

ВИМІРЮВАЛЬНІ КАНАЛИ ДЛЯ УСТАНОВОК ДИНАМІЧНОЇ КОМПЕНСАЦІЇ РЕАКТИВНОЇ ПОТУЖНОСТІ ТА СИМЕТРУВАННЯ НАВАНТАЖЕНЬ

© Бурбело М.Й., Бабенко О.В., Никитенко М.В., 2010

Запропоновано варіанти структурних схем вимірювального каналу швидкодіючої системи симетрування навантажень.

Ключові слова: симетрування навантажень, реактивна потужність, мікроконтролер, ортогональні складові напруги.

Variants of block diagrams for measuring channel of high operating system of balancing plants are proposed.

Keywords: *simetrivannya loadings, reactive-power, microcontroller, ortogonal constituents of tension.*

Вступ

Динамічна компенсація реактивної потужності є дуже поширеною технологією взаємодії джерел і споживачів електроенергії, спрямованою на забезпечення нормальних рівнів напруги, зниження аварійності основного обладнання, підвищення надійності електропостачання споживачів. Часто споживання реактивної потужності по фазах неоднакове, тому одночасно необхідно вирішувати проблему несиметрії навантажень, які спричинюють появу несиметрії напруг в електричній мережі, значення якої є нормованим згідно з чинними стандартами.

Як інформативний параметр в компенсаційних установках симетрування навантажень рекомендується [1] використовувати зворотну складову пульсуючої потужності $\underline{N}_2 = 3\mathcal{U}_1^* I_2$. Формування вектора керування можна здійснювати у вигляді [2, 3]

$$\begin{aligned} b_{BC} &= \frac{1}{3}[b_1 - 2b'_2]; \\ b_{CA} &= \frac{1}{3}[b_1 + b'_2 - \sqrt{3}g'_2]; \\ b_{AB} &= \frac{1}{3}[b_1 + b'_2 + \sqrt{3}g'_2], \end{aligned} \quad (1)$$

де b_{BC}, b_{CA}, b_{AB} – провідності секцій конденсаторних батарей, що забезпечують повну компенсацію реактивної потужності і одночасно симетрування навантажень; $b_1 = Q/U^2$ – реактивна провідність прямої послідовності трифазного навантаження (тут Q – реактивна потужність трифазного навантаження, U – діюче значення лінійної напруги мережі); $g'_2 = \text{Re}(\underline{S}'_2/U^2)$, $b'_2 = \text{Im}(\underline{S}'_2/U^2)$ – активна та реактивна умовні провідності зворотної послідовності трифазного навантаження (тут \underline{S}'_2 – комплексна умовна потужність зворотної послідовності трифазного навантаження $\underline{S}'_2 = 3\mathcal{U}_1^* I_2$, а \mathcal{U}_1^* , I_2 – комплексні напруга прямої та спряжений струм зворотної послідовностей трифазного навантаження. За симетричної системи напруг $\underline{S}'_2 = \underline{N}_2$).

Отримані значення провідностей фаз конденсаторної установки у разі їх увімкнення забезпечують повну компенсацію реактивної потужності та одночасно симетрування навантажень.

Для систем динамічної компенсації реактивної потужності час запізнення системи керування не повинен перевищувати половину періоду напруги живлення [4], що вимагає створення швидкодіючих вимірювальних каналів.

У [5] розроблено вимірювальні канали для систем динамічної компенсації реактивної потужності, в яких запропоновано підхід, що оснований на використанні ортогональних миттєвих потужностей. Визначення поточних значень активної та реактивної потужностей здійснюється шляхом інтегрування на ковзному інтервалі часу протягом половини періоду напруги живлення добутків напруг і струмів, поданих в ортогональній системі координат:

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

де $u_{\alpha}, u_{\beta}; i_{\alpha}, i_{\beta}$ – миттєві напруги мережі і струми навантаження в ортогональній системі координат (α, β); T – період напруги живлення.

Перехідний процес для визначення величин $P(t), Q(t)$ закінчується за півперіоду напруги живлення, після чого встановлюється усталений режим, в якому результати вимірювань не залежать від часу, що дає можливість забезпечення високої швидкодії отримання інформації.

Мета роботи

Мета роботи полягає у підвищенні швидкодії отримання інформації про значення потужностей зворотної послідовності для систем динамічної компенсації реактивної потужності, що призначені для застосування у вузлах електричних мереж за значної несиметрії навантажень.

Обґрунтування результатів

Для отримання активної та реактивної умовних потужностей зворотної послідовності пропонується використати інтегральні величини, які формуються аналогічно (2) на ковзному інтервалі часу протягом половини періоду напруги живлення у такому вигляді:

$$P_2(t) = \frac{1,5}{T/2} \int_{t-T/2}^t (u_{\alpha} i_{\alpha} - u_{\beta} i_{\beta}) dt; \quad Q_2(t) = \frac{1,5}{T/2} \int_{t-T/2}^t (u_{\beta} i_{\alpha} + u_{\alpha} i_{\beta}) dt. \quad (3)$$

На рис. 1 зображено структурну схему вимірювального каналу, який складається з трансформатора напруги ТН, трансформаторів струму ТС, перетворювача напруг ПН, перетворювача струмів в напруги ПС, двох перетворювачів потужності ПП1, ПП2, мікроконтролера МК. З використанням трансформатора напруги ТН, перетворювача напруг ПН, трансформаторів струму ТС та перетворювача струмів в напруги ПС формуються ортогональні напруги та струми:

$$u_{\alpha}(t) = \frac{1}{3} (u_{AB}(t) - u_{CA}(t)); \quad u_{\beta}(t) = \frac{1}{\sqrt{3}} u_{BC}(t);$$

$$i_{\alpha}(t) = i_A(t); \quad i_{\beta}(t) = \frac{1}{\sqrt{3}} (i_B(t) - i_C(t)).$$

Перетворювачі потужності формують сигнали, що пропорційні інтегральним виразам активної $P(t)$ та реактивної $Q(t)$ потужностей прямої послідовності, а також активної $P_2(t)$ та реактивної $Q_2(t)$ умовних потужностей зворотної послідовності. Формування цих величин здійснюється на ковзному інтервалі часу тривалістю пів періоду напруги живлення з використанням напруг і струмів в ортогональній системі координат.

Однак, перехідні характеристики вимірювального каналу для величин P_2, Q_2 , в основу реалізації якого покладено формули (3), мають значне перерегулювання (рис. 2), що негативно

впливає на стійкість динамічної системи компенсації реактивної потужності. Хоча, разом з цим, перехідний процес закінчується за півперіоду напруги живлення, після чого встановлюється усталений режим, в якому результати вимірювань майже не залежать від часу, коливання становлять не більше 5 %.

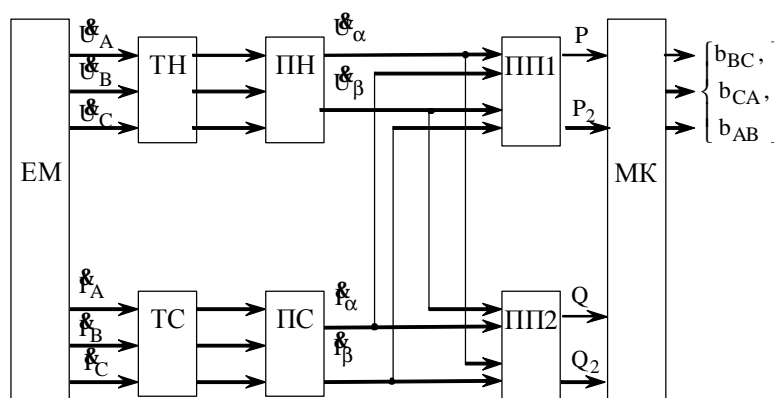


Рис. 1. Структурна схема вимірювального каналу, в якому потужності визначені за формулами (2), (3)

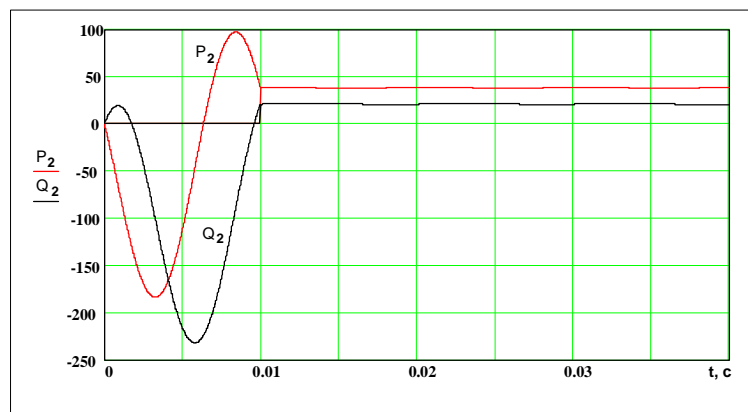


Рис. 2. Перехідні характеристики вимірювального каналу для величин P_2 , Q_2 , визначених за формулою (3)

Вирішенням цієї проблеми може бути використання інтегральних величин, які формуються аналогічно до формул (2), (3) у такому вигляді [6]:

$$\begin{aligned}
 P(t) &= \frac{1,5}{T/2} \int_{t-T/2}^t (u_{\alpha} i_{\alpha} + u_{\delta} i_{\delta}) dt; & Q(t) &= \frac{1,5}{T/2} \int_{t-T/2}^t (u_{\beta} i_{\alpha} - u_{\beta} i_{\delta}) dt; \\
 P_2(t) &= \frac{1,5}{T/2} \int_{t-T/2}^t (u_{\alpha} i_{\alpha} - u_{\delta} i_{\delta}) dt; & Q_2(t) &= \frac{1,5}{T/2} \int_{t-T/2}^t (u_{\beta} i_{\alpha} + u_{\beta} i_{\delta}) dt,
 \end{aligned} \tag{4}$$

де $u_{\delta}(\omega t) = u_{\beta}(\omega t - 90^{\circ})$, $i_{\delta}(\omega t) = i_{\beta}(\omega t - 90^{\circ})$.

Тобто ортогональні складові напруги $u_{\beta}(\omega t)$ та струму $i_{\beta}(\omega t)$ зсуваються на -90 електричних градусів. В результаті, як видно з рис. 3а, б, на якому зображено перехідні процеси за накиду навантаження в момент переходу напруги через нуль – $U_A = \frac{U_n}{\sqrt{3}} \cdot e^{j0 \text{ deg}}$, $I_A = 5 \cdot e^{-j30 \text{ deg}}$, та за зсуву на

$30^\circ - U_A = \frac{U_n}{\sqrt{3}} \cdot e^{j30 \text{ deg}}, I_A = 5 \cdot e^{j0 \text{ deg}}$, стійкість вимірювального каналу істотно підвищується.

Моделювання проводилося за наявності п'ятої (5 %) та сьомої (4 %) гармонік струму, тому можна зробити висновок про незалежність результатів вимірювання від наявності вищих гармонік.

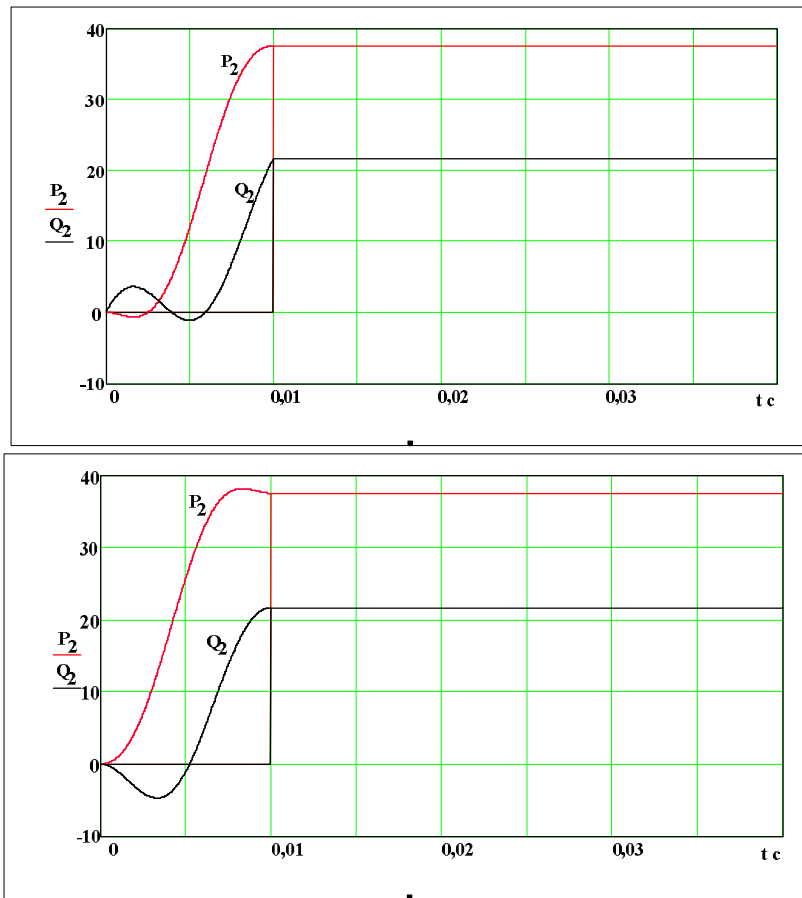


Рис. 3. Перехідні характеристики вимірювального каналу для величин P_2, Q_2 , визначених за формулою (4)

На рис. 4 зображено структурну схему вимірювального каналу, який додатково містить два інтегратори I1, I2, які забезпечують інтегрування та зсув на -90° напруги $u_\beta(\omega t)$, та струму $i_\beta(\omega t)$.

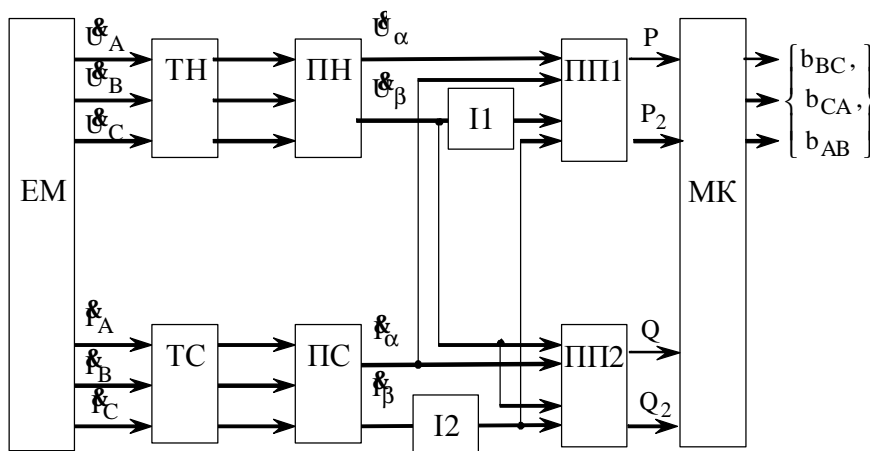


Рис. 4. Структурна схема вимірювального каналу, в якому P_2, Q_2 визначені за формулою (4)

Замість інтеграторів можна використати диференціатори. Тоді вирази (4) набудуть такого вигляду:

$$P(t) = \frac{1,5}{T/2} \int_{t-T/2}^t (u_{\alpha} i_{\alpha} + u_{\delta} i_{\delta}') dt; \quad Q(t) = \frac{1,5}{T/2} \int_{t-T/2}^t (u_{\beta} i_{\alpha} + u_{\beta} i_{\delta}') dt; \quad (5)$$

$$P_2(t) = \frac{1,5}{T/2} \int_{t-T/2}^t (u_{\alpha} i_{\alpha} - u_{\delta} i_{\delta}') dt; \quad Q_2(t) = \frac{1,5}{T/2} \int_{t-T/2}^t (u_{\beta} i_{\alpha} - u_{\beta} i_{\delta}') dt,$$

де $u_{\delta}'(\omega t) = \omega \cdot u_{\beta}(\omega t + 90^{\circ})$, $i_{\delta}'(\omega t) = \omega \cdot i_{\beta}(\omega t + 90^{\circ})$. Структурна схема вимірювального каналу не змінюється. Однак за рахунок диференціювання відбувається підсилення вищих гармонічних складових напруги та струму, що за їх істотного вмісту може призвести до двократного перерегулювання $Q_2(t)$ за наявності п'ятої (5 %) та сьомої (4 %) гармонік струму (рис. 5).

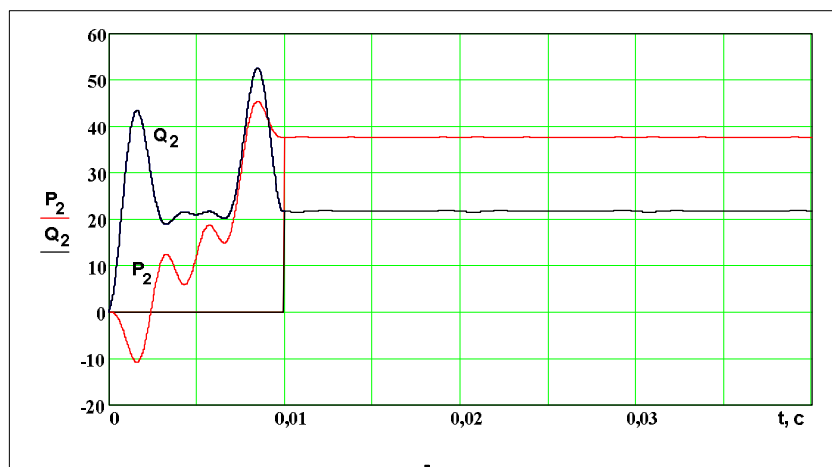


Рис. 5. Перехідні характеристики вимірювального каналу для величин P_2 , Q_2 , що визначені за формулою (5)

Отже, запропонований спосіб вимірювання оснований на використанні ортогональних складових напруги, зсунутих з використанням інтеграторів на -90 електричних градусів, має достатню стійкість і не залежать від наявності вищих гармонік.

Висновки

Отже, системи динамічної компенсації реактивної потужності, які оснащені запропонованим вимірювальним каналом, під час компенсації реактивної потужності у вузлі приєднання несиметричного різкозмінного навантаження здатні одночасно забезпечити і зменшення несиметрії напруг, а швидкодія отримання інформативних параметрів вимірювальних каналів не перевищує половини періоду живлення.

1. Шидловский А. К. Повышение качества энергии в электрических сетях / А.К. Шидловский, В.Г. Кузнецов. – К.: Наук. думка, 1985. – 268 с. 2. Квазікомпенсаційні вимірювальні пристрої для регуляторів реактивної потужності / М.Й. Бурбело, Б.С. Рогальський, В.М. Непійвода, С.І. Вознюк // Енергетика и електрифікація. – 2001. – № 6. – С. 29–33. 3. Бурбело М.Й. Аналіз умов симетрування навантажень з використанням компенсаційних симетрувальних установок / М.Й. Бурбело, М.В. Кузьменко // Енергетика та електрифікація. – 2009. – № 5. – С. 3–6. 4. Варецький Ю.О. Режимы електричних мереж і систем електропостачання зі статичними тиристорними компенсаторами (методологія аналізу): дис. ... д-ра техн. наук / Ю.О. Варецький. – Львів, 1999. – 301 с.

5. Вимірювальні канали для установок динамічної компенсації реактивної потужності / М.Й. Бурбело, О.М. Кравець, М.В. Никитенко, А.В. Гадай // *Енергетика та електрифікація*. – 2008. – № 11. – С. 42–45. 6. Бурбело М.Й. Спосіб вимірювання параметрів несиметрії навантажень вузлів електричних мереж / М.Й. Бурбело, М.В. Кузьменко, М.В. Никитенко // *Вісник ВПІ*. – 2009. – № 3. – С. 30–33.

УДК 519.237.8

А.В. Волошко, Т.М. Лутчин

Національний технічний університет України
“Київський політехнічний інститут”

КЛАСТЕРИЗАЦІЯ ГРАФІКІВ ЕЛЕКТРИЧНИХ НАВАНТАЖЕНЬ З УРАХУВАННЯМ ВАРІАЦІЇ КУТА ПОЛІНОМІВ

© Волошко А.В., Лутчин Т.М., 2010

Наведено використання вейвлет-перетворень для ефективного аналізу графіків електричних навантажень. Запропонований метод кластеризації з урахуванням варіації кута нахилу поліномів дає змогу спростити існуючі алгоритми пошуку кластерного рішення, поєднуючи відомі статистичні методи з передовими методиками вейвлет-аналізу.

Ключові слова: кратномасштабний аналіз, графіки електричних навантажень, вейвлет-коефіцієнти, адаптація, сигнал, кластеризація.

In this paper is presented the usage of wavelet – transformation for effective analysis of graphs of electric loads. The proposed clustering method taking into account the angle variation of polynoms to simplify the existing search algorithms cluster solutions through a combination of known statistical methods with advanced wavelet methods – analysis.

Keywords: multiresolution analysis, graphs of electrical loads, wavelet – coefficients, adaptation, signal, clusterization.

Вступ

Постановка проблеми. Актуальною проблемою нині є розробка достатньо швидкої системи обробки складних графіків електричних навантажень (ГЕН). Використання класичного математичного апарата, при цьому не завжди є ефективним. Проблема ускладнюється різними видами ГЕН, при цьому під час збору інформації можуть одночасно спостерігатися практично всі існуючі види ГЕН [1]. Варто зазначити, що безліч енергокомпаній зіткнулися з проблемою створення універсального комплексного методу кластеризації ГЕН, який був би адаптований до різних кластерних категорій для спрощення алгоритмів обробки.

Аналіз останніх досліджень та публікацій

Одним з перспективних напрямів, якому присвячено багато наукових публікацій, є аналіз тимчасових рядів за допомогою вейвлет-перетворення, тобто розкладання одновимірного сигналу за системою ортонормованих функцій $\varphi_{m,k}(t)$ і $\psi_{m,k}(t)$. Ці функції локалізовані по осі аргументів, інваріантні до зрушення, лінійні до операції масштабування (стиснення/ розтягування) і відповідно до [2] визначаються так:

$$\varphi_{m,k}(t) = a \varphi(2^m t - k), \quad (1)$$

$$\psi_{m,k}(t) = a \psi(2^m t - k), \quad (2)$$

де $a = 2^{m/2}$ – коефіцієнт ортонормування, який забезпечує одиничну норму функції; $\varphi_{m,k}(t)$ і $\psi_{m,k}(t)$ – масштабуюча (скейлінг-функція) і вейвлетна функції відповідно.