



УДК 621.311.1

USE OF RECLOSERS AND FUSE DISCONNECTORS IN DISTRIBUTION NETWORKS

ВИКОРИСТАННЯ РЕКЛОУЗЕРІВ ТА ЗАПОБІЖНИКІВ-РОЗ'ЄДНУВАЧІВ У РОЗПОДІЛЬНИХ МЕРЕЖАХ

Kyryk V. V. / Кирик В.В.*d.t.s., prof. / д.т.н., проф.*

ORCID: 0000-0003-0419-8934

*National Technical University of Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute,**Kyiv, Politechnichna 37, 03056**КПІ ім. Ігоря Сікорського, Київ, Політехнічна 37, 03056***Barabash A.V. / Барабаш А.В.***undergraduate/ магістрант.**National Technical University of Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute,**Kyiv, Politechnichna 37, 03056**КПІ ім. Ігоря Сікорського, Київ, Політехнічна 37, 03056*

Анотація. У статті представлено результати дослідження секціонування розподільної електричної мережі для зниження аварійності, підвищення адаптації мережі до змінних режимів навантаження, а також зменшення витрат, пов'язаних із ненадійністю електропостачання. Як засіб секціонування вибрано технологічно ефективне електрообладнання таке як – реклоузери (автоматичні вимикачі повторного включення) та запобіжники роз'єднувачів вихлопного типу, які забезпечують селективність, швидкість реагування та мінімізацію негативних наслідків аварійних режимів. Виконано аналіз доцільності та ефективності впровадження реклоузера та запобіжника – роз'єднувача вихлопного типу як засобу секціонування розподільних електричних мереж. Відмічено особливості функціонування реклоузера та запобіжника – роз'єднувача. Розроблена розрахункова імітаційна модель розподільної мережі напругою 10 кВ на основі електричної принципової схеми мережі реального енерговузла. Визначено ділянки мережі для установаження обладнання секціонування. Підтверджено, що секціонування розподільних електричних мереж є одним із найважливіших інженерних рішень, спрямованих на підвищення їхньої надійності, гнучкості та стійкості до аварійних режимів.

Ключові слова: розподільні електричні мережі, секціонування, реклоузер, запобіжник-роз'єднувач

Вступ.

Розподільні електричні мережі напругою 10 кВ є ключовою ланкою електропостачання, оскільки забезпечують передачу електричної енергії від підстанцій до кінцевого споживача. Саме на їхній надійності, здатності швидко реагувати на пошкодження та гнучкості роботи безпосередньо ґрунтується стабільність енергетичної системи.

Однак значна частина таких мереж має застаріле обладнання, фізичний і моральний знос якого досягає критичних величин. Це призводить до збільшення



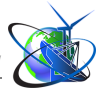
кількості аварійних вимкнень, подовження часу ліквідації пошкоджень та зниження якості електропостачання для населення і промисловості. Особливої актуальності ці проблеми набувають в умовах сучасних викликів, зокрема підвищеної аварійності, необхідності адаптації мереж до змінних режимів навантаження, а також потреби у зменшенні витрат, пов'язаних із ненадійністю електропостачання.

Ефективним інструментом модернізації розподільних мереж є застосування електроустановок секціонування – пристроїв, що дозволяють оперативно локалізувати аварійну ділянку та зменшити зону знеструмлення. Серед таких пристроїв найбільш поширеними та технологічно ефективними є реклоузери (автоматичні вимикачі повторного включення) та запобіжники роз'єднувачі вихлопного типу, що забезпечують селективність, швидкість реагування та мінімізацію негативних наслідків аварійних режимів. Встановлення реклоузерів дозволяє автоматично відновлювати електропостачання після короткочасних пошкоджень, які становлять переважну більшість аварій у повітряних лініях. Запобіжники вихлопного типу, у свою чергу, забезпечують ефективний захист від струмів короткого замикання та запобігають більш масштабним пошкодженням мережевого обладнання.

Мета роботи.

Метою роботи є аналіз доцільності та ефективності впровадження реклоузера та запобіжника роз'єднувача вихлопного як засобу секціонування розподільних електричних мереж.

Секціонування розподільних електричних мереж є одним із найважливіших інженерних рішень, спрямованих на підвищення їхньої надійності, гнучкості та стійкості до аварійних режимів. Його дія полягає у поділі мережі на окремі електричні ділянки з можливістю автоматичного або дистанційного від'єднання пошкодженої ділянки. Завдяки цьому локалізується місце аварії, зменшується кількість знеструмлених споживачів, скорочується тривалість перерв у електропостачанні та знижується економічний збиток від відключень.



Матеріали та результати досліджень.

У мережах 6(10) кВ частота аварійних вимкнень порівняно висока через специфіку повітряних ліній: вплив погодних явищ, зношення ізоляції, короткочасні замикання на землю через дерева, гілки, грозові перенапруги. Статистика операторів систем розподілу свідчить, що до 70 – 90 % пошкоджень у ПЛ 10 кВ мають короткочасний характер і не призводять до тривалого обриву або суттєвих пошкоджень проводу [1]. Це робить автоматизоване секціонування особливо важливим.

Оптимально реалізоване секціонування забезпечує значне підвищення надійності. Наприклад, встановлення реклоузера в середині лінії може зменшити середню зону відключення у 2–5 разів, а використання селективних запобіжників дозволяє автоматично відокремити кінцеву ділянку без відключення магістралі. Таким чином, секціонування є базовим інженерним рішенням при модернізації електричних мереж середньої напруги. У провідних країнах ЄС за останнє десятиліття частка автоматизованих пристроїв секціонування в мережах 10(20) кВ досягла 50–75%, і ця цифра щороку зростає [2].

Основним призначенням реклоузера є автоматичне локальне відключення пошкоджень та виконання циклів повторного включення з подальшим відновленням напруги на споживачів, якщо пошкодження є короткочасним. Його встановлюють у ключових точках мережі, де необхідна висока швидкодія та відсутність людського фактору. Як правило їх встановлюють на початку ЛЕП-10 кВ, в середині довгих магістралей, в місцях переходу між магістралю та відгалуженням понад 1 км та в зонах з високою імовірністю короткочасних аварій. Завдяки своїй структурі, яка включає мікропроцесорний контролер, трансформатори струму та напруги, комунікаційний модуль GSM/3G/4G та механічному блоку керування з резервним живленням, він може працювати автономно протягом тривалого часу, при цьому забезпечує аварійні та нормальні комутації в мережі (рис.1).



а



б

Рисунок 1 - Установка реклоузера: а – на двух опорах; б – на одной опоре

Створено авторами на основі [3,4]

Запобіжники-роз'єднувачі вихлопного типу ЗРВТ (відомі як «вихлопні запобіжники», «cut-out fuse» або «FCO» [5]) є одним із найбільш поширених та ефективних апаратів у повітряних лініях 6(10) кВ (рис.2). Попри відносно просту конструкцію, ці пристрої виконують важливу роль у захисті та секціонуванні розподільних мереж, забезпечуючи селективне відключення окремих відгалужень або трансформаторних підстанцій у разі виникнення аварії.

Популярність запобіжника-роз'єднувача зумовлена низкою переваг, серед яких простота монтажу, висока надійність, відсутність необхідності у власному живленні та невисока вартість. Все це робить запобіжники-роз'єднувачі незамінними у сільських та міських розподільних мережах, а також там, де встановлення складніших апаратів, таких як реклоузери або автоматичні



секціонатори, є економічно невиправданим.

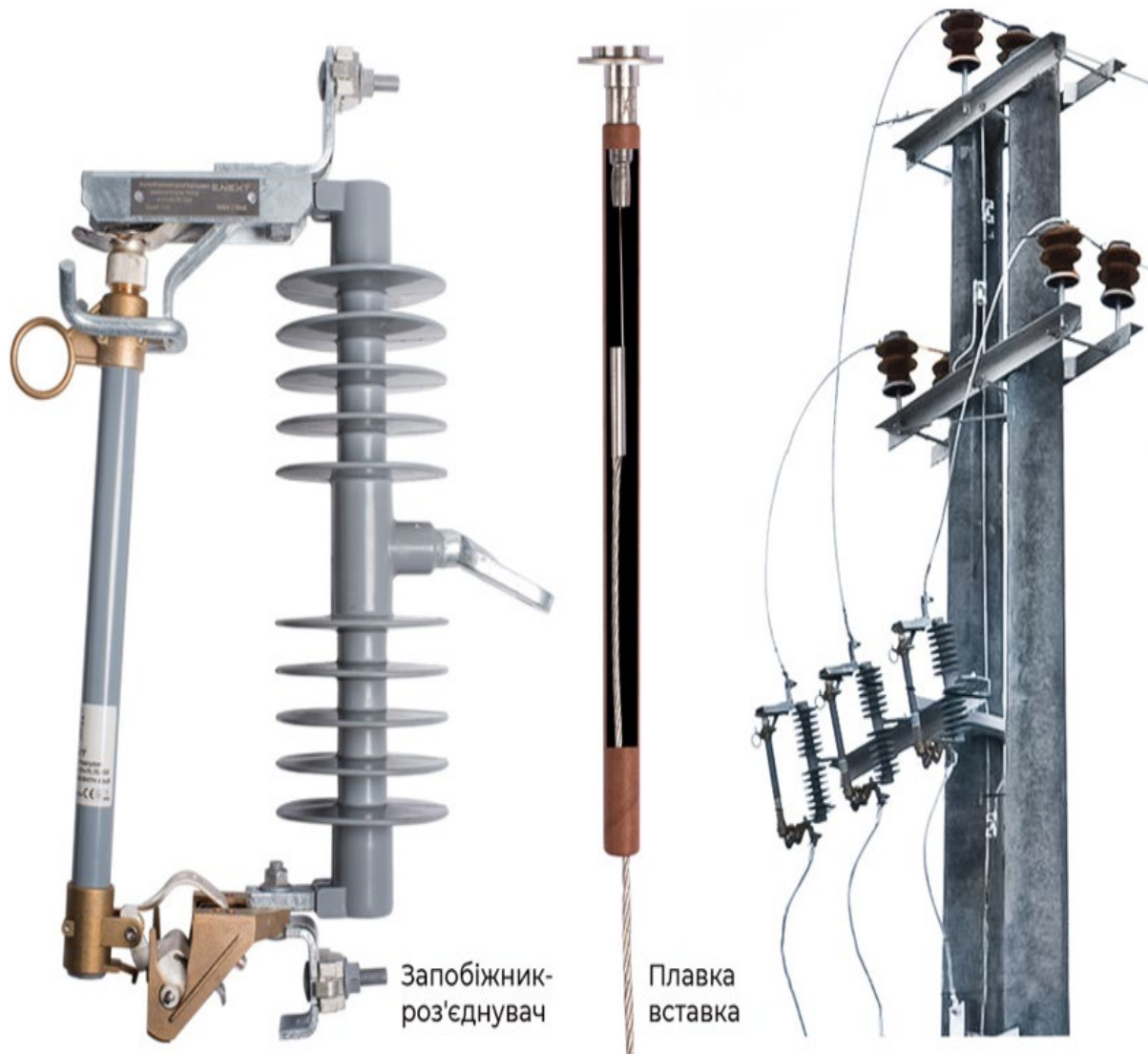


Рисунок 2 - Елементи та установка запобіжника-роз'єднувача вихлопного типу

Створено авторами на основі [6]

Основне призначення запобіжника-роз'єднувача полягає у захисті відгалужень, трансформаторів та окремих споживачів від струмів короткого замикання та перевантаження. У разі виникнення аварійного струму плавка вставка розплавляється, а тримач запобіжника випадає вниз, тим самим створюючи видимий розрив – важливу ознаку для оперативного персоналу.

Дослідження секціонування проведено на мережі енерговузла, імітаційну модель якого в програмному середовищі PowerFactory наведено на рис.3.

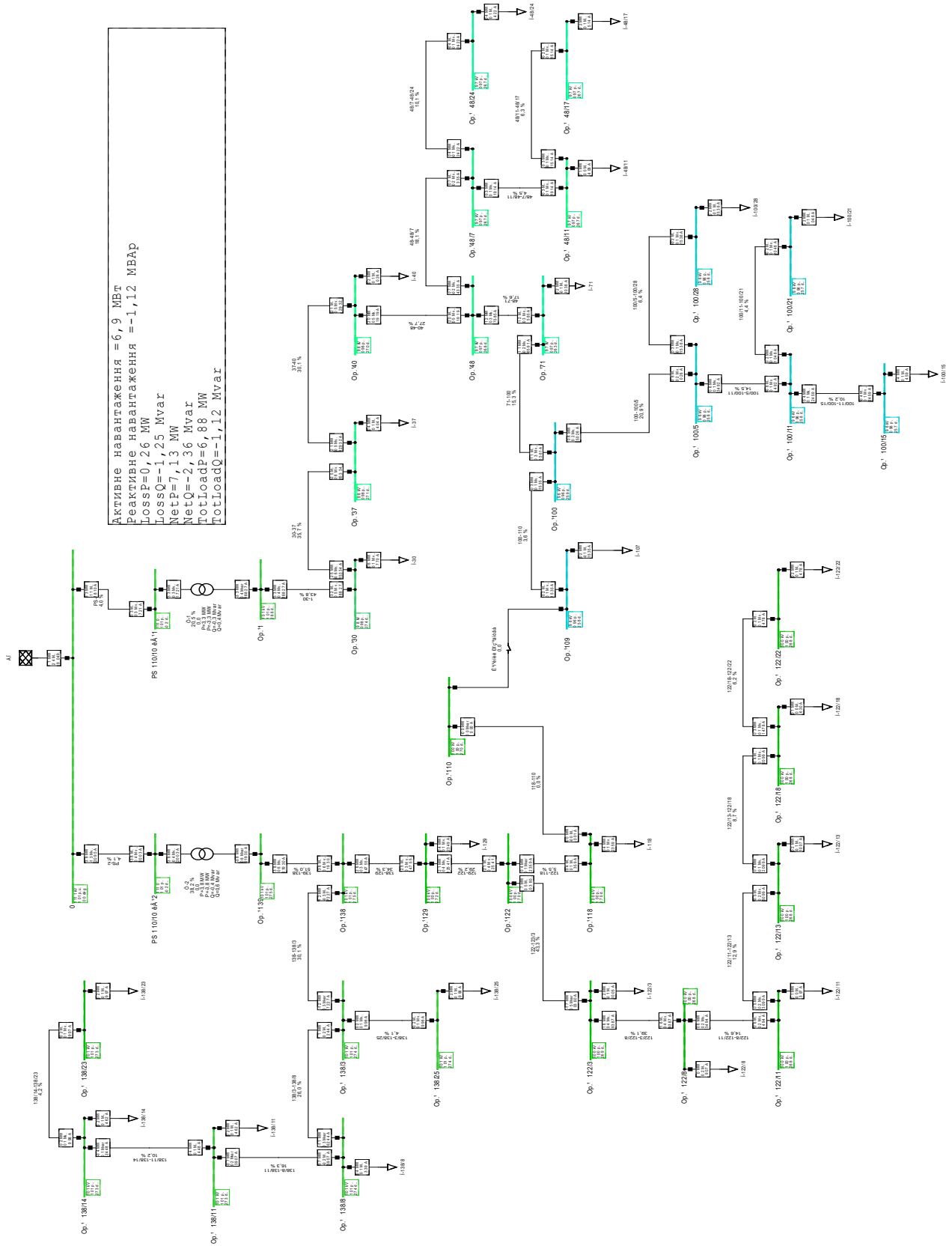
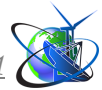


Рисунок 3 - Розрахункова модель мережі 10 кВ в програмному середовищі PowerFactory

Авторська розробка



В таблицях 1, 2, 3 наведено основні параметри мережі, а в таблиці 4 – розрахункові режимні параметри мережі.

Таблиця 1 - Параметри трансформаторів на підстанціях

Тип	Повна потужність S , МВт	Номінальна напруга ВН/НН, кВ	Втрати в міді, кВт	Напруга КЗ, %	Реактивний опір	Активний опір
ТДН-10000/110	10	110/10	120	1,2	0,1043	0,012
ТДН-10000/110	10	110/10	120	1,2	0,1043	0,012

Таблиця 2 - Тип проводу ЛЕП-10 кВ

Тип проводу	Номінальна напруга, кВ	Номінальний допустимий струм, А	Опір проводу, Ом/км
3хСП-1х120	10	430	0,558
3хСП-1х70	10	240	0,422

Таблиця 3 - Довжини ділянок ЛЕП-10 кВ

Назва ділянки Початок/кінець	Магістраль/відгалуження	Тип проводу	Довжина ділянки, км	Кількість опор на ділянці
1-30	Магістраль	3хСП-1х120	1,5	30
30-37	Магістраль	3хСП-1х120	0,35	7
37-40	Магістраль	3хСП-1х120	0,2	4
40-48	Магістраль	3хСП-1х120	0,4	8
48-71	Магістраль	3хСП-1х120	1,15	23
71-100	Магістраль	3хСП-1х120	1,45	29
100-110	Магістраль	3хСП-1х120	0,45	9
110-118	Магістраль	3хСП-1х120	0,44	9
118-122	Магістраль	3хСП-1х120	0,2	4
122-129	Магістраль	3хСП-1х120	0,35	7
129-138	Магістраль	3хСП-1х120	0,45	9
138-139	Магістраль	3хСП-1х120	0,5	1
48-48/7	Відгалуження	3хСП-1х70	0,35	7
48/7-48/11	Відгалуження	3хСП-1х70	0,2	4
48/11-48/17	Відгалуження	3хСП-1х70	0,3	6
48/7-48/24	Відгалуження	3хСП-1х70	0,4	8
100-100/5	Відгалуження	3хСП-1х70	0,25	5
100/5-100/11	Відгалуження	3хСП-1х70	0,3	6
100/5-100/28	Відгалуження	3хСП-1х70	0,4	8
100/11-100/15	Відгалуження	3хСП-1х70	0,2	4
100/11-100/21	Відгалуження	3хСП-1х70	0,35	7
122-123/3	Відгалуження	3хСП-1х70	0,15	3
122/3-122/8	Відгалуження	3хСП-1х70	0,25	5
122/8-122/11	Відгалуження	3хСП-1х70	0,15	3
122/11-122/13	Відгалуження	3хСП-1х70	0,1	2
122/13-122/18	Відгалуження	3хСП-1х70	0,25	5



Таблиця 4 - Розрахункові режимні параметри мережі

Номер опори	Активна потужність, МВт	Реактивна потужність, МВАр	Повна потужність, МВА	Розрахунковий струм, кА	Коефіцієнт потужності
30	0,63	0,127927	0,642857	0,037115	0,98
37	0,4	-0,08122	0,408163	0,023565	0,98
40	0,16	-0,06816	0,173913	0,010041	0,92
48/11	0,063	-0,02684	0,068478	0,003954	0,92
48/17	0,25	-0,05076	0,255102	0,014728	0,98
48/24	0,4	-0,08122	0,408163	0,023565	0,98
71	0,16	-0,06816	0,173913	0,010041	0,92
100/15	0,4	-0,08122	0,408163	0,023565	0,98
100/21	0,16	-0,06816	0,173913	0,010041	0,92
100/28	0,25	-0,05076	0,255102	0,014728	0,98
107	0,25	-0,05076	0,255102	0,014728	0,98
118	0,4	0,081223	0,408163	0,023565	0,98
122/3	0,16	-0,06816	0,173913	0,010041	0,92
122/8	1	-0,20306	1,020408	0,058913	0,98
122/11	0,063	-0,02684	0,068478	0,003954	0,92
122/13	0,16	-0,06816	0,173913	0,010041	0,92
122/18	0,1	-0,0426	0,108696	0,006276	0,92
122/22	0,25	-0,05076	0,255102	0,014728	0,98
129	0,4	0,081223	0,408163	0,023565	0,98
138/8	0,4	-0,08122	0,408163	0,023565	0,98
138/11	0,25	-0,05076	0,255102	0,014728	0,98
138/14	0,25	-0,05076	0,255102	0,014728	0,98
138/23	0,16	-0,06816	0,173913	0,010041	0,92
138/25	0,16	-0,06816	0,173913	0,010041	0,92

Авторська розробка

Виходячи з технічних умов, враховуючи дисконтні витрати на основі отриманих режимних параметрів визначено умови секціонування лінійним роз'єднувачем між опорами №109 та №110.

Висновки. В результаті аналізу конфігурації мережі 10 кВ, визначено її основні особливості та виконано вибір обладнання для секціонування. Проведений аналіз показав, що мережа загалом працює стабільно, але окремі її ділянки мають підвищену завантаженість та помітне падіння напруги. Найбільш критичні значення спостерігаються ближче до підстанції та на окремих віддалених відгалуженнях. Це підтверджує необхідність впровадження сучасних засобів секціонування для покращення керованості та зменшення часу аварійних відключень.



Під час вибору місць встановлення реклоузерів враховувалась не лише топологія мережі, а й реальне навантаження на кожну ділянку. Установлено, що реклоузери необхідно встановлювати у вузлових точках – там, де їх робота забезпечить максимальний ефект при аваріях. Натомість запобіжник роз'єднувач вихлопного типу найбільш доцільно розташовувати на невеликих відгалуженнях та на вводах до трансформаторних підстанцій, де потрібний простий, надійний та недорогий захист.

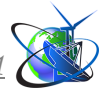
Визначення номінальних струмів здійснено з урахуванням розрахованих режимів. Оскільки при виведенні трансформатора в ремонт робочий струм може перевищувати 400 А, для головних точок обґрунтовано вибір реклоузерів на 630 А. У місцях з меншим навантаженням застосовано реклоузери на 400 А. Щодо ЗРВТ, то їх номінали підібрано за фактичними струмами відгалужень, що забезпечує нормальну селективність та стійку роботу в аварійних режимах.

Необхідно відмітити, що встановлення реклоузерів дає відчутний ефект: зменшується кількість ручних перемикачів, скорочується час відновлення електроживлення і загалом підвищується надійність роботи мережі. У той же час ЗРВТ залишаються оптимальним та економним варіантом для захисту малих ділянок.

Визначені точки секціонування та визначені параметри обладнання утворюють технічно обґрунтовану схему, яка дозволяє зменшити наслідки аварій, покращити керованість мережі та забезпечити більш стабільну роботу всієї мережі 10 кВ.

Література:

1. Кирик В. В. Розподільні електричні мережі напругою 20 кВ та ефективність їх роботи / В.В.Кирик, Б.В. Циганенко, О.С. Яндульський.-К.: «КПІ ім. Ігоря Сікорського», 2018.-233с
2. Василега П. О. Електропостачання : Підручник. Суми : Сум. держ. ун-т, 2019. 521 с.
3. EDS Engineering. Надійність та безпека. EDS оновила опори та



змонтувала реклоузери. *EDS-Ukraine*. URL: <https://eds-engineering.com/novosti/nadezhnost-i-bezopasnost.-eds-obnovila-oporyi-i-smontirovala-reklouzeryi>.

4. Barchuk. Електромонтажна компанія. Монтаж реклоузера. *Barchuk*. URL: <https://barchuk.com.ua/our-works/montazh-reklouzera>.

5. S&C electric company. S&C Type XS Fuse Cutouts Outdoor. Distribution 4.16 kV through 25 kV: Descriptive Bulletin. 2010. 11 p. URL: <https://www.sandc.com/globalassets/sac-electric/documents/public---documents/sales-manual-library---external-view/descriptive-bulletin-351-30.pdf?dt=638972740719935423>.

6. E.NEXT. Новинка від Компанії E.NEXT – Запобіжник-роз'єднувач e.hv.fc.15.100. *Українське представництво E.NEXT International Electrotechnical Group*. URL: <https://enext.ua/press/news/Novinka-vid-Kompanii-E-NEXT-Zapobizhnik-roz-dnuvach-e-hv-fc-15-100/>.

Abstract. *The article presents the results of a study of the sectioning of the distribution electrical network to reduce the accident rate, increase the adaptation of the network to variable load modes, as well as reduce the costs associated with the unreliability of the power supply. Technologically efficient electrical equipment such as reclosers (automatic reclosing switches) and exhaust-type fuse-disconnectors were selected as a means of sectioning, which provide selectivity, speed of response and minimization of the negative consequences of emergency modes. An analysis of the feasibility and effectiveness of implementing a recloser and an exhaust-type fuse-disconnector as a means of sectioning distribution electrical networks was performed. The features of the functioning of the recloser and fuse-disconnector were noted. A calculated simulation model of a 10 kV distribution network was developed based on the electrical schematic diagram of a real power node network. Network sections for installing sectioning equipment were determined. It has been confirmed that the sectioning of distribution electrical networks is one of the most important engineering solutions aimed at increasing their reliability, flexibility and resistance to emergency conditions.*

Key words: *distribution electrical networks, sectioning, recloser, fuse-disconnector*

Статтю надіслано: 10.12.2025 р.

© Kyryk V. , Barabash A.