

## РОЗРОБКА МЕТОДУ ВИМІРЮВАННЯ ФАЗОВИХ ЗСУВІВ СИГНАЛІВ

Надано загальну характеристику методів вимірювання фазових зсувів сигналів. Обґрунтована актуальність створення нових високоточних і високошвидкісних методів для вимірювання фазових зсувів сигналів в радіотехнічних системах. Запропоновано новий метод вимірювання фазових зсувів сигналів через частоту.

*This general description of methods for measuring the phase shift signals. Urgency of creating new and high-precision methods for measuring the phase shift of signals in radar systems. A new method of measuring phase signals by frequency.*

Ключові слова: фазовий зсув сигналів, метод коінциденції, частота сигналу, період сигналу.

**Вступ.** Розв'язання багатьох задач радіотехніки неможливе без вимірювання поряд з амплітудою і частотою фазового зсуву (ФС) сигналів. В даний час фазові методи продовжують інтенсивно розвиватись. Вони дозволяють розв'язати багато задач, пов'язаних зі створенням систем високоточного визначення дальності й координат, завадозахищеної передачі інформації, високоякісного телебачення та ін. Стан фазовимірювальної техніки створює істотний вплив на розвиток радіотехнічних пристроїв. Нові методи побудови фазовимірювальної апаратури знаходять широке застосування у радіотехнічних системах, створюють передумови для їх вдосконалення. У той же час розвиток радіотехнічних систем призводить до необхідності створення більш досконалої вимірювальної апаратури і метрологічної бази. Все це вимагає випереджаючого розвитку фазовимірювальної техніки, постійного оновлення парку фазовимірювальних і створення спеціалізованих приладів [1]. Тому з'явилася необхідність розробки нових високоточних і високошвидкісних методів для вимірювання фазових зсувів сигналів.

**Аналіз класичних методів побудови цифрових фазометрів.** Існуючі методи побудови цифрових фазометрів (ЦФ) можна розділити на методи врівноваженого (компенсаційного) і прямого перетворення. Компенсаційні ЦФ будуються за класичними структурами вимірювальних приладів врівноваженого перетворення, заснованих на послідовному і порозрядному врівноваженні. Цифрові фазометри прямого перетворення за своїми структурами більш різноманітні.

Методи побудови ЦФ прямого перетворення можна розділити на методи з перетворенням “фазовий зсув (ФС) – напруга–цифровий код”, “ФС – інтервали часу – цифровий код”, а також кореляційні і ортогональні. Найбільш широке розповсюдження в ЦФ отримали одно- і двухнапівперіодні перетворювачі ФС в інтервали часу. Перетворювачі (рис.1) включають в себе формувальні пристрої (ФП) і RS-тригери, які перетворюють входні гармонійні сигнали та імпульси, прив'язані до переходів входного сигналу через нульовий рівень: в однопівперіодних перетворювачах – до одного переходу, в двухпівперіодних – до двох переходів [2].

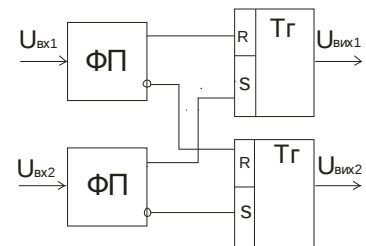


Рис. 1. Структурна схема перетворювача ФС в інтервали часу

Цифрові фазометри з перетворенням ФС–інтервали часу–код поділяються на ЦФ з вимірюванням за період і за час набагато більше періода. Дані фазометри будуються у двох варіантах: з вимірюванням за ціле число періодів і з постійним вимірювальним часом.

Цифровий фазометр з вимірюванням за ціле число періодів (рис. 2) складається з двохпівперіодного перетворювача ФС в інтервали часу (ПР), схеми співпадиння (СС1 – СС4), на перші входи яких подаються прямокутні імпульси, на другі входи – зсунуті на півперіод квантуючі імпульси від формувача імпульсів (Ф), генератора імпульсів (ГІ), часозадаючого пристрою (ЧП), лічильників (Л1 і Л2) і мікропроцесорного обчислювального блоку (МОБ).

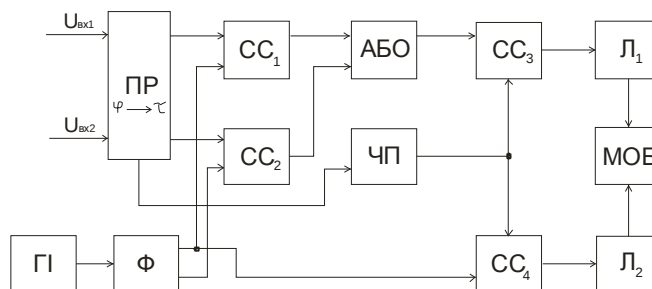


Рис. 2. Структурна схема цифрового фазометра з вимірюванням за ціле число періодів

До недоліків ЦФ з вимірюванням за ціле число періодів відноситься необхідність виконання арифметичних операцій. До появи мікропроцесорів даний недолік стримував розвиток даних ЦФ.

Цифрові фазометри з постійним вимірювальним часом (рис. 3).

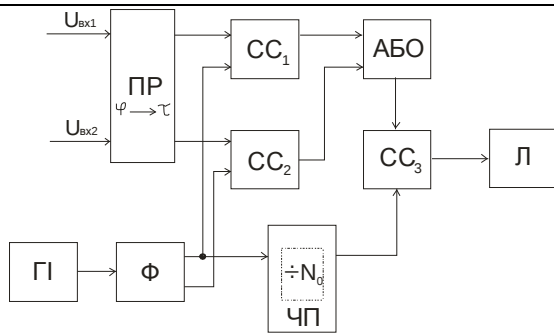


Рис. 3. Структурна схема цифрових фазометрів з постійним вимірювальним часом

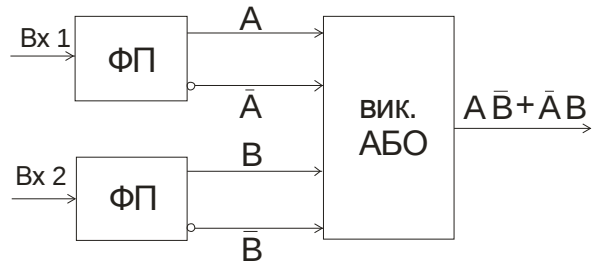


Рис. 4. Структурна схема кореляційних фазометрів

Кореляційні фазометри (рис. 4) реалізуються з допомогою перетворення вхідних сигналів формуючими пристроями (ФП) в прямокутні імпульси.

Недолік кореляційних фазометрів пов'язаний з появою систематичних похибок у випадку вимірювання ФС сигналів при наявності шумів. Другим недоліком кореляційних фазометрів є суттєва залежність показів від рівня нелінійних спотворень сигналів. Також суттєвим недоліком кореляційних фазометрів є нелінійний характер шкали. При вимірюванні ФС зашумлених сигналів кореляційними фазометрами з обмеженими сигналами також виникають систематичні похибки. Кореляційні фазометри мають велику систематичну похибку, яка залежить від відношення сигнал-шум. Кращою завадохищеністю володіють компенсаційні фазометри, які побудовані за принципом послідовного пошуку максимуму функції правдоподібності, але вони мають недолік пов'язаний з обмеженням частотного діапазону вимірювального сигналу. Частотний діапазон можна розширити шляхом використання перетворювача частоти. Узагальнена структурна схема компенсаційних фазометрів (рис. 5) складається з фазового дискримінатора (ФД), фазообертача (ФО<sub>у</sub>), для встановлення нуля, градуйованого фазообертача (ФО<sub>г</sub>).

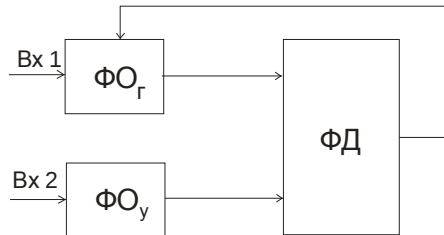


Рис. 5. Структурна схема компенсаційних цифрових фазометрів

Але, як показали дослідження, похибка компенсаційних ЦФ з фазовими дискримінаторами перевищує похибку оптимальних ЦФ в декілька разів. Також існує ортогональний метод вимірювання фазового зсуву (рис. 6), який реалізується двома шляхами. Структурна схема включає генератор опорних сигналів (ГОС), два корелятора, два інтегратора і обчислювач фазових зсувів (ОФС).

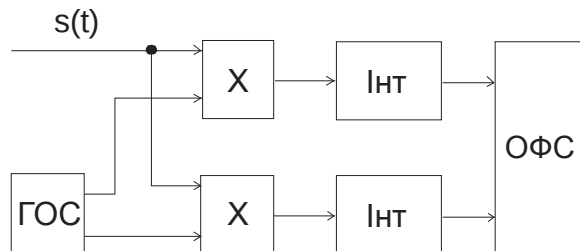


Рис. 6. Структурна схема фазометрів, які реалізують ортогональний метод вимірювання ФС

Перший заснований на використанні перемножувача сигналів в аналоговій формі і перетворення результатів множення в цифрову форму з допомогою АЦП з наступним виконанням арифметичних і тригонометричних операцій в цифровому вигляді. В другому випадку застосовується безпосереднє перетворення вимірювального й опорного сигналів в цифрову форму [2].

Основним недоліком першого методу являються великі інструментальні похибки, другий метод має більш високу точність, але виникає необхідність багаторазового аналого-цифрового перетворення сигналів і перемноження результатів АЦП протягом періоду. Це призводить до обмеження робочих частот зверху, яке пов'язане з кінцевим часом виконання операцій в АЦП і перемножувачах.

**Розробка методу вимірювання фази на основі принципів коінциденції.** В загальному випадку в класичній теорії фазочастотних вимірювань і перетворень радіосигналів (ФЧВ і ПР) фазовий зсув сигналів визначають:

$$\Delta j = \frac{t}{T} \cdot 360^\circ = t \cdot \frac{1}{T} \cdot 360^\circ, \quad (1)$$

де  $t$  – інтервал, на який зсунуті дві послідовності імпульсів;  $T$  – період сигналів.

В той же час можливо вимірювати фазові зсуви сигналів через частоту. Існує багато різних методів для вимірювання частоти. В [3] наведено метод вимірювання частоти на основі принципу коінциденції, ми пропонуємо використати цей метод для вимірювання фазових зсувів сигналів. Формула для вимірювання частоти методом коінциденції має наступний вигляд:

$$f_k = \frac{N_1}{N_2} \cdot f_{on}, \quad (2)$$

де  $N_1, N_2$  – кількість квантуємих імпульсів,  $f_{on}$  – частота опорного коливання.

Частку від ділення одиниці на період  $T$  в формулі (1) можна замінити частотою  $f$ , яка вимірюється методом коінциденції за формулою (2). Зробивши таку заміну ми уникаємо операції ділення, на яку потрібно було б витратити багато машинного часу, що викликало б зниження параметрів точності, тому що операція ділення – це операція з плаваючою комою. В результаті заміни ми отримаємо наступну формулу:

$$\Delta j = \frac{t}{T} \cdot 360^\circ = t \cdot \frac{1}{T} \cdot 360^\circ = t \cdot \frac{N_1}{N_2} \cdot f_{on} \cdot 360^\circ = t \cdot f_k \cdot 360^\circ. \quad (3)$$

В формулі (3) величини ( $f, 360^\circ$ ) нам відомі крім  $t$  – інтервалу на який зсунуті синфазні точки послідовностей імпульсів. Отже, для того, щоб виміряти фазу запропонованим нам методом, потрібно лише визначити  $t$ .

На (рис. 7) представлено структурну схему вимірювання часового інтервалу  $t$ , тобто фазового зсуву методом коінциденції [1], яка складається з формувачів імпульсів (ФІ), схем співпадиння (СС1 – СС2), лічильників (Л1 – Л4), мікропроцесорного обчислювального блоку (МОБ).

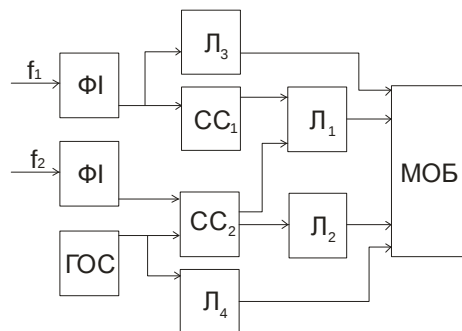


Рис. 7. Структурна схема вимірювання ФС методом коінциденції

**Висновки.** 1. В результаті проведеного порівняльного аналізу класичних методів побудови цифрових фазометрів виявлено, що існуючі методи вимірювання фазових зсувів сигналів мають суттєві недоліки, які пов'язані з появою систематичних методичних похибок у випадку вимірювання ФС та з обмеженням часу доступу до вимірювального сигналу.

2. На основі аналізу літературних джерел запропоновано метод вимірювання фазових зсувів сигналів, суть якого полягає в пошуку співпадинь взірцевих сигналів з сигналами опорного генератора, який відноситься до використання принципу коінциденції.

3. Розроблена структурна схема вимірювання ФС методом коінциденції, яка дозволяє одночасно підвищити точність і швидкість вимірювання фазових зсувів сигналів, при простій апаратній реалізації.

### Література

- Орнатский П.П. Автоматические измерения и приборы (аналоговые и цифровые) / Орнатский П.П. ; [5-е изд., перераб. и доп.]. – К. : Главное изд-во, 1986. – 604 с.
- Чмых М.К. Цифровая фазометрия / Чмых М.К. – М. : Радио и Связь, 1993. – 184 с.
- Троцишина Л. Характеристики та потенційні можливості вимірювання частоти за методом збігу / Л. Троцишина, О. Войтюк, І. Троцишин // Матеріали III міжнародної науково-технічної конференції. Сучасні проблеми радіоелектроніки, телекомунікацій та приладобудування (СПРТП-2007). – Вінниця, 2007.
- Сапельников В.М. Проблемы воспроизведения смещаемых во времени электрических сигналов и их метрологическое обеспечение / Сапельников В.М., Кравченко С.А., Чмых М.К. – Уфа : Изд-е Башкирск. гос. ун-та. 1999. – 200 с.

Надійшла 27.9.2011 р.