

Лекція 2

СТАТИСТИЧНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ РАДІОСИГНАЛІВ

1. Статистичні характеристики радіосигналів

При розгляданні властивостей радіоканалів, взагалі, їх вважають каналами зі змінними параметрами, яким притаманні завмирання сигналів. В найбільшій мірі це відноситься до каналів КХ діапазону.

Завмирання радіосигналів обумовлені, в основному, двома причинами:

- розповсюдженням сигналів декількома променями;
- зміною (флуктуацією) затухання сигналу в іоносфері.

1.1. Вплив інтерференційних завмирань

Інтерференційні завмирання виникають внаслідок випадкової зміни довжини променів електромагнітних хвиль (ЕМХ), які розповсюджуються різними шляхами. При цьому амплітуда і фаза сигналу в точці прийому будуть мати також випадковий характер.

Найбільш загальною моделлю завмираючого сигналу є модель, яка представляє результуючий сигнал як суму регулярної і нерегулярних складових відбитих хвиль. При такій моделі напруженість поля

$$e = E_0 \cos(\omega_0 t + \varphi_0) + \sum_{k=1}^n E_k \cos(\omega_k t + \varphi_k), \quad (1)$$

є E_0 , ω_0 , φ_0 – амплітуда, частота і фаза регулярної хвилі;

E_k , ω_k , φ_k – амплітуда, частота і фаза нерегулярних відбитих хвиль.

На рис. 1 подано векторне представлення моделі. Додавання векторів регулярної нерегулярних складових хвилі дає результуючий вектор \bar{E} зі змінною амплітудою фазою:

$$e = E(t) \cos[\omega_0 t + \varphi(t)].$$

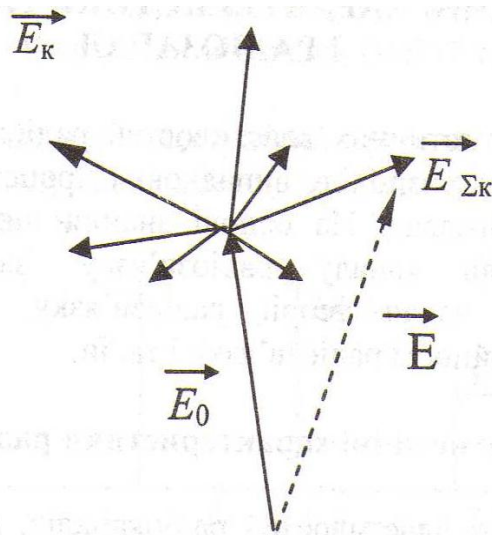


Рис. 1

Ступінь зміни в часі амплітуди і фази результуючого вектора залежить від співвідношення амплітуди регулярної і нерегулярних складових.

Припустимо, що регулярна хвиля відсутня. Тоді результуюче коливання буде визначатися нерегулярними хвилями, а його амплітуда $E_{\Sigma k}$ і фаза будуть змінюватися в часі. При достатньо великому числі нерегулярних складових їх сумарне коливання являє собою нормальний випадковий процес, а огинаюча цього процесу (амплітуда $E_{\Sigma k}$) має релеєвський розподіл

$$W(E_{\Sigma k}) = \frac{2 E_{\Sigma k}}{E_{\text{еф}}^2} \exp\left(-\frac{E_{\Sigma k}^2}{E_{\text{еф}}^2}\right), \quad (2)$$

де $E_{\text{еф}}^2$ – середня потужність нерегулярної відбитої хвилі, яка є дисперсією амплітуди.

Флуктуація фази сигналу φ при цьому характеризується рівномірним розподілом імовірностей в інтервалі $(0 \div 2\pi)$ з щільністю

$$W(\varphi) = \frac{1}{2\pi}. \quad (3)$$

В розглянутому випадку завмирання будуть найбільш глибокі, тому що при деякому співвідношенні фаз нерегулярних хвиль E_{Σ_k} може дорівнювати нульовому значенню. Ця модель радіоканалу в більшості випадків відповідає реальним каналам у КХ діапазоні.

В деяких випадках в точку прийому крім нерегулярних відбитих хвиль приходить і регулярна хвиля (з постійними параметрами). При наявності регулярної складової розподіл імовірностей огинаючої випадкового процесу (амплітуди E) буде відображатися узагальненим законом Релея з щільністю імовірності:

$$W(E) = \frac{2 E_{\Sigma}}{E_{\text{еф}}^2} \exp\left(-\frac{E_{\Sigma}^2 + E_0^2}{E_{\text{еф}}^2}\right) I_0\left(\frac{2 E_{\Sigma} E_0}{E_{\text{еф}}^2}\right), \quad (4)$$

де E – сумарна амплітуда коливань;

$E_{\text{еф}}^2$ – середня потужність нерегулярної відбитої хвилі;

E_0 – амплітуда регулярної відбитої хвилі;

I_0 – модифікована функція Бесселя нульового порядку.

При наявності регулярної складової глибина завмирань буде визначатися співвідношенням амплітуд E_0 і E_{Σ_k} . Якщо $E_{\Sigma_k} = 0$ то амплітуда і фаза сигналу будуть постійними, тобто завмирання будуть відсутні.

Вище були розглянуті випадкові процеси в радіоканалі при монохроматичному сигналі. Реальний сигнал являє собою спектр частот і займає деяку смугу ΔF_c . Характер завмирань складових амплітудного спектра сигналу залежить від різності ходу променів кожній з них (Δt).

Якщо $\Delta t \ll \frac{1}{\Delta F_c}$ то всі складові спектру завмирають одночасно.

Такі завмирання називаються загальними.

При $\Delta t > \frac{1}{\Delta F_c}$ виникають селективні завмирання, при яких різні

ділянки спектру сигналу завмирають неодноразомно.

Особливості випадкового процесу зміни амплітуд сигналу визначаються також його кореляційними властивостями. В більшості випадків інтерференційних завмирань коефіцієнт кореляції $R(\tau)$, який

показує ступінь зв'язку значень процесу в різних точках відліку, добре апроксимується гаусовою кривою:

$$R(\tau) = \exp\left(-\frac{\tau^2}{2\tau_k^2}\right), \quad (5)$$

де τ – інтервал відліку;

τ_k – інтервал кореляції на межах якого статистичний зв'язок відліків процесу практично відсутній.

Згідно експериментальних даних часовий інтервал кореляції, який характеризує швидкість завмирань, має значення від 0,1 с. (на довгих трасах) до 2 с. (на коротких трасах). Інтервал кореляції амплітуд сигналу по частоті складає 250 – 500 Гц.

Ці дані використовуються при здійсненні рознесеного прийому як способу боротьби з завмираннями. Для цього рознесення сигналів в часі або по частоті у гілках прийому на інтервал не менший за інтервал кореляції дає практично некорельовані сигнали.

1.2. Вплив затухання сигналу в іоносфері

Крім швидких інтерференційних завмирань сигналів існують повільні завмирання. Вони виникають внаслідок випадкових змін втрат енергії радіохвиль при проходженні їх в іоносфері. Це означає, що параметр релеєвського розподілу $E_{\text{еф}}$ змінює свою величину в часі (див. ф-лу 2). Якщо перейти від напруженості поля $E_{\text{еф}}$ до напруги сигналу на вході приймача $U_{\text{с еф}}$, які пов'язані однозначно, то можливо рівень сигналу записати

$$Y = 20 \lg U_{\text{с еф}}.$$

Експериментальні дослідження показують, що рівні сигналів в більшості випадків розподілені за нормальним законом з щільністю імовірності:

$$W(Y) = \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma_y}} \exp\left[-\frac{(Y - \bar{Y})^2}{2\sigma_y^2}\right], \quad (6)$$

де $Y = 20 \lg U_{\text{с еф}}$;

$\bar{Y} = 20 \lg U_{\text{с еф}0}$ – середнє значення рівня сигналу;

$U_{\text{с еф}0}$ – медіанна ефективна напруга сигналу;

$\sigma_y = \sqrt{(\lg U_{C\text{эф}} - \lg U_{C\text{эф}0})^2}$ – середньоквадратичне відхилення від середнього рівня сигналу (дисперсія).

Коефіцієнт кореляції рівнів сигналу, також як і при інтерференційних завмираннях, визначається гаусовою кривою

$$K_y(\tau) = \exp\left(-\frac{\tau^2}{2\tau_y^2}\right), \quad (7)$$

але інтервал кореляції τ_y вимірюється вже десятками хвилин.

Величина σ_y на трасах 500 – 800 км складає 3 – 5 дБ в денні часи і 5 – 7 дБ – в нічні, тобто достатньо стабільна.

У відносно вузьких ділянках діапазону (100 – 300 кГц), в межах яких умови розповсюдження радіохвиль практично однакові, рівні сигналів на всіх частотах також можливо вважати однаковими.

Знання статистичних параметрів сигналів дозволяє прийняти заходи по підвищенню надійності КХ зв'язку:

1. Для зменшення флуктуацій сигналу на виході приймача внаслідок швидких завмирань в ньому застосовується автоматичне регулювання підсилення з постійною часу 0,1–1 с.

2. Передача (прийом) односмугового сигналу в двох смугах рознесених по частоті на інтервал більший за частотний інтервал кореляції 250–500 Гц. (режим “Акорд”).

3. Прийом сигналу на рознесенні в просторі антени на відстані при якій різниця ходу радіохвиль Δt більше інтервалу часової кореляції $\Delta t_{\text{ХВ}} > \tau_{\text{кор}}$. Це має місце при рознесенні антен на $(10-15) \lambda_{\text{ХВ}}$.

4. Розрахунок трас радіозв'язку і прогнозування придатних для зв'язку частот.

Питання для власного контролю та повторення

1. Що таке інтерференційні завмирання радіосигналів?
2. Які причини викликають завмирання радіосигналів?
3. Що таке регулярні і нерегулярні відбиті хвилі?
4. Що таке загальні і селективні завмирання сигналу?
5. Який часовий інтервал кореляції завмирань радіосигналів у КХ діапазоні?