

УДК 621.391

РЕАЛІЗАЦІЯ ШВИДКОГО ДИСКРЕТНОГО ПЕРЕТВОРЕННЯ ФУР'Є  
НА 8-РОЗРЯДНИХ МІКРОКОНТРОЛЕРАХ

Фесіч В.П., Корчовий О.В., Мовчанюк А.В.

Розглянуті особливості реалізації швидкого дискретного перетворення Фур'є на 8-розрядних мікроконтролерах.

При вирішенні ряду задач (контроль частоти напруги і коефіцієнту гармонік в джерелах безперебійного живлення; дослідження характеристик динамічних ланок з невисокою швидкодією, тощо) спектр сигналу доцільно обчислювати на 8-розрядних мікроконтролерах. Враховуючи те, що програмне забезпечення (ПЗ) для спектрального аналізу дискретного сигналу на мікроконтролері (МК) має бути компактним, універсальним, швидким і оптимізованим під особливості МК, найкраще реалізовувати поставлену задачу з використанням алгоритму швидкого дискретного перетворення Фур'є (ШДПФ) - оптимізованим способом обчислення дискретного перетворення Фур'є (ДПФ). Розглянемо алгоритм по основі 2 (*Radix-2*) [1]. Його ідея полягає в наступному: повне обчислення ДПФ розділяється на комбінацію 2-елементних ДПФ, які містять названу "метелик" базову операцію множення і додавання (рис. 1), і операції об'єднання їх результатів.

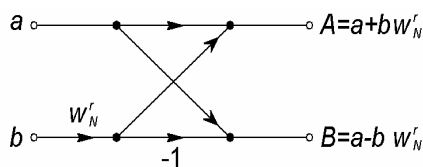


Рис. 1.

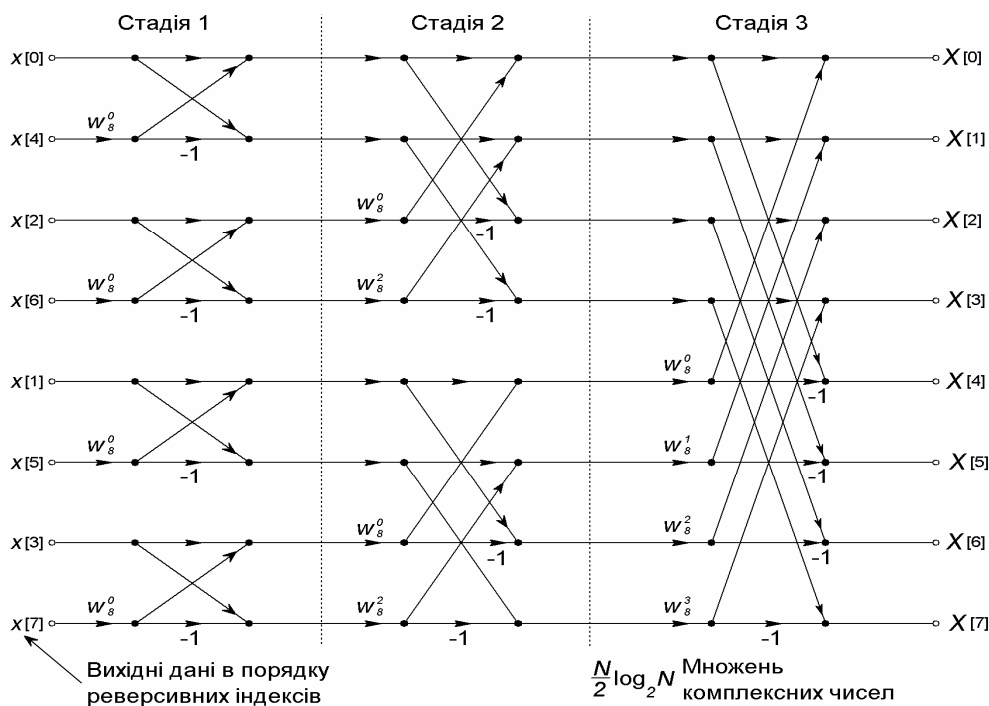


Рис. 2. Алгоритм 8-точкового ШДПФ *Radix-2*

При реалізації 8-елементного ШДПФ по алгоритму *Radix-2* кінцевий результат обчислюється з використанням трьох каскадів (рис.2). Базова операція 2-елементного ДПФ формує основу всього обчислення. Результати обчислень на усіх стадіях розрахунків, поміщаються на місця, які початково містили вихідні відліки з часової області  $x(n)$ . Для роботи алгоритму елементи вихідного масиву  $x(n)$  мають бути впорядковані з використанням алгоритму інвертування бітів індексів елементів (порядок слідування вихідного масиву  $x(n)$  на рис. 2,  $N$  має бути ступенем двійки [2]).

Для зберігання вихідних даних і результатів при виконанні ШДПФ по алгоритму *Radix-2* потрібно  $N$  комірок пам'яті для комплексних чисел (при виконанні ДПФ -  $N$  комірок для вихідних даних і  $N$  комірок для результатів обчислень). Недостатні ресурси 8-розрядних МК накладають ряд обмежень на їх обчислювальні можливості. Для оптимізації алгоритму по швидкості при знаходженні інверсного порядку слідування елементів масиву вихідних даних і при знаходженні комплексного значення експоненти замість громіздких обчислень можна використати константні довідкові таблиці значень, що записані в пам'ять програм.

В більшості компіляторів 8-розрядних МК є тільки 32-розрядний тип даних з плаваючою комою - *float*, використовуючи який можна добитись достовірних результатів обчислень ШДПФ. Але обчислення зі змінними такого типу даних є громіздкими, вихідний програмний код великим, а для зберігання змінних такого типу необхідно багато оперативної пам'яті.

Після оцінки необхідної точності розрахунків для 8-розрядних вхідних даних, запропоновано масиви для зберігання вихідних даних та результатів обчислень і деяких результатів проміжних обчислень описати 16-розрядними знаковими цілими змінними типу *int*. В частинах програми, де необхідна висока точність проміжних обчислень, яка суттєво впливає на кінцевий результат (знаходження експоненти комплексного числа в головному циклі, збільшення степеня експоненти при обчисленнях в кожній операції «метелик») використати 32-розрядні знакові типи даних з плаваючою комою. В кожній операції "метелик" при множенні елементів вихідного масиву на значення експоненти комплексного числа (де необхідно "узгодити" типи *int* і *float*) використати функцію множення 16-розрядних знакових цілих змінних на 32-розрядні знакові з плаваючою комою, результат якої 16-розрядний знаковий цілий.

При вибраному представленні також здійснюється оцінка максимального значення ШДПФ, яке може бути при використанні відповідних типів даних. Масив вихідних даних є 8-розрядним, знаковим. Якщо сигнал на вхід поступає в вигляді постійної напруги максимальної амплітуди (127 для знакозмінної 8-розрядної вибірки), то спектр буде повністю визначатись значенням  $X(0)$  і дорівнювати 16255, Переповнень значень змінних типу

*int* (-32768...32767) не виникне.

Розмір оперативної пам'яті  $N$  байт визначає граничну кількість  $N/4$  16-розрядних комплексних елементів ШДПФ. Але навіть такої межі досягнути неможливо, оскільки для виконання програми МК необхідна певний розмір оперативної пам'яті для зберігання проміжних результатів і для організації стеку. Практично кількість елементів ШДПФ складає  $N/8$ .

Для перевірки реалізації алгоритму ШДПФ *Radix-2* обраний 8-розрядний МК *Atmega16* компанії *Atmel*. В якості вихідних даних використано три 128-елементні масиви 8-розрядних цілих знакових значень тестових сигналів (сума трьох синусоїд різних частот, прямокутний імпульс і радіоімпульс), записані в пам'ять програм МК. Значення вибраного вихідного сигналу зчитуються з пам'яті програм МК і записуються в оперативну пам'ять, після цього здійснюється обчислення ШДПФ. Обраховані коефіцієнти кореляції між результатами ШДПФ, отриманими за допомогою МК і «еталонними» результатами, отриманими в середовищі *Matlab* для трьох досліджуваних сигналів показав, що їх значення ( $r_1 = 0,9998$ ,  $r_2 = 0,9999$ ,  $r_3 = 0,9997$ ) мають прийнятні межі. Час обчислення ШДПФ з використанням вбудованого в МК апаратного помножувача, який вимірювався з використанням вбудованого 16-розрядного таймера-лічильник склав 6124 мкс. Час обчислення ШДПФ без використання вбудованого в МК апаратного помножувача – 33578 мкс.

Програма обчислення ШДПФ на мові *C* для 8-розрядного МК *Atmega16* показала, що алгоритм ШДПФ *Radix-2* можна використовувати в 8-розрядних малопотужних МК. Результати для 16-розрядних даних суттєво не відрізнятимуться від "еталонних" результатів. Використання вбудованого апаратного помножувача зменшує час розрахунків.

**Література**

1. Блейхут Р. Быстрые алгоритмы цифровой обработки сигналов. М.: Мир, 1989. 547 с.
2. <http://www.neic.nsk.su/~mavr/LIB/Kester/05.pdf> - Быстрое преобразование Фурье, У. Кестер. 27 с.

<b>Ключові слова:</b> швидке перетворення Фур'є, програмування мікроконтролера	
Фесич В.П., Карчевой А.В., Мовчанюк А.В.	Fisich V.P., Korchovyy O.V., Movchanyuk A.V.
<b>Реализация быстрого дискретного преобразования Фурье на 8-разрядных микроконтроллерах</b>	<b>Realization of fast Fourier's transform by 8-bit microcontrollers</b>
Рассмотрены особенности реализации быстрого дискретного преобразования Фурье на 8-разрядных микроконтроллерах.	In present article considers peculiarity of realization Fast Fourier Transform by 8-bit microcontrollers.