

КУТІН ВАСИЛЬ

Вінницький національний технічний університет

ORCID ID: [0000-0002-2438-7065](https://orcid.org/0000-0002-2438-7065)e-mail: ymkytin@gmail.com**КУТІНА МАРІНА**

Вінницький національний технічний університет

ORCID ID: [0000-0001-7185-6795](https://orcid.org/0000-0001-7185-6795)e-mail: mkytina@gmail.com**КОВАЛЬОВ АРТЕМ**

Вінницький національний технічний університет

ORCID ID: [0000-0002-2212-7577](https://orcid.org/0000-0002-2212-7577)e-mail: covallowartem@gmail.com**РОМАНЮК МИКОЛА**ORCID ID: [0000-0002-1039-1004](https://orcid.org/0000-0002-1039-1004)e-mail: m.romaniuk@lutsk-ntu.com.ua

ВИЗНАЧЕННЯ ПРИЧИН ВИНИКНЕННЯ ТА ХАРАКТЕРИСТИК ОДНОФАЗНИХ ЗАМИКАНЬ НА ЗЕМЛЮ РОЗПОДІЛЬЧИХ МЕРЕЖАХ НАПРУГОЮ 6-35 КВ

Анотація. Аналіз статистичних даних показав, що основними причинами виникнення однофазних замикань на землю (ОЗЗ) в мережах з повітряними лініями електропередачі є зовнішні збурюючі дії: перекриття ізоляції, розрив ізоляторів, оплавлення механічних елементів, обриву провідників, падіння опор, ожеледиця, допущення обслуговуючим персоналом технологічних порушень. Кабельні мережі пошкоджуються через порушення їх механічної стійкості і внаслідок старіння між фаз та поясної ізоляції. В роботі виконано класифікацію ОЗЗ. Досліджені параметри ланцюга ОЗЗ в електричній мережі, двигунах, трансформаторах, умови стійкості ОЗЗ.

Ключові слова: розподільча мережа, пошкодження ізоляції, електрична дуга.

KUTIN Vasyl, KUTINA Maryna, KOVALYOV Artem, ROMANIUK Mykola

Vinnytsia National Technical University

DETERMINATION OF THE CAUSES AND CHARACTERISTICS OF SINGLE-PHASE GROUND CIRCUITS IN DISTRIBUTION NETWORKS WITH A VOLTAGE OF 6-35 KV

Abstract. The analysis of statistical data showed that the most common type of damage to distribution networks is single-phase earth faults, which account for 80% of all types of damage. The main cause of earth faults is the formation of shunt connections between the current-conducting part and the earth. The reason for their occurrence is external factors: lightning overlapping insulation, overlapping insulation with tree branches, ice, wind load, vibration of networks, burning of wooden supports, damage to supports by various mechanisms. Cable networks are damaged due to a violation of their mechanical stability and due to the aging of the insulation between the phases and the belt insulation. In the work, the classification of single-phase earth faults is performed. In general, the whole variety of single-phase earth faults can be divided into two groups - non-arcing and arcing. An accurate mathematical description of the processes of single-phase earth faults accompanied by an electric arc is a significant difficulty due to the fact that the electrical resistance of a steadily burning arc is a non-linear function of the current flowing through it. A. M. Lyapunov's stability theory was used to find out the conditions of arc stability during a single-phase earth fault. The grid replacement scheme for single-phase arcing to the ground is constructed. It was determined that the arc is formed under the action of two currents: from the discharge of the capacity of the small circuit (free current) and from the EMF source of the large circuit (forced current). Since the nature of the transition process is mainly determined by the free component, its analysis was carried out. It was determined that it is extremely important for practical purposes to acquire quantitative values not only of resistance, but also of the duration of existence of self-eliminating circuits.

The parameters of the single-phase ground fault circuit in the electrical network, motors, transformers, the stability conditions of single-phase ground faults have been investigated.

Key words: distribution network, insulation damage, electric arc.

Постановка проблеми у загальному вигляді та її зв'язок із важливими науковими чи практичними завданнями

Досвід експлуатації розподільних мереж (РМ) напругою 6-35 кВ [1,2] вказує на існування проблеми забезпечення необхідного рівня надійності і безпеки експлуатації обладнання цих мереж. Найбільш поширеним видом пошкодження РМ є ОЗЗ, які складають 60-80 % від усіх видів пошкоджень. Основною причиною виникнення замикань на землю є утворення шунтувальних зв'язків між струмопровідною частиною і землею. Причиною їх виникнення є зовнішні чинники: грозові перекриття ізоляції, перекриття ізоляції вітками дерев, ожеледь, навантаження від вітру, вібрація мереж, загоряння дерев'яних опор, пошкодження опор різними механізмами і т.п.

З даних, приведених в [1-4], витікає, що найбільш ушкоджуваними елементами електроустановок незалежно від їх призначення є повітряні і кабельні лінії. Найчастіше ушкоджуються при цьому дроти, ізолятори і кабельні муфти.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

Пошкодження стаціонарних кабельних ліній (КЛ) в мережах в містах, на заводах і шахтах

обумовлені в основному природним старінням ізоляції кабелів, механічними пошкодженнями при виробництві земляних робіт, невчасним (особливо в мережах на шахтах) проведенням профілактичних обслуговувань і в окремих випадках - недостатньою якістю монтажу з'єднувальних і кінцевих муфт (табл. 1.).

Таблиця 1

Основні причини пошкоджуваності повітряних і кабельних ліній напругою 6 -10 кВ

Причини пошкодження	Пошкоджуваність %
Природне старіння ізоляції	27,3
Недосконалість конструкції	16,6
Низька якість монтажу	5,3
Низький рівень експлуатації	6,1
Атмосферно-кліматичні дії	19,6
Сторонні дії (пошкодження механізмами, накиди, замикання птахами, низові пожежі і т. д.)	25,1

Самий низький рівень надійності мають електроустановки, що експлуатуються на відкритих гірничих розробках, що обумовлене їх високою мобільністю і надзвичайно складними умовами експлуатації: дією на електричні мережі і електроустановки ударних хвиль при веденні вибухових робіт, підвищеною забрудненістю повітря пилом, зокрема струмопровідним наїздом транспортних засобів на відкрито прокладені кабелі, зачіпанням механізмами проводів ПЛ і тому подібне.

У розподільних мережах сільськогосподарського призначення, як правило, відсутні технічні засоби автоматичного контролю обриву дроту, тому лінії в неповнофазному режимі можуть працювати декілька годин. При цьому на стороні нижчої напруги трансформаторів, що живляться від пошкодженої лінії, спотворюються між фазна напруга і споживачі переходять в несиметричний режим роботи, небезпечний з точки зору перегріву обмоток [5]

Пошкодження розподільних мереж на шахтах виявляються в основному у вигляді ОЗЗ. Оскільки селективний захист від замикань на землю в цих мережах діє, як правило, «на сигнал», то час існування ОЗЗ допускається до 6 год. Як приклад, час існування ОЗЗ за рік на шахті склав 26 год [6]. При цьому створюється небезпека загоряння кабелів і зв'язаних з ними елементів кріплення гірничих вироблень.

Великого економічного збитку завдають однофазні пошкодження, зокрема ОЗЗ, в кар'єрних електроустановках. Підраховано, що на вугільних розрізах із-за відключень електроенергії захистами від ОЗЗ кожен екскаватор простоє в середньому 20-29 год в рік, не додаючи при цьому гірничої маси в об'ємі 3500 - 5000 м³.

Пожежі в кабельних каналах від ОЗЗ приводили до порушень технології виробництва на заводах [7]. У літературі наводиться також безліч прикладів різних аварій від ОЗЗ практично по всіх галузях народного господарства.

На долю електроустановок напругою 6-10 кВ доводиться значна частина електротравм, особливо з важким і смертельним результатами. При цьому більше 80 % електротравм пов'язано з безпосереднім дотиком до струмоведучої частини і лише 3-10%с дотиком до корпусів електроустановки у момент існування ОЗЗ [8]. Отже, існує необхідність провести дослідження електричних характеристик ОЗЗ незалежно від призначення електроустановок для обмеження виникаючих перенапруг та часу їх існування.

Мета роботи. Підвищення рівня надійності та безпеки експлуатації РМ шляхом визначення електричних параметрів ОЗЗ, що виникають в електроустановках

Виклад основного матеріалу

Електричні характеристики однофазних пошкоджень електроустановок з ізолюваною нейтраллю напругою 6—10 кВ не залежать від конкретного призначення електроустановок все різноманіття ОЗЗ можна розділити на дві групи— бездугові і дугові (рис. 1.).

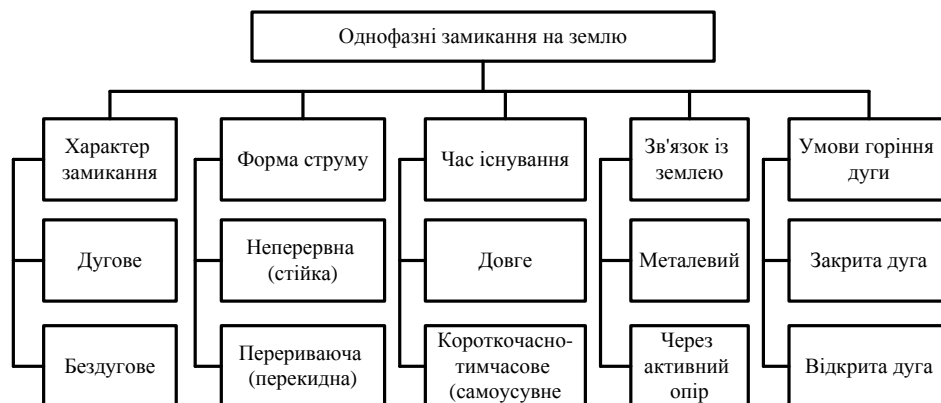


Рис. 1. Класифікація ОЗЗ в залежності від умов виникнення і наступного існування

Бездугове замикання має місце при виникненні надійного гальванічного зв'язку пошкодженої фази із землею. Якщо відбувається гальванічний зв'язок пошкодженої фази із заземленим корпусом електроустановки, то таке замикання називають ОЗЗ на корпус або «металевим» ОЗЗ. Зв'язок фази із землею через неметалічні предмети (наприклад, через дерев'яну траверсу або стійку опори, гілки дерев, пересувні механізми на гумовому ходу, при падінні дроту на сухий ґрунт і т. п.) відносять до ОЗЗ через ланцюг (контур) з активним опором $R_{\text{ак}}$. Опір $R_{\text{ак}}$ включає послідовно сполучені опори елементу, що контактує з фазою R_k , і опір розтіканню струму замикання в землі R_p .

Форма кривої струму бездугового ОЗЗ істотно залежить від $R_{\text{ак}}$. При металевих ОЗЗ на основну гармоніку струму 50 Гц накладаються високочастотний струм власної частоти контура замикання і вищі гармоніки джерел напруги (рис. 2, а). Наявність в ланцюзі замикання активного опору різко знижує вплив струму власної частоти на основну гармоніку струму (рис. (2, б).

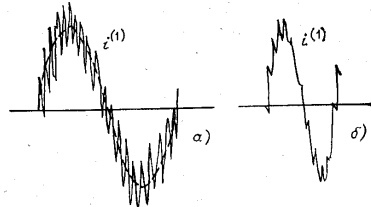


Рис. 2. Форма струму бездугового металевого ОЗЗ (а) і при замиканні через активний опір (б)

У відкритих коротких (завдовжки порядку 1 см) дугах при значній ємності провідників мережі, що обумовлює значення ємнісного струму металевих ОЗЗ в межах 10—20 А, форма кривої струму дуги переривиста, «переміжна» (рис. 3). Гасіння дуги відбувається, як правило, під час переходу через нуль струму власних коливань. Збудження дуги відбувається унаслідок пробоя проміжку під час відновлення напруги на ній до першого максимуму. При струмах 3—5 А може відбутися затухання дуги, тобто ОЗЗ «самоусунеться». Збільшення струму в дузі до 10 А і вище знижує вірогідність самоусунення замикання, і переміжна дуга може горіти тривало. Горіння дуги ОЗЗ в кабелях також має «переміжний» характер. Особливістю дуги при цьому є порівняно невелика і стабільна напруга запалення, тому дуга може горіти довго, а вірогідність її самоусунення невисока, (3.а)

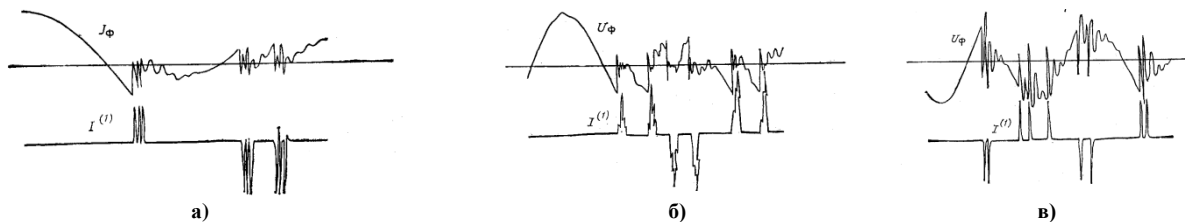


Рис. 3. – Форма струму при перекидному дуговому ОЗЗ: а) в повітрі; б) в розігрітому каналі ізоляції кабелю; в) «в нерозігрітому» каналі ізоляції кабелю.

У довгих відкритих дугах ОЗЗ (довжина дуги складає десятки сантиметрів) тенденція гасіння дуги в нульові паузи струму виявляється менш істотною в порівнянні з короткими дугами. Згасання дуги настає при критичній довжині, тобто коли напруга, що діє в ланцюзі, виявляється недостатньою, щоб підтримувати її горіння. Зміна струму дуги до її згасання при розтягуванні показана на рис.4. [9].

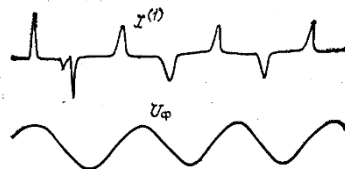


Рис. 4. Форма струму (розтягнутої) дуги ОЗЗ з введеним активним опором

Функціональні залежності електричних величин при ОЗЗ від параметрів електроустановки досить детально викладені в [10] і іншій літературі. Тому нижче розглядаються лише окремі питання, які в літературі освітлені недостатньо. До таких питань відносяться: стійкість горіння дуги ОЗЗ, закономірність електричних величин при ОЗЗ в обмотках споживачів електроенергії, характеристики короткочасних (що самоусуваються) ОЗЗ.

Точний математичний опис процесів ОЗЗ, що супроводжуються електричною дугою, представляє значну складність, обумовлену тим, що електричний опір дуги, що стійко горить, є нелінійною функцією струму, що протікає через неї. В цьому випадку розрахунок перехідних процесів проводиться методом кусочно-лінійної апроксимації, заснованим на заміні реальної вольт-амперної характеристики (ВАХ) дуги відрізками прямих ліній з подальшим обчисленням значень функції $i_d=f(t)$ стосовно окремих ділянок. Проте цей метод не може забезпечити потрібну для практики точність,

Для з'ясування умов стійкості дуги ОЗЗ скористаємося основами теорії стійкості А. М. Ляпунова. На рис. 5 представлена схема заміщення мережі при дуговому ОЗЗ. З схеми видно, що дуга формується під дією двох струмів: від розряду ємності малого контуру (вільний струм) і від джерела ЕРС великого контуру (вимушений струм). Оскільки характер перехідного процесу визначається в основному вільною складовою, проведемо її аналіз.

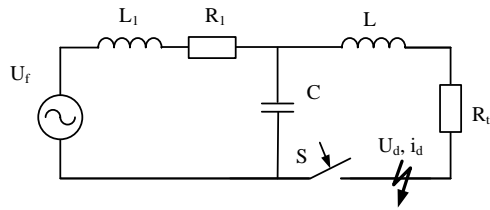


Рис. 5. – Схема кола для аналізу стійкості дугових ОЗЗ, R_1, L_1, L - параметри мережі, C – ємність ізоляції відносно землі

Характеристичне рівняння для вільного струму при замиканні ключа в малому контурі має вигляд

$$p^2 + p \left(\frac{R_{ts}}{L} + \frac{U_d}{i_d} \frac{1}{L} \right) + \frac{1}{LC} = 0, \tag{1}$$

$$U_0 i_\partial + I_0 u_\partial = U_0 \theta \frac{di_\partial}{dt} - I_0 \theta \frac{du_\partial}{dt}, \tag{2}$$

де I_0, U_0 - сталі значення струму і напруги на дузі; i_d, u_d - миттєві поточні значення струму і напруги; $\theta = Q_o/P_o$ - постійна часу дуги; Q_o - тепловміст в одиниці довжини дуги; P_o — потужність, що відводиться, від одиниці довжини дуги.

У операторній формі вираз (1.2) має вигляд

$$U_0 i_d + I_0 u_d = U_0 \theta p i_d - I_0 \theta p u_d, \tag{3}$$

Звідси

$$i_d = \frac{u_d (\theta p + 1)}{R_{st} (\theta p - 1)}, \tag{4}$$

де R_{st} — статичний опір дуги.

Підставивши значення i_d у вираз (1.), отримаємо

$$p^3 + p^2 \left(\frac{1}{\theta} + \frac{R_{ts}}{L} + \frac{R_{st}}{L} \right) + p \left(\frac{1}{LC} + \frac{R_{ts}}{L\theta} - \frac{R_{st}}{L\theta} \right) + \frac{1}{LC\theta} = 0. \tag{5}$$

З отриманого рівняння по вигляду його кореня можна оцінити стійкість процесу. Процес стійкий, якщо дійсна частина кореня буде від'ємною, тобто виконуватимуться нерівності $\Delta 1 > 0, \Delta 2 > 0, \Delta 3 > 0$, що є критеріями Гурвіця. Визначники $\Delta 1, \Delta 2, \Delta 3$ складають з коефіцієнтів рівняння (1.5), записаного у вигляді

$$a_0 p^3 + a_1 p^2 + a_2 p + a_3 = 0. \tag{6}$$

по схемах

$$\Delta 1 = a_1 > 0; \Delta 2 = \begin{vmatrix} a_1 & a_3 \\ a_0 & a_2 \end{vmatrix} = a_1 a_2 - a_0 a_3 > 0; \Delta 3 = \begin{vmatrix} a_1 & a_3 & 0 \\ a_0 & a_2 & 0 \\ 0 & a_1 & a_3 \end{vmatrix} = a_1 \begin{vmatrix} a_2 & 0 \\ a_1 & a_2 \end{vmatrix} - a_3 \begin{vmatrix} a_0 & 0 \\ 0 & a_3 \end{vmatrix} = \Delta 2 a_3 > 0.$$

Так як $\Delta 2 > 0$ і $\Delta 3 > 0$, то і $a_3 > 0$. Підставляючи значення коефіцієнтів, отримаємо критерії стійкості Гурвіця:

$$\Delta 1 = \frac{1}{\theta} + \frac{R_{ts}}{L} + \frac{R_{st}}{L} > 0. \tag{7}$$

$$\Delta 2 = \left(\frac{1}{\theta} + \frac{R_{ts}}{L} + \frac{R_{st}}{L} \right) \left(\frac{1}{LC} + \frac{R_{ts}}{L\theta} - \frac{R_{st}}{L\theta} \right) - \frac{1}{LC\theta} = 0. \tag{8}$$

$$\Delta 3 = \frac{1}{LC\theta} > 0. \tag{9}$$

Виконання умов (7) і (9) є обов'язковим. Тому робити висновки про стійкість або нестійкість дуги можна лише за (8). Якісний аналіз виразу (8) показує, що підвищенню стійкості дуги сприяє збільшення активного опору R_{st} в колі замикання і сталою часу дуги θ .

Параметри L і C для мереж напругою 6 кВ з ємнісним струмом замикання 15—20 А мають усереднені значення, складові відповідно $0,5 \cdot 10^{-2}$ Гн і $3 \cdot 10^{-6}$ Ф, і можуть бути прийняті постійними. З урахуванням цього вираз (8) можна представити у вигляді

$$\frac{R_{ts}}{\theta} + 200 R_{ts}^2 + 6,6 \cdot 10^7 \theta + 6,6 \cdot 10^7 R_{st} \theta > \left(\frac{R_{st}}{\theta} + \frac{R_{st}^2}{\theta} \right). \quad (10)$$

Дана нерівність має три змінні і не може бути вирішено в загальному вигляді.

Аналіз виразу (10) показує, що при $\theta = 10^{-2}$ с горіння буде стійке при статичному опорі дуги $R_{st} \leq 6,6$ кОм і будь-якому скільки завгодно малому значенні опорі R_{ts} . Це свідчить про те, що дуга горітиме стійко значну частину періоду струму промислової частоти. Із зменшенням θ різко знижується мінімальний опір R_{st} , при якому дуга горить стійко: при $\theta=10^{-3}$ с, стійкість забезпечується при $R_{st} < 41,2$ Ом; при $\theta=10^{-4}$ с - при $R_{st} \leq 0,56$ Ом. Тому для забезпечення стійкості горіння дуги при малих значеннях сталої часу θ необхідно послідовно з дуговим проміжком включати активний опір R_{ts} . Так при $\theta=10^{-3}$ с і $R_{st}=6,6$ кОм для стійкого горіння дуги необхідний опір $R_{st} \geq 14$ кОм, а при $\theta=10^{-4}$ с менший 45 кОм. Результати розрахунків показують, що стійке горіння дуг ОЗЗ при реальних значеннях опорів в ланцюзі замикання малоімовірно, що повністю підтверджується практикою.

Чисельне значення активного опорі в ланцюзі ОЗЗ $R_{ts}(1)$ є визначальним в характері протікання перехідного процесу і в розподілі напруги на фазах. У загальному випадку $R_{ts}(1)$ може змінюватись в широких межах залежно від випадкових чинників в місці замикання: питомій провідності ґрунту, площі зіткнення дроту із землею, вологості породи. У [11] приведений інтегральний розподіл опорів в місці замикання в мережах залізородних кар'єрів, що показує, що вірогідність виникнення замикань через різні опори неоднакова і що в 75% замикань $R_{ts}(1)$ не перевищує 1 кОм. Разом з тим не виключені значення $R_{ts}(1)$ в межах 6-8 кОм, хоча вага їх в розподілі незначна. Можливість досягнення $R_{ts}(1)$ великих значень обов'язково враховується при виборі уставок захисту від ОЗЗ. Опір $R_{ts}(1)$ обумовлює загасання перехідних струмів і обмежує перенапругу на пошкоджених фазах, це відноситься до бездугових ОЗЗ і дугових стійких замикань при непереривистій формі кривої струму. Переміжні дугові замикання мають опір контура, що змінюється від $R_{ts}(1) \rightarrow \infty$ при згаслії дузі до R_{st} стійкої дуги.

Тривалість існування ОЗЗ може коливатися від декількох мілісекунд до декількох годин. При тривалості 10-30 мс замикання носять, як правило, характер незавершених пробоїв і самоусуваються. Дугові замикання в кабелях існують від декількох секунд до 1-2 хв, після чого переходять в бездугове замикання, яке може існувати декілька годин. Близько 10-15% дугових замикань переходять в міжфазні короткі замикання і подвійні замикання на землю.

Окрім стійких ОЗЗ в електроустановках виникають, причому в значно великих кількостях, короткочасні ОЗЗ, що самоусуваються. Тому виключно важливим для практичних цілей є набуття кількісних значень не тільки R_{ts} , але і тривалість існування замикань, що самоусуваються $t_c(1)$.

Висновки з даного дослідження і перспективи подальших розвідок у даному напрямі

Проведені дослідження показали, що всі ОЗЗ можна розділити на дві групи: дугові і без дугові. Бездугове замикання має місце при виникненні надійного гальванічного зв'язку пошкодженої фази з землею. Форма кривої струму бездугового ОЗЗ залежить від опору кола замикання. При металевих ОЗЗ на основну гармоніку накладається височастотний сигнал власної частоти контуру замикання і вищі гармоніки. Дугові замикання спостерігаються при пробоях і перекриттях фазної ізоляції. Форма кривої дуги переривна-переміжна. Гасіння дуги відбувається під час переходу через нуль власних коливань. Дослідження показали, що підвищенню стійкості дуги сприяє збільшення активного опорі R_c в колі замикання і постійна часу дуги θ . При $\theta=10^{-2}$ с горіння буде стійким при статичному опорі дуги $R_{st} \leq 6,6$ Ом і скільки завгодно малому опорі R_{ts} .

Дослідження параметрів ланцюга замикання на землю показує, що в 75% замикань R_{ts} не перевищує 1 кОм. Разом з тим на виключенні значення R_{ts} в межах 6-8 кОм. Тривалість існування ОЗЗ може коливатися від декількох мілісекунд до декількох годин. При тривалості 10-30 мс замикання носять характер незавершених пробоїв і самоусуваються. Дугові замикання в кабелях існують від декількох секунд до 1-2 хвилин, після чого переходять у між фазні к.з. і подвійні замикання на землю.

Література

1. Кутін В. М. Визначення умов роботоздатності розподільних мереж / В. М. Кутін, С. В. Матвієнко. – Вінниця, 2015. – 148 с.
2. Сабарно Л. Р. Дослідження впливу експлуатаційних та метеорологічних факторів на рівень ушкодженості та стан ізоляції розподільних мереж / Л. Р. Сабарно. // Енергетика та комп'ютерно-інтегровані технології в АПК. – 2016. – №2. – С. 15–17.
3. Дуда В. М. Підвищення надійності електропостачання споживачів розподільних електромереж 6-10 кВ / В. М. Дуда. // Матеріали V Міжнародної науково-технічної конференції молодих учених та студентів. Актуальні задачі сучасних технологій – Тернопіль 17-18 листопада 2016.. – 2016. – С. 156–157.
4. Шкрабець Ф.П. Електропостачання: навч. посіб. / Ф.П. Шкрабець; М-во освіти і науки України, Нац. гірн. ун-т. – Д.: НГУ, 2015. – 540 с.
5. Кутін, В. М. Визначення умов роботоздатності розподільчих мереж / В. М. Кутін, С. В. Матвієнко. – Вінниця : ВНТУ, 2015. – 148 с.
6. Шкрабець Ф.П. Електропостачання глибоких і енергоємних рудних та вугільних шахт:

монографія / Ф.П. Шкрабець, О.В. Остапчук; М-во освіти і науки України; Нац. гірн. ун-т. – Д. : НГУ, 2014. – 160 с.

7. V.A. Listyuhin, E.A. Pecherskaya, O.A. Timokhina and V.V. Smogunov System for monitoring the parameters of overhead power lines. Journal of Physics: Conference Series 2086 (2021) 012059 DOI:10.1088/1742-6596/2086/1/012059

8. Кириленко О. В. Інтелектуальні електричні мережі: елементи та режими / О. В. Кириленко. – Київ: Ін-т електродинаміки НАН України, 2016. – 400 с.

9. Яцейко А., Горошко О. Дослідження перенапруг під час дугових замикань на землю в електромережах 35 кВ // Енергетика та системи керування : матеріали IV Міжнародної конференції молодих вчених ERECS-2013, 21–23 листопада 2013 року, Україна, Львів / Національний університет "Львівська політехніка". – Львів : Видавництво Львівської політехніки, 2013. – С. 12–15.

10. Зайцев С. Підвищення експлуатаційної надійності та ефективності роботи електричних мереж та електроустаткування / С. Зайцев, В. Кучанський, І. Гунько. – Вінниця: ГО «Європейська наукова платформа, 2021. – 156 с.

11. Shcrabets F. Modern development principles of protection and diagnostics in mining facilities mains and distribution grids/ F. Shcrabets, O. Ostapchuk// Гірничя електромеханіка та автоматика: наук.-техн. зб. – 2014. –Вип.92. –С.40-48.

References

1. Kutin V. M. Vyznachennya umovy robotozdatnosti rozpodil'nykh merezh / V. M. Kutin, S. V. Matviyenko. – Vinnytsya, 2015. – 148 s.

2. Sabarno L. R. Doslidzhennya vplyvu ekspluatatsiynykh ta meteorolohichnykh faktoriv na riven' ushkodzhuvanosti ta stan izolyatsiyi rozpodil'nykh merezh / L. R. Sabarno. // Enerhetyka ta komp'yuterno-intehrovani tekhnolohiyi v APK. – 2016. – №2. – S. 15–17.

3. Duda V. M. Pidvyshchennya nadiynosti elektropostachannya spozhyvachiv rozpodil'nykh elektromerezh 6-10 kV / V. M. Duda. // Materialy V Mizhnarodnoyi naukovo-tekhnichnoyi konferentsiyi molodykh uchenykh ta studentiv. Aktual'ni zadachi suchasnykh tekhnolohiy – Ternopil' 17-18 lystopada 2016.. – 2016. – S. 156–157.

4. Shkrabets' F.P. Elektropostachannya: navch. posib. / F.P. Shkrabets'; M-vo osvity i nauky Ukrayiny, Nats. hirm. un-t. – D.: NHU, 2015. – 540 s.

5. Kutin, V. M. Vyznachennya umov robotozdatnosti rozpodil'nykh merezh / V. M. Kutin, S. V. Matviyenko. – Vinnytsya : VNTU, 2015. – 148 s.

6. Shkrabets' F.P. Elektropostachannya hlybokyykh i enerhoyemnykh rudnykh ta vuhil'nykh shakht: monohrafiya / F.P. Shkrabets', O.V. Ostapchuk; M-vo osvity i nauky Ukrayiny; Nats. hirm. un-t. – D. : NHU, 2014. – 160 s.

7. V.A. Listyuhin, E.A. Pecherskaya, O.A. Timokhina and V.V. Smogunov System for monitoring the parameters of overhead power lines. Journal of Physics: Conference Series 2086 (2021) 012059 DOI:10.1088/1742-6596/2086/1/012059

8. Kyrylenko O. V. Intelektual'ni elektrychni merezhi: elementy ta rezhymy / O. V. Kyrylenko. – Kyrylenko. – Kyrylenko: In-t elektrodynamiky NAN Ukrayiny, 2016. – 400 s.

9. Yatseyko A., Horoshko O. Doslidzhennya perenapruh pid chas duhovyykh zamykan' na zemlyu v elektromerezhakh 35 kV // Enerhetyka ta systemy keruvannya : materialy IV Mizhnarodnoyi konferentsiyi molodykh vchenykh ERECS-2013, 21–23 lystopada 2013 roku, Ukrayina, L'viv / Natsional'nyy universytet "L'vivs'ka politekhnika". – L'viv : Vydavnytstvo L'vivs'koyi politekhniky, 2013. – S. 12–15.

10. Zaytsev YE. Pidvyshchennya ekspluatatsiynoyi nadiynosti ta efektyvnosti roboty elektrychnykh merezh ta elektroustatkuvannya / YE. Zaytsev, V. Kuchans'kyy, I. Hun'ko. – Vinnytsya: HO «Yevropeys'ka naukova platforma, 2021. – 156 s.

11. Shsrabets F. Modern development principles of protection and diagnostics in mining facilities mains and distribution grids/ F. Shsrabets, O. Ostapchuk// Hirnycha elektromekhanika ta avtomatyka: nauk.-tekh. zb. – 2014. –Vyp.92. –S.40-48.