

УДК 621.311.1;621.315.62

**А.Ю. Орлович, проф., канд. техн. наук, П.Г. Плешков, доц., канд. техн. наук,
С.В. Серебренніков, доц., канд. техн. наук, О.І. Сіріков, асистент**

Кіровоградський національний технічний університет

Визначення критичного струму витоку для контролю секторних забруднень високовольтних ізоляторів

Визначено залежність величини сектору забруднення від складових комплексного поверхневого струму витоку. Отримано рівняння перетворення для критично допустимого поверхневого струму витоку з урахуванням значень величини сектору забруднення, прикладеної напруги та факторів оточуючого середовища – вологості повітря і різниці між температурами ізолятора та повітря. Розроблений пристрій вимірювання комплексного поверхневого струму витоку та параметрів оточуючого середовища.
електричний контроль, сектор забруднення, комплексний поверхневий струм витоку

Під час експлуатації електроустановок систем електропостачання неминуче відбувається забруднення і зволоження поверхні ізоляції, що призводить до погіршення її ізоляційних властивостей та перекриття [1]. При горизонтальному розташуванні ізолятора превалює забруднення верхньої частини його поверхні. З часом сектор забруднення зростає аж до повного забруднення всієї поверхні ізолятора. Тому поточне значення сектору забруднення, по якому протікає струм витоку, є наперед невідомим, що суттєво ускладнює інтерпретацію результатів контролю.

Метою статті є аналітичне визначення критично допустимого поверхневого струму витоку, при досягненні якого належить провадити очистку ізолятора, з урахуванням значень величини сектору забруднення, прикладеної напруги та факторів оточуючого середовища.

Внаслідок забруднення і зволоження поверхня ізолятора стає електропровідною, створюючи електричну ємність до струмопровідної шини C_1 та заземлених частин C_2 , тому поверхневий струм витоку через забруднюючий шар змінюється в функції повздовжньої координати x внаслідок наявності струмів зміщення через повітря та тіло ізолятора. Для кількісного дослідження параметрів поверхневого струму витоку необхідно врахувати залежність активного опору r_0 , яким моделюється ступінь забруднення, ємності C_1 та C_2 якими моделюється площа сектору забруднення від координати x . Враховуючи складність аналітичного визначення залежності $C_1=f(x)$ і $C_2=f(x)$ за рахунок змінної кривизни поверхні ізолятора та впливу вбудованих фланців, вказані функції знайдено експериментально.

Залежність погонної ємності від координати x та значення провідного сектору може бути описана параболою, помноженою на відносну величину провідного сектора S :

$$C_1 = (a_1 + b_1x + c_1x^2) \cdot S; \quad C_2 = (a_2 + b_2x + c_2x^2) \cdot S, \quad (1)$$

де $a_1, a_2, b_1, b_2, c_1, c_2$ – емпіричні коефіцієнти поліному, отримані для повної поверхні ізолятора.

Розраховані за експериментальними даними значення коефіцієнтів рівнянь (1) наведені в табл. 1. Адекватність їх оцінена коефіцієнтом детермінації R^2 .

Таблиця 1 – Коефіцієнти емпіричного рівняння $C_1=f(x,S)$ і $C_2=f(x,S)$.

Тип ізолятора	Напрямок вимірювання	a , пФ/мм	b , пФ/мм ²	c , пФ/мм ³	R^2
ИОР-10-750-III	До шини	2,49453	-0,034196	0,000139	0,9579
	До плоскості	0,479353	-0,014031	0,000342	0,9738

Для вирішення оберненої задачі – визначення величини сектору забруднення S за складовими комплексного поверхневого струму витoku в кінці ізолятора виконаний множинний нелінійний регресійний аналіз результатів математичного моделювання з урахуванням нерівномірності розподілення погонних параметрів [2]. Отримане рівняння регресії для дослідного ізолятора ИОР-10-750-III має вигляд:

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

де I_a і I_p – відповідно активна і реактивна складова поверхневого струму витoku в кінці ізолятора.

Адекватність отриманого рівняння оцінена коефіцієнтом R^2 , який склав 0,9731.

Оцінити залежність складових поверхневого струму витoku від величини сектора S і ступеня забруднення (активної складової r_0) можна, розглянувши годограф, зображений на рис. 1.

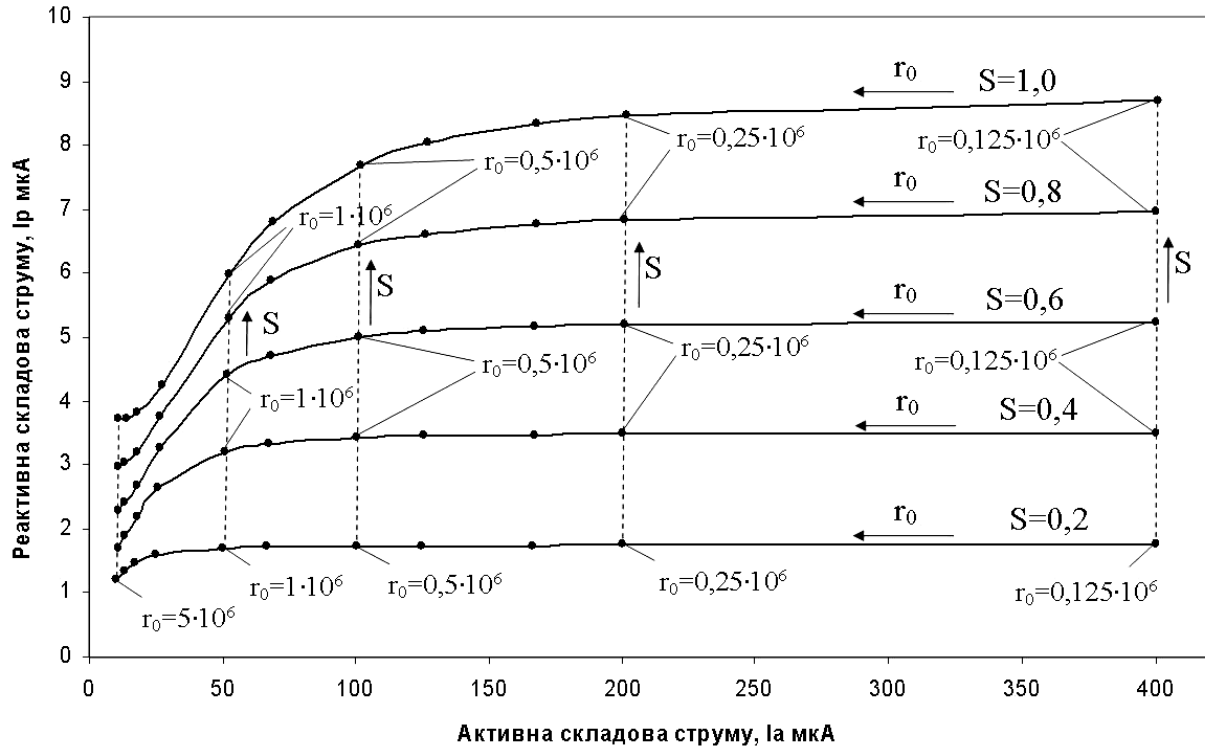


Рисунок 1 – Годограф комплексу струму витoku при зміні погонного опору r_0 та сектору забруднення S (погонний опір r_0 вказаний в МОм/мм, сектор S – у в.о.)

Отримане емпіричне рівняння дозволяє за параметрами комплексного поверхневого струму витoku визначити величину сектора забруднення, що, в свою чергу, дозволить коригувати значення критичного (гранично допустимого) струму витoku в залежності від того, по якому сектору на поверхні ізолятора протікає струм.

При визначенні критичного поверхневого струму витoku необхідно врахувати залежність струму витoku від факторів оточуючого середовища.

У [3] розроблено математичну модель залежності I_e від факторів оточуючого середовища і характеристик рівномірного шару забруднення. Розглянемо спрощену, без дослідження перехідних процесів, модель, в якій будуть враховані: відносна вологість, кількість інертної та іоноутворюючої речовини, різниця температур між ізолятором і повітрям. Для цього надамо фактору „час дії” значення 20 хв. (тривалість закінчення перехідних процесів) і отримаємо з [3] рівняння регресії для усталеного струму витoku:

$$I_e = 0,167364 + 0,175433 \cdot X_1 + 0,043874 \cdot X_1^2 + 0,047387 \cdot X_2 + 0,103563 \cdot X_3 + 0,1781560 \cdot X_4 + 0,035046 \cdot X_4^2 + 0,05375 \cdot X_1 \cdot X_3 + 0,12 \cdot X_1 \cdot X_4 + 0,0325 \cdot X_2 \cdot X_3, \quad (3)$$

де X_1 – різниця температур у в.о.;

X_2 – тривалість у в.о.;

X_3 – поверхнева густина забруднення еквівалентною кількістю NaCl у в.о.;

X_4 – відносна вологість у в.о.

Перевірка адекватності моделі визначалася за критерієм R^2 , який для рівняння (3) дорівнює 0,946. Після переходу до іменованих одиниць та спрощень, (3) набуде вигляду:

$$I_e = 1,5145 + 0,43925 \cdot \Delta t + 0,0082938 \cdot \Delta t^2 + 14,7041 \cdot \mu - 0,04723 \cdot W + 0,00033034 \cdot W^2 - 3,07494 \cdot \Delta t \cdot \mu - 0,0050654 \cdot \Delta t \cdot W, \quad (4)$$

де $\Delta t = t_{iz} - t_{пов}$ – різниця між температурою ізолятора t_{iz} та оточуючим його повітрям $t_{пов}$, °C;

μ – поверхнева щільність еквівалентною кількістю NaCl, мг/см²;

W – відносна вологість, %.

Математична модель (4) є працездатною в межах: $\Delta t = +1 \div -2$ °C; $\mu = 0,4 \cdot 10^{-2} \div 2 \cdot 10^{-2}$ мг/см²; $W = 80 \div 100$ %. Визначимо критичне значення поверхневої щільності $\mu_{кр}$, підставивши у (4) найбільш несприятливі фактори оточуючого середовища $\Delta t = -2$ °, $W = 100$ % та гранично допустимий поверхневий струм витoku $I_{кр} = 0,36$ мА [3]. Отримане максимально допустиме значення $\mu_{кр} = 0,466 \cdot 10^{-2}$ мг/см². При цьому з (4) знайдемо критичний поверхневий струм витoku при номінальній напрузі та відомих факторах оточуючого середовища:

$$I_{кр} = 1,58314 + 0,4249 \Delta t + 0,0082938 \Delta t^2 - 0,04723 W + 0,00033034 W^2 - 0,0050654 \Delta t W. \quad (5)$$

Рівняння (5) є коректним тільки при рівномірному забрудненні всієї поверхні ізолятора (при $S=1$).

У випадку секторного забруднення (при $S < 1$) поверхневий струм витoku протікатиме лише по частині поверхні, яка відповідає сектору забруднення S . Крім того, для відстроювання від впливу на сигнал відхилень напруги від номінальної, рівняння (5) представимо у вигляді:

$$I_{кр} = S \frac{U}{U_H} (1,58314 + 0,4249 \cdot \Delta t + 0,0082938 \cdot \Delta t^2 - 0,04723 \cdot W + 0,00033034 \cdot W^2 - 0,0050654 \cdot \Delta t \cdot W), \quad (6)$$

де S – визначається з (2) у в.о.,

U – фактичне значення фазної напруги мережі;

U_H – номінальне значення фазної напруги мережі.

Отже, отримане рівняння (6) дозволяє не тільки визначати, а й коригувати критичний струм витoku $I_{кр}$ відповідно до значень величини сектору забруднення, прикладеної напруги та факторів оточуючого середовища.

Для діагностування небезпечного рівня забруднення необхідно порівняти отриманий граничний $I_{кр}$ з тим $I_{вп}$, який протікає у даний час. Можливі два випадки:

– $I_{кр} \leq I_{вп}$ рівень забруднення є критичним і найближчим часом необхідно провести очищення ізоляції;

– $I_{кр} > I_{вп}$ запасу ізоляційної міцності достатньо і ізолятори можуть експлуатуватися й надалі без очищення.

Розроблено макет пристрою (рис.2), який є частиною системи технічної діагностики та вимірює наступні величини: фазу поверхневого струму витоку; амплітудні значення перших гармонік прикладеної до ізолятора напруги та струму витоку; вологість і температуру оточуючого ізолятор повітря; температуру ізолятора.

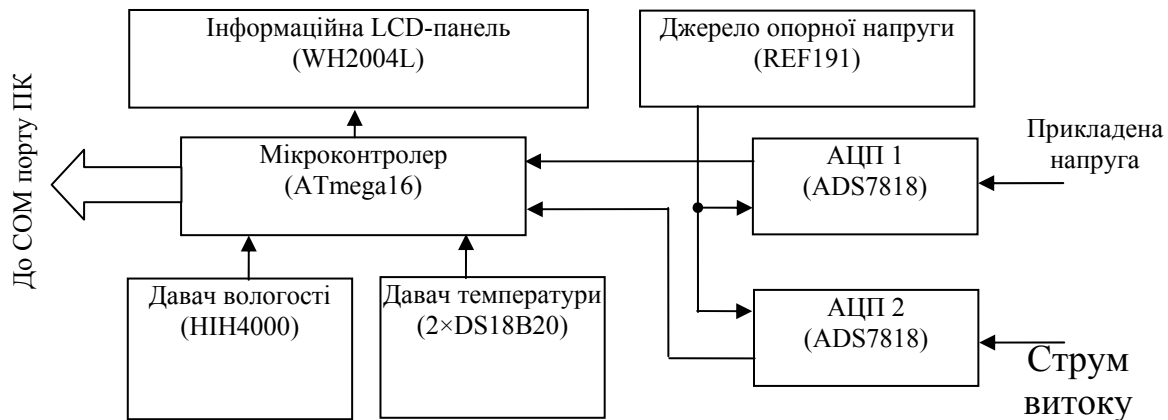


Рисунок 2 – Функціональна схема пристрою

Основний елемент вимірювального пристрою – мікроконтролер (МК) АТmega16. Вимірювання температур здійснюється цифровими датчиками DS18B20 з дискретністю $0,1^{\circ}\text{C}$ при абсолютній похибці вимірювання $\pm 0,5^{\circ}\text{C}$. Вимірювання вологості здійснюється аналоговим датчиком вологості НН-4000-003 з точністю $\pm 0,5\%$. Для відображення виміряних величин використовується інформаційна LCD-панель. В розробленому макеті приладу враховано вплив нелінійних спотворень прикладеної до ізолятора напруги та струму витоку. Для цього використаний ортогональний метод визначення кута зсуву фаз з цифровою обробкою сигналів. Прилад передбачає можливість підключення через інтерфейс RS-232 до ПК для подальшої обробки виміряних величин.

У разі роботи підстанції без обслуговуючого персоналу, сигнал щодо необхідності очищення ізоляторів поступає у телемеханічний канал зв'язку [4], який оповістить центральний диспетчерський пункт про небезпечний рівень забруднення на даній підстанції.

Висновки.

1. Одержано вираз для визначення величини сектору забруднення за активною і реактивною складовими поверхневого струму витоку, що дозволило удосконалити електричний метод контролю шляхом перерахунку значення критичного струму витоку пропорційно величині сектору забруднення.

2. Одержано рівняння перетворення для критичного поверхневого струму витоку в залежності від різниці температур між ізолятором і повітрям, відносної вологості повітря, робочої напруги та величини сектору забруднення, що дозволяє отримати гранично допустимий поверхневий струм витоку з урахуванням їх впливу та своєчасно визначати момент очищення ізоляції.

3. Розроблений макет пристрою вимірює амплітудні значення перших гармонік поверхневого струму витoku і прикладеної до ізолятора напруги, кут зсуву фаз між ними та параметри оточуючого середовища: температуру повітря і ізолятора, вологість повітря.

Список літератури

1. Орлович А.Ю. Автоматизована система контролю за станом ізоляції в повітряних мережах напругою 10-35 кВ / А.Ю. Орлович, А.І. Котиш, С.В. Серебренніков // Технічна діагностика та неруйнівний контроль. - 2000. - №4. - С.62-65.
2. Серебренніков С.В. Моделювання комплексного поверхневого струму витoku високовольтних ізоляторів з урахуванням нерівномірності забруднення поверхні / С.В. Серебренніков, О.І. Сіріков // Вісник Національного технічного університету „Харківський політехнічний інститут”. – Харків: НТУ „ХПІ”. 2008. – №40. – С. 111–114.
3. Орлович А.Е. Повышение надежности работы сельских комплектных распределительных устройств напряжением 10 кВ: автореф. дис. канд. техн. наук : спец. 05.09.03 „Электрооборудование сельского хозяйства” / А.Е Орлович. – М.: МИИСХП. 1987. – 19 с.
4. Козловский О.А. Автоматизированная система прогнозирования разрушающих атмосферных нагрузок на элементах конструкций воздушных линий электропередач / О.А. Козловский, А.Е. Орлович, С.В. Серебренников // Техническая диагностика и неразрушающий контроль. – 2002, №2. – С. 46-48.

А. Орлович, П. Плешков, С. Серебренников, А. Сириков

Определение критического тока утечки для контроля секторных загрязнений высоковольтных изоляторов

Определена зависимость величины сектора загрязнения от составляющих комплексного поверхностного тока утечки. Получены уравнения преобразования для критически допустимого поверхностного тока утечки с учетом значения величины сектора загрязнения, приложенного напряжения и факторов окружающей среды - влажности воздуха и разницы между температурами изолятора и воздуха. Разработанное устройство измерения комплексного поверхностного тока утечки и параметров окружающей среды.

A. Orlovich, P. Pleshkov, S. Serebrennikov, A. Sirikov

Definitions of a critical current of outflow for the control of sector pollution of high-voltage isolators

Dependence of size of sector of pollution on components of a complex superficial current of outflow is determined. The equations of transformation for critically allowable superficial current of outflow are received in view of value of size of sector of the pollution, the enclosed voltage and factors of an environment - humidity of air and a difference between temperatures of isolator and air. The developed device of measurement of a complex superficial current of outflow and parameters of an environment.

Одержано 04.12.09