

УДК 621.317.761

ПРИСТРІЙ ДЛЯ ВИМІРЮВАННЯ НЕСТАБІЛЬНОСТІ ЧАСТОТИ РАДІОСИГНАЛІВ

*Кичак В. М., д.т.н., професор; Гаврасієнко П. О., аспірант
Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, Україна,
pasha.3pl@mail.ru*

DEVICE OF RADIO FREQUENCY INSTABILITY MEASUREMENTS

*Kychak V. M., Doctor of Engineering, Professor; Gavrasienko P. O., Postgraduate Student
Vinnitsa National Technical University, Vinnitsa, Ukraine*

Вступ

Частота є одним з основних параметрів будь-якого гармонічного або періодичного процесу, в тому числі електромагнітних коливань. Вимірювання частоти та її стабільності лежить в основі багатьох вимірювальних задач, що мають місце в сучасній радіотехніці та приладобудуванні. Нестабільність частоти радіосигналів поділяється на два види: довгострокова, викликана систематичним зміщенням частоти за тривалий час, що значно перевищує тривалість періоду сигналу, і короткострокова, яка визначається флуктуаційними змінами частоти сигналу і співрозмірна з його періодом [1, 2].

Для визначення довгострокової нестабільності частоти на практиці звичайно виконують багаторазове вимірювання миттєвої частоти сигналу з певним часовим проміжком. Різниця між даними показниками миттєвих значень становитиме визначену нестабільність сигналу за заданий інтервал часу. Маючи велику кількість вимірювань, можна систематизувати зміну частоти за більш великі проміжки часу.

Короткострокова нестабільність часто пов'язана з фазовими шумами і визначається на дуже малих інтервалах часу за допомогою методів порівняння досліджуваного сигналу із зразковою частотою або з використанням ліній затримки. Також за допомогою статистичних методів на основі різних варіацій рядів даних (наприклад, варіація Аллана) оцінюється середньоквадратичне відхилення і дисперсія сигналу відносно центральної частоти [3].

Метою статті є аналіз і вдосконалення існуючих цифрових методів та засобів вимірювання нестабільності частоти для забезпечення вищої точності, підвищення швидкодії та спрощення процесів вимірювання.

Аналіз цифрових пристроїв вимірювання частоти радіосигналів

Технічні переваги цифрових вимірювачів частоти на аналоговими полягають в основному в можливості автоматизації процесів вимірювання, обробки і зберігання даних, підвищення оперативності роботи, спрощення обслуговування пристроїв і можливість підключення до різноманітних ци-

фрових пристроїв та ЕОМ для суміжних вимірювань і обробки інформації. Тому проведемо дослідження основних видів та переваг використання цифрових пристроїв вимірювання частоти та її нестабільності і розглянемо можливості їх подальшого вдосконалення.

Найпоширенішим і найпростішим методом визначення дійсного значення частоти сигналу є метод безпосереднього вимірювання електронно-лічильним частотоміром [1, 4]. Даний метод заснований на вимірюванні числа періодів вимірюваної частоти за інтервал часу, що формується зразковою частотою. Через значну простоту своєї структури, даний метод вимірювання має багато недоліків, серед яких низька точність вимірювання, діапазон вимірюваних частот і роздільна здатність [4, 5].

Для покращення характеристик пристрою вимірювання частоти можна доповнити попередній блоками формування вимірювального інтервалу і засобами обробки та індикації [2].

Також значним недоліком цифрових частотомірів є невизначеність входження до розрахунків лічильника імпульсів, що розміщені на межі вимірювального інтервалу [2]. Для його усунення в структурі вимірювача частоти можна використати схеми синхронізації імпульсів, які виконані таким чином, що у відповідь на кожен вхідний імпульс виробляється вихідний, фронт якого співпадає з переднім фронтом імпульсів, що подаються на тактові входи [6].

Проте цифрові пристрої для вимірювання частоти мають ще ряд недоліків: обмежений діапазон вимірювання частоти; низька надійність, обумовлена асинхронністю процесів запису значень лічильників і обробки цієї інформації блоком обробки даних; відносна складність програмної та апаратної реалізації [7].

Для розширення діапазону і підвищення надійності вимірювання частоти в цифровий частотомір необхідно додати блок керування та вдосконалити блок синхронізації вхідного сигналу з тактовими імпульсами [7]. Структура цифрового частотоміра з даними блоками наведена на рис. 1. Блок керування формує чотири керуючі сигнали T_1 - T_4 , які встановлюють порядок роботи лічильників, регістрів та блоку синхронізації. Діаграма сигналів на різних етапах роботи частотоміра наведена на рис. 2 [7].

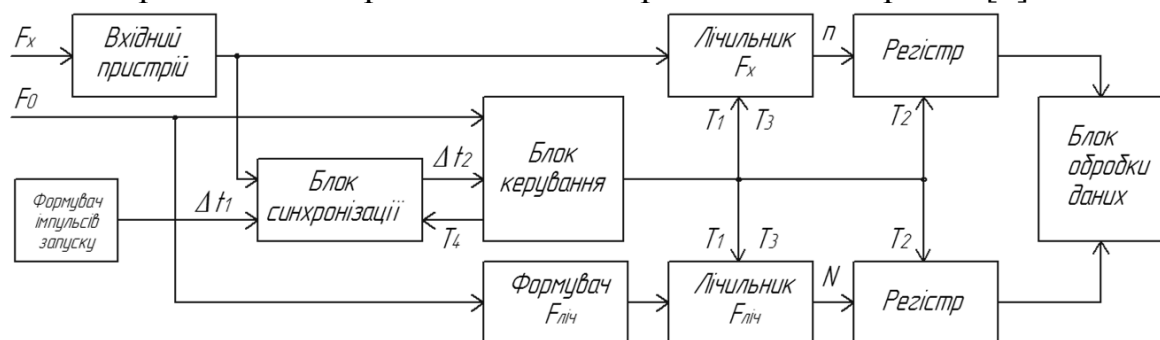


Рис. 1. Структура цифрового частотоміра

Блок керування складається з лічильника-дешифратора і тригерів, що дозволяє синхронізувати сигнали керування з тактовими імпульсами. На час між імпульсами T_1 та T_3 встановлюється заборона на запис даних в лічильники та відбувається зчитування інформації в регістри пам'яті та до блоку обробки інформації. Формувач імпульсів лічення $F_{ЛЧ}$ виробляє імпульси кратні частоті тактових імпульсів ГТІ F_0 , завдяки чому можна змінювати діапазон вимірюваних частот з заданою точністю.

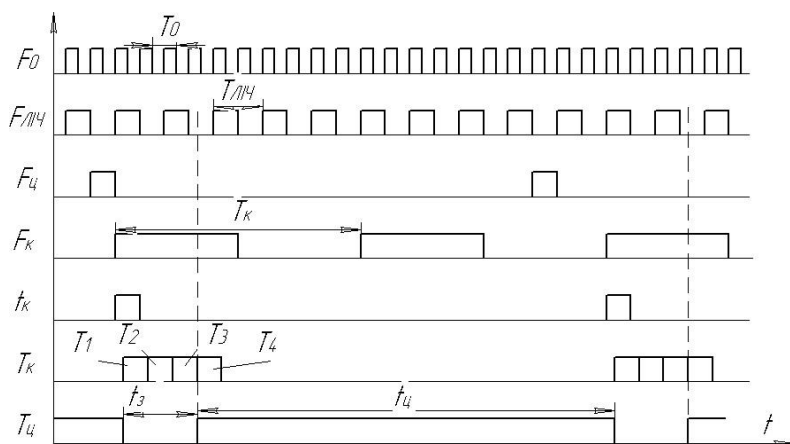


Рис. 2. Діаграма сигналів роботи частотомера

Оскільки інтервал вимірювання Δt_2 синхронізований по фронту з тактовими імпульсами та імпульсами вхідного сигналу, то інтервал вимірювання завжди міститиме ціле число імпульсів вхідного сигналу, що зменшує похибку вимірювання дискретності до значення $\pm T_0$. Середня

частота за інтервал часу Δt_2 розраховується за виразом:

$$F = \frac{n}{N} F_{ЛЧ},$$

де n та N — показники лічильників вимірювання вхідних і тактових імпульсів відповідно.

Максимальна частота вимірювання даним пристроєм визначається з того, що вхідні імпульси будуть зараховуватись лічильником з інтервалом не менше тривалості заборони на запис T_1 - T_3 , тобто в мінімальному випадку $3T_0$:

$$F_{X \max} < \frac{1}{T_{\min}} = \frac{1}{3 \cdot T_0} = \frac{F_0}{3} = \frac{K_{ЛЧ} \cdot F_{ЛЧ}}{3},$$

де $K_{ЛЧ}$ — коефіцієнт кратності частоти лічення до частоти тактового ГТІ.

У випадку перевищення тривалості вхідного імпульсу тривалості інтервалу вимірювання Δt_1 рахунок імпульсів лічення продовжується до повного заповнення лічильника. Цим визначається мінімальна частота вимірювання:

$$F_{X \min} \geq \frac{1}{T_{\max}} = \frac{F_{ЛЧ}}{2^p - 1} = \frac{F_0}{K_{ЛЧ} (2^p - 1)},$$

де p — розрядність лічильника.

Пристрій для вимірювання нестабільності частоти на базі цифрового частотоміра

Для вимірювання нестабільності частоти за інтервал вимірювання Δt_1 необхідно в блоці обробки даних обраховувати різницю між сусідніми показниками частоти сигналу. Зберігаючи дані за велику кількість вимірювань, можна використовувати статистичні методи обробки інформації для визначення середнього значення відхилення частоти за заданий інтервал часу. Для вимірювання нестабільності частоти за інтервал менше Δt_1 можна вдосконалити вимірювач, додавши в нього другий канал для паралельного вимірювання частоти. Другий канал буде аналогічний першому і включатиме вхідний пристрій, лічильник та регістр. Одночасно з цим необхідно вдосконалити блоки синхронізації і керування для врахування фронтів імпульсів на двох входах. Досліджуваний сигнал надходить на перший вхід безпосередньо та на другий вхід через лінію затримки, таким чином можна розрахувати різницю між показниками двох каналів, що становитиме нестабільність частоти за час лінії затримки.

Обмеженням на максимальні вимірювальні частоти є гранична частота роботи цифрових блоків в даному пристрої. Тому для вимірювання сигналів радіочастот, що перевищують можливості цифрової елементної бази, можна ввести додатковий блок пониження частоти [8]. Структура запропонованого двоканального цифрового вимірювача нестабільності частоти наведена на рис. 3.

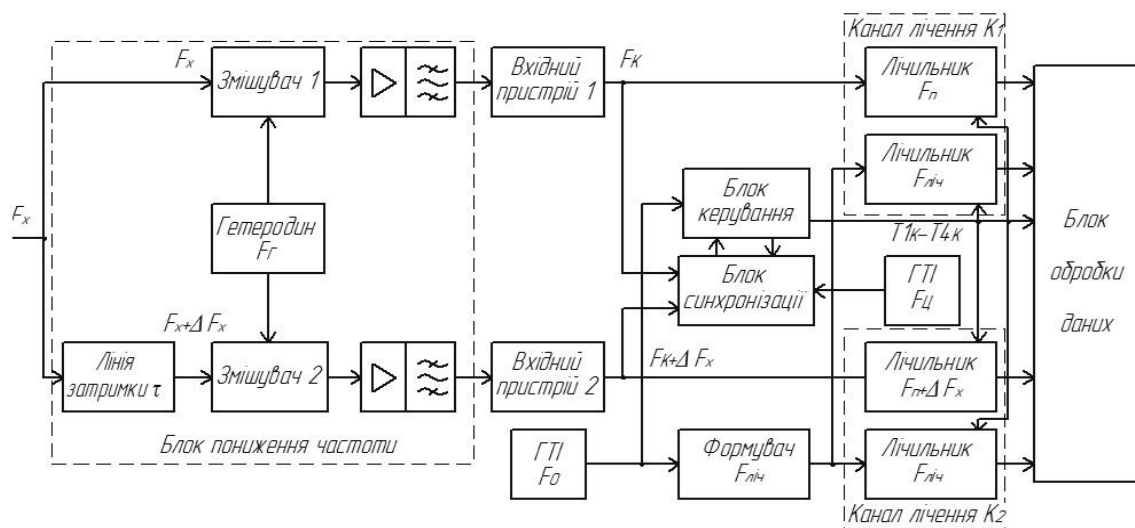


Рис. 3. Структура двоканального цифрового вимірювача нестабільності частоти

Вхідний сигнал подається на два канали блоку пониження частот, причому на вході другого каналу встановлена лінія затримки зі змінним часом затримки τ , на виході якої формується сигнал з частотою $F + \Delta F$. В кожному з каналів виконується перенесення частоти в нижній спектр за допомогою змішувачів, гетеродина і підсилювачів із смуговими фільтрами налаштованими на проміжну частоту. На виході будемо мати сигнали з частотами:

$F_{II1} = F_X - F_G$ та $F_{II2} = F_X + \Delta F - F_G = F_{II1} + \Delta F$. Нестабільність частоти гетеродину також переноситься на проміжні частоти, але вона буде мати однакову величину в обох каналах і скоротиться при розрахунку різниці частот в блоці обробки даних.

Різниця між розрахованими частотами в двох каналах визначатиме середню нестабільність частоти досліджуваного сигналу за час затримки τ :

$$\Delta F_K = \left(\frac{n_{K2}}{N_{K2}} - \frac{n_{K1}}{N_{K1}} \right) \frac{F_0}{K_{ЛПЧ}}$$

В кожному з каналів розраховується зміна частоти за період одного циклу вимірювання:

$$\Delta F_{K(i)} = \left(\frac{n_{K(i+1)}}{N_{K(i+1)}} - \frac{n_{K(i)}}{N_{K(i)}} \right) \frac{F_0}{K_{ЛПЧ}}$$

Зберігаючи дані по розрахованим частотам протягом тривалого часу, можна визначити нестабільність частоти сигналу за значно довші часові проміжки, розрахувати середню нестабільність частоти, середньоквадратичне відхилення частоти від середнього значення та розрахувати відхилення за допомогою варіації.

Висновки

1. На базі проведеного аналізу пристроїв вимірювання частоти та її стабільності визначено переваги і недоліки сучасних цифрових вимірювачів частоти та їх використання для вимірювання нестабільності частоти за певний період. Результати дослідження вказують на широкі можливості вдосконалення вимірювачів в області розширення діапазону частот, підвищення точності вимірювань, зменшення невизначеності та спрощення елементної бази даних пристроїв.

2. Запропоновано цифровий пристрій для вимірювання нестабільності частоти на основі двоканального методу вимірювання частоти, який використовує змінну лінію затримки і перенесення частот, що дозволяє розширити діапазон вимірюваних частот та інтервал вимірювання нестабільності частоти.

Перелік посилань

1. Кузнецов В. А. Измерения в электронике. Справочник / Под ред. В.А. Кузнецова - М. : Энергоатомиздат. - 1987. - 510 с.
2. Винокуров В. И. Электрорадиоизмерения / В.И. Винокуров, С.И. Каплин, И.Г. Петелин. – М. : Высшая школа, 1986. – 352с.
3. Ramian F. [Time Domain Oscillator Stability Measurement Allan variance. Application Note](#) / F. Ramian ; Rohde & Schwarz . – 2009.
4. Горшков А.П. Аппаратура для частотных и временных измерений / Под ред. А. П. Горшкова. - М. : Советское радио. - 1971. - 336 с.
5. Нефедов В.И. Метрология и радиоизмерения / Под ред. В.И. Нефедова. - М. :

Высшая школа, 2006. - 526 с.

6. Патент РФ №2210785, МПК⁷ G01R 23/10. Цифровой частотомер / А.М. Гончаренко, В.А. Васильев, В.А. Жмудь ; опубл. 20.08.2003.

7. Патент РФ № 2300112, МПК⁷ G01R 23/10. Способ измерения частоты и устройство для его осуществления / Н.А. Мурашко, О.А. Мурашко ; опубл. 27.05.2007.

8. Кичак В.М. Аналіз методів вимірювання нестабільності частоти радіосигналів / В.М. Кичак, П.О. Гаврасієнко // [Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах](#). – 2012. – № 3. – с. 42-45.

References

1. Kuznetsov V.A. eds. (1987) *Izmereniya v elektronike. Spravochnik* [Measurements in electronics. Handbook]. Moskow, Energoatomizdat Publ., 510 p.

2. Vinokurov V. I., Kaplin S.I. and Petelin I.G. (1986) *Elektroradioizmereniya* [Electrical Measurements]. Moskow, Vysshaya shkola Publ., 352 p.

3. Ramian F. (2009) [Time Domain Oscillator Stability Measurement Allan variance. Application Note](#), Rohde & Schwarz.

4. Gorshkov A.P. eds. (1971) *Apparatura dlya chastotnykh i vremennykh izmerenii* [Apparatus for measuring the frequency and time]. Moskow, Sovetskoe radio Publ., 336 p.

5. Nefedov V.I. eds. (2006) *Metrologiya i radioizmereniya* [Metrology and radio measurements]. Moskow, Vysshaya shkola Publ., 526 p.

6. Goncharenko A.M., Vasil'ev V.A. and Zhmud' V.A. (2003) *Tsifrovoi chastotomer* [Digital frequency meter]. Patent RF No. 2210785.

7. Murashko N.A. and Murashko O.A. (2007) *Sposob izmereniya chastoty i ustroystvo dlya ego osushchestvleniya* [Method for measuring the frequency and device for its implementation]. Patent RF No. 2300112

8. Kychak V.M. and Havrasiienko P.O. (2012) Analiz metodiv vymiriuvannia nestabilnosti chastoty radiosyhnaliv [Analysis of measurements method of radio frequency instability]. [Measuring and Computing Devices in Technological Processes](#). No 3. pp. 42-45.

Кичак В. М., Гаврасієнко П. О. Пристрій для вимірювання нестабільності частоти радіосигналів. В роботі проведено аналіз існуючих цифрових засобів вимірювання частоти та стабільності радіосигналів, наведено переваги і недоліки даних пристроїв. Запропоновано використовувати цифровий пристрій для вимірювання нестабільності частоти на основі двоканального методу вимірювання частоти, який використовує змінну лінію затримки і перенесення частот, що дозволяє розширити діапазон вимірюваних частот та інтервал вимірювання нестабільності частоти.

Ключові слова: радіосигнали, нестабільність частоти, вимірювальні пристрої, частотомер.

Кичак В. М., Гаврасієнко П. А. Устройство для измерения нестабильности частоты радиосигналов. В работе проведено анализ существующих цифровых устройств для измерения частоты и стабильности радиосигналов, приведено преимущества и недостатки данных устройств. Предложено использовать цифровое устройство для измерения нестабильности частоты на базе двухканального метода измерения частоты, который использует переменную линию задержки и перенос частот, что позволяет расширить диапазон измерительных частот и интервал измерения нестабильности частоты.

Ключевые слова: радиосигналы, нестабильность частоты, измерительные устройства, частотомер.

Kychak V. M., Gavrasienko P. O. Device of Radio Frequency Instability Measurements.

Introduction. The instability of radio frequency is divided into two types: long-term, due to systematic frequency offset, and short-term, which is determined by the fluctuation frequency changes. The aim of the paper is to analyze and improve existing methods and tools for digital measurement frequency instability for higher accuracy, improve performance and simplify the measurement process.

The main part. The method of frequency counter is based on measuring the number of frequency signal periods for time interval. To extend the range and improve the reliability of the measurement frequency necessary to add a control and synchronization blocks. Also it needs to add a second frequency channel and a delay line for measuring the frequency instability at intervals less than the period of measurement. The frequency converter is used to extend the range of measured frequencies.

Conclusion. It is proposed to use a digital device for measuring frequency instability on the basis of two-channel frequency counter, which uses a variable delay line and frequency converter, thus extending the range of measured frequencies and interval measurement frequency instability.

***Keywords:** radio signals, instability frequency, measuring device, frequency meter.*