

2. Отличительной особенностью приработки поверхности трения является формирование удлиненных областей материала матрицы непосредственно за алмазными зернами. Форма данных образований в виде длинных шлейфов отражает симметрию пути трения, их направление является противоположным направлению вращения алмазного инструмента.

3. Установлено, что в стадии приработки микротвердость матрицы алмазного инструмента практически не изменяется, не происходит разупрочнения матрицы алмазосодержащего материала.

4. Натурными испытаниями на износ выявлен незначительный участок приработки алмазного инструмента, что указывает на его качественные эксплуатационные характеристики.

Литература

1. Лебедев М.П., Шарин П.П., Гоголев В.Е. и др. Способ изготовления алмазного инструмента. Положительное решение о выдаче патента от 15.11.2012 на заявку №2012104802.
2. Шарин П.П., Гоголев В.Е., Атласов В.П. и др. Разработка технологических процессов изготовления

алмазного сверла на металлокерамической матрице // Труды VI Евразийского симпозиума по проблемам прочности материалов и машин для регионов холодного климата EURASTRENCOLD-2013. Т.2. – Якутск: Ахсаан, 2013. – С. 237–241.

3. Физические свойства алмаза: Справочник / Под ред. Н.В. Новикова. – Киев: Наукова думка, 1987. – 188 с.

4. Лисовский А.Ф. Особенности формирования мезоструктуры в WC-Co твердых сплавах // Сверхтвердые материалы. Институт сверхтвердых материалов им. В.Н. Бакуля НАН Украины. – Киев. – 2011. – №2. – С. 96–98.

5. Цыпин Н.В. Износостойкость композиционных алмазосодержащих материалов для бурового инструмента. – Киев: Наукова думка, 1983. – 192 с.

6. Кузей А.М., Лебедев В.Я., Францевич А.Я. Влияние микроструктуры на характер износа алмаза в однокристалльном правящем инструменте // Процеси механічної обробки в машинобудуванні: Збірник наукових праць. Вып. 7. – Житомир, 2009. – С. 93–100.

7. Михайлов М.И., Щерба В.Я., Прушак В.Я. Износостойкость оgranочных дисков. – Гомель: Инфотрибо, 1996. – 159 с.

Поступила в редакцию 17.01.2014

УДК 621.311.1

Повышение надежности, живучести и эффективности самокомпенсирующейся линии с промежуточным отбором мощности в составе энергообъединения Восточной Сибири, Якутии и Дальнего Востока

А.В. Кобылин, А.М. Хоютанов, П.Ф. Васильев, Г.И. Давыдов, А.С. Нестеров, В.П. Кобылин

Рассматриваются перспективные варианты сверхдальнего транспорта электроэнергии для объединения изолированных районов Республики Саха (Якутии) с последующей связью с ОЭС Сибири, ОЭС Востока и ее интеграции в Единую энергосистему России для широкомасштабного выхода на электроэнергетические рынки Азиатско-Тихоокеанского региона. Приведены методы обеспечения устойчивой работы самокомпенсирующейся линии с промежуточным отбором мощности.

Ключевые слова: полуволновая линия, энергообъединение, промежуточный отбор.

Promising options for long-distance transport of electricity to unite isolated regions of The Republic of Sakha (Yakutia), followed by a link to Siberian, Eastern interconnections and its integration into the Unified Energy System of Russia for large-scale entering the Asia-Pacific electric power markets. The methods to ensure stable operation of the self-compensating line with the intermediate power takeoff are also presented.

Key words: self-compensated line, unified energy system, power take off.

КОБЫЛИН Андрей Витальевич – инженер-электронщик ИФТПС СО РАН, v.p.kobylin@iptpn.ysn.ru; ХОЮТАНОВ Александр Михайлович – вед. инженер ИФТПС СО РАН, shuriklater@mail.ru; ВАСИЛЬЕВ Павел Филиппович – к.т.н., м.н.с. ИФТПС СО РАН, 390-562; ДАВЫДОВ Геннадий Иванович – м.н.с. ИФТПС СО РАН, dav_gen@mail.ru; НЕСТЕРОВ Андрей Сергеевич – вед. инженер ИФТПС СО РАН; КОБЫЛИН Виталий Петрович – д.т.н., зав. отделом ИФТПС СО РАН.

Наиболее важной особенностью функционирования электроэнергетики Дальнего Востока является технологическая изолированность ее работы вследствие недостаточной связи с Единой энергосистемой России. Кроме того, электроэнергетика Дальнего Востока состоит из нескольких изолированных друг от друга крупных энергообъединений, большого количества мелких энергоузлов и энергорайонов, централизованно снабжающих потребителей электроэнергией, а также из районов децентрализованного энергоснабжения с небольшими объемами энергопотребления, не имеющих электрических связей с энергосистемой из-за значительной удаленности от нее. Это приводит к снижению надежности электроснабжения потребителей и необходимости содержания увеличенного по сравнению с другими энергосистемами страны резерва генерирующей мощности. Отсутствие возможности выдачи имеющейся в настоящее время избыточной электроэнергии и мощности тепловых электростанций в соседние регионы приводит к недоиспользованию её мощности, и, как следствие, к снижению эффективности их работы.

Одной из важнейших стратегических задач развития электроэнергетики Дальнего Востока является ее интеграция в Единую энергосистему России и широкомасштабный выход на электроэнергетические рынки Азиатско-Тихоокеанского региона [1].

Задача, которая поставлена в Схеме комплексного развития производительных сил Якутии до 2020 г. в сфере энергетики [2] – объединение трех изолированных энергорайонов Республики Саха (Якутия) с последующей связью с ОЭС Сибири, ОЭС Востока и каскадом Колымских ГЭС. Это позволит впервые в истории страны создать объединенную энергосистему всей Российской Федерации с максимальным экономическим эффектом, который повысит надежность электропередачи и обеспечит потребность для реализации проектов ведущих отраслей российской промышленности.

Для сверхдальнего транспорта электроэнергии перспективными являются передачи постоянного тока (ППТ), но из-за отсутствия надежных коммутирующих аппаратов, отбора мощности и значительной капиталоемкости преобразовательных подстанций (ПС) вопрос о применении таких передач остается проблемным. Альтернативой могут стать сверхдальние компенсированные, полуволновые и настроенные на полуволну электропередачи [3].

Исследованиями полуволновых электропередач начали заниматься в Сибирском НИИ энергетики с 50-х гг. под руководством профессора

В.К. Щербакова. На современном этапе в результате проведенных исследований обоснована их значимость, доказана техническая осуществимость и экономическая эффективность. Вместе с тем остаются неразрешенными вопросы, связанные с учетом технических ограничений и условий работы полуволновых электропередач в составе энергообъединения, надежности и эффективности использования в электроэнергетике страны и за рубежом. Для решения этих вопросов необходимо обобщение теоретических результатов и дальнейшее исследование методических вопросов полуволновой технологии передачи электроэнергии [4].

Линия полуволнового типа является самокомпенсирующейся, т.е. по условию устойчивости не требует дополнительных затрат на компенсацию реактивной мощности и обладает повышенной пропускной способностью. За счет включения управляемых реактивных элементов (конденсаторов, реакторов) линии, длина которой отличается от 3000 км, придаются свойства полуволновой линии. Целесообразность настройки на полуволну возникает при длине линии 1500–2000 км и более.

На рис. 1 приведены напряжения и токи вдоль полуволновой линии без потерь при ее холостом режиме (графики приведены в относительных единицах: $U_{ном}=1$, волновое сопротивление $Z_c=1$). Из графика видно, что независимо от передаваемых мощностей напряжения по концам линии равны номинальным, а токи в середине линии равны натуральному – $U_{ном}/Z_c$. Эта особенность создает проблему отбора мощности в средней части линии, где напряжение меняется практически от нуля до номинального. В то же время посередине линии, в так называемом электрическом центре ток всегда равен натуральному.

Доказано, что полуволновые линии являются транзитными и отбор мощности с таких линий затруднен из-за напряжения в промежуточных точках, колеблющегося вместе с изменением нагрузки конца линии. Причем в середине напряжение пропорционально нагрузке конца ли-

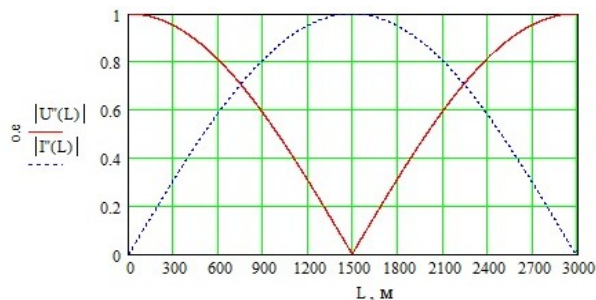


Рис.1. Напряжения и токи вдоль полуволновой линии в режиме холостого хода

нии. Однако и в этих условиях иногда целесообразно промежуточное присоединение электроэнергетических систем, лежащих на пути следования магистральной электропередачи с целью постоянного отбора мощности или взаимного обмена энергией. На концевых участках линии, на протяжении примерно 500 км, падение напряжения в наихудшем режиме не превышает 15% от номинального; при переходе в режим холостого хода возможно присоединение промежуточных систем обычным способом через параллельно подключенные трансформаторы с традиционными способами регулирования напряжения. В этом случае обеспечивается статическая устойчивость электропередачи и промежуточных систем [5].

В средней части полуволновой линии, как уже было сказано, напряжение колеблется настолько сильно, что присоединение к линии промежуточных систем и нагрузок обычным путем – через параллельно подключенные трансформаторы – затруднительно. Целесообразно присоединять к линии промежуточные системы и нагрузки через трансформаторы, последовательно включенные в линию, используя свойство полуволновой линии сохранять почти неизменной величину тока в середине при изменении нагрузки конца линии.

Основываясь на характере изменения напряжения и тока вдоль полуволновой линии при изменении ее нагрузки предлагаются схемы параллельного, последовательного и последовательно-параллельного включения трансформаторов для питания промежуточной нагрузки. Эти схемы дают почти неизменное напряжение на вторичной обмотке трансформатора при глубоких колебаниях напряжения на линии.

Для полуволновых линий основным фактором, ограничивающим величину нагрузки, является обеспечение допустимого напряжения на линии. Напряжение вдоль полуволновой линии находится в допустимых пределах при величине промежуточного отбора мощности в пределах 30% от натуральной мощности, если ограничить области применения различных схем связи следующими расстояниями: параллельная схема – 500 км от концов линии, последовательная – на 500 км от середины линии в ту и другую стороны, последовательно-параллельная – от 500 до 1000 км, считая от концов линии [5].

Схема параллельного отбора мощности является традиционной и для ее реализации требуются обычные понижающие трансформаторы или автотрансформаторы. При изменении передаваемой мощности напряжение в средней части зоны полуволновой линии резко колеблется по величине, что делает невозможным подключение

промежуточной нагрузки через параллельные трансформаторы. Однако на участке в пределах $\pm \pi/6$ электрической длины от середины линии имеются условия для сравнительно стабильного промежуточного отбора мощности через последовательные трансформаторы.

Принципиальная схема осуществления последовательно-параллельного подключения промежуточной нагрузки к полуволновой линии может быть представлена в виде комплексного трансформатора, состоящего из двух магнитно-независимых последовательно и параллельно включенных трансформаторов, вторичные обмотки которых соединены последовательно.

Ввиду наличия двух коэффициентов трансформации есть возможность сделать напряжение холостого хода на вторичной стороне комплексного трансформатора независимым от величины передаваемой мощности по линии. Необходимое соотношение мощностей последовательного и параллельного трансформаторов зависит от места их подключения к полуволновой линии [5].

Основные трудности заключаются в том, что для каждого присоединения вдоль линии требуется индивидуальный подход к решению задач отбора мощности, регулирования напряжения и параметров полуволновой линии.

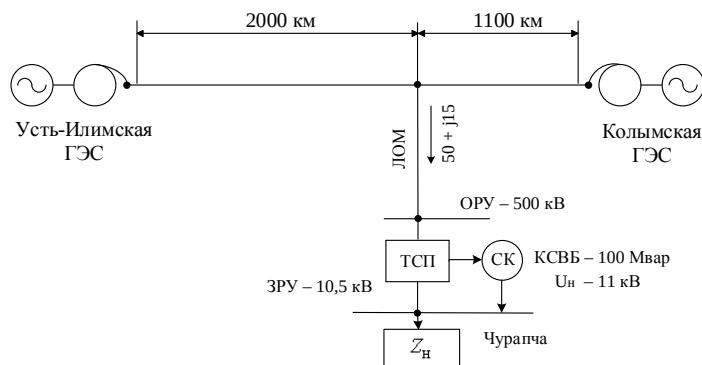
Исследования последних лет в области режимных вопросов протяженных и системообразующих ЛЭП позволяют рекомендовать усовершенствованное устройство для отбора мощности из ПЭП и стабилизации режима напряжения у потребителя на базе разработанного в ИФТПС СО РАН устройства регулятора-стабилизатора напряжения тиристорной системы. Оно имеет достаточную глубину регулирования напряжения (40%) и высокое быстродействие. В аварийных ситуациях способствует мгновенному ограничению токов перегрузки и короткого замыкания за счет искусственной коммутации ключей [5].

Наиболее перспективным вариантом реализации объединения ОЭС Сибири, ОЭС Востока и каскада Колымских ГЭС является магистральная линия Усть-Илимская ГЭС – Колымская ГЭС протяженностью 3100 км.

В предлагаемом варианте магистральной линии рассмотрены два пункта с отбором мощности: понижающая тупиковая ПС «Чурапча» (рис. 2, а) и узловая ПС «Усть-Нера» (рис. 2, б), расположенные в 1100 км и 600 км соответственно от Колымской ГЭС.

Для определения распределения напряжения вдоль электропередачи можно использовать как уравнения длинных линий, так и уравнения четырехполюсника по данным приемного конца [6].

а



б

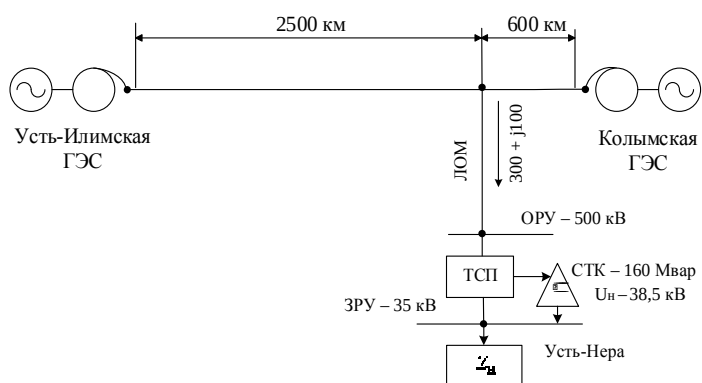


Рис.2. Промежуточный отбор мощности из магистральной полуволновой электропередачи Усть-Илимская ГЭС – Колымская ГЭС: а – ТП «Чурапча», б – ТП «Усть-Нера»

$$U_1 = U_2 \operatorname{ch} \gamma_0 L + I_2 \operatorname{sh} \gamma_0 L, \quad (1)$$

$$I_1 = I_2 \operatorname{ch} \gamma_0 L + U_2 \operatorname{sh} \gamma_0 L. \quad (2)$$

Далее задается «шаг» отбора мощности в процентном соотношении от максимума. В точке отбора по рассчитанным значениям строится график зависимости напряжения и тока от длины линии. По полученным графикам производится анализ значений напряжения в конкретной точке отбора мощности по условию – $1,05 < U_n < 0,95$ (в относительных единицах (о.е.)) [7].

Полученные значения для наглядности занесены в табл. 1–3. Диапазон расстояния – 600 км от конца линии (ПС «Усть-Нера»). Для получения точных результатов расчеты сделаны с шагом 10% от мощности отбора ($S = 300 + j100$ МВА).

С помощью стабилизации напряжения в точке отбора можно добиться «сглаживания» графика по напряжению и улучшению параметров электропередачи (рис. 3, б).

Как видно из таблиц, отбор мощности не затруднен на всех ступнях отбора и параметры электропередачи не требуют стабилизации.

Таблица 1

Зависимость напряжения и тока от мощности отбора

Мощность отбора, % (шаг – 10%)	Значение напряжения U_n , о.е.	Значения тока I_n , о.е.
10	0,996	0,235
20	0,991	0,255
30	0,987	0,275
40	0,982	0,295
50	0,979	0,315
60	0,975	0,335
70	0,973	0,355
80	0,97	0,376
90	0,969	0,396
100	0,967	0,416

Таблица 2

Зависимость напряжения и тока от мощности отбора

Мощность отбора, % (шаг – 10%)	Значение напряжения U_n , о.е.	Значения тока I_n , о.е.
10	0,97	0,229
20	0,974	0,254
30	0,975	0,281
40	0,974	0,309
50	0,971	0,336
60	0,965	0,36
70	0,957	0,381
80	0,966	0,411
90	0,958	0,433
100	0,955	0,456

Таблица 3

Зависимость напряжения и тока от мощности отбора

Мощность отбора, %	Значение напряжения U_n , о.е.		Значения тока I_n , о.е.	
	до	после	до	после
80	0,947	0,966	0,398	0,411
90	0,938	0,958	0,411	0,433
100	0,928	0,955	0,421	0,456

Начиная с 80%, наблюдается искажение графика и падение напряжения (рис. 3, а).

Следующая точка отбора – 1100 км (ПС «Чурапча»). Для получения точных результатов расчеты сделаны также с шагом 10% от мощности отбора ($S = 50 + j15$ МВА).

На основании вышеизложенного можно сделать следующие выводы:

Объединение трех изолированных энергорайонов Республики Саха (Якутия) с последующей связью с ОЭС Сибири, ОЭС Востока и каскадом Колымских ГЭС позволит впервые в истории страны создать объединенную энергосистему с максимальным экономическим эффектом, который повысит надежность электропередачи и

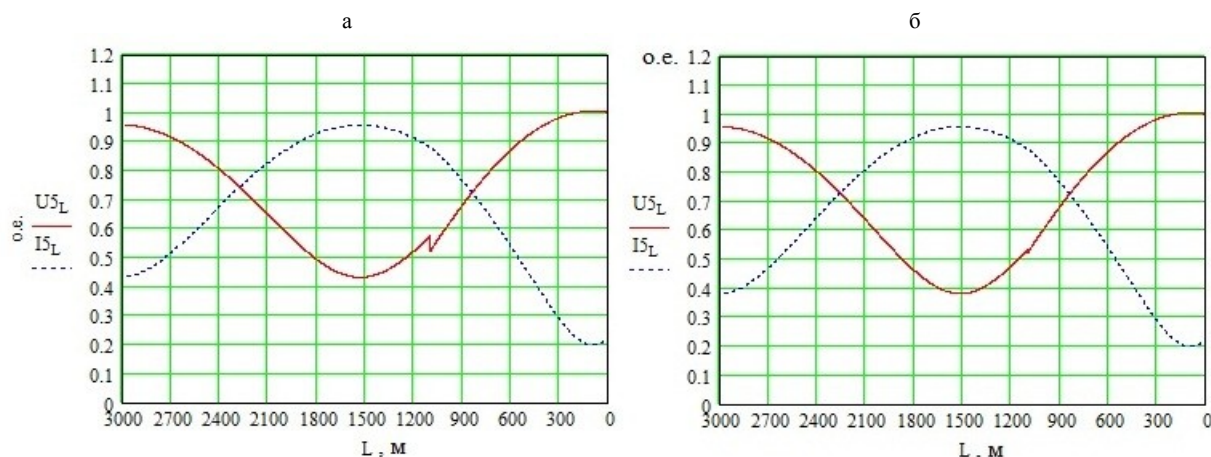


Рис. 3. График зависимости напряжения и тока от длины линии: а – без стабилизации, б – со стабилизацией

обеспечит потребность для реализации проектов ведущих отраслей российской промышленности.

Передачи полуволнового типа, позволяющие осуществлять промежуточный отбор мощности, имеют преимущество по сравнению с ППТ.

Исследования последних лет в области режимных вопросов протяженных и системообразующих ЛЭП позволяют рекомендовать усовершенствованное устройство для отбора мощности из ПЭП и стабилизации режима напряжения у потребителя на базе разработанного в ИФТПС СО РАН устройства регулятора-стабилизатора напряжения тиристорной системы.

Литература

1. Стратегии развития Арктической зоны Российской Федерации и обеспечения национальной безопасности на период до 2020 г. // http://www.minregion.ru/upload/02_dtp/101001_str.doc.

2. Энергетическая стратегия Республики Саха (Якутия) на период до 2030 г. / Правительство Респ. Саха (Якутия). – Якутск; Иркутск: Медиа-холдинг «Якутия» и др., 2010. – 328 с.

3. Самородов Г.И. Сверхдальние электропередачи полуволнового типа. – Новосибирск, 2003. – 178 с.

4. Щербаков В.К. Вопросы дальних электропередач. – Новосибирск: Изд-во СО АН СССР, 1960. – 179 с.

5. Итоговый отчет научного проекта «Основные принципы и методологии разработки способов повышения эксплуатационной надежности и безопасности систем электро- и теплоснабжения в условиях холодного климата» / ИФТПС СО РАН. – Якутск, 2009. – 133 с.

6. Александров Г.Н., Ершевич В.В., Крылов С.В. и др. Проектирование линий электропередачи сверхвысокого напряжения. – Л., 1983. – 168 с.

7. Правила устройства электроустановок. – М.: Энергоатомиздат, 1987. – 648 с.

Поступила в редакцию 21.12.2013

УДК 551.343.74

Исследование содержания незамерзшей воды в цеолите по термограмме замораживания

Е.Г. Старостин, А.Н. Габышев

Сравнительный анализ термограмм замораживания и оттаивания грунтов разной дисперсности показывает, что из них можно получить также информацию о фазовом составе воды в мерзлых грунтах. Исследуется содержание незамерзшей воды в цеолите в зависимости от влажности.

Ключевые слова: грунты, цеолит, поровая вода, кристаллизация, кинетика, незамерзшая вода, термограмма.

СТАРОСТИН Егор Гаврильевич – д.т.н., зам. дир. ИФТПС СО РАН, e.g.starostin@iptpn.ysn.ru; ГАБЫШЕВ Артур Николаевич – аспирант ИФТПС СО РАН, зав. лаб. УНИК ИТИ СВФУ, gabi_arty(a)@mail.ru.