

DOI 10.36074/logos-06.02.2026.028

ВИКОРИСТАННЯ МЕТОДУ АВТОВИБОРУ, ЯК СПОСОБУ СКЛАДАННЯ СИГНАЛІВ В МОБІЛЬНИХ КОМБІНОВАНИХ ЦИФРОВИХ РАДІОСИСТЕМАХ

Коваленко Олексій Олександрович¹, Почерняєв Віталій Миколайович², Сивкова Наталія Максимівна³

**1. Військовий інститут телекомунікацій та інформатизації імені Героїв Крут, УКРАЇНА
ORCID ID: 0009-0008-4087-8770**

**2. доктор технічних наук, професор
Національна академія Служби безпеки України, УКРАЇНА
ORCID ID: 0000-0001-7130-8668**

**3. доктор філософії
Національна академія Служби безпеки України, УКРАЇНА
ORCID ID: 0000-0002-4934-4109**

Мобільні комбіновані цифрові радіосистеми (МКЦР) такі як мобільна цифрова тропосферно-радіорелейна станція (МЦТрРРС) [1,2] (рис.1) та мобільна цифрова тропосферно-іоносферна станція (МЦТрІС) [3] (рис.2) мають у своєму складі системи рознесеного прийому сигналів. Рознесений прийом сигналів широко використовується для підвищення завадостійкості зв'язку та дозволяє забезпечити необхідний рівень показників якості передавання сигналів у багатопромених каналах.



Рис. 1. Зовнішній вигляд мобільної цифрової тропосферно-радіорелейної станції



Рис. 2. Зовнішній вигляд мобільної цифрової тропосферно-іоносферної станції

Методи приймання рознесених сигналів можливо поділити на системи з комбінуванням по надвисокій частоті (НВЧ), по проміжній частоті (ПЧ) та по основній смузі частот. Основною перевагою комбінування по НВЧ є можливість використання одного приймального тракту для перетворення сигналу з НВЧ на ПЧ при n -кратному рознесенні. Крім того, в даному методі відсутня необхідність у складному когерентному комбінуванні сигналів, як у методах лінійного або оптимального складання. Водночас, недоліком цього методу є зростання коефіцієнта шуму в гілках рознесення на входах НВЧ, що зумовлене застосуванням пристрою комбінування. Також, можливі стрибкоподібні перемикання між гілками, що може призводити до збільшення ймовірності помилок у разі швидких завмирань.

Перевагою рознесеного прийому по ПЧ є відсутність необхідності демодуляції сигналу в МКЦР, а також можливість створення пристрою комбінування з кращими енергетичними характеристиками в порівнянні з комбінуванням по НВЧ. Тому, застосування методу автовибору доцільно при його використанні в МКЦР. Слід відмітити, що застосування даного методу в кожен момент часу здійснюється порівняння показників відношення сигнал/шум всіх гілок, після чого обирається гілка, в якій значення показників відношення сигнал/шум є максимальним відносно інших гілок. Усі інші гілки при цьому відключаються, а їхні вагові коефіцієнти встановлюються рівними нулю.

Оцінимо ймовірність помилки $p_{\text{пом}}$ в системі з n -кратним рознесенням з автовибором найбільш сильного сигналу при використанні системи з активною паузою, ортогональною, при повільних релеєвський незалежних завмираннях окремих гілок.

ABSCHNITT 14.
ELEKTRONIK UND TELEKOMMUNIKATION

Щільність ймовірності того, що в n -ї гілках коефіцієнт передачі каналу $K_{\Pi} < K_{\text{ВИМ}}$, а в одній будь-якій гілці $K_{\Pi} \approx K_{\text{ВИМ}}$ визначається формулою:

$$w(K_{\text{ВИМ}}) = \frac{n * K_{\text{ВИМ}}}{K_{\Pi}} \exp\left(-\frac{K_{\text{ВИМ}}^2}{K_{\Pi}^2}\right) \left[1 - \exp\left(-\frac{K_{\text{ВИМ}}^2}{K_{\Pi}^2}\right)\right]^{n-1}.$$

Величина $w(K_{\Pi})$ - це релеєвський розподіл коефіцієнта передачі каналу і має наступний вигляд:

$$w(K_{\Pi}) = \frac{2K_{\Pi}}{K_{\text{ВИМ}}^2} \exp\left(-\frac{K_{\Pi}^2}{K_{\Pi,\text{сеп}}^2}\right).$$

Якщо:

$$K_{\Pi} = K_{\text{ВИМ}},$$

то

$$p_{\text{ПОМ}}(K_{\text{ВИМ}}) = \frac{1}{2} \exp\left(-\frac{1}{2} * \frac{K_{\text{ВИМ}}^2 * P_c}{G_{\text{ш}}}\right).$$

Розглянутий випадок автовибору еквівалентний одинарному прийому. Тоді, використовуючи біном Ньютона отримаємо ймовірність помилки $p_{\text{ПОМ}}$ при n -кратному рознесені, який набуде наступного вигляду:

$$p_{\text{ПОМ},n} = \frac{n!}{2 \prod_{i=1}^n \left(i + \frac{h_0^2}{2}\right)}.$$

Визначимо енергетичний виграш при переході від одинарного до зведеного прийому з автовибором в каналі з повільними релеєвськими незалежними завмираннями в окремих гілках при незмінній ймовірності помилки:

$$p_{\text{ПОМ}1} = p_{\text{ПОМ}2} = 10^{-4}.$$

При великих h^2 можна приблизно записати, що:

$$h_1^2 \approx \frac{1}{p_{\text{ПОМ}1}}, \quad h_2^2 \approx \frac{2}{\sqrt{p_{\text{ПОМ}2}}}.$$

В цьому випадку енергетичний виграш подвоєнного прийому у відповідності з одинарним є наступний:

$$\eta = 10 \lg \frac{\sqrt{p_{\text{ПОМ}2}}}{2p_{\text{ПОМ}1}} = 17 \text{ дБ}.$$

При $p_{\text{ПОМ}} = 10^{-6}$ або $p_{\text{ПОМ}} = 10^{-7}$ виграш від зведеного прийому буде зменшуватися і потрібно приймати інші міри.

Висновок. Рознесенний прийом продовжує залишатися основним засобом підвищення стійкості зв'язку в багатопроменевих каналах з завмираннями. Як було відмічено, МКЦР має складову – тропосферну компоненту. Тому, для МКЦР важливо, який спосіб складання сигналів забезпечує їх ефективність при різних складових – тропосферних,

радіорелейних, іоносферних. Виходячи з цього, питання способу складання сигналів в МКЦР є важливим. Для реалізації компактних хвилеводних елементів у НВЧ-діапазоні застосовують науково-технічний підхід, що базується на використанні хвилеводів, частково заповнених діелектриком [4,5].

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ:

- [1] Почерняєв В.М., Повхліб В.С. (2016) Мобільна цифрова тропосферно-радіорелейна станція. Патент України на винахід № 112217 Україна: С2. заявл. 12.09.2014; опубл. 10.08.2016, Бюл. № 15.
- [2] Почерняєв В.М., Повхліб В.С. (2019) Мобільна цифрова тропосферно-радіорелейна станція. Патент України на винахід № 136128, опубл. 12.08.2019 бюл. № 15.
- [3] Почерняєв В.М., Повхліб В.С., Магомедова М.С., Сивкова Н.М. (2023) Мобільна цифрова тропосферно-іоносферна станція. № 127524 Україна: С2. публ. 20.09.2023 Бюл. №38.
- [4] Почерняєв В.М., Сивкова Н.М. (2020) Зовнішні параметри з'єднання прямокутного хвилевода, частково заповненого лінійним діелектриком з прямокутним хвилеводом, частково заповненим нелінійним діелектриком. *Вісник Університету «Україна», 1(28), 100-105.*
- [5] Pochernyaev V., Syvkova N., Mahomedova M. (2023) Microwave mixer on rectangular waveguides partially filled by dielectric. *Informatyka, Automatyka, Pomiarы w Gospodarce i Ochronie Środowiska, 4(13), 126-131.*