

УДК 621.391.8

Р.М. Гуменюк, аспір.

С.М. Іщеряков, доц.

Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу

### ОБЧИСЛОВАЛЬНЕ СЕРЕДОВИЩЕ ДЛЯ ВИЗНАЧЕННЯ СПЕКТРА МЕТОДОМ ПОДВІЙНОЇ ЗГОРТКИ

У роботі описане обчислювальне середовище для визначення амплітудного спектра методом подвійної згортки із застосуванням модульної функції та функції еквівалентності. Обчислювальне середовище представляє собою однорідну структуру для послідовного визначення в реальному часі автокореляційної згортки по фазі і взаємкореляційної згортки по частоті.

В [1] запропонований метод визначення амплітудного спектру  $S(k)$  випадкових сигналів на базі подвійної згортки, який здійснюється шляхом послідовного виконання двох згорток: спочатку  $p$  відліків вхідного аналізованого сигналу  $f(i)$  згортаються по фазі із утворенням  $p$  значень модульної функції автокореляції  $G(j)$ ; в подальшому одержані  $p$  значень модульної функції автокореляції  $G(j)$  підлягають згортці із  $m$  відрізками еталонних сигналів різної частоти  $k$ , представлених відрічками  $W_k(j)$ , з одержанням модульної функції взаємкореляції  $S(k)$  згідно з виразами:

$$G(j) = 1/p \sum_{i=1}^p |f(i) - f(i-j)|, \quad j = 1 \dots p, \quad (1)$$

$$S(k) = 1/n \sum_{j=1}^n |G(j) - W_k(j)|, \quad k = 1 \dots m. \quad (2)$$

Особливістю запропонованого методу є відсутність операції множення багаторозрядних цифрових відліків, що дозволяє значно зменшити обчислювальні витрати для реалізації пристроїв визначення спектра.

В роботі представлений пристрій для визначення амплітудного спектру методом подвійної згортки із застосуванням модульної функції, який представляє собою однорідну структуру для послідовного визначення в реальному часі автокореляційної згортки по фазі і взаємкореляційної згортки за частотою.

Пристрій для визначення амплітудного спектру, структура якого наведена на рис. 1, містить два блоки згортки:  $n$ -каналний блок згортки по фазі БЗФ та  $m$ -каналний блок згортки за частотою БЗЧ.

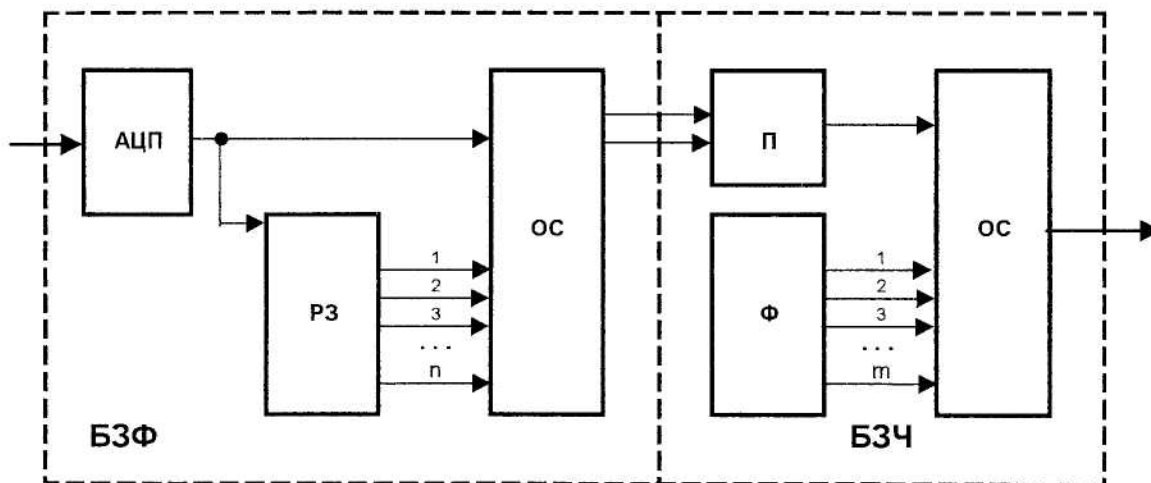


Рис. 1. Структура пристрою для визначення спектра методом подвійної згортки

Основу кожного блоку складають обчислювальне середовище ОС, яке реалізує функцію згортки двох сигналів, а також формувачі сигналів, що підлягають згортці. Для блоку БЗФ

формувачі сигналів представлені аналого-цифровим перетворювачем АЦП та багатокаскадним регістром зсуву РЗ. У блоці БЗЧ сигнали, що підлягають згортці, формуються на виходах відповідно перетворювача П паралельного коду до широтно-імпульсного сигналу та формувача Ф еталонних частотних сигналів.

Пристрій функціонує наступним чином.

Повний період визначення амплітудного спектру складається з двох однакових по тривалості циклів:  $p$ - тактного циклу згортки по фазі, і  $n$ -тактного циклу згортки по частоті, де  $p$  – кількість відліків вхідного сигналу, які в процесі згортки по фазі утворюють  $n$  значень модульної функції.

На протязі  $p$  циклів на виході АЦП послідовно формуються  $p$  відліків вхідного сигналу  $f(i)$ . Кожен вихідний сигнал АЦП для обчислювального середовища ОС є першим сигналом, який підлягає одночасній згортці в усіх  $n$  каналах обчислювального середовища ОС. Інші сигнали, що підлягають згортці в  $n$ -канальному обчислювальному середовищі утворюються на виходах  $n$ -каскадного регістру зсуву РЗ. За рахунок того, що на вхід багатокаскадного регістру зсуву РЗ поступають коди  $f(i)$  з виходу АЦП, на кожному  $j$ -му виході РЗ формується відлік вхідного сигналу  $f(i-j)$ , зсунутий на  $j$  тактів.

Обчислювальне середовище ОС в кожному каналі синхронно реалізує: операцію згортки двох вхідних сигналів, накопичення утворених значень згортки та кінцеве збереження накопиченого результату.

На рис. 2 наведена структура обчислювального середовища ОС [2], яке реалізує функцію згортки на основі модульної функції згідно з (1).

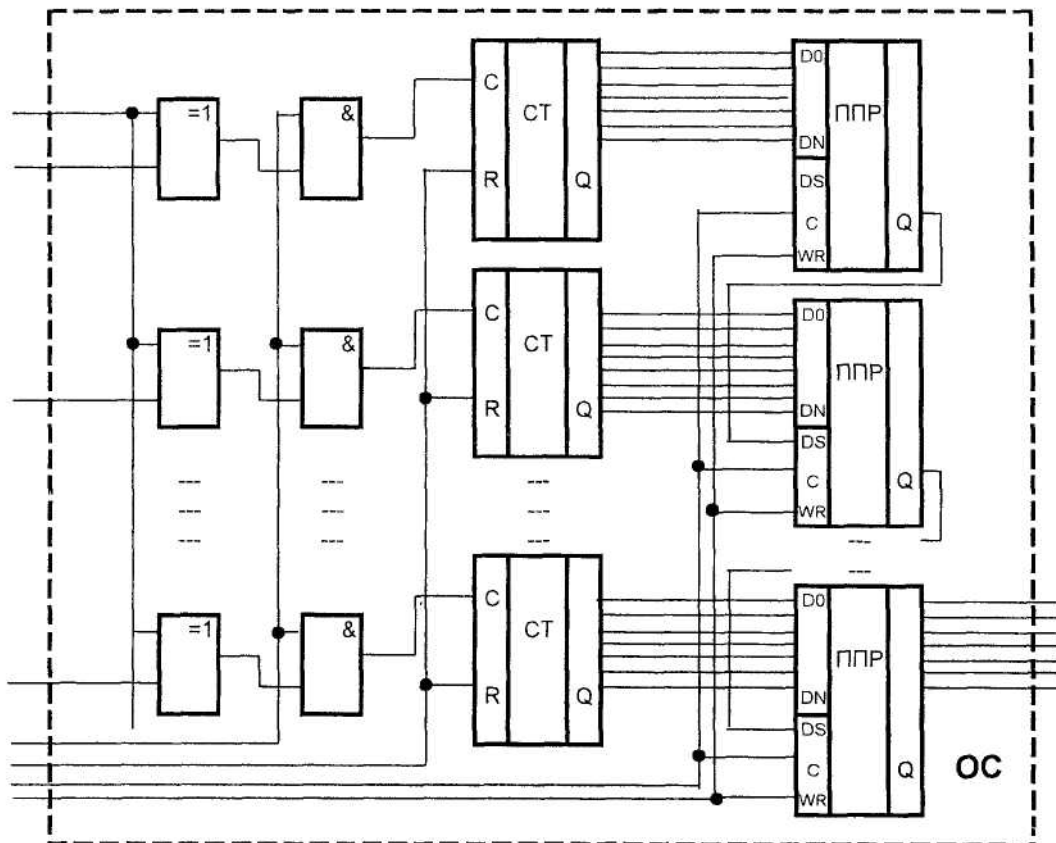


Рис. 2. Структура обчислювального середовища

До складу кожного каналу обчислювального середовища ОС входять: логічний елемент Вияткове ЧИ, логічний елемент І, накопичувальний лічильник СТ та послідовно-паралельний регістр ППР.

На рис. 3 представлена часова діаграма роботи обчислювального середовища. Вхідні сигнали, що підлягають згортці в обчислювальному середовищі, представляються часовими інтервалами (ШІМ-сигналами). Сигнал  $f(i)$  з виходу АЦП (рис. 3.1) надходить на перші входи логічних елементів Виняткове ЧИ всіх каналів обчислювального середовища. На другий вхід логічного елемента Виняткове ЧИ  $j$ -того каналу обчислювального середовища надходить зсунутий на  $j$  тактів відлік вхідного сигналу  $f(i-j)$  (рис. 3.2). На виходах логічних елементів Виняткове ЧИ (рис. 3.3) одночасно формується  $n$  абсолютних різниць  $|f(i)-f(i-j)|$  між вхідним сигналом  $f(i)$  і його зсунутими значеннями  $f(i-j)$ .

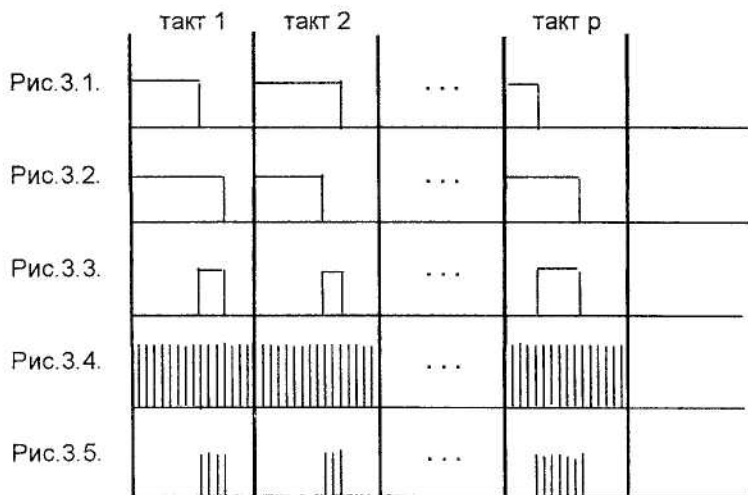


Рис. 3. Часові діаграми роботи обчислювального середовища

Функцією логічного елемента  $I$   $j$ -того каналу обчислювального середовища є перетворення ШІМ-сигналу абсолютної різниці  $|f(i)-f(i-j)|$  до унітарного коду (рис. 3.5). Це здійснюється за рахунок подання на другі входи логічних елементів  $I$  всіх каналів обчислювального середовища імпульсної послідовності, яка тактує роботу АЦП та багатокаскадного регістру зсуву РЗ (рис. 3.4).

Унітарні коди абсолютних різниць накопичуються в лічильниках СТ всіх каналів обчислювального середовища на протязі  $p$  тактів. В результаті, після завершення  $p$  тактів формування вхідного сигналу  $f(i)$  на виході АЦП та згортки його по фазі на виходах лічильників СТ  $n$  каналів обчислювального середовища утвориться  $n$  значень модульної функції  $G(j)$  згідно (1).

Утворені значення модульної функції фіксуються в послідовно-паралельних регістрах ППР, після чого лічильники СТ обчислювального середовища скидаються в нуль, і обчислювальне середовище є готовим для згортки нових  $p$  відліків вхідного сигналу наступної вибірки.

Запропонована структура обчислювального середовища може бути використана для реалізації згортки на основі інших статистичних функцій. Зокрема, заміна логічного елемента Виняткове ЧИ логічним елементом  $I$  дозволяє реалізувати згортку відліків вхідного сигналу на основі функції еквівалентності [3] згідно з виразом:

$$Z(j) = \begin{cases} f(i), & \text{при } f(i) < f(i-j) \\ f(i-j), & \text{при } f(i) > f(i-j). \end{cases}$$

У блоці згортки по частоті реалізується згортка одержаної модульної функції автокореляції  $G(j)$  з  $m$  відрізками еталонних сигналів, кожен  $k$ -тий з яких представляє частоту  $k$  згідно з (2).

Як було показано раніше, на входи обчислювального середовища повинні подаватись ШІМ-сигнали, в зв'язку з чим паралельні коди значень модульної функції, що зберігаються в послідовно-паралельних регістрах ППР обчислювального середовища блоку БЗФ перетворюються в ШІМ-сигнали перетворювачем  $\Pi$  блоку БЗЧ (рис. 1). ШІМ-сигнали з виходу перетворювача  $\Pi$  надходять на перші входи логічних елементів Виняткове ЧИ всіх  $m$  каналів обчислювального середовища БЗЧ.

Формувач  $\Phi$  еталонних сигналів забезпечує утворення у кожному  $k$ -му каналі  $n$  відліків сигналів однакової форми  $k$ -го періоду. При застосуванні згортки на основі модульної функції форма сигналів описується виразом, наведеним в [1]:

$$W_k(j) = 4|\sin(kj/2)| / \pi \quad (3)$$

Для згортки на основі функції еквівалентності еталонний сигнал представляється наступною математичною залежністю [1]:

$$W_k(j) = -2|\sin(kj/2)| / \pi.$$

Обчислювальні середовища БЗЧ та БЗФ є повністю аналогічними, проте, за рахунок згортки значень модульної функції з еталонними частотними сигналами в послідовно-паралельних регістрах ППР обчислювального середовища БЗЧ після закінчення  $m$  тактів формується значення амплітудного спектра згідно з (2).

Робота БЗФ та БЗЧ відбувається одночасно в парафазному режимі. В той час, як в БЗЧ відбувається згортка по частоті модульної функції вхідних відліків, сформованих на протязі  $p$  тактів попереднього циклу, в БЗФ утворюється згортка по фазі вхідних відліків поточного циклу (тобто наступного за попереднім).

Операції згортки в обчислювальних середовищах БЗЧ та БЗФ, як показано в [1], не обов'язково повинні співпадати. Наприклад: згортка по фазі може здійснюватись на основі модульної функції, а згортка по частоті – на основі функції еквівалентності.

На рис. 4 представлена детальна структура пристрою визначення амплітудного спектру методом подвійної згортки, яка містить два блоки:  $n$ -канальний блок 1 згортки по фазі та  $m$ -канальний блок 2 згортки по частоті. До складу блоку 1 згортки по фазі входять синхронізатор 3, аналого-цифровий перетворювач 4, багатокаскадний регістр зсуву 5, елементи Виняткове ЧИ  $6_1-6_n$ , логічні елементи  $7_1-7_n$ , лічильники  $8_1-8_n$ , послідовно-паралельні регістри  $9_1-9_n$ . Блок 2 згортки по частоті містить формувачі  $10_1-10_m$  еталонних сигналів, вхідний реверсивний лічильник 11, реверсивні лічильники  $12_1-12_m$ , елементи Виняткове ЧИ  $13_1-13_m$ , логічні елементи  $14_1-14_m$ , лічильники  $15_1-15_m$ , регістри результату  $16_1-16_m$ .

На початку кожного циклу на виході S5 синхронізатора 3 формується короткий імпульс, по фронту наростання якого відбувається перезапис значень модульної функції в блоці 1 згортки по фазі з лічильників  $8_1-8_n$  до послідовно-паралельних регістрів  $9_1-9_n$  а в блоці 2 згортки по частоті – початкове встановлення формувачів еталонних сигналів  $10_1-10_m$ , та перезапис значень амплітудного спектру з лічильників  $15_1-15_m$  до регістрів результату  $16_1-16_m$ . По фронту спаду цього імпульса лічильники  $8_1-8_n$  блоку 1 згортки по фазі та лічильники  $15_1-15_m$  блоку 2 згортки по частоті скидаються в нуль. В подальшому блоки 1 і 2 пристрою працюють асинхронно один від одного.

Послідовно-паралельні регістри ППР обчислювальних середовищ БЗФ і БЗЧ, окрім функцій зберігання результатів статистичної обробки реалізують читання результатів у послідовному коді. Причому, якщо для БЗЧ читання вихідних результатів обчислювального середовища не є обов'язковою опцією, то читання  $n$  значень модульної функції із БЗФ до БЗЧ може здійснюватись тільки послідовним чином.

Значення модульної функції, що зберігаються в паралельно-послідовних регістрах ППР обчислювального середовища БЗФ, переписуються до БЗЧ шляхом зсуву вправо від регістру  $9_1$  до регістру  $9_n$ . В кожному з  $n$  тактів роботи БЗЧ відбувається зсув одного значення модульної функції, тобто на інтервалі кожного  $j$ -того такту згортки по частоті на паралельних виходах регістру  $9_n$  формується паралельний код  $(n-j+1)$ -го значення модульної функції. В цілому, за  $n$  тактів роботи на паралельних виходах регістру  $9_n$  сформуються всі утворені значення модульної функції від  $G(n)$  до  $G(1)$ .

Перетворювач паралельного коду значення модульної функції до ШІМ-сигналу реалізований на базі реверсивного лічильника 11 з паралельним записом інформації. На початку  $j$ -того такту  $(n-j+1)$ -те значення модульної функції переписується з регістру  $9_n$  до лічильника 11, на послідовному виході якого утримується рівень логічної 1. Імпульси на тактовому вході лічильника 11 декрементують його. Перше скидання в нуль лічильника 11 призводить до утворення логічного нуля на його послідовному виході. Таким чином, на послідовному виході лічильника 11 в кожному  $j$ -му такті сформується ШІМ-сигнал, тривалість одиничного рівня якого відповідає значенню модульної функції  $G(n-j+1)$ .

Основою формувача  $m$  еталонних частотних сигналів є  $m$  звичайних постійних запам'ятовуючих пристроїв, до яких попередньо записані відповідні коди відліків еталонних сигналів згідно з (3).

Для перетворення паралельних кодів відліків ПЗП до ШІМ-сигналів також використовуються реверсивні лічильники з паралельним записом інформації  $12_1 - 12_m$ .

Завдяки різній кількості каналів в обчислювальних середовищах робота двох блоків пристрою здійснюється асинхронно, проте тривалість р-тактного циклу роботи БЗФ та n-тактного циклу роботи БЗЧ повинна бути однаковою.

Формування керуючих сигналів обидвох блоків пристрою здійснюється синхронізатором 3 структурна схема якого зображена на рис. 5. Наведемо основні співвідношення частот імпульсних сигналів, які формуються на вихідних синхронізатора 3.

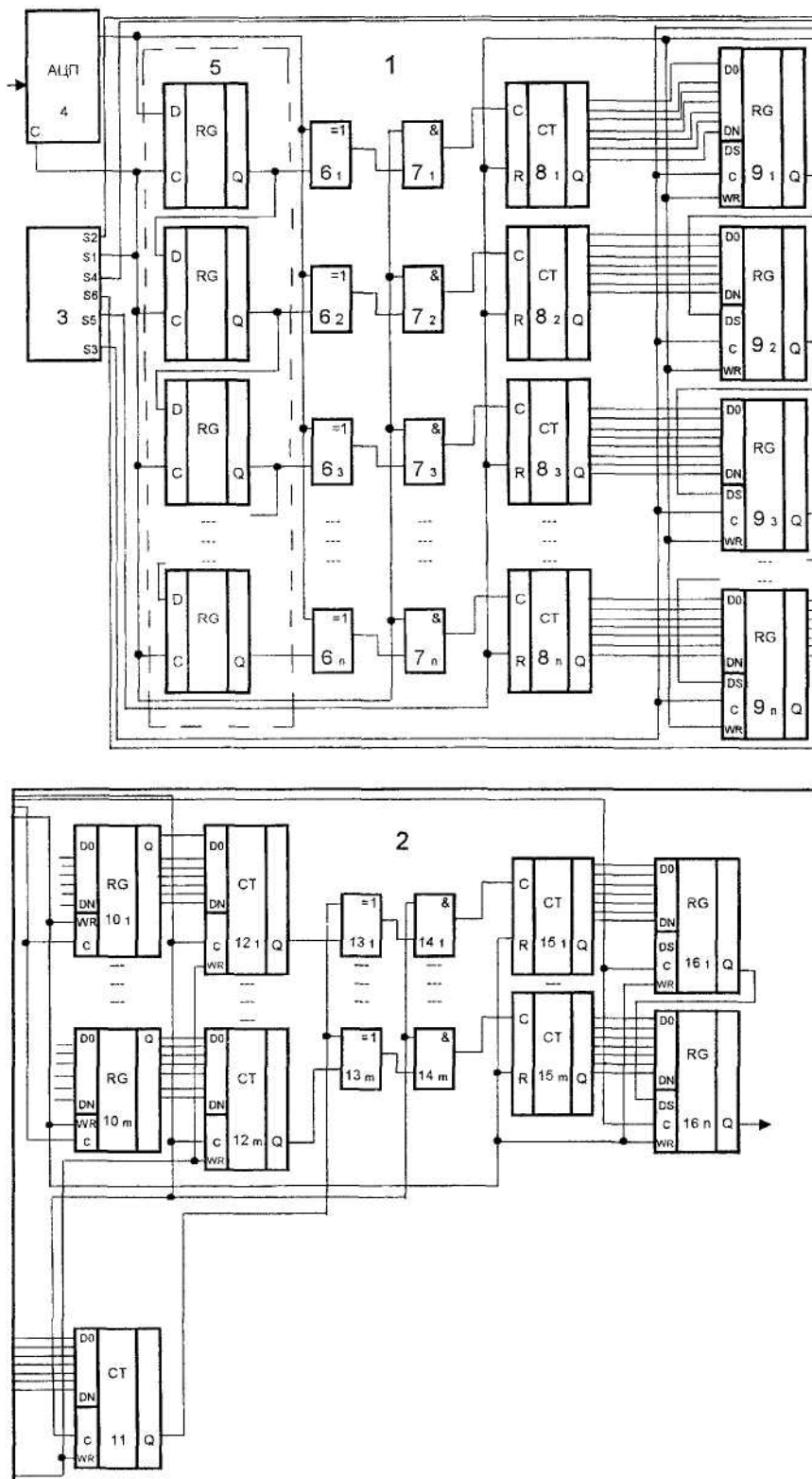


Рис. 4. Схема пристрою для визначення спектра методом подвійної згортки

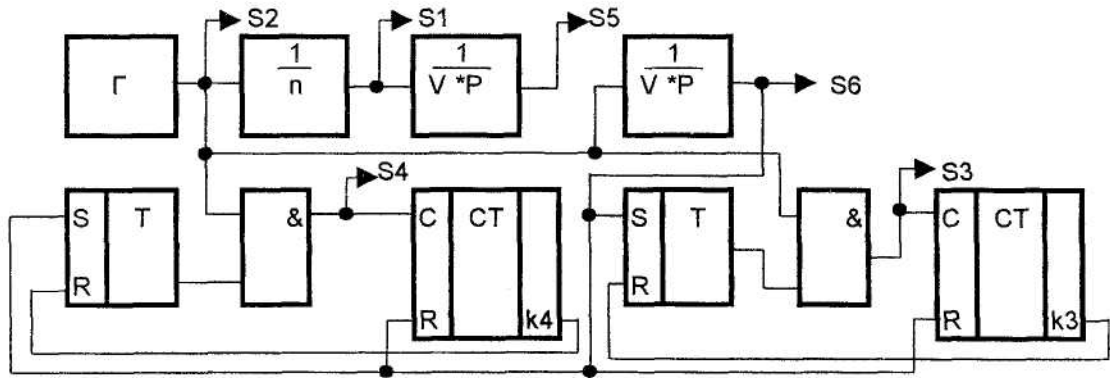


Рис. 5. Структурна схема синхронізатора

На двох виходах синхронізатора 3 S1 та S2 повинні формуватись меандрові імпульси, які тактують роботу відповідно АЦП 4, багатокаскадного регістру зсуву 5, логічних елементів I 7<sub>1</sub>–7<sub>n</sub> обчислювального середовища БЗФ (для імпульсів з виходу S1) та реверсивного лічильника 11, реверсивних лічильників 12<sub>1</sub>–12<sub>m</sub>, логічних елементів I 14<sub>1</sub>–14<sub>m</sub> обчислювального середовища БЗЧ (для імпульсів з виходу S2).

Частота імпульсів на виході S1 синхронізатора 3 повинна задовольняти умові:

$$S1 = V * S_d,$$

де V – кількість рівнів квантування вхідного сигналу по амплітуді, S<sub>d</sub> – частота дискретизації вхідного сигналу.

Частота імпульсної послідовності на виході S2 визначається тривалістю циклу згортки по частоті T<sub>q</sub> і повинна задовольняти виразу:

$$S2 = p * V * n / T_q.$$

На виходах S3 та S4 синхронізатора 3 повинні формуватись пакети меандрових імпульсів, які тактують зсуви послідовно-паралельних регістрів БЗФ та БЗЧ відповідно. Кількість імпульсів в пакетах повинна становити відповідно для виходів S3 та S4:

$$K_3 = \log_2 (V * p),$$

$$K_4 = \log_2 (V * p * n).$$

Частоти формування пакетів імпульсів повинні становити відповідно:

$$S3 = n / T_q,$$

$$S4 = m / T_q.$$

Відмітимо, що на виході S4 припустимо сформувати один пакет імпульсів загальною кількістю K<sub>4</sub> = m \* log<sub>2</sub> (V \* p \* n) частотою

$$S4 \geq m * \log_2 (V * p * n) / T_q.$$

На виходах S5, S6 повинні формуватись короткі поодинокі додатні (або від'ємні) імпульси. Імпульси на виході S5 визначають початок кожного циклу і повинні формуватись із частотою:

$$S5 = 1 / T_q.$$

Імпульси на виході S6 визначають початок кожного k-го такту згортки по частоті і повинні формуватись із частотою:

$$S6 = n / T_q.$$

Залишемо наостанок очевидне співвідношення між частотою дискретизації та тривалістю циклу згортки:

$$T_q = p / S_d.$$

#### ЛІТЕРАТУРА:

1. Гуменюк Р.М., Іщераков С.М. Методи подвійної згортки для визначення амплітудного спектра // Вісник Технологічного університету Поділля. – Хмельницький: ТУП. – 2002. – Т. 1. – № 3. – С. 69–73.

2. А.С. № 1115062. СССР. Многоканальное устройство для вычисления модульной функции // Я.Н. Николайчук, С.М. Ищеряков (СССР). Заявл. 29.10.1982. Дата принятия решения про выдачу авторского свидетельства 23.09.1984. Бюл. № 35.
3. А.С. № 1317455. СССР. Многоканальное устройство для вычисления функции эквивалентности // Я.Н. Николайчук, С.М. Ищеряков (СССР). Заявл. 02.07.1985. Дата принятия решения про выдачу авторского свидетельства 15.06.1987. Бюл. № 2 2.

ГУМЕНЮК Роман Михайлович – аспірант кафедри прикладної математики Івано-Франківського національного технічного університету нафти і газу.

Наукові інтереси:

– кореляційна обробка сигналів.

Тел.: 03422-42127.

E-mail: ism@ac.ifdtung.if.ua

ИЩЕРЯКОВ Сергій Михайлович – доцент кафедри прикладної математики Івано-Франківського національного технічного університету нафти і газу.

Наукові інтереси:

– цифрова обробка сигналів.

Тел.: 03422-42127.

E-mail: ism@ac.ifdtung.if.ua

Подано 20.08.2002