

*О.М. ГРЕЧКО, Д.Ю. РУСАНОВСЬКИЙ***ОСОБЛИВОСТІ ФУНКЦІОНУВАННЯ ТА ПРАКТИЧНОГО ЗАСТОСУВАННЯ
ВАКУУМНИХ РЕКЛОУЗЕРІВ СЕРЕДНЬОЇ НАПРУГИ 6–35 кВ**

Вступ. Розглянуто технічні та експлуатаційні особливості вакуумних реклоузерів середньої напруги, що застосовуються в розподільних електричних мережах напругою 6–35 кВ. **Проблема.** Більшій частині тривалих відключень електроенергії можна запобігти за рахунок застосування апаратних засобів із функцією багатократного автоматичного повторного включення. Однак, існуючі на сьогоднішній день в розподільних мережах застарілі як морально, так і фізично апарати не дозволяють виконувати таку функцію. Застаріле обладнання існуючих підстанцій і мереж є причиною значних витрат при передачі електроенергії. Застосування комутаційних електричних апаратів нового покоління таких як вакуумні реклоузери дозволяє зменшити тривалість перерв в електропостачанні. **Мета.** Аналіз технічних характеристик та особливостей застосування сучасних вакуумних реклоузерів у розподільних електромережах середньої напруги 6–35 кВ. **Методика.** За допомогою проведення аналітичних досліджень і критичного аналізу наявних джерел інформації встановлено особливості експлуатації вакуумних реклоузерів, проаналізовано їх функціональні можливості, технічні характеристики та схеми підключення. **Результати.** Проведено аналітичний огляд існуючих конструкцій вакуумних реклоузерів. Проаналізовано технічні характеристики та схеми підключення вакуумних реклоузерів. Встановлено особливості експлуатації вакуумних реклоузерів. Проаналізовано функціональні можливості релейного захисту та автоматики щодо управління вакуумними реклоузерами. **Практична цінність.** Застосування вакуумних реклоузерів у розподільних електричних мережах середньої напруги 6–35 кВ дозволяє підвищити надійність в електропостачанні за рахунок зниження недопостачання електроенергії, створити цілковито керовану електромережу із застосуванням технології Smart Grid, скоротити витрати на профілактичне обслуговування мережевого обладнання.

Ключові слова: вакуумний реклоузер середньої напруги, надійність електропостачання, повітряна лінія електропередач, енергоефективність, енергоспоживання, технологія Smart Grid.

*О. М. GRECHKO, D. YU. RUSANOVSKIY***FEATURES OF OPERATION AND PRACTICAL APPLICATION OF MEDIUM VOLTAGE 6-35 kV
VACUUM RECLOSERS**

Introduction. The technical and operational features of medium voltage vacuum reclosers used in distribution electrical networks with a voltage of 6–35 kV are considered. **Problem.** Most of the long-term power outages can be prevented by using hardware with the function of multiple automatic reclosing. However, the devices existing today in distribution networks, both morally and physically outdated, do not allow them to perform such a function. The outdated equipment of existing substations and networks is the cause of significant costs in the transmission of electricity. The use of new-generation switching electrical devices such as vacuum reclosers allows you to reduce the duration of power outages. **Goal.** Analysis of technical characteristics and features of the use of modern vacuum reclosers in medium voltage distribution electrical networks with a voltage of 6–35 kV. **Methodology.** By conducting analytical research and critical analysis of available sources of information, the features of the operation of vacuum reclosers were established, their functional capabilities, technical characteristics and connection diagrams were analyzed. **Results.** An analytical review of existing designs of vacuum reclosers was conducted. Technical characteristics and connection diagrams of vacuum reclosers were analyzed. Features of operation of vacuum reclosers were established. Functional capabilities of relay protection and automation for controlling vacuum reclosers were analyzed. **Practical value.** The use of vacuum reclosers in medium voltage electrical distribution networks of 6–35 kV allows to increase reliability in power supply by reducing electricity shortages, to create a fully controlled power grid using Smart Grid technology, to reduce costs for preventive maintenance of network equipment.

Keywords: medium voltage vacuum recloser, power supply reliability, overhead power line, energy efficiency, energy consumption, Smart Grid technology.

Вступ. Постановка проблеми. Станом на початок 2023 року загальна довжина повітряних ліній електропередач (ЛЕП) в Україні складала понад 640.000 км, з яких повітряні мережі середньої напруги 6–35 кВ становлять значну частину – понад 200.000 км [1]. Як показують статистичні дані, близько 70 % всіх порушень електропостачання відбувається саме в електромережах середнього класу напруги [1, 2]. Наприклад, повітряні ЛЕП напругою 6–10 кВ вже практично повністю вичерпали свій ресурс та потребують істотної реконструкції і модернізації. Але варто зазначити, що подібні заходи є ймовірними у довгостроковій перспективі, оскільки є доволі складними з точки зору швидкої реалізації, тому що потребують значних капіталовкладень, що є не на часі під час військового стану й перебуванням енергооб'єктів і критичної інфраструктури під постійними обстрілами з боку країни-терориста.

Аналіз впливу роботи обладнання різних підстанцій на якість електроенергії, що поставляється кінцевим споживачам, показав, що основними причинами виникнення аварійних ситуацій є застаріле обладнання, а також ненадійна робота самого устаткування

з причини частих технічних відмов [3, 4]. У зв'язку із створенням розподільних компаній та організацією договірних взаємовідносин між учасниками оптового та роздрібного ринків електроенергії проблема забезпечення надійного та якісного електропостачання стає дуже актуальною. Особливе значення у вирішенні даної проблеми грають саме розподільні електричні мережі середньої напруги 6–35 кВ.

Більшій частині тривалих відключень електроенергії можна запобігти шляхом застосування сучасних електричних апаратів із функцією багатократного швидкого автоматичного повторного включення (АПВ). Існуюче на сьогодні в переважній більшості в розподільних мережах електрообладнання є застарілим як морально, так і фізично, і разом зі старими зразками засобів релейного захисту і автоматики часто не дозволяють виконувати дану функцію.

Відомо, що біля 80 % всіх пошкоджень, які виникають в повітряних розподільних електромережах, за своєю природою є тимчасовими і нестійкими, та усуваються за рахунок багатократного АПВ. Але з причини обмежень, які пов'язані із принципами роботи

© О.М. Гречко, Д.Ю. Русановський, 2025

застарілих маломасляних відмикачів, АПВ в таких електромережах практично не застосовується. Як наслідок, якщо на лінії трапляється пошкодження будь-якого характеру (хоч стале, хоч тимчасове), то електропостачання втрачають практично всі споживачі цілого фідера. Із-за неможливості достовірно встановити та локалізувати місце пошкодження тривалість відключення може складати декілька годин (а іноді діб). Пошук пошкодженої ділянки та подальше його локалізація проводиться силами оперативно-виїзних бригад із участю великої кількості людей та спеціалізованої техніки.

Як показує проведений аналіз досвіду побудови електромереж у зарубіжних країнах, виходом зі становища, що склалось, (в деяких випадках і більш дешевим виходом), може бути реалізація секціонування мережі на відносно невеликі ділянки (фідери) із одночасною організацією локалізованої та селективної роботи релейного захисту та автоматики фідера в цілому. При такій побудові у випадку аварійних ситуацій як на самій лінії, так і на джерелі живлення, буде забезпечуватись знеживлення тільки конкретної ділянки електромережі, а, отже, зменшиться кількість споживачів, яких одночасно можуть торкнутись дані пошкодження. Це є принципом побудови децентралізованої автоматизації, яка застосовує локальну інформацію без використання централізованих систем захисту та автоматичного керування, а також каналів зв'язку вторинних кіл. Завдячуючи підвищенню швидкодії релейного захисту й автоматики зменшується тривалість перерв в електропостачанні та режимів із низькою якістю електроенергії. Децентралізована автоматизація мережі направлена на автоматичне виділення пошкодженої ділянки при одночасному збереженні живлення для інших непошкоджених елементів схеми.

Реалізація розглянутого принципу секціонування одночасно із децентралізованою автоматизацією щодо локалізації аварійних режимів роботи електромережі може стати можливою завдяки активному впровадженню комутаційних електричних апаратів нового покоління – реклоузерів [5–10].

Мета даної роботи – аналіз технічних характеристик та особливостей застосування сучасних вакуумних реклоузерів у розподільних електромережах середньої напруги 6–35 кВ.

Основна частина. Реклоузер – це спеціалізований пункт автоматичного секціонування повітряних розподільних електричних мереж стовпового виконання (рис. 1), що об'єднує в собі наступні складові:

- вакуумний (найчастіше [10], але рідше може бути із використанням елегазового середовища) комутаційний модуль із вбудованими вимірювальними датчиками струму та напруги;
- повністю автономну та незалежну систему оперативного живлення;
- вбудовану мікропроцесорну систему захисту та автоматики;
- систему спеціальних портів для підключення пристроїв телемеханіки;
- спеціалізований комплекс програмного забезпечення.



Рис. 1. Зовнішній вигляд реклоузера та приклади його розміщення на опорах ЛЕП

Реклоузер здатний вирішувати наступні задачі:

- оперативне переключення у повітряних розподільних електромережах (може виконувати місцеву та дистанційну реконфігурацію в електромережі);
- автоматичне відключення пошкодженої ділянки мережі;
- автоматичне повторне включення лінії;
- автоматичну локалізацію пошкодженої ділянки;
- автоматичне відновлення живлення на неушкоджених ділянках повітряних розподільних електромереж;
- автоматичний збір інформації щодо параметрів режимів роботи повітряних розподільних електромереж;
- інтеграція у систему телемеханіки (наприклад, SCADA (скорочено від англ. Supervisory Control And Data Acquisition – диспетчерське управління та збір даних) – це програмний пакет, який призначений для розробки або забезпечення роботи у реальному часі систем збору, обробки, відображення та архівування інформації про об'єкт моніторингу чи управління).

Реклоузер – це пристрій, який відноситься до так званої категорії «maintenance-free» (від англ. – без обслуговування), тобто реклоузер не потребує будь-якого обслуговування впродовж всього терміну експлуатації, яка зазвичай у провідних виробників складає близько 20–25 років.

Також сучасні реклоузери мають можливість інтегруватись до систем і схем, що працюють із використанням технології «Smart Grid», із підключенням сонячних та вітряних електростанцій, а також із застосуванням автоматичних секційних пунктів. Така абсолютна універсальність дозволяє вирішувати практично будь-які завдання щодо захисту та автоматизації – від захисту віддалених фідерів до застосування на підстанціях.

Основним технічним ефектом від застосування реклоузерів є суттєве підвищення надійності в електропостачанні за рахунок зниження у невідпуску електроенергії. Відповідним є і основний економічний ефект, що полягає у зниженні обсягу коштів від

можливих позовних вимогах щодо недопостачання електроенергії.

Наразі єдиним вітчизняним виробником вакуумних реклоузерів є електротехнічна компанія «E.NEXT–Україна» [11], яка виготовляє дані пристрої на номінальну напругу 12 кВ, 15 кВ, 27 кВ та 38 кВ (табл. 1).

Таблиця 1 – Характеристики вакуумних реклоузерів виробництва компанії «E.NEXT–Україна»

Номінальна напруга	кВ	12	15	27	38
Номінальний струм	А	630/800/1250			
Номінальна частота	Гц	50/60			
Номінальний рівень ізоляції	Напруга грозового імпульсу (пк)	75	75	125	170
	Короточасна імпульсна перенапруга (1 хв) вологий/сухий	30/45	45/60	55/65	80/95
Номінальний струм відключення при короткому замиканні	кА	12,5/16/20			
Номінальний піковий допустимий струм	кА	31,5/40/50			
Номінальний короточасний допустимий струм 3с	кА	12,5/16/20			
Номінальна робоча послідовність		0-0,5s-CO-10s-CO-10s-CO			
Механічна зносостійкість	циклів	10 000 / 30 000 (опція)			
Комутаційний ресурс при номінальному струмі короткого замикання	циклів	200			
Номінальна робоча напруга	Відкрита катушка	В			
	Закрита катушка				
Коефіцієнт трансформації первинної і вторинної обмоток трансформаторів струму		400:1			
Потужність привода	Номінальна напруга	В			
	Потужність	Вт			
Діапазон робочих температур	°C	від -45 до +85			
Висота над рівнем моря	м	≤ 2500			
Відносна вологість навколишнього середовища	%	До 95 без конденсації			
Степінь захисту реклоузера		IP66			
Сейсмостійкість по шкалі MSK-64	Бали	7			
Кліматичне виконання і категорія розміщення по ГОСТ 15150		У1			
Час автономної роботи від АКБ	Годин	72			
Термін експлуатації акумуляторної батареї	Років	10			
Термін експлуатації реклоузера	Років	25			
Маса	кг	115	115	125	150

Створити конкуренцію на вітчизняному ринку вакуумних реклоузерів, на думку авторів, можна шляхом модернізації вакуумних відмичачів (рис. 2), що багато років серійно випускаються вітчизняною компанією ТОВ «АВМ АМІЕР» (м. Кременчук) [12–14] із одночасним інтегруванням в їх роботу всіх необхідних компонентів і обладнання для експлуатації у якості пунктів секціонування одночасно із децентралізованою автоматизацією.



Рис. 2. Вакуумні відмичачі ТОВ «АВМ АМІЕР»

Найбільш поширеними складовими компонентами обладнання реклоузера є:

1) високовольтний комутаційний електричний апарат – наприклад, вакуумний відмичач, що зазвичай встановлюється на опорі повітряної ЛЕП.

2) шафа керування, що містить в своєму складі мікропроцесорну систему захисту, автоматику та телемеханіку для зв'язку із іншими ділянками мережі.

3) трансформатор власних потреб, який живить внутрішні кола керування реклоузера.

4) контролер телемеханіки, який забезпечує дистанційне керування, збір необхідних даних та

забезпечує сталий зв'язок у різних форматах, наприклад, GSM, GPRS, LAN тощо.

5) модулі вимірювання, наприклад, датчики струму, напруги, частоти тощо.

6) акумуляторна батарея (АКБ) – автономне живлення на випадок знеструмлення зовнішнього джерела.

7) конструкція для кріплення і монтажу на опорі ЛЕП.

Переваги від використання реклоузерів полягають у наступних показниках:

1) зменшення тривалості та частоти відключень (зменшення показників SAIDI, SAIFI).

SAIDI (System Average Interruption Duration Index) – це індекс середньої тривалості переривання в роботі системи, тобто середня тривалість відключення для кожного клієнта. Зазвичай використовується як показник надійності електропостачання клієнтів. Чим нижчий показник, тим вищий рівень надійності [15].

Індекс SAIDI розраховується як відношення сумарної тривалості відключень за звітний період до загальної кількості клієнтів:

$$SAIDI = \frac{\sum_{i=1}^k t_i \times n_i}{n}, \quad (1)$$

де t_i – тривалість i -ї тривалої перерви в електропостачанні, хв.; n_i – кількість клієнтів, відключених у результаті i -ї тривалої перерви в електропостачанні; k – кількість тривалих перерв в електропостачанні упродовж звітного періоду; i – номер тривалої перерви в електропостачанні, $i = 1, 2, 3, \dots, k$; n – загальна кількість клієнтів.

SAIFI (System Average Interruption Frequency Index) – це індекс середньої частоти відключень по енергосистемі, який показує як часто середній споживач відчуває перерву в електропостачанні за певний проміжок часу. Відповідно до міжнародного стандарту [16] математично індекс може бути описаний як:

$$SAIFI = \frac{\sum_{i=1}^k n_i}{n}, \quad (2)$$

де n_i – кількість клієнтів, відключених у результаті довгої перерви в електропостачанні; k – кількість довгих перерв в електропостачанні упродовж звітного періоду; i – номер довгої перерви в електропостачанні, $i = 1, 2, 3, \dots, k$; n – загальна кількість клієнтів.

2) автоматичне секціонування електромережі.

3) підвищення надійності електропостачання мережі.

4) можливість роботи без постійного обслуговування.

5) можливість віддаленого керування і діагностики.

Особливості застосування реклоузерів в різних схемах. Місце установки реклоузера вибирають виходячи з конкретних умов, враховуючи, в першу чергу, конфігурацію мережі та частоту аварійних подій на даній ділянці ЛЕП. Як правило, реклоузер встановлюються на протяжних ділянках ліній 6–35 кВ,

які мають відгалуження, і виникає необхідність секціонування, резервування та переведення живлення від одного джерела до іншого.

У радіальних лініях з *одностороннім* живленням використовуються реклоузери, які встановлюються на ЛЕП через певні ділянки (зазвичай це близько 10 км). При виникненні пошкоджень (КЗ1 або КЗ2 – див. на рис. 3) автоматично вимикається найближчий реклоузер Р №2 – при КЗ1 або Р №3 – при КЗ2 та відключає всю пошкоджену ділянку мережі. Така схема установки реклоузерів і вбудована в мікропроцесорний термінал функція визначення місця пошкодження дозволяє точно ідентифікувати пошкоджену ділянку лінії та оперативно направити ремонтну бригаду за конкретною адресою. До переваг такої установки реклоузерів варто віднести збільшення надійності електропостачання споживачів окремих ділянок у міру наближення до центру живлення.

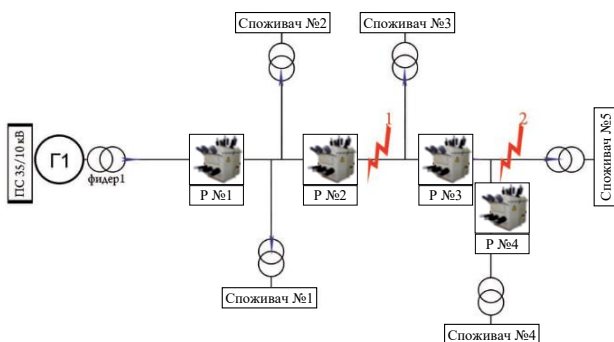


Рис. 3. Схема застосування реклоузерів у радіальних лініях з одностороннім живленням

У разі виникнення КЗ на відпайці (рис. 4) буде відключатись реклоузер Р №4, тим самим зберігаючи працездатність непошкодженої частини мережі, що живиться від основного фідера.

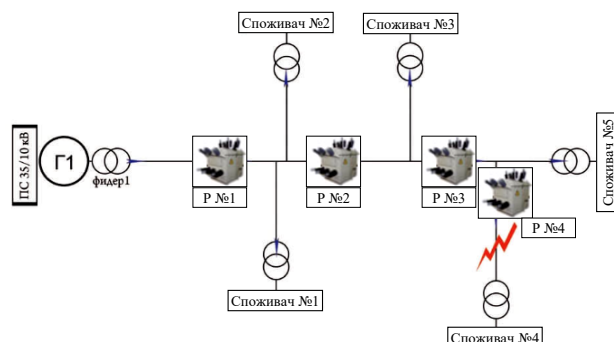


Рис. 4. Схема застосування реклоузерів у радіальних лініях при короткому замиканні на відпайці

Усі пошкодження на відгалуженні автоматично вимикаються, що підвищує надійність електропостачання споживачів суміжних ділянок. До того ж, при реалізації в реклоузері функції комерційного обліку електроенергії з'являється можливість не тільки проводити своєчасні відключення пошкодженої ділянки, але й організувати високовольтний комерційний облік електроенергії.

У мережі з *двостороннім* живленням до реклоузерів, встановлених через певні ділянки, додатково встановлюється реклоузер з функцією автоматичного введення резерву (АВР), що знаходиться у відключеному положенні (рис. 5). У разі аварійного відключення або відсутності живлення з підстанції (35/10 кВ) встановлений у мережі реклоузер з функцією АВР забезпечує відновлення живлення споживачів фідера, створюючи тим самим оптимальне резервування.

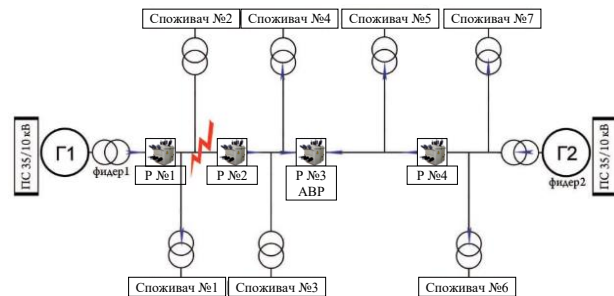


Рис. 5. Схема застосування реклоузерів у мережі з двостороннім живленням

У разі пошкодження на ділянках фідера автоматично відключиться найближчий до місця пошкодження реклоузер Р №1. За фактом зникнення напруги від джерела Г1 автоматично включається реклоузер Р №3 з функцією АВР і переключає живлення на джерело Г2. Включення реклоузера Р №3 відбувається на існуюче коротке замикання, і пошкоджена ділянка відключається реклоузером Р №2 (за зворотним напрямом потужності, показано стрілками). Відключення відбувається селективно, реклоузер Р №3 залишається у включеному положенні, тим самим відбувається автоматична локалізація пошкодженої ділянки та відновлення живлення інших неушкоджених споживачів на ділянці лінії від реклоузера Р №3 до Р №2. Ефективність цієї схеми встановлення реклоузерів обумовлена можливістю автоматично локалізувати пошкодження в межах однієї ділянки та автоматично подати резервне живлення для споживачів поза межами пошкодженої ділянки.

У випадку, коли необхідно забезпечити надійне електропостачання цілої групи окремих споживачів, використовується схема, показана на рис. 6.

Для цього необхідно встановити реклоузери якомога ближче до даного конкретного споживача, при цьому як мінімум в одному з реклоузерів повинна бути реалізована функція АВР.

Реклоузер Р №5 знаходиться у відключеному положенні, живлення споживача здійснюється від фідера Г3 через реклоузер Р №6. При зникненні живлення на фідері Г3 (коротке замикання КЗ2 або відключення всього фідера Г3 через КЗ1) реклоузер Р №6 відключається за допомогою функції захисту від мінімальної напруги і з певною витримкою часу включається реклоузер Р №5 за наявності напруги на фідері 2 від джерела Г2. Після відновлення живлення на фідері 3, можливе як автоматичне, так і ручне повернення до нормального режиму живлення. При автоматичному відновленні нормального режиму реклоузер Р №6 видає

сигнал на відключення реклоузера Р №5, і сам включається після отримання сигналу про відключення Р №5. При такій розстановці реклоузерів відключення споживачів можливе лише при пошкодженні на самому відгалуженні.

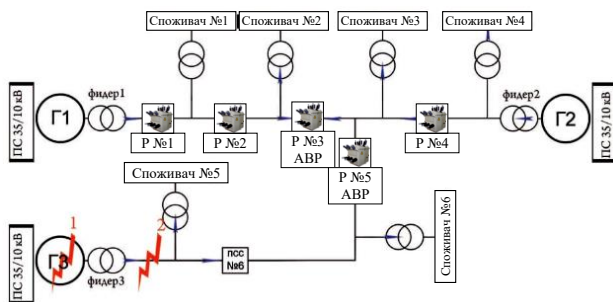


Рис. 6. Схема застосування реклоузерів у мережі з тристороннім живленням для групи окремих споживачів

Якщо живлення споживачів відбувається від двох трансформаторів 10/0,4 кВ, то один реклоузер встановлюється між лініями, що відходять до споживача. На стороні 0,4 кВ у споживача забезпечується функція АВР (рис. 7).

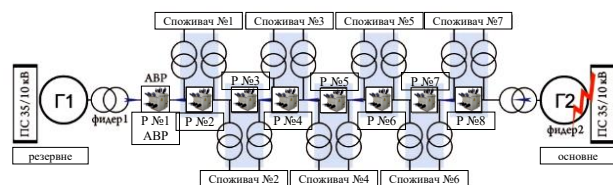


Рис. 7. Схема застосування реклоузерів у мережі з двостороннім живленням у випадку значної протяжності електричної мережі та аварії на основному джерелі живлення

При виникненні аварійної ситуації відключається найближчий до місця аварії реклоузер Р №8, потім з витримкою часу за допомогою функції захисту від мінімальної напруги включається реклоузер Р №1 з функцією АВР та заживлюється від джерела Г1. При цьому відбувається вмикання на коротке замикання. За допомогою функції максимального струмового захисту відключається реклоузер Р №7, у споживача №7 спрацьовує АВР по стороні 0,4 кВ, тим самим забезпечуючи йому надійне і безперебійне живлення від джерела Г2. За такої схеми електропостачання при пошкодженні будь-якого елемента схеми до або після реклоузера електропостачання споживача буде збережено.

В умовах значної протяжності електричної мережі, коли довжина магістральної ділянки досягає 50 км і більше (наприклад, уздовж трасові лінії магістральних труб чи газопроводів), для організації надійної системи керування аварійними режимами необхідна установка значного числа пунктів секціонування. У таких умовах один із варіантів роботи полягає у відключенні групи реклоузерів до місця пошкодження, а потім по черзі їх включення. На весь процес локалізації короткого замикання в лінії, залежно від кількості встановлених комутаційних апаратів, потрібно кілька десятків секунд. При організації основного живлення споживачів від фідера 2 джерела Г2, а резервного – від

фідера 1 джерела Г1 реклоузер Р №1 знаходиться у відключеному положенні (рис. 7).

При зникненні живлення на фідері №2 автоматично за допомогою функції захисту від мінімальної напруги відключається реклоузер Р №8. Потім відключаються реклоузери Р №7, №6, №5, №4, №3 та №2. Реклоузер Р №1 з функцією АВР включиться за фактом зникнення напруги і за наявності живлення з фідера №1 переведе живлення на резервне джерело Г1. Потім, за фактом появи напруги від фідера 1 один за одним включаються всі реклоузери Р №2, №3, №4, №5, №6 та №7.

У випадку виникнення короткого замикання (рис. 8) відключиться найближчий до місця аварії реклоузер Р №7. Потім за фактом зникнення напруги відключаються реклоузери Р №6, №5, №4, №3 та №2. Далі, за фактом зникнення напруги від основного джерела Г2, за наявності напруги на резервному джерелі Г1, включається реклоузер Р №1, і по черзі, за фактом появи напруги від резервного джерела Г1 включаються послідовно реклоузери Р №2, №3, №4 та №5. Реклоузер Р №6 після включення на існуюче коротке замикання, відразу селективно відключається, і реклоузери Р №5, №4, №3, №2 та №1 залишаються включеними. Тим самим відбувається локалізація пошкодженої ділянки між реклоузерами Р №6 та Р №7.

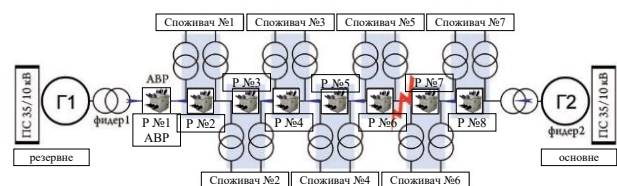


Рис. 8. Схема застосування реклоузерів у мережі з двостороннім живленням у випадку значної протяжності електричної мережі та виникнення короткого замикання

Висновки. Показано, що зменшити час відключень електроенергії можна за рахунок встановлення сучасних електричних апаратів – вакуумних реклоузерів, використання яких також дозволяє створити цілковито керовану електромережу, істотно скоротити витрати на профілактичне обслуговування мережевого обладнання, на збір, обробку та запис інформації щодо режимів і подій, пошук місця пошкодження на лінії електропередач, підвищити культуру експлуатації розподільних електромереж та суттєво збільшити надійність електропостачання. Наведені особливості функціонування і приклади практичного застосування вакуумних реклоузерів у різноманітних схемах електропостачання. Показано, що вітчизняні виробники комутаційної техніки можуть за рахунок впровадження власних розробок суттєво підвищити надійність в електропостачанні у повітряних розподільних електричних мережах середньої напруги 6–35 кВ.

Список літератури

1. Відновлювана енергетика та енергоефективність у XXI столітті: матеріали XXVI міжнародної науково-практичної конференції (Київ, 21–23 травня 2025). – К.: Інститут відновлюваної енергетики НАН України, 2025. – 574 с. doi: <https://doi.org/10.36296/renewable.conf.21-2305.2025>.

2. Денисюк С.П., Таргонський В.А. Сталій розвиток енергетики України у світових вимірах. *Енергетика: економіка, технології, екологія*, 2017. № 3 (49), С. 7–31. doi: <https://doi.org/10.20535/1813-5420.3.2017.119768>.
3. Електропостачання промислових підприємств : Підручник для студентів електромеханічних спеціальностей / В.І. Мілих, Т.П. Павленко. – Харків : ФОП Панов А. М., 2016. – 272 с.
4. Орлович А.Ю., Плешков П.Г., Козловський О.А., Співак О.В., Котиш А.І., Величко Т.В. *Електричне обладнання підстанцій систем електропостачання*. М-во освіти і науки України, Центральноукр. нац. техн. ун-т. – Кропивницький : Видавець Лисенко В.Ф., 2019. – 272 с.
5. Kalinchyk V., Pobigaylo V., Borychenko O., Kuzovkin S., Yatsenko O. Increasing the functional reliability of industrial electrical networks 6-10 kV by integrating vacuum reclosers. *Bulletin of NTU "KhPI". Series: Problems of Electrical Machines and Apparatus Perfection. The Theory and Practice*, 2022, no. 2 (8), pp. 11–14. doi: <https://doi.org/10.20998/2079-3944.2022.2.02>.
6. Vitalii Pobigaylo, Vasyl Kalinchyk, Sergey Kuzovkin, Konstantin Eremchuk. Power Distribution Efficiency And Reliability Raising By Using The Vacuum Reclosers. *Journal of New Technologies in Environmental Science*, 2021, vol. 5, no. 2, pp. 53–58. doi: <https://doi.org/10.53412/jntes-2021-2.1>.
7. Vasyl Kalinchyk, Olexandr Meita, Vitalii Pobigaylo, Olena Borychenko, Vitalii Kalinchyk, Sergii Kuzovkin. Increasing The Efficiency Of The Functioning Of Industrial Electrical Networks Thanks To The Integration Of Vacuum Reclosers. *Journal of New Technologies in Environmental Science*, 2023, vol. 7 no. 1, pp. 28–33. doi: <https://doi.org/10.53412/jntes-2023-1-5>.
8. Ghulomzoda A., Safaraliev M., Matrenin P., Beryozkina S., Zicmane I., Gubin P., Gulyamov K., Saidov N. A Novel Approach of Synchronization of Microgrid with a Power System of Limited Capacity. *Sustainability*, 2021, vol. 13, no. 24, art. no. 13975. doi: <https://doi.org/10.3390/su132413975>.
9. Ghulomzoda A., Gulakhmadov A., Fishov A., Safaraliev M., Chen X., Rasulzoda K., Gulyamov K., Ahyoev J. Recloser-Based Decentralized Control of the Grid with Distributed Generation in the Lahsh District of the Rasht Grid in Tajikistan, Central Asia. *Energies*, 2020, vol. 13, no. 14, art. no. 3673. doi: <https://doi.org/10.3390/en13143673>.
10. Yao X., Wang J., Ai S., Liu Z., Geng Y., Hao Z. Vacuum Switching Technology for Future of Power Systems. *Engineering*, 2022, vol. 13, pp. 164–177. doi: <https://doi.org/10.1016/j.eng.2021.11.020>.
11. Реклоузеры E.NEXT-Україна: веб-сайт. URL: <https://enext.ua/catalog/reklouzeri> (дата звернення: 05.05.2025).
12. Вакуумні вимикачі АВМ Ампер: веб-сайт. URL: <https://abm-amper.com/products/vakuumni-vymykachi> (дата звернення: 05.05.2025).
13. Клименко Б.В., Бугайчук В.М., Гречко А.М. Опытный образец двухпозиционного электромагнитного привода вакуумного выключателя среднего напряжения. *Електротехніка і електро-механіка*, 2005, № 2, С. 23–27.
14. Клименко Б.В., Гречко А.М., Выровец С.В., Бугайчук В.М. Быстродействующий электромагнитный привод с вытеснением магнитного поля для вакуумного выключателя среднего напряжения. *Електротехніка і електро-механіка*, 2006, № 4, С. 22–26.
15. Правила улаштування електроустановок. Харків: Видавництво «Фор»т, 2017. 760 с.
16. IEEE Std 1366-2022. *Guide for Electric Power Distribution Reliability Indices*. 2022, 44 p. doi: <https://doi.org/10.1109/IEEESTD.2022.9955492>.

References (transliterated)

1. *Renewable Energy and Energy Efficiency in the XXI century. Materials of the XXVI International Scientific and Practical Conference*. Kyiv, 21–23 May, 2025. doi: <https://doi.org/10.36296/renewable.conf.21-2305.2025>. (Ukr).
2. Denysiuk S.P., Tarhonskyi V.A. Sustainable development of Ukraine's energy in the world measures. *Power Engineering: Economics, Technique, Ecology*, 2017, no. 3 (49), pp. 7–31. doi: <https://doi.org/10.20535/1813-5420.3.2017.119768>. (Ukr).
3. Milykh V.I., Pavlenko T.P. *Power supply of industrial enterprises: Textbook for students of electromechanical specialties*. Kharkiv, Panov A.M. Publ., 2016, 272 p. (Ukr).
4. Orlovych A.Yu., Pleshkov P.G., Kozlovskyi O.A., Spivak O.V., Kotysh A.I., Velychko T.V. *Electrical equipment of substations of power supply systems*. Kropyvnytskyi, Lysenko V.F. Publ., 2019, 272 p. (Ukr).
5. Kalinchyk V., Pobigaylo V., Borychenko O., Kuzovkin S., Yatsenko O. Increasing the functional reliability of industrial electrical networks 6-10 kV by integrating vacuum reclosers. *Bulletin of NTU "KhPI". Series: Problems of Electrical Machines and Apparatus Perfection. The Theory and Practice*, 2022, no. 2 (8), pp. 11–14. doi: <https://doi.org/10.20998/2079-3944.2022.2.02>.
6. Vitalii Pobigaylo, Vasyl Kalinchyk, Sergey Kuzovkin, Konstantin Eremchuk. Power Distribution Efficiency And Reliability Raising By Using The Vacuum Reclosers. *Journal of New Technologies in Environmental Science*, 2021, vol. 5, no. 2, pp. 53–58. doi: <https://doi.org/10.53412/jntes-2021-2.1>.
7. Vasyl Kalinchyk, Olexandr Meita, Vitalii Pobigaylo, Olena Borychenko, Vitalii Kalinchyk, Sergii Kuzovkin. Increasing The Efficiency Of The Functioning Of Industrial Electrical Networks Thanks To The Integration Of Vacuum Reclosers. *Journal of New Technologies in Environmental Science*, 2023, vol. 7 no. 1, pp. 28–33. doi: <https://doi.org/10.53412/jntes-2023-1-5>.
8. Ghulomzoda A., Safaraliev M., Matrenin P., Beryozkina S., Zicmane I., Gubin P., Gulyamov K., Saidov N. A Novel Approach of Synchronization of Microgrid with a Power System of Limited Capacity. *Sustainability*, 2021, vol. 13, no. 24, art. no. 13975. doi: <https://doi.org/10.3390/su132413975>.
9. Ghulomzoda A., Gulakhmadov A., Fishov A., Safaraliev M., Chen X., Rasulzoda K., Gulyamov K., Ahyoev J. Recloser-Based Decentralized Control of the Grid with Distributed Generation in the Lahsh District of the Rasht Grid in Tajikistan, Central Asia. *Energies*, 2020, vol. 13, no. 14, art. no. 3673. doi: <https://doi.org/10.3390/en13143673>.
10. Yao X., Wang J., Ai S., Liu Z., Geng Y., Hao Z. Vacuum Switching Technology for Future of Power Systems. *Engineering*, 2022, vol. 13, pp. 164–177. doi: <https://doi.org/10.1016/j.eng.2021.11.020>.
11. *Reclosers E.NEXT-Ukraine*. Available at: <https://enext.ua/catalog/reklouzeri> (Accessed 05 May 2025).
12. *Vacuum circuit breakers AVM Amper*. Available at: <https://abm-amper.com/products/vakuumni-vymykachi> (Accessed 05 May 2025).
13. Klimenko B.V., Bugaychuk V.M., Grechko A.M. A pre-production model of two-position electromagnetic drive for an average-voltage vacuum switch. *Electrical Engineering & Electromechanics*, 2005, no. 2, pp. 23–27. (Rus).
14. Klimenko B.V., Grechko A.M., Vyrovets S.V., Bugaychuk V.M. A fast electromagnetic drive for an average-voltage vacuum switch with ousting of magnetic field. *Electrical Engineering & Electromechanics*, 2006, no. 4, pp. 22–26. (Rus).
15. *Electrical installation regulations*. Kharkiv, Fort Publ., 2017. 760 p. (Ukr).
16. IEEE Std 1366-2022. *Guide for Electric Power Distribution Reliability Indices*. 2022, 44 p. doi: <https://doi.org/10.1109/IEEESTD.2022.9955492>.

Надійшла (received) 11.11.2025

Відомості про авторів / About the authors

Гречко Олександр Михайлович (Oleksandr Grechko) – кандидат технічних наук, доцент, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», доцент кафедри електричних апаратів; м. Харків, Україна; ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7872-8585>; e-mail: a.m.grechko@gmail.com.

Русановський Дмитро Юрійович (Dmytro Rusanovskiy) – Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», магістр кафедри електричних апаратів, м. Харків, Україна; e-mail: Dmytro.Rusanovskiy@ieec.khpi.edu.ua.