

ОЦІНКА ВПЛИВУ КІЛЬКІСНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ЗМІНИ ІНФОРМАЦІЙНОГО ПАРАМЕТРУ НА ЗАВАДОСТІЙКІСТЬ КАНАЛІВ ЗВ'ЯЗКУ З КАМН

В статті розглядається вплив параметрів каналу зв'язку на завадостійкість систем з квадратурною амплітудною маніпуляцією та використання отриманих залежностей для визначення параметрів якості та рівня цифрового сигналу на вході детектору.

In the article the influence of parameters on the channel noise immunity of systems with quadrature amplitude manipulation and exploitation of dependencies for the parameters of quality and level of digital signal at the input of the detector.

Ключові слова: квадратурна модуляція, адитивний гаусовий білий шум, канал зв'язку, ймовірність помилки.

Основними причинами погіршення якості в канал зв'язку є зменшення відношення сигнал/шум, фазові та амплітудні спотворення [1]. При обробці та оцінюванні цифрового сигналу також важливим фактором якості є параметр міжсимвольної інтерференції. Для оцінки завадостійкості системи необхідно враховувати всі параметри середовища розповсюдження, а отримані залежності використовувати для побудови алгоритмів захисту та попередньої корекції інформації, що передається. При цьому необхідно враховувати моделі каналів розповсюдження Райса, Релея, Гауса [2] або їх комбіновані властивості. Проте, для деяких систем зв'язку [3] постає проблема виявлення параметрів середовища та необхідність апріорної корекції завадозахисних алгоритмів при передачі інформації [4], в зв'язку з чим суттєво підвищується надлишковість [3] в каналі зв'язку та відповідно зменшує швидкість передачі [5, 6]. Тому для таких систем застосовують алгоритми з мінімальною надлишковістю, наприклад пряма корекція помилок за алгоритмом Ріда-Соломона [3, 5]. Це викликає необхідність підвищення пропускної спроможності існуючих каналів зв'язку, що в свою чергу призводить до збільшення кількісних характеристик зміни інформаційного параметру, наприклад кількості фазових та амплітудних станів в квадратурних модуляціях. Тому для оцінки завадозахищеності таких каналів зв'язку обирається гаусова модель розповсюдження при різних значеннях кількісних станів КАМН.

Основні задачі:

- виведення залежностей для співвідношень S/N в цифровому каналі для гаусової моделі розповсюдження;

- виведення різницевого співвідношення для параметру S/N в неперервному та цифровому каналах;
- проведення аналізу параметра ймовірності виникнення помилки в каналі від співвідношення S/N ;
- аналіз залежностей ймовірності бітової помилки для різних кількісних станів КАМН;
- виявлення критичних значень завадостійкості для каналів зв'язку з КАМН.

В системах зв'язку з гаусовою моделлю розповсюдження якісні характеристики каналу визначаються зі співвідношенням сигнал/шум, проте для широкосмугових цифрових систем з багатьма підносійними [7] доцільно як показник якості сигналу застосувати нормоване значення енергії, що припадає на 1 біт інформації E_b , а як показник шуму – спектральну щільність потужності шуму по ширині частотної смуги каналу передачі N_0 .

Кількісно дані співвідношення можна записати так:

$$E_b = S \cdot T_b,$$

де S – потужність сигналу, T_b – час передачі 1 біта інформації

$$N_0 = \frac{N}{W},$$

де N – спектральна щільність потужності шуму, W – ширина смуги пропускання каналу зв'язку
При цьому співвідношення сигнал/шум, отримане для гаусового каналу буде наступним

$$\frac{E_b}{N_0} = \frac{S \cdot T_b}{N} = \frac{S}{N} \cdot \frac{T_b}{W} = \frac{S}{N} \cdot \frac{1}{C_b}.$$

При врахуванні того, що час $T_b=1/C_b$, де C_b – бітова швидкість в цифровому каналі, вираз можна записати наступним чином:

$$\frac{E_b}{N_0} = \frac{S}{N} \cdot \frac{1}{C_b} = \frac{S}{N} \left(\frac{W}{C_b} \right).$$

З цього виразу видно безпосередню залежність співвідношення S/N від параметрів ширини смуги пропускання та бітової швидкості в каналі зв'язку.

Залежність ймовірності помилки від параметру E_b/N_0 з урахуванням додаткової функції помилок $erfc(x)$, яка використовується у системах цифрової комунікації для вираження ймовірності помилки на біт розглянута в [3]. Символьна передача в цифровому каналі зв'язку пов'язує кількість інформаційних станів транспортної модуляції та швидкість передачі біт інформації. При різних символьних швидкостях КАМн, а отже і різній кількості переданих біт енергія символу визначатиметься наступним чином:

$$E_s = E_b \log_2 L,$$

де L – кількість змін інформаційного параметру сигналу, для КАМн – рівнів амплітуд сигналу. Виходячи з теореми Котельникова [8],

$$W_n = \frac{1}{2} T_b.$$

Тоді для потужності сигналу вираз матиме вигляд: $S = \frac{E_b}{T_b} \log_2 L$;

для потужності шуму вираз матиме вигляд: $N = N_0 \frac{1}{2} T_b$.

Відношення сигнал/шум з врахуванням отриманих формул буде наступним:

$$\frac{S}{N} = 2 \frac{E_b}{N_0} \log_2 L,$$

або в логарифмічній формі

$$\frac{S}{N} = \frac{E_b}{N_0} + 10 \lg(m),$$

де $m = 2 \log_2 L = \log_2 M$ – коефіцієнт мапінгу [3].

Для стандартних значень елементів зміни інформаційного параметру в КАМн для значень M наявна різна кількість станів модуляції, таким чином можна визначити різницю граничного значення параметру E_b/N_0 по відношенню до S/N . Результати розрахунку співвідношень для E_b/N_0 зведені до табл. 1.

Таблиця 1

Результати розрахунку співвідношень для E_b/N_0

Модуляція	Кількість станів	Співвідношення для E_b/N_0 , дБ
4-КАМн	2	$S/N+2,2$
16-КАМн	4	$S/N-0,75$
64-КАМн	8	$S/N-2,5$
256-КАМн	16	$S/N-3,8$

Розрахунки вказують на нелінійну залежність параметрів загального тракту передачі комплексного сигналу систем з КАМн до параметру E_b/N_0 . Для більшої кількості інформаційних станів транспортної модуляції необхідне значення параметру E_b/N_0 може бути зменшено.

Для оцінки енергетичних характеристик каналу передачі необхідного враховувати відношення S/N високочастотного тракту. Даний параметр буде залежати від ширини смуги ВЧ каналу та швидкості передачі інформації в каналі. Тому, виходячи з існуючих особливостей модуляції КАМн в якості швидкості передачі доцільно застосувати поняття символна швидкість f_c .

$$\frac{C}{N} = \frac{E_b}{N_0} - 10 \lg\left(\frac{W}{f_s \cdot m}\right),$$

де C/N – відношення потужності високочастотної несучої сигналу по відношенню до потужності шуму в смузі несучої.

Ймовірності помилки в каналі зв'язку з адитивним гаусовим білим шумом буде визначатись з врахуванням гаусового інтегралу помилок:

$$Q(x) \approx \frac{1}{\sqrt{2p}} \int_x^{\infty} \exp\left(-\frac{x^2}{2}\right) dx.$$

Враховуючи отриману залежність ймовірності помилки в каналі зв'язку

$$P \approx 2 \cdot \left(1 - \frac{1}{\sqrt{m}}\right) \cdot erfc\left[\sqrt{\frac{3 \log_2(m)}{2(m-1)} \cdot \frac{E_b}{N_0}}\right],$$

для гаусового каналу можна записати $P_{\text{пом}}$ буде мати наступний вигляд:

$$P \approx \frac{2(1-L^{-1})}{\log_2 L} \cdot Q \left[\sqrt{\left(\frac{3 \log_2 L}{L^2 - 1} \right) \frac{2E_b}{N_0}} \right]$$

З врахуванням стандартного значення корегуючого коду RS (204,188) для каналів зв'язку з КАМн графік залежності P від S/N буде визначатись відповідно до кількісних характеристик зміни інформаційного параметру і для різної кількості елементів КАМн матиме пропорційне зміщення рівня S/N .

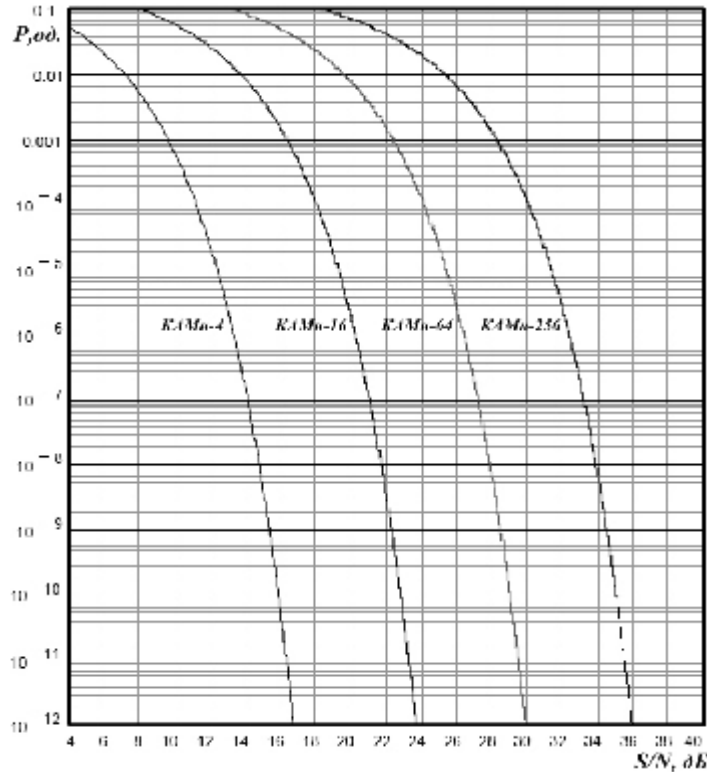


Рис. 1. Залежність ймовірності виникнення помилок від значення сигнал/шум

Як видно з графіка на рис.1. досягнення необхідного значення P для більш складних типів КАМн можливо при збільшенні відношення S/N . Для досягнення комфортного значення $P=1 \cdot 10^{-4}$ од. в КАМн-4 необхідний рівень S/N складає 11 дБ, в КАМн-16 рівень $S/N=18$ дБ, в КАМн-64 рівень $S/N=24$ дБ, а в КАМн-256 рівень $S/N=30$ дБ. Тобто при збільшенні кількості інформаційних станів модуляції з 2 до 8 для досягнення необхідного рівня P зміна S/N повинна скласти 19 дБ.

Використавши для аналізу отриману математичну модель для розрахунку ймовірності виникнення помилки для різних типів КАМн можна побудувати деталізований графік для визначення завадостійкості каналу зв'язку. Починаючи зі значення $P=1 \cdot 10^{-4}$ од. залежність має лінійний характер, тому таке значення можна вважати граничним.

Як видно з отриманого графіку зміна відношення S/N на 1 дБ зменшує ймовірність виникнення помилки на значення 10^{-1} од. Подібна залежність буде також відслідковуватись при подальшому збільшенні відношення S/N .

Висновки

Використавши гаусову модель для опису характеристик каналу зв'язку з КАМн було дещо спрощено структуру виведення залежностей як для визначення енергетичної характеристики шуму в каналі зв'язку, так і для оцінки завадостійкості каналів зв'язку з КАМн, проте дане спрощення справедливо для каналів під впливом АГБШ, а залежності можуть бути розширені шляхом додавання додаткових

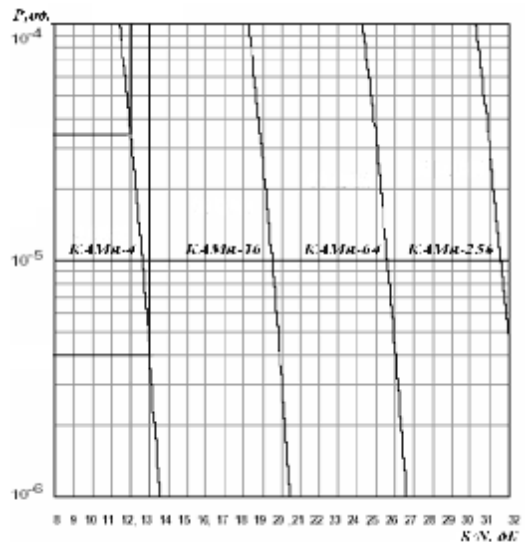


Рис. 2. Деталізований графік залежності ймовірності виникнення помилок від значення сигнал/шум

коефіцієнтів адитивного шумового впливу на канал. Такі коефіцієнти можуть мати внутрісистемний характер ліній зв'язку тому для каналу зв'язку можуть бути спрощені. Дане спрощення дозволило використати відомі параметри існуючих каналів зв'язку з КАМн для побудови залежностей завадостійкості від різних кількісних станів модуляції.

Нормоване значення відношення сигнал/шум в цифровому каналі зв'язку до значення відношення сигнал/шум непевного каналу буде мати суттєву різницю і нелінійну залежність в характеристиці, що важливо для оцінки необхідного значення параметру E_b/N_0 .

Враховуючи гаусов інтеграл помилок для визначення ймовірності помилки в каналі зв'язку з АГБШ отримана залежність ймовірності виникнення помилки в каналі з КАМн та проведено детальний аналіз залежностей на границі лінійних ділянок функцій, що показало критичне значення завадостійкості каналу та необхідні значення зміни співвідношення сигнал/шум в каналі зв'язку.

Література

1. Скляр Б. Цифровая связь. Теоретические основы и практическое применение / Скляр Б. – Издательский дом «Вильямс», 2007. – 1104 с.
2. Белов В.С. Захисні алгоритми в каналах з різними типами завмирань / В.С. Белов // ВНТУ ХЛІ регіональна науково-технічна конференція професорсько-викладацького складу, співробітників та студентів університету з участю працівників науково-дослідних організацій та інженерно-технічних працівників підприємств м. Вінниці та області. [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <http://conf.vntu.edu.ua/> (20.05.2012 р.)
3. Скляр Б. Цифровая связь. Теоретические основы и практическое применение / Скляр Б. – Издательский дом «Вильямс», 2007. – 1104 с.
4. Кичак В.М. Визначення бітових спотворень в каналах з прямою корекцією помилок / В.М. Кичак, В.С. Белов, А.С. Белов // Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах. – 2012. – № 1. – С. 121-124.
5. Финк Л.М. Сигналы, помехи, ошибки... Заметки о некоторых неожиданностях, парадоксах и заблуждениях в теории связи / Финк Л.М. – М. : Радио и связь, 1978. – 1984.
6. Морелос-Сарагоса Р. Искусство помехоустойчивого кодирования. Методы, алгоритмы, применение / Морелос-Сарагоса Р. – [пер. с англ. В.Б. Афанасьева]. – М. : Техносфера, 2006. – 320 с.
7. MIMO-OFDM for LTE, WiFi and WiMAX: Coherent versus Non-coherent and Cooperative Turbo Transceivers (Wiley - IEEE) 201.
8. Котельников В.А. О пропускной способности эфира и проволоки в электросвязи – Всесоюзный энергетический комитет / В.А. Котельников // Материалы к I Всесоюзному съезду по вопросам технической реконструкции дела связи и развития слаботочной промышленности, 1933. Репринт статьи в журнале УФН, 2006. – С. 762-770.

Надійшла 20.6.2012 р.
Рецензент: д.т.н. Злепко С.М.

УДК 621.396.98

Ю.М. ВОЛОВИК, А.Ю. ВОЛОВИК, М.А. ШУТИЛО

Вінницький національний технічний університет

В.В. ЗАГОРСЬКИЙ

Вінницький технічний коледж

АДАПТИВНА ФІЛЬТРАЦІЯ РІЗНОТОЧНИХ КУТОВИХ ВИМІРЮВАНЬ В СИСТЕМІ ПОСАДКИ САНТИМЕТРОВОГО ДІАПАЗОНУ

В статті розглядається задача фільтрації куткових вимірювань різної точності, які проводяться на борту повітряного судна в процесі заходу на посадку. Пропонується адаптивний метод фільтрації аномальних похибок куткових вимірювань, ефективність якого підтверджена результатами статистичного моделювання.

In article the problem of a filtration of angular measurements of the different accuracy which is carried out onboard an aircraft in the course of landing approach is considered. The adaptive method of a filtration of abnormal errors of the angular measurements which efficiency is confirmed by results of statistical modelling is offered.

Ключові слова: оптимальна нелінійна фільтрація, фільтр Калмана, статистичне моделювання.

Вступ. Радіомаячні системи посадки сантиметрового діапазону (MLS-Microwave Landing System) розробляються на основі рішень Міжнародної організації цивільної авіації (ICAO) від 1972 р. Вони призначені для отримання на борту повітряного судна (ПС) та видачі екіпажу і в систему автоматичного керування польотом інформації про кути відхилення ПС від номінальної траєкторії посадки у вертикальній та горизонтальній площинах, віддалі до розрахованого місця приземлення, стану злітно-посадкової смуги, категорії метеомінімуму обслуговування та тощо. В якості міжнародного стандарту прийнята система TRSB