

## ВИБІР ТА ОБГРУНТУВАННЯ ЗАСТОСУВАННЯ ЧАСТОТНОГО КОМПАРАТОРА В РОТАЦІЙНОМУ ВІСКОЗИМЕТРІ З ФАЗОЧАСТОТНИМ ПЕРЕТВОРЕННЯМ ІНФОРМАТИВНОГО ПАРАМЕТРА

*В роботі досліджено два алгоритми порівняння частот періодичних сигналів. Вказано на переваги та недоліки використання паралельного та послідовного методу порівняння частот. Обгрунтовано необхідність застосування частотного компаратора (ЧК) в перетворювачі інформативного параметра для ротаційного віскозиметра (РВ). Досліджено вплив зміни частоти на кількість періодів порівняння. Запропоновано варіант ЧК зі схемою корекції для РВ з фазочастотним перетворенням інформативного параметра.*

*Ключові слова: динамічна в'язкість, кут фазового зсуву, ротаційний віскозиметр, фазовий цикл, фазочастотний перетворювач, частотний компаратор.*

V.S. PETRUSHAK

Khmelnytsky National University

## CHOICE AND RATIONALE OF FREQUENCY COMPARATOR IN ROTARY VISCOMETER WITH PHASE-FREQUENCY TRANSFORMATION OF INFORMATIVE PARAMETER

*In the article describes two algorithms compare the frequency of periodic signals. Specified on the advantages and disadvantages of using parallel and consistent method of comparison frequencies. The necessity of the use of the frequency comparator (FC) as transducers informative parameter for rotational viscometer (RV). The effect of frequency change in the number of periods of comparison. The variant of the FC circuit for correcting phase-frequency transformation of RV informative parameter.*

*Keywords: angle of phase shift, dynamic viscosity, rotary viscometer, phase cycle, phase-frequency converter, frequency comparator.*

### Вступ

Серед виробників сучасних ротаційних віскозиметрів здебільшого закордонні фірми, зокрема НААКЕ та Brookfield. В більшості з них покращення характеристик досягається шляхом зменшення паразитних параметрів: тертя в механічній системі, нелінійності характеристики торсіону, електромагнітних наведень в електричній схемі та збільшення таких параметрів, як коефіцієнт редукції сенсорів і кількість розрядів електричної схеми [1]. В більшості випадків це призводить до збільшення собівартості ротаційних віскозиметрів, застосування їх тільки для окремої групи речовин і використання кваліфікованого обслуговуючого персоналу. Застосування в ротаційних віскозиметрах новітніх фазочастотних методів та принципів вимірювання повного фазового зсуву дозволяє створити універсальні прилади із розширеним динамічним діапазоном, високою точністю та високим ступенем автоматизації. Розробка засобу підвищення точності в ротаційному віскозиметрі на базі фазочастотного методу зумовлена необхідністю точної реєстрації крутних моментів, що дає можливість дослідження різноманітних характеристик речовини без спотворення результатів вимірювань. Проблема вимірювання динамічної в'язкості речовини є актуальною в широкому колі вимірювальних задач, тому пошук нових методів, аналіз їх похибок та розробка засобів підвищення точності в ротаційних віскозиметрах на базі фазочастотного методу є перспективною і має наукову значимість і практичну цінність.

### Експериментальна частина

Як вже було сказано в [2], в перетворювачі інформативного параметра для РВ на базі фазочастотного методу, кількість фазових циклів (ФЦ) визначається від початку вимірювання до  $t_2$ , а вимірювання миттєвого значення фазового зсуву можливе за умови, що  $\omega_1 = \omega_2$ , тобто з моменту  $t_2$ . Тому необхідно, щоб в фазочастотному перетворювачі (ФП) був присутній ЧК, який би виконував дану рівність і видавав сигнал на початок вимірювання  $\varphi_M(t)$ . Для розробленого РВ можливо два способи порівняння частот вхідних сигналів:

1. Порівняння частот вхідних сигналів з обох каналів між собою.
2. Порівняння частот вхідних сигналів з заданим значенням частоти обертання сприймаючого елемента.

Перший спосіб можна описати наступним перетворенням:

$$\left\{ \begin{array}{l} f_1 \Rightarrow N_1 = \frac{f_{кв}}{f_1} \\ f_2 \Rightarrow N_2 = \frac{f_{кв}}{f_2} \end{array} \right\} \Rightarrow (N_1 = N_2)?, \quad (1)$$

де  $f_1, f_2$  – частоти сигналів з першого і другого каналів;

$N_1, N_2$  – двійкові коди, еквівалентні частотам сигналів з першого і другого каналів.

Для першого способу спочатку відбувається паралельне перетворення частот сигналів відповідних каналів у двійковий код, а потім перевіряється рівність двійкового коду першого каналу двійковому коду другого каналу. Алгоритм роботи ЧК, який описує принцип паралельного порівняння частот вхідних сигналів з обох каналів між собою, представлений на рис. 1.

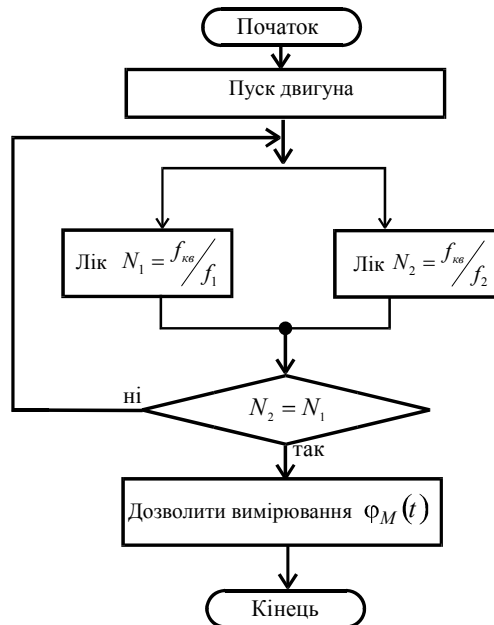


Рис. 1. Алгоритм порівняння частот вхідних сигналів з обох каналів

Алгоритм, представлений на рис. 1, описує таку послідовність операцій:

1. Пуск двигуна на певне значення частоти обертання сприймаючого елемента.
2. Підрахунок кількості імпульсів  $N_1 = \frac{f_{кв}}{f_1}$ , що надійшли за один період сигналу з першого каналу.
3. Підрахунок кількості імпульсів  $N_2 = \frac{f_{кв}}{f_2}$ , що надійшли за один період сигналу з другого каналу.
4. Перевірка умови  $N_1 = N_2$ .
5. В разі нерівності умови за п.4 перехід до п. 2.
6. В разі рівності умови за п. 4 перехід до п.7.
7. Вимірювання миттєвого значення фазового зсуву  $\varphi_M(t)$ .

Другий спосіб порівняння частот вхідних сигналів можна описати за допомогою перетворення:

$$\left\{ \begin{array}{l} f_1 \Rightarrow N_1 = \frac{f_{кв}}{f_1} \\ f_2 \Rightarrow N_2 = \frac{f_{кв}}{f_2} \\ \omega_0 \approx f_0 \approx N_0 \end{array} \right. \Rightarrow (N_1 = N_0 \Rightarrow N_2 = N_0)?, \quad (2)$$

де  $f_0$  – задане значення частоти сигналу, еквівалентне частоті обертання сприймаючого елемента  $\omega_0$ ;  $N_0$  – двійковий код еквівалентний заданому значенню частоти.

Відповідно відбувається паралельне перетворення частот сигналів першого і другого каналів у двійковий код, а потім – послідовна перевірка рівності двійкового коду першого каналу із заданим значенням двійкового коду і перевірка рівності двійкового коду другого каналу із заданим значенням двійкового коду. Алгоритм роботи ЧК, який описує принцип послідовного порівняння частот вхідних сигналів обох каналів із заданим значенням частоти, представлений на рис. 2.

За алгоритмом послідовного порівняння частот вхідних сигналів, представленим на рис. 2, виконується наступна послідовність операцій:

1. Пуск двигуна на певне значення частоти обертання сприймаючого елемента  $\omega_0 \approx f_0 \approx N_0$ .
2. Підрахунок кількості імпульсів  $N_1 = \frac{f_{кв}}{f_1}$ , що надійшли за один період сигналу з першого каналу.

3. Перевірка умови  $N_1 = N_0$ .
4. Якщо умова 3 не виконується, то перехід до п.2.
5. Якщо умова 3 виконується то перехід до п.6.
6. Підрахунок кількості імпульсів  $N_2 = f_{кв} / f_2$ , що надійшли за один період сигналу з другого каналу.
7. Перевірка умови  $N_2 = N_0$ .
8. Якщо умови 7 не виконується, то перехід до п. 6.
9. Якщо умова 7 виконується, то перехід до п.10.
10. Вимірювання миттєвого значення фазового зсуву  $\varphi_M(t)$ .

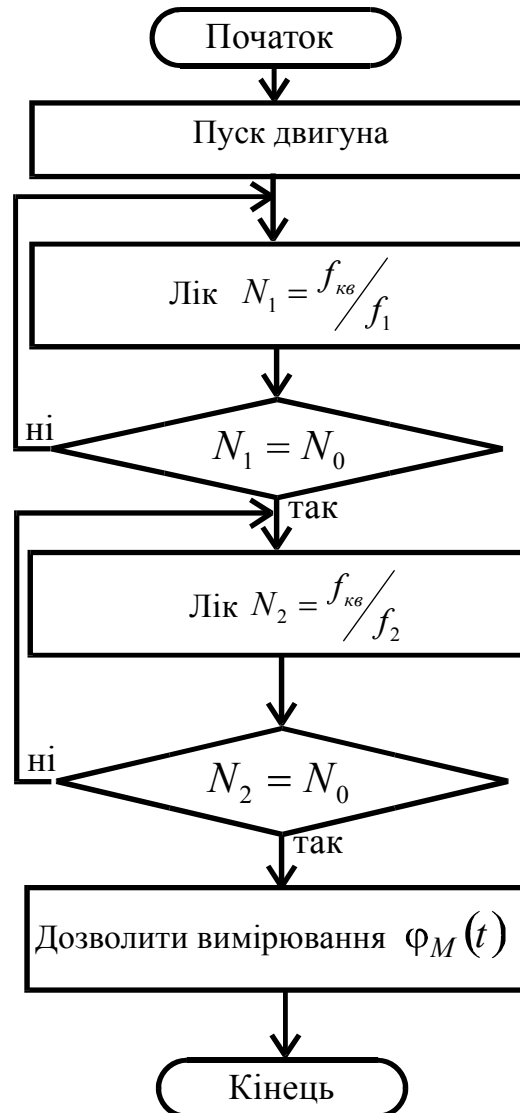


Рис. 2. Алгоритм послідовного порівняння частот вхідних сигналів

Також можна зауважити, що час порівняння двох частот для першого способу буде менший ніж для другого, оскільки паралельне порівняння частот буде виконуватись швидше ніж послідовне, що веде до необхідності використання паралельного частотного компаратора в РВ.

Принцип роботи ЧК для РВ, що розробляється, полягає в порівнянні значення частот сигналів, що надходять з підсилювачів-обмежувачів РВ між собою в установленому режимі і в разі їх рівності появи сигналу дозволу на вимірювання фазового зсуву цифровим миттєвим фазометром (ЦМФ). Як вже було сказано раніше для даного розробленого РВ можливо два варіанти порівняння частот вхідних сигналів: паралельний; послідовний.

Особливостями необхідного частотного компаратора є:

1. Порівняння двох частот вхідних сигналів зсунутих по фазі.
2. Порівняння двох частот вхідних сигналів з різною шпаруватістю.
3. Видача сигналу дозволу на вимірювання ЦМФ за умови рівності  $\omega_1 = \omega_2$ .

Проаналізувавши принцип роботи існуючих ЧК було встановлено, що дві перші умови задовольняє

частотний компаратор, описаний в роботах [3, 4]. Функціональна схема такого ЧК зображена на рис. 3 [4]. На ній позначено: ФІ – формувач коротких імпульсів, СЗ – схема збігу, І – інвертор, Т – тригер. Як видно з функціональної схеми цей компаратор складається із цифрових елементів, а отже дозволяє порівнювати частоти у широкому діапазоні.

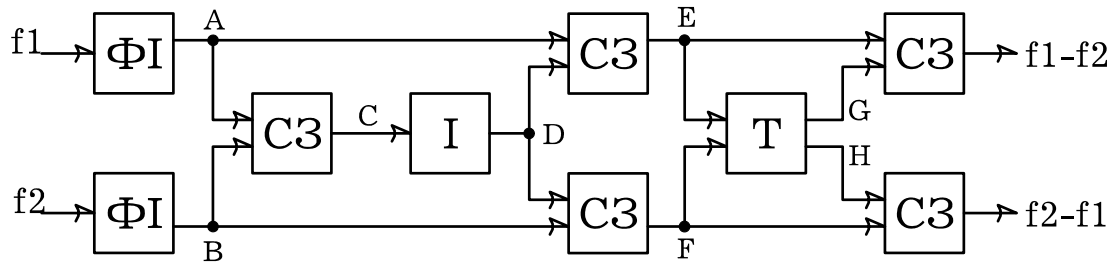


Рис. 3. Функціональна схема частотного компаратора

Дослідивши ЧК у випадку, коли частота  $\omega_1$  більша за  $\omega_2$  встановлено, що на виході F1-F2 з'являються короткі імпульси. Коли на входи ЧК подано дві однакові частоти  $\omega_1$  і  $\omega_2$ , то на виходах F1-F2 і F2-F1 короткі імпульси відсутні. Під час дослідження двох сигналів з однаковими частотами, зсунутих по фазі на деякий кут у протифазі було встановлено, що у таких випадках на виходах F1-F2 і F2-F1 імпульси також відсутні. Відповідно можна зробити висновок, що даний ЧК не реагує на зсув фази між вхідними сигналами. Також слід зауважити, що такий ЧК, як показали дослідження, коли на вхід ЧК подавали сигнали з двома однаковими частотами  $\omega_1$  і  $\omega_2$ , але з різною шпаруватістю, може точно порівнювати частоти сигналів з різною шпаруватістю.

Також можна зауважити, що даний ЧК може бути застосований в розробленому РВ з фазочастотним перетворенням інформативного параметру і має наступні переваги перед іншими:

- працює у широкому діапазоні частот;
- має високу швидкодію;
- не чутливий до фазового зсуву між частотами, що порівнюються;
- можливість порівняння частот сигналів з різною шпаруватістю.

Як видно з рис. 4 дослідження показали, що залежність кількості періодів  $N$ , після якого на виході ЧК є сигнал дорівнює:

$$N = \frac{\omega_1}{\omega_1 - \omega_2} \quad (3)$$

за умови  $\omega_1 > \omega_2$ .

Щодо розрізняльної здатності або точності порівняння двох частот у ЧК, то вона залежить від тривалості імпульсів, які формують формувачі імпульсів. Як показують дослідження, збільшення тривалості імпульсів на виходах формувачів імпульсів призводить до грубих помилок вимірювання. Отже, можна зробити висновок, що для точного порівняння двох частот таким ЧК тривалість імпульсів на виходах формувачів імпульсів повинна бути як мінімум у два рази меншою, ніж тривалість періоду найбільшої частоти, яка буде порівнюватися у такому ЧК.

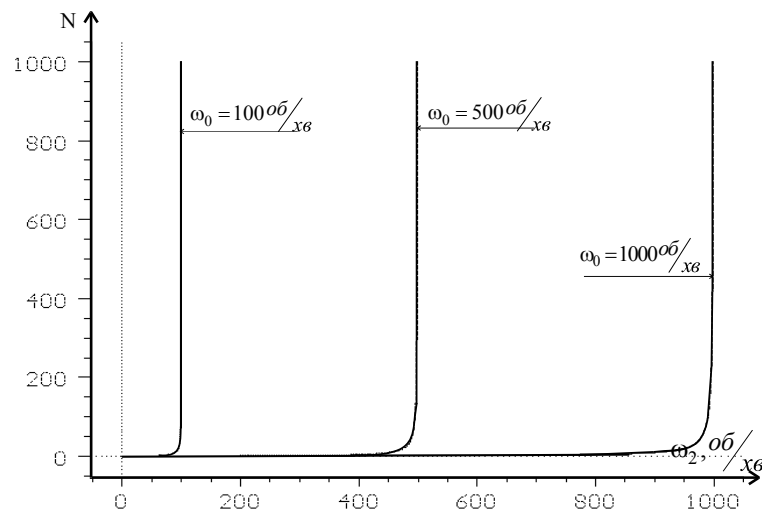


Рис. 4. Вплив зміни частоти на кількість періодів порівняння

Необхідно також зауважити, що такий ЧК працює за умови, коли вхідні частоти сталі, так і за умови

зміни частоти, але в цьому випадку необхідна певна схема корекції.

На виході схеми корекції буде сигнал дозволу вимірювання фазового зсуву тільки тоді, коли встановиться режим і  $\omega_1 = \omega_2$  через задану кількість періодів  $N$  сигналу з першого підсилювача-обмежувача[2]. Функціональна схема такого частотного компаратора зображена на рис. 5, а часові діаграми – на рис. 6.

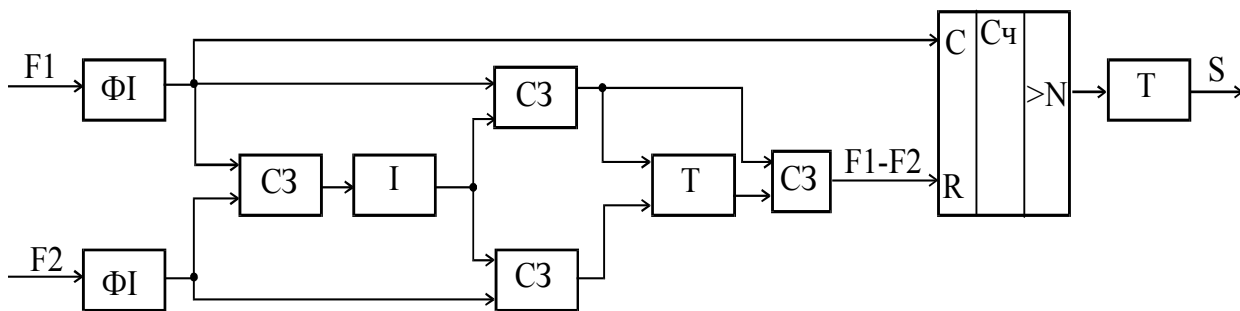


Рис. 5. Функціональна схема частотного компаратора зі схемою корекції

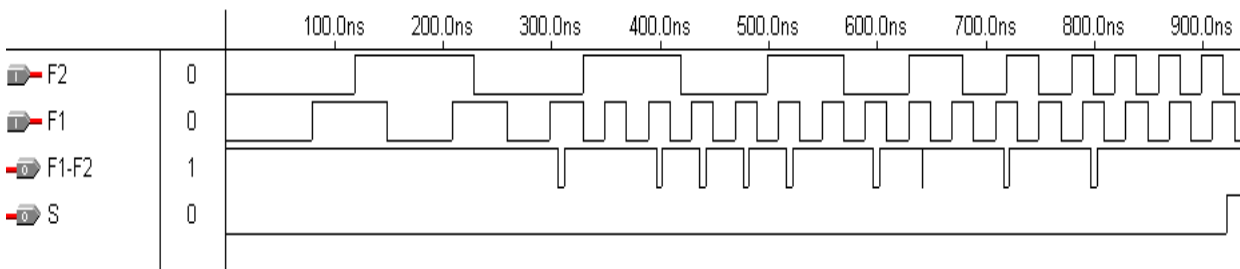


Рис. 6. Часові діаграми роботи частотного компаратора зі схемою корекції

Працює такий ЧК наступним чином. Оскільки процес вимірювання  $PX$  починається з нуля, то на виході  $f_1 - f_2$  ЧК 1, будуть з'являтися прямокутні імпульси різної частоти, які будуть занулювати лічильник 2. Як тільки частоти  $f_1$  і  $f_2$  стануть рівними, на виході  $f_1 - f_2$  прямокутних імпульсів не буде і лічильник почне рахувати імпульси, що надходять на вхід  $f_1$  ЧК 1. Коли лічильник нарахує необхідну кількість імпульсів на виході  $> N$  з'явиться сигнал високого рівня, який установить на виході  $S$  тригера високий рівень, що і буде сигналом дозволу вимірювання фазового зсуву і підрахунку кількості ФЦ.

### Висновки

1. Досліджено паралельний та послідовний алгоритми порівняння частот періодичних сигналів, встановлено їх переваги і недоліки та обрано ЧК для РВ з фазочастотним перетворенням інформативного параметра.

2. Встановлено, що для точного порівняння двох частот обраним ЧК тривалість імпульсів на виходах формувачів імпульсів повинна бути як мінімум у два рази меншою, ніж тривалість періоду найбільшої частоти, яка буде порівнюватися у такому ЧК.

3. Запропоновано схему ЧК зі схемою корекції для РВ з фазочастотним перетворенням інформативного параметра, на виході якого є сигнал дозволу вимірювання фазового зсуву тільки тоді, коли встановиться режим і  $\omega_1 = \omega_2$  через задану кількість періодів сигналу з першого підсилювача-обмежувача.

### Література

1. Крутоголов В. Д. Ротационные вискозиметры / Крутоголов В. Д. Куланов М. В. – М. : Машиностроение, 1984. – 112 с.
2. Петрушак В.С. Фазочастотне представлення вимірювань в'язкості ротаційним вискозиметром з торсіометричним перетворювачем / В.С. Петрушак //ВОТТП. – 2000. – № 4. – С. 87–90.
3. Войтюк О.П. Дослідження фазочастотних компараторів для вимірювання частоти / О.П. Войтюк, І.В. Троцишин //ВОТТП. – 1999. – № 1. – С. 54–58.
4. А.с. № 1191839 G01R 23/02. Устройство для сравнения частот / В.Е. Брагин., А.В.Макаров. – Бюл. № 42. 1985.

Рецензія/Peer review : 9.3.2017 р. Надрукована/Printed :20.4.2017 р.  
Рецензент: д.т.н., проф. Бойко Ю.М.