

АКТУАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ В ЭНЕРГЕТИКЕ

УДК 519.86:621.313.322:621.3.013.8

О ПРОПОРЦИОНАЛЬНОСТИ МГНОВЕННЫХ ЗНАЧЕНИЙ ТОКА И НАПРЯЖЕНИЯ В ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЦЕПИ

Рахимов К.Р., к.т.н., проф., КГТУ им. И. Раззакова, 720044, г. Бишкек, пр. Ч. Айтматова, 66, ORCID ID 0000-0003-4027-3057

Аннотация. В начале работы рассмотреть соответствие учебников курса «Теоретические основы электротехники» направлению «Электроэнергетика». Отмечается, что в них недостаточно рассмотрены теории, касающиеся этого направления. В курсах даются некоторые положения, не подтвержденные практикой, принятые в результате применения математических преобразований, не соответствующие физическому процессу. В работе приводятся доводы о пропорциональности мгновенных значений тока и напряжения в электрической цепи, то есть для них также действителен закон Ома.

Ключевые слова: теории электричества, закон Ома, пропорции тока и напряжения, мгновенные, максимальные и действующие значения тока и напряжения, активная и реактивная мощности.

ON PROPORTIONALITY OF INSTANT VALUES OF CURRENT AND VOLTAGE IN ELECTRIC CIRCUIT

Rakhimov K.R., Ph.D., prof., KSTU named after I. Razzakova, 720044, Bishkek, Ch. Aitmatova Ave. 66, ORCID ID 0000-0003-4027-3057

Annotation. At the beginning of the work, consider the correspondence of the textbooks of the course «Theoretical Foundations of Electrical Engineering» with the direction «Power Engineering». It is noted that theories concerning this direction are not sufficiently considered in them. The courses give some provisions that are not confirmed by practice, adopted as a result of applying mathematical transformations that do not correspond to the physical process. The paper gives arguments about the proportionality of the instantaneous values of current and voltage in the electric circuit, that is, Ohm's law is also valid for them.

Keywords: theories of electricity, Ohm's law, proportions of current and voltage, instantaneous, maximum and effective values of current and voltage, active and reactive power.

Основным учебником для обучающихся в вузах по направлению «Электроэнергетика» является учебник авторов К. С. Демирчян и др., 5-е издание, 2009. «Теоретические основы электротехники». Этот учебник допущен в качестве учебника для направлений «Электротехника, электромеханика и электротехнологии» и «Электроэнергетика». Как известно, электричество применяется во всех видах деятельности человека. Кроме указанных в учебнике направлений есть много других, такие как радиотехника, приборостроение, электрический транспорт, электроника, микроэлектроника и другие. В данном учебнике все вопросы основ теории электричества сведены в две основные теории: теории цепей и теории электромагнитного поля и не рассмотрены многие вопросы теорий электричества. Рассмотрим направление «Электроэнергетика». В это направление входит производство (генерация), передача, трансформация и преобразование электрической энергии. В выше названном учебнике отсутствуют разделы теории генерации, передачи, трансформации, реактивной мощности и другие вопросы, касающиеся электроэнергетики. Недостаточно акцентировано внимание на закон Ома, закон электромагнитной индукции и так далее. В учебнике имеются ряд теорий, положений не соответствующие практике или последним достижениям науки. Неверна теория, что в индуктивности и емкости не соблюдается закон Ома, не полностью раскрыты вопросы резонансных явлений в электрической цепи. Не раскрыты вопросы математических действий с мгновенными значениями параметров цепей переменного тока. Ошибочно принятие наличия углов сдвига между

током и напряжением в элементах цепи емкость и индуктивность в 90° . В других случаях неправильно принимают сдвиг между током напряжением на угол φ , равный углу между векторами полной и активной мощностями.

Неверно принятые углы сдвига возникают при математических действиях: определение производных, интегралов, тригонометрических преобразованиях и они приводят к неправильным выводам. Некоторые результаты математических действий не соответствуют физическим процессам или явлениям. Самое серьезное заблуждение заключается в принятии сдвига векторов тока и напряжения. Это приводит к нарушению закона Ома, мгновенные значения тока и напряжения становятся непропорциональными друг другу. Закон незыблем и справедлив для любого случая: во всякой электрической цепи, для любого элемента цепи, для любого вида сопротивления, для любой мощности, для любого момента времени, для мгновенных и действующих значений параметров цепи – пропорциональность тока и напряжения несомненны. Величины тока и напряжения в любой момент имеют определенное соотношение в зависимости от величины сопротивления.

Заблуждение о наличии сдвига векторов между током и напряжением приводит к неправильному выводу, что имеет место удвоение частоты мощности в емкостном и индуктивном сопротивлениях. Нарушается баланс активных и реактивных мощностей, искажается и приводит к асимметрии синусоид реактивных и полной мощностей (положительная полуволна становится не равной обратной полуволне). Максимальные мгновенные значения реактивных мощностей при принятом сдвиге между током и напряжением в 90° получается в два раза меньше, чем обычно считают на практике. При суммировании с активной мощностью полная мощность получается с несимметричной синусоидой. В действительности ток и напряжение меняются по синусоиде по так называемой гармонической кривой, которая является строго симметричной.

Самой серьезной ошибкой является принятие удвоение частоты в реактивных мощностях. На практике нигде не встречается удвоение частоты. Опыт проектирования и эксплуатации электрооборудования (генераторов, трансформаторов и др.), линий электропередач и двигателей показывают, что частота 100 Гц нигде в расчетах не применяется. Практики в расчетах всегда используют частоту 50 Гц, например, при определении емкостного и индуктивного сопротивления трансформатора, линии, двигателя и так далее. Число оборотов генераторов и двигателей рассчитывают на частоту 50 Гц, и они имеют число оборотов, соответствующее этой частоте. Замеры в любой части электрической системы не подтверждают наличие частоты в 100 Гц. Имеющаяся автоматика в электрической системе и приборы учета также рассчитывают на частоту 50 Гц, например, АЧР (автоматическая частотная разгрузка), индукционные счетчики.

На практике направления векторов тока, напряжения и мощности в каждом элементе цепи совпадают друг с другом (Рис.1). Синусоиды токов, напряжений и мощностей в цепях активного, индуктивного и емкостного сопротивлений показаны на рис. 2. Они в реактивных элементах сдвинуты относительно активного на 90° в ту или иную сторону. Треугольники сопротивлений, действующих значений напряжений и мощностей всегда связаны общностью угла сдвига (рис.3).

Отказ от положения, что ток и напряжение имеют сдвиг векторов, ставит все на свои места. Во-первых, не нарушается закон Ома для мгновенных значений, во-вторых, можно утверждать об отсутствии удвоения частоты, в-третьих, при суммировании графиков мгновенных значений активной и реактивных мощностей их синусоидальность, симметричность не нарушаются и в-четвертых, самое главное – графики мгновенных значений приходят в соответствие с треугольниками напряжений и мощностей (рис. 4). Угол сдвига векторов активной и полной мощности в графике мгновенных значений и в треугольнике мощностей совпадают, что очень важно – все становится на свои места.

Необоснованно ввели сдвиг фаз между потокосцеплением и ЭДС, между током и напряжением (стр. 143-144, Л. 1), ее назвали углом сдвига тока по отношению к напряжению и принято, что при $\varphi = 0$ ток и напряжения совпадают по фазе, при $\varphi = 90^\circ$ – противоположны по фазе, при $\varphi = 45^\circ$ – находятся в квадратуре. Угол φ есть угол между векторами активного и полного сопротивлений, этот же угол есть угол между активной составляющей и полным напряжением, а также это угол между активной и полной мощностью (рис.3). Необоснованно принимают, что ток совпадает с активной составляющей напряжения, а за направление вектора напряжения принимают направление полного напряжения, то есть сдвиг фаз между током и напряжением принимают равным углу φ . Сдвиг тока и напряжения в 90° получилось при тригонометрических преобразованиях – при

определении производных или при интегрировании. В учебниках принято, что синусоида индуктивного напряжения опережает по фазе синусоиду тока на угол сдвига $\pi/2$, а синусоида емкостного напряжения отстает по фазе синусоиду тока тоже на угол $\pi/2$. В то же время они приводят равенство по закону Ома для цепи емкости так и индуктивности, которая означает, что ток и напряжение в этих цепях пропорциональны. Также считается, что максимальные значения мгновенных значений также подчиняются закону Ома. Сдвиг синусоид имеет место, только сдвигаются все вместе ток, напряжение и мощность без сдвига между собой (рис.4).

Сдвиг якобы имеющийся между током и напряжением в цепи индуктивности обосновывают следующим образом. Допустим, ток в индуктивности изменяется по синусоиде

$$i = I_m \sin \omega t \quad (1)$$

Напряжение на индуктивности

$$u_l = L \, dI_m \sin \omega t / dt \quad (2)$$

Выполнив операцию дифференцирования, получают

$$U_l = \omega L I_m \cos \omega t = \omega L I_m \sin(\omega t + \pi/2) = U_m \sin(\omega t + \pi/2) \quad (3)$$

Из этого выражения делают вывод, что в цепи с индуктивностью напряжение опережает ток по фазе на угол 90° и для мгновенной мощности получают $q_l = U_l I_m \sin 2\omega t$, при получении этого выражения используют тригонометрическую формулу $1 - \cos 2\alpha = 2\sin^2 \alpha$, таким образом доказывается удвоение частоты. Однако использование таких математических преобразований не соответствует физическому процессу.

Не делая никакого дифференцирования можно записать

$$u_l = x_l I_m \sin \omega t = U_l \sin \omega t \quad (4)$$

Мгновенные значения напряжения в цепи индуктивности пропорциональны мгновенным значениям тока (рис.5).

Аналогичное математическое преобразование делают с цепью с емкостью и делают вывод о сдвиге синусоид и, что напряжение отстает от тока на угол в 90° и получают выражение $p_c = U_c I_m \sin 2\omega t$.

Без математических преобразований можно записать, что в цепи емкости

$$u_c = x_c I_m \sin \omega t = U_c \sin \omega t \quad (5)$$

Мгновенные значения напряжения в цепи емкости пропорциональны мгновенным значениям тока (рис.6).

Правильное выражение мгновенного значения мощности для цепи индуктивности получается при умножении (1) на (4)

$$q_l = U_l I_m \sin^2 \omega t \quad (6)$$

для цепи емкости при умножении (1) на (5)

$$q_c = U_c I_m \sin^2 \omega t \quad (7)$$

Мгновенные значения мощности для всей цепи r, L, C

$$p = u I_m \sin^2 \omega t, \text{ где } u = u_r + u_l + u_c \quad (8)$$

Заключение

1. В учебниках по ТОЭ недостаточно рассматриваются теории, на которых базируется электроэнергетика. Отсутствует ряд разделов, как теории электрических машин, трансформаторов, реактивной мощности, передачи мощности и т.д.

2. Принятые в учебниках положение о наличии сдвига между мгновенными значениями тока и напряжения в цепи индуктивности и емкости приводят к неправильному выводу, что реактивные мощности имеют двойную частоту.

3. Закон Ома справедлив для любого случая: во всякой электрической цепи, для любого момента времени, для любого вида сопротивления, для любой мощности, для действующего, максимального и мгновенного значений – пропорциональность тока и напряжения несомненны.

4. Применяемые математические преобразования уравнений электрических цепей не соответствуют физическому процессу. Практика не показала наличия удвоения частоты реактивных мощностей, что дает основание говорить об отсутствии сдвига между векторами тока и напряжения.

Список литературы

1. Демирчян. К. С. и др. Теоретические основы электротехники. 5-е изд. Том 1. – СПб. Питер. 2009.
2. Борисов Ю. М. и др. Электротехника. М. Энергоатомиздат. 1985.
3. Электротехника. Под ред. Пантюшина. М. «Высшая школа». 1976.
4. Бессонов Л. А. Теоретические основы электротехники. Электрические цепи. М. «Высшая школа». 1999.