

УДК 621.315

УСТРОЙСТВО ОПТИЧЕСКОЙ ИНДИКАЦИИ ДЕФЕКТА ВЫСОКОВОЛЬТНОЙ ИЗОЛИРУЮЩЕЙ КОНСТРУКЦИИ

Р.Н Балобанов¹, Д.К. Зарипов¹, Р.А. Насибуллин², С.М. Маргулис¹

¹Казанский государственный энергетический университет, г. Казань, Россия

²Казанский авиационный завод им. С.П. Горбунова – филиал ПАО Туполева
г. Казань, Россия
rassel_ipek@mail.ru

Резюме: В статье рассмотрена возможность использования оптического индикатора, устанавливаемого на изолирующие конструкции высоковольтных линий и подстанций, для контроля состояния изоляции. Описаны устройство и принцип работы оптического индикатора дефекта. Показана осуществимость индикации ранней стадии развития дефекта изоляции при установке индикатора как в качестве стационарного прибора, закрепленного непосредственно на изоляторе, так и в качестве переносного прибора, устанавливаемого на изолирующую штангу.

Ключевые слова: оптический индикатор, высоковольтная изоляция, дефект изоляции.

THE OPTICAL INDICATION DEFECT OF HIGH DESIGN ISOLATES

R.N.Balobanov¹, D.K. Zaripov¹, R.A. Nasibullin², S.M. Margulis¹

¹Kazan State Energy University, Kazan, Russia

²Kazan Aviation Plant. S.P Gorbunova - a branch of PSC Tupolev, Kazan, Russia
rassel_ipek@mail.ru

Abstract: The article discusses the possibility of using optical indicators mounted on insulating construction of high voltage lines and substations, for control of insulation condition. We describe the device and operation of an optical defect indicator. It shows the feasibility indication infancy insulation defect indicator when installing the device in a stationary, fixed directly on the insulator, and as a portable device mounted on an insulating rod.

Keywords: optical indicator, high-insulation, insulation defect

Введение

Повышение надёжности электроснабжения и обеспечение безопасности персонала при работе с электрическим оборудованием являются важными задачами энергетики. Не последнюю роль в их решении играет повышение надёжности изоляционных конструкций оборудования воздушных линий электропередачи (ВЛ) и подстанций (ПС). Основными причинами отказа изоляции ВЛ и ОРУ ПС являются пробой фарфоровой изоляции и разрушение стеклянных деталей изоляторов, снижение напряжения перекрытия изоляции вследствие загрязнения её поверхности, а также появление микротрещин в опорно-стержневых изоляторах. Отказы могут быть вызваны некачественным исполнением

изоляторов, нарушениями технологии монтажа, техногенными и климатическими воздействиями.

Действующими нормативными документами регламентируются объемы и виды технического обслуживания электрооборудования, в частности методы и нормы диагностики изоляционных конструкций. Однако существующие методы контроля не соответствуют современным требованиям. К тому же уменьшение численности персонала и времени, отводимого на реализацию профилактических мероприятий при отключенном оборудовании, остро ставит вопрос о создании методов контроля под рабочим напряжением.

В последнее время были сделаны попытки создания таких методов на основе контроля электромагнитного, ультразвукового, инфракрасного и ультрафиолетового излучения оборудования. Но, за исключением инфракрасного, они не имеют широкого распространения в практике работы энергосистем. Причиной тому была недостаточная помехозащищенность и, соответственно, низкая чувствительность и точность измерений. Таким образом, имеется проблема создания дистанционных методов контроля изоляционных конструкций ВЛ и ПС под рабочим напряжением. Поэтому создание новой аппаратуры и методик для данного контроля или усовершенствование старых является актуальным [1–7].

Совместный анализ рассмотренных выше методов контроля состояния изоляции подталкивает к необходимости создания системы контроля, которая бы сочетала в себе преимущества указанных методов. Одним из возможных шагов в этом направлении может быть рассмотренный в этой статье способ контроля состояния изолирующих конструкций, основанный на применении оптических индикаторов, устанавливаемых на изолирующие конструкции ВЛ и ОРУ. Созданные в последние годы светодиоды и жидкокристаллические индикаторы, светящиеся даже при токах в единицы микроампер, могут служить основой для рассматриваемых устройств. Как показали эксперименты, индикация этих устройств обнаруживается без дополнительных приборов визуально с земли, например в ходе очередных осмотров линий и подстанций. Возможно создание индикаторов, простых в изготовлении и которые не будут требовать дополнительного технического обслуживания.

Устройство и принцип работы индикатора

Если расположить индикатор дефекта на основе светодиода вблизи изолирующей конструкции, находящегося под напряжением, то электрическое поле создаст разность потенциалов между двумя его электродами. Величина наведенной на излучателе ЭДС протекающего через него тока и яркость свечения будут определяться напряженностью электрического поля. Поскольку распределение электрического поля и потенциала вдоль изолирующей конструкции изменяется при нарушении целостности отдельных ее участков, то дефектное состояние изолирующей конструкции может быть обнаружено по интенсивности свечения индикатора, установленного на участке изолирующей конструкции или вблизи на опоре [8].

Принцип работы оптического индикатора поясняется следующим. Распределение электрического поля и потенциала вдоль изолирующей конструкции изменяется при нарушении целостности отдельных ее частей. Разность потенциалов на поврежденном участке уменьшается, что вызывает увеличение напряжения вблизи неповрежденной части конструкции. Дефектное состояние изолирующей конструкции может быть обнаружено по интенсивности свечения индикатора, которая зависит от падения напряжения на его электродах и протекающего тока.

На рис. 1 упрощенно показана работа светового индикатора, внесенного в область действия переменного электрического поля вблизи изолятора, подвешенного на металлической опоре [9]. На рисунке схематично указан электрод I и электрическая связь индикатора с металлическими элементами конструкции. C – емкость электрода индикатора относительно высоковольтной части конструкции.

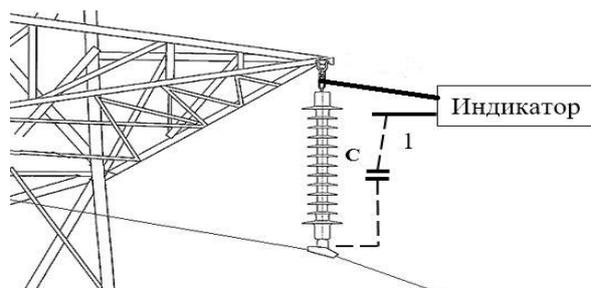


Рис. 1. Индикатор в электрическом поле вблизи изолятора

В ходе проектирования были разработаны две электрические схемы индикатора. Первая схема основана на компараторе *MCP 65R41* (рис. 2).

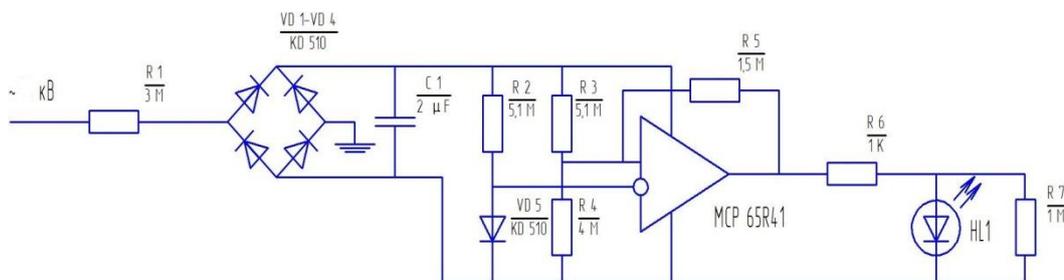


Рис. 2. Схема индикатора на основе компаратора

В этой схеме ток, наведённый на электроде, выполняющем функцию обкладки конденсатора, выпрямляется диодным мостом и, протекая через конденсатор *C1*, заряжает его. Цепь, состоящая из *R2* и *VD5*, создаёт опорное напряжение, которое подаётся на инверсный вход компаратора и задаёт, таким образом, порог срабатывания. На прямой вход компаратора подаётся напряжение, формируемое делителем построенном на *R3* и *R4*, которое пропорционально напряжению на *C1*. В процессе работы, напряжение на *C1* плавно нарастает до определённой величины. В этот момент напряжение на прямом входе, пропорциональное напряжению на *C1*, достигает порога срабатывания и компаратор переключается, открыв свой выходной транзистор и подав, тем самым, напряжение на светодиод *HL1*. Светодиод загорается. Ток, протекая через светодиод, разряжает *C1* и напряжение на конденсаторе начинает быстро падать, так как ток заряда конденсатора от электрода во много раз меньше тока разряда. Падает также напряжение и на прямом входе компаратора. Как только оно становится ниже порога срабатывания, компаратор переключается, прервав ток через светодиод. Светодиод гаснет. Конденсатор *C1* начинает заново заряжаться. Таким образом цикл заряда и разряда (выключения и включения светодиода) непрерывно повторяется. Резистор *R5* в схеме служит для задания требуемой величины гистерезиса на входе компаратора и определяет время включенного состояния светодиода. Резистор *R6* ограничивает ток через светодиод и также определяет время включенного состояния светодиода. Резистор *R7* шунтирует светодиод, позволяя конденсатору *C1* разряжаться даже если напряжение на светодиоде будет ниже порога его включения.

Вторая схема выполнена на основе динисторов (рис. 3). Особенностью данной схемы является возможность индикации частичных разрядов, возникающих в изоляции при повреждении и/или загрязнении.

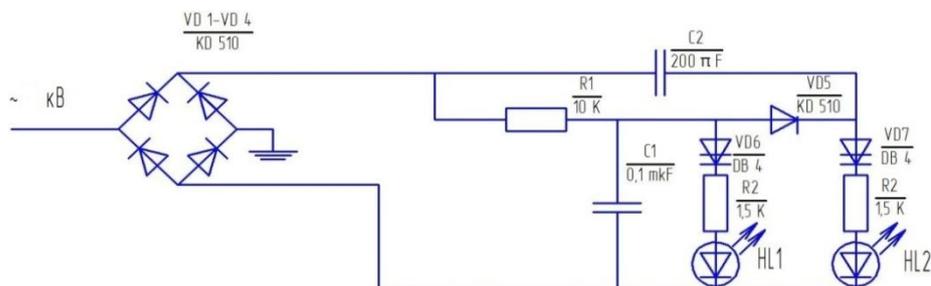


Рис. 3. Схема индикатора на основе динисторов

Схема состоит из двух контуров. Первый контур включает в себя следующие элементы: емкость $C1$, сопротивления $R1$ и $R2$, динистор $VD6$ и зеленый светодиод $HL1$. Второй контур состоит из емкости $C2$, сопротивления $R3$, динистора $VD7$ и красного светодиода $HL2$. Схема работает следующим образом. Диодный мост $VD1-VD4$ выпрямляет переменный ток. Этот ток заряжает емкость $C1$. По мере зарядки $C1$ напряжение на нем возрастает. Динистор $VD6$ при прямом включении не пропускает ток до тех пор, пока напряжение на его выводах не достигнет 30–40 В. Как только напряжение достигнет нужного значения, динистор открывается и заряд с емкости $C1$ разряжается на светодиод $HL1$, вследствие чего светодиод горит в импульсном режиме (длительность импульса зависит от выбранного сопротивления $R2$). При отсутствии разрядов всегда будет срабатывать только зеленый светодиод $HL1$, поскольку из-за падения напряжения на диоде $VD5$ динистор $VD7$ всегда будет закрыт. При определенной величине импульсов частичных разрядов напряжение на $VD7$ может превысить напряжение на $VD6$ и тогда он откроется первым и будет гореть красный светодиод $HL1$. Значение емкости $C2$ и сопротивления $R1$ подобраны таким образом, чтобы реагировать на появление коротких импульсов, вызванных частичными разрядами.

По описанным выше схемам были изготовлены экспериментальные образцы индикаторов, которые прошли испытания в высоковольтной лаборатории Казанского государственного энергетического университета. Внешний вид индикаторов показан на рис. 4.

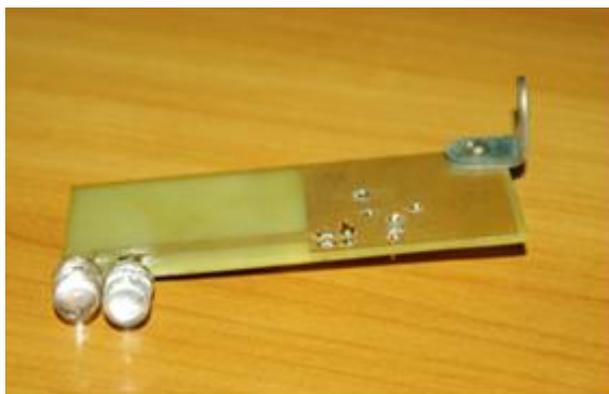


Рис.4. Внешний вид оптического индикатора

На снимке рис. 5 изображены два полимерных изолятора ЛК 70/35, подключенных к напряжению переменного тока 20 кВ, один из которых (правый) имеет дефект в виде продольного проводящего канала, шунтирующего часть конструкции (~30 %), а второй (левый) исправный. К верхним электродам обоих изоляторов прикреплены оптические

индикаторы дефекта. Наличие на правой изолирующей конструкции (рис. 4) дефектного участка вызвало появление частичных разрядов, о чем сигнализирует красный светодиод. Частота мерцания зеленого светодиода напрямую зависит от величины электрического поля на входном электроде индикатора, которое возрастает по мере снижения диэлектрических способностей изолятора.

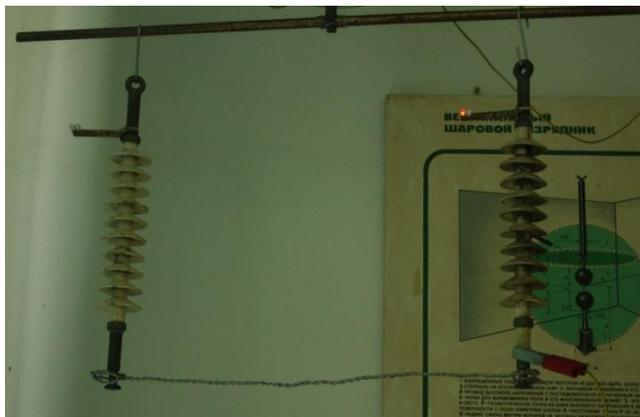


Рис. 5. Изображение дефектного и исправного полимерных изоляторов с установленными на них оптическими индикаторами

Результаты, полученные в лаборатории, позволили перейти к натурным экспериментам на реальных объектах энергосистемы. Испытания индикаторов проходили в ОРУ 110 кВ Казанской ТЭЦ-3 (ОАО «ТГК-16»). Индикатор дефекта (рис. 6) был установлен на изолирующую штангу и одним электродом приводился в соприкосновение с заземленной частью опорных изоляторов. На обследованных опорных изоляторах, как видно на рис. 6, наблюдалось достаточное яркое для обнаружения глазами при солнечном свете свечение индикатора.



Рис. 6. Индикатор дефекта у опорного изолятора в ОРУ 110 кВ

Выводы

В целом исследования показали возможность использования предложенного устройства оптической индикации для контроля изоляции. Данные индикаторы помогут при плановых осмотрах ОРУ и ВЛ. Их можно использовать как стационарные приборы, закрепленные непосредственно на изоляторе, так и в качестве переносного прибора, устанавливаемого на изолирующую штангу. Имеется потенциал совершенствования метода за счет установки на каждой гирлянде изоляторов одновременно нескольких индикаторов,

использования при осмотрах оптических приборов наблюдения и систем воздушного мониторинга. При разработке промышленных образцов индикаторов также должны быть решены проблемы устойчивости их к загрязнениям и неблагоприятным погодным условиям, грозовым и коммутационным перенапряжениям.

Литература

1. Симановский И.В. Индикатор пробоя полимерного изолятора / И.В. Симановский // Электротехника. 2013. № 6. С. 21–24.
2. G. Montoya, I. Ramirez, and J. I. Montoya, “Correlation among ESDD, NSDD and leakage current in distribution insulators,” Proc. Inst. Elect. Eng.—Gener., Transmiss. Distrib., vol. 151, no. 3, pp. 334–340, May 2004.
3. E. Fontana, S. C. Oliveira, F. J. M. M. Cavalcanti, R. B. Lima, J. F. Martins-Filho, and E. Meneses-Pacheco, “Novel system for leakage current detection on insulator strings of overhead transmission lines,” IEEE Trans. Power Del., vol. 21, no. 4, pp. 2064–2070, Oct. 2006
4. Гайфутдинова Э.Р., Усачев А.Е., Чернов К.П., Лопухова Т.В., Зацаринная Ю.Н. Особенности молниезащиты во время интенсивных осадков / Э.Р. Гайфутдинова, А.Е. Усачев, К.П. Чернов, Т.В. Лопухова, Ю.Н. Зацаринная // Вестник Казанского технологического университета. 2014. Т. 17, № 18. С. 193–195.
5. Пат. 2392679 Российская Федерация, МПК H01B17/00. Индикатор состояния высоковольтной изоляции / Старцев В.В., Любимов В.А., Соловьев Э.П., Солодков Ю.А. ; заявитель и патентообладатель – закрытое акционерное общество "Арматурно-изоляторный завод". № 2009122250/28; заявл. 10.06.09; опубл. 20.06.2010. 12 с.
6. Ультрафиолетовая и инфракрасная дефектоскопия изоляционных конструкций / Р.С. Арбузов и др. // Энергетик. 2004. № 8. С. 34–35.
7. Пат. 2305848 Российская Федерация, МПК G01R31/12. Способ дистанционной диагностики многоэлементной изолирующей конструкции / Алеев Р.М., Зарипов Д.К.; заявитель и патентообладатель – закрытое акционерное общество НПФ «Оптоойл». №2006101129/28; заявл. 12.01.06; опубл. 10.09.2007. 11 с.
8. Пат. 2517776 Российская Федерация, МПК G01R31/08. Способ оптической дистанционной диагностики изолирующей конструкции/ Зарипов Д.К.; заявитель и патентообладатель Зарипов Д.К. № 2012151785/28; заявл. 03.12.2012; опубл. 27.05.2014 6 с.
9. Зарипов Д.К., Балобанов Р.Н. Индикатор дефекта высоковольтной изолирующей конструкции / Д.К. Зарипов // Электротехника. 2016. № 6. С. 16–21.

Авторы публикации

Балобанов Руслан Николаевич – аспирант кафедры «Электрические станции» (ЭС) Казанского государственного энергетического университета (КГЭУ). E-mail: rassel_ipek@mail.ru.

Зарипов Дамир Камилевич – канд.техн.наук, доцент кафедры «Электрические станции» (ЭС), Казанского государственного энергетического университета (КГЭУ). E-mail: dzaripov@mail.ru,

Насибуллин Рустем Анасович – канд.техн.наук, начальник бюро Казанского авиационного завода им. С.П. Горбунова – филиал ПАО Туполева.

Маргулис Сергей Михайлович – канд.техн.наук, заведующий кафедрой «Электрические станции» (ЭС) Казанского государственного энергетического университета (КГЭУ). E-mail: msergey1952@gmail.com.

References

1. Simanovskiy I.V. *Breakdown indicator polymer insulator* / I.V. Simanovskiy // *Electrotechnika*. - 2013. - № 6. - S. 21-24.
2. G. Montoya, I. Ramirez, and J. I. Montoya, "Correlation among ESDD, NSDD and leakage current in distribution insulators," *Proc. Inst. Elect. Eng.—Gener., Transmiss. Distrib.*, vol. 151, no. 3, pp. 334–340, May 2009.
3. E. Fontana, S. C. Oliveira, F. J. M. M. Cavalcanti, R. B. Lima, J. F. Martins-Filho, and E. Meneses-Pacheco, "Novel system for leakage current detection on insulator strings of overhead transmission lines," *IEEE Trans. Power Del.*, vol. 21, no. 4, pp. 2064–2070, Oct. 2009.
4. Gayfutdinova ER, Usachev AE, Chernov KP, Lopukhova TV, Zatsarinnaya Yu.N. Features of lightning protection during intense precipitation / Gayfutdinova ER, Usachev AE, Chernov KP, Lopukhova TV, Zatsarina Yu.N./ *Bulletin of the Kazan Technological University*. 2014. T. 17. No. 18. S. 193-195.
5. Pat. 2392679 Russian Federation, IPC H01B17 / 00. *Status LED high-voltage insulation* / Elders V.V., Lyubimov V.A., Soloviev E.P., licorice Yu ; the applicant and the patentee Closed Joint-Stock Company "Insulators and Fittings Plant". - № 2009122250/28; appl. 10.06.09; publ. 20.06.2010. - 12 p.
6. *The ultraviolet and infrared inspection of insulation constructions* / R.S. Arbutov [et al.] // *Energy*. - 2004. - № 8. - S. 34-35.
7. US Pat. 2305848 Russian Federation, IPC G01R31 / 12. *Method for remote diagnostics of multi-element design of the insulating* / Aleev R.M., Zaripov D.K. ; the applicant and the patentee Closed Joint-Stock Company NPF "Optooyl". - №2006101129 / 28; appl. 12.01.06; publ. 10.09.2007. - 11.
8. US Pat. 2517776 Russian Federation, G01R31 / 08 IPC. *An optical remote diagnostics of insulating systems* / Zaripov D.K. ; the applicant and the patentee Zaripov D.K. - № 2012151785/28; appl. 03.12.2012; publ. 05/27/2014 – 6
9. Zaripov D.K., Balobanov R.N. Defect indicator of high-voltage insulator / D.K. Zaripov // *Electrotechnika*. - 2016. - № 6. - S. 16-21.

Authors of the publication

Balobanov Ruslan Nikolaevich, "Kazan State Power Engineering University", department "Electric stations" (ES), a graduate student, E-mail: rassel_ipek@mail.ru

Zaripov Damir Kamilevich, "Kazan State Power Engineering University", department "Electric stations" (ES), Associate Professor, PhD, e-mail: dzaripov@mail.ru,

Nasibullin Rustem Anasovich "Kazan Aviation Plant. SP Gorbunova - a branch of PSC Tupolev ", Head Office, PhD

Margulis Sergey Mikhailovich "Kazan State Energy University", Department of "Electric Stations", Head of the Department, Professor, Candidate of Technical Sciences, e-mail: msergey1952@gmail.com

Поступила в редакцию

10 апреля 2017 г.