

ров тока и их насыщении, а также при бросках тока намагничивания, возникающих при подключении силовых трансформаторов, при восстановлении напряжения после отключения внешних КЗ, при работе устройств АПВ, АВР. Учет всех вышеперечисленных факторов приводит к необходимости усложнения алгоритмов работы защиты, что не является определяющим при использовании современной микропроцессорной элементной базы и цифровых методов обработки входной информации.

УДК 621.311

### **Полуволновая межгосударственная электроэнергетическая связь**

Семенков Д. Н.

Белорусский национальный технический университет

В последнее время во всем мире стало определяющей тенденцией интегрирование 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. 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 (ЛЭП), 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.

В режиме полуволны линия обладает высокой пропускной способностью. Уравнения линии без потерь при  $\lambda = \alpha l = \pi$  будут иметь вид

$$\underline{U}_1 = -\underline{U}_2, \quad \underline{I}_1 = -\underline{I}_2, \quad (1)$$

где  $\lambda$  - волновая длина линии;  $\alpha$  - коэффициент изменения фазы волны;  $l$  - длина линии;  $\underline{U}_1, \underline{U}_2$  - напряжение в начале и конце линии;  $\underline{I}_1, \underline{I}_2$  - ток в начале и конце линии.

Напряжения и токи по концам полуволновой линии без потерь одинаковы по величине, но сдвинуты на  $180^\circ$  по фазе, соответственно мощности одинаковы в начале и конце линии передачи [1]

$$\underline{S}_1 = P_1 - jQ_1 = \underline{U}_1^* \underline{I}_1 = \underline{S}_2 = P_2 - jQ_2 = \underline{U}_2^* \underline{I}_2. \quad (2)$$

Для определения передаваемой 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;  $\theta_1$  - угол сдвига обусловленный генератором и повышающим трансформатором;  $\theta_2$  - угол сдвига, обусловленный понижающим трансформатором.

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

Повышения напряжения вдоль полуволновой линии в режиме холостого хода не возникает [3]. Однако полуволновой линии свойственны колебания напряжения в промежуточных точках при изменении режима работы. Так, например, 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 — номинальному ее напряжению. Поэтому для полуволновых электропередач имеет место проблема отбора мощности в промежуточных точках линии.

Эта проблема может быть решена следующим образом. В середине линии отбор осуществляется трансформаторами, первичная обмотка которых включается в рассечку 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. 1) [2]. 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.

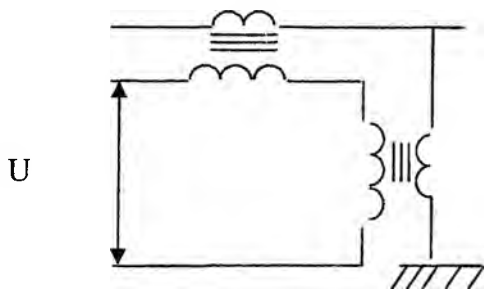


Рис. 1. Двухэлементная схема отбора мощности от полуволновой линии

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

Можно показать, что в случаях учета сопротивлений конечных устройств системы передачи имеются протяженности линий, при которых в системе получается режим полуволны со всеми его свойствами.

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

$$x_A \cos \lambda + z_A \sin \lambda = 0, \quad (4)$$

где  $x_A$  - суммарное сопротивление генератора и повышающего трансформатора.

и тогда ЭДС системы передачи будет

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

Проведем численный анализ режима в относительных единицах на базе натуральной мощности ( $U_2 = 1$ ,  $Z_B = 1$ ) при учете генераторов сначала синхронным сопротивлением, а затем переходным. В первом случае суммарное эквивалентное сопротивление генераторов и трансформаторов в относительных единицах примем  $x_A = 1$ , а во втором -  $x'_A = 0,42$ . Для первого значения получим длину линии, удовлетворяющую уравнению (4). Приравняв к нулю получим:

$\cos \lambda + \sin \lambda = 0$ ;  $tg \lambda = -1$ ;  $\lambda = -45 + 180k$ ; где  $k = 1$ , отсюда следует, что  $\lambda = 135^\circ$ ;

где угол в 135 градусов это угол между векторами напряжений начала и конца линии электропередачи. Длина линии, при которой система передачи будет иметь свойства режима полуволны, определится уравнением:

$$l = \frac{\lambda}{\alpha}. \quad (6)$$

$$l = 2235,1 \text{ км}; \underline{E} = -1,41; U_1 = 1e^{j135}; I_1 = 1e^{j135};$$

Аналогично для второго значения  $x_A = 0,42$ :

$$\lambda = 157,22^\circ; l = 602,98 \text{ км}; \underline{E} = -1,085; U_1 = 1e^{j157,22};$$

$$I_1 = 1e^{j157,22}.$$

Вывод. Режим полуволны пригоден для передачи электроэнергии. Полуволновой линии свойственны колебания 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 полуволны 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. Труды ТЭИ СО АН СССР / Д. Г. Колотилова. – Вып. 16, 1963.

УДК 378.029

### **Методические основы тестирования и проблемы их реализации**

Жуковская Т. Е., Куцьло А. В., Устимович В. А.  
Белорусский национальный технический университет

Контроль качества усвоения знаний в современной педагогике рассматривается как одна из основных процедур в учебном процессе. Современными считаются методы контроля знаний, допускающие автоматизацию этого процесса на основе компьютерной техники. Поэтому актуальной является задача разработки информационно-методического обеспечения компьютерных средств контроля качества знаний по различным дисциплинам. При этом автоматизированные системы контроля знаний должны иметь четкую научно-педагогическую основу [1].

Далее с позиций применения положений современной педагогической теории обсуждаются подходы к разработке информационно-методического обеспечения систем автоматизированного контроля знаний по некоторым дисциплинам, преподаваемым на кафедре «Электротехника и электроника».

Одним из главных требований к методам контроля знаний является их объективность, что предполагает однозначную количественную интерпретацию уровня усвоения знаний и, в свою