

АНАЛІТИЧНЕ ТА ЕКОЛОГІЧНЕ ПРИЛАДОБУДУВАННЯ

УДК 621.317.7

ВИМІРЮВАЧ ЧАСТОТИ З АВТОМАТИЧНИМ ВИБОРОМ
ДІАПАЗОНУ ВИМІРЮВАННЯ

Тимчик Г. С., Подолян О. О.

Національний технічний університет України

«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», Київ, Україна

E-mail: a.podolian@kpi.ua

Для вимірювання частоти вхідного сигналу, що змінюється в широкому діапазоні, застосовуються частотоміри з автоматичним вибором межі вимірювання. Вимірювачі частоти сигналів (частотоміри) становлять одну з найчисленніших груп серед вимірювальних приладів, що знайшли широке застосування у різних галузях техніки. Існує велика кількість частотомірів, в основу роботи яких покладено різні принципи. Разом з цим, досі актуальним залишається питання створення вимірювачів частоти зміни сигналу, в яких покладено принцип дії, відмінний від широко відомих систем.

Метою цієї статті є розробка вимірювача частоти електричного сигналу з автоматичним вибором межі вимірювання, заснованого на новому принципі вимірювання частоти, що не використовувався раніше. Запропоновано підхід до побудови вимірювачів частоти з автоматичним вибором діапазону виміру. Вимірювання проводиться за допомогою низькочастотного однодіапазонного частотоміра. Попередньо формуються імпульси, що відпрацьовують частоту вхідного сигналу. Імпульси підраховуються на лічильнику, утвореному послідовно з'єднаними декадними лічильниками, протягом заданого часу, після чого за допомогою логічної схеми послідовно аналізуються стани виходів лічильників, починаючи з виходу, що відповідає максимальному коефіцієнту розподілу. Аналіз проводиться з метою визначення виходу дільника, значення частоти на якому більше максимальної, що відповідає передостанньому розряду індикатора однодіапазонного низькочастотного частотоміра і не перевищує при цьому максимальну частоту, що відповідає його останньому розряду. Після цього вхід однодіапазонного низькочастотного частотоміра підключається до вибраного виходу лічильника та здійснюється зміна частоти з індикацією числа та автоматично вибраного діапазону. Запропоновано підхід до автоматичного виміру частоти вхідного сигналу, що змінюється в широких межах. Запропонований спосіб дозволяє, використовуючи прості та доступні засоби схемотехнічної побудови, виготовити частотомір з автоматичним вибором межі вимірювання.

У подальшому запропонований частотомір може бути використаний під час виміру частоти сигналу від засобів неруйнівного контролю, що дозволить розширити асортимент технічних засобів, використаний під час виміру частоти сигналу від засобів неруйнівного контролю.

Ключові слова: частотомір; діапазон; вимір; дільник; лічильник; індикатор.

Вступ

Вимірювачі частоти сигналів (частотоміри) становлять одну з найчисленніших груп серед вимірювальних приладів, що знайшли широке застосування у різних галузях техніки [1].

За принципом дії вимірники частоти сигналів умовно поділяються на кілька основних груп [1, 2] – частотоміри середніх значень, частотоміри миттєвих значень, слідкуючі частотоміри, частотоміри номінальних значень і відсоткові частотоміри.

Частотоміри середніх значень набули найбільш широкого застосування. Вони дозволяють виміряти середнє значення частоти протягом деякого інтервалу часу. Частотоміри миттєвих значень набули поширення для швидкого вимірювання частоти у вузькому частотному діапазоні, причому для оцінки миттєвих значень низьких частот зміни електричних сигналів використовується ви-

мірювання періоду. Слідкуючі частотоміри найбільш ефективні при вимірі середніх частот (десятьки кілогерц-одиниці мегагерц). Частотоміри номінальних значень та відсоткові частотоміри призначені для вимірювання змін частоти у вузькому діапазоні частот. Причому перші дають змогу отримувати відлік в абсолютних одиницях, а другі – у відносних [3, 4].

При необхідності вимірювання частоти сигналів, що змінюються в широких межах, при обмеженій сітці індикатора, велике поширення отримали частотоміри з автоматичним вибором діапазону вимірювання. Частотоміри з автоматичним вибором діапазону вимірювання умовно поділяються на дві групи – частотоміри з паралельним вибором межі вимірювання та частотоміри з одночасним вибором межі вимірювання [5, 6].

У перетворювачах з попереднім вибором межі вибір необхідної межі вимірювання здійснюється на початок процесу вимірювання. Вибір діапазону здійснюється в результаті підрахунку числа періодів вимірюваної частоти за деякий інтервал часу вибору межі з подальшим порівнянням отриманого числа з граничними числами для кожного з піддіапазонів. У перетворювачах частоти з одночасним вибором меж вибір межі здійснюється безпосередньо в процесі вимірювання [7, 8].

Незважаючи на те, що в даний час розроблені універсальні частотоміри, що працюють на мікропроцесорній елементній базі останнього покоління, що дозволяють програмним шляхом досягти високої точності вимірювання, досі актуальним залишається питання створення вимірювачів частоти зміни сигналу, в яких закладено принцип дії, відмінний від широко використовуваних. Зазвичай застосування нових технічних рішень дозволяє виробнику уникнути порушення прав інтелектуальної власності, а також розширити асортимент своїх технічних засобів, використаний під час виміру частоти сигналу від засобів неруйнівного контролю [9 – 12].

Постановка задачі

Метою даної статті є розробка вимірювача частоти електричного сигналу з автоматичним вибором межі вимірювання, заснованого на новому принципі вимірювання частоти, що не використовувався раніше.

Структурну схему пропонованого вимірювача частоти показано на рис. 1.

Основним елементом частотоміра, що розробляється, є однодіапазонний низькочастотний частотомір 1, що дозволяє вимірювати частоту в діа-

пазоні $[f_{\max} \dots f_{\min}]$. Вибір діапазону вимірювання здійснюється зміною коефіцієнта поділу дільника частоти 4.

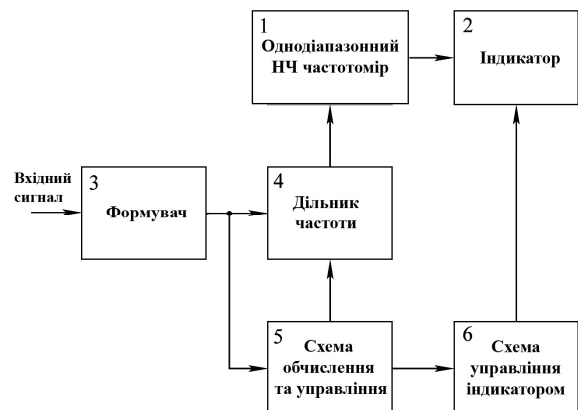


Рис. 1. Структурна схема вимірювача частоти електричного сигналу

Автоматизація процесу вибору діапазону вимірювання здійснюється схемою обчислення та керування 5, в якій проводиться попередня оцінка частоти вхідного сигналу. Візуалізація результатів виміру з урахуванням положення десяткової точки та номера діапазону виміру здійснюється за допомогою цифрового індикатора 2, керованого схемою 6.

Для перетворення змінного в часі вхідного сигналу в наступну послідовність з тією ж частотою імпульсів використовується формувач 3.

Функціональну схему пропонованого вимірювача частоти електричного сигналу наведено на рис. 2.

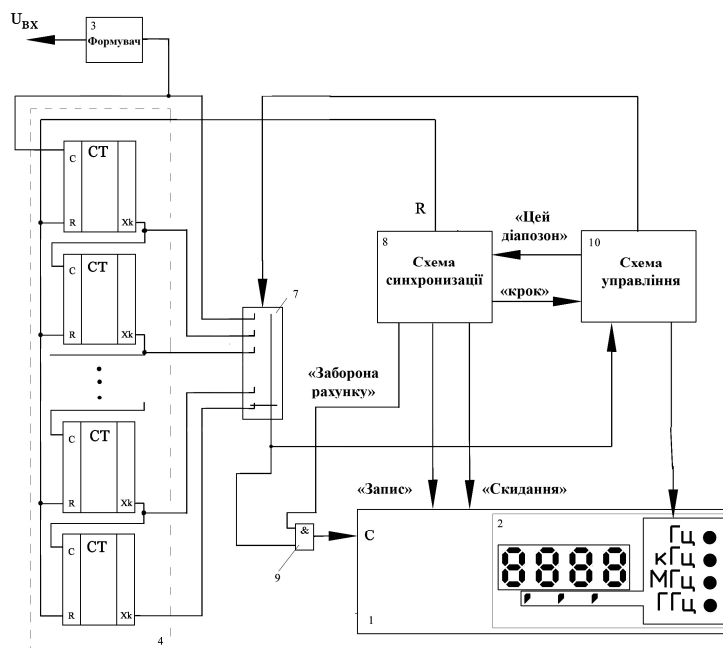


Рис. 2. Функціональна схема вимірювача частоти електричного сигналу

Вимірювач частоти складається з однодіапазонного низькочастотного частотоміра 1, індикатора 2, вхідного формувача 3, дільника частоти 4, комутатора 7, схеми синхронізації 8, комірки збігу 9 та схеми керування 10.

Однодіапазонний низькочастотний частотомір 1 зібраний за традиційною схемою. Він має лічильний вхід С і два керуючі – «Запис» та «Скидання».

Однодіапазонний низькочастотний частотомір дозволяє проводити вимірювання частоти проходження імпульсів на його вході «С» в межах $[f_{\min} \dots f_{\max}]$.

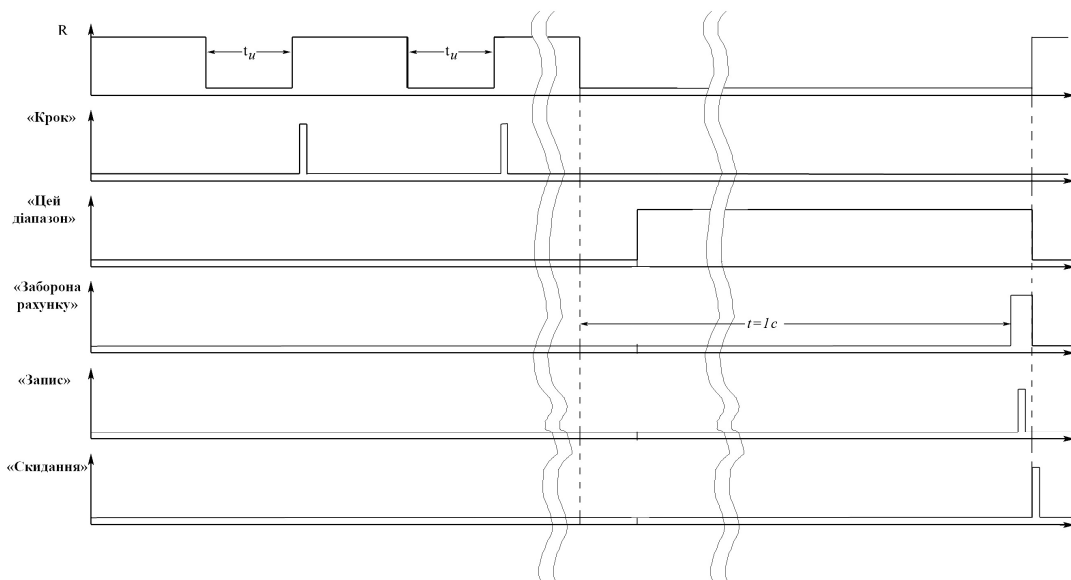


Рис. 3. Циклограма роботи вимірювача частоти електричного сигналу

Для забезпечення цього, безпосередньо перед вимірюванням, схема керування 10 повинна визначати, на якому виході дільника 4 значення частоти більше максимальної, що відповідає передостанньому розряду індикатора і не перевищує максимальну частоту, що відповідає його останньому розряду.

У запропонованому вимірнику частоти це здійснюється в такий спосіб. Після включення живлення схема синхронізації 8 встановлює всі лічильники і тригери пристрою у вихідний стан. У результаті цього схема керування 10 за допомогою комутатора 7 підключає вихід дільника 4 частоти (відповідного діапазону $[10^{n-1}(10 \cdot f_{\max} \dots f_{\max})]$), що має максимальний коефіцієнт поділу (n) через комірку збігу 9 до входу однодіапазонного низькочастотного частотоміра 1.

Далі схема синхронізації 8 подає на входи R лічильників дільника частоти та однодіапазонного частотоміра сигнал, що дозволяє підрахунок імпульсів. Цей сигнал діє протягом часу $t_u = \frac{10}{2 \cdot f_{\max}}$, де

f_{\max} – максимальна частота, що вимірюється однодіапазонним частотоміром.

Робота вимірювача частоти електричного сигналу пояснюється циклограмою, наведеною на рис. 3.

Пропонований вимірювач частоти електричного сигналу з автоматичним вибором діапазону виміру має наступну логіку роботи. Для підвищення точності вимірювань бажано, щоб усі розряди індикатора були заповнені (тобто значення частоти $f_{\text{вим}} = 73432$ Гц має відобразитися на чотирьохрозрядному індикаторі як 73,43 кГц, а не як 073,4 кГц або 0,073 МГц).

Вимірюваний сигнал подається на вхід формувача 3, на виході якого з'являються імпульси, що слідує з частотою вхідного сигналу. Імпульси подаються на вхід дільника частоти 4. Логічний стан на виході комутатора 7 має змінитися через час

$$t_c = \frac{10^n}{2 \cdot f_{\text{вх}}}, \text{ де } f_{\text{вх}} - \text{частота вхідного сигналу.}$$

Якщо частота вхідного сигналу знаходиться в межах діапазону, що вимірюється $[10^{n-1}(10 \cdot f_{\max} \dots f_{\max})]$, то логічний стан на виході дільника частоти має змінитися через час

$$t_c = \left[\frac{10^n}{2 \cdot 10^{n-1} \cdot f_{\max}} \dots \frac{10^n}{2 \cdot 10^{n-1} \cdot 10 \cdot f_{\max}} \right] = \left[\frac{10}{2 \cdot f_{\max}} \dots \frac{1}{2 \cdot f_{\max}} \right].$$

Отже, якщо частота вхідного сигналу знаходиться у межах аналізованого діапазону, то протягом часу дії на входах лічильників сигналу дозволу на виході комутатора 7 виникає сигнал високого логічного рівня. За цим сигналом схема синхронізації 8 продовжує утримання роздільного сигналу на входах лічильників дільника частоти до за-

кінчення часу вимірювання частоти однодіапазонним низькочастотним частотоміром.

Якщо частота вхідного сигналу менша за нижню межу аналізованого діапазону, то сигнал на

виході дільника частоти протягом часу $t_u = \frac{10}{2 \cdot f_{\max}}$

не з'явиться. У цьому випадку схема синхронізації 8 обнуляє всі лічильники пристрою (по входах R) і подає імпульс (сигнал «Крок») в схему керування 10, за яким здійснюється перемикавання комутатора. Водночас, вихід дільника частоти 4, що відповідає діапазону $[10^{n-1}(10 \cdot f_{\max} \dots f_{\max})]$ відключається від входу однодіапазонного низькочастотного частотоміра 1 і замість нього підключається вихід дільника частоти 4, відповідний діапазону $[10^{n-2}(10 \cdot f_{\max} \dots f_{\max})]$ (що має у 10 разів менший коефіцієнт розподілу).

У зв'язку з цим, як і у першому випадку, якщо частота вхідного сигналу знаходиться в межах даного діапазону, логічний стан на виході дільника

частоти має змінитися за час $t_u = \frac{10}{2 \cdot f_{\max}}$. Якщо

цього не відбувається, схема керування за допомогою комутатора перемикає лічильний вхід однодіапазонного низькочастотного частотоміра на наступний вихід дільника частоти, що має коефіцієнт розподілу в 10 разів менше попереднього.

Процес «перебору» діапазонів триває до появи сигналу високого логічного рівня на виході

дільника частоти за час $t_u = \frac{10}{2 \cdot f_{\max}}$, або підклю-

чення до входу однодіапазонного низькочастотного частотоміра виходу формувача 3. У цьому випадку, по суті, здійснюється пряме вимірювання частоти за допомогою низькочастотного діапазону частотного вимірювання.

У схемі управління/керування розраховується значення діапазону вимірювання і положення десяткової точки, і подаються сигнали керування на індикатор діапазону.

Якщо при вимірюванні частоти відбувається переповнення розрядної сітки індикаторів однодіапазонного низькочастотного частотоміра, на індикаторі 2 індикуються світловий сигнал «Висока частота».

Керуючими сигналами однодіапазонного низькочастотного частотоміра є «Запис» та «Скидання». За сигналом "Скидання" (аналогічним сигналом "R"), всі лічильники та тригери однодіапазонного низькочастотного частотоміра обнуляються. За командою «Запис» відбувається переписування інформації з лічильників частотоміра у вихідні каскади з подальшою візуалізацією на індикаторі. Команди «Запис» та «Скидання» генеруються схемою синхронізації.

Запропонований підхід дозволяє створити автоматичний вимірник частоти зміни вхідного сигналу, що змінюється у широкому діапазоні.

Основним недоліком запропонованого способу визначення частоти сигналу є великий час вимірювання, обумовлений послідовним аналізом логічного стану виходів лічильника-дільника.

Висновок

Запропоновано підхід до автоматичного виміру частоти вхідного сигналу, що змінюється в широких межах. Запропонований спосіб дозволяє, використовуючи прості та доступні засоби схематичної побудови, виготовити частотомір з автоматичним вибором межі вимірювання. У подальшому запропонований частотомір може бути використаний під час виміру частоти сигналу від засобів неруйнівного контролю.

Література

- [1] П. Хоровиц, У. Хилл, *Искусство схемотехники*, пер. с англ. Москва, РФ: Бинум, 2009.
- [2] О. П. Новожилов, *Основы цифровой техники / учебное пособие*. Москва, РФ: ИП РадиоСофт, 2004.
- [3] М. П. Матвієнко, *Проектування цифрових пристроїв*: Підручник. Київ, Україна: Ліра-К, 2018.
- [4] В. Я. Жуйков, В. І. Бойко, А. А. Зорі, В. М. Співак, В. В. Багрій, *Схемотехніка електронних систем. Т. 2. Цифрова схемотехніка*. Київ, Україна: Аверс. 2002.
- [5] О. Г. Шаповаленко, В. М. Бондар, *Основы электронных измерений: Подручник*, Київ, Україна: Либідь, 2002.
- [6] Р. Миллер, *Теория переключательных систем. Т.1. Комбинационные схемы: Пер. с англ.* Москва: Наука, 1970.
- [7] Дж. Уэйкерли, *Проектирование цифровых устройств: пер. с англ.* Москва, РФ: Постмаркет, 2002.
- [8] А. С. Ключев, Л. М. Пин, Е. И. Коломиец, *Настройка средств измерений и систем технологического контроля: Справочное пособие*. Москва: Энергоиздат, 1990.
- [9] Г. С. Тымчик, А. А. Подолян, "Формирование импульсов специальной формы для электромагнитных акустических преобразователей", *Вестник НТУУ «КПИ»*. Серия приборостроение, Вып. 45, с. 64 – 69, 2013.
- [10] А. А. Подолян, "Формирование магнитного поля с заданными характеристиками в ЭМА преобразователях систем неразрушающего контроля промышленного оборудования", *Методы и приборы контроля качества*, Вып. 17, с. 18 – 21, 2006.
- [11] Gregory S Tymchik, Aleksandr A Podolian, Kateryna S Serhiienko, "Theoretical investigations of the generation of an ultrasonic wave by an

electromagnetic acoustic transducer“, *KPI Science News*, vol. 3, pp. 84-92, 2018.

[12] О. О. Подолян, Г. С. Тимчик, *Контроль якості монтажу муфт на магістральний*

трубопровід: монографія. Київ, Україна: Політехніка, 2020.

UDC 621.317.7

Grigoriy S. Tymchik, Oleksandr O. Podolian

National Technical University of Ukraine “Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute”, Kyiv, Ukraine

FREQUENCY METER WITH AUTOMATIC SELECTION MEASUREMENT RANGE

Frequency meters with automatic selection of the measurement limit are used to measure the frequency of the input signal, which varies in a wide range. Signal frequency meters (frequency meters) are one of the most numerous groups of measuring instruments that are widely used in various fields of technology. There are a large number of frequency meters, which are based on different principles. At the same time, the issue of creating frequency change meters, which have a principle of operation different from well-known systems, is still relevant.

The aim of this work is to develop an electrical signal frequency meter with automatic selection of the measurement limit, based on a new principle of frequency measurement, which has not been used before. An approach to the construction of frequency meters with automatic selection of the measuring range is proposed. The measurement is performed using a low-frequency single-band frequency meter. Pulses traveling with the frequency of the input signal are pre-formed. Pulses are counted on the meter formed by series-connected decadal meters for a specified time, after which, using a logic circuit, sequentially analyzes the states of the meter outputs, starting from the output corresponding to the maximum distribution coefficient. The analysis is performed to determine the output of the divider, the frequency value of which is greater than the maximum corresponding to the penultimate digit of the single-band low-frequency frequency meter and does not exceed the maximum frequency corresponding to its last digit. After that, the input of the single-band low-frequency frequency meter is connected to the selected meter output and the frequency is changed with the indication of the number and the automatically selected range. An approach to the automatic measurement of the frequency of the input signal, which varies widely, is proposed.

The proposed method allows, using simple and affordable means of circuit construction, to make a frequency meter with automatic selection of the measurement limit. In the future, the proposed frequency meter can be used in measuring the frequency of the signal from non-destructive testing, which will expand the range of its technical means used in measuring the frequency of the signal from non-destructive testing.

Key words: frequency meter; range; measurement; divider; counter; indicator.

*Надійшла до редакції
12 квітня 2022 року*

*Рецензовано
04 травня 2022 року*