Коэффициент мощности трехфазных приемников, соединенных по схемам звезды и треугольника

ЦИЦИКЯН Г.Н., КАЗНАЧЕЕВ А.Н.

Рассмотрены теоретические положения и приведены практические рекомендации по определению коэффициента мощности для трехфазных приемников на основе представления о полной мощности как о произведении норм тока и напряжения.

К л ю ч е в ы е с л о в а: *несимметричная нагрузка, схема звезды, схема треугольника, полная мощность, коэффициент мощности*

Theoretical principles are considered and practical recommendations are given for determining the power factor for three-phase loads based on the concept of apparent power as the product of current and voltage norms.

K e y w o r d s: *unbalanced load, star and delta connection diagrams, apparent power, power factor*

Для соединенных по схеме звезды фаз приемника полная мощность зависит от выбора точки отсчета фазных напряжений, в качестве которой могут выступать нейтраль звезды и точка, совпадающая с центром тяжести треугольника межфазных напряжений. В [1] отмечается, что если система линейных векторов неизменна, то как бы не изменялась система фазных векторов, прямая и обратная симметричные составляющие последней остаются неизменными. Поэтому системы фазных векторов, соответствующие данной системе линейных векторов, могут отличаться друг от друга только нулевой составляющей. В случае отсчета фазных напряжений от центра тяжести треугольника межфазных напряжений полную мощность интерпретируют как максимальную активную мощность, которая может быть передана приемнику при определенных ограничениях (связях) [2]. В [2] показано, что квадрат нормы фазных напряжений с началом отсчета от нейтрали схемы звезды больше квадрата нормы напряжений, взятых относительно центра тяжести треугольника межфазных напряжений, на величину $3U_0^2$, где U_0 – модуль составляющей нулевой последовательности системы фазных напряжений. Следовательно, полная мощность как произведение норм фазных напряжений и токов всегда больше или, в крайнем случае, равна максимальной активной мощности. Примеры расчета в [2] конкретизируют последнее утверждение.

В [3] на примере трехфазной нагрузки, соединенной по схеме звезды, у которой активное сопротивление одной из фаз составляет 0,7 Ом, второй – 0,3 Ом, а третья фаза разомкнута (обрыв фазы), сопоставлены данные расчетов полной мощности и коэффициента мощности при двух вариантах выбора точки отсчета напряжений: от центра тяжести треугольника межфазных напряжений и от нейтрали схемы звезды согласно рис. 1. где центр тяжести треугольника создан соединением по схеме звезды одинаковых активных сопротивлений.

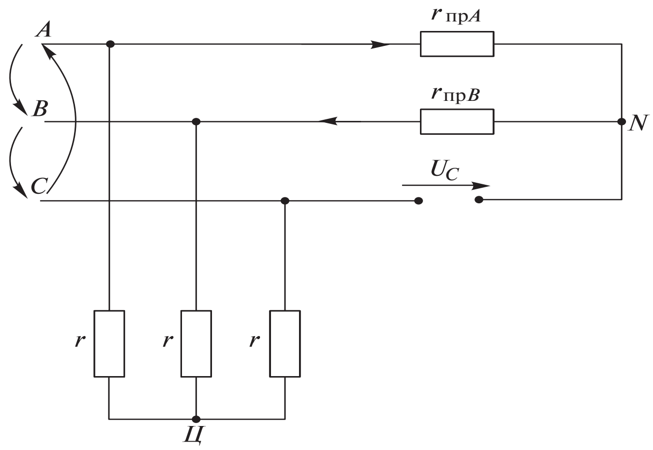

Рис. 1

Для симметричной системы межфазных напряжений ($U_{AB} = U_{BC} = U_{AC} = U_{\text{л}}$) в первом случае имеем[1]:

$$S_{\text{Б}} = P_{\max} = \frac{1}{\sqrt{3}}\sqrt{3U_{\text{л}}^2}\sqrt{\frac{2U_{\text{л}}^2}{(r_{\text{пр}A} + r_{\text{пр}B})^2}} = \sqrt{2}\,\frac{U_{\text{л}}^2}{r_{\text{пр}A} + r_{\text{пр}B}}, \quad (1)$$

где $r_{\text{пр}A}$ и $r_{\text{пр}B}$ – активные сопротивления приемника фаз A и B.

Активная мощность P, выделяемая в нагрузке,

$$P = \frac{U_{\text{л}}^2}{r_{\text{пр}A} + r_{\text{пр}B}}, \quad (2)$$

[1]Интерпретация полной мощности как максимальной активной мощности при определенных ограничениях, как нам известно, принадлежит Бухгольцу.

тогда с учетом (1) и (2) получаем коэффициент мощности

$$\lambda_Б = \frac{P}{S_Б} = \frac{1}{\sqrt{2}} = 0{,}707.$$

Во втором случае необходимо найти еще напряжение U_C в месте обрыва.

Результат расчета в [3] дает основание полагать, что это напряжение не было принято во внимание. Из рис. 1 имеем для напряжения U_C

$$\dot U_C = \dot U_{CA} + \frac{\dot U_{AB}}{r_{прA} + r_{прB}} r_{прA} =$$

$$= -\left(\dot U_{BC} + \frac{\dot U_{AB}}{r_{прA} + r_{прB}} r_{прB}\right),$$

откуда

$$U_C = U_л \frac{\sqrt{r_{прA}^2 + r_{прA}r_{прB} + r_{прB}^2}}{r_{прA} + r_{прB}}.$$

Поэтому произведение норм напряжения и тока определяет полную мощность в виде

$$S = \frac{U_л^2\sqrt{2}}{(r_{прA} + r_{прB})^2}\sqrt{2r_{прA}^2 + r_{прB}^2 + r_{прA}r_{прB}}. \quad (3)$$

Разделив (2) на (3), для коэффициента мощности в случае симметричной системы линейных напряжений получаем выражение

$$\lambda = \frac{P}{S} = \frac{1}{\sqrt{2}} \frac{r_{прA} + r_{прB}}{\sqrt{r_{прA}^2 + 2r_{прB}^2 + r_{прA}r_{прB}}}, \quad (4)$$

подставляя в которое значения $r_{прA} = 0{,}7$ Ом и $r_{прB} = 0{,}3$ Ом, находим $\lambda = 0{,}604$ вместо $\lambda_Б = 0{,}707$. Значение $\lambda_Б$ в столбце 3 табл. 1 публикации [3] равно 0,928 (0,93), что действительно имеет место, если не учитывать напряжение U_C.

Более сложные примеры, иллюстрирующие неправомерность принятых в настоящее время определений полной мощности при проявлениях несимметрии приведены в [4]. В этой статье рекомендовано определять полную мощность и коэффициент мощности по произведениям норм тока и напряжения с точкой отсчета последних от центра тяжести треугольника межфазных напряжений. Пример, отвечающий рис. 1, но при $r_{прA} + r_{прB}$, был автором публикаций [3, 4] рассмотрен в [5] для двух вариантов расчета полной мощности: по формуле для норм напряжения и тока, когда напряжения определяются относительно центра тяжести треугольника межфазных напряжений, и по арифметическому варианту — как суммы полных мощностей всех фаз, но с напряжениями, взятыми из первого варианта. Тогда коэффициенты мощности равны соответственно 0,707 и $\sqrt{3}/2 = 0{,}866$.

Рассматривая приемники, соединенные по схеме треугольника, в [6] было отмечено, что в схеме рис. 2, где $R \to \infty$, $X_L = X_C$, значения P и Q равны нулю. Однако токи протекают при приложенных межфазных напряжениях, и трудно объяснить, почему полная мощность равна нулю. Похожий пример указан и в [7]. Полная мощность для приемника, соединенного по схеме треугольника, в [3] определена с помощью напряжений, отсчитываемых от центра тяжести треугольника межфазных напряжений.

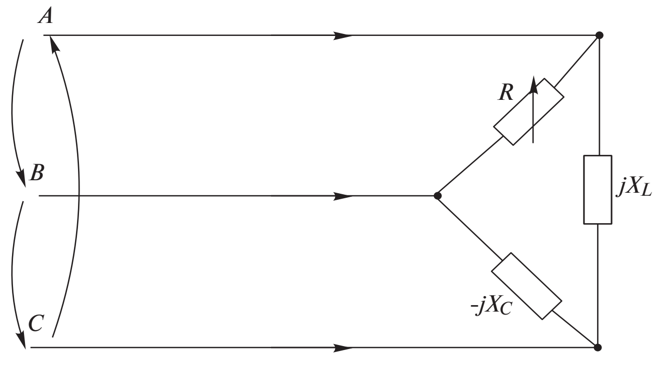

Рис. 2

Для равностороннего треугольника можно записать выражение для комплексной мощности в виде

$$P + jQ = 3U_ф^2(Y_{AB}^* + Y_{BC}^* + Y_{CA}^*),$$

где знаком «*» отмечены сопряженные величины.

Для симметричной нагрузки $P + jQ = 3Y_э U_ф^2$, и тогда величина $Y_э$ определяется как $Y_э = g_э - jb_э = Y_{AB} + Y_{BC} + Y_{CA}$.

В схеме на рис. 4 с эквивалентной проводимостью $Y_э$ протекают симметричные токи в фазах, далее обозначенные со штрихом; их отличие от токов на схеме рис. 3 при одной и той же системе фазных напряжений и одинаковых мощностях $P + jQ$ приводит к системе несимметричных токов, определяемых в виде

$$\dot I_{Aac} = \dot I_A - \dot I'_A = (\dot I_{AB} - \dot I_{CA}) - \dot I'_A = (\dot U_{AB}Y_{AB} -$$
$$- \dot U_{CA}Y_{CA}) + \dot U_A Y_э = (\dot U_B - \dot U_A)Y_{AB} - (\dot U_A - \dot U_C)Y_{CA} +$$
$$+ \dot U_A(Y_{AB} + Y_{BC} + Y_{CA}) = \dot U_A Y_{BC} + \dot U_B Y_{AB} + \dot U_C Y_{CA}. \quad (5)$$

Полагая $\dot U_A = U_ф$, $\dot U_B = a^2 U_ф$, $\dot U_C = aU_ф$, из уравнения (5) получаем:

$$\dot I_{Aac} = U_ф(Y_{BC} + a^2 Y_{AB} + aY_{CA}) = U_ф Y_{ac}. \quad (6)$$

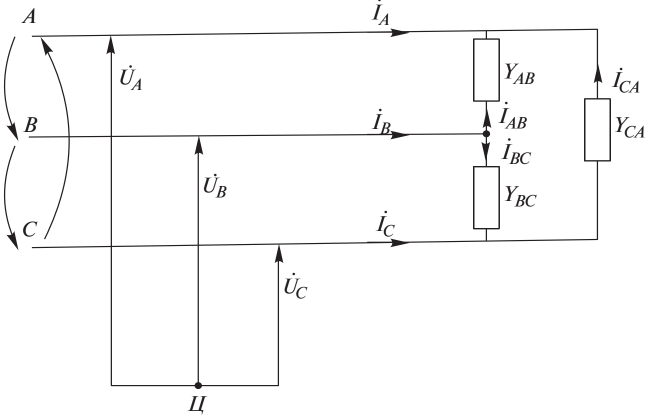

Рис. 3

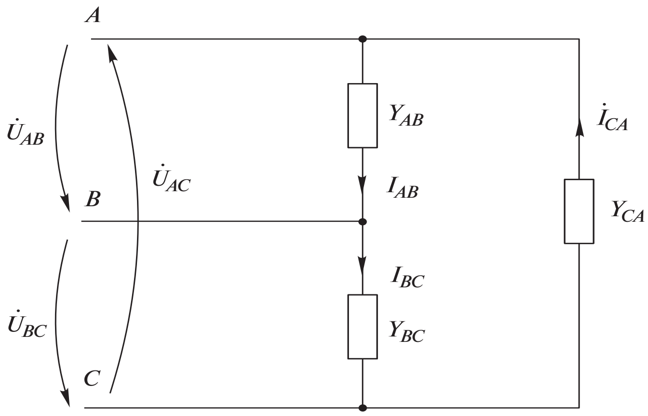

Рис. 4

Для двух других токов (рис. 3):

$$\dot I_{B\text{ас}} = \dot I_B - \dot I'_B = (\dot I_{BC} - \dot I_{AB}) - \dot I'_B = (\dot U_{BC}Y_{BC} -$$

$$- \dot U_{AB}Y_{AB}) + \dot U_B Y_э = (\dot U_C - \dot U_B)Y_{BC} - (\dot U_B - \dot U_A)Y_{AB} +$$

$$+ \dot U_B(Y_{AB} + Y_{BC} + Y_{CA}) = aY_{\text{ас}}U_ф; \qquad (7)$$

$$\dot I_{C\text{ас}} = a^2 Y_{\text{ас}} U_ф. \qquad (8)$$

Исходя из выражений (6)–(8), определяем норму для составляющих токов, обусловленных несимметрией:

$$\left\|\dot I_{\text{ас}}\right\| = \sqrt{3}U_ф\left|Y_{BC} + a^2Y_{AB} + aY_{CA}\right|. \qquad (9)$$

Поэтому с учетом (9) и квадрата нормы линейных токов, указанных на рис. 4,

$$I_A^2 + I_B^2 + I_C^2 = (g_э^2 + b_э^2 + \left|Y_{BC} + a^2Y_{AB} + aY_{CA}\right|^2 3U_ф^2 \qquad (10)$$

коэффициент мощности можно рассчитать по формуле

$$\lambda_Б = \frac{g_э}{\sqrt{g_э^2 + b_э^2 + \left|Y_{BC} + a^2Y_{AB} + aY_{CA}\right|^2}}. \qquad (11)$$

Коэффициенту мощности будем приписывать индекс «Б» тогда, когда отсчет напряжений ведется от центра тяжести треугольника межфазных напряжений. Пусть $b_{AB} = b_{AC} = b_{BC} = 0$, $g_{AB} = 0$ но $g_{BC} = g_{CA} = g.$ Тогда из (11) получаем $\lambda_Б = 2g/\sqrt{5g^2} = 0{,}894.$

Разложение системы токов, протекающих в приемнике, соединенном по схеме треугольника, приведет к иному выражению для коэффициента мощности, что сейчас и покажем. Принятые обозначения ясны из рис. 5, комплексные проводимости заданы в виде:

$$Y_{AB} = g_{AB} - jb_{AB},\ Y_{BC} = g_{BC} - jb_{BC},$$

$$Y_{CA} = g_{CA} - jb_{CA}.$$

Тогда

$$P + jQ = \dot U_{AB}\overset{*}{I}_{AB} + \dot U_{BC}\overset{*}{I}_{BC} + \dot U_{CA}\overset{*}{I}_{CA} =$$

$$= g_{AB}U_{AB}^2 + g_{BC}U_{BC}^2 + g_{AC}U_{AC}^2 +$$

$$+ j(b_{AB}U_{AB}^2 + b_{BC}U_{BC}^2 + b_{CA}U_{AC}^2).$$

Введем эквивалентные проводимости $g_{э1}$ и $b_{э1}$, определяемые по выражениям:

$$g_{э1} = \frac{g_{AB}U_{AB}^2 + g_{BC}U_{BC}^2 + g_{AC}U_{AC}^2}{\left\|U_л\right\|^2} = \frac{P}{\left\|U_л\right\|^2}; \qquad (12)$$

$$b_{э1} = \frac{b_{AB}U_{AB}^2 + b_{BC}U_{BC}^2 + b_{CA}U_{AC}^2}{\left\|U_л\right\|^2} = \frac{Q}{\left\|U_л\right\|^2}, \qquad (13)$$

где $\left\|U_л\right\|^2 = U_{AB}^2 + U_{BC}^2 + U_{AC}^2.$

Рассматривая токи $\dot I'_{ABa} = g_{э1}\dot U_{AB}$; $\dot I'_{ABr} = - jg_{э1}\dot U_{AB}$ и аналогичные токи с индексами

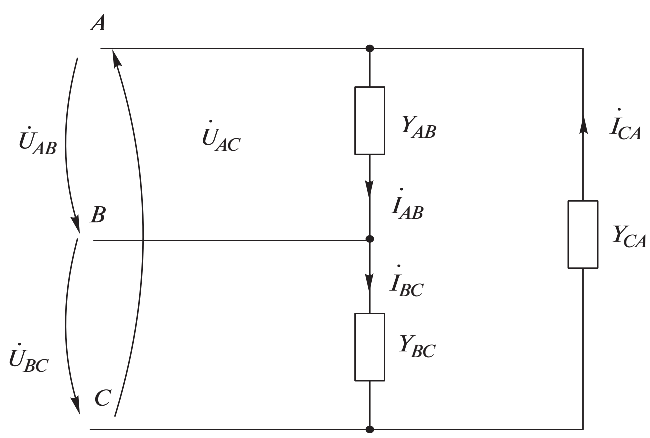

Рис. 5

«*BC*» и «*CA*», запишем постулируемое равенство для векторов строк:

$$[\dot I_{AB}, \dot I_{BC}, \dot I_{CA}] = [\dot{\tilde I}_{ABa}, \dot{\tilde I}_{BCa}, \dot{\tilde I}_{CAa}] + [\dot{\tilde I}_{ABr}, \dot{\tilde I}_{BCr}, \dot{\tilde I}_{CAr}] +$$

$$+ [\dot I^{\text{ас}}_{AB}, \dot I^{\text{ас}}_{BC}, \dot I^{\text{ас}}_{CA}], \qquad (14)$$

из которого вытекают следующие выражения для составляющих токов, обусловленных асимметрией:

$$\dot I^{\text{ас}}_{AB} = \dot U_{AB}[(g_{AB} - g_{\text{э}1}) - j(b_{AB} - b_{\text{э}1})];$$

$$\dot I^{\text{ас}}_{BC} = \dot U_{BC}[(g_{BC} - g_{\text{э}1}) - j(b_{BC} - b_{\text{э}1})];$$

$$\dot I^{\text{ас}}_{CA} = \dot U_{CA}[(g_{CA} - g_{\text{э}1}) - j(b_{CA} - b_{\text{э}1})].$$

Следствием ортогональности токов в декомпозиции (14), которую можно установить, является следующее разложение:

$$I^2_{AB} + I^2_{BC} + I^2_{CA} = (\tilde I_{ABa})^2 + (\tilde I_{BCa})^2 + (\tilde I_{CAa})^2 +$$

$$+ (\tilde I_{ABr})^2 + (\tilde I_{BCr})^2 + (\tilde I_{CAr})^2 + (I^{\text{ас}}_{AB})^2 + (I^{\text{ас}}_{BC})^2 +$$

$$+ (I^{\text{ас}}_{CA})^2 = (g^2_{\text{э}1} + b^2_{\text{э}1})\|U_{\text{л}}\|^2 + (I^{\text{ас}}_{AB})^2 + (I^{\text{ас}}_{BC})^2 + (I^{\text{ас}}_{CA})^2. \qquad (15)$$

Подставляя (12) и (13) в выражение (15), находим разложение для полной мощности в виде

$$S^2 = (I^2_{AB} + I^2_{BC} + I^2_{CA})\|U_{\text{л}}\|^2 = P^2 + Q^2 + (D_{\text{ас}})^2, \qquad (16)$$

где $(D_{\text{ас}})^2 = [(\dot I^{\text{ас}}_{AB})^2 + (\dot I^{\text{ас}}_{BC})^2 + (\dot I^{\text{ас}}_{CA})^2]\|U_{\text{л}}\|^2$.

При симметричной системе межфазных напряжений коэффициент мощности можно определить по выражению

$$\lambda = \frac{g_{AB} + g_{BC} + g_{CA}}{\sqrt{(g_{AB} + g_{BC} + g_{CA})^2 + (b_{AB} + b_{BC} + b_{CA})^2 + \frac{1}{3}[|Y_1|^2 + |Y_2|^2 + |Y_3|^2]}}, \qquad (17)$$

где

$$|Y_1|^2 = (2g_{AB} - g_{BC} - g_{CA})^2 + (2b_{AB} - b_{BC} - b_{CA})^2;$$

$$|Y_2|^2 = (2g_{BC} - g_{AB} - g_{CA})^2 + (2b_{BC} - b_{AB} - b_{CA})^2;$$

$$|Y_3|^2 = (2g_{CA} - g_{AB} - g_{BC})^2 + (2b_{CA} - b_{AB} - b_{BC})^2,$$

и, как можно видеть, при $g_{AB} = g_{BC} = g_{CA} = g$, $b_{AB} = b_{BC} = b_{CA} = b$ формула (17) сводится к выражению:

$$\lambda = \frac{g}{\sqrt{g^2 + b^2}}. \qquad (17\text{а})$$

При идеальной симметрии формула (11) не будет отличаться от (17а). Для случая, рассмотренного при нахождении $\lambda_{\text{Б}}$ по формуле (11) с $b_{AB} = b_{BC} = b_{CA} = 0$, $g_{AB} = 0$ и $g_{BC} = g_{CA} = g$ получим вместо значения $\lambda_{\text{Б}} = 0{,}894$ следующую оценку этой величины по формуле (17):

$$\lambda = \frac{2g}{\sqrt{4g^2 + \frac{1}{3}(4g^2 + g^2 + g^2)}} = \sqrt{\frac{2}{3}} = 0{,}816.$$

Такой же результат можно получить и непосредственным вычислением активной мощности и полной мощности как произведения норм напряжения и тока. Для более полного понимания различий в результатах расчета выделим рассмотренный в [8] случай (рис. 5), когда $Y_{AB} = g_{AB} = g$, $Y_{BC} = Y_{CA} = 0$. Тогда по формуле (17)

$$\lambda = \frac{g}{\sqrt{(g)^2 + \frac{1}{3}(4g^2 + g^2 + g^2)}} = \frac{g}{\sqrt{g^2 + 2g^2}} = 0{,}577.$$

Этот результат легко проверяется непосредственным вычислением.

В то же время из формулы (11) имеем:

$$\lambda_{\text{Б}} = \frac{g}{\sqrt{g^2 + g^2}} = \frac{1}{\sqrt{2}} = 0{,}707.$$

В [8] значение отношения P/S не отличается от $\lambda_{\text{Б}} = 0{,}707$.

В следующем примере с несимметричной системой фазных напряжений была смоделирована трехфазная система (рис. 6) с напряжениями, резистив-

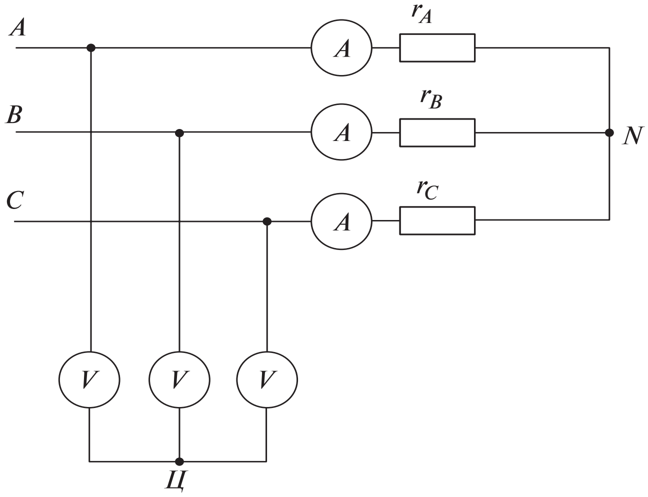

Рис. 6

ными сопротивлениями и токами, равными $U_{Aц}$ = =184,57 В, $U_{Bц}$ = 154,95 В, $U_{Cц}$ = 174,65 В, r_A =10 Ом, r_B = 2 Ом, r_C = 0,5 Ом, I_A =28,72 А, I_B = 107,38 А, I_C = 120,44 А, активная мощность составляет 38562,2 Вт.

Вычисляем нормы токов, напряжений и полную мощность $S_Б$ как произведение этих норм:

$$\|U\| = \sqrt{U_{Aц}^2 + U_{Bц}^2 + U_{Cц}^2} = 297{,}6 \text{ В};$$

$$\|I\| = \sqrt{I_A^2 + I_B^2 + I_C^2} = 163{,}9 \text{ А};$$

$$S_Б = \|U\| \|I\| = 48778{,}2 \text{ В}\cdot\text{А}.$$

Определяем полную мощность S при напряжениях относительно нейтрали N:

$$S = \sqrt{I_A^2 + I_B^2 + I_C^2}\sqrt{(I_A r_A)^2 + (I_B r_B)^2 + (I_C r_C)^2} =$$
$$= 59597{,}8 \text{ В}\cdot\text{А}.$$

Находим значения $\lambda_Б = P/S_Б = 0{,}791$ и $\lambda = P/S = 0{,}647$, видно, что их различие велико, чем невозможно пренебречь.

Рассмотрим пример расчета, когда межфазные напряжения несинусоидальны. Если такие напряжения записываются в виде $u_{AB}(t)$, $u_{BC} = u_{AB}(t - T/3)$, $u_{CA} = u_{AB}(t + T/3)$, то декомпозицию токов можно провести, руководствуясь публикациями [5, 9].

Для упрощения будем предполагать, что наряду с основными гармониками в спектральном составе в наибольшей степени представлены пятые, а остальные гармоники выражены достаточно слабо, и ими можно пренебречь. Обозначим действующие значения гармоник напряжения соответственно через U_1 и U_5. Тогда квадрат нормы напряжения равен $3(U_1^2 + U_5^2)$. Вычислим коэффициент мощности при $b_{AB} = b_{BC} = b_{CA} = 0$ и дополнительно предположим, что активные проводимости g_{AB}, g_{BC}, g_{CA} зависят от частоты.

В нашем случае

$$\lambda = (P_1 + P_5)/S, \tag{18}$$

где

$$P_1 = U_1^2(g_{AB_1} + g_{BC_1} + g_{CA_1});$$

$$P_5 = U_5^2(g_{AB_5} + g_{BC_5} + g_{CA_5});$$

$$S = \sqrt{3(U_1^2 + U_5^2)[U_1^2(g_{AB_1}^2 + g_{BC_1}^2 + g_{CA_1}^2) + U_5^2(g_{AB_5}^2 + g_{BC_5}^2 + g_{CA_5}^2)]}. \tag{19}$$

Здесь $g_{AB_1}, g_{BC_1}, g_{CA_1}$ — активные проводимости элементов схемы треугольника для основной частоты; $g_{AB_5}, g_{BC_5}, g_{CA_5}$ — активные проводимости элементов для частоты, кратной пяти.

В выражении (19) в квадратных скобках, как нетрудно видеть, записаны квадраты нормы для токов. Сопоставим результаты вычислений по (17) и (18) при $g_{AB} = 0$ и с учетом следующих предположений: $U_5 = 0{,}2U_1$, $g_{BC_1} = g_{CA_1} = g_1$, $g_{BC_5} = g_{CA_5} = g_5$ и $g_5 = g_1/\sqrt{5} = 0{,}4472 g_1$.

Для коэффициента мощности, определяемого по (18), имеем

$$\lambda = \frac{U_1^2 2g_1 + U_5^2 2g_5}{\sqrt{3(U_1^2 + U_5^2)[U_1^2 2g_1^2 + U_5^2 2g_5^2]}} = \sqrt{\frac{2}{3}}0{,}994,$$

это значение мало отличается от $\sqrt{2}/3 = 0{,}816$, т.е. от оценки коэффициента мощности, полученной для симметричной системы межфазных синусоидальных напряжений [см. (17)].

Подытоживая изложенное, отметим, что различие оценок коэффициента мощности как для соединения звездой, так и треугольником, наиболее выражено при крайних проявлениях несимметрии, когда нормальная работа трехфазных приемников невозможна и они должны быть отключены. Если принять во внимание практическую сторону вопроса, то в большинстве случаев измерения напряжений относительно нейтрали звезды и токов внутри соединения треугольником весьма затруднительны или неосуществимы. Вместе с тем возможно измерение линейных токов и напряжений относительно искусственно созданной нулевой точки для потребителей, соединенных как по схеме звезды, так и треугольника.

Несимметрия линейных токов даже при незначительных проявлениях, когда оценки коэффициентов мощности по формулам для $\lambda_Б$ и λ слабо отличаются друг от друга, может свидетельствовать о нарушениях в работе приемников, вызванных различными причинами.

Вывод. Коэффициент мощности в трехфазной системе определяется на основе представления о полной мощности как о произведении норм напряжения и тока. Контроль коэффициента мощности в общем случае допускается проводить по измерениям линейных токов и напряжений, отсчитываемых от центра тяжести треугольника межфазных напряжений.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Калантаров П.Л., Нейман Л.Р.** Теория цепей переменного тока. — М.; Л.: ГЭИ, 1954.

2. **Цицикян Г.Н.** Полная мощность и коэффициент мощности в трехфазной системе. — Электричество, 2010, №7.

3. **Czarnecki L.S.** Power related phenomena in three-phase unbalanced systems. – IEEE Trans. on Power Delivery, 1995, vol. 10, №3.

4. **Czarnecki L.S.** Energy flow and power phenomena in electrical circuits: illusions and reality. – Electrical Engineering, 2000, №82.

5. **Czarnecki L.S.** Physical reasons of currents RMS value increase in power systems with nonsinusoidal voltage. – IEEE Trans. on Power Delivery, January 1993, vol.8, №1.

6. **Filipsky P.S., Baghzouz Y. Cox M.D.** Discussion of power in the IEEE Dictionary. – IEEE Trans. on Power Delivery, July 1994, vol. 9, №3.

7. **Лурье Л.С.** Кажущаяся мощность трехфазной системы. – Электричество, 1951, №1.

8. **Czarnecki L.S.** Instantaneous Reactive Power p-q Theory and Power Properties of Three-Phase Systems. – IEEE Trans. on Power Delivery, January 2006, vol. 21, №1.

9. **Czarnecki L.S.** Orthogonal decomposition of the current in a 3-phase nonlinear asymmetrical circuit with a nonsinusoidal voltage source. – IEEE Trans. on Instrumentation and Measurement, March 1988, vol. 37, №1.

[07.09.10]

Авторы: ***Цицикян Георгий Николаевич*** *окончил электротехнический факультет Ереванского политехнического института в 1963 г. Докторскую диссертацию «Электротехнические комплексы и системы, включая их управление и регулирование» защитил в 1989 г. в Ленинградском электротехническом институте. Начальник НИО ФГУП «ЦНИИ СЭТ», ученый секретарь научно-технического совета.*

Казначеев Анатолий Николаевич *курсант 6 курса Государственной морской ак5адемии им. адмирала С.О. Макаров, инженер ФГУП ЦНИИ «СЭТ».*

Поправка

В статье Цицикяна Г.Н. «Полная мощность и коэффициент мощности... («Электричество», 2010, №7) замечены следующие опечатки: на с. 49 во второй колонке снизу вместо $([u], [i]^{t})$ должно быть $([v], [i]^{t})$; вместо $([u], [i]^{t})$ в выделенной строке для мощности $([u], [v]^{t})=0$; двумя строчками выше должно быть $[v]$ вместо $[i]$; на с. 50 в девятой строке сверху в первой колонке должно быть $[i], [i]^{t}$; в формуле (2) следует вертикальную черту заменить на плюс; на рис. 2 медианы треугольника должны пересекаться в одной точке; на с. 53 в первой колонке во второй строке таблицы численных значений должно быть всюду 1,0; в приложении в восьмой строке сверху должно быть U_k cosj $_k$; перед выводами в строке после (П-2) должна стоять величина U^2.