

Цифрова комутація

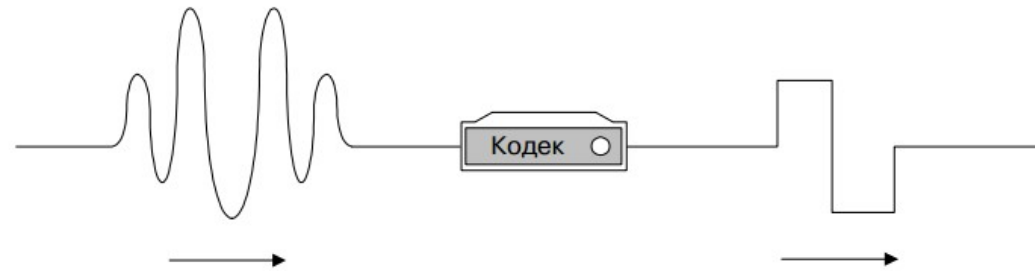
Темпи еволюції помітно зросли з появою АТС з програмним управлінням, передачі цифрових даних по комутованих каналах за допомогою модемів і факсів та загальноканальної сигналізації.

Однією з найбільш істотних технологій є цифрові АТС з програмним управлінням.

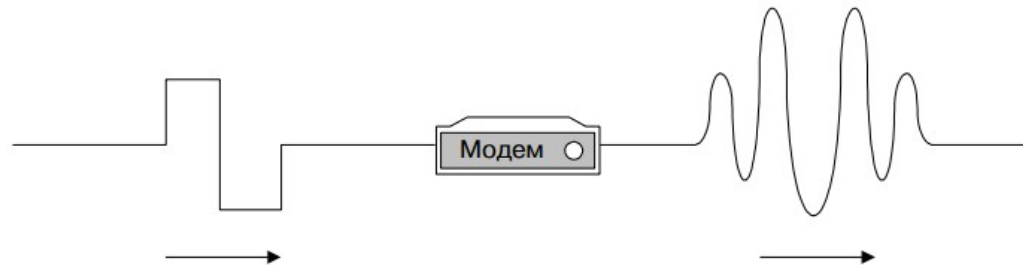
Розглянуті раніше системи комутації фізичних каналів надають кожному з'єднанню свою фізичну лінію (електричне коло). **При цифровій комутації носієм інформації є не амплітуда переданого лінією електричного сигналу, а часова послідовність імпульсів**, тобто часовий канал, який визначається просторовою і часовою координатами.

Цифрову реалізацію телекомунікаційної мережі зумовило наявність двох надзвичайно важливих пристроїв:

- **кодеків**, що перетворюють аналогові сигнали в цифрові;



- **модемів**, що перетворюють цифрові сигнали в аналогові при передаванні даних по аналогових телефонних мережах.



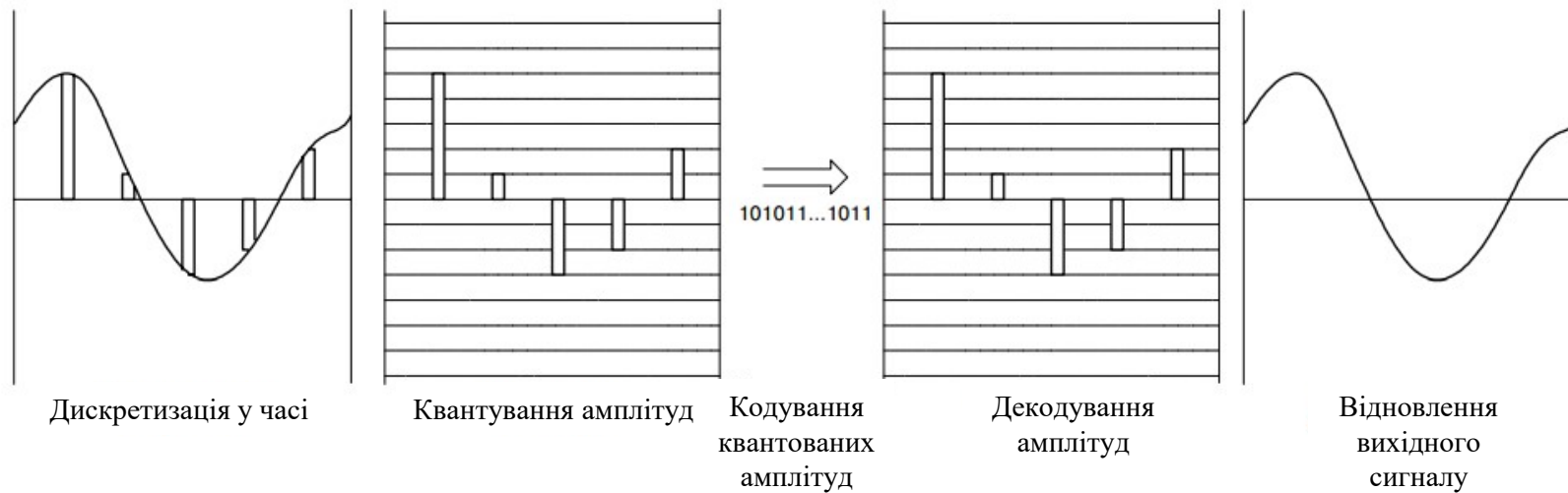
Саме вони, поряд з переходом до цифрового багатоканального електрозв'язку, зумовили появу цифрових систем комутації.

Суть **цифровізації** полягає в тому, що вихідний аналоговий електричний сигнал може бути відтворений з відповідної послідовності дискретних значень його амплітуди (відліків).

Число відліків в секунду називається **частотою дискретизації** і залежить від найбільш високочастотного компонента, присутнього в аналоговому сигналі.

Відома **теорема Котельникова** свідчить, що аналоговий сигнал можна правильно відновити, якщо частота дискретизації удвічі перевищує частоту сигналу. Саме на ній і на **теоремі Найквіста**, з якої випливає що, якщо частота вибірки f_s перевищує не менше ніж удвічі найбільш високочастотну складову аналогового сигналу f_a , то початковий аналоговий сигнал повністю описується тільки за допомогою миттєвих вибірок, ґрунтується **імпульсно-кодова модуляція** (ІКМ). Ця мінімальна частота вибірки іноді називається **частотою Найквіста**.

Пристрій дискретизації «вирізає» з початкового аналогового сигналу $x(t)$ короткі вибіркові імпульси, утворюючи послідовність миттєвих значень амплітуди - дискретизований в часі сигнал $y(t)$ з частотою проходження імпульсів f_s . Цей процес відомий як **амплітудно-імпульсна модуляція (АІМ)**.



ІКМ-кодування аналогового сигналу мовлення і його відновлення

Отриманий таким чином сигнал $y(t)$ являє хоча і дискретні в часі, але, тим не менш, аналогові значення амплітуди початкового сигналу $x(t)$. Для того, щоб передавати ці вибірккові значення в цифровій формі, потрібно їх **квантування**: значення кожної амплітуди округляється до найближчого числа з деякого кінцевого набору заздалегідь фіксованих чисел (рівнів квантування), і в результаті виходить сигнал $z(t)$, дискретизований по амплітуді.

При квантуванні значення амплітуди вихідного сигналу втрачаються внаслідок округлення, так що цей сигнал уже не може бути відновлений точно (втрата точності виражається в шумах квантування).

Оскільки кількість рівнів квантування є кінцевим, всі їх можна пронумерувати (наприклад, в порядку зростання) і уявити кожен номер у вигляді двійкового кодового слова. В результаті сигнал $z(t)$ перетворюється в послідовність n -бітових слів, тобто стає **цифровим**. Все це разом і є **імпульсно-кодова модуляція** (ІКМ).

Чим більше рівнів квантування, тим кращі характеристики матиме відновлений сигнал.

Наприклад, для мовних сигналів ІКМ досить мати 256 рівнів (8-бітові двійкові слова), але при кодуванні музики в CD-плеєрах для отримання задовільною характеристики потрібно 65536 рівнів (16-бітові двійкові слова).

Чим краща якість потрібна, тим більшу кількість рівнів квантування ми потребуємо, і тим довгими повинні бути кодові слова, що, природно, призводить до необхідності передавати біти з більш високою швидкістю. Швидкість передачі бітів повинна бути настільки висока, щоб цифрове слово, що несе попереднє дискретне значення амплітуди сигналу, виявилось переданим до того, як з'явиться наступне слово, готове до передачі. Тому для кожної системи доводиться шукати певний компроміс між якістю і швидкістю передачі інформації.

Аналоговий мовний сигнал в телефонії **займає діапазон частот шириною до 4000 Гц** і вимагає виробляти відліки амплітуди 8000 разів в секунду, тобто **частота дискретизації становить 8 кГц**.

При квантуванні відліків використовується 256 стандартних амплітуд, які потім кодуються 8-розрядними двійковими словами. Потім ці слова передаються у відповідних часових інтервалах, а на приймальній стороні виконується зворотний процес наближеного відновлення вихідного аналогового мовного сигналу. Частота відліків 8 кГц і 8-бітова схема кодування дають дуже гарну якість мовлення, за рахунок досить високих вимог до швидкості передачі бітів.

Менша частота відліків і / або менша розрядність кодування (7-бітова схема кодування, наприклад) дають менш гладкий і менш точно відновлений мовний сигнал.

Отже, результат кожного відліку представляється одним байтом. Маємо: 8000 байтів в секунду і 8 бітів в кожному байті. Швидкість потоку даних, що передає людську мову, становить:

$$\begin{array}{r} 4000\text{Гц} \\ \times 2 \\ \hline 8000 \text{ відліків в секунду} \\ \times 8 \text{ бітів на відлік} \\ \hline 64 \text{ Кбіт/с} \end{array}$$

Оскільки ІКМ була першою стандартною технологією, що отримала широке застосування в цифрових системах передачі, **пропускна здатність каналу, рівна 64 Кбіт/с, стала всесвітнім стандартом для цифрових мереж всіх видів.**

Всі сьогоденні цифрові лінії мають пропускну здатність, або рівну 64 Кбіт / с, або кратну цієї величини.

Наприклад, пропускна здатність цифрового тракту Е1 становить 2.048 Мбіт / с, що еквівалентно 32 каналам по 64 Кбіт / с кожен. Позначення Е1 стало загальноприйнятим для європейського стандарту тракту 2.048 Мбіт / с.

Технологія ІКМ, що базується на математичних результатах Найквіста і Котельникова, являє собою сьогодні найбільш загальний метод перетворення аналогових мовних сигналів в цифрову форму.

ІКМ, і канал 64 Кбіт/с стандартизувалися в 1970-і роки. Сучасні технології цифрової обробки сигналів надають багато більш дієвих способів кодування. Мається на увазі, що можна добитися кращої якості при тій же швидкості передачі бітів, або рівноцінної якості при більш низькій швидкості передачі. Сьогодні існують і використовуються більш складні схеми кодування.

Наприклад, телефони ISDN можуть передавати високоякісну мову в діапазоні 7 кГц з тією ж швидкістю 64 Кбіт/с.

Інший приклад - це широко поширена технологія мобільного зв'язку GSM.

У ряді відомчих мереж застосовують більш ефективні системи кодування, такі як **АДІКМ**. АДІКМ підтримує передачу мови з «телефонною» якістю на швидкості 32 Кбіт / с, забезпечуючи тим самим більш ефективне використання наявної смуги пропускання.

Диференціальна імпульсно-кодова модуляція (ДІКМ) ефективніше, ніж ІКМ, оскільки вона передбачає кодування тільки змін рівня сигналу. Грунтуючись на припущенні, що зміна амплітуди мовного сигналу відбувається відносно повільно, для подання кожного відліку можна використовувати менше бітів.

У ДІКМ зазвичай використовують 4 біта, що дає *коефіцієнт стиснення 2 : 1*. Такий рівень компресії дозволяє мати в тракці Е1 64 канали по 32 Кбіт/с замість 32 каналів по 64 Кбіт/с в стандарті ІКМ. ДІКМ зазвичай забезпечує якість мовлення, порівняну з ІКМ.

Адаптивна диференціальна імпульсно-кодова модуляція (АДІКМ) покращує якість ДІКМ, причому без збільшення кількості необхідних бітів, а завдяки збільшенню діапазону змін сигналу, які можна уявити 4-бітової величиною.

Оскільки АДІКМ не узгоджується з АТС на базі ІКМ, то, щоб ввести дві стислих до 32 Кбіт/с розмови в один канал ІКМ, необхідне спеціальне обладнання - **мультиплексор компресії бітів**.

АДІКМ - не єдина технологія, що з'явилася в результаті безперервних експериментів виробників засобів телефонії з теоремою Котельникова. Один із запропонованих ними напрямків - **зменшити точність, з якою рівні квантування відповідають амплітудам вихідного сигналу в точках відліку, в результаті чого для кодування замість восьми потрібно всього шість або сім бітів**.

Ще один напрямок засноване на припущенні, що в звичайній людській мові існують прогнозовані паузи: в ці паузи за допомогою техніки, відомої як **придушення мовчання**, вводяться додаткові розмовні сигнали.

Застосовуються також різні варіанти методу квантування, які поки не є загальноприйнятими або широко використовуваними в комутаційних вузлах і станціях.

У числі цих варіантів:

- *варійований рівень квантування* (VQL) - коефіцієнт компресії 2 : 1 (32 Кбіт / с);
- *безперервно варійована зміна крутизни* (CVSD) - коефіцієнт компресії 4 : 1 (16 Кбіт / с) або 6.667: 1 (9.6 Кбіт / с);
- *кодування з векторним квантуванням* (VQC) - коефіцієнт компресії 4 : 1 (16 Кбіт / с);
- *мова з високою пропускною здатністю* (HCV) - коефіцієнт компресії 8 : 1 (8 Кбіт / с).

Вивільнення ресурсу пропускної здатності оплачується якістю звуку. Новітні методи можуть забезпечити навіть коефіцієнт стиснення 16: 1 (швидкість 4 Кбіт/с), проте якість мовлення при цьому стає прийнятною тільки для виняткових випадків.

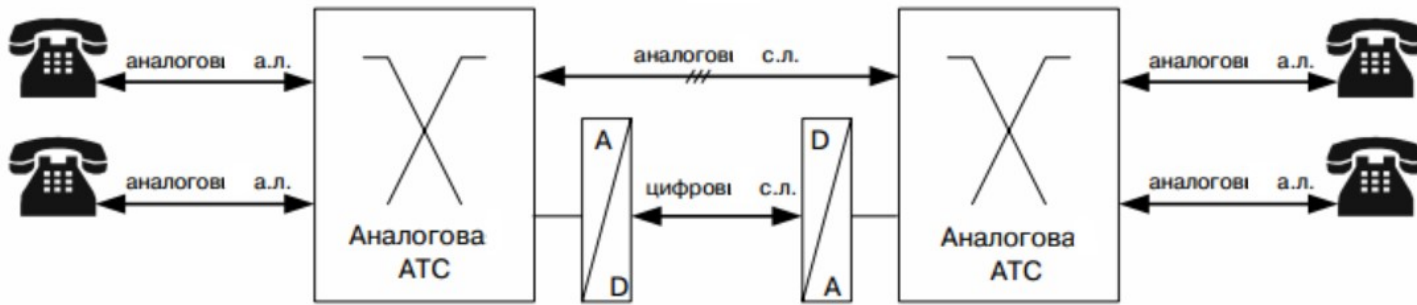
Цифрові АТС

Комутаційна станція називається цифровою, коли її комутаційне поле може комутувати тільки цифрові сигнали, що несуть як мову, так і керуючі повідомлення або команди.

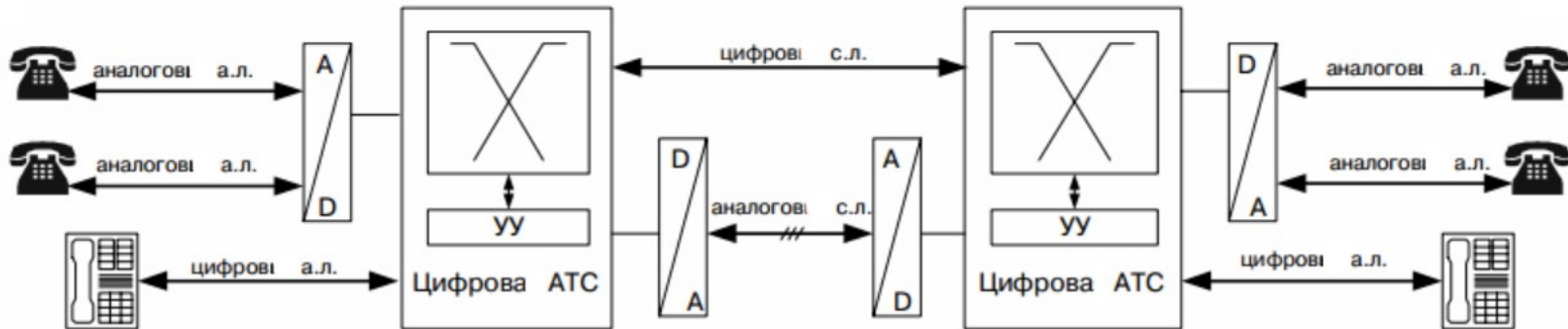
Аналогові сигнали також можуть комутуватися цифровою станцією, але лише із застосуванням аналого-цифрових (АЦП) і цифро-аналогових (ЦАП) перетворювачів.

Першим кроком при переході від аналогової комутації до цифрової стали аналогові АТС з аналоговими абонентськими і сполучними лініями. У наступних АТС цифрові комутатори взаємодіють з іншими цифровими комутаторами через цифрові з'єднувальні лінії, хоча можуть також використовуватися аналогові абонентські лінії і аналогові сполучні лінії, але неодмінно з використанням аналого-цифрових і цифро-аналогових перетворювачів. Однак **комутаційне поле є цифровим**, що має на увазі комутацію в станції виключно цифрових сигналів.

Еволюція АТС



а)



б)

У представленій спрощеній блок-схемі гіпотетичної цифрової АТС можна виділити наступні **функціональні підсистеми**:

- **Модулі абонентських ліній**
- **Комутаційне поле**
- **Модулі з'єднувальних ліній**
- **Система управління.**

Крім представлених підсистем до складу цифрових АТС входить:

- **Устаткування кросу** (MDF, *main distributing frame*) - місце, куди заводяться всі вхідні в станцію абонентські лінії. Крос має дві сторони: вертикальну і горизонтальну. До вертикальної сторони приєднуються абонентські кабелі, а лінії від абонентських модулів з'єднуються з горизонтальною стороною. Фактично з'єднання між вертикальною стороною (кабельна пара) і горизонтальною стороною (пара від станції) визначає номер абонента.
- **Розподільчий магістральний щит** (TDF, *trunk distributing frame*) - місце підключення до АТС всіх сполучних ліній. TDF зазвичай менше, ніж крос (MDF), і також має дві сторони: вертикальну і горизонтальну.
- До складу обладнання АТС, як правило, входить **установка електроживлення**, що представляє собою сукупність силових конвертерів, акумуляторних батарей і аварійних джерел живлення станційного обладнання

Лектор:

Старший викладач кафедри Електроніки и комп'ютерної техніки Сумського державного університету

Горячев О. Є.

В лекції використано матеріали авторів:

Гольдштейн Б.С., Дузь В. І.