

Ю.Н. ШУМИЛОВ, докт. техн. наук, проф., ГП «НИИВН», Славянск;
М.Ю. ШУМИЛОВ, канд. техн. наук, инж., ГП «НИИВН», Славянск

ИНДИКАТОР ПРОБОЯ ВЫСОКОВОЛЬТНЫХ ПОЛИМЕРНЫХ ИЗОЛЯТОРОВ

В статье описан новый вариант конструкции индикатора пробоя полимерных изоляторов для воздушных линий. Также представлены результаты проведения предыдущих испытаний экспериментальных образцов индикаторов пробоя изоляторов.

У статті описано новий варіант конструкції індикатора пробоя полімерних ізоляторів для повітряних ліній. Також представлено результати проведення попередніх випробувань експериментальних зразків індикаторів пробоя ізоляторів.

The article describes a new embodiment of indicator for detecting puncture in polymeric insulators for transmission lines. It also gives the results of pretests on experimental samples of insulator puncture indicators.

В процессе длительной эксплуатации полимерных изоляторов в линиях электропередачи было выявлено, что пробой полимерного изолятора в большинстве случаев не приводит к его механическому разрушению, а следы обгорания кремнийорганической оболочки могут быть замечены только с близкого расстояния. В связи с этим на поиск пробитого изолятора в обесточенной линии затрачивается значительное количество времени, следствием чего бывает недоотпуск электроэнергии и сбои в работе электрических установок потребителей. Не менее остро стоит проблема поиска места самоустраняющегося повреждения, при котором после успешного АПВ линия остается в рабочем состоянии.

Для обнаружения места аварии в обесточенной линии необходимо чтобы изоляторы или опоры линии электропередачи были оснащены специальными устройствами для визуального определения пробоя электрооборудования. Принцип действия таких устройств может быть основан на использовании энергии, выделяющейся в месте возникновения короткого замыкания. Подавляющее большинство известных устройств, предназначенных для индикации места короткого замыкания в линии электропередачи, серийно выпускаемых такими фирмами как Cooper Power System (США), Nortroll (Норвегия) и пр., реагируют на изменение магнитного поля в зоне короткого замыкания, вызванного повреждением изоляции. В зависимости от типа, индикаторы размещают прямо на линию – крепят к фазному проводу специальными зажимами или устанавливают на опоры линии электропередачи на 3 – 5 м ниже проводов. Визуальная индикация, как правило, выполнена в виде ярких светодиодов, расположенных в корпусе индикатора.

Существенными недостатками данных индикаторов являются их зависимость от срока службы элементов питания – литиевых батарей, а так же снижение яркости свечения светодиодов, указывающих аварийный режим, при их загрязнении на участках линии, проходящих в промышленных районах. Цена на индикаторы неисправности линий такого типа колеблется в пределах от 40 до 400 долларов США, в зависимости от исполнения устройства.

В 70 ÷ 80-х годах были опубликованы ряд советских патентов на устройства для определения опоры линии электропередачи с поврежденной изоляцией [1, 2, 3]. Принцип действия запатентованных устройств индикации пробоя изоляции основан на использовании тепловой энергии или энергии магнитного поля, выделяющейся при пробое или перекрытии гирлянды изоляторов. Их основными недостатками являются непродолжительный срок службы и сложность конструкции.

На основании сказанного выше очевидно, что проблема создания простого, надежного, долговечного и дешевого индикатора места короткого замыкания для линий электропередачи классов напряжения 220 кВ ÷ 750 кВ актуальна по сей день.

При разработке индикатора пробоя полимерных изоляторов во внимание были приняты следующие требования к конструктивным и функциональным свойствам индикатора:

1. Индикатор пробоя должен регистрировать протекание тока короткого замыкания линии, возникшего в результате электрического пробоя изоляции контролируемого электрооборудования линии электропередачи (полимерного изолятора), действующее значение которого составляет 5 кА – 40 кА, длительностью 0,12 с (6 полных периодов тока промышленной частоты) и более.

2. Сигнальный элемент индикатора пробоя, зарегистрировавшего протекание тока короткого замыкания через контролируемый элемент линии электропередачи, должен быть визуально различим с расстояния 40 м – 50 м.

3. Индикатор пробоя не должен срабатывать при грозовом перекрытии изоляции контролируемого элемента линии электропередачи, в случае если искровой разряд не переходит в дуговой.

4. Индикатор пробоя, установленный на контролируемый элемент линии электропередачи, не должен влиять на его электрические и механические характеристики.

5. Индикатор пробоя должен быть устойчив к вибрации, загрязнениям, влаге и перепаду температур от – 60 °С до + 50 °С.

6. Индикатор пробоя должен иметь возможность многократного использования.

7. Возвращение индикатора пробоя из состояния, указывающего регистрацию протекания тока короткого замыкания через контролируемый

объект линии электропередачи, в исходное состояние должно осуществляться вручную без применения какого-либо нестандартного инструмента.

8. Все элементы индикатора пробоя должны быть коррозионно-стойкими.

9. Гарантированный срок службы индикатора пробоя не должен быть менее гарантированного срока службы контролируемого элемента линии электропередачи.

Устройство (индикатор пробоя), разработанное на предприятии ГП «НИИВН» г. Славянск, предназначенное для визуального обнаружения электрического пробоя электрооборудования линий электропередачи и отвечающее всем указанным выше требованиям изображено на рис. 1.

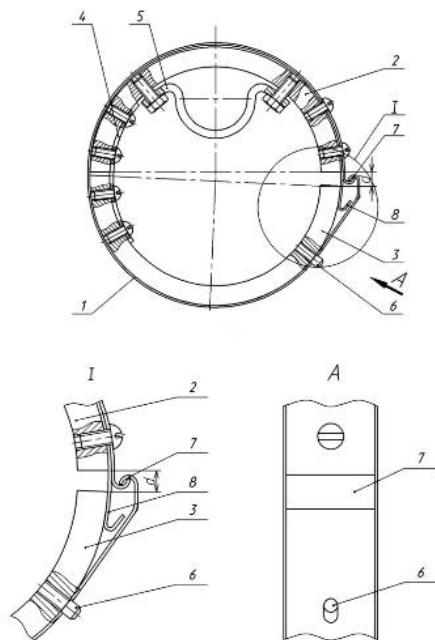


Рис. 1 – Индикатор пробоя высоковольтных полимерных изоляторов

Индикатор пробоя содержит элемент контроля протекающего тока и сигнальный элемент 1 (рис.1). Элемент контроля протекающего тока состоит из двух полуколец, выполненных из ферромагнитного материала, одно из которых неподвижное 2, другое - подвижное 3. С одной стороны полукольца соединены плоской пружиной 4, а с другой стороны разделены зазором d . На внутренней поверхности неподвижного полукольца 2 установлена скоба 5 для крепления индикатора пробоя к контролируемому

му объекту – например, к металлическому оконцевателю полимерного изолятора. Сигнальный элемент 1 выполнен в виде плоской ленты из упругого материала, охватывающей наружную поверхность элемента контроля протекающего тока, один конец которой закреплен на неподвижном полукольце 2, а другой зафиксирован упорным винтом 6 подвижного полукольца 3. Концы сигнального элемента выполнены в виде замка 7, снабженного толкателем 8, предназначенным для раскрытия замка.

Индикатор пробоя работает следующим образом. С помощью скобы 5 индикатор крепится к контролируемому объекту, например, к металлическому оконцевателю полимерного изолятора (рис.2).

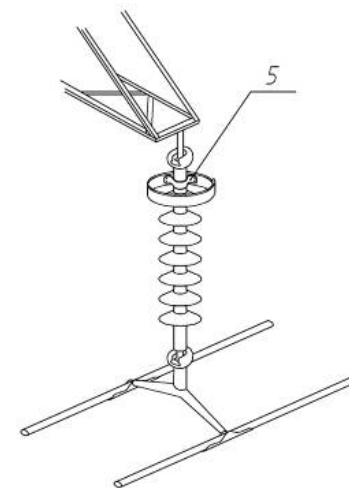


Рис. 2 – Вариант крепления индикатора пробоя к полимерному изолятору

В момент электрического пробоя полимерного изолятора ток короткого замыкания, протекающий вдоль его стержня, создаст переменный магнитный поток, пронизывающий ферромагнитные полукольца - неподвижное 2 и подвижное 3 элемента контроля протекающего тока, разделенные зазором d . Вследствие действия на ферромагнитные полукольца электродинамической силы, притягивающей подвижное полукольцо 3 к неподвижному 2, зазор d между полукольцами уменьшается, толкатель 8 вызывает размыкание замка 7, которым зафиксирован один конец сигнальной ленты. Вследствие упругого распрямления плоской ленты сигнального элемента 1 ее отброшенный конец сигнализирует о срабатывании индикатора пробоя (рис.3).

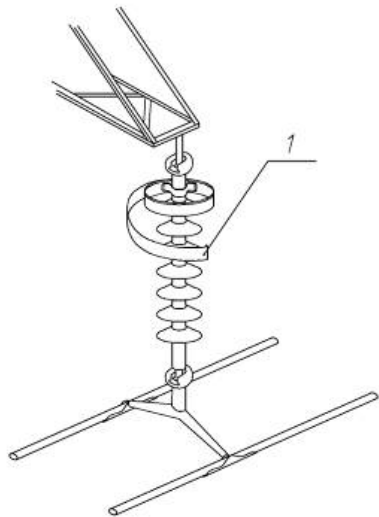


Рис. 3 – Индикатор пробоя сигнализирует о пробое изолятора

Для проверки работоспособности описанной выше индикатора пробоя было изготовлено два экспериментальных образца (см. рис.4). Первый образец с наружным диаметром 127 мм и площадью сечения полукольца 10 мм × 40 мм (малое кольцо). Второй образец с наружным диаметром 179 мм и площадью сечения полукольца 8 мм × 40 мм (большое кольцо).



Рис.4 – Экспериментальные образцы индикаторов пробоя полимерных изоляторов

Полукольца были изготовлены из стальной трубы – сталь 3. Для проведения экспериментов по определению порога срабатывания экспериментальных образцов индикатора пробоя было изготовлено три комплекта плоских пружин, соединяющих стальные полукольца, толщиной 1 мм, 1,5 мм и 2 мм. Плоские пружины изготовлены из пружинной стали марки

60Г2С. Индикаторная лента изготовлена из полосы пружинной стали толщиной 0,8 мм.

Усилие смыкания полуколец экспериментальных образцов, рассчитанное по формуле:

$$F = \frac{\mu_0}{2} \cdot \frac{I^2}{\delta_0^2} \cdot S ,$$

где δ_0 - ширина воздушного зазора, разделяющего ферромагнитные полукольца; S – площадь сечения ферромагнитного полукольца.

- для образца с наружным диаметром 127 мм (малое кольцо) и площадью сечения полуколец 10 мм × 40 мм, разделенных воздушным зазором шириной $\delta = 7$ мм, при токе 10 кА составляет 512, 6 Н;

- для образца с наружным диаметром 179 мм (большое кольцо) и площадью сечения полуколец 8 мм × 40 мм, разделенных воздушным зазором шириной $\delta = 7$ мм, при токе 10 кА составляет 410 Н;

Определение порога срабатывания по току, описанных выше экспериментальных образцов индикатора пробоя, было проведено в испытательном центре ГП «Научно-исследовательский институт высоких напряжений».

Экспериментальные образцы индикаторов пробоя устанавливались на макет полимерного изолятора стеклопластиковый стержень которого был заменен алюминиевым стержнем с целью имитации пробоя изолятора. Макет изолятора с индикаторами пробоя был подключен к вторичной обмотке испытательной установки для испытаний выключателей и разъединителей на стойкость при сквозных токах к.з.

В каждый опытный образец индикатора пробоя в процессе испытаний устанавливались пружины различной упругости (пружины изготовленные из одного материала – сталь 60Г2С, но различной толщины), определяющие чувствительность индикаторов.

Уверенное срабатывание индикаторов пробоя наблюдается при токе более 6 кА. На рис.5 изображены опытные образцы индикаторов пробоя, зафиксировавшие протекание тока короткого замыкания – концы сигнальных лент освободились из замков.

Индикатор с наружным диаметром 127 мм (малое кольцо) обладает более высокой чувствительностью (срабатывание при токе 4,5 кА), в сравнении с индикатором, наружный диаметр которого 179 мм (большое кольцо).



Рис. 5 – Индикаторы пробоя зафиксировали протекание тока короткого замыкания вдоль макета изолятора – концы сигнальных лент освободились из замков

По окончании токовых испытаний экспериментальных образцов индикаторов пробоя они были подвергнуты испытанию импульсным напряжением стандартного коммутационного импульса с формой волны 250/2500 мкс (требования ГОСТ 1516.2 – 97).

Испытание экспериментальных образцов индикаторов пробоя воздействием напряжения коммутационных импульсов проводилось в испытательном центре ГП «НИИВН» на установке ГИН 400/5000. Экспериментальные образцы индикаторов пробоя были установлены на оконцеватели полимерного изолятора типа ЛК 120/110. Индикатор пробоя с наружным диаметром 127 мм (малое кольцо) был установлен на нижнем оконцевателе изолятора, индикатор, наружный диаметр которого 179 мм (большое кольцо) – на верхнем оконцевателе. С обеих сторон изолятора были установлены обострители напряженности поля в виде отрезков проволоки 1, рис.6, расположенные так, что один конец отрезка проволоки закреплен на металлическом оконцевателе, а другой расположен между полукольцами индикатора пробоя, выступая за плоскость кольца индикатора до 3-го ребра изолятора, считая от оконцевателя. Оба экспериментальных образца индикатора пробоя были собраны с плоскими пружинами, толщина которых – 1 мм. Изолятор типа ЛК 120/110, с установленными на его оконцевателях индикаторами пробоя, пятикратно перекрывался импульсами положительной и отрицательной полярности. Разряды проходили между проволочными обострителями.

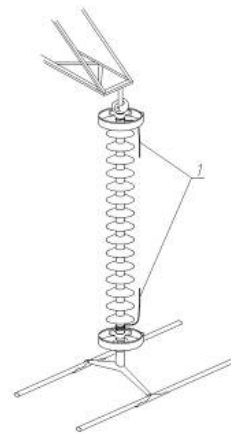


Рис. 6 – Макет изолятора с индикаторами пробоя и проволочными обострителями напряженности электрического поля

Результат испытаний – индикаторы не сработали при перекрытии изолятора коммутационным импульсом.

По результатам проведенных испытаний опытных образцов индикаторов имитирующих пробой протекающими токами короткого замыкания и при перекрытии изоляторов грозовым импульсом с установленными на них индикаторами установлено, что индикаторы пробоя не реагируют на импульсное перекрытие изоляторов, однако уверенно срабатывают при протекании токов короткого замыкания промышленной частоты вдоль оси изолятора, т.е. фиксируют его электрический пробой. Указанные явления свидетельствуют о пригодности предложенной конструкции индикатора пробоя для создания на ее базе образцов индикаторов предназначенных для массового использования в линиях электропередачи и выпускаемых серийно.

На упомянутые образцы индикаторов пробоя получен патент Украины №84497, МПК (2006) G01R 31/08 «Устройство для визуального обнаружения электрического пробоя электрооборудования линий электропередачи».

Список литературы: 1. А. с. 885934 СССР, МПК³ G 01 R 31/08. Устройство для определения перекрытых гирлянд изоляторов линии электропередачи / А. Г. Бойко, С. А. Юрьев, Н. А. Марковский. - № 2869285/24-21 ; Заявл. 08.01.80 ; Опубл. 30.11.81, Бюл. № 44. 2. А. с. 712784 СССР, МПК² G 01 R 31/08. Устройство для определения опоры и гирлянды линии электропередачи с поврежденной изоляцией / А. И. Айзенфельд, В. А. Борухман, А. З. Красновский, А. Ф. Погосский. - № 2454174/24-21 ; Заявл. 17.02.77 ; Опубл. 30.01.80, Бюл. № 4. 3. А. с. 1182445 СССР, МПК² G 01 R 31/08. Устройство для определения перекрытой гирлянды изоляторов линии электропередач (его варианты) / В. И. Якименко. - № 3709636/24-21; Заявл. 27.01.84 ; Опубл. 30.09.85, Бюл. № 36.

Поступила в редколлегию 03.11.2010