

УДК 621.317.7

М. Й. Бурбело, д. т. н., проф.;

М. В. Кузьменко;

М. В. Никитенко, студ.

СПОСІБ ВИМІРЮВАННЯ ПАРАМЕТРІВ НЕСИМЕТРІЇ НАВАНТАЖЕНЬ ВУЗЛІВ ЕЛЕКТРИЧНИХ МЕРЕЖ

Запропоновано метод підвищення точності та швидкодії вимірювання параметрів несиметрії навантажень, який оснований на інтегруванні суми або різниці добутків миттєвих значень величин, які за умови відсутності несиметрії або несинусоїдності не залежать від часу

Розгляд проблеми

В несиметричних режимах трифазні електричні навантаження характеризують комплексними повною та пульсувальною потужностями [1–3]

$$\underline{S} = P + jQ = 3 \left(\dot{U}_1 \dot{I}_1 + \dot{U}_2 \dot{I}_2 + \dot{U}_0 \dot{I}_0 \right);$$

$$\underline{N} = N_a + jN_r = 3 \left(\dot{U}_2 \dot{I}_1 + \dot{U}_1 \dot{I}_2 + \dot{U}_0 \dot{I}_0 \right),$$

де $\dot{U}_1, \dot{U}_2, \dot{U}_0; \dot{I}_1, \dot{I}_2, \dot{I}_0$ — комплексні напруги та струми відповідно прямої, зворотної та нульової послідовностей; $\dot{I}_1^*, \dot{I}_2^*, \dot{I}_0^*$ — комплексні спряжені струми відповідних послідовностей, P, Q — активна та реактивна потужності, N_a, N_r — активна та реактивна складові пульсувальної послідовності.

Комплексна повна потужність \underline{S} відображає споживання електричної енергії, а комплексна пульсувальна потужність \underline{N} інтегрально характеризує несиметрію трифазної системи за зворотною та нульовою послідовностями.

В [4] розглянуто методи вимірювання параметрів несиметрії напруг і струмів. Однак їх швидкодія перевищує період напруги живлення, що в багатьох випадках є недостатнім. Зокрема, для керування статичними тиристорними компенсаторами час вимірювання не повинен перевищувати половини періоду напруги живлення [5].

Мета роботи полягає у підвищенні швидкодії вимірювання параметрів несиметрії навантажень.

Обґрунтування результатів

Для забезпечення більш високої швидкодії вимірювання синфазної та квадратурної складових комплексних величин в приладах фірми Жемон–Шнейдер використано вираз [6]

$$UI \sin \phi = U \sin(\omega t) I \sin \left[\frac{\pi}{2} - (\omega t - \phi) \right] - U \sin \left[\frac{\pi}{2} - \omega t \right] I \sin(\omega t - \phi),$$

де U, I — діючі значення напруги та струму; ϕ — кут зсуву фаз між напругою і струмом; ω — кругова частота напруги живлення. Використання цього алгоритму забезпечує неперервний відлік вимірюваної величини протягом періоду без інтегрування. Можливість неперервного отримання значення реактивної потужності вказує на високу швидкодію цього методу. Аналогічний вираз можна отримати і для активної потужності.

У трифазній електричній системі вирази для отримання поточних значень активної та реактивної потужностей можна подати у вигляді

$$P = 1,5k(u_\alpha(t)i_\alpha(t) + u_\beta(t)i_\beta(t)); \quad Q = 1,5k(u_\alpha(t)i_\beta(t) - u_\beta(t)i_\alpha(t)), \quad (1)$$

де $u_\alpha, u_\beta, i_\alpha, i_\beta$ — ортогональні складові напруг та струмів трифазної системи; k — масштабний коефіцієнт переходу від миттєвих величин до потужностей.

Недоліком методу є невисока точність за умов несиметрії та несинусоїдності напруг і струмів. На рис. 1 показано залежності поточних значень активної та реактивної потужностей за несиметрії струму навантаження.

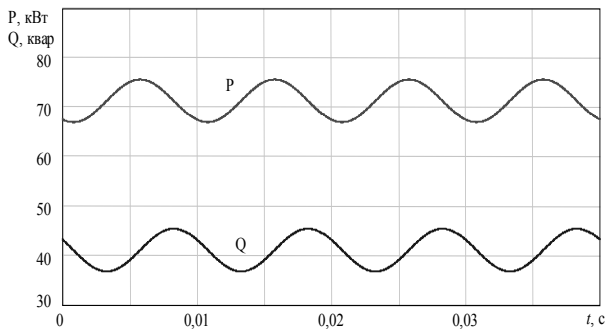


Рис. 1. Поточні значення активної та реактивної потужностей, що визначені з формул (1), за умови несиметрії струмів навантаження

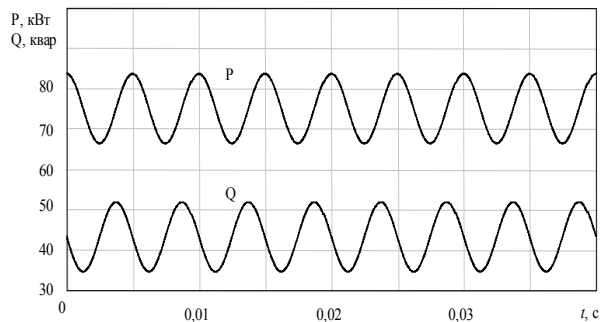


Рис. 2. Поточні значення активної та реактивної потужностей, що визначені з формул (1), за умови несинусоїдності кривої струмів

Комп'ютерне моделювання виконано за несиметричної системи струмів навантаження $\dot{I}_{\alpha(1)} = 5e^{-j30^\circ}$, $\dot{I}_{\beta(1)} = 4,5e^{-j120^\circ}$ А. Система напруг мережі 10 кВ — симетрична. Як видно з рис. 1, поточні значення вимірювального перетворення активної та реактивної потужностей за формулами (1) містять періодичну складову з частотою 100 Гц.

На рис. 2 показані результати моделювання цього алгоритму у вигляді залежностей поточних значень активної та реактивної потужностей за несинусоїдності струму. Під час моделювання досліджено випадок із вмістом п'ятої гармоніки з амплітудою, що складає 10 % від амплітуди основної гармоніки. Поточні значення результатів вимірювального перетворення активної та реактивної потужностей за формулою (1) містять періодичну складову з частотою 200 Гц.

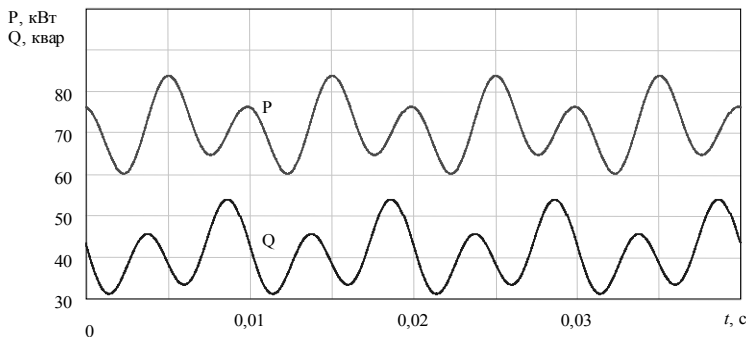


Рис. 3. Поточні значення активної та реактивної потужностей, що визначені з формули (1), за умови несиметрії та несинусоїдності струмів навантаження

Залежності поточних значень активної та реактивної потужностей за несиметрії та несинусоїдності струму навантаження (рис. 3) побудовано за несиметричної системи струмів навантаження основної гармоніки:

$$\dot{I}_{\alpha(1)} = 5e^{-j30^\circ}, \quad \dot{I}_{\beta(1)} = 4,5e^{-j120^\circ} \text{ А}$$

— та наявності симетричної системи струмів п'ятої гармоніки:

$$\dot{I}_{\alpha(5)} = 0,5e^{-j0^\circ}, \quad \dot{I}_{\beta(5)} = 0,5e^{-j90^\circ} \text{ А}$$

Поточні значення результатів вимірювального перетворення активної та

реактивної потужностей за формулами (1) містять періодичні складові з частотами 100 і 200 Гц.

Точність може бути істотно підвищена зі збереженням швидкодії, якщо для вимірювання активної та реактивної потужності використати спосіб, який полягає в інтегруванні суми та різниці добутоків миттєвих значень величин

$$P(t) = \frac{1,5}{T/2} \int_{t-T/2}^t (u_\alpha i_\alpha + u_\beta i_\beta) dt; \quad Q(t) = \frac{1,5}{T/2} \int_{t-T/2}^t (u_\beta i_\alpha - u_\alpha i_\beta) dt. \quad (2)$$

Аналогічно можна визначити активну та реактивну складові пульсувальної потужності, які характеризують несиметрію трифазної системи за зворотною послідовністю, з формул

$$N_a(t) = \frac{1,5}{T/2} \int_{t-T/2}^t (u_\alpha i_\alpha - u'_\beta i'_\beta) dt; \quad N_r(t) = \frac{1,5}{T/2} \int_{t-T/2}^t (u_\beta i'_\beta - u'_\alpha i_\alpha) dt, \quad (3)$$

де ' — означає виконання операції інтегрування.

Похибки визначення потужностей на основній гармоніці за тих же струмів навантаження в мережі напругою 10 кВ такі:

$$\Delta P_{(1)} = 71,18 - 71,25 = -0,07 \text{ кВт}; \quad \Delta Q_{(1)} = 41,10 - 41,14 = -0,04 \text{ кВар};$$

$$\Delta N_{a(1)} = 3,752 - 3,75 = 0,002 \text{ кВар}; \quad \Delta N_{r(1)} = 2,163 - 2,165 = -0,002 \text{ кВар}.$$

Отже, запропонований спосіб визначення складових пульсувальних потужностей характеризується практичною незалежністю результатів від вмісту вищих гармонік, що є однією з його переваг. Це пояснюється тим, що на поточні значення підінтегральних виразів формул (3), не впливають симетричні складові вищих гармонік, а коливання складових пульсувальної потужності відбувається з частотою 100 Гц (рис. 4).

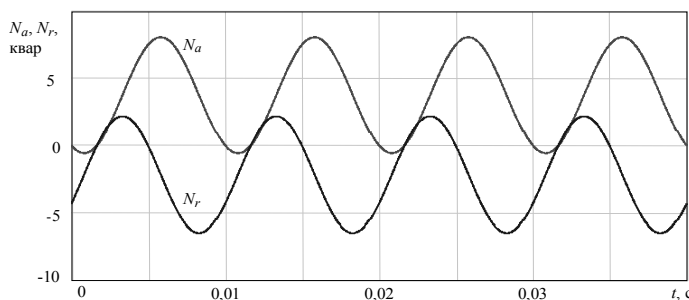


Рис. 4. Поточні значення підінтегральних виразів формул (3) за умов несиметрії та несинусоїдності струму навантаження

Водночас, як видно з рис. 4, амплітуда коливань складових пульсувальних потужностей досить велика, що дещо знижує швидкість отримання інформації за цим способом. Швидкості можна визначити за перехідною характеристикою ідеалізованих неінерційних вимірювальних каналів. Перехідні характеристики неінерційного каналу для величин P , Q , в основу реалізації якого покладено формули (2), зображено на рис. 5, а для N_a , N_r , в основу реалізації якого покладено формули (3), —

на рис. 6. Перехідний процес закінчується за пів періоду напруги живлення, після чого встановлюється усталений режим, в якому результати вимірювань не залежать від часу.

Швидкості наростання вихідних величин можна апроксимувати прямими

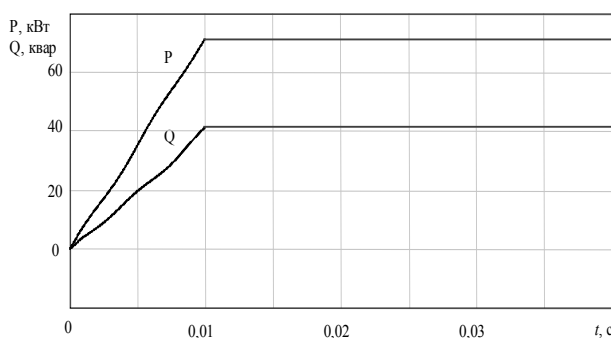


Рис. 5. Перехідні характеристики неінерційних вимірювальних каналів активної та реактивної потужностей

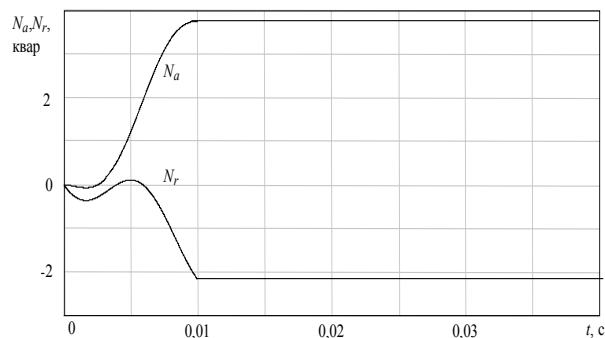


Рис. 6. Перехідні характеристики неінерційних вимірювальних каналів складових пульсувальної потужності

$$\delta P \approx \frac{P_y}{T/2}; \quad \delta Q \approx \frac{Q_y}{T/2}; \quad \delta N_a \approx 0 \left(\frac{T}{4} \right) + \frac{N_{ay}}{T/4} \left(\frac{T}{4} \right); \quad \delta N_r \approx 0 \left(\frac{T}{4} \right) + \frac{N_{ry}}{T/4} \left(\frac{T}{4} \right),$$

де P_y , Q_y , N_{ay} , N_{ry} — усталені значення накидів навантаження; T — період напруги живлення.

Затримка в часі на чверть періоду напруги живлення для величин N_a , N_r показує, що для запропонованого способу визначення пульсувальних потужностей реальною є швидкість $T/2$.

Висновки

Запропоновано спосіб вимірювання параметрів несиметрії навантажень, який оснований на інтегруванні суми або різниці добутків миттєвих значень величин, які за умови відсутності несиметрії або спотворення синусоїдності кривої напруг та струмів не залежать від часу. Застосування

способу дає змогу зменшити час вимірювання несиметричного навантаження до половини періоду напруги живлення.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Мельников Н. А. Реактивная мощность в электрических сетях / Н. А. Мельников. — М. : Энергия, 1975. — 128 с.
2. Шидловский А. К. Повышение качества энергии в электрических сетях / А. К. Шидловский, В. Г. Кузнецов. — К. : Наукова думка, 1985. — 268 с.
3. Кузнецов В. Г. Снижение несимметрии и несинусоидальности напряжений в электрических сетях / В. Г. Кузнецов, А. С. Григорьев, В. Б. Данилюк. — К. : Наукова думка, 1992.—240 с.
4. Качество электрической энергии в системах электроснабжения : учебное пособие / А. Г. Баталов, О. Г. Гриб, Г. А. Сендерович [и др.]. ; под ред. О. Г. Гриба. — Харьков : ХНАГХ, 2006. — 272 с.
5. Варецкий Ю. О. Режимы электрических сетей и систем электропитания с статическими тиристорными компенсаторами (методология анализа): дис. ... докт. техн. наук: 05.14.02 / Ю. О. Варецкий. — Львів, 1999. — 301 с.
6. Солодухо Я. Ю. Тенденции компенсации реактивной мощности. Ч. 2. Методы и средства компенсации реактивной мощности / Я. Ю. Солодухо // Электротехническая промышленность. Сер. 05. Полупроводниковые силовые приборы и преобразователи на их основе: Обзор. информ. — М. : Информэлектро, 1988. — Вып. 21. — 49 с.

Рекомендована кафедрою електротехнічних систем електроспоживання та енергетичного менеджменту

Надійшла до редакції 2.07.08
Рекомендована до друку 20.09.08

Бурбело Михайло Йосипович — завідувач кафедри електротехнічних систем електроспоживання та енергетичного менеджменту.

Никитенко Максим Васильович — студент Інституту магістратури, аспірантури та докторантури.

Вінницький національний технічний університет

Кузьменко Марина Василівна — інженер ВАТ «АК Вінницяобленерго»