

ISSN 1694-500 X

**КЫРГЫЗ-РОССИЯ СЛАВЯН
УНИВЕРСИТЕТИНИН**

КАБАРЧЫСЫ

ВЕСТНИК

**КЫРГЫЗСКО-РОССИЙСКОГО
СЛАВЯНСКОГО УНИВЕРСИТЕТА**

Серия

ЕСТЕСТВЕННО-ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

2017

Том 17

№ 12

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

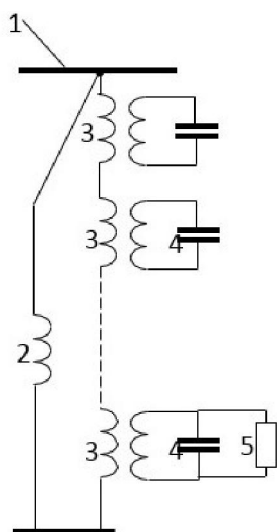


Рисунок 1 – Схема емкостного отбора мощности при включении конденсаторов через трансформаторы: 1 – фаза линии, 2 – шунтирующий реактор, 3 – трансформатор 10/0,4 кВ, 4 – БСК, 5 – нагрузка

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-

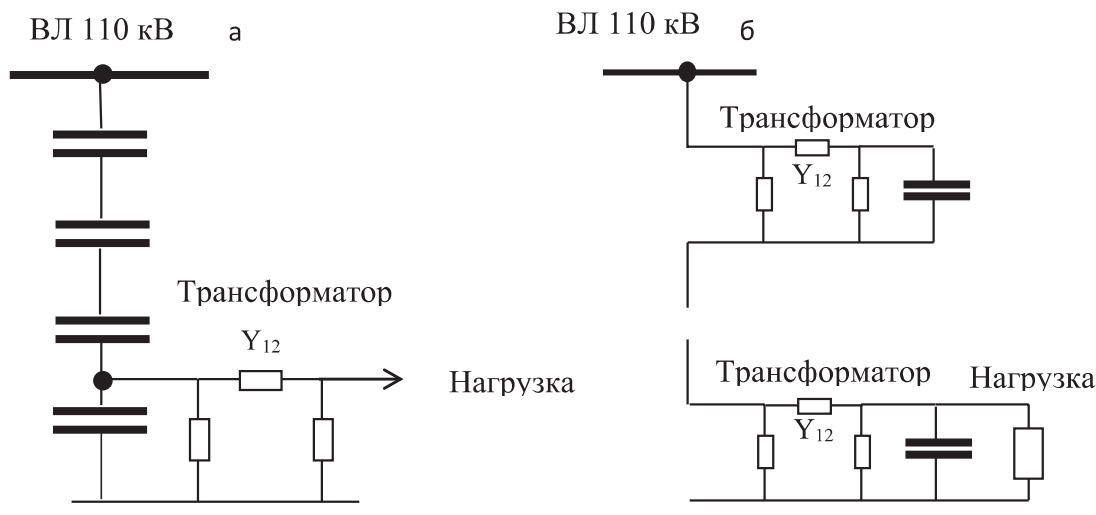


Рисунок 2 – Расчетные схемы емкостных отборов мощности: а – с отбором мощности от последнего трансформатора; б – при включении конденсаторов через трансформаторы

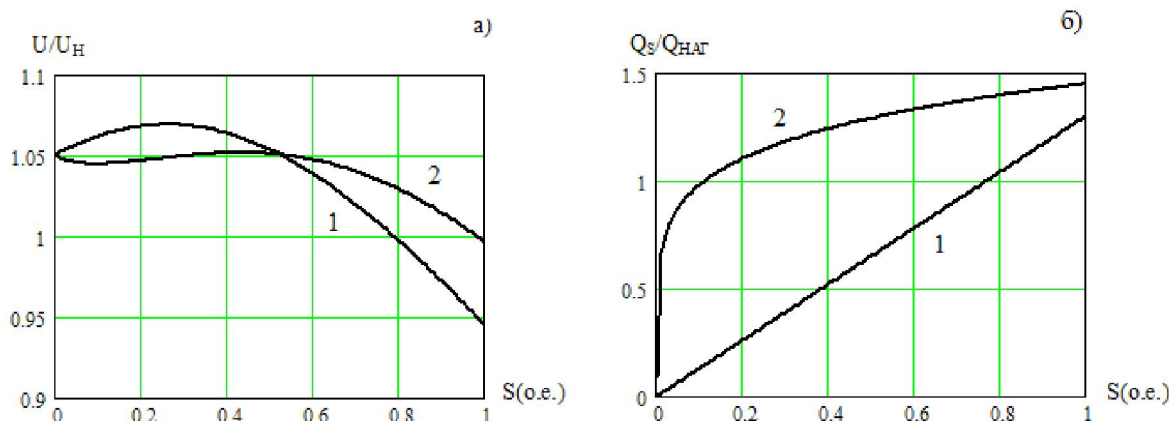


Рисунок 3 – Зависимости напряжений на нагрузке от мощности конденсаторов, включаемых для поддержания уровней напряжения (а), б – соответствующие мощности конденсаторов

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 желателенно осуществлять разъединителем. 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.

УДК 621.31

ВОССТАНОВЛЕНИЕ ФОРМ КРИВЫХ ТОКОВ ВО ВРЕМЯ КОРОТКИХ ЗАМЫКАНИЙ

Н.С. Бурянина, Ю.Ф. Королюк, Е.И. Малеева, Е.В. Лесных, К.В. Суслов

Рассматриваются проблемы цифровой релейной защиты при появлении в токах аperiodических составляющих. Предложен алгоритм вычисления текущих значений вторичных токов, который основан на выборке для вычисления пяти значений и выдаче периодической составляющей на момент среднего измерения, а также алгоритм определения текущих значений токов в "будущие" моменты времени, в том числе и при насыщении магнитопроводов трансформаторов тока, когда требуется включать автоматику управления режимами.

Ключевые слова: аperiodические составляющие; вторичные токи; интервал дискретизации; цифровая релейная защита.

RESTORING THE SHAPES OF THE CURVES OF CURRENTS DURING SHORT CIRCUITS

N.S. Buryanina, Yu.F. Korolyuk, E.I. Maleeva, E.V. Lesnykh, K.V. Suslov

The problems of digital relay protection are considered when aperiodic components. An algorithm is proposed for calculating the current values of secondary currents, which is based on a sample for calculating five values, and issuing a periodic component at the time of the average measurement and, algorithm, determining the current values of currents at "future" instants, including saturation of the magnetic cores of current transformers, when it is required to enable automatic control of modes.

Keywords: aperiodic components; secondary currents; sampling interval; digital relay protection.

Релейную защиту (РЗ) можно рассматривать как управляющую систему, которая в общем случае получает информацию о токах, напряжениях и состоянии коммутационных элементов в отдельных пунктах ЭС. Цель релейной защиты – определение аномальных сигналов, представляющих неисправности в системе электропередач. Разрабатываются современные технологии поиска неисправностей в системах создания, передачи и потребления электроэнергии для обеспечения высокой скорости релейной защиты, быстрой и точной классификации неисправностей в ключевых точках, существующих в линии электропередачи.

Большинство аварий можно рассматривать локально, обрабатывая информацию только одного присоединения [1]. Для достоверности идентификации аварийных ситуаций в алгоритмах защит предлагается использовать фильтрацию параметров режима разложением в ряд Фурье. Это увеличивает время идентификации. Кроме того, серьезные проблемы в осуществлении РЗ возникают при насыщении магнитопроводов трансформаторов тока. Время, в течение которого снимаемая с трансформаторов тока информация достоверна, может быть недостаточным для работы РЗ. Осо-

бенно это актуально при осуществлении РЗ цифровой техникой, требующей достаточно большого интервала времени. Задача усложняется, как правило, наличием в токах аperiodических составляющих, которые еще больше уменьшают интервал времени с достоверной информацией.

Ряд работ [2–4], посвященных определению места повреждения (ОМП), не учитывают наличия в аварийных параметрах режима аperiodических составляющих, что приводит к погрешности до 10–15 % от длины линии. Этот же недостаток присущ алгоритмам ОМП линий с ответвлениями [5].

В то же время применение цифровой техники для целей РЗ позволяет решить задачи как фильтрации аperiodических составляющих, так и восстановления формы кривых вторичных токов, поступающих на измерительные органы. Особенно это актуально для РЗ, прямо или косвенно определяющих направление в сторону короткого замыкания (КЗ) и для противоаварийной автоматики.

Форма кривой вторичного тока, снимаемого с трансформатора тока с насыщаемым магнитопроводом, имеет два характерных интервала: с комбинацией синусоидальной и аperiodической составляющих, определяемых параметрами

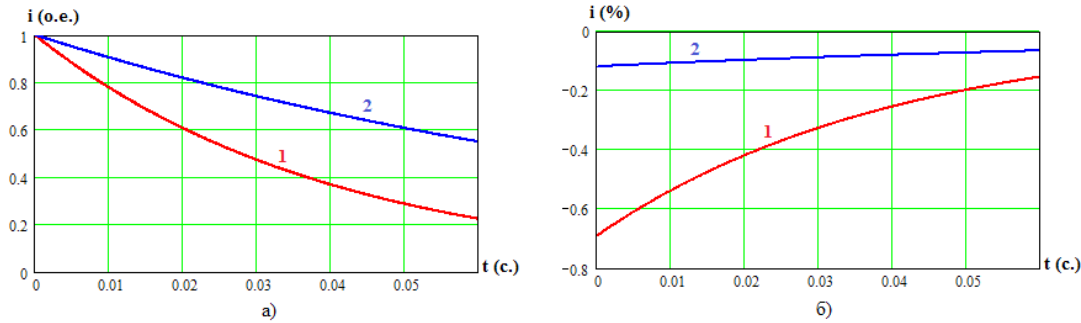


Рисунок 1 – Аperiodические слагающие тока – измеряемых и рассчитанных:
 1 – постоянная времени $T = 0,04$ с, 2 – 0,1 с; а – аperiodическая составляющая в измеряемом токе,
 б – в рассчитанном согласно (2)

защищаемого элемента электрической сети, и с аperiodической составляющей, определяемой параметрами трансформатора тока. Информация второго интервала для анализа режима недостоверна.

Рассмотрим алгоритм восстановления вторичного тока на втором интервале. Для этого воспользуемся определением текущего значения тока и его производной уравнениями, предложенными в [6] с той разницей, что интервал дискретизации принят равным меньшим четверти периода. При рекомендуемой частоте счѐта аналоговой информации в 1600 Гц интервал дискретизации равен 0,625 мс. Рассмотрим интервал времени от нуля до 3,5 мс. Согласно [2] текущее значение тока и его производная будут равны:

$$i(t) = \frac{2i(t) - i(t + 2\Delta t) - i(t - 2\Delta t)}{4 \sin^2(\omega \cdot \Delta t / 2)}, \quad (1)$$

$$i'(t) = \frac{i(t + \Delta t) - i(t - \Delta t)}{2 \sin(\omega \cdot \Delta t)}, \quad (1a)$$

где $i(t)$ – текущее значение тока в момент времени t ; $i'(t)$ – производная тока в момент времени t ; Δt – интервал дискретизации.

При интервале дискретизации, равном 0,625 мс, уверенное вычисление текущего значения тока выполняется через 3,125 мс (пять интервалов). КЗ может возникнуть на середине интервала, т. е. один интервал может не войти в уравнение (1).

Чтобы уменьшить время уверенного вычисления текущего значения тока и его производной, уменьшим интервал дискретизации в два раза, для чего воспользуемся следующими уравнениями:

$$i(t) = \frac{2i(t) - i(t + \Delta t) - i(t - \Delta t)}{4 \sin^2(\omega \cdot \Delta t / 4)}, \quad (2)$$

$$i'(t) = \frac{\frac{i(t + \Delta t) + i(t)}{2} - \frac{i(t) + i(t - \Delta t)}{2}}{2 \sin(\omega \cdot \frac{\Delta t}{2})}. \quad (2a)$$

Рассмотрим, каким образом можно исключить во вторичных токах аperiodическую составляющую. Максимальное значение аperiodической составляющей может быть равным амплитудному значению синусоидальной составляющей частоты сети $i_{am}(t) = e^{-\frac{t}{T}}$, где $T = \frac{L}{R}$.

В свою очередь

$$R_{\Gamma} = \frac{\Delta P}{I_H^2 \cdot 3}, \quad \text{где } \Delta P = P_H \cdot \frac{100 - \mu(\%)}{100}$$

$$X_{\Gamma} = X_d'' \cdot \frac{U_H^2}{S_{\Gamma} \cdot \omega}. \quad (3)$$

При коэффициенте полезного действия $\eta = 0.97 \div 0.98$, постоянная времени не может быть меньше 0,04 с.

Уравнения (1) и (2) позволяют уменьшить в вычисленных текущего значения тока и его производной аperiodической составляющей. Объясняется это тем, что в обоих уравнениях в числителях вычисляются разности однополярных величин. На рисунке 1 приведены величины аperiodических составляющих в вычисленных параметрах.

При использовании уравнения (1) текущее значение тока вычисляется с максимальной погрешностью в 0,7 %, что меньше класса точности трансформаторов тока, применяемых в цепях релейной защиты.

Для момента времени t фазу тока короткого замыкания можно определить, как

$$\phi = \arccos \left(\frac{i'(t_i)}{i(t_i)} \right), \quad (4)$$

где t_i – произвольный момент времени. Если текущее значение тока и его производная отрицательные, то угол

$$\phi = \arccos \left(\frac{i'(t_i)}{i(t_i)} \right) + \pi. \quad (5)$$

Чтобы не менять интервал дискретизации, т. е. оставить его для остальных защит и оставить время обработки сигналов для осуществления РЗ, воспользуемся тем обстоятельством, что всегда модуль синусоидальной составляющей неизменен в течение периода, если режим электрической сети неизменен. При отсутствии насыщения магнитопроводов трансформаторов тока производная тока отстает от текущего значения на четверть периода, т. е.

$$i'(t) = \sin(\omega \cdot t + n \cdot \omega \cdot \Delta t) \cdot k, \quad (6)$$

где n – число интервалов дискретизации, соответствующему четверти периода; k – отношение вычисленного текущего значения параметра к синусу угла, соответствующего t , ω – угловая частота.

Если частота сети равна 50 Гц, время, необходимое для получения информации при использовании уравнений (1а) при интервале дискретизации, равном 0,625 мс, составляет 2,5 мс, а при (2а) – 1,25 мс.

Чтобы исключить влияние изменения частоты, а именно постоянного интервала дискретизации на погрешность вычисления текущего значения параметров режима сети, интервал дискретизации должен устанавливаться интервалами перехода через нуль напряжений на активном сопротивлении и емкости RC-звена [7]. Эти переходы всегда соответствуют четверти периода частоты. При частоте сети, равной номинальной, и частоте дискретизации, равной 1600 Гц, интервал дискретизации будет равен 0,625 мс, или 32 измерения за период.

Используя интервал времени, когда магнитопроводы трансформаторов тока не насыщаются, можно определить текущие значение тока и их производные в любой момент времени:

$$i(t) = \sin \left[\arcsin \left(\frac{i'(t_i)}{i(t_i)} \right) + \omega(t) \right] \cdot \frac{i(t_i)}{\sin(\omega \cdot t_i)} \quad (7)$$

$$i(t) = \sin \left[\arcsin \left(\frac{i'(t_i)}{i(t_i)} \right) + \omega(t) + \frac{\pi}{2} \right] \cdot \frac{i(t_i)}{\sin(\omega \cdot t_i)} \quad (8)$$

где t_i – время фиксации достоверного i -го измерения тока.

Производную тока также можно определить через косинус:

$$i(t) = \cos \left[\arcsin \left(\frac{i'(t_i)}{i(t_i)} \right) + \omega(t) \right] \cdot \frac{i(t_i)}{\sin(\omega \cdot t_i)}. \quad (8a)$$

Используя уравнения (7), (8) или (8а) можно определить текущие значения токов и их производные в любой момент времени, в том числе и в моменты времени, когда насыщаются трансформаторы тока. Производную тока, вычисленную

согласно (8) или (8а) можно определять таблично, заложив таблицу синусов и косинусов в память вычислительной машины. Это позволит уменьшить время обработки результатов измерений. Уравнения (8) и (8а) позволяют определить параметры вторичных токов в “будущем” времени. Это актуально для выработки решений действий автоматики.

При наличии в токах аperiodических составляющих использование уравнений (7), (8) или (8а) приводит к погрешности в определении производных до 2,5 %, если постоянная времени сети равна 0,04 с, и снижается до 1,1 % при постоянной времени, равной 0,1 с. Такая точность достаточна для правильной работы релейных защит и противоаварийной автоматики, но нежелательна для применения алгоритмов ОМП, использующих параметры установившегося режима.

Точность вычислений синусоидальных составляющих текущих значений токов по (1) при максимальной величине аperiodической составляющей не превышает 0,3%. Но производные токов, определяемые по (1а) имеют погрешности от 3 до 8 % при изменении постоянной времени сети от 0,1 до 0,04 с. Это приводит к погрешности до 2,5 % при вычислении производных по (8) и (8а). Объясняется это неточным вычислением угла

$$\arcsin \left(\frac{i'(t_i)}{i(t_i)} \right).$$

С такой погрешностью можно согласиться при осуществлении релейных защит, но она неприемлема при определении места аварии, особенно на длинных линиях. Для снижения погрешности до долей процентов предлагается применить уравнение (1) к вычисленным производным, если нет насыщения магнитопроводов трансформаторов тока. При интервале дискретизации в 0,625 мс, время наблюдения за режимом должно быть не меньше половины периода при условии ненасыщения магнитопроводов трансформаторов тока. Это можно определить по осциллограмме после отключения поврежденной линии.

Таким образом, при насыщении магнитопроводов трансформаторов тока вторичные токи “не повторяют” первичные. Причиной насыщения магнитопроводов, как правило, является появление аperiodических составляющих в токе короткого замыкания. Время существования аperiodической составляющей в токе короткого замыкания зависит от постоянной времени участка электрической сети от места короткого замыкания до генераторов. Чем больше постоянная времени, тем дольше сохраняется несоответствие между первичными и вторичными токами трансформаторов тока.

Время, в течение которого нарушается пропорции между первичными и вторичными токами, может достигать половины времени и более существования короткого замыкания.

Апериодическая составляющая искажает вторичную периодическую, что может привести к отказам релейной защиты, выражающихся либо к ложной работе (при коротком замыкании не на защищаемом объекте), либо к не реагированию защиты при коротком замыкании на защищаемом объекте.

Разработанный алгоритм предлагается применять с момента возникновения короткого замыкания для защиты объектов электрической сети с постоянными времени более 0,01–0,02 с и с задержкой на половину периода при меньших постоянных времени. Погрешность в вычислении амплитуд, мощностей, сопротивлений и других вторичных параметров не превышает 5 %. Причем, чем больше постоянная времени сети, тем меньше погрешность в вычислении указанных вторичных параметров.

Статья подготовлена при выполнении Государственного контракта № 5327 от 08.08.2017 г. в рамках комплексных научных исследований в Республике Саха (Якутия), направленных на развитие производительных сил и социальной сферы на 2016–2020 гг.

Литература

1. Шнеерсон Э.В. Цифровая релейная защита / Э.В. Шнеерсон. М.: Энергоатомиздат, 2007. 549 с.
2. Аржанников Е.А. Определение места короткого замыкания на высоковольтных линиях электропередачи / Е.А. Аржанников, В.Ю. Лукоянов, М.Ш. Мисриханов. М.: Энергоатомиздат, 2003. 271 с.
3. Saha M. Fault Location on Power Networks. London / M. Saha, J. Izykowski, E. Rosolowski // Springer, 2010. 425 с.
4. Куликов А.Л. Развитие программного обеспечения для поддержки принятия решения при ликвидации повреждения на ЛЭП / А.Л. Куликов, М.Д. Обалин // Известия вузов. Электромеханика. 2015. № 2. С. 70–75.
5. Куликов А.Л. Алгоритм определения места повреждения линии электропередачи с ответвлениями А.Л. Куликов, В.Ю. Вуколов, М.В. Шарыгин, Д.И. Бездушный, Ж. Темирбеков // Вестник НГИЭИ. 2017. № 9 (76). С. 29–38.
6. Грешнов Е.Б. О выборе интервала дискретизации вводимых в ЭВМ аналоговых параметров для программируемых защит / Е.Б. Грешнов, Ю.Ф. Королюк // Электронное моделирование. 1982. № 5. Киев. С. 71–74.
7. Способ отсчета мгновенных значений напряжений и токов // Патент РФ 2 625 172 RU; заявл. 17.07.2016; опубл. 12.07.2017. Бюл. № 20. 6 с.

СОДЕРЖАНИЕ

ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКИЕ НАУКИ

<i>Абдылдаева Э.Ф., Керимбеков А.К.</i> Приближенное решение неоднородной краевой задачи управляемого колебательного процесса, описываемого фредгольмовым интегро-дифференциальным уравнением	3
<i>Петриченко М.Р.</i> Интегральное уравнение предельной задачи Крокко	8
<i>Скляр С.Н., Турдушев И.А.</i> Построение разностной схемы для расчета вертикальной компоненты скорости в трехмерной модели ветровых течений в водоеме	12

ЭНЕРГЕТИКА

<i>Асанов А.К., Тохтамов С.С., Джусупбекова Н.К., Тимченко А.П.</i> Исследование статических характеристик бытовых электроприемников по напряжению	16
<i>Аунг Ко, Калинин Н.К., Шестопалова Т.А., Юриков В.А.</i> Теоретические основы и пути разработки оптимального состава энергокомплекса на основе возобновляемых источников энергии для комплексного энергоснабжения сельского потребителя Мьянмы	21
<i>Белицын И.В.</i> Способ оценки индуктивных помех вблизи линий электропередачи	29
<i>Белицын И.В., Хомутов С.О., Котугин Е.А.</i> Оценка показателей качества электрической энергии на основе анализа магнитного поля	33
<i>Буянина Н.С., Королюк Ю.Ф., Лесных Е.В., Малеева Е.И., Рожина М.А.</i> Емкостные отборы мощности от линий электропередачи 110–220 кВ	38
<i>Буянина Н.С., Королюк Ю.Ф., Малеева Е.И., Лесных Е.В.</i> Восстановление форм кривых токов во время коротких замыканий	42

ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

<i>Айбашев Д.М., Кольга А.Д., Эшиматова Д.М., Джумабаев Ф.А.</i> Особенности дробящих плит щековых дробилок с переменными рифлениями	46
<i>Брякин И.В., Бочкарев И.В.</i> Система контроля скорости движения трикотажной нити	50
<i>Глазунов Д.В., Глазунов В.И.</i> Влияние высокогорных и высокотемпературных условий на процесс образования горючей смеси автомобильного бензинового двигателя и особенности ее горения	55
<i>Евтушенко А.И., Фейгин Я.Д.</i> Типы компьютерных презентаций и их использование в учебном процессе на Факультете международных отношений КРСУ	59
<i>Еремьянц В.Э., Арстанбек А.</i> К обоснованию модели взаимодействия корпуса ударного механизма с инструментом	63
<i>Муслимов А.П., Третьяков А.В.</i> Автоматическое регулирование угловой скорости турбоагрегата при помощи фотоэлектрического датчика	67
<i>Хмелева И.В., Зайнулина Г.Т.</i> Реализация дополненной реальности в мобильном приложении на основе GPS-координат	69

СТРОИТЕЛЬСТВО И АРХИТЕКТУРА

<i>Голова Т.А., Давтян А.Р.</i> Определение морозостойкости композиционных вяжущих на основе фосфогипса для производства малых архитектурных форм	73
<i>Голова Т.А., Магеррамова И.А., Давтян А.Р.</i> Исследование свойств композиционных материалов на основе фосфогипса	77
<i>Ерофеев А.В., Скворцов С.П., Мухортов П.А.</i> Механизм разрушения цельных и составных деревянных балок без специальных связей с термофлуктуационной позиции	80
<i>Лавров Н.П., Атаманова О.В., Аджыгулова Г.С., Того И.</i> Методы и средства измерения параметров высокоскоростных потоков на каналах-быстротоках	85
<i>Мустафаев Ж.С., Иванова Н.И., Абдывалиева К.С.</i> Геоэкологическая оценка трансформации концентрации загрязняющих веществ в низовьях реки Сырдарья	90

<i>Мустафаев Ж.С., Иванова Н.И., Абдывалиева К.С.</i> Оценка экологической ситуации гидроагроландшафтов в низовьях реки Сырдарья в условиях мелиорации	96
<i>Нгуен Динь Дан, Волианик В.В., Джумагулова Н.Т.</i> Инженерные системы водооборота и аэрации для повышения качества воды в водных объектах Ханоя	103
<i>Ращепкина С.А.</i> Проектирование вертикальных цилиндрических емкостей из крупноразмерных стальных полотниц	108
<i>Ращепкина С.А., Ильин В.Р., Бойчук С.В.</i> Металлические облегченные конструкции пирамидальной формы	112
<i>Смирнов С.Б., Ордобаев Б.С., Сеитов Б.М.</i> Некоторые особенности сейсмического расчета зданий и сооружений	118
<i>Сошина А.Г.</i> Ранние университеты древнего мира – прообраз научно-учебного центра	122
<i>Степанов К.В., Грандофиров А.А., Друхольский В.К., Кожникова Е.А.</i> Сравнительный анализ мировых стандартов на портландцемент	127
<i>Чымыров А.У., Алимбекова Н.Т., Чымбылдаев Н.А.</i> Создание базы геоданных и обновление карт пастбищ Кыргызстана	132

НАУКИ О ЗЕМЛЕ

<i>Баталева Е.А., Воронцова Е.В., Баталев В.Ю.</i> Корреляция индексов геомагнитной активности и вариаций частотно-временных рядов параметров	137
<i>Баталева Е.А., Баталев В.Ю.</i> Детальный ретроспективный анализ данных магнитотеллурического мониторинга (Бишкекский геодинамический полигон)	141
<i>Верзунов С.Н., Лыченко Н.М.</i> Технология прогнозирования экологических параметров окружающей среды на базе мультимедийной сети	145
<i>Забинякова О.Б., Мансуров А.Н., Матюков В.Е.</i> Сервисный программный комплекс для подготовки и проведения количественной интерпретации магнитотеллурических данных	150
<i>Карабаев С.О., Локишина И.М., Харченко А.В., Субанкулова Д.А., Токарев А.В., Макаров В.П.</i> Сопоставительная характеристика твердых продуктов неполного сгорания бурого угля Кара-Кече	157
<i>Мамбетов Ш.А., Карпенко Е.Т.</i> К вопросу вскрытия и подготовки при разработке высокогорных рудных месторождений	162
<i>Мамбетов Ш.А., Бегалиев У.К.</i> К оценке геомеханических условий разработки золоторудного месторождения Талдыбулак Левобережный	165
<i>Нифадьев В.И., Коваленко В.А., Райымкулов М.А., Комиссаров П.В., Басакина С.С.</i> Механизм действия воздушного промежутка скважинных зарядов	170
<i>Подрезов О.А., Подрезов А.О.</i> 3. Современное потепление климата Северного и Северо-Западного Кыргызстана в поле средних температур	175
<i>Подрезов О.А., Подрезов А.О.</i> 4. Современное потепление климата Северного и Северо-Западного Кыргызстана в поле средних минимальных температур	183
<i>Саргазаков Т.Д., Жусупкельдиев Ш.</i> Измерения приземных концентраций аэрозолей Иссык-Кульской котловины, их микроструктура и некоторые микрофизические характеристики	190
<i>Свердлик Л.Г.</i> Сравнительный анализ многолетних наземных и спутниковых измерений аэрозольной оптической толщи над Северным Тянь-Шанем	195
<i>Сычев В.Н., Имашев С.А.</i> Корреляция электрического сопротивления и деформации в образцах горных пород	201
<i>Сычева Н.А.</i> Сравнение динамических параметров землетрясений различных регионов	205

МОНИТОРИНГ

<i>Зыскова Э.Ю., Подрезов А.О.</i> Погодные условия в Чуйской долине весной 2017 года	211
Сведения об авторах	214

**ВЕСТНИК
КЫРГЫЗСКО-РОССИЙСКОГО
СЛАВЯНСКОГО УНИВЕРСИТЕТА**
Серия: Естественно-технические науки
Том 17. № 12

Редактор издательства
И.С. Волоскова

Техническое редактирование О.А. Матвеевой
Дизайн обложки С.В. Комарова
Компьютерная верстка А.С. Шелестовой

Подписано в печать 28.12.2017
Формат 60×84¹/₈. Печать офсетная.
Объем 28,0 п.л., 26,04 уч.-изд. л.
Тираж 250 экз.

Издательство КРСУ
720000, г. Бишкек, ул. Киевская, 44

Отпечатано в типографии КРСУ
720048, г. Бишкек, ул. Горького, 2