

АВТОМАТИЗИРОВАННЫЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ КОНТРОЛЬ СОСТОЯНИЯ ВЫСОКОВОЛЬТНЫХ ИЗОЛЯТОРОВ ПОД НАПРЯЖЕНИЕМ

А. Е. ОРЛОВИЧ, С. В. СЕРЕБРЕННИКОВ, А. И. СИРИКОВ (Кировоград. нац. техн. ун-т)

Представлен двухпараметрический метод электрического контроля степени загрязнения высоковольтных опорных изоляторов под рабочим напряжением, точность которого повышена за счет измерения активной и реактивной составляющих поверхностного тока утечки для определения площади сектора загрязнения на поверхности изолятора. В разработанной системе технической диагностики использован плавающий пороговый уровень тока утечки, зависящий от влажности воздуха, разности температур, сектора загрязнения и приложенного напряжения.

Represented by two-parameter method of electrical control pollution of high voltage insulators at an operating voltage accuracy is improved by measuring active and reactive components of the surface leakage current for determining the area of sector of pollution on the insulator surface. In the developed system of technical diagnostics used floating threshold leakage current depends on the humidity, temperature difference, the sector of pollution and the applied voltage.

При эксплуатации электроустановок систем электроснабжения загрязнение и увлажнение поверхности изоляции приводит к ухудшению ее изоляционной прочности. Это приводит к аварийному перекрытию, замыканиям на землю и несанкционированным отключениям потребителей, разрушению изоляции и токопроводников, потерь электроэнергии и другим негативным последствиям.

Наиболее распространенным организационно-техническим мероприятием по обеспечению надежной работы изоляторов является их периодическая регламентная очистка от загрязнений. Процесс накопления загрязнения на поверхности изолятора имеет сложный во времени характер и подвержен влиянию ряда случайных факторов. Поэтому во многих случаях регламентная очистка изоляции проводится преждевременно, а иногда с опозданием. Для диагностирования опасного уровня загрязнения и определения момента необходимости очистки созданы автоматизированные системы электрического контроля степени загрязнения изоляции под рабочим напряжением, основанные на измерениях поверхностного тока утечки [1]. Недостатком этих систем является невозможность интерпретации результатов контроля в случае, если загрязнен лишь

некоторый продольный сектор боковой поверхности изолятора (секторное загрязнение), поскольку одному и тому же значению тока могут соответствовать разные его плотности (в зависимости от площади загрязнения) и разрядные напряжения. Кроме того, существующие системы диагностики не учитывают влияние нестабильности приложенного к изолятору напряжения, а также таких факторов окружающей среды, как температура и влажность.

Поэтому актуальной задачей является усовершенствование метода электрического контроля степени загрязнения высоковольтных изоляторов и разработка новой системы технической диагностики повышенной точности.

При горизонтальном расположении изолятора в шкафу комплектных распределительных устройств наружной установки (КРУН) наблюдается продольное секторное загрязнение его поверхности. С течением времени площадь сектора загрязнения постепенно увеличивается вплоть до полного загрязнения всей поверхности изолятора. Поэтому значение сектора загрязнения, по которому протекает ток утечки, в процессе контроля неизвестно. Неопределенность площади загрязнения исключает возможность коррекции результатов контроля путем простого выбора новых граничных уровней критического значения тока утечки.

Моделирование токов утечки. При приложении высокого напряжения $U_{пр}$ к загрязненному изолятору через него начинает протекать комплексный ток утечки \dot{I}_y , обусловленный объемными и поверхностными составляющими (рис. 1).

Комплексный ток утечки условно можно разложить на семь составляющих:

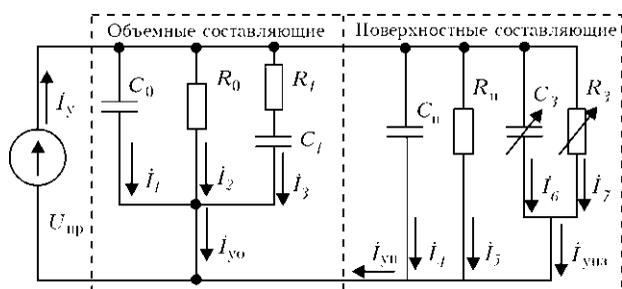


Рис. 1. Схема замещения электрических процессов образования тока утечки загрязненного изолятора

© А. Е. Орлович, С. В. Серебрянников, А. И. Сириков, 2011

$$\begin{aligned} \dot{I}_y &= \dot{I}_{y0} + \dot{I}_{уп} = \dot{I}_{y0} + (\dot{I}_4 + \dot{I}_5 + \dot{I}_{упз}) = \\ &= (\dot{I}_1 + \dot{I}_2 + \dot{I}_3) + (\dot{I}_4 + \dot{I}_5 + \dot{I}_6 + \dot{I}_7), \end{aligned}$$

где $\dot{I}_{y0}, \dot{I}_{уп}$ — объемный и поверхностный ток утечки; $\dot{I}_{упз}$ — поверхностный ток утечки от загрязнения; \dot{I}_1 — ток, обусловленный емкостью C_0 между фланцами через тело изолятора; \dot{I}_2 — ток активной проводимости твердого диэлектрика между фланцами R_0 ; \dot{I}_3 — ток абсорбции твердого диэлектрика; \dot{I}_4 — ток, обусловленный емкостью $C_{п}$ между фланцем изолятора с шиной и токосъемным кольцом через воздух и тело изолятора; \dot{I}_5 — ток активной проводимости по поверхности чистого твердого диэлектрика; \dot{I}_6 — емкостный ток, который создается загрязнением и увлажнением поверхности; \dot{I}_7 — ток активной проводимости через загрязняющий слой на поверхности.

Объемный ток утечки \dot{I}_{y0} не зависит от загрязнения, в то время как поверхностный ток утечки $\dot{I}_{уп}$ зависит от характера и степени загрязнения, поэтому является информативным параметром для контроля [2].

Вследствие загрязнения и увлажнения поверхность изолятора становится электропроводной, создавая электрическую емкость к токопроводящей шине и заземленным частям, поэтому поверхностный ток утечки через загрязняющий слой изменяется в функции продольной координаты x вследствие наличия токов смещения через воздух и тело изолятора. Это предопределяет при математическом моделировании тока утечки рассматривать схему замещения как цепь с распределенными параметрами в функции продольной координаты (рис. 2).

При разработке математической модели сделаны допущения, что погонные параметры: r_0 , которым моделируется степень загрязнения; C_1 —

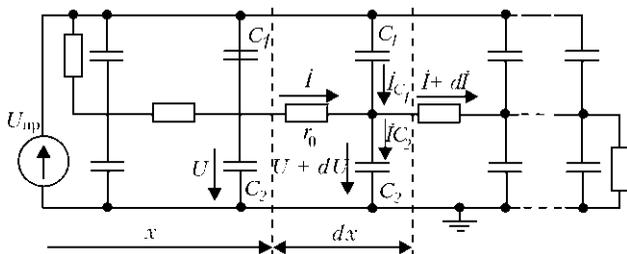


Рис. 2. Схема замещения загрязненной поверхности изолятора при распределенных параметрах

— емкость к фланцу с токопроводящей шиной; C_2 — емкость к заземленному фланцу изолятора и заземленных частей, равномерно распределены по всей длине изолятора H . Это позволило получить упрощенную модель для качественного исследования параметров поверхностного тока утечки в конце изолятора решением системы дифференциальных уравнений:

$$\begin{aligned} -\frac{dU}{dx} &= i r_0, \\ -\frac{dI}{dx} &= Uj\omega(C_1 + C_2) - Ej\omega C_1. \end{aligned} \quad (1)$$

Для решения системы (1) запишем начальные условия:

напряжение в начале изолятора ($x = 0$) равно фазному напряжению ($U = U_{пр}$);

На основании решения системы напряжение в конце изолятора, где находится токосъемное кольцо для выделения поверхностного тока утечки ($x \approx H$), равно нулю ($U = 0$).

На основании решения системы (1) при начальных условиях для тока частичное решение

$\dot{I}_{упз}$ представим выражением:

$$\begin{aligned} \dot{I}_{упз} &= \left(\frac{j\omega E}{\beta} \left(C_2 - \frac{C_1 + C_2 e^{-\beta H}}{e^{-\beta H} - e^{\beta H}} \right) \right) e^{-\beta x} + \\ &+ \left(-\frac{j\omega E}{(e^{-\beta H} - e^{\beta H}) \beta} (C_1 + C_2 e^{-\beta H}) \right) e^{\beta x}, \end{aligned} \quad (2)$$

где $\beta = \sqrt{j\omega r_0 (C_1 + C_2)}$ — коэффициент, который характеризует изменение тока вдоль оси опорного изолятора вследствие наличия токов смещения через воздух и тело изолятора.

Решение (2) в случае $x = H$ имеет вид

$$\dot{I}_{упз} = \frac{j\omega E}{\beta} (C_2 e^{-\beta H} - cth(\beta H) (C_1 + C_2 e^{-\beta H})).$$

Для получения более адекватной модели с целью количественного исследования параметров поверхностного тока утечки в конце изолятора и оценки степени приближения упрощенной модели необходимо учесть зависимость r_0, C_1, C_2 от текущей координаты x , что усложняет аналитическое решение системы дифференциальных уравнений (1). Поэтому для их решения предложен приближенный метод, при котором поверхность изолятора разбивается на N элементарных ячеек с сосредоточенными параметрами (рис. 3). Предположим, что комплексный поверхностный ток утечки в начале изолятора I_1 известен, тогда напряжение U_1 будет:

$$U_1 = E - \dot{I}_1 r_1,$$

где r_1 — первый элемент массива сопротивлений r .

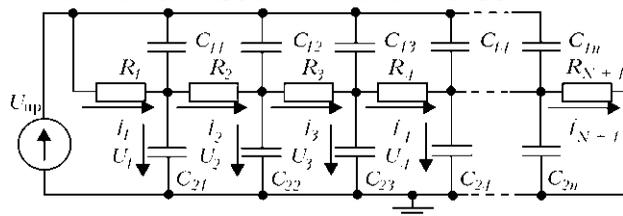


Рис. 3. Схема замещения поверхности изолятора при сосредоточенных параметрах

Вычислив напряжение U_1 , сможем найти ток I_2 :

$$\dot{I}_2 = \dot{I}_1 + (E - U_1)j\omega C_{11} - U_1 j\omega C_{21},$$

где C_{11} и C_{21} — соответственно первый элемент массива емкостей к токопроводящей шине C_1 и заземленной плоскости C_2 , а затем, — остальные напряжения и токи:

$$U_2 = U_1 - \dot{I}_2 r_2, \dot{I}_3 = \dot{I}_2 + (E - U_2)j\omega C_{12} - U_2 j\omega C_{22},$$

$$U_3 = U_2 - \dot{I}_3 r_3, \dot{I}_4 = \dot{I}_3 + (E - U_3)j\omega C_{13} - U_3 j\omega C_{23},$$

$$\dots\dots\dots$$

$$U_N = U_{N-1} - \dot{I}_N r_N, \dot{I}_{N+1} = \dot{I}_N + (E - U_N)j\omega C_{1N} - U_N j\omega C_{2N}.$$

Напряжение в конце изолятора равняется нулю, т. е. $U_N - \dot{I}_{N+1} r_{N+1} = 0$.

Итак, решение системы уравнений (1) с учетом зависимости погонных параметров от текущей координаты x сводится к отысканию такого значения комплексного тока утечки в начале изолятора I_1 , при котором напряжение в конце ($x = H$) равняется нулю. Учитывая, что массивы r , C_1 и C_2 могут отображать любой характер изменения соответствующих параметров от продольной координаты x , предложенным методом возможно получить $I = f(x)$, $U = f(x)$ с учетом неравномерности распределения параметров схемы замещения.

Исследования погонных параметров. Изменение погонного сопротивления $r_0 = f(x)$ объясняется переменной кривизной поверхности изолятора. Если предположить, что загрязнение распределено в границах бесконечно малого сектора равномерно, то пределы изменения $r_0(x)$ можно оценить из отношения диаметров изолятора $(1 - D_{\min}/D_{\max}) \cdot 100 \% = (1 - 95/115) \cdot 100 \% = 17 \%$. Минимальное значение r_0 можно найти из предельно допустимого (критического) поверхностного тока утечки, который для опорных изоляторов 10 кВ при равномерном загрязнении и увлажнении всей поверхности изолятора составляет 0,36 мА [3]. При критическом значении тока утечки перенапряжение, которое может возникнуть при замыкании на землю ($3,2U_{\phi}$) приведет к прекращению изолятора с вероятностью 50 %. Приняв $I_{\max} = 0,4$ мА, получим минимальное значение погонного сопротивления 125 кОм/мм. Максималь-

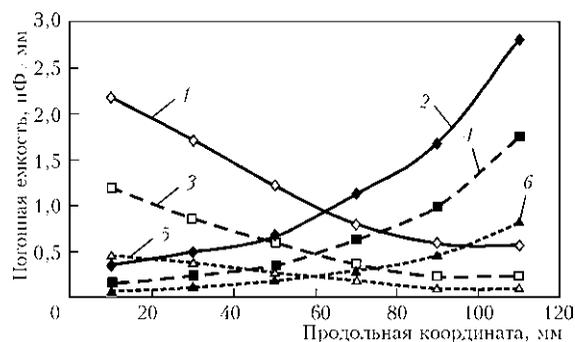


Рис. 4. График зависимости погонных емкостей от продольной координаты для изолятора ИОР-10-750-III при различных значениях сектора загрязнения: 1, 2 — соответственно полная поверхность к шине и плоскости; 3, 4 — соответственно 1/2 поверхности к шине и плоскости; 5, 6 — соответственно 1/4 поверхности к шине и плоскости

ное значение r_0 получим 5 МОм/мм, приняв $I_{\min} = 10$ мкА.

Учитывая сложность аналитического определения зависимости погонных емкостей $C_1 = f(x)$ и $C_2 = f(x)$ вследствие переменной кривизны поверхности изолятора и влияния встроенных фланцев, указанные зависимости найдены экспериментально. Соответствующие графики для изолятора ИОР-10-750-III приведены на рис. 4. Для изолятора ИОР-10-750-I характер зависимостей $C_1 = f(x)$ и $C_2 = f(x)$ аналогичен.

Для дальнейших расчетов получены эмпирические зависимости погонных емкостей от координаты x , которые аппроксимированы параболлами. Адекватность полученных уравнений оценена коэффициентом множественной детерминации R^2 , который находится в пределах от 0,9535 до 0,9971. Расчет среднего значения относительной погрешности определения погонной емкости показал, что оно составляет 8,13 %.

Моделирование поверхностного тока утечки.

По результатам моделирования поверхностного тока утечки с использованием упрощенной математической модели с равномерно распределенными параметрами сделаны следующие выводы:

- наличие секторного загрязнения незначительно влияет на активную составную тока утечки в конце изолятора;

- реактивная составная тока утечки в конце изолятора существенно зависит от величины сектора загрязнения, что позволяет использовать ее для определения площади сектора загрязнения на поверхности изолятора (величина сектора загрязнения S определяется отношением электропроводной площади загрязненного сектора к общей площади изолятора). Так, например, для изолятора ИОР-10-750-III при $r_0 = 1$ МОм/мм и при $S = 1$ реактивная составляющая поверхностного тока утечки в конце изолятора составляет 42 мкА, при $S = 0,5$ —19 мкА, при $S = 0,25$ —6 мкА (рис. 5).

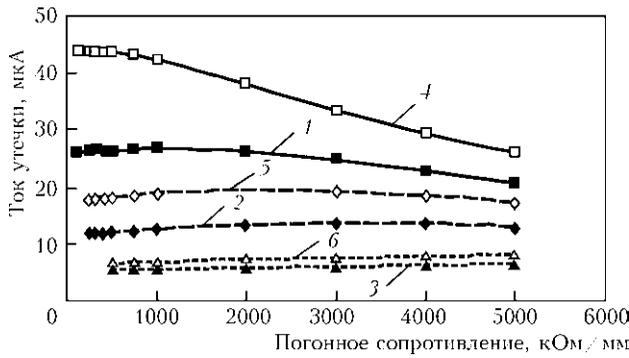


Рис. 5. Графики зависимости реактивной составляющей поверхностного тока утечки в конце изолятора от погонного сопротивления при различных значениях сектора загрязнения (модель с равномерно распределенными параметрами): 1-3 — ИОР-10-750-I (соответственно полная поверхность; 1/2 и 1/4); 4-6 — ИОР-10-750-III (соответственно полная поверхность; 1/2 и 1/4)

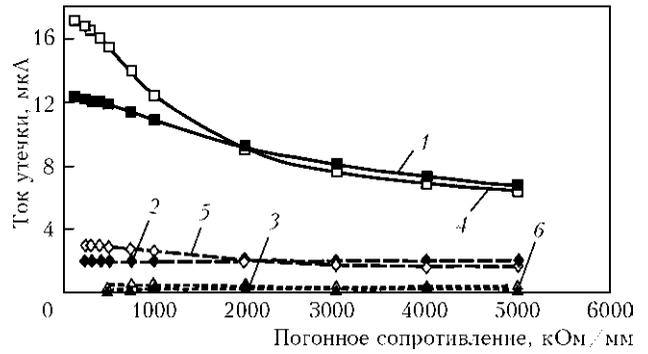


Рис. 6. Графики зависимости реактивной составляющей поверхностного тока утечки в конце изолятора от погонного сопротивления (модель с неравномерно распределенными параметрами) (обозначения те же, что и на рис. 5)

Моделирование поверхностного тока утечки с учетом неравномерности распределения параметров позволяет сделать следующие выводы:

1) как и в модели с равномерным распределением параметров секторное загрязнение почти не влияет на активную составляющую тока утечки в конце изолятора;

2) прослеживается зависимость между значением реактивной составляющей в поверхностном токе утечки и сектором загрязнения (рис. 6).

Расхождение значений реактивных составляющих поверхностного тока утечки, вычисленных по обеим математическим моделям, показывает необходимость принятия более адекватной математической модели с учетом неравномерности распределения погонных параметров.

Зависимость реактивной составляющей от величины сектора загрязнения позволяет использовать угол сдвига фазы поверхностного тока утечки в качестве информативного параметра для контроля степени секторного загрязнения.

Для определения взаимосвязи сектора загрязнения с составляющими комплексного поверхностного тока утечки выполнен множественный нелинейный регрессионный анализ результатов математического моделирования с учетом неравномерности распределения погонных параметров. Полученные уравнения регрессии имеют вид:

— для изолятора ИОР-10-750-I

$$S = 0,21073 I_p - 1,8593 \cdot 10^{-4} I_a I_p + 4,4481 \cdot 10^{-7} I_a^2 + 5,4231 \cdot 10^{-8} (I_a I_p)^2, \quad (3)$$

— для изолятора ИОР-10-750-III

$$S = -3,4372 \cdot 10^{-3} I_a + 0,27073 I_p + 6,4502 \cdot 10^{-6} I_a^2 - 1,3651 \cdot 10^{-2} I_p^2, \quad (4)$$

где I_a, I_p — соответственно активная и реактивная составляющая поверхностного тока утечки в конце изолятора; S — величина проводящего сектора.

Система технической диагностики. В основу разработанной системы технической диагностики положено уравнение преобразования, которое связывает первичные параметры (величину сектора загрязнения, температуру и влажность воздуха, температуру изолятора, приложенное напряжение) с критическим значением поверхностного тока утечки. Уравнение преобразования получено следующим образом. Обработкой результатов физического эксперимента получена статистическая зависимость поверхностного тока утечки от факторов окружающей среды и характеристик загрязняющего слоя, адекватность которой оценена коэффициентом $R^2 = 0,946$. Путем подстановки значений параметров наиболее неблагоприятных факторов окружающей среды ($W = 100 \%$, $t_{из} - t_{воз} = -2^\circ\text{C}$) и предельно допустимого тока утечки для равномерно загрязненного изолятора ($I_{кр} = 0,36 \text{ мА}$) определена максимально допустимая плотность ионообразующего вещества загрязнения ($\mu_{кр} = 0,466 \cdot 10^{-2} \text{ мг/см}^2$) [3]. С учетом прямо пропорциональной зависимости $I_{кр}$ от величины сектора загрязнения и приложенного напряжения, а также после подстановки $\mu_{кр}$ в статистическую зависимость поверхностного тока утечки от факторов окружающей среды и характеристик загрязняющего слоя получено уравнение преобразования, которое имеет вид:

$$I_{кр} = \frac{U}{U_n} (1,58314 + 0,4249 \Delta t + 0,0082938 \Delta t^2 - \quad (5)$$

$$- 0,04723 W + 0,000333034 W^2 - 0,0050654 \Delta t W) S,$$

где U — фактическое значение приложенного к изолятору напряжения; U_n — номинальное значение фазного напряжения сети; $\Delta t = t_{из} - t_{воз}$ — разница между температурой изолятора $t_{из}$ и воздуха $t_{воз}$, $^\circ\text{C}$; W — относительная влажность, %.

Принцип работы системы технической диагностики степени загрязнения состоит в следующем (рис. 7).

Для разделения поверхностного тока утечки на составляющие к блоку 1 подается опорное фазное

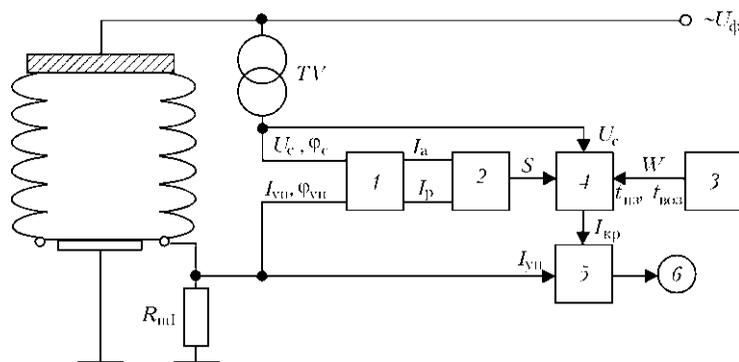


Рис. 7. Блок-схема системы технической диагностики степени секторных загрязнений поверхности высоковольтных опорных изоляторов под рабочим напряжением: 1 — блок определения активной и реактивной составляющей поверхностного тока утечки; 2 — блок вычисления величины сектора загрязнения; 3 — блок датчиков влажности и температуры; 4 — блок определения критического тока утечки; 5 — блок сравнения; 6 — блок сигнализации

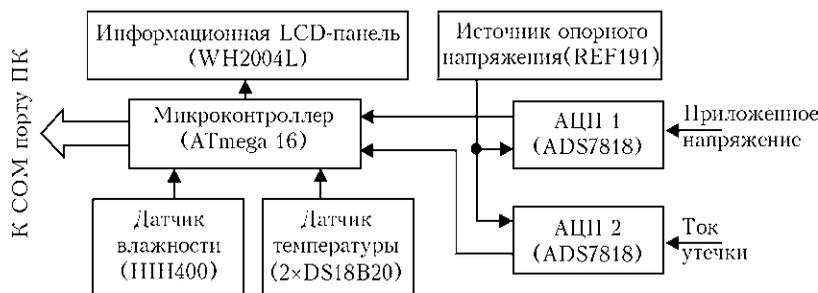


Рис. 8. Функциональная схема измерительного устройства

напряжение сети U_c от трансформатора напряжения TV и поверхностный ток утечки $I_{уп}$. В блоке 1 определяется угол сдвига фаз между U_c и поверхностным током $I_{уп}$, а по его значению — соответственно активная I_a и реактивная I_p составляющие $I_{уп}$, которые приводятся к номинальному напряжению сети по значению U_c . Далее в блоке 2 происходит определение величины сектора загрязнения S по значениям I_a и I_p соответственно выражениям (3) или (4). Значения S вместе с величиной влажности окружающего изолятор воздуха W и температуры $t_{воз}$, а также температурой изолятора $t_{из}$, от блока датчиков 3 и напряжением U_c подается в блок 4 для определения критического тока утечки $I_{кр}$ из уравнения преобразования (5).

Для диагностирования опасного уровня загрязнения необходимо сравнить полученный $I_{кр}$ с тем, что протекает в данное время $I_{уп}$. Возможны два случая:

при $I_{кр} \leq I_{уп}$ уровень загрязнения критический и в ближайшее время необходимо провести очистку изоляции;

при $I_{кр} > I_{уп}$ запас изоляционной прочности достаточен и изоляторы могут эксплуатироваться и дальше без очистки.

Если система определяет опасный уровень загрязнения, то оповещает обслуживающий персонал через средства сигнализации 6. В случае работы подстанции без обслуживающего персонала сигнал из блока 5 поступает в телемеханический канал связи, который оповестит центральный дис-

петчерский пункт об опасном уровне загрязнения на данной подстанции [4].

На рис. 8 приведена функциональная схема разработанного прибора, который является частью предложенной системы технической диагностики и измеряет следующие величины: фазу поверхностного тока утечки; амплитудные значения первых гармоник приложенного к изолятору напряжения и тока утечки; влажность и температуру окружающего изолятор воздуха; температуру изолятора.

Основной элемент измерительного устройства — микроконтроллер ATmega16. Измерение температур осуществляется цифровыми датчиками DS18B20 с дискретностью 0,1 °C при абсолютной погрешности измерения $\pm 0,5$ °C. Измерения влажности осуществляется аналоговым датчиком влажности NHN-4000-003 с точностью $\pm 0,5$ %. Для отображения измеренных величин используется информационная LCD-панель. В разработанном макете прибора учтена возможность нелинейных искажений приложенного к изолятору сетевого напряжения и тока утечки, для этого использован ортогональный метод определения угла сдвига фаз с цифровой обработкой сигналов. Прибор предусматривает возможность подключения к ПК через интерфейс RS-232 для дальнейшей обработки измеренных величин.

Выводы

На основе анализа методов контроля степени загрязнения изоляторов под высоким напряжением

ем установлено, что необходимо усовершенствовать метод электрического контроля путем учета площади сектора загрязнения, влияния влажности и температуры воздуха, температуры изолятора, отклонения рабочего напряжения.

Анализ характера тока утечки через загрязненный изолятор выявил в поверхностном токе реактивную составляющую, которая возникает за счет электропроводной электрической емкости вследствие загрязнения поверхности.

На основе математической модели процессов протекания комплексного поверхностного тока утечки в слое загрязнения на поверхности изолятора исследованы параметры тока, которые позволяют вычислять составляющие тока в зависимости от величины сектора загрязнения. Малые значения угла сдвига фазы тока (до $0,1^\circ$) обуславливают требование высокой чувствительности системы технической диагностики при измерении фазы.

Получено выражение для вычисления величины сектора загрязнения по активной и реактивной составляющим поверхностного тока утечки, что позволило повысить точность электрического метода контроля путем перерасчета значения критического тока утечки пропорционально величине сектора загрязнения.

Получено уравнение преобразования для критического поверхностного тока утечки в зависимости от разницы температур между изолятором и воздухом, относительной влажности воздуха,

рабочего напряжения и величины сектора загрязнения, которое позволяет рассчитать предельно допустимый поверхностный ток утечки, с учетом их влияния и определять своевременность очистки изоляции.

Разработана блок-схема системы технической диагностики степени секторных загрязнений высоковольтных изоляторов под рабочим напряжением, которая в отличие от существующих использует усовершенствованный метод электрического контроля по комплексному значению поверхностного тока утечки с учетом факторов окружающей среды и отклонения рабочего напряжения.

1. *Котшиш А. І., Орлович А. Ю., Серебренников С. В.* Автоматизована система контролю за станом ізоляції в повітряних мережах напругою 10...35 кВ // Технич. діагностика і невідшкодування. контроль. — 2000. — №4. — С. 62–65.
2. *Серебренников С. В., Сіріков О. І.* Вибір інформативних параметрів для контролю забрудненості високовольтних ізоляторів: Зб. наук. праць. — Львів: Фізико-механічний ін-т ім. Г. В. Карпенка НАН України, 2006. — Вип. 11. — С. 224–229.
3. *Орлович А. Ю., Плешков П. Г., Серебренников С. В., Сіріков О. І.* Визначення критичного струму витoku для контролю секторних забруднень високовольтних ізоляторів: Загальнодержавний міжвідомчий наук.-техн. зб. «Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин» — Вип. 40. — Ч. II. — Кіровоград: КНТУ, 2010. — С. 210–214.
4. *Козловский О. А., Орлович А. Е., Серебренников С. В.* Автоматизированная система прогнозирования разрушающих атмосферных нагрузок на элементах конструкций воздушных линий электропередач // Техн. диагностика и невідшкодування. контроль. — 2002. — № 2. — С. 46–48.

Поступила в редакцию
15.12.2010

ВНИМАНИЮ СПЕЦИАЛИСТОВ!

Книга «Неразрушающий контроль в Украине»

Украинское общество неразрушающего контроля и технической диагностики готовит к изданию книгу «Неразрушающий контроль в Украине». В книге будет представлена справочная информация о предприятиях и организациях Украины, занимающихся исследованиями и разработками в области неразрушающего контроля, изготовлением и продажей материалов, приборов и оборудования, оказанием услуг в области технического диагностирования. Издание справочника будет способствовать обмену информацией, ускорению решения многих задач по неразрушающему контролю и технической диагностике.

Книга будет включать следующие разделы:

- Неразрушающий контроль в институтах НАН Украины
- Неразрушающий контроль в университетах
- Изготовители и поставщики средств неразрушающего контроля
- Производственные лаборатории и предприятия
- Обучение и сертификация персонала
- Испытательные лаборатории и сертификация продукции
- Стандартизация и метрология в неразрушающем контроле
- Украинское общество неразрушающего контроля и технической диагностики
- Итоги профессиональных конкурсов УО НКД
- Конференции и выставки
- Книги, журналы, интернет

Объем издания – ориентировочно до 300 стр. формата 70×100/16. Тираж 1000 экз.

Предлагаем Вам разместить в книге информационные и рекламные материалы о предприятиях, разработках, услугах и пр. Вы также можете заказать необходимое количество экземпляров.

Тел.: (044) 287-26-66; тел./факс: (044) 289-21-66; e-mail: ndt@paton.kiev.ua