

Control with Application to Robot Manipulator/*Farzin Piltan, Mohammad Hossain Yarmahmoudi, Mina Mirzaie, Sara Emamzadeh, Zahra Hivand*// International Journal of Intelligent Systems and Applications. - 2013.- Vol 5, Iss 5, P. 1-10. **7. Belkacem, S.** Reduction of torque ripple in DTC for induction motor using input-output feedback linearization/ *Belkacem Sebti, Nacéri Farid, Abdessemed Rachid*// Serbian Journal of Electrical Engineering.-2011.-Vol 8, Iss 2, Pp 97-110. **8. Xiao-jing, S.** Design and Simulation of PMSM Feedback Linearization Control System/ *Song Xiao-jing*// TELKOMNIKA : Indonesian Journal of Electrical Engineering.-2013.- Vol 11, Iss 3, P. 1245-1250. **9. Mchiri, M.** Observer Based Feedback Linearization Control of an Under-actuated Biped Robot/ *Mchiri Mohamed, Trabelsi Karim*//International Journal of Engineering Trends and Technology.-2013.- Vol 4, Iss 5, P.1899-1907. **10. Sajedi, S.** A New Approach to Dynamic Control of Synchronous Generator in a Bulk Electric Power System by Direct Feedback Linearization/ *S. Sajedi, F. Khalifeh, T. Karimi, Z. Khalifeh*// Research Journal of Applied Sciences, Engineering and Technology. -2011.-Vol 3, Iss 11, P.1239-1245.

**Bibliography (transliterated):** **1. Kim, D.** (2004) Theory of automated control. Multidimensional, nonlinear, optimal and adaptive systems. Moscow: Fizmatlit, 464. **2. Pupkov, K.** (2004) Methods of classical and modern automated control theory. Vol.5. Methods of modern automated control theory. Moscow: BaumanPress, 748 **3. Borisevich, A.** (2011) Theory of automated control: elementary introduction with MatLab using. Sankt-Peterburg: Polytechnical university Publ., 200 **4. Afanasiev, V.** (2012) Guaranteed control of nonlinear systems, linearizability feedback Analytical mechanic, stability and control. Proc. X International Chetaev's conference. Kazan, 12-16 june 2012 Vol. 3.3: Control. Part 1, 156-168. . **Suslov, V.** (2005) Synthesis astatic controllers of multiply nonlinear objects linearizable feedback. Morskoy vestnik, №3(15), 53-55. **6. Piltan, F.** (2013) Design Novel Fuzzy Robust Feedback Linearization Control with Application to Robot Manipulator. Int. J. of Intelligent Systems and Applications, 5, 5, 1-10. **7. Belkacem, S.** (2011) Reduction of torque ripple in DTC for induction motor using input-output feedback linearization. Serbian Journal of Electrical Engineering, 8, 2, 97-110. **8. Xiao-jing, S.** (2013) Design and Simulation of PMSM Feedback Linearization Control System. TELKOMNIKA: Indonesian Journal of Electrical Engineering, 11, 3, 1245-1250. **9. Mchiri, M.** (2013) Observer Based Feedback Linearization Control of an Under-actuated Biped Robot. Int. J. of Engineering Trends and Technology, 4, 5, 1899-1907. **10. Sajedi, S.** A (2011) New Approach to Dynamic Control of Synchronous Generator in a Bulk Electric Power System by Direct Feedback Linearization Research Journal of Applied Sciences, Engineering and Technology, 3, 11, 1239-1245

*Надійшла (received) 17.12.2014*

## УДК 621.311.1.05

**В. М. КУТІН**, д-р техн. наук, проф., ВНТУ, Вінниця;

**О. Є. РУБАНЕНКО**, канд. техн. наук, доц., ВНТУ, Вінниця;

**С. В. МИСЕНКО**, інженер, ДП «НЕК «Укренерго» ВП «Південно-Західна ЕС», Вінниця

### **ВИЗНАЧЕННЯ ТЕХНІЧНОГО СТАНУ ЕЛЕГАЗОВИХ ВИСОКОВОЛЬТНИХ ВИМИКАЧІВ В УМОВАХ ЕКСПЛУАТАЦІЇ**

Розглянуто існуючі методи та засоби для визначення технічного стану елегазових високовольтних вимикачів. Обґрунтовано необхідність вдосконалення методів та засобів технічного діагностування високовольтних вимикачів для підвищення їх надійності в умовах експлуатації. Запропоновано комплексний метод діагностування високовольтних елегазових вимикачів, який враховує контроль струму тестового сигналу, як інтегрального показника при визначенні технічного стану його конструктивних елементів.

**Ключові слова:** комплексний метод, інтегральний показник, тестовий сигнал, діагностування, сенсор, резонанс

© В. М. КУТІН, О. Є. РУБАНЕНКО, С. В. МИСЕНКО, 2014

**Вступ.** Надійність роботи електроенергетичних систем в значній мірі залежить від надійності роботи такого відповідального обладнання розподільчих пристроїв, як високовольтні вимикачі. Тому зрозумілим є прагнення експлуатуючих організацій замінити застарілі типи високовольтних вимикачів, такі як повітряні та оливні, на нові – елегазові та вакуумні. Дослідження динаміки впровадження елегазових високовольтних вимикачів, наприклад в Південно-Західній електроенергетичній системі (рис. 1.), свідчить про високі темпи їх впровадження. Введення в експлуатацію елегазових вимикачів різних типів та виробників потребує детального ознайомлення персоналу експлуатуючих організацій з технічної документацією, накопичення та аналіз досвіду експлуатацію власного, так і подібного до нього обладнання [1, 2].

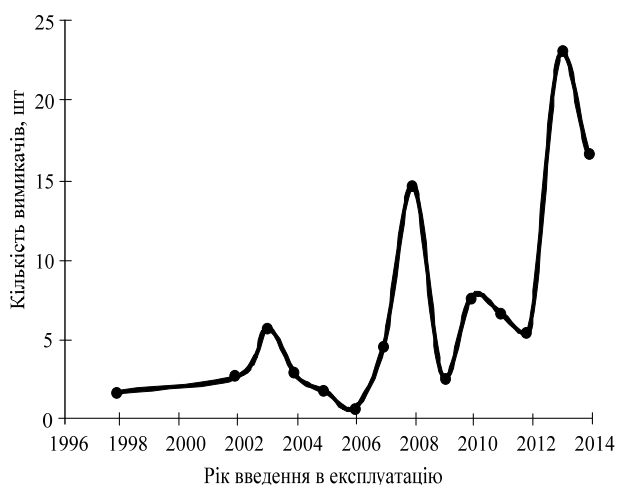


Рис. 1 – Динаміка заміни вимикачів напругою 110-750 кВ на елегазові на підстанціях Південно-Західної електроенергетичної системи

Досвід експлуатації елегазових вимикачів, в порівнянні з досвідом експлуатації повітряних та оливних набагато менший. Проте його аналіз свідчить про велику кількість різних типів та виробників елегазових вимикачів, що вимагає від проектних організацій ретельного підбору технічних характеристик вимикача та його виробника під час виконання проектних рішень на реконструкції розподільчих пристроїв. Аналіз результатів експлуатації свідчить про наступні відмови: пошкодження електромагнітів увімкнення та вимкнення; порушення кріплення ковзаючих контактів до дуттєвого циліндру, що призводить до зменшення ізоляційного проміжку між рухомим та нерухомим контактами вимикача; пошкодження двигуна заведення пружини увімкнення; обрив склопоксидної тяги в дугогасильній камері; втрата тиску дугогасного середовища; пошкодження дугогасильних камер вимикача на напругу 750 кВ, який встановлений в колі ректора, під час виконання неуспішного АПВ; дисбаланс між пружинами увімкнення та вимкнення, що призводить до нестабільної роботи приводного механізму, а саме вимикач при виконання операції увімкнення не завжди фіксується в увімкненому положенні і т. п. [3].

Під час експлуатації елегазових вимикачів заводи виробники у відповідності до керівництва з експлуатації, не вимагають проведення поточних ремонтів, а пропонують виконувати лише візуальний огляд з періодичністю один раз в рік та профілактичне технічне обслуговування через 12,5-15 років експлуатації, а капітальний ремонт потрібно проводити по вичерпанню паспортного або комутаційного ресурсу. В той же час виробники (ABB, Siemens та інші) активно розробляють і впроваджують сучасні мікропроцесорні системи онлайн-моніторингу технічного стану вимикача, з постійним розширенням їх

функціональних можливостей визначення технічних параметрів вимикачів в умовах експлуатації [4].

Під час проведення профілактичного технічного обслуговування визначення швидкісних характеристик на елегазових вимикачах інколи обмежено конструктивними особливостями виконання приводних механізмів, а саме відсутністю місць приєднання сенсорів кутового та лінійного переміщення до їх рухомих ланок [5].

Широке впровадження елегазових вимикачів та зростання їх кількості в експлуатуючих організаціях дозволили отримати статистику їх відмов, яка свідчить про необхідність вдосконалення методів і засобів визначення технічного стану, як під час експлуатації (системи онлайн-моніторингу) так і при оглядах. Вони мають бути універсальними, інформативними та дозволяти в короткий термін часу огляду вимикача (виконується один раз на рік), визначати технічний стан багатьох вузлів цих вимикачів.

**Аналіз існуючих методів та засобів контролю елегазових вимикачів.** Для визначення технічного стану вимикача використовуються різні методи і засоби, які дозволяють визначати значення різних діагностичних параметрів таких, наприклад, як параметри часових та швидкісних характеристик. На результати визначення параметрів часових та швидкісних характеристик вимикача, який встановлений на діючій підстанції, негативний вплив мають завади, що викликані умовами експлуатації (високою напругою, вологістю повітря, коронними розрядами, частковими розрядами в ізоляції, комутаційними перенапругами і т.п.). Такі завади зменшують якість діагностування та виявлення дефектів, особливо, на ранній стадії їх розвитку.

Прикладом, є негативний вплив завад на роботу пристроїв контролю швидкісних характеристик вимикача, які використовують тестовий сигнал змінної напруги заздалегідь вибраної однієї частоти [6].

Відомі пристрої, які вимагають: обов'язкового заземлення апаратних ввідів вимикача під час діагностування, що не завжди можливе під час планових оглядів [6]; під'єднання сенсорів кутового та лінійного переміщення, що неможливо для деяких конструкцій вимикачів [7]; заземлення апаратних виводів вимикача через котушки індуктивності, що негативно впливає на результати випробувань при використанні високочастотного сигналу [7]; використання високочастотного фільтру, який налаштований на умову резонансу з джерелом тестової напруги, у вигляді ємності, індуктивності та активного опору, які паралельно з'єднанні між собою, що обмежує подання оптимальної частоти для отримання інформативного сигналу в умовах змінної між контактної ємності [7].

Існують пристрої, які адаптовані лише до таких схем розподільних пристроїв, у яких вимикач з однієї сторони приєднаний до лінії, а з іншої до шин, що є нетиповим рішенням для схеми розподільних пристроїв на клас напруги 220 кВ і вище в енергосистемах України [8].

Потребують вдосконалення прилади контролю швидкісних характеристик вимикачів, експлуатованих у відкритих розподільних пристроях, які передбачають використання послідовного, або паралельного резонансу лише на одній частоті – частоті тестового сигналу, яка вибрана заздалегідь (при виготовленні приладу) за

умови максимальної амплітуди цього сигналу на виході сенсора і не змінюється під час експлуатації, якщо частота тестового сигналу співпадає з частотою завод [9].

Не врахування параметрів матеріалу, який використовується при виготовленні вимикача, наприклад елегазу (залежність від температури, тиску, вологи), обмежує можливості приладів діагностування та погіршує якість постановки діагнозу, наприклад впливає на результати визначення характеристик прискорення руху контактів, які визначаються з врахуванням зміни ємності між контактами [10].

**Мета і задачі дослідження.** Метою досліджень є підвищення якості діагностування елегазових вимикачів, експлуатованих в умовах впливу високих напруженостей електромагнітного поля електричних станцій та підстанцій, скорочення часу діагностування, забезпечення методичної та апаратної підтримки прийняття рішення персоналом про стан вимикача під час його планового огляду.

Тому задачами досліджень є: визначення інтегрального діагностичного параметра вимикача, який дозволяє у короткий термін огляду вимикача визначати, як стан вимикача так і стан найчастіше пошкоджуваних його вузлів; розробка математичної моделі струму тестового сигналу, використовуваного під час діагностування, яка дозволяє встановити залежності струму тестового сигналу від положення контактів вимикача з урахуванням якості елегазу та стану ізоляції апаратних введів; розробка комплексного методу діагностування елегазового вимикача, який дозволяє у короткий термін огляду вимикача визначати, як стан вимикача так і стан найчастіше пошкоджуваних його вузлів.

**Інтегральний діагностичний параметр вимикача.** Справний стан вимикача – це стан, при якому він відповідає всім вимогам нормативно-технічної або конструкторській документації [11, 12].

Стан вимикача позначимо лінгвістичною змінною  $S$ , яка в процесі експлуатації може набувати значення: 1 – при справному стані вимикача або 0 – при несправному стані. Математична модель стану вимикача (1)

$$S = \begin{cases} 1, \text{ якщо } I_{тест} < (I_{норм} \pm 3\%), \text{ при } f = 0 \text{ та } t = t_1 \\ 0, \text{ якщо } I_{тест} > (I_{норм} \pm 3\%), \text{ при } f = 0 \text{ та } t = t_1 \\ 1, \text{ якщо } I_{тест} < (I_{2норм} \pm 3\%), \text{ при } f = 0 \text{ та } t = t_2 \\ 0, \text{ якщо } I_{тест} > (I_{2норм} \pm 3\%), \text{ при } f = 0 \text{ та } t = t_2 \\ 1, \text{ якщо } I_{тест} < (I_{3норм} \pm 3\%), \text{ при } f = 0 \text{ та } t = t_3 \\ 0, \text{ якщо } I_{тест} > (I_{3норм} \pm 3\%), \text{ при } f = 0 \text{ та } t = t_3 \\ 1, \text{ якщо } I_{тест} < (I_{4норм} \pm 9\%), \text{ при } f = f_1 \text{ та } t = t_4 \\ 0, \text{ якщо } I_{тест} > (I_{4норм} \pm 9\%), \text{ при } f = f_1 \text{ та } t = t_4 \\ 1, \text{ якщо } I_{тест} > (I_{5норм} \pm 9\%), \text{ при } f = f_2 \text{ та } t = t_5 \\ 0, \text{ якщо } I_{тест} > (I_{5норм} \pm 9\%), \text{ при } f = f_2 \text{ та } t = t_5 \\ 1, \text{ якщо } I_{тест} > (I_{6норм} \pm 9\%), \text{ при } f = f_3 \text{ та } t = t_6 \\ 0, \text{ якщо } I_{тест} > (I_{6норм} \pm 9\%), \text{ при } f = f_3 \text{ та } t = t_6 \end{cases} \quad (1)$$

де  $I_{тест}$  – інтегральний діагностичний параметр, струм джерела тестового гармонійного сигналу, який в процесі вимірювань може змінювати свої значення відповідно до часу вимірювань та частоти джерела тестового сигналу, що характеризує стан контрольованих вузлів вимикача, якому проводять діагностування,  $I_{норм}$  – нормативне значення струму тестового сигналу при визначенні технічних характеристик вимикача в відповідні моменти часу,  $t_1, t_2, t_3,$

$t_4, t_5, t_6$  – характерні моменти часу для визначення технічного стану конструктивних елементів вимикача,  $f_1, f_2, f_3$  – частота джерела тестового сигналу, яка вибирається з урахуванням спектру частот завод та інформативності результату.

Струм джерела тестового гармонійного сигналу протікає в колі (рис. 2): джерело тестового сигналу, контакти вимикача, сенсор струму, контур заземлення, джерело тестового сигналу [13]. На рис. 1 показані: 1 – пристрій контролю технічного стану елегазових вимикачів, ДТС – джерело тестового сигналу, С – сенсор струму.

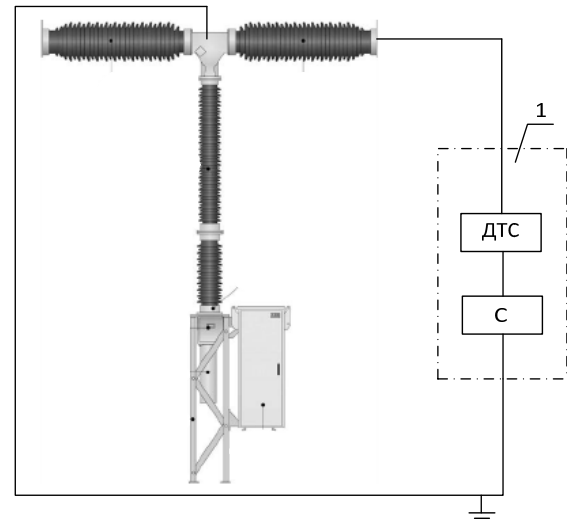


Рис. 2 – Схема діагностування елегазових вимикачів

Під час діагностування вимикача частота тестового сигналу змінюється від нуля до мегагерц таким чином, щоб створити резонанс струмів в кожний момент часу, коли здійснюється вимірювання.

Миттєве значення струму тестового сигналу у заздалегідь визначені моменти часу випробовувань, яким відповідає частота тестового сигналу, залежить від технічного стану вузлів вимикача. Отримане значення струму корегується з урахуванням температури та вологості повітря і густини або тиску елегазу.

Контроль тестового сигналу, у вигляді інтегрального показника – струму джерела тестового сигналу дає можливість визначати: опір ізоляції кожного полюса відносно заземлених частин вимикача та опір постійному струму головного струмоведучого контуру (на частоті нуль герц), час увімкнення, час вимкнення, різночасність увімкнення, різночасність вимкнення, час вібрації контактів, відхилення від нормальної роботи рухомих елементів приводного механізму таких як ланки, пружини увімкнення та вимкнення, спряжені частини приводного механізму, швидкості руху рухомої контактної системи (РКС), по яких на заздалегідь обґрунтованих інтервалах часу визначається технічний стан елементів елегазових вимикачів та його дугогасного середовища.

**Математична модель струму тестового сигналу.** Для побудови математичної моделі струму тестового сигналу, використовуваного під час діагностування, проведено аналіз конструктивних особливостей елегазових вимикачів та побудована схема заміщення (рис. 3).

На схемі (рис. 3) показані:  $e$  – електрорушійна сила джерела тестового сигналу (2),  $R_1$  – активний опір сенсора, приєднаний послідовно до джерела тестового сигналу,  $Z_2(t)$  – повний опір між контактами

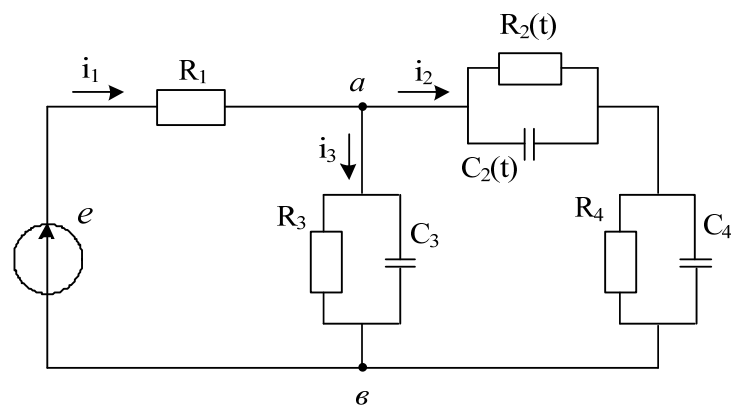


Рис. 3 – Схема заміщення дугогасильної камери елегазового вимикача

дугогасильної камери, який складається з ємнісного  $X_2(t)$  (опір ємності  $C_2(t)$ , який змінює своє значення під час операції увімкнення або вимкнення) та активного  $R_2(t)$  (опір ізоляції між контактами, який змінює своє значення під час операції увімкнення або вимкнення) опорів,  $Z_3$  та  $Z_4$  – повні опори рухомого та нерухомого контактів відносно заземлених частин вимикача, які складаються з ємнісних  $X_3, X_4$  (опір ємностей  $C_3, C_4$ ) та активних  $R_3, R_4$ ;  $R_3, C_3$  – опір та ємність ізоляції рухомого контактів відносно заземлених частин вимикача;  $R_4, C_4$  – опір та ємність ізоляції нерухомого контакту відносно заземлених частин вимикача [14]:

$$e(t) = E_m \cdot \sin(\omega \cdot t + \varphi_e), \quad (2)$$

де  $\omega$  – кутова швидкість,  $t$  – час,  $E_m$  – напруга джерела тестового сигналу.

$$\omega = 2\pi f, \quad (3)$$

де  $f$  – частота тестового сигналу.

На основі аналізу схеми заміщення (рис. 3) визначено комплексні опори в колі:

$$\underline{Z}_2(t) = \frac{R_2(t)}{1 + j\omega C_2(t)R_2(t)}, \quad (4)$$

$$\underline{Z}_3 = \frac{R_3}{1 + j\omega C_3 R_3}, \quad (5)$$

$$\underline{Z}_4 = \frac{R_4}{1 + j\omega C_4 R_4}. \quad (6)$$

Використовуючи правила паралельно-послідовного перетворення визначимо повний опір кола:

$$\underline{Z}_{\text{ВХ}}(t) = R_1 + \frac{\frac{R_3}{1 + j\omega C_3 R_3} \cdot \left[ \frac{R_2(t)}{1 + j\omega C_2(t)R_2(t)} + \frac{R_4}{1 + j\omega C_4 R_4} \right]}{\frac{R_3}{1 + j\omega C_3 R_3} + \frac{R_2(t)}{1 + j\omega C_2(t)R_2(t)} + \frac{R_4}{1 + j\omega C_4 R_4}}. \quad (7)$$

За законом Ома знайдено комплексні значення амплітуди струму  $\underline{I}_{1m}(t)$  та миттєве  $i_{1m}(t)$  значення струму тестового сигналу під час виконання операції вимкнення:

$$\underline{I}_{1m}(t) = \frac{\underline{E}}{\underline{Z}_{\text{ВХ}}(t)} = \frac{\underline{E}}{R_1 + \frac{\frac{R_3}{1 + j\omega C_3 R_3} \cdot \left[ \frac{R_2(t)}{1 + j\omega C_2(t)R_2(t)} + \frac{R_4}{1 + j\omega C_4 R_4} \right]}{\frac{R_3}{1 + j\omega C_3 R_3} + \frac{R_2(t)}{1 + j\omega C_2(t)R_2(t)} + \frac{R_4}{1 + j\omega C_4 R_4}}}, \quad (8)$$

$$i_{1m}(t) = |\underline{I}_{1m}(t)| \cdot \sin(\omega \cdot t + \arg(\underline{I}_{1m}(t))). \quad (9)$$

Залежності зміни ємності та активного опору, наприклад, під час виконання операції вимкнення вимикача було встановлено експериментально, шляхом поступового переміщення рухомої контактної системи від кінцевого положення увімкнено до кінцевого положення вимкнено [13]:

$$C_{2\text{ВИМК}}(t) = (75,576 \cdot e^{-0,201 \cdot t} + 10,624) \cdot 10^{-12}, \text{ Ф} \quad (10)$$

$$R_{2\text{ВИМК}}(t) = \left[ \frac{0,358 + 1,58 \cdot t}{1 + 0,169 \cdot t - 0,0006 \cdot t^2} \right] \cdot 10^9, \text{ Ом} \quad (11)$$

Вираз (9) є математичною моделлю зміни тестового сигналу у вигляді залежності струму від часу. Контроль залежності зміни струму, під час виконання технологічних операцій, та порівняння його значень, з еталонними, на обґрунтовано визначених ділянках часу дає можливість досліджувати зміну технічного стану конструктивних елементів елегазових високовольтних вимикачів.

Відповідно до [15] відстань яку проходить РКС  $h=f(v,t)$  під час виконання операції вимкнення вимикача умовно можна поділити на три частини ( $h_1, h_2, h_3$ ), які відповідають трьом характерним інтервалам часу, та визначити за виразом (12)

$$h = \int_0^{t_1} v_1(t)dt + \int_{t_1}^{t_2} v_2(t)dt + \int_{t_2}^{t_3} v_3(t)dt = h_1 + h_2 + h_3, \quad (12)$$

де  $v_1(t)$  – швидкість на початку руху РКС;  $v_2(t)$  – швидкість руху контакту до вводу в дію оливного буфера;  $v_3(t)$  – швидкість руху РКС після введення в роботу оливного буфера.

Тому для визначення технічного стану спряжених частин приводного механізму значення інтегрального показника необхідно порівнювати з еталонним значенням на проміжку часу від 0 до  $t_1$ , для визначення пружних властивостей пружин увімкнення та вимкнення значення струму потрібно порівнювати на інтервалі часу від  $t_1$  до  $t_2$ , на якому швидкість руху РКС максимальна. Для встановлення технічного стану та часу введення в роботу амортизатора значення інтегрального показника потрібно порівнювати на інтервалі часу від  $t_2$  до  $t_3$ .

**Результати досліджень на математичній моделі.** Використовуючи програмне забезпечення *Mathcad* побудовано графік залежності зміни амплітудних миттєвих значень струму  $i_1(t)$  тестового сигналу від часу під час операції вимкнення вимикача (рис. 4), при умові:  $f=160$  кГц,  $U_m=100$  В,  $R_1=100$  Ом,  $R_3=R_4=2000$  МОм,  $C_3=C_4=196 \cdot 10^{-12}$  Ф.

Порівняння отриманої характеристики зі зразковою (отриманою для справного вимикача), попередньо знятою перед введенням вимикача в експлуатацію (нового або відремонтованого та визнаного справним вимикача), та аналізу відхилення цих характеристик на обґрунтовано визначених інтервалах часу, дозволяє одночасно виявити пошкодження в дугогасильній камері та приводному механізмі на ранній стадії розвитку. Наприклад, по максимальному значенню струму, якому відповідає значення ємності між контактами вимикача, яке знаходиться як перше значення після розмикання контактів, робиться висновок про технічний стан дугогасного середовища. З використанням математичної моделі (8) побудовано графіки зміни струму тестового сигналу під вимикання вимикача для якісного (рис. 4) та зволоженого (рис. 5) елегазу.

Залежність струму тестового сигналу від часу (рис. 5) побудована для елегазу з вмістом вологи 2 % від загальної кількості елегазу в дугогасній камері.

Як видно з рис. 5 значення струму тестового сигналу, при збільшенні кількості вологи в дугогасному середовищі збільшується, що пояснюється збільшенням ємності між контактами вимикача.

Отже, комплексний показник – значення струму тестового сигналу різних частот, починаючи від нуля (а далі більше), в різні моменти часу комплексних випробувань елегазового вимикача, починаючи від тривало – розімкнутих,

тривало – замкнених до таких, які знаходяться у стані руху дозволяє визначати не лише часові характеристики вимикача та стан механічної частини в останню мить перед замиканням контактів, а і стан багатьох інших деталей та вузлів вимикача в короткий термін операцій з огляду вимикача, не вимагаючи додаткових змін конструкції.

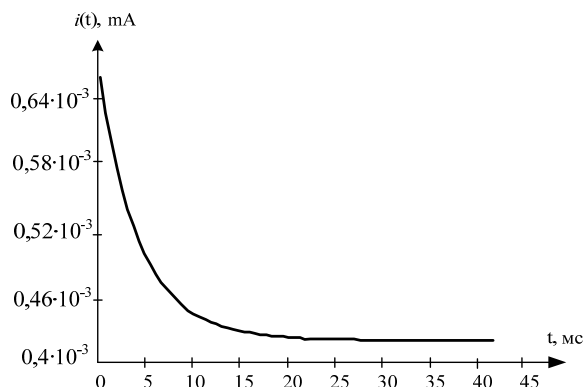


Рис. 4 – Залежність струму тестового сигналу від часу для якісного елегазу

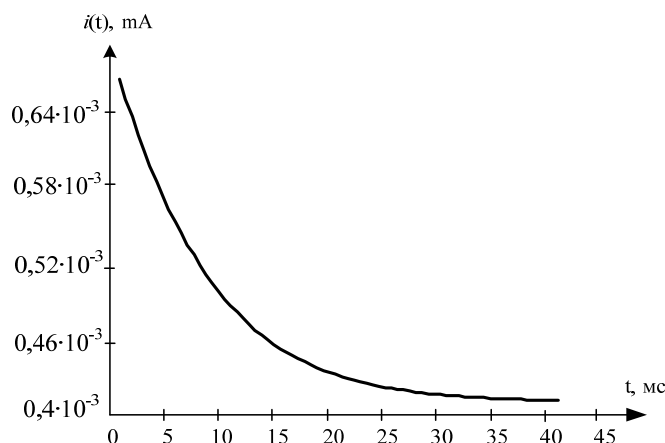


Рис. 5 – Залежність струму тестового сигналу від часу для зволоженого елегазу

Запропонований метод контролю ВВ, який вирішуючи задачу постановки діагнозу [12] – визначення причини погіршення технічного стану, знаходження пошкоджених, або потенційно ненадійних деталей (вузлів) в умовах короткочасних оглядів елегазових вимикачів, на відміну від відомих, які використовують тестовий сигнал фіксованої частоти (значно підсилений активними підсилювачами та завдяки використанню послідовного резонансу у вимірювальному колі), передбачає попереднє сканування напруг завад на виході сенсора по місцю випробувань, виявлення частот гармонійних складових цих напруг, виключення їх зі спектру частот тестових сигналів, використовуваних під час випробувань.

**Комплексний метод та алгоритм випробувань елегазового вимикача.** Комплексний метод діагностування реалізується з використанням принципової схеми діагностування елегазових вимикачів (рис. 6). На рис. 6. показані: 1 – вимикач, 2 – комутатор, 3 – пристрій контролю вимикачів. Запропоновано алгоритм проведення комплексного методу діагностування блок схема якого показана на рис. 7.

Комплексний метод передбачає чотири етапи діагностування. На першому етапі діагностування проводиться візуальний контроль.

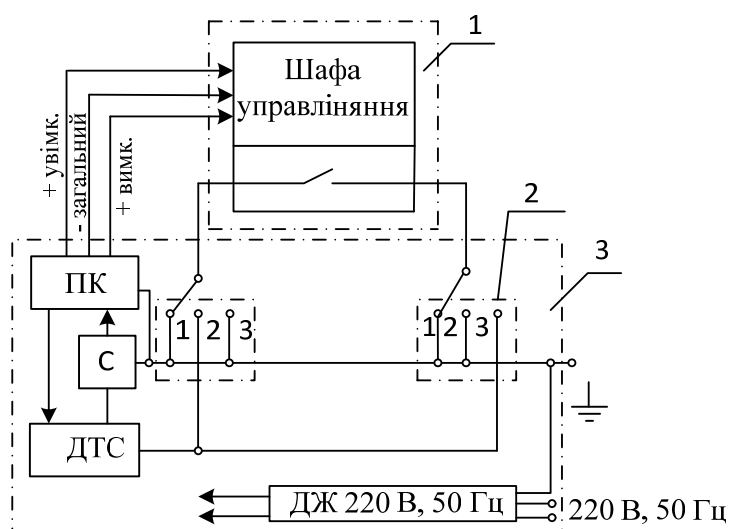


Рис. 6 – Принципова схема діагностування



На другому – складається схема діагностування (рис. 5). Джерело тестового сигналу подає в коло тестовий сигнал частотою нуль герц.

Шляхом визначення значення інтегрального показника та порівняння його з нормативним, визначається опір постійному струму головного струмоведучого контуру  $R_2$ . Подається сигнал на електромагніт вимкнення. Визначається опір  $R_3$  ізоляції першого апаратного вводу відносно заземлених частин вимикача (в кінцевому положення вимкнено приймається, що опір  $R_2 = 2000$  МОм).

За рахунок перемикачів комутаторів заземлюється інший апаратний ввід та аналогічно визначається опір  $R_4$  ізоляції другого апаратного вводу відносно заземлених частин вимикача. Нормативні значення інтегральних показників визначаються за умови максимально допустимого нормативного значення опору постійному струму головного струмоведучого контуру та опору ізоляції у відповідності до інструкції заводу виробника.

На третьому етапі проведення випробувань джерело тестового сигналу подає високочастотний сигнал, проводиться попереднє сканування напруг завод на виході сенсора по місцю випробувань, які викликані умовами діючої підстанції, виявлення частот гармонійних складових цих напруг, виключення їх зі

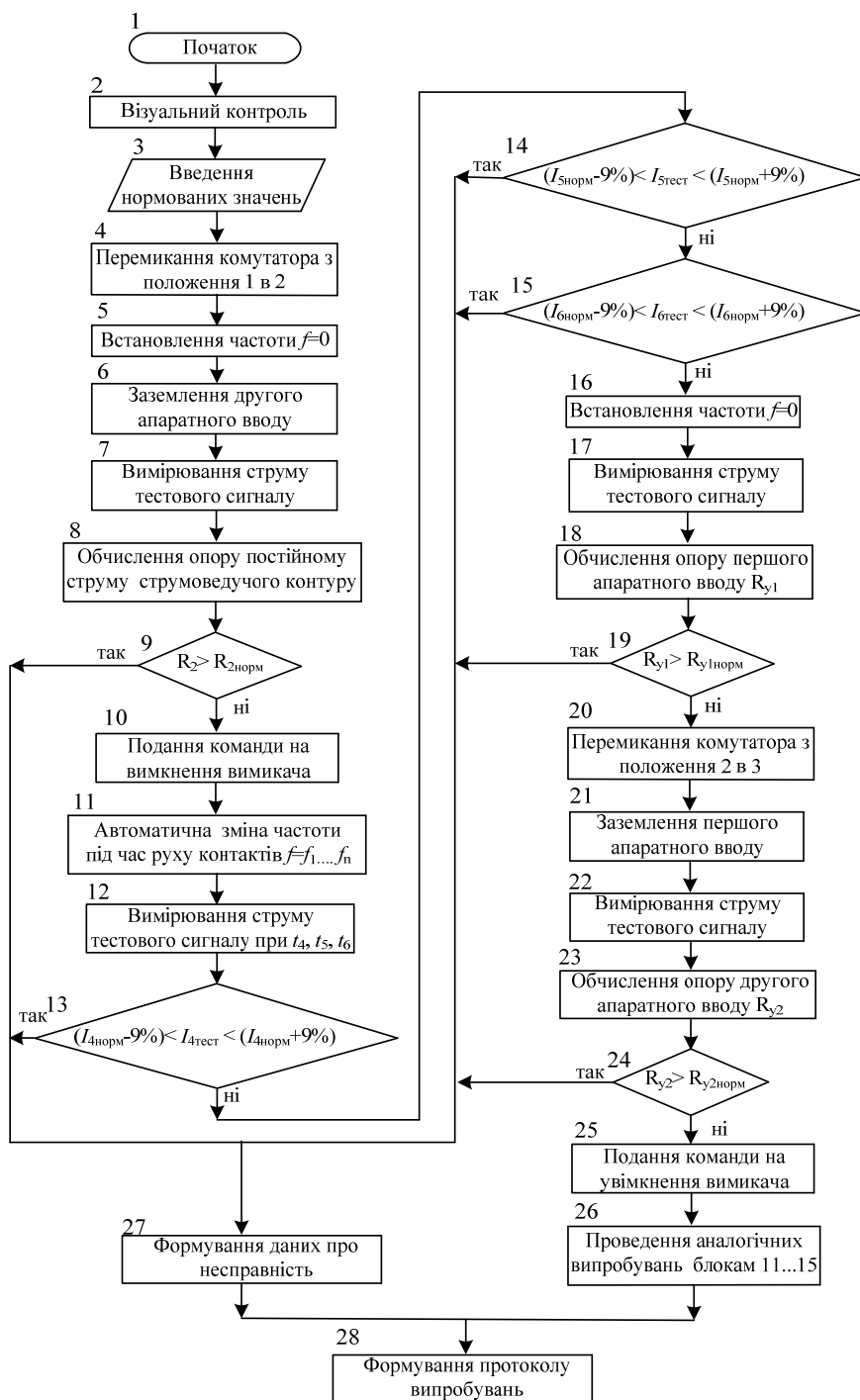


Рис. 7 – Алгоритм проведення комплексного методу діагностування

спектру частот тестових сигналів, використовуваних під час випробувань. Після подається високочастотний сигнал та проводиться неперервний його контроль під час виконання технологічних операцій вимикачем і порівняння отриманих

характеристик з еталонними, попередньо знятими перед вводом вимикача в експлуатацію або після ремонту, та аналізу відхилення цих характеристик на обґрунтовано визначених інтервалах часу, що дозволяє одночасно виявити пошкодження в дугогасильній камері та приводному механізмі на ранній стадії розвитку.

На четвертому етапі джерело тестового сигналу автоматично змінює частоту цього сигналу та подає його на контакти контрольованого вимикача.

Автоматично змінювана частота тестового сигналу, під час руху контактів вимикача, покликана забезпечити виконання умов резонансу між індуктивністю допоміжного трансформатора джерела тестового сигналу та між контактною ємністю вимикача, яка змінюється під час руху його контактів викликаного увімкненням або вимкненням вимикача. Контроль відхилення від умови резонансу, та встановлення на якому інтервалі часу це відбулося, дає можливість зробити попередній висновок про відхилення від нормальної роботи вузлів та деталей вимикача.

**Висновки.** Побудовано математичну модель струму тестового сигналу, яка дозволяє встановити технічний стан конструктивних елементів елегазового вимикача та дугогасного середовища. Контроль струму тестового сигналу, як інтегрального показника, та порівняння його значення з еталонними, отриманими під час проведення пуско-налагоджувальних робіт або ремонту, на обґрунтовано визначених ділянках дає можливість визначати зміну технічного стану його конструктивних елементів під час експлуатації. Контроль умови забезпечення резонансу на всьому інтервалі часу виконання технологічних операцій дає можливість визначати технічний стан конструктивних елементів елегазових високовольтних вимикачів, технічного стану дугогасильного середовища та його ізоляційних властивостей відносно заземлених частин. Розроблено та побудовано алгоритм проведення комплексного методу діагностування елегазових вимикачів, який дозволяє підвищити якість діагностування та скоротити його час, шляхом накладання на контакти камер тестового сигналу різних частот.

**Список літератури:** 1. *Идельчик, В. И.* «Электрические системы и сети» [Текст] / *Виталий Исаакович Идельчик.* – М.: Энергоатомиздат, 1989. – 592 с. 2. *Михайлюк, Р. І.* «Досвід та перспективи експлуатації елегазових вимикачів у Південно-Західній енергетичній системі [Текст] / *Р. І. Михайлюк, С. В. Мисенко, В. М. Кутін, О. Є. Рубаненко* // Енергетика та електрифікація. – 2014. – №3. – С. 34–37. 3. *Тимашова, Л. В.* Аналіз повреждаемости выключателей 110–750 кВ [Електронний ресурс] / *Л. В. Тимашова, И. Л. Шлейфман, И. А. Назаров* // Материалы V международной научно-технической конференции «Высоковольтное коммутационное оборудование». Москва. – 2009. – 8 с. 4. *Руководство по эксплуатации. LTV 245-420 (T) E2. Приводной механизм BLG 1002A однополюсный. 1HSB439954-4ru.* - 2011-11-30. 5. *Гобрей, Р. М.* Технічне діагностування, випробування та вимірювання електрообладнання в умовах монтажу, налагодження і в експлуатації. Довідниково-методичний посібник. Частина 2. Загальні методи та засоби діагностування, випробувань та вимірювань електрообладнання, виведеного з роботи [Текст] / *Р. М. Гобрей, Г. В. Шинкаренко, О. М. Болдирев, Г. М. Коліушко, Д. Г. Коліушко* // – К.: «ДП НТУКЦ». – 2011. – 1008 с. 6. *Maricel Adam.* Monitoring and diagnostic system for high voltage circuit breakers [Текст] / *Maricel Adam, Adrian Baraboi, Catalin Pancu* // International conference on electromechanical and power systems. Moldova. October 4–6, 2007. 7.

Патент №US 6,963,203 B2. Methods and apparatus for analyzing high voltage circuit breakers [Текст] / *Zoran Stanisic, Heinz Wernh.* – №US 10/764,243; Заявл. 23.01.2004; Оpubл. 8.11.2005. **8.** Factor controlling surface flashover in SF<sub>6</sub> gas insulated systems [Текст] / *T. Nitta, Y. Shibuya, Y. Fujiwara* // IEEE Trans, on power apparat and syst. – 1978. – Vol. PAS–97. №3.– P. 959–965. **9.** Reliability and electrical stress survey on high voltage circuit breaker in Japan / *Y. Nakada, J. Kida, I. Takagi etc.* // CIGRE. 2006. Pap. A3-205. **10.** Кукеков, Г. А. Выключатели переменного тока высокого напряжения [Текст] / *Г. А. Кукеков.* // – Л.: Энергия, 1972. –336 с. **11.** ГОСТ 27.002-89. Надежность в технике. Основные понятия. Термины и определения. М.: Изд-во стандартов, 1990. **12.** Норми випробовувань електрообладнання [Текст]: СОУ–Н ЕЕ 20.302:2007. – Видання офіційне. – К.: ГРІФРЕ, 2007. – 262 с. (Нормативний документ мінпаливенергоУкраїни.). **13.** *Кутін, В. М.* Вдосконалення методів діагностування високовольтних вимикачів [Текст] / *В. М. Кутін, О. Є. Рубаненко, С. В. Мисенко* // Вісник Вінницького політехнічного інституту. – 2012. – №1. – С.109–113. **14.** *Кутін, В. М.* Визначення діагностичних параметрів оцінки технічного стану високовольтного вимикача [Текст] / *Кутін В. М., Рубаненко О.Є., Мисенко С. В.* // Енергетика: економіка, технології, екологія. – 2014. – №3. – С. 33-39. ISSN 1813-5420. **15.** *Зелінський, В. Ц.* Фізичні основи електричних апаратів: Навчальний посібник [Текст] / *В. Ц. Зелінський*//– Вінниця: ВДТУ, 2001. – 134 с.

**Bibliography (transliterated):** **1.** *Idel'chik, V. I.* (1989). «Elektricheskie sistemy i seti».- Moscow, *Energoatomizdat*, 592. **2.** *Mihajlyuk, R. I., Misenko, S. V., Kutin, V. M., Rubanenko, O. E.* (2014). Dosvid ta perspektivi ekspluatatsii elegazovih vimikachiv u Pivdenno-Zahidnij energetichnij sistemi. *Energetika ta elektrifikaciya*, 3, 34-37. **3.** *Timashova, L. V., Shlejman, I. L., Nazarov, I. A.* (2009). Analiz povrezhdaemosti vyklyuchatelej 110–750 kV. Materialy V mezhdunarodnoj nauchno–tekhničeskaya konferencii «Vysokovol'noe kommutacionnoe oborudovanie». Moskva. **4.** Rukovodstvo po ehkspluatatsii. LTB 245-420 (T) E2. Privodnoj mekhanizm BLG 1002A odnopolyusnyj. IHSB439954-4ru.- 2011-11-30. **5.** *Gobrej, R. M., Shinkarenko, G. V., Boldirev, O. M., Koliushko, G. M., Koliushko, D. G.* (2011). Tekhnichne diagnostuvannya, viprobuvannya ta vimiryuvannya elektroobladnannya v umovah montazhu, nalagodzhennya i v ekspluatatsii. Dovidnikovo – metodichnij posibnik. Chastina 2. Zagal'ni metodi ta zasobi diagnostuvannya, viprobuvan' ta vimiryuvan' elektroobladnannya, vivedenogo z roboti. - Kiev: «DP NTUKC», 1008. **6.** *Maricel, A., Baraboi, A., Catalin, P.* (2007). Monitoring and diagnostic system for high voltage circuit breakfers. International conference on electromechanical and power systems. Moldova. **7.** Patent №US 6,963,203 B2. Methods and apparatus for analyzing high voltage circuit breakers./– *Zoran Stanisic, Heinz Wernh.* – №US 10/764,243; Zayavl. 23.01.2004; Opubl. 8.11.2005. **8.** *Nitta, T., Shibuya, Y., Fujiwara, Y.* (1978). Factor controlling surface flashover in SF<sub>6</sub> gas insulated systems. IEEE Trans, on power apparat and syst., V, PAS–97., 3, 959-965. **9.** *Nakada, Y., Kida, J., Takagi I.* (2006). Reliability and electrical stress survey on high voltage circuit breaker in Japan. CIGRE., 203-205. **10.** *Kukekov, G. A.* (1972). Vyklyuchateli peremennogo toka vysokogo napryazheniya, *Energiya*, 336. **11.** GOST 27.002-89. (1990). Nadezhnost' v tekhnike. Osnovnye ponyatiya. Terminy i opredeleniya. - Moscow: Izd-vo standartov. **12.** Normi viprobovuvan elektroobladnannya: SOU–N ЕЕ 20.302:2007. – Vidannya oficijne, K., GRIFRE, 262. **13.** *Kutin, V. M., Rubanenko, O. Є., Misenko, S. V.* (2012) Vdoskonalennya metodiv diagnostuvannya visokovol'tnih vimikachiv, *Visnik Vinnic'kogo politekhnichnogo institutu*, 1, 109-113. **14.** *Kutin, V. M., Rubanenko, O. Є., Misenko, S. V.* (2014). Vznachennya diagnostichnih parametriv ocinki tekhnichnogo stanu visokovol'tnogo vimikacha, *Energetika: ekonomika, tekhnologii, ekologiya*, 3, 33-39. **15.** *Zelins'kij, V. C.* (2001). Fizichni osnovi elektrichnih aparativ, *Navchal'nij posibnik*, Vinnicya, VDTU, 134.

Надійшла (received) 17.12.2014