

Лекція 4

НАДІЙНІСТЬ РАДІОЗВ'ЯЗКУ НА ЗАКРІПЛЕНИХ ЧАСТОТАХ

1. Поняття надійності радіозв'язку

Як було раніше встановлено зміна в часі рівня завад і параметрів сигналу мають випадковий характер. Тому здійснення радіозв'язку з заданою вірогідністю передачі сигналів можливо лише з деякою імовірністю.

Імовірність радіозв'язку з заданою вірогідністю передачі первинних електричних сигналів називають надійністю радіозв'язку.

Імовірнісне значення надійності радіозв'язку записується наступним чином:

$$P_{зв}(D \leq D_{доп}) = \sum_{i=1}^m \frac{\tau_{прі}}{\tau_{заг}}, \quad (1)$$

де $P_{зв}$ – імовірність зв'язку або імовірність виконання умови $D \leq D_{доп}$;
 D – критерій вірогідності (імовірність помилок в прийомі елементів сигналу $P_{пом}$, артикуляційні втрати A або інший критерій);

$\tau_{прі}$ – тривалість i -го інтервалу часу в якому $D \leq D_{доп}$ (інтервал придатності радіоканалу);

$\tau_{заг}$ – загальний час функціонування радіозв'язку.

Очевидно, що

$$\tau_{заг} = \sum_{i=1}^m \tau_{прі} + \sum_{i=1}^n \tau_{нпрі}, \quad (2)$$

де $\tau_{нпрі}$ – інтервал непридатності радіоканалу.

Якщо перейти до середніх значень інтервалів придатності і непридатності радіоканалу то можливо записати

$$\bar{\tau}_{пр} = \frac{\sum_{i=1}^m \tau_{прі}}{m}; \quad \bar{\tau}_{нпр} = \frac{\sum_{i=1}^n \tau_{нпрі}}{n}. \quad (3)$$

На значному інтервалі часу можливо вважати, що $m = n$ і тоді вираз (1) приймає вигляд

$$P_{ЗВ} (D \leq D_{\text{доп}}) = \frac{\bar{\tau}_{\text{пр}}}{\bar{\tau}_{\text{пр}} + \bar{\tau}_{\text{нпр}}} \quad (4)$$

Відмітимо, що в $\bar{\tau}_{\text{нпр}}$ враховуються тільки відмови каналу, внаслідок зміни його фізичних властивостей. Технічні відмови і відмови за причинами недосконалості організації радіозв'язку і низької кваліфікації обслуговуючого персоналу не враховуються.

2. Надійність короткохвильового радіозв'язку на закріплених частотах

2.1. Радіозв'язок іоносферними хвилями

Умови ведення радіозв'язку з заданою якістю (вірогідністю) раніше були визначені як

$P_{\text{пом}} \leq P_{\text{пом.доп}}$ – для дискретних сигналів;

$A \leq A$ – для безперервних (телефонних) сигналів;

$$\frac{P_{\text{с}}}{P_{\text{з}}} \geq \left(\frac{P_{\text{с}}}{P_{\text{з}}} \right)_{\text{доп}} \quad \text{або} \quad \frac{U_{\text{с еф}}}{U_{\text{з еф}}} \geq \left(\frac{U_{\text{с еф}}}{U_{\text{з еф}}} \right)_{\text{доп}}$$

на вході радіоприймача для будь-якого сигналу.

Введемо ще один кількісний параметр оцінки якості радіоканалу $Z \geq Z_{\text{доп}}$ в якому $Z = Y - X$ - різниця рівній сигналу і завад. Відповідно раніше прийнятих визначень

$$Z = 201g U_{\text{с еф}} - 201g U_{\text{з еф}} = 201g \frac{U_{\text{с еф}}}{U_{\text{з еф}}}.$$

У КХ радіоканалі рівні сигналу і завад розподілені за нормальним законом. Тому їх різниця має також нормальне розподілення, тобто

$$W(Z) = \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma_Z^2}} \exp \left[-\frac{(Z - \bar{Z})^2}{2\sigma_Z^2} \right], \quad (5)$$

де $\bar{Z} = \bar{Y} - \bar{X}; \sigma_Z = \sqrt{\sigma_Y^2 + \sigma_X^2}.$

На рис. 1 представлено реалізацію процесу $Z(t)$ на деякому інтервалі часу.

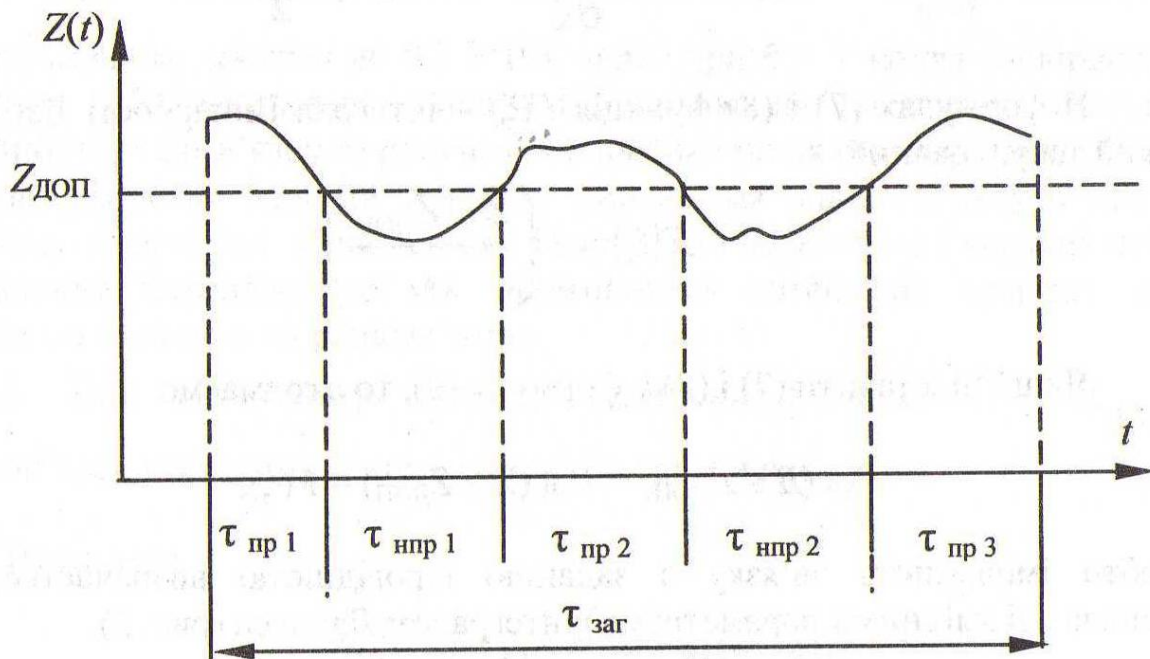


Рис. 1

Очевидно, що лише на ділянках часу, коли $Z \geq Z_{\text{доп}}$ якість радіозв'язку буде відповідати заданій. Надійність радіозв'язку може бути записано виразом

$$P_{\text{зв}}(Z \geq Z_{\text{доп}}) = \frac{\bar{\tau}_{\text{пр}}}{\bar{\tau}_{\text{пр}} + \bar{\tau}_{\text{нпр}}}. \quad (6)$$

Середній час придатності та непридатності зв'язку ($\bar{\tau}_{\text{пр}}$; $\bar{\tau}_{\text{нпр}}$) може бути отримано шляхом накопичення статистичних даних на деякому напрямку зв'язку. Крім того, при наявності даних про параметри сигналу і завад \bar{Y} , \bar{X} , σ_Y і σ_X , а також значення інтервалу кореляції завад τ_x можливо приблизно розрахувати $\bar{\tau}_{\text{пр}}$ і $\bar{\tau}_{\text{нпр}}$ за формулами

$$\bar{\tau}_{\text{пр}} \approx 2 \pi \tau_X \frac{\sigma_Z}{\sigma_X} F(\xi) \exp \frac{\xi^2}{2} ; \quad (7)$$

$$\bar{\tau}_{\text{нпр}} \approx 2 \pi \tau_X \frac{\sigma_Z}{\sigma_X} [1 - F(\xi)] \exp \frac{\xi^2}{2} . \quad (8)$$

В формулах (7) і (8) функція $F(\xi)$ – інтеграл імовірності Лапласа, який табульований

$$F(\xi) = F\left(\frac{\bar{Z} - Z_{\text{доп}}}{\sigma_Z}\right).$$

Якщо підставити (7) і (8) у формулу (6), то отримаємо

$$P_{\text{зв}} (D \leq D_{\text{доп}}) = P_{\text{зв}} (Z \geq Z_{\text{доп}}) = F(\xi), \quad (9)$$

тобто імовірність зв'язку з заданою вірогідністю визначається (в каналах зі змінними параметрами) інтегралом Лапласа (рис. 2).

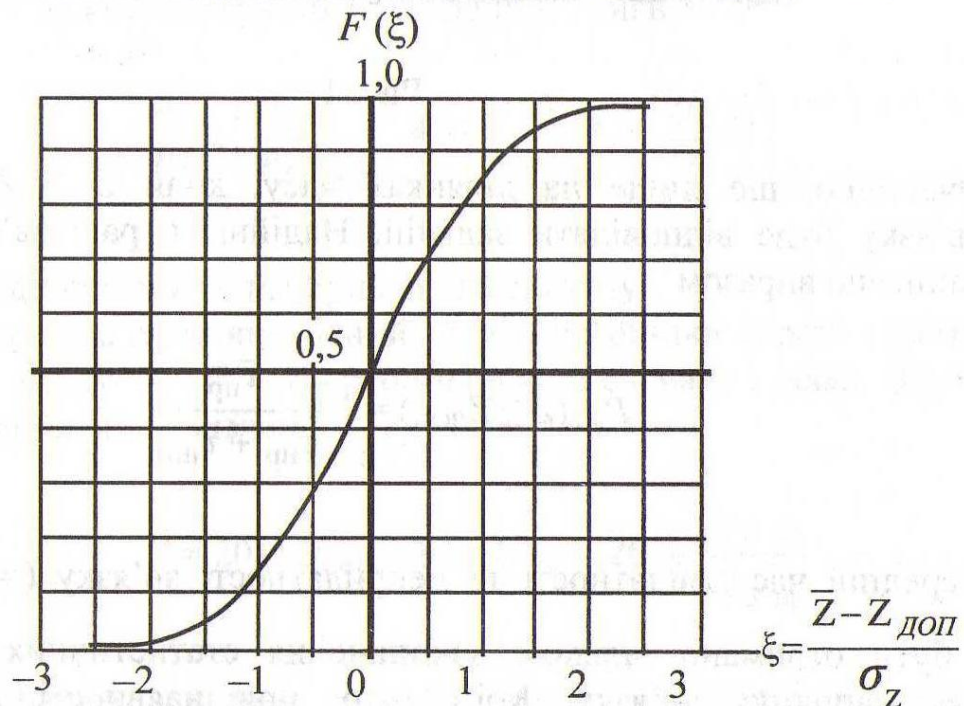


Рис. 2

Аналізуючи функцію $F(\xi)$ можливо зробити декілька висновків відносно залежності надійності зв'язку від енергетики радіолінії при роботі на одній закріпленій частоті, ($\sigma_z = \text{const}$):

1. При $\bar{Z} = Z_{\text{доп}}$ (параметр $\xi = 0$) імовірність зв'язку з заданою вірогідністю складає лише 50% часу функціонування зв'язку, тобто $\bar{\tau}_{\text{пр}} = \bar{\tau}_{\text{нпр}}$.

2. При збільшенні рівня сигналу, тобто при $\bar{Z} > Z_{\text{доп}}$ надійність зв'язку швидко зростає до $0.7 \div 0.8$, але при $\xi > 1$ крива імовірності повільно наближається до одиниці. Це означає, що досягнення високої надійності радіозв'язку за рахунок збільшення рівня сигналу неможливо або неефективно. Іншими словами, збільшення рівня сигналу в точці прийому, наприклад, підвищенням потужності передавача і коефіцієнтів підсилення передавальної та приймальної антен, не приведе до суттєвого поліпшення радіозв'язку.

3. При від'ємному значенні величини ξ , коли $\bar{Z} < Z_{\text{доп}}$ радіозв'язок можливий лише в окремі інтервали часу.

Приклад:

$$R_{\text{зв}} = 500 \text{ км}; P_A = 1 \text{ кВт}; F1B;$$

$$P_{\text{пом доп}} = 3 \cdot 10^{-3} (Z_{\text{доп}} = 25,2 \text{ дБ})$$

Місяць	Час доби	ξ	$P_{\text{зв.}}$	$\bar{\tau}_{\text{пр}}$, хв	$\bar{\tau}_{\text{нпр}}$, хв
Січень	10.00-14.00	1,01	0,84	38,8	7,2
	20.00-24.00	-0,14	0,44	12,1	15,3

2.2. Радіозв'язок земними хвилями

КХ радіоканали при роботі земними хвилями (при відсутності в точці прийому відбитої хвилі) можливо розглядати як канали з постійними параметрами. При цьому рівень сигналу $U = 20 \lg U_{\text{мс}}$ в

точці прийому в інтервалі сеансу зв'язку також можливо вважати постійним. Основними завадами, які діють в КХ діапазоні, є станційні завади з відомим релеєвським розподілом імовірностей амплітуд. Таким чином, канал зв'язку земною хвилею є каналом з постійними параметрами і адитивною флуктуаційною завадою.

Розрахунки надійності таких каналів здійснюються за аналогічною методикою, але з урахуванням наступних особливостей.

При постійному рівні сигналу $Y = \text{const}$ його розсіювання $\sigma_y = 0$ а $\sigma_z = \sigma_x$.

Параметр $Z_{\text{доп}}$ як функція $P_{\text{пом доп}}$ обчислюється за формулами теорії завадостійкості для каналів з постійними параметрами і завадами типу "білий шум".

(Продовження в наступній лекції)