

ПРАКТИКА РАДІОВИМІРЮВАНЬ

УДК 621.317

**ВИМІРЮВАЧ КУТА ФАЗОВИХ ЗСУВІВ
ЗА МЕТОДОМ КОІНЦИДЕНЦІЇ**

*Горященко К. Л., к.т.н., доцент; Гула І. В., аспірант
Хмельницький національний університет, м. Хмельницький, Україна*

PHASE MEASURING DEVICE BASED ON COINCIDENCE METHOD

*Horiaschenko K., Cand. Of Sci (Technics), associate professor;
Hula I., postgraduate student
Khmelnitsky National University, Khmelnitsky, Ukraine*

Вступ

В області фазовимірювальної техніки багато вчених працювало і продовжує працювати як в СНД, так і в Україні. Найбільш вагомий вклад в її розвиток внесли колективи під керівництвом: С. М. Маєвського [1] — в галузі компенсаційних вимірювачів та калібраторів фази; Ю. О. Скрипника [2] — в галузі дослідження фазометрів періодичного порівняння; М. К. Чмиха [3] — в галузі створення цифрових фазометрів прямого перетворення.

Відповідний вплив на розвиток фазових методів і їх застосування в радіотехнічних системах мали також роботи В. Б. Пестрякова [4].

Короткий аналіз відомих рішень та виявлення недоліків

Похибки вимірювання фазових зсувів обумовлені схемотехнікою аналогової та цифрової частини фазометру [5–9].

Реалізація цифрового вимірювача ґрунтується на розв'язанні задачі досягнення максимальної точності з одночасним підвищенням швидкодії вимірювача. Але це вимагає зростання апаратної складності вимірювача. Для вимірювання фазових зсувів сигналів певне застосування отримали цифрові вимірювачі, що ґрунтуються на використанні ноніусного методу вимірювання.

Однократний ноніусний метод полягає у вимірюванні кількості ноніусних імпульсів з моменту отримання вхідного сигналу та до другого співпадіння основного та ноніусного сигналів. Точність методу залежить від ширини імпульсів ноніусних сигналів. В роботі [10] показані відповідні розрахунки зв'язку ширини ноніусних сигналів та точності вимірювання.

Недоліком однократного ноніусного методу є необхідність мінімізації ширини імпульсів ноніусних сигналів та недостатня точність, що обумовлено співпадінням лише двох шкал [8].

Метод багатократного ноніусу дозволяє покращити точність вимірювання за рахунок використання декількох ноніусних шкал з різним кроком [10]. Проте, для реалізації такого вимірювача потрібна наявність відповідних стабільних генераторів ноніусних імпульсів, кожних з яких буде формувати імпульси з потрібною шириною імпульсів на своїй частоті. Причому зростання точності також вимагає зменшення ширини імпульсів.

Відомо, що застосування паралельно ввімкнених декількох генераторів ноніусних сигналів дозволяє виконати вимірювання за методом багатократного ноніусу точніше, ніж за методом однократного ноніусу, за практично однаковий час [10]. Але недоліком такої реалізації є ситуація, обумовлена можливим помилковим оцінюванням потрібної ширини імпульсу ноніусного генератора для n -го розряду. Внаслідок чого має місце помилкове спрацювання в n -му розряді, а у наступному $(n+1)$ -му розряді не виникне вірного спрацювання. Усунення такого недоліку можливе із застосуванням послідовного включення лічильників ноніусних співпадінь кожного розряду, що збільшує складність схеми та час вимірювання [10].

Принциповим недоліком методу багатократного ноніусу є необхідність застосування декількох ноніусних генераторів різної частоти.

Постановка задачі

Метою статті є побудова цифрової частини фазометра, який може забезпечити вимірювання кута зсуву між сигналами із застосуванням лише одного опорного генератора. Одночасно з цим має забезпечуватись порівняння з декількома ноніусними мірами.

Теоретична частина

Метод співпадіння (або відомий як «коінциденції») оснований на використанні багатоканальної нерегульованої міри і багатоканального нерегульованого масштабного перетворення [5]. На відміну від методу однократного ноніусу, в методі коінциденції використовується багатократні моменти співпадіння між сигналами. Наявність двох багатоканальних засобів вказує на надлишковість методу.

В 1975 році американський вчений J. C. Fletcher запатентував метод вимірювання частоти [6]. Метод полягає в наступному: якщо частоти не являються кратними одна одній, тоді через деякий час (час вимірювання) відбудеться часове співпадіння (коінциденція) 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.

В роботах [7] було виконано дослідження переваг, що надає застосування методу коінциденції. У дослідженні проаналізовано утворення шкали вимірювального перетворення — шкали відношень. В роботі [7] показано, що використання методу коінциденції дозволяє використати додаткові проміжні поділки, що виникають у проміжках класичної рівномірної

шкали. Також показано, що має місце нерівномірність густини розподілу додаткових поділок. Тому, оскільки основна шкала розширюється додатковими поділками, то це дозволяє виконати вимірювання з більшою точністю.

Принцип коінциденції може бути застосовано для вимірювання не тільки частоти. Методом коінциденції може бути виміряний фазовий зсув ϕ_x , тобто еквівалентний інтервал t_x , на який зсунуті дві періодичні послідовності імпульсів з періодом T_x . В цьому разі проводиться рахунок числа N_1 (див. рис. 1) квантуючих імпульсів з періодом T_0 і рахунок числа N_1' імпульсів першої послідовності T_x , які знаходяться між імпульсами цих послідовностей, що співпали. Тоді

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

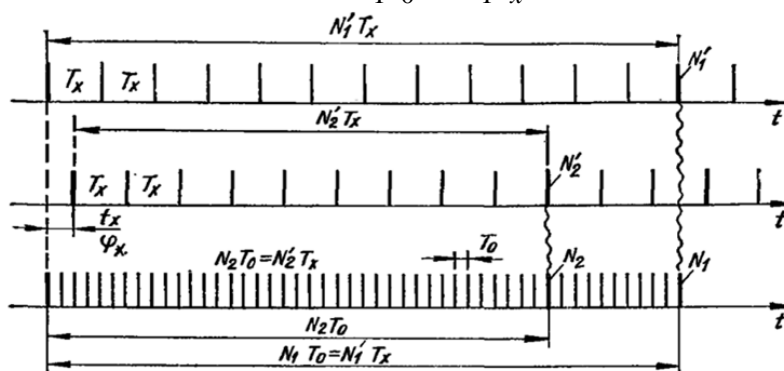


Рис. 1. Вимірювання фази сигналів ϕ_x методом коінциденції [1]

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 послідовності імпульсів і моментом співпадіння імпульсів другої пари послідовності імпульсів. Тоді отримаємо наступний вираз:

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

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

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) отримаємо вираз для визначення інтервалу часу t_x за методом

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 .

Вираз (5) показує що час t_x не залежить від T_x . Отже він може бути знайдений при зміні частоти періодичних імпульсів в широких межах.

В загальному разі фазовий зсув сигналів визначають як [2]:

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

В виразі (6) невідомим є лише τ — інтервал часу між моментами коли сигнали знаходяться в однакових фазових станах. Для того щоб виміряти зсув фази запропонованим методом, потрібно лише визначити τ . В нашому разі він є тотожним інтервалу t_x , на який зсунуті дві періодичні послідовності імпульсів. Тобто, $\tau = t_x$.

Отже, підставивши значення з виразу (5) в вираз (6), 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:

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

Або у скороченому вигляді:

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

Реалізація пристрою за формулою (9) вимагає наступних блоків:

- формувачів імпульсів (ФІ), які приведуть вхідні сигнали, зсунуті між собою, у короткі імпульси;
- двох блоків (схем) співпадиння (СС1 – СС2), для виявлення моментів співпадиння 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).

На рис. 2 представлено структурну схему вимірювання фазового зсуву методом коінциденції:

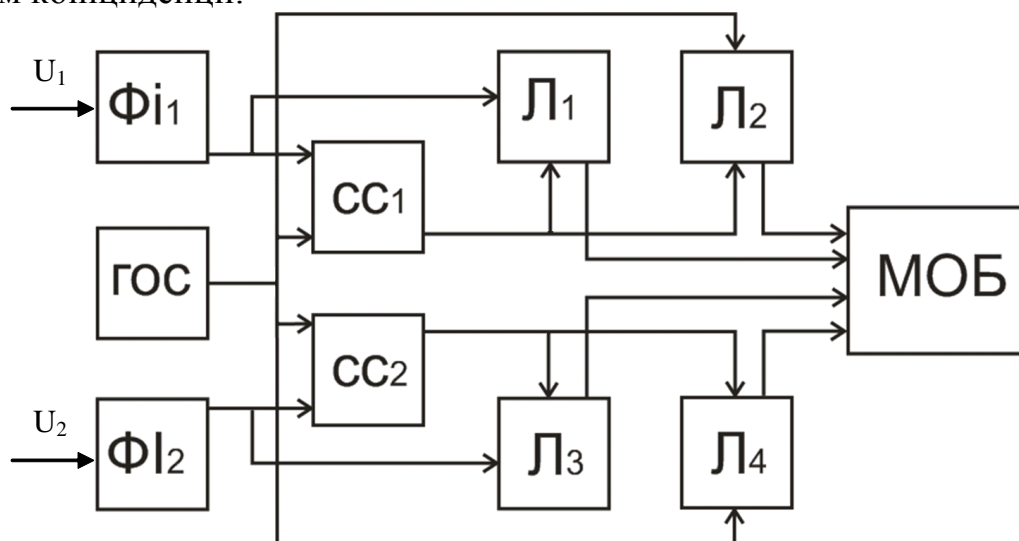


Рис. 2. Структурна схема вимірювання фазового зсуву методом коінциденції

Формувачі імпульсів (ФІ) формують імпульси короткої тривалості, які окремо порівнюються з імпульсними сигналами генератора опорних сигналів (ГОС). Далі ці імпульси потрапляють на блоки співпадінь (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 співпадінь. Мікропроцесорний обчислювальний блок (МОБ) виводить результати обрахунку на дисплей за формулою (9).

Таблиця 1 – Проміжні результати вимірювання кута зсуву фази

Час вимірювання, мс	Встановлене значення кута зсуву фази, градуси				
	5,00	4,00	3,00	2,00	1,00
Виміряні значення кута зсуву фази, градуси					
<1,404	–	–	–	–	–
1,404	5,04	–	–	–	–
1,440	5,15	–	–	2,15	–
1,476	5,09	–	–	2,09	–
1,512	5,03	–	–	2,03	–
1,548	5,14	–	–	2,14	–
1,584	5,08	–	–	2,08	–
1,620	5,02	4,02	–	2,02	–
1,656	5,13	4,13	–	2,13	1,13
1,692	5,07	4,07	–	2,07	1,07
1,728	5,01	4,01	–	2,01	1,01
1,764	5,12	4,12	–	2,12	1,12
1,800	5,06	4,06	–	2,06	1,06
1,836	5,00	4,00	3,00	2,00	1,00

Для перевірки принципів вимірювання, за приведеною вище схемою

(рис. 2) у середовищі Altera Baseline фірми Altera побудовано вимірювач за методом коінциденцій. Моделювання проведено із використанням опорної частоти у 29,4 МГц. У якості вхідного сигналу використано сигнал частотою 1,0 МГц, а кут зсуву фази сформовано шляхом подання на відповідні входи вимірювача двох цифрових сигналів з потрібною часовою затримкою. Результати вимірювання за запропонованим методом наведено в таблиці 1. В цю таблицю включено проміжні значення, що формуються фазометром коінциденції протягом процесу вимірювання до завершення повного циклу вимірювання.

Як можна побачити, фазометр коінциденції починає вимірювати не миттєво, проте результат вимірювання наближається до встановленого стрибкоподібно. Час затримки від початку вимірювання до першого значення кута зсуву фази також є змінним і залежить від кута зсуву фази.

Висновки

Отримана на рис. 2 структурна схема цифрової частити вимірювача фазових зсувів дозволяє реалізувати метод коінциденції. В результаті встановлено, що перевагами є:

1) За рахунок вимірювання багатократних співпадінь, фазометр за такою структурою дозволяє реалізувати багатошкальний підхід до вимірювання. На відміну від методу однократного ноніусу, згідно виразу (9) досягається збільшення точності вимірювання.

2) Використання одного генератора опорної частоти зменшує складність реалізації фазометра та усуває необхідність послідовного включення лічильників ноніусних співпадінь, що присутньо в методі багатократного ноніусу.

3) Час вимірювання значення кута зсуву фази визначається (рис. 1) кількістю співпадінь за цей часовий проміжок. Одночасно з цим, як видно з таблиці 1, існує можливість отримати наближені значення кута зсуву фази, що дозволяє виконувати визначення відповідного значення для сигналів невідомої тривалості.

Недоліками отриманої реалізації залишається залежність точності результату вимірювання від ширини імпульсів ноніусного генератора.

Література

1. 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.
2. Орнатский П. П. Измерительные приборы периодического сравнения / П. П. Орнатский, Ю. А. Скрипник, В. И. Скрипник — М. : Энергия, 1975.
3. Чмых М. К. Цифровая фазометрия / М. К. Чмых. — М. : Радио и Связь, 1993. — 184 с.
4. Пестряков В. Б. Фазовые радиотехнические системы (основы статистической теории) / В. Б. Пестряков. — М. : Советское радио, 1968. — 468 с.
5. Сапельников В. М. Проблемы воспроизведения смещаемых во времени электрических сигналов и их метрологическое обеспечение / В. М. Сапельников, С. А. Кравченко, М. К. Чмых / Изд-е Башкирск. гос. ун-та. — Уфа, 1999. — 200 с.

6. Пат. США . №3924183. J. C. Fletcher, Frequency measurement by coincidence detection with standard frequency. U. S. Patent 3, 924,183. 1975.

7. 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.

8. Гитис Э. И. Аналого-цифровые преобразователи / Э. И. Гитис, Е. А. Пискулов. — М. : Энергоатомиздат, 1981. — С. 147—149.

9. Шибаев А. А. О влиянии амплитудно-фазовых погрешностей одноканальных трактов на точность измерения в некоторых схемах цифровых фазометров / А. А. Шибаев. — Известия Томского политехнического института. — 1972. — Том. 194. — С. 108—113.

10. Богородицкий А. А. Нониусные аналого-цифровые преобразователи / А. А. Богородицкий, А. Г. Рыжевский. — Библиотека по автоматике, выпуск 533. — М. : Энергия, 1975. — 120 с.

References

1. Ornatskyi P.P. Automatic measurement and devices (analog and digital), 5th ed. – Kyiv. – High school, Head Publishers, 1986. - 604 p. [in russian]

2. Ornatskyi P. P., Skrupnyk Yu. A., Skrupnyk V. Y. Yzmyrytelnye prybory peryodycheskoho sravneniya. – Moskow. Energia, 1975. [in russian]

3. Chmykh MK The digital phase measuring. - Moskow. Radio and Communication, 1993. - 184 p. [in russian]

4. Pestriakov V.B. Fazovie radyotekhnicheskie systemy (osnovy statystycheskoi te-orii). – Moskow. Sovetskoe radyo, 1968. - 468 p.[in russian]

5. Sapelnikov V.M., Kravchenko S.A., Chmykh M.K. Problemy vosproyzedenyia smeshchaemykh vo vremeny elektrycheskykh syhnalov i ikh metrolohycheskoe obespechenye. Izdatelstvo Bashkirskogo universiteta. – Ufa, 1999. – 200 с. [in russian]

6. US patent №3924183. J. C. Fletcher, Frequency measurement by coincidence detection with standard frequency. U. S. Patent 3, 924,183. 1975.

7. Trotsyshyna L.V., Voitiuk O.P., Trotsyshyn I.V. Vymiryuvannia chastoty za metodom kointsydentsii ta osoblyvosti utvorennia shkaly vymiryuvalnoho peretvorennia. Visnyk Khmelnytskoho natsionalnoho universytetu. 2009. № 3. Tehnichni nauki. P. 240-244.

8. Gitis Je.I., Piskulov E.A. Analogo-cifrovye preobrazovateli. Moscow. Jenergoatomizdat. 1981. P. 147-149.

9. Shibaev A.A. O vlijanii amplitudno-fazovyh pogreshnostej odnokanal'nyh traktov na tochnost' izmerenija v nekotoryh shemah cifrovyyh fazometrov. Izvestija Tomskogo politehnicheskogo instituta. 1972. Issue. 194. P. 108-113.

10. Bogorodickij A.A., Ryzhevskij A.G. Noniusnye analogo-cifrovye preobrazovateli. Biblioteka po avtomatike. Moscow. Jenergija, 1975. Issue 533. 120 p.

Горященко К. Л., Гула І. В. Вимірювач кута фазових зсувів за методом коінциденції. Показані особливості реалізації класичних цифрових фазометрів із застосуванням нониусних вимірювань. Приведено математичне обґрунтування застосування методу коінциденції для реалізації вимірювання кута зсуву фази. Встановлені основні вузли такого вимірювача. Незважаючи на певне зростання апаратної складності в реалізації вимірювача, запропонований вимірювач дозволяє виконувати вимірювання як за короткі часові інтервали, так і реалізує зростання точності при довготерміновому вимірюванні.

Ключові слова: цифровий фазометр, співпадіння, цифрова обробка.

Горященко К. Л., Гула И. В. **Измеритель угла фазовых сдвигов с использованием метода коинциденции.** В работе приведены особенности реализации классических цифровых фазометров с использованием нониусных измерений. Приведено математическое обоснование использованного метода коинциденции для реализации измерения угла сдвига фазы. Определены основные узлы такого измерителя. Несмотря на некоторое увеличение аппаратной сложности в реализации измерителя, представленный измеритель позволяет выполнять измерения как за короткие интервалы времени, так и представляет возможным увеличить точность при долговременной измерении.

Ключевые слова: цифровой фазометр, совпадения, цифровая обработка.

Horiaschenko K., Gula I. **Phase measuring device based on coincidence method.**

Introduction. The aim of the study was to determine perceptivity usage of the coincidence method for the implementation of phase measuring device. It was necessary to establish the structural elements of the measuring device.

The main part. In article main types of digital phase measurers based on nonius measuring are shown. One-time nonius measurer is shown as low accuracy measurer. Multi-time nonius measurer allows to increase accuracy. This type of measurer allows fast measuring by executing in parallel multiply nonius generators, but requiring to work with special schemes to detect errors in case of wrong impulse width's.

The coincidence method is known for a long time and now actively used for frequency measurement of signals. Used method is based on several coincidences of incoming and base signals. Drawback of method is dependence of measurement time and expected accuracy.

In this paper the scheme for usage for measurement of a phase shift angle with usage of a coincidence method is offered. It is shown that for measurement of a phase shift by this method there is no necessity for frequency measurement of the incoming signal, as it is necessary for other implementations of digital measurement of a phase shift.

Conclusions. The result of research shows the block diagram of device for measuring of phase shift angle using the coincidence method. The resulting device can receive the angle of phase shift with any duration of time measurement. Moreover, the longer the time of measurement, the greater accuracy expected.

Keywords: digital phase measurer, coincidence, digital processing.