

АВТОМАТИЗОВАНИЙ ПРИСТРІЙ ОЦІНЮВАННЯ ХАРАКТЕРИСТИК ІМПУЛЬСНО-КОДОВИХ МОДУЛЯТОРІВ ВИСОКОЧАСТОТНИХ СИГНАЛІВ

У роботі представлено метод визначення характеристик імпульсно-кодових модуляторів (ІКМ) високочастотних сигналів на базі взаємних спектральних перетворень. Доведено, що даний метод характеризується високою продуктивністю та адекватністю визначення характеристик ІКМ порівняно зі спектральним методом на базі швидкого перетворення Фур'є.

Ключові слова: імпульсно-кодовий модулятор, високочастотні сигнали, взаємні спектральні перетворення.

G.G. Bortnyk, M.L. Minov, N.O. Puchenko
Vinnitsa National Technical University, Ukraine

AUTOMATED DEVICE OF THE EVALUATION OF CHARACTERISTICS OF PULSE CODE MODULATORS HIGH-FREQUENCY SIGNALS

A new spectral method for evaluating dynamic characteristics of pulse-code modulator (PCM) high-frequency signals, which, unlike existing methodology based on digital processing of pseudo-random signals using mutual spectral changes in bases of discrete Walsh functions and Fourier series, which ultimately improves the performance and adequacy assessment characteristics PCM.

The analysis of the performance of the proposed spectral method, which confirmed that its coefficient of performance is $5 \div 75$ depending on the sample size compared with a spectral method based on discrete Fourier transformation.

An engineering construction methods of assessment of characteristics of PCM high-frequency signals, based on which the structure of an automated evaluation of the characteristics of PCM high-frequency signals that implements spectral method.

It is shown that the proposed method makes it possible in the event of hardware and software and hardware version of devices to provide high performance and adequacy of the results of the evaluation of characteristics of PCM.

Key words: pulse-code modulator, high-frequency signals, spectral interconversions.

Вступ

Підвищення ефективності функціонування радіотехнічних і телекомунікаційних засобів неможливе без використання в задачах перетворення високочастотних (ВЧ) сигналів імпульсно-кодових модуляторів (ІКМ). Ефективність оброблення ВЧ-сигналів безпосередньо залежить від властивостей використовуваних ІКМ. Це обумовлює особливу актуальність розробки засобів, які забезпечують повноту дослідження характеристик ІКМ ВЧ-сигналів.

Сучасний розвиток інформаційно-вимірювальних систем оцінювання характеристик ІКМ характеризується підвищенням вимог до продуктивності їх функціонування і все ширшим використанням цифрових методів і засобів для спектрального аналізу. При синтезі подібних систем важливе місце відводиться використанню дискретних ортогональних і неортогональних систем базисних функцій із швидкими обчислювальними процедурами, що в кінцевому результаті суттєво розширює типи ІКМ, аналіз характеристик яких стає можливим в реальному масштабі часу [1].

У наш час розроблено ряд складних аналогових систем керування спектром, які функціонують за принципом розділення вихідного широкосмугового процесу на ряд вузькосмугових компонентів із відповідним регулюванням дисперсії. Такі системи є достатньо ефективними, однак містять ряд складних аналогових блоків формування, аналізу та керування спектром тестових сигналів [2].

Питання побудови структур цифрових систем визначення характеристик ІКМ при детермінованому тестовому сигналі розглянуті в роботі, але такі системи характеризуються низькою продуктивністю [1].

Таким чином, створення методу оцінювання характеристик ІКМ з урахуванням адекватності процесів функціонування перетворювачів з реальними високочастотними сигналами та побудова автоматизованого пристрою, що характеризується підвищеною продуктивністю є актуальною науковою задачею.

Метою роботи є підвищення продуктивності та адекватності визначення характеристик імпульсно-кодових модуляторів високочастотних сигналів за рахунок зменшення обчислювальної складності.

Для досягнення заданої мети необхідно розв'язати такі задачі:

- здійснити визначення характеристик ІКМ на базі взаємних спектральних перетворень;
- розробити структуру автоматизованого пристрою оцінювання характеристик ІКМ;
- виконати аналіз продуктивності запропонованого пристрою.

Визначення характеристик ІКМ на базі взаємних спектральних перетворень

У роботі пропонується реалізація спектрального методу визначення характеристик ІКМ з використанням базиса Уолша, а також за допомогою взаємних спектральних перетворень (ВСП). При синтезі подібних алгоритмів доводиться керувати ІКМ, повний апріорний математичний опис якого відсутній. При цьому суттєвого прискорення процесу визначення характеристик можна досягнути за рахунок застосування вхідного сигналу із автокореляційною функцією типу дельта-функції. Цій умові задовольняє нормальний білий шум, який може бути сформований за допомогою швидкого перетворення

Уолша (ШПУ) відповідно до формули [3]

$$\mathbf{x}_x(l) = \frac{1}{\sqrt{N}} \sum_{j=0}^{N-1} I_j \text{Wal}(j, l), \quad (1)$$

де I_j – випадкові числа, які рівномірно розподілені в інтервалі $[-1, 1]$.

Розглянемо спосіб визначення $R_{xy}(t)$ на основі використання базису кусково-лінійних функцій Уолша. Оцінка взаємної кореляційної функції двох стаціонарно зв'язаних випадкових процесів може бути представлена в матричному вигляді як

$$R_{xy} = \frac{1}{N} X[Y], \quad (2)$$

де $X[Y]$ представляє матрицю, кожний m -ий стовпець якої ($m = 0, 1, \dots, N-1$) визначається похідною m -го оператора зсуву на вектор-стовпець процесу Y .

Тоді формулу (2) можна записати у вигляді

$$R_{xy} = \frac{1}{N} X \begin{bmatrix} \hat{T}_0 & Y \\ \hat{T}_1 & Y \\ \dots \\ \hat{T}_{N-1} & Y \end{bmatrix}, \quad (3)$$

де \hat{T}_0 – одинична матриця.

Застосувавши до виразу (3) тотожне перетворення, яке визначається похідною транспонованої матриці кусково-лінійних функцій Уолша на зворотну, отримаємо

$$R_{xy} = \frac{1}{N} X P^T P^{-1} \begin{bmatrix} \hat{T}_0 & Y \\ \hat{T}_1 & Y \\ \dots \\ \hat{T}_{N-1} & Y \end{bmatrix} = \frac{1}{N} X P^T \begin{bmatrix} \tilde{\Lambda}_0 & Y \\ \tilde{\Lambda}_1 & Y \\ \dots \\ \tilde{\Lambda}_{N-1} & Y \end{bmatrix}, \quad (4)$$

де $\tilde{\Lambda}_m = P^{-1} \hat{T}_m$ – матриця функцій Уолша, рядки якої зсунені на m розрядів вправо.

У режимі спектрального аналізу визначається спектральна густина потужності в базисі Уолша

$$W_y(j) = \frac{1}{N} \cdot R_W \cdot R_x(t) \quad (5)$$

та з використанням квадрату модуля ядра Фур'є здійснюється перерахунок у спектр Фур'є

$$S_y(w_j) = F \cdot W_y(j). \quad (6)$$

На рис. 1 приведена структура взаємодії основних алгоритмів для реалізації спектрального методу визначення характеристик ІКМ з використанням базису Уолша та ВСП.

Реалізація методу здійснюється з використанням наступних етапів. Спочатку визначається АЧХ ІКМ при подачі на його вхід тестового сигналу, отриманого за допомогою перетворення Уолша (5). На основі АЧХ і спектра потужності тестового сигналу визначається спектральна густина потужності вхідного сигналу, по якій за допомогою швидкого перетворення Фур'є (ШПФ) генерується стаціонарна випадкова дія $x(t)$, що подається на вхід ІКМ. Випадковий процес з виходу ІКМ розбивається на U ділянок і обчислюється автокореляційна функція $R_y(t)$ на кожній ділянці за допомогою швидкої згортки. Потім визначається спектр потужності Уолша $W_y(j)$. За допомогою прискорених процедур ВСО виконується перерахунок $W_y(j)$ у спектр потужності Фур'є. У режимі випробувань сформований тестовий сигнал подається на вхід ІКМ протягом часу, необхідного для досліджень.

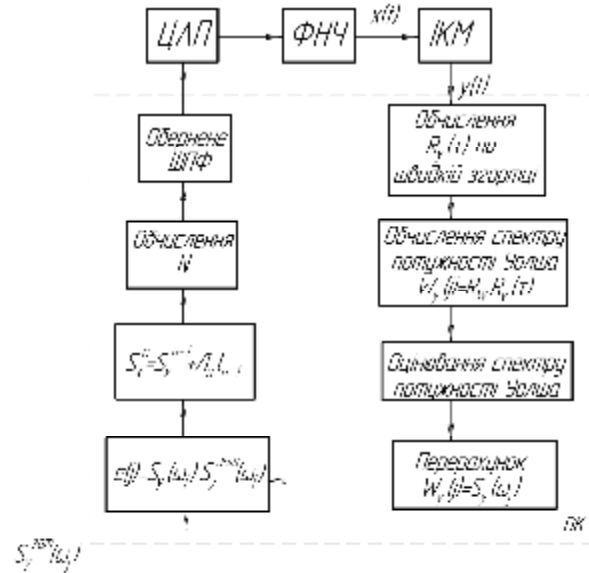


Рис. 1. Структура взаємодії алгоритмів спектрального методу визначення характеристик ІКМ на базі ВСП

Структура автоматизованого пристрою оцінювання характеристик ІКМ

На базі спектрального методу оцінювання характеристик ІКМ високочастотних сигналів розроблено структуру автоматизованого пристрою (рис. 2).

Тестовий ВЧ-сигнал надходить на вхід фільтра нижніх частот (ФНЧ) через ширококутовий атенуатор (ШСА), де виконується масштабування за амплітудою сигналів. Ширококутовий буферний підсилювач (ШСП) здійснює попередню обробку аналогового сигналу у смузі частот (1...50 МГц) з коефіцієнтом підсилення до 40 дБ. Для накопичення масивів цифрових даних, які надходять з виходу ІКМ та подальшого передавання їх у комп'ютер, а також для часового узгодження виходу ІКМ зі входом ОЗП ПК служить буферний запам'ятовуючий пристрій (БЗП). Імпульси тактування ІКМ та буферного регістра (БР) формуються за допомогою подільника частоти (ПЧ). Дані з виходу БЗП поступають через БР та адаптер зв'язку (АЗ) в ОЗП комп'ютера. АЗ здійснює узгодження протоколу обміну та гальванічну розв'язку між інтерфейсом USB і апаратною частиною пристрою. Для формування кодів адрес БЗП використовується лічильник адреси, що знаходиться у блоці керування (БК), який окрім того виконує синхронізацію роботи всіх блоків пристрою, керування частотою дискретизації досліджуваного ІКМ та формування сигналів запис-читання БЗП.

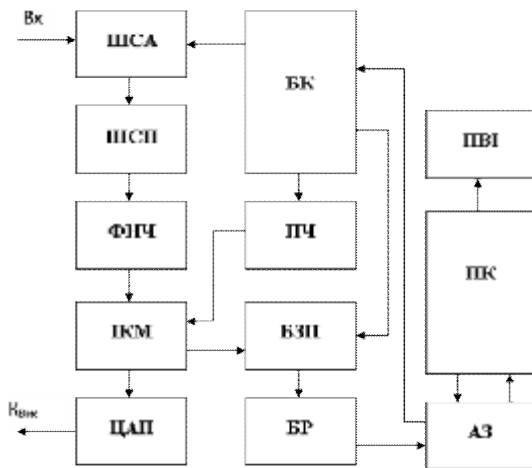


Рис.2. Структура автоматизованого пристрою оцінювання характеристик ІКМ

На базі запропонованої структури розроблено макетний зразок автоматизованого пристрою оцінювання характеристик ІКМ ВЧ-сигналів.

Аналіз продуктивності автоматизованого пристрою

Критерієм ефективності запропонованого методу є продуктивність оцінювання характеристик ІКМ. Продуктивність методу зручно оцінювати за числом операцій множення, але узагальненням цього критерію є коефіцієнт продуктивності, який демонструє вигравш у кількості необхідних операцій при застосуванні методу ВСП і ШПУ для оцінювання характеристик ІКМ відносно методу безпосередньому визначення характеристик ІКМ на базі алгоритмів ШПФ:

$$G_s = \frac{C_{FFT}}{C_{CVT}}, \tag{7}$$

де C_{FFT} – кількість „довгих” операцій множення при безпосередньому визначенні характеристик ІКМ на базі алгоритмів ШПФ;

C_{CVT} – кількість операцій множення при застосуванні алгоритмів ШПУ та ВСП для визначення характеристик ІКМ.

Визначення одного відліку характеристики ІКМ на базі алгоритмів ШПФ вимагає на виконання ШПФ $2N \cdot \log_2 N$ операцій множення та на ОШПФ також $2N \cdot \log_2 N$ операцій множення. Окрім того, визначення періодограми з віконним зважуванням та усередненням P реалізацій сигналу виконується з

використанням $3N - 1$ множень [4], а для генерування стаціонарного випадкового процесу необхідно $0,5N^2$ операцій множення. Для реалізації методу визначення характеристик ІКМ у базисі Уолша згідно блок-схеми (рис. 1) необхідно для одного відліку характеристики $2N \log_2 N$ операцій множення на виконання ОШПУ та ШПУ, а процедури ВСП $8N(\log_2 N - 2)$ операцій множення, а для генерування тестового випадкового сигналу необхідно $8N \log_2 N$ операцій множення. З урахуванням цього ефективність запропонованого методу дорівнює

$$G_s = \frac{4N(\log_2 N + 1) + P \cdot (0,5N^2 + N - 1)}{9N \log_2 N + 8\sqrt{P} \cdot N \cdot (\log_2 N - 2)}. \quad (8)$$

Графік залежності коефіцієнта продуктивності від об'єму вибірки для різних значень точності оцінювання спектральних компонентів характеристики ІКМ представлено на рис. 3 (крива 1 при $P = 128$; крива 2 при $P = 512$; крива 3 при $P = 2048$).

Як видно з графіків, ефективність запропонованого методу для обсягу вибірки 256 відліків, зростає у 5÷15 разів залежно від точності оцінювання спектральних компонентів, а для обсягу вибірки 2048 відліків коефіцієнт продуктивності дорівнює 20÷80. Таким чином, запропонований метод дає можливість скоротити час оцінювання характеристик та підвищити адекватність процесу дослідження ІКМ.

Висновки

Запропоновано спектральний метод оцінювання характеристик ІКМ, який на відміну від існуючих використовує методологію взаємних спектральних

Рис. 3. Графік залежності коефіцієнта продуктивності автоматизованого пристрою від об'єму вибірки

перетворень на базі дискретних перетворень Уолша-Фур'є, що створює умови для підвищення продуктивності дослідження характеристик модуляторів ВЧ-сигналів. Розроблено програмно-апаратну реалізацію спектрального методу на базі ВСП, що дозволяє здійснити оцінювання характеристик ІКМ в динаміці, знімаючи характеристику одночасно у всій смузі перетворення. Виконано аналіз продуктивності запропонованого методу на базі ВСП, який підтвердив, що його продуктивність перевищує у 5 ÷ 75 разів продуктивність спектрального методу на базі ШПФ.

Література

1. Бакланов И.Г. Методы измерений в системах связи/ И.Г.Бакланов.– М.: Эко-Трендз, 1999.– 195с.
2. Сергиенко А.Б. Цифровая обработка сигналов / А.Б. Сергиенко – СПб.: Питер, 2003. – 604 с.
3. Кичак В.М. Метод визначення динамічних характеристик імпульсно-кодових модуляторів на базі взаємних спектральних перетворень / В.М.Кичак, Н.О. Пунченко, О.Г. Бортник // Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах. – 2012. – № 2. – С. 64–68. – ISSN 2219-9365.

References

1. Baklanov I.G. Methods of measurings in the systems of communication/ I.G. Baklanov.– М.: Эко-Trendz, 1999.– 195p.
2. Sergienko A.B. Digital signals processing/ A.B. Sergienko – SPb.: Piter, 2003. – 604 p.
3. Kichak V.M. Method of determining the dynamic characteristics of pulse-code modulators based on mutual spectral transformations / V.M. Kichak, N.O. Pynchenko, O.G. Bortnik // МСТТР. – 2012. – № 2. – P. 64–68. – ISSN 2219-9365.

Рецензія/Peer review : 9.5.2014 р. Надрукована/Printed :25.6.2014 р.