

## ОСОБЛИВОСТІ ФОРМУВАННЯ СИГНАЛІВ З ЦИФРОВОЮ МОДУЛЯЦІЄЮ

*Проаналізовано метрологічні параметри сигналів з цифровою модуляцією.*

*The metrology parameters of signals are analysed with digital modulation.*

Формування модулюючого сигналу при використанні цифрової модуляції можна представити у виді певної послідовності (рис. 1)

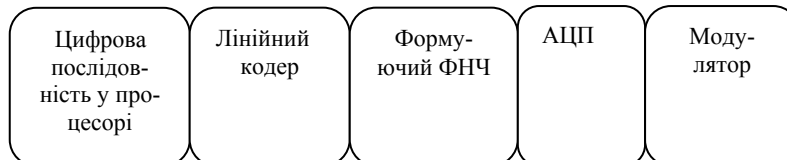


Рис. 1. Формування цифрового модульованого сигналу

У випадку використання процесора, як джерела інформаційних сигналів, наявне цифрове повідомлення представляє собою послідовність двійкових символів, які зберігаються в пам'яті процесора та непридатні для безпосереднього введення в реальні фізичні канали та передавання через такі канали. Для цього інформація повинна бути певним чином оброблена та перетворена у лінійному кодері і представлена у вигляді реального фізичного процесу – наприклад, у виді цифрових модулюючих сигналів з певними параметрами (напругою, струмом, тривалістю, формою і т.д.). Далі отриманий фізичний сигнал може коректуватись за формою (у формуючому ФНЧ) та перетворюється в АЦП у модулюючий сигнал модулятора. Існує велика кількість цифрових модулюючих сигналів, які формуються в лінійному кодері. Основна відмінність між різними сигналами полягає в розподілі спектральної густини потужності. Вибір конкретного типу цифрового сигналу визначається заданою смугою частот радіоканалу, типом модуляції, способом реалізації модулятора в передавачі, демодулятора в приймачі та видом післядетекторної обробки сигналу в приймачі. Форма імпульсів цифрового сигналу може

<sup>1</sup> Національний університет «Львівська політехніка»

бути не лише прямокутною, але також у вигляді відрізків косинусоїди, імпульсів Гауса і т.д.

В частотній області цифровий модулюючий сигнал визначається як baseband – сигнал, тобто його спектр зосереджений в околі нульової частоти та симетричний відносно неї

$$-F_m < f < F_m \quad (1)$$

де  $F_m$  – максимальна частота в спектрі сигналу.

Видно, що при цьому використовується поняття від'ємної частоти, та виникає питання правильності такого використання. Звичайно від'ємна частота носить умовний характер, але її використання дуже зручне при розгляді модульованих коливань. Наприклад, спектр АМ коливання можна отримати з спектру baseband – сигналу прямою заміною нульової частоти на несучу частоту.

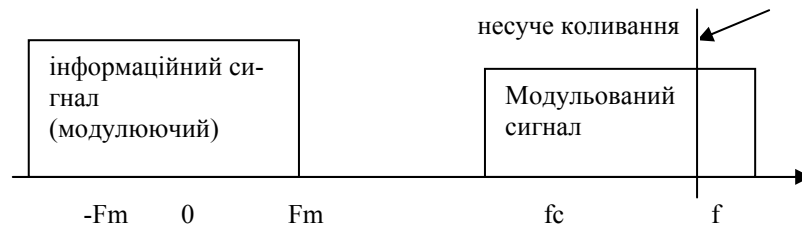


Рис. 2. Перенесення спектру інформаційного сигналу в заданий діапазон

Під дією модулюючого сигналу параметри несучого коливання стають змінними

$$S(t) = A(t) \cos[\omega(t)t + \theta(t)] \quad (2)$$

Модулюючий сигнал може діяти на один або декілька параметрів (2) несучого коливання. В результаті при дії на амплітуду отримуємо амплітудну модуляцію (ASK), на частоту – частотну модуляцію (FSK), на фазу – фазову (PSK) модуляцію, на амплітуду та фазу (одночасно) – квадратурну амплітудну (QAM) модуляцію. Якщо кожен з різномісних бітів (0 1) вхідної інформації змінює параметри несучого коливання, то отримуємо бінарну модуляцію (BASK, BFSK, BPSK). Але також можливі варіанти коли вхідна інформація формується в групі по 2 біти (00 01 10 11), по три біти (000 001 010 011 100 101 110 111), по чотири біти і т. д. Кількість M різномісних груп (які відрізняються, хоча би, одним бітом) залежить від кількості бітів в групі

$$M = 2^k, \quad (3)$$

де k – кількість бітів в групі

В результаті формуються M-арні види модуляції (M-ASK, M-FSK, M-PSK) Очевидно, що швидкість зміни символів  $R_s$  несучого

коливання при використанні бінарних модуляцій рівна швидкості  $R_b$  (швидкості передавання бітів). Але при використанні  $M$ -арних модуляцій, швидкість зміни символів несучого коливання зменшується в  $k$  раз  $R_s = R_b/k$ , що приводить до наступних позитивних факторів:

- для збереження заданої швидкості передавання інформації  $R_i$ , яка рівна швидкості передавання бітів ( $R_i = R_b$ ), реально можна передавати символи з значно меншою швидкістю  $R_s$ , що вимагає меншої смуги пропускання;

- при збереженні заданої смуги пропускання можна збільшити швидкість передачі інформації, що покращує характеристики системи.

Для аналізу загальних властивостей модульованих сигналів зручно різноманітне представлення змінюваних (2) параметрів  $A(t)$ ,  $\omega(t)$ ,  $\theta(t)$  замінити однією узагальненою функцією  $g(t)$  (комплексною огинаючою модульованого сигналу), яка характеризує закон зміни будь-якого модульованого сигналу

$$s(t) = \operatorname{Re}[g(t) e^{j\omega_c t}] \quad (4)$$

Комплексна огинаюча описує закон здійснення модуляції, тобто добуток (4) відображає операцію модуляції, в результаті якої монохроматичний сигнал ( $e^{j\omega_c t}$ ) перетворюється в модульований сигнал. Комплексна огинаюча характеризується змінними модулем та фазою, та може бути представленою в полярній або квадратурній формах, відповідно

$$g(t) = G(t) e^{j\theta(t)} \quad (.5,a)$$

$$g(t) = x(t) + jy(t) = G(t) \cos[\theta(t)] - jG(t) \sin[\theta(t)] \quad (5,b)$$

З врахуванням залежностей (4), (5) модульоване коливання може бути представлено в полярній та квадратурній формах, відповідно

$$s(t) = G(t) \cos[(\omega_c t + \theta(t))] \quad (6,a)$$

$$s(t) = x(t) \cos(\omega_c t) - y(t) \sin(\omega_c t) = S_1(t) + S_2(t) \quad (6,b)$$

$$\text{де } S_1(t) = x(t) \cos(\omega_c t); S_2(t) = -y(t) \sin(\omega_c t).$$

При здійсненні модуляції на несуче коливання діє (рис.3.4) інформаційний модулюючий сигнал  $S_i(t)$ , який для різних видів модуляції множиться на відповідні множники  $A, h_f, h_\theta$ , що забезпечують узгодження розмірностей в модульованому сигналі

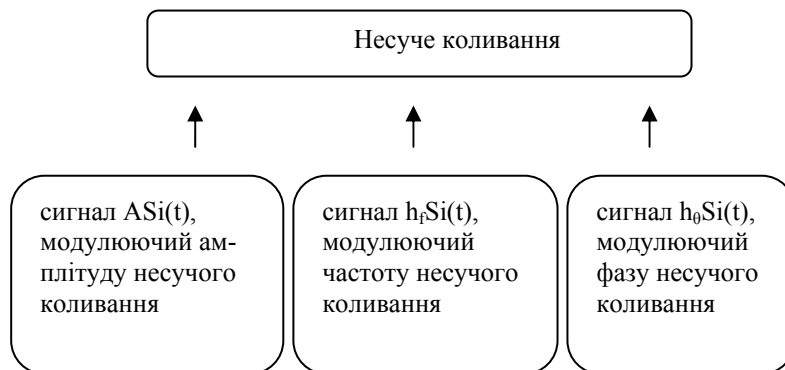


Рис. 3. Вплив модулюючих сигналів на несуче коливання

В табл. 1, табл. 2 приведено основні дані про комплексну огинаючу (в полярному та квадратурному вигляді) для різних видів модуляції.

Таблиця 3.1

Значення комплексної огинаючої для фазової та частотної модуляції

Фазова модуляція			
формування фази		повної	Загальна форма $s(t)=\text{Re}[e^{j(\omega_c t + \theta_0 + h_\theta Si(t))}] = \text{Re}[g(t)e^{j\omega_c t}]$ де $g(t)=e^{j(\theta_0 + h_\theta Si(t))}$ $G(t)=1$ $\theta(t)=h_\theta Si(t)+\theta_0$ Векторна форма $s(t)=\cos(\omega_c t + \theta_0 + h_\theta Si(t))$ Квадратурна форма $s(t)=x(t)\cos(\omega_c t)-y(t)\sin(\omega_c t)$ де: $x(t)=\cos(h_\theta Si(t)+\theta_0)$ , $y(t)=\sin(h_\theta Si(t)+\theta_0)$
$\omega_c$	$\omega_c t + \theta_0$	$\omega_c t + \theta_0 + h_\theta Si(t)$	
$\theta_0$			
$Si(t)$	$h_\theta Si(t)$		
$h_\theta$			
Частотна модуляція			
формування фази		повної	Загальна форма $s(t)=\text{Re}[e^{j(\omega_c + h_f Si(t)t + \theta_0)}] = \text{Re}[g(t)e^{j\omega_c t}]$ де $g(t)=e^{j(h_f Si(t)t + \theta_0)}$ $G(t)=1$ $\theta(t)=h_f Si(t)t + \theta_0$ Векторна форма $s(t)=\cos(\omega_c + h_f Si(t)t + \theta_0)$ Квадратурна форма $s(t)=x(t)\cos(\omega_c t) - y(t)\sin(\omega_c t)$ де: $x(t)=\cos(h_f Si(t)t + \theta_0)$ , $y(t)=\sin(h_f Si(t)t + \theta_0)$
$\omega_c$	$\omega_c t + \theta_0$	$(\omega_c + h_f Si(t)t + \theta_0)$	
$\theta_0$			
$Si(t)$	$h_f Si(t)t$		
$h_f$			

Таблиця 3.2

Значення комплексної огибаючої для амплітудної та квадратурної амплітудної модуляції

Амплітудна модуляція				
формування повної фази		$\omega_c t + \theta_0$		Загальна форма $s(t) = \text{Re}[A S_i(t) e^{j[\omega_c t + \theta_0]}] = \text{Re}[g(t) e^{j\omega_c t}]$ де $g(t) = A S_i(t) e^{j\theta_0}$ $G(t) = A S_i(t)$ $\theta(t) = \theta_0$
$\omega_c$	$\theta_0$			
формування амплітуди		Векторна форма $s(t) = A S_i(t) \cos(\omega_c t + \theta_0)$		
$A S_i(t)$		Квадратурна форма $s(t) = x(t) \cos(\omega_c t) - y(t) \sin(\omega_c t)$ де: $x(t) = A S_i(t) \cos(\theta_0)$ $y(t) = A S_i(t) \sin(\theta_0)$		
Квадратурна амплітудна модуляція				
формування повної фази		$\omega_c t + \theta_0$		Загальна форма $s(t) = \text{Re}[g(t) e^{j\omega_c t}]$
$\omega_c$	$\theta_0$			
$S_{i\theta}(t)$	$h_\theta S_{i\theta}(t)$	$\omega_c t + \theta_0 +$	$\theta(t) = \arctg \frac{S_{i\theta}(t)}{S_{i\alpha}(t)}$	Векторна форма $s(t) = G(t) e^{j\theta(t)}$ $G(t) = A \sqrt{S_{i\alpha}^2(t) + S_{i\theta}^2(t)}$
$h_\theta$	$h_\theta S_{i\theta}(t)$	$h_\theta S_{i\theta}(t)$		
Формування амплітуди		$A S_{i\alpha}(t)$		Квадратурна форма $s(t) = x(t) \cos(\omega_c t) - y(t) \sin(\omega_c t)$ де: $x(t) = A S_{i\alpha}(t)$ , $y(t) = A S_{i\theta}(t)$

Квадратурні та полярні компоненти  $x(t)$ ,  $y(t)$ ,  $G(t)$ ,  $\theta(t)$  комплексної огибаючої являються дійсними функціями часу. Використання комплексної огибаючої модульованого коливання являється основою для побудови функціональних схем модуляторів та демодуляторів. Зокрема, квадратурне та полярне представлення комплексної огибаючої (модульованого сигналу) відповідають двом основним видам функціональних схем модуляторів та демодуляторів: квадратурній схемі та схемі з керованим генератором.

1. Галкин В. А. Цифровая мобильная радиосвязь. Учебное пособие для вузов. – М.: Горячая линия – Телеком, 2007. – 432 с. 2. Скляр Б. Цифровая связь. М.: Вильямс, 2003. – 242 с.