

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЗАПОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ІНЖЕНЕРНИЙ НАВЧАЛЬНО-НАУКОВИЙ ІНСТИТУТ
ім. Ю. М. Потебні

Кафедра електроніки, інформаційних систем
та програмного забезпечення

(повна назва кафедри)

Кваліфікаційна робота

перший(бакалаврський)

(рівень вищої освіти)

на тему “Розробка приладу для визначення вологості ґрунту на основі
гігрістора”

Виконав: студент (ка) 4 курсу, групи 6.1531-с
спеціальності 153 Мікро- та наносистемна
техніка

(код і назва спеціальності)

освітньої програми 153 Мікро- та наносистемна
техніка

(код і назва освітньої програми)

спеціалізації 153 Мікро- та наносистемна техніка

(код і назва спеціалізації)

Новіков Д.О.

(ініціали та прізвище)

Керівник професор кафедри ЕІСПЗ, доцент,
к.т.н. Ніконова З.А.

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

Рецензент _____.

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

Запоріжжя
2024

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЗАПОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ІНЖЕНЕРНИЙ НАВЧАЛЬНО-НАУКОВИЙ ІНСТИТУТ
ім. Ю. М. Потебні

Кафедра електроніки, інформаційних систем та програмного забезпечення

Рівень вищої освіти перший (бакалаврський)
(перший (бакалаврський) рівень)

Спеціальність Мікро- та наносистемна техніка
(назва)

Освітня програма 153 Мікро- та наносистемна техніка
(шифр)

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри Т.В.Критська

« 03 » червня 2024 року

ЗАВДАННЯ

НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ БАКАЛАВРА ЗДОБУВУЧУ ВИЩОЇ ОСВІТИ

Новікову Данилу Олександровичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема кваліфікаційної роботи Розробка приладу для визначення вологості ґрунту на основі гігрістора

керівник кваліфікаційної роботи бакалавра Ніконова З.А., к.т.н., доцент
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом вищого навчального закладу від «26» 12. 2023 р. № 2215-с

2. Строк подання студентом кваліфікаційної роботи бакалавра 03.06.2024р.

3. Вихідні дані до кваліфікаційної роботи бакалавра: прилад на основі гігрометра резистивного типу для визначення вологості ґрунту: точність $\pm 2\%$; габаритні розміри 100,0 мм × 110 мм; час автономної роботи 6 місяців; проміжок часу між поливами – від 3 до 5 днів; кількість води, витрачений за один полив – від 0,5 до 2 літрів.

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) 1 Аналіз та класифікація датчиків 2 Розробка приладу для контролю вологості ґрунту 3 Охорона праці та техногенна безпека

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень)
Л1 Блок-схема розроблюваного пристрою та методи визначення вологості ґрунту Л2 Схема електрична принципова порогового датчика та пристрою для підвищення вологості ґрунту Л3 Схема електрична принципова

модернізованого пристрою Л4 Схема електрична принципова імпульсного джерела живлення та аварійної системи захисту.

6. Консультанти розділів кваліфікаційної роботи бакалавра

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата
		завдання прийняв
I	<i>Ніконова З.А.</i>	29.02.2024
II	<i>Ніконова З.А.</i>	10.05.2024
III	<i>Ніконова З.А.</i>	31.05.2024

7. Дата видачі завдання 23.10.2023р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи бакалавра	строк виконання етапів кваліфікаційної роботи бакалавра	Примітка
1	<i>Аналіз матеріалу за темою кваліфікаційної роботи</i>	<i>01.11.23 - 25.01.24</i>	
2	<i>Аналіз та класифікація датчиків</i>	<i>29.01. -29.02.</i>	
3	<i>Розробка структурної схеми приладу</i>	<i>01.03. -28.03.</i>	
4	<i>Розрахунок елементів, вибір елементної бази</i>	<i>01.04. -15.04.</i>	
5	<i>Розробка схеми електричної принципової</i>	<i>16.04. -01.05.</i>	
6	<i>Розробка топології друкованої плати</i>	<i>02.04. -10.05.</i>	
7	<i>Розділ охорони праці та техногенної безпеки</i>	<i>13.05. -20.05.</i>	
8	<i>Оформлення пояснювальної записки, виконання креслень</i>	<i>21.05. -31.05.</i>	

студент _____ *Новіков Д.О.*
(підпис) (прізвище та ініціали)

Керівник роботи (проекту) _____ *Ніконова З.А.*
(підпис) (прізвище та ініціали)

Нормоконтроль пройдено

Нормоконтролер _____ *Верьовкін Л. Л.*
(підпис) (прізвище та ініціали)

РЕФЕРАТ

Кваліфікаційна робота містить 69 сторінок, 25 рисунків, 2 таблиці, 20 джерел літератури.

Об'єкт дослідження – методи та засоби вимірювання рівня вологості у ґрунті.

Мета роботи – розробка приладу, який дозволить виміряти рівень вологості у ґрунті.

Задачі роботи – розробити структурну схему, електричну принципову, топологію печатної плати та проаналізувати функціонування розробленого приладу.

Методика досліджень – моделювання приладу за допомогою програмного забезпечення ISIS Proteus, розрахунок параметрів елементів схеми за допомогою Mathcad, розробка топології печатної плати за допомогою Sprint Layout.

Короткий виклад результатів досліджень – розроблено пристрій для визначення вологості ґрунту на основі гігрометра резистивного типу, який має габаритні розміри 98,0 мм × 107 мм, точність вимірювання $\pm 2\%$.

Прогнозні пропозиції – рекомендується застосовувати у сільськогосподарських установах та на власних присадибних ділянках.

ДАТЧИК, ВОЛОГІСТЬ, ҐРУНТ, ГІГРОМЕТР, СХЕМА, ОПІР, ТАЙМЕР, ТОПОЛОГІЯ

Кваліфікаційна робота виконана на кафедрі електроніки, інформаційних систем та програмного забезпечення в період з 11.09.2023 по 30.05.2024.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	5
1 АНАЛІЗ ТА КЛАСИФІКАЦІЯ ДАТЧИКІВ	6
1.1 Класифікація датчиків	6
1.2. Основні види технологій виготовлення датчиків.....	14
1.3 Метрологічні параметри датчиків	16
2 РОЗРОБКА ПРИЛАДУ ДЛЯ КОНТРОЛЮ ВОЛОГОСТІ ҐРУНТУ	24
2.1 Аналіз методів та приладів для визначення вологості ґрунту	24
2.2 Види вологи у ґрунті.....	31
2.3 Гігрістори	33
2.4 Розробка структурної схеми приладу.....	37
2.5 Розрахунок параметрів елементів схеми.....	39
2.6 Розробка схеми електричної принципової.....	44
2.7 Модернізація схеми поливу рослин.....	50
2.8 Розробка топології друкованої плати	55
3 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ТЕХНОГЕННА БЕЗПЕКА.....	56
3.1 Аварійна система захисту.....	56
3.2 Характеристика потенційних небезпечних та шкідливих виробничих факторів	58
3.3 Заходи з поліпшення умов праці та виробнича санітарія.....	62
3.4 Техногенна безпека	63
ВИСНОВКИ ТА РЕКОМЕНДАЦІЇ	64
СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ	65
Додаток А.....	66

ВСТУП

До початку війни Україна посідала перше місце серед країн світу за обсягами зростання експорту сільськогосподарської продукції до країн Євросоюзу. Вона має дуже великі площі чорноземів, які є найродючішими ґрунтами у світі. Але майже в усіх регіонах з року в рік в них зменшується частка гумусу — основної речовини, яка забезпечує родючість ґрунту. Тому потрібна повна інформація про стан ґрунтів, про їх родючість та інтенсивність забруднення хімічними елементами, залишками пестицидів, радіонуклідами, тощо. Необхідні також знання як впливають гідрометеорологічні умови на це забруднення.

Поточна інформація про вологість і температуру ґрунту в системі управління виробництвом сільськогосподарської продукції необхідна, в першу чергу, для прийняття оперативних рішень при розробці екологічно чистих технологій вирощування сільськогосподарських культур з метою одержання максимального врожаю. Маються на увазі технологічні рішення з питань основної і передпосівної обробки ґрунту, доцільності і строків сівби сільськогосподарських культур, норм і строків внесення добрив, поливу, тощо. Однак органи управління та господарства мають далеко неповну оперативну інформацією про вологість ґрунтів через нестачу необхідних методів і технічних засобів їх одержання. [1]

Тому актуальним є питання розробки приладів для визначення вологості ґрунту, які б мали невеликі розміри, були дешевими та взаємозамінними, а довгострокова стабільність дозволяла б їм працювати в оптимальних умовах експлуатації до 5 років з високою точністю.

1 АНАЛІЗ ТА КЛАСИФІКАЦІЯ ДАТЧИКІВ

1.1 Класифікація датчиків

Датчик – конструктивно відокремлений первинний приймач і перетворювач вимірюваної величини, від якого надходять сигнали вимірювальної інформації. Він сприймає вхідну величину і формує еквівалентний їй в інформаційному сенсі вимірювальний сигнал [2].

Датчик може бути перетворювачем, але перетворювач в свою чергу не обов'язково буде датчиком.

В даний час є тенденція використовувати слово «сенсор» для первинного пристрою вводу, а «атенюатор» – пристрою виводу. Спільно з терміном «датчик» вони використовуються для позначення вимірювального перетворювача, що виконує функції вхідної (вихідної– для атенюатора) величини і формування вимірювального сигналу [3].

Розрізняють датчики, засновані на різних принципах дії (електричних, акустичних і ін.). Використаємо для класифікації структурні і функціональні ознаки, що характеризують датчики. Класифікація датчиків в залежності від параметрів представлена на рисунку 1.1.

Активна (енергетична) вхідна величина може сприйматися безпосередньо. Для сприйняття ж властивостей пасивної (в енергетичному сенсі) речовини необхідно надати їй енергетичні властивості, впливаючи на цю речовину додатковою енергією. Наприклад, пропустити через опір струм і отримати в якості параметра речовини напругу, що утворилася на її опорі. Оцінити розмір вхідної величини можна, використовуючи різницю

результатів цієї оцінки до і після її впливу. Таким чином, відповідно до сказаного можна виділити активні (генераторні) і пасивні (параметричні) датчики, які представлені у класифікації на рис. 1.2.

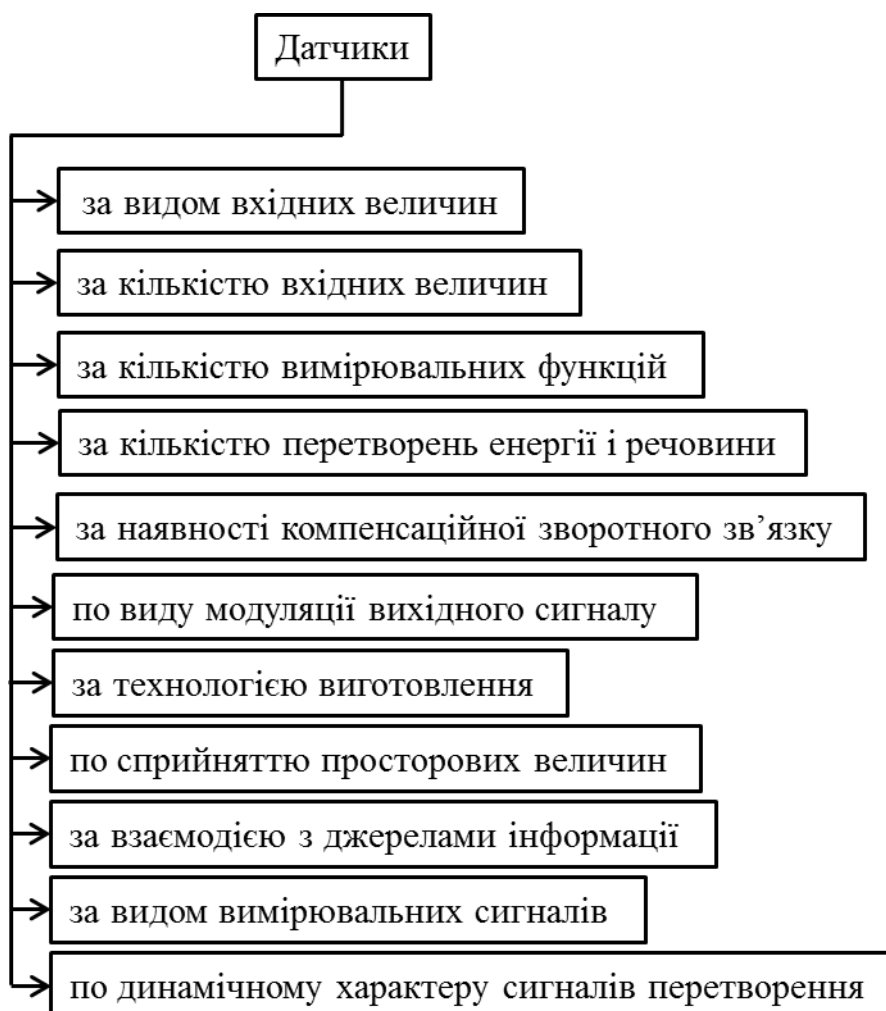


Рисунок 1.1 – Класифікація датчиків в залежності від параметрів

Класифікаційною ознакою також служить характер вихідного сигналу датчика. Вихідний вимірювальний сигнал датчиків може бути промодульований різним чином. Класифікація датчиків згідно з видом вихідного сигналу представлена на рис. 1.3. Можуть бути використані амплітудна (АМ), частотна (ЧМ), фазова (ФМ) модуляції.

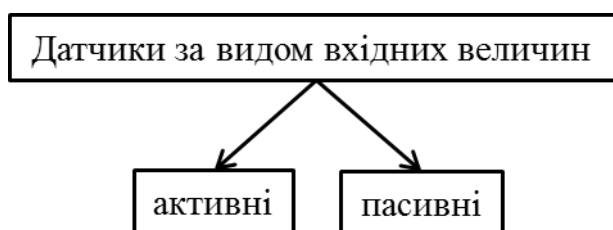


Рисунок 1.2 – Класифікація датчиків за видом вхідних величин

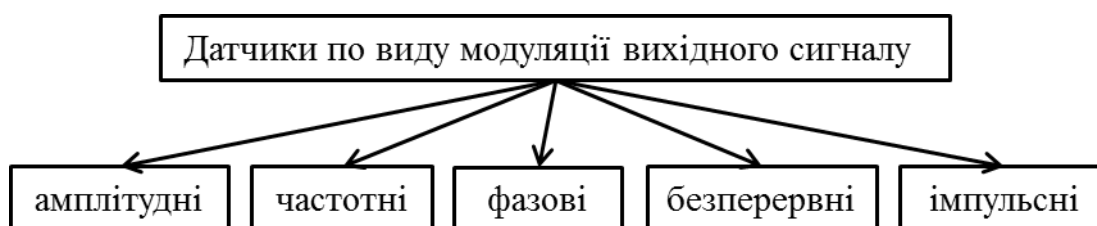


Рисунок 1.3 – Класифікація датчиків згідно з видом вихідного сигналу

Сигнал може бути представлений в безперервній, імпульсній і цифровій формі. Серед аналогових видів модуляції слід виділити частотну. Вона є аналогом модуляції сигналів в рецепторах біологічних аналізаторів, має підвищену стійкість і кілька інформаційних параметрів (частота, фаза, довжина хвилі, період). Потрібно відзначити легкість переходу від частотних сигналів цифрових, потенційно високу точність операцій з частотними сигналами, наявність Державної служби частоти і часу. Крім того, принципи побудови датчиків – генераторів частотних сигналів – досить добре розроблені. До частотних датчиків можна віднести датчики резонансного типу, маятникові, струнні, ядерно-магнітні пристрої, LC і RC генератори, частотно-залежні ланцюги, ультразвукові пристрої, а також датчики, засновані на використанні потоку фотонів, на ефекті Баркгаузена, на термошумах і т. п. При використанні електромагнітних, оптичних, звукових частотних сигналів можливі їх бездротова передача, генерація зразкових сигналів в ближній зоні й організація стільникової структури, яка обслуговує одночасно кілька датчиків. Шкала частот, що генеруються може бути досить широкою.

На вході датчиків можуть діяти фізичні величини, вимірювані безпосередньо, або їх складові (при виконанні непрямих вимірювань).

Енергетичні властивості вхідних величин дозволяють поділити датчики на активні та пасивні. В активних датчиках вхідні величини мають енергетичну природу, в пасивних – неенергетичний (речовинний) параметр.

Активними вхідними величинами є параметри енергії електричної, магнітної, теплової, механічної, акустичної, оптичної, радіаційної та хімічної природи.

Основні активні вхідні величини:

- електрична енергія: напруга, ЕРС, потенціал, струм, заряд, потужність, енергія;
- магнітна енергія: магніторушійна сила, магнітний потік, магнітна індукція;
- механічна енергія: сила, маса, тиск, механічне напруження, швидкість, прискорення, потужність, енергія;
- акустична енергія: акустичний тиск, інтенсивність звуку, потужність, енергія;
- тепла енергія: температура, тепловий потік, термодинамічний потенціал;
- оптична енергія: потужність випромінювання, потік випромінювання, освітленість, яскравість, спектральна щільність, сила світла, світловий потік;
- іонізаційна енергія: енергія випромінювання, потужність дози випромінювання, потік випромінювання;
- хімічна енергія: молярна енергія, хімічний потенціал.

Пасивні сигнали при сприйнятті потребують перетворення їх в активні, еквівалентні вхідним енергетичні сигнали. Потім, так само як і сигнали активних датчиків, вони сприймаються та перетворюються за допомогою певного фізичного ефекту в речовині чутливого елемента в вимірювальний сигнал.

Пасивні вхідні величини:

- електрична енергія: провідність, опір, діелектрична проникність;
- магнітна енергія: магнітна проникність, індуктивність, взаємодуктивність;
- механічна енергія: маса, механічне опір, в'язкість, тертя, твердість, довжина, площа, об'єм, витрати;
- акустична енергія: акустичний опір, акустична проникність, коефіцієнти поглинання, відбиття і розсіювання;
- теплова енергія: теплоємність, коефіцієнти теплопровідності, теплопередачі;
- оптична енергія: коефіцієнти відображення, розсіювання, пропускання, заломлення; колір; поляризація;
- іонізаційна енергія: постійна радіоактивного розпаду, коефіцієнт поглинання;
- хімічна енергія: молярний об'єм, дифузія, концентрація, молярна ентропія.

Ці переліки вибірккові та можуть бути істотно доповнені.

Класифікація за кількістю сприйманих і перетворюваних величин представлена на рис. 1.4. Можна виділити датчики одномірні, які оперують з однієї величиною, і n -мірні (багатомірні), що сприймають кілька (n) вхідних

величин. Багатомірні датчики можуть мати спільні елементи і тому можуть бути простіше, ніж сукупність одновимірних датчиків.

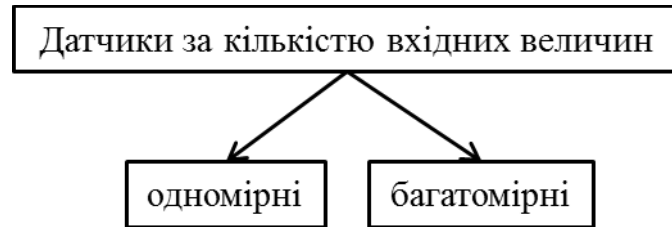


Рисунок 1.4– Класифікація датчиків за кількістю вхідних величин

Класифікація за кількістю виконуваних датчиком функцій представлена на рис. 1.5. Їх можна розділити на однофункціональні та багатфункціональні ($m=2, 3, \dots$). Багатфункціональні датчики можуть крім основної функції (сприйняття величини та формування вимірювального сигналу) виконувати ряд додаткових функцій, таких як, наприклад, функції фільтрації, обробки аналогових сигналів і т.п.

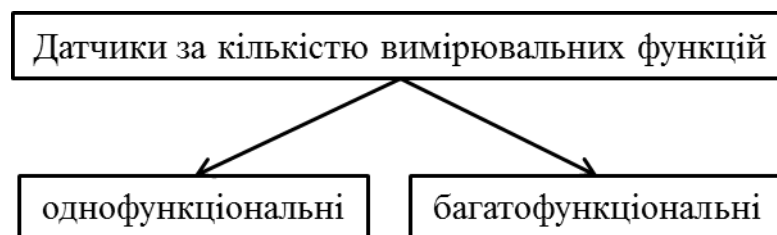


Рисунок 1.5 – Класифікація датчиків за кількістю виконуваних функцій

Раніше термін «багатфункціональний датчик» використовували для позначення датчиків, що служать для сприйняття та перетворення декількох вхідних величин. Однак цей термін більш доцільно віднести до датчиків, кожен з яких виконує кілька вимірювальних функцій. Зауважимо, що датчики

багатофункціональні, так само як і багатомірні, за своїми властивостями наближаються до вимірювальних систем.

Багатофункціональні датчики іноді називають інтелектуальними. До таких датчиків, мабуть, можна віднести аналогові і цифрові датчики з підсумовуванням сигналів, з режимами роботи, що перебудовуються, і параметрами, з функціональним аналого-цифровим перетворенням, метрологічним обслуговуванням і т.п.

Широкими функціональними можливостями повинні володіти датчики з вбудованими мікропроцесорами. У первинних вимірювальних перетворювачах засобів вимірювань, в яких склад і компоновка не обмежені, успішно використовуються мікропроцесори.

У датчиках можуть використовуватися послідовно або паралельно один або кілька фізичних ефектів, тобто. Класифікація датчиків за кількістю перетворень енергії і речовини представлена на рис. 1.6. Вони можуть бути одноступінчатими та багатоступінчатими. В даний час датчики, що сприймають більше трьох величин, а також датчики, які виконують більше трьох функцій і засновані на використанні більш трьох фізичних явищ, досить рідкісні.

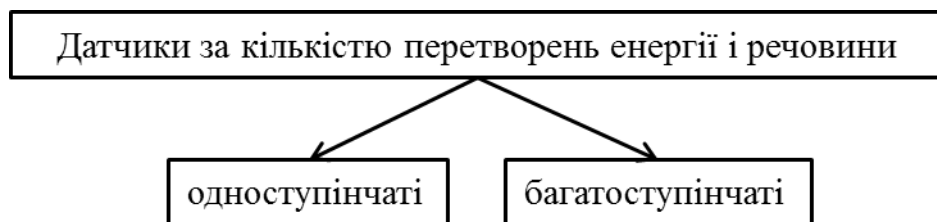


Рисунок 1.6 – Класифікація датчиків за кількістю перетворень енергії і речовини

Крім вищеназваних датчиків можна відзначити датчики, що виконують системні функції, до яких відносяться сприйняття полів температури, деформацій та т.ін.

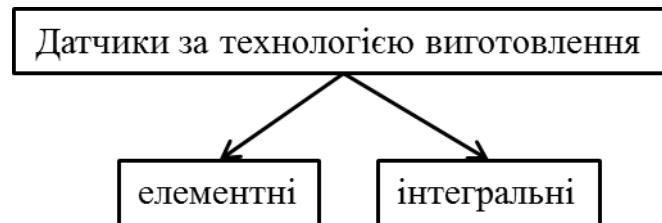


Рисунок 1.7 – Класифікація датчиків за технологією виготовлення

За технологією виготовлення датчики можна умовно розділити на елементні, що виготовляються з набору окремих елементів, та інтегральні, з одночасним виготовленням за інтегральною мікроелектронною технологією всіх складових елементів датчиків. Ця технологія дозволяє забезпечити датчикам видатні характеристики.

Слід виділити біологічні датчики, в яких в якості чутливих елементів використовуються рецепторна частина біологічних органів почуттів, ферменти та інші речовини та електронна частина, що формує вимірювальні сигнали.

У біологічних аналізаторах живих організмів бере участь дуже велика кількість рецепторів. Наприклад, рецепторне поле зорового аналізатора включає близько 10^8 рецепторів, нюхового та слухового аналізаторів – більш 30 тисяч рецепторів, розташованих в невеликому обсязі. Як відомо (закон Фехнера), вихідний сигнал рецепторів пропорційний натуральному логарифму інтенсивності впливу з боку величини, що сприймається. Сумарний сигнал поля рецепторів залежить від їх кількості. При цьому точність сприйняття градієнтів вхідних величин буде залежати від розмірів

рецепторів. Велика, надмірна кількість рецепторів, крім підвищення надійності за рахунок багаторазового дублювання та інтегрування їх сигналів, дозволяє забезпечити підвищену точність сприйняття вхідної величини. Зменшення розмірів та маси датчиків може привести при сприйнятті вхідної величини до зростання сумарного вихідного сигналу, зниження впливу перешкод і, в кінцевому рахунку, до підвищення достовірності одержуваних даних. Переваги мініатюрних датчиків особливо проявляються при дослідженні малогабаритних об'єктів [4].

1.2. Основні види технологій виготовлення датчиків

Технологія виготовлення датчиків найчастіше визначається відомими способами виготовлення напівпровідників інтегральних схем. Загальне уявлення про ці способи виготовлення з їх перевагами і недоліками представлено в таблиці 1.1 [5].

Скорочення, що використовуються:

НДДКР – Науково-дослідні та дослідно-конструкторські роботи.

ДКР – Дослідно-конструкторські роботи.

Основні види технологій виготовлення датчиків – кремнієва, тонкоплівкова і товстоплівкова. Стабільність і однорідність продукції при застосуванні тонкоплівкової технології виготовлення датчиків вище, ніж при використанні кремнієвої або товстоплівкової.

Таблиця 1.1 – Основні види технології виготовлення об'ємних і плівкових датчиків, сумісних з мікроелектронікою

	Кремнієва технологія	Тонкоплівкова технологія	Товстоплівкова технологія
Вхідні величини	Подовження (тензодатчики); Температура; Магнітне поле; Світло, ІЧ-випромінювання; (Склад і концентрація газу)	Подовження (тензодатчики); Температура; Магнітне поле; Світло, ІЧ-випромінювання; (Ємність); (Склад і концентрація газу)	Подовження (тензодатчики); Температура; (Магнітне поле); Ємність
Відтворюваність (однорідність продукції)	Низька – середня	Висока (при використанні лазерної доводки – дуже висока)	Середня – низька (при використанні лазерної доводки – висока)
Стабільність	Висока	Дуже висока	Висока
Температурний діапазон	До 150°C (обмежений кремнієм)	Може бути дуже великим (наприклад, у датчиків температури: від -50°C до +600°C)	Приблизно до 400°C
Можливість мініатюризації	Дуже хороша	Хороша	Середня
Можливість вбудовування	На одному кристалі (монолітно) у вигляді ІС	На одній підкладці (гібридна технологія)	На одній підкладці (гібридна технологія)
Рентабельний обсяг виробництва (шт. / рік)	Вище 10 ⁵	10 ³ ... 10 ⁵ (10 ⁶)	10 ² ... 10 ⁴

Продовження таблиці 1.1

Витрати на один датчик при масовому виробництві	Дуже низькі	Низькі	Низькі
Витрати на один датчик при дрібносерійному виробництві	Дуже високі	Високі	Низькі
Витрати на дослідження і розробку	Високі; потрібні НДДКР (науковий персонал)	Дуже високі; потрібні НДДКР (науковий персонал)	Середні; в загальному випадку необхідні тільки ДКР
Можливість варіацій в ході розробки (гнучкість)	Низька	Висока	Низька

1.3 Метрологічні параметри датчиків

Властивості датчика як засобу вимірювання визначаються в першу чергу тим, як він сприймає і відтворює в електронній формі на виході належну вимірюванню механічну величину. Ці властивості виражаються рядом так званих основних метрологічних характеристик. Найважливішими параметрами датчиків є чутливість і похибка.

Градувальна (калібрувальна) характеристика – залежність між значеннями вихідної електричної та вхідної механічної величин. Бажаний вид характеристики – пряма лінія, що проходить через початок координат.

Коефіцієнт перетворення – відношення прийнятого параметра вихідного сигналу до прийнятого параметру вхідної механічної величини датчика. Ця величина може бути визначена для кожної точки градуовальної характеристики. Прийнятим параметром може бути або миттєве значення сигналу, або деякий функціонал від нього (середньоквадратичне значення, середнє по модулю значення і т.ін.) [6].

Датчики можна уявити в тривимірному просторі з координатами: кількість величин – n , кількість функцій – m , кількість ступенів перетворень – l .

Чутливість – визначальний параметр для вибору датчика; в загальному випадку чутливість S визначається для діапазону поблизу деякого постійного значення вимірюваної величини m_i як відношення варіації сигналу Δs на виході до зміни Δm вимірюваної величини, яке викликало цю варіацію сигналу:

$$S = \left. \frac{\Delta s}{\Delta m} \right|_{m=m_i} \quad (1.1)$$

Значення чутливості в заданих умовах застосування зазвичай визначається виробником; цей параметр дозволяє споживачеві оцінити «вихідний сигнал» датчика, знаючи межі зміни вимірюваної величини, і вибрати датчик для вимірювальної системи, що відповідає вимогам і умовам вимірювання.

Одиниці, в яких виражається S , залежать від принципу роботи датчика і від природи вимірюваної величини – $\frac{\text{Ом}}{^\circ\text{C}}$ для терморезистора і $\frac{\text{мкВ}}{^\circ\text{C}}$, наприклад, для термопари [7].

Амплітудно-частотна характеристика (АЧХ) – залежність від частоти відносини амплітуди першої гармоніки вихідного сигналу до амплітуди вхідної гармонійної величини.

Фазочастотна характеристика (ФЧХ) – залежність від частоти зсуву фаз між першою гармонікою вихідного сигналу і вхідною гармонійною величиною.

Робочий діапазон частот – інтервал частот вхідної гармонійної величини, в якому нормовані допустимі похибки датчика.

Діапазон вимірювань – область значень вимірюваної величини, в якій нормовані допустимі похибки датчика.

Межа вимірювань – найбільше або найменше значення діапазону вимірювань.

Поріг чутливості – значення вимірюваної величини, відносна похибка вимірювання якого становить 100%.

Коефіцієнт нелінійності – виражене у відносній формі максимальне відхилення градуовальної характеристики від прямої лінії в усьому діапазоні вимірювання. У деяких випадках розрізняють нелінійність функціонального зв'язку і гістерезис, тобто неоднозначність градуовальної характеристики при зростанні й зменшенні вхідної величини [8].

Єдиними вимірюваними величинами, значення яких досить точно відомі, є величини, що відтворюються еталонами. Значення всіх інших вимірюваних величин стають відомими тільки після обробки результатів вимірювань за допомогою вимірювальної схеми. Вплив на датчик визначається істинним значенням вимірюваної величини, але експериментатор сприймає тільки загальну реакцію всього вимірювального ланцюгу; ця реакція, виражена в одиницях вимірюваної величини, є її виміряне значення. Різниця між виміряним й істинним значеннями величини називається похибкою вимірювання; вона виникає через недосконалості вимірювального ланцюга, в якому частково втрачається інформація про сигнал в процесі його обробки. Похибку вимірювань можна оцінити лише приблизно, оскільки істинне значення вимірюваної величини нам невідомо.

Однак суворе й точне розуміння особливостей вимірювального каналу дозволяє зменшити похибку вимірювань та, відтак, більш впевнено наблизитися до істинного значення вимірюваної величини.

Систематичні похибки виникають через помилкове або неповне уявлення про характеристики вимірювальної системи або неправильного її використання. Наявність систематичної похибки можна встановити по розбіжності між найбільш ймовірними значеннями величини, отриманими з двох серій вимірювань, проведених для однієї й тієї ж вимірюваної величини за допомогою різних методик і апаратури.

1) Похибки значення опорної величини.

Зсув нуля приладу при реєстрації відхилення стрілки, помилка при визначенні опорної температури термопари, неточна величина напруги живлення в мосту – ці похибки можуть бути зменшені при ретельній перевірці апаратури, що використовується.

2) Похибки, пов'язані з визначенням характеристик датчика.

До них відносять похибки, пов'язані з чутливістю або градууювальною кривою. У загальному випадку це може бути старіння датчика – механічна втома його деталей або погіршення його параметрів внаслідок хімічних впливів, що призводить до прогресуючих змін первісної градууювальної кривої.

Спеціальне градуювання датчика для більш жорстких умов застосування часто дозволяє зменшити, хоча і не повністю усунути, похибки цього типу. Крім того, градуювання датчика, що включає цілу сукупність експериментальних операцій, саме вносить деякі додаткові похибки, які впливають на результати наступних вимірювань.

3) Похибки, пов'язані зі способом або умовами застосування.

Динамічна похибка викликається або обмеженістю швидкості наростання вихідного сигналу датчика або всього вимірювального каналу, чи завершенням вимірювання до моменту досягнення сталого режиму.

Присутність датчика може помітно змінити вимірювану величину.

4) Похибки через застосування не оброблених належним чином даних вимірювань.

Ці похибки виникають через неправильне введення поправок в результати вимірювань [9].

Систематичні похибки не можуть бути виключені статистичним аналізом змішаних даних, але можуть бути мінімізовані ретельністю калібрування й проектування системи [10].

Випадкові похибки проявляються з випадковою амплітудою та випадковим знаком. Причини їх виникнення можуть бути зрозумілі, проте величини похибок в момент вимірювань невідомі.

1) Похибки, пов'язані з власними параметрами вимірювальної апаратури:

1) Поріг чутливості.

Визначається як максимальна зміна вимірюваної величини, яке ще не викликає виявленого зміни вихідного сигналу датчика.

Варіації вимірюваної величини нижче певного значення вже не викликають змін електричного сигналу датчика.

2) Похибка зчитування відхилення стрілки приладу.

З одного боку, це наслідок кваліфікації оператора, а з іншого - якості апаратури, наприклад, товщини стрілки.

Сукупність порога чутливості ε_4 та похибки зчитування ε_3 визначає похибка дозволу ε_d , яка представляє собою мінімальну варіацію вимірюваної величини, яка визначена за допомогою даної апаратури:

$$\varepsilon_d = \sqrt{\varepsilon_4^2 + \varepsilon_3^2} \quad (1.2)$$

3) Похибка гістерезису.

Якщо який-небудь елемент вимірювального каналу виявляє гістерезисні властивості (механічний гістерезис пружини або магнітний гістерезис феромагнітного матеріалу), то вихідний сигнал в певній мірі залежить від попередніх умов експлуатації. Похибкою гістерезису називають половину максимальної різниці вихідних сигналів, що відповідають одній і тій же вимірюваній величині, якщо вона отримана в процесі зростання або зменшення вхідної величини.

4) Похибка квантування аналого-цифрового перетворювача.

Похибка такого роду супроводжує операцію квантування, коли сукупності аналогових величин в діапазоні, відповідному інтервалу квантування в одиницю молодшого розряду, приписується єдине значення. Максимальна внесена похибка дорівнює при цьому половині інтервалу квантування.

II) Похибки через появу в вимірювальному ланцюгу паразитних сигналів випадкового характеру.

а) шуми, що виникають в результаті теплового збудження носіїв заряду в резисторах або активних елементах, які викликають появу на їхніх затискачах флуктуації напруги, що накладаються на корисний сигнал;

б) наводки від електромагнітних полів промислової частоти, а також інших частот;

в) флуктуації напруги живильних пристроїв, що змінюють характеристики вимірювальної апаратури (електричних схем формування сигналу, підсилювачів і ін.), а також спотворюють амплітуду оброблюваного сигналу, причому так, що ці спотворення не можна відокремити від змін, пов'язаних з вимірюваною величиною;

г) часовий дрейф напруги на виході підсилювача.

III) Похибки, викликані величинами, що впливають.

Якщо наслідки варіацій, що впливають на вимірювання величин, не враховано при градуванні, то можна вважати, що їх вклад носить випадковий характер. Якщо градування проводилося при 20°C , то варіації температури або відмінна від 20°C постійна температура впливатимуть на характеристики вимірювальної системи, а відтак, і на вимірюваний сигнал.

Слід зазначити, що похибки, пов'язані з величинами, що впливають, можуть відноситися як до систематичних, так і до випадкових залежно від того, чи є тривалість вимірювань відповідно занадто малою або занадто великою у порівнянні з «періодом» явища, що впливає. Так, якщо на результат вимірювань впливає навколишня температура, то її зміна протягом дня може привести:

– до систематичної похибки, якщо всі виміри проводяться протягом декількох хвилин;

– до випадкової похибки, якщо вимірювання займають кілька днів [11].

Допоміжні метрологічні характеристики:

1) вихідний електричний імпеданс датчика;

2) частота резонансу закріпленого датчика – частота вхідного гармонійного сигналу, на якій проявляється резонанс датчика в умовах стандартного кріплення його до об'єкту;

3) добротність – відношення амплітуд вихідного сигналу на частоті установочного резонансу і на частоті, прийнятої в якості базової, при постійній амплітуді вхідної гармонійної величини [12].

Таким чином метою кваліфікаційної роботи є розробка приладу вимірювання рівня вологості у ґрунті на основі резистивних датчиків, який би характеризувався довгостроковою стабільністю, вигідними оптимальними умовами експлуатації та високою точністю.

Задачі:

- розробити структурну схему приладу;
- провести розрахунок параметрів схеми та здійснити вибір елементів;
- розробити електричну принципову схему приладу;
- створити топологію друкованої плати.

2 РОЗРОБКА ПРИЛАДУ ДЛЯ КОНТРОЛЮ ВОЛОГОСТІ ҐРУНТУ

2.1 Аналіз методів та приладів для визначення вологості ґрунту

Існуючі методи визначення вологості ґрунту поділяються на прямі і непрямі (рис. 2.1). Прямі методи характеризуються безпосереднім розподілом матеріалу на суху речовину і вологу. У непрямих методах вимірюється величина, пов'язана з вологістю матеріалу. Непрямі методи вимагають попереднього калібрування з метою встановлення залежності між вологістю матеріалу і фізичної величиною, що вимірюється [13].

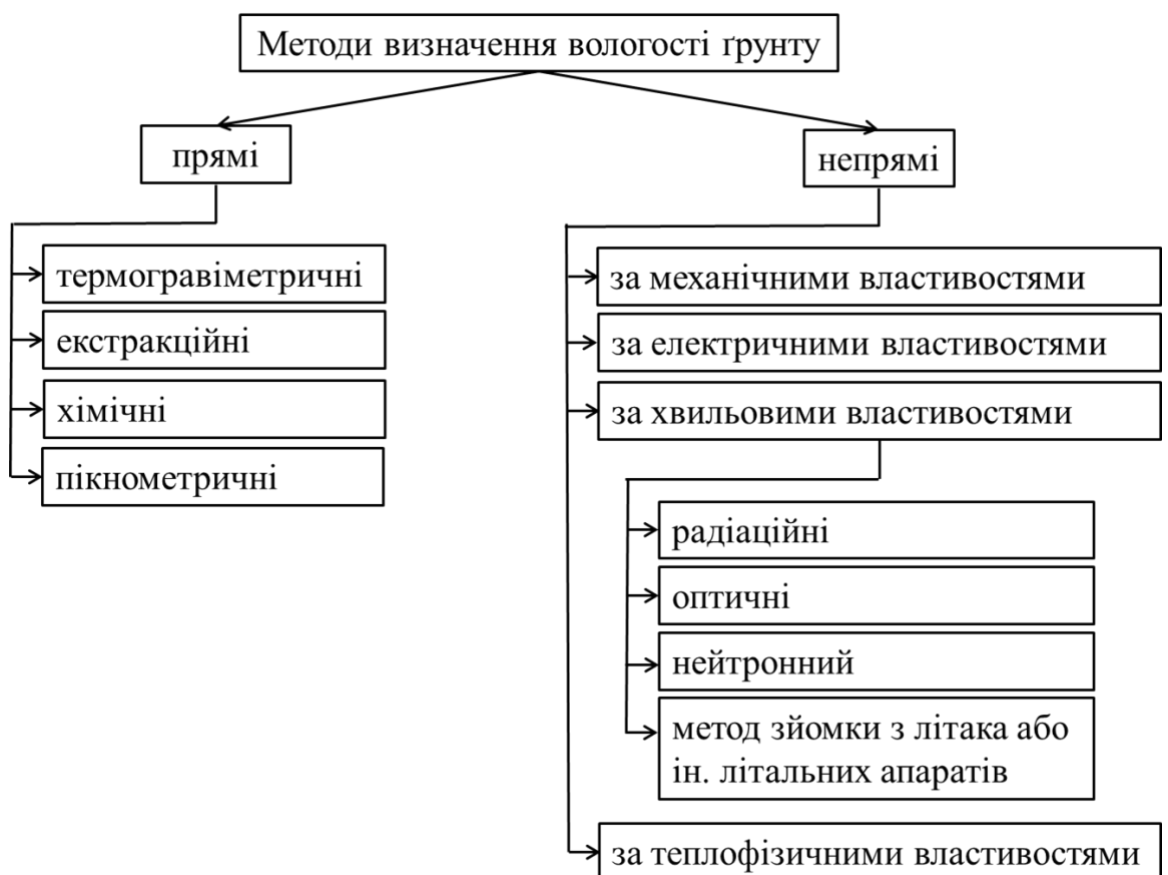


Рисунок 2.1 – Класифікація методів визначення вологості ґрунту [14].

Найбільш поширеним прямим методом є – метод висушування (термогравіметричний), що полягає в повітряно-тепловому сушінні зразка матеріалу до досягнення рівноваги з навколишнім середовищем. Ця рівновага умовно вважається рівнозначною повному видаленню вологи [15].

Термогравіметричний метод в практиці вважається контрольним, з яким порівнюють всі інші методи і способи визначення вологості. Однак точність визначення вологості в відібраному ґрунті залежить від способу відбору проб буровим інструментом або іншим пристроєм, часто з порушенням структури зразка, від часу зважування проби після виїмки його з ґрунту, температури і вологості навколишнього повітря, температури сушіння, температури і атмосферного тиску. Так само на результати висушування впливають форма і розміри бокс і сушильної шафи, розподіл температури в сушильній шафі, швидкість руху повітря в ній, можливість віднесення пилу або дрібних частинок зразка.

Екстракційні методи засновані на добуванні вологи з досліджуваного зразка твердого матеріалу водопоглинаючою рідиною (діоксан, спирт) і визначенні характеристик рідкого екстракту, що залежать від його вмісту вологи: щільності, показника заломлення, температури кипіння або замерзання і т.п [16].

Основою хімічних методів є обробка зразка твердого матеріалу реагентів, які вступають в хімічну реакцію тільки з вологою, що міститься в зразку. Кількість води в зразку визначається за кількістю рідкого або газоподібного продукту реакції. Метод застосовується в широкому діапазоні вмісту вологи, відрізняється універсальністю, високою чутливістю і точністю.

Пікнометричні методи: визначення щільності об'ємним методом, шляхом занурення ґрунту в рідини різної питомої ваги або ж додаткове зволоження до водоутримуючої здатності. Дані методи є більше лабораторними і менш точними, ніж термогравіметричний.

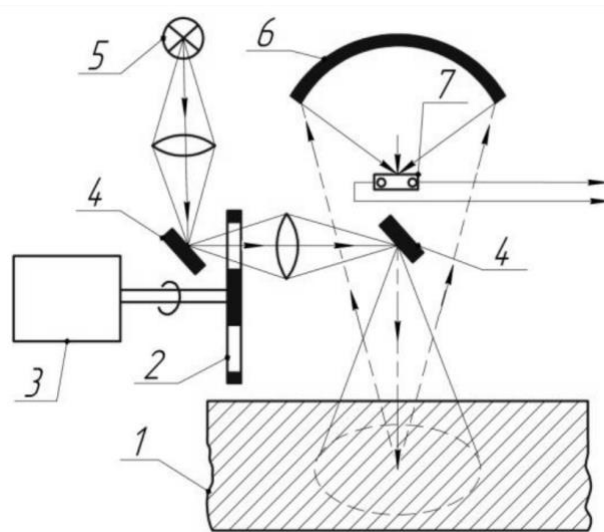
Непрямі методи – такі методи, в яких використовуються фізичні характеристики, що залежать від вологості ґрунту або їх середовища. У цих методах оцінка вологості матеріалу проводиться по зміні різних його властивостей. До них відносяться механічні методи, засновані на вимірі механічних характеристик твердих матеріалів, які змінюються разом з вологою:

Визначення вологості ґрунту по усадці під тиском. Даний метод заснований на оцінці механічних властивостей ґрунту. Зразок ґрунту стискається під високим тиском, яке фіксується на шкалі «тиск», на іншій шкалі відзначається величина усадки. Величина усадки вища, чим вище вологість досліджуваного ґрунту. Однак усадка відбувається тільки до певної міри насичення ґрунту водою, близької до польової. При використанні цього методу необхідно градувати прилад для кожної ґрунту [15].

Способи спостереження за вологістю ґрунту по газопроникності пористих блоків. Пористі блоки поміщають в ґрунт або ґрунт на задану глибину, які через деякий час приходять у стан рівноваги вологості з навколишнім ґрунтом або іншим дисперсним середовищем. Первинним перетворювачем (датчиком) вологості є пористий блок невеликих розмірів, близький за своїми пористими характеристиками до навколишнього ґрунту. Стан рівноваги вологості між ними настає через десятки хвилин. Оскільки в ґрунті міграція вологи протікає повільно, то така інерційність первинного перетворювача достатня, щоб їм можна було користуватися [16].

Гігрометричні методи засновані на зв'язку між відносною вологістю повітря в паровому просторі і вlahовмістністю ґрунту, шляхом визначення вологості по температурі точки роси в паровому просторі ґрунту; різниці температур сухого і змоченого термометрів; деформації 20 водопоглинаючих матеріалів, вміщених у ґрунт і набухаючих від її вологості. Перевага даного методу – придатність в разі малих значень вологовмісту [15].

Оптичні методи визначення вологості засновані на розсіюванні світла ґрунтом при висвітленні джерелами світла постійної потужності, а так само на поглинанні або розсіянні інфрачервоного випромінювання. Приклад схеми вологоміра по відображенню показаний на рисунку 2.2. Однак вимірювана величина незадовільно характеризує середню вологість через вологість поверхневого шару матеріалу [16].



- | | |
|-------------------------------|------------------------|
| 1 – зразок матеріалу; | 5 – лампа; |
| 2 – диск зі світлофільтрами; | 6 – увігнуте дзеркало; |
| 3 – синхронний електродвигун; | 7 – фоторезистор. |
| 4 – дзеркала; | |

Рисунок 2.2 – Схема пристрою інфрачервоного вологоміра на принципі відображення

Влагоміри на принципі відображення видимого світла мають задовільну чутливість і точність; їх перевагою є простота конструкції. У той же час вони мають ряд недоліків: низьку надійність через модулятора інфрачервоного світла, забруднення оптики, неповну модуляцію потоків вузьких спектральних смуг випромінювання.

Кондуктометричні методи визначення вологості ґрунтів:

В електричних методах використовується залежність електричних властивостей ґрунту від вологості: електропровідність, діелектрична проникність, а так само діелектрична проникність буферного проміжної середовища – вологообмінника, що взаємодіє з навколишнім ґрунтом. Труднощі у використанні: електричний опір ґрунту залежить не тільки від вмісту води в ній, але і від хімічного складу, щільності, температури ґрунтових розчинів; поганого контакту між електродами і ґрунтом, процесу градування [12, 13].

Метод вимірювання вологості ґрунту по електрорушійній силі гальванічної пари, заснований на виникненні електричного струму в гальванічній парі, занурюваної на ту чи іншу глибину в ґрунт:

- визначення вологості по ЕРС гальванічної пари, що знаходиться в ґрунті, або ЕРС поляризації електродів;
- використання електростатичного методу.

Через мінералізації ґрунтового розчину і не однакового контакту, даний метод дає велику похибку [11, 12].

Визначення вологості в зразках ґрунту з поглинання радіовипромінювання складається в наступному: між радіопередавачем і приймачем розміщують воду або матеріал, що містить воду. Послаблення сигналу, що сприймається радіоприймачем, залежить від товщини і щільності матеріалу, а також його вологості. Стосовно до ґрунту, метод має обмеження через його велику неоднорідність, що вимагає градування приладу на кожному ґрунті при стандартному його ущільненні. Спотворення результату може бути пов'язано і з наявністю металевих домішок [12].

Ємнісні і надвисокочастотні (НВЧ) контактні методи визначення вологості засновані на тому, що діелектрична проникність матеріалу залежить

від вологості. Метод вимірювання за допомогою НВЧ заснований на перетворенні: вологість – електрична властивість матеріалу; електрична властивість матеріалу – вихідна величина вимірювального приладу.

Недоліками методу НВЧ є: низька точність вимірювання від щільності, температури, гранулометричного складу, наявність розчинів; необхідність градуювання в конкретних ґрунтах [11, 12].

Визначення вологості методом ядерно-магнітного резонансу (ЯМР) засновано на втраті енергії високої і надвисокої частоти. Даний метод найбільш застосовний для лабораторних досліджень через важко виконуваний контроль впливу навколишнього середовища і складної дорогої апаратури.

Метод визначення вологості, заснований на вимірюванні теплофізичних характеристик ґрунтів. Найважливішою перевагою даного методу є те, що теплофізичні властивості ґрунту, такі як теплопровідність, температуропровідність, теплоємність або їх сукупність, в більшій мірі, залежать від вологості, ніж від інших факторів. Цей метод можна застосовувати без термостатної сушки. Причини, які не дозволяють його використовувати: вологість вимірюється у вузькому діапазоні; великі витрати часу на вимір; внесення тривалого теплового імпульсу в ґрунт призводить до перерозподілу вологості на глибині. В ході вимірювань необхідний облік щільності ґрунту і забезпечення хорошого контакту термозонда з ґрунтом [14].

Радіоізотопні методи, засновані на використанні гамма і нейтронного випромінювань:

- радіаційні – засновані на поглинанні гамма-випромінювання в шарах ґрунту певної товщини;

- нейтронний – заснований на уповільненні швидких нейтронів (з енергією до 11 МеВ) вологою в ґрунті з реєстрацією уповільнених нейтронів, щільність потоку яких зростає зі збільшенням вологості.

Переваги нейтронного методу – широкий діапазон вимірювань, до 100%. Для ґрунтів велике значення має можливість польових вимірювань без відбору проб. Основним недоліком нейтронного і інших радіаційних методів є необхідність захисту від біологічних процесів випромінювання [13].

Методи визначення вологості ґрунту за потенціалом ґрунтової вологи (тензометричні) засновані на вимірі капілярного натягу або енергії, з якою в ґрунті утримується волога. Вимірювання можливо проводити в області середніх зволожений ґрунту, тобто від моменту початку в'янення рослин, до настання найменшої польової вологоємності [14].

Дистанційні методи – зйомка або виробництво вимірювань на поверхні Землі (а іноді й підповерхневого шару) без входження в фізичний контакт з поверхнею, що здійснюється за допомогою літального апарату або наземної платформи з розташованими на них системами реєстрації електромагнітного або гравітаційних полів і певного діапазону радіовипромінювань з наданням інформації у вигляді сигналів, графіків, кривих спектральної яскравості і масового числового матеріалу. На територіях з розрядженим і низьким рослинним покривом, вологість ґрунту досить чітко проявляється на знімках. Теоретичні основи космічних і аерометодів дослідження земної поверхні стосовно до визначення вологості верхнього шару ґрунту широко використовуються, однак застосування даних методів в сільському господарстві є технічно складним через високовартісне обладнання.

Найважливіша частина дистанційного зондування – аналіз зображень. Такий аналіз може виконуватися візуально; візуальними методами, посиленими застосуванням комп'ютера, цілком і повністю комп'ютером. На сьогоднішній день є експериментальні розробки з дистанційного визначення вологозапасів в ґрунті і на його поверхні шляхом реєстрації гамма-випромінювання в літаковому або супутниковому варіанті. [13]

Даний метод заснований на вимірюванні ступеня ослаблення гамма-випромінювання природних радіоактивних елементів, що знаходяться в ґрунтах. Над земною поверхнею ці елементи створюють поле гамма-випромінювання з інтенсивністю, що залежить від вологості або вмісту води в покриві. Метод застосовується для загальної оцінки вологості верхнього шару ґрунту на величезних територіях, що не відповідає вимогам с / г підприємств, яким необхідна інформація про вологість його земель. Так само можлива небезпека забруднення радіоактивними опадами значної території при аваріях, в результаті чого метод перестає працювати. [15]

Метод контролю за вологістю ґрунтів за допомогою теплової інфрачервоної зйомки заснований на фіксації температурних характеристик ґрунту з різною вологістю. На територіях з розрядженим і низьким рослинним покривом вологість ґрунту досить чітко проявляється на знімках. Територія з підвищеною природною вологістю і зрошувані масиви на тлі сухих площ відзначаються порівняно темним фототоном і зберігають свій оптичний контраст на знімках в діапазоні довжин хвиль 0,4 - 1,1 мкм. Зі збільшенням вологості ґрунтів знижується значення яскравості. Мінімальні значення відзначаються при досягненні вологості, відповідної капілярної вологоємності і появи в них вільної гравітаційної води [16]

Таким чином для розробки приладу обрано непрямий механічний гігрометричний метод, який придатний навіть у разі малих значень вологовмісту ґрунту.

2.2 Види вологи у ґрунті

Для вимірювання вологості важливе значення мають форми зв'язку вологи з речовиною, що впливають на властивості матеріалу, що містить

вологу, в тому числі і ґрунту. З відомих класифікацій видів і форм зв'язку вологи найчастіше використовується запропонована П.А. Ребиндером, заснована на величині енергії зв'язку E . Згідно з цією класифікацією всю вологу колоїдного капілярнопорістого тіла можна розділити на наступні види і форми (в порядку наростання величини E): вільна вода, волога капілярнозв'язана (фізико-механічного зв'язку), волога адсорбційнозв'язана (фізико-хімічного зв'язку), вода хімічно зв'язана (хімічного зв'язку).

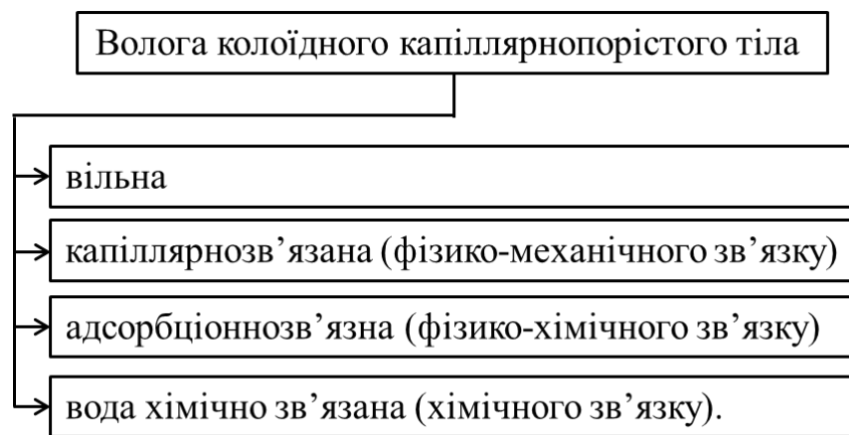


Рисунок 2.3 – Класифікація вологи колоїдного капілярнопорістого тіла за П.А. Ребиндером [12]

Хімічно зв'язана вода (гідратна або кристалогідратна) найбільш міцно пов'язана з вологовмістним матеріалом. Її молекули входять до складу основної речовини і вивільнюються лише хімічною взаємодією або прожарюванням.

Адсорбційнозв'язана вода утворюється в результаті дії молекулярного силового поля. На початковому етапі сорбції на зовнішніх і внутрішніх поверхнях тіла створюється мономолекулярний шар, найбільш міцно пов'язаний з поверхнею адсорбенту; потім він сорбує другий шар, третій і т.д. ; наступні шари пов'язані менш міцно.

Капілярнозв'язана вода утворюється в мікрокапілярах поглинанням води з вологого повітря або безпосереднім зіткненням, в скрізних макрокапілярах – безпосереднім зіткненням. Причиною виникнення даної форми зв'язку є капілярний тиск, обумовлений кривизною поверхні рідини в капілярах.

Дана класифікація має значення при фізичних і хімічних методах визначення вологості. У ґрунті присутні всі види вологи [13]

Чим більше в ґрунті колоїдальних частинок, тим сильніше він утримує воду і тим більша її частина буде недоступна рослинам. При наявності в ґрунті тільки води рослина вмирає, тому для максимального врожаю потрібно приділити увагу також водному режиму ґрунту.

2.3 Гігрістори

Опір багатьох неметалічних провідників залежить від змісту в них води. На цьому принципі реалізуються резистивні датчики вологості або гігрістори.

У наведеному на рис. 2.4 гігрометрі резистивного типу використовується матеріал, що володіє порівняно низьким питомим опором, яке сильно залежить від вологості навколишнього середовища. Шар такого матеріалу наноситься зверху двох гребінчастих електродів. Коли він поглинає молекули води, опір між електродами змінюється.

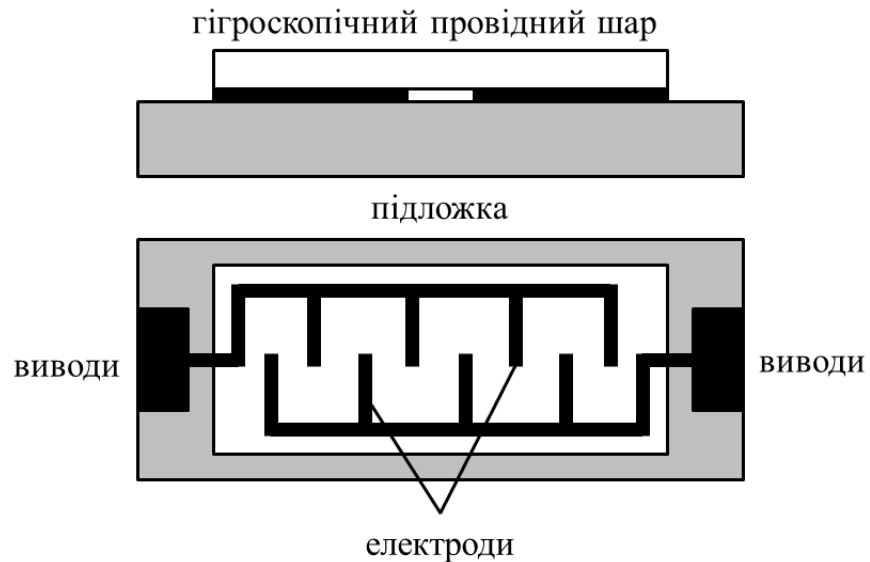


Рисунок 2.4 – Структурна схема гігрістора резистивного типу

Певна кількість гігроскопічної речовини наноситься на підкладку невеликих розмірів (зазвичай зі стороною в кілька міліметрів). На цю ж підкладку наносяться два металеві електроди з корозійно-стійкого металу. Опір між цими двома електродами залежить від температури і вмісту води (відношення маси поглиненої води до сухої маси гігроскопічної речовини); як видно з рис. 2.5 (ізотерма сорбції), цей зміст залежить, в свою чергу, від відносної вологості і від температури навколишнього середовища.

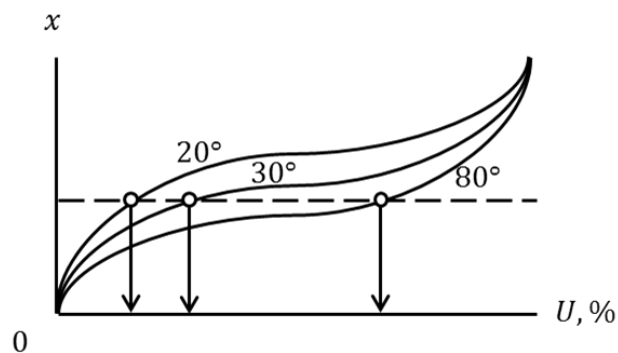


Рисунок 2.5 – Загальний вид залежності вмісту води від вологості при різних температурах

У деяких варіантах конструкції в якості гігроскопічної речовини використовується рідина. Електроліти проводять електричний струм, і їх опір залежить від обсягу, який пропорційний вмісту води в них. Також відомий спосіб перетворення відносної вологості в електричний сигнал.

Залежність між відносною вологістю і опором можна зобразити у вигляді ізотерми сорбції. На рис. 2.6 представлена типова крива залежності опору від відносної вологості чутливого елемента резистивного гігрометра. Відзначимо, що інтервал зміни опору може охоплювати від менш 1 до 80 МОм.

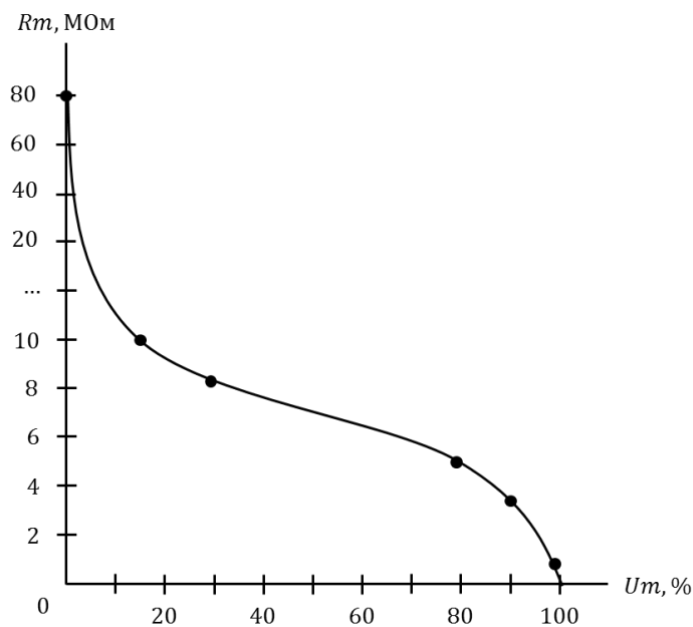


Рисунок 2.6 – Залежність опору від відносної вологості

Насправді опір R_m гігрометра залежить одночасно від вологості і від температури: вплив останньої можна компенсувати за допомогою потенціометричної схеми (рис.2.7), де опір R_a включається послідовно з R_m і його залежність від температури така ж, як у R_m .

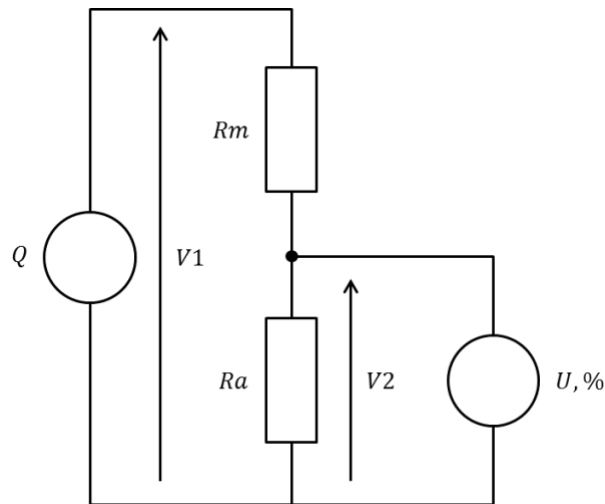


Рисунок 2.7 – Потенціометрична вимірювальна схема

Датчики цього типу дозволяють вимірювати відносну вологість в діапазоні від 5-10% до 95% при температурах від -10°C до $50-60^{\circ}\text{C}$ для найбільш поширених побутових гігрометрів. Для промислових моделей гранична робоча температура може досягати 80°C .

Постійна часу датчика становить близько 14 секунд. Вказується паспортна точність від ± 2 до $\pm 5\%$ для різних моделей датчиків. Велика частина цих датчиків може застосовуватися спільно з приладами, що використовують насичені розчини солей, які дозволяють виявити поступовий відхід від градууювальної кривої.

У конструкції сучасних резистивних датчиків використовується керамічне покриття для зниження злиття умов навколишнього середовища при виникненні конденсату. Датчики складаються з керамічної підложки з металевими електродами, нанесеними по фоторезистивній технології. Поверхня підложки покрита полімером, що проводить (або змішаним керамічним складом), а сам датчик поміщається в захисний пластиковий корпус з пиловим фільтром.

Необхідно уникати прямого контакту рідини з чутливим елементом, що відразу ж приведе до його псування. Також необхідно уникати контакту з горючими газами, що містять розчинні у воді хімічні сполуки, які також можуть пошкодити гігроскопічну речовину чутливого елемента.

Для розробки приладу вимірювання рівня вологості у ґрунті було обрано гігрометр резистивного типу, який має невеликий розмір, є дешевим та взаємозамінним, довгострокова стабільність дозволяє працювати такому датчику в оптимальних умовах експлуатації більше 5 років з точністю $\pm 2\%$.

2.4 Розробка структурної схеми приладу

Технічне завдання:

- час автономної роботи – 6 місяців (обсяг води в середній ванні);
- проміжок часу між поливами – від 3 до 5 днів (в залежності від стану ґрунту);
- кількість води, витрачений за один полив – від 0,5 до 2 літрів;
- полив у вечірні години;
- індивідуальна для кожного горщика кількість води.

Для автоматизації доставки води до рослин в промислових поливальних установках використовують або електромеханічні клапани, або насоси.

Недолік електромеханічного клапана в тому, що йому потрібний деякий натиск води, тобто, потрібно піднімати судини з водою вище рівня вазонів, це складно і небезпечно. Також, якщо клапан або водопідводячі трубки матимуть ушкодження, то весь запас води виявиться на підлозі.

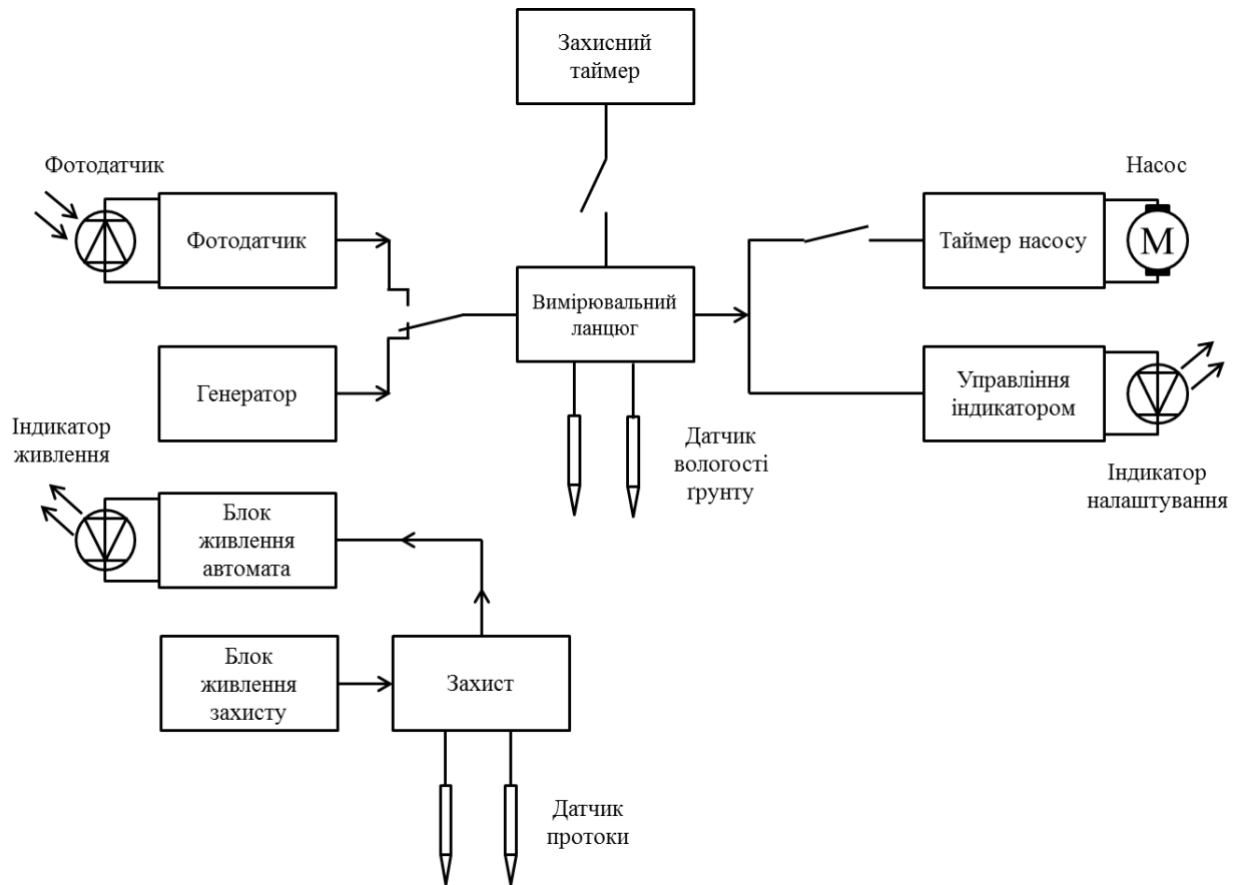


Рисунок 2.8 – Схема структурна приладу для вимірювання рівня вологості у ґрунті

Підключення зрошувальної системи до водопроводу також має недоліки: вода для поливу не повинна містити хлору, тобто повинна бути відстояною. При від'їзді на декілька днів, вхідні водопровідні вентиля слід перекривати, оскільки це єдиний спосіб запобігти надзвичайній ситуації – прориву труб.

Що ж стосується водяних насосів, то вони вмюють качати воду знизу догори. При цьому пошкодження зможуть проявити себе тільки в дуже короткі проміжки часу, поки відбувається полив.

За цей час (пару хвилин), невеликий витік води навряд чи може завдати великої шкоди. Якщо ж трапиться аварія і насос не вимкнеться, то набагато

простіше розірвати ланцюг живлення режиму роботи насосу, ніж перекрити воду перед електромеханічним клапаном, що заклинив.

Таким чином для автоматизації доставки води до рослин для приладу обрано водяний насос. Розроблена структурна схема представлена на рис. 2.8.

2.5 Розрахунок параметрів елементів схеми

Розрахунок параметрів елементів схеми виконано у програмному середовищі Mathcad.

1) Біполярний транзистор КТ3102

Вихідні дані:

Тип транзистора: КТ3102, низькочастотний, малопотужний;

Тип переходу: n-p-n;

Матеріал: кремній (Si);

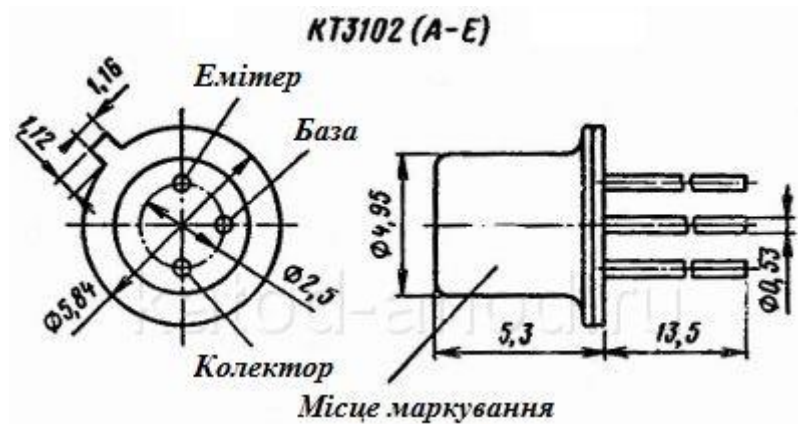


Рисунок 2.9 – Конструкція та розміри транзистора КТ3102

Заряд електрона: $q = 1.6 \cdot 10^{-19} \text{ К}$

Кімнатна температура: $T = 300 \text{ К}$

Постійна Больцмана: $k = 1.38 \cdot 10^{-23} \frac{\text{Дж}}{\text{К}}$

Власна концентрація: $n_i = 2,4 \cdot 10^{13} \text{ см}^{-3}$

Рухливість електронів: $\mu_n = 3900 \frac{\text{см}^2}{\text{В}\cdot\text{с}}$

Рухливість дірок: $\mu_p = 1900 \frac{\text{см}^2}{\text{В}\cdot\text{с}}$

Концентрація атомів області бази: $N_b = 6 \cdot 10^4 \text{ см}^{-3}$

Концентрація атомів області колектора: $N_k = 10^{16} \text{ см}^{-3}$

Концентрація атомів області емітера: $N_e = 7 \cdot 10^{17} \text{ см}^{-3}$

Електрична постійна: $\epsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12} \frac{\text{Ф}}{\text{м}}$

Відносна діелектрична проникність: $\epsilon = 12 \frac{\text{Ф}}{\text{м}}$

Площа колектора: $S_k = 0,03 \text{ см}^2$

Площа емітера: $S_e = 0,034 \text{ см}^2$

Параметри емітера: $h_e = 10^1$

Параметри колектора: $h_k = 10^2$

Ефективна маса провідності дірок: $m_p = 1900$

Ефективна маса провідності електронів: $m_n = 0.12$

Час життя дірок: $\tau_p = 1 \cdot 10^{-3} \text{ с}$

Час життя електронів: $\tau_n = 1 \cdot 10^{-3} \text{ с [16]}$

Розрахунок:

Електропровідність: $\sigma_i = q \cdot n_i \cdot (\mu_n + \mu_p) = 22,272 \cdot 10^{-3} \text{ См}$

Питомий опір: $\rho = \frac{1}{\sigma_i} = 44,903 \text{ Ом} \cdot \text{см}$

Коефіцієнт дифузії електронів: $D_n = \frac{\mu_n \cdot k \cdot T}{q} = 100,913 \frac{\text{см}^2}{\text{с}}$

Коефіцієнт дифузії дірок: $D_p = \frac{\mu_p \cdot k \cdot T}{q} = 49,163 \frac{\text{см}^2}{\text{с}}$

Дифузійна довжина для дірок: $L_p = \sqrt{D_p \cdot \tau_p} = 0,222 \text{ см}$

Дифузійна довжина для електронів: $L_n = \sqrt{D_n \cdot \tau_n} = 0,318 \text{ см}$

Висота потенційного бар'єру: $\varphi_T = \frac{k \cdot T}{q} = 0,026 \text{ В}$

Потенціал колектора-емітера: $\varphi_{ке} = \varphi_T \cdot \ln\left(\frac{N_B \cdot N_E}{n_i^2}\right) = 0,349 \text{ А}$

Потенціал колектора: $\varphi_K = \varphi_T \cdot \ln\left(\frac{N_B \cdot N_K}{n_i^2}\right) = 0,239 \text{ А}$

Коефіцієнт дифузії емітера: $D_e = \varphi_{ке} \cdot \mu_n = 1,362 \cdot 10^3 \frac{\text{см}^2}{\text{с}}$

Коефіцієнт дифузії колектора: $D_K = \varphi_K \cdot \mu_p = 454,81 \frac{\text{см}^2}{\text{с}}$

Генераційний струм переходу емітера: $I_{0e} = \frac{q \cdot n_i^2 \cdot S_e \cdot D_e}{h_e \cdot N_e} = 7,174 \cdot 10^{-10} \text{ А}$

Генераційний струм переходу колектора:

$$I_{0K} = \frac{q \cdot n_i^2 \cdot S_K \cdot D_K}{h_K \cdot N_K} = 7,174 \cdot 10^{-10} \text{ А}$$

Бар'єрна ємність переходу при нульовому зсуві для емітера:

$$C_{0be} = S_K \cdot \sqrt{\frac{q \cdot \varepsilon \cdot \varepsilon_0 \cdot N_e}{2 \cdot \varphi_{ке}}} = 1,2 \cdot 10^{-7} \text{ Ф}$$

Бар'єрна ємність переходу при нульовому зсуві для колектора:

$$C_{обк} = S_{к} \cdot \sqrt{\frac{q \cdot \varepsilon \cdot \varepsilon_0 \cdot N_{к}}{2 \cdot \varphi_{к}}} = 2 \cdot 10^{-8} \Phi [17]$$

2) Діод КД510А

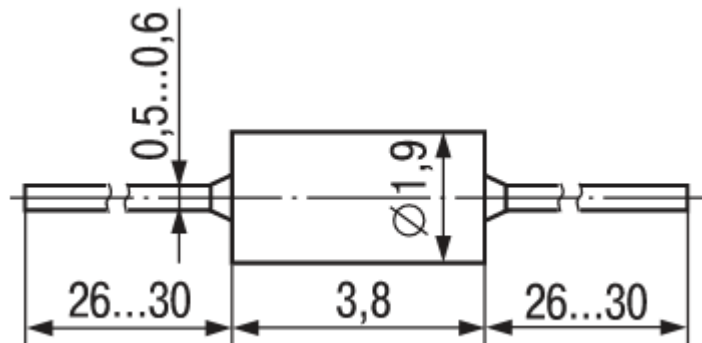


Рисунок 2.10 – Конструкція та розміри діода КД510А

Вихідні дані:

Геометрія кристалу – паралелепіпед з квадратною основою $A = 1$ см

Товщина пластини: $h = 300$ мкм

Товщина бази: $\omega_6 = 153$ мкм

Концентрація домішкових атомів у вихідному кристалі: $N_6 = 10^{13}$ см $^{-3}$

Концентрація домішкових атомів у емітерній області: $N_e = 10^{16}$ см $^{-3}$

Час життя нерівноважних носіїв: $\tau = 2,5$ нс

Рухливість дірок: $\mu_p = 471 \frac{\text{см}^2}{\text{В} \cdot \text{с}}$

Рухливість електронів: $\mu_n = 1417 \frac{\text{см}^2}{\text{В} \cdot \text{с}}$

Питомий опір бази діода: $\rho_6 = 5$ Ом \cdot см

Тепловий опір корпусу діода: $R_T = 2 \frac{\text{К}}{\text{Вт}}$

Площа перетину: $A = 0.165 \text{ мм}^2$

Концентрація власних носіїв у напівпровіднику: $n_i = 1,5 \cdot 10^{10} \text{ см}^{-3}$

Зворотня напруга: $U_{зв} = 400 \text{ В}$

Максимальна зворотна напруга: $U_{max\ зв} = 400 \text{ В}$

Зворотний струм діода: $I_{зв} = 3 \text{ мА}$

Гradient концентрації: $a = 3 \cdot 10^{18} \text{ см}^{-3} [16]$

Розрахунок:

Потенціал діода : $\varphi_T = \frac{k \cdot T}{q} = 0,026 \text{ В}$,

Коефіцієнт дифузії дірок у базі: $D_{p\delta} = \mu_p \cdot \varphi_T = 12,246 \frac{\text{см}^2}{\text{с}}$

Рухливість дірок: $\mu_p = 471 \frac{\text{см}^2}{\text{В} \cdot \text{с}}$

Тепловий струм діода: $I_{до} = \frac{q \cdot n_i^2 \cdot S_{p-n} \cdot D_{p\delta}}{\omega_\delta \cdot N_\delta} = \frac{q \cdot n_i^2 \cdot A^2 \cdot D_{p\delta}}{\omega_\delta \cdot N_\delta} = 7,85 \cdot 10^{-11} \text{ А}$

Контактна різниця потенціалів: $\varphi_k = \varphi_T \cdot \ln\left(\frac{N_\delta \cdot N_e}{n_i^2}\right) = 0,518 \text{ В}$

Бар'єрна ємність діода: $C_{\delta o} = S_{p-n} \cdot \sqrt{\frac{q \cdot \varepsilon \cdot \varepsilon_0 \cdot N_e}{2 \cdot \varphi_k}} = 3,81 \cdot 10^{-9} \text{ Ф}$

Опір бази діода: $R_\delta = \rho_\delta \cdot \frac{\omega_{\delta o}}{S_{p-n}} = \frac{1}{q \cdot \mu_n \cdot N_\delta} \cdot \frac{\omega_{\delta o}}{S_{p-n}} = 0,255 \text{ Ом}$

Напруга лавинного пробую: $U_L = 60 \cdot \rho_\delta^{0,64} = 168,1 \text{ В}$

Товщина збідненого шару: $l = \sqrt{\frac{2 \cdot \varepsilon \cdot \varepsilon_0 \cdot (\varphi_k + U_{зв}) \cdot (N_e + N_\delta)}{N_e \cdot N_\delta \cdot q}} = 0,565 \cdot 10^{-5} \text{ см}$

Генераційний струм переходу: $I_r = \frac{q \cdot l \cdot S_{p-n} \cdot n_i}{2 \cdot \tau_\delta} = 8,136 \cdot 10^{-13} \text{ А}$

Дифузійна довжина нерівноважних носіїв:

$$L_{\delta} = \sqrt{D_{p\delta} \cdot \tau} = 2,77 \cdot 10^{-2} \text{ см}$$

Ширина ОПЗ при U_{\max} і при нульовому U_0 : $\delta(U) = \sqrt[3]{\frac{12 \cdot \epsilon \epsilon_0 \cdot (\varphi_k - U)}{q \cdot a}}$

$$\delta(-U_{\max}) = 1,023 \cdot 10^{-2} \text{ м} \qquad \delta(0) = 1,16 \cdot 10^{-3} \text{ м}$$

Загальна щільність струму: $j = \frac{I}{A} = 60,61 \frac{\text{А}}{\text{мм}^2}$ [17]

Таким чином на біполярному транзисторі КТ3102 та діоді КД510А побудовано схему електричну принципову приладу.

2.6 Розробка схеми електричної принципової

Відповідно до структурної схеми розроблена схема електрична принципова (рис.2.11). Датчик вологості ґрунту являє собою граничний пристрій, що реагує на зміну опору змінним струмом (коротким послідовним імпульсом).

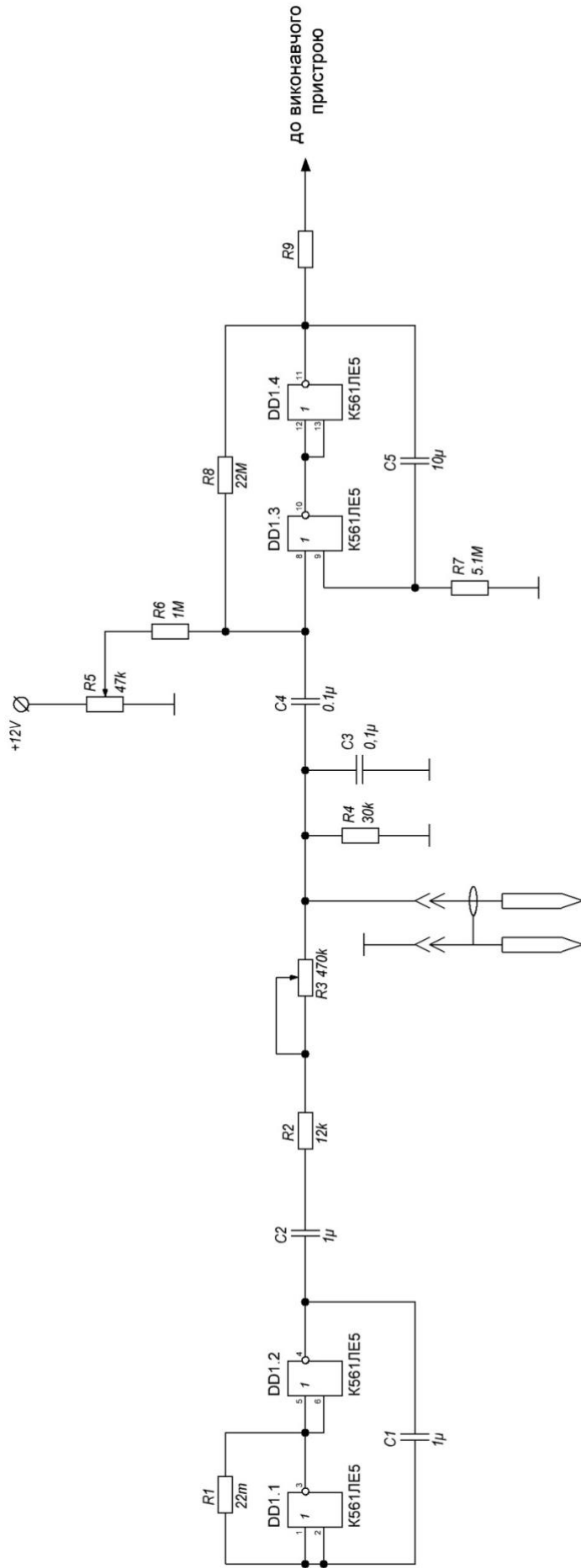


Рисунок 2.11 – Електрична схема порогового датчика вологості ґрунту

На елементах $DD_{1.1}$ і $DD_{1.2}$ зібраний задаючий генератор, що виробляє імпульси з інтервалом близько 10 секунд. Конденсатори C_2 і C_4 розділові. Вони не пропускають в вимірювальну ланцюг постійний струм, які генерує ґрунт. Резистором R_3 встановлюється поріг спрацьовування, а резистор R_8 забезпечує гістерезис підсилювача. Підстроювальним резистором R_5 встановлюється початковий зсув на вході $DD_{1.3}$.

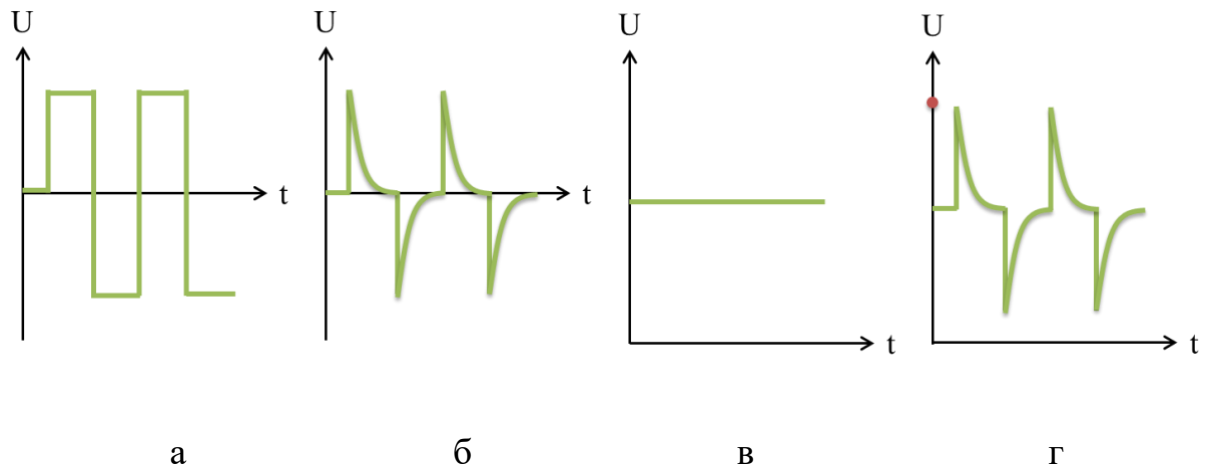
Конденсатор C_3 – фільтр від перешкод, а резистор R_4 визначає максимальне вхідний опір вимірювального ланцюга. Обидва ці елементи знижують чутливість датчика, але їх відсутність може привести до помилкових спрацьовувань. Напруга живлення мікросхеми повинна бути не нижче 12 В, так як більш низька напруга знижує реальну чутливість приладу через зменшення співвідношення сигнал/перешкода.

R_9 обрати з розрахунку 1кОм на кожен вольт напруги живлення.

Прямокутні імпульси великої тривалості (рис. 2.12 а), проходячи через дільник напруги, утвореного елементами C_2 , R_2 , R_3 , R_4 , C_3 , перетворюються в короткі імпульси (рис. 2.12 б). Ці імпульси через конденсатор C_4 надходять на вхід елемента $DD_{1.3}$. Туди ж, через резистор R_6 , надходить деякий рівень постійної напруги (рис. 2.12 в) з дільника напруги R_5 .

Коли загальний рівень напруги на вході $DD_{1.3}$ (рис. 2.12 г) досягає порогу спрацьовування компаратора (відзначено блакитною крапкою), запускається одновібратор на $DD_{1.3}$, $DD_{1.4}$. Тривалість імпульсу на виході $DD_{1.4}$ визначається постійної часу R_7 , C_5 .

Конструкція електродів забезпечує можливість вимірювання вологості ґрунту біля коренів рослини. Для зниження рівня зовнішніх електромагнітних перешкод, електроди необхідно з'єднати зі схемою датчика екранованим кабелем, обплетення якого під'єднати до корпусу.



а – Імпульси до проходження через ділянку напруги;

б – Імпульси після проходження через ділянку напруги;

в – Імпульс постійної напруги;

г – Імпульси після спрацювання компаратора та одновібратора.

Рисунок 2.12 – Графіки залежності між напруги від часу

Розроблена схема (рис. 2.11) може у разі тривалого впливу електричних імпульсів може здійснювати шкідливий вплив на рослини. Пропонується модернізувати схему, таким чином, щоб генерувати один короткий вимірювальний імпульс на добу, приурочений до часу поливу рослин (рис 2.13).

При перемиканні перемикача в положення «Tuning», блокується фотодатчик та схема запуску насоса, а також включається додатковий генератор імпульсів.

Імпульси вимірювального генератора направляються через діод VD_4 в той же саму вимірювальну ланцюг, яка управляє автоматом в робочому режимі. Налаштування проводиться по світлодіодному індикатору HL_1 .

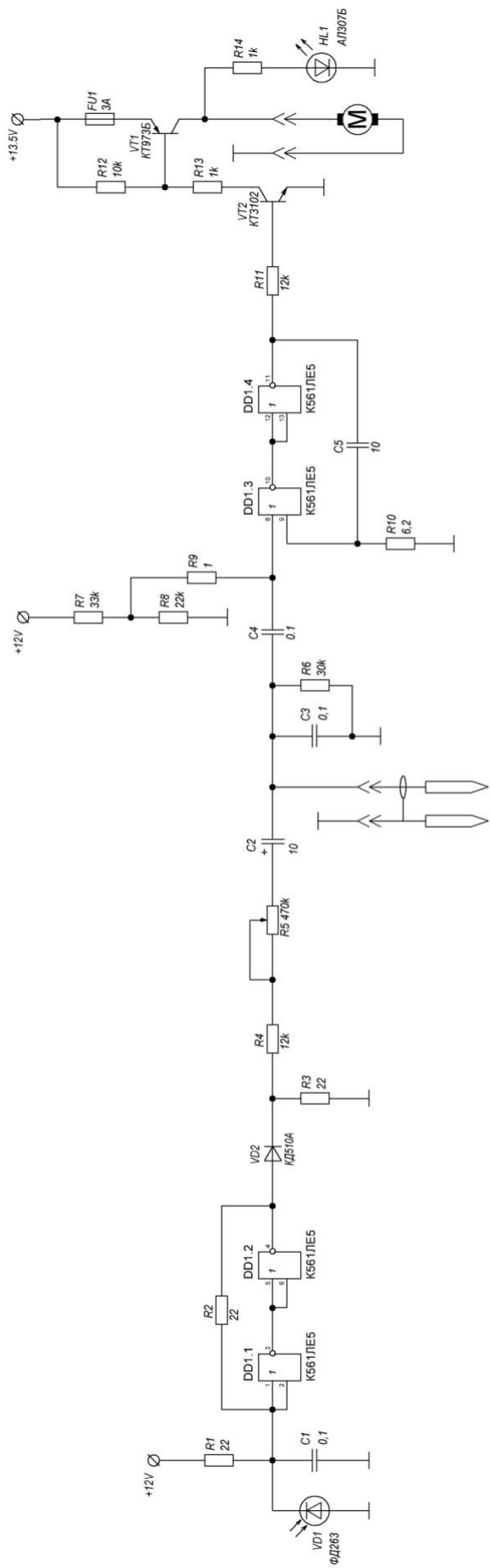


Рисунок 2.13 – Електрична принципова схема автомату для поливу рослин

Для спрощення переходу в режим настройки, була змінена і схема «захисного» таймера за рахунок додавання елемента $DD_{1.3}$ і часозадаючого ланцюга R_5, C_3 .

Логічний блок побудований на одній мікросхемі К561ЛЕ5 (аналоги К176ЛЕ5, CD4001А). Максимальний вихідний струм мікросхем серії К561 бажано обмежити 1-им міліампером.

Коли освітленість зменшується, опір фотодіода збільшується і на виході $DD_{1.2}$ з'являється високий рівень. Резистор R_2 створює необхідний гістерезис підсилювача для забезпечення надійного перемикавання.

В кінці світлового дня на виході $DD_{1.2}$ з'явиться позитивний фронт імпульсу. Імпульс пройде по ланцюгу: вихід $DD_{1.2}$, VD_2 , R_4 , R_5 , C_2 , C_4 , вхід $DD_{1.3}$. Якщо вологість ґрунту знизилася до заздалегідь встановленої межі, то амплітуди вищезгаданого імпульсу вистачить для запуску одновібратора, який в свою чергу запустить насос.

Для того щоб знову запустити насос, необхідно, щоб були виконані дві умови. Перше – фотодатчик повинен переключити вихід $DD_{1.2}$ з низького рівня на високий. Друге – опір ґрунту має бути досить високо, щоб забезпечити необхідну амплітуду імпульсу на вході $DD_{1.3}$. Амплітуда цього імпульсу також залежить від позитивної складової напруги на вході $DD_{1.3}$, яка визначається дільником напруги на резисторах R_7, R_8 .

Таймер насоса зібраний на елементах $DD_{1.3}$ і $DD_{1.4}$. Час роботи насоса визначається постійною часу R_{10} і C_5 . Транзистори VT_1 і VT_2 – силовий ключ управління насосом.

C_2, C_4 – розв'язують ланцюг електродів датчика по постійному струму.

Конденсатор C_2 і резистор R_3 виконують функцію «захисного» таймера. Цей таймер протягом декількох хвилин запобігає помилковому перезапуску

насоса, якщо в нічний час фотодатчик буде чимось освітлений, а вода на той час ще не встигне вратися в ґрунт.

На елементах мікросхеми $DD_{1.1}$ і $DD_{1.2}$ побудований підсилювач сигналу фотодатчика.

Фотодіод VD_1 і резистор R_1 є дільником напруги.

C_3 – завадозахисний.

R_3 – розрядний для конденсатора C_2 .

R_4, R_{11} – обмежують вихідний струм мікросхеми.

R_5 – дозволяє відрегулювати амплітуду вимірювального імпульсу.

R_{12} – замикає транзистор VT_2 .

Схема не потребує резервного джерела живлення, оскільки в ній не використовується добовий таймер. У разі якщо напруга мережі зникла, а вологість ґрунту нижче норми, то автомат відновить свою роботу після появи напруги мережі перед заходом сонця.

2.7 Модернізація схеми поливу рослин

Дана схема (рис. 2.13) може бути складна в налаштуванні, тому що таймер насоса і «захисний» таймер не дозволяють оперативно відслідковувати величину вологості ґрунту. Щоб налаштувати схему потрібно зменшувати резистори R_3 і R_{10} , а потім прикривати око фотодатчика, щоб викликати вимірювальний імпульс. При цьому ще потрібно відключити насос, щоб не витрачати даремно воду. Для того, щоб забезпечити більш зручне і менш складне налаштування пропонується удосконалити схему.

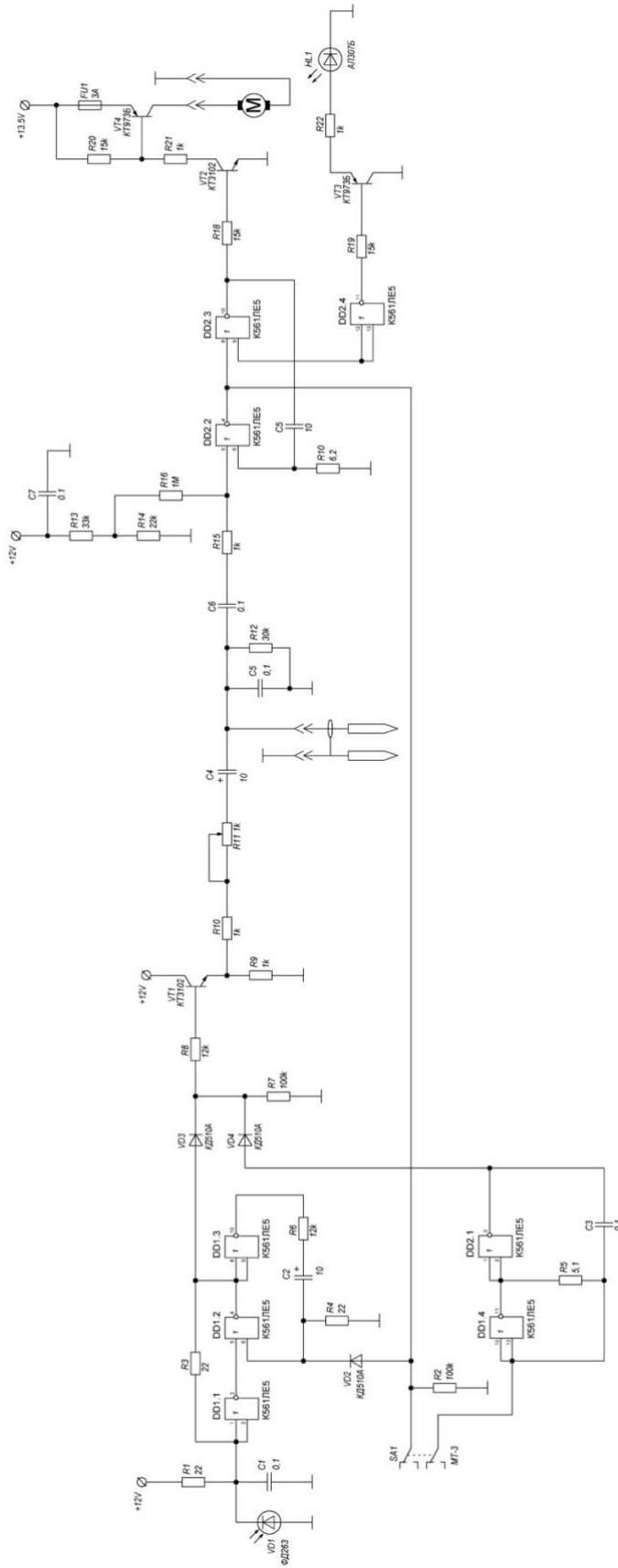


Рисунок 2.14 – Схема електрична принципова удосконаленого приладу для поливу рослин

Використовуючи схему з рис. 2.14 для ефективного налаштування роботи пристрою досить вставити електроди датчика вологості ґрунту в горщик, ґрунт якого вже вимагає поливу, і встановити резистор R_{11} в такий стан, при якому тільки-тільки почне блимати світлодіод VD_5 . На цьому настройка електронної частини автомата може бути закінчена.

Перелік елементів до електричної принципової схеми удосконаленого приладу наведено у додатку А.

Схема електрична принципова імпульсного джерела живлення представлена на рис.2.15

Трансформатор TV2 намотаний на кільцевому феритовому сердечнику марки 2000НМ, типорозміру К28х16х9.

Обмотка I містить 2 шари дроти $\varnothing 0,35\text{мм}$, намотаних виток до витка.

Обмотка II містить 17 витків дроту $\varnothing 1,0\text{мм}$.

Обмотка III містить 23 витка проводу $\varnothing 0,23\text{мм}$.

Фільтр (рис 2.15) можна спростити, залишивши тільки конденсатори C_1 і C_2 , але вони повинні бути по 5 кВ кожен. Ці конденсатори через електромережу заземляють корпус і схему приладу по високій частоті, що забезпечує роботу датчика вологості в умовах перешкод, створюваних імпульсним джерелом живлення.

Приблизний розрахунок часу спрацьовування таймера, зібраного на КМОН мікросхемі:

$$t = 0.7 \cdot R \cdot C \quad (2.1)$$

де t – час в секундах, C – ємність в мікрофарадах, R – опір в мегом.

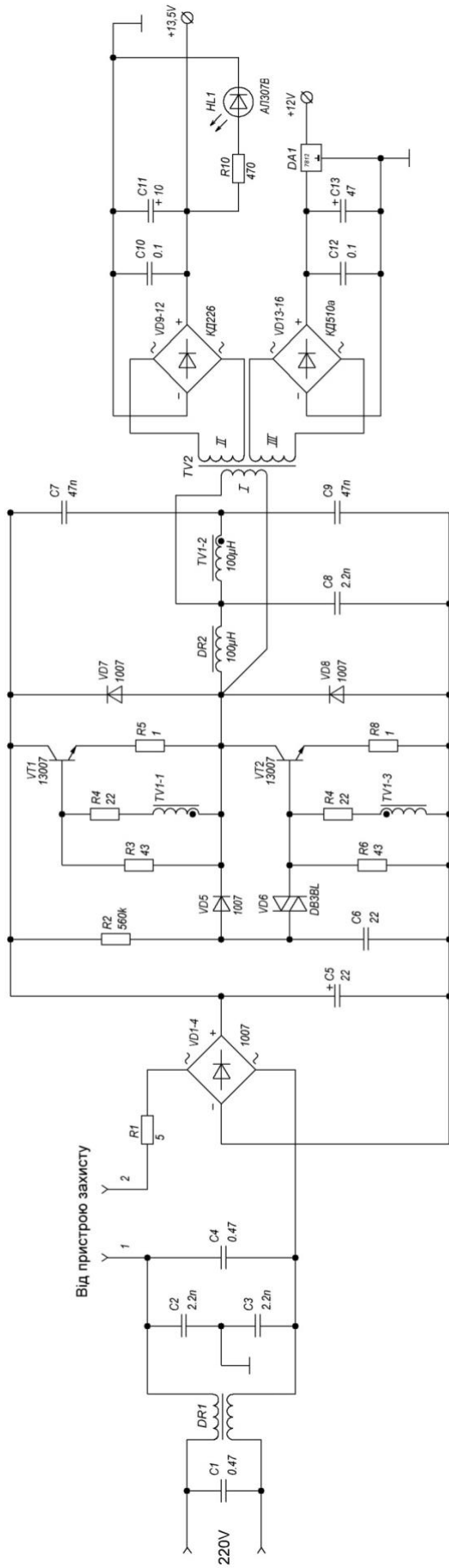


Рисунок 2.15 – Схема електрична принципова імпульсного джерела живлення

Час також залежить від величини витoku конденсатора. Якщо потрібно використовувати конденсатори великої ємності, то краще вибрати танталові, а не електролітичні конденсатори. Якщо використовується друкована плата з склотекстоліту, то можна використовувати резистори до 100 МОм. Однак опір витoku деяких танталових конденсаторів може бути порівняним з цією величиною.

Мінімальний опір резистора потрібно вибрати з розрахунку максимально-допустимого вихідного струму мікросхеми – 1 кОм на 1 В живлення.

У даній конструкції, для настройки автомата, можна використати потенціометр R_{11} з логарифмічною характеристикою (Б) або потенціометр зі зворотною логарифмічною характеристикою (В), той, що використовують для регуляторів гучності, але тоді шкалу доведеться зробити зворотною. Тобто, чутливість датчика вологості зростатиме при повороті ручки проти годинникової стрілки.

Кількість води, яку перекачано тією чи іншою крапельницею залежить від кількості повітряних пробок, що залишилися від останнього циклу і може відрізнятись на 20-30%. Крім цього, кількість води, що перекачується залежить від пропускної здатності рідинного фільтра і може варіюватись навіть у крапельниць одного і того ж виробника.

Таким чином точність вимірювання датчиком вологості ґрунту складе $\pm 2\%$, термін служби схеми складе більше 5 років в умовах побутової та комерційної експлуатації.

2.8 Розробка топології друкованої плати

Топологія друкованої плати була розроблена у програмі Sprint Layout (рис. 2.16). Пристрій має незначні габаритні розміри 98,0 мм × 107 мм.

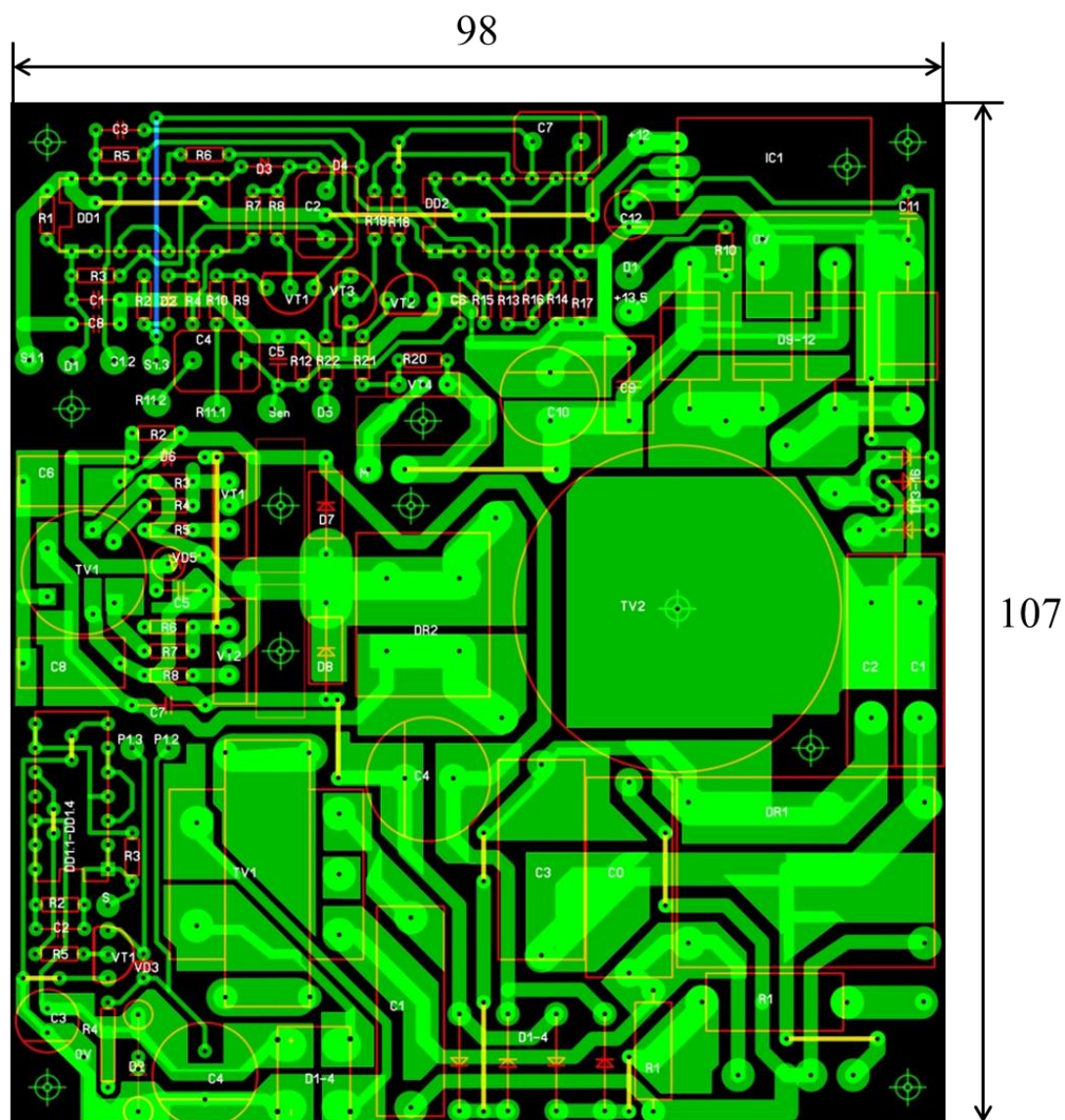


Рисунок 2.16- Топологія друкованої плати

Таким чином, розроблено структурну та електричну принципову схеми приладу, які дозволяють працювати резистивному датчику в оптимальних умовах експлуатації більше 5 років з точністю $\pm 2\%$. Виконано топологію, яка показала, що друкована плата має незначні габаритні розміри 98,0 мм × 107 мм.

3 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ТЕХНОГЕННА БЕЗПЕКА

3.1 Аварійна система захисту

Для забезпечення пожежної безпеки, вся електрична частина автомата укладена в сталевий безщельовий корпус, який стоїть на карболітових приладових ніжках. Охолодження відбувається через метал корпусу. Живлення подається через плавку вставку.

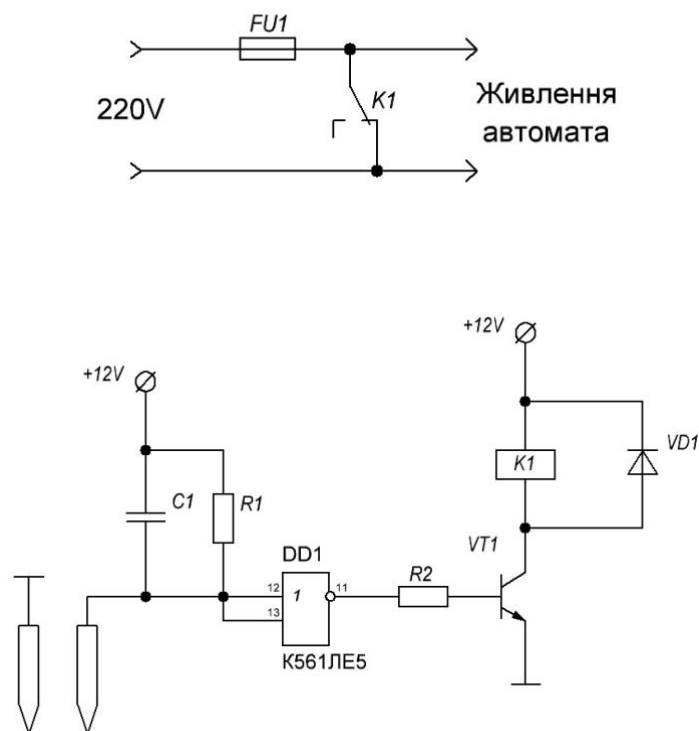


Рисунок 3.1 – Схема аварійної системи захисту

У разі аварійного протоки води поливальна машина забезпечена незалежною схемою захисту, яка відключає основну частину електричної схеми від мережі, розриваючи таким чином і ланцюг живлення насоса.

Виконавчим елементом первісної схеми (рис 3.1) захисту було звичайне електромагнітне реле, яке в разі аварії (протоки води) випалювало запобіжник усього поливального приладу. Зміна схеми і заміна звичайного реле на поляризоване дозволило повертати поливальну машину в початковий стан простим вимиканням і вмиканням живлення.

Схема захисту живиться від окремого джерела живлення, що значно збільшує її надійність (рис.3.2).

При потраплянні води на датчик протоки, схема комутує конденсатор C_4 з однією з обмоток реле K_1 , яке і розриває ланцюг імпульсного джерела живлення. Якщо тепер відключити установку тумблером «Power», то енергія, запасена в конденсаторі C_4 , буде направлена в іншу обмотку реле K_1 , що поверне установку до початкового стану.

Датчик протоки води являє собою півтораметрову смужку тканини. Захист спрацьовує при потраплянні декількох крапель води на будь-яку ділянку цієї стрічки.

3.2 Характеристика потенційних небезпечних та шкідливих виробничих факторів

Сучасна технологія виготовлення друкованих плат складається з великої кількості різних механічних, фотохімічних і хімічних операцій. Одним з найбільш поширених методів створення електричних ланцюгів в

радіоелектронній, електронно-обчислювальній і електротехнічній апаратурі є застосування друкованого монтажу.

При виконанні технологічних процесів виготовлення друкованих плат (ДП) можуть виникнути наступні небезпеки і шкідливості:

- ураження електричним струмом;
- вибухо- і пожежонебезпека;
- термічний опік;
- хімічний опік;
- небезпека травмування механічними пристроями;
- ураження шкірних покривів;
- отруєння;
- шум;
- вібрація;
- світловий вплив газорозрядних ламп.

Більшість матеріалів і речовин, що застосовуються при виготовленні друкованих плат, є небезпечними для здоров'я і життя людини. Шкідливі речовини та їх пари можуть проникати в організм людини через органи дихання, шкіру і травний тракт.

Нагрівання розчинів веде до інтенсивного паротворення і збільшення забруднення повітря. Крім того, при різних операціях утворюються проміжні речовини, які відносяться до речовин 1-го класу небезпеки. Застосування ручних робіт при присутності в технологічних процесах розчинів 1 і 2 класів небезпеки не допускається без засобів індивідуального та колективного захисту.

У табл. 3.1 наведено перелік матеріалів і забруднюючих речовин, що використовуються при виготовленні ДП. [17]

Таблиця 3.1 – Матеріали і виділення забруднюючих речовин, що використовуються при виготовленні друкованих плат

Технологічний процес (операція)	Матеріал	Забруднюючі речовини, що виділяються
Механічна обробка, свердління і фрезерування ДП	Стеклотекстоліт фольгований	Пил скловолокна і полімерного сполучного, пил мідна
Виготовлення захисної маски	Фоторезисти	Фоторезисти, озон, ацетон, спирт етиловий, бутанол, метіллозолевацетат, етілцеллозолевацетат, хлористий метилен, трихлоретилен, метилетилкетон, метилхлороформ, метилен хлористий
Хімічні і гальванічні процеси виробництва ДП:		
підготовка поверхні, прояв малюнка ДП;	Кислота сірчана, тринатрійфосфат, сода кальцинована, мідь двухлориста, амоній хлористий, кислота соляна	Кислота сірчана, луг, водень хлористий
травлення міді з заготовок, видалення олова;	Мідь двухлориста, амоній хлористий, аміак водний, залізо хлорне, кислота оцтова, кислота соляна, кислота щавлева, спирт етиловий	Водень хлористий, аміак

Продовження таблиці 3.1

видалення захисного шару фарби і фоторезистів.	Натрій їдкий, кислота соляна, кислота щавлева, натрій хлористий	Луг, водень хлористий
металізація отворів і доріжок;	Кислота сірчана, натрій хлористий, кислота соляна, водний аміак, гідроксид натрію, формалін, хлористий нікель, сірчаноокисла мідь, вуглекислий натрій, мідь борфториста, кислота борна, кислота борфтористоводорідна	Сірчана кислота, фтористий водень, водень хлористий, формальдегід
нанесення металлорезиста;	Олово борфтористе, свинець борфтористоводородний, кислота борфтористоводородна, кислота борна, пептони, гідрохінон	Фтористий водень
отримання покриттів кінцевих друкованих контактів	Діціаноаурат калію, калій лимоннокислий трьохзаміщений, лимонна кислота, кобальт сірчаноокислий	Ціаністий водень

3.3 Заходи з поліпшення умов праці та виробнича санітарія

Однією з умов забезпечення безпеки праці є потоковість виробництва у відповідності з технологічною послідовністю окремих операцій, передбачаючи автоматизацію і механізацію процесів, а також централізація приготування електроліту. Пульти оператора автоматичних ліній з програмним керуванням повинні бути віддалені від ванн на певну відстань, що виключає вплив на працюючих небезпечних і шкідливих виробничих факторів.

При неможливості автоматизації процесів повинна бути забезпечена комплексна механізація окремих операцій – підготовчих, транспортних, фінішних, зокрема, завантаження плат у ванни та їх вивантаження.

Застосування ручних робіт допустимо при відсутності в технологічному процесі речовин 1 і 2 класів небезпеки і з використанням засобів колективного та індивідуального захисту працюючих.

Особлива увага повинна бути приділена заміні токсичних речовин менш токсичними або нетоксичними, заміні шкідливих операцій менш шкідливими. Так, використання присадок й інгібіторів дозволяє знизити витрати на вентиляцію, а також значно зменшити виділення парів кислоти з поверхні гальванічних і травильних ванн (дзеркало ванни покривається шаром піни).

Всі робочі місця повинні бути обладнані витяжною вентиляцією, а працюючі застосовувати засоби індивідуального захисту органів дихання, очей і шкірних покривів. [18, 19]

3.4 Техногенна безпека

Визначимо технічні й організаційні заходи на ділянці по травленню друкованих плат. Зокрема, необхідно дотримати наступного:

- територію цеху необхідно постійно містити в чистоті, горюче сміття повинен систематично віддалятися на спеціально відведені ділянки й у міру нагромадження вивозитися;

- усі струмоведучі частини, розподільні обладнання, рубильники й інші пускові апарати монтуються на негорючих підставах (мармур, текстоліт, гетинакс, азбест, і т.п.);

- вимір опору ізоляції електромережі проводиться не рідше двох раз у рік. Несправні ділянки знеструмлюються й замінюються новими;

- уся електрична апаратура, установлена в цеху, виконується вибухозахищеною;

- для усунення можливості проникнення пар і газів із цеху в сусідні приміщення виводи проводів крізь стіни робляться із застосуванням порцелянових трубок, отвору яких закриваються кислотноупорною замазкою;

- опалення акумуляторного приміщення робиться централізованим (водяним або паровим) у вигляді цілих зварених труб без фланців і вентилів;

- на випадок виникнення пожежі необхідно передбачити можливість евакуації людей. Евакуаційні шляхи повинні забезпечувати евакуацію всіх людей, що перебувають у приміщенні цеху протягом необхідного часу. Число евакуаційних шляхів не менш двох;

- двері на шляхах евакуації навішуються так, щоб відкривалися по напрямкові виходу з будинку;

- схема евакуації людей ретельно розробляється й вивішується на видних місцях;

- увесь трудовий колектив проходить навчання заходам протипожежної безпеки. [18, 20]

ВИСНОВКИ ТА РЕКОМЕНДАЦІЇ

1. Аналіз методів та датчиків для вимірювання вологості ґрунту показав, що непрямий механічний гігрометричний метод придатний навіть у разі малих значень вологовмісту ґрунту, тому для побудови схеми було обрано гігрометр резистивного типу, який має невеликий розмір, є дешевим та взаємозамінним.

2. Розроблено структурну та електричну принципову схеми приладу, які дозволяють працювати датчику в оптимальних умовах експлуатації більше 5 років з точністю $\pm 2\%$. Виконано топологію друкованої плати. Габаритні розміри пристрою 98,0 мм \times 107 мм.

3. В розділі охорони праці та навколишнього середовища запропоновано схему аварійної системи захисту.

Розроблений пристрій рекомендується застосовувати в сільськогосподарських установах та на власних присадибних ділянках.

Результати роботи обговорювалися на Міжнародній науково-практичній конференції «Сучасні виклики та напрями вдосконалення в економічній та технічній наукових сферах» (5-6 грудня 2023 р., м. Запоріжжя)

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Ґрунтознавство з основами географії ґрунтів: навч. посіб. Луцьк : ПП Іванюк В. П., 2022. 110 с.
2. Веремеєнко С. І., Шевчук М. Й. Ґрунтознавство: навч. посіб. Рівне : НУВГП, 2015. 300 с.
3. Метрологія. Терміни та визначення : ДСТУ 2681-94. – [Чинний від 1995-01-01]. – К.: Держстандарт України, 2001. – Група 01.040.17; 17.020 (Т 80).
4. Наконечний Ю. І. Практикум з ґрунтознавства і географії ґрунтів : навч. посіб. Львів : Вид-во Львів. ун-ту ім. І. Франка, 2013. 373 с.
5. Датчики. Corelamps. URL: <https://corelamps.com/elektromontazhne-obladnannia/datchyky/> (дата звернення: жовтень 2023).
6. Датчики вологості та температури. ЕКІС. URL: http://www.ekis.kiev.ua/UserFiles/Image/pdfArticles/2023/2_2023/V.Makarenko_TE_Connectivity_sensors_for_measuring_humidity_and_temperature_EKiS_2_2023.pdf (дата звернення: жовтень 2023).
7. Повний посібник щодо різних типів датчиків вологості. Polaridad.es URL: <https://is.gd/mgXHpu> (дата звернення: листопад 2023).
8. Лапшуда, В. А. Гнучкі сенсори вологості на основі наоцелюлози для носимої електроніки. *Bull. Kyiv Polytech. Inst. Ser. Instrum. Mak.* 2022, № 64(2). С. 42–50.
9. Як працюють датчики вологості. Hengko. URL: <https://is.gd/7FHbOu> (дата звернення: грудень 2023).
10. Бакало О.О. Дослідження автоматизованого контролю вологості ґрунту при вирощуванні сільськогосподарських культур в теплиці. *Технології та дизайн.* 2018, № 3. С. 1-9.
11. Прилади для вимірювання рівня вологості. НЕВА.UA. URL: <https://neva.kiev.ua/uk/articles/pribori-dlya-izmereniya-urovnya-vlazhnosti.html> (дата звернення: січень 2024).

12. Ґрунтова волога, її види. Geograf. URL: <https://is.gd/MlcfY5> (дата звернення: лютий 2024).
13. Вологість ґрунту: вимірювання та моніторинг. Eos Data Analytics URL: <https://is.gd/zWJj7A> (дата звернення: березень 2024).
14. Городжа А. Д. Загальна електротехніка та основи електроніки. Київ: КНУБА, 2000. 150 с.
15. Дмитрів В. Т. Електроніка і мікросхемотехніка : навч. посіб. Львів : Афіша, 2016. 175 с.
16. Стахів П. Г., Коруд В. І., Гамола О. Є. С Основи електроніки: функціональні елементи та їх застосування. Львів: : «Новий Світ—2000»; «Магнолія плюс». 2003. 208 с.
17. ДСН 3.3.6.042-99. Санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень. Чинний від 1999-12-01. Вид. офіц. Київ: Державні санітарні норми, 2011. 105 с.
18. ДСТУ 7238:2011 Система стандартів безпеки праці. Засоби колективного захисту працюючих. Чинний від 14.03.2011. Вид. офіц. Київ: УкрНДНЦ, 2011. 78 с.
19. ДСТУ 12.1.018-93 Система стандартів безпеки праці. Пожежовибухобезпека статичної електрики. Загальні вимоги. Чинний від 01.01.1998. Вид. офіц. Київ: УкрНДНЦ, 2001. 97 с.
20. ДСТУ 7237:2011 Система стандартів безпеки праці. Електробезпека. Загальні вимоги та номенклатура видів захисту. Чинний від 01.08.2011. Вид. офіц. Київ: УкрНДНЦ, 2011. 201 с.

Додаток А

Перелік елементів принципової схеми удосконаленого приладу

Поз. познач.	Найменування	Кіл.	Примітка
	Конденсатори		
C1	K10-73-16В-220мФ	1	
C2, C4, C8	K10-73-16В-10,0Ф	3	
C3, C5, C6	K10-73-16В-100мФ	3	
C7	K10-73-16В-100мФ	1	
DD1, DD2	Мікросхема К561ЛЕ5	2	
FU1	Запобіжник 3А	1	
HL1	Індикатор світлодіодний АЛ307Б	1	
M1	Насос 12В 3А	1	
	Резистори		
R1, R3, R4	C2-33-0.125-22Ом±20%	3	
R2, R7	C2-33-0.125-100кОм±20%	2	
R5	C2-33-0.125-5,1Ом±5%	1	
R6, R8	C2-33-0.125-12кОм±10%	2	
R9, R10	C2-33-0.125-1Ом±20%	2	
R11	C2-33-0.125-470кОм±10%	1	
R12	C2-33-0.125-30кОм±5%	1	
R13	C2-33-0.125-47кОм±10%	1	
R14	C2-33-0.125-24кОм±5%	1	
R15, R21	C2-33-0.125-1Ом±20%	2	
R16	C2-33-0.125-1МОм±20%	1	
R17	C2-33-0.125-6,2МОм±10%	1	
R18-20	C2-33-0.125-15кОм±20%	3	
R22	C2-33-0.125-1Ом±20%	1	

Міністерство освіти і науки України
Запорізький національний університет
Інженерний навчально-науковий інститут ім. Ю.М. Потєбні ЗНУ

Матеріали Міжнародної науково-практичної конференції «Сучасні виклики та напрями вдосконалення в економічній та технічній наукових сферах» (5-6 грудня 2023 р., м. Запоріжжя) / за ред. Макаренка А. П., Меліхової Т. О. Запорізький національний університет. Запоріжжя: ЗНУ, 2023. 392 с.

МАТЕРІАЛИ

Міжнародної науково-практичної конференції
Інженерного навчально-наукового інституту ім. Ю.М. Потєбні
Запорізького національного університету

«Сучасні виклики та напрями вдосконалення в економічній та технічній наукових сферах»

5 – 6 грудня 2023 р.

В ході проведення конференції відбулось дискусійне обговорення результатів підготовки здобувачів вищої освіти для покращення змісту навчальних курсів освітніх програм, орієнтованих на думку стейхолдерів (працівників НДКЦ, науковців та студентів ЗНУ та інших закладів вищої освіти).

Під час проведення конференції розглянуто наступні питання: сучасний розвиток економіки, організації та управління підприємствами; практичні засади розвитку менеджменту; теоретичні та практичні засади розвитку бухгалтерського обліку, аналізу та аудиту; математичні методи, моделі та інформаційні технології в сучасній економіці; сучасні напрями розвитку інженерії, науки та техніки; сучасні напрями розвитку банківської справи; гроші, фінанси і кредит; напрями оптимізації податкової системи; бюджетна система, правознавство; сучасна експертиза: економічна, юридична, будівельна, технічна.

УДК 621.315

Ніконова З. А., к.т.н., професор кафедри електроніки, інформаційних систем та програмного забезпечення Інженерного навчально-наукового інституту

Ім. Ю. М. Потєбні ЗНУ, м. Запоріжжя

Новіков Д. О., здобувач 4 курсу спеціальності 153 (176) «Мікро- та наносистемна техніка», Інженерного навчально-наукового інституту

Ім. Ю. М. Потєбні ЗНУ, м. Запоріжжя

РОЗРОБКА ПРИЛАДУ ДЛЯ ВИЗНАЧЕННЯ ВОЛОГОСТІ ҐРУНТУ НА ОСНОВІ ПІГРОМЕТРА

Зростання населення нашої планети та війна в Україні ставлять продовольчу проблему на одне із головних місць. Вологість і температура ґрунту – важливі фізичні властивості, що визначають їх родючість. Актуальним постає питання розробки приладів для визначення вологості ґрунту, які б мали невеликий розмір, були дешевими та взаємозамінними, а довгострокова стабільність дозволяла б їм працювати в оптимальних умовах експлуатації з високою точністю.

Авторами проведено аналіз існуючих методів вимірювання вологості ґрунту і для подальшої розробки обрано непрямої механічний пігрометричний метод, який придатний навіть у разі малих значень вологовмісту ґрунту.

В основну методу покладено зв'язок між відносною вологістю повітря в паровому просторі і вологовмістом ґрунту. Вологість визначається за температурою точки роси в паровому просторі ґрунту як різниця температур сухого і змоченого термометрів, а саме, деформації 20 водологінануючих матеріалів, вміщених у ґрунт, які набухають від її вологості.

Відомо, що волога в ґрунті є провідником електричних імпульсів, тому найпростішим методом визначення вологості ґрунту є заміри за допомогою відповідних датчиків. Опір багатьох неметалічних провідників залежить від вмісту в них води. На цьому принципі реалізуються резистивні датчики вологості або пігрометри.

Для розробки приладу вимірювання рівня вологості у ґрунті було обрано пігрометр резистивного типу, який має невеликий розмір, є дешевим та взаємозамінним, довгострокова стабільність дозволяє працювати такому датчику в оптимальних умовах експлуатації більше 5 років з точністю $\pm 2\%$. Для автоматизації доставки води до рослин для приладу обрано водяний насос.

Створено функціональну схему приладу, який використовується для виміру опору між двома металевими електродами. Інтервал зміни опору може охоплювати від менш 1 до 80 МОм. За підсумковим аналоговим сигналом датчика можна судити про ступінь вологості ґрунту. Час автономної роботи приладу

279

складає 6 місяців, проміжок часу між поливами – від 3 до 5 днів (в залежності від стану ґрунту); кількість води, витраченої за один полив – від 0,5 до 2 літрів для однієї ємності; полив здійснюється у вечірні години; для кожної ємності кількість води індивідуальна.

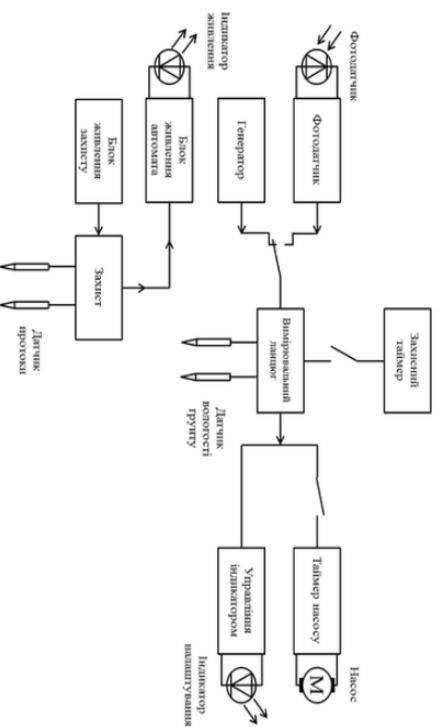


Рисунок – Схема структурна приладу для вимірювання рівня вологості у ґрунті

Авторами розроблено схему розміщення елементів та топологію друкованої плати, за допомогою якої підтверджено, що прилад має незначні габаритні розміри 98 мм × 107 мм.

Запропонована розробка може бути впроваджена в сільськогосподарських підприємствах, побуті або для комерційної діяльності.

Література

1. Волога ґрунту. Як виміряти та зберігти. Grow how.in.ua URL: <https://www.growhow.in.ua/voloha-tpitv-iaк-чupitatu-та-zberetnu/> (дата звернення 27.11.2023).
2. Вологість ґрунту і її значення для розвитку культур. Eos data analytics URL: <https://eos.com/uk/blog/volohist-ґруntu/> (дата звернення 27.11.2023).