

МЕТОД ПІДВИЩЕННЯ ТОЧНОСТІ ТА ЗАВАДОСТІЙКОСТІ ВИМІРЮВАННЯ ЧАСОВИХ ЗСУВІВ МІЖ ДВОМА УЛЬТРАЗВУКОВИМИ СИГНАЛАМИ

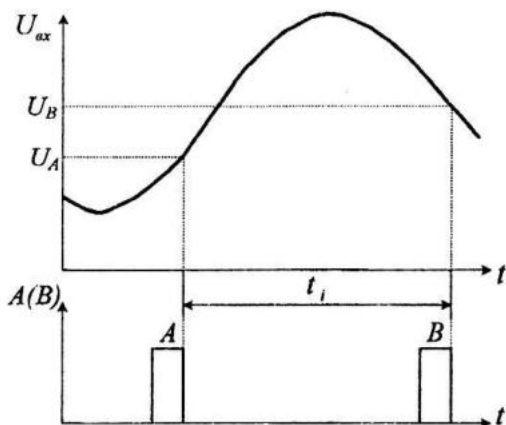
В.Д. Погребенник, Р.В. Політило

Національний університет
«Львівська політехніка»,
кафедра захисту інформації,
79013, м. Львів, вул. С. Бандери, 12
E-mail: *vpohreb@gmail.com*
E-mail: *polirom@gmail.com*

У статті пропонується метод підвищення точності та завадостійкості вимірювання часових зсувів між двома ультразвуковими сигналами та пристрій для його реалізації.

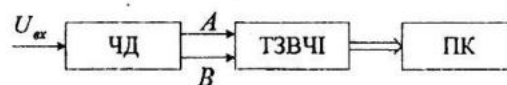
Вступ. Інформацію про вимірювальну фізичну величину можна подавати за допомогою часової затримки між двома імпульсами, швидкості наростання вхідного сигналу або його тривалості. Суть вимірювання полягає у формуванні інтервальних імпульсів на заданих фіксованих рівнях вхідного сигналу та безпосереднього вимірювання за допомогою технічних засобів вимірювання часових інтервалів.

На першому етапі вимірювання, за допомогою часових дискримінаторів формуються інтервальні (старт-стоп) імпульси *A* і *B* на вибраних або заданих рівнях вхідного сигналу (рис. 1), які є пов'язані з однією з характеристик ознак форми сигналу.



Р и с. 1. Формування інтервальних імпульсів

На другому етапі вимірювання, часовий інтервал обмежений імпульсами *A* і *B*, вимірюється за допомогою технічних засобів вимірювання часових інтервалів (рис. 2).



Р и с. 2. Структурна схема вимірювання часових параметрів сигналів
ЧД – часовий дискримінатор; ТЗВЧІ – технічні засоби вимірювання часових інтервалів; ПК – персональний комп'ютер

В процесі другого етапу вимірювання здійснюють функціональне перетворення часового інтервалу у цифровий код, і у випадку, коли еталон часу є значно меншим від вимірювального, то часовий інтервал перетворюють у цифровий код. В іншому випадку часовий інтервал за допомогою блоків зміни масштабу часу попередньо подається деякою фізичною величиною, яка потім у зміненому масштабі перетворюється у цифровий код. Результати перетворення часового інтервалу у цифровий код надходять на ПК для наступного перетворення та опрацювання.

Недоліком цього методу є значна похибка вимірювань при різних амплітудах сигналів, при коротких часових зсувах, а також низька завадостійкість.

Метою роботи є підвищення точності та завадостійкості вимірювання часових зсувів між двома ультразвуковими сигналами.

Метод підвищення точності та завадостійкості вимірювання часових зсувів між двома ультразвуковими сигналами.

Особливістю нових методів вимірювання часових параметрів сигналів є те, що у них відсутній часовий дискримінатор, вони дозволяють підвищити чутливість і точність визначення часового інтервалу (ЧІ), мають високу завадостійкість і дозволяють вимірювати ЧІ між сигналами різних амплітуд.

Для підвищення точності та завадостійкості вимірювання часових параметрів сигналів дані методи ґрунтуються на ви-

користанні інтегровального розгортального перетворення, які враховують не окремі точки на фронтах сигналів, а цілі ділянки (фронти) інформаційних сигналів.

Відомий спосіб перетворення часового зсуву, згідно з яким вхідні сигнали інтегрують протягом певного часу, причому час інтегрування менший тривалості плоскої вершини імпульсу, потім інвертують вхідні сигнали, масштабно перетворюють їх за амплітудою, інтегрують інвертовані сигнали, формують початок і закінчення часового інтервалу при досягненні інтегрованих напруг заданих рівнів [1].

Спосіб реалізується пристроєм [1], який містить два ідентичні канали перетворення, до складу кожного з них входять масштабний інвертор, комутатор, інтегратор, електронний ключ, компаратор, а також блок керування та елемент «Нерівнозначність».

Недоліком відомого способу і пристрою є те, що вони дають змогу визначити часові зсуви тільки між сигналами однакової форми, які мають плоску вершину, в також невизначеність надходження вхідних сигналів.

Спосіб перетворення часового зсуву між двома сигналами [2, 3], який полягає в паралельному перетворенні миттєвих значень вхідних сигналів шляхом відслідковування їх значень до досягнення максимального значення, запам'ятовування на заданий час, паралельному їх інтегруванню протягом часу, більшого тривалості фронтів та очікуваної тривалості між сигналами, інвертуванні проінтегрованих сигналів, масштабно перетворенні за амплітудою та їх інтегруванні, формуванні початку та закінчення вихідного часового інтервалу при досягненні інтегрованим сигналом нульового рівня, а також визначають послідовність надходження вхідних сигналів.

Пристрій для реалізації такого способу [2, 3] містить два ідентичні канали перетворення, блок керування і логічний елемент «Нерівнозначність», пристрій визначення послідовності надходження вхідних сигналів та індикатор. Канали перетворення включають два пікові детектори, два масштабні інвертори, два комутатори, два інтегратори, два електронні ключі, два компаратори. Входи

пікових детекторів є входами пристрою. Кожний піковий детектор з'єднано з масштабним інвертором, компаратором і входом пристрою для визначення послідовності надходження вхідних сигналів. Кожний комутатор послідовно з'єднано з інтегратором, компаратором. Виходи компараторів з'єднано з блоком керування, а пристрій для визначення послідовності надходження вхідних сигналів – з індикатором. Блок керування з'єднано одним виходом з піковими детекторами та електронними ключами, а другим виходом – з комутаторами та компараторами. Електронні ключі підключено до входів і виходів інтеграторів. Недоліком відомого способу і пристрою є низька точність вимірювання.

Поставлена задача досягається введенням операцій багаторазової затримки другого перетвореного сигналу, причому максимальний час затримки не перевищує тривалості плоскої вершини перетвореного імпульсу. Спосіб полягає в паралельному перетворенні миттєвих значень вхідних імпульсних сигналів і запам'ятовуванні максимального значення на заданий час, паралельному інтегруванні перетворених і затриманих сигналів, інвертуванні їх, масштабно перетворенні за амплітудою, інтегруванні та формуванні початку і закінчення часових інтервалів, визначенні суми часових інтервалів і часових затримок, а часовий зсув між двома сигналами визначається за формулою:

$$T_x = \frac{1}{m+1} \sum_{i=0}^{i=m} [(T_m / K) - mT_z] \quad (1)$$

де T_x – часовий зсув між сигналами; T_m – вихідний часовий інтервал після кожного такту затримки; K – коефіцієнт масштабного перетворення; T_z – час затримки; m – кількість тактів затримки.

Сутність запропонованого методу полягає у наступному. Вхідні сигнали $U_1(t)$ і $U_2(t)$ (рис. 3, б, в), які мають, наприклад, трикутну форму, паралельно перетворюються у сигнали трапецоїдної форми $U_{p1}(t)$ і $U_{p2}(t)$. Це здійснюється шляхом відслідковування миттєвих значень вхідних сигналів до досягнення максимального значення і за-

пам'ятовування цього значення протягом заданого часу (рис. 3, г, г, д). Перетворені сигнали паралельно інтегруються протягом часу, більшого тривалості фронтів і очікуваної тривалості між сигналами (рис. 3, з, и, і):

$$U_{i1}(t) = K_1 \int_0^{T_i} U_{p1}(t) dt, \quad (2)$$

$$U_{i2}(t) = K_2 \int_0^{T_i} U_{p2}(t - T_x) dt, \quad (3)$$

$$U_{iz}(t) = K_i \int_0^{T_i} U_{pz}(t - T_x - T_z) dt, \quad (4)$$

де U_{i1} , U_{i2} – напруги, отримані відповідно при інтегруванні першого, другого та затриманого перетворених сигналів; K_1 , K_2 , K_i – коефіцієнти передачі інтеграторів; $K_1=K_2=K_i=K$; T_i – час інтегрування; T_x – вимірюваний часовий зсув.

Одночасно визначається послідовність надходження вхідних сигналів $U_1(t)$ і $U_2(t)$.

Потім інвертують кожний з перетворених вхідних сигналів і масштабують їх в однакове K_m число разів (рис. 3, е, є, ж):

$$U_{in1} = -U_{m1}/K_m, \quad (5)$$

$$U_{in2} = -U_{m2}/K_m, \quad (6)$$

$$U_{inz} = -U_{mz}/K_m, \quad (7)$$

де U_{in1} , U_{in2} , U_{inz} – напруги, отримані після інвертування і масштабування перетворених сигналів; U_{m1} , U_{m2} , U_{mz} – амплітуди вхідних сигналів.

Напруги U_{in1} , U_{in2} та U_{inz} інтегрують далі від напруг, отриманих при інтегруванні перетворених вхідних сигналів до моменту досягнення проінтегрованими напругами нульового рівня (рис. 3, з, и, і). Інтервали часу, протягом яких здійснюється інтегрування інвертованих сигналів U_{in1} та U_{in2} , відповідно рівні

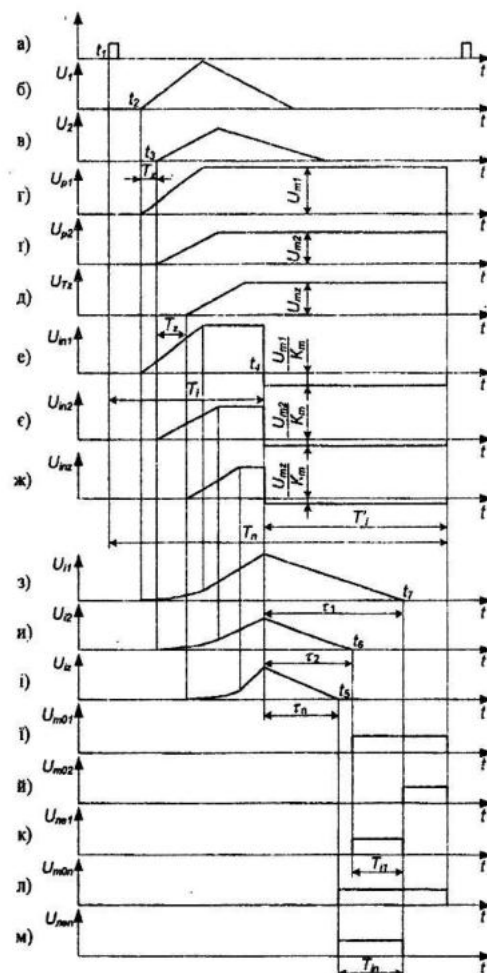
$$\tau_1 = t_6 - t_4 = \frac{K_m \int_0^{T_i} U_{p1}(t) dt}{|U_{m1}|}, \quad (8)$$

$$\tau_2 = t_5 - t_4 = \frac{K_m \int_0^{T_i} U_{p2}(t - \tau_x) dt}{|U_{m2}|}. \quad (9)$$

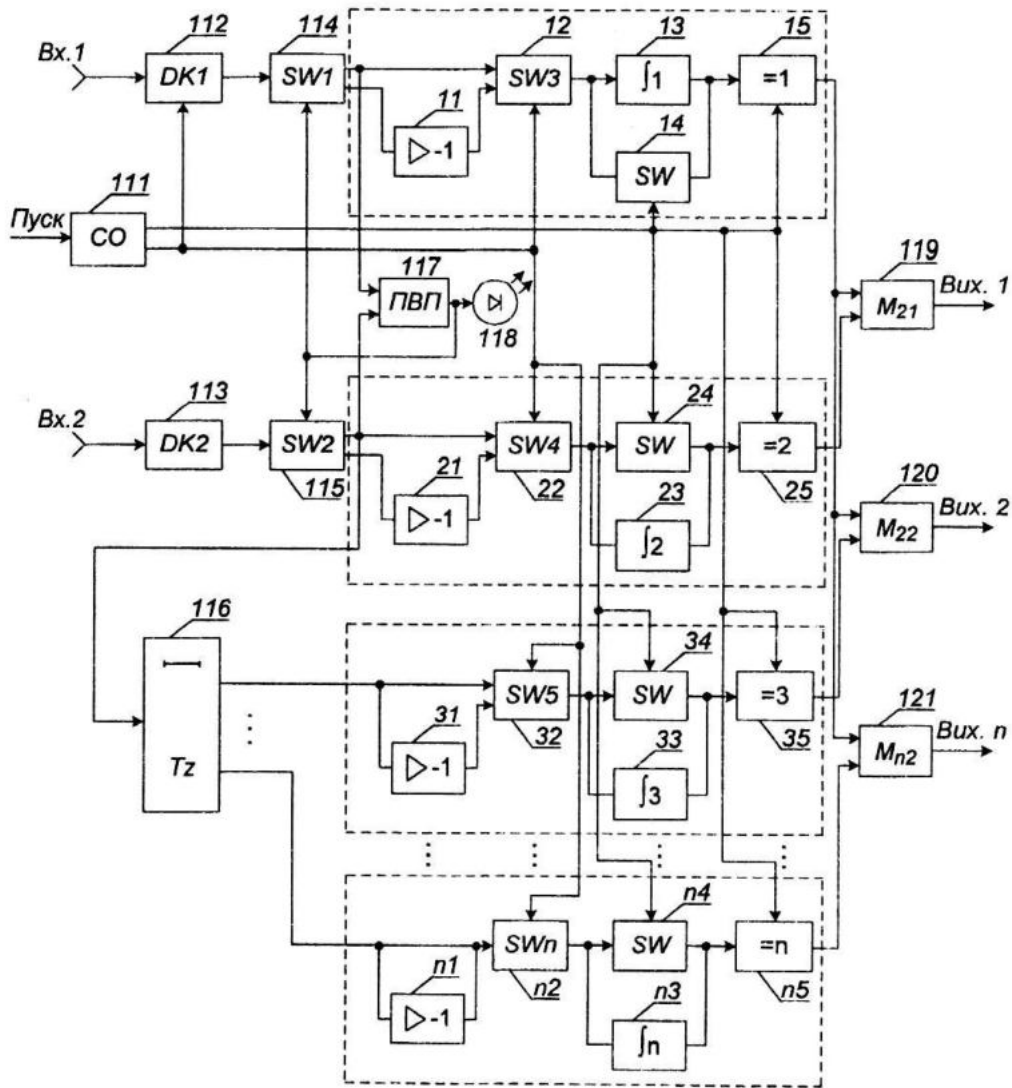
Інтервали часу τ_1 і τ_2 відповідають з масштабним коефіцієнтом K_m інтегральному часу існування сигналів від їх початку до моменту часу t_4 . Різниця цих інтервалів часу пропорційна інтегральному часовому зсуву між сигналами:

$$\tau_1 - \tau_2 = t_6 - t_5 = K_m \tau_x. \quad (10)$$

Початок вихідного інтервалу τ_i формується у момент часу t_6 , а його кінець – у момент часу t_7 (рис. 3, к). При однакових формах вхідних сигналів і рівних тривалостях їх фронтів інтегральний часовий зсув і зсув, визначений на нульовому рівні, будуть давати однакові результати.



Р и с. 3. Часові діаграми роботи пристрою



Р и с. 4. Пристрій для вимірювання часового зсуву між двома сигналами

На рис. 4 наведено електричну структурну схему пристрою, що реалізує спосіб вимірювання часового зсуву між двома сигналами, на рис. 5 – електричну структурну схему пристрою для визначення послідовності надходження сигналів.

Пристрій для перетворення часового зсуву між двома сигналами (рис. 4) містить n каналів перетворення, блок 111 керування, пікові детектори 112 і 113, комутатори 114, 115, блок затримки 116, пристрій 117 визначення послідовності надходження вхідних сигналів та індикатор 118 і логічні елементи 119, 120, 121 "Нерівнозначність". Канали 1, 2, 3, та n перетворення включають, відповідно, масштабні інвертори 11, 21, 31, $n1$, комутатори 12, 22, 32, $n2$, інтегратори 13, 23, 33, $n3$, електронні ключі 14, 24, 34,

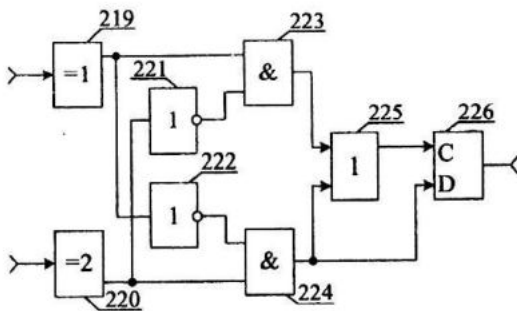
$n4$, компаратори 15, 25, 35, $n5$. Входи пікових детекторів 112 і 113 є входами пристрою. Піковий детектор 112 послідовно з'єднано з комутатором 114, масштабним інвертором 11, комутатором 12 і входом пристрою 117 для визначення послідовності надходження вхідних сигналів, а піковий детектор 113 послідовно з'єднано з комутатором 115, масштабним інвертором 21, комутатором 22 та другим входом пристрою 117.

Вихід комутатора 115 з'єднано зі входом блоку затримки 116, виходи якого приєднано, відповідно, до входів третього, ..., (i -го) та ($m-1$) каналів перетворення.

Комутатор 12 послідовно з'єднано з інтегратором 13, компаратором 15, комутатор 22 послідовно з'єднано з інтегратором 23 і компаратором 25, комута-

тор 32 послідовно з'єднано з інтегратором 33 і компаратором 35, комутатор $n2$ послідовно з'єднано з інтегратором $n3$ і компаратором $n5$. Виходи компараторів 15 і 25 з'єднано з блоком 119, виходи компараторів 15 і 35 з'єднано з блоком 120, а виходи компараторів 15 і $n5$ з'єднано з блоком 121, а пристрій 117 з індикатором 118. Блок керування з'єднано одним виходом з піковими детекторами 112 і 113 та електронними ключами 14, 24, 34, $n4$, а другим виходом – з комутаторами 114 і 115 та компараторами 15, 25, 35, $n5$. Електронні ключі 14, 24, 34, $n4$ підключено, відповідно, до входів і виходів інтеграторів 13 і 23, 33, $n3$.

Пристрій для визначення послідовності надходження вхідних сигналів (рис. 5) містить компаратори 219 і 220, логічні інвертори 221 і 222, елементи І 223 і 224, елемент ЧИ 225 і D-тригер 226. Компаратор 219 з'єднано з елементом І 223 та логічним інвертором 222, а компаратор 220 – з елементом І 224 та інвертором 221. Інвертори 221 і 222 з'єднано з другими входами елементів І 223 та І 224, входи останніх підключено до елементу ЧИ 225. Елемент І 224 з'єднано зі входом D тригера 226, а вхід С з'єднано з виходом елемента ЧИ 225. Вихід тригера підключено до індикатора 118.



Р и с. 5. Пристрій для визначення послідовності надходження сигналів

Пристрій працює наступним чином.

У вихідному стані блок керування 111 утримує відкритими електронні ключі 14, 24, 34, $n4$, внаслідок чого інтегратори 14, 24, 34, $n4$ розряджені до нульового рівня, а також забороняє спрацюванню пікових детекторів 112 і 113 та компараторів 15, 25, 35, $n5$ шляхом подачі сигналів на входи керування і на входи стробування. Особливістю блоку

111 керування запропонованого пристрою є те, що запуск пристрою здійснюється до моменту приходу першого з вхідних сигналів. Цей момент часу $t1$ показано на рис. 3, а. Імпульсом запуску блок 111 керування відкриває пікові детектори 112 і 113, закриває електронні ключі 14, 24, 34, $n4$ і підключає комутатори 114 і 115 до виходів пікових детекторів 112 і 113. У моменти часу $t2$ і $t3$ на входи пікових детекторів 112 і 113 надходять вхідні сигнали $U_1(t)$ і $U_2(t-\tau_d)$ (рис. 3, б, в). Проводиться відслідковування вхідних сигналів пікових детекторів 112 і 113 до досягнення максимального значення і запам'ятовування цього значення на певний заданий час (рис. 3, г, г). Одночасно проводиться визначення послідовності надходження вхідних сигналів. З цієї метою вихідні сигнали пікових детекторів 112 і 113 подаються на компаратори 219 і 220. Вихідний сигнал компаратора 219 надходить на інвертор 222 і на перший вхід логічного елемента І 223, а вихідний сигнал компаратора 220 – на інвертор 221 і другий вхід логічного елемента І 225. На другий вхід логічного елемента І 223 надходить вихідний сигнал інвертора 221, а на перший вхід логічного елемента І 224 – вихідний сигнал інвертора 222. Вихідні сигнали логічних елементів І 223 та І 224 надходять на входи логічного елемента ЧИ 225, а вихідний сигнал логічного елемента І 224, крім того надходить на D-вхід тригера 226, на вхід С якого приходить вихідний сигнал елемента ЧИ 225. Якщо по першому каналу вхідний сигнал надходить першим, то на виході елемента І 223 з'явиться логічна одиниця, на виході елемента І 224 – логічний нуль, і на виході D-тригера буде логічний нуль. Якщо по другому каналу вхідний сигнал надходить першим, то на виході елемента І 223 з'явиться логічний нуль, на виході елемента І 224 – логічна одиниця, а на виході D-тригера – логічна одиниця. Вихідний сигнал пристрою 117 підключає блок затримки 116 через комутатори 112 або 113 до виходів пікових детекторів 112 або 113.

Потім проводиться паралельне інтегрування перетворених сигналів інтеграторами 13 і 23 з моменту часу $t1$ до моменту часу $t4$, позначеного як $T1$,

(рис. 3, з, і). Час інтегрування T_i більший суми тривалості фронту вхідного сигналу та очікуваної тривалості між сигналами. У момент часу t_4 блок 111 підключає комутатори 12 і 22 до виходів масштабних інверторів 11 і 21 (рис. 3, е, є) і дозволяє спрацювання компараторів 15 і 25. Інвертовані масштабно перетворені сигнали інвертуються від рівня, отриманого при інтегруванні неінвертованих перетворених сигналів, до досягнення моменту рівності вихідних напруг інтеграторів 11 і 12 нульовому рівню (рис. 3, з, и). У моменти часу t_5 і t_6 на виходах компараторів 15 і 25 появляються робочі перепади напруги (рис. 3, ї, л). Масштабний коефіцієнт K_m вибирається так, щоб моменти t_5 і t_6 закінчення інтегрування наступили до закінчення плоскої вершини перетвореного сигналу. Вихідні сигнали компараторів 15 і 25 надходять на входи логічного елемента "Нерівнозначність" 119, на виході якого отримують вихідний часовий інтервал τ_{i1} (рис. 3, к), пропорційний інтегральному часовому зсуву між сигналами.

З допомогою блоку затримки 116 другий вхідний сигнал дискретно затримується на інтервали часу T_z . Число тактів затримки дорівнює m .

Затриманий вхідний сигнал інтегрують інтегратором 33. Час інтегрування T_i більший суми тривалості фронту вхідного сигналу, очікуваної тривалості між сигналами та часу затримки. У момент часу t_4 блок 111 підключає комутатор 32 до виходу масштабного інвертора 31 (рис. 3, ж) і дозволяє спрацювання компаратору 35. Інвертований масштабно перетворений сигнал інвертується від рівня, отриманого при інтегруванні неінвертованого перетвореного сигналу, до досягнення моменту рівності вихідної напруги інтегратора 33 нульовому рівню (рис. 3, і). У момент часу t_5 на виході компаратора 35 появляються робочий перепад напруги (рис. 3, л). Масштабний коефіцієнт K_m вибирається так, щоб момент t_5 закінчення інтегрування наступив до закінчення плоскої вершини перетвореного сигналу. Вихідні сигнали компараторів 15 і 35 надходять на входи логі-

чного елемента "Нерівнозначність" 120, на виході якого отримують вихідний часовий інтервал τ_{i2} (рис. 3, к), пропорційний інтегральному часовому зсуву між сигналами та затримці між сигналами.

Аналогічно працює пристрій в n -му такті роботи.

Сума часових інтервалів $\tau_{i1}, \tau_{i2}, \dots, \tau_{im}$ буде пропорційна інтегральному часовому зсуву та часу затримки.

Висновок. Запропонований метод та пристрій характеризуються високою точністю внаслідок введення операцій багаторазової затримки другого перетвореного сигналу, також високою завадостійкістю внаслідок використання для формування часового інтервалу не однієї точки, а цілої ділянки (фронту) вхідного сигналу, та високою швидкістю за рахунок забезпечення можливості роботи з одиночними сигналами, крім того, вимірюваний часовий зсув не залежить від амплітуди сигналів. Метод у розширює функціональні можливості за рахунок вимірювання часових зсувів між сигналами трикутної або трапеціоїдної форми з вершиною малої тривалості, а також визначення послідовності надходження вхідних сигналів.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Авторское свидетельство СССР № 970305, МКИ³ G01F 10/04. Способ преобразования временного сдвига между двумя сигналами и устройство для его осуществления / Р.М. Гайдучок, В.Д. Погребенник. – Опубл. 30.10.1982. Бюл. № 40.
2. Патент України на винахід №11443, МКВ G01F 10/04. Спосіб вимірювання часового зсуву між двома сигналами та пристрій для його реалізації / В.Д. Погребенник, П.М. Сопрунок. – Опубл. 25.12.1996. Бюл. № 4.
3. Погребенник В.Д. Завадостійкі методи і засоби вимірювання часових параметрів імпульсних сигналів / Відбір та обробка інформації – 2001. – № 15. – С. 132–141.