

## Лекція 7

Архітектура й основні принципи роботи супутникових систем зв'язку

Якісні показники супутникових систем зв'язку

Енергетичний розрахунок супутникових систем зв'язку

Відношення сигнал/шум на вході приймача земної станції ( $P_C/P_{ш}$ )<sub>ВХ</sub>

Багатостанційний доступ у супутникових системах зв'язку

### **Архітектура й основні принципи роботи супутникових систем зв'язку**

Супутникова система зв'язку складається із трьох сегментів: користувальницького, супутникового й сегмента керування. Користувальницький сегмент - це мережа абонентських станцій. Сегмент керування включає кілька наземних станцій, що забезпечують керування й сполучення ССЗ із наземними системами зв'язку. Можливі три основних напрямки передачі інформації: Земля-КА, КА-Земля й супутник-супутник. З погляду обслуговування виділяють глобальні й регіональні. Характерний приклад глобальних ССС - Intelsat, Inmarsat, регіональних - «Молнія», Autelsat, Arabtelsat.

Відповідно до історичної традиції прийняте ССЗ ділити на системи фіксованого зв'язку й рухливого зв'язку. Дана градація відбита в діючих нормативних документах. Для ФСЗ передбачено кілька можливих діапазонів частот: З-діапазон (5,9-6,4 й 3,7-4,2 ГГц, що сходять і сходять канали відповідно), Ku-діапазон (14,0-14,5 й 11,7-12,2 ГГц) і Ka-діапазон (27-31 й 17-21 ГГц). Останнім часом освоюються діапазони Q- і V- діапазони (у районі 40 й 50 ГГц). Для міжсупутникових каналів використовують діапазони 54-58 й 59-64 ГГц. Найбільш розвинена сучасна система Intelsat заснована в 2001р. У її орбітальне угруповання входить 28 діючих (2 резервних) КА. ССЗ Intelsat зв'язує користувачів більш ніж 200 країн миру. Формально СРСЗ повинні працювати в L- і S- діапазонах частот (1,53-2,7 МГц й 2,7-3,5 ГГц) нижче 1 ГГц. Але розвиток мікроелектронних технологій дозволяє сьогодні працювати СРСЗ у Ka-діапазоні. В останні десятиліття потужний розвиток одержали мережі, що використовують геостационарні орбіти КА й наземні станції з дуже малою апертурою антен (VSAT). VSAT-системи широко використовуються при створенні корпоративних ССЗ. Такі системи за рахунок відносної простоти (діаметр антен порядку 1,5-1 м в Ku-діапазоні й 0,5 у Ka-діапазоні) дозволяють об'єднати вилучені друг від друга локальні об'єкти в єдину мережу передачі інформації зі швидкістю обміну порядку 2 Мбіт/с і вище. Для побудови розподілених мереж передачі використовують архітектуру «точка-точка», «кожний з кожним», «зірка». В останній технології зв'язок організується через центральну станцію в режимі поділу часу. З погляду супутникового сегмента відмінність технології VSAT - зона обслуговування не накривається одним глобальним променем, а розбита на ряд сегментів, що охоплюються рядом відносно вузьких променів. Такий метод підтримують практично всі сучасні КА на GEO.

### **Якісні показники супутникових систем зв'язку**

Гіпотетичний еталонний ланцюг Земля- Супутник - Земля, містить один модулятор й один демодулятор. При передачі ТБ, відношення розмаху сигналу (від рівня білого, до рівня чорного) до визометричної напруги шумів повинне бути не менш 61 дБ в 80% часі, 57 дБ в 99% й 49 дБ в 99,9% часу будь-якого місяця. Відношення сигнал/завада для джерел живлення повинне бути більше 30 дБ, а для інших періодичних перешкод - не менш 50 дБ.

При передачі психофотометрична потужність шуму в точці з нульовим відносним рівнем не повинна перевищувати 10000 пВт у середньому за будь-яку годину. Допускається перевищення середньохвильового значення шуму величиною 10000 пВт не більш ніж в 20% часі будь-якого місяця й 50000 пВт не більш ніж в 0,3% часу будь-якого місяця. Перевищення не зваженим шумом 106 пВт допускається не більш ніж в 0,03% часу будь-

якого місяця. Припустимий час запізнювання групового часу поширення в системах з ШСЗ повинне бути не більше 300 мс.

### **Енергетичний розрахунок супутникових систем зв'язку**

Супутникова система зв'язку складається із двох ділянок Земля-ШСЗ й ШСЗ- Земля. Розрахунок її схожий на розрахунок РРС прямої видимості, що має два інтервали. Однак у супутникових системах необхідно враховувати особливості апаратурних відмінностей на цих ділянках, а також різних енергетичних потенціалів і шумів на цих ділянках.

### **Відношення сигнал/шум на вході приймача земної станції $(P_c/P_{ш})_{вх}$**

Потужність сигналу на вході приймача  $P_c$  пов'язане з потужністю передавача співвідношенням

$$P_c = P_{пер} \frac{G_{пер} G_{пр}}{\eta_{пер} \eta_{пр} V \cdot U}$$

де:  $G_{пер}$  й  $G_{пр}$  - коефіцієнт підсилення антен;

$\eta_{пер}$   $\eta_{пр}$  - втрати в антенно-фідерному тракті;

$V=(4\pi r/\lambda)^2$  - втрати у вільному просторі на відстані R;

U - додаткові втрати в реальному просторі.

Або можна записати:

$$\left( \frac{P_c}{P_{ш}} \right)_{вх} = P_{пер} \frac{G_{пер} G_{пр}}{\eta_{пер} \eta_{пр}} \cdot \frac{\lambda^2}{(4\pi R)^2} \cdot \frac{1}{U} \cdot \frac{1}{\kappa T_{\Sigma} \Delta f_{ш}}$$

$$P_{ш\Sigma} = \kappa T_{\Sigma} \Delta f_{ш}$$

Для всієї лінії з ШСЗ

$$\left( \frac{P_{ш}}{P_c} \right)_{\Sigma} = \left( \frac{P_{ш}}{P_c} \right)_{з-с} + \left( \frac{P_{ш}}{P_c} \right)_{с-з}$$

Для ділянки Земля - Супутник

$$\left( \frac{P_{ш}}{P_c} \right)_{з-с} = \frac{(4\pi)^2 R_{з-с}^2 \eta_{перз} \eta_{прс} \kappa T_{с\Sigma} \Delta f_{шс} U_{з-с}}{P_{перз} G_{перз} G_{прс} \lambda_{з-с}^2}$$

$$\left( \frac{P_{ш}}{P_c} \right)_{с-з} = \frac{(4\pi)^2 R_{с-з}^2 \eta_{перс} \eta_{прз} \kappa T_{з\Sigma} \Delta f_{шз} U_{с-з}}{P_{перс} G_{перс} G_{прз} \lambda_{с-з}^2}$$

Для системи зв'язку через ШСЗ можна приблизно вважати, що:

1.  $R_{с-з}=R_{з-с}=R$ .
2.  $\eta_{перз}=\eta_{прз}=\eta_{з}$  й  $\eta_{перс}=\eta_{прс}=\eta_{с}$ .
3.  $\Delta f_{шс}=\Delta f_{шз}$ .
4.  $U_{з-с}=U_{с-з}=1$ .

Тому можна записати

$$\left( \frac{P_{ш}}{P_c} \right)_{\Sigma} = 16\pi^2 R^2 \eta_z \eta_c \kappa \cdot \Delta f_{шз} \cdot \left( \frac{T_{с\Sigma}}{P_{перз} G_{перз} G_{прс} \lambda_{з-с}^2} + \frac{T_{з\Sigma}}{P_{перс} G_{перс} G_{прз} \lambda_{с-з}^2} \right)$$

### **Шумова температура земного приймача визначається**

1. Потужністю власних шумів прийомного пристрою й потужністю шумів антенно-хвильоводного тракту.

2. Потужністю шумів антени, обумовлена впливом на неї теплового випромінювання Землі від атмосфери.
3. Потужністю шумів радіовипромінювання Сонця й інших космічних джерел.

$$T_{\Sigma} = T_{\text{пр}} + T_{\text{АФТ}} + \left( \frac{T_{\text{АТМОС}} + T_{\text{КОС}}}{\eta_3} \right)$$

де:  $T_{\text{пр}}$  - визначається вхідними ланцюгами й типом мало шумливий УНВЧ;  
 $T_{\text{АФТ}}$  - визначається як

$$T_{\text{АФТ}} = T_0 (1 - \eta_3)$$

де:  $T_0 = 290 \text{ K}$  - абсолютна температура;

$T_{\text{АТМ}}$  - є функцією кута місця й частоти. Зменшення кута місця різко збільшують шуми атмосфери, тому  $\beta \geq 50$ ;

$T_{\text{КОСМ}}$  - визначається температурою яскравості джерела  $T_{\text{я}}$

Якщо кутові розміри джерела випромінювання  $\Psi_{\text{п}}$  значно менше ширини діаграми спрямованості антени,  $\alpha_0$ , тоді

$$T_{\text{КОС}} = T_{\text{я}} \Psi_{\text{п}} / \alpha_0,$$

якщо  $\alpha_0 \leq \Psi_{\text{п}}$ , то  $T_{\text{КОСМ}} = T_{\text{я}}$ .

$T_{\text{КОСМ}}$  залежить від області неба, у яку спрямована антена й визначається по спеціальних картах. Найбільш інтенсивним джерелом шумів є Сонце.

### Шумова температура бортового приймача ШСЗ

$$T_{\Sigma} = T_3 + T_{\text{атм}} + b T_{\text{КОСМ}} + T_{\text{пр.бор}}$$

де:  $T_3$  - еквівалентна шумова температура;

$b$  - коефіцієнт, що визначає, що космічні шуми приймаються тільки бортовими пелюстками бортової антени;

$T_{\text{пр.бор}}$  - шумова температура вхідного пристрою бортового приймача.

Як правило  $T_{\Sigma}$  велико, однак збільшуючи енергетичні параметри земного встаткування можна вважати, що велике значення  $T_{\Sigma}$  несуттєвим.

### Багатостанційний доступ у супутникових системах зв'язку

Багатостанційний доступ, це одночасна робота великої кількості земних станцій через один супутниковий ретранслятор. Він дозволяє створити мережу зв'язку, у якій можна організувати як магістральну мережу зв'язку, так і систему зв'язку кожний з кожним. У магістральній мережі можлива як одно, так і багатоканальна система зв'язку із центром. У загальному випадку це завдання аналогічне рішення завдання в мережі ТЛФ зв'язку, тобто абонент має вільний і практично незалежний доступ у мережу й за допомогою набору номера управляє з'єднанням.

- Множинний доступ з частотним розподілом (FDMA)— при цьому кожному користувачеві надається окремий діапазон частот.
- Множинний доступ з часовим розподілом (TDMA)— кожному користувачеві надається певний часовий інтервал (таймслот), протягом якого він робить передачу й прийом даних.
- Множинний доступ з кодовим розподілом (CDMA) — при цьому кожному користувачеві видається кодова послідовність, ортогональна кодовим послідовностям інших користувачів. Дані користувача накладаються на кодову послідовність таким чином, що передані сигнали різних користувачів не заважають один одному, хоча й передаються на тих самих частотах.

FDMA - багатостанційний доступ із частотним розподілом каналів є в цей час найпоширенішим. Тут кожному сигналу, який може бути у свою чергу одно або багатоканальним, приділяється деяка смуга частот. У середині цієї смуги сигнал може бути будь-якої модуляції:

У системі FDMA - ЧМ, у смузі ретранслятора сигнали відокремлюються друг від друга захисною смугою  $\delta f$ , що дозволяє зменшити вплив їхній один на одного.

Незважаючи на це, системи із FDMA мають ряд недоліків:

1. Виникнення перехідних перешкод через нелінійність передатної характеристики ретранслятора.
2. Виникнення перехідних перешкод через перетворення амплітудної модуляції у фазову, що при детектуванні дають перехідні перешкоди.
3. Взаємне придушення сигналів різного рівня.
4. Зниження вихідної потужності ретранслятора, обумовлене виникненням продуктів нелінійності, на які витрачається частина потужності кінцевого підсилювача ретранслятора.

Перераховані недоліки зменшують пропускну здатність ретранслятора зі ЧРК-ЧМ у порівнянні з передачею однієї несучої. У FDMA - ІКМ - ДОФМ можливе придушення несучої, що дозволяє заощаджувати близько 5 дБ потужності ретранслятора.

Така система використана в мережі зв'язку "ІНТЕЛСАТ". У ній кожен каналний сигнал передається на окремій ВЧ несучій. Корисний ТЛФ сигнал, перетворений у восьмиразрядний сигнал ІКМ (64 кбіт/с), модулює по фазі ВЧ несучу. Ця система забезпечує передачу в одному стовбурі ретранслятора шириною 36 МГц 800 ТЛФ каналів (у попередній системі 420 ТЛФ каналів).

Робота в ній здійснюється по незакріплених каналах без центральної станції керування. Для встановлення з'єднання й контролю за станом виділених каналів використовується окремий канал.

TDMA - багатостанційний доступ з часовим поділом каналів позбавлений ряду недоліків властивих FDMA:

- немає придушення сигналів різних рівнів, що спрощує апаратуру;
- вихідна пікова потужність ретранслятора максимальна незалежна від числа переданих сигналів, тобто скінчений каскад ретранслятора використовується повністю.

Основною проблемою тут є забезпечення твердої відносної синхронізації. Неточність синхронізації визначає ширину захисних інтервалів й ефективність використання пропускну здатності. Очевидно, що тверду синхронізацію складніше забезпечити для супутника виведеного на еліптичну орбіту, чим на геостационарну (різний час затримки сигналу).

Синхронізацію в системах TDMA ділять на два етапи:

1. входження в синхронізм;
2. забезпечення заданої точності синхронізації в сталому режимі.

У плінні першого етапу пакет синхроімпульсів займає місце у відведеному їм часовому інтервалі, а в плінні другого підтримується необхідна точність синхронізації системи.

Для забезпечення точності синхронізації головною "станцією" є ретранслятор на ІСЗ. Він посилає пакети синхроімпульсів на земні станції через які вони працюють.

Часові діаграми TDMA мають вигляд рис.6.1

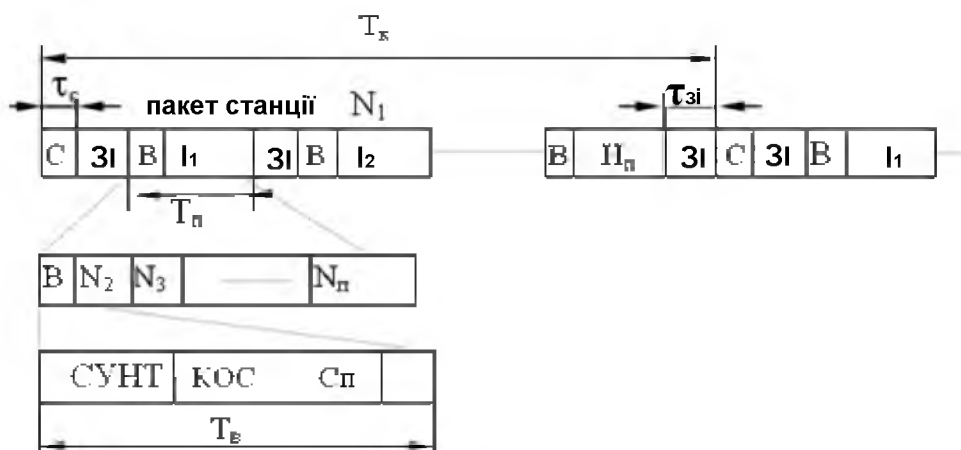


Рис.6.1

Тут  $T_k$  - період кадру, при ТЛФ дорівнює 125 мкс. Кадр починається із синхропакета С, він забезпечує загальносистемну синхронізацію. ЗІ - захисний інтервал, необхідний через неточну роботу системи синхронізації.  $T_n$  - тривалість пакета інформації окремої станції. Пакет складається з В - вступній частині й інформаційної  $N_2, N_3 \dots N_n$ .  $T_v$  - вступна частина служить для передачі службових сигналів - сигнал відновлення (синхронізації) частоти несучої й тактової синхронізації (СУНТ), код ідентифікації станції (впізнання). КОС - код службового каналу й сигналізації Сп. Вступна частина займає ємність (10 - 20)% довжини кадру, а інформація (80 - 90)%.