

МЕЖГОСУДАРСТВЕННАЯ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКАЯ СВЯЗЬ В РЕЖИМЕ ПОЛУВОЛНЫ

Асп. СЕМЕНКОВ Д. Н.

Белорусский национальный технический университет

В последнее время в мире усилилась тенденция интегрирования энергетических систем в объединения для получения дополнительных эффектов от их совместной работы. Однако существует ряд нерешенных проблем, которые препятствуют объединению.

В некоторых работах авторы предлагают применить принцип комбинированного объединения больших систем с применением гибкой связи [1]. При этом вместо гибкой связи можно использовать полуволновую линию электропередачи (ЛЭП). Для обоснования этого решения и уточнения всех основных преимуществ охарактеризуем ценность полуволны.

Мощность современной электростанции достигает 4–6 ГВт, мощность объединенных энергетических систем (ОЭС) измеряется десятками миллионов киловатт. ОЭС связаны между собой линиями электропередачи, пропускная способность которых составляет 2–3 ГВт.

В значительной мере технико-экономические показатели ЛЭП определяются ее пропускной способностью. Пропускная способность ЛЭП может быть повышена путем настройки ЛЭП на режим полуволны.

Приведем известные уравнения для линии без потерь:

$$\underline{U}_1 = \underline{U}_2 \cos \lambda + j \underline{I}_2 z_{\text{в}} \sin \lambda; \quad (1)$$

$$\underline{I}_1 = \underline{I}_2 \cos \lambda + j \frac{\underline{U}_2}{z_{\text{в}}} \sin \lambda, \quad (2)$$

где \underline{U}_1 , \underline{U}_2 – напряжение в начале и конце линии; $z_{\text{в}}$ – волновое сопротивление; \underline{I}_1 , \underline{I}_2 – ток в начале и конце линии; λ – волновая длина линии.

В режиме полуволны линия обладает высокой пропускной способностью. Уравнения линии без потерь при $\lambda = \alpha l = \pi$ будут иметь вид: $\underline{U}_1 = -\underline{U}_2$; $\underline{I}_1 = -\underline{I}_2$.

Напряжения и токи по концам полуволновой линии без потерь одинаковы по величине, но сдвинуты на 180° по фазе, соответственно мощности $\underline{S}_1 = P_1 - jQ_1 = \underline{U}_1^* \underline{I}_1 = \underline{S}_2 = P_2 - jQ_2 = \underline{U}_2^* \underline{I}_2$ одинаковы в начале и конце линии передачи [1], где P_1 , P_2 – активная мощность в начале и конце линии; Q_1 , Q_2 – реактивная мощность в начале и конце линии; \underline{S}_1 , \underline{S}_2 – полная мощность в начале и конце линии.

Для определения передаваемой мощности существует следующее выражение [3]:

$$P = \frac{EU}{x_1 + x_2} \sin(\theta_1 + \theta_2), \quad (3)$$

где E – ЭДС генератора; x_1 – суммарное сопротивление генератора и повышающего трансформатора; x_2 – сопротивление понижающего трансформатора; θ_1 – угол сдвига, обусловленный генератором и повышающим трансформатором; θ_2 – то же, понижающим трансформатором.

Соответствующая характеристика мощности показана на (рис. 1а). Передаваемая мощность зависит только от угла $(\theta_1 + \theta_2)$ сдвига, обусловленного генераторами и трансформаторами; угол линии передачи, равный π , на характеристику мощности влияния не оказывает. Следовательно, по условиям устойчивости полуволновая система передачи обладает высокой пропускной способностью [2].

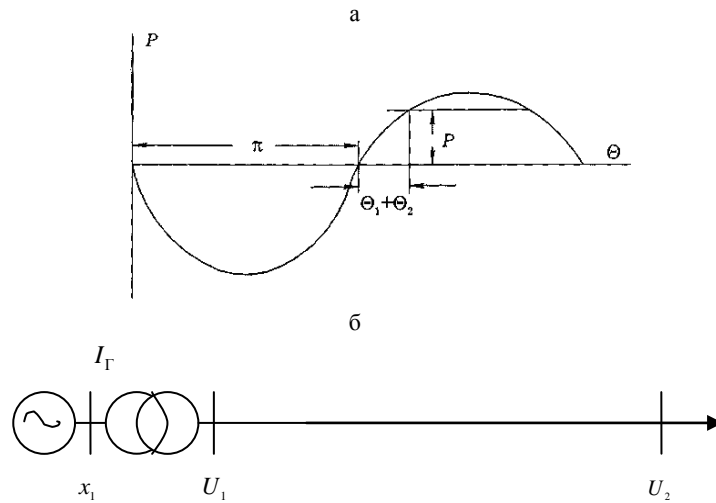


Рис. 1. а – нагрузочно-угловая характеристика режима полуволны; б – схема системы передачи

Распределение напряжения и тока вдоль полуволновой линии в режиме холостого хода определяется уравнениями: $\underline{U} = \underline{U}_2 \cos \lambda$; $\underline{I} = j \frac{\underline{U}_2}{z_B} \sin \lambda$

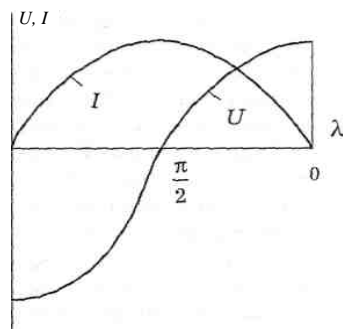


Рис. 2. Распределение напряжения и тока вдоль линии полуволновой длины в режиме холостого хода

(рис. 2). Повышения напряжения вдоль холостой линии не возникает [3].

Полуволновой линии свойственны изменения напряжения в промежуточных точках при изменении режима работы. Так, режим напряжений в середине полуволновой электропередачи прямо пропорционален току ее конца. При холостом ходе магистрали напряжение в ее середине практически равно нулю, а при передаче по линии натуральной мощности – ее номинальному напряжению. Поэтому для полуволновых электропередач имеет место проблема отбора мощности в промежуточных точках линии.

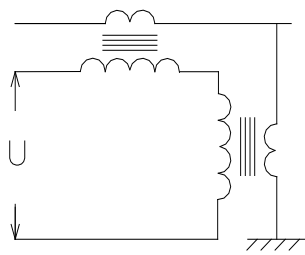


Рис. 3. Двухэлементная схема отбора мощности от полуволновой линии

Эта проблема может быть решена следующим образом. В середине линии отбор осуществляется трансформаторами, первичная обмотка которых включается в расщелку линии последовательно подобно трансформатору тока. На участках, примыкающих к началу и концу линии, отбор мощности может быть осуществлен обычными трансформаторами. А для участков между концами и серединой линии для отбора может быть предложена двухэлементная схема (рис. 3) [5].

Достоинство электропередач протяженностью, близкой к полуволновой, таких как воздушные линии длиной 2900–3500 км, состоит в том, что для этих длин не требуется настраивающих или компенсирующих устройств, потому что эта область длин обладает достаточным уровнем «естественной» устойчивости. При этом схема электропередачи очень проста, поскольку состоит лишь из линии и концевых трансформаторов.

При других длинах линии электропередачи могут получиться свойства путем настройки их на полуволну [4].

Приведем общие уравнения, описывающие схему передачи (рис. 1б).

Длина линии, при которой система передачи будет иметь свойства режима полуволны, определится уравнением

$$x_1 \cos \lambda + z_b \sin \lambda = 0, \quad (4)$$

где x_1 – суммарное сопротивление генератора и повышающего трансформатора.

И тогда ЭДС системы передачи будет выглядеть следующим образом:

$$\underline{E} = \underline{U}_2 \left(\cos \lambda - \frac{x_1}{z_b} \sin \lambda \right). \quad (5)$$

При использовании межгосударственных линий электропередачи в режиме полуволны достигается ряд основных преимуществ, так называемый межсистемный эффект:

- экономия на резерве;
- выравнивание колебаний и графиков нагрузки;
- уменьшение суммарного максимума нагрузки объединенных энергосистем;
- повышение надежности питания;
- снижение стоимости электроэнергии;
- возможность управления потоком электроэнергии, газа, угля и нефти;
- увеличение мощности отдельных агрегатов и станций;
- использование местных энергетических ресурсов.

Исходя из сказанного и опираясь на выводы авторов [1], можно предложить создание промежуточной подсистемы на базе объединенной энергосистемы Республики Беларусь. В качестве гибкой связи необходимо предусмотреть использование полуволновой линии электропередачи – настро-

енной или компенсированной, в зависимости от географического расположения источника электроэнергии.

ВЫВОД

Режим полуволны пригоден для передачи электроэнергии. Полуволевой линии свойственны изменения напряжения в промежуточных точках при изменении режима работы. Передаваемая мощность зависит только от угла сдвига, обусловленного генераторами и трансформаторами. При учете конечных устройств системы передачи имеются протяженности линий, при которых в системе передачи получается режим четверти волны со всеми его свойствами.

ЛИТЕРАТУРА

1. Зеленохат, Н. И. Комбинированное объединение больших энергосистем / Н. И. Зеленохат, Ю. В. Шаров // Электричество. – 2006. – № 5.
2. Поспелов, Г. Е. Передача энергии и электропередачи / Г. Е. Поспелов, В. Т. Федин. – Минск: Адукацыя і выхаванне, 2003.
3. Жданов, П. С. Вопросы устойчивости электрических систем / П. С. Жданов. – М.: Энергия, 1979.
4. Колотилова, Д. Г. Исследование концевых трансформаторов для настройки линий на полуволну / Д. Г. Колотилова // Труды ТЭИ СО АН СССР. – 1963. – Вып. 16.
5. Воробьев, Г. В. Последовательно-параллельная схема связи промежуточных энергосистем с дальними электропередачами: автореф. дис. ... канд. техн. наук / Г. В. Воробьев. – Новосибирск, 1964. – 22 с.

Представлена кафедрой
электрических систем

Поступила 8.08.2007

УДК 621.311.017

ОБ ОПТИМАЛЬНЫХ РЕЖИМАХ РАБОТЫ СИЛОВЫХ ТРАНСФОРМАТОРОВ

Докт. техн. наук, проф. ФУРСАНОВ М. И, канд. техн. наук, доц. РАДКЕВИЧ В. Н.

Белорусский национальный технический университет

В научно-технических изданиях [1–6] были опубликованы критические материалы, связанные с анализом загрузки силовых трансформаторов электрических сетей и снижения потерь мощности и электроэнергии. Публикации можно было бы отнести к полезным и дискуссионным, если бы не весьма некорректный тон автора в отношении других исследований [7–10, 13, 14], в том числе проводимых на кафедре «Электроснабжение» [10], где он работает, и кафедре «Электрические системы» Белорусского