

ИССЛЕДОВАНИЕ ЛИНЕЙНОЙ RLC ЦЕПИ ПРИ СИНУСОИДАЛЬНОМ ТОКЕ

Шунина А.А., Воротников И.Н., Логачева Е.А.

Ставропольский государственный аграрный университет, г. Ставрополь, Российская Федерация

Аннотация. Данная статья посвящена исследованию электрических цепей, содержащих RLC-элементы, при синусоидальном токе. Приведены формулы, отражающие процессы зависимости составляющих мощности от различных факторов.

Ключевые слова: реактивная мощность, энергия, ток, напряжение, синусоидальный ток.

INVESTIGATION OF A LINEAR RLC-CIRCUIT AT THE SINUSOIDAL CURRENT

Shunina A.A., Vorotnikov I.N., Logacheva E.A.

Stavropol State Agrarian University, Stavropol, Russian Federation

Abstract. This article is devoted to the study of electric circuits containing RLC elements at a sinusoidal current. Formulas reflecting the processes of dependence of power components on various factors are given.

Keywords: reactive power, energy, current, voltage, sinusoidal current.

Для линейных электрических цепей с синусоидальными токами и напряжениями основные принципы определения реактивной мощности и с ее помощью минимизация потерь энергии разработаны давно и широко используются. Положительные результаты именно в этой последней области предопределили стремление добиться тех же результатов и в случае несинусоидальных токов и напряжений. Учитывая принципиальный характер обоснования возможности распространения методов, апробированных в случае синусоидальных функций на более общий случай, рассмотрим более детально исходные соотношения для синусоидального случая, где имеем:

$$u = U_m \sin(\omega t + \psi_u), i = I_m \sin(\omega t + \psi_i), p = ui, \quad (1)$$

где U_m, I_m – максимальные значения напряжения и тока соответственно,

ω – угловая частота

ψ_u, ψ_i – начальная фаза

$$U^2 = 1/T \int_0^T u^2 dt, I^2 = 1/T \int_0^T i^2 dt, P = 1/T \int_0^T u i dt, \quad (2)$$

$$z^2 = r^2 + x^2 = r^2 + (x_L - x_C)^2, x = z \sin \varphi, r = z \cos \varphi, \quad (3)$$

$$P = UI \cos \varphi, S = UI, Q^2 = S^2 - P^2 = (UI \sin \varphi)^2. \quad (4)$$

В данном случае операции дифференцирования и интегрирования не меняют синусоидальность функций и поэтому нелинейные соотношения, связывающие мгновенные значения токов и напряжений реактивных элементов, при отображении их с помощью вращающихся комплексов в частотной области преобразуются в линейные. В силу того, что кривые токов и напряжений на всех элементах оказываются тождественными по форме, их можно складывать или вычитать без нарушения их формы. Эта же особенность позволяет при помощи простого соотношения связать кажущуюся мощность S с P и Q . Заметим, и это важно, что U, I, P и $S=UI$ определяются в общем виде без использования тригонометрических функций, поэтому эти выражения могут быть использованы в более общих случаях [1].

Следовательно, Q , если она в квадратуре с S и P , можно просто определить через них. Поэтому вопрос о справедливости сохранения квадратичного соотношения между этими тремя величинами в общем случае несинусоидальных функций принимает принципиальное значение. Если квадратичное соотношение сохраняется в общем случае, то не нужно искать другие выражения для определения Q , и, наоборот, если оно нарушается, то нужно их найти [2].

Существует принципиальное отличие между определением активной мощности в качестве среднеарифметического мгновенных значений мощности за период и реактивной, которая определена через кажущуюся и активную мощности [7]. Реактивная мощность непосредственно не связывается с мгновенным значением мощности и физическим процессом обмена энергией между приемником и источником энергии. Внешне сходное определение активной и реактивной мощностей через кажущуюся

мощность и тригонометрические функции только маскирует это обстоятельство. На самом деле, величина P , входящая в формулу, связывающую S , P и Q , вовсе не является среднеарифметической мгновенной мощности, а прослеживается в выражении мгновенной мощности,

$$p = UI\cos\varphi(1 - \cos 2\omega t) + UI\sin\varphi\sin 2\omega t = UI\cos\varphi - UI\cos(2\omega t + \varphi) \quad (5)$$

из которого следует, что именно независимая от времени составляющая определяет активную мощность. Квадратичному соотношению же удовлетворяют синусоидальные составляющие, вклад которых в активную мощность равен нулю. Естественным обобщением этого подхода является постулирование положения, что реактивная мощность равна:

$$Q^2 = (UI)^2 - P^2. \quad (6)$$

Этим выражением широко пользуются в методе эквивалентных синусоид, когда в случае несинусоидальных функций при известных значениях действующих тока, и напряжения, а также активной мощности постулируется справедливость приведенного выше выражения для введения и использования понятия реактивная мощность [3].

Таким образом, уже на самом начальном этапе определения реактивной мощности применяется математический подход, различный для активной и реактивной мощностей. Такое различие в математическом и методическом подходах может быть верным, если оно отражает существующее отличие также [6] в самом физическом явлении в целом. Но если этого нет, то разделение единого физического процесса на составляющие не должно нарушать условия единообразности методов, применяемых для определения отдельных составляющих [2-3].

Разделение процесса передачи энергии на составляющие, когда часть энергии протекает только в одном направлении и определяет невозвратимую (т.е. активную, преобразуемую в другие формы) энергию, а другая определяет энергию, циркулирующую между двумя частями цепи, законно только в том случае, если методы определения этих составляющих одинаковы. С этой точки зрения метод определения реактивной мощности нарушает именно это положение.

Эти противоречия можно исключить, если исходить из положения, что и реактивную мощность в случае синусоидальных функций также следует определить через среднее значение потока энергии. Если, значение потока энергии, которое протекает через замкнутую поверхность, охватывающую именно участок цепи LC [4], рассчитать по ее абсолютному значению, то среднее значение мощности этого потока энергии будет:

$$Q_{cp} = |W|/T, \quad (7)$$

которое в случае синусоидальных функций будет отличаться от амплитудного, а следовательно, и от общепринятого значения реактивной мощности Q на величину $2/\pi$.

Заметим, что кроме удовлетворения физически оправданного требования привести в соответствие методы определения активной и реактивной мощностей такой подход не связан ни с формой кривых, ни с постулированием выражений для Q . Прочно вошедшее в практику значение реактивной мощности легко может быть получено умножением этого среднего значения потока реактивной энергии на постоянную величину $\pi/2$. Однако для общего случая возникает проблема выделения именно того потока энергии, который определяет реактивную энергию или ту энергию, которую принято считать реактивной [5].

Важным свойством реактивных элементов в случае синусоидальных функций является также возможность организации такого взаимного обмена энергией реактивными элементами, что произойдет полная компенсация реактивной мощности, при которой обеспечивается равенство именно $p_L + p_C = 0$. Этим обстоятельством широко пользуются на практике. Однако это важное свойство цепей, справедливое при синусоидальных функциях, не соблюдается в общем случае, что иначе ставит проблему полной компенсации [8].

Список использованных источников

1. Воротников, И.Н. Формирование функции тока компенсации для оптимизации энергетического процесса/ И. Н. Воротников, А. А. Шунина, М. А. Мастепаненко, Ш. Ж. Габриелян // Новые технологии в сельском хозяйстве и пищевой промышленности с использованием электрофизических факторов и озона: сб. науч. тр./ СтГАУ. – Ставрополь. 2018. - С. 28-31.
2. Схемотехника силовой части устройств компенсации реактивной мощности при нелинейных нагрузках / И.Н. Воротников, М.А. Мастепаненко, Ш.Ж. Габриелян, А.А. Шунина // Сельский механизатор. - 2018. - № 5. - С. 30-32.
3. Vorotnikov I. N., Mastepanenko, M. A., Gabrielyan Sh. Zh., Shunina A. A. Modified control algorithm for reactive power compensator for non-stationary loads. Vorotnikov // Electrical Engineering Russia, 2019, No. 3, pp. 11-14.
4. Исследование графиков нагрузки на основе измерений анализатора электропотребления AR-5 Жданов В.Г., Логачева Е.А., Кобозев В.А., Ивашина А.В.// Вестник АПК Ставрополя. 2013. № 3 (11). С. 51-56.

5. Vorotnikov I., Mastepanenko M., Gabrielyan S., Shunina A. Energy estimation of parameters of reactive power compensator for nonlinear loads in steady mode. // Engineering for Rural Development, 2019, pp. 515-520.

6. Влияние способа подвода энергии на процесс формирования отраженного электромагнитного поля. Логачева Е.А. // В сборнике: Методы и технические средства повышения эффективности применения электроэнергии в сельском хозяйстве Ставрополь, 2000. С. 81-85.

7. Модифицированный алгоритм управления компенсатором реактивной мощности для нестационарных нагрузок/Воротников И.Н., Мастепаненко М.А., Габриелян Ш.Ж., Шунина А.А.//Электротехника. -2019. -№3. -С.11-14.

8. Управление компенсатором реактивной мощности при нелинейных нагрузках/Воротников И.Н., Мастепаненко М.А., Габриелян Ш.Ж., Шарипов И.К., Шунина А.А.//Сельский механизатор. -2017. - № 3. -С. 28-29.

Работа выполнена в рамках инициативной НИР.