

РАДІОТЕХНІКА ТА ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЇ

УДК 621.372

Иваницкий А.М.
Ivanitskiy A.M.

ПРОСТОЕ ДОКАЗАТЕЛЬСТВО СУЩЕСТВОВАНИЯ ЯВЛЕНИЯ ВЫДЕЛЕНИЯ АКТИВНОЙ МОЩНОСТИ РЕАКТИВНЫМИ ЭЛЕМЕНТАМИ

THE SIMPLE PROOF OF THE EXISTENCE OF THE NATURAL PHENOMENON OF THE APPEARANCE ACTIVE POWER OF THE REACTIVE ELEMENTS

Аннотация. Дано простое доказательство существования явления выделения активной мощности реактивными элементами электрической цепи.

Summary. The simple proof of the existence of the natural phenomenon of the appearance active power of the reactive elements of electric circuit is given.

С открытием нового явления материального мира появляется проблема повышения надежности доказательства реальности существования этого явления. В этом отношении не составляет исключения и явление выделения активной мощности реактивными элементами электрической цепи [1]. При теоретическом доказательстве достоверности открытия явления выделения активной мощности реактивными элементами электрической цепи использовался переход к комплексной мощности, так как проводились исследования для экспосинусоидальных воздействий [2, 3], что несколько усложнило процесс доказательства. Упрощение указанного доказательства нужно искать только в рассмотрении процессов, происходящих в электрической цепи во временной области. Однако в литературе не описаны подобного рода рассуждения для случая экспосинусоидальных воздействий. Поэтому целью данной статьи является проведение доказательства существования явления выделения активной мощности реактивными элементами электрической цепи, используя только временную область описания происходящих в электрической цепи процессов при экспосинусоидальных воздействиях.

В работе [4] представлена мгновенная мощность в виде суммы двух составляющих: активной мощности и реактивной мощности (так назвали авторы работы [4] эти составляющие). Это представление дано в предположении, что напряжение и ток является косинусоидальными функциями. Для наших цепей необходимо найти аналогичное представление для случая синусоидальных функций напряжения и тока, а также уточнить название составляющих мгновенной мощности.

Пусть на RLC -двухполюснике существует напряжение $u(t)$ вида

$$u(t) = U_m \sin(\omega t + \varphi_u), \quad (1)$$

а через двухполюсник протекает ток $i(t)$

$$i(t) = I_m \sin(\omega t + \varphi_i), \quad (2)$$

где U_m и I_m – амплитуда напряжения и тока соответственно; φ_u и φ_i – начальная фаза напряжения и тока соответственно; $\omega = \frac{2\pi}{T}$ – здесь T – период синусоиды; t – время. Положительные направления напряжения и тока совпадают. Тогда мгновенную мощность $p(t)$ этой электрической цепи можно записать в форме

$$p(t) = u(t)i(t) = U_m I_m \sin(\omega t + \varphi_u) \sin(\omega t + \varphi_i) = U_m I_m \sin(\omega t + \varphi_u) \sin(\omega t + \varphi_u - \varphi), \quad (3)$$

где $\varphi = (\varphi_u - \varphi_i)$. Отсюда

$$p(t) = U_m I_m \cos \varphi \sin^2(\omega t + \varphi_u) - U_m I_m \sin \varphi \sin(\omega t + \varphi_u) \cos(\omega t + \varphi_u) = p^a(t) - p^r(t), \quad (4)$$

где

$$p^a(t) = U_m I_m \cos \varphi \sin^2(\omega t + \varphi_u), \quad (5)$$

$$p^r(t) = U_m I_m \sin \varphi \sin(\omega t + \varphi_u) \cos(\omega t + \varphi_u). \quad (6)$$

Здесь $p^a(t)$ – назовем мгновенной активной мощностью электрической цепи, $p^r(t)$ – мгновенной реактивной мощностью электрической цепи. Называть $p^a(t)$ и $p^r(t)$ просто активной и соответственно реактивной мощностями нельзя, так как эти названия относятся к составляющим комплексной мощности

$$\dot{S} = \dot{U} I^* = UI \cos \varphi + jUI \sin \varphi = P + jQ \quad (7)$$

или

$$\dot{S} = U \dot{I}^* = UI \cos \varphi - jUI \sin \varphi = P - jQ, \quad (8)$$

где * – означает комплексную сопряженную величину.

Здесь

$$P = UI \cos \varphi = \frac{U_m I_m}{2} \cos \varphi - \quad (9)$$

– активная мощность,

$$Q = UI \sin \varphi = \frac{U_m I_m}{2} \sin \varphi - \quad (10)$$

– реактивная мощность.

Выражения (5) и (6) можно записать, используя равенства (9) и соответственно (10).

$$p^a(t) = 2P \sin^2(\omega t + \varphi_u), \quad (11)$$

$$p^r(t) = 2Q \sin(\omega t + \varphi_u) \cos(\omega t + \varphi_u). \quad (12)$$

Отсюда видно, что $p^a(t)$ и P , а также $p^r(t)$ и Q не являются совпадающими понятиями, однако они тесно связаны между собой. Если $P = 0$, то $p^a(t) \equiv 0$ и, наоборот, если $P \neq 0$, то $p^a(t) \neq 0$. Аналогично, если $Q = 0$, то $p^r(t) \equiv 0$ или $Q \neq 0$, то $p^r(t) \neq 0$. Более того, так как $\sin^2(\omega t + \varphi_u) > 0$ при всех t за исключением отдельных точек, где функция равна нулю, то знак P определяет знак $p^a(t)$. Если $P > 0$, то $p^a(t) > 0$ при всех t за исключением отдельных точек, где $p^a(t) = 0$. Это соответствует случаю, когда двухполюсник потребляет часть электрической энергии. Если $P < 0$, то $p^a(t) < 0$ при всех t за исключением отдельных точек, где $p^a(t) = 0$. Это соответствует случаю, когда двухполюсник отдает во внешнюю цепь часть электрической энергии. Если $P = 0$, то $p^a(t) \equiv 0$ при всех t . Это означает, что двухполюсник не потребляет и не отдает во внешнюю цепь электрическую энергию.

Имея запись мгновенной мощности в форме (4) – (6), можно просто и надежно доказать реальность существования явления выделения активной мощности реактивными элементами электрической цепи.

Пусть ток индуктивности имеет форму экспосинусоиды

$$i_L(t) = I_{Lm} e^{\pm \lambda t} \sin(\omega t + \varphi_i). \quad (13)$$

Мгновенная мощность на индуктивности имеет вид

$$\begin{aligned} p_L(t) &= u_L(t) i_L(t) = L \frac{di_L(t)}{dt} i_L(t) = \\ &= \pm \lambda L I_{Lm}^2 e^{\pm 2\lambda t} \sin^2(\omega t + \varphi_i) + \omega L I_{Lm}^2 e^{\pm 2\lambda t} \sin(\omega t + \varphi_i) \cos(\omega t + \varphi_i). \end{aligned} \quad (14)$$

Для сравнения запишем равенство (4)

$$p(t) = U_m I_m \cos \varphi \sin^2(\omega t + \varphi_u) - U_m I_m \sin \varphi \sin(\omega t + \varphi_u) \cos(\omega t + \varphi_u) = p^a(t) - p^r(t). \quad (15)$$

Сравнивая выражения (14) и (15) и имея ввиду, что характерной особенностью мгновенной активной мощности является наличие в ее выражении множителя $\sin^2 \omega t$, можно сделать вывод, что в этом случае для индуктивности

$$p^a(t) = \pm \lambda L I_{Lm}^2 e^{\pm 2\lambda t} \sin^2(\omega t + \varphi_i). \quad (16)$$

Из выражения (16) видно, что для случая верхнего знака индуктивность потребляет часть электрической энергии, а для нижнего знака – отдает во внешнюю цепь часть электрической энергии.

Это происходит по причине того, что индуктивность выделяет активную мощность при экспосинусоидальном воздействии.

Аналогично, если напряжение на емкости имеет форму экспосинусоиды с $\varphi_u = 0$

$$u_c(t) = U_{Cm} e^{\pm \lambda t} \sin \omega t, \quad (17)$$

то мгновенная мощность на емкости следующая

$$p_c(t) = u_c(t)i_c(t) = u_c(t)C \frac{du_c(t)}{dt} = \pm \lambda C U_{Cm}^2 e^{\pm 2\lambda t} \sin^2 \omega t + \omega C U_{Cm}^2 e^{\pm 2\lambda t} \sin \omega t \cos \omega t. \quad (18)$$

Сравнивая выражение (18) и (15), можно сделать вывод, что в этом случае для емкости

$$p^a(t) = \pm \lambda C U_{Cm}^2 e^{\pm 2\lambda t} \sin^2 \omega t. \quad (19)$$

Из выражения (19) видно, что для емкости наблюдается аналогичная картина как и для индуктивности. Верхний знак соответствует тому, что емкость потребляет часть электрической энергии, а нижний знак –, что емкость отдает во внешнюю цепь часть электрической энергии. Это происходит потому, что емкость выделяет активную мощность при экспосинусоидальном воздействии.

Таким образом, не выходя за пределы временной области, достаточно просто доказать существование явления выделения активной мощности реактивными элементами электрической цепи. Эта простота доказательства создает возможность достаточно точно отобразить происходящие процессы в электрической цепи, содержащей реактивные элементы при экспосинусоидальном воздействии.

В заключении отметим, что данное в статье простое доказательство существования явления выделения активной мощности реактивными элементами электрической цепи при экспосинусоидальном воздействии является неоспоримым аргументом в реальности существования этого явления.

Литература

1. *Іваницький А.М.* Явище виділення активної потужності реактивними елементами електричного кола // Диплом на відкриття НВ №3, зареєстровано 12.01.99; пріоритет від 30.11.94.
2. *Іваницький А.М.* Эффект выделения активной мощности реактивными элементами // Тема. Техника будущего. – 1997. – № 5 – 6. – С. 29 – 30.
3. *Іваницький А.М.* Явище виділення активної потужності реактивними елементами електричного кола // Винахідник України. – 2' 1999 / 1' 2000. – С.121-126.
4. *Пименов Ю.В., Вольман В.И., Муравцов А.Д.* Техническая электродинамика. – М.: Радио и связь, 2002. – 536 с.