

АНАЛІЗ ПОКАЗНИКІВ ЗАВАДОСТІЙКОСТІ ЗАСОБІВ ЗВ'ЯЗКУ В УМОВАХ ДІЇ ЗАВАД

Вінницький національний технічний університет

Анотація

Розглянуто основні показники завадостійкості радіоелектронних засобів зв'язку, що дозволяють оцінити їхню ефективність в умовах дії навмисних та ненавмисних завад. Проаналізовано критерії оцінки завадостійкості, серед яких ймовірність помилки, критерій Байєса, Котельникова, максимальної правдоподібності та мінімакса. Визначено особливості застосування методів оцінювання завадозахищеності, що є важливими для підвищення ефективності зв'язку в умовах активної радіоелектронної боротьби.

Ключові слова: завадостійкість, ймовірність помилки, критерій Байєса, критерій Котельникова, радіоелектронна боротьба.

Abstract

The main indicators of the noise immunity of electronic means of communication are considered, which allow assessing their effectiveness in conditions of intentional and unintentional interference. The criteria for assessing noise immunity are analyzed, including the probability of error, Bayesian, Kotelnikov, maximum likelihood and minimax criteria. The features of the application of methods for assessing noise immunity are determined, which are important for increasing the effectiveness of communication in conditions of active electronic warfare.

Keywords: interference immunity, error probability, Bayes criterion, Kotelnikov criterion, electronic warfare.

Вступ

Завадостійкість є одним із ключових показників надійності систем зв'язку в умовах дії навмисних і ненавмисних завад. В сучасних умовах ведення бойових дій, а також у мирний час, ефективність радіоелектронних засобів (РЕЗ) суттєво залежить від їхньої здатності забезпечувати стійкий зв'язок, незважаючи на вплив різноманітних факторів, що можуть завадити передачі та прийому інформації.

До основних загроз для систем зв'язку належать:

- природні завади (атмосферні, космічні шуми);
- техногенні завади (перешкоди від промислового обладнання, інші випромінюючі пристрої);
- навмисні завади, що є елементом радіоелектронної боротьби (РЕБ).

Оцінка завадостійкості дозволяє кількісно визначити ефективність функціонування систем зв'язку в умовах дії навмисних і ненавмисних завад, а також розробити методи підвищення їхньої стійкості.

Основна частина

Ефективність систем зв'язку залежить від великої кількості показників, зокрема, таких, як точність, живучість, надійність, вірність передавання інформації, завадостійкість, тощо [1-2].

Завадостійкість визначається як здатність системи зв'язку передавати інформацію з допустимим рівнем помилок в умовах впливу завад. Вона залежить від таких основних факторів:

- Рівень сигналу щодо рівня шуму (SNR) – чим вище співвідношення сигнал/шум, тим вища завадостійкість.
- Типи завад – вузькосмугові, широкосмугові, імпульсні, адаптивні, навмисні тощо.
- Моделі поширення сигналу – вплив багатопроменевого поширення, загасання, фединг тощо.
- Методи корекції помилок – використання кодів виправлення помилок (LDPC, Turbo, BCH, Hamming).
- Алгоритми модуляції та демодуляції – застосування спектрально-ефективних методів модуляції (PSK, QAM, FSK).

Для оцінки цих характеристик використовуються певні показники та критерії.

Критерії оцінки завадостійкості

Для аналізу ефективності роботи систем зв'язку в умовах завад застосовують різні методи оцінки, серед яких основними є: ймовірність помилки при прийомі сигналу, критерій Байєса, Критерій ідеального спостерігача (Котельникова), критерій максимальної правдоподібності

Ймовірність помилки при прийомі сигналу (BER, PER)

Одним із ключових показників завадостійкості є Bit Error Rate (BER) – ймовірність помилки на рівні окремих бітів. Для систем із пакетною передачею даних також застосовується Packet Error Rate (PER), що визначає ймовірність помилки на рівні пакету.

Рівняння для BER залежить від типу модуляції, рівня шуму та сигналу, а також використовуваних методів корекції помилок.

Критерій Байєса

Критерій Байєса дозволяє оцінювати ефективність прийняття сигналу в умовах випадкових завад. Він використовується для оптимального прийняття сигналів, мінімізуючи середню ймовірність помилки.

Критерій ідеального спостерігача (Котельникова)

Котельников визначив теоретичну межу завадостійкості приймача, виходячи з максимальної ефективності демодуляції сигналу. Цей критерій дозволяє оцінити, наскільки ефективна система зв'язку у порівнянні з ідеальним приймачем.

Критерій максимальної правдоподібності

Цей підхід ґрунтується на обчисленні ймовірностей усіх можливих варіантів отриманого сигналу і виборі того, який має найбільшу правдоподібність. Він широко застосовується у системах з адаптивним прийомом та корекцією помилок.

Критерій мінімакса

Критерій мінімакса використовується в умовах невизначеності параметрів завад і гарантує прийняття рішення, що мінімізує найгірший можливий вплив завад на якість зв'язку.

Порядок оцінки завадостійкості

Оцінка завадостійкості може виконуватися на основі лабораторних тестів, математичного моделювання та польових експериментів. Основні етапи оцінки включають:

1. Визначення параметрів системи зв'язку (тип модуляції, кодеків, рівня потужності).
2. Моделювання умов поширення сигналу (атмосферні умови, рельєф, перешкоди).
3. Генерація штучних завад (адаптивних, імпульсних, широкосмугових).
4. Вимірювання BER, PER, SNR та інших показників.
5. Аналіз отриманих даних та визначення ефективності методів завадозахисту.

Результати оцінки завадостійкості дозволяють оптимізувати параметри зв'язку, вибрати ефективні алгоритми корекції помилок та адаптивної модуляції.

Висновки

Показники завадостійкості є ключовими характеристиками ефективності радіоелектронних засобів у реальних умовах експлуатації. Використання різних критеріїв оцінювання дозволяє комплексно аналізувати ефективність зв'язку та адаптивно вибирати методи завадозахисту. Оцінка BER, використання критеріїв Байєса, Котельникова, максимальної правдоподібності та мінімакса дозволяє розробляти стійкі до завад системи, що є критично важливим в умовах радіоелектронної боротьби.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. ДСТУ 3265-95. Зв'язок військовий. Терміни та визначення.

2. Шолохов С.М., Самборський І.І., Вакуленко О.В., Ніколаєнко Б.А. Завадозахист радіоелектронних засобів. Частина 1. Основи завадозахисту систем зв'язку: навчальний посібник. Київ: ІСЗІ КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2021. 210 с

Ентін Ігор Іванович – аспірант групи 172-23а, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, e-mail:igorentin90@gmail.com

Науковий керівник: **Крижановський Володимир Григорович** – д.т.н., професор кафедри інфокомунікаційних систем і технологій, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, e-mail:vkryzhanovskyi@vntu.edu.ua

Entin Igor I. – a postgraduate student of group 172-23a, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail:igorentin90@gmail.com

Scientific supervisor: **Volodymyr Hryhorovych Kryzhanovskyi** – Doctor of Technical Sc., Pr. of the Department of Infocommunication Systems and Technologies, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail:vkryzhanovskyi@vntu.edu.ua