

УДК 621.316.1.027

РОБОТОЗДАТНІСТЬ ІЗОЛЯЦІЇ РОЗПОДІЛЬНОЇ ПОВІТРЯНОЇ МЕРЕЖІ  
НАПРУГОЮ 6-10 КВ*Кутін В.М., д.т.н., проф., Матвієнко С.В., асп., Луцяк В.В., асп.**Вінницький національний технічний університет**21021, м. Вінниця, Хмельницьке шосе, 95**E-mail: fpke@rambler.ru*

В статті изложено метод определения работоспособности изоляции распределительной воздушной сети. Также приведены результаты исследования параметров изоляции для определения их влияния на работоспособность.

**Ключевые слова:** работоспособность изоляции, интегральный параметр.

In the article the method of distributive network isolation working capability determine is expounded. Also the research results of isolation parameters for determine of their influence on working capability are given.

**Key words:** working capacity of isolation, integral parameter.

**Вступ.** Повітряні мережі напругою 6-10 кВ є в Україні найбільш поширеним видом розподільних мереж, що забезпечують для електропостачання сільської місцевості. Дані мережі працюють, як правило, в режимі ізольованої нейтралі, а досвід їх експлуатації вказує на низький рівень надійності та безпеки через проблеми з ізоляцією. Тому для підвищення основних експлуатаційних показників в повітряних мережах (ПМ) напругою 6-10 кВ необхідно впроваджувати методи і засоби діагностування ізоляції.

**Аналіз попередніх досліджень.** В роботі [1] викладено актуальність і загальна характеристика шляхів вирішення проблеми визначення технічного стану ізоляції розподільних мереж напругою 6-10 кВ. Логічним продовженням даної роботи є стаття [2], в якій запропоновано систему для визначення стану ізоляції.

**Мета роботи** – викладення і обґрунтування методу визначення робоздатності ізоляції ПМ напругою 6-10 кВ.

**Матеріал і результати дослідження.** Основним видом пошкоджень ізоляції повітряних мереж є однофазні замикання на землю (ОЗЗ). Причиною їх появи є виникнення шунтувальних зв'язків між струмоведучими частинами і землею. А оскільки струми ОЗЗ в ПМ 6-10 кВ не перевищують 5-10 А, тому реалізація чутливого захисту від ОЗЗ є досі актуальною проблемою. В останній час від її вирішення є намагання відійти шляхом заземлення нейтралі через резистор, що дозволяє реалізувати чутливий і надійний захист від ОЗЗ. Однак в більшості випадків в розподільних мережах енергопостачальних компаній України в даній сфері не приймаються жо-

дні нововведення для підвищення рівня надійності і безпеки ПМ 6-10 кВ. Експлуатаційний персонал мереж в своїх діях, як правило, покладається на морально і фізично застарілі пристрої вказування наявності ОЗЗ (вольтметр в нейтралі трансформатора напруги для контролю ізоляції НТМВ) або на трансформатори струму нульової послідовності. Зазначені пристрої є нечутливими до симетричного зниження опору ізоляції, що виникає внаслідок дії вологи навколишнього середовища, а також не дозволяють виявляти пошкодження ізоляції до моменту виникнення стійкого ОЗЗ з малим перехідним опором в місці пошкодження. Це в свою чергу призводить до того, що при виникненні пошкодження, яке не може бути вчасно виявлене за допомогою наявних засобів контролю ізоляції, для експлуатаційного персоналу та населення, що перебуває в зоні виникнення пошкодження, виникає реальна небезпека для життя, пов'язана із розтіканням струмів замикання на землю. Також пошкодження ізоляції призводять до появи значних і тривалих перенапруг, що може бути причиною появи пошкоджень в інших фазах мережі та виникнення подвійних замикань на землю. В кінцевому рахунку це суттєво впливає на надійність мережі загалом, а також призводить до виникнення значних понаднормативних втрат електроенергії в розподільній мережі.

Тому важливо застосовувати нові підходи для вирішення проблеми підвищення надійності і безпеки в ПМ 6-10 кВ. Для цього пропонується впроваджувати методи та засоби діагностування ізоляції мережі, що дозволяють виявляти пошкодження на ранній стадії розвитку.

Основною задачею при діагностуванні ізоляції

ПМ є визначення її роботоzдатності – головного показника для видачі достовірного діагнозу про стан ізоляції. При цьому необхідно вирішити наступний перелік задач:

- дослідження параметрів;
- розробка методу визначення роботоzдатності (вибір інтегрального показника, визначення умов роботоzдатності);
- обробка результату і видача діагнозу.

Дослідження параметрів  $\epsilon$ , як правило, задачею великої розмірності, оскільки кількість параметрів може бути досить значною (стан ізоляції фаз ПМ може бути описаний шістьма незалежними параметрами – активними провідностями і ємностями фаз мережі відносно землі). Для її спрощення вводять допущення, що обмежують простір дослідження, але за умов обґрунтування їх доцільності шляхом прив'язки до реальних процесів в об'єкті дослідження.

Для ізоляції ПМ в якості діагностичного параметру доцільно використовувати динамічну характеристику активного опору ізоляції фаз мережі відносно землі, так як активний опір є найбільш чутливим параметром до виникнення шунтувальних зв'язків із землею та процесів погіршення стану ізоляції внаслідок дії вологи. При цьому слід зазначити, що даний параметр в ПМ може змінюватись в досить широких межах – від кількох кОм до сотень кОм. Чітких норм і стандартів для обмеження зміни активного опору ізоляції розподільної мережі на даний час не існує. Тому актуальною є задача визначення умов роботоzдатності ізоляції шляхом обмеження зміни активного опору ізоляції фаз мережі відносно землі. Дану задачу можна вирішити шляхом вибору інтегрального показника, який залежить від параметрів ізоляції і може характеризувати її роботоzдатність при застосуванні тих чи інших критеріїв.

Внаслідок проведених досліджень було встановлено, що роботоzдатність ізоляції ПМ можна визначити, керуючись двома критеріями:

- електробезпека;
- мінімум втрат електроенергії.

При застосуванні критерію електробезпеки в якості інтегрального показника запропоновано використовувати струм в шунтувальному зв'язку, величину якого необхідно обмежувати, виходячи з умов електробезпеки значенням 6 мА (прив'язка до ГОСТ 12.1038-82). Отримано аналітичні вирази залежності струму в шунтувальному зв'язку від параметрів ізоляції при виникненні пошкодження у різних фазах мережі. Наприклад, для фази А:

$$I_{3A} = U_A \frac{g_{шA} \cdot g_{л}}{g_{шA} + g_{л} + g_3} \leq 6 \cdot 10^{-3} \text{ А}, \quad (1)$$

де  $U_A$  – напруга фази А відносно землі;  $g_{шA}$  – актив-

на провідність шунтувального зв'язку при виникненні пошкодження в фазі А;  $g_{л}$  – провідність тіла людини, що нормується згідно положень [3];  $g_3$  – провідність заземлення, що визначається як  $g_3 = 1/R_3 + 1/r_{д}$ , де  $R_3$  – номінальний опір заземлюючого пристрою;  $r_{д}$  – додатковий перехідний опір заземлення. Активні провідності шунтувальних зв'язків для різних варіантів їх виникнення у відповідних фазах  $g_{шA}$ ,  $g_{шB}$ ,  $g_{шC}$  можна визначити шляхом вимірювання активного опору ізоляції фаз відносно землі в початковий момент часу ( $r_{A0}$ ,  $r_{B0}$ ,  $r_{C0}$ ), наприклад, після введення в експлуатацію електроустановки або її поточного ремонту, а також визначення цих опорів в любий момент часу ( $r_A$ ,  $r_B$ ,  $r_C$ ) і подальшого їх порівняння з початковими значеннями.

При застосуванні критерію мінімуму втрат електроенергії в якості інтегрального показника запропоновано використовувати активну потужність втрат від струмів стікання на землю:

$$\Delta P_{I3\Sigma} = \Delta P_{I3A} + \Delta P_{I3B} + \Delta P_{I3C} = U_A^2 \cdot g_a + U_B^2 \cdot g_b + U_C^2 \cdot g_c, \quad (2)$$

де  $U_A$ ,  $U_B$ ,  $U_C$  – відповідно, діючі значення напруг фаз мережі відносно землі;  $g_a$ ,  $g_b$ ,  $g_c$  – активні провідності ізоляції фаз мережі відносно землі.

Границею роботоzдатного стану ізоляції слід вважати нормативну потужність втрат від струмів стікання на землю  $\Delta P_{I3}^H$ , що розраховується за спеціальною методикою [4], виходячи із технічних даних про мережу, таких як тип (ПЛ чи КЛ) загальна довжина  $L$ , клас напруги та переважаюча марка кабелів. Згідно з даною методикою, виділяються декілька станів навколишнього середовища, для яких були проведені дослідження і отримані дані для розрахунку нормативної потужності втрат в ізоляції. Це такі: дощ, мокрий сніг, морось (вологість – 100%); туман (вологість 80-100%); роса, погода без опадів (вологість – 80% і нижче). Тому, для визначення працездатності ізоляції ПМ потрібно спочатку визначити нормативну потужність втрат в ізоляції для всіх трьох станів навколишнього середовища, а потім порівнювати фактичну величину потужності втрат в ізоляції з нормативною для відповідного рівня волості навколишнього середовища, який необхідно контролювати.

Отже, умову роботоzдатності ізоляції виходячи з економічного критерію мінімуму втрат електроенергії можна записати наступним чином:

$$\Delta P_{I3\Sigma} \leq \Delta P_{I3}^H. \quad (3)$$

В результаті проведених авторами теоретичних досліджень отримано аналітичні залежності інтегральних показників від параметрів ізоляції мережі.

$$I_{3A} = \frac{g_{шA} \cdot g_L}{g_{шA} + g_L + g_3} \cdot \frac{1.5 \cdot U_f \cdot \sqrt{\left[ g_b + g_c + \frac{\omega}{\sqrt{3}}(C_c - C_b) \right]^2 + \left[ \frac{g_b - g_c}{\sqrt{3}} + \omega(C_b + C_c) - \frac{2B_L}{3} \right]^2}}{\sqrt{(g_a + g_b + g_c)^2 + (\omega \cdot (C_a + C_b + C_c) - B_L)^2}};$$

$$I_{3B} = \frac{g_{шB} \cdot g_L}{g_{шB} + g_L + g_3} \cdot \frac{1.5 \cdot U_f \cdot \sqrt{\left[ g_a + g_c + \frac{\omega}{\sqrt{3}}(C_a - C_c) \right]^2 + \left[ \frac{g_c - g_a}{\sqrt{3}} + \omega(C_a + C_c) - \frac{2B_L}{3} \right]^2}}{\sqrt{(g_a + g_b + g_c)^2 + (\omega \cdot (C_a + C_b + C_c) - B_L)^2}};$$

$$I_{3C} = \frac{g_{шC} \cdot g_L}{g_{шC} + g_L + g_3} \cdot \frac{1.5 \cdot U_f \cdot \sqrt{\left[ g_a + g_b + \frac{\omega}{\sqrt{3}}(C_b - C_a) \right]^2 + \left[ \frac{g_a - g_b}{\sqrt{3}} + \omega(C_a + C_b) - \frac{2B_L}{3} \right]^2}}{\sqrt{(g_a + g_b + g_c)^2 + (\omega \cdot (C_a + C_b + C_c) - B_L)^2}};$$

$$\Delta P_{3A} = \frac{2.25 \cdot U_f^2 \cdot g_a \cdot \left[ \left[ g_b + g_c + \frac{\omega}{\sqrt{3}}(C_c - C_b) \right]^2 + \left[ \frac{g_b - g_c}{\sqrt{3}} + \omega(C_b + C_c) - \frac{2B_L}{3} \right]^2 \right]}{(g_a + g_b + g_c)^2 + (\omega \cdot (C_a + C_b + C_c) - B_L)^2};$$

$$\Delta P_{3B} = \frac{2.25 \cdot U_f^2 \cdot g_b \cdot \left[ \left[ g_a + g_c + \frac{\omega}{\sqrt{3}}(C_a - C_c) \right]^2 + \left[ \frac{g_c - g_a}{\sqrt{3}} + \omega(C_a + C_c) - \frac{2B_L}{3} \right]^2 \right]}{(g_a + g_b + g_c)^2 + (\omega \cdot (C_a + C_b + C_c) - B_L)^2};$$

$$\Delta P_{3C} = \frac{2.25 \cdot U_f^2 \cdot g_c \cdot \left[ \left[ g_a + g_b + \frac{\omega}{\sqrt{3}}(C_b - C_a) \right]^2 + \left[ \frac{g_a - g_b}{\sqrt{3}} + \omega(C_a + C_b) - \frac{2B_L}{3} \right]^2 \right]}{(g_a + g_b + g_c)^2 + (\omega \cdot (C_a + C_b + C_c) - B_L)^2};$$

де  $U_f$  – фазна напруга розподільної мережі;  $\omega$  – кутова частота напруги РМ;  $C_a, C_b, C_c$  – ємності фаз мережі відносно землі;  $g_a, g_b, g_c$  – активні провідності фаз мережі відносно землі;  $B_L$  – сумарна реактив-

на провідність всіх індуктивних елементів, підключених до РМ відносно землі (трансформаторів напруги контролю ізоляції типу ЗНОМ і НТМИ, а також дугогасних реакторів ДГР і пристроїв для резонансного заземлення нейтралі).

На основі отриманих аналітичних залежностей (4) і (5) проведено дослідження впливу параметрів ізоляції на роботоздатність ізоляції. Дослідження проводилось для конкретної розподільної мережі. При цьому допускалось, що пошкодження відбувається максимум у двох фазах мережі (наприклад, А і В) з різною інтенсивністю розвитку при незмінних ємностях фаз мережі відносно землі. Це дозволило побудувати залежності показників працездатності ізоляції від обернених величин діагностичних показників у тривимірному просторі у вигляді поверхонь  $I_{3A}=F(R_a, R_b), I_{3B}=F(R_a, R_b)$  (рис. 1) та  $\Delta P_{3\Sigma} = F(R_a, R_b)$  (рис. 2).

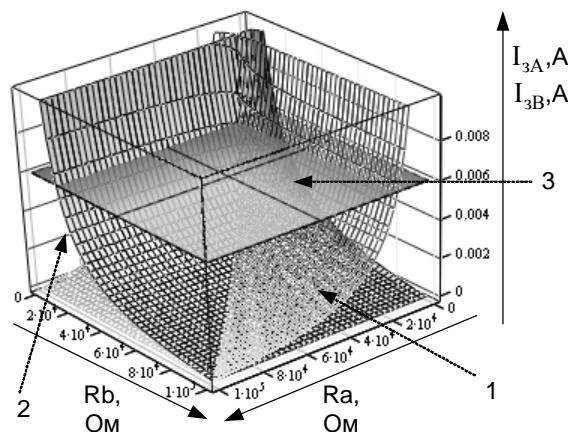


Рисунок 1 – Суміщені поверхні залежностей струмів через шунтувальний зв’язок і тіло людини у фазах, де виникають пошкодження, від обернених величин діагностичних показників:  
1 – поверхня залежності струму  $I_{3A}$  від опорів  $R_a$  і  $R_b$  (прозора), 2 – поверхня залежності струму  $I_{3B}$  від опорів  $R_a$  і  $R_b$  (суцільна), 3 – границя роботоздатності ізоляції

Аналіз отриманих поверхонь (рис.1. і 2) показав, що застосування умови роботоздатності ізоляції (1) є доцільним для обмеження симетричного зниження опору ізоляції фаз мережі відносно землі, яке проявляється при одночасній дії вологи навколишнього середовища і забруднень на поверхні ізоляторів. Також встановлено, що умова працездатності (2) дозволяє обмежити несиметрію активних провідностей фаз мережі відносно землі, що проявляється при виникненні пошкоджень ізоляції в фазах РМ у вигляді шунтувальних зв’язків із землею.

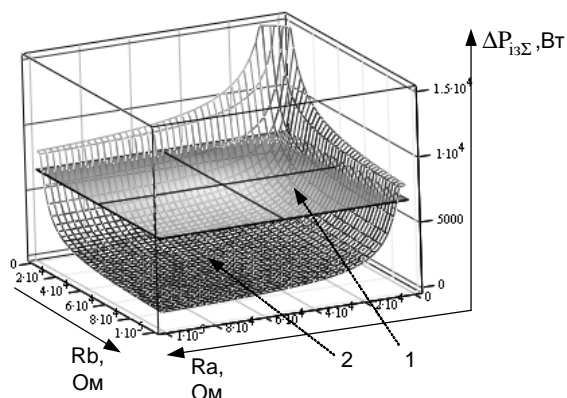


Рисунок 2 – Поверхня залежності потужності втрат в ізоляції від обернених величин діагностичних показників:

1 – границя роботоздатності ізоляції; 2 – поверхня залежності  $\Delta P_{из}$  від опорів  $R_a$  і  $R_b$

**Висновки.** Таким чином, запропоновано для визначення технічного стану ізоляції повітряних мереж напругою 6-10 кВ керуватись критеріями електробезпеки та мінімуму втрат електроенергії в ізоляції. Для цього в якості інтегральних показників

роботоздатності ізоляції запропоновано використовувати, відповідно, струм в шунтувальному зв'язку і активну потужність втрат в ізоляції від струмів стікання на землю.

#### ЛІТЕРАТУРА

1. Кутін В.М., Матвієнко С.В., Визначення технічного стану ізоляції розподільних мереж напругою 6-10 кВ з урахування впливу несиметрії параметрів ізоляції відносно землі // Вісник Вінницького Політехнічного Інституту. – 2005. – №6. – С. 142-146.
2. Кутін В.М., Матвієнко С.В., Кутіна М.В., Комбінована система керування технічним станом розподільних мереж // Вісник Вінницького політехнічного інституту. – 2007.– №1. – С. 37-42.
3. ГОСТ 12.1038-82 Предельно допустимые уровни напряжения и токов. Введ. 01.01.85. – М.: Изд-во стандартов, 1988. – 6 с.
4. Структура балансу електроенергії в електричних мережах 0.38-154 кВ. Методики складання, аналізу складових та нормування технологічних витрат електроенергії. – К., 2003. – 71 с.

Стаття надійшла 13.04.2008 р.