УДК 528.088:621.3.085.323.1

І.В. ГУЛА, К.Л. ГОРЯЩЕНКО, В.В. МІШАН
Хмельницький національний університет, Україна

ІНСТРУМЕНТАЛЬНІ ПОХИБКИ МЕТОДУ КОІНЦИДЕНЦІЇ

Метод багатократної коінциденції є перспективним методом для реалізації вимірювальних пристроїв, в яких час вимірювання є достатнім ресурсом. В статті показано побудову вимірювального пристрою на базі програмованої логіки та оцінка його інструментальної похибки.

Ключові слова: коінциденція, програмована логіка, похибка

I.V. GULA, K.L. HORYASCHENKO, V.V. MISHAN
Khmelnitsky national university, Ukraine

ІНСТРУМЕНТАЛЬНІ ПОХИБКИ МЕТОДУ КОІНЦИДЕНЦІЇ

The method is repeated coincidence promising method for the implementation of measurement devices in which the measurement is sufficient resource. The article shows the construction of the measuring device based on programmable logic and scores his instrumental error. By using Altera Baseline software was created electric schematics of proposed device. MAX700 series of PLD was selected for hardware implementation. The main task of the research is to determine the stability of the method of coincidences to errors related to the omission or erroneous detection of matches.

Keywords: coincidence, programmable logic, error

Вступ

Основною перевагою багатократного ноніуса є можливість використання в процесі вимірювання для оцінки всіх розрядів цифрового еквівалента (ЦЕ) вимірювальної величини вихідних величин мір, близьких по значенню до вихідної величини міри, яка використовується для оцінки старшого розряду.

Метод багатократного ноніуса може бути використаний для вимірювання самих різноманітних параметрів (частоти, тривалості інтервалів часу, тривалості імпульсів), а також відношення двох величин і параметрів, наприклад, кута зсуву фаз, шпаруватості імпульсів, процентного відхилення значення перетворювальної величини від номінального її значення.

Конкретний вид перетворювальної величини не змінює послідовності і змісту операції перетворення, тому опис метода багатократного ноніуса доцільно привести для випадку перетворення в код деякої узагальненої величини *X*.

Метод коінциденції є одним з видів багатошкальних методів вимірювання до яких відносяться ноніусні методи. Ключовою особливістю метода коінциденції, яка його відрізняє від ноніусних методів є те, що в ньому використовується не одне співпадіння, як в ноніусному та в методі багатошкального ноніусу, а два. Ноніусні методи та метод коінциденції мають спільні риси: спільним з одношкальним ноніусом є використання одного генератора опорних частот, з багатократним ноніусом є те що, в методі коінциденції використовується декілька шкал які одночасно порівнюються з одною опорною шкалою. Як і в ноніусних методах в ньому використовується певне співвідношення шкал розміри поділок яких відрізняються на потрібну ступінь квантування (розмір оцінюваного розряду відліків).

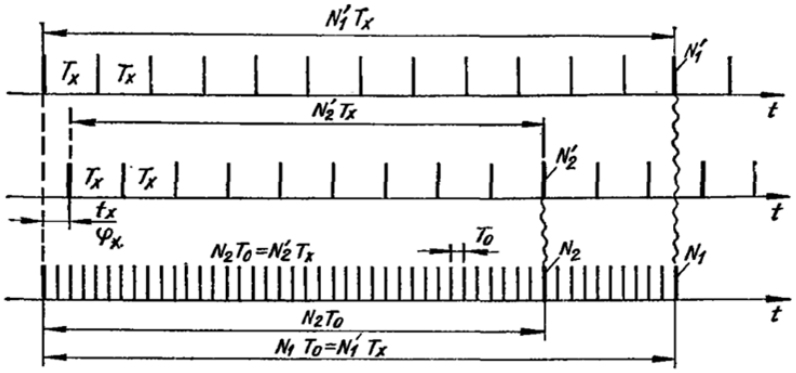

Рис. 1. Вимірювання фази сигналів φ_x методом коінциденції [1]

В роботі [2] було показано, що визначення кута зсуву фази в методі багатократної коінциденції базується на такому фундаментальному явищі як визначення моменту співпадіння. Так, вираз (1) показує загальний вираз для визначення кута зсуву фази:

$$\varphi = \left(\frac{N_1^{'} N_2 - N_2^{'} N_1}{N_1} \right). \qquad (1)$$

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.

В випадку помилки у визначенні моменту співпадіння між опорним сигналом та вхідними сигналами виникає похибка, а тоді значення кута зсуву фази вже складе:

$$\varphi_x = (\varphi \pm \Delta\varphi). \quad (2)$$

На рис. 2. показана схема утворення імпульсів збігу на якій три схеми для формування тривалості імпульсів збігу, причому дві схеми – формувачі тривалості імпульсів вхідних сигналів, третя – формувач тривалості імпульсів опорної послідовності. На входи in1, in2 поступає еталонний сигнал, на входи in3, in4 сигнал зсунутий по фазі, на входи in5, in6 поступає сигнал опорного генератора. Формувачі тривалості імпульсів формують короткі імпульси збігу. Сигнал in2 формується з сигналу in1 за допомогою елемента затримки. Таким чином, за допомогою елементів "XOR" (позиція 1) "AND2" (позиція 20) формуються короткотривалі сигнали. Аналогічно формуються імпульси з in3 – in4, in5 – in6.

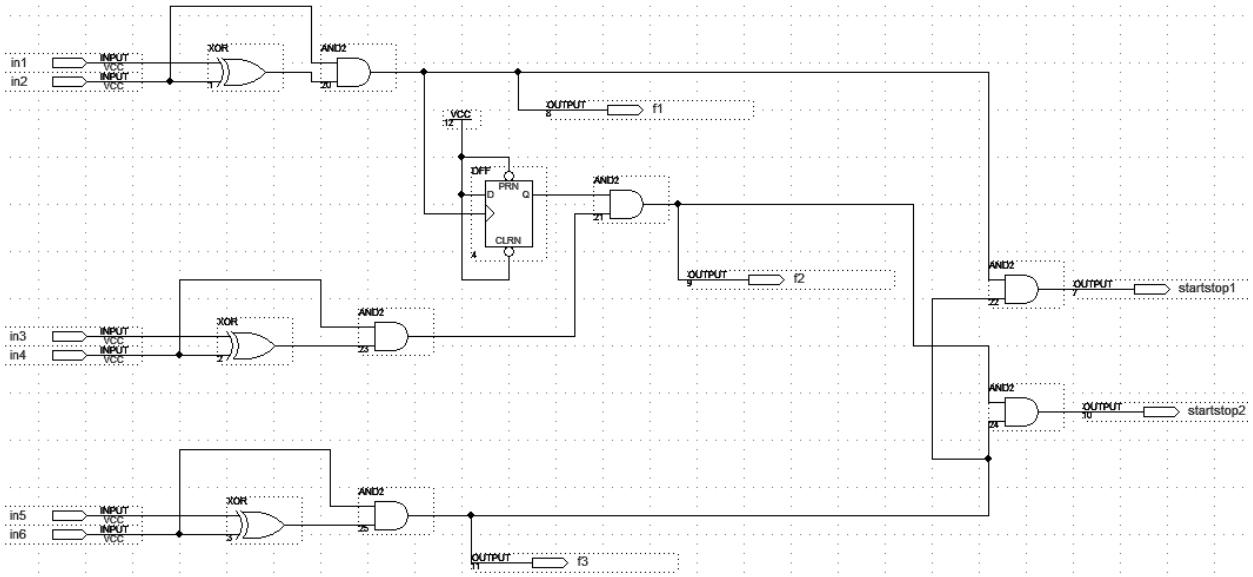

Рис. 2. Схема утворення імпульсів збігу (Середовище Altera Basline. Проект для MAX7000)

Далі за допомогою елементів "AND2" одночасно порівнюються вхідні сигнали з виходів f1 та f2 з сигналом від опорного генератора f3. В результаті на виході елементів "AND2" (позиції 22 та 24) ми отримуємо короткі імпульси збігу: startstop1, startstop2. Це імпульси збігу вхідних сигналів з сигналом від генератора опорних сигналів. Для того щоб зафіксувати який канал є опорним, в схемі використаний d-тригер з елементом "I", який пропускає сигнал з другого входу після того, як сигнал з'явився на першому. Діаграми роботи схеми представлені на рис. 3.

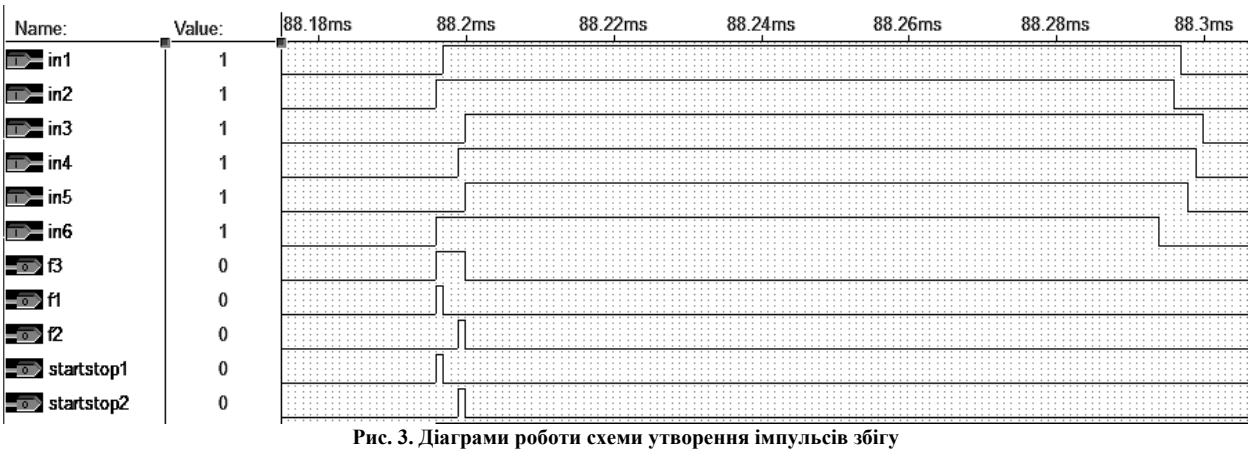

Рис. 3. Діаграми роботи схеми утворення імпульсів збігу

На рис. 3 показано результат моделювання, в якому видно, що сигнали подаються на вхід пристрою у дискретизовані моменти часу. А тому й сигнали співпадіння мають гарантовану тривалість. В реальних умовах сигнали можуть поступати у довільний момент, а отже й при співпадінні може виникнути ситуація пропуску.

Основна частина

Для визначення джерел похибки для методу коінциденції визначимо аналітично найбільш впливові

складові виразу (1). Для визначення похибки виконаємо перетворення виразу (1) використовуючи дії з логарифмами:

$$\ln\varphi = \ln\left(\frac{N_1^{'}N_2 - N_2^{'}N_1}{N_1}\right),$$

звідки отримаємо:

$$\ln\varphi = \ln\left(N_1^{'}N_2 - N_2^{'}N_1\right) - \ln N_1 .$$

Далі розкриємо різницю $N_1^{'}N_2 - N_2^{'}N_1$, та отримаємо

$$\ln\varphi = \ln\left(N_1^{'}N_2\left[1 - \frac{N_2^{'}N_1}{N_1^{'}N_2}\right]\right) - \ln N_1 ,$$

а отже буде

$$\ln\varphi = \ln\left(N_1^{'}N_2\right) + \ln\left(1 - \frac{N_2^{'}N_1}{N_1^{'}N_2}\right) - \ln N_1 .$$

Подальші перетворення дозволяють отримати

$$\ln\varphi = \ln N_1^{'} + \ln N_2 + \ln\left(1 - \frac{N_2^{'}N_1}{N_1^{'}N_2}\right) - \ln N_1 =$$

Прийнявши, виходячи з рис. 1, що $N_2^{'}N_1 > N_1^{'}N_2$, якщо вважати, що N_1, N_2 починаються згідно схеми рис. 2 одночасно, а сигнал співпадіння $N_1^{'}$ буде отримано раніше за $N_2^{'}$. Тоді $\frac{N_2^{'}N_1}{N_1^{'}N_2} > 1$. Відповідно, $\ln\left(1 - \frac{N_2^{'}N_1}{N_1^{'}N_2}\right) < 0$. Також, за вищевказаних умов можна прийняти, що $\ln\left(1 - \frac{N_2^{'}N_1}{N_1^{'}N_2}\right) = -\text{const}$.

Надалі, визначимо похибку визначення кута зсуву фази як диференціал логарифму, використовуючи відоме співвідношення $\Delta\left(\ln N\right) = \Delta N / N$, тобто:

$$\frac{\Delta\varphi}{\varphi} = \frac{\Delta N_1^{'}}{N_1^{'}} + \frac{\Delta N_2}{N_2} - \text{const} - \frac{\Delta N_1}{N_1} . \qquad (3)$$

або, згідно правил визначення відносної похибки, заміняємо знаки для максимізації похибки як:

$$\frac{\Delta\varphi}{\varphi} = \frac{\Delta N_1^{'}}{N_1^{'}} + 2\frac{\Delta N_1}{N_1} - \text{const} . \qquad (4)$$

Для визначення значущості кожної зі складових виразу (4), виконаємо аналіз умов застосування на практиці цього виразу у відношенні до виразу (1).

При опорній частоті $f_{оп}$ більшій за вхідну $f_{сиг}$, кількість опорних імпульсів N_1, N_2 буде більша за кількість імпульсів співпадіння $N_1^{'}$, $N_2^{'}$. А тому відношення $\frac{\Delta N_1^{'}}{N_1^{'}} \to 0$. Тому отримаємо наступний вираз:

$$\frac{\Delta\varphi}{\varphi} = 2\frac{\Delta N_1}{N_1} - \text{const} . \qquad (4)$$

При опорній частоті $f_{оп}$ наближено рівній вхідній $f_{сиг}$, кількість опорних імпульсів N_1, N_2 буде одного порядку з імпульсами співпадіння $N_1^{'}$, $N_2^{'}$. А тому відношення $\frac{\Delta N_1^{'}}{N_1^{'}} \approx \frac{\Delta N_1}{N_1}$. Тому отримаємо наступний вираз:

$$\frac{\Delta\varphi}{\varphi} = 3\frac{\Delta N_1}{N_1} - \text{const} . \qquad (4)$$

Проведене моделювання дозволило отримати наступний графік абсолютних значень похибок визначення кута зсуву фази.

Висновок

В результаті аналітичної оцінки виразу (1) та моделювання встановлено, що метод багатократної коінциденції є стійким до виникнення поодиноких помилок при визначенні моментів співпадінь в наслідок своєї надлишковості. Як видно з рис. 4, для методу характерно експоненційне наближення до дійсного значення результату вимірювання. З рис. 4 також видно, що наявність хибних спрацювань виду $N_{1,2}^{'} \pm n$ в

цілому може впливати на знак похибки, але зростання кількості відліків усуває цю проблему.

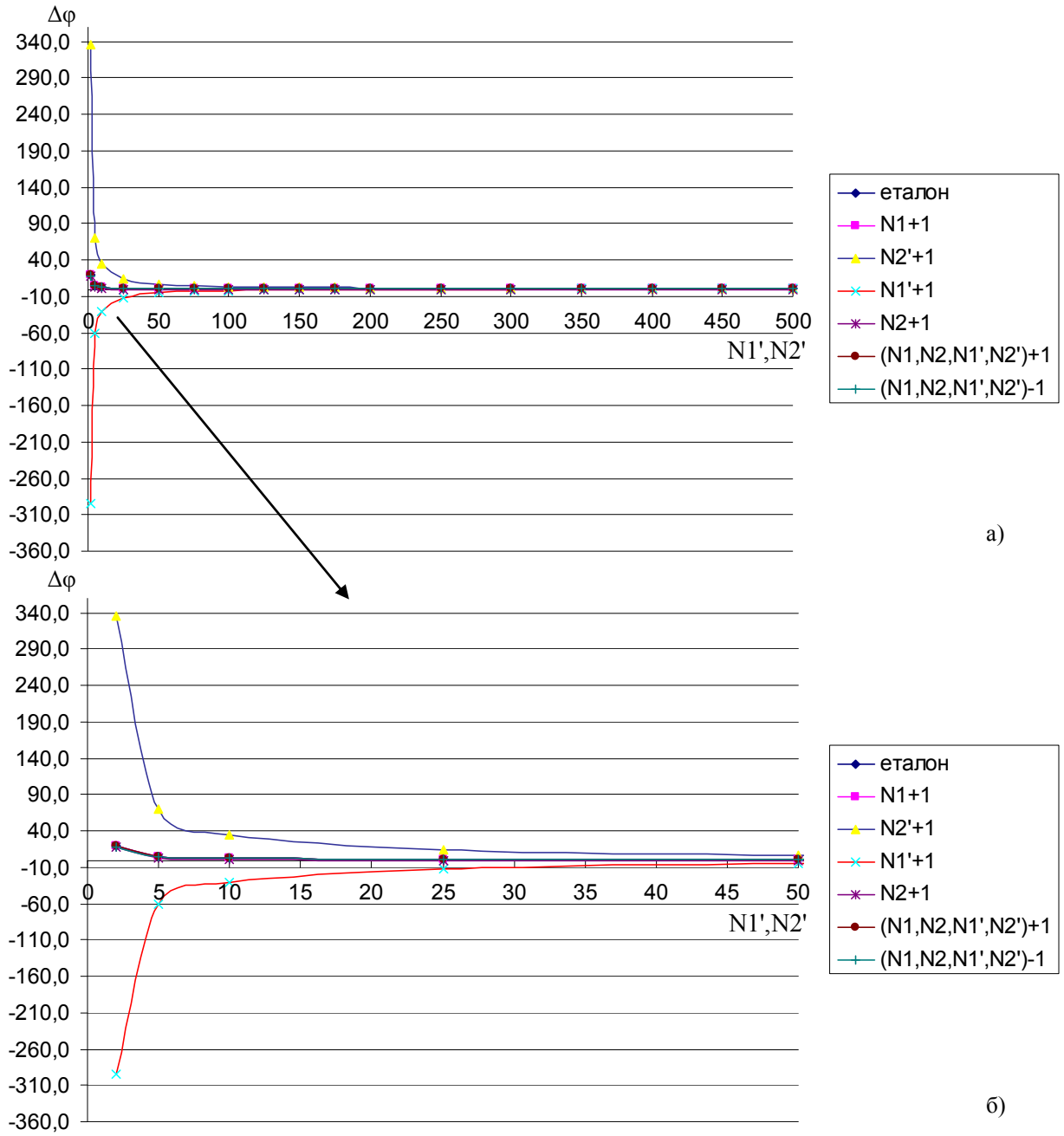

Рис. 4. Моделювання визначення кута зсуву фази при наступних параметрах: Тсиг=1000 нс, Топ=999,72 нс, φ=24,00°. Показано загальний вид від 0 до 500 співпадінь (а), та частина від 0 до 50 співпадінь (б)

Література

1. Гула І.В. Побудова ноніусного фазометру із застосуванням мікропроцесорної техніки / І.В. Гула, К.Л. Горященко, Л.В. Карпова, В.В. Стрельбицкий // Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах. – 2014. – №4. – С. 41-44

2. Горященко К.Л. Похибки методу багатократної коінциденції пакетів імпульсів / К.Л. Горященко, І.В. Гула // Матеріали міжнародної науково-практичної конференції "Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах": сб. наук. пр. – Одеса, 6-12 червня 2014 р. – С.83-84

References

1. Hula I.V., Horiashchenko K.L., Karpova L.V., Strelbitskiy V.V. Phase measurer based on microprocessor. Khmelnytskyi. Measuring and Computing Devices in Technological Processes. 2014. Issue 4. Pp. 41-44

2. Horyaschenko K.L., Gula I.V. Errors of measuring in method of multicoincidence. Proceedings of the International Scientific Conference "Measuring and computing in technological processes." Odessa, 6-12 June 2014 - S.83-84

Рецензія/Peer review : 12.9.2015 р. Надрукована/Printed :18.10.2015 р.