

Ю.Л. Саенко, Д.Н. Калюжный

## ИДЕНТИФИКАЦИЯ ЛИНЕЙНОЙ ОБОБЩЕННОЙ НАГРУЗКИ В ТРЕХФАЗНОЙ ТРЕХПРОВОДНОЙ СЕТИ В ЗАДАЧЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ФАКТИЧЕСКИХ ВКЛАДОВ В ТОЧКЕ ОБЩЕГО ПРИСОЕДИНЕНИЯ

*На основі матричного методу аналізу електричних кіл визначена структура еквівалентної схеми заміщення узагальненого навантаження. Запропоновано спосіб наближеного визначення параметрів еквівалентної схеми заміщення узагальненого навантаження. Виконано аналіз помилок наближеного визначення параметрів еквівалентної схеми заміщення узагальненого навантаження стосовно задачі розподілу фактичних внесків у точці загального приєднання. Бібл. 7, табл. 1, рис. 4.*

*Ключові слова:* еквівалентна схема заміщення лінійного узагальненого навантаження, фактичний внесок, точка загального приєднання.

*На основе матричного метода анализа электрических цепей определена структура эквивалентной схемы замещения обобщенной нагрузки. Предложен способ приближенного определения параметров эквивалентной схемы замещения обобщенной нагрузки. Выполнен анализ ошибок приближенного определения параметров эквивалентной схемы замещения обобщенной нагрузки применительно к задаче распределения фактических вкладов в точке общего присоединения. Библ. 7, табл. 1, рис. 4.*

*Ключевые слова:* эквивалентная схема замещения линейной обобщенной нагрузки, фактический вклад, точка общего присоединения.

**Введение.** Несимметрия и отклонение напряжений являются одними из основных характеристик электрической энергии, которые в большинстве случаев не соответствуют ее качеству [1]. Последствия потребления и передачи электрической энергии пониженного качества общеизвестны [2] и, в конечном счете, сводятся к финансовым убыткам [3]. Определение фактических вкладов в понижение качества электрической энергии в точке общего присоединения (ТОП) является решением задачи о распределении компенсации экономических потерь потерпевшей стороне между всеми участниками рынка электрической энергии.

**Постановка задачи.** Существующие методы распределения фактических вкладов [4], независимо от выбранного математического пространства своей реализации, имеют одну общую проблему. Она заключается в адекватном представлении и задании параметров схемы замещения обобщенной нагрузки. Так, в пространстве симметричных составляющих обобщенную нагрузку представляют в виде совокупности источника тока или ЭДС со своим сопротивлением, что соответствует схемам замещения Нортона или Тевенена. В пространстве фазных составляющих можно ограничиться пассивными элементами, где однозначного мнения по поводу структуры схемы замещения применительно к задаче распределения фактических вкладов нет.

При несимметричной нагрузке использование метода симметричных составляющих не дает никаких преимуществ по сравнению с пространством фазных составляющих. Исходя из этого, в статье рассматривается вопрос определения структуры и параметров схемы замещения линейной искажающей обобщенной нагрузки в трехфазных трехпроводных сетях в рамках пространства фазных составляющих.

**Цель исследования.** Разработать подход идентификации линейной обобщенной нагрузки в трехфазной трехпроводной сети в рамках пространства

фазных составляющих для задачи распределения фактических вкладов в токе общего присоединения.

**Результаты исследования.** Рассмотрим систему электроснабжения (СЭС) с выделенной обобщенной нагрузкой относительно ТОП, в которой производятся измерения показателей качества электрической энергии (рис. 1,а). Будем считать, что все элементы электроэнергетической системы и приемники электрической энергии обобщенной нагрузки могут вызывать только линейные (синусоидальные) искажения напряжения. Тогда схему замещения такой СЭС можно представить в виде соединения активных и пассивных элементов (рис. 1,б). Дополнительно примем допущение о пренебрежении взаимными сопротивлениями и проводимостями отдельных элементов СЭС.

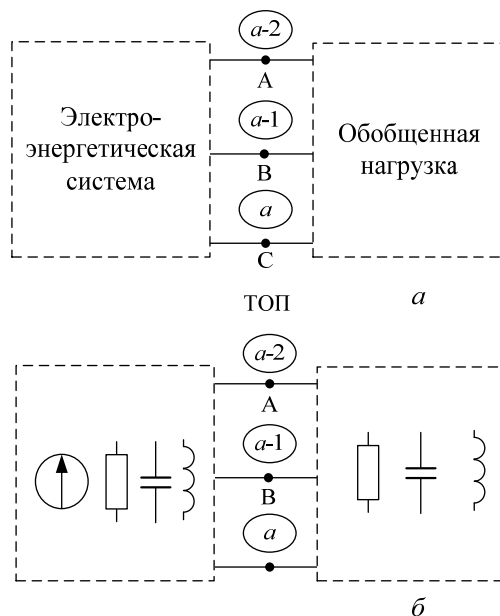


Рис. 1. Система электроснабжения: а – структурная схема относительно ТОП; б – условная схема замещения электроэнергетической системы и обобщенной нагрузки

Согласно методу узловых потенциалов общая схема замещения электроэнергетической системы и обобщенной нагрузки описывается следующим матричным уравнением:

$$\begin{bmatrix} Y_{aa} & Y_{ab} \\ Y_{ba} & Y_{bb} \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} \Phi_a \\ \Phi_b \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} J_a \\ J_b \end{bmatrix}, \quad (1)$$

где  $a$  – порядковый номер последнего узла со стороны схемы замещения электроэнергетической системы;  $b$  – количество независимых узлов в общей схеме замещения электроэнергетической системы и обобщенной нагрузки.

Решение уравнения (1) относительно подматрицы  $\vec{\Phi}_a$  с учетом отсутствия активных элементов в схеме замещения обобщенной нагрузки имеет следующий вид:

$$(Y_{aa} + Y_{eq}) \times \vec{\Phi}_a = \vec{J}_a, \quad (2)$$

где  $Y_{eq}$  – матрица узловых проводимостей эквивалентной обобщенной нагрузки, которая характеризует структуру ее схемы замещения.

Матрица  $Y_{eq}$  определяется следующим образом:

$$Y_{eq} = -Y_{ab} \times Y_{bb}^{-1} \times Y_{ba}. \quad (3)$$

Особенностью матрицы  $Y_{eq}$  в рассматриваемом нами случае является то, что в ней все элементы, за исключением элементов блока размерностью  $[3 \times 3]$ , нулевые. Из этого следует, что эквивалентная схема замещения обобщенной нагрузки должна иметь три независимых узла. Этому условию соответствует структура схемы замещения, изображенная на рис. 2.

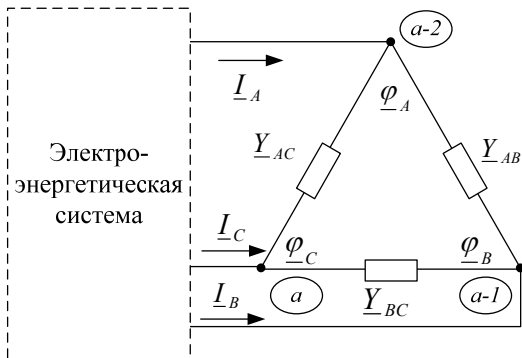


Рис. 2. Структура эквивалентной схемы замещения обобщенной нагрузки

Рассмотрим задачу определения параметров схемы замещения обобщенной нагрузки. Исходными данными для этого являются измеряемые в ТОП фазные токи ( $I_A$ ,  $I_B$  и  $I_C$ ) и линейные напряжения ( $U_{AB}$ ,  $U_{BC}$  и  $U_{AC}$ ).

Параметры схем замещения и измеряемые параметры режима связаны между собой следующим образом:

$$\begin{cases} U_{AB} \cdot Y_{AB} + 0 \cdot Y_{BC} + U_{AC} \cdot Y_{AC} = I_A; \\ U_{BA} \cdot Y_{AB} + U_{BC} \cdot Y_{BC} + 0 \cdot Y_{AC} = I_B. \end{cases} \quad (4)$$

Система (4), состоящая из двух алгебраических линейных уравнений и содержащая три неизвестных

( $Y_{AB}$ ,  $Y_{BC}$  и  $Y_{AC}$ ), является неопределенной и совместной. Ее общее решение имеет следующий вид:

$$\begin{cases} Y_{AB} = (I_A - U_{AC} \cdot Y_{AC}) / U_{AB}; \\ Y_{BC} = -(I_C + U_{AC} \cdot Y_{AC}) / U_{BC}. \end{cases} \quad (5)$$

Для определения неизвестных проводимостей  $Y_{AB}$ ,  $Y_{BC}$  и  $Y_{AC}$  можно прибегнуть к переопределению системы (5) путем использования данных двух независимых, например, следующих друг за другом измерений. Применяя метод наименьших квадратов к такой системе уравнений, неизвестные проводимости будут определяться следующим образом:

$$\vec{Y} = (U^T U)^{-1} U^T \vec{I}, \quad (6)$$

где  $U$  – матрица измеренных напряжений;  $\vec{I}$  – матрица-столбец измеренных токов;  $\vec{Y}$  – матрица-столбец искоемых проводимостей.

Использование изложенного подхода определения неизвестных проводимостей требует соблюдения следующих условий. Измеренные параметры режима работы должны отображать два различных состояния СЭС, вызванные изменениями только со стороны электроэнергетической системы. С практической точки зрения такая ситуация в СЭС маловероятна, поэтому многие исследователи, например [5, 6], предлагают проводить активный эксперимент на основе принудительного коммутирования батареи конденсаторов в ТОП. Учитывая методику измерения ПКЭ, где минимальный интервал измерения параметров режима работы начинается с 0,2 с, этот подход оказывается неприемлемым. Кроме этого, результаты математического моделирования показывают высокую чувствительность решения (6) к незначительным изменениям состояния обобщенной нагрузки, а также величине возмущающего воздействия со стороны электроэнергетической системы. Как следствие, адекватное определение параметров схемы замещения обобщенной нагрузки согласно выражению (6) в условиях реальной эксплуатации является технически не реализуемым.

Рассмотрим возможность приближенного определения параметров схемы замещения обобщенной нагрузки. С этой целью обратимся к ее схеме замещения, представленной в виде соединения элементов в звезду (рис. 3).

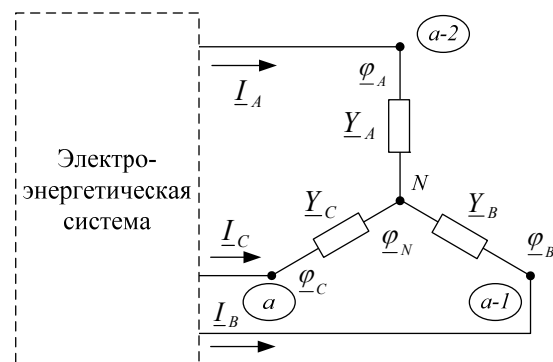


Рис. 3. Эквивалентная схема замещения обобщенной нагрузки с соединением элементов в звезду

Рассматриваемая схема замещения с четырьмя узлами описывается следующей системой трех уравнений:

$$\begin{cases} \underline{U}_A \cdot \underline{Y}_A = \underline{I}_A; \\ \underline{U}_B \cdot \underline{Y}_B = \underline{I}_B; \\ \underline{U}_C \cdot \underline{Y}_C = \underline{I}_C. \end{cases} \quad (7)$$

Как известно, точное измерение фазных напряжений в трехфазных трехпроводных сетях, из-за физического отсутствия нейтральной точки, в общем случае выполнить невозможно. Поэтому для приближенного определения фазных напряжений воспользуемся измеряемыми значениями линейных напряжений:

$$\begin{cases} \underline{U}_A^{\approx} = (\underline{U}_{AB1} \cdot e^{-j30} + \underline{U}_{AB2} \cdot e^{j30}) / \sqrt{3}; \\ \underline{U}_B^{\approx} = \underline{U}_{BA} + \underline{U}_A^{\approx}; \\ \underline{U}_C^{\approx} = \underline{U}_{CB} + \underline{U}_B^{\approx}, \end{cases} \quad (8)$$

где  $\underline{U}_{AB1}$  и  $\underline{U}_{AB2}$  - линейные напряжения прямой и обратной последовательностей соответственно.

Ошибка определения фазных напряжений для схемы замещения рис. 3 будет определяться разностью точного  $\varphi_N$  и приближенного  $(\underline{U}_A^{\approx} + \underline{U}_B^{\approx} + \underline{U}_C^{\approx})/3$  значений потенциалов точки  $N$  (рис. 4):

$$\Delta\varphi = \varphi_N - (\underline{U}_A^{\approx} + \underline{U}_B^{\approx} + \underline{U}_C^{\approx})/3. \quad (9)$$

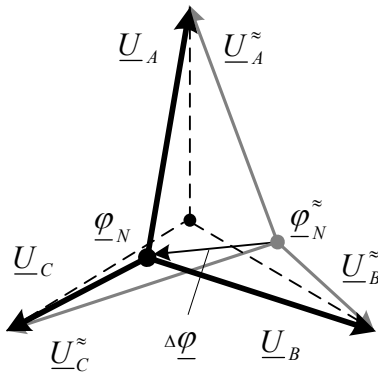


Рис. 4. Точные и приближенные значения фазных напряжений для эквивалентной схемы замещения обобщенной нагрузки с соединением элементов в звезду (рис. 3)

Таким образом, приближенные значения проводимостей  $\underline{Y}_A^{\approx}$ ,  $\underline{Y}_B^{\approx}$  и  $\underline{Y}_C^{\approx}$ , вычисленные согласно (7) с учетом (8), связаны со своими точными значениями следующим равенством:

$$\underline{Y}_{ph}^{\approx} = \underline{Y}_{ph} - \underline{Y}_{ph} \cdot \Delta\varphi / \underline{U}_{ph}^{\approx}, \quad (10)$$

где символ « $ph$ » соответствует фазе А, В или С.

Для решения задачи распределения ФВ основополагающим является разделение параметров схемы замещения на неискажающие и искажающие части [7]. При этом наиболее чувствительными к данному разделению, с точки зрения ошибок определения фазных проводимостей, оказываются неискажающие (*nondisturbing*) и искажающие (*disturbing*) части,

используемые для распределения ФВ по несимметрии напряжений:

$$\begin{cases} \underline{Y}_{ph}^{nondis} = (\underline{Y}_A + \underline{Y}_B + \underline{Y}_C) / 3; \\ \underline{Y}_{ph}^{dis} = \underline{Y}_{ph} - \underline{Y}_{ph}^{nondis}. \end{cases} \quad (11)$$

Исходя из этого, проведем анализ ошибок определения неискажающих и искажающих частей параметров эквивалентной схемы замещения обобщенной нагрузки для двух характерных случаев, когда на шинах сбалансированной и несбалансированной нагрузок имеет место несимметричное напряжение.

При сбалансированной нагрузке с несимметричным напряжением ошибки определения  $\underline{Y}_{ph}^{nondis}$  и  $\underline{Y}_{ph}^{dis}$  составляют:

$$\delta \underline{Y}_{ph}^{nondis} = \frac{\underline{Y}_{ph} \cdot \Delta\varphi}{3} \cdot \left( \frac{1}{\underline{U}_A^{\approx}} + \frac{1}{\underline{U}_B^{\approx}} + \frac{1}{\underline{U}_C^{\approx}} \right); \quad (12)$$

$$\delta \underline{Y}_{ph}^{dis} = \underline{Y}_{ph} \cdot \Delta\varphi / \underline{U}_{ph}^{\approx} - \frac{\underline{Y}_{ph} \cdot \Delta\varphi}{3} \cdot \left( \frac{1}{\underline{U}_A^{\approx}} + \frac{1}{\underline{U}_B^{\approx}} + \frac{1}{\underline{U}_C^{\approx}} \right). \quad (13)$$

Упростим множитель  $\left( \frac{1}{\underline{U}_A^{\approx}} + \frac{1}{\underline{U}_B^{\approx}} + \frac{1}{\underline{U}_C^{\approx}} \right)$  в предположении, что  $\left| \frac{\underline{U}_{A2}^{\approx}}{\underline{U}_{A1}^{\approx}} \right| \ll 1$ :

$$\begin{aligned} & \left( \frac{1}{\underline{U}_{A1}^{\approx} + \underline{U}_{A2}^{\approx}} + \frac{1}{\underline{U}_B^{\approx}} + \frac{1}{\underline{U}_C^{\approx}} \right) \approx \\ & \approx - \left( \frac{\underline{U}_{A2}^{\approx}}{(\underline{U}_{A1}^{\approx})^2} + \frac{\underline{U}_{B2}^{\approx}}{(\underline{U}_{B1}^{\approx})^2} + \frac{\underline{U}_{C2}^{\approx}}{(\underline{U}_{C1}^{\approx})^2} \right) = - \frac{3 \cdot \underline{U}_{A2}^{\approx}}{(\underline{U}_{A1}^{\approx})^2}. \end{aligned} \quad (14)$$

Тогда с учетом (14) приближенное значение  $\delta \underline{Y}_{ph}^{nondis}$  составит:

$$\delta \underline{Y}_{ph}^{nondis} \approx - \underline{Y}_{ph} \cdot \Delta\varphi \cdot \frac{\underline{U}_{A2}^{\approx}}{(\underline{U}_{A1}^{\approx})^2}. \quad (15)$$

Принимая во внимание, что множитель  $\underline{U}_{A2}^{\approx} / (\underline{U}_{A1}^{\approx})^2$  на два порядка уменьшает результат произведения  $\underline{Y}_{ph} \cdot \Delta\varphi$  в (15), величину погрешности  $\delta \underline{Y}_{ph}^{nondis}$  можно считать стремящейся к нулю. Так, например, при  $|\Delta\varphi|$  равном 10 % от модуля фазного значения прямой последовательности  $|\underline{U}_{A1}^{\approx}|$  и  $|\underline{U}_{A2}^{\approx}|$  равном 4 % от  $\left| (\underline{U}_{A1}^{\approx})^2 \right|$  ошибка определения  $\underline{Y}_{ph}^{nondis}$  сбалансированной нагрузки будет иметь порядок  $-0,004 \cdot \underline{Y}_{ph}$ , что в относительных единицах соответствует  $-0,4\%$ .

Ошибка  $\delta \underline{Y}_{ph}^{dis}$  с учетом (14) будет приближенно определяться следующим образом:

$$\delta Y_{-ph}^{dis} \approx Y_{-ph} \cdot \Delta \varphi \cdot \left( \frac{1}{U_{-ph}^{\approx}} + \frac{U_{A2}^{\approx}}{(U_{A1}^{\approx})^2} \right). \quad (16)$$

Учитывая, что  $U_{A2}^{\approx}/(U_{A1}^{\approx})^2$  величина второго порядка малости относительно  $1/U_{-ph}^{\approx}$ , можем записать:

$$\delta Y_{-ph}^{dis} \approx Y_{-ph} \cdot \frac{\Delta \varphi}{U_{-ph}^{\approx}}. \quad (17)$$

Как видно из (17), значение ошибки  $\delta Y_{-ph}^{dis}$  будет определяться величиной  $\Delta \varphi$ . Так, например, при  $|\Delta \varphi| = 0,1$   $|U_{-ph}^{\approx}|$  порядок ошибки  $\delta Y_{-ph}^{dis}$  составит  $0,1 Y_{-ph}$  при истинном значении  $Y_{-ph}^{dis} = 0$ .

При несбалансированной нагрузке с несимметричным напряжением имеем:

$$\delta Y_{-ph}^{nondis} = \frac{1}{3} \cdot \left( \begin{aligned} & \underline{Y}_A \cdot \left| \frac{\Delta \varphi}{U_A^{\approx}} \right| \cdot e^{j(\alpha - \varphi_A)} + \underline{Y}_B \cdot \left| \frac{\Delta \varphi}{U_B^{\approx}} \right| \times \\ & \times e^{j(\alpha - \varphi_B)} + \underline{Y}_C \cdot \left| \frac{\Delta \varphi}{U_C^{\approx}} \right| \cdot e^{j(\alpha - \varphi_C)} \end{aligned} \right). \quad (18)$$

$$\delta Y_{-ph}^{dis} = \underline{Y}_{-ph} \cdot \Delta \varphi / U_{-ph}^{\approx} - \frac{1}{3} \cdot \left( \begin{aligned} & \underline{Y}_A \left| \frac{\Delta \varphi}{U_A^{\approx}} \right| \cdot e^{j(\alpha - \varphi_A)} + \\ & + \underline{Y}_B \left| \frac{\Delta \varphi}{U_B^{\approx}} \right| \cdot e^{j(\alpha - \varphi_B)} + \underline{Y}_C \left| \frac{\Delta \varphi}{U_C^{\approx}} \right| \cdot e^{j(\alpha - \varphi_C)} \end{aligned} \right), \quad (19)$$

где  $\alpha = \arg(\Delta \varphi)$ ;  $\varphi_{ph} = \arg(U_{-ph}^{\approx})$ .

Допустим, что значения фазных напряжений ( $U_A^{\approx}$ ,  $U_B^{\approx}$  и  $U_C^{\approx}$ ) приближенно можно считать симметричными. Тогда с учетом возможности произвольного поворота системы векторов имеем:

$$\begin{aligned} & \underline{Y}_A \left| \frac{\Delta \varphi}{U_A^{\approx}} \right| \cdot e^{j0} + \underline{Y}_B \left| \frac{\Delta \varphi}{U_B^{\approx}} \right| \cdot e^{j120} + \underline{Y}_C \left| \frac{\Delta \varphi}{U_C^{\approx}} \right| \cdot e^{j240} \approx \\ & \approx \left| \frac{\Delta \varphi}{U_{-ph}^{\approx}} \right| \cdot \left[ \underline{Y}_A^{dis} \cdot e^{j0} + \underline{Y}_B^{dis} \cdot e^{j120} + \underline{Y}_C^{dis} \cdot e^{j240} \right] \end{aligned} \quad (20)$$

Если предположить, что аргументы искажающих частей проводимостей ( $\underline{Y}_A^{dis}$ ,  $\underline{Y}_B^{dis}$  и  $\underline{Y}_C^{dis}$ ) таковы, что их умножение на единичные векторы  $e^{j0}$ ,  $e^{j120}$  и  $e^{j240}$  в сумме дадут вектор  $|\underline{Y}_A^{dis}| + |\underline{Y}_B^{dis}| + |\underline{Y}_C^{dis}|$ , то модуль ошибки  $\delta Y_{-ph}^{nondis}$  для случая несбалансированной нагрузки может быть оценен следующим неравенством:

$$\left| \delta Y_{-ph}^{nondis} \right| < \left| \frac{\Delta \varphi}{U_{-ph}^{\approx}} \right| \cdot \left| Y_{-ph \max}^{dis} \right|, \quad (21)$$

где  $Y_{-ph \max}^{dis}$  - максимальная фазная искажающая проводимость, которая для крайнего случая (несимметричная нагрузка, соединенная по схеме звезда (рис. 3), задана одним плечом) равна:

$$Y_{-ph \max}^{dis} = \frac{2}{3} Y_{-ph}. \quad (22)$$

Таким образом, для  $|\Delta \varphi| = 0,1$   $|U_{-ph}^{\approx}|$  имеем

$$\left| \delta Y_{-ph}^{nondis} \right| < 0,067 \cdot \left| Y_{-ph} \right|.$$

Рассмотрим ошибку  $\delta Y_{-ph}^{dis}$  с учетом того, что второе слагаемое в (19) представляет собой  $\delta Y_{-ph}^{nondis}$  (21):

$$\delta Y_{-ph}^{dis} \approx \frac{\Delta \varphi}{U_{-ph}^{\approx}} \cdot \left( Y_{-ph} - \delta Y_{-ph}^{nondis} \right). \quad (23)$$

С учетом (22) модуль максимального значения ошибки  $\delta Y_{-ph}^{dis}$  может быть оценен таким неравенством:

$$\left| \delta Y_{-ph \max}^{dis} \right| < \left| \frac{\Delta \varphi}{U_{-ph}^{\approx}} \right| \cdot \frac{5}{3} \left| Y_{-ph} \right|. \quad (24)$$

Количественно, при  $|\Delta \varphi| = 0,1$   $|U_{-ph}^{\approx}|$ ,  $\left| \delta Y_{-ph \max}^{dis} \right| < 0,17 \cdot \left| Y_{-ph} \right|$ .

Из проведенного анализа ошибок  $\delta Y_{-ph}^{nondis}$  и  $\delta Y_{-ph}^{dis}$  следует, что неискажающие части проводимостей сбалансированной и несбалансированной обобщенной нагрузки могут быть определены с достаточно высокой точностью. Определение искажающих частей характеризуется значительными ошибками, соизмеримыми с точными значениями искомым величин.

**Выводы.** Структура эквивалентной схемы замещения линейной обобщенной нагрузки в трехфазных трехпроводных сетях определяется тремя независимыми узлами, что соответствует схеме соединения элементов в треугольник. Точное определение параметров этой схемы замещения на основе методики измерения показателей качества электрической энергии является технически не реализуемым. Предложен способ приближенного определения параметров эквивалентной схемы замещения линейной обобщенной нагрузки, основанный на приближенном определении фазных напряжений. Ошибки вычисления неискажающих частей параметров эквивалентной схемы замещения линейной обобщенной нагрузки характеризуются незначительными величинами, которыми можно пренебречь. Ошибки вычисления искажающих частей могут достигать величин, соизмеримых с точными значениями.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Kartashev I., Tulsy V., Shamonov R. Assessing of impact of disturbing load on power quality // 17th International

Conference on Electricity Distribution. Barcelona, 12-15 May, 2003. pp. 1-5.

2. Жежеленко И.В., Шидловский А.К., Пивняк Г.Г., Саенко Ю.Л., Нойберггер Н.А. Электромагнитная совместимость потребителей. – М.: Машиностроение, 2012. – 349 с.

3. Чэпман Д. Цена низкого качества электроэнергии // Энергосбережение. – 2004. – №1. – С. 66-69.

4. Sayenko Yu., Kalyuzhniy D. Analytical methods for determination of the factual contributions impact of the objects connected to power system on the distortion of symmetry and sinusoidal waveform of voltages. *Przeglad Elektrotechniczny*. – 2015. – vol.11. – pp. 81-85. doi: **10.15199/48.2015.11.23**.

5. Гамазин С.И., Петрович В.А. Определение фактического вклада потребителя в искажении параметров качества электрической энергии // Промышленная энергетика. – 2003. – №1. – С. 32-38.

6. Aiqiang Pan, Jian Zhou. Power quality analysis and harmonic tracing in city grid based on big monitoring data // 23rd International Conference on Electricity Distribution. Lyon, 15-18 June 2015. pp. 1-4.

7. Sayenko Y., Sukhonos M., Kalyuzhniy D., Bolgov V. Mathematical model for real-time assessment of contributions of disturbing sources to power quality level at a Point of Common Coupling // 10th Electric Power Quality and Supply Reliability (PQ) Conference. Tallinn, 29-31 August, 2016, pp. 29-35. doi: **10.1109/pq.2016.7724085**.

#### REFERENCES

1. Kartashev I., Tulsy V., Shamonov R. Assessing of impact of disturbing load on power quality. *17th International Conference on Electricity Distribution*. Barcelona, 12-15 May, 2003. pp. 1-5.

2. Zhezhelenko I.V., Shidlovskiy A.K., Pivnyak G.G., Sayenko Yu.L., Noyberger N.A. *Elektromagnitnaya sovmestimost potrebiteley* [Electromagnetic compatibility of customers]. Moscow, Mashinostroenie Publ., 2012. 349 p. (Rus).

3. Chepmen D. Price of low power quality. *Energoberezhnie - Energy Saving*, 2004, no.1, pp. 66-69. (Rus).

4. Sayenko Yu., Kalyuzhniy D. Analytical methods for determination of the factual contributions impact of the objects connected to power system on the distortion of symmetry and sinusoidal waveform of voltages. *Przeglad Elektrotechniczny*, 2015, vol.11, pp. 81-85. doi: **10.15199/48.2015.11.23**.

5. Gamazin S.I., Petrovich V.A. Determining the actual contribution of the consumer in the distortion of the quality parameters of electric energy. *Promyshlennaya energetika*, 2003, no.1, pp. 38-42. (Rus).

6. Aiqiang Pan, Jian Zhou. Power quality analysis and harmonic tracing in city grid based on big monitoring data. *23rd International Conference on Electricity Distribution*. Lyon, 15-18 June 2015. pp. 1-4.

7. Sayenko Y., Sukhonos M., Kalyuzhniy D., Bolgov V. Mathematical model for real-time assessment of contributions of disturbing sources to power quality level at a Point of Common Coupling. *10th Electric Power Quality and Supply Reliability (PQ) Conference*, Tallinn, 29-31 August, 2016, pp. 29-35. doi: **10.1109/pq.2016.7724085**.

*Поступила (received) 29.09.2016*

Саенко Юрий Леонидович<sup>1</sup>, д.т.н., проф.,  
Калюжный Дмитрий Николаевич<sup>2</sup>, к.т.н., доц.,  
<sup>1</sup> Приазовский государственный технический университет,  
87500, Мариуполь, ул. Университетская, 7,  
тел/phone +38 0629 446551, e-mail: YuriSayenko@mail.ru  
<sup>2</sup> Харьковский национальный университет  
городского хозяйства им. А.Н. Бекетова,  
61002, Харьков, ул. Революции, 12,  
тел/phone +38 050 5606835, e-mail: KalyuzhniyDN@mail.ru

*Yu.L. Sayenko<sup>1</sup>, D.N. Kalyuzhniy<sup>2</sup>*

<sup>1</sup> Pryazovskyi State Technical University,  
7, Universytets'ka Str., Mariupol, 87500, Ukraine.

<sup>2</sup> O.M. Beketov National University of Urban Economy  
in Kharkiv,  
12, Revolution Str., Kharkiv, 61002, Ukraine.

**Identification of generalized linear load in three-phase three-wire network in the problem of the distribution of actual contributions at the point of common coupling.**

**Purpose.** To perform structural and parametric identification of generalized load equivalent circuit of three-phase three-wire load in the network in the space of phase components. **Methodology.** Underlying structural identification methods are matrix analysis of electrical circuits. Parametric identification is based on the basic laws of electrical engineering. **Results.** The structure of a generalized load equivalent circuit is composed in three independent nodes. An approximate method for determining its parameters is proposed. The estimation error determination undistorted and distorted parts of the parameters of generalized load equivalent circuit. **Originality.** Approximate determination of equivalent circuit parameters are based on the results of a single measurement of voltages and phase currents. **Practical value.** The proposed replacement structure and a method for determining its parameters of the circuit can be used in the problem of the distribution of actual contributions at the point of common coupling. References 7, tables 1, figures 4.

**Key words:** equivalent circuit of linear generalized load, actual contribution, point of common coupling.