

ОЦІНКА РОЗРЯДНИХ НАПРУГ ПО ВЕЛИЧИНІ СТРУМУ ВИТОКУ ІЗОЛЯТОРІВ, ЩО ЗНАХОДЯТЬСЯ ПІД РОБОЧОЮ НАПРУГОЮ

Котиш А.І., к.т.н., доц.

Кіровоградський національний технічний університет

Україна, 25006, Кіровоград, пр-т Університетський 8, КНТУ, кафедра "Електротехнічні системи"

тел. (0522) 597-461, E-mail: epp@kdtu.kg.ua

Запропоновано метод визначення розрядної міцності підстанційної ізоляції на основі виведеної функціональної залежності між струмом витоку ізолятора і його розрядною напругою.

Предложен метод определения разрядной прочности подстанционной изоляции на основании выведенной функциональной зависимости между током утечки изолятора и его разрядным напряжением.

Правильне уявлення про фізичну природу розвитку розряду по поверхні забруднених ізоляторів вкрай необхідно не тільки для ґрунтовного вибору оптимальної конструкції ізоляторів, а й для підвищення надійності їх експлуатації (проведення профілактичних заходів при появі несприятливих передрозрядних явищ).

В теперішній час існує біля 300 теорій перекриття ізоляторів, однак в більшості випадків вивчення процесів розвитку розряду по забрудненій і зволоженій поверхні здійснюється експериментально [1, 2].

Оцінкою розрядних напруг при рівномірному забрудненні може правити величина поверхневої провідності. Цей параметр зручно використовувати для зрівняння характеристик різних видів забруднень. Але при нерівномірному забрудненні, яке як правило має місце в умовах експлуатації ізоляторів відкритих розподільчих пристроїв (ВРП) підстанцій, цей параметр не може однозначно характеризувати розрядну напругу ізоляторів [3], тому необхідно вишукувати інший параметр більш зручний і універсальний, який би дозволяв здійснювати контроль небезпеки перекриття ізоляторів ВРП за певних обставин.

В цілому механізм перекриття ізолятора можливо представити таким чином. Під дією прикладеної до ізолятора напруги на зволоженому шарі забруднення відбувається безперервний процес встановлення струму витоку. При збільшенні прикладеної до ізоляторів напруги на 10...70%, що в експлуатації може бути пов'язано з регулюванням напруги в мережі або із замиканням на землю, струм витоку зростає. Оскільки ізолятори вздовж шляху витоку мають змінний діаметр, а також нерівномірну щільність забруднення, то щільність струмів витоку в окремих зонах різна. В місцях з більшою щільністю опір шару забруднення внаслідок найбільш інтенсивного підсушування збільшується. Падіння напруги й виділення тепла на цих ділянках зростають, що призводить до подальшого збільшення опору шару забруднення. В результаті цього лінійність розподілення напруги по забрудненій поверхні ізолятора різко порушується.

Значне підвищення напруги на підсушених ділянках викликає виникнення часткових розрядів. При цьому на поверхні ізолятора помітно велику кількість 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. В цьому випадку спостерігаються значні стрибки струмів витоку, які є причиною утворення стійких часткових дуг. Дуга розтягується аж до повного перекриття ізолятора.

На розрядну напругу ізоляторів окрім факторів навколишнього середовища впливають ще й випадкові фактори, пов'язані з виникненням і розвитком розряду [4]. Тому розрядна напруга є випадковою величиною, яка підпорядковується статистичним законам. Експерименти показали, що значення розрядних напруг опорних ізоляторів відповідають нормальному закону розподілення. Інтегральна функція розподілення імовірності виникнення розряду при напрузі U описується рівнянням

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

$$\text{де} \quad \sigma = \sqrt{\frac{\sum (\bar{U} - U)^2}{N-1}}; \quad (2)$$

$\bar{U}$ - значення розрядної напруги, що відповідає 50%-вої імовірності, визначається у відповідності ГОСТ 10390-86; σ - середньоквадратичне відхилення розрядних напруг від 50%-вої величини; N - кількість дослідів.

Імовірність того, що відхилення розрядних напруг від $\bar{U}$ буде перевищувати $\beta \cdot \sigma$

$$p \cdot (U - \bar{U}) \geq \beta \cdot \sigma \quad (3)$$

для $2 \cdot \sigma$ складає 0,0455, а для $3 \cdot \sigma$ дорівнює 0,0027. Імовірність того, що розряд відбудеться при напрузі $U \leq (\bar{U} - 2 \cdot \sigma)$ дорівнює 0,023, а при напрузі $U \leq (\bar{U} - 3 \cdot \sigma)$ складає 0,00135. В подальшому, для оцінки найменшої розрядної напруги буде використовуватися саме цей вираз

$$U_{\min} = \bar{U} - 3 \cdot \sigma \quad (4)$$

бо імовірність розряду при меншій напрузі практично дорівнює нулю.

Процес розвитку розряду на всіх його стадіях, як

зазначалося вище, визначається станом поверхневого шару ізолятора, але з іншого боку цей стан визначає струм витоку [4]. Тому представляється необхідним виведення функціональної залежності розрядних напруг 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 була побудована емпірична лінія регресії й зроблено висновок про те, що вишукувана залежність може бути записана у вигляді поліному

$$y = b_0 + b_1 \cdot x + b_2 \cdot x^2 + \dots + b_k \cdot x^k \quad (5)$$

Як критерій при розрахунку розглядалася залишкова дисперсія

$$S_k^2 = \frac{\sum_{i=1}^N (y_i - \hat{y}_i)^2}{N - L} \quad (6)$$

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 -ої степені поліному до $(k+1)$ -ої залишкова дисперсія S_{k+1}^2 ставала значно більшою за S_k^2 , збільшення степені припинялось.

Значимість різниці між S_k^2 та S_{k+1}^2 перевірялась за критерієм Фішера

В результаті проведених розрахунків було отримано рівняння регресії, яке має вигляд

$$Y = 122,56 - 60,83 \cdot X + 14,9 \cdot X^2 - 1,28 \cdot X^3 \quad (7)$$

Для здобутого рівняння регресії (7) на рис. 1 зображений графік залежності 50%- розрядних напруг від струму витоку ізолятора, що знаходиться під робочою напругою. Залежність (7) дозволяє визначити розрядну напругу по відомому струму витоку й порівняти її з величиною перенапруги, визначаючи при цьому міру небезпеки стану поверхневого шару ізолятора.

Виходячи з того, що найбільш розповсюдженим видом пошкодження є однофазні замикання на землю, 70% котрих супроводжуються появою електричної дуги приймаючи величину, виникаючих при цьому перенапруг в мережах 10-35 кВ - 3...3,2 Uф, можливо оцінити з точки зору небезпеки перекриття мінімальне значення струму витоку ізолятора.

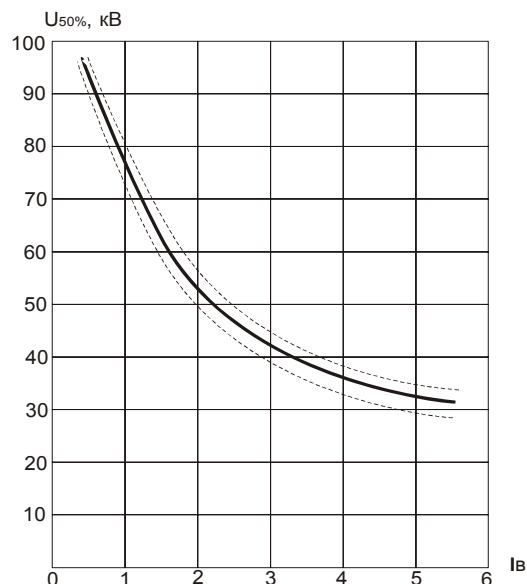


Рис. 1. Залежність розрядних напруг від струму витоку опорного ізолятора ВРП (пунктиром вказані довірчі інтервали)

Підставляючи в рівняння регресії (7) вираз (4) та значення $U_{min}=3,2U_{ф}$, $\sigma=4,927$ (визначене у відповідності (3)) отримуємо наступне рівняння

$$1,28 \cdot X^3 - 14,9 \cdot X^2 + 60,83 \cdot X - 43,76 = 0 \quad (8)$$

Вирішуючи це рівняння отримуємо, що $I_{в.min}=0,904$ мА.

Використовуючи отримане значення $I_{в.min}$ та криву (рис. 1) можливо оцінити небезпеку перекриття ізоляторів 35 кВ в залежності від впливу факторів навколишнього середовища. Так наприклад, для ізолятора, струм витоку якого становить 4 мА, значення 50% розрядної напруги становитиме приблизно 33-35 кВ. В цьому випадку імовірність перекриття ізолятора висока і вживання заходів, щодо запобігання перекриття було б своєчасне.

ЛІТЕРАТУРА

- [1] 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". - №7. - 2004. - С. 133-138.
- [2] Котиш А.І., Гарасьова Н.Ю. Оцінка визначення ізолюючої спроможності опорних ізоляторів за струмами витоку // Збірник наукових праць Кіровоградського національного технічного університету / Вип. 15. - Кіровоград: КНТУ, 2004. - С. 123-126.
- [3] Электрические изоляторы / Н.С. Костюков, Н.В. Минаков, В.А. Князев и др.; Под ред. Н.С. Костюкова. - М.: Энергоатомиздат, 1984. - 296 с.
- [4] 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.

Надійшла 02.09.2005