

С. В. Серебренніков, О. І. Сіріков

Кіровоградський національний технічний університет, м. Кіровоград

ВИБІР ІНФОРМАТИВНИХ ПАРАМЕТРІВ ДЛЯ КОНТРОЛЮ ЗАБРУДНЕНOSTІ ВИСОКОВОЛЬТНИХ ІЗОЛЯТОРІВ

Згідно статистичних даних [1,2] основною причиною аварійних відключень розподільчих електромереж є перекриття і пошкодження ізоляції – приблизно 30 % від загальної кількості. Проте, у комплектних розподільчих пристроях зовнішньої установки (КРПЗУ) ця причина призводить до 80 % аварійних відключень [3]. Перекриття ізоляції виникають при зниженні ізоляційної міцності внаслідок забруднення поверхні ізоляційних конструкцій. Наприклад, розрядна напруженість вздовж чистої поверхні ізолятора становить 3–5 кВ/см, а забрудненої – 0,5–1 кВ/см [4], тобто відбувається її різке зниження у 3–10 разів.

Забруднення поверхні ізоляторів обумовлюється осіданням продуктів вивітрювання з поверхні землі, а також промислових виносів, які є найбільш небезпечними з точки зору перекриття ізоляції, так як у більшості випадків вирізняються високою електропровідністю (сажа, графіт, металевий пил і т. п.). Небезпеку також становлять солі, луги і кислоти, які в твердому стані майже не проводять електричний струм, але при їх розчиненні вологою створюють електроліт з підвищеною електропровідністю. Волога на поверхні ізоляційної конструкції може виникати внаслідок дощів, туманів, випадіння роси. Останнє найбільш актуальне для КРПЗУ і є головною причиною їх пошкодження.

Кількість забруднюючої речовини на поверхні ізоляторів різко змінюється в залежності від місця розташування джерела забруднення, характеру його роботи і потужності, погодних умов. Ступінь і розподіл забруднення суттєво залежить також від форми, положення і аеродинамічних характеристик ізоляторів. На гладких поверхнях, які добре обдуваються вітром і омиваються дощем, відкладення мінімальні; на ребристих поверхнях ізоляторів, які гальмують потік повітря, створюється нерівномірний шар забруднення.

Отже, наявність великої кількості факторів, які впливають на процес забруднювання обумовлює його випадковий характер.

Тривала відсутність дощів сприяє швидкому нарощуванню забруднюючого шару. Дощ змиває частину забруднюючої речовини повітряних ліній електропередач, втім забруднення може накопичуватися у вигляді зцементованого шару, який звичайним змиванням не видаляється. При наявності стійкого забруднення ізолятор вважається непридатним до експлуатації [4] і підлягає заміні.

Для внутрішньої ізоляції КРПЗУ змивання забруднення внаслідок проходження дощів є неможливим, тому в цьому разі єдиним засобом збереження нормального стану ізоляції є її профілактичне очищення. За даними “Кіровоградобленерго” чистка поверхні ізоляторів внутрішньої установки в КРПЗУ проводиться двічі на рік. Це призводить до додаткових витрат, пов’язаних з недовідпуском електричної енергії, оплатою висококваліфікованої праці енергетиків тощо.

Тому зберігає актуальність питання щодо створення автоматизованої системи контролю за станом забруднення поверхні ізоляторів під робочою напругою та обґрунтування найбільш раціонального методу контролю.

На сьогодні існує розвинута мережа методів неруйнівного контролю забруднення поверхні ізоляційних конструкцій під напругою, основні з яких представлені на Рис. 1.

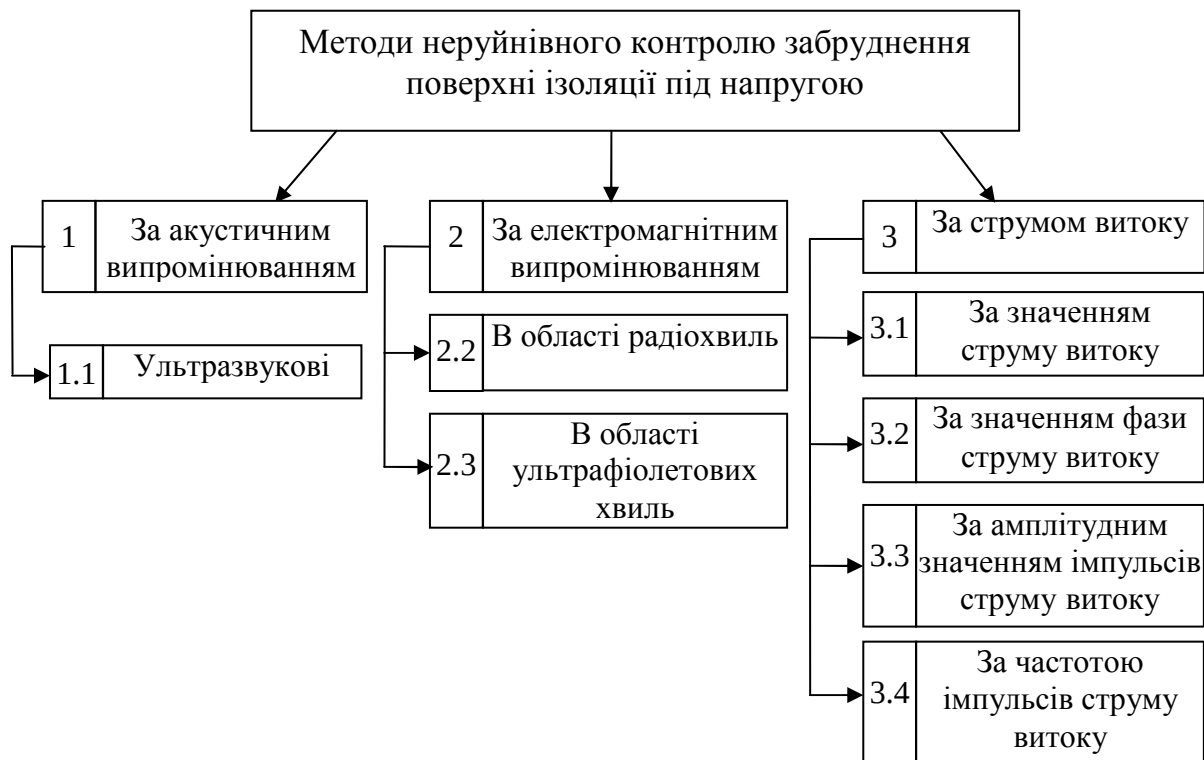


Рис. 1 Класифікація методів неруйнівного контролю забруднення поверхні ізоляційних конструкцій під напругою

Акустичні прилади контролю 1 працюють по принципу реєстрації звукового випромінювання, яке створюють часткові дуги, що виникають на забрудненій поверхні. Для більшої заводо захищеності контролюється ультразвукова частина діапазону. Даний метод характеризується такими недоліками як: неможливість контролю ступеня забрудненості на ранніх стадіях, слабкий кореляційний зв'язок між інтенсивністю ультразвукового випромінювання і інтенсивністю часткових розрядів, залежність сигналу від взаємного розташування давача і часткової дуги.

Електромагнітні прилади 2 контролю реєструють електромагнітне випромінювання, яке створюють дуги або коронний розряд на забрудненій поверхні. Ці прилади мають аналогічні недоліки, проте можуть реєструвати часткові розряди на початковому етапі, а методи 2.3 – навіть місце їхнього розташування.

Більшість електричних методів 3 неруйнівного контролю пов'язана з вимірюванням параметрів струму витоку. Ці методи характеризуються надійністю, низькою вартістю, можливістю контролю ступеня забруднення на початкових стадіях. Методи, що базуються на контролі імпульсів струму витоку (3.3, 3.4), які виникають внаслідок розрядів на поверхні ізоляційної конструкції, мають недоліки притаманні методам 1, 2.

Найбільш раціональним та інформативним методом неруйнівного контролю забруднення є метод при якому контролюється значення і фаза струму витоку. Перевагою методу є те, що він дозволяє визначати поточний ступінь забрудненості поверхні на будь-який стадії.

Розглянемо схему заміщення забрудненого ізолятора наведену на Рис. 2.

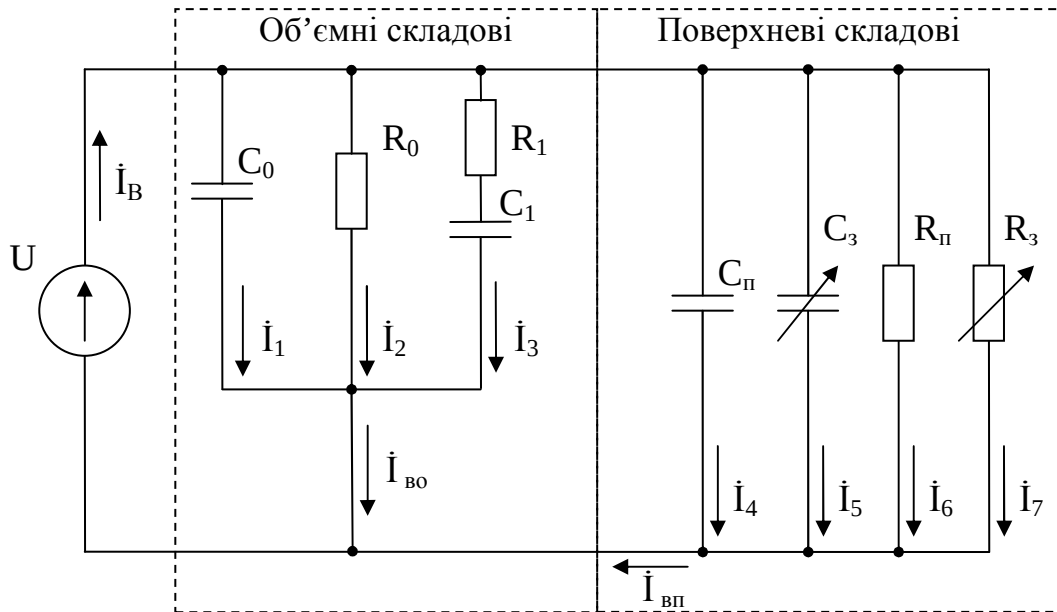


Рис. 2 Схема заміщення електричного кола з ізолятором

При прикладенні високої напруги U до ізолятора через нього починає протікати струм витoku I_B , зумовлений об'ємними і поверхневими явищами, який можна розкласти на сім складових (Рис. 2):

$$I_B = I_{BO} + I_{BP} = (I_1 + I_2 + I_3) + (I_4 + I_5 + I_6 + I_7) \quad (1)$$

де I_{BO} – об'ємний струм витoku,

I_{BP} – поверхневий струм витoku,

I_1 – струм, обумовлений ємністю між фланцями через тіло ізолятора,

$I_1 = j\omega C_0 U$ (ω – кутова частота; C_0 – електрична ємність між фланцями 5 (Рис. 3)),

I_2 – струм активної провідності твердого діелектрика між фланцями,

I_3 – струм абсорбції твердого діелектрика,

I_4 – струм, обумовлений ємністю між фланцями ізолятора через повітря,

I_5 – ємнісний струм, що створюється забрудненням та зволоженням поверхні,

I_6 – струм активної провідності по поверхні чистого твердого діелектрика,

I_7 – струм активної провідності через забруднюючий шар на поверхні.

Ємнісна складова струму витoku I_1 залежить від відносної діелектричної проникності твердого діелектрика та геометричних розмірів фланцю, які залишається сталими в процесі експлуатації ізолятора [5].

Струм I_2 через активну провідність виникає за рахунок “не ідеальності” діелектричного матеріалу твердого діелектрика [6].

Поява струму абсорбції I_3 відображує процес заряду шарів діелектрика через опір ізоляції попереднього шару [4]:

$$I_3 = \frac{U}{R_1 + \frac{1}{j\omega C_1}} \quad (2)$$

Стала ємнісна складова I_4 поверхневого струму витoku I_{BP} , залежить від відносної діелектричної проникності повітря та геометричних розмірів фланців ізолятора

$$\dot{I}_4 = j\omega C_n U \quad (3)$$

де C_n – геометрична ємність між фланцями ізолятора через повітря.

Виникнення ємнісної складової $\dot{I}_5 = j\omega C_3 U$ в поверхневому струмі витоку від забруднення та зволоження може бути пояснене різними видами поляризації забруднюючої речовини, а саме:

1. електронна поляризація, яка спричиняється зміщенням центру тяжіння системи електронних оболонок відносно заряду ядра;
2. іонна поляризація – зміщення іонів одного знаку по відношенню до іонів протилежного знаку;
3. дипольна поляризація – за рахунок орієнтації пружних диполів під дією зовнішнього електричного поля;
4. структурна поляризація, обумовлена переміщенням слабо пов'язаних із сусідніми частинками іонів та диполів;
5. низькочастотна, або внутрішньо шарова, поляризація, яка обумовлена утворюванням об'ємних зарядів у приелектродних зонах.

Постійна активна складова $\dot{I}_6$ в поверхневому струмі витоку характеризує активний поверхневий опір R_n незабрудненої поверхні ізолятора.

Наявність забруднення створює активний струм $\dot{I}_7$, який обумовлений поверхневим опором R_3 і залежить від товщини забруднюючого шару, його хімічного складу, вмісту води і т. і.

$$R_3 = \frac{\rho L_y}{S} = \frac{\rho L_y}{\pi(dT + T^2)} \quad (4)$$

де L_y – довжина шляху струму витоку,

ρ – питомий об'ємний опір забруднення,

S – площа поперечного перетину шару забруднення,

T – товщина шару забруднення,

d – діаметр ізолятора.

З огляду на те, що діаметр ізолятора змінюється вздовж поточної координати l , а товщина і питомий об'ємний опір забруднення можуть залежати від l і також враховуючи, що $d \gg T$, з (4) опір елементу поверхні ізолятора dR_3 можна визначити за формулою:

$$dR_3 = \frac{\rho(l)dl}{\pi T(l)d(l)}$$

Повний поверхневий опір забрудненого ізолятора:

$$R_3 = \frac{1}{\pi} \int_0^{L_y} \frac{\rho(l)dl}{T(l)d(l)}$$

Тоді загальний струм витоку (1) через ізолятор становить:

$$\dot{I}_B = \left(j\omega C_0 U + \frac{U}{R_0} + \frac{U}{R_1 + \frac{1}{j\omega C_1}} \right) + \left(j\omega C_n U + j\omega C_3 U + \frac{U}{R_n} + \frac{U}{R_3} \right) \quad (5)$$

Складові об'ємного струму витоку $\dot{I}_{B0}$ не залежать від параметрів забруднення і тому є неінформативними.

Поверхневий струм витоків $I_{\text{ВП}}$ залежить від характеру і ступеня забруднення, конструктивних особливостей ізолятора, прикладеної напруги, і може бути використаний в якості інформативного параметру контролю:

$$I_{\text{ВП}} = U \left(j\omega C_{\text{п}} + \frac{1}{R_{\text{п}}} + j\omega C_3 + \frac{1}{R_3} \right) = U Y_{\text{ВП}} e^{j\varphi_{\text{ВП}}} \quad (6)$$

Як видно з виразу (6) ще одним інформативним параметром є фазовий кут $\varphi_{\text{ВП}}$ поверхневого струму витоків:

$$\varphi_{\text{ВП}} = \arctg \left(\frac{(\omega C_{\text{п}} + \omega C_3) R_{\text{п}} R_3}{R_{\text{п}} + R_3} \right) \quad (7)$$

Враховуючи, що $R_{\text{п}}$ має велике значення [4] (для опорних ізоляторів 10 кВ $R_{\text{п}} > 3 \cdot 10^8 \text{ Ом}$), для ідеально чистої поверхні можна прийняти $R_{\text{п}} \rightarrow \infty$, тоді (7) можна записати наступним чином:

$$\varphi_{\text{ВП}} = \arctg[(\omega C_{\text{п}} + \omega C_3) R_3]$$

Перевагою використання в якості параметру контролю $\varphi_{\text{ВП}}$ є те, що він не залежить від прикладеної напруги, а це робить метод контролю 3.2 більш завадозащищеним від нестабільності напруги в мережі.

На основі вищенаведеного нами розроблено пристрій (Рис. 3) для контролю забрудненості високовольтних ізоляторів, що вимірює активну складову поверхневого струму витоків $I_{\text{а}}$, яка переважно характеризує ступінь забруднення, а реактивну (ємнісну) складову $I_{\text{р}}$ використовує для компенсації впливу зволоження. Для цього струм витоків ізолятора розділяється на корисну поверхневу і об'ємну складові за допомогою охоронного кільця 1. Для визначення активної складової поверхневого струму від забруднення $I_{\text{а,забр}}$ слугують блоки 2 і 3.

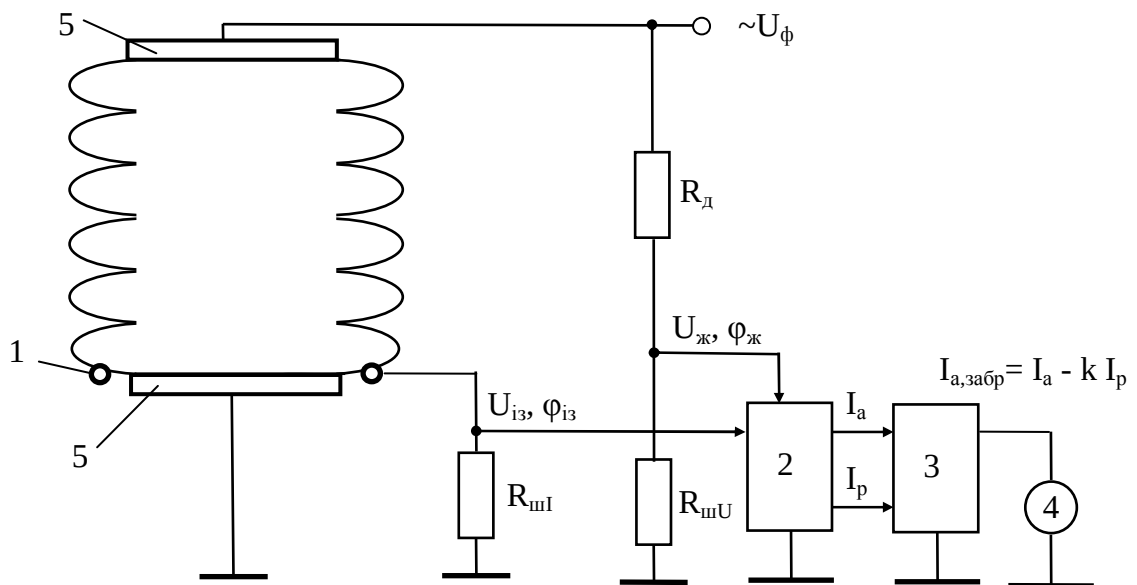


Рис 3. Блок-схема пристрою контролю забруднення під напругою.

У блоці 2 визначаються $I_{\text{а}}$ і $I_{\text{р}}$ через кут зсуву фаз $\Delta\varphi = \varphi_{\text{ж}} - \varphi_{\text{із}}$ між напругою живлення $U_{\text{ж}}$, яка знімається з ділянки напруги, утвореного опорами $R_{\text{д}}$ і $R_{\text{шU}}$ та

напругою U_{i3} , що знімається з шунта $R_{ш1}$: $I_a = \frac{U_{i3}}{R_{ш}} \cos \Delta \varphi$; $I_p = \frac{U_{i3}}{R_{ш}} \sin \Delta \varphi$. Блок коригування 3 визначає струм суто від забруднення $I_{a,забр}$ шляхом усунення впливу активної складової, яку вносить волога:

$$I_{a,забр} = I_a - kI_p,$$

де k – коригуючий коефіцієнт пропорційності. Скоригований сигнал від забруднення контролюється вимірювальним приладом 4 і передається до диспетчера засобами телемеханіки [7], для прийняття рішення по проведенню заходів по очищенню ізоляторів. Експериментальні дослідження показали, що на підстанціях розташованих у відносно чистих районах періодичність очищення необхідно зменшити відносно нормативної до 1 разу на 3 роки, а наприклад на підстанції Завалівського графітового комбінату збільшити до 10 разів на рік.

По результатах досліджень можна зазначити наступне:

1. На основі порівняльного аналізу існуючих методів неруйнівного контролю забруднення поверхні ізоляційних конструкцій обґрунтовано, що контроль за струмом витоку та його фазою є найбільш інформативним та раціональним.
2. Побудована модель високовольтного ізолятора під напругою дозволяє досліджувати вплив забруднення на струм витоку ізолятора. Уточнено, що в якості інформативного параметру контролю найбільш доцільно використовувати поверхневу складову струму витоку.
3. Запропонована блок-схема пристрою контролю забруднення під напругою з компенсацією впливу вологи.

Література

1. 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.
2. Серебренніков С.В., Котиш А.І., Плешков П.Г. Контроль якості та діагностика стану високовольтних ізоляторів повітряних електромереж під напругою// 3-я українська НТК „Науковий контроль та технічна діагностика”, НКТД – 2000 Дніпропетровськ, 22-25 трав. 2000, с.193 – 196.
3. Орлович А.Е. Способы повышения надежности КРУН напряжением 6, 10 кВ // Повышение экономичности и надежности электрификации сельского хозяйства: Сб. науч. тр. / Моск. ин-т с.-х. пр-ва. – М., 1986. – С. 24-26.
4. Бажанов С.А., Воскресенский В.Ф. Профилактические испытания изоляции оборудования высокого напряжения. М.: Энергия, 1977.
5. Дубинский Г.Н., Левин Л.Г. Наладка устройств электроснабжения напряжением свыше 1000 вольт. М.: СОЛОН-Прес, 2005. – 416 с.
6. Справочник по электротехническим материалам. Под ред. Корицкого Ю.В., Пасынкова В.В., Тареева Б.М. – Т. 1. – Л.: Энергоатомиздат, 1986. – 367 с.
7. Козловський А.А., Орлович А.Е., Серебренніков С.В. Автоматизированная система прогнозирования разрушающих атмосферных нагрузок на элементы конструкций воздушных линий электропередач. // Технічна діагностика та неруйнівний контроль. - 2002. - №2. - С.46-48.