

# МЕТОДИ ВИЗНАЧЕННЯ ЧАСТОТИ СИНУСОЇДАЛЬНОГО СИГНАЛУ ЕЛЕКТРИЧНОЇ МЕРЕЖІ

Тимохін О. В., к.т.н., Канабас Д. С., магістрант

КПІ ім. Ігоря Сікорського, кафедра автоматизації енергосистем

**Вступ.** Процес виробництва та розподілу електроенергії ґрунтується на вимірюванні режимних параметрів електричних мереж в точу числі і частоти. Крім того, для в засобах автоматики частота часто використовується в якості носія інформації, що вимагає наявності методів та засобів вимірювання частоти сигналів промислової частоти [1, 2].

В даний час існують багато методів вимірювання частоти, що потребує їх аналізу для визначення їх придатності до вимірювання сигналів промислової частоти.

**Мета роботи.** Об'єктом дослідження є частота періодичного сигналу мережі, предмет дослідження – методи визначення частоти сигналів промислової частоти.

**Матеріали і результати досліджень.** Вибір методу вимірювання частоти визначається її діапазоном, необхідною точністю вимірювання та іншими факторами. Розглянемо різні методи визначення частоти гармонійного сигналу в електричній мережі.

*Метод прямого рахунку* полягає в наступному: нехай  $f_0$  – номінальна частота, а  $T_0$  – відповідний їй період. Припустимо, що тактові імпульси  $f_c$  рахуються у час проходження одного періоду  $T_0$ . При цьому покази приладу будуть точно відповідати частоті  $f_0$ . Якщо прилад має роздільну здатність  $R$ , можна записати:

$$T_0 f_c = \frac{f_0}{R} \quad (1)$$

звідси виходить, що

$$f_c = \frac{f_0^2}{R} \quad (2)$$

Для будь-якої іншої частоти  $f$  покази приладу  $f_r$  будуть дорівнювати:

$$f_r = \left( \frac{f_0^2}{R} \right) \left( \frac{1}{f} \right) R = \frac{f_0^2}{R} \quad (3)$$

Залежність  $f$  та  $f_r$  від періоду  $T$  наведена на рис. 1. Відмітимо, що якщо  $f$  стає більшою за  $f_0$ ,  $f_r$  зменшується і навпаки. З цього слідує, що помилка буде зростати як при збільшенні так і при зменшенні частоти  $f$  відносно номінальної величини  $f_0$  [2, 79].

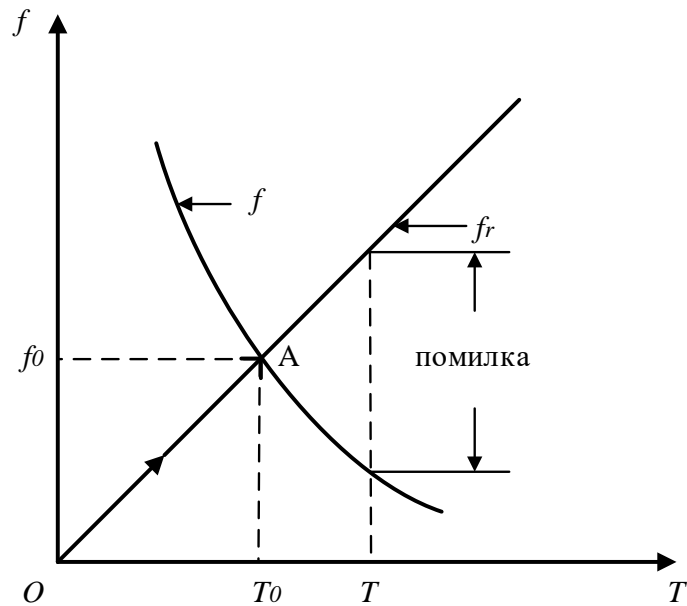


Рисунок 1 – Залежність  $f$  та  $f_r$  від  $T$

Хоч метод прямого рахунку має досить легкий алгоритм та швидкість обчислення, зважаючи на похибку вимірювань, яка є досить великою ( $\pm 1$  Гц), використання даного методу в електричних мережах є недоцільним.

При використанні *методу імпульсів*, що доповнюють на дисплеї відображаються не самі показання лічильника, а значення, що їх доповнюють. При цьому частота тактових імпульсів обирається такою, щоб кількість порахованих імпульсів за час  $T_0$  залишався рівним  $f_0/R$ . Отримати значення, що доповнюють до порахованої кількості імпульсів можна наступним чином: на лічильнику обирають режим зворотного рахунку і на початку кожного періоду на ньому встановлюється максимально можливе значення, тобто  $10^{n-1}$ , де  $n$  – кількість цифр на дисплеї.

На рис. 2 наведені графіки залежності реальної частоти  $f$  та показів приладу  $f_r$  від тривалості періоду сигналу  $T$ .

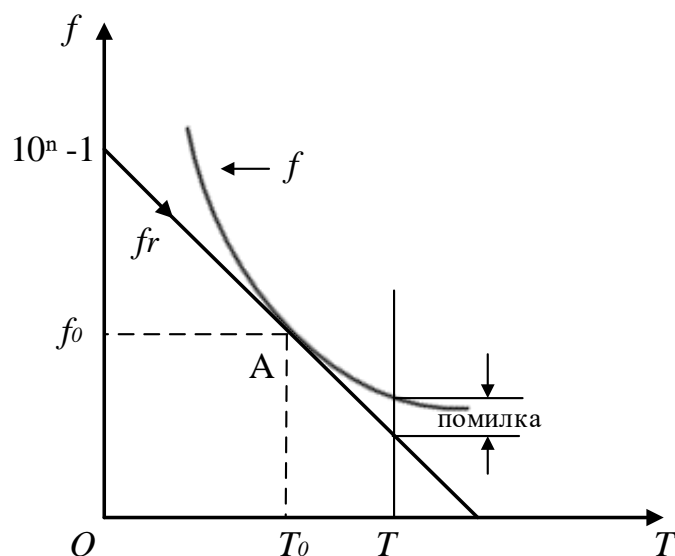


Рисунок 2 – Залежності частоти  $f$  та показів  $f_r$  від тривалості періоду  $T$

Покази на дисплеї близькі до реальної частоти сигналу лише при безпосередній близькості від номінальної. Даний метод вимірювань є достатньо точним лише у вузькій полосі навколо номінальної частоти, при цьому величина помилки вимірювання значно менша, аніж в попередньому методі.

Метод зворотного рахунку полягає у створенні лінійної апроксимації до реальної залежності  $f=1/T$  такої, щоб її значення та нахил в точці  $(T_0, f_0)$  співпадали зі значенням та нахилом кривої  $f(T)$ . Рівняння такої прямої має вигляд:

$$f = -\frac{1}{T_0^2}T + 2f_0 \quad (4)$$

Робота даного методу починається з формування інтервалу вимірювання, який буде визначати швидкість оновлення показань і похибки вимірювання (чим більше інтервал, тим похибка менше). Сам інтервал можна формувати приблизно, можна навіть не використовувати для його формування опорну частоту. Після початку вимірювального інтервалу по найближчому фронту вхідного сигналу починає формуватися інтервал рахунку. Протягом цього інтервалу виконується рахунок вхідних імпульсів  $f$  і імпульсів опорної частоти  $f_0$ . Для цього потрібні два лічильника. Після закінчення вимірювального інтервалу по найближчому фронту вхідного сигналу завершується інтервал рахунку. При цьому рахунок вхідних імпульсів і імпульсів опорної частоти припиняється і виходячи з відношення кількості імпульсів вхідної частоти та опорної виконується розрахунок [3].

На рис. 3 показана істинна крива  $f(T)$  та її лінійна апроксимація  $f_r(T)$ . Рахунок імпульсів має вестися зі значення  $2f_0/R$ .

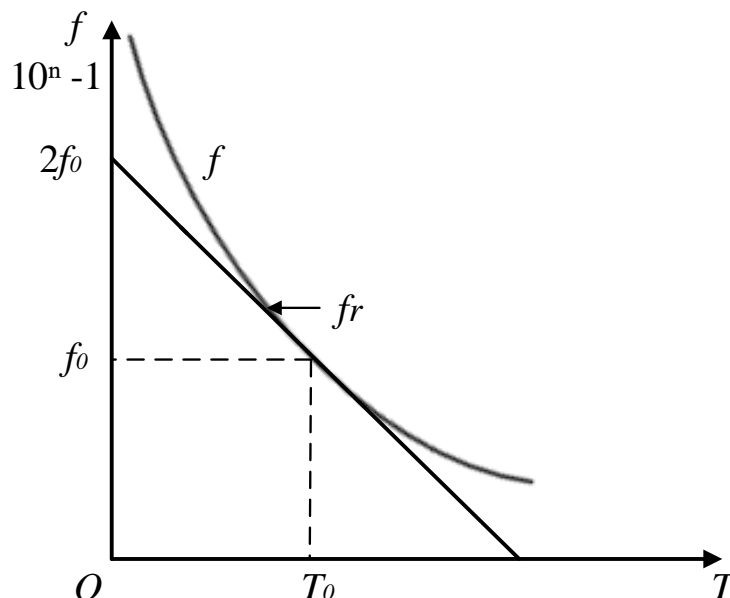


Рисунок 3 – Залежності  $f(T)$  та  $f_r(T)$  при  $2f_0 < (10^{n-1})R$

Точність даного методу набагато вища за точність методу прямого рахунку, але частотоміри, побудовані на даному методі мають низьку роздільну

здатність, підвищення якої дорого коштує, тому встановлення таких частотомірів на кожен фазу мережі є недоцільним з економічної точки зору.

Метод вимірювання частоти синусоїдального сигналу на основі формування додаткових напруг полягає у формуванні двох додаткових сигналів напруги, зсунутих по фазі на кути  $\Delta\alpha$  і  $2\Delta\alpha$  відносно вхідного, і виявленні переходів додаткових сигналів через нуль. Причому в момент переходу другої додаткової напруги, зрушеного відносно вхідного на  $2\Delta\alpha$ , вимірюють перше миттєве значення вхідної напруги. У момент переходу першого додаткової напруги, зрушеної відносно вхідного на  $\Delta\alpha$ , вимірюють друге миттєве значення вхідної напруги. Через зразковий інтервал часу  $\Delta t$  вимірюють третє миттєве значення вхідного сигналу. Частоту визначають по виміряним миттєвим значенням.

Часові діаграми, якими можна пояснити цей метод наведені на рис. 4.

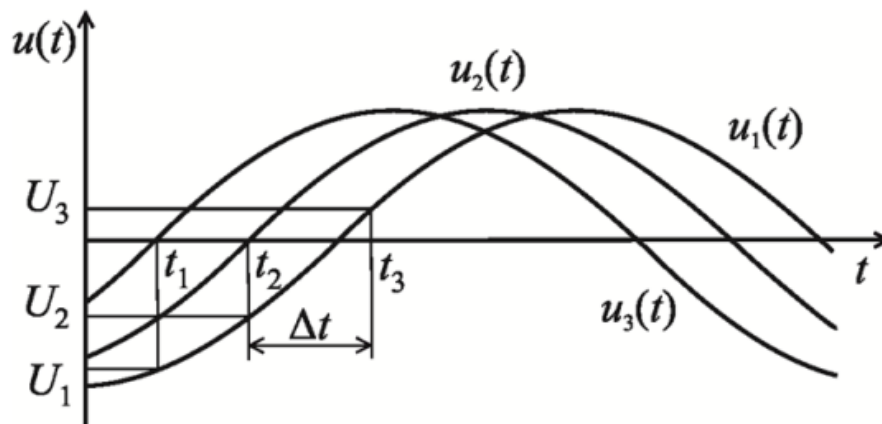


Рисунок 4 – Часові діаграми, що пояснюють метод

Для вхідного гармонійного сигналу  $u_1(t) = U_m \sin \omega t$  додаткові сигнали мають наступний вигляд:  $u_2(t) = U_m \sin(\omega t + \alpha)$ ;  $u_3(t) = U_m \sin(\omega t + 2\alpha)$ , де  $U_m$  – це амплітудне значення напруги;  $\omega$  – кутова частота.

В момент переходу другого додаткового сигналу через нуль (момент часу  $t_1$ ) миттєве значення вхідної напруги буде дорівнювати  $U_1 = U_m \sin(-\alpha)$ .

В момент часу  $t_2$ , коли перший додатковий сигнал переходить через нуль, миттєве значення вхідної напруги має вигляд  $U_2 = U_m \sin(-2\alpha)$ .

Через зразковий інтервал часу  $\Delta t$  (момент часу  $t_3$ ) миттєве значення вхідного сигналу буде дорівнювати  $U_3 = U_m \sin(\omega t - \alpha)$  [4].

Використовуючи миттєві значення напруги можна визначити частоту сигналу наступним чином:

$$f = \frac{1}{2\pi t} \arcsin \left\{ \frac{\sqrt{4U_2^2 - U_1^2} \left( \sqrt{4U_2^2 - U_3^2} (4U_2^2 - U_1^2) - U_1 U_3 \right)}{4|U_2^3|} \right\} \quad (5)$$

Недоліками даного методу є можливість появи кутової похибки, що обумовлена відмінністю кутів зсуву фаз, а також неможливість його використання в однофазних системах, так як даний метод передбачує наявність трьох сигналів, але якраз в мережах з трьома фазами даний метод найбільш доцільніше використовувати.

**Висновки.** В даній статті було проведено аналіз методів вимірювання частоти синусоїдального сигналу в мережі таких, як методи прямого та зворотного рахунків, метод імпульсів, що доповнюють та метод вимірювання частоти синусоїдального сигналу на основі формування додаткових напруг. Перший з них є найпростішим та швидкодіючим, але його похибка є занадто великою для прямого застосування в електромережах.

Метод імпульсів, що доповнюють має більшу точність, але він має великий недолік – помилку вимірювань, яка є неприпустимою при використанні в електричних мережах.

Метод зворотного рахунку, при наявності досить високої точності, має низьку роздільну здатність, тому не завжди може реагувати на невеликі зміни частоти. Частотоміри, влаштовані на одному з цих трьох методів необхідно встановлювати на кожній з фаз, що впливає на вартість установки. Більш економічним є метод вимірювання частоти синусоїдального сигналу на основі формування додаткових напруг, так як він працює на основі трьох синусоїдальних сигналів, тобто необхідно встановити лише один такий частотомір. Також даний метод має досить високу точність та швидкодію.

#### **Перелік посилань**

1. Рахтор Т.С. Цифровые измерения. : Техносфера, 2006. – 350 с.
2. Д.В. Лаптев, Измерение частоты следования импульсов электрических сигналов методом совпадения, 2014.
3. В.М. Литвиненко, Г.Г. Дощенко, Н.А. Самойлов, Аналіз методів вимірювання частоти, 2017.
4. В.С. Мелентьев, Е.Е. Ярославкина. Повышение точности измерения частоты гармонических сигналов, 2015.