

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 заключаются 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).

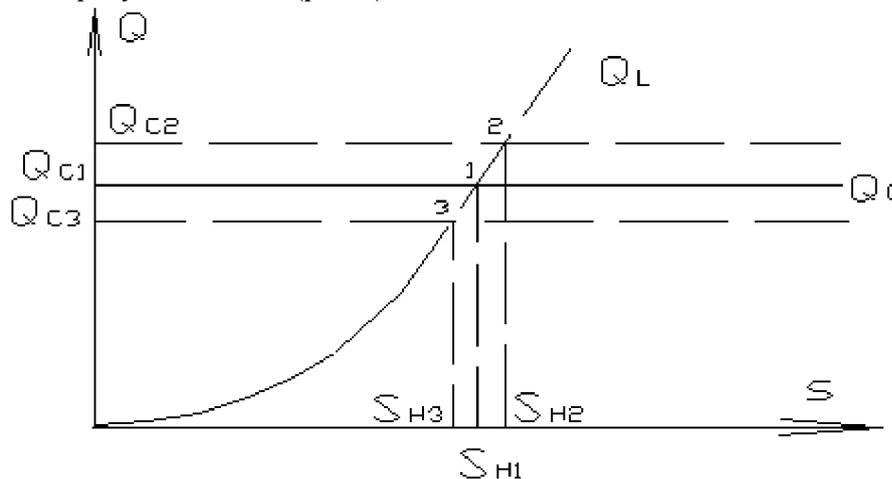


Рис.1

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.