

РЕАЛІЗАЦІЯ ЧАСТОТОМІРА КОІНЦИДЕНЦІЇ НА ПЛІС

Вказано на недоліки відомих методів вимірювання частоти періодичного сигналу. На основі відомого методу коінцидентності розроблено функціональну схему 16-розрядного пристрою для вимірювання частоти, яку реалізовано на базі ПЛІС фірми Intel(Altera). Розроблений частотомір коінцидентності має динамічний діапазон 96дБ. Представленні часові діаграми, які отримано в середовищі автоматизованого проектування Quartus Prime 18.0 і підтверджують працездатність розробленої функціональної схеми 16-розрядного пристрою для вимірювання частоти методом коінцидентності. Представлена аналітична залежність для визначення частоти періодичного сигналу під час вимірювання частоти, методом коінцидентності.

Ключові слова: активний сенсор, частота, інтернет речей, періодичний сигнал, метод коінцидентності, телекомунікаційна мережа, ПЛІС.

PETRUSHAK Volodymyr
Khmelnytskyi National University

IMPLEMENTATION OF THE COINCIDENCE FREQUENCY METER ON FPGA

Means of measuring various parameters and technical characteristics of radio equipment have always occupied leading positions in science and technology. Without an accurate definition of the relevant values, it is impossible to build modern high-quality radio communication systems, radar, navigation ground and satellite systems. In ultrasound diagnostics, which are used in medicine, the speed of blood flow in vessels is studied by determining the frequency of the reflected signal. At the same time, it is necessary to use high-speed frequency measurement tools in systems with active sensors used in telecommunication networks based on Internet of Things technology. For example, in active radar, using the frequency of the reflected signal, it is possible to calculate not only the coordinates, but also the circular speed of the moving target. Modern research is aimed at improving the metrological and technical indicators of existing measuring devices, in particular at developing new methods for correcting the characteristics of the transformation of the measuring channel, which is their main component. At the same time, most digital frequency meters are built on the method of counting the number of pulses N with an unknown period T_x that arrive at the input of the device during a calibrated time interval. All this leads to an increase in measurement time and requires additional hardware costs for fast processing of measurement results. The coincidence method belongs to vernier methods and is promising for use when measuring the frequency of periodic signals.

This paper points out the shortcomings of known methods of measuring the frequency of a periodic signal. On the basis of the well-known method of coincidence, a functional scheme of a 16-bit device for measuring frequency, which is implemented on the basis of a FPGA from Intel (Altera), has been developed. The developed coincidence frequency meter has a dynamic range of 96dB. Representation of time diagrams obtained in the Quartus Prime 18.0 automated design environment and confirming the operability of the developed functional scheme of the 16-bit device for frequency measurement by the coincidence method. An analytical dependence for determining the frequency of a periodic signal during frequency measurement by the coincidence method is presented.

Keywords: active sensor, frequency, Internet of Things, periodic signal, coincidence method, telecommunication network, FPGA.

Постановка проблеми

Зусилля видатних науковців спрямовані на покращення метрологічних та технічних показників існуючих засобів вимірювання, зокрема на розробку нових методів корекції характеристики перетворення вимірювального каналу, що є їх головною складовою [1].

Відповідно вдосконалення відомих методів для створення нових перетворювачів високочастотних періодичних сигналів в код є перспективною задачею на сьогоднішньому етапі розвитку вимірювальної техніки [2].

Аналіз останніх джерел

Засоби вимірювання різноманітних параметрів та технічних характеристик радіотехнічних засобів завжди займали провідні позиції в науці та техніці. Без точного визначення відповідних значень неможлива побудова сучасних якісних систем радіозв'язку, радіолокації, навігаційних наземних та супутникових систем.

Україна має значні досягнення в галузі метрології та радіовимірювань. Так, в практиці електрорадіовимірювань вимірювання частоти є поширеною операцією.

В ультразвуковій діагностиці, що використовуються в медицині через визначення частоти відбитого сигналу досліджують швидкість кровотоку в судинах [3]. Разом з тим необхідним є застосування високошвидкісних засобів вимірювання частоти в системах з активними сенсорами [4], що використовуються в телекомунікаційних мережах на базі технології інтернет речей. Так наприклад, в активній радіолокації за допомогою частоти відбитого сигналу можна вирахувати не лише координати, а й колову швидкість цілі, що рухається.

Сучасні дослідження спрямовані на покращення метрологічних та технічних показників існуючих засобів вимірювання, зокрема на розробку нових методів корекції характеристики перетворення вимірювального каналу, що є їх головною складовою [1].

Разом з тим, більшість цифрових частотомірів побудовано на методі підрахунку числа імпульсів N з невідомим періодом T_x , які поступають на вхід приладу за калібрований інтервал часу. Все це веде до

збільшення часу вимірювання і потребує додаткових апаратних витрат для швидкої обробки результатів вимірювання.

Досить ясно метод коінциденції для вимірювання частоти періодичного сигналу описано в [5].

Формулювання цілей

Реалізація частотоміра коінциденції на програмованих логічних інтегральних схемах (ПЛІС) дозволить уникнути проблем з електромагнітною сумісністю цифрових блоків схеми. Крім того така реалізація дозволить отримати максимально можливу швидкість обробки результатів перетворення частоти в двійковий код. Відповідно, метою роботи є розробка та дослідження функціональної схеми частотоміра коінциденції на програмованих логічних інтегральних схемах.

Виклад основного матеріалу

Процес вимірювання частоти за методом коінциденції можна розділити на наступні етапи:

- Формування першого моменту співпадіння;
- Формування другого моменту співпадіння;
- Підрахунок кількості періодів N_x сигналу невідомої частоти F_x ;
- Підрахунок кількості періодів N_0 сигналу відомої частоти F_0 ;
- Знаходження частки N_x/N_0 .

Таким чином можна відмітити, що частотомір коінциденції складається із двох каналів обробки сигналів. Перший канал обробляє сигнал невідомої частоти, а другий – сигнал опорної частоти. Разом з тим слід зауважити, що принцип роботи приладу базується на часовому співпадінні фронтів прямокутних сигналів. На даний момент є можливість реалізувати всі ці етапи апаратно в складі однієї ПЛІС. Варіант функціональної схеми такого частотоміра коінциденції на реалізованого ПЛІС представлено на рис. 1, а осцилограми, що пояснюють його принцип роботи – на рис. 2.

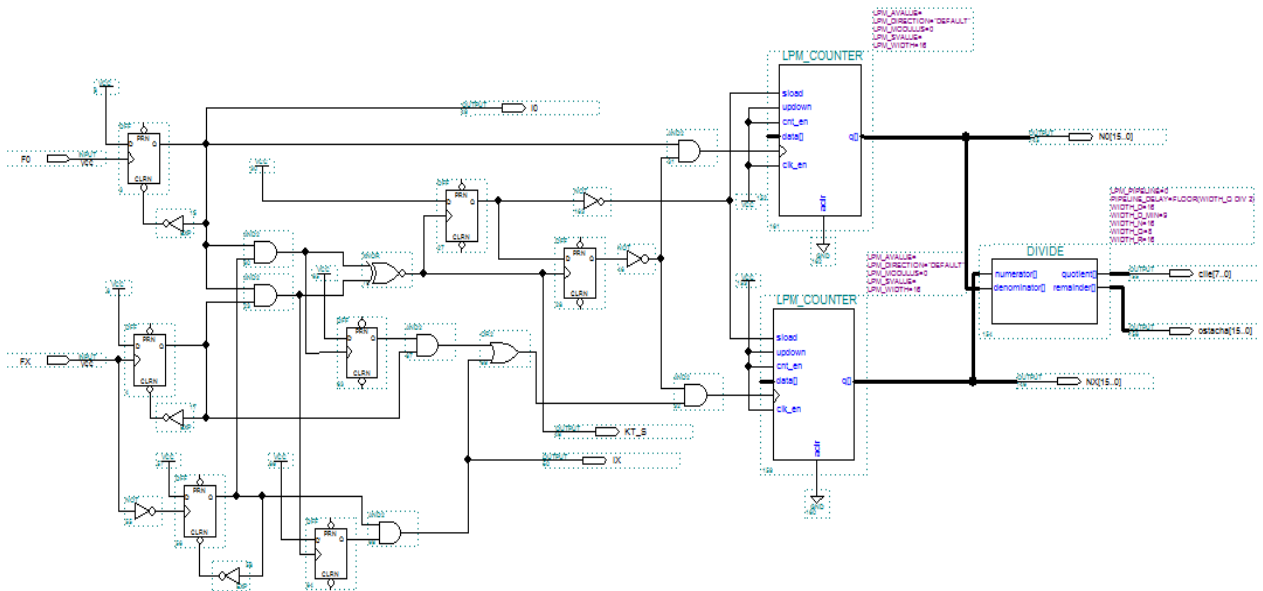


Рис. 1. Функціональна схема частотоміра коінциденції на ПЛІС

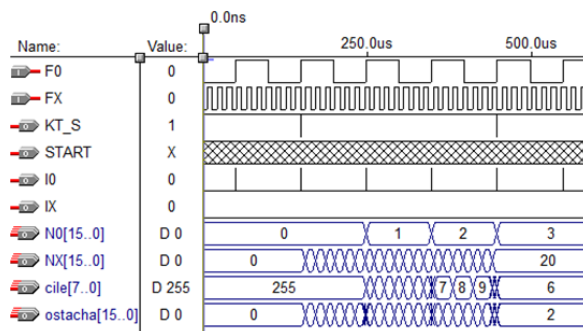


Рис. 2. Осцилограми роботи частотоміра коінциденції на ПЛІС

Для отримання інформації про фронти імпульсів необхідно виділити їх на фоні самого імпульсу. Для цього служить блок формувача коротких імпульсів. Даний блок дублюється для каналу обробки сигналу опорної частоти. На вхід блоку надходять прямокутні імпульси, для каналу обробки опорної частоти – із генератора опорної частоти, для каналу обробки сигналу невідомої частоти – із формувача прямокутних імпульсів. З точки зору схемотехніки, блок представляє собою D-тригер із колом зворотного зв'язку на інверторі, що при зміні стану прямого виходу тригера скидає його в нульовий стан, подачею сигналу скидання на вхід R. Таким чином довжина генерованого імпульсу залежить тільки від одного

параметра – затримки розповсюдження сигналу в інверторі. Так як дана затримка, для сучасних типів мікросхем є величина стала, та надзвичайно мала, то протяжність вихідного імпульсу також надзвичайно мала.

З виходу формувача коротких імпульсів сигнали, що дають представлення про часове положення фронтів сигналів, надходять на вхід схеми співпадіння. Основна задача даного блоку – визначення моменту співпадіння фронтів імпульсів. Причому цих моменти визначається два. Перший імпульс з'явиться на виході схеми в момент першого співпадіння фронтів імпульсів. Другий імпульс на виході з'явиться через певну кількість періодів як одного так і іншого сигналів. Дану ситуацію можна описати математично, використовуючи поняття найменшого спільного кратного (НСК). Разом з тим, період повторення моментів співпадіння фронтів сигналів можна визначити за формулою:

$$T = \text{НСК}(T_1, T_2), \quad (1)$$

де T_1, T_2 – періоди повторення сигналу невідомої та опорної частот;

З точки зору схемотехніки, даний блок представляє собою схему з логічною функцією "Г".

Принцип роботи приладу базується на підрахунку кількості імпульсів невідомої частоти, та кількості імпульсів опорної частоти, між моментами їх співпадіння. Для подальшого підрахунку імпульсів необхідно керувати надходженням їх на входи лічильників. Тобто, при надходженні першого імпульсу співпадіння, необхідно запустити лічбу; при надходженні другого імпульсу співпадіння – зупинити лічбу; передати обраховану інформацію на обробку, та скинути виходи лічильників в нульовий стан. Всі ці функції виконує блок управління лічильниками.

Сформований сигнал про співпадіння фронтів імпульсів надходить на блок керування лічильником. Дана схема представляє собою лічильник на D-тригерах із межею лічби "2". Тобто, при надходженні першого імпульсу співпадіння на вхід блоку, на виході з'являється логічна одиниця, що дозволяє надходження імпульсів на вхід лічильників. При надходженні другого імпульсу співпадіння, лічильник блоку переходить в стан логічного нуля, що забороняє проходження імпульсів.

З виходів блоків керування кожного каналу, імпульси проходять на входи 16-розрядних двійкових лічильників. Лічильники підраховують кількість імпульсів між моментами співпадіння фронтів сигналів. Розрядність лічильників вибрана з урахуванням можливого діапазону різниць частот невідомого та опорного сигналів. Обрана розрядність забезпечує відношення сигналів у межах 96 дБ:

$$\frac{F_x}{F_0} = 2^{16}, \quad (2)$$

де F_x, F_0 – відповідно невідома та опорна частота.

Наступний блок виконує зразу декілька функцій. Головна з них – обрахування частоти сигналу. Суть арифметичних операцій, виконуваних даним блоком описується аналітично за допомогою формули [5]:

$$\frac{N_x}{N_0} = \frac{F_x}{F_0}, \quad (3)$$

де N_x, N_0 – кількість підрахованих імпульсів, між моментами співпадіння фронтів сигналів відповідно невідомої та опорної частот;

Зробивши очевидні перетворення матимемо:

$$F_x = \frac{N_x \cdot F_0}{N_0} \quad (4)$$

З виходів лічильників 16-розрядний двійковий код, відповідний кількості підрахованих імпульсів в кожному каналі, потрапляє на вхід блоку апаратного ділення DIVIDE. Блок апаратного ділення DIVIDE, в асинхронному режимі, визначає цілочисельну частку (cile) і остачу (ostacha). Отримане значення з блоку апаратного ділення DIVIDE можна помножити на значення відомої частоти і матимемо частоту невідомого сигналу.

Висновки

На основі відомого методу коінциденції розроблено функціональну схему 16-розрядного пристрою для вимірювання частоти, яку реалізовано на базі ПЛІС фірми Intel (Altera). Розроблений частотомір коінциденції має динамічний діапазон 96дБ. Представленні часові діаграми, які отримано в середовищі автоматизованого проектування Quartus Prime 18.0 і підтверджують працездатність розробленої функціональної схеми 16-розрядного пристрою для вимірювання частоти методом коінциденції. Представлена аналітична залежність для визначення частоти періодичного сигналу під час вимірювання частоти, методом коінциденції.

Література

1. Пат. № 133686 Україна, МПК G01L 9/08, G01L 9/12. Вимірювальний перетворювач на основі механотронного п'єзоакустичного датчика тиску / А. А. Таранчук, С. К. Підченко, А. А. Акуліничев, А. В. Співак, А. І. Жизневський ; заявник і патентовласник Хмельницький нац. університет. – № u201807922 від

16.07.2018 ; опубл. 25.04.2019, Бюл. № 8/2019. – 6 с. : іл.

2. Petrushak V. S. Measurement of the amplitude of periodic signals using the Fibonacci method / V. S. Petrushak // Приборы и методы измерений. – 2018. – Т. 9. № 2. – С. 168–173.

3. Шутко В.М. Застосування ефекту Доплера в вимірювачі швидкості кровотоку АВІА-2015 / В.М. Шутко, І.В. Федоренко // Міжнар. наук.-техн. конф., 28-29 квітня 2015. – К., 2015. – С. 125.

4. Perry Lea, Parkash Karki. Internet of Things for Architects. Packt Publishing, 2018. 454 p.

5. Орнатский П.П. Автоматические измерения и приборы (аналоговые и цифровые) / П.П. Орнатский. – К. : Вища шк., 1986. – 504 с.

References

1. Pat. № 133686 Ukraina, МПК G01L 9/08, G01L 9/12. Vymiriuvalni peretvoriuvach na osnovi mekhanotronnoho piezoakustynohoho datchyka tysku / A. A. Taranchuk, S. K. Pidchenko, A. A. Akulynichev, A. V. Spivak, A. I. Zhyznevskiy ; zaiavnyk i patentovlasnyk Khmelnytskyi nats. universytet. – № u201807922 vid 16.07.2018 ; opubl. 25.04.2019, Biul. № 8/2019. – 6 s. : il.

2. Petrushak V. S. Measurement of the amplitude of periodic signals using the Fibonacci method / V. S. Petrushak // Prybory y metody yzmerenyi. – 2018. – Т. 9. № 2. – С. 168–173.

3. Shutko V.M. Zastosuvannia efektu Doplera v vymiriuvachi shvydkosti krovotoku AVIA-2015 / V.M. Shutko, I.V. Fedorenko // Mizhnar. nauk.-tekh. konf., 28-29 kvitnia 2015. – K., 2015. – S. 125.

4. Perry Lea, Parkash Karki. Internet of Things for Architects. Packt Publishing, 2018. 454 p.

5. Ornatskyi P.P. Avtomatycheskye yzmerenyia y prybory (analohovye y tsyfrovye) / P.P. Ornatskyi. – K. : Vyshcha shk., 1986. – 504 s.