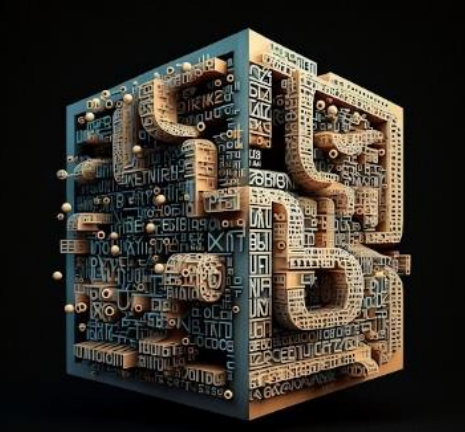


**Міністерство освіти та науки України
Харківський національний економічний
університет імені Семена Кузнеця**



**НАВЧАЛЬНО – НАУКОВИЙ ІНСТИТУТ
ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ**
кафедра: Мультимедійних систем і технологій

дисципліна
"ІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ"
викладач: доцент, к.т.н.
Токарєв Володимир Володимирович



Тема.

Технології обробки мультимедіа. Обробка аудіоконтенту.

Що таке сигнал

Сигнал — це зміна (варіація) фізичного процесу в часі та/або просторі, яка несе інформацію.

Сигнали розрізняють:

1. За фізичною природою (носієм):

- акустичні (звук/тиск);
- механічні (переміщення/вібрація);
- електричні (напруга/струм);
- електромагнітні (радіо/світло);
- оптичні;
- теплові тощо.

2. За формою подання:

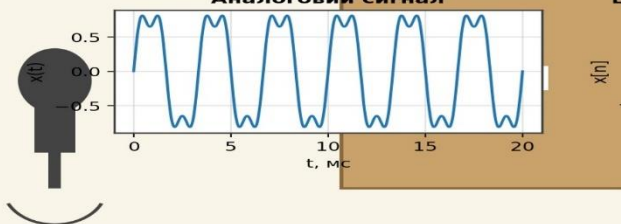
- аналогові;
- та цифрові.

На схемі нижче:

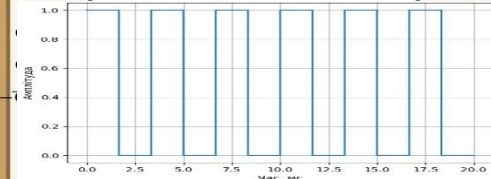
мікрофон → АЦП → цифровий код → ЦАП → динамік.

Цифровий код

Джерело (мікрофон)



Цифрове подання (дискретизація + квантування)



Приймач (динамік)



Аналогово-цифрове перетворення (АЦП)

Перетворення аналогового сигналу на цифровий називається **аналого-цифровим** перетворенням або оцифруванням. Пристрій, призначений для здійснення такого перетворення, називають **аналого-цифровим** перетворювачем (**АЦП**).

Етапи аналого-цифрового перетворення

Процес аналого-цифрового перетворення проходить у кілька етапів:

1. Попередня фільтрація сигналу.

Застосовується спеціальний фільтр для обмеження спектра сигналу та запобігання накладанню спектрів.

2. Дискретизація (вибірка у часі).

Перетворення безперервного сигналу в послідовність його значень у дискретні моменти часу. Частота дискретизації повинна відповідати теоремі Котельникова–Найквіста.

3. Квантування.

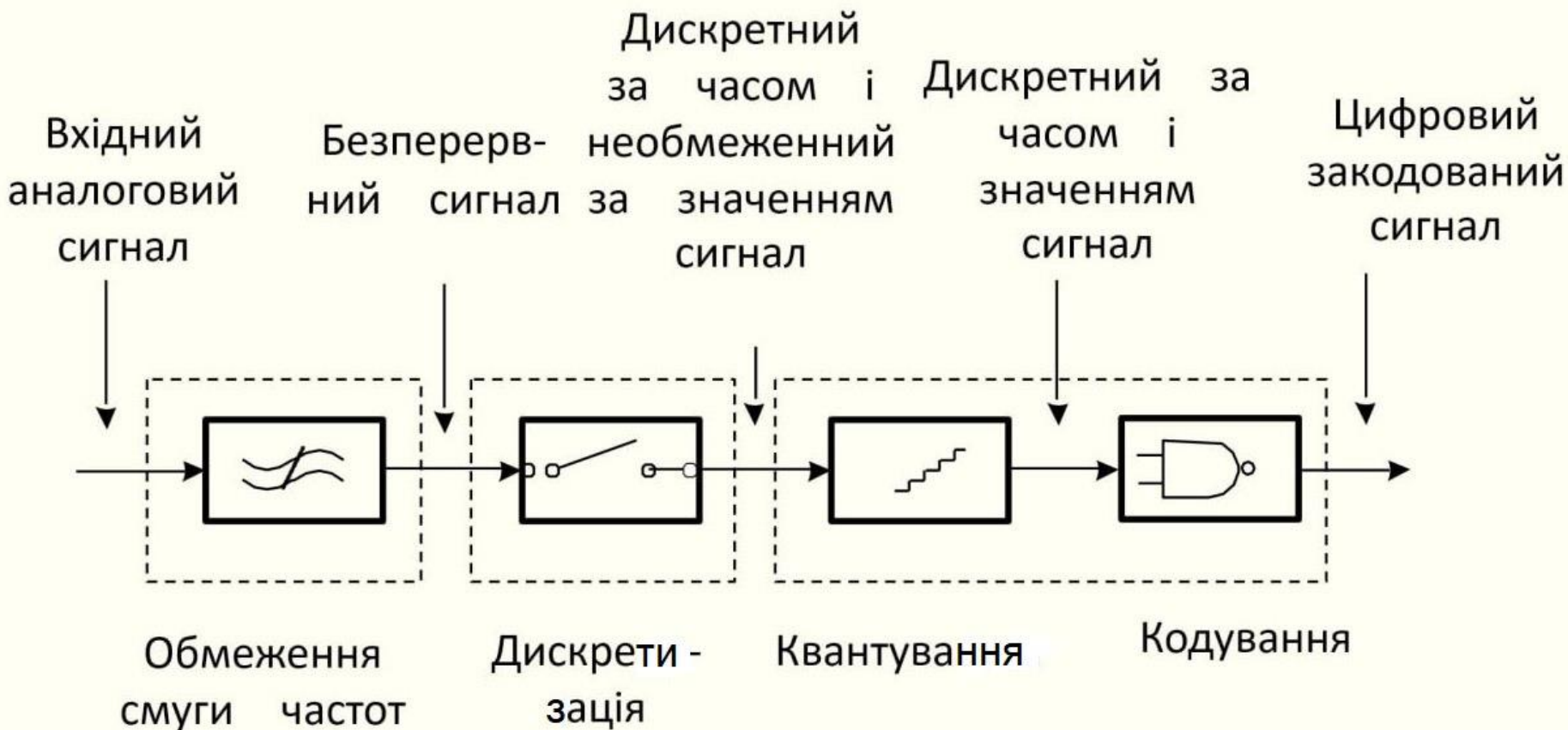
Перетворення безперервних за амплітудою значень у скінченну кількість рівнів. На цьому етапі виникає похибка квантування.

4. Кодування.

Представлення квантованих значень у двійковому коді для подальшого зберігання, обробки або передавання.

Аналогово-цифрове перетворення (АЦП)

На рисунку показано типову структурну схему оцифрування (АЦП-тракту), як вхідний аналоговий сигнал поетапно перетворюється на цифровий закодований сигнал. Схема читається зліва направо; пунктирні рамки — це логічні етапи перетворення, а стрілки зверху підписують тип сигналу на виході кожного етапу.



1. Вхідний аналоговий сигнал. «Вхідний аналоговий сигнал» — безперервний у часі й за амплітудою. Фізично це може бути напруга з мікрофона, тиск (звукова хвиля після перетворювача), сигнал датчика тощо.

2. Обмеження смуги частот (антиаліасинговий фільтр).

Блок «Обмеження смуги частот» — це аналоговий **низькочастотний фільтр** перед дискретизацією (anti-aliasing filter). **Навіщо він потрібен.** Після дискретизації спектри повторюються через кожні **f_s** (частота дискретизації). Якщо у вхідному сигналі є компоненти вище половини частоти дискретизації, вони “складаються” в низькі частоти — виникає **аліасинг**. Зазвичай фільтр налаштовують так, щоб його частота зрізу була трохи нижче **$f_s/2$** (з урахуванням “перехідної смуги” реального фільтра).

Який сигнал після цього етапу? - Підпис зверху: «**Безперервний сигнал**» — тобто він і далі безперервний у часі та за амплітудою, але вже **спектрально обмежений**.

3. Дискретизація. Блок «Дискретизація» перетворює безперервний сигнал **$x(t)$** у послідовність відліків. **Який сигнал після дискретизації?** Підпис зверху: «**Дискретний за часом і необмежений за значенням сигнал**». Це означає: час уже **дискретний**. Амплітуда ще **не квантувана** (теоретично має нескінченну кількість можливих значень, тобто **необмежена/неперервна за рівнями**”).

4) Квантування. Блок «Квантування» замінює кожен відлік $x[n]$ найближчим рівнем із кінцевого набору. **Який сигнал після квантування?** Підпис зверху: «**Дискретний за часом і значенням сигнал**» — тепер і час дискретний, і амплітуда приймає **лише дискретні рівні**.

5) Кодування. Блок «Кодування» перетворює квантований рівень у **двійкове слово** (послідовність бітів). Кодування включає:

- вибір формату (прямий код, зміщений (offset binary), двійковий додатковий код (two's complement) для знакових);

- упаковку у байти/слова, можливу службову інформацію, інтерфейс передачі тощо.

Який сигнал на виході? Підпис зверху: «**Цифровий закодований сигнал**» — це вже потік бітів/слів, придатний для зберігання, обробки та передавання.

Підсумок "що змінюється на кожному кроці"

1.Фільтрація: обмежує спектр, щоб не було алиасингу.

2.Дискретизація: робить сигнал дискретним у часі.

3.Квантування: робить сигнал дискретним за рівнями (за значенням).

4.Кодування: перетворює рівні на бітовий код.

Аліасинг — це спотворення, яке виникає під час дискретизації сигналу, коли частота дискретизації недостатня для коректного відтворення його спектра. У результаті високочастотні складові сигналу «накладаються» у **нижню частотну область і сприймаються як хибні (псевдо-)частоти**.

Аналогово-цифрове перетворення (АЦП)

На графіку показано, як аналоговий (неперервний) сигнал перетворюється на цифровий у вимірювальному/аудіо тракті.

Синя крива — аналоговий сигнал $x(t)$ (ідеалізована синусоїда, неперервна за часом і амплітудою).

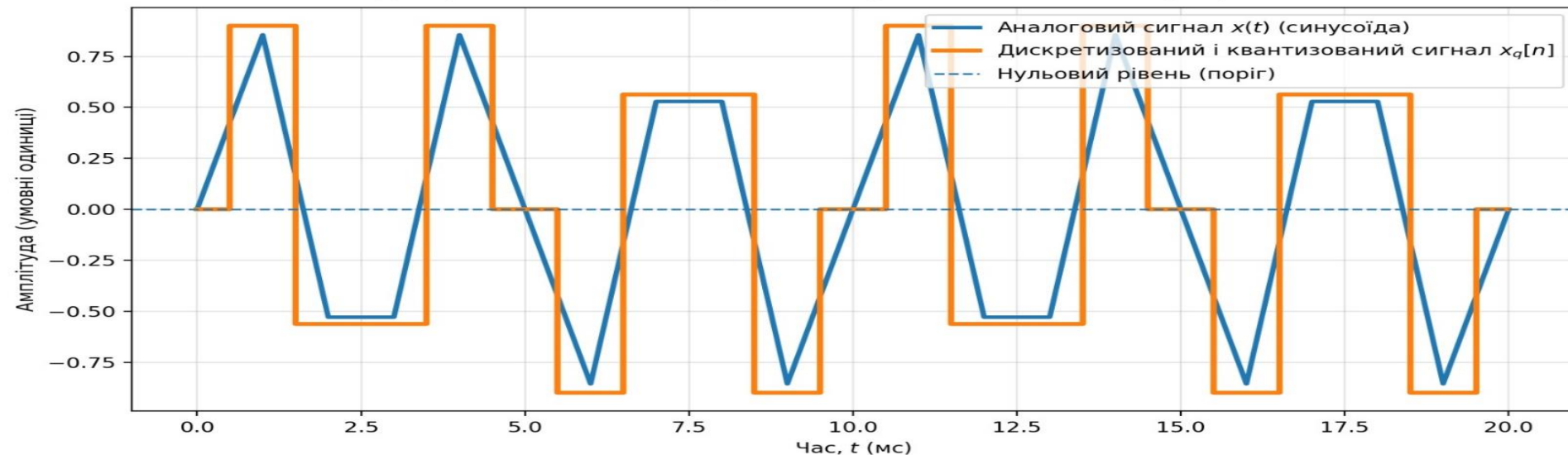
Помаранчевий "сходінковий" сигнал — дискретизований і квантований сигнал:

-дискретизація - беремо значення сигналу у певні моменти часу (крок за часом);

-квантування - кожне виміряне значення округлюємо до найближчого дозволеного рівня (тому амплітуда стає "сходінками").

Пунктирна горизонтальна лінія — нульовий рівень (поріг), тобто 0.

Дискретизація та квантування синусоїдального сигналу (приклад)



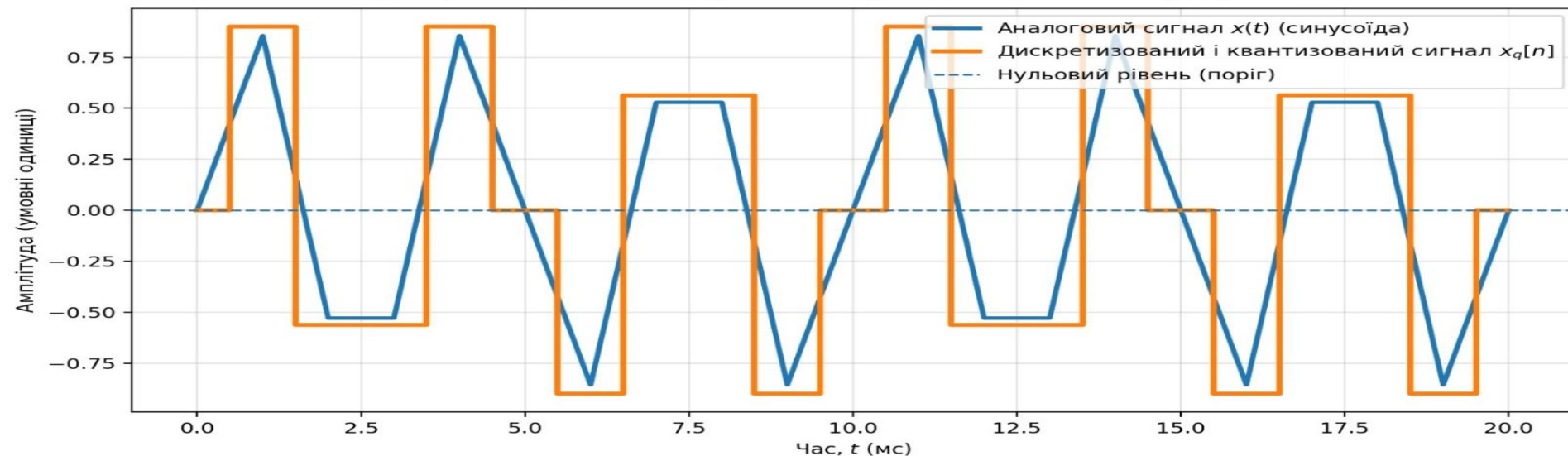
Аналогово-цифрове перетворення (АЦП)

Як правильно читати цей графік

Оберіть момент часу по осі **t (мс)**. За синьою кривою оцініть "істинну" (аналогову) амплітуду у цей момент. Подивіться, до якого квантувального рівня вона "підтягнулась" (помаранчева сходинка).

Різниця між синім і помаранчевим сигналом у кожній точці — це похибка квантування. Чому з'являються "сходинки". Це прямий наслідок того, що в цифровій системі амплітуда має скінченну кількість рівнів (визначається розрядністю **АЦП**, напр. **8/12/16** біт). Чим більше рівнів — тим менші сходинки і менша похибка квантування.

Дискретизація та квантування синусоїдального сигналу (приклад)



Цифро-аналогове перетворення (ЦАП)

Цифро-аналогове перетворення є процесом, зворотним до процесу дискретизації та квантування. Аналоговий сигнал реконструюють з імпульсного (дискретного) сигналу шляхом інтерполяції, використовуючи певну кількість відліків (семплів) за одиницю часу.

Процес цифро-аналогового перетворення практично відбувається у два етапи:

- генерування ступінчастого аналогового сигналу на основі інформації про відліки цифрового сигналу;
- згладжування ступінчастого сигналу за допомогою аналогового фільтра нижніх частот (**ФНЧ**).

Ключовим елементом цифро-аналогового перетворення є цифро-аналоговий перетворювач (**ЦАП**) — електронний пристрій, що перетворює цифровий код (двійкову послідовність) у відповідне значення напруги або струму.

Після формування ступінчастого сигналу на виході ЦАП виникає так званий сигнал утримання нульового порядку, який має вигляд послідовності прямокутних імпульсів зі сталою амплітудою протягом періоду дискретизації.

Цифро-аналогове перетворення (ЦАП)

Оскільки такий сигнал містить високочастотні складові (спектральні копії, що виникають унаслідок дискретизації), для відновлення плавної форми аналогового сигналу застосовується аналоговий фільтр нижніх частот (**ФНЧ**). Його функції

- придушення спектральних складових вище половини частоти дискретизації;
- згладжування ступінчастої форми сигналу;
- відновлення безперервної амплітудно-часової залежності.

Застосування цифро-аналогового перетворення:

- аудіосистеми (відтворення звуку);
- телекомунікаційні системи;
- вимірювальна техніка;
- системи керування та автоматика;
- мультимедійні пристрої.

Таким чином, цифро-аналогове перетворення є завершальним етапом цифрової обробки сигналів і забезпечує повернення цифрової інформації у фізичну, безперервну форму, придатну для сприйняття людиною або взаємодії з аналоговими системами.

Цифро-аналогове перетворення (ЦАП)

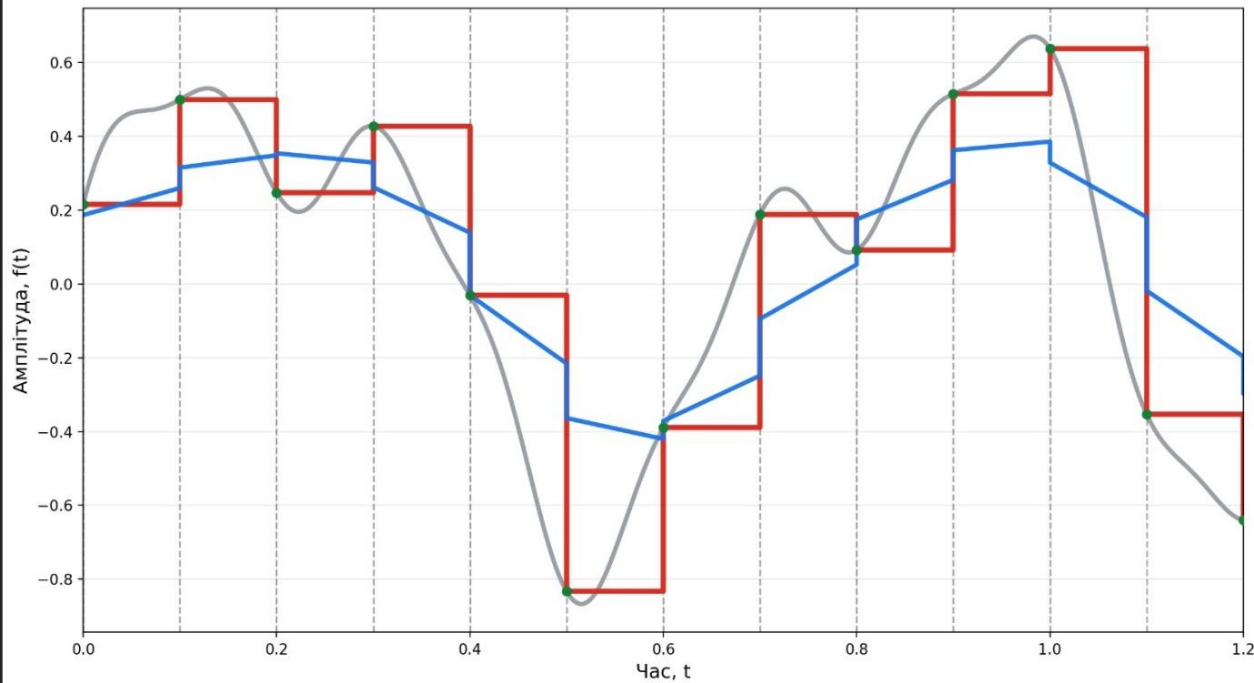
На графіку накладені 4 сутності, які разом пояснюють роботу ЦАП.

Сірий плавний сигнал — “аналоговий” $f(t)$. Це ідеалізований безперервний сигнал у часі (те, що ми “хотіли б” отримати після відновлення).

Пунктирні вертикальні лінії — моменти дискретизації. Вони показують часові моменти, коли цифрова система має значення сигналу (відліки).

Червона “сходишка” — вихід ЦАП із утриманням нульового порядку. Типова модель ЦАП, між двома відліками ЦАП утримує попереднє значення сталим, тому виходить “драбинка”.

Цифро-аналогове перетворення: відліки → «сходишковий» сигнал → згладжування

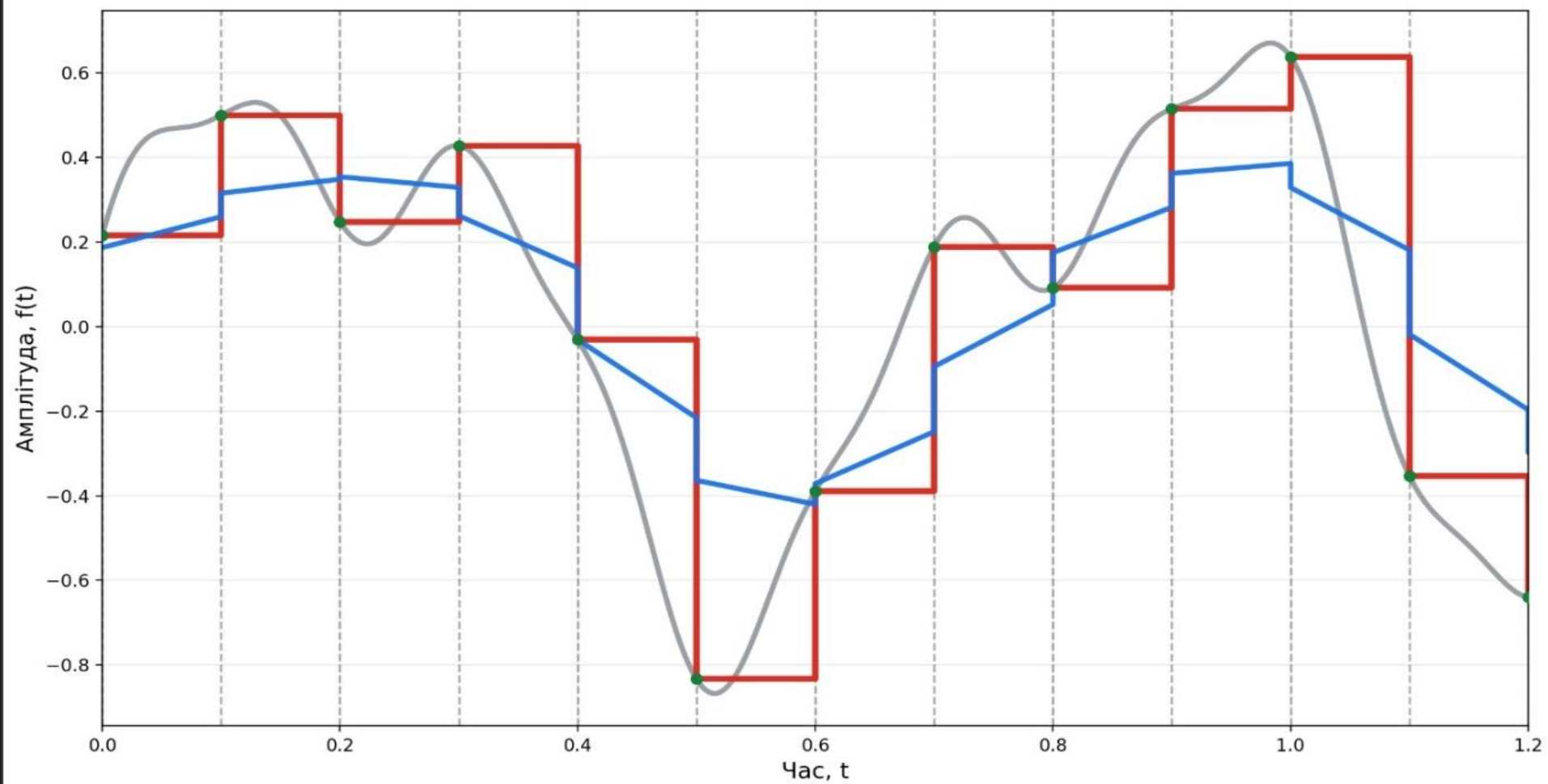


Цифро-аналогове перетворення (ЦАП)

Зелені точки — відліки. Це значення сигналу в моменти дискретизації. Саме вони кодуються (числа/коди) і подаються на ЦАП.

Синя крива — огинаюча/відновлений сигнал після згладжування **НЧ-фільтром**.

Цифро-аналогове перетворення: відліки → «схдинковий» сигнал → згладжування



Цифро-аналогове перетворення (ЦАП)

Як правильно читати цей графік (покроково). Обираєте будь-який момент часу (пунктирна лінія). Знаходите зелену точку — це значення відліку. Дивитесь на червону сходику, рівень не змінюється це (утримання). Синя крива показує, що буде після згладжування вона “підтягує” сигнал ближче до плавного (аналогового) вигляду.

ЦАП сам по собі не “малює” ідеальну плавну синусоїду — він дає ступінчастий сигнал. Плавність забезпечує аналоговий реконструкційний фільтр (**НЧ**), який формує “огиначаючу” і прибирає високочастотні артефакти.

Спотворення, що виникають при перетвореннях сигналів

Цифрове подання звуку цінне насамперед можливістю нескінченного зберігання та тиражування без втрати якості, проте перетворення з аналогової форми в цифрову і назад все ж неминуче призводить до часткової втрати якості.

Найбільш суттєвими спотвореннями, що виникають під час аналого-цифрового та цифро-аналогового перетворення, є:

- шуми квантування;
- джитер;
- гранулярний шум.



Шум квантування

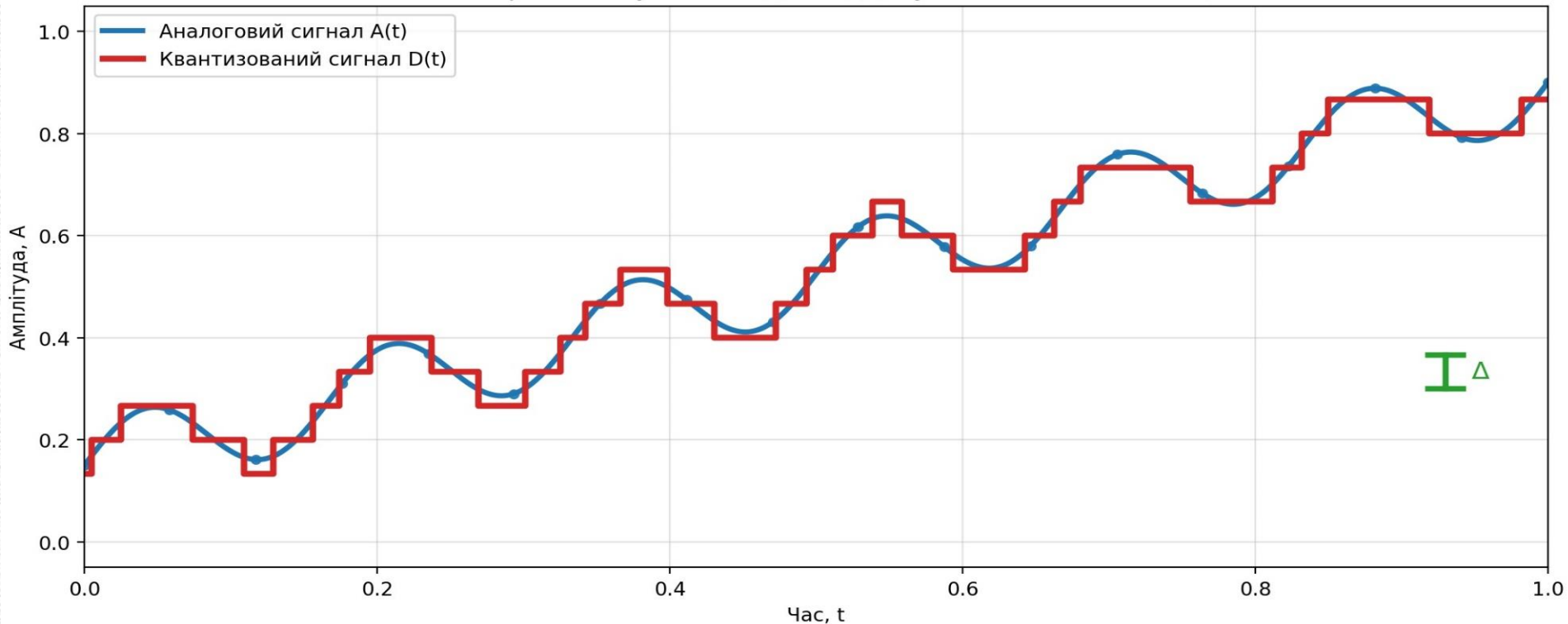
1) Графік квантування: $A(t) \rightarrow D(t)$.

$A(t)$ (плавна лінія) — **аналоговий** сигнал (неперервний за значенням).

$D(t)$ (сходинок) — **квантизований** сигнал після АЦП: кожен відлік округлено до найближчого дозволеного **рівня квантування**.

Δ (дельта) — **крок квантування** (відстань між сусідніми рівнями). Він визначає «грубість» сходинок: що менше Δ (тобто більше бітів N), то точніше $D(t)$ наближає $A(t)$.

Рівномірне квантування: $A(t) \rightarrow D(t)$ (ступінчасте наближення)



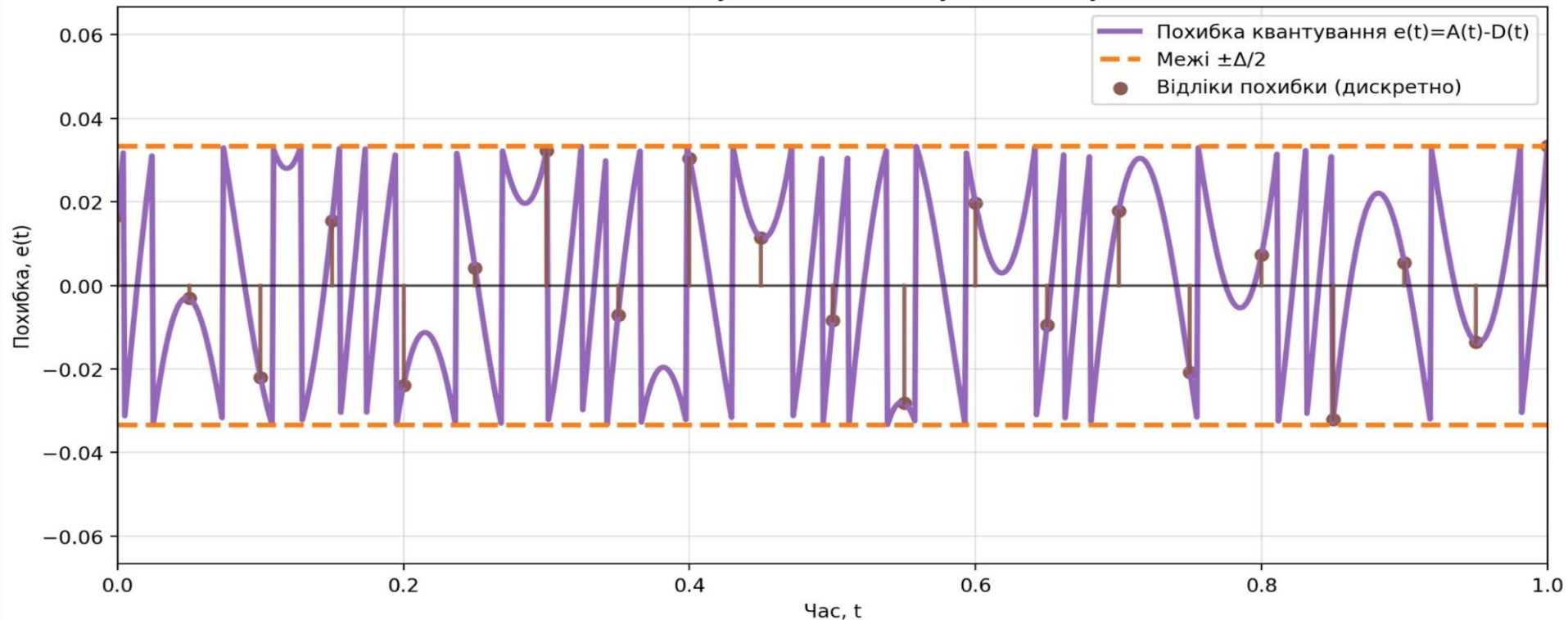
Шум квантування

2) Графік похибки квантування: $e(t) = A(t) - D(t)$.

Різниця між реальним аналоговим значенням і квантованим рівнем. Пунктирні лінії $\pm\Delta/2$ показують типові межі похибки для рівномірного квантування з округленням до найближчого рівня.

У практиці цю похибку часто розглядають як **квантувальний шум** (якщо сигнал достатньо «різноманітний» і не корельований із сіткою рівнів).

Похибка квантування як «квантувальний шум»



Боротьба з шумом квантування

- збільшення розрядності **АЦП**;
- аналоговий сигнал, що перетворюється, повинен максимально використовувати весь динамічний діапазон **АЦП**;
- підмішування шумового сигналу (дизеринг) — штучний прийом, який дозволяє покращити суб'єктивну якість звукового сигналу за рахунок деякого умисного погіршення його об'єктивних параметрів;
- використання спеціальних фільтрів для перерозподілу шуму квантування таким чином, щоб більшість його енергії розташувалася в найменш помітних на слух частотних областях.

Що таке Джиттер

Джитер (від англ. jitter — тремтіння) — це ефект, пов'язаний із нестабільністю часових параметрів цифрового сигналу. Він виникає внаслідок недосконалості перетворювальної апаратури та нестабільності роботи **АЦП**, **ЦАП** і тактових генераторів. На слух в аудіоапаратурі **джитер** може проявлятися як:

- тремтіння або спотворення сигналу на високих частотах;
- поява додаткових шумових компонентів;
- розмитість або нечіткість спектра сигналу на низьких частотах.

Для боротьби з **джитером** застосовують:

- високостабільні тактові генератори;
- системи синхронізації та фазового автопідлаштування частоти

(PLL);

 Association for
Computing Machinery

Advancing Computing as a Science & Profession

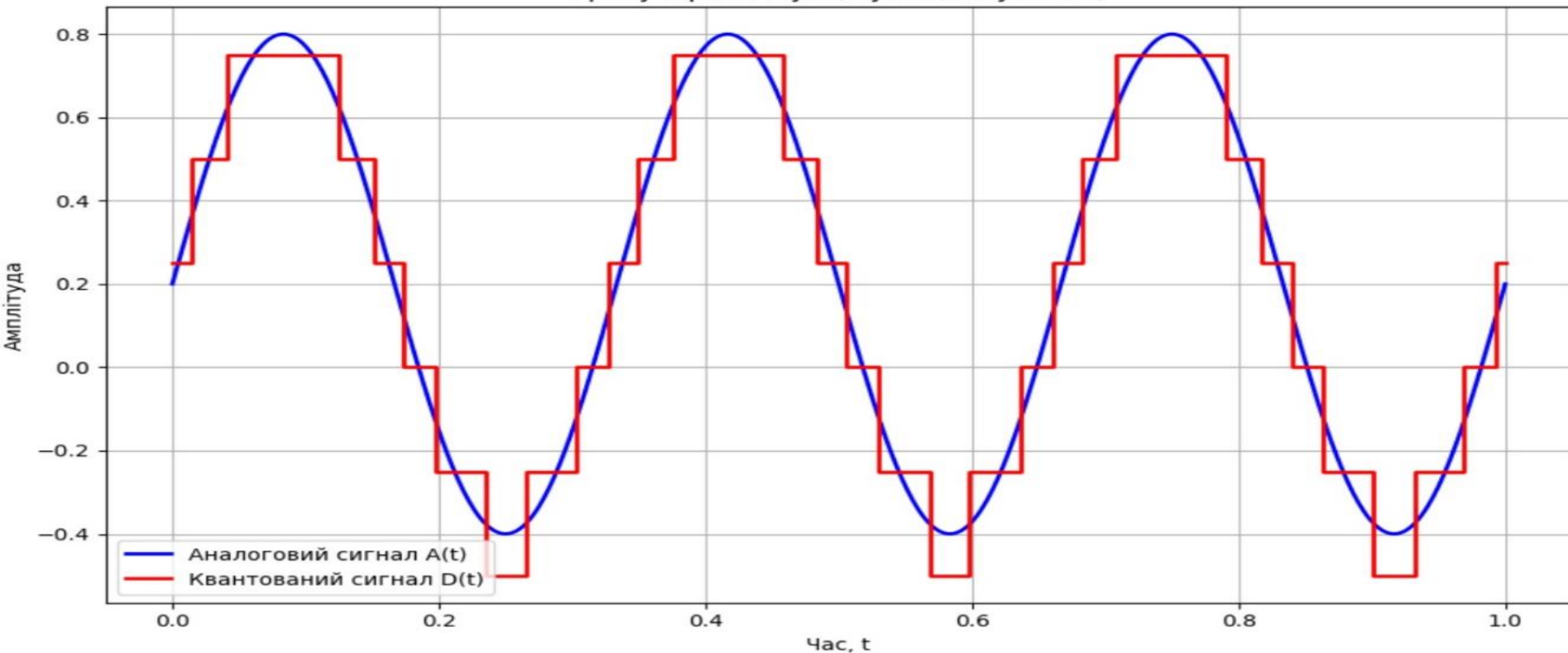
екранування та зменшення електромагнітних завад.

Гранулярний шум

Найбільш неприємні на слух спотворення, що виникають на етапі оцифрування, — це гранулярний шум, який з'являється під час квантування внаслідок округлення амплітуди до найближчого дискретного значення. Спотворення від гранулярного шуму найпомітніші у верхній частині спектра сигналу. Для зменшення впливу гранулярного шуму застосовують:

- збільшення частоти дискретизації;
- збільшення розрядності квантування.

Гранулярний шум (шум квантування)



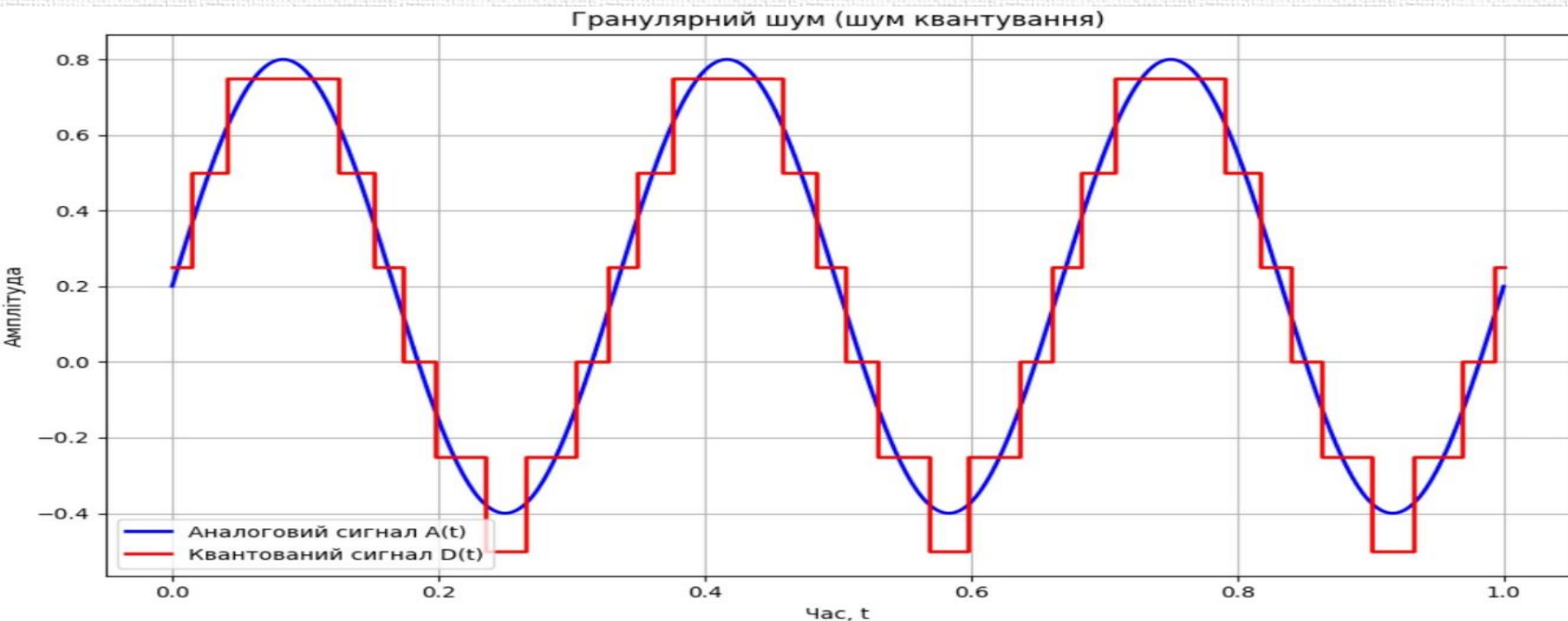
На графіку зображено:

● **Синя крива** — аналоговий сигнал $A(t)$. Це безперервний у часі та за амплітудою сигнал (у прикладі — синусоїда).

● **Червона сходинкова лінія** — квантований сигнал $D(t)$. Це результат квантування аналогового сигналу при обмеженій кількості бітів (у прикладі $N=3$, тобто 8 рівнів).

Практичний висновок

- ✓ Збільшення розрядності N зменшує гранулярний шум.
- ✓ У професійному аудіо застосовують **24** біти для ще меншого шуму.



Структура сучасного ПК

1. Загальна логічна структура сучасного ПК.

Сучасний ПК будується за магістральним принципом (архітектура фон Неймана з модифікаціями):

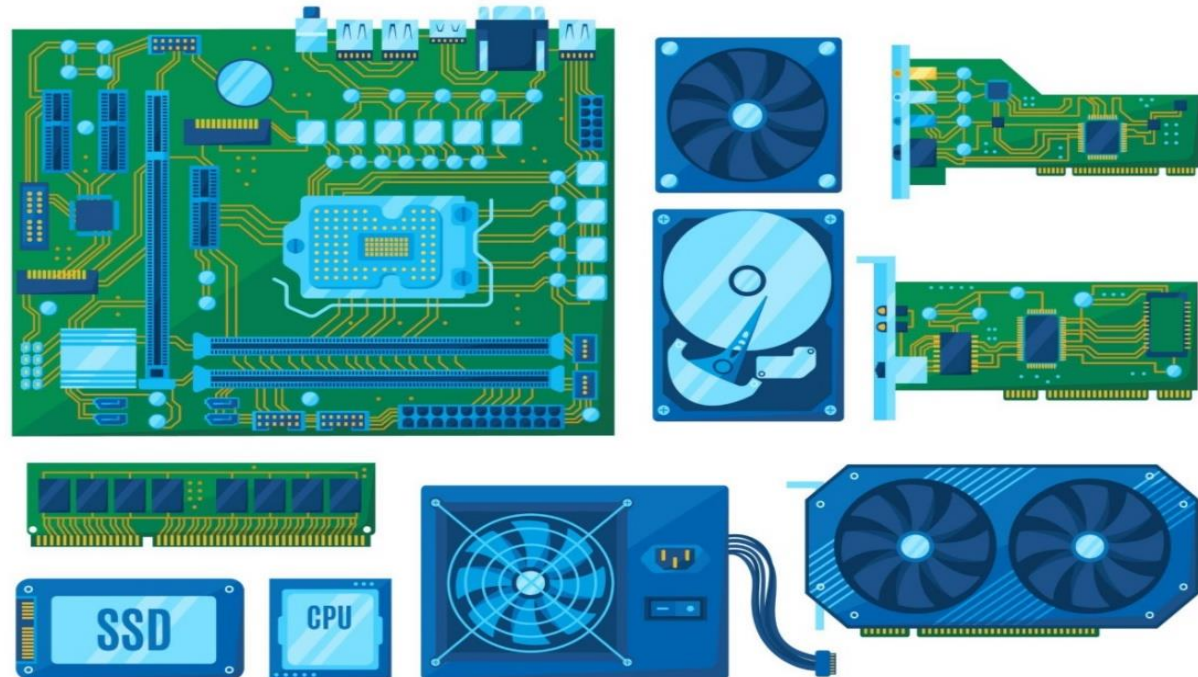
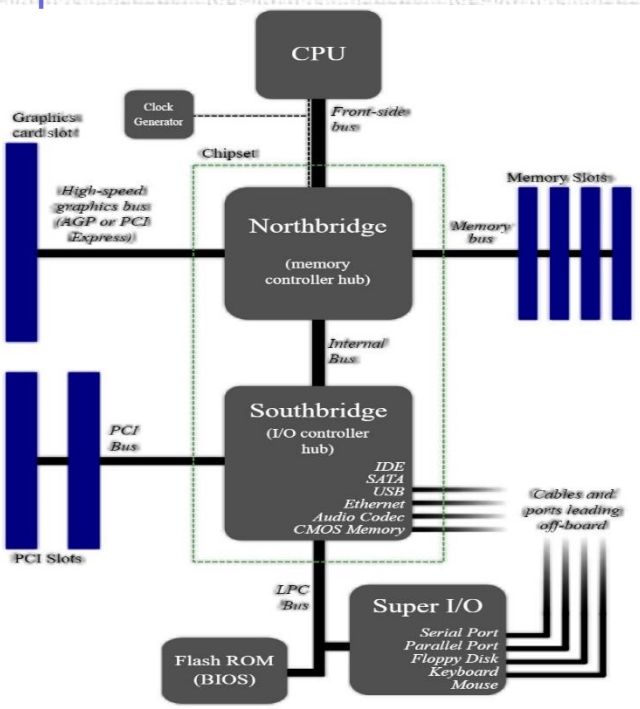
Центральні компоненти:

Процесор (CPU) — виконує обчислення та керує всією системою.

Оперативна пам'ять (RAM) — тимчасове зберігання даних і програм під час роботи.

Постійна пам'ять (ROM / UEFI BIOS) — зберігає мікропрограму ініціалізації.

Накопичувачі (SSD / HDD) — довготривале зберігання ОС і файлів.



Структура сучасного ПК

1. Загальна логічна структура сучасного ПК.

Швидкісні інтерфейси:

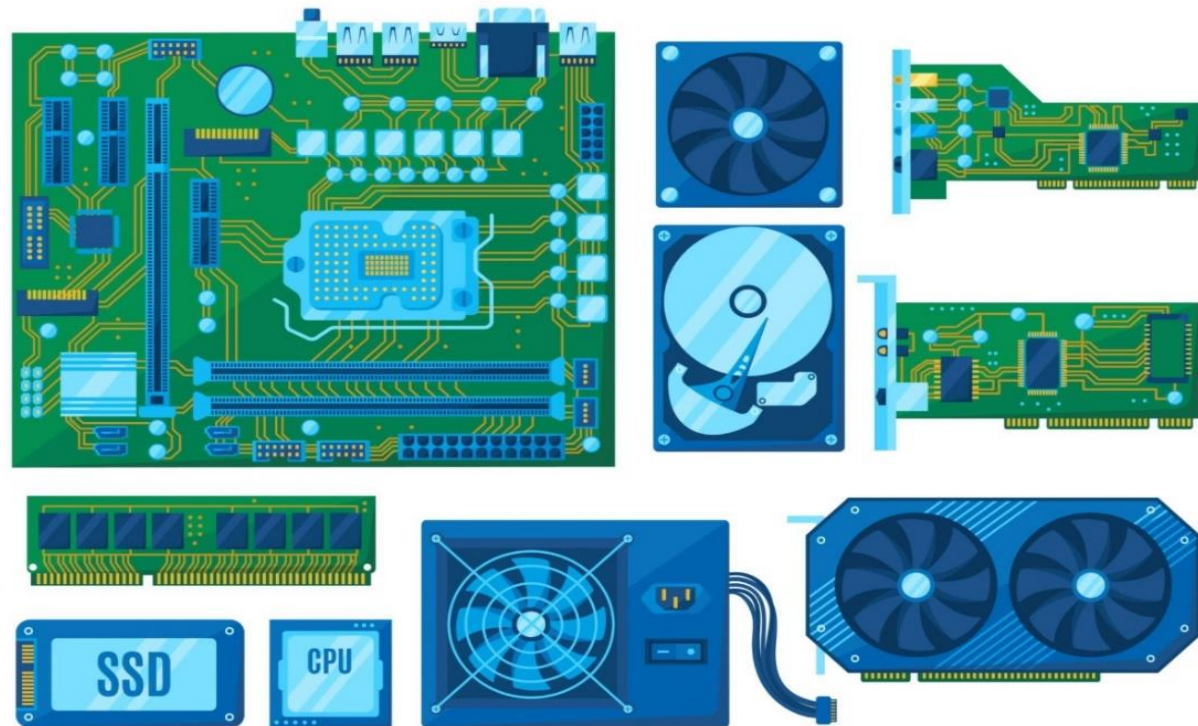
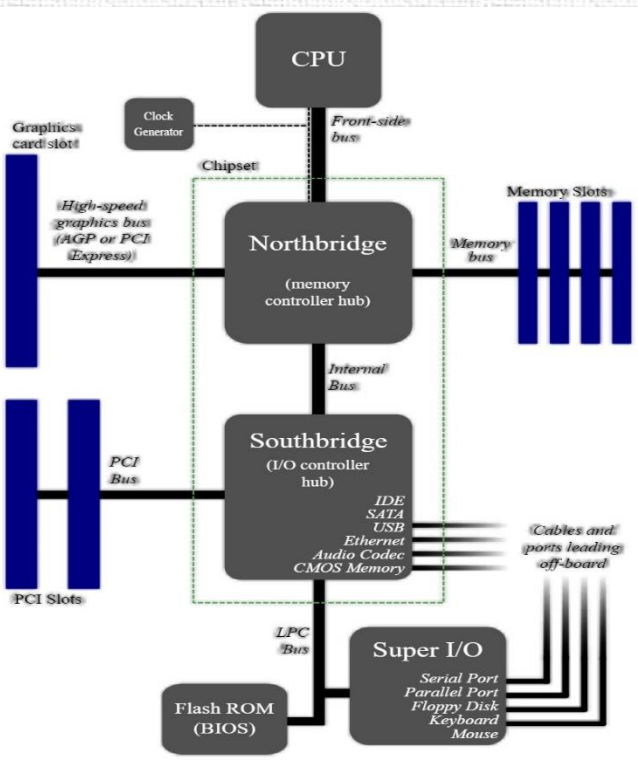
PCI Express (PCIe) — підключення відеокарти та інших плат розширення.

M.2 / NVMe — високошвидкісні **SSD**.

SATA — підключення **HDD/SSD**.

USB 2.0 / 3.x / 4 — периферія.

HDMI / DisplayPort — відеовихід.



2. Функціональна структура (блокова модель).

Логіка взаємодії компонентів.

CPU обмінюється даними з **RAM**.

Дані з накопичувача завантажуються в **RAM**.

GPU отримує дані через **PCIe**.

Контролери забезпечують підключення периферії.

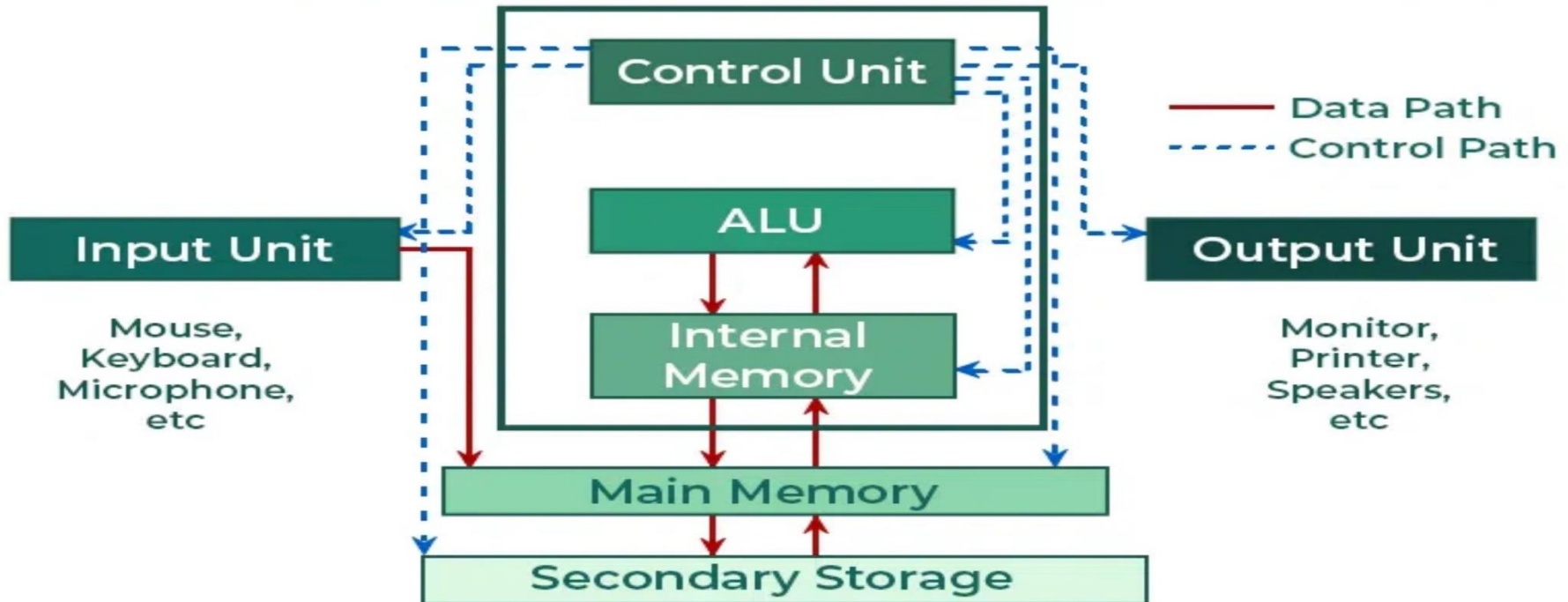
Усі компоненти взаємодіють через системну шину.

Ієрархія швидкодії:

Кеш → **RAM** → **SSD (NVMe)** → **HDD**



Components of computer



3. Пояснення роботи системи.

- Після увімкнення **UEFI/BIOS** ініціалізує обладнання.
- ОС** завантажується з **SSD** у **RAM**.
- CPU** виконує інструкції програм.
- GPU** обробляє графіку.
- Дані передаються через системну шину та контролери.
- Периферія взаємодіє через **USB** або мережеві інтерфейси.

Аудіо-система ПК

Вбудований звук вважається обов'язковим компонентом будь-якої системної (материнської) плати. Найчастіше за обробку звуку відповідає невелика мікросхема — кодек (**codec**) — перетворювач аналогових сигналів у цифрові та навпаки. Решту обробки (мікшування, ефекти, керування потоками) виконує центральний процесор. Існує два основні стандарти вбудованих аудіокодеків:

-**AC'97 (Audio Codec '97)** — застарілий стандарт.

-**HD Audio (High Definition Audio)** — сучасний, покращений стандарт із вищою якістю звуку та більшою кількістю каналів.

Функції аудіокодеків

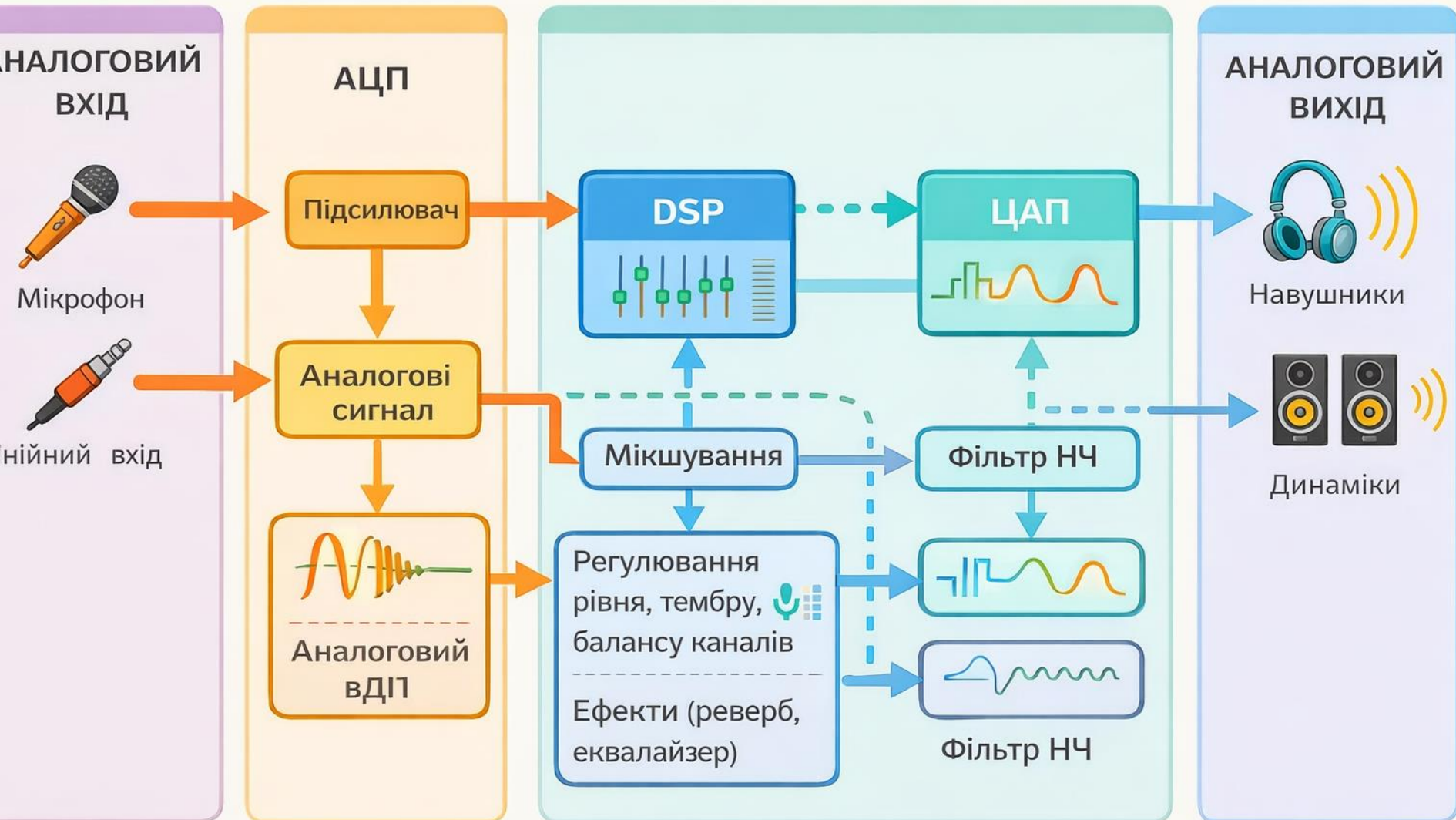
Аналого-цифрове (**АЦП**) та цифро-аналогове (**ЦАП**) перетворення сигналів.

Мікшування сигналів, регулювання рівня гучності, тембру та балансу

каналів.
Підсилення аналогових сигналів (вхід мікрофона, вихід на акустичні системи або навушники).

Структурна схема роботи аудіокодека

Структурна схема роботи аудіокодека



Структурна схема роботи аудіокодека

Структурна схема показує повний цикл обробки звуку в аудіокодеку — від аналогового входу до аналогового виходу.

1.Аналоговий вхід. Звук із мікрофона або лінійного входу надходить у вигляді аналогового сигналу.

2.Попереднє аналогове підсилення. Сигнал проходить через підсилювач, який піднімає рівень слабкого сигналу (особливо з мікрофона), адаптує його до робочого діапазону АЦП.

3.АЦП (аналогово-цифрове перетворення). Аналоговий сигнал дискретизується (вибірki в часі), квантується (округлення амплітуди), перетворюється у цифровий код.

4.Цифрова обробка (DSP). У цифровому сигнальному процесорі виконуються:

- мікшування каналів;
- регулювання рівня, тембру, балансу;
- еквалізація;
- ефекти (реверберація тощо).

Тут сигнал вже представлений у цифровій формі.

Структурна схема роботи аудіокодека

5.ЦАП (цифро-аналогове перетворення). Оброблений цифровий сигнал перетворюється назад у ступінчастий аналоговий, проходить через фільтр нижніх частот (ФНЧ) для згладжування.

6.Аналоговий вихід. Відфільтрований сигнал подається на навушники, акустичні системи.

Аудіокодек виконує дві ключові функції:

-Оцифрування звуку (АЦП).

-Відтворення звуку (ЦАП).

Між цими етапами відбувається цифрова обробка, що забезпечує керування параметрами звуку та застосування ефектів. Таким чином, аудіокодек є інтегрованою системою перетворення та обробки сигналів у сучасних ПК.

СТАНДАРТ HD Audio

HD Audio - (Intel High Definition Audio, раніше — **Azalia**) — це специфікація апаратного аудіоінтерфейсу для **ПК**, розроблена компанією **Intel** у **2004** році як заміна стандарту **AC'97**.

СТАНДАРТ HD Audio

Архітектура **HD Audio** складається з двох основних частин:

1. Контролер HD Audio.

Розміщується у чипсеті материнської плати, або інтегрований у сучасні процесори. Виконує **DMA**-передачу даних, керування потоками, буферизацію.

2. Кодек HD Audio.

Це окрема мікросхема (наприклад, Realtek ALC-серія), що виконує: АЦП, ЦАП, підсилення, маршрутизацію сигналів. Контролер і кодек з'єднані спеціальною цифровою шиною **HD Audio Link**.

HD Audio підтримує:

- PCM** - (Pulse Code Modulation);
- багатоканальний звук;
- окремі потоки для входу і виходу.

HD Audio — це високоякісний цифровий аудіоінтерфейс для ПК, що забезпечує:

- 24-бітну глибину;
- 192 кГц дискретизацію;
- багатоканальний звук;
- гнучку маршрутизацію;
- автоматичне визначення роз'ємів.

фактично, це сучасний стандарт аудіопідсистеми персональних комп'ютерів.

DSP процесор

DSP - (Digital Signal Processor) — це спеціалізований мікропроцесор, оптимізований для швидкої обробки цифрових сигналів у реальному часі: аудіо, відео, радіосигналів, сенсорних даних, телекомунікаційних потоків. На відміну від універсального **CPU**, **DSP** має архітектурні рішення, що мінімізують затримку й максимізують пропускну здатність для операцій типу множення-накопичення, фільтрації, перетворень **Фур'є** тощо.

Для чого застосовують DSP

- аудіообробка (еквалайзери, реверберація, шумозаглушення);
- мобільний та супутниковий зв'язок;
- радіолокація;
- біомедична інженерія (ЕКГ, ЕЕГ);
- керування електроприводами;
- обробка зображень.

Виробники: Texas Instruments, Analog Devices, NXP Semiconductors.

Архітектурні особливості DSP

Гарвардська архітектура

Окремі шини для:

- даних;
- інструкцій.

Це дозволяє одночасно читати команду й дані → підвищення швидкодії.

Принцип роботи DSP

Крок 1: Оцифрування.

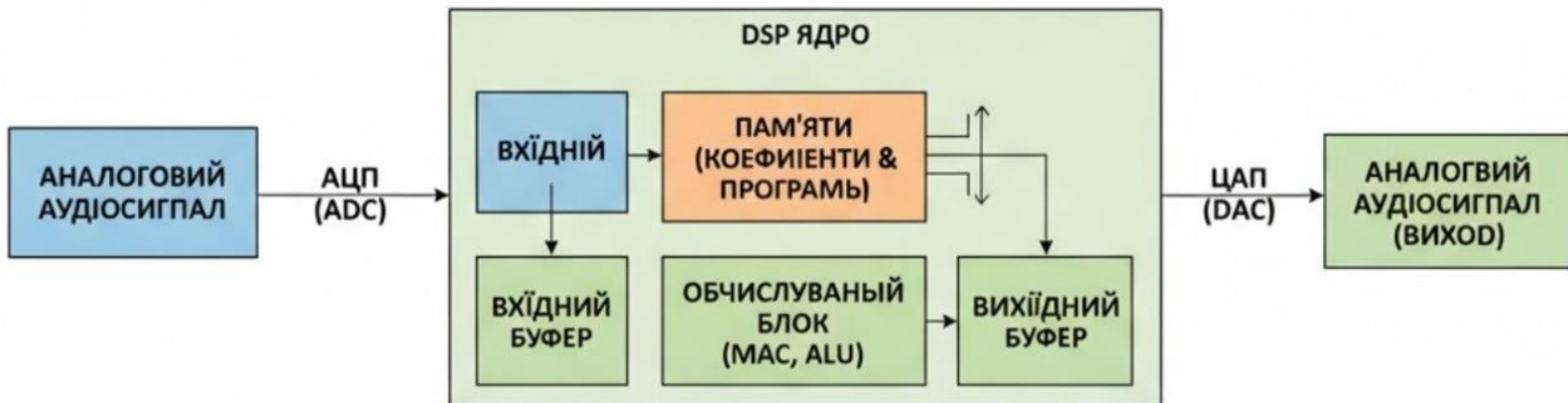
Аналоговий сигнал дискретизується.

Крок 2: Цифрова обробка.

Крок 3: Вивід.

Оброблений цифровий сигнал перетворюється в аналоговий через ЦАП.

структурна схема роботи DSP-процесора при аудіообробці



Принцип роботи DSP

структурна схема роботи DSP-процесора при аудіообробці

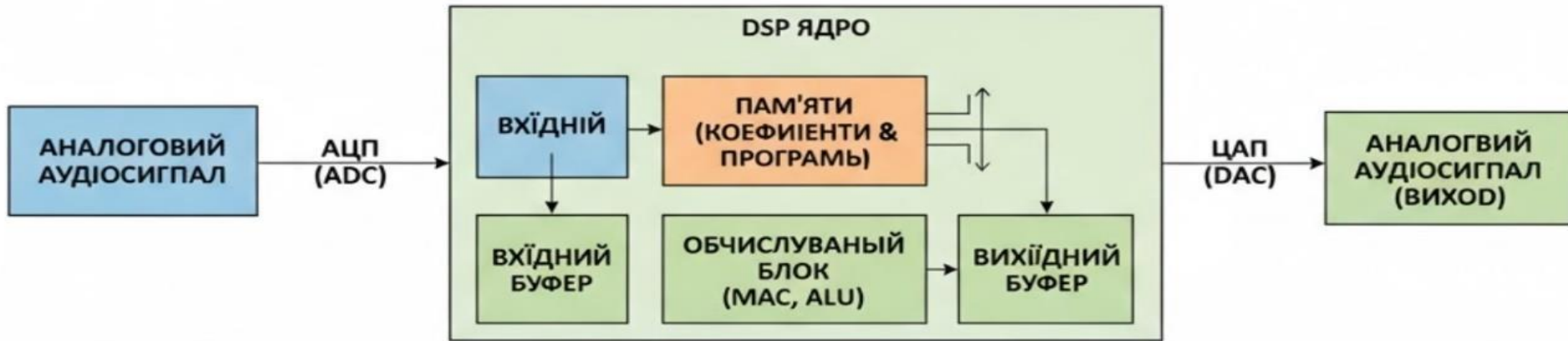


Схема наочно демонструє послідовність обробки звуку в цифровій системі:

-аналоговий аудіосигнал (від мікрофону) перетворюється на цифровий потік за допомогою **АЦП**.

-цифрові дані потрапляють у **DSP** - ядро, де зберігаються у вхідному буфері.

Принцип роботи DSP

структурна схема роботи DSP-процесора при аудіообробці



-обчислювальний блок (**MAC, ALU**) виконує математичні операції (фільтрація, ефекти), використовуючи дані та алгоритми з пам'яті коефіцієнтів та програм.

-оброблені дані надходять у вихідний буфер, а потім перетворюються назад у аналоговий сигнал за допомогою **ЦАП**. На виході отримуємо аналоговий аудіосигнал для відтворення.

Принцип роботи DSP

У процесі аудіообробки **DSP** реалізує дискретну згортку, яка є математичною основою більшості фільтрів:

$$y[n] = \sum_{k=0}^M b_k x[n-k]$$

де $y[n]$ — вихідний сигнал;

$x[n-k]$ — вхідний сигнал;

b_k — коефіцієнти, що зберігаються в пам'яті **DSP**.

$y[n]$ - вихідний дискретний сигнал у момент часу n . У контексті аудіообробки це оброблений цифровий відлік звуку, який після цього подається на **ЦАП**.

Принцип роботи DSP

n - індекс поточного відліку (дискретний час).

$x[n-k]$ - значення вхідного сигналу, затримане на k тактів (відліків). Це так звані «відводи» лінії затримки.

b_k - коефіцієнти фільтра (цифрові ваги). Саме ці значення зберігаються в пам'яті коефіцієнтів DSP-процесора. Вони визначають амплітудно-частотну характеристику (АЧХ) фільтра (наприклад, чи буде це еквалайзер, низькочастотний чи високочастотний фільтр).

M - порядок фільтра. Він визначає кількість попередніх відліків, що враховуються при обчисленні. Чим більше M , тим точнішим є фільтр, але тим більше обчислювальних ресурсів він потребує.

$\sum_{k=0}^M$ - операція підсумовування добутків.

Принцип роботи DSP

Дана формула безпосередньо реалізується блоком **MAC** (Multiply-Accumulate), який є серцем **DSP**-ядра.

Множення $[\mathbf{b}_k * \mathbf{x}]$ - процесор бере коефіцієнт \mathbf{b}_k і множить його на відповідний відлік вхідного сигналу $\mathbf{x}[\mathbf{n}-\mathbf{k}]$.

Накопичення $\sum_{k=0}^M$ отриманий результат додається до акумулятора. Ці операції повторюються $[M+1]$ разів для кожного нового відліку \mathbf{n} .

Ця архітектура дозволяє реалізувати складні алгоритми (еквалізація, реверберація, шумозаглушення) з мінімальною затримкою, що є ідеальним для мультимедійних платформ.

Використання спеціалізованих **DSP**-процесорів замість універсальних **CPU** дозволяє досягти високої детермінованості часу обробки, що виключає джитер, який ми раніше спостерігали при тестуванні мережі.

Принцип роботи DSP

DSP - це спеціалізований процесор, який:

- працює з потоковими даними;
- швидко виконує операції множення-накопичення;
- забезпечує обробку сигналів у реальному часі;
- застосовується в аудіо, радіо, зв'язку та вбудованих системах.

Якість цифрового та аналогового звуку

Цифрова та аналогова форми — це лише дві різні форми подання звуку, а не сам звук. Звук сприймається людиною суб'єктивно. Три аспекти під час розгляду якості звуку:

- яка форма забезпечує після остаточного перетворення найточніше наближення до звучання реального (природного) звуку;
- яка форма подання забезпечує найприємніше звучання з погляду слухача.
- яка форма подання забезпечує максимальну компактність, зручність зберігання та можливість подальшого перетворення (монтажу, корекції тощо).

Якість звукових карт

Відношення сигнал/шум — це відношення рівня корисного сигналу до рівня шуму. Абсолютне максимальне значення відношення сигнал/шум на виході n -бітного цифрового перетворювача визначається його розрядністю. Отже, зі збільшенням кількості бітів зростає максимально можливе відношення сигнал/шум.

Рівень шуму зазвичай приймають за нижню межу динамічного діапазону (0 дБ — відносний рівень опорного сигналу).

Динамічний діапазон — це різниця між найменшим («тихим») і найбільшим («найгучнішим») сигналами, що можуть бути записані або відтворені з допустимим рівнем спотворень.

Виражається в децибелах (дБ).

Діапазон частот — це інтервал частот, які система може записувати або відтворювати з допустимим рівнем спотворень.

Підготовка звукових даних

Послідовність дій щодо створення якісної звукової доріжки (**міксу**) для розміщення на диску, в **Інтернеті** або для озвучування відеоряду.

Етап 1. Підбір матеріалу для треків.

Що робимо: визначаємо, які джерела звуку потрібні: голос, музика, шумові ефекти, атмосферні звуки. Перевіряємо права на використання, формат і якість записів.

Підготовка звукових даних

Етап 2. Перенесення матеріалів на комп'ютер.

Що робимо: копіюємо/імпортуємо файли у проєкт DAW/відеоредактора (Audacity, Reaper, Adobe Audition, Premiere, DaVinci). Приводимо до спільних параметрів: частота дискретизації (наприклад 48 кГц для відео), розрядність (24-bit бажано), канальність (mono/stereo).

Етап 3. Редагування треків.

Що робимо: чистимо «сміття» і готуємо матеріал:

- обрізка пауз, помилок, кашлю;
- склеювання дублів;
- вирівнювання таймінгу під відеоряд;
- грубе вирівнювання гучності кліпами.

Етап 4. Обробка звуку.

Що робимо: покращуємо якість і керуємо динамікою:

EQ (еквалайзер): прибрати низькочастотний гул, підкреслити розбірливість;

Noise reduction / gate: зменшити шум кімнати;

Compressor: вирівняти гучність голосу;

De-esser: прибрати надлишок «с/ш»;

Limiter: захист від піків;

Reverb/Delay: додати природність (за потреби).



Етап 5. Зведення.

Що робимо: збираємо всі доріжки в одну збалансовану картину:

- виставляємо рівні гучності голос/музика;
- перевірка балансу на різних гучностях і колонках/наушниках.

Етап 6. Мастеринг.

Що робимо: приводимо фінал до стандарту відтворення і платформи:

- фінальний EQ/компресія дуже помірно;
- лімітер для контрольованих піків;
- нормалізація гучності під ціль (YouTube/подкаст/презентація);
- експорт у потрібний формат (WAV/MP3/AAC), метадані.

Мікс (сленговий термін) — це кілька музичних творів або звукових доріжок, поєднаних у безперервну послідовність або накладених один на одного. **Мікс** створюється з окремих записів (треків) у процесі, який називають зведенням.

Технічні рішення планування треків

1. Скільки та які треки для мови в кадрі, голоси за кадром, звукових ефектів та музики.
2. Складна музика або послідовність звукових ефектів вимагають кількох треків.
3. Який матеріал буде стерео, який монофонічний.
4. З якою частотою дискретизації передбачається працювати?
5. В якому форматі потрібен результат.
6. Наскільки деталізованим буде трек? Щоб не витратити час і треки на те, що не буде чути під час трансляції по телебаченню або передачі по Інтернету.
7. Вибір музики. Де вона буде грати. Можливо, монтаж підкорятиметься ритмам музики, тоді необхідно підібрати реальну пісню (подумати про джерела музики та дотримання авторських прав).
8. Після цього спланувати роботу зі збирання матеріалів для відомості.
9. Підготувати сценарій. Починати з промови та її синхронізації з кадрами.

Стиснення цифрових аудіо даних

Стиснення без втрат (lossless compression) — це спосіб ущільнення даних, який забезпечує стовідсоткове відновлення вихідної інформації після декомпресії. Стиснення без втрат базується на видаленні так званої статистичної надмірності сигналу, тобто повторюваних або передбачуваних фрагментів даних, без втрати корисної інформації. Застосовується у форматах:

- FLAC (Free Lossless Audio Codec);
- ALAC (Apple Lossless Audio Codec);
- APE (Monkey's Audio);
- WAV (без стиснення або з lossless-стисненням);
- AIFF.

Стиснення з втратами (lossy compression) — це метод ущільнення даних, за якого частина інформації безповоротно вилучається з метою суттєвого зменшення обсягу файлу. Після декомпресії відновлений сигнал наближений до оригіналу, але не є його точною копією.

Принцип роботи

Метод базується на видаленні:

- психоакустично або психовізуально малопомітних компонентів сигналу;
- спектральних складових, замаскованих сильнішими сигналами;
- надлишкових високочастотних або малозначущих деталей.

У випадку аудіо застосовуються моделі **психоакустики** (ефект маскування, поріг чутності). У випадку зображень і відео — хвильове **кодування**, квантування коефіцієнтів.

Стиснення цифрових аудіо даних

Формати стиснення з втратами

Аудіо:

- MP3;
- AAC;
- OGG Vorbis;
- WMA.

Зображення:

- JPEG;
- WebP.

Відео:

- MPEG-4;
- (H.264 / H.265);
- AV1.

Ознака

Відновлення

Розмір файлу

Якість

Стиснення без втрат

100% точне

Більший

Оригінальна

Архівування,
студійна робота

Стиснення з втратами

Наближене

Значно менший

Залежить від рівня
стиснення

Стрімінг, Інтернет,
мобільні пристрої

Формати зберігання звуку

- **WAV** - (Waveform Audio File Format) — формат компанії Microsoft, основний для операційної системи Windows.
- **AIFF** - (Audio Interchange File Format) — формат компанії Apple, основний для macOS.
- **FLAC** - (Free Lossless Audio Codec) — формат без втрат, розроблений Xiph.org.
- **APE** - (Monkey's Audio) — формат без втрат із високим коефіцієнтом стиснення.
- **ALAC** - (Apple Lossless Audio Codec) — формат без втрат від Apple.
- **Audio CD** - (Red Book) — стандарт компакт-дисків (**PCM 44,1 кГц**, 16 біт, стерео).
- Внутрішні формати звукових редакторів (наприклад, проєктні файли **DAW** — Cubase, Pro Tools, Logic тощо).
- Файли **WAV** є основним форматом для багатьох систем відтворення цифрового звуку і фактично стандартом для звукових файлів у персональних комп'ютерах.
- **AIFF** (Audio Interchange File Format) є стандартним для систем **Apple** та професійних систем обробки звуку, побудованих на його основі. Схожий на **WAV**, але дозволяє зберігати додаткову інформацію (метадані), зокрема параметри звучання інструментів, що покращує якість підсумкового результату.

Формати зберігання звуку

- **MIDI** - (Musical Instrument Digital Interface) містять не сам звук, а керуючі команди для синтезатора (висота тону, тривалість, інструмент, гучність тощо).
- **RAW** - (PCM) містять лише оцифровані дані без заголовків. За збереження звуку у файлі відповідає лише послідовність відліків звукової хвилі у вигляді цілих чисел (8, 16, 24 або 32 біти) з частотами дискретизації, наприклад 44,1 кГц або 48 кГц, і певною кількістю каналів (1 — моно, 2 — стерео тощо).

Файли MIDI

Зберігають набір синтезованих звуків

- **MIDI** - (Musical Instrument Digital Interface) — це стандарт цифрового інтерфейсу музичних інструментів. Файли **MIDI** не містять звукової хвилі, а зберігають команди керування: ноти, тривалість, інструмент, гучність, темп тощо.
- **Karaoke** - (KAR) — альтернатива **MIDI**, що має більше можливостей. Окрім музичних команд, містить текст пісні для відображення під час відтворення.
- **MOD, XM, IT** - (трекерні формати) — засновані на зберіганні семплів та керуючих даних. Мають властивості, подібні до **MIDI**, але додатково зберігають короткі звукові фрагменти (семпли) інструментів.

класифікація систем звукозапису за фізичним принципом фіксації звукових коливань

1. Механічна система звукозапису.

Принцип. Звукові коливання безпосередньо перетворюються на механічні коливання різця, який формує борозни на носії.

Носій:

- воскові валики;
- грамофонні платівки (вініл).

Суть процесу:

Звук → мембрана → механічний різець → борозна на диску.

Переваги:

- простота реалізації;
- не потребує електроніки.

Недоліки:

- низький динамічний діапазон;
- зношування носія;
- чутливість до шумів.

2. Фотографічна система звукозапису.

Принцип:

Звуковий сигнал модулює світловий потік, який експонує фотоплівку.

Носій:

кіноплівка (оптична звукова доріжка).

класифікація систем звукозапису за фізичним принципом фіксації звукових коливань

Типи запису:

- змінна ширина доріжки;
- змінна щільність затемнення.

Переваги:

- синхронізація зі зображенням;
- стабільність відтворення.

Недоліки:

- складність технології;
- обмежена якість.

3.Магнітна система звукозапису.

Принцип.

Електричний сигнал створює змінне магнітне поле, яке намагнічує носій.

Носій:

- магнітна стрічка;
- касети;
- катушки;
- жорсткі диски (HDD — цифровий запис).

Суть процесу:

Звук → електричний сигнал → магнітна головка → намагнічування стрічки.



класифікація систем звукозапису за фізичним принципом фіксації звукових коливань

Переваги:

- можливість перезапису;
- краща якість порівняно з механічною системою.

Недоліки:

- розмагнічування;
- шуми стрічки.

4.Оптична система звукозапису.

Принцип.

Інформація записується у вигляді мікропітів (заглиблень), що зчитуються лазером.

Носій:

- CD;
- DVD;
- Blu-ray.

Переваги:

- висока якість;
- відсутність механічного контакту.

класифікація систем звукозапису за фізичним принципом фіксації звукових коливань

5. Магнітооптична система звукозапису.

Принцип.

Поєднання лазерного нагрівання та магнітного поля для зміни намагніченості ділянки носія.

Переваги:

- багаторазовий перезапис;
- надійність.

6. Запис на диски (цифровий запис).

Має на увазі **цифровий спосіб збереження звуку** на носіях:

- HDD;
- SSD;
- флеш-пам'ять.

Принцип:

Звук → АЦП → цифрові дані → файл (WAV, MP3 тощо)

Переваги:

- висока якість;
- редагування без втрат (для безвтратних форматів);
- довговічність.