

ПРОБЛЕМЫ ОГРАНИЧЕНИЙ В ВОЗДУШНЫХ ЛИНИЯХ ПРИ ПЕРЕДАЧЕ РЕАКТИВНОЙ МОЩНОСТИ

В.А. Ярош¹⁾, Обада Сажжат М.М.²⁾, В.Г. Жданов³⁾, Е.А. Логачева⁴⁾

1) к.т.н., доцент ФГБОУ ВО Ставропольский государственный аграрный университет, г. Ставрополь, Россия, yarviktor@yandex.ru

2) студент электроэнергетического факультета ФГБОУ ВО Ставропольский государственный аграрный университет, Республика Ирак, г. Басра.

3) к.т.н., доцент ФГБОУ ВО Ставропольский государственный аграрный университет, г. Ставрополь, Россия, jdanov.valery2010@yandex.ru

4) к.т.н., доцент ФГБОУ ВО Ставропольский государственный аграрный университет, г. Ставрополь, Россия, elena.logacheva2010@yandex.ru

Аннотация: Линии электропередачи имеют физические ограничения по величине передаваемой мощности. Данное ограничение можно рассматривать как ограничение по передаваемой активной мощности. Так как передаваемая мощность представляется комплексно, реальные значения ограничений могут быть разными в зависимости от режима работы системы в конкретный момент времени.

Ключевые слова: электроэнергия, ограничения, пропускная способность, линия электропередачи, активная мощность, реактивная мощность.

PROBLEMS OF LIMITATIONS IN OVERHEAD LINES IN THE TRANSMISSION OF REACTIVE POWER

V.A. Yarosh¹⁾, Obada Sazhat M.M.²⁾, V.G. Zhdanov³⁾, E.A. Logacheva⁴⁾

1) Ph. D., associate Professor, Stavropol state agrarian University, Stavropol, Russia, yarviktor@yandex.ru

2) student of the faculty of electric power engineering of Stavropol state agrarian University, Basra, Republic of Iraq.

3) Ph. D., associate Professor, Stavropol state agrarian University, Stavropol, Russia, jdanov.valery2010@yandex.ru

4) Ph. D., associate Professor, Stavropol state agrarian University, Stavropol, Russia, elena.logacheva2010@yandex.ru

Abstract: Power transmission lines have physical limitations on the amount of transmitted power. This limitation can be considered as a limitation on the transmitted active power. Since the transmitted power is presented in a complex way, the actual values of the restrictions may be different depending on the operating mode of the system at a particular time.

Keywords: electric power, restrictions, capacity, transmission line, active power, reactive power.

При передаче электрической энергии по линиям возникают потери. Потери электроэнергии связаны с нагревом проводов линии электропередачи. Нагрев проводов вызывает удлинение и провисание проводов. При высоких температурах провисание становится постоянным, материал провода начинает плавиться, и линия выходит из строя [1-3]. Поэтому системный оператор, осуществляя оперативно-диспетчерское управление, должен знать пределы по передаваемой мощности по линиям и не допускать такие режимы работы системы, при которых эти пределы нарушаются.

Величиной протекающего по линии электрического тока определяются потери электроэнергии в ней, а также протекающий ток определяет ограничения по нагреву проводов линии. Мощность, протекающая по линии, определяется выражением $P = U \cdot I$, и, отсюда, ток равен $I = P / U$. В процессе эксплуатации линий электропередачи происходит регулирование напряжения для поддержания его близким к номинальным значениям. Поэтому ограничивать величину передаваемой мощности P можно путем изменения тока в линии. Следовательно, вместо предела по передаваемой мощности по линии электропередачи можно рассматривать ограничение по нагреву проводов [4, 5]. Системный оператор при разработке оптимальных суточных графиков работы электростанций для заявленных графиков нагрузки должен планировать выходные мощности электростанций таким образом, чтобы эти пределы не нарушались для всех линий, входящих в электрическую систему.

Из-за потоков реактивной мощности предел, определяемый как ограничение на передачу активной мощности по линии, оказывается не таким жестко заданным, как в случае, если он определяется как ограничение на ток.

Основная причина, влияющая на изменение ограничения по нагреву проводов, это зависимость процесса нагревания от температуры окружающей среды [2, 3]. Поскольку главной проблемой ограничения по току является процесс нагревания, то чем больше температура окружающей среды, тем ниже ограничения по нагреву проводов. Однако более существенным изменением подвержен предел по активной мощности из-за изменения передаваемой реактивной мощности.

Электрические станции вырабатывают как активную, так и реактивную мощность, а потребители также используют и активную и реактивную мощности. Реактивная мощность является неотъемлемой частью процесса передачи активной мощности в электрической системе переменного тока [6]. Активная энергия часть потребляемой энергии, которая целиком и безвозвратно преобразуется потребителем в другие виды энергии (механическую, тепловую и т.д.). Активная мощность – это электрическая мощность, торговля которой осуществляется на оптовом

рынке электроэнергии и мощности.

Для понимания сути реактивной мощности рассмотрим график изменения полной мгновенной мощности (рис. 1), когда напряжение и ток имеют сдвиг по фазе относительно друг друга. При сдвиге по фазе максимум напряжения наступает раньше, чем достигает максимума ток. Напряжение и ток будут иметь различные знаки в некоторые моменты времени из-за их несовпадения по фазе. В эти моменты времени мгновенное значение мощности будет отрицательным, поскольку мощность равна произведению тока на напряжение. И поток мощности фактически направлен в обратном направлении от потребителя к источнику. В эти моменты мощность отдается обратно источнику и называется реактивной мощностью. В нормальных условиях разность фаз напряжения и тока небольшая отрицательный поток мощности является небольшим и непродолжительным.



Рисунок 1 – Активная и реактивная составляющая полного потока мощности

Мгновенная мощность, проходя через ноль с удвоенной частотой переменного тока, меняет свой знак 240 раз в секунду. Для большинства решаемых инженерных задач такое подробное математическое описание потока мощности избыточно и сильно усложняет расчеты, поэтому принято разделять полный поток мощности на две периодические составляющие [6]. Одна из них всегда имеет положительный знак (поток активной мощности), а другая в среднем равна нулю (поток реактивной мощности). Несмотря на то что мгновенные значения этих мощностей изменяются, они представляются своим средним значением – для потока активной мощности, и величиной ненамного меньшей, чем среднее абсолютное значение – для потока реактивной мощности.

Следовательно, поток активной мощности всегда течет от источника к нагрузке, он совершает работу и обеспечивает функцию энергоснабжения потребителей. Поток реактивной мощности течет попеременно в противоположных направлениях в равных количествах и при этом не совершает никакой работы и не переносит никакой энергии. Однако поток реактивной мощности необходим в электрических сетях переменного тока для работы электрических двигателей, трансформаторов и т.д.

Положительное влияние протекания реактивной мощности на

электрическую сеть заключается в поддержании напряжения в конце линии на необходимом уровне [4, 6]. Отрицательное влияние протекания реактивной мощности связано с созданием дополнительных реактивных токов, которые нагревают провода и приводят к дополнительным потерям электроэнергии. Протекание реактивной мощности по генераторам и трансформаторам создает в них потери активной мощности и приводит к нагреванию этих устройств. Поэтому реактивная мощность является фактором системных потерь.

Ограничения по нагреву. При эксплуатации большинства устройств, входящих в состав электрической системы, основополагающим является допустимая температура, которую они могут выдерживать, сохраняя свои механические и электрические свойства. Причиной нагрева этих устройств является нагрев при протекании электрического тока. Количественно выделяемое тепло в этих устройствах определяется законом Джоуля-Ленца и определяется силой электрического тока I . Сила тока пропорциональна только потоку активной мощности в случае отсутствия потока реактивной мощности. Если кроме потока активной мощности P протекает и реактивная мощность Q , ток пропорционален величине $\sqrt{P^2 + Q^2}$, называемой полной мощностью. Ограничение по нагреву, содержащее значения P и Q , неудобно для экономического анализа, и его заменяют на предел по активной мощности, зависящий от величины Q .

Определим ограничение по нагреву TL_p в виде максимальной активной мощности, которую можно пропустить через какое-либо устройство при отсутствии реактивной мощности. Ограничение по нагреву при наличии потока реактивной мощности Q будет иметь вид:

$$P < TL_p \cdot \cos \varphi, \quad (1)$$

где $\cos \varphi = P / \sqrt{P^2 + Q^2}$ – коэффициент мощности, $\cos \varphi = 1$, если через устройство проходит только активная мощность.

Выражение (1) можно представить в виде:

$$P < TL_p \cdot \sqrt{1 - (Q / TL_p)^2}. \quad (2)$$

Если Q составляет 10 % от TL_p , то ограничение по нагреву по активной мощности уменьшается на 0,5 %. Однако, если Q составит 50 % от TL_p , что является большой величиной при нормальных условиях, то этот предел уменьшается на 13,4 %.

Потребление и производство реактивной мощности. Несмотря на то что реактивную мощность можно рассматривать как периодически изменяющийся свое направление и интегрально равный нулю поток активной мощности, существует два вида потоков реактивной мощности. Первый поток реактивной мощности определяется тем, что максимальное значение напряжения наступает раньше, чем достигается максимальное значение тока, как показано на рисунке 1. Второй поток реактивной мощности – тем, что напряжение отстает от тока. Считается, что

устройство потребляет реактивную мощность, если напряжение опережает ток в нем. Если же напряжение отстает от тока в устройстве, то оно вырабатывает реактивную мощность. Нагрузки и линии электропередачи имеют закономерность потреблять больше реактивной мощности, чем они ее вырабатывают. Поэтому определенные устройства в электрической системе должны отвечать за выработку реактивной мощности.

При передаче активной мощности какое-то количество ее теряется. Когда дополнительно передается и реактивная мощность происходит увеличение потери активной мощности, но также теряется и часть самой реактивной мощности. Потери реактивной мощности относительно велики, следовательно, ее нельзя передавать на большие расстояния. Поэтому производство реактивной мощности должно производиться близко от того места, в котором она потребляется.

Вывод: Ограничение по нагреву обусловлено потоком активной мощности и также зависит от протекания потока реактивной мощности. Однако зависимость ограничения по нагреву от потока реактивной мощности обычно не очень сильная.

Список использованных источников:

1. Хорольский В.Я., Ефанов А.В., Ершов А.Б., Ярош В.А., Ястребов С.С., Ковязин Е.С. Опыт тепловизионного обследования электроустановок // Сельский механизатор. 2018. № 4. С. 42-43.

2. Электробезопасность работников электрических сетей: учебное пособие / Е.Е. Привалов, А.В. Ефанов, С.С. Ястребов, В.А. Ярош под ред. Е.Е. Привалова. – Москва; Берлин: Директ-Медиа, 2018, – 370 с.

3. Экономические критерии в задачах развития электрических передающих сетей / Идельчик В.И., Идельчик Л.В., Ярош В.А.; СевКавГТУ – г. Ставрополь, 2014. – 17 с. Деп. в ВИНТИ РАН 01.07.2014, № 188-В2014.

4. Исследования погрешностей от неточного задания исходных данных при определении загрузки линий и отклонений напряжения в распределительной сети / Идельчик В.И., Кужев В.Х., Ярош В.А.; СтПИ – г. Ставрополь, 1993. – 18 с. Деп. в ВИНТИ РАН 29.03.94, № 757-В94.

5. Горовенко Л.А. Математические методы компьютерного моделирования физических процессов// Международный журнал экспериментального образования. Пенза: ИД «Академия естествознания», 2017. - №2. - с. 92-93.

6. Мастепаненко М.А., Ефанов А.В., Ярош В.А., Вахтина Е.А. Аналитический метод определения переходных отклонений напряжения системы автономного электроснабжения при воздействии детерминированных возмущений // Электротехника. 2018. № 7. С. 26-29.