

Корисна модель належить до галузі цифрової обчислювальної техніки і може бути застосована у пристроях динамічного спектрального аналізу в реальному масштабі часу.

Відомий аналізатор спектра Фур'є для динамічного спектрального аналізу, що реалізує рекурентний метод обчислення перетворення Фур'є на ковзних інтервалах [А. с. СССР, №560232, кл. G06F15/34, 1977], який містить аналого-цифровий перетворювач, три блоки пам'яті, блок формування вагових коефіцієнтів, два помножувачі та три суматори.

Недоліком даного пристрою є низька швидкодія, оскільки визначення спектра Фур'є виконується за $N/2$ циклів (N - розмір перетворення), та низькі функціональні можливості, обмежені визначенням лише спектра Фур'є.

Найбільш близьким за технічною сутністю до запропонованого є аналізатор спектра Фур'є та Хартлі для динамічного спектрального аналізу, що реалізує рекурентний метод обчислення перетворення Фур'є та Хартлі на ковзних інтервалах [Патент України, №81129, кл. G06F17/14, 2007], який містить аналого-цифровий перетворювач, з першого по п'ятий блоки пам'яті, блок формування вагових коефіцієнтів, з першого по другий помножувачі, з першого по третій суматори, перший і другий суматори-віднімачі та елемент ВИКЛЮЧНЕ АБО, вхід аналого-цифрового перетворювача є інформаційним входом пристрою, а вихід з'єднаний з першим входом першого суматора та входом першого блока пам'яті, вихід якого з'єднаний з другим входом першого суматора, перший та другий виходи блока формування вагових коефіцієнтів з'єднані з першими входами відповідно першого та другого помножувачів, виходи яких з'єднані з першими входами відповідно другого та третього суматорів, виходи яких з'єднані з входами другого та третього блоків пам'яті та є першим і другим виходами пристрою відповідно, вихід першого суматора з'єднаний з другими входами першого та другого помножувачів, виходи першого та другого суматорів-віднімачів з'єднані з входами четвертого та п'ятого блоків пам'яті та є третім і четвертим виходами пристрою відповідно, виходи другого, третього, четвертого та п'ятого блоків пам'яті з'єднані з другими входами другого й третього суматорів та першого й другого суматорів-віднімачів відповідно, перший керуючий вхід пристрою з'єднаний з керуючим входом блока формування вагових коефіцієнтів та першим входом елемента ВИКЛЮЧНЕ АБО, другий керуючий вхід пристрою з'єднаний з керуючим входом першого суматора-віднімача та другим входом елемента ВИКЛЮЧНЕ АБО.

Даний пристрій визначає спектр Фур'є та Хартлі за $N/4[+1]$ ЦИКЛІВ, де $N/4$ - ціла частина значення $N/4$. Недоліком даного пристрою є надлишкові об'єми блоків пам'яті та блока формування вагових коефіцієнтів для розмірів перетворень, кратних чотирьом, внаслідок того, що окремі значення перетворень Фур'є та Хартлі обчислюються двічі.

В основу корисної моделі поставлено задачу створення аналізатора спектра Фур'є та Хартлі, що реалізує безнадлишкові рекурентні методи обчислення перетворень Фур'є та Хартлі на ковзних інтервалах для розмірів перетворень, кратних чотирьом, в якому за рахунок введення нових блоків та зв'язків досягається визначення спектрів Фур'є або Хартлі за $N/4$ циклів, внаслідок чого зменшуються об'єми блоків пам'яті та блока формування вагових коефіцієнтів, і підвищується швидкодія пристрою.

Поставлена задача досягається за рахунок того, що в аналізатор спектра Фур'є та Хартлі, що містить аналого-цифровий перетворювач, з першого по п'ятий блоки пам'яті, блок формування вагових коефіцієнтів, з першого по другий помножувачі, з першого по третій суматори, перший і другий суматори-віднімачі та елемент ВИКЛЮЧНЕ АБО, вхід аналого-цифрового перетворювача є інформаційним входом пристрою, а вихід з'єднаний з першим входом першого суматора та входом першого блока пам'яті, вихід якого з'єднаний з другим входом першого суматора, перший та другий виходи блока формування вагових коефіцієнтів з'єднані з першими входами відповідно першого та другого помножувачів, виходи яких з'єднані з першими входами відповідно другого та третього суматорів, виходи яких з'єднані з входами другого та третього блоків пам'яті та є першим і другим виходами пристрою відповідно, вихід першого суматора з'єднаний з другими входами першого та другого помножувачів, виходи першого та другого суматорів-віднімачів з'єднані з входами четвертого та п'ятого блоків пам'яті та є третім і четвертим виходами пристрою відповідно, виходи другого, третього, четвертого та п'ятого блоків пам'яті з'єднані з другими входами другого й третього суматорів та першого й другого суматорів-віднімачів відповідно, перший керуючий вхід пристрою з'єднаний з керуючим входом блока формування вагових коефіцієнтів та першим входом елемента ВИКЛЮЧНЕ АБО, другий керуючий вхід пристрою з'єднаний з керуючим входом першого суматора-віднімача та другим входом елемента ВИКЛЮЧНЕ АБО, введені перший і другий комутатори та елемент І, вихід якого з'єднаний з керуючим входом другого суматора-віднімача, вихід першого суматора з'єднаний з першими входами першого та другого комутаторів, другі виходи яких з'єднані з виходами першого та другого помножувачів відповідно, а виходи з'єднані з першими входами першого й другого суматорів-віднімачів відповідно, третій керуючий вхід пристрою з'єднаний з керуючими входами першого та другого комутаторів і другим входом елемента І, перший вхід якого з'єднаний з виходом елемента ВИКЛЮЧНЕ АБО.

Введення в аналізатор першого та другого комутаторів і елемента І разом з новими зв'язками дозволило реалізувати безнадлишкові рекурентні методи обчислення перетворень Фур'є та Хартлі на ковзних інтервалах для розмірів перетворень, кратних чотирьом, за $N/4$ циклів, внаслідок чого зменшились об'єми блоків пам'яті та блока формування вагових коефіцієнтів, і підвищилась швидкодія пристрою.

На кресленні представлена блок-схема пристрою аналізатора спектра Фур'є та Хартлі.

Пристрій містить інформаційний вхід 1, керуючі входи 2-4, аналого-цифровий перетворювач 5, блоки 6-10 пам'яті, блок 11 формування вагових коефіцієнтів, помножувачі 12-13, суматори 14-16, суматори-віднімачі 17-18, елемент ВИКЛЮЧНЕ АБО 19, комутатори 20-21, елемент І 22, виходи 23-26.

Вхід аналого-цифрового перетворювача 5 є інформаційним входом 1 пристрою, а вихід з'єднаний з першим входом першого суматора 14 та входом першого блока 6 пам'яті, вихід якого з'єднаний з другим входом першого суматора 14. Перший та другий виходи блока 11 формування вагових коефіцієнтів з'єднані з першими входами відповідно першого 12 та другого 13 помножувачів. Вихід першого суматора 14 з'єднаний з другими входами першого 12 та другого 13 помножувачів і першими входами першого 20 та другого 21 комутаторів. Вихід першого помножувача 12 з'єднаний з першим входом другого суматора 15 та другим входом першого комутатора 20, а вихід другого помножувача 13 з'єднаний з першим входом третього суматора 16 та другим входом другого комутатора 21. Виходи першого 20 та другого 21 комутаторів з'єднані з першими входами першого 17 та другого 18 суматорів-віднімачів відповідно. Другі входи другого 15 та третього 16 суматорів, першого 17 та другого 18 суматорів-віднімачів з'єднані з виходами другого 7, третього 8, четвертого 9 та п'ятого 10 блоків пам'яті відповідно, а виходи є першим 23, другим 24, третім 25 та четвертим 26 виходами пристрою відповідно і з'єднані з

входами другого 7, третього 8, четвертого 9 та п'ятого 10 блоків пам'яті відповідно. Перший керуючий вхід 2 пристрою з'єднаний з керуючим входом блока 11 формування вагових коефіцієнтів та першим входом елемента ВИКЛЮЧНЕ АБО 19. Другий керуючий вхід 3 пристрою з'єднаний з керуючим входом першого суматора-віднімача 17 та другим входом елемента ВИКЛЮЧНЕ АБО 19, вихід якого з'єднаний з першим входом елемента І 22, вихід якого з'єднаний з керуючим входом другого суматора-віднімача 18. Третій керуючий вхід 4 пристрою з'єднаний з керуючими входами першого 20 та другого 21 комутаторів і другим входом елемента І 22.

Пристрій працює наступним чином.

Рекурентні методи обчислення перетворень Фур'є та Хартлі дійсних послідовностей на ковзних інтервалах, коли значення перетворень оновлюються з надходженням кожного нового значення відліку вхідної послідовності, базуються на основі таких математичних виразів:

$$F_{i+1}(k) = F_i(k) + \Delta x_i \cdot e^{-\frac{j2\pi ki}{N}}, \quad (1)$$

$$H_{i+1}(k) = H_i(k) + \Delta x_i \cdot \cos \frac{2\pi ki}{N} \quad (2)$$

де $F_{i+1}(k)$, $F_i(k)$ - комплексні дискретні значення перетворення Фур'є вхідної послідовності розміром N на $(i+1)$ -му

та i -му інтервалах відповідно ($k = \overline{0, N/2}$ - номер значення перетворення; $i=0,1,2,\dots$);

$H_{i+1}(k)$, $H_i(k)$ - дійсні дискретні значення перетворення Хартлі вхідної послідовності розміром N на $(i+1)$ -му та i -му інтервалах відповідно

($k = \overline{0, N-1}$ - номер значення перетворення; $i=0,1,2,\dots$);

$\Delta x_i = x(N+i) - x(i)$,

де $x(N+i)$ та $x(i)$ - значення відліків вхідної послідовності;

$$e^{-\frac{j2\pi ki}{N}} = \cos \frac{2\pi ki}{N} - j \cdot \sin \frac{2\pi ki}{N} (j = \sqrt{-1});$$

$$\cos \frac{2\pi ki}{N} = \cos \frac{2\pi ki}{N} + \sin \frac{2\pi ki}{N}.$$

Для N , кратних чотирьом, обчислення виразу (1) в пристрої виконується шляхом обчислення таких виразів:

$$\operatorname{Re}[F_{i+1}(N/4)] = \operatorname{Re}[F_i(N/4)] + T_{1,i}(N/4)$$

$$\operatorname{Im}[F_{i+1}(N/4)] = \operatorname{Im}[F_i(N/4)] + T_{2,i}(N/4);$$

$$\operatorname{Re}[F_{i+1}(N/2)] = \operatorname{Re}[F_i(N/2)] + (-1)^i \Delta x_i;$$

$$\operatorname{Re}[F_{i+1}(0)] = \operatorname{Re}[F_i(0)] + \Delta x_i; \quad (3)$$

$$\operatorname{Re}[F_{i+1}(k)] = \operatorname{Re}[F_i(k)] + T_{1,i}(k);$$

$$\operatorname{Im}[F_{i+1}(k)] = \operatorname{Im}[F_i(k)] + T_{2,i}(k);$$

$$\operatorname{Re}[F_{i+1}(N/2-k)] = \operatorname{Re}[F_i(N/2-k)] + T_{3,i}(k);$$

$$\operatorname{Im}[F_{i+1}(N/2-k)] = \operatorname{Im}[F_i(N/2-k)] + T_{4,i}(k); \quad (4)$$

де Re та Im - дійсні та уявні частини значень перетворення Фур'є;

$$T_{1,i}(k) = \Delta x_i \cdot \cos \frac{2\pi ki}{N};$$

$$T_{2,i}(k) = \Delta x_i \cdot (-\sin \frac{2\pi ki}{N});$$

$$T_{3,i}(k) = \begin{cases} T_{1,i}(k), & i - \text{парне} \\ -T_{1,i}(k) & i - \text{непарне} \end{cases};$$

$$T_{4,i}(k) = \begin{cases} -T_{2,i}(k), & i - \text{парне} \\ T_{2,i}(k) & i - \text{непарне} \end{cases};$$

$k = \overline{0, N/4-1}$.

Для N , кратних чотирьом, обчислення виразу (2) в пристрої виконується шляхом обчислення таких виразів:

$$H_{i+1}(N/4) = H_i(N/4) + T_{1,i}(N/4);$$

$$H_{i+1}(3N/4) = H_i(3N/4) + T_{2,i}(N/4);$$

$$H_{i+1}(N/2) = H_i(N/2) + (-1)^i \Delta x_i;$$

$$H_{i+1}(0) = H_i(0) + \Delta x_i; \quad (5)$$

$$H_{i+1}(k) = H_i(k) + T_{1,i}(k);$$

$$H_{i+1}(N-k) = H_i(N-k) + T_{2,i}(N-k);$$

$$H_{i+1}(N/2+k) = H_i(N/2+k) + T_{3,i}(k);$$

$$H_{i+1}(N/2-k) = H_i(N/2-k) + T_{4,i}(k); \quad (6)$$

де $k = \overline{1, N/4-1}$.

$$T_{1,i}(k) = \Delta x_i \cdot \cos \frac{2\pi k i}{N};$$

$$T_{2,i}(k) = \Delta x_i \cdot \cos \frac{2\pi(N-k)i}{N};$$

$$T_{3,i}(k) = \begin{cases} T_{1,i}(k), & i - \text{парне} \\ -T_{1,i}(k) & i - \text{непарне} \end{cases};$$

$$T_{4,i}(k) = \begin{cases} T_{2,i}(k), & i - \text{парне} \\ -T_{2,i}(k) & i - \text{непарне} \end{cases};$$

В режимі визначення спектра Фур'є на керуючому вході 2 пристрою встановлюється постійне одиничне значення, що визначає формування на першому та другому виходах блока 11 формування вагових коефіцієнтів значень косинусних та синусних коефіцієнтів відповідно, а на виході елемента ВИКЛЮЧНЕ АБО 19 - інвертованих значень, що поступають на керуючий вхід 3 пристрою та є ознакою парного (нульове значення) чи непарного (одиничне значення) інтервалу i . Таким чином, перший суматор-віднімач 17 працює в режимі суматора для парних значень i та в режимі віднімача для непарних значень i , а другий суматор-віднімач 18 працює в протилежному режимі, якщо на керуючому вході 4 пристрою присутнє одиничне значення, та в режимі суматора - в іншому випадку.

В режимі визначення спектра Хартлі на керуючому вході 2 пристрою встановлюється постійне нульове значення, що визначає формування на першому та другому виходах блока 11 формування вагових коефіцієнтів значень косинусних коефіцієнтів, а на виході елемента ВИКЛЮЧНЕ АБО 19 - значень, що поступають на керуючий вхід 3 пристрою та є ознакою парного (нульове значення) чи непарного (одиничне значення) інтервалу i . Таким чином, перший суматор-віднімач 17 працює в режимі суматора для парних значень i та в режимі віднімача для непарних значень i , а другий суматор-віднімач 18 працює в такому ж режимі, якщо на керуючому вході 4 пристрою присутнє одиничне значення, та в режимі суматора - в іншому випадку.

Якщо на керуючому вході 4 пристрою присутнє нульове значення на виходи комутаторів 20-21 проходить значення з виходу першого суматора 14, в іншому випадку - значення з виходів першого 12 та другого 13 помножувачів відповідно.

Пристрій працює циклічно. Початок кожного циклу визначається подачею на керуючий вхід 3 пристрою значення, що є ознакою парного чи непарного значення інтервалу i , та надходженням на вхід блока 6 пам'яті нового дискретного значення послідовності відліків, котра формується за допомогою аналого-цифрового перетворювача 5, на вхід якого з інформаційного входу 1 пристрою подається досліджуваний аналоговий сигнал. На початку кожного циклу в блоці 6 пам'яті зберігаються N значень відліків i -го інтервалу вхідної послідовності, а в блоках 7-10 пам'яті - відповідно значення $\text{Re}F_i(N/4) \dots \text{Re}F_i(k)$, $\text{Im}F_i(N/4) \dots \text{Im}F_i(k)$, $\text{Re}F_i(N/2) \dots \text{Re}F_i(N/2-k)$, $\text{Re}F_i(0) \dots \text{Im}F_i(N/2-k)$ перетворення Фур'є при визначенні спектра Фур'є або значення $H_i(N/4) \dots H_i(k)$, $H_i(3N/4) \dots H_i(N-k)$, $H_i(N/2) \dots H_i(N/2+k)$, $H_i(0) \dots H_i(N/2-k)$ перетворення Хартлі при визначенні спектра Хартлі на i -му інтервалі ($k = 1, N/4 - 1$). В початковому стані ($i=0$) комірки всіх блоків 6-10 пам'яті обнулені.

На початку циклу значення нового відліку вхідної послідовності зберігається в блоці 6 пам'яті та надходить на перший вхід суматора 14, на другий вхід якого з блоку 6 пам'яті надходить значення відліку вхідної послідовності, що передувало новому відліку на N відліків, в результаті чого на виході суматора 14 формується значення Δx_i , котре міститься на ньому на протязі визначення значень перетворення Фур'є або Хартлі на $(i+1)$ -му інтервалі.

Кожен цикл складається з $N/4$ підциклів. Під час першого підциклу на керуючому вході 4 пристрою присутнє нульове значення та здійснюється обчислення за виразами (3) або (5), а під час всіх інших підциклів на керуючому вході 4 пристрою присутнє одиничне значення та здійснюється обчислення за виразами (4) або (6). На початку першого підциклу на виходах блоків 7-10 пам'яті з'являються значення $\text{Re}F_i(N/4)$, $\text{Im}F_i(N/4)$, $\text{Re}F_i(N/2)$, $\text{Re}F_i(0)$ перетворення Фур'є при визначенні спектра Фур'є або значення $H_i(N/4)$, $H_i(3N/4)$, $H_i(N/2)$, $H_i(0)$ перетворення Хартлі при визначенні спектра Хартлі, а на першому та другому виходах блока 11 формування

вагових коефіцієнтів - значення $\cos \frac{\pi i}{2}$; та $\begin{pmatrix} -\sin \frac{\pi i}{2} \end{pmatrix}$; при визначенні спектра Фур'є або значення $\cos \frac{\pi i}{2}$ та $\cos \frac{3\pi i}{2}$ при визначенні спектра Хартлі відповідно. На початку інших підциклів на виходах блоків 7-10 пам'яті з'являються значення $\text{Re}F_i(k)$, \dots , $\text{Im}F_i(k)$, $\text{Re}F_i(N/2-k)$, \dots , $\text{Im}F_i(N/2-k)$ перетворення Фур'є при визначенні спектра Фур'є або значення $H_i(k)$, $H_i(N-k)$, $H_i(N/2+k)$, $H_i(0)$ \dots , $H_i(N/2-k)$ перетворення Хартлі при визначенні спектра Хартлі відповідно, а на

першому та другому виходах блока 11 формування вагових коефіцієнтів - значення $\cos \frac{2\pi k i}{N}$; та $\begin{pmatrix} -\sin \frac{2\pi k i}{N} \end{pmatrix}$; при

визначенні спектра Фур'є або значення $\cos \frac{2\pi k i}{N}$; та $\cos \frac{2\pi(N-k)i}{N}$; при визначенні спектра Хартлі відповідно $k = 1, N/4 - 1$).

Таким чином, на виходах помножувачів 12 та 13 формуються значення $T_{1,i}(N/4) \dots T_{1,i}(k)$ та $T_{2,i}(N/4) \dots T_{2,i}(k)$ відповідно, а значення виразів (3)-(4) при визначенні спектра Фур'є або виразів (5)-(6) при визначенні спектра Хартлі формуються на виходах суматорів 15-16 та суматорів-віднімачів 17-18 відповідно, зберігаються в блоках 7-10 пам'яті й поступають на виходи 23-26 пристрою відповідно.

