

**Кириичук Д.Л.**

Херсонський національний технічний університет

**Болотін О.А.**

Херсонський національний технічний університет

**Ляшенко О.М.**

Херсонський національний технічний університет

## РОЗРОБЛЕННЯ ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ДЛЯ ТЕСТУВАННЯ ЯКОСТІ АНАЛОГОВИХ ТА ЦИФРОВИХ ТРАКТІВ ЗВУКОВОЇ АПАРАТУРИ

*У роботі розроблено програмний додаток для тестування якості аналогових та цифрових трактів звукової апаратури.*

*До основних функціональних можливостей програмного додатку можна від ести: побудову амплітудно-частотних характеристик, фазочастотних показників, перехідних показників, групового часу затримки, залежності нелінійних спотворень від частоти, вимірювання частотної характеристики сигналу збудження у вигляді ступінчастої синусоїди з високим динамічним діапазоном та високою стійкістю до перешкод, оцінку гармонічних спотворень 2, 3, 4, 5 та вищого порядку.*

*В роботі запропоновано архітектуру програмного додатку.*

*Програмний модуль «Системні бібліотеки» використовує бібліотечні функції та залежить від наступних системних бібліотек: `gdi32.dll`, `user32.dll`, `kernel32.dll`, `comctl32.dll`, `comdlg32`, `ole32.dll`.*

*Програмний модуль «Sources» має у складі такі модулі: головний модуль програми `main.c`, модуль обробки даних `data.c`, модуль відображення інформації `form.c`, модуль обробки даних `four.c`, модуль роботи із аудіо файлами `wav.c`.*

*Модуль `main` створено для запуску головної програми та обробки повідомлень від миші, клавіатури та внутрішніх дій. Він описує дві головні функції програмного додатку: оброблювач повідомлень та головна функція – точка запуску програми.*

*Модуль `wav` створено для роботи із звуковими файлами у форматі RIFF WAVE.*

*Модуль `form` створено для опису дій з відображення інформації на формі. В модулі описано функції: ініціалізації форми, оновлення зображення на формі, створення буферного зображення, ініціалізації форми відкриття файлу та ін.*

*Модуль `four` створено для реалізацій методів обробки даних. В модулі описано функції: виділення та звільнення пам'яті під масиви чисел `trf` бібліотеки `gtr`, перетворення даних із комплексного виду у амплітуду `dB` для відображення, реалізовані функції обробки масивів `trf` даних: обчислення вікна Хана та аналізу Фур'є. Також в модулі реалізовано функції для обчислення синуса та косинуса заданого кута.*

*Для розробки програмного додатку було обрано крос-платформне середовище розробки `Code::Blocks` та мову програмування `C`.*

**Ключові слова:** цифровий тракт, звукова апаратура, програмний додаток, аналіз Фур'є, вікно Хана.

**Постановка проблеми.** Цифровий тракт – це комплекс технічних засобів, призначений для передачі цифрових сигналів нормалізованого числа цифрових каналів зі швидкістю передачі, властивою даному тракту передачі [1].

Звукові карти здійснюють перетворення звуку з аналогової форми в цифрову.

Основні характеристики звукових карт [1]: набір вхідних і вихідних інтерфейсів, кількість вихідних звукових каналів, характеристики мікшера, коефіцієнти THD і SNR, частота дискретизації аналогового сиг-

налу, розрядність алфавітно-цифрового і цифро-алфавітного перетворювачів, метод (методи) синтезу звуку, ємність пам'яті для зберігання пагчів, підтримка поліфонії і звукових ефектів, тип підключення.

Коефіцієнт THD (Total Harmonic Distortion – загальне гармонічне спотворення) – інтегральний показник, що характеризує нелінійні спотворення. Через нелінійність звукового тракту під час подавання суто синусоїдного сигналу (для вимірювання використовують частоту 1 кГц) на виході виникають додаткові частоти (гармоніки) сигналу [1].

Коефіцієнт SNR (Signal/Noise Ratio – відношення сигнал/шум), який вимірюють у децибелах, показує перевищення рівня сигналу над рівнем шуму (найчутливіші на слух шуми на середніх частотах звукового діапазону). Звукові карти зазвичай мають значення SNR у діапазоні 60...100 дБ [1].

Розроблений програмний додаток є потужним аналізатором сигналів у режимі реального часу, до основних функціональних можливостей якого можна віднести побудову амплітудно-частотних характеристик, фазочастотних показників, перехідних показників, групового часу затримки, залежності нелінійних спотворень від частоти.

#### **Аналіз останніх досліджень і публікацій.**

У роботі [2] здійснено аналіз методів вимірювання амплітудно-частотної характеристики каналів передавання звукової інформації, визначено переваги і недоліки відомих методів вимірювання. Запропонований новий метод вимірювань, який дозволяє швидко отримати крім АЧХ каналу передавання інформації й інші важливі параметри, зокрема, груповий час затримки, коефіцієнт нелінійних спотворень та інші. Показано прилад АПЗТ-02, побудований на запропонованому методі вимірювань параметрів звукових трактів, а також наведено його параметри. Представлено графіки АЧХ, які отримано із використання запропонованого методу.

У роботі [3] проведений аналіз принципів роботи синтезаторів прямого цифрового синтезу та непрямого синтезу сітки частот. Запропоновано схемотехнічні рішення щодо використання синтезаторів у приймальному тракті цифрових приймачів. Проведено аналіз можливостей використання сучасної елементної бази синтезаторів для формування опорних та квадратурних сигналів в тракті приймачів. Наведено аналітичні залежності для опису методів синтезу сітки частот, визначено чинники, які впливають на показники розглянутих методів синтезу. Описано можливості використання синтезаторів гібридного синтезу, в якому поєднано прямий цифровий синтез та непрямий аналоговий синтез сітки частот. Засобами імітаційного моделювання Matlab-Simulink досліджено контрольні сигнали в імітаційній схемі синтезатора непрямого синтезу та спектральний склад квадратурних сигналів на виході генератора з числовим програмним керуванням.

У роботі [4] проведено оцінку якості звуку (мовлення та аудіо) за допомогою структури, що заснована на рекомендаціях International Telecommunication Union (ITU). Методи, що вико-

ристовувалися в роботі [4], включали P.800 (опи-сує шкалу MOS), P.862 (PESQ), P.862.2 (W-PESQ) і P.563 для мови та BS.1116, BS.1534 і BS.1387 (PEAQ) для загальних аудіосигналів.

Також в роботі [4] було проведено експерименти, щоб проілюструвати рекомендовану методологію для порівняння об'єктивних і суб'єктивних методів оцінювання з метою перевірки різних реалізацій даного методу.

У роботі [5] запропоновано нову структуру для оцінки якості звуку для пошуку живої музики в мережі Інтернет.

Також в роботі [5] було оцінено три LTR моделі з різними наборами аудіо функцій з точки зору продуктивності в рейтингу на основі різних аспектів якості аудіо. Експериментальні результати показали, що запропоновані підходи в роботі [5] можуть ефективно ранжувати записи живої музики за якістю звуку.

**Формулювання цілей статті.** Метою статті є розроблення програмного забезпечення для тестування якості аналогових та цифрових трактів звукової апаратури.

#### **Виклад основного матеріалу.**

Програмний додаток призначено для вимірювання імпульсів, він є потужним аналізатором сигналів у режимі реального часу.

До основних функціональних можливостей програмного додатку можна віднести такі:

1. Побудова амплітудно-частотних характеристик (АЧХ), фазо-частотних показників, перехідних показників, групового часу затримки, залежності нелінійних спотворень від частоти.

2. Вимірювання частотної характеристики сигналу збудження у вигляді ступінчастої синусоїди з високим динамічним діапазоном та високою стійкістю до перешкод. Одночасно виконується оцінка гармонічних спотворень 2, 3, 4, 5 та вищого порядку.

3. Вимірювання імпедансу низько- та середньо частотних динаміків.

У програмному додатку також здійснюється вимір таких значень: напруга на виході підсилювача, кількість фрагментів на період тестового сигналу, частота дискретизації, тип періодичного шумового сигналу, рівень тестового сигналу, частота зрізу, вимірювальний канал, кількість вимірювань для методу усереднення імпульсної характеристики та багато іншого.

Для графіків АЧХ є опції, що дозволяють змінювати ступінь згладжування та використовувати для побудови два часові вікна. Присутня функція калібрування вимірювального комплексу, а також одно- та двоканальний аналізатор Фур'є.

Діаграму варіантів використання програмного продукту подано на рис. 1.

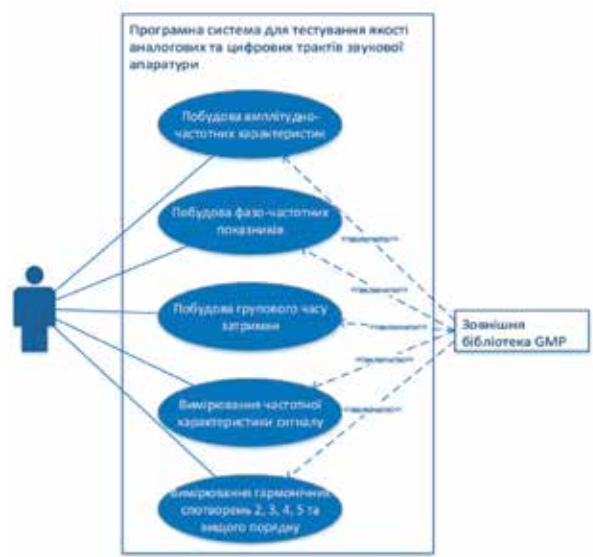


Рис. 1. Діаграма варіантів використання

Архітектуру програмного додатку для тестування якості аналогових та цифрових трактів звукової апаратури подано на рис. 2.

Програмний модуль «Системні бібліотеки» використовує бібліотечні функції та залежить від наступних системних бібліотек: gdi32.dll, user32.dll, kernel32.dll, comctl32.dll, comdlg32, ole32.dll.

Програмний модуль «Програмні бібліотеки» використовує бібліотеку GMP [8-12].

Програмний модуль «Sources» має у складі такі модулі:

1. Головний модуль програми main.c.
2. Модуль обробки даних data.c.
3. Модуль відображення інформації form.c.
4. Модуль обробки даних four.c.
5. Модуль роботи із аудіо файлами wav.c.

Модуль main.c описує основні функції діалогового вікна та оброблювачі подій вікна.

Модуль data.c включає такий перелік бібліотек (рис. 3): <string.h>, <stdio.h>, <math.h>, <windows.h>.

Модуль form.c включає такий перелік бібліотек (рис. 4): <windows.h>, <wingdi.h>, <commdlg.h>, <tchar.h>, <stdio.h>, <math.h>.

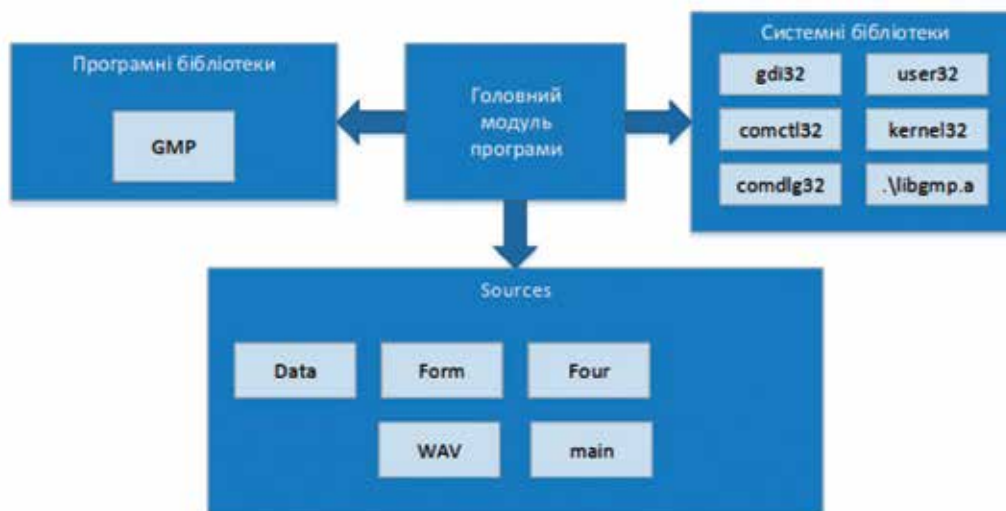


Рис. 2. Архітектура програмного додатку

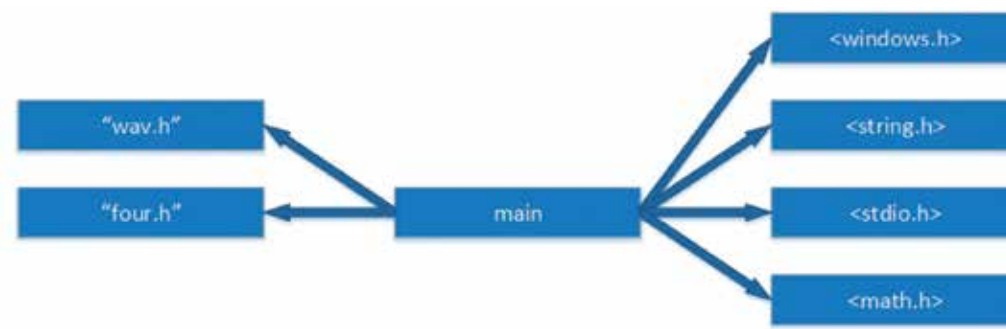


Рис. 3. Бібліотеки модуля data

Модуль four.c включає такий перелік бібліотек (рис. 5): <math.h>, <stdio.h>, <malloc.h>, <stdlib.h>, <string.h>.

Модуль wav.c включає такий перелік бібліотек (рис. 6): <stdint.h>, <stdio.h>.

Модульну структуру програмного додатку подано на рис. 7.

Модуль Wav (файл Wav.h – опис модуля, реалізація класу в файлі Wav.c) створено для роботи із звуковими файлами у форматі RIFF WAVE. Описані функції для відкриття PCM аудіо файлу із стерео інформацією у форматах 16/24/32 біта та створення заголовка аудіо файлу.

Модуль main (файл із реалізацією main.c) створено для запуску головної програми та обробки повідомлень від миші, клавіатури та внутрішніх дій. Описує дві головні функції оброблювача повідомлень, та головну функцію – точку запуску програми.

Модуль form (файл form.h – опис модуля, реалізація функцій в файлі form.c) створено для опису дій з відображення інформації на формі. Описані функції: ініціалізації форми, оновлення зображення на формі, створення буферного зображення, ініціалізації форми відкриття файлу та ін.

Модуль four (файл four.h – опис модуля, реалізації

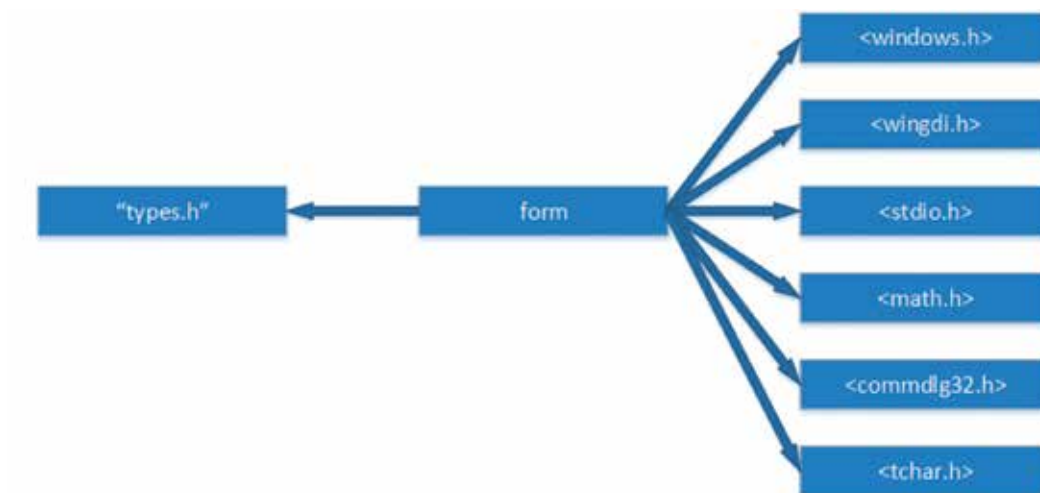


Рис. 4. Бібліотеки модуля form

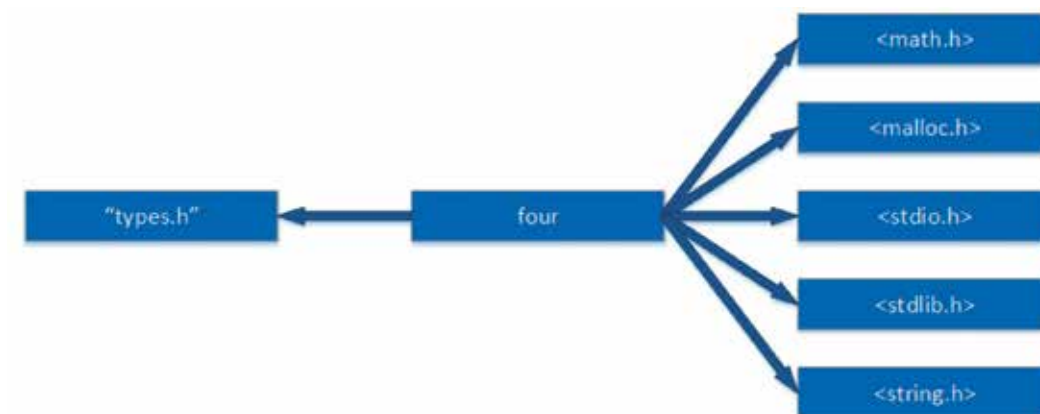


Рис. 5. Бібліотеки модуля four.c

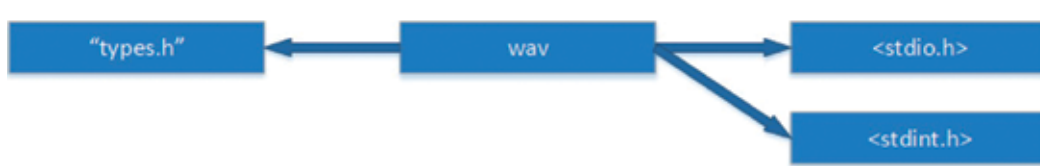


Рис. 6. Бібліотеки модуля wav.c

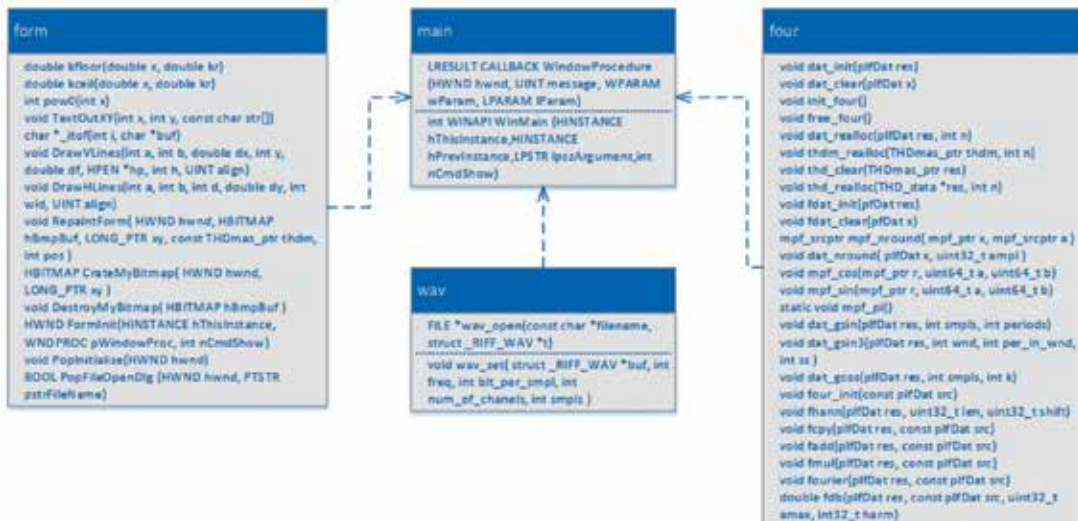


Рис. 7. Модульна структура програмного додатку

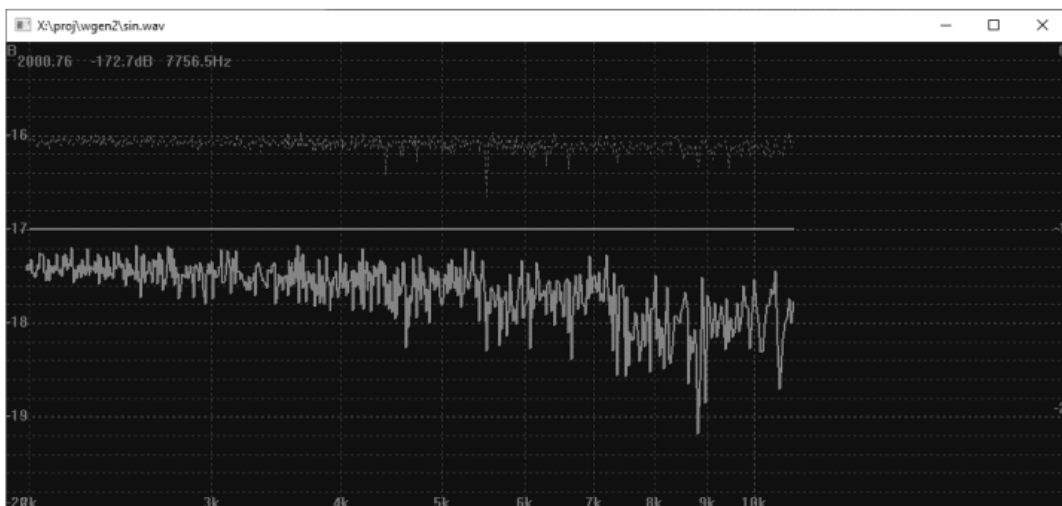


Рис. 8. Аналіз файлу

функцій в файлі four.c) створено для реалізацій методів обробки даних. Описані функції: виділення та звільнення пам'яті під масиви чисел mpf бібліотеки gmp, перетворення даних із комплексного виду в амплітуду dB для відображення, реалізовані функції обробки масивів mpf даних: множення, додавання, копіювання, обчислення вікна Хана та аналізу Фур'є. Також реалізовані функції для обчислення синуса та косинуса заданого кута.

Після запуску програми треба завантажити тестовий файл (функціональна клавіша F3) із сигналом, особливістю такого файлу є наявність конфігураційного файлу із аналогічним ім'ям \*.cfg, який зберігає налаштування і очікувану інформацію.

Також можна зберегти (функціональна клавіша F2) тестовий файл. Налаштування визначаються через параметри командного рядка. При-

клад ідеального результату, який відразу оброблений програмою подано на рис. 8.

На рис. 8 можна відмітити високу добротність (якість) результату із помилками THD на рівні -170 dB, яка обмежена розрядністю 24 біта та додатковим мультисемплінгом.

На рис. 9 подано результат роботи програми на реальному обладнанні Asus Xonar U7.

На рис. 9 можна помітити, що якість системи виявилась набагато гіршою від ідеального випадку, тепер якість збільшується і залежить від частоти сигналу.

Наприклад, на частоті 4 kHz маємо якість на рівні -85 dB. Для порівняння в професійній техніці рівень -100 dB, хоча ця оцінка зазвичай відбувається на частоті 1 kHz.

На рис.10 подано результати для 1 kHz, що становить -97 dB.

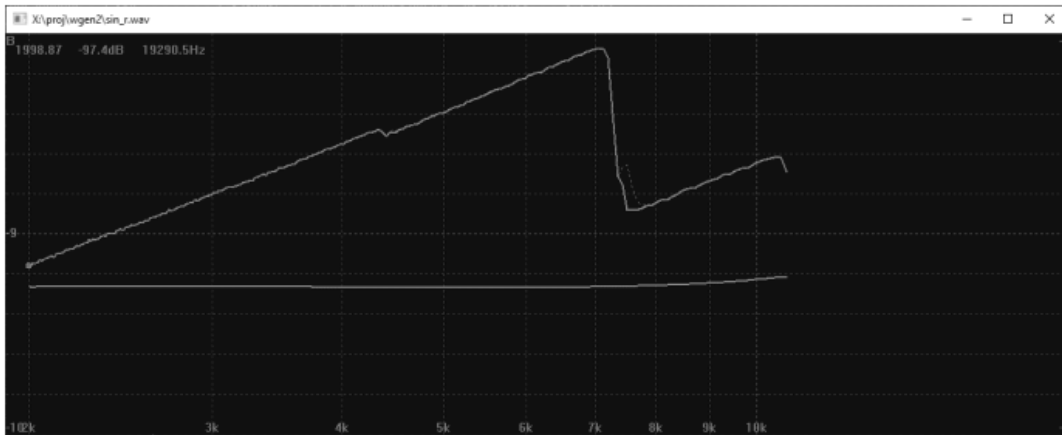


Рис. 9. Аналіз файлу на обладнанні Asus Xonar U7

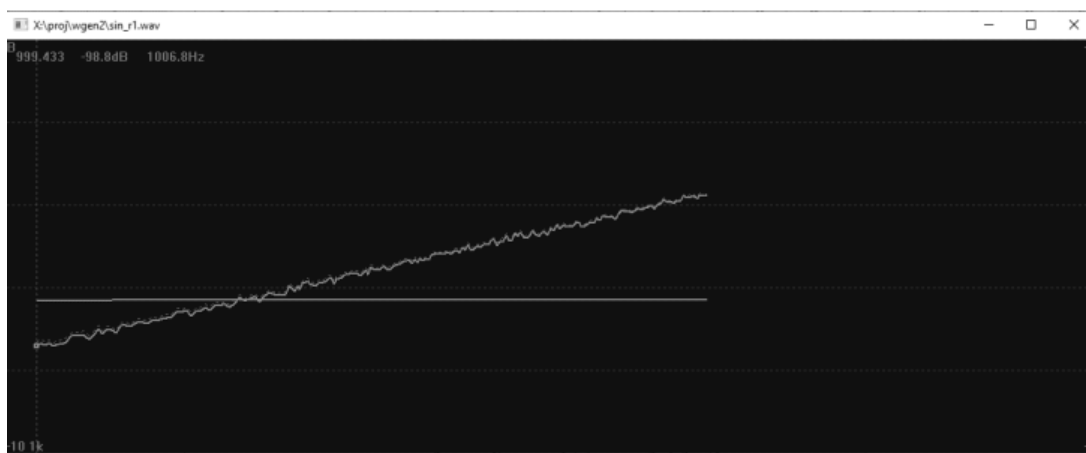


Рис. 10. Додаткова інформація. Результати для 1 kHz

**Висновки.** В роботі розроблено програмний додаток для тестування якості аналогових та цифрових трактів звукової апаратури. Розроблено архітектуру програмного додатку.

Програмний додаток використовує бібліотечні функції та залежить від наступних системних бібліотек: gdi32.dll, user32.dll, kernel32.dll, comctl32.dll,

comdlg32.dll та додаткової бібліотеки роботи із довгою арифметикою із плаваючою крапкою libgmp.a. Також при розробці програмного додатку були використані бібліотечні модулі: windows.h, tchar.h, stdio.h та math.h.

Для розробки програмного додатку було обрано крос-платформне середовище розробки IDE Code::Blocks та мову програмування C.

#### Список літератури:

1. Авдєєнко Г.Л. Конспект лекцій з кредитного модулю «технології радіо та телевізійного мовлення». Частина 1 «Технології радіомовлення». URL:[https://ela.kpi.ua/bitstream/123456789/42577/24/TRTM\\_Konspekt\\_Part\\_1.pdf](https://ela.kpi.ua/bitstream/123456789/42577/24/TRTM_Konspekt_Part_1.pdf) (дата звернення 19.09.22).
2. Азаров О.Д., Гарнага В.А., Крупельницький Л.В., Позняк Д.Ю. Полігармонійні методи вимірювання частотних характеристик звукових каналів і трактів. Міжнародний науково-технічний журнал «Інформаційні технології та комп'ютерна інженерія». 2015. № 2. С. 23-29.
3. Бойко Ю.М., Стецюк В.І. Схемотехнічні особливості використання синтезаторів частот в приймальному тракті цифрових приймачів. *Вісник Хмельницького національного університету*. 2013. № 5. С. 219-231.
4. A. A. de Lima, F. P. Freeland, R. A. de Jesus, B. C. Bispo, L. W. P. Biscainho, S. L. Netto, A. Said, A. Kalker, R. Schafer, B. Lee, and M. Jam. On the quality assessment of sound signals. In Proc. *IEEE International Symposium on Circuits and Systems*, 2008. pp. 416–419. DOI:10.1109/ISCAS.2008.4541443
5. Zhonghua Li, Ju-Chiang Wang, Jingli Cai, Zhiyan Duan, Hsin-Min Wang, Ye Wang. Non-Reference Audio Quality Assessment for Online Live Music Recordings. *Proceedings of the 21st ACM international conference on Multimedia*, 2013. DOI:10.1145/2502081.2502106

**Kyryichuk D.L., Bolotin O.A., Liashenko O.M. DEVELOPMENT OF A SOFTWARE FOR TESTING THE QUALITY OF ANALOG AND DIGITAL PATHS OF SOUND EQUIPMENT**

*A software application for testing the quality of analog and digital paths of sound equipment is developed in the work.*

*The main functional capabilities of the software application include: construction of amplitude-frequency characteristics, phase-frequency indicators, transient indicators, group delay time, dependence of nonlinear distortions on frequency, measurement of the frequency response of the excitation signal in the form of a stepped sine wave with a high dynamic range and high resistance to interference, estimation of harmonic distortions of 2nd, 3rd, 4th, 5th and higher order.*

*The architecture of the software application is proposed in the work.*

*The System Libraries software module uses library functions and depends on the following system libraries: gdi32.dll, user32.dll, kernel32.dll, comctl32.dll, comdlg32, ole32.dll.*

*The "Sources" software module includes the following modules: main program module main.c, data processing module data.c, information display module form.c, data processing module four.c, module for working with audio files wav.c.*

*The main module is designed to run the main program and handle messages from the mouse, keyboard, and internal actions. It describes the two main functions of a software application: the message handler and the main function – the application launch point.*

*The wav module is designed to work with sound files in RIFF WAVE format.*

*The form module was created to describe actions for displaying information on a form. The module describes the following functions: form initialization, updating the image on the form, creating a buffer image, initializing the file opening form, etc.*

*Module four was created for implementations of data processing methods. The module describes functions: allocating and freeing memory for arrays of mpf numbers of the gmp library, converting data from a complex form into dB amplitude for display, implemented functions for processing mpf data arrays: calculating the Hahn window and Fourier analysis.*

*The module also implements functions for calculating the sine and cosine of a given angle.*

*The Code::Blocks cross-platform development environment and the C programming language were chosen for the development of the software application.*

**Key words:** *digital path, sound equipment, software application, Fourier analysis, Hahn window.*