

Лекція 7.

Тема. Канали передачі та прийому інформації.

Розділ. Кодування та модуляція в каналах передачі та прийому інформації.

План лекції:

7.1. Сутність процесів кодування та модуляції.

7.2. Методи кодування цифрових сигналів.

7.1. Сутність процесів кодування та модуляції.

В сучасних інформаційно-вимірювальних системах – ІВС інформація існує у вигляді цифрової інформації, яка приймається і передається цифровими сигналами. Цифрові сигнали у більшості випадків існують у вигляді фізичних сигналів, що несуть логічну послідовність бітів, організованих у байти або слова. Використання послідовної передачі логічних сигналів, а не паралельної, пов'язано з глобальною метою мінімізувати кількість провідників і контактів, через які передаються цифрові сигнали, на нано-, микро-, міні-, макро-рівнях. Якщо вважати передачею цифрових сигналів без кодування передачу послідовності фізичних сигналів з двома можливими рівнями, що копіює вхідну логічну послідовність, то будь яка зміна рівнів або правил зміни рівнів послідовності фізичних сигналів, які породжуються вхідною логічною послідовністю називається кодуванням цифрових сигналів. Термін «кодування цифрових сигналів» не слід плутати з терміном «кодуванням цифрової інформації», який є синонімом терміну «шифрування цифрової інформації». Кодування виконується над цифровим сигналом з метою підвищення завадостійкості, достовірності та щільності передачі.

Модуляція (лат. *modulatio* - розміреність, ритмічність) - процес зміни одного або декількох параметрів високочастотного несучого коливання за законом низькочастотного інформаційного сигналу. Інформація, що передається закладена в керуючому (модуючому) сигналі, а роль носія інформації виконує високочастотне коливання, зване несучим. Модуляція, таким чином, являє собою процес «насадки» інформаційного сигналу на заздалегідь відому несучу.

В результаті модуляції спектр низькочастотного керуючого сигналу переноситься в область високих частот. Це дозволяє налаштувати функціонування всіх приймально-передавальних пристроїв на різних частотах з тим, щоб вони «не заважали» один одному.

В якості несучого можуть бути використані коливання різної форми (прямокутні, трикутні і т. д.), однак найчастіше застосовуються гармонійні коливання. В залежності від того, який з параметрів несучого коливання змінюється, розрізняють вид модуляції (амплітудна, частотна, фазова та ін.)

Модуляція дискретним сигналом називається цифровою модуляцією або маніпуляцією.

7.2. Методи кодування цифрових сигналів.

Кожен біт кодового слова передається або записується за допомогою дискретних сигналів, наприклад, імпульсів. Спосіб представлення вихідного коду певними сигналами визначається форматом коду. Відома велика кількість форматів, кожен з яких має свої переваги і недоліки і призначений для використання в певній апаратурі.

Метод RZ (з поверненням до нуля). Одиничний біт передається позитивним або негативним імпульсом з поверненням рівня сигналу в нуль. (Мал. 7.1.)



Мал.7.1. Формат коду RZ.

Переваги - завдяки наявності переходу з позитивного рівня до нуля або негативного до нуля в кожному такті логічної послідовності, кодований методом RZ сигнал містить в своєму спектрі тактову частоту. Це дає можливість надійно підтримувати синхронізацію прийому/передачі.

Недоліком методу є необхідність широкої смуги пропускання каналу передачі. Наприклад для швидкості в 10 Мбіт необхідна пропускна здатність в 10 МГц. Існує різновидність методу RZ, коли імпульс для логічного 0 не формується. За рахунок цього звужується спектр кодованого сигналу.

Метод NRZ (без повернення до нуля) природним чином відповідає режиму роботи логічних схем. Одиничний біт передається в межах такту рівень не змінюється. Позитивний перепад означає перехід з 0 до 1 у вихідному коді, негативний - від 1 до 0. Такий метод має назву прямого NRZ. Існує і перевернутий NRZ метод. (Мал. 7.2.).



Мал.7.2. Формат коду NRZ (Перевернутий).

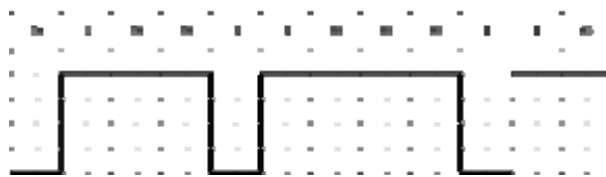
Метод NRZ ще називають потенційним кодуванням. Відсутність перепадів показує, що значення попереднього і подальшого бітів рівні. Для декодування кодів у форматі NRZ необхідні тактові імпульси, так як в його спектрі не міститься тактова частота. Відповідний коду NRZ сигнал містить

низькочастотні компоненти (при передачі довгих серій нулів або одиниць перепади не виникають).

Преваги - проста реалізація. Не потрібно кодувати і декодувати при прийомі / передачі. Висока швидкість передачі при заданій смузі пропускання (для забезпечення пропускну здатності в 10Мбіт/сек смуга пропускання складе 5 МГц, так як одне коливання дорівнює 2 бітам). Основна гармоніка має досить низьку частоту (рівну $N / 2$ Гц, де N - бітова швидкість передачі дискретних даних [біт / с]), що призводить до вузького спектру. Для синхронізації передачі байта може використовуватися старт-стоповий біт.

Недоліки - наявність постійної складової, із за чого неможливо забезпечити гальванічну розв'язку за допомогою трансформатора. Високі вимоги до синхронізації таймерів на приймальному і передавальному кінцях.

Метод NRZ-1 (без повернення до нуля з перепадом при передачі 1) і **NRZ-0** (без повернення до нуля з перепадом при передачі 0) є різновидом формату NRZ. На відміну від останнього в NRZ-1, NRZ-0 рівень не передає дані, так як і позитивні і негативні перепади відповідають одиничним бітам. Перепади сигналу для NRZ-1, NRZ-0 формуються при відповідно передачі 1 або 0. При передачі 0 (1) рівень не змінюється (Мал.7.3.)

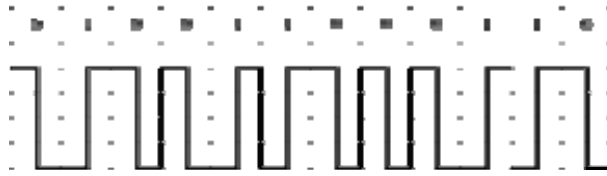


Мал.7.3. Формат коду NRZ-1.

Для декодування потрібні тактові імпульси. Оскільки код NRZ-1, NRZ-0 незахищений від довгих послідовностей "нулів" або "одиниць", то це може призвести до проблем синхронізації. Тому перед передачею, задану послідовність бітів рекомендується попередньо закодувати кодом, що передбачає скремблювання (скремблер призначений для додання властивостей випадковості переданої послідовності даних з метою полегшення виділення тактової частоти приймачем). Використовується в Fast Ethernet 100Base-FX і 100Base-T4. Інколи для синхронізації передачі / прийому використовують два додаткових сигнали, що відповідають кодам в форматах NRZ-1 і NRZ-0. В одному з двох сигналів перепади відбуваються в кожному такті, що дозволяє отримати імпульси тактової частоти.

Метод Manchester 1. При манчестерському кодуванні кожен такт ділиться на дві частини. Інформація кодується перепадами потенціалу в середині кожного такту. Одиниця кодується перепадом від низького рівня сигналу до високого, а нуль - зворотнім перепадом (за стандартом IEEE 802.3, Мал.7.4.). Якщо потрібно представити кілька одиниць або нулів підряд, на початку кожного такту відбувається службовий перепад сигналу.

Так як сигнал змінюється принаймні один раз за такт передачі одного біта даних, то манчестерський код володіє хорошими самосинхронізуючими властивостями.



Мал.7.4. Формат коду **Manchester 1**

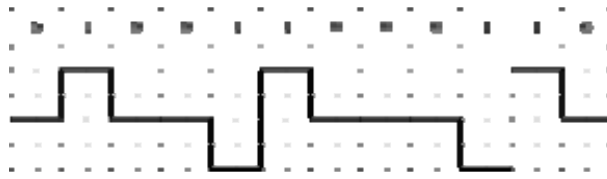
У сигналі манчестерського коду немає постійної складової (змінюється кожен такт), а основна гармоніка в гіршому випадку (при передачі послідовності одиниць або нулів) має частоту N Гц, а в кращому випадку (при передачі чергуються одиниці і нулі) - $N / 2$ Гц, як і у NRZ. Подібно коду RZ, при використанні манчестерського коду потрібна пропускна здатність лінії в два рази вище, ніж при застосуванні найпростішого коду NRZ. Наприклад, для швидкості передачі 10 Мбіт / с потрібна смуга пропускання 10 МГц. Напрямок перепаду при передачі сигналу одиниці не має значення. Тому зміна полярності кодованого сигналу не впливає на результат декодування. Він може передаватися по симетричним лініям без постійної складової.

Метод Manchester 2 або Диференціальне манчестерське кодування. У цьому коді обов'язково відбувається зміна рівня в середині інтервалу. Крім того, одиниці відповідає наявність переходу на початку бітового інтервалу, а нулю - відсутність переходу на початку бітового інтервалу (або навпаки, мал. 7.5.). При цьому в середині 1 бітового інтервалу перехід є завжди, і саме він служить для побітової самосинхронізації приймача.



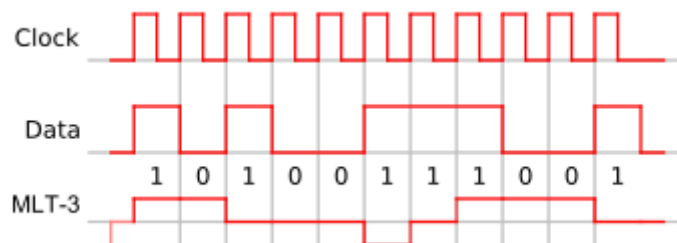
Мал.7.5. Диференціальне манчестерське кодування.

Біполярний код АМІ. АМІ-код використовує наступні вистави бітів: біти 0 представляються нульовим напругою (0 В); біти 1 представляються черзі значеннями $-U$ або $+U$ (В) (Мал. 7.8.). АМІ-код володіє хорошими синхронізуючими властивостями при передачі серій одиниць і порівняно простий в реалізації. Недоліком коду є обмеження на щільність нулів в потоці даних, оскільки довгі послідовності нулів ведуть до втрати синхронізації. Широко використовується в телефонії.



Мал.7.5. Формат коду АМІ.

Метод MLT-3 (англ. Multi Level Transmission – 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 (Мал.7.6.).



Мал.7.6. Формат кода MLT-3.

Так само як і в методі NRZI при передачі «нуля» сигнал не змінюється. У разі найбільш частого перемикання рівнів (довга послідовність одиниць) для завершення циклу необхідно чотири переходи. Це дозволяє вчетверо знизити частоту несучої щодо тактової частоти, що робить MLT-3 зручним методом при використанні мідних проводів в якості середовища передачі. Метод розроблений Cisco Systems для використання в мережах FDDI на основі мідних проводів, відомих як CDDI. Також використовується в Fast Ethernet 100BASE-TX.

Багаторівневе кодування. Існує багато методів кодування з використанням кількості рівнів сигналу більшим ніж 3. Як приклад наведено

Потенційний код 2В1Q. Код 2В1Q передає одну пару біт за один бітовий інтервал. Кожній можливій парі у відповідність ставиться свій рівень з чотирьох можливих рівнів потенціалу (Мал.7.7.).

Пара	Потенціал
00	-2.5 В,
01	-0.833 В,
11	+0.833 В,
10	+2.5 В.



Мал.7.7. Потенційний код 2B1Q.

Переваги методу 2B1Q - сигнальна швидкість у цього методу в два рази нижче, ніж у кодів NRZ і АМІ, а спектр сигналу в два рази вужче. 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.

Табличне кодування. Суть табличного кодування є в тому, що бітова послідовність кодується і розкодовується напівбайтами або байтами згідно таблиць відповідності. Для формату 4ВЗТ (англ. 4 Binary 3 Ternary) використовується Modified Monitoring State Block Code 43 - модифікований блочний метод кодування 43 (MMS 43). Він використовує три стани:

+ (Позитивний імпульс),

0 (немає імпульсу),

- (Негативний імпульс).

Це означає, що у нас є $2^4 = 16$ комбінацій вхідних даних, використовуючи $3^3 = 27$ комбінацій вихідних. 000 не використовується, щоб уникнути тривалого часу без переходу. Метою кодування є досягнення нульового середнього струму сигнальної послідовності. Для досягнення нульового середнього струму, 6 трійок не мають постійної складової (+0-, +-0, 0+-, 0-+, -+0, -0+), а решту 20 згруповані в 10 пар з різними рівнями (наприклад, ++- та ---+).

Синхронізація послідовності використовує 11-символьний код Баркера,

+++ --- +-+ -+ - або його інверсію, - + - + --- + + +.

Таблиця кодування.

Таблиця кодування				
Вхід	Сумуюча послідовність			
	1	2	3	4
0000	+ 0 + (+2)	0-0 (-1)		

0001	0 - + (+0)	
0010	+ - 0 (+0)	
0011	0 0 + (+1)	-- 0 (-2)
0100	- + 0 (+0)	
0101	0 + + (+2)	- 0 0 (-1)
0110	- + + (+1)	-- + (-1)
0111	- 0 + (+0)	
1000	+ 0 0 (+1)	0 -- (-2)
1001	+ - + (+1)	--- (-3)
1010	+ + - (+1)	+ -- (-1)
1011	+ 0 - (+0)	
1100	+ + + (+3)	- + - (-1)
1101	0 + 0 (+1)	- 0 - (-2)
1110	0 + - (+0)	
1111	+ + 0 (+2)	0 0 - (-1)

Таблиця розкодування.

Ternary	Binary	Ternary	Binary	Ternary	Binary
0 0 0	н/д	- 0 0	0101	+ - -	1010
+ 0 +	0000	- + +	0110	+ 0 -	1011
0 - 0	0000	- - +	0110	+ + +	1100
0 - +	0001	- 0 +	0111	- + -	1100
+ - 0	0010	+ 0 0	1000	0 + 0	1101
0 0 +	0011	0 - -	1000	- 0 -	1101
- - 0	0011	+ - +	1001	0 + -	1110
- + 0	0100	- - -	1001	+ + 0	1111
0 + +	0101	+ + -	1010	0 0 -	1111

В зв'язку з використанням кодування цифрових сигналів відносно швидкості передачі цифрової інформації слід зауважити, що одиниця вимірювання швидкості передачі бод - це не те ж саме, що біт в секунду. Швидкість передачі в бодах не завжди дорівнює швидкості передачі в бітах в секунду. Це вірно тільки у випадку коду NRZ. Швидкість в бодах характеризує не кількість переданих біт в секунду, а число змін рівня сигналу в секунду. При RZ або манчестерському кодах необхідна швидкість в бодах вдвічі вища, ніж при NRZ. У бодах вимірюється швидкість передачі сигналу, а в бітах в секунду - швидкість передачі інформації. Тому, щоб уникнути неоднозначного розуміння, швидкість передачі по мережі краще вказувати в бітах у секунду (біт / с, Кбіт / с, Мбіт / с, Гбіт / с).