

ЦИФРОВА ОБРОБКА РАДІОСИГНАЛІВ У ПРИСТРОЯХ ПРИЙМАННЯ СИГНАЛІВ

Вінницький національний технічний університет

Анотація. У роботі представлено підхід, що передбачає виконання цифрової обробки радіосигналів (РС) у вхідних блоках пристроїв приймання сигналів (ППС). Наведено порівняльну характеристику ППС, що реалізовані на аналоговій, аналого-цифровій та цифровій елементній базі. Представлено структуру цифрового приймача сигналів, що реалізує алгоритм дискретного перетворення Фур'є. Зазначено, що для підвищення продуктивності оброблення РС необхідно використовувати алгоритми швидкого перетворення Фур'є.

Ключові слова: цифрова обробка радіосигналів, пристрій приймання сигналів, аналого-цифровий перетворювач, дискретне перетворення Фур'є.

Засоби первинного оброблення радіосигналів (РС) широко використовуються для розв'язання задач у різноманітних пристроях приймання сигналів (ППС) [1]. Переваги цифрових засобів оброблення РС обумовлені рядом чинників. Так, аналогові засоби оброблення РС, як правило, програють цифровим за такими параметрами, як точність, динамічний діапазон, об'єм оброблюваних даних (табл. 1).

Таблиця 1 – Характеристики засобів первинної обробки РС із застосуванням перспективної елементної бази

| Елементна база | Узагальнені характеристики пристроїв (спектральний аналіз, кореляція, запам'ятовування-відтворення) | | | | Основні недоліки |
|----------------------------|--|-------------------------|-------------------------------|---------------------------------------|--|
| | Верхня границя робочих частот, МГц | Динамічний діапазон, дБ | Частотна смуга приймання, МГц | Тривалість оброблюваних сигналів, мкс | |
| Аналогові ІМС | 5000 | 35...45 | 500...2000 | 10^3 | Обмежений динамічний діапазон і тривалості сигналів |
| Аналогоцифрові ІМС | 2000 | 40...50 | 100...500 | 10^4 | Обмежений частотний і динамічний діапазон та тривалості сигналів |
| Цифрові спеціалізовані ВІС | 1000 | 80...100 | до 100 | необмежена | Обмежений частотний діапазон і ширина смуги аналізу |

В основі використання цифрової елементної бази для обробки в ППС лежить можливість виконання будь-яких складних, функціональних операцій над дискретизованими за рівнем і в часу цифровими еквівалентами РС. При цьому, принципові обмеження по характеристикам цифрових пристроїв обробки пов'язані в основному зі швидкістю виконання основних операцій, розрядністю представлення даних і об'ємом пам'яті, яка потрібна для зберігання оброблюваних в цифровому вигляді даних. До недавнього часу цифрова техніка використовувалась в основному при побудові вимірювачів параметрів РС в ППС. В останній час, у зв'язку з бурхливим розвитком цифрової

елементної бази, яка постійно нарощує свої можливості по швидкодії, з'явилися реальні можливості для її застосування при створенні основних модулів ППС у практично повному обсязі.

Для реалізації цифрового приймання РС у заданій смузі частот в апаратурі обов'язковою є наявність двох основних пристроїв: аналого-цифрового перетворювача (АЦП) і процесора, який виконує дискретне перетворення Фур'є (ДПФ) (див. рис. 1).

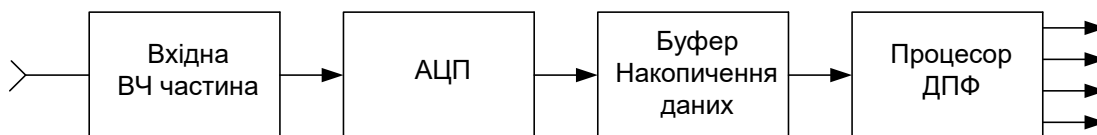


Рис 1. Структура цифрового приймача-спектроаналізатора

АЦП здійснює квантування за рівнем і дискретизацію у часу сигналу $u(t)$, що надходить із вхідної ВЧ-частини приймача або після гетеродинування на проміжній частоті. Якщо сигнал $u(t)$ змінюється в діапазоні значень $[u_{min}, u_{max}]$, то кожне числове значення, що характеризує значення аналогового сигналу в момент t_1 , на виході представляється n -розрядним двійковим кодом з похибкою квантування, відносно значення якої не перевищує 2^{-n} . Процес аналого-цифрового перетворення відбувається так, що окремі елементи даних, які характеризують значення перетворюваного сигналу в моменти часу t_i , формуються з деяким інтервалом Δt , який називають інтервалом дискретизації. Зазвичай, Δt визначається виходячи з максимальної частоти РС: $\Delta t \leq 1/2f_{max}$. Однак, якщо $f_{max} = 2f_{min}$; $\Delta f_p = f_{max} - f_{min}$, то достатньо вибрати $\Delta t = 1/\Delta f_p$ [2]. Сучасні АЦП дозволяють отримати розрядність представлення даних до 16 біт при частотах дискретизації вхідного сигналу до 10^3 МГц. Важливо відмітити, що розрядність представлення даних в АЦП визначає і динамічний діапазон оброблюваних сигналів, оскільки граничні відношення $u_{max}/u_{min} = 2^n$.

Наступним етапом обробки в цифровому ППС є реалізація ДПФ, при якому перетворенню піддаються елементи кінцевої структури даних – вектори, отримані при рівномірній дискретизації з інтервалом Δt вхідного сигналу тривалістю T_c . Довжина оброблюваного вектора $u = (u(0), \dots, u(N-1))^T$, $u(i) = u(t = i\Delta t)$, $i = \overline{0, N-1}$ визначається співвідношенням $N = T_c/\Delta t$. Для формування вектора перед виконанням спектрального аналізу в структурі цифрового приймача, зазвичай потрібно передбачити використання буферної пам'яті накопичення даних. При виконанні ДПФ на виході процесора формується N спектральних складових. При цьому відстань між спектральними лініями ДПФ, тобто, фактичне розрізнення, дорівнює $1/T_c$. Пряма реалізація ДПФ в ППС не знаходить застосування, тому що потребує N^2 операцій додавання і множення. Тому на практиці застосовується алгоритми швидкого перетворення Фур'є (ШПФ), в якому об'єм обчислень дорівнює $N \log_2 N$ операцій додавання і множення. На сьогоднішній день використання ШПФ дозволить забезпечити проведення спектрального аналізу РС у смузі частот до 100 МГц. Слід також зазначити, що для забезпечення неперервності обробки РС в ППС повинен бути реалізований аналіз перекривних у часу вхідних реалізацій.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Бортник Г.Г. Методи та засоби первинного цифрового оброблення радіосигналів / Г.Г. Бортник, М.В. Васильківський, В.М. Кичак. – Вінниця: ВНТУ, 2016. – 168 с.
2. Бортник Г.Г. Методи та засоби цифрового оброблення високочастотних сигналів для систем безпеки та моніторингу: монографія / Г. Г. Бортник, М. В. Васильківський, В. М. Кичак. – Вінниця: ВНТУ, 2020. – 126 с.

Бортник Геннадій Григорович – канд. техн. наук, професор кафедри телекомунікаційних систем та телебачення, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, e-mail: bgen88@gmail.com

Негур Андрій Анатолійович – аспірант кафедри телекомунікаційних систем та телебачення, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, e-mail: endrill3@gmail.com

DIGITAL PROCESSING OF RADIO SIGNALS IN SIGNAL RECEIVING DEVICES

Abstract. *The paper presents an approach that involves the implementation of digital processing of radiosignals (RC) in the input blocks of signal receiving devices (SRD). The comparative characteristics of SRD implemented on analog, analog-digital and digital element base are given. The structure of a digital signal receiver that implements a discrete Fourier transform algorithm is presented. It is noted that fast Fourier transform algorithms should be used to increase the productivity of RC processing.*

Keywords: digital radiosignal processing, signal receiving device, analog-to-digital converter, discrete Fourier transform.

Bortnyk Gennadiy Grygorovych – Ph.D., Professor of the Department of Telecommunication Systems and Television, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: bgen88@gmail.com

Negur Andriy Anatoliyovych – postgraduate of the Department of Telecommunication Systems and Television, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: endrill3@gmail.com