

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ДВНЗ «Ужгородський національний університет»

Інженерно-технічний факультет
кафедра електронних систем

кваліфікаційна робота магістра

На тему: Автоматизована система керування поливом

Студента 2 курсу

Ценкнера Дмитра Васильовича

(прізвище та ініціали)

_____ (підпис)

Керівник кандидат фіз.-мат. наук Заяць Тарас Михайлович

(прізвище, ініціали, вчені ступінь та звання.)

_____ (підпис)

Голова ЕК:

Ремета Є. Ю. – в.о.зав. відділу Інституту електронної фізики НАН

(прізвище, ініціали, вчені ступінь та звання.)

_____ (підпис)

Заяць Т. М.- зав. кафедри електронних систем, доцент, заст. голови ЕК

(прізвище, ініціали, вчені ступінь та звання.)

_____ (підпис)

Юркін І. М.- доцент кафедри електронних систем

(прізвище, ініціали, вчені ступінь та звання.)

_____ (підпис)

Засвідчую, що у цьому дипломному проекті
немає запозичень з праць інших авторів без
відповідних посилань.

Студент _____
(підпис)

Ужгород - 2025

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ДВНЗ «Ужгородський національний університет»
Інженерно-технічний факультет
кафедра електронних систем

«ЗАТВЕРДЖУЮ»

Зав. кафедрою,

доц. _____ (Заяць Т. М.)

“ ____ ” _____ 2025 року

ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА

На кваліфікаційну роботу магістра

на тему:

АВТОМАТИЗОВАНА СИСТЕМА КЕРУВАННЯ ПОЛИВОМ

Студента групи ЕС: Дмитра ЦЕНКНЕРА

Керівник: кандидат фіз.-мат. наук, доц. кафедри ЕС

Тарас ЗАЯЦЬ

«ЗАТВЕРДЖУЮ»

Зав. кафедрою,

доц. _____ (Заяць Т. М.)

“ _____ ” _____ 2024 року

З А В Д А Н Н Я

на кваліфікаційну магістерську роботу
студенту Ценкнеру Дмитру Васильовичу

1. Тема роботи: Автоматизована система керування поливом.
Затверджена на засіданні кафедри (протокол № 3 від 10 жовтня 2024р.)
2. Термін закінчення роботи: 10 грудня 2025 року.
3. Вихідні дані до роботи.

1. Провести аналіз існуючих систем автоматизованого поливу та їх контролерів. Визначити вимоги до контролерів АСТ. Розробити контролер, який буде легко встановлюватися та обслуговуватися, з мінімальною кількістю необхідних дій. Забезпечити можливість розширення функціональності контролера для відповідності зростаючим потребам користувача.

1. напруга живлення 220 В;
 2. Номінальний струм споживання, не більше А 1 А;
 3. Робоча температура, °С -35 ÷ +50
 4. Інтерфейс користувача
 5. Надійність
 6. Придатність до ремонту
4. Зміст роботи (перелік питань, що підлягають розробці).

Анотація роботи.

Пояснювальна записка:

Вступ.

1. Огляд і аналіз існуючих аналогів об'єкту проектування
2. Огляд і аналіз існуючих методів та схемотехнічних рішень поставленого завдання.
3. Проектно-конструкторський розділ.
 - 3.1 Синтез та аналіз структурної схеми;
 - 3.2 Синтез та аналіз електричної принципової схеми;
 - 3.3 Розрахунки режимів роботи елементів принципової схеми, вибір елементів
 - 3.4 Проектування та розрахунок друкованої плати

3.5. Розрахунок надійності пристрою

4. Техніко-економічний розділ

5. Заходи з техніки безпеки та захисту навколишнього середовища;
Висновки.

Перелік посилань.

6. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень):

6.1. Структурна (функціональна) електрична схема

6.2. Електрична принципова схема.

6.3. Креслення друкованої плати

6.4. Складальне креслення

6.5. Перелік елементів.

6.6. Специфікація.

5. Консультанти розділів роботи:

Розділ	Консультант	Підпис, дата	
		Завдання видав	Завдання прийняв
Н. контроль			

Дата видачі завдання 10 жовтня 2024 року.

Керівник роботи _____ (доц. Заяць Т. М.)
(підпис)

Завдання прийняв на виконання _____ (Ценкнер Д.В.)
(підпис)

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ п/п	Найменування етапів виконання КБР	Термін виконання етапів	Примітки
1.	Пошук та аналіз аналогів об'єкта досліджень.	до 20.12.2024 року	
2.	Огляд та аналіз аналогів.	до 20.02.2025 року	
3.	Вибір технічного рішення та обґрунтування технічної пропозиції.	до 20.03.2025 року	
4.	Синтез структурної та принципової схем, їх розрахунок.	до 20.04.2025 року	
5.	Виготовлення конструкторської документації.	до 20.10.2025 року	
6.	Оформлення кваліфікаційної магістерської роботи.	до 10.12.2025 року	
7.	Захист на державній екзаменаційній комісії.	Згідно з графіком захисту	

Студент _____ (Ценкнер Д.В.)
(підпис)

Керівник роботи _____ (доц. Заяць Т. М.)
(підпис)

РЕФЕРАТ

Кваліфікаційна робота магістра на тему «Автоматизована система керування поливом» / УжНУ; Керівник Заяць Т. М.; Студент Ценкнер Д. В., група ЕС.

Пояснювальна записка: 93 сторінок, 12 рисунків, 17 таблиць, 12 джерел, 6 додатки.

Графічна частина: 4 листи формату А1.

Об'єкт розробки – автоматизована система керування поливом.

Метод дослідження – аналіз аналогів і прототипів, синтез структурної та електричної (функціональної) схеми системи та їх практична реалізація.

У роботі виконано пошук і порівняння існуючих рішень, розроблено та обґрунтовано структурні й принципові схеми системи, описано принципи її роботи та проведено необхідні розрахунки.

АВТОМАТИЗАЦІЯ, ПОЛИВ, КОНТРОЛЕР, РОЗРАХУНКИ, СХЕМА

ABSTRACT

Diploma project of the “Magister” degree: «Automated Irrigation Control System» / UzhNU; Supervisor: Zayats T. M.; Student: Tsenkner D. V., ES group.

Explanatory notes: 93 pages, 12 figures, 17 table, 12 sources, 6 appendixes.

Graphic part: 4 A1 sheets.

Object of development – an automated irrigation control system.

Research method – analysis of prototypes and analogues, synthesis of the system’s structural and electrical (functional) schematics, and their practical implementation.

The study includes a survey and comparison of existing solutions, development and justification of the system’s structural and principle schematics, description of its operating principles, and required calculations.

Keywords:

AUTOMATION, IRRIGATION, CONTROLLER, CALCULATIONS, SCHEME

ЗМІСТ

ВСТУП	8
1. Огляд і аналіз існуючих аналогів об'єкту проектування	9
2. Огляд і аналіз існуючих методів та схемотехнічних рішень поставленого завдання.	20
3. Проектно-конструкторський розділ.	41
3.1 Синтез та аналіз структурної схеми;	42
3.2 Синтез та аналіз електричної принципової схеми;	46
3.3 Розрахунки режимів роботи елементів принципової схеми, вибір елементів	51
3.4 Проектування та розрахунок друкованої плати	67
3.5. Розрахунок надійності пристрою	74
4. Техніко-економічний розділ	79
5. Заходи з техніки безпеки та захисту навколишнього середовища	88
ВИСНОВКИ	92
Перелік посилань	93
ДОДАТКИ	
6.1. Структурна схема	
6.2. Електрична принципова схема.	
6.3. Креслення друкованої плати	
6.4. Складальне креслення	
6.5. Перелік елементів.	
6.6. Специфікація.	

					KPM.EC.11972869.001.ПЗ				
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	Автоматизована система керування поливом Пояснювальна записка	Літ.	Арк.	Акрушів	
Розроб.		Ценкнер Д. В.						7	93
Перевір.		Заяць Т. М.				УжНУ, ІТФ група ЕС, 2 курс			
Реценз.									
Н. Контр.		Папп О. В.							
Затверд.		Заяць Т.М.							

ВСТУП

Сучасне сільське та садово-паркове господарство потребує ефективних методів використання водних ресурсів. Одним із ключових завдань є забезпечення своєчасного та раціонального зрошення ґрунту. Традиційні ручні методи поливу мають низку недоліків, серед яких значні витрати часу та праці, нерациональне використання води, а також ризик пересушування або перезволоження рослин. Це зумовлює необхідність впровадження автоматизованих систем поливу, здатних працювати на основі реальних показників вологості ґрунту та погодних умов.

Актуальність теми дослідження полягає у тому, що створення контролера для автоматизованої системи поливу дозволяє підвищити ефективність використання води, знизити залежність процесу від людського фактора та забезпечити стабільний розвиток рослин. Такі системи є важливими не лише у сільському господарстві, але й у теплицях, приватних господарствах та у сфері ландшафтного дизайну.

Метою роботи є розробка контролера, який забезпечить автоматичне керування процесом зрошення на основі показників датчиків вологості ґрунту та параметрів навколишнього середовища. У ході дослідження передбачено аналіз існуючих рішень у цій галузі, синтез структурної схеми контролера, вибір елементної бази, розробку принципової електричної схеми та проведення необхідних розрахунків, що підтвердять працездатність і надійність запропонованого рішення.

Об'єктом дослідження виступає процес автоматизованого поливу рослин, а предметом – методи та технічні засоби реалізації контролера для системи поливу. Практичне значення роботи полягає у створенні апаратного рішення, здатного забезпечити ефективний полив із мінімальними витратами ресурсів, що робить його корисним для широкого кола користувачів і господарств різного масштабу.

					КРМ.ЕС.11972869.001.ПЗ	Арк.
						8
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

1. Огляд і аналіз існуючих аналогів об'єкту проектування.

1.1. Ринок автоматизованих систем поливу є динамічним і постійно зростає за рахунок розвитку сільського господарства, озеленення міських територій, а також зростаючого попиту на зручні рішення для присадибних ділянок. Автоматизація поливу дозволяє ефективно регулювати витрату води, покращувати продуктивність і знижувати трудовитрати.

Основні гравці ринку, такі як RainBird, K-Rain, Hunter і Toro, пропонують широкий спектр обладнання — від простих контролерів до складних систем із дистанційним керуванням.

- RainBird має довгу історію інновацій, її системи використовують багатозональні контролери, які можна програмувати для індивідуального налаштування режимів поливу. Ця компанія активно впроваджує технології інтеграції зі смартфонами та метеоданими, що дозволяє оптимізувати полив на основі погодних умов. Їх продукція відома надійністю та довговічністю, але має вищу ціну, що робить її більш привабливою для комерційного сектору та вимогливих користувачів.
- K-Rain позиціонується як виробник систем для середнього сегменту ринку з оптимальним співвідношенням ціни та функціональності. Їх рішення часто вибирають фермери та власники приватних земельних ділянок, оскільки пристрої характеризуються простотою монтажу та експлуатації. Основна перевага – надійність у поєднанні з доступністю. Проте найпростіші моделі мають обмежений набір функцій і менш гнучкі налаштування порівняно з конкурентами.
- Hunter відомий високотехнологічними рішеннями для великих газонів, спортивних комплексів, а також сільськогосподарських підприємств. Їх контролери підтримують складні програми поливу з урахуванням різноманітних датчиків — вологості, дощу, температури. Основні переваги висока зносостійкість пристроїв, а також широкий вибір додаткових

					КРМ.ЕС.11972869.001.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		9

модулів і аксесуарів. Але складність і вартість таких систем роблять їх менш доступними для невеликих приватних ділянок.

- Того пропонує комплексні рішення, орієнтовані на середній та малий бізнес, а також приватних користувачів. Їх системи відзначаються простотою управління, часто мають мобільні додатки з можливістю віддаленого контролю. Того забезпечує комплексний підхід до автоматизації поливу, однак у порівнянні з вищеописаними виробниками, має дещо меншу історію у сфері великих інсталяцій.

Поширені на ринку типи систем включають крапельний полив, який дозволяє мінімізувати втрати води, а також спринклерні системи, призначені для рівномірного зрошення газонів і садів. Кожен виробник пропонує багатозональні системи з можливістю гнучкого налаштування параметрів поливу, що дозволяє оптимізувати водоспоживання і підвищити ефективність.

Загальні тенденції ринку виявляють зростаючий інтерес до бездротових систем управління через Wi-Fi або GSM, що дозволяє управляти поливом дистанційно за допомогою мобільних пристроїв. Це робить системи більш зручними у використанні та відкриває нові можливості для інтеграції з "розумними домами".

Ринок автоматизованих систем поливу в Україні і світі активно розвивається, при цьому провідні виробники поєднують надійність, інновації, функціональність та простоту використання, задовольняючи потреби різних користувачів від фермерів до власників приватних ділянок. Такий огляд допомагає зрозуміти, якими характеристиками і можливостями мають володіти сучасні контролери для успішного входження на ринок і задоволення запитів користувачів.

					КРМ.ЕС.11972869.001.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		10

1.2. Аналіз функціональних можливостей систем від провідних виробників: RainBird, K-Rain, Hunter, Toro

Розробник RainBird відомий своїми інноваційними рішеннями у сфері автоматизованого поливу. Функціональні можливості систем цього бренду включають багатозональне програмування з індивідуальним налаштуванням часу, тривалості та частоти поливу для кожної зони. Контролери оснащені функцією "Сезонна настройка", що дозволяє автоматично регулювати режими поливу в залежності від пори року, знижуючи споживання води. Сучасні моделі підтримують управління через Wi-Fi і мобільні додатки, а також інтеграцію з зовнішніми датчиками дощу, вологості ґрунту, температури і вітру, забезпечуючи адаптивний полив відповідно до актуальних погодних умов. Крім того, RainBird підтримує інтеграцію з системами "розумний дім" (Amazon Alexa, Google Assistant, Apple HomeKit), що підвищує зручність використання.



Рисунок . 1 Приклади контролерів Rain-Bird. а - ESP TM2 4, б - ESP-RZXe-4i , в - WPX-4, д - WPX-1

RainBird пропонує високотехнологічні, гнучкі і зручні у використанні системи, які підходять як для приватних користувачів, так і для комерційних проектів, хоча їх вартість відносно висока.

Системи K-Rain орієнтовані на середній ціновий сегмент з акцентом на простоту монтажу і експлуатації. Контролери забезпечують основні функції

					KPM.EC.11972869.001.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		11



а



б



в

Рисунок . 3 Приклади контролерів Hunter. а - XC-601i-E, б - NODE-100-VALVE-B, в - PCC-1201-E

Hunter — це вибір для проєктів із високими вимогами до точності та надійності в складних умовах, призначений для великих і професійних застосувань.

Системи Toro орієнтовані на середній і малий бізнес, а також приватні ділянки. Вони пропонують прості у використанні контролери з базовим зональним керуванням та автоматичними режимами поливу.



а



б



в

Рисунок . 4 Приклади контролерів Toro. а - DDCWP-8-9V, б - EVO-4ID-EU, в - TMC-424E.

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

KPM.EC.11972869.001.ПЗ

Арк.

13

Системи підтримують інтеграцію з мобільними додатками для віддаленого управління та можуть працювати з датчиками дощу з метою підвищення ефективності. В цілому, функціонал Togo є більш обмеженим у порівнянні з іншими брендами, однак в них краща зручність для користувачів, які цінують простоту.

Togo підходить для користувачів, які цінують легкість управління і не потребують складних технологічних рішень, що робить їх системи популярними серед власників приватних територій.

Підсумовуючи, провідні виробники систем автоматизованого поливу RainBird, K-Rain, Hunter і Togo пропонують різні рівні функціональності, орієнтуючись на різні сегменти ринку. RainBird і Hunter виділяються складними, технологічними рішеннями з високою адаптивністю і точністю управління, орієнтованими на професійне використання і великі площі. K-Rain та Togo пропонують більш прості та доступні системи, які задовольняють потреби середнього та приватного секторів, роблячи акцент на надійність і зручність. Вибір конкретної системи залежить від бюджету, розмірів поливної ділянки, необхідного рівня автоматизації та наявності технічної підтримки. Цей аналіз дозволяє прийняти обґрунтоване рішення щодо оптимальної системи або ж компонування функцій для власного контролера автоматичного поливу.

					KPM.EC.11972869.001.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		14

1.5. Приклади популярних рішень і типів систем поливу з аналізом їх ефективності (крапельний, спринклерний, сенсорний контроль вологості)

У сучасному садівництві та фермерстві існує кілька основних типів автоматизованих систем поливу, кожен із яких має свої переваги, недоліки та специфіку застосування. Найпопулярніші серед них: крапельний, спринклерний (дощувальний) полив, а також системи з сенсорним контролем вологості ґрунту.

Крапельний полив є одним із найефективніших систем зрошення. Цей метод полягає в подачі води безпосередньо до кореневої зони рослин через спеціальні крапельниці або стрічки. Завдяки цьому істотно знижується витрата води — на 30-50% у порівнянні з традиційними способами. Крім того, крапельний полив запобігає перезволоженню ґрунту і зменшує ймовірність розвитку грибкових захворювань, оскільки вода не потрапляє на листя і стебла. Він також сприяє підвищенню врожайності шляхом забезпечення оптимального рівня зволоження ґрунту. Незважаючи на ефективність, крапельний полив потребує точного планування та встановлення, а також регулярного обслуговування для запобігання засміченню крапельниць.

Спринклерний (дощувальний) полив імітує природний дощ, розпилюючи воду по поверхні ділянки через форсунки-спринклери. Цей метод підходить для рівномірного зволоження газонів, квітників та великих площ. Відносна простота встановлення та обслуговування робить спринклерний полив одним із найпоширеніших. Однак він менш економічний, оскільки частина води випаровується або потрапляє на листя, що може спричинити хвороби рослин та збільшувати витрати. Також спринклерний полив менш ефективний у вітряну погоду.

Системи з сенсорним контролем вологості ґрунту використовують датчики, які вимірюють рівень вологи в кореневій зоні і автоматично регулюють подачу води в режимі реального часу. Цей підхід дозволяє максимально точно і раціонально використовувати водні ресурси, уникаючи як перезволоження, так і дефіциту вологи. Сенсорний контроль оптимізує роботи систем крапельного чи

					КРМ.ЕС.11972869.001.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		17

спринклерного поливу, підвищуючи ефективність і зменшуючи експлуатаційні витрати. Але такі системи можуть бути дорожчими за базові рішення через вартість датчиків і необхідність додаткового налаштування.

Вибір конкретної системи залежить від типу рослин, розмірів ділянки, доступності водних ресурсів та бюджету. Крапельний полив ідеально підходить для овочевих культур, теплиць і грядок, де потрібно забезпечити точкове зрошення. Спринклерний — для поливу газонів і квітників, великих відкритих просторів. Сенсорний контроль може інтегруватися з будь-яким типом системи для підвищення її інтелектуальності і економічності.

Отже, сучасні системи поливу комбінують ці підходи для досягнення оптимальної продуктивності, забезпечуючи зручність, економію води і високу врожайність у присадибних господарствах і фермерських угіддях.

1.6. Екологічний та економічний аспект застосування систем автополиву, роль автоматизації у раціональному використанні водних ресурсів

Автоматизовані системи поливу відіграють важливу роль у сучасному сільському господарстві та садівництві, значно сприяючи збереженню водних ресурсів та оптимізації їхнього використання. Раціональність управління водою стає особливо актуальною в умовах глобальних кліматичних змін, зростання нестачі прісної води та потреби у сталому розвитку.

З екологічної точки зору, автоматизація поливу дозволяє значно зменшити перевитрати води. Завдяки інтеграції з метеостанціями, датчиками вологості ґрунту і погодними датчиками, системи можуть адаптувати режими поливу під реальні умови. Це не лише знижує споживання води, але й запобігає ерозії ґрунту та перезволоженню, що вберігає ґрунтовий покрив і сприяє збереженню біорізноманіття.

Економічний ефект від застосування систем автополиву полягає у зниженні витрат на воду та електроенергію, а також у зменшенні потреби у ручній праці.

					KPM.EC.11972869.001.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		18

Автоматизація дозволяє ефективніше розподіляти водний ресурс по зонах із різними потребами, що підвищує врожайність і знижує загальні витрати на утримання саду чи ферми. Водночас технології полегшують контроль за системою і дають можливість оперативно реагувати на несправності чи зміни погодних умов.

Варто враховувати і деякі виклики: висока вартість встановлення та обслуговування комплексних систем із сенсорами та програмним забезпеченням може бути стримуючим фактором для невеликих господарств. Крім того, залежність від електроніки і технологічного обладнання викликає потребу у регулярному технічному сервісі та кваліфікованому обслуговуванні.

В цілому, автоматизація поливу – це крок до гармонії між людиною і природою, де кожна краплина води використовується максимально ефективно. Впровадження таких систем — це не лише інвестиція у підвищення продуктивності, але й внесок у збереження навколишнього середовища і раціональне управління водними ресурсами, що є важливим викликом сучасності.

Отже, розвиток і впровадження систем автоматизованого поливу сприяють підвищенню економічної ефективності агропроцесів та збереженню екологічної рівноваги, що робить їх важливими інструментами сталого розвитку сільського господарства й садівництва.

					КРМ.ЕС.11972869.001.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		19

2. Огляд і аналіз існуючих методів та схемотехнічних рішень поставленого завдання.

2.1. Загальна характеристика методів автоматизованого поливу

Сучасні тенденції розвитку сільського господарства, ландшафтного дизайну та систем догляду за рослинами передбачають широке впровадження технологій автоматизації процесів поливу. Це зумовлено необхідністю раціонального використання водних ресурсів, зниження трудомісткості догляду за рослинами та забезпечення стабільного мікроклімату для їхнього росту.

Автоматизована система поливу — це сукупність технічних засобів і програмного забезпечення, які забезпечують керування процесом зрошення відповідно до заданих умов або вимірних параметрів середовища (вологість ґрунту, температура, наявність опадів тощо).

Класифікація систем поливу

Існуючі системи автоматизованого поливу можна класифікувати за принципом роботи на кілька основних типів:

- 1. Таймерні системи** — працюють за фіксованим графіком. Користувач задає час і тривалість поливу для кожної ділянки. Такі системи прості в реалізації, але не враховують фактичний стан ґрунту чи погодні умови.
Приклад: побутові контролери Hunter ECO-Logic або Rain Bird ST8.
- 2. Сенсорні системи** — здійснюють полив залежно від показників датчиків вологості ґрунту або атмосферних параметрів. Мікроконтролер приймає рішення про включення або вимкнення поливу, ґрунтуючись на вимірних значеннях. *Перевага:* економія води до 30–50 % порівняно з таймерними системами.
- 3. Погодозалежні системи** — інтегрують інформацію з метеостанцій або інтернет-сервісів про температуру, опади, вологість повітря тощо. На

					КРМ.ЕС.11972869.001.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		20

основі цих даних розраховується оптимальний режим зрошення. *Приклад:* комерційні рішення Rain Bird ESP-Me з модулем Wi-Fi LNK.

4. **Інтелектуальні системи** — реалізують адаптивні алгоритми поливу з використанням машинного навчання або fuzzy-логіки. Такі системи здатні прогнозувати потреби рослин у воді на основі історичних даних та поточних метеоумов. *Приклад:* системи високого рівня для теплиць або агропромислових комплексів.

Основні принципи функціонування автоматизованих систем

Автоматизований полив базується на замкнутому циклі управління:

1. **Збір даних** — датчики вимірюють вологість ґрунту, температуру, рівень води в резервуарі тощо.
2. **Обробка інформації** — мікроконтролер аналізує показники та порівнює їх із заданими порогоми.
3. **Прийняття рішення** — на основі алгоритму визначається необхідність подачі води.
4. **Керування виконавчими пристроями** — контролер вмикає або вимикає електромагнітні клапани чи насос.
5. **Зворотний зв'язок** — система контролює ефект поливу та за необхідності коригує параметри.

Для ефективної роботи важливо, щоб система мала **достатню кількість сенсорів**, стабільне джерело живлення, а також **можливість віддаленого моніторингу** (через Wi-Fi, Bluetooth або інші канали зв'язку).

Алгоритми керування

У практичних реалізаціях систем поливу застосовуються різні алгоритми прийняття рішень:

- **Пороговий алгоритм** — полив увімкнено, якщо вологість нижча за

					<i>KPM.EC.11972869.001.ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		21

порогове значення, і вимкнено, якщо перевищує верхню межу.

- **Інтегральний алгоритм** — враховує середні значення вологості за певний час, що підвищує стабільність.
- **Комбінований алгоритм** — поєднання часової та сенсорної логіки (наприклад, полив не частіше ніж раз на 6 годин, навіть якщо датчик показує сухий ґрунт).
- **Алгоритми з прогнозуванням** — у більш складних системах аналізуються погодні тенденції, щоб запобігти надлишковому поливу перед дощем.

Переваги автоматизованого поливу

Впровадження автоматизованих систем поливу забезпечує такі переваги:

- **Економія води** — до 50 % завдяки точному контролю тривалості та обсягу поливу;
- **Підвищення врожайності** — оптимальний рівень вологості покращує ріст рослин;
- **Зменшення людського фактору** — система працює автономно;
- **Можливість моніторингу та керування** — завдяки бездротовим технологіям користувач може керувати системою дистанційно;
- **Масштабованість** — контролер може бути доповнений новими сенсорами та зонами поливу.

2.2. Аналіз структурної організації систем керування поливом

Сучасні автоматизовані системи поливу є багатокomпонентними електронними комплексами, що забезпечують ефективне управління процесом зрошення на основі даних, отриманих від різних сенсорів. Основне завдання таких систем полягає в оптимізації використання водних ресурсів, зниженні трудових витрат та забезпеченні стабільних умов для росту рослин.

					KPM.EC.11972869.001.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		22

Структура системи керування поливом визначається її функціональними можливостями, кількістю зон поливу, способом зв'язку між вузлами, типом сенсорів та методом керування виконавчими пристроями. Незважаючи на різноманіття реалізацій, більшість сучасних систем мають схожу функціональну побудову.

Типова структурна організація системи

Загальна структура автоматизованої системи поливу зазвичай включає такі основні блоки:

1. **Центральний керуючий блок (контролер)** — виконує функції збору даних, їх аналізу та формування сигналів керування;
2. **Блок живлення** — забезпечує стабільне живлення всіх електронних модулів системи;
3. **Блок збору даних (сенсорний вузол)** — приймає інформацію від датчиків вологості, температури, рівня води тощо;
4. **Блок керування виконавчими механізмами** — формує сигнали для відкриття/закриття клапанів, увімкнення насосів або інших пристроїв;
5. **Блок індикації та користувацького керування** — дозволяє оператору контролювати роботу системи, переглядати параметри та змінювати налаштування;
6. **Комунікаційний блок** — забезпечує зв'язок між елементами системи або з віддаленими пристроями керування (через дротові чи бездротові інтерфейси).

Функціональний аналіз основних блоків системи

1. **Центральний керуючий блок (контролер)** Контролер є основою будь-якої системи автоматизованого поливу. Саме в ньому реалізуються алгоритми прийняття рішень: обробка інформації з датчиків, порівняння отриманих даних із заданими порогоми, формування команд для

					КРМ.ЕС.11972869.001.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		23

виконавчих механізмів. У сучасних рішеннях найчастіше застосовуються мікроконтролери або одноплатні комп'ютери, які забезпечують:

- гнучке програмування алгоритмів поливу;
- обробку аналогових і цифрових сигналів;
- можливість роботи з таймерами, годинниками реального часу, інтерфейсами зв'язку;
- підтримку бездротових технологій передачі даних. У промислових системах можуть використовуватись програмовані логічні контролери (PLC), які мають підвищену надійність і захист від промислових завад.

2. **Блок живлення** Більшість систем поливу живляться від електромережі 220 В або автономних джерел (акумуляторів, сонячних панелей). У схемах живлення зазвичай використовуються:

- **трансформаторні або імпульсні джерела** живлення з вихідною напругою 5 В, 12 В або 24 В;
- **стабілізатори напруги**, які забезпечують сталі рівні живлення для електронних компонентів;
- **захисні елементи** (запобіжники, варистори, фільтри) для запобігання виходу з ладу електроніки при стрибках напруги. У разі використання автономних джерел живлення застосовуються схеми енергозбереження — режим сну контролера, циклічне вимикання модулів тощо.

3. **Блок збору даних (сенсорний вузол)** Сенсорні модулі виконують моніторинг параметрів середовища. Основними датчиками є:

- **датчики вологості ґрунту** (ємнісного, резистивного або діелектричного типу);
- **датчики температури повітря та ґрунту;**

					<i>KPM.EC.11972869.001.ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		24

- **датчики вологості повітря, рівня води або атмосферних опадів.** Сигнали з сенсорів можуть бути як аналоговими, так і цифровими. Для їх обробки використовуються аналого-цифрові перетворювачі (АЦП), а для цифрових сенсорів — стандартні інтерфейси (I²C, 1-Wire, SPI). Сенсорні вузли можуть бути локальними (з'єднаними безпосередньо з контролером) або віддаленими — з передачею даних через бездротові модулі.

4. Блок керування виконавчими механізмами Основним виконавчим елементом є **електромагнітний клапан**, який регулює подачу води до окремих зон поливу. Для його керування контролер формує електричний сигнал, що подається через проміжний каскад — **драйвер або реле**. У більшості систем застосовується **гальванічна розв'язка** між низьковольтною електронікою та високострумowymi навантаженнями. Це досягається за допомогою **оптронів або твердотільних реле**, що підвищує надійність та електробезпеку. Клапани можуть працювати від напруги 12 В постійного струму або 24 В змінного струму. Вибір залежить від типу клапана і умов експлуатації.

5. Блок індикації та користувацького керування Для забезпечення зручності роботи користувача в системах поливу застосовуються різні засоби індикації та введення даних:

- **рідкокристалічні або графічні дисплеї**, які відображають параметри роботи;
- **світлодіодна індикація** для сигналізації стану клапанів чи помилок;
- **кнопкові панелі або енкодери** для налаштування режимів. У більш складних системах використовується сенсорне керування або віддалений доступ через мобільні додатки та вебінтерфейси.

6. Комунікаційний блок Цей модуль забезпечує обмін інформацією між різними елементами системи, а також між системою та користувачем.

					KPM.EC.11972869.001.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		25

Використовуються як **дротові інтерфейси** (RS-485, I²C, SPI, UART), так і **бездротові технології** (Wi-Fi, Bluetooth, LoRa, ZigBee, Sub-GHz). Вибір інтерфейсу залежить від умов експлуатації, необхідної дальності передачі, швидкості обміну та енергоспоживання. У сучасних рішеннях дедалі частіше застосовуються комбіновані варіанти, коли контролер підтримує як локальну, так і віддалену взаємодію.

2.3. Огляд та аналіз датчиків, що використовуються у системах поливу

Для ефективного функціонування автоматизованої системи керування поливом надзвичайно важливим є використання датчиків, які дозволяють отримувати достовірну інформацію про стан навколишнього середовища. Саме сенсорні вузли забезпечують систему необхідними вхідними даними, на основі яких контролер приймає рішення про вмикання або вимикання поливу. Правильний вибір типів датчиків та їх технічних характеристик безпосередньо впливає на точність, стабільність і ефективність роботи системи.

Загальні принципи роботи сенсорних систем

Сенсорна підсистема автоматизованого поливу включає набір вимірювальних елементів, які перетворюють фізичні параметри (вологість, температура, рівень води, інсоляція, тиск) у електричні сигнали, доступні для обробки мікроконтролером або центральним процесором системи. Отримані сигнали можуть бути аналоговими або цифровими, що визначає особливості їхньої обробки.

У більшості систем виділяють такі основні категорії сенсорів:

- 1. Датчики вологості ґрунту;**
- 2. Датчики температури повітря та ґрунту;**
- 3. Датчики вологості повітря;**
- 4. Датчики рівня води у резервуарі;**
- 5. Датчики атмосферних опадів та сонячного випромінювання;**

					KPM.EC.11972869.001.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		26

6. Комбіновані метеорологічні датчики.

Нижче наведено детальний аналіз найпоширеніших типів сенсорів, які застосовуються у сучасних системах зрошення.

1. Датчики вологості ґрунту

Цей тип сенсорів є ключовим у будь-якій системі автоматизованого поливу, оскільки саме вони визначають безпосередню потребу рослин у воді. Існує кілька технологічних принципів вимірювання вологості ґрунту:

1.1. Резистивні (електропровідні) датчики

Робота таких датчиків базується на зміні електричного опору між двома електродами, зануреними у ґрунт. Чим більше вологи, тим менший опір.

Переваги:

- простота конструкції;
- низька вартість;
- можливість використання з аналоговими входами мікроконтролерів.

Недоліки:

- швидке окиснення електродів при тривалому контакті з вологим середовищем;
- потреба у регулярному калібруванні;
- залежність результатів від хімічного складу ґрунту.

Такі датчики часто застосовуються у бюджетних або навчальних проектах, однак у промислових рішеннях поступово замінюються більш надійними ємнісними аналогами.

1.2. Ємнісні датчики вологості

В основі їх роботи лежить зміна діелектричної проникності ґрунту в залежності від його вологості. Сенсор складається з двох металевих пластин, які

					КРМ.ЕС.11972869.001.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		27

утворюють конденсатор. Ємність конденсатора змінюється при зміні вмісту води у ґрунті.

Переваги:

- відсутність прямого контакту електродів із ґрунтом (менше корозії);
- висока стабільність показань;
- придатність для тривалої експлуатації.

Недоліки:

- вища вартість;
- необхідність точного калібрування під тип ґрунту;
- чутливість до паразитних ємностей кабелю.

Цей тип сенсорів вважається оптимальним для більшості систем поливу середнього та високого рівня складності.

1.3. Діелектричні (частотно-часові) датчики

У таких сенсорах використовується метод вимірювання часу проходження електромагнітної хвилі через зразок ґрунту. Волога змінює швидкість поширення сигналу, що дозволяє з високою точністю визначати вміст води.

Переваги:

- дуже висока точність (похибка 1–2%);
- стабільність показань при різних температурах і типах ґрунтів;
- можливість підключення через цифровий інтерфейс. **Недоліки:**
- складність конструкції;
- висока ціна;
- підвищене енергоспоживання.

Такі сенсори часто використовуються у професійних агротехнічних системах або

					KPM.EC.11972869.001.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		28

наукових дослідженнях.

2. Датчики температури

Температура є важливим фактором, що впливає на процес росту рослин і випаровування води з ґрунту. У системах поливу найчастіше використовуються такі типи температурних сенсорів:

1. **Термістори (NTC або PTC)** — мають високу чутливість і невисоку ціну, але нелінійну характеристику. Використовуються переважно у простих системах для контролю загальної температури.
2. **Цифрові термодатчики (наприклад, DS18B20)** — забезпечують високу точність (до $\pm 0,5$ °C), мають цифровий інтерфейс 1-Wire, що спрощує підключення.
3. **Датчики на основі напівпровідникових сенсорів (LM35, TMP36)** — видають аналоговий сигнал, пропорційний температурі, відзначаються стабільністю та простотою використання.

Дані з температурних сенсорів дозволяють системі оптимізувати графік поливу, зменшувати або збільшувати обсяг води залежно від температурних умов.

3. Датчики вологості повітря

Для комплексного аналізу мікроклімату часто використовуються **комбіновані датчики вологості та температури повітря**, наприклад DHT11, DHT22, або більш точні SHT31/SHT35. Вимірювання вологості повітря дозволяє оцінити рівень випаровування води, а також визначати погодні умови, при яких полив не потрібен (наприклад, при високій відносній вологості повітря після дощу). Такі сенсори застосовуються як у внутрішніх теплицях, так і у відкритих системах зрошення.

4. Датчики рівня води

Для контролю наявності води в резервуарі або колодязі використовуються:

					KPM.EC.11972869.001.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		29

- **поплавкові вимикачі**, які замкнуті або розімкнуті в залежності від положення поплавка;
- **ультразвукові датчики**, що визначають відстань до поверхні води;
- **ємнісні датчики рівня**, що реагують на зміну діелектричної проникності середовища.

Наявність датчика рівня дозволяє уникнути сухого ходу насосів, автоматично вмикати підкачування води або блокувати полив при недостатньому рівні.

5. Датчики атмосферних опадів і сонячної радіації

Ці сенсори використовуються для додаткової оптимізації системи:

- **датчики дощу** вимикають полив при випаданні опадів, що запобігає перевитраті води;
- **датчики освітленості або інсоляції** дозволяють оцінити інтенсивність сонячного випромінювання, від якого залежить випаровування та потреба в поливі.

Такі елементи особливо важливі для розумних агротехнічних систем, які враховують погодні умови та добові цикли освітлення.

6. Комбіновані сенсорні вузли

У сучасних інтелектуальних системах усе частіше застосовуються **комплексні сенсорні модулі**, які одночасно вимірюють кілька параметрів: вологість ґрунту, температуру, освітленість, атмосферний тиск тощо. Переваги таких модулів:

- зменшення кількості підключень;
- спрощення монтажу та обробки даних;
- підвищена точність за рахунок внутрішньої калібровки.

Такі вузли можуть передавати дані через цифрові інтерфейси (I²C, UART) або бездротові модулі (LoRa, ZigBee, Bluetooth Low Energy).

					KPM.EC.11972869.001.ПЗ	Арк.
						30
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Вимоги до сенсорів у системах поливу

Для забезпечення надійної роботи система повинна використовувати сенсори, що відповідають певним технічним вимогам:

1. **Стійкість до вологи та пилу** (ступінь захисту не нижче IP65–IP68);
2. **Сумісність із низьковольтними системами живлення (3,3–5 В);**
3. **Стабільність калібрування у широкому температурному діапазоні;**
4. **Мінімальне енергоспоживання** при тривалій автономній роботі;
5. **Захист від електричних перешкод і корозії контактів.**

Усі ці фактори впливають на довговічність і точність вимірювань, особливо у зовнішніх умовах експлуатації.

2.4. Аналіз джерел живлення та методів стабілізації

Ефективна робота автоматизованих систем керування поливом значною мірою залежить від надійності їх джерел живлення та стабілізації напруги. Виконавчі механізми, сенсорні вузли та керуючі модулі потребують стабільного електроживлення для забезпечення точності вимірювань, безпечного керування клапанами та насосами, а також для підтримки безперервного функціонування системи в різних умовах експлуатації.

1. Основні вимоги до джерел живлення

Джерела живлення автоматизованих систем поливу повинні відповідати наступним критеріям:

1. **Стабільність вихідної напруги** — для запобігання пошкодженню електроніки та забезпечення коректної роботи сенсорів і контролера.
2. **Можливість забезпечення достатнього струму** для одночасної роботи всіх блоків системи, включно з насосами та клапанами.
3. **Захист від перепадів напруги та короткого замикання**, що часто

					КРМ.ЕС.11972869.001.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		31

виникають у зовнішніх електромережах.

4. **Енергоефективність**, особливо у системах, які живляться від автономних джерел (акумуляторів або сонячних панелей).
5. **Стійкість до зовнішніх факторів** — пилу, вологи, температурних коливань та механічних вібрацій.

Всі ці вимоги визначають вибір типу джерела живлення та методів стабілізації.

2. Типи джерел живлення у системах поливу

1. Мережеві джерела живлення (AC-DC адаптери)

- Найпоширеніший варіант для стаціонарних систем, що підключаються до електромережі 220 В.
- Використовуються як лінійні стабілізатори, так і імпульсні блоки живлення.
- **Лінійні джерела** забезпечують мінімальний рівень електричних шумів, проте мають менший ККД та значну тепловіддачу.
- **Імпульсні джерела** відзначаються високим ККД (80–95%), меншими розмірами та вагою, але потребують додаткового фільтрування для зменшення високочастотних перешкод.

2. Акумуляторні джерела живлення

- Використовуються для автономних систем або у випадках нестабільної мережі.
- Можливе використання свинцево-кислотних, літійових або нікель-метал-гідридних батарей.
- Переваги: автономність, мобільність.
- Недоліки: потреба у періодичній зарядці, обмежений термін служби, чутливість до температури.

					<i>KPM.EC.11972869.001.ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		32

3. Гібридні системи живлення

- Поєднання мережевих та автономних джерел (резервне живлення від батарей або сонячних панелей).
- Дозволяє забезпечити безперервну роботу навіть при відключенні основного джерела живлення.

3. Методи стабілізації напруги

Для забезпечення надійної роботи системи застосовуються різні методи стабілізації вихідної напруги:

1. Лінійна стабілізація

- Використовуються регулятори напруги серії 78xx/LM33x, які забезпечують стабільну вихідну напругу.
- Переваги: простота, низький рівень шумів, висока точність.
- Недоліки: значні теплові втрати при великих струмах, менший ККД.
- Застосовується у системах із невеликим енергоспоживанням сенсорів та контролера.

2. Імпульсна стабілізація

- Використання DC-DC конверторів з підвищенням або пониженням напруги (Boost/Buck).
- Переваги: високий ККД, компактність, можливість роботи з широким діапазоном вхідних напруг.
- Недоліки: генерація високочастотних перешкод, потреба у додатковому фільтруванні.
- Широко застосовується у сучасних системах поливу, особливо у тих, що використовують бездротові модулі та виконавчі механізми з високим струмом споживання.

					КРМ.ЕС.11972869.001.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		33

3. Комбіновані методи стабілізації

- Поєднання лінійної та імпульсної стабілізації дозволяє отримати одночасно низький рівень шумів для електроніки та високу енергоефективність для силових вузлів.
- Такий підхід використовують у системах професійного рівня, де одночасно підключено багато зон поливу та бездротові модулі.

4. Захист електронних компонентів

Крім стабілізації напруги, у схемах джерел живлення застосовуються елементи захисту:

- **Запобіжники та терморезистори**, що обмежують струм при короткому замиканні;
- **Варистори та TVS-діоди**, які поглинають імпульсні перенапруги;
- **Конденсатори та LC-фільтри**, що знижують пульсації та високочастотні перешкоди від імпульсних перетворювачів;
- **Розділювальні трансформатори або оптронна ізоляція** для гальванічного розділення силових ланцюгів і логічної частини.

Такий захист забезпечує стабільність і безпеку роботи системи навіть за нестабільної електромережі.

5. Вимоги до джерел живлення сучасних систем поливу

Сучасні автоматизовані системи керування поливом мають низку особливих вимог до живлення:

1. **Підтримка стабільної напруги** для точності сенсорних вимірювань;
2. **Можливість короткочасного забезпечення високих пускових струмів** для клапанів і насосів;
3. **Сумісність із різними типами сенсорів та комунікаційних модулів;**

					<i>KPM.EC.11972869.001.ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		34

4. **Низький рівень електромагнітних перешкод** для запобігання помилок у цифрових сигналах;
5. **Модульність та масштабованість**, щоб додати нові блоки або зони поливу без заміни джерела живлення.

2.5. Огляд та аналіз інтерфейсів зв'язку і бездротових технологій

Сучасні системи автоматизованого поливу все частіше використовують різноманітні інтерфейси для обміну даними між контролером, сенсорними вузлами, дисплеями та бездротовими модулями. Правильний вибір інтерфейсу є критично важливим для забезпечення надійності, енергоефективності та швидкодії системи.

1. Послідовні інтерфейси

Послідовні інтерфейси є основним засобом обміну даними між контролером та периферійними пристроями. Основними використовуваними інтерфейсами є **UART, SPI та I²C**.

1.1. UART (Universal Asynchronous Receiver-Transmitter)

- Призначений для асинхронної передачі даних між мікроконтролером та зовнішніми модулями, такими як Wi-Fi або Bluetooth.
- **Переваги:**
 - Простота реалізації;
 - Невелика кількість ліній зв'язку (TX/RX);
 - Широка підтримка у мікроконтролерах.
- **Недоліки:**
 - Обмежена швидкість передачі (звичайно до 115200 бод);
 - Відсутність стандартизованої підтримки декількох пристроїв на одній шині.

					KPM.EC.11972869.001.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		35

1.2. SPI (Serial Peripheral Interface)

- Використовується для швидкої взаємодії контролера з модулями радіозв'язку, наприклад, **RFM69HCW**.
- **Переваги:**
 - Висока швидкість передачі даних (до декількох Мбіт/с);
 - Підтримка кількох пристроїв на одній шині через лінії CS (Chip Select);
 - Простота протоколу без складної адресації.
- **Недоліки:**
 - Потребує більше проводів (MOSI, MISO, SCLK, CS);
 - Відсутність стандартного контролю помилок на апаратному рівні.

1.3. I²C (Inter-Integrated Circuit)

- Призначений для підключення сенсорів і дисплеїв.
- **Переваги:**
 - Мінімальна кількість проводів (SDA, SCL);
 - Можливість підключення багатьох пристроїв на одній шині;
 - Вбудований протокол підтвердження прийому.
- **Недоліки:**
 - Низька швидкість порівняно з SPI (стандартно 100–400 кГц, високошвидкісний режим до 3,4 МГц);
 - Чутливість до довжини проводів та перешкод.

					<i>KPM.EC.11972869.001.ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		36

- Зручність при локальному конфігуруванні.
- **Недоліки Wi-Fi:** високе енергоспоживання, обмежена дальність без ретрансляторів.
- **Недоліки Bluetooth:** коротка дальність та низька швидкість порівняно з Wi-Fi.

2.2. Sub-GHz (RFM69HCW)

Переваги:

- Велика дальність передачі (до 1–2 км на відкритій місцевості);
- Низьке енергоспоживання, придатне для автономних вузлів;
- Можливість побудови мережі із кількох сенсорних вузлів.
- **Недоліки:**
 - Низька швидкість передачі (до 300 кбіт/с);
 - Потреба у точному налаштуванні частотного діапазону та потужності передавача.

2.3. Порівняння з іншими технологіями

Технологія	Дальність	Енергоспоживання	Швидкість	Надійність
Wi-Fi	50–100 м	Високе	Висока	Середня
Bluetooth	10–50 м	Низьке	Низька	Середня
Sub-GHz	500–2000 м	Дуже низьке	Низька	Висока
LoRa	2–10 км	Дуже низьке	Дуже низька	Висока
GSM	Мережа операторів	Високе	Середня	Висока
NB-IoT	Мобільна мережа	Низьке	Низька	Висока

Таблиця 4. Порівняння бездротових технологій передачі даних

З таблиці видно, що для локального доступу та конфігурації WiFi/Bluetooth забезпечують зручність і достатню швидкодію, а Sub-GHz модулі оптимальні для енергоефективного обміну з віддаленими сенсорними вузлами.

Проведений аналіз існуючих методів та схемотехнічних рішень у сфері автоматизованих систем керування поливом дозволяє зробити кілька важливих узагальнень щодо побудови систем та вибору їх компонентів. Вивчення сучасних рішень показало, що всі автоматизовані системи мають модульну структуру, яка включає контролер, блоки живлення, сенсорні вузли, виконавчі механізми та інтерфейси взаємодії з користувачем. Така архітектура забезпечує гнучкість та масштабованість системи, дозволяє легко додавати нові зони поливу або інтегрувати додаткові сенсорні вузли, а також спрощує технічне обслуговування та модернізацію.

Основу систем складають сенсорні вузли, що забезпечують збір даних про стан ґрунту, температуру, рівень води та погодні умови. Аналіз показав, що для вимірювання вологості ґрунту найбільш ефективними є ємнісні та діелектричні датчики, які поєднують високу точність вимірювань із тривалою стабільною роботою у зовнішніх умовах. Температурні датчики та датчики метеорологічних параметрів дозволяють коригувати графік поливу відповідно до кліматичних умов, що підвищує ефективність використання водних ресурсів. Використання комбінованих сенсорних модулів, що одночасно вимірюють декілька параметрів, зменшує складність підключення та підвищує надійність обробки даних.

Не менш важливим елементом є джерело живлення та система стабілізації напруги. Аналіз показав, що сучасні системи використовують як мережеві джерела живлення, так і автономні батареї, а для забезпечення стабільності та надійності роботи застосовують лінійні, імпульсні або комбіновані методи стабілізації. Лінійні стабілізатори забезпечують низький рівень шумів і високу точність для сенсорних та логічних ланцюгів, а імпульсні конвертори дозволяють ефективно забезпечувати роботу високоспоживаючих виконавчих механізмів. Комбіноване використання цих методів забезпечує надійність та

					KPM.EC.11972869.001.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		39

енергоефективність системи, а додаткові елементи захисту, такі як запобіжники, варистори та фільтри, дозволяють запобігати пошкодженню компонентів при нестабільній мережі або короткому замиканні.

Ще одним ключовим аспектом є вибір інтерфейсів зв'язку. Послідовні інтерфейси UART, SPI та I²C дозволяють ефективно обмінюватися даними з периферійними пристроями та модулями, при цьому кожен інтерфейс оптимізований під конкретні задачі: SPI використовується для швидкого обміну з радіомодулями, I²C — для підключення сенсорів і дисплеїв, а UART — для роботи з Wi-Fi та Bluetooth модулями. Бездротові технології, такі як Wi-Fi, Bluetooth та Sub-GHz, дозволяють організувати як локальний доступ і конфігурацію системи, так і енергоефективний обмін даними з віддаленими вузлами. Таке поєднання забезпечує зручність користування, гнучкість та надійність роботи системи.

На основі проведеного огляду можна зробити висновок, що для ефективної реалізації автоматизованої системи керування поливом доцільно використовувати модульну архітектуру, що включає сенсорні вузли з високоточними ємнісними або діелектричними датчиками, стабільне джерело живлення з комбінованою системою стабілізації напруги та оптимально підібрані інтерфейси зв'язку. Така комбінація дозволяє забезпечити точність вимірювань, надійність роботи виконавчих механізмів та гнучкість у налаштуванні й розширенні системи, що є критично важливим для сучасних агротехнічних рішень.

					КРМ.ЕС.11972869.001.ПЗ	Арк.
						40
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

3. Проектно-конструкторський розділ.

У попередніх розділах було проведено детальний аналіз існуючих систем автоматизованого поливу, розглянуто сучасні підходи до побудови подібних систем, а також виконано порівняння схемотехнічних рішень, що застосовуються у відомих виробників. На основі цього аналізу сформульовано основні вимоги до майбутнього пристрою, визначено ключові функціональні блоки та принципи їхньої взаємодії.

У даному розділі буде розроблено власне проектне рішення автоматизованої системи керування поливом, яке поєднує надійність, енергоефективність і гнучкість налаштування. Особливу увагу приділено структурній побудові системи, вибору оптимальних електронних компонентів, розробці функціональних вузлів контролера, а також забезпеченню стабільності та безпеки роботи пристрою.

Метою цього розділу є створення апаратно-програмного комплексу контролера автоматизованого поливу, який дозволить забезпечити ефективне управління процесом зрошення на основі даних від сенсорів, автоматизований контроль за станом системи та можливість бездротової взаємодії з користувачем для моніторингу і налаштування параметрів.

					КРМ.ЕС.11972869.001.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		41

3.1. Синтез та аналіз структурної схеми

Структурна схема контролера автоматизованої системи керування поливом представлена на рисунку 5. Вона відображає логічну взаємодію між основними функціональними блоками пристрою та демонструє принцип роботи всієї системи.

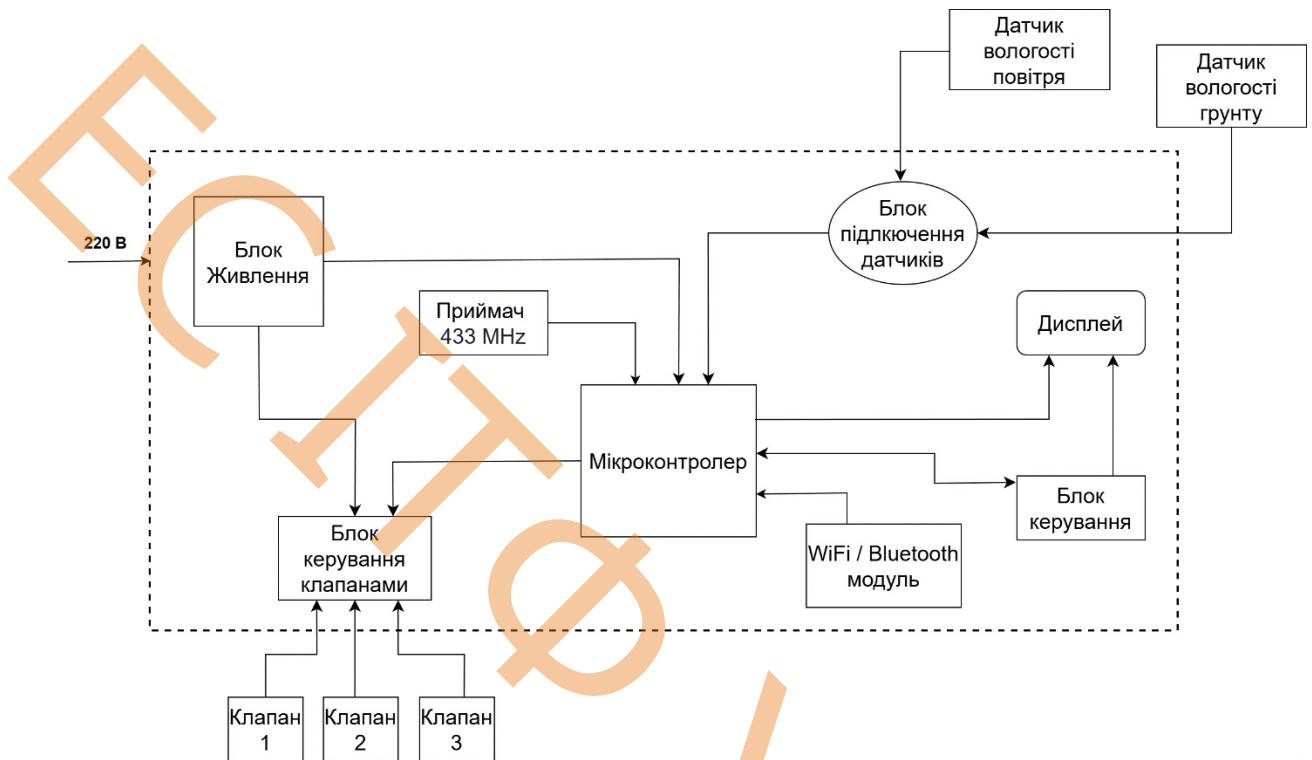


Рисунок 5. Структурна схема

Система побудована за модульним принципом, що забезпечує гнучкість, надійність і можливість подальшої модернізації. Кожен блок виконує певну функцію - від формування живлення до збору даних, обробки інформації та керування виконавчими елементами.

Блок живлення

Блок живлення виконує перетворення змінної напруги мережі 220 В у стабілізовану постійну напругу, необхідну для живлення всіх електронних компонентів системи. Він забезпечує декілька рівнів напруги: основну лінію живлення мікроконтролера та периферійних модулів (5 В або 3.3 В), а також підвищену потужність для роботи виконавчих елементів - електромагнітних клапанів.

Даний блок містить вхідний фільтр для пригнічення перешкод, випрямляч, згладжувальні конденсатори та стабілізатор напруги. Стабільність та фільтрація живлення є критичними параметрами, оскільки вони безпосередньо впливають на точність вимірювань та безперебійну роботу всієї системи.

Мікроконтролер

Мікроконтролер є центральним обчислювальним елементом системи, який координує роботу всіх блоків. Він приймає сигнали від датчиків, обробляє отриману інформацію, виконує алгоритм керування поливом і формує керуючі сигнали для виконавчих пристроїв.

Основні завдання мікроконтролера:

- опитування датчиків вологості повітря та ґрунту;
- прийом і передача даних через бездротові модулі;
- управління клапанами за допомогою блоку керування;
- взаємодія з користувачем через дисплей і блок керування;
- реалізація логіки автоматичного або ручного режиму поливу.

Завдяки інтеграції кількох інтерфейсів зв'язку (UART, SPI, I²C) мікроконтролер забезпечує обмін даними з периферійними модулями, зокрема з комунікаційними модулями Wi-Fi/Bluetooth та радіомодулем 433 МГц.

Блок підключення датчиків

Блок підключення датчиків призначений для збору даних із сенсорів, що вимірюють параметри навколишнього середовища, зокрема вологість ґрунту та повітря.

Даний блок має окремі роз'єми для підключення аналогових та цифрових датчиків, що забезпечує універсальність системи. Аналогові сигнали надходять на відповідні входи мікроконтролера, де перетворюються в цифрову форму для подальшої обробки.

Отримані дані використовуються для визначення необхідності включення

або виключення поливу, що дозволяє здійснювати автоматичне регулювання					Арк.
KPM.EC.11972869.001.ПЗ					
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	43

процесу зрошення відповідно до реальних умов.

Блок керування клапанами

Блок керування клапанами відповідає за формування сигналів для вмикання або вимикання електромагнітних клапанів, які здійснюють подачу води на різні зони поливу.

Для забезпечення електричної безпеки та розділення ланцюгів керування від силової частини використовується гальванічна розв'язка на основі оптронів. Це дозволяє уникнути впливу високих струмів та перенапруг на мікроконтролер.

У блоці реалізовано кілька незалежних каналів керування, що дозволяє одночасно працювати з декількома зонами поливу. Кожен канал має власний тиристорний або транзисторний ключ, який забезпечує комутацію котушки клапана.

Wi-Fi / Bluetooth модуль

Цей блок виконує функцію бездротового зв'язку між контролером і користувачем. Через нього здійснюється передача даних про стан системи, рівні вологості, режими поливу та інші параметри.

Завдяки Wi-Fi або Bluetooth з'єднанню користувач може налаштовувати систему з мобільного пристрою або комп'ютера, змінювати параметри поливу, а також віддалено керувати клапанами.

Модуль має низьке енергоспоживання, що дозволяє використовувати його без шкоди для загальної ефективності системи.

Радіоприймач 433 МГц

Радіоприймач 433 МГц використовується для забезпечення зв'язку з віддаленими сенсорами або додатковими модулями системи, розташованими на великій відстані від основного контролера.

Його перевагою є стабільність передачі даних при низькому енергоспоживанні та значній дальності дії (до кількох сотень метрів у відкритому

					KPM.EC.11972869.001.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		44

просторі). Такий підхід дозволяє масштабувати систему поливу, додаючи нові датчики без прокладання проводів.

Дисплей

Дисплей служить для виведення поточної інформації про роботу системи - рівень вологості, стан клапанів, режим роботи (автоматичний/ручний), час останнього поливу тощо.

Наявність візуальної індикації спрощує взаємодію з користувачем і підвищує зручність експлуатації. Відображення інформації може здійснюватися у реальному часі з можливістю перемикання меню та налаштування параметрів.

Блок керування

Блок керування є інтерфейсом взаємодії користувача із системою. Він може містити кнопки, енкодер або сенсорні елементи, які дозволяють здійснювати ручне керування поливом, зміну налаштувань або переведення системи в автоматичний режим.

Сигнали з блоку керування надходять безпосередньо до мікроконтролера, який аналізує команди користувача та виконує відповідні дії.

Принцип роботи системи

Після подачі живлення блок живлення формує стабілізовану напругу для всіх компонентів. Мікроконтролер ініціалізує периферію, опитує підключені датчики вологості та аналізує отримані значення. Якщо вологість ґрунту нижча за заданий поріг, система активує відповідний канал керування клапаном через блок керування клапанами.

Паралельно користувач може спостерігати стан системи на дисплеї або через бездротовий інтерфейс Wi-Fi/Bluetooth. У разі потреби він може вручну керувати поливом або змінювати налаштування. Дані з віддалених сенсорів можуть надходити через модуль 433 МГц.

Таким чином, структурна схема демонструє взаємопов'язану роботу

					KPM.EC.11972869.001.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		45

апаратних модулів, що забезпечують повний цикл функціонування автоматизованої системи поливу - від збору даних до виконання команд керування, з можливістю дистанційного моніторингу та налаштування.

3.2. Синтез та аналіз електричної принципової схеми

Електрична принципова схема є детальним відображенням структурної побудови системи та визначає конкретну реалізацію кожного функціонального блоку на рівні електронних компонентів. Вона показує зв'язки між усіма елементами, сигнальні лінії, вузли живлення та керування, а також принцип роботи пристрою в цілому. Метою синтезу принципової схеми є створення повноцінного апаратного рішення, що забезпечує стабільну роботу автоматизованої системи поливу, узгодження всіх електронних блоків між собою та дотримання вимог безпеки і надійності.

1. Загальна структура принципової схеми

Принципова схема побудована за модульним принципом і складається з кількох основних підсистем:

- Система живлення;
- Мікроконтролерний модуль;
- Блок підключення сенсорів;
- Блок керування електромагнітними клапанами;
- Модулі бездротового зв'язку (Wi-Fi/Bluetooth та RFM69HCW);
- Блок індикації та локального керування.

Всі ці підсистеми взаємодіють між собою за допомогою низьковольтних сигналів, забезпечених гальванічною розв'язкою там, де це необхідно. Загальний принцип дії полягає у зборі даних з сенсорів, їх цифровій обробці мікроконтролером та керуванні подачею води через електромагнітні клапани згідно з заданими алгоритмами.

					<i>KPM.EC.11972869.001.ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		46

2. Система живлення

Система живлення є базовим елементом схеми, оскільки забезпечує всі інші вузли необхідними рівнями напруги. Вона підключається до мережі змінного струму 220 В, а за допомогою понижувального трансформатора, випрямляча та стабілізатора напруги формується постійна напруга живлення. Стабілізатор на основі мікросхеми **LM338** забезпечує стабільну вихідну напругу, регульовану в межах 5–12 В залежно від потреб схеми. Для усунення пульсацій і забезпечення фільтрації використовуються електролітичні та керамічні конденсатори на вході й виході стабілізатора. До виходу блоку живлення підключені всі низьковольтні модулі системи — мікроконтролер, модулі зв'язку, сенсори, блок індикації. Для силових елементів, що керують клапанами, передбачена окрема лінія живлення з підвищеним струмовим запасом.

3. Мікроконтролерний модуль

Центральною частиною схеми є мікроконтролер **ATmega2561**, який виконує функції логічного керування, обробки даних і комунікації з іншими вузлами. Він має достатню кількість портів введення/виведення, що дозволяє підключати всі необхідні елементи системи без використання додаткових мультиплексорів. До основних з'єднань мікроконтролера належать:

- **Входи аналогових сигналів** — підключення до сенсорів вологості та температури через аналогові канали (ADC);
- **Цифрові входи/виходи** — керування оптронами в блоці клапанів;
- **Інтерфейси зв'язку:**
 - **UART** — для взаємодії з Wi-Fi або Bluetooth модулем;
 - **SPI** — для обміну даними з RFM69HCW;
 - **I²C** — для з'єднання з дисплеєм і деякими сенсорами.

Мікроконтролер працює від стабілізованої напруги 5 В, має підключений кварцовий генератор (зазвичай 16 МГц), що забезпечує точну тактову

					KPM.EC.11972869.001.ПЗ	Арк.
						47
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

синхронізацію, а також ланцюги скидання (RESET) і фільтрації живлення. Для захисту портів введення/виведення від перевантаження використовуються обмежувальні резистори.

4. Блок підключення сенсорів

Блок сенсорів включає декілька роз'ємів для підключення як аналогових, так і цифрових датчиків. Аналогові сенсори (наприклад, вологості ґрунту) формують сигнал у вигляді напруги, пропорційної вимірюваному параметру. Цей сигнал подається на вхід ADC мікроконтролера через ланцюг узгодження, який містить резистори та конденсатори для придушення шумів. Для цифрових сенсорів (наприклад, датчиків температури з інтерфейсом 1-Wire або I²C) передбачені окремі лінії даних, що підключаються безпосередньо до портів мікроконтролера. Живлення сенсорів подається через стабілізовані лінії, а для запобігання перешкодам передбачено шунтувальні конденсатори на роз'ємах.

5. Блок керування електромагнітними клапанами

Цей блок виконує перетворення логічних сигналів з мікроконтролера у силові сигнали, здатні вмикати електромагнітні клапани. Кожен канал керування містить:

- **оптрон (оптопара)** — для гальванічної розв'язки низьковольтної та високовольтної частини схеми;
- **керуючий тиристор** — для комутації струму котушки клапана;

Коли мікроконтролер подає логічну "1" на вхід оптрона, світлодіод усередині оптопари активує фоточутливий елемент, який відкриває силовий транзистор. Через нього проходить струм на котушку клапана, що викликає відкриття подачі води. Вимикання сигналу призводить до закриття клапана. Така схема забезпечує електричну безпеку системи та захист логічних елементів від перевантаження.

6. Модулі бездротового зв'язку

У схемі передбачено два незалежних бездротових інтерфейси:

					КРМ.ЕС.11972869.001.ПЗ	Арк.
						48
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- **Wi-Fi/Bluetooth модуль** — підключається через UART і дозволяє реалізувати з'єднання з користувацьким інтерфейсом для моніторингу та керування системою. Він живиться від стабілізованого джерела 3,3 В, а між ним і мікроконтролером передбачено узгодження рівнів сигналів.
- **Радіомодуль RFM69HCW (433 МГц)** — підключений через інтерфейс SPI. Використовується для зв'язку з віддаленими сенсорними вузлами або іншими контролерами. Його антена винесена на корпус пристрою для покращення дальності зв'язку.

Для обох модулів передбачено фільтруючі конденсатори на лініях живлення, а сигнальні траси розведені з урахуванням вимог електромагнітної сумісності.

7. Блок індикації та локального керування

Блок індикації містить **дисплей** (графічний або символічний), підключений до мікроконтролера через інтерфейс I²C. На ньому відображається інформація про поточні параметри поливу, рівні вологості, стан клапанів і режими роботи. Для локального керування передбачено **кнопковий інтерфейс**, підключений до цифрових входів мікроконтролера. Через нього користувач може запускати ручний режим поливу, змінювати пороги вологості або параметри часу.

Індикація станів також реалізується за допомогою світлодіодів, які сигналізують про живлення, активність каналів керування або помилки роботи системи.

8. Принцип роботи електричної схеми

Після подачі живлення схема переходить у режим ініціалізації — мікроконтролер виконує перевірку підключених сенсорів і модулів зв'язку. Потім система переходить у робочий режим, у якому відбувається безперервне опитування сенсорів вологості та температури. На основі отриманих значень мікроконтролер порівнює дані з заданими порогоми і при необхідності формує сигнал керування відповідним клапаном. Сигнал подається на оптрон, який через транзистор відкриває електромагнітний клапан. Після завершення поливу подача

					<i>KPM.EC.11972869.001.ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		49

струму припиняється, і клапан закривається.

У режимі моніторингу користувач може спостерігати показники сенсорів на дисплеї або дистанційно через Wi-Fi/Bluetooth-з'єднання. Пристрій також може обмінюватися даними з віддаленими модулями через RFM69HCW, що дозволяє створювати розгалужену мережу з кількома точками збору інформації.

9. Аналіз та узагальнення

Розроблена електрична принципова схема є логічним продовженням структурної схеми та реалізує всі основні функції системи автоматизованого поливу: збір інформації, обробку, прийняття рішень і керування виконавчими елементами. Використання гальванічної розв'язки, стабілізованого живлення, фільтраційних елементів і модульної архітектури забезпечує високу надійність та ремонтпридатність пристрою. Схема побудована з урахуванням енергетичної ефективності та безпеки, а застосування стандартних інтерфейсів (UART, SPI, I²C) дає змогу легко модернізувати систему, додаючи нові модулі або сенсори без зміни базової архітектури.

Таким чином, розроблена електрична схема повністю відповідає функціональним вимогам до контролера автоматизованої системи поливу та забезпечує надійну, стабільну і гнучку роботу пристрою в умовах експлуатації.

					КРМ.ЕС.11972869.001.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		50

3.3 Розрахунки режимів роботи елементів принципової схеми, вибір елементів

Для гальванічної розв'язки буде використано трансформатор Т1. Це підвищує безпеку експлуатації пристрою, захищаючи як користувачів, так і чутливу електроніку від можливих перенапруг або коротких замикань з боку мережі та навпаки.

Трансформатор не розміщений безпосередньо на друкованій платі, оскільки має великі габарити та специфічні вимоги до монтажу. У реальному виконанні він підключається до плати ззовні відповідно до проектною документації. Такий підхід полегшує проектування друкованої плати, забезпечує більшу гнучкість у виборі трансформатора та зменшує її розміри.

Для даного проєкту обрано трансформатор 230/24 VAC, 100 VA з наступними параметрами:

Параметр	Значення
Напруга первинної обмотки, В	230
Напруга вторинної обмотки, В	24
Номінальний струм, А	4.17
Потужність, Вт	150

Таблиця 5 - Технічні характеристики Т-230/24 VAC

Запобіжники

Запобіжники — це важливі елементи захисту електричних схем, які запобігають перевантаженню і короткому замиканню. Вони автоматично відключають електричний контур, коли струм перевищує безпечний рівень, що захищає чутливі компоненти та користувачів від небезпечних ситуацій. Використання запобіжників забезпечує надійність і довговічність електронних пристроїв, а також знижує ризик виникнення пожеж. Правильний вибір запобіжників гарантує їх ефективність у захисті електросистеми.

Враховуючи коефіцієнт запасу як 1.25, було обрано наступні запобіжники:

					КРМ.ЕС.11972869.001.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		51

Стабілізація напруги

Стабілізатор напруги **LM338** є популярним компонентом для регулювання вихідної напруги у різних електронних схемах. Він забезпечує стабільну напругу навіть при зміні навантаження, що робить його ідеальним для живлення чутливих електронних пристроїв. Завдяки надійним захисним функціям, таким як перевантаження та перегрів, LM338 гарантує безпечну експлуатацію. Завдяки простому підключенню і широкій доступності, цей стабілізатор використовується в багатьох застосуваннях, від лабораторних блоків живлення до промислових систем.

Вихідні робочі струми цієї мікросхеми є достатніми для живлення драйверів пристрою стабілізованою напругою в 5В.

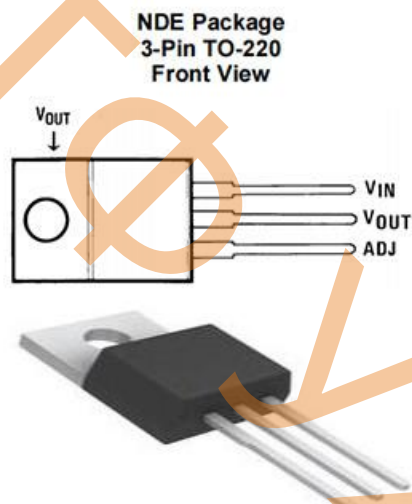


Рисунок 6. Графічне зображення і конфігурація виводів LM338

Параметр	Значення
Вхідна напруга, В	1,2-40
Вихідна напруга, В	1,2-32
Максимальний вихідний струм, А	5
Падіння напруги, В	1,24
Діапазон робочої температури, оС	Регульований

Таблиця 7 – Технічні характеристики LM338

LM338 для отримання 5 В необхідно, щоб опір між ADJ та землею був приблизно 820 Ом.

Якщо врахувати I_{ADJ} :

$$U_{OUT} = 1.25 \left(1 + \frac{R_2}{240} \right) + 50 \mu A \cdot R_2, \quad (3.3.6)$$

Для $R_2 = 820 \Omega$:

$$I_{ADJ} \cdot R_2 = 50 \cdot 10^{-6} \cdot 820 \approx 0.036 V, \quad (3.3.7)$$

$$U_{OUT} \approx 1.25(1 + 3) + 0.036 = 1.25 \cdot 4 + 0.036 = 5 + 0.036 = 5.036 V, \quad (3.3.8)$$

На вході стабілізатора встановлено великий електролітичний конденсатор С1 ємністю 1000 мкФ, який служить попереднім фільтром для згладжування пульсацій після діодного моста. Він повинен мати робочу напругу щонайменше 50 В, оскільки після випрямлення та фільтрації напруга на вході LM338 може досягати 32–34 В. Поруч із ним встановлений керамічний конденсатор С2 ємністю 0,1 мкФ — він придушує високочастотні перешкоди, які електроліт не може ефективно компенсувати. Разом ці два конденсатори забезпечують чисте, стабільне живлення на вході мікросхеми.

Конденсатор С3, який під'єднано між виводом ADJ і землею, має ємність 10 мкФ і служить для зменшення шумів та покращення роботи регулятора. Він стабілізує напругу на виводі ADJ і знижує низькочастотні коливання, що в результаті робить вихідну напругу набагато рівнішою. На виході стабілізатора встановлено ще два конденсатори — електролітичний ємністю 10 мкФ і керамічний на 0,1 мкФ. Вони виконують таку ж роль, як і вхідні: електроліт згладжує низькочастотні зміни, а кераміка — високочастотні. Разом вони забезпечують стабільну та низькошумну напругу 5 В. У ланцюгу присутні два діоди 1N4007 — D1 і D2. Перший, D1, розташований між виходом і входом стабілізатора і служить захистом від ситуації, коли велика вихідна ємність або зовнішнє джерело утримує на виході високу напругу, в той час як вхід вже вимкнено. Без цього діода конденсатор на виході міг би розрядитися через внутрішні структури мікросхеми, що легко спричинило б її пошкодження. Другий діод, D2, встановлений між виходом і ADJ, захищає регулятор від різниці

										Арк.
										55
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата						

KPM.EC.11972869.001.ПЗ

потенціалів, коли на виході напруга може випадково стати вищою, ніж на виводі ADJ. Обидва діоди виконують суто захисну функцію.

Блок керування та логіки

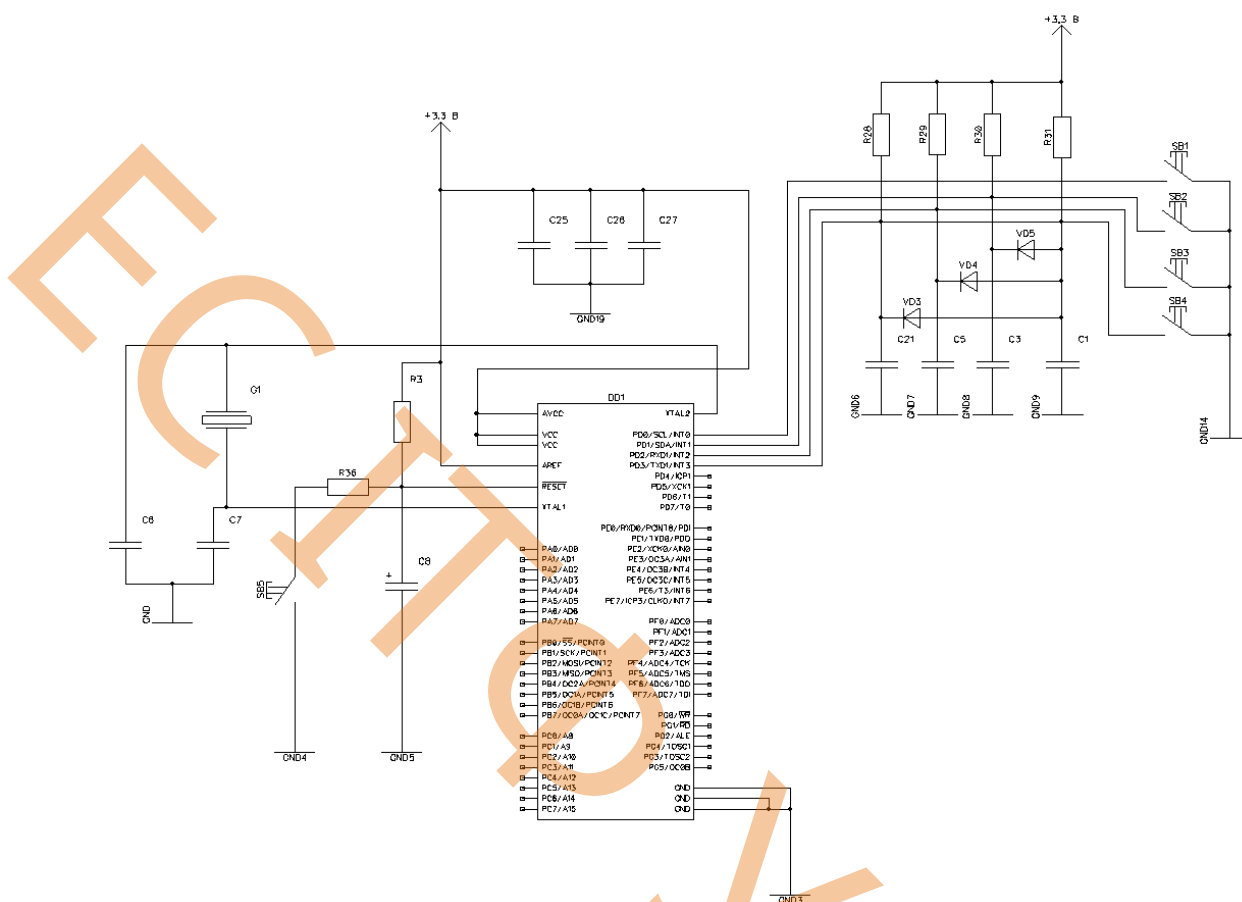


Рисунок 8. Ділянка схеми керування та логіки

Блок керування в автоматизованій системі поливу базується на мікроконтролері ATmega2561, який виконує функції центрального обчислювального модуля. Він координує роботу всієї системи, формує сигнали керування для електромагнітних клапанів, взаємодіє з модулями бездротового зв'язку, обробляє дані від датчиків та забезпечує роботу інтерфейсу користувача. Для надійної роботи мікроконтролера необхідним є правильне формування живлення, стабільного тактового сигналу, а також забезпечення відповідного рівня завадостійкості всіх входів і виходів, особливо в умовах роботи з електромагнітними клапанами, що створюють значні перехідні процеси в мережі живлення.

Параметр	Значення
Напруга живлення, В	1,8...5,5
Об'єм Flash-пам'яті, Кб	256
Об'єм пам'яті EEPROM, Кб	4
Об'єм пам'яті SRAM, Кб	8
Тактова частота, МГц	16
Інтерфейс	I2C, JTAG, SPI x3, UART x2

Таблиця 8 - Технічні характеристики ATMEGA2561

Це формує затримку скидання при вмиканні живлення й фільтрує короткі завади по Reset.

$$\tau = R3 \cdot C8 = 10 \text{ k}\Omega \cdot 100 \text{ nF} = 1 \text{ ms}, \quad (3.3.9)$$

Живлення мікроконтролера подається від стабілізованої напруги +3,3В. Для того щоб забезпечити стабільність і низький рівень шумів, безпосередньо біля виводів VCC та GND розміщується набір керамічних конденсаторів 100 нФ, які виконують функцію високочастотного локального фільтрування. Вони забезпечують короткі шляхи для зворотних струмів перемикавання внутрішніх цифрових вузлів мікроконтролера, що суттєво знижує рівень паразитних імпульсів. Окрім них, у межах декількох міліметрів від мікросхеми встановлюється електrolітичний або полімерний конденсатор ємністю 10 мкФ, який компенсує низькочастотні пульсації та забезпечує запас енергії під час миттєвих змін струмоспоживання. Для формування стабільного тактового сигналу використовується зовнішній кварцовий резонатор частотою 16 МГц.

Разом із ним включаються два конденсатори ємністю 22 пФ, які створюють резонансний контур між виводами XTAL1 і XTAL2 та землею. Використання зовнішнього кварца є необхідним для забезпечення стабільної частоти тактування, що особливо важливо при роботі UART, SPI, радіомодуля та таймерів.

Якщо кварц має $C_L \approx 16\text{--}18 \text{ pF}$, ефективна навантажувальна ємність:

$$C_L \approx \frac{C_6 \cdot C_7}{C_6 + C_7} + C_{stray}, \quad (3.3.10)$$

При $C_6 = C_7 = 22, \text{pF}$ і паразитній $C_{stray} \approx 3\text{--}5 \text{pF}$:

$$C_L \approx \frac{22 \cdot 22}{22 + 22} + 4 \approx 11 + 4 = 15 \text{pF}, \quad (3.3.11)$$

Що добре потрапляє в типовий діапазон для кварців AVR ($16 \pm 2 \text{пФ}$).

У підсистемі керування кнопками використано комбінований підхід, коли кожна кнопка SB1...SB4 має свій індивідуальний лінійний вхід до мікроконтролера, а також додатково підключена до окремої лінії переривання через діодний логічний вузол. Така конфігурація дозволяє миттєво реагувати на будь-яке натиснення кнопки, не опитуючи їх циклічно у програмі. Верхній вхід мікроконтролера, який є входом апаратного переривання INT, налаштований на спрацьовування по задньому фронту, тобто на перехід сигналу з рівня логічної «1» у «0». При натисканні будь-якої з кнопок виникає саме такий перехід, тому система отримує апаратне переривання з мінімально можливою затримкою.

Блок виводу інформації (дисплей)

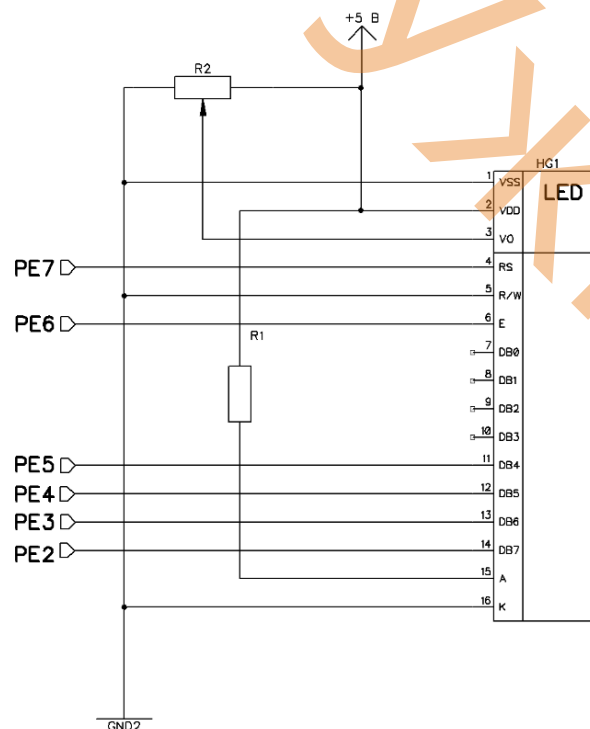


Рисунок 9. Ділянка схеми виводу інформації

- Повільні сигнали (температура, вологість, освітленість тощо) проходять без спотворень.

- Шум на сотнях кГц (від ШІМ, реле, мережі, радіомодуля) значно пригнічується.

Аналогова частина виконана таким чином: вихід датчика через послідовний резистор R_{series} підводиться до входу ADC піну (PD4 або PD5), паралельно входу встановлений конденсатор C_{filter} до землі, а на сам вхід між входом і землею підключений низьколатентний стабілітрон (зенер) як другий рівень захисту: при збуренні, що призведе до підвищення напруги вище робочої (наприклад, через помилкове підключення сенсора до джерела напруги), зенер починає відводити надмірну енергію на землю і обмежує напругу, запобігаючи пробою входу ADC. . Послідовний резистор і паралельний конденсатор формують RC-низькочастотний фільтр із граничною частотою.

Струм через резистори R_{32} та R_{33} .

$$I_R = \frac{6.7 V}{1.2 k\Omega} \approx 8 mA, \quad (3.3.16)$$

Це безпечно для діода й входу, далеке від будь-яких граничних значень.

Блок керування клапанами

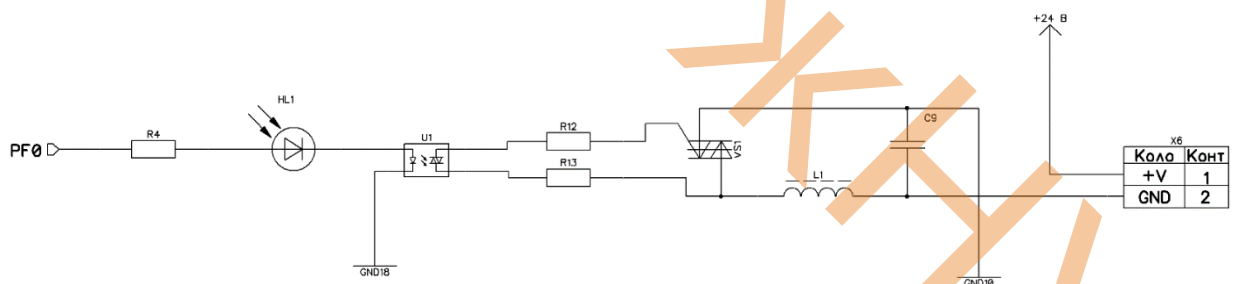


Рисунок 11. Ділянка схеми драйвера керування клапанами

Блок керування електромагнітними клапанами у даній системі реалізовано на основі симісторного ключа, який комутує індуктивне навантаження на напрузі 24 В змінного струму. Керуючим елементом у схемі є оптрон МОС3021 — це оптосимісторний драйвер без вбудованої функції синхронізації по нульовому переходу (non-zero-cross), що дозволяє формувати керування тиристором у будь-

					КРМ.ЕС.11972869.001.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		61

який момент півперіоду. У коло керування паралельно світлодіоду включений індикатор HL1, який дозволяє візуально контролювати стан каналу.

- Струм через світлодіод HL1 задається номіналом резистора R4:

$$I_{HL1} = \frac{U_{in} - U_{LED}}{R4}, \quad (3.3.17)$$

Для вхідного обмеження струму, якщо $U_{in} = 5 \text{ В}$:

$$I_{HL1} = \frac{5 \text{ В} - 2 \text{ В}}{180 \Omega} \approx 16.6 \text{ mA}, \quad (3.18)$$

Параметр	Значення
Тип	Оптосимистор
$U_{\text{ізол}}$, кВ	5
$I_{\text{вх}}/I_{\text{вих}}$, мА	50
$U_{\text{вих}}$, В	400
Робоча температура, °С	-55...+110

Таблиця 10 - Технічні характеристики МОС3021

Для запуску симістора VT1 через МОС3021 струм на керуючому електроді обмежується резистором R12 :

$$I_G = \frac{U_{out}}{R12}, \quad (3.3.19)$$

де U_{out} — напруга на резисторі; для сигнального запуску МОС3021–VT137 цілком достатньо 10–20 мА.

- з номіналом $R12 = 560 \Omega$, а якщо на керуючому виводі 5 В:

$$I_G = \frac{5 \text{ В}}{560 \Omega} \approx 8.9 \text{ mA}, \quad (3.3.20)$$

Це мінімальний, але достатній для гарантованого запуску симістора.

У силовому колі після тиристора знаходиться LC-фільтр, який складається з дроселя L1 та конденсатора C9. При комутації індуктивного навантаження виникають високочастотні імпульси напруги, які можуть створювати перешкоди у всій системі. Дросель L1 пригнічує швидкі зміни струму, а конденсатор C9 відводить енергію високочастотних гармонік.

Блок модулів RFM69HCW та AFM203T

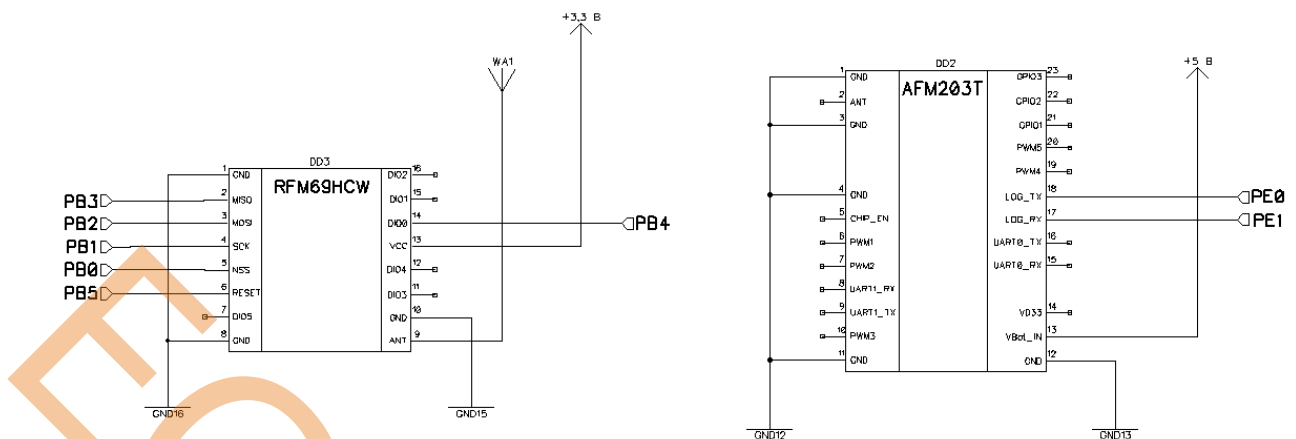


Рисунок 12 . Ділянка схеми з модулями

У даній системі керування поливом використано два різні бездротові комунікаційні модулі: RFM69HCW, що працює на частоті 433 МГц, та AFM203T, який забезпечує Wi-Fi і Bluetooth-з'єднання. Обидва модулі виконують різні комунікаційні функції, що дозволяє системі одночасно підтримувати локальний бездротовий обмін з сенсорними вузлами та зв'язок із користувачем або хмарним сервісом. Мікроконтролер здійснює взаємодію з кожним модулем окремо через різні інтерфейси, що мінімізує можливість завад або конфліктів на лініях керування.

Модуль RFM69HCW, позначений на схемі як DD4, є енергоефективним субгігагерцовим трансивером. Його робота базується на протоколах з програмованими параметрами модуляції, потужності передавання та швидкості обміну даними, що дозволяє адаптувати зв'язок до умов середовища. Він підключений до мікроконтролера через SPI-інтерфейс, де виводи PB0, PB1, PB2 та PB3 виконують функції MOSI, MISO, SCK та NSS відповідно. Окрім цього, модуль використовує вивід PB5 для апаратного скидання, а сигнальний вивід PB4 підключений до лінії DIO0, яка генерує апаратні події, такі як завершення передавання або приймання даних. Завдяки цій інтеграції мікроконтролер отримує інформацію про статус радіомодуля без необхідності постійного опитування, що суттєво зменшує навантаження на процесор.

									Арк.
									64
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	KPM.EC.11972869.001.ПЗ				

Параметр	Значення
Напруга живлення, В	1,8 ... 3,6 V
Робоча температура, °C	-40 ... + 85 ° C
Тип зв'язку	RF
Частота, МГц	433
Інтерфейс	SPI
Габарити, мм	16 x 16

Таблиця 12 - Технічні характеристики RFM69HCW-433

Антенa підключається до виводу ANT через роз'єм WA2. Для живлення модуля передбачене підключення лінії 3,3 В від стабілізатора LD1117.

Другим елементом блоку є модуль AFM203T, позначений як DD2. Це комбінований Wi-Fi/Bluetooth модуль, який забезпечує підключення як до локальної мережі, так і до мобільних пристроїв. Він підключений до мікроконтролера через UART-інтерфейс, де виводи PE0 та PE1 забезпечують приймання та передавання даних відповідно. Через цей канал мікроконтролер передає командні структури, дані сенсорів, а також приймає повідомлення та конфігураційні параметри, що надає можливість гнучко керувати модулем та застосовувати стандартизовані протоколи взаємодії. Живлення модуля AFM203T також подається з лінії +5 В, однак через резистор R35, що виконує подвійну функцію. Додаткові виводи, такі як GPIO3, GPIO2, а також лінії PWM, у даній схемі не використовуються, однак за необхідності можуть бути задіяні для розширення функцій модуля, наприклад для діагностики, керування індикаторами або обробки зовнішніх подій.

Параметр	Значення
Напруга живлення, В	3,0...3,6
Тип зв'язку	Bluetooth / Wi-Fi
Частота, ГГц	2,402...2,480
Інтерфейс	UART, SDIO, SPI

Таблиця 13 - Технічні характеристики AFM203T

					KPM.EC.11972869.001.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		65

Обидва модулі функціонують незалежно, проте їхня робота доповнює один одного. RFM69HCW забезпечує енергоефективний обмін із низькими швидкостями на великі відстані в межах приватної ділянки, що ідеально підходить для сенсорних вузлів системи поливу. AFM203T, своєю чергою, відповідає за інтеграцію з користувацькими пристроями та глобальною мережею, дозволяючи здійснювати віддалений моніторинг та керування системою. Використання різних інтерфейсів (SPI та UART) запобігає конфліктам на шинах мікроконтролера та забезпечує стабільну й ефективну роботу обох модулів.

ПРОЕКТ

					КРМ.ЕС.11972869.001.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		66

3.4 Проектування та розрахунок друкованої плати

3.4.1. Визначення встановлювальних площ елементів

Проектована друкована плата містить три групи електрорадіоелементів (ЕРЕ), які класифікуються відповідно до їхніх геометричних розмірів згідно з методикою розрахунку: малогабаритні, середньогабаритні та крупногабаритні. До малогабаритних елементів відносяться резистори, конденсатори, дискретні діоди та світлодіоди; до середньогабаритних — оптрони МOC3021, роз'єми сенсорного вузла, RF-модуль, кнопки; до крупногабаритних — стабілізатор LM338, випрямляч KBPC610, мікроконтролер ATmega2561 у TQFP-корпусі, клемний блок X1. Трансформатор та графічний індикатор винесені за межі плати і до розрахунку не входять.

Установлювальна площа кожної групи визначалась як площа прямокутника, у який вписується корпус ЕРЕ разом із виводами та контактними площадками.

Кількість та усереднені встановлювальні площі прийнято:

- малогабаритні елементи — ($N_M = 74$), площа одного елемента ($A_M = 18 \text{ мм}^2$);
- середньогабаритні елементи — ($N_C = 27$), площа одного елемента ($A_C = 96 \text{ мм}^2$);
- крупногабаритні елементи — індивідуальні площі:
ATmega2561 — 144 мм^2 ,
LM338 — 120 мм^2 ,
KBPC610 — 400 мм^2 ,
клемник X1 — 80 мм^2 та ін.

Сумарна площа крупних елементів становить 744 мм^2 .

Установлювальні площі груп:

$$S_{\text{МГ}} = N_M \cdot A_M = 74 \cdot 18 = 1332 \text{ мм}^2, \quad (3.4.1)$$

$$S_{\text{СГ}} = N_C \cdot A_C = 27 \cdot 96 = 2592 \text{ мм}^2, \quad (3.4.2)$$

$$S_{\text{КГ}} = 5770 \text{ мм}^2, \quad (3.4.3)$$

Сумарна встановлювальна площа:

					<i>KPM.EC.11972869.001.P3</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		67

$$\sum S_{\text{уст}} = S_{\text{мг}} + S_{\text{сг}} + S_{\text{кг}} = 1332 + 2592 + 5770 = 9694 \text{ мм}^2, \quad (3.4.4)$$

3.4.2. Розрахунок орієнтовної площі друкованої плати

Згідно з формулою:

$$S_{\text{дп}} = \frac{\sum S_{\text{уст}}}{K_s}, \quad (3.4.5)$$

де (K_s) — коефіцієнт заповнення. Для друкованих плат третьої групи складності (наявні мікросхеми середньої та підвищеної щільності, модулі різних форм-факторів, наявність силових елементів) нормативно рекомендується приймати ($K_s = 0,60$).

Підставляючи числові значення:

$$S_{\text{дп}} = \frac{9694}{0,60} = 16156 \text{ мм}^2, \quad (3.4.6)$$

Отже, орієнтовна площа плати повинна становити приблизно 16156 мм².

3.4.3. Вибір геометричних розмірів друкованої плати

Розміри друкованої плати повинні відповідати нормативам модульності: для сторін більших за 100 мм крок кратності становить 5 мм. Необхідно обрати такі розміри, щоб площа відповідала розрахунковому значенню та забезпечувала можливість механічного монтажу.

Серед типових розмірів найбільш придатним є:

$$150 \times 110 \text{ мм} = 16500 \text{ мм}^2, \quad (3.4.7)$$

Цей розмір повністю задовольняє обчислену необхідну площу (16500 мм²) та забезпечує технологічний запас 2280 мм², що сприятиме оптимальному розміщенню зон — блоку живлення, оптронного вузла, мікроконтролера, модулів зв'язку та клемників.

3.4.4. Розрахунок монтажних отворів

Монтажні отвори розраховуються за формулою (3.4.8):

$$d_{\text{монт}} = d_{\text{вив}} + |\Delta d| + r, \quad (3.4.8)$$

Де ($d_{\text{вив}}$) — діаметр виводу; $|\Delta d|$ — граничне відхилення діаметра отвору (приймається 0,1 мм);

					<i>KPM.EC.11972869.001.ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		68

(г) — гарантований зазор (прийнято 0,4 мм як нормативне значення для автоматизованого монтажу).

Малогабаритні елементи (резистори, діоди, LED)

$$(d_{\text{вив}} = 0,6 \text{ мм})$$

$$d_{\text{монт}} = 0,6 + 0,1 + 0,4 = 1,1 \text{ мм}, \quad (3.4.9)$$

Оптрони DIP-6, кнопки та середні роз'єми

$$(d_{\text{вив}} = 1,0 \text{ мм})$$

$$d_{\text{монт}} = 1,0 + 0,1 + 0,4 = 1,5 \text{ мм}, \quad (3.4.10)$$

Клемники та штирі великого діаметра

$$(d_{\text{вив}} = 2,0 \text{ мм})$$

$$d_{\text{монт}} = 2,0 + 0,1 + 0,4 = 2,5 \text{ мм}, \quad (3.4.11)$$

Кріпильні отвори

Для різьбового з'єднання М3 згідно з ГОСТ — діаметр

$$d_{\text{кр}} = 3,2 \text{ мм}$$

5. Розрахунок контактних площадок

Для друкованих плат 2–3 класу точності мінімальна площа контактної площадки повинна бути не менше 1,6 мм², але не більше 8 мм²

Для малогабаритних отворів площа обраної площадки 2,5 мм²:

$$D = 2 \sqrt{\frac{A}{\pi}} = 2 \sqrt{\frac{2,5}{3,1416}} \approx 1,79 \text{ мм}, \quad (3.4.12)$$

Приймається діаметр контактної площадки 1,8 мм.

Для середніх і крупних отворів прийнято стандартні значення 2,5–3,0 мм.

6. Розрахунок ширин друкованих провідників

Розрахунок ширини провідників виконується за критерієм допустимої щільності струму (формула 2.23):

$$t_{\text{min}} = \frac{I_{\text{max}}}{j_{\text{доп}} \cdot h}, \quad (3.4.13)$$

Де $j_{\text{доп}} = 20 \text{ А/мм}^2$ — допустима щільність струму для зовнішніх шарів при товщині міді 35 мкм; $h = 0,035 \text{ мм}$ — товщина фольги.

									Арк.
									69
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата					

Силіві лінії керування клапанами ($I = 1 \text{ A}$)

$$t_{min} = \frac{1}{20 \cdot 0,035} = 1,43 \text{ мм}, \quad (3.4.14)$$

Приймається робоча ширина 1,5 мм.

6.2. Лінія 5 В живлення ($I \approx 0,5 \text{ A}$)

$$t_{min} = \frac{0,5}{20 \cdot 0,035} = 0,71 \text{ мм}, \quad (3.4.15)$$

Приймається ширина 0,8 мм.

6.3. Сигнальні провідники ($I \leq 50 \text{ mA}$)

Технологічне обмеження — не менше 0,25 мм.

Струмова щільність дозволяє значення $< 0,1 \text{ мм}$, але норматив обмежує.

Приймається: 0,25 мм.

6.4. Загальна шина GND

Рекомендовано виконати у вигляді суцільного полігону, локальні ділянки — не менше 1,0 мм.

Висновки щодо конструкції друкованої плати

На основі виконаних розрахунків отримано такі проектні параметри:

- геометричні розміри плати — 150 × 110 мм, визначені за формулою (2.2);
- діаметри монтажних отворів — 1,1 мм, 1,5 мм, 2,5 мм відповідно до груп елементів;
- контактні площадки — діаметром 1,8–3,0 мм залежно від категорії EPE;
- силіві провідники — 1,5 мм, лінія 5 В — 0,8 мм, сигнальні — 0,25 мм, GND — полігон;
- конструктивна щільність відповідає 3-й групі складності, що узгоджується із застосованими компонентами.

					<i>KPM.EC.11972869.001.ПЗ</i>	Арк.
						70
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

3.4.5 Вибір типу друкованої плати

Тип друкованої плати визначається кількістю шарів провідного рисунку, наявністю металізованих отворів, способом монтажу та вимогами до електричної ізоляції елементів. Для забезпечення електромагнітної сумісності, фізичного розділення силових та логічних контурів, а також можливості застосування полігону «землі» було обрано односторонню друковану плату з металізованими отворами.

Тип плати	Переваги	Недоліки	Висновок
Одностороння	Низька вартість, висока надійність	Обмеження по трасуванню, збільшені габарити плати	Обрано
Двостороння	Оптимальна структура, достатня щільність	Вища вартість порівняно з односторонньою	Можлива, але технологічно надлишкова
Багатошарова	Висока щільність, покращена EMC	Дуже висока собівартість	Недоцільна, економічно невиправдана

Таблиця 14. Порівняння типів друкованих плат

Отже, обрано конструкцію двосторонньої плати із металізованими перехідними отворами.

3.4.6 Визначення групи жорсткості друкованої плати

Група жорсткості визначається за структурою встановлених компонентів, кількістю типорозмірів EPE, складністю монтажу та вимогами до тепловідведення. Комбінація низьковольтних цифрових елементів та силових елементів із значним тепловіділенням класифікує плату як таку, що містить різномірні EPE з підвищеними вимогами до надійності монтажу.

Згідно з методикою, плата відноситься до 3-ї групи жорсткості (середня конструктивна складність).

3.4.7 Вибір класу точності та кроку координатної сітки

Клас точності визначається на основі мінімальної ширини провідників, міжпровідникових зазорів, точності свердління та геометричних допусків контактних площадок.

					KPM.EC.11972869.001.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		71

У схемі використовуються:

- провідники сигналів 0,25 мм,
- силові провідники 1,5 мм,
- зазори між лініями $\geq 0,25$ мм,
- металізовані отвори діаметром 1,1...2,5 мм.

Ці параметри відповідають 2-му класу точності друкованих плат.

Для забезпечення можливості розміщення елементів із метричним та дюймовим кроком (2,54 мм) координатна сітка встановлюється:

Основна координатна сітка: 1,50 мм

3.4.8 Вибір методу виготовлення друкованої плати

Метод виготовлення обирається з урахуванням класу точності, кількості шарів та вимог до повторюваності геометричних параметрів.

Для плати 2-го класу точності з металізованими отворами та необхідністю формування доріжок мінімальної ширини 0,25 мм оптимально використовувати фотохімічний комбінований позитивний метод (субтрактивний)

Переваги методу:

- висока точність формування рисунку;
- мале відхилення геометричних параметрів;
- стабільна ширина провідників і зазорів;
- придатність для серійного та одиничного виробництва;
- можливість виготовлення металізованих переходів.

3.4.9 Вибір матеріалу основи друкованої плати

Матеріал основи визначає електричну міцність, тепловідведення, механічну жорсткість та стабільність роботи високочастотних модулів RFM69HCW.

Критерії:

- робоча напруга системи — 5...24 В;
- наявність ділянок з гальванічною розв'язкою;
- теплове навантаження симісторів та стабілізатора;
- робоча частота радіомодуля — 433 МГц;

					КРМ.ЕС.11972869.001.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		72

- вимоги до жорсткості корпусу.

Виходячи з цього, обрано склотекстоліт FR-4, товщина 1,5 мм, фольга 35 мкм (1 oz).

Параметр	Значення
Щільність	18 г/см ³
Склотемпература	135-155 °C
Теплопровідність	3 Вт/(м*К)
Діелектрична провідність	5,5
Товщина листа	1,5 мм
Товщина міді	35 мкм

Таблиця 15. Властивості матеріалу FR-4

Матеріали FR-2 та СЕМ-1 були відхилені через недостатню теплостійкість, а високотемпературні матеріали ($T_g > 170^\circ\text{C}$) — через економічну недоцільність.

У результаті проведеного аналізу прийнято такі конструктивні рішення для друкованої плати контролера автоматизованої системи поливу:

- тип плати — одностороння з металізованими отворами;
- група жорсткості — 3 (середня складність);
- клас точності — 2, крок координатної сітки — 1,25 мм / 0,25 мм;
- метод виготовлення — фотохімічний субтрактивний;
- матеріал основи — FR-4, 1,5 мм, мідна фольга 35 мкм.

Ці рішення забезпечують необхідну електричну ізоляцію, стійкість до теплового навантаження, високу надійність та довговічність роботи пристрою.

Найменування	Позначення	Кількість (n_N)
Конденсатори (електролітичні + керамічні)	C*	16
Діоди та світлодіоди	VD*, HL*	16
Симістори та силові напівпровідники	VS1–VS8	8
Мікросхеми, модулі, оптрони	DD1–DD3, U1–U8, DA1	12
З'єднувачі, кнопки, клеми	X1–X13, SA1, SB1–SB4	18
Запобіжник	FU1	1
Друкована плата	PCB	1
Трансформатор	T1	1
LCD дисплей	HG1	1

Таблиця 4. Кількість компонентів

Формула визначення інтенсивності відмов

Інтенсивність відмов елемента визначається згідно з формулою:

$$\lambda_N = k_n \cdot a_i \cdot (\lambda_0 \cdot 10^{-8}) \cdot k_t, \quad (3.5.1)$$

де λ_0 — базова інтенсивність відмов з табл. 3.11; k_n — коефіцієнт

					KPM.EC.11972869.001.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		75

навантаження; k_t — температурний коефіцієнт. Сумарна інтенсивність відмов пристрою:

$$\Lambda = \sum_{N=1}^L n_N \cdot \lambda_N, \quad (3.5.2)$$

Розраховані значення наведені у таблиці 10

Група	(n_N)	$\lambda_0 \cdot 10^{-8}$	k_n	k_t	$\lambda_N \cdot 10^{-8}$	$n_N \lambda_N \cdot 10^{-8}$
Резистори	40	2,0	0,6	1,2	1,44	57,60
Конденсатори	16	6,0	0,4	1,5	3,60	57,60
Діоди / LED	16	2,0	0,7	1,5	2,10	33,60
Симістори	8	7,4	0,7	1,5	7,77	62,16
Мікросхеми та модулі	12	0,2	0,9	1,5	0,27	3,24
З'єднувачі	18	5,2	0,9	1,5	7,02	126,36
Запобіжник	1	0,5	0,5	1,2	0,30	0,30
Друкована плата	1	0,1	1,0	1,5	0,15	0,15
Трансформатор Т1	1	0,45	0,4	1,2	0,216	0,216
LCD дисплей HG1	1	0,2	0,9	1,5	0,27	0,27
Разом:	—	—	—	—	—	341.496

Таблиця 5. Розрахунок інтенсивності відмов елементів

Сумарна інтенсивність:

$$\Lambda = 341,496 \cdot 10^{-8} = 3,41496 \cdot 10^{-6} \text{ год}^{-1}, \quad (3.5.3)$$

Середній час напрацювання на відмову

Середній час безвідмовної роботи визначається:

$$T_{\text{MTTF}} = \frac{1}{\Lambda}, \quad (3.5.4)$$

Підставляємо числове значення (3.5.4):

$$T_{\text{MTTF}} = \frac{1}{3,41496 \cdot 10^{-6}} \approx 2,93 \cdot 10^5 \text{ год} \approx 33,4 \text{ роки}, \quad (3.5.5)$$

Імовірність безвідмовної роботи

Для експоненціальної моделі відмов імовірність безвідмовної роботи на інтервалі часу (t) визначається:

$$P(t) = e^{-\Lambda t}, \quad (3.5.6)$$

На інтервалі $t = 20\,000$ год

$$P(20000) = \exp(-3,41496 \cdot 10^{-6} \cdot 20000) = \exp(-0,068299) \approx 0,934, \quad (3.5.7)$$

На інтервалі $t = 8760$ год (1 рік)

$$P(8760) = \exp(-3,41496 \cdot 10^{-6} \cdot 8760) = \exp(-0,02991) \approx 0,9705, \quad (3.5.8)$$

Аналіз отриманих результатів

Найбільший внесок у ненадійність пристрою становлять: – з'єднувачі (37,0%), – конденсатори (16,9%), – резистори (16,9%) та силові симістори (18,2%).

Показник $\text{MTTF} \approx 33$ років — характерний для побутових і промислових пристроїв середньої складності.

Імовірність безвідмовної роботи протягом 1 року становить 97%, що відповідає вимогам до контролерів автоматизованих систем.

					<i>KPM.EC.11972869.001.ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		77

На основі проведеного розрахунку встановлено:

- сумарна інтенсивність відмов контролера становить $\Lambda = 3,41496 \cdot 10^{-6} \text{ год}^{-1}$
- середній час напрацювання до відмови: $T_{\text{MTTF}} \approx 33.4$ роки
- імовірність безвідмовної роботи становить: $P(20000) = 93,4\%$, $P(8760) = 97,1\%$.

Отримані результати підтверджують високу надійність розробленого контролера та відповідність його експлуатаційним вимогам для автоматизованих систем поливу.

					КРМ.ЕС.11972869.001.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		78

4. Техніко економічний розділ

Розрахунок собівартості

Собівартість продукції відображає загальні витрати, що виникають у процесі її виробництва та реалізації. Вона включає витрати на сировину й матеріали, оплату праці працівників, а також витрати на експлуатацію й обслуговування обладнання та інші поточні витрати. Для визначення собівартості виготовленого приладу буде проведено калькуляційний розрахунок. У цьому випадку застосовується метод питомої ваги — спрощений спосіб оцінки собівартості, який дозволяє отримати прогноз з похибкою, що не перевищує кількох відсотків.

Цей метод передбачає пропорційний розподіл непрямих витрат на підставі порівняння витрат на оплату праці основних виробничих працівників і витрат на обслуговування та експлуатацію обладнання.

Розрахунок кількості і вартості матеріалів, що витрачаються на виготовлення спроектованого приладу

Щоб розрахувати масу припою, необхідну для паяння 271 ніжок, використаємо наступну формулу, враховуючи, що для паяння однієї ніжки нам потрібно 0,8 грам припою:

Кількість припою:

$$P_k = 271 \cdot 0,8 = 216,8\text{г} \approx 0,22\text{кг}, \quad (4.1)$$

Вартість витраченого припою розраховується на основі ціни 1 кг ПОС61 1.0 мм з флюсом, яка становить 1100 грн:

$$P_{\text{ц}} = 1100 \cdot 0,22 = 242 \text{ грн}, \quad (4.2)$$

Для визначення кількості витраченого лаку, з врахуванням затрати на площу $1 \text{ см}^2 = 0,008 \text{ кг}$, розрахуємо масу лаку необхідну для нашого виробу.

Площа друкованої плати рівна $15 \times 11 = 165 \text{ см}^2$. Ціна за 1 кг лаку НЦ-134 становить 114 грн.

Об'єм витраченого лаку при товщині лакового покриття в 0.05 мм (50 мікронів):

					КРМ.ЕС.11972869.001.ПЗ	Арк.
						79
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$V_{\text{лаку}} = 80\text{см}^2 \cdot 0,005\text{см} = 0,82\text{ см}^3, \quad (4.3)$$

Масу витраченого лаку розрахуємо за формулою:

$$L_M = 0,82\text{см}^3 \cdot 1 \frac{\text{г}}{\text{см}^3} = 0,82\text{г}, \quad (4.4)$$

Розрахунок вартості витраченого лаку:

$$L_{\text{ц}} = \frac{L_M}{1000} \cdot \text{Ціна за 1кг} = \frac{0,4}{1000} \cdot 114 \approx 0,9\text{грн}, \quad (4.5)$$

Разом ціна на витратні матеріали буде становити приблизно 243 грн.

Враховуючи зворотні відходи (5% від кожного матеріалу) і транспортно заготівельні витрати (10% від загальної вартості матеріалів), ціна витратних матеріалів буде становити 275 грн.

Розрахунок вартості покупних комплектуючих виробів, що витрачаються на виготовлення спроектованого приладу

Вартість двошарової друкованої плати наших розмірів при замовленні з сайту JLCPCB.com з врахуванням доставки становить 210 грн.

Гвинти кріплення М3 для кріплення в корпус, яких потрібно 5 штуки, коштують 9 грн.

Розрахунок кількості і вартості інших покупних комплектуючих виробів і напівфабрикатів представлений у вигляді табл. 4.1.

Позначення	Найменування	Кількість, шт	Ціна за одиницю, грн	Сума, грн
X1, X6–X13	Клемник 2-pin	9	4,00	36,00
X2–X5	Клемник 3-pin	4	5,50	22,00
FU1	Littelfuse 0218016	1	12,92	12,92

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

KPM.EC.11972869.001.ПЗ

Арк.

80

Позначення	Найменування	Кількість, шт	Ціна за одиницю, грн	Сума, грн
T1	Трансформатор 230/24 В, 100 ВА	1	4 084,00	4 084,00
VD1	Містовий випрямляч КВРС610	1	11,00	11,00
DA1	LM338	1	55,00	55,00
DD1	ATMEGA2561 (TQFP-64)	1	418,50	418,50
DD2	AFM203T (SOIC- 24)	1	185,00	185,00
DD3	RFM69HCW-433 (SOIC-16)	1	155,00	155,00
HG1	LCD KS0108 (роз'єм 16 pin)	1	285,00	285,00
VD2, VD6	Діоди 1N4007	2	1,00	2,00
VD3–VD5	Діоди 1N4148	3	1,50	4,50

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

KPM.EC.11972869.001.ПЗ

Арк.

81

Позначення	Найменування	Кількість, шт	Ціна за одиницю, грн	Сума, грн
VD7, VD8	Стабілітрони BZT52C3V3S	2	13,98	27,96
U1–U8	Оптрони МОС3021	8	10,00	80,00
VS1–VS8	Симістори BT137	8	18,00	144,00
HL1–HL8	LED 3 мм зелений	8	10,69	85,52
G1	Кварцовий резонатор	1	4,30	4,30
SA1	Кнопка Tactile 6×6	1	2,00	2,00
SB1–SB4	Перемикач TS4-3- U	4	40,00	160,00
L1–L8	Дроселі DR 0912 47 μH	8	12,00	96,00
C6, C7	22 pF 0603	2	2,00	4,00
C8, C17, C18	100 nF 0603	3	1,00	3,00

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

KPM.EC.11972869.001.ПЗ

Арк.

82

Позначення	Найменування	Кількість, шт	Ціна за одиницю, грн	Сума, грн
C4	1000 μ F 35 V	1	10,00	10,00
C1, C2, C3, C5, C21, C24	0,1 μ F X7R	6	3,00	18,00
C22, C23	10 μ F 25 V	2	1,50	3,00
C9–C16	MER 100 nF 250 V	8	4,50	36,00
R1	Резистор SMD 0805 560 Ом	1	0,17	0,17
R3	Резистор 10 кОм ERA6AEB103V	1	3,00	3,00
R32, R33	Резистори 1,2 кОм RC0402	2	0,40	0,80
R34	Резистор 510 Ом RC0402	1	0,40	0,40
R35	Резистор 1 кОм ERA6AEB102V	1	2,50	2,50

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

KPM.EC.11972869.001.ПЗ

Арк.

83

Позначення	Найменування	Кількість, шт	Ціна за одиницю, грн	Сума, грн
R2	Потенціометр WTH118-1A-10K	1	41,00	41,00
R4–R11	Резистори 180 Ом	8	0,80	6,40
R12–R27	Резистори 560 Ом	16	1,20	19,20
R28–R31	Резистори 4,7 кОм	4	1,40	5,60
R37	Резистор 270 Ом 2 Вт	1	2,50	2,50
R38	Резистор- підлаштування 1 кОм	1	12,00	12,00
Друкована плата	JLCPCB Board	1	210	210
Разом				6177,35

Таблиця 6. Кількість та вартість компонентів

До розрахованої вартості треба ще додати транспортно-заготівельні витрати (10% від загальної вартості виробів і напівфабрикатів), в такому випадку вартість буде становити 6794 грн.

					КРМ.ЕС.11972869.001.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		84

(10%) і в нашому випадку складає приблизно 2,18 грн .

Розрахунок витрат на утримання та експлуатацію устаткування

Розрахунок витрат на утримання та експлуатацію устаткування охоплює витрати на відновлення основних виробничих фондів та проведення капітальних ремонтів. Це включає амортизаційні відрахування на виробниче й підйомно-транспортне устаткування, цеховий транспорт та інструмент, а також витрати на реконструкцію, модернізацію і капітальний ремонт цих фондів. Обсяг витрат на утримання та експлуатацію визначається як відсоток від загальної суми основної заробітної плати виробничих працівників. Оскільки розроблюваний прилад відноситься до радіотехнічної продукції, ці витрати приймаються на рівні 80% від основної заробітної плати (21,8 грн), що становить 17,4 грн.

Розрахунок цехових витрат

Розмір цехових витрат визначається для кожного цеху як відсоток від суми основної заробітної плати та витрат на утримання й експлуатацію устаткування. Для радіотехнічного виробу цехові витрати приймаються на рівні 50% від суми (22 + 18 = 40 грн), що становить 20 грн.

Розрахунок загальнозаводських витрат

Розмір загальнозаводських витрат визначається як відсоток від загальної суми основної заробітної плати та витрат на утримання і експлуатацію устаткування. Оскільки розроблюваний прилад належить до радіотехнічних виробів, загальнозаводські витрати приймаються на рівні 80% від 40 грн, що в підсумку становить 32 грн.

Розрахунок інших виробничих витрат

Розмір інших виробничих витрат визначається як процент від загальної суми всіх попередніх статей, який становить від 0,2% до 0,4%.

$$0,3\% \cdot x = 0,003 \cdot 6794 \approx 20, \quad (4.6)$$

Розрахунок позавиробничих витрат

Розмір позавиробничих витрат визначається як процент від виробничої собівартості, який становить від 2% до 4%.

$$3\% \cdot x = 0,03 \cdot 6794 \approx 203 \quad (4.7)$$

					<i>KPM.EC.11972869.001.ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		86

Розрахунок ціни спроектованого приладу

Ціну спроектованого приладу розраховується за наступною формулою:

$$Ц = C_{\text{повн}} + П, \quad (4.8)$$

де $C_{\text{повн}}$ – собівартість виготовлення приладу, $П$ – прибутковість.

Прибутковість підприємства визначається показником рентабельності.

Розмір рентабельності можна обчислити за наступною формулою:

$$P = \frac{П}{C_{\text{повн}}}, \quad (4.9)$$

Якщо прийняти рівень рентабельності на рівні 25%, тоді:

$$25\% = \frac{П}{C_{\text{повн}}} = \frac{П}{x}, \quad (4.10)$$

$$П = 0,25 \cdot 7017 = 1\,754,25 \quad (4.11)$$

Тоді ціну спроектованого приладу можна обчислити за наступною формулою:

$$Ц = x + П = 7017 + 1\,754 = 8771 \quad (4.12)$$

Якщо підприємство є платником податку на додану вартість (ПДВ) зі ставкою 20%, то вихідна ціна на спроектований прилад буде розрахована за такою формулою:

$$Ц_{\text{вих}} = Ц + 20\% = 8771 + 20\% = 10525 \quad (4.13)$$

Тепер можна розрахувати прибуток з реалізації партії товару в кількості 500 одиниць:

$$П_N = П \cdot N, \quad (4.14)$$

$$П_{500} = П \cdot 500 = 1754 \cdot 500 = 877000 \quad (4.15)$$

					<i>KPM.EC.11972869.001.ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		87

5. Заходи з техніки безпеки та захисту навколишнього середовища

5.1 Загальні питання охорони праці та навколишнього середовища

Охорона праці в процесі розроблення, виготовлення та експлуатації автоматизованої системи контролю поливу ґрунтується на комплексі організаційних та технічних заходів, спрямованих на створення безпечних умов праці для персоналу, який здійснює монтаж, налагодження та технічне обслуговування обладнання. У контексті виробництва електронних засобів важливими є дотримання нормативів мікроклімату, організація робочого місця, правильне розміщення обладнання та контроль за впливом шкідливих виробничих факторів.

Мікроклімат робочого приміщення повинен відповідати санітарно-гігієнічним нормам для легкої фізичної праці: температура повітря — 18–22 °С, відносна вологість — не більше 60 %, швидкість руху повітря — до 0,2 м/с. Такі параметри забезпечують безпечні умови для роботи з електронними компонентами, знижують ризик електростатичних розрядів та покращують умови тривалого перебування оператора на робочому місці.

Особливу увагу приділяють організації освітлення. Оскільки монтаж друкованої плати, пайка, перевірка мікросхем і тестування обладнання належать до робіт зорової групи підвищеної точності, освітленість робочої поверхні повинна складати не менше 500–750 лк. Рекомендовано застосовувати комбіновану систему освітлення, що включає загальне рівномірне освітлення та локальні світильники без пульсації. Неприпустимими є засліплювання працівника або наявність яскравих відблисків на поверхні плати.

Шкідливі виробничі фактори, характерні для електронного виробництва, включають пари каніфолі та флюсів, дрібнодисперсний пил від друкованих плат, електромагнітні поля радіочастотного діапазону та теплове випромінювання від паяльних станцій. Вони повинні бути знижені до безпечного рівня за допомогою витяжних систем вентиляції, фільтрувальних пристроїв та організації локальних

					КРМ.ЕС.11972869.001.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		88

зон відсмоктування повітря безпосередньо над робочим місцем.

Загальна організація охорони праці передбачає навчання персоналу правилам техніки безпеки, інструктаж перед початком роботи, використання засобів індивідуального захисту, правильне поводження з електронними компонентами та дотримання вимог щодо обігу хімічних матеріалів. З метою попередження аварійних ситуацій та ризику для здоров'я персонал повинен евакуаційні шляхи, розташування засобів пожежогасіння та порядок дій у разі нещасних випадків.

5.2 Електробезпека

Електробезпека є центральним елементом системи забезпечення безпеки при роботі з контролером автоматизованої системи поливу, оскільки під час роботи з електронним обладнанням оператор стикається із впливом електричного струму різних рівнів напруги. Конструкція пристрою включає високовольтний сектор живлення 220 В, низьковольтні шини 12 В та 5 В, а також сигнальні та комутаційні лінії керування електромагнітними клапанами.

Високовольтна частина блоку живлення, що містить мережевий фільтр, випрямляючий каскад та стабілізатор LM338, повинна бути розташована в ізольованому секторі друкованої плати та мати збільшені ізоляційні відстані. Відповідно до стандартів, мінімальний повітряний зазор для робочої напруги 220 В повинен становити не менше 4 мм, а поверхневий — не менше 6 мм. Це гарантує електробезпеку навіть за умов підвищеної вологості, яка можлива при монтажі контролера у приміщеннях господарського типу.

Низьковольтна частина, що включає мікроконтролер ATmega2561, бездротові модулі (RFM69, Wi-Fi/Bluetooth), сенсорні інтерфейси та оптопар, повинна бути виконана з урахуванням захисту від короткого замикання. Для цього у схемі використовуються полімерні запобіжники, захисні діоди, варистори та стабілітрони. Додатково рекомендується застосування гальванічної розв'язки між MCU та силовими клапанами — це запобігає пробою мікросхем та знижує ризик ураження персоналу.

Монтажні та ремонтні роботи дозволяється виконувати лише після повного

										Арк.
										89
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата						

KPM.EC.11972869.001.ПЗ

допускати накриття електронного блока легкозаймистими матеріалами або встановлення пристрою в місцях, де можливе нагромадження пилу.

5.4 Охорона навколишнього середовища

Автоматизована система поливу не створює значного впливу на навколишнє середовище під час експлуатації, однак у процесі виготовлення, технічного обслуговування та утилізації електронних компонентів виникають потенційні екологічні ризики. Використання друкованих плат, припоїв, флюсів та хімічних очищувальних засобів потребує контролю відповідності матеріалів міжнародним стандартам, зокрема RoHS та WEEE.

Усі матеріали для монтажу повинні бути безсвинцевими. Припій Sn-Cu або Sn-Ag-Cu не містить токсичних компонентів, а його залишки не становлять небезпеки для навколишнього середовища. Важливо запобігати потраплянню залишків флюсу або металевих відходів у ґрунт та водні ресурси. Для цього відходи електронного виробництва збираються у спеціальні контейнери та передаються на утилізацію до спеціалізованих підприємств.

Корпус контролера, встановлений у системі поливу, повинен мати ступінь захисту не нижче IP65, що запобігає попаданню вологи всередину та витoku небезпечних речовин. Друкована плата покривається конформним лаком для протидії корозії та збільшення експлуатаційного ресурсу.

При завершенні експлуатації пристрій підлягає утилізації відповідно до вимог щодо електронних відходів. Електронні компоненти не можна викидати разом з побутовим сміттям, оскільки вони містять кольорові метали та полімери, що розкладаються тривалий час.

					KPM.EC.11972869.001.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		91

ВИСНОВКИ

У процесі виконання поставленого технічного завдання було розроблено апаратно-технічну основу автоматизованої системи керування поливом, призначеної для автоматичного виконання операцій з подачею води, аналізу стану ґрунту та забезпечення взаємодії з користувачем. На основі аналізу вимог до сучасних систем автоматизації визначено структуру контролера, функції окремих його модулів та необхідні канали обміну даними.

Під час синтезу електричної принципової схеми сформовано комутаційні, керуючі, вимірювальні та інформаційні вузли, встановлено принципи їх взаємодії та визначено режими роботи виконавчих механізмів. Особливу увагу приділено розділенню силових та низьковольтних кіл, забезпеченню захисту логічної частини, зменшенню впливу паразитних перешкод та підвищенню надійності функціонування системи за різних умов навантаження.

У ході розроблення друкованої плати проведено розрахунки монтажної площі, обґрунтовано вибір її розмірів, виконано оптимальне розташування функціональних зон та трасування провідників. Розраховано ширини доріжок для всіх груп ланцюгів згідно з електричними навантаженнями, визначено необхідні параметри тепловідведення та сформовано полігони живлення та заземлення для зменшення втрат і забезпечення стабільності роботи.

Окремий розділ присвячено питанням техніки безпеки та охорони навколишнього середовища. Розглянуто вимоги щодо електробезпеки, протипожежних заходів, правильного розміщення силових елементів, а також аспекти екологічної безпечності системи під час експлуатації та утилізації. Забезпечено виконання нормативних ізоляційних відстаней та конструктивних вимог для безпечної роботи.

Узагальнюючи результати, розроблена автоматизована система керування поливом відповідає вимогам надійності, технологічності та функціональної повноти. Вона може бути використана як основа для практичної реалізації систем точного поливу, а закладена апаратна архітектура дозволяє масштабувати та модернізувати систему відповідно до потреб користувача та умов експлуатації.

					КРМ.ЕС.11972869.001.ПЗ	Арк.
						92
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Перелік посилань

1. Handbook of Irrigation Technology. Vol. 1 Herman J. Finkel, CRC Press, Year: 1983;
2. Irrigation pump handbook, Crundfos
3. Irrigation Engineering, N. N. Basak, McGraw-Hill, Year: 1999
4. Irrigation system design. An Engineering Approach, Richard H. Cuenca, PRENTICE HALL, Englewood Cliffs
5. American Journal of Engineering Research (AJER), e-ISSN: 2320-0847 p-ISSN : 2320-0936 Volume-11, Issue-05, pp-144-154
6. International Journal Water Resources Management and Irrigation Engineering Research Vol 2, No.1, pp.11-27, September 2019
7. Switching Power Supply Design, 3rd Ed, by Abraham I. Pressman and other, McGraw Hill, 2009, ISBN: 978-0071482721
8. Automatic Watering System using Soil Moisture Sensor and RTC timer with Arduino, IJAR SCT, Volume 2, Issue 1, February 2022
9. Reddy, K., et al. "Development of an Automatic Irrigation System Using IoT." International Journal of Advanced Research in Computer Science. Year: 2018
10. Матвієнко М.П. Основи електротехніки. Підручник. Вид. 2-ге перероб. і доп. – К.: Видавництво Ліра-К, 2018.- 228с
11. Багрій В.В. Методичні вказівки до виконання курсового проекту з дисципліни «Основи проектування електронних систем». - Кам'янське, 2015 р.
12. Tsenkner D. V., Bigan I. M. IoT-DRIVEN DISTRIBUTED AUTOMATION FOR AGRI-ECOSYSTEMS: ARCHITECTURES AND PROTOCOL CHOICES // Innovation and development in world science. Proceedings of the 2nd International scientific and practical conference. MDPC Publishing. Zurich, Switzerland. 2025. Pp. 21-27. URL: <https://sci-conf.com.ua/ii-mizhnarodna-naukovo-praktichna-konferentsiya-innovation-and-development-in-world-science-1-3-12-2025-tsyurih-shvejsariya-arhiv/>.

					KPM.EC.11972869.001.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		93

Завідувачу кафедри ЕС ІТФ ДНВЗ УжНУ

Заєць Тарас Михайлович

Студента (-ки) 2 курсу
спеціальності 171 Електроніка
Ценкер Дмитро Васильович
(прізвище, ініціали)

ЗАЯВА

**щодо самостійного виконання
навчальної/кваліфікаційної роботи здобувачем освіти**

Я, Ценкер Дмитро Васильович
(прізвище, ім'я, по батькові),

Студент(-ка) 2-го курсу, денна, ІТФ
(форма навчання, факультет, курс)

заявляю: моя письмова робота на тему: Автоматизована система керування поливом

виконана самостійно і в ній не міститься елементів плагіату.

Всі запозичення з друкованих та електронних джерел, а також із захищених раніше робіт мають відповідні посилання. Я ознайомлений(а) з діючим Положенням, згідно з яким виявлення плагіату є підставою для відмови в допуску навчальної/кваліфікаційної роботи до захисту та притягнення до академічної відповідальності.

10.12.2025
Дата

Ценкер
Підпис

Додаток 2.

ДОВІДКА
про результати перевірки на унікальність
кваліфікаційної, навчальної (курсової) роботи

Автор роботи	Ценкнер Дмитро Васильович
Назва роботи	Автоматизована система керування поливом
Спеціальність	Електроніка 171
Курс	2
Факультет	Інженерно-технічний
Кафедра	Електронних систем
Керівник роботи	Заєць Тарас Михайлович
Роботу перевірено в програмі	Unichек
Додано до бази даних	
Ідентифікаційний номер роботи	2025-КРМ-Ценкнер Д. В.
Результати перевірки	
Показник унікальності тексту через перевірку роботи у внутрішній базі кафедри ЕС ІТФ ДНВЗ УжНУ	
Показник унікальності тексту в мережі Інтернет	99%

Відповідальна особа/
Науковий керівник роботи

10.12.2025
Дата

Заєць Т. М.
(прізвище, ініціали)
З
Підпис



Автентифіковано засобом перевірки на плагіат ANTIPLA
Дата видачі: четвер, 11 грудня 2025, 06:51
Доступно через www.antip.la

Плагіатограма

Результат (відсоток плагіату)	1%
Назва документу	2025-КРМ-Ценкнер Д. В..pdf
Кількість символів	54,122
Кількість спеціальних символів	769
Кількість слів	6,758
Унікальна кількість слів	3,147
Кількість речень	948
Найпоширеніші слова	та, Арк., і, на, для
Середня довжина слова	7.0
Середня кількість слів у реченні	7.1
Всього посилань	1
Кількість слів із плагіатом	9

11.12.2025

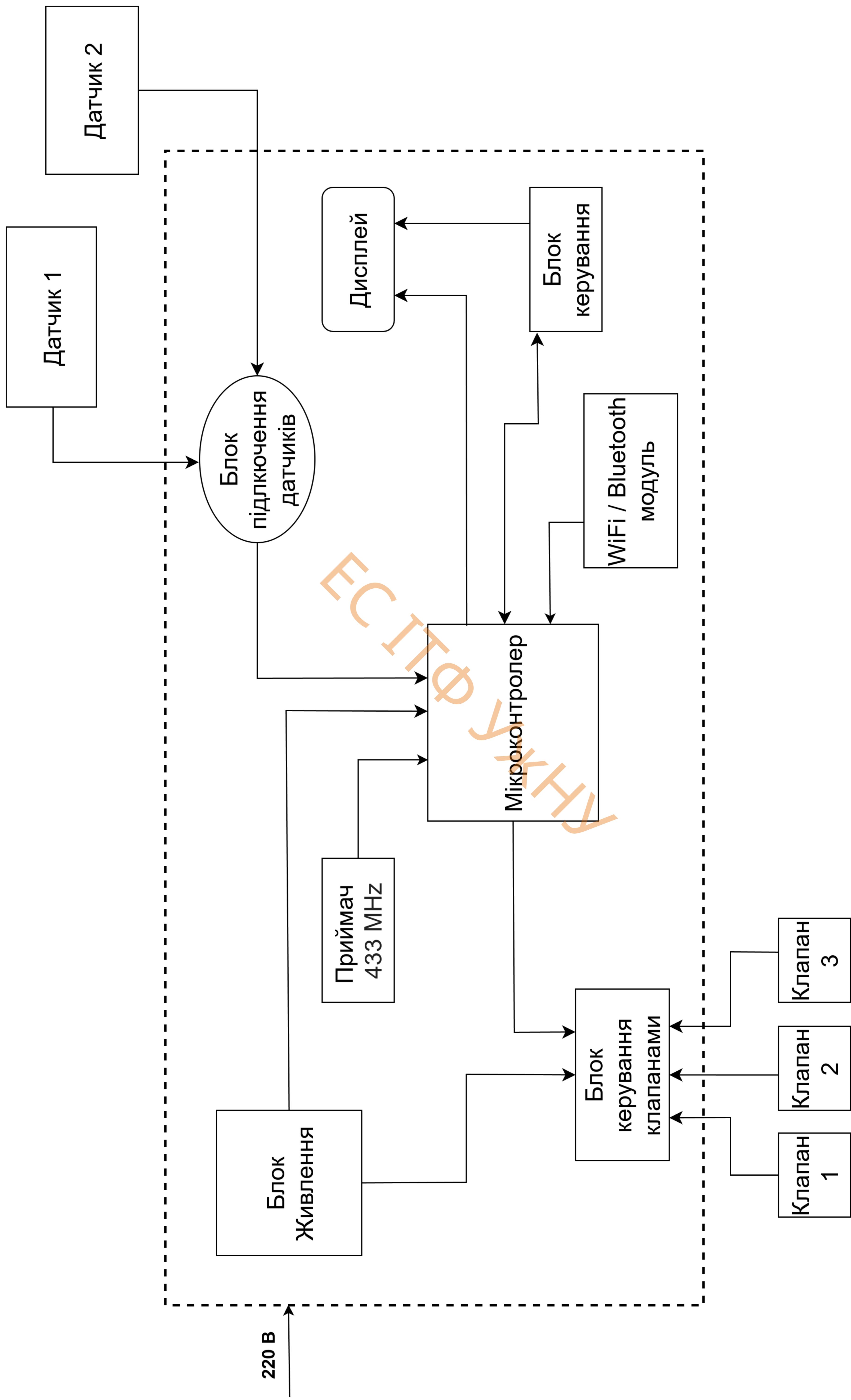
(дата)

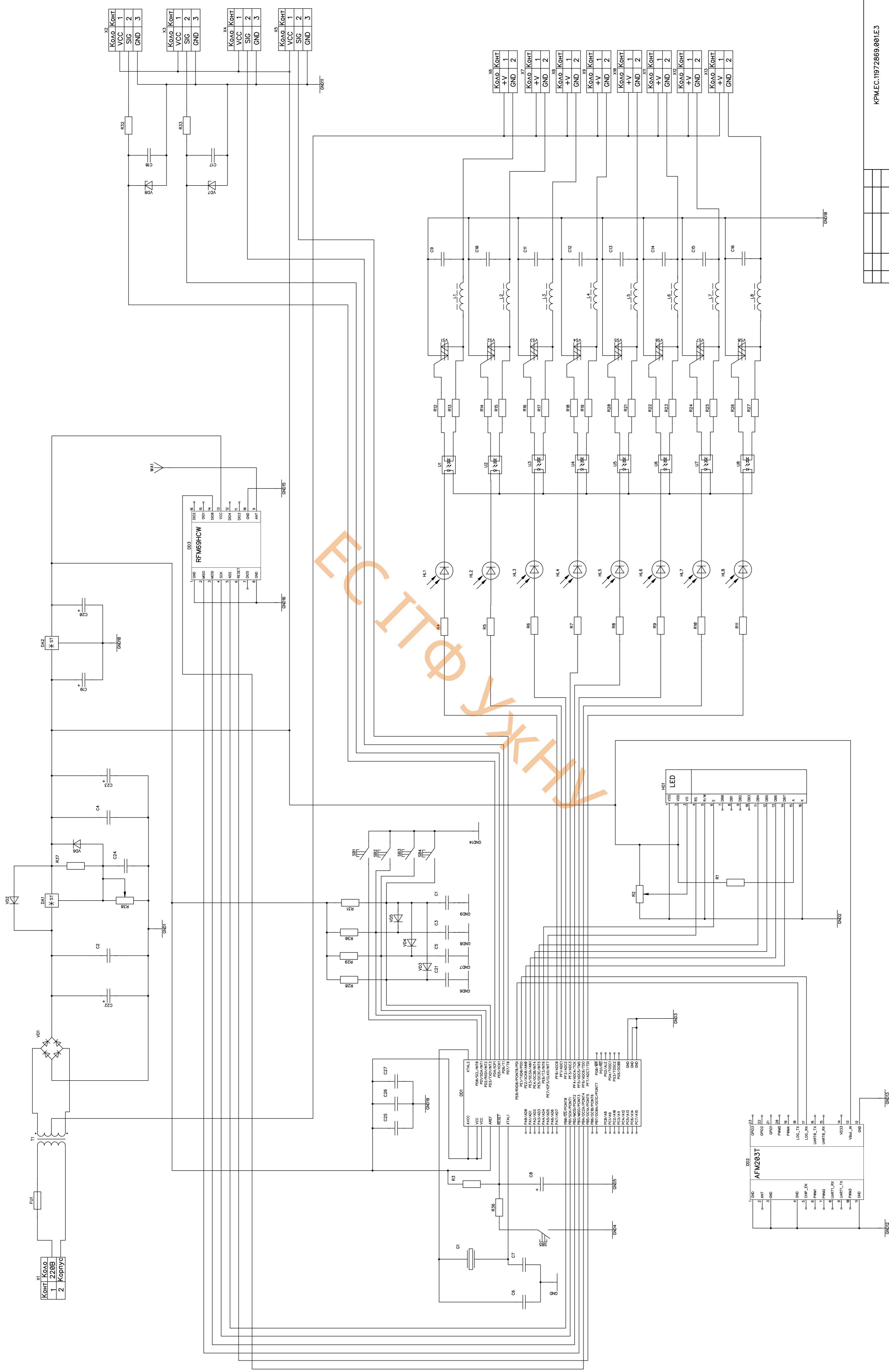
Дмитро

(перевірив)

Поз. познач.	Найменування	Кіл.	Примітка
G1	Кварцовий резонатор	1	ST
<u>Запобіжник</u>			
FU1	Littelfuse 0218016	1	
<u>Трансформатор</u>			
T1	230/24 VAC, 100 VA	1	
<u>Аналогова інтегральна схема</u>			
DA1	LM338, HGSEMI	1	
DA2	LD1117, TO-220	1	
<u>Цифрові інтегральні схеми</u>			
DD1	ATMEGA2561, MICROCHIP TECHNOLOGY	1	
DD2	AFM203T	1	
DD3	RFM69HCW	1	
<u>Пристрої індикації</u>			
HG1	KS0108	1	
HL1-HL8	LED GREEN DIFFUSED 3MM ROUND T/H	8	
<u>Діоди</u>			
VD1	KBPC610	1	
VD2, VD6	1N4007	2	
VD3-VD5	1N4148	3	
*	BZT52C3V3S	2	VD7, VD8

KPM.EC.11972869.001.ПЕ				
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата
Розроб.		Ценкнер Д. В.		
Перевір.		Заяць Т. М.		
Реценз.				
Н. Контр.		Папп О. В.		
Затверд.		Заяць Т. М.		
Автоматизована система керування поливом Перелік елементів				
Лім.		Арк.		Аркушів
		1		3
УжНУ, ІТФ група ЕС, 2 курс				





КРМЕС.1972869.001Е3

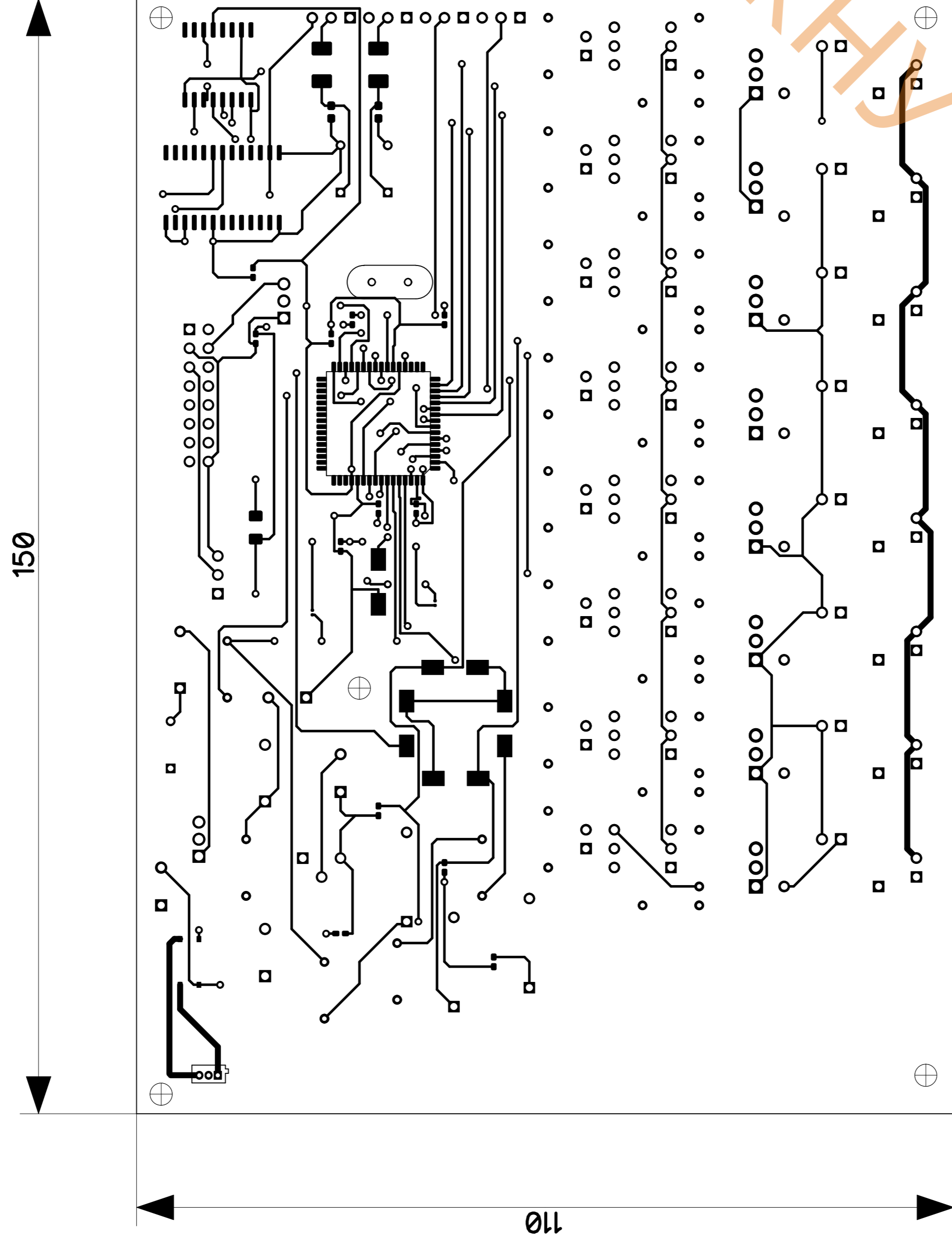
Эк. Арк. N документа	Планис	Дата
Розробля	Ценжер Д. В.	
Перевіря	Зольна Т. М.	
Т. контр.		

Алт	Масштаб
у	1:1

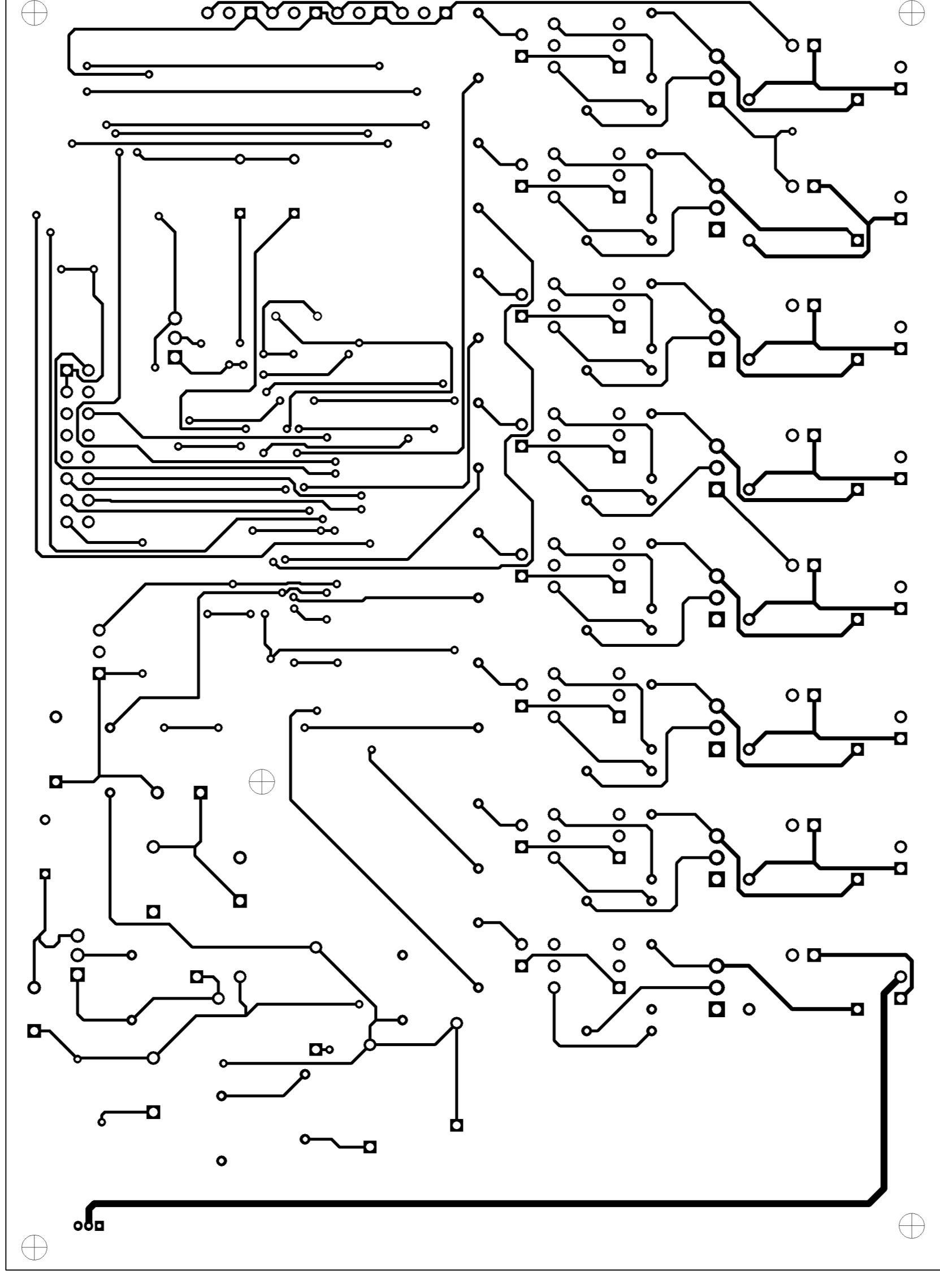
Принципова електрична схема	
Н. контр.	Патр О. В.
Затвердив	Зольна Т. М.

УжНУ, ІТФ
група ЕС, 2 курс

Сторона встановлення компонентів

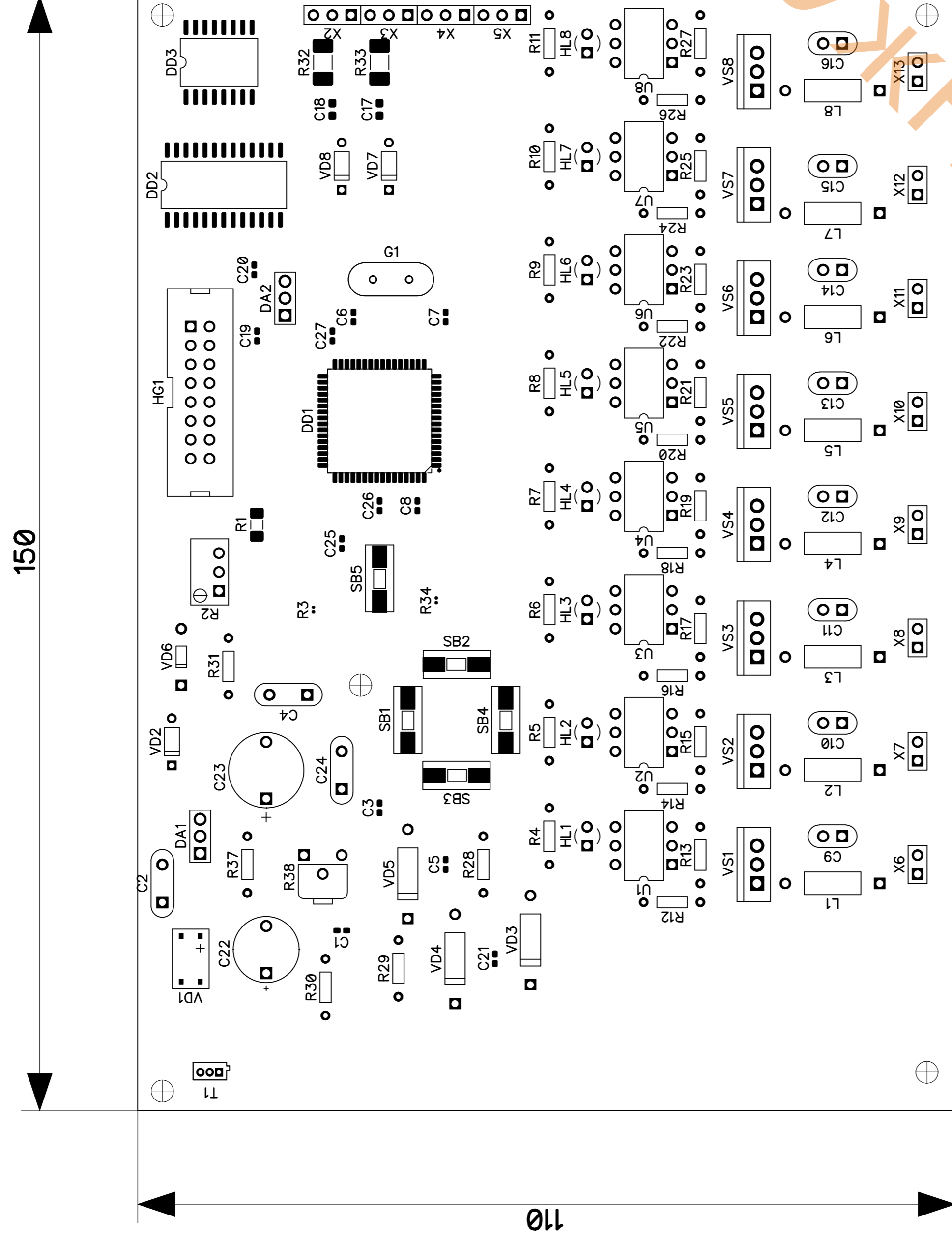


Зворотня сторона плати



1. Друковану плату виготовити хімічним (субтрактивним) методом.
2. Форма контактних площин довільна.
3. Мінімальна ширина між доріжками 0,25 мм.
4. Решта технічних вимог по ОСТ 4ГО.070.01

КРМ.ЕС.11972869.001.ДП		Лист	Масштаб
Автоматизована система керування поливом		у	2:1
Зм. Арк.	№ документа	Паллис	Дата
Розробив	Щенкер Д. В.		
Перевірив	Золь Т. М.		
Т. констр.			
Н. констр.	Паш О. В.		
Заствердив	Золь Т. М.		
Друкована плата		УжНУ, ІТФ група ЕС, 2 курс	



1. Електромонтаж виконати згідно КРМ.ЕС.11972869.001.ЕЗ
2. Установку елементів виконувати по ОСТ 4.010.030-81. Позиції та значення елементів показані умовн
3. Паяти припоєм СУNEL Sn60Pb40
4. Покриття : лак НЦ-134
5. Маркувати заводській номер фарбою МКЕ ділою. У1 по ОСТ 4 ГО.054.205 шрифтом 3-Прз по ГОСТ 26.020-80
- 6 . Решта технічних вимог по ОСТ 4ГО.070.0

КРМ.ЕС.11972869.001.СК		Лист	Масштаб
Зм. Арк.	№ документа	Підпис	Дата
Розробив	Щенкер Д. В.		
Перевірив	Золь Т. М.		
Т. контр.			
Н. контр.	Паш О. В.		
Заствердив	Золь Т. М.		
Автоматизована система керування пошивом		Аркушів	2:1
Складальне креслення		УжНУ, ІТФ	група ЕС, 2 курс

CERTIFICATE

is awarded to

Tsenkner Dmytro

for being an active participant in

II International Scientific and Practical Conference

“INNOVATION AND DEVELOPMENT IN WORLD SCIENCE”

24 Hours of Participation

(0,8 ECTS credits)

ZURICH

1-3 December 2025

sci-conf.com.ua

