

*Е.Д. КИМ, Я.Е. КОРОСТЕЛЕВ*

## НАПРЯЖЕНИЕ КАК ПАРАМЕТР ДИАГНОСТИКИ СОСТОЯНИЯ ОПН

Рассматривается альтернативный метод диагностики ограничителей перенапряжений (ОПН) на основе оксида цинка – варистора в полевых условиях, параметром контроля которого принимается напряжение на разряднике. В качестве датчика измерения напряжения предложен конденсатор, присоединяемый последовательно к разряднику. Электрическое старение активных элементов – варисторов, ухудшение изоляции покрышки разрядника и другие виды электрического повреждения приведут к увеличению напряжения на конденсаторе, величина которого может быть измерена непосредственно или запасенная на конденсаторе энергия, преобразованная в электромагнитное излучение, зарегистрировано дистанционно соответствующими радиоволновыми приемниками. Последовательно присоединенный к ОПН конденсатор также служит элементом ограничения тока утечки в рабочем режиме в течение всего периода эксплуатации разрядника. Простейшим, вместе с тем надежным индикатором может служить стандартный стеклянный (керамический) изолятор тарельчатого типа, зашунтированный искровым промежутком, таким образом, представляющий собой слаботочный искровой разрядник с наперед заданным пороговым напряжением срабатывания. С использованием современных технологий может быть разработана система непрерывного отслеживания за состоянием разрядников и определения месторасположения повреждаемого разрядника, что особенно актуально при обслуживании отдаленных электрических сетей, оснащенных такого рода защитными от перенапряжений аппаратами.

**Ключевые слова:** ограничитель перенапряжений, варистор, мониторинг, электрическое старение, токи утечки, накопитель электрической энергии, искровой разряд.

*Є.Д. КИМ, Я.Є. КОРОСТЕЛЄВ*

## НАПРУГА ЯК ПАРАМЕТР ДІАГНОСТИКИ СТАНУ ОПН

Розглядається альтернативний метод діагностики обмежувачів перенапруг (ОПН) на основі оксиду цинку - варистора в польових умовах, параметром контролю якого приймається напруга на розряднику. Як датчик вимірювання напруги запропоновано конденсатор, що приєднується послідовно до розряднику. Електричне старіння активних елементів - варисторів, погіршення ізоляції покриття розрядника і інші види електричного пошкодження приведуть до збільшення напруги на конденсаторі, величина якого може бути виміряна безпосередньо або збережена на конденсаторі енергія, перетворена в електромагнітне випромінювання, зареєстровано дистанційно відповідними радіохвильовими приймачами. Послідовно приєднаний до ОПН конденсатор також служить елементом обмеження струму витoku в робочому режимі протягом всього періоду експлуатації розрядника. Найпростішим, разом з тим надійним індикатором може служити стандартний скляний (керамічний) ізолятор тарельчастого типу, зашунтований іскровим проміжком, таким чином, представляє собою слабострумний іскровий розрядник з наперед заданим пороговим напругою спрацьовування. З використанням сучасних технологій може бути розроблена система безперервного відстеження за станом розрядників і визначення місця розташування ушкодженого розрядника, що особливо актуально при обслуговуванні віддалених електричних мереж, оснащених такого роду захисними від перенапруг аппаратами.

**Ключові слова:** обмежувач перенапруг, варистор, моніторинг, електричне старіння, струми витoku, накопичувач електричної енергії, іскровий розряд.

*E.D. KIM, I.E. KOROSTELEV*

## VOLTAGE CHARACTERISTIC AS A PARAMETER FOR SURGE ARRESTER DIAGNOSING

An alternative method for field MOV surge arresters diagnosing was observed, the controlled characteristic was the surge voltage of a gap arrester. The condenser that was connected in series with gap arrester was applied as voltage measurement sensor. Electrical aging of active elements (MOV), surge arrester insulation degradation and other types of electric faults causes to voltage increase at capacitor. The voltage value can be measured directly or the energy stored in capacitor can be transformed to electromagnetic signal and, then, registered remotely by specific radio transceiver. The capacitor connected in series with the surge arrester can also be used for leakage current limitation during all the life period of surge arrester. Shunted with a spark gap and presented as the low-current gap arrester with pre-saturated discharge voltage glass (porcelain) pin-cap insulator can be the simplest, but reliable sensor. Taking into consideration modern technologies the surge arrester statement continuous monitoring system can be designed. It also allows locating the place of damaged arrester that is particularly true for remote maintenance of equipped with surge protection devices electrical

**Keywords:** surge arrester, metal oxide varistor, monitoring, electrical aging, leakage current, condenser, energy storage device, discharge.

**Введение.** На сегодня наиболее эффективным аппаратом защиты оборудования электрических сетей от различного рода перенапряжений являются ограничители перенапряжений – ОПН, выполненные на основе высоконелинейных металлооксидных резисторов – варисторов. Варисторы последних десятилетий, выпускаемые известными производителями, вследствие совершенствования технологий, относятся к «нестареющим» устройствам. Подразумевается, что они становятся со временем более термически устойчивыми и отказ разрядника в результате старения варисторного блока маловероятен. Но вместе с тем на практике имеет место выход со строя ОПН. Полагают, что наблюдаемое снижение электрической прочности ОПН и последующее его разрушение могут быть провозицированы совокупностью сочетания следующих

основных факторов [1-3]:

- нарушение герметичности конструкции, приводящее к конденсации влаги на пограничной поверхности и как следствие электрическое повреждение внутренней изоляции;
- длительное термическое воздействие рабочим напряжением и квазистационарным повышенным напряжением;
- кумулятивный эффект протекания импульсов тока грозовых и коммутационных напряжений при срабатывании разрядника;
- ошибка в выборе электроэнергетических параметров ОПН.

### Применяемые методы мониторинга ОПН.

Предприятия, выпускающие ограничители перенапряжений, как правило, рекомендуют оснащать си-

стемами непрерывного контроля за состоянием разрядника собственной разработки или из имеющихся на рынке устройств. Возможны различные способы диагностики ОПН, они основаны на измерение тока утечки через разрядник в сочетании с термографированием, поскольку явление электрического старения, так или иначе, сопровождается с увеличением тока и мощности потерь [1-3].

В эксплуатации нашли широкое применение два способа измерения тока утечки ОПН в онлайн режиме: измерение полного тока – например, устройство беспроводного дистанционного измерения «ОПН-Визор II» [4]; измерение активного тока третьей гармоники (и 5-й) для диагностики более ранней стадии старения, например, система «СКАТ-3 (4)» и «ОПН-монитор» [5, 6]. Эти устройства, как правило, оснащены также счетчиками импульсных токов перенапряжений, протекающих через разрядники при их срабатывании.

В номинальном режиме работы разрядника в измеряемом токе утечки в значительной мере доминирует емкостная составляющая, активная составляющая тока не превышает 5-20 % емкостного тока, что соответствует приблизительно от 10 до 600 мкА [3, 7]. Поскольку фактором старения является значение активного тока, то индикация ОПН измерением полного тока предполагает выявление поздней стадии старения разрядника, при которой активный ток утечки превышает емкостную составляющую. Следует отметить, что на сегодня значения критического для ОПН устанавливает производитель, и они интерпретируются неоднозначно. Вместе с тем рекомендуются детальная проверка с отключение от сети разрядника при превышении тока проводимости выше одного миллиампера.

Метод контроля измерением 3-й гармонической составляющей тока утечки основывается на нелинейности вольтамперной характеристики варистора. Высшая гармоническая составляющая тока утечки коррелируются с активным током, поэтому результаты отслеживания за изменением 3-й гармонической составляющей тока утечки несет в себе более достоверную информацию о состоянии разрядника. Основная проблема метода заключается в чувствительности к гармоническим составляющим напряжения сети, порождающим емкостные токи, соизмеримые с контролируемым током [1-7].

Базовая версия 3EX5 080-0 устройства Siemens Energy обеспечивает широкий диапазон стандартных функций, включая измерение общего тока утечки и анализа 3-й гармоники с компенсацией сетевых гармоник, температурной коррекций и индикацией состояния с помощью светодиодов [8]. По мере развития концепции интеллектуальной сети малобюджетные инструменты диагностики станут обязательными не только для подстанционного оборудования, но отдаленных от сервисного центра объектов [9]. Поэтому методы оценки состояния разрядников для защиты от перенапряжений продолжают совершенствоваться и далее.

**Цель исследования:** обоснование эффективности непрерывного контроля электрического состояния ОПН, при котором в качестве параметра индикации

является напряжение на конденсаторе, присоединяемого последовательно с разрядником. Аналогичный прием был предложен для ранней онлайн диагностики линейных полимерных изоляторов [10].

**Исходные данные.** Для определенности в начале качестве нелинейного резистора были взяты варисторы известного производителя варистора EPCOS, E48R153E:  $\varnothing = 48$  мм - диаметр;  $h = 40,5$  мм – высота;  $U_{н.р} = 4,6$  кВ – наибольшее длительно допустимое рабочее напряжение; ОПН 35 кВ в полимерном корпусе, выполненный из 9 последовательно соединенных этих варисторов с наибольшим длительно допустимым напряжением 40, 5 кВ.

На рис. 1 приведен пример экспериментально установленного начального участка вольтамперной характеристики (ВАХ) рассматриваемого варистора, соответствующего нормальному рабочему режиму. Результаты измерений и расчетов показывают хорошую сходимость с опубликованными данными [11]: на первом участке ВАХ рис. 1 ток утечки возрастает практически линейно с увеличением напряжения и носит емкостной характер ( $I_{ем}$ ). С приближением напряжения к длительно допустимому  $U_{н.р}$  наблюдается существенное возрастание измеряемого общего тока  $I_{общ}$ , что обусловлено проявлением нелинейности резистора и активная составляющая тока  $I_{акт}$  превалирует емкостную составляющую. При  $U_{н.р} = 4,6$  кВ –  $I_{общ} \approx I_{акт} \approx 2$  мА.

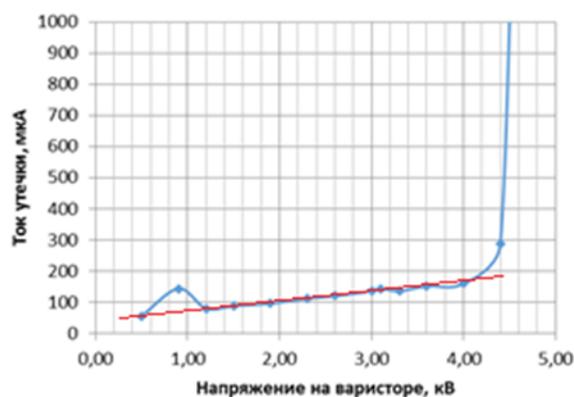


Рис. 1. Начальная область вольтамперной характеристики варистора

С учетом опубликованных данных принимаем следующие возможные эквивалентные параметры варисторов в рассматриваемом участке ВАХ:  $\epsilon_v \in 320 \div 850$  – относительная диэлектрическая проницаемость;  $\rho_v \in 10^5 \div 10^8$  Ом.м – удельное сопротивление.

**Электрический расчет ОПН 35 кВ с последовательно соединенным конденсатором.** Для наглядности обоснования цели исследования рассмотрим ОПН 35 кВ, для которого можно пренебречь влиянием паразитных емкостей на распределение потенциала вдоль разрядника. Кроме того энергетические расчеты выполним по упрощенной схеме замещения разрядника (рис. 2) для переменного синусоидального тока, широко используемой в инженерных анализах [11].

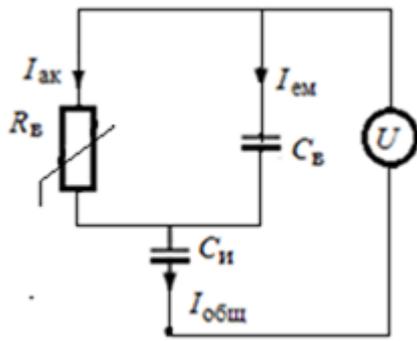


Рис. 2. Упрощенная расчетная схема замещения

Для электрической цепи с сосредоточенными параметрами (рис. 2) получаем следующие выражения токов в действующих значениях:

$$\left. \begin{aligned} I_{ак} &= \frac{U}{Z} \\ I_{ем} &= \frac{UR_в\omega C_в}{Z} \\ I_{общ} &= \sqrt{I_{ак}^2 + I_{ем}^2} \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

где

$$Z = \sqrt{R_{опн}^2 \left(1 + \frac{C_{опн}}{C_и}\right)^2 + \left(\frac{1}{\omega C_и}\right)^2};$$

$\omega = 2\pi f$  –угловая частота напряжения сети;

$C_{опн}$  и  $R_{опн}$  –эквивалентные емкость и сопротивление варисторного блока разрядника:

$$\left. \begin{aligned} C_{опн} &= \varepsilon_в \varepsilon_0 \frac{S = \pi(\phi/2)^2}{9h} \\ R_{опн} &= \rho_в \frac{9h}{S = \pi(\phi/2)^2} \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

Полагая,  $C_и \rightarrow \infty$  в формулах токов (1), приходим к решению задачи при отсутствии конденсатора - индикатора:

$$I_{ак} = \frac{U}{R_{опн}}; \quad I_{ем} = U\omega C_{опн} \quad (3)$$

На рис. 3 сопоставлены изменения расчетных токов с внешним конденсатором (б) и без него (а). При расчетах было принято:  $\varepsilon_в = 850$ , что соответствует верхнему измеренному значению диэлектрической проницаемости;  $C_и = 45$  пФ –величина емкости конденсатора индикатора, соизмеримая с емкостью варисторного блока ОПН;  $U = 40,5$  кВ.

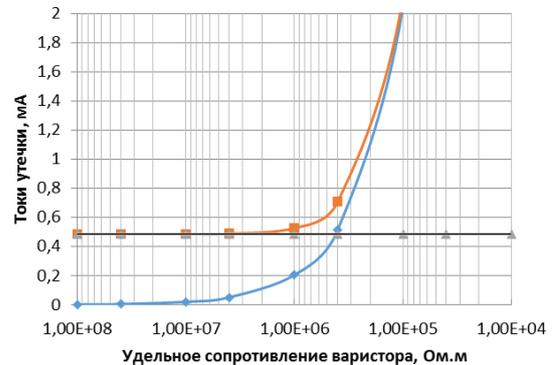
По рис. 3 можно сделать предварительные ожидаемые выводы:

- последовательно включенный к ОПН конденсатор приводит к ощутимому ограничению токов утечки через ОПН при тех же величинах приложенного напряжения и удельной проводимости варисторов;

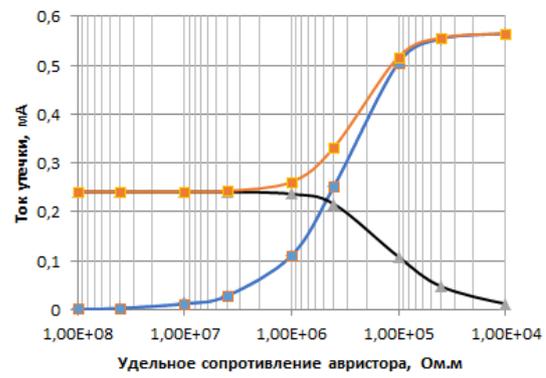
- другим ожидаемым эффектом последовательно присоединенного конденсатора является компенсация емкостного тока в области крутого возрастания активного тока, при удельных сопротивлениях варисторов ниже значения:  $\rho_в \leq 1 \cdot 10^6$  Ом.м.

Оценим перераспределение приложенного напряжения между ОПН,  $U_{опн}$ , и конденсатором индикатора,  $U_{ин}$ :

$$\left. \begin{aligned} U_{ин} &= \frac{I_{общ}}{\omega C_{ин}} = U \frac{\sqrt{1 + (R_{опн}\omega C_{опн})^2}}{\omega C_{ин} Z} \\ U_{опн} &= R_{опн} I_{ак} = \frac{UR_{опн}}{Z} \end{aligned} \right\} \quad (4)$$



а



б

Рис. 3 Расчетные токи утечки:  
а - без конденсатора; б - с конденсатором

На рис. 4 показаны распределения приложенного напряжения для рассматриваемого примера в зависимости от удельного сопротивления варисторов. Они иллюстрируют следующий эффект наличия конденсатора в цепи ОПН - резкое вытеснение потенциала в сторону индикатора в области возрастания активного тока при  $\rho_в \leq 1 \cdot 10^6$  Ом.м, что соответствует граничной проводимости проявления нелинейности резисторов (см. рис. 1, рис. 3а). Следовательно, можно допустить, что контроль за состоянием разрядника осуществлять отслеживанием напряжения на индикаторе, величина которого коррелируется проводимостью варисторов, следовательно, активным составляющим тока утечки.

Установим взаимосвязь между емкостью индикатора и диэлектрическим характеристиками варисторов. Поделив напряжения на индикаторе (4) на приложенное напряжение, получаем долю напряжения, приходящее на индикатор при различных удельных сопротивлениях варисторов:

$$\bar{U}_{ин} = \frac{U_{ин}}{U} = \frac{\bar{C}_{ин} \sqrt{1 + (\varepsilon\varepsilon_0\omega\rho)^2}}{\varepsilon\varepsilon_0\omega\rho \sqrt{(1 + \bar{C}_{ин})^2 + \left(\frac{\bar{C}_{ин}}{\varepsilon\varepsilon_0\omega\rho}\right)^2}}, \quad (5)$$

где  $\bar{C}_{ин} = C_{опн}/C_{ин}$ .

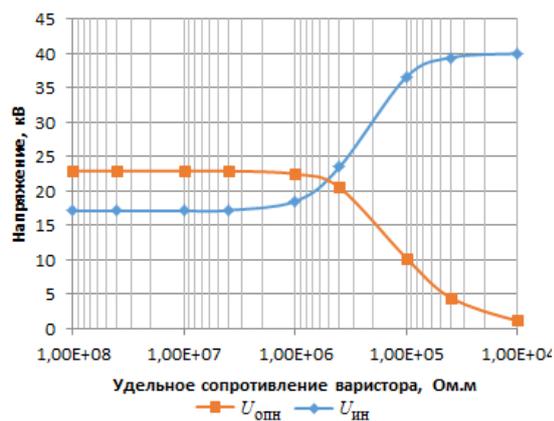


Рис. 4. Перераспределение напряжения между ОПН и индикатором

Из последней формулы вытекает, что перераспределение напряжения сети при выбранной величине емкости индикатора, зависит только от диэлектрических характеристик варистора (рис. 5).

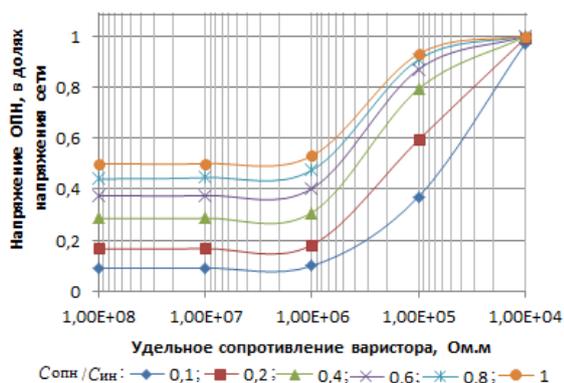


Рис. 5. Изменение напряжения на индикаторе от удельного сопротивления варисторов при различных соотношениях емкостей

**Результаты предварительного опыта.** Для оценки правомерности предложенного подхода были выполнены следующие опыты, измерены вольтамперные характеристики ОПН35, собранного на варисторах HengDa D46H22 с диэлектрической проницаемостью  $\epsilon = 700 \div 900$ , близкой варисторов фирмы EPCOS. Измерения ВАХ разрядника выполнялись без конденсатора - индикатора и с последовательно присоединенным индикатором с различной емкостью (рис. 6). По результатам измерений оценивалась доля напряжения, приходящая на индикатор, при этом были приняты следующие допущения для линейного участка ВАХ: емкость ОПН остается неизменной; проводимость определяется только величиной напряженности поля, в нашем примере, от напряжения на ОПН; фазы напряжений на разряднике и на конденсаторе индикатора практически совпадают.

Для принятых допущений можно считать, что приложенное напряжение равно арифметической сумме напряжений ОПН и индикатора:

$$U = U_{\text{опн}} + U_{\text{ин}} \quad (6)$$

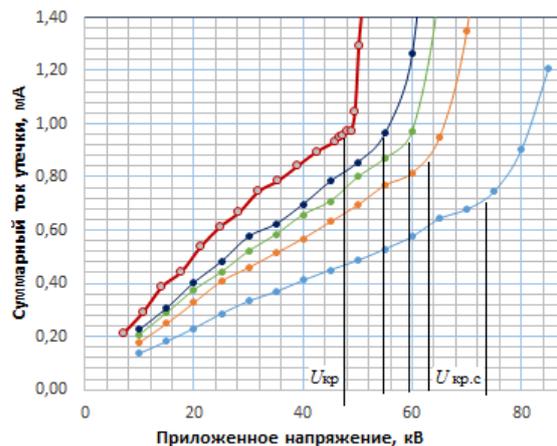


Рис. 6. Вольтамперные характеристики ОПН с емкостным индикатором

Из вольтамперной характеристики исходного разрядника (рис. 6,  $C_{\text{опн}}/C_{\text{ин}} = 0$ ) устанавливаем критическое напряжение  $U_{\text{кр}}$ , при котором наблюдается резкое проявление нелинейности (возрастание тока утечки):  $U_{\text{кр}} \cong 47$  кВ.

В случае присоединения индикатора ( $C_{\text{опн}}/C_{\text{ин}} \neq 0$ ), как видим из рис. 6, критическое напряжение  $U_{\text{кр.с}}$  для всей схемы смещается в большую сторону, на величину напряжения на индикаторе:

$$U_{\text{кр.с}} = U_{\text{ин}} + U_{\text{кр}} \quad (7)$$

Установленная, согласно (7), зависимость напряжения на индикаторе от соотношения емкостей  $C_{\text{опн}}/C_{\text{ин}}$  приведена на рис. 7. Там же изображена аналогичная зависимость, которая получена по результатам расчетного анализа для критического удельного сопротивления  $\rho_v \approx 1 \cdot 10^6$  Ом.м (см. рис. 5). Сопоставляя эти кривые можно констатировать о качественной их сходимости, что служит доводом о работоспособности приведенных соотношений.

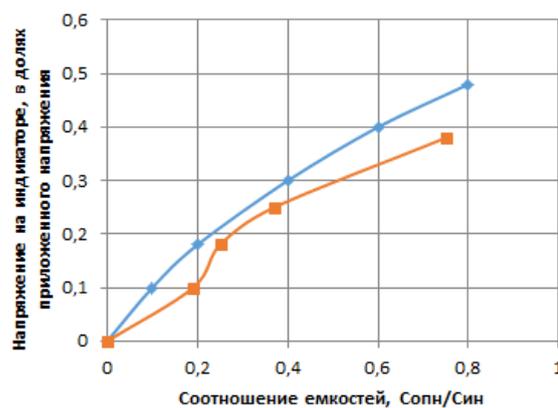


Рис. 7. Напряжение на индикаторе в зависимости от величины емкости

**Выбор емкости индикатора. Применение.** В первом приближении величину емкости индикатора выбираем на основе выражение (5) для условия  $\rho_v > 1 \cdot 10^6$ , что соответствует линейному участку вольтамперной характеристики ОПН. При известном рабочем напряжении разрядника по зависимостям рис. 5 (см. пологую область) можно оценить степень вытеснения потенциала от разрядника к индикатору с

ухудшением состояния по проводимости варисторов. Чем меньше начальное напряжение на индикаторе, или же чем больше его емкость, тем выше кратность прогнозируемого возрастания контролируемого напряжения. В тоже время следует учитывать, что энергия, запасаемая индикатором, находится в обратной зависимости от величины его емкости.

Очевидно, емкость индикатора и само устройство – конденсатор, должны быть выбраны из условий эксплуатации ОПН, эффективности его контроля, реализуемости и надежности. Напряжение на индикаторе возможно измерено с помощью, например, электростатического киловольтметра непосредственно без отключения от сети в условиях эксплуатации ОПН для защиты наземных объектов.

Одним из действенных мер для защиты от атмосферных перенапряжений воздушных линий (ВЛ), проходящих в районах с неудовлетворительным сопротивлением заземления опор, с высокой грозовой интенсивностью, на компактных линиях является ОПН [12]. Вследствие протяженности линий и дальности расположения мониторинг измерением токов утечки представляется мало эффективным. Контроль осуществляется с помощью отделителей, которые отключают от сети полностью поврежденных разрядников, создавая при этом видимый разрыв.

В таких условиях при альтернативном способе в качестве датчика контроля напряжения ОПН могут быть использованы стандартные тарельчатые изоляторы, емкость которых составляет 40 пФ и более в зависимости от типа, что соизмерима емкостью ОПН. Энергия, эквивалентная напряжению индикатора, может быть преобразована в электромагнитные излучения, регистрируемые соответствующими радиоприемниками, таким образом, осуществлен непрерывный дистанционный контроль за состоянием разрядника.

#### Выводы:

- состоятельность способа диагностики ОПН, посредством контроля напряжения на последовательно присоединяемом к разряднику конденсаторе;

- к эффективности в сравнении с известным методом измерения тока утечки можно отнести ограничение длительно протекающего тока утечки в нормальном режиме эксплуатации разрядника и частичная компенсация емкостной составляющей тока, как следствие, повышение информативности диагностики;

- простота визуализации и обнаружения ОПН в критическом состоянии, невысокие расходы на реализацию.

#### Список литературы

- 1 Демьяненко К.Б. Нужна ли диагностика ОПН в процессе эксплуатации? <https://polymer-apparat.ru/articles/techinfo/diagnostikaopn>
- 2 Дмитриев В.Л., Красавина М.А. "Старение" варисторов в процессе эксплуатации ОПН"/ Журнал «Новости Электротехники», №1 (61) 2010.

- 3 Monitoring Condition of Surge Arresters <https://www.inmr.com/monitoring-condition-surge-arresters/>
- 4 М.Ю. Шумилов. Беспроводные приборы для непрерывной диагностики ОПН в эксплуатации типа «ОПН-Визор-II LR» с возможностью передачи данных на большое расстояние. <https://szvi.biz/articles=5>
- 5 Особенности контроля состояния ограничителей перенапряжений нелинейных на местах их эксплуатации. <https://www.elec.ru/publications/peredacha-raspredelenie-i-nakoplenie-elektroenergi/1536/>
- 6 Прибор мониторинга ОПН «ОПН-Монитор». [https://dimrus.com/manuals/opn\\_um.pdf](https://dimrus.com/manuals/opn_um.pdf)
- 7 IEC 60099-5:2000 Surge arresters – Part 5: Selection and application recommendations (MOD).
- 8 Siemens ACM-basic 3EX5 080-0 AND ACM-advanced 3EX5 080-1 Digital Monitoring devices. Air-insulated switchgear <https://www.dsgenterprisesltd.com/product/siemens-acm-basic-3ex5-080-0-and-acm-advanced-3ex5-080-1-digital-monitoring-devices-air-insulated-switchgear/>
- 9 Monitoring Condition of Surge Arresters. <https://www.inmr.com/monitoring-condition-surge-arresters/>
- 10 Е.Д. Ким, В.Н. Таран, Г.В. Залужная. Онлайн диагностика внутренней изоляции линейных полимерных изоляторов/ Вісник НТУ «ХП»: Енергетика: надійність та ергоєфективність: Харків 2019.- №29(1354) 2019.-С.81-87.
- 11 Novizon Novizon, Zulkurnain Abdul-Malek, Nouruddeen Bashi, Aulia Sayuti. Condition Monitoring of Zinc Oxide Surge Arresters/ In book: Practical Applications and Solutions Using LabVIEW&#8482; Software. August 2011. - pp. 253-270. doi:10.5772/23761.
- 12 А.С. Гайворонский. Линейные разрядники радикальное средство грозозащиты ВЛ. Новости электротехники -2006-№ 2(38).

#### References (transliterated)

- 1 Demyanenko K.B. Nuzhna li diagnostika OPN v processe ekspluatatsii? <https://polymer-apparat.ru/articles/techinfo/diagnostikaopn>.
- 2 Dmitriev V.L., Krasavina M.A. "Starenie" varistorov v processe ekspluatatsii OPN"/ Zhurnal «Novosti Elektrotehniki», №1 (61) 2010.
- 3 Monitoring Condition of Surge Arresters. <https://www.inmr.com/monitoring-condition-surge-arresters/>
- 4 M.Yu. Shumilov. Besprovodnye pribory dlya nepreryvnoy diagnostiki OPN v ekspluatatsii tipa «OPN-Vizor-II LR» s vozmozhnostyu peredachi dannyh na bolshoe rasstoyanie. <https://szvi.biz/articles=5/>
- 5 Osobennosti kontrolya sostoyaniya ogranichitelej perenapryazhenij nelinejnyh na mestah ih ekspluatatsii. Dostupen. na <https://market.elec.ru/nomer/45/osobennosti-kontrolya-sostoyaniya-ogranichitelej-p/>
- 7 IEC 60099-5:2000 Surge arresters – Part 5: Selection and application recommendations (MOD).
- 8 Siemens ACM-basic 3EX5 080-0 AND ACM-advanced 3EX5 080-1 Digital Monitoring devices. Air-insulated switchgear. <https://www.dsgenterprisesltd.com/product/siemens-acm-basic-3ex5-080-0-and-acm-advanced-3ex5-080-1-digital-monitoring-devices-air-insulated-switchgear/>
- 9 Monitoring Condition of Surge Arresters. <https://www.inmr.com/monitoring-condition-surge-arresters/>
- 10 E.D. Kim, V.N. Taran, G.V. Zaluzhnaya. Onlajn diagnostika vnutrennej izolyatsii linejnyh polimernih izolyatorov/ Visnik NTU «HPI»: Energetika: nadijnist ta eregoefektivnist: Harkiv 2019. –No 29(1354) 2019. - Pp.1-87.
- 11 Novizon Novizon, Zulkurnain Abdul-Malek, Nouruddeen Bashi, Aulia Sayuti. Condition Monitoring of Zinc Oxide Surge Arresters/ In book: Practical Applications and Solutions Using LabVIEW&#8482; Software August 2011. - pp. 253-270. doi:10.5772/23761.
- 12 A.S. Gajvoronskij. Linejnye razryadniki radikalnoe sredstvo grozozashity VL. Novosti elektrotehniki -2006-№ 2(38).

Поступила (received) 01.10.2021

#### Відомості про авторів/Сведения об авторах/About the Authors

**Кім Єн Дар (Kim En Dar, Kim En Dar)** – доктор технічних наук, професор кафедри, ЛНАУ, м. Слов'янськ; тел.: +38(050)3711941; orcid.org/0000-0002-0042-7974; e-mail: [ykim@meta.ua](mailto:ykim@meta.ua).

**Коростелев Ян Євгенович (Korostelev Ian Evgenievich)** – Начальник отдела НИОКР ООО «Форэнерго-Инжиниринг», г. Москва; тел.: +7(922)0112077; e-mail: [askerfog@yandex.ru](mailto:askerfog@yandex.ru).