

Е.И. Сокол, Ю.А. Сиротин, Т.С. Иерусалимова, О.Г. Гриб, С.В. Швец, Д.А. Гапон

## РАЗВИТИЕ ТЕОРИИ МГНОВЕННОЙ МОЩНОСТИ ТРЕХФАЗНОЙ СЕТИ В УСЛОВИЯХ СЕТЕЦЕНТРИЗМА

*Забезпечення мережецентричного підходу до режиму управління трифазною мережею і оцінка збалансованості режиму мережі з урахуванням впливу миттєвої потужності на величину втрат дасть можливість виключити появу нульової послідовності і, тим самим, підвищити якість електроенергії.* Бібл. 9, рис. 3.

*Ключові слова:* мережецентрична технологія, миттєва потужність, нульова послідовність, нейтраль.

*Обеспечение сетевцентрического подхода к режиму управления трехфазной сетью и оценка сбалансированности режима сети с учетом влияния мгновенной мощности на величину потерь даст возможность исключить появление нулевой последовательности и, тем самым, повысит качество электроэнергии.* Библ. 9, рис. 3.

*Ключевые слова:* сетевцентрическая технология, мгновенная мощность, нулевая последовательность, нейтраль.

**Введение и постановка проблемы.** Проблемы совместимости различных видов генерации требуют концентрации усилий на объединении энергетических кластеров, которые должны быть сбалансированы по первичным энергоресурсам с взаимодействием субъектов производства, передачи и потребления электрической энергии. При сравнении свойств традиционных иерархических и новационных сетевцентрических систем управления режимами работы трехфазной сети, среди основных преимуществ последних следует отметить использование иррегулярных подсистем (подсистемы с переменной структурой и изменяющимся набором функций) и использование информации в режиме реального времени. Однако это требует перестройки не только присоединяемых локальных энергосистем, но и всей совокупности распределенных энергетических объектов [1].

Решение задачи осложняет наличие слабых и в то же время протяженных информационно-управленческих связей на больших территориях [2].

Современные информационные технологии позволяют осуществить многомерный анализ информации о состоянии энергосистемы в едином информационном пространстве при условиях обеспечения сетевцентрического подхода к режиму управления и использования беспилотных летательных аппаратов в качестве средств мониторинга состояния трехфазной сети [3].

Реактивность, асимметрия и несинусоидальность режима потребления для ряда потребителей обусловлены технологическими причинами и имеют длительный характер, что является причиной появления пульсаций мгновенной мощности (ММ), которая вызывает дополнительные потери электроэнергии и способствует возникновению опасных резонансных явлений при работе трехфазной сети [4].

### **Анализ последних исследований и публикаций.**

При несимметричном напряжении задача минимизации потерь и создание уравновешенного режима электропитания становится многокритериальной. Усовершенствование методов компенсации и симметризации

нагрузки при несимметричном напряжении требует дальнейшего развития теории мощности [5].

**Цель исследований.** Развитие методов теории мгновенной мощности в условиях наличия несимметричной нагрузки при сетевцентрическом управлении режимами работы трехфазной сети.

**Основные материалы исследований.** В 4-проводной системе ММ определяется как сумма четырех попарных произведений мгновенных значений (м.з.) токов и напряжений. В силу I закона Кирхгофа только три линейных тока (из четырех) независимы (свободные) величины, а ММ – инвариантна относительно выбора точки отсчета (ТО) одновременно для 4-х напряжений. Такая инвариантность ММ приводит к тому, что и среди 4-х напряжений (трех фазных напряжений и напряжения нейтрали) только три величины напряжений независимы (свободные).

ТО фазных напряжений, относительно которой нулевая последовательность вектора фазных напряжений равна «0», называют *искусственной точкой заземления* (ИТЗ, artificial point). Выбор в качестве ТО ИТЗ для сечения  $\langle a, b, c, n \rangle$  делает 4 величины напряжений условно четырехмерными. Это приводит к усложнению математического описания энергетических процессов и требует неоправданного применения техники множителей Лагранжа [6].

Выбор нейтрали в качестве ТО напряжений не изменяет величину ММ. При этом ММ явно зависит только от трех независимых фазных напряжений и трех независимых линейных токов. Это позволяет считать энергетические процессы (тока и напряжения) в 4-проводной системе трехмерными и полностью определенными тремя фазовыми величинами сечения трех фаз  $\langle a, b, c \rangle$ , зависящими от времени – тремя кривыми (3-waveforms):  $x_a = x_a(t)$ ,  $x_b = x_b(t)$ ,  $x_c = x_c(t)$ . Кривые рассматриваемого процесса в трех фазах определяют радиус-вектор  $x(t) = [x_a(t) \ x_b(t) \ x_c(t)]^T$  со значениями в 3-мерном пространстве  $X^{(3)}$  (3-мерную кривую  $x(t) \in X^{(3)}$ , сокращенно 3-кривую).

Здесь  $X^{(3)}$  – арифметическое пространство трехмерных вещественных векторов (матриц-столбцов) с операциями:

– скалярного произведения (СП):

$$(x, y) = x \bullet y = \begin{bmatrix} x_a & x_b & x_c \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} y_a \\ y_b \\ y_c \end{bmatrix} = x_a y_a + x_b y_b + x_c y_c; \quad (1)$$

– векторного произведения (ВП):

$$x \times y = \begin{bmatrix} x_b y_c - x_c y_b \\ x_c y_a - x_a y_c \\ x_a y_b - x_b y_a \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x_b y_c - x_c y_b - x_c y_a - x_a y_c - x_a y_b - x_b y_a \end{bmatrix} \quad (2)$$

Вектора ортогональны, если их скалярное произведение равно нулю:

$$x \perp y \Leftrightarrow (x, y) = 0. \quad (3)$$

Вектора параллельны (коллинеарны), если их векторное произведение равно нулю:

$$x \parallel y \Leftrightarrow x \times y = 0. \quad (4)$$

Представление энергетических процессов тремя независимыми (а не четырьмя зависимыми) кривыми вектор-функциями со значениями в арифметическом 3-мерном пространстве  $X^{(3)}$  адекватно как для 4-проводных, так и для 3-проводных цепей.

Анализ энергетических процессов в 4-проводной сети. Векторный подход с единых позиций позволяет получать и анализировать новые энергетические характеристики как для 4-проводных, так и для 3-проводных цепей, как в синусоидальном, так и несинусоидальном режиме, как во временной, так и частотной области, математически рассматривая 3-проводную схему электроснабжения как частный случай 4-проводной схемы электроснабжения.

Мгновенная мощность и неуравновешенный режим. В каждый момент времени локальное состояние энергетических процессов в трехфазном сечении  $\langle a, b, c \rangle$  характеризуется векторами мгновенных значений тока и напряжения:

$$\begin{aligned} u(t) &= [u_a(t) \ u_b(t) \ u_c(t)]^{\bullet}, \\ i(t) &= [i_a(t) \ i_b(t) \ i_c(t)]^{\bullet}. \end{aligned} \quad (5)$$

При рассмотрении 4-проводной цепи полагаем, что напряжения измеряются относительно нейтрали. Определение нормы вектора в 3-мерном пространстве  $X^{(3)}$  в каждый момент времени определяет норму вектора м.з. тока и напряжения:

$$|u(t)| = \sqrt{u \bullet u(t)} = \sqrt{u_a(t)^2 + u_b(t)^2 + u_c(t)^2}; \quad (6)$$

$$|i| = |i(t)| = \sqrt{i \bullet i(t)} = \sqrt{i_a(t)^2 + i_b(t)^2 + i_c(t)^2}. \quad (7)$$

Стандартная (скалярная) ММ определена как сумма попарных произведений м.з. тока и напряжения трех фаз:

$$p(t) = u_a(t)i_a(t) + u_b(t)i_b(t) + u_c(t)i_c(t) = \frac{dW}{dt} \quad (8)$$

и характеризует скорость передачи энергии  $W=W(t)$  в этом сечении. Как следует из (1), в каждый момент времени она равна СП векторов (5):

$$p(t) = (i, u) = i \bullet u = [i_a(t) \ i_b(t) \ i_c(t)] \cdot \begin{bmatrix} u_a(t) \\ u_b(t) \\ u_c(t) \end{bmatrix}. \quad (9)$$

Полагая, что процессы (5)  $T$ -периодические, т.е.  $u(t+T)=u(t)$  и  $i(t+T)=i(t)$ , можно корректно определить среднее ММ и выделить переменную составляющую:

$$P = \bar{p} = \frac{1}{T} \int_{\tau}^{\tau+T} p(t) dt, \quad (10)$$

$$p(t) = \bar{p} + \tilde{p}(t),$$

где  $\tau \geq 0$  – произвольное число.

Если ММ не имеет переменной (пульсирующей) компоненты  $\tilde{p}(t) \equiv 0$ , то режим уравновешен [7]. В общем случае  $\tilde{p} = p(t) - \bar{p} \neq 0$  и режим неуравновешен. Симметричный синусоидальный режим уравновешен, даже при ненулевой реактивной мощности. Обратное утверждение не верно. Режим может быть уравновешенным и при несимметричной нагрузке. Режим может быть уравновешенным и при несимметричном напряжении.

Векторная ММ и уравнение мгновенных мощностей. Произведение норм векторов (5) определяет кажущуюся ММ энергетического режима:

$$s(t) = |u(t)| \cdot |i(t)| = u(t) \cdot i(t). \quad (11)$$

В 3-мерном пространстве  $X^{(3)}$  для любой пары векторов справедливо неравенство Коши-Шварца [8], что для векторов (5) дает импликацию:

$$|i(t) \bullet u(t)| \leq |i(t)u(t)| \Rightarrow |p(t)| \leq s(t). \quad (12)$$

Введем векторную ММ как ВП векторов (5) токов и напряжений [8]:

$$\begin{aligned} q(t) &= i(t) \times u(t) = \\ &= \begin{bmatrix} i_b u_c - i_c u_b & i_c u_a - i_a u_c & i_a u_b - i_b u_a \\ q_a & q_b & q_c \end{bmatrix} = \\ &= [q_a \ q_b \ q_c]^{\bullet}. \end{aligned} \quad (13)$$

Попарные СП векторов (5) образуют матрицу Грама (2×2):

$$G(i, u) = \begin{bmatrix} i \bullet i & i \bullet u \\ i \bullet u & u \bullet u \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} i^2(t) & p(t) \\ p(t) & u^2(t) \end{bmatrix}. \quad (14)$$

Положительные величины на ее главной диагонали равны квадратам норм векторов (5) напряжений и токов:  $u \bullet u = |u(t)|^2 = u^2(t)$ ,  $i \bullet i = |i(t)|^2 = i^2(t)$ . Определитель матрицы Грама равен квадрату нормы ВП векторов м.з. токов и напряжений – скалярному квадрату векторной ММ (13):

$$\det[G(i, u)] = \begin{vmatrix} i \bullet i & i \bullet u \\ i \bullet u & u \bullet u \end{vmatrix} \equiv \frac{[i \times u]^{\bullet} [i \times u]^{\bullet}}{q(t) \ q(t)} = |q(t)|^2. \quad (15)$$

Геометрический смысл определителя матрицы Грама: «квадрат площади параллелограмма, который образован векторами напряжения  $u=u(t)$  и тока  $i=i(t)$ » иллюстрируется на рис. 1.

Площадь такого «мгновенного» параллелограмма равна:

$$q(t) = |q(t)| = |u(t)| \cdot |i(t)| \sin \varphi(t) = s(t) \sin \varphi(t), \quad (16)$$

где  $\varphi(t)$  – мгновенный угол между векторами м.з. тока и напряжения в арифметическом 3-мерном пространстве  $X^{(3)}$  в момент времени  $t$ .

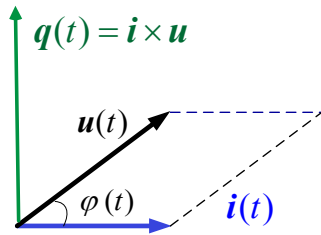


Рис. 1. Вектор тока, вектор напряжения и векторная ММ

Площадь параллелограмма равна нулю, если образующие его вектора параллельны (коллинеарны)  $u(t) \parallel i(t)$ , когда кажущая мощность равна ММ. Поэтому норму ВП тока  $i=i(t)$  и напряжения  $u=u(t)$  можно интерпретировать как неактивную ММ. Чтобы подчеркнуть эту интерпретацию, стандартную (скалярную) ММ будем называть активной ММ. Разложение (15) инвариантно относительно перестановки векторов  $i$  и  $u$ , однако  $i \times u = -u \times i$ . Здесь векторная (неактивная) ММ определяется согласно (13).

Противоположный выбор сделан в « $pq$ -теории» и приводит к ошибке [9]. Отметим, что вектора  $i$ ,  $u$ ,  $i \times u$  образуют правую тройку.

Неравенство Коши (12) в каждый момент квадратично дополняется до равенства определителем матрицы Грама [8]:

$$\underbrace{(i \cdot i)}_{i^2(t)} \cdot \underbrace{(u \cdot u)}_{u^2(t)} = \underbrace{(i \cdot u)}_{p^2(t)}^2 + \underbrace{[i \times u]^*}_{q^2(t)} \cdot \underbrace{(i \times u)}_{q(t)}. \quad (17)$$

Тождество (17) дает уравнение мощности для мгновенных мощностей и иллюстрируется рис. 2:

$$s^2(t) = p^2(t) + q^2(t). \quad (18)$$

В треугольнике мгновенных мощностей (рис. 2) два катета соответствуют активной и неактивной мгновенным мощностям. Если неактивная ММ обусловлена  $\sin\varphi(t)$ , то активная ММ обусловлена  $\cos\varphi(t)$ :

$$p(t) = u \cdot i = \frac{|u||i|}{s(t)} \cdot \frac{u \cdot i}{|u||i|} = s(t) \cdot \cos\varphi(t). \quad (19)$$

Угол в треугольнике мощностей  $\varphi(t)$  равен введенному ранее углу между векторами тока  $i=i(t)$  и напряжения  $u=u(t)$ .

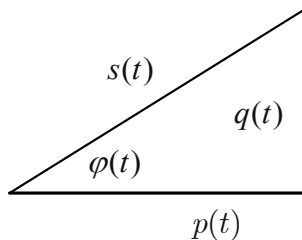


Рис. 2. Треугольник мгновенных мощностей

Если активная ММ (8) характеризует эффективность энергетического режима, то векторная ММ (13) характеризует потери энергетического режима.

*Несбалансированный и сбалансированный режим.* Подобно (10) в векторной ММ можно выделить векторные составляющие – постоянную и переменную:

$$\bar{q} = \frac{1}{T} \int_{\tau}^{\tau+T} q(t) dt, \quad \tilde{q}(t) = q(t) - \bar{q}. \quad (20)$$

Режим, при котором векторная ММ не имеет переменной составляющей  $\tilde{q} = \tilde{q}(t) \equiv 0$ , будем называть сбалансированным режимом [7].

Режим реально сбалансирован, если векторная ММ (неактивная ММ) тождественно равна нулю:

$$q(t) \equiv 0 \Leftrightarrow (\bar{q}(t) \equiv 0) \& (\tilde{q}(t) \equiv 0). \quad (21)$$

Тем самым, режим реально сбалансирован ( $q(t) \equiv q(t) \equiv 0$ ), если в каждый момент (тождественно) вектора (5) параллельны:

$$q(t) \equiv |q(t)| \equiv 0 \Leftrightarrow y(t) \cdot u(t) = i(t). \quad (22)$$

Скалярная величина  $y(t)$  (имеет размерность проводимости) не обязана быть константой и коэффициент мощности при этом, в общем случае, меньше 1.

*Ток и напряжение 0-последовательности.* В 4-проводной цепи при несимметричной нагрузке ток нейтрали не нулевой (ток нулевой последовательности (НП) отличен от нуля). Именно наличие тока НП структурно (и математически) отличает 4-проводную схему энергоснабжения от 3-проводной схемы. НП напряжения обусловлена смещением ноля напряжений фаз. Смещение ноля в расчетах можно учесть соответствующим выбором точки отсчета напряжений. Оба этих энергетических явления с единых методических позиций описываются в рамках общей математической модели, в которой существенную роль играет орт НП (вектор с единичной нормой)

$$e_0 = \frac{1}{\sqrt{3}} [1 \ 1 \ 1]^*, \quad |e| = 1. \quad (23)$$

Разложение 3-мерного вектора  $x = [x_a \ x_b \ x_c]^* \in X^{(3)}$  вдоль орта НП определяет представление 3-мерного вектора двумя взаимно ортогональными составляющими

$$x = \underbrace{(x \cdot e_0)}_{x_0} e_0 + e_0 \times \underbrace{[x \times e_0]}_{x_1} = x_0 + x_1; \quad (x_0 \perp x_1), \quad (24)$$

где « $\times$ » – знак векторного произведения.

В разложении (24) первая компонента:

$$x_0 = (x \cdot e_0) e_0 = \frac{x_a + x_b + x_c}{3} \cdot \begin{bmatrix} 1 \\ 1 \\ 1 \end{bmatrix} = \hat{x} \cdot \begin{bmatrix} 1 \\ 1 \\ 1 \end{bmatrix} \quad (25)$$

является векторной проекцией вектора  $x = (x_a, x_b, x_c)$  на 0-орт (23) и равна 0-составляющей этого вектора.

Координаты вектора (25) одинаковы и равны среднему значению 3-х фазных величин:

$$\hat{x}(t) = (x_a(t) + x_b(t) + x_c(t))/3. \quad (26)$$

Составляющая без 0-компоненты (двойное векторное произведение):

$$x_1 = e_0 \times [x \times e_0] \quad (27)$$

является ортогональным дополнением составляющей (25) до полного вектора (и не содержит 0-составляющую). Эту составляющую будем называть 0-уравновешенной составляющей.

Векторное умножение вектора на 0-орт слева:

$$e_0 \times x = \frac{1}{\sqrt{3}} \begin{bmatrix} x_c - x_b \\ x_a - x_c \\ x_b - x_a \end{bmatrix} = \frac{1}{\sqrt{3}} \begin{bmatrix} 0 & -1 & 1 \\ 1 & 0 & -1 \\ -1 & 1 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_a \\ x_b \\ x_c \end{bmatrix} \quad (28)$$

можно представить с помощью кососимметрической матрицы

$$K = \frac{1}{\sqrt{3}} \begin{bmatrix} 0 & -1 & 1 \\ 1 & 0 & -1 \\ -1 & 1 & 0 \end{bmatrix} \quad (29)$$

в виде:

$$e_0 \times x = K \cdot x \quad (30)$$

Векторное умножение слева и справа отличаются знаком. Умножение справа:

$$y \times e_0 = \frac{1}{\sqrt{3}} \begin{bmatrix} y_b - y_c \\ y_c - y_a \\ y_a - y_b \end{bmatrix} = \frac{1}{\sqrt{3}} \underbrace{\begin{bmatrix} 0 & -1 & 1 \\ -1 & 0 & 1 \\ 1 & -1 & 0 \end{bmatrix}}_{K^{\bullet}} \begin{bmatrix} y_a \\ y_b \\ y_c \end{bmatrix} \quad (31)$$

$$y \times e_0 = K^{\bullet} \cdot y \quad (32)$$

равносильно умножению на транспонированную матрицу  $K^{\bullet} = -K$ .

Для второй компоненты (27) разложения (24) имеем:

$$x_1 = \underbrace{[e_0 \times x]}_{K \cdot x} \times e_0 = \underbrace{K \cdot x \times e_0}_{K^{\bullet} K \cdot x} = \underbrace{K^{\bullet} K}_{D_1} \cdot x = D_1 \cdot x \quad (33)$$

В матричном виде компоненты разложения (24) записываются как:

$$x_0 = D_0 \cdot x, \quad x_1 = D_1 \cdot x \quad (34)$$

Матрицы:

$$D_0 = \frac{1}{3} \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \end{bmatrix}, \quad D_1 = \frac{1}{3} \begin{bmatrix} 2 & -1 & -1 \\ -1 & 2 & -1 \\ -1 & -1 & 2 \end{bmatrix} \quad (35)$$

определяют проектор  $D_0$  на орт 0-последовательности и проектор  $D_1$  на 2-мерное подпространство трехмерных векторов, ортогональных 0-орту:

$$L_1^{(2)} = \left\{ x \in X^{(3)} : x^{\bullet} e_0 = 0 \right\} \subset X^{(3)} \quad (36)$$

Вектор  $x = D_1 \cdot x$  – 0-уравновешен. В силу эквивалентности утверждений:

$$x \perp e_0 \Leftrightarrow x_0 = 0 \Leftrightarrow x = D_1 \cdot x = x_1 \quad (37)$$

справедливо альтернативное описание 2-мерного подпространства (36) трехмерных 0-уравновешенных векторов (без 0-последовательности)

$$L_1^{(2)} = \left\{ x \in X^{(3)} : x = D_1 \cdot x \right\} \quad (38)$$

2-мерного подпространства (36) – как множество 3-мерных векторов, которые не изменяются под воздействием матрицы  $D_1$ .

Матрицы (35) удовлетворяют условиям:

– квадрат матрицы совпадает с самой матрицей (свойство идемпотентности)

$$D_0^2 = D_0, \quad D_1^2 = D_1; \quad (39)$$

– произведение матриц равно нулю (ортогональность):

$$D_0 D_1 = 0; \quad (40)$$

– сумма матриц дает ортогональное разложение единичной матрицы третьего порядка

$$D_0 + D_1 = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (41)$$

Ортогональное разложение (24) справедливо в каждый момент времени, т.е. (24) тождественно выполняется для 3-мерной кривой:

$$x(t) \equiv x_0(t) + x_1(t) \equiv D_0 x(t) + D_1 x(t) \quad (42)$$

Так как выше полученные формулы тождественно выполняются для 3-мерных кривых (справедливы в каждый момент времени), то, чтобы не перегружать формулы, зависимость от времени указывать не будем. В частности для 3-кривых тока и напряжения (5) разложение (42) запишем (явно не указывая зависимость от времени) как (рис. 3):

$$i = \underbrace{D_0 i}_{i_0} + \underbrace{D_1 i}_{i_1} = i_0 + i_1; \quad u = \underbrace{D_0 u}_{u_0} + \underbrace{D_1 u}_{u_1} = u_0 + u_1 \quad (43)$$

Напряжение (разность потенциалов) относительная величина, которая зависит от ТО. Из представления (43) для вектора напряжения следует, что с изменением ТО напряжения изменяется только НП вектора напряжения  $u_0$ , а 0-уравновешенная составляющая вектора напряжения  $u_1$  не изменяется.

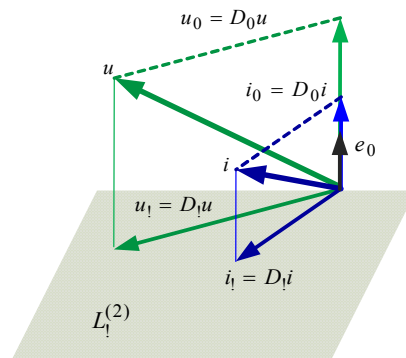


Рис. 3. Ортогональное разложение векторов напряжения и тока вдоль НП в 4-проводной схеме

Вектор фазных напряжений  $u_1 = D_1 \cdot u$  0-уравновешен и (в каждый момент времени) равен вектору напряжений, все фазные компоненты которого измерены относительно ИТЗ.

Все три координаты вектора напряжений 0-последовательности

$$u_0 = D_0 u = (\hat{u}_a(t), \hat{u}_b(t), \hat{u}_c(t))^{\bullet} \quad (44)$$

одинаковы:

$$\hat{u} = (u_a(t) + u_b(t) + u_c(t))/3 \quad (45)$$

и равны разности напряжений между нейтралью и ИТЗ. Если напряжение симметрично, то оно не содержит НП, в этом случае ИТЗ совпадает с нейтралью.

**Выводы.** Сетевая технология управления трехфазной сетью – это идея интеграции всех сил и средств в едином пространстве, которая позволяет увеличить эффективность их применения по назначению. Одна из составляющих этого процесса – оценка сбалансированности режима сети и влияние ММ на величину потерь, даст возможность исключить появление нулевой последовательности и, тем самым, повысить качество электроэнергии.

## СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Сокол Е.И., Гриб О.Г., Швець С.В. Сетецентрическая оптимизация оперативного обслуживания элементов энергосистемы // *Електротехніка і електромеханіка*. – 2016. – №3. – С. 67-72. doi: 10.20998/2074-272X.2016.3.11.
2. Сокол Е.И., Гриб О.Г., Швець С.В. Структурно-параметрическая организация элементов энергосистемы в условиях сетецентризма // *Електротехніка і електромеханіка*. – 2016. – №2. – С. 61-64. doi: 10.20998/2074-272X.2016.2.11.
3. Швець С.В., Воропай В.Г. Мережецентричні аспекти використання безпілотних літальних апаратів // *Вісник Харківського національного технічного університету сільськогосподарства імені Петра Василенка. Серія «Проблеми енергозабезпечення та енергозбереження в АПК України»*. – 2016. – №176. – С. 33-34.
4. Сиротин Ю.А., Иерусалимова Т.С. Уравнения мгновенных и интегральных мощностей несинусоидальных 3-фазных процессов // *Електротехніка і електромеханіка*. – 2016. – №1. – С. 69-73. doi: 10.20998/2074-272X.2016.1.13.
5. Жежеленко И.В., Саенко Ю.Л. Вопросы качества электроэнергии в электроустановках. – Мариуполь, ПГТУ. – 1996. – 173 с.
6. Willems J.L., Ghijselen J.A. The relation between the generalized apparent power and the voltage reference // *Energia elettrica*. – 2004. – vol.81. – pp. 37-45.
7. Шидловский А.К., Мостовяк А.Г., Москаленко А.Г. Уравновешивание режимов многофазных цепей. – Киев: Наукова думка, 1990. – 181 с.
8. Корн Г., Корн Т. Справочник по математике (для научных работников и инженеров). – М.: Наука, 1973. – 832 с.
9. Peng F.Z., Lai J.S. Generalized instantaneous reactive power theory for three-phase power systems // *IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement*. – 1996. – vol.45. – no.1. – pp. 293-297. doi: 10.1109/19.481350.

## REFERENCES

1. Sokol Y.I., Gryb O.G., Shvets S.V. Network centrism optimization of expeditious service of elements of the power supply system. *Electrical engineering & electromechanics*, 2016, no.3, pp. 67-72. (Rus). doi: 10.20998/2074-272X.2016.3.11.
2. Sokol Y.I., Gryb O.G., Shvets S.V. The structural and parametrical organization of elements of a power supply system in the conditions of network centrism. *Electrical engineering & electromechanics*, 2016, no.2, pp. 61-64. (Rus). doi: 10.20998/2074-272X.2016.2.11.
3. Shvets S.V., Voropai U. G. Mariechantal aspects of the use of unmanned aerial vehicles. *Bulletin of Kharkiv Petro Vasylenko National Technical University of Agriculture*, 2016, no.176, pp. 33-34. (Ukr).
4. Sirotnin Yu.A., Ierusalimova T.S. Instantaneous and integral power equations of nonsinusoidal 3-phase processes. *Electrical engineering & electromechanics*, 2016, no.1, pp. 69-73. doi: 10.20998/2074-272X.2016.1.13.
5. Zhezhelenko I.V., Saenko Yu.L. *Voprosy kachestva elektroenergii v elektroustanovkakh* [Issues of power quality in electrical installations]. Mariupol, PSTU Publ., 1996. 173 p. (Rus).
6. Willems J.L., Ghijselen J.A. The relation between the generalized apparent power and the voltage reference. *Energia elettrica*, 2004, vol.81, pp. 37-45.

7. Shidlovskii A. K., Mostoviyak A.G., Moskalenko A.G. *Uravnoveshivanie rezhimov mnogofaznykh tsepei* [Balancing the modes of multiphase circuits]. Kiev, Naukova Dumka Publ., 1990. 181 p. (Rus).
8. Korn G., Korn T. *Spravochnik po matematike dlia nauchnykh rabotnikov i inzhenerov* [Mathematical handbook for scientists and engineers]. Moscow, Nauka Publ., 1973. 832 p. (Rus).
9. Peng F.Z., Lai J.S. Generalized instantaneous reactive power theory for three-phase power systems. *IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement*, 1996, vol.45, no.1, pp. 293-297. doi: 10.1109/19.481350.

Поступила (received) 17.05.2017

Сокол Евгений Иванович<sup>1</sup>, д.т.н., проф., член-корр. НАНУ,  
Сиротин Юрий Александрович<sup>1</sup>, д.т.н., проф.,  
Иерусалимова Татьяна Сергеевна<sup>1</sup>, к.т.н.,  
Гриб Олег Герасимович<sup>1</sup>, д.т.н., проф.,  
Швець Сергей Викторович<sup>1</sup>, к.т.н. доц.,  
Гапон Дмитрий Анатольевич<sup>1</sup>, к.т.н. доц.,  
<sup>1</sup> Национальный технический университет  
«Харьковский политехнический институт»,  
61002, Харьков, ул. Кирпичева, 2,  
тел/phone +38 057 7076551,  
e-mail: Ierusalimovat@mail.ru, dima12345ml@mail.ru,  
se55sh32@gmail.com

Y.I. Sokol<sup>1</sup>, Yu.A. Sirotnin<sup>1</sup>, T.S. Ierusalimova<sup>1</sup>, O.G. Gryb<sup>1</sup>,  
S.V. Shvets<sup>1</sup>, D.A. Gapon<sup>1</sup>  
<sup>1</sup> National Technical University «Kharkiv Polytechnic Institute»,  
2, Kyrpychova Str., Kharkiv, 61002, Ukraine.

#### The development of the theory of instantaneous power of three-phase network in terms of network centrism.

**Purpose.** Information technologies allow multidimensional analysis of information about the state of the power system in a single information space in terms of providing network-centric approach to control and use of unmanned aerial vehicles as tools for condition monitoring of three-phase network. **Methodology.** The idea of energy processes in three independent (rather than four dependent) curves vector-functions with values in the arithmetic three-dimensional space adequately for both 4-wire and 3-wire circuits. The presence of zero sequence current structural (and mathematically) features a 4-wire scheme of energy from a 3-wire circuit. The zero sequence voltage caused by the displacement of the zero voltage phases. Offset zero in the calculations can be taken into account by appropriate selection of the reference voltages. Both of these energetic phenomena with common methodical positions are described in the framework of the general mathematical model, in which a significant role is played by the ort zero sequence. **Results.** Vector approach with a unified voice allows us to obtain and analyze new energy characteristics for 4-wire and 3-wire circuits in sinusoidal and non-sinusoidal mode, both in temporal and frequency domain. **Originality.** Symmetric sinusoidal mode is balanced, even with non-zero reactive power. The converse is not true. The mode can be balanced and unbalanced load. The mode can be balanced and unbalanced voltage. **Practical value.** Assessing balance in network mode and the impact of instantaneous power on the magnitude of the losses, will allow to avoid the appearance of zero sequence and, thus, to improve the quality of electricity. References 9, figures 3.

**Key words:** network-centric technology, instant power, zero sequence, neutral.