

УДК 621.316.1.027

СИСТЕМА КОНТРОЛЮ ТЕХНІЧНОГО СТАНУ ІЗОЛЯЦІЇ РОЗПОДІЛЬНИХ МЕРЕЖ 10 кВ

Кутін В.М., д.т.н., проф., Матвієнко С.В., аспірант
 Вінницький національний технічний університет
 2102,1 м. Вінниця, Хмельницьке шосе, 95
 E-mail: fpke@rambler.ru

В данной статье приведено описание разработанной системы контроля технического состояния изоляции. Данная система позволяет выявлять повреждения изоляции на ранних стадиях их развития за счет информации о динамике изменения показателей работоспособности изоляции.

Ключевые слова: изоляция, распределяющие сети, работоспособность изоляции.

In the given article the description of the developed monitoring system of availability index of product of isolation is indicated. The given system allows to reveal damages of isolation on early stages of their development at the expense of an information about dynamics of a modification of parameters of serviceability of isolation.

Key word: isolation distributing webs, serviceability of isolation.

Вступ. В діючих розподільних мережах напругою 6-10 кВ енергопостачальних компаній (ЕК) на даний час існує реальна потреба в пристроях контролю ізоляції, які володіють достатньою чутливістю для виявлення пошкоджень ізоляції відносно землі на ранніх стадіях їх розвитку. Такі пристрої вкрай необхідні для забезпечення прагнень багатьох ЕК до переходу від нині діючої регламентної системи обслуговування обладнання до якісно кращої системи обслуговування „за технічним станом”. В даній статті авторами пропонується до розгляду пристрій контролю технічного стану ізоляції, який відповідає зазначеним вище вимогам.

Аналіз попередніх досліджень. В роботі [1] викладено актуальність і загальну характеристику шляхів вирішення проблеми визначення технічного стану ізоляції розподільних мереж напругою 6-10 кВ. При цьому запропоновано новий метод визначення працездатності ізоляції. Дана робота є логічним продовженням попередньої статті, оскільки в ній описано технічне рішення на основі запропонованого раніше методу.

Мета роботи. Розробка системи контролю технічного стану ізоляції, яка дозволяє виявляти пошкодження ізоляції на ранніх стадіях їх розвитку.

Матеріали і результати досліджень. Технічна реалізація пристрою контролю технічного стану ізоляції розподільної мережі (РМ) виконана на базі спеціально розробленого методу неперервного контролю ізоляції. Суть методу полягає в тому, що при накладанні на мережу через обмотки трансформатора напруги контролю ізоляції (ТНКИ) сигналу постійного струму проводяться вимірювання загального активного опору ізоляції мережі відносно землі, напруг фаз мережі відносно землі та струму в нейтралі ТНКИ (для визначення загальної ємності мережі відносно землі). На основі результатів вимірювань визначається ємність мережі відносно землі за формулою:

$$C_0 = \frac{1}{\omega \cdot X_{\text{ТНКИ}} \cdot \left[\frac{I_0 \cdot n_{\text{ТНКИ}}}{\left(\frac{2U_A^2 - (U_C^2 + U_B^2)}{6U_f} \right) + \left(\frac{U_C^2 - U_B^2}{2\sqrt{3}U_f} \right)^2} - R_0^2 \right]} \quad (1)$$

де U_A, U_B, U_C – напруги фаз мережі відносно землі, В; $\omega = 100\pi$ – кутова частота, рад/с; I_0 – струм, вимірний в нейтралі ТН контролю ізоляції (НТМИ), А; $X_{\text{ТНКИ}}$ – сумарний індуктивний опір обмоток ТН контролю ізоляції відносно землі, Ом; $n_{\text{ТНКИ}}$ – загальна кількість ТН контролю ізоляції в мережі; R_0 – загальний активний опір ізоляції відносно землі, Ом; U_f – фазна напруга мережі, В.

На наступному етапі отримані результати вимірювань і обчислень підставляються в систему нелінійних рівнянь (2), яка вирішується відносно g_a, g_b, g_c – активних провідностей фаз мережі відносно землі.

$$\begin{cases} \frac{1.5 \cdot U_f}{\sqrt{(1/R_0)^2 + (\omega C_0 - B_L)^2}} \cdot \sqrt{[g_b + g_c]^2 + \left[\frac{g_b - g_c}{\sqrt{3}} + \frac{2\omega C_0 - 2B_L}{3} \right]^2} = U_A \\ \frac{1.5 \cdot U_f}{\sqrt{(1/R_0)^2 + (\omega C_0 - B_L)^2}} \cdot \sqrt{[g_a + g_c]^2 + \left[\frac{g_c - g_a}{\sqrt{3}} + \frac{2\omega C_0 - 2B_L}{3} \right]^2} = U_B \\ \frac{1.5 \cdot U_f}{\sqrt{(1/R_0)^2 + (\omega C_0 - B_L)^2}} \cdot \sqrt{[g_a + g_b]^2 + \left[\frac{g_a - g_b}{\sqrt{3}} + \frac{2\omega C_0 - 2B_L}{3} \right]^2} = U_C \end{cases} \quad (2)$$

де B_L – сумарна реактивна провідність всіх індуктивних елементів, підключених до РМ відносно зе-

млі (трансформаторів напруги контролю ізоляції типу ЗНОМ і НТМИ, а також дугогасних реакторів ДГР і пристроїв для резонансного заземлення нейтралі):

$$V_L = \frac{1}{\omega \cdot (L_{ТНКС} + L_{ДГР} + L_{ПКН})}$$

Форма запису системи нелінійних рівнянь (2) відповідає випадку введення припущення, при якому ємності фаз мережі відносно землі є симетричними ($C_A=C_B=C_C$).

Рішення системи рівнянь (2) є досить складною розрахунковою задачею, для рішення якої необхідне обов'язкове залучення ЕОМ.

Після отримання параметрів ізоляції (активних провідностей фаз мережі відносно землі) можливим стає визначення технічного стану і показників працездатності ізоляції.

Для визначення технічного стану ізоляції пропонується наступний підхід [1]. Технічний стан і працездатність ізоляції оцінюється, виходячи з двох критеріїв: економічного критерію мінімуму втрат електроенергії і критерію електробезпеки. При застосуванні першого критерію в якості показника працездатності ізоляції використовується потужність втрат електроенергії в ізоляції від струмів витікання на землю, оскільки основною мірою економічності будь-яких електричних мереж є втрати при передачі електроенергії, а миттєвою характеристикою втрат електроенергії є їх потужність.

У загальному випадку потужність втрат від струмів витікання на землю слід визначати, як

$$\Delta P_{в\Sigma} = \Delta P_{вА} + \Delta P_{вВ} + \Delta P_{вС} = U_A^2 \cdot g_a + U_B^2 \cdot g_b + U_C^2 \cdot g_c \quad (3)$$

Границю працездатності ізоляції слід вважати нормативну потужність втрат від струмів витікання на землю $\Delta P_{в}^H$, яка розраховується за спеціальною методикою [2], виходячи з 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 РМ, 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 вологості навколишнього середовища, який необхідно контролювати.

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

$$\Delta P_{в\Sigma} \leq \Delta P_{в}^H \quad (4)$$

При застосуванні критерію електробезпеки в якості показника працездатності використовується струм у шунтувальному зв'язку. Для отримання даного показника працездатності ізоляції, виходячи з критерію електробезпеки, розроблено спеціальну модель розвитку пошкодження на основі аналізу найбільш небезпечного випадку перебування лю-

дини в місці виникнення пошкодження ізоляції. Проводилось моделювання виникнення пошкодження ізоляції в мережі (по черзі у кожній з фаз) відносно землі. При цьому розглядалось утворення шунтувального зв'язку, по якому протікає струм замикання на землю, який, в свою чергу, викликає окислення і підгорання елементів заземлюючого пристрою та спікання ґрунту в місці його витікання на землю через заземлення. Це призводить до виникнення додаткового перехідного опору в заземленні та появи на заземлених металевих частинах обладнання (корпуси, арматура) потенціалу. Величина додаткового опору в заземленні обмежується для моделювання найбільш несприятливого випадку дії струму витікання на землю на організм людини. В результаті проведених досліджень причин виникнення додаткового перехідного опору в заземленні, а саме процесів, що викликають погіршення технічного стану заземлення, встановлено, що обґрунтованим можна вважати обмеження додаткового опору в заземленні значенням у 100 Ом.

На наступному етапі моделювався дотик людини до заземлених частин електроустановки для найбільш несприятливого випадку, коли пошкодження ізоляції виникає одночасно в 2-ох різних фазах мережі, а дотик людини відбувається в місці найбільшого пошкодження. Внаслідок цього по тілу людини починає протікати струм, який, згідно вимог до електробезпеки, не повинен перевищувати 6 мА [3]. Вирази для граничних умов працездатності ізоляції для запропонованої моделі виникнення пошкодження матимуть вигляд:

$$\begin{aligned} I_{зА} &= U_A \frac{g_{шА} \cdot g_{л}}{g_{шА} + g_{л} + g_3} \leq 6 \cdot 10^{-3} \text{ А}; \\ I_{зВ} &= U_B \frac{g_{шВ} \cdot g_{л}}{g_{шВ} + g_{л} + g_3} \leq 6 \cdot 10^{-3} \text{ А}; \\ I_{зС} &= U_C \frac{g_{шС} \cdot g_{л}}{g_{шС} + g_{л} + g_3} \leq 6 \cdot 10^{-3} \text{ А}, \end{aligned} \quad (5)$$

де $g_{шА}$, $g_{шВ}$, $g_{шС}$ – активні провідності шунтувальних зв'язків при виникненні пошкодження у відповідних фазах; $g_{л}$ – провідність тіла людини, рівна $g_{л} = 1/r_{л} = 1/(6 \cdot 10^3) \text{ См}$ (згідно [3]); g_3 – провідність заземлення, що визначається як $g_3 = 1/R_3 + 1/r_d$, де R_3 – номінальний опір заземлюючого пристрою, який для даного типу мереж не повинен перевищувати 10 Ом, r_d – додатковий перехідний опір заземлення, викликаний окисленням або підгоранням з'єднаних контактів в заземлюючому пристрої та спіканням ґрунту в місці витікання струму на землю через заземлення внаслідок тривалої дії струмів ОЗЗ (обмежується). Активні провідності шунтувальних зв'язків для різних варіантів їх виникнення у відповідних фазах $g_{шА}$, $g_{шВ}$, $g_{шС}$ можна обчислити шляхом вимірювання активних провідностей ізоляції фаз відносно землі в початковий момент часу ($g_{А0}$, $g_{В0}$, $g_{С0}$), наприклад, після введення в експлуатацію електроустановки або її поточного ремонту, а також визначення цих провідностей в будь-який момент часу (g_A , g_B , g_C) і подальшого їх порівняння з початковими значеннями за формулами:

$$\begin{aligned} g_{шА} &= g_A - g_{А0} - 1/r_s; \quad g_{шВ} = g_B - g_{В0} - 1/r_s; \\ g_{шС} &= g_C - g_{С0} - 1/r_s, \end{aligned} \quad (6)$$

де r_s – симетричне зниження активного опору ізо-

ляції відносно землі внаслідок дії вологи навколишнього середовища на поверхню ізоляторів, яке можна визначити як мінімальне зниження опору ізоляції відносно землі в одній із фаз мережі (вважається, що виникнення шунтувального зв'язку одночасно може відбуватись максимум у двох фазах):

$$r_s = \text{Min}((r_{A0} - r_A); (r_{B0} - r_B); (r_{C0} - r_C)). \quad (7)$$

Отже, враховуючи особливості описаного вище методу неперервного контролю ізоляції, пристрій контролю технічного стану ізоляції має забезпечувати неперервне вимірювання R_0 , U_A , U_B , U_C та струму в нейтралі ТНКІ I_0 для визначення C_0 , а також контроль рівня вологості повітря навколишнього середовища $\theta\%$. Найбільш доцільним в даному випадку є побудова комплексу контролю технічного стану ізоляції на базі мікропроцесорних контролерів, які дозволяють проводити моніторинг великої кількості параметрів і зберігати результати вимірювань у архіві, який для зручності подальшого аналізу найкраще формувати у вигляді погодинного графіку зміни визначеної групи показників.

Крім того, в результаті отримуємо динаміку зміни контрольованих показників, що покращує інформативність контролю.

В результаті аналізу відомих технічних рішень, які можна пристосувати для задач контролю технічного стану ізоляції було встановлено, що побудову відповідної системи можна гарантовано виконувати на базі двох мікроконтролерів:

1) мікроконтролер ТК-16L (ЗАТ НПФ «Прорыв», Росія);

2) мікроконтролер мікропроцесорного лічильника SL-7000 Smart (фірма Шлюмберже, Франція), – як варіант економії коштів при вже наявному лічильнику.

Використання мікроконтролера мікропроцесорного лічильника SL-7000 Smart є можливим завдяки широким можливостям даного лічильника зі зчитування даних із зовнішніх пристроїв і контролю багатьох груп параметрів з їх збереженням в архіві.

Принципова схема пристрою контролю технічного стану ізоляції зображена на рис. 1.

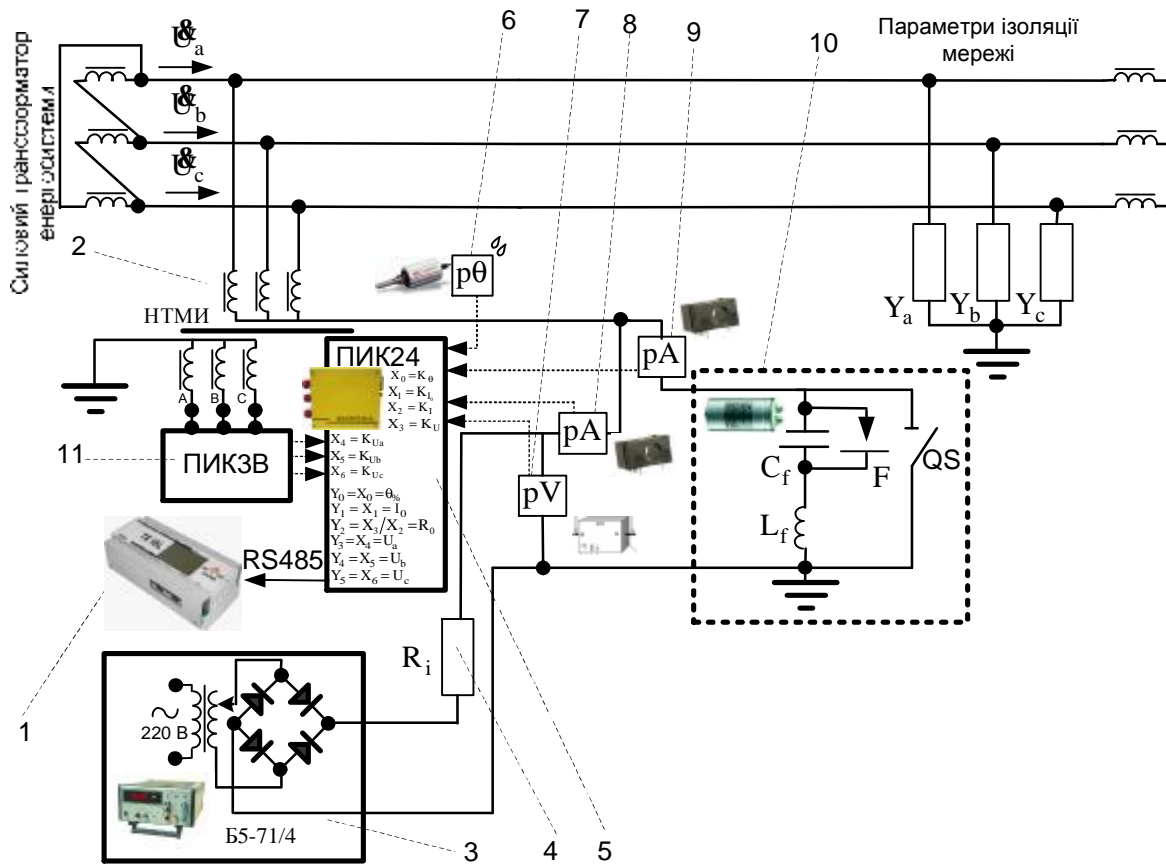


Рисунок 1 - Принципова схема пристрою контролю технічного стану ізоляції:

1 – термінальний контролер ТК16L; 2 – трансформатор напруги типу НТМИ або ЗНОМ; 3 – блок живлення для накладки постійного струму на мережу через первинну обмотку НТМИ (Б5-71/4); 4 – резистор на 1000 Ом для обмеження зниження опору кола накладки постійного струму; 5 – периферійний інтерфейсний контролер ПИК24 для зчитування даних з додаткових датчиків контролю рівня вологості і опору кола накладки постійного струму R_0 (на базі однокристального мікроконтролера PIC16C74); 6 – зовнішній датчик вологості повітря навколишнього середовища (AMX1+); 7 – датчик напруги ділянки кола накладки постійного струму (ДНХ-03 DC); 8 – датчик струму кола накладки постійного струму (CSDA1AA); 9 – датчик струму в нейтралі НТМИ (CSDA1AA); 10 – резонансний фільтр для заземлення нейтралі НТМИ, який складається з конденсатора В32834 на 1000В, 100 мкФ (Epcos), котушки індуктивності на 101 мГн, розрядника РВН-0,9У1 на 900 В і рубильника QS для можливості шунтування і розрядки конденсатора (РЦ-1, 20А); 11 – трифазний датчик напруги ПИКЗВ

Важливим моментом при технічній реалізації даного пристрою є правильний підбір параметрів джерела постійного струму таким чином, щоб результуючий струм, що накладається на РМ через первинну обмотку трансформатора напруги типу НТМИ, не перевищував струму термічної стійкості первинної обмотки при граничних випадках виникнення однофазних замикань на землю через малий перехідний опір. Для цих задач в коло для накладання постійного струму вводиться додатковий регулювальний опір R_r .

Слід зауважити, що при використанні розробленого методу в мережах з компенсованим режимом роботи нейтралі, чи з включеними відносно землі дугогасними реакторами (ДГР), існує одне суттєве зауваження. Для запобігання шунтування накладеного на мережу сигналу постійного струму необхідно в місці заземлення реакторів послідовно вмикати ємнісний фільтр (високовольтний конденсатор).

В мережах з ізольованою нейтраллю пристрій може використовуватись без будь-яких обмежень.

Принцип дії пристрою. З допомогою джерела постійного струму 3, в якості якого використовується блок живлення на вхідну напругу 220 В з регулюванням вихідної постійної напруги в межах 0-75 В і постійного струму 0,1-4 А типу Б5-71/4, накладається на мережу сигнал постійного струму. В колі накладання постійного струму встановлені да-

тчик напруги 7 і датчик струму 8 для зняття ВАХ кола постійного струму і визначення загального активного опору мережі відносно землі. Також в нейтралі НТМИ встановлено датчик струму 9 (вимірювання струму в нейтралі НТМИ дозволяє визначити загальну ємність мережі відносно землі C_0). Для контролю рівня вологості повітря навколишнього середовища в пристрої використовується спеціальний датчик вологості 6. Сигнали з датчиків 6, 7, 8, 9, а також 11 потрапляють на периферійний інтерфейсний контролер ПИК24, де відбувається їх перетворення у цифровий код і подача через інтерфейс зв'язку RS485 на термінальний контролер ТК-16L. В мікроконтролері 1 відбувається обробка і запис в архів показів датчиків з визначеною періодичністю (1 година), а також фіксація усіх значних відхилень напруг фаз мережі відносно землі (падіння нижче $0.5U_{ном}$), що мають характер виникнення ОЗЗ, та стрибкоподібних знижень R_0 , що мають характер виникнення пробів ізоляції. Архів мікроконтролера буде мати вигляд впорядкованої за годинами числової і текстової інформації в форматі dBASE IV, який в подальшому можна завантажити з внутрішньої пам'яті мікроконтролера і проводити його обробку на ЕОМ.

В результаті обробки архіву при використанні спеціального програмного забезпечення можна отримати діаграми (графіки) зміни показників працездатності у часі (рис. 2).

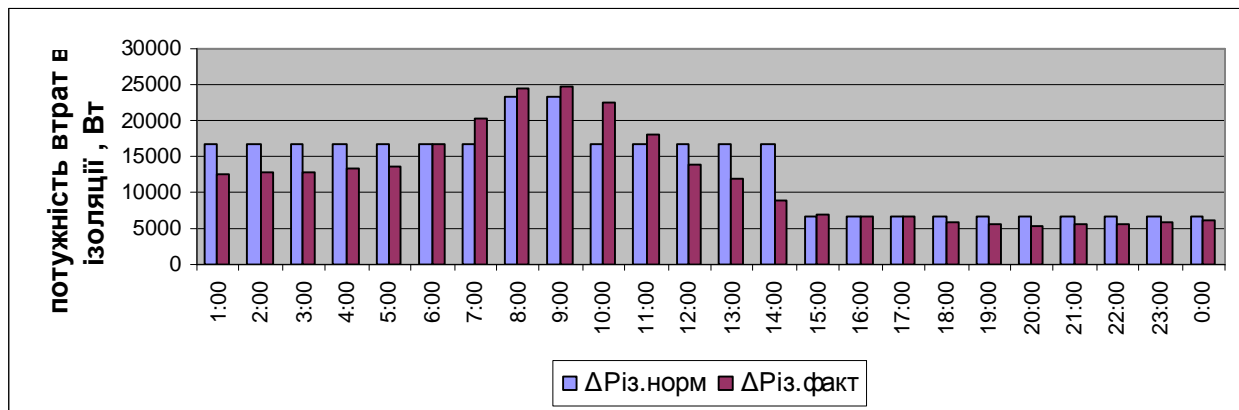


Рисунок 2 – Погодинний графік зміни показників працездатності ізоляції (для потужності втрат в ізоляції)

Висновки. Таким чином, при впровадженні запропонованої системи контролю технічного стану ізоляції в розподільних мережах напругою 6-10 кВ можливим стає виявлення пошкоджень ізоляції на ранніх стадіях їх розвитку, оскільки наявною є інформація про динаміку зміни показників працездатності ізоляції, завдяки якій можна відслідковувати навіть незначні зміни технічного стану ізоляції, що проявляються у вигляді одиночних пробів або симетричного зниження опору ізоляції відносно землі.

БІБЛІОГРАФІЧНІ ДАНІ

1. Кутін В.М., Матвієнко С.В. Визначення технічного стану ізоляції розподільних мереж напругою 6-10 кВ з урахування впливу несиметрії пара-

метрів ізоляції відносно землі // Вісник Вінницького політехнічного інституту. – 2005. - №6. - С. 142-145.

2. Структура балансу електроенергії в електричних мережах 0.38-154 кВ, Методики складання, аналізу складових та нормування технологічних витрат електроенергії, Київ. – 2003. – 71 с.

3. ГОСТ 12.1038-82 Предельно допустимые уровни напряжения и токов. Введ. 01.01.85.- М.: Изд-во стандартов, 1988. – 6 с.

Стаття надійшла 07.04.2007 р.