

УДК 621.317

DOI: <http://dx.doi.org/10.20535/2219-3804172017101363>Ю. В. Бобков¹, доцент, к.т.н., М. В. Панчик², студент**СТАТИСТИЧНИЙ ВИМІРЮВАЧ КОРОТКИХ ІНТЕРВАЛІВ ЧАСУ**

Measuring short time intervals is a common and pressing problem in various areas of science and industry. In particular, repeated short intervals are an informative parameter for defect thickness measurement systems in nuclear physics, medicine, electronics, electrical engineering, etc.

Method of direct comparison with the quantizing impulses period is commonly used for their measurement. The main disadvantage of this method is the minimum duration limitation of the measured time intervals with quantization tolerance, which depends on the maximum frequency of the quantizing impulses located at 600 MHz.

Another problem related to this issue is restrictions of the application of the modern microcontroller components, which mainly operate at much lower frequency. Most microcontrollers use clock crystal oscillators with frequency output up to 50 MHz.

One of the possible solutions for this problem is to use a special method of measuring the time interval, such as statistical one.

The purpose of this paper is to research and design time intervals statistical meter on the basis of inexpensive microcontrollers and consumer components of low-speed performance.

The pulse duration is determined by the probability of the measured pulses coincidence and quantity pulses in the statistical method. This method allows to measure the time intervals which are much shorter than the quantizing impulses period and to use the low speed microcontrollers.

Microcontrollers Atmel, ATmega and ATtiny with clock frequency of 16 MHz and 9,8 MHz were used in this project to build the time intervals statistical meter. The functional diagram of the device was developed. Large part of the functional blocks is implemented in software. This allows changing the software algorithm using programming methods to display debugging information and to correct errors.

Such issues as methodological error depended on the number of measured time intervals (sample size) and the instrumental error, which associated with limited duration of quantizing impulse, were considered in this paper.

The research of the time intervals statistical meter indicated that with the sample size of 10000 intervals and quantizing impulse duration of 0,01 μ s, the measurement error in the range 1...10 μ s does not exceed 0,6 %, while quantizing impulse duration is 0,05 μ s - 3 %, which corresponds the preliminary calculations.

The following research will be aimed at improving accuracy of the time intervals statistical meter by optimizing the sample size and the quantizing impulses duration.

¹ НТУУ «Київський політехнічний інститут ім. Ігоря Сікорського», кафедра інформаційно вимірювальної техніки

² НТУУ «Київський політехнічний інститут ім. Ігоря Сікорського», кафедра інформаційно вимірювальної техніки

Ru

В работе рассмотрены проблемы измерения коротких интервалов времени, в частности возможность применения микроконтроллеров широко применения со сравнительно невысокой тактовой частотой для измерения коротких интервалов времени с высокой точностью.

В качестве пути решения задачи предложено использовать статистический метод измерения интервалов времени. В работе представлены результаты разработки и исследования статистического измерителя интервалов времени.

Вступ

Вимірювання коротких інтервалів часу є поширеною та актуальною задачею у різних галузях науки та промисловості. Зокрема короткі інтервали часу, що повторюються, є інформативним параметром для дефектоскопів, товщиномірів, вимірювальних систем у ядерній фізиці, медицині, електроніці, радіотехніці тощо.

Під час вирішення технічних завдань інтервали часу, у більшості випадків, задані у вигляді електричних сигналів, що можуть бути однократними або повторюватися. Для їх вимірювання зазвичай використовують метод прямого порівняння із періодом квантуючих імпульсів. Основним недоліком даного методу є обмеження мінімальної тривалості вимірюваних часових інтервалів допустимою похибкою квантування, яка, у свою чергу, залежить від максимально можливої частоти квантуючих імпульсів, що знаходиться на рівні 600 МГц. [1]

Іншою, пов'язаною із цим проблемою, є обмеження щодо застосування сучасної мікроконтролерної елементної бази, що зазвичай працює на значно менших тактових частотах. Для більшості мікроконтролерів використовують тактові кварцові генератори з частотою вихідного сигналу до 50 МГц. Тому, метрологічні характеристики кварцових генераторів є відомими та стабільними, що дозволяє використовувати їх для вимірювання часових інтервалів. Існує значна кількість мікроконтролерів, що працюють на значно вищих тактових частотах (до 400 МГц) завдяки використанню вбудованої системи фазового автоматичного підлаштування частоти (ФАПЧ). Проте метрологічні характеристики отриманої таким чином підвищеної частоти тактових імпульсів є непідтверджені та нестабільні за рахунок нестабільності системи ФАПЧ, що не дозволяє використовувати її для вимірювання інтервалів часу з нормованими метрологічними характеристиками. Враховуючи наведені особливості, нижня границя вимірювання часу у разі похибки квантування, наприклад 0,5 %, знаходиться на рівні 4 нс для тактової частоти 50 МГц.

Більшість існуючих вимірювачів коротких інтервалів часу має високі метрологічні характеристики, наприклад типовий частотомір-хронометр ЧЗ-63/3 фірми *MCP Corporation* має нижню межу вимірювання 20 нс у разі похибки квантування 0,2 %; частотомір-хронометр *GFC-8010H* фірми *GW Instek* – 8 нс за похибки квантування 0,4 %. Високі метрологічні харак-

теристики обумовлені застосуванням високошвидкісної елементної бази, що призводить до значного зростання вартості [2, 3].

Таким чином, для вимірювання коротких інтервалів часу за, наприклад, похибкою квантування 0,5 % та використання елементної бази широкого вжитку й невисокої вартості, необхідно використовувати спеціальні методи вимірювання.

Одним із можливих шляхів вирішення цієї задачі є використання статистичного методу вимірювання інтервалів часу.

Постановка задачі

Метою даної роботи є розробка та дослідження статистичного вимірювача інтервалів часу за умови застосування недорогих мікроконтролерів широкого вжитку.

Особливості статистичного методу

Суть статистичного методу полягає у визначенні тривалості імпульсів за оцінкою ймовірності збігу імпульсів, які задають вимірюваний інтервал часу, та квантуючих імпульсів. [4]

Даний метод дозволяє проводити вимірювання часових інтервалів значно меншого періоду квантуючих імпульсів, що дозволяє використовувати мікроконтролери із невисокою швидкодією, наприклад сімейства *ATXmega* фірми *Atmel* чи сімейства *STM32F1* фірми *ST Microelectronics*.

Часова діаграма, що пояснює роботу статистичного вимірювача, наведена на рис. 1.

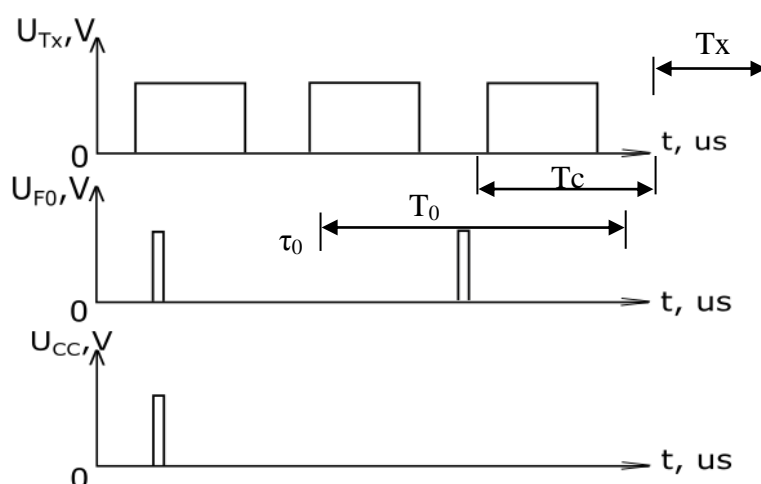


Рис. 1. Часова діаграма работ

Якщо послідовність вимірюваних імпульсів періодична, то випадковість їх збігу із квантуючим імпульсами може бути забезпечена модуляцією частоти проходження квантуючих імпульсів випадковою функцією.

Припускаємо, що неодноразово повторені імпульси із тривалістю T_x рівномірно розподілені у межах періоду квантуючих імпульсів із періодом T_0 . Тоді ймовірність збігу імпульсів обох послідовностей складає:

$$P = T_x / T_0,$$

звідки отримуємо:

$$T_x = PT_0.$$

Ймовірність збігу може бути визначена експериментально за оцінкою ймовірності збігу, як відношення:

$$P' = n_{зб} / N_n,$$

де N_n – повне число повторюваних імпульсів із тривалістю T_x за час вимірювання; $n_{зб}$ – число збігів вимірюваних і квантуючих імпульсів.

Для реалізації статистичного методу необхідно забезпечити виконання наступних умов: повторюваність інтервалів часу, що вимірюються; некорельованість послідовності імпульсів, що задають вимірювані інтервали, та квантуючих імпульсів; значно менша тривалість квантуючих імпульсів у порівнянні із вимірюваними.

У разі використання цього методу виникає інструментальна похибка, що пов'язана із обмеженою тривалістю квантуючого імпульсу, що пояснюється рис. 2.

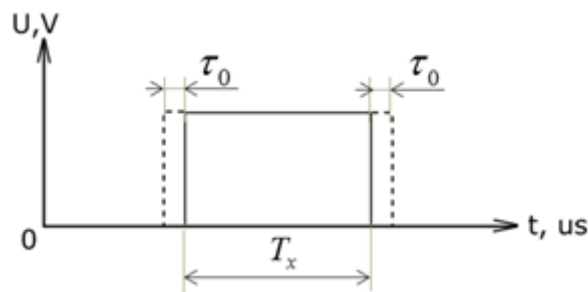


Рис. 2. Виникнення інструментальної похибки

За рахунок заміни ймовірності P її оцінкою P' виникає методична похибка, що залежить від числа вимірюваних інтервалів часу (об'єму вибірки):

$$\Delta T_{Мет} = \pm U_q \frac{T_0}{N_0} \sqrt{N_x \left(1 - \frac{N_x}{N_0}\right)},$$

де U_q – квантиль стандартизованого нормального розподілу.

Проведені розрахунки показують, що використання статистичного методу дозволяє отримати нижню границю вимірювання інтервалів часу на рівні 0,34 мкс за похибки квантування 0,5 %.

Розробка та дослідження статистичного вимірювача інтервалів часу

Для побудови статистичного вимірювача інтервалів часу у даній роботі були використані мікроконтролери фірми *Atmel* із невисокою швидкістю та невисокої вартості. Функціональна схема розробленого статистичного вимірювача приведена на рис. 3. Значна частина функціональних блоків реалізована програмно, що дозволяє змінювати алгоритм роботи тільки програмними методами, виводити налагоджувальну інформацію та програмно корегувати похибки.

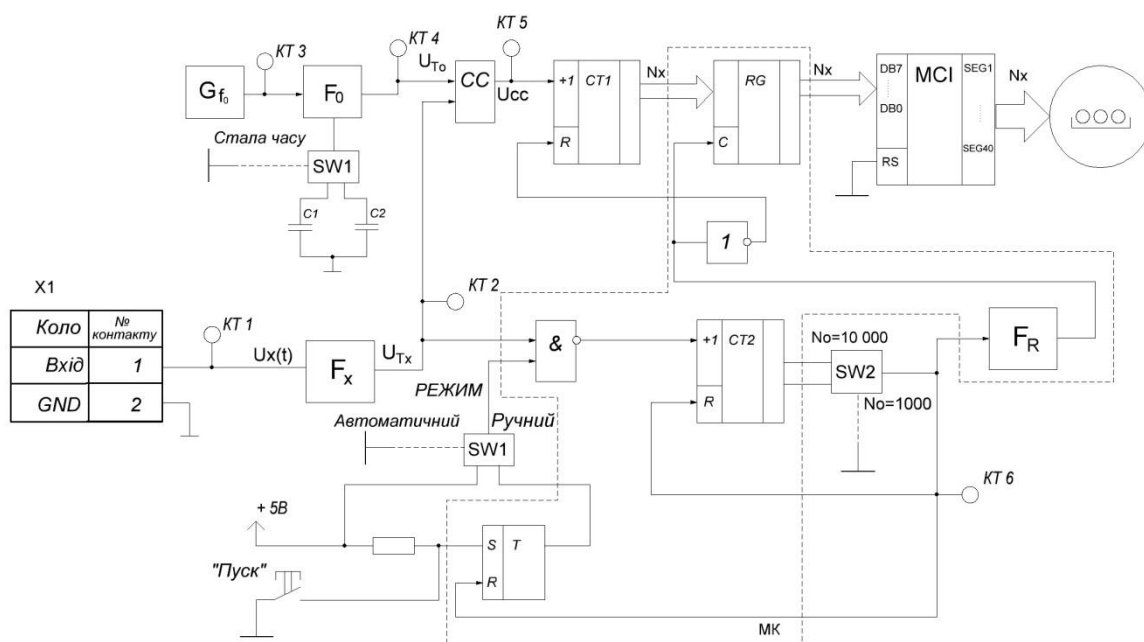


Рис. 3. Функціональна схема статистичного вимірювача коротких інтервалів часу

Для проведення досліджень статистичного вимірювача була зібрана схема, до якої увійшов генератор імпульсів Г5-54 та цифровий осцилограф *INSTUSTAR ISDS220B*. Схема наведена на рис. 4.

Вимірюваний інтервал часу задається тривалістю позитивної півхвилі гармонічного сигналу або тривалістю імпульсу прямокутного сигналу, що поступає на формувач імпульсів F_x , побудований на базі швидкодіючого компаратору КР597СА3. Результати досліджень показали, що адитивна похибка формувача не перевищує 0,12 %. Осцилограми, що відображають роботу вхідного формувача під час вхідного гармонічного сигналу, наведена на рис. 5, а під час вхідного імпульсного – на рис. 6.

Швидкодіючий лічильник СТ1 *CD74AC4040* підраховує імпульси, що відповідають збігу імпульсів вимірюваного інтервалу та квантуючих. Результат зчитує основний мікроконтролер *ATmega128A*.

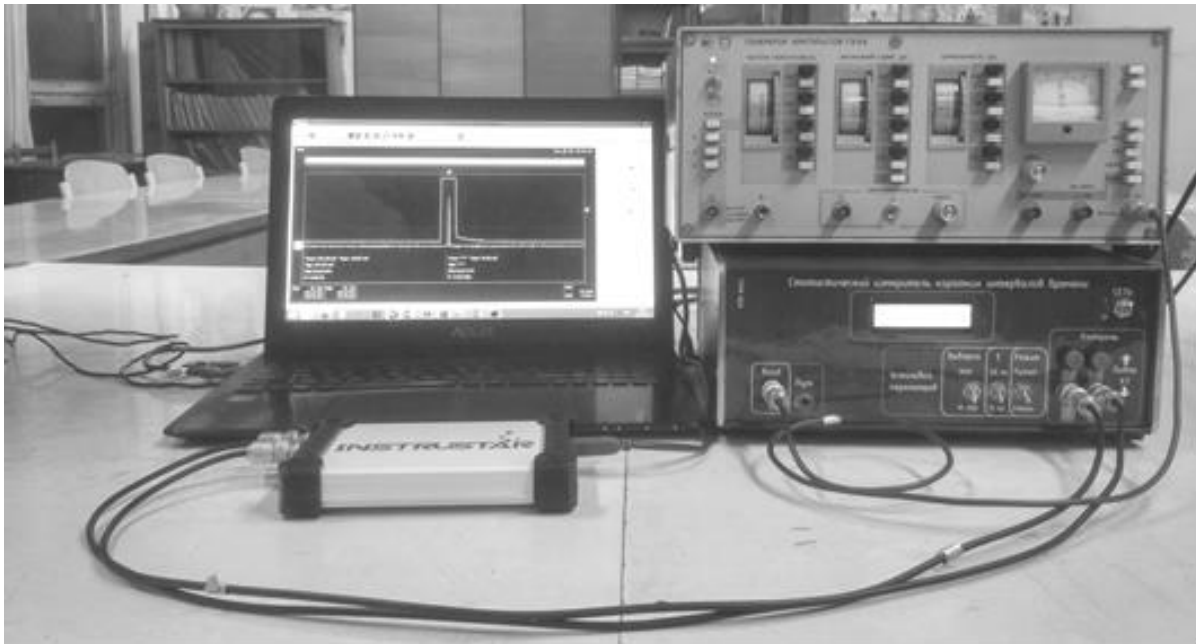


Рис. 4. Схема дослідження статистичного вимірювача коротких інтервалів часу

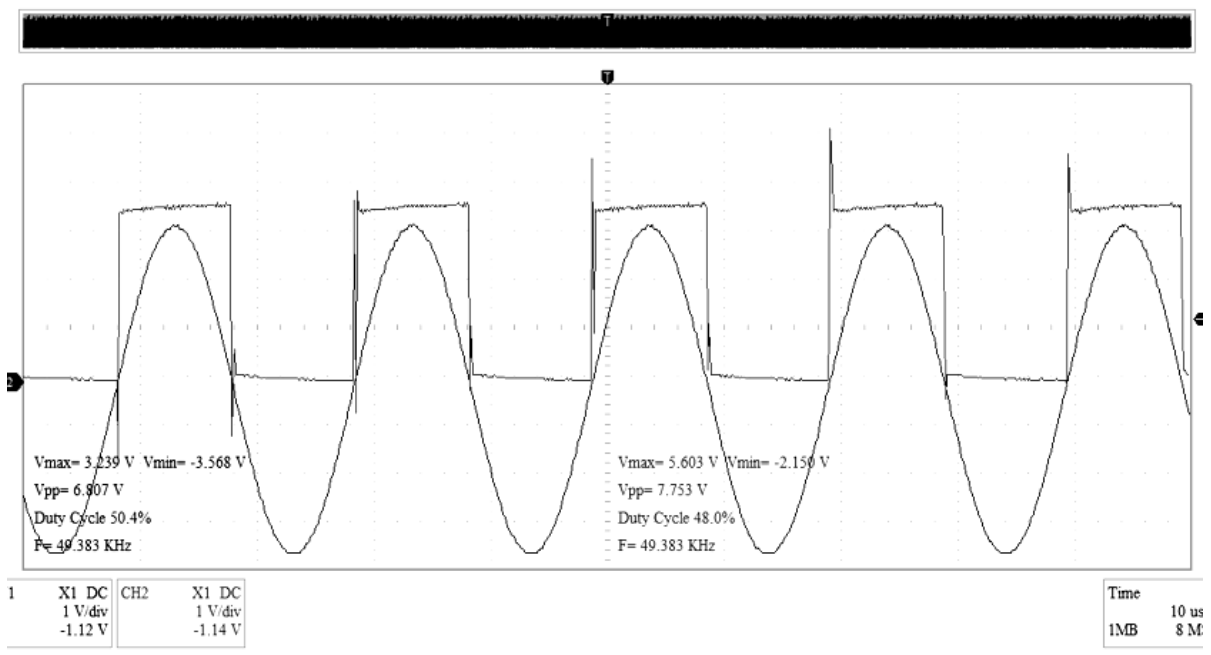


Рис. 5. Осцилограми роботи вхідного формувача при гармонічному вхідному сигналі

Для забезпечення некорельованості вимірюваних інтервалів та квантуючих імпульсів, частота квантуючих імпульсів змінюється випадково за рівномірним законом розподілу у межах 10 % від номінального значення 10 кГц. Генератор квантуючих імпульсів G_{f_0} реалізований програмними засобами на базі окремого мікроконтролера *Atmel ATtiny13*. Сигнал із гене-

Розділ 1. Інформаційні системи

ратора подається на керований мікроконтролером формувач коротких імпульсів на основі ліній затримки та логічного елемента «ВИКЛЮЧНЕ-АБО». За його допомогою формуються квантуючі імпульси тривалістю 10 нс та 50 нс. Вибір необхідної тривалості здійснюється за допомогою перемикача.

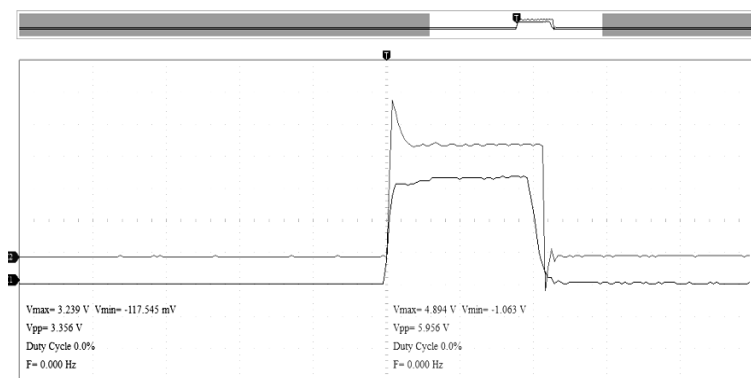


Рис. 6. Осцилограми роботи вхідного формувача при імпульсному вхідному сигналі

Виготовлений пристрій дозволяє проводити дослідження методичної похибки статистичного методу шляхом зміни кількості вимірюваних інтервалів (об'єму вибірки) у межах від 1000 до 10000, а також інструментальної похибки шляхом зміни тривалості квантуючих імпульсів від 10 нс до 50 нс.

Для вивчення структури і проведення досліджень у вимірювачі передбачені 5 контрольних точок, які можуть вибиратися користувачем та під'єднуватися до двоканального осцилографу відповідно схеми дослідження, що наведена на рис. 3.

Висновки

Проведені дослідження виготовленого статистичного вимірювача часових інтервалів показали, що за об'єм вибірки 10000 імпульсів тривалістю T_x і тривалості квантуючого імпульсу 0,01 мкс, похибка вимірювання в діапазоні 1 ... 10 мкс не перевищує 0,6 %, а за тривалість 0,05 мкс – 3 %, що відповідає попереднім розрахункам.

Результати роботи були впроваджені у вигляді лабораторної роботи «Дослідження статистичного вимірювача інтервалів часу» із дисципліни «Вимірювальні прилади – 2. Цифрові вимірювальні прилади» на кафедрі інформаційно-вимірювальної техніки Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського».

Подальшим напрямком роботи є дослідження шляхів підвищення точності розробленого статистичного вимірювача інтервалів часу за рахунок оптимізації об'єму вибірки та тривалості квантуючих імпульсів.

Список використаної література

1. Высокочастотные прецизионные малошумящие кварцевые генераторы. Режим доступа: <http://www.chipinfo.ru/literature/chipnews/200310/2.html> – Дата доступа: 28.02.17 – Высокочастотные прецизионные малошумящие кварцевые генераторы.
2. Частотомер ЧЗ-63/3. Режим доступа: <http://www.etk-elcom.ru/aitems/3582.html> Дата доступа: 28.02.17 – Частотомер ЧЗ-63/3.
3. *GFC-8010H*. Режим доступа: http://www.gwinstek.com/en-global/products/Other_Meters/Frequency_Counter/GFC-8010H – Дата доступа: 28.02.17 – *GFC-8010H*.
4. *Орнатский П. П.* Автоматические измерения и приборы (аналоговые и цифровые) / П. П. Орнатский – К.: Вища школа. Головное изд-во, 1986 р. – 504 с.