

АНАЛІЗ МЕТОДІВ ТА ЗАСОБІВ ВИМІРЮВАННЯ ЧАСТОТИ РАДІОСИГНАЛУ

Однією з найважливіших характеристик періодичного процесу є частота, яка визначається числом повних циклів (періодів) коливань за одиничний інтервал часу. Необхідність у вимірі частот виникає в багатьох областях науки і техніки, та особливо часто – в радіоелектроніці, яка охоплює велику область електричних коливань від інфраніжових до надвисоких частот включно. Для вимірювання частоти сигналу використовується частотомір. Частотомір є вимірювальним приладом, який визначає частоту періодичних процесів або гармонійної частоти спектрального сигналу. Всі прилади поділяються на 2 основні види: електровимірювальні, радіовимірювальні. Електровимірювальна група – аналоговий стрілочний, вібраційний, електронно-лічильний, деякі конденсаторні пристрої. Радіовимірювальна група – резонансний, гетеродинний, конденсаторний, деякі електронно-лічильні прилади.

Ключові слова: частота, чутливість, частотомір.

PETRUSHAK V.,
POLISHCHUK A.

Khmelnitskyi National University

ANALYSIS OF METHODS AND MEANS OF MEASUREMENT OF RADIOSIGNAL FREQUENCY

One of the most important characteristics of the periodic process is the frequency, which is determined by the number of complete cycles (periods) of oscillations per unit time interval. The need for frequency measurement arises in many areas of science and technology, and especially often in radio electronics, which covers a large area of electrical oscillations from the infrared to ultrahigh frequencies inclusive. Frequency meter is used to measure the signal frequency. Frequency meter is a measuring device that determines the frequency of periodic processes or the harmonic frequency of a spectral signal. All devices are divided into 2 main types: electric, radio measuring. Electricity measuring group – analog switch, vibration, electron-counting, some condenser devices. Radio measuring group – resonant, heterodyne, condenser, some electronic counting devices. When constructing modern frequency meters, the methods of measuring the frequency of direct reference became the most widespread. There are two modes of operation of such frequency meters: in the first mode, for the whole number of periods of the sample frequency, the number of periods of the measured frequency is calculated; in the second mode, the number of periods of the sample frequency is calculated for the whole number of frequency periods. The absolute maximum methodological error of sampling in the module in the first case is equal to the period of the measured value, in the second case - the approximate value.

Keywords: frequency, sensitivity, frequency meter.

Вступ. Одним з основних параметрів гармонійного або періодичного сигналу є частота. Вимірювання частоти широко застосовується в радіотехніці та зв'язку. Це одне з найбільш точних вимірювань на даний момент, оскільки існують високоточні стандарти частоти. Частотні радіосигнали володіють доброю завадостійкістю і вимірювання виконуються з отриманням результату в дискретній формі. Це сприяє широкому застосуванню періодичних сигналів. Задача швидкого і точного вимірювання частоти особливо актуальна при побудові інформаційно-вимірювальних систем на основі датчиків з частотними виходами, під час використання уніфікованих перетворювачів аналогових величин в частоту, а також в приладобудівній галузі. Головною проблемою вимірювання частоти є проміжок часу, за який вона вимірюється.

Метою статті є аналіз цифрових методів вимірювання радіочастоти, які існують на сьогоднішній день.

При побудові сучасних частотомірів найбільше розповсюдження отримали методи вимірювання частоти прямого відліку. Існує два режими роботи таких частотомірів: в першому режимі за ціле число періодів зразкової частоти підраховують число періодів вимірюваної частоти; в другому режимі за ціле число періодів частоти підраховують число періодів зразкової частоти. Абсолютна максимальна методична похибка дискретизації по модулю у першому випадку рівна періоду вимірюваної величини, в другому випадку – зразкової величини.

З метою зменшення цієї похибки, розроблено багато методів і прийомів. Наприклад, метод синхронізації початку зразкового інтервалу часу з початком першого періоду вимірюваної частоти; однократна чи багаторазова розтяжка інтервалу часу і інші. Проте, до недоліків подібних методів і прийомів можна віднести наступне: збільшення часу вимірювання частоти; виконання додаткових аналогових частин схеми; використання елементів схем з відносно не високою стабільністю (наприклад, генераторів ударного збудження) і інші.

В наш час продовжуються розробки методів вимірювання частоти, які дозволяють більш точно і за менший час вимірювати частоту. Після широкого розповсюдження мікропроцесорної техніки і

швидкодіючих АЦП було розроблено ряд способів вимірювання частоти, який оснований на швидкому перетворенні Фур'є, обчислення частоти на основі миттєвих відліків, уточнення за допомогою поточного усереднення, уточнення шляхом вагової функції і інші. Проте запропоновані методи складні в реалізації.

В наш час велика кількість цифрових частотомірів не влаштовують користувачів, оскільки вони або дуже важкі за своєю конструкцією, або мають недостатньо високі характеристики, чи їх виготовлення обходиться досить дорого, а це в наш час досить важливо.

За рахунок використання сучасної елементної бази та мікропроцесорної техніки досягається збільшення кількості виконуваних функцій, зменшення масогабаритних показників, витримка вібрацій, прискорення, підвищеної вологості, підвищеного рівня шумів, різких перепадів температури. А використання кварцового резонатора в зразковому генераторі підвищує точність частотоміра, похибка зменшується до похибки кварцового резонатора.

До основних методів вимірювання частоти можна віднести наступні:

Резонансний метод – заснований на використанні явища резонансу в коливальній системі і полягає в порівнянні вимірюваної частоти з частотою власних коливань контуру або резонатора. Цей метод застосовується в радіочастотному діапазоні від 100 кГц до 100 ГГц.

До основних характеристик резонансного частотоміра можна віднести: чутливість, діапазон вимірюваних частот та похибку вимірювання. Чутливість визначається потужністю, переданої частотоміром від джерела сигналу.

На рис. 1 [1] до коливального контуру LC надходить сигнал u_x , частоту якого нам необхідно знайти.

Використовуючи індикатор резонансу коливальний контур налаштовується на резонанс, і тоді[2]:

$$f_x = f_p \quad (1)$$

Індуктивність L заздалегідь відома із заданою точністю, а тому шкала конденсатора градуюється безпосередньо в одиницях частоти. На високих і надвисоких частотах коливальний контур частотоміра виготовляється у вигляді об'ємного резонатора.



Рис. 1. Принцип вимірювання частоти резонансним методом

Для частот менше 200 МГц викорисовуються LC і RC контури. Якщо частота сигналу більше 200 МГц застосовують контури з розподіленими резонаторами.

Під час вимірювання частоти даним методом резонансна частота визначається за формулою Томсона:

$$f = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} \quad (2)$$

Разом з тим за допомогою конденсатора C резонансну частоту можна змінювати.

Метод заряду і розряду конденсатора. Суть даного методу полягає у вимірюванні струму розряду конденсатора, який періодично перемикається з заряду на розряд, як це показано на рис. 2. Якщо ключ К замкнути в положення 1 (на джерело ЕРС), то конденсатор С отримає заряд q і напругу U. Величину заряду q можна визначити з виразу[3]:

$$q = CU \quad (3)$$

Якщо перемикнути перемикач К у положення 2, то конденсатор розрядиться. Якщо ключ К

перемикати f разів за секунду, то можна визначити середнє значення струму, що протікає через мікроамперметр[3]:

$$I_{\text{сер}} = qf = CUf, \quad (4)$$

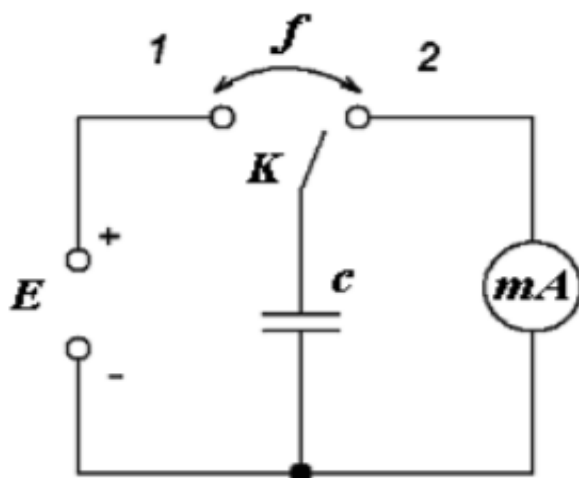


Рис. 2. Схема заряду та розряду конденсатора

Відповідно частоту f можна виразити формулою[2]:

$$f = \frac{I_{\text{сер}}}{C \cdot U} \quad (5)$$

Для забезпечення лінійної залежності показань приладу від частоти в схемі передбачається обмежувач, що підтримує сталість верхнього $U_{\text{зар}}$ і нижнього $U_{\text{роз}}$ рівнів напруги на обкладках

конденсатора в усьому робочому діапазоні частот. Тоді формула (3) набуває іншого вигляду[2]:

$$f = \frac{I_{\text{сер}}}{C(U_{\text{зар}} - U_{\text{роз}})} \quad (6)$$

Метод заряду і розряду конденсатора застосовується на частотах від 10Гц до сотень кГц.

Сучасні цифрові методи вимірювання частоти являються найбільш точними. Ці методи забезпечують високу швидкість, і мають вихідний сигнал у вигляді цифрового коду, що дозволяє їх застосовувати в автоматизованих радіотехнічних системах, та телекомунікаційних системах.

До переваг цифрових методів вимірювання частоти можна віднести: високу точність вимірювання, широкий діапазон вимірюваних частот та швидкість.

На даний час продовжується розробка методів, які дозволяють більш точно вимірювання частоти за менший час.

Основними цифровими методами вимірювання радіочастоти є:

1. Метод затриманих співпадінь. Робота даного методу полягає в тому, що імпульси вимірюваної частоти формуються з мінімальною тривалістю, а імпульси зразкової частоти тривалістю рівної частини, від періоду зразкової величини, які надходять на послідовно ввімкнені лінії затримки.

2. Метод послідовної лічби. Сутність даного методу полягає в представленні вимірюваного інтервалу t_x у вигляді послідовності деякої кількості імпульсів, які ідуть один за одним через однакові еталонні проміжки часу. По кількості послідовності імпульсів, яка називається квантуючою, судять про тривалість вимірюваного інтервалу. Кількість імпульсів квантуючої послідовності являється цифровим кодом інтервалу t_x . Пристрій, який реалізує цей метод, називають перетворювачем послідовної лічби.

3. Ноніусний метод. Даний метод заснований на суміщенні імпульсів зразкової частоти з імпульсами ноніусної частоти, початкові моменти яких зсунуті один відносно одного на тривалість вимірюваного інтервалу, а період зразкової частоти відрізняється, від періоду ноніусної частоти, на потрібне значення ступеня квантування. При цьому для вимірювання частоти необхідно вимірювальний інтервал формувати з цілого числа періодів вимірюваної частоти. Цей метод застосовується для уточнення результату отриманого по методу послідовної лічби.

Частотомір – це радіовимірювальний прилад, за допомогою якого визначається частота періодичного процесу.

В наш час можливе вимірювання частоти за допомогою багатьох приладів: це і мультиметри, і генератори з вбудованими частотомірами, і цифрові осцилографи. Проте, спеціалізованими приладами для вимірювання частоти все ж є частотоміри.

Частотоміри поділяються в залежності від наступних параметрів:

1) по методу вимірювання:

- частотоміри безпосередньої оцінки;
- частотоміри порівняння;

2) по фізичному сенсу вимірювальної величини:

- частотоміри для вимірювання частоти синусоїдальних коливань (аналогові);
- частотоміри для вимірювання частот гармонічних складових (резонансні, гетеродинні, вібраційні);
- частотоміри для вимірювання частоти дискретних подій (конденсаторні, електронно-лічильні);

3) по виконанню (конструкції):

- частотоміри щитові;
- частотоміри переносні;
- частотоміри стаціонарні;

Основними нормуючими характеристиками частотомірів являються:

1. діапазон вимірювальних частот;
2. чутливість;
3. допустима похибка вимірювання;

На рис.3 зображена діаграма з часом вимірювання кожним з цифрових методів, а саме: ноніусним, прямої лічби та методом затриманих співпадінь.

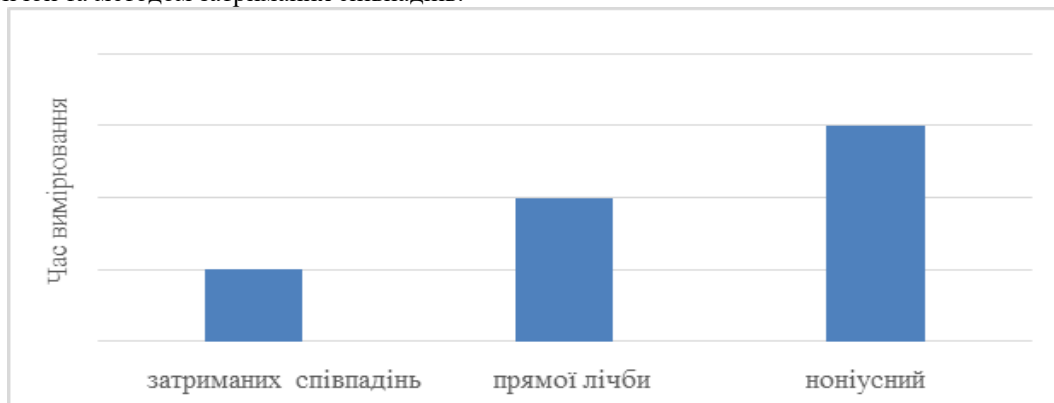


Рис. 3. Діаграма часу вимірювань радіочастоти цифровими методами

З рис. 3 видно, що час вимірювання радіочастоти ноніусним методом є найбільшим, а методом затриманих співпадінь – найменшим.

Висновки. 1. Було проведено аналіз методів та засобів вимірювання частоти радіосигналу. Розглянуто переваги та недоліки цифрових методів вимірювання частоти періодичного сигналу.

2. Провівши аналіз різними методами було виявлено: у ноніусного методу вимірювання частоти радіосигналу більший час вимірювання, порівняно з методом прямої лічби; метод затриманих співпадінь має ж найменший час вимірювання.

Література

1. Мирский Г.Я. Радиоэлектронные измерения / Г.Я.Мирский. – М.: Энергия, 1975. – 600 с.
2. Электрические измерения. Средства и методы (общий курс): учеб. пособие для вузов / под ред. Е.Г. Шрамкова. – М.: «Высш. школа», 1972. – 520 с.
3. Кушнир Ф.В. Электроизмерения / Кушнир Ф.В. – Л.: Энергоатомиздат. Ленинградское отделение, 1983. – С. 194–196.

References

1. Mirsky G.Ya. Radioelectronic measurements / G.Ya.Mirskii. – M.: Energiya, 1975. – 600s.
2. Electrical measurements. Means and methods (general course). Study A manual for high schools. Ed. E.G. Shramkova. – M.: "Out. school ", 1972. – 520 p.
3. Kushnir F.V. Electrical measurements. L.: Energoatomizdat. Leningrad Branch, 1983. 194–196 p.

Рецензія/Peer review : 31.10.18

Надрукована/Printed : 06.02.2019

Рецензент: д. т. н., доц. Полікаровських О. І.