

І. Д. Прокопов, к. т. н., доц.; О. І. Прокопов

ОБЧИСЛЕННЯ СПЕКТРАЛЬНИХ ОЦІНОК ШВИДКОДІЮЧИХ ФІЗИЧНИХ ПРОЦЕСІВ СТРУКТУРАМИ ПАРАЛЕЛЬНИХ АЦП ЗА ПЛІС-ТЕХНОЛОГІЄЮ

У статті запропоновано апаратно-програмний метод обчислення спектральних оцінок швидкодіючих фізичних процесів, який дозволяє за рахунок лінійки паралельних АЦП із послідовною затримкою строб-імпульсу запуску підвищити роздільну здатність спектральних характеристик. Час обробки результатів обчислення зменшується в L разів, де L – кількість однакових послідовно працюючих паралельних АЦП, яка приймає значення від 2 до 16.

Ключові слова: роздільна здатність, швидкий алгоритм, інтервал спостережень, лінійка паралельних АЦП, ПЛІС-технологія.

Вступ

При дослідженні спектральних характеристик дії лазерного випромінення на матеріали відбуваються швидкодіючі процеси. Такі процеси можна якісно досліджувати методами цифрової обробки сигналів, які дають можливість підвищити точність розрахунку спектральних характеристик швидкодіючих процесів у сучасних високих технологіях. Цифрова обробка сигналів швидкодіючих процесів потребує визначення спектральних характеристик алгоритмом швидкого перетворення Фур'є (ШПФ) [1, 2]. Частота дискретизації сигналів швидкодіючих фізичних процесів обмежена швидкодією існуючих аналого-цифрових перетворювачів (АЦП). Існує метод паралельного процесу аналого-цифрового перетворення лінійкою паралельних АЦП із послідовною затримкою строб-імпульсу запуску для підвищення частоти дискретизації [3]. Збільшення частоти дискретизації вхідного сигналу лінійкою паралельних АЦП збільшує роздільну здатність спектральних оцінок [3, 4]. Структура лінійок паралельних АЦП дає можливість збільшити частоту дискретизації пропорційно кількості паралельних АЦП₁ – АЦП_L, де L – кількість однакових послідовно працюючих паралельних АЦП. Керування такою лінійкою проводиться строб-імпульсами запуску із затримкою на $1/F_d * L$ у блоках затримки БЗ1 – БЗL, де F_d – частота дискретизації. Інформація про фазовий зсув надходить до АЦП₁ – АЦП_L із відповідних блоків фазової затримки БЗ1 – БЗL. У [5] наведені модулі АЦП – 9КМ та АЦП – 18К із частотою дискретизації 105/125 МГц та цифровим способом керування запуском кожного наступного АЦП через блоки затримки БЗ1...БЗL із кроком 10 пс. Ці модулі конфігуруються за типом програмованої логічної матриці (ПЛІС). Велика кількість обчислювальних операцій при розрахунку спектральних характеристик та їх усереднення потребує пошуку оптимального алгоритму послідовності обчислень для зменшення часу.

Метою статті є пошук алгоритму послідовності організації розрахунків, усереднення спектральних оцінок швидкодіючих фізичних процесів із структур лінійок паралельних АЦП за ПЛІС-технологією, які дають можливість збільшити частоту дискретизації пропорційно кількості паралельних АЦП₁ – АЦП_L.

Алгоритм послідовності організації обчислень спектральних оцінок швидкодіючих фізичних процесів

Розглянемо усереднення спектральних оцінок дискретного перетворення Фур'є (ДПФ) [3, 4]:

$$F(f) = \frac{1}{L} \sum_{i=1}^L x_i(f), \quad (1)$$

де $x_i(f)$ – ДПФ вхідних значень сигналів $r(i)$; L – кількість інтервалів спостереження сигналу паралельними АЦП, які визначають проміжок $T = L \cdot P \cdot \Delta t$.

Обмеженням застосування цього метода [3, 4] в системах реального часу є велика кількість розрахункових операцій по обчисленню $L -$ ДПФ $P -$ відлікових послідовностей, де L приймає значення від 2 до 16, а P може змінюватися від 32 до 2048 [2].

Нехай Δf – спектральна роздільна здатність. Якщо позначити через P кількість елементів розділення по частоті, а B – частотний діапазон спектру сигналу, то $P = \frac{B}{\Delta f}$. Згідно виразу (1) потрібно виконати $L - P -$ точкових швидких перетворень Фур'є (ШПФ) і провести їх усереднення.

Виконання обчислення за виразом (1) в системах реального часу вимагає пошуку ефективних модифікацій послідовності обчислень. Головною процедурою обчислень у цьому методі є дискретне перетворення Фур'є за алгоритмом ШПФ.

Розглянемо дискретне перетворення Фур'є на проміжку часу

$$P \cdot L \cdot \Delta t : x(p \cdot \Delta f) = \frac{1}{P \cdot L} \sum_{i=0}^{P \cdot L - 1} r(i \cdot \Delta t) \cdot W_{P \cdot L}^{i \cdot P \cdot L}. \quad (2)$$

Урахуємо особливість $W_{P \cdot L}^{P \cdot L}$: $W_{P \cdot L}^{P \cdot L} = \exp\left\{-j \frac{2\pi p L}{P L}\right\} = \exp\left\{-j \frac{2\pi p}{P}\right\}$ [2].

Вираз (2) приймає вигляд:

$$x(p \cdot \Delta f) = \frac{1}{P \cdot L} \sum_{i=0}^{P L - 1} r(i \cdot \Delta t) \cdot W_L^{i \cdot l}. \quad (3)$$

Уведемо заміну $i = l \cdot P + p$, де $l = 0, 1, \dots, L-1$; $p = 0, 1, \dots, P-1$, і представимо (3) у вигляді подвійної суми:

$$X(p \cdot \Delta f) = \frac{1}{P} \sum_{p=0}^{P-1} W_P^p \cdot 1/L \cdot \sum_{l=0}^{L-1} r(l \cdot P + p) \cdot \Delta t. \quad (4)$$

Обчислення значень спектральних характеристик по виразу (4) для всіх складових можливо виконати за ПЛІС-структурою обчислювача з лінійкою паралельних АЦП [5], приведеній на рис. 1 у два етапи.

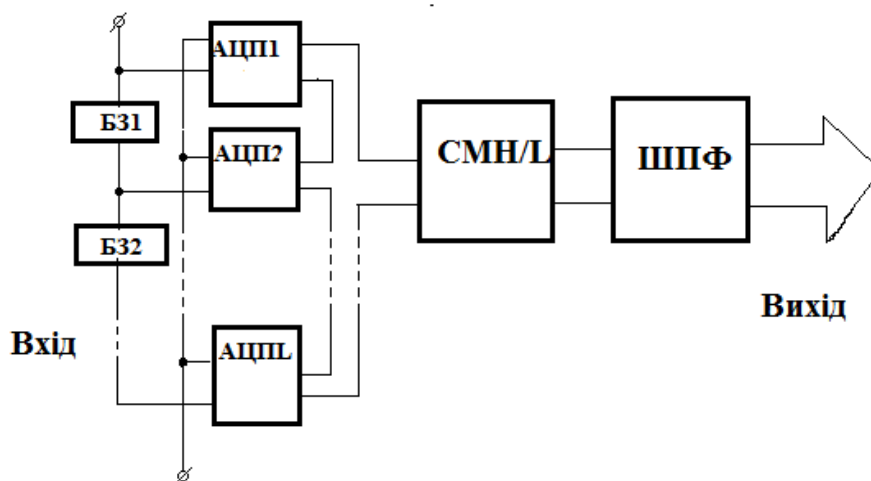


Рис. 1. ПЛІС-структура обчислювача з лінійкою паралельних АЦП

На першому етапі здійснюється усереднення проріджених значень сигналів з АЦП1...АЦПL у блоці СМН/L, а на другому етапі проводиться швидке перетворення Фур'є в блоці ШПФ над вихідними значеннями з блока СМН/L, реалізованого за ПЛІС-технологією [5]. Виграш у часі розрахунків запропонованим алгоритмом організації обчислення усереднення спектральних характеристик дорівнює відношенню:

$$\frac{V_n}{V} = \frac{L \frac{P}{2} \log P}{\frac{P}{2} \log P} \approx L,$$

де V_n – кількість операцій обчислень методом усереднення спектральних складових; V – кількість обчислень по алгоритму, представленому в (4), де виконується тільки одне обчислення по алгоритму ШПФ [2].

Висновки

Згідно запропонованого алгоритму організації послідовності обчислень спектральних оцінок сигналів швидкодіючих фізичних процесів для реалізації блоків обчислень структурами обчислювачів з паралельними АЦП за ПЛІС-технологією час обчислення результатів зменшується в L разів, де L приймає значення від 2 до 16 по кількості паралельних АЦП у ПЛІС-структурі.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Васильев В. Н. Компьютерная обработка сигналов в приложении к интерферометрическим системам / В. Н. Васильев, И. П. Гуров. – СПб: Сант – Петербург, 1998. – 240 с.
2. Рабинер Л. Теория и применение цифровой обработки сигналов / Л. Рабинер, Б. Гоулд. пер. с англ. – М.: Мир, 1978. – 848 с.
3. Бортник Г. Г. Швидкодіючий аналого-цифровий перетворювач підвищеної точності / Г. Г. Бортник // Вісник Вінницького політехнічного інституту. – 2002. – № 5. – С. 47 – 50.
4. Бортник Г. Г. Спектральний метод оцінювання джитеру в телекомунікаційних системах / Г. Г. Бортник, М. В. Васильківський, В. А. Челоян // Вісник Вінницького політехнічного інституту. – 2010. – № 2 – С. 109 – 114.
5. ООО ПФК"ЭЛКОС". [Електронний ресурс] / Режим доступу : <http://www.elkos.com.ua>.

Прокопов Ігор Дмитрович – к. т. н., доцент кафедри електроніки.
Вінницький національний технічний університет.

Прокопов Олександр Ігорович – студент фізичного факультету КНУ.
Київський національний університет ім. Тараса Шевченка.