

Г. Г. Бортник¹
М. В. Васильківський¹
Р. М. Вітер¹

ЦИФРОВИЙ ПРИСТРІЙ ЗАПАМ'ЯТОВУВАННЯ ТА ВІДТВОРЕННЯ РАДІОСИГНАЛІВ

¹Вінницький національний технічний університет

Запропоновано способи підвищення продуктивності цифрових пристроїв запам'ятовування та відтворення радіосигналів (РС) через зменшення обчислювальної складності процедур цифрового оброблення сигналів. Виконано вибір та обґрунтування спектрального методу запам'ятовування та відтворення РС. Доведено, що перевагами спектрального цифрового оброблення радіосигналів є можливість оперативного аналізу спектрів РС, необмежені можливості синтезу цифрових сигналів за допомогою процедур швидкого цифрового згортання, значне скорочення обсягу обчислень з цифровою фільтрацією.

Розроблено високопродуктивний спосіб перенесення вихідного сигналу аналого-цифрового перетворювача у спектральну область, який передбачає три етапи оброблення цифрових відліків РС. Запропоновано спосіб перенесення радіосигналу з частотної у часову область на базі методики швидкого перетворення Фур'є, що характеризується високою продуктивністю.

Розроблено структурну схему цифрового пристрою запам'ятовування та відтворення РС, що функціонує в умовно-реальному масштабі часу. Цей режим передбачає, що аналого-цифрове перетворення та визначення спектра РС здійснюється в реальному часі без втрати інформації, а подальше вторинне оброблення сигналів здійснюється зі швидкістю, яка визначається швидкодією елементної бази цифрового пристрою.

Виконано дослідження продуктивності розробленого цифрового пристрою запам'ятовування та відтворення РС. Отримано вираз для визначення коефіцієнта продуктивності. Результати аналізу довели, що запропоновані способи перенесення РС з часової області у частотну область і навпаки, на базі багатоетапного цифрового оброблення масиву вибірок досліджуваного радіосигналу дають можливість суттєво скоротити час для визначення спектральних і часових складових сигналу та забезпечити режим функціонування цифрового пристрою запам'ятовування та відтворення РС в умовно-реальному масштабі часу.

Ключові слова: пристрій запам'ятовування, спектральний аналіз, продуктивність, швидке перетворення Фур'є, радіосигнали.

Вступ

Пристрої запам'ятовування та відтворення радіосигналів (РС) є складовою частиною систем інформаційного забезпечення радіотехнічних комплексів різноманітного застосування [1]. Вони призначені для запам'ятовування частотно-часової структури прийнятих РС, видачі даних в системі аналізу цих сигналів та відтворення у заданих проміжках часу оброблених РС [2].

Завдяки значним досягненням мікроелектроніки та мікросхемотехніки створено принципово новий клас пристроїв первинного оброблення РС — цифрових пристроїв запам'ятовування та відтворення радіосигналів (ЦПЗВРС). Такі пристрої суттєво розширили функціональні можливості радіотехнічних комплексів і покращили показники ефективності їх функціонування [3].

Реальні показники ЦПЗВРС не досягають своїх потенційних теоретичних можливостей внаслідок низької продуктивності процесів цифрового оброблення сигналів (ЦОС). Процедури дискретного перетворення Фур'є (ДПФ) знаходять широке використання при ЦОС у спектральній області. Запропоновано низку способів швидкого обчислення ДПФ, що дозволяють скоротити обсяг обчислень порівняно з безпосереднім виконанням ДПФ [4]—[6]. Такі способи пов'язані з реалізацією алгоритмів швидкого перетворення Фур'є (ШПФ). Але, як показали дослідження, існує резерв підвищення продуктивності ЦОС в ЦПЗВРС [7].

З огляду на останні публікації [7]—[9], не зважаючи на багату передісторію методів ЦОС в засобах первинного оброблення радіосигналів, розробка певних аспектів цифрового оброблення РС продовжується нині і не може вважатись цілком завершеною.

Метою роботи є підвищення продуктивності цифрових пристроїв запам'ятовування та відтворення радіосигналів за рахунок зменшення обчислювальної складності процедур цифрового оброблення сигналів.

Задачами дослідження є:

- вибір та обґрунтування методу запам'ятовування та відтворення радіосигналів;
- розроблення високопродуктивного способу перенесення вихідного сигналу аналого-цифрового перетворювача у спектральну область;
- розроблення високопродуктивного способу перенесення радіосигналу з частотної у часову область;
- розроблення структури ЦПЗВРС;
- аналіз продуктивності запропонованого ЦПЗВРС.

Вибір та обґрунтування методу запам'ятовування та відтворення радіосигналів

У сучасних цифрових засобах первинного оброблення радіосигналів використовують три основних методи запам'ятовування та відтворення РС. Перший метод базується на запам'ятовуванні послідовності дискретизованих у часі і квантованих за рівнем миттєвих значень радіосигналів. Цифровий еквівалент радіосигналу запам'ятовується, а потім відтворюється за допомогою цифро-аналогового перетворювача (ЦАП) [3]. Цей метод характеризується вузькими функціональними можливостями та низькою продуктивністю оброблення РС.

Другий метод — амплітудно-фазовий, який передбачає цифрове представлення амплітуди (обвідної) та фази радіосигналу. Запам'ятовування відліків амплітуди та фази здійснюється в оперативному запам'ятовувальному пристрої (ОЗП). Відтворення аналогової копії сигналу відбувається шляхом амплітудної та фазової модуляції високочастотного носійного сигналу високостабільного гетеродина. Закони амплітудної та фазової модуляції формуються відповідно з цифровими кодами амплітуди та фази, що вчитуються з ОЗП [10]. Такий метод має низку недоліків, а саме: високі апаратні затрати, низька точність відтворення РС та низька продуктивність функціонування пристроїв відтворення РС.

Третій спектральний метод базується на представленні радіосигналу $x(t)$ у вигляді спектрального образу $S(\omega)$ з подальшим його цифровим обробленням. При цьому застосовуються різноманітні алгоритми ШПФ. На відміну від двох попередніх методів, спектральний метод передбачає записування в ОЗП цифрових відліків спектра радіосигналу $S(k)$, а відтворення аналогового радіосигналу здійснюється за допомогою оберненого ДПФ (ОДПФ) [11]. Таким чином, за спектральним методом ЦОС в ЦПЗВРС здійснюється головним чином у частотній області.

Перевагами спектрального цифрового оброблення радіосигналів є можливість оперативного аналізу спектрів РС, необмежені можливості синтезу цифрових сигналів за допомогою процедур швидкого цифрового згортання, значне скорочення обсягу обчислень при цифровій фільтрації. Тому в роботі застосовано спектральний метод оброблення РС для побудови ЦПЗВРС.

Узагальнена структура процесів перетворення та оброблення радіосигналів у ЦПЗВРС на базі спектрального методу показана на рис. 1.

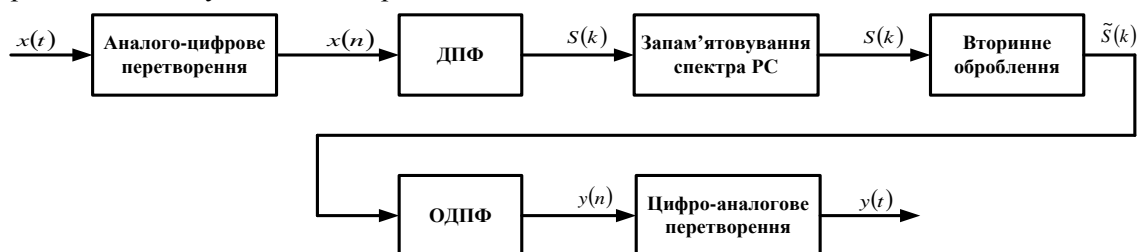


Рис. 1. Структура процесів перетворення та оброблення радіосигналів у цифрових пристроях запам'ятовування та відтворення радіосигналів

Вхідний радіосигнал $x(t)$ підлягає аналого-цифровому перетворенню у цифрову форму $x(n)$. Далі за допомогою методів ДПФ здійснюється перенесення сигналу $x(n)$ з часової у частотну область

$S(k)$. Сформовані відліки сигналу у частотній області $S(k)$ запам'ятовуються в ОЗП. На наступному етапі виконується вторинне оброблення сигналу у частотній області, наприклад цифрова фільтрація, цифрове згортання. Далі виконується перенесення сигналу зі спектральної у часову область $y(n)$ за допомогою методів ОДПФ і, наостанок, цифро-аналогове перетворення у неперервну форму $y(t)$.

Високопродуктивний спосіб перенесення вихідного сигналу АЦП у спектральну область

Процес перенесення цифрового сигналу з часової у частотну область займає найбільший проміжок часу під час оброблення радіосигналів у ЦПЗВРС. Тому підвищення продуктивності цього процесу є важливим етапом в процесі розроблення ЦПЗВРС. ДПФ і швидкі алгоритми його обчислення передбачають, що вхідна послідовність є комплексною. Але на виході аналого-цифрового перетворювача (АЦП) формується дійсний цифровий сигнал. Використання до дійсного сигналу методики комплексного ШПФ призводить, з одного боку, до надлишкових обчислювальних затрат, а з іншого — до надлишкового обсягу ОЗП.

Наразі розроблено низку алгоритмів ШПФ для дійсних послідовностей [5], [6], [8], але вони характеризуються нерегулярністю структури та низькими значеннями коефіцієнта продуктивності. Тому необхідно розробити спосіб швидкого перенесення сигналу у спектральну область, який спеціально пристосований для випадку дійсного РС з виходу АЦП.

Представимо послідовність $x(n)$ у вигляді двох підпослідовностей: $x_1(n)$ та $x_2(n)$. Кожна з цих підпослідовностей має довжину $0,5N$. Формуються ці підпослідовності з парних і непарних відліків вихідного сигналу АЦП

$$\begin{aligned} x_1(n) &= x(2n); \\ x_2(n) &= x(2n+1), \end{aligned} \quad (1)$$

де $n = 0, 1, \dots, 0,5N - 1$.

Тоді ДПФ вихідного сигналу АЦП $x(n)$ обсягом N відліків, можна записати у такому вигляді:

$$S(k) = \sum_{n=0}^{0,5N-1} x(2n) \cdot e^{-j\frac{2\pi}{N} \cdot 2nk} + \sum_{n=0}^{0,5N-1} x(2n+1) \cdot e^{-j\frac{2\pi}{N} (2n+1)k}. \quad (2)$$

З урахуванням (1) для парних та непарних відліків вираз (2) набуде такого вигляду:

$$S(k) = \sum_{n=0}^{0,5N-1} x_1(n) \cdot e^{-j\frac{2\pi}{0,5N} nk} + \left[\sum_{n=0}^{0,5N-1} x_2(n) \cdot e^{-j\frac{2\pi}{0,5N} nk} \right] e^{-j\frac{2\pi}{N} k}. \quad (3)$$

Тоді
$$S(k) = S_1(k) + S_2(k) \cdot e^{-j\frac{2\pi}{N} k}, \quad (4)$$

де $S_1(k)$, $S_2(k)$ — коефіцієнти $0,5N$ -точкових ДПФ підпослідовностей $x_1(n)$ та $x_2(n)$.

Отриманий вираз демонструє, як пов'язані між собою N -точкове ДПФ вихідного сигналу АЦП з двома $0,5N$ -точковими ДПФ парних і непарних відліків того ж сигналу АЦП.

Як відомо, вихідний сигнал АЦП є дійсним. Тому підпослідовності $x_1(n)$ та $x_2(n)$ теж є дійсними. Виконаємо формування нової комплексної послідовності обсягом $0,5N$ відліків на базі двох дійсних підпослідовностей:

$$y(n) = x_1(n) + j \cdot x_2(n), \quad (5)$$

де $n = 0, 1, 2, \dots, 0,5N - 1$.

ДПФ послідовності $y(n)$ дорівнює

$$y(k) = \sum_{n=0}^{0,5N-1} [x_1(n) + j \cdot x_2(n)] \cdot e^{-j\frac{2\pi}{0,5N} nk}, \quad (6)$$

де $k = 0, 1, 2, \dots, 0,5N - 1$.

Враховуючи властивості симетрії спектрів дійсних послідовностей, за допомогою використання одного ШПФ можна отримати [5]

$$S_1(k) = \frac{y(k) + y^*(N-k)}{2}; \quad S_2(k) = \frac{y(k) + y^*(N-k)}{2 \cdot j}, \quad (7)$$

де $y^*(N-k)$ — комплексно-спряжене значення ДПФ послідовності $y(n)$ у точці $(N-k)$.

З урахуванням (4) отримуємо вираз для знаходження N -точкового ДПФ дійсного вихідного сигналу АЦП $x(n)$ за допомогою ЩПФ обсягом $0,5N$:

$$S(k) = \frac{y(k) + y^*(N-k)}{2} + \frac{y(k) - y^*(N-k)}{2 \cdot j} \cdot e^{-j\frac{2\pi}{N}k}, \quad (8)$$

де $k = 0, 1, 2, \dots, 0,5N - 1$.

Значення $S(k)$ для $k = 0, 5N, \dots, N - 1$ знаходять, використовуючи властивості симетрії спектрів дійсних сигналів.

Таким чином, визначення спектра дійсного сигналу АЦП передбачає три етапи оброблення цифрових відліків сигналу. На першому етапі здійснюється попереднє оброблення сигналу, а саме формування $0,5N$ -точкової комплексної послідовності з парних і непарних відліків сигналу АЦП. На другому етапі власне виконується ШПФ комплексної послідовності обсягом $0,5N$. На третьому етапі кінцевого оброблення згідно з виразом (8) необхідно виконати одне комплексне множення і три комплексні підсумовування для знаходження одного відліку у частотній області.

Спосіб швидкого перенесення сигналу зі спектральної області у часову область

Для відтворення сигналу у часовій області за відомими його складовими у частотній області використовується обернене ДПФ (ОДПФ). Для підвищення продуктивності цього процесу пропонується ОДПФ виконувати на базі методики прямого ШПФ (як у разі знаходження спектрів сигналів). Як відомо, ОДПФ знаходиться за виразом [4]

$$x(n) = \frac{1}{N} \sum_{k=0}^{N-1} S(k) \cdot e^{j\frac{2\pi}{N}n \cdot k}. \quad (9)$$

Комплексно-спряжену послідовність $x(n)^*$ сигналу у часовій області з урахуванням множника N можна знайти згідно з виразом для ДПФ до послідовності $S^*(k)$

$$N \cdot x^*(n) = \sum_{k=0}^{N-1} S^*(k) \cdot e^{-j\frac{2\pi}{N}n \cdot k}. \quad (10)$$

Звідси можна знайти ОДПФ від спектральних складових сигналу шляхом здійснення операції комплексного спряження та коригування виразу на N

$$x(n) = \frac{1}{N} \left[\sum_{k=0}^{N-1} S^*(k) \cdot e^{-j\frac{2\pi}{N}n \cdot k} \right]^*. \quad (11)$$

Таким чином відтворення сигналу у часовій області з використанням ОДПФ та методики прямого ШПФ здійснюється за три етапи. На першому етапі здійснюється формування з послідовності $S(k)$ комплексно-спряженої $S^*(k)$. На другому етапі визначається $x^*(n)$ за допомогою ШПФ з урахуванням множника $1/N$. На останньому етапі формується вихідна послідовність сигналу $x(n)$ у часовій області з комплексно-спряженої послідовності $x^*(n)$.

Структура цифрових пристроїв запам'ятовування та відтворення радіосигналів

Оптимальним режимом функціонування ЦПЗВРС є умовно-реальний. Тобто, аналого-цифрове перетворення та визначення спектра РС здійснюється в реальному часі без втрати інформації.

А подальше вторинне оброблення здійснюється зі швидкістю, яка визначається елементною базою пристрою. Структурна схема ЦПЗВРС показана на рис. 2.

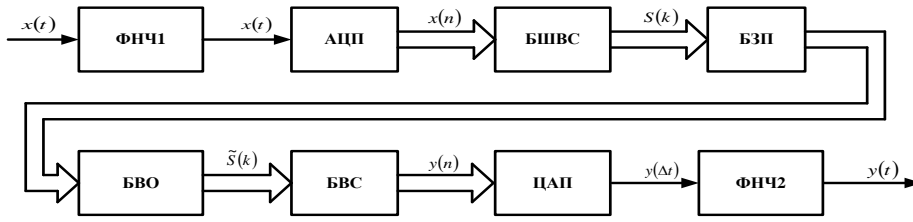


Рис. 2. Структурна схема цифрових пристроїв запам'ятовування та відтворення радіосигналів

Радіосигнал $x(t)$ через фільтр нижніх частот (ФНЧ1), який усуває ефект накладання спектрів, подається на вхід АЦП. З виходу АЦП цифровий еквівалент радіосигналу $x(n)$ надходить до блока швидкого визначення спектра (БШВС), у якому формуються спектральні відліки РС $S(k)$. Ці відліки накопичуються у буферному запам'ятовувальному пристрої (БЗП).

Подальше оброблення сигналу у частотній області здійснюється в блоці вторинного оброблення (БВО). З виходу БВО спектральні відліки $\tilde{S}(k)$ подаються на вхід блока відтворення сигналу (БВС), де виконується його трансформація у часову область. За допомогою ЦАП здійснюється перетворення цифрового сигналу $y(n)$ в амплітудно-імпульсно-модульований (АІМ) сигнал $y(\Delta t)$. На виході ФНЧ2, що виконує функції АІМ-демодулятора, формується неперервний сигнал $y(t)$.

Аналіз продуктивності цифрових пристроїв запам'ятовування та відтворення радіосигналів

Критерієм ефективності запропонованого ЦПЗВРС є продуктивність, яку зручно оцінювати за числом операцій множення. Узагальненням цього критерію є коефіцієнт продуктивності, який демонструє вигравш у кількості необхідних «довгих» операцій множення із застосуванням запропонованих способів оброблення РС відносно способів оброблення на базі традиційних ШПФ і ОДПФ [12]

$$G_S = \frac{C_{FFT}}{C_{DSA}}, \tag{12}$$

де C_{FFT} — кількість «довгих» операцій множення в безпосередньому аналізі спектра РС на базі ШПФ; C_{DSA} — кількість операцій множення із застосуванням запропонованих способів.

Спектральний аналіз РС на базі безпосереднього виконання ШПФ вимагає $0,5N \cdot \log_2 N$ операцій множення, а для відтворення сигналу у часовій області на базі класичного швидкого алгоритму

ОДПФ необхідно $2N \cdot \log_2 N$ множень [2].

Для реалізації цих процедур оброблення РС за запропонованими способами необхідно виконати, відповідно, $0,25N \log_2(0,5N) + N$ операцій множення для спектрального аналізу та $N \cdot \log_2 N$ операцій множення для часового відтворення РС. Тоді коефіцієнт продуктивності ЦПЗВРС дорівнюватиме

$$G_S = \frac{2,5 N \log_2 N}{0,25 N \log_2(0,5N) + N + N \log_2 N}. \tag{13}$$

Графіки залежності коефіцієнта продуктивності від обсягу аналізованої вибірки РС показано на рис. 3.

Верхня крива демонструє залежність коефіцієнта продуктивності від обсягу вибірки для

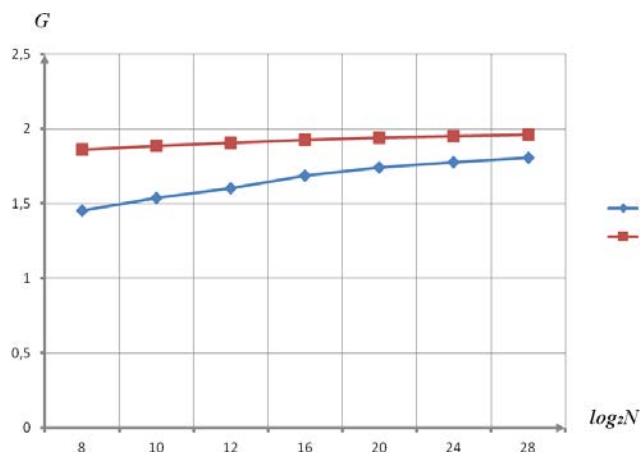


Рис. 3. Залежність коефіцієнта продуктивності ЦПЗВРС від об'єму вибірки РС

запропонованого способу перенесення вихідного сигналу аналого-цифрового перетворювача у спектральну область, а нижня — для наскрізного перетворення часова область—частотна область—часова область. Як видно з графіків, продуктивність ЦПЗВРС, що функціонує на базі запропонованих спосо-

бів, підвищується зі збільшенням обсягу вибірки і дорівнює 1,45...1,95.

Таким чином, запропоновані способи перенесення РС з часової області у частотну область і навпаки, на базі багатоетапного цифрового оброблення масиву вибірок досліджуваного радіосигналу дають можливість суттєво скоротити час для визначення спектральних і часових складових сигналу та забезпечити режим функціонування ЦПЗВРС в умовно-реальному масштабі часу.

Висновки

Запропоновані високопродуктивні способи цифрового спектрального аналізу радіосигналів та оберненого перенесення радіосигналів у часову область, які базуються на процедурах багатоетапного цифрового оброблення масиву вибірок досліджуваного РС.

Аналіз ефективності запропонованих способів підтвердив, що їх використання підвищує продуктивність цифрових пристроїв запам'ятовування та відтворення радіосигналів у 1,45...1,95 рази залежно від обсягу аналізованої вибірки сигналу. Максимальний вигравш у продуктивності досягається для обсягу аналізованої вибірки радіосигналу $N = 2^{28}$.

Розроблено структуру цифрового пристрою запам'ятовування та відтворення радіосигналів, що функціонує в умовно-реальному масштабі часу. Запропонований пристрій можна використовувати у системах інформаційного забезпечення цифрових радіотехнічних комплексів.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

- [1] А. И. Куприянова, и А. В. Сахаров, *Радиоэлектронные системы в информационном конфликте*. Москва, Россия: Вузовская книга, 2003, 528 с.
- [2] С. Л. Марпл-мл, *Цифровой спектральный анализ и его приложения*, пер. с англ. Москва: Мир, 1990. 584 с. ISBN 5-03-001191-9.
- [3] А. И. Куприянов, *Радиоэлектронная борьба. Цифровое запоминание и воспроизведение радиосигналов и электромагнитных войн*. Москва, Россия: Вузовская книга, 2009. 360 с.
- [4] Л. Рабинер, и Б. Гоулд, *Теория и применение цифровой обработки сигналов*. пер. с англ. Москва: Мир, 1978, 848 с.
- [5] Э. Айфичер, и Б. Джервис, *Цифровая обработка сигналов*. Москва, Россия: Вильямс, 2004, 992 с.
- [6] Г. Г. Бортник, М. В. Васильківський, та В. М. Кичак, *Методи та засоби первинного цифрового оброблення радіосигналів*. Вінниця, Україна: ВНТУ, 2016, 168 с.
- [7] Г. Г. Бортник, М. В. Васильківський, та В. М. Кичак, *Методи та засоби підвищення ефективності оцінювання фазового дрижання сигналів у телекомунікаційних системах*. Вінниця, Україна: ВНТУ, 2015, 140 с.
- [8] Г. Г. Бортник, М. В. Васильківський, та О. В. Стальченко, «Цифровий метод спектрального оцінювання випадкових сигналів», *Вісник Вінницького політехнічного інституту*, № 2, с. 108-114, 2014.
- [9] Г. Г. Бортник, О. Г. Бортник, та О. В. Стальченко, «Методи цифрового спектрального аналізу вузькосмугових сигналів», *Вісник Вінницького політехнічного інституту*, № 4, с. 97-101, 2016.
- [10] Ю. І. Волошук, *Сигнали та процеси у радіотехніці*, підруч. для студ. вищих навч. закладів, т. 2. Харків, Україна: Компанія СМІТ, 2003, 444 с.
- [11] Г. Г. Бортник, та В. М. Кичак, *Методи та засоби обробки високочастотних сигналів*. Вінниця, Україна: УНІВЕРСУМ-Вінниця, 1998, 132 с.
- [12] Г. Г. Бортник, М. Л. Мінов, та О. В. Стальченко, «Аналіз ефективності аналого-цифрового перетворення сигналів у радіотехнічних комплексах», *Інформаційні технології та комп'ютерна інженерія*, № 2, с. 12-15, 2011.

Рекомендована кафедрою телекомунікаційних систем та телебачення ВНТУ

Стаття надійшла до редакції 23.05.2019

Бортник Геннадій Григорович — канд. техн. наук, професор, завідувач кафедри телекомунікаційних систем та телебачення, e-mail: bgen88@gmail.com ;

Васильківський Микола Володимирович — канд. техн. наук, доцент кафедри телекомунікаційних систем та телебачення, e-mail: mvasylkivskiy@gmail.com ;

Вітер Ринат Миколайович — аспірант кафедри телекомунікаційних систем та телебачення, e-mail: donuyay7@gmail.com .

Вінницький національний технічний університет, Вінниця

H. H. Bortnyk¹
M. V. Vasylkivskiy¹
R. M. Viter¹

Digital Device for Storing and Recreating Radio Signals

¹Vinnitsia National Technical University

The paper proposes ways to increase the productivity of digital memory devices and radio signals (RSs) by reducing the computational complexity of digital signal processing procedures. The choice and justification of the spectral method of

memorizing and reproducing the RS has been fulfilled. It is proved that the advantages of spectral digital processing of radio signals are the possibility of operative analysis of spectra of RS, unlimited possibilities of synthesis of digital signals by means of fast digital collapse, a significant reduction in the volume of computations in digital filtration.

A highly productive way of transferring the output signal of an analog-digital converter to a spectral region, which involves three stages of processing of digital reference RSs, is developed. The method of transfer of radio frequency signal from frequency to time domain is proposed on the basis of the high speed Fourier transform method.

The structural scheme of a digital memory and reproduction device RS, which functions in the conditionally real time scale, is developed. This mode assumes that analog-to-digital conversion and determination of the spectrum of the RS is carried out in real time without loss of information, and further secondary processing of signals is carried out at a rate determined by the speed of the elemental base of the digital device.

The research of the performance of the developed digital memory and reproduction device RS was performed. An expression is obtained for determining the productivity factor. The results of the analysis proved that the proposed methods of transferring the RS from the time domain to the frequency region and vice versa, based on the multistage digital processing of the array of samples of the investigated radio signal, enable to significantly shorten the time to determine the spectral and temporal components of the signal and to provide a mode of functioning of the digital memory and reproduction device RS in the conditionally real time scale.

Keywords: memory device, spectral analysis, productivity, fast Fourier transform, radio signals.

Bortnyk Hennadii H. — Cand. Sc. (Eng.), Professor, Head of the Chair of Telecommunication Systems and Television, e-mail: bgen88@gmail.com ;

Vasylykivskiy Mykola V. — Cand. Sc. (Eng.), Associate Professor of the Chair of Telecommunication Systems and Television, e-mail: mvasylkivskiy@gmail.com ;

Viter Rynat M. — Post-Graduate Student of the Chair of Telecommunication Systems and Television, e-mail: donyray7@gmail.com

Г. Г. Бортник¹
Н. В. Васильковский¹
Р. Н. Витер¹

Цифровое устройство запоминания и воспроизведения радиосигналов

¹Вінницький національний технічний університет

Предложены способы повышения производительности цифровых устройств запоминания и воспроизведения радиосигналов (РС) за счет уменьшения вычислительной сложности процедур цифровой обработки сигналов. Выполнен выбор и обоснование спектрального метода запоминания и воспроизведения РС. Доказано, что преимуществами спектрального цифровой обработки радиосигналов является возможность оперативного анализа спектров РС, неограниченные возможности синтеза цифровых сигналов с помощью процедур быстрого цифрового свертывания, значительное сокращение объема вычислений при цифровой фильтрации.

Разработан высокопроизводительный способ переноса выходного сигнала аналого-цифрового преобразователя в спектральную область, предусматривающий три этапа обработки цифровых отсчетов РС. Предложен способ переноса радиосигнала с частотной во временную область на базе методики быстрого преобразования Фурье, характеризуется высокой производительностью.

Разработана структурная схема цифрового запоминающего устройства и воспроизведения РС, функционирующего в условно-реальном масштабе времени. Этот режим предполагает, что аналого-цифровое преобразование и определение спектра РС осуществляется в реальном времени без потери информации, а дальнейшая вторичная обработка сигналов осуществляется со скоростью, определяемой быстродействием элементной базы цифрового устройства.

Выполнены исследования производительности разработанного цифрового запоминающего устройства и воспроизведения РС. Получено выражение для определения коэффициента производительности. Результаты анализа показали, что предложенные способы переноса РС из временной области в частотную область и наоборот, на базе многоэтапного цифровой обработки массива выборок исследуемого радиосигнала дают возможность существенно сократить время для определения спектральных и временных составляющих сигнала и обеспечить режим функционирования цифрового запоминающего устройства и воспроизведения РС в условно-реальном масштабе времени.

Ключевые слова: устройство запоминания, спектральный анализ, производительность, быстрое преобразование Фурье, радиосигналы.

Бортник Геннадий Григорьевич — канд. техн. наук, профессор, заведующий кафедрой телекоммуникационных систем и телевидения, e-mail: bgen88@gmail.com ;

Васильковский Николай Владимирович — канд. техн. наук, доцент кафедры телекоммуникационных систем и телевидения, e-mail: mvasylkivskiy@gmail.com ;

Витер Ринат Николаевич — аспирант кафедры телекоммуникационных систем и телевидения, e-mail: donyray7@gmail.com