

Г.Г. БОРТНИК, М.В. ВАСИЛЬКІВСЬКИЙ

Вінницький національний технічний університет

ПАТ „Укртелеком”

т. 050-070-28-51

E-mail: vmvvin@rambler.ru

СПЕКТРАЛЬНИЙ МЕТОД ОЦІНЮВАННЯ ПАРАМЕТРІВ ФАЗОВОГО ДРИЖАННЯ ГРУПОВИХ СИГНАЛІВ У СИСТЕМАХ ПЕРЕДАВАННЯ

Використання нових стандартів високошвидкісної передачі даних передбачає підвищення вимог до якості роботи цифрових систем передавання (ЦСП). В сучасних ЦСП основним параметром якості роботи є фазове дрижання (ФД) групових сигналів. Підвищений рівень ФД групових сигналів призводить до зниження стійкості функціонування ЦСП та спотворення переданої інформації [1]. Найпоширенішим методом оцінювання ФД групових сигналів є спектральний аналіз його параметрів з використанням частотно-селективного приймача [3]. Цей метод характеризується низькою точністю та складністю реалізації внаслідок застосування аналогових методів оброблення сигналів.

У практиці експлуатаційних вимірювань більшого поширення набули методи, що базуються на двох етапах оцінювання ФД, які відрізняються фільтрами нижніх і верхніх частот [3]. Незважаючи на простоту реалізації, ці методи характеризуються низькою точністю та обмеженим числом контрольованих параметрів ФД.

Для ефективного дослідження причин виникнення ФД та характеру його зміни в частотній та часовій областях необхідно виконувати комплексний аналіз параметрів ФД у розрізі випадкової та детермінованої складових. Відомі методи аналізу параметрів ФД не дають можливості всебічно досліджувати випадкову та детерміновану складові ФД. Отже, існує необхідність у розробленні методу оцінювання ФД, який би забезпечував високу точність визначення параметрів ФД у широкій смузі робочих частот.

Метою роботи є підвищення точності оцінювання ФД групових сигналів у телекомунікаційних системах, що створює умови для покращення якості зв'язку в цифрових системах передавання інформації.

У загальному випадку аналіз параметрів ФД групового сигналу ЦСП можна реалізувати, виконавши:

- вимірювання значень помилок часових інтервалів (ПЧІ) сигналу з виділенням ФД та визначення параметрів складових ФД, а саме: ФД, залежного від коефіцієнта заповнення імпульсної послідовності та ФД, залежного від міжсимвольної інтерференції;

- заповнення пропущених значень ПЧІ вхідного сигналу з виділенням періодичного ФД та оцінювання його параметрів;

- комплексний аналіз випадкового ФД та детермінованого ФД з подальшим оцінюванням їх параметрів.

Найповнішими з точки зору кількості досліджуваних параметрів ФД є методи спектрального аналізу на базі дискретного перетворення Фур'є (ДПФ) [4]. Параметри ФД зручно оцінювати, використовуючи цифровий спектральний аналіз на основі алгоритмів швидкого перетворення Фур'є (ШПФ) з віконним зважуванням. Основною метою спектрального аналізу ФД групових сигналів у цифрових системах зв'язку є визначення на базі ДПФ спектра потужності (СП) цифрових еквівалентів ФД:

$$S(k) = \left| \sum_{n=0}^{N-1} x(n)W_N^{nk} \right|^2, \quad (1)$$

де N - число дискретних значень сигналу;

$W_N = e^{-j(2\pi/N)}$ - поворотальні множники ДПФ;

$x(n)$ - вибірка сигналу у часовій області.

У роботі пропонується метод спектрального аналізу компонентів ФД, який базується на заповненні пропущених значень послідовності шляхом заміни їх на значення, які характеризують періодичну складову ФД, що дозволяє розділити періодичні та випадкові компоненти ФД.

Цей метод можна реалізувати шляхом виконання таких етапів:

- невідомі значення в послідовності ПЧІ замінюються періодичною послідовністю нулів та одиниць та за допомогою ШПФ з віконним зважуванням виконується перехід з часової у частотну область;

- визначення пікових складових спектра послідовності ПЧІ, які відповідають значенням періодичного ФД з відкиданням складових спектра, які не відповідають піковим значенням періодичного ФД;

- виконання процедури зворотного ШПФ, в результаті чого отримуємо послідовність періодичних складових ФД у часовій області;

- виконання процедури коригування послідовності складових періодичного ФД та заміни невідомих значень досліджуваної послідовності на відповідні значення отриманої послідовності складових періодичного ФД;

- за допомогою фільтрації у частотній області виконується процедура виділення з досліджуваної послідовності періодичної складової ФД;

- значення послідовності, що характеризують періодичне ФД заміняють на невідомі значення і в подальшому аналізі під час розділення й оцінювання параметрів випадкової та періодичної складових ФД не враховуються.

Використання перекривних ШПФ з оптимальним віконним зваженням забезпечує підвищення точності запропонованого методу спектрального оцінювання параметрів ФД.

Спектр потужності окремого зваженого сегмента даних в результаті спектрального оцінювання параметрів ФД можна знайти за формулою

$$S_p(k) = |X_{pW}(k)|^2. \quad (2)$$

Для отримання статистично стійких оцінок СП пропонується процедура спектрального усереднення зважених перекривних сегментів даних. Оцінка СП досліджуваного сигналу ФД з урахуванням усереднення спектральних складових буде мати вигляд:

$$S(k) = \frac{1}{P} \sum_{p=1}^P S_p(k) = \frac{1}{P} \sum_{p=1}^P |X_{pW}(k)|^2. \quad (3)$$

Завдяки перекриванню сегментів даних вдається збільшити число аналізованих підпослідовностей для заданого обсягу вхідної реалізації у порівнянні з іншими способами згладжування. А це приводить до зменшення дисперсії підсумкового СП.

Процедура синтезу оптимального «вікна» полягає у розв'язанні задачі пошуку обмеженої в часі функції, ДПФ якої найкращим способом апроксимує обмежений по частоті СП сигналу, тобто має мінімальну енергію за межами заданого масиву даних.

У техніці спектрального аналізу часто використовується неперервні косинусні вагові функції, які описуються кінцевим тригонометричним рядом і мають вигляд [4]:

$$W_C(t) = \sum_{r=0}^R a_r \cos\left(\frac{2\pi r t}{T}\right). \quad (4)$$

Після перетворення Фур'є рівняння (4) набуде вигляду

$$W_C(\omega) = \frac{\sin(\omega T/2)}{\omega T/2} \sum_{m=0}^{\infty} \frac{1}{T/2\omega^{2m}} \sum_{r=0}^R (-1)^r r^{2m} a_r. \quad (5)$$

Аналіз виразу (5) показує, що чим більше членів ряду (другої суми у виразі) на межі вікна будуть дорівнювати 0, тим вища швидкість спадання бічних пелюсток. Це є визначальним критерієм під час синтезу вагової функції.

Дискретна косинусна функція у загальній формі буде мати вигляд

$$W_C(n) = \sum_{r=0}^R (-1)^r a_r \cos\left(\frac{2\pi r n}{M}\right), \quad (6)$$

де r - номер члена тригонометричного ряду.

Задача синтезу цієї вагової функції полягає в обчисленні коефіцієнтів a_r , які забезпечують максимальну асимптотичну швидкість спадання бічних пелюсток. Крім того, враховуючи подальше оброблення СП з метою знаходження конкретних параметрів ФД, необхідно виконувати нормування коефіцієнтів так, щоб їх сума дорівнювала одиниці.

Даний метод характеризується високою точністю за рахунок зниження дисперсії оцінювання СП ФД та ефективного подавлення бічних паразитних пелюсток спектра сигналу ФД.

Література

1. Бакланов И. Г. Технологии измерений в современных телекоммуникациях / И. Г. Бакланов. — М. : ЭКО-ТРЕНДЗ, 2007. — 354 с.
2. Колинько Т. А. Измерения в цифровых системах связи / Т. А. Колинько. — К. : ВЕК, 2002. — 320 с.
3. Айфичер Э. С. Цифровая обработка сигналов: пер. с англ. / Э. С. Айфичер, Б. У. Джервис — М. : ИД «Вильямс», 2008. — 992 с.
4. Марпл-мл. С. Л. Цифровой спектральный анализ и его приложения: пер. с англ. / С. Л. Марпл-мл. — М. : Мир, 1990. — 584 с.