

ТОК НЕБАЛАНСА И ТОК ПУЛЬСАЦИЙ ПРИ НЕСИММЕТРИЧНОМ НАПРЯЖЕНИИ

Ю.А.Сиротин, канд.техн.наук,
 Национальный технический университет «ХПИ»,
 ул. Фрунзе, 21, Харьков, 61002, Украина.

Для трехфазной системы при несимметричном синусоидальном напряжении в точке подключения несимметричной нагрузки рассмотрены два ортогональных разложения полного трехфазного тока. Первое разложение связано с разложением тока вдоль вектора напряжений и дает две компоненты: ток баланса и ток небаланса. Второе разложение связано с разложением тока вдоль (комплексно) сопряженного вектора напряжений и дает две компоненты: пульсирующий и неппульсирующий токи. Получены два уравнения мощности. Показано, как связаны полученные разложения между собой. Приведены результаты моделирования. Библи. 7.

Ключевые слова: трехфазная система, мгновенная мощность, активная, реактивная, комплексная, кажущаяся (полная) мощность, мощность пульсаций, несимметричная нагрузка, несимметричное напряжение, коэффициент мощности, уравнение мощности, неуровновешенный режим.

Передача энергии от симметричного синусоидального источника в симметричную линейную нагрузку трехфазной системы происходит с постоянной скоростью. Мгновенная мощность (ММ) не имеет колебательной компоненты (даже при реактивной, но симметричной нагрузке) – режим *уравновешен* [1]. В реальной ситуации нарушение как симметрии напряжений, так и симметрии (сбалансированности) нагрузки приводит к пульсации ММ [1–7]. При *симметричном* напряжении и несимметричной нагрузке мощность пульсаций (МП) определяется мощностью небаланса (несимметрии нагрузки) [2–4]. Это стало основанием предположить, что МП должна входить в уравнение мощности и при *несимметричном* напряжении [1].

Однако если напряжение несимметрично, а нагрузка симметрична, то мощность небаланса нагрузки равна нулю, но пульсации наблюдаются [5–6]. В различных режимах присутствие или отсутствие этих мощностей может быть не одновременным. Мощность пульсаций и мощность небаланса – различные характеристики энергетических процессов, хотя и связанные между собой. Задача заключается в установлении этой связи в общей ситуации несимметрии нагрузки и напряжения.

В данной работе для описания энергетических процессов в качестве математического аппарата использована алгебра трехмерных векторов с комплексными координатами (3d комплексов). Алгебра 3d комплексов использует операции скалярного и векторного произведения. И мощность тока баланса (комплексная мощность), и мощность небаланса определяются соответствующими ортогональными компонентами полного тока: *током баланса и током небаланса* [3–5]. Трехфазный ток баланса определен ортогональной проекцией (скалярным произведением) 3d комплекса полного тока (КПТ) на 3d комплекс напряжения (КН), а ток небаланса определен ортогональным дополнением и связан с векторным произведением [3]. Ток баланса обладает минимальным действующим значением среди всех токов, которые при заданном напряжении имеют фазовый сдвиг, определяемый реактивной мощностью, и в нагрузку поставляют энергию с такой же активной мощностью, что и полный ток. Именно ортогональное разложение тока приводит (теорема Пифагора для компонент тока) к стандартному уравнению мощности – *уравнению мощности потерь*. Уравнение мощности потерь – квадратичное разложение полной (кажущей) мощности на мощность баланса и мощность небаланса (асимметрии нагрузки) характеризует качественный и количественный состав энергетических процессов в цепи с точки зрения дополнительных потерь (на один Ом). Однако уравнение мощности потерь не характеризует наличие или отсутствие пульсаций в цепи.

Стандартная комплексная мощность равна скалярному произведению 3d КПТ на 3d КН. Однако комплексная амплитуда мощности пульсаций равна скалярному произведению 3d КПТ тока на *сопряженный* 3d КН. Ток *пульсаций* определен ортогональной проекцией 3d комплекса полного тока на *сопряженный* 3d комплекс напряжений. Неппульсирующий ток ортогонально дополняет ток пульсаций до полного тока. В общем случае 3d КН и его *сопряженный* не ортогональны, что приводит к различным разложениям тока и рассмотренные уравнения мощности не совпадают. В трехпроводной цепи, если 3d КН и его *сопряженный* ортогональны, то ток пульсаций совпадает с током небаланса. В частности, если 3d КН симметричен прямой последовательности, то его сопряженный 3d комплекс симметричен обратной последовательности. Тем самым, в трехпроводной цепи при симметричном напряжении ток пульсаций совпадает с током небаланса и равен току обратной последовательности. В четырехпроводной цепи это не так [3–5]. В работе показано, что в общем случае каждая из компонент одного разложения полного тока равна *весовой* сумме компонент другого разложения. Веса обусловлены степенью неортогональности 3d КН и комплексно *сопряженного* к нему 3d КН.

1. Милих А.Н., Шидловский А.К., Кузнецов А.Г. Схемы симметрирования однофазных нагрузок в трехфазных цепях. – Киев: Наукова думка, 1973. – 219 с.
2. Czarniecki L.S. Powers of asymmetrically supplied loads in terms of the CPC power theory // Electrical Power Quality and Utilization Journal. – 2007. – Vol. XIII. – № 1. – Pp. 97–103. [http:// www.lsczar.info/papers.htm](http://www.lsczar.info/papers.htm)
3. Сиротин Ю.А. Сбалансированная и разбалансированная составляющие тока в трехфазной несимметричной системе // Вісник ПДТУ. – 2008. – Вип. №18. – С. 81–87.
4. Сиротин Ю.А. Мощность разбаланса и пульсации мгновенной мощности при симметричном напряжении // Электрика. – 2009. – № 11. – С. 22–27. <http://www.nait.ru/journals>
5. Сиротин Ю.А. Пульсации и осцилляции мощности при сбалансированной нагрузке // Вісник НТУ «ХП». – 2011. – №3. – С. 121–136.
6. Sirotin Yu.A. Fryze's compensator and Fortescue transformation // Przegląd Elektrotechniczny (Electrical Review). – №1. – 2011. – С. 101–106. http://pe.org.pl/abstract_pl.php?nid=4568
7. Шидловский А.К., Кузнецов В.Г. Повышение качества энергии в электрических сетях. – Киев: Наукова думка, 1985. – 268 с.

УДК 621.31

Струм небалансу та пульсуючий струм пульсацій при несиметричній напрузі

Ю.О. Сіротін, канд.техн.наук,

**Національний технічний університет «ХП»,
вул. Фрунзе, 21, Харків, 61002, Україна.**

Для трифазної системи при несиметричній синусоїдальній напрузі в точці підключення несиметричного навантаження розглянуто два ортогональних розкладання повного трифазного струму. Перше розкладання пов'язано з розкладанням струму вздовж вектора напружень і дає дві компоненти: струм балансу і струм небалансу. Друге розкладання пов'язано з розкладанням струму вздовж (комплексно) спряженого вектора напружень і дає дві компоненти: пульсуючий струм і неппульсуючий струм. Отримано два рівняння потужності. Показано, як отримані розкладання пов'язані між собою. Наведено результати чисельного моделювання. Бібл. 7.

Ключові слова: трифазна система, миттєва потужність, активна, реактивна, комплексна, повна потужність, потужність пульсацій, несиметричне навантаження, несиметрична напруга, коефіцієнт потужності, рівняння потужності, невірноважений режим.

Unbalanced current and the pulsating current at asymmetrical voltage

Yu.O. Sirotin,

**National Technical University "KhPI",
Frunze, 21, Kharkiv, 61002, Ukraine.**

For three-phase system with an asymmetric sinusoidal voltage at the point of connection asymmetrical loading two orthogonal decomposition of full three-phase current are considered. The first expansion is associated with the expansion of the current along the voltage vector and provides two components: the balanced current and the unbalanced current. The second expansion is associated with the expansion of the current along the (complex) conjugate of the voltage vector and gives the two components: the pulsating current and the non-pulsating current. Two power equations are obtained. It is shown how these expansions are related to each other. The results of numeric modeling are given. References 7.

Key words: three-phase system, instantaneous power; active and reactive, complex, apparent power; pulsation power, unbalanced load, power equation, power factor, unbalanced mode, asymmetrical voltage.

1. Miliakh A.N., Shidlovskii A.K., Kuznetsov A.G. Single-phase load balancing schemes in three-phase circuits. – Kiev: Naukova Dumka, 1973. – 219 p. (Rus)
2. Czarniecki L.S. Powers of asymmetrically supplied loads in terms of the CPC power theory // Electrical Power Quality and Utilization Journal. – 2007. – Vol. XIII. – № 1. – Pp. 97–103. [http:// www.lsczar.info/papers.htm](http://www.lsczar.info/papers.htm)
3. Sirotin Yu.A. Balanced and unbalanced components of the current in the three-phase unbalanced system // Visnyk PDTU. – 2008. – №18. – Pp. 81–87. (Rus)
4. Sirotin Yu.A. Unbalanced power and pulsating of the instantaneous power with symmetrical voltage // Elektriika. – 2009. – № 11. – Pp. 22–27. (Rus)
5. Sirotin Yu.A. Pulsations and oscillations power in the balanced load // Visnyk NTU «KhPI». – 2011. – № 3. – Pp. 121–136. (Rus)
6. Sirotin Yu.A. Fryze's compensator and Fortescue transformation // Przegląd Elektrotechniczny (Electrical Review). – 2011. – №1. – Pp. 101–106. http://pe.org.pl/abstract_pl.php?nid=4568
7. Shidlovskii A.K., Kuznetsov A.G. Improving of the power quality in electrical networks. – Kyiv: Naukova Dumka, 1985. – 268 p. (Rus)

Надійшла 10.01.2012

Received 10.01.2012