

УДК 621.317.738

## ПОВЫШЕНИЕ БЕЗОПАСНОСТИ ОБОРУДОВАНИЯ ПРИСОЕДИНЕНИЯ ПРОТИВОАВАРИЙНОЙ АВТОМАТИКИ, РЕЛЕЙНОЙ ЗАЩИТЫ И ДИСПЕТЧЕРСКОЙ СВЯЗИ К ВЫСОКОВОЛЬТНОЙ ЛИНИИ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧ КЛАССОМ НАПРЯЖЕНИЯ ОТ 35 ДО 220 КВ

**Савченко Р.И.***ПАО «Сургутнефтегаз» НГДУ «Талаканнефть», Сургут, e-mail: 03131990@mail.ru*

Для передачи сигналов и команд релейной защиты и противоаварийной автоматики на энергообъектах могут применяться следующие линии связи: волоконно-оптические, кабельные линии связи и каналы высокочастотной связи. На энергообъектах широко распространено использование воздушных линий электропередач в качестве каналов высокочастотной связи, это объясняется их невысокой стоимостью, надежностью и ремонтпригодностью. К недостаткам можно отнести большие уровни электрических помех, зависимость от природных воздействий и повышенную опасность при техническом обслуживании оборудования присоединения аппаратуры релейной защиты и противоаварийной автоматики к линии электропередач. В состав оборудования присоединения входят высокочастотные заградители и конденсаторы связи с фильтрами присоединения. В процессе эксплуатации оборудования высокочастотной связи на энергообъектах зафиксированы аварийные ситуации, связанные с выходом из строя конденсаторов связи (разрушение, взрыв). Данные случаи являются опасными для находящегося в это время на объекте персонала и рядом установленного оборудования. Разрушение конденсатора связи сопровождается аварийным отключением линии электропередач. Задачей данной работы является проработка и предложение технических решений, позволяющих повысить надежность и безопасность эксплуатации оборудования присоединения аппаратуры релейной защиты и противоаварийной автоматики к линии электропередач.

**Ключевые слова:** высокочастотная связь, конденсаторы связи, оборудование присоединения, датчик ёмкости

## IMPROVING THE SAFETY OF THE EQUIPMENT CONNECTION EMERGENCY AUTOMATION, RELAY PROTECTION AND CONTROL COMMUNICATION TO THE HIGH-VOLTAGE POWER LINES WITH VOLTAGE FROM 35 TO 220 KV

**Savchenko R.I.***OJSC «Surgutneftegas» NGDU «Talakanneft», Surgut, e-mail: 03131990@mail.ru*

The following communication lines can be used to transmit signals and commands of relay protection and emergency automation at power facilities: fiber-optic, cable communication lines and high-frequency communication channels. The use of overhead power lines as high-frequency communication channels is widespread at power facilities due to their low cost, reliability and maintainability. The disadvantages include high levels of electrical interference, dependence on natural influences and increased danger in the maintenance of equipment for connecting relay protection equipment and emergency automation to the power line. Part of the equipment connection consists of high-frequency chokes and capacitors in connection with the merger. During the operation of high-frequency communication equipment at power facilities recorded emergency situations associated with failure of communication capacitors (destruction, explosion). These cases are dangerous for the personnel at the site and a number of installed equipment. The destruction of the communication capacitor is accompanied by an emergency shutdown of the power line. The objective of this work is to develop and offer technical solutions to improve the reliability and safety of the equipment connection relay protection and emergency automation equipment to the power line.

**Keywords:** high frequency communication, coupling capacitors, of the equipment connection, capacity sensor

На энергообъектах для передачи сигналов и команд релейной защиты и противоаварийной автоматики могут применяться следующие линии связи: волоконно-оптические (ВОЛС), кабельные линии связи (КЛС) и каналы высокочастотной связи (ВЧ-связь). На сегодняшний день в ПАО «Сургутнефтегаз» 33 линии электропередач напряжением 110–220 кВ оснащены быстродействующей защитой с передачей сигналов по ВЧ-связи. Также высокочастотные каналы применяются для передачи сигналов телемеханики и организации диспетчерской связи. ВОЛС применяется для организации защиты шести линий электропередач напряжением

35 кВ. КЛС не применяются на объектах ПАО «Сургутнефтегаз» в связи с ограничением по протяженности линии. Широкое распространение использования воздушных линий электропередачи в качестве каналов высокочастотной связи объясняется их невысокой стоимостью, надежностью и ремонтпригодностью. К недостаткам можно отнести большие уровни электрических помех, зависимость от природных воздействий и повышенную опасность при техническом обслуживании оборудования присоединения аппаратуры релейной защиты и противоаварийной автоматики к линии электропередач [1–3].

В состав оборудования присоединения входят высокочастотные заградители (ВЗ) и конденсаторы связи (КС) с фильтрами присоединения (ФП). В процессе эксплуатации оборудования ВЧ-связи в ПАО «Сургутнефтегаз» зафиксированы аварийные ситуации, связанные с выходом из строя КС (разрушение, взрыв). Данные случаи являются опасными для находящегося в это время на объекте персонала, так как при взрыве происходит выброс фарфоровой изоляции на территории ОРУ, что может привести к травматизму персонала. Так же взрыв КС может нанести повреждение рядом установленному оборудованию, что приводит к его замене или проведению внепланового ремонта. Разрушение конденсатора связи сопровождается аварийным отключением линии электропередач.

Согласно ПУЭ (Глава 5.6. Конденсаторные установки) п. 5.6.24. емкости фаз конденсаторной установки должны контролироваться стационарными устройствами измерения тока в каждой фазе. Данное правило реализовано для конденсаторных установок, служащих для компенсации реактивной мощности и коррекции коэффициента мощности. Но не распространяется на конденсаторные установки для продольной компенсации, фильтровые и специальные, следовательно, для КС контроль тока не выполняется [4]. Нормы проведения профилактических испытаний КС не гарантируют его долгосрочную работу, в связи с этим для надежной и безопасной эксплуатации оборудования присоединения (КС) необходимо осуществлять непрерывный контроль их состояния [5].

Задачей данной работы является проработка и предложение технических решений, позволяющих повысить надежность

и безопасность эксплуатации оборудования присоединения аппаратуры релейной защиты и противоаварийной автоматики к линии электропередач.

### Материалы и методы исследования

КС состоят из фарфоровой крышки, внутри которой располагаются три соединенных параллельно пакета (на чертеже виден один пакет), в каждом от 80 до 90 секций рулонного типа, соединенных последовательно (рис. 1, а). Секции в пакетах затянуты между металлическими плитами с помощью изоляционных планок. Для компенсации теплового расширения масла в нижней части конденсатора расположен расширитель в виде сильфона, внутренняя часть которого соединена через отверстие в фланце с атмосферой. Расположение сильфона внизу предохраняет его от попадания внутрь влаги. Фланцы закреплены на фарфоровой рубашке через прокладки из маслоупорной резины, чем обеспечивается достаточная герметичность конденсатора. Свободное пространство между корпусом и пакетами секций заполнено конденсаторным маслом [6–8].

Выход оборудования из строя связан с окислением масла (в этом случае увеличивается  $\text{tg } \delta$  конденсатора), повреждениями с обрывом проводника, связывающего фланец с пакетами, частичным пробоем секции пакета, о чем свидетельствует локальный нагрев на фарфоровой крышке, а также с полным пробоем одной или нескольких секций пакета. При таком виде дефекта нагрев на поверхности крышки будет наблюдаться по всей высоте конденсатора и превалировать в зоне расположения дефектного пакета (рис 1, б).

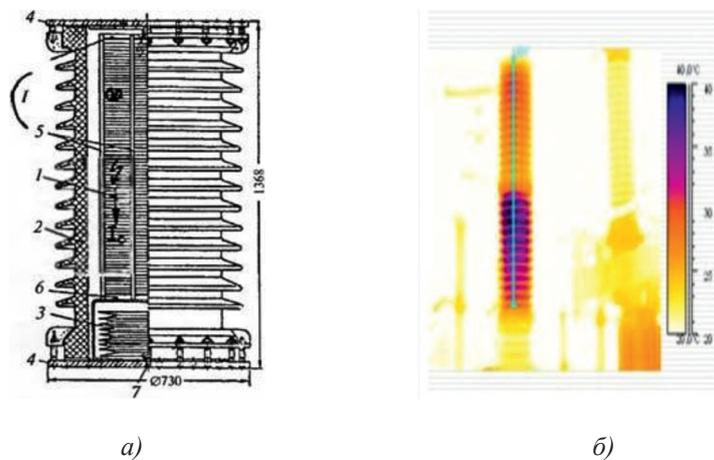


Рис. 1. Конденсатор связи: 1 – пакет бумажно-конденсаторный; 2 – фарфоровая крышка; 3 – сильфон; 4 – фланец; 5 – изоляционные планки; 6 – плита металлическая; 7 – внешнее отверстие сильфона

Течь масла может предшествовать повреждению конденсатора, так как при продолжительной течи давление в конденсаторе может сравняться с окружающим давлением и внутрь конденсатора через трещину начнет проходить воздух, в результате масло отсыревает, и конденсатор может выйти из строя. Как правило, ухудшение состояния диэлектрика приводит к увеличению  $\operatorname{tg} \delta$  (угол диэлектрических потерь), в связи с этим увеличивается активная составляющая тока, протекающего по конденсатору. Величина активной составляющей тока диэлектрических потерь в цепи, вызванная этими процессами, незначительна, например, при увеличении  $\operatorname{tg} \delta$  относительно нормы в 10 раз (до 8%) приведет к увеличению тока 50 Гц через КС на ВЛ 110 кВ на 0,3%, то есть в пределах погрешности измерений.

$$C_{\text{общ.}} = \left( \frac{1}{\frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \dots + \frac{1}{C_n}} \right) + \left( \frac{1}{\frac{1}{C_3} + \frac{1}{C_4} + \dots + \frac{1}{C_n}} \right).$$

Но из формулы общей емкости конденсатора связи видно, что при пробоях одного из последовательно соединенных элементов пакета конденсатора увеличится общая емкость, следовательно, увеличится ток в цепи с конденсатором связи:

$$I = CU_0 \omega \cos \left( \omega t + \frac{\pi}{2} \right).$$

Данные процессы приводят к взрыву КС, развивается постепенно и имеет длительный характер [9–11].

Из этого можно сделать вывод что, осуществляя непрерывный контроль тока в цепи, можно следить за параметрами КС, так как при пробое одного из последовательно соединенных элементов в пакете или целиком пакета, увеличивается общая емкость конденсатора, следовательно, и ток в цепи. Для исключения ошибочных данных, связанных с изменениями наложенного напряжения на КС, необходимо осуществлять контроль напряжения на секции шин подстанции. На этом принципе и будет выполнена далее предлагаемая система мониторинга состояния КС, по данному решению было получено согласование от Санкт-Петербургского государственного электротехнического университета «ЛЭТИ» им. В.И. Ульянова.

#### Результаты исследования и их обсуждение

Ранее в России не было решения, позволяющего обеспечить контроль состояния

КС на энергообъекте и определить начало процесса разрушения КС, приводящего к его взрыву. Согласно базе Федеральной службы по интеллектуальной собственности РФ из существующего уровня техники известно устройство релаксационного измерителя параметров СG-двухполюсников для измерения емкости электрических конденсаторов (заявка за изобретение № RU 93047134, опубликована 10.07.1996) (рис. 2) представленного Ижевским государственным техническим университетом. Однако применение данного устройства основано на принципе измерения напряжения на конденсаторе, заряженном калиброванным электрическим зарядом и не применимо для измерения емкости КС, включенного в схему и находящегося под напряжением.

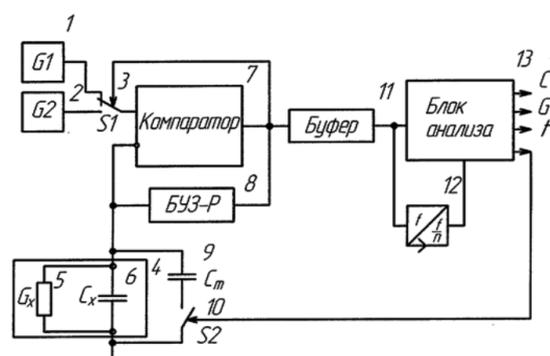


Рис. 2. Принципиальная схема устройства релаксационного измерителя параметров СG-двухполюсников

Также существует устройство для измерения емкости конденсатора (патент на изобретение № RU 2173859 от 10.11.2000) (рис. 3), представленного Ульяновским государственным техническим университетом. Но данное устройство не применимо для определения начала процесса разрушения конденсатора связи на действующем энергообъекте, а предназначено только для расширения диапазона измерения емкости и повышения чувствительности измерения [12].

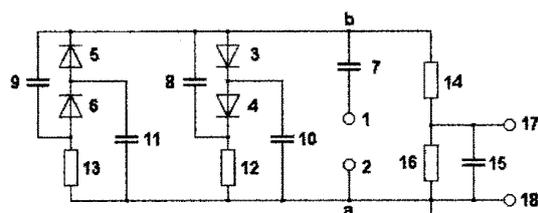


Рис. 3. Принципиальная схема устройства для измерения емкости конденсатора



Рис. 4. Структурная схема системы контроля состояния конденсатора связи с использованием датчика контроля конденсатора связи

На сегодняшний день в России существует система мониторинга состояния КС (рис. 4), данное устройство выпускает ООО «Уральский завод новых технологий» г. Екатеринбург (ООО «УЗНТех»). Система обеспечивает постоянный контроль состояния КС на энергообъекте с целью определения начала процесса их разрушения и формирование соответствующего сигнала о начале и развитии этого процесса в режиме текущего времени. Основой системы является датчик ёмкости КС, который встраивается в фильтр присоединения и производит замер тока в реальном времени и передает сигнал на контроллер. В контроллере выполняется преобразование сигнала и анализ полученной информации, а результат измерений отображается на дисплее контроллера и автоматизированное рабочее место оперативного персонала (АРМ), также сигнал может быть выведен на предупредительную сигнализацию [13].

### Заключение

В ПАО «Сургутнефтегаз» на территории ПС 110/35/6 кВ «Талакан» на сегодняшний день установлено 17 КС в перспективе развития до 2020 г. будет установлено еще 2, в связи с вводом в эксплуатацию ПС 110/35/6 кВ «Ленская». Для безопасной и надежной эксплуатации оборудования высокочастотной обработки на данных энергообъектах установка системы мониторинга состояния КС включена в мероприятия по надежности на 2020 г.

Для обеспечения реализации предлагаемого технического решения на ПС 110/35/6 кВ «Талакан» проведены необходимые расчеты вторичных цепей

трансформаторов напряжения, предложен вариант установки дополнительного оборудования с учётом фактически установленного. Данное техническое решение было одобрено и прорабатывалось совместно с ОАО «Институт «Энергосетьпроект» г. Москва.

При поддержке Сургутского государственного университета была воссоздана схема датчика контроля КС согласно описанию полезной модели к патенту компания ООО «УЗНТех», и установлена в ФПО который используется на объектах ПАО «Сургутнефтегаз», практически проверялась возможность фиксации датчиком увеличения тока в цепи.

В последующем компания ООО «УЗНТех» предоставила опытный образец датчика ёмкости КС, который был установлен в ФП, и в электротехнической лаборатории ЦБПО РНЭО ПАО «Сургутнефтегаз» было проверено, что установка датчика в схему ФП не влияет на контролируемые в рамках эксплуатации ВЧ тракта параметры и соответствует действующим нормам, что доказывает не только работоспособность данного устройства, но и возможность его применения.

Получено согласование на установку оборудования с владельцем линии электропередач 110 кВ ПАО «Транснефть» и согласование на изменение конструкции ФП от компании ООО «АББ». Также получена положительная оценка от проектного института ОАО «Инженерный центр энергетики Урала».

На сегодняшний день данное техническое решение управлением энергетики ПАО «Сургутнефтегаз» включено в задание на

проектирование объектов капитального ремонта 2020–2022 г. ПС 110/35/6 кВ «Лукьяновская» НГДУ «Нижнесортимскнефть» и ПС 110/35/6 кВ «Прометей» НГДУ «Лянторнефть».

Экономический эффект от внедрения системы мониторинга состояния КС на энергообъектах заключается в повышении надежности работы электрических сетей, сокращении затрат на ликвидацию аварий и проведению внепланового ремонта оборудования вследствие разрушения (взрыва) конденсатора связи на территории энергообъекта.

Что касается поврежденных КС, они не подлежат ремонту и необходима замена оборудования. В России существуют два производителя конденсаторов связи, это ООО «Серпуховский конденсаторный завод «КВАР» и ТОО «Усть-Каменогорский конденсаторный завод». Оба завода на сегодняшний день проработали и изменили конструкцию конденсаторов связи и предлагают конденсаторы связи взрывобезопасного исполнения. Взрывобезопасность конденсатора обеспечивается специально спроектированным и испытанным узлом взрывозащиты, вследствие этого конденсаторы обладают повышенной стойкостью к воздействиям энергий внутреннего короткого замыкания. В случае внутреннего короткого замыкания выходит из строя только конденсатор, при этом не происходит его разрушения и, как следствие, образования опасных осколков, выплесков жидкости, представляющих опасность для оборудования и персонала. Конденсаторы связи во взрывобезопасном исполнении пропитаны экологически безопасной диэлектрической жидкостью, которая при разрушении в отличие от маслонеполненных конденсаторов связи не воспламеняется. Для замены оборудования и установки на вновь вводимые

объекты предлагается использовать данные КС совместно с системой мониторинга состояния КС, предлагаемой компанией ООО «УЗНТех».

#### Список литературы

1. Андреев В.А., Портнов Э.Л., Кочановский Л.Н. Направляющие системы электросвязи: учебник для вузов. В 2-х т. Т. 2. Проектирование, строительство и техническая эксплуатация. М.: Горячая линия – Телеком, 2010. 424 с.
2. Скляр О.К. Волоконно-оптические сети и системы связи. СПб.: Лань, 2010. 272 с.
3. Гроднев И.И., Гумеля А.Н., Климов М.А. Инженерно-технический справочник по электросвязи: Кабельные и воздушные линии связи. М.: Связь, 2013. 672 с.
4. Правила устройства электроустановок ПУЭ. 7-е изд. М.: Изд-во НЦ ЭНАС, 2003. 330 с.
5. ГОСТ 15581-80 Конденсаторы связи и отбора мощности для линий электропередач. Технические условия (с Изменением № 1, 2). М.: Государственный комитет СССР по управлению качеством продукции и стандартам, 1991. 40 с.
6. Петин О.В. Испытание электрических аппаратов: учебное пособие. М.: Высшая школа, 2014. 216 с.
7. Акимов Н.Н., Вашуков Е.П., Прохоренко В.А. Резисторы, конденсаторы, трансформаторы, дроссели, коммутационные устройства РЭА. Справочник. Мн.: Беларусь – Москва, 1994. 591 с.
8. Бессонов Л.А. Теоретические основы электротехники. Электрические цепи: учебник для бакалавров. М.: Юрайт, 2015. 701 с.
9. Иньков Ю.М. Электротехника и электроника: учебник для студентов учреждений среднего профессионального образования. М.: ИЦ Академия, 2013. 368 с.
10. Кузовкин В.А., Филатов В.В. Электротехника и электроника: учебник для бакалавров. М.: Юрайт, 2016. 431 с.
11. Соловьев Н.Н. Измерительная техника в проводной связи. М.: Связь, 2014. 718 с.
12. Решетов Е.В., Кальсин Н.В., Неплюев С.А. Датчик контроля конденсатора связи // Патент РФ № 2675248. Патентообладатель Общество с ограниченной ответственностью «Уральский завод новых технологий». 2018. Бюл. № 35.
13. Решетов Е.В., Кальсин Н.В., Неплюев С.А. Система контроля состояния конденсаторов связи // Патент РФ № 2675250. Патентообладатель Общество с ограниченной ответственностью «Уральский завод новых технологий». 2018. Бюл. № 35.