

С. П. Кононов, В. Д. Тромсюк

Цифрове відео- та аудіокодування

Міністерство освіти і науки України
Вінницький національний технічний університет

С. П. Кононов, В. Д. Тромсюк

Цифрове відео- та аудіокодування

Лабораторний практикум

Вінниця
ВНТУ
2017

УДК [621.396.97+621.397.6](075)

ББК [32.844+32.94]я73

К64

Рекомендовано до друку Вченою радою Вінницького національного технічного університету Міністерства освіти і науки України (протокол № 3 від 29.09.2016 р.)

Рецензенти:

О. Б. Шарпан, доктор технічних наук, професор

О. В. Осадчук, доктор технічних наук, професор

С. М. Злєпко, доктор технічних наук, професор

Кононов, С. П.

К64 Цифрове відео- та аудіокодування : лабораторний практикум
/ С. П. Кононов, В. Д. Тромсюк. – Вінниця : ВНТУ, 2017. – 71 с.

В лабораторних роботах практикуму розглянуто питання цифрового кодування зображень та звуку, програмної обробки та запису звуку. Проаналізовано способи багатопозиційної цифрової модуляції мовних сигналів, наведено методики визначення основних параметрів пристроїв відтворення звуку. Практикум розроблений згідно з планом кафедри та програмою дисципліни "Цифрове відео-, аудіокодування". Практикум стане в нагоді студентам спеціалізацій "Апаратура радіозв'язку, радіомовлення і телебачення", "Радіотехніка", "Телекомунікаційні системи та мережі", також буде корисним викладачам і фахівцям.

УДК [621.396.97+621.397.6](075)

ББК [32.844+32.94]я73

© С. Кононов, В. Тромсюк, 2017

ЗМІСТ

1 ЗАГАЛЬНІ ПОЛОЖЕННЯ.....	4
2 ОФОРМЛЕННЯ ЗВІТУ.	5
3 ЛАБОРАТОРНІ РОБОТИ.....	7
3.1 Лабораторна робота № 1 "Цифрова обробка зображень за допомогою програми Digital Imaging Processing"	7
3.2 Лабораторна робота № 2 "Цифрова обробка звукових сигналів".....	19
3.3 Лабораторна робота № 3 "Цифрова фільтрація зображень".....	24
3.4 Лабораторна робота № 4 "Дослідження параметрів та характеристик КД програвача".....	28
3.5 Лабораторна робота № 5 "Дослідження квадратурно-амплітудної маніпуляція та відносно-фазової маніпуляція"	37
3.6 Лабораторна робота № 6 "Комп'ютерна обробка звуку за допомогою аудіоредактора Sound Forge".....	50
3.7 Лабораторна робота № 7 "Визначення основних параметрів пристрою запису мовного сигналу"	59
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ.....	67
СЛОВНИК НАЙБІЛЬШ ВЖИВАНИХ ТЕРМІНІВ.....	69

1 ЗАГАЛЬНІ ПОЛОЖЕННЯ

Метою виконання студентами лабораторних робіт є закріплення ними основних положень теорії курсу та набуття практичних навичок щодо роботи із звукотехнічними та радіо-, телемовними системами, пристроями, їх вузлами, ознайомлення із методикою цифрового кодування аудіо-, відео-сигналів (digital encoding of audio- and video signals), вимірювання основних параметрів цифрових кодеків.

У процесі лабораторних занять студенти повинні навчитись правильно оцінювати результати досліджень, свідомо встановлювати межі застосування теоретичних положень і розуміти причини можливих розбіжностей результатів експерименту та відповідних положень теорії.

Перед виконанням роботи викладач перевіряє знання студентів, їх підготовку до роботи. Студент повинен:

- розуміти фізику явищ, що вивчаються у лабораторній роботі;
- знати схеми та алгоритми, за допомогою яких виконуються дослідження, і методики проведення експериментів;
- вміти правильно користуватись вимірювальною апаратурою і комп'ютерним обладнанням;
- ясно уявляти результати дослідів, які очікуються, вміти їх пояснити.

Лабораторну роботу виконує бригада студентів, що складається, в середньому, з 3–4 чоловік.

Кожен студент зобов'язаний активно брати участь у проведенні експериментальних досліджень.

Перш ніж розпочати дослідження, слід перевірити на функціонування обладнання, правильно з'єднати вимірювальні прилади з досліджуванним обладнанням або лабораторним макетом. Обов'язково слід проконтролювати правильність підключення джерела живлення.

У випадку виявлення пошкоджень треба звернутись до викладача і під його наглядом разом з лаборантом знайти та усунути пошкодження. Складні пошкодження, що потребують розкриття апаратури, усувають тільки працівники лабораторії.

Попередній протокол результатів досліджень треба вести у спеціально заведених з цією метою зошитах і супроводжувати їх відповідними роздрукованими таблицями, рисунків та графіків. Обов'язково фіксують всі умови проведення експериментів (рівні сигналів, перешкод і шумів, частоти і т. п.). Треба вказувати типи і заводські номери комп'ютерів, вимірювальних приладів та апаратури, що досліджується.

Після закінчення роботи викладач перевіряє і підписує попередній протокол, робить відповідну позначку у своєму журналі.

2 ОФОРМЛЕННЯ ЗВІТУ

Звіт повинен дозволити спеціалісту у галузі радіотехніки та телекомунікацій однозначно уявити зміст та результати здійснених досліджень і зробити висновок про ступінь досягнення мети роботи. Цьому сприяє стилість, наочність оформлення текстового і графічного матеріалу, правильна рубрикація, виконання вимог відповідних стандартів, чіткий взаємозв'язок частин і розділів.

Звіт про виконання лабораторної роботи повинен містити:

- титульний лист, де вказано найменування і номер роботи, групу, прізвища та ініціали студентів і викладача, дату виконання роботи;
- мету роботи;
- перелік обладнання та комп'ютерних програм, за допомогою яких проводиться дослідження ;
- перелік скорочень;
- виконане домашнє завдання;
- програму експериментальних досліджень, тобто хід роботи;
- результати досліджень та їх обробку, таблиці та графіки залежностей, що досліджуються (якщо табличні дані не потребують будь-якої обробки і не потрібні для здійснення інших пунктів програми, то таблиці можна не наводити);
- висновки.

Усі рисунки, схеми і графіки повинні бути пронумеровані та позначені, до якого досліду вони відносяться. Вказують постійні величини, які відображають початкові умови досліду. На координатні осі наносять масштабні позначки і вказують розмірності. Для графічного зображення вимірних характеристик треба вибирати зручні для порівняння масштаби і розмірності (якщо це доцільно – у відносному вираженні). У випадку зміни значень в межах 15–20 дБ і більше зручно використати логарифмічний масштаб.

Графіки залежностей мають бути такими, щоб на них чітко було видно точки, одержані під час експерименту. Оскільки є похибки вимірювань, зняті точки мають деякий розкид. Тому криві слід проводити між ними, опираючись на закономірності явищ, що досліджуються.

Рубрикація звіту означає розбиття його на розділи, підрозділи, пункти. Розділам і підрозділам даються заголовки. Правильна рубрикація спрощує читання і поліпшує розуміння матеріалу звіту, сприяє скороченню його обсягу, зменшує трудомісткість оформлення. Отже, можна значно скоротити текст пунктів розділу "Результати експериментальних досліджень" і заголовки таблиць, зробивши доречне посилання на відповідний пункт розділу "Програма експериментальних досліджень". Аналогічно спрощуються написи до рисунків, графіків, формулювання у розділі "Висновки" та ін. Чітка рубрикація матеріалу звіту полегшує його захист.

У висновках повинні бути:

- об'єктивна оцінка отриманих результатів і залежностей;
- порівняння результатів експерименту з теоретичними положеннями або паспортними даними на обладнання і пояснення, у разі необхідності, можливих причин розходжень результатів дослідів з ними.

Студент не починає виконувати наступну лабораторну роботу, якщо не оформив звіт з попередньої роботи і не виправив його відповідно до зауважень викладача.

3 ЛАБОРАТОРНІ РОБОТИ

3.1 Лабораторна робота № 1 "Цифрова обробка зображень за допомогою програми Digital Imaging Processing"

Мета роботи – ознайомитись з програмою Digital Imaging Processing (DIP) і роботою з нею. Навчитись виконувати просторову цифрову обробку зображення в програмі DIP.

Стислі теоретичні відомості

Можливості програми DIP

DIP – програма обробки цифрових зображень, яка являє собою ідеальне середовище для автоматизованого аналізу та моделювання графічних об'єктів.

Повна версія DIP містить 200 функцій, що дозволяють підвищити ефективність і швидкість обробки зображень: просторова обробка (квантування (quantization), дискретизація (discretization), частотна обробка, трансформація колірного простору, аналіз пов'язаних компонентів, сегментація зображень за допомогою методу вододілу, виділення контурів за методом Canny і Shen-Castan, ретушування, шумозаглушення, операції з морфологією зображень, ітераційне і неітераційне відновлення зображень, спектральний аналіз (spectral analysis) і багато іншого.

Дискретизація зображень

Дискретизація сигналу – це перетворення неперервного аналогового сигналу в послідовність його значень в дискретні моменти часу [1, 2]. Ці значення називаються відліками. Заміну зображення дискретним можна виконати різними способами. Найбільш поширеною є періодична дискретизація з прямокутним растром (рис. 3.1). Такий спосіб дискретизації може розглядатися як один з варіантів застосування ортогонального базису, що використовує як свої елементи зсуву δ -функції [3].

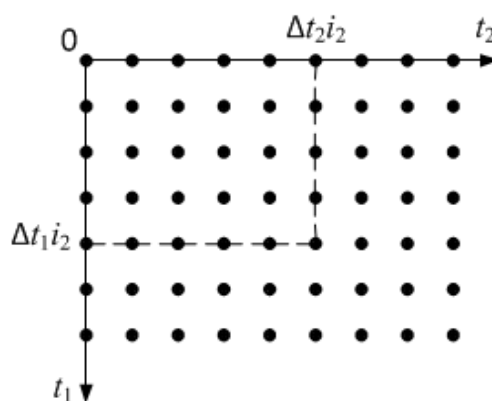


Рисунок 3.1 – Розміщення відліків при прямокутній дискретизації

Двовимірний спектр дискретного зображення є прямокутно-періодичним з періодами $2\pi/\Delta t_1$ і $2\pi/\Delta t_2$ по осях частот відповідно Ω_1 і Ω_2 . Спектр дискретного зображення $X(\Omega_1, \Omega_2)$ утворюється в результаті підсумовування нескінченної кількості спектрів $X_n(\Omega_1, \Omega_2)$ неперервного зображення, які відрізняються одне від одного частотними зсувами $2\pi/\Delta t_1$ і $2\pi/\Delta t_2$ (рис. 3.2).

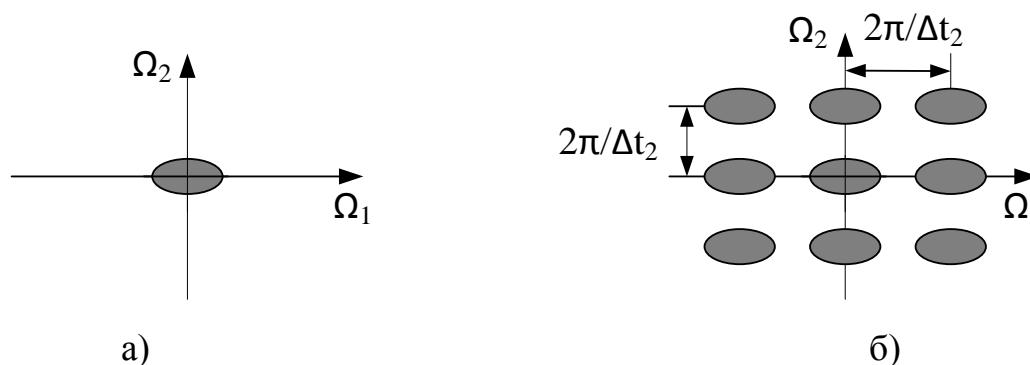


Рисунок 3.2 – Частотні спектри неперервного (а) і дискретного зображень (б)

Вплив інтервалів дискретизації на відновлення зображень наведений на рис. 3.3. Зображення, яке являє собою відбиток пальця (рис. 3.3, а), має один з перетинів нормованого спектру (рис. 3.3, б). Дане зображення є дискретним, а як граничну частоту використано значення $\omega_{cp} = 2\pi \cdot 128$. Рівень складових спектра на цій частоті досить малий, що гарантує якісне відтворення зображення.

Наслідки від неправильного вибору інтервалів дискретизації можна побачити на рис. 3.3, в, г. При їх отриманні здійснювалася "дискретизація неперервного" зображення (рис. 3.3, а) шляхом проріджування його відліків. Зображення (рис. 3.3, в) відповідає збільшенню кроку дискретизації по кожній координаті в три, а зображення (рис. 3.3, г) – в чотири рази. Це було б припустимо, якби значення граничних частот були меншими в таке ж число разів. У дійсності, як видно з рис. 3.3, б, відбувається порушення вимог теореми Котельникова, особливо грубе при чотириразовому проріджуванні відліків. Тому відновлені за допомогою алгоритму двовимірної функції Найквіста [3, 7] зображення виявляються не тільки розфокусованими, але і сильно спотворюють текстуру відбитка.

На рис. 3.4 наведена аналогічна серія результатів, отриманих для зображення типу "портрет" [3]. Наслідки більш сильного проріджування (у чотири рази на рис. 3.4, в і в шість разів на рис. 3.4, г) проявляються в основному, у втраті чіткості. Суб'єктивно втрати якості виявляються менш значними, ніж на рис. 3.3. Це знаходить своє пояснення в значно меншій ширині спектра, ніж у зображення відбитка пальця. Дискретизація вихідного зображення відповідає граничній частоті $\omega_{gp} = 2\pi \cdot 86$. Як видно з

рис. 3.4, б, це значення набагато перевищує реальну граничну частоту. Тому збільшення інтервалу дискретизації (рис. 3.4, в, г) хоча і погіршує картину, все ж не призводить до таких руйнівних наслідків, як у попередньому прикладі.

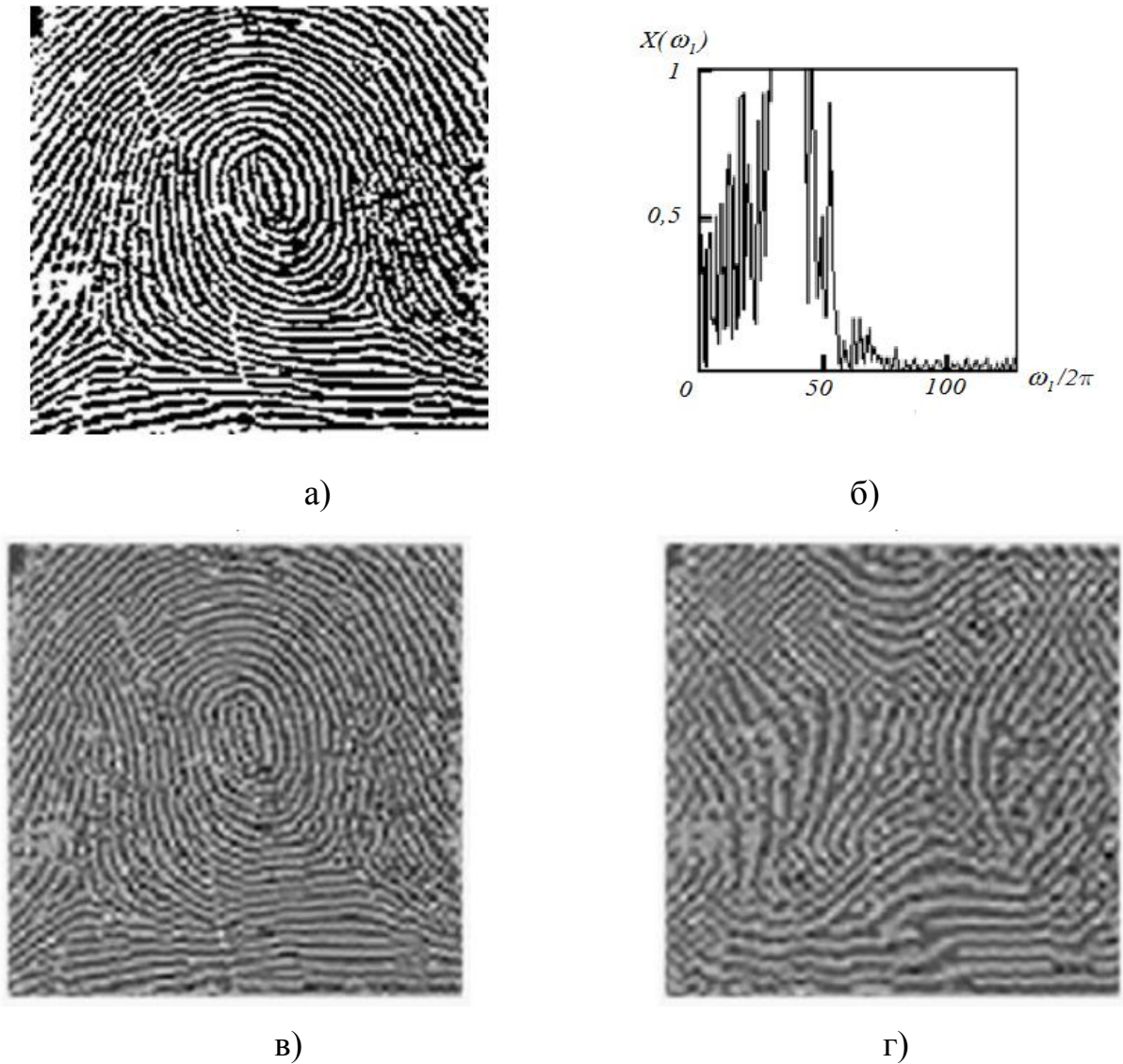


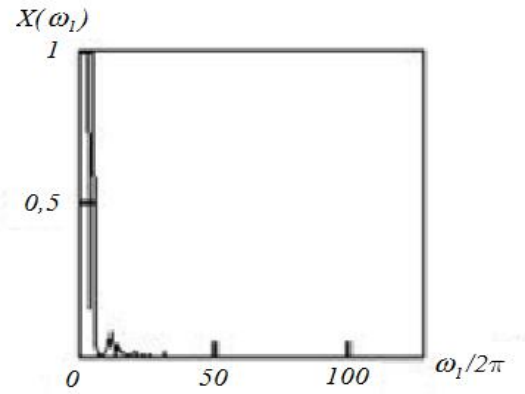
Рисунок 3.3 – Вплив інтервалу дискретизації на відновлення нерухомих зображень "Відбиток пальця"

Двовимірний характер зображення порівняно зі звичайними сигналами містить додаткові можливості оптимізації цифрового подання з метою скорочення обсягу одержуваних цифрових даних.

Слід сказати, що в переважній більшості випадків на практиці застосовують дискретизацію, основану на використанні прямокутного растра, і рівномірне квантування яскравості. Це пов'язано з простотою виконання відповідних операцій.



а)



б)



в)



г)

Рисунок 3.4 – Вплив інтервалу дискретизації на відновлення зображення "Портрет"

Квантування зображень

Квантування – це розбиття діапазону значень неперервної або дискретної величини на кінцеву кількість інтервалів [4–6].

При цифровій обробці зображень неперервний динамічний діапазон значень яскравості ділиться на ряд дискретних рівнів. Квантувач перетворює неперервну змінну x в дискретну змінну $x_{кв}$, яка набуває кінцевої множини значень $(r_1...r_L)$ [1]. Ці значення називаються рівнями квантування (quant (quantization levels)). В загальному випадку процес перетворення описується ступінчастою функцією (рис. 3.5). Якщо яскравість x відліку зображення належить інтервалу $(d_j...d_{j+1})$ (тобто, коли $d_j < x \leq d_{j+1}$), то початковий відлік замінюється на рівень квантування r_j . При цьому припускається, що динамічний діапазон значень яскравості обмежений і дорівнює $[d_1...d_{L+1}]$.

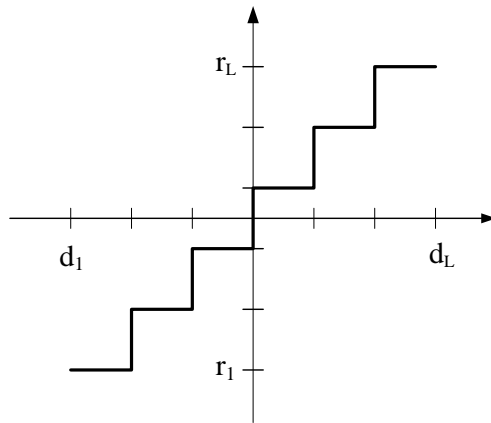


Рисунок 3.5 – Функція, яка описує процес квантування

Задача квантування полягає у визначенні значень порогів d_j і рівнів r_j . Найпростіший спосіб розв'язання цієї задачі полягає в розбитті динамічного діапазону на однакові інтервали. Однак таке квантування не є найкращим. Наприклад, якщо значення яскравості більшості відліків зображення згруповані, наприклад, в "темній" області та кількість рівнів L обмежено, то вигіднішим є нерівномірне квантування. В "темній" області потрібно квантувати частіше, а в "світлій" рідше. Це дозволить зменшити похибку квантування [5].

У системах цифрової обробки зображень прагнуть зменшити кількість рівнів і порогів квантування тому, що від цього залежить довжина двійкового кодового слова. Однак, при відносно невеликому числі рівнів на проквантованому зображенні з'являються помилкові контури. Вони виникають внаслідок стрибкоподібної зміни яскравості квантованого зображення (рис. 3.6) і особливо помітні на пологих ділянках її зміни [3].

Помилкові контури значно погіршують візуальну якість зображення, тому зір людини особливо чутливий саме до контурів. Для рівномірного квантування (uniform quantization) типових зображень потрібно не менше 64 рівнів. Результати рівномірного квантування зображення з 256 і 14 рівнями квантування, відповідно, наведені на рис. 3.7, а, б.

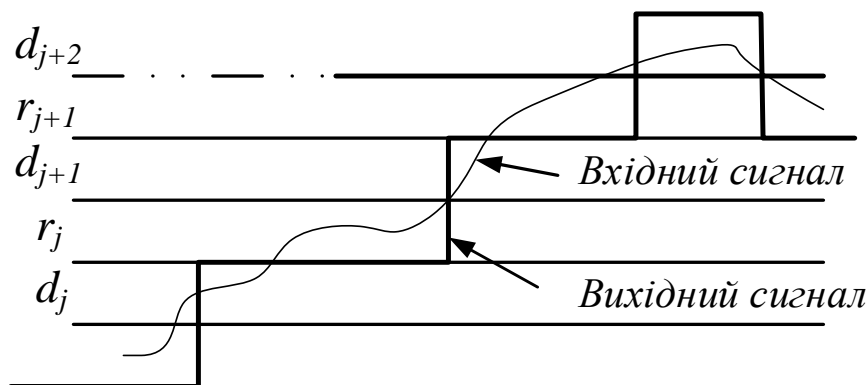


Рисунок 3.6 – Механізм виникнення контурів



а)



б)

Рисунок 3.7 – Вплив рівномірного квантування

У темних частинах зображення на рис. 3.7, б помітні помилкові контури. Використання нерівномірного квантування дозволяє суттєво знизити їх рівень (рис. 3.8, для 14 рівнів квантування). Гістограма яскравості зображення при 256 рівнях квантування і відмічені пороги d_j при $L+1 = 15$ наведені на рис. 3.9. Із рисунка видно, що частіше квантуються ті області динамічного діапазону, в яких згруповані значення яскравості відліків.

Для нерівномірного квантування (non-uniform quantization), яке не може бути виконане за допомогою стандартного АЦП (analog to digital converter), використовують нелінійні перетворення (рис. 3.10). Відлік x початкового зображення підлягає нелінійному перетворенню, щоб густина розподілення імовірностей перетворених відліків y була рівномірною, тобто виконується процедура еквалізації. Потім відліки квантуються з рівномірним кроком і піддаються зворотному нелінійному перетворенню.



Рисунок 3.8 – Результат нерівномірного квантування

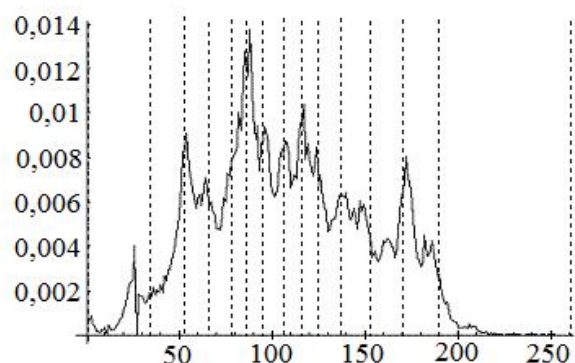


Рисунок 3.9 – Гістограма зображення "Портрет"

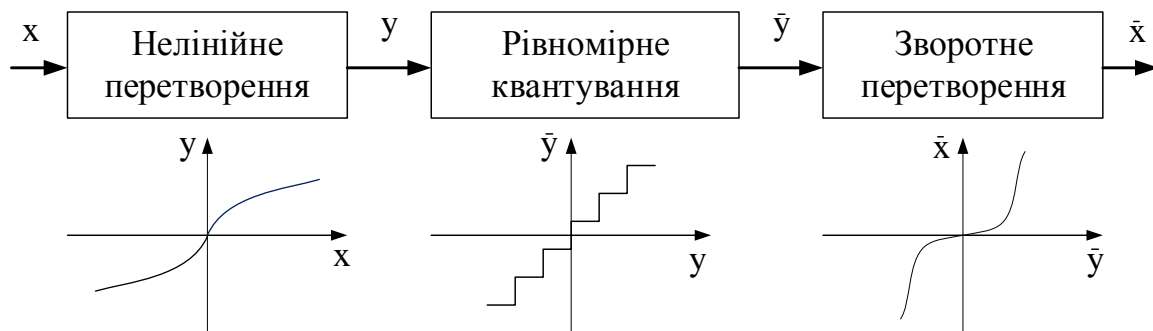


Рисунок 3.10 – Квантування з попереднім нелінійним перетворенням

Для руйнування неправильних контурів Робертс запропонував перед рівномірним квантуванням до відліків яскравості додавати шум з рівномірною щільністю розподілення імовірностей. Дисперсія доданого шуму повинна бути невеликою, щоб не призвести до спотворень, які сприймаються як "сніг" на зображенні. Зазвичай використовують рівномірно розподілений шум на інтервалі $[-\Delta/2, \Delta/2]$. Результати рівномірного квантування з рівнями зображення $m = 14$ і $m = 8$ та додаванням шуму наведені на рис. 3.11, а, б. При рівні квантування $m = 8$ доданий шум стає занадто помітним, однак помилкові контури практично непомітні.

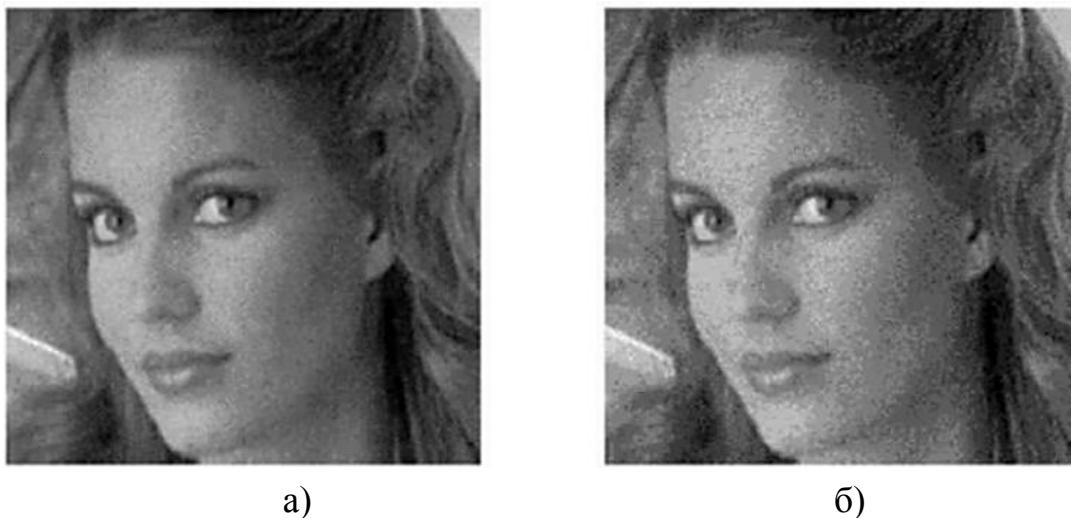


Рисунок 3.11 – Результати рівномірного квантування з попереднім додаванням шуму (а – $m = 8$, б – $m = 14$)

Частотна обробка зображень

Пряме перетворення Фур'є (direct Fourier transform) функції $f(t)$ визначається як комплексна функція [3, 8]:

$$F(i\omega) = \int_{-\infty}^{\infty} f(t)e^{-i\omega t} dt.$$

Обернене перетворення Фур'є (inverse Fourier transform) задається виразом:

$$f(t) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} F(i\omega)e^{i\omega t} di\omega.$$

Перетворення Фур'є застосовуються для отримання частотного спектра неперіодичної функції, наприклад, електричного сигналу, тобто для подання сигналу у вигляді суми гармонічних коливань.

Дискретне перетворення Фур'є (ДПФ, direct discrete Fourier transform) – це математична процедура, що використовується для визначення гармонічного або частотного складу дискретних сигналів. ДПФ є однією з найбільш розповсюджених і потужних процедур цифрової обробки сигналів. ДПФ дозволяє аналізувати, перетворювати і синтезувати сигнали такими способами, які неможливі при неперервній аналоговій обробці. Тригонометрична форма подання прямого дискретного перетворення Фур'є:

$$X(m) = \sum_{n=0}^{N-1} x(n)(\cos(2\pi nm/N) - i \sin(2\pi nm/N)),$$

де x_n – відліки сигналу $x(t)$ в дискретних часових точках;

N – кількість вимірювань за період значень сигналу, $n = 0, 1, \dots, N-1$;

$X(m)$ – N комплексних амплітуд гармонік, дійсна амплітуда гармоніки $\frac{|X(m)|}{N}$;

$m = 0, 1, \dots, N-1$ – індекс частоти, частота гармоніки $\frac{m}{T}$.

Обернене дискретне перетворення Фур'є (inverse discrete Fourier transform) має вигляд:

$$X(n) = \frac{1}{N} \sum_{m=0}^{N-1} x(m)(\cos(2\pi nm/N) - i \sin(2\pi nm/N)).$$

Швидке перетворення Фур'є (ШПФ) – швидкий алгоритм обчислення дискретного перетворення Фур'є. Якщо для прямого обчислення дискретного перетворення Фур'є з N точок даних потрібно N^2 арифметичних операцій, то ШПФ дозволяє обчислити такий самий результат, використовуючи $N \cdot \log N$ операцій. Алгоритм ШПФ часто використовується для цифрової обробки сигналів, перетворення дискретних даних з часового у частотний діапазон.

Швидкодія ШПФ може, залежно від N , в сотні разів перевершувати швидкодію стандартного алгоритму. При цьому слід підкреслити, що алгоритм ШПФ є точним. Він навіть точніший стандартного, тому що скорочуючи кількість операцій, він приводить до менших помилок округлення [3].

Однак у більшості алгоритмів ШПФ є особливість: вони здатні працювати лише тоді, коли довжина аналізованого сигналу N є ступенем двійки. Зазвичай це не є великою проблемою, оскільки аналізований сигнал завжди можна доповнити нулями до необхідного розміру. Число N ще називається розміром або довжиною ШПФ.

У випадку зображень, що являють собою двовимірний сигнал, спектром є також двовимірний сигнал. Базисні функції перетворення Фур'є мають вигляд добутків:

$$h_{m_1, m_2}^{\sin}(n_1, n_2) = \cos \frac{2\pi m_1 n_1}{N_1} \cdot \cos \frac{2\pi m_2 n_2}{N_2};$$

$$h_{m_1, m_2}^{\cos}(n_1, n_2) = \sin \frac{2\pi m_1 n_1}{N_1} \cdot \sin \frac{2\pi m_2 n_2}{N_2},$$

де N_1, N_2 – розмір вихідного сигналу, він же – розмір спектра;

m_1, m_2 – індекси частоти або номери базисних функцій (номери коефіцієнтів двовимірного ДПФ, при яких ці функції знаходяться);

n_1, n_2 – змінні аргументи базисних функцій [5].

Ефективний алгоритм обчислення ДПФ зображення полягає в обчисленні одновимірних ШПФ спочатку від всіх рядків, а потім від всіх стовпців зображення.

При частотній фільтрації нерухомих зображень яскравість кожної точки вихідного зображення, спотвореного завадою, замінюється деяким іншим значенням яскравості, при якому вплив завади найменший [5, 9].

Лінійна фільтрація (linear filtering) найбільш часто використовується для приглушення обмеженого за частотою адитивного шуму. При цьому для кожного випадку необхідно синтезувати відповідний фільтр, враховуючи частотний розподіл шумів [5].

Згладжування шуму забезпечується низькочастотною фільтрацією (low-frequency filtration). Істотним недоліком такої обробки є розмивання меж. Для підкреслення меж можна застосувати фільтр верхніх частот. Інший спосіб приглушення шумів на зображенні оснований на застосуванні медіанної фільтрації. Медіанна фільтрація (median filtration) дуже ефективна для обробки зображень, спотворених завадами типу "сіль і перець", тобто, коли на світлому фоні є темні точки ("перець") і на темному фоні світлі точки ("сіль") [5].

Домашнє завдання

1. Ознайомитися з можливостями програми обробки цифрових зображень DIP.
2. Опрацювати теоретичний матеріал з основ дискретизації, квантування, фільтрації зображень.
3. Заготовити три–чотири елементарних зображення (чорний фон, білий фон, дві полоски – чорна і біла) розміром 256×256 у форматі bmp.

Лабораторне обладнання

1. Комп'ютер.
2. Програма DIP.

Хід роботи

Частина 1

1. Запустити програму DIP.
2. Виконати просторову обробку зображення:
 - 2.1. Здійснити квантування зображення.
 - 2.2. Здійснити дискретизацію зображення.
 - 2.3. Вивести гістограми обробленого зображення та елементарних зображень.
 - 2.4. Виконати операції вирівнювання та стиснення однієї з отриманих гістограм.
3. Зробити висновки.

Частина 2

1. Виконати операції зашумлення зображення.
 - 1.1. Зашумлення зображення "білим шумом".
 - 1.2. Зашумлення зображення шумом "сіль і перець".
2. Виконати частотну обробку нерухомого зображення.
 - 2.1. Операція прямого ШПФ.
 - 2.2. Операцію оберненого ШПФ.
 - 2.3. Виконати НЧ фільтрацію зображення.
 - 2.4. Виконати ВЧ фільтрацію зображення.
3. Зробити висновки.

Методичні вказівки до виконання окремих пунктів роботи

Частина 1

1. Для запуску програму DIP два рази клацніть мишкою по ярлику програми.

Початкове зображення вводиться за допомогою меню "Зображення" функція "Ввести". Досліджуване зображення повинно мати строгі розміри 256×256 . Зберегти зображення можна за допомогою меню "Зображення" функція "Записати". За необхідності введіть розширення зображення самостійно: jpg, jpeg, bmp і т. д.

2. Для проведення квантування обираємо функцію "Квантувати", у вільне поле "Введіть кількість рівнів яскравості" записуємо можливий рівень квантування. Кількість рівнів яскравості відповідає розрядності квантування (2–256). Після введення числа натисніть Enter.

Виконайте операцію квантування (рівні квантування 2, 8, 32, 128 і 256). Отримані результати занесіть в звіт (зробіть скріншоти отриманих зображень), порівняйте і зробіть висновки щодо якості зображення при різних рівнях квантування.

3. Для проведення дискретизації обираємо функцію "Дискретизувати" у вільне поле "Введіть коефіцієнт дискретизації" вводимо число, після чого натискаємо Enter. Коефіцієнт дискретизації обираємо в межах 2–256.

Виконайте операцію дискретизації при коефіцієнтах дискретизації: 2, 8, 32, 128 і 256. Отримані зображення порівняйте і зробіть висновок про спотворення.

4. Для виведення гістограми вже квантованого за 128 рівнями яскравості і дискретизованого зображення в меню "Просторова обробка" обираємо функцію "Виведення гістограми". Отримайте і занесіть в звіт п'ять гістограм при різних коефіцієнтах дискретизації (2, 8, 32, 128 і 256).

Вивести гістограми елементарних зображень (чорного, білого і дві смуги – меню "Зображення", "Створити", "Дві смуги"). Визначити, як розподілені відліки на гістограмі для цих зображень.

Для отримання гістограм проквантованого і продискретизованого зображення потрібно вибрати меню "Зображення", "Обмін" і потім "Виведення гістограми".

Для виведення гістограми трьох елементарних зображень потрібно ввести елементарне зображення (меню "Зображення", "Ввести") і в меню "Просторова обробка" вибрати функцію "Виведення гістограми".

Порівняйте отримані результати і зробіть висновки щодо відповідності отриманих гістограм якості отриманих зображень.

Гістограми можна вирівнювати (складові гістограми рівномірно розподіляються по графіку) і стискати (складові зсуваються праворуч в бік білого) за допомогою однойменних функцій "Вирівнювання гістограми" і "Стиск гістограми". Для виконання функції "Стиск гістограми" у вільне поле вводимо коефіцієнт стискання. Дані коефіцієнти вибираємо в межах

1–8 і при цьому оцінюємо якість зображення. Для отримання гістограм рисунків потрібно виконати функцію "Обмін".

Частина 2

1. Для проведення операції "Зашумлення – Білий шум" потрібно у вільне поле ввести коефіцієнт шуму, після введення числа натисніть Enter. Коефіцієнт шуму обирати в межах 2–512. Виконати операцію зашумлення для п'яти довільних рівновіддалених коефіцієнтів шуму. Отримані зображення порівняти і зробити висновок, при якому коефіцієнті шуму зображення найменше спотворилося і при якому спотворилося найбільше. Для цього вивести п'ять гістограм зашумленого зображення (при цьому потрібно виконати функцію "Обмін" початкового зображення і зашумленого). Ці операції можна виконувати одночасно.

2. Для проведення операції "Зашумлення – Сіль і перець" потрібно у вільне поле ввести коефіцієнт шуму, після введення числа натиснути Enter. Коефіцієнт шуму обирати в межах 2–32000.

3. Для отримання зображення, яке зазнало прямого ШПФ маємо обирати меню "Частотна обробка", функцію "Пряме ШПФ". Виконати пряме ШПФ для первинного зображення. Потім обирати функцію "Обернене ШПФ". Отримані результати прямого і оберненого ШПФ порівняти за зовнішнім виглядом. Пояснити, чому відновилось зображення після проведення оберненого ШПФ. Вивести гістограму відновленого зображення і порівняти її із гістограмою початкового зображення. Виконати пряме і обернене ШПФ для чорно-білого зображення і кольорового (зображення можна створити самостійно у програмі Paint, зображення має бути розміром 256×256).

4. Зображення, що пройшло через ідеальні фільтри низьких та високих частот.

За допомогою меню "Частотна обробка" вибрати функцію "Ідеальний ФНЧ". У полі "Введіть частоту зрізу" вводимо частоту зрізу в діапазоні від 2 до 256. Виконайте НЧ-фільтрацію для частот зрізу 256, 128, 64, 8. Зробити висновки щодо отриманих рисунків і визначити за зовнішнім виглядом рисунка, при якій частоті зрізу зображення можна ще відновити.

За допомогою меню "Частотна обробка" вибрати функцію "Ідеальний ФВЧ". У полі "Введіть частоту зрізу" ввести частоту зрізу в діапазоні від 2 до 256. Виконайте ВЧ-фільтрацію для частот зрізу 4, 32, 64, 128, 256. Зробити висновки щодо отриманих рисунків і визначити за їх зовнішнім виглядом, при якій частоті зрізу зображення можна ще відновити.

Контрольні запитання

1. Дайте визначення теореми Котельникова.

2. Чим дискретизація аналогового одновимірного сигналу відрізняється від дискретизації зображення?
3. Яка різниця між квантуванням аналогових одновимірних сигналів і нерухомих зображень?
4. В яких випадках використовується нерівномірне квантування зображення?
5. Назвіть переваги прямого і оберненого ШПФ.
6. Що таке двовимірне ШПФ і як воно застосовується в обробці зображень?
7. Для чого виконують НЧ- і ВЧ-фільтрацію цифрових зображень?
8. Які точки знаходяться в центрі зображення після прямого ШПФ, які знаходяться по краях?

3.2 Лабораторна робота № 2 "Цифрова обробка звукових сигналів"

Мета роботи – навчитись здійснювати за допомогою програми Adas такі перетворення звукових сигналів: перетворення Фур'є, інтерполяцію (interpolation), децимацію (decimation), автокореляцію (autocorrelation), квантування.

Стислі теоретичні відомості

Перетворення Фур'є

У частотному аналізі звукового сигналу використовують неперервне перетворення Фур'є (інтеграл Фур'є), дискретне перетворення Фур'є (ДПФ) та швидке перетворення Фур'є (ШПФ) [1, 2, 10].

Пара неперервного перетворення Фур'є має вигляд:

$$S(\omega) = \int_{-\infty}^{\infty} s(t) \cdot \exp(-j\omega t) dt,$$

$$s(t) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} S(\omega) \cdot \exp(j\omega t) d\omega,$$

де $S(\omega)$ спектр сигналу $s(t)$, в загальному випадку сигнал і спектр комплексні.

Вирази для прямого і оберненого ДПФ мають вигляд:

$$S(k) = \sum_{n=0}^{N-1} s(n) \cdot \exp(-j \frac{2\pi}{N} nk), k = 0, \dots, N-1;$$

$$s(n) = \frac{1}{N} \sum_{k=0}^{N-1} S(k) \cdot \exp(j \frac{2\pi}{N} nk), n = 0, \dots, N-1.$$

ДПФ ставить у відповідність N відлікам сигналу $s(n)$, $n = 0 \dots N-1$, в загальному випадку комплексного, N відліків комплексного спектра $S(k)$, $k = 0 \dots N-1$.

Як і в неперервному, так і в дискретному випадку, в виразах для оберненого перетворення є нормувальний коефіцієнт. У разі інтеграла Фур'є це $\frac{1}{2\pi}$, в разі ОДПФ $-\frac{1}{N}$.

При неперервному перетворенні нормувальний коефіцієнт $\frac{1}{2\pi} = \frac{1}{dt \cdot d\omega}$ необхідний для коректного масштабування сигналу з частотної області в часову. Нормувальний коефіцієнт $\frac{1}{2\pi}$ зменшує амплітуду сигналу на виході оберненого перетворювача для того, щоб вона збігалася з амплітудою вхідного сигналу.

ШПФ – це алгоритм обчислення ДПФ за кількість операцій, меншу за N^2 . Часто під ШПФ розуміють швидкі алгоритми проріджування за частотою, часом або алгоритми за основою два з кількістю операцій $N \log N$. Запропоновано багато різних алгоритмів ШПФ.

Інтерполяція

Інтерполяція – спосіб знаходження проміжних значень величини за наявним дискретним набором відомих значень [1, 11]. Існує також близька до інтерполяції задача, що полягає в апроксимації складної функції іншою, простішою функцією. Якщо початкова функція занадто складна для продуктивних обчислень, можна спробувати обчислити її значення в декількох точках, а за ними побудувати, тобто інтерполювати, простішу функцію. Зрозуміло, використання спрощеної функції не дозволяє одержати такі ж точні результати, які давала б початкова функція. Але досягнутий вигравш у простоті і швидкості обчислень може переважити.

Децимація

Децимація – це зменшення частоти дискретизації дискретного в часі сигналу шляхом видалення його відліків [2, 11].

При децимації з вихідної послідовності відліків a_0, a_1, a_2, \dots береться кожен N -й відлік a_0, a_N, a_{2N}, \dots , де N – ціле число, більше за одиницю, $N > 1$. Інші відліки відкидаються.

Перетворення спектра при децимації істотно залежить від спектра звукового сигналу. Якщо звуковий сигнал не містить частот, що перевищують частоту Найквіста децимального сигналу, то форма спектра отриманого децимального сигналу збігається з низькочастотною частиною спектра звукового сигналу. Частота дискретизації децимального сигналу в N разів нижча, ніж частота дискретизації цифрового звукового сигналу.

Якщо звуковий сигнал містить частоти, що перевищують частоту Найквіста децимального сигналу, то при децимації матиме місце алиасинг (накладання спектрів).

Таким чином, для збереження спектра необхідно до децимації видалити зі звукового сигналу частоти, що перевищують частоту Найквіста децимального сигналу. Ця операція проводиться цифровими фільтрами.

Автокореляція

Автокореляція – це кореляція функції сама з собою, зміщеною на певну величину незалежної змінної, частіше часу. Автокореляція використовується для знаходження закономірностей сигналу, наприклад, його періодичності, швидкості зміни, частоти [6, 11].

Математично автокореляційна функція визначається з виразу:

$$R_f(\tau) = \int_{-\infty}^{\infty} f(t)f(t-\tau)dt,$$

де інтегрується добуток функції $f(t)$ з функцією $f(t-\tau)$, зміщеною на певний час τ .

Квантування

Під час квантування нескінченна множина можливих значень функції (амплітуд звукового сигналу) замінюється скінченною множиною дозволених значень (дозволених рівнів амплітуд). Виконується округлення миттєвих значень функції до найближчих дозволених. Квантування буває рівномірне та нерівномірне. При рівномірному квантуванні дозвалені значення кратні кроку квантування – постійному числу [4, 5, 10].

Для якісного перетворення звуку кількість n дозволених рівнів його амплітуди при рівномірному квантуванні не менші 65536, а подальше його цифрове кодування здійснюється з розрядністю кодового слова

$$m = \log_2 n = \log_2 65536 = 16.$$

Домашнє завдання

1. Вивчити теоретичний матеріал, що стосується виконання лабораторної роботи.
2. Ознайомитися з методикою проведення лабораторної роботи.
3. Одна хвилина запису цифрового аудіофайлу займає на диску 1,3 Мб, розрядність звукової плати 8. З якою частотою дискретизації записаний звук?
4. Дві хвилини запису цифрового аудіофайлу займають на диску 5,1 Мб, частота дискретизації 22050 Гц. Яку розрядність мав претворювач декодера?

Лабораторне обладнання

1. Персональний комп'ютер, оснащений звуковою картою.
2. Програма комп'ютерної обробки звуку Adas.

Програма експериментальних досліджень

1. Згідно з заданим варіантом (табл. 3.1) завантажити сигнал та зробити такі перетворення над ним:
 - а) пряме перетворення Фур'є;
 - б) обернене перетворення Фур'є;
 - в) інтерполяцію (кількість відліків вибираємо $N=2,4,8$);
 - г) децимацію (коефіцієнт вибираємо $N=2,4,8$);
 - д) отримати автокореляційну функцію сигналу.
2. Провести квантування сигналу за п. 1 з різною кількістю відліків.
3. Провести зашумлення сигналу за п. 1 рівномірним шумом та шумом Гаусса різних рівнів.
4. Завантажити перетворений звуковий сигнал, прослухати його через навушники. Проаналізувати його по пунктах :
 - а) сигнал з різним рівнем рівномірного шуму;
 - б) сигнал з різним рівнем шуму Гаусса;
 - в) здійснити децимацію сигналу (коефіцієнт вибираємо $N=2,4,8$);
 - г) реалізувати інтерполяцію сигналу (кількість відліків вибираємо $N=2,4,8$);
 - д) виконати квантування сигналу з різною кількістю квантів.
5. Зробити висновки.

Методичні вказівки до виконання окремих пунктів

Запускаємо програму з робочого столу комп'ютера, далі згідно з отриманим варіантом завдання вибираємо тип сигналу, з яким потрібно робити перетворення. Далі у вікні програми "ФАЙЛ" вибираємо опцію "СТВОРИТИ СИГНАЛ". Перетворення Фур'є пряме та обернене вибираємо у меню "ПЕРЕТВОРЕННЯ". Для візуального спостереження сигналу у часовій та частотній формі потрібно у вікні "ГРАФІКИ" вибрати опцію "СИГНАЛ" чи "ГРАФІК ФУР'Є". Далі у меню "ПЕРЕТВОРЕННЯ" вибираємо опцію "ДЕЦИМАЦІЯ" чи "ІНТЕРПОЛЯЦІЯ" (коефіцієнт інтерполяції та децимації 2^N).

Для того, щоб провести квантування сигналу, потрібно заново завантажити вибраний сигнал, далі у меню "АНАЛОГ" вибрати "КВАНТУВАННЯ", ввести величину кванта та натиснути клавішу "ВВІД", на моніторі з'явиться проквантований сигнал.

Для зашумлення сигналу потрібно завантажити заново сигнал, далі у вікні "КОРЕЛЯЦІЯ" вибрати опцію "ЗАШУМЛЕННЯ СИГНАЛУ", обрати

вид зашумлення (рівномірний чи Гаусса), ввести рівень шуму і натиснути "ВИКОНАТИ".

Для завантаження звукового файлу потрібно у вікні "ЗВУК" обрати "ЗАВАНТАЖИТИ WAV-ФАЙЛ" із папки adas_z.

Для прослуховування потрібно у вікні "ЗВУК" вибрати опцію "СИНТЕЗ WAV-ФАЙЛУ", потім запис "СИНТЕЗОВАНИЙ СИГНАЛ" із подальшим збереженням його у папці програми.

Для аналізу автокореляційної функції (autocorrelation function) потрібно із вікна "КОРЕЛЯЦІЯ" обрати "АВТОКОРЕЛЯЦІЙНА ФУНКЦІЯ".

Варіанти завдань

Таблиця 3.1 – Завдання для самостійного виконання

№	Час початковий	Час кінцевий	Кількість точок, N	Амплітуда	Частота	Тип сигналу
1	0	2	32	90	40	Синусоїда
2	0	3	64	100	38	Меандр
3	0	4	128	110	36	Трикутник
4	0	5	256	120	34	Пилка
5	0	6	32	130	32	Синусоїда
6	0	7	64	140	30	Меандр
7	0	8	128	150	28	Пилка
8	0	5	256	160	26	Трикутник

Контрольні запитання

1. Що таке ДПФ і як воно застосовується в обробці звукових сигналів?
2. Чим відрізняється алгоритм ШПФ від ДПФ?
3. Як залежать параметри децимації від спектра звукового сигналу?
4. Дайте означення автокореляції та опишіть її математично.
5. З якою метою застосовують інтерполяцію?
6. Які частоти дискретизації та розрядності квантування застосовують при цифровому перетворенні звукових сигналів?

3.3 Лабораторна робота № 3 "Цифрова фільтрація зображень"

Мета роботи – дослідження способів покращення зображення за допомогою цифрових фільтрів (digital filter) в системі MATLAB 6.5.

Стислі теоретичні відомості

Лінійна фільтрація використовується для заглушення граничного за частотою адитивного шуму. При цьому, враховуючи частотний розподіл шуму, необхідно синтезувати відповідний фільтр [1, 12].

Згладжування шуму забезпечується низькочастотною фільтрацією. Істотним недоліком такої обробки є розмитість границь. Для підкреслення границь можна застосувати фільтр верхніх частот. Лінійну фільтрацію можна використовувати для видалення шумів певного типу. Для цього використовують такі фільтри як усереднений і фільтр Гаусса. Наприклад, усереднений фільтр використовується для видалення зернистості на зображеннях.

Другий спосіб заглушення шуму на зображенні реалізовано на основі застосування медіанної фільтрації. Медіанний фільтр – один з видів цифрових фільтрів, широко застосовується в цифровій обробці сигналів і зображень для зменшення рівня шуму. Медіанний фільтр є нелінійним КІХ-фільтром. Значення відліків усередині вікна фільтра сортуються в порядку зростання або спадання. Ті значення, що знаходиться по центру упорядкованого списку, надходять на вихід фільтра. У разі парної кількості відліків у вікні вихідне значення фільтра дорівнює середньому значенню двох відліків по центру упорядкованого списку. Вікно переміщується уздовж сигналу, що фільтрується, і обчислення повторюються.

Суть медіанного методу фільтрації базується на упорядкуванні значень матриці інтенсивності. Медіанна фільтрація є нелінійним методом обробки зображення. Вона найбільш ефективна для усунення завад типу "сіль і перець", тобто коли на світлому фоні присутні темні точки ("перець") і на темному фоні світлі точки ("сіль"). Медіанна фільтрація є окремим випадком рангової фільтрації.

В пакеті MATLAB медіанна фільтрація реалізовується функцією "medfilt2" [13].

Функція $D = \text{medfilt2}(S, [mn])$ створює півтонове зображення D , кожен піксель якого формується таким чином. Пікселі вихідного півтонового зображення S , що відповідні всім елементам маски фільтра розміру mn , становлять упорядковану послідовність A пікселів $D(r, c)$, де r і c – координати поточного положення центрального елемента маски. Медіаною впорядкованої послідовності $A(i)$, де $i = 1 \dots N$, називається величина $A((N+1)/2)$, якщо N непарне, і $(A(N/2) + A((N+2)/2))/2$, якщо N парне.

Для того, щоб розміри зображень S і D були однаковими, при проведенні обчислень, зображення S тимчасово доповнюється необхідною кіль-

кістю рядків і стовпців нульовими пікселями. Формат подання даних результувального зображення D збігається з форматом вихідного зображення S.

Якщо вектор [mn] при виклику функції $D = \text{medfilt2}(S)$ не заданий, то як маска фільтра використовується маска розміру за замовчуванням.

Функція $X_d = \text{medfilt2}(X_s, 'indexed', \dots)$ аналогічна розглянутій вище, але призначена для обробки палітрових зображень. При проведенні обчислень вихідне зображення тимчасово доповнюється або одиницями при форматі подання даних $X_s\text{-double}$, або нулями при форматі подання даних $X_s\text{-uint8}$.

Ще одним методом покращення зображення є застосування фільтрації Вінера. В пакеті MATLAB функція "wiener2" використовує алгоритм адаптивної вінерівської фільтрації для подавлення гаусового шуму.

Спектральна щільність сигналу (signal spectral density) визначається співвідношенням:

$$S_{II}(v) = F[R(\omega)],$$

де $R(\omega) = \int I(x)I(x-\omega)dx$ – автокореляційна функція.

Взаємна спектральна щільність сигналу визначається співвідношенням:

$$S_{II'}(v) = F[R(\omega)],$$

де $R(\omega) = \int I(x)I'(x-\omega)dx$ – функція взаємної кореляції.

При побудові фільтра Вінера ставиться завдання мінімізації середньоквадратичного відхилення (root mean square) обробленого зображення від первинного:

$$E\{[I(x, y) - I'(x, y)]^2\} = \min,$$

де $E\{ \}$ – математичне сподівання (mathematical expectation).

Перетворюючи ці вирази, можна показати, що мінімум досягається, коли передатна функція (the transfer function) визначається таким виразом:

$$D(v_x, v_y) = \frac{S_{II'}(v_x, v_y)}{S_{II}(v_x, v_y)}.$$

Відновлення зображення повинно здійснюватися з використанням такого відновлювального перетворювача:

$$R(v_x, v_y) = \frac{1}{D(v_x, v_y)} \cdot \frac{|D(v_x, v_y)|^2}{|D(v_x, v_y)|^2 + [S_{II'}(v_x, v_y) / S_{II}(v_x, v_y)]}$$

Якщо шуму на зображенні немає, то спектральна щільність функції шуму дорівнює нулю і фільтр Вінера перетворюється на звичайний обернений фільтр.

При зменшенні спектральної щільності потужності вихідного зображення передатна функція фільтра Вінера прямує до нуля. Для зображень це є характерним на верхніх частотах.

Домашнє завдання

1. Вивчити теоретичний матеріал із запропонованої теми і підготувати форму звіту.
2. Підготувати зображення з різним розширенням.
3. Вивчити програму і методику проведення експериментів.

Лабораторне обладнання

1. Персональний комп'ютер з операційною системою Windows.
2. Програмний пакет Image Tools для обробки зображення в системі MATLAB 6.5.

Програма експериментальних досліджень

1. Провести над зображенням (табл. 3.2) операції лінійної фільтрації:
 - а) завантажити зображення;
 - б) накласти на зображення шум "сіль та перець";
 - в) зашумлене зображення пропустити через усереднений фільтр;
 - г) за допомогою медіанної фільтрації повернути зображення до початкового стану.
2. Провести над зображенням (табл. 3.2) операції адаптивної фільтрації:
 - а) завантажити зображення;
 - б) надати зображенню градації сірого;
 - в) накласти на зображення адитивний білий шум Гаусса;
 - г) за допомогою фільтра Вінера позбутись попередньо накладеного шуму;
3. Зробити висновки.

Методичні вказівки

1. Запустити програму з робочого столу комп'ютера, завантаживши в пам'ять комп'ютера зображення формату gif, використовуючи функцію imread. Формат виклику меню такий:

$I = \text{imread}(\text{'імя файлу'}. \text{'формат'})$, де 'формат' – рядок, що відповідає формату збереження зображення tiff, bmp, jpg.

Якщо файл збережений на диску, то формат виклику буде виглядати таким чином:

$I = \text{imread}(\text{'ім'я диска:}\backslash\text{ім'я файлу}. \text{формат})$, наприклад ('D: \image.jpg');

За допомогою функції imshow(I) вивести зображення на екран.

2. Накласти на зображення шум "сіль та перець".

Формат виклику: $J = \text{imnoise}(I, \text{'salt \& pepper'}, d)$, де d – щільність шуму. Якщо її не вказувати, то за замовчуванням $d=0.05$. Вивести зображення на екран figure, imshow(J).

3. Пропустити зашумлене зображення через усереднений фільтр $K = \text{filter2}(\text{fspecial}(\text{'average'}, 3), J)/255$. Вивести результати на екран.

4. Пропустити отримане зображення через медіанний фільтр $L = \text{medfilt2}(J, [3 \ 3])$. Вивести на екран зображення і у висновках порівняти його із зображенням, яке використовувалось у п. 1.

5. Завантажити зображення (формат gif). Форма виклику: $RGB = \text{imread}(\text{'ім'я файлу'}. \text{'формат'})$.

6. Надати зображенню градації сірого $I = \text{rgb2gray}(\text{'ім'я диска:}\backslash\text{ім'я файлу}. \text{gif})$;

7. Накласти на зображення шум Гаусса. Формат виклику меню $J = \text{imnoise}(I, \text{'gaussian'}, M, V)$, де M – середнє значення шуму; V – дисперсія.

Якщо параметри M і V не задані, то вважається, що $M = 0$, а $V = 0,1$.

8. Застосувати фільтр Вінера для обробки попередньо зашумленого сигналу $K = \text{wiener2}(J, [m \ n])$, де m і n – розмір зображення (табл. 3.2) в пікселях. Вивести зображення на екран і порівняти з початковим зображенням.

Варіанти завдань

Таблиця 3.2 – Завдання для самостійного виконання

№ варі-анта	Щільність шуму	Розмір зображення в пікселях по вертикалі, m	Розмір зображення в пікселях по горизонталі, n	M	V
1	0,01	128	128	0	0
2	0,025	128	256	0,25	0,25
3	0,05	128	256	0,5	0,5
4	0,075	128	512	0,75	0,75
5	0,1	128	512	1	1

M – середнє значення шуму,
 V – дисперсія.

Контрольні запитання

1. Що таке медіанна фільтрація, для чого вона використовується?
2. Як впливає автокореляція на спектральну щільність сигналу?
3. Чим відрізняється фільтрація Вінера від медіанної?
4. Як видалити або додати шум до зображення і в яких випадках це застосовують?
5. Що таке шум на зображенні "сіть та перець"?
6. Як зменшити вплив на зображення адитивного білого шуму Гаусса?

3.4 Лабораторна робота № 4 "Дослідження параметрів та характеристик КД програвача"

Мета роботи – ознайомитись з конструкцією КД програвача (CD player) тракту формування програм; визначити його технічні параметри та характеристики і провести порівняльний аналіз отриманих даних з відповідним стандартом на даний вид апаратури.

Стислі теоретичні відомості

Загальні положення. Система "компакт-диск" (КД) складається з диска, який містить звукову програму, записану в цифровому вигляді, і програвача, який відтворює записану інформацію за допомогою променя лазера. Діаметр компакт-диска становить 120 мм, товщина – 1,2 мм. Компакт-диск може бути поміщений в тонкий конверт або спеціальну касету, що забезпечує портативність і зручність його зберігання [10,14, 15].

Якість звучання в системі КД визначається, як і в будь-якій цифровій системі звукозапису, параметрами аналого-цифрового і цифро-аналогового перетворень. Частоту дискретизації (sampling frequency) для цієї системи взято 44,1 кГц, число розрядів квантування (number of bits) – 16 при лінійній характеристиці квантування. Вибір дробового значення частоти дискретизації був обумовлений таким. Майстер-стрічка для першої копії диска записувалась комбінацією відеомагнітофона в системі PAL та ІКМ-процесора, частота дискретизації якого становила 44,1 кГц.

Цифровий запис з такими параметрами забезпечує високі якісні показники системи КД:

- діапазон відтворюваних частот (replay frequency range) – від одиниць герц до 20 кГц;
- відношення сигнал–шум (signal to noise ratio) – не менше 90 дБ;
- динамічний діапазон (dynamic range) – не менше 90 дБ;

коефіцієнт нелінійних спотворень (non-linear distortion ratio) – 0,003% при максимальному рівні сигналу;

– коефіцієнт детонації (wow and flutter, flutter rate) – нижче межі вимірювання;

– розділення каналів (the separation channels) – не менше 90 дБ.

На відміну від грамплатівки в системі КД відсутні гуркіт і шуми, пов'язані із запорошеністю і пошкодженнями поверхні носія інформації. Відсутній також знос компакт-диска і головки зчитування [16, 17].

Запис цифрових сигналів на відміну від звичної грамплатівки здійснюється тільки з одного боку компакт-диска. Зона запису сигналу обмежена. Її внутрішній діаметр дорівнює 50 мм, а зовнішній – 116 мм. Поза цією зоною розташовується зона "введення і виведення", що містить інформацію, яка дозволяє автоматизувати процес програвання. Компакт-диск не має канавки запису, характерної для грамплатівки. Значення цифрового сигналу записуються на поверхні диска за допомогою маленьких заглиблень, що називаються пітами. Розташовані в ряд піти утворюють доріжку запису, яка наноситься на диск у вигляді спіралі, направленої від центра диска до його краю. Відстань між сусідніми витками спіралі дорівнює 1,6 мкм. Порівняно з довгограючою пластинкою, де крок між канавками становить близько 160 мкм, тут щільність записування дуже висока. Завдяки цьому забезпечується неперервне відтворення однієї сторони диска діаметром 120 мм протягом більше однієї години.

Спочатку на поверхні прозорого пластмасового диска формують піти. Потім на диск із боку піт наноситься тонка металева плівка з високим коефіцієнтом відбиття випромінювання лазера. Вона покривається непрозорим захисним шаром. Захисний шар використовується також як етикетка. Доріжка запису, таким чином, залишається всередині компакт-диска. Сигнал зчитується з боку прозорої основи за допомогою сфокусованого променя лазера, який відбивається від поверхні металевої плівки і потрапляє в оптичну систему головки зчитування. Металева плівка товщиною близько 0,1 мкм виготовляється з алюмінію, що надає компакт-диску характерного срібного кольору.

Матеріал прозорої основи повинен бути теплостійким, вологостійким, добре формуватися й мати гарні оптичні властивості. Захисний шар виготовляється з непрозорої твердої пластмаси.

Істотною перевагою системи КД є відсутність контакту між поверхнею диска і голівкою зчитування. Промінь лазера (the laser beam) фокусується до плями, що має розмір одного порядку з розміром піт. Прогрес останніх років привів до появи дешевих за ціною напівпровідникових лазерів маленьких розмірів. Вони встановлюються в малогабаритну оптичну голівку зчитування програвача КД. Необхідна потужність випромінювання (radiation power) лазерів становить 2÷3 мВт.

Розглянемо як відбувається зчитування цифрових сигналів, записаних на компакт-диск.

Сфокусований промінь лазера попав на ділянку, де немає піт, майже повністю відбивається назад. Якщо промінь попадає на ділянку, де розташований піт, то він розсіюється. Довжина піта може змінюватися від 0,9 до 3,1 мкм і набувати дев'яти значень. Відбитий промінь лазера модулюється відповідно до наявності чи відсутності піт на доріжці запису. Детектором відбитого випромінювання є фотодіод, він перетворює модуляцію світлового потоку на електричний сигнал.

Внаслідок того, що промінь лазера фокусується на поверхні шару відбиття, дрібні подряпини й порошини на диску не впливають на відтворений сигнал.

На відміну від грамплатівки, що обертається з постійною швидкістю, частота обертання компакт-диска при відтворенні змінюється від 500 до 200 об/хв. Це робиться для забезпечення постійного значення лінійної швидкості (1,25 м/с). Підтримка постійної лінійної швидкості дозволяє здійснювати запис піт з однаковою щільністю по всій поверхні компакт-диска, що збільшує поверхневу щільність запису.

Через малі розміри піт і крок доріжок існують проблеми забезпечення точного проходження променя лазера по доріжці запису. Компакт-диск встановлюється безпосередньо на вал двигуна. Реально важко забезпечити точне сполучення осі двигуна із центром диска. Неминуче існує зсув, викликаний ексцентриситетом і похибкою встановлення компакт-диска на вал двигуна. Спостереження за доріжкою запису при відтворенні здійснюється системою автотрекінгу.

Через неідеальність виробничого процесу при тиражуванні компакт-дисків можливе також деяке скривлення доріжок запису. Крім того, виробничі можливості й умови експлуатації не дозволяють мати абсолютно плоский диск. Реальне биття поверхні диска при обертанні не може бути зроблене меншим, ніж 0,5 мм. Це створює певні труднощі в забезпеченні правильного фокусування променя лазера на поверхні металевої плівки, оскільки глибина піт становить 0,1 мкм. Щоб уникнути розфокусування при відтворенні, використовується спеціальна сервосистема, за допомогою якої підтримується постійною відстань між компакт-диском і об'єктивом. Ця система називається системою автофокусування (system of automatic focusing).

Таким чином, в процесі відтворення промінь лазера постійно автоматично фокусується на шарі відбиття компакт-диска й безупинно стежить за доріжкою запису.

Призначення органів керування, роз'ємів програвача КД Pioneer PD-106. На рис. 3.12 зображено програвач КД Pioneer PD-106. Лицьова панель (рис. 3.12, а) має такі основні частини:

- 1 – кнопка вмикання та переводу програвача в режим очікування (STANDBY);

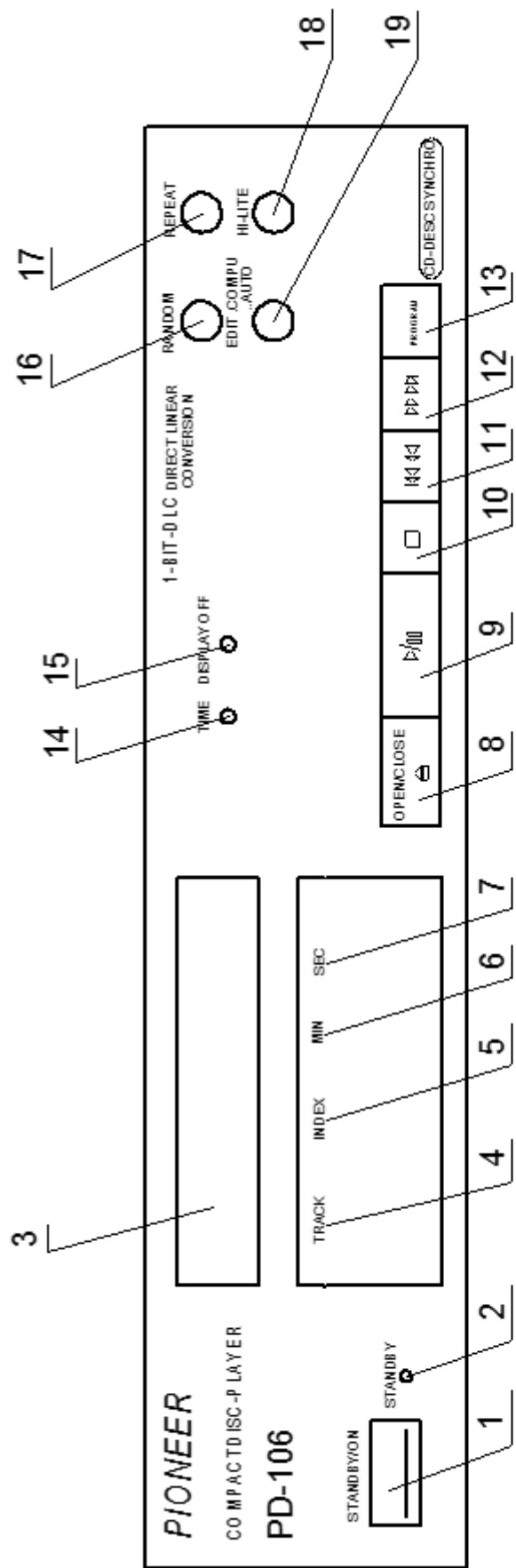
- 2 – індикатор режиму очікування (STANDBY);
 - 3 – дека для КД;
 - 4 – цифровий індикатор, що вказує порядковий номер треку, який програватиметься;
 - 5 – індикатор, що вказує на режим, в якому працює програвач;
 - 6 – індикатор, що вказує на кількість хвилин, які пройшли після запуску треку;
 - 7 – індикатор, що вказує на кількість секунд, які пройшли після запуску треку;
 - 8 – кнопка відкриття та закриття деки для диска;
 - 9 – кнопка програвання/паузи;
 - 10 – кнопка стоп;
 - 11 – кнопка для пошуку/пропуску треку назад;
 - 12 – кнопка для пошуку/пропуску треку вперед;
 - 13 – кнопка, за допомогою якої вмикається режим програмування, – це дозволяє програвати треки за заданою послідовністю;
 - 14 – перемикає в режим час до закінчення треку;
 - 15 – вимикає цифровий дисплей;
 - 16 – вмикає випадковий вибір треків для програвання;
 - 17 – вмикає повтор треку, що програватиметься;
 - 18 – вмикає режим швидкого програвання треків;
 - 19 – клавіша вибору треків в режимі PROGRAM.
- Тильна панель (рис. 3.12, б) має такі основні частини:
- 1 – вихід для правого каналу;
 - 2 – вихід для лівого каналу;
 - 3 – вхід для подачі контрольних сигналів при налагодженні та ремонті пристрою;
 - 4 – вихід для зняття контрольних сигналів;
 - 5 – шнур живлення.

Лабораторна установка

Структурна схема лабораторної установки наведена на рис. 3.13. В ній штриховими лініями позначено вузли, які використовуються лише при виконанні окремих пунктів досліджень.

Домашнє завдання

1. Уважно опрацюйте теоретичний матеріал. Вивчіть призначення кожної клавіші програвача компакт-дисків.
2. Ознайомтесь з ходом роботи та методикою вимірювань основних параметрів та характеристик програвача.
3. Вивчіть схемотехніку програвачів компакт-дисків.



а

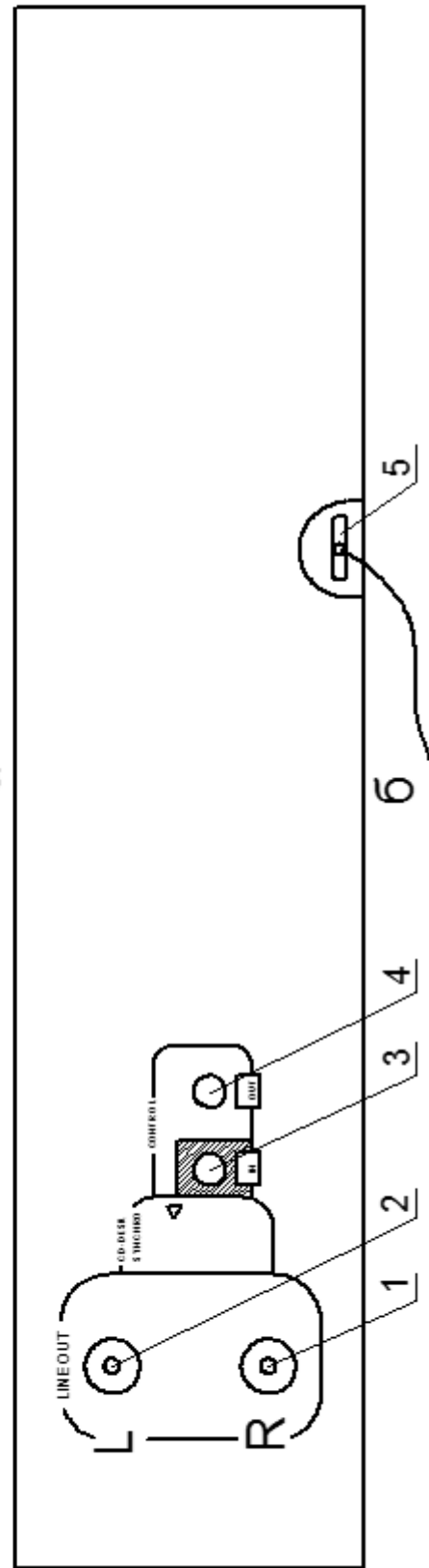


Рисунок 3.12 — Загальний вигляд лицьової (а) та тильної (б) панелей програвача

Вимірювальна і досліджувана апаратура

1. Тест-диск "Контроль и настройка оборудования в радиовещании и звукозаписи".
2. Програвач КД Pioneer PD-106.
3. Осцилограф С1-83.
4. Вольтметр ВЗ-38.
5. Вимірювач нелінійних спотворень С6-5.
6. Фільтр НЧ "150Гц".
7. Підсилювач "Радиотехника У-101С".
8. Акустична система 35АС-016.
9. Смуговий фільтр "20 Гц – 20 кГц".

Програма експериментальних досліджень

1. Вивчити опис та структуру тест-диску „Контроль и настройка оборудования в радиовещании и звукозаписи”.

Увага, треки відмічені знаком , не призначені для прослуховування та можуть пошкодити акустичну систему. При підключенні гучномовців та підсилювача слід уникати програвання даних треків.

2. Ознайомитись з принципом дії та роботою програвача КД Pioneer PD-106.
3. Вивчити призначення функціональних клавіш та індикаторів на лицьовій панелі пристрою.
4. Виміряти амплітудно-частотну характеристику програвача КД для кожного з каналів. Для цього послідовно включити треки 82..99, що відповідають частотам, наведеним у табл. 3.3, та виміряти напруги лівого і правого каналів. Отримані дані занести до табл. 3.3.

Таблиця 3.3 — Вимірювання АЧХ

f, Гц	20	25	30	40	50	63	125	250	400	1000	2000	4000	6300	7000	10000	12500	16000	20000	
U _л , В																			
U _п , В																			

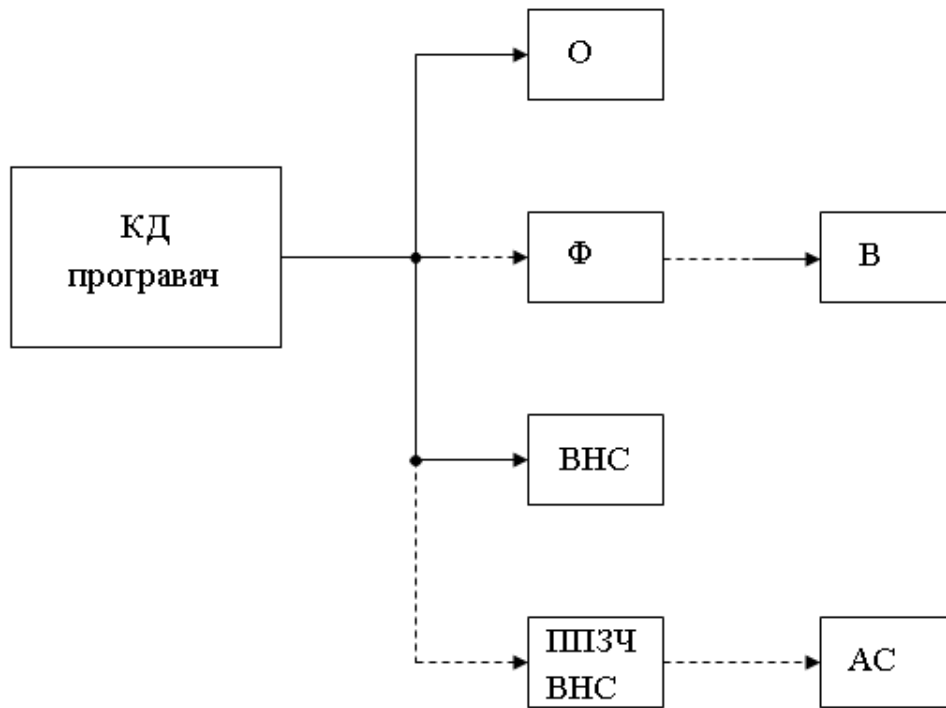


Рисунок 3.13 – Структурна схема лабораторної установки (О – осцилограф, Ф – ФНЧ "150 Гц" або смуговий фільтр "20 Гц - 20 кГц", В – вольтметр, ВНС – вимірювач нелінійних спотворень, ППЗЧ – підсилювач потужності звукової частоти, АС – акустична система)

5. Визначити розділення між каналами. Щоб визначити, чи присутні складові лівого каналу в правому, і навпаки – правого в лівому, необхідно сигнали обох каналів подати на осцилограф. Далі, ввімкнувши на програвачі треки 46 (для лівого каналу) та 51 (для правого), спробувати знайти на екрані осцилографа зображення синусоїдальних складових за рахунок паразитного проходження напруги лівого каналу в правий (правого в лівий). Якщо ці складові будуть знайдені, розділення між каналами розрахувати за формулою:

$$D_p = 201g(U_{л(п)} / U_{п(л)}),$$

де в чисельнику напруга лівого або правого каналу, а в знаменнику – паразитна напруга, відповідно, в правому або лівому каналі.

6. Виміряти, за допомогою смугового фільтра "20 Гц – 20 кГц", відношення сигналу до шуму в обох каналах. Якщо при виконанні п. 5 паразитне проходження сигналів із каналу в канал не було зареєстровано, то вимірювання відношення сигналу до шуму можна проводити за допомогою треку 46 (для лівого каналу) і треку 51 (для правого каналу). Додатково визначити співвідношення сигнал/шум на частоті 5 кГц, для чого викорис-

тати трек 37 для лівого і правого каналів. Отримані дані занести до табл. 3.4.

Таблиця 3.4 – Вимірювання відношення сигнал/шум

F, Гц	1000	5000	F, Гц	1000	5000
U _л , В			U _п , В		
U _{л шум} , мВ			U _{п шум} , мВ		

Співвідношення сигнал/шум визначають за виразом:

$$D_{\text{ш}}=201g(U_C/U_{\text{ш}}),$$

де U_C – напруга сигналу, U_ш – напруга шуму.

Виміряти шумову напругу в режимі "Стоп". Порівняти відношення сигнал/шум в режимі "Стоп" і у режимі "Програвання".

7. Виміряти за допомогою фільтра НЧ "150 Гц" відношення сигнал/фон для двох каналів.

Вимірювання за цим пунктом виконуються відповідно до рекомендацій до п. 6. Отримані дані занести до табл. 3.5.

Таблиця 3.5 – Вимірювання відношення сигнал/фон

F, Гц	1000	5000	F, Гц	1000	5000
U _л , В			U _п , В		
U _{лфон} , мВ			U _{пфон} , мВ		

Замалювати осцилограми фонових напруг для лівого і правого каналів. Співвідношення сигнал/фон визначити за виразом:

$$D_{\text{ф}}=201g(U_C/U_{\text{ф}}),$$

де U_C – напруга сигналу;

U_ф – напруга фону.

8. Визначити за допомогою треків 14...28 амплітудну характеристику програвача КД. Для цього виміряти вихідну напругу каналів та занести її до табл. 3.6.

Таблиця 3.6 – Вимірювання АХ

$U_{ВХ},$ дБ	0	-1	-2	-3	-4	-6	-8	-10	-12	-14	-16	-20	-26	-32	-40
$U_{Л},$ В															
$U_{П},$ В															

9. Визначити коефіцієнт гармонік програвача. Вимірювання цього коефіцієнта здійснюється на частоті 1кГц за допомогою тестового сигналу з треку 93 або 14.

10. Перевірити синфазність вихідних напруг програвача. Якщо осцилограми сигналів лівого і правого каналів при відтворенні треків 29 і 30 протилежні, то це означає, що в програвачі порушена синфазність.

Зарисувати осцилограми треків 29, 30 для обох каналів.

11. Дослідити вихідні сигнали програвача КД на високих частотах, поспідовно вмикаючи треки 38..43, що відповідають частотам 19; 20; 20,5; 21; 21,5; 22 кГц. Зарисувати осцилограми, зробити їх аналіз. Навести необхідні висновки.

12. Дати суб'єктивну оцінку якості звучання програвача КД. При виконанні цього пункту потрібно під'єднати до програвача стереопідсилювач з акустичними системами та запустити музичний трек 72.

Контрольні запитання

1. Поясніть принцип роботи програвача КД.
2. Яким чином відбувається зчитування інформації?
3. Що зроблено в програвачі для того, щоб надійно зчитувати інформацію з доріжки диска?
4. Від чого залежить шумова напруга програвача і чому при програванні відношення сигнал/шум гірше, ніж в режимі "Стоп".
5. Чому можливо для вимірювання шумової та фонові напруги використовувати треки, де є відсутніми сигнали почергово в лівому і правому каналах (тобто треки для перевірки розділення між каналами)?
6. На основі отриманих результатів порівняйте параметри досліджуваного програвача з існуючими стандартами.

3.5 Лабораторна робота № 5 "Дослідження квадратурно-амплітудної та відносної фазової маніпуляції"

Мета роботи – отримати знання та практичні навички в дослідженні модуляторів та демодуляторів квадратурно-амплітудної (КАМ) (quadrature-amplitude manipulation) та відносної фазової маніпуляції (ВФМ) (the phase manipulation).

Стислі теоретичні відомості

Методи цифрової маніпуляції

Особливістю цифрової маніпуляції (digital manipulation) несучих є те, що кожній з комбінацій цифрового сигналу відповідає своя власна комбінація значень амплітуди, частоти і фази або певний перехід від однієї групи значень до іншої. У першому випадку реалізовується абсолютна маніпуляція, другому – відносна [1, 20].

Відповідність цифрових сигналів і параметрів несучої встановлюється таблицями істинності або сигнально-кодovими діаграмами.

При цифровій маніпуляції модульований сигнал являє собою послідовність радіоімпульсів з фіксованими значеннями амплітуди, частоти та початкової фази. При цьому, як правило, радіоімпульс складається з цілого числа періодів коливання. Тоді сигнал з n фрагментів можна описати такою математичною моделлю:

$$s(t) = \sum_{n=0}^{N-1} [S_n \cdot \cos(2\pi f_n t + \varphi_n) \times \{h(t - n\tau) - h(t - (n+1)\tau)\}], \text{ де } h(t) = \begin{cases} 1, t \geq 0 \\ 0, t < 0 \end{cases}$$

Спектр такого сигналу зосереджений поблизу несучих частот, а бічні смуги відповідають або аналогічні спектру одиночного прямокутного імпульсу.

При необхідності передачі цифрової інформації з високою швидкістю можна використовувати багатопозиційні маніпуляції – просту або комбіновану.

У першому випадку кількість позицій визначається степенем числа два. В результаті збільшується щільність розміщення позицій і збільшується імовірність помилки. На практиці, зазвичай, обмежуються вісьмома значеннями одного параметра.

При комбінованій маніпуляції найбільш ефективною є амплітудно-фазова маніпуляція, при якій дійсно звужується відносно швидкості передачі ефективна ширина спектра сигналу. Коефіцієнт звуження дорівнює числу одночасно переданих біт.

Спектральна ефективність (spectral efficiency) сигналу визначається за формулою:

$$\eta = \frac{r}{\Delta\omega},$$

де r – швидкість передачі даних,
 $\Delta\omega$ – ефективна ширина спектра.

Амплітудно-фазова маніпуляція (amplitude-phase manipulation) може бути різних типів, але найбільш поширеною є КАМ.

Квадратурно-амплітудна маніпуляція

Для збільшення швидкості передачі даних використовують так звану квадратурно-амплітудну маніпуляцію КАМ (рис. 3.14), яка є амплітудно-фазовим видом маніпуляції. КАМ застосовується в кабельних модемах, у стандарті цифрового телебачення DVB (digital video broadcasting), а також в цифровому радіомовленні (digital broadcasting) [18, 19].

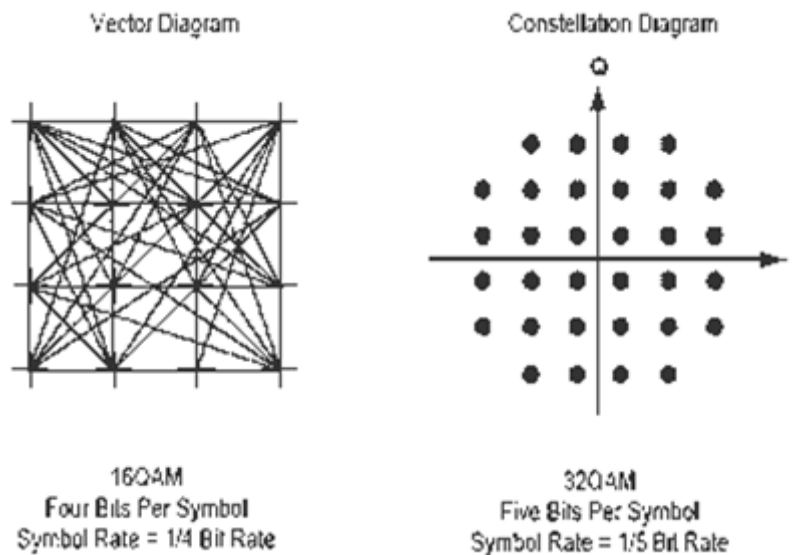


Рисунок 3.14 – Векторна діаграма сигналу КАМ-16 (ліворуч) і сузір'я сигналу КАМ-32 (праворуч)

Знаючи, що $16 = 2^4$, в КАМ-16 одним символом можуть бути передані чотири біти. Це означає, що символна швидкість у такому вигляді маніпуляції виходить в чотири рази меншою бітової, тобто дорівнює $1/4$ від бітової швидкості. Таким чином, даний тип маніпуляції дозволяє організувати спектрально більш ефективну передачу даних. З точки зору швидкості передачі цей вид маніпуляції набагато ефективніший порівняно з двійковою (BPSK), чотирьохпозиційною (QPSK) або восьмипозиційною (8 PSK) фазовою маніпуляцією. Слід відразу сказати, що QPSK і КАМ-4 насправді один і той же вид маніпуляції. Ще один різновид КАМ – це КАМ-32. Її характеристики такі: по шість сигнальних значень для I і Q, що в підсумку

дає $6 \times 6 = 36$ точок сузір'я для сумарного сигналу. Цей тип маніпуляції наділений особливістю. Кількість значень 36 не відповідає вихідним даним, вона занадто велика ($36 > 32$). Тому чотири "кутових" сигнальних значення, на які припадає більша потужність передавача, видалені. Цим зменшується вихідна потужність передавача. Виходячи з того, що $32 = 2^5$, отримуємо бітову швидкість 5 біт/с і символну швидкість, що дорівнює 1/5.

Відносна фазова маніпуляція

Неоднозначність, що характерна для фазоманіпульованих (ФМн) сигналів, усунена у відносній фазовій маніпуляції (ВФМ). У такого методу маніпуляції інформація закладена не в абсолютному значенні початкової фази, а в різниці початкових фаз сусідніх посилення, яка залишається незмінною і на приймальній стороні. Для передачі першого двійкового символу в системах з ВФМ необхідне одне додаткове посилення сигналу, передане перед початком передачі інформації, воно відіграє роль відлікового [18, 19].

Процес формування сигналу з ВФМ можна звести до випадку формування сигналу з ФМн шляхом перекодування двійкової послідовності, що передається. Для отримання сигналу з ВФМ достатньо помножити отриману закодовану послідовність на несуче коливання. Структурна схема модулятора ВФМ (рис. 3.15) містить генератор несучого коливання (Γ), фазовий модулятор (ФМ) і кодер, який складається з перемножувача (multiplier) і елемента пам'яті.

Демодулятор сигналу з ВФМ містить фазовий детектор (ФД), який складається з перемножувача і ФНЧ, генератор несучого коливання (Γ) та декодер (рис. 3.15).

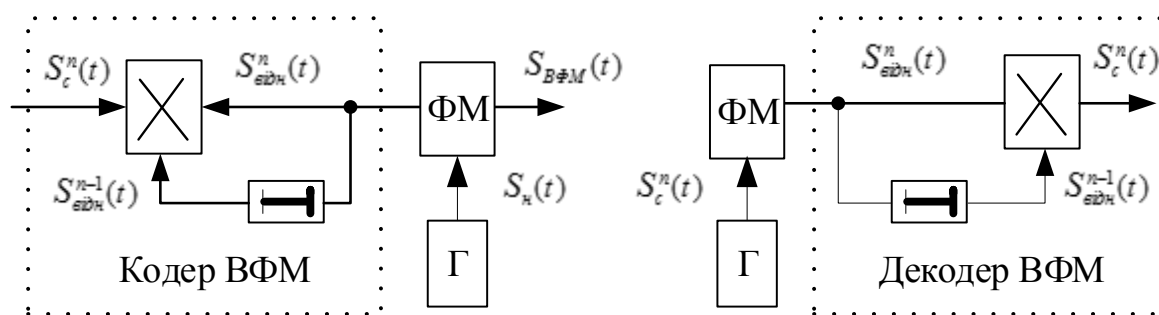


Рисунок 3.15 – Модулятор та демодулятор ВФМ

На рис. 3.16 наведені часові діаграми формування сигналу ВФМ.

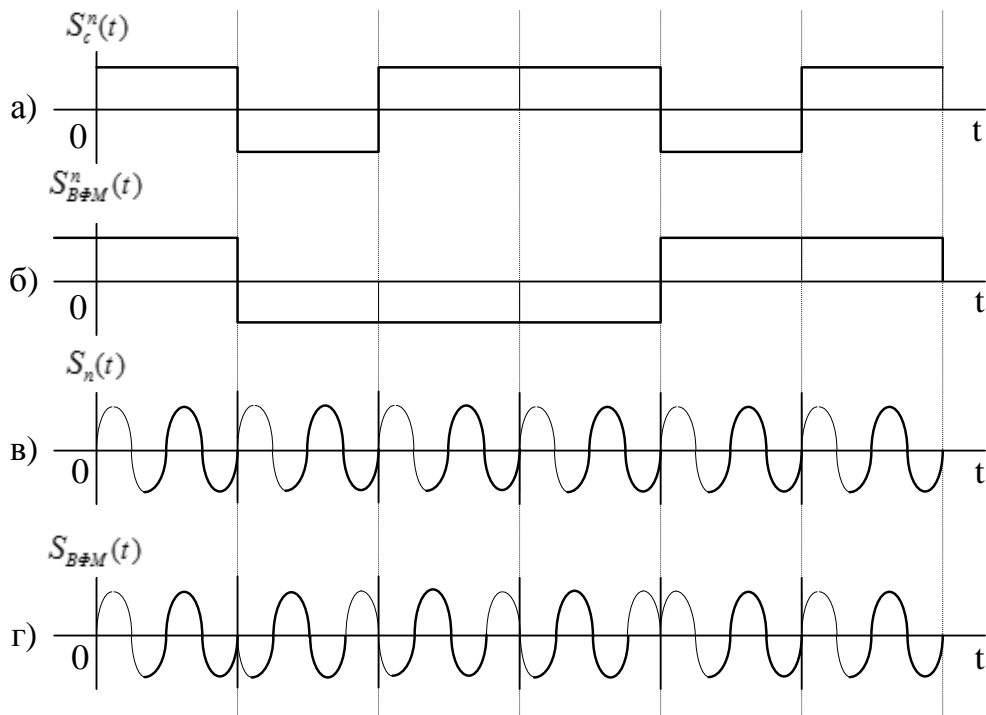


Рисунок 3.16 – Часові діаграми формування ВФМ-сигналів (а – неперіодичний інформаційний сигнал, б – інформаційний сигнал у відносному коді, в – несуче коливання, г – сигнал ВФМ на виході модулятора)

Домашнє завдання

1. Вивчити теоретичні відомості, які стосуються цифрових маніпуляцій КАМ та ВФМ.
2. Повторити основи роботи в програмних середовищах MathCAD та MatLAB.
3. Дати відповіді на контрольні запитання.

Лабораторне обладнання

1. Персональний комп'ютер, укомплектований відповідно до системних вимог програм MatLAB і MathCAD.
2. Програми MathCAD 14 і MatLAB 6.2

Порядок виконання роботи

Частина 1

1. Провести дослідження КАМ відповідно до запропонованих варіантів (табл. 3.7) в MathCAD, написати математичну модель сигналу КАМ.
2. Дослідити залежність ширини спектра сигналу КАМ-16 від швидкості передачі.

3. Провести дослідження спектральної ефективності КАМ при різних швидкостях. Порівняти спектральну ефективність ВФМ сигналу з КАМ сигналом.

4. Зробити висновки за отриманими даними та залежностями.

Частина 2

1. Провести дослідження КАМ згідно з запропонованими варіантами (табл. 3.8) в MatLAB, написати математичну модель сигналу КАМ.

2. Отримати сигнал на виході модулятора КАМ для різних частот дискретизації, несучих частот і при зміні вхідних послідовностей.

3. Зробити висновки за отриманими даними та залежностями.

Методичні вказівки до виконання окремих пунктів

Частина 1

1. Запускаємо програму MathCad 14.0, створюємо новий файл для введення тексту програми, вибираємо варіант для свого тракту КАМ та ВФМ маніпуляції.

2. Задаємо довжину двійкової послідовності, індекс маніпуляції та вектори двійкової послідовності, заносимо у таблицю комбінації коду:

$$n:=16, f:=3 \cdot 10^3, V_b=1200$$

$$N_{\max}:=2^n$$

$$i:=0..N_{\max}-1$$

$$X_i := \text{ceil}(\text{rnd}(1) - 0.5)$$

3. Записуємо вираз для утворення вихідних кодових комбінацій, після чого готові комбінації записуємо у вигляді таблиці за допомогою середовища MathCAD.

$$\text{TbSymb}:= \left| \begin{array}{l} \text{for } i \in 0.. \text{trunc}\left(\frac{N_{\max}}{4}\right) - 1 \\ \left| \begin{array}{l} \text{TbSymb}_{0,i} \leftarrow X_{i \cdot 4} \\ \text{TbSymb}_{1,i} \leftarrow X_{i \cdot 4 + 1} \\ \text{TbSymb}_{2,i} \leftarrow X_{i \cdot 4 + 2} \\ \text{TbSymb}_{3,i} \leftarrow X_{i \cdot 4 + 3} \end{array} \right. \\ \text{TbSymb} \end{array} \right.$$

4. Задаємо вирази для формування сигналів модулятора КАМ.

$$\begin{array}{l}
I(\text{NSymb}) := \left\{ \begin{array}{l}
x_i \leftarrow -1 \text{ if } \text{TbSymb}_{1, \text{NSymb}} \\
x_i \leftarrow 1 \text{ otherwise} \\
y_i \leftarrow 3 \text{ if } \text{TbSymb}_{3, \text{NSymb}} \\
y_i \leftarrow 1 \text{ otherwise} \\
I \leftarrow x_i \cdot y_i
\end{array} \right. \\
Q(\text{NSymb}) := \left\{ \begin{array}{l}
x_q \leftarrow -1 \text{ if } \text{TbSymb}_{0, \text{NSymb}} \\
x_q \leftarrow 1 \text{ otherwise} \\
y_q \leftarrow 3 \text{ if } \text{TbSymb}_{2, \text{NSymb}} \\
y_q \leftarrow 1 \text{ otherwise} \\
Q \leftarrow x_q \cdot y_q
\end{array} \right.
\end{array}$$

5. Заносимо частоту в герцах та швидкість передачі, що задані у варіанті. На основі вище розрахованих даних обраховуємо період, кругову частоту, тривалість одного біта, швидкість передачі символу та тривалість одного символу відповідно до формул:

$$T := \frac{1}{f} \quad T_b := \frac{1}{V_b} \quad V_s := \frac{V_b}{4} \quad T_s := \frac{1}{V_s}$$

$$\omega := 2\pi f$$

6. Формуємо графіки, що проілюструють швидкість передавання символів за одиницю часу, для чого записуємо відповідні аналітичні вирази та будуємо залежність рівнів сигналів на виходах від часу:

$$I_2(t) := \left\{ \begin{array}{l}
k \leftarrow \text{floor}\left(\frac{t}{T_s}\right) \\
I(k)
\end{array} \right. \quad Q_2(t) := \left\{ \begin{array}{l}
k \leftarrow \text{floor}\left(\frac{t}{T_s}\right) \\
Q(k)
\end{array} \right.$$

7. Задаємо аналітичний вираз для формування рівнів сигналу та формуємо графік для наочної демонстрації:

$$y(t) := I_2(t) \cdot \cos(\omega \cdot t) + Q_2(t) \cdot \sin(\omega \cdot t)$$

Викликаємо меню графіків: Insert-> Graph-> X-Y Plot або використовуємо швидкі клавіші Shift та 2.

8. Відповідно до формул, поданих нижче, знаходимо частоту дискретизації, період дискретизації, кількість точок, час спостереження,

кількості символів та періодів сигналу, які містять один символ (у формулі для кількості точок степінь вибираємо відповідно до варіанта):

$$fd := 10 \cdot f$$

$$Td := \frac{1}{fd}$$

$$K := 2^{12}$$

$$\frac{Ts}{T} = 10$$

$$Tobs := K \cdot Td$$

$$\frac{Tobs}{Ts} = 40.96$$

9. Формуємо спектр сигналу для періодів сигналу, що містять один символ.

$$Yd_i := y(Td \cdot i)$$

$$SpecY := ff(Yd)$$

$$k2 := 0..last(SpecY)$$

10. Формуємо вираз сигналу для подальшого обрахунку швидкості передавання інформації.

$$Pfull := \sum_{i=0}^{last(SpecY)} (|SpecY_i|)^2 \quad Ps1 := \sum_{i=400}^{500} (|SpecY_i|)^2$$

$$W := \frac{820}{Tobs}$$

11. Записуємо аналітичний вираз для швидкості передавання інформації:

$$\begin{array}{l}
W1 := \left| \begin{array}{l}
k \leftarrow \text{trunc}(f \cdot T_{\text{obs}}) \\
ss \leftarrow 1 \\
ps1 \leftarrow \sum_{n=k-1}^{k+1} \left(|\text{Spec}Y_n| \right)^2 \\
\text{level} \leftarrow \frac{ps1}{P_{\text{full}}} \\
\text{while level} < 0.95 \\
\quad \left| \begin{array}{l}
ss \leftarrow ss + 1 \\
ps1 \leftarrow \sum_{n=k-ss}^{k+ss} \left(|\text{Spec}Y_n| \right)^2 \\
\text{level} \leftarrow \frac{ps1}{P_{\text{full}}}
\end{array} \right. \\
2 \cdot ss
\end{array} \right. \\
Wf := \frac{W1}{T_{\text{obs}}}
\end{array}$$

12. Задаємо послідовність для формування графіка спектральної ефективності та порівняння її з спектральною ефективністю сигналу з ВФМ. Записуємо у вигляді матриці дані для Gr, далі записуємо формулу для визначення змінної та записуємо формули для задання табличних значень спектральної ефективності сигналу КАМ та ВФМ (формуємо два графіки: перший є залежністю $G_{j,1}$ від $G_{j,0}$, другий є залежністю $G_{j,0}/G_{j,1}$ від $G_{j,0}$)

$$j := 0..rows(Gr) - 1$$

13. Формуємо сигнали з виходу модулятора, для цього записуємо аналітичні вирази вихідних сигналів $y_1(t)$ і $y_2(t)$:

$$y_0(t) := y(t)$$

$$d1 := T_s + 0.00025 \quad Ur1 := C \quad d2 := \frac{T}{2} \quad Ur2 := C$$

$$y_1(t) := \begin{cases} 0 & \text{if } t < d1 \\ Ur1 \cdot y(t - d1) & \text{if } t \geq d1 \end{cases} \quad y_2(t) := \begin{cases} 0 & \text{if } t < d2 \\ Ur2 \cdot y(t - d2) & \text{if } t \geq d2 \end{cases}$$

Формуємо вихідні сигнали $y_3(t)$ і $y_4(t)$:

$$d3 := 2Ts + 0.0005$$

$$Ur3 := C$$

$$d4 := \frac{Ts}{2}$$

$$Ur4 := C$$

$$y3(t) := \begin{cases} 0 & \text{if } t < d3 \\ Ur3 \cdot y(t - d3) & \text{if } t \geq d3 \end{cases}$$

$$y4(t) := \begin{cases} 0 & \text{if } t < d4 \\ Ur4 \cdot y(t - d4) & \text{if } t \geq d4 \end{cases}$$

14. Записуємо загальну математичну модель КАМ–сигналу з виходу модулятора та будуємо графік сигналу.

$$y(t) := y0(t) + y1(t) + y2(t) + y3(t) + y4(t).$$

Частина 2

1. Запускаємо програму MATLAB 6.5, створюємо новий файл для введення тексту програми, вибираємо варіант для КАМ.

2. Вводимо перші рядки програми, для задання кількості символів і зміни випадкових цілих чисел із діапазону 0...3, тобто значення a1 і b1 будуть змінюватись від -3 до +3.

```
>> N=100; %кількість символів;  
>> aa=randint(1,N,4); % випадкові цілі числа;  
>> bb=randint(1,N,4); % випадкові цілі числа;  
>> a1=2*aa-3; % закон зміни випадкових цілих чисел;  
>> b1=2*bb-3; % закон зміни випадкових цілих чисел.
```

3. Перепишуємо код програми (п. 4), для відповідного варіанта несучої частоти Fc; зобразити три осцилограми вихідного сигналу для двох сусідніх відліків на один символ, тобто для трьох значень FsFd.

4. Для відповідного варіанта кількості відліків на один символ зобразити три осцилограми вихідного сигналу для двох сусідніх несучих частот, тобто для трьох значень Fc:

```
>> Fd=1200; % швидкість символів;  
>> Fc=1800; % несуча частота;  
>> FsFd=8; % кількість відліків на один символ;  
>> Fs=Fd*FsFd; % частота дискретизації;  
>> a1=repmat(a1,FsFd,1);  
>> a1=a1(:);  
>> b1=repmat(b1,FsFd,1);
```

```

>> b1=b1(:);
>> t=(0:N*FsFd-1)/Fs;
>> t=t';
>> s_qask16=a1.*cos(2*pi*Fc*t)+b1.*sin(2*pi*Fc*t);
>> plot(t(1:100),s_qask16(1:100)).

```

5. В середовищі MATLAB 6.5 скласти блок схему (рис. 3.17) і отримати сигнальне сузір'я для КАМ16 .

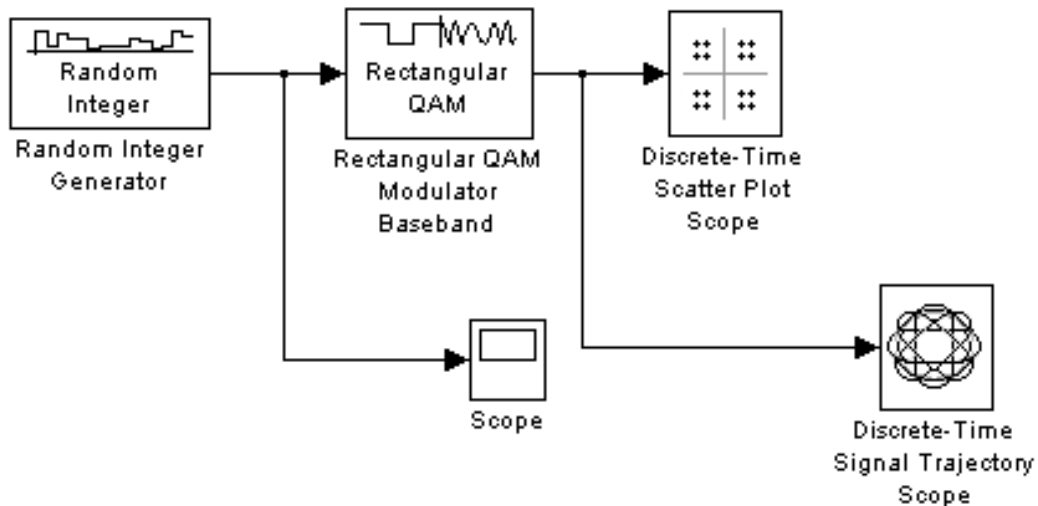


Рисунок 3.17 – Блок-схема модулятора КАМ16

В кожних блоках відповідної схеми поля повинні бути заповнені відповідно до рис. 3.18–3.21:

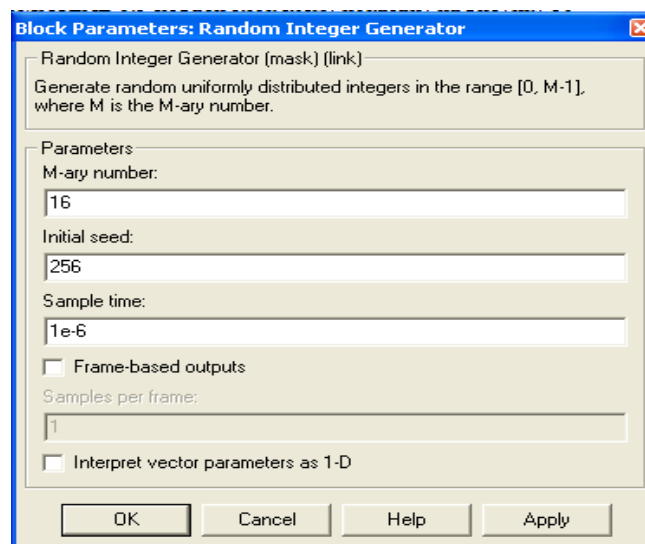


Рисунок 3.18 – Вікно параметрів Randon Integer Generator

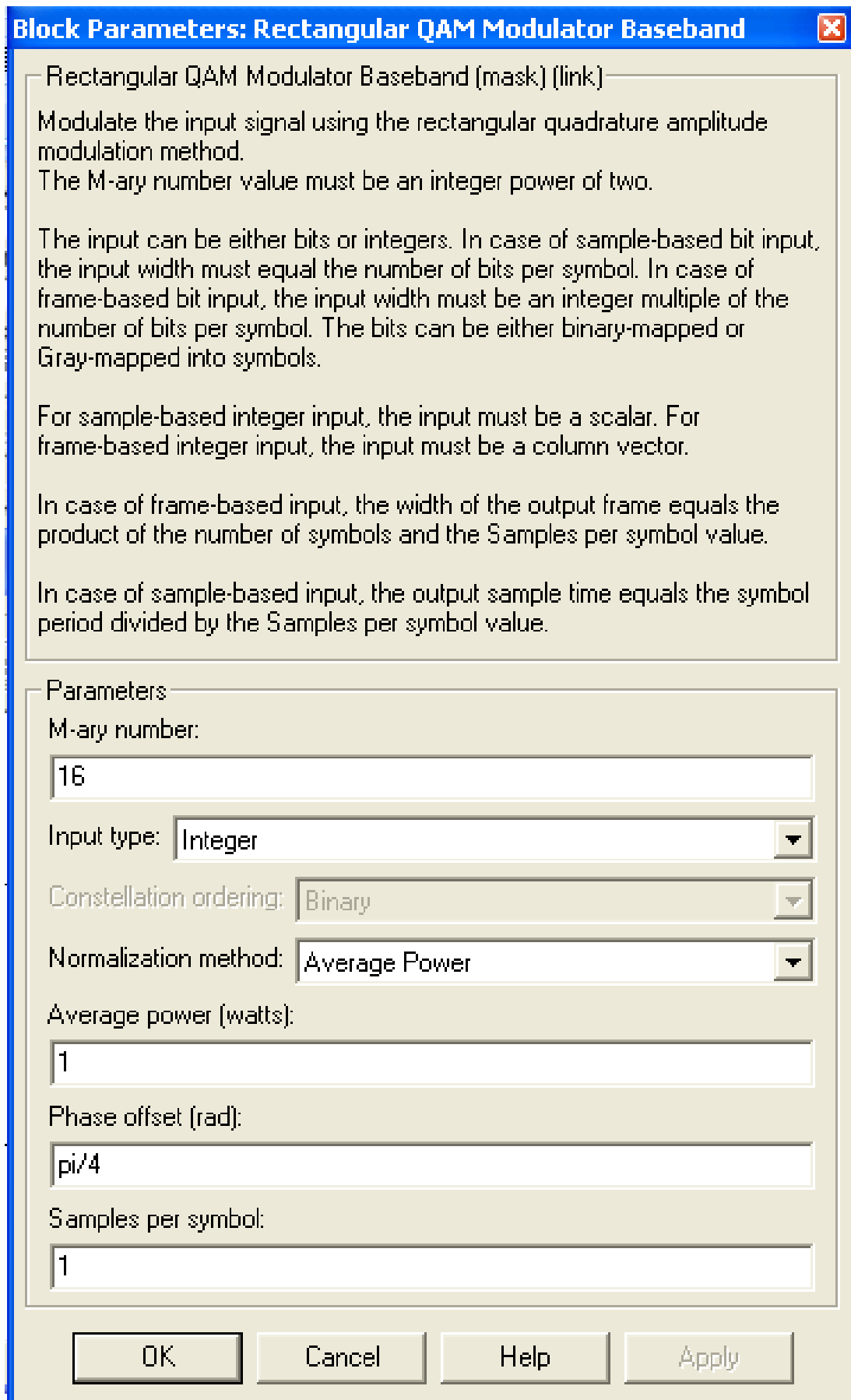


Рисунок 3.19 – Вікно параметрів QAM Modulator Baseband

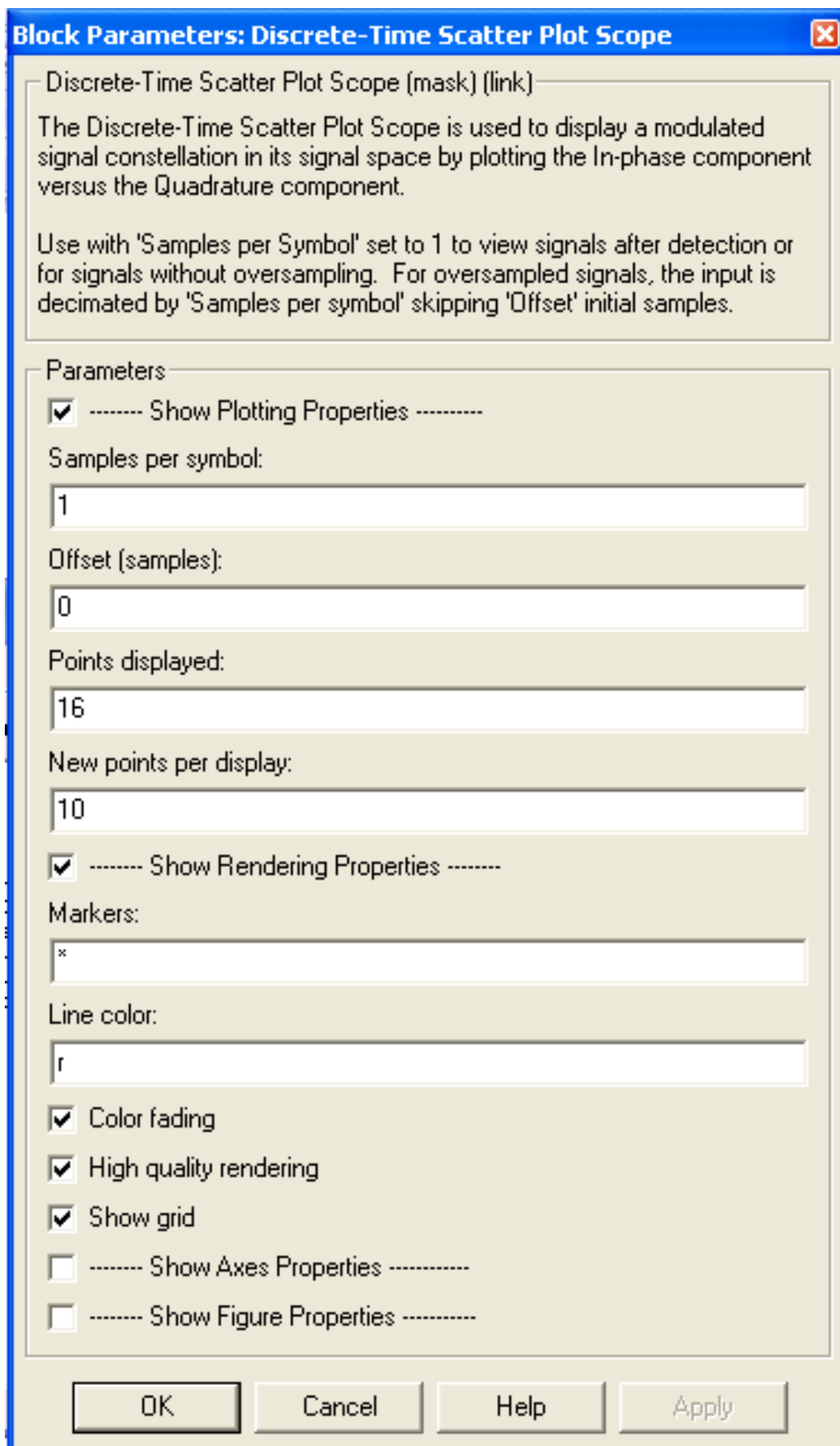


Рисунок 3.20 – Вікно параметрів Discrete-Time Scatter Plot Scope

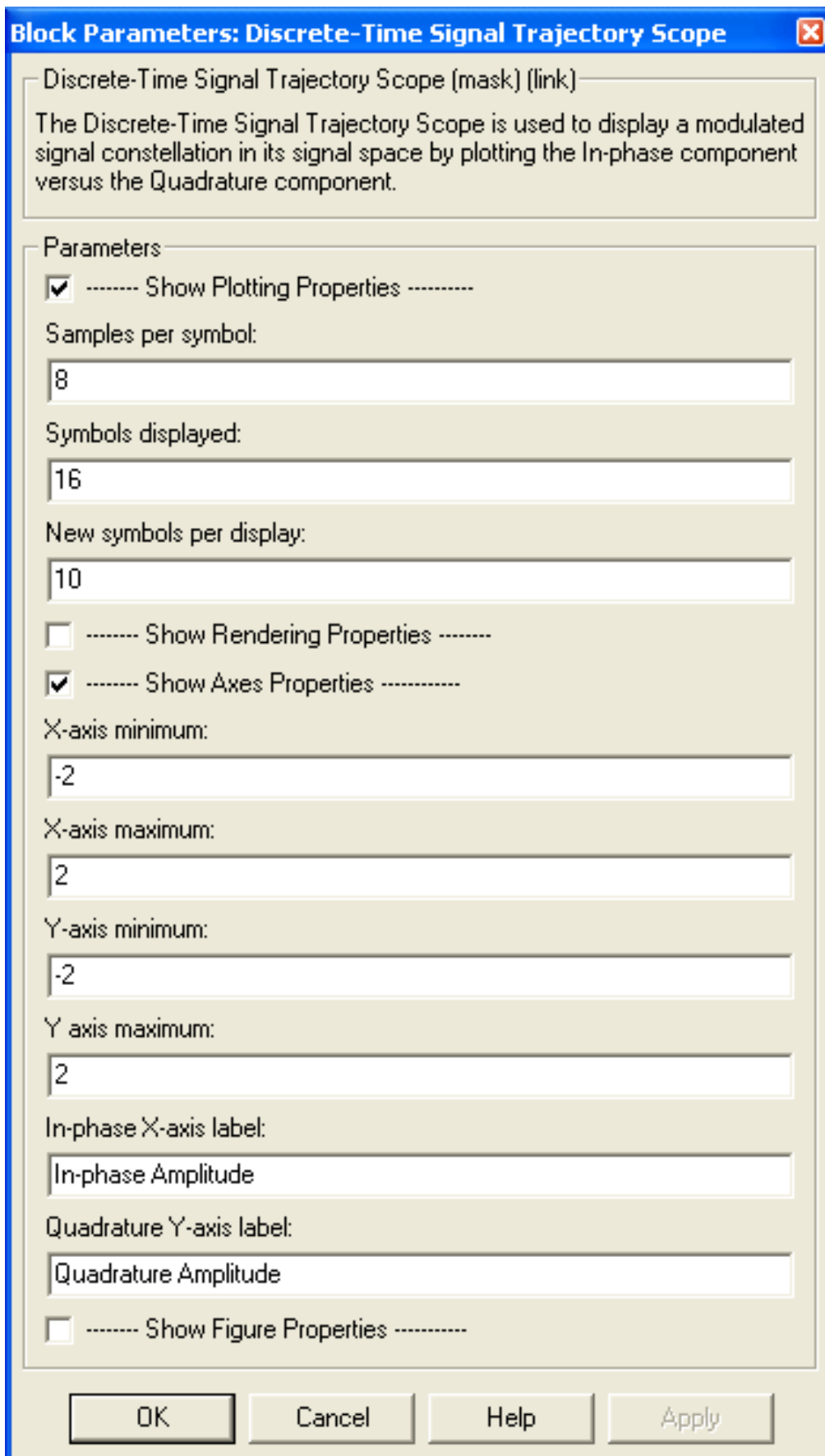


Рисунок 3.21 – Вікно параметрів Discrete-Time Signal Trajectory Scope

Варіанти завдань

Таблиця 3.7 – Завдання для самостійного виконання

Номер варіанта	I	II	III	IV	V	VI
n (довжина двійкової послідовності)	10	9	7	5	11	15
f, кГц	15	1	6	12	8	24
Символьна швидкість, V _b	900	1050	1200	1350	1500	1650

Таблиця 3.8 – Завдання для самостійного виконання

Номер варіанта	I	II	III	IV	V	VI
F _c	1200	1400	1500	1600	1800	2000
F _s F _d	8	12	16	8	12	16

Контрольні запитання

1. Записати і пояснити формулу для спектральної ефективності сигналу при цифровій маніпуляції.
2. Квадратурно-амплітудна маніпуляція – поняття, спосіб реалізації, сигнальне, сузір'я КАМ-сигналу.
3. Навести структурну схему модулятора КАМ.
4. Навести структурну схему когерентного демодулятора КАМ.
5. Описати спектр сигналу з КАМ.
6. Навести структурну схему модулятора ВФМ, пояснити принцип його дії.
7. Навести структурну схему демодулятора ВФМ, пояснити принцип його дії.
8. Описати спектр сигналу з ВФМ.

3.6 Лабораторна робота № 6 "Комп'ютерна обробка звуку за допомогою аудіоредактора Sound Forge"

Мета роботи – отримання практичних навичок комп'ютерної обробки звуку за допомогою професійного редактора.

Стислі теоретичні відомості

Існує безліч аудіоредакторів для записування і обробки звуку і вибір будь-якого з них безпосередньо залежить від цілей, які ви перед собою ставите. Однією з таких програм, призначених для обробки аудіо на про-

фесійному рівні, є Sound Forge фірми Sonic Foundry Inc. З її допомогою можна обробляти аудіосигнал, змінюючи його до невпізнання або ж редагувати неважко записану партію якого-небудь музичного інструменту. Sound Forge успішно поєднує у собі практично повний набір сучасних звукових ефектів і потужні засоби редагування звуків для наступного їх використання [21, 22].

Завдяки зручному інтерфейсу і великому числу підпрограм з програмою можна успішно працювати також і на аматорському рівні. Детальніше про програму можна почитати в розділі "Методичні вказівки до виконання роботи".

Редактор Sound Forge 4.5h при установленні відповідної бібліотеки дозволяє безпосередньо редагувати файли у форматі MP3. Найчастіше виконується редагування файлів у вихідному форматі WAV, а потім здійснюється компресія з втратами. При такій компресії в результуючому файлі втрачається частина інформації з вихідного файлу, виявляється неможливим повне відновлення файлу. Алгоритми з втратами дозволяють отримати більш ефективне стиснення порівняно з алгоритмами без втрат, які застосовуються, наприклад, в програмах-архіваторах.

Найбільш поширеним форматом зберігання стисненого аудіо є MP3 – скорочення від MPEG Layer3. Цей формат затверджений як частина стандартів кодування відео- і аудіосигналів MPEG1, MPEG2. Він використовується, головним чином, для передавання звукових сигналів в реальному часі по мережевих каналах радіо-, телемовлення.

MP3 – потоковий формат. Це означає, що вихідний сигнал при кодуванні розбивається на ділянки за тривалістю або фрейми (frame).

Мінімальні суб'єктивні втрати якості кодованого в MP3-сигналу досягаються за допомогою врахування особливостей людського слуху. Одна з них – це маскування слабкого сигналу одного частотного діапазону більш потужним сигналом іншої частоти. Інша особливість полягає в тому, що потужний сигнал попереднього фрейму викликає тимчасове зниження чутливості вуха до сигналу поточного фрейму. Також враховується нездатність більшості людей розрізняти сигнали, потужності яких лежать нижче порогових рівнів.

Ступінь стиснення сигналу визначається таким параметром, як бітрейт (bitrate). Він визначає, скільки одиниць інформації потрібно для зберігання однієї секунди звучання фонограми. Загальноприйнята одиниця виміру бітрейта – кілобіт на секунду (Кбіт/с або kbs).

Семплер (sampler) – електронний музичний інструмент, що дозволяє записувати, редагувати і відтворювати звуки. Його відмінність від інших електромозичних інструментів (ЕМІ), наприклад, синтезаторів, полягає в тому, що замість осциляторів (генераторів хвиль) використовується записаний в пам'ять семпл (оцифрований звук), який розкладається по MIDI-клавіатурі (Musical Instrument Digital Interface), змінюючи висоту тону до заданих умов. На даний час існує безліч таких пристроїв і їх віртуальних

аналогів. Часто семплер є опцією або основою електронних музичних інструментів.

Вихід в середині–кінці 1980-х років загальнодоступних цифрових семплерів стимулював появу нових музичних напрямків, в першу чергу хіп-хоп, acid house, драм-н-бейс.

Домашнє завдання

1. Вивчити теоретичний матеріал до роботи, методику виконання окремих пунктів роботи.

2. З яких основних компонентів складається звукова система сучасного комп'ютера? Назвіть функції, виконувані ними.

3. Дайте коротку характеристику основних типів та форматів звукових файлів.

4. Назвіть і наведіть короткий опис основних ефектів і прийомів, застосовуваних при обробці звукових файлів в професійних редакторах.

Лабораторне обладнання

1. Персональний комп'ютер, укомплектований звуковою картою.

2. Програма комп'ютерної обробки звуку Sound Forge.

Порядок виконання роботи

1. Проведіть запис фонограми з джерела (музичний компакт-диск на лінійний вхід звукової карти або з мікрофона), зазначеного викладачем. Тривалість фонограми повинна бути не меншою 2–3 хвилин.

2. Виконайте редагування записаної фонограми за допомогою редактора Sound Forge 4.5h. Необхідно домогтися помітного поліпшення якості звучання фонограми відносно вихідної. Особливу увагу слід приділити зниженню рівня спотворень і шумових складових, усуненню помітних імпульсних перешкод, балансуванню стереоканалів. Застосовуючи різні ефекти, постарайтеся домогтися більш природного і насиченого звучання. Не видаляючи вихідну фонограму, збережіть отриманий результат у файлі формату WAV.

3. За допомогою програми Sound Forge 4.5h виконайте кодування створеного при виконанні п. 2 WAV-файлу в формат MP3 з різними параметрами стиснення. Варіюючи бітрейт від мінімального до максимального значення, зробіть висновок про те, які параметри компресії, на ваш погляд, можуть бути рекомендовані для даної фонограми і наявного апаратного забезпечення. Прослуховування MP3-файлів здійсніть за допомогою програми Winamp, не змінюючи налаштування відтворення.

Методичні вказівки до виконання роботи

Роботу з програмою зазвичай починають з її інтерфейсу.

Доступ до всіх функцій програми можна отримати з головного меню, але для спрощення і прискорення роботи зручно використовувати лінійки інструментів, на яких розташовані кнопки з піктограмами. Натискання на кнопку еквівалентно вибору відповідної команди з головного меню. Викликаються лінійки інструментів з головного меню (Options> Preferences> Toolbars) (рис. 3.22). Відзначивши необхідні лінійки хрестиком, розмістіть їх по периметру вікна програми.

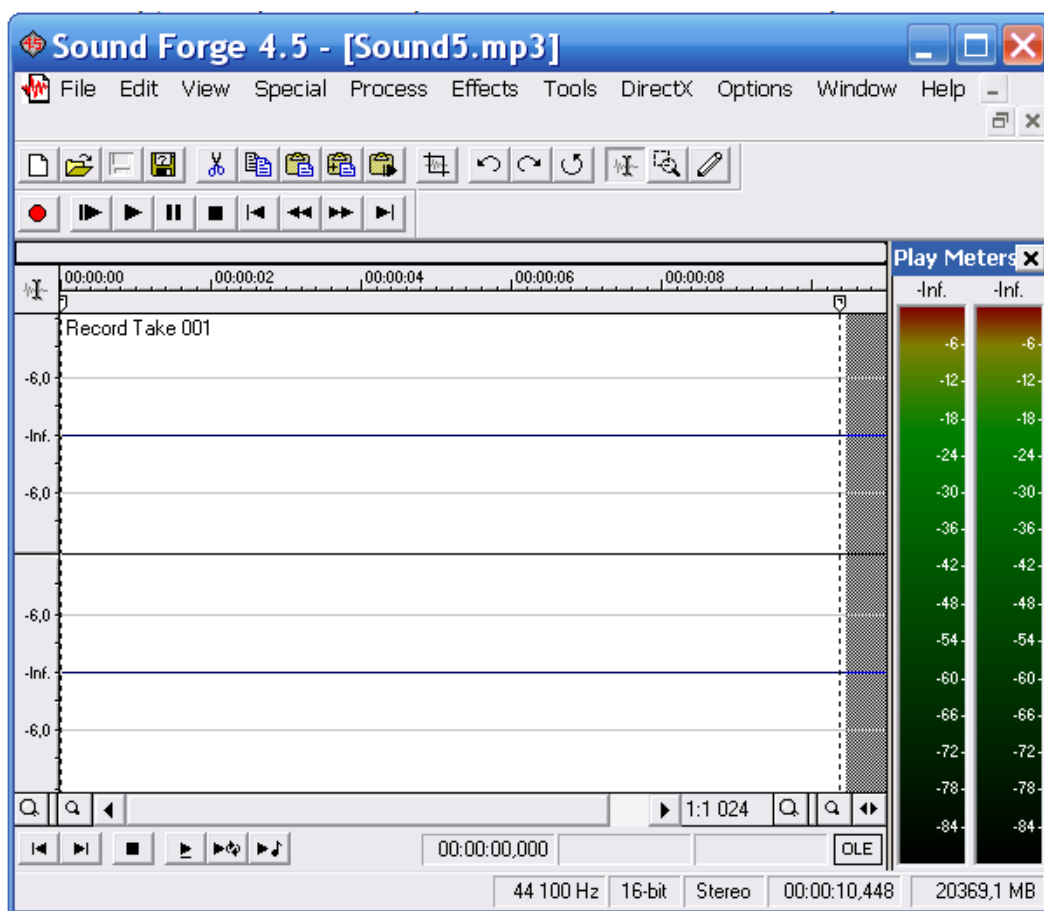


Рисунок 3.22 – Інтерфейс програми Sound Forge 4.5h

Далі виберіть драйвери вашої звукової плати для аудіозаписування та відтворення (Options > Preferences> Wave), а також для MIDI (MIDI-вхід і MIDI-вихід), якщо ви збираєтеся використовувати Sound Forge разом із зовнішніми MIDI-пристроями або іншими програмами, що підтримують MIDI (Options > Preferences> MIDI> Sync).

Також можна встановити час попереднього перегляду різних звукових ефектів, які ви будете застосовувати (Options > Preferences> Previews). Можливість оцінити результат дії застосовуваного до звукового сигналу перетворення перед повною обробкою файлу значно заощадить час при

роботі з великими обсягами інформації. На практиці буває цілком достатньо 5–10 секунд.

На цьому закінчуються мінімальні налаштування. Для початку поставимо перед собою просте завдання – записати звуковий фрагмент і провести його обробку за допомогою найбільш часто використовуваних ефектів.

Відкриємо новий файл, виконавши команду File> New. При цьому з'явиться вікно з налаштуваннями режиму роботи, де можна обрати розрядність та частоту вибірки АЦП.

Контроль над записом, відтворенням і перемотуванням до початку та кінця файлу здійснюється керувальними кнопками, розташованими в правій верхній частині екрана, вони нагадують відповідні кнопки побутового рекордера. Для запису використовуємо мікрофон або будь-яке інше джерело сигналу, наприклад, КД-програвач, підключений до входу звукової плати. Рівень вхідного сигналу можна регулювати програмно за допомогою мікшера, вбудованого в Sound Forge (View> Mixer), стандартного регулятора рівня Windows або регулятора, що постачається в комплекті із звуковою платою.

Далі натискаємо на кнопку запису Record (Special> Transport> Record) і активізуємо допоміжне меню (рис. 3.23).

У цьому меню вибирається:

– формат файлу Mono/Stereo, Sample Size (розрядність), Sample Rate (частота дискретизації);

– режим запису (заміна попереднього дубля наступним, послідовний запис дублів).

Тут же знаходяться і індикатори рівня вхідного сигналу.

Щоб почати записування, достатньо натиснути кнопку Record. Для припинення записування натисніть кнопку Stop, що з'явилася на місці кнопки Play. Потім закрийте допоміжне меню (кнопка Close) і приступайте до редагування записаної фонограми.

Спочатку необхідно видалити свідомо зайві паузи на початку і в кінці файлу, що з'явилися в результаті затримки між моментом натиснення кнопок Record/Stop і початком/закінченням записування. Для цього потрібно відзначити необхідну для видалення область файлу і виконати команду Edit> Clear (або натиснути кнопку Delete на клавіатурі). Області файлу відзначаються дуже просто: ставите мишу в вибране місце на екрані і рухаєте її вправо або вліво, попередньо натиснувши ліву кнопку, потім відпускаєте кнопку. Зазначена область забарвлюється в чорний колір. Зауважте, що якщо ви працюєте зі стереофайлом і хочете відзначити обидва канали відразу, то курсор потрібно ставити недалеко від горизонтальної лінії, що розділяє стереоканали. Якщо ж вам потрібно відзначити область тільки на одному з каналів, то курсор ставте нижче середнього рівня правого каналу або вище середнього рівня лівого.

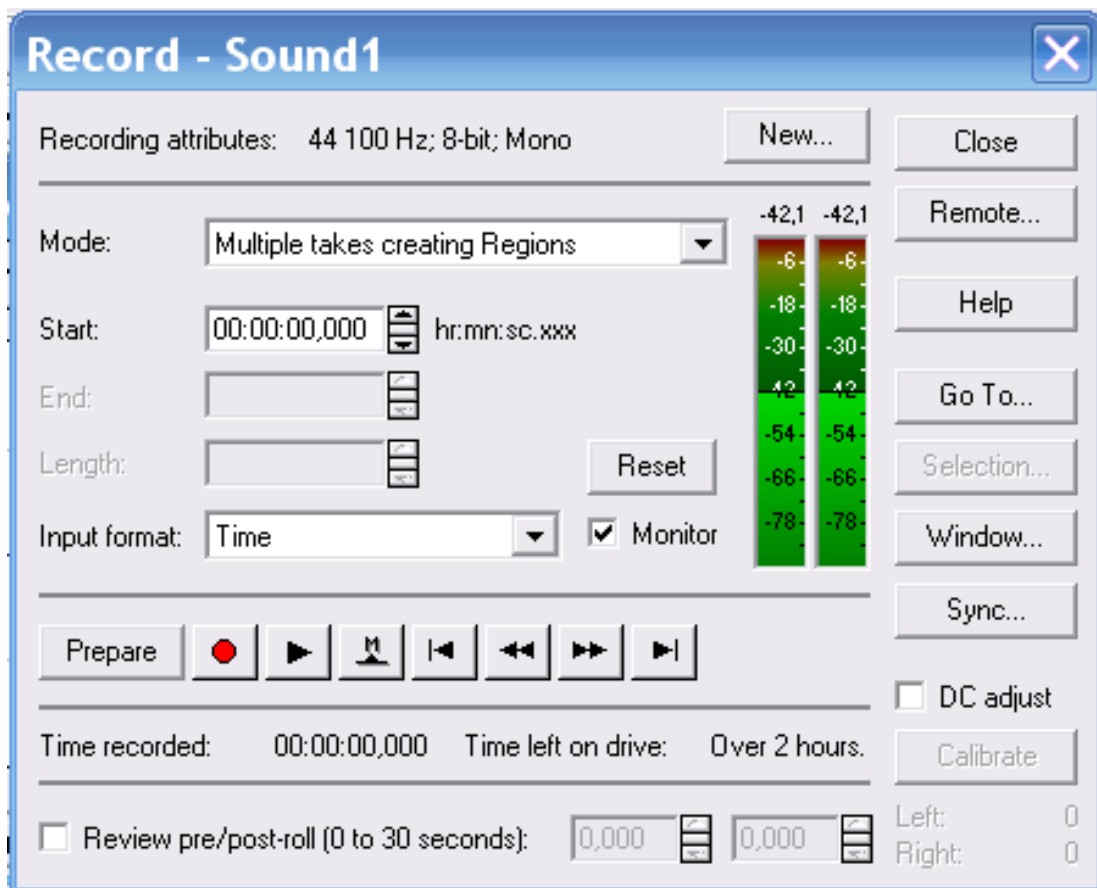


Рисунок 3.23 – Допоміжне меню

Якщо паузу перед початком файлу потрібно залишити, слід позбутися всіх шумів, присутніх у паузі, виконавши команду `Process> Mute`.

Якщо сигнал слабо змінюється за гучністю (наприклад, якщо це звук електрогітари з ефектом `Distortion`), то корисно злегка обмежити його за рівнем для того, щоб уникнути можливих спотворень в процесі подальших перетворень. Для цього можна виконати команду `Effects> Dinamics> Graphic` і у вікні (рис. 3.24) скорегувати динамічну характеристику сигналу.

Наступною корисною і часто застосовуваною процедурою є обробка звуку еквайзером, що дозволяє додати звуку бажане темброве забарвлення. У `Sound Forge` є три основних типи еквайзера: графічний (`Process> EQ> Graphic`), параметричний (`Process> EQ> Parametric`) і комбінований (`Process> EQ> Paragraphic`). Параметричний і комбінований еквайзери дозволяють підсилити або приглушити обрану смугу частот, графічний же десятисмуговий еквайзер дає більш гнучкий контроль над звуком, він поданий у вигляді панелі звичайного аналогового еквайзера (рис. 3.25).

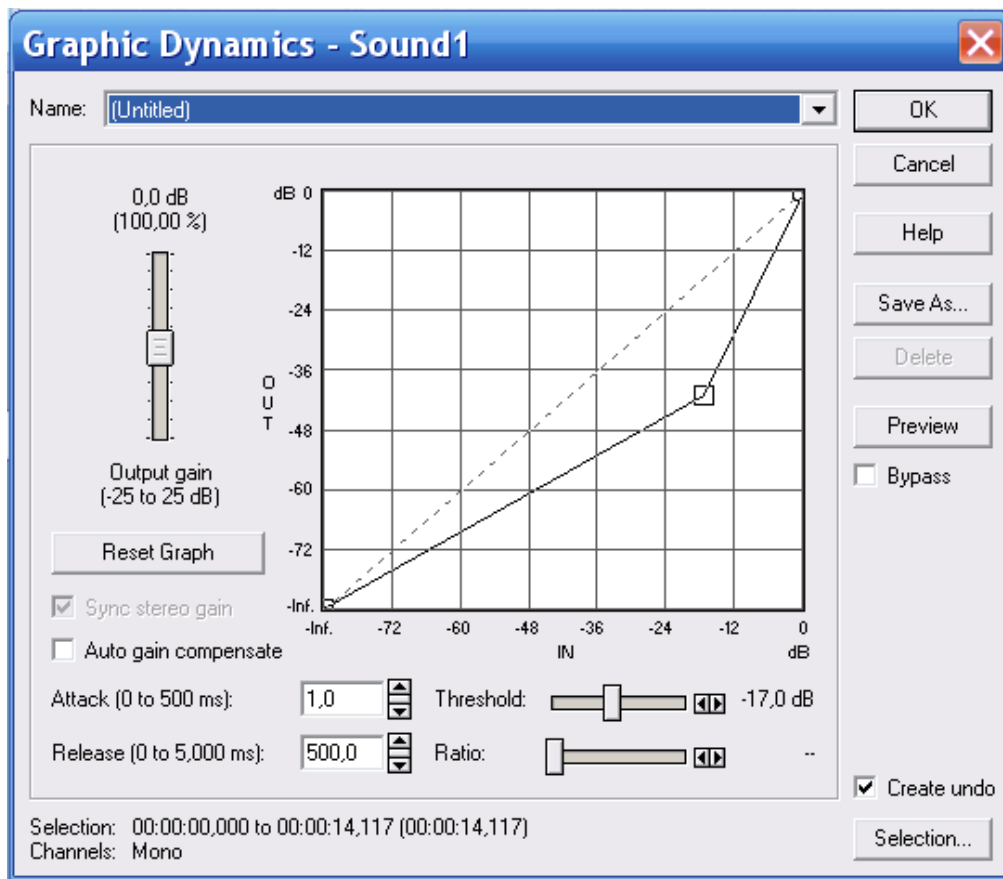


Рисунок 3.24 – Меню Effects> Dynamics

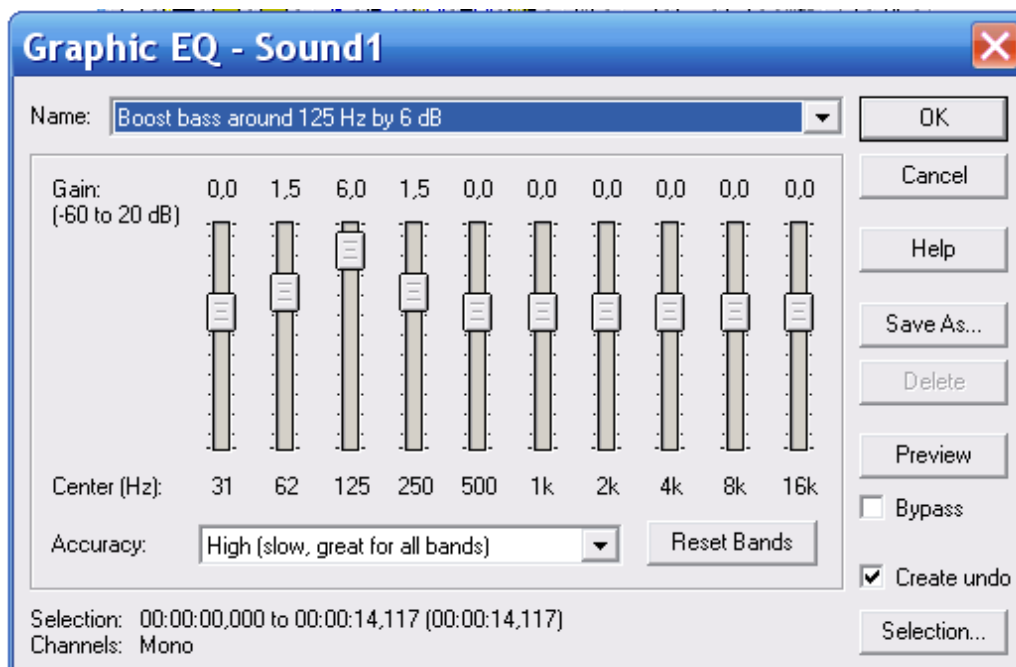


Рисунок 3.25 – Вікно графічного еквайзера

Додати звуку нових фарб і відтінків можна, застосувавши ефект під назвою Chorus (хорус). Chorus створює враження, що звучать два або декілька джерел сигналу одночасно. Це досягається шляхом додавання до вихід-

ного необробленого сигналу його копії, затриманої в часі до 100 мілісекунд і зміненої за висотою. Для активізації хоруса виконайте команду `Effects> Chorus` і в меню виберіть яку-небудь попередню настанову або регулюйте параметри самостійно, змінюючи `Input gain` (рівень сигналу на вході), `Dry out` (рівень необробленого сигналу на виході), `Chorus out` (рівень обробленого сигналу на виході), `Delay` (затримка обробленого сигналу відносно вихідного), `Modulation Rate` (частота модулювання оброблюваного сигналу), `Modulation Depth` (глибина модуляції), `Feedback` (у відсотках вказується, яка частина обробленого сигналу піддається повторній обробці), `Chorus size` (кількість обробок вихідного сигналу ефектом). Перед тим, як застосувати ефект до всього файлу, можна попередньо оцінити його дію, натиснувши у допоміжному меню кнопку `Preview`.

Найбільш вживаним звуковим ефектом, є реверберація (*reverberation*). Вона використовується для додання звуку "об'єму" і для імітації акустичних умов різних типів приміщень (концертний зал, хол, невелика кімната і т. д.). Практично жодний сучасний музичний запис не обходиться без використання реверберації. Ефект реверберації оснований на затримці копій вихідного сигналу в часі. `Sound Forge` дозволяє працювати з вісьмома копіями, для кожної з яких можна незалежно задавати час затримки, амплітуду та розміщення в стереосигналі. Затримана в часі копія імітує перше відбиття звукової хвилі від стіни уявного приміщення і піддається повторному перетворенню з параметрами `Feedback`, `Modulation Rate`, `Modulation Depth` і `Lowpass` (фільтр високих частот). Для виклику ефекту необхідно виконати команду `Effects> Reverb`, вибрати відповідну попередню настанову або зайнятися регулюваннями самостійно.

Такий ефект як `Delay/Echo` (Затримка–Ехо) викликається командою `Effects> Delay/Echo`. `Delay` дозволяє імітувати відлуння і створює враження, що звук лунає у великому приміщенні, в горах або ж, навпаки, в надзвичайно маленькій кімнаті.

Слід зазначити, що три описаних вище ефекти (`Chorus`, `Reverb`, `Delay/Echo`) є спорідненими, в їх основу покладено принцип затримки однієї або декількох копій вихідного сигналу в часі. Тому застосовувати всі ці ефекти відразу до одного звукового файлу далеко не завжди доцільно. Часто вистачає або одного з них, або поєднання двох, наприклад, `Chorus> Reverb`. Звук не повинен в підсумку виявитися забитим численними відлуннями і незрозумілими шумами.

За допомогою наявних в `Sound Forge` засобів обробки можна легко реалізувати ефект поступового наростання гучності звучання на початку файлу або загасання гучності в його кінці. Достатньо лише виділити необхідну область звукової хвилі і виконати `Process> Fade> In` для отримання ефекту наростання гучності або `Process> Fade> Out` для її загасання. Зміни амплітуди сигналу протягом усього файлу можна задавати і графічно (`Process> Fade> Graphic`). Графічне подання дуже наочне і надає повну свободу творчості.

Описані вище звукові ефекти використовуються при обробці мало не кожного звукового файлу. Крім них, Sound Forge пропонує і безліч інших, які також дуже цікаві, але використовуються рідше. Це такі специфічні ефекти, як Reverse (Process> Reverse), що дозволяє відтворити звуковий фрагмент задом наперед; Pitch Bend (Effects> Pitch> Bend), який змінює висоту звуку відповідно до заданої обвідної; Gapper/Snipper (Effects> Gapper> Snipper) – з його допомогою можна, наприклад, надати голосу людини механічних відтінків; Amplitude Modulation (амплітудна модуляція – Effects> Amplitude Modulation), який дозволяє домогтися як тремоло, так і незвичайних спотворень звуку; Distortion (Effects> Distortion) – імітує перевантаження підсилювача і т. д.

Корисною є можливість прискорювати або сповільнювати звуковий фрагмент, не змінюючи при цьому його висоту (Process> Time Compress/Expand). Діапазон стиснення/розтягування не дуже широкий: прискорювати фонограму можна в два рази, а сповільнювати всього в півтора.

Ще один корисний ефект – це Noise Gate (Effects> Noise Gate). Він дозволяє позбутися усіх шумів, присутніх в паузах, коли основний сигнал тимчасово відсутній. Суть ефекту в тому, що він прибирає всі звуки і шуми, амплітуда яких нижча заданого рівня.

Звук, який в подальшому планується завантажувати в семплер, повинен мати максимально можливу амплітуду, яка не викликає спотворення. Для цього використовується операція нормалізації (Process> Normalize).

Зверніть увагу, що майже всі ефекти можна застосовувати не тільки до обох каналів відразу, але і до одного з них окремо. Обробка звукового файлу одним і тим же ефектом, які мають на правому та лівому каналах різні установки, часто дає дуже цікавий результат. Особливо це відноситься до затримки і реверберації. Ефекти, застосовані до лівого каналу, можуть зовсім відрізнитися від ефектів, застосованих до правого. Єдине обмеження – фантазія. Не бійтеся експериментувати. Помітний вплив на кінцевий результат робить і порядок обробки файлу певним набором ефектів. Спробуйте різні варіанти (наприклад, EQ-Chorus-Delay або Chorus-Delay-EQ і т. п.).

Контрольні запитання

1. Що таке аналого-цифрові і цифро-аналогові перетворювачі звукового сигналу?
2. Якими параметрами характеризується аудіосигнал, перетворений у цифрову форму?
3. Як залежить динамічний діапазон і рівень шуму від параметрів оцифрування звукового сигналу?
4. Які основні принципи стиснення аудіоданих використовуються в MP3-алгоритмах?

5. Що таке бітрейт? Як розрахувати бітрейт для нестисненого сигналу, якщо відомі параметри його оцифрування?

6. Назвіть основні найбільш поширені операції над звуком, які виконує редактор Sound Forge.

3.7 Лабораторна робота № 7 "Визначення основних параметрів пристрою запису мовного сигналу"

Мета роботи – ознайомитись з принципами прямого перетворення з аналогової форми в цифрову і оберненого перетворення із цифрової форми в аналогову мовного сигналу; експериментально зняти параметри пристрою запису та відтворення.

Стислі теоретичні відомості

В основі будь-якого перетворення та зберігання аналогового сигналу в цифровому вигляді є перетворення його за допомогою АЦП в двійкову послідовність (вибірки (sampled data)).

Період отримання вибірок розраховується за теоремою Котельникова, тобто частота вибірок або частота дискретизації потрібна бути, як мінімум, в два рази вищою за максимальну частоту сигналу, який перетворюється в цифровий вигляд. Таким чином, для того, щоб перетворити в цифровий код мовний сигнал із спектром в смузі 300–3400 Гц (телефонний канал) треба отримувати послідовність цифрових кодів з частотою дискретизації 6,8 кГц. Для оцифрування мовного сигналу зі смугою пропускання телефонного каналу найчастіше використовується частота дискретизації 8 кГц.

Після оцифрування аналогового сигналу з виходу АЦП отримується імпульсно-кодово модульований сигнал (pulse code modulated signal, ІКМ-сигнал), який поступає на вхід мікроконтролера (рис. 3.26). В мікроконтролері відбувається програмне стиснення цифрової інформації. Завдяки стисненню досягається досить ефективно використання flash-пам'яті, де зберігається записана інформація. Способів і алгоритмів стиснення є багато: LPC – Linear Predictive Coding, CELP – Code-Excited Linear Prediction, CS-ACELP – Conjugate-Structured Algebraic CELP та багато інших [10, 23, 25].

В даній лабораторній роботі використовується так званий спосіб адаптивної диференційної імпульсно-кодової модуляції (ADPCM – Adaptive Differential Pulse Code Modulation) [23, 24]. Це досить поширений спосіб, який дозволяє стискати 16-бітовий код в 4-бітовий з досить непоганою якістю (і навіть в три-, дво- та однобітовий код, але якість відтворюваного сигналу різко погіршується). В основі методу ADPCM є та властивість, що значення сусідніх відліків (sampling) різняться між собою на невелике зна-

чення. Тому замість обробки самих відліків відбувається обробка різниці між сусідніми відліками.

Для декодування сигналу треба знати тільки значення першого відліку в даному блоці. Далі, знаючи різницю між даним відліком і наступним, вираховується значення наступного відліку. На наступному кроці базовим вже є вирахований відлік і за його значенням знаходиться значення наступного. Таким чином в даному методі кодування для визначення відліку треба обов'язково знати значення попереднього [24].

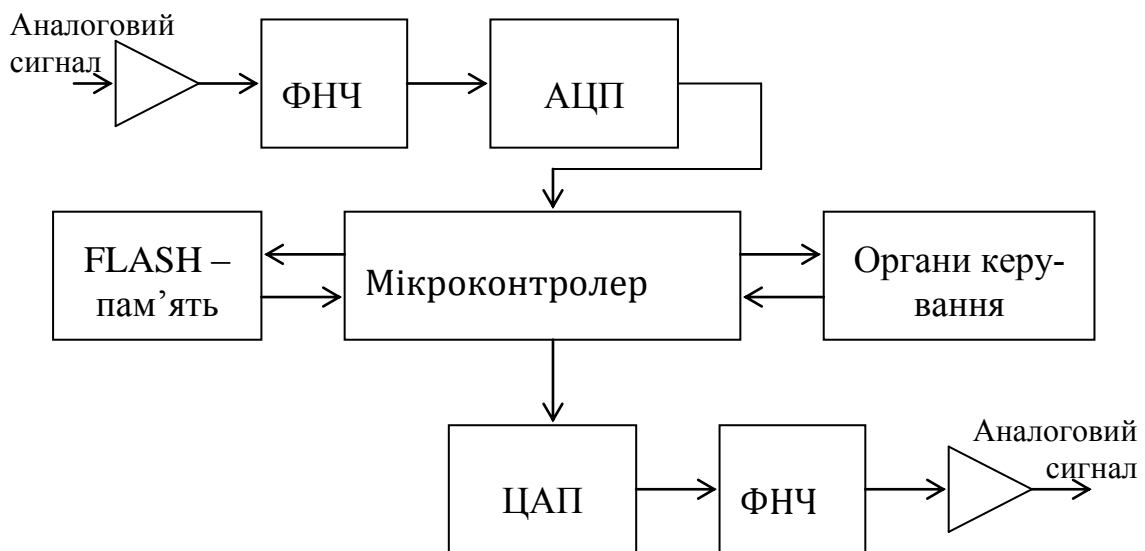


Рисунок 3.26 – Спрощена структурна схема пристрою записування, відтворення та зберігання аналогового сигналу в цифровому вигляді

Після кодування цифрова послідовність зберігається у пам'яті або передається по каналу зв'язку. Для того, щоб отримати аналоговий сигнал, кодова послідовність декодується мікроконтролером, в результаті чого на виході пристрою відтворюється досить точно сигнал-оригінал. Для перетворення ІКМ-сигналу в аналоговий вигляд використовується ЦАП. На вхід ЦАП з частотою дискретизації подається ІКМ-послідовність, вихідна напруга ЦАП підсилюється і подається на гучномовець [10, 15].

Опис лабораторної установки

Схема лабораторної установки наведена на рис. 3.27.

Основою лабораторного макету є мікросхема фірми Motorola MC145483, яка є 13-бітовим ІКМ кодеком ([ко]дером – [дек]одером) – фільтром. В мікросхемі (рис. 3.28) є вхідні та вихідні операційні підсилувачі, вхідні та вихідні ФНЧ, вбудовані 13-бітові АЦП та ЦАП. Дані передаються по трипроводовому SPI-інтерфейсу (інтерфейс послідовної передачі даних, де по одній лінії передаються тактові імпульси, а по двох інших – дані передачі та прийому).

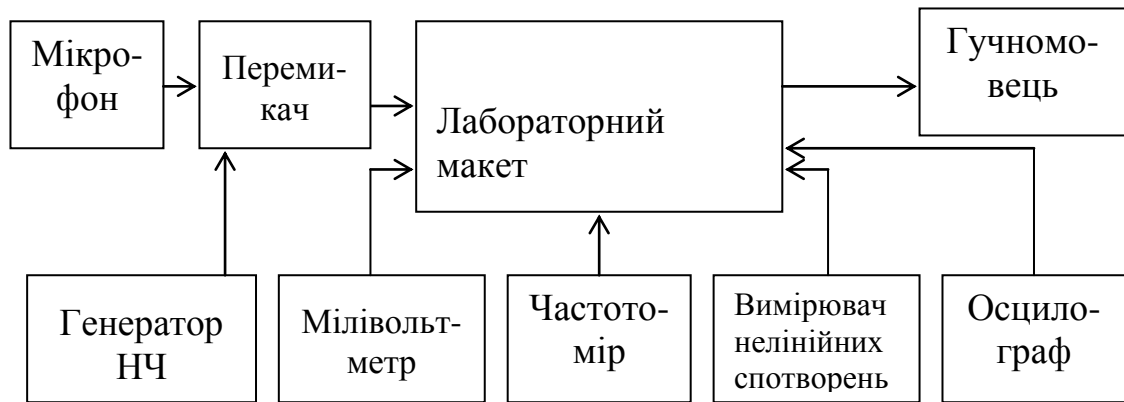


Рисунок 3.27 – Схема лабораторної установки

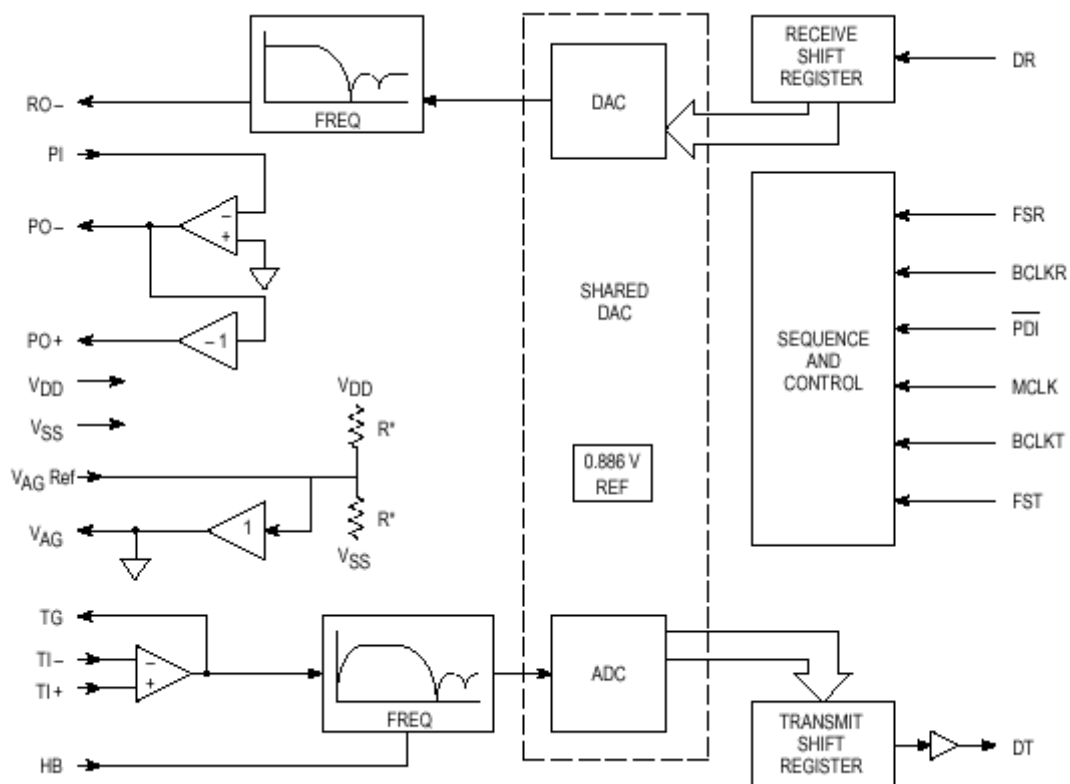


Рисунок 3.28 – Функціональна схема мікросхеми кодека MC145483

Призначення виводів:

V_{dd} – позитивна напруга живлення;

V_{ss} – негативна напруга живлення;

V_{ag} – нижня межа напруги для АЦП та ЦАП;

V_{agref} – "аналогова земля";

HB – вхід включення фільтра на 200 Гц;

PDI – логічний нуль на цьому вході переводить мікросхему в сплячий режим;

TI+ – неінвертувальний аналоговий вхід;

TI- – інвертувальний аналоговий вхід;

TG – вхід вибору коефіцієнта підсилення;
RO- – аналоговий вихід;
PI – вхід підсилювача потужності;
PO- – вихід підсилювача потужності (інвертувальний);
PO+ – вихід підсилювача потужності (неінвертувальний);
MCLK – вхід тактової частоти (SPI – інтерфейс);
FST – вхід частоти 8 кГц для синхронізації даних, що передаються;
BCLKT – контроль швидкості передавання ІКМ-даних;
DT – вихід регістра зсуву передавача (SPI – інтерфейс);
FSR – вхід частоти 8 кГц для синхронізації даних, що приймаються;
BCLKR – контроль швидкості приймання ІКМ-даних;
DR – вхід регістра зсуву приймача (SPI – інтерфейс);
ПрРЗ – приймальний регістр зсуву;
ПРЗ – передавальний регістр зсуву.

Повна схема лабораторного макета наведена на рис. 3.29. Схема керування складена на мікроконтролері фірми Microchip PIC16F76. Інформація зберігається в енергонезалежній пам'яті фірми Atmel AT45DB161 обсягом 16 Мбіт, чого при даному алгоритмі стискання достатньо для зберігання до 15 хвилин мовного сигналу.

Стисло роботу макета (рис. 3.29) можна описати таким чином: мікроконтролер PIC16F876 працює від RC-генератора, оскільки для керування пам'яттю, світлодіодами та кнопками особливої точності часових інтервалів не потребується. Вбудований в мікроконтролер таймер-лічильник має свій тактовий генератор на 32 кГц. Це зроблено для генерування, шляхом поділу тактової частоти на чотири, опорної частоти 8 кГц з метою правильного функціонування мікросхеми кодека. В схемі присутні дві кнопки та два світлодіоди, які пов'язані між собою. Їх призначення – індикація та ініціалізація режиму, в якому зараз знаходиться лабораторний макет (режим записування чи режим відтворення). Живлення макета здійснюється від лабораторного джерела живлення 12 В, в схемі після стабілізатора отримується напруга 3 В для живлення мікроконтролера, кодека та пам'яті. В схемі є можливість з'єднання з комп'ютером по інтерфейсу RS-232 (сериальний порт). Цей же роз'єм використовується для підключення гучномовця. Мікросхема кодека підключена за рекомендованим виробником включенням. Використана мікросхема пам'яті з паралельним інтерфейсом. Записування, читання та керування виконується за допомогою мікроконтролера.

Домашнє завдання

1. Опрацювати лекційний матеріал по даній темі.
2. Ознайомитись зі схемами лабораторної установки і лабораторного макета, методикою експериментальних досліджень.

3. Вивчити схемотехніку апаратури цифрового звукозапису на компакт-диск, жорсткий диск, флеш-пам'ять та ін.

Вимірювальна апаратура і апаратура, яка досліджується

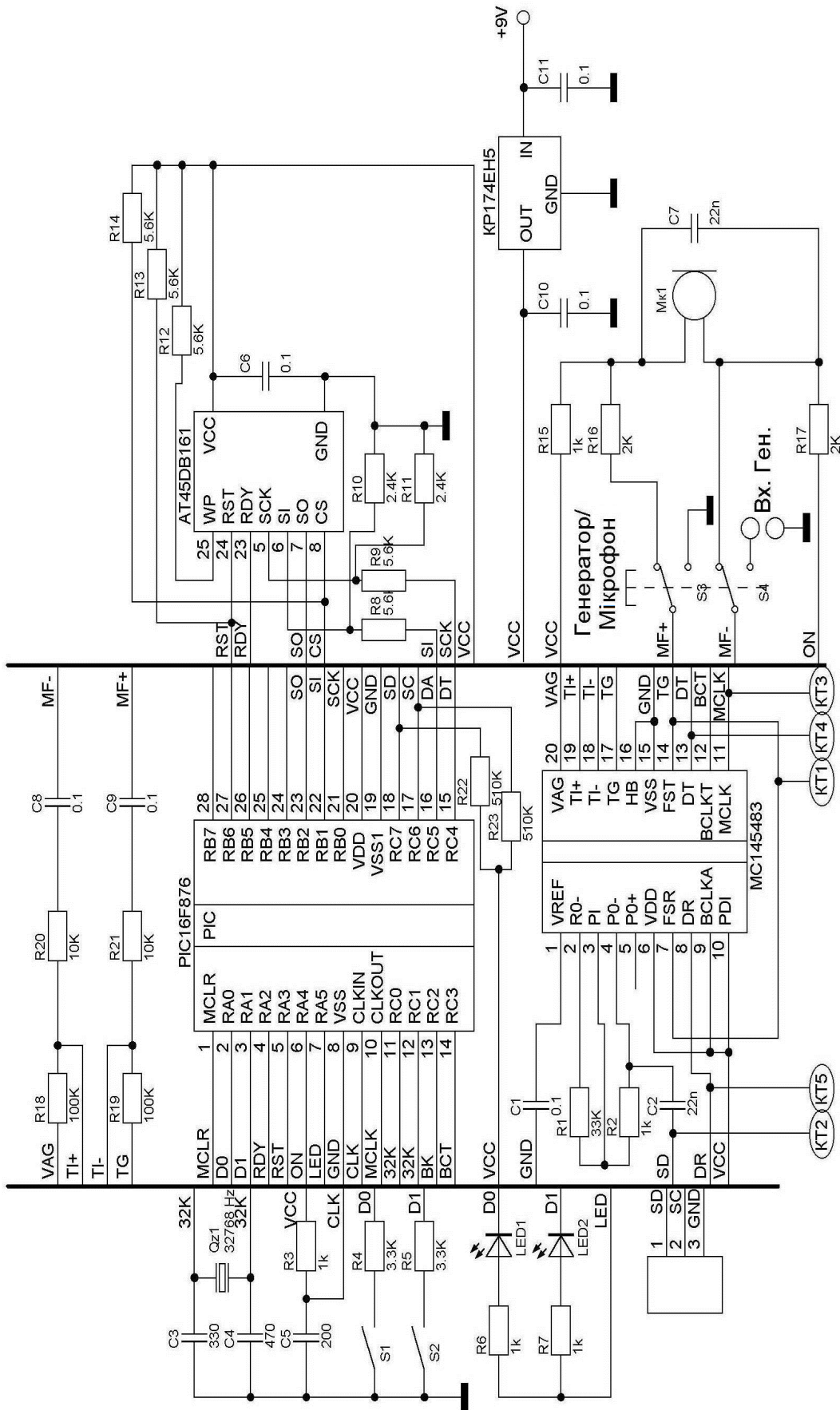
1. Лабораторний макет.
2. Лабораторне джерело живлення ТЕС-88.
3. Генератор низькочастотний ГЗ-118.
4. Мілівольтметр ВЗ-38.
5. Частотомір ЧЗ-54.
6. Осцилограф С1-83.
7. Вимірювач нелінійних спотворень С6-5.
8. Смуговий фільтр 200-3400 Гц.

Програма експериментальних досліджень

1. Зібрати лабораторну установку та перевірити її роботоздатність.
2. Здійснити запис гармонічного сигналу з частотою 1000 Гц.
3. Дослідити за допомогою осцилографа напруги в контрольних точках, відтворюючи записаний сигнал. Зарисувати форму сигналів та записати їх параметри.
4. Визначити відношення сигнал/шум D.
5. Зняти АЧХ пристрою в стандартних умовах на частотах, вказаних в методичних вказівках до лабораторної роботи.
6. Визначити гармонічні спотворення в номінальних умовах. На вхід пристрою подати синусоїдальний сигнал з частотою 315, 1000 та 3400 Гц.
7. Здійснити запис мовного сигналу (голос студента) протягом декількох хвилин та дати суб'єктивну оцінку якості запису.
8. Зробити висновки по всіх пунктах досліджень.

Методичні вказівки до проведення експериментальних досліджень

1. Записування гармонічного сигналу з частотою 1000 Гц виконується за допомогою генератора низької частоти. Записування проводиться в номінальних умовах. Для даного пристрою номінальними умовами є напруга на вході 5 мВ. Стандартні умови – умови, при яких напруга на вході менша напруги номінальної умови на 10 дБ (менша в 3,16 раза). Для записування до входу макета приєднують генератор, виставляють частоту 1000 Гц, тумблер "Мікрофон-Генератор" встановлюють в положення "Генератор". Записування виконується натисканням кнопки "Запис" із загоранням відповідного світлодіода.



2. Контрольні точки розставлені в таких частинах схеми:

КТ1 – видача з мікроконтролера частоти дискретизації 8 кГц для синхронізації перетворення;

КТ2 – вихід кодека, тут можна побачити записаний сигнал в аналоговій формі;

КТ3 – тактовий сигнал для передачі даних по SPI-інтерфейсу;

КТ4, КТ5 – дані, які відповідно передаються та приймаються мікросхемою кодека при перетворенні сигналів.

3. Відношення сигнал/шум.

Встановити макет в номінальні умови. Записати гармонічний сигнал з частотою 1000 Гц протягом 2–3 хв. Потім відключити генератор і вхід замкнути на еквівалент джерела. Напругу шуму $U_{ш}$ виміряти через смуговий фільтр, який пропускає тільки звукові частоти і корегувати при значенні послаблення фільтра α_{ϕ} на частоті 1000 Гц. В результаті відношення сигнал/шум розраховувати за формулою:

$$D = 20 \cdot \lg \frac{U_H}{U_{ш} \cdot \alpha_{\phi}}.$$

4. Зняти в стандартних умовах АЧХ, вимірюючи напругу на виході макету на частотах 200, 315, 500, 600, 800, 1000, 1200, 1500, 1700, 2000, 2200, 2500, 2700, 3000, 3200 та 3400 Гц. Дані занести в таблицю та побудувати графік АЧХ.

5. Гармонічні спотворення.

Встановити номінальні умови. Пункт виконується з застосуванням вимірювача нелінійних спотворень С6-5. Проводиться протягом 2–3 хвилин записування сигналу з генератора низької частоти (тумблер "Мікрофон-Генератор" в положенні "Генератор"). Після закінчення включити макет на відтворення (кнопка "Відтворення", індикація відповідним світлодіодом) та провести відповідні вимірювання на частоті 315, 1000 та 3400 Гц.

Контрольні запитання

1. Поясніть принцип записування та зберігання аналогового сигналу в цифровому вигляді.

2. Які існують методи підвищення ефективності використання оцифрованих даних?

3. Якою є методика експериментального визначення основних параметрів пристрою записування та відтворення аналогового мовного сигналу в цифровому вигляді?

4. В чому недоліки та переваги записування мовного сигналу в флеш-пам'ять порівняно з цифровим записуванням на магнітну стрічку чи компакт-диск?

5. Які ще ви знаєте методи стискування мовного сигналу крім тих, що наведені в роботі?

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Сергиенко А. Б. Цифровая обработка сигналов / Сергиенко А. Б. – К. : БХВ-Киев, 2015. – 768 с.
2. Цифрова обробка аудіо- та відеоінформації у мультимедійних системах : навчальний посібник / [О. В. Дробик, В. В. Кідалов, В. В. Коваль та ін.] – К. : Наукова думка, 2008. – 144 с.
3. Цифровая обработка изображений в информационных системах : учебное пособие / [И. С. Грузман, В. С. Киричук, В. П. Косых и др.] – Новосибирск : Изд-во НГТУ, 2002. – 352 с.
4. Гадзиковский В. И. Цифровая обработка сигналов / Гадзиковский В. И. – М. : Солон-Пресс, 2013. – 766 с.
5. Гонсалес Р. Мир цифровой обработки / Р. Гонсалес, Р. Вудс; пер. с англ. – М. : Техносфера, 2007. – 584 с.
6. Оппенгейм А. Цифровая обработка сигналов / А. Оппенгейм, Р. Шафер. – М. : Техносфера, 2012. – 1046 с.
7. Быков Р. Е. Цифровое преобразование изображений : учебное пособие для вузов / Быков Р. Е. – М. : Горячая линия–Телеком, 2003. – 228 с.
8. Яне Б. Цифровая обработка изображений / Яне Б. ; пер. с англ. – М. : Техносфера, 2007. – 584 с.
9. Забара С. С. Комп'ютерні методи обробки сигналів та зображень / Забара С. С., Зеленський К. Х., Ігнатенко В. М. – К. , 2007. – 170 с.
10. Синклер Ян. Основы цифровой звукотехники / Синклер Ян ; пер. с англ. – М. : Энергоатомиздат, 1990. – 80 с.
11. Ковалгин Ю. А., Цифровое кодирование звуковых сигналов / Ю. А. Ковалгин, Э. И. Володин. – СПб. : Изд-во Корона Принт, 2004. – 240 с.
12. Бондарев В. Н. Цифровая обработка сигналов: методы и средства / Бондарев В. Н., Трестер Г., Чернега В. С. – Севастополь : Изд-во СевГТУ, 1999. – 388 с.
13. Гонсалес Р. Цифровая обработка изображений в среде MATLAB / Гонсалес Р., Вудс Р., Едінс С. – М. : Техносфера, 2006. – 600 с.
14. Звуковое вещание и электроакустика : [учебник для вузов / под. ред. Ковалгина Ю. А.] – М. : Радио и связь, 2007. – 892 с.
15. Шкритек П. О. Справочное руководство по звуковой схемотехнике / Шкритек П. О. – М. : Мир, 1991. – 446 с.
16. Авраменко Ю. Ф. Схемотехника проигрывателей компакт-дисков / Авраменко Ю. Ф. – М. : Наука и техника, 1999. – 128 с.
17. Ленк Дж. Мой домашний аудиовидеокомплекс / Ленк Дж. – М. : Энергоатомиздат, 1994. – 318 с.
18. Рихтер С. Г. Цифровое радиовещание / Рихтер С. Г. – М. : Горячая линия–Телеком, 2004. – 352 с.

19. Мамаев Н. С. Системы цифрового телевидения и радиовещания / Мамаев Н. С., Мамаев Ю. Н., Теряев Б. Г. – М. : Горячая линия–Телеком, 2006. – 254 с.
20. Солонина А. И. Цифровая обработка сигналов и MATLAB (+CD-ROM) : [учебник для ВУЗов] / А. И. Солонина, Д. М. Клионский, Т. В. Меркучева, С. Н. Перов. – СПб. : БХВ-Петербург, 2013. – 512 с.
21. Загуменнов А. П. Компьютерная обработка звука / Загуменнов А. П. – М. : ДМК, 2000. – 384 с.
22. Белунцов В. Звук на ПК. Трюки и эффекты / Белунцов В. – СПб. : Питер, 2005. – 448 с.
23. CCITT Recommendation G.711: Pulse Code Modulation (PCM) of Voice Frequencies (Geneva: International telecommunications Union, 1972).
24. Шелухин О. И. Цифровая обработка и передача речи / О. И. Шелухин, Н. Ф. Лукьянцев. – М. : Радио и связь, 2000. – 456 с.
25. Калинин Ю. К. Разборчивость речи в цифровых вокодерах / Калинин Ю. К. – М. : Радио и связь, 1991. – 218 с.

СЛОВНИК НАЙБІЛЬШ ВЖИВАНИХ ТЕРМІНІВ

- Автокореляція – autocorrelation
- Автокореляційна функція – autocorrelation function
- Адаптивна диференційна імпульсно-кодова модуляція (ДІКМ) – adaptive differential pulse code modulation
- Амплітудно-фазова маніпуляція – amplitude-phase manipulation
- Аналогово-цифровий перетворювач (АЦП) – analog to digital converter
- Вибірки – sampled data
- Високочастотна фільтрація – high-frequency filtration
- Відліки – sampling
- Відносна фазова маніпуляція (ВФМ) – the phase manipulation
- Відношення сигнал-шум – signal to noise ratio
- Децимація – decimation
- Динамічний діапазон – dynamic range
- Дискретизація – discretization
- Діапазон відтворюваних частот – replay frequency range
- Обернене дискретне перетворення Фур'є – inverse discrete Fourier transform
- Обернене перетворення Фур'є – inverse Fourier transform
- Імпульсно-кодовомодульований сигнал (ІКМ) – pulse code modulated signal
- Інтерполяція – interpolation
- Квантування – quantization
- Квадратурно-амплітудна маніпуляція (КАМ) – quadrature-amplitude manipulation
- КД програвач – CD player
- Коефіцієнт детонації – wow and flutter, flutter rate
- Коефіцієнт нелінійних спотворень – non-linear distortion ratio
- Лінійна фільтрація – linear filtering
- Математичне сподівання – mathematical expectation
- Медіанна фільтрація – median filtration

Мікроконтролер – microcontroller
Нерівномірне квантування – non-uniform quantization
Низькочастотна фільтрація – low-frequency filtration
Передатна функція – the transfer function
Перемножувач – multiplier
Промінь лазера – the laser beam
Потужність випромінювання – radiation power
Пряме дискретне перетворення Фур'є (ДПФ) – direct discrete Fourier transform
Пряме перетворення Фур'є – direct Fourier transform
Реверберація – reverberation
Рівні квантування – quantization levels
Рівномірне квантування – uniform quantization
Розділення каналів – the separation channels
Розрядність квантування – number of bits
Семплер – sampler
Середньоквадратичне відхилення – root mean square
Система автофокусування – system of automatic focusing
Спектральний аналіз – spectral analysis
Спектральна щільність сигналу – signal spectral density
Спектральна ефективність – spectral efficiency
Фрейм – frame
Цифро-аналоговий перетворювач (ЦАП) – digital to analog converter
Цифрова маніпуляція – digital manipulation
Цифрове кодування аудіо-, відеосигналів – digital encoding of audio- and video signals
Цифрове радіомовлення – digital broadcasting
Цифрове телебачення DVB – digital video broadcasting
Цифровий фільтр – digital filter
Частота дискретизації – sampling frequency
Швидке перетворення Фур'є (ШПФ) – fast Fourier transform

Навчальне видання

**Кононов Сергій Павлович
Тромсюк Володимир Дмитрович**

**Цифрове відео- та аудіокодування
Лабораторний практикум**

Редактор Т. Старічек

Оригінал-макет підготовлено С. П. Кононовим

Підписано до друку 20.04.2017 р.
Формат 29,7×42¼. Папір офсетний.
Гарнітура Times New Roman.
Ум. друк. арк. 4,1.
Наклад 50 пр. Зам. № 2017-057.

Видавець та виготовлювач
Вінницький національний технічний університет,
інформаційний редакційно-видавничий центр.
ВНТУ, ГНК, к. 114.
Хмельницьке шосе, 95, м. Вінниця, 21021.
Тел. (0432) 59-85-32, 59-81-59.
press.vntu.edu.ua,
e-mail: kivc.vntu@gmail.com.
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи
серія ДК № 3516 від 01.07.2009 р.