

ПРИСТРІЙ ОЦІНЮВАННЯ ФАЗОВОГО ДРИЖАННЯ СИГНАЛІВ У ЦИФРОВИХ ТРАКТАХ

Представлено метод і пристрій оцінювання фазового дрижання у цифрових трактах телекомунікаційних засобів, що характеризується підвищеною роздільною здатністю та статистичною стійкістю оцінок.

Ключові слова: фазове дрижання, цифровий тракт, оцінювання, спектральна густина потужності.

G.G. BORTNYK, M.V. VASYLKIVSKIY, T.P. IVASUK

Vinnitsa National Technical University, Ukraine

A DEVICE OF EVALUATION OF THE PHASE JITTER OF SIGNALS IN DIGITAL CHAINS

The new method of spectral estimation of signals' phase jitter is suggested. On the contrary to the previous methods, the given one provides multistage processing of the samples from phase jitter signal with optimal window deliberation of data segments being processed. It provides estimation dispersion decrease of spectral density of phase jitter signal power.

It has been proved, that the summary performance criterion of the given method greatly excels the similar criterion of classical approach in phase jitter evaluation.

The structure of phase jitter evaluator has been developed on the basis of the suggested engineering building technique. The structure of an automation device is also suggested as hardware-software realization of spectral estimation of phase jitter signals.

Key words: phase jitter, digital chain, evaluation, power spectrum density.

Вступ

Головною рисою сучасних телекомунікаційних засобів є передавання та оброблення сигналів у цифровій формі. При цьому виникають специфічні проблеми, що пов'язані з особливостями передавання цифрових сигналів трактами телекомунікаційних засобів. Фазове дрижання (ФДр) є однією з основних проблем, що виникає при розробці, виготовленні та експлуатації сучасних цифрових телекомунікаційних засобів. ФДр є специфічним видом спотворень, що виникають у процесі формування та передавання сигналів у цифрових трактах (ЦТ) телекомунікаційних засобів [1].

Слід відмітити, що ці дослідження були спрямовані на розв'язання конкретних технічних задач, що виникали перед розробниками цифрового обладнання. Разом з тим, методи підвищення ефективності оцінювання ФДр сигналів у ЦТ знаходяться на стадії формування. А розвиток засобів оцінювання ФДр на сучасному етапі відбувається в основному за рахунок повнішого використання потенціалу методів оцінювання ФДр у часовій області за допомогою комп'ютерної та мікропроцесорної техніки, а також за рахунок збільшених можливостей апаратного та програмного забезпечення [1, 2]. Однак, відомі підходи не забезпечують суттєвого і одночасного покращення основних функціональних показників засобів оцінювання ФДр.

Отже, існує важлива наукова задача, яка полягає в необхідності забезпечення у комплексі збільшення динамічного діапазону і підвищення стійкості та роздільної здатності оцінок ФДр сигналів у ЦТ телекомунікаційних засобів. Враховуючи загальні тенденції розвитку телекомунікаційної галузі, необхідно відзначити, що розв'язання цієї задачі є актуальною для сьогодення.

Метою роботи є підвищення ефективності оцінювання ФДр сигналів у цифрових трактах телекомунікаційних засобів за рахунок підвищення роздільної здатності та статистичної стійкості оцінок цифрового багатетапного періодограмно-корелограмно оброблення сигналів джитеру.

Для реалізації заданої мети необхідно розв'язати такі задачі:

- розробка методу спектрального оцінювання ФДр сигналів;
- розробка структури пристрою оцінювання ФДр сигналів у ЦТ;
- аналіз ефективності пристрою оцінювання ФДр сигналів у ЦТ.

Спектральний метод оцінювання ФДр сигналів

У роботі запропоновано метод спектрального оцінювання ФДр на базі використання періодограмно-корелограмно оброблення сигналів ФДр. Для отримання згладжених і статистично стійких оцінок спектральної густини потужності (СГП) на кінцевому масиві відліків досліджуваного сигналу ФДр необхідно здійснювати згладжувальне оцінювання у часовому та частотному вимірі. Тому на першому етапі оброблення необхідно вхідний масив розділити на P сегментів по M відліків зі зсувом, що дорівнює B відліків між сусідніми сегментами. Якщо $B \leq M$, то максимальне число оброблюваних сегментів для заданої реалізації сигналу буде дорівнювати:

$$P_{\max} = \text{ent} \left[\frac{N - M}{B} \right] + 1. \quad (1)$$

Вхідна послідовність $x(n)$ розділяється на підпослідовності $x_p(n)$ довжиною по M відліків

кожна. Підпоследовності $x_p(n)$ зсунені одна відносно одної на B відліків, при цьому p -й сегмент пов'язано зі вхідним масивом $x(n)$ співвідношенням:

$$x_p(n) = x[n + B \cdot (p - 1)]. \quad (2)$$

Перед знаходженням періодограми кожного сегмента цей сегмент обробляється оптимальною віконною функцією. Зважений сегмент даних має такий вигляд:

$$x_{pw} = w_d(n) \cdot x[n + B(p - 1)], \quad (3)$$

де $w_d(n)$ – оптимальна віконна функція даних.

Для кожної зі зважених підпоследовностей знаходяться коефіцієнти дискретного перетворення Фур'є (ДПФ) за формулою:

$$X_p(k) = \frac{1}{U_d} \sum_{n=0}^{M-1} w_d(n) \cdot x_p(n) \cdot e^{-j \frac{2\pi nk}{M}}. \quad (4)$$

Величина $I_p(k)$, що називається модифікованою періодограмою, знаходиться за виразом:

$$I_p(k) = \frac{1}{U_d} |X_p(k)|^2. \quad (5)$$

Середнє значення періодограм зважених сегментів дає оцінку СГП сигналу для заданого значення зсуву B :

$$S(k) = \frac{1}{P \cdot U_d} \sum_{p=1}^P \left| \sum_{n=0}^{M-1} w_d(n) \cdot x_p[n + B \cdot (p - 1)] \cdot e^{-j \frac{2\pi nk}{M}} \right|^2. \quad (6)$$

Завдяки перекриванню для заданого масиву можна збільшити кількість сегментів і тим самим зменшити дисперсію результуючої оцінки. Вираз (6) дає можливість отримати згладжені оцінки СГП сигналу ФДр за рахунок усереднення кількох періодограм. Подальше корелограмне оброблення спектрів підвищує статистичну стійкість отриманих результатів за рахунок усереднювального ефекту процесу автокореляції. Наступним етапом оброблення є виконання зворотного ДПФ для $S(k)$ з метою отримання симетричної оцінки автокореляції для $2M + 1$ часових зсувів:

$$R(m) = \frac{1}{M} \sum_{k=0}^{M-1} S(k) \cdot e^{j \frac{2\pi km}{M}}. \quad (7)$$

У подальшому оцінка $R(m)$ обробляється за допомогою симетричної кореляційної віконної функції $w_c(m)$:

$$R_w(m) = R(m) \cdot w_c(m). \quad (8)$$

На останньому етапі виконується ДПФ для $R_w(m)$, що дає можливість отримати кінцевий вираз для оцінки СГП сигналу ФДр:

$$S_c(k) = \frac{1}{U_c} \sum_{m=0}^{M-1} R_w(m) \cdot w_c(m) \cdot e^{-j \frac{2\pi mk}{M}}. \quad (9)$$

Статистична стійкість оцінки $S_c(k)$ забезпечується усередненням по сегментам та частотним згладжуванням. Комбіноване часове та кореляційне зважування дозволяє керувати рівнем бічних паразитних пелюсток, тобто зменшувати спотворення спектра потужності (СП) сигналу ФДр. У запропонованому методі оцінювання використовуються вікна даних $w_d(n)$ і кореляційні вікна $w_c(m)$. Основними характеристиками зважувальних функцій є рівень бічних пелюсток A_S і асимптотична швидкість спадання рівня бічних пелюсток V_S . Оптимальна вагова функцію даних має вигляд

$$w_d(n) = 0,3558 - 0,4874 \cdot \cos\left(\frac{2\pi n}{N}\right) + 0,1442 \cdot \cos\left(\frac{4\pi n}{N}\right) - 0,0126 \cdot \cos\left(\frac{6\pi n}{N}\right). \quad (10)$$

Знайдено, що швидкість спадання отриманої функції $V_S = 42 \frac{\partial B}{\text{окт}}$, а рівень паразитної пелюстки

$A_S = -61 \text{ dB}$ [3]. Такі параметри синтезованого вікна даних дозволяють здійснити ефективне періодограмне оброблення сигналу ФДр.

Бічні пелюстки кореляційної вагової функції збільшують зміщення оцінки СГП та змінюють амплітуди сусідніх спектральних складових досліджуваного сигналу ФДр. Тому, при синтезі кореляційного

вікна $w_c(m)$ для оброблення сигналу ФДр мінімізовано максимальний рівень бічних пелюсток A_S відносно рівня головної пелюстки спектра. Синтезоване вагове вікно має вигляд:

$$w_c(m) = 0,4024 + 0,498 \cdot \cos\left[\frac{2\pi m}{M}\right] + 0,983 \cdot \cos\left[\frac{4\pi m}{M}\right] + 0,0012 \cdot \cos\left[\frac{6\pi m}{M}\right]. \quad (11)$$

Побудовані вагові функції є ефективнішими порівняно з відомими функціями зважування за основними критеріями, що висуваються до вікон даних і кореляційних вікон. Ці функції дають можливість підвищити ефективність оцінювання СГП сигналів ФДр.

Запропоновано як тестові використовувати фазоімпульсно-модульовані (ФІМ) сигнали з одно- та двотональними модулювальними сигналами. Такі сигнали адекватно характеризують процеси виникнення ФДр, яке можна розглядати як фазову модуляцію імпульсної послідовності. Отримано аналітичний вираз для тестового ФІМ-сигналу та здійснено аналіз спектрального складу ФІМ-сигналу, що містить інформацію про ФДр у ЦТ.

Структура пристрою оцінювання ФДр сигналів

На базі запропонованого методу цифрового багатоетапного періодограмно-корелограмного оброблення сигналів джитеру пропонується структура пристрою оцінювання ФДр, що наведена на рис.1.

Вхідний сигнал, що досліджується, надходить у блок формування сигналу ФД (БФС ФД). Для цього синхросигнал відновлюється з вхідного сигналу за допомогою виділювача тактової частоти (ВТЧ), який реалізується на базі принципів фазового автоналаштування частоти. Вузол регульованої затримки (ВРЗ) дає можливість компенсувати часові похибки ВТЧ. Вихідний сигнал ВРЗ та синхросигнал подаються на фазовий детектор (ФД), який здійснює порівняння фаз. На виході ФД формується сигнал, значення якого залежить від різниці фаз вхідного сигналу та сформованого у ВТЧ синхросигналу. Сигнал ФД подається у ТАЦП. Результати оцінювання фіксуються у блоці відображення інформації.

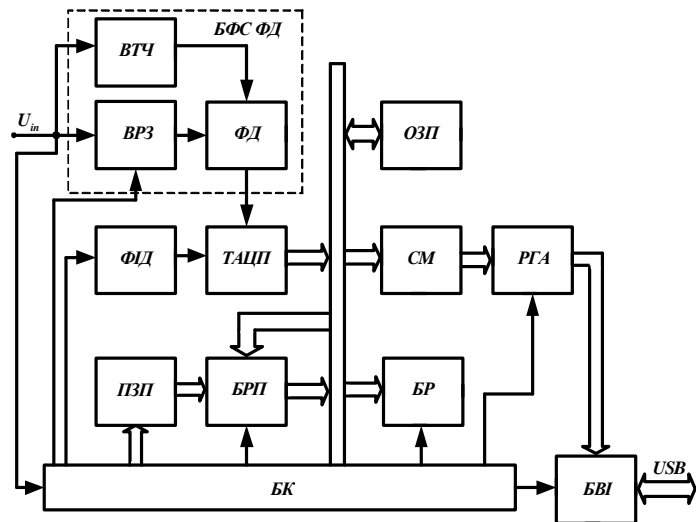


Рис. 1. Структурна схема пристрою оцінювання ФД у ЦТ

Аналіз ефективності пристрою оцінювання ФДр сигналів у ЦТ

Аналіз ефективності можна здійснити, використовуючи коефіцієнт ефективності спектрального оцінювання Q_S . Для значення зсуву $0,25 \cdot M$ коефіцієнт ефективності дорівнює [3]:

$$Q_{S_{0,75}} = \frac{P_{0,75}}{P_0 [1 + 1,5 \cdot C^2(0,75) + C^2(0,5) + 0,5 \cdot C^2(0,25)]}, \quad (12)$$

де $P_{0,75}$ – кількість перекривних сегментів для $B = 0,25 \cdot M$.

Проаналізовано залежність коефіцієнта ефективності запропонованого методу оцінювання ФДр від числа неперекривних сегментів даних для 50%-го та 75%-го перекривання підпоследовностей. Встановлено, що навіть для 50%-го перекривання дисперсія оцінювання СГП знижується в 1,5÷1,9 разів залежно від числа оброблюваних сегментів. Мінімальна дисперсія досягається при 75%-му перекриванні, при якому коефіцієнт ефективності приймає значення від 2,2 до 3,4.

Аналіз роздільної здатності для заданої частоти дискретизації f_S здійснюється згідно

виразу $b_f = \frac{\Delta f}{f_S}$. На рис. 2 наведено залежності

роздільної здатності від обсягу вхідного масиву вибірок сигналу для класичного методу

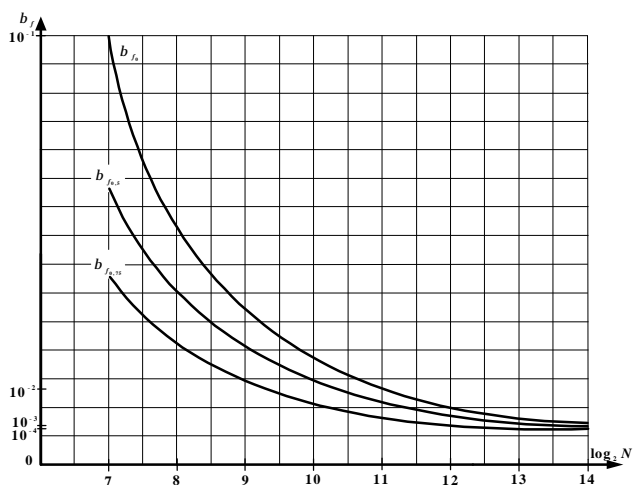


Рис. 2. Залежності роздільної здатності від обсягу масиву вхідних даних

оцінювання (b_{f_0}) та запропонованого методу оцінювання з 50%-м перекриванням сегментів ($b_{f_{0,5}}$) і 75%-м перекриванням ($b_{f_{0,75}}$) для початкового числа перекривних сегментів $P_0 = 4$. Найвищої роздільної здатності вдається досягнути при 75%-му перекриванні, причому для $P_0 = 4$ критерій $b_{f_{0,75}}$ сягає значення $2 \cdot 10^{-4}$.

Для комплексного аналізу методу спектрального оцінювання сигналу ФДр уведено узагальнений показник якості оцінювання ФДр, який враховує ефективність спектрального оцінювання сигналу ФДр та роздільну здатність за частотою: $Q_d = Q_s \cdot \frac{1}{b_f}$.

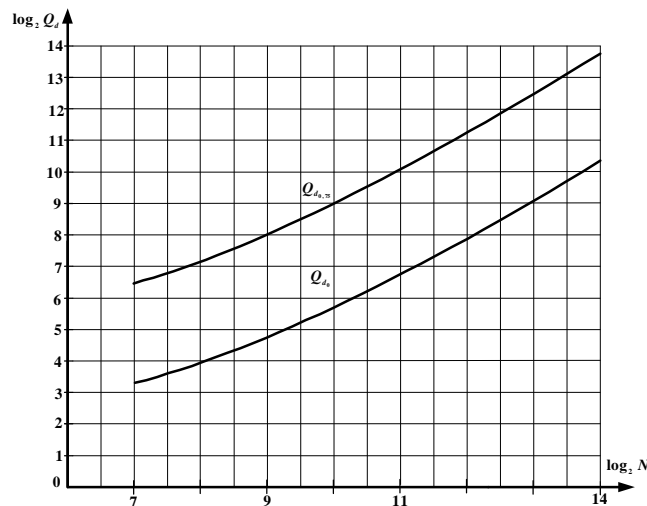


Рис. 3. Залежності узагальненого показника ефективності спектрального оцінювання ФДр від обсягу вибірки

На рис. 3 наведено залежності узагальненого показника ефективності запропонованого методу оцінювання $Q_{d_{0,75}}$ та класичного методу Q_{d_0} від обсягу досліджуваної вибірки N . Як видно з графіків, зі збільшенням обсягу вхідної вибірки ефективність обох методів зростає і для методу класичного оцінювання при $N = 16384$ вибірки показник ефективності $Q_{d_0} \approx 1250$. Для даного методу значення $Q_{d_{0,75}} \approx 14000$, тобто на порядок перевищує показники класичного методу оцінювання ФДр.

Висновки

Запропоновано новий метод і пристрій спектрального оцінювання ФДр сигналів, який передбачає багатоетапне оброблення вибірок сигналу ФДр з оптимальним віконним зважуванням оброблюваних сегментів даних, що дає змогу зменшити дисперсію оцінювання спектральної густини потужності сигналу ФДр. Доведено, що узагальнений критерій якості запропонованого методу спектрального оцінювання більш, ніж на порядок перевищує аналогічний критерій класичного методу оцінювання ФДр.

Література

1. Колинько Т.А. Измерения в цифровых системах связи / Т.А. Колинько. – К.: Век+, 2002. – 320 с.
2. Бакланов И.Г. Методы измерений в системах связи / И.Г. Бакланов. – М.: Эко-Трендз, 1999. – 195 с.
3. Бортник Г.Г. Метод оцінювання детермінованих складових фазового дрижання у цифрових системах передавання / Г.Г. Бортник, М.В. Васильківський, О.Г. Бортник // Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах. – 2012. – №3 – С. 45-48. – ISSN 2219-9365.

References

1. Kolinko T.A. Measuring in the digital systems of communication / T.A. Kolinko. – K.: Vek+, 2002. – 320p.
2. Baklanov I.G. Methods of measurements in the systems of communication / I.G. Baklanov. – M.: Eko-Trendz, 1999. – 195p.
3. Bortnik G.G. Method of estimation of deterministic components of the phase shake in digital communication systems. / G.G. Bortnik, M.V. Vasylykivskiy, O.G. Bortnik // МСТТР. – 2012 - №3. – P. 45-48. – ISSN 2219-9365.

Рецензія/Peer review : 3.5.2014 р. Надрукована/Printed :25.6.2014 р.