

И. Д. Прокопов, к. т. н., доц.; А. И. Прокопов

ВЫЧИСЛЕНИЕ СПЕКТРАЛЬНЫХ ОЦЕНОК БЫСТРОПРОТЕКАЮЩИХ ФИЗИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ СТРУКТУРАМИ ПАРАЛЛЕЛЬНЫХ АЦП ПО ПЛИС-ТЕХНОЛОГИИ

В статье предложен аппаратно-программный метод расчета спектральных оценок быстропротекающих физических процессов, который позволяет за счет линейки параллельных АЦП с последовательной задержкой строб-импульса запуска увеличить разрешающую способность характеристик. Время расчета результатов уменьшается в L раз, где L – количество одинаковых последовательно работающих параллельных АЦП, которое принимает значения от 2 до 16.

Ключевые слова: разрешающая способность, быстрый алгоритм, интервал наблюдения, линейка параллельных АЦП, ПЛИС-технология.

Вступление

При исследовании спектральных характеристик действия лазерного излучения на материалы происходят быстропротекающие процессы. Такие процессы можно качественно исследовать методами цифровой спектральной обработки сигналов, которые дают возможность повысить точность расчета характеристик быстропротекающих процессов в современных высоких технологиях. Цифровая обработка сигналов быстропротекающих физических процессов требует определения спектральных характеристик алгоритмом быстрого преобразования Фурье (БПФ) [1, 2]. Частота дискретизации сигналов быстропротекающих процессов ограничена быстроедействием существующих аналого-цифровых преобразователей (АЦП). Существует метод параллельного аналого-цифрового преобразования линейкой параллельных АЦП с последовательной задержкой строб-импульса запуска для повышения частоты дискретизации [3]. Увеличение частоты дискретизации входного сигнала линейкой параллельных АЦП увеличивает разрешающую способность спектральных оценок [3, 4]. Структура линеек параллельных АЦП дает возможность увеличить частоту дискретизации пропорционально количеству параллельных АЦП1 – АЦП L , где L – количество одинаковых последовательно работающих параллельных АЦП. Управление такой линейкой реализуется строб-импульсами запуска с задержкой на $1/F_d * L$ в блоках задержки БЗ1 – БЗ L , где F_d – частота дискретизации. Информация про фазовый сдвиг поступает к АЦП1 – АЦП L из соответствующих блоков фазовой задержки БЗ1 – БЗ L . В [5] приведены модули АЦП – 9КМ и АЦП – 18К с частотой дискретизации 105/125 МГц и цифровым способом управления запуском каждого следующего АЦП через блоки фазовой задержки БЗ1...БЗ L с шагом 10 пс. Эти модули конфигурируются по типу программируемой логической матрицы (ПЛИС). Большое количество вычислительных операций при расчёте спектральных характеристик с их усреднением требует поиска оптимального алгоритма последовательности проведения вычислений для уменьшения времени.

Целью статьи является поиск алгоритма последовательности организации расчётов, усреднения спектральных оценок быстропротекающих физических процессов из структур линеек параллельных АЦП, которые дают возможность увеличить частоту дискретизации пропорционально количеству параллельных АЦП1 – АЦП L .

**Алгоритм последовательности организации вычислений спектральных оценок
быстропротекающих физических процессов**

Рассмотрим усреднение спектральных оценок дискретного преобразования Фурье (ДПФ) [3, 4]:

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

где $x_i(f)$ – ДПФ входных значений сигналов $r(i)$; L – количество интервалов наблюдения сигнала параллельными АЦП, которые определяют промежуток $T = L \cdot P \cdot \Delta t$.

Ограничением применения данного метода [3, 4] в системах реального времени является большое количество расчётных операций по вычислению L – ДПФ P – отсчетных последовательностей, где L принимает значения от 2 до 16, а P может изменяться от 32 до 2048 [2].

Пусть Δf – спектральная разрешающая способность. Если обозначить через P количество элементов разрешения по частоте, а B – частотный диапазон спектра сигнала, то $P = \frac{B}{\Delta f}$.

В соответствии с выражением (1) необходимо выполнить $L - P$ – точечных быстрых преобразований Фурье (БПФ) и затем провести их усреднение.

Выполнение вычисления по выражению (1) в системах реального времени требует поиска эффективных модификаций последовательности вычислений. Главной процедурой вычислений является дискретное преобразование Фурье по алгоритму БПФ.

Рассмотрим дискретное преобразование Фурье на промежутке времени

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

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

Выражение (2) принимает вид:

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

Введем замену $i = l \cdot P + p$, где $l = 0, 1, \dots, L-1$; $p = 0, 1, \dots, P-1$, и представим (3) в виде двойной суммы:

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

Вычисление значений спектральных характеристик по выражению (4) для всех составляющих можно реализовать по ПЛИС-структуре вычислителя с линейкой параллельных АЦП [5], приведенной на рис. 1 в два этапа.

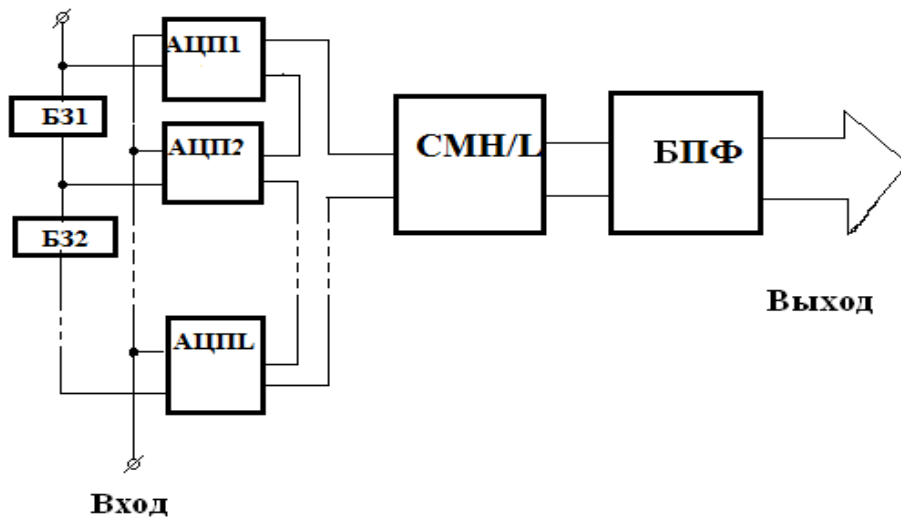


Рис. 1. ПЛИС-структура вычислителя с линейкой параллельных АЦП

На первом этапе производится усреднение прореженных значений сигналов с АЦП1...АЦПЛ в блоке СМН/Л, а на втором этапе производится быстрое преобразование Фурье в блоке БПФ над выходными значениями с блока СМН/Л, реализованного по ПЛИС-технологии [5]. Выигрыш во времени расчётов предложенным алгоритмом организации вычислений усреднения спектральных характеристик равен отношению:

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

где V_n – количество операций вычисления методом усреднения спектральных составляющих; V – количество операций вычисления по алгоритму, представленному выражением (4), в котором выполняется только одно вычисление по алгоритму БПФ [2].

Выводы

В соответствии с предложенным алгоритмом организации последовательности вычислений спектральных оценок сигналов быстропротекающих физических процессов для реализации блоков вычислений структурами вычислителей с параллельными АЦП по ПЛИС-технологии время вычисления результатов уменьшается в L раз, где L принимает значения от 2 до 16 по количеству параллельных АЦП в ПЛИС-структуре.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

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". [Электронный ресурс] / Режим доступа : <http://www.elkos.com.ua>.

Прокопов Игорь Дмитриевич – к. т. н., доцент кафедры электроники.
Винницкий национальный технический университет.

Прокопов Александр Игоревич – студент физического факультета КНУ.
Киевский национальный университет им. Тараса Шевченко.