

УДК 519.87:316.458.6

Ю.І. Кушнерук<sup>1</sup>, Є.С. Пятков<sup>2</sup><sup>1</sup>Академія внутрішніх військ МВД України, Харків<sup>2</sup>Харківський університет Повітряних Сил імені Івана Кожедуба**АНАЛІЗ ПРИНЦИПІВ РОБОТИ ЦИФРОВИХ ЧАСТОТОМІРІВ СЕРЕДНІХ ЗНАЧЕНЬ**

В статті проаналізовано принцип роботи цифрових частотомірів середніх значень та визначена доцільність використання схеми частотоміру з синхронізацією моменту початку вимірювання.

**Ключові слова:** цифрові частотоміри, синхронізація.

**Вступ**

**Постановка задачі.** Успіхи, досягнуті в останні роки в області електроніки, обумовили широке впровадження мікроелектроніки в засоби електричних вимірювань. Впровадження нових методів вимірювання, що засновані на використанні цифрових частотомірів дозволило значно збільшити швидкість вимірювання. Тому питання, які пов'язані з аналізом принципів роботи цифрових частотомірів є актуальними при визначенні засобів електричних вимірювань.

**Аналіз літератури.** В літературі [1 – 5] розглянуті питання, які пов'язані із теоретичними відомостями щодо метрологічних вимірювань. Нажаль в запропонованій літературі [1 – 5] аналіз принципів роботи цифрових частотомірів середніх значень ретельно не здійснювався.

**Метою статті** є проведення аналізу принципів роботи цифрових частотомірів середніх значень.

**Виклад основного матеріалу**

Принцип роботи частотоміра середніх значень полягає в підрахунку  $T_x$  числа періодів невідомої частоти  $f_x$  за зразковий проміжок часу  $T_0$ , вироблений у самому приладі.

Результат вимірювання визначається числом

$$N = T_0 / T_x = T_0 f_x. \quad (1)$$

Найпростіша структурна схема частотоміра представлена на рис. 1. Вимірювана частота  $f_x$  підводить до входу формувача  $\Phi$ . По команді «Запуск», поданої на вхід  $Зп$  або оператором, або від пристрою автоматичного пуску, схема приводиться у вихідний стан. Через певний час  $\tau_{об}$ , необхідне для підготовки до вимірів, на виході одноковібратора  $ОВ$  з'явиться сигнал, що перемикає тригер  $T_r$ .

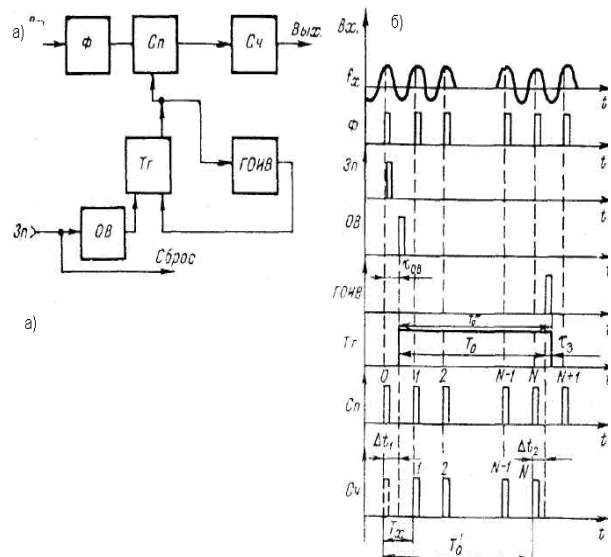


Рис. 1. Найпростіша структурна схема (а) і часова діаграма (б) роботи частотоміра без синхронізації моменту початку виміру

При цьому на одиничному виході останнього з'явиться сигнал «1», що відкриває схему збігу  $C_n$  і запускає генератор зразкового інтервалу часу (ГЗІЧ). Через схему  $C_n$  імпульси вимірюваної частоти сформовані формувачем  $\Phi$ , надходять на вхід лічильника  $C_ч$ . Лічильник рахує імпульси доти, поки через час  $T_c$  імпульс ГОИВ не поверне тригер  $T_r$  у вихідний стан; після чого процес виміру закінчується, а число, набране лічильником  $C_ч$ , буде відповідати вимірюваній частоті.

Тимчасова діаграма роботи описаної схеми (рис. 1) показує, що відсутність синхронізації початку й кінця зразкового проміжку часу  $T_0$  з імпульсами  $f_x$  приводить до появи похибки виміру, абсолютна величина якої визначається значеннями  $\Delta t_1$  і  $\Delta t_2$ . Фактично час виміру:

$$T_0 = NT_x = N/f_x = T_0 + \Delta t_1 - \Delta t_2(1-2), \quad (2)$$

тому 
$$N = T_0 f_x + (\Delta t_1 - \Delta t_2)/T_x \quad (1-3). \quad (3)$$

Інтервали  $\Delta t_1$  й  $\Delta t_2$  змінюються незалежно один від одного, приймаючи з рівною ймовірністю значення від 0 до  $T_x$ . В цьому випадку максимальна відносна похибка, обумовлена відсутністю синхронізації, дорівнює:

$$\gamma_d = \frac{1}{N} = \frac{1}{(T_0 f_x)}. \quad (4)$$

Похибка  $\gamma_d$  має назву похибки дискретності. Іншої складової похибки є похибка, обумовлена збільшенням часу  $T_0$  до величини  $T_0''$ , яка обумовлена затримкою  $\tau_3$  спрацювання елементів схеми, розташованих між ГЗІЧ і лічильником  $C_q$  (у цьому випадку тригер  $T_r$  і схема збігу  $C_n$ ). Вираз цієї похибки має вигляд:

$$\gamma_3 = \frac{\tau_3}{T_0} = \frac{\tau_3 f_x}{(T_0 f_x)} = \gamma_d \tau_3 f_x. \quad (5)$$

Практично ця складова похибки визначається декілька інакше. Момент початку вимірювання можна синхронізувати з вимірюваною частотою. Можливості синхронізувати закінчення виміру не має. На рис. 2 (а) представлена схема, а на рисунку рис. 2 (б) - тимчасова діаграма роботи частотоміра, у якому момент початку виміру синхронізований з вимірюваною частотою  $f_x$ . У цій схемі введений додатковий тригер  $T_{r2}$ . Він перемкнеться в стан «1» імпульсом вимірюваної частоти, що надходить від формувача  $\Phi$  через схему збігу  $C_{n1}$  після того, як на інший вхід її надійде сигнал «1» із тригеру  $T_{r1}$ .

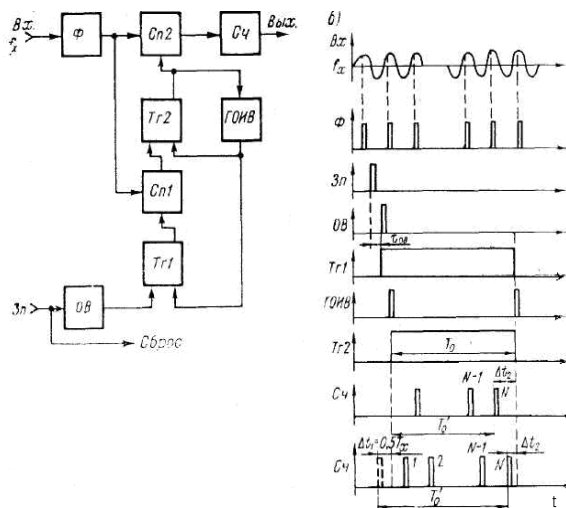


Рис. 2. Схема (а) і часова діаграма (б) роботи схеми частотоміра з синхронізацією моменту початку вимірювання

Похибка дискретності для цієї схеми може бути визначена з виразу (4), якщо прийняти  $\Delta t_1 = 0$ .

В цьому випадку похибка дискретності дорівнює

$$\gamma_d = - \frac{1}{(T_0 f_x)(1-6)}. \quad (6)$$

Величина  $\gamma_d$  може бути зменшена, якщо імпульси на вході схеми збігу  $C_{n2}$  примусово зрушити напівперіоду щодо імпульсів, що подаються для синхронізації ГОИВ (нижній графік діаграми). У цьому випадку  $\Delta t_1 = T_x / 2$ , а похибка дискретності

$$\gamma_d = \pm 1/(2T_0 f_x). \quad (7)$$

Очевидно, що при розрахунку величини зразкового інтервалу часу за формулою (4) його максимальне значення буде визначатися нижньою частотою  $f_{x_{min}}$  діапазону вимірювання.

При малих  $f_{x_{min}}$  величина  $T_0$  може виявитися неприпустимо великою. Наприклад, при  $f_{x_{min}} = 0,1$  гц та  $\gamma_d = 0,05\%$ . маємо  $T_0 = 2^{-10^4}$  сек. Тому для вимірювання низьких частот застосовувати метод рахунку періодів недоцільно.

З метою скорочення часу вимірювання і ємності лічильника, що визначається відношенням  $(f_{x_{max}}/f_{x_{min}})$  загальний діапазон вимірювання розбивають на піддіапазони. Для кожного з піддіапазонів приймається свій інтервал  $T_0$ .

Структурна схема частотоміра з перемиканням трьох піддіапазонів представлена на рис. 3.

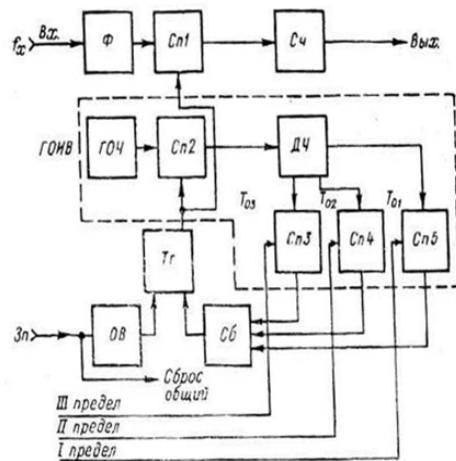


Рис. 3. Структурна схема частотоміра з перемиканням піддіапазонів

Формування в неї зразкових інтервалів часу забезпечується, як правило, за допомогою дільників частоти ДЧ. Імпульси із ДЧ надходять на один із входів схем збігу  $C_{n3}$ ,  $C_{n4}$  або  $C_{n5}$ .

Залежно від обраного піддіапазона на другий вхід відповідної схеми збігу від пристрою вибору меж подається розв'язний сигнал. Виходи схем збігу поєднуються збірною схемою.

Недолік цієї схеми в порівнянні з розглянутими вище – збільшений час виміру, що викликано розбіжністю моментів подачі команди «Запуск» і появи першого імпульсу на виході дільника частоти ДЧ. Цей недолік особливо проявляється при вимірі низьких частот, коли період проходження імпульсів на виході ДЧ становить одиниці й десятки секунд.

### Висновки

1. В статті проаналізовано принцип роботи цифрових частотомірів середніх значень на прикладі роботи структурної схеми й часової діаграми роботи частотоміру без синхронізації моменту початку виміру.

2. Розглянуто схему й часову діаграму роботи схеми частотоміру з синхронізацією моменту початку вимірювання.

3. Розглянуто структурну схему частотоміру з перемиканням піддіапазонів

4. Визначено недолік структурну схему частотоміру з перемиканням піддіапазонів — збільшений час виміру, що викликано розбіжністю моментів

подачі команди «Запуск» і появи першого імпульсу на виході дільника частоти.

5. Доцільно при проведенні вимірювань за допомогою цифрових частотомірів середніх значень використовувати схему частотоміру з синхронізацією моменту початку вимірювання.

### Список літератури

1. Ермолов Р.С. Цифровые частотомеры / Р.С. Ермолов. – Л.: Энергия, 1973. – 256 с.
2. Кончаловский В.Ю. Цифровые измерительные устройства / В.Ю. Кончаловский. – М.: Энергоатомиздат, 1985. – 215 с.
3. Чинков В.Н. Цифровые измерительные приборы / В.Н. Чинков. – МО, 1991. – 245 с.
4. Шляндин В.М. Цифровые измерительные устройства / В.М. Шляндин. – М.: Высш. школа, 1981. – 254 с.
5. Чинков В.М. Основы метрологии та вимірювальної техніки / В.М. Чинков. – Х.:ХВУ, 2001. – 423 с.

Надійшла до редколегії 4.04.2014

**Рецензент:** д-р техн. наук, проф. В.Б. Кононов, Харківський університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, Харків.

### АНАЛИЗ ПРИНЦИПОВ РАБОТЫ ЦИФРОВЫХ ЧАСТОТОМЕРОВ СРЕДНИХ ЗНАЧЕНИЙ

Ю.И. Кушнерук, Е.С. Пятков

*В статье проанализировано принцип работы цифровых частотомеров средних значений и определена целесообразность использования схемы частотомера с синхронизацией момента начала измерения.*

**Ключевые слова:** цифровые частотомеры, синхронизация.

### ANALYSIS PRINCIPLES OF WORK DIGITAL FREQUENCY AVERAGE

Y.I. Kushneruk, E.S. Pyatkov

*The article analyzes the principle of digital frequency averages and determined the expediency of use frequency synchronization scheme since the start of measurement.*

**Keywords:** digital frequency synchronization.