

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Західноукраїнський національний університет
Факультет комп'ютерних інформаційних технологій
Кафедра спеціалізованих комп'ютерних систем

ВОЛЯНЮК ТАРАС ФЕДОРОВИЧ

Портативний низькочастотний осцилограф /
Portable low-frequency oscilloscope

спеціальність 152 – Метрологія та інформаційно-вимірювальна техніка
освітньо професійна програма – Технології інтернету речей

Кваліфікаційна робота

Виконав студент групи
МТІР – 41 Т.Ф. Волянчук

Науковий керівник :
к.т.н. доцент Б.О.Масляк

Кваліфікаційну роботу
допущено до захисту

«___» _____ 2025р.

Завідувач кафедри

_____ А.І.Сегін

Тернопіль - 2025

Факультет комп'ютерних інформаційних технологій
Кафедра спеціалізованих комп'ютерних систем
Освітній ступінь "бакалавр"

Спеціальність: 152 – Метрологія та інформаційно-вимірювальна техніка
Освітньо-професійна програма – Технології інтернету речей

“ЗАТВЕРДЖУЮ”
Завідувач кафедри СКС

_____ А.І. Сегін
“ _____ ” _____ 2025р.

ЗАВДАННЯ

НА ВИПУСКНУ КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ СТУДЕНТУ
Волянюк Тарасу Федоровичу

(прізвище, ім'я по-батькові)

1. Тема випускної кваліфікаційної роботи

Портативний низькочастотний осцилограф / Portable low-frequency oscilloscope

Керівник роботи _____ к.т.н., доцент Б.О.Масляк

затверджені наказом по університету від "28" грудня 2024 р. № 938

2. Строк подання студентом закінченої випускної кваліфікаційної роботи: 25 травня 2025р.

3. Вихідні дані до випускної кваліфікаційної роботи:

1. Технічні характеристики портативних осцилографів
2. Системи вимірювання та моніторингу електричних параметрів побудовані з використанням мікроконтролерів
3. Характеристики звукової карти персонального комп'ютера

4. Основні питання, які потрібно розробити:

1. Особливості функціонування осцилографів.
2. Проектування структури низькочастотного портативного осцилографа.
3. Програмно-апаратна реалізація осцилографа на базі звукової карти.

5. Перелік графічного матеріалу у роботі:

1. Структурна схема низькочастотного портативного осцилографа.
2. Електричні схеми підключення вхідних кіл до звукової карти.

6. Консультанти розділів випускної кваліфікаційної роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		Завдання видав	Завдання прийняв
1	Масляк Б.О.		
2	Масляк Б.О.		
3	Масляк Б.О.		

7. Дата видачі завдання 28 листопада 2024 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назви етапів випускної кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Аналіз ринку та технічних характеристик портативних осцилографів	12.2024р. – 01.2025р.	
2	Проектування компонентів осцилографа	02.2025р. – 03.2025р.	
3	Апаратно-програмна реалізація низькочастотного осцилографа на основі звукової карти комп'ютера	04.2025р. – 05.2025р.	

Студент

(підпис)

Волянчук Т.Ф.

Керівник роботи

(підпис)

к.т.н., доц. Масляк Б.О.

РЕФЕРАТ

Робота виконана на 53 сторінках та містить 27 рисунків, 16 джерел за переліком посилань.

Мета роботи. Метою даної роботи є створення доступного та портативного низькочастотного осцилографа з використанням звукової карти персонального комп'ютера як засобу оцифрування сигналів. Основна ідея полягає у використанні апаратного та програмного забезпечення, що дозволяє здійснювати візуалізацію електричних сигналів у діапазоні частот до 20 кГц, що охоплює аудіо- та частину технічних сигналів.

Результати роботи. Розроблено структурну схему низькочастотного осцилографа, схему підключення електричних сигналів до звукового входу ПК із використанням захисних елементів, що забезпечують безпечну роботу з сигналами низької напруги. Проведено моделювання та практичну реалізацію схеми вхідного узгодження для захисту лінійного входу звукової карти від перенапруг та постійної складової. В результаті аналізу відповідного програмного забезпечення (Visual Analyser, Soundcard Oscilloscope та інші аналоги) обрано програму AudioTester 3.0., яка забезпечує реальний моніторинг вхідного сигналу у вигляді осцилограм;

Отриманий результат підтверджує можливість створення простого та бюджетного осцилографа на базі звукової карти ПК, що поєднує портативність, функціональність та простоту використання без необхідності додаткового дорогого обладнання.

Ключові слова. ОСЦИЛОГРАФ, АЦП, ЗВУКОВА КАРТА.

ABSTRACT

The work is completed on 53 pages and contains 27 figures, 16 sources according to the list of references.

Purpose of the work. The purpose of this work is to create an affordable and portable low-frequency oscilloscope using a personal computer sound card as a means of digitizing signals. The main idea is to use hardware and software that allows visualization of electrical signals in the frequency range up to 20 kHz, covering audio and part of technical signals.

Results of the work. A structural diagram of a low-frequency oscilloscope has been developed, a diagram of connecting electrical signals to the PC sound input using protective elements that ensure safe operation with low-voltage signals. A modeling and practical implementation of an input matching circuit to protect the linear input of the sound card from overvoltage and the DC component have been carried out. As a result of the analysis of the relevant software (Visual Analyser, Soundcard Oscilloscope and other analogues), the AudioTester 3.0 program was selected, which provides real monitoring of the input signal in the form of oscillograms;

The obtained result confirms the possibility of creating a simple and budget oscilloscope based on a PC sound card, combining portability, functionality and ease of use without the need for additional expensive equipment.

Keywords. OSCILLOGRAPH, ADC, SOUND CARD.

ЗМІСТ

Перелік умовних скорочень	7
Вступ	8
1 Особливості побудови пристроїв вимірювання електричних сигналів	11
1.1 Особливості будови та номенклатура сучасних осцилографів	11
1.2 Аналіз структурно-функціональних схем осцилографів	17
1.3 Постановка задачі по розробці одноканального портативного низькочастотного осцилографа	22
2 Проектування компонентів портативного осцилографа	24
2.1 Конструкторський та схемотехнічний аналіз звукової карти	24
2.2 Структурно-функціональна схема цифрового осцилографа на базі звукової карти	28
2.3 Аналіз програмного забезпечення цифрових осцилографів	32
3 Реалізація одноканального цифрового осцилографа	38
3.1 Вибір елементної бази та засобу моделювання принципових схем	38
3.2 Розробка та налаштування електричної принципової схеми осцилографа	42
3.3 Використання програмного забезпечення для візуалізації електричних сигналів	48
Висновки	51
Список використаних джерел	52

					ДП.МТІР.0643402.00.00.00.000 ПЗ				
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	Портативний низькочастотний осцилограф / Portable low-frequency oscilloscope	Літ.	Арк.	Акрушів	
Розроб.		Волянук Т.Ф.							
Перевірив.		Масляк Б.О.					6	53	
Консульт.						ЗУНУ.ФКІТ.МТІР-41			
Н. Контр.		Масляк Б.О.							
Затверд.		Сегін А.І.							

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ

О – осцилограф

АЦП – аналого-цифровий перетворювач

ЗК – звукова карта

ПК – персональний комп'ютер

ПЗ – програмне забезпечення

					ДП.МТІР.0643402.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
						7
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

ВСТУП

Людина за допомогою зору отримує 90% інформації, а 10% - за допомогою інших органів чуття. Виходячи з цього стає зрозумілим бажання зробити невидиме видимим, або хоча б отримати якесь видиме подоби невидимих процесів. Саме для отримання такої інформації призначений осцилограф. Прилад служить для спостереження залежності однієї або декількох швидко мінливих електричних або перетворених в електричні величин від часу. Найбільш поширені електронно-променеві осцилографи, в яких електричні сигнали, пропорційні досліджуваним величинам, після відповідної обробки надходять на відхиляючі системи осцилографічної трубки. На екрані осцилографа при цьому можна спостерігати графічне зображення залежності. Такий «візуалізований» сигнал несе набагато більше інформації, ніж значення частоти, амплітуди, середнього значення. Найбільш поширеними в електроніці є одноканальні осцилографи, які відображають зміну в часі тільки одного параметра. Рідше зустрічаються двоканальні (двопроменеві), здатні одночасно відобразити залежність від часу двох різних значень напруги, ще рідше - чотирьохканальні.

Звичайний аналоговий осцилограф складається з вхідного дільника, підсилювача вертикального відхилення, схеми синхронізації і горизонтального відхилення, джерела живлення і електронно-променевої трубки (ЕПТ). У осцилографах застосовують ЕПТ з електростатичним відхиленням, на відміну від телевізорів і моніторів, де використовується магнітне відхилення. ЕПТ з електростатичним відхиленням, хоча і більш складні у виготовленні, мають набагато більший частотний діапазон. У кожен конкретний момент відхилення електронного променя і світлової плями на екрані, яке він утворює, пропорційно напрузі, що додається до пластин вертикального відхилення. Напруга на пластинах горизонтального відхилення змінюється лінійно, забезпечуючи горизонтальну розгортку. Нижня частота, при якій картинка ще читається, складає в середньому 10 Гц, хоча при застосуванні спеціальних ЕПТ з великим

					ДП.МТІР.0643402.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
						8
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

часом післясвітіння вона може бути значно нижче. Верхня робоча частота визначається в основному характеристиками підсилювача вертикального відхилення і властивостями ЕПТ (ємністю між відхиляючими пластинами) [1,2].

Останнім часом все більшого поширення набувають цифрові осцилографи. У порівнянні з аналоговими вони мають значно ширші можливості, а вартість цифрових схем знижується. Структура цифрового осцилографа складається з вхідного дільника, нормалізуючого підсилювача, аналого-цифрового перетворювача (АЦП), блоку пам'яті, пристрою управління та пристрою відображення. Відображення сигналу здійснюється на основі рідкокристалічної панелі.

Цифрові осцилографи мають значно ширші можливості за рахунок самого принципу роботи. Вхідний сигнал після нормалізації перетворюється в цифрову форму і записується в пам'ять. Швидкість запису (кількість вибірок в секунду) задається пристроєм управління. Її верхня межа визначається швидкодією АЦП і, наприклад, у осцилографів серії TDS6000 (фірма Tektronix) може досягати 20 ГГц, що забезпечує верхню робочу частоту приладу 6 ГГц. Нижня межа теоретично не обмежений, на відміну від аналогових осцилографів.

Вартість, навіть морально застарілих, аналогових осцилографів, наприклад на сайті aukro.ua, визначається тисячами гривень, а цифрових осцилографів десятками тисяч. Разом з тим застосування осцилографів в навчальному процесі, передбачає вирішення задач налаштування відносно нескладних схем у вузькому діапазоні частот. Ця особливість, особливо з врахуванням обмеженого бюджету, вимагає пошуку недорогих методів побудови лабораторних пристроїв.

Одним з перспективних напрямків розробки відносно недорогих осцилографів є створення осцилографічних приставок на базі мікроконтролерів, так звані USB-осцилографи. Другий перспективний напрямок розробки бюджетних осцилографів полягає в тому, що всі складові частини цифрового осцилографа (пам'ять, процесор, монітор) вже є в персональному комп'ютері. Адже більшість більш-менш складних цифрових пристроїв, в тому числі і осцилограф, є комп'ютерами, що мають в своєму складі компоненти комп'ютера.

					ДП.МТІР.0643402.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
						9
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

Таким чином, персональний комп'ютер містить все необхідне для перетворення комп'ютера в цифровий осцилограф. Бракує тільки АЦП.

Вирішення даного питання можливе приєднанням зовнішнього АЦП через якийсь інтерфейс. Наприклад, англійська фірма Pico Technology Limited (<http://www.picotech.com/>) випускає досить широкий спектр зовнішніх АЦП, що підключаються через принтерний порт. Діапазон цін - від 107 до 700 дол, максимальна швидкість вибірки - від 20 КГц до 5 ГГц, що відповідає верхній граничній частоті 5 кГц - 1,25 ГГц. Розрядність - від 8 до 16 біт. Всі пристрої комплектуються відповідним програмним забезпеченням, яке дозволяє перетворити комп'ютер не тільки в осцилограф, але і в аналізатор спектру або просто в мультиметр.

Однак вартість такого підходу не особливо менша за існуючі серійні осцилографи. Пошук шляхів спрощення, а значить і здешевлення процесу створення цифрового осцилографа показує актуальність використання звукової карти. На будь-якій звуковій карті є двохканальний АЦП з розрядністю не менше 16 біт і швидкістю перетворення не менше 44,1 КГц. Це теоретично дає можливість отримати осцилограф з верхньою робочою частотою 6 ... 8 кГц, що цілком задовольняє потреби навчального процесу.

Результатом пошуку в Інтернеті з'явилися кілька утиліт, які рекламуються їх авторами як програмні осцилографи. Стверджується, що після їх установки комп'ютер зі звуковою картою стає повним аналогом цифрового низькочастотного осцилографа.

Таким чином, завданням даної кваліфікаційної роботи є розробка низькочастотного одноканального бюджетного цифрового осцилографа, побудованого на базі комп'ютера з необхідним апаратним доопрацюванням та існуючим програмним забезпеченням.

					ДП.МТІР.0643402.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		10

1 ОСОБЛИВОСТІ ПОБУДОВИ ПРИСТРОЇВ ВИМІРЮВАНН ЕЛЕКТРИЧНИХ СИГНАЛІВ

1.1 Особливості будови та номенклатура сучасних осцилографів

Електронні осцилографи призначені для візуалізації змін електричних сигналів у часі. Вони дозволяють відображати форму електричних сигналів, вимірювати їх амплітуду, частоту, фазу, тривалість імпульсів та інші параметри. Осцилографи допомагають аналізувати складні сигнали, виявляти шуми, спотворення, збої і перехідні процеси. Їх активно використовують для перевірки правильності роботи електронних схем, налаштування й тестування пристроїв під час розробки, виробництва та ремонту. Крім того, сучасні осцилографи можуть записувати і зберігати сигнали для подальшого аналізу.

Аналогові осцилографи виводять сигнал на екран за допомогою відхилення електронного променя. Вони добре підходять для спостереження за швидкими і безперервними змінами сигналу, хоча сьогодні поступово поступаються цифровим моделям. Цифрові осцилографи (DSO) оцифровують сигнал і записують його у пам'ять пристрою, що дозволяє детально аналізувати дані, збільшувати їх і зберігати для подальшого використання. Осцилографи зі змішаними сигналами (MSO) поєднують канали для аналогових і цифрових сигналів, що робить їх дуже зручними для тестування складних цифрових систем, таких як мікроконтролери. Портативні осцилографи компактні, працюють від акумуляторів або батарейок і призначені для мобільних вимірювань у польових умовах. Осцилографи на основі персонального комп'ютера підключаються через інтерфейси, такі як USB, і використовують спеціальне програмне забезпечення для керування й візуалізації сигналів [1-3].

Принципи функціонування аналогових осцилографів базуються на використанні однакових за призначенням функціональних блоків, в число яких входять електронно-променева трубка, канал вертикального відхилення променя (канал Y), канал горизонтального відхилення променя (канал X), блок управління яскравістю (канал Z), калібратор та блок живлення (рисунок 1.1).

					ДП.МТІР.0643402.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		11

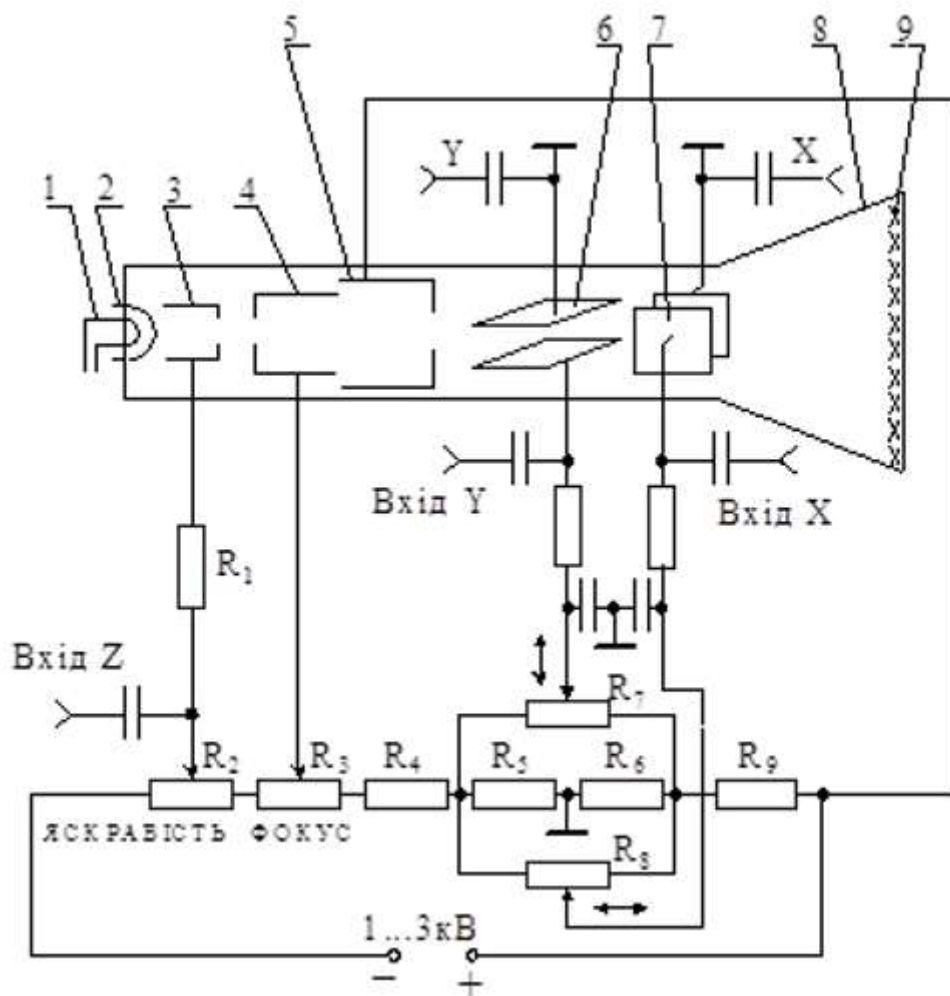


Рисунок 1.1 – Принцип функціонування аналогового осцилографа

Блок електронно-променевої трубки містить так звану електронну пушку, створену групою електродів:

- катодом 2, що містить нитку розжарювання 1;
- аноди 4 і 5,
- модулятор 3 (керуючим електродом).

Живлення електронної пушки здійснюється від джерела високої напруги 1...3 кВ. Емісія електронів відбувається з поверхні катода, в центральній частині якого знаходиться шар оксидного матеріалу.

Модулятор аналогового осцилографа є важливим функціональним блоком, який формує яскравість і зображення сліду електронного променя на екрані. Він

здійснює модуляцію інтенсивності електронного пучка залежно від вхідного сигналу або внутрішніх налаштувань пристрою.

Принцип роботи модулятора полягає в тому, що випромінені катодом електрони прискорюються і фокусуються системою електродів у вузький пучок. Модуляційний електрод змінює щільність цього пучка, регулюючи інтенсивність яскравості променя. Відхиляючі пластини змінюють напрям руху пучка, відповідно до вхідних сигналів і часової розгортки, а люмінесцентний екран перетворює електронний удар у видиме світіння, відображаючи форму сигналу.

Змінюючи потенціометром R2, (змін яскравості) потенціал модулятора, можна регулювати кількість електронів, що створюють електронний промінь, а отже, і викликають яскравість світіння зображення сигналу на екрані [4].

Швидкодіючі осцилографи працюють за вищерозглянутим принципом універсальних, але ввідмінність полягає в тому, що в них використовуються спеціальні екрани біжучої хвилі. Дані екрани забезпечують підсилення досліджуваних сигналів і відхилення променя уздовж вертикалі під дією підсилених сигналів. За допомогою швидкісної розгортки забезпечується переміщення променя уздовж горизонталі, тим самим створюється умова спостереження досліджуваного сигналу в реальному часі, як і в універсальних осцилографах.

Принцип дії стробоскопічних осцилографів ґрунтується на ефекті стробування, який полягає в періодичному вибіркового спостереженні швидкоплинних процесів шляхом їхньої синхронізації з короткими імпульсами. Це дозволяє "заморожувати" або сповільнено відтворювати швидкі сигнали для аналізу їхньої форми та характеристик [3, 4]. Щоб отримати інформацію про форму електричного сигналу осцилограф генерує короткі стробуючі імпульси, які синхронізуються з досліджуваним сигналом за допомогою тригерного механізму. У кожен момент стробування прилад фіксує миттєве значення амплітуди сигналу, записуючи лише одну точку. Потім між послідовними стробуючими імпульсами вводиться невеликий часовий зсув, завдяки чому

					ДП.МТІР.0643402.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		13

осцилограф поступово "сканує" сигнал у різні моменти його періоду. Зібрані точки зрештою об'єднуються, і на екрані осцилографа відтворюється повна форма сигналу. Цей підхід дає змогу точно аналізувати навіть дуже швидкі періодичні сигнали, які неможливо виміряти напряду.

У протилежність аналоговим моделям, в цифрових осцилографах вхідний аналоговий сигнал перетворюється в цифрову форму, з метою його обробки та відображення на екрані. Спочатку сигнал потрапляє на вхідний каскад, де його амплітуду можуть зменшити або збільшити, щоб він відповідав вимогам подальшої обробки. Система запуску визначає точний момент, коли осцилограф почне фіксувати дані, що необхідно для чіткого відображення як періодичних, так і одноразових сигналів. Ключовим елементом є наявність аналого-цифрового перетворювач, який перетворює безперервний аналоговий сигнал у набір дискретних цифрових значень. Кількість бітів, які використовуються для представлення кожного значення, називається розрядністю і впливає на точність вимірювання. Частота дискретизації показує, скільки разів за секунду відбувається вимірювання сигналу, і чим вона вища, тим точніше відображаються високочастотні сигнали. Отримані цифрові значення зберігаються в пам'яті захоплення. Об'єм цієї пам'яті визначає, як довго осцилограф може записувати сигнал з певною частотою дискретизації. Потім ці дані обробляються мікропроцесором або спеціалізованими мікросхемами, які можуть масштабувати сигнал, проводити вимірювання його параметрів, виконувати математичні операції та аналізувати спектр сигналу рисунок 1.2. Результат обробки відображається на екрані у вигляді графіка, де по одній осі відкладається час, а по іншій – амплітуда сигналу.

З точки зору конструкції, цифровий осцилограф має передню панель з елементами керування та дисплеєм, внутрішні електронні плати з усіма необхідними компонентами, корпус для захисту, систему охолодження та блок живлення. Сучасні моделі можуть мати різну кількість каналів для одночасного вимірювання кількох сигналів, різну смугу пропускання для роботи з сигналами

					ДП.МТІР.0643402.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		14

різної частоти, різну частоту дискретизації та глибину пам'яті, а також різноманітні додаткові функції для аналізу сигналів.

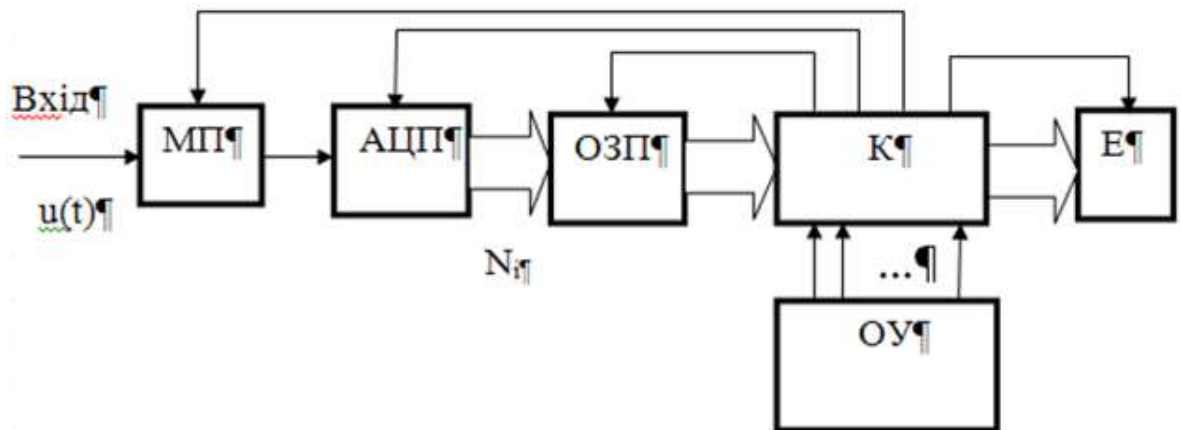


Рисунок 1.2 – Принцип функціонування цифрового осцилографа

На ринку портативних низькочастотних осцилографів представлено багато моделей, які орієнтовані на різні рівні користувачів — від студентів і аматорів до інженерів і технічних фахівців. Одним із найпопулярніших приладів для нескладних проєктів є Digilent Analog Discovery 2. Цей осцилограф має смугу пропускання до 30 МГц, не має вбудованого дисплея й підключається до комп'ютера через USB. Маючи невеликі габарити, він виконує функції осцилографа, логічного аналізатора та генератора сигналів, що робить його універсальним інструментом для розробників мікроконтролерних систем (таблиця 1.1). Серед недорогих USB-осцилографів варто звернути увагу на Hantek 6022BE. Цей пристрій підтримує частоти до 20 МГц, не має власного дисплея, проте забезпечує базову функціональність для аналізу сигналів через ПК. Це ідеальне рішення для простих діагностичних задач.

В сфері автономних осцилографів з вбудованим екраном виділяється Hantek 2D72.

Цей портативний прилад підтримує частоти до 70 МГц, працює без підключення до комп'ютера і поєднує в собі функції осцилографа, мультиметра

і генератора сигналів. Завдяки компактному форм-фактору та широкому функціоналу, він зручний для виїзної роботи.

Таблиця 1.1 – Широко розповсюджені моделі осцилографів

Модель	Частота	Дисплей	Інтерфейс	Функції
Digilent AD2	30 МГц	Ні	USB	Логічний аналізатор, генератор
Hantek 6022BE	20 МГц	Ні	USB	Базовий осцилограф
Hantek 2D72	70 МГц	Так	Автономний	Осцилограф + мультиметр
FNIRSI 5012H	20 МГц	Так	Автономний	Кишеньковий формат
DSO138	~200 кГц	Так	-	DIY для навчання

Ще одним популярним портативним осцилографом є FNIRSI 5012H. Він працює на частотах до 20 МГц і оснащений вбудованим дисплеєм. Цей автономний пристрій відзначається зручністю використання в польових умовах.

Для використання в навчальному процесі використовують JYE Tech DSO138. Це доступна модель зі смугою пропускання близько 200 кГц, яка має дисплей та часто постачається у вигляді набору для самостійного збирання. Завдяки простоті конструкції вона ідеально підходить для ознайомлення з принципами роботи осцилографів.

Китайські виробники також пропонують різні конструкторські набори для самостійного створення портативних низькочастотних осцилографів. Ці набори, що базуються на DIY технології, відрізняються своїми характеристиками та цінами. Однією з популярних категорій є набори на основі мікроконтролерних плат, таких як Arduino, ESP32 або STM32. Вони включають саму плату, простий РК-дисплей та базові електронні компоненти. У таких випадках користувачі самостійно розробляють програмне забезпечення для обробки та відображення сигналів, а також проєктують аналогову вхідну частину осцилографа. Характеристики таких саморобних осцилографів можуть бути досить обмеженими, особливо щодо смуги пропускання та частоти дискретизації.

Іншим варіантом є набори, що використовують окремі модулі аналого-цифрових перетворювачів (АЦП), наприклад, ADS1115 або MCP3008, у

					ДП.МТІР.0643402.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		16

поєднанні з мікроконтролерними платами. Використання окремих АЦП може покращити роздільну здатність або швидкість дискретизації саморобного осцилографа.

З появою Raspberry Pi Pico також стали доступні конструкторські набори для створення осцилографів на його основі. Pico має вбудовані 12-бітні АЦП, що робить його привабливим для таких проєктів.

Таким чином, в сегменті осцилографів можна знайти як дуже прості, так і доволі функціональні прилади.

1.2 Аналіз структурно-функціональних схем цифрових осцилографів

Аналіз структурно-функціональних схем та параметрів цифрових осцилографів може виявитися досить складним завданням, оскільки в даний момент на ринку представлено досить багато моделей.

Ведучими виробниками є фірми – AGILENT; CHAUVIN ARNOUX; GW INSTEK; LECROY; MCP; TEKTRONIX; АКИП; АКТАКОМ; FLUKE; АКИП; Осцилографи GW Instek [1-5]. Зважаючи на такий широкий вибір осцилографів, структурно-функціональних схем та параметрів будемо здійснювати стосовно до сфер його застосування. При цьому слід звернути увагу на наступні питання:

- умови використання приладу;
- сигнали в скількох точках схеми потрібно вимірювати одночасно;
- розмір амплітуди вимірюваних сигналів;
- частотний діапазон вимірюваних сигналів;
- сигнали періодичні чи поодинокі;
- дослідження проводитимуться в частотній області чи потрібна функція швидкого перетворення Фур'є.

Незважаючи на значну популярність аналогових осцилографів, в сучасному цифровому світі їх можливості не можуть зрівнятися з можливостями

					ДП.МТІР.0643402.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		17

сучасних цифрових осцилографів. Крім того, в аналогових моделях застосовується застаріла технологія з дуже обмеженими можливостями. Також можуть виникнути проблеми з наявністю запчастин.

Перевагою аналогового осцилографа є відсутність шумів, що мають по своїй суті цифрову природу, а саме відсутній шум АЦП, який проявляється у вигляді ступінчастої осцилограми на цифрових приладах. Тому у випадку, коли важлива точність в передачі форми досліджуваного сигналу, тоді аналоговий прилад є незамінним. Переваги цифрового осцилографа очевидні:

- портативність і невелика вага;
- велика смуга пропускання;
- можливість вимірювання одиночного сигналу;
- дружній інтерфейс;
- можливе проведення вимірювань на екрані;
- кольоровий дисплей;
- можливість зберігання і друку даних;
- можливість цифрової обробки сигналів (у вигляді швидкого перетворення Фур'є, додавання, віднімання, інтегрування);
- можливість застосування до сигналів цифрової фільтрації

Цифрові осцилографи також дають можливість для високошвидкісного збору даних і можуть бути інтегровані в системи автоматичного тестування (актуально для виробництв). Також, часто цифрові прилади можуть включати в одному корпусі додаткові пристрої: цифровий (логічний) аналізатор (ці пристрої дозволяють плюс до всього аналізувати пакети цифрових даних, наприклад переданих через різні інтерфейси I2C, USB, CAN, SPI); генератор функцій (сигналів довільної форми);

- генератор цифрових послідовностей.

Якщо осцилограф виконаний у вигляді переносного пристрою, то часто він поєднується з мультиметром, їх ще називають скопметрами. Незаперечною

					ДП.МТІР.0643402.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		18

перевагою таких пристроїв є незалежність від мережі живлення, компактність, мобільність і універсальність.

Характерною особливістю осцилографів, приведених вище фірм, є їх висока вартість. Тому значну увагу привертає клас осцилографів створених на основі персонального комп'ютера – так званих USB-осцилографів.

Осцилографи на базі ПК, або як їх ще називають, USB-осцилографи, стають все більш популярними, оскільки вони дешевші за традиційні – рисунок 1.3. Використовуючи комп'ютер, вони пропонують переваги великого кольорового дисплея, швидкого процесора, можливості збереження даних на диск і роботи на клавіатурі. Іншою великою перевагою є можливість швидкого експорту даних в електронні таблиці.

Серед USB-приставок часто трапляються справжні комбіновані прилади, які поєднують кілька пристроїв в одному корпусі: осцилограф, цифровий аналізатор, генератор сигналів довільної форми і генератор цифрових послідовностей. Однак універсальність є причиною дещо гірших характеристик, ніж у їх автономних приладів.

Основою більшості вбудованих систем, на сьогоднішній день, є мікроконтролер (MCU) з вбудованим аналого-цифровим перетворювачем (АЦП) і послідовними шинами введення/виведення для взаємодії в зовнішньому світі, який аналоговий. Іншим напрямком створення USB-осцилографів є використання звукових карт персональних комп'ютерів в якості апаратної частини – рисунок 1.4 [2, 3].

Цифровий осцилограф на основі звукової карти персонального комп'ютера функціонує за принципом перетворення аналогового сигналу в цифровий із використанням апаратних і програмних засобів, які вже наявні у ПК. Перш за все, вхідний аналоговий сигнал (наприклад, з мікрофону чи електронного пристрою) подається на вхід звукової карти, зазвичай через мікрофонний або лінійний вхід. Важливо, щоб амплітуда сигналу відповідала діапазону вхідної напруги звукової карти, тому іноді потрібен простий подільник напруги чи обмежувач.

					ДП.МТІР.0643402.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		19

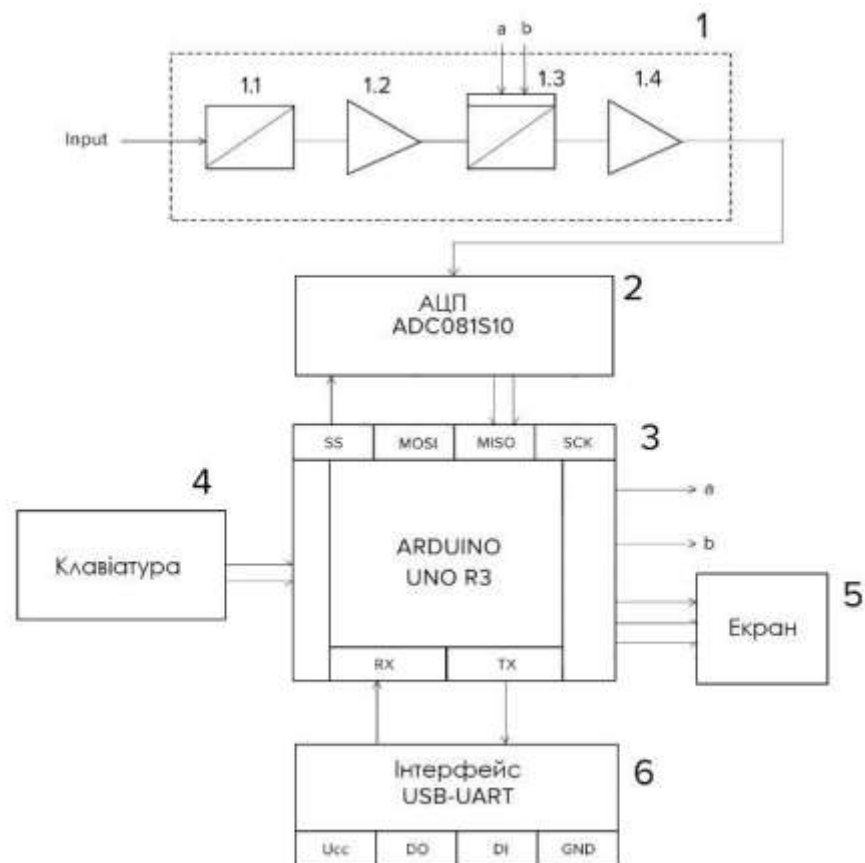


Рисунок 1.3 - Типова структурна схема мікроконтролерного USB-осцилографа

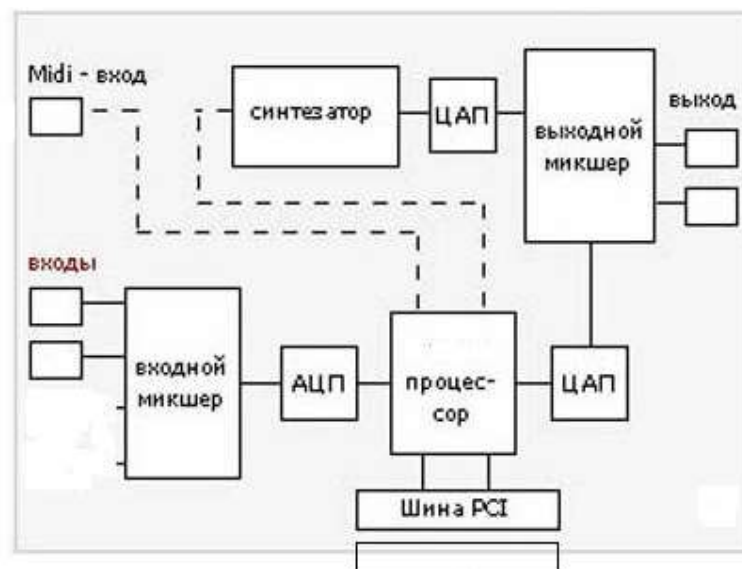


Рисунок 1.4 – Структурна схема звукової карти

Далі звукова карта, яка містить вбудований аналого-цифровий перетворювач (ADC), дискретизує сигнал із частотою, зазвичай до 44,1 або 48 кГц, і квантує його з певною розрядністю (найчастіше 16 біт). Отримані цифрові дані передаються в програму осцилографа, встановлену на ПК.

Програмне забезпечення осцилографа аналізує вхідний цифровий потік, виконує обробку сигналу (наприклад, згладжування, фільтрацію або обчислення спектру), а потім відображає його на екрані у вигляді часової або частотної діаграми. Інтерфейс користувача зазвичай імітує традиційний осцилограф, дозволяючи масштабувати сигнал, змінювати розгортку часу, встановлювати рівень тригера тощо.

Завдяки використанню звукової карти, такий осцилограф обмежений частотою сигналу — зазвичай не більше 20–22 кГц — але є зручним і доступним інструментом для аналізу низькочастотних сигналів, наприклад з мікрофонів, аудіопристроїв або простих сенсорів.

Аналіз типової структури осцилографа (рисунок 1.2) та звукової плати показує, що в них майже ідентичний тракт аналого-цифрового перетворення — АЦП, процесор. Ця особливість обумовлює можливість використання звукової карти в якості апаратного забезпечення осцилографа. Перевагою даного підходу є дешевизна та доступність в умовах навчального закладу. Разом з тим, оскільки такий осцилограф буде використовуватися в навчальних цілях, вимоги до його параметрів невисокі.

					ДП.МТІР.0643402.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		21

1.3 Постановка задачі по розробці одноканального портативного низькочастотного осцилографа

Враховуючи результати аналізу структури, параметрів, сфери застосування та вартості осцилографів показав, що в умовах навчального закладу найбільш оптимальним є використання USB - осцилографів. Оскільки існує велика кількість як схемотехнічних рішень, так і програмного забезпечення віртуальних осцилографів в якості об'єкту дослідження вибираємо схему віртуального осцилографа. Пропозиція базується на тому, що завдяки інтеграції персонального комп'ютера, зокрема звукової карти, з автономним цифровим пристроєм (атенюатором) та існуючим програмним забезпеченням реалізується недорога схема одноканального низькочастотного цифрового осцилографа. Крім того, при вивченні різних цифрових пристроїв студенти матимуть можливість їх використовувати в навчальній лабораторії.

Постановка завдання на виконання кваліфікаційної роботи повинна передбачати шляхи її вирішення [8]. Тому для наступних розділів проекту поставлені наступні завдання:

- здійснити аналіз роботи звукової карти з точки зору побудови USB - осцилографа;
- розробити структурну та функційну схеми одноканального низькочастотного USB - осцилографа;
- проаналізувати та обґрунтувати програмне забезпечення віртуального осцилографа;
- провести аналіз інструментальних засобів розробки цифрових схем;
- відповідно до структурної, функційної схем та блок-схеми роботи USB - осцилографа розробити його електричну принципову схему;
- розробити методику налаштування апаратного забезпечення.

До одноканального низькочастотного USB - осцилографа пред'являються наступні вимоги:

- можливість багаторазового його використання;

					ДП.МТІР.0643402.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		22

- можливість забезпечити візуалізації інформації як для простих, так і складних цифрових схем;
- наочність представлення осцилограм USB - осцилографа;
- простота управління навчальним стендом.

Таким чином, в даному розділі сформовано вимоги та здійснена постановка задачі по розробці низькочастотного осцилографа.

					ДП.МТІР.0643402.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		23

2 ПРОЕКТУВАННЯ КОМПОНЕНТІВ ПОРТАТИВНОГО ОСЦИЛОГРАФА

2.1 Конструкторський та схемотехнічний аналіз звукової карти

Використання звукової карти для побудови цифрових низькочастотних осцилографів є актуальним завдяки поєднанню доступності, простоти реалізації та достатньої функціональності для багатьох практичних задач у сфері низькочастотної електроніки. Сучасні звукові карти мають високий розрядність аналого-цифрового перетворення (часто 16 або 24 біти) і здатні здійснювати оцифровку сигналів із частотою дискретизації до 44,1–96 кГц, що дозволяє ефективно працювати з сигналами в діапазоні до приблизно 20–40 кГц. Цього цілком достатньо для аналізу аудіосигналів, низькочастотних імпульсних процесів, повільних аналогових коливань та інших типів сигналів у навчальних, демонстраційних і лабораторних умовах.

Передумови до такого використання сформувалися завдяки широкому поширенню персональних комп'ютерів із вбудованими або зовнішніми аудіоінтерфейсами, які фактично вже містять якісні аналого-цифрові перетворювачі. Також важливу роль відіграє розвиток програмного забезпечення, здатного в режимі реального часу зчитувати, обробляти та візуалізувати аудіосигнали у вигляді осцилограм. Розвиток відкритого програмного забезпечення та великої кількості проєктів з відкритим вихідним кодом зробив цю технологію особливо привабливою.

У контексті навчального процесу або аматорської електроніки осцилограф на базі звукової карти дає змогу реалізувати базову функціональність вимірювального приладу без великих витрат. Це забезпечує швидкий старт у вивченні принципів обробки сигналів, дозволяє проводити досліди, тестувати схеми або шукати помилки в роботі пристроїв. При додатковому обладнанні — наприклад, використанні зовнішніх захисних схем, підсилювачів або атенюаторів — можливості таких осцилографів можна суттєво розширити, не виходячи за межі концепції "низькобюджетного цифрового інструменту".

					ДП.МТІР.0643402.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		24

Разом з тим слід і розуміти, недоліки використання звукової карти, які полягають в ризику пошкодження звукової карти, тому слід передбачити використання захисних схем (наприклад, обмежувальних діодів) та залежність від операційної системи та драйверів (робота програмного забезпечення осцилографа може залежати від операційної системи та встановлених драйверів звукової карти).

Типова звукова плата ПК містить кілька апаратних рішень, які пов'язані з виробництвом і збором аудіоінформації, дві основні аудіопідсистеми, призначені для цифрового «аудіозахвату», синтезу та відтворення музики (рисунк 2.1) [6, 7].

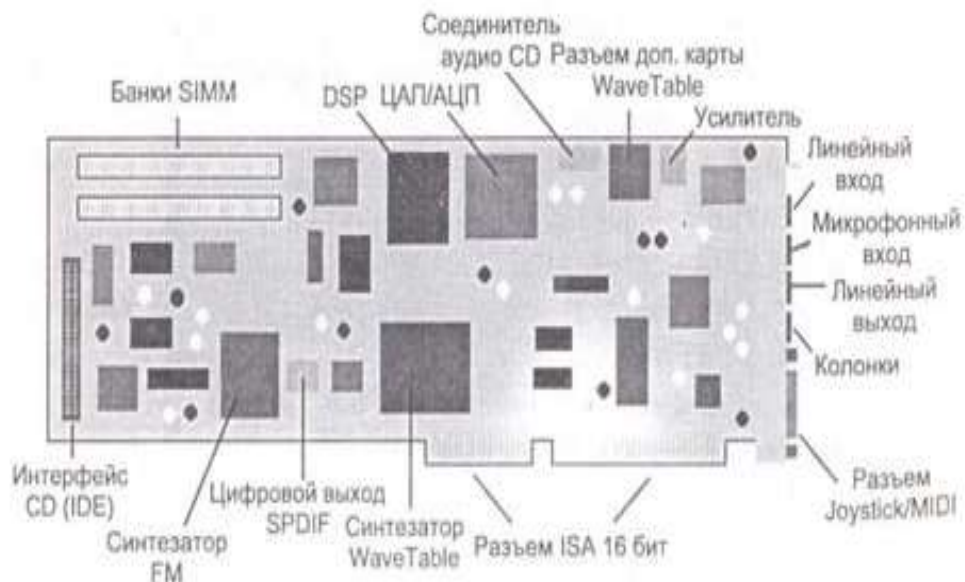


Рисунок 2.1 - Структура типової звукової плати

Підсистема синтезу та відтворення музики генерує звук двома способами - через внутрішній синтезатор (FM-синтезатор), або відтворюючи оцифрований код. Відповідно до структури, представленій на рисунку 2.1, секція цифрового звукозапису звукової плати складається з кількох ключових функціональних блоків, які разом забезпечують перетворення аналогового сигналу у цифровий. На початку сигнал надходить на аналоговий вхід — це може бути лінійний або мікрофонний вхід, оснащений буферним або підсилювальним каскадом. У

випадку мікрофонного сигналу застосовується малошумлячий підсилювач, який підсилює слабкий вхідний сигнал до рівня, придатного для подальшої обробки. Далі сигнал проходить через аналоговий фільтр нижніх частот, який обмежує його спектр. Це необхідно для запобігання виникненню аліасингу — спотворення, що виникає при дискретизації сигналу, якщо в ньому присутні частоти, вищі за половину частоти дискретизації. Після цього сигнал подається на аналого-цифровий перетворювач (АЦП), який оцифровує його з заданою точністю. У більшості сучасних звукових карт АЦП мають розрядність 16–24 біти та підтримують частоту дискретизації до 192 кГц. Найчастіше застосовуються перетворювачі типу delta-sigma, що забезпечують високу точність і низький рівень шумів. Оцифрований сигнал передається до цифрового інтерфейсу, який організовує обмін даними з комп'ютером через відповідний інтерфейс — USB, PCI або PCIe. Стабільність і точність процесу оцифрування забезпечує тактова система, що зазвичай побудована на кварцовому генераторі. Вона визначає частоту дискретизації та впливає на якість цифрового сигналу, зокрема на рівень джитерів. Усі ці компоненти формують апаратну основу цифрової секції запису, яка, хоча й створена для роботи зі звуком, цілком придатна для використання в якості вимірювального елемента в цифрових низькочастотних осцилографах.

Програмне забезпечення до звукової карти для ПК з операційною системою Windows відіграє ключову роль у забезпеченні повноцінної роботи аудіоінтерфейсу та реалізації функцій цифрового звукозапису, відтворення й обробки сигналів. Це програмне забезпечення зазвичай включає декілька основних компонентів, кожен з яких виконує специфічні функції.

Першим і найважливішим елементом є драйвер звукової карти. Він забезпечує взаємодію між апаратною частиною карти та операційною системою. Стандартні драйвери Windows, такі як Microsoft High Definition Audio, забезпечують базову функціональність, однак для повного використання можливостей звукової карти часто встановлюються фірмові драйвери від виробника (наприклад, Realtek, Creative, ASUS Xonar). Вони надають доступ до

					ДП.МТІР.0643402.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
						26
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

розширених параметрів, таких як частота дискретизації, глибина бітності, вибір джерела сигналу, керування мікрофоном і рівнями підсилення.

Другим важливим компонентом є панель керування або конфігураційна утиліта, яка встановлюється разом із драйвером. Вона дозволяє користувачу налаштовувати аудіовходи й виходи, обирати режими роботи (наприклад, 2.0 чи 5.1 звук), керувати ефектами, подавати фантомне живлення на мікрофонні входи (у професійних картах), а також контролювати цифрові та аналогові інтерфейси.

Додатково можуть використовуватися програми для запису, візуалізації та аналізу аудіосигналів. До таких програм належать як універсальні цифрові аудіо-робочі станції (DAW), наприклад Audacity, FL Studio, Adobe Audition, так і спеціалізоване ПЗ для побудови осцилограм або спектрограм, наприклад Visual Analyser, Zelscope, Soundcard Oscilloscope, Oscilloscope by Virtins Technology. Ці програми можуть працювати у реальному часі, дозволяючи аналізувати амплітуду, частоту, форму сигналу та виконувати спектральний аналіз.

У випадку розширеного використання, наприклад у вимірювальних або навчальних цілях, часто застосовуються програми, які дають змогу гнучко налаштовувати буфер обробки, рівні сигналів, параметри фільтрації та час спостереження. Важливо також, що багато сучасних програм підтримують ASIO-драйвери (Audio Stream Input/Output), які забезпечують низьку затримку та високу якість звуку — це особливо цінно для осцилографічного режиму роботи або при синхронному вимірюванні сигналів.

Таким чином, програмне забезпечення для звукової карти в ОС Windows забезпечує не лише базову роботу аудіоінтерфейсу, але й відкриває можливості для глибокого аналізу сигналів, їх обробки й використання в ролі вимірювального інструменту, зокрема в низькочастотних цифрових осцилографах. [6, 7].

Коннектори типової звукової плати можуть мають наступні гнізда та з'єднувачі [6] - лінійний вхід, мікрофонне гніздо, лінійний вихід, з'єднувач джойстика / MIDI - з'єднується з джойстиком або пристроєм MIDI і може бути налаштований так, щоб з'єднуватися з обома одночасно, CD / SPDIF з'єднувач

					ДП.МТІР.0643402.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		27

(цифрове аудіо), на дисководі розташованому DVD або CD-ROM, додатковий аудіовхід (наприклад для внутрішнього тюнера, MPEG або інших подібних плат), з'єднувач аудіоCD (DVD-ROM), використовуючи кабель аудіоCD. При цьому кожне з гнізд роз'ємів маркують певним кольором згідно наступної таблиці 2.1.

Таблиця 2.1 – Маркування конекторів звукової карти

Колір	Функція
рожевий	Аналоговий вхід для мікрофону
блакитний	Аналоговий вхід line-in
світлозелений	Аналоговий вихід для динаміків або навушників
чорний	Аналоговий вихід для тильних динаміків
помаранчевий	Цифровий вихід (S/PDIF)

Сучасні аудіокарти підтримують також ряд стандартних можливостей моделювання, генерації і обробки звукового сигналу DirectX, A3D, Eax (Environmental Audio Extensions), MIDI.

Таким чином, наявність в звуковій карті лінійного входу та 16- розрядного АЦП створює всі передумови для розробки структурної та функційної схем USB – осцилографа.

2.2 Структурно-функціональна схема цифрового осцилографа на базі звукової карти

Електричний сигнал звуку проходить через драйвери операційної системи Windows. В налаштуваннях аудіо операційної системи Windows, можна встановити: частоту дискретизації 44,1 кГц або 96 кГц (частота дискретизації) і бітову розрядність (бітова глибина).

У Windows 11 користувач має можливість вручну встановити частоту дискретизації та бітову розрядність звукової карти через системні налаштування

					ДП.МТІР.0643402.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		28

аудіо. Для цього необхідно відкрити параметри звуку. Спочатку користувач натискає правою кнопкою миші на піктограму динаміка на панелі завдань у нижньому правому куті екрана та обирає пункт «Параметри звуку». У вікні, що відкриється, у розділі «Вихід» або «Вхід» потрібно вибрати відповідний аудіопристрій — динаміки або мікрофон (рисунок 2.2).

Після цього відкриваються додаткові налаштування пристрою, де є кнопка «Додаткові властивості звуку». У вікні властивостей пристрою потрібно перейти на вкладку «Додатково». Саме тут розташоване поле з назвою «Формат за замовчуванням», у якому користувач може вибрати потрібну комбінацію частоти дискретизації та бітової глибини, наприклад: «16 біт, 44100 Гц (CD-якість)» або «24 біт, 96000 Гц (студійна якість)».

Після вибору бажаного формату потрібно натиснути кнопку «Застосувати» для збереження змін, а потім «ОК» для закриття вікна. Таким чином, операційна система Windows 11 дозволяє зручно налаштувати параметри цифрової обробки звуку відповідно до вимог користувача або специфіки завдань, зокрема для використання звукової карти як вимірювального приладу в низькочастотному діапазоні.

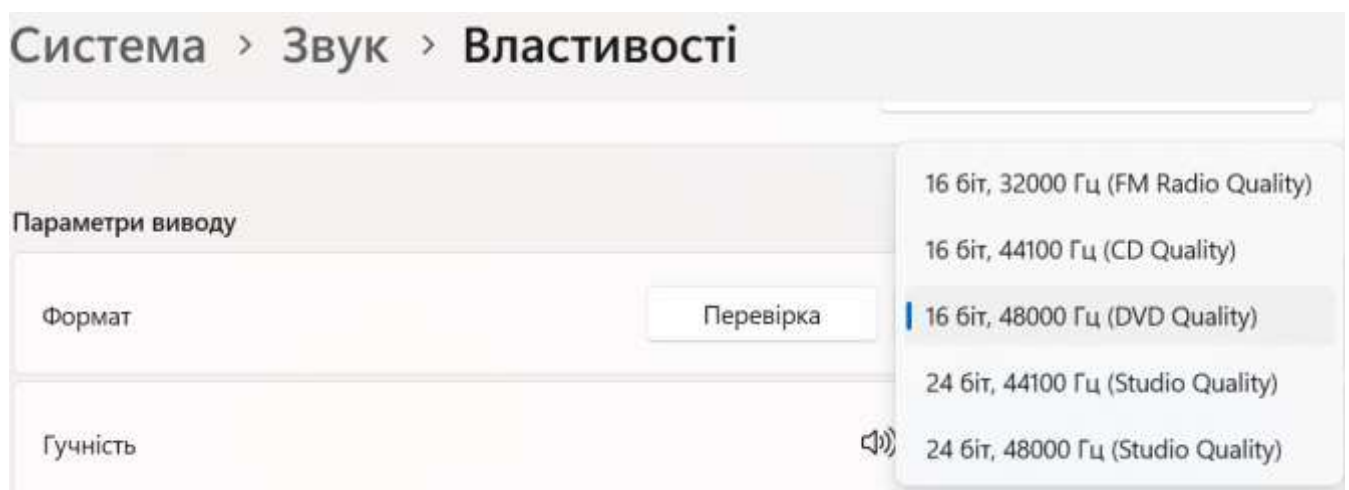


Рисунок 2.2 - Налаштування аудіо операційної системи Windows

Таким чином, частота дискретизації в 44,1кГц звукової карти визначає діапазон вхідних частот – низькі частоти.

					ДП.МТІР.0643402.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		29

Важливим місцем в проектуванні структурної та функційної схем є узгодження схем джерела та приймача сигналу, а саме їх вихідного та вхідного опорів. Теоретичною основою даного питання - є розгляд енергетичних співвідношення при передачі енергії від активного двухполюсника до пасивного. Активний двухполюсник - це будь-яке джерело електричної енергії, а пасивний - її споживач, який найчастіше називають навантаженням. Візьмемо в якості активного двухполюсника джерело е.р.с. з відомим вихідним опором (рисунок 2.3) і порахуємо, при якому ж опорі навантаження потужність, що передається в навантаження, буде максимальною.

Відповідно до закону Ома для повної електричного кола струм в навантаженні дорівнює:

$$I = \frac{U_s}{R_s + R_L}, \quad (2.1)$$

де U_s - напруга холостого ходу активного двухполюсника;

R_s - вихідний опір активного двухполюсника;

R_L – опір навантаження.

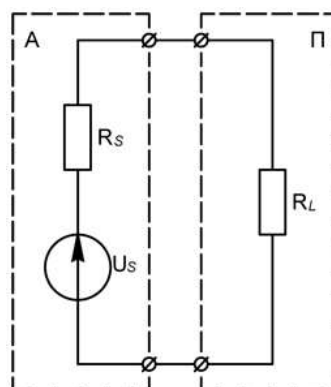


Рисунок 2.3 - Схема підключення навантаження до джерела е.р.с.

Напруга холостого ходу активного двухполюсника вимірюється високоомним вольтметром на затискачах активного двухполюсника при відключеному навантаженні. Напруга в навантаженні:

$$U_L = I \cdot R_L = \frac{U_s}{R_s + R_L} \cdot R_L \quad (2.2)$$

Оскільки обидві величини вимірюються в Омах, висловимо для спрощення подальших математичних викладок величину R_L через коефіцієнт пропорційності k , який показує, у скільки разів опір навантаження відрізняється від вихідного опору активного двухполюсника R_s :

$$R_L = k \cdot R_s \quad (2.3)$$

Тоді, після підстановки, вираз для потужності в навантаженні набуде вигляду:

$$P_L = \frac{U_s^2 \cdot k \cdot R_s}{(R_s + k \cdot R_s)^2} = \frac{U_s^2 \cdot R_s}{R_s^2} \cdot \frac{k}{(1+k)^2} = \frac{U_s^2}{R_s} \cdot \frac{k}{(1+k)^2} \quad (2.4)$$

Оскільки лівий множник в останньому виразі - величина постійна, то максимум потужності в навантаженні співпадає з максимумом правого множника.

Максимальне значення функція $f(k)$ (правий множник) прийме при такому k , при якому буде дорівнює нулю її похідна по k . Похідна частки двох функцій визначена як:

$$\frac{df(k)}{dk} = \left(\frac{k}{(1+k)^2} \right)' = \frac{(1+k)^2 - 2 \cdot (1+k) \cdot k}{(1+k)^4} = \frac{(1+k) \cdot (1+k-2 \cdot k)}{(1+k)^4} = \frac{1-k}{(1+k)^3} \quad (2.5)$$

Очевидно, що похідна приймає нульове значення лише при $k = 1$, тобто при виконанні рівності $R_s = R_L$.

Даний матеріал демонструє актуальність проблеми узгодження опорів. В нашому варіанті джерелом сигналу виступає електрична схема. Завданням осцилографа є вимірювання напруги (АЦП) на виході цифрової схеми і візуалізація її форми за результатами проведених вимірювань. В цьому випадку

для зменшення похибки рекомендується наступне співвідношення $R_s \gg R_L$. В цьому випадку значна частина сигналу поступає у вимірювальну схему. Для цього у структурну схему слід ввести блок узгодження опорів (рисунок 2.4).

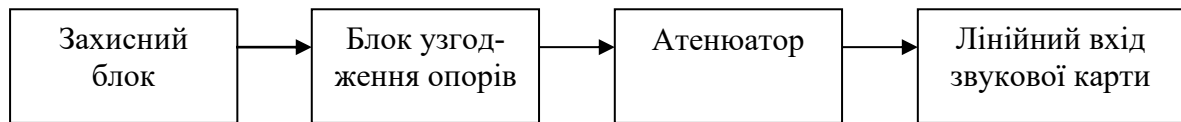


Рисунок 2.4 – Структурна схема USB-осцилографа

Блок узгодження резисторів пропонується виконати на операційному підсилювачі, для якого характерний дуже великий вхідний опір (наближається до безмежності) та дуже низький вихідний (наближається до нуля). Блок захисту схеми від перевантаження та містить захист від «дурня». Атенюатор призначений для узгодження як рівнів вимірюваної осцилографом напруги цифрової схеми та значення вхідної напруги лінійного входу звукової карти, так і опорів.

Таким чином, розроблена в даному розділі структура апаратного забезпечення низькочастотного осцилографа на звуковій карті служить основою для розробки принципової схеми та її інтеграції з існуючим програмним забезпеченням.

2.3 Аналіз програмного забезпечення цифрових осцилографів

Сучасні програми-аналізатори дозволяють використовувати звукову карту ПК як АЦП для низькочастотних сигналів, перетворюючи комп'ютер на віртуальний осцилограф (з підтримкою перегляду хвиль, FFT-аналізу). Нижче наведено найпопулярніші програмні засоби такого типу з описом можливостей, обмежень і сумісних ОС.

					ДП.МТІР.0643402.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		32

AudioTester — це спеціалізована програма для тестування звукових карт і аудіоапаратури, яка перетворює персональний комп'ютер на інструмент для аналізу характеристик звукових сигналів. Програма працює під операційною системою Windows і використовує вхід та вихід звукової карти для створення, вимірювання та оцінки якості сигналів у звуковому діапазоні.

Основне призначення AudioTester — це не візуалізація форми сигналу, як у класичних осцилографах, а вимірювання таких параметрів, як гармонічні спотворення (THD), інтермодуляційні спотворення (IMD), рівень шуму, співвідношення сигнал/шум, а також побудова амплітудно-частотної характеристики (АЧХ) звукових систем. Для цього в програмі є вбудований генератор сигналів (синус, білий та рожевий шум, імпульси тощо) і точний спектроаналізатор, який дозволяє бачити частотний склад сигналу з високою роздільною здатністю.

AudioTester використовує інтерфейс, схожий на лабораторні прилади. Він дозволяє проводити вимірювання, та підтримує калібрування, збереження результатів вимірювань та експорт графіків. Разом з тим, вона не підтримує осцилографічні режими типу XY (розгортки), тригер за рівнем або затримку запуску. Тому вона не підходить для дослідження імпульсних або швидкоплинних сигналів.

Загалом, AudioTester — це точний та функціональний інструмент для вимірювання аудіохарактеристик, але він не є прямим аналогом осцилографа, а швидше спеціалізованим аналізатором якості сигналу в звуковому діапазоні.

Zelscope – Windows-програма (двоканальна) для перетворення персонального комп'ютера в «звуковий» осцилограф зі зберігаючою розгорткою і спектроаналізатором. Інтерфейс імітує традиційний осцилограф з ручками для посилення, зміщення, часової бази і тригерів. Підтримується реальний час перегляду форми сигналу та FFT (відображення амплітуди і фази спектру). Програма може візуалізувати будь-які звукові сигнали (музику, мову або генераторні сигнали з електронних схем). Підтримує автоматичний та однократний тригер (рисунок 2.5).

					ДП.МТІР.0643402.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		33

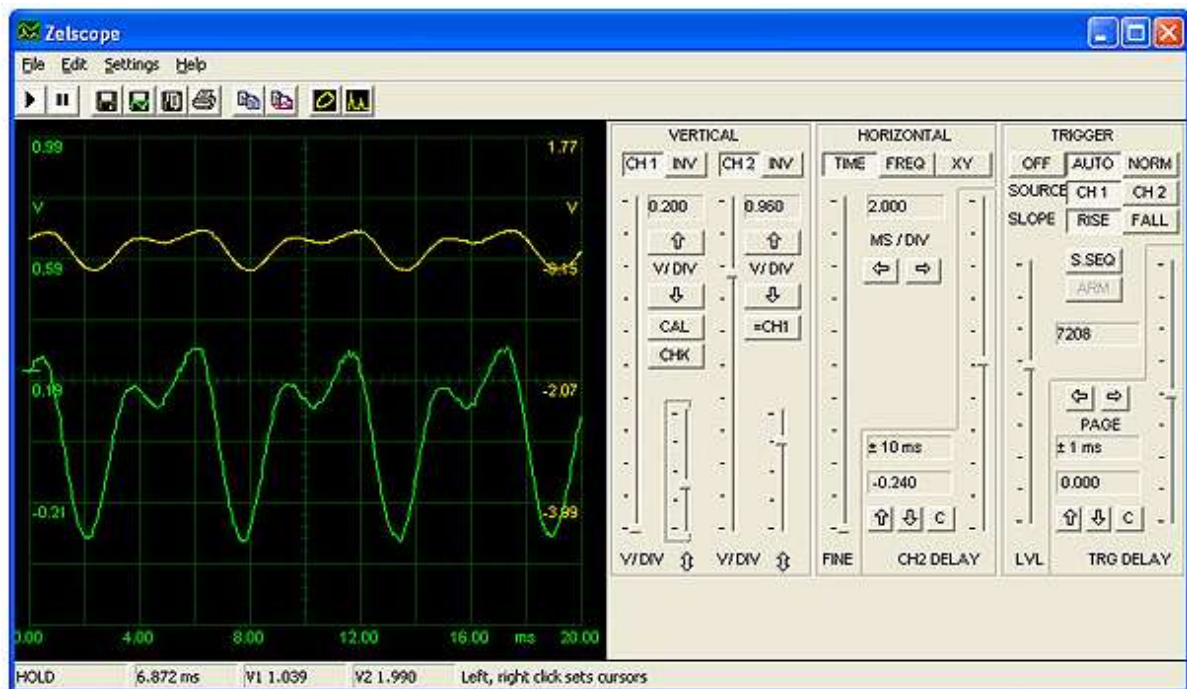


Рисунок 2.5 – Windows-програма осцилографа Zelscope

Soundcard Oscilloscope – безкоштовна для некомерційного використання Windows-програма від С. Zeitnitz – рисунок 2.6. Служить двоканальним осцилографом із XY-режимом, вбудованим генератором сигналів і спектроаналізом. Утиліта показує лівий (зелений) і правий (червоний) аудіоканали звукової карти. Є генератор синусоїдальних, меандрових, трикутних і пилкоподібних сигналів (0–20 кГц) з виходом на динаміки звукової карти, що дозволяє вмикати повторний вхід для побудови фігур Лісажу. Підтримується FFT-аналіз (вкладка «Frequency Analysis») та збереження хвиль у WAV. Наявні режими тригера Auto/Normal/Single (як у звичайних осцилографах). ОС: Windows 2000/XP/Vista (вимагає DirectX). Обмеження: аудіочастотний діапазон (~20 Гц–20 кГц); максимальна напруга входу кілька вольт (більші сигнали потребують зовнішнього атенюатора). Офіційний сайт/сторінка: zeitnitz.de (нині неактивний).

Visual Analyser – багатоінструментальне рішення для Windows (версії 9x–10) від sillanumsoft.org – рисунок 2.7.

Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата

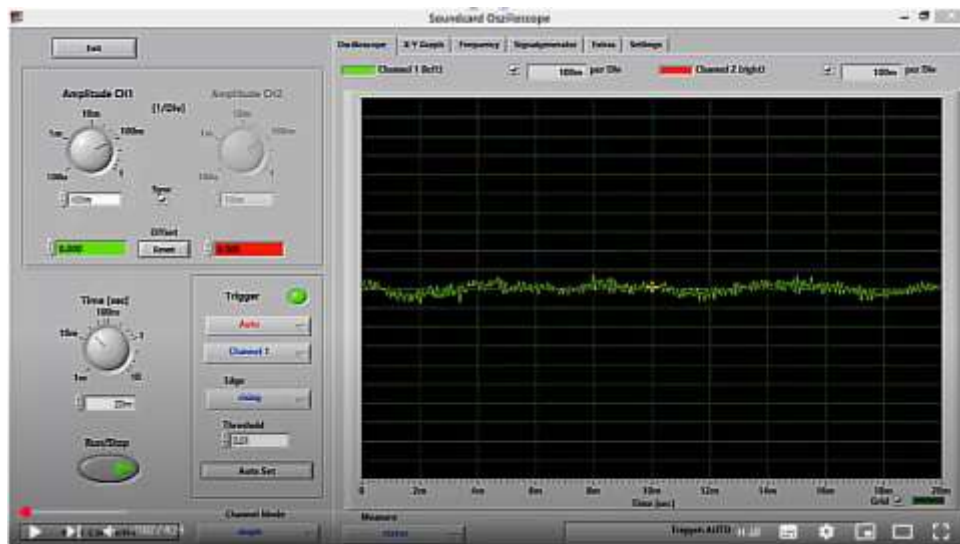


Рисунок 2.6 – Windows-програма осцилографа Soundcard Oscilloscope

Створена програма, емулює набір вимірювальних приладів: двоканальний осцилограф (режим XY, незалежні масштаби), спектроаналізатор з графіком амплітуди/фази (лінійна, логарифмічна шкала, смуги 1/3–1/24 октави), генератор довільних сигналів, вольтметр (постійний струм, True RMS, P-P), фільтри (LPF/HPF, смуговий, notch), лог або графік часу з тригером.



Рисунок 2.7 – Windows-програма осцилографа Visual Analyser

Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата

ДП.МТІР.0643402.00.00.00.000 ПЗ

Арк.

35

Програма підтримує запис/відтворення WAV (Waveform Audio File Format), збереження кривих; Працює в операційних системах Windows та Linux.

Xoscope – вільний цифровий осцилограф для Linux/Unix – рисунок 2.8. Використовує дані з ALSA (Advanced Linux Sound Architecture) та ESD (Enlightened Sound Daemon) — підсистеми/інтерфейси для роботи з аудіо в операційних системах на базі Linux та Unix, або COMEDI-сумісного інтерфейсу (може працювати з аудіокартами або спеціальними платами для збору даних). Підтримує до 8 одночасних каналів відображення, різні режими розгортки (Sweep, Accumulate, Strip Chart), прокрутку буфера, курсори (рисунок 2.7). Є можливість тригера (за фронтом/спадом) і окремі режими відображення для кожного каналу. Працює з аналоговими та цифровими входами. ОС: Unix/Linux. Обмеження: аудіочастотний діапазон (~20 кГц, якщо використовується звукова карта); відсутній вбудований спектроаналіз (можна аналізувати дані зовні). Програма з відкритим вихідним кодом (GNU GPL).

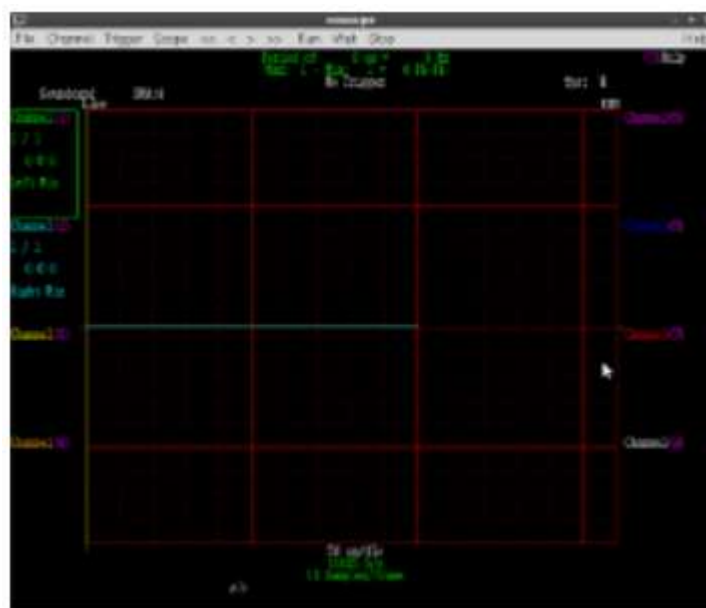


Рисунок 2.8 - – Windows-програма осцилографа

Virtins Multi-Instrument – Oscilloscope – компонент комерційного ПО для Windows (Multi-Instrument Suite) від Virtins Technology. Працює із звуковими картами (а також USB-осцилографами Virtins) і може використовувати їх як

					ДП.МТІР.0643402.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		36

АЦП. Діапазон частот ~ 10 Гц–200 кГц (залежить від карти); зразкові частоти до 768 кГц; 1–2 канали (звукова карта); роздільна здатність 8–32 біти; максимальна вхідна напруга ≈ 3 В (понад це потрібен зовнішній дільник/обмежувач). Підтримуються режими Auto/Normal/Single/Slow з перед- і посттригером (0–100% довжини запису). Є калібрування, подвійна розгортка (різниця/добуток каналів), Lissajous, незалежні масштабування вісі, збереження в WAV/ТХТ, показ значень (p-p, RMS тощо). ОС: Windows 2000–11. Обмеження: залежить від звукової карти (макс ~ 200 кГц); потребує якісної звукової карти; призначена тільки для Windows (ніяких Linux/Mac-версій).

Таким чином, в даний час існує програмне забезпечення за допомогою якого реалізуються схеми осцилографів на базі звукової карти. Враховуючи те, що програма AudioTester достатньо точно вимірює електричні сигнали, тому вибираємо дану програму в ролі базової.

					ДП.МТІР.0643402.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		37

3 РЕАЛІЗАЦІЯ ОДНОКАНАЛЬНОГО ЦИФРОВОГО ОСЦИЛОГРАФА

3.1 Вибір елементної бази та засобу моделювання принципових схем

Як вже було запропоновано в другому розділі, структурно-функційна схема низькочастотного осцилографа містить захисний блок, блок узгодження опорів та атенюатор. В ролі захисних елементів вибрано стабілітрони 1Z13 (додаток А) для яких номінальне значення напруги стабілізації становить 13В, а мінімальний струм стабілізації 1mA. Захист суміщено з вхідним дільником на резисторах R1 і R2. Для того, щоб захист спрацював при перевищенні напруги в 300В, стабілітрони повинні обмежити це значення на рівні 14В, а резистори забезпечити струми стабілізації [14].

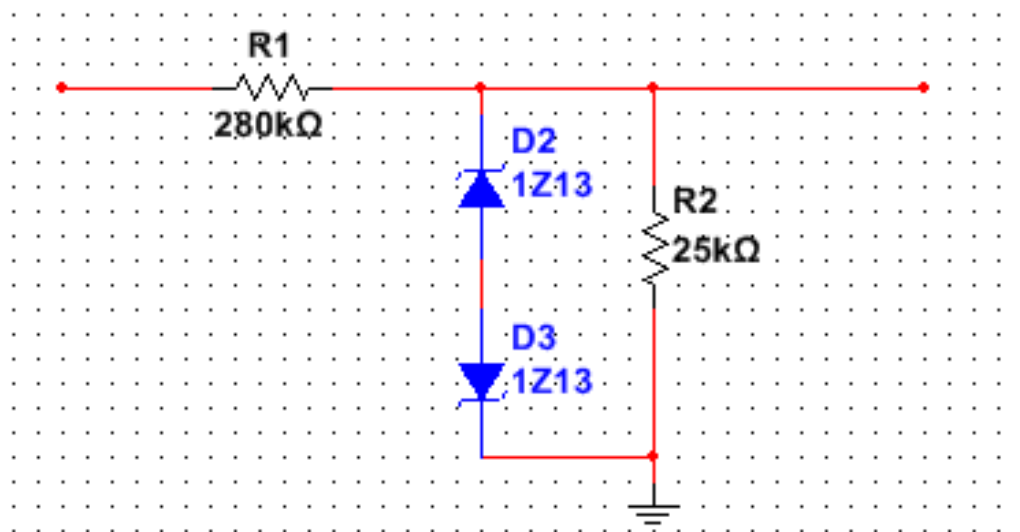


Рисунок 3.1 – Схема блоку захисту

Блок узгодження опорів пропонується виконати на операційному підсилювачі, для якого характерний дуже великий вхідний опір (наближається до безмежності) та дуже низький (наближається до нуля). Мікроелектронні операційні підсилювачі, як і цифрові мікросхеми, випускається переважно серіями, причому звичайним стало об'єднання в одну серію підсилювачів, що значно відрізняються за принципом побудови, призначення та характеристикам

і є є ключовими компонентами в аналоговій електроніці. Серед них можна виділити популярні серій прецизійних ОП: MC1741, LM741, TL072 та OPA2134. MC1741 — це біполярний операційний підсилювач, розроблений компанією Motorola. Він є внутрішньо компенсованим і призначений для загального використання, таких як суматори, інтегратори та інші аналогові схеми. Основні характеристики включають вхідну напругу зміщення до 7,5 мВ, швидкість наростання сигналу приблизно 0,5 В/мкс, смугу пропускання близько 1 МГц та вхідний опір близько 2 МОм. MC1741 має захист від короткого замикання та можливість нульового зміщення. Цей ОП є попередником LM741 і має схожі характеристики.

LM741 — це класичний універсальний біполярний операційний підсилювач, широко використовуваний у навчальних цілях та простих аналогових схемах. Його основні характеристики включають вхідну напругу зміщення в межах 1–5 мВ, швидкість наростання сигналу приблизно 0,5 В/мкс, смугу пропускання близько 1 МГц та вхідний опір близько 2 МОм. LM741 має вбудований компенсаційний конденсатор, що забезпечує стабільність при високому коефіцієнті підсилення. Він також має захист від короткого замикання та можливість нульового зміщення.

TL072 — це подвійний операційний підсилювач з JFET-входом, що забезпечує високий вхідний опір і низький рівень шуму. Він підходить для аудіоапаратури та аналогових обробників сигналів. Основні характеристики включають вхідну напругу зміщення близько 3 мВ, швидкість наростання сигналу приблизно 13 В/мкс, смугу пропускання близько 3 МГц та вхідний опір близько 10^{12} Ом. TL072 має низький рівень шуму та високу швидкість наростання сигналу, що робить його придатним для високоякісних аудіо застосувань.

OPA2134 — це високоякісний аудіоспеціалізований операційний підсилювач, призначений для Hi-Fi застосувань. Він має наднизький рівень викривлень і шуму. Основні характеристики включають вхідну напругу зміщення близько 1 мВ, швидкість наростання сигналу приблизно 20 В/мкс,

					ДП.МТІР.0643402.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		39

смугу пропускання близько 8 МГц та вхідний опір близько 10^{13} Ом. ОРА2134 забезпечує дуже низький рівень шуму та викривлень, що робить його ідеальним для високоякісних аудіо застосувань.

Ці серії операційних підсилювачів мають свої унікальні характеристики та сфери застосування. Вибір конкретної серії залежить від вимог до швидкості, шуму, вхідного опору та інших параметрів.

Враховуючи приведені характеристики в якості базового операційного підсилювача для схеми узгодження опорів вибираємо мікросхему MC1741. Її зарубіжними аналогами операційного підсилювача MC1741 є мікросхеми mA740H, MC1556G.

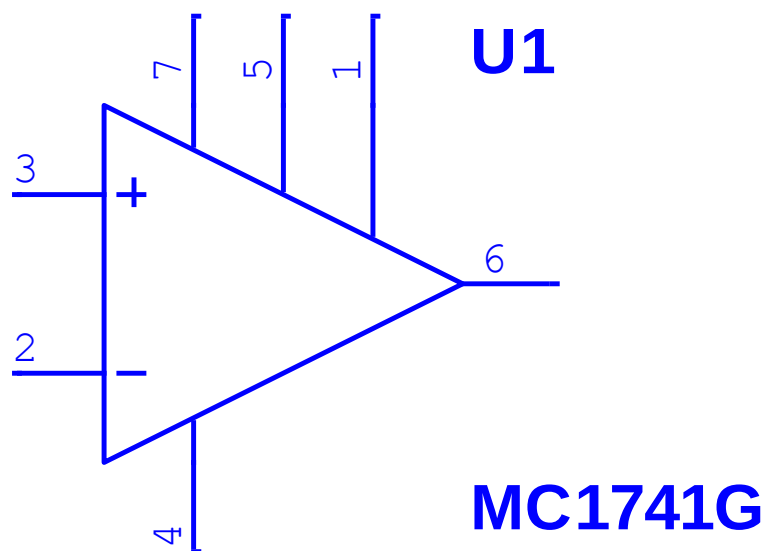


Рисунок 3.2 – Умовно-графічне позначення та призначення виводів операційного підсилювача.

Схему узгоджувального блоку пропонується виконати на основі повторювача вхідного сигналу (рисунок 3.3) [12].

Атенюатор призначений для узгодження як рівнів вимірюваної осцилографом напруги цифрової схеми та значення вхідної напруги лінійного входу звукової карти, так і опорів.

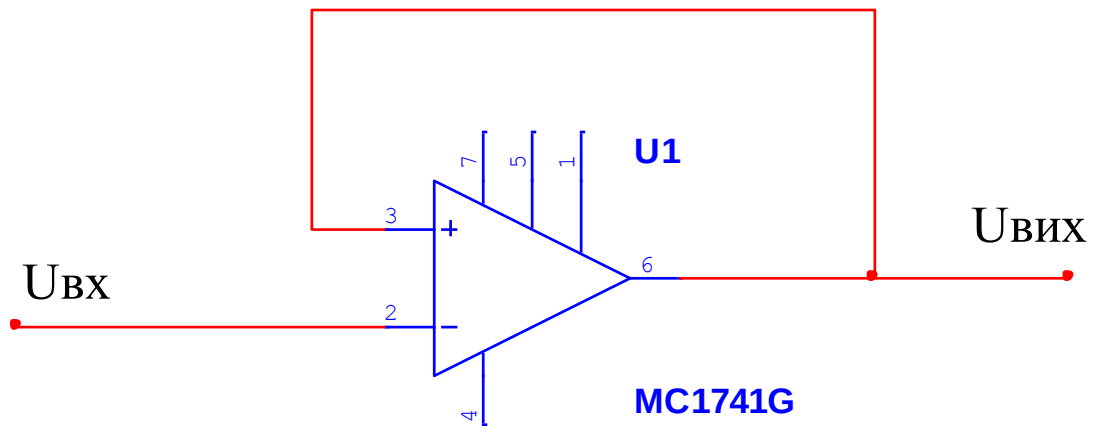


Рисунок 3.3 – Схема повторювача напруги

Простою реалізацією атенюатора може бути його розробка та розрахунок на основі дільника напруги (рисунок 3.4).

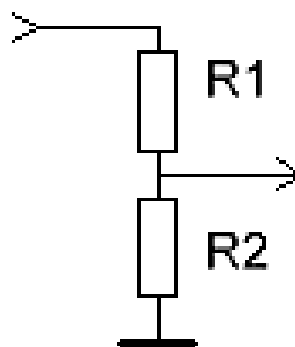


Рисунок 3.4 – Схема атенюатора

Таким чином, в даному розділі розроблено структуру основних блоків та обґрунтовано вибір компонентів.

3.2 Розробка та налаштування електричної принципової схеми осцилографа

Після розробки структурно-функційної схеми низькочастотного осцилографа та обґрунтування вибору та схем основних компонентів необхідно розробити принципову схему модуля низькочастотного осцилографа та розрахувати номінали використовуваних елементів. Для розробки принципової схеми та моделювання її роботи (налаштування) використаємо за допомогою імітаційного пакету National Instruments Multisim. NI Multisim дозволяє об'єднати процес розробки електричних схем з їх тестуванням на основі технології віртуальних Space-моделей електронних компонентів. В NI Multisim є бази даних електронних компонентів трьох рівнів:

- головна база даних (Master Database), в якій знаходяться Spice-моделі електронних компонентів;
- користувацька база даних (User Database), містить Spice-моделі користувача;
- корпоративна база даних (Corporate Database), яка містить компоненти, які доступні працівникам підприємства.

Робота в середовищі NI Multisim передбачає вибір потрібних елементів з відповідного розділу бази даних, створення їх копій на робочому листі та виконання всіх необхідних з'єднань та підключень (рисунок 3.5).

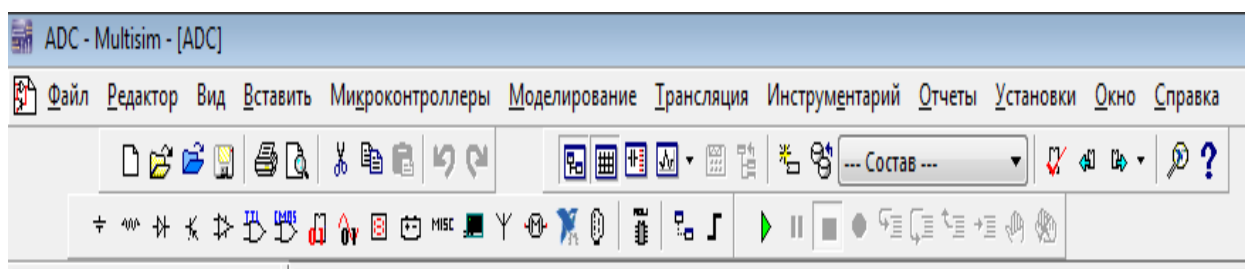


Рисунок 3.5 – Середовище розробника в NI Multisim.

Параметри елементів блоку захисту (дільник вхідного сигналу та захисні стабалітрони) вибираємо з наступних умов. Враховуючи, що найбільшим значенням вхідної напруги є напруга промислової мережі, то значення резисторів повинні забезпечити приблизно 15В при значенні вхідної напруги приблизно 300В (U_m – амплітудне значення напруги промислової мережі). Розрахунок значення резисторів R1 та R2 (рисунок 3.5) здійснимо за формулою:

$$U_d = \frac{U_{вх} * R_2}{R_1 + R_2}, \quad (3.1)$$

де U_m , та U_d – напруга на вході та виході дільника відповідно.

Якщо максимальне значення вхідної напруги вважати 300В, еквівалентне їй значення напруги дільника приблизно рівне 15В і струм дільника рівним 1мА (мінімальне значення струму стабілізації), то розраховане за формулою 3.1 значення опорів рівне $R_1=280\text{кОм}$, а $R_2=25\text{кОм}$. Їх сумарне значення забезпечує мінімальний струм стабілізації стабілітронів D1, D2 (1Z13) [11, 12].

Повторювач напруги на операційному підсилювачі фірми Motorola MC1556G забезпечує узгодження опорів, оскільки його вхідний опір наближається до безконечності, а вихідний до нуля. Вихідний дільник, завданням якого є послаблення вхідного сигналу з виходу повторювача напруги на VA1 до рівня 1В, розраховується аналогічно за формулою 3.1. Тому $R_4=30\text{кОм}$, а $R_5=510\text{кОм}$ (рисунок 3.6).

Налаштування апаратної частини низькочастотного осцилографа передбачає верифікацію розробленої схеми в нормальному та аварійному (перевищення 300В) режимах.

					ДП.МТІР.0643402.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		43

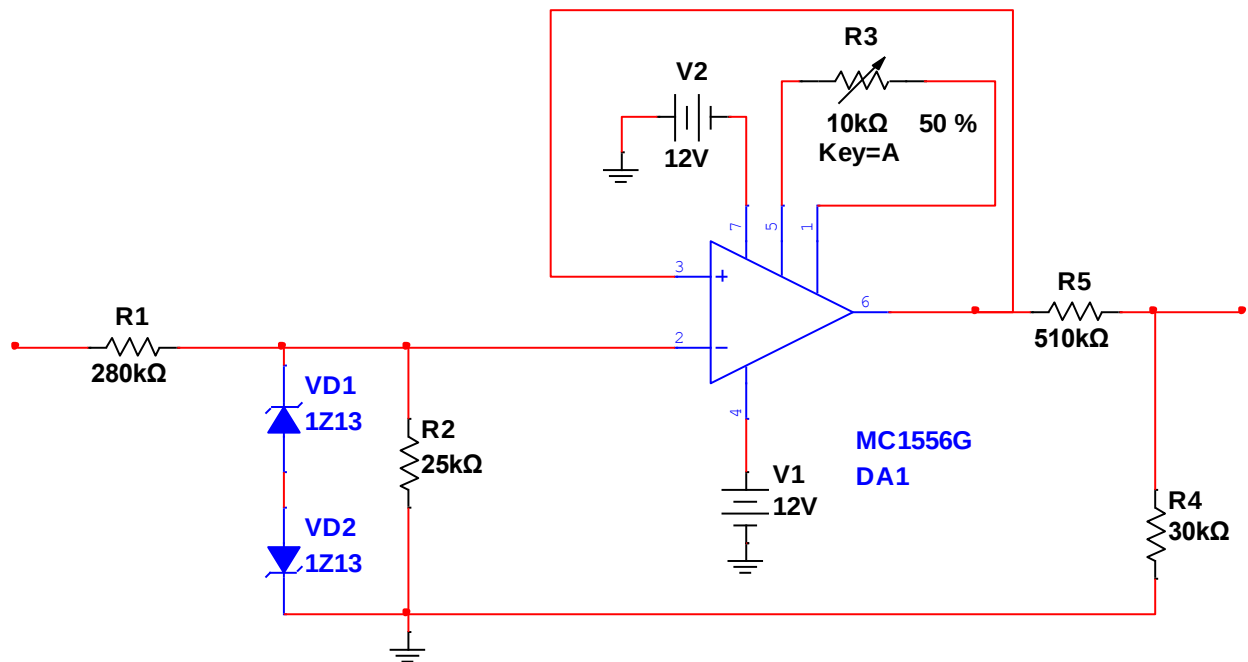


Рисунок 3.6 – Функційна схема апаратної частини низькочастотного осцилографа

Для цього в розроблену принципову схему в середовищі NI Multisim вводимо моделі генератора вхідних сигналів FXG1 та осцилографів FSC1, 2.

Генератор вхідних є джерелом напруги, що формує сигнали синусоїдальної, прямокутної або трикутної форми. На екран виводиться зменшене зображення генератора (рисунок 3.7). Середній вивід генератора сигналів при підключенні до схеми забезпечує спільну точку для формування змінної напруги сигналу. Для відліку напруги відносно землі загальний вивід заземлюють.

Крайні правий і лівий виводи служать для подачі змінної напруги на схему. Напруга на правому виводі змінюється в позитивному напрямку щодо спільного висновку, напруга на лівому виведенні - в негативному. Подвійним клацанням миші на зменшеному зображенні відкривається збільшене зображення генератора. Spase – модель осцилографа в програмі NI Multisim, є аналогом двохпроменевого осцилографа і має просту і більш складну розширену модифікації.

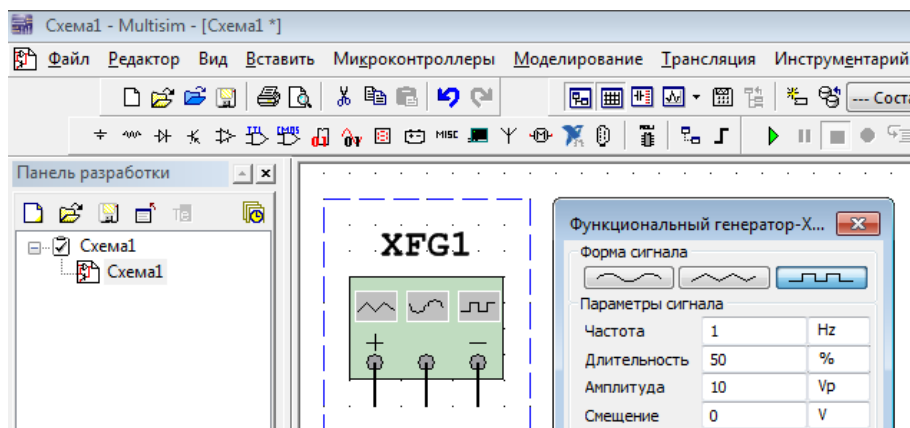


Рисунок 3.7 – Налаштування функціонального генератора

Через те, що розширена модель займає багато місця на робочому полі, рекомендується починати дослідження з моделлю (рисунок 3.8). На піктограмі осцилографа розміщені затискачі А та В для підключення вимірюваних напруг. Затискачі Ext Trig призначення для підключення зовнішньої синхронізації.

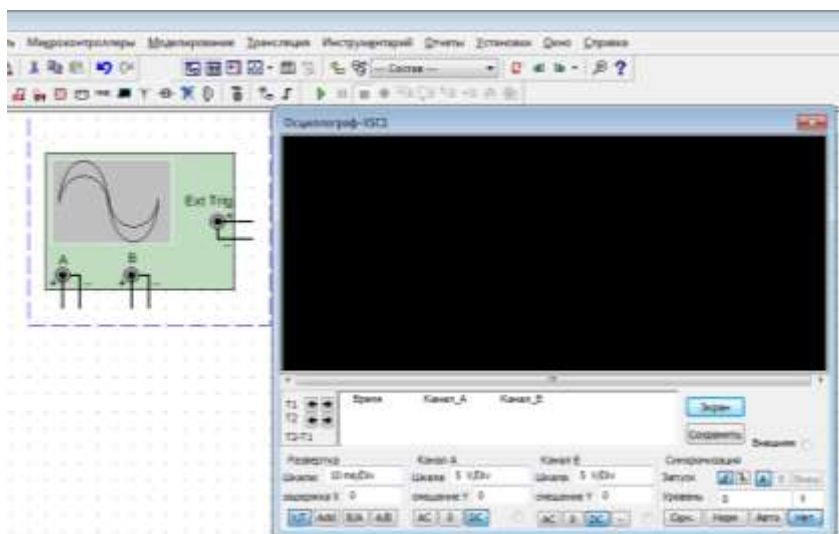


Рисунок 3.8 – Налаштування осцилографа.

На розширеній панелі осцилографа можна задавати діапазови вимірювання вхідних напруг та часових характеристик, налаштування входів (закритий відкритий) та управління синхронізацією розгортки променя. Схема налаштування приведена на рисунку 3.9.

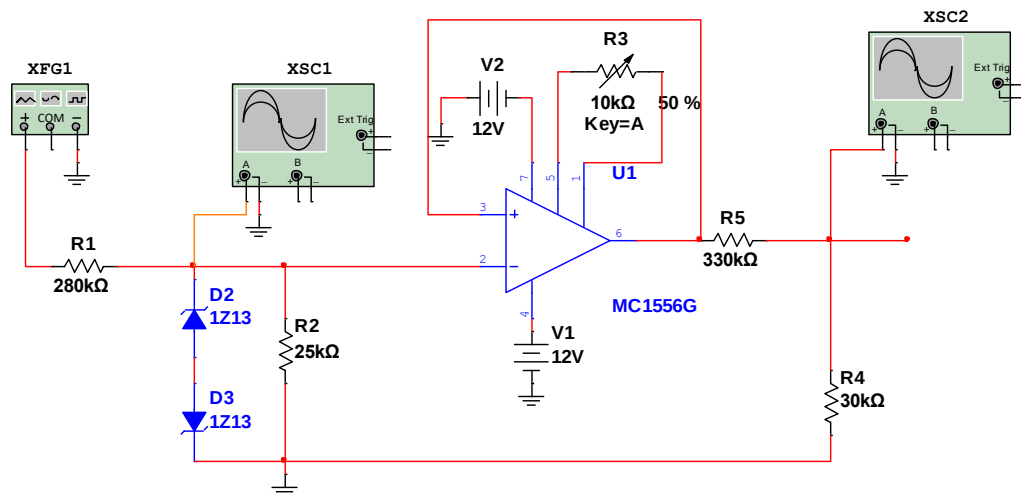


Рисунок 3.9 – Схема налаштування апаратної частини низькочастотного осцилографа

Задавши в генераторі значення входної напруги близько 400В бачимо на осцилограмі (рисунок 3.10), що блок захисту (напруга на R2) обмежується на рівні 14В.

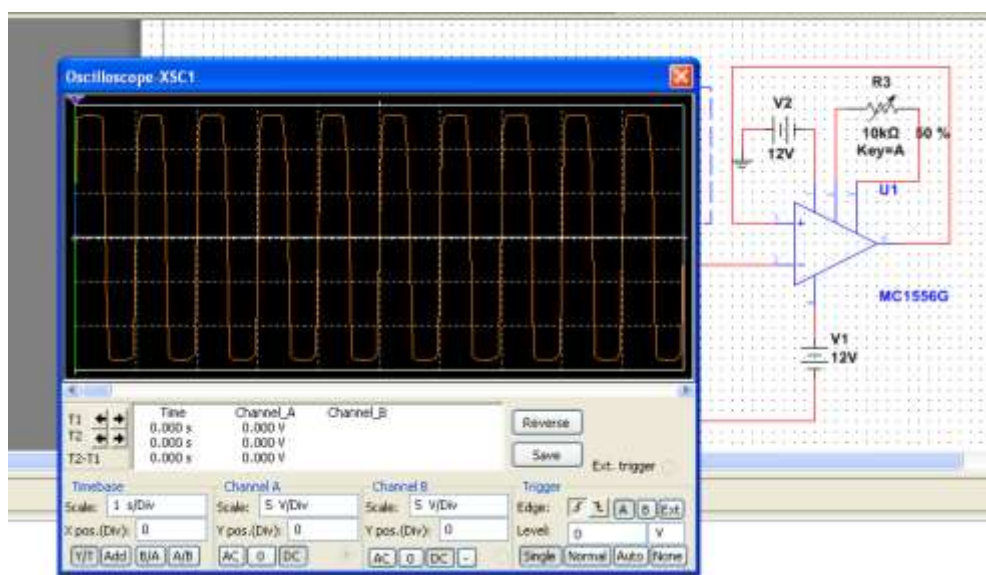


Рисунок 3.10 – Обмеження входної напруги на рівні 13В (блок захисту)

В нормальному режимі, входна напруга менше 300В, наприклад 5В, осцилограма матиме наступний вигляд (рисунок 3.12).

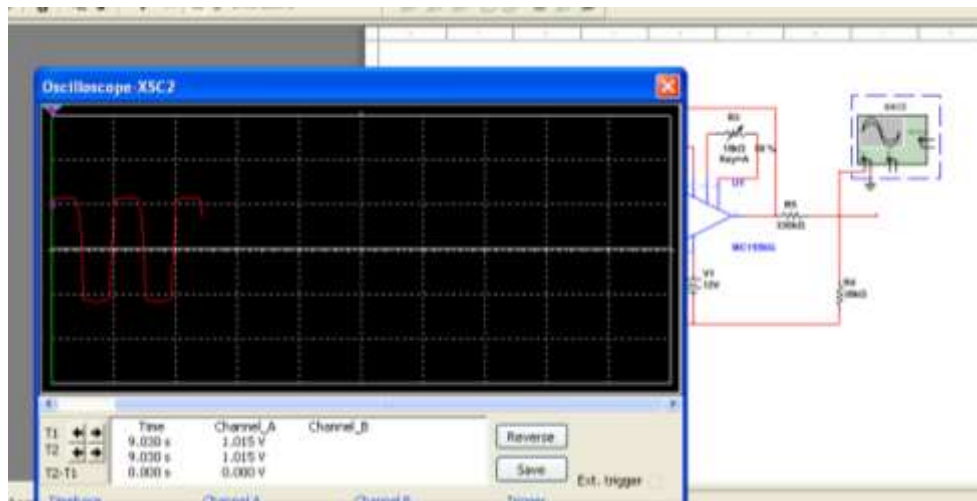


Рисунок 3.11 – Обмеження вхідної напруги на рівні 1В (вхід звукової карти)

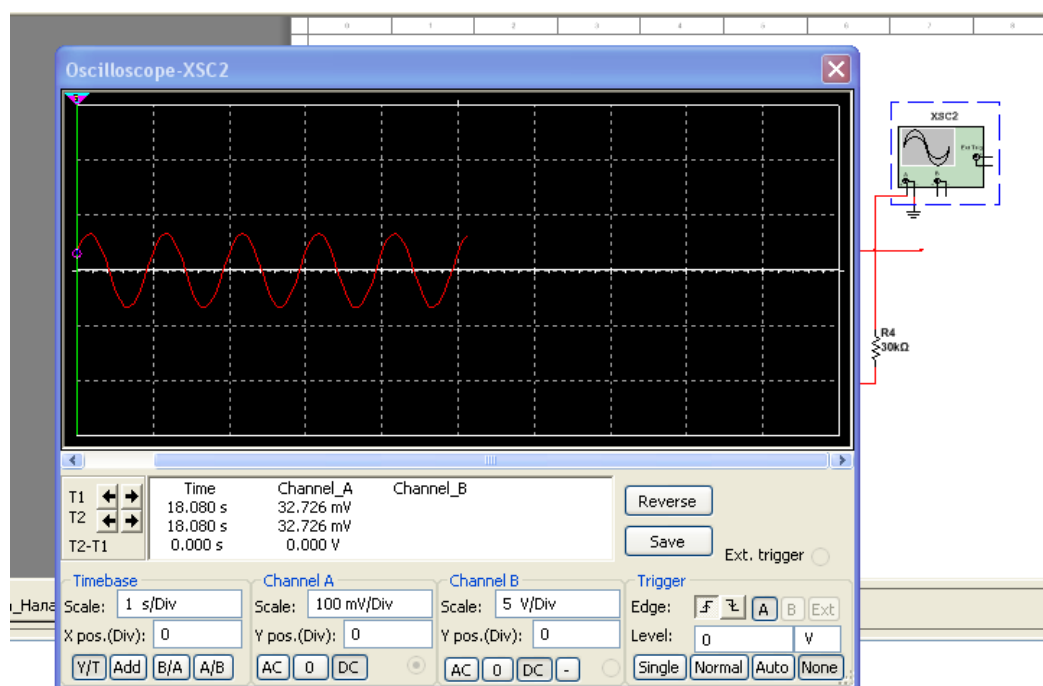


Рисунок 3.12 – Осцилограма на вході звукової карти

Як видно з осцилограми рівень вхідного сигналу становить 100mV . Враховуючи, що номінальний сигнал звукової карти становить 250mV , то низькочастотний осцилограф буде працювати в діапазоні $0...25\text{V}$.

Таким чином, в даному розділі розроблено та налаштовано принципову схему апаратної частини осцилографа.

Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата

3.3 Використання програмного забезпечення для візуалізації електричних сигналів

Щоб відрегулювати осцилограф на базі звукової карти, необхідно зайти в мікшери персонального комп'ютера і відключити посилення на мікрофон, встановити рівень гучності нижче середнього. Отриманий вимірювальний пристрій здатний досить чітко промальовувати осцилограму низької частоти, а також визначати частоту сигналу. Підключення апаратної частини до звукової карти персонального комп'ютера здійснюється наступним чином (рисунок 3.13).

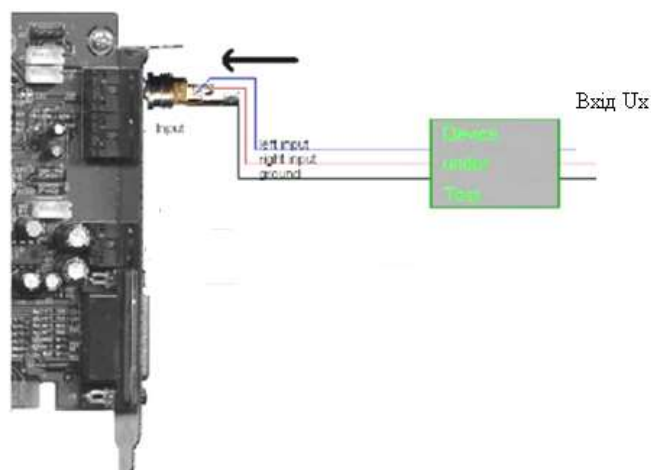


Рисунок 3.13 – Підключення апаратної частини до звукової карти

Інтерфейс програми зручний, простий і має продуману довідкову систему. Будь-яка виміряна діаграма може бути збережена у вигляді картинки (JPG і BMP) або в текстовому файлі для подальшого експорту в Excel. Крім того AudioTester дозволяє роздруковувати досліджувані сигнали або копіювати їх зображення в буфер обміну. Програма AudioTester [12] включає в себе дво- та тривимірний аналізатори спектру (координатні осі: рівень, частота), інструмент для отримання фазочастотних і амплітудно-частотних характеристик, вимірювання імпедансу гучномовців; визначення параметрів Тіля-Смолла обраних динаміків, двоканальний осцилограф, звуковий генератор та смуговий фільтр для входу і виходу. Доступ до перелічених функцій здійснюється через пункт головного

меню Measure (рисунок 3.14). Іншим варіантом є виклик потрібної функції аналізу з додаткової панелі інструментів.



Рисунок 3.14 – Виклик функції аналізу

Головне вікно програми (в режимі осцилографа) містить головне меню, що дозволяє виконувати ранішеперелючені функції (рисунок 3.15).

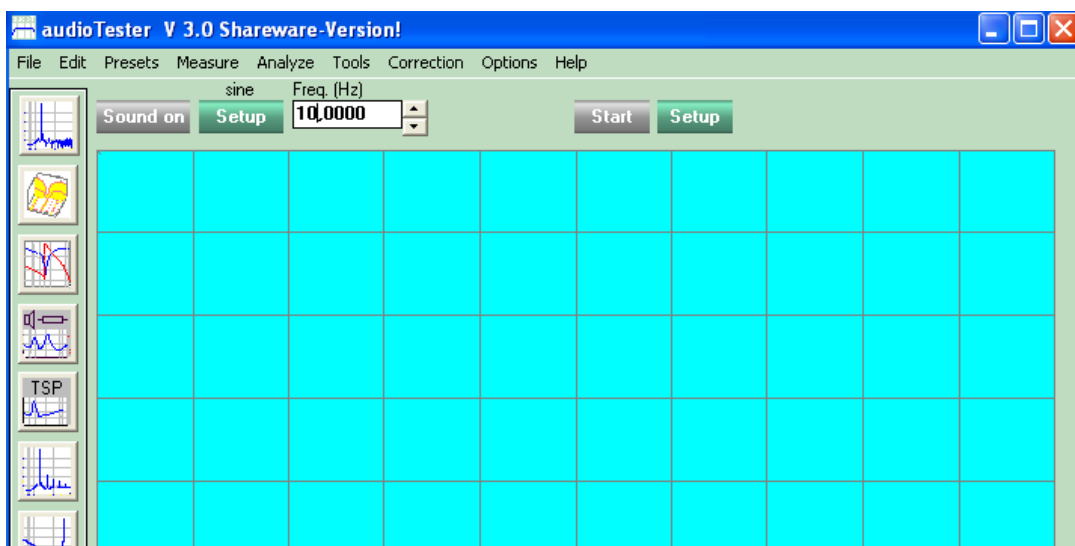


Рисунок 3.15 – Головне вікно програми

Крім того, ця ж можливість надається користувачеві вертикальним меню, що розміщено з лівого боку вікна.

Таким чином, в даному розділі розглянуто питання підключення апаратної частини низькочастотного осцилографа до персонального комп'ютера, відповідного налаштування звукової карти та особливостей застосування пакету Audio Tester v.3.0.

					ДП.МТІР.0643402.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
						50
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

ВИСНОВКИ

В результаті виконання кваліфікаційної роботи на тему «Низькочастотний одноканальний цифровий осцилограф» отримано наступні результати.

1. Аналіз сучасного стану інструментарію для візуального аналізу роботи та налаштування електронних схем в навчальному процесі, зокрема осцилографів, показав, що головною особливістю їх застосування є область невисоких частот і напруг та низькі вимоги до точності відтворення електричного сигналу.
2. Аналіз ринку сучасних осцилографів показав наявність приладів широкого спектру функціональності та високих цінових діапазонів. Разом з тим, внаслідок невисокої вартості, перспективними є розробка осцилографів на базі засобів комп'ютерної техніки, зокрема, мікроконтролерів та на основі звукової карти.
3. Здійснено постановку задачі по створенню осцилографа на базі звукової карти комп'ютера.
4. З метою реалізації поставленої задачі розроблено та обгрунтовано структурну схему осцилографа.
5. Обгрунтовано та здійснено вибір програмного забезпечення осцилографа – AudioTester 3.0.
6. З використанням пакету NI Multisim обгрунтовано вибір компонентів та розроблено принципову електричну схему апаратного адаптера.
7. Розглянуті питання підключення апаратної частини осцилографа до звукової карти та застосування Audio Tester v.3.0 в режимі осцилографа.

ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Карпюк І.О., Воляннюк Т.Ф. Дорошенко О.В. – Інтеграція цифрових приладів в автоматизовані системи вимірювання та моніторингу. Проблемно-наукова міжгалузева конференція «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології (АКІТ - 2025)», Тернопіль, 2025 – с. 71-72.
2. Основи метрології та вимірювальної техніки / Лис, О.М., Якименко, М.В., Шинкаренко [та ін.]. - Львів: Видавництво Львівської політехніки, 2021. – 424 с.
3. Осцилографи та методи вимірювання електричних величин: навч. посібник / Ю.Я. Бобало, Л.А. Недоступ та інші – Л.: Видавництво Львівської політехніки, 2014. – 88с.
4. Jan Axelson. "USB Complete: Everything You Need to Develop Custom USB Peripherals" (5th Ed.) — Madison, WI: Lakeview Research, 2015. — 524 с.
5. Електронний осцилограф - будова, принцип роботи [Електронний ресурс]– Режим доступу - <http://elektrik.info/main/praktika/938-elektronnyy-oscillograf-ustroystvo-princip-raboty.html>.
6. Цифровий осцилограф: огляд основних можливостей - [Електронний ресурс] – Режим доступу - http://ivatv.narod.ru/vvedenie_v_elektroniku/2_11.htm.
7. Tektronix - "How does an oscilloscope work?": [Електронний ресурс] – Режим доступу - <https://www.tek.com/en/what-is-an-oscilloscope>
8. Принцип роботи і будова звукової карти. [Електронний ресурс] – Режим доступу - <http://www.avs-info.ru/main/printsip-raboty-i-ustroystvo-zvukovoy-kartyi.html>
9. Осциллограф з звуковой карты. [Електронний ресурс] – Режим доступу - <http://www.illari.ru/electro/osc/>.

					ДП.МТІР.0643402.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		52

- 10.Мюллер У. Программи функціональних віртуальних пристроїв.
[Електронний ресурс] – Режим доступу - http://www.audiotester.de/Audt30_eng.pdf.
- 11.Бабич М.П. Комп'ютерна схемотехніка: Навчальний посібник. / М.П. Бабич, І.А. Жуков – К.: «МК-Прес», 2004.- 412с.
12. Недоступ Л.А. Осцилографи та осцилографичні методи вимірювання: навч посібник – К.: - ІСВ ДО, 2013 – 43с.
- 13.Keysight Technologies - "What is a Digital Oscilloscope?": - [Електронний ресурс] – Режим доступу - <https://www.keysight.com/us/en/solutions/test-and-measurement-basics/oscilloscopes/what-is-a-digital-oscilloscope.html>
- 14.Рябенський В.М. Цифрова схемотехніка: Навчальний посібник. / В.М. Рябенський, В.Я. Жуйков, В.Д. Гулий. – Львів: «Новий світ - 2000», 2009. - 736с.
- 15.Програмування Arduino / [Електронний ресурс]. / Режим доступу - <https://forum.arduino.ua/viewforum.php?id=1>. - Дата доступу – 08.05.2025.
- 16.Теоретические основы информационно-измерительных систем: Учебник / В.П.Бабак, С.В.Бабак, В.С.Еременко и др.; под ред. чл.-кор. НАН Украины В,П,Бабака. – К., 2014. – 832с.