

Методи передачі даних на фізичному рівні

При передачі дискретних даних по ЛЗ використовуються два основних видів фізичного кодування – на основі синусоїдального несучого сигналу і на основі послідовності прямокутних імпульсів. Перший спосіб називається аналоговою модуляцією, а другий – цифровим кодуванням. Періодичний сигнал, параметри якого змінюються при передачі даних, називають несучим сигналом.

Аналогова модуляція

Взагалі модуляція — це процес зміни одного або декількох параметрів несучого сигналу за законом інформаційного сигналу. До основних способів аналогової модуляції відносяться амплітудна, частотна і фазова.

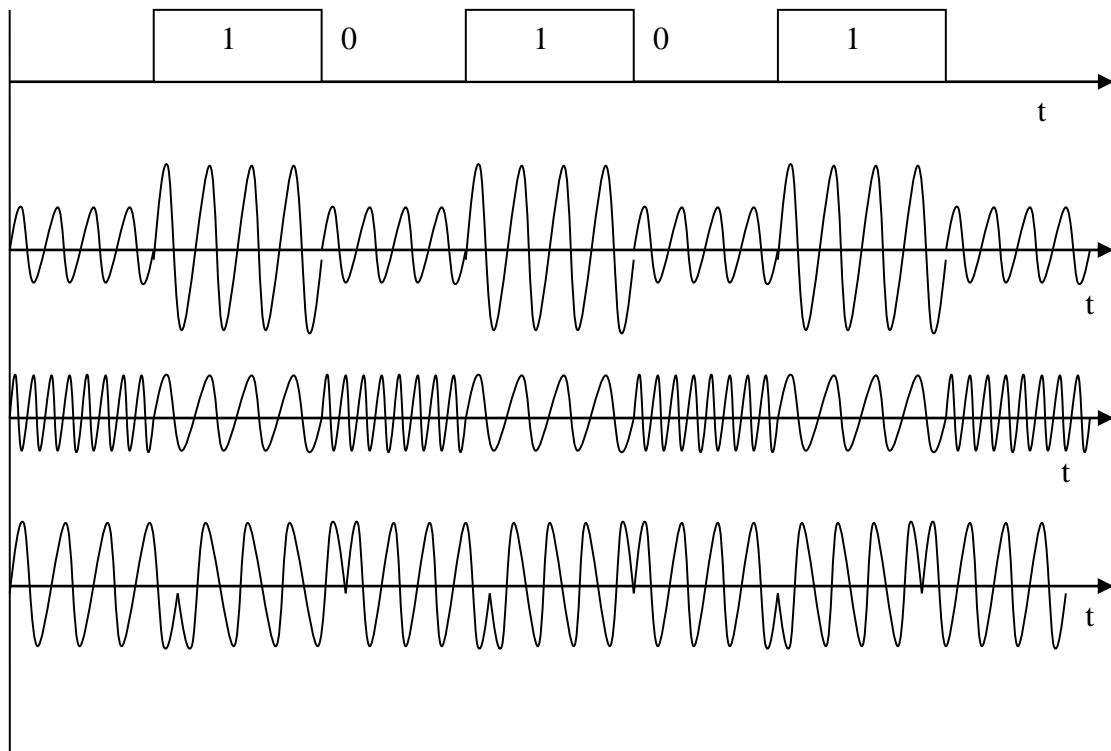


Рис. Приклад інформаційного сигналу (перший), амплітудної, частотної та фазової модуляції.

При амплітудній модуляції для логічної одиниці інформаційного сигналу обирається один рівень амплітуди синусоїди несучої частоти, а для логічного нуля – інший.

При частотній модуляції логічні одиниця і нуль передаються синусоїдами з різною частотою.

При фазовій модуляції логічні одиниця і нуль передаються синусоїдами з різними фазами, наприклад, 0 і 180 градусів.

Пристрій, який виконує функції модуляції несучої синусоїди на передатчику і демодуляції на приймачі, називається модем (модулятор-демодулятор (демодуляція — процес формування інформаційного сигналу із модульованого несучого сигналу)). У швидкісних модемах часто використовуються комбіновані методи модуляції, як правило, амплітудна у поєднанні із фазовою.

У технологіях передачі мобільного зв'язку використовуються різні види модуляції, наприклад, у 3g – QPSK (*Quadrature Phase Shift Keying*) квадратурна фазова модуляція в якій M - кількість різних станів фази дорівнює 4.

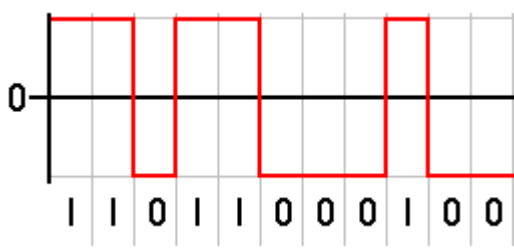
4g і 5g мають QAM (Quadrature Amplitude Modulation) квадратурно-амплітудна модуляція – це комбінований метод модуляції - амплітудна у поєднанні із фазовою.

Цифрове кодування

При цифровому кодуванні застосовуються потенціальні і імпульсні коди. У потенціальних кодах для представлення логічних одиниць і нулів використовуються тільки значення потенціалу, а в імпульсних кодах або імпульси певної полярності, або частина імпульсу – перепад потенціалу.

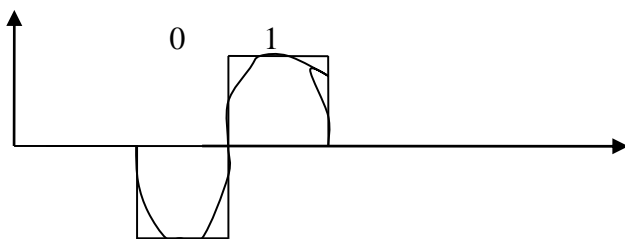
Потенціальний код без повернення до нуля (Not Return to Zero, NRZ).

Характеристика коду. Це код, в якому 1 представлена одним значенням потенціалу (як правило позитивним), а 0 – іншим значенням потенціалу (як правило негативним)



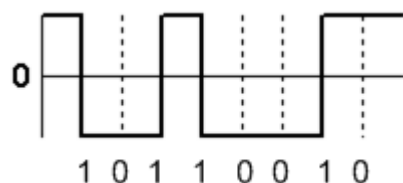
Переваги. Простота реалізації. Недолік – 1. Не має властивості самосинхронізації. При передачі довгої послідовності одиниць або нулів сигнал на лінії не змінюється. Тому приймач може помилитися у визначенні кількості одиниць або нулів, так як частоти генераторів приймача і передатчика не ідентичні. 2. Наявність низькочастотної складової, при передачі довгих послідовностей нулів і одиниць. Через це багато каналів зв'язку, які не забезпечують прямого гальванічного з'єднання між приймачем і передатчиком, цей вид кодування не підтримують.

Ще одна перевага – низька частота основної гармоніки f_0 складає $N/2$, де N – бітова швидкість в біт/с. Чим нижча частота f_0 тим більше біт передається для даної частоти генератора тактової частоти. (у даному випадку за один період основної гармоніки передається 2 біти)



Потенціальний код з інверсією при одиниці (Non-Return-to-Zero with ones Inverted, NRZI).

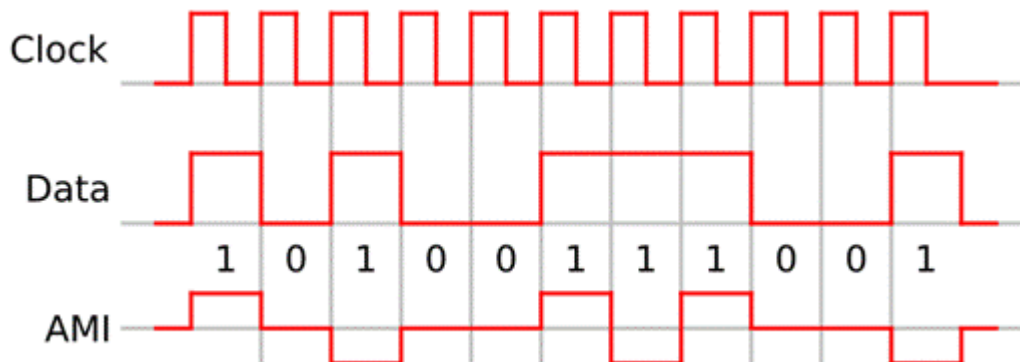
Характеристика коду. При передачі нуля потенціал не змінюється, при передачі одиниці потенціал змінюється на протилежний.



(Варіант NRZI використовується в USB, тільки потенціал не змінюється при передачі одиниці). Перевага. Низька частота основної гармоніки f_0 складає $N/2$. Недолік. Сигнал не змінюється при передачі довгої послідовності нулів, що призводить до появи низькочастотної складової.

Метод біполярного кодування з альтернативною інверсією (Bipolar Alternate Mark Inversion, AMI).

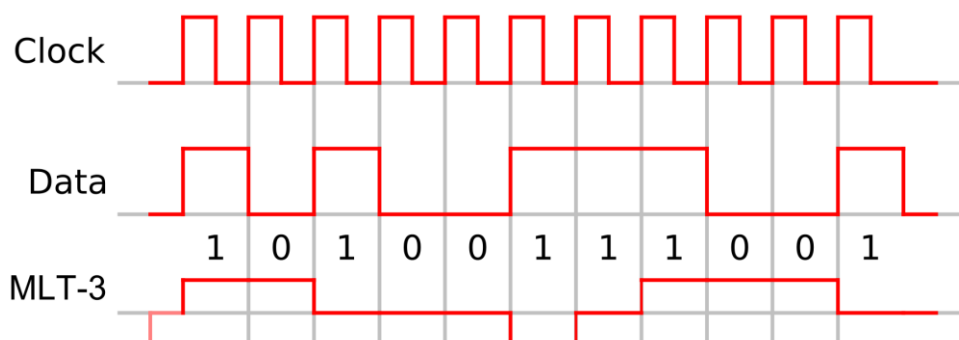
Характеристика коду. У даному методі використовуються три рівні сигналу – негативний, позитивний і нульовий. Для кодування нуля використовується нульовий потенціал, а одиниця кодується або позитивним, або негативним потенціалом. При цьому, потенціал кожної нової одиниці протилежний потенціалу попередньої.



Перевага: Основна гармоніка при передачі одиниць і нулів, які чергуються має частоту $N/4$. Недоліки. 1. Сигнал не змінюється при передачі довгої послідовності нулів. 2. Так як використовується три рівні сигналу, збільшується потужність передатчика (на 3 дБ). Варіанти AMI використовуються у цифрових мережах з інтеграцією служб — ISDN (Integrated Services Digital Network – суміщає телефонний зв'язок із обміном даними - факс, інтернет та ін.)

Код MLT-3 (Multi Level Transmission - 3).

Характеристика коду. У даному методі використовується три рівня сигналу — негативний, позитивний і нульовий. Як і в NRZI при передачі нуля потенціал не змінюється, а при передачі одиниці потенціал змінюється (див. Схему).



Переваги і недоліки такі як в NRZI.

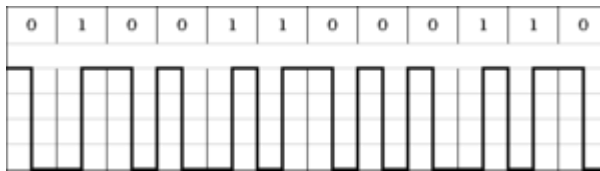
Використовується в Fast Ethernet типу 100Base-TX

Манчестерський код.

Характеристика коду. Є імпульсним кодом. Кожен такт ділиться на дві частини.

Інформація кодується перепадами потенціалу в середині кожного такту. Одиниця

кодується перепадом від низького потенціалу до високого, а нуль зворотнім перепадом.



Переваги: 1. Наявність властивості самосинхронізації, так як сигнал змінюється при передачі будь-якої послідовності нулів і одиниць. 2. Прийнятна частота основної гармоніки – в середньому $3N/4$

Використовується у протоколах Ethernet та Token Ring.

Код PAM5 (5-level pulse amplitude modulation).

Характеристика коду. Кожен символ, який передається представляється одним із п'яти рівнів: -2, -1, 0, 1 і 2. Чотири рівня представляють два біти: 00, 01, 10 і 11. П'ятий рівень використовується для виправлення помилок при передачі. (підтримує forward error correction FEC).

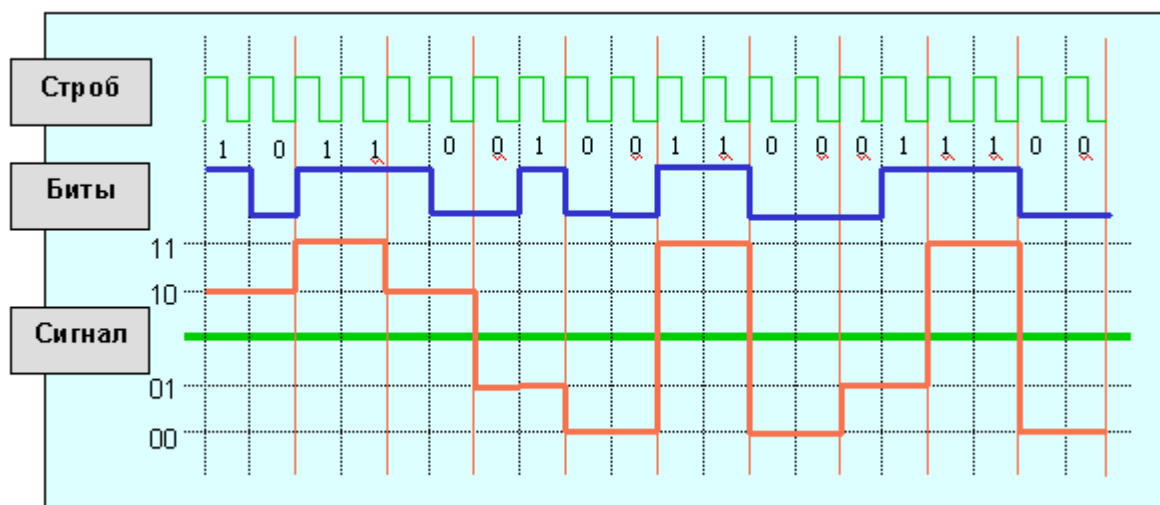


Рис. 5. Пятиуровневый код PAM 5

Використовується у протоколі 1000 Base T Gigabit Ethernet .

Логічне кодування

Логічне кодування використовується для покращення потенціальних кодів, шляхом заміни довгої послідовності біт, що приводять до постійного потенціалу, новою послідовністю біт, яка не приводить до постійного потенціалу. Для логічного кодування використовуються два методи – надлишкові коди і перемішування даних скремблером.

Надлишкові коди.

Надлишкові коди засновані на розділенні вихідної послідовності біт на порції, які часто називаються символами. Потім кожен символ вхідної послідовності замінюється на новий, який має більшу кількість біт. Наприклад, в технологіях FDDI і Fast Ethernet використовується логічний код 4B/5B, який замінює початкові символи довжиною 4 біти на символи довжиною 5 біт. Кількість комбінацій результуючих символів в даному коді $2^5=32$, початкових $2^4=16$. У результуючому коді відбираються такі 16 комбінацій, які не містять великої кількості нулів, а інші комбінації вважаються забороненими. Наприклад, початковий символ 0000 замінюється на вихідний символ 11110, 0001 – 01001 і т. д. Код 4B/5B гарантує, що у результуючому коді не зустрінеться більше трьох нулів підряд.

Перемішування даних скремблером.

Цей метод полягає у побітовому обчисленні результуючого коду на основі біт початкового коду і отриманих у попередніх тактах біт результуючого коду.

Наприклад, скремблер може реалізувати наступне обчислення:

$$V_i = A_i \oplus V_{i-3} \oplus V_{i-5}$$

Де V_i – двійкова цифра результуючого коду, отриманого на i -му такті роботи скремблера, A_i – двійкова цифра початкового коду, на i -му такті, V_{i-3} і V_{i-5} двійкові цифри результуючого коду, отримані на 3 і 5 такті раніше поточного такту, \oplus - операція виключного АБО (исключающего ИЛИ).

Наприклад, для початкової послідовності 110000 скремблер дасть такий результат:

$$V_1 = A_1 = 1$$

$$V_2 = A_2 = 1$$

$$V_3 = A_3 = 0$$

$$V_4 = A_4 \oplus V_1 = 0 \oplus 1 = 1$$

$$V_5 = A_5 \oplus V_2 = 0 \oplus 1 = 1$$

$$V_6 = A_6 \oplus V_3 \oplus V_1 = 0 \oplus 0 \oplus 1 = 1$$

Таким чином після скремблера код буде такий: 110111, тобто немає послідовності із чотирьох нулів.

Після отримання результуючої послідовності приймач передає її дескремблеру, який відновлює початкову послідовність на основі оберненого відношення:

$$C_i = V_i \oplus V_{i-3} \oplus V_{i-5}$$

Перемішування даних скремблером використовується в мережах 1000Base-T.

Крім комп'ютерних мереж, скремблери використовуються в мережах кабельного телебачення для кодування телесигналу (кодери-декодери).