

ВИЗНАЧЕННЯ ПОТУЖНОСТЕЙ ТРИФАЗНОЇ НЕСИМЕТРИЧНОЇ СИСТЕМИ З ІЗОЛЬОВАНОЮ НЕЙТРАЛЛЮ

М.Й.Бурбело¹, докт.техн.наук, С.М.Мельничук²

¹ – Вінницький національний технічний університет,
Хмельницьке шосе, 95, Вінниця, 21021, Україна,

² – ДП «НЕК «Укренерго» ВП Південно-Західна ЕС,
вул. І. Богуна, 5, Вінниця, 21100, Україна.

e-mail: burbelom@rambler.ru

У статті визначено складові миттєвої повної потужності трифазної системи з ізольованою нейтраллю в несиметричних режимах. Показано можливість представлення миттєвої повної потужності у випадку порівняно невеликої несиметрії режиму у вигляді геометричної суми миттєвих активної та реактивної за Будяну потужностей. Обґрунтовано доцільність представлення миттєвої повної потужності у випадку порівняно великої несиметрії режиму у вигляді геометричної суми миттєвих активної та реактивної за Фрізе потужностей. Останні, в свою чергу, представлені у вигляді суми відповідно активної та реактивної потужностей і активної та реактивної пульсуючих потужностей. Отримано вирази для визначення вказаних потужностей через миттєві значення ортогональних складових потужностей, які забезпечують можливість їхнього неперервного вимірювання протягом періоду напруги живлення. Бібл. 4, рис. 5.

Ключові слова: несиметричні режими, активна і реактивна потужності, пульсуюча потужність.

Вступ. Несиметричні режими трифазних електричних систем характеризують комплексними повною та пульсуючою потужностями [3, 4]

$$\underline{S} = 3 \left(\dot{U}_1 I_1^* + \dot{U}_2 I_2^* + \dot{U}_0 I_0^* \right); \quad \underline{N} = 3 \left(\dot{U}_2 I_1 + \dot{U}_1 I_2 + \dot{U}_0 I_0 \right), \quad (1)$$

де $\dot{U}_1, \dot{U}_2, \dot{U}_0, I_1, I_2, I_0$ – комплексні напруги та струми відповідно прямої, зворотної та нульової послідовностей; I_1^*, I_2^*, I_0^* – комплексні спряжені струми відповідних послідовностей.

Комплексна повна потужність \underline{S} відображає споживання електричної енергії, а комплексна пульсуюча потужність \underline{N} інтегрально характеризує несиметрію та невривноваженість трифазної системи.

У врівноважених трифазних системах, до яких, зокрема, належать розподільні мережі з ізольованою нейтраллю напругою 6, 10, 35 кВ, складові нульової послідовності відсутні.

Несиметричність режиму мережі з ізольованою нейтраллю характеризують пульсуючими потужностями [1]

$$\underline{N} = 3(\dot{U}_1 I_2 + \dot{U}_2 I_1) = \dot{U}_\alpha I_\alpha - \dot{U}_\beta I_\beta; \quad \underline{N}_q = 3(\dot{U}_1 I_2 - \dot{U}_2 I_1) = j\dot{U}_\beta I_\alpha - j\dot{U}_\alpha I_\beta, \quad (2)$$

де $\dot{U}_\alpha, \dot{U}_\beta, I_\alpha, I_\beta$ – комплексні значення ортогональних складових напруги та струму трифазної мережі в системі координат Кларка.

В електротехніці миттєву повну потужність трифазної системи використовують як базову, яку розкладають на ортогональні складові. Однак за несиметричної системи напруг і струмів такий розклад не знайшов прийняттого вирішення.

Мета роботи. Мета роботи полягає в обґрунтуванні можливості визначення ортогональних складових миттєвої повної потужності для несиметричних режимів трифазної системи з ізольованою нейтраллю на основі активної, реактивної та пульсуючих потужностей.

Обґрунтування результатів. Миттєву повну потужність трифазної системи з ізольованою нейтраллю визначають як добуток квадратів векторів трифазних напруги і струму. Для трифазної несиметричної системи з ізольованою нейтраллю миттєву повну потужність представляють ортогональними складовими напруг і струмів у системі координат Кларка

$$s(t) = \sqrt{|\mathbf{U}|^2 \cdot |\mathbf{I}|^2} = \sqrt{(u_\alpha^2(t) + u_\beta^2(t))(i_\alpha^2(t) + i_\beta^2(t))}, \quad (3)$$

де $u_\alpha(t), u_\beta(t); i_\alpha(t), i_\beta(t)$ – миттєві значення ортогональних складових напруги та струму трифазної системи в системі координат Кларка.

Вираз для миттєвої активної потужності трифазної системи подають у вигляді скалярного добутку цих векторів

$$p(t) = (\mathbf{U} \cdot \mathbf{I}) = (u_\alpha(t)i_\alpha(t) + u_\beta(t)i_\beta(t)). \quad (4)$$

Вираз для миттєвої реактивної потужності трифазної системи можна подати за Фрізе у вигляді

$$q_0(t) = \sqrt{s^2(t) - p^2(t)} = (u_\beta(t)i_\alpha(t) - u_\alpha(t)i_\beta(t)). \quad (5)$$

Вираз для миттєвої реактивної потужності трифазної системи можна також подати за Будяну у вигляді скалярного добутку векторів трифазних напруги і струму, де відносно компонентів вектора напруги застосовано перетворення Гільберта

$$q(t) = (\mathbf{U}' \cdot \mathbf{I}) = (u_\alpha'(t)i_\alpha(t) + u_\beta'(t)i_\beta(t)), \quad (6)$$

де $u_\alpha'(t), u_\beta'(t)$ – перетворення Гільберта ортогональних складових напруги.

Усереднені на періоді напруги живлення значення (4), (5) та (6) є відповідно активною та реактивною (за визначеннями відповідно Фрізе та Будяну) потужностями.

Необхідно відзначити, що реактивну потужність (6) трифазної системи можна також визначити шляхом усереднення миттєвої потужності

$$q^*(t) = -(\mathbf{U} \cdot \mathbf{I}') = -(u_\alpha(t)i_\alpha'(t) + u_\beta(t)i_\beta'(t)), \quad (7)$$

де $i_\alpha'(t), i_\beta'(t)$ – перетворення Гільберта ортогональних складових струму.

Активну потужність можна також визначити шляхом усереднення миттєвої потужності

$$p^*(t) = (u_\alpha'(t)i_\alpha'(t) + u_\beta'(t)i_\beta'(t)), \quad (8)$$

змінна складова якої знаходиться в протифазі до миттєвої потужності $p(t)$.

Часові функції миттєвих величин за несиметричного навантаження показано на рис. 1. Миттєві потужності $p(t), p^*(t)$ та $q(t), q^*(t)$ мають однакові постійні складові, а їхні змінні складові за несиметричного навантаження знаходяться у протифазі.

Для визначення активної та реактивної потужностей несиметричної трифазної системи пропонується використати властивість протифазності змінних складових миттєвих потужностей $p(t), p^*(t)$ та $q(t), q^*(t)$

$$P = 0,5(p(t) + p^*(t)); \quad (9)$$

$$Q = 0,5(q(t) + q^*(t)). \quad (10)$$

Після підсумовування змінні складові миттєвих потужностей взаємно компенсуються.

Реактивну потужність трифазної системи за Фрізе поряд з (5) можна також визначити шляхом усереднення миттєвої потужності

$$q_0^*(t) = (u_\beta'(t)i_\alpha'(t) - u_\alpha'(t)i_\beta'(t)), \quad (11)$$

або, скориставшись властивістю протифазності змінних складових миттєвих потужностей $q_0(t), q_0^*(t)$, – за формулою

$$Q_0 = 0,5(q_0(t) + q_0^*(t)). \quad (12)$$

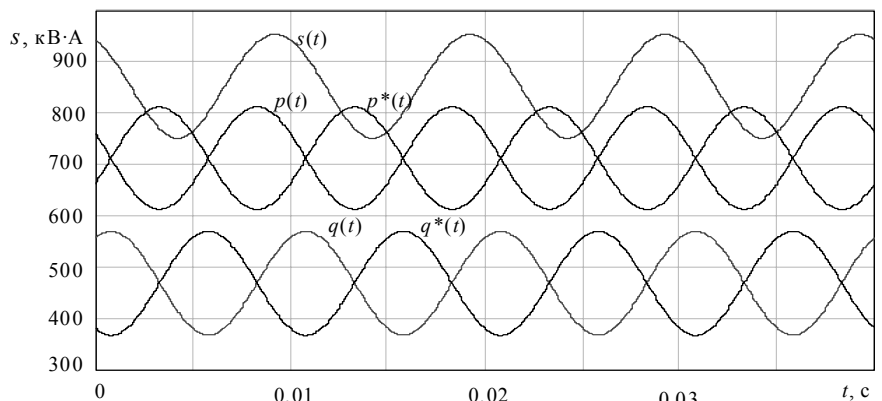


Рис. 1

Необхідно відзначити, що $Q_0 \geq Q$, причому їхня різниця залежить від несиметрії режиму трифазної системи.

За визначенням [2] пульсуюча потужність трифазного несиметричного навантаження є змінною складовою миттєвої активної потужності

$$p(t) = P - N \cos(2\omega t + \xi) = P - \operatorname{Re}(N e^{j2\omega t}), \quad (13)$$

де P – активна потужність трифазного навантаження; N – модуль пульсуючої потужності, який є амплітудою коливань змінної складової миттєвої потужності; ω – кругова частота напруги живлення; ξ – початкова фаза косинусної функції пульсуючої потужності, частота коливань якої вдвічі вища від частоти коливань напруги живлення.

З виразу (13) випливає, що миттєву пульсуючу потужність можна визначити як різницю (зі знаком мінус) миттєвої активної потужності $p(t)$ та активної потужності P трифазного навантаження

$$N(t) = \operatorname{Re}(N e^{j2\omega t}) = N \cos(2\omega t + \xi) = -(p(t) - P). \quad (14)$$

Підставивши (4) і (8) з урахуванням (9) у (14), отримуємо вираз для миттєвої пульсуючої потужності

$$N(t) = -(p(t) - P) = -0,5(p(t) - p^*(t)). \quad (15)$$

Вираз для пульсуючої потужності можна отримати і через різницю реактивних потужностей

$$N'(t) = -(q(t) - Q) = -0,5(q(t) - q^*(t)). \quad (16)$$

Зауважимо, що

$$N'(t) = \operatorname{Im}(N e^{j2\omega t}) = N \sin(2\omega t + \xi). \quad (17)$$

Залежності $s(t)$, $S(t) = \sqrt{P^2(t) + Q^2(t)}$, а також $N(t)$, $N'(t)$ за несиметрії навантаження роз-

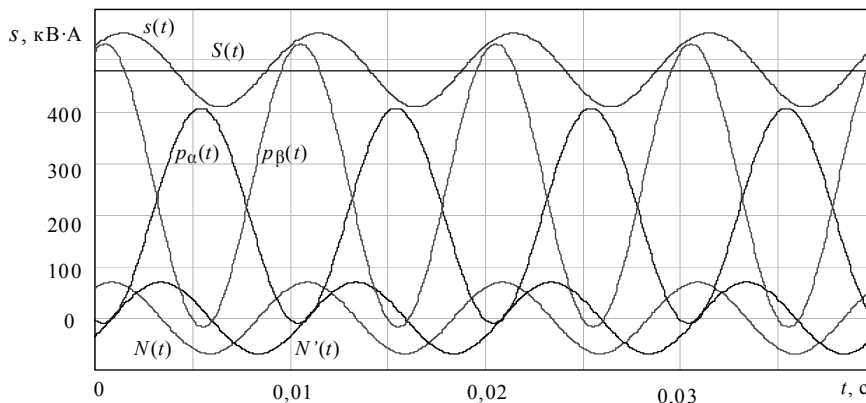


Рис. 2

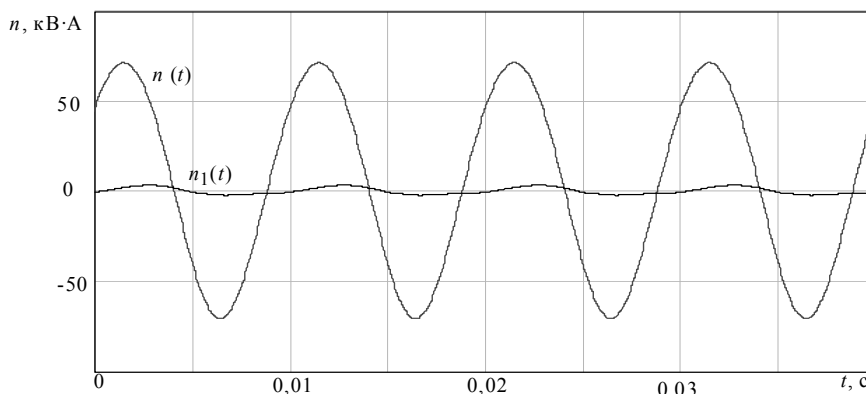


Рис. 3

подільної мережі, яка виникла після обриву проводу фази A на віддаленій ділянці магістральної лінії, показано на рис. 2. Для наочності на рисунку представлено також залежності $p_\alpha(t) = u_\alpha(t)i_\alpha(t)$, $p_\beta(t) = u_\beta(t)i_\beta(t)$, відмінність амплітудних значень яких характеризує несиметрію струмів у цьому режимі. З порівняння залежностей змінної складової повної потужності $s(t)$ з графі-

ками пульсуючих потужностей $N(t)$, $N'(t)$ випливає, що ці величини співставні за розмахом та характером коливань.

На рис. 3 показано залежності нев'язок $n(t) = s(t) - S(t)$, $n_1 = s(t) - s_1(t)$

$$(18)$$

для розглянутого випадку обриву проводу однієї з фаз, де

$$s_1(t) = \sqrt{p^2(t) + q^2(t)} = \sqrt{(P(t) + N(t))^2 + (Q(t) + N'(t))^2}. \quad (19)$$

Представлені залежності $n_1(t)$ свідчать про достатню для практики точність застосування активної, реактивної за Будяну та пульсуючої потужностей для аналізу трифазної системи з порівняно невеликою несиметрією. Амплітудне значення нев'язки $n_{1m} = 3,8$ кВ·А.

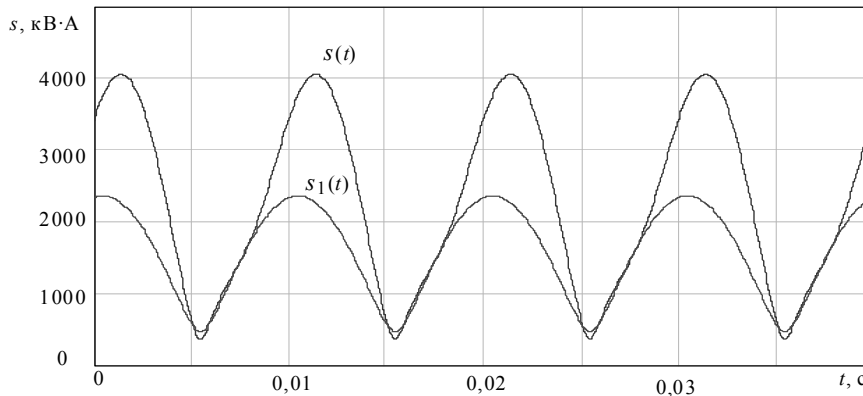


Рис. 4

Однак за значної несиметрії, наприклад, при коротких замиканнях у трифазних системах, n_{1m} різко зростає. На рис. 4 показано залежності $s(t)$ та $s_1(t)$ у випадку короткого замикання. Як видно з рисунку, у цьому режимі залежність $s_1(t)$ істотно відрізняється від $s(t)$, що свідчить про неправомірність застосування цих потужностей.

У разі застосування реактивної потужності за Фрізе питання про нев'язку взагалі не ставиться, оскільки $q_0(t)$ визначено з умови ортогональності миттєвих активної, реактивної та повної потужностей.

За короткого замикання в трифазній системі амплітудне значення реактивної пульсуючої потужності

$$N_q(t) = -(q_0(t) - Q) = -0,5(q_0(t) - q_0^*(t)) \quad (20)$$

істотно відрізняється від амплітудного значення $N(t)$ (рис. 5).

Зауважимо, що амплітудні значення $N(t)$ та $N_q(t)$ дорівнюють модулям комплексних пульсуючих потужностей відповідно \underline{N} та \underline{N}_q , визначених за формулами (2).

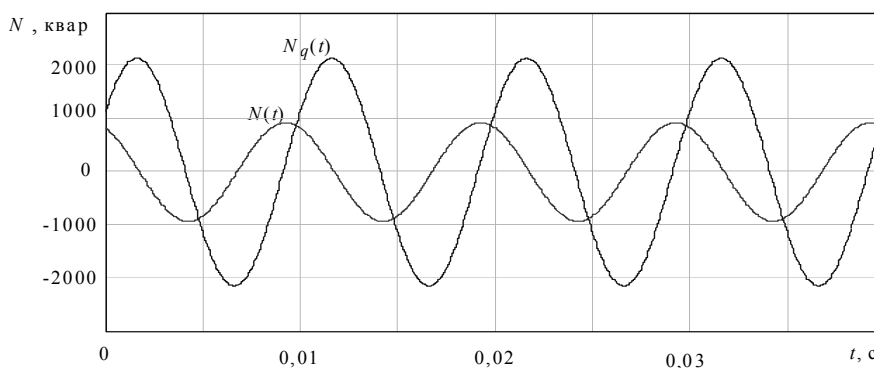


Рис. 5

Таким чином, для аналізу суттєво несиметричних режимів трифазної системи (короткі замикання тощо) використання активної, реактивної та реактивної пульсуючих потужностей, які утворюють ортогональну систему координат, є більш доцільним.

Висновки. Показано можливість представлення повної потужності трифазної несиметричної системи з ізольованою нейтраллю у випадку порівняно невеликої несиметрії режиму у вигляді геометричної суми миттєвих активної та реактивної за Будяну потужностей, які, в свою чергу, представлені у вигляді суми відповідно активної і пульсуючої (у косинусній формі запису) потужностей та реактивної і пульсуючої (у синусній формі запису) потужностей.

Показано доцільність представлення повної потужності трифазної несиметричної системи з ізольованою нейтраллю у випадку порівняно істотної несиметрії режиму у вигляді геометричної суми миттєвих активної та реактивної за Фрізе потужностей, які, в свою чергу, представлені у вигляді суми відповідно активної та реактивної потужностей і активної та реактивної пульсуючих потужностей.

Отримано вирази для визначення вказаних потужностей через миттєві значення ортогональних складових напруги та струму, які забезпечують можливість їхнього вимірювання на періоді напруги живлення.

Обґрунтовано доцільність представлення ортогональних складових миттєвої повної потужності трифазної системи з ізольованою нейтраллю на основі активної та реактивної за Фрізе потужностей і активної та реактивної пульсуючих потужностей.

1. Бурбело М.Й. Квазірівноважені частотно-варіаційні вимірювальні системи. – Вінниця: УНІВЕРСУМ-Вінниця, 2004. – 225 с.
2. Мельников Н.А. Реактивная мощность в электрических сетях. – М.: Энергия, 1975. – 128 с.
3. Милих А.Н., Шидловский А.К., Кузнецов В.Г. Схемы симметрирования однофазных нагрузок в трехфазных цепях. – К.: Наукова думка, 1973. – 219 с.
4. Шидловский А.К., Кузнецов В.Г. Повышение качества энергии в электрических сетях. – К.: Наукова думка, 1985. – 268 с.

УДК 621.317.7

ОПРЕДЕЛЕНИЕ МОЩНОСТЕЙ ТРЕХФАЗНОЙ НЕСИММЕТРИЧНОЙ СИСТЕМЫ С ИЗОЛИРОВАННОЙ НЕЙТРАЛЬЮ

М.И. Бурбело¹, докт.техн.наук, С.Н. Мельничук²

¹ - Винницкий национальный технический университет,

Хмельницкое шоссе, 95, Винница, 21021, Украина,

² - ГП «НЭК «Укрэнерго» ОП Юго-Западная ЭС, ул. И. Богуна, 5, Винница, 21100, Украина.

e-mail:burbelom@rambler.ru

В статье определены составляющие мгновенной полной мощности трехфазной системы с изолированной нейтралью в несимметричных режимах. Показана возможность представления мгновенной полной мощности в случае сравнительно небольшой несимметрии режима в виде геометрической суммы мгновенных активной и реактивной по Будяну мощностей. Обоснована целесообразность представления мгновенной полной мощности в случае сравнительно большой несимметрии режима в виде геометрической суммы мгновенных активной и реактивной по Фризе мощностей. Последние, в свою очередь, представлены в виде суммы соответственно активной и реактивной мощностей, активной и реактивной пульсирующей мощностей. Получены выражения для определения указанных мощностей через мгновенные значения ортогональных составляющих мощности, которые обеспечивают возможность их непрерывного измерения в течение периода напряжения питания. Библ. 4, рис. 5.

Ключевые слова: несимметричные режимы, активная и реактивная мощности, пульсирующая мощность.

DETERMINATION OF THE THREE-PHASE UNBALANCED POWER SYSTEM WITH ISOLATED NEUTRAL

M.J. Burbelo¹, S.M. Melnychuk²

¹ - Vinnytsia National Technical University,

Khmelnyske shosse, 95, Vinnytsia, 21021, Ukraine,

² - State Enterprise "NPC "Ukrenergo" SU Southwestern Electric Power System,

I. Boguna str., 5, Vinnytsia, 21100, Ukraine.

e-mail:burbelom@rambler.ru

In the article the components of instantaneous total power of three-phase systems with isolated neutral in asymmetric mode. The possibility of representing the instantaneous total power of three-phase unbalanced system s isolated neutral as instantaneous active and reactive to Budeanu power. Expediency view instantaneous total power in the case of relatively large unbalance mode as the geometric sum of instantaneous active and reactive to Fryze power. The latter, in turn, expressed as a sum respectively active and reactive power, active and reactive power pulsing. Expressions are obtained for the determination of capacity in orthogonal components of instantaneous power, which enable their continuous measurement during the period of supply voltage. References 4, figures 5.

Keywords: asymmetrical mode, the active and reactive power, throbbing power.

1. Burbelo M.J. Quazi-balanced frequency variation measuring system. – Vinnytsia: UNIVERSUM-Vinnytsia, 2004. – 225 p. (Ukr)

2. Melnikov N.A. Reactive power consumption in the network of electrical. – Moskva: Energiia, 1975. – 128 p. (Rus)

3. Miliakh A.N., Shidlovskii A.K., Kuznetsov V.G. Scheme of balancing single-phase loads in three-phase circuits. – Kyiv: Naukova dumka, 1973. – 219 p. (Rus)

4. Shidlovskii A.K., Kuznetsov V.G. Improving power quality in electrical networks. – Kyiv: Naukova dumka, 1985. – 268 p. (Rus)

Надійшла 20.02.2013

Received 20.02.2013