

Основываясь на выполненных исследованиях можно сформулировать следующие рекомендации по оптимизации электрического поля проходного изолятора:

– при заданных исходных параметрах: радиуса токопровода r_0 , диэлектрических характеристик изоляции ϵ_1 и ϵ_2 , определить относительную толщину опорной втулки $\Delta r / \Delta R$ согласно (5);

– установить изоляционное расстояние между электродами ΔR по формуле (3), принимая за максимальную напряженность поля у токопровода $E_{m.t}$ электрическую прочность σ_r используемой резины с учетом коэффициента запаса k :

$$E_{m.t} \leq k \sigma_p, \quad (8)$$

тем самым определить радиусы опорной втулки, r_1 и r_2 ;

- проверить опорную втулку на механическую прочность. В случае, если втулка не удовлетворяет по механической прочности (либо из – за чрезмерно большого запаса прочности, либо вследствие пониженной прочности), то уменьшив или увеличив на шаг радиусы r_1 и r_2 ; провести повторные расчеты согласно (5) и (8). Таким образом, определить наиболее подходящие радиальные параметры изолятора;

- краям фланца придать форму, близкую по форме краям электрода Роговского с тем, чтобы максимальная напряженность $E_{m.ф}$ у фланца не превышала напряженности поля $E_{m.t}$ у токопровода (7).

Список литературы: 1. Гордон Дж. Конструкции, или почему не ломаются вещи / Дж. Гордон – М.: Мир, 1980. - 327 с. 2. Ким Е.Д. Оценка термоупругих напряжений в фарфоровом проходном изоляторе / Е. Д. Ким // Энергетика та електрифікація. – 2012. – №2 – С. 45–48. 3. Костенко М. В. Техника высоких напряжений / М.В. Костенко. – М.: Высшая школа, 1973. – 528 с. 4. Патент RU(11)2423765(13)C1(51). Способ подбора профиля поверхности электродов для высоковольтных разрядников. Юрьев А.Л.,(RU), Николаев Д.П.,(RU), Эльши С.Л. 2006. [Электронный ресурс]. – Режим доступа : www.freepatent.ru/patents/2423765

Поступила в редколлегию 05.02.2013

УДК 621.315

Исследование электрического поля высоковольтного проходного изолятора с полимерной изоляцией / Е. Д. Ким, А. В. Назаренко, Д. Г. Карюк // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Надійність та енергоефективність. – Харків : НТУ «ХПІ». – 2013. – №17 (990). – С.92-98. Бібліогр.: 4 назв. Іл.:5.

Запропоновано методичну основу оптимізації електричного поля полімерного прохідного ізолятора, дано аналітичний вираз для оцінки максимальної напруженості поля в ізоляційному проміжку струмопровід - фланець.

Ключові слова: струмопровід, прохідний ізолятор, фланець, напруженість поля.
The methodical basis for optimizing the electric field of polymer bushing An analytical expression for the evaluation of the maximum field strength in the insulating gap current lead - flange.

Keywords: Conductors, bushing, flange, the field strength.

УДК 621.311.1

Ю.В. ТОПОРОВА, асп., НТУ «ХПІ»;

А.П. ЛАЗУРЕНКО, канд. техн. наук, проф., НТУ «ХПІ»

СРАВНИТЕЛЬНАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА МЕТОДОВ ОПРЕДЕЛЕНИЯ РЕАКТИВНОЙ МОЩНОСТИ

В работе рассмотрены теоретические основы определения и компенсации реактивной мощности для однофазных и трехфазных цепей.

Ключевые слова: реактивная мощность, несимметрия, несинусоидальность, компенсация, показатели качества электроэнергии.

Вступление. Интенсивный рост электрической нагрузки в бытовом секторе сопровождается повышением единичной мощности электроприемников, реактивной составляющей полной мощности, а также увеличением искажения формы токов и напряжения в электроэнергетической системе. Таким образом, для сетей электроснабжения бытовых потребителей возникает задача оптимальной компенсации реактивной мощности в таких условиях, что приведет к улучшению качества электроэнергии, сокращению потерь в сети и энергосистеме.

Цель исследований, постановка проблемы. Целью данной статьи является анализ методов определения и компенсации реактивной мощности для однофазных и трехфазных цепей в условиях несинусоидальности сигналов напряжений и токов.

Материалы исследований.

Теория энергетических процессов в цепях с несинусоидальными токами и напряжениями начинает развиваться после появления работ С. Budeanu [1] и S. Fryze [2]. Рассмотрим основные определения реактивной мощности для однофазных систем. С. Budeanu предложил следующее определение реактивной мощности:

$$Q = \sum_n Q_n = \sum_n U_n I_n \sin \varphi_n, \quad (1)$$

где U_n и I_n - среднеквадратические значения напряжения и тока гармоник n -порядка; φ_n - угол сдвига фаз между ними.

Основным преимуществом этого определения является то, что оно может применяться в цепях с произвольной формой сигналов. Основным недостатком является то, что реактивная мощность может быть скомпенсирована подключением индуктивных или емкостных компонентов для отдельных имеющихся гармоник.

© Ю. В.Топорова, А. П.Лазуренко, 2013

Определение, предложенное S. Fryze, основано на анализе мгновенных значений кривых напряжения и тока. Ток разделен на две части. Первая часть $i_a(t)$ представляет собой ток такой же формы волны и фазового угла, как и напряжение. Вторая составляющая тока является лишь остаточной частью, и обозначается $i_r(t)$. Эти два тока будут определяться уравнениями:

$$i_a(t) = \frac{P}{U^2} \cdot u(t), \quad (2)$$

где P – активная мощность; U – действующее значение напряжения; $u(t)$ – мгновенное значение напряжения

$$i_r(t) = i(t) - i_a(t). \quad (3)$$

Причина такого разделения состоит в том, что ток $i_a(t)$ является током чисто активной нагрузки, который для того же напряжения будет развивать ту же мощность, что и исследуемая нагрузка. То есть, если ток $i_r(t)$ будет скомпенсирован, источник «увидит» чисто активную нагрузку, и коэффициент мощности будет равен единице. Можно показать, что токи $i_a(t)$ и $i_r(t)$ – ортогональные, среднеквадратические значения которых связаны таким образом

$$I^2 = I_a^2 + I_r^2. \quad (4)$$

Кажущаяся мощность может быть получена как произведение среднеквадратических значений тока и напряжения

$$S^2 = U^2 I^2 = U^2 (I_a^2 + I_r^2) = P^2 + Q^2, \quad (5)$$

где Q – реактивная мощность по Fryze или «фиктивная мощность».

Преимуществом этого определения является то, что когда реактивная мощность сводится к нулю, коэффициент мощности будет равен единице. Основным недостатком является то, что сумма реактивных мощностей в узле энергетической системы не равна нулю, и Q_F не может вообще быть использована в расчетах потока мощности.

Определение реактивной мощности, предложенное N.L. Kusters и W.J.M. Moore [3], основано на анализе во временной области. Оно расширяет определение в соответствии с Fryze по дальнейшему разделению остаточного тока на два ортогональных компонента. Как произвести это разделение зависит от емкостного или индуктивного характера нагрузки. Три тока, полученные при этом разделении, называют: активным током, индуктивным или емкостным реактивным током и остаточным реактивным током, что приводит к кажущейся суммарной мощности

$$S^2 = P^2 + Q^2 = P^2 + Q_c^2 + Q_{cr}^2 = P^2 + Q_l^2 + Q_{lr}^2. \quad (6)$$

По сравнению с разложением Fryze, определение реактивной мощности в соответствии с Kusters-Moore имеет то преимущество, что оно определяет часть тока, которая может быть скомпенсирована с помощью линейного конденсатора или индуктивности.

Определение реактивной мощности, предложенное W. Shepherd и P. Zakikhani [4], основано на частотном анализе. Гармоники тока и напряжения делятся на «общие» и «необщие» гармоники. Для общей гармоники порядка n напряжение U_n и ток I_n не равны нулю, а для необщей гармоники порядка n только одно из значений U_n и I_n отлично от нуля. Тогда кажущаяся мощность может быть определена как

$$S^2 = \left(\sum_{n \in N} U_n^2 + \sum_{m \in M} U_m^2 \right) \cdot \left(\sum_{n \in N} I_n^2 + \sum_{p \in P} I_p^2 \right), \quad (7)$$

где N – множество всех общих гармонических порядков; M и P содержат все необщие отличные от нуля порядки гармоник напряжения и тока соответственно (т. е. M – множество порядков, на котором гармоники напряжения отличны от нуля, а соответствующие гармоники тока, из-за нелинейности, равны нулю).

Все кажущиеся компоненты мощности определяются с помощью среднеквадратических значений, ни один из них не имеет знака. Shepherd и др. считают, что их определение наиболее близко к физической реальности, особенно для компенсации реактивной мощности с максимальным коэффициентом мощности (с помощью пассивных компонентов).

Определение реактивной мощности, предложенное Sharon [5], основано на области частотного анализа. Это небольшое, но важное развитие вышеизложенного определения мощности. Оно начинается с такого же деления на общие и необщие гармонические составляющие см. формулу (7).

Sharon предлагает кажущийся компонент мощности:

$$S_Q^2 = U_{rms}^2 \sum_{n \in N} I_n^2 \sin^2 \varphi_n. \quad (8)$$

Кроме того, автор дает формулу для оптимального параллельно компенсирующего конденсатора и индуктивности, как

$$C_{opt} = \frac{1}{\omega} \frac{\sum_{n \in N} U_n n I_n \sin \varphi_n}{\sum_{n \in N \cup M} n^2 U_n^2}; \quad (9)$$

$$L_{opt} = \frac{1}{\omega} \frac{\sum_{n \in N \cup M} \frac{1}{n^2} U_n^2}{\sum_{n \in N} U_n \frac{1}{n} I_n \sin \varphi_n}. \quad (10)$$

Преимуществом данного определения является возможность скомпенсировать реактивные составляющие линейным конденсатором или линейной индуктивностью.

При анализе энергопроцессов в рассматриваемых сетях в последние годы предпочтение отдается не интегральным, а мгновенным теориям мощности. Наиболее перспективной в плане качества решения поставленной задачи является *pqr*-теория мощности, предложенная Н. Akagi, Y. Kanazava, A. Nabae [6]. Кросс-векторная теория рассматривает трехфазную систему с нулевым проводом. Мгновенную активную мощность трехфазной системы p можно записать как скалярное произведение векторов

$$p = u_s i_s, \quad (11)$$

где u_s и i_s - пространственные векторы напряжения и тока.

$$p = u_a i_a + u_b i_b + u_c i_c. \quad (12)$$

где u_a, u_b, u_c - фазные напряжения; i_a, i_b, i_c - фазные токи.

Согласно этой теории, вектор реактивной мощности q является результатом векторного произведения пространственных векторов напряжения и тока

$$q = u_s \times i_s. \quad (13)$$

Преимуществом этой теории является тот факт, что она предлагает расчет мощностей, которые линейно независимы друг от друга. Ввиду этого, три составляющие тока могут быть компенсированы тремя независимыми регуляторами с помощью пассивных элементов.

Основным недостатком данной теории является то, что при искаженных и несимметричных напряжениях сети некомпенсированной остается часть переменных составляющих в мгновенной активной и реактивной мощностях, даже при условии поддержания токов сети симметричными и синусоидальными.

Проблемами компенсации искажающих свойств потребителей электроэнергии занимался проф. НТУ «ХПИ» Кизилев В.У. [7, 8]. Автором был предложен метод измерения указанных функционалов и параметров и разработаны реализующие его средства измерения. Сущность метода состоит в том, что несинусоидальным процессам по основным энергетическим функционалам ставятся в соответствие синусоидальные процессы стабильной высокой частоты. Затем

измеряются все энергетические параметры этих эквивалентных синусоидальных процессов известными и достаточно простыми методами, которые еще упрощаются тем, что частота синусоидальных процессов неизменна. Фактически в предложенном методе осуществляется отображение пространства несинусоидальных сигналов в пространство синусоидальных сигналов.

Основой отображения пространств сигналов, так же как и основой любого измерения, является операция сравнения, которая заключается в сопоставлении основных энергетических функционалов исходных и эквивалентных сигналов. При этом если решается задача отображения сигналов в однофазной цепи переменного тока, необходимо поставить в соответствие исходным несинусоидальным сигналам $u(t)$ и $i(t)$ эквивалентные синусоидальные – $u_s(t)$ и $i_s(t)$ по действующим значениям и активной мощности. Для этого вводим понятия устройств сравнения функционалов сигналов: компараторы действующих значений и компаратор произведений.

Методы определения реактивной мощности для произвольной трехфазной цепи приведены в таблице.

Таблица – Методы определения реактивной мощности для трехфазной цепи

№	Метод
1	$Q = U_a I_a \sin \varphi_a + U_b I_b \sin \varphi_b + U_c I_c \sin \varphi_c$
2	$Q = \frac{1}{\sqrt{3}} (\dot{U}_{bc} \dot{I}_a + \dot{U}_{ca} \dot{I}_b + \dot{U}_{ab} \dot{I}_c)$
3	$Q = \sqrt{S^2 - P^2}; S = U_a I_a + U_b I_b + U_c I_c$
4	$Q = \sqrt{U_a^2 I_a^2 - P_a^2} + \sqrt{U_b^2 I_b^2 - P_b^2} + \sqrt{U_c^2 I_c^2 - P_c^2}$
5	$Q = \sqrt{S^2 - P^2}; S = \sqrt{(U_a^2 + U_b^2 + U_c^2) \cdot (I_a^2 + I_b^2 + I_c^2 + I_0^2)}$
6	$Q = \sqrt{S^2 - P^2}; S = \sqrt{(U_a^2 + U_b^2 + U_c^2 - U_0^2) \cdot (I_a^2 + I_b^2 + I_c^2 + I_0^2)}$

где I_0, U_0 - ток и напряжение нулевой последовательности.

Метод 1 – классический метод определения реактивной мощности. Метод 2 реализован в индукционных счётчиках и широко применяется в электронных, но имеет методическую погрешность в несимметричных сетях. Методы 3 и 4 получили распространение в интеллектуальных трёхфазных счётчиках. Метод 5 точно отражает потери только при

симметричных напряжениях. Метод 6 – модификация метода 5 с целью повышения точности учета при несимметрии напряжений.

Проблема компенсации искажающих свойств потребителя электроэнергии теснейшим образом связана с оплатой за некомпенсированные дополнительные потери, осуществляемой сегодня по показаниям реактивного счетчика. Существующие реактивные счетчики измеряют только составляющую реактивной мощности, определяемую реактивным характером нагрузки, и не реагируют на другие ее составляющие, а потребитель не платит за дополнительные потери из-за этих причин.

Выводы. Множество существующих определений составляющих полной и реактивной мощностей дают различные результаты для одних и тех же энергетических процессов.

Объективной реальностью является множество методов определения и расчета реактивной мощности: метод обменной мощности, метод эквивалентных синусоид, частотные и интегральные методы; определение реактивной мощности с помощью векторных и функциональных пространств и т.д.

Отсутствие нормативной базы в части учета реактивной энергии позволяет производителям счетчиков применять любой метод ее вычисления, аттестуя счетчик в идеальных условиях, в то время как применение различных счетчиков на одной линии электропередач в реальных условиях ведет к существенному различию показаний, что неоднократно доводило до конфликтов между поставщиком и потребителем.

Существующие теории мощности предлагают алгоритмы компенсации высших гармоник активной, реактивной мощности, токов обратной и нулевой последовательности. Результативность их применения определяется как формой сигналов сети питания, так и параметрами и степенью нелинейности нагрузки. Рассмотренные методы компенсации не обеспечивают полную компенсацию высших гармоник мощности при несимметричных и несинусоидальных напряжениях сети питания и несимметрии и/или нелинейности параметров нагрузки.

Достижение необходимого баланса реактивной мощности в сетях позволяет во многих случаях улучшить качество электроэнергии, более экономично и на более высоком техническом уровне решить вопросы режимов регулирования напряжения, устойчивости и надежности системы.

Список литературы: 1. Budeany C. Reactive and fictitious powers / C. Budeany // Rumanian National Institute. – 1927. – W2. 2. Fryze S. Active, Reactive and Apparent Power in Non-Sinusoidal Systems / S. Fryze // Przegląd Electrot. – 1931. – No 7. – pp. 193-203 (in Polish). 3. Kusters N.L., Moore W.J.M. On the definition of reactive power under nonsinusoidal conditions /

N.L. Kusters, W.J.M. Moore // IEEE Trans. Pow. Appl. Syst., vol. PAS-99. – 1980. – pp. 1845-1854. 4. Shepherd W., Zakikhani P. Suggested definition of reactive power for nonsinusoidal systems / W. Shepherd, P. Zakikhani // Proc. IEE. – 1972. – vol. 119, No 9, Sept. – pp. 1361-1362. 5. Sharon D. Reactive power definitions and power factor improvement in nonlinear systems / D. Sharon // Proc. Inst. Elect. Eng. – June 1973. – vol. 120. – pp. 704-706. 6. Akagi H., Kanazawa Y., Nabea A. Instantaneous reactive power compensators comprising switching devices without energy storage components / H. Akagi, Y. Kanazawa, A. Nabea // IEEE Trans. IndAppl. – May/June 1984. – vol. 20. – pp. 625-630. 6. Кизилов В.У. Методы и средства измерения активной и реактивной мощности в трехфазных цепях / В.У. Кизилов // Приборы и системы управления. – 1985. – № 10. – С. 26-28. 8. Кизилов В.У. Новый метод измерения энергетических параметров несинусоидальных процессов / В.У. Кизилов, А.П. Лазуренко // Вестник ХПИ № Проблемы совершенствования электрических машин и аппаратов. Теория и практика: Вып. № 5. – Харьков. – 2001. – С. 69-72.

Поступило в редколлегию 1.11.2012

УДК 621.311.1

Сравнительная характеристика методов определения реактивной мощности / Топорова Ю.В., Лазуренко А.П. // Вісник НТУ «ХПИ». Серія: Енергетика: надійність та енергоефективність. – Харків: НТУ «ХПИ». – 2013. – № 17 (990). – С.99-105. Бібліогр.: 8 назв. Табл.: 1.

В роботі розглянуті теорії компенсації реактивної потужності для однофазних і трифазних ланцюгів.

Ключові слова: реактивна потужність, несиметрія, несинусоїдальність, компенсація, показники якості електроенергії.

It is shown the theories of reactive power compensation for one-phase and three-phase electric circuit.

Keywords: reactive power, unsymmetrical conditions, nonsinusoidal conditions, the compensation, the indexes of the quality of the electric power.

УДК 621.3.027.2:621.3.0183

О.О. МІРОШНИК, канд. техн. наук., доц., ХНТУСГ, Харків

РІВНОМІРНИЙ РОЗПОДІЛ НАВАНТАЖЕНЬ В МЕРЕЖІ 0,38/0,22 КВ З ВИКОРИСТАННЯМ НЕЙРОННОЇ МЕРЕЖІ

Запропоновано метод рівномірного розподілу навантажень в мережі 0,38/0,22 кВ. Проаналізовано типи нейронних мереж та запропоновано для розв'язання даної задачі узагальнено-регресійну нейронну мережу. Побудовано структуру нейронної мережі, яка дає рекомендації щодо рівномірного розподілу навантажень в мережі на основі статистичної інформації.

Ключові слова: несиметрія струмів, нейронна мережа, рівномірний розподіл споживачів

Постановка проблеми. З переходом України на ринкові відносини проблема якості та зниження втрат електроенергії досить гостро стоїть в енергетиці нашої держави. Протяжність розподільних мереж 0,4 – 150 кВ в Україні становить близько 1 млн. кілометрів, 50% з них припадає на мережі напругою 0,38/0,22 кВ. Середня зношеність мереж 0,22/0,38 кВ досягає 70%.

За даними Міністерства палива та енергетики втрати електричної енергії в окремих обленерго сягають до 20% від відпущеної електроенергії в мережу, а показники якості електроенергії перевищують допустимі ГОСТ 13109-97, який регламентує норми якості електричної енергії, в 2 – 4 рази. У європейських країнах вважається, що якщо втрати електроенергії перевищують 7 – 9 %, то така передача електричної енергії вважається неефективною. Тому виникла необхідність розробки нових методів та заходів по зниженню втрат та покращенню показників якості електричної енергії.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Як і до будь-якого товару до електричної енергії застосовується поняття «якості», яке нормується стандартом. Одним із вагомих показників якості електричної енергії в сільських мережах є несиметрія струмів та напруг. Основними факторами, які характеризують систему електропостачання, є вартість її спорудження, надійність і економічність передачі електроенергії споживачам. Численні дослідження, присвячені аналізу режимів роботи сільських мереж напругою до 0,38/0,22 кВ [1], показали, що несиметрія струмів обумовлена роботою комунально-побутового навантаження, основну частину якого складають нерівномірно розподілені по фазах однофазні електроприймачі, що мають випадковий характер комутації. Розрізняють два види несиметрії: систематичну і ймовірнісну або випадкову.

© О.О. Мірошник, 2013