

Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу
Міністерство освіти і науки України
Інститут інформаційних технологій
Кафедра інформаційно-вимірювальної технологій
Стебельський Олександр Володимирович

(прізвище, ім'я, по батькові)

УДК 621.317.725
(індекс)

БАКАЛАВРСЬКА РОБОТА

Розроблення лабораторного вольтметра

(назва роботи)

Метрологія та інформаційно-вимірювальна техніка

(назва освітньої програми)

175 "Метрологія та інформаційно-вимірювальна техніка"

(шифр і назва спеціальності)

**Робота містить результати власних досліджень, використання ідей,
результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело:**

Здобувач освітнього ступеня _____ Стебельський О. В.
(підпис, ініціали та прізвище здобувача)

Науковий керівник _____ Біліщук В. Б., к.т.н., доцент
(підпис, прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання керівника)

Допущено до захисту

Завідувач кафедри

_____ В. С. Цих

(посада) (підпис) (дата) (ініціали та прізвище)

Івано-Франківськ – 2025

Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу

(повне найменування закладу вищої освіти)

Інститут інформаційних технологій

Кафедра інформаційно-вимірювальних технологій

Освітній рівень бакалавр

Спеціальність 175 "Метрологія та вимірювальна техніка"

(шифр і назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри ІВТЕМ

«___» _____ 20__ року

З А В Д А Н Н Я

НА БАКАЛАВРСЬКУ РОБОТУ СТУДЕНТОВІ

Стебельському Олександровичу Володимировичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Розроблення лабораторного вольтметра

керівник роботи, Біліщук В. Б., к.т.н., доцент

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

затверджені наказом закладу вищої освіти від 30 квітня 2025 року № 269/7

2. Строк подання студентом роботи 30 червня 2025 р.

3. Вихідні дані до роботи: діапазон напруг: 1-й канал – 0...0,1 В 2-й канал – 0...10 В. Діапазон частот: від 10 Гц до 100 кГц, похибка, не більше 1%.

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) 1. Аналіз засобів вимірювання напруги. 2. Розроблення вольтметра 3. Метрологічний аналіз 4. Охорона праці

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень) 1. Структурна схема. 2. Електрична схема. 3. Алгоритм роботи. 4. Результати досліджень. 5. Метрологічний аналіз.

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	Завдання прийняв
4	Кривенко Г. М., доцент		

7. Дата видачі завдання 9 червня 2025 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів бакалаврської роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1	Аналіз засобів вимірювання напруги	11.06.2025 р.	
2	Розроблення вольтемтра	13.06.2025 р.	
3	Метрологічний аналіз	16.06.2025 р.	
4	Охорона праці	18.06.2025 р.	
5	Оформлення пояснювальної записки і графічного матеріалу	20.06.2025 р.	

Студент _____ Стебельський О. В. _____
(підпис) (прізвище та ініціали)

Керівник роботи _____ Біліщук В. Б. _____
(підпис) (прізвище та ініціали)

РЕФЕРАТ

Бакалаврська робота: 66 с., 30 рис., 5 табл., 2 додатки, 18 джерел, 5 аркушів креслень.

Об'єкт дослідження – двоканальний вольтметр із цифровою індикацією.

Мета роботи – розробка двоканального вольтметра із цифровою індикацією.

У роботі розроблено двоканальний вольтметр із цифровою індикацією. Здійснено аналіз приладів для вимірювання напруги. Розроблено структурну і електричну принципову схему, розроблено програму для мікроконтролера. Здійснено метрологічний аналіз вимірювального каналу вольтметра, вказано основні складові похибок вимірювання і розраховано сумарну похибку вимірювання напруги. Зроблено аналіз забезпечення нормальних умов праці в дослідницькій лабораторії при користуванні розробленим приладом

ВОЛЬТМЕТР, МУЛЬТИМЕТР, ДВУХКАНАЛЬНИЙ ВОЛЬТМЕТР,
ПОХИБКА.

ABSTRACT

Bachelor's thesis: 66 p., 30 fig., 5 tables, 2 appendices, 18 sources, 5 sheets of drawings.

The object of the study is a two-channel voltmeter with digital display.

The purpose of the work is to develop a two-channel voltmeter with digital display.

The work develops a two-channel voltmeter with digital display. The analysis of voltage measuring devices is carried out. The structural and electrical schematic diagram is developed, a program for a microcontroller is developed. The metrological analysis of the voltmeter measuring channel is carried out, the main components of measurement errors are indicated and the total voltage measurement error is calculated. An analysis of ensuring normal working conditions in a research laboratory when using the developed device is carried out

VOLTMETER, MULTIMETER, TWO-CHANNEL VOLTMETER, ERROR.

Зміст

Вступ.....	9
1 Аналіз існуючих засобів вимірювання напруги.....	10
1.1 Аналіз засобів вимірювання напруги.....	11
1.2 Постановка задачі на роботу.....	15
2 Розроблення вольтемтра.....	17
2.1 Розроблення структурної схеми.....	17
2.2 Розроблення електричної схеми приладу.....	18
2.3 Розроблення алгоритму програмного забезпечення.....	23
2.4 Розроблення програмного забезпечення.....	24
2.5 Тестування і коригування тексту програми.....	29
3 Метрологічний аналіз.....	33
3.1 Аналіз похибок вимірювального каналу напруги.....	33
3.2 Розрахунок похибок пікового детектора.....	34
3.3 Розрахунок похибки аналого-цифрового підсилювача.....	36
4 Охорона праці.....	43
4.1 Законодавче та нормативно-правове забезпечення охорони праці.	43
4.2 Організація роботи з охорони праці на підприємстві.....	44
4.3 Основні причини нещасних випадків на виробництві та профзахворювань і заходи щодо їх попередження.....	47
4.4 Аналіз потенційних небезпек та шкідливостей виробничого середовища.....	49

	8
4.5 Забезпечення нормальних умов праці	50
4.6 Висновки до розділу	56
Висновки	58
Перелік посилань на джерела	59

ВСТУП

Вольтметр – це вимірювальний прилад, що дозволяє вимірювати напругу (у вольтах). Існують вольтметри, здатні міряти постійну та змінну напругу. Дуже часто режим вольтметра є одним із режимів роботи мультиметра. Мультиметр є найчастіше використовуваним вимірювальним приладом в галузі електроніки. Стандартний мультиметр дозволяє вимірювати постійні та змінні напруги та струми, опір, а деякі моделі ще й ємність, частоту, температуру та інші параметри. Таким чином, мультиметр замінює вольтметр, амперметр і ще декілька приладів. Зазвичай вольтметр або мультиметр дозволяють в один момент часу проводити замір лише однієї напруги і при необхідності одночасного виміру двох і більше напруг використовують необхідну кількість вольтметрів або мультиметрів.

У роботі розробляється двоканальний вольтметр із цифровою індикацією, виконаний на основі мікроконтролера Arduino, який дозволить одночасно заміряти вхідну та вихідну напругу та обчислювати коефіцієнт підсилення підсилювача.

1 АНАЛІЗ ЗАСОБІВ ВИМІРЮВАННЯ НАПРУГИ

1.1 Аналіз об'єкта контролю

Електрична напруга (U) на ділянці електричного кола (поля) — це скалярна фізична величина, яка чисельно дорівнює роботі, яку треба виконати для переміщення одиничного позитивного заряду з однієї точки кола (поля) в іншу точку. Символом величини зазвичай є латинська літера U . Напруга в системі SI вимірюється у вольтах. Напруга може бути визначена зі співвідношення [1]:

$$U=W/Q \quad (1.1)$$

де W — робота сторонніх і кулонівських сил з переміщення заряду, Q — величина електричного заряду.

Для потенціального поля напруга відповідає різниці потенціалів між двома точками електричного поля [1]:

$$U = \varphi_1 - \varphi_2. \quad (1.2)$$

Із закону Ома для неповного кола [1]:

$$U=I \cdot R, \quad (1.3)$$

де I — електричний струм, що проходить по провіднику, R — електричний опір провідника.

У колах змінного струму напруга може бути означена декількома термінами, а саме: миттєва, середньоквадратична, середня та максимальна [1].

Середньоквадратичне значення [1]:

$$U_{sk} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T u^2(t) dt}. \quad (1.4)$$

Середнє значення напруги [1]:

$$U_{sr} = \frac{1}{T} \int_0^T u(t) dt. \quad (1.5)$$

Для синусоїдальної змінної напруги зміна напруги в часі виражається таким

чином [1]:

$$u(t) = U_{max} \sin(\omega \cdot t + \varphi), \quad (1.6)$$

середньоквадратичне значення напруги [1]:

$$U_{sk} = \frac{1}{\sqrt{2}} U_{max} \quad (1.7)$$

середнє значення дорівнює 0, а середня величина абсолютного значення [1]:

$$U_{sr} = \frac{2}{\pi} U_{max} \approx 0,637U_{max}, \quad (1.8)$$

де: $U(t)$ — миттєва залежність напруги від часу t , U_{max} — амплітуда напруги, U_{sk} — середньоквадратична напруга, U_{sr} — середня напруга, ω — кутова частота, φ — початкова фаза.

1.2 Аналіз засобів вимірювання напруги

На даний момент для виміру напруги при проведенні лабораторних робіт використовуються або два одноканальні мультиметри або один двоканальний осцилограф.

Розглянемо мультиметр MASTECH MS8238 [13-2026] (рис. 1.1) [2].

Компактний мультиметр ефективно забезпечує тестування діодів, батарей та продзвонювання цілісності ланцюга [3]. Посилений перемикач дозволяє уникнути випадкового натискання. Прилад, виконаний з високоякісних матеріалів з прогумованим корпусом, що робить його надійним та безпечним у використанні.

Високоякісний прогумований пластик корпусу мультиметра MASTECH MS8238 робить його міцним та надійним. Прилад має якісні щупи щодо вимірювань. На корпусі є підставка для зручнішого використання. Ця модель оснащена батареєю типу "крона", що забезпечує тривалу роботу приладу на одному елементі живлення.

Компактний мультиметр ефективно забезпечує тестування діодів, батарейок та продзвонювання цілісності ланцюга. Посилений перемикач

дозволяє уникнути випадкового натискання. Прилад, виконаний з високоякісних матеріалів з прогумованим корпусом, що робить його надійним та безпечним у використанні.



Рисунок 1.1 – Мультиметр MASTECH MS8238

Кількість елементів живлення 1, тип елементів живлення 6F22 "крона"
Розміри (ШхВхГ) 75 x 148 x 50 мм, вага 232 грам

Дешевшим варіантом у порівнянні з мультиметрами є використання вольтметрів. Вольтметри цифрові мініатюрні постійного струму (рис. 1.2) серій VDC призначені для вимірювання напруги в мережі постійного струму в межах 0-33В. Частота калібрування приладів, що рекомендується, 1-2 рази на рік з точністю калібрування вище 0,1. Цифровий світлодіодний вольтметр постійного струму VDC 3,5-30,0V має ступінь захисту IP68 і може використовуватися в умовах з підвищеним рівнем забруднення або зануренням у воду на тривалий час глибиною більше 1м. Підключають цифрові міні вольтметри безпосередньо.

Конфігурація, що вбудовується, дає можливість установки без додаткових налаштувань. Мініатюрні вольтметри найчастіше використовуються для точного визначення напруги різного електроустаткування [4].

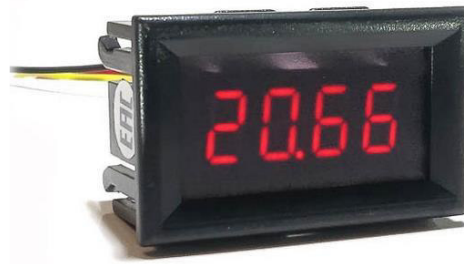


Рисунок 1.2 – Вольтметр постійної напруги 0.30 В.

Застосування і основні характеристики вольтметра такі: вимірювання напруги в ланцюгах постійного струму; діапазон вимірювання напруги: 0 - 33,00 В; ціна поділки: 0,01 В; клас точності: 2,0; частота вимірів: 3,0 раз/с; робоча температура: -10°C - +65°C; габарити: 48×29×26 мм.

Існує можливість використання двоканальних цифрових чи аналогових осцилографів. Таке рішення дозволить не лише оцінити амплітуду сигналу, а й побачити його форму. Розглянемо цифровий осцилограф Atten (Gratten) GA1202CAL+ (2 канали x 200 МГц) (рис. 1.3, табл. 1.1.) [5]. Більшість цифрових осцилографів мають можливість автоматичного розрахунку амплітуди (та інших параметрів сигналу). Тобто є можливість отримувати значення амплітуди сигналу у цифровому вигляді. Однак у більшості випадків є можливість таким чином одночасно оцінювати амплітуду тільки одного сигналу, а для оцінки амплітуди другого необхідно змінювати режим роботи осцилографа. Таким чином, навіть при використанні двоканального осцилографа необхідно проводити деякі маніпуляції для зняття показань у цифровому вигляді.

Таблиця 1.1 – Параметри осцилографа GA1202CAL.

Параметр	Значення
1	2
Вертикальна система	
Кількість каналів	2 канали + зовнішній запуск

Продовження табл. 1.1

1	2
Роздільна здатність по вертикалі	8 біт
Чутливість	2 мВ/под - 5 В/под
Час наростання сигналу	$\leq 1,7$ нс
Система синхронізації	
Джерело сигналу	CH1, CH2, EXT, EXT/5, AC Line
Режим тригера	автоматичний, нормальний, одиночний
Діапазон утримання тригера	100 нс - 10 с
Режим запуску	запуск по наростаючому фронту, по спадаючому фронту
Тривалість імпульсу	20 нс ~ 10 с
Роздільна здатність імпульсу	5 нс
Вбудований частотомір	
Роздільна здатність	6 біт
Діапазон	від 10 Гц до максимальної смуги пропускання
Загальні характеристики	
Дисплей	7", кольоровий (TFT), 800 x 480
Інтерфейс	USB Device, USB Host, RS-232, P/F Out
Напруга живлення	100 - 240 В, 50/60 Гц
Габарити	339 мм x 110,5 мм x 148,5 мм
Вага нетто	2300 г

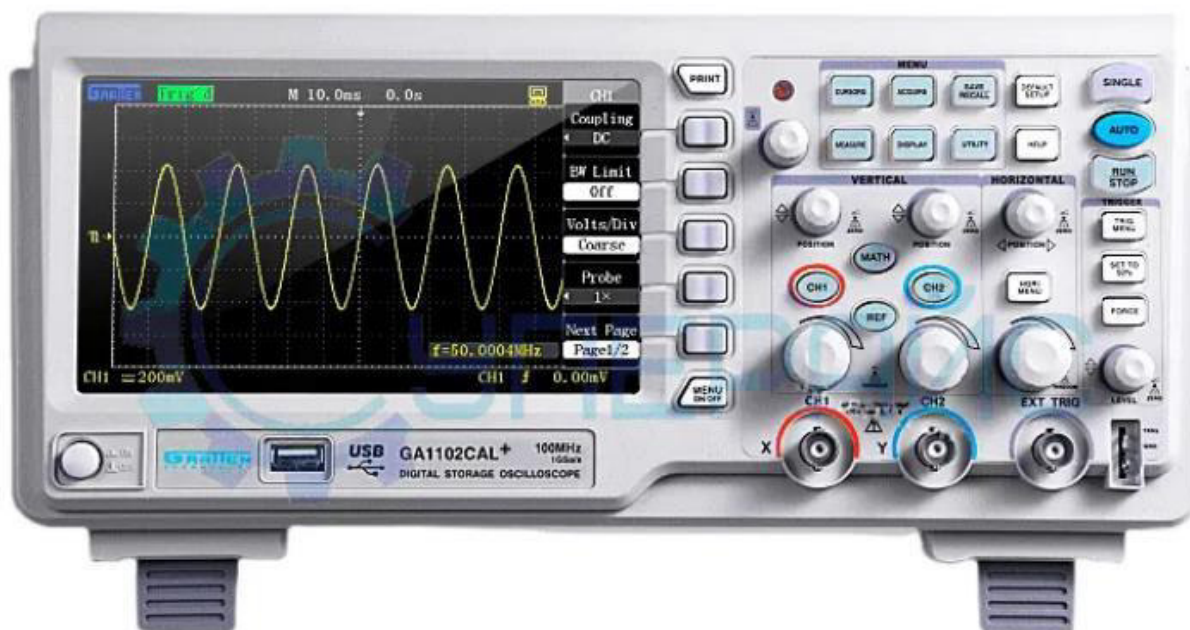


Рисунок 1.3 - Цифровий осцилограф Atten (Gratten) GA1202CAL



Рисунок 1.4 – Двоканальний мультиметр АКТАКОМ АМ-1109.

1.3 Постановка задачі на роботу

Розроблений двоканальний вольтметр з цифровою індикацією, виконаний

на основі мікроконтролера Arduino, дозволить одночасно заміряти вхідну та вихідну напругу та обчислювати коефіцієнт посилення підсилювача. Це дозволить прискорити дослідження підсилювачів змінного струму. Додатковою можливістю системи, що розробляється, є можливість виведення інформації на комп'ютер.

Ціль роботи: розробка двоканального вольтметра з цифровою індикацією.

Завдання роботи:

- здійснити аналіз існуючих засобів вимірювання напруги;
- розробити структурну і електричну принципову схеми вольтметра із застосуванням засобів мікропроцесорної техніки;
- розробити програмне забезпечення мікроконтролера;
- здійснити метрологічний аналіз розробленого вольтметра;
- зробити аналіз забезпечення нормальних умов праці в дослідницькій лабораторії при користуванні розробленим приладом.

2 РОЗРОБЛЕННЯ ВОЛЬТЕМТРА

2.1 Розроблення структурної схеми

Було розроблено структурну схему вольтметра (рис. 2.1).

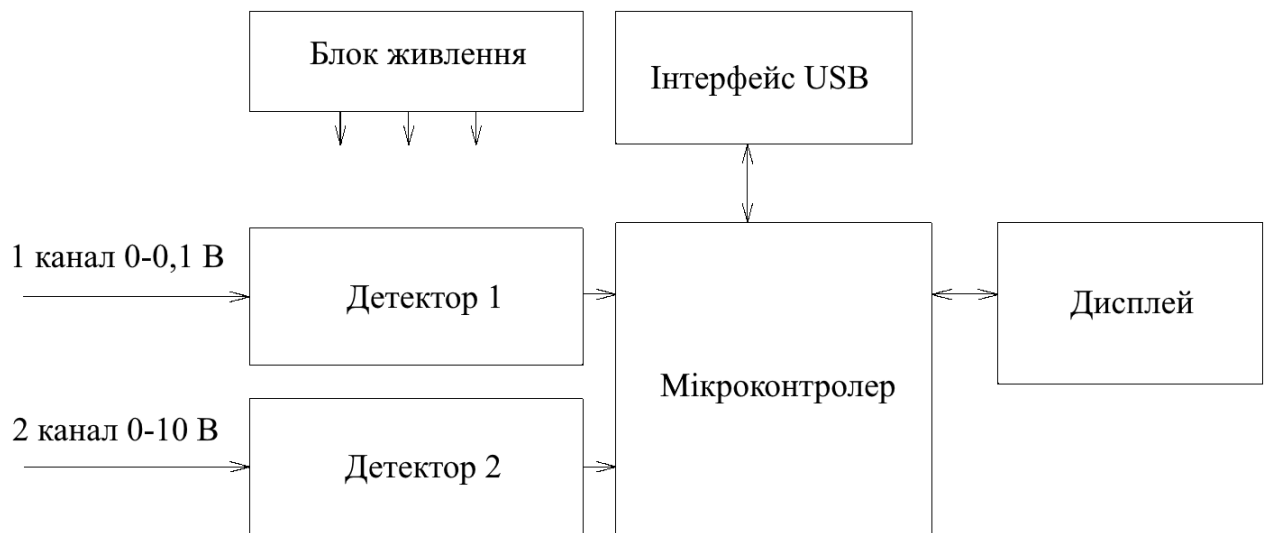


Рисунок 2.1 – Двоканальний вольтметр із цифровою індикацією. Схема багатофункціональна.

У роботі передбачається використовувати мікроконтролер Arduino, що вже має у своєму складі аналого-цифровий перетворювач (АЦП), який дозволить оцифрувати напруги, що надходять на нього. Однак АЦП працює тільки з позитивною напругою і для виміру амплітуди змінної напруги необхідно виділити цю амплітуду [7]. Мале значення вхідної напруги (0,1) не дає можливості використання найпростішого пікового детектора (на діоді і конденсаторі). Тому необхідно використовувати піковий детектор на операційному підсилювачі.

Вимірювані напруги 1 і каналів 2 надходять на пікові детектори, виконані на операційних підсилювачах (ОП).

Крім функції детектування амплітуди на пікові детектори, можна покласти функцію підсилення або ослаблення сигналу. Вхідний сигнал 1-го каналу має

напруги до 0,1 В, тому підсилимо його в 10 разів до рівня 1 В. А сигнал 2 каналу має амплітуду 10 В, тому ослабимо його в 10 разів до рівня в 1 В. Таким чином отримаємо обидва сигнали одного рівня в 1 В і будемо робити їх оцифрування з опорною напругою 1.1.

Виводити значення напруги та їх відношення будемо на LCD дисплей розміру 16x2. Для спрощення з'єднань скористаємося модулем дисплея з кнопками LCD Shield, підключеним безпосередньо до Ардуїно.

Для живлення системи необхідні напруги: +12 і -12В для живлення операційних підсилювачів та +5В для живлення Ардуїно. Використаємо блок живлення [8].

2.2 Розроблення електричної схеми приладу

На основі структурної схеми було розроблено електричну принципову схему (рис. 2.2).

У даному проєкті передбачається використовувати мікроконтролер Arduino, який має у своєму складі аналого-цифровий перетворювач (АЦП), який дозволить оцифрувати напруги, що надходять на нього. Для випрямлення змінної напруги необхідно використовувати піковий детектор на операційному підсилювачі. Існує схема пікового детектора (рис. 2.3) [7].

На вхід подається змінна напруга $U_{вх}$, а на виході виходить однополярна вихідна напруга $U_{вих}$, що дорівнює амплітуді вхідної напруги.

Схема працює в такий спосіб. Вимірювані сигнали надходять на пікові детектори. Перший піковий детектор реалізовано на операційному підсилювачі DA2. Опір R1 і R3 задають коефіцієнт підсилення $K1 = R3/R2$. Необхідний коефіцієнт підсилення становить $K1=10$.

Задалися значенням $R2 = 10$ кОм та вибрали

$$R3 = K1 \cdot R2 = 10\text{кОм} \cdot 10 = 100 \text{ кОм} \quad (2.1)$$

Аналогічно другого пікового детектора задалися значенням коефіцієнта

посилення $K_2=0.1$, $R_4=10\text{кОм}$ і вибрали

$$R_2 = R_4 / K_2 = 10\text{кОм} / 0.1 = 100\text{кОм} \quad (2.2)$$

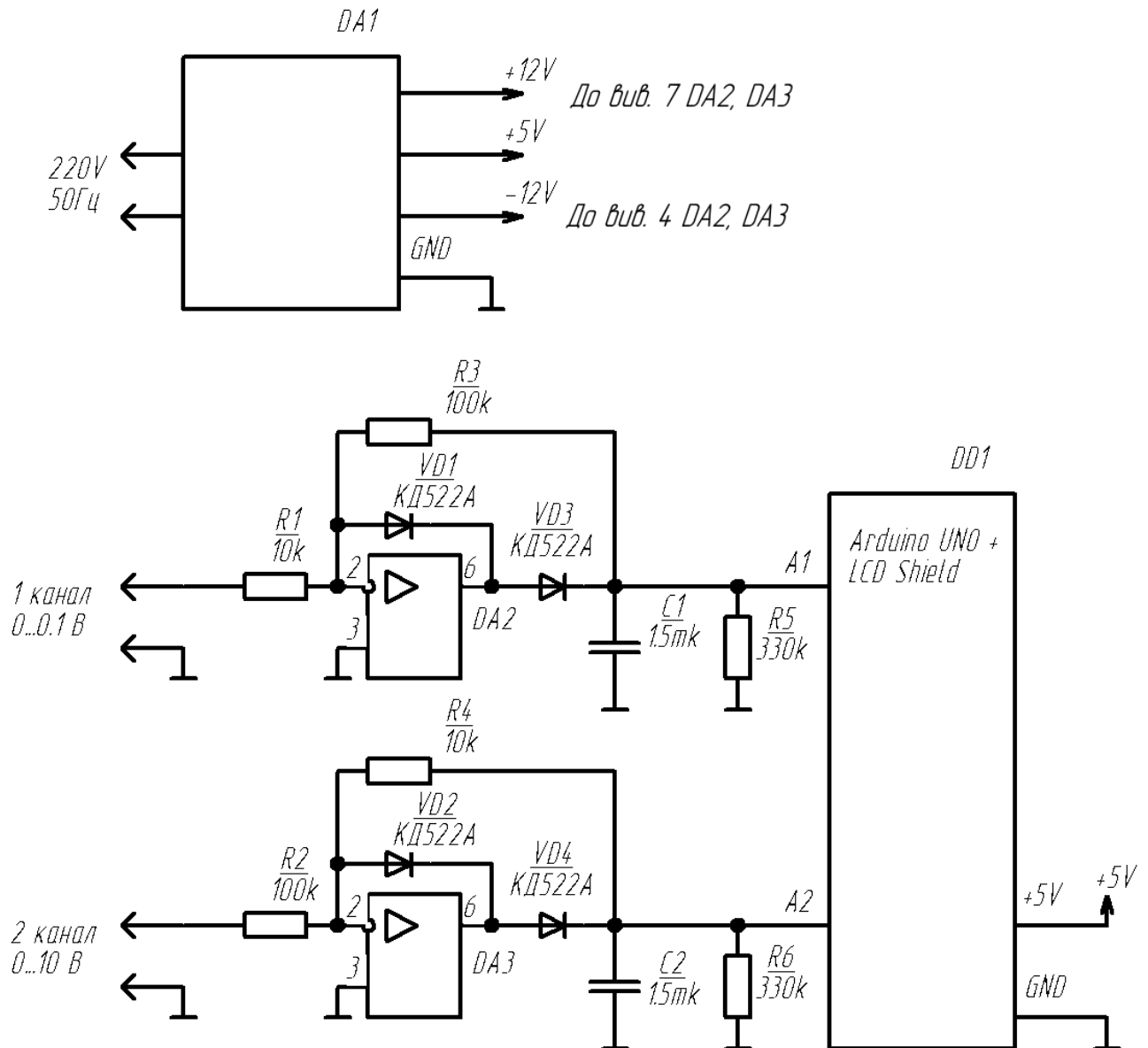
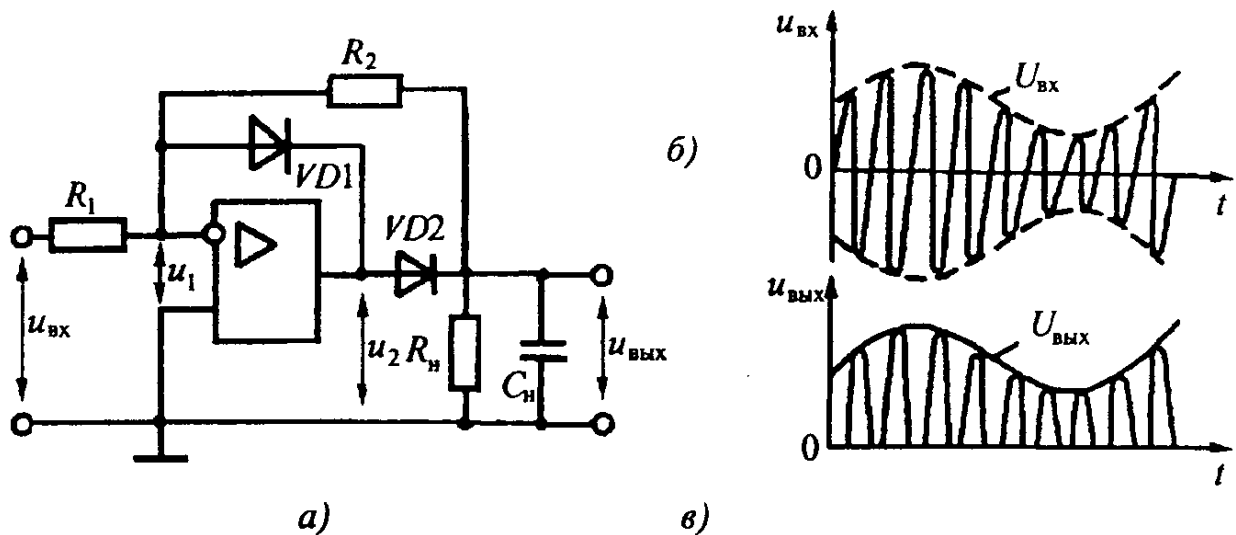


Рисунок 2.2 – Електрична принципова схема.

Вихідний ланцюжок $C1$, $R5$ визначає постійну часу пікового детектора $= C1 R5$. Ця постійна часу повинна бути в кілька разів більшою за період при найнижчій частоті роботи вольтметра.

$$T_n = 1/f_n = 1/10\text{ Гц} = 0.1\text{ с}, \quad (2.3)$$

де T_n - період при найнижчій частоті, $f_n = 10\text{ Гц}$ – найнижча частота роботи вольтметра. Задалися постійної часу, яка у кілька разів перевищує T_n $\tau=0,5\text{с}$.



а – схема; б – діаграми напруги на вході; в – діаграми напруги на виході.

Рисунок 2.3 – Піковий детектор на операційному підсилювачі.

З міркувань, що величина R_5 повинна бути меншою за вхідний опір АЦП Ардуїно задалися значенням опору $R_5 = 330$ кОм. Далі знайшли ємність C_1

$$C_1 = \tau / R_5 = 0,5\text{с} / 100\text{кОм} = 1.5 \text{ мкф} \quad (2.4)$$

Вибрали C_1 типу К10-17Б 1.5 мкф. Вихідний ланцюжок для другого каналу вибрали такий, як і для першого.

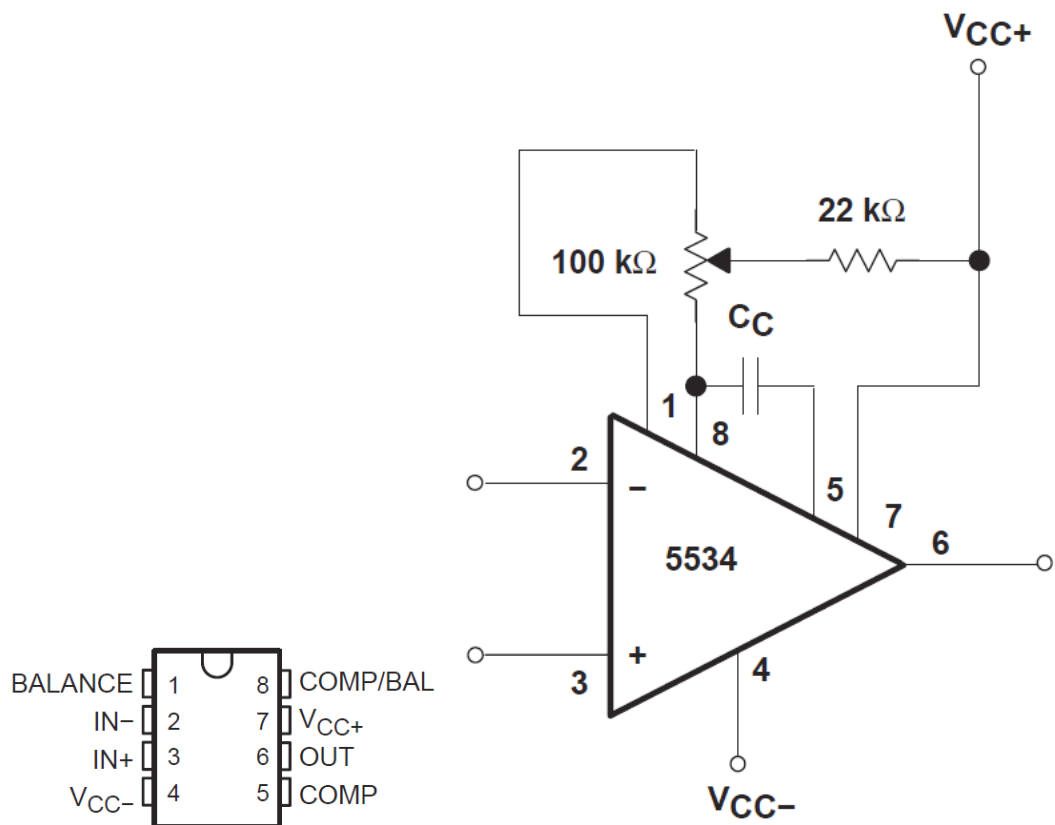
Вибір операційного підсилювача. Одним з найпопулярніших операційних підсилювачів є LM358. Це здвоєний операційний підсилювач (2 підсилювачі в одному корпусі). Випускається у різних корпусах, у тому числі у корпусі DIP-8. Однак він не є високочастотним і має частоту одиничного посилення лише в 1 МГц. Тож нам не підходить. Вибрали високочастотний операційний підсилювач типу NE5534AP (рис. 2.4, табл 2.1) [9].

Вибраний ОП допускає можливість встановлення ланцюгів корекції для підстроювання нульової точки. Однак у нашій схемі для спрощення ми використовуватимемо його без цих ланцюгів.

Для живлення приладу використаємо двополярний блок живлення Mean Well RQ-50D [10] (рис. 2.5, табл. 2.2).

Таблиця 2.1 – Характеристики операційного підсилювача

Параметр	Значення
Швидкість наростання вихідного сигналу, В/мкс	13
Частота одиничного підсилення, МГц	10
Токове зміщення на вході, нА	500
Напруга зміщення на вході, мкВ	500
Струм власного споживання, мА	4
Вихідний струм на канал, мА	38
Напруга живлення однополярна (+)/двополярна (\pm),	$\pm 5 \dots 15$



а) функціональне призначення висновків; б) стандартна схема включення

Рисунок 2.4 – Операційний підсилювач типу NE5534AP.



Рисунок 2.5 – Блок живлення Mean Well RQ-50D

Таблиця 2.2 – технічні характеристики блока живлення Mean Well RQ-50D

Кількість каналів	4 (не ізольовані)
Вхідна напруга	~100 - 240 В, 47 - 63 Гц
Вихідна напруга	+5 В (1 канал), +12 В (2 канал), +24 В (3 канал), -12 В (4 канал)
ККД	79%
Рівень пульсацій	80 мВ (1 канал), 120 мВ (2 канал), 180 мВ (3 канал), 80 мВ (4 канал)
Номінальний струм	3 А (1 канал), 0.9 А (2 канал), 0.9 А (3 канал), 0.5 А (4 канал)
Номінальна потужність	53.4 Вт
Робоча температура	від -25 до +70 °С
Допустиме відхилення напруги	2% (1 канал), 8% (2 канал), 8% (3 канал), 5% (4 канал)
Вага	410 г
Габарити	99 мм x 97 мм x 36 мм

2.3 Розроблення алгоритму програмного забезпечення

Розроблена блок-схема алгоритму програми зображена рис. 2.6.

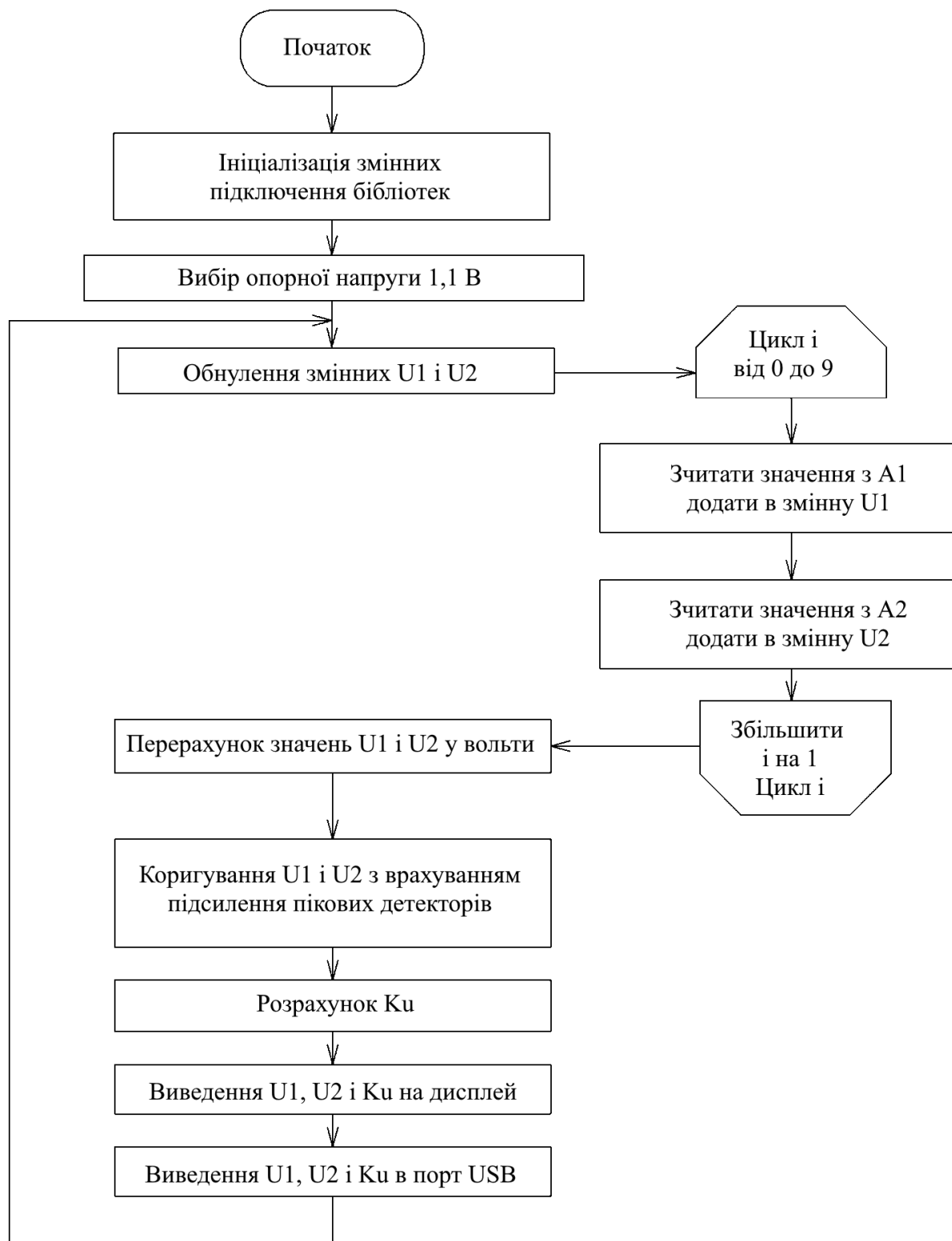


Рисунок 2.6 – Блок-схема алгоритму програми

2.4 Розроблення програмного забезпечення

За допомогою пікових детекторів, що використовуються в електричній принциповій схемі, передбачається наводити рівні обох каналів до значення 1 В. Ардуїно [11] має можливість оцифровувати вхідні напруги з наступними значеннями опорних напруг:

- режим DEFAULT з опорною напругою, що дорівнює живленню (5 В),
- режим INTERNAL с внутрішньою опорною напругою в 1,1 В,
- режим EXTERNAL із зовнішньою опорною напругою.

Опорна напруга – це напруга, з якою порівнюється оцифровуване. При оцифруванні напруги рівного опорному буде отримано максимальне значення, яке може видати 10-розрядний АЦП Ардуїно, тобто значення 1023.

Крок оцифрування складає:

режим DEFAULT: $5/1023 = 5$ мВ,

режим INTERNAL: $1,1/1023 = 1,1$ мВ

Найбільш підходящим є варіант INTERNAL - використання внутрішньої опорної напруги 1,1 В. У ньому досягається найбільша точність показань.

Перед розробкою програми було здійснено експериментальне дослідження, щоб перевірити, як працює Ардуїно з внутрішньою опорною напругою в 1,1 В. Мета експерименту – порівняти результати оцифрування напруг у режимах DEFAULT та INTERNAL між собою та з еталонними вимірами, зробленими мультиметром. Для цього було розроблено пробну тестову програму (додаток А).

До виводу А4 підключили середній вивід змінного резистора, підключеного до землі та напрузі +5В (рис. 2.7). Таким чином, змогли міняти напругу, що подається на вивід А4 від нуля до 5В.

Виставили напругу, близьку до 1, за допомогою АЦП отримали значення напруг, зображений на рис. 2.8.

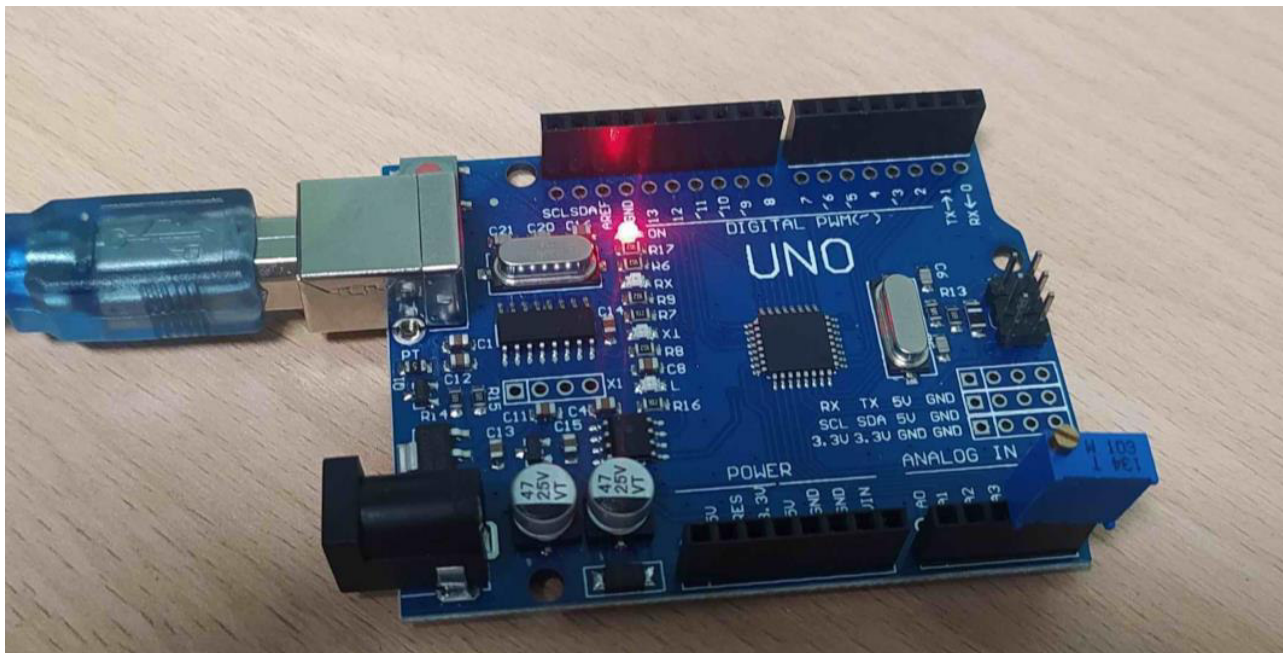


Рисунок 2.7 – Схема апробації вибору опорного напруги.

```

COM5
U_DEFAULT=0.99   U_INTERNAL=1.04
1.03
1.03
1.03
1.03
1.04
1.04
1.04
1.04
1.04
1.04
1.03
1.04
1.04
1.03
1.03
1.03

```

Рисунок 2.8 - Експеримент при напрузі близькому до 1В.

Далі виставили напругу, близьку до 0,1 В і повторили експеримент (рис. 2.9).

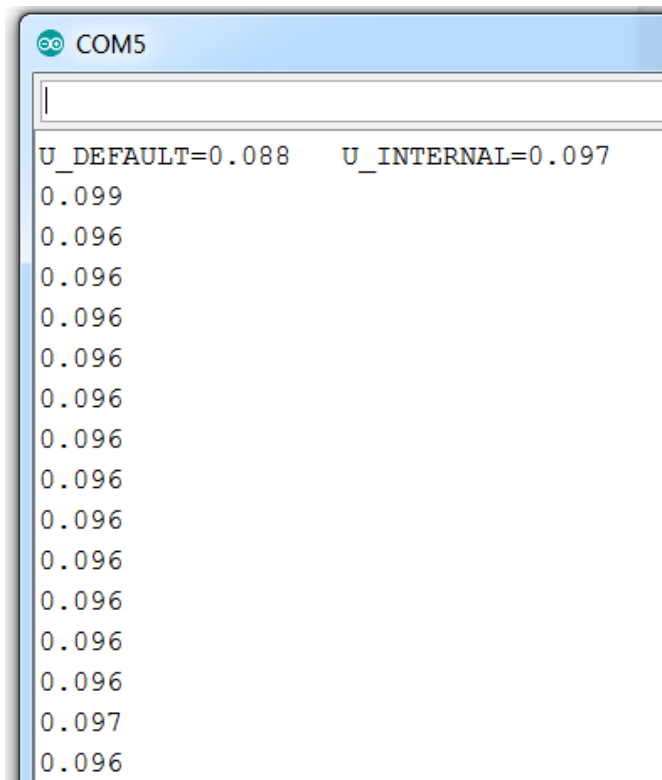


Рисунок 2.9 - Експеримент при напрузі, близькому до 0,1 В.

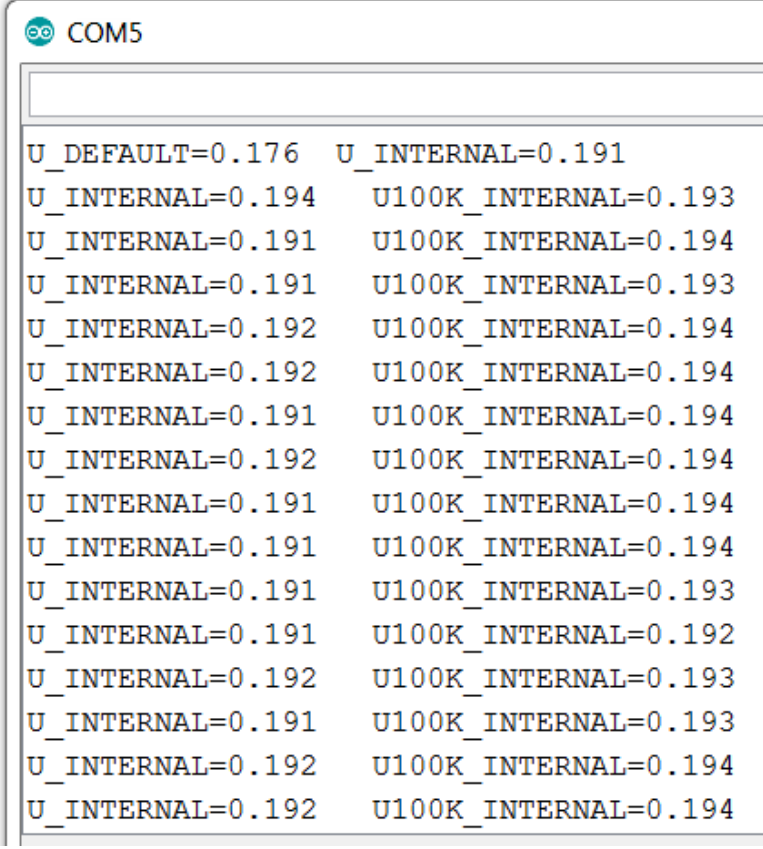
Аналогічно провели серію експериментів для інших значень напруги, результати звели в таблицю 2.3.

Таблиця 2.3 - Результати експериментів з оцифрування напруг.

Показання еталонного мультиметра, мВ	Значення, отримані за режиму DEFAULT (опорна 5 В), мВ	Значення, отримані за режиму INTERNAL (опорна 1,1 В), мВ
1000	990	1035
192	176	191
100	88	97
70	54	66
50	39	44
25	10	19

З таблиці видно, що обидва режими дозволяють оцифрувати напругу. Однак оцифрування в режимі INTERNAL при малих напругах дає значення, ближчі до показань мультиметра. При значеннях, що оцифровуються, до 100 мВ похибка оцифрування знаходиться в межах 6 мВ. При оцифруванні значення 1 В (1000 мВ) похибка склала 40 мВ, що становить 3.5% від значення, що оцифровується.

Для орієнтовного визначення значення вхідного опору АЦП подали напругу змінного резистора безпосередньо на вхід А4 і через резистор 100 кОм до входу А1 і порівняли значення, що оцифровуються на цих входах (рис. 2.10)



```

COM5
U_DEFAULT=0.176  U_INTERNAL=0.191
U_INTERNAL=0.194  U100K_INTERNAL=0.193
U_INTERNAL=0.191  U100K_INTERNAL=0.194
U_INTERNAL=0.191  U100K_INTERNAL=0.193
U_INTERNAL=0.192  U100K_INTERNAL=0.194
U_INTERNAL=0.192  U100K_INTERNAL=0.194
U_INTERNAL=0.191  U100K_INTERNAL=0.194
U_INTERNAL=0.192  U100K_INTERNAL=0.194
U_INTERNAL=0.191  U100K_INTERNAL=0.194
U_INTERNAL=0.191  U100K_INTERNAL=0.194
U_INTERNAL=0.191  U100K_INTERNAL=0.193
U_INTERNAL=0.191  U100K_INTERNAL=0.192
U_INTERNAL=0.192  U100K_INTERNAL=0.193
U_INTERNAL=0.191  U100K_INTERNAL=0.193
U_INTERNAL=0.192  U100K_INTERNAL=0.194
U_INTERNAL=0.192  U100K_INTERNAL=0.194

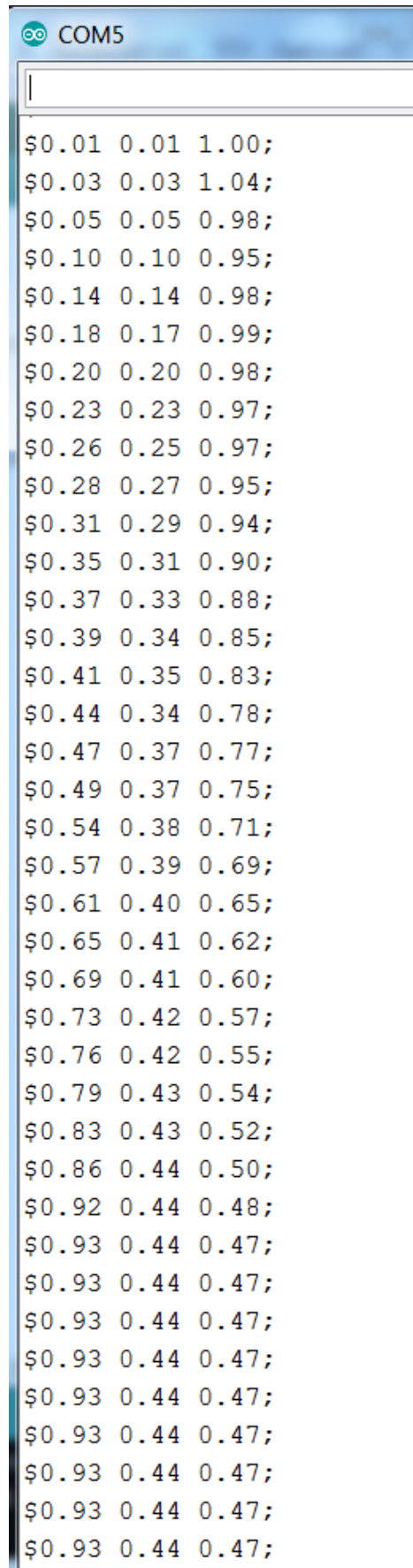
```

Рисунок 2.10 – Експеримент з аналізу вхідного опору.

За результатами експерименту видно, що показання, що отримуються при прямому підключенні та при підключенні через резистор 100 кОм практично збігаються. Тобто вхідний струм АЦП настільки малий, що на резисторі 100 кОм мало падає напруга. Це свідчить про великий вхідний опір АЦП, що значно перевищує 100 кОм.

Згідно з розробленим алгоритмом була написана програма для Ардуїно. Демонстрація роботи програми та одержуваних результатів наведена на рисунку 2.11.

Для візуалізації значень, що видаються програмою, графічно скористалися комп'ютерною програмою Serial Port Plotter. Інтерфейс програми наведено на рисунку 2.12.



```
COM5
$0.01 0.01 1.00;
$0.03 0.03 1.04;
$0.05 0.05 0.98;
$0.10 0.10 0.95;
$0.14 0.14 0.98;
$0.18 0.17 0.99;
$0.20 0.20 0.98;
$0.23 0.23 0.97;
$0.26 0.25 0.97;
$0.28 0.27 0.95;
$0.31 0.29 0.94;
$0.35 0.31 0.90;
$0.37 0.33 0.88;
$0.39 0.34 0.85;
$0.41 0.35 0.83;
$0.44 0.34 0.78;
$0.47 0.37 0.77;
$0.49 0.37 0.75;
$0.54 0.38 0.71;
$0.57 0.39 0.69;
$0.61 0.40 0.65;
$0.65 0.41 0.62;
$0.69 0.41 0.60;
$0.73 0.42 0.57;
$0.76 0.42 0.55;
$0.79 0.43 0.54;
$0.83 0.43 0.52;
$0.86 0.44 0.50;
$0.92 0.44 0.48;
$0.93 0.44 0.47;
$0.93 0.44 0.47;
$0.93 0.44 0.47;
$0.93 0.44 0.47;
$0.93 0.44 0.47;
$0.93 0.44 0.47;
$0.93 0.44 0.47;
$0.93 0.44 0.47;
$0.93 0.44 0.47;
$0.93 0.44 0.47;
```

Рисунок 2.11 – Демонстрація роботи програми.

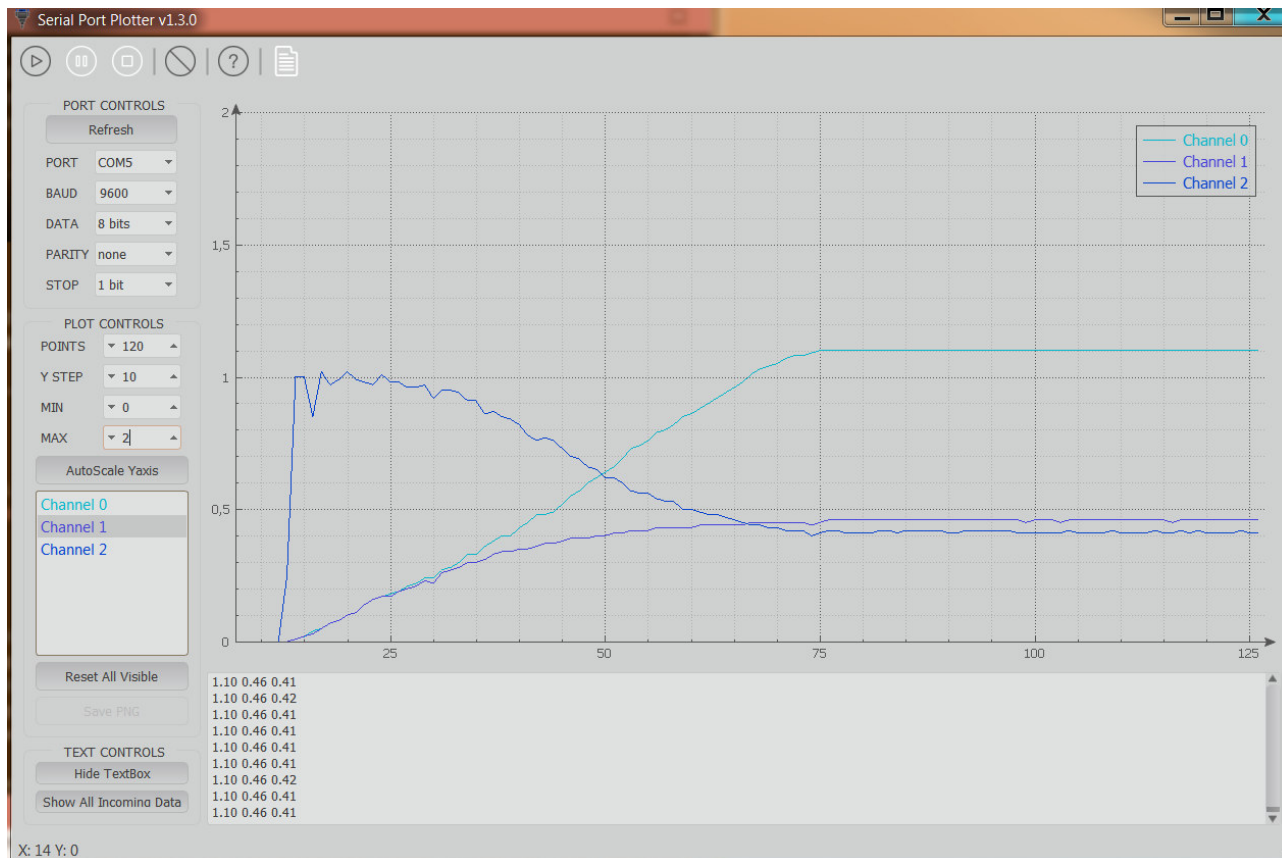


Рисунок 2.12 – Інтерфейс програми Serial Port Plotter (кольори інвертовані).

2.5 Тестування і коригування тексту програми

Після написання програми перевірки її працездатності програми зібрали тестову схему (рис. 2.13). Експериментальна установка наведена на рисунку 2.14.

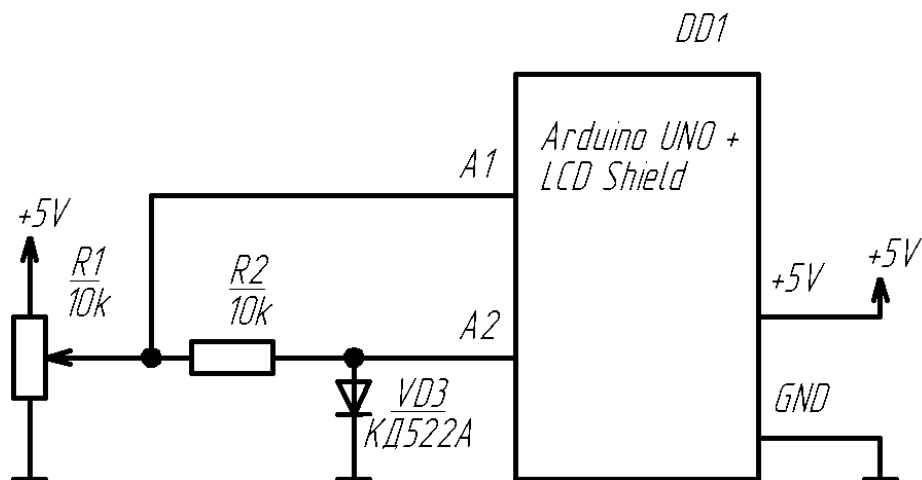


Рисунок 2.13 – Схема перевірки працездатності програми.

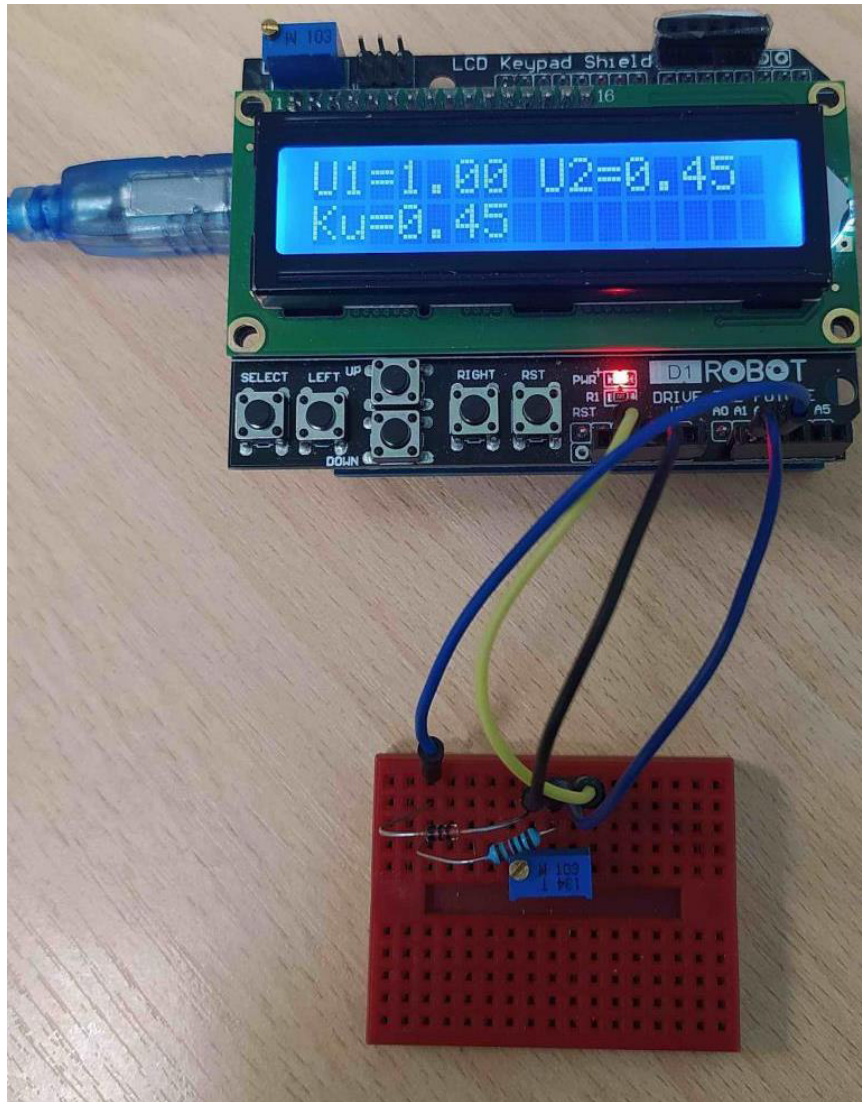


Рисунок 2.14 – Фізична реалізація схеми перевірки працездатності програми.

Обертаючи змінний резистор R1 змінювали напругу, що подається на вхід A1. Напруга, що подається на вхід A2, обмежувалося прямим падінням на діоді VD1. Результати роботи програми, що передаються в комп'ютерну програму Serial Port Plotter, зображені на рисунку 2.15.

У першій версії програми напруги замірялися одноразово, що призводило до наявності провалів у значеннях, викликаних шарудінням змінного резистора при його обертанні. Вирішено було заміряти значення напруг 10 разів і усереднювати отримані значення. Таке рішення дозволило досягти більшої точності (рис. 2.16). Текст остаточної версії програми приведений в додатку Б.

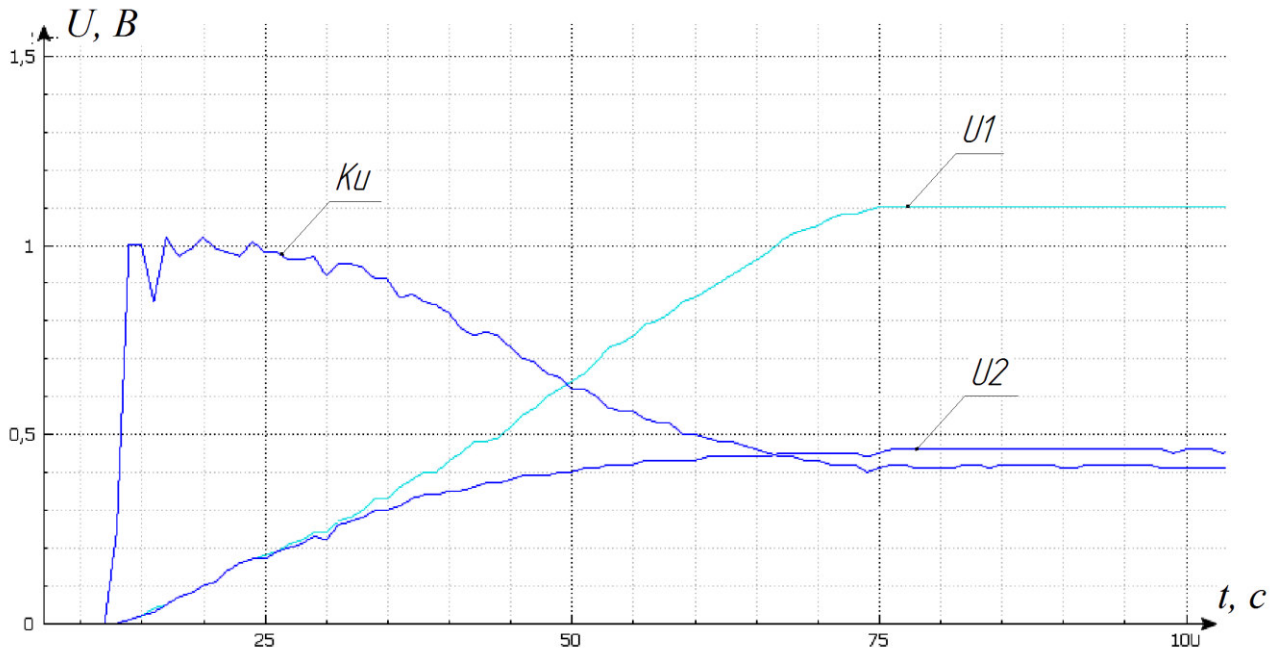


Рисунок 2.15 – Результати роботи програми при одноразових вимірюваннях напруги.

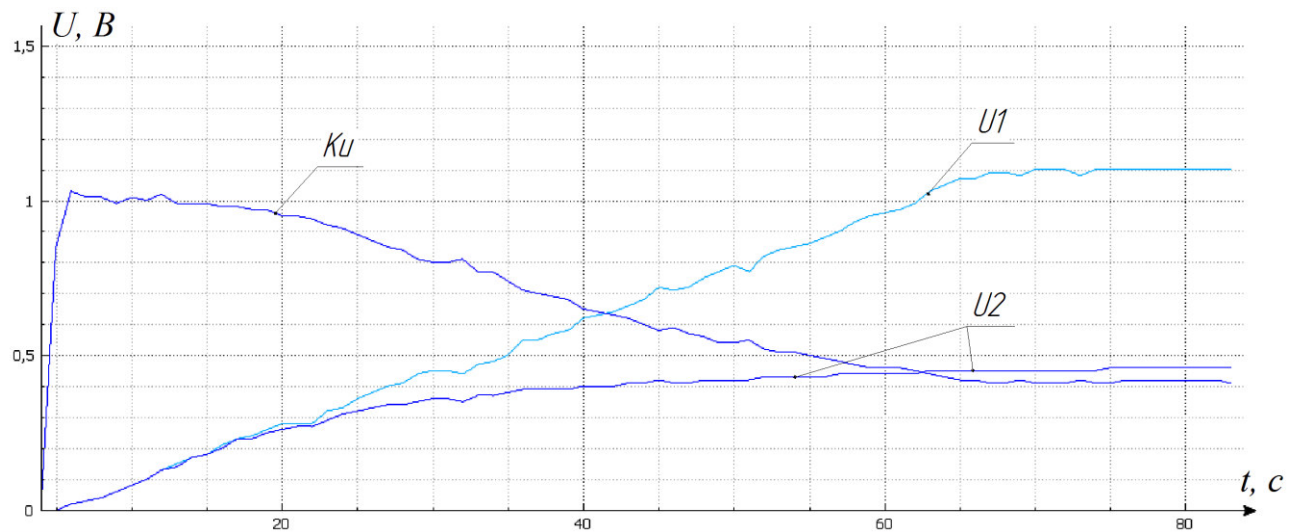


Рисунок 2.16 – Результати роботи програми за десятикратних вимірів напруг.

Приклад результатів, одержуваних у результаті роботи програми у текстовому вигляді, наведено у таблиці 2.4.

Таблиця 2.4 – Тестування програми (значення напруги)

U1, В	U2, В	Ku
0,02	0,02	1,03
0,04	0,04	1,01
0,08	0,08	1,01
0,17	0,17	0,99
0,21	0,20	0,98
0,24	0,23	0,97
0,28	0,26	0,95
0,28	0,27	0,94
0,33	0,31	0,91
0,36	0,32	0,89
0,41	0,34	0,84
0,45	0,36	0,80
0,45	0,36	0,80
0,47	0,37	0,77
0,50	0,38	0,74
0,55	0,39	0,70
0,58	0,39	0,68
0,63	0,40	0,64
0,72	0,42	0,58
0,72	0,41	0,57
0,77	0,42	0,54
0,82	0,43	0,52
0,88	0,43	0,49
0,93	0,44	0,47
0,99	0,44	0,45
1,05	0,45	0,43
1,07	0,45	0,42
1,09	0,45	0,41
1,10	0,45	0,41
0,02	0,02	1,03
0,04	0,04	1,01
0,08	0,08	1,01

3 МЕТРОЛОГІЧНИЙ АНАЛІЗ

3.1 Аналіз похибок вимірювального каналу напруги

Похибка вимірювального каналу вольтметра наведені на рис. 3.1. основними інструментальними похибками є похибки пікового детектора і аналого-цифрового перетворювача. Методичними похибками є похибка коефіцієнта перетворення коду АЦП в напругу, заокруглення числа на табло і заокруглення чисел при виконанні розрахунків мікроконтролером.

Інструментальні похибки будуть розглянуті в наступних підрозділах. В цьому підрозділі проведемо аналіз методичних похибок.

До методичних похибок відносяться похибки обчислення, відображення результату на табло, заокруглення чисел. Похибка обчислення виникає при виконанні обчислень мікроконтролером значення напруги з цифрового коду АЦП згідно застосованого алгоритму виконання математичних операцій. З обчисленнями також пов'язана похибка заокруглення чисел при виконанні математичних дій, як правило ця похибка є малою і нею часто нехтують. Результат вимірювань на табло відображається з обмеженою кількістю розрядів. Цифри результату, яким не вистачає знакоміць на табло відкидаються або остання цифра може заокруглюватись.

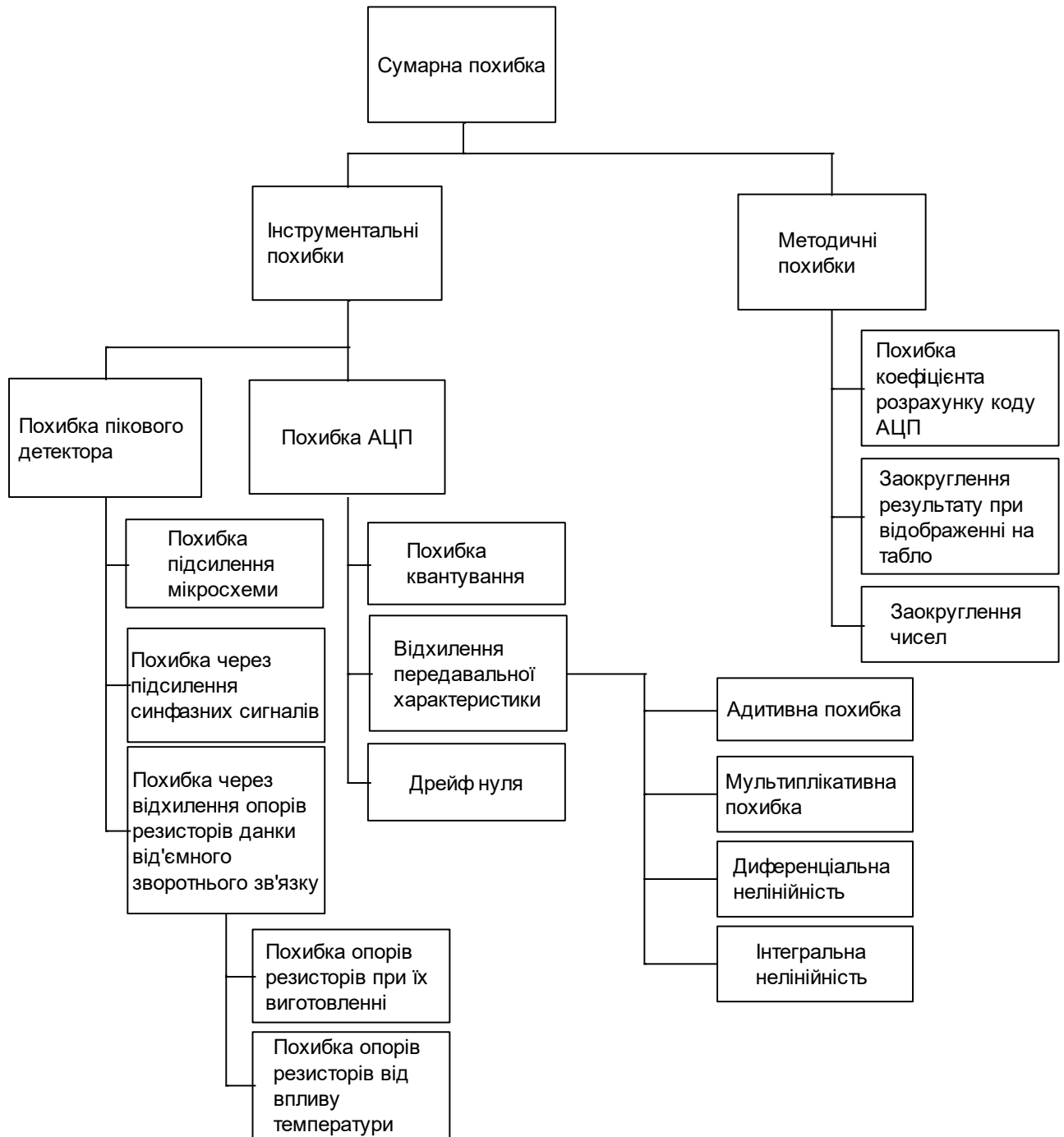


Рисунок 3.1 – Схема накопичення похибок вимірювального каналу

3.2 Розрахунок похибок пікового детектора

Коефіцієнти підсилення, наведені вище, відповідають ідеальному піковому детектору, в реальному пристрої буде вплив характеристик, які вважаються раніше ідеальними. Для пікового детектора, що інвертує, ця похибка дорівнює

$$\varepsilon_K = -\frac{\frac{R3}{R1}}{K} = \frac{10}{5 \cdot 10^4} = 0,2 \cdot 10^{-3} \%.$$

Зробимо тепер оцінку похибки рахунок кінцевого значення ослаблення синфазного сигналу. Похибка для інвертуючого пікового детектора буде визначатися за формулою

$$\varepsilon_C = \frac{1}{K_{OCC}}.$$

У операційного підсилювача значення K_{OCC} досить високе ($K_{OCC} = 60$ дБ, або $K_{OCC} = 1000$), тобто дана похибка буде низькою.

$$\varepsilon_C = \frac{1}{1000} = 1 \cdot 10^{-3} \%$$

Крім похибок, обумовлених неідеальністю параметрів операційного підсилювача виникає похибка рахунок розкиду значень резисторів у ланцюга зворотного зв'язку. Розкид опорів резисторів складає $\delta R = 0,5\%$. Знайдемо абсолютну похибку резисторів $\Delta R1 = (\delta R \cdot R1) / 100 = 50$ Ом, $\Delta R3 = (\delta R \cdot R3) / 100 = 500$ Ом. Абсолютна похибка підсилення пікового детектора:

$$\Delta K = \sqrt{\left(\frac{1}{R1}\right)^2 (\Delta R3)^2 + \left(\frac{R3}{R1^2}\right)^2 (\Delta R1)^2} = 0,07.$$

Сумарна відносна похибка підсилювача через розкид опорів рівна $\varepsilon_R = 0,07 / 10 \cdot 100 = 0,7 \%$.

У процесі експлуатації коефіцієнт підсилення пікового детектора може змінюватись через вплив температури навколишнього середовища. Температурна нестабільність коефіцієнта підсилення викликана переважно зміною коефіцієнта підсилення операційного підсилювача і номіналів резисторів $R1$ і $R3$. Похибка визначається за такою формулою

$$\varepsilon_{TK} = \frac{\delta K}{1 + \frac{K}{K_{\text{ц}}}}.$$

де K - відносна зміна коефіцієнта посилення в заданому діапазоні температур. Визначимо ТК:

$$\varepsilon_{TK} = \frac{35}{1 + \frac{5 \cdot 10^4}{10}} = 7 \cdot 10^{-3} \%$$

Також слід врахувати похибку, пов'язану з температурним коефіцієнтом зміни опору резисторів:

$$\varepsilon_{TR} = \frac{1}{1 + \frac{R1}{R3}} (TKO_3 - TKO_1) \cdot \Delta T = 0,16 \%$$

Тепер після визначення всіх основних похибок, що впливають на коефіцієнт посилення ПУ, можна розрахувати їх сумарну похибку.

$$\varepsilon = \varepsilon_K + \varepsilon_C + \varepsilon_R + \varepsilon_{TK} + \varepsilon_{TR} = 0,0002 \% + 0,001 \% + 0,7 \% + 0,007 \% + 0,16 \% = 0,867 \%$$

3.3 Аналіз похибок аналого-цифрового підсилювача

Аналого-цифрові перетворювачі (АЦП) є важливим елементом сучасної обчислювальної техніки. Будь-який прилад, що відображає результати вимірювань на цифровому табло (екрані, індикаторі тощо), або здійснює їх передачу за інтерфейсами, або зберігання в пам'яті ЕОМ, процесорного приладу або іншого цифрового пристрою (дискретної) техніки, має в своєму складі АЦП.

Аналогово-цифровий перетворювач (АЦП) - електронна схема, яка вимірює розмір фізичної величини (температура, тиск, швидкість і т.д., виражені в електричних величинах) та перетворює його цифрову форму. Аналоговий електричний сигнал на вході перетворювача порівнюється з відомою еталонною напругою і проводиться цифрове уявлення цього сигналу. На виході АЦП зазвичай має двійковий код, пропорційний вхідному аналоговому значенню (лінійка індикаторів двійкового коду розташована під діаграмою). Далі цей код, за потреби, може бути перетворений на десятковий за допомогою спеціального пристрою – дешифратора. АЦП здійснює перетворення з помилкою квантування оскільки для безперервного аналогового сигналу повинна бути нескінченна роздільна здатність перетворювача, а реальний АЦП має кінцеве число розрядів

кодування. Чим вища розрядність АЦП, тим менша похибка квантування. [14]

Роздільна здатність (розрядність) АЦП характеризує кількість дискретних відліків, якими перетворювач може подати цифровий код на виході. Якщо вихідний код перетворювача є n -розрядним, число дискретних вихідних рівнів дорівнює 2^n . Наприклад, АЦП, з 256 дискретними відліками (0..255), має розрядність 8 біт, оскільки роздільна здатність і точність АЦП обмежені схемою побудови АЦП. АЦП перетворює вхідний аналоговий сигнал у відповідний цифровий код. Для реальних перетворювачів процес перетворення не ідеальний: на похибки перетворення впливають розкид параметрів АЦП при масовому виробництві і різні зовнішні впливи в електричній схемі і конструкції приладу. Тому цифровий код на виході АЦП містить похибку. У специфікації на АЦП виробники вказують похибки, які притаманні перетворювачу. Їх зазвичай ділять на статичні та динамічні. [14]

Аналого-цифрове перетворення є операцією, що встановлює відношення двох величин: вхідний аналоговий сигнал V , перетворюється на цифрове значення X шляхом зіставлення його значення з рівнем опорного сигналу V_{ref} (reference - опора). Цифровий сигнал перетворювача є кодовим представленням цього дробу. Це співвідношення представлено на рис. 3.2. Діапазон зміни вхідного сигналу розбивається на рівні - кванти. Кожен квант є значенням аналогової величини, на яку відрізняються рівні вхідного сигналу, що представляють дві сусідні кодові комбінації. [14]

Передавальна характеристика АЦП - це функція залежності коду на виході АЦП від напруги на його вході. Рис. 3.2 ілюструє ідеальну передавальну характеристику для 3-розрядного АЦП. При значенні вхідного сигналу від 0 до $1/8$ повної шкали вихідний код приймає найменше значення (000b). Значення коду повної шкали (111b) отримуємо при $7/8$ повної шкали, а не при значенні повної шкали. Тому передавальну характеристику часто реалізують зі зміщенням на $-1/2$ LSB (рис. 3.3). [14]

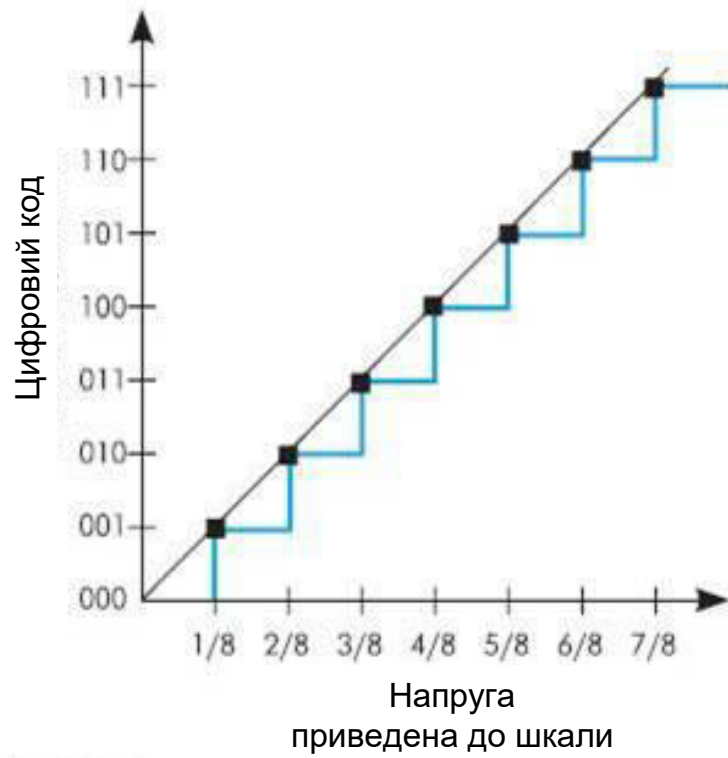


Рисунок 3.2 – Ідеальна передавальна характеристика для 3-х розрядного АЦП

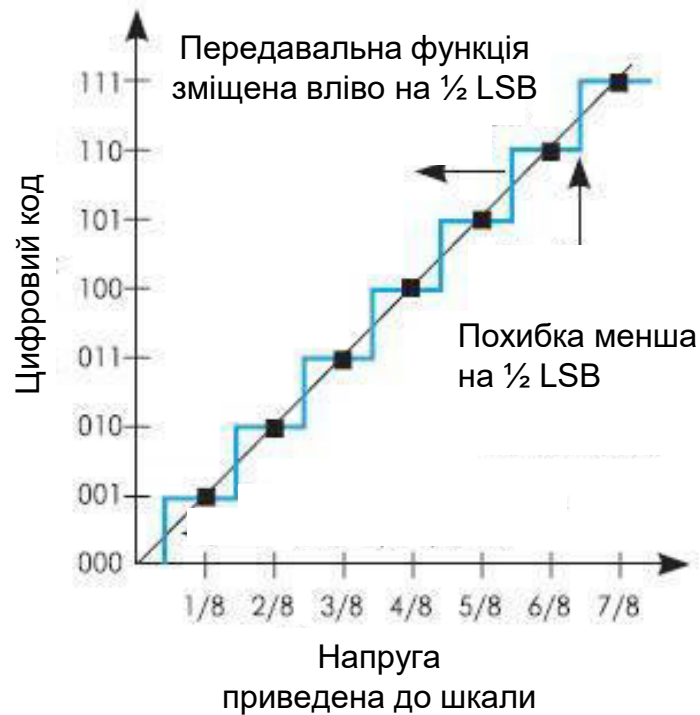


Рисунок 3.3. – Передавальна характеристика 3-розрядного АЦП зі зміщенням на $-1/2$ LSB

У багатьох застосуваннях АЦП використовують для вимірювання сигналу,

що повільно змінюється (наприклад, від датчика температури, тиску, сили і т.п.). В таких випадках основну роль має статична похибка вимірювання. У специфікації АЦП цей тип похибки визначають адитивна (Offset) і мультиплікативна (Full-Scale) похибки, диференційна (DNL) і інтегральна (INL) нелінійність, та похибка квантування. Ці складові визначають статичну похибку АЦП. [14]

Адитивна похибка визначається як зміщення всієї передавальної характеристики ліворуч або праворуч щодо осі вхідної напруги (рис. 3.4). Мультиплікативна похибка – відхилення між ідеальною і реальною передавальними характеристиками в точці максимального вихідного значення. Ця похибка виглядає як зміна нахилу передавальної функції (рис. 3.5). [14]

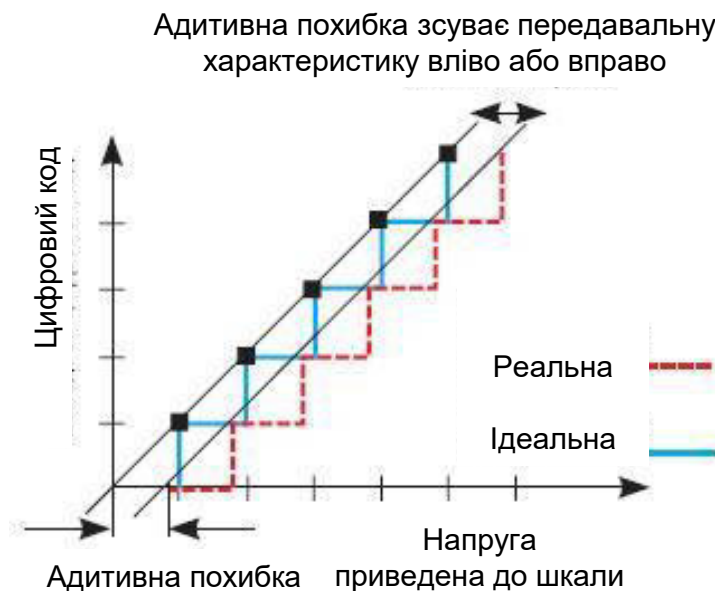


Рисунок 3.4. – Адитивна похибка (похибка усунення, Offset Error)

Для ідеальної передавальної характеристики АЦП величина кожного відліку має бути однаковою. Різниця у величинах відліків є диференційною нелінійністю (DNL). Різниця напруг між кожним кодовим переходом повинна дорівнювати величині LSB. Відхилення цієї різниці від LSB визначаються як диференційна нелінійність (рис. 3.6). [14]

Інтегральна нелінійність (INL) – це похибка, що викликається відхиленням передавальної характеристики АЦП від прямої лінії (рис. 3.7). Для ідеального

АЦП зміна коду відбуватимуться при значеннях вхідної напруги, точно кратних LSB. В реальному перетворювачі така умова порушується. Різниця між "ідеальними" рівнями напруги та їх реальними значеннями виражається в одиницях LSB і називається інтегральною нелінійністю. [14]

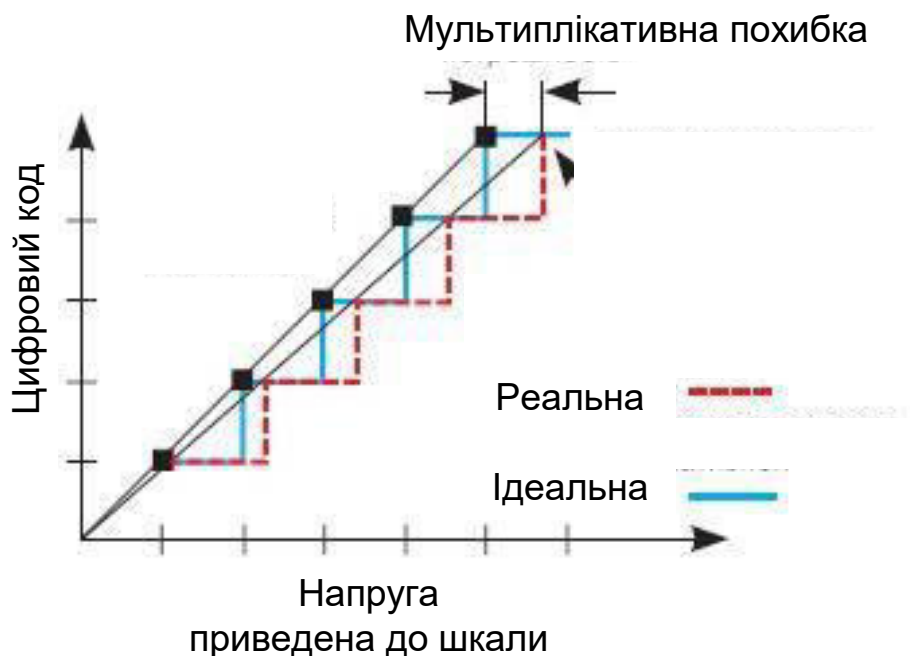


Рисунок 3.5 – Мультиплікативна похибка (похибка нахилу, Full-Scale Error).

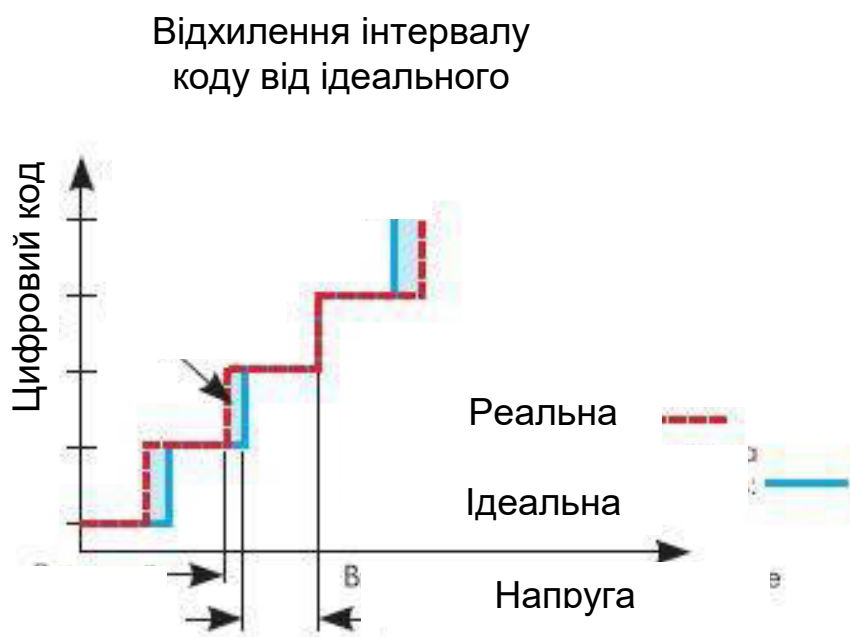


Рисунок 3.6. – Диференційна нелінійність (DNL).

Похибка квантування є найістотношою складовою похибок в АЦП. Ця похибка є результатом процесу перетворення і визначається роздільною здатністю АЦП. [14]

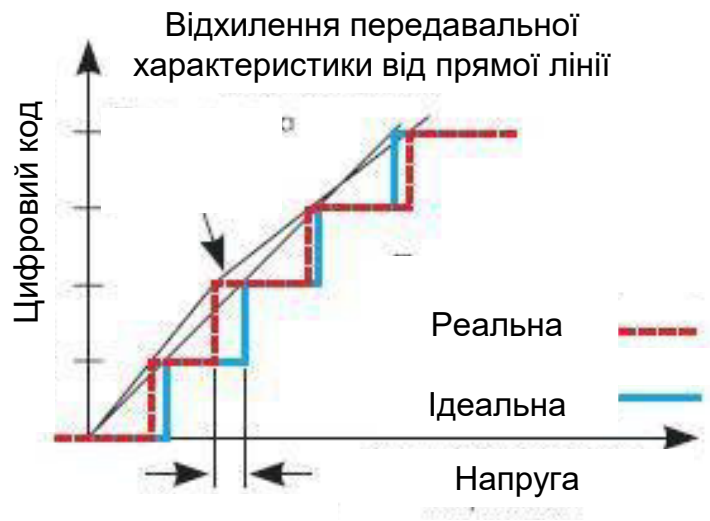


Рисунок 3.7. – Інтегральна нелінійність (INL)

На виході АЦП кожному дискретному значенню відповідає комбінація двійкового коду, кількість яких N_p . Вибір N_p здійснюється відповідно до співвідношення: [14]

$$2^{N_p} \geq N_D, \quad (3.1)$$

де N_D – кількість рівнів квантування.

Абсолютну похибку квантування за рівнем визначають так: [14]

$$\delta_{abs} \leq \frac{\Delta U}{2}, \quad (3.2)$$

де ΔU величина кроку квантування за рівнем, яка дорівнює:

$$\Delta U = \frac{U_{\max} - U_{\min}}{N_D - 1}. \quad (3.3)$$

Отже максимальна абсолютна похибка дорівнює половині кроку квантування за рівнем. Відносна похибка квантування за рівнем:

$$\delta_{відн} \leq \frac{50}{N_D - 1} \% \quad (3.4)$$

Відповідно до специфікації виробника [12] складові похибок АЦП рівні:

абсолютна ± 2 LSB, дрейф нуля $\pm 0,5$ LSB, мультиплікативна похибка $\pm 1,5$ LSB, інтегральна ± 1 LSB, диференціальна $\pm 0,5$ LSB. Максимальне значення абсолютної похибки АЦП рівне $\Delta_{\text{АЦП}}=5,5$ LSB, а відносне $\delta_{\text{АЦП}}= 0,537$ %. Сумарна похибка вимірювального каналу складе $\delta_U=1,4$ %.

4 ОХОРОНА ПРАЦІ

4.1 Законодавче та нормативно-правове забезпечення охорони праці.

Законодавчими актами, що визначають основні правовідносини у виробничій діяльності, є державні нормативноправові акти про охорону праці (ДНПАОП) [13].

Державні нормативно-правові акти про охорону праці – це правила, стандарти, норми, положення, інструкції та інші документи, яким надано силу закону і які є обов'язковими для виконання [13].

Державні нормативно-правові акти про охорону праці мають загальнодержавне значення, їх дія поширюється на всі підприємства незалежно від їх відомчої належності, форми власності та виду господарської діяльності [13].

Крім вказаних законодавчих актів, правові відносини у сфері охорони праці регулюють підзаконні нормативно-правові акти, укази і розпорядження Президента, рішення Уряду, нормативноправові акти міністерств та інших центральних органів державної виконавчої влади [13].

Крім вищезгаданих документів, вимоги охорони праці в галузі регламентують також будівельні й санітарні норми та правила, правила облаштування електроустановок, норми радіаційної безпеки, правила побудови та безпечної експлуатації кранів, ємностей, що працюють під тиском та інші нормативні документи [13].

До найважливіших підзаконних нормативно-правових актів, що регламентують охорону праці в галузі, належать [13]:

1) Постанова від 17.04.2019 № 337 Про затвердження Порядку розслідування та обліку нещасних випадків, професійних захворювань та аварій на виробництві;

2) Закон України від 23.09.1999 № 1105-XIV Про загальнообов'язкове

державне соціальне страхування;

5) Наказ від 08.04.2014 р. № 248 "Про затвердження Державних санітарних норм та правил «Гігієнічна класифікація праці за показниками шкідливості та небезпечності факторів виробничого середовища, важкості та напруженості трудового процесу»";

6) НПАОП 0.00-4.12-05 Типове положення про порядок проведення навчання і перевірки знань з питань охорони праці.

Нормативно – правові акти з охорони праці в міру розвитку наукових досягнень не рідше одного разу на десять років мають переглядатися, уточнюватися й доповнюватися [13].

Опрацювання міжгалузевих нормативно-правових актів про охорону праці фінансується з Державного фонду охорони праці та інших джерел, галузевими міністерствами або відомствами створеними за галузевим принципом [13].

Інформаційно-пошукова правова система «Нормативні акти України (НАУ)» розміщена в мережі Інтернет й постійно оновлюється.

4.2 Організація роботи з охорони праці на підприємстві

Згідно з Законом України “Про охорону праці” роботодавець зобов'язаний створювати у кожному структурному підрозділі та на робочому місці умови праці відповідно до вимог нормативних актів, а також забезпечувати дотримання прав працівників, гарантованих законодавством про охорону праці. Із цією метою роботодавець забезпечує функціонування системи управління охороною праці на підприємстві, для чого: 1) створює відповідні служби і призначає посадових осіб, які вирішують конкретні питання охорони праці, затверджує посадові інструкції про їхні обов'язки, права і відповідальність за виконання покладених на них функцій; 2) розробляє за участі профспілок і реалізує комплексні заходи для дотримання встановлених нормативів з охорони праці, впроваджує прогресивні технології, досягнення науки і техніки, засоби

механізації та автоматизації виробництва, вимоги ергономіки, позитивний досвід з охорони праці тощо; 3) забезпечує усунення причин, що викликають нещасні випадки, професійні захворювання, контролює виконання профілактичних заходів, визначених комісіями на основі підсумків розслідування цих причин; 4) організовує проведення аудиту охорони праці, лабораторних досліджень умов праці, атестації робочих місць на відповідність нормативним актам з охорони праці в порядку й у терміни, встановлювані законодавством, вживає на основі цих підсумків заходів для усунення небезпечних і шкідливих для здоров'я виробничих факторів; 5) розробляє і затверджує положення, інструкції, інші нормативні акти про охорону праці, що діють у межах підприємства і встановлюють правила виконання робіт та поведінки працівників на території підприємства, у виробничих приміщеннях, на будівельних майданчиках, робочих місцях відповідно до державних міжгалузевих і галузевих нормативних актів з охорони праці, забезпечує безкоштовно працівників нормативними актами з охорони праці; 6) здійснює постійний контроль за дотриманням працівниками технологічних процесів, правил роботи на машинах, устаткуванні та з іншими засобами виробництва, за використанням засобів колективного й індивідуального захисту, виконанням робіт з охорони праці; 7) організовує пропаганду безпечних методів праці [14].

Роботодавець за власні кошти (або підприємства) організовує періодичні медичні огляди працівників, зайнятих на важких роботах, роботах зі шкідливими чи небезпечними умовами праці. Медичні огляди проводяться при прийомі на роботу (попередній), протягом трудової діяльності (періодичний), при необхідності проведення професійного відбору, а також щорічний обов'язковий медичний огляд осіб у віці до 21 року [14].

Служба охорони праці входить до структури підприємства, організації або установи як одна з основних виробничо-технічних служб. Ліквідація цієї служби допускається лише у випадку ліквідації самого підприємства. Служба охорони праці підпорядковується безпосередньо роботодавцю і залежно від кількості працівників може функціонувати як самостійний структурний підрозділ або у

вигляді одного співробітника, у тому числі й за сумісництвом. Комплектується служба фахівцями, що мають вищу освіту і стаж роботи за профілем цього виробництва не менше трьох років [14].

При створенні служби охорони праці враховують сферу діяльності підприємства і кількість працівників. На підприємствах із кількістю працівників 50 осіб і більше, роботодавець створює службу охорони праці. На підприємстві з кількістю працівників менше 50 осіб функції служби охорони праці можуть виконувати в порядку сумісництва особи, які мають відповідну підготовку. На підприємстві з кількістю працюючих менше 20 осіб для виконання функцій служби охорони праці можуть залучатися сторонні спеціалісти на договірних засадах, які мають відповідну підготовку. Служба охорони праці підпорядковується безпосередньо роботодавцю. Керівники та спеціалісти служби охорони праці за своєю посадою і заробітною платою прирівнюються до керівників і спеціалістів основних виробничо-технічних служб. Роботодавець несе безпосередню відповідальність за порушення вимог законодавства. Організаційна структура системи управління охороною праці на хімічних підприємствах (СУОПП) формується на основі діючої на цьому підприємстві структури управління виробництвом і підпорядковується усім властивим їй принципам управління. Координація робіт у галузі охорони праці здійснюється шляхом розподілу обов'язків і порядком взаємодії осіб, структурних підрозділів і служб, що беруть участь у реалізації задач СУОПП, а також прийняття ними рішень і їх реалізацію. До таких рішень належать накази, розпорядження, вказівки, інструкції [14].

В управлінні охороною праці, крім штатних посадових осіб і структурних підрозділів, бере участь також і комісія з питань охорони праці, створена рішенням трудового колективу і профспілкової організації, а також уповноважені трудових колективів структурних підрозділів підприємства [14].

4.3 Основні причини нещасних випадків на виробництві та профзахворювань і заходи щодо їх попередження

Для аналізу і профілактики травматизму важливе значення має класифікація причин. При цьому необхідно враховувати комплекс факторів, що визначають безпечні та нешкідливі умови праці на виробництві [16].

При встановленні причин нещасного випадку зазначаються і кодуються три групи причин відповідно до класифікатора [16]:

I - технічні: конструктивні недоліки, недосконалість, недостатня надійність засобів виробництва; конструктивні недоліки, недосконалість, недостатня надійність транспортних засобів; неякісна розробка або відсутність проектної документації на будівництво, реконструкцію виробничих об'єктів, будівель, споруд, обладнання тощо; неякісне виконання будівельних робіт; недосконалість, невідповідність вимогам безпеки технологічного процесу; незадовільний технічний стан виробничих об'єктів, будинків, споруд, території, засобів виробництва, транспортних засобів; незадовільний стан виробничого середовища (несприятливі метеорологічні умови, підвищена концентрація шкідливих речовин у повітрі робочої зони; наявність шкідливих опромінь (випромінювань); незадовільна освітленість, підвищений рівень шуму і вібрації та ін.); [16]

II - організаційні (що залежать від рівня організації праці на виробництві та діяльності самої людини): незадовільне функціонування, недосконалість або відсутність системи управління охороною праці; недоліки під час навчання безпечним прийомом праці (відсутність або неякісне проведення інструктажу, допуск до роботи без навчання та перевірки знань з охорони праці); неякісна розробка, недосконалість інструкцій з охорони праці або їх відсутність; відсутність у посадових інструкціях функціональних обов'язків з питань охорони праці; порушення режиму праці та відпочинку; відсутність або неякісне проведення медичного обстеження (професійного відбору); невикористання засобів індивідуального захисту через незабезпеченість ними; виконання робіт із

відключеними, несправними засобами колективного захисту, системами сигналізації, вентиляції, освітлення тощо; залучення до роботи працівників не за спеціальністю (професією); порушення технологічного процесу; порушення вимог безпеки під час експлуатації транспортних засобів; порушення правил дорожнього руху; незастосування засобів колективного захисту (за їх наявності); незастосування засобів індивідуального захисту (за їх наявності); порушення трудової і виробничої дисципліни (невиконання посадових обов'язків, невиконання вимог інструкцій з охорони праці); [16]

III - психофізіологічні (пов'язані з несприятливою особистістю людського фактора, невідповідністю анатомо-фізіологічних і психологічних особливостей організму людини умовам праці): алкогольне, наркотичне сп'яніння, токсикологічне отруєння; незадовільні фізичні дані або стан здоров'я; незадовільний психологічний клімат у колективі; травмування внаслідок протиправних дій інших осіб, інші причини. [16]

Також існують ще соціальні причини, зумовлені станом особистості в певний момент, якостями особистості: недостатня ефективність норм трудового права; побутові умови; рівень доходу в родині; рівень освіти; належність до певного соціального класу [16].

При розгляді нещасного випадку зазначається основна причина й супутня. Найчастіше психофізіологічним факторам приділяється другорядна (супутня) роль, незважаючи на те, що, як свідчить міжнародна статистика, через вину людини відбувається близько 90% нещасних випадків. Це пояснюється недосконалістю об'єктивних методів оцінки впливу цих причин на виникнення нещасного випадку [16].

При з'ясуванні причин професійного захворювання зазначаються виробничі фактори, які призвели до захворювання: запыленість повітря робочої зони (концентрація пилу); загазованість повітря робочої зони шкідливими речовинами (концентрація речовин та їхня гранично допустима концентрація); підвищені та знижені температури повітря робочої зони, температура поверхні устаткування, матеріалів; рівень шуму, загальної та локальної вібрації; рівень

інфразвукового коливання, ультразвуку; рівень електромагнітного випромінювання; рівень вологості та швидкості руху повітря; рівень іонізуючого випромінювання; рівень фізичного перевантаження; інші виробничі фактори за гігієніною класифікацією праці [16].

Аналіз виробничого травматизму за такою класифікацією дає змогу вирішувати задачі профілактики нещасних випадків і професійних захворювань у тісному взаємозв'язку з іншими задачами управління і виробництва [16].

4.4 Аналіз потенційних небезпек та шкідливостей виробничого середовища

На працівника лабораторії при експлуатації та обслуговуванні лабораторного устаткування можуть впливати такі небезпечні та шкідливі фактори:

- напруга змінного струму 220 В;
- недостатнє освітлення робочої зони;
- виробничий шум;
- електромагнітне поле;
- статична напруга.

Підвищений рівень шуму на організм людини призводить до швидшої втомлюваності, що знижує здатність людини концентрувати увагу і знижує продуктивність праці.

Коливання температури мікроклімату лабораторії, які виникають в результаті роботи обладнання і природньої зміни температури. Такі зміни температури призводять до зайвих витрат енергії на нормалізацію теплового балансу організму людини, наслідком чого є відчуття дискомфорту і зниження працездатності. Влітку $+34^{\circ}\text{C}$, і $+15^{\circ}\text{C}$ взимку.

Підвищена напруга в електричних колах може призвести до електроударів, якщо замикання відбулося через тіло людини. Дія струму на організм людини

ділиться на біологічну (подразнення і збудження нервових і м'язових тканин) і механічну (розриви шкірного покриву, вивихи), як вторинне вплив струму.

Недостатня освітленість робочої зони викликає втомлюваність очей, зниження концентрації уваги і працездатності. Це може призвести до патологічного погіршення зору людини. Причиною такого впливу може бути широкий діапазон зміни і мінливість природного світла, неправильний вибір засобів штучного освітлення та їх розташування, неправильне використання відбитого світла. Причинами нестачі природного освітлення, можуть бути такі: нераціональна площа і орієнтація вікон, забруднення скла вікон, фарбування стін і підлоги приміщення в темні кольори. Природне освітлення має важливе фізіолого-гігієнічне і психологічне значення для працюючих.

Психофізіологічні шкідливі фактори. Причинами психофізіологічного чинників є нераціональна організація робочого місця, напружені умови праці. Ці фактори сприяють зміні у працівників функціонального стану центральної нервової системи: розумове перенапруження; перенапруження зорових аналізаторів; монотонність праці; емоційні перевантаження; статичні перевантаження.

4.5 Забезпечення нормальних умов праці

Задля забезпечення нормальних умов праці у лабораторії було розроблено типову інструкції з техніки безпеки текст, якої приведено нижче. [18]

Працівник лабораторії зобов'язаний: [18]

1) дбати про особисту безпеку і здоров'я, а також про безпеку і здоров'я оточуючих людей в процесі виконання будь-яких робіт чи під час перебування на території підприємства; [18]

2) знати і виконувати вимоги нормативно-правових актів з охорони праці, правила поведіння з машинами, механізмами, устаткуванням та іншими засобами виробництва, користуватися засобами колективного та

індивідуального захисту; [18]

3) проходити у встановленому законодавством порядку попередні та періодичні медичні огляди. [18]

Працівник несе безпосередню відповідальність за порушення зазначених вимог. [18]

Працівнику лабораторії забороняється: [18]

- 1) торкатися до струмопровідних частин схеми або приладів; [18]
- 2) приєднувати та від'єднувати дроти електропостачання приладів та лабораторного устаткування; [18]
- 3) проводити ремонт устаткування; [18]
- 4) користуватися зіпсованою апаратурою; [18]
- 5) торкатися струмопровідних частин радіосхеми раніше 60 секунд після їх вимкнення. [18]

До роботи з апаратурою лабораторій допускаються особи, які вивчили матеріальну частину, інструкції з експлуатації обладнання, ознайомлені з безпечними методами виконання робіт, пройшли інструктаж з техніки безпеки та пожежної безпеки, а також поставили підпис у відповідній документації. [18]

Перед початком роботи працівники зобов'язані: [18]

- провести зовнішній огляд лабораторного устаткування. [18]
- перевірити працездатність блоків та пристроїв лабораторного устаткування; [18]
- перевірити справність систем енергозабезпечення, освітлення та опалення; [18]
- про виявленні несправності обладнання, пристосувань, пристроїв, інструментів, засобів захисту від ураження електричним струмом необхідно негайно сповістити про це завідуючого лабораторією. [18]

Вмикання обладнання здійснювати згідно порядку, описаному у інструкції з експлуатації лабораторного устаткування. Постійно слід пам'ятати про факт знаходження лабораторного устаткування під напругою, що може бути небезпечним для життя людини. [18]

При заміні деталей у лабораторній роботі електропостачання устаткування повинно бути вимкнено. При виході з аудиторії, навіть на короткий час, лабораторне обладнання повинно бути вимкнено. Під час роботи з приладами та пристроями що містять небезпечні для здоров'я людини речовини, потрібно слідкувати за їх герметичністю, не допускати впливу на них підвищених температур, тощо. [18]

При пошкодженні обладнання, кабелів, дротів, несправності заземлення, появі запаху горілого, появі незвичного шуму та інших несправностях, негайно вимкнути електроживлення обладнання та сповістити про те, що сталося, безпосереднього керівника або відповідні служби технічного обслуговування. **ЗАБОРОНЯЄТЬСЯ** намагатися самостійно усунути причину несправності. [18]

При виявленні ознак горіння (дим, запах горілого) відімкнути електроживлення, знайти джерело загорання та вжити заходів щодо гасіння пожежі за допомогою наявних первинних засобів пожежогасіння, сповістити про ситуацію безпосереднього керівника робіт та не допускати в небезпечну зону сторонніх осіб. **ЗАБОРОНЯЄТЬСЯ** застосовувати воду та пінні вогнегасники для гасіння електрообладнання. Використовувати для цих цілей лише вуглекислотні або порошкові вогнегасники. [18]

У будь-яких випадках збоїв технічного обладнання або інших нештатних ситуацій негайно повідомити про це завідувача лабораторій та викликати представника інженерно-технічної служби, що здійснює технічне обслуговування та ремонт. Не приступати до роботи з електрообладнанням до усунення несправностей. [18]

При нещасному випадку на виробництві та наявності травмованих: [18]

– усунути вплив шкідливих факторів, що загрожують здоров'ю та життю потерпілих (звільнити від дії електричного струму, погасити палаючий одяг і т.д.); [18]

– надати першу долікарську допомогу; [18]

– викликати швидку медичну допомогу або лікаря, або вжити заходів для транспортування потерпілого до найближчої лікувальної установи; [18]

- зберегти, по можливості, обстановку на місці події; [18]
- сповістити про те, що трапилося, безпосереднього керівника. [18]

Електрообладнання лабораторії повинне бути заземленим, тому розглянемо здійснення захисного заземлення.

Для захисту працюючих від небезпеки ураження електричним струмом при переході напруги на металеві частини (наприклад, при короткому замиканні), які нормально не знаходяться під напругою, застосовують захисне заземлення. Захисне заземлення -навмісне з'єднання невідповідних частин електроустаткування, які можуть випадково опинитися під напругою, із заземлюючим пристроєм. [19]

Захисне заземлення являє собою систему металевих заземлювачів, поміщених у землю та електрично з'єднаних спеціальними проводами з металевими частинами електрообладнання, що нормально не знаходяться під напругою. [19]

Захисне заземлення ефективно захищає людину від небезпеки ураження електричним струмом у мережах напруги до 1000 В із ізольованою нейтраллю та в мережах напругою вище 1000 В - з будь-яким режимом нейтралі. [19]

Заземлювачі можна використовувати як природні, і штучні. Причому, якщо природні заземлювачі мають опір розтіканню, що задовольняють вимоги ПУЕ, пристрій штучним заземлювачами не потрібен. [19]

Як природні заземлювачі можуть бути використані: [19]

а) прокладені в землі водопровідні та інші металеві трубопроводи, за винятком трубопроводів горючих та легкозаймистих рідин, горючих або вибухових газів та сумішей; [19]

б) обсадні труби, металеві та залізобетонні конструкції будівель та споруд, що знаходяться у безпосередньому зіткненні із землею; [19]

в) свинцеві оболонки кабелів, прокладених у землі тощо. [19]

Як штучні заземлювачі найчастіше застосовують кутову сталь 60x60 мм, сталеві труби діаметром 35-60 мм і сталеві шини перетином не менше 100 мм². [19]

Стрижні довжиною 2,5...3м занурюються (забиваються) у ґрунт вертикально у спеціально підготовленій траншеї (рис. 4.1). [19]

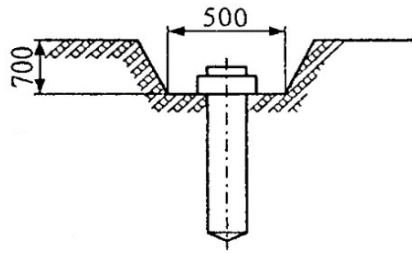


Рисунок 4.1 – Встановлення вертикального заземлювача

Вертикальні заземлювачі з'єднуються сталеву смугою, яка приварюється до кожного заземлювача. За розташуванням заземлювачів щодо заземлюваного обладнання системи заземлення ділять на виносні та контурні. [19]

Захисне заземлення призначене для забезпечення безпеки людини при дотику до частин обладнання, що випадково опинилися під напругою. Ці величини нічого не винні перевищувати довго допустимих. [19]

$$U_{\text{дон}} \leq U_{\text{дон.д.д.}}$$

$$U_{\text{к}} \leq U_{\text{к.д.д.}}$$

В електроустановках напругою до 1000 В опір заземлювального пристрою повинен бути не вище 4 Ом; якщо ж сумарна потужність джерел не перевищує 100 кВ·А, опір заземлення має бути трохи більше 10 Ом. В електроустановках $U_{\text{дон}} > 1000$ В з струмом замикання 500 А допускається опір заземлення $R_z < 250/J_z$ але не більше 10 Ом. [19]

Розрахунок заземлення зводиться до визначення числа заземлювачів та довжини сполучної смуги виходячи з допустимого опору заземлення. Вихідні дані: вид заземлення – виносне; довжина заземлювача $l = 2,7$ м; глибина закладення заземлювача в ґрунт $h = 0,65$ м; коефіцієнт сезонності $K_c = 2,0$; питомий опір ґрунту $\rho = 70$ Ом·м; діаметр заземлювача $d = 55$ мм; ширина сполучної смуги $b = 50$ мм; допустиме опір заземлення 4 Ом.

Як заземлювач вибираємо сталеву трубу діаметром $d = 55$ мм, а як сполучний елемент – сталеву смугу шириною $b = 50$ мм.

Вибираємо значення питомого опору ґрунту відповідне або близьке за

значенням питомого опору ґрунту у заданому районі розміщення проектованої установки. [19]

Визначаємо значення електричного опору розтіканню струму в землю з одиночного заземлювача: [19]

$$R_3 = 0,366 \frac{\rho \cdot K_c}{l} \left(\lg \frac{2 \cdot l}{d} + \frac{1}{2} \lg \frac{4t+l}{4t-l} \right) =$$

$$= 0,366 \frac{70 \cdot 2}{2,7} \left(\lg \frac{2 \cdot 2,7}{0,055} + \frac{1}{2} \lg \frac{4 \cdot 2 + 2,7}{4 \cdot 2 - 2,7} \right) = 40,62 \text{ Ом.}$$

де $\rho = 70 \text{ Ом}$ - питомий опір ґрунту, $K_c = 2$ - коефіцієнт сезонності, $l = 2,7 \text{ м}$ - довжина заземлювача, $d = 55 \text{ мм}$ - діаметр заземлювача, $t = h + 0,5l = 0,65 + 0,5 \cdot 2,7 = 2 \text{ м}$ - відстань від поверхні ґрунту до середини заземлювача.

Розраховуємо кількість заземлювачів без урахування взаємних перешкод, що надаються заземлювачами один на одного, так званого явища взаємного "екранування": [19]

$$n' = \frac{R_3}{R_{3н}} = \frac{40,62}{4} = 10,15 \approx 10.$$

Розраховуємо кількість заземлювачів з урахуванням коефіцієнта екранування: [19]

$$n = \frac{n'}{\eta_3} = \frac{10}{0,58} = 17,24 \approx 18$$

де $\eta_3 = 0,58$ - коефіцієнт екранування.

Приймаємо відстань між заземлювачами $a = l = 2,7 \text{ м}$.

Визначаємо довжину сполучної смуги: [19]

$$l_c = 1,05 \cdot n \cdot a = 1,05 \cdot 18 \cdot 2,7 = 51,03 \text{ м}$$

Розраховуємо повне значення опору розтіканню струму із сполучної смуги: [19]

$$R_c = 0,366 \frac{\rho \cdot K_c}{l_c} \lg \frac{2 \cdot l_c^2}{b \cdot h} = 0,366 \frac{70 \cdot 2}{51,09} \lg \frac{2 \cdot 51,03^2}{0,05 \cdot 0,65} = 5,2 \text{ Ом.}$$

Розраховуємо повне значення опору системи заземлення: [19]

$$R_{cs} = \frac{R_3 \cdot R_n}{R_3 \cdot \eta_n + R_n \cdot \eta_3 \cdot n} = \frac{40,62 \cdot 5,2}{40,62 \cdot 0,51 + 5,2 \cdot 0,58 \cdot 18} = 2,82 \text{ Ом.}$$

де $\eta_c = 0,51$ - коефіцієнт екранування смуги. [19]

Опір $R_{cs} = 2,82$ Ом менше опору, що допускається, рівного 4 Ом. Отже, діаметр заземлювача $d = 55$ мм за числі заземлювачів $n = 18$ є достатнім для забезпечення захисту при виносній схемі розташування заземлювачів.

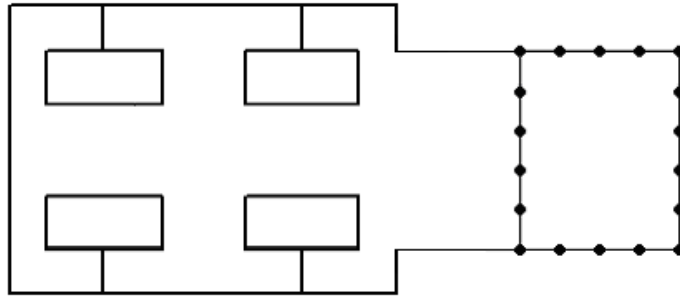


Рисунок 4.2 – Схема отриманого виносного заземлення

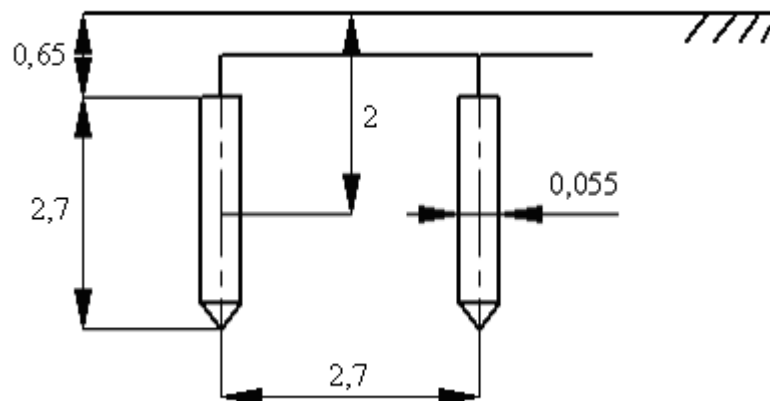


Рисунок 4.3 – Схема розташування заземлювачів

4.6 Висновки до розділу

В даному розділі бакалаврської роботи розглянуто нормативно-правове забезпечення охорони праці в лабораторіях. Розглянуто основні причини нещасних випадків на виробництві і заходи щодо їх попередження. Проведено аналіз потенційних небезпек та шкідливостей виробничого середовища.

Здійснено розрахунок виносного заземлення.

ВИСНОВКИ

В бакалаврській роботі було розроблено двоканальний вольтметр змінного струму, який дозволяє визначати коефіцієнт підсилення підсилювачів. Виконана робота зводиться до наступного:

- зроблений аналіз засобів вимірювання напруги, вказано особливості цих засобів. На основі виконаного аналізу обґрунтовано необхідність розроблення двоканального вольтметра;
- розроблено структурну і електричну принципову схеми вольтметра, обґрунтовано застосування мікроконтролера Arduino для побудови вольтметра;
- розроблено алгоритм роботи програмного забезпечення і текст програми для мікроконтролера;
- здійснено метрологічний аналіз вимірювального каналу вольтметра, вказано основні складові похибок вимірювання і розраховано сумарну похибку вимірювання напруги;
- розглянуто нормативно-правове забезпечення охорони праці в лабораторіях. Розглянуто основні причини нещасних випадків на виробництві і заходи щодо їх попередження. Проведено аналіз потенційних небезпек та шкідливостей виробничого середовища. Здійснено розрахунок виносного заземлення.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ НА ДЖЕРЕЛА

- 1 Електрична напруга. URL: https://uk.wikipedia.org/wiki/Електрична_напруга (Дата звернення 28.05.2025 р.).
- 2 Мультиметр MASTECH MS8238. URL: <https://www.citilink.com/product/multimetr-mastech-ms8238-13-2026-1159234>.
(Дата звернення 28.05.2025 р.).
- 3 Diodes Incorporated. URL: <https://www.diodes.com> (Дата звернення 28.05.2025 р.).
- 4 Вольтметр постійної напруги 0..30 В
https://www.impulsi.com/catalog/voltmetry_i_vattmetry/voltmetr_tsifrovoy_0_33_00_vdc_krasnyy.html (Дата звернення 28.05.2025 р.).
- 5 Digital Oscilloscope Atten (Gratten) GA1202CAL
https://supereyes.com/catalog/oscilloscopes_digital/tsifrovoy_ostsillograf_atten_gratten_ga1202cal_2_kanala_kh_200_mgts/ (Дата звернення 28.05.2025 р.).
- 6 Multimeter АКТАКОМ АМ-1109 URL: https://www.irit.com/products/index.php?SECTION_ID=804&ELEMENT_ID=5644
37 (Дата звернення 28.05.2025 р.).
- 7 James M. Fiore. Прецизійні випрямлячі. URL: [https://ukrayinska.libretexts.org/Інженерна/Електротехніка/Електроніка/Операції_ні_підсилювачі_та_лінійні_інтегральні_схеми_-_теорія_та_застосування_\(Fiore\)/07%3A_Нелінійні_схеми/7.02%3A_Прецизійні_випрямлячі](https://ukrayinska.libretexts.org/Інженерна/Електротехніка/Електроніка/Операції_ні_підсилювачі_та_лінійні_інтегральні_схеми_-_теорія_та_застосування_(Fiore)/07%3A_Нелінійні_схеми/7.02%3A_Прецизійні_випрямлячі) (Дата звернення 28.05.2025 р.).
- 8 M. I. Jahmeerbacus, M.K.Oolun, M.K.SOyjaudah. A Dual-Stage PWM DC to AC Inverter with Reduced Harmonic Distortion and Switching Losses. Science and Technology-Research Journal, Vol 5, pp 79-91, 2000.
- 9 Operational Amplifier NE5534AP.
<https://www.chipdip.com/product/ne5534ap>, Electronic Components Datasheets
URL: <http://www.datasheets.com> (Дата звернення 28.05.2025 р.).

- 10 Power supply Mean Well RQ-50D
https://supereyes.com/catalog/Power_supply_AC_DC_converters/meanwell_rq50d/
(Дата звернення 28.05.2025 р.).
- 11 Arduino [URL:http://arduino.com/Reference](http://arduino.com/Reference) (Дата звернення 28.05.2025 р.)
- 12 Atmega328. URL: <https://www.alldatasheet.com/datasheet-pdf/download/1425004/MICROCHIP/ATMEGA328.html> (Дата звернення 28.05.2025 р.)
- 13 Правове забезпечення охорони праці та гарантії прав працівників на охорону праці. URL: <https://osvita.ua/vnz/reports/law/9931/> (Дата доступу: 28.05.2025 р.).
- 14 Чайковський А.В. Застосування аналогово-цифрових перетворювачів. Методичні вказівки до лабораторних робіт з курсу „Проектування інформаційно-вимірювальних систем“. Тернопіль: ТНТУ, 2020. – 31с. URL: <https://elartu.tntu.edu.ua/bitstream/lib/40385/1/АЦП2020.pdf> (Дата доступу: 28.05.2025 р.).
- 15 Закон України “Про охорону праці” URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2694-12#Text> (Дата доступу: 28.05.2025 р.).
- 16 Причини виникнення нещасних випадків на виробництві. URL: <http://kremrada.pl.ua/novini/novina375.html> (Дата доступу: 28.05.2025 р.).
- 17 Крюковська О.А., Левчук К.О. Охорона праці в галузі. Під редакцією к.т.н., доцента Толока А.О.: Навч. посібник. – 2011. – 230 с. URL: https://www.dstu.dp.ua/Portal/Data/5/10/2-10-mz_p2.pdf. (Дата доступу: 28.05.2025 р.).
- 18 Про затвердження Правил охорони праці під час роботи в лабораторіях. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z1648-12#Text> (Дата доступу: 28.05.2025 р.)
- 19 Розрахунок захисного заземлення. URL: <https://studfile.net/preview/9867896/page:2/> (Дата доступу: 28.05.2025 р.)

ДОДАТОК А

```

const int U_PIN = A4;
const int GND_PIN = A3; const int VCC_PIN = A5; const int U100k_PIN = A1;
const float AREF_DEFAULT = 5.0; const float AREF_INTERNAL = 1.1; float
U_def, U_int;
//Шаг оцифровки 5/1023 = 5мВ, 1.1/1023 = 1.1 мВ
void setup() { Serial.begin(9600);
pinMode(GND_PIN, OUTPUT); digitalWrite (GND_PIN, 0);
pinMode(VCC_PIN, OUTPUT); digitalWrite (VCC_PIN, 1);
analogReference(DEFAULT);
delay(1000);
U_def = float(analogRead(U_PIN)) * AREF_DEFAULT / 1024;
Serial.print("U_DEFAULT=");
Serial.print(U_def, 3);
analogReference(INTERNAL); delay(2000);
for (int i = 0; i < 10; ++i) analogRead(U_PIN);
delay(2000);
U_int = float(analogRead(U_PIN)) * AREF_INTERNAL / 1024;
U_int = float(analogRead(U_PIN)) * AREF_INTERNAL / 1024; U_int =
float(analogRead(U_PIN)) * AREF_INTERNAL / 1024;
Serial.print(" U_INTERNAL="); Serial.println(U_int, 3); // delay(500);
}
void loop() {
/* analogReference(DEFAULT); delay(1000);
U_def = float(analogRead(U_PIN)) * AREF_DEFAULT / 1024;
Serial.print("U_DEFAULT=");
Serial.print(U_def); analogReference(INTERNAL); delay(1000);
*/

```

```
    U_int = float(analogRead(U_PIN)) * AREF_INTERNAL / 1024;
Serial.print("U_INTERNAL=");
    Serial.print(U_int, 3);
    U_int = float(analogRead(U100k_PIN)) * AREF_INTERNAL / 1024;
Serial.print(" U100K_INTERNAL=");
    Serial.println(U_int, 3);
    delay(300); }
```

ДОДАТОК Б

```

#include <LiquidCrystal.h>
LiquidCrystal lcd(8, 9, 4, 5, 6, 7); // Задаємо адресу та розмір дисплея
const int U1_PIN = A1; const int U2_PIN = A2;
const float AREF_DEFAULT = 5.0; const float AREF_INTERNAL = 1.1; float
U1, U2, Ku;

//Крок оцифрування 5/1023 = 5мВ, 1.1/1023 = 1.1мВ
void setup() { Serial.begin(9600); lcd.begin(16, 2); lcd.clear();
analogReference(INTERNAL); delay(100);
}
void loop() { U1 = 0; U2 = 0;
for (int i = 0; i < 10; i++) { //Зчитуємо 10 разів U1 = U1 + analogRead(U1_PIN);
U2 = U2 + analogRead(U2_PIN); }
U1 = U1 / 10 * AREF_INTERNAL / 1024; U2 = U2 / 10 * AREF_INTERNAL /
1024;
// U1 = float (analogRead (U1_PIN)) * AREF_INTERNAL / 1024; //Зчитування
без усереднення
// U2 = float (analogRead (U2_PIN)) * AREF_INTERNAL / 1024; U1 = U1/10;
//Корекція лічених показань
U2 = U2 * 10; // Корекція лічених показань Ku = U2 / U1; //Розрахунок
коефіцієнта посилення
//Виведення показань через монітор порту у програму SerialPortPlotter
Serial.print("$"); //Початковий символ
Serial.print(U1); //Виведення показань
Serial.print(" "); //Пробіл - роздільник
Serial.print(U2); //Виведення показань Serial.print(" "); //Пробіл - роздільник
Serial.print(Ku); //Виведення показань Serial.println(";"); //завершальний символ
//Виведення показань на дисплей

```

```
lcd.setCursor(0, 0); // Встановлюємо курсор на 1 рядок lcd.print("U1="); //
```

Виводимо текст

```
lcd.print(U1, 2); // Виводимо свідчення
```

```
lcd.print(" "); //Пробіл для затирання зайвого символу
```

```
lcd.setCursor(8, 0); // Встановлюємо курсор на 1 рядок lcd.print("U2="); //
```

Виводимо текст

```
lcd.print(U2, 2); // Виводимо свідчення
```

```
lcd.print(" "); //Пробіл для затирання зайвого символу
```

```
lcd.setCursor(0, 1); // Встановлюємо курсор на 2 рядок lcd.print("Ku=");
```

```
lcd.print(Ku);
```

```
lcd.print(" ");
```

```
delay(500); }
```