

## АНАЛІЗ МЕТОДІВ ПРЕДСТАВЛЕННЯ ДИСКРЕТНИХ ЕЛЕКТРИЧНИХ СИГНАЛІВ В ПРОВІДНИКОВІЙ ЛІНІЇ ЗВ'ЯЗКУ

*В статті описано існуючі методи представлення дискретних електричних сигналів для передачі інформації в телекомунікаційних лініях зв'язку. Проаналізовано їх недоліки та переваги, а також встановлено умови застосування.*

*The article deals with the existing methods of presentation of discrete electric signals for the information transmission in the telecommunication circuits. The main drawbacks and advantages are analyzed and also the application conditions are determined in the following article.*

Ключові слова: повідомлення, представлення сигналу, лінія зв'язку.

Серед численних технічних систем особливе місце займають так звані інформаційні системи, призначені для передавання (приймання), перетворення та зберігання інформації. На відміну від систем передавання енергії, для яких основним показником якості є коефіцієнт корисної дії, показники якості інформаційних систем характеризують здатність передавати, накопичувати та перетворювати потрібну кількість інформації за одиницю часу при допустимих спотвореннях та затратах. Одна й та ж інформація може бути представлена в різних формах.

Питаннями пов'язаними з кодуванням та представленням електричних сигналів різної форми займаються такі відомі компанії як: 3Com, Allied Telesis, Atheros, Broadcom, Marvell, Intel, Realtek, D-Link, VIA, Planet. Ці компанії займаються розробкою мережевих адаптерів згідно стандартів IEEE групи 802.3, які відповідно до прийнятого лінійного коду здійснюють передачу кадру з комп'ютера в кабель типу віта пара, або ж його прийом, також управляють потоком даних між комп'ютером і середовищем передачі – тобто виконують дії згідно стандартів передачі даних для мережевого обладнання.

**Метою статті** є дослідження існуючих методів представлення електричних сигналів в провідниковій лінії зв'язку для виявлення умов, при яких забезпечується максимально ефективно застосування того чи іншого методу кодування та представлення для передачі інформації.

### Основна частина

Передавання сигналів від передавального пункту до приймального здійснюється через певне фізичне середовище, яке називають каналом зв'язку. Як правило, при цьому сигнали спотворюються завадами, що носять випадковий характер. [1]

Залежно від віддалі між передавальним та приймальним пунктами та від характеру інформації вибирають таке фізичне середовище та параметри сигналів, які забезпечують ефективно передавання інформації в лінії чи каналі зв'язку.

Лінія зв'язку є фізичним середовищем, по якому передаються електричні інформаційні сигнали. Фізичне середовище передачі даних (medium) може бути кабелем, тобто набір проводів, ізоляційних і захисних оболонок і сполучних роз'ємів, а також земною атмосферою або космічним простором, через які розповсюджуються електромагнітні хвилі.

Залежно від середовища передачі даних лінії можна поділити на (рис. 1):

- дротяні (повітря);
- кабельні (мідні і волоконно-оптичні);
- радіоканали наземного і супутникового зв'язку. [2]

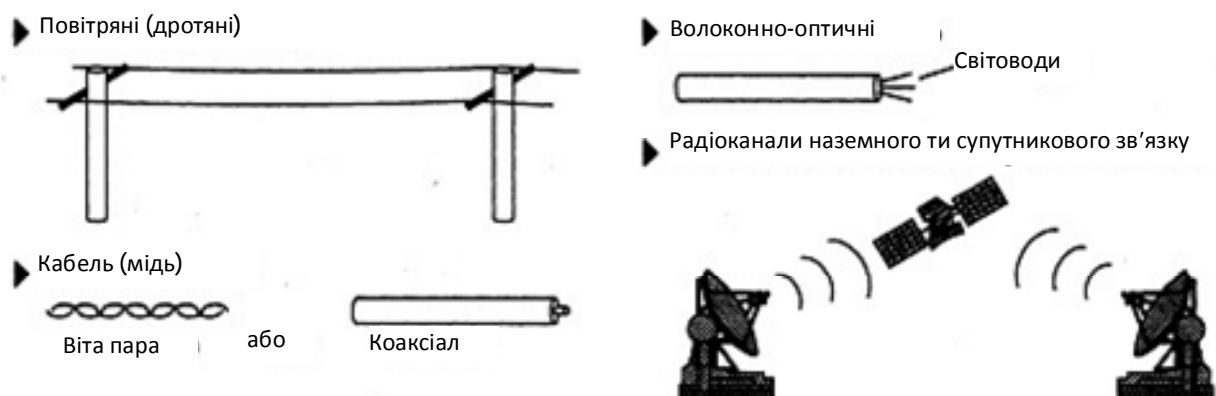


Рис. 1. Типи ліній зв'язку. [2]

Дротяними (повітряними) лініями зв'язку є дроти без яких-небудь ізолюючих або екрануючих облук, що прокладені між стовпами і висять в повітрі. По таких лініях зв'язку традиційно передаються

телефонні або телеграфні сигнали, але за відсутності інших можливостей ці лінії використовуються і для передачі комп'ютерних даних. Швидкісні якості і завадостійкість цих ліній залишають бажати кращого. Сьогодні дротяні лінії зв'язку швидко витісняються кабельними.

Кабельні лінії є достатньо складною конструкцією. Кабель складається з провідників, поміщених в декілька шарів ізоляції: електричної, електромагнітної, механічної, а також, можливо, кліматичної. Крім того, кабель може бути оснащений роз'ємами, що дозволяють швидко виконувати приєднання до нього різного устаткування. У комп'ютерних мережах застосовуються три основні типи кабелю: кабелі на основі скручених пар мідних проводів, коаксіальні кабелі з мідною жилою, а також волоконно-оптичні кабелі. [2]

Найбільш поширеним способом подання інформації є її перетворення в електричні сигнали у кодуєчому пристрої. Після цього виконується перетворення, що називається модуляцією сигналу. Останнє перетворення означає процес зміни параметра сигналу у відповідності з переданим повідомленням. Відзначимо, що одне й те ж повідомлення може бути відображене в сигнал за допомогою різних видів кодування та модуляції. [3]

Зазвичай, математична модель неперервного модульованого коливання визначається за виразом [3]:

$$s(t) = A_m(t) \cos[\psi(t)], \quad (1)$$

де  $A_m(t)$  – функція, що описує закон зміни амплітуди переносника в часі;

$\psi(t)$  – функція, що описує закон зміни повної фази в часі.

Сигнал - це будь-яка фізична величина (наприклад, температура, тиск повітря, інтенсивність світла, сила струму тощо), що змінюється з часом. Саме завдяки цій зміні сигнал може нести в собі якусь інформацію. [4]

Як сигнали можуть бути використані електричні, механічні, звукові, електромагнітні коливання.

При передачі цифрової інформації за допомогою цифрових сигналів застосовується цифрове кодування, що управляє послідовністю прямокутних імпульсів відповідно до послідовності переданих даних.

При цифровому кодуванні застосовують або потенційні, або імпульсні коди. При потенційному кодуванні інформативним є рівень сигналу – потенціал. При імпульсному кодуванні використовуються така інформативна величина як перепади рівня (транзитивне кодування), або полярність окремих імпульсів (уніполярне, полярне, біполярне кодування). [5]

В окрему групу імпульсних кодів виділяють двофазні коди, при яких у кожному бітовому інтервалі обов'язково присутній перехід з одного стану в інший (такі коди дозволяють виділяти синхросигнал з послідовності станів лінії, тобто вони є самосинхронізуючими). При використанні прямокутних імпульсів для передачі дискретної інформації необхідно вибрати такий спосіб кодування, що одночасно досягав би декількох цілей:

- мав при одній і тій же бітовій швидкості найменшу ширину спектра результуючого сигналу;
- забезпечував синхронізацію між передавачем і приймачем;
- мав здатність розпізнавати помилки;
- мав низьку вартість реалізації.

Синхронізація передавача й приймача потрібна для того, щоб приймач точно знав, у який момент часу необхідно зчитувати нову інформацію з лінії зв'язку. Ця проблема в мережах вирішується складніше, ніж при обміні даними між близько розташованими пристроями, наприклад між блоками усередині комп'ютера або ж між комп'ютером і принтером.

На невеликих відстанях добре працює схема, заснована на окремої тактуючій лінії зв'язку, так що інформація знімається з лінії даних тільки в момент приходу тактового імпульсу. У мережах використання цієї схеми викликає труднощі через неоднорідність характеристик провідників у кабелях. На більших відстанях нерівномірність швидкості поширення сигналу може привести до того, що тактовий імпульс прийде настільки пізніше або раніше відповідного сигналу даних, що біт даних буде пропущений або лічений повторно. Іншою причиною, по якій у мережах відмовляються від використання тактуючих імпульсів, є економія провідників у дорогих кабелях.

Тому в мережах застосовуються так звані коди, що самосинхронізуються, сигнали яких несуть для передавача вказівки про те, у який момент часу потрібно здійснювати розпізнавання чергового біта (або декількох біт, якщо код орієнтований більш ніж на два стани сигналу). Будь-який різкий перепад сигналу - так званий фронт - може служити гарною вказівкою для синхронізації приймача з передавачем. [5]

Найбільш широкого застосування в області цифрового кодування набули такі коди (Рис.1):

1. **NRZ** (Non-Return to Zero – без повернення до нуля) – потенційний код, стан якого прямо або інверсно відображає значення біта даних. У чистому вигляді код NRZ у мережах не використовується. Код NRZ використовується тільки при передачі коротких пакетів і на малих швидкостях. Тим не менш, використовуються його різні модифікації, в яких частково усувають як погану самосинхронізацію, так і наявність постійної складової, а саме:

- **диференціальний NRZ** – стан міняється на початку бітового інтервалу для "1" і не міняється при "0"; [6]

- **NRZI** (Non-Return to Zero Inverted – без повернення до нуля з інверсією) – стан міняється на початку бітового інтервалу при передачі "0" і не міняється при передачі "1". Код використовується при

передачі по оптоволоконним кабелях, де приймач стійко розпізнає два стани сигналу - світло і темрява. Використовується в FDDI, 100BaseFX;[7]

**Переваги** методу NRZ:

- простота реалізації.
- метод має гарну розпізнавальну здатність помилок (завдяки наявності двох різко відрізняювальних потенціалів).
- Основна гармоніка  $f_0$  має досить низьку частоту (рівну  $N / 2$  Гц, де  $N$  - бітова швидкість передачі дискретних даних [біт / с]), що призводить до вузького спектру.

**Недоліки** методу NRZ:

- метод не має властивості самосинхронізації. Навіть при наявності високоточного тактового генератора приймач може помилитися з вибором моменту знімання даних, тому що частоти двох генераторів ніколи не бувають повністю ідентичними. Тому при високих швидкостях обміну даними і довгих послідовностях одиниць або нулів невелика неузгодженість тактових частот може призвести до помилки в цілий такт і, відповідно, зчитуванню некоректного значення біта.

- наявність низькочастотної складової, яка наближається до постійного сигналу при передачі довгих послідовностей одиниць і нулів. Через це багато ліній зв'язку, що не забезпечують прямого гальванічного з'єднання між приймачем і джерелом, цей вид кодування не підтримують. Тому в мережах код NRZ в основному використовується у вигляді різних його модифікацій, у яких усунуті як погана самосинхронізації коду, так і проблеми постійної складової.[6]

2. **RZ** (Return to Zero – з поверненням до нуля) – біполярний імпульсний код, що самосинхронізується, що представляє "1" і "0" імпульсами протилежної полярності, що тривають половину такту (в другу половину такту стан встановлюється в нуль); усього використовується три стани. Кожен біт передається 3-ма рівнями напруги. Найбільш часто код RZ використовується в оптоволоконних мережах. При передачі світла не існує позитивних і негативних сигналів, тому використовують три рівні потужності світлових імпульсів.

**Недолік** : вимагає в 2 рази більшої швидкості в порівнянні зі звичайною швидкістю.

**Перевага** : повернення до нуля при передачі кожної одиниці покращує синхронізацію при наявності великої кількості одиниць, але при наявності довгих послідовностей нулів можливий зрив синхронізації. [5]

3. **AMI** (Bipolar Alternate Mark Inversion – біполярне кодування з альтернативною інверсією. AMI-код використовує наступне представлення бітів:

- біти 0 представляються нульовою напругою (0 В);
- біти 1 представляються по чергово значеннями -U або + U (В).

**Переваги** :

- AMI-код має гарні синхронізуючі властивості при передачі серій одиниць.
- порівняно простий в реалізації.

**Недоліки** :

- обмеження на щільність нулів в потоці даних, оскільки довгі послідовності нулів ведуть до втрати синхронізації.
- використання не двох, а трьох рівнів сигналу на лінії. Додатковий рівень вимагає збільшення потужності передавача приблизно на 3 дБ для забезпечення тієї ж достовірності прийому бітів на лінії.
- подвоєння кількості біт у вихідному сигналі, тобто, невелика надлишковість.
- В цілому, для різних комбінацій бітів на лінії використання коду AMI приводить до вузького спектру сигналу, чим для коду NRZ, а значить, і до вищої пропускну здатності лінії. Використовується в ISDN, DSx, середовищем поширення є провідні лінії зв'язку.[6]

4. **Манчестерське кодування** (manchester encoding) – двофазне полярне кодування, що самосинхронізується, логічна одиниця кодується перепадом потенціалу в середині такту від низького рівня до високого, логічний нуль - зворотним перепадом (якщо необхідно представити два однакових значення підряд, на початку такту відбувається додатковий службовий перепад потенціалу). Набув найбільшого поширення в мережах з електричними кабелями. Використовується в мережах Ethernet.

**Переваги** :

- так як сигнал змінюється принаймні один раз за такт передачі одного біта даних, то манчестерський код володіє хорошими самосинхронізуючими властивостями.
- у манчестерського коду немає постійної складової (змінюється кожен такт), а основна гармоніка в гіршому випадку (при передачі послідовності одиниць чи нулів) має частоту  $N$  Гц, а в кращому випадку (при передачі чергуються одиниць і нулів) -  $N / 2$  Гц, як і у NRZ.

**Недолік** :

- у середньому ширина спектра при манчестерському кодуванні в два рази ширше ніж при NRZ кодування.

5. **Диференціальне манчестерське кодування** (differential manchester encoding) – двофазне полярне кодування, що самосинхронізується, логічний нуль кодується наявністю перепаду потенціалу на початку такту, а логічна одиниця - відсутністю перепаду.[5]

**Перевагою** є те, що у середині такту перепад є завжди (для синхронізації).

В Token Ring застосовується модифікація цього методу, крім "0" і "1", що використовує службові

біти "J" і "K", що не мають перепаду в середині такту ("J" не має перепаду на початку такту, "K" – має); **MLT-3** (багаторівнева передача) - метод кодування, що використовує три рівні сигналу. Метод ґрунтується на циклічному перемиканні рівнів-U, 0, + U. Одиниці відповідає перехід з одного рівня сигналу на наступний. У випадку найбільш частого перемикання рівнів (довга послідовність одиниць) для завершення циклу необхідно чотири переходи. Метод розроблений Cisco Systems для використання в мережах FDDI на основі мідних проводів, відомих як CDDI. Також використовується в Fast Ethernet 100BASE-TX.

**Переваги :**

- наявність чотирьох переходів дозволяє вчетверо знизити частоту несучої щодо тактовою частоти, що робить MLT-3 зручним методом при використанні в якості середовища передачі мідних проводів.
- наявність трьох рівнів сигналу.

**Недолік** коду MLT-3: відсутність синхронізації. Цю проблему вирішують за допомогою перетворення даних, яке виключає довгі послідовності нулів і можливість розсинхронізації.

6. **PAM5** (Pulse Amplitude Modulation) – п'ятирівневе біполярне кодування, при якому кожна пара біт даних представляється одним з п'яти рівнів потенціалу. Застосовується в 1000BaseT, середовищем поширення є мідні проводи.

**Перевага:** ширина спектру є стала.

**Недолік:** 5 рівнів зменшують завадостійкість.

7. **2B1Q** (2 Binary 1 Quaternary) – пари біт даних представляються одним четвертинним символом, тобто одним із чотирьох рівнів потенціалу. Застосовується в ISDN, середовищем поширення є проводів лінії зв'язку

**Перевага** методу 2B1Q: сигнальна швидкість у цього методу в два рази нижче, ніж у кодів NRZ і AMI, а спектр сигналу в два рази вузьчий. Отже за допомогою 2B1Q-коду можна по одній і тій же лінії передавати дані в два рази швидше.

**Недолік** методу 2B1Q: реалізація цього методу вимагає більш потужного передавача і більш складного приймача, який повинен розрізняти чотири рівні. [6]

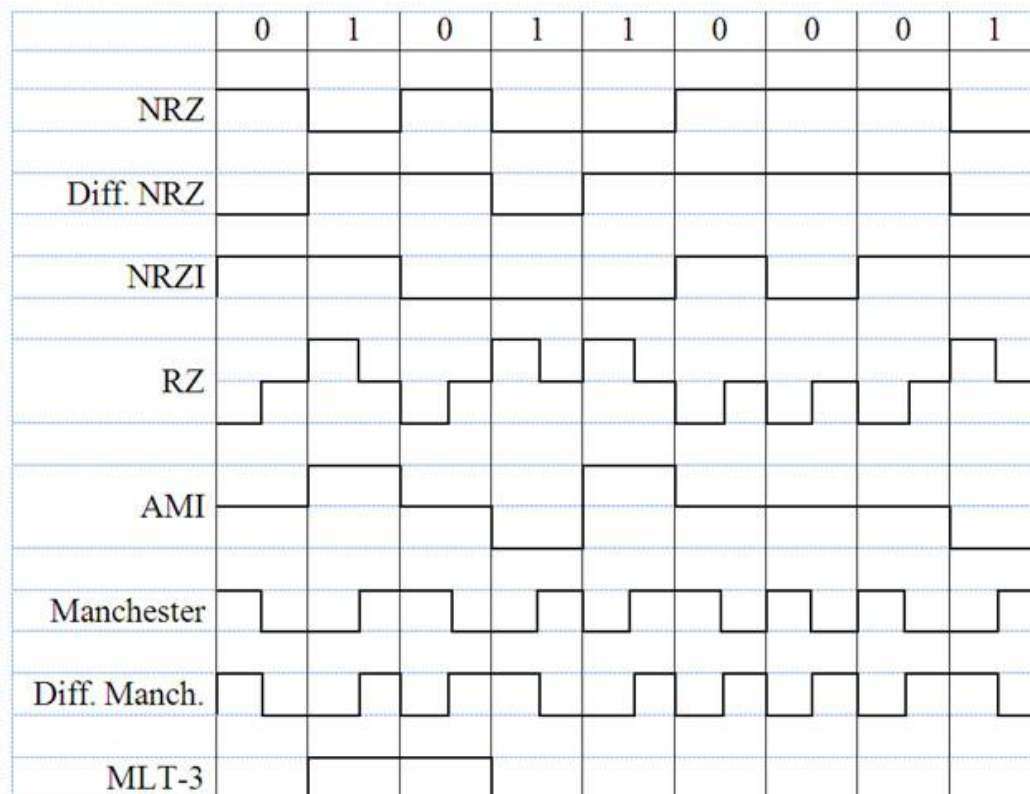


Рис. 2. Методи кодування цифрових сигналів. [6]

**Висновок**

Використовуючи різні методи кодування та представлення електричних сигналів можна, в першу чергу, отримати результуючий сигнал з меншою шириною спектру, забезпечити синхронізацію між передавачем і приймачем, а також покращити завадостійкість сигналу.

Більш вузький спектр сигналів дозволяє на одній і тій же лінії (з однієї і тією же смугою пропускання) домогтися більш високої швидкості передачі даних. Синхронізація передавача і приймача потрібна для того, щоб приймач точно знав, у який момент часу необхідно зчитувати нову інформацію з лінії зв'язку.

Кодування вимагає використання більш складної приймально-передавальної апаратури. Це мінус. Зате при переході до більш швидкісних протоколів можна використовувати ті ж кабелі. А це вже великий плюс.

Серед розглянутих вище методів кодування інформації найпростішим є **NRZ** код (Non-Return to Zero – без повернення до нуля). Він простий у реалізації, середовищем поширення є оптоволокно, володіє гарним виявленням помилок (через два потенціали, які різко відрізняються), але не має властивості самосинхронізації, яка присутня у коді **RZ**, недоліком якого є те, що він вимагає в 2 рази більшої швидкості в порівнянні зі звичайною швидкістю. Привабливість коду **NRZ**, через яку має сенс зайнятися його поліпшенням, складається в досить низькій частоті основної гармоніки  $f_0$ , що дорівнює  $N/2$  Гц. В інших методів кодування, наприклад манчестерського, основна гармоніка має більш високу частоту.

Код АМІ частково ліквідує проблеми постійної складової і відсутності самосинхронізації, властивій коду **NRZ**. Це відбувається при передачі довгих послідовностей одиниць. Довгі ж послідовності нулів також небезпечні для коду АМІ, як і для коду **NRZ** — сигнал вироджується в постійний потенціал нульової амплітуди. Тому код АМІ вимагає подальшого поліпшення, хоча задача спрощується — залишилося справитися тільки з послідовностями нулів. В цілому, для різних комбінацій біт на лінії використання коду АМІ приводить до більш вузького спектра сигналу, чим для коду **NRZ**, а виходить, і до більш високої пропускної здатності лінії, тому ефективно використовується у провідних лініях зв'язку, як і

код **2B1Q**. Останній володіє, при випадковому чергуванні біт, спектром сигналу в два рази вужчим, ніж у коду **NRZ**, тому що при тій же бітій швидкості тривалість такту збільшується в два рази. Таким чином, за допомогою коду **2B1Q** можна по одній і тій же лінії передавати дані в два рази швидше, ніж за допомогою коду АМІ чи **NRZI**. Однак для його реалізації потужність передавача повинна бути вище, щоб чотири рівні чітко розрізнялися приймачем на тлі перешкод.

В локальних мережах найпоширенішим методом кодування є манчестерський код. В середньому ширина смуги манчестерського коду в півтора рази вужча, ніж у біполярного імпульсного коду, а основна гармоніка коливається поблизу значення  $3N/4$ . Манчестерський код має ще одна перевага перед біполярним імпульсним кодом - використання для передачі даних двох рівнів сигналу.

Метод кодування **MLT-3** є зручним методом використання мідних проводів, як середовища передачі даних, завдяки наявності чотирьох переходів, що дозволяє вчетверо знизити частоту несучої щодо тактовою частоти.

Код **РAM5** також знайшов своє застосування у провідних лініях передачі, володіючи сталою шириною спектру, але порівняно з іншими методами – меншою завадостійкістю.

### Література

1. Мандзій Б. А.. Основи теорії сигналів // Мандзій Б. А., Желяк Р. І. / Підручник / За ред. Б.А. Мандзія. – Львів. : вид-во "Ініціатива", 2008. – 240 с.
2. Абрамов С.К. Лінії передачі: навч. посіб. / С.К. Абрамов. – Х.: Нац. аерокосм. ун-т «Харк. авіац. ін-т», 2009. – 70 с.
3. Скляр Бернард. Цифровая связь. Теоретические основы и практическое применение / Бернард Скляр. – Изд. 2-е, испр. : Пер. с англ. – М. : Издательский дом "Вильямс", 2003. — 1104 с. : ил. — Парал. тит. англ.
4. Визначення поняття "Сигнал" [електронний ресурс] <http://uk.wikipedia.org/wiki/Сигнал>
5. Комп'ютерні мережі. Кодування сигналу // [електронний ресурс] [http://comp-net.at.ua/index/koduvannja\\_signaliv/0-20](http://comp-net.at.ua/index/koduvannja_signaliv/0-20)
6. Руководство по технологиям объединенных сетей. // Cisco systems. Inc. – М. : Издательский дом "Вильямс", 2004. – 380- с.
7. Николайчук Я.М. Дослідження ефективності формування сигнальних кодів // Николайчук Я.М., Гринчишин Т.М., Заставний О.М., Воронич А.Р. / Науковий вісник Чернівецького університету. "Комп'ютерні системи та компоненти", Випуск 479. – 2009. – С. 114-125.

Надійшла 27.11.2011 р.  
Рецензент: д.т.н. Троцишин І.В.