

## МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ ТА СТРУКТУРА ПРИСТРОЮ ДЛЯ ВИЗНАЧЕННЯ ЗАЛИШКОВОГО РЕСУРСУ ВИСОКОВОЛЬТНОГО РОЗРЯДНИКА

*В. П. Ковальчук, асп., А. В. Печенюк, студ.  
Вінницький національний технічний університет  
Хмельницьке шосе, 95, 21021, м. Вінниця, Україна  
E-mail: venedykt@rambler.ru*

Представлено математичну модель і структурну схему пристрою для визначення можливості подальшої експлуатації розрядника, не виводячи його з енергомережі. Модель враховує декілька параметрів при його періодичних перевірках і випробуваннях.

**Ключові слова:** розрядник, ресурс, струм, напруга, опір, температура.

**Вступ.** Під час експлуатації електричних мереж можуть виникати аварійні ситуації в зв'язку з дією підвищених напруг, які є наслідком грозових (пов'язаних з ударом блискавки в повітряні лінії електропередач) та внутрішніх (обумовлених короткочасними змінами режиму або схеми розподілення електроенергії) перенапруг [1]. Застосування захисних апаратів-розрядників або обмежувачів, що мають досить стабільні захисні характеристики протягом усього терміну служби, забезпечує зниження рівня перенапруг і підвищення надійності роботи електроустановки. У той же час на ізоляцію захисного обладнання постійно впливають підвищені температура і вологість, вібрації, тривала дія електричного поля з нормальними або підвищеними напруженостями. У результаті під час тривалої експлуатації відбувається старіння ізоляції, внаслідок чого втрачаються її властивості [2].

На нинішній час продовжують експлуатувати велику кількість розрядників, що були встановлені ще за часів Радянського Союзу. Для більшості з них вичерпався термін придатності, тому виникає гостра необхідність проводити їх діагностику, що дасть можливість якомога повніше використати їх ресурс і запобігти виникненню аварійних ситуацій.

**Аналіз попередніх досліджень.** Питання визначення функціонального стану захисного обладнання приділяється значна увага. Розроблена велика кількість рекомендацій та інструкцій по експлуатації, випробуванням і діагностиці розрядників. Представлені різного роду несправності, їх причини і можливі негативні наслідки подальшої експлуатації, а також розглянуто методи та засоби технічної діагностики [1, 2]. Зокрема, у роботі [4] запропоновано математичну модель та її технічна реалізація у вигляді структурної схеми пристрою, що дозволяє визначати залишковий ресурс розрядника.

Розрядники повинні залишатися під напругою протягом усього року. Розрядники, що призначені головним чином для захисту від грозових перенапруг, допускається вимикати на осінньо-зимовий період на підстанціях які забруднюються, із необхідним рівнем ізоляції 2,25 см/кВ і вище. Допускається вимкнення також у районах, для яких характерні ураганні вітри, ожеледоутворення і різкі перепади температури протягом доби. Таким чином, переважна більшість захисного обладнання не перестає функціонувати протягом усього терміну служби.

**Мета роботи.** Розробка математичної моделі, яка б дозволяла, не виводячи розрядник з експлуатації, враховувати його параметри для визначення можливості подальшої експлуатації, а також розробка

технічного пристрою, що задовольняє умовам математичної моделі.

**Матеріал і результати дослідження.** Під час огляду розрядників, який здійснюється при обходах черговим персоналом, обліковуються дані за показниками реєстраторів. Особливу увагу звертають на наявність забруднень, сколів і тріщин фарфорових покриттів та ізолюючого виводу або ізоляторів ізолюючих основ фарфорових елементів, цілісність відвідних та заземлюючих кіл, наявність тріщин фланцевих елементів і у цементних швах армування, стан захисних клапанів за наявності деформації або зриву екранів, які закривають місця з'єднання фланців та закопченості фарфору на покриттях [2].

А під час періодичних випробувань розрядників оперативно-виробничим персоналом здійснюється поелементне вимірювання опору, пофазне вимірювання струму витoku від стороннього джерела і під робочою напругою, а також ступінь нагрівання елементів розрядника під робочою напругою за допомогою тепловізійного контролю (рекомендоване).

Таким чином, одним з параметрів, який підлягає обов'язковому вимірюванню, є опір розрядника. Його збільшення відносно паспортних даних свідчить про старіння, зволоженість або іншу несправність. Також це призводить до істотної зміни вольт-секундної характеристики, що, як правило, призводить до каскадного спрацювання елементів розрядника і відмові в гасінні дуги супровідного струму (з вибухом апарата) [2]. Враховуючи вищесказане, математична модель пристрою для діагностування розрядників, окрім параметрів, представлених у роботі [4], має враховувати значення опору.

Таким чином, вираз для визначення імпульсного струму, струму провідності, залишкової напруги, опору та їх впливу на залишковий ресурс розрядника має наступний вигляд:

$$R = \begin{cases} n_n - k_n \sum_{j=0}^m \left[ \sum_{i=0}^{x_j} I_{im,i,j}^2 \Delta t \right]; \\ 0, \text{ якщо } I_{пров} \geq I_{пров.нор} \vee U_{зал_k} \geq \\ \geq U_{зал.нор_k} \vee R_{роз} \geq R_{роз.нор}; \\ U_{зал.нор} = \left\{ U_{зал.нор} \mid I_{им.нор} \right\}_k; \\ k = 1..p, p \in N, \end{cases} \quad (1)$$

де  $n_n$  – номінальне значення ресурсу розрядника;  $k_n$  – коефіцієнт пропорційності;  $m$  – кількість спрацювань розрядника;  $x_j$  – аргумент інтервалу дискретності  $\Delta t$ ;  $I_{им}$

– величина імпульсного струму;  $I_{пров}$  – значення струму провідності;  $I_{пров,нор}$  – нормоване значення струму провідності;  $U_{зал}$  – величина залишкової напруги;  $U_{зал,нор}$  – нормоване значення залишкової напруги;  $R_{роз}$  – значення опору;  $R_{роз,нор}$  – нормоване значення опору;  $I_{ім,нор}$  – нормоване значення імпульсного струму;  $N$  – множина натуральних чисел.

Під дією температури навколишнього середовища значення струму провідності збільшується при зростанні температури та зменшується при її спаданні. Точка відліку, при якій слід вносити поправку у розмірі 0,3 % на кожний градус зміни температури, становить 20° С. Отже, вираз для внесення поправки при вимірюванні струму витoku має наступний вигляд:

$$I_{пров} = \begin{cases} I_{пров,в} + (20 - T^0)0,003 \times \\ \times I_{пров,в}, \text{ при } T^0 \leq 20^0 \text{ C}; \\ I_{пров,в} - (T^0 - 20)0,003 \times \\ \times I_{пров,в}, \text{ при } T^0 > 20^0 \text{ C}, \end{cases} \quad (2)$$

де  $I_{пров,в}$  – вимірне значення струму провідності;  $T^0$  – температура навколишнього середовища.

Перевірка відповідності опору розрядника відносно нормованого значення здійснюється при температурі навколишнього середовища не менше 5° С:

$$R_{роз} = \begin{cases} 0, \text{ при } T^0 \leq 5^0 \text{ C}; \\ R_{роз,в}, \text{ при } T^0 > 5^0 \text{ C}, \end{cases} \quad (3)$$

де  $R_{роз,в}$  – вимірне значення опору.

На основі запропонованої математичної моделі розроблено структурну схему пристрою, що представлена на рис. 1.

На схемі 1, 22, 30 – сенсори струму (СС), температури (СТ) і напруги (СН); 2, 3, 4 – компаратори (К); 5, 6, 7, 23, 31 – тригери (Т); 8 – шифратор (Ш); 9, 13 – генератори імпульсів (ГІ); 10, 14, 40 – елементи І; 11, 18, 19 – лічильники імпульсів (ЛІ); 12 – елемент НІ; 15 – блок установки нуля (БУН); 16, 36 – елементи АБО; 17 – формувач сигналу (ФС); 20, 27, 33, 37, 38 – функціональні перетворювачі (ФП); 21, 28, 34, 39 – цифрові компаратори (ЦК); 24 – елемент затримки часу (ЕЗЧ); 25, 26, 32 – аналого-цифрові перетворювачі (АЦП); 29, 35, 41 – блоки індикації (БІ).

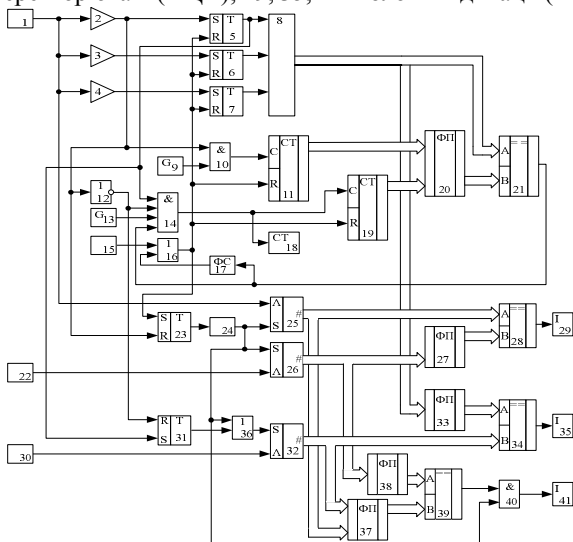


Рисунок 1 – Структурна схема пристрою для визначення залишкового ресурсу високовольтного розрядника

Пристрій працює наступним чином. При подачі напруги живлення на схему БУН 15 коротким імпульсом через елемент АБО 16 встановлює Т 5, 6, 7 та ЛІ 11, 19 у нульовий стан, а Т 23 – в одиничний. Також у нульовий стан установиться Т 31, оскільки логічний нуль з виходу К 2, пройшовши через елемент НІ 12, перетвориться в одиничку і поступить на R-вхід Т 31. Одночасно ГІ 9 і 13 починають формувати відповідні послідовності імпульсів. Вихідний одиничний сигнал Т 23 з витримкою часу, достатньою для охолодження розрядника до температури навколишнього середовища, пройшовши через ЕЗЧ 24, запускає АЦП 25 та 26, а також поступає на другий вхід елемента І 40 та елемента АБО 36, який запускає АЦП 32. АЦП 25 вимірює напругу з СС 1, яка пропорційна струму провідності розрядника, та надсилає відповідний цифровий код на А-вхід ЦК 28 та на другий вхід ФП 37. АЦП 26 вимірює напругу з СТ 22, яка пропорційна температурі навколишнього середовища та надсилає відповідний цифровий код на вхід ФП 27, в якому визначається дійсне значення струму провідності, та на вхід ФП 38, в якому визначається дійсне значення опору розрядника в залежності від температури навколишнього середовища. АЦП 32 вимірює напругу з СН 30 та надсилає відповідний цифровий код на В-вхід ЦК 34 та на перший вхід ФП 37, в якому визначається пір розрядника.

Якщо цифровий код на А-вході ЦК 34 рівний або більший цифрового коду на В-вході, то на його виході з'явиться сигнал логічної одиниці і спрацює БІ 35, що свідчитиме про збільшення струму провідності розрядника відносно допустимого значення. Якщо цифровий код на В-вході ЦК 39 рівний або більший цифрового коду на А-вході, то на його виході з'явиться сигнал логічної одиниці, який, пройшовши через елемент І 40, увімкне БІ 41, що свідчитиме про збільшення опору розрядника.

У разі спрацювання розрядника при появі в електричній мережі імпульсу, викликаного грозовими або комутаційними перенапругами, на виході СС 1 з'являється сигнал постійної напруги, пропорційний комутваному струму, який подається на входи К 2 – 4. У залежності від значення сигналу на виході СС 1 спрацювають один або декілька К та відповідні їм Т встановлюються в одиничне положення, вихідні логічні сигнали яких через Ш 8 поступають у вигляді цифрового коду на А-вхід ЦК 21 та ФП 33, в якому записано нормоване значення залишкової напруги в залежності від величини комутваного струму. Одночасно при спрацюванні першого К 2 сигнал логічної одиниці подається на елемент І 10, НІ 12 та R-вхід Т 23, який переходить у нульовий стан. Вимірювання струму провідності та опору припиняється. З виходу елемента І 10 на вхід ЛІ 11 від ГІ 9 поступає послідовність імпульсів, пропорційна тривалості імпульсу комутваного розрядником струму. Одночасно при спрацюванні першого Т 5 спрацює п'ятий Т 31, який запускає АЦП 32. Якщо цифровий код на В-вході ЦК 28 рівний або більший цифрового коду на А-вході, то на його виході з'явиться сигнал логічної одиниці і спрацює БІ 29, що свідчитиме про збільшення залишкової напруги розрядника відносно допустимого значення.

По закінченні роботи розрядника хвиля перенапруги зрізється і протікання струму через

розрядник припиняється. При цьому на виході СС 1 значення сигналу зменшується до нуля, на всіх виходах К встановлюється сигнал логічного нуля. Подача імпульсів в ЛІ 11 закінчується, а та кількість імпульсів, які підраховані цим лічильником, свідчить про певну тривалість хвилі струму розрядника. Вимірювання залишкової напруги припиняється, оскільки переходить у нульовий стан Т 31, який зупиняє роботу АЦП 32. Вихідний цифровий код ЛІ 11 подається на перший вхід ФП 20, і оскільки на його другому вході присутній нульовий код з виходу ЛІ 19, то і на його виході присутній нульовий цифровий код. Тому на виході ЦК 21 присутній сигнал логічної одиниці, оскільки цифровий код, що подається на А-вхід, відмінний від нуля.

Після закінчення роботи розрядника при появі на виході К 2 сигналу логічного нуля елемент І 14 відкривається, оскільки на його другий вхід надходить одиничний сигнал з елемента НІ 12 і імпульси від ПІ 13 поступають на вхід ЛІ 18 та на вхід ЛІ 19 до тих пір, поки його вихідний цифровий код, що подається на вхід ФП 20, не викличе на його виході появи цифрового коду, який подається на В-вхід ЦК 21 і співпадає з кодом, що подається на А-вхід. При цьому на виході ЦК 21 встановлюється сигнал логічного нуля і подача імпульсів в ЛІ 19 припиняється. Одночасно на виході ФС 17 з'являється короткий імпульс, яким обнуляються Т 5, 6, 7, ЛІ 11, 19 і встановлюється в одиничне положення Т 23, який запустить ту частину схеми, що відслідковує значення струму провідності та опору розрядника.

Цикл роботи пристрою на цьому закінчується.

ФП 20 реалізований таким чином, що кожному значенню комутованого розрядником струму відповідає певний ваговий коефіцієнт, значення якого вибирається в залежності від тривалості імпульсу комутованого струму вихідним сигналом першого ЛІ 11, а в залежності від величини комутованого струму – вихідним сигналом третього ЛІ 19.

У процесі роботи пристрою відповідна кількість імпульсів, яка характеризує спрацювання робочого ресурсу розрядника в залежності від значення комутованого струму в перерахунку на мінімальне вибрано значення комутованого струму з врахуванням тривалості імпульсу комутованого струму, була занесена в другий ЛІ 18, що показує, як

зменшився залишковий робочий ресурс розрядника після комутації імпульсу струму при надходженні хвилі перенапруги. Коефіцієнти перерахунку комутованого струму в мінімальне значення цього струму записані в першому ФП 20, а вибір тієї чи іншої сукупності цих коефіцієнтів здійснюється вихідним кодом ЛІ 11, значення якого залежить від тривалості хвилі струму розрядника. Про інтенсивність старіння розрядника сигналізуватимуть БІ 29, 35 та 41, що свідчить про збільшення відносно номінального значення струму провідності, залишкової напруги та опору розрядника.

**Висновки.** Запропонована математична модель, яка, враховуючи залишкову напругу, величину та тривалість імпульсного струму, а також струм провідності та опір розрядника, за умов впливу температури навколишнього середовища, дозволяє визначити його залишковий ресурс.

Розроблено структурну схему пристрою, що відпрацьовує алгоритм роботи математичної моделі.

#### ЛІТЕРАТУРА

1. Кадомская К.П., Лавров Ю.А., Рейхердт А. Перенапряжения в электрических сетях различного назначения и защита от них. – Новосибирск: НГТУ, 2004. – 319 с.

2. Засоби захисту від перенапруг у електроустановках 6-750 кВ: ГКД 34.35.512: 2002. – вид. офіц. – Київ: ГРІФРЕ: М-во палива та енергетики України. 2002. – 140 с. – (Галузевий керівний документ Об'єднаних енергетичних підприємств. Інструкція з монтажу та експлуатації).

3. Пат. №53520 Україна МПК G07C3/10, пристрій для контролю ресурсу вентильних розрядників / Грабко В.В., Грабко В.В., Ковальчук В.П. – № u201003936; аявлено 06.04.2010; опубл. 11.10.2010, Бюл. № 19. – 5 с.

4. Ковальчук В.П. Визначення залишкового ресурсу високовольтних розрядників // Вісник Кременчуцького державного технічного університету імені Михайла Остроградського. – 2010. – № 4 – С. 126-129.

Стаття надійшла 30.06.2011 р.  
Рекомендовано до друку к.т.н., доц.  
Каліновим А.П.

## МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ И СТРУКТУРА УСТРОЙСТВА ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ОСТАТОЧНОГО РЕСУРСА ВИСОКОВОЛЬТНОГО РАЗРЯДНИКА

*В. П. Ковальчук, асп., А. В. Печенюк, студ.  
Винницкий национальный технический университет  
Хмельницьке шосе, 95, 21021, г. Винница, Украина  
E-mail: venedykt@rambler.ru*

Представлена математическая модель и структурная схема устройства для определения возможности дальнейшей эксплуатации разрядника, не выводя его из энергосети. Модель учитывает несколько параметров при его периодических проверках и испытаний.

**Ключевые слова:** разрядник, ресурс, ток, напряжение, сопротивление, температура.

## THE MATHEMATICAL MODEL AND STRUCTURAL OF DEVICE FOR DETERMINATION OF HIGH-VOLTAGE DISCHARGER REMAINING RESOURCE

*V. Kovalchuk, post-grad., A. Pechenjuk, stud.  
Vinnitsa National Technical University  
Khmelnyske Shose, 95, 21021, Vinnitsa, Ukraine  
E-mail: venedykt@rambler.ru*

A mathematical model and structural diagram of device for discharger determination of possibility the further exploitation is presented, not to put out him from power supply system. The model takes into account a few parameters at his periodic verifications and tests.

**Key words:** discharger, resource, current, voltage, resistance, temperature.