

УДК 621.316.001

**В. М. Кутін, д-р. техн. наук, проф.; О. Є. Рубаненко, канд. техн. наук, доц.;
С. В. Мисенко**

ВДОСКОНАЛЕННЯ МЕТОДІВ ДІАГНОСТУВАННЯ ВИСОКОВОЛЬТНИХ ВИМИКАЧІВ

Обґрунтовано необхідність вдосконалення методів та засобів діагностики високовольтних вимикачів для визначення швидкості і прискорення рухомих контактів під час роботи вимикача. Розроблено математичну модель струму тестового сигналу в колі відділювача повітряного вимикача, яка дозволяє досліджувати залежність цього струму від часу.

Вступ

Одними з найважливіших комутаційних апаратів, від надійності функціонування яких значною мірою залежить надійність роботи електроенергетичної системи, є високовольтні вимикачі. Під час виникнення аварійних ситуацій, при пошкодженнях високовольтного обладнання, задачі з їх локалізації в першу чергу виконують вимикачі. В наш час в Україні парк високовольтних вимикачів (ВВ) значно поповнився великою кількістю закордонних вимикачів різних конструкцій і виробників. Однак в експлуатації все ще знаходяться вимикачі вітчизняного та російського виробництва, які експлуатуються понад 25 років, вимикачі, які використали свій паспортний ресурс. Експлуатація таких вимикачів підвищує ймовірність їх відмов. З метою забезпечення подальшої надійної та економічної роботи такого застарілого обладнання потрібно вдосконалювати методи та засоби оцінки його стану.

Тому в наш час зростає роль засобів діагностування. Однак визначення їх технічного стану ускладнюється різнотипністю конструкції та різними вимогами виробників до методів та засобів контролю вимикачів, до діагностичних параметрів. Тому актуальною є задача вдосконалення методів та засобів оцінки технічного стану, як застарілих так і нових вимикачів [1, 2, 4].

Дослідження пошкоджуваності, методів та засобів діагностування повітряних вимикачів

В наш час для визначення технічного стану високовольтних вимикачів широко використовуються методи контролю часових характеристик вимикачів за допомогою таких пристроїв, як «Рекон», «ПКВ», «АРВВН», для визначення опору ізоляції — мегометрів, наприклад ЭС0202, Fluke E6-24, ЦС0202, для визначення перехідного опору контактів — Ф4104-М1, ИКС-5, для визначення опору електромагнітів вмикання та вимикання — міст постійного струму — Р333, 4136 МО, ЕР331, для визначення сили натискання пружин — ПКСН-1 та інші [1].

Проведенні дослідження свідчать про те, що в процесі експлуатації повітряних вимикачів може погіршуватись стан пружин дугогасильних камер та наповнених повітрям відділювачів, рухомих контактів. Також має місце вигорання фарфорових ізоляторів, зношення ламелей та відкручування нерухомих контактів, що призводить до зростання перехідного опору струмопровідного контуру. Найбільша кількість відмов оливних вимикачів пов'язана з роботою приводу. Це призводить до невиконання команд на вмикання та вимикання, а також до не прогнозованого вмикання. В період з 1997 по 2007 роки в Україні було зафіксовано 62 відмови елегазових вимикачів різних виробників [3]. Їх відмови пов'язані з несправністю блоків вимкнення, приладів сигналізації тиску, замикання вторинних кіл приводу РЛК-220.

Саме ці види дефектів можуть виявлятися контролюванням швидкісних характеристик таких, як: залежність швидкості від відстані між контактами; залежність прискорення від відстані між контактами; залежність швидкості від часу вмикання та вимикання вимикача; залежність прискорення від часу вмикання та вимикання вимикача.

За допомогою швидкісних характеристик можливо визначити стан пружин, рівень вібрації рухомих контактів, відстань між рухомих та нерухомих контактом, стан ламелей, оцінити характер процесу, виявити якість складових частин вимикача та представити динаміку роз-

витуку процесу. Дослідження графіків зміни швидкісних характеристик наглядніше ніж аналіз табличних даних дозволяє ідентифікувати характерні пошкодження вимикачів на ранній стадії їх розвитку. Зараз, такий контроль частіше використовується для оливних вимикачів, а на інших типах вимикачів його використання обмежено конструктивними особливостями контрольованого обладнання.

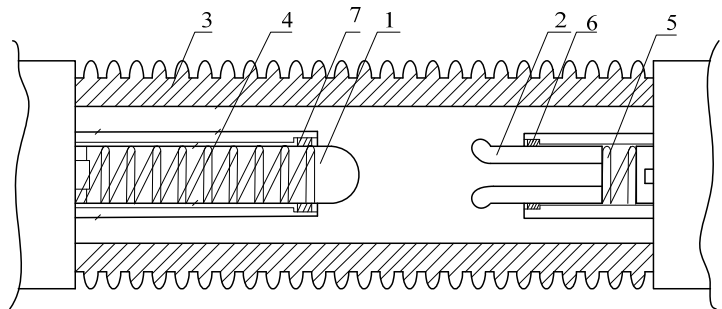
Вдосконалення діагностування ВВ

З метою якіснішої оцінки технічного стану ВВ, пропонуємо контролювати параметри проходження тестового високочастотного сигналу через контакти камер та відокремлювачів повітряних і контакти камер елегазових вимикачів під час їх спрацювання. Врахування цих параметрів на різних частотах дозволяє підвищити точність контролю, з метою якісного виявлення вищезгаданих дефектів на початковій стадії їх розвитку.

Перевірка запропонованого методу контролю швидкісних характеристик здійснювалась на прикладі повітряного вимикача типу ВВШ-110 кВ (рис. 1а), конструктивний розріз якого показано на рис. 1б.



а



б

Рис. 1. Високовольтні вимикачі типу ВВШ-110 кВ та відділювач:

- 1 — рухомий контакт відділювача; 2 — нерухомий контакт відділювача; 3 — фарфоровий ізолятор;
4 — пружини рухомого контакту відділювача; 5 — пружина нерухомого контакту відділювача;
6 — гільза рухомого контакту відділювача; 7 — ковзаючі контакти

Проведеними експериментальними дослідженнями виявлено, що під час зміни відстані l між рухомих та нерухомих контактами, ємність C між контактами змінюється за виразом (1).

$$C(l) = 40,5 \cdot e^{-0,266 \cdot t} \quad (1)$$

Так, у разі розмикання контактів ємність спочатку зменшується значно швидше, ніж в подальшому (рис. 2). А у разі замикання контактів — навпаки. Спочатку ємність зростає плавно, а потім значно швидше.

Тобто, встановлено, що ємнісний опір між контактами відділювача, а тому і величина струму тестового сигналу, який протікає між контрольованими контактами, під час зміни їх стану від замкненого до максимально розімкнутого змінюються нелінійно. Отримана залежність дає змогу визначити відстань між контактами в розімкненому стані, отримати та проаналізувати залежність зміни відстані між контактами від часу, залежність зміни швидкості руху рухомого контакту в залежності від відстані між контактами шляхом контролю величини струму тестового сигналу між контактами високовольтного вимикача під час його роботи. Якщо в якості джерела тестового сигналу використовувати джерело напругою сім вольт (амплітудне значення), частотою 5 МГц, то сила струму між контактами вимикача змінюється нелінійно від 7,8 мА до 0,44 мА під час руху контакту від замкненого стану до максимально розімкнутого стану, при активному опорі, що був послідовно приєднаний до контактів відділювача — 100 Ом.

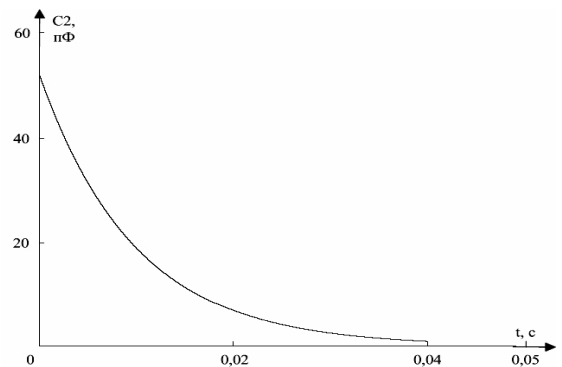


Рис. 2. Залежність зміни ємності від відстані між контактами

Математична модель струму тестового сигналу в колі відділювача

З метою розробки математичної моделі струму тестового сигналу в колі відділювача вимикача складаємо заступну схему (рис. 3) одного з двох елементів відділювача показаного на рис. 2 (під час випробовувань відділювачі перевіряються кожний окремо).

На схемі (рис. 3) показані: E_m – напруга джерела тестового сигналу, R_1 – активний опір сенсора, приєднаний послідовно до джерела тестового сигналу, Z_2 – повний опір між контактами відділювача, який складається з ємнісного X_2 (опір ємності C_2) та активного R_2 (опір ізоляції між контактами) опорів, Z_3 – повний опір контактів відносно фарфорової ізоляції, який складається з ємнісного X_3 (опір ємності C_3) та активного R_3 (послідовно з'єднані два активних опори та послідовно з'єднані два ємнісні опори) опорів, Z_4 та Z_5 – повні опори рухомого та нерухомого контактів відносно заземлених частин вимикача, які складаються з ємнісних X_4, X_5 (опір ємностей C_4, C_5) та активних R_4, R_5 (R_4, C_4 – опір та ємність ізоляції верхнього відділювача між верхнім фланцем та заземленими частинами вимикача; R_5, C_5 – опір та ємність ізоляції верхнього відділювача між нижнім фланцем та заземленими частинами вимикача) опорів.

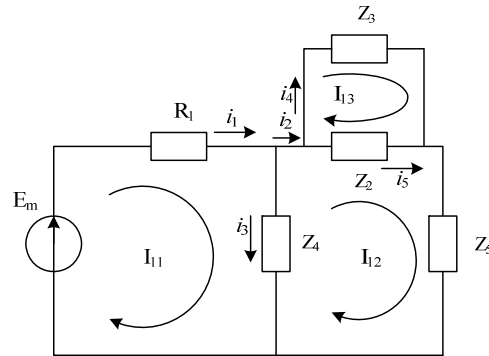


Рис. 3. Заступна схема елемента верхнього відділювача

Електрорушійна сила (е. р. с.) джерела тестового сигналу визначається за виразом

$$E(t) = E_m \sin(\omega t), \tag{2}$$

де ω – кутова швидкість; t – час; E_m – амплітудне значення е. р. с. джерела живлення.

У відповідності до рис. 2, за методом контурних струмів, складаємо систему рівнянь

$$\begin{cases} i_1(t) = i_2(t) + i_3(t); \\ i_2(t) = i_3(t) + i_4(t); \\ I_{11}(t) \cdot (z_1 + z_4) - I_{12}(t) \cdot z_4 = E(t); \\ -I_{11}(t) \cdot z_4 + I_{12}(t) \cdot (z_4 + z_2 + z_5) = 0; \\ I_{12}(t) \cdot z_2 + I_{13}(t) \cdot (z_2 + z_3) = 0, \end{cases} \tag{3}$$

де i_1, i_2, i_3, i_4 – струми у вітках, а I_{11}, I_{12}, I_{13} – струми у контурах.

Операторним методом визначено струм тестового сигналу, який протікає через активний опір R_1 сенсора і знаходиться за виразом (4)

$$\begin{aligned} i(t) = & \frac{E(t) \cdot G}{C} + \frac{E(t)F \frac{-B + \sqrt{D}}{2A} + E(t) \cdot K \cdot \frac{-B + \sqrt{D}}{2A} + G \frac{-B + \sqrt{D}}{2A} t}{3A \frac{-B + \sqrt{D}}{2A} + 2B \frac{-B + \sqrt{D}}{2A} + C} e^{\frac{-B + \sqrt{D}}{2A} t} + \\ & + \frac{E(t)F \frac{-B - \sqrt{D}}{2A} + E(t)K \frac{-B - \sqrt{D}}{2A} + G \frac{-B - \sqrt{D}}{2A} t}{3A \frac{-B - \sqrt{D}}{2A} + 2B \frac{-B - \sqrt{D}}{2A} + C} e^{\frac{-B - \sqrt{D}}{2A} t}, \end{aligned} \tag{4}$$

де $A = R_1 R_2 R_3 R_4 R_5 (C_4 C_5 + C_2 C_4 + C_3 C_4 + C_2 C_5 + C_3 C_5)$;

$B = R_1 R_2 R_3 R_5 (C_5 + C_2 + C_3) + R_1 R_2 R_3 R_4 (C_4 + C_2 + C_3) + R_1 R_3 R_4 R_5 (C_4 + C_5) + R_1 R_2 R_4 R_5 (C_4 + C_5) + R_2 R_3 R_4 R_5 (C_4 + C_2 + C_3)$;

$C = R_1 R_2 R_3 + R_1 R_5 R_3 + R_1 R_5 R_2 + R_1 R_4 R_3 + R_1 R_4 R_2 + R_2 R_3 R_4 + R_3 R_4 R_5 + R_2 R_4 R_5$;

$F = R_2 R_3 R_4 R_5 (C_4 C_5 + C_2 C_4 + C_3 C_4 + C_2 C_5 + C_3 C_5)$;

$K = R_2 R_3 R_5 (C_5 + C_2 + C_3) + R_2 R_3 R_4 (C_4 + C_2 + C_3) + R_3 R_4 R_5 (C_4 + C_5) + R_2 R_4 R_5 (C_4 + C_5)$;

$$G = R_2R_3 + R_5R_3 + R_5R_2 + R_4R_3 + R_4R_2;$$

D – дискримінант характеристичного рівняння, отриманого при розв’язанні системи рівнянь (3) операторним методом, знаходиться за виразом (5)

$$D = B^2 - 4AC. \quad (5)$$

Вираз (4) є математичною моделлю струму тестового сигналу відділювача повітряного вимикача ВВШ-110 кВ, яка дозволяє досліджувати залежність цього струму від часу.

Моделювання зміни параметрів тестового сигналу в залежності від положення контактів відділювача

Дослідження з використанням математичної моделі (4) дозволяють визначити характер зміни падіння напруги (6) на опорі R_1 сенсора, викликаній зміною сили струму тестового сигналу в колі контактів відділювача.

$$u_{R1}(t) = i_1(t)R_1. \quad (6)$$

Під час випробовувань відділювача вимикача в якості сенсора пропонуємо використовувати активний опір R_1 , величиною 100 Ом. З метою моделювання використовуємо такі параметри моделі, які відповідають замкнутому положенню контактів відділювача: $C_2 = 0,0001$ пФ; $R_2 = 0$ МОм; $C_3 = 4$ пФ; $R_3 = 15 \cdot 10^3$ МОм; $C_4 = 0,08$ пФ; $R_4 = 25 \cdot 10^3$ МОм; $C_5 = 0,0000001$ пФ; $R_5 = 0$ МОм при $t = 0$ с; $R_2 = 1$ МОм; $C_3 = 4$ пФ; $R_3 = 15 \cdot 10^3$ МОм; $C_4 = 0,08$ пФ; $R_4 = 25 \cdot 10^3$ МОм; $C_5 = 0,0000001$ пФ; $R_5 = 0$ МОм при $t = 0,001$ с; $C_2 = 0,1$ пФ; $R_2 = 24 \cdot 10^3$ МОм; $C_3 = 2$ пФ; $R_3 = 20 \cdot 10^3$ МОм; $C_4 = 0,08$ пФ; $R_4 = 25 \cdot 10^3$ МОм; $C_5 = 0,1$ пФ; $R_5 = 0$ МОм при $t = 0,04$ с. Якщо з метою зменшення впливу наведеної напруги на входні вимірювальні кола в умовах підстанції приєднати до контуру заземлення один зі входів сенсора та один з контактів відділювача, то R_5 буде зашунтованим ($R_5 = 0$ МОм).

За результатами розрахунків з використанням засобів системи MathCAD отримані амплітудні значення падіння напруги U_{R1} на опорі R_1 та струму I_{R1} через цей опір:

при $t = 0$ с – $U_{R1}(0) = 7$ В, $I_{R1}(0) = 0,07$ А;

при $t = 0,04$ с – $U_{R1}(0,04) = 0,918$ В; $I_{R1}(0,04) = 1,79 \cdot 10^{-4}$ А (рис. 4).

Подальші дослідження проводились з використанням програмного забезпечення Electronic_Workbench_5_12 зі зміною C_2 від 0,5...40 пФ.

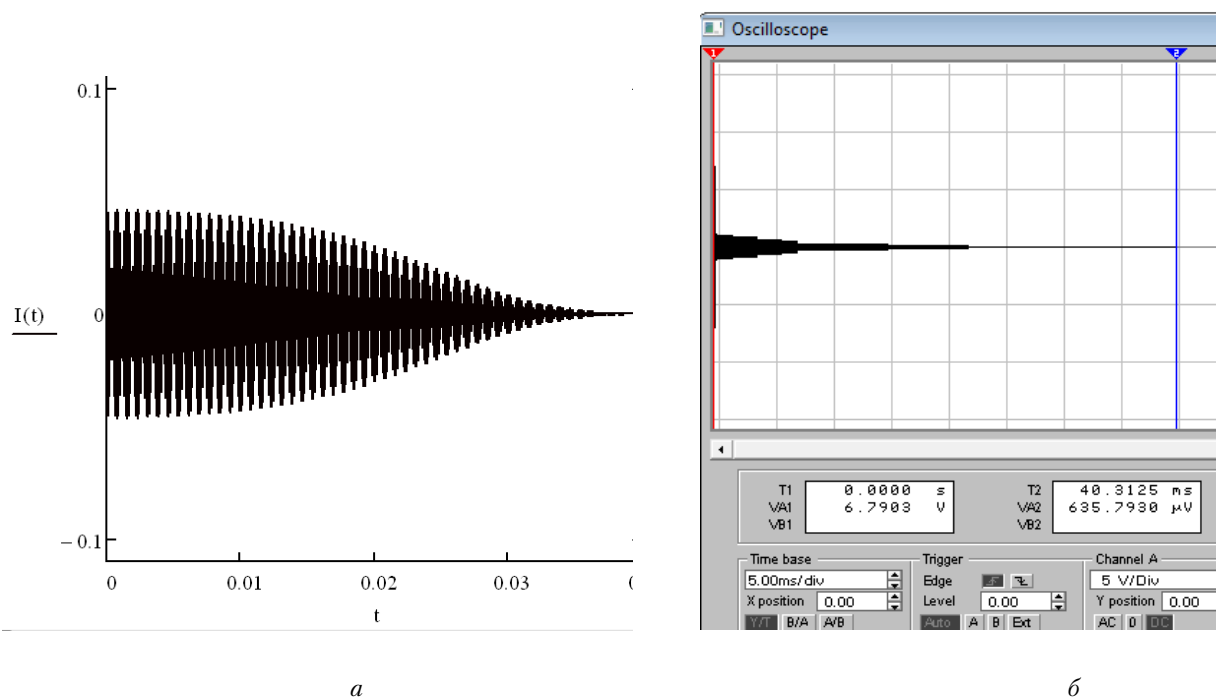


Рис. 4. Залежність падіння напруги тестового сигналу на R_1 від часу

Як впливає з рисунку 4, результати досліджень за допомогою математичної моделі в Mat-Cad (рис. 4а) та програмного забезпечення Electronic Workbench 5 12 (рис. 4б) збігаються.

Висновки

У разі розмикання контактів струм в колі змінюється подібно зміні ємності в залежності від часу. За допомогою запропонованого методу є можливість визначати відстань між контактами вимикача в розімкненому стані, контролювати зміну швидкості і прискорення рухомих контактів під час роботи вимикача без використання традиційних сенсорів лінійного та кутового руху.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Рубаненко О. Є. Мікропроцесорні пристрої контролю часових характеристик повітряних вимикачів високої напруги / О. Є. Рубаненко, О. І. Гуменюк // Новини енергетики. — 2004. — № 10. — С. 50—56.
2. Мокін Б. І. Моделі та системи технічної діагностики високовольтних вимикачів / Б. І. Мокін, В. В. Грабко. — Вінниця : УНІВЕРСУМ, 1999. — 74 с.
3. Тимашова Л. В. Анализ повреждаемости выключателей 110—750 кВ / Л. В. Тимашова, И. Л. Шлейфман, И. А. Назаров / Высоковольтное коммутационное оборудование : матер. V междунар. науч.-техн. конфер. — Москва, 2009.
4. Лежнюк П. Д. Розширення можливостей мікропроцесорних пристроїв контролю характеристик вимикачів / П. Д. Лежнюк, О. Є. Рубаненко, Ю. В. Антонюк // Вісник Кременчуцьського державного політехнічного університету. — Кременчук, КДПУ. — 2004. — № 2(25). — С. 119—121.

Рекомендована кафедрою електричних станцій та систем

Стаття надійшла до редакції 14.10.11
Рекомендована до друку 20.11.11

Кутін Василь Михайлович — професор, **Рубаненко Олександр Євгенійович** — доцент, **Мисенко Сергій Васильович** — інженер.

Кафедра електричних станцій та систем, Вінницький національний технічний університет, Вінниця