

УДК 621.3.048

А.В. ГОЛЕНИЩЕВ-КУТУЗОВ, д.ф.-м.н., профессор (КГЭУ)

Д.А. ИВАНОВ, к.т.н., доцент (КГЭУ)

А.Д. АРСЛАНОВ, студент (КГЭУ)

г. Казань

**МОБИЛЬНЫЙ КОМПЛЕКС ДЛЯ ДИСТАНЦИОННОГО  
КОНТРОЛЯ ВЫСОКОВОЛЬТНЫХ ИЗОЛЯТОРОВ  
С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ БЕСПРОВОДНОГО МОДУЛЯ СБОРА  
И ПЕРЕДАЧИ ДАННЫХ**

Устойчивость работы современного энергетического оборудования высокого напряжения во многом определяется надежностью его изолирующих элементов. Наиболее уязвимыми в этом плане являются высоковольтные изоляторы (далее – ВИ), поскольку при длительном воздействии высокого напряжения и неблагоприятных условий эксплуатации возникает преждевременное старение керамических или полимерных изоляционных материалов. В результате происходит образование различных дефектов, приводящих в конечном итоге к электрическому пробое и даже к полному разрушению ВИ. Как известно [1], полному пробое, как правило, предшествуют микропробои или электрические разряды, которые шунтируют лишь часть изоляции между электродами, получившие название частичных разрядов (далее – ЧР). ЧР являются результатом возникновения в процессе эксплуатации локальных повышений напряженности приложенного электрического поля в объеме или на поверхности изоляции, превышающей ее электрическую прочность. Возрастание размеров дефектов под действием разнообразных факторов сопровождается увеличением интенсивности и числа ЧР во временные интервалы, а также понижением напряженности поля для возникновения ЧР, последнее эквивалентно изменению фазы переменного рабочего напряжения. В современных условиях возникла существенная необходимость дистанционного бесконтактного контроля рабочего состояния высоковольтного оборудования, особенно ВИ.

Регистрация электромагнитных импульсов ЧР (рис.1) осуществляется электромагнитным датчиком, в данном случае направленной антенной, позволяющим детектировать импульсы в интервале частот 0,5-600 МГц. Регистрация акустических импульсов осуществляется акустическим датчиком, которым является активная параболическая антенна, работающая на частоте 40 кГц. Выбор частоты измерений был обоснован такими факторами как частотная зависимость затухания волн, производственные шу-

мы и электромагнитные помехи окружающего электрического оборудования. Так акустические шумы доминируют в низкочастотной области (20 Гц-20 кГц), верхний частотный предел ограничен частотной зависимостью затухания, ( $f \geq 100$  кГц). В интервале 35-45 кГц, как показали эксперименты, при отношении сигнал /шум  $\approx 2$ , акустические импульсы от ЧР регистрируются на расстоянии 15-25м. С учетом низкочастотных производственных электромагнитных помех в диапазоне (50-200 МГц) и выше 600 МГц, наиболее предпочтительными для электромагнитной регистрации ЧР являются полосы 20-50 МГц и 400-550 МГц, причем интенсивность сигналов ЧР значительно выше во второй полосе, чем в первой.

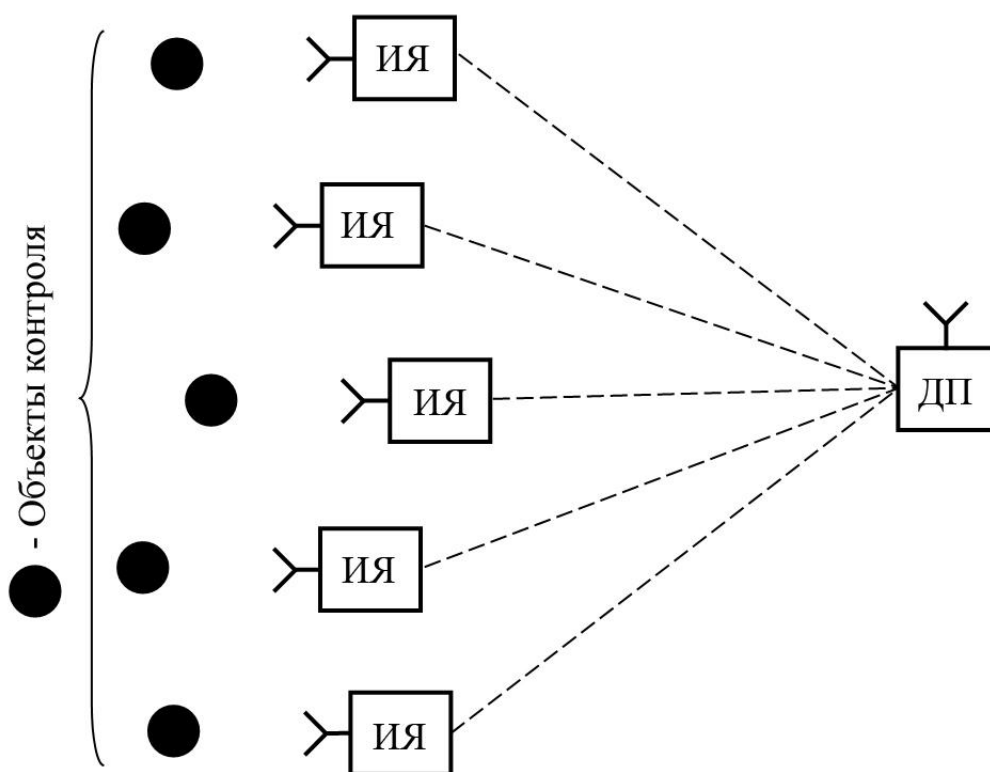


Рис.1. Схематичное расположение измерительного комплекса:  
ИЯ – измерительная ячейка, ДП – диспетчерский пункт

При использовании направленной антенны комплекс обеспечивает локализацию источника сигналов с точностью до 1 – 2 метров с расстояния 5 – 10 метров даже в полевых условиях при большом количестве источников сигналов и отражающих поверхностей. В диапазоне СВЧ уровень помех значительно ниже и можно использовать антенны с высокой степенью направленности обеспечивающие локализацию источника сигналов в хороших условиях с точностью локализации порядка 0,5 метра. Эти датчики наиболее чувствительны к дефектам в наружных частях оборудования.

Входящий в состав комплекса акустический датчик, позволяет провести довольно точную локализацию источника сигналов внутри объекта низкочастотных ЧР. При этом измеряется задержка момента прихода акустического импульса относительно электрического сигнала в нескольких точках оборудования и, на основании этого, вычисляется ориентировочное положение источника с учетом конструкции конкретного объекта. Акустические датчики практически не подвержены внешним помехам на силовом оборудовании подстанций.

Схематичное расположение измерительных ячеек в составе комплекса с объектами измерения приведено на рис.1. Акустические и электромагнитные датчики, подключенные к АЦП с модулем беспроводной сети автоматизации процессов (далее – БСАП), помещаются рядом с объектом контроля. Данные, получаемые от датчиков (далее – ИЯ), посредством модуля БСАП собираются и передаются на диспетчерский пункт (далее – ДП).

Модуль БСАП представляет собой микроконтроллерное устройство с радиопередатчиком, работающим по стандарту IEEE 802.15.4 на программном обеспечении собственного производства [2]. В зависимости от прикладных задач, модуль БСАП может использоваться отдельно как радиопередающее устройство, так и с шлюзованием данных на нужный протокол (USB, RS-485, PLC и т.д.) [3, 4].

Рассмотрим процесс регистрации ЧР подробнее. На рис.2 приведена блок-схема измерительного устройства.

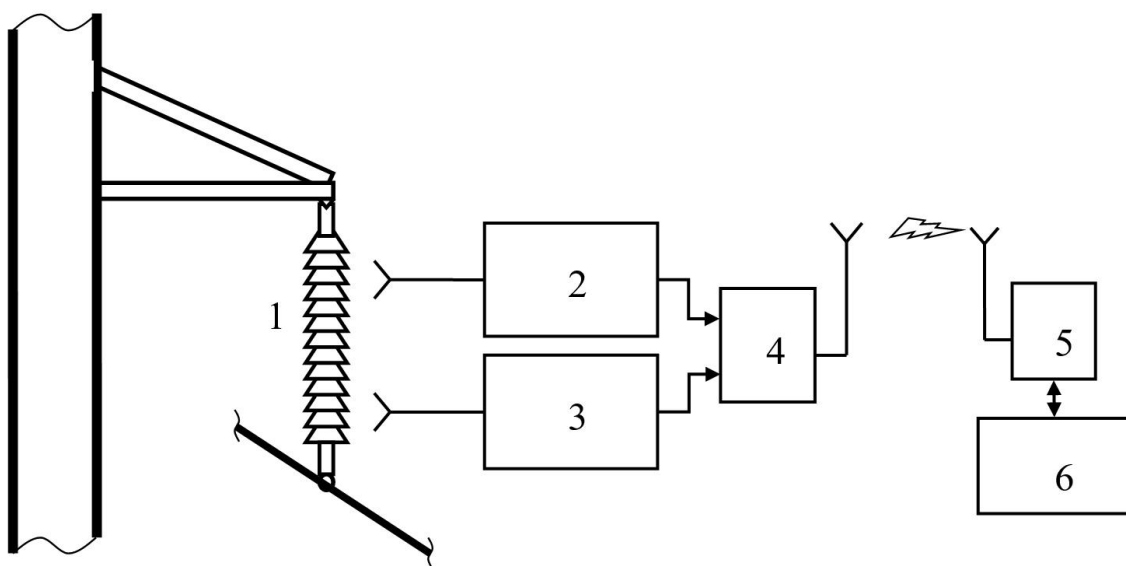


Рис.2. Блок-схема измерительного устройства: 1 – высоковольтный изолятор; 2 – приемник электромагнитных сигналов; 3 – приемник акустических

сигналов; 4 – аналого-цифровой преобразователь с модулем БСАП; 5 – модуль БСАП с интерфейсом USB; 6 – персональный компьютер.

Совокупность блоков 2, 3 и 4 образуют измерительную ячейку, которая установлена рядом с объектом исследования – высоковольтным изолятором (поз.1 на рис.2). Блок 4 на рис.2 представляет собой аналого-цифровой преобразователь для преобразования данных, поступающих с датчиков 1 и 2. АЦП соединен с модулем БСАП по интерфейсам I<sup>2</sup>C, SPI или UART/USART. Модуль БСАП передает получаемые данные на диспетчерский пункт по радиоканалу 2,4 ГГц. К ПК, установленному на диспетчерском пункте, по интерфейсу USB подключен модуль БСАП, который принимает поступающие по радиоканалу данные с измерительной ячейки (поз. 2, 3 и 4 на рис.1). Надёжная связь между соседними устройствами может осуществляться на расстоянии до 1000 метров при расположении соседних устройств в пределах прямой видимости, что может быть использовано в случае выхода из строя одного или нескольких устройств, так как есть возможность передавать информацию, минуя неисправные звенья.

На ПК происходит сбор информации, ее запись и последующая обработка информации об амплитуде, частоте повторения и фазе сигналов с помощью разработанной программы способом бесконтактной диагностики высоковольтных полимерных изоляторов [5]. Накопление сигналов по узким фазовым интервалам (порядка 20 град.) происходит в течение 18 с, вполне удовлетворяет стохастическому характеру возникновения ЧР.

Процесс обработки сигналов ЧР заканчивается построением следующих характеристик: амплитуд и числа импульсов в каждом фазовом интервале и распределения числа импульсов по амплитудам. Результаты обработки данных представлены в статьях [1], [6].

Полученное фазовое распределение параметров импульсов сравнивается с ранее записанным распределением параметров импульсных сигналов для (бездефектного) ВИ того же типа [6]. Поскольку скорости распространения электромагнитных и акустических импульсов отличаются на несколько порядков, то для их синхронизации с каждым конкретным фазовым интервалом используется блок фазовой синхронизации, учитывающий расстояние между дефектом и датчиками.

Выявление дефектных изоляторов из общей системы высоковольтных изоляторов, находящихся под рабочим напряжением и расположенных на определенных расстояниях друг от друга на распределительных узлах и подстанциях, представляет весьма сложную задачу. Исходя из этих условий нами, был разработан переносной комплекс для измерения и локализации мест возникновения ЧР на изоляторах с возможностью передачи информации с помощью модуля беспроводной сети автоматизации процессов.

Разработан комплексный двухканальный метод дистанционной диагностики рабочего состояния высоковольтных изоляторов, основанный на одновременной регистрации, передачи и последующей компьютерной обработке сигналов частичных разрядов, детектированных электромагнитным и акустическим датчиками.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта №18-08-00203.

Список литературы:

1. Голенищев-Кутузов А. В., Голенищев-Кутузов В. А., Иванов Д. А., Хуснутдинов Р. А., Марданов Г. Д. Комплексный метод дистанционного контроля состояния высоковольтных изоляторов // Известия вузов. Проблемы энергетики, 2016. – № 5-6. С. 87–93.

2. D. A. Yaroslavsky, D. A. Ivanov, M. F. Sadykov, M. P. Goryachev, O. G. Savelyev and R. S. Misbakhov, 2016. Real-Time Operating Systems for Wireless Modules. Journal of Engineering and Applied Sciences, 11: 1168-1171. DOI: 10.3923/jeasci.2016.1168.1171.

3. D. A. Ivanov, A. V. Golenishchev - Kutuzov, D. A. Yaroslavsky and M. F. Sadykov Portable complex for remote control of high-voltage insulators using wireless data collection and transmission module. ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences, 13(6), 2018, pp. 2358–2362.

4. Yaroslavsky, D. A., Sadykov, M. F., Konov, A. B., Ivanov, D. A. and Goryachev, M. P. Methodology of ice coating monitoring on overhead transmission lines considering misalignment using wireless communication channel sensors. ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences, 12(22), 2017, pp. 6479–6482.

5. Способ бесконтактной диагностики высоковольтных полимерных изоляторов: пат. 2483315 Российская Федерация. МПК GOIR 31/12 / Голенищев-Кутузов В. А., Голенищев-Кутузов А. В., Евдокимов Л. И., Черномашенцев А. Ю.; опубл. 2013.

6. Голенищев-Кутузов А. В., Голенищев-Кутузов В. А., Иванов Д. А., Марданов Г. Д. Дистанционный контроль технического состояния фарфоровых высоковольтных изоляторов // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики, 2018. – Т. 20. № 3-4. С. 99–107.