

МІНІСТЕРСТВО ОБОРОНИ УКРАЇНИ
МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ОДЕСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ ЕКОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Кафедра військової підготовки

Магістерська кваліфікаційна робота

на тему:

РОЗРОБКА ВИМІРЮВАЧА ВОЛОГОСТІ

Спеціальність 103 Науки про Землю
Спеціалізація «Метеорологія»
курсанта групи МВМ-19
Владислава Черниха

Керівник:

підполковник Андрій ГЛУШКОВ

Рецензент: к.геогр.н.,доцент

Лавріненко Юліан Володимирович

МІНІСТЕРСТВО ОБОРОНИ УКРАЇНИ
МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ОДЕСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ ЕКОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Кафедра військової підготовки

Рівень вищої освіти магістр

Спеціальність 103 Науки про Землю

(шифр і назва)

Спеціалізація Метеорологія

Освітня програма «Організація метеорологічного та геофізичного
забезпечення Збройних Сил України»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Начальник кафедри військової підготовки

полковник Олег ГРУШЕВСЬКИЙ

З А В Д А Н Н Я
НА МАГІСТЕРСЬКУ КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

курсанту ЧЕРНИХУ Владиславу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи: «Розробка вимірювача вологості повітря».

керівник роботи Глушков Андрій Володимирович

(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом ректора ОДЕкУ від 16 жовтня 2020 року № 194-С

2.Строк подання курсантом роботи: 12 грудня 2020 року

3. Вихідні дані до роботи: цифрові аналоги діодів, резисторів, конденсаторів, діодних мостів.

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

1) Спроекувати схему вимірювача вологості повітря.

2) Розробити вимірювач вологості повітря.

3) Скомутувати вимірювач вологості повітря з приймальним блоком.

4) Написати алгоритму програми для виведення метеорологічних даних на екран дисплею.

5. Перелік графічного матеріалу: графіки, таблиці.

6. Консультант розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
1	Мансарлійський В.Ф., доцент		
2	Мансарлійський В.Ф., доцент		
3	Мансарлійський В.Ф., доцент		

7. Дата видачі завдання: 27 жовтня 2020 року

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів магістерської кваліфікаційної роботи	Термін виконання етапів роботи	Оцінка виконання етапу	
			у %	за 4-х бальною шкалою
1.	Пошук літературних джерел за темою магістерської роботи	27.10-28.10.20	85	4
2.	Відпрацювання 1 та 2-го розділів роботи	29.10.-22.11.20	75	4
3.	Рубіжна атестація	23.11.20	90	5
4.	Обробка вхідних даних та розрахункової частини	24.11-01.12.20	80	4
5.	Відпрацювання 3-го розділу	02-08.12.20	74	4
6.	Відпрацювання вступної частини, висновків, списку використаних джерел та додатків	09-10.12.20	83	4
7.	Перевірка роботи на плагіат, підготовка презентації, доповіді	11.12.20	92	5
8.	Подання роботи на рецензування	11.12.20	81	4
9.	Подання роботи до навчальної частини	12.12.20	74	4
10.	Інтегральна оцінка виконання етапів календарного плану (як середня по етапам)	12.12.20	75	4

Курсант

_____ Владислав ЧЕРНИХ
(підпис) (прізвище та ініціали)

Керівник роботи підполковник

_____ Андрій ГЛУШКОВ
(підпис) (прізвище та ініціали)

АНОТАЦІЯ

Магістерська кваліфікаційна робота курсанта Черниха В.В. на тему «Розробка вимірювача вологості».

В даній магістерській кваліфікаційній роботі спроектований вимірювач вологості на базі мікроконтролера малої потужності фірми Atmel серії ATmega-8 та апаратно обчислювальної платформи Arduino її електрична, структурна схема.

Для максимально точного вимірювання метеорологічних величин, а саме вологості повітря, використано модуль датчика BME 280 фірми Bosch Sensortec.

Актуальність обраної тематики обумовлена тим, що є необхідність розробки та проектування приладу, що дасть змогу в реальному часі за допомогою модуля прийому та передачі отримувати показання температури, вологості в цифровому вигляді, які у свою чергу будуть відтворюватись на LCD дисплеї.

Мета і завдання дослідження. Метою роботи є розробка та тестування портативного вимірювача вологості.

Головними завданнями, що вирішувалися у рамках дослідження для досягнення мети:

- проектування схеми вимірювача вологості;
- розробка портативного вимірювача вологості;
- комутація вимірювача вологості з персональним комп'ютером;
- написання алгоритму програми для виведення метеорологічних даних на екран дисплею.

Об'єкт дослідження – вимірювач вологості.

Предмет дослідження – способи покращення вимірювача вологості.

Методи дослідження – при виконанні поставлених у роботі задач використовувалися: методи математичного і фізичного моделювання, теорія електричних кіл, математичні методи оцінки проведених досліджень.

Практичне значення одержаних результатів полягає в тому, що наукові положення доведені до ступеню, придатного для практичного використання вимірювача вологості у метеорологічних підрозділах.

Розроблений вимірювач вологості є мобільним з можливістю передачі та запису даних на накопичувачі інформації.

Наукова новизна отриманих результатів полягає в наступному:

- на основі аналізу доступних складових частин була розроблена схема вимірювача вологості;
- розроблений вимірювач вологості, який відповідає необхідним номіналам похибок;
- була проведена розробка програми з більш розширеними можливостями для персонального комп'ютера.

Рекомендації щодо використання результатів роботи з зазначенням галузі застосування. Розроблений в ході роботи дистанційний вимірювач вологості може використовуватись у метеорологічних підрозділах, тому що він дає точні показники вологості, які для зручності можуть надходити до портативного ком'ютера.

Структура і обсяг роботи. Робота викладена на 61 сторінці машинописного тексту, містить у собі 29 рис., 3 таблиці, складається зі вступу, 3-х розділів, висновків, списку використаних джерел (40 найм.) і 4-х додатків.

Ключові слова: вимірювач вологості, мікроконтролер, схема, мікропроцесор.

ABSTRACT

Master's qualification work of cadet Chernykh VV on the topic "Development of a moisture meter".

In this master's qualification work the humidity meter is designed on the basis of the low-power microcontroller of the Atmel ATMega-8 series and the hardware of the Arduino computing platform, its electric and structural scheme.

For the most accurate measurement of meteorological values, namely air humidity, the module of the BME 280 sensor of Bosch Sensortec is used.

The relevance of the chosen topic is due to the fact that there is a need to develop and design the device, which will allow in real time with the help of the module of reception and transmission to receive temperature readings, humidity in the digital circuit, which in turn.

The purpose and objectives of the study. The aim of the work is to develop and test a portable humidity meter.

The main tasks to be solved within the framework of the research to achieve the goal:

- design of the scheme of the humidity meter;
- development of a portable humidity meter;
- switching of the humidity meter with the personal computer;
- writing an algorithm for programs for displaying meteorological data on the display screen.

The object of study is a humidity meter.

The subject of research is the methods of improving the humidity meter.

Research methods - in the performance of the tasks set in the work were used: methods of mathematical and physical modeling, the theory of electric circuits, mathematical methods of evaluation of research.

The practical significance of the obtained results is that the scientific provisions are brought to a degree suitable for the practical use of a humidity meter in meteorological departments.

The developed humidity meter is mobile with the ability to transmit and record data on the storage of information.

The scientific novelty of the obtained results lies in the following:

- on the basis of the analysis of available constituent parts the scheme of the measuring instrument of humidity was developed;

- the humidity meter which corresponds to necessary denominations of errors is developed;

- software development with more advanced capabilities for a personal computer was developed.

Recommendations for the use of the results of work with the designation of the field of application. The remote humidity meter developed in the course of work can be used in meteorological departments as it gives exact indicators of humidity which for convenience can arrive to a portable computer.

Structure and scope of work. The work is presented on 61 pages of typewritten text, contains 29 figures, 3 tables, consists of an introduction, 3 chapters, conclusions, a list of used sources (40 hires) and 4 appendices.

Keywords: humidity meter, microcontroller, circuit, microprocessor.

ЗМІСТ

ВСТУП	9
1 ВИМІРЮВАЧІ ВОЛОГОСТІ ПОВІТРЯ	11
1.1 Загальна інформація про вимірювачі вологості повітря.....	11
1.2 Класифікація датчиків вологості	15
2 ВИКОРИСТАННЯ АНАЛОГО-ЦИФРОВИХ ПЕРЕТВОРЮВАЧІВ ТА ПЛАТФОРМИ ARDUINO.....	19
2.1 Апаратна обчислювальна платформа ARDUINO	19
2.2. Огляд існуючих програмних засобів моделювання аналого-цифрових перетворювачів та цифро-аналогових	25
3 РОЗРОБКА СХЕМИ ДЛЯ ВИМІРЮВАЧА ВОЛОГОСТІ ПОВІТРЯ	42
3.1 Схема та принцип її роботи	42
3.2 Розробка робочої схеми вимірювача вологості на основі платформи ARDUINO.	49
3.3 Порядок проектування портативної станції.....	50
ВИСНОВКИ.....	53
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ	54
ДОДАТКИ	

ВСТУП

Отримання безперервних даних метеорологічних величин є важливою складовою роботи інженера-метеоролога. Зокрема, таких важливих даних як даних про вологість та температуру повітря.

Вимірювання відносної вологості та температури дистанційно за допомогою відповідних датчиків є важливим для моніторинга навколишнього середовища. Аналогові виходи датчиків з'єднуються з мікроконтролером через Аналого-цифровий перетворювач для перетворення цифрових сигналів і реєстрації даних. ЖК-дисплей також з'єднаний з мікроконтролером для відображення результатів вимірювань. Ці пристрої мають багато переваг порівняно з іншими системами моніторингу погоди з точки зору їх меншого розміру.

Актуальність теми дослідження зумовлюється:

1. Забезпеченням інженера – метеоролога постійними даними відносної вологості повітря у цифровому вигляді, які у свою чергу будуть передаватись через електронні носії та через мережу інтернет.
2. Конструювання цифрового вимірювача вологості повітря, який буде використовуватись як мобільний пристрій для фіксації метеорологічних величин.

Мета дослідження:

Розробка ефективної схеми та проектування вимірювача вологості повітря, що дасть змогу в реальному часі отримувати показники вологості в цифровому вигляді.

Завданнями, що вирішувалися у рамках дослідження для досягнення мети, є:

- вибір та аналіз програмного забезпечення;
- розгляд структури роботи реєстраторів вологості повітря;
- проектування схеми;
- розробка програмного забезпечення;

Об'єкт дослідження – вимірювач вологості

Предмет дослідження – способи покращення вимірювача вологості

Методи дослідження – аналіз, синтез, узагальнення, індукція, дедукція, опис, класифікація.

У ході розробки вимірювача вологості було використано: платформа Arduino Nano V3.0, датчик BME/BMP 280, дисплей LCD1605, куллер, термоізоляційна паста, програмне забезпечення Fritzing, Arduino та DesignSpark Mechanical.

У першому розділі магістерської роботи наводиться інформація про існуючі вимірювачі вологості.

У другому розділі магістерської роботи наводиться інформація про платформу ARDUINO UNO і основні типи датчиків.

У третьому розділі магістерської роботи наводиться робоча схема вимірювача вологості, а також порядок проектування приладу та його робота. Також надана інформація про тестування приладу та порівняльна характеристика показань з аналоговими пристроями. Також надана інформація про удосконалення приладу.

Структура і обсяг роботи. Робота викладена на 61 сторінці машинописного тексту, містить у собі 29 рис., 3 таблиці, складається зі вступу, 3-х розділів, висновків, списку використаних джерел (40 позицій) і 2-х додатків.

1 ВИМІРЮВАЧІ ВОЛОГОСТІ ПОВІТРЯ

1.1 Загальна інформація про вимірювачі вологості повітря

EzodoDTR- призначений для реєстрації температури та вологості повітря з діапазонами вимірювання температури від -40 до +85°C та діапазоном вимірювання вологості від 1 до 99% .

Цей прилад здатний вимірювати температуру і вологость, а також передає до 50 000 значень безпосередньо до комп'ютера через USB-кабель без додаткових пристроїв. Він має зручне програмне забезпечення для налаштування параметрів роботи та для аналізу отриманих даних. В ньому вбудована сигналізація перевищення температури зі світлодіодною індикацією.

Таблиця 1- Технічні характеристики реєстратора температури та вологості Ezodo DTR

Датчик	Вбудований
Тип	температура/вологість
Каналів	2
Діапазон	1-99 % відносної вологості від -40 до 85 °C (від -40 до 185 °F)
Точність	±3,0 % відносної вологості (20-80 %) ±5,0 % відносної вологості (<20 %, >80 %) 0,6 °C (1,2 °F) в діапазоні від -20 до 50 °C 1,0 °C (1,8 °F) в іншому діапазоні
Роздільна здатність	0,1 °C; 0,1% RH
Частота дискретизації	1 раз за секунду
Інтерфейс	USB
Пам'ять	50 000 записів
Живлення	3,6 AA літієва батарея
Період експлуатації батареї	порядку 1 року
Габарити	83x60x24 мм
Вага	77 г

Вартість приладу складає 4400 грн.

Testo 184 H1 - призначений для реєстрації температури та вологості повітря з діапазонами вимірювання температури від -35 до +65°C та діапазоном вимірювання вологості від 1 до 99% .

Вимірювач вологості та температури Testo 184 H1 працює в автоматичному режимі, по програмі, попередньо налаштованій користувачем. Для програмування прилад необхідно підключити в USB роз'єм будь-якого ПК. В процесі вимірювань testo 184 H1 може записати у пам'ять до 64 000 параметрів [3].

Керувати приладом надзвичайно просто – вимірювання починаються при натисканні кнопки “Старт” і завершуються при натисканні кнопки “Стоп». Не пропустити перевищення граничного значення допомагає сигнал світлодіодного індикатора на корпусі приладу. Крім того, величину перевищення можна переглянути на вбудованому дисплеї.

Реєстратор Trotec - призначений для реєстрації температури та вологості повітря з діапазонами вимірювання температури від -45 до +75°C та діапазоном вимірювання вологості від 1 до 100%

Реєстратор Trotec застосовується для контролю двох важливих параметрів - температура і вологості повітря. Пристрій дозволяє не лише фіксує отриманий результат, но і зберігати дані тривалий період [21].

Таблиця 2 – Технічні характеристики реєстратора температури і вологості testo 184 H1

Датчик	Вбудований
Каналів	2
Діапазон	1-100 %
	від -20 до 70 °C (від -20 до 170 °F)
Точність	±1,8 %
	±0,5 °C
Роздільна здатність	0,1 °C; 0,1% RH
Частота дискретизації	1 раз за секунду
Пам'ять	64 000 записів

Вартість приладу 6500 грн.

1.2 Класифікація датчиків вологості

Деякі прилади виготовляють каліброваними під певну вологість, але для точного налаштування потрібно знати точне значення цього параметра в повітрі.

Ці чутливі елементи можна уявити, як елементарні конденсатори з двома пластинами, між якими знаходиться повітря. Це найбільш проста конструкція. Повітря не проводить електричний струм в сухому стані. При її зміні, змінюється і ємність конденсатора.

Перший тип складається з ємнісного датчик з діелектриком, який значно змінюється від вологості. Такий спосіб підвищує якість датчика, в порівнянні з повітряним типом.

Другий тип краще застосовувати для вимірювань на твердих предметах. Предмет розміщується між пластинами конденсатора, який підключається до контуру коливачів до генератора. Такий спосіб вимірювань містить негативні сторони. При вологості матеріалу менше 0,5 відсотка, точність буде низькою, матеріал повинен бути чистим від речовин з високою проникністю. Найважливішим також є геометрична форма предмета, яка не повинна змінюватися в досвіді по вимірюванню вологості.

Третій тип датчика є тонкоплівковий гігрометр, що включає підкладку з двома електродами у вигляді гребінки. Вони є обкладинками. Для компенсації температури в 1 датчик включені 2 термоелемента [2].

Резистивні датчики складаються з 2-х електродів. Вони нанесені на підкладку. На електроди накладено шар струмопровідного матеріалу. Але цей матеріал значно змінює значення опору в залежності від вологості. Відповідним по чутливості матеріалом став оксид алюмінію. Він поглинає вологу зовні, його опір значно змінюється. Значення проходження струму буде показувати про значення вологості. Перевагою таких датчиків стала їх невелика вартість [4].

Термисторні датчики вологості

Гігрометр на термисторах включає два однотипних термистора. Це нелінійні компоненти. Їх опір прямо пропорційний температурі. Один з термисторів розташований в герметичній камері з сухим повітрям. 2-й термистор знаходиться в камері з отворами. Через них надходить вологе

повітря. Цю вологість потрібно визначити. Термістори підключені по мостовій схемі. Різниця потенціалів подається на одну діагональ, показання знімають з іншого.

При нульовій напрузі на виході термісторів їх температура однакова, тому вологість обох термісторів також однакова. При нульовій напрузі вологість різна. Тому за вимірної напрузі розраховують вологість.

Простий ланцюг датчика включає світлодіод, що випускає світло на поверхню дзеркала, що відображає і змінює його напрямком. У нашому випадку є можливість змінювати температуру дзеркала шляхом підігріву або охолодження пристроєм регулювання температури особливої точності. Можна використовувати термоелектричний насос. На дзеркало монтують датчик температури. Перед початком вимірів температуру дзеркала встановлюють так щоб його значення було більше точки роси. Потім охолоджують дзеркало. На дзеркалі будуть утворюватися водяні краплі, внаслідок цього промінь світла, що надходить від світлодіода, буде переломлюватися і розсіюватися, що призведе до зниження струму в фотодетекторі [2].

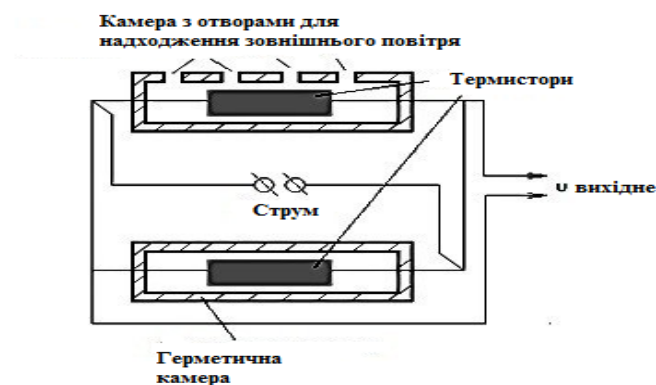


Рис. 1.1 – Зовнішній вигляд термісторного варіанта датчика

Його основна дія визначення вологості точки роси. Коли досягається цей стан точки роси, то рідина і газ набувають рівноваги термодинаміки.

Якщо скло розташувати в газовому середовищі з температурою що знаходиться вище точки роси, далі знижувати температуру скла, то на склі

виникне конденсат. Це процес переходу води в рідкий стан. Температура такого переходу і називається точкою роси. Температура цієї точки залежить від тиску і вологості середовища. У підсумку, якщо ми зможемо визначити температуру і тиск, то легко обчислимо і вологість. Такий метод є основним.

Його принцип дії полягає в зміні електроліту, яким покритий ізоляційний матеріал. Є пристрої з автопідігрівом, що підтримують температуру точки роси. Вимірювання температури точки роси проводиться над розчином хлориду літію. Цей розчин дуже чутливий до найменших змін вологості. Для максимального комфорту для гігрометрів прикріплюють термометр. Такий гігрометр має підвищену точність, невелику похибку. Він може виміряти вологість при будь-якій температурі середовища.

2 ВИКОРИСТАННЯ АНАЛОГО-ЦИФРОВИХ ПЕРЕТВОРЮВАЧІВ ТА ПЛАТФОРМИ ARDUINO

2.1 Апаратна обчислювальна платформа ARDUINO

Arduino (Ардуіно) — апаратна обчислювальна платформа для аматорського конструювання, основними компонентами якої є плата мікроконтролера з елементами вводу/виводу та середовище розробки Processing/Wiring на мові програмування. Arduino може використовуватися як для створення автономних інтерактивних об'єктів, так і підключатися до програмного забезпечення, яке виконується на комп'ютері. Інформація про плату знаходяться у відкритому доступі і може бути використана тими, хто створює плати власноруч.

Плата Arduino складається з мікроконтролера Atmel AVR, а також елементів обв'язки для програмування та інтеграції з іншими пристроями. На багатьох платах наявний лінійний стабілізатор напруги +5В або +3,3В. Тактування здійснюється на частоті 16 або 8 МГц кварцовим резонатором. У мікроконтролер записаний завантажувач (bootloader), тому зовнішній програматор не потрібен [8].

На концептуальному рівні усі плати програмуються через порт RS-232 (послідовне з'єднання), але реалізація даного способу різниться від версії до версії. Новіші плати програмуються через USB, що можливо завдяки мікросхемі конвертера USB-to-Serial FTDI FT232R. У версії платформи ArduinoUno як конвертер використовується контролер Atmega8 у SMD-корпусі. Дане рішення дозволяє програмувати конвертер таким чином, щоб платформа відразу розпізнавалася як миша, джойстик чи інший пристрій за вибором розробника зі всіма необхідними додатковими сигналами керування.

Arduino UNO R3 виконаний на мікроконтролері ATmega328. До його комплектації входить:

- 14 цифрових портів входу-виходу (6 з них підтримують режим ШІМ модуляції);
- 6 аналогових входів;
- частота тактування 16 МГц;

- USB порт;
- роз'єм живлення;
- роз'єм внутрішньосхемового програмування;
- кнопка скидання.

Таблиця 2 – Технічні характеристики контролера ARDUINO

Тип мікроконтролера	ATmega328P
Напруга живлення мікроконтролера	5 В
Напруга живлення плати	7 – 12 В
Цифрові входи-виходи	14
Виходи модуляції	6
Аналогові входи	6
Допустимий струм цифрових виходів	20 мА
Допустимий струм виходу 3,3 В	50 мА
Флеш пам'ять (FLASH)	32 кБ
Об'єм оперативної пам'яті (SRAM)	2 кБ
Об'єм енергозалежної пам'яті	1 кБ
Тактова частота	16 мГц
Довжина плати	68,6 мм
Ширина плати	53,4 мм
Вага	25 г

У плати є всі необхідні компоненти для забезпечення роботи мікроконтролера. Досить підключити USB кабель до комп'ютера і подати живлення. Мікроконтролер встановлений на колодці, що дозволяє легко замінити його в разі виходу з ладу [11].

Контролер програмується з інтегрованого середовища програмного забезпечення Ардуіно (IDE). Програмування відбувається під управлінням резидентного завантажувача по протоколу STK500. Апаратний програматор при цьому не потрібний.

Мікроконтролер можна запрограмувати через роз'єм для внутрішньосхемового програматора ICSP, не використовуючи, завантажувач. Вихідний код програми-завантажувача знаходиться у вільному доступі.

Arduino UNO R3, на відміну від попередніх версій, не використовує для підключення до комп'ютера міст USB-UART FTDI. Цю функцію в ньому виконує мікроконтролер ATmega16U2.

Плата UNO може отримувати живлення від USB порту або від зовнішнього джерела. Джерело живлення вибирається автоматично. В якості зовнішнього джерела живлення може використовуватися мережевий адаптер або батарея. Адаптер підключається через роз'єм діаметром 2,1 мм (центральний контакт - позитивний). Батарея підключається до контактів GND і Vin роз'єму POWER.

Arduino – пристрій, що складається з комплекту мікропроцесорів, зібраних на недорогих мікроконтролерах. Воно має відкриті зрозумілі схеми. Будь-який бажаючий може дізнатися в інтернеті, які складові частини входять в схему, яка буде у нього ціна. Підключення вентилятора до такого пристрою не складе труднощів. Цікавим фактом є взаємодія такого пристрою з комп'ютером. Існує безліч драйверів і спеціальних програм, за допомогою яких можна працювати і виконувати різні операції.

Якщо врахувати вартість в даний час, то хочеться зробити своїми руками витяжний вентилятор в комплекті з датчиком вологості. Але такі пристрої рекомендується виготовляти для задач складніше. Можна, наприклад, з'єднати в одну мережу безліч різного устаткування. Багато фірм монтують датчики вологості на обладнання, що випускається. Внаслідок цього не має серйозного сенсу цим займатися, і робити те, що вже давно зроблено.

Компанія Regeltechnik виробляє сенсори суміщеного типу для вимірювання вологості і температури, як для зовнішнього середовища, так і для будівель і приміщень [2].

Вологість рекомендується створювати в межах 40-60 відсотків. Іноді з'являється в таких випадках завдання по зволоженню. Вентилятор з пристроєм зволоження може досягти номінальних параметрів автоматично, так як в його складі є вбудований гігростат, іншими словами генератор пара. Ці прилади затребувані в літній період в сухих кліматичних умовах. Вентилятори можуть за допомогою цифрової керованої системи боротися з примхами природи. Поганої погоди не буває, але мікроклімат завжди можна оптимізувати [14].

Напруга зовнішнього джерела живлення може бути в діапазоні 6 - 20 В. Але рекомендується не допускати зниження напруги нижче 7 В через нестабільну роботу пристрою. Також не бажано підвищувати напругу живлення більш 12 В, тому що може перегріти стабілізатор і вийти з ладу. Тобто рекомендований діапазон напруги живлення 7 - 12 В.

У мікроконтролера три типи пам'яті: • 32 кБ флеш (FLASH); • 2 кБ оперативної пам'яті (SRAM); • 1 кБ незалежній пам'яті (EEPROM). Входи і виходи. Кожен з 14 цифрових виходів може бути використаний в якості виходу або входу. Рівень напруги на виходах 5 В. Гранично допустиме значення цього параметра складає 40 мА. Кожен вихід має внутрішній підтягаючий резистор опором 20-50 кОм. Резистор може бути відключений програмно [32]

У платі Arduino UNO є 6 аналогових входів, позначених А0-А5. Роздільна здатність аналогового цифрового перетворення 10 розрядів. За замовчуванням, вхідна напруга вимірюється щодо землі в діапазоні 0-5 В, але може бути змінено за допомогою виведення AREF і програмних установок.

Деякі виходи можуть виконувати додаткові функції. При послідовному інтерфейсі виходи 0 (Rx) і 1 (Tx) використовується для прийому (Rx) і передачі (Tx) послідовних даних логічних рівнів TTL. Ці виходи підключені до виходів передачі даних мікросхеми ATmega16U2, яку використовують в якості моста USB-UART.

Деякі виходи можуть виконувати додаткові функції. При послідовному інтерфейсі виходи 0 (Rx) і 1 (Tx) використовується для прийому (Rx) і передачі (Tx) послідовних даних логічних рівнів TTL. Ці виходи підключені до виходів передачі даних мікросхеми ATmega16U2, яку використовують в якості моста USB-UART [20].

Модуль Arduino UNO має кабель для зв'язку з комп'ютером, з іншою платою UNO або з іншими мікроконтроллерами. Для цього на платі існує інтерфейс UART з логічними рівнями TTL (5 В), пов'язаний з виходами 0 (RX) і 1 (TX). Мікросхема ATmega16U2 на платі пов'язує UART інтерфейс з USB портом комп'ютера. При підключенні до порту комп'ютера, з'являється віртуальний COM порт, через який програми комп'ютера працюють з Ардуіно. Прошивка ATmega16U2 використовує стандартні драйвери USB-COM і встановлення додаткових драйверів не потрібно. Для операційної системи Windows необхідний відповідний inf файл. В інтегровану середу

програмного забезпечення Ардуіно (IDE) включений монітор обміну по послідовному інтерфейсу, який дозволяє посилати і отримувати з плати прості текстові дані. На платі є світлодіоди RX і TX, які фіксують стан відповідних сигналів для зв'язку через USB (але не для послідовного інтерфейсу на виходах 0 і 1).

Мікроконтролер ATmega328 також підтримує комунікаційні інтерфейси I2C (TWI) і SPI.

Для того, щоб наступного разу галерея перед завантаженням програми натискати кнопку скидання, на платі UNO реалізована апаратна функція скидання, що ініціюється з підключеного комп'ютера. Один із сигналів управління потоком даних (DTR) мікросхеми ATmega16U2 підключений до виводу скидання мікроконтролера ATmega328 через конденсатор ємністю 0,1 мкФ. Коли сигнал DTR переходить в низький стан, формується імпульс скидання мікроконтролера. Це рішення дозволяє завантажувати програму одним натисканням кнопки з інтегрованого середовища програмування Андроїд (IDE).

Але така функція може призводити до негативних наслідків. При підключенні плати UNO до комп'ютера з операційною системою MacOS X або Linux, мікроконтролер буде скидатися при кожному з'єднанні програми з платою. Протягом половини секунди на платі UNO буде запущений завантажувач. Незважаючи на те, що програма завантажувача ігнорує сторонні дані, вона може прийняти кілька байтів з пакета відразу після встановлення з'єднання [40].

На модулі UNO існує доріжка, яку можна перерізати для відключення функції автоматичного скидання. Доріжка маркована написом "RESET-EN". Автоматичне скидання також можна заборонити, підключивши резистор опором 110 Ом між лінією живлення 5 В і виходом RESET.

У платі Arduino UNO лінія живлення від інтерфейсу USB захищена відновлюваним запобіжником. При перевищенні струму понад 500 мА, запобіжник розриває ланцюг для недопущення короткого замикання.

Використання платформи ARDUINO дає широкі можливості при монтажі Реєстратора температури та вологості, а саме вивід даних та архівація через COM - порт на екран персонального комп'ютера або на екран мобільного телефону [3].

2.2. Огляд існуючих програмних засобів моделювання аналого-цифрових перетворювачів та цифро-аналогових

На сьогоднішній день активно ведуться роботи по дослідженню і розробці аналогово-цифрових та цифро-аналогових перетворювачів. Для спрощення таких робіт сьогодні існує ряд програмного забезпечення, який дозволяє моделювати реальну роботу досліджуваної електронної схеми, її передаточні, статичні та динамічні характеристики. Завдяки такому програмному забезпеченню інженер має можливість в реальному часі змінювати та відлагоджувати прототип схеми чи пристрою, що було б складніше й дорожче робити на практиці – якщо схема в програмі згорить, купувати нові елементи на заміну пошкодженим не доведеться [35].

У роботі В.М. Груша «Моделювання і застосування диференціальних драйверів для швидкодіючих Аналого-цифровий перетворювач» автор розглядає програмний додаток ADIsimDiffAmp, який пропонує для своїх клієнтів компанія Analog Devices. Даний програмний засіб доступний онлайн безпосередньо на сайті компанії Analog Devices, www.analog.com. Зовнішній вигляд програми зображено на рисунку 3.1.

Призначенням даного засобу є допомога у виборі, оцінці й пошуку несправності при підключенні диференціальних операційних підсилювачів (ОП) до входу аналого-цифровий перетворювач. Даний засіб використовує типові моделі схемотехнічних рішень, створених для ОП, дозволяє обчислити коефіцієнт підсилення вибраної схеми з певними параметрами або вказати, які значення повинні мати елементи схеми для отримання певного коефіцієнта підсилення. Також дозволяє задавати діапазони напруг на входах і отримувати значення на виходах, задавати бажаний вигляд вихідного сигналу і рівень обмеження напруги. Це все супроводжується наочною візуалізацією вхідних і вихідних сигналів у вигляді графіків. Щоправда, цей засіб не обчислює, не моделює і не перевіряє частотну характеристику або ефективність пристрою [15].

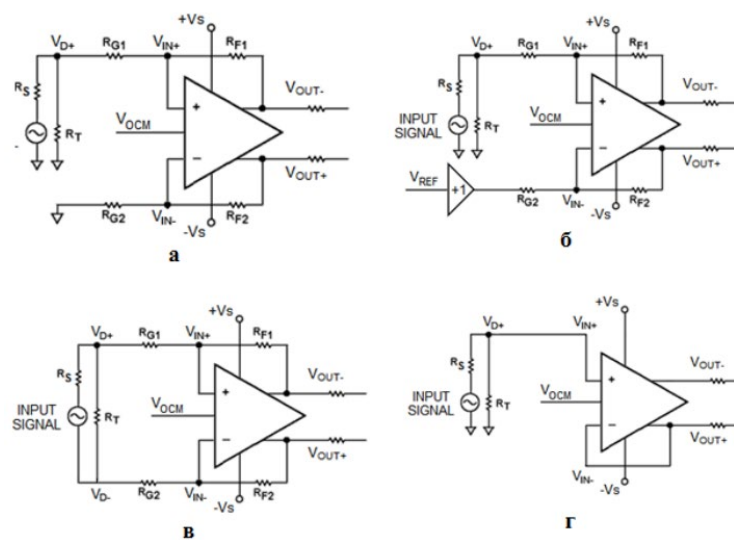


Рис. 2.1 – Типові схеми підключення підсилювача: а – з несиметричним входом; б – з несиметричним входом та зсувом; в – з диференціальним входом; г – з підсиленням без зовнішніх резисторів

Розглянутий в даній праці програмний засіб створений для швидкого вибору підсилювача і пошуку несправностей. Він також може використовуватися для ознайомлення з новими підсилювачами Analog Devices. Інтерфейс інструмента ADIsimDiffAmp складається з 3-х частин:

- 1) вибору конфігурації (випадаючі меню і текстові форми вибору компоненти, схеми, завдання значень для окремих деталей схеми);
- 2) завдання форми вхідного сигналу;
- 3) засоби аналізу роботи операційного підсилювача (графіки, текстова форма для виводу помилок та попереджень).

При виборі конфігурації з меню Select Configuration, можна вибрати вид схеми, наприклад, (Рис. 2.4):

- 1) з несиметричним входом (Single-Ended Input);
- 2) з несиметричним входом та зсувом (Single Ended Input-Offset);
- 3) з диференціальним входом;
- 4) з підсилення без зовнішніх резисторів (Resistorless Gain of 2).

У залежності від того, що необхідно отримати на виході, програма дозволяє користувачу ввести бажаний коефіцієнт підсилення, а програма сама обчислить і покаже рекомендовані значення резисторів. Також користувачу надається можливість ввести значення резисторів, напругу живлення і програма обчислити коефіцієнт підсилення при заданих

параметрах. У разі введення параметрів, що можуть призвести до виходу з ладу ОП або неправильної його роботи, будуть виведені відповідні рекомендації. Також можна задати форму вхідного сигналу: синусоїдальну, триангулярну чи у вигляді цифрового сигналу.

ADIsimDiffAmp дає можливість ще на етапі проектування оцінити параметри пристрою, перевірити його працездатність.

Недоліком ADIsimDiffAmp є те, що програмний засіб не обчислює, не моделює і не перевіряє частотні та статичні характеристики або ефективність пристрою.

Таким чином, в розроблюваному програмному засобі необхідно усунути дані недоліки, а саме реалізувати можливість обчислювати, моделювати та перевіряти частотні та статичні характеристики. Цей функціонал необхідний для дослідження цифро-аналогових перетворювачів [28].

В статті К.Едельмана «Современный подход к моделированию аналого-цифровой перетворювач в телекоммуникационных устройствах» автор розглядає програмний засіб для моделювання аналого-цифрових перетворювачів під назвою ADIsimADC (рис. 2.4).

При моделюванні ланцюжка проходження сигналу в приймачі аналого-цифровий перетворювач часто розглядають як якийсь ідеальний блок. Щоб «наблизити» його характеристики до реальних, додають трохи шуму або спотворень, припускаючи, що поведінка не залежить від частотного і амплітудного розподілу вхідного сигналу. Це потенційно небезпечно, оскільки недостатньо низька точність моделювання аналого-цифровий перетворювач може призводити до помилок, які будуть виявлені лише на стадії перевірки пристрою або при виробництві [19].

Розроблена компанією Analog Devices модель ADIsimADC спеціально створена для того, щоб якомога точніше відобразити поведінку і параметри аналого-цифрового перетворювача. Існуючі SPICE-моделі аналого-цифрового перетворювача, звичайно, дозволяють визначити робочі точки, проаналізувати перехідні процеси і навіть визначити частотні характеристики. Однак вони занадто повільні, до того ж не завжди точно відображають логіку поведінки аналого-цифрового перетворювача. На відміну від SPICE-моделей, поведінкова модель ADIsimADC дає можливість швидко і точно відобразити залежність вихідного коду від вхідної напруги, АЧХ і інші важливі параметри аналого-цифрового перетворювача. Модель

зручна в підтримці, не вимагає підтримки великого SPICE-файлу, легко інтегрується з такими САПР як, наприклад, Advanced Design System (ADS) компанії Agilent Technologies.

За допомогою моделі ADIsimADC можна відтворювати такі ефекти аналого-цифрового перетворювача, як посилення, відбудова, затримка, джиттер тактового сигналу, спотворення швидкості наростання напруги, а також інші функціональні характеристики. Щоб достовірно відобразити роботу фізичного пристрою в ADIsimADC, кожна компонента ланцюжка перетворення сигналу моделюється з урахуванням специфіки цього етапу. Наприклад, в блоці дискретизації і захоплення враховується джиттер тактового сигналу, підвищення рівня шуму в залежності від швидкості наростання напруги, вносяться спотворення швидкості наростання напруги, які викликані помилками захоплення і встановлення вхідного сигналу. Вплив постійного струму на характеристики посилення і відбудови також відстежується в блоці дискретизації і захоплення. Ядро аналого-цифрового перетворювача відповідає за процес квантування сигналу. Оскільки існують аналого-цифрові перетворювачі з різними схемами квантування, потрібна адаптивна поведінкова модель, щоб моделювати більшість багатоступеневих перетворювачів (включаючи перетворювачі, що використовують конвеєрне і послідовне наближення). У файлі налаштувань моделі ADIsimADC можна задати архітектуру і характеристики для кожного конкретного аналого-цифрового перетворювача. Результуюча модель дозволяє врахувати вплив теплового шуму і інших спотворень сигналу і відстежити практично будь-яку аномалію квантування. Вхідними даними для моделі служать дискретизований за часом значення напруги, які являють собою оцифрований сигнал. Потік цих даних послідовно проходить через усі блоки моделі. Кожен блок вносить характерні для нього спотворення. Вихідний потік даних містить всі внесені спотворення [7].

Оскільки параметри моделі і блоків відповідають типовим параметрам специфікації конкретного аналого-цифрового перетворювача, результат відображає основні поведінкові характеристики модельованого перетворювача. У перспективі планується можливість проведення моделювання найгіршого випадку, відповідаючого мінімально (максимально) допустимим значенням, визначеним в специфікації.

Модель ADIsimADC дає можливість описати залежність продуктивності аналого-цифрового перетворювача, як функцію частоти і амплітуди вхідного сигналу. Це важливо при розробці ланцюжка проходження сигналів, так як різні важковловимі нюанси можуть негативно вплинути на продуктивність системи. Наприклад, наявність диференціальної нелінійності (DNL) поряд з серединою шкали може вплинути на чутливість, точність посилення і наявність паразитних складових. У цьому випадку навіть при низькорівневому сигналі динамічний діапазон аналого-цифрового перетворювача (SDFR) може бути недостатньо широким.

Джиттер – коливання від вибірки до вибірки на вхідному каскаді кожного перетворювача даних – один з найбільш складних аспектів дискретизації високочастотних аналогових сигналів. На низьких частотах зазвичай ніяких проблем не виникає. Однак на високих частотах помилки дискретизації аналогового сигналу, пов'язані з джиттером, можуть викликати серйозні проблеми. Хоча порядок відхилень складає всього лише фемтосекунди, обмеження параметра SNR ("сигнал/шум"), що виникають внаслідок цього, можуть бути досить значні. На загальний рівень шумів впливає безліч факторів, однак джиттер, без сумніву, - базується на них, особливо для високочастотних аналого-цифрових перетворювачів. Виділяють два джерела джиттера. Перший – внутрішній джиттер самого тестованого аналого-цифрового перетворювача. Оскільки сучасні проектувальники перетворювачів постійно знаходяться в пошуку способів мінімізації цього параметра, він незначний (хоча і не настільки малий, щоб їм знехтувати). Друге, і головне, джерело джиттера - зовнішній тактовий сигнал. Коли модель розраховує рівень шуму, викликаний ний джиттером, джиттер обох типів сумується [24].

Модель ADIsimADC прораховує миттєву швидкість наростання напруги вхідного сигналу і примножує її на джиттер (змодельований методом Гаусса, з сигмою, рівній складеному середньоквадратичного значення внутрішнього і зовнішнього джиттера). Результатом стає значення шуму, що викликається джиттером, яке точно моделюється як функція від частоти і амплітуди вхідного сигналу. Заводський параметр зовнішнього джиттера вважається значення, яке визначено в налаштуваннях, які використовуються при характеристизації пристрою. Однак користувач в будь-який момент може поставити своє значення. Модель ADIsimADC дозволяє ефективно

відображати більшість важливих характеристик аналого-цифрового перетворювача. Однак існують і деякі обмеження. Модель точно відображає вхідний аналоговий сигнал за допомогою вихідного цифрового тільки для однієї зони в одиницю часу. Це викликано тим, що модель обробляє тільки один дискретизований в часі аналоговий сигнал для одного цифрового виходу. При цьому необхідно, щоб вхідні смуга була обмежена однією зоною Найквіста. Однак таке обмеження аналогового сигналу зазвичай не викликає проблем, так як в більшості додатків фільтр Найквіста вже задіяний [13].

Система ADS і поведінкова модель ADIsimADC допомагають дослідити, як впливає аналого-цифровий перетворювач на поведінку системи. При цьому враховуються додаткові спотворення. Можна варіювати склад компонентів, використовуючи наявні в ADS моделі типових високочастотних компонентів (малощумні підсилювачі, фільтри і ін.). Аналіз даних, отриманих в результаті такого дослідження, дозволяє вибрати оптимальний аналого-цифровий перетворювач для остаточної конфігурації системи вже на ранніх етапах проектування. Таким чином можна уникнути повернень на етапі характеристики та виробництва.

Недоліком даного програмного продукту є обмеження швидкості наростання напруги аналогового входу аналого-цифровий перетворювач. Також значно зростає час моделювання схеми при збільшенні точності аналого-цифрового перетворювача.

В лабораторному практикумі А. А. Шегала «Применение программного комплекса multisim для проектирования устройств на микроконтроллерах» описаний базис роботи з програмою Multisim [1].

MultiSim - засіб розробки і моделювання електронних схем. NI Multisim дозволяє створити схему, використовуючи велику бібліотеку компонентів, і емулювати поведінку інтегральної схеми за допомогою стандартного промислового симулятора SPICE. Починаючи з версії 10.1 в Multisim інтегрований MCU Module, що дозволяє додати в SPICE-емулюватися інтегральну схему мікроконтролер і програмувати його на C або Асемблері. Цю можливість оцінять студенти, навчившись працювати з мікроконтролерами Intel / Atmel 8051/8052 і Microchip PIC16F84a. Модуль дозволяє змоделювати роботу інтегральної схеми з мікроконтролером і різними додатковими пристроями: RAM, ROM, клавіатурою, а також графічними і буквено-цифровими ж-к дисплеями.

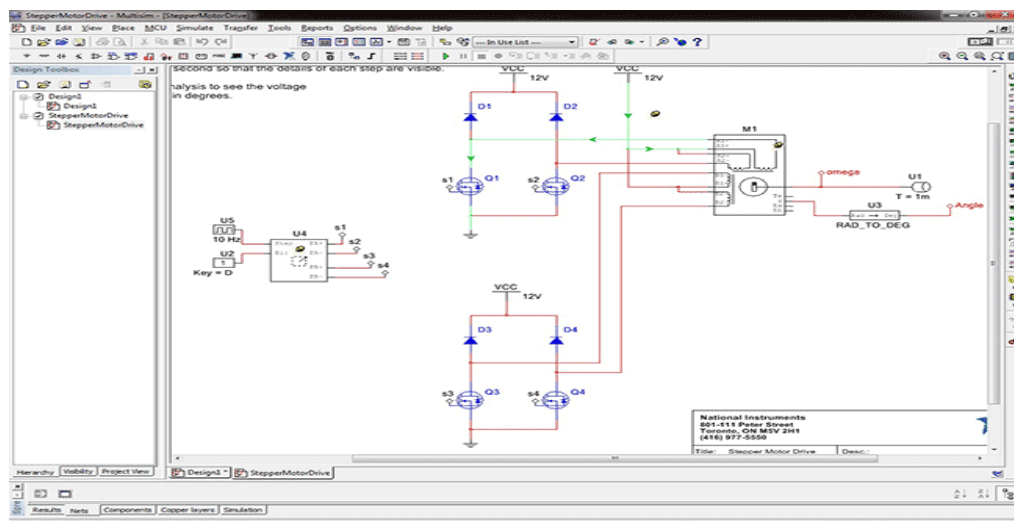


Рис. 2.2 – Зовнішній вигляд інтерфейсу програми Multisim

Multisim містить в собі величезний функціонал. Недоліком програмного продукту є, без сумніву, відсутність якісної локалізації (при обраній мові половина інтерфейсу програми все одно буде на англійській мові) та доволі висока ціна. Наприклад, MultiSim 10.1 для 1 робочого місяця коштує 678 \$ [34].

Тому розроблюваний програмний додаток повинен містити якісну локалізацію та розповсюджуватись безкоштовно, на благо розробки аналого-цифрових перетворювачів.

У монографії О.Д. Азаров, О.В. Дудник «Методи та засоби високоточного аналого-цифрового перетворення з ваговою надлишковістю» для комп'ютерного моделювання надлишкових аналого-цифрових перетворювачів авторами було розроблено власний програмний продукт під назвою RegisterDevice [2].

Програма дозволяє оцінювати інтегральну та диференціальну лінійність такого аналого-цифрового перетворювача. ПЗ був розроблений мовою C+ в середовищі розробки Visual Studio 2010. RegisterDevice є модульною програмою, його вихідний код був згрупований у 15 підпроектах (модулів), що пописують споріднені класи та методи.

Користувач програмного засобу має можливість задати розрядність ПФІ, допуск елементної бази, вказати основу системи числення або ввести ваги розрядів вручну, що дозволяє досліджувати пристрої з ваговою

надлишковістю. Програмний засіб має наступні можливості роботи з вхідними даними:

- 1) Генерація цифро-аналогових перетворювачів із вказаними параметрами;
- 2) Розрахунок статистичних даних за точними характеристиками Цифро-аналогових перетворювачів із вказаними параметрами;
- 3) Генерація аналого-цифрових перетворювачів із вказаними параметрами;
- 4) Розрахунок статистичних даних за точними характеристиками аналого-цифрового перетворювача із вказаними параметрами;

Перевагами даного програмного засобу є його простота для кінцевого користувача і доволі низькі вимоги до параметрів персонального комп'ютера для роботи з RegisterDevice.

Серед недоліків слід виділити відсутність функціоналу для аналізування отриманих статистичних результатів та обмеженість розрядності модельованого ПФІ (24 біти). Також суттєвим недоліком є неможливість роботи з проектами, параметри цифро-аналогового перетворювача необхідно задавати при кожному запуску програми [37].

Для подолання даних недоліків у розроблюваній програмі необхідно:

- 1) реалізувати зберігання модельованих пристроїв у проекти, для можливості подальшої роботи з ними при наступному запуску програми, на іншому комп'ютері або для результатів дослідження змодельованого пристрою;
- 2) Реалізувати роботу із ПФІ великої розрядності;
- 3) Реалізувати статистичні оцінки отриманих результатів.

При виборі типу перетворювачів необхідно враховувати межі змін аналогових величин. При цьому можуть відігравати роль як максимальне X_{MAX} і мінімальне значення X_{MIN} аналогової величини, так і динамічний діапазон її зміни:

$$D = \frac{X_{MAX}}{X_{MIN}} \quad (2.1)$$

У випадках коли $X_{\text{MIN}} = 0$, динамічний діапазон дорівнює $D = X_{\text{MAX}} / \delta$, де δ – допустима абсолютна похибка перетворення, виражена в аналоговій формі.

Одержуваний при кожній вибірці код на виході аналого-цифровий перетворювач відповідає значенню вхідного сигналу в певний момент часу. Цей момент часу називається моментом перетворення.

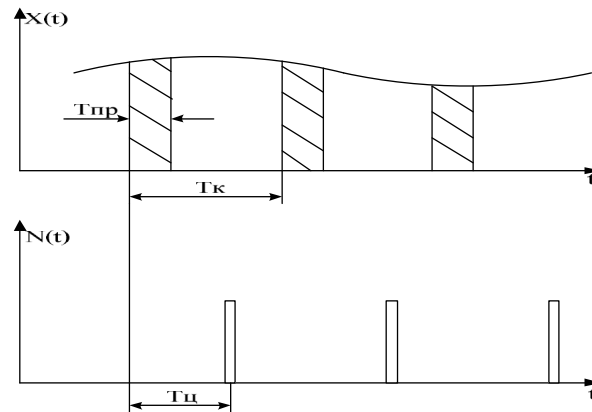


Рис. 2.3 – Ілюстрація часових параметрів аналого-цифрового перетворювача

Розрізняють три часові параметри аналого-цифрового перетворювача:

– період квантування T_k – інтервал між двома послідовними перетвореннями. Величину, зворотну періоду квантування називають частотою квантування:

$$f_k = \frac{1}{T_k} \quad (2.2)$$

– тривалість циклу перетворення $T_{\text{ц}}$, визначає затримку між моментом подачі вхідної величини на аналого-цифровий перетворювач і моментом видачі коду;

– час перетворення $T_{\text{пр}}$ – часовий інтервал, протягом якого вхідний сигнал безпосередньо взаємодіє з аналого-цифровим перетворювачем.

При виконанні аналого-цифрового перетворення вхідний сигнал квантується за часом, при цьому через певні проміжки часу, як правило однакові, беруться вибірки, тобто визначаються поточні значення вхідного сигналу.

Ця похибка складається з двох різних за своєю природою компонентів похибки внаслідок квантування вхідного сигналу за часом (динамічної похибки) та статичної похибки окремого відліку.

Якщо вхідний аналоговий сигнал U_A змінюється в часі, то ненульова тривалість циклу перетворення може спричинити виникнення додаткової похибки. Наприклад, якщо вхідний сигнал лінійно зростає або убыває, то похибка ΔU_x , обумовлена тривалістю циклу перетворення $T_{\text{ц}}$, може бути визначена таким чином: [10].

Отже, по мірі розширення спектру частот вхідного сигналу похибка, викликана тривалістю циклу перетворення, збільшується досить швидко.

$$\Delta U_x = \left(\frac{dU_A}{dt} \right) * T_{\text{ц}} \quad (2.3)$$

Статична похибка складається з 2х частин:

похибки цифрового подання або округлення, що обумовлена квантуванням вхідного сигналу за рівнем інструментальної похибки перетворювача.

У процесі перетворення аналогового сигналу U_A в цифровий код відбувається «квантування» – розбиття напруги U_A на кінцеве число дискретних рівнів, які відрізняються між собою на величину НМЗР.

Цим пояснюється виникнення похибки квантування процесу аналого-цифрового перетворення, величина якої ΔU_A в результаті округлення виявляється в межах від $-1/2$ НМЗР до $+1/2$ НМЗР. Похибка квантування може бути виражена в одиницях аналогової напруги $U_A < U_{\text{ЕТ}}$ наступним чином:

На рис. 2.4 зображено реалізацію аналого-цифрового перетворення трьох-розрядного числа за допомогою паралельного методу.

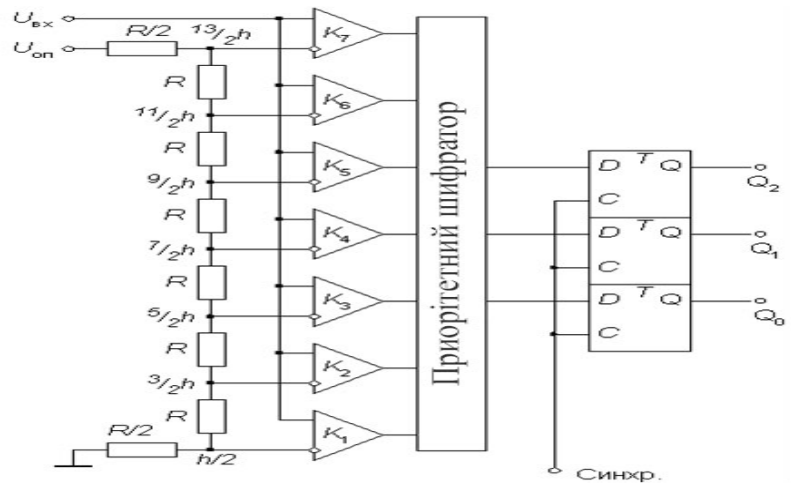


Рис. 2.4 – Схема паралельного аналого-цифрового перетворювача

Необхідно мати на увазі, що похибка квантування внутрішньо притаманна процесу аналого-цифрового перетворення і тому є в кожному аналого-цифровому перетворювачі.

Інструментальна похибка виникає із-за шумів і перешкод як у вхідному сигналі, так і у вузлах аналого-цифрових перетворювачів, а також із-за технологічних відхилень у вузлах аналого-цифрових перетворювачах, що виникли при виготовленні і експлуатації перетворювача [30].

На сьогоднішній день існує багато способів конвертації напруга-код. Різниця між ними полягає в складності технічної реалізації, швидкості перетворення сигналу та точності такого перетворення. Дана класифікація базується на ознаці. Яка показує нам, як саме відбувається процес конвертації аналогового значення в цифровий.

Процес конвертування поступаючого на вхід перетворювача сигналу в цифровий код базується на двох операціях:

- 1) квантування;
- 2) кодування.

Ці обробники сигналу можуть виконуватись шляхом послідовного, паралельного, або послідовно-паралельного наближення цифрових значень до аналогової величини, що перетворюється.

Паралельні аналого-цифрового перетворювача виконують квантування аналогового сигналу, використовуючи набір компараторів. Ці компаратори включені паралельно до джерела вхідного сигналу.

В багатоступневих аналого-цифрових перетворювачах механізм конвертації вхідного аналогового сигналу розподілений між кількома підперетворювачами. Для прикладу схема 2-ступінчастого восьмирозрядного аналого-цифрового перетворювача зображена на рисунку 2.5.

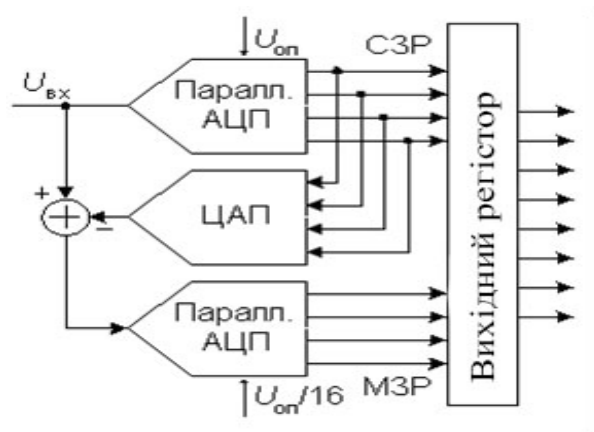


Рис. 2.5 – Схема двоступеневого аналого-цифрового перетворювача

Паралельні перетворювачі мають найбільш високу швидкодію через одночасне функціонування багатьох компараторів. Для прикладу, аналого-цифровий перетворювач типу MAX104 (восьмирозрядний) надає можливість отримати 1 млрд відліків в секунду. При цьому затримка проходження сигналу становить менше 1,3 нс. Однак, паралельні перетворювачі мають недолік – високу складність виготовлення. Нехай потрібно зробити паралельний аналого-цифровий перетворювач з N розрядами. Тоді для реалізації знадобиться $2N-1$ компараторів та $2 * N$ резисторів узгодження. Як наслідок, перетворювач матиме досить високу вартість (сотні доларів США) і велике енергоспоживання [34].

Послідовно-паралельні перетворювачі є компромісним варіантом між високою швидкістю роботи пристрою та низькою вартістю виготовлення одиниці кінцевого продукту. Вони знаходяться між паралельними аналого-цифровими перетворювачами послідовного наближення по швидкості роботи і роздільної здатності. Такі аналого-цифрові перетворювачі діляться на конвеєрні, багатоступінчасті й багатотактні.

В такому Аналого-цифровому перетворювачі з'являється затримка в часі отримання результату в зв'язку з наявністю затримки в першому ступені перетворювача. Через це, використовуючи багатоступеневі аналого-цифрові

перетворювачі, слід підтримувати постійну напругу на вході до того моменту часу, поки не буде отриманий весь результат. Її можна підтримувати, використовуючи пристрій вибірки-зберігання [32].

Конвеєрні аналого-цифрові перетворювачі використовують конвеєрну (багатоетапної) обробку сигналу на вході пристрою, можна значно покращити швидкодію багатоступеневого аналого-цифрового перетворювача. В процесі роботи, на першому етапі за допомогою перетворювача ADC1 формуються біти старших розрядів вихідного слова, а вже згодом формується сигнал на виході цифро-аналогового перетворювача. При цьому ADC2 простоює, не виконуючи ніякої корисної роботи. Під час другого етапу, простоює вже ADC1, при цьому формування залишку відбувається на ADC2.

Таким чином, доповнивши схему елементами затримки між описаними етапами, будується конвеєрний аналого-цифровий перетворювач.

В більшості випадків конвеєрний принцип роботи дозволяє значно збільшити максимальне значення частоти вибірок перетворювача. При цьому все одно залишається сумарна затримка просування сигналу через схему. Але така затримка є і в звичайних багатоступневих перетворювачах з однаковою кількістю розрядів, і вона не має істотного значення, так як витрачений на подальшу роботу по цифровій обробці затриманих сигналів значно більший, ніж ця затримка. Спираючись на цей факт, можна, без втрати швидкості роботи пристрою, зробити кількість ступенів більшою, зробивши меншою розрядність всіх ступенів. А для зменшення складності розроблюваного перетворювача можна збільшити кількість ступенів. Наприклад, при розробці 12-розрядного перетворювача з використанням 4-розрядних ступенів потрібно двадцять вісім компараторів, напрочуд же реалізація такого пристрою з 2 шестирозрядних ступенів вимагатиме використання 126 компараторів.

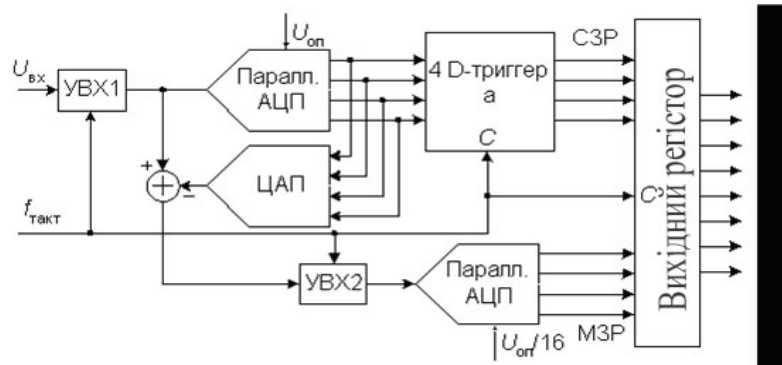


Рис. 2.6 – Структурна схема конвеєрного аналого-цифрового перетворювача

Аналого-цифровий перетворювач послідовного рахунку є одним із послідовних аналого-цифрових перетворювачів, які мають одиничне наближення. Такий аналого-цифровий перетворювач складається з лічильника, цифро-аналогового перетворювача та компаратора. На одному з входів наявного в схемі компаратора ми маємо сигнал зворотного зв'язку, сформований цифро-аналоговим перетворенням, на другий же вхід подається вхідний сигнал.

З початку на вхід компаратора надходить одиничний імпульс (так званий імпульс запуску), з метою власне увімкнути лічильник. Лічильний займається підсумовуванням числа імпульсів, які приходять з тактових імпульсів.

Вихідний код лічильника поступає на вхід на Цифро-аналоговий перетворювач, який перетворює його в напругу зворотного зв'язку $U_{оп}$. Цей процес конвертації відбуватиметься доти, доки вхідна напруга не буде такою ж, як напруга зворотного зв'язку з цифро-аналоговим перетворювачем. В момент рівності цих напруг компаратор перемикається і. Подавши сигнал на вихід, зупинить процес поступання на лічильник необхідних для його роботи тактових імпульсів. Така зміна стану виходу компаратора з одиниці в нуль спричинить закінчення конвертації сигналу. Отриманий вихідний код буде еквівалентним напрузі, яка поступала на вхід схеми в момент, коли перетворення завершилося, і зчитується з виходу лічильника.

Такі перетворювачі здатні працювати з напругами, які постійно змінюються, та постійними напругами без пристроїв вибірки та зберігання

результатів. Такі напруги повинні змінюватись менше за величину одного кванту перетворення.

Отже, такі перетворювачі мають переваги у вигляді малої кількості елементів та простоти розробки, у зв'язку з простим послідовним процесом перетворення [21].

Аналого-цифровий перетворювач послідовного наближення відомі в технічній літературі також як аналого-цифрові перетворювачі порозрядного врівноваження. Вони найбільш поширені серед варіантів послідовних аналого-цифрових перетворювачів.

Робота аналого-цифрового перетворювача порозрядного врівноваження базується на принципі дихотомії – поступового, крок за кроком порівняння величини, що вимірюється, зі значеннями 0.5, 0.25, 0.175 і т.д., рухаючись від найбільшого можливого значення величини до менших. Такий підхід дає змогу здійснити за допомогою N-розрядного аналого-цифрового перетворювача всю роботу по перетворенню всього за N ітерацій, замість $2N - 1$ з використанням послідовного рахунку. Також цей підхід дає значний вигаш в швидкості роботи аналого-цифрового перетворювача.

Такі аналого-цифрові перетворювачі можуть мати дуже малу статичну похибку. Це дає змогу зробити велику роздільну здатність, до вісімнадцяти двійкових розрядів, при цьому частота вибірок може досягати 200 кГц (наприклад, DSP101 фірми Burr-Brown) [29].

Даний клас аналого-цифрового перетворювача займає проміжне положення по швидкодії, вартості і інтегруючими та послідовно-паралельними перетворювачами. Тому вони набули широкого використання в системах контролю, управління контролю та цифрової обробки сигналів [17].

2.3. Принципи проектування та побудови схеми для інтегральних аналого-цифрових перетворювачів

Коли цифрова обчислювальна техніка стала застосовуватися в автоматичних системах управління та обробки інформації, значно збільшилася потреба в пристроях, що здійснюють зв'язок між ЕОМ та іншими частинами системи. Ці пристрої називаються аналого-цифровими і цифроаналоговими перетворювачами. У природному стані всі змінні (такі як

струм, напруга, тиск, лінійні розміри, температура і т. д.) представляються в аналоговій формі. Проте в процесі обчислення і передачі сигналів вони часто представляються в цифровій формі. Тому аналого-цифрові перетворювачі і цифро-аналогові перетворювачі можна розглядати як специфічні кодуєчі і декодуєчі пристрої. Представимо перетворювачі цих двох типів в загальному вигляді: [1].

Вхідним сигналом цифро-аналогових перетворювачів є цифровий код, що містить певну кількість двійкових розрядів, а в якості сигналу на виході маємо аналоговий сигнал – напругу, величина якої однозначно відповідає вхідному слову (у конкретних випадках – кут повороту валу, лінійне переміщення і т. д., але у більшості випадків ці величини виходять шляхом подальшого перетворення з електричних величин).



Рис. 2.7 – Представлення в загальному вигляді цифро-аналогового і аналого-цифрового перетворювачів.

Більшість аналого-цифрових перетворювачів включають в свій склад цифро-аналогові перетворювачі. У пристроях узгодження цифрових і аналогових систем часто потрібно забезпечити дуже точне узгодження елементів та відповідність їх характеристик і параметрів. Особливо жорсткі вимоги в цьому сенсі пред'являються до елементів цифро-аналогових перетворювачів, оскільки точність аналогового сигналу на виході повинна забезпечуватися в широкому діапазоні температур.

Аналого-цифрові перетворювачі призначені для перетворення безперервного аналогового сигналу в цифровий код (рис. 2.11).

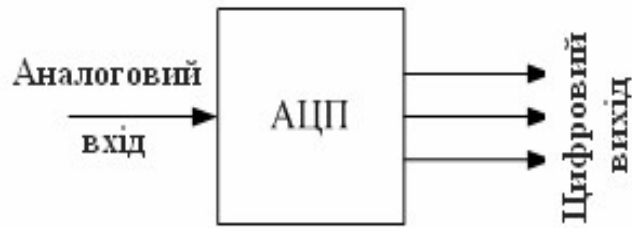


Рис. 2.8 – Представлення в загальному вигляді аналого-цифрового перетворювача

Аналого-цифровий перетворювач виконує операцію, зворотну тій, яку виконують цифро-аналоговий перетворювач.

У аналого-цифрових перетворювачах вхідна безперервна напруга U_A приблизно представляється у вигляді доли еталонної напруги U_{ET} . При цьому сигналом на виході перетворювача є цифровий код D :

Розрядні коефіцієнти, що представляють собою сигнал на виході, можуть бути отримані одночасно у вигляді N паралельних виходів, або можуть по черзі з'являтися на одному і тому ж виході. Ці способи представлення сигналу на виході називаються відповідно «паралельним» і «послідовним». При послідовному сигналі на виході розрядний коефіцієнт b_1 , відповідний НБЗР, зазвичай визначається і з'являється на виході першим, потім з'являються розрядні коефіцієнти наступних розрядів у порядку зменшення їх ваги. Проміжне місце між ними по швидкодії і ціні займає найбільш використовуваний у практиці аналого-цифровий перетворювач порозрядного врівноваження.

Тепер розглянемо в цілому роботу аналого-цифрового перетворювача, схема якого зображена на рис. 2.12 Спочатку за допомогою керуючих логічних схем КЛ в регістр заноситься код 1000 (тобто встановлюється в 1 найстарший біт). Напруга U_{BX} і напруга, вироблена цифро-аналоговим перетворювачем, порівнюються за допомогою компаратора.

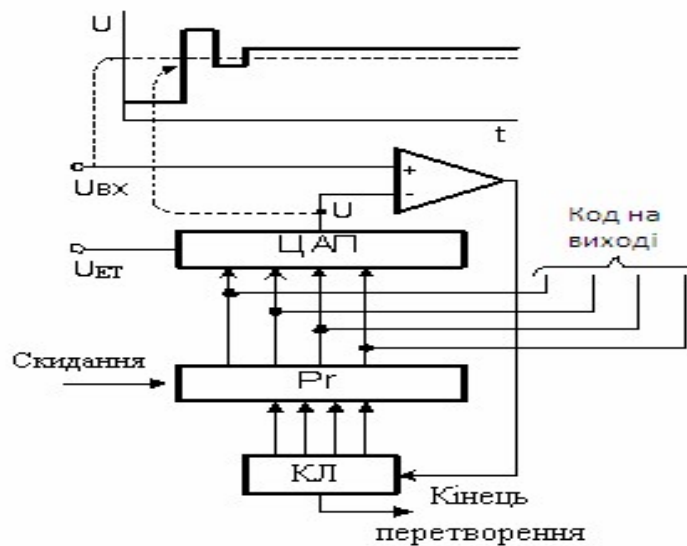


Рис. 2.9 – Схема аналого-цифрового перетворювача з порозрядним урівноваженням.

Якщо напруга $U_{ВХ}$ виявилася більшою, то старший біт так і залишається в стані 1, якщо меншою, то скидається в 0. Потім встановлюється в 1 наступний біт і процес повторюється. Так поступово біт за бітом визначається код на виході, відповідний даній вхідній напрузі [3].

Якщо через x_i позначити отриманий черговий біт (1 або 0), то процес перетворення можна представити таким чином:

<u>Код на виході</u>	<u>Додатковий біт</u>
1 0 0 0	0
X_4 1 0 0	0
$X_4 X_3$ 1 0	0
$X_4 X_3 X_2$ 1	0
$X_4 X_3 X_2 X_1$	1

Додатковий біт служить для визначення моменту закінчення перетворення.

Кількість необхідних порівнянь визначається розрядністю коду на виході. Перетворювач з меншою роздільною здатністю має більшу швидкодію.

Точність роботи аналого-цифрового перетворювача залежить від ряду факторів, основними з яких є точність і стабільність еталонної напруги U_{ET} , точність виготовлення резистивної матриці $R-2R$ (важлива стабільність відносин опорів), якість аналогових ключів цифро-аналогових перетворювачів, якість компаратора (підсилення, зміщення нуля, поріг, час відновлення).

Як приклад приведемо одну з вдалих реалізацій 10-розрядного аналого-цифрового перетворювача.

(рис. 2.13).

Напруга $U_{ВХ}$ поступає на компаратор Y_1 , реалізований на мікросхемі К521СА3. На інший вхід компаратора поступає напруга, вироблена цифро-аналоговим перетворювачем, що складається з цифро-аналогового перетворювача Y_3 (К521ПА1) і операційного підсилювача Y_4 (К140УД6).

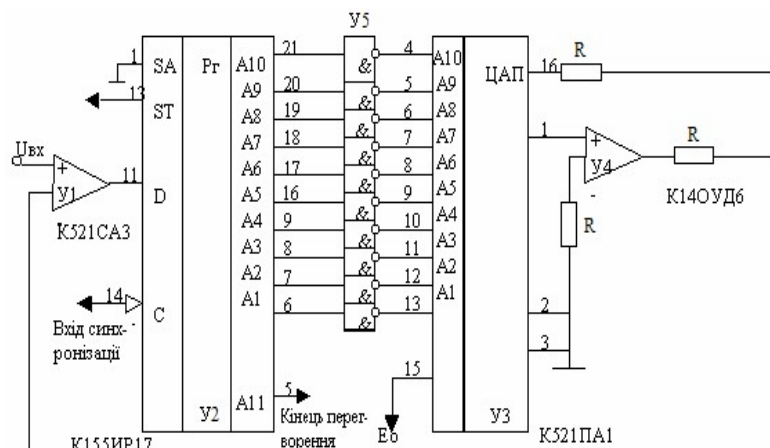


Рис. 2.10 – Схема 10-розрядного аналого-цифрового перетворювача

Основні функції з реалізації алгоритму порозрядного врівноваження виконує регістр послідовного наближення Y_2 (К155ИР17). На початок у перетворення на вивід 13 регістра Y_2 подається рівень «0» (сигнал START), а на вивід 14 – позитивний сигнал, по передньому фронту якого на виводах 21-16, 9-6 встановлюється код 01 1111 1111. Після інверторів Y_5 на вході цифро-аналогового перетворювача встановиться код 10 0000 0000, а на виході з'явиться напруга, що дорівнює $0,5E_0$, де E_0 – еталона напруга U_{ET} . Ця напруга компаратором Y_1 порівнюється з напругою $U_{ВХ}$ на вході. Сигнал на виході компаратора поступає на вхід даних регістра Y_2 (вивід 11). Потім схемою

управління виробляється ще один позитивний сигнал, який подається на вхід синхронізації регістра Y_2 (вивід).

При цьому старший розряд (вивід 21) встановлюється в стан, в якому зараз знаходиться вхід даних регістра (вивід 11), а наступний розряд (вивід 20) встановлюється в 0 .

Синхронізуючі сигнали будуть надходити на вивід 14 регістру до тих пір, поки на виводі 5 схеми Y_2 не з'явиться 0 , який служить ознакою закінчення перетворення. В цей момент з виходів інверторів $4 - 13$ зчитується код, числове значення якого відповідає даній напрузі [2].

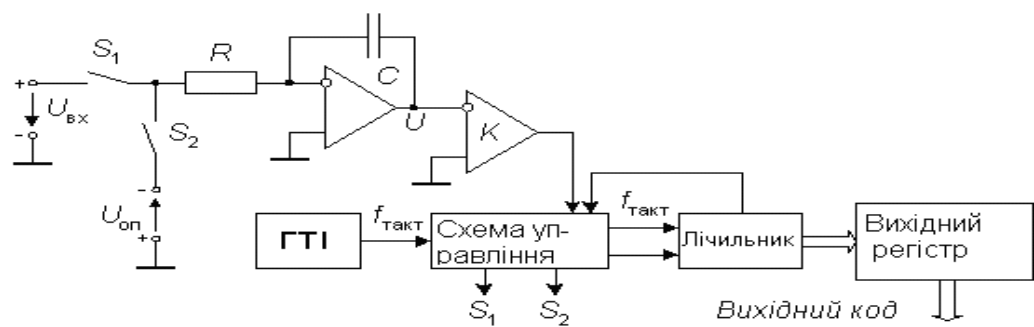


Рис. 2.11 – Спрощена схема аналого-цифрового перетворювача двотактного інтегрування

Відомо, що недоліком послідовних аналого-цифрових перетворювачів є низька завадостійкість результатів перетворення. Дійсно, вибірка миттєвого значення вхідної напруги, переважно включає доданок у вигляді миттєвого значення. Згодом при цифровій обробці послідовності вибірок ця складова може бути пригнічена, однак на це потрібен час та обчислювальні ресурси. Переважно у аналого-цифрових перетворювачах вхідний сигнал інтегрується або неперервно, або у певному часовому діапазоні, тривалість якого зазвичай вибирається кратною періодові перешкоди. Це дозволяє в багатьох випадках приглушити перешкоду ще на етапі перетворення. Платою за це є зниження швидкості інтегруючих аналого-цифрових перетворювачів.

Перетворення проходить протягом двох стадій: стадії інтегрування та стадії підрахунку. На початку першої стадії ключ S_1 замкнутий, а ключ S_2 розімкнутий. Інтегратор I інтегрує вхідну напругу $U_{вх}$. Час інтегрування

вхідної напруги t_1 постійний як таймер використовується лічильник з коефіцієнтом підрахунку.

Після закінчення стадії інтегрування ключ S_1 розмикається, а ключ S_2 замикається та опорна напруга $U_{оп}$ надходить на вхід інтегратора. При цьому вибирається опорна напруга, протилежна за знаком вхідній напрузі [20].

3. РОЗРОБКА СХЕМИ ДЛЯ ВИМІРЮВАЧА ВОЛОГОСТІ ПОВІТРЯ

3.1 Схема та принцип її роботи

Після моніторингу датчиків вологості була обрана мікросхема К176ЛЕ5. Ціна даної мікросхеми становить 70 гривень. Датчик вологості являє собою граничний пристрій, що реагує на зміну опору змінному струмі (коротким імпульсам).

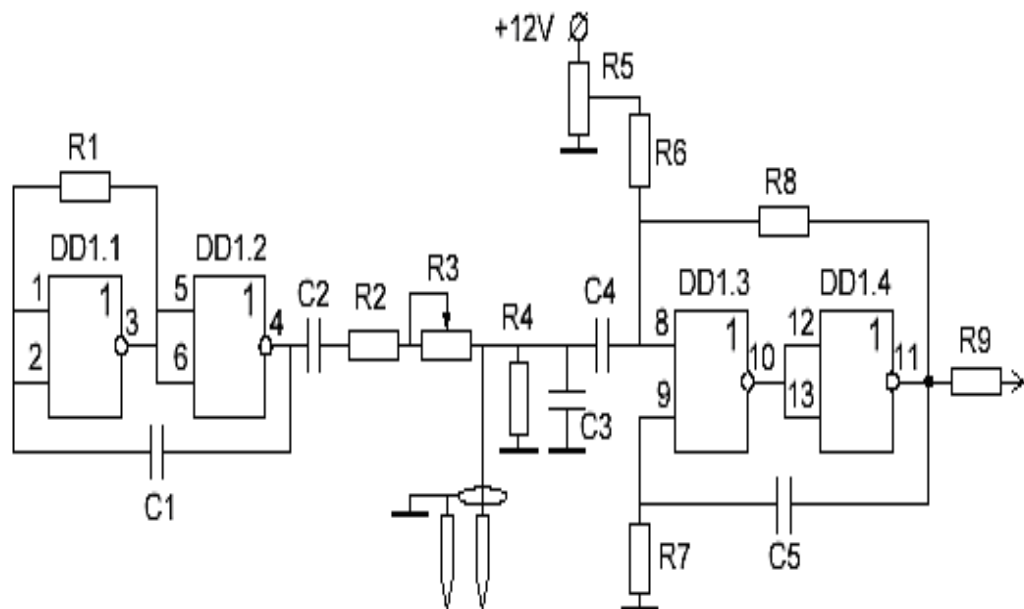


Рис. 3.1 – Схема датчика вологості.

На елементах DD1.1 і DD1.2 зібраний генератор, що виробляє імпульси з інтервалом близько 10 секунд.

Конденсатори C2 і C4 роздільні. Вони не пропускають в вимірювальний ланцюг постійний струм.

Резистором R3 встановлюється поріг спрацьовування, а резистор R8 забезпечує гістерезис підсилювача. Налаштування резистором R5 встановлюється початковий зсув на вході DD1.3.

Конденсатор C3 – перешкодозахисний, а резистор R4 визначає максимальне вхідний опір вимірювального ланцюга. Обидва ці елементи

знижують чутливість датчика, але їх відсутність може привести до помилкових спрацьовувань.

Напруга живлення мікросхеми обрана 12 Вольт, так як напруга менш 12 Вольт знижує реальну чутливість приладу через зменшення співвідношення сигнал / перешкода.

На рисунку 3.1 наведена принципова схема простого вимірювача вологості, виконаного за все на двох транзисторах. Основою його є мультівібратор на транзисторах різної структури, в якому в якості елементів зворотного зв'язку використовуються конденсатор С1 і послідовно з'єднані постійний резистор R1 і датчик вологості, позначений як R_x. Принцип дії пристрою заснований на тому, що опір датчика зменшується з підвищенням вологості. Тому, чим більша вологість, тим вище частота генерації мультівібратора. При вибраних значеннях номіналів конденсатора С1, резистора R1 і трансформатора ТР1 частота генерації залежить тільки від відносної вологості, точніше сказати - від опору датчика вологості R_x.

Зміна частоти генерації впливає на струм, споживаний пристроєм від батареї, причому цей струм виявляється прямо пропорційним частоті генерації і змінюється від 0 до 0,5 мА при зміні відносної вологості ґрунту від 0 до 100%. Настільки малий струм дозволяє використовувати в якості джерела живлення батарею «Крона-ВЦ» (в переносному приладі) або малопотужний вирівнювач на 9 В з параметричним стабілізатором напруги.

Транзистори приладу повинні бути кремнієвими: Т1-типу МП114-МП116, Т2-типу МП111-МП113 або КТ312, КТ315 з будь-якими літерними індексами. Трансформатор - вихідний. Динамічна головка типу 0.1ГД-12. Конденсатор С, типу МБМ на 160 В, С2-МБМ або БМ-2 або К50-3 або К50-6 ємністю 1-5 мкФ. Постійні резистори типу МЛТ-0,25. При зазначених деталях всі деталі пристрою можуть бути розміщені на друкованій платі розмірами 60Х65 мм.

Основою схеми є мікроконтролер PIC16F628A. Датчик DHT-11 пов'язаний з контролером однопровідною лінією, підтягнутою до напруги харчування п'ять вольт за допомогою резистора, номінал, якого може лежати в межах від 4,7 кОм до 10 кОм. Обмін інформацією мікроконтролера з датчиком відбувається шляхом притиснення і відпускання шини даних до загального приводу.

Для спрощення написання програми для прийому і передачі команд, використовуються два виходи контролера. RA5 - вихід 4 мікросхеми DD1, що працює завжди на прийом перетворених даних про температуру і вологість і RA4 - вихід 3, конфігурований завжди на вихід, і який використовується для комутації шини даних. Даний вихід контролера має вихід з відкритим джерелом і підтягаючий резистор R1 в даній схемі є, по суті, опором навантаження.

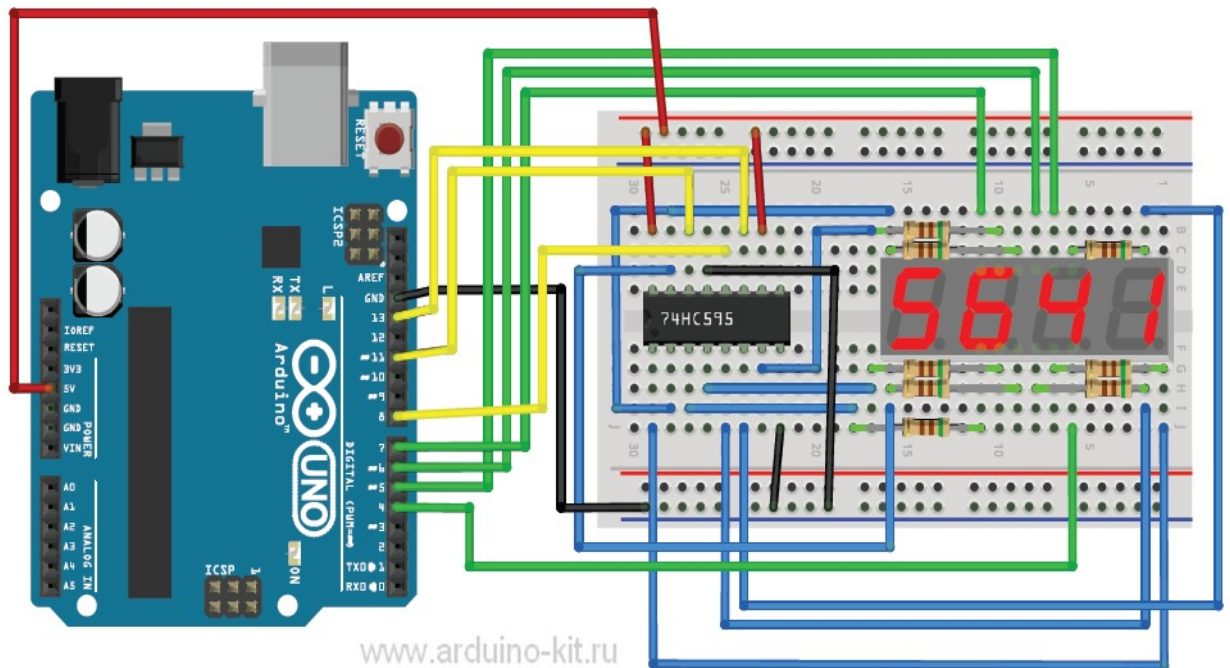


Рис. 3.2 – Зовнішній вигляд мікросхеми.

Чим яскравіше будуть світитися індикатори, тим буде більше струм споживання, тим більше буде навантаження на мікросхемному стабілізаторі напруги DA1. Через брак виводів у мікроконтролера PIC16F628A, для комутації катодів індикатора в схему введена мікросхема DD2 - K555ІД10, що представляє собою дешифратор на десять виходів з відкритим колектором. Її можна замінити мікросхемою 555ІД6.

Блок живлення для приладу можна використовувати як трансформаторний, так і безтрансформаторний з гасящим конденсатором. [5]

3.2 Розробка робочої схеми вимірювача вологості на основі платформи ARDUINO.

Числове значення вологості в відсотковому відношенні відображається в зручній формі на трьохрозрядному світлодіодному індикаторі із загальним катодом. Лівий і середній сегмент застосовується для відображення числових значень вологості, а на правому індикаторі висвічується буква "H". Humidity вологості.

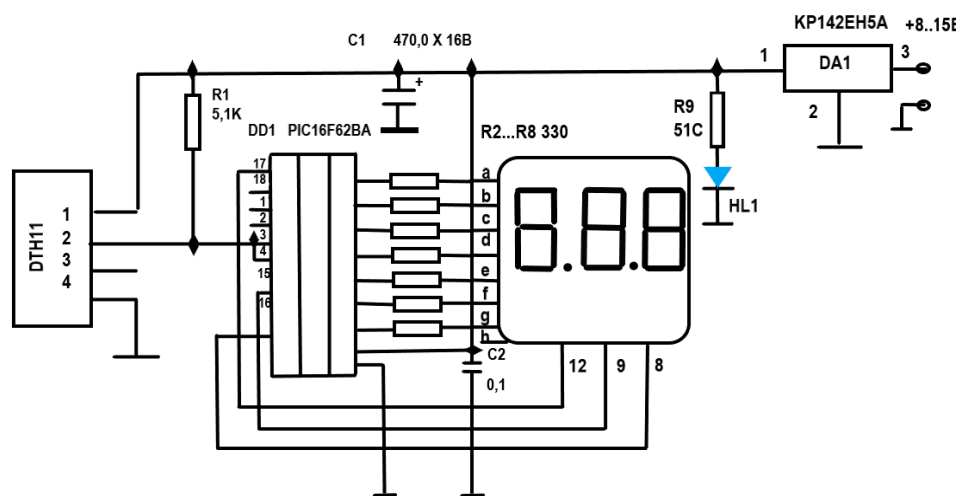


Рис. 3.3 – Схема вимірювача вологості

Числове значення вологості в відсотковому відношенні відображається в зручній формі на трьохрозрядному світлодіодному індикаторі із загальним катодом. Лівий і середній сегмент застосовується для відображення числових значень вологості, а на правому індикаторі висвічується буква "H". Humidity вологості.

Живиться пристрій від стабілізатора напруги KP142EH5A. Струм споживання в основному залежить від номіналу опорів R2 - R8. На схемі вище вказано значення в 330 Ом, але я використав резистори на 510 Ом для кращої яскравості. Для індикації роботи в схему доданий над'яскравий світлодіод HL1 і опір R9, що його гасить.

3.3 Порядок проектування портативної станції.

Через те, що кількість плат датчиків з трьох зменшилось до одного, схема дуже спростилась, були прибрані зайві громіздкі деталі.

Комплектування приладу відбувалося наступним чином:

На платформу були встановлені датчик температури та вологості повітря DHT-11, модуль wifi, , стабілізатори напруги KP142EH5A, номінали R2-R8.

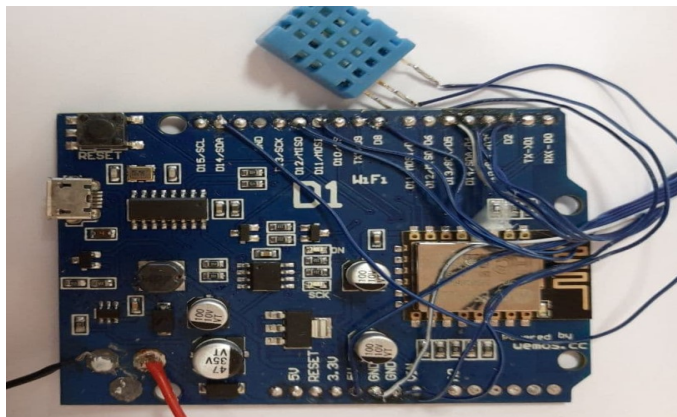


Рис. 3.4 – Зовнішній вигляд платформи з датчиком вологості повітря

Наступним етапом було приєднання дисплею LCD1602 до платформи з датчиками розміром 60,8 мм.



Рис. 3.5 – Під'єднання дисплею LCD1602 до платформи

Прилад є автономним та повністю готовий до використання, для роботи потрібно натиснути кнопку включання і під'єднати до комп'ютера через Wifi.



Рис. 3.6 – Зовнішній вигляд вимірювача вологості

Оновлення даних на дисплеї після підключення відбувається, через кожні дві секунди, а через Wifi кожні 5 секунд.

Заряду 4 батарейок вистачає на 12-18 місяців

IP-адреса приладу: 192.168.4.1



Рис. 3.7 – Зовнішній вигляд вимірювача вологості у включеному вигляді

Щоб підключитися до приладу через Wifi потрібно ввести IP-адресу в пошукову строку в будь-якому браузері.

ESP8266 DHT11

Температура: 21.20°C

Вологість: 50%

Рис. 3.8 – Зовнішній вигляд даних про температуру та вологість в браузері.

Під час навчального стажування проводилося тестування вимірювача вологості.

Порівнювались показники термометрів, сухого та змоченого та показники вимірювача вологості.

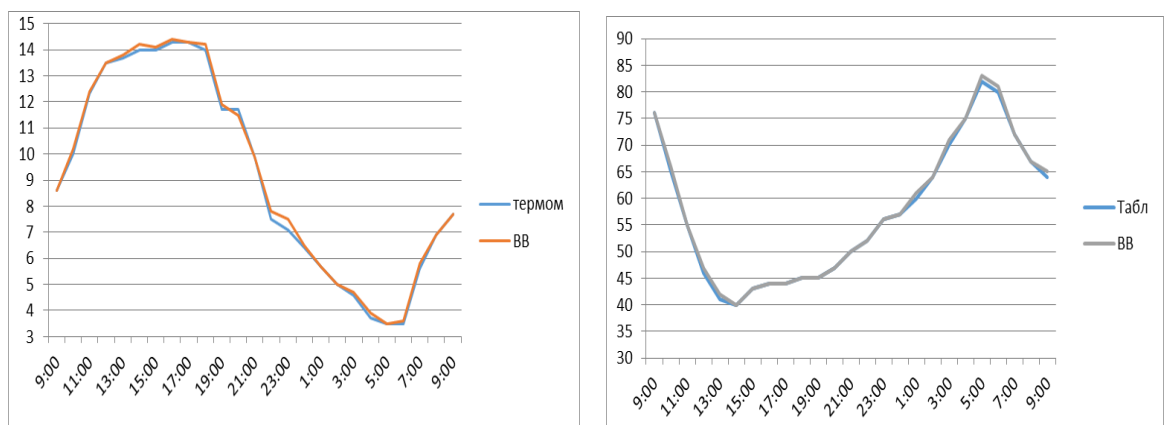


Рис. 3.8 – Графік зміни температури повітря та вологості за одну добу сухим термометром та вимірювачем вологості.

ВИСНОВКИ

1. Була розроблена структурна та функціональна схема вимірювача вологості, яка була розроблена за допомогою програмного забезпечення для платформи Arduino UNO

2. Перевагою такого приладу є: мобільність, компактність, наявність Wifi модуля за допомогою якого ми можемо отримувати дані на телефон, комп'ютер та швидке отримання даних оператором з дисплею.

3. Прилад є автономним та повністю працездатним для отримання даних його досить під'єднати до зовнішнього акумулятора потужністю 2 ампера і струмом 6 вольт.

4. Всі компоненти модулів та мікроконтролерів між собою підключенні за допомогою монтажних проводів, що дає змогу швидко замінити або додатково підключити модулі.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Баранов В.Н. Применение микроконтроллеров AVR: схемы, алгоритмы, программы. – М.: Издательский дом «Додэка – XXI», 2004. – 288
2. Великий В.І., Препелиця Г.П. Мікропроцесорні системи обробки даних та управління в гідрометеорології. Навчальний посібник. – Одеса: вид-во "ТЭС", 2004. – 212 с.
3. Великий В.І. Мікропроцесорні системи в САУ: Курс лекцій для студентів вищих навчальних закладів: Навчальний посібник – О.: Наука і техніка, 2006 – 192 с.
4. Ковязин А.Н. Интерфейс RS-232. Связь между ПК и микроконтроллером. – М.: Радио и связь, 2001. – 367 с.
5. Стюарт Болл Р. Аналоговые интерфейсы микроконтроллеров. – М.: Издательский дом «Додэка – XXI», 2007. – 354 с.
6. Справочное пособие «Технические средства метеорологической службы». – М.:Киев, 1986. – 192с.
7. Трамперт В. Измерение, управление и регулирование с помощью AVR микроконтроллеров.: Пер. с нем. – К.: «МК-Пресс», 2006. – 208 с.
8. Bu, J. U., T. Y. Kim, Y. S. Jun, Y. C. Shim, and S. T. Kim. 1995. Silicon-based thermal comfort sensing device. p.104–107. In Proceedings of Transducers 95 (2). Eurosensors IX, Stockholm, Sweden.
9. Buff, W., F. Plath, O. Schmeckebier, M. Rusko, T. Vandahl, H. Luck, and F. Muller. 1994. Remote sensor system using passive SAW sensors. p.585-588. In Proceedings of IEEE Ultrasonics Symposium. Cannes. November 1994.
10. Mircea Popa, Catalin Iapa, Embedded weather station with remote wireless control, in: 19th Telecommunications forum TELFOR, IEEE,
11. 2011, pp. 297–300.
12. Moghavvemi, M., K. E. Ng, C. Y. Soo, and S. Y. Tan. 2005. A reliable and economically feasible remote sensing system for temperature and relative humidity measurement. Sensors and Actuators A 117: 181–185.
13. Odlyha, M., G. M. Foster, N. S. Cohen, C. Sitwellb, and L. Bullock. 2000. Microclimate monitoring of indoor environments using piezoelectric quartz crystal humidity sensors. J. Environ. Monit. 2: 127–131.

14. Ong, K. G., C. A. Grimes, C. L. Robbins, and R. S. Singh. 2001. Design and application of a wireless, passive, resonant-circuit environmental monitoring sensor. *Sensors and Actuators A* 93: 33–43.
15. Reverter, F., J. Jordana, M. Gasulla, and R. P. Areny. 2005. Accuracy and resolution of direct resistive sensor-to-microcontroller interfaces. *Sensors and Actuators A*: in press.
16. Vlassov, Y. N., A. S. Kozlov, N. S. Pashchin, and I. D. Yakovkin. 1993. Precision SAW pressure sensors. p.665–669. In *IEEE Proceedings of 47th Frequency Control Symposium*. Salt Lake City. June 2–4 1993.
17. Arduino UNO. [Електронний ресурс]. Спосіб доступу: <http://arduinolife.in.ua/arduino-meteostation/>
18. Arduino Nono. [Електронний ресурс]. Спосіб доступу: <http://cactus.io/projects/weather/arduino-weather-station>
19. Cynix. [Електронний ресурс]. Спосіб доступу: <https://www.embeddedadventures.com/datasheets/BME280.pdf>
20. Добра фізика. [Електронний ресурс]. Спосіб доступу: <http://gutpfusik.blogspot.com/2013/03/blog-post.html>
21. Wiki TNTU. [Електронний ресурс]. Спосіб доступу: https://wiki.tntu.edu.ua/Модуль_датчика_вологості_i_температури_DHT-11
22. Зайцев В.А. Влажность воздуха и ее измерение.
23. Вологість повітря на землі. [Електронний ресурс]. Спосіб доступу: <http://www.activestudy.info»;/vlazhno»;st-vo»;zduха-na-zemle/>
24. Wikipedia. [Електронний ресурс]. Спосіб доступу: <https://ru.wikipedia.org/wiki/>
25. Studopedia Wikia. [Електронний ресурс]. Спосіб доступу: https://studopedia.su/2_1770_meto»;di-i-priladi-dlya-vimiryuvannyavo»;lo»;go»;sti-po»;vitrya.html
26. ОДЕКУ. [Електронний ресурс]. Спосіб доступу: <https://megalektsii.ru/s40121t7.html>
27. Зайдель А. Н. «Ошибки измерений физических величин», Лань, 2009 г., 112с.
28. Stat soft. [Електронний ресурс]. Спосіб доступу: <http://statsoft.ru/home/textbook/modes/stfacan.html>
29. Иберла К. « Математико-статистические методы за рубежом» *Финансы и статистика*, 1980 г., 398 с.

Додаток А

ДОВІДКА

кафедри військової підготовки
до магістерської роботи
курсанта МВМ-19 Владислав Черних
на тему:
«Розробка вимірювача вологості»

1. Доповідь на студентській науковій конференції молодих вчених 17 квітня 2019 р. за темою: «Розробка вимірювача вологості» та публікація тез доповіді за результатами конференції на сайті ОДЕКУ. [Електронний ресурс]. Спосіб доступу: <http://odeku.edu.ua/wp-content/uploads/tezi-studentska-konferentsiya-2019.pdf>. – 338-339 с.

2. Доповідь на науковій конференції молодих вчених 29 травня 2020 р. за темою: «Розробка вимірювача вологості».

Керівник магістерської роботи
підполковник

Андрій ГЛУШКОВ

Додаток В

Програма для Arduino UNO

```
String Send HTML (float Temp, float Humi)
{
  String ptr = "<!DOCTYPE html> <html>\n";
  ptr +="<head><meta name=\"viewport\" content=\"width=device-width, initial-scale=1.0, user-
scalable=no\"><meta charset='utf-8'/><meta http-equiv='refresh' content='5'/>\n";
  ptr +="<title>ESP8266 Weather Report</title>\n";
  ptr +="<style>html { font-family: Helvetica; display: inline-block; margin: 0px auto; text-align:
center;}\n";

  ptr +="body{margin-top: 50%;margin-bottom: 50%;} h1 {color: #444444;margin: 50px auto
30px;}\n";

  ptr +="p {font-size: 24px;color: #444444;margin-bottom: 10px;}\n";

  ptr +="</style>\n";

  ptr +="</head>\n";

  ptr +="<body>\n";

  ptr +="<div id=\"webpage\">\n";

  ptr +="<p>Температура: ";

  ptr +=(float)Temp;

  ptr +="°C</p>";

  ptr +="<p>Вологість: ";

  ptr +=(int)Humi;

  ptr +="</p>";

  ptr +="</div>\n";

  ptr +="</body>\n";

  ptr +="</html>\n";

  return ptr;
}
```