

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЛЬВІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ
ФАКУЛЬТЕТ МЕХАНІКИ, ЕНЕРГЕТИКИ ТА ІНФОРМАЦІЙНИХ
ТЕХНОЛОГІЙ
КАФЕДРА ЕНЕРГЕТИКИ

К В А Л І Ф І К А Ц І Й Н А Р О Б О Т А

Рівень вищої освіти – перший "бакалаврський" рівень

на тему: **„ РОЗРОБКА ПРИСТРОЮ ВИМІРЮВАННЯ ВОЛОГОСТІ
ПРИ ПІДВИЩЕНИХ ТЕМПЕРАТУРАХ В ГЕЛІОТЕРМІЧНІЙ
УСТАНОВЦІ НА БАЗІ АПАРАТНО-ПРОГРАМНИХ ЗАСОБІВ
LABVIEW ТА ARDUINO ”**

Виконав: студент 2 курсу групи Акт-22 сп
Спеціальності 151 „Автоматизація та
комп'ютерно-інтегровані технології ”
(шифр і назва)

Невендлевський Андрій Ігорович
(Прізвище та ініціали)

Керівник: к.т.н., доцент Коробка С. В.
(Прізвище та ініціали)

Рецензенти: _____
(Прізвище та ініціали)

(Прізвище та ініціали)

Дубляни 2023

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЛЬВІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ
ФАКУЛЬТЕТ МЕХАНІКИ, ЕНЕРГЕТИКИ ТА ІНФОРМАЦІЙНИХ
ТЕХНОЛОГІЙ
КАФЕДРА ЕНЕРГЕТИКИ

«ЗАТВЕРДЖУЮ»

Зав. кафедри _____
(підпис)

к.т.н., доцент Сиротюк С. В.

" ____ " _____ 2023 р.

З А В Д А Н Н Я

на кваліфікаційну роботу студенту
Невендлевський Андрій Ігорович

1. Тема роботи: "Розробка пристрою вимірювання вологості при підвищених температурах в геліотермічній установці на базі апаратно-програмних засобів LabVIEW та Arduino"

Керівник роботи: Коробка Сергій Васильович, к.т.н., доцент
Затверджена наказом по університету від 30.12.2022 року № 453/К-С

2. Строк здачі студентом закінченої роботи 31.05.2023 року.

3. Вихідні дані: 1. Навчальна, наукова, методична та довідкова література. Матеріали мережі "Internet".

2. Паспортні характеристики вологовимірювальних приладів, література з мікроелектроніки, каталоги з автоматики процесів автоматизації сушильних камер.

4. Перелік питань, які необхідно розробити

4.1. Загальна характеристика господарства.

4.2. Теоретичні передумови дослідження, розвиток теорії і практики з даного питання.

4.3. Розрахунок пристрою вимірювання вологості при підвищених температурах в геліотермічній установці на базі апаратно-програмних засобів LabVIEW та Arduino.

4.4. Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях.

4.5. Економічна частина.

Висновки та пропозиції.

Перелік джерел посилання.

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень): Ілюстрації до доповіді виконані у формі презентації.

6. Консультанти розділів роботи:

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата		Відмітка про виконання
		завдання видав	завдання прийняв	
4	Городецький І. М. к.т.н., доцент кафедри управління проектами та безпеки виробництва			

7. Дата видачі завдання: 31.05.2023 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

Пор. №	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Відмітка про виконання
1	Загальна характеристика господарства.	03.02.2022 – 21.02.2022	
2	Теоретичні передумови дослідження, розвиток теорії і практики з даного питання.	22.02.2023 – 18.03.2023	
3	Розрахунок пристрою вимірювання вологості при підвищених температурах в геліотермічній установці на базі апаратно-програмних засобів LabVIEW та Arduino	21.03.2023 – 31.03.2023	
4	Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях.	01.04.2023 – 08.04.2023	
5	Економічна частина.	11.04.2023 – 22.04.2023	
6	Завершення оформлення ілюстративної частини роботи	25.04.2023 – 12.05.2023	
7	Завершення роботи в цілому	16.05.2023 – 31.05.2023	

Студент _____ Невендлевський А. І.

(підпис)

Керівник роботи _____ Коробка С. В.

(підпис)

УДК 69.09.14:662.925

Кваліфікаційна робота – “Розробка пристрою вимірювання вологості при підвищених температурах в геліотермічній установці на базі апаратно-програмних засобів LabVIEW та Arduino”. Кафедра енергетики, м. Дубляни, Львівський НУП, 2023, текст доповідної частини, складається із 50 с., 5 розділів, 25 рисунків, 15 табл., використано 17 літер. джерел, до доповіді підготовлена одна презентація із 15 слайдів.

В роботі виконано теоретичні передумови дослідження, розвиток теорії і практики з даного питання досліджуваного об’єкта, виконано огляд апаратно-програмних засобів LabVIEW та Arduino та обґрунтовано потребу у розробці пристрою вимірювання вологості при підвищених температурах в геліотермічній установці.

На основі аналізу рівня теоретичних відомостей щодо роботи вологоміра обґрунтовано вимоги відносно формування типових структурних схем пристрою вимірювання вологості при підвищених температурах в геліотермічній установці.

Виконано обґрунтування параметрів пристрою вимірювання вологості при підвищених температурах в геліотермічній установці на базі апаратно-програмних засобів LabVIEW та Arduino.

Здійснено аналіз техніки безпеки при виробничій експлуатації пристрою вимірювання вологості при підвищених температурах в геліотермічній установці та розроблено заходи щодо їх покращення.

Виконано розрахунок порівняльних техніко-економічних характеристик вологоміра на базі апаратно-програмних засобів LabVIEW та Arduino.

Qualification work - "Development of a device for measuring humidity at elevated temperatures in a heliothermal installation based on LabVIEW and Arduino hardware and software tools." Department of Energy, Dublyany, Lviv NUP, 2023, the text of the report, consists of 50 pages, 5 chapters, 25 figures, 15 tables, 17 letters are used. sources, one presentation of 15 slides has been prepared for the report.

In the work, the theoretical prerequisites of the research, the development of theory and practice on this issue of the object under study were performed, a review of the LabVIEW and Arduino hardware and software tools was performed, and the need for the development of a device for measuring humidity at elevated temperatures in a heliothermal installation was substantiated.

Based on the analysis of the level of theoretical information regarding the operation of the hygrometer, the requirements regarding the formation of typical structural diagrams of the device for measuring humidity at elevated temperatures in a heliothermal installation are substantiated.

The substantiation of the parameters of the humidity measurement device at elevated temperatures in a heliothermal installation based on LabVIEW and Arduino hardware and software tools was performed.

An analysis of safety techniques during production operation of the humidity measuring device at elevated temperatures in a heliothermal installation was carried out and measures for their improvement were developed.

The calculation of the comparative technical and economic characteristics of the hygrometer was performed on the basis of LabVIEW and Arduino hardware and software tools.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	5
РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ ОБ'ЄКТУ КОНТРОЛЮ ТА ОГЛЯД ІСНУЮЧИХ, МЕТОДІВ ВИМІРЮВАННЯ ВОЛОГОСТІ.....	6
1.1 Аналіз існуючі методи вимірювання вологості.....	6
1.2 Класифікація вимірювальних засобів вологоміра.....	7
1.3 Структура вимірювальних засобів вологоміра.....	10
РОЗДІЛ 2. ФОРМУВАННЯ ІНФОРМАЦІЇ ТА СИГНАЛУ ПІД ЧАС ВИМІРЮВАННЯ ВОЛОГИ	14
2.1 Природа сигналів у вологомірі на базі апаратно-програмних засобів LabVIEW та Arduino.....	14
2.2 Елементарні сигнали у вологомірі на базі апаратно-програмних засобів LabVIEW та Arduino.....	15
2.3 Складні сигнали та їх спектри у вологомірі на базі апаратно-програмних засобів LabVIEW та Arduino.....	17
2.4 Цифрова форма і кодування сигналів у вологомірі на базі апаратно-програмних засобів LabVIEW та Arduino.....	20
РОЗДІЛ 3. ВИМІРЮВАЛЬНЕ АНАЛОГО-ЦИФРОВЕ ПЕРЕТВОРЕННЯ ВОЛОГОМІРА.....	24
3.1 Технічні рішення АЦП вологоміра.....	24
3.1.1 Компаратори вологоміра.....	25
3.1.2 Тригери, подільники частоти і лічильники вологоміра.....	26
3.2 Структура та алгоритм окремих АЦП для вологоміра.....	27
3.3 АЦП послідовного та стохастичного наближення для вологоміра... ..	29
3.4 Елементна база АЦП для вологоміра.....	31
3.5 Кодування різниці фаз часовими імпульсами вологоміра.....	32
3.6 Кодування рівня сигналу часовими імпульсами вологоміра.....	36
3.6.1 Вологомір середніх значень (інтегруючий).....	36
3.6.2 Алгоритми аналого-цифрового перетворення рівня сигналу вологоміра.....	37
3.7 Апаратні платформи для реалізації системи вологоміра.....	40
РОЗДІЛ 4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ДОВКІЛЛЯ.....	46
4.1 Організація роботи служби з охорони праці та довкілля.....	46
4.2 Протипожежна безпека і грозозахист.....	47
РОЗДІЛ 5. ОБГРУНТУВАННЯ ЕКОНОМІЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ ВОЛОГОМІРА ДЛЯ ГЕЛІОТЕРМІЧНОЇ УСТАНОВКИ.....	48
5.1 Розрахунок ціни дослідження	48
5.2 Визначення економічної ефективності і терміну окупності капітальних вкладень.....	48
ВИСНОВОК І ПРОПОЗИЦІЇ.....	50
ПОСИЛАННЯ ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	51

ВСТУП

Одним з важливих питань нинішньої техніки вважається контроль вологи рослинних матеріалів. На сьогоднішній день складно охарактеризувати предмети контролювання або виробничі процеси, які б не боролися за підвищення якості промислової і сільськогосподарської продукції сполученої в першу чергу з виконанням всіх умов державних стандартів, в тому числі і дотримання допустимих границь вологості матеріалів.

Найчастіше у багатьох людей з'являється потреба визначити вологу використаного матеріалу. Для цього застосовуються спеціальні прилади, що називаються вологомірами. Вони можуть різнитися відповідно до принципу діяльності та типами [1].

Кількісний вміст вологості, встановлений стандартами, обумовлюється найрізноманітнішими способами, які знаходяться в залежності з якостей регульованих використаних матеріалів. У наш час вивчаються і використовуються десятки різних способів встановлення вологи різних твердих тіл, рідин та газів, зокрема рослинних матеріалів. Багато із них увійшли до стандартів, як обов'язкові при прийманні і контролі якості продукції; інші з успіхом використовуються при створенні експресних лабораторних і автоматичних промислових приладів – вологомірів.

РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ ОБ'ЄКТУ КОНТРОЛЮ ТА ОГЛЯД ІСНУЮЧИХ, МЕТОДІВ ВИМІРЮВАННЯ ВОЛОГОСТІ

1.1 Аналіз існуючі методи вимірювання вологості

Класифікація методів вимірювання вологості, поділють на дві групи.

До першої групи відносять прямі методи, а саме:

Термогравіметричний метод заснований на вимірюванні вологості різних матеріалів за допомогою зважування першого зразка в порівнянні з попереднім, а за різницею маси визначають вологість матеріалу. Даний метод визначення вологості матеріалу знайшов широке застосування у технологіях сушіння рослинних матеріалів.

Дистанційний метод базується на визначенні вологості під час підігрівання ємності з певною кількістю води вкотрій рідини не змішуються та переважно використовується для визначення вологості повтря в навколишньому середовищі за допомогою сухого і мокрого термометра.

Екстракційний метод ґрунтується на випірюванні вологості котра виділяється із зразка в якості матеріалу слугує тверде тіло на котрому поверхні утворюються краплі розчину від його вмісту густини при різних властивостях досліджуваного матеріалу [1].

До другої групи відносять не прямі методи вимірювання вологості:

Кондуктометричний метод базується на вимірюванні вологості через електричну провідність матеріалу із використанням постійних та змінних струмів, звукової частоти. Визначення електропровідності матеріалу здійснюємо за допомогою електроліту та фізичними розчинами котрі містяться в самому матеріалі кондуктометричним вологоміром.

Надвисокочастотні методи засновані на використанні прямих та відбитих електромагнітних хвиль (амплітуда, фаза, кут повороту поліризованої площини), що пройшли через висушуваний матеріал. Даний метод розгдає вимірювання вологості безконтактним способом засноване на явищі діелектричної проникності висушуваного матеріалу котрий сушиться, а

спроцесі висушуванн та змни фізичних параметрів матеріалу отримані значення порівнюють дві величини з допомогою еталоних зразків на базі корелції вимірного і відомого значень ступеня вологості [2].

Теплофізичний метод базується на визначенні вологості матеріалу через теплофізичні параметри: коефіцієнтів теплопровідності і температуро провідності, питомої теплоємності.

Оптичний метод базується на визначенні вологості матеріалу із використанням інфрачервоного спектру у видимій області вологоутворення

Таким чином з вище наведеного аналізу можна зробити висновок, що для геліотермічної установки підходять дві групи вимірювання вологості в прямому – це термогравіметричний метод, а не прямому теплофізичний. Решту методів не розглядаємо через складність використання та специфіку вимірювання вологості в процесі сушіння в геліотермічній установці.

1.2 Класифікація вимірювальних засобів вологоміра

Будь-який вимірювальний прилад виконує функцію перетворення однієї фізичної величини в іншу. Метрологічний термін вимірювання вологості в інженерній практиці розуміється як процес знаходження чисельного значення фізичної величини експериментальним методом за допомогою спеціальних технічних засобів наприклад вологоміра. Результат кожного вимірювання представляється іменованим числом, яке складається з двох частин: числа, що виражає відношення розмірів вимірюваної величини і одиниці виміру та назви одиниці виміру.

Будь-яке вимірювання завжди зводиться до порівняння розміру невідомої величини з носієм відповідної одиниці вимірювання, який у метрології називають мірою вологи. Отже міра вологи – це засіб вимірювання, призначений для відтворення фізичної величини заданого розміру. Метрологічні міри – це засоби для зберігання і відтворення одиниць фізичних величин.

Однозначні міри вологості відтворюють лише один розмір фізичної величини, наприклад різноважки до терезів, а багатозначні міри вологості – багато розмірів одночасно, як от лінійка з поділками. Навмисно підібраний комплекс мір, що використовуються як окремо, так і в різних комбінаціях, називаються набором мір, наприклад набір різноважок або щупів. Натомість магазином мір вологості називають нероз’єднуваний набір, зібраних в одну конструкцію мір з пристроєм для використання, наприклад магазин зразкових резисторів чи конденсаторів з комутуючим перемикачем.

З найвищою точністю відтворюють одиниці фізичних величин еталонні міри, які поділяють на державні і робочі (повірочні) еталони. Державні еталони вважаються національним надбанням, уособленням метрологічної складової її незалежності. Вони зберігаються у спеціальних метрологічних наукових установах і призначені лише для відтворення розмірів фізичних величин та їх наступної передачі робочим еталонам. За робочими еталонами звіряються зразкові міри, а за останніми – робочі, що безпосередньо використовуються на виробництві [3].

Номінальним значенням міри називають вказане на ній значення відтворюваної нею фізичної величини. Поняття «істинне значення» у метрології не використовується бо його встановити неможливо. Натомість використовується термін «дійсне значення», яким характеризують показ точнішого з використовуваних приладів наприклад вологомірів для визначення вологості висушеного матеріалу під час сушіння в геліотермічній установці.

В електротехнічних вимірюваннях найбільшого поширення набули такі зразкові міри:

нормальні елементи – гальванічні елементи з висококоштабільною постійною напругою;

джерела зразкової напруги постійного і змінного струмів;

міри електроопору – котушки опору (однозначні) та магазини опорів (багатозначні міри);

міри індуктивності та взаємоіндуктивності, що випускаються у вигляді одинарних та магазинів котушок;

вимірювальні конденсатори однозначні і багатозначні;

генератори зразкових (стандартних) сигналів різної форми і частоти.

Сучасні електронні вимірювальні вологоміри мають у своєму складі блоки зразкових мір для постійної звірки їх метрологічних характеристик, які також можуть бути використані в якості зразкових вимірювальних сигналів для оперативної звірки інших робочих мір.

У вимірювальному приладі здійснюється співставлення міри з невідомим розміром фізичної величини з метою встановлення його чисельного значення. Вимірювальні прилади, як і міри, також поділяють на зразкові та робочі. Останні часто класифікують за їх призначенням чи способом використання, як-от:

- виробничі прилади переважно вузькодіапазонні і вузькоцільові, але досить високоточні. Їх використовують на виробництві для контролю параметрів окремих деталей чи налагодження технологічного обладнання.

- експлуатаційні прилади використовуються для біжучого контролю окремих параметрів технологічних процесів. Їх точність невисока, іноді це просто індикатри, наприклад глибини вакууму в системі.

- спеціальні прилади переважно вузького призначення і використовуються лише для розв'язування спеціалізованих задач.

Вимірювальні прилади, покази яких є неперервною функцією значення вимірювальної величини, називаються аналоговими. Натомість цифрові прилади видають результат у цифровій формі. Електровимірювальні аналогові прилади, у свою чергу, поділяються на електромеханічні та електромеханічні з перетворювачами та електронні.

Для дослідження складних об'єктів, де необхідно одночасно вимірювати багато параметрів різних фізичних величин та виконувати складну обробку інформації, використовуються цілі комплекси з вимірювальних засобів, які отримали назву інформаційно-вимірювальні системи. Якщо в склад такої

системи введено комп'ютер, то її називають інформаційно-обчислювальна система. Для масових однотипних складних вимірювань використовують спеціалізовані вимірювальні установки.

До вимірювальних засобів відносять також різноманітні пристрої порівняння (компаратори, нуль-індикатори), масштабні перетворювачі (шунти), перетворювачі одних фізичних величин у інші тощо.

Вимірювальним перетворювачем називають засіб, призначений для перетворення початкового сигналу вимірювальної величини у сигнал з іншими параметрами або іншої природи, що сприймається вхідним або проміжним пристроєм вимірювального приладу, але не оператором. До перетворювачів відносяться вимірювальні шунти (масштабні перетворювачі), окремі ланки вимірювальних приладів, різноманітні перетворювачі сигналів неелектричної природи в електричні (сенсори, давачі) – термопари, фотоелементи тензорезистори тощо.

У техніці вимірювання, крім власне мір та вимірювальних приладів, необхідні ще різного роду допоміжні механізми, засоби, пристрої, наприклад пінцети для різноважок, з'єднувальні провідники, ізоляційні підставки, комутаційні клеми, заземлюючі пристрої тощо. Всю сукупність технічних засобів, необхідних для здійснення процесу вимірювання включно з мірами допоміжними засобами та вимірювальною апаратурою.

1.3. Структура вимірювальних засобів вологоміра

Більшість сучасних вологомірів здійснюють багатократні перетворення первинного (вхідного) сигналу перш ніж видати результат у формі, зручній для сприйняття оператором чи технічним пристроєм. У складних приладах процес перетворення відбувається багатоступінчастого, через ряд проміжних величин, послідовно пов'язаних між собою рівняннями зв'язку. Фізичний ефект, на якому ґрунтується робота приладу чи окремого перетворення, прийнято

називати принципом його роботи. Він часто відображається у назві приладу, наприклад електродинамічний ватметр чи термоелектричний перетворювач.

Кожне перетворення здійснюється відповідним перетворювачем, а їх сукупність при відповідному поєднанні утворює вимірювальну ланку. Частина першого у вимірювальній ланці перетворювача, яка безпосередньо сприймає розмір вимірювальної величини або сигнал попереднього перетворювача, називається чутливим елементом, (чуйником, сенсором, давачем). Наприклад чутливим елементом термометра опору є терморезистор.

Вимірювальні перетворення у приладах прийнято представляти графічно у вигляді структурних, функціональних або принципівих схем. Структурна схема відображає призначення та взаємозв'язок основних функціональних частин (структурних елементів) вимірювальної ланки або приладу. Функціональна схема пояснює процеси у вимірному колі приладу, а принципова або повна схема – принцип роботи усіх елементів завдяки їх повному складу. На таких схемах вимірювані величини позначають великими буквами, а їх чисельні значення – малими [4].

За способами з'єднання елементів вимірного кола та їх функціональним призначенням визначається метод вимірювального перетворення: прямого, зрівноважувального чи комбінованого. При прямому перетворенні (рис. 1.1а) передача вимірювальної інформації здійснюється лише в одному напрямку – від входу до виходу. У приладах прямого перетворення вихідний сигнал, один з параметрів якого несе інформацію про розмір фізичної величини X_n , отримується у формі, доступній для сприйняття оператором, наприклад у вигляді відхилення стрілки на кут Y . Ці прилади відносяться до групи розімкненого типу, де жоден з наступних елементів схеми.

При зрівноважувальному (компенсаційному) перетворенні сигнал вхідної вимірювальної величини зрівноважується (компенсується) зразковим. Існують дві його різновидності: слідкуюче та розгортальне (рис. 1.1 в).

Слідкуюче зрівноваження зі статичною характеристикою (рис. 1.1 б) виконується сигналом $X_k = k_2 Y$, пропорційним вихідному завдяки негативному

зворотному зв'язку з коефіцієнтом підсилення k_2 . Тому на вхід вимірювальної ланки поступає лише різницевий сигнал $\Delta X_{cm} = X - X_k = X - k_2 Y$, який, завдяки великому коефіцієнту підсилення k_1 і глибокому негативному зворотному зв'язку, зводиться до такого малого значення, що можна прийняти рівність $X \approx X_k$. При глибокому негативному зворотному зв'язку коефіцієнт підсилення зменшується, але одночасно і стабілізується наприклад при коливаннях температури [1]. За відомими значеннями X_k , k_2 та Y розраховується значення вимірюваної величини. При статичному слідкуючому зрівноважувальному перетворенні різниця ΔX_{cm} у принципі завжди відмінна від нуля і пропорційна значенню вихідного сигналу Y .

При слідкуючому зрівноваженні з астатичною характеристикою значення ΔX_{acm} пропорційне не величині, а швидкості зміни вихідного сигналу:

$$\Delta X_{acm} = \frac{dY}{dt}$$

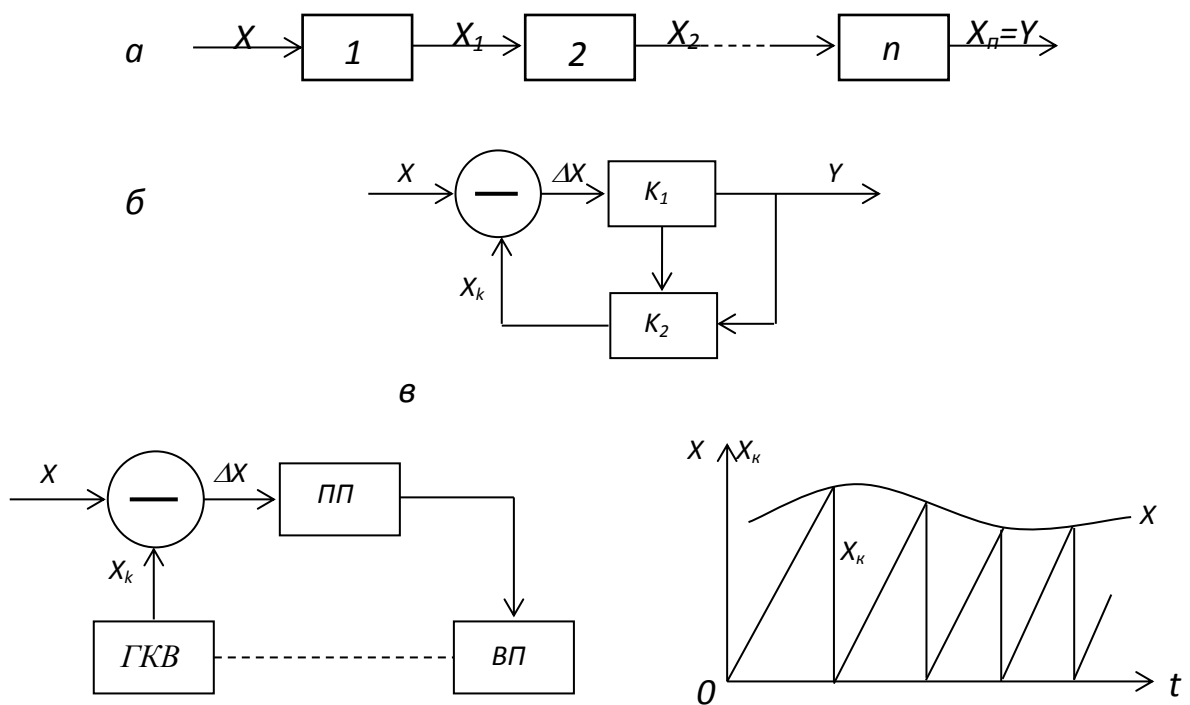


Рисунок 1.1. Структурні схеми приладів: а – прямого перетворення розімкненого типу; б – зрівноважувального перетворення слідкуючого типу; в – зрівноважувального перетворення розгортального типу.

Розгортальне зрівноваження у слідкуючих системах здійснюється сигналом X_k , створеним стороннім генератором компенсуючої величини $ГКВ$ (рис. 1.1в). Рівень компенсуючого сигналу змінюється в часі автоматично за певним законом до моменту зрівноваження. При його зміні на достатньо мале, наперед обумовлене значення ΔX , спрацьовує порівнюючий пристрій $ПП$, який видає сигнал на вихідний пристрій $ВП$ про настання рівності $X_k = X$, а $ГКВ$ – інформацію про значення X_k .

Комбіноване зрівноваження здійснюється при охопленні негативним зворотнім зв'язком лише частини ділянки прямого перетворення.

Висновки до першого розділу

На основі аналізу літературних відомостей щодо роботи вологоміра обґрунтовано вимоги щодо формування типових структурних схем пристрою вимірювання вологості при підвищених температурах в геліотермічній установці на базі апаратно-програмних засобів LabVIEW та Arduino.

Обґрунтовано розробку системи, що дозволяє вимірювати вологість при підвищених температурах в геліотермічній установці на базі апаратно-програмних засобів LabVIEW та Arduino. Обґрунтовано, що оптимальним методом для вимірювання вологості фруктів при підвищених температурах в геліотермічній установці на базі апаратно-програмних засобів LabVIEW та Arduino є ємнісний метод.

РОЗДІЛ 2. ФОРМУВАННЯ ІНФОРМАЦІЇ ТА СИГНАЛУ ПІД ЧАС ВИМІРЮВАННЯ ВОЛОГИ

2.1 Природа сигналів у вологомірі на базі апаратно-програмних засобів LabVIEW та Arduino

Процес вимірювання вологи в геліотермічній установці завжди відбувається через взаємодію (обмін енергією) двох матеріальних тіл – носіїв еталонного і невідомого розмірів фізичної величини. Сигнал сприймається оператором або іншим пристроєм для наступного реагування, аналізу або зберігання. Параметри сигналу, які формуються або змінюються в результаті акту вимірювання є *інформативними*, а їх чисельні значення – *вимірювальною інформацією*.

Якщо чисельні значення їх інформативних параметрів передбачувані, стабільно і однозначно залежні від вимірюваного розміру то їх прийнято навивати *зразковими* наприклад зразкова напруга нормального елемента, стандартна частота, сигнали точного часу тощо. Випадкові сигнали за їхніми чисельними значення і моментами появи характеризуються ймовірністими параметрами, наприклад похибки вимірювання, завади тощо. Тому, реальні вимірювальні сигнали завжди є сумою двох енергетичних потоків: інформативного та завад [5].

Тому нам необхідно забезпечити у розробленому вологомірі високу чутливість і точність, що забезпечиться складною технологією обробки первинного сигналу: фільтруванням, підсиленням, зміною способів перенесення, реєстрації. Кожна перетворювальна ланка вносить спотворення у первинний сигнал. Якість перетворення оцінюють реакцією ланки на зразковий сигнал, яку формує функцію *відгуку* ланки. Тут серед багатьох технологічних параметрів найчастіше контролюється температура, тому найпоширенішими пристроями вимірювальної автоматики є різноманітні регулятори, які мають у своєму складі вимірювальну ланку з термочутливих

елементів – терморезисторів або термопар. Регулятори-вимірювачі як правило наділені функціями візуальної індикації поточного значення вимірюваної величини з одночасною реєстрацією в електронній пам'яті і передачею вимірювальної інформації для комп'ютерної обробки. Більшість таких приладів виконані у багатоканальному варіанті з почерговим (послідовним) або одночасним (паралельним) вимірюванням. Тому для більш точного визначення вологості висушуваного матеріалу в геліотермічній установці пропонуємо ввести функцію корекція температури від 10 °С до 70 °С. Тоді цифрові результати, які відображають значення вимірюваних величин прийматимуть участь у створенні вимірювальних даних, що загалом повинні відповідати певним вимогам системності, головною серед яких є уніфікація всіх вимірювальних та допоміжних процедур, починаючи від реєстрації сигналу кожного контрольованого об'єкта, аж до формування та представлення результату у вигляді елементарних сигналів [6].

2.2. Елементарні сигнали у вологомірі на базі апаратно-програмних засобів LabVIEW та Arduino

Найпростішими зразковими сигналами є так звані елементарні, до яких відносять короткочасний одиничний імпульс, появу чи зникнення постійного сигналу та гармонійне колювання. Будь-який сигнал записується у формі функції часу $x(t)$, а всю їх багатоманітність і можна звести до суперпозиції трьох елементарних. Математично вони описуються δ -функцією $\delta(t)$, одиничною сходишковою функцією $x(t)=1(t)$ та косинусоїдою, графіки яких наведено на рис. 2.1 [7].

Сигнал у вигляді δ -функції має лише один інформативний параметр – часовий момент імпульсу $t=t_0$, а одиничної сходишкової – два: початок сигналу в момент часу $t=t_0$ та його рівень $A=1$. Косинусоїдний сигнал має три інформативні параметри: початок при $t=0$, частоту ω і початкову фазу φ_0 .

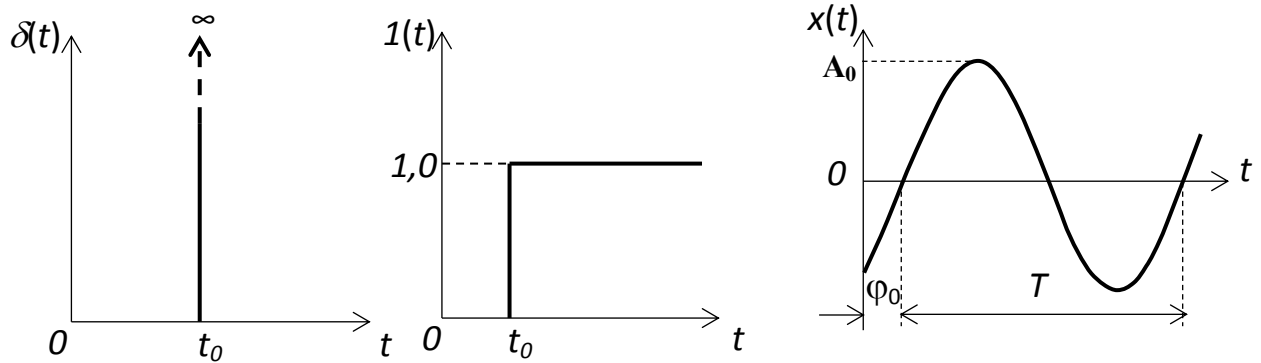


Рисунок 2.1. Графіки елементарних сигналів

Властивості $\delta(t)$ Властивості $1(t)$

$$1. \quad \delta(t-t_0) = \begin{cases} \infty & \text{input} = t_0 \\ 0 & \text{input} \neq t_0 \end{cases} \quad (2.1)$$

$$2. \quad 1(t-t_0) = \begin{cases} 0 & \text{input} < t_0 \\ 1 & \text{input} > t_0 \end{cases} \quad (2.2)$$

$$3. \quad \int_{-\infty}^{+\infty} \delta(t) dt = 1 \quad (2.3)$$

$$4. \quad \int_{-\infty}^{+\infty} \delta(t-t_0) \cdot f(t) dt = f(t_0) \quad (2.4)$$

Гармонійне коливання у загальному випадку задається рівнянням косинусоїди з фазовим зміщенням φ :

$$x(t) = \cos(\omega t + \varphi), \quad (2.5)$$

яка при початковій фазі $\varphi = -\pi/2$ переходить у синусоїду:

$$x(t) = \cos\left(\omega t - \frac{\pi}{2}\right) = \sin \omega t \quad (2.6)$$

Перші два елементарні сигнали – δ -функція та одинична сходиноква є лише наближеною формою опису природних процесів, зручною формою для математичних операцій. Натомість цілком природними сигналами є гармонійні коливання, з різним набором амплітуд і частот: вони описують потоки енергії, що виникають під час взаємодії реальних фізичних об'єктів наприклад два параметри вологість висушуваного матеріалу і температура теплоносія під час сушіння фруктів в геліотермічній установці. Тоді δ -функція так і одинична сходиноква хоч і є елементарними сигналами, насправді складаються з великої

кількості гармонійних частот. Експериментально це спостерігається у вигляді затухаючих високочастотних гармонік при зміні вологості в матеріалі. Фізично вони пояснюються інерційністю зміни енергетичного стану матеріальних об'єктів у процесах встановлення рівноваги на іншому рівні і свідчать про неможливість у природі миттєвих енергетичних перетворень.

Наведені положення мають безпосереднє відношення до вимірювальної практики. Так навіть прості, на перший погляд, сигнали насправді складаються з великої кількості частот, які по різному спотворюються при проходженні через вимірювальні ланки вологоміра. Відтак кожна вимірювальна ланка і прилад у цілому характеризують діапазоном робочих частот, у якому рівень спотворень знаходиться у межах його класу точності.

2.3 Складні сигнали та їх спектри у вологомірі на базі апаратно-програмних засобів LabVIEW та Arduino

Крім часової залежності, приведеної на рис. 2.1, гармонійні сигнали часто подаються у формі спектральних діаграм – залежності амплітуди і фази від частоти сигналу. На рис. 2.2 приведено спектральні діаграми синусоїдного коливання, записаного рівнянням косинусоїди з амплітудою A_0 , частотою ω_0 та початковою фазою $\varphi_0 = -\pi/2$.

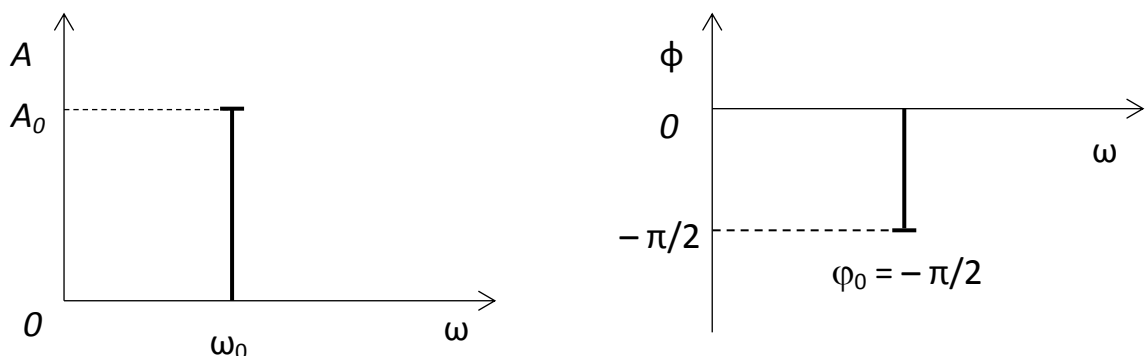


Рисунок 2.2 – Амплітудночастотний та фазочастотний спектри синусоїди, або косинусоїди з амплітудою A_0 початковою фазою $\varphi_0 = -\pi/2$

Складні багаточастотні сигнали іноді зручніше представляти набором амплітуд і частот усіх його гармонік, як це показано на рис. 2.3 для сигналу складеного з трьох частот згідно рівняння:

$$S(t) = \sin \omega_0 t + \frac{1}{3} \sin 3\omega_0 t + \frac{1}{5} \sin 5\omega_0 t \quad (2.8)$$

Спектральна форма представлення зручна для аналізу та синтезу періодичних сигналів складної форми (гармонійного аналізу та синтезу). Метод гармонійного аналізу виходить з можливості заміни довільного періодичного сигналу сумою елементарних гармонійних коливань з дискретним набором частот (спектром частот) або навпаки – розкладу складного сигналу на елементарні.

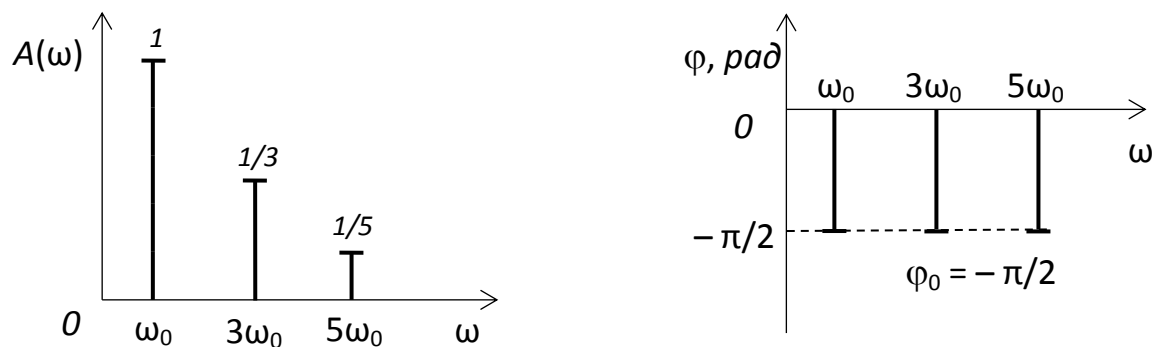


Рисунок 2.3 – Спектральне представлення тричастотного сигналу вологоміра

Математично розклад виконується операцією розкладу періодичної функції у *скінченний* тригонометричний ряд Фур'є за відомою формулою:

$$x(t) = \frac{A}{2} + \sum_{k=1}^N [B_k \cos k\omega_0 t + C_k \sin k\omega_0 t], \quad (2.7)$$

де значенню $A/2$ рівень постійної складової сигналу; B_k та C_k амплітуди гармонік; ω_0 – найменша частота.

Синтез полягає в утворенні складного сигналу $S(t)$ за допомогою набору простіших, що математично це означає скласти ряд рядом Фур'є. Синтезовані сигнали найчастіше подають у графічній або спектральній формах. Наприклад сигнал прямокутної форми отримується складанням кратних непарних частот, амплітуди яких зменшуються обернено пропорційно кратності частоти (рис. 2.4) [8].

Частинним випадком елементарного періодичного сигналу є штучно синтезована періодична послідовність прямокутних імпульсів, зразок якої

приведено на рис. 2.5. Відповідний математичний вираз є **безмежним** рядом Фур'є:

$$x(t) = \sum_{k=1,3,5,\dots}^{\infty} \frac{A_0}{k} \cos(k\omega_0 + \varphi_k) \quad (2.8)$$

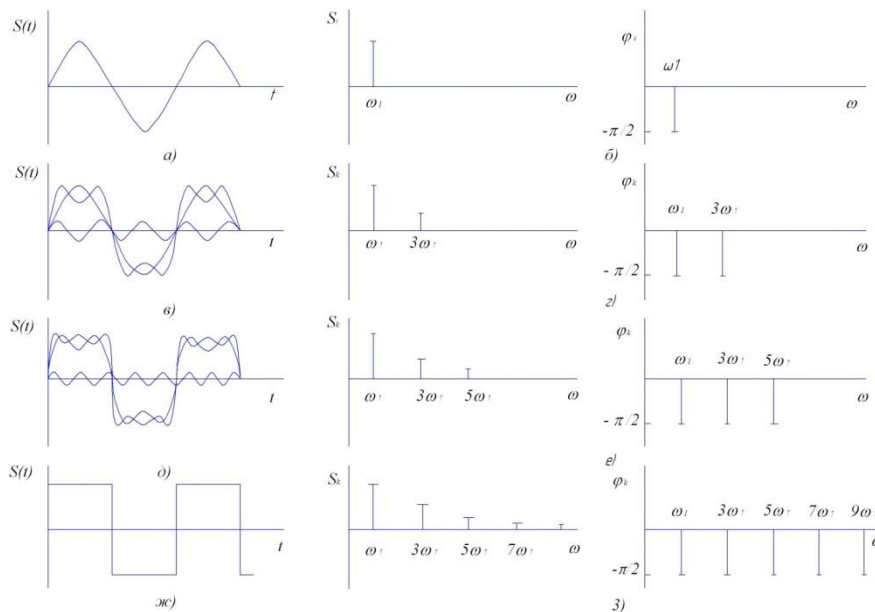


Рисунок 2.4 – Формування сигналу прямокутної форми складанням кратних непарних гармонійних частот для вологоміра

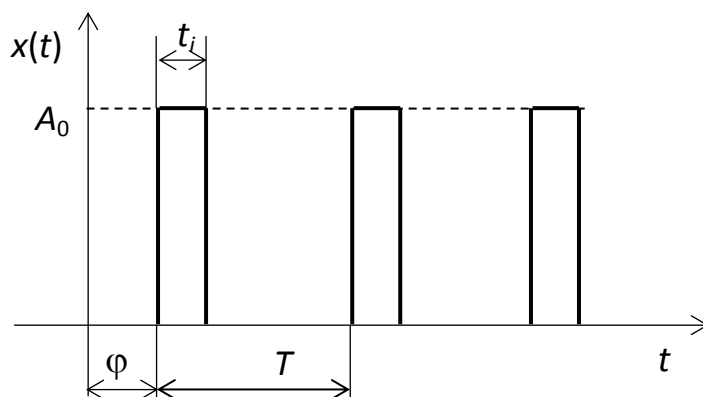


Рисунок 2.5 – Періодична імпульсна послідовність вимрювання вологоміром.

Періодична імпульсна послідовність володіє найбільшим числом інформаційних параметрів $n=5$: амплітуда A_0 , період T (або тактова частота f), тривалість імпульсу t_i , початкова фаза φ та відносний інтервал між імпульсами $q=T/t_i$ або шпаруватість [9].

Елементарні сигнали, які на перший погляд здаються неперіодичними, наприклад волога від розтріскування капіляру в середині матеріалу, при детальному аналізі також виявляються складеними із дуже великого числа

високих частот, які швидко згасають. На відміну від періодичних, неперіодичні сигнали прийнято описувати *неперервним* спектром амплітуд і частот. Відповідний математичний вираз є інтегралом Фур'є, у якому спектри амплітуд, частот і фаз пов'язані інтегральними співвідношеннями:

$$\text{спектр частот} \quad x(t) = \int_{-\infty}^{+\infty} x(\omega) e^{+j\omega t} dt ; \quad (2.10)$$

$$\text{спектр амплітуд} \quad x(\omega) = \int_{-\infty}^{+\infty} x(t) e^{-j\omega t} dt . \quad (2.11)$$

Фаза кожної гармоніки змінюється з часом і визначається множником ($\pm j\omega t$)

2.4 Цифрова форма і кодування сигналів у вологомірі на базі апаратно-програмних засобів LabVIEW та Arduino

Кожен вимірювальний сигнал вологоміра є функцією часу, а тому його можна задавати ще й у табличній (цифровій) формі. Процес перетворення неперервного (аналогового) сигналу у цифрову форму виконується подібно числовому табулюванню графічної залежності, раніше побудованої на площині з координатною сіткою, як це показано на рис. 2.6.

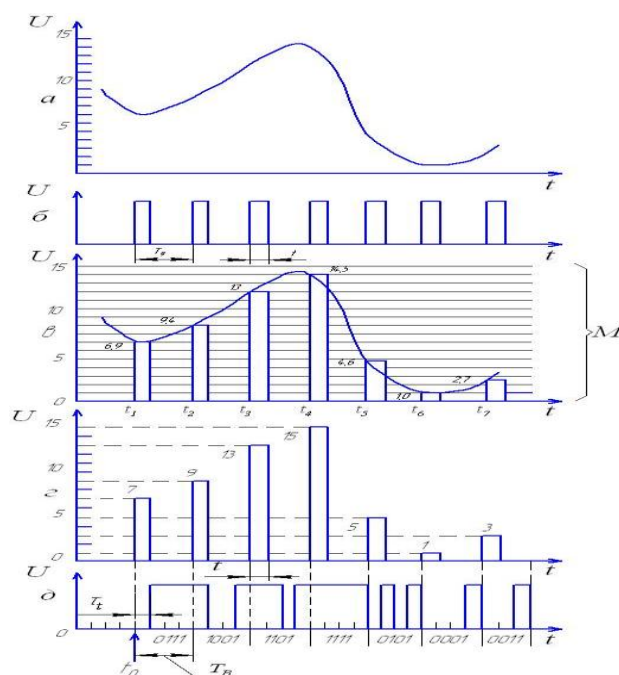


Рисунок 2.6 – Перехід від неперервної форми сигналу вологоміра до цифрової

Часова вісь (абсцис) розбивається на ряд часових інтервалів з координатами $t_1, t_2, t_3 \dots t_n$. Тривалість інтервалу Δt є *кроком дискретизації* і вимірюють у секундах. Аналогічно область значень сигналу (по осі ординат) розбивається на велике число нумерованих рівнів (квантових відліків), які називають *рівнями квантування*. Значення функції у межах одного рівня нової координатної сітки вважається сталим і рівним номеру квантового рівня. Відтак графічна форма представлення сигналу змінюється табличною.

У математиці подібна операція називається табулюванням графічної залежності. Побудована за цифровими даними геометрична фігура подібна до стовпчикової діаграми, для якої первинна залежність є обвідною кривою [10].

Сигнал поданий у вигляді діаграми у якій висота стовпчиків, пропорційна квантовим рівням, називають *дискретизованим за часом та квантованим за рівнем* (рис. 2.6, в). Але він і надалі залишається вираженням залежністю фізичної величини (наприклад електричної напруги) від часу у змінній шкалі масштабних одиниць координатних осей (рис. 2.6, в,г). Для його перетворення у цифрову форму висоту кожного стовпчика, кодують прямокутними електричними імпульсами.

Найпростіший числовий код відомий під є одиничної системи числення. У ній висота стовпчика пропорційна числу імпульсів, які безпосередньо реєструється лічильником, наприклад електромеханічним вологоміром. Натомість у двійковій системі числення висота стовпчика кодується набором логічних нулів та одиниць – низьким та високим рівнями електричних сигналів, як це показано на рис. 2.6 д. За такого кодування необхідно кожен імпульс співвідносити (синхронізувати) з часовим інтервалами подільника тактової частоти, які на рис. 2.6 д позначені вертикальними поділками через кожні чотири тактові імпульси. Надалі кожен набір реєструється з використанням електронних засобів аналого-цифрового перетворення на базі апаратно-програмних засобів LabVIEW та Arduino [12].

Процес перетворення сигналу у цифровий завжди супроводжуються додатковими похибками – *дискретизації та квантування*, механізм утворення

яких показаний на рис. 2.6, в. Обидві похибки зменшуються при зменшенні кроку дискретизації та збільшенню рівнів квантування діапазону вимірювання і завжди вказуються у паспорті приладу. Наприклад, якщо число квантових рівнів $M=100$ % вологості, то за правилами округлення похибка квантування рівна $\Delta_{\text{кв}}=0,5$. Відтак відносна похибка квантування складає

$$\delta_{\text{кв}} = \frac{\Delta_{\text{кв}}}{100} = \frac{0,5}{100} = 0,005 \quad \text{або } 0,5\%$$

За великого числа квантових рівнів запис у двійковій системі числення стає дуже громіздким, тому використовуються складніші системи кодування – вісімкова та шіснадцяткова. Для передачі сигналів по лініях зв'язку найчастіше використовується *двійково-десятковий код*, у якому кожна цифра десяткової системи записується чотирма знаками двійкової – так званою числовою тетрадою з нулів і одиниць. Кількість тетрад рівна числу розрядів числа десяткової системи, а черговість їх слідування – розряду закодованої цифри. Наприклад число 27,9 запишеться таким набором тетрад двійково-десяткового коду:

$$\begin{array}{ccc} 2 & 7 & 9 \\ 0010 & 0111 & 1001 \end{array}$$

Числа двійкової системи передаються перетворювальними ланками приладу електричними імпульсами: відсутність імпульсу означає нуль, а його поява – одиницю (рис. 2.6, д). Імпульси передаються у строго визначені часові інтервали, синхронізовані з часовими мітками тактового генератора. Тривалість передачі кожного закодованого кількома тетрадами числа рівна кроку дискретизації [13].

У залежності від порядку слідування нулів та одиниць у тетрадах, закодовані числа графічно представляються набором імпульсів та інтервалів між ними. На вході приймача цей набір дешифрується, причому початок кожного наступного числа розрізняється за сигналами тактового генератора. Таким чином процес передачі і прийому цифрового сигналу постійно синхронізується часовими мітками.

У вимірювальній техніці та зв'язку на базі апаратно-програмних засобів LabVIEW та Arduino використовують різноманітні системи кодування, які дозволяють покращити окремі параметри вимірювальних операцій, обробки та передачі сигналів. Однак за вимогами державного стандарту, кожен цифровий вимірювальний прилад, як вологомір повинен мати додатковий зовнішній порт виводу інформації у вигляді двійково-десятькового коду для бази апаратно-програмних засобів LabVIEW та Arduino. Як правило він розташований на тильній панелі приладу і видає імпульси напруги стандартної амплітуди і частоти, що дає можливість їх надійного розпізнавання іншими пристроями.

Термін кодування відноситься не тільки до цифрового перетворення. У загальному випадку кодом вимірювального сигналу можна вважати положення стрілки показуючого приладу, виражене набором поділок шкали. При візуальному відліку за відхиленням стрілки, операції квантування та кодування здійснюється оператором. Поділки шкали є квантовими рівнями, а віднесення показу до певного рівня відбувається за правилами арифметичного округлення. Результат вимірювання, виражений числом поділок, фактично є одиничним цифровим кодом вимірювальної інформації. Надалі він передається оператором: усно – зацікавленим особам, умовним записом (кодом) – на папері, або перекодовується клавіатурою спеціального запам'ятовуючого пристрою.

Представлення інформації двійковим кодом забезпечує можливість її обробки на ЕОМ, передачі по будь-яких каналах зв'язку без спотворень, тривалого зберігання у запам'ятовуючих приладах без втрат, виключає суб'єктивні похибки оператора тощо за допомогою апаратно-програмних засобів LabVIEW та Arduino.

РОЗДІЛ 3. ВИМІРЮВАЛЬНЕ АНАЛОГО-ЦИФРОВЕ

ПЕРЕТВОРЕННЯ ВОЛОГОМІРА

3.1 Технічні рішення АЦП вологоміра

У загальному випадку вимірювальний сигнал вологоміра переносить інформацію за допомогою поточних значень трьох параметрів – амплітуди, частоти (періоду) і фази. Тому замість оцифровки всього сигналу достатньо вимірювати лише поточні значення його інформативних параметрів, а у цифровій формі подавати тільки результат вимірювання. Оскільки відлік завжди проводиться відносно параметрів зразкового сигналу, то будь-який цифровий вимірювальний прилад (вологодір (ЦВП)) складається з генератора зразкових сигналів, пристрою порівняння (компаратора) та пристрою кодування результату порівняння у цифровий код. Усі пристрої, зібрані в один блок називають вимірювальним аналого-цифровим перетворювачем (АЦП) [14].

Вологодри конструктивно виконували вигляді окремих функціональних елементів, сполучених між собою подібно до монтажних схем радіоелектронних пристроїв. У принципових схемах таких приладів АЦП окремо навіть не виділено. Дотепер за подібним принципом виконання будують ЦВП універсального призначення. Натомість з появою інтегральних схем створюються спеціалізовані АЦП, у яких більшість функцій виконують вузли, вбудовані в корпус однієї мікросхеми. Тому масові цифрові вимірювальні прилади (наприклад мультиметри) конструктивно виконані у вигляді однієї мікросхеми з периферійними пристроями, поміщеними в один корпус. До периферійних відносять системи живлення, генератори сигналів, пристрої індикації, комутації, вводу-виводу, захисту тощо.

Алгоритм будь-якого аналого-цифрового перетворювача реалізується невеликим набором типових елементів мікроелектроніки і схемотехніки, які виконують різні функції залежно від модифікації та способу вмикання у схему. Відтак без попереднього розгляду їх особливостей неможливо

зрозуміти алгоритм роботи АЦП конкретного цифрового вимірювального приладу.

3.1.1 Компаратори вологоміра

Автоматичне порівняння сигналів виконується компараторами, які найчастіше виконують за схемами операційних підсилювачів (ОП). У технічній документації компаратори позначають прямокутником (рис. 3.1 а), а на принципових схемах – трикутником з двома входами і одним виходом (рис. 3.1 б). Оскільки прямокутниками позначаються й інші елементи цифрової схемотехніки, то у технічній документації компаратори позначають значком « \triangleright ». Часові діаграми, які пояснюють роботу компаратора, приведені на рис. 3.1 в [15].

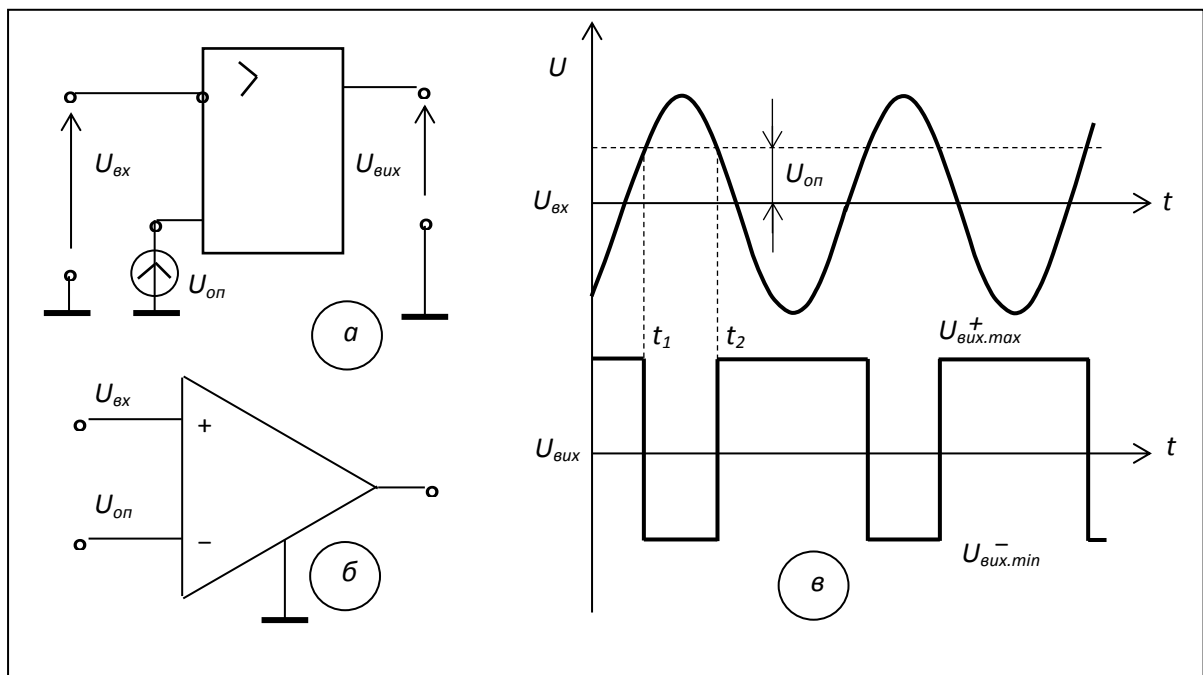


Рисунок 3.1 – Компаратор: *а* – позначення у технічній документації; *б* – позначення на схемах; *в* – вхідний синусоїдний сигнал (синусоїда); рівень опорної напруги (горизонтальний пунктир); часова діаграма стійких рівнів на виході компаратора (П-подібний сигнал)

Компаратор має два входи і один вихід. Вимірювальний сигнал подається на так званий інвертувальний вхід, позначений кружечком на рис. 3.1а або знаком (+) на рис. 3.2б. Напруга (рівень) зразкового сигналу, з яким

порівнюється рівень вимірюваного, подається на нижній (неінвертувальний) вхід, який зазвичай позначається знаком (-). Як тільки напруга вимірюваного сигналу зрівняється з опорною, високий рівень напруги на його виході (стан логічної одиниці) змінюється низьким (логічним нулем) і навпаки.

3.1.2 Тригери, подільники частоти і лічильники вологоміра

Тригери – це запам'ятовуючі пристрої з двома входами і виходами, на яких зберігається попередньо встановлений стан логічного нуля або одиниці. Стан кожного виходу стрибкоподібно змінюється на протилежний подачею на його інформаційні входи короткочасних керуючих імпульсних сигналів. Зміну стану виходу часто називають перекиданням тригера. Інформаційні входи позначають латинськими буквами R (*Reset – повернення у початковий нульовий стан*) та S (*Set – встановлення у новий стан*), а виходи: прямий – Q та інверсний (протилежний за знаком прямому) – \bar{Q} .

Конструктивно тригери складаються з пристрою керування, роль якого виконує логічний елемент і запам'ятовуючого елемента, який власне і називається тригером. Набір логічних елементів визначає тип тригера і алгоритм зміни рівнів на його виходах. На електричних схемах тригери зображують прямокутниками з буквою «Т» і позначеними виводами (рис. 3.2) [16].

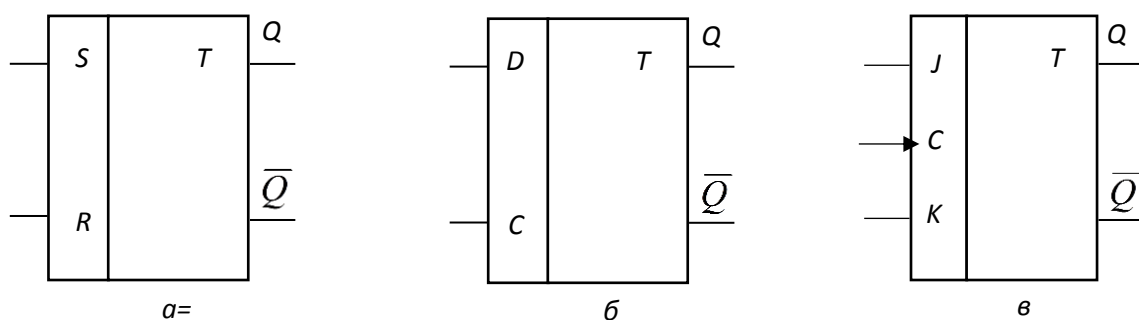


Рисунок 3.2. Схематичне зображення тригерів: а) RS -тригер ; б) D -тригер ; в) JK -тригер.

За способом запису інформації тригери поділяють на асинхронні, з одним незалежним входом і синхронні, у яких запис інформації виконується лише за наявності дозвільного сигналу на іншому (синхронізуючому) вході.

Натомість JK – тригер має третій, лічильний вхід C (від рос. *счетный*). Кожного разу при поданні керуючого імпульсу на цей вхід, обидва виходи змінюють свій стан на протилежний [7]. Тригер з лічильним входом є подільником тактової частоти з коефіцієнтом ділення рівним двом, бо частота імпульсів на його виходах вдвічі менша за частоту керуючих імпульсів (рис. 3.3). При послідовному сполученні n тригерів коефіцієнт ділення частоти рівний 2^n [17].

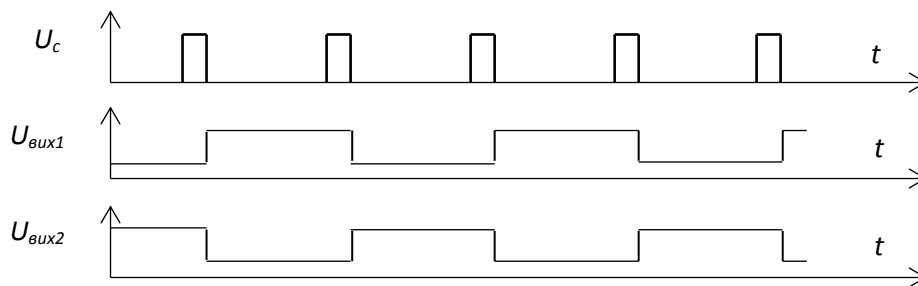


Рисунок 3.3 – Часова діаграма подільника частоти на JK -тригері з лічильним входом вологоміра

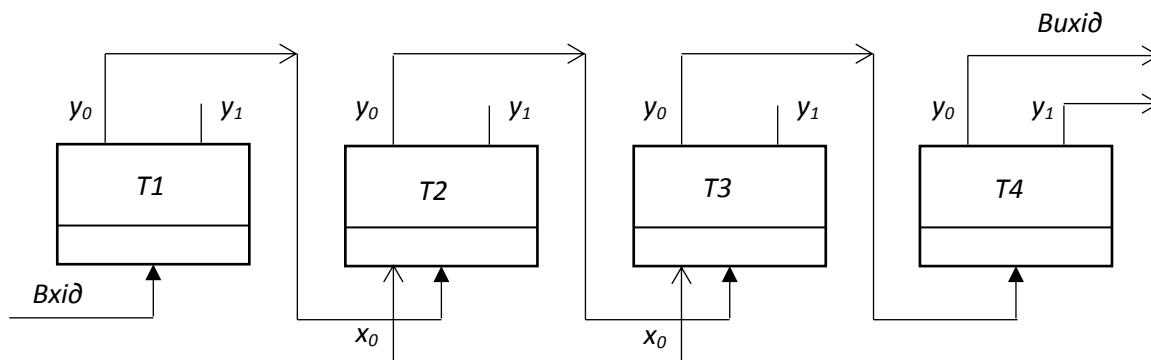


Рисунок 3.4 – Схема лічильника (27ереліскового пристрою) з додатковими зв'язками вологоміра

3.2 Структура та алгоритм окремих АЦП для вологоміра

Структурна і функціональна схеми аналого-цифрових перетворювачів визначаються як параметрами вимірювального сигналу так і складністю вимірювальної задачі. Робота сучасного АЦП найчастіше ґрунтується на трьох групах методів аналого-цифрового перетворення [14].

1. Метод безпосереднього порівнянням поточного рівня вхідного сигналу вологоміра із зразковою напругою.

2. АЦП з проміжним перетворенням вхідної напруги на інтервал часу або частоту – переважно інтегруючого типу вологоміра
3. Сигма-дельта АЦП вологоміра.

До першої групи відносять АЦП паралельного та послідовного перетворення. У паралельних відбувається порівняння вимірювального сигналу *одночасно* з великим набором зразкових, які відрізняються на один квантовий рівень (рис. 3.5).

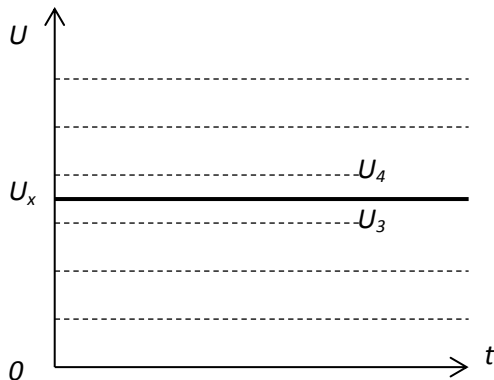


Рисунок 3.5 – Алгоритм порівняння у паралельному АЦП вологоміра:

U_x – рівень вимірюваного сигналу;

U_p, U_4 – сусідні зразкові квантові рівні.

У послідовних АЦП відбувається почергове порівняння

одним пристроєм (компаратором) рівня вимірюваного сигналу з послідовно зростаючим (розгортальним) набором зразкових мір (рис. 3.6). Результат порівняння кодується порядковим номером зразкової міри, значення якої найближче до поточного рівня вимірюваного сигналу.

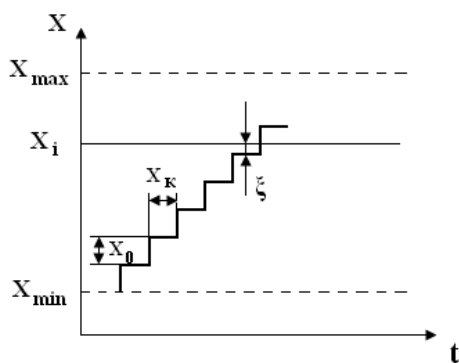


Рисунок 3.6. Алгоритм АЦП вологоміра з розгортальним зрівноваженням:

x_i – рівень вхідного сигналу;

x_k – крок дискретизації часу

x_0 – квант рівня міри

ξ – похибка квантування.

Тривалість аналого-цифрового перетворення у загальному випадку визначається шириною вимірювального діапазону та рівнем вимірюваної величини. Якщо номер кванта співпадає з одиницею виміру, то кількість сходинок n одночасно є одиничним кодом сигналу. Недоліком АЦП

послідовного зчитування є мала швидкість вимірювання, тому вони в основному використовуються для вимірювання постійних або повільно-змінних величин.

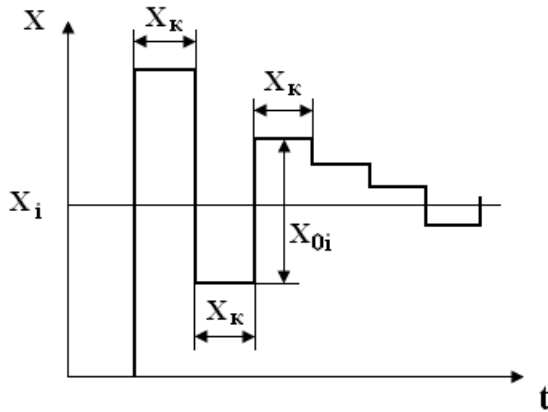


Рисунок 3.7 –

Алгоритм АЦП вологоміра з

відслідковувальним зрівноваженням

Процес порівняння виміряного сигналу X_i з наступною еталонною мірою X_k виконується як і раніше

почергово у часі, але добір еталонних мір не через один крок, а деяку їх суму nx_0 . Число n вибирається відповідно до попереднього порівняння (послідовне наближення). Такі АЦП вологоміри використовуються для обробки високочастотних сигналів (швидкозмінних). Метод ще називають паралельно послідовний.

3.3 АЦП послідовного та стохастичного наближення для вологоміра

Процес порівняння виміряного сигналу x_i з наступною еталонною мірою виконується як і раніше почергово у часі, але добір еталонних мір не через один крок (розряд), а деяку їх суму $\sum x_0$ як це показано на рис. 3.8.

Кратність суми щоразу вибирається відповідно до результату попереднього порівняння. Якщо наприклад, за першим кроком порівняння, різниця $(x_i - x_k) < 0$, то для наступного кроку вибирається менша міра, і навпаки. Таким чином значення кожної наступної міри послідовно наближається до рівня вимірюваної величини, як це відображено першими трьома кроками порівняння на рис. 3.8 АЦП з таким алгоритмом перетворення ще називають послідовно-паралельними і використовують для обробки високочастотних сигналів.

Стохастичний алгоритм відрізняється від попереднього (послідовного наближення) лише тим, що чергове значення зразкової міри є випадковим числом. АЦП з подібним алгоритмом зрівноваження відзначаються найбільшою швидкістю і їх, зокрема, використовують для вимірювання параметрів сигналів надвисоких частот.

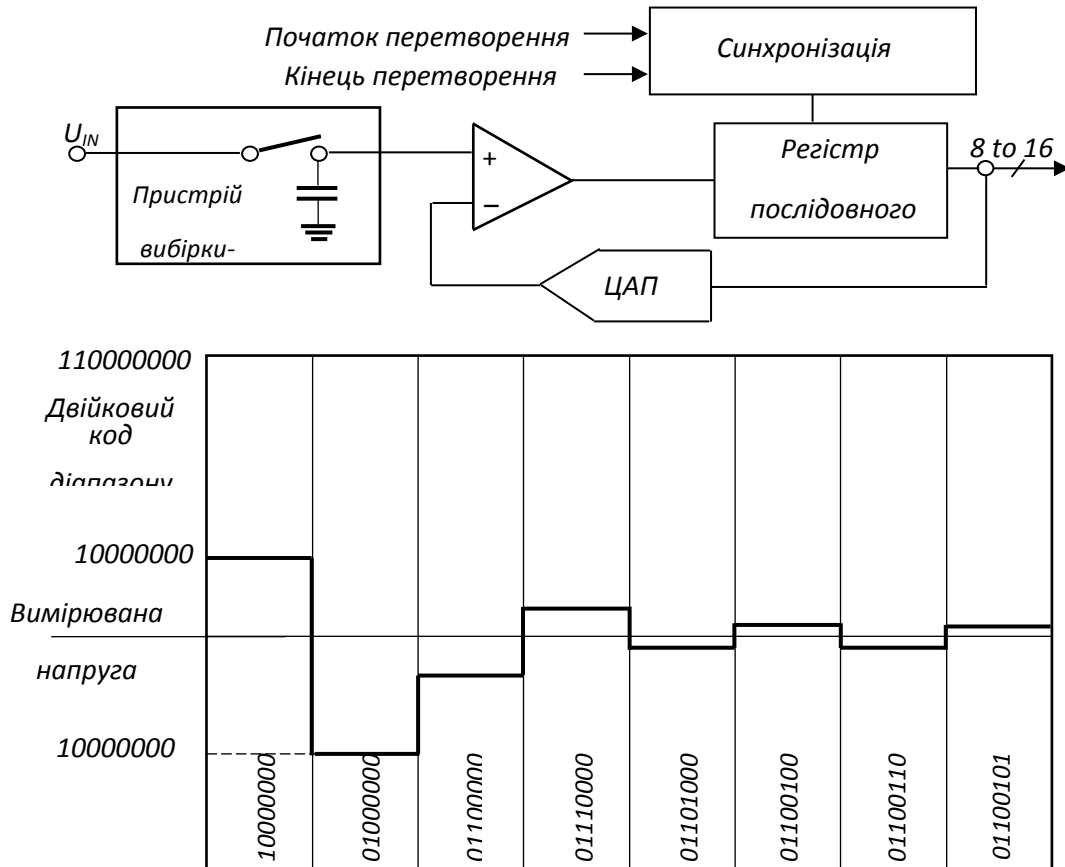


Рисунок 3.8 – Блок-схема та алгоритм АЦП послідовного наближення для вологоміра

Найчастіше це перетворювачі інтегруючого типу, принцип роботи яких полягає у періодичному заряджанні конденсатора вимірювальним сигналом і розряджанні зразковим. Параметри вимірювального сигналу визначаються з порівняння тривалості обох процесів.

Вони також належать до інтегруючих, які завдяки запам'ятовуванню похибки квантування («дельта») кожного окремого вимірювання і наступному її додаванню («сигма») до поточного значення напруги вимірюваного сигналу у наступних циклах перетворення. Перевагою таких АЦП є велика роздільна здатність.

За будь-якого перетворення, у тому числі й у цифрову форму, не допускається втрата інформації, отже й спотворення початкової часової залежності цих величин.

3.4. Елементна база АЦП для вологоміра

Кодування періоду сигналу часовими імпульсами вологоміра в цифрові перетворення необхідно постійно синхронізувати з сигналами точного часу.

Зазвичай функцію годинника виконує елемент вологоміра, що відповідає за високочастотний генератор тактових імпульсів з кількома подільниками частот. Набір частот визначається параметрами сигналу, кроком дискретизації, числом рівнів квантування, а також прийнятим алгоритмом аналого-цифрового перетворення. Алгоритм вимірювання невідомого періоду реалізується за структурною схемою і часовою діаграмою, наведеною на рис. 3.9, 3.10.

З вхідного пристрою сигнал надходить на вхід Т-тригера, вихід якого приймає високий рівень у момент переходу вимірюваного сигналу через нуль. Цим рівнем відкривається електронний ключ для проходу N імпульсів зразкової частоти f_0 з періодом $T_0 = 1/f_0$ на лічильник. Наступна зміна рівня виходу тригера і закриття електронного ключа відбувається рівно через період у момент чергового переходу сигналу через нуль. Абсолютна похибка визначення моменту події не перевищує періоду тактових імпульсів.

Невідомий період T_x сигналу найпростіше визначати за різницею моментів переходу рівня сигналу через нуль і кодувати числом тактових імпульсів.

$$T_x = NT_0 \text{ або } f_x = \frac{f_0}{N}. \quad (3.1)$$

Абсолютна похибка вимірювання ΔT визначається сумою двох похибок дискретизації $\Delta t_1 + \Delta t_2$, кожна з яких не перевищує півперіоду зразкової частоти:

$$\Delta T_x = \Delta t_1 + \Delta t_2 \leq T_0, . \quad (3.2)$$

Абсолютна похибка зменшується прямо пропорційно T_0 і обернено пропорційно частоті f_0 . Аналогічно зменшується й максимальна відносна похибка:

$$\delta = \frac{\Delta t_1 + \Delta t_2}{T_x} \leq \frac{T_0}{T_x} = \frac{f_x}{f_0}. \quad (3.3)$$

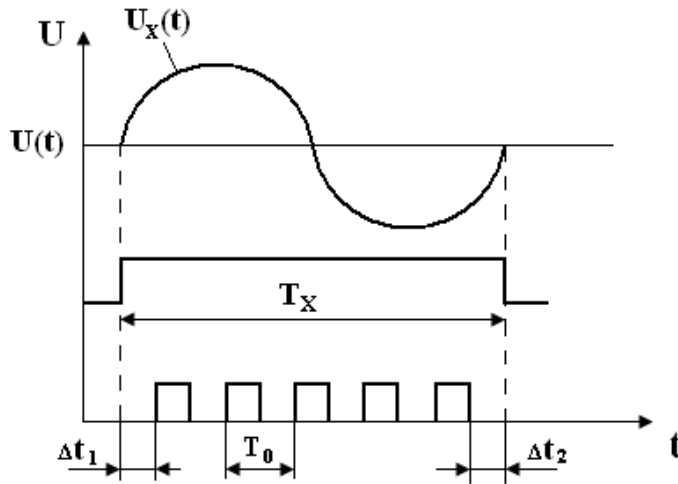


Рисунок 3.9 –

Часова діаграма кодування періодичного сигналу $u_x(t)$ тактовими імпульсами T_x – невідомий період; T_0 – період зразкових імпульсів. Δt_1 , Δt_2 – похибки дискретизації

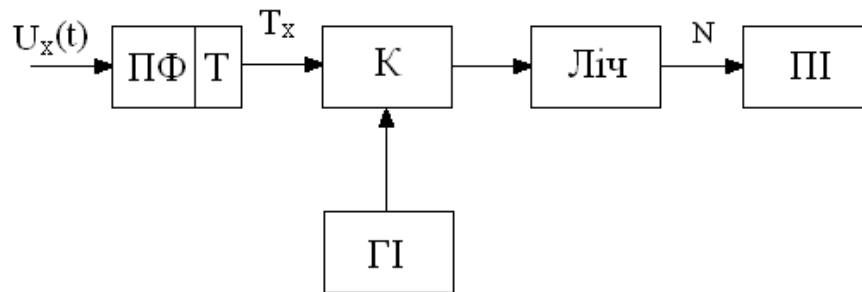
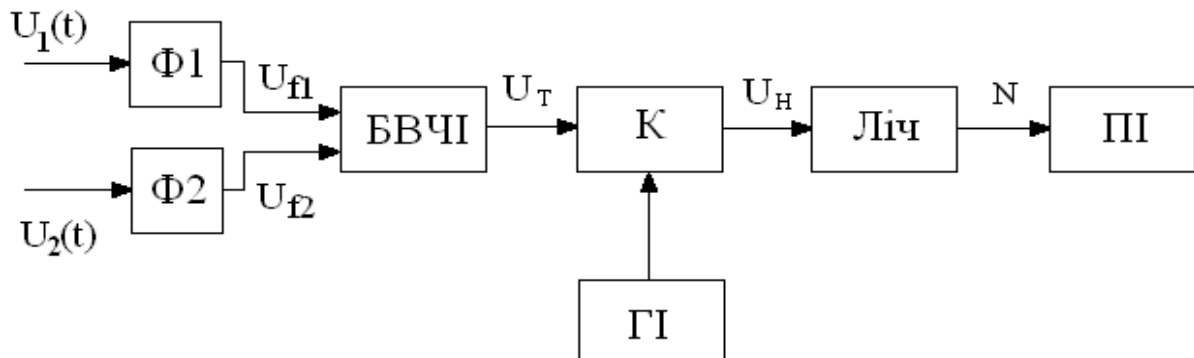
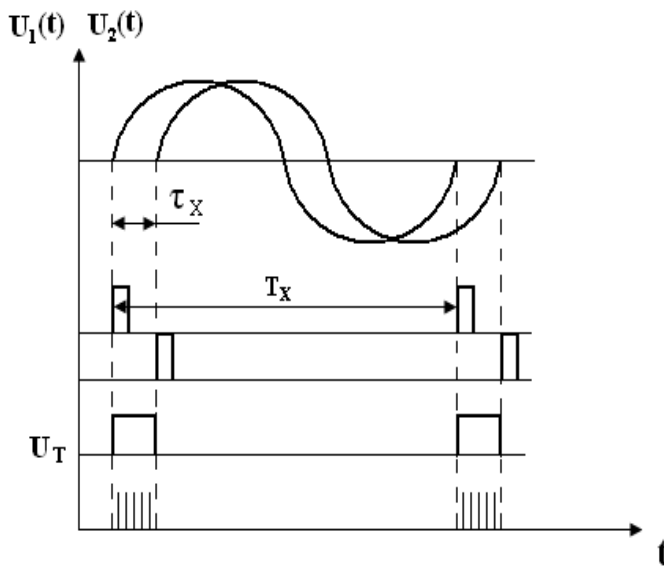


Рисунок 3.10 – Структурна схема і часова діаграма розробленого вологоміра: ПФ – підсилювач-формував вхідного сигналу $U_x(t)$; Т – тригер; К – електронний ключ; ГІ – генератор тактових імпульсів; ПІ – пристрій індикації; Ліч – лічильник пропущених імпульсів.

3.5. Кодування різниці фаз часовими імпульсами вологоміра

Вимірювання різниці фаз двох періодичних сигналів однакової частоти відбувається за різницею моментів переходу обох сигналів через нуль. Структурна схема і часова діаграма вологоміра приведена на рис. 3.11.





Φ_1, Φ_2 – вхідні формувачі сигналів;
 БВЧІ – блок виділення часових інтервалів (компараторів);
 К – ключ; Ліч – лічильник;
 ПІ – пристрій індикації;
 ГІ – генератор зразкової частоти;
 τ_x – частотний зсув сигналів.

Рисунок 3.11 – Структурна схема і часова діаграма розробленого вологоміра

Перший сигнал $U_1(t)$ у момент переходу через нуль формує на виході БВЧІ потенціал високого рівня (логічну одиницю). Натомість другий сигнал $U_2(t)$, цю логічну одиницю обнулює через інтервал часу τ_x . За високого потенціалу на виході БВЧІ відкривається транзисторний ключ K для проходження імпульсів зразкової частоти f_0 . Кількість порахованих імпульсів N пропорційна часовому зсуву сигналів $\tau_x = NT_0$, відтак фазовий зсув розраховується за очевидним співвідношенням невідомої f_x та зразкової f_0 частот:

$$\varphi_x = \omega_x \cdot \tau_x = \omega_x \cdot NT_0 = 2\pi f_x N \frac{1}{f_0} = 2\pi N \frac{f_x}{f_0}. \quad (3.4)$$

$$\Delta\varphi = \pm 2\pi \frac{f_x}{f_0}. \quad (3.5)$$

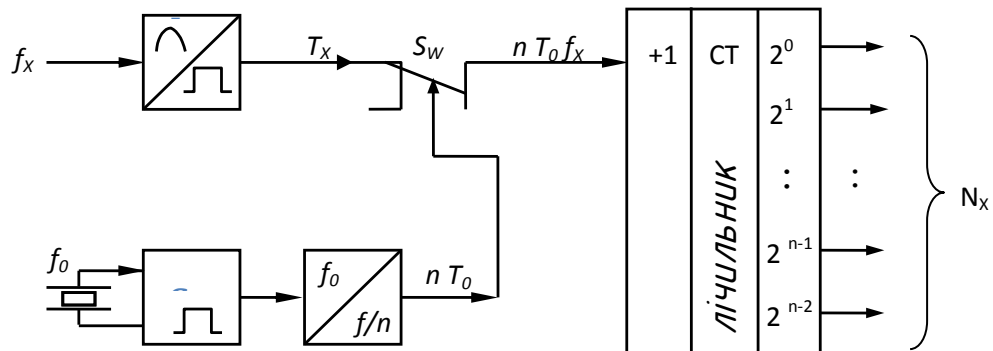
Вимірювання вологості відбувається лише за сталих і кратних частот. Абсолютна похибка вимірювання різниці вологостей прямо пропорційна частоті вхідного сигналу і обернено пропорційна зразковій частоті.

Для організації процесу вимірювання періоду і вологості сигналів з аналого-цифровим перетворенням і наступним кодуванням результату часовим імпульсами достатньо кількох стандартних елементів – кварцового генератора, порівнюючих елементів (компараторів) тригера, електронного

ключа і лічильника імпульсів, тощо. Структурні схеми розробленого модуля вологоміра близькі і мають однакові вимірювальні блоки, тому вимірювачі періодів вологості і температури об'єднуються в один універсальний ряд цифрових вимірювальних приладів – вологомір.

Розроблений вологомір працює за класичною структурною схемою, що

а)



б)

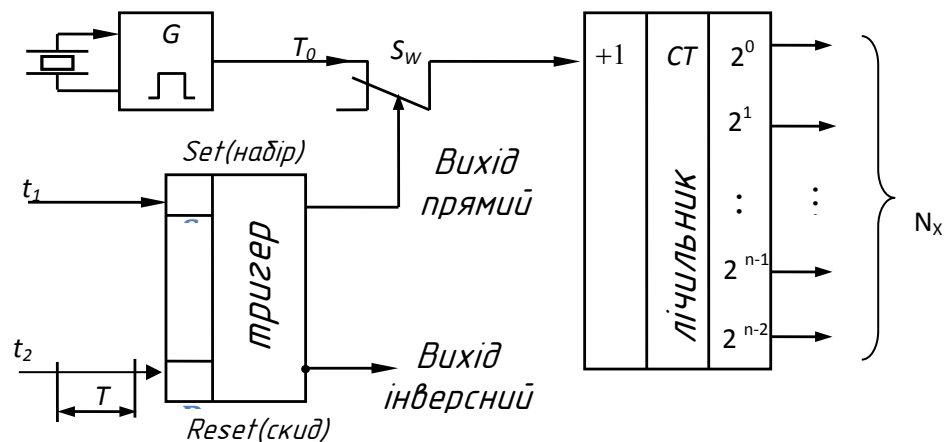


Рисунок 3.12 – Структурна схема розробленого вологоміра

передбачає підрахунок числа періодів N_x невідомої частоти f_x за відомий високоточний відрізок часу, що називається часом вимірювання $t_{вим}$ (рис. 3.12.a). Сигнал невідомої частоти f_x , яку потрібно виміряти, надходить на формувач імпульсів Φ , який формує з них прямокутні імпульси з періодом повторення T_x , обернено-пропорційним частоті f_x : $T_x = 1/f_x$.

Мірою зразкової частоти f_0 у цифровому частотомірі є кварцовий генератор G , з виходу якого подаються прямокутні імпульси з періодом

повторення $T_0 = \frac{1}{f_0}$. Подільник частоти формує з них сигнал заданої, n -раз більшої тривалості $t = nT_0$, що відкриває перемикач S_W для пропускання імпульсів невідомої частоти у лічильник. Невідомі період T_x і частота f_x , досліджуваного сигналу визначається через порівняння тривалості відкриття перемикача nT_0 із тривалістю набору N_x імпульсів – $N_x T_x$

$$t_{\text{вим}} = nT_0 = N_x T_x, \quad T_x = \frac{1}{f_x} = \frac{nT_0}{N_x} \quad (3.6)$$

На рис. 3.12 б наведено структуру цифрового хронометра, який реалізує інший метод вимірювання. Період коливань у момент часу t_1 на вхід *Set* (набір) тригера керування надходить перший старт – імпульс, що відкриває перемикач S_W . А у момент часу t_2 надходження на вхід *Reset* (скид) другого, стоп-імпульсу, тригер перекидається і вимикає перемикач S_W . Протягом часу $t_2 - t_1 = T_x$ через відкритий перемикач на лічильник СТ подається зразкова частота f_0 кварцового генератора G з тривалістю періоду T_0 . За числом імпульсів N_x , зареєстрованих лічильником, визначається невідомий період коливань T_x , або в загальному випадку – інтервал між двома імпульсами :

$$T_x = N_x T_0 \quad (3.7)$$

Кварцовий генератор G , що генерує високостабільні коливання частотою 1МГц з відносною похибкою у нормальних умовах експлуатації $\delta_0 = \pm (1...6) \cdot 10^{-7}, 1/c$. Це значення похибки частоти, яке входить у всі співвідношення для оцінки похибок вимірювання. Значення δ_0 при зміні зовнішніх умов вказується у приладі.

3.6 Кодування рівня сигналу часовими імпульсами вологоміра

3.6.1 Вологомір середніх значень (інтегруючий)

Як відомо, математична операція усереднення часової залежності виконується шляхом її інтегрування функції в певному часовому інтервалі з наступним розділенням на довжину інтервалу:

$$\bar{U}_x(t) = \frac{1}{t_2 - t_1} \int_{t_1}^t U_x(t) dt. \quad (3.8)$$

Середнє значення синусоїдної функції протягом її періоду рівне нулю. Тому для відсіювання завад мережі в інтегруючих вольтметрах час інтегрування T_0 вибирається рівним або кратним періоду мережі – 2 мс.

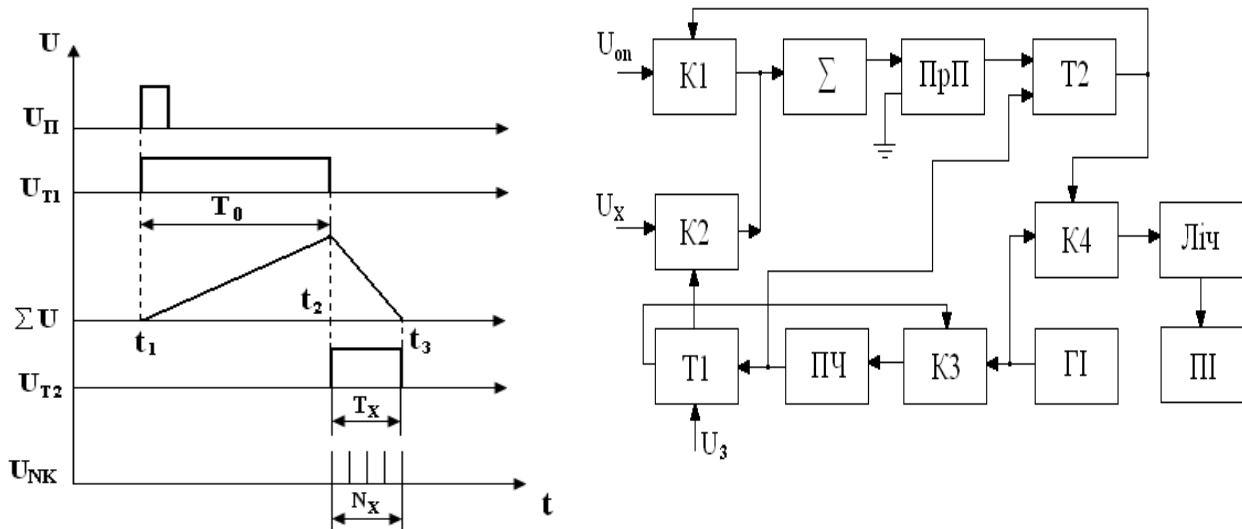


Рисунок 3.13 – Структурна схема і часова діаграма інтегруючого вологоміра: $K_1 \dots K_4$ – ключі; T_1, T_2 – тригери; Σ – суматор (інтегратор); ГІ – генератор зразкової частоти; ПЧ – подільник частоти; ПрП – пристрій порівняння; $U_{оп}$ – опорна (зразкова) напруга

Інтегруючою (накопичувальною) ланкою цифрового вологоміра є конденсатор, який заряджається напругою вимірюваного сигналу з однією швидкістю, а розряджається з іншою. Відтак за відношенням часів зарядки і розрядки розраховують середню напругу. Структурну схему та часову діаграму вологоміра з двотактним інтегруванням приведено на рис. 3.12.

Цикл вимірювання починається імпульсом запуску U_3 від пристрою управління (кнопки) на тригер T_1 , який відкриває ключ K_2 на час T_0 . Тригер T_1 одночасно відкриває ключ K_3 для проходження зразкових імпульсів з ГІ на подільник ПЧ, яким у кінці інтервалу $T_0 = t_2 - t_1$ інвертує обидва тригери T_1, T_2

Зовнішнім інвертуванням T_1 , вимикають ключ K_2 і вхід U_x . Натомість вмикається T_2 , який своїм імпульсом відкриває ключ K_1 для проходження на інтегратор (суматор) Σ зразкового (опорного) сигналу U_{on} . Додавання протилежних за знаком U_x та U_{on} протягом часу $T_x = t_3 - t_2$ нейтралізується заряд конденсатора, який пропорційний ΣU_x напруга на виході інтегратора встановлюється нульовий рівень. Відтак стан логічної одиниці встановлюється на виході пристрою порівняння *ПрП* (компаратора), далі перекидається тригер $T2$, який, у свою чергу, закриває ключ $K4$ і припиняє проходження імпульсів зразкової частоти на лічильник.

Графік сумування ΣU аналогічний графіку зарядки-розрядки конденсатора, тому кількість порахованих імпульсів N пропорційна рівню вимірювальної напруги. Відтак виконуються співвідношення:

$$U_x T_0 = U_{оп} T_x \quad \text{або} \quad U_x = \frac{U_0 T_x}{T_0} = U_0 T_x f_0 = U_0 N_x. \quad (3.9)$$

ЦВ частотного перетворення працюють на принципі проміжного перетворення амплітуди напруги U_x у пропорційну частоту імпульсів f_x , вона вимірюється частотоміром. Таким чином частотомір є універсальним вимірювальним приладом.

3.6.2 Алгоритми аналого-цифрового перетворення рівня сигналу вологоміра

Автоматично перетворюють вимірювальну інформацію у дискретні сигнали і видають покази в цифровій формі вологоміра. Перетворення поточного рівня неперервної (аналогової) величини у цифровий код є вимірювальною операцією, яку виконують автоматичні пристрої, що називаються аналого-цифровими перетворювачами, скорочено АЦП. За часовим алгоритмом порівняння розрізняють послідовні та паралельні АЦП, решту є різними комбінаціями двох перших.

У послідовних АЦП відбувається почергове зчитування та наступне порівняння одним компаратором рівня вимірюваного сигналу з великим

набором зразкових мір. Результат порівняння кодується порядковим номером зразкової міри, значення якої найближче до поточного рівня вимірюваного сигналу. Натомість у паралельних АЦП поточний рівень вимірюваного сигналу одночасно порівнюється з усім набором зразкових мір багатьма компараторами. Структурна схема перетворювальних ланок АЦП приведена на рис. 3.14.

Пр1 – пристрій вхідного перетворення: масштабуванням, фільтруванням завад, тощо;

Пр2 – перетворення підготовленого сигналу у цифровий код.

Пр3 – перекодування в інший, більш зручний код, наприклад, з двійкового у двійково-десятковий.

ПК – пристрій автоматичного керування ланками АЦП.

ПКП – пристрій керування приладом (передня панель).

ІНД – індикатор цифрового сигналу.

Будь-який АЦП обов'язково виконує наступні операції над аналоговим сигналом:

- квантування за рівнем;
- дискретизацію за часом;
- порівняння зі зразковою мірою;
- кодування результату порівняння (вимірювальної інформації).

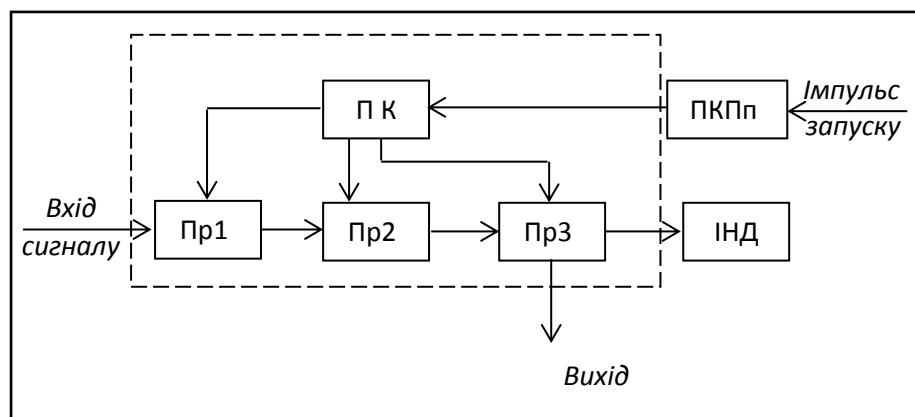


Рисунок 3.14 – Структурна схема АЦП вологоміра

У циклічних АЦП весь процес вимірювання, перетворення та видачі показу виконується протягом виділеного часового інтервалу – часу індикації. Натомість у слідкуючих АЦП перехід до наступного вимірювання виконується за зміни (приросту) параметрів вхідного сигналу: амплітуди, частоти та ін. Такі ЦВП ще називають приладами адаптивної дискретизації, оскільки момент наступного вимірювання задається параметрами вимірюваного сигналу.

За алгоритмом виконання вимірювальних операцій АЦП поділяють на три основні класи:

- паралельного (одночасного) зчитування;
- послідовного зчитування;
- послідовного наближення:

У паралельному АЦП рівень вимірюваного сигналу одночасно порівнюється з цілим набором пронумерованих зразкових мір:

$$x_{k1} = x_0; x_{k2} = 2x_0; x_{k3} = 3x_0 \dots x_{kn} = nx_0. \quad (3.10)$$

Результату порівняння присвоюється цифровий код, який відповідає номеру найближчого зразкового рівня. Цей метод найшвидший і досягає частот 100...200 МГц. Термін «одночасно» означає паралельну схему вмикання усіх квантових еталонів.

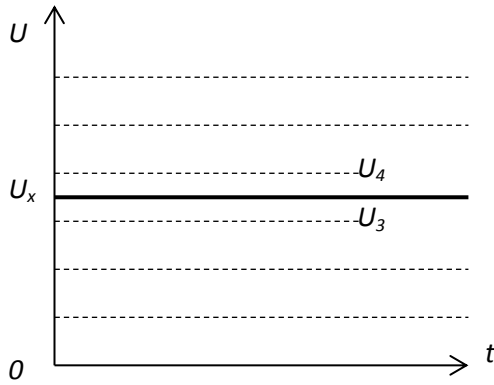


Рисунок 3.15 – Алгоритм та блок-схема

8-бітового 3-розрядного паралельного АЦП вологоміра:

U_x – рівень вимірюваного сигналу;

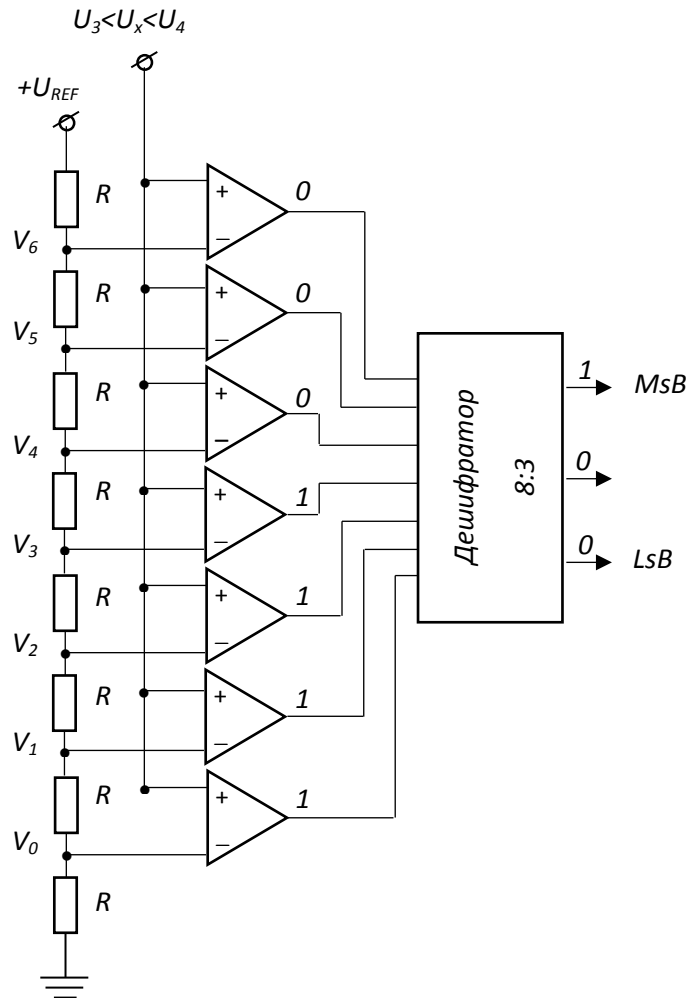
U_p, U_4 – кванти зразкових рівнів;

U_{REF} – вхід опорної напруги;

U_{IN} – вхід вимірюваного сигналу

MsB – цифра найстаршого розряду;

LsB – цифра наймолодшого розряду.



3.7 Апаратні платформи для реалізації системи вологоміра

Як було зазначено у розділі 2 [6] в структурі досліджуваного вологоміра з організацією неперервної передачі вимірюваних параметрів до персонального комп'ютера від всіх досліджуваних систем як блок вводу-виводу застосовується мікроконтролер типу Arduino MEGA 2560 R3 – це тип мікроконтролера, виконаного на основі мікроконтролера Atmega загальний вигляд подано на рис. 3.16

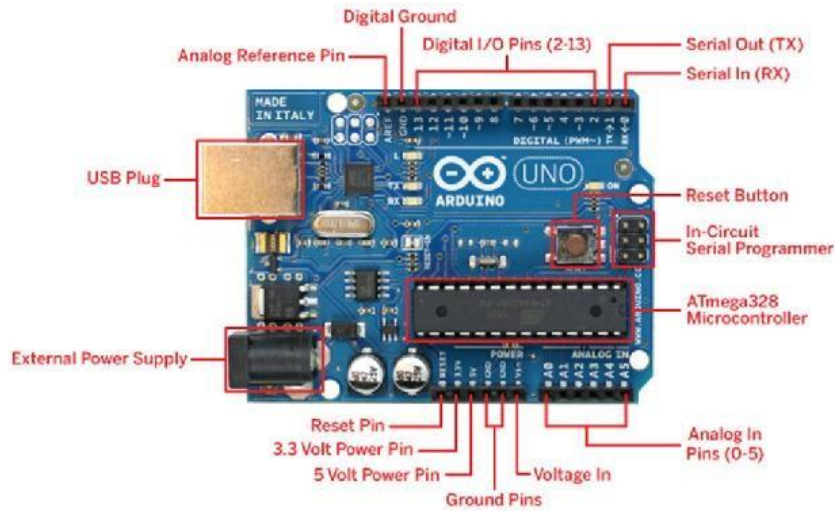


Рисунок 3.16 – Загальний вигляд контролера ArduinoUno

Для організації вимірювання контрольованих параметрів системи порівняльних досліджень розроблено контрольно-вимірювальний комплекс вологоміра (рис. 3.17).

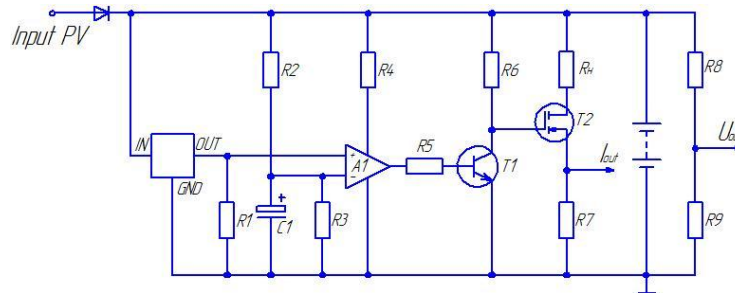


Рисунок 3.17 – Електрична принципіальна схема одного каналу блока управління вологоміра

Розроблена друкована плата чотириканального блоку управління вологоміра, виконана з використанням програмного продукту Spring-Layout 6.0, подана на рис. 3.18.



Рисунок 3.18 – Загальний вигляд чотириканального блоку управління вологоміра

Як було зазначено раніше, система збору, обробки і архівування даних реалізована з використанням мікроконтролера Arduino MEGA 2560 R3 (рис. 3.19) [12].

Для фізичного приєднання провідників первинних перетворювачів до мікроконтролера розроблено плату розширення для мікроконтролера Arduino MEGA 2560 R3, яка подана на рис. 3.18, а друкована плата провідників, яка виконана із використанням програмного продукту Spring-Layout 6.0 на рис. 3.20 та 3.21.

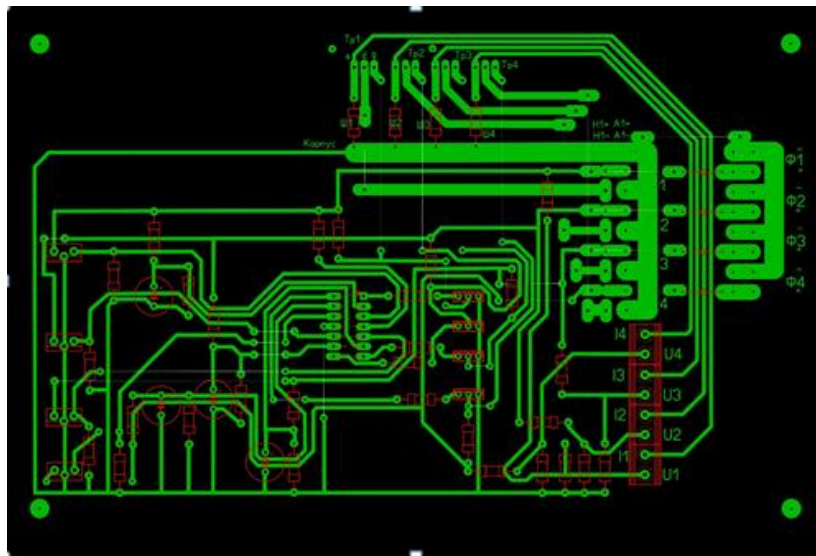


Рисунок 3.19 – Друкована плата чотириканального блоку управління вологоміра

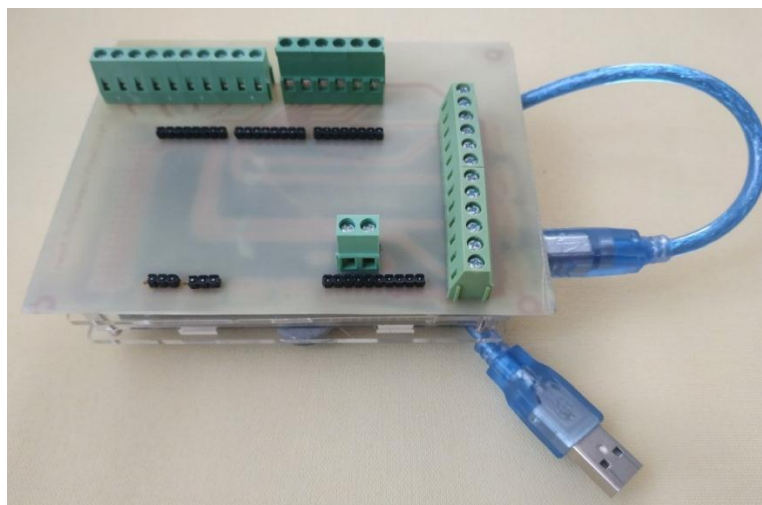


Рисунок 3.20 – Загальний вигляд плати розширення для мікроконтролера Arduino MEGA 2560 R3 системи моніторингу вологоміра

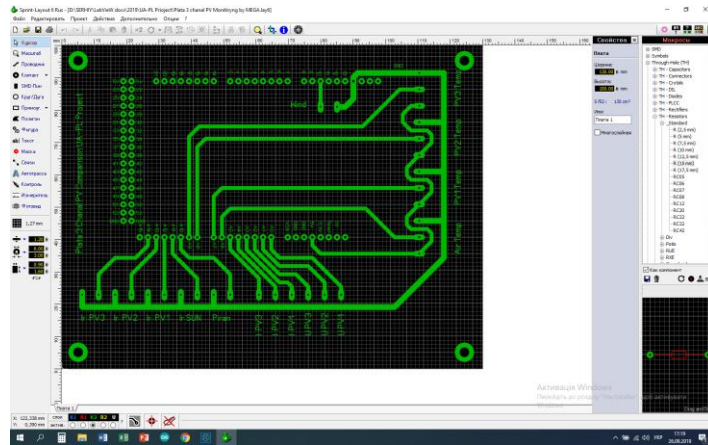


Рисунок 3.21 – Друкована плата провідників плати розширення для мікроконтролера Arduino MEGA 2560 R3 системи моніторингу вологоміра

Організація комунікації між мікроконтролером Arduino MEGA 2560 R3 та програмним середовищем LabVIEW [13], яке встановлено на персональному комп'ютері забезпечується програмним кодом, розміщеним у мікроконтролері. Розробка програмного коду для мікроконтролера виконана в системі відлагоджування мікроконтролерів Arduino IDE 1.8.9 [14]. Текст програми читання первинних датчиків та організації обміну інформацією між мікроконтролером Arduino MEGA 2560 R3 та програмним середовищем LabVIEW:

```
//Program UA-PL Project PV Comparing

#include <BH1750FVI.h>
#include <Wire.h>
#include <SPI.h>
#include <OneWire.h>
#include <DallasTemperature.h>
#define ONE_WIRE_BUS 2
OneWire oneWire(ONE_WIRE_BUS);
DallasTemperature sensors(&oneWire);
BH1750FVI LightSensor(BH1750FVI::k_DevModeContLowRes);
void setup() {
digitalWrite(3,HIGH);
```

```

delay(200);
LightSensor.begin();
delay(200);
Serial.print("  ");
Serial.print(IPV1);
Serial.print("  ");
Serial.println(IPV3);
delay(1000)}

```

Програмний код програмного середовища LabVIEW системи моніторингу подано блок-діаграмі (рис. 3.22), а фронтальна панель оператора з візуалізацією параметрів вологоміра на рис. 3.23.

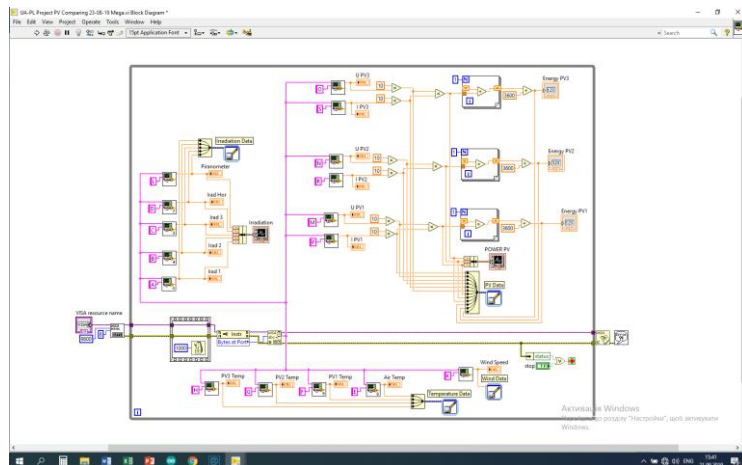


Рисунок 3.22 – Програмний код (блок-діаграма) системи моніторингу вологоміра

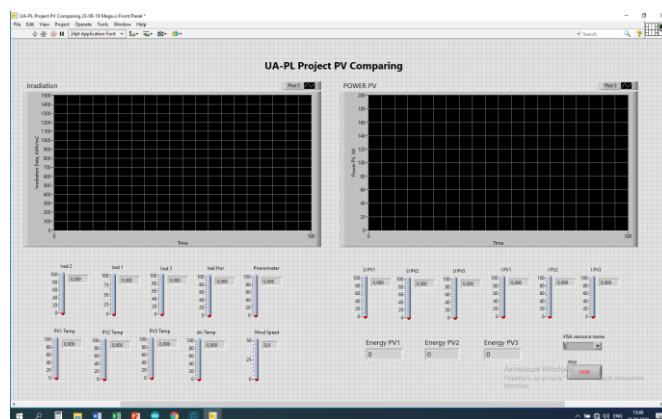


Рисунок 3.23 – Панель оператора моніторингу вологоміра

Таким чином, розроблена автоматизована систему дистанційного контролю вимірювання вологості при підвищених температурах в геліотермічній установці на базі мікроконтролера Arduino MEGA 2560 R3 як в ручному так і в автоматичному режимі дає змогу передавати дані і дистанційно керувати режимом вимірювання вологості та записувати і архівувати отримані параметри для подальшого аналізу.

Висновки до третього розділу

Обґрунтовано та розроблено автоматизовано систему дистанційного контролю вимірювання вологості при підвищених температурах в геліотермічній установці на базі апаратно-програмних засобів LabVIEW та мікроконтролера Arduino MEGA 2560 R3 як в ручному так і в автоматичному режимі, що дозволяє передавати дані і дистанційно керувати режимом вимірювання вологості та записувати і архівувати отримані параметри для подальшого аналізу.

РОЗДІЛ 4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ДОВКІЛЛЯ

4.1 Організація роботи служби з охорони праці та довкілля

Система управління охороною праці (СУОП) – це сукупність органів управління підприємством, які на підставі комплексу нормативної документації проводять цілеспрямовану, планомірну діяльність щодо здійснення завдань і функцій управління з метою забезпечення здорових, безпечних і високопродуктивних умов праці. За дану частину виробництва відповідає інженер з охорони праці. Головне завдання спеціаліста – створення здорових, безпечних і високопродуктивних умов праці, покращення виробничого побуту, запобігання травматизму і профзахворюванням.

Для забезпечення створення СУОП щорічно розробляються та затверджуються на підприємстві положення про організацію управління охорони праці; щорічно оформляються накази про призначення осіб відповідальних за стан охорони праці на ділянках, а також безпечне використання об'єктів підвищеної небезпеки (котлів, що працюють під тиском, газових та кисневих балонів, пестицидів); оформляються наказ про визначення персональних обов'язків з охорони праці усіх спеціалізацій, керівників ділянок та інших службових осіб; щорічно проводиться паспортизація умов праці, технічних засобів безпеки і технічного стану робочих місць; складаються плани роботи з охорони праці, комплексне, річне і оперативне планування; організовуються заходи матеріального і морального стимулювання щодо охорони праці; проводяться розслідування і вивчення причин травм, пожеж їх аналіз і облік, а також розробляються заходи щодо їх застосування;

Об'єктом управління є діяльність структурних підрозділів та служб підприємства по забезпеченню безпечних і здорових умов праці на робочих місцях, виробничих ділянках, цехах та підприємства в цілому.

4.2 Протипожежна безпека і грозозахист

Блискавко захист – це комплекс захисних захистів від блискавки, які гарантують безпеку людей, збереження людей і споруд, обладнання та матеріалів від вибухів, загоряння й руйнування. Найпростішими і надійними засобами від блискавки є створення блискавковідводів. Схема блискавкозахисту будівлі показана на рис. 4.1.

Струмопровід виконується сталлю стрічкою перерізом 25...30 мм або дротом не менше 6 мм. Заземлення виконується кутовою сталлю, трубами на відстані від установки не менше 4,5 м. Опір розтікання не повинен перевищувати 15...20 Ом.

Приймаємо початкову висоту блискавковідводу 8 метрів. Визначаємо радіус конуса, в якому ймовірність попадання 95%, через висоту конуса h за формулою (4.1):

$$R_0 = 1.5 \cdot h, \text{ м. } R_0 = 1,5 \cdot 8 = 12 \text{ м.}$$

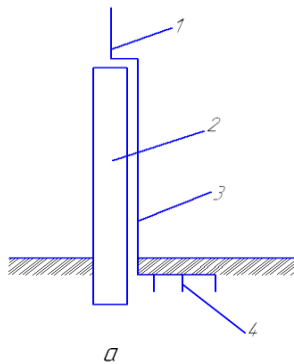


Рисунок 4.1 – Схема блискавко захисту конструкції;

1 – блискавко приймач,

2 – блискавко провідник; 3 – опора, 4 – заземлювач.

Для будинку довжиною L кількість одиночних блискавковідводів визначаємо через радіус конуса R_0 в якому ймовірність попадання 95% за формулою:

$$N_0 = \frac{L}{2R_0}, \text{ шт.}, \quad N_0 = \frac{86}{2 \cdot 4} = 11 \text{ шт.}$$

Усі з'єднання в процесі монтажу системи блискавко захисту (Блискавко приймач – струмовідвід, струмовід – заземлювач) виконують за допомогою зварювання. Болтові з'єднання застосовують лише для тимчасових блискавко захисних пристроїв.

РОЗДІЛ 5. ОБГРУНТУВАННЯ ЕКОНОМІЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ ВОЛОГОМІРА ДЛЯ ГЕЛІОТЕРМІЧНОЇ УСТАНОВКИ

5.1 Розрахунок ціни дослідження

Розробка пристрою вимірювання вологості при підвищених температурах в геліотермічній установці на базі апаратно-програмних засобів LabVIEW та Arduino стосується тільки науково-дослідної розробки де необхідно провести комплекс розрахунок ціни дослідження та визначити економічну ефективність і терміну окупності капітальних вкладень.

Ціну науково-дослідної роботи можна визначити за формулою:

$$C = \frac{C_n \cdot (1 + P_{рен}) + K + B}{K} \cdot (1 + ПДВ) , \quad (5.1)$$

де $P_{рен}$ – рівень рентабельності, 30 %; K – кількість замовлень, од. (встановлюється лише при розробці програмного продукту та мікропроцесорних систем); $B_{н.і.}$ – вартість носія інформації, грн. (встановлюється лише при розробці програмного продукту); $ПДВ$ – ставка податку на додану вартість, (20 %).

Оскільки розроблений прилад є програмно-теоретичною задачею, і використовуватиметься тільки для однієї мети, тому під час розрахунку ціни наукових досліджень не потрібно вказувати коефіцієнти K та B , а оскільки їх в даному випадку не потрібно. Тоді, формула для обчислення ціни розробки спроститься і прийме форму:

$$C = C_n \cdot (1 + P_{рен}) \cdot (1 + ПДВ) , \quad (5.2)$$

$$C = 17950,37 \cdot (1 + 0,3) \cdot (1 + 0,2) = 23336,68 \text{ грн.}$$

Таким чином, загальна сума наукових досліджень буде 23336,68 грн.

5.2 Визначення економічної ефективності і терміну окупності капітальних вкладень

Ефективність розробленого приладу – це обґрунтування підсумкових результатів використання апаратно-програмних засобів в межі запропонованих рішень за даний час.

$$E_p = \frac{\Pi}{C_6} \quad (5.3)$$

де Π – прибуток; C_6 – собівартість.

Плановий прибуток ($\Pi_{пл}$) знаходимо за формулою:

$$P_{nl} = C - C_g. \quad (5.4)$$

$$P_{nl} = 23\,336,68 - 17\,950,37 = 5\,386,31 \text{ грн.}$$

Визначаємо економічну ефективність розробленого пристрою вимірювання вологості при підвищених температурах в геліотермічній установці на базі апаратно-програмних засобів LabVIEW та Arduino за формулою:

$$E_p = \frac{P_{nl}}{C_g} \quad (5.5)$$

$$E_p = 5\,386,31 / 17\,950,37 = 0,30.$$

Поряд із економічною ефективністю розраховують термін окупності капітальних вкладень (T_p):

$$T_p = \frac{1}{E_p} \quad (5.6)$$

Термін окупності аналізу та ефективності розробленого пристрою вимірювання вологості при підвищених температурах в геліотермічній установці на базі апаратно-програмних засобів LabVIEW та Arduino становить:

$$T_p = 1 / 0,30 = 3,33 \text{ р.}$$

Отже, плановий прибуток від розробки пристрою вимірювання вологості при підвищених температурах в геліотермічній установці на базі апаратно-програмних засобів LabVIEW та Arduino становить 5386,31 грн., економічна ефективність 0,30, а термін окупності буде 3,33 роки, що є раціональним та економічно вигідним.

Висновки до п'ятого розділу

В розділі обґрунтування економічної ефективності було обґрунтовано основні техніко-економічні показники плановий прибуток від розробки пристрою вимірювання вологості при підвищених температурах в геліотермічній установці на базі апаратно-програмних засобів LabVIEW та Arduino становить 5386,31 грн., економічна ефективність 0,30, а термін окупності буде 3,33 роки, що є раціональним та економічно вигідним.

ВИСНОВОК І ПРОПОЗИЦІЇ

Завданням кваліфікаційної роботи було розробка системи, що дозволяє вимірювати вологість при підвищених температурах в геліотермічній установці на базі апаратно-програмних засобів LabVIEW та Arduino. Обґрунтовано, що оптимальним методом для вимірювання вологості фруктів при підвищених температурах в геліотермічній установці на базі апаратно-програмних засобів LabVIEW та Arduino є ємнісний метод.

На основі аналізу теоретичних відомостей щодо роботи вологоміра обґрунтовано вимоги стосовно формування типових структурних схем пристрою вимірювання вологості при підвищених температурах в геліотермічній установці на базі апаратно-програмних засобів LabVIEW та Arduino.

Розроблено методичні рекомендації стосовно функціональної та принципової схем вологоміра підібрано обладнання та обґрунтовано і запрограмовано апаратно-програмний засіб LabVIEW та Arduino, що дає змогу забезпечити швидке і точне вимірювання вологості фруктів при змінах температурах геліотермічній установці.

В роботі розроблено автоматизовану систему дистанційного контролю вимірювання вологості при підвищених температурах в геліотермічній установці на базі апаратно-програмних засобів LabVIEW та мікроконтролера Arduino MEGA 2560 R3, як в ручному так і в автоматичному режимі, що дозволяє передавати дані і дистанційно керувати режимом вимірювання вологості та записувати і архівувати отримані параметри для подальшого аналізу.

Розроблена система володіє необхідною стабільністю контролю вимірювання вологості при підвищених температурах в геліотермічній установці на базі апаратно-програмних засобів LabVIEW та мікроконтролера Arduino MEGA 2560 R3 в роботі та зниженою вартістю порівняно з аналогами, що становить 5386,31 грн., економічна ефективність 0,30, а термін окупності буде 3,33 роки, що є раціональним та економічно вигідним і достатнім.

ПОСИЛАННЯ ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Інформаційні системи і технології: навч. пос. Бенько М. М. Київ, 2010. 325 с.
2. Arduino [Електронний ресурс]. – Режим доступу до ресурсу: <http://isearch.kiev.ua/uk/searchpractice/science/1752-arduino-a-simple-but-nottoo-simple> – Дата доступу: 14.08.23.
3. Платформа Rasbery Pi [Електронний ресурс]. – Режим доступу до ресурсу: <https://www.securitylab.ru/analytics/491458.php> – Дата доступу: 15.04.23.
4. Класифікація промислових контролерів [Електронний ресурс]. – Режим доступу до ресурсу: <https://www.rbc.ua/ukr/digests/promyshlennye-kontrollery-iih-klassifikatsiya-07102013154200> – Дата доступу: 15.04.23.
5. Давач температури [Електронний ресурс]. – Давач температури – Режим доступу до ресурсу: – Дата доступу: 16.04.23.
6. Overview of temperatur sensors [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://www.ni.com/ru-ru/innovations/white-papers/06/overview-oftemperature-sensors.html> – Дата доступу: 11.04.23.
7. Давач вологості [Електронний ресурс]. – Режим доступу до ресурсу: <https://uawest.com/ua/datchik-temperaturi-vlagnosti-dht22-am2302arduino.html> – Дата доступу: 16.03.23.
8. Базові блоки вводу-виводу [Електронний ресурс]. – Базові блоки вводу-виводу – Режим доступу до ресурсу: <http://ste.ru/siemens/pdf/rus/ET200SP.pdf> – Дата доступу: 17.04.23.
9. Analytical and Experimental Study of Recycling Baffled Double-Pass Solar Air Heaters with Attached Fins / Ho C. D., Chang H., Wang R. C., Lin C. S. // Energies. 2013. Vol. 6. P. 1821–1842. doi:10.3390/en6041821.
10. Sharma S. P., Som Nath Saha. Thermohydraulic Performance of Double Flow Solar Air Heater with Corrugated Absorber // International Journal of Electrical, Computer, Energetic, Electronic and Communication Engineering. 2017. Vol 11, № 7. P. 750–756.

11. NASA Surface meteorology and Solar Energy [Электронный ресурс] // Available Tables. – Режим доступа: \www/URL: <http://eosweb.larc.nasa.gov/cgi-bin/sse/grid/cgi?uid=3030>. – 30.03.2023 г.
12. Server and Connection Establishment – MQTT [Электронный ресурс]. Режим доступа до ресурсу: – Дата доступа: 19.04.23.
13. Korobka S., Babych M. Substation of the constructive-technological parameters of a solar fruit dryer. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2017. Vol. 1 (8). P. 13-19.
14. Mohanraj M., Chandrasekar P. Performance of a forced convection solar drier integrated with gravel as heat storage for chili drying. *Journal of Engineering Science and Technology*. 2019. Vol. 4, Issue 3. URL: P. 123 – 139.
15. González I., Calderón A. J., Figueiredo J. C., Sousa J. M. A Literature Survey on Open Platform Communications (OPC) Applied to Advanced Industrial Environments,» *MDPI: Electronics*, T. 8, № 510, 2019.
16. Jianli F., Shengnan L. Performance Analysis of Various Activation Functions in Artificial Neural Networks. *Journal of Physics Conference Series: Conf. Series* 1237, 2019.
17. Silveira L. R., Tanscheit R., Vellasco M. Quantum-inspired genetic algorithms applied to ordering combinatorial optimization problems. *IEEE World Congress on Computational Intelligence June*, P. 10 – 15, 2012.