

## REFERENCES

1. Chalyh E. F. Oborudovanie jelektrodnyh zavodov [Tekst]: uchebnoe posobie dlja vuzov. Moscow, Metallurgija, 1990, 238 p.
2. Sosedov V. P., Chalyh E. F. Grafіtacija uglerodistyh materialov [Tekst]. Moscow, Metallurgija, 1987, 176 p.
3. Dancis Ja. B., Zhilov G. M. Korotkie seti i jelektricheskie parametry dugovyh jelektropechej [Tekst]. Moscow, Metallurgija, 1987, 320 p.
4. Kalantarov P. L., Cejtlin L. A. Raschet induktivnostej [Tekst]: spravocnaja kniga [3-e izd.], Leningrad, Jenergoatomizdat, 1986, 488 p.
5. Jarymbash D. S., Jarymbash S. T. Povyshenie jenergojefektivnosti bokovogo shinopaketa pechej grafіtaciji peremennogo toka [Tekst]. *Tehnichna elektrodinamika. Tematichnij vip. Silova elektronika i energoefektivnist'*, 2011, pp. 229–233.
6. Jarymbash D. S., Kilimnik I. M., Jarymbash S. T. Osobnosti opredelenija parametrov jelektricheskoj shemy zameshhenija pechnoj petli pechi grafіtaciji peremennogo toka [Tekst], *Elektrotehnika ta elektroenergetika*, 2010, No. 2, pp. 36–43.
7. Jarymbash D. S. Identifikacija jelektricheskih parametrov pechnoj petli moshhnyh pechej grafіtaciji [Tekst], *Jelektrotehnika i jelektromehanika*, 2012, No. 1, pp. 49–54.
8. Miheev M. A., Miheeva I. M. Osnovy teploperedachi [Tekst]. Moscow, Jenergija, 1977, 344 p.
9. Jarymbash D. S. Osobnosti izmerenija peremennogo toka v tokopodvodah pechej gra-fіtaciji [Tekst], *Jelektrotehnika i jelektrojenergetika*, 2005, No. 1, pp. 74–76.

УДК 621.314+ 621.316

Сінолиций А. П.<sup>1</sup>, Кольсун В. А.<sup>2</sup>, Козлов В. С.<sup>3</sup><sup>1</sup>Д-р. техн. наук, професор, ДВНЗ «Криворізький національний університет», Україна<sup>2</sup>Канд. техн. наук, доцент, ДВНЗ «Криворізький національний університет», Україна<sup>3</sup>Аспірант, ДВНЗ «Криворізький національний університет», Україна, E-mail: vskpost@yandex.ru

## R-Q ТЕОРІЯ МИТТЄВОЇ ПОТУЖНОСТІ ДЛЯ ПРИСТРОЇВ АКТИВНОЇ ФІЛЬТРАЦІЇ. ОБМЕЖЕННЯ ЗАСТОСУВАННЯ

*Проведено аналіз однієї з сучасних теорій миттєвої потужності. Враховуючи критику теорії, встановлено межі застосування останньої. Приведено приклад застосування r-q теорії для активного фільтра гармонік, що працює в умовах несиметричної мережі живлення. Визначено критерії оптимальності, за якими може працювати пристрій активної фільтрації, що засновано на r-q теорії миттєвої потужності.*

**Ключові слова:** енергозбереження, r-q теорія, активний фільтр, несиметрія фазної напруги.

### ПРОБЛЕМА ТА ЇЇ ЗВ'ЯЗОК З НАУКОВИМИ ТА ПРАКТИЧНИМИ ЗАВДАННЯМИ

Сучасні виробники активних фільтрів використовують доволі різноманітний математичний апарат для керування силовою частиною фільтра. Однією з найпопулярніших теорій для визначення складових потужності мережі живлення є r-q теорія миттєвої потужності, запропонована Акагі та ін. в [1]. Зазначена теорія зазнала критики від опонентів [2, 3], які вказують на некоректність останньої за нестандартних умов (несиметрія або несинусоїдність фазних напруг, тощо).

### АНАЛІЗ ДОСЛІДЖЕНЬ ТА ПУБЛІКАЦІЙ

Більшість робіт, присвячених r-q теорії, описують роботу приладів на основі останньої в умовах синусоїдної симетричної системи напруг. До критики такої теорії належать праці [2, 3, 4], які вказують на окремі факти помилкового визначення складових потужності мережі r-q теорією.

### ПОСТАНОВКА ЗАВДАННЯ

Проаналізувати існуючі факти критики r-q теорії та на їх основі визначити межі застосування такої теорії миттєвої потужності для пристроїв активної фільтрації гармонік мережі.

### ВИКЛАДЕННЯ МАТЕРІАЛУ ТА РЕЗУЛЬТАТИ

R-q теорія визначає сукупність миттєвих потужностей трипровідних та чотирипровідних з нульовим проводом мереж у часовому просторі. Автори теорії зазначають, що на форми вихідних сигналів струму та напруги не накладається жодних обмежень. Важливим є той факт, що r-q теорія розглядає багатофазну мережу як єдине ціле, та оперує з трьома фазами системи живлення одночасно.

Основою r-q теорії є так зване перетворення Кларка, яке дозволяє перейти від системи координат  $a, b, c$  до ортогональної нерухомої системи координат  $\alpha, \beta$ . Після переходу до нової системи координат розраховуються

складові миттєвої потужності. Нижче представлені перетворення Кларка для трифазної чотирипровідної системи напруг та струмів:

$$\begin{bmatrix} u_0 \\ u_\alpha \\ u_\beta \end{bmatrix} = \sqrt{\frac{2}{3}} \begin{bmatrix} \frac{1}{\sqrt{2}} & \frac{1}{\sqrt{2}} & \frac{1}{\sqrt{2}} \\ 1 & -\frac{1}{2} & -\frac{1}{2} \\ 0 & \frac{\sqrt{3}}{2} & -\frac{\sqrt{3}}{2} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} u_A \\ u_B \\ u_C \end{bmatrix}, \quad (1)$$

де  $u_0, u_\alpha, u_\beta$  – миттєві значення напруги нульового провідника, напруг осей  $\alpha$  та  $\beta$  відповідно;  $u_A, u_B, u_C$  – миттєві значення напруг фаз  $A, B, C$  відповідно:

$$\begin{bmatrix} i_0 \\ i_\alpha \\ i_\beta \end{bmatrix} = \sqrt{\frac{2}{3}} \begin{bmatrix} \frac{1}{\sqrt{2}} & \frac{1}{\sqrt{2}} & \frac{1}{\sqrt{2}} \\ 1 & -\frac{1}{2} & -\frac{1}{2} \\ 0 & \frac{\sqrt{3}}{2} & -\frac{\sqrt{3}}{2} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_A \\ i_B \\ i_C \end{bmatrix}, \quad (2)$$

де  $i_0, i_\alpha, i_\beta$  – миттєві значення струму нульового провідника, струмів осей  $\alpha$  та  $\beta$  відповідно;  $i_A, i_B, i_C$  – миттєві значення струмів фаз  $A, B, C$  відповідно.

У випадку трифазної трипровідної мережі, напруга та струм  $u_0, i_0$  відсутні.

Миттєві активна та реактивна потужності системи визначаються, як [1]:

$$\begin{bmatrix} p_0 \\ p \\ q \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} u_0 & 0 & 0 \\ 0 & u_\alpha & u_\beta \\ 0 & -u_\beta & u_\alpha \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_0 \\ i_\alpha \\ i_\beta \end{bmatrix}, \quad (3)$$

де  $p_0$  – миттєва потужність нульової послідовності;  $p$  – миттєва активна потужність;  $q$  – миттєва реактивна потужність.

Необхідно зазначити, що в термінах миттєва «активна» та «реактивна» потужності в рамках р-q теорії несуть деякий інший сенс ніж класичні поняття активної та реактивної потужностей [2], зв'язок яких буде показано нижче. Обраховані через трифазну систему значення миттєвих активної та реактивної потужностей будуть мати вигляд [10]

$$p = u_A \cdot i_A + u_B \cdot i_B + u_C \cdot i_C; \quad (4)$$

$$q = -\frac{1}{\sqrt{3}}((u_A - u_B) \cdot i_C + (u_B - u_C) \cdot i_A + (u_C - u_A) \cdot i_B) \quad (5)$$

Далі автори розкладають миттєві активну та реактивну потужності на постійну та осцилюючу складові [1], а саме

$$p = P + \tilde{p}, \quad (6)$$

де  $P$  – постійна складова миттєвої активної потужності;  $\tilde{p}$  – осцилююча складова миттєвої активної потужності;

$$q = Q + \tilde{q}, \quad (7)$$

де  $Q$  – постійна складова миттєвої реактивної потужності;  $\tilde{q}$  – осцилююча складова миттєвої реактивної потужності.

Значення  $P$  та  $Q$  є інтегральними значеннями миттєвих активної та реактивної потужностей

$$P = \frac{1}{T} \cdot \int_0^T p \cdot dt; \quad (8)$$

$$Q = \frac{1}{T} \cdot \int_0^T q \cdot dt. \quad (9)$$

Осцилюючі значення знаходять з виразів (6), (7), маючи інтегральні значення  $P$  та  $Q$ .

Автори зазначають [1], що корисною складовою є тільки  $P, i$  в більшості випадків, усі інші складові потужності  $\tilde{p}, Q, \tilde{q}$  необхідно компенсувати. Струм, що повинен генерувати активний фільтр, знаходиться через зворотні перетворення Кларка:

$$\begin{bmatrix} i_{c\alpha} \\ i_{c\beta} \end{bmatrix} = \frac{1}{u_\alpha^2 + u_\beta^2} \cdot \begin{bmatrix} u_\alpha & -u_\beta \\ u_\beta & u_\alpha \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \tilde{p} - p_0 \\ q \end{bmatrix}, \quad (10)$$

де  $i_{c\alpha}, i_{c\beta}$  – скореговані проекції узагальненого вектора струму в ортогональних координатах  $\alpha, \beta$  відповідно;

$$\begin{bmatrix} i_{cA} \\ i_{cB} \\ i_{cC} \end{bmatrix} = \sqrt{\frac{2}{3}} \cdot \begin{bmatrix} \frac{1}{\sqrt{2}} & 1 & 0 \\ \frac{1}{\sqrt{2}} & -\frac{1}{\sqrt{2}} & \frac{3}{\sqrt{2}} \\ \frac{1}{\sqrt{2}} & -\frac{1}{\sqrt{2}} & -\frac{3}{\sqrt{2}} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} -i_0 \\ i_{c\alpha} \\ i_{c\beta} \end{bmatrix}, \quad (11)$$

де  $i_{cA}, i_{cB}, i_{cC}$  – струми активного фільтру у фазах  $A, B, C$ .

Відповідність складових потужності р-q теорії та класичних визначень складових потужності (за Budeanu [4]) показано в табл. 1 з припущенням, що система фазних напруг симетрична та синусоїдна, система струмів симетрична та має у своєму складі вищі гармоніки.

У табл. 1:  $P_{Cl}, Q_{(1)Cl}$  – інтегральні значення активної та реактивної потужностей першої гармоніки відповідно;  $d_{Cl}$  – миттєве значення потужності спотворення;  $i_{(1)A}, i_{(1)B}, i_{(1)C}$  – миттєві значення струмів перших гармонік фаз  $A, B, C$  відповідно;  $I_{(1)A}, I_{(1)B}, I_{(1)C}$  – діючі значення перших гармонік струмів фаз  $A, B, C$  відповідно.

Таблиця 1. Основні величини р-q теорії та їх відповідність до класичної теорії (запропонованої Budeanu)

Назва в р-q теорії	Класична назва	Визначення через спектрально-інтегральний метод
$P$	$P_{Cl}$	$P_{Cl} = \frac{1}{T} \cdot \int_0^T (u_A \cdot i_A + u_B \cdot i_B + u_C \cdot i_C) \cdot dt$
$\tilde{p}$	$D_{Cl}$	$d_{Cl} = u_A \cdot (i_A - i_{(1)A}) + u_B \cdot (i_B - i_{(1)B}) + u_C \cdot (i_C - i_{(1)C})$
$Q$	$Q_{(1)Cl}$	$Q_{(1)Cl} = U_A \cdot I_{(1)A} \cdot \sin \angle(U_A, I_{(1)A}) +$ $+ U_B \cdot I_{(1)B} \cdot \sin \angle(U_B, I_{(1)B}) + U_C \cdot I_{(1)C} \cdot \sin \angle(U_C, I_{(1)C})$
$\tilde{q}$	-	-

Критика зазначеної теорії миттєвої потужності зводиться до таких фактів:

– некоректне визначення складових потужності за наявності несиметрії фазних напруг [2, 3, 5];

– некоректна стратегія компенсації струму за несинусоїдної напруги живлення (наявність вищих гармонік) у випадку активних фільтрів струму [2].

Перший недолік витікає з самої суті аналізу трифазної системи, перетвореної до ортогональної системи координат  $\alpha, \beta$ .

Наприклад, маємо трифазну трипровідну систему живлення. У випадку несиметрії

$$u_A + u_B + u_C = u_0 \neq 0; \quad (12)$$

$$i_A + i_B + i_C = i_0 = 0. \quad (13)$$

Отже, складова потужності  $p_0$ , розрахована за виразом (3), відсутня та вплив несиметрії, що відображає  $u_0$ , у подальших розрахунках не враховується. Складову  $p_0$  внесено до матриць розрахунку «штучно», що можна побачити, наприклад, через векторний запис основних математичних викладок р-q теорії [6]

$$\begin{cases} \underline{U} = u_\alpha + j \cdot u_\beta \\ \underline{I} = i_\alpha + j \cdot i_\beta \end{cases}, \quad (14)$$

де  $\underline{U}, \underline{I}$  – узагальнені вектори напруги та струму трифазної системи;

$$\begin{aligned} \underline{S} &= \underline{U} \cdot \underline{I}^* = (u_\alpha + j \cdot u_\beta) \cdot (i_\alpha - j \cdot i_\beta) = \\ &= (u_\alpha \cdot i_\alpha + u_\beta \cdot i_\beta) + j \cdot (u_\beta \cdot i_\alpha - u_\alpha \cdot i_\beta) = \\ &= p + j \cdot q. \end{aligned} \quad (15)$$

Тому величині «активної потужності» за термінологією р-q теорії відповідає скалярний (внутрішній) добуток узагальнених векторів струму та напруги. Величині «реактивної потужності» – векторний (зовнішній) добуток вищезазначених векторів

$$\begin{aligned} p &= \underline{U} \cdot \underline{I} = \text{Re}(\underline{U} \cdot \underline{I}^*) = \\ &= \text{Re}(\underline{U}) \cdot \text{Re}(\underline{I}) + \text{Im}(\underline{U}) \cdot \text{Im}(\underline{I}) \end{aligned}; \quad (16)$$

$$\begin{aligned} q &= \underline{U} \times \underline{I} = \text{Im}(\underline{U} \cdot \underline{I}^*) = \\ &= \text{Im}(\underline{U}) \cdot \text{Re}(\underline{I}) - \text{Re}(\underline{U}) \cdot \text{Im}(\underline{I}); \end{aligned} \quad (17)$$

Якщо записати вирази (16), (17) у матричному вигляді, отримаємо:

$$\begin{bmatrix} p \\ q \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} u_\alpha & u_\beta \\ u_\beta & -u_\alpha \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} i_\alpha \\ i_\beta \end{bmatrix}. \quad (18)$$

Додамо, що геометрично «реактивна потужність» за р-q теорією розташована на вісі, що перпендикулярна площині  $\alpha, \beta$ . Тому вищезазначена величина не може мати розмірності Вт, VAR, VA.

Вираз (18) є записом формули (3) без складової  $p_0$ . Нульові складові в матриці перетворення (1), (2) теж є «штучно» внесеними. Як показано в [7], під час аналізу системи напруг (струмів) через симетричні складові, узагальнений вектор напруги (струму) не містить нульової складової, яка повинна бути врахована окремо, а саме

$$\begin{aligned} u_g &= \frac{2}{3} [(u_{fA} + u_{rA} + u_0) + \\ &a(u_{fB} + u_{rB} + u_0) + a^2(u_{fC} + u_{rC} + u_0)] = \\ &= \frac{2}{3} [(u_{fA} + u_{rA}) + a(u_{fB} + u_{rB}) + \\ &+ a^2(u_{fC} + u_{rC}) + u_0(1 + a + a^2)] = u_f + u_r \end{aligned}, \quad (19)$$

де  $a$  – оператор трифазної системи;

$$a = e^{\frac{2}{3}\pi \cdot j}, \quad (20)$$

$u_{fA}, u_{fB}, u_{fC}$  – миттєві значення фазних напруг А, В, С системи прямої послідовності;  $u_{rA}, u_{rB}, u_{rC}$  – миттєві значення фазних напруг А, В, С системи зворотної послідовності;  $u_g$  – миттєве значення узагальненої напруги системи живлення;  $u_f, u_r$  – миттєві значення напруг прямої та зворотної послідовностей.

Із рівняння (19) видно, що узагальнений вектор напруги при будь-якому виді несиметрії завжди буде містити тільки складові прямої та зворотної послідовностей [7].

Отже, апарат р-q теорії, не враховує впливу несиметрії мережі. Однак, деякі вчені зазначають, що пристрої, побудовані за р-q теорією, досить вдало працюють за незначної несиметрії мережі [8].

Інший недолік (некоректна генерація струму корекції за несинусоїдної напруги живлення у випадку активних фільтрів струму) пов'язаний з неможливістю компенсувати вибіркові гармоніки струму. Зазначений факт ілюструють формули (15), (16), та (17). Векторний та скалярний добуток узагальнених векторів напруги та струму основної частоти, що покладено в основу р-q теорії, переноситься на миттєві значення сигналів, що мають у своєму складі вищі гармоніки. Така дія викликає сумнів з точки зору фізичної адекватності.

Як приклад можна взяти активне навантаження, яке підключене до трифазної симетричної системи живлення, напруга якої має в своєму складі вищі гармоніки. В такому випадку для проходження в навантаження максимуму активної потужності активному фільтру не має сенсу генерувати будь-який струм. Але за р-q теорією

існує складова активної потужності  $\tilde{P}$ , яка несе негативний зміст. Іншим недоліком можна вважати факт неможливості зробити струм мережі синусоїдним за умов несинусоїдної напруги. На рис. 1 показано струм та напругу мережі з активним навантаженням до компенсації та після компенсації. Система напруг симетрична:

$$\begin{aligned} u_A &= U_m \cdot \sin(\omega \cdot t) + \\ &+ \frac{1}{5} \cdot U_m \cdot \sin(5 \cdot \omega \cdot t); \\ u_B &= U_m \cdot \sin(\omega \cdot t + \frac{2}{3} \cdot \pi) + \\ &+ \frac{1}{5} \cdot U_m \cdot \sin(5 \cdot \omega \cdot t + \frac{5 \cdot 2}{3} \cdot \pi); \\ u_C &= U_m \cdot \sin(\omega \cdot t + \frac{4}{3} \cdot \pi) + \\ &+ \frac{1}{5} \cdot U_m \cdot \sin(5 \cdot \omega \cdot t + \frac{5 \cdot 4}{3} \cdot \pi), \end{aligned} \quad (21)$$

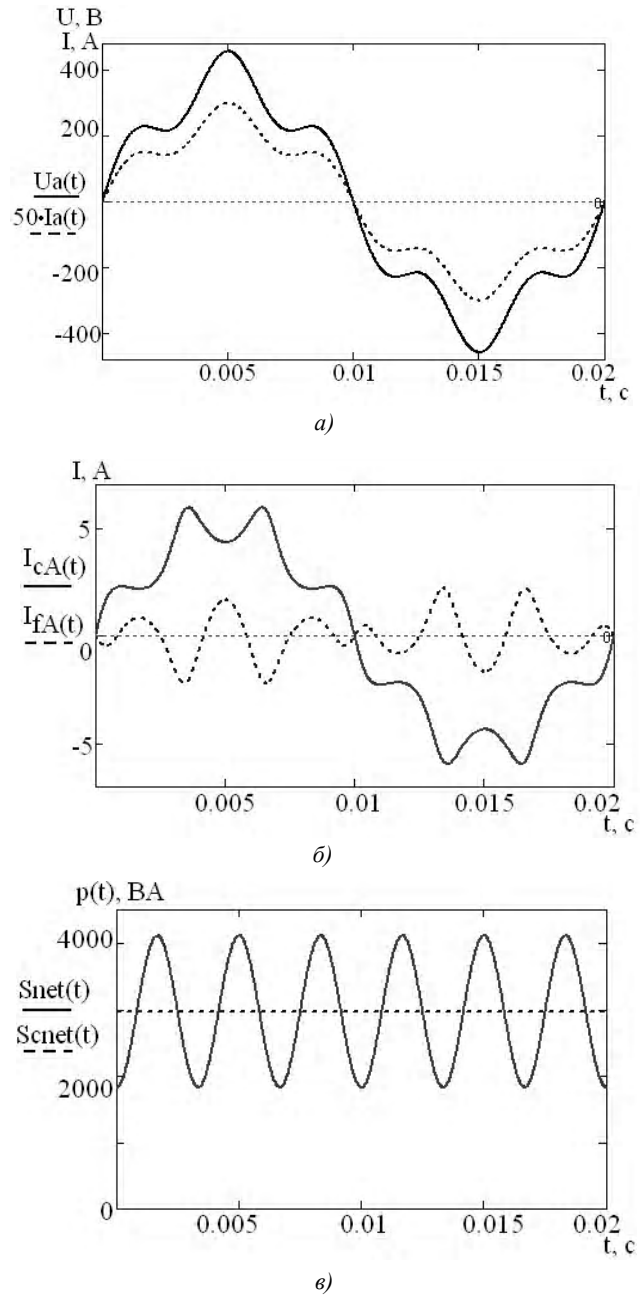
де  $U_m$  – амплітудне значення напруги,  $U_m = 220 \cdot \sqrt{2}$  (В);  $\omega$  – кутова частота мережі,  $\omega = 314$ (с-1).

Система струмів має вигляд

$$i_A = \frac{u_A}{R}; i_B = \frac{u_B}{R}; i_C = \frac{u_C}{R}, \quad (22)$$

де  $R$  – активний опір навантаження.

Інтегральне значення активної потужності мережі за виразами (4) та (8) залишаються незмінними, як до так і після компенсації. Змінюється лише форма миттєвої по-



**Рис. 1.** Фазна напруга та струм мережі до компенсації (а), фазний струм зі струмом активного фільтру після компенсації (б), миттєва потужність трифазної мережі за виразом (4) до та після компенсації (в)

тужності трифазної системи живлення. Як видно з рис. 1, в фільтр працює за критерієм «рівномірного споживання енергії навантаженням» [9]. Аналогічно є ситуація з нелінійним навантаженням та будь-якою (симетричною або несиметричною) системою живлення: під час компенсації складових потужності  $\tilde{p}$ ,  $\tilde{Q}$ ,  $\tilde{q}$  пристрій активної фільтрації завжди працюватиме в режимі передачі постійної потужності до навантаження та компенсації зворотних потоків енергії.

Стосовно компенсації складових реактивної потужності

$\tilde{Q}$ ,  $\tilde{q}$  можна подати приклад: мережа живлення з синусоїдною несиметричною напругою, до якої підключено мостову схему перетворення з активним навантаженням. Кут керування перетворювача  $\alpha = 30^\circ$ . На рис. 2 зображені фазний струм, перша гармоніка фазного струму та миттєва потужність мережі до та після компенсації.

Як видно з рис. 2,  $\tilde{e}$  – пристрій компенсації некоректно визначає реактивну потужність першої гармоніки мережі. Також, як було показано раніше, миттєва потужність трифазної мережі змінює свою форму – в навантаження передається постійна активна потужність, інтегральне значення якої залишається незмінним до та після компенсації.

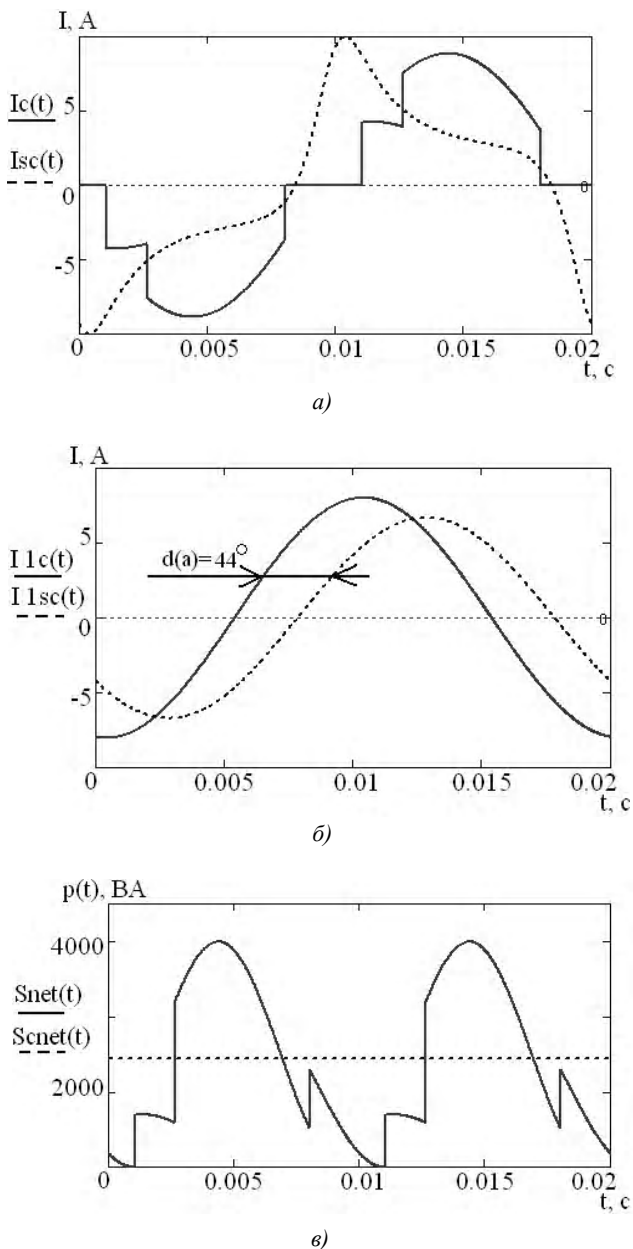


Рис. 2. Струм фази С (а), перша гармоніка струму (б), миттєва потужність (в) до та після компенсації

## ВИСНОВКИ

У роботі розглянуто межі застосування однієї з сучасних теорій миттєвої потужності, яку застосовано щодо пристроїв активної фільтрації струму мережі. Показано, що математичний апарат р-q теорії не враховує несиметрію системи напруг мережі. Отже, р-q теорію неможливо використовувати в таких випадках:

- симетрування фазних струмів (напруг);
- генерація синусоїдного струму за несинусоїдною напруги.

Узагальнюючи вищесказане, можна зробити висновок про те, що пристрої активної фільтрації, засновані на р-q теорії, вдало виконують поставлену задачу в умовах симетричної та несиметричної систем напруг з лінійним або нелінійним навантаженням, але мають можливість працювати з обмеженою кількістю критеріїв оптимальності, а саме:

- компенсація зворотних перетоків потужності (тільки для симетричної системи напруг);
- передача постійного рівню активної потужності до навантаження (в усіх розглянутих випадках).

## СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Akagi H. Generalized Theory of the Instantaneous Reactive Power in Three-Phase Circuits / H. Akagi, Y. Kanazawa, A. Nabae // IPEC'83 – Int. Power Electronics Conf. – 1983. – P. 1375–1386.
2. Czarnecki L. S. On some misinterpretations of the Instantaneous Reactive Power p-q Theory / L. S. Czarnecki // IEEE Trans. On Power Electronics. – 2004. Vol. 19, No. 3. – P. 828–836.
3. Czarnecki L. S. Effects of supply voltage asymmetry on IRP p-q theory based switching compensator control / L.S. Czarnecki // IET on Power Electronics. – 2010. – Vol. 3, No. 1. – P. 11–17.
4. The New IEEE Standard Dictionary of Electrical and Electronics Terms / [chair Gediminas P. Kurpis]. – IEEE : New York, 1993. – 1619 p.
5. Tolbert L. M. Comparison of Time Based Nonactive Power Definitions for Active Filtering / L. M. Tolbert, T. G. Halbetler // Power Electronics Congress CIEP 2000. – 2000. – October 2000. – P. 73–79.
6. Бурлака В.В. Огляд методів управління активними фільтрами / В. В. Бурлака, С. К. Поднебенна, М. Д. Дяченко // Електромеханічні і енергозберігаючі системи. – Кременчук : КрНУ, 2012. – Вип. 1/2011 (13). – С. 51–54.
7. Усольцев А. А. Частотное управление асинхронными двигателями : учебное пособие / А. А. Усольцев. – С. Пб. : СПбГУ ИТМО, 2006. – 94 с.
8. Depenbrock M. A Concise Assessment of original and Modified Instantaneous Power Theory Applied to Four-Wire Systems, Proceedings of the References / M. Depenbrock et al // Power Conversion Conference, Osaka, Japan, vol.1 Volume: 1. – April 2002. – pp. 60–67.

9. Баланс энергий в электрических цепях / [Тонкаль И. Е., Новосельцев А. В., Денисюк С.П. та ін.]. – К. : Наукова Думка, 1992. – 312 с.
10. K Syed Moinuddin Instantaneous power theory based active power filter: a matlab/ simulink approach /

Moinuddin K Syed, Dr. BV Sanker Ram // Journal of Theoretical and Applied Information Technology. – 2008. – Vol. 4, No. 6. – pp. 536–541.

Стаття надійшла до редакції 10.09.2013.  
Після доробки 22.11.2013.

Синолицький А. Ф.<sup>1</sup>, Кольсун В. А.<sup>2</sup>, Козлов В. С.<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Д-р техн. наук, професор, ГВУЗ «Криворожський національний університет», Україна

<sup>2</sup>Канд. техн. наук, доцент, ГВУЗ «Криворожський національний університет», Україна

<sup>3</sup>Аспірант, ГВУЗ «Криворожський національний університет», Україна

**Р-Q ТЕОРІЯ МГНОВЕНОЇ МОЩНОСТІ ДЛЯ УСТРОЙСТВ АКТИВНОЇ ФІЛЬТРАЦІЇ. ОГРАНИЧЕННЯ ПРИМЕНЕННЯ**

*Виконано аналіз однієї з сучасних теорій миттєвої потужності. Ураховуючи критику теорії, установлені межі застосування останньої. Представлено приклад застосування р-q теорії для активного фільтра гармонік, який працює в умовах несиметричної мережі живлення. Встановлено критерії оптимальності, за якими може працювати пристрій активної фільтрації, який оснований на р-q теорії миттєвої потужності.*

**Ключові слова:** енергозбереження, р-q теорія, активний фільтр, несиметрія фазного напруги.

Sinolitsyy A. F.<sup>1</sup>, Kolsun V. A.<sup>2</sup>, Kozlov V. S.<sup>3</sup>

<sup>1</sup>D. Sc. (Tech), SHEE «Kriviy Rig National University», Ukraine

<sup>2</sup>Ph.D. (Tech), SHEE «Kriviy Rig National University», Ukraine

<sup>3</sup>Graduate, SHEE «Kriviy Rig National University», Ukraine

**IRP P-Q THEORY FOR ACTIVE POWER FILTERS. LIMITATION OF APPLICATION**

*The article is devoted to «p-q» instantaneous reactive power theory. Two facts of critics of this power theory is analyzed. The first critical fact is about wrong current compensation in case of active current filter which works in power net with unbalanced voltage. It was shown that coordinate transform matrixes don't consist to zero sequence component that included to transform matrixes «artificially». The second critical fact describes wrong compensation when supply voltage consists of higher harmonics. This drawback is connected with inability of separate harmonics for compensation. Finally it was shown that devices based on IRP «p-q» theory perform criterion of uniform power consumption even if supply voltage is distorted or unbalanced.*

**Keywords:** energy-saving technologies, IRP p-q theory, active power filter, supply voltage unbalance.

**REFERENCES**

1. Akagi H., Kanazawa Y., Nabae A. Generalized Theory of the Instantaneous Reactive Power in Three-Phase Circuits, IPEC'83, Int. Power Electronics Conf., 1983, pp. 1375–1386.
2. Czarnecki L. S. On some misinterpretations of the Instantaneous Reactive Power p-q Theory, *IEEE Trans. On Power Electronics*, 2004, Vol. 19, No. 3, pp. 828–836.
3. Czarnecki L. S. Effects of supply voltage asymmetry on IRP p-q theory based switching compensator control, *Accepted in IET Power Electronics*, 2010, Vol. 3, No. 1, pp. 11–17.
4. The New IEEE Standard Dictionary of Electrical and Electronics Terms, [chair Gediminas P. Kurpis], IEEE, New York, 1993, 1619 p.
5. Tolbert L. M., Halbetler T. G. Comparison of Time Based Nonactive Power Definitions for Active Filtering, Power Electronics Congress CIEP 2000, 2000, October 2000, pp. 73–79.
6. Burlaka V. V., Podnebenna S. K., Djachenko M. D. Ogljad metodiv upravlinnja aktyvnymy fil'tramy, *Elektromehanichni i energozberigajuchi systemy*. Kremenchuk, KrNU, 2012, Vyp. 1/2011 (13), pp. 51–54.
7. Usol'cev A. A. Chastotnoe upravlenie asinxronnymi dvigatelyami: uchebnoe posobie. Sankt-peterburg, SPbGUITMO, 2006, 94 p.
8. Depenbrock M. et al A Concise Assessment of original and Modified Instantaneous Power Theory Applied to Four-Wire Systems, Proceedings of the References, Power Conversion Conference, Osaka, Japan, vol. 1, Volume 1, April 2002, pp. 60–67.
9. Tonkal' I. E., Novosel'cev A. V., Denisjuk S. P. та ін. Баланс енергій в електричних мережах. Київ, Наукова Думка, 1992, 312 p.
10. K Syed Moinuddin, Dr. BV Sanker Ram Instantaneous power theory based active power filter: a matlab/ simulink approach, *Journal of Theoretical and Applied Information Technology*, 2008, Vol. 4, No. 6, pp. 536–541.