

М. Й. Бурбело¹
Ю. В. Лобода¹
Р. О. Слободян¹

ВИБІР ОПТИМАЛЬНОЇ КОНФІГУРАЦІЇ РОЗПОДІЛЬНИХ ЕЛЕКТРИЧНИХ МЕРЕЖ

¹Вінницький національний технічний університет

Розглянуто алгоритми оптимізації конфігурації розподільних електричних мереж за критерієм мінімуму втрат активної потужності, і показників надійності, з урахуванням обмежень: максимального допустимого відхилення напруги у вузлах навантаження та максимального допустимого значення струму в лініях електропередачі.

Запропоновано алгоритм оптимізації окремого фідера за критерієм мінімуму втрат активної потужності, який оснований на аналізі чутливості зменшення втрат активної потужності або втрат електроенергії. Процедура оптимізації полягає у замиканні хорди і розмиканні вітки дерева і ґрунтується на виборі для розмикання найвіддаленішої вітки, що входить в такий незалежний контур (хорда і вітка, яка розмикається, знаходяться на суміжних відгалуженнях). Початкова орієнтація у разі вибору віток для розмикання виконується на основі розрахунку замкнутої мережі. Вітки з відносно малими струмами визначаються як потенційно оптимальні для розмикання. Для автоматичного визначення структури дерева фідера використано матрицю контурів, які представлені списком віток, що входять в контури. Обмін вітками здійснюється за належністю хорд і потенційно оптимальних для розмикання віток до тих самих контурів.

Оскільки розподільні мережі 10 кВ, зазвичай, функціонують як радіальні мережі зі встановленими розімкненими лінійними роз'єднувачами для резервного зв'язку фідерів між собою, то цей алгоритм можна застосувати для оптимізації групи фідерів. В роботі описано алгоритм оптимізації декількох фідерів на прикладі Хмельницького РЕМ за критерієм мінімуму втрат електроенергії та показниками надійності електропостачання споживачів. Алгоритм оптимізації декількох фідерів оснований на алгоритмі оптимізації окремого фідера, доповненого перевіркою обмежень щодо максимальних значень втрат напруги у вузлах навантаження і максимальних струмів навантаження ліній електропередачі.

Ключові слова: електрична мережа, оптимізація, втрати активної потужності, показники надійності.

Вступ

Найважливішими заходами, що можуть підвищити ефективність роботи розподільних мереж, які функціонують як радіальні мережі зі встановленими розімкненими лінійними роз'єднувачами для резервного зв'язку фідерів між собою, є: вибір оптимальної конфігурації мережі, що полягає в підвищенні надійності електропостачання споживачів; оптимізації потоків активної та реактивної потужності з метою зменшення втрат електроенергії; поліпшення якості електроенергії.

Проблема вибору оптимальної конфігурації — це одна з багатокритеріальних задач оптимізації, де рішення вибирається після оцінювання низки критеріїв (до прикладу, втрат активної потужності (ΔP) або електроенергії (ΔW), індексів надійності ($SAIFI$, $SAIDI$, ENS), з урахуванням обмежень: не перевищення максимальних струмів навантаження окремих ліній електропередачі, втрат напруги у вузлах навантаження тощо).

Зазвичай за основні критерії беруть втрати активної потужності або електроенергії та показники надійності. Обмеження на допустимі відхилення напруги у вузлах та максимальні значення струму у вітках необхідно вводити із розрахунку режиму максимальних навантажень. Математичну постановку цієї задачі подамо у вигляді

$$\min[\Delta P, SAIFI, SAIDI, ENS]; \quad (1)$$

$$U_{\min} \leq U_n \leq U_{\max}; I_m \leq I_{\max}, \quad (2)$$

де U_n — фактичне значення напруги у вузлах навантаження в режимі максимальних навантажень; U_{\min} — мінімально допустиме значення напруги, -10% від номінальної напруги; U_{\max} — максимально допустиме значення напруги, $+10\%$ від номінальної напруги; I_m — фактичне максимальне значення струму в лініях електропередачі; I_{\max} — максимально допустиме значення струму для лінії електропередачі.

Незалежно від формулювання проблеми, пошук рішення є досить складним питанням через його комбінаторний характер. В [1] запропоновано схему реконфігурації розподільної мережі для зменшення втрат, яка розпочинається з розрахунку замкнутої мережі, з послідовним розмиканням віток з найменшими струмами. Проте, такий підхід досить часто приводить до порушення обмежень і необхідності продовження пошуку шляхом обміну віток (замикання хорд контурів і розмикання віток, які входять в ці контури). В [2], [3] пропонуються наближені формули, які спрощують реалізацію алгоритму обміну вітками шляхом врахування фізичних закономірностей електричних мереж. Пошук оптимального розв'язку при цьому здійснюється на одному відгалуженні. У випадку декількох відгалужень знаходження оптимального розв'язку ускладнюється. Метод повного перебору, який генерує весь простір рішень-кандидатів, щоб вибрати найкраще, вимагає багато часу для виконання. Щоб уникнути оцінки всього простору рішень-кандидатів та мінімізувати час обчислення, розроблено низку евристичних алгоритмів [4]—[16]. Проте, на погляд авторів цієї статті, існує можливість підвищення швидкодії алгоритмів оптимізації за рахунок врахування топологічних властивостей розподільних електричних мереж.

Метою роботи є підвищення надійності електропостачання та зменшення втрат електроенергії шляхом реконфігурації розподільної мережі та оптимізації потоків потужності.

1. Алгоритм реконфігурації окремого фідера

Розіб'ємо задачу реконфігурації розподільної мережі на дві підзадачі:

- 1) задачу оптимізації окремого фідера;
- 2) задачу оптимізації декількох фідерів, які виділяють шляхом декомпозиції розподільної електричної мережі.

Алгоритм оптимізації окремого фідера оснований на аналізі чутливості зменшення втрат активної потужності або електроенергії, оскільки показники надійності змінюються незначно. Граф стандартної IEEE 33-шинної системи розподілу показано на рис. 1.

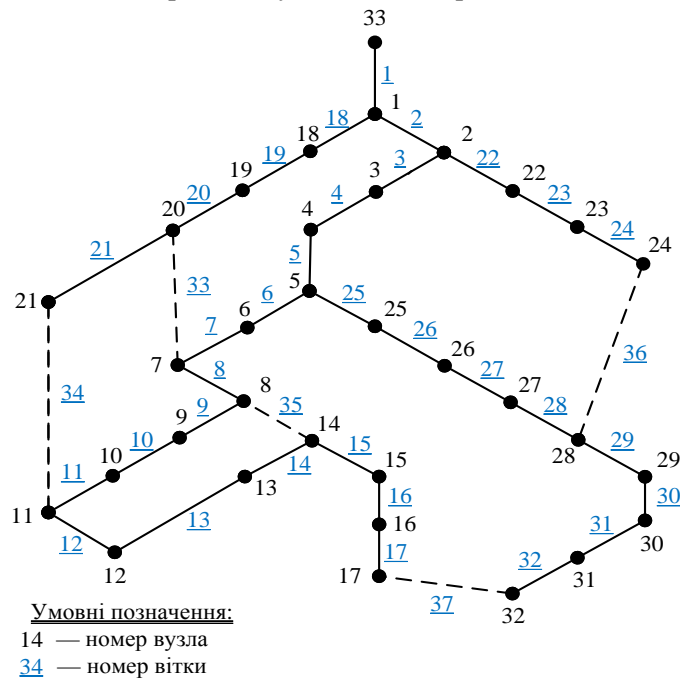


Рис. 1. Стандартна IEEE 33-шинна система розподілу

Для автоматичного визначення структури дерева фідера використано матрицю контурів, яку представлено списком віток, що входять в контури.

Розглянемо початкове дерево, матриця шляхів якого містить вітки

$$C = [1, 2, 3-5, 6-7, 8, 9-11, 12-14, 15-17, 18-20, 21, 22-24, 25-28, 29-32]$$

і контури, які представлені списком віток

$$N_{1(0)} = [2, 3-5, 6-7, 18-20, 33];$$

$$N_{2(0)} = [2, 3-5, 6-7, 8, 9-11, 18-20, 21, 34];$$

$$N_{3(0)} = [9-11, 12-14, 35];$$

$$N_{4(0)} = [3-5, 22-24, 25-28, 36];$$

$$N_{5(0)} = [6-7, 8, 9-11, 12-14, 15-17, 25-28, 29-32, 37],$$

де вітки, які знаходяться на тих самих відгалуженнях, позначено через дефіс.

Процедура оптимізації основана на аналізі чутливості зменшення втрат. Спочатку визначають втрати потужності для початкового дерева (хорди 33—37 розімкнуті), а потім — для дерев, які утворені після замикання однієї з хорд і розмикання однієї з віток початкового дерева. Вибирається таке перемикавання, яке забезпечує найменше значення втрат. Для цієї тестової мережі оптимальна послідовність перемикань, що забезпечує найменші значення втрат, така:

- 1) {33, 34, 35, 36, 37} — 202,1 кВт;
- 2) {33, 11, 35, 36, 37} — 156,3 кВт;
- 3) {7, 11, 35, 36, 37} — 144,1 кВт;
- 4) {7, 11, 35, 36, 32} — 142,4 кВт;
- 5) {7, 11, 14, 36, 32} — 140,8 кВт;
- 6) {7, 10, 14, 36, 32} — 139,9 кВт;
- 7) {7, 9, 14, 36, 32} — 139,2 кВт.

Перші кроки характеризуються вибором оптимальної конфігурації мережі. На першому кроці замикається хорда 34 і розмикається вітка 11. Таке перемикавання характеризується найбільшою чутливістю до зменшення втрат. На другому кроці замикається хорда 33 і розмикається вітка 7, на третьому — замикається хорда 37 і розмикається вітка 32, на четвертому — замикається хорда 35 і розмикається вітка 14.

Вибір вітки для розмикання здійснюється за такими правилами:

- 1) вітка повинна входити в контур, хорда якого замикається;
- 2) вибирається остання від джерела живлення вітка (хорда і вітка, що розмикається, знаходяться на суміжних відгалуженнях).

Для прискорення пошуку можна використати розрахунок струмів замкнутої мережі, наприклад для такої тестової схеми значення струмів подані в табл. 1.

Таблиця 1

Значення струмів віток

m	I, A	m	I, A	m	I, A	m	I, A	m	I, A
1	$175,2 - j108,4$	9	$3,1 + j0,2$	17	$3,7 - j9,1$	25	$26,4 - j19,3$	33	$15,8 - j12,5$
2	$123,1 - j73,2$	10	$0,3 + j1,1$	18	$47,6 - j32,4$	26	$23,6 - j18,2$	34	$15,0 - j12,6$
3	$57,1 - j31,5$	11	$-1,9 + j2,6$	19	$43,4 - j30,6$	27	$20,7 - j17,0$	35	$10,6 - j8,5$
4	$51,5 - j27,8$	12	$10,3 - j8,4$	20	$39,2 - j28,7$	28	$17,9 - j16,0$	36	$18,0 - j18,6$
5	$48,8 - j26,4$	13	$7,5 - j6,7$	21	$19,3 - j14,4$	29	$30,2 - j31,4$	37	$0,6 + j7,2$
6	$19,6 - j6,1$	14	$1,7 - j3,0$	22	$61,8 - j39,8$	30	$20,7 - j2,8$		
7	$10,1 - j1,5$	15	$9,5 - j11,0$	23	$57,7 - j37,5$	31	$13,5 + j0,6$		
8	$16,5 - j9,3$	16	$6,6 - j10,1$	24	$37,9 - j28,1$	32	$3,5 + j5,3$		

Найменші значення струмів протікають у вітці 7, яка входить в перший контур; у вітках 9—11, що входять в другий, третій і п'ятий контури; у вітці 14, яка входить в третій і п'ятий контури; у вітках 32, 37, що входять в п'ятий контур. Всі струми у вітках, які входять в четвертий контур, практично однакові і відносно великі. На ці вітки можна орієнтуватись щодо їхнього розмикання у

разі замикання хорд відповідних контурів.

Сумарні втрати потужності в замкнутій мережі становлять 123,0 кВт. Це значення може слугувати орієнтиром максимально можливого зменшення втрат.

В подальшому відбувається підвищення чутливості без зміни конфігурації мережі шляхом перемикання віток, які знаходяться на одному відгалуженні. Зокрема, на п'ятому кроці замикається вітка 11, а розмикається вітка 10, на шостому — замикається вітка 10, а розмикається вітка 9.

Розглянемо процедуру знаходження матриці контурів під час обміну вітками в процесі оптимізації конфігурації фідера. На першому кроці замикається хорда 34 і розмикається вітка 11, які входять в перший контур. Нові контури містять такі вітки:

$$\mathbf{N}_{1(1)} = [2, 3-5, 6-7, 18-20, 33];$$

$$\mathbf{N}_{2(1)} = [2, 3-5, 6-7, 8, 9-11, 18-20, 21, 34];$$

$$\mathbf{N}_{3(1)} = [2, 3-5, 6-7, 8, 12-14, 18-20, 21, 34, 35];$$

$$\mathbf{N}_{4(1)} = [3-5, 22-24, 25-28, 36];$$

$$\mathbf{N}_{5(1)} = [2, 3-5, 12-14, 15-17, 18-20, 21, 25-28, 29-32, 34, 37].$$

Пошук нових контурів можна автоматизувати. Контур \mathbf{N}_2 , в якому відбулася заміна хорди, не змінюється. В контури \mathbf{N}_1 та \mathbf{N}_4 вітка 11 не входила, тому вони теж не змінюються. В контурі \mathbf{N}_3 відгалуження 9–11 слід змінити на вітки 2, 3–5, 6–7, 8, 18–20, 21, 34, які, як видно з другого контуру, шунтують вітки 9–11. В контурі \mathbf{N}_5 вітки 6–7, 8, 9–11, які входять одночасно в другий контур, слід замінити на вітки 2, 3–5, 18–20, 21, 34, які шунтують ці вітки.

На другому кроці замикається хорда 33 і розмикається вітка 7, які входять в перший контур. Контури містять такі вітки:

$$\mathbf{N}_{1(2)} = [2, 3-5, 6-7, 18-20, 33];$$

$$\mathbf{N}_{2(2)} = [8, 9-11, 21, 33, 34];$$

$$\mathbf{N}_{3(2)} = [8, 12-14, 21, 33, 34, 35];$$

$$\mathbf{N}_{4(2)} = [3-5, 22-24, 25-28, 36];$$

$$\mathbf{N}_{5(2)} = [2, 3-5, 12-14, 15-17, 18-20, 21, 25-28, 29-32, 34, 37].$$

Контур \mathbf{N}_1 , в якому відбулася заміна хорди, не змінюється. Значна частина елементів контурів \mathbf{N}_2 та \mathbf{N}_3 шунтується віткою 33. Це елементи 2, 3–5, 6–7, 18–20, які повинні бути виключені з цих контурів і замінені віткою 33. В контурах \mathbf{N}_4 та \mathbf{N}_5 вітка 7 відсутня, тому вони не змінюються.

На третьому кроці замикається хорда 37 і розмикається вітка 32, які входять в п'ятий контур. Контури містять такі вітки:

$$\mathbf{N}_{1(2)} = [2, 3-5, 6-7, 18-20, 33];$$

$$\mathbf{N}_{2(2)} = [8, 9-11, 21, 33, 34];$$

$$\mathbf{N}_{3(2)} = [8, 12-14, 21, 33, 34, 35];$$

$$\mathbf{N}_{4(2)} = [3-5, 22-24, 25-28, 36];$$

$$\mathbf{N}_{5(2)} = [2, 3-5, 12-14, 15-17, 18-20, 21, 25-28, 29-32, 34, 37].$$

У цьому випадку всі контури не змінюються, оскільки вітки 37 і 32 знаходяться на одному відгалуженні п'ятого контуру і не входять в інші контури.

На четвертому кроці замикається хорда 35 і розмикається вітка 14, які входять в третій контур. Контури містять такі вітки:

$$\mathbf{N}_{1(4)} = [2, 3-5, 6-7, 18-20, 33];$$

$$\mathbf{N}_{2(4)} = [8, 9-11, 21, 33, 34];$$

$$\mathbf{N}_{3(4)} = [8, 12-14, 21, 33, 34, 35];$$

$$\mathbf{N}_{4(4)} = [3-5, 22-24, 25-28, 36];$$

$$\mathbf{N}_{5(4)} = [2, 3-5, 8, 15-17, 18-20, 25-28, 29-32, 33, 35, 37].$$

У цьому випадку лише елементи п'ятого контуру 12–14, 21, 34 замінюються вітками 8, 33, 35.

В подальшому контури не змінюються, оскільки оптимізація здійснюється перемиканням віток в межах одного контуру.

2. Алгоритм реконфігурації декількох фідерів

Для оптимізації декількох фідерів, крім втрат активної потужності або електроенергії, використовують такі показники надійності електропостачання споживачів: *SAIFI*, *SAIDI*, *ENS* (*AENS*).

Показники надійності *SAIFI* та *SAIDI* визначають за формулами

$$SAIFI = \frac{\sum_{k=1}^K \left(N_k \cdot \sum_{m=1}^M \omega_{mk} L_{mk} \right)}{N}; SAIDI = \frac{\sum_{k=1}^K \left(N_k \cdot \sum_{m=1}^M \omega_{mk} t_{mk} L_{mk} \right)}{N}, \quad (3)$$

де k — означає розрахунковий фідер, до якого приєднано N_k споживачів; N — загальна кількість споживачів $N = \sum_{k=1}^K N_k$; ω_{mk} — частота відмов m -ї ЛЕП k -го фідера, рік⁻¹, t_{mk} — тривалість відновлення m -ї ЛЕП k -го фідера, год.; L_{mk} — довжина m -ї ЛЕП k -го фідера, км.

Показник надійності *ENS* та *AENS* визначають за формулами

$$ENS = \sum_{k=1}^K \left(P_{ck} \cdot \sum_{m=1}^M \omega_{mk} t_{mk} L_{mk} \right); AENS = \frac{\sum_{k=1}^K \left(P_{ck} \cdot \sum_{m=1}^M \omega_{mk} t_{mk} L_{mk} \right)}{N}, \quad (4)$$

де P_{ck} — середня потужність навантаження k -го фідера, кВт.

Алгоритм оптимізації конфігурації декількох фідерів такий самий, як для окремого фідера. Оптимізація може проводитись для будь-якого критерію ефективності. Для фідерів 32–34, 45 Хмельницької районної мережі (рис. 2) отримують такі значення показників надійності і річних втрат електроенергії ΔW в залежності від номера розімкненої вітки (табл. 2). Визначення показників надійності виконується матричним методом, запропонованим в [17].

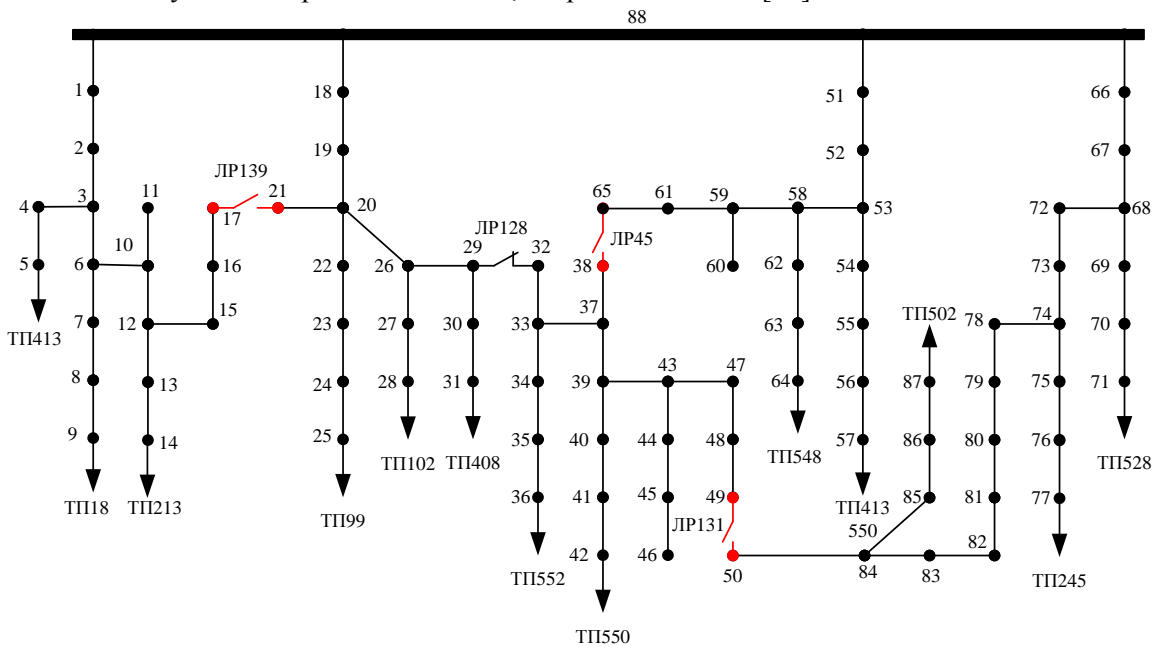


Рис. 2. Схема фідерів 32–34, 45

Таблиця 2

Значення критеріїв оптимальності фідерів 32–34, 45

Розімкнені вітки	<i>SAIFI</i>	<i>SAIDI</i> , год./споживача	<i>ENS</i> , кВт·год.	<i>AENS</i> , кВт·год./споживача,	ΔW , кВт·год.
{88, 89, 90}	0,527	2,637	470,8	0,534	144,4
{88, 37, 90}	0,469	2,345	407,8	0,462	119,9
{88, 32, 90}	0,500	2,501	439,8	0,499	126,7
{10, 32, 90}	0,503	2,514	444,1	0,503	126,7
{10, 37, 90}	0,476	2,381	417,2	0,473	139,9

Вихідним є стан мережі з розімкненими вітками {88, 89, 90}. Оптимальним з погляду надійності електропостачання споживачів і втрат електроенергії виявився стан мережі з розімкненими вітками {88, 37, 90}. З практичних міркувань пропонується використати режим {88, 32, 90}, оскільки у вітці 32 знаходиться лінійний роз'єднувач ЛР128. Альтернативними можуть виступати режими з розімкненими вітками {10, 32, 90} та {10, 37, 90}.

Перевірка втрат напруги в максимальному режимі навантажень показала, що найбільші втрати напруги зменшуються з 3 % (у вихідному стані {88, 89, 90}) до 2,1 % (в оптимальному {88, 37, 90} і альтернативному {10, 37, 90} станах).

Струми на початку фідерів в максимальному режимі навантажень в оптимальному стані мережі становлять: $17,3 - j7,6$ А; $36,7 - j16,0$ А; $16,2 - j7,1$ А; $30,7 - j13,4$ А.

Висновки

Розглянуто алгоритм реконфігурації окремого фідера розподільної електричної мережі за критерієм мінімуму втрат активної потужності. Алгоритм базується на аналізі чутливості зменшення втрат у разі зміни конфігурації мережі з використанням аналізу параметрів усталеного режиму мережі. В статті показано, що для знаходження оптимальної конфігурації тестової схеми «IEEE 33» достатньо 7 кроків.

Запропонований підхід застосовано для оптимізації конфігурації декількох фідерів розподільної електричної мережі за критеріями надійності та мінімуму втрат електроенергії з використанням обмежень щодо максимальних значень втрат напруги у вузлах навантаження і струмів навантаження ліній електропередачі.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

- [1] A. Merlin, and H. Back, "Search for a Minimal – Loss Operating Spanning Tree Configuration in an Urban Power Distribution System," in *Proceedings of the 1975 Fifth Power Systems Computer Conference (PSCC)*, Cambridge, September, 1975, pp. 1-18.
- [2] S. Civanlar, J. Grainger, H. Yin, and S. Lee, "Distribution feeder reconfiguration for loss reduction," *Power Delivery, IEEE Transactions*, vol. 3, no. 3, pp. 1217-1223, 1988.
- [3] M. E. Baran, and F. F. Wu, "Network reconfiguration in distribution systems for loss reduction and load balancing," *IEEE Trans. Power Deliv.*, no. 4, pp. 1401-1407, 1989.
- [4] T. E. McDermott, I. Drezga, and R. P. Broadwater, "A heuristic non-linear constructive method for distribution system reconfiguration," *IEEE Trans. Power Syst.*, vol. 14, no. 2, pp. 478-483, May 1999.
- [5] F. V. Gomes, S. Carneiro, J. L. R. Pereira, M. P. Vinagre, and P. A. N. Garcia, "A new heuristic reconfiguration algorithm for large distribution systems," *IEEE Trans. Power Syst.*, vol. 20, no. 3, pp. 1373-1378, Aug. 2005.
- [6] F. V. Gomes, S. Carneiro, J. L. R. Pereira, M. P. Vinagre, P. A. N. Garcia, and L. R. de Araujo, "A New Distribution System Reconfiguration Approach Using Optimum Power Flow and Sensitivity Analysis for Loss Reduction," *IEEE Trans. Power Syst.*, vol. 21, no. 4, pp. 1616-1623, November 2006.
- [7] Yuan-Kang Wu, Ching-Yin Lee, Le-Chang Liu, and Shao-Hong Tsai, "Study of Reconfiguration for the Distribution System With Distributed Generators," *IEEE Transactions on Power Delivery*, vol. 25, no. 3, pp. 1678-1685, July 2010.
- [8] T. Lantharhong, and N. Rugthaicharoencheep, "Network Reconfiguration for Load Balancing in Distribution System with Distributed Generation and Capacitor Placement," *International Scholarly and Scientific Research & Innovation*, vol. 6, no 4, pp. 409-414, 2012.
- [9] B. Tomoiagă, M. Chindriș, A. Sumper, A. Sudria-Andreu, and R. Villafila-Robles, "Pareto Optimal Reconfiguration of Power Distribution Systems Using a Genetic Algorithm Based on NSGA –II," *Energies*, no. 6, pp. 1439-1455, 2013.
- [10] H. Ahmadi, and J. R. Martí, "Minimum –Loss Network Reconfiguration: A Minimum Spanning Tree Problem," *Preprint submitted to Sustainable Energy, Grids and Networks*, October 31, 2014.
- [11] L. Zemite, J. Gerhards, M. Gorobetz, and A. Levchenkov, "Optimization of Distribution System Reliability," *Transactions on Environment and Electrical Engineering*, vol 1, no 3, 2016. ISSN 2450-5730.
- [12] A. Ghaweta, "Optimal Distribution Feeder Reconfiguration with Distributed Generation using Intelligent Techniques," *Dissertation*, University of Kentucky, 2019.
- [13] Pyone Lai Swe, "Feeder Reconfiguration and Distributed Generator Placement in Electric Power Distribution Network," *American Journal of Electrical and Computer Engineering*, vol. 2, no. 2, pp. 56-63, 2018.
- [14] H. Takano, J. Murata, K. Morishita, and H. Asano, "Service Restoring Reconfiguration for Distribution Networks Considering Uncertainty in Available Information," *Appl. Sci.* 11, 4169, p. 12, 2021.
- [15] V. Vai, S. Suk, R. Lorm, C. Chhlonh, S. Eng, and L. Bun, "Optimal Reconfiguration in Distribution Systems with Distributed Generations Based on Modified Sequential Switch Opening and Exchange," *Appl. Sci.* 11, 2146, p. 13, 2021.
- [16] O. Kahouli, H. Alsaif, Y. Bouteraa, N. Ben Ali, and M. Chaabene, "Power System Reconfiguration in Distribution Network for Improving Reliability Using Genetic Algorithm and Particle Swarm Optimization," *Appl. Sci.*, 11, 3092, 2021
- [17] М. Й. Бурбело, Ю. В. Лобода, Р. О. Слободян, і А. Р. Слободян, «Матричний метод визначення показників надійності розгалужених розподільних електричних мереж.» *Вісник Вінницького політехнічного інституту*, № 3, с. 17-23, 2022. <https://doi.org/10.31649/1997-9266-2022-162-3-17-23> .

Рекомендована кафедрою електротехнічних систем електропостачання та енергетичного менеджменту ВНТУ

Бурбело Михайло Йосипович — д-р техн. наук, професор, завідувач кафедри електротехнічних систем електроспоживання та енергетичного менеджменту, e-mail: burbelomj@gmail.com ;

Лобода Юрій Васильович — д-р філософії, доцент кафедри електротехнічних систем електроспоживання та енергетичного менеджменту, e-mail: lobodaeseem@gmail.com ;

Слободян Руслан Олександрович — аспірант кафедри електротехнічних систем електроспоживання та енергетичного менеджменту, e-mail: ruslan.slobodyan@gmail.com .

Вінницький національний технічний університет, Вінниця

M. Yo. Burbelo¹
Yu. V. Loboda¹
R. O. Slobodian¹

Choosing the Optimum Configuration of Electric Distribution Grids

¹Vinnitsia National Technical University

The article presents algorithms for optimizing the configuration of distribution electric grids according to the criterion of minimum losses of active power and reliability indicators, taking into account the limitations: the maximum permissible deviation of the voltage in the load nodes and the maximum permissible value of the current in the power transmission lines.

The optimization algorithm of a separate feeder based on the minimum active power loss criterion, which is based on the sensitivity analysis of the reduction of active power losses or electricity losses, is considered. The optimization procedure, which consists in closing the chord and opening the branch of the tree, is based on choosing to open the most distant branch that is included in this independent circuit (the chord and the branch that is opened are located on the branches that are connected to the same node). The initial orientation when selecting branches for opening is based on the calculation of the closed grid. Branches with relatively small currents are defined as potentially optimal for opening. To automatically determine the structure of the feeder tree, a matrix of contours is used, which are represented by a list of branches included in the contours. The exchange of branches is carried out according to the affiliation of chords and branches potentially optimal for opening to the same circuits.

Since 10 kV distribution grids, as a rule, function as radial grids with installed open line disconnectors for redundant connection of feeders to each other, this algorithm can be applied to optimize a group of feeders. The paper presents the optimization algorithm of several feeders on the example of Khmelnytskyi REM according to the criterion of minimum electricity losses and indicators of reliability of electricity supply to consumers. The optimization algorithm of several feeders is based on the optimization algorithm of a single feeder, supplemented by a check of restrictions on the maximum values of voltage losses in load nodes and maximum load currents of power transmission lines.

Keywords: electrical network, optimization, active power losses, reliability indicators.

Burbelo Mykhailo Yo. — Dr. Sc. (Eng.), Professor, Head of the Chair of Electrical Systems of Power and Energy Management, e-mail: burbelomj@gmail.com ;

Loboda Yuri V. — Ph. D., Associate Professor of the Chair of Electrical Systems of Power and Energy Management, e-mail: lobodaeseem@gmail.com ;

Slobodian Ruslan O. — Post-Graduate Student of the Chair of Electrical Systems of Power and Energy Management, e-mail: ruslan.slobodyan@gmail.com