

УДК 621.31

ЕМКОСТНЫЕ ОТБОРЫ МОЩНОСТИ ОТ ЛИНИЙ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧИ 110–220 КВ

Н.С. Бурянина, Ю.Ф. Королюк, Е.В. Лесных, Е.И. Малеева, М.А. Рожина

С 2016 г. начата передача земельных участков Дальневосточного федерального округа гражданам России для осуществления фермерской деятельности или строительства жилья. Данные участки не имеют необходимой инфраструктуры для нормального функционирования, поэтому для их электроснабжения предложены схемы емкостного отбора мощности в диапазоне от 4 до 150 кВт. В этой связи рассматриваются проблемы электроснабжения изолированных "малых" потребителей (временные геологические базы, кочевые поселения, охотничьи угодья и др.).

Ключевые слова: электроснабжение; линии электропередачи 110–220 кВ; отборы мощности от линий; режим нагрузок.

CAPACITY SELECTION OF POWER FROM ELECTRIC TRANSMISSION LINE 110–220 KV

N.S. Buryanina, Yu.F. Korolyuk, E.V. Lesnykh, E.I. Maleeva, M.A. Rozhina

Since 2016, the initial transfer of land plots of the Far Eastern Federal District to Russian citizens for farm management or housing construction. This plots doesn't have the necessary infrastructure for normal operation, therefore, capacitive power take-off schemes ranging from 4 to 150 kW are proposed for their power supply. The problems of electrical power supply to isolated "small" consumers (temporary geological bases, nomadic settlements, hunting grounds, etc.) are considered.

Keywords. Electricity supply; 110–220 kV power lines; power take-off from lines; load mode.

По данным Государственного комитета Республики Саха (Якутия) по делам Арктики, в 214-ти кочевых семьях проживает 578 взрослых и 333 детей – всего 931 человек. В основном они занимаются рыболовством, охотой и оленеводством в южной и северной части Якутии. Кроме того, существуют более 100 малых населенных пунктов, в которых проживают в основном от 4 до 15 человек. Снабжение электроэнергией данных потребителей производится с помощью дизель-генераторов, а это требует больших финансовых затрат.

С 2016 г. начата передача земель Дальневосточного федерального округа гражданам России для осуществления фермерской и предпринимательской деятельности или строительства жилого строительства. На конец 2017 г. для пользования было передано более 31 тыс. участков. Эти участки, как правило, не имеют необходимой инфраструктуры для продуктивной предпринимательской и фермерской деятельности, в том числе снабжения электроэнергией. Эти "малые" потребители часто находятся в зоне линий 110–220 кВ.

Считается, что строительство традиционных подстанций с трансформаторами 110–220 кВ при небольших отборах мощности экономически не

оправдано. В этом случае альтернативным решением проблемы электроснабжения может быть емкостной отбор мощности от линии электропередачи. Этой проблеме посвящен ряд работ как в России [1–10], так и за рубежом [11–12].

Существует несколько вариантов емкостного отбора мощности. Классическая схема емкостного отбора реализуется цепью из последовательно включенных емкостей, включенных между фазой линии и землей. Такая цепь является делителем напряжения [1–2]. Параллельно последней емкости включается нагрузка. Чтобы получить на выходе емкостного отбора напряжение 10 кВ, необходимо к линии 110 кВ подключить цепь из шести емкостей.

Включение поперечных емкостей к линии нарушает режим реактивной мощности, что может привести к перенапряжениям на линии. У незагруженных линий напряжения могут оказаться выше допустимых. Исключение перенапряжений достигается включением шунтирующего реактора мощностью, равной суммарной мощности конденсаторов, параллельно емкостному отбору [8]. Если реактор выполнить многосвязным из последовательно включенных индуктивностей, так же как включены емкости, то можно создать и индуктивный

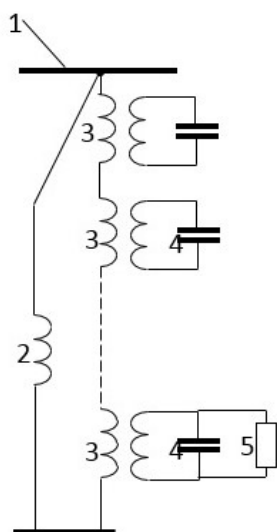


Рисунок 1 – Схема емкостного отбора мощности при включении конденсаторов через трансформаторы: 1 – фаза линии, 2 – шунтирующий реактор, 3 – трансформатор 10/0,4 кВ, 4 – БСК, 5 – нагрузка

отбор мощности [11]. Но, если линии перегружены, включение емкостных отборов ввиду их небольшой мощности, наоборот, повышает напряжения на линии. Это очень важно для линий Севера, достаточно протяженных, где потери напряжения довольно значительны.

Отбираемая мощность не должна быть больше мощности конденсатора. При высоком напряжении первичной обмотки трансформатора отбора, равном 10 кВ, номинальное напряжение конденсаторов

также должно быть 10 кВ. Батареи статических конденсаторов на напряжение 10 кВ выполняются отечественной промышленностью от 150 до 50 кВАр. Соответственно и мощность отбора должна быть того же порядка. Если же мощность отбора на порядок меньше, использование описанных схем с точки зрения экономики нецелесообразно.

Авторами разработана схема однофазного емкостного отбора мощности в пределах 2,5–10 кВА (рисунок 1) [12]. Достоинством такой схемы является замена конденсаторов 10 кВ батареями статических конденсаторов (БСК) напряжением 0,4 кВ с автоматическим регулированием мощности. БСК включены через трансформаторы 10/0,4 кВ. Количество трансформаторов должно быть равным количеству емкостей классической схемы емкостного отбора. Шунтирующий реактор может отсутствовать.

Мощность БСК, включаемая параллельно нагрузке, должна обеспечивать уровни напряжения, соответствующие ГОСТ. Не допускается работа трансформаторов без включенных конденсаторов. Без нагрузки на вторичной стороне трансформатора его сопротивление определяется только током холостого хода. Положив в первом приближении ток холостого хода равным нулю, получим сопротивление равным бесконечности. Практически в режиме холостого хода любого трансформатора в емкостном отборе все фазное напряжение линии будет приложено к обмотке 10 кВ трансформатора без нагрузки на стороне низшего напряжения.

Поскольку обмотки высокого напряжения трансформатора отбора выполнены на напряжение 10 кВ, они должны соединяться треугольником, независимо от того, включен трансформатор не-

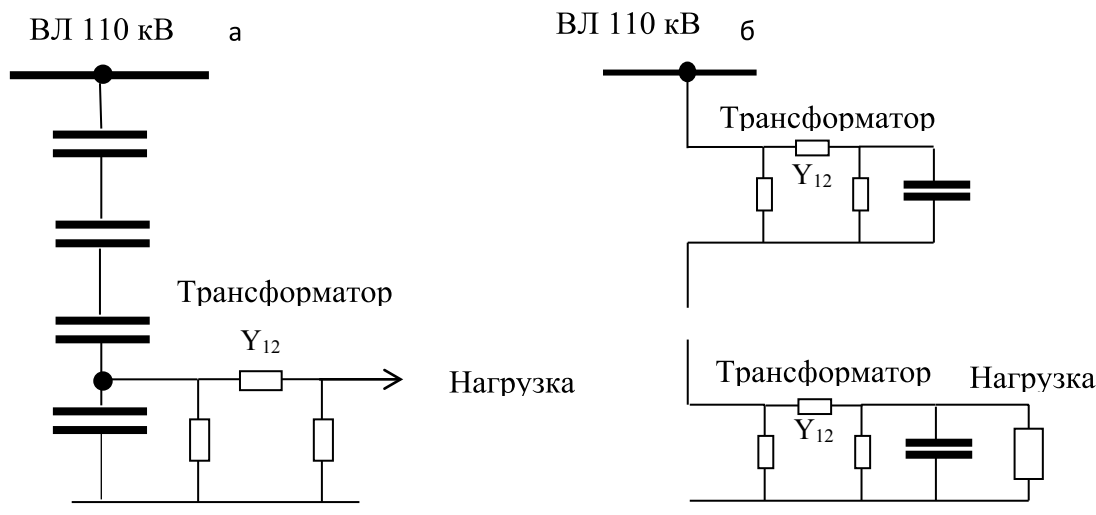


Рисунок 2 – Расчетные схемы емкостных отборов мощности: а – с отбором мощности от последнего трансформатора; б – при включении конденсаторов через трансформаторы

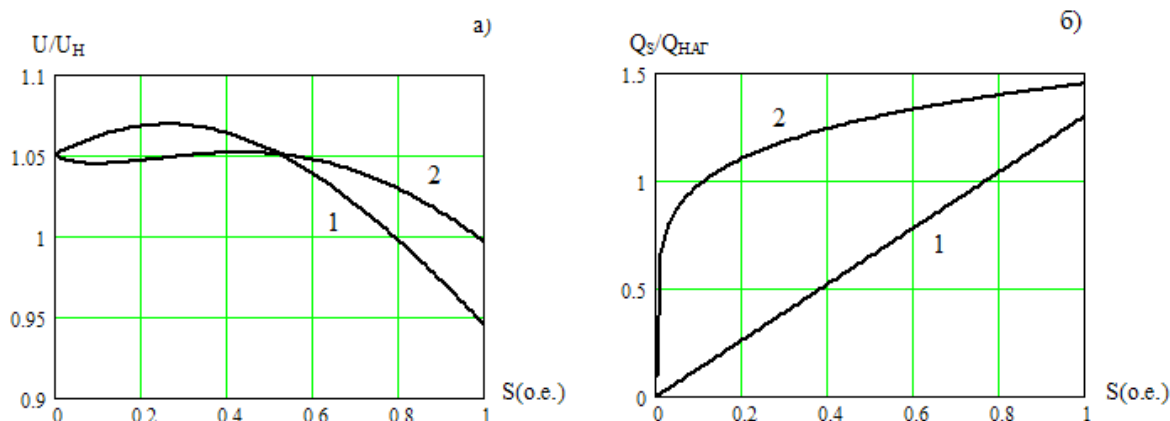


Рисунок 3 – Зависимости напряжений на нагрузке от мощности конденсаторов, включаемых для поддержания уровней напряжения (а), б – соответствующие мощности конденсаторов

посредственно у линии 110 кВ или на расстоянии от нее.

При анализе работы емкостных отборов мощности применен метод реальных параметров в фазных координатах [13], разработанный авторами, в основе которого используется П-образная схема замещения трансформаторов, позволяющая получать расчетные напряжения на вторичной стороне без приведения их к первичной. Составлена программа расчета режима нагрузки, включенной через емкостной отбор. Исходными данными являются: напряжение линии электропередачи, паспортные данные трансформаторов, параметры нагрузки.

Расчетные схемы замещения емкостных отборов приведены на рисунке 2.

Проводимости П-образной схемы замещения трансформатора равны:

$$Y_1 = \frac{1 - k_t}{Z_t} + Y_{xx}; \quad Y_2 = \frac{k_t^2 - 1}{Z_t}; \quad Y_{12} = \frac{k_t}{Z_t},$$

где k_t – коэффициент трансформации трансформатора, равный отношению высшего напряжения к низшему;

Z_t – сопротивление трансформатора, приведенное к высокому напряжению;

$$Y_{xx} = \frac{\Delta P_{xx}}{U_B^2} - j \sqrt{\left(\frac{I_{xx}\%}{100} \cdot \frac{S_{ном}}{U_B^2} \right)^2 - \left(\frac{\Delta P_{xx}}{U_B^2} \right)^2}$$

Y_{xx} % – проводимость, обусловленная током холостого хода (обозначения общепринятые).

Исследовали два режима:

- не регулируемый, когда параллельно нагрузке включается дополнительная емкость, пропорциональная ей. Максимальная мощность конденсаторов по условиям режима напряжений получилась равной $1,3 S_{наг}$;

- регулируемый с БСК мощностью в полтора раза больше мощности нагрузки.

Номинальное напряжение U_n на проводимости Y_n принято равным 0,38 кВ. Зависимости напряжения от величины нагрузки S (в относительных единицах) с коэффициентом мощности, равном 0,8, приведены на рисунке 3, а. При отсутствии БСК (зависимость 1) напряжение на стороне нагрузки изменяется от $1,05 U_n$ при отсутствии нагрузки до $1,07 U_n$, когда нагрузка равна $0,3 S_n$ и снижается до $0,95 U_n$ при максимальной нагрузке. То есть, при линейном изменении мощности дополнительных конденсаторов характерно повышение напряжения в диапазоне минимальных нагрузок, и чем больше мощность конденсаторов относительно реактивной мощности нагрузки, тем выше уровень напряжения. При большей мощности конденсаторов увеличиваются оба напряжения, и если при полной нагрузке напряжение будет равным номинальному, при малых нагрузках оно превысит $1,1 U_n$. Поэтому такой способ регулирования напряжения следует признать нецелесообразным.

Промышленностью выпускаются БСК с высокой степенью надежности. Поэтому там, где напряжение на нагрузке при ее изменении выходит за пределы, ограниченные ГОСТ, следует применять регулирование напряжение нелинейным изменением мощности конденсаторов в зависимости от изменения нагрузки. Зависимость напряжения на нагрузке от нелинейно изменяемой мощности конденсаторов выражено кривой 2. От режима холостого хода до максимальной нагрузки напряжение изменяется от $1,05 U_n$ до номинального. Приведенная зависимость напряжения позволяет сделать вывод, что достаточно контролировать уровень напряжения и поддерживать его в заданных пределах изменением

мощности конденсаторов, не придерживаясь какого-либо конкретного закона регулирования.

Серьезной проблемой, требующей решения, является отключение емкостного отбора от линии. Отключение отбора желательно осуществлять разьединителем. На напряжении 110 кВ при расстоянии между полюсами 3,5 м согласно Правилу устройств электроустановок можно отключать зарядные токи линии до 5 А. Зарядные токи линии, как и токи емкостного отбора, емкостные, поэтому это правило распространяется и на отключение тока отбора в холостом режиме. Гарантировано можно отключать ток холостого хода при мощности трехфазного отбора 150 кВА. При этом ток отключения составит 3 А. Чтобы ток отключения не был больше этой величины, предлагается сначала отключать нагрузку со стороны низшего напряжения, а затем разъединитель 110 кВ. Все соединения обмоток высшего напряжения не должны иметь оперативных разъемов.

Статья подготовлена при выполнении Государственного контракта № 5327 от 08.08.2017 с ГБУ «Академия наук Республики Саха (Якутия)» на выполнение НИР, направленных на развитие производительных сил и социальной сферы на 2016–2020 годы».

На основании изложенного выше, можно сделать следующие выводы.

В районах Северо-востока РФ целесообразно выполнять отборы малых мощностей от линий электропередачи 110–220 кВ для электроснабжения небольших жилищных объектов, временных горно-геологических партий и баз, пунктов питания сотовой связи, ферм на бесплатно приобретенных гектарах и др.

Отборы мощности следует осуществлять следующим образом: емкости включать на напряжение 0,4 кВ к обмоткам низкого напряжения однофазных трансформаторов, а обмотки высокого напряжения включать последовательно в цепь между фазными проводами линии электропередачи и «землей». Необходимые уровни напряжения обеспечиваются автоматической компенсацией реактивной мощности нагрузки.

Литература

1. Булашевич Д.Н. Емкостной отбор мощности от линии электропередачи / Д.Н. Булашевич, В.Д. Юренков. М.: Госэнергоиздат, 1959. 136 с.
2. Щербаков В.К. Промежуточный отбор мощности в настроенных на полуволну электропередачах последовательно включенными трансформаторами / В.К. Щербаков // Известия СО РАН СССР. 1960. № 11.
3. Кобылин А.В. Промежуточный отбор мощности из полуволновой электропередачи / А.В. Кобылин, Г.И. Самородов, С.М. Зильберман, В.П. Кобылин и др. // Электричество. 2015. № 6. С. 4–11.
4. Кобылин В.П. Повышение эксплуатационной надёжности электросетевого хозяйства на Севере / В.П. Кобылин. Новосибирск: Наука, 2006. 223 с.
5. Воропай Н.И. Формирование электрических сетей Республики Саха (Якутия) с учетом развития электроэнергетических центров Востока России / Н.И. Воропай, Г.И. Самородов, В.П. Кобылин, В.А. Седалищев, Р.П. Ли-Фир-Су, А.В. Кобылин // Энергетическая политика. 2011. Вып. 5. С. 49–59.
6. Кобылин А.В. Способы отбора мощности от линии электропередачи полуволнового типа и стабилизации напряжения на промежуточной подстанции линии отбора (сценарий на примере связи Усть-Илимской ГЭС – Колымская ГЭС) / А.В. Кобылин // Тр. VI евраз. симп. по проблемам прочности материалов и машин для регионов холодного климата, 24–29 июня 2013 г. Якутск. 2013. Т. 5. С. 54.
7. Кобылин А.В. 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, В.П. Кобылин и др. // Наука и образование. 2014. № 1 (73). Якутск: Изд-во Сфера, 2014. С. 54–58.
8. Установка емкостного отбора мощности от высоковольтной линии электропередачи // Патент SU1677772A РФ / В.Т. Бобков, М.Х. Зихерман, О.Я. Кресов. Опубл. 15.09.1991.
9. Felix F.Wu. China's Future in Electric Energy / F.Wu Felix, Fu Shutu // IEEE Power and Energy. 2005. July/August. Vol. 3. № 4.
10. Edris A. FACTS Technology Development: An Update / A. Edris // IEEE power engineering review. 2000. № 3. P. 4–15.
11. Электрическая система с заземленной нейтралью // Патент РФ 2535902 / Ю.Ф. Королюк, Н.С. Бурянина, Е.В. Лесных; заявл. 19.06.2013; опубл. 10.01.2015; Бюл. № 1.
12. Электрическая система с заземленной нейтралью. Патент РФ 2535902 / Ю.Ф. Королюк, Н.С. Бурянина, Е.В. Лесных; заявл. 19.06.201, опубл. 20.12.2014; Бюл. № 35.
13. Бурянина Н.С. Математическое моделирование режимов сетей при несимметрии их параметров и нагрузок / Н.С. Бурянина, Ю.Ф. Королюк, Е.В. Лесных, Р.О. Гоголев, К.В. Сулов // Вестник Самарск. госуд. техни. ун-та. Электротехника. Самара, 2017. № 2 (54). С. 73–82.