

ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКА

УДК 621.316.14

В.Т.Федин, канд. техн. наук (БПИ), П.В.Лычев, аспирант (ГПИ)

ПОВЫШЕНИЕ ПРОПУСКНОЙ СПОСОБНОСТИ И ЭФФЕКТИВНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ТОКОПРОВОДЯЩИХ МАТЕРИАЛОВ КРИОГЕННЫХ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧ

В настоящее время установившимся считается мнение, что для сверхпроводящих кабелей переменного тока наиболее предпочтительна коаксиальная конструкция [1]. Исследование различных схем включения таких кабелей в электропередачу [2,3] указывает на относительно высокую стоимость передачи единицы электроэнергии.

С целью повышения экономичности передачи электроэнергии по сверхпроводящим кабелям переменного тока нами разработана схема электропередачи, сочетающая одновременную передачу энергии переменным и постоянным током.

Один из вариантов схемы представлен на рис. 1. Схема выполнена на основе сверхпроводящего кабеля с коаксиальными

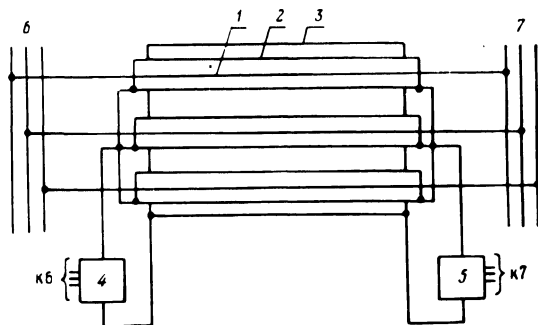


Рис. 1. Схема электропередачи.

внутренними 1 и внешними 2 проводниками, который снабжен дополнительным охватывающим проводником 3. Внутренний и внешний проводники коаксиала разделены хладагентом, используемым одновременно в качестве электроизоляции. Охлаждение дополнительного проводника производится обратным потоком хладагента, циркулирующим в пространстве между самим

проводником и кожухом холодной зоны. В электропередачу, кроме описанного кабеля, входят преобразовательные установки выпрямительной 4 и инверторной 5 подстанций, системы шин источника питания 6 и нагрузки 7.

Электрическая цепь для передачи электроэнергии переменным током создается внутренними проводниками коаксиалов. Внешние проводники коаксиалов экранируют магнитное поле внутренних проводников и, собранные в нейтраль по обоим концам, подключены к одному из полюсов преобразовательных подстанций. Другой полюс подстанций подключен к сверхпроводящему проводнику 3. Вместе они составляют электрическую цепь для передачи потоянного тока.

Для коаксиальных кабелей переменного тока при заданных расчетных параметрах (мощность, напряжение) диаметры проводников, выполненных жестким сверхпроводником второго рода, определяются согласно алгоритму, приведенному в [4].

Найдем величину постоянного тока, которым можно догрузить внешний проводник коаксиала диаметром $d_{2\text{опт}}$, выбранный на мощность переменного тока $P_{\text{пер}}$, при условии, что результирующая напряженность магнитного поля не превысит заданную H_p .

Напряженность магнитного поля, создаваемая мощностью переменного тока, равна

$$H_{\text{пер}} = \frac{\sqrt{2} P_{\text{пер}}}{\sqrt{3} \pi \cdot U_{\text{пер}} \cdot d_{2\text{опт}} \cdot \cos \varphi},$$

где $U_{\text{пер}}$ - линейное напряжение переменного тока.

Напряженность поля, которая может быть создана постоянным током,

$$H_{\text{пост}} = H_p - H_{\text{пер}}.$$

В результате найдем величину постоянного тока

$$I_{\text{пост}} = \frac{\pi \cdot d_{2\text{опт}} \cdot H_{\text{пост}}}{k_3}$$

или мощность

$$P_{\text{пост}} = \frac{\pi \cdot d_{2\text{опт}} \cdot H_{\text{пост}} \cdot U_{\text{пост}}}{k_3},$$

где k_3 - коэффициент запаса; $U_{\text{пост}}$ - напряжение постоянного тока между полюсами.

Значения величин постоянного тока для свехпроводящих кабелей из станнида ниобия Nb_3Sn , диаметры проводников которых выбраны из условия передачи мощности переменного тока при напряжении $U_{\text{пер}} = 110$ кВ, для коэффициента $k_3 = 4$ и $H_p = 5$ кА/см приведены в табл. 1.

Дополнительная нагрузка проводника постоянным током увеличивает индукцию магнитного поля на поверхности его и глубину ее проникновения в сверхпроводник. В соответствии с [5] толщина сверхпроводника, на которую проникает магнитное поле, равна

$$\delta = \int_0^B \frac{dB}{\mu_0 \cdot j_k(B)}, \quad (1)$$

где B - расчетная индукция на поверхности проводника; $j_k(B)$ - критическая плотность тока при расчетной индукции B .

Зависимость критической плотности тока от напряженности магнитного поля может быть представлена в следующем виде [4]:

$$j_k = j_{k0} \sqrt{\frac{H_*}{H_p}}, \quad (2)$$

где j_{k0} - критическая плотность тока при напряженности поля H_* .

Таблица 1.

Величины дополнительной загрузки внешних проводников коаксиала

Расчетный параметр	Мощность, передаваемая на переменном токе, МВт			
	1000	2000	3000	5000
$d_{1\text{опт}}, \text{см}$	3,3	5,4	7,4	11,5
$d_{2\text{опт}}, \text{см}$	7,3	9,4	11,4	15,5
$I_{\text{пост}}, \text{кА}$	80	100	117	150

Так как в полях между первым и вторым критическими $H_p = \frac{B}{\mu_0} - H_{к1}$, выражение (1) с учетом (2) запишется так:

$$\delta = \frac{(H_p - H_{к1}) \sqrt{H_p}}{j_{к0} \cdot \sqrt{H_{к*}}}$$

Возможное увеличение необходимой тошины сверхпроводника с ростом расчетной напряженности магнитного поля должно быть учтено при проектировании кабелей и проведении технико-экономических исследований.

Дополнительная передача электроэнергии постоянным током по кабелю переменного тока экономически целесообразна, если стоимость одновременной передачи единицы электроэнергии $c_{одн}$ будет меньше соответствующей стоимости передачи энергии переменным током $c_{пер}$

$$c_{одн} < c_{пер}$$

Перейдя к приведенным затратам, получим

$$Z_{одн} < Z_{пер}$$

Приведенные затраты на электропередачу переменного тока представим в виде

$$Z_{пер} = K_{спк} (p_n + p_{э1}) + K_{п/ст} (p_n + p_{э2}) + \Delta \mathcal{E} \cdot \beta,$$

где $K_{спк}$ – капитальные вложения в сверхпроводящий кабель; $K_{п/ст}$ – капитальные вложения в оборудование подстанций (трансформаторы, выключатели, источники реактивной мощности); $p_n, p_{э1}$ – нормы отчислений на эксплуатацию соответственно СПК и электрооборудования подстанций; $\Delta \mathcal{E}$ – потери электроэнергии в электропередаче; β – стоимость 1 кВт·ч потерь электроэнергии.

Аналогично затраты на одновременную передачу энергии переменным и постоянным током

$$Z_{одн} = K_{спк}^{одн} (p_n + p_{э1}) + (K_{п/ст}^{одн} + K_{пп}) \cdot (p_n + p_{э2}) + \Delta \mathcal{E}_{одн} \cdot \beta,$$

где $K_{пп}$ – капитальные вложения в преобразовательные подстанции (трансформаторы, преобразователи, источники реактивной мощности).

Нами проведена укрупненная оценка экономической эффективности одновременной передачи электроэнергии переменным и постоянным током на примере электропередачи длиной 100 км напряжением переменного тока 110кВ и постоянного тока 20кВ. Результаты расчета приведены в табл. 2, из которой видны экономические преимущества одновременной передачи энергии переменным и постоянным током по общему кабелю. Стоимость передачи 1 кВт·ч электроэнергии по нему на 20 - 25% ниже, чем на переменном токе.

Таблица 2.

Сравнительные технико-экономические характеристики

Расчетный параметр	Передаваемая мощность, МВт			
	2000	3000	4000	5000
$K_{\text{спк}}, \text{т.руб.}$	42500	59400	77000	96800
$K_{\text{п/ст}}, \text{т.руб.}$	12400	19060	24820	31510
$\Delta \mathcal{E} \cdot \beta, \text{т.руб.}$	5580	6950	8160	9530
$Z_{\text{пер}}, \text{т.руб.}$	16532	22742	28524	35192
$\mathcal{E} \cdot 10^6, \text{МВт} \cdot \text{ч}$	14	21	28	35
$c_{\text{пер}}, \frac{\text{коп}}{\text{кВт} \cdot \text{ч}}$	0,121	0,108	0,102	0,100
$P_{\text{пер}}, \text{МВт}$	800	1200	2000	2800
$P_{\text{пост}}, \text{МВт}$	1200	1800	2000	2200
$K_{\text{спк}}, \text{т.руб.}$	38400	43200	51100	65400
$K_{\text{п/ст}}, \text{т.руб.}$	4960	7460	12420	14980
$K_{\text{пп}}, \text{т.руб.}$	6980	10540	11600	12760
$\Delta \mathcal{E} \cdot \beta, \text{т.руб.}$	4810	5780	6880	7490
$Z_{\text{одн}}, \text{т.руб.}$	14874	18020	21902	26118
$c_{\text{одн}}, \frac{\text{коп}}{\text{кВт} \cdot \text{ч}}$	0,106	0,086	0,078	0,075

Исходные технико-экономические показатели, использованные при расчете, брались из [6].

Л и т е р а т у р а

1. Веников В.А., Зуев Э.Н. Криогенные кабельные линии. – В кн.: Электротехнические материалы, электрические конденсаторы, провода и кабели, т. 9. Сверхпроводимость и ее применения. – М.: ВИНТИ, 1977, с. 71 – 152. 2. Белянчев Ю.В. Исследование и оптимизация конструктивных и режимных параметров криогенных ЛЭП переменного тока: Автореф. дис. ... канд. техн. наук. – Минск, 1976. – 18 с. 3. Савельев А.Я. Исследование технико-экономических характеристик СП ЛЭП на базе экономико-математической модели: Автореф. дис. ... канд. техн. наук. – М.: ЭНИН, 1979. – 20 с. 4. Федин В.Т., Белянчев Ю.В. Выбор целесообразного проводникового материала для сверхпроводящих ЛЭП. – Изв. вузов. Энергетика, 1979, №6, с.88–91. 5. Бухольц М., Давыдов А.Е., Зуев Э.Н. Некоторые вопросы проектирования СП ЛЭП переменного тока. – В сб.: Труды конференции по техническому использованию сверхпроводимости, т.3. Сверхпроводящие электрические машины и линии электропередачи. М.: Атомиздат, 1977, с.119 – 124. 6. Справочник по проектированию электроэнергетических систем/Под ред. С.С.Рокотяна, И.М.Шапиро. – М.: Энергия, 1977. – 288 с.

УДК 621.316

М.А.Короткевич, канд.техн.наук, М.И.Травянский,
инженер (Ставропольэнерго)

ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДА МНОЖИТЕЛЕЙ ЛАГРАНЖА ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ РАЦИОНАЛЬНОГО ЗНАЧЕНИЯ СОСТАВЛЯЮЩИХ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ РАСХОДОВ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ СЕТИ

Приведенные затраты на передачу электроэнергии (Z) состоят из годовых эксплуатационных расходов (I) и затрат по вероятным ущербам от недоотпуска электроэнергии потребителям при аварийных Y_a и плановых Y_p ремонтах сети и снижении качества электроэнергии Y_k , а также стоимости прибавочного продукта, созданного трудом электросетевого персонала (p_n, K), т.е.

$$Z = p_n K + I + Y_p + Y_a + Y_k. \quad (1)$$