

УДК 621.317.73:621.3.018.3

М.Й. Бурбело, О.М. Кравець

Вінницький державний технічний університет, кафедра ЕСЕС

КВАЗІРІВНОВАЖЕНІ ВИМІРЮВАЛЬНІ ПЕРЕТВОРЮВАЧІ ДЛЯ РЕГУЛЯТОРІВ КОНДЕНСАТОРНИХ УСТАНОВОК, ЩО ЗАСТОСОВУЮТЬСЯ В УМОВАХ НЕСИНУСОЇДНОСТІ

© Бурбело М.Й., Кравець О.М., 2002

Запропоновані квазірівноважені вимірювальні перетворювачі для регуляторів конденсаторних установок, що призначені для застосування в електричних мережах промислових підприємств з великим вмістом вищих гармонік.

Quasi-balanced measuring converters for regulators of condenser installations are offered in this paper. It is destined for use in industrial enterprises power networks with great content of higher harmonics.

При наявності вищих гармонік в електричних мережах вимоги до вимірювальних перетворювачів регуляторів конденсаторних установок зростають [1]. У зв'язку з цим актуальною є розробка вимірювальних пристроїв зрівноважувального перетворення, що можуть забезпечити вимірювання параметрів, які несуть повнішу інформацію про режими споживання реактивної енергії в умовах несинусоїдності.

В [2] показано, що при наявності вищих гармонік в напрузі живлення провідність конденсаторних установок необхідно вибирати з умови

$$b_K = \frac{\sum_{n=1}^{\infty} Q_n \cdot n}{\sum_{n=1}^{\infty} U_n^2 \cdot n^2}, \quad (1)$$

де Q_n – реактивна потужність навантаження трифазного споживача на n -й гармоніці; U_n – діюче значення n -ї гармонічної складової лінійної напруги.

Під ємнісною провідністю конденсаторної установки в цьому випадку розуміється сума ємнісних провідностей конденсаторів всіх трьох її фаз, увімкнених в трикутник, на промисловій частоті (частоті основної гармоніки $n = 1$).

При такому законі керування забезпечується мінімальне діюче значення струму i , відповідно, мінімальні втрати потужності в елементах електропередачі.

Разом з тим, керування за критерієм (1) не враховує вартості споживаної реактивної енергії, що в деяких випадках може призвести до економічних збитків внаслідок значного переважання вартості споживаної реактивної енергії над економією на втратах енергії в елементах системи електропостачання.

Для повної компенсації реактивної потужності в умовах несинусоїдності провідність конденсаторних установок необхідно вибирати такою, що дорівнює провідності

$$b_C = \frac{\sum_{n=1}^{\infty} Q_n}{\sum_{n=1}^{\infty} U_n^2}. \quad (2)$$

У цьому випадку вартість споживаної реактивної енергії буде найменшою.

Недоліком керування за критерієм (2) є значно більша імовірність виникнення перекомпенсації реактивної потужності внаслідок випадкового характеру змін навантаження і дискретності регулювання конденсаторних установок. Крім того реалізація вимірювальних пристроїв у цьому випадку є досить складним завданням [3].

Близькою за значенням до b_C є провідність

$$b'_C = \frac{\sum_{n=1}^{\infty} Q_n/n}{\sum_{n=1}^{\infty} U_n^2}. \quad (3)$$

Використання умови (3) практично не призводить до перекомпенсації реактивної потужності ($b'_C < b_C$), забезпечуючи при цьому мінімальне споживання реактивної енергії ($b'_C > b_K$). При відсутності вищих гармонік $b_K = b'_C = b_C$.

Принципи побудови квазірівноважених компенсаційно-мостових кіл для вимірювання параметрів спектральних опорів викладені в [3]. На їх основі розроблені квазірівноважені вимірювальні перетворювачі для регуляторів конденсаторних установок, які можна застосувати при значному вмісті вищих гармонік.

На рис. 1 зображені структурні схеми вимірювальних перетворювачів, що забезпечують керування конденсаторними установками відповідно до критерію (1) мінімуму втрат (рис. 1, а) і критерієм (3), що наближений до економічно вигідного критерію за вартістю споживаної реактивної енергії (рис. 1, б).

Вимірювальні перетворювачі складаються з пристрою підсумовування ПП, фазочутливого перетворювача ФП, компаратора напруги КН, цифрового подільника напруги ЦПН, перемикача П, регістра послідовного наближення РПН, генератора тактових імпульсів ГТІ, диференціатора Д або інтегратора І.

При дії в мережі несинусоїдних напруг і струмів на входи вимірювальних перетворювачів надходять напруги u_1 та u_2 , які пропорційні відповідно напрузі та струму однойменної фази (наприклад, фази А)

$$u_1 = k_U \sum_{n=1}^{\infty} \sqrt{2} U_{An} \sin(n\omega t + \psi_{An}) ; \quad u_2 = k_I \sum_{n=1}^{\infty} \sqrt{2} I_{An} \sin(n\omega t + \psi_{An} - \phi_{An}) , \quad (4)$$

де k_I , k_U – коефіцієнти передачі вхідних кіл напруги та струму; U_{An} – діюче значення n -ї гармонічної складової напруги фази А; ψ_{An} – початкова фаза n -ї гармонічної складової напруги фази А; I_{An} , ϕ_{An} – діюче значення струму та кут зсуву фаз між напругою та струмом фази А на n -й гармоніці.

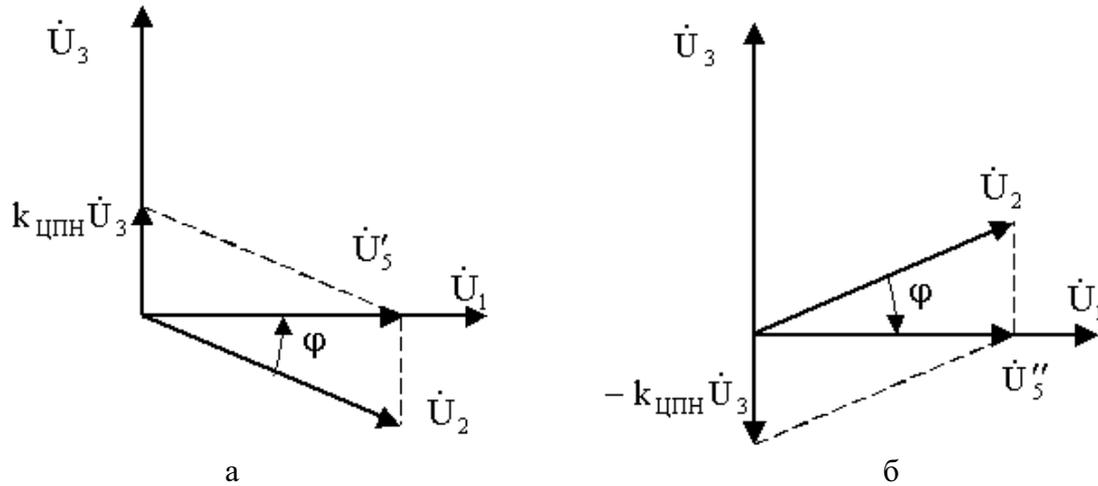


Рис. 2. Векторні діаграми напруг першої гармоніки для перетворювача (рис. 1, а)

При наявності вищих гармонік напруга на виході фазочутливого перетворювача

$$U_{\Phi\Pi} = \frac{1}{T} \int_0^T \left[k_I \sum_{n=1}^{\infty} \sqrt{2} I_{An} \sin(n\omega t + \psi_{An} - \varphi_{An}) + k_{\text{ЦПН}} k_U \sum_{n=1}^{\infty} \sqrt{2} n U_{An} \cos(n\omega t + \psi_{An}) \right] \times \\ \times k_U \sum_{n=1}^{\infty} \sqrt{2} n U_{An} \cos(n\omega t + \psi_{An}) dt . \quad (6)$$

Коефіцієнт передачі $k_{\text{ЦПН}}$ змінюється доти, поки $U_{\Phi\Pi}$ не почне дорівнювати нулю. У цей момент

$$k_I \sum_{n=1}^{\infty} n U_{An} I_{An} \sin \varphi_{An} = k_{\text{ЦПН}} k_U \sum_{n=1}^{\infty} n^2 U_{An}^2 , \quad (7)$$

звідки випливає, що

$$b_k = \frac{k_U k_{\text{ЦПН}}}{k_I} . \quad (8)$$

У вимірювальному перетворювачі, що зображений на рис. 1, б, напруга на виході пристрою підсумовування ПП залежно від положення перемикача П буде

$$u'_5 = u_4 + k_{\text{ЦПН}} u_1 ; \quad u''_5 = u_4 - k_{\text{ЦПН}} u_1 , \quad (9)$$

де u_4 – напруга на виході інтегратора І.

Векторні діаграми напруг першої гармоніки зображені на рис. 3, а (при додатному куті зсуву фаз) і на рис. 3, б (при від'ємному куті зсуву фаз).

З векторних діаграм випливає, що алгоритм роботи вимірювального перетворювача аналогічний розглянутому вище.

При наявності вищих гармонік напруга на виході ФП

$$U_{\Phi\Pi} = \frac{1}{T} \int_0^T \left[-k_I \sum_{n=1}^{\infty} \sqrt{2} \frac{1}{n} I_{An} \cos(n\omega t + \psi_{An} - \varphi_{An}) + k_{\text{ЦПН}} k_U \sum_{n=1}^{\infty} \sqrt{2} U_{An} \sin(n\omega t + \psi_{An}) \right] \times \\ \times k_U \sum_{n=1}^{\infty} \sqrt{2} U_{An} \sin(n\omega t + \psi_{An}) dt . \quad (10)$$

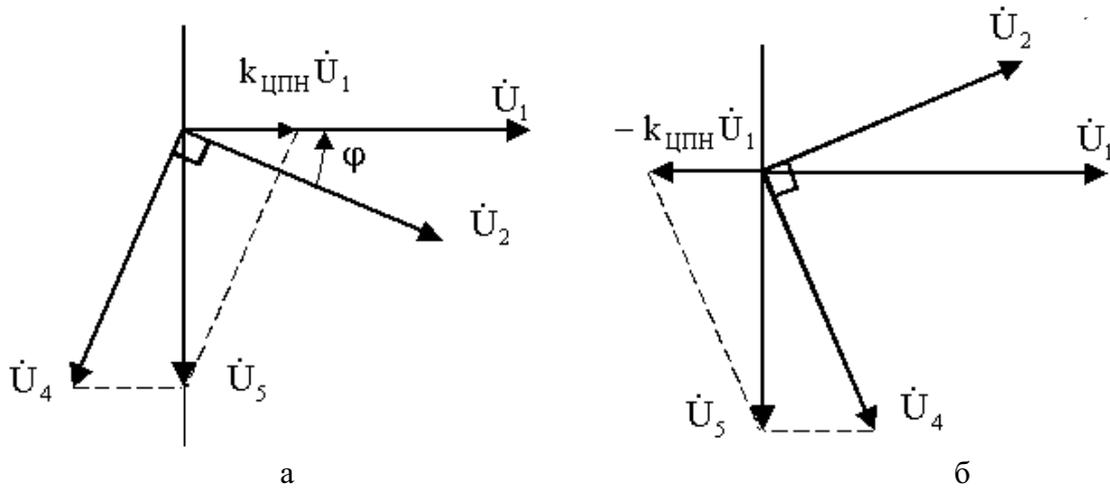


Рис. 3. Векторні діаграми напруг першої гармоніки для перетворювача (рис. 1, б)

Коефіцієнт передачі змінюється до тих пір, поки $U_{ФП}$ не почне дорівнювати нулю. У цей момент

$$k_I \sum_{n=1}^{\infty} \frac{1}{n} U_{An} I_{An} \sin \varphi_{An} = k_{ЦПН} k_U \sum_{n=1}^{\infty} U_{An}^2. \quad (11)$$

звідки випливає, що

$$b'_C = \frac{k_U k_{ЦПН}}{k_I}. \quad (12)$$

Вимірювальні перетворювачі характеризуються достатньо високою точністю, оскільки використовується метод зрівноважувального перетворення. В цьому випадку на результат вимірювання не впливає точність фазочутливого перетворювача, який є найскладнішим і найвідповідальнішим елементом подібних пристроїв. Пояснюється це тим, що фазочутливий перетворювач використовується як детектор і в момент досягнення стану квазірівноваги напруга на його виході дорівнює нулю. Цифровий подільник напруги реалізований на інтегральній мікросхемі КР572ПВ1 при її роботі в режимі цифро-аналогового перетворювача, яка має достатньо високі метрологічні характеристики після підстроювання каналів при максимальному коефіцієнті передачі.

На результат вимірювання не впливає нестабільність промислової частоти мережі, оскільки провідність конденсаторної установки і коефіцієнт передачі диференціатора змінюються від частоти прямо пропорційно, а коефіцієнт передачі інтегратора – обернено пропорційно, взаємно компенсуючи зміну параметрів.

Ще однією перевагою вимірювальних перетворювачів є вибір інформативного параметра, який обернено пропорційний до квадрата напруги. У цьому випадку одночасно забезпечується і регулювання напруги.

Вимірювальні перетворювачі після незначного ускладнення можуть бути об'єднані. Це дозволить забезпечити формування сигналу керування за двома вимірними параметрами з різними ваговими коефіцієнтами, наприклад, у вигляді

$$b = \alpha_1 b_K + \alpha_2 b'_C \text{ або } b = b'_C \pm \alpha_3 (b'_C - b_K),$$

де $\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3$ – вагові коефіцієнти.

Вибір вагових коефіцієнтів залежить від умов оплати за реактивну енергію, графіка навантаження, активного опору елементів електропередачі.

Вимірювальні перетворювачі можна реалізувати в трифазному варіанті. Це дозволить використовувати їх при несиметричних несинусоїдних режимах.

Висновки

Розглянуто квазірівноважені вимірювальні перетворювачі для регуляторів конденсаторних установок, що застосовуються в мережах з високим вмістом вищих гармонік. Вимірювальні перетворювачі забезпечують отримання інформації, необхідної для керування відповідно до критерію мінімуму втрат активної енергії або критерієм, що наближений до економічно вигідного за вартістю споживаної реактивної енергії.

Перевагами перетворювачів також є висока точність вимірювань, незалежність результатів вимірювань від нестабільності промислової частоти; врахування відхилень напруги в даному вузлі мережі.

1. Жежеленко И.В. *Высшие гармоники в системах электроснабжения предприятий.* – М., 2000. – 331с. 2. Карпов Е.А. *К расчету компенсирующих устройств в электрических цепях // Теоретическая электротехника.* – Львов, 1972. – Вып. 14. – С. 131–136. 3. Штамбергер Г.А. *Измерения в цепях переменного тока (методы уравнивания)* / Под ред. К.Б. Карандеева. – Новосибирск, 1972. – 164 с.

УДК 621.316.761.2

Ю.О. Варецький

Національний університет “Львівська політехніка”, кафедра ЕМС

ГАРМОНІКИ СТРУМУ ВВІМКНЕННЯ ТРАНСФОРМАТОРА В ЕЛЕКТРОПОСТАЧАЛЬНИХ СИСТЕМАХ

© Варецький Ю.О., 2002

У статті проаналізовані гармонічні процеси під час увімкнення трансформаторів у електропостачальних системах. Показано особливості їх протікання у випадку застосування засобів компенсації реактивної потужності. Подано характеристику основних факторів впливу на ці процеси, що дозволяє краще зрозуміти супроводжувальні явища.

The paper studies harmonic processes under switching transformers into power supply systems. The process features in case of reactive power compensation are shown. It is presented description of key factors affecting the processes, that allows to better understand the accompanied phenomena.

Аналіз проблеми

Під час увімкнення трансформатора виникають перехідні струми, котрі прийнято називати струмами увімкнення трансформатора [1–4]. Ці перехідні струми можуть досягати значних величин, часто 6–8 кратних значень відносно номінального струму трансформатора