

ДІАГНОСТИКА СТАНУ ВИСОКОВОЛЬТНИХ ОПОРНИХ ІЗОЛЯТОРІВ ЗА СТРУМАМИ ВИТОКУ

А. І. Котиш, кандидат технічних наук, доцент

К. Г. Петрова, кандидат технічних наук, доцент

І. В. Савеленко, кандидат технічних наук, доцент

С. В. Серебренніков, кандидат технічних наук, професор

Центральноукраїнський національний технічний університет

E-mail: akotysh@gmail.com

Анотація. *Оцінка розрядної міцності ізоляції має найважливіше значення для запобігання перекриттю і встановлення терміну виконання профілактичних заходів.*

Профілактичні заходи, що застосовуються в електричних мережах для запобігання перекриття ізоляторів, мають низьку ефективність, а існуючі засоби діагностики та контролю не завжди взмозі правильно оцінити ізолюючу спроможність ізоляторів в процесі експлуатації.

Основними причинами перекриття і пошкодження ізоляції є її забруднення різноманітними хімічними речовинами, яке супроводжується ще й зволоженням.

Перекриття поверхні ізоляторів призводить до однофазних замикань на землю (ЗНЗ) або до міжфазних коротких замикань. Найбільшу небезпеку становлять ЗНЗ які супроводжуються переважаючою електричною дугою, що може бути причиною великих перенапруг в електричній мережі, причому їх величина досягає $3...3,2U_{ф}$. Такі умови в свою чергу дуже сприятливі для перекриття поверхонь ізоляторів.

Неруйнівний метод контролю оцінки ізолюючої спроможності ізоляторів за вимірними значеннями струмів витоку є найбільш прийнятним не тільки для ізоляторів комплектних розподільних пристроїв 10 кВ, а й для зовнішньої ізоляції відкритих розподільних пристроїв 35 кВ, оскільки дозволяє здійснювати безперервний автоматичний контроль ступеня забрудненості ізолятора.

Мета дослідження – встановлення функціональної залежності між струмом витоку забрудненого ізолятора та його розрядною напругою.

У результаті теоретичних досліджень умов роботи ізоляції в процесі експлуатації визначено характеристики поверхневого шару ізоляторів, забруднених у природних умовах, проаналізовано ці характеристики залежно від місця розташування підстанції та часу, що минув після останнього чищення. За методами регресійного і кореляційного аналізу на основі експериментальних даних було побудовано емпіричну лінію регресії, яка дозволила визначати небезпечний з точки зору перекриття, струм витоку ізолятора.

Ключові слова: *опорний ізолятор, струм витоку, розрядна напруга, замикання на землю*

Актуальність. Підвищення якості ізоляції та всебічний контроль за її станом є одним із основних заходів з підвищення надійності розподільчих мереж. Основною причиною аварійних відключень у мережах 10-35 кВ є перекриття і пошкодження ізоляції [1]. Оцінка розрядної міцності ізоляції має найважливіше значення для запобігання перекриття і встановлення строків виконання профілактичних заходів.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Роботу [2] присвячено розвитку діагностики ізоляторів високовольтного електроустаткування за характеристиками часткових розрядів. При цьому критерієм виявлення дефектних ізоляторів є критичне значення омичного опору, методи оцінки якого досі не розроблено [2]. Крім того, часткові розряди можуть призвести до руйнування ізоляторів.

На нашу думку, найбільш перспективним методом для запобігання перекриттю і встановлення термінів виконання профілактичних заходів є неруйнівний метод контролю ізолюючої спроможності ізоляторів за вимірними значеннями струмів витоку. Про це також свідчать дослідження авторів [3, 4, 5]. Моніторинг стану ізоляторів при комбінуванні контактного та дистанційного контролю особливо важливий для розподільчих підстанцій напругою 35/10 кВ, які не мають постійного обслуговуючого персоналу. У цьому разі інформація щодо небезпечного стану ізоляції має передаватися дистанційно [6].

Мета дослідження – встановлення функціональної залежності між струмом витоку ізолятора та його розрядною напругою.

Матеріали і методи дослідження. При дослідженні впливу навколишнього середовища на параметр контролю було прийнято модель (рис. 1). Рівняння щодо розв'язання поставленої задачі вирішували із застосуванням теорії електричних та електромагнітних кіл. Рівняння регресії отримано на основі використання методів регресійного та кореляційного аналізу. Експерименти, що проводили для уявлення загальної поведінки струму витоку в різноманітних умовах, відбувалися у спеціальній високовольтній камері, де розміщувалися ізолятори.

Результати досліджень та їх обговорення. Однією з найпоширеніших причин, через яку ізолятори втрачають свої ізолюючі здібності, є природне забруднення їхньої поверхні до критичної межі, коли будь-яке підвищення прикладеного до ізолятора напруги викликає стрімке збільшення струму витоку.

Загалом механізм перекриття ізолятора можна уявити так. Під дією прикладеної до ізолятора напруги на зволоженому шарі забруднення відбувається безперервний процес встановлення струму витоку. При збільшенні напруги на 10...70 %, що в експлуатації може бути пов'язане з регулюванням напруги в мережі або замиканням на землю, струм витоку зростає. Оскільки ізолятори вздовж шляху витоку мають змінний діаметр, і навіть нерівномірну густину забруднення, то щільність струмів витоку окремих зон також різна. У місцях із більшою щільністю опір шару забруднення внаслідок найбільш інтенсивного підсушування збільшується. Падіння напруги та виділення тепла на цих ділянках зростають, що призводить до подальшого збільшення опору шару забруднення. Внаслідок цього лінійність розподілу напруги по забрудненій поверхні ізолятора різко порушується.

Значне підвищення напруги на підсушених ділянках призводить до виникнення часткових розрядів. При цьому на поверхні ізолятора помітно багато розрядів синього кольору. При подальшому збільшенні напруги, прикладеної до ізолятора, в 2...3,5 рази, що в реальних умовах може бути обумовлено дуговими або комутаційними перенапругами в мережі, часткові розряди шунтують підсушені зони і набувають дугового характеру. У цьому випадку спостерігаються значні стрибки струмів витоку, що є причиною утворення стійких часткових дуг. Дуга може розтягуватися до повного перекриття ізолятора.

У свою чергу, електропровідність шару забруднення визначається його товщиною, хімічним складом, текстурою, вологістю та температурою. Так, влітку у повітрі завжди перебуває мінеральний пил, органічні частки, продукти викидів промислових підприємств – розміром 10^{-9} ... 10^{-3} м, часті тумани та дощі. Взимку переважають дим, сажа, топкові виноси. Сезонні коливання хімічного складу забруднень, періодичний вплив погодних факторів, зумовлюють нашарування зцементованих плівок, товщина та провідність яких варіюється рік у рік.

При прикладенні напруги до ізолятора через нього починає протікати струм витоку, який умовно можна поділити на кілька складових (рис. 1).

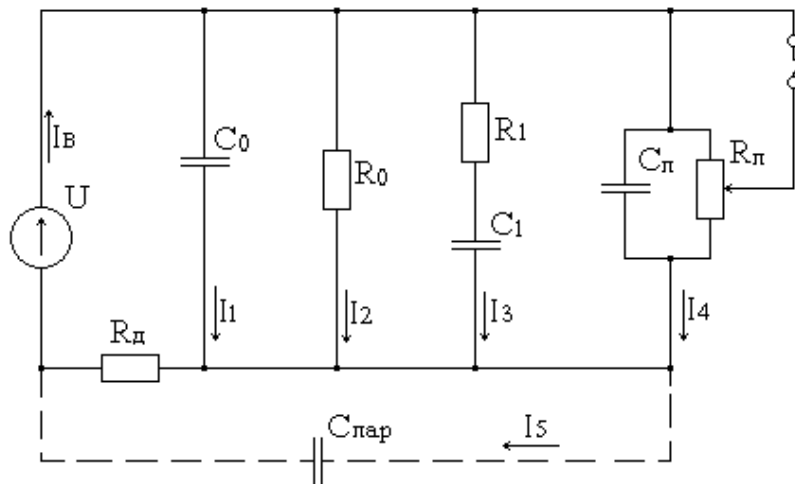


Рис. 1. Схема заміщення контуру з контрольованим ізолятором

Сумарний струм витоку ізолятора для цієї моделі визначається наступними складовими:

I_1 – ємнісний струм;

I_2 – наскрізний струм;

I_3 – струм абсорбції;

I_4 – поверхневий струм;

I_5 – струм, обумовлений паразитною ємністю $C_{\text{пар}}$, котра може виникати між нижнім флянцем та землею.

Фактично через дільник R_d протікає не повний струм витоку I_6 , проте з метою спрощення моделі впливом $C_{\text{пар}}$ можна знехтувати. Тоді можна записати:

$$I_6 = I_1 + I_2 + I_3 + I_4. \quad (1)$$

Далі вважаємо, що ємнісна складова струму витоку (струм I_1) залишається практично незмінною в процесі експлуатації [7] і визначається так:

$$I_1 = \omega C_0 U, \quad (2)$$

де ω – кутова частота струму; C_0 – ємність опорного ізолятора; U – значення прикладеної напруги.

Як видно з виразу (2), ємнісна складова струму витоку для певного типу ізоляторів є практично константою. Незначні зміни її можуть бути викликані лише зміною напруги в мережі.

Наскрізний струм провідності I_2 визначається як

$$I_2 = \frac{U}{R_0} = UY_0. \quad (3)$$

Поява струму абсорбції I_3 може бути зумовлена різними причинами.

1. Електронна поляризація, причиною якої є усунення центру ваги системи електронних оболонок щодо заряду ядра.
2. Іонна поляризація – усунення іонів одного знака щодо іонів іншого знака.
3. Дипольна поляризація – відбувається з допомогою орієнтації пружних диполів під впливом зовнішнього електричного поля.
4. Структурна поляризація, обумовлена переміщенням у невеликих обсягах, слабо пов'язаних із сусідніми частинками іонів та диполів.
5. Низькочастотна або внутрішньосфорова поляризація, що виникає внаслідок утворення об'ємних зарядів у приелектродних зонах.

Однак, що стосується неполярних діелектриків, до яких належить порцеляна, струми абсорбції можна пояснити неоднорідністю електричних властивостей ізоляторів, появою під дією зовнішнього електричного поля об'ємних зарядів та іншими причинами, які спричинені перерозподілом зарядів в об'ємі самого діелектрика [8].

При роботі діелектрика під синусоїдальною напругою струм абсорбції також має синусоїдальну форму та має дві складові [8]:

$$\text{активну } I'_{abc} = U \cdot s \frac{\omega^2 \tau^2}{\omega^2 \tau^2 + 1}; \quad (4)$$

$$\text{реактивну } I''_{abc} = U \cdot s \frac{\omega \tau}{\omega^2 \tau^2 + 1}, \quad (5)$$

де s – провідність, що відповідає струму абсорбції; τ - час загасання струму абсорбції до $1/e$ початкового значення.

Поверхнева складова струму витоку I_4 змінюється в дуже широких межах. На її величину впливають кількісний та якісний склад забруднень, а також фактори, зумовлені станом довкілля.

Для поверхневого шару забруднення (коло $Rn-Cn$) можна записати опір у комплексній формі

$$Z = \frac{R_n}{1 + jR_n C_n}. \quad (6)$$

Тоді струм I_4 дорівнюватиме

$$I_4 = U \frac{1 + j\omega R_n C_n}{R_n}. \quad (7)$$

Розглянемо окремо активну та реактивну складові для суми струмів $I_1 + I_2 + I_3$, внаслідок чого отримаємо

$$I_a = U \left(\frac{1}{R_0} + \frac{s\omega^2 \tau^2}{\omega^2 \tau^2 + 1} \right); \quad (8)$$

$$I_p = U \omega \left(C_0 + \frac{s\tau}{\omega^2 \tau^2 + 1} \right); \quad (9)$$

$$I_s = U \left[Y_0 + \frac{s\omega^2 \tau^2}{\omega^2 \tau^2 + 1} + \frac{1}{R_n} + j\omega \left(C_0 + \frac{s\tau}{\omega^2 \tau^2 + 1} + C_n \right) \right]. \quad (10)$$

Вираз (10) у загальному вигляді дає повне уявлення про струм витоку ізолятора, що знаходиться під робочою напругою U .

У практичних розрахунках використання формули (10) ускладнюється, тому доцільно максимально спростити її, попередньо прийнявши такі припущення.

1. Знехтувати перехідним процесом під час включення ізолятора на робочу напругу. Тоді струм абсорбції як активний, так і реактивний дорівнюватимуть нулю, особливо це справедливо для неполярних фарфорових діелектриків, що працюють на частоті 50 Гц.

2. Взявши до уваги, що для порцеляни на частоті 50 Гц $tg\delta=0,25$, наскрізний струм провідності $I_2=0,025I_1$, тобто в 40 разів менший за ємнісний струм ізолятора ($I_2=I_{R0}\approx 0$).

3. Ємнісний опір поверхневого шару забруднення в критичних передрозрядних умовах (роса, дощ, туман, великий відсоток атмосферної вологості) значно зростає в порівнянні з активним і на кілька порядків перевищує його, тобто $1/R_n \gg C_n$ [9].

Таким чином, на підставі прийнятих припущень можна записати вираз (10) так:

$$I_{\epsilon} = U \left(\frac{1}{R_n} + j\omega C_0 \right). \quad (11)$$

Тобто, струм витоку ізолятора обумовлений в основному його поверхневою I_n та ємнісною I_c складовими.

Високовольтні ізолятори конструктивно виконуються зі змінним діаметром, тому опір поверхні:

$$R = \int_0^{L_y} \frac{\rho_v dl}{\pi D(l) \Delta}, \quad (12)$$

де l – відстань від електрода до елементарної ділянки dl ; L_y – повна довжина витоку по поверхні ізолятора; $D(l)$ – змінний діаметр ізолятора; ρ_v – питомий об'ємний опір шару забруднення; Δ – товща шару забруднення.

У разі виникнення часткових розрядів повний опір поверхневого шару зменшується за рахунок шунтованих дугою ділянок

$$R_{ш} = R - (r_n - r_d) \cdot l_d, \quad (13)$$

де r_n – опір зволоженого та забрудненого шару на одиницю довжини;

r_d – опір одиниці довжини дуги;

l_d – довжина дуги.

Для стаціонарної дуги залежність між струмом дуги та напруженістю може бути представлена у вигляді [10]:

$$E_d = A I^{-n}, \quad (14)$$

де A і n – константи, що залежать від умов горіння дуги.

$$r_n = \frac{\rho_v}{\pi D \Delta}; \quad (15)$$

$$r_d = \frac{A I^n}{I} = A I^{-(n+1)}. \quad (16)$$

Очевидно, що якщо $r_n \geq r_0$ то $R_{ui} \geq R$ і струм по поверхні ізолятора зменшиться порівняно з початковим струмом (до виникнення часткових розрядів). Зменшення струму витоку призводить до зростання опору дуги, і в свою чергу до подальшого зменшення струму, аж до повного згасання дуги.

Якщо ж $r_n < r_0$, то звідси $R_{ui} < R$ і струм поверхнею ізолятора збільшується. Цей факт призводить до подальшого зменшення опору каналу дуги, що, у свою чергу, сприяє збільшенню струму. Сумарний опір поверхні ізолятора зменшується, виникають сприятливі умови для подальшого просування дуги вздовж поверхні ізолятора до його перекриття.

Таким чином, умову перекриття поверхні ізолятора можна записати як

$$\frac{\rho_v}{\pi D \Delta} \geq A I^{-(n+1)}, \quad (17)$$

або замінивши питомий об'ємний опір на стандартну одиницю (провідність χ_v) отримаємо:

$$I_{кр} = (A \pi D(l) \Delta \chi_v)^{\frac{1}{1+n}}. \quad (18)$$

Таким чином, з отриманої формули (18) видно, що струм витоку по забрудненій і зволоженій поверхні ізолятора залежить від розмірів самого ізолятора, товщини шару забруднення та його провідності, а також умов навколишнього середовища (константи A і n). Тобто можна сказати, що на розрядну напругу ізоляторів впливають випадкові фактори, пов'язані із виникненням та розвитком розряду [1]. Тому розрядна напруга є випадковою величиною, яка підпорядковується статистичним законам. Експерименти показали, що значення розрядної напруги опорних ізоляторів відповідають нормальному закону розподілу. Інтегральна функція розподілу ймовірності виникнення розряду при напрузі U описується рівнянням

$$p(U) = \frac{1}{\sigma \sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^U e^{-\frac{(U-\bar{U})^2}{2\sigma^2}} dU; \quad (19)$$

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum (\bar{U} - U)^2}{N-1}}, \quad (20)$$

де $\bar{U}$ - значення розрядної напруги, що відповідає 50%-ної ймовірності, визначається відповідно до [11]; σ - середньоквадратичне відхилення розрядних напруг від 50 %-ної величини; N – кількість дослідів.

Імовірність того, що відхилення розрядної напруги від $\bar{U}$ буде перевищувати 2σ

$$p(U - \bar{U}) \geq \beta\sigma, \quad (21)$$

для 2σ становить 0,0455, а для 3σ дорівнює 0,0027. Імовірність того, що розряд відбудеться при напрузі $U \geq (\bar{U} + 2\sigma)$ дорівнює 0,023, а при напрузі $U \geq (\bar{U} + 3\sigma)$ становить 0,00135. Надалі, для оцінки найменшої розрядної напруги використовуватиметься саме цей вираз

$$U_{\min} = \bar{U} - 3\sigma \quad (22)$$

бо ймовірність розряду при меншій напрузі практично дорівнює нулю.

Процес розвитку розряду на усіх його стадіях, як зазначалося вище, визначається станом поверхневого шару ізолятора, але з іншого боку цей стан визначає струм витоку [1]. Тому є необхідним виведення функціональної залежності розрядної напруги від струму витоку опорних ізоляторів 10 - 35 кВ, що знаходяться під робочою напругою. Для цього були використані методи регресійного та кореляційного аналізу.

На основі експериментальних даних було побудовано емпіричну лінію регресії та зроблено висновок про те, що шукана залежність може бути записана у вигляді полінома

$$y = b_0 + b_1x + b_2x^2 + \dots + b_kx^k. \quad (23)$$

Як критерій при розрахунку розглядалася залишкова дисперсія

$$S_k^2 = \frac{\sum_{i=1}^N (y_i - \hat{y}_i)^2}{N - L}, \quad (24)$$

де y_i - експериментальне значення функції; $\hat{y}_i$ - теоретичне значення функції; N - кількість дослідів; L - кількість коефіцієнтів регресії.

Як тільки при переході від k -го ступеня полинома до $(k+1)$ залишкова дисперсія S_{k+1}^2 ставала значно більшою S_k^2 , збільшення ступеня припинялося.

Значущість різниці між S_k^2 та S_{k+1}^2 перевірялася за критерієм Фішера.

У результаті проведених розрахунків було отримано рівняння регресії, яке має вигляд:

$$Y = 122,56 - 60,83X + 14,9X^2 - 1,28X^3. \quad (25)$$

Для отриманого рівняння регресії (25) на рис.2 зображено графік залежності 50 % розрядної напруги від струму витоку ізолятора, який знаходиться під робочою напругою. Залежність (25) дозволяє визначити розрядну напругу за відомим струмом витоку і порівняти її з величиною перенапруги, визначаючи при цьому ступінь небезпеки стану поверхневого шару ізолятора.

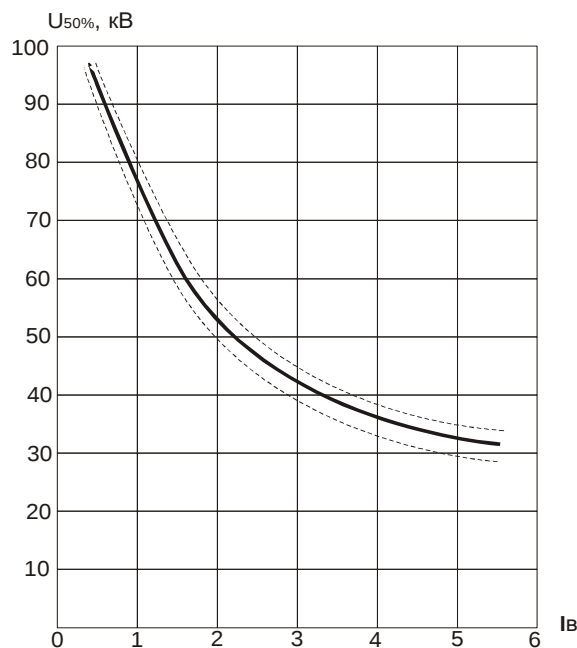


Рис.2. Залежність розрядної напруги від струму витоку опорного ізолятора (пунктиром вказано довірчі інтервали)

Виходячи з того, що найпоширенішим видом пошкодження є однофазні замикання на землю, 70 % яких супроводжуються появою електричної дуги та приймаючи величину виникаючих при цьому перенапруг у мережах 10-35 кВ - 3...3,2 Уф, можна оцінити з точки зору небезпеки перекриття мінімальне значення струму витоку ізолятора.

Підставляючи в рівняння регресії (25) вираз (22) і значення $U_{\min} = 3,2U_{\text{ф}}$, $\varphi = 4,927$ (визначено відповідно (21)) отримуємо таке рівняння:

$$1,28X^3 - 14,9X^2 + 60,83X - 43,76 = 0. \quad (26)$$

Розв'язавши це рівняння. отримуємо, що $I_{v.\min} = 0,904$ мА.

Висновки і перспективи. Використовуючи отримане значення Ів.мін і криву (рис.2), можна оцінити небезпеку перекриття ізоляторів 35 кВ залежно від впливу факторів навколишнього середовища. Так, наприклад, для ізолятора, струм витоку якого становить 4 мА, значення 50 % розрядної напруги становитиме приблизно 33-35 кВ. У цьому випадку ймовірність перекриття ізолятора є високою і доцільно вжити своєчасні заходи щодо запобігання перекриттю.

Список використаних джерел

1. Котиш А. І. Автоматизовані засоби технічної діагностики та електричного контролю за станом ізоляції в сільських електричних мережах: Автореф. дис... к-та техн. наук: 05.11.13 /НТУ "ХПІ". Харків, 2001. 17 с.
2. Gataullin A.M., Gubaev D.F. Integrated Method of Assessment the Type of Damages, their Localization and Predicting the Destruction of High-Voltage Electrical Equipment Insulators by the Partial Discharges Characteristics. *Problemele Energeticii Regionale*. 2022. №: 1 (53). pp.152-160.
3. Котиш А.І. Дослідження процесів поверхневого перекриття опорних ізоляторів 10-35 кВ в функції струму витоку. Вісник НТУ "ХПІ", Тем. вип. Електроенергетика і перетворююча техніка. Харків: НТУ "ХПІ". 2004. №7. С. 133–138.
4. Серебренніков С. В., Сіріков О. І. Вибір інформативних параметрів для контролю забрудненості високовольтих ізоляторів. Фізичні методи та засоби контролю середовищ, матеріалів та виробів. Вип. 11: Електромагнітний, ультразвуковий та оптичний неруйнівний контроль матеріалів: Зб. наук. праць. Львів: Фізико-механічний інститут ім. Г.В. Карпенка НАН України, 2006. С. 224-229.
5. Серебренніков С. В., Сіріков О. І. Моделювання комплексного поверхневого струму витоку високовольтих ізоляторів з урахуванням нерівномірності забруднення поверхні. Вісник національного технічного університету „Харківський політехнічний інститут”: Зб. наук. праць. Харків, 2008. №40. С. 111-114.
6. Орлович А. Ю., Котиш А. І., Серебренніков С. В. Автоматизована система контролю за станом ізоляції в повітряних мережах напругою 10-35 кВ. Технічна діагностика та неруйнівний контроль. 2000. №4. С.62-65.
7. Орлович А. Е., Котыш А. И. Управление автоматизированным обогревом КРУН на основе прогноза выпадения росы на изоляторе. *Энергетика и электрификация*. 1998. №6. С. 46-48.
8. Тареев Б.М. Физика диэлектрических материалов. М.: Энергия, 1973. 328 с.
9. Нерпин Е. Б., Чудновский Л. В. Физика почвы. М.: Наука, 1967. 584 с.
10. Бржезицький В. О., Ісакова А. В., Рудаков В. В.; за ред. В. О. Бржезицького. Техніка і електрофізика високих напруг. Харків : НТУ «ХПІ». Торнадо, 2005. 930 с.
11. ГОСТ 10390-86 Электрообладания на напругу понад 3 кВ. Методи випробувань зовнішньої ізоляції в забрудненому стані.

References

1. Kotysh, A. I. (2001). Avtomatyzovani zasoby tekhnichnoi diahnostyky ta elektrychnoho kontroliu za stanom izoliatsii v silskykh elektrychnykh merezhakh [Automated means of technical diagnostics and electrical control of the state of insulation in rural electrical networks]: Avtoref. dys... k-ta tekhn. nauk: 05.11.13 /NTU "KhPI" Kharkiv, 17.
2. Gataullin, A. M., Gubaev, D. F. (2022). Integrated Method of Assessment the Type of Damages, their Localization and Predicting the Destruction of High-Voltage Electrical Equipment Insulators by the Partial Discharges Characteristics. Problemele Energetiiei Regionale, 1 (53), 152-160.
3. Kotysh, A. I. (2004). Doslidzhennia protsesiv poverkhnevoho perekryttia opornykh izoliatoriv 10-35 kV v funksii strumu vytoku [Study of processes of surface overlap of support insulators 10-35 kV as a function of leakage current]. Visnyk NTU "KhPI", Tem. vyp. Elektroenerhetyka i peretvoriuiucha tekhnika. Kharkiv: NTU "KhPI", 7, 133–138.
4. Serebrennikov, S. V., Sirikov, O. I. (2006). Vybir informatyvnykh parametriv dlia kontroliu zabrudnenosti vysokovoltnykh izoliatoriv [Selection of informative parameters for monitoring contamination of high-voltage insulators]. Fizychni metody ta zasoby kontroliu seredovyshch, materialiv ta vyrobiv, 11: Elektromahnitnyi, ultrazvukovyi ta optychnyi neruinivnyi kontrol materialiv: Zb. nauk. prats. Lviv: Fizyko-mekhanichniy instytut im. H.V. Karpenka NAN Ukrainy, 224-229.
5. Serebrennikov, S. V., Sirikov, O. I. (2008). Modeliuvannia kompleksnoho poverkhnevoho strumu vytoku vysokovoltnykh izoliatoriv z urakhuvanniam nerivnomirnosti zabrudnennia poverkhni [Modeling of the complex surface leakage current of high-voltage insulators taking into account the uneven surface contamination]. Visnyk natsionalnoho tekhnichnoho universytetu „Kharkivskyi politekhnichniy instytut”: Zb. nauk. prats. Kharkiv, 40, 111-114.
6. Orlovych, A. Iu., Kotysh, A. I., Serebrennikov, S. V. (2000). Avtomatyzovana systema kontroliu za stanom izoliatsii v povitrianykh merezhakh napruhoiu 10-35 kV [Automated system for monitoring the state of insulation in overhead networks with a voltage of 10-35 kV]. Tekhnichna diahnostyka ta neruinivnyi kontrol, 4, 62-65.
7. Orlovich, A. E., Kotysh, A. I. (1998). Upravleniye avtomatizirovannym obogrevom KRUN na osnove prognoza vypadeniya rosy na izolyatore [Control of automated heating KRUN based on the forecast of dew on the insulator]. Energetika i elektrifikatsiya, 6, 46-48.
8. Tareev, B. M. (1973). Fizika dielektricheskikh materialov [Physics of dielectric materials]. Moskow: Energiya, 328.
9. Nerpin, E. B., Chudnovskiy, L. V. (1967). Fizika pochvy [Soil physics]. Moskow: Nauka, 584.
10. Brzhezytskyi, V. O., Isakova, A. V., Rudakov, V. V. (2005). Tekhnika i elektrofizyka vysokykh napruh [Technology and electrophysics of high voltages]. Kharkiv : NTU «KhPI», Tornado, 930.
11. HOST 10390-86 Elektroobladnannia na napruhu ponad 3 kV. Metody vyprobuvan zovnishnoi izoliatsii v zabrudnenomu stani [GOST 10390-86 Electrical equipment for voltage over 3 kV. Methods of testing external insulation in a contaminated state].

DIAGNOSIS OF THE CONDITION HIGH-VOLTAGE SUPPORT INSULATORS BY LEAKAGE CURRENTS

A. Kotysh, K. Petrova, I. Savelenko, S. Serebrennikov

Abstract. *The assessment of the discharge strength of the insulation is of the utmost importance for the prevention of overlap and the establishment of the deadline for the implementation of preventive measures.*

Preventive measures used in electric networks to prevent insulator overlap have low efficiency, and existing diagnostic and control tools are not always able to correctly assess the insulating capacity of insulators during operation.

The main reasons for overlapping and damage to the insulation are its contamination with various chemical substances, which is also accompanied by moisture.

Overlapping of the surface of the insulators leads to single-phase short circuits to the ground or to interphase short circuits. The greatest danger is caused by short-circuits accompanied by an intermittent electric arc, which can cause large overvoltages in the electrical network, and their value reaches 3...3.2U_f. Such conditions, in turn, are very favorable for covering the surfaces of insulators.

The non-destructive control method of assessing the insulating capacity of insulators based on the measured values of leakage currents is the most suitable not only for insulators of complete switchgears of 10 kV, but also for external insulation of open switchgears of 35 kV, as it allows continuous automatic control of the degree of contamination of the insulator.

The purpose of the research is to establish the functional dependence between the leakage current of the contaminated insulator and its discharge voltage.

As a result of theoretical studies of the working conditions of insulation during operation, the characteristics of the surface layer of insulators contaminated in natural conditions were determined, these characteristics were analyzed depending on the location of the substation and the time elapsed since the last cleaning. According to the methods of regression and correlation analysis, based on experimental data, an empirical regression line was constructed, which made it possible to determine the insulator leakage current, which is dangerous from the point of view of overlapping.

Key words: *support insulator, leakage current, discharge voltage, ground fault*