кожух насоса, 13 – внутрішній корпус, 14 – кришка напірна, 15 – диск розгрузки, 16 – корпус кінцевого ущільнення [3]

Основні параметри насоса ПЕ 720-185-6 ми можемо побачити в таблиці 1.1

Таблиця 1.1 – Основні параметри насоса ПЕ 720-185-6

Тип насоса	Подача, м ³ /год	Напор, м	Частота обертів, об/хв	К КД, %	Потужність двигуна, кВт
ПЕ 720-185-6	720	2030	3000	84	5000

Асинхронний трифазний короткозамкнений двигун 2А3М-5000/6000 (рис. 1.3) із замкнутим циклом вентиляції, має чотири вбудованих повітроохолоджувача, він призначений для встановлення в приміщеннях з нормальним середовищем, яке не містить агресивних і вибухонебезпечних газів, з температурою не нижче 5°C і найбільшою відносною вологістю повітря 95%. [4]

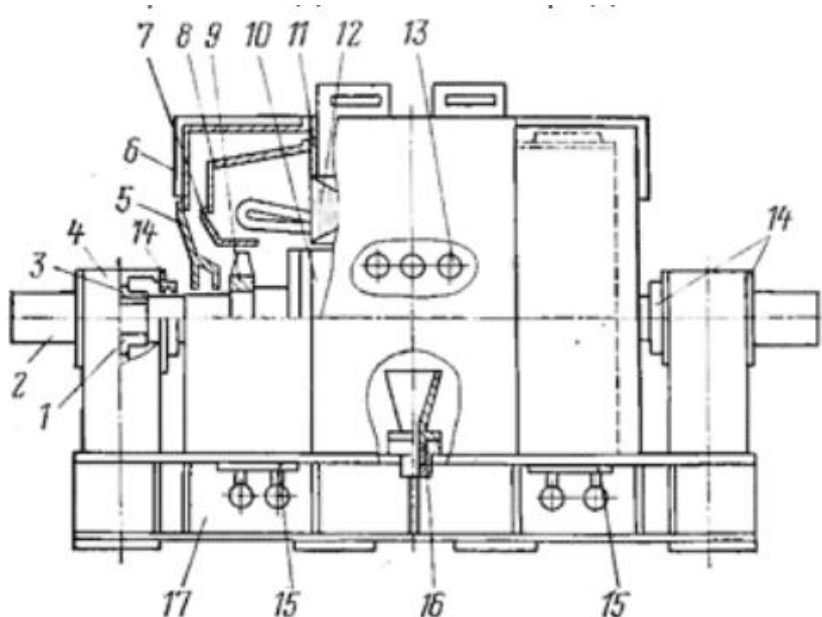


Рисунок 1.3 – Двигун 2А3М 5000/6000: 1 - нижній вкладиш підшипника, 2 - вал, 3 - верхній вкладиш підшипника, 4 - кришка підшипника; 5 - повітронаправляючий зовнішній щит, 6 – кожух, 7 – дифузур, 8 - повітронаправляючий внутрішній щит, 9 – вентилятор, 10 - сердечник ротора, 11 - корпус статора, 12 сердечник статора, 13 - ізолятори ввідного пристрою, 14 - лабіринтові ущільнення, 15 – повітроохолоджувач, 16 - ввідний пристрій, 17 - монтажна плита.

Двигун виконаний на стоякових підшипниках, які змонтовані разом зі статором і повітроохолоджувачами на фундаментній плиті. Режим роботи двигунів достатньо тривалий. [4]

Технічні характеристики асинхронного двигуна наведені в таблиці 1.2.

Таблиця 1.2 – Технічні характеристики асинхронного електродвигуна 2АЗМ 5000/6000

Тип	$P_{\text{ном}}$, кВт	$I_{\text{ном}}$, А	ККД, %	$U_{\text{ном}}$, В	$N_{\text{ном}}$, об/хв
2АЗМ 5000/6000	5000	538,0	97,3	6000	2985

Маслоустановка призначена для подачі мастила в підшипники насоса і двигуна насосних агрегатів з двигунами потужністю від 1250 до 5000 кВт. Маслоустановка Н17.330.300.00 включає в себе: бак з системою прогріву (блок електронагрівача) і двома електронасосними агрегатами 7НМ-32-1 для перекачки мастила, один теплообмінник з повітряним охолодженням, два фільтри, з запасним комплектом фільтруючих елементів, трубопроводи обв'язки, комплект арматури і засоби вимірювання. Агрегат електронасосний 7НМ-32-1(рис 1.4) призначений для подачі мастила в систему маслопостачання і включає в себе одноступінчатий насос і двигун у вибухозахищеному виконанні. [6]

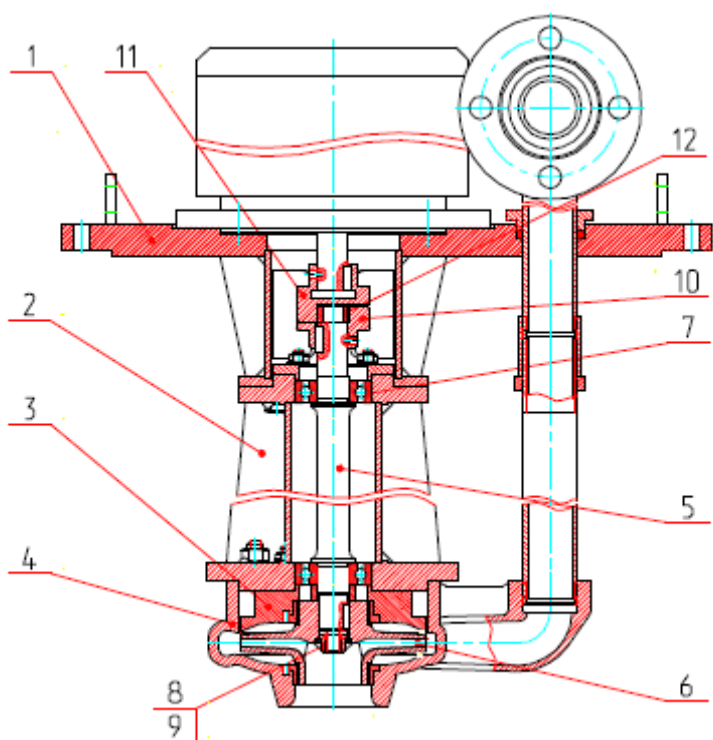


Рисунок 1.4 - Агрегат електронасосний масляний 7НМ-32-1: 1 - ліхтар, 2 - кронштейн, 3 - корпус, 4 - кришка вхідна, 5 - вал, 6 - колесо робоче, 7 - підшипники кочення, 8 - гайка, 9 – шайба, 10 - напівмуфта насоса, 11 - напівмуфта двигуна, 12 - зірочка. [6]

1.2 Режимний регламент експлуатації насосного агрегата

Дана система забезпечує роботу агрегата в трьох режимах управління:

- Робочий;
- Резервний;
- Ремонтний.

Перемикання режимів роботи агрегата проводиться з БЩУ. Зміна режиму управління проводиться тільки до пуску агрегата.

Режим управління «Робочий» - при якому агрегат знаходиться в плановій експлуатації. В даному режимі управління забезпечується виконання планового пуску агрегата, контроль роботи агрегата, зупинка агрегата, а також набір всіх передпускових перевірок та підготовки обладнання.[11]

Режим управління «Резервний» - при якому агрегат знаходиться в «резерві» (готовність до негайного пуску). Даний режим керування відрізняється від «Робочого» режиму системи складом передпускових перевірок та підготовки. В процесі роботи режими управління «Робочий» і «Резервний» ідентичні.[11]

Режим управління «Ремонтний» - при якому заборонений пуск агрегата. Цей режим призначений для проведення ремонтних робіт, технічного обслуговування і тестової перевірки систем агрегата. В даному режимі можливе ручне управління механізмами агрегата.[11]

1.3 Технологічний алгоритм роботи насосного агрегата.

Підготовка агрегата до пуску повинна здійснюватися відповідно до керівництв по експлуатації на насос, двигун, маслоустановку, а також алгоритмів управління системи(рис. 1.5), де вказані кількість і порядок виконання операцій обслуговуючим персоналом.

Перед пуском агрегата повинні бути виконані наступні умови:

- параметри агрегата, при яких передбачено захисне відключення і попереджувальна сигналізація, в нормі;
- засувка на вході в насос у відкритому положенні;

- тиск на вході в насос, не менше величини, що забезпечує необхідний надкавітаційний натиск на вході NPSHR (допускається кавітаційний запас ($\Delta h_{\text{дод}}$) ≥ 15 м;
- засувка на виході з насоса у закритому положенні. При пуску зі стану агрегата в резерві і наявності протитиску в напірному колекторі, засувка на виході з насоса у відкритому положенні;
- вентиль на лінії рециркуляції у відкритому положенні. Пуск агрегата в режимі «резерв» виконувати коли відкрита лінія рециркуляції;
- забезпечена подача конденсату на охолодження зовнішніх теплообмінників для охолодження торцевих ущільнень з тиском від 0,196 до 0,294 МПа (Від 2 до 3 кгс/см²) і температурою $\leq 40^{\circ}\text{C}$;
- забезпечена подача конденсату до термобар'єрів з тиском від 0,098 до 0,59 МПа (Від 1 до 6 кгс/см²) і температурою $\leq 40^{\circ}\text{C}$;
- забезпечена подача охолоджувальної води на повітроохолоджувач двигуна з тиском від 0,196 до 0,294 МПа (від 2 до 3 кгс/см²) і температурою $\leq 33^{\circ}\text{C}$;
- насос прогрітий. Різниця температур низу - верху корпусу насоса $\leq 20^{\circ}\text{C}$. [2]

Агрегат має експлуатуватися в робочому інтервалі подач насоса від 0,056 до 0,215 м³/с (від 200 до 775 м³/год) і в поле роботи при забезпеченні кавітаційного запасу в відповідності до заданих характеристик.[2]

Допускається проводити запуск на засувку у відкритому положенні на виході з насоса і на відкритий вентиль рециркуляції, при цьому подача насоса повинна знаходитися в межах робочого інтервалу.

Для агрегата, що знаходиться в гарячому резерві, засувка на виході з насоса у відкритому положенні, робочий маслонасос - включений, відкритий вентиль рециркуляції.

Заборонено пуск і робота агрегата якщо не готовий до пуску резервний насос маслоустановки, а також при відсутності включеного насоса маслоустановки.

При плановому пуску від команди "Пуск" повинен включитися маслонасос. Після створення тиску в кінці масляної лінії двигуна і насоса $\geq 0,07$ МПа ($\geq 0,7$ кгс/см²), включається приводний двигун агрегата, відкривається засувка на виході з насоса.[2]

При пуску зі стану агрегата в резерві і наявності протитиску в напірному колекторі насос вмикається на засувку у відкритому положенні на виході з насоса і на відкриту лінію рециркуляції.

При досягненні подачі на лінії нагнітання $Q \geq 0,064$ м³ / с (≥ 230 м³/год) вентиль на лінії рециркуляції повинен закритися. [2]

Під час роботи агрегата здійснюється контроль технологічних параметрів. При відхиленні параметрів від заданих значень повинна бути виконана попереджувальна

сигналізація, при аварійному відхиленні - аварійна сигналізація і автоматичне відключення по захисту.

При навантаженні блоку, після пуску агрегата, має бути передбачено закриття вентиля на лінії рециркуляції за наступним алгоритмом при досягненні подачі на лінії нагнітання насоса $Q \geq 0,064 \text{ м}^3/\text{с}$ ($\geq 230 \text{ м}^3/\text{год}$) повинна подаватися команда для закриття вентиля на лінії рециркуляції. [2]

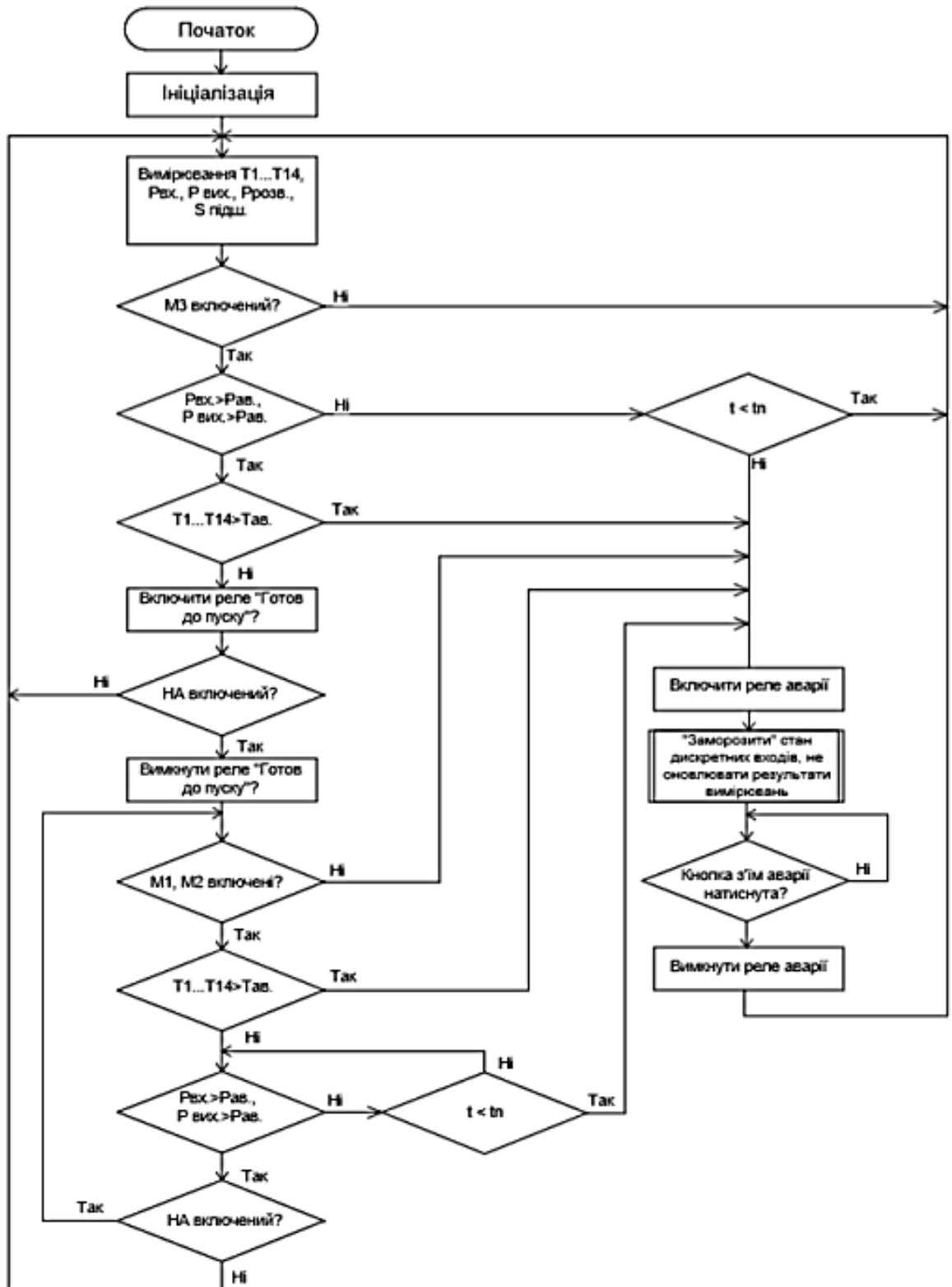


Рисунок 1.5 – Алгоритм роботи насосного агрегату

Під час роботи НА і при розвантаженні блоку має бути передбачено відкриття вентиля на лінії рециркуляції за наступним алгоритмом:

- при зниженні подачі на лінії нагнітання насоса до $Q \leq 0,056 \text{ м}^3/\text{с}$ ($\leq 200 \text{ м}^3/\text{год}$) повинен відкритися вентиль на лінії рециркуляції;[2]
- якщо при проходженні команди на відкриття вентиля на лінії рециркуляції він не відкрився, то необхідно відключити насосний агрегат згідно захисту.

Від команди "Стоп", а також від технологічних і електричних захистів повинен відключитися двигун, відкритися вентиль на лінії рециркуляції, закритися засувка на виході з насоса. Тривалість роботи робочого маслососа маслоустановки після відключення двигуна повинна бути $\geq 300 \text{ с}$. [2]

1.4 Функціональна схема автоматизації НА. Декомпозиція функцій управління

ФСА-Функціональна схема автоматизації – це проектний документ який визначає для технологічного процесу об'єкту автоматизації структуру та рівень автоматизації. На цій схемі графічними позначеннями вказують засоби автоматизації, комунікації, органи керування, технологічне обладнання та інше. Була розроблена функціональна схема автоматизації наведена на кресленні СУ.м-01 6.151.03 А2.[11]

Розглянемо деякі контури управління розроблені для керування насосним агрегатом АПЕ 720-185-6.

- 1) Якщо температури мастила в маслобачі знизиться до $<30^\circ\text{C}$, то потрібно включити нагрівач. А коли вона підніметься до $\geq 35^\circ\text{C}$, то нагрівач треба вимкнути (рис1.6).

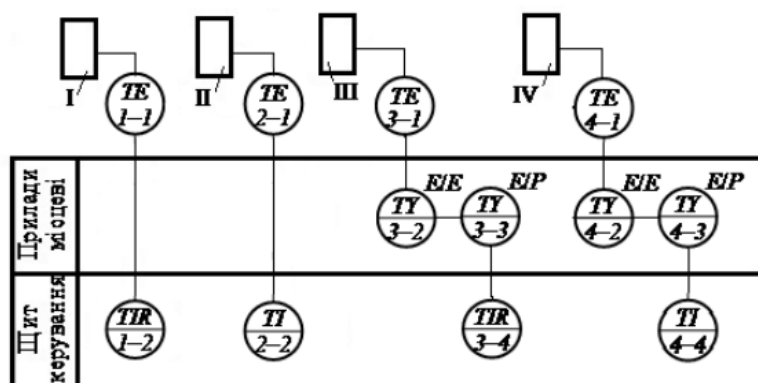


Рисунок 1.6– Контур управління температурою мастила в маслобачі

2) При досягненні подачі на лінії нагнітання насоса $Q \geq 0,064 \text{ м}^3/\text{с}$ потрібно закрити вентиль на лінії рециркуляції. Коли подача на лінії нагнітання насоса знижується до $Q \leq 0,056 \text{ м}^3/\text{с}$, то вентиль на лінії рециркуляції відкривається (рис.1.7).

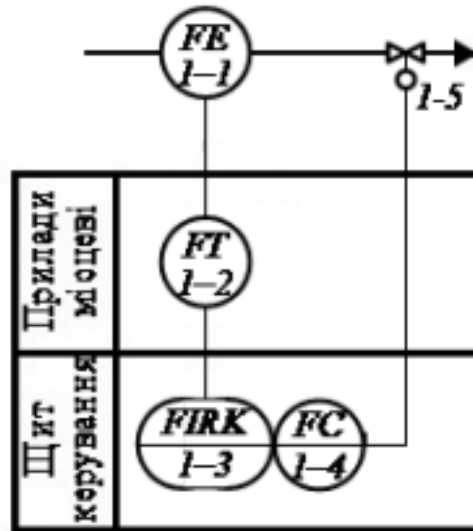


Рисунок 1.7 – Контур управління подачею на лінії нагнітання насоса

3) Коли тиск на виході з насоса падає до $\leq 8 \text{ МПа}$, спрацьовує сигналізація, закривається засувка на виході з насоса. Якщо тиск виходить за межі робочого інтервалу, то вимикається двигун (рис.1.8).

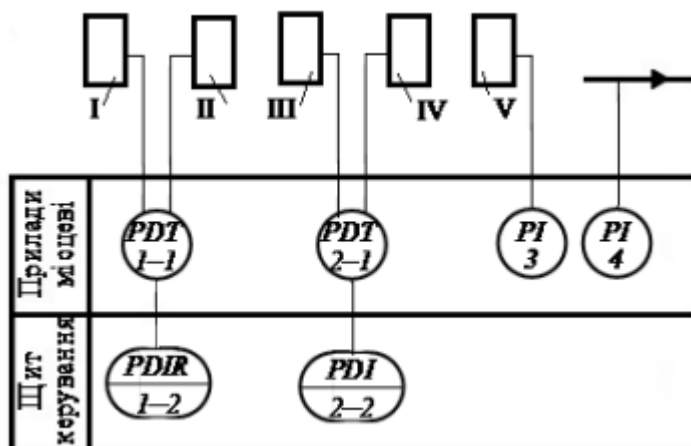


Рисунок 1.8 – Контур управління тиском води на виході з насоса .

1.5 Мета роботи. Об'єкт і предмет дослідження

На підставі проведеного вище опису структурно-функціональної організації НА як об'єкта технології та аналізу відомих технічних рішень систем автоматизації насосних

агрегатів за мету нашої роботи приймемо забезпечення типових насосних агрегатів теплових електростанцій функціонально повними засобами автоматизованого управління режимами роботи.. Об'єктом дослідження є технологічний процес подачі живильної води в котел парогенератора за допомогою насосного агрегата. Предметом дослідження є система автоматизованого управління режимами роботи насосного агрегата типу АПЕ 720-185-6.

1.6 Постановка задач дослідження

Для досягнення мети роботи поставимо такі задачі дослідження:

- розробити алгоритмічні бази процесів управління насосним агрегатом в режимах: робочий, резервний, ремонтний ;
- методами комп'ютерного моделювання провести дослідження методів пуску двигуна НА;
- розробити алгоритм роботи технологічного контролера;
- Запропонувати варіант застосування SCADA- системи для диспетчерського контролю і управління насосним агрегатом.

РОЗДІЛ 2 АВТОМАТИЗОВАНЕ УПРАВЛІННЯ НАСОСНИМ АГРЕГАТОМ В РІЗНИХ РЕЖИМАХ РОБОТИ

2.1 Алгоритм управління в режимі «Робочий»

При переході системи в режим «Робочий» виконуються наступні перевірки готовності до пуску:

- Відсутні дискретні сигнали:

- 1) Рівень мастила в маслобаку мінімальний або максимальний.
- 2) Двигун "Включений".
- 3) Високовольтний вимикач в тестовому положенні.
- 4) Аварійна зупинка агрегата.
- 5) В мережі відсутня напруга.

- Наявність дискретних сигналів:

- 1) Режим роботи.
- 2) Ланка готова до пуску.
- 3) Готовність до включення двигуна.
- 4) Справність ланцюгів управління високовольтним вимикачем.

- Відсутність неквадруваних сигналів про помилки.

- Відсутність попереджувальної і аварійної сигналізації про вихід аналогових сигналів за діапазон.[11]

Якщо перевірка параметрів була успішною, то система виконує управління наступними виконавчими механізмами:

- відкриває вхідну засувку, якщо вона не відкрита,
- закриває вихідну засувку, якщо вона не закрита,
- відкриває вентиль на лінії рециркуляції, якщо він не відкритий,
- при виконанні перерахованих вище команд, пристрій передає на БЩУ сигнал

«Готовий до пуску».[11]

Система циклічно перевіряє всі перераховані вище умови і якщо вони невиконані знімає сигнал «Готовий до пуску».

При знаходженні в стані «Готовий до пуску» і отриманні команди на пуск двигуна, система видає команду на включення робочого маслонасоса (з подальшою перевіркою тиску мастила на його виході) і включення високовольтного вимикача (при виконаних попередніх умовах).[11]

При закінченні пуску система передає на БЩУ сигнал «Двигун Включено» (агрегат в роботі).

В процесі роботи агрегата виконується циклічний контроль:

- Відсутності дискретних сигналів:

- 1) Рівень мастила в маслобаку мінімальний або максимальний.
- 2) Високовольтний вимикач в тестовому положенні.
- 3) Аварійна зупинка агрегата.

- Наявності дискретних сигналів:

- 1) Ланцюги управління високовольтним вимикачем справні.
- 2) «Двигун Включений».
- 3) Робочий маслonaсос включений.

- Відсутності аварійної та попереджувальної сигналізації про вихід значень аналогових сигналів за діапазон.[11]

- Наявності зворотного сигналу від виконавчих механізмів. У разі відмови обох маслonaсосів маслоустановки або не відкриті вентиля рециркуляції виконується аварійна зупинка агрегата.

Також в процесі роботи здійснюється управління роботою маслonaсоса (в разі виникнення поломки робочого маслonaсоса або падіння тиску мастила на його виході, включається резервний маслonaсос, а робочий через 1 секунду буде відключений). У разі виходу обох маслonaсосів з ладу буде виданий аварійний сигнал на зупинку агрегата.[11]

Вентиль рециркуляції при збільшенні витрати води понад 230 м³/год буде закритий. При зниженні витрати води нижче 200 м³/год, вентиль рециркуляції буде відкрито. Якщо при подачі сигналу на відкриття, вентиль не відкриється, буде видано сигнал на зупинку НА.[11]

2.2 Алгоритм управління в режимі «Резервний»

При переході системи в режим «Резервний» виконуються наступні перевірки готовності до пуску:

- Відсутність дискретних сигналів:

- 1) Рівень мастила в маслобаку мінімальний або максимальний.
- 2) Двигун "Включений".
- 3) Високовольтний вимикач в тестовому положенні.
- 4) Аварійна зупинка агрегата.
- 5) В мережі відсутня напруга.

- Наявність дискретних сигналів:

- 1) Ланка готова до пуску.
- 2) Готовність до включення двигуна.
- 3) Справність ланцюгів управління високовольтним вимикачем.
 - Відсутність неквадруюваних сигналів про помилки.
 - Відсутність попереджувальної і аварійної сигналізації про вихід значень аналогових сигналів за діапазон.

У разі успішної перевірки параметрів, система виконує управління наступними виконавчими механізмами:

- Відкриває вхідну засувку, якщо вона не відкрита.
- Відкриває вихідну засувку при наявності протитиску, якщо вона не відкрита.
- Відкриває вентиль на лінії рециркуляції, якщо не відкрито.
- Включає робочий маслосос і контролює тиск мастила на його виході.[11]

При виконанні перерахованих вище команд, система видає сигнал «Готовий до пуску». Система циклічно перевіряє всі перераховані вище умови і при їх невиконанні знімає сигнал «Готовий до пуску».[11]

При знаходженні в стані «Готовий до пуску» агрегат готовий до негайного пуску з БЩУ. При наявності відповідної команди система видає сигнал на включення високовольтного вимикача.

По закінченню пуску система видає сигнал «Двигун Включено» (агрегат в роботі) та виконує дії аналогічні діям в режимі управління «Робочий».[11]

2.3 Алгоритм управління в режимі «Ремонтний»

Режим управління, при якому заборонений пуск агрегата. Даний режим призначений для проведення ремонтних робіт, технічного обслуговування і тестової перевірки систем агрегата. В даному режимі можливе ручне керування механізмами агрегата.

Кнопкове управління забезпечує роздільне управління кожним електромеханізмом насосного агрегата з щита управління за допомогою кнопок. Кожна кнопка оснащена підсвічуванням, що індикує спрацювання пускача приводу виконавчого механізму. Кінцеве положення механізму відображається на світлосигнальній арматурі. Зелений або блакитний колір означає стан - «Включено», «Відкритий». Білий колір - «Відключений», «Закрито». Мерехтіння білого і блакитного фону - «Відкривається» або «Закривається». Червоний колір - аварія механізму.[11]

2.4 Засоби технічної реалізації процесу управління

Система управління насосним агрегатом призначена для управління роботою насосного агрегата в усіх режимах його експлуатації, і забезпечує роботу агрегата без постійної присутності обслуговуючого персоналу. Вона включає в себе щит управління та датчики.[2]

Щит управління, що входить до складу системи, є елементом локальної системи автоматизації, яка обслуговується оператором. Оператор має доступ до інформації про актуальний стан агрегата і його виконавчих механізмів, може здійснювати налаштування системи, а також керувати механізмами агрегата у відповідних режимах управління. Доступ забезпечується інтерфейсним устаткуванням (кнопки, світлосигнальна арматура, операторська панель). Виведення інформації про поточний стан агрегата і його механізмів забезпечує ОП, яка розміщена у верхній половині двері щита управління. Основна інформація про стан механізмів і агрегата дублюється світлосигнальною арматурою, яка змонтована на двері щита. Управління механізмами агрегата в режимі управління «Ремонтний» забезпечено кнопками. ОП забезпечує виведення інформації про стан агрегата, значення основних технологічних параметрів, коректування налаштувань системи. Габаритні розміри та зовнішній вид щита управління зображено на рисунку 2.1. [11]

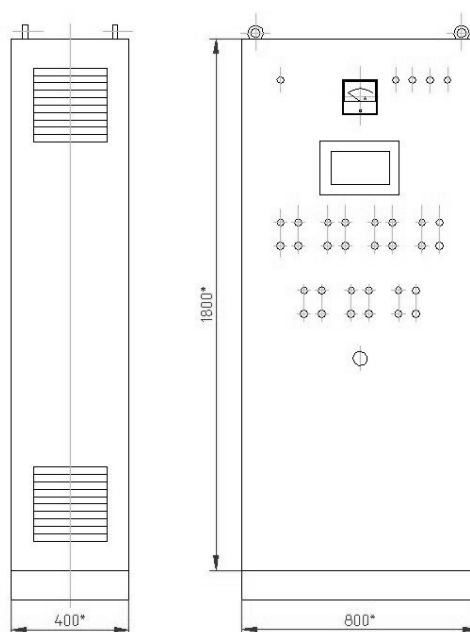


Рисунок 2.1 – Габаритні розміри та зовнішній вигляд щита управління

Для запобігання ймовірних несправностей і для аналізу роботи насосного агрегата проводиться контроль основних параметрів діяльності системи. До головних контрольованих параметрах насосного агрегата можна віднести:

- температуру на підшипниках двигуна і насоса;
- температуру мастила в маслоустановці;
- температуру рідини, що перекачується;
- температуру обмоток статора двигуна;
- температуру гарячого повітря в двигуні;
- температуру в камері за гідроп'ятою;
- тиск на виході з насоса;
- тиск води і мастила на фільтрі;
- рівень мастила в маслобаку;
- вібрації підшипників насоса і двигуна;
- наявність витоків.

Зміна кожного параметра відразу ж фіксується відповідним датчиком і передається для подальшої обробки центральним процесором відповідно до логіки прикладної програми, записаної в контролер. Подібні процедури необхідні для контролю і регулювання параметрів процесу і запобігання аварійних ситуацій. [11]

РОЗДІЛ 3 ДОСЛІДЖЕННЯ МЕТОДІВ ПУСКУ ДВИГУНА НАСОСНОГО АГРЕГАТА

3.1 Предмет дослідження

Предметом дослідження є запуск двигуна трьома різними способами. Всі моделі були підготовлені за однаковою схемою (Рисунок 3.1). Вікно кожної моделі складається з чотирьох частин:[12]

1. Scores - елементи для представлення результатів моделювання.
2. Electrical Drive - схема електричної (сильної струму) частини.
3. Signal Measurements & Estimation - вимірювальні блоки та оцінювачі вимірювань недоступні для вимірювань.
4. Control System - система управління.

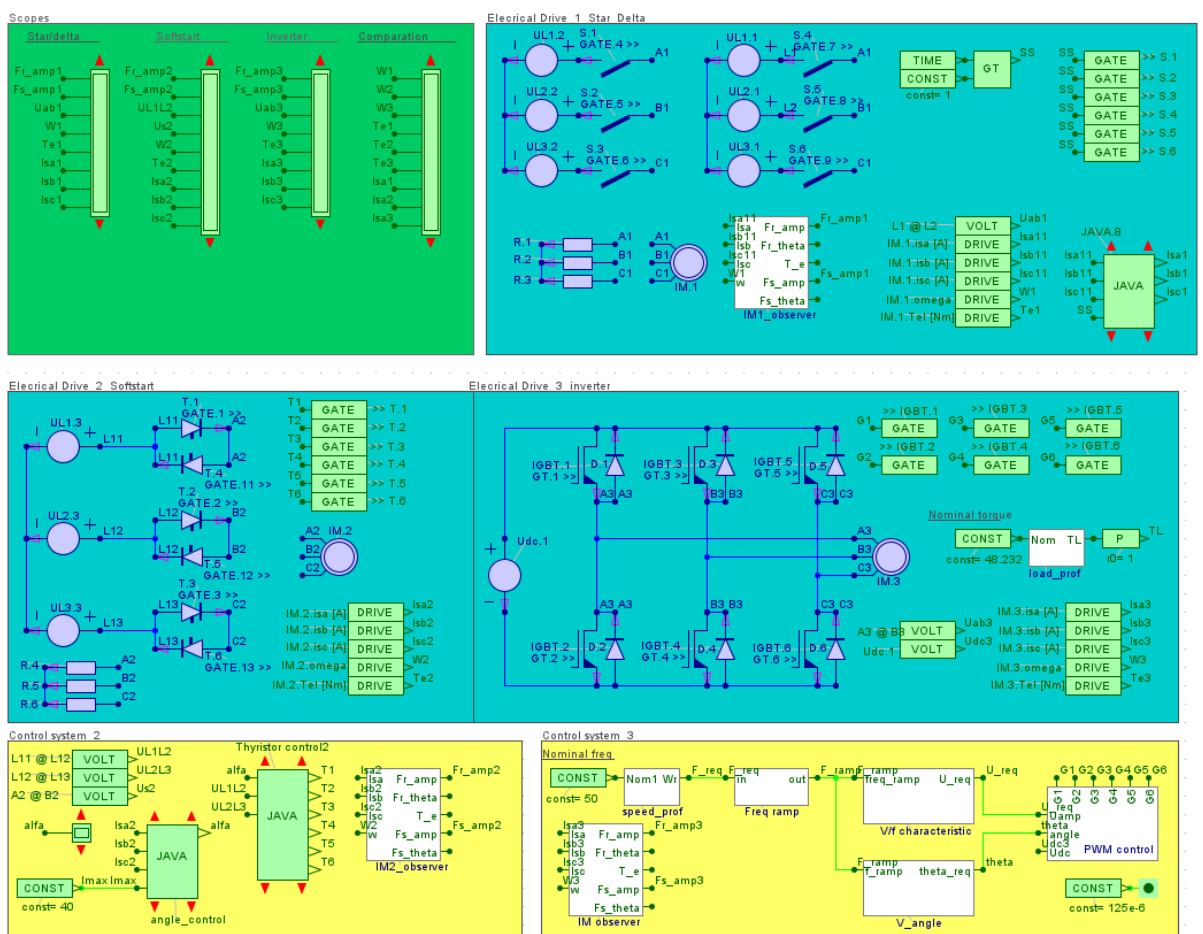


Рисунок 3.1 – Модель досліджуваної системи

Вхідними даними для системи управління можуть бути швидкість обертання, електромагнітний крутний момент, крутний момент навантаження та інші. Можна визначити профіль змін введеної кількості з часом. Для цього використовується блок speed_prof, розташований у розділі Система керування (налаштування швидкості), і додатково load_prof, розташований у розділі Електричний привід (встановлення крутного моменту

навантаження). Встановлене значення для блоку профілю - це номінальне значення фізичної величини, про яку йде мова.[12]

Після натискання на блок профілю можна вказати такі параметри:

- v_0 - початкове значення сигналу,
- t_1 - момент часу крокової зміни сигналу,
- v_1 - значення сигналу від часу t_1 ,
- t_2 - час наступної зміни сигналу,
- v_2 - значення сигналу від часу t_2 .

Часи t_1 і t_2 задаються в секундах, тоді як значення v_0 , v_1 і v_2 є множниками вхідної (номінальної) величини. Після внесення змін до блоку профілю вам доведеться знову запуснути моделювання. Аналіз отриманих результатів можливий під час та після розрахунку (завершення моделювання).

Імітаційна модель включає:

- Electrical Drive 1 - ланцюг зірка-трикутник - система запуску зірка-трикутник,
- Electrical Drive 2 - Схема плавного пуску - плавний пуск із використанням тиристорного регулятора напруги змінного струму,
- Electrical Drive 3 - Схема інвертора - система, що використовує перетворювач частоти.

Пускові системи оснащені відповідними системами управління, відповідно: Control system 2 і 3. Система управління плавного пуску (Control system 2) використовує алгоритм обмеження пускового струму (параметр I_{max} , константа CONST.1). У приводі з перетворювачем частоти (Control system 3) параметром, що впливає на пусковий струм і час запуску, є швидкість зміни частоти, встановлена в блоці частоти (параметр f_{req} , константа CONST.5).

3.2 Метод «зірка - трикутник»

Метод «зірка - трикутник» використовується в двигунах, які призначені для роботи на дельта-з'єднаному статорі, модель зображена на рисунку 3.2 . Двосторонній перемикач використовується для підключення обмотки статора в зірку під час запуску і в дельті під час роботи з нормальною швидкістю. Коли обмотка статора з'єднана зіркою, напруга на кожній фазі в двигуні буде зменшено на коефіцієнт. Початковий крутний момент буде в $1/3$ рази більшим, ніж це буде для обмотки, пов'язаної з дельта. Отже, стартер «зірка-трикутник» еквівалентний автотрансформатору відношення $1 / (\sqrt{3})$ або 58% зниженого напруги.

При використанні цього методу ми можемо спостерігати:

- Плавну зміну кутової швидкості від нуля до, приблизно, ста одиниць з моменту переключення.

- Електромагнітний момент двигуна має коливання амплітуди від діапазону(120;40) у початковий момент часу, які стабілізуються перед переключенням. В момент переключення момент має стрибок амплітуди в діапазоні(150; 10) але швидко стабілізується.

- Плавне зменшення амплітуди струму від (35;-35) до (3;-3) перед переключенням. В момент переключення струм має стрибок амплітуди в діапазоні(65;-65) але швидко стабілізується до значення (8;-8).

- Розгін двигуна відбувся приблизно за 1с .

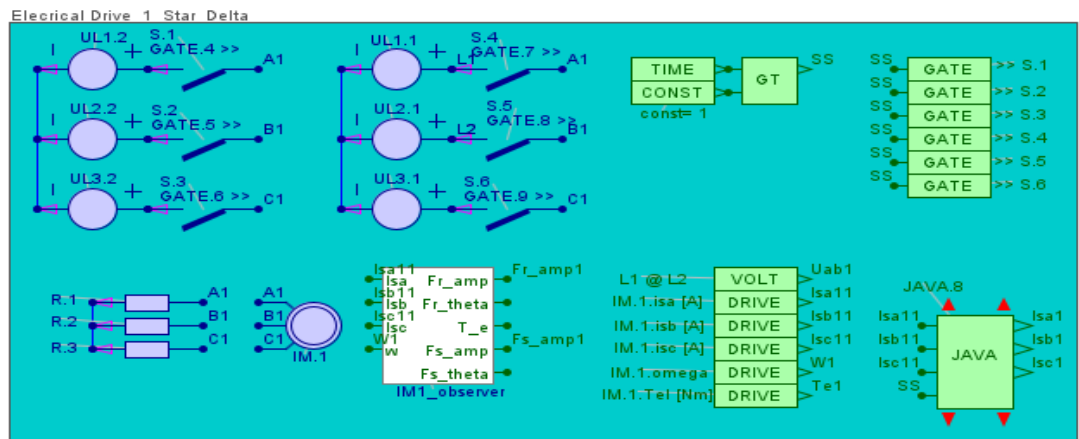


Рисунок 3.2 – Модель дослідження: запуск двигуна методом «зірка – трикутник»

На графіку (Рисунок 3.3) можемо спостерігати значення основних параметрів досліджуваної системи, при пуску заданим методом.

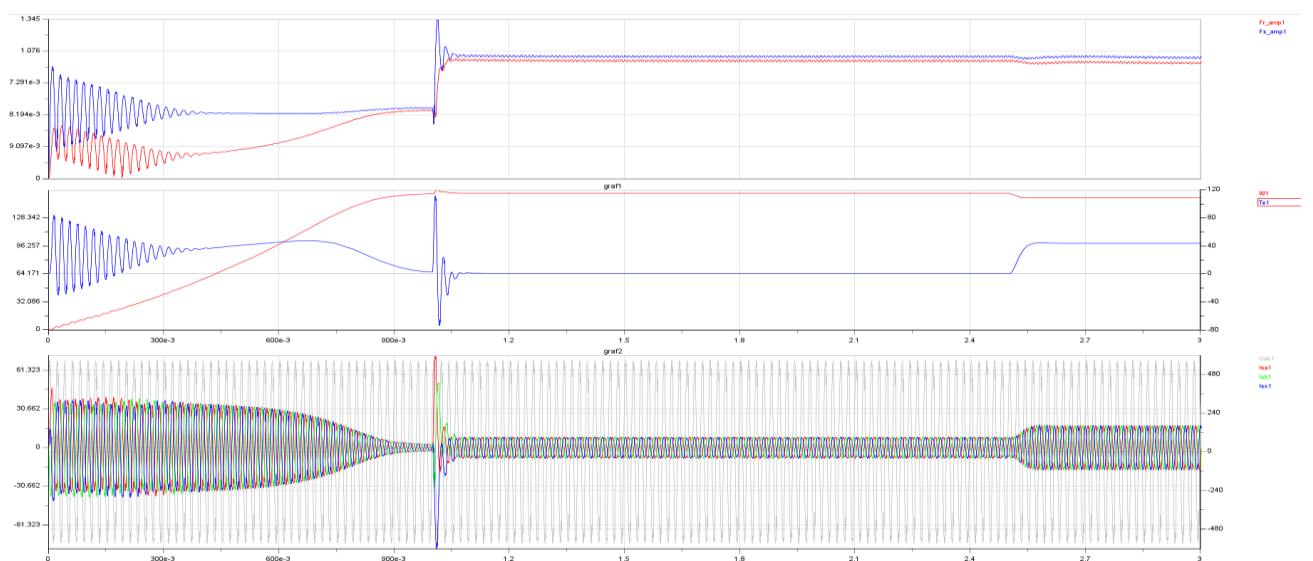


Рисунок 3.3 – Графік досліджень: запуск двигуна методом «зірка – трикутник»

3.3 Метод плавного запуску

Для плавного пуску асинхронного (Рисунок 3.4) двигуна необхідно зменшити пусковий струм, що позитивно позначиться як на навантаженні електромеханіки, так і на динамічних перевантажувальних обмотках двигуна та приводних механізмів. Досягається зменшення пускового струму, знижується напруга живлення двигуна. Занижене пускове напруження використовується у всіх трьох запропонованих способах. Наприклад, при допомозі автотрансформатора користувач самостійно знижує напругу при запуску, повертаючи повзунок.

При використанні цього методу ми можемо спостерігати:

- Плавну зміну кутової швидкості від нуля до, приблизно, 145 одиниць з моменту часу 1.8с.
- Електромагнітний момент двигуна має плавну зміну амплітуди від нуля у початковий момент часу до 145 у перед спадом у момент часу 1.7 . Далі йде різкий спад до нуля в момент часу 1.8с, після чого з моменту 2.5 с стабілізується на значенні 75.
- Непереривна амплітуда струму у діапазоні(35;-35). З моменту часу 1.7с йде спад до значень (8;-8), після чого стабілізується у момент часу 2.5 с. До значень(174-17).
- Розгін двигуна відбувся приблизно за 2.5с.

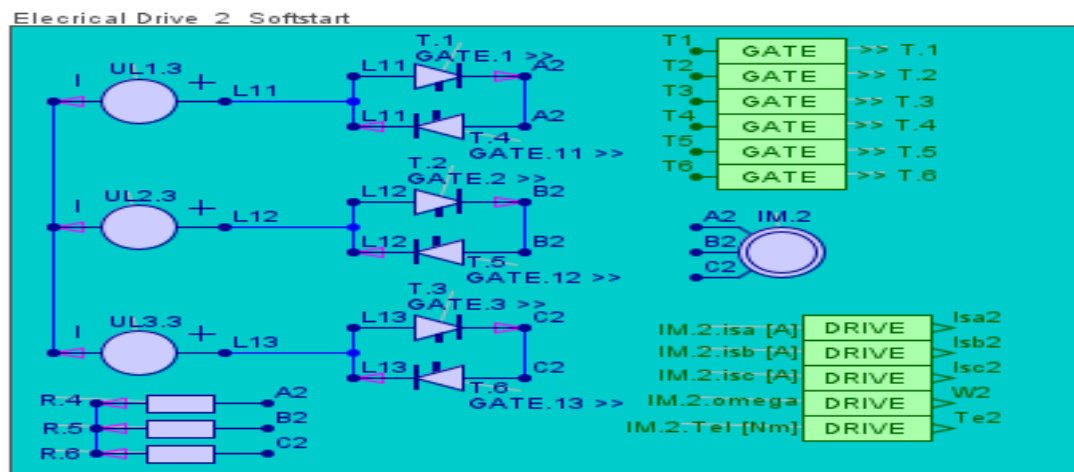


Рисунок 3.4 – Модель дослідження: запуск двигуна методом плавного запуску

На графіку (Рисунок 3.5) можемо спостерігати значення основних параметрів досліджуваної системи, при пуску заданим методом.

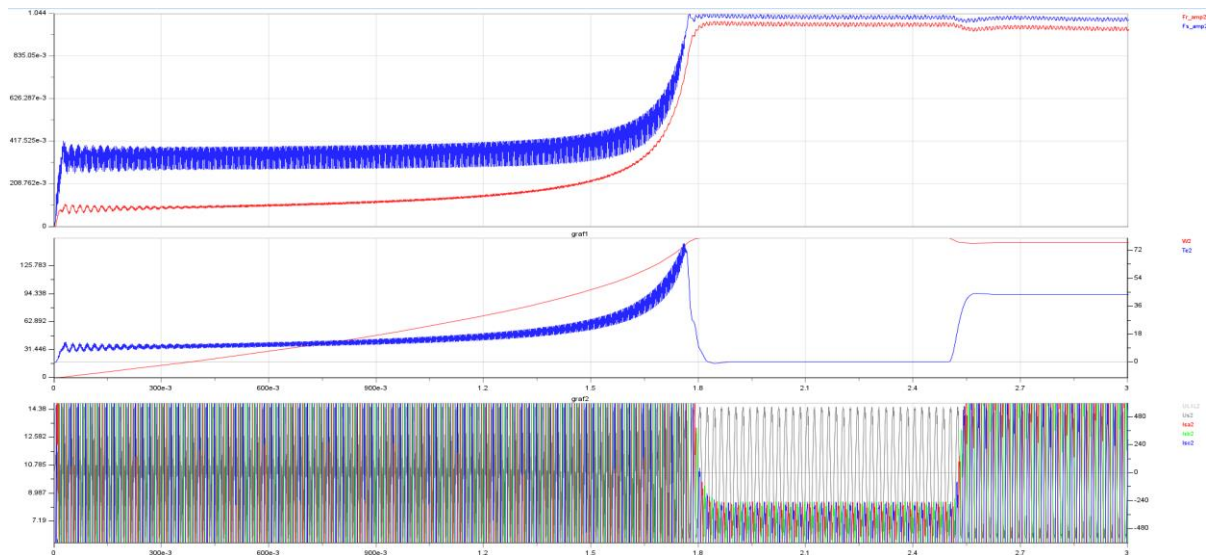


Рисунок 3.5 – Графік досліджень: запуск двигуна методом плавного запуску

3.4 Метод запуску двигуна перетворювачем частоти

Перетворювач частоти, інколи його ще називають приводом змінної частоти (ПЗЧ) складається з двох основних блоків: блока перетворення змінної напруги (50 Гц) у постійну та блока перетворення постійної напруги у змінну (інвертор) з регульованою частотою 0÷250 Гц.

Суттєвою функціональною перевагою ПЗЧ є можливість отримати високий стартовий момент (близький до максимального) навіть у разі, якщо природний стартовий момент менший, ніж номінальний, при цьому пусковий струм може становити 1–1,5 номінального. За допомогою ПЗЧ можна здійснити м'яку зупинку, що дуже корисно при зупинці стрічкових конвеєрів, які транспортують хрупкі матеріали тощо.

При використанні цього методу ми можемо спостерігати:

- Відносно плавну зміну кутової швидкості від нуля до, приблизно, ста п'яти десяти одиниць з моменту часу приблизно 0.8с. У момент часу 2.5 с йде спад швидкості до стабільного значення в 145 одиниць.

- Електромагнітний момент двигуна має нестабільні зміни в діапазоні від нуля до 96 одиниць, та повний спад до нуля з моменту часу 0.8с. до 2.5с. Після чого стабілізується до значення 35 одиниць.

- Нестабільну зміну струму у початковий момент. З моменту часу, приблизно 0.32 с йде спад від максимальної амплітуди до(8;-8) одиниць з моменту часу 0.8с. до 2.5с. Далі стабілізується до значень(15;-15)

- Розгін двигуна відбувся приблизно за 2.5с. Модель за даним методом зображено на рисунку 3.6.

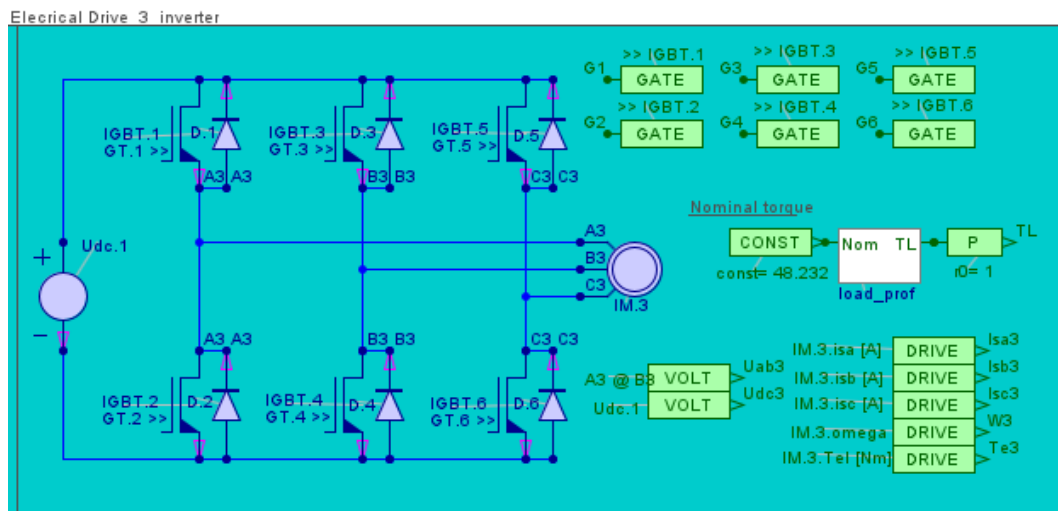


Рисунок 3.6 – Модель дослідження: запуск двигуна ПЧ

На графіку (Рисунок 3.7) можемо спостерігати значення основних параметрів досліджуваної системи, при пуску заданим методом.

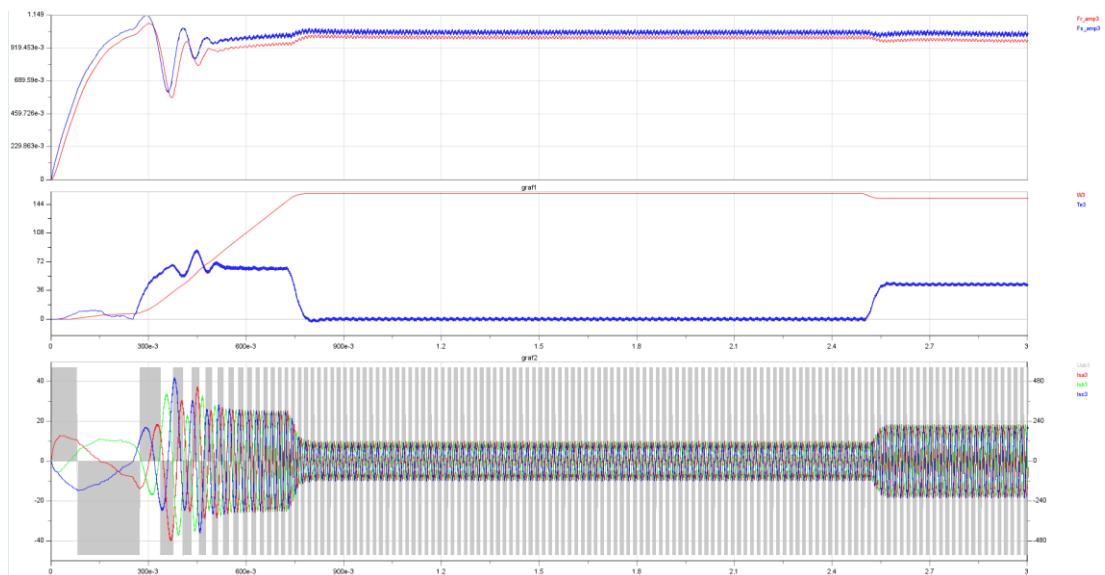


Рисунок 3.7 – Графік досліджень: запуск двигуна ПЧ

3.5 Висновки проведеного дослідження

Проведено дослідження методів пуску асинхронного двигуна з короткозамкненим ротором, під час якого знайдено графіки характеристик двигуна відповідні заданому методу. Для цього було створено імітаційні моделі з використанням різних методів.

Вдалося визначити при якому з методів розгін двигуна відбувся найшвидше – 1 с. Це метод «зірка – трикутник», коли я використовувала решту методів, а саме метод плавного пуску та метод пуску перетворювачем частоти, час розгону двигуна становив 2,5 с.

РОЗДІЛ 4 КОМП'ЮТЕРНО-ІНТЕГРОВАНА СИСТЕМА УПРАВЛІННЯ НАСОСНИМ АГРЕГАТОМ

4.1 Програмований логічний контролер Simatic S7 CPU 1510SP

Виконання заданої логіки управління агрегатом і всіма його механізмами здійснює програмований логічний контролер (ПЛК). ПЛК встановлений в щиті управління, в якому відбувається збір інформації з датчиків агрегата і відповідно до отриманих даних виконується певний алгоритм роботи агрегата.[11]

Система побудована на базі ПЛК Simatic S7 CPU 1510SP-1 для ET 200SP (рис 4.1).

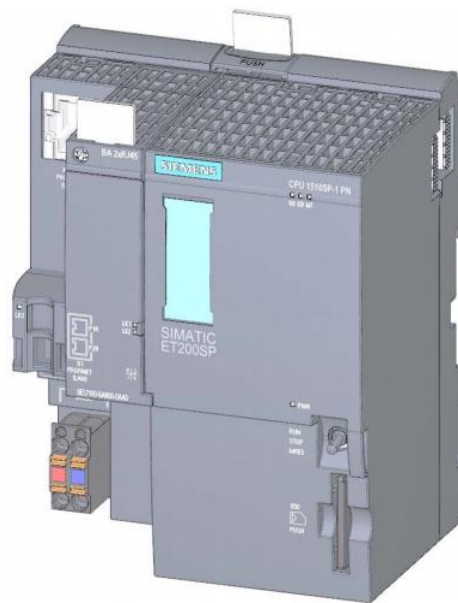


Рисунок 4.1– Вигляд ПЛК Simatic S7 CPU 1510SP-1

Центральний процесор включає в себе операційну систему і виконує програму користувача. Програма користувача знаходиться на картці пам'яті SIMATIC і обробляється в робочій пам'яті процесора.[7]

Інтерфейси PROFINET, доступні в процесорі, дозволяють одночасно спілкуватися з пристроями PROFINET, контролерами PROFINET, пристроями HMI, пристроями програмування, іншими контролерами та додатковими системами. CPU 1510SP-1 підтримує операцію як ІО контролер або автономний процесор.[7]

Завдяки додатковому інтерфейсу PROFIBUS, CM DP, CPU 1510SP-1 PN підтримує конфігурацію мереж PROFIBUS на додаток до PROFINET ІО. Коли ви використовуєте інтерфейс PROFIBUS DP, ви можете налаштувати CPU 1510SP-1 PN як DP господар або як користувач [8].

Процесор 1510SP-1 PN надсилає та приймає дані з підключених пристроїв введення-виведення в межах системи PROFINET IO. Є можливість керувати процесором з 64 підключеними пристроями введення-виведення.

"І-пристрій" (інтелектуальний пристрій введення-виведення) дозволяє обмінюватися даними з ІО контролера. Таким чином, CPU 1510SP-1 PN виконує роль інтелектуальної, розподіленої, попередньої обробки, блок для підпроцесів [8].

На рисунку 4.2 зліва показано PN CPU 1510SP-1, включаючи підключений BA 2xRJ45BusAdapter. На малюнку праворуч зображено окремий вигляд BusAdapter.

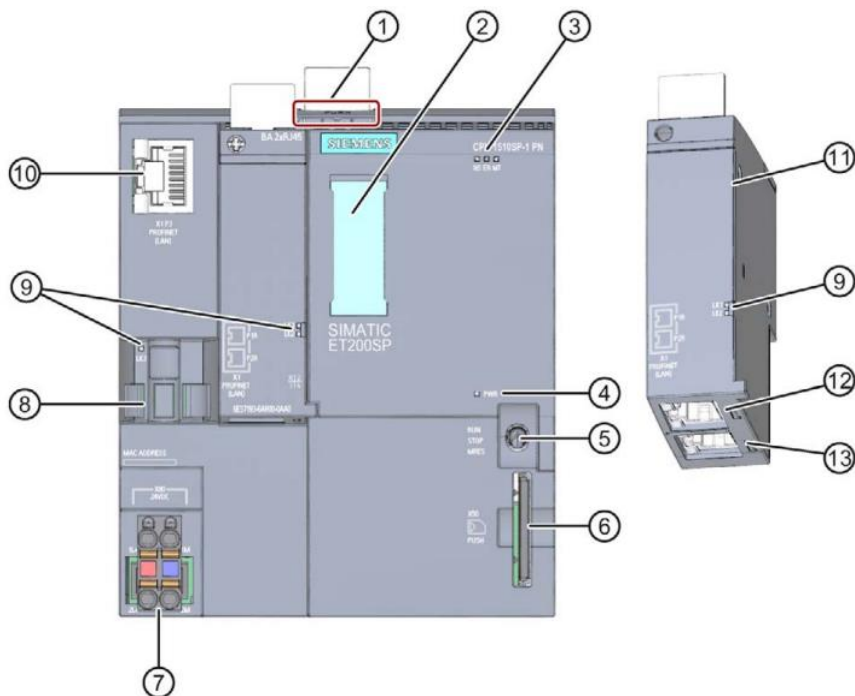


Рисунок 4.2-Програмований логічний контролер Simatic S7 CPU 1510SP-1 : 1 – монтажна рейка розмикання, 2 – стрічка маркування, 3 - світлодіоди для відображення стану та помилок, 4 - світлодіод для відображення напруги живлення, 5 - перемикач режимів, 6 - слот для картки пам'яті SIMATIC, 7 - підключення для напруги живлення, 8 - підтримка кабелю та пристосування для порту P3 інтерфейсу PROFINET, 9 - світлодіоди для відображення статусу інтерфейсу PROFINET: LK1 та LK2 на BusAdapter, LK3 увімкнено ЦП, 10 - порт P3 інтерфейсу PROFINET: роз'єм RJ45, 11 - окремий вид BusAdapter, 12 - порт P1 R інтерфейсу PROFINET: роз'єм RJ45, 13 - порт P2 R інтерфейсу PROFINET: розетка RJ45 [9]

4.2 Програмне забезпечення роботи технологічного контролера

Конфігурація програмованого логічного контролеру Simatic S7 CPU 1510SP для станції ET 200SP виконується в середовищі STEP 7 Basic V11 SP2 (рис.4.3).

Базовий пакет STEP 7 призначений для створення проектів, що вирішують завдання автоматизації окремих верстатів, ділянок, технологічних процесів. Даний пакет дозволяє виконувати розробку як софт, так і хард засобів в межах одного проекту, в результаті чого на основі вимог до програмної та апаратної частин відбувається створення і конфігурація потрібних засобів і мереж, робочих програм і блоків даних для вирішення задач автоматизації. [11]

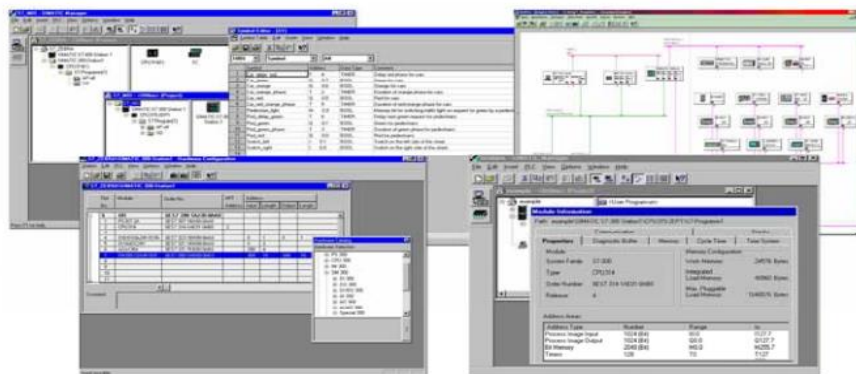


Рисунок 4.3 – Програмне забезпечення Simatic STEP 7 Basic V11 SP2

Стандартне ПЗ надає підтримку на всіх стадіях процесу рішення задачі автоматизації, а саме:

- створення та керування проектами;
- налаштування і призначення параметрів апаратури та зв'язків;
- управління символами;
- розробка програм, наприклад, для програмованих контролерів S7;
- завантаження програм в ПЛК;
- тестування системи автоматизації;
- діагностика недоліків установки [10]

4.3 Диспетчеризація управління насосним агрегатом на базі SCADA –системи

SCADA — програмний пакет, призначений для розробки або забезпечення роботи в реальному часі систем збору, обробки, відображення та архівування інформації про об'єкт моніторингу або управління.

Відображення процесу в графічній формі зображено на рисунку 4.4.



Рисунок 4.4-SCADA система

Безпека і надійність експлуатації інженерних об'єктів, зокрема ТЕС, забезпечується за допомогою єдиного контрольного і управлінського комплексу. Диспетчеризація ТЕС дозволяє здійснювати контроль швидкими темпами, в on-line режимі з мінімальним числом співробітників, задіяних в процесі. Це дає можливість в значній мірі знизити ризик аварії. Зазвичай, в функції системи диспетчеризації входить:

- Зняття показників з пристроїв і візуальне відображення процесів, що відбуваються з інженерним обладнанням;
- Своєчасне виявлення надзвичайних ситуацій, запобігання аваріям;
- Формування та відправка тривожних повідомлень відповідальним особам;
- Дистанційне керування приладами інженерних систем;
- Збір і зберігання показань приладів в автоматичному або ручному режимі;
- Візуалізація даних в графічному і табличному вигляді;
- Ведення звітності про енергоспоживання
- За необхідності, передача даних на віддалений пульт вищого рівня.

Панель диспетчера зображено на рисунку 4.5.

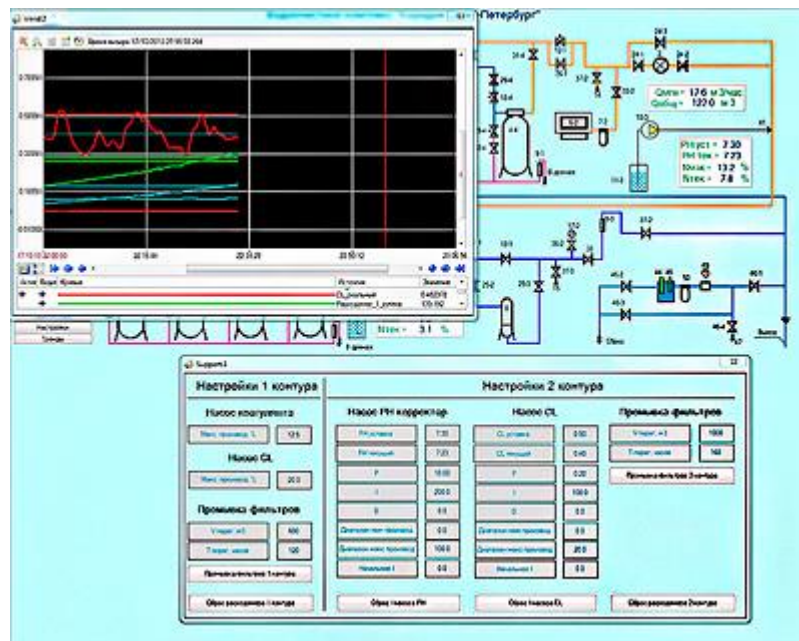


Рисунок 4.5- Панель диспетчера

ВИСНОВОК

В результаті дипломного проекту були виконані поставлені задачі дослідження, а саме:

- Проаналізована ФСА та виділені контури керування
- Розроблено алгоритмічні бази процесів управління насосним агрегатом в режимах: робочий, резервний, ремонтний ;
- За допомогою методів комп'ютерного моделювання проведено дослідження методів пуску двигуна НА;
- Розроблено алгоритм роботи технологічного контролера;
- Запропоновано варіант застосування SCADA- системи для диспетчерського контролю і управління насосним агрегатом.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Трухня А.Д. Современная теплоэнергетика / Трухня А.Д., 2007
2. Агрегат электронасосный АПЭ 720-185-6 (Q=720 м³/ч, H=2030 м). Технические требования на автоматику и КИП [Электронный ресурс]. -2018. – Режим доступа до ресурсу: <http://vniiaen.sumy.ua>
3. Совершенствование насосного оборудования энергетических установок [Электронный ресурс] // АО «Сумский завод «Насосэнергомаш» (Группа ГМС). – 2015. – Режим доступа до ресурсу: <http://nempump.com/wp-content/uploads/2015/09/20-23.pdf>
4. В.Х.Георгиади. МУ 34-70-026-82 [Электронный ресурс] / В.Х.Георгиади // СПО Союзтехэнерго. – 1982. – Режим доступа до ресурсу: <http://docs.cntd.ru/document/1200079978>.
5. Altuhov I, Shamarova N, Suslov K, Gerasimov D, Shushpanov I, Lombardi P and Komarnicki P 2019 Stabilizing the control of a plant material drying process in off-grid power systems Elektroenergetika 1 363-67
6. Маслоустановка. Руководство по эксплуатации Н17.330.300.00 РЭ [Электронный ресурс]. - 2016. – Режим доступа до ресурсу: <http://vniiaen.sumy.ua>.
7. SIMATIC ET 200SP CPU 1510SP-1 PN (6ES7510-1DJ00-0AB0) [Электронный ресурс]. – 2017. – Режим доступа до ресурсу: <https://cache.industry.siemens.com/dl/fi>.
8. Protocol API PROFINET IO Device V3.12.0 [Электронный ресурс] // Hilscher. – 2017. – Режим доступа до ресурсу: https://www.hilscher.com/fileadmin/cms_upload/de/Resources/pdf/PROFINET_IO-Device_V3.12_Protocol_API_17_EN.pdf.
9. Simatik ET 200SP Distributed I/O system System Manual [Электронный ресурс] // Siemens. – 2019. – Режим доступа до ресурсу: https://cache.industry.siemens.com/dl/files/942/84133942/att_1012578/v1/et200sp_manual_collection_en-US.pdf.

10. Simatic Step 7 Basic V11.0 SP2 System Manua [Електронний ресурс] // Siemens. – 2016.
– Режим доступу до ресурсу:
<https://support.industry.siemens.com/mdm/default.aspx?DocVersionId=37357562891&Language=en-US&TopicId>
11. Івченко, Ю.О. Система автоматизації насосного агрегата АПЕ 720-185-6 [Текст]: робота на здобуття кваліфікаційного рівня бакалавр; спец.: 151 - автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології / Ю.О. Івченко; кер. А.О. Панич. - Суми: СумДУ, 2020. – Режим доступу до ресурсу: https://essuir.sumdu.edu.ua/bitstream-download/123456789/77807/1/Ivchenko_bac_rob.pdf
12. Івченко Ю.О. Дослідження методів пуску асинхронного двигуна насосного агрегату / Ю.О. Івченко, А.О. Панич // Інформатика, математика, автоматика (ІМА:2021). Матеріали та програма науково-технічної конференції, м.Суми, 19-23 квітня 2021 року. – Суми: Сумський державний університет, 2021. – С.175.