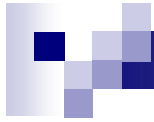




СИГНАЛИ ЦИФРОВИХ ВИДІВ МОДУЛЯЦІЇ

Практичне заняття з дисципліни
Теорія зв'язку



Мета заняття

1. Вивчення методів опису та формування сигналів цифрових видів модуляції.
2. Розрахунок спектральних і дистанційних характеристик сигналів цифрових видів модуляції.



Цифровий сигнал (ЦС) – це послідовність імпульсів (символів), що переносять дискретне повідомлення. Ці символи належать деякому алфавітом обсягу M . Кожен з символів займає фіксований інтервал часу – така послідовність символів називається синхронною. Найпоширеніший вид ЦС, при якому символи двійкові, вони позначаються 1 і 0, їх називають бітами, і надходять вони через інтервал T_6 . Далі будемо вважати, що за замовчуванням (якщо нічого не сказано) ЦС – це двійковий первинних сигнал. Основною характеристикою ЦС є швидкість сигналу або бітова швидкість $R = 1/T_6$, біт/с.

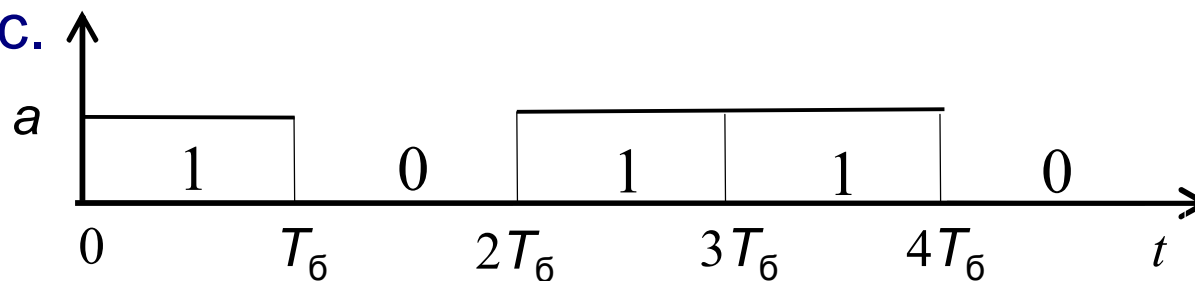


Рисунок 1 – Цифровий сигнал



Модуляція називається цифровою, якщо модулюючим сигналом є цифровий сигнал. Принцип цифрової модуляції: біти відображаються в імпульси $s_i(t)$, які добре підходять для передачі по лінії передавання. Таке відображення виконує модулятор.

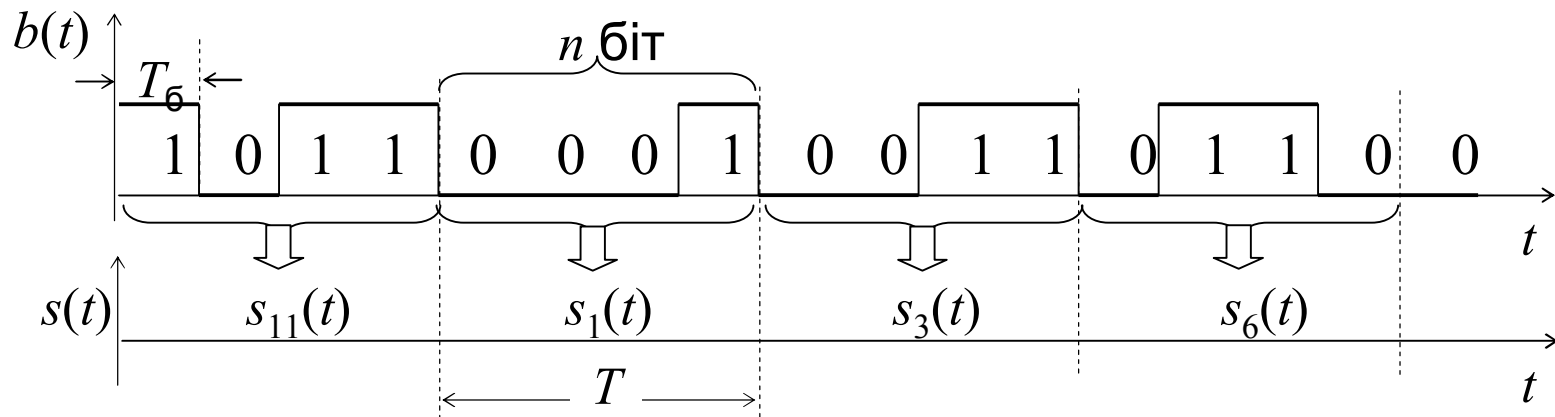



Рисунок 2 - Схема перетворення ЦС в модульований сигнал



Імпульси $s_i(t)$, $i = 0, 1, \dots, M - 1$ називаються каналними символами. Правило переходу від біт до каналним символам називається модуляційним кодом.


Наприклад, двійкова модуляція ($M = 2$):

$$1 \rightarrow s_1(t), \quad 0 \rightarrow s_0(t);$$

Кожен каналний символ переносить $n = \log_2 M$ біт.

Канальні символи йдуть з виходу модулятора через тактовий інтервал $T = T_6 \cdot n = T_6 \cdot \log_2 M$.

Канальні символи повинні відрізнятися один від одного тими чи іншими характеристиками (бути відмінними) для відновлення біт (інформації) після передачі їх каналом зв'язку. Оскільки можна створити велику кількість наборів з M розрізняються імпульсів $s_i(t)$, то існує велика кількість різних методів модуляції.



AIM- M – амплітудно-імпульсна модуляція M каналних символів, наприклад AIM-2, AIM-4;

AM- M – амплітудна модуляція M каналних символів, наприклад AM-2, AM-4;

FM- M – фазова модуляція M каналних символів, наприклад FM-2, FM-4, FM-8, FM-16;

ФРМ- M – фазо-різнецева модуляція M каналних символів, наприклад ФРМ-2, ФРМ-4, ФРМ-8, ФРМ-16;

АФМ- M – амплітудно-фазова модуляція M каналних символів, (найпоширеніший окремий випадок АФМ- M це КАМ- M – квадратурна амплітудна модуляція наприклад КАМ-4 (співпадає з FM-4), КАМ-8, КАМ-16, КАМ-32, КАМ-64);

ЧМ-2 – частотна модуляція 2 каналних символи, або її модифікація ММЗ – модуляція мінімального зсуву.



Суть методів модуляції AIM- M .

При AIM- M найпростіше опис канальних символів:

$$s_i(t) = a_i \cdot A(t), i = 0, 1, \dots, M - 1, \quad (1)$$

де a_i – коефіцієнт, що відображає передані біти (інформацію);

$A(t)$ – низькочастотний (НЧ) імпульс з певними часовими і спектральними характеристиками. При цьому і модульований сигнал AIM- M є низькочастотним.

Даний метод модуляції призначений для узгодження параметрів первинного цифрового сигналу з проводовою лінією зв'язку.



Канальні символи в AIM-M відрізняються між собою амплітудними множниками a_i , що є переносниками інформації. Параметри імпульсу $A(t)$ не є інформаційними, тому форма імпульсу $A(t)$ обирається з урахуванням наступних вимог: імпульс $A(t)$ повинен мати компактний спектр, а отже, форма імпульсу повинна бути згладженою. Є загальна закономірність – чим вужче спектр імпульсу, тим більша його протяжність у часі. Ця властивість призводить до того, що попередні і наступні імпульси накладаються і виникає міжсимвольна інтерференція. Враховуючи, що при демодуляції з метою визначення амплітуди a_i беруться відліки сигналу, що демодулюється через тактовий інтервал T , то слід вимагати, щоб відліки переддії і післядії імпульсу були нульовими, тоді сусідні в часі імпульси не впливатимуть один на один – не буде міжсимвольної інтерференції (MCI).

Зазначена вимога записується у вигляді умови, якій має задовольняти імпульс $A(t)$:

$$A(t) = \begin{cases} 1, & t = 0, \\ 0, & t = kT, \quad k = \pm 1, 2, \dots \end{cases} \quad (2)$$

Співвідношення (2) відображає умову відліковості або умову відсутності МСІ.

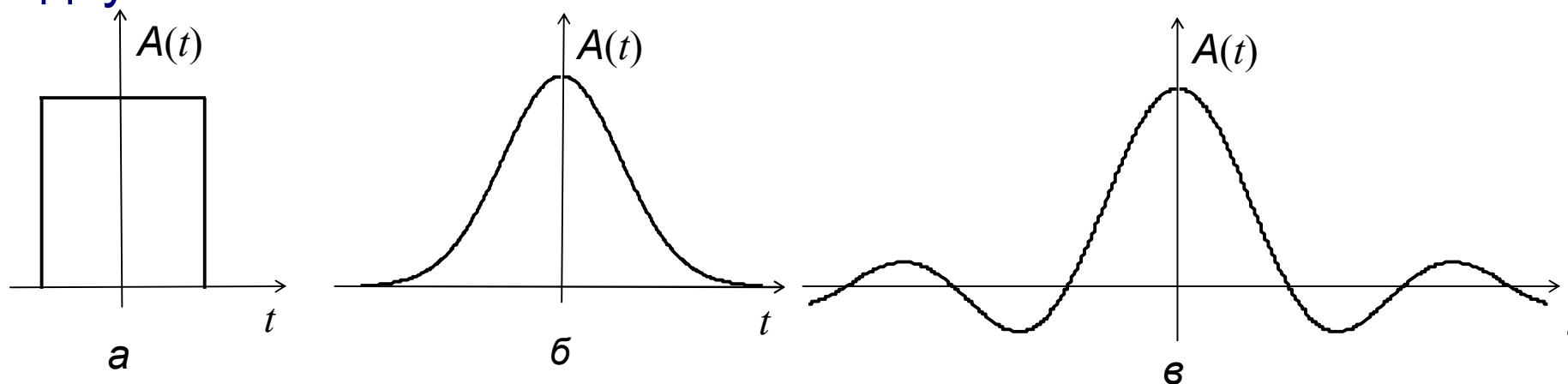



Рисунок 3 - Імпульси $A(t)$ різних форм: а - Π -імпульс;
б - гауссовский імпульс; в - імпульс виду $\sin x / x$



Спектри імпульсних сигналів, які задовольняють умові відліковості (2), називаються спектрами Найквіста. Їх позначають як $N(f)$. Найчастіше спектр Найквіста описують функцією «піднятий косинус». Спектр Найквіста показаний на рис. 4. На цьому рисунку $f_H = 1/(2T)$ – частота Найквіста, α - коефіцієнт ската спектра сигналу, що теоретично лежить в межах $0 \leq \alpha \leq 1$, типові значення коефіцієнта α лежать в межах від 0,2 до 0,4. Імпульси зі спектром Найквіста називають імпульсами Найквіста.

При порівнянні спектрів Найквіста і П-імпульсу рис. 4 видно, що спектр П-імпульсу зменшується з ростом f вкрай повільно. З рис. 4 видно, що ширина спектра імпульсу Найквіста

$$F_{\max} = (1 + \alpha)f_H = (1 + \alpha)/2T, \text{ Гц} \quad (3)$$

а мінімальна можлива ширина спектру імпульсу, яку називають межею Найквіста

$$\min F_{\max} = f_H = 1/(2T). \text{ Гц} \quad (4)$$

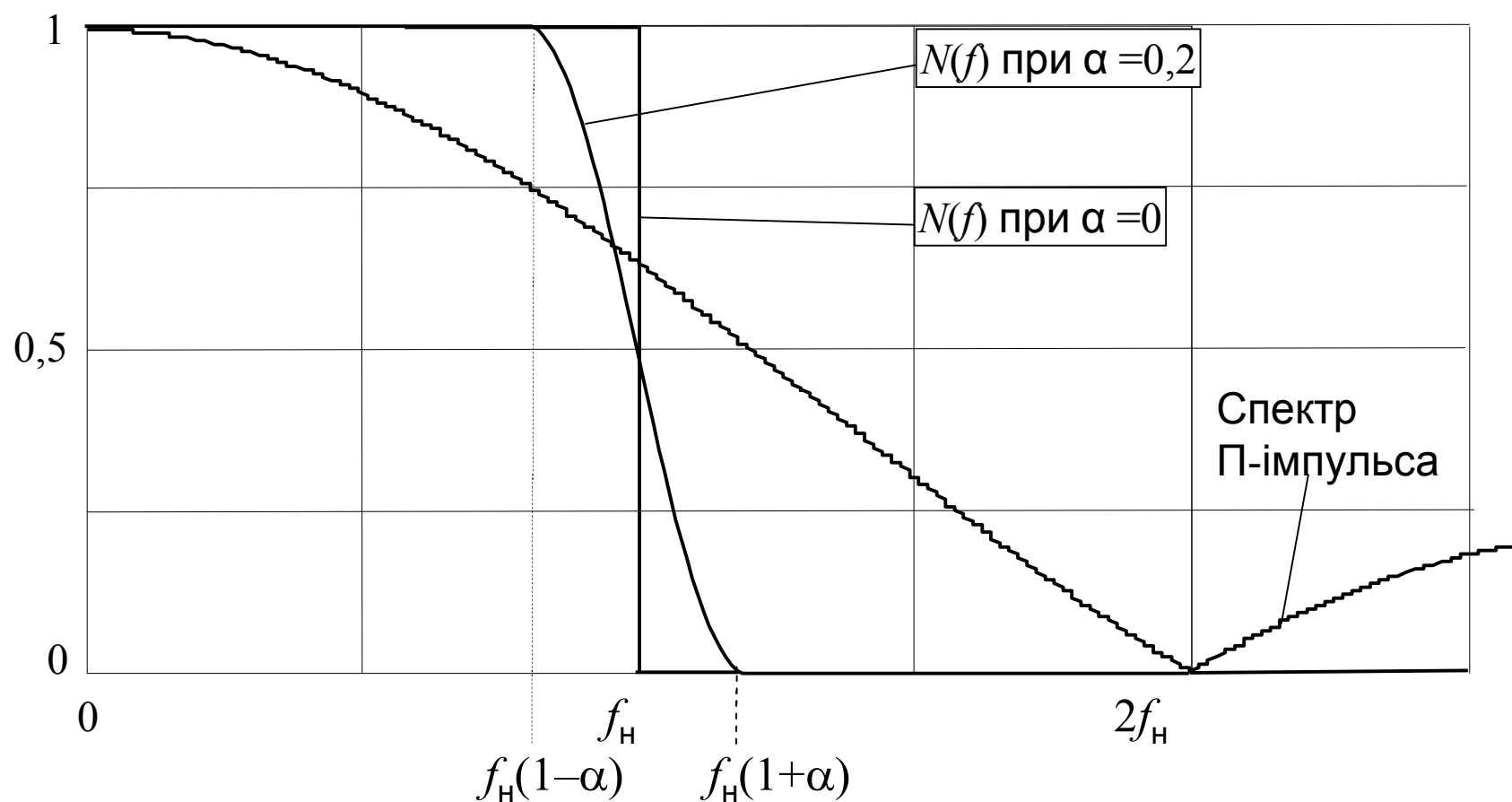



Рисунок 4 – Спектри Найквіста и П-імпульса



Межа Найквіста визначає мінімально можливу ширину спектра імпульсу, при якій передача можлива без МСІ. Імпульс Найквіста з $\alpha = 0$ показаний на рис. 3, в. З огляду на, що $T = T_6 \cdot \log_2 M = \log_2 M / R$, ширина спектра сигналу AIM-M дорівнює

$$F_{\text{AIM-M}} = R(1 + \alpha) / (2 \cdot \log_2 M). \quad \text{Гц} \quad (5)$$



Сигнали яких методів модуляції відносяться до смугових?

Перш за все, це сигнали АМ-М і ФМ-2. У таких сигналів канальні символи записуються

$$s_i(t) = a_i A(t) \sqrt{2} \cos(2\pi f_0 t), \quad i = 0, 1, \dots, M - 1 \quad (6)$$

де f_0 – частота радіоімпульсів.

До смугових сигналів відносяться також сигнали ФМ-М ($M > 2$), АФМ-М, КАМ-М. У цих сигналів канальні символи описуються

$$s_i(t) = a_{ci} \sqrt{2} A(t) \cos 2\pi f_0 t + a_{si} \sqrt{2} A(t) \sin 2\pi f_0 t, \quad i = 0, 1, \dots, M - 1 \quad (7)$$

де a_{ci} , a_{si} – пари коефіцієнтів, спільно відображають послідовність з $n = \log_2 M$ біт, переданих канальних символів $s_i(t)$.

Спектр розглянутих сигналів АМ-М, ФМ-М, АФМ-М і КАМ-М показаний на рис. 5 - спектр двосмуговий, кожна з бічних смуг є копією спектра Найквіста. На підставі (5) запишемо вираз для ширини спектра

$$\Delta F = 2F_{\text{AIM-M}} = \frac{R(1+\alpha)}{\log_2 M} \quad (8)$$

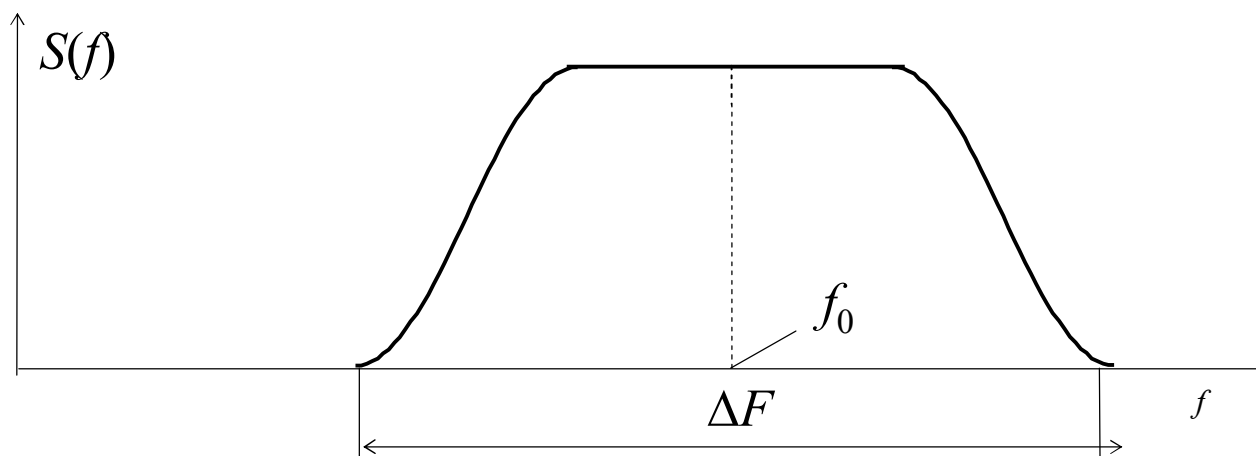


Рисунок 5 – Спектр радіоімпульсів




До смугових сигналів відносяться також сигнали ЧМ-М та ММЗ. Канальними символами є радіоімпульси різних частот.

Можна вважати, що ширина спектра сигналу ЧМ-2

$$\Delta F_{\text{ЧМ-2}} = 2R(1 + \alpha) \quad (9)$$

Можна вважати, що ширина спектра сигналу ММЗ

$$\Delta F_{\text{ММЗ}} = 1,5R \quad (10)$$




Якщо для передавання каналом зв'язку використовується два каналні символи $M = 2$, то модуляція називається двійковою.

Якщо для передавання каналом зв'язку використовується більш ніж два каналні символи $M > 2$, то модуляція називається багатопозиційною.

З виразів (5) і (8) випливає важливий висновок – збільшення числа позицій сигналу M призводить до зменшення ширини спектра сигналів. Пояснюється це збільшенням тривалості каналних символів при фіксованій швидкості цифрового сигналу R .

Використовувана для передавання смуга каналу зв'язку має бути не меншою ніж ширина спектра сигналу $F_k \geq \Delta F$.

Саме тому для передачі цифрових сигналів по каналах зв'язку все частіше використовуються багатопозиційні сигнали.



Канальні символи утворюють деякий простір. При АІМ- M канальні символи описуються співвідношенням (1), з якого видно, що символи відрізняються тільки числами a_j . Аналогічно при АМ- M і ФМ-2 - співвідношення (6) також символи відрізняються тільки числами a_j . Для уявлення канальних символів досить одновимірного простору - числової осі (рис. 6). При ФМ- M ($M \geq 4$), АФМ- M , КАМ- M канальні символи описуються двома числами – a_{ci} , a_{si} – для подання канальних символів необхідний двовимірний простір – площа (рис. 7).

Виходячи з розмірності простору для подання канальних символів, відповідно і сигнали називаються одновимірними або двовимірними.

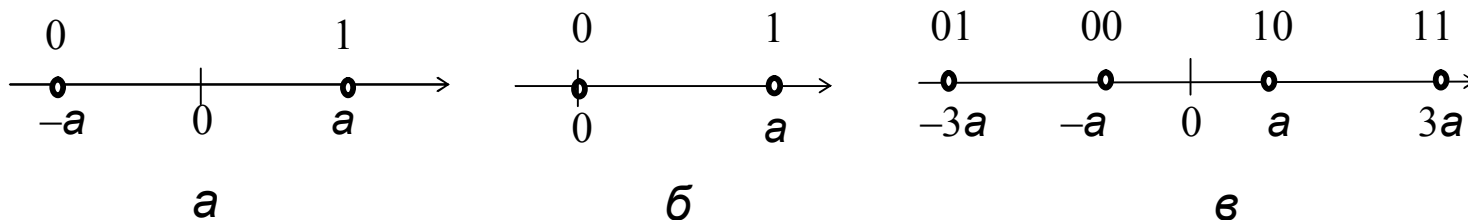


Рисунок 5 – Сигнальні сузір'я: *a* – AIM-2 и ФМ-2; *б* – АМ-2; *в* – AIM-4 и АМ-4

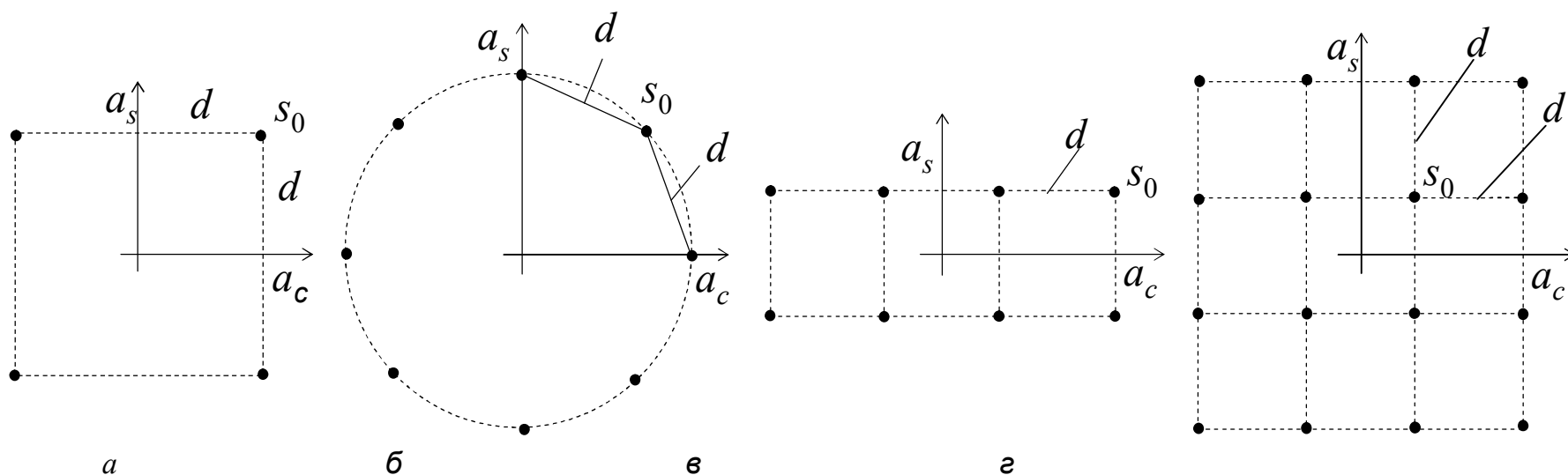


Рисунок 6 – Сигнальні сузір'я: *a* – ФМ-4; *б* – ФМ-8; *в* – КАМ-8; *г* – КАМ-16



Важливою характеристикою методу модуляції є розрізнення каналних символів, оскільки в демодуляторі визначається номер i спотвореного завадами каналного символу, що надійшов з каналу. Чим вище розрізнення каналних символів, тим менше помилок виникає при демодуляції. Кількісною мірою розрізнення є: при двійковій модуляції - відстань між каналними символами d , а при багаторівневої модуляції - мінімальна відстань між каналними символами, яку також позначимо d . Відстань d визначається по сигнальному сузір'ю геометричними методами. Число d не є фізичним параметром, але воно легко виражається через фізичний параметр E_b - середнє значення енергії сигналу, що витрачається на передачу одного біта; в свою чергу $E_b = P_s \cdot T_b$; P_s - середня потужність сигналу; T_b - тривалість біта; $T_b = 1/R$. Відстані (мінімальні відстані) між каналними символами зведені в таблицю 1.



Таблиця 1 Відстані (мінімальні відстані) між канальними символами

Методи модуляції	ФМ-2, ФМ-4, АІМ-2	АМ-2, ЧМ-2 КАМ-8	ФМ-8	КАМ-16, АІМ-4, АМ-4	АІМ-8, АМ-8
d	$2\sqrt{E_6}$	$\sqrt{2E_6}$	$\sqrt{1,76E_6}$	$\sqrt{1,6E_6}$	$\sqrt{0,57E_6}$



Задача 1

Для передачі цифрового сигналу зі швидкістю 32 кбіт/с використовується метод передачі ЧМ-2. Визначте необхідну смугу пропускання каналу зв'язку (коефіцієнт α вибрати і обґрунтувати).

Рішення

Використовувана для передавання смуга каналу зв'язку має бути не меншою ніж ширина спектра сигналу $F_k \geq \Delta F$.

Ширина спектра сигналу ЧМ-2

$$\Delta F_{\text{ЧМ-2}} = 2R(1 + \alpha)$$

Враховуючи, що типові значення коефіцієнта α лежать в межах від 0,2 до 0,4 оберемо $\alpha=0,2$ для економії смуги каналу.

Звідси $F_k \geq 2 \cdot R(1 + \alpha) = 2 \cdot 32 \cdot (1 + 0,2) = 76,8$ кГц.



Задача 2.

Задані: метод цифрової модуляції АМ-4, швидкість цифрового сигналу $R = 100$ біт/с, середня потужність модульованого сигналу $P_s = 1 \cdot 10^{-4}$ В². Обчислити мінімальну відстань між канальними символами.

З таблиці 1 визначимо формулу для мінімальної відстані між канальними символами АМ-4 $d = \sqrt{1,6E_6}$.

$$E_6 = P_s / R = 1 \cdot 10^{-4} / 100 = 1 \cdot 10^{-6} \text{ В}^2 \cdot \text{с};$$

$$d = \sqrt{1,6E_6} = \sqrt{1,6 \cdot 1 \cdot 10^{-6}} = 0,126 \cdot 10^{-5} \text{ В}.$$