

РОЗРОБКА МОДЕЛІ ФАЗОМЕТРА ЗА МЕТОДОМ КОІНЦИДЕНЦІЇ

Наведено опис методу коінцидентції. Розглянуто можливість використання методу коінцидентції, для вимірювання фазових зсувів сигналів. Розроблено структурну схему вимірювача фази сигналів на основі принципу коінцидентції.

Ключові слова: метод коінцидентції, фаза сигналу, період сигналу.

The description of the method of coincidence. The possibility of using the method of coincidence for measuring the phase shift signals. The block diagram for measuring phase signals based on the principle of coincidence.

Key words: method of coincidence, the phase signal, the signal period.

Вступ

Метод коінцидентції це метод прямого вимірювання з одноразовим порівнянням двох квантованих фізичних величин: вимірюваної та відтворюваної багатозначною нерегульованою мірою. На відміну від методу ноніусу, в методі коінцидентції використовується моменти співпадіння між сигналами. Даний метод застосовувався ще в XIX столітті часовщиками для перевірки маятникових настінних годинників. На даний час метод коінцидентції використовується для вимірювання частоти, амплітуди, на його основі розроблені схеми ЦАП і АЦП.

В 1975 році американський вчений J. C. Fletcher запатентував застосування даного методу для вимірювання частоти (Пат. США . №3924183. J. C. Fletcher. Frequency measurement by coincidence detection with standard frequency. U. S. Patent 3, 924,183. 1975.) [1]. Метод полягає в наступному, якщо частоти не являються кратними одна одній, тоді через деякий час (час вимірювання) відбудеться часове співпадіння (коінцидентція) перетинів ліній частот, тобто співпадіння їх нуль переходів, які несуть в собі інформацію про результати вимірювань і не мають в своєму складі методичної складової похибки, яка залежить від часу вимірювання.

Мета роботи полягає у розробці методу вимірювання фази, який би не потребував інформації про частоту вхідних сигналів.

В роботі [2] показано, що при вимірюванні постійної напруги методом коінцидентції в межах $0 \div U_0$ вольтметр коінцидентції здатен виміряти в два рази більше значень напруги, ніж вольтметр на основі звичайного АЦП, і, до того ж, із точністю більшою вдвічі. В роботі також встановлено, що при використанні методу коінцидентції кількість квантованих значень шкали вимірювального пристрою значно більша, ніж прийнято використовувати у вольтметрах на основі звичайних АЦП в класичних двійкових перетворювачах. Із збільшенням розрядності цифрових перетворювачів вольтметра коінцидентції, роздільна здатність збільшується у степеневій залежності в порівнянні із вольтметром на основі звичайного АЦП з однаковими кількостями розрядів перетворювачів. Виграш роздільної здатності вольтметра коінцидентції із 10 розрядними перетворювачами складає 640 разів, і шкала перетворення є досить лінійною [2].

В роботах [3-6] розроблено дробово-раціональну шкалу вимірювання частоти за методом коінцидентції. Кількість поділок на вимірювальній шкалі вимірювань за методом коінцидентції зростає за рахунок появи додаткових поділок у проміжках класичної рівномірної двійкової шкали, в середньому пропорційно 2^{N-2} . Додаткові поділки у початковій частині вимірювальної шкали розташовуються значно густіше (2^{N-1}), але нерівномірно по всій шкалі, причому із збільшенням розрядності ця нерівномірність густини зменшується. В цілому, точність вимірювання частоти в радіотехнічних та телекомунікаційних системах можливо покращити в рази, одночасно збільшивши швидкість отримання результатів таких вимірювань за методом коінцидентції.

Проведений аналіз показав, що метод коінцидентції являється дуже перспективним для використання в швидкодіючих вимірювальних перетворювачах і тому числі і для НВЧ.

Основний розділ

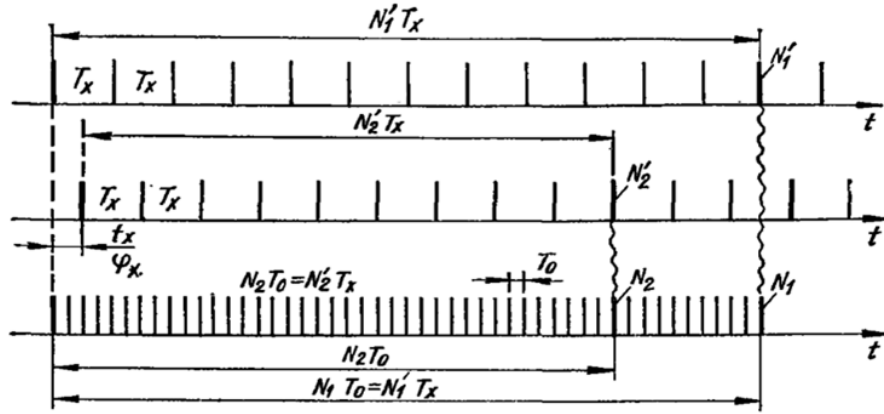
Ще у 1986 році П.П Орнатський у своїй книзі "Автоматичні вимірювання і прилади" запропонував застосувати метод коінцидентції для вимірювання фазових зсувів між сигналами, але прийнятної схеми вимірювача фазових зсувів сигналів із застосуванням методу коінцидентції не було створено. Також немає приладів, що використовують метод коінцидентції.

Методом коінцидентції може бути виміряний фазовий зсув φ_x (рис.1), тобто еквівалентний інтервал t_x , на який зсунуті дві періодичні послідовності імпульсів з періодом T_x . В цьому випадку проводиться рахунок числа N_1 квантуючих імпульсів з періодом T_0 і рахунок числа N'_1 імпульсів першої послідовності T_x , які знаходяться між співпадіннями імпульсами цих послідовностей. Тоді

$$N_1 T_0 = N'_1 T_x \quad (1)$$

Виконується також рахунок N_2 квантуючих імпульсів з періодом T_0 , і числа імпульсів N'_2 - другої послідовності з періодом T_x , яка зсунута на вимірювальний інтервал t_x і знаходиться між першим моментом співпадіння першої пари послідовностей імпульсів і найближчим моментом співпадіння імпульсів другої пари послідовностей імпульсів. Тоді

$$N_2 T_0 = N'_2 T_x + t_x \quad (2)$$

Рис.1 Вимірювання фази сигналів φ_x методом коінциденції[7]

З цих двох рівнянь за допомогою перетворень отримуємо рівняння для вимірювання інтервалу часу t_x методу коінциденції таким чином:

З (1) знайдемо T_x :

$$T_x = \frac{N_1 \cdot T_0}{N'_1} \quad (3)$$

і підставимо в (2):

$$N_2 T_0 = \frac{N'_2 \cdot N_1 \cdot T_0}{N'_1} + t_x \quad (4)$$

З (4) знайдемо формулу для вимірювання інтервалу часу t_x методу коінциденції :

$$t_x = \left(\frac{N'_1 N_2 - N'_2 N_1}{N'_1} \right) \cdot T_0 \quad (5)$$

де N_1 - перша періодична послідовність імпульсів з періодом T_0 ; N_2 - друга періодична послідовність імпульсів з періодом T_0 ; N'_1 - перша періодична послідовність імпульсів з періодом T_x ; N'_2 - друга періодична послідовність імпульсів з періодом T_x .

Аналіз (5) показує що t_x не залежить від T_x . Отже він може бути знайдений при зміні частоти періодичних імпульсів в широких межах. Похибки вимірювання будуть визначатись в основному тільки тривалістю імпульсів.

Щоб знайти кут зсуву фази φ_x потрібно звернутись до класичної теорії ФЧВ і ПР. В загальному випадку фазовий зсув сигналів визначають як [8] (згідно ГОСТ 8.139-75):

$$\Delta\phi = \frac{\tau}{T} \cdot 360^\circ \quad (6)$$

В виразі (6) невідомим є лише τ - інтервал часу між моментами коли сигнали знаходяться в однаковій фазах. Для того щоб виміряти фазу запропонованим нам методом, потрібно лише визначити τ , в нашому випадку він є тотожним t_x - інтервалу на який зсунуті дві періодичні послідовності імпульсів.

Тобто, $\tau = t_x$.

Отже, підставивши значення з виразу (5) в вираз (6) ми знайдемо фазовий зсув сигналів за методом коінциденції:

$$\Delta\phi = \left(\frac{N'_1 N_2 - N'_2 N_1}{N'_1} \right) \cdot T_0 \cdot \frac{1}{T} \cdot 360^\circ \quad (7)$$

де T - період гармонічного сигналу; T_x - період сигналу ГОС, вони є рівними між собою $T = T_x$.

Підставивши вираз (3) у вираз (7), отримаємо:

$$\Delta\phi = \left(\frac{N'_1 N_2 - N'_2 N_1}{N'_1} \right) \cdot T_0 \cdot \frac{N'_1}{T_0 \cdot N_1} \cdot 360^\circ \quad (8)$$

Виконавши необхідні скорочення ми отримаємо вираз для вимірювання фазового зсуву сигналу за методом коінциденції, він буде мати вигляд:

$$\Delta\phi = \left(\frac{N_1' N_2 - N_2' N_1}{N_1} \right) \cdot 360^\circ \quad (9)$$

Реалізація пристрою за формулою (9) вимагає наступних блоків:

- формувачів імпульсів (ФІ), які приведуть вхідні сигнали, зсунуті між собою, у короткі імпульси;
- двох схем співпадіння (СС1 – СС2), для виявлення моментів співпадіння між вхідними сигналами та сигналу від ГОС – генератора опорного сигналу;
- чотирьох лічильників (Л1 – Л4) для розрахунку N_1, N_2, N_1', N_2' ;
- мікропроцесорного обчислювального блоку (МОБ) для розрахунку за виразом (9).

Із застосуванням вищеперерахованих блоків, що показані вище, була розроблена структурна схема вимірювача фазових зсувів сигналів на основі методу коінциденції.

На (Рис.2) представлено структурну схему вимірювання фазового зсуву методом коінциденції:

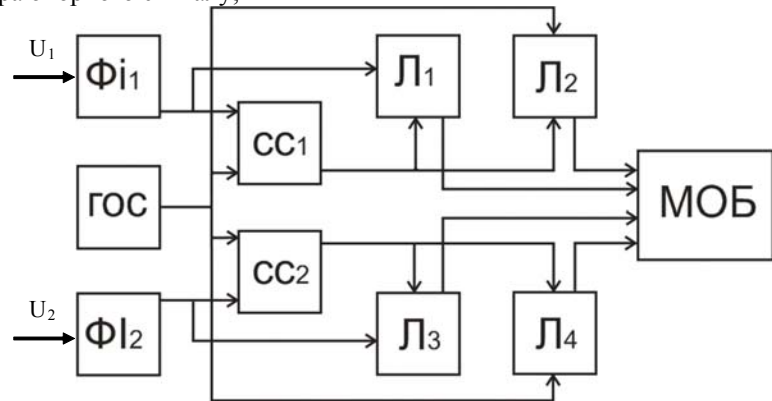


Рис.2. Структурна схема вимірювання ФС методом коінциденції

Формувачі імпульсів (ФІ) формують імпульси короткої тривалості, які окремо порівнюються з імпульсними сигналами генератора опорних сигналів (ГОС). Далі ці імпульси потрапляють на схеми співпадіння (СС₁ і СС₂): СС₁ слідкує за співпадіннями першої пари сигналів, СС₂ слідкує за співпадіннями другої пари сигналів. Чотири лічильники імпульсів Л₁, Л₂, Л₃, Л₄, які рахують імпульси від ГОС керуються сигналами, що формуються в процесі роботи схем співпадіння. Мікропроцесорний обчислювальний блок (МОБ) виводить результати обчислення на дисплей за формулою (9).

Висновок:

Метод коінциденції є достатньо відомим методом вимірювання, який вже використовується. Однак, метод коінциденції не знайшов свого використання для прямих вимірювань зсувів фаз. Пов'язано це з відсутністю схемних реалізацій відповідного вимірювача зсуву фаз.

Можливість вимірювання фази шляхом накопичення результату дозволяє використовувати схему для вимірювання як миттєвого значення фази, так і для вимірювання фазового зсуву за великий проміжок часу. В роботі обґрунтована можливість побудови такого вимірювача та показано його можливу структурну схему. Так наприклад, в роботі [9] показана необхідність використання саме вимірювання за тривалий час.

Встановлено, що в методі коінциденції, згідно виразу (8), відсутня необхідність вимірювання частоти як ГОС так і вхідного сигналів.

Література

1. Пат. США . №3924183. J. C. Fletcher, Frequency measurement by coincidence detection with standard frequency. U. S. Patent 3, 924,183. 1975.
2. Гуляс О.Й. Вимірювання постійної напруги методом коінциденції / О.Й.Гуляс, О.П.Войтюк
3. Троцишина Л.В. Вимірювання частоти за методом коінциденції/ Троцишина Л.В.,Войтюк О.П., Троцишин І.В.// Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах. – 2005. – №2. – С. 198-203.
4. Троцишин І.В. Ієрархія сучасних цифрових методів вимірювання частоти та методологія їх застосування у радіотехнічних та телекомунікаційних системах/ І.В. Троцишин, В.Т. Кондратов, Л.В. Троцишина. // Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах. – 2008. – №2. – С. 226-233.
5. Троцишин І.В. Вимірювання частоти за методом коінциденції та особливості утворення шкали вимірювального перетворення / І.В. Троцишин, О.П. Войтюк, Л.В. Троцишина // Вісник Хмельницького національного університету. – 2009. – № 3. – Технічні науки. – С. 240-244.
6. Троцишин І.В. Напрямки квантової теорії вимірювального перетворення фізичних величин на основі єдиної дробово-раціональної шкали вимірювань / І.В. Троцишин // Вісник ХНУ. – 2011. – № 1. – Техн. наук. – С.196-201.
7. Орнатский. П.П. Автоматические измерения и приборы (аналоговые и цифровые) 5-е изд., перераб. и доп. – К.; Вища шк. Головное изд-во, 1986. – 604 с.
8. Троцишин І.В. Частота, кут фазового зсуву, повний фазовий зсув: - ілюзії та реальність // Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах. – 2005. – №2. –С. 193-198.
9. Мазур І. Аналіз сумарного фазового сигналу відбиття на різних частотах методами спектрального аналізу / І. Мазур, К.Л. Горященко // Вимірювальна і обчислювальна техніка в технологічних процесах. – 2009. – №2. – С. 36-40.

Надійшла 21.1.2013 р.
Рецензент: д.т.н. Троцишин І.В.