

Хмельницький національний університет

Факультет інженерії, транспорту та архітектури

Кафедра машин і апаратів, електромеханічних та енергетичних систем

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА БАКАЛАВРА

Розробка автоматизованої системи зрошування

Галузь знань 14 «Електрична інженерія»

Шифр, назва

Спеціальність 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»

Шифр, назва

Освітня програма «Електропобутова техніка»

Шифр БРМА 24.00.00.000 ПЗ

Виконав студент 4 курсу
група ЕТ-20-1


Підпис

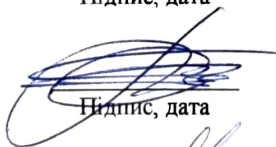
А.Е. Кушнірук
Ініціали, прізвище

Керівник


Підпис, дата

С.І. Пундик
Ініціали, прізвище

Нормоконтролер


Підпис, дата

доц. Тимошенко О.
Ініціали, прізвище

До захисту допускаю:

Зав. кафедри МАЕЕС


Підпис, дата

проф. О.С. Поліщук
Ініціали, прізвище

11 06 2024 р.

Хмельницький 2024

ХМЕЛЬНИЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет інженерії, транспорту та архітектури

Кафедра машин і апаратів, електромеханічних та енергетичних систем

Освітній рівень бакалавр

Галузь знань 14 Електрична інженерія

Шифр і назва

Спеціальність 141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка

Шифр і назва

Освітня програма Електропобутова техніка

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри МАЕЕС

17.06.2024

ЗАВДАННЯ НА БАКАЛАВРСЬКУ КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

Кушнірук Андрій Едуардович

Прізвище, ім'я, по батькові студента

1. Тема роботи Розробка автоматизованої системи зрошування

керівник роботи Пундик Сергій Іванович

Прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання

Затверджено наказом ректора університету від 15 02 2024 р. № 8

2. Строк подання студентом роботи на кафедру 17.06.24

3. Вихідні дані до роботи характеристики автоматизованої системи зрошування

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

Вступ. 1 Огляд та аналіз технічної літератури з тематики бакалаврської роботи. 2. Розробка автоматизованої системи зрошування. 3. Розрахунок силової частини. Висновки. Перелік джерел посилань.

5. Перелік графічного матеріалу (із зазначенням обов'язкових креслень)

1. Системи зрошування (ДО, А1). 2. Силова частина (ВЗ, А1). 3. Електромеханічна система автоматизації зрошувальної установки (С2, А1). 4. Електромеханічна система автоматизації зрошувальної установки (РР1, А1). 5. Модель системи зрошувальної установки в програмному середовищі MathLab (РР2, А2). 6. Результати моделювання (РР3, А2).

6. Консультанти розділів кваліфікаційної роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв

7. Дата видачі завдання _____

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

Назва етапів (розділів) кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітки
1. Огляд та аналіз технічної літератури		
2. Розробка автоматизованої системи зрошування		
3. Розрахунок силової частини		
4. Оформлення пояснювальної записки та графічного матеріалу		

Студент

Керівник роботи

Підпис 

Підпис 

А.Е. Кушнірук

Ініціали, прізвище

С.І. Пундик

Ініціали, прізвище

АНОТАЦІЯ

до бакалаврської кваліфікаційної роботи студента спеціальності 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»

1. Прізвище, ім'я та по батькові Кушнірук Андрій Едуардович

2. Тема бакалаврської роботи Розробка автоматизованої системи зрошування

3. Прізвище, ініціали, вчена ступінь та звання опонента _____

4. Об'єм бакалаврської роботи: креслень 5 арк., сторінок записки 56

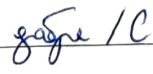
5. Сьогодні людство все активніше переходить до автоматизованого типу виробництва. Тому що це дає можливість оптимізувати процеси виробництва, вирощування та побуту. Сільське господарство також не відстає в інноваціях і модернізації процесу, оскільки це дозволяє підвищити продуктивність і ефективність вирощування рослин. Процес, який раніше займав тижні, тепер завдяки автоматизації завершується за кілька годин. Важливим елементом вирощування рослин є вода. Вона впливає на стан рослин, а це, в свою чергу, робить істотний вплив на врожайність. Головне-давати рослинам оптимальну кількість води, адже якщо земля буде надмірно вологою, рослина може загинути. Тому точний контроль за поливом є важливим елементом. Отже, розробка системи здатної автоматично підтримувати необхідний рівень вологості, відіграє важливу роль для сільського господарства. В бакалаврській роботі здійснюється розробка автоматизованої системи зрошування, що є актуальним для використання, як в побуті так і в сільському господарстві. В розрахунково-пояснювальній записці наведено всі необхідні розробки, а також розділи, що відповідають встановленим вимогам. В першому розділі проведено огляд та аналіз існуючих технічних та технологічних рішень з тематики бакалаврської роботи, а саме типи систем зрошення рослин та системи керування автоматичним зрошенням. В другому здійснюється розробка автоматизованої системи зрошування. В третьому розділі проведено розрахунки силової частини.

Підпис студента 

"17" 06 2024 р.

РІШЕННЯ ЕК:

Протокол 11 від "25" 06 2024 р.

Оцінка проекту ЕК  10
Рекомендації ЕК _____



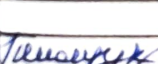


Особливі відмітки _____

Технічний секретар 

"25" 06 2024 р.

ЗМІСТ

	стор.
Вступ.....	5
1 Огляд та аналіз технічної літератури з тематики бакалаврської роботи.....	6
1.1 Типи систем зрошення рослин	6
1.2 Системи керування автоматичним зрошуванням.....	10
1.3 Вимоги до електроприводу	19
Висновки до першого розділу	19
2 Розробка автоматизованої системи зрошування	21
2.1 Вибір перетворювача частоти.....	21
2.2 Вибір елементів автоматизованої системи зрошування	23
2.3 Розробка функціональної схеми та блок-схеми алгоритму роботи тепличного господарства.....	29
Висновки до другого розділу	33
3 Розрахунок силової частини	34
3.1 Розрахунок кількості споживаної води	34
3.2 Вибір та розрахунок номінальних даних двигуна.....	35
3.3 Математичний опис об'єктів керування.....	41
3.4 Моделювання систем зрошування	47
Висновки до третього розділу	53
Висновки	54
Перелік джерел посилань	55

БРМА 24.00.00.000 ПЗ				
Змн	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата
		Курнірук А Е		
		Пундук С І		
				
		Поліщук О С		
			Розробка автоматизованої системи зрошування	
			Лит.	Арк.
			4	56
ХНУ гр. ЕТ-20-1				

ВСТУП

Сьогодні людство все активніше переходить до автоматизованого типу виробництва. Тому що це дає можливість оптимізувати процеси виробництва, вирощування та побуту. Сільське господарство також не відстає в інноваціях і модернізації процесу, оскільки це дозволяє підвищити продуктивність і ефективність вирощування рослин. Процес, який раніше займав тижні, тепер завдяки автоматизації завершується за кілька годин. Важливим елементом вирощування рослин є вода. Вона впливає на стан рослин, а це, в свою чергу, робить істотний вплив на врожайність. Головне-давати рослинам оптимальну кількість води, адже якщо земля буде надмірно вологою, рослина може загинути. Тому точний контроль за поливом є важливим елементом. Отже, розробка системи, здатної автоматично підтримувати необхідний рівень вологості, відіграє важливу роль для сільського господарства.

Мета – створити автоматичну систему зрошення для тепличного комплексу, яка може автоматично здійснювати полив різних земельних ділянок, що вимагають додаткового поливу. Оскільки кількість споживачів в системі різна і тиск повинен підтримуватися в межах норми, автоматизований процес також включає в себе регулювання частоти обертання електродвигуна, підключеного до насоса через вал, для збільшення або зменшення кількості води і тиску, створюваного насосом.

					<i>БРМА 24.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		5

1 ОГЛЯД ТА АНАЛІЗ ТЕХНІЧНОЇ ЛІТЕРАТУРИ З ТЕМАТИКИ БАКАЛАВРСЬКОЇ РОБОТИ

1.1 Типи систем зрошення рослин

Зрошення – це комплекс технічних засобів, що регулюють процес, спрямований на підвищення родючості сільськогосподарських культур в районах з недостатньою або нестабільною природною водністю. Здійснюється методом штучного водопостачання [1].

Існує багато різних систем зрошення, і не всі вони є гнучкими та простими в управлінні. Тому була запропонована автоматична система зрошення з використанням електроприводу. Вода подається з централізованого водопроводу за допомогою донних відкладень, з'єднаних валом з електроприводом, утворюючи систему живлення іригаційного обладнання. Система може бути адаптована для вирощування багатьох культур і рослин. Її легко інтегрувати в існуючі системи. Спочатку нам потрібно вибрати систему водопостачання.

Існує 3 типи систем автоматичного поливу: система дощування, система внутрішнього зрошення ґрунту та система крапельного зрошення. У кожній з них є свої плюси і мінуси.

Системи дощування [2].

В основі всіх таких систем лежить розпилювач, в який подається вода під високим тиском. Розпилювач може бути встановлений як зверху, так і знизу.

					<i>БРМА 24.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
						6
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



Рисунок 1.1 – Система дощування з подачею зверху

Недоліки:

- полив у сонячний день може призвести до опіків листя рослин, оскільки краплі схожі на лінзи, які збирають сонячні промені;
- складний процес, необхідно струшувати вологу з рослини після поливу;
- низька ефективність, більша частина води не доходить до кореневої системи;
- через те, що бур'яни ростуть активніше, в тепличному комплексі підвищується вологість;
- не можливо використовувати систему для підживлення землі;
- підходить для вирощування невеликої кількості рослин;
- висока вартість, оскільки потрібно купити трубу, здатну витримувати високий тиск.

Системи внутрішнього зрошення ґрунту.

Така система зрошення є найбільш трудомісткою, так як для установки

					<i>БРМА 24.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
						7
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

цієї системи необхідно перекопати ґрунт, а якщо елементи системи виходять з ладу і потребують або в ремонті, або в заміні, то необхідно дочекатися закінчення росту рослини або зробити повторну посадку, що може привести до загибелі рослини, тому догляд за ним не дуже зручний.

Слід також зазначити, що така система (рис. 1.2) вимагає постійного моніторингу та достатніх знань в області меліорації земель [4].

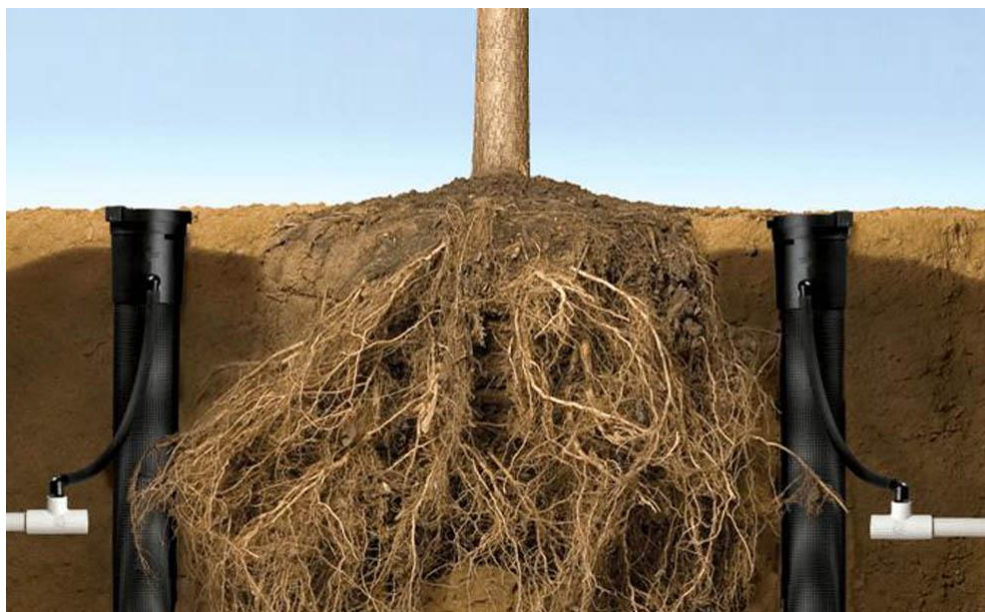


Рисунок 1.2 – Система внутрішнього зрошення ґрунту

Переваги:

- низьке споживання води;
- здійснюється аерація ґрунту;
- вологість в теплиці не підвищується і залишається стабільною.

Недоліки:

- не рекомендується використовувати таку систему у великих масштабах;
- ремонт і технічне обслуговування не є зручними.

Система крапельного зрошення.

Принцип крапельного зрошення полягає у використанні системи трубопроводів для всієї території – основним компонентом є крапельна

					БРМА 24.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		8

трубка, яка укладається в землю під рослинами, які потребують поливу, трубка має отвір в дозаторі на відстані 10-30 см, утворюючи краплі для поливу. Така система є однією з найбільш недорогих і надійних та завоювала найбільшу популярність в тепличному комплексі, так як має безліч переваг перед іншими системами, через які бур'яни ростуть рідше і можуть використовуватися для поливу більших територій комплексів, проста у використанні і обслуговуванні. Важливим елементом такої системи є подача і тиск води в трубопроводі. Для невеликих ділянок рекомендується використовувати таку систему ручного управління. Для великих ділянок зрошення слід розглянути можливість автоматичного зрошення з невеликим відсотком участі людини в процесі [3][4].



Рисунок 1.3 – Система крапельного зрошення.

Переваги:

- точна подача води під рослини;
- зникає ерозія ґрунту;
- зникають деякі хвороби рослин, що виникають через підвищену вологість в тепличному комплексі;
- відмінна економія води;
- простота у використанні;
- можливість створення системи подачі води на великі території;

					<i>БРМА 24.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		9

- споживання води скорочується до 70% для порівняння з іншими системами.

Недоліки:

- може призвести до засмічення, оскільки трубка контактує з землею; •
- не витримує високих тисків.

Тому система крапельного зрошення є кращим вибором і лідером серед інших систем поливу. Давайте розглянемо існуючу автоматичну систему крапельного зрошення та використаємо найкращі ідеї для розробки власного проекту.

1.2 Системи керування автоматичним зрошуванням

Системи автоматичного зрошування “АКВАДІМ” (рис.1.4).

Невелика автоматична система, розрахована на полив близько 36 рослин. Для поливу використовується крапельна трубка, яка виключає засмічення системи і підвищує надійність системи. Вона має 3 варіанти управління: автоматичне, напівавтоматичне і ручне. Система працює від акумулятора і не вимагає підключення до мережі. Система автоматично набирає бочку води в день, а коли спрацьовує фотоелемент, ввечері починається автоматичний полив.

Переваги системи: в вечірній полив, не всі рослини підходять для поливу холодною водою, система цілковито автоматична і не вимагає підключення до загальної мережі живлення.

Недоліки системи: саме вечірній полив підвищує вологість повітря в холодну пору року, що призводить до збільшення утворення конденсату, цей метод ніяк не підходить для підземних теплиць. Невелика максимальна кількість рослин, яких можна поливати одночасно [5].

					<i>БРМА 24.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		10

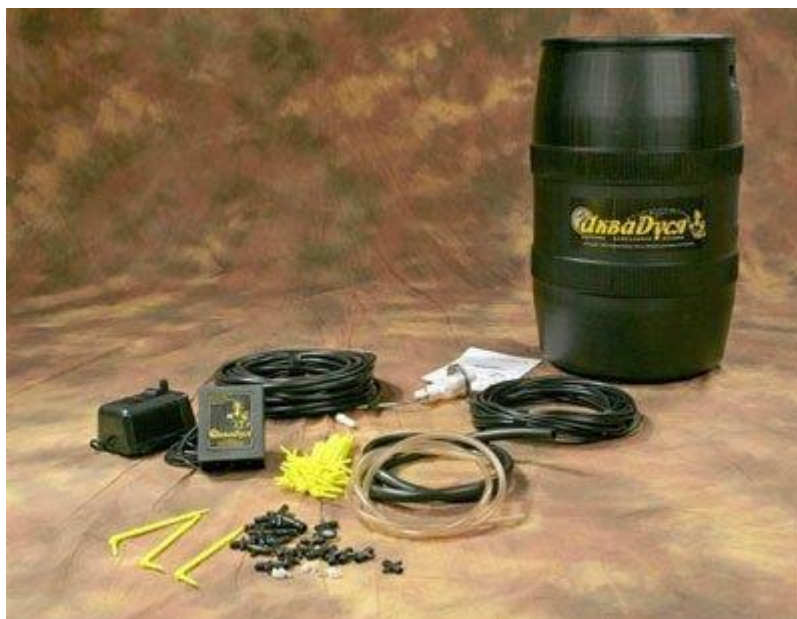


Рисунок 1.4 – Система крапельного зрошування “Аквідім”

Система автоматичного зрошування “ЖУК” (рис. 1.5).

Система автоматичного зрошування розрахована на полив до 60 рослин. Принцип дії заснований на подачу води з бочки під дією власного тиску, бочка розташовується на висоті 1,5~2м від поверхні зрошування для створення тиску.

За системою шлангів вода подається до трубки-крапельниці, яка вставлена поруч з кореневищем рослини, через яку вода подається на рослину. У комплект входять всі запасні частини для самостійної збірки без додаткової покупки предметів, за винятком бочок. Бочка в комплект не входить.

Переваги: недорога, компактні розміри системи не вимагають подачі води і підключення до електрики.

Мінуси: не підходить для автоматизованого поливу у великих кількостях, система ручна, всі регулювання виконуються за допомогою ручних кранів, необхідність ручного забору води в бочку, необхідність покупки бочки [6].

					<i>БРМА 24.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
						11
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

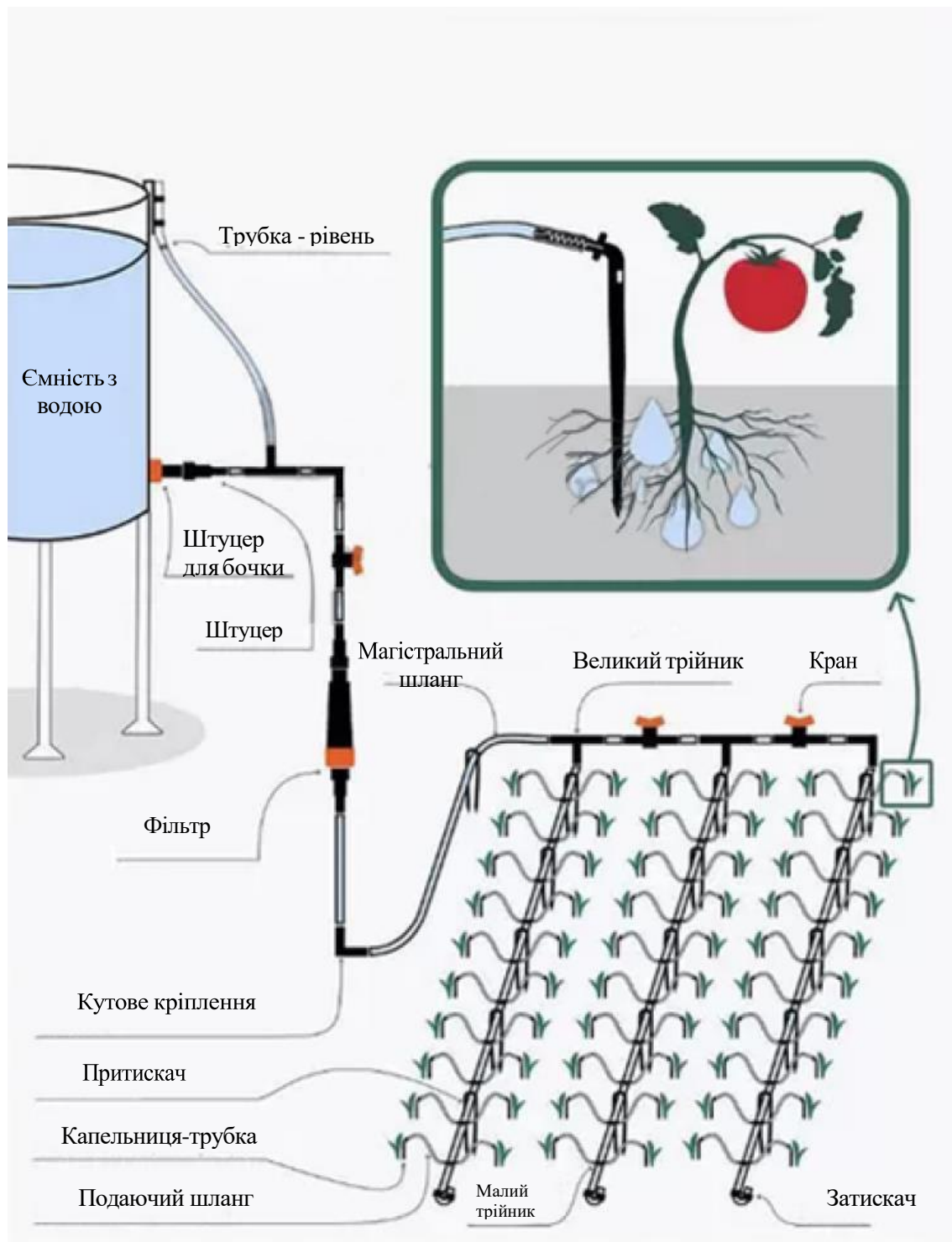


Рисунок 1.5 – Схема автоматичного зрошування системи “ЖУК”

Система керування електродвигуном через реле тиску.

Система являє собою двигун, з'єднаний з насосним агрегатом валом. На виході з насосного агрегату є реле тиску EPS-16A (рис. 1.6), яке

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

БРМА 24.00.00.000 ПЗ

Арк.

12

налаштовується на більш низьке і більш високе порогове значення тиску. При спрацьовуванні реле перевіряється тиск в системі і, відповідно, включається і вимикається електродвигун. При досягненні нижнього порогового значення воно приводить в дію двигун, а при досягненні верхнього порогового значення, навпаки, вимикається. Перевагами таких реле є вбудований контроль тиску і захист системи від сухого ходу. Якщо в системі немає води, насосний агрегат автоматично відключиться, і це не зашкодить насосу, оскільки він чутливий до навантажень без рідини. 1. Одним з недоліків такої системи є ручний режим, оскільки система не може бути інтегрована з іншими типами елементів управління. Така система не відрізняється гнучкістю [7].



Рисунок 1.6 – Реле тиску EPS-16A

Аналізуючи автоматичні системи, можна зробити висновок, що кожна з них має певний вузол:

- 1) Вузлом подачі води може бути резервуар для води або колодязь.
- 2) Насосний агрегат необхідний для створення тиску в системі. Щоб змінити площу зрошення, необхідно розробити систему управління

					<i>БРМА 24.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		13

електроприводом насоса.

3) Блок фільтрації для забезпечення чистої подачі води в піч і збільшення терміну придатності електромеханічної установки, водопровідної труби і крапельної стрічки.

4) Блок для системи внесення добрив.

5) Магістральний трубопровід є основною трубою системи зрошення.

6) Лінія з крапельної трубкою.

7) Вузол управління системою.

Вимоги до систем поливу:

Використання крапельного зрошення можна пояснити тим, що основною перевагою є подача води під коріння рослини, завдяки цьому листя рослини не вигорять від проникнення води, а площа зрошення невелика.

Здійснюється полив окремих ділянок тепличного комплексу, оскільки ґрунт на великій площі різний і ступінь її висихання різний.

Використовуйте системи, розроблені для вирощування різних рослин, і вибирайте температуру теплої або холодної води, щоб найкраще адаптувати навколишнє середовище.

Огляд датчиків вологості для систем зрошення.

Результатом роботи датчика вологості є отримання аналогового значення, що характеризується станом ґрунту в місці відбору проб [8]. Вони мають різний принцип роботи, який залежить від використовуваних методів зрошення, типу ґрунту. Основна конструкція датчика вологості полягає в наступному: ємнісний тип найпростіший і дешевий варіант, це повітряний конденсатор. Поміж пластинами створюється незначна напруга і вимірюється змінний опір. Залежно від вологості ґрунту, він більш сухіший, і тим збільшується опір.

Оптичний за своїм принципом дії полягає в подачі світлових променів на дзеркало, які після відображення уловлюються фотодатчиком і поступово охолоджуються поверхні дзеркала до початку процесів конденсації водної

					<i>БРМА 24.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		14

пари і розсіювання відбитих світлових променів від дзеркала. Потім реєструються і обробляються дані про точку роси і поточному температурному режимі. Отже, такі датчики водночас виконують функції вимірювання вологості та температури. Вони дуже дорогі і одні з найточніших.

Резистивний за своїм принципом дії полягає в розміщенні матеріалу з невеликим опором і високою чутливістю до вологості між двома пластинами. Вимірюється спільний опір і розраховується відносна вологість. Такі датчики мають найменшу точність.

На електроізоляційний шар наноситься електроліт, що має властивості змінювати свої концентрації при зміні вологості в довколишньому середовищі. Вони володіють високою точністю і невеликими габаритами [9].

Вибір електроприводу.

В якості електродвигуна в системі обраний асинхронний двигун. Вони дуже популярні як асинхронні двигуни для приводу електричних конвеєрів. Асинхронними двигунами важко керувати, але в порівнянні з двигунами постійного струму він не має короткозамкненого розподільного щита двигуна, щітки та обмотки ротора. Вони витримують більші перевантаження, створюють більш крутий момент при менших габаритах, а також складаються з міцної конструкції [10].

Перевага:

- надійність: вони мають доволі просту конструкцію і невелику кількість рухомих частин, що знижує ймовірність виходу з ладу. Крім того, рекламні пристрої можуть робити протягом тривалого періоду часу без необхідних технічних обслуговувань;

- ефективність: мають високий ККД, тобто перетворюють електроенергію в механічну енергію з високою ефективністю. Зазвичай вони мають ефективність понад 90%, що означає, що більша частина електроенергії перетворюється на механічну;

					<i>БРМА 24.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		15

- простота в експлуатації: асинхронний двигун простий в експлуатації і має досить просту схему під'єднання, що дозволяє швидко і легко налаштувати його на необхідне робоче зусилля і частоту обертання;

- вартість: має досить низьку вартість у порівнянні з іншими типами двигунів, такими як синхронний двигун або двигун постійного струму.

- можливість використання різних навантажень: можна використовувати різні типи перевантажень, включаючи навантаження зі перемінною потужністю і навантаження зі перемінною частотою.

Для управління асинхронним двигуном використовуються наступні системи:

1. Регулювання швидкості обертання асинхронного двигуна шляхом введення додаткового опору в окружність ротора.

2. Регулювання швидкості обертання шляхом перемикання пари полюсів.

3. Пристрій плавного пуску.

4. Регулювання швидкості асинхронного двигуна за допомогою перетворювачів частоти.

Давайте розглянемо більш детально перераховані вище способи регулювання швидкості.

Регулювання частоти обертання двигуна здійснюється за рахунок введення додаткового опору в кільце ротора.

Для збільшення можливості регулювання частоти обертання в кільце ротора введені додаткові резистори, що дозволяє знизити робоче зусилля двигуна і збільшити число оборотів при збереженні потужності. Резистори можуть бути введені за допомогою реостата. Плавність запуску визначається плавністю зміни додаткового опору. У міру збільшення опору ланцюга ротора на перетворення електричної енергії в теплову витрачається більше енергії, що знижує швидкість обертання двигуна. Регулювання швидкості за допомогою БП з використанням додаткових резисторів має деякі обмеження,

					<i>БРМА 24.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		16

такі як низький ККД і великі втрати енергії на опір, що може привести до зниження нагріву і ефективності системи.

Переваги включають:

- можливість регулювати швидкість без використання дороговартісних і складних пристроїв;

- відсутність пульсацій струму і вібрації двигуна.

Недоліками цього методу є::

- обмежена точність регулювання швидкості;

- великі втрати енергії на опорну втулку опору, що призводить до збільшення витрат енергії;

- обмежена швидкість регулювання.

Регулювання швидкості здійснюється шляхом перемикання пар полюсів.

Для зміни швидкості обертів можна застосувати метод парного перемикання полюса, суть якого полягає в тому, що кількості полюсів на ротору не змінюється, але число полюсів на статорі може змінюватися. При перемиканні двох обмоток статора змінюється кількість полюса, які взаємодіють з ротором, і змінюється швидкість обертання. Цей метод можна назвати відносно економічним, оскільки він не призводить до втрати енергії обертовим колесом при регулюванні швидкості.

Перевага полягає в управлінні асинхронним двигуном великої ємності.

До числа недоліків відноситься складність перемикача, який повинен бути здатний працювати при високих струмах і напругах. Крім того, під час перемикання можуть виникати перебої в подачі струму на двигун, що може привести до електричних іскор і інших проблем. Вони не забезпечують плавне регулювання швидкості [11].

Пристрій плавного пуску.

Пристрій плавного пуску використовується в електроприводі, який регулює напругу для плавного пуску асинхронного двигуна. Вони

					<i>БРМА 24.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		17

розрізняються за кількістю 1-фазних, 2-фазних і 3-фазних, а також за типом фазного і імпульсного. Трифазні пристрої використовуються для електроприводів, що працюють в складних умовах запуску і зупинки. Фазний пристрій використовує тиристор для регулювання напруги і володіє такими перевагами, як висока надійність і простота настройки. Однак він має деякі недоліки, такі як збільшення втрат при запуску та наявність акустичних перешкод. Імпульсна система плавного пуску використовує керовані транзистори для підвищення енергоефективності, забезпечуючи Плавні зупинки і точне позиціонування. В цілому, системи плавного пуску ефективні для електроприводу, коли потрібні недорогі і надійні системи без регулювання швидкості.

Регулювання швидкості асинхронного двигуна за допомогою перетворювачів частоти.

Регулювання швидкості асинхронного двигуна за допомогою перетворювачів частоти представляє собою один з найбільш ефективних і універсальних методів управління електродвигуном. Перетворювачі частоти забезпечують зміну частоти напруги, що подається на статор асинхронного двигуна та в свою чергу, змінюють частоту обертання ротора.

Перетворювач частоти може бути однофазними або багатофазними, при цьому багатофазний перетворювач найчастіше використовується для регулювання частоти обертання асинхронного двигуна. Вони забезпечують ліпші параметри управління і дозволяють зменшити габарити перетворювачів при збереженні високого ККД.

Одним з основних переваг використання перетворювачів частоти для регулювання частоти обертання асинхронного двигуна є те, що швидкість можна регулювати в широких діапазонах без використання механічної системи управління. Крім того, використовуючи такий метод управління, можна зменшити витрати на енергоспоживання і продовжити термін служби обладнання.

					<i>БРМА 24.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		18

1.3 Вимоги до електроприводу

Для вирішення завдання управління системою зрошення електропривод повинен забезпечувати:

- запуск і зупинку насоса;
- автоматично змінювати частоту обертання вала двигуна для підтримки оптимального тиску в системі;
- аварійну зупинку двигуна в разі аварії системи;
- захист від аварійного режиму роботи.

Перехідні характеристики повинні відповідати наступним вимогам:

- статична похибка при установці режиму роботи не більше 2%;
- перевищення при запуску не більше 10%;
- перевищення при завантаженні або вивантаженні менше 10%;
- час переходу 0,5 с;
- час усунення перешкод становить 0,3 с.

Вимоги до захисту системи:

- при повторній установці, необхідно відключити систему від електромережі для економії електрообладнання;
- якщо в системі закінчується вода, вимикати двигун для економії насосного агрегату.
- реалізація захисту двигуна від перевантаження.

Висновки до першого розділу

Було проаналізовано види зрошення, їх переваги і недоліки – це дало базове уявлення про те, який вид зрошення буде використовуватися в майбутньому.

					<i>БРМА 24.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		19

Розглянуто типи електродвигунів, враховані типи його управління – це було необхідно для вибору відповідного типу управління системою і для подальшого розрахунку вихідних даних електродвигуна.

					БРМА 24.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		20

2 РОЗРОБКА АВТОМАТИЗОВАНОЇ СИСТЕМИ ЗРОШУВАННЯ

2.1 Вибір перетворювача частоти

Для того щоб регулювати частоту обертання валу двигуна шляхом зміни подається електричної енергії, необхідно виконати функцію перетворення вхідних параметрів електричної енергії в ті, які гарантують нормальну роботу електродвигуна. Перетворювач частоти виконаний на базі IGBT-транзисторах зі скалярною ШІМ-модуляцією.

Основні критерії вибору перетворювача частоти:

- висока надійність;
- простота системи управління;
- відносно низька собівартість.

Номінальне робоче значення фазної напруги і струму статора:

$$U_n = \frac{U_{ln}}{\sqrt{3}} = \frac{380}{\sqrt{3}} = 220,$$

$$I_n = \frac{P_{2n}}{3U_n \eta \cos \varphi} = \frac{2200}{3 \cdot 220 \cdot 0.8 \cdot 0.83} = 5.02A$$

Перетворювачі частоти серії FUDU 2.0 завдяки ряду переваг Emotron (рис. 2.1):

- розташовані підрегулятори;
- захист від перевантаження і зниженого навантаження у всьому діапазоні швидкостей;
- запуск обертового двигуна;
- управління за допомогою 2 аналогових сигналів;
- функція НСВ-забезпечує безпечний запуск і дозволяє часто вмикати / вимикати пристрій у міру необхідності;

					БРМА 24.00.00.000 ПЗ	Арк.
						21
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- розширена функціональність завдяки додатковим таймерам і віртуальним виходів/входів;
- при поліпшеній вентиляції і охолодженні.



Рисунок 2.1 – Перетворювач частоти Emotron FDU 2.0

Крім того, якщо серія FDU призначена для використання в механізмах зі змінним моментом навантаження, таких як Насосні станції, вентиляція, системи наддуву і т.д., то вона ідеально підходить для впровадження систем водопостачання.

У комплект також входять дроселі ланцюга постійного струму, фільтри електромагнітних перешкод, а також входні і вихідні фільтри низьких частот.

Цей набір функцій дозволяє використовувати двигун як датчик. Моніторинг навантаження дозволяє вам сигналізувати зовнішньому блоку управління про досягнення встановлених максимального і мінімального рівнів навантаження, при необхідності зупиняючи двигун, що дозволяє відстежувати роботу двигуна в системі і запобігати нещасним випадкам в системі [15].

					<i>БРМА 24.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		22

Таблиця 2.1 – Паспортні дані перетворювача частоти серії FDU

Напруга мережі, В	230-480
Напруга, В	0 – ±10В
Струм, А	0 – ±30мА
Робочий діапазон регулювання частоти, Гц	0 – 400
Робочий діапазон регулювання напруги, В	0 – 380
Коефіцієнт потужності	0,95
Коефіцієнт корисної дії при номінальному навантаженні	0,97

2.2 Вибір елементів автоматизованої системи зрошування

Датчик тиску повинен вимірювати тиски в діапазоні від 0 до 0,2 бар номінально, а також мати джерело живлення 24 В постійної напруги, тому вибір припав датчики від Huba control, LEO0-1[16] (рис. 2.2). Технічні характеристики датчика тиску наведені в таблиці 2.2.



Рисунок 2.2 – Датчик тиску LEO0-1

Ці датчики призначені для застосування в промисловості і вимірюють точний тиск в системі і перетворюючи його в аналоговий сигнал, мають великий діапазон вимірювань, можуть використовуватися в якості робочої

					БРМА 24.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		23

напруги для датчика, газу, рідини. Вимірюється абсолютний або відносний тиски в системі. Вони захищені від корозії.

Таблиця 2.2 – Паспортні дані датчика тиску LEO0-1

Діапазон вимірювання тиску, ба	0...1
Спосіб спрацювання	Абсолютний
Конфігурація виходу	Аналоговий
Робоча температура, °C	0...80
Напруга живлення, В	24

В якості джерела живлення +24 В було використано блок живлення Mean Well, підключений до DIN-рейки лінійки HDR-60-24 [17]. Він може перетворювати змінну напругу від 220 В до 24 В в постійну. Технічні характеристики блока живлення HDR-60-24 від Mean Well наведені в таблиці 2.3.



Рисунок 2.3 – Блок живлення HDR-60-24 від Mean Well

Таблиця 2.3 – Технічні характеристики блока живлення HDR-60-24 від Mean Well

Потужність, Вт	60
Вихідна напруга, В	24
Напруга живлення, В	220
Степінь захисту	IP20

Основним елементом автоматизованої системи зрошування є програмовано логічний контролер, який виконує управління схемою. Був обраний LRD20RA024 від LOVATO [18] (рис. 2.4), а блок розширення lre08RA024 був обраний для 4 додаткових дискретних входів і релейних виходів [19]. Цей ПЛК є моноблочним контролером для систем автоматизації малого та середнього бізнесу та має аналоговий та цифровий входи, інтерфейс RS485 та релейний вихід. Технічні характеристики LRD20RA024 від LOVATO наведені в таблиці 2.4.



Рисунок 2.4 – Контролер LRD20RA024 від LOVATO

Таблиця 2.4 – Технічні характеристики контролера LRD20RA024 від LOVATO

Напруга живлення, В	24
Потужність, Вт	10
Степінь захисту	IP20
Кількість входів	12
Кількість виходів	8
Модуль розширення	LRE08RA024
Кількість входів/виходів	4

Для запуску системи було обрано кнопку PLASTIM control з напругою 24 В [20] (рис. 2.5). Технічні характеристики кнопки PLASTIM control наведені в таблиці 2.5.



Рисунок 2.5 – Кнопка керування PLASTIM control

Таблиця 2.5 – Технічні характеристики кнопка керування PLASTIM control

Номинальний струм, А	10
Напруга живлення, В	24
Колір	Оливковий
Підсвітка	Світлодіодна

Для світлової індикації була обрана сигнальна лампа AD22-22DS 24V [21] (рис. 2.6). Технічні характеристики сигнальної лампи AD22-22DS 24V наведені в таблиці 2.6.



Рисунок 2.6 – Сигнальна лампа AD22-22DS 24V

Таблиця 2.6 – Технічні характеристики AD22-22DS 24V

Споживана потужність, Вт	3
Напруга живлення, В	24
Яскравість, $кд / м^2$	60
Ступінь захисту	IP54

Для управління подачею води обраний кульовий кран з електроприводом CWX CRO4DN15 9-24V (рис.2.7). Принцип роботи полягає в наступному: він відкривається при подачі напруги і автоматично закривається при відключенні подачі напруги [22]. Технічні характеристики CWX CRO4DN15 9-24V наведені в таблиці 2.7.



Рисунок 2.7 – Кульовий кран з електроприводом CWX CRO4DN15 9-24V

Таблиця 2.7 – Технічні характеристики кульового крану з електроприводом CWX CRO4DN15 9-24V

Напруга живлення, В	24
Тип заслонки	Шарова
Діаметр різьби	1/2 DN15

Для захисту ланцюга від перевантаження були обрані автоматичні вимикачі серії Schneider Electric EZ9F34310 (рис. 2.8). Технічні характеристики автоматичного вимикача серії Schneider Electric EZ9F34310 наведені в таблиці 2.8.



Рисунок 2.8 – Автоматичний вимикач серії Schneider Electric EZ9F34310

Таблиця 2.8 – Технічні характеристики автоматичного вимикача серії Schneider Electric EZ9F34310

Напруга живлення, В	380
Номінальний струм, А	10
Частота мережі, Гц	50
Стандарт захисту	IP20

Щоб перевірити це, ми розрахуємо номінальну потужність:

$$P_{вим} = UI = 380 \cdot 10 = 3800 \text{ Вт.}$$

Потужність досягає номінального значення в 2200 Вт, але варто залишити запас потужності на автоматичному вимикачі, так як при цьому не слід забувати про активної потужності, тому Автоматичний вимикач

					БРМА 24.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		28

підібраний правильно і витримує одночасну перевірку всього ланцюга і перевантаження двигуна під час його роботи [23].

Для перевірки стану ґрунту і визначення необхідності її зволоження ми вибрали датчик вологості ґрунту Evikon E2218. Перевагою цього датчика є, крім іншого, Можливість підключення через інтерфейс RS 485, принцип роботи якого полягає в різниці потенціалів сигналу, один провідник передає вихідний сигнал, а інший - зворотну копію. Кожен датчик має свою адресу, і всі 10 датчиків можуть бути підключені до входу RS485 PLC [24]. Технічні характеристики датчика температури та вологості Evikon E2218 наведені в таблиці 2.8.



Рисунок 2.8 – Датчик температури та вологості Evikon E2218

Таблиця 2.8 – Технічні характеристики датчика температури та вологості Evikon E2218

Напруга живлення, В	11...30, номінал 24
Цифровий інтерфейс	RS485, Modbus RTU протокол
Час відповіді, с	15

2.3 Розробка функціональної схеми та блок-схеми алгоритму роботи тепличного господарства

Система автоматизації складається з наступних частин:

- силові компоненти;
- магістральний трубопровід;
- система датчиків;
- блок налаштування тиску;
- шафа керування.

Силовий компонент являє собою електродвигун, з'єднаний 1 валом з насосним агрегатом. У міру збільшення обертів двигуна насос подає більше води, а в міру збільшення кількості води в системі підвищується тиск в системі.

Магістральний трубопровід являє собою систему поліпропіленових труб, які приєднуються до системи 1 для подачі води до місця зрошення. До них прикріплені спеціальні кріплення, на яких закріплена крапельна стрічка.

Система датчиків - система використовує датчик тиску для створення сигналу управління двигуном і датчик вологості для активації системи.

Блок налаштування тиску на вході отримує сигнал від датчика тиску, обробляє його за допомогою ряду формул і видає завдання на управління двигуном.

Шафа управління включає в себе:

- ПЛК - використовується для управління сигналами в ланцюгах автоматизації;
- кнопка "Пуск" - для запуску системи, " Стоп " - для зупинки;
- котушки реле керують відводами, відкриваючи і закриваючи їх.
- контрольна лампа для світлової індикації роботи системи. Зелений сигнал означає, що ланцюг працює нормально, без будь-яких аварій. Червоний сигнал вказує на аварію, що сталася, і загоряється після подачі сигналу на зупинку системи.

Автоматичні вимикачі, що виконують функцію захисту електрообладнання від коротких замикань і перевантажень.

					<i>БРМА 24.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		30

Виходячи з цього, створюємо функціональну схему, показану на рисунку 2.9.

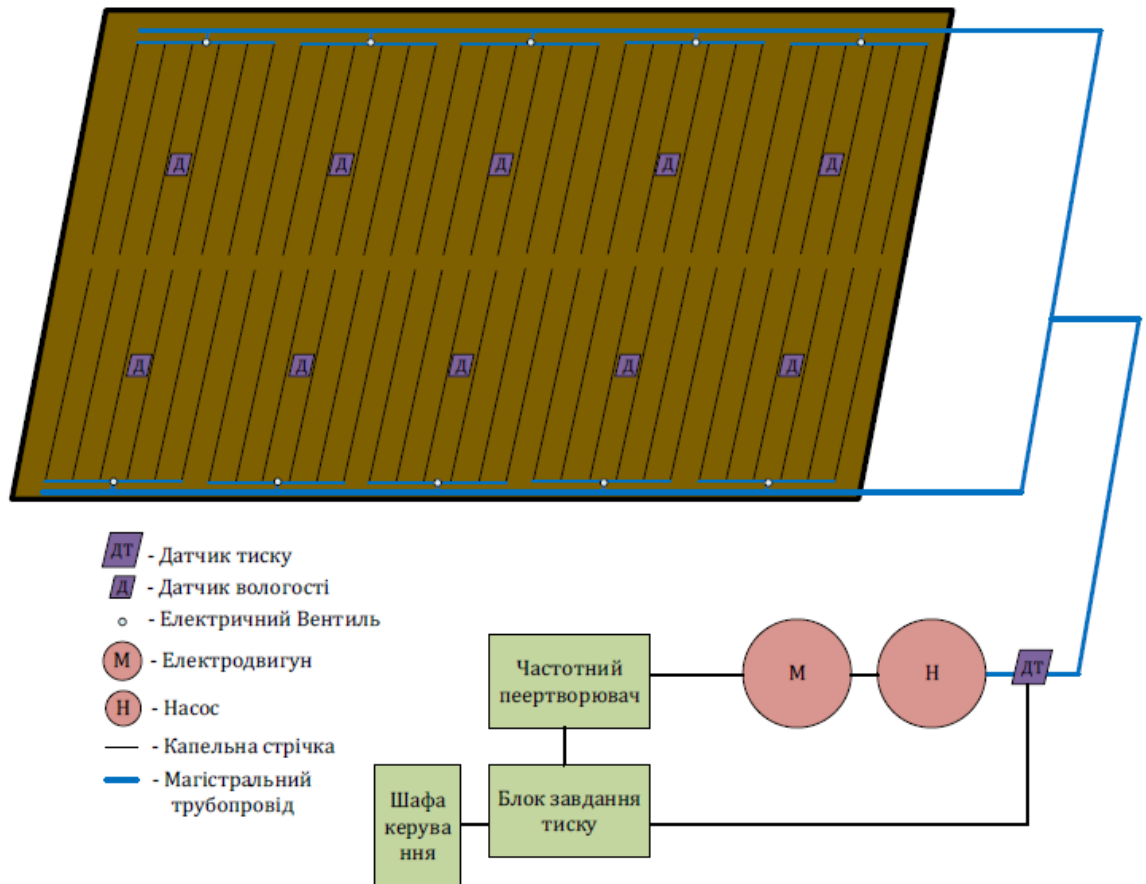


Рисунок 2.9 – Функціональна схема автоматизованої системи зрошування

Алгоритм роботи починається з кнопки "Пуск", при натисканні на яку сигнал подається на ПЛК, і він переходить в режим очікування для прийому цифрового сигналу з датчика вологості.

Щоб скоротити використання датчика, вони мають свою ціну, тому було вирішено розташувати датчик на певній відстані, і коли з датчика надходив сигнал, було вирішено заблокувати або розімкнути 1 реле, відразу кілька електричних відводів. Таким чином, 1 подає елемент управляє зрошенням всієї зони.

Блок налаштування тиску отримує сигнал на початок роботи від шафи управління на вході і сигнал на зміну завдання від датчика тиску.

Перетворювач частоти на вході отримує завдання і управляє двигуном відповідно до отриманого завдання.

Структурна схема цього алгоритму показана на рисунку 2.10.

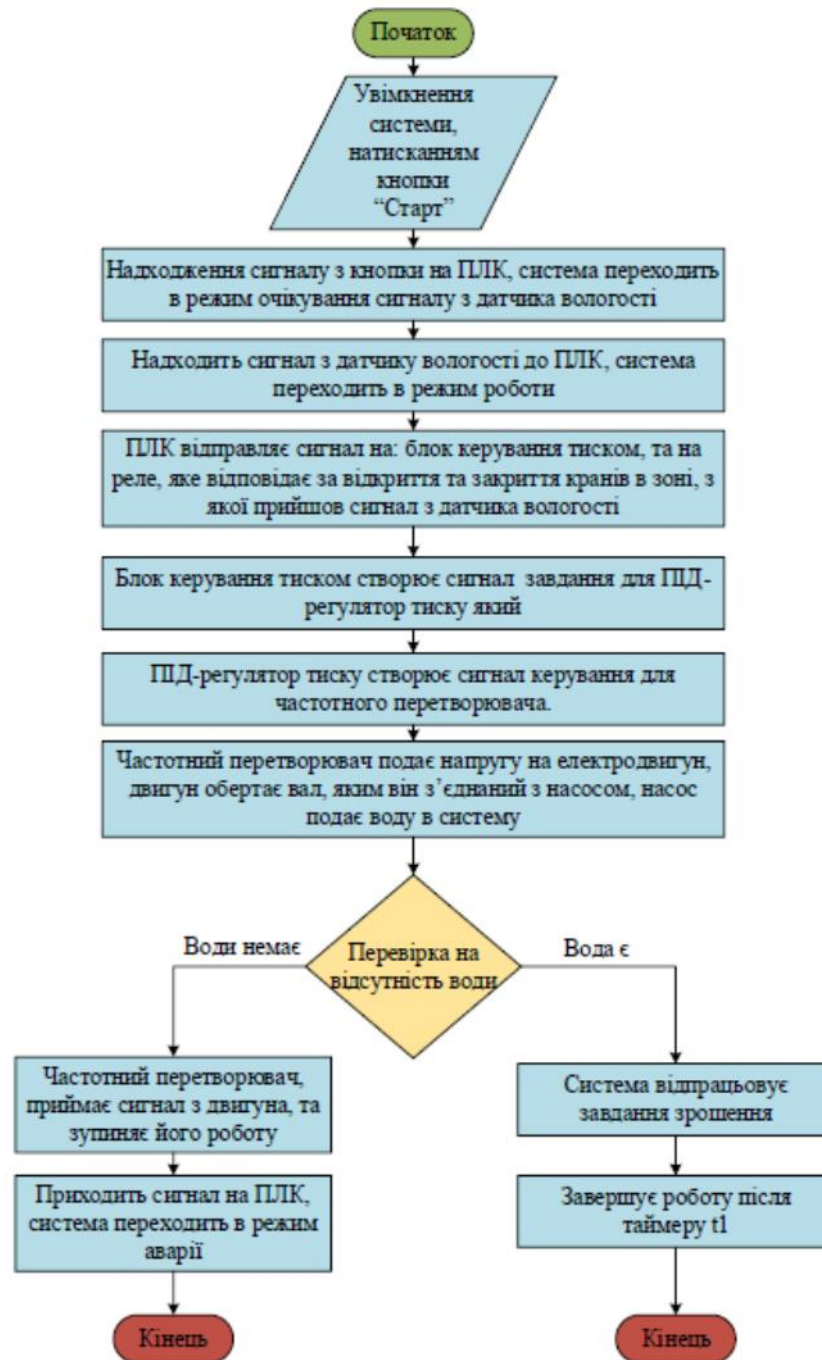


Рисунок 2.10 – Блок схема алгоритму керування

Щоб виконати аварійну зупинку, натисніть кнопку "Stop". Захист від перевантаження є важливою частиною системи, і за це відповідає

автоматичний вимикач QF1, який відключає систему в разі перевантаження. Крім того, якщо в системі немає води, перетворювач частоти зупинить двигун. Блок налаштування тиску повинен подати керуючий сигнал на зупинку двигуна в разі збільшення частоти обертання і зниження тиску в системі або його постійного значення.

Висновки до другого розділу

Під час розробки системи автоматизованого зрошування було обрано насоси, електродвигуни, перетворювачі частоти та інші елементи системи, необхідні для тестування сумісності та впровадження в систему.

Розроблені функціональні та блок схеми, які необхідні для кращого розуміння того, що являє собою система і як вона зрошує тепличний комплекс.

					<i>БРМА 24.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
						33
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

3 РОЗРАХУНОК СИЛОВОЇ ЧАСТИНИ

3.1 Розрахунок кількості споживаної води

Отже, першим пунктом буде розрахунок максимальної кількості води, яке необхідно подати в систему.

Формула для розрахунку витрати води :

$$Q = (L \cdot S) / T$$

де Q - кількість води;

L - максимальне добове споживання води (50-110 куб/га);

S - планована площа зрошення в га;

T - планований час поливу рослин, але цей час вказано в характеристиках насоса [12], тому планована площа поливу становить час становитиме 1 годину.

Комплекс теплиці має розміри шириною 10 м і довжиною 50 м, тому площа тепличного комплексу з 10 теплиць становить:

$$S = l_u \cdot l_d = 50 \cdot 10 \cdot 10 = 500 \text{ м}^2 = 0.5 \text{ га}$$

Якщо площа тепличного комплексу становить 0,5 га:

$$Q = (60 \cdot 0.5) / 1 = 30 \text{ л}^3 / \text{год}$$

Залежно від витрати води на 1 годину виберемо насос VVN1-0.75 [12]:

					БРМА 24.00.00.000 ПЗ	Арк.
						34
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця 3.1 – Паспортні дані насосу VVN1-0.75

Характеристики двигуна для насосу	Номінальна потужність	2,2 кВт	
	Частота обертів	1500 об/хв	
Продуктивність		м3/год	45
		м3/хв	0,75
		л/с	12,5
Граничний залишковий тиск		20 кПа	
Габарити		710x400x670	
Маса, т		110 кг	
Напір, Н		2 м	

3.2 Вибір та розрахунок номінальних даних двигуна

Виходячи з технічних характеристик, ми вибираємо двигун AIR90L4 [13], паспортні дані якого наведені в таблиці 3.2.

Таблиця 3.2 – Паспортні дані двигуна AIR90L4

Номінальна потужність	$P_{2n} = 2,2$ (кВт)
Номінальна лінійна напруга статора	$U_{1n} = 380$ (В)
Число пар полюсів	$p_n = 2$
Момент інерції	$J_d = 0,0056$ (кг · м ²)
Коефіцієнт корисної дії	$\eta = 0,8$
Коефіцієнт потужності	$\cos\varphi = 0,83$
Перевантажувальна здатність	$\lambda = 2,3$
Номінальне ковзання	$s_n = 0,051$
Критичне ковзання	$s_k = 0,33$
Номінальна частота напруги статора	$f = 50$ (Гц)
Параметри Г-подібної схеми заміщення (відносні одиниці)	
Індуктивний опір розсіювання статора	0,076
Активний опір статора	0,098

Розрахунок кутової частоти напруги на статорі:

$$\omega_{0n} = 2\pi f = 2 \cdot 3,14 \cdot 50 = 314 (\text{рад} / \text{с})$$

Виходячи з цього, ви можете розрахувати ідеальну частоту обертання двигуна на холостому ході:

$$\omega_{xx} = \frac{\omega_{0n}}{p_n} = \frac{314}{2} = 157.079 (\text{рад} / \text{с}).$$

Номінальна частота обертання двигуна становитиме:

$$\omega_n = \omega_{xx} (1 - s_n) = 157.079 \cdot (1 - 0.051) = 149.068 (\text{рад} / \text{с}).$$

Номінальний крутний момент двигуна :

$$M_n = \frac{P_{2n}}{\omega_n} = \frac{2200}{149.068} = 14.758 (\text{Нм}).$$

Критичні моменти роботи двигуна (в залежності від перевантажувальної здатності λ з каталогу):

$$M_k = \lambda M_n = 2.3 \cdot 14.758 = 33.944 (\text{Н} \cdot \text{м}).$$

Номінальне робоче значення фазної напруги і струму статора:

$$U_n = \frac{U_{1n}}{\sqrt{3}} = \frac{380}{\sqrt{3}} = 220 (\text{В});$$

					БРМА 24.00.00.000 ПЗ	Арк.
						36
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$I_n = \frac{P_{2n}}{3U_n \eta \cos \varphi} = \frac{2200}{3 \cdot 220 \cdot 0.8 \cdot 0.83} = 5.034 \text{ (A)}.$$

Фазна напруга і амплітудне значення струму статора:

$$U_{na} = \sqrt{2}U_n = \sqrt{2} \cdot 220 = 310 \text{ (В)};$$

$$I_{na} = \sqrt{2}I_n = \sqrt{2} \cdot 5.034 = 7.11 \text{ (А)}.$$

Амплітудне значення проточної зв'язку статора в режимі холостого ходу при $R_1=0$:

$$\psi_{1.XX} = \frac{U_{na}}{\omega_{0n}} = \frac{310.26}{314.15} = 0.98 \text{ (Вб)}.$$

Розрахунок параметрів Т-подібної схеми заміщення.

Перераховані в каталозі параметри відповідають L-подібній схемі заміни, але оскільки математична модель ВР була отримана для Т-подібної схеми, параметри повинні бути перераховані з L-подібної схеми в Т-подібну таким чином: на рисунку 3.1 і рисунку 3.2.

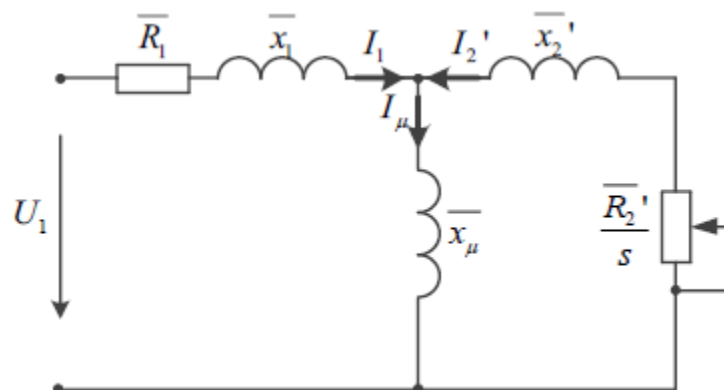


Рисунок 3.1 – Т-подібна схема заміщення асинхронного двигуна

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

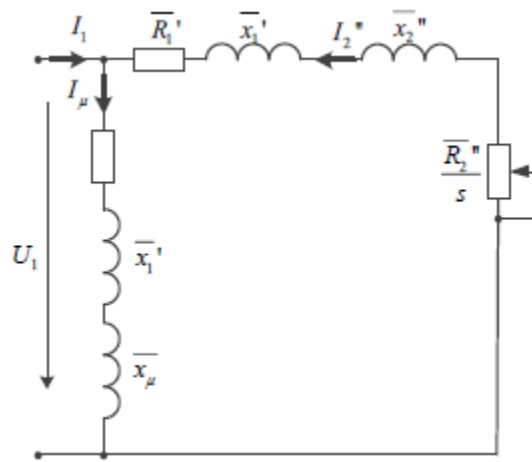


Рисунок 3.2 – Г-подібна схема заміщення асинхронного двигуна

Розрахунок коефіцієнтів перерахунку між схемами заміщення Т-і L-типу:

$$c_1 = \frac{\overline{x_\mu} + \sqrt{\overline{x_\mu}^2 + 4\overline{x_1}'\overline{x_\mu}}}{2\overline{x_\mu}} = \frac{2.1 + \sqrt{(2.1)^2 + 4 \cdot 0.076 \cdot 2.1}}{2 \cdot 2.1} = 1.035.$$

Якщо використовуються відносні одиниці виміру, то значення обсягу Т-подібної схеми заміни дорівнює:

$$\overline{x_1}' = \frac{\overline{x_1}'}{c_1} = \frac{0.076}{1.035} = 0.0734;$$

$$\overline{R_1}' = \frac{\overline{R_1}'}{c_1} = \frac{0.98}{1.035} = 0.0947;$$

$$\overline{x_2}'' = \frac{\overline{x_2}''}{c^2} = \frac{0.13}{(1.035)^2} = 0.121;$$

$$\overline{R_2}'' = \frac{\overline{R_2}''}{c^2} = \frac{0.06}{(1.035)^2} = 0.056.$$

Потім параметри Т-подібної схеми заміни записуються в абсолютних одиницях виміру:

$$x_1 = x_1 \frac{-U_n}{I_n} = 0.0734 \cdot \frac{219.39}{5.034} = 3.2 \text{ (Ом)};$$

$$R_1 = R_1 \frac{-U_n}{I_n} = 0.0947 \cdot \frac{219.39}{5.034} = 4.126 \text{ (Ом)};$$

$$x_2' = x_2' \frac{-U_n}{I_n} = 0.121 \cdot \frac{219.39}{5.034} = 5.289 \text{ (Ом)};$$

$$R_2 = R_2' \frac{-U_n}{I_n} = 0.056 \cdot \frac{219.393}{5.034} = 2.441 \text{ (Ом)};$$

$$x_\mu = x_\mu \frac{-U_n}{I_n} = 2.1 \cdot \frac{219.393}{5.034} = 91.523 \text{ (Ом)}.$$

Розсіювання індуктивності статора і ротора:

$$L_{1\sigma} = \frac{x_1}{\omega_0} = \frac{3.2}{314.15} = 0.0102 \text{ (Гн)};$$

$$L_{2\sigma} = \frac{x_2'}{\omega_0} = \frac{5.289}{314.15} = 0.0168 \text{ (Гн)}.$$

Індуктивність ланцюга намагнічування:

$$L_m = \frac{x_\mu}{\omega_0} = \frac{91.523}{314.15} = 0.291 \text{ (Гн)}.$$

Індуктивності статора і ротора:

$$L_1 = L_m + L_{1\sigma} = 0.01 + 0.291 = 0.301 \text{ (Гн)};$$

					БРМА 24.00.00.000 ПЗ	Арк.
						39
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$L_2 = L_m + L_{2\sigma} = 0.0168 + 0.291 = 0.308(\Gamma\text{H}).$$

Обчислює значення параметра на основі виконаних обчислень $\alpha, \alpha_1, \beta, \gamma, \sigma, \mu_1$:

$$\alpha = \frac{R_2}{L_2} = \frac{2.441}{0.308} = 7.921 \left(\frac{\text{Ом}}{\Gamma\text{H}} \right);$$

$$\alpha_1 = \frac{R_1}{L_1} = \frac{4.126}{0.301} = 13.686 \left(\frac{\text{Ом}}{\Gamma\text{H}} \right);$$

$$\sigma = L_1 \left(1 - \frac{L_m^2}{L_1 L_2} \right) = 0.301 \cdot \left(1 - \frac{(0.291)^2}{0.301 \cdot 0.308} \right) = 0.026 (\Gamma\text{H});$$

$$\beta = \frac{L_m}{L_2 \sigma} = \frac{0.261}{0.308 \cdot 0.0261} = 36.215 \left(\frac{1}{\Gamma\text{H}} \right);$$

$$\gamma = \frac{R_1}{\sigma} + \alpha L_m \beta = \frac{4.126}{0.0261} + 7.921 \cdot 0.291 \cdot 36.215 = 241.672 \left(\frac{\text{Ом}}{\Gamma\text{H}} \right);$$

$$\mu_1 = \frac{3 L_m}{2 L_2} = \frac{3}{2} \cdot \frac{0.291}{0.308} = 1.418.$$

Таблиця 3.3 – Параметри двигуна 4А71А6У3

$P_{2n}, (\text{кВт})$	2.2	$R_1, (\text{Ом})$	4.126
$\omega_{xx}, (\text{рад/с})$	157.079	$R_2, (\text{Ом})$	2.441
$\omega_n, (\text{рад/с})$	149.068	$L_1, (\Gamma\text{H})$	0.301
$M_n, (\text{H} \cdot \text{м})$	14.758	$L_2, (\Gamma\text{H})$	0.308
$M_k, (\text{H} \cdot \text{м})$	33.944	$L_m, (\Gamma\text{H})$	0.291
λ	2.3	$\alpha, (\text{Ом} / \Gamma\text{H})$	7.921
$I_{na}, (\text{А})$	5.034	$\alpha_1, (\text{Ом} / \Gamma\text{H})$	13.686
$\psi_{1XX}, (\text{Вб})$	0.98	$\sigma, (\Gamma\text{H})$	0.026
η	0.8	$\beta, (1 / \Gamma\text{H})$	36.215
$\cos \varphi$	0.83	$\gamma, (\text{Ом} / \Gamma\text{H})$	241.672
$J_d (\text{кг} \cdot \text{м}^2)$	0.0056	μ_1	1.418

3.3 Математичний опис об'єктів керування

3.3.1 Опис роботи асинхронного двигуна

Математична модель асинхронного двигуна побудована на основі зв'язку вектора струму статора і потоку ротора у фіксованій системі координат.

Зазначимо, що $u_2 = 0$, $\omega_k = 0$. Тоді рівняння електричної зрівноваженості будуть мати вигляд:

$$u_1 = R_1 i_1 + \frac{d\psi_1}{dt};$$
$$0 = R_2 i_2 + \frac{d\psi_2}{dt} - \omega J \psi_2,$$

де u_1 – напруга статора;

R_1 – активний опір обмотки статора;

i_1 – струм статора;

ψ_1 – потокозчеплення статора;

R_2 – активний опір обмотки ротора;

i_2 – струм ротора;

ψ_2 – потокозчеплення ротора;

J – момент інерції двигуна;

ω – кутова швидкість валу обертання двигуна.

Давайте запишемо заміну, щоб відключити струм ротора:

					БРМА 24.00.00.000 ПЗ	Арк.
						41
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$i_2 = L_2^{-1}(\psi_2 - L_m i_1),$$

де L_1 – індуктивність статора;

L_m – індуктивність намагнічування.

З 2-го виразу, використовуючи підстановку, отримуємо:

$$\dot{\psi}_2 = -\alpha\psi_2 + \omega J\psi_2 + \alpha L_m \dot{i}_1,$$

$$\text{де } \alpha = \frac{R_2}{L_2} = T_R^{-1}.$$

Заміна для усунення зв'язку по струму статора:

$$\psi_1 = L_m i_2 + L_1 i_1.$$

$$\dot{i}_1 = -\frac{R_1}{\sigma} i_1 - \beta \dot{\psi}_2 + \frac{1}{\sigma} u_1,$$

$$\text{де } \sigma = L_1 \left(1 - \frac{L_m^2}{L_1 L_2} \right), \quad \beta = \frac{L_m}{L_2 \sigma}.$$

У своєму остаточному вигляді математична модель АД записується у вигляді:

$$\dot{\theta} = \omega;$$

$$\dot{\omega} = \frac{1}{J} (M - M_c);$$

$$M = \frac{3}{2} \frac{L_m}{L_2} p_n (\psi_{2a} i_{1b} - \psi_{2b} i_{1a});$$

$$\dot{i}_{1a} = -\gamma i_{1a} + \alpha \beta \psi_{2a} + \beta p_n \psi_{2b} \omega + \frac{1}{\sigma} u_{1a};$$

					БРМА 24.00.00.000 ПЗ	Арк.
						42
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

3.3.3 Опис роботи частотного перетворювача

Перетворювач частоти регулює швидкість обертання двигуна шляхом зміни частот живлення, приймає на вхід постійний струм і генерує змінний струм з необхідною частотою, амплітудою і формою хвилі.

Основними елементами перетворювача частоти є ПІД-регулятори, керуючі випрямлячі і перетворювачі напруги.

Структурна схема показана на рисунку 3.4.

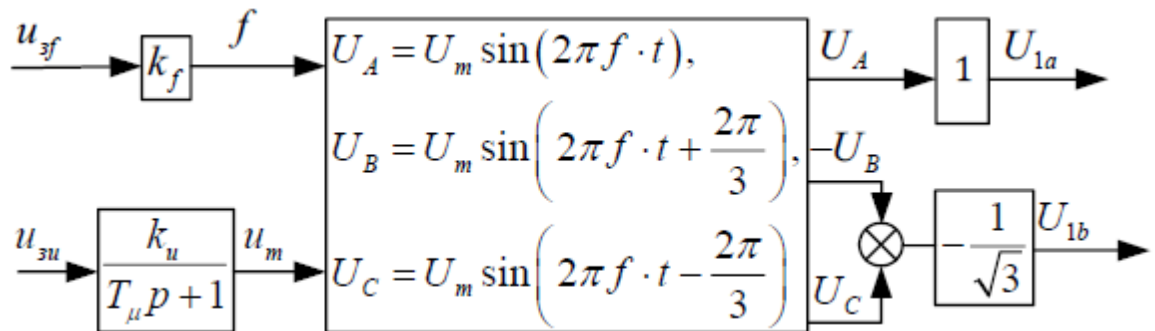


Рисунок 3.4 – Структурна схема ЧП

де – k_f - коефіцієнт передачі по частоті,

k_u – коефіцієнт передачі по амплітуді,

T_μ – постійна часу, вона рівняється 0.01с,

Дані коефіцієнти розраховуються за виразами:

$$k_f = \frac{f_n}{u_{zf \max}} = \frac{50}{10} = 5;$$

$$k_u = \frac{u_{m \max}}{u_{zu \max}} = \frac{\sqrt{2} \cdot 220}{10} \approx 31;$$

U_m – амплітуда струму,

U_A, U_B, U_C – фазні напруги статора,

U_{1a}, U_{1b} – проекції вектора напруги.

3.3.4 Опис роботи насосу

Робота насоса характеризується його продуктивністю (подачею) Q , яка визначається кількістю рідини, що перекачується насосом в одиницю часу.

Тиск, H - це лінійна величина, що характеризує питому (щодо одиниць ваги) механічну енергію рідини в інтервалі від надходження в насос до виходу з нього.

При перекладі насоса на нову частоту обертання валу широко використовуються аналогічні формули, що дозволяє отримати параметри насоса при новому режимі роботи і привести їх до наступного виду:

$$\frac{Q_1}{Q_2} = \frac{\omega_1}{\omega_2}, \frac{H_1}{H_2} = \frac{\omega_1^2}{\omega_2^2};$$

Ви можете зробити підстановку, таким чином, ви отримаєте наступну формулу:

$$\frac{Q_*}{Q_H} = \frac{\omega_*}{\omega_H};$$

$$\frac{H_*}{H_H} = \frac{\omega_*^2}{\omega_H^2};$$

де Q_H, H_H, ω_H - номінальні значення параметрів насосів;

Q_*, H_*, ω_* - діючі значення параметрів.

Вирішивши рівняння, будемо мати:

$$Q_* = \frac{\omega_*}{\omega_H} \cdot Q_H;$$

$$H_* = \frac{\omega_*^2}{\omega_H^2} H_H;$$

					БРМА 24.00.00.000 ПЗ	Арк.
						45
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

В системі автоматичного управління насосним агрегатом регулювання проводиться в залежності від тиску, тому модель насоса виглядає наступним чином:

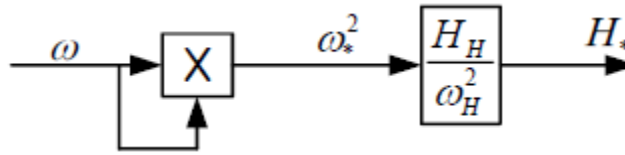


Рисунок 3.5 – Модель насоса

$$K_{\text{насосу}} = \frac{H_H}{\omega_H^2} = \frac{2}{149.068^2} = 0.00009,$$

де H_H – номінальний напір.

3.3.5 Загальна структурна схема

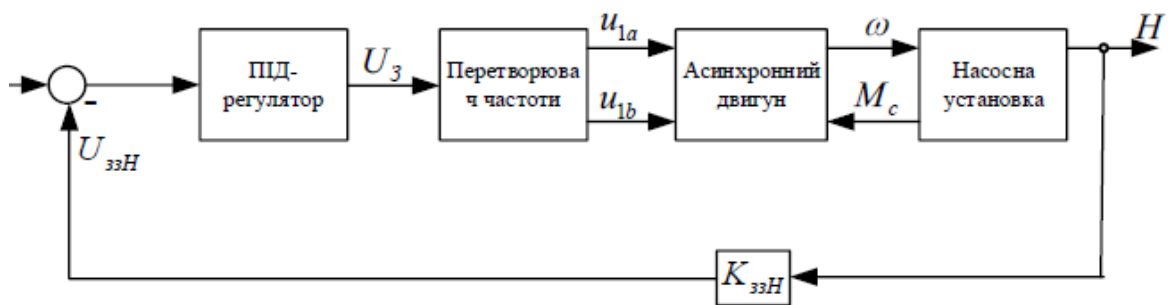


Рисунок 3.6 – Структурна схема замкнутої системи регулювання тиску насосного агрегату

На структурній схемі: U – напруга входу, $U_з$ – напруга задана, $U_{ззН}$ – зворотня напруга зв'язку за напором, $K_{ззН}$ – коефіцієнт зворотнього зв'язку за напором.

Коефіцієнт зворотнього зв'язку розраховується за такою формулою:

$$K_{ззН} = \frac{U_з}{H_H} = \frac{10}{2} = 5;$$

Коефіцієнт завантаження двигуна:

$$M_c = \frac{M_H}{\omega_H} = \frac{14.75}{149.06} = 0.099;$$

3.4 Моделювання систем зрошення

Для моделювання системи зрошення тепличного комплексу ми будемо використовувати програмний комплекс MathLab2020b і його додаток Simulink10.1.

Моделювання перехідних процесів виконується з використанням двофазної схеми моделі асинхронного двигуна в координатах статора (a-b). Модель створюється з окремих блоків, які представляють реалізацію окремих елементів структурної схеми. У середовищі розробки MATLAB / Simulink створить математичну модель, показану на рисунку 3.6. Схема показана на рисунку 3.7 – 3.11.

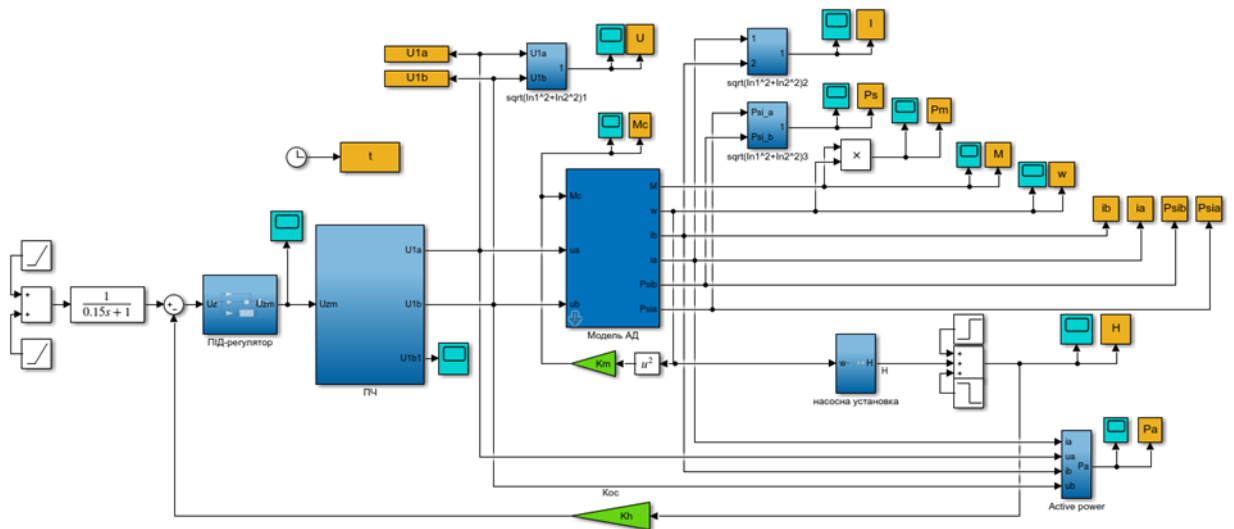


Рисунок 3.7 – Модель автоматизованої зрошувальної системи в середовищі MATLAB / Simulink

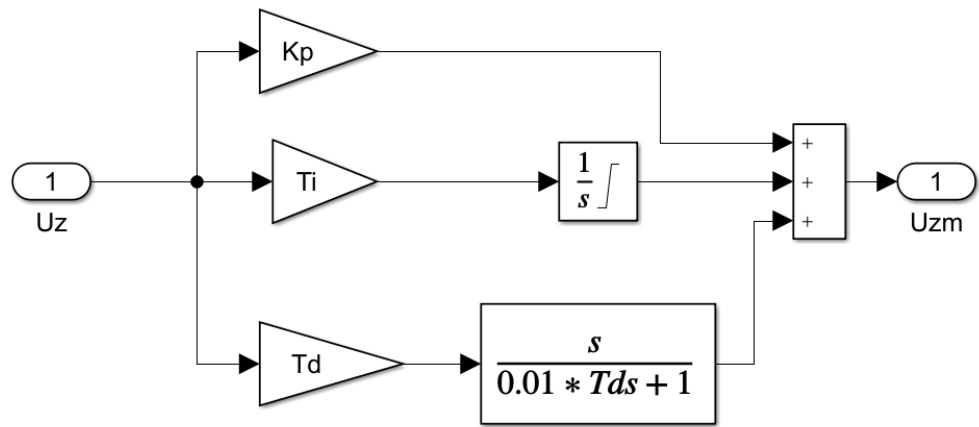


Рисунок 3.8 – Система ПІД-регулятора

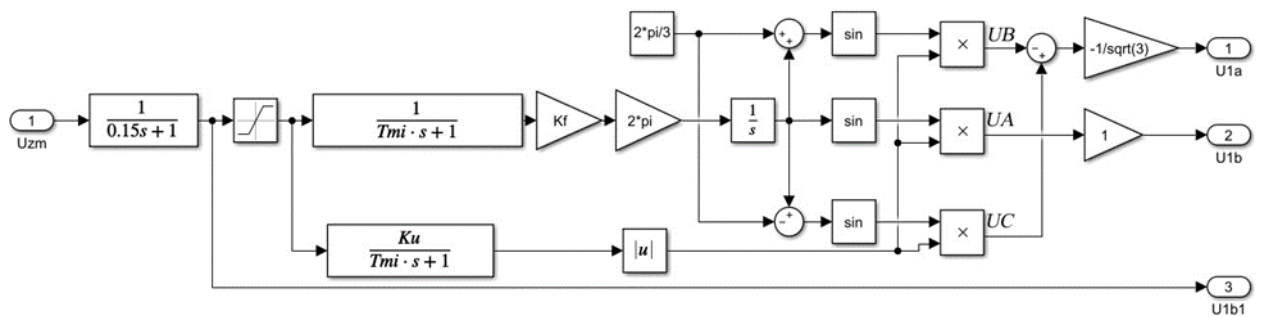


Рисунок 3.9 – Система перетворювача частоти

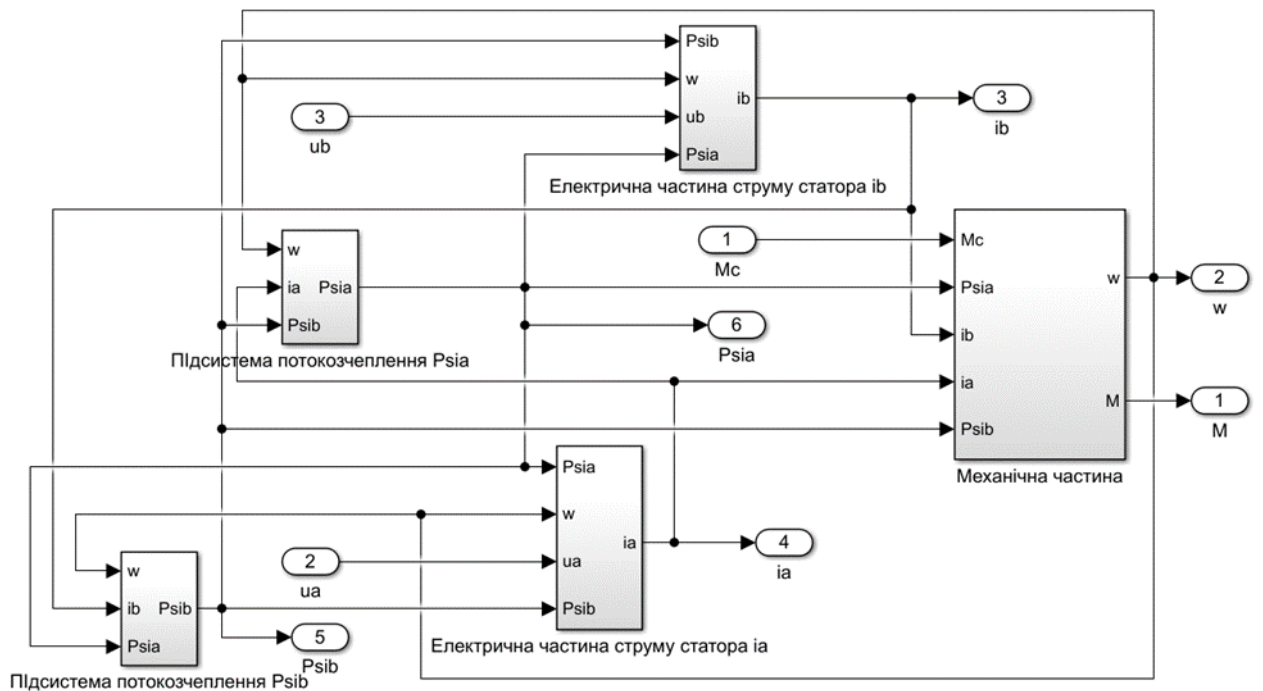


Рисунок 3.10 – Система АД

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

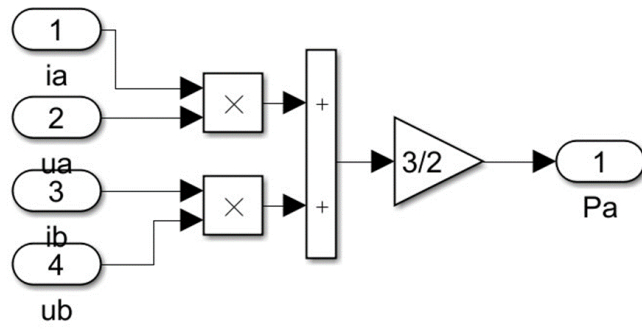


Рисунок 3.11 – Система розрахунку активної потужності

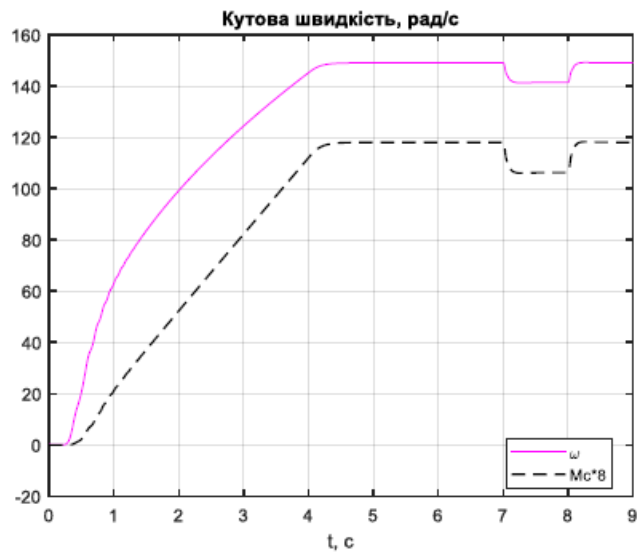


Рисунок 3.12 – Перехідні процеси швидкості

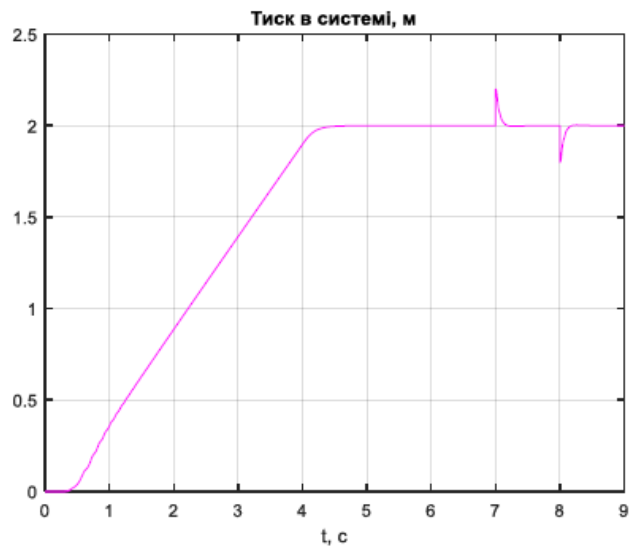


Рисунок 3.13 – Перехідні процеси тиску

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

БРМА 24.00.00.000 ПЗ

Проаналізуємо перехідні процеси.

Переповнення в напірних контурах

$$\sigma = \frac{H_{\max} - H_{\text{н}}}{H_{\text{н}}} \cdot 100\% = \frac{2.003 - 2}{2} \cdot 100\% = 0.15\%;$$

Статична похибка напірного контуру

$$\Delta H = H_{\text{н}} - H_{\text{уст}} = 2 - 1.999 = 0.001 \text{ м}$$

$$\Delta H_{\%} = \frac{H_{\text{н}} - H_{\text{уст}}}{H_{\text{н}}} \cdot 100\% = \frac{2 - 1.999}{2} \cdot 100\% = 0.5\%$$

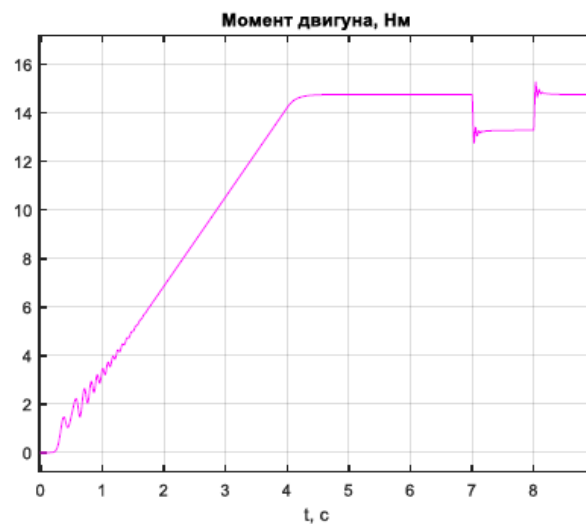


Рисунок 3.14 – Перехідні процеси моменту двигуна

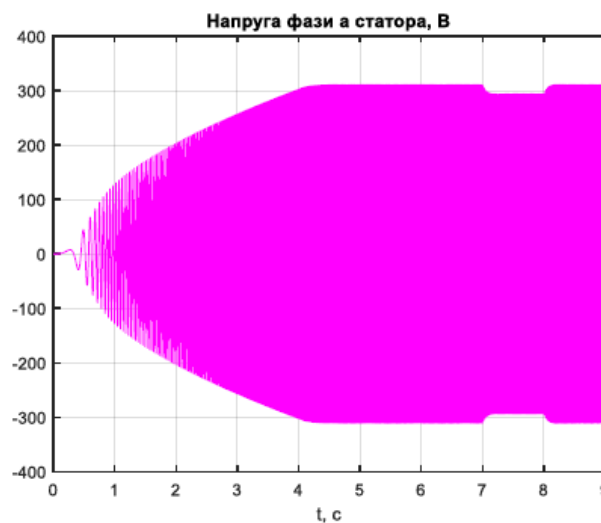


Рисунок 3.15 – Перехідний процес напруг фаз статора

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

БРМА 24.00.00.000 ПЗ

Арк.

50

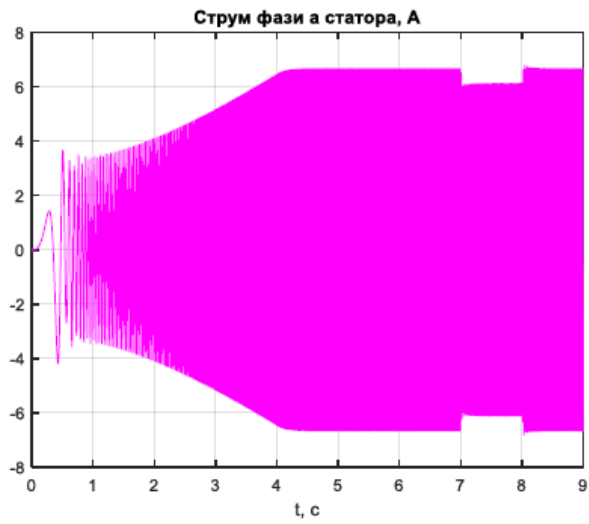


Рисунок 3.16 – Перехідні процеси струмів фаз статора

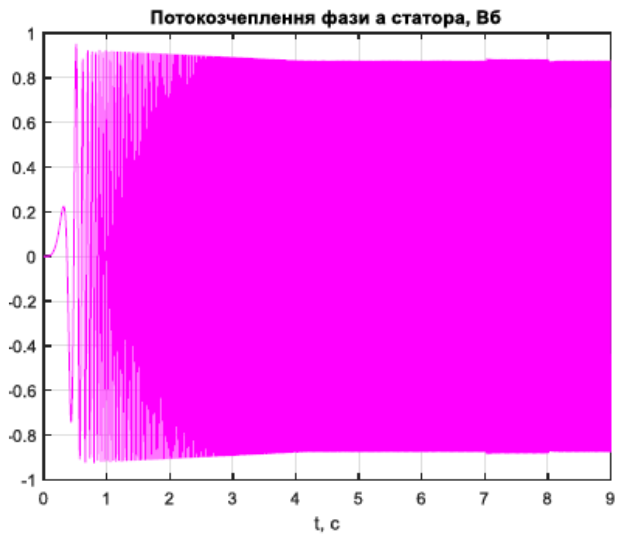


Рисунок 3.17 – Перехідні процеси компонент потокозчеплень статора

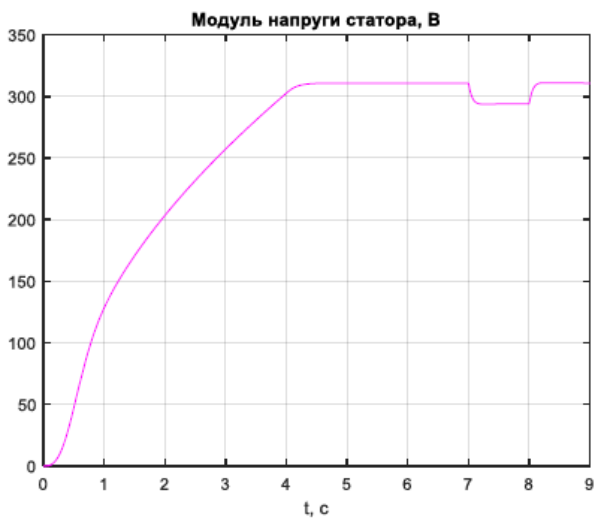


Рисунок 3.18 – Перехідні процеси модуля напруг статора

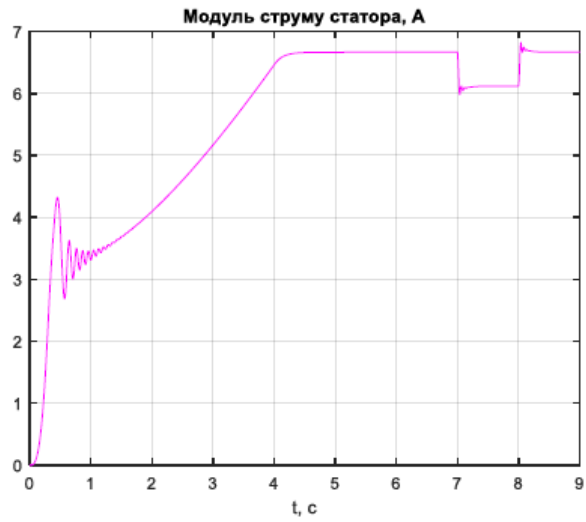


Рисунок 3.19 – Перехідні процеси модуля струмів статора

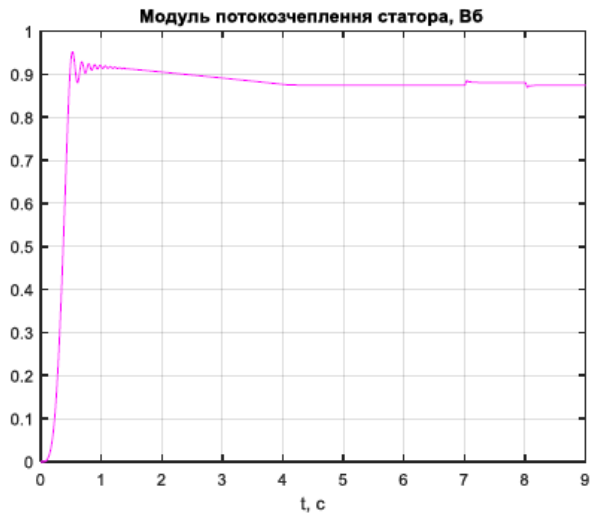


Рисунок 3.20 – Перехідні процеси модуля потокозчеплень статора

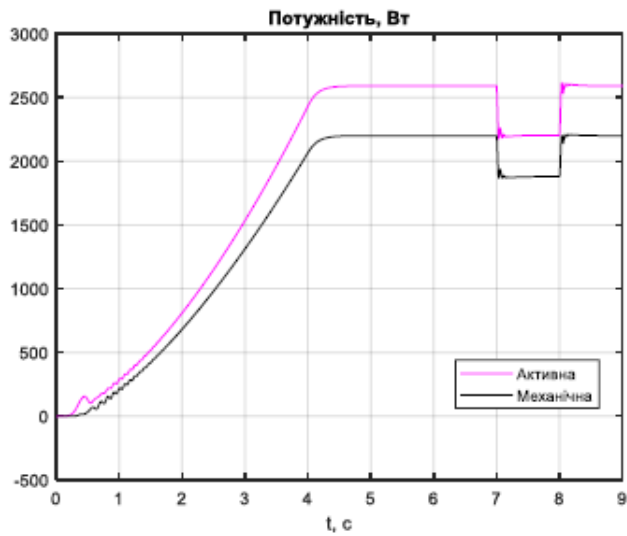


Рисунок 3.21 – Перехідні процеси активних та механічних потужностей двигуна

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

Згідно з графіком процесу зміни тиску, моделювання ситуації із закриттям клапана показує, що тиск у системі збільшився на 7 с, але система відкоригувала його до номінального значення, тому ми можемо зробити висновок про асимптотичне тестування.

Згідно з графіком перехідного процесу зміни крутного моменту двигуна, при розгоні до номінальних обертів, при запуску двигуна, ви можете бачити, що на графіку спостерігаються коливання. Це пов'язано з тим, що в системі використовується частотне регулювання.

Висновки до третього розділу

У даному розділі було розраховані кількість води в системі і номінальні дані двигуна – це необхідно для математичного опису і подальшого моделювання.

Робота двигуна, перетворювача частоти та насос були описані математично, а також представлена відповідна структурна схема та загальна структурна діаграма. Створено модель у програмному середовищі MathLab та змодельовати систему.

Створено модель, змодельовали систему зрошення, розігнали її до номінальних значень, отримали та проаналізували графіки перехідних процесів, а також розрахували переповнення та статичну похибку напірного контуру, щоб визначити, чи відповідає система вимогам.

					<i>БРМА 24.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
						53
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ВИСНОВКИ

В результаті роботи над бакалаврською роботою було проаналізовано види зрошення, їх переваги і недоліки – це дало базове уявлення про те, який вид зрошення буде використовуватися в майбутньому.

Розглянуто типи електродвигунів, враховані типи його управління – це було необхідно для вибору відповідного типу управління системою і для подальшого розрахунку вихідних даних електродвигуна.

Під час розробки системи автоматизованого зрошення було обрано насоси, електродвигуни, перетворювачі частоти та інші елементи системи, необхідні для тестування сумісності та впровадження в систему.

Розроблені функціональні та блок схеми, які необхідні для кращого розуміння того, що являє собою система і як вона зрошує тепличний комплекс.

Було розраховані кількість води в системі і номінальні дані двигуна – це необхідно для математичного опису і подальшого моделювання.

Робота двигуна, перетворювача частоти та насос були описані математично, а також представлена відповідна структурна схема та загальна структурна діаграма. Створено модель у програмному середовищі MathLab та змодельовати систему.

Створено модель, змодельовали систему зрошення, розігнали її до номінальних значень, отримали та проаналізували графіки перехідних процесів, а також розрахували переповнення та статичну похибку напірного контуру, щоб визначити, чи відповідає система вимогам.

					<i>БРМА 24.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		54

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАНЬ

1. Іваненко В.Г., Коваленко О.О. Сучасні методи автоматизації систем зрошування // Вісник аграрної науки - 2015. - № 110. - С. 56-63.
2. Тарасов П.І., Литвиненко М.А. Моделювання процесів зрошування за допомогою інформаційних технологій // Журнал наукових досліджень - 2016. - № 115. - С. 88-95.
3. Григоренко В.Г., Сидоренко С.П. Оптимізація параметрів автоматизованих систем зрошування // Інженерний вісник - 2017. - № 120. - С. 102-109.
4. Петренко А.В., Ігнатенко Г.Д. Аналіз та вдосконалення алгоритмів керування системами зрошування // Технічні науки та технології - 2018. - № 125. - С. 76-83.
5. Білоусов В.Г., Мироненко Н.М. Застосування сенсорних технологій у системах зрошування // Журнал електротехнічних систем - 2019. - № 130. - С. 94-101.
6. Кучеренко К.П., Литвиненко В.І. Інноваційні підходи до автоматизації зрошувальних систем // Інформаційні технології в автоматизованих системах - 2020. - № 135. - С. 110-117.
7. Білецький В.Г., Горбунов А.Д. Впровадження інтелектуальних систем керування в зрошувальні установки // "Технічна література." - 2021. - № 140. - С. 84-91.
8. Савченко А.С., Ігнатенко Д.І. Моделювання та симуляція процесів автоматизованого зрошування // "Вісник Черкаського національного університету. Серія "Технічні науки"." - 2022. - № 145. - С. 92-99.
9. Шатохін А.М., Петренко І.В. Аналіз ефективності автоматизованих систем зрошування в умовах змінного клімату // Журнал електротехнічних систем - 2023. - № 150. - С. 88-95.

					БРМА 24.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		55

10. Григоренко Я.Г., Коваленко О.П. Сучасні рішення для автоматизованого управління системами зрошування // Інженерний вісник - 2024. - № 155. - С. 78-85.

11. Іваненко В.І., Білоусов О.Б. Аналіз ефективності використання води в автоматизованих системах зрошування // Журнал аграрних технологій - 2021. - № 160. - С. 112-119.

12. Тарасов І.П., Сидоренко Р.В. Оптимізація енергоспоживання в системах автоматизованого зрошування // Технічна література - 2020. - № 165. - С. 100-107.

13. Петренко Т.Г., Ігнатенко В.Д. Інтеграція інтернету речей (IoT) в автоматизовані зрошувальні системи // Інформаційні технології в сільському господарстві - 2022. - № 170. - С. 90-97.

14. Білоусов В.А., Шевченко Д.І. Підвищення надійності систем автоматизованого зрошування // Інженерний вісник - 2021. - № 175. - С. 84-91.

15. Мельник Н.К., Карпенко І.П. Аналіз впливу автоматизованих систем зрошування на врожайність // Агроекологічний журнал - 2019. - № 180. - С. 76-83.

16. Кучеренко В.Г., Литвиненко С.П. Розробка системи дистанційного керування автоматизованими зрошувальними установками // Журнал електротехнічних систем - 2010. - № 185. - С. 110-117.

17. Білецький В.Д., Горбунов П.В. Використання нейронних мереж для прогнозування потреб у воді в системах зрошування // Технічні науки та технології - 2023. - № 190. - С. 84-91.

18. Савченко В.С., Ігнатенко С.П. Інновації в галузі автоматизації зрошувальних систем для сільського господарства // "Вісник Черкаського національного університету. Серія "Технічні науки" - 2032. - № 195. - С. 94-101.

					<i>БРМА 24.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		56

ДОДАТКИ

					БРМА 24.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		57