

Винахід відноситься до електро-радіовимірювальної техніки, і може бути використаний для вимірювання моментів появи і закінчення, тривалості і часових інтервалів одноразових і періодичних відеоімпульсних сигналів в різних галузях науки і техніки, наприклад в рознесених системах приймання радіоімпульсних сигналів в радіолокації для визначення різниці часу появи цих сигналів в пунктах прийому за їх огинаючою.

Методи вимірювання інтервалів часу різноманітні. Серед них широке застосування знайшов метод дискретної лічби - перетворення інтервалів часу в цифровий код. Можливість методу в основному обмежена похибкою дискретності, що виникає в наслідок несинхронності сигналів, часові параметри яких потрібно вимірювати, і лічильних імпульсів та часовою нестабільністю останніх. Для зменшення похибки дискретності використовують різновидності методу дискретної лічби: метод перетворення масштабу, метод затриманих співпадінь, ноніусний метод і ін. Гранична точність цих методів обумовлена часовими флуктуаціями періоду лічильних імпульсів відносно його середнього значення. Спричиняються такі флуктуації амплітудними і фазовими шумами як внутрішнього, так і зовнішнього походжень. Основними джерелами їх походження є тепловий і дробовий шум, перехресні завади від сигналів перетворення, вплив дисперсії при розповсюдженні сигналів і ін. Значні часові флуктуації сигналів, які в зарубіжних джерелах інформації називають "джітером", спостерігаються при проектуванні цифрових пристроїв з використанням програмованих логічних інтегральних схем [1].

Відомий вимірювач інтервалів часу, який містить генератор лічильних імпульсів, канал стартових імпульсів і канал столових імпульсів, два перетворювачі масштабу часу і два лічильники точного вимірювання відрізків часу в кожному з каналів стартового і стопового імпульсів, лічильник грубого вимірювання і схему керування [2].

Недоліком даного вимірювача є низька точність вимірювання часових інтервалів, зумовлена часовими флуктуаціями лічильних імпульсів на входах лічильника грубого вимірювання і входах лічильників точних вимірювань відрізків часу.

Найбільш близьким за сукупністю ознак до пристрою, що заявляється, є вимірювач інтервалів часу частотоміра ЧЗ-54, який містить основний лічильник числа імпульсів, послідовно з'єднаний з першим дешифратором і пристроєм відображення, і канал вимірювання, в який входять перший пристрій формування, перший вхід якого є першим входом вимірювача інтервалів часу, а вихід послідовно з'єднаний з генератором лічильних імпульсів, першим селекторним каскадом і входом основного лічильника, другий пристрій формування, перший вхід якого є другим входом вимірювача інтервалів часу, а вихід послідовно з'єднаний з формувачем точної шкали, який містить послідовно з'єднані генератор ноніусних імпульсів, другий селекторний каскад, лічильник ноніусний і другий дешифратор, виходом з'єднаний з другим входом пристрою відображення, при цьому схема керування, в яку входять схема співпадінь, перший і другий тригери, першим виходом з'єднана з другими входами першого і другого пристроїв формування, другим і третім виходами - з другими входами відповідно першого і другого селекторних каскадів, першим і другим входами - з другими виходами відповідно першого і другого пристроїв формування, третім і четвертим входами - з другими виходами відповідно генератора лічильних імпульсів і генератора ноніусних імпульсів [3].

Недоліками даного вимірювача є низька точність вимірювання інтервалів часу і обмежені функціональні можливості. Низька точність вимірювання зумовлена флуктуаціями періодів повторення лічильних і ноніусних імпульсів та нестабільністю спрацювання селекторних каскадів, викликаних амплітудними і фазовими шумами внутрішнього і зовнішнього походжень, що приводить до похибки підрахунку числа імпульсів на ± 1 основним і ноніусним лічильниками. Крім цього, на точність вимірювання впливає нестабільність початкової фази генератора ноніусних імпульсів. Обмежені функціональні можливості зумовлені неможливістю одночасного вимірювання моментів появи і закінчення, тривалості і інтервалів часу двох і більше одноразових і періодичних відеоімпульсних сигналів.

В основу винаходу доставлено задачу удосконалити вимірювач інтервалів часу шляхом введення в нього генератора гармонійного сигналу, підсилювача -обмежувача, 2-го, 3-го і n-го каналів вимірювання і обчислювача, а в кожен із n-каналів вимірювання - першого і другого регістрів точної шкали, коректора грубої шкали і регістра грубої шкали, що дозволить усунути функціональну обмеженість, зумовлену відсутністю можливості одночасного вимірювання моментів появи і закінчення, тривалості і інтервалів часу двох і більше сигналів та підвищити точність їх вимірювання шляхом усунення похибки підрахунку числа лічильних імпульсів.

Поставлена задача досягається тим, що у вимірювач інтервалів часу, який містить лічильник числа імпульсів, пристрій відображення і канал вимірювання, в який входять формувач точної шкали і пристрій формування, перший вхід якого з'єднаний з четвертим входом каналу вимірювання і є входом вимірювача інтервалів часу, а вихід - з другим входом формувача точної шкали, згідно винаходу, додатково введені генератор гармонійного сигналу, підсилювач -обмежувач, 2-й, 3-й, ..., n-й канали вимірювання і обчислювач, перший вхід кожного з n - каналів вимірювання з'єднаний з виходом лічильника, другий вхід - з виходом підсилювача - обмежувача і входом лічильника числа імпульсів, третій вхід - з виходом генератора гармонійних сигналів і входом підсилювача -обмежувача, п'ятий і шостий входи - кожен з окремою вхідною шиною вимірювача інтервалів часу, кожний вихід кожного з n-каналів вимірювання з'єднаний з окремими входами обчислювача, вихід якого з'єднаний з виходом пристрою відображення, при цьому в кожен із n-каналів вимірювання введені перший і другий регістри точної шкали, коректор грубої шкали і регістр грубої шкали, перший і другий входи кожного з каналів вимірювання з'єднані відповідно з першим і другим входами коректора грубої шкали, третій, п'ятий і шостий входи - відповідно з першим, третім і четвертим входами формувача точної шкали, перший і другий входи якого з'єднані з першими входами відповідно першого і другого регістрів точної шкали, а третій вихід - з другими входами цих регістрів, перші входи яких з'єднані відповідно з четвертим і п'ятим входами коректора грубої шкали, третій вхід якого з'єднаний з виходом пристрою формування і другим входом формувача точної шкали, а перший і другий входи - відповідно з першим і другим входами регістра грубої шкали, виходом з'єднаним з першим виходом каналу вимірювання, другий і третій входи якого з'єднані з другими виходами відповідно першого і другого регістрів точної шкали,

четвертий вихід - з другим входом пристрою формування і другим виходом коректора грубої шкали.

Крім цього в кожен із формувачів точної шкали введені перший і другий аналого-цифрові перетворювачі, обертач фази і регулятор фази, перший і другий виходи якого є виходами формувача точної шкали, а перший і другий входи з'єднані відповідно з виходом першого і першим виходом другого аналого-цифрових перетворювачів, перший вхід першого аналого-цифрового перетворювача є першим входом формувача точної шкали і з'єднаний з входом обертача фази, вихід якого з'єднаний з першим входом другого аналого-цифрового перетворювача, другим виходом з'єднаний з третім виходом формувача точної шкали, другі входи обох аналого-цифрових перетворювачів з'єднані між собою і є другим входом формувача точної шкали, третій і четвертий входи якого є відповідно третім і четвертим входом регулятора фази.

В кожен коректор грубої шкали введено перший, другий і третій регістри, мультиплексор, формувач імпульсів, фіксатор логічного стану і формувач адреси, перший вхід коректора грубої шкали з'єднаний з першим входом першого регістра, виходом з'єднаний з першим входом мультиплексора і першим входом другого регістра, вихід якого з'єднаний з другим входом мультиплексора і першим входом третього регістра, виходом з'єднаний з третім входом мультиплексора, вихід якого з'єднаний з першим виходом коректора грубої шкали, другий вихід якого з'єднаний з першим виходом формувача імпульсів, другий вхід - з другими входами регістрів, другим входом формувача імпульсів і третім входом фіксатора логічного стану, третій вхід - з першим входом формувача імпульсів і другим входом фіксатора логічного стану, четвертий і п'ятий входи - відповідно з другим і третім входами формувача адреси, перший і другий виходи якого з'єднані відповідно з четвертим і п'ятим входами мультиплексора, а перший вхід - з виходом фіксатора логічного стану, перший вхід якого з'єднаний з другим виходом формувача імпульсів і третіми входами регістрів.

А також коректор грубої шкали містить суматор-віднімач, формувач імпульсів, фіксатор логічного стану і керувач суматором, перший вхід коректора грубої шкали з'єднаний з першим входом суматора-віднімача, другий вхід - з другим входом формувача імпульсів і третім входом фіксатора логічного стану, третій вхід - з першим входом формувача імпульсів і другим входом фіксатора логічного стану, виходом з'єднаний з першим виходом керувача суматором, четвертий і п'ятий входи - відповідно з другим і третім входами керувача суматором, перший і другий виходи якого з'єднані відповідно з другим і третім входами суматора-віднімача, виходом з'єднаний з першою вихідною шиною коректора грубої шкали, друга вихідна шина якого з'єднана з першим виходом формувача імпульсів, другим виходом з'єднаний з першим входом фіксатора логічного стану.

Введення у вимірювач інтервалів часу додаткових функціональних блоків забезпечує підвищення точності вимірювання моментів появи і закінчення, тривалості і інтервалів часу одноразових і періодичних сигналів та розширення функціональних можливостей. Введення коректорів грубої шкали усуває похибку в підрахунок числа імпульсів лічильника числа імпульсів, зумовленої нестабільністю моменту спрацювання лічильника відносно початку точної шкали, а використання у формувачі точної шкали цифрових пристроїв для визначення тривалості дробової частини періоду гармонійного сигналу зменшує похибку дискретності.

На Фіг.1 зображена структурна схема вимірювача інтервалів часу, на Фіг.2 - структурна схема формувача точної шкали, на Фіг.3 і Фіг.4 - варіанти структурних схем коректора грубої шкали, на Фіг.5 - діаграми сигналів, які пояснюють роботу вимірювача інтервалів часу, на Фіг.6 і Фіг.7 - діаграми сигналів, які пояснюють роботу формувача точної шкали, на Фіг.8 - діаграми сигналів, які пояснюють роботу коректора грубої шкали, на Фіг.9, 10, 11, 12, 13 і 14 - можливі варіанти схем відповідно пристрою формування, регулятора фази, формувача імпульсів, фіксатора логічного стану, формувача адреси і керувача суматором.

Вимірювач інтервалів часу містить (Фіг.1) лічильник 1 числа імпульсів, пристрій 2 відображення і канали 3-1 ... 3-п вимірювання, в кожен з яких входять формувач 4 точної шкали і пристрій 5 формування, перший вхід якого з'єднаний з четвертим входом каналу 3-1 вимірювання і є входом вимірювача інтервалів часу, а вихід - з другим входом формувача 4 точної шкали, генератор 6 гармонійного сигналу, підсилювач - обмежувач 7 і обчислювач 8, перший вхід кожного з п-каналів 3 вимірювання з'єднаний з виходом лічильника 1, другий вхід - з виходом підсилювача - обмежувача 7 і входом лічильника 1 числа імпульсів, третій вхід - з виходом генератора 6 гармонійних сигналів і входом підсилювача-обмежувача 7, п'ятий і шостий входи - кожен з окремою вхідною шиною вимірювача інтервалів часу, кожний вихід кожного з п-каналів 3 вимірювання з'єднаний з окремими входами обчислювача 8, вихід якого з'єднаний з входом пристрою 2 відображення, при цьому в кожен із п-каналів 3 вимірювання введені перший 9 і другий 10 регістри точної шкали, коректор 11 грубої шкали і регістр 12 грубої шкали, перший і другий входи кожного з каналів 3 вимірювання з'єднані відповідно з першим і другим входами коректора 11 грубої шкали, третій, п'ятий і шостий входи - відповідно з першим, третім і четвертим входами формувача 4 точної шкали, перший і другий виходи якого з'єднані з першими входами відповідно першого 9 і другого 10 регістрів точної шкали, а третій вихід - з другими входами цих регістрів 9 і 10, перші виходи яких з'єднані відповідно з четвертим і п'ятим входами коректора 11 грубої шкали, третій вхід якого з'єднаний з виходом пристрою 5 формування і другим входом формувача 4 точної шкали, а перший і другий виходи - відповідно з першим і другим входами регістра 12 грубої шкали, виходом з'єднаний з першим виходом каналу 3 вимірювання, другий і третій виходи якого з'єднані з другими виходами відповідно першого 9 і другого 10 регістрів точної шкали, четвертий вихід - з другим входом пристрою 5 формування і другим виходом коректора 11 грубої шкали, при цьому формувач 4 точної шкали (Фіг.2) містить перший 13, і другий 14 аналого-цифрові перетворювачі, обертач 15 фази і регулятор 16 фази, перший і другий виходи якого є виходами формувача 4 точної шкали, а перший і другий входи з'єднані відповідно з виходами першого 13 і першим виходом другого 14 аналого-цифрових перетворювачів, перший вхід першого 13 аналого-цифрового перетворювача є першим входом формувача 4 точної шкали і з'єднаний з входом обертача 15 фази, вихід якого з'єднаний з першим входом другого 14 аналого-цифрового перетворювача, другим виходом з'єднаний з третім виходом формувача 4 точної шкали, другі входи обох 13 і 14 аналого-цифрових перетворювачів з'єднані між собою і є другим входом формувача 4 точної шкали, третій і четвертий входи якого є відповідно третім і четвертим входом регулятора 16 фази, при цьому коректор 11 грубої шкали (Фіг.3) містить перший 17, другий 18 і третій 19 регістри, мультиплексор 20, формувач 21 імпульсів, фіксатор

22 логічного стану і формувач 23 адреси, перший вхід коректора 11 грубої шкали з'єднаний з першим входом першого 17 регістра, виходом з'єднаним з першим входом мультиплексора 20 і першим входом другого 18 регістра, вихід якого з'єднаний з другим входом мультиплексора 20 і першим входом третього 19 регістра, виходом з'єднаним з третім входом мультиплексора 20, вихід якого з'єднаний з першим виходом коректора 11 грубої шкали, другий вихід якого з'єднаний з першим виходом формувача 21 імпульсів, другий вхід - з другими входами регістрів 17, 18, 19, другим входом формувача 21 імпульсів і третім входом фіксатора 22 логічного стану, третій вхід - з першим входом формувача 21 імпульсів і другим входом фіксатора 22 логічного стану, четвертий і п'ятий входи - відповідно з другим і третім входами формувача 23 адреси, перший і другий виходи якого з'єднані відповідно з четвертим і п'ятим входами мультиплексора 20, а перший вхід - з виходом фіксатора 22 логічного стану, перший вхід якого з'єднаний з другим виходом формувача 21 імпульсів і третіми входами регістрів 17, 18 і 19, в тому числі коректор 11 грубої шкали містить (Фіг.4) суматор-віднімач 24, формувач 25 імпульсів, фіксатор 26 логічного стану і керувач 27 суматором, перший вхід коректора 11 грубої шкали з'єднаний з першим входом суматора-віднімача 24, другий вхід - з другим входом формувача 25 імпульсів і третім входом фіксатора 26 логічного стану, третій вхід - з першим входом формувача 25 імпульсів і другим входом фіксатора 26 логічного стану, виходом з'єднаним з першим входом керувача 27 суматором, четвертий і п'ятий входи - відповідно з другим і третім входами керувача 27 суматором, перший і другий виходи якого з'єднані відповідно з другим і третім входами суматора-віднімача 24, виходом з'єднаним з першою вихідною шиною коректора 11 грубої шкали, друга вихідна шина якого з'єднана з першим виходом формувача 25 імпульсів, другим виходом з'єднаним з першим входом фіксатора 26 логічного стану.

Вимірювач інтервалів часу працює наступним чином. Формуються груба і точна шкали часу. За допомогою грубої шкали часу визначається ціле число періодів опорного (еталонного) гармонійного сигналу, а за допомогою точної шкали - дробова частина періоду цього сигналу, які складаються в інтервал часу, що вимірюється. На виході генератора 6 відбувається зміна опорного сигналу в часі за законом синусоїдної функції (Фіг.6а):

$$X(t) = \sin \omega t = \sin 2\pi f t \quad (1)$$

де f - частота опорного сигналу, $\pi = 3,14...$

З генератора 6 опорний сигнал (1) поступає на перший вхід формувача 4 з деяким запізненням в часі (Фіг.5а, Фіг.6б), тобто зі зсувом фази на φ_1 :

$$X(t) = \sin(\omega t - \varphi_1) \quad (2)$$

Зсув фази φ_1 обумовлений електричною довжиною шляху проходження опорного сигналу від генератора 6 до формувача 4.

На Фіг.5б зображені ідеалізовані імпульси Z_t прямокутної форми, період повторення яких рівний періоду повторення сигналу (2), а на Фіг.5в - двійкові коди на виході лічильника 1, які відповідають числу імпульсів Z_t . Під впливом амплітудних і фазових шумів внутрішнього і зовнішнього походження відбуваються часові флуктуації моментів переходу через нуль сигналів (1) і (2) в підсилювачі-обмежувачі 7, моментів зростання і спаду імпульсів на вході лічильника 1 числа імпульсів. Вплив всіх цих часових флуктуацій зображено у вигляді імпульсів Z_t^+ і Z_t^- , зміщених в часі (Фіг.5г,е) відносно імпульсів Z_t і відповідні цим зміщенням імпульсам двійкові коди на виході лічильника 1 - на Фіг.5д,е.

Нехай в деякий момент часу t_1 на четвертий вхід одного з каналів 3 вимірювання, наприклад Першого каналу 3-1, поступає сигнал Z_a (Фіг.5ж), моменти появи і закінчення якого потрібно зафіксувати і визначити інтервал часу між цими моментами. Характерні точки на сигналі Z_a , які відповідають моментам його появи і закінчення, виробляє пристрій 5 формування. Цим точкам відповідають моменти t_2 і t_7 зростання імпульсного сигналу Z_b (Фіг.5з) на виході пристрою 5 формування. Поряд з наявним синусоїдним сигналом (2) (Фіг.5а і 6б) у формувачі 4 утворюється косинусоїдний сигнал (Фіг.5и):

$$X(t) = \cos(\omega t - \varphi_1) \quad (3)$$

В момент t_2 зростання сигналу Z_b на другому вході формувача 4, він здійснює вибірки миттєвих значень сигналів (2) і (3) і перетворення їх у двійкові коди, значення яких рівні (Фіг.5і, Фіг.5ї):

$$\sin(\omega t_2 - \varphi_1) = a_{s1} \text{ і } \cos(\omega t_2 - \varphi_1) = a_{c1} \quad (4)$$

Крім того, в формувачі 4 відбувається корекція значень двійкових кодів (4). Така корекція потрібна, щоб усунути розбіжності моментів переходу через нуль в напрямку зростання сигналу (2) на першому вході формувача 4 з моментами зростання імпульсів на вході лічильника 1. Іншими словами потрібно сумістити початок точної шкали (перехід сигналу (2) через нуль в напрямку зростання) з "поділкою" грубої шкали (моментом зростання імпульсів на вході лічильника 1). Вище згадані розбіжності часових моментів зумовлені різними електричними довжинами шляхів проходження сигналів від генератора 6 до лічильника 1 і від генератора 6 до формувача 4 точної шкали. Прийmemo, що в першому випадку шлях проходження сигналів приводить до зсуву фази на φ_2 (Фіг.6в), а в другому випадку, як зазначалось раніше, - на φ_1 (Фіг.6б). Корекція кодів, що відповідають значенням (4), здійснюється наступним чином. На третій і четвертий входи формувача 4 точної шкали подаються двійкові коди (Фіг.5й, к), які відповідають значенням:

$$\sin(\varphi_1 - \varphi_2) = b_s \text{ і } \cos(\varphi_1 - \varphi_2) = b_c \quad (5)$$

В результаті перетворень (перемножень і алгебраїчного сумування) двійкових кодів (4) і (5) згідно нижче наведених виразів:

$$\sin(\omega t_2 - \varphi_1) \cos(\varphi_1 - \varphi_2) + \cos(\omega t_2 - \varphi_1) \sin(\varphi_1 - \varphi_2) \quad (6)$$

$$\cos(\omega t_2 - \varphi_1) \cos(\varphi_1 - \varphi_2) - \sin(\omega t_2 - \varphi_1) \sin(\varphi_1 - \varphi_2) \quad (7)$$

на першому і другому виходах формувача 4 утворюються двійкові коди (Фіг.5л,м), значення яких відповідають цим виразам і рівні:

$$\sin(\omega t_2 - \varphi_2) = a_{s1}^* \quad (8)$$

$$\cos(\omega t_2 - \varphi_2) = a_{c1}^* \quad (9)$$

Сигнал $\sin(\omega t - \varphi_2)$ і його миттєве значення в момент t_2 , $\sin(\omega t_2 - \varphi_2) = a_{s1}^*$, зображені на Фіг.6в. Зазначимо, що отримане значення двійкового коду (8) не відповідає миттєвому значенню сигналу $\sin(\omega t - \varphi_1)$ в момент t_2 , який фактично є на першому вході формувача 4, а відповідає миттєвому значенню сигналу $\sin(\omega t - \varphi_2)$ (Фіг.6в), який мав би бути на цьому вході. Тобто, відповідає сигналу, моменти переходу через нуль якого збігаються з моментами зростання імпульсів на вході лічильника 1. На Фіг.5а, и, Фіг.6б, в і Фіг.7а,б точками a_{s1} , a_{s2} і a_{c1} , a_{c2} відображені значення a_{s1}^* , a_{c1}^* і a_{s2}^* , a_{c2}^* для випадку $\varphi_1 < \varphi_2$, точками a'_{s1} , a'_{s2} і a'_{c1} , a'_{c2} - для випадку $\varphi_1 > \varphi_2$, точками a''_{s1} , a''_{s2} і a''_{c1} , a''_{c2} - для випадку $\varphi_1 > \varphi_2$.

На третьому виході формувача 4 точної шкали в момент t_3 з'являється сигнал Z_d (Фіг.5н), який сигналізує про усталення кодів на його першому і другому виходах. За допомогою цього сигналу здійснюється записування двійкових кодів в перший 9 і другий 10 регістри точної шкали (Фіг.5о, п), з виходів яких вони поступають в обчислювач 8. Обчислювач 8 визначає інтервал часу Δt_1 між моментом переходу сигналу $\sin(\omega t - \varphi_2)$ через нуль в напрямку зростання і моментом t_2 появи сигналу Z_b (Фіг.6). Згідно Фіг.6 інтервал часу Δt_1 і фаза ωt_2 зв'язані співвідношенням

$$\omega t_2 = \omega \Delta t_1 + \varphi_2 \quad (10)$$

Підставляючи в (8) і (9) замість ωt_2 праву частину (10), отримаємо рівняння

$$\sin \omega \Delta t_1 = a_{s1}^* \text{ і } \cos \omega \Delta t_1 = a_{c1}^* \quad (11)$$

з яких знаходимо інтервал часу Δt_1 :

$$\Delta t_1 = \frac{\arctg \frac{a_{s1}^*}{a_{c1}^*}}{\omega} \quad (12)$$

З перших виходів регістрів 9 і 10 точної шкали на четвертий і п'ятий входи коректора 11 грубої шкали поступають сигнали Z_s (Фіг.5р) і Z_c (Фіг.5с). Ці сигнали являють собою імпульсні сигнали відповідних старших розрядів двійкових кодів, які присутні на других виходах цих регістрів. Коректор 11 грубої шкали проводить аналіз логічних станів сигналів Z_s , Z_c і флюктуючих в часі імпульсів Z_t (Z_t^+ , Z_t^-), які поступають на четвертий, п'ятий і другий входи коректора 11. В результаті цього аналізу коректор 11 здійснює уточнення двійкових кодів, які поступили в моменти t_2 на його перший вхід. Уточнення кодів полягає в наступному: якщо число флюктуючих в часі імпульсів Z_t^+ чи Z_t^- відповідає числу імпульсів Z_t , то коректор 11 передає код з входу на вихід без зміни; якщо число флюктуючих в часі імпульсів Z_t^+ чи Z_t^- більше або менше за число імпульсів Z_t , то коректор 11 змінює вхідний код в бік зменшення або збільшення на одну одиницю. В результаті на першому виході коректора 11 з моменту t_4 відбувається встановлення і фіксація істинного коду (Фіг.5т) з лічильника 1, тобто коду, який був би на виході лічильника 1 (Фіг.5в) в момент t_2 при відсутності часових флюктуацій імпульсів Z_t^+ і Z_t^- . Після усталення коду на першому виході коректора 11 грубої шкали на його другому виході в момент t_5 зростання імпульсу Z_t^+ чи Z_t^- з'являється імпульс Z_r (Фіг.5у). Цей імпульс забезпечує записування коду з коректора 11 в регістр 12 грубої шкали (Фіг.5ф) і повернення пристрою 5 формування у вихідний стан (Фіг.5з). Закінчення імпульсу Z_r відбувається в момент t_6 чергового зростання імпульсу Z_t^+ чи Z_t^- , а з наступних моментів зростання цих імпульсів коди на виході коректора 11 знову починають змінюватися.

Момент t_2 появи сигналу Z_b обчислюється за формулою:

$$t_2 = N_1 \tau_0 + \Delta t_1 = N_1 \tau_0 + \arctg \frac{a_{s1}^*}{a_{c1}^*} / \omega \quad (13)$$

де N_1 - число імпульсів, що відповідають коду на виході регістра 12 в момент t_2 ; τ_0 - період повторення опорного сигналу $\sin \omega t$.

В момент t_7 спадання сигналу Z_a на виході пристрою 5 формування з'являється знову сигнал Z_b (Фіг.5з і Фіг.6д момент t_7) і канал вимірювання починає нове перетворення сигналів згідно вище описаного алгоритму. Кінцевим результатом перетворень сигналів є отримання кодів на виходах регістрів 9 і 10 точної і регістра 12 грубої шкали і передача їх в обчислювач 8. Обчислювач 8 за отриманими даними знаходить момент t_7 закінчення сигналу Z_a :

$$t_7 = N_2 \tau_0 + \Delta t_2 = N_2 \tau_0 + \arctg \frac{a_{s2}^*}{a_{c2}^*} / \omega \quad (14)$$

де N_2 - число імпульсів, що відповідають коду на виході регістра 12 в момент t_7 ;

Δt_2 - інтервал часу між моментом переходу сигналу $\sin(\omega t - \varphi_2)$ через нуль в напрямку зростання і моментом t_7 чергової появи сигналу Z_b (Фіг.6).

За відомими моментами появи (13) і закінчення (14) сигналу Z_a обчислювач знаходить його тривалість Δt :

$$\Delta t = t_7 - t_2 = \tau_0 (N_2 - N_1) + \frac{\arctg(a_{s2}^* / a_{c2}^*) - \arctg(a_{s1}^* / a_{c1}^*)}{\omega} \quad (15)$$

Введення додаткових каналів вимірювання дозволяє одночасно знаходити моменти появи і закінчення, тривалість і інтервали часу n -сигналів Z_a , які поступають на входи цих каналів. Наявність в каналах 3 вимірювання коректора 11 грубої шкали, який усуває вплив часових флюктуацій імпульсів Z_t^+ і Z_t^- на входи лічильника 1 і часових флюктуацій сигналів безпосередньо в лічильнику 1, а також корекцію кодів у формувачі 4 точної шкали, забезпечують високу точність одночасного вимірювання моментів появи і закінчення, тривалості і часових інтервалів одного чи більше одноразових і періодичних відеоімпульсних сигналів.

Формувач 4 точної шкали (Фіг.2) працює наступним чином. На перший вхід першого 13 аналого-цифрового перетворювача (АЦП) і вхід обертача 15 фази поступає сигнал $\sin(\omega t - \varphi_1)$ (Фіг.7а). На виході обертача 15 фаза цього сигналу зсунута на 90° (Фіг.7б). В результаті на перші входи першого 13 і другого 14 АЦП поступають гармонійні сигнали, які змінюються в часі відповідно за законами синуса $\sin(\omega t - \varphi_1)$ і косинуса $\cos(\omega t - \varphi_1)$. В

момент t_1 появи на других входах АЦП сигналу Z_v (Фіг.7в) відбуваються вибірки миттєвих значень $a_{s1} = \sin(\omega t_1 - \varphi_1)$ і $a_{c1} = \cos(\omega t_1 - \varphi_1)$ сигналів $\sin(\omega t - \varphi_1)$ і $\cos(\omega t - \varphi_1)$ і перетворення їх у двійкові коди (Фіг.7г, д). Ці двійкові коди з виходів АЦП поступають на перший і другий входи регулятора фази 16. На третій і четвертий входи регулятора 16 фази поступають двійкові коди $\sin(\varphi_1 - \varphi_2) = b_s$ і $\cos(\varphi_1 - \varphi_2) = b_c$ (Фіг.7е, є). В регуляторі 16 фази відбувається перетворення вхідних кодів згідно виразів (6) і (7). В результаті цих перетворень на першому і другому виходах регулятора 16 фази двійкові коди (Фіг.7ж, з) відповідають зміщенням на φ_2 миттєвим значенням $a_{s1}' = \sin(\omega t_1 - \varphi_2)$ і $a_{c1}' = \cos(\omega t_1 - \varphi_2)$, де $a_{s1}' = a_{s1}$ чи $a_{s1}' = -a_{s1}$ чи $a_{c1}' = a_{c1}$ чи $a_{c1}' = -a_{c1}$ і залежить від співвідношення між φ_1 і φ_2 . На третій вихід формувача 4 точної шкали з другого виходу другого 14 АЦП поступає сигнал Z_d (Фіг.7и, момент t_2), призначений для записування двійкових кодів в регістри 9 і 10. В момент t_3 спаду сигналу Z_v стан формувача 4 точної шкали не змінюється. В момент t_4 чергового зростання сигналу Z_v АЦП здійснюють нові вибірки a_{s2}' і a_{c2}' миттєвих значень сигналів і перетворюють їх у двійкові коди, які коректуються в регуляторі 16 фази. Цикли вибірок миттєвих значень сигналів і їх перетворень відбуваються при кожному зростанні сигналу Z_v .

На Фіг.3 зображена структурна схема коректора 11 грубої шкали, а на Фіг.8 часові діаграми сигналів, які пояснюють його роботу. На Фіг.8а і Фіг.8б зображені відповідно сигнали $\sin(\omega t - \varphi_2)$ і $\cos(\omega t - \varphi_2)$, на Фіг.8в і Фіг.8г - ідеалізований сигнал Z_t і відповідний йому двійковий код K_1 на виході лічильника 1, а на Фіг.8д і Фіг.8е - сигнал Z_t^+ зміщений у часі відносно сигналу Z_t і відповідний йому двійковий код на виході лічильника 1. Коректор 11 грубої шкали працює наступний: чином. На перший вхід регістра 17 поступають сигнали двійкових кодів (Фіг.8е), які змінюються з частотою імпульсів Z_t^+ (Фіг.8д). В моменти зростання імпульсів Z_t^+ відбувається переписування кодів з перших входів регістрів 17, 18 і 19 на їх виходи. В результаті, на виході регістра 17 з'являється поточний код (Фіг.8е), а на виходах регістрів 18 і 19 - два попередні коди (Фіг.8ж,з). Код на вході регістра 17 і вихідні коди регістрів 17, 18 і 19 зсунуті в часі відносно зростання імпульсів Z_t^+ на тривалість затримки розповсюдження сигналів. В момент t_1 на перший вхід формувача 21 імпульсів поступає сигнал Z_v (Фіг.8и), а на другий і третій входи формувача 23 адреси - сигнали Z_s і Z_c (Фіг.8і,ї). Сигнали Z_s і Z_c є сигналами старших розрядів двійкових кодів, утворених із вибірок миттєвих значень синусоїдного $\sin(\omega t - \varphi_2)$ (Фіг.8а) і косинусоїдного $\cos(\omega t - \varphi_2)$ (Фіг.8б) сигналів у формувачі точної шкали. При цьому, логічні нулі сигналів Z_s і Z_c відповідають додатнім, а логічні одиниці - від'ємним півперіодам сигналів $\sin(\omega t - \varphi_2)$ і $\cos(\omega t - \varphi_2)$. Можливі комбінації логічних станів сигналів Z_s і Z_c в будь-який з моментів появи сигналу Z_v представлено в другому і третьому стовпцях таблиці 1.

В першому стовпці таблиці 1 відображені логічні стани сигналу Z_n на виході фіксатора 22 логічного стану, в четвертому і п'ятому стовпцях - відповідно стани сигналів y_1 і y_2 на першому і другому виходах формувача 23 адреси. В шостому стовпці таблиці 1 вказані номери регістрів, коди яких передаються на вихід мультиплексора 20, в сьомому стовпці - порядковий номер коду, який з'являється на виході мультиплексора 20 в один з моментів появи сигналу Z_v .

Таблиця 1

1	2	3	4	5	6	7
Z_n	Z_s	Z_c	y_1	y_2	№ регістра	результуючий код
0	0	0	0	0	18	N
0	0	1	0	0	18	N
0	1	0	0	1	19	N-1
0	1	1	0	0	18	N
1	0	0	1	0	17	N+1
1	0	1	0	0	18	N
1	1	0	0	0	18	N
1	1	1	0	0	18	N

Після появи сигналу Z_v (Фіг.8и) і в момент t_2 зростання чергового імпульсу Z_t^+ на другому виході формувача 21 імпульсів утворюються сигнал Z_k (Фіг.8й). Цей сигнал забезпечує фіксування наявних в регістрах двійкових кодів, забороняючи записування нових кодів. Після появи сигналу Z_k і в момент t_3 спаду чергового імпульсу Z_t^+ фіксатор 22 логічного стану запам'ятовує логічний стан сигналу Z_k (Фіг.8й). При цьому, на виході фіксатора 22 утворюється сигнал Z_n (Фіг.8к, момент t_3), який поступає на перший вхід формувача 23 адреси, на другий і третій входи якого поступають сигнали Z_s і Z_c . Формувач 23 в залежності від логічних станів сигналів на його входах видає на першому і другому виходах відповідно сигнали y_1 (Фіг.8л) і y_2 (Фіг.8м). Ці сигнали, в залежності від їх логічних станів (дивись таблицю 1), забезпечують проходження двійкових кодів одного з регістрів 17, 18 чи 19 на вихід мультиплексора 20 (Фіг.8н). Після появи сигналу Z_k (Фіг.8й, момент t_2) і в момент t_4 чергового зростання сигналу Z_t^+ на першому виході формувача 21 імпульсів утворюється сигнал Z_r (Фіг.8о). Цей сигнал забезпечує записування коду з виходу мультиплексора 20 в регістр 12 (Фіг.8п) вимірювача інтервалів часу і повернення сигналу Z_v у стан логічного нуля (Фіг.8и). Після спаду сигналу Z_v і в момент t_5 чергового зростання імпульсу Z_t^+ формувач 21 імпульсів повертається у вихідний стан (Фіг.8й,о). При цьому знімається заборона записування двійкових кодів з лічильника 1 числа імпульсів в регістри 17, 18, 19. Після спаду сигналу Z_k і в момент чергового спаду імпульсу Z_t^+ фіксатор 23 логічного стану також повертається у вихідний стан, тобто сигнал Z_n приймає стан логічного "0" (Фіг.8к, момент t_6). Починаючи з моменту t_5 , коли сигнал Z_k зняв заборону записування двійкових кодів в регістри 17, 18 і 19, в них відбувається оновлення кодів, яке завершується через три такти сигналу Z_t^+ в момент t_7 . З моменту t_7 , коли в регістрах починається поточна зміна двійкових кодів, коректор 11 грубої шкали в момент t_8 появи сигналу Z_d готовий до наступного циклу перетворень.

Крім цього, інший варіант коректора 11 грубої шкали (Фіг.4) працює наступним чином. На перший вхід

суматора-віднімача 24 поступають двійкові коди з виходу лічильника 1 числа імпульсів, на другий і третій входи - сигнали логічного нуля чи логічної одиниці. Формувач 25 імпульсів і фіксатор 26 логічного стану працюють таким же чином, як формувач 21 і фіксатор 22 у вище описаному коректорі 11. Керувач 27 суматором, в залежності від логічних станів сигналів Z_n , Z_s і Z_c (таблиця 2) на його входах, виробляє на своїх виходах сигнали логічного "0" чи "1".

Таблиця 2

1	2	3	4	5	6
Z_n	Z_s	Z_c	y_1	y_2	результуючий код
0	0	0	0	*	N
0	0	1	0	*	N
0	1	0	1	0	N-1
0	1	1	0	*	N
1	0	0	1	1	N+1
1	0	1	0	*	N
1	1	0	0	*	N
1	1	1	0	*	N

* - означає будь-який зі станів "0" чи "1".

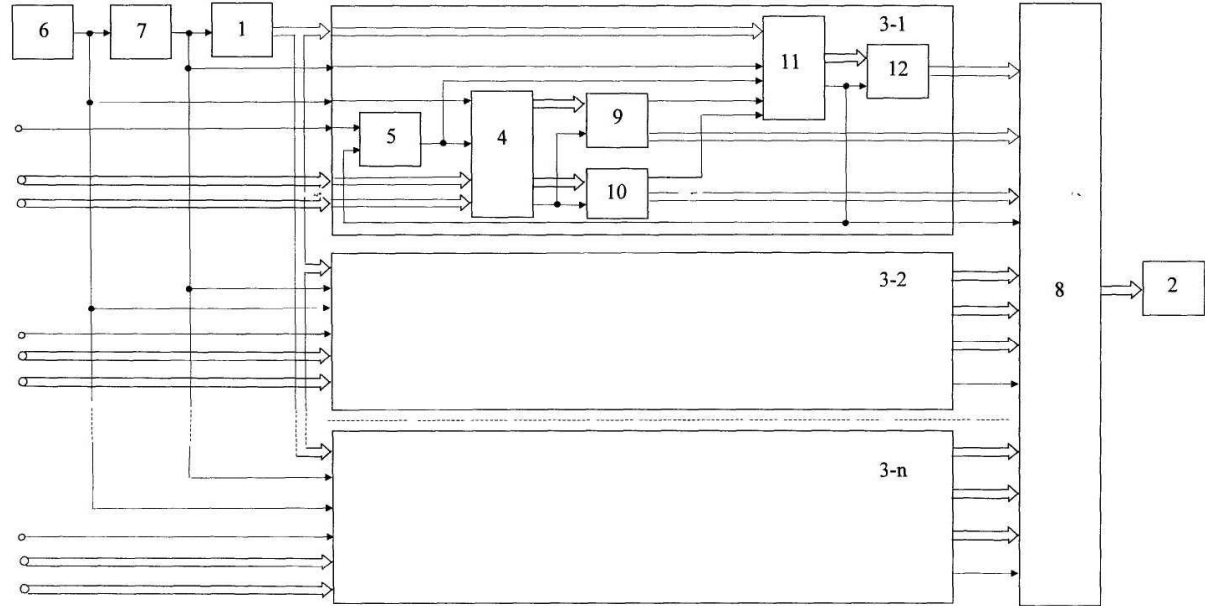
Логічний сигнал з першого виходу коректора 27 алгебраїчно сумується з двійковим кодом, що поступає на перший вхід суматора-віднімача 24. Логічний сигнал з другого виходу керувача 27 визначає яку алгебраїчну дію: додавання чи віднімання повинен здійснювати суматор-віднімач 24. Залежності між логічними станами сигналів на вході керувача 27 суматором і його виходах, а також результуючий код на виході суматора-віднімача 24 наведені в таблиці 2. В стовпці 6 таблиці 2 вказано порядковий номер двійкового коду на виході суматора -віднімача 24 в залежності від логічних станів сигналів Z_n , Z_s і Z_c , і, отже, станів сигналів y_1 і y_2 . Перетворення в коректорі 11 здійснюються протягом одного такту. Тривалість цього такту може бути як меншою, так і більшою за період імпульсів Z_t .

Література.

1 Spartan - II 2,5 v FPGA Family: DC and Switching Characteristics. DS 001 -3(v 2. 4) August 28, 2001.

2 Авторське свідоцтво №551600, 25.03.77. Бюл. №11.

3 Винокуров В.И., Каплин С.И., Петелин И.Г. Электро радиоизмерения / Под ред. В.И. Винокурова. - М: Высш. шк., 1986, с.159.



Фиг. 1

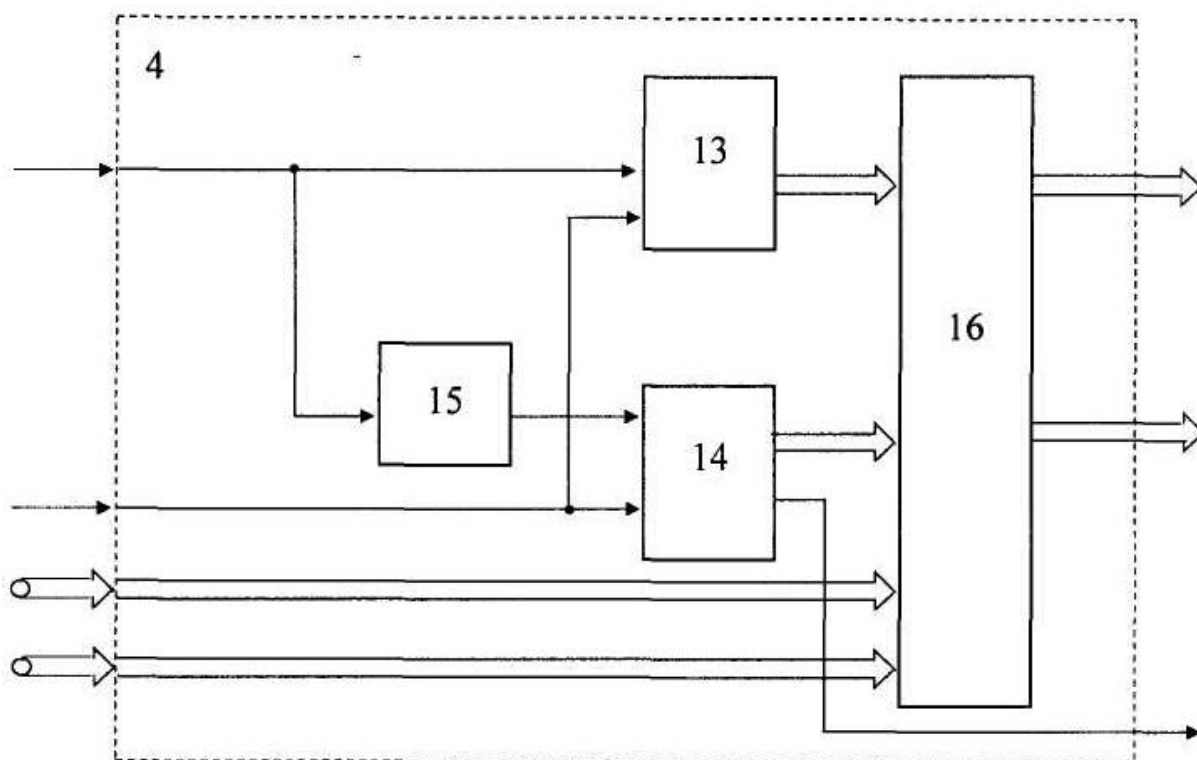


Fig. 2

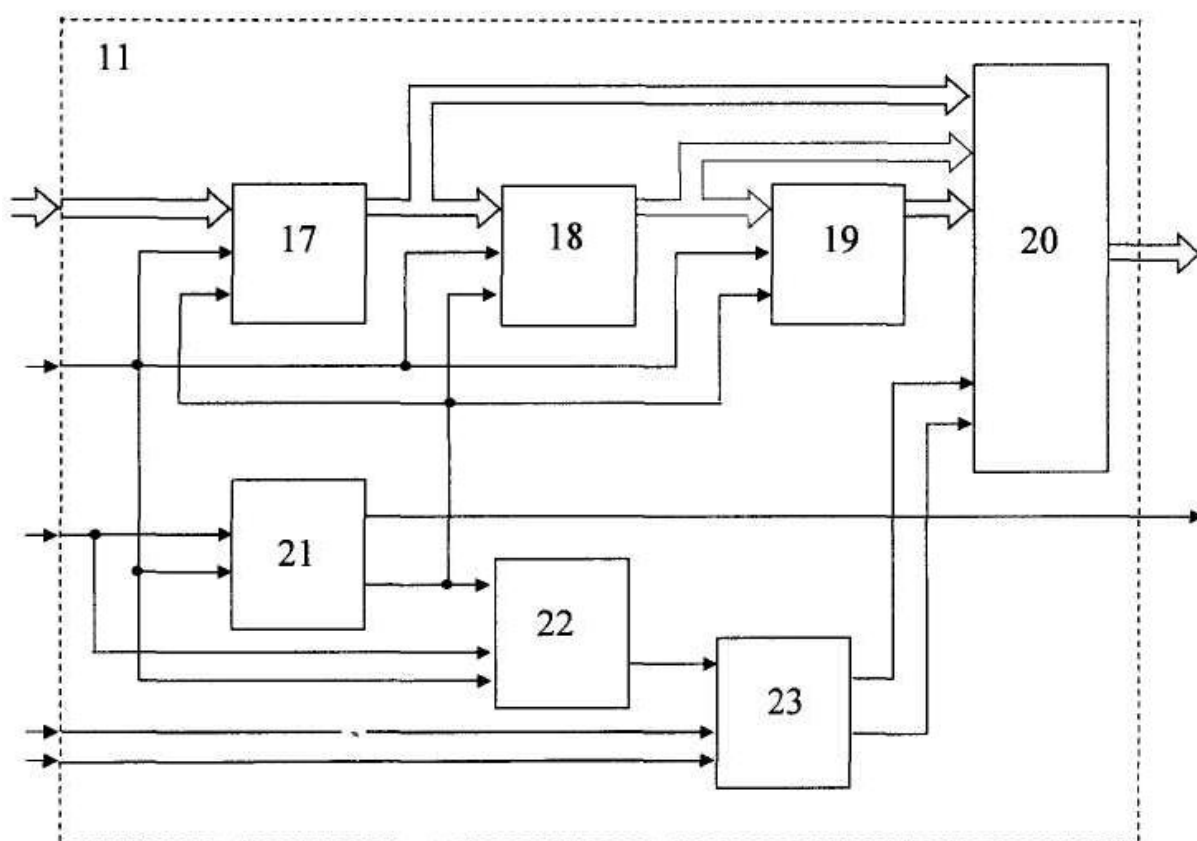
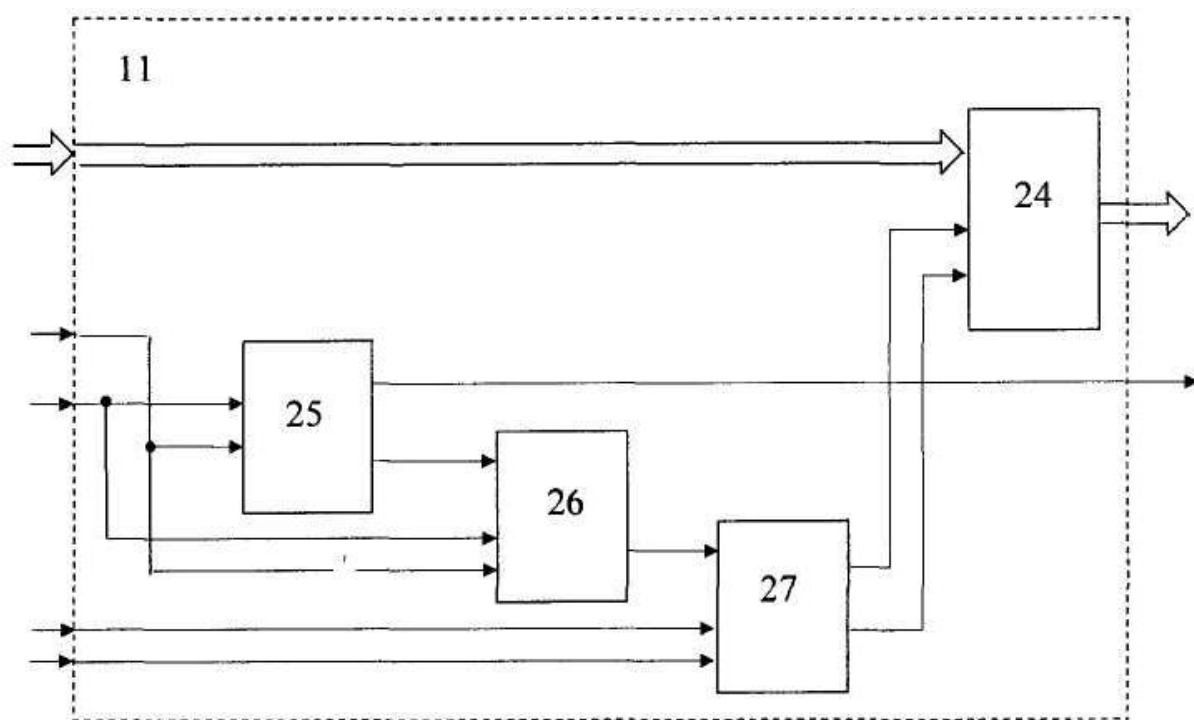
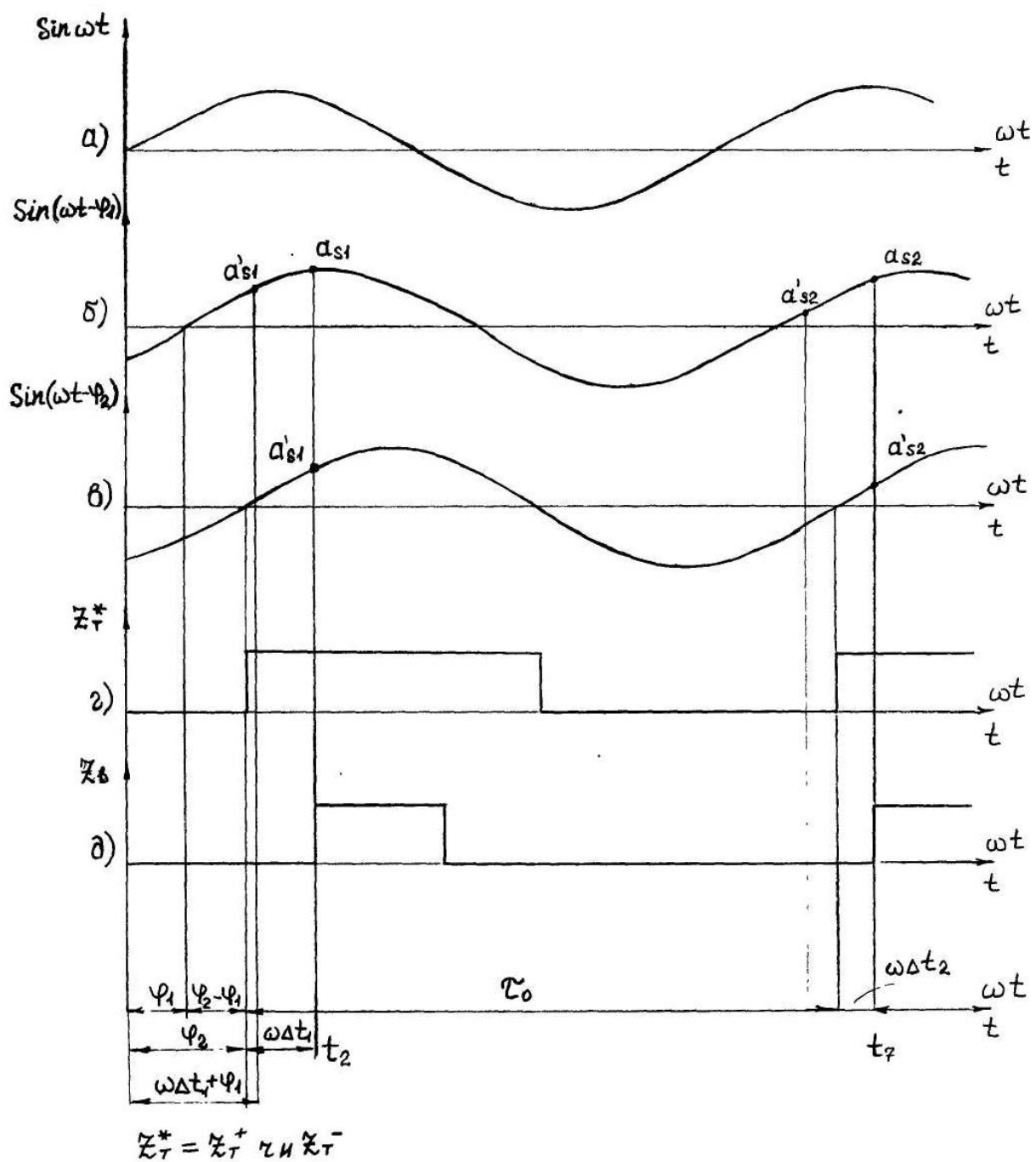


Fig. 3

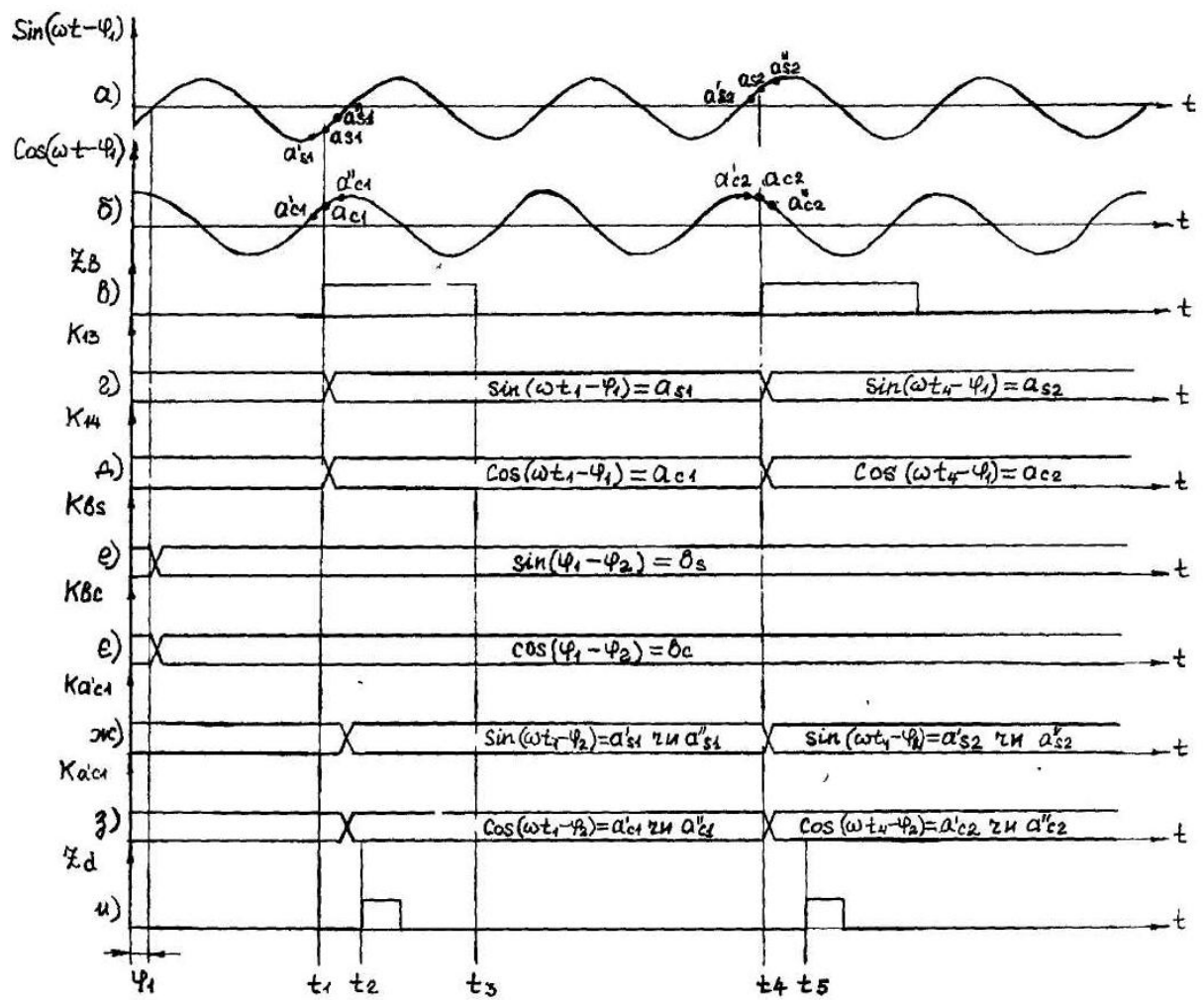


Фиг. 4

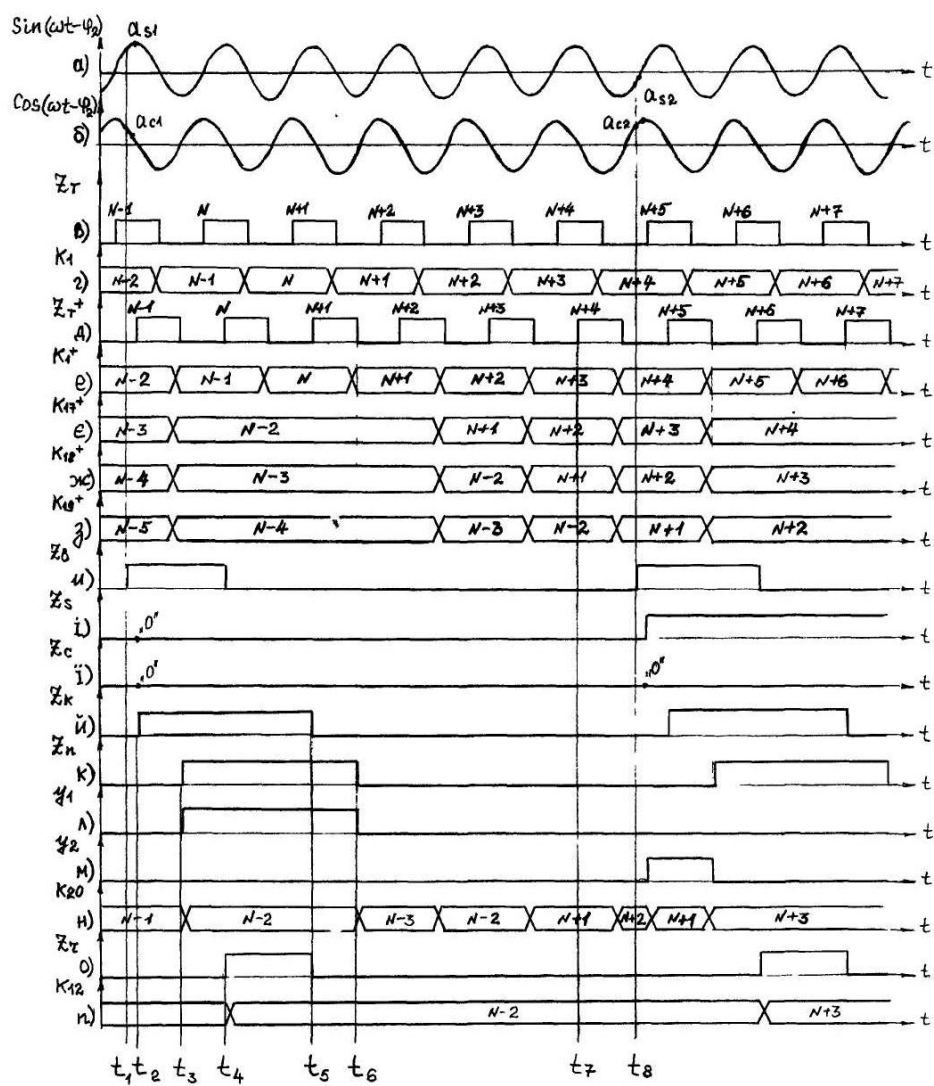




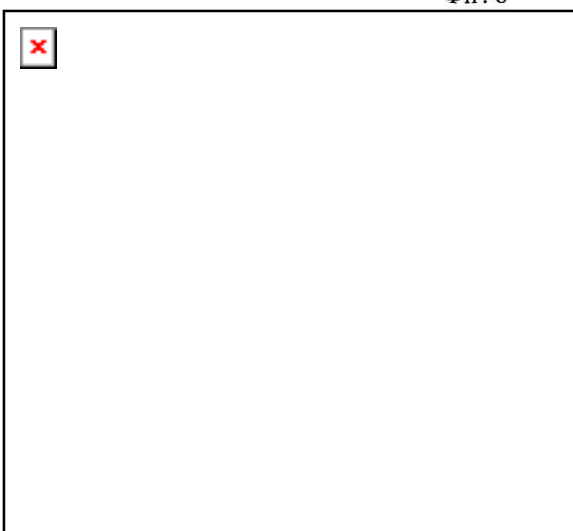
Фиг. 6



Фиг. 7



Фиг. 8



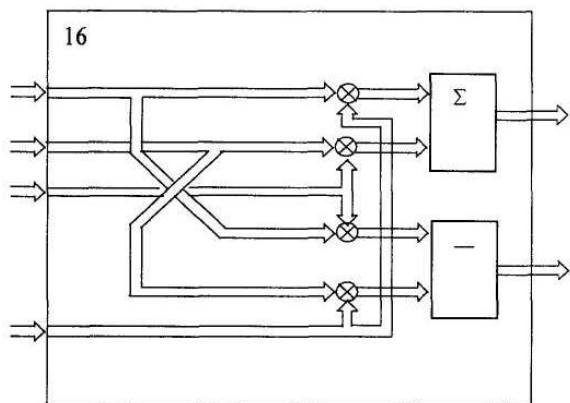


Fig. 10

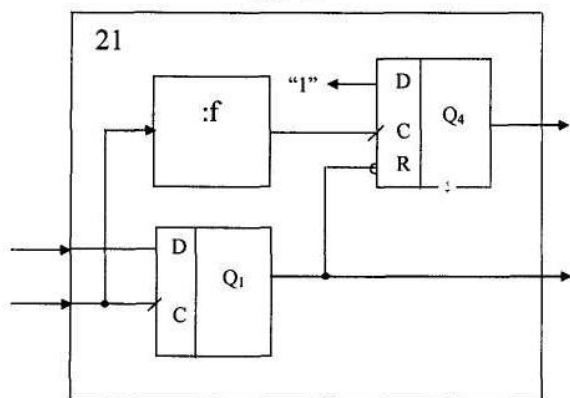


Fig. 11

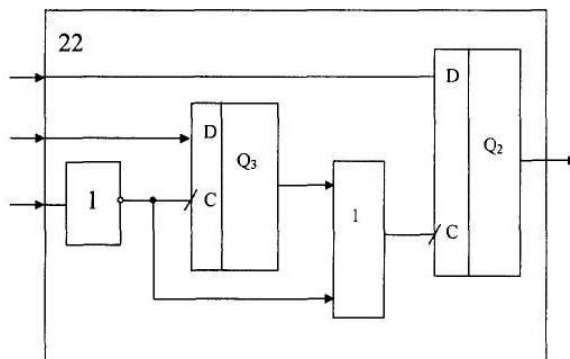


Fig. 12

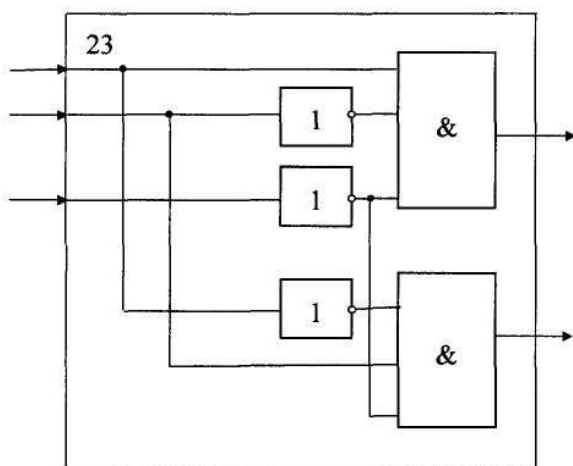


Fig. 13

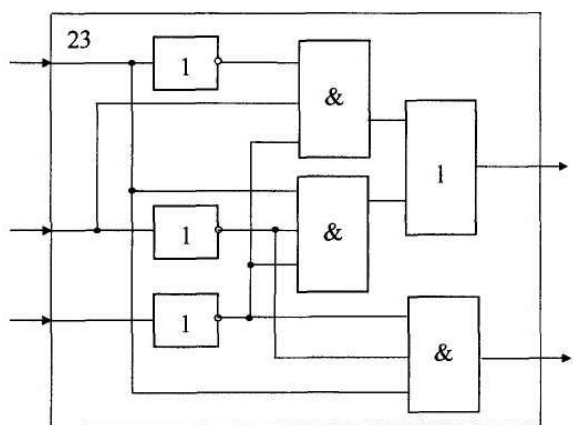


Fig. 14