

## О ПРИРОДЕ РЕАКТИВНОЙ МОЩНОСТИ

*Рахимов Калый Рахимович, к.т.н., профессор КГТУ им. И. Раззакова, Кыргызстан, 720044, г. Бишкек, пр. Ч. Т. Айтматова 66.*

**Цель статьи** – раскрыть природу реактивной мощности, утверждение о двух ее видах, об их источниках, о способе их передачи. Предложена новая схема замещения, новый метод расчета линии электропередачи.

**Ключевые слова:** реактивная мощность, генерация, передача, схема замещения линии, расчет по балансу реактивных мощностей.

## ABOUT THE NATURE OF REACTIVE POWER

*Rakhimov Kaliy Rakhimovich, Candidate of Technical Sciences, Professor KSTU. I. Razzakova, Kyrgyzstan, 720044, Bishkek, Pr. Ch.T. Aytmatova 66.*

**The aim of the article** – to uncover the nature of reactive power, the statement about its two kinds, their sources and the way of their transfer. A new scheme of substitution and new calculation method for power line is offered.

**Key words:** reactive power, generation, transfer, line substitution scheme, calculation of reactive powers' balance.

До сих пор отсутствует ясное представление о природе реактивной мощности. В терминологии по электротехнике, составленной АН СССР, дается следующее определение понятия реактивной мощности: «Это корень квадратный из разности квадратов полной и активной мощности». Иными словами, это определение полностью повторяет зависимость в виде формулы

$$Q = \sqrt{S^2 - P^2} \quad (1)$$

Такое определение является чисто формальным и мало что дает для понимания сути дела. Мельников Н. А. (1) дает следующее определение «Реактивная мощность – величина, для которой справедливо условие баланса по всей цепи переменного тока в целом». Это определение также не объясняет физической сущности реактивной мощности.

В учебниках ТОЭ реактивную мощность почти не рассматривают. В других специализированных учебниках рассматривают реактивную мощность без объяснения природы реактивной мощности. В учебнике Ю. М. Борисова и др. (2) реактивная мощность разделена на два вида: емкостная и индуктивная, первая обусловлена электрическим полем, вторая – магнитным полем.

Реактивная мощность в действительности есть проявления магнитного и электрического полей. Электрическое поле имеет место вокруг заряда (-ов). Магнитное поле появляется только при движении заряда, то есть только при появлении электрического тока. При переносе зарядов вместе с ними передвигаются электрическое и магнитное поля.

Обычно в литературе рассматривают одно понятие реактивная мощность и полагается, что одни элементы электрической цепи вырабатывают, а другие потребляют. Нами предложено рассматривать реактивную мощность как два отдельных вида. Емкостная реактивная мощность создается электрическим полем, а индуктивная реактивная мощность магнитным полем. Электрическое поле имеет емкостную проводимость, а магнитное поле – индуктивное сопротивление, которые зависят от электрических и магнитных свойств среды – диэлектрика, магнитного материала и геометрических размеров элемента электрической схемы – аппарата, линии электропередач и другого. Правильно рассматривать каждый вид реактивной мощности в отдельности.

Емкостная реактивная мощность пропорциональна квадрату напряжения и емкостной проводимости

$$Q_c = U^2 b, \quad (2)$$

индуктивная реактивная мощность пропорциональна квадрату тока и индуктивному сопротивлению

$$Q_l = 3 I^2 x \quad (3)$$

На любом элементе имеется и электрическое и магнитное поля. На них возникают оба вида реактивной мощности и если они равной мощности, то они компенсируют друг друга. При их неравенстве на элементе имеет место та реактивная мощность, которая превалирует и она равна их разности

$$\Delta Q = Q_c - Q_l \quad (4)$$

В литературе приняты термины «вырабатывает» и «потребляет» реактивную мощность. Обычно генераторы и элементы с емкостью (с концентрацией электрического

поля) вырабатывают емкостную реактивную мощность, а элементы с индуктивностью (с концентрацией магнитного поля) вырабатывают индуктивную.

Электрическое поле компенсируется магнитным полем, то есть емкостная реактивная мощность компенсируется индуктивной мощностью или можно говорить и обратное индуктивная реактивная мощность компенсируется емкостной реактивной мощностью.

Генераторы и синхронные компенсаторы могут и вырабатывать как емкостную реактивную мощность, так и индуктивную в зависимости от возбуждения. Обычно считается, что при малом токе возбуждения генератор или синхронный компенсатор потребляет реактивную мощность, а при большем вырабатывает. Нормально генератор работает в режиме перевозбуждения. Генератор в этом режиме вырабатывает активную и реактивную мощности. Величина выработанной реактивной мощности зависит от тока возбуждения. С увеличением тока возбуждения растет выработка реактивной мощности и наоборот. На выработку реактивной мощности не расходуется механическая мощность. Напряжение на выводах генератора складывается из активной составляющей напряжения, пропорциональной активной мощности генератора и реактивной составляющей напряжения пропорциональной выдаваемой реактивной мощности. В нормальном режиме напряжение на выводах генератора регулируется автоматически. При снижении напряжения на выводах генератора автоматически увеличивается реактивная составляющая мощности и напряжение увеличивается. Таким образом, напряжение на выводах генератора поддерживается на требуемом уровне.

Конденсаторы постоянно имеют емкостную мощность, а реакторы - индуктивную.

Особое место занимают линии электропередачи, они имеют соизмеримые оба вида реактивной мощности. В линиях при малых нагрузках превалирует электрическое поле (емкостная реактивная мощность) и она ведет себя как емкость, а при больших нагрузках – магнитное поле (индуктивная реактивная мощность) и, соответственно, линия ведет себя как индуктивность. При равенстве обеих видов реактивных мощностей они компенсируют друг друга, и линия представляет собой чисто активное сопротивление. Направление передачи реактивной мощности в основном совпадает с направлением передачи активной мощности, иногда против потока активной мощности.

Мгновенные значения обеих видов реактивной мощности меняются во времени также как и активная, форма их синусоид полностью соответствуют активной мощности и частоты имеют такие же как у активной, подтверждением этого является то, что при их сложении получающаяся полная мощность также изменяется по синусоиде с той же частотой.

Связь между электрическими и магнитными полями заключается только в том, что напряжения и электрический ток связаны по закону Ома, их кривые изменения строго соответствуют друг другу, аналогично изменяются и реактивные мощности. Они не могут меняться с разной частотой. В литературе и учебниках по ТЭ ошибочно утверждается, что мгновенное значение реактивной мощности изменяется в 2 раза большей частотой. Эта ошибка возникла благодаря тому, что мгновенная мощность определялась как произведение тока и напряжения, сдвинутых на 90 градусов. На самом деле этого сдвига нет.

Угол между активной и реактивной мощностями равен 90 градусов, принято, что емкостная отстает от активной, а индуктивная опережает, а угол между двумя видами реактивных мощностей составляет 180 градусов.

Имеются различные теории передачи электроэнергии: теория передачи электронной проводимостью, электромагнитными волнами, путем взаимного превращения электрического и магнитного полей и переноса энергии вдоль проводов. Проведя анализ всех существующих теорий нами (3,4,5) сделан вывод: активная мощность передается электронной проводимостью, а реактивная мощность вдоль проводов электрическим полем.

При передаче электрической энергии, активной мощности оказывает сопротивление активное сопротивление, емкостной реактивной мощности емкостное сопротивление, а индуктивной реактивной мощности индуктивное сопротивление цепи.

В расчетах линии электропередачи наряду с параметром активное сопротивление важно знать и такие параметры как емкостное сопротивление, обратно пропорционально частоте  $f$ , емкости  $C$  и индуктивное сопротивление пропорциональное частоте и индуктивности  $L$

$$X_c = \frac{1}{2\pi f C} \quad (5)$$

$$X_L = 2\pi f L, \quad (6)$$

где емкость и индуктивность зависят от электрических и магнитных свойств окружающего проводник диэлектрика и геометрических размеров линии электропередачи.

Емкостная мощность зависит от величины напряжения и емкостной проводимости и при неизменном напряжении она постоянна и не зависит от мощности, передаваемой по линии. Индуктивная мощность зависит от передаваемой мощности по линии и изменяется пропорционально квадрату мощности (рис.1).

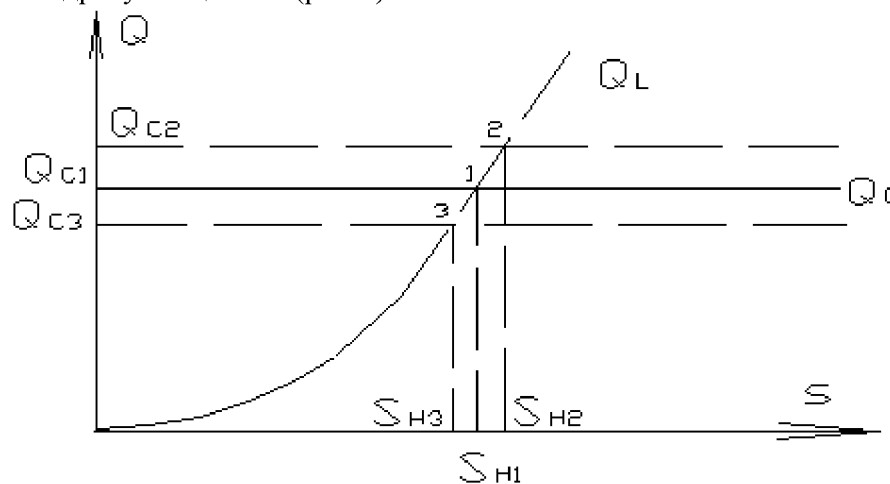


Рис.1

При определенной нагрузке емкостная и индуктивная мощности становятся равными и они компенсируют друг друга. Передаваемая мощность при которой емкостная и индуктивная мощности равны друг другу называют «натуральной»  $S_{нат}$

$$S_{нат} = U_H^2 / Z_B, \quad (7)$$

где  $U_H$  - номинальное напряжение,  $Z_B$  - волновое сопротивление.

При равенстве емкостной и индуктивной мощностей на линии создается режим резонанса напряжения. Такой режим согласно физике процесса имеет место в последовательной схеме с емкостью и индуктивностью. Таким образом, линию электропередачи целесообразно замещать последовательной схемой. При передаваемой по линии мощности меньше натуральной в линии преобладает емкостная мощность и она может быть замещена последовательно включенными активным и емкостным сопротивлениями. При мощности равной натуральной линия может быть замещена только активным сопротивлением, а при мощности на линии больше натуральной линия может быть замещена активным и индуктивным сопротивлениями.

Нами было предложено для расчетов режима линии электропередачи применять схему замещения по последовательной схеме и расчет вести с учетом баланса реактивных мощностей на ней (4). Метод заключается в определении реактивных мощностей на линии по известным формулам (2 и 3) затем определяются балансы активных и реактивных мощностей по концам линии и учитывая пропорциональность мощностей и напряжений определяется напряжение на конце линии. Расчеты по предлагаемому методу показали хорошую сходимость с измеренными данными на конкретных линиях. Так например, замеры на линии 220кВ «Кемин - Нарын» при малых нагрузках на линии показывают, что

напряжение на конце линии выше, чем в начале на 8-12 кВ. Расчеты по существующему методу дают всегда меньшее напряжение на конце линии, чем в начале. Расчеты по методу баланса реактивных мощностей очень хорошо совпадают с измеренными данными.

В энергосистеме и у потребителей применяются различные методы компенсации реактивной мощности. В одних случаях устанавливают источники емкостной реактивной мощности, в других источники индуктивной реактивной мощности. Практики, да и в литературе первые так и называют, вторые называют потребителями.

В первом случае ясно, что компенсируется индуктивная мощность, а во втором случае компенсируется емкостная (зарядная) мощность линии электропередачи. Этот существующий факт призывает называть факты своими именами. Надо признать о существовании двух видов равнозначных реактивных мощностей, одна из которых создается электрическим полем, другая – магнитным полем.

#### **Выводы**

1. Реактивную мощность нужно рассматривать как два отдельных вида, одна создается электрическим полем, другая – магнитным.

2. Независимо от напряжения и длины линии активная мощность передается электронной проводимостью проводника, а реактивная мощность вдоль проводов электрическим полем.

3. Предлагается применять последовательную схему замещения линии электропередачи и ее расчет вести с учетом баланса реактивных мощностей.

#### **Список литературы**

1. Мельников Н. А. Реактивная мощность в электрических сетях. «Энергия». Москва. 1975.
2. Борисов Ю. М. и др. Электротехника. Учебник для вузов. Энергоатомиздат. 1985.
3. Рахимов К. Р. Об электрическом расчете линии электропередачи. КТУ им И. Раззакова. Бишкек. 2000.
4. Рахимов К. Р. Линии электропередачи Кыргызстана. Особенности, методы расчета и управления. Бишкек, 2010.
5. Рахимов К. Р. О теориях генерации, передачи электроэнергии и реактивной мощности. Бишкек. 2014.