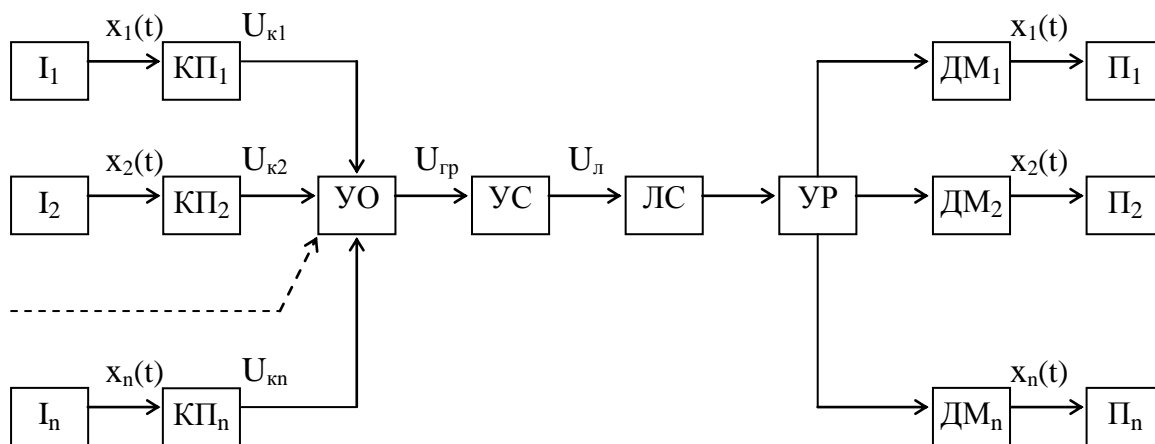


Текст лекції
БАГАТОКАНАЛЬНІ СИСТЕМИ (МКС)
ПЕРЕДАЧІ ІНФОРМАЦІЇ

Задача ущільнення лінії зв'язку

У зв'язку із зростанням інформаційних потоків і обмеженням технічних засобів передачі інформації виникла задача багатократного використання лінії зв'язку для передачі великої кількості роздільних інформаційних потоків по одній лінії зв'язку. Така постановка питання привела до створення систем багатоканальної передачі інформації. На мал. 6.1. приведена структурна схема, що відображає реалізацію задачі про багатоканальну систему передачі. Джерела інформації кожного каналу I_1, I_2, \dots, I_n виробляють повідомлення $x_1(t), x_2(t), x_3(t)$, каналні перетворювачі (КП) видозмінюють (модулюють) передаване повідомлення до вигляду, вибраного для передачі в загальній лінії зв'язку, потім сигнали різних каналів об'єднуються в пристрої об'єднання ($УО$), на виході якого сформований груповий сигнал ($U_{гр}$), що містить в сукупності відомості про всі каналні сигнали ($U_{кп}$).



Мал. 6.1

ВУС – пристрій узгодження групового сигналу $U_{гр}$ з ЛС – лінією зв'язку, внаслідок чого на вході лінії зв'язку утворюється лінійний сигнал U_l (в найпростіших системах ВУС може бути відсутній). На виході лінії зв'язку (на

приймальній стороні системи передачі) в УР – пристрої розділення проводиться розподіл каналних сигналів по своїх каналах, де після демодуляції (перетворення) вони поступають споживачам П1, П2 ..., Пn.

Головна проблема багатоканальних систем в створенні таких каналних сигналів, які, будучи з'єднані в груповий і лінійний сигнали, не втратять своєї індивідуальності, що дає можливість розділяти їх після проходження загальної лінії зв'язку.

Існує досить значне число різних видів багатоканальних систем. В найзагальнішому вигляді їх можна відреконструювати таким чином:

1. системи ЧРК – з частотним розділенням каналів;
2. системи ВРК - з тимчасовим розділенням каналів;
3. системи ФРК - з фазовим розділенням каналів;
4. системи з розділенням сигналів формою;
5. системи з розділенням сигналів по рівню;
6. системи з комбінованими методами ущільнення;
7. радіосистеми з просторовим розділенням;
8. радіосистеми з поляризаційним розділенням і ін.

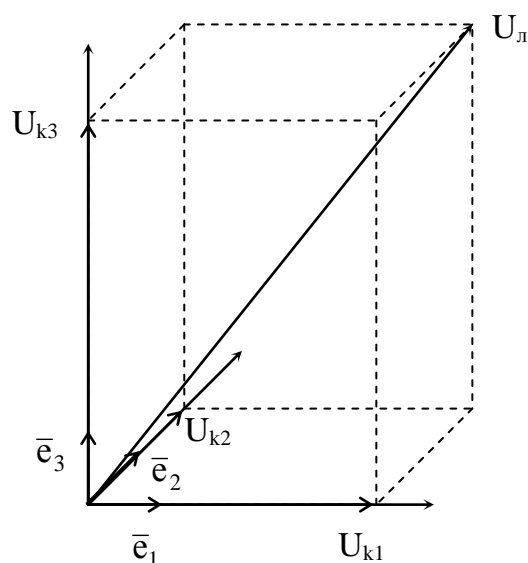
6.2. Основи теорії лінійного розділення каналних сигналів

Як вже наголошувалося, каналні сигнали в загальній лінії передачі повинні зберігати свою індивідуальність, своє забарвлення для їх подальшого розділення.

Сигнал кінцевої тривалості з умовно обмеженим спектром можна представити кінцевим числом дискретних відліків по теоремі Котельникова $m = 2T \cdot \Delta F$.

Всі відліки відповідно до властивостей функції $\text{sinc } x$ (ряд Котельникова) є незалежними. Тому лінійний сигнал U_L можна представити як вектор в m мірному просторі, де проекції вектора U_L на ортогональні осі є амплітудами дискретних відліків Котельникова. Простір каналних сигналів представляється

одиначними векторами U_k . Для наочності вважатимемо, що у нас 3-х канална система, утворена ортогональними векторами.



Мал. 6.2

Властивість ортогональності вводиться рівнянням на інтервалі a, b :

$$\int_a^b e_i(x) \cdot e_j(x) dx \begin{cases} = 0 \text{ при } i \neq j \\ = 1 \text{ при } i = j \end{cases}$$

На рис 6.2, \bar{e}_3 - одиничні вектори - орты, U_{k1} , U_{k2} , U_{k3} - каналні сигнали, розташовані по своїх осях, напрямки яких задано ортами. Канальний сигнал можна записати як:

$$U_{ki} = A_{ki} \cdot \bar{e}_i \quad \text{або} \quad = A_{ki} \cdot \bar{e}_i,$$

де e_i - переносник інформації, а коефіцієнт A_{ki} відображає передаване повідомлення по i -му каналу. Твір $A_{ki} \cdot e_i$ представляє результат модуляції переносника e_i повідомлення A_{ki} . Процес розділення каналних сигналів, створюючих ортогональну систему координат, з геометричної точки зору здійснюється досить просто - проектуванням вектора U_l на координатні осі.

З висловленого ясно, що застосування ортогональних сигналів як переносники дозволяє достатньо легко розділити їх після передачі по лінії зв'язку. Існує великий клас ортогональних функцій, до них відносяться:

1. тригонометричні функції виду $\sin x$, $\sin nx$, $\cos x$, $\cos nx$ на інтервалі 0 ?;

2. класичні ортогональні поліноми Лежандра, Якобі, Ерміта, Бесселя і ін.

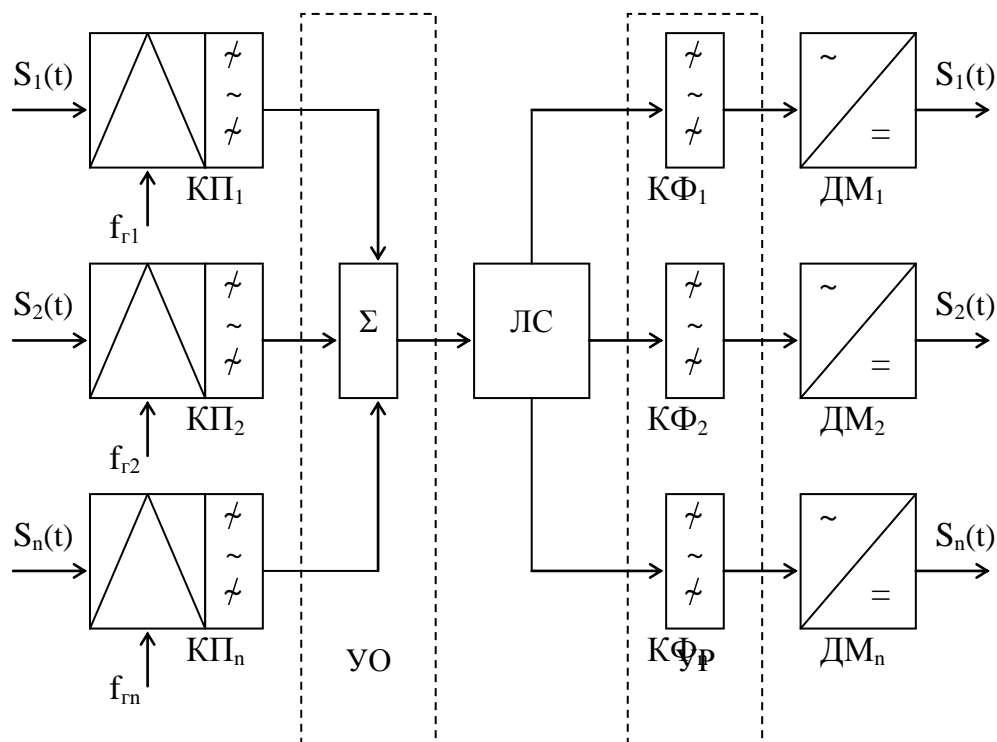
Проте, окрім ортогональних систем відомі системи з лінійно-залежними базисами. Сигнали в таких системах будуть лінійно незалежні, що також дозволяє використовувати їх для лінійного розділення після лінії передачі. Відліки Котельникова унаслідок їх незалежності (по функції $\text{sinc } x$) також можна віднести до лінійно-залежних.

Ортогональні властивості сигналів є достатніми, але не обов'язковими. Умова лінійної незалежності, хоча і більш слабе, ніж ортогональність, є необхідним і достатнім. В умовах перешкод (шуму) ортогональні сигнали мають незаперечні переваги. Розглянемо окремі методи, що реалізують багатоканальне ущільнення лінії зв'язку.

6.3. Багатоканальні системи зв'язку

з частотним розділенням каналів (МКС з ЧРК)

МКС з ЧРК з'явилися історично першими і застосовуються до теперішнього часу. Складаються з перетворювачів-модуляторів, що переносять спектри вхідних сигналів в іншу область (груповий спектр), де збираються в безпосередньому сусідстві (але без "перекриття" спектрів, з урахуванням захисних частотних проміжків). Функціональна схема системи МКС з ЧРК приведена на мал. 6.3.

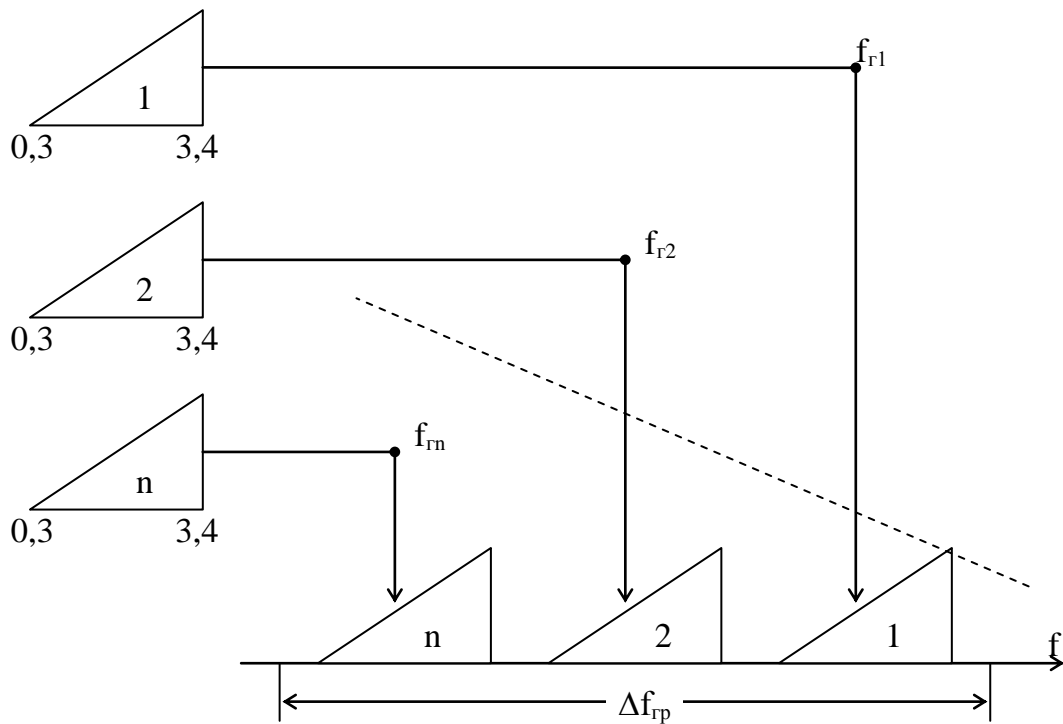


Мал. 6.3

На вході МКС діє n сигналів $S_1 \dots S_n$, що поступають кожний на свій канал, що складається з каналного перетворювача KPi , в якому відбувається перетворення частоти сигналу, тобто перенесення спектру вхідного сигналу на ділянку групового спектру в пристрої об'єднання $УО$ (див. мал. 6.4). Після передачі групового спектру по лінії зв'язку ЛС в пристрої розділення УР за допомогою каналних фільтрів КФ і демодуляції в ДМі сигнали $S_1(t) \dots S_n(t)$ поступають споживачам. На

мал. 6.4 представлена схема утворення групового спектру на прикладі

об'єднання спектрів телефонних каналів (кожний з яких має смугу частот 0,3-3,4 кГц).



Мал. 6.4

Недоліки методу ЧРК:

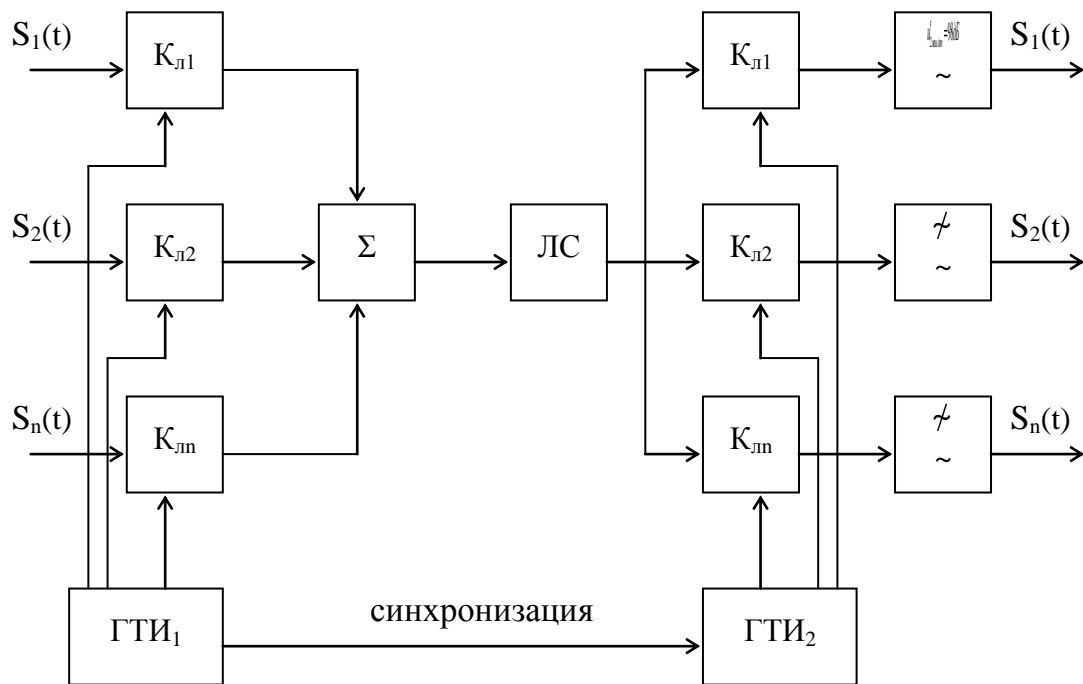
1. розширяється смуга частот групового спектру $\Delta f_{гр}$;
2. неповне використання спектру, оскільки доводиться використовувати захисні частотні інтервали для расфільтровки при прийомі;
3. система з ЧРК схильна спотворенням за наявності нелінійностей в каналах і лінії передачі (гармоніки низькочастотних каналів можуть потрапити в смуги частот високочастотних каналів); виникають міжканальні перешкоди, що підвищує вимоги до лінійності групового тракту.

Разом з тим, система з ЧРК менш залежна від частотних спотворень. На мал. 6.4 приведена пунктиром можлива амплітудно-частотна характеристика групового тракту, яка приведе тільки до деякої зміни рівнів частотних каналів без істотних спотворень в каналах.

6.4. Багатоканальні системи зв'язку

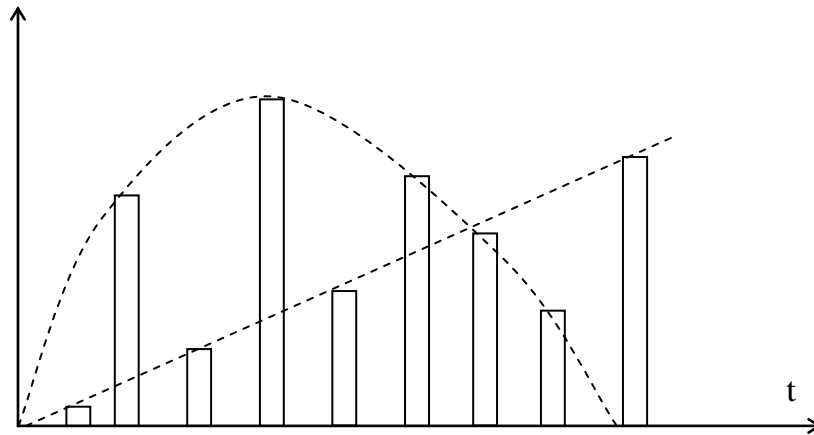
з тимчасовим розділенням каналів (МКС з ВРК)

Такі системи засновані на дискретному представленні безперервних сигналів за умови виконання вимог теореми Котельникова. Функціональна схема представлена на мал. 6.5. Ключі $K_{л1} \dots K_{лn}$ здійснюють тимчасові вибірки з n сигналів по черзі (по управлінню від ГТІ – генератора тактових імпульсів), потім в суматорі вони об'єднуються і спільно передаються по ЛС – лінії зв'язку.



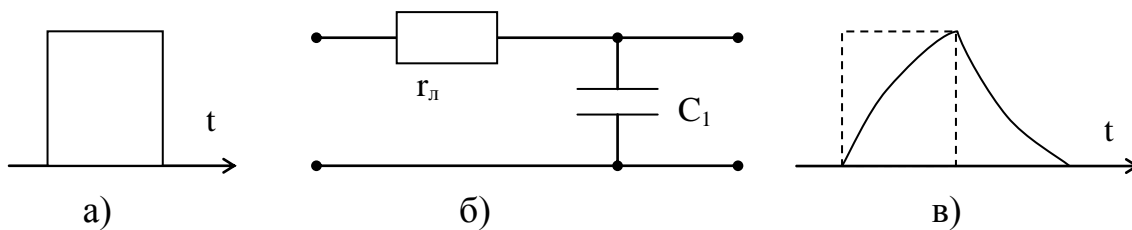
Мал. 6.5

На приймальній станції $K_{л1} \dots K_{лn}$, управляючись від ΓTI_2 , яке синхронізоване від ΓTI_1 , пропускають кожний свою вибірку (дискрету свого каналного сигналу), відтворюючи структуру дискретизованого (по Котельникову) вхідного сигналу. Фільтр нижніх частот на виході каналу відновлює безперервний сигнал. Тимчасові діаграми процесу випромінювання групового сигналу з двох показані на мал. 6.6.



Мал. 6.6

Лінія зв'язку, на жаль не ідеальна, має втрати, які можна відобразити наближеною еквівалентною схемою на мал. 6.7б.

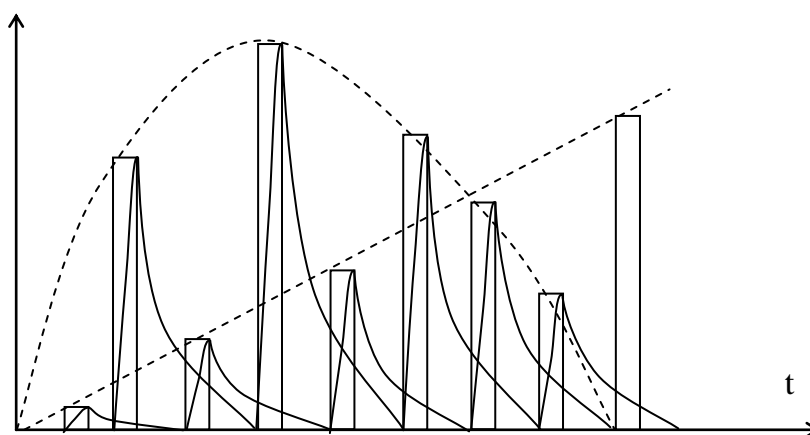


Мал. 6.7

Мал. 6.7б представляє еквівалентну схему лінії зв'язку, на вході якій діє прямолінійний імпульс, представляючий один дискретний відлік, узятий по Котельникову, а на мал. 6.7в показана його спотворена форма із затягнутими фронтами.

Еквівалентна схема (мал. 6.7б) відображає частотні властивості лінії зв'язку, що представляється фільтром низьких частот. Проходження дискретних сигналів від різних каналів при цьому може привести при цьому до міжканальних спотворень, як показано на мал. 6.8. Напряга на виході лінії зв'язку не встигає знизитися до нуля, як за часом відкривається наступний канал, що приводить до "пролазу" сигналу одного каналу в іншій. Для усунення цього явища потрібно підвищити вимоги до частотної характеристики лінії зв'язку або знизити частоту дискретизації

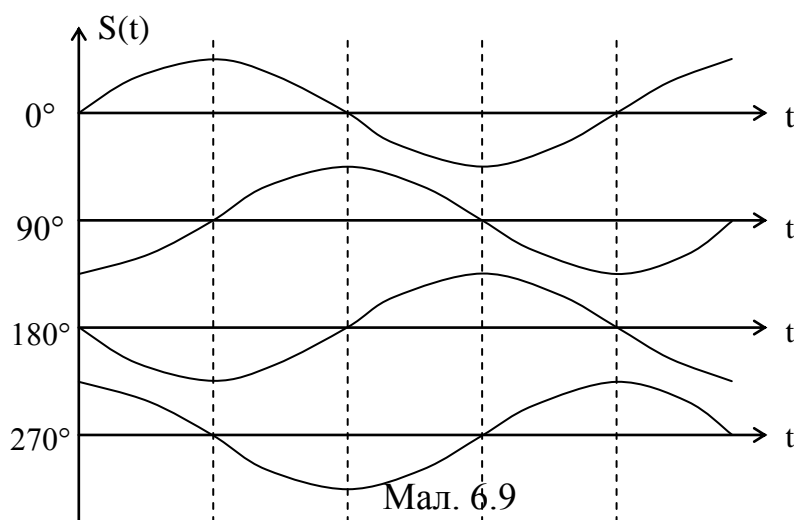
(хоча для відновлення безперервного сигналу на виході частоту дискретизації бажано підвищити).



Мал. 6.8

6.5. Багатоканальні системи зв'язку з фазовим розділенням каналів (МКС з ФРК)

В цій системі каналні сигнали мають однакову частоту, але відрізняються фазовим зсувом. Розрізняються фазовими детекторами синхронізованими і сфазированими з генераторами передаваних сигналів.

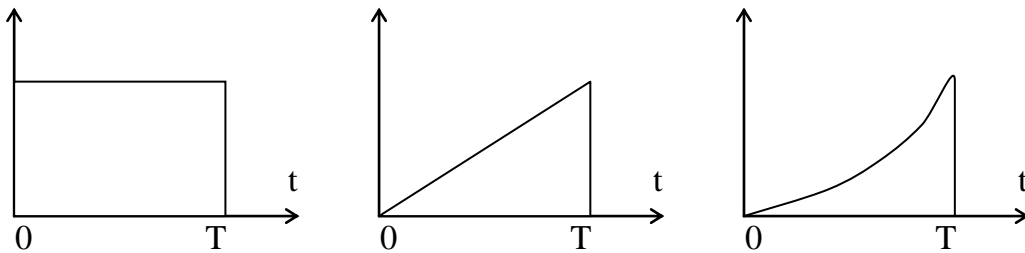


Окремо слід згадати імпульсно-фазові багатоканальні сигнали, описані в 4 лекції (див. мал. 4.17б), там же приведені відомості про багатоканальні багаторівневі сигнали з КАМ модуляцією (див. мал. 4.18).

6.6. Багатоканальні системи з розділенням каналів формою

Для таких систем можливо перекриття каналних сигналів по смузі частот і в часі. Селективною ознакою в них служить сигнал-переносник або несучі коливання. При цьому вдається значно понизити займану смугу частот і забезпечити високу перешкодостійкість.

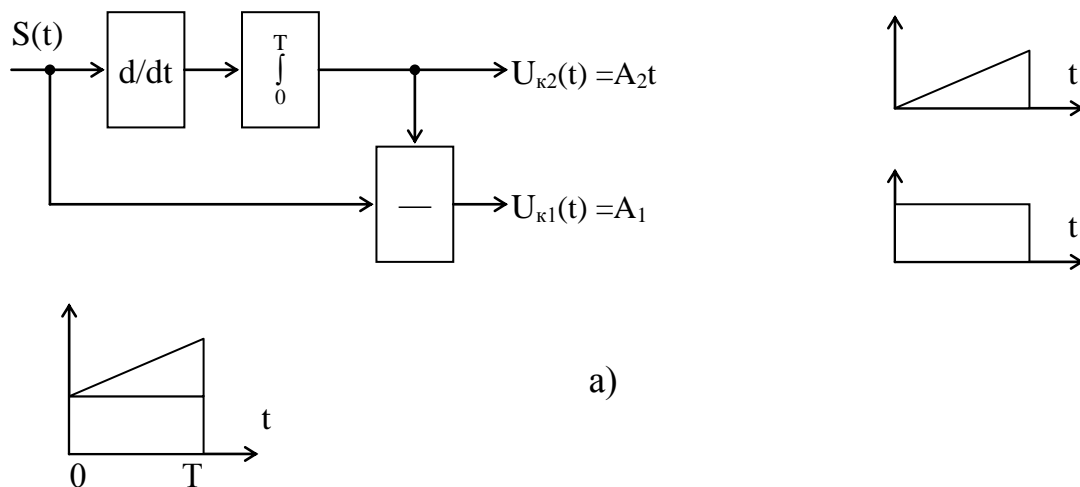
Як приклад розглянемо трьохканальну МКС із застосуванням лінійно-залежних сигналів вигляду $A_0t^{n_i}$. Це A_1, A_2t, A_3t^2 .

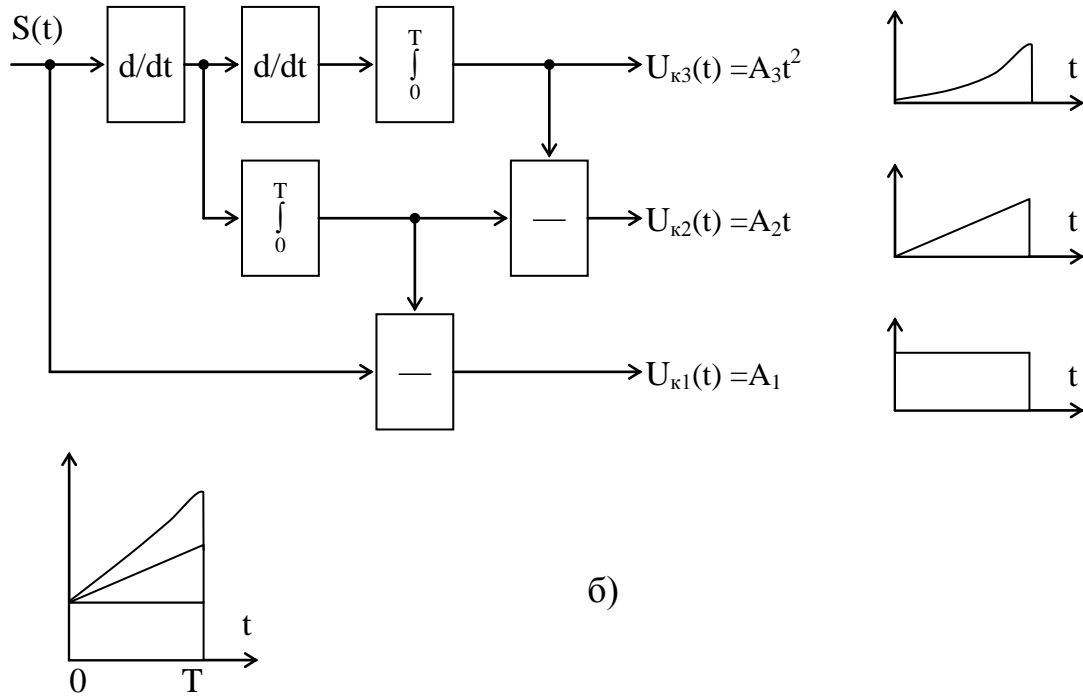


Мал. 6.10

Коли в лінії зв'язку передаються одночасно сигнали першого каналу A_1 і другого каналу A_2t , то лінійний сигнал $U_{\Sigma}(t) = A_1 + A_2t$, продиференціюємо, потім проінтегруємо $\int_0^T \dot{U}(t) dt = A_2t$. Отже, в результаті двох операцій визначається сигнал другого каналу.

Функціональна схема розділення приведена на мал. 6.11 (а – для 2-х каналної системи, би – для 3-х каналної системи).





Мал. 6.11

До систем МКС з розділенням формою відносяться системи, побудовані на основі спеціальних функцій, що розкладаються в ортогональні ряди. Це функції Лежандра, Лаггера, Ерміта, Якобі. Як приклад розглянемо систему "Ортомакс" (розробки США), що використовує ортогональні поліноми Лежандра:

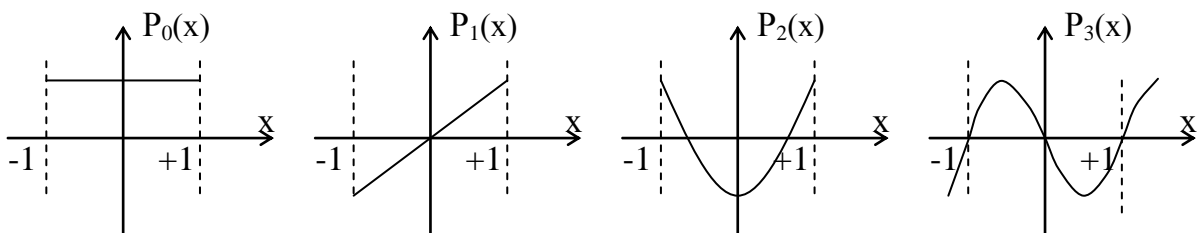
$$P_0(x) = 1$$

$$P_1(x) = x$$

$$P_2(x) = 0,5(3x^2 - 1)$$

$$P_3(x) = 0,5(5x^3 - 3x)$$

$$P_4(x) = 0,125(35x^4 - 30x^2 + 3)$$



Мал. 6.12.

Поліноми Лежандра утворюються по рекурентній формулі:

$$P_n(x) = (2n-1) \int_{-1}^x P_{n-1}(y) dy + P_{n-2}(x), \quad \text{для } n \geq 1$$

x – нормалізована незалежна змінна, залежна від t :

$$x = \frac{2}{T} \left(t - \frac{T}{2} \right), \quad \text{для } 0 \leq t \leq T.$$

Отже, при $x = -1$ $t = 0$

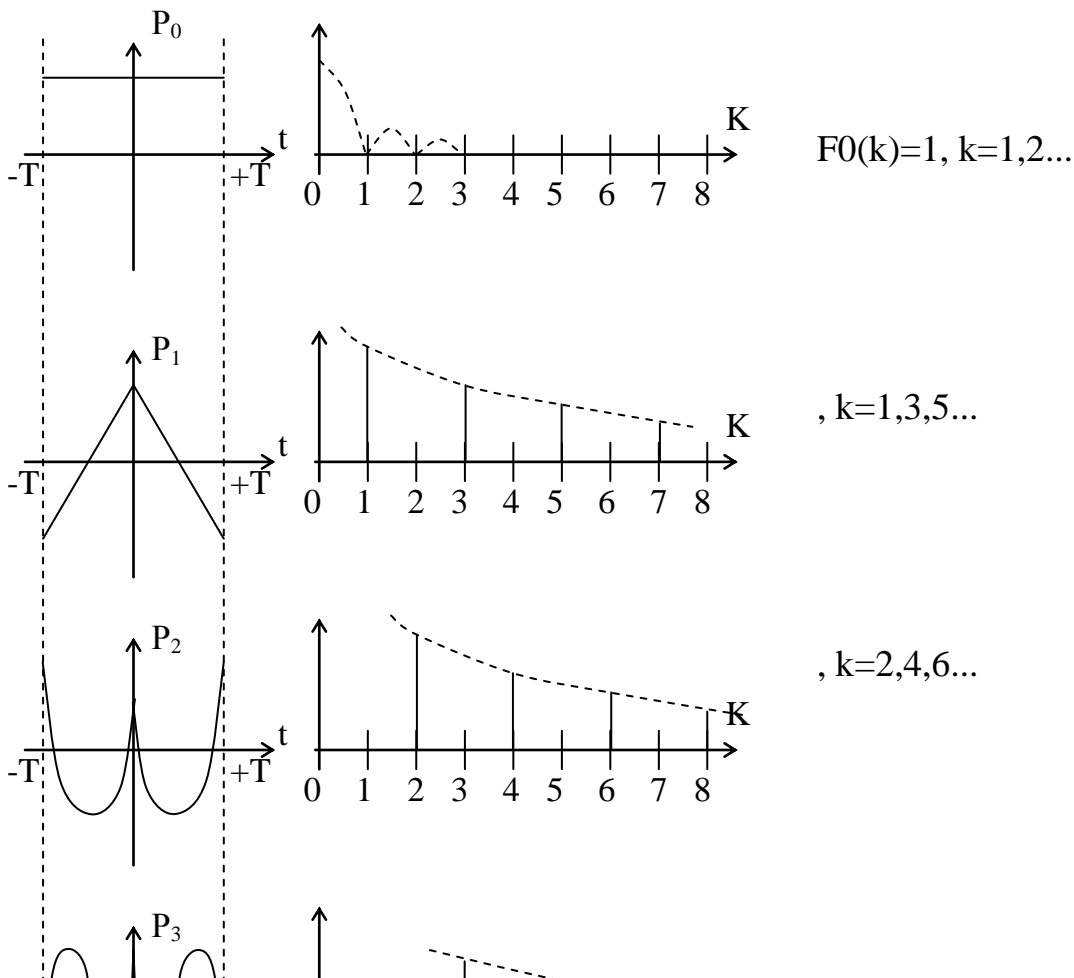
$x = 0$ $t = T/2$

$x = +1$ $t = T$

Для усунення розривів -1 $+1$ в непарних членах в сусідніх послідовках міняється знак на зворотний, що відображене значком \sim над спектром \tilde{F}_1 і .

Спектри частково перекриваються. Обмежувати їх небезпечно – з'являються перехресні перешкоди між каналами. Обмеження по 5-й гармоніці дає перешкоду -20 дБ, по 9-й гармоніці -42 дБ.

Розрахунки показують, що для 12 каналної телефонної системи при частоті квантування 8 кГц смуга частот рівна 36 кГц.



$$\tilde{F}_3(k) = \frac{48}{\pi^2 k^2} + \left(1 - \frac{16}{\pi^2 k^2}\right),$$

$$k=2,4,6\dots$$

Мал. 6.13

6.7. Нелінійне розділення каналів по рівню

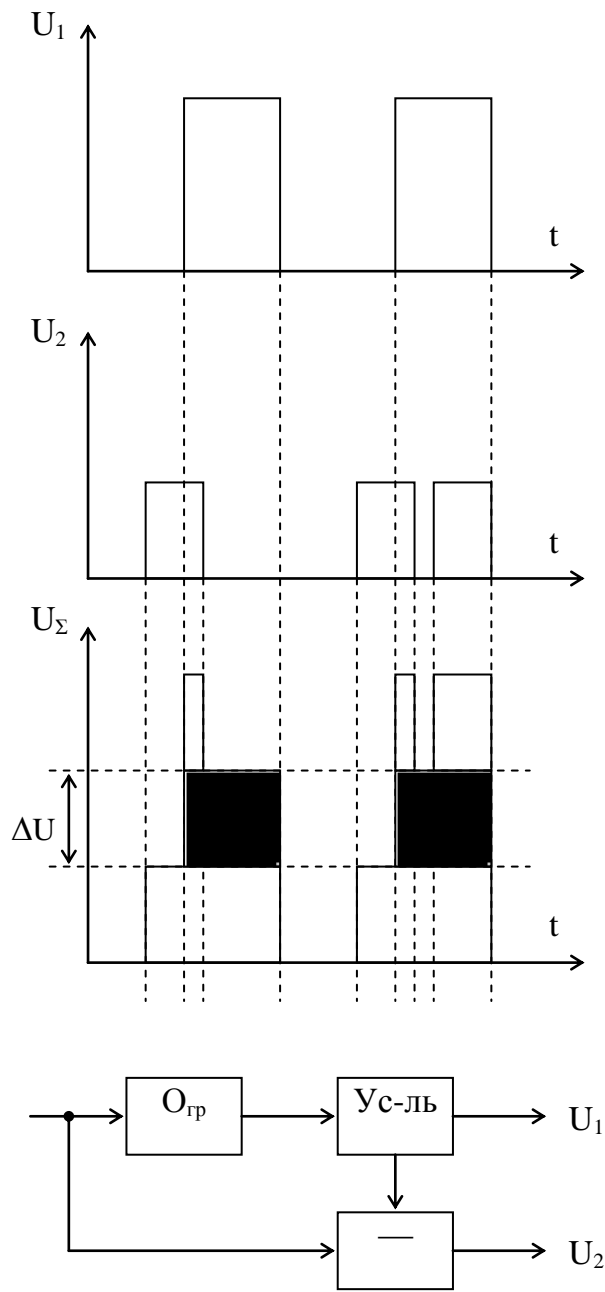
Розглянемо найпростіший випадок передачі двох сигналів, однакової форми, що розрізняється по рівню (див. мал. 6.14).

Для виділення сигналу першого каналу необхідно на приймальному кінці лінійний сигнал пропустити через обмежувач в амплітудній смузі ΔU . В результаті виділяється сигнал: $\Delta U = U_1 - U_2$. Сигнал ΔU співпадає по тривалості з U_1 , а по рівню в до раз менше: $k = \frac{U_1}{\Delta U}$.

Якщо сигнал знову збільшить в до раз (усилити і відняти з $U_{вх}$:

$$U_{вх} - \text{до}\Delta U = U_1 + U_2 - \Delta U \frac{U_1}{\Delta U} = U_2.$$

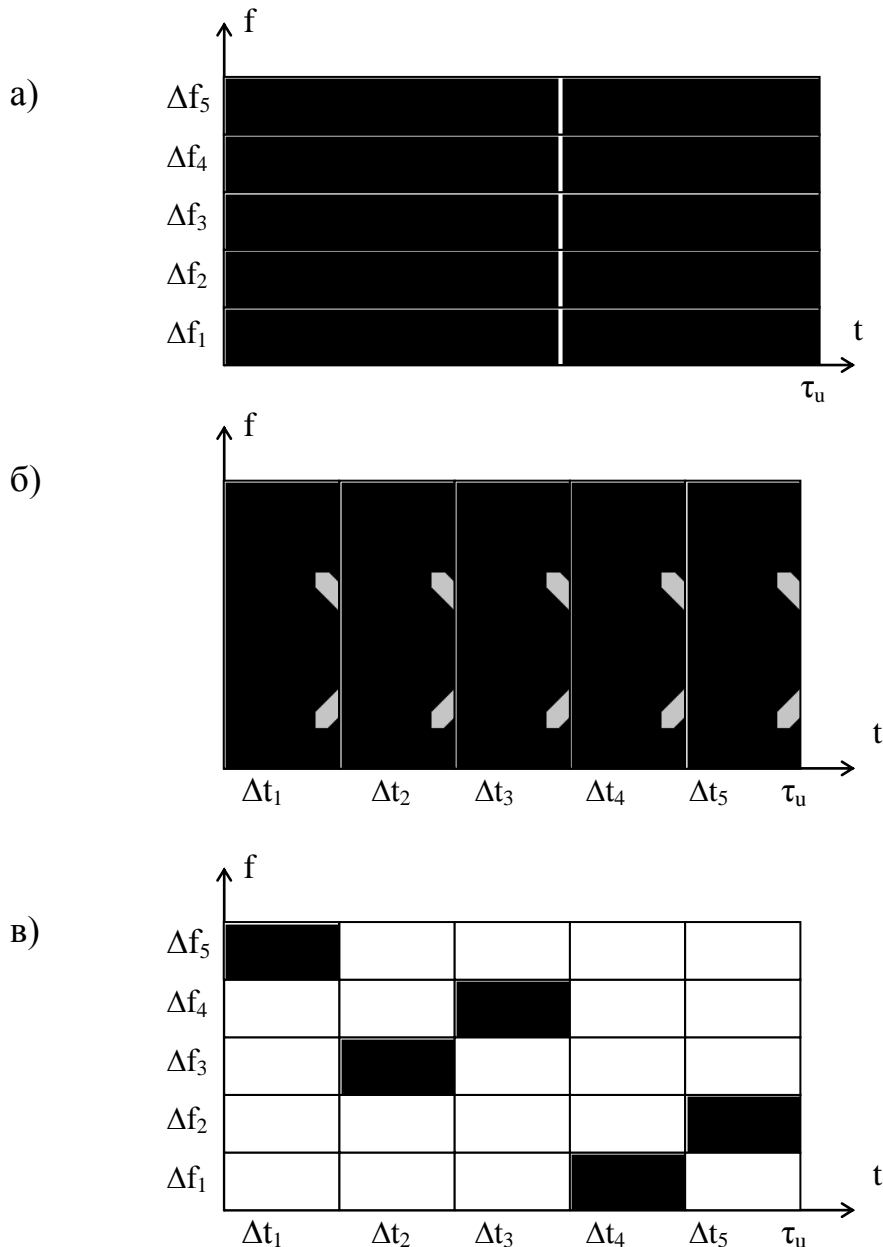
За цим принципом можна побудувати розділення будь-якої кількості каналів, необхідно тільки мати певне співвідношення між рівнями каналів.



Мал. 6.14

6.8. Асинхронно-адресні системи зв'язку

Поєднуючи МКС з ЧРК і ВРК можна утворити складний сигнал ($B \gg 1$) і на його основі побудувати багатоканальну систему, що працює в одній смузі частот в єдиний час. На мал. 6.15а представлена система з частотним розділенням каналів, на мал. 6.15б – система з тимчасовим розділенням. На мал. 6.15в представлена частотно-тимчасова матриця, що заповнює один імпульсний сигнал тривалістю $5\tau_u = \tau_u$.



Мал. 6.15

В кореляційному приймачі створюється модель сигналу з своєю частотно-тимчасовою матрицею. Для кожного каналного сигналу існує своя (і

лише своя) конфігурація частотно-тимчасової матриці, що дозволяє розділити споживачів інформації. Існує значне число багатоканальних систем з кодовим розділенням каналів (тут частотно-тимчасова матриця визначається кодом – адресою абонента). Велика різноманітність складних сигналів дозволяє створювати різноманітні багатоканальні системи і розвивати методи стиснення інформації в системах передачі інформації. Але це вже інша тема.