

УДК 621.31

Ю. А. Сиротин, канд. техн. наук

Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт»,
г. Харьков, Украина

ЛОКАЛЬНЫЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ РЕЖИМЫ ТРЕХФАЗНОЙ СЕТИ И КОМПЕНСАЦИЯ НЕАКТИВНЫХ МОЩНОСТЕЙ

В точке подключения несимметричной линейной нагрузки к трехфазной сети при несимметричном синусоидальном напряжении рассмотрены уравнения мощности несбалансированного и неуравновешенного режимов поставки электроэнергии. Предложен метод создания уравновешенного режима поставки. Метод обеспечивает поставку активной мощности исходного режима с минимальными потерями. Коэффициент мощности нового режима зависит только от несимметрии напряжения. Библ. 1.

Ключевые слова: трехфазная сеть, мгновенная мощность, активная, реактивная, комплексная, кажущаяся мощность, мощность пульсаций, несимметричная нагрузка, несимметричное напряжение, коэффициент мощности, уравнение мощности, неуравновешенный режим, несбалансированный режим, компенсация.

Для трьохфазної мережі в точці підключення несиметричного лінійного навантаження при несиметричній синусоїдальній напрузі розглянуті рівняння потужності незбалансованого і неврівноваженого режимів постачання. Запропоновано метод створення врівноваженого режиму. Метод забезпечує поставку активної потужності початкового режиму з мінімальними втратами. Новий режим реалізується підключенням компенсатора. Коефіцієнт потужності нового режиму залежить тільки від несиметрії напруги.. Бібл. 1.

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

Постановка и решение задачи

При синусоидальном режиме локальное энергетическое состояние 3-фазной сети в точке присоединения несимметричной нагрузки контролируется измерениями комплексных величин тока и напряжения в сечении (в рассечке) ее трех фаз.

$$U = [U_a, U_b, U_c]^T = [U_a e^{j\gamma_a}, U_b e^{j\gamma_b}, U_c e^{j\gamma_c}]^T, \quad I = [I_a, I_b, I_c]^T = [I_a e^{j\beta_a}, I_b e^{j\beta_b}, I_c e^{j\beta_c}]^T. \quad (1)$$

Здесь и дальше • – символ операции транспонирования векторов.

В трехпроводной сети напряжения трех фаз измеряются относительно искусственной точки заземления. Токи удовлетворяют 1 закону Кирхгофа. Это приводит к выполнению условий

$$\dot{I}_a + \dot{I}_b + \dot{I}_c = 0 \quad \dot{U}_a + \dot{U}_b + \dot{U}_c = 0. \quad (2)$$

Токи и напряжения (1), удовлетворяющие (2) не содержат 0-последовательности.

Стандартная комплексная мощность (КМ), дополнительно к активной мощности, определяет реактивную мощность синусоидального режима

$$\dot{S} = U \cdot I^* = \dot{U}_a I_a^* + \dot{U}_b I_b^* + \dot{U}_c I_c^* \quad \dot{S} = P + jQ \quad \Re \dot{S} = P = \frac{1}{T} \int_{\tau}^{\tau+T} p(t) dt \quad \Im \dot{S} = Q \quad (3)$$

* -знак комплексного сопряжения. В синусоидальном режиме мгновенная мощность определена формулой

$$p(t) = \Re[\dot{S} + \dot{N} e^{j2\omega t}]$$

Если мощность пульсаций

$$\dot{N} = \mathbf{I} \cdot \mathbf{U} = \dot{I}_a \dot{U}_a + \dot{I}_b \dot{U}_b + \dot{I}_c \dot{U}_c \quad (4)$$

не равна нулю, то режим *неуравновешен*.

Если мощность небаланса

$$\dot{D}_0 = [\mathbf{I} \mathbf{U} \mathbf{e}_0] = \mathbf{I} \cdot [\mathbf{U} \times \mathbf{e}_0] = \frac{1}{\sqrt{3}} [\dot{I}_a (\dot{U}_b - \dot{U}_c) + \dot{I}_b (\dot{U}_c - \dot{U}_a) + \dot{I}_c (\dot{U}_a - \dot{U}_b)] , \quad (5)$$

(равная смешанному произведению трех векторов напряжений, токов (1) и орта 0-последовательности $\mathbf{e}_0 = (1, 1, 1) \cdot / \sqrt{3}$) не равна нулю, то режим *несбалансирован*.

При несимметричном напряжении мощности (4) и (5) не совпадают, и входят в разные уравнения мощности разбалансированного и неуравновешенного режимов [1]

$$S_B^2 = S_G^2 + D_0^2 = P^2 + \underbrace{Q^2 + D_0^2}_{Q_F^2} , \quad S_B^2 = K_0^2 + N^2 . \quad (6)$$

В (7):

$$S_B = |\mathbf{U}| \cdot |\mathbf{I}| = U \cdot I = \sqrt{|\dot{U}_a|^2 + |\dot{U}_b|^2 + |\dot{U}_c|^2} \cdot \sqrt{|\dot{I}_a|^2 + |\dot{I}_b|^2 + |\dot{I}_c|^2} \quad (7)$$

– кажущая мощность, определена как произведение действующих величин напряжения и тока,

$Q_F^2 = Q^2 + D_0^2$ – квадрат неактивной мощности Фризе характеризует дополнительные потери от неактивного тока;

$$\dot{K}_0 = [\mathbf{I} \mathbf{U}^* \mathbf{e}_0] = \mathbf{I} \cdot [\mathbf{U}^* \times \mathbf{e}_0] = \frac{1}{\sqrt{3}} [\dot{I}_a (\dot{U}_b^* - \dot{U}_c^*) + \dot{I}_b (\dot{U}_c^* - \dot{U}_a^*) + \dot{I}_c (\dot{U}_a^* - \dot{U}_b^*)] \quad (8)$$

– комплексная мощность уравновешенной составляющей тока.

Задача состоит в том, чтобы при заданном несимметричном напряжении создать уравновешенный режим поставки электроэнергии, который с наименьшими потерями (на 1 Ом) поставляет ту же активную мощность, что и неуравновешенный и несбалансированный исходный режим.

В работе показано, что при заданном напряжении \mathbf{U} такой режим обеспечивается током

$$\mathbf{I}_S = \frac{P}{\eta^2 U^2} (\mathbf{U} - \mu \mathbf{U}^*) \quad (9)$$

Здесь

$$\mu = \mathbf{U} \cdot \mathbf{U} / U^2 , \quad \dot{\eta} = [\mathbf{U} \mathbf{U}^* \mathbf{e}_0] / U^2 = [(\mathbf{U} \times \mathbf{U}^*) \mathbf{e}_0] / U^2 ; \quad (|\mu|^2 + |\dot{\eta}|^2 = 1) \quad (10)$$

– коэффициенты, характеризующие асимметрию напряжения, $[\mathbf{U} \mathbf{U}^* \mathbf{e}_0]$ – смешанное произведение трех векторов.

Ток (9) является решением условно экстремальной задачи

$$\mathbf{I}_S = \arg \min_{\mathbf{I} \in J} |\mathbf{I}|^2 . \quad (11)$$

Допустимая область $J \equiv \{\mathbf{I} \mid (\Re[\mathbf{U} \cdot \mathbf{I}^*] = P) \ \& \ (\Im[\mathbf{U} \cdot \mathbf{I}^*] = 0) \ \& \ (\mathbf{I} \cdot \mathbf{U} = 0)\}$ экстремальной задачи гарантирует, что найденный ток цепи источника \mathbf{I}_S удовлетворяет требуемым условиям. Если напряжение симметрично ($\mu = 0$), то найденное решение совпадает с активным током Фризе.

Уравновешенный режим с током (9) реализуется подключением компенсирующим устройством, ток которого определен как $\mathbf{I}_K = \mathbf{I} - \mathbf{I}_S$. После компенсации значение коэффициента мощности (КМ) в цепи источника зависит только от степени асимметрии напряжений и может быть предварительно рассчитан с использованием коэффициента k_{U2} асимметрии напряжения по обратной последовательности, как

$$\lambda_{after} = \eta = (1 - k_{U2}^2) / (1 + k_{U2}^2)$$

Так в диапазоне изменения коэффициента $k_{U2} \in [0; 5\%]$ значение КМ отличается от единицы в третьем знаке после запятой.

Список литературы

1. Сиротин Ю. А. Ток, мощность и уравнение пульсаций в трехфазной системе // Вісник НТУ «ХПІ», – 2012. – № 23. – С. 146–159 www.nbu.gov.ua/portal/natural/vcpi/Ente/2012_23/19.pdf

LOCAL POWER MODES OF THREE-PHASE NET AND THE COMPENSATION OF NON-ACTIVE POWERS

Iu. A. Sirotin

National Technical University KhPI,
Frunze, 21, Kharkiv-02, 61002, Ukraine

At the point of connection of unbalanced linear load to the three-phase net with sinusoidal unbalanced voltage, the power equations of pulse mode and unbalanced mode are considered. The method for creating a non-pulse mode of delivery is proposed. The new mode provides a supply of the origin active power with minimal losses. The mode is realized by connecting compensator. The power factor of the new mode depends on the voltage unbalance only. Reference. 1.

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

1. Sirotin Iu.A. Current, power, and the equation of pulsations in the three-phase system // Visnik NTU «KhPI», – 2012. – № 23. – С. 146-159 www.nbu.gov.ua/portal/natural/vcpi/Ente/2012_23/19.pdf