

После преобразований с учетом формулы Эйлера полученная система уравнений (7) может быть приведена к виду

$$\frac{1}{I_{03}} (I_{01} I_{13} - \frac{gC}{p} B_{3m}) - j \frac{3}{p R_{H} I_{03}} B_{3m} = I_{31} e^{j\psi_3} \quad (8)$$

Правая часть выражения (8) представляет собой окружность радиуса  $I_{31}$  на комплексной плоскости.

Построив график функции от амплитудного значения индукции третьей гармоники согласно левой части выражения (8), на комплексной плоскости в точках пересечения его с окружностью радиуса  $I_{31}$  (рис. 2) определяются значения амплитуды индукции  $B_{3m}$  и начальной фазы  $\psi_3$ , которые и являются решениями уравнения (5).

#### ЛИТЕРАТУРА

1. B e s s h o К. Characteristics of a ferroresonance circuit and a parametric circuit and its application. — Kanasawa University, Kanasawa, Japan, 1976. — P.37–54. 2. Б е р м а н т А.Ф., А р а м а н о в и ч И.Г. Краткий курс математического анализа. — М.: Наука, 1971. — 555 с. 3. П о п о в Е.П., П а л ь т о в И.Е. Приближенные методы исследования нелинейных автоматических систем. — М.: Физматгиз, 1960. — 792 с. 4. В о р о н о в А.А. Основы теории автоматического управления. — М.; Л.: Энергия, 1966. — Ч. 2. — 372 с.

УДК 621.315.21:537.312.62

И.А.СТУПАК, канд. техн. наук (БПИ)

### ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ И СРАВНЕНИЕ МОДЕЛИ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ ЭЛЕКТРОЕМКИХ ПРОИЗВОДСТВ С РАЗЛИЧНЫМИ НЕТРАДИЦИОННЫМИ ТОКОПРОВОДАМИ

Существуют различные подходы к расчету и оценке технико-экономических показателей (ТЭП) нетрадиционных токопроводов в схемах электроснабжения электроемких производств. Это определение оптимальных областей применения различных конструкций криогенных кабелей в зависимости от передаваемой мощности и длины, выявление зон экономичных номинальных напряжений, а также конкретное проектирование, в процессе которого дополнительно решается ряд других задач. Однако для выяснения возможной области применения конкретной схемы электроснабжения необходим анализ ее различных ТЭП в зависимости от передаваемой мощности, длины и напряжения. Не всегда можно получить указанную математическую зависимость из-за многосвязности между собой параметров криогенных кабелей. Поэтому ТЭП можно производить путем расчленения задачи исследования и выяснения влияния каждого фактора на результирующие технико-экономические показатели. В процессе данного исследования в целевую функцию вводится одно переменное значение, по которому оцениваются другие параметры и результирующее значение функции.

В данном случае для технико-экономического анализа принята модель электроснабжения, состоящая из обычного генератора постоянного тока и не-

традиционных токопроводов – сверхпроводящего кабеля (СПК) биполярной и коаксиальной конструкций, показатели которых рассмотрены в сопоставимом сравнении. Сравнительный технико-экономический анализ выполнен с использованием параметров удельных приведенных затрат, приходящихся на 1 МВт и 1 МВт·км мощности, передаваемой электроемкому производству.

Рассмотрим ТЭП модели с СПК биполярной конструкции. На рис. 1, а показана зависимость удельных приведенных затрат  $Z_{уд}$  от передаваемой мощности для различных напряжений постоянного тока при длине электропередачи, равной 1 км. Из этого рисунка видно, что имеется некоторая область целесообразных значений передаваемых мощностей на каждом напряжении. Минимум  $Z_{уд}$  с увеличением напряжения смещается в область больших передаваемых мощностей. Четко выраженный минимум имеет кривая изменения удельных приведенных затрат при  $U = 0,048$  кВ и передаваемой мощности 50 МВт, а при  $U = 0,85$  кВ  $Z_{уд}$  уменьшается до минимального значения при передаваемой мощности 500 МВт. Причем на данном напряжении с увеличением передаваемой мощности в пределах 5...50 МВт  $Z_{уд}$  уменьшается на 80...90 %, а при увеличении передаваемой мощности еще в 10 раз (по сравнению с прежним увеличением, т. е. до 500 МВт)  $Z_{уд}$  уменьшается только на 20...30 %.

Закономерности изменения зависимостей  $Z_{уд}$  от расчетной мощности электроемкого производства  $P$  при напряжениях до 1 кВ и длинах криогенного кабеля до 15 км имеют вид, аналогичный рассмотренному. Исследования показали, что минимум удельных приведенных затрат при напряжениях до 1 кВ не зависит от длины электропередачи.

Зависимости  $Z_{уд}(U)$ , представленные на рис. 1, б, для различных мощностей электроемких производств при длине электропередачи, равной 1 км, позволяют определить оптимальную мощность, соответствующую различным значениям напряжения. На рис. 1, б иллюстрируется изменение удельных приведенных затрат в модель электроснабжения при передаче определенной мощности электроемкому производству в зависимости от напряжения СПК. Почти для всех мощностей наблюдается резкое уменьшение  $Z_{уд}$  при увеличении напряжения в диапазоне 0,048...0,22 кВ. При дальнейшем увеличении напряжения до 0,6 кВ  $Z_{уд}$  почти не изменяется, а для больших мощностей (400 и 500 МВт)  $Z_{уд}$  уменьшается на 20...30 %.

На рис. 2, а, б представлены зависимости изменения удельных приведенных затрат  $Z_{уд}$ , приходящихся на 1 МВт·км, от передаваемой мощности для различных длин электропередачи при минимальном (0,048 кВ) и максимальном (0,85 кВ) исследуемом напряжении. Из рис. 2, а следует, что при напряжении 0,048 кВ имеется область целесообразных значений передаваемой мощности (50 МВт), которая не зависит от длины кабеля. В результате исследований установлено, что с ростом мощностей  $Z_{уд}$  снижается с увеличением длины СПК. Это наблюдается также и при  $U = 0,85$  кВ (см. рис. 2, б). С увеличением напряжения минимум  $Z_{уд}$  сдвигается в область больших передаваемых мощностей, что видно на рис. 2, б.

Технико-экономические показатели модели с коаксиальным кабелем постоянного тока рассмотрены в сравнении с биполярным. Анализ зависимостей  $Z_{уд}$  от передаваемой мощности для различных напряжений при определенной длине коаксиального СПК показал, что минимум удельных приведенных за-

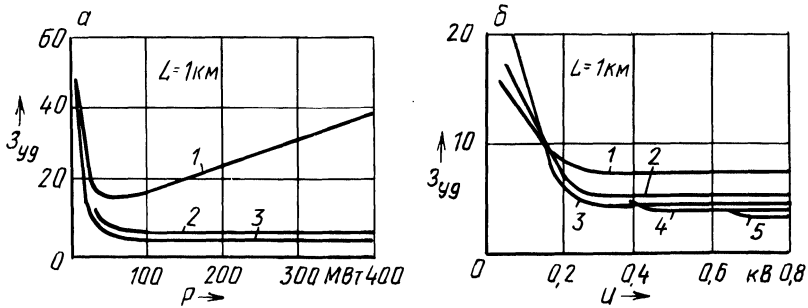


Рис. 1. Закономерности изменения удельных приведенных затрат, приходящихся на 1 МВт, в модель электроснабжения с СПК биполярной конструкции:

а – от передаваемой мощности: 1 – при напряжении 0,048 кВ; 2 – при 0,22; 3 – при 0,85 кВ; б – напряжения: 1 – при мощности 50 МВт; 2 – при 100; 3 – при 200; 4 – при 400; 5 – при 500 МВт.

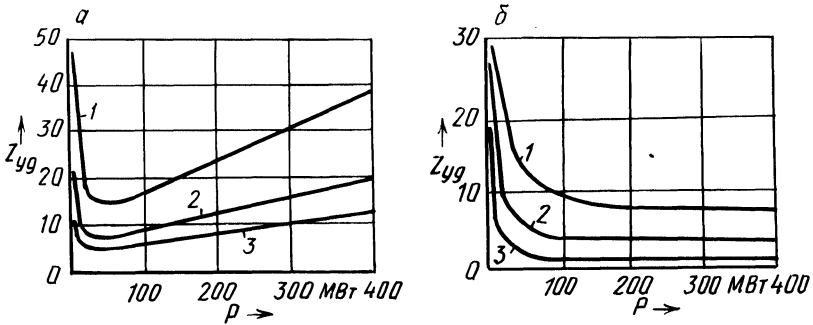


Рис. 2. Зависимости изменения удельных приведенных затрат, приходящихся на 1 МВт · км, от передаваемой мощности при различных длинах СПК:

1 – 1 км; 2 – 3; 3 – 15 км и напряжениях: а – 0,048; б – 0,85 кВ.

трат сдвинулся в сторону больших передаваемых мощностей. Но это, однако, наблюдается только для небольших длин 1...3 км. В отличие от модели с биполярным СПК, для которой минимум удельных приведенных затрат при определенном напряжении не зависел от длины, в схеме с коаксиальным кабелем при увеличении его длины наблюдается смещение минимума в сторону меньших мощностей. При небольшой длине (1...5 км) на низком напряжении (0,048 кВ и менее) принятая нами модель с коаксиальным СПК оказывается экономичнее биполярной, особенно для больших мощностей. С увеличением длины электропередачи ТЭП модели с СПК биполярной конструкции по сравнению с коаксиальной улучшаются, что наиболее заметно для интервала мощностей 25...200 МВт. Мощности 300...500 МВт при напряжении 0,048 кВ выгоднее на все длины передавать коаксиальным кабелем. И только с увеличением напряжения до 0,22 кВ и выше ТЭП биполярного кабеля в схемах электроснабжения электроемких производств эффективнее, чем у коаксиального для всех передаваемых мощностей на исследуемые длины.

Таким образом, с помощью проведенного технико-экономического анализа и сопоставления ТЭП модели с различными нетрадиционными токопроводами можно предварительно оценить целесообразность применения той или иной конструкции СПК. Можно также выявить область оптимальных передаваемых мощностей и численных значений соответствующих им напряжений для конкретного СПК и оценить удельные приведенные затраты для различных номинальных напряжений и длин электропередачи в схемах электроснабжения электроемких производств.

УДК 621.315

Н.А. ИВАНИЦКАЯ (БПИ)

### УЧЕТ ВЛИЯНИЯ КОРОНИРОВАНИЯ ПРОВОДОВ НА ОКРУЖАЮЩУЮ СРЕДУ

При коронировании проводов линий электропередач сверхвысокого напряжения в токе короны возникают непрерывные импульсы, которые генерируют электромагнитные волны широкого спектра (0,15...100 мГц). Поле высокой частоты, образующееся вокруг коронирующей линии, является источником радиопомех и помех в высокочастотных каналах связи.

Уровень радиопомех зависит от параметров линии электропередачи, погодных условий, состояния поверхности провода. В [1] исследуется влияние данных факторов на уровень радиопомех. Зависимость интенсивности радиопомех от напряженности электрического поля, радиуса провода, высоты подвески проводов на опорах определяется рядом эмпирических формул.

Увеличение интенсивности радиопомех при неизменных параметрах линии прямо пропорционально повышению напряженности электрического поля с коэффициентом пропорциональности 0,018. Увеличение радиуса провода при постоянной напряженности  $E$  также приводит к усилению радиопомех пропорционально отношению  $(r_2/r_1)^2$  [1]. Это объясняется возрастанием мощности импульсов коронного разряда и увеличением их числа.

По данным США, Канады, СССР, установлено, что при хорошей погоде число составляющих расщепленного провода не влияет на интенсивность радиопомех. Поэтому указанный фактор в проектных расчетах не учитывается. Однако расщепление проводов обеспечивает возможность применения на линиях сверхвысокого напряжения (СВН) конструкции фазы, состоящей из нескольких проводов относительно небольшого диаметра, которые при одинаковой напряженности электрического поля слабее генерируют радиопомехи, чем линии с толстыми проводами. Следовательно, расщепление проводов — эффективное средство снижения уровня радиопомех.

Увеличение высоты подвески проводов на опорах также приводит к уменьшению уровня радиопомех около линии электропередачи.

Следуя [1], расчетная формула для определения интенсивности радиопомех будет иметь вид