

ОПТИМІЗАЦІЯ МІСЦЬ СЕКЦІОНУВАННЯ РОЗПОДІЛЬНИХ ЕЛЕКТРИЧНИХ МЕРЕЖ В УМОВАХ РОЗБУДОВИ ВІДНОВЛЮВАНИХ ДЖЕРЕЛ ЕНЕРГІЇ

Вінницький національний технічний університет

Анотація

В роботі запропоновано використовувати критеріальні залежності між струмами у вітках і коефіцієнтами струморозподілу мережі для визначення оптимальних місць секціонування розподільних мереж за критерієм мінімуму втрат активної потужності.

Ключові слова: розподільні електричні мережі, критеріальне моделювання, втрати активної потужності.

Abstract

Criteria associations between currents in branches and factors of network flux-distribution for determination of optimal places of distribution systems sectionalization by criterion of active power losses minimum is offered to use in the article.

Keywords: power distribution networks, criterion modeling, loss of active power.

Оптимізацію режиму неоднорідної розподільної мережі можна виконати або зниженням ступеня неоднорідності, або примусовою зміною струморозподілу з метою наблизити його до струморозподілу в однорідній мережі [1, 2]. В першому випадку усувається причина, тобто власне неоднорідність, в другому – тільки її наслідок: неефективний струморозподіл. Тому у першому випадку забезпечується оптимальність режиму для всіх варіацій навантаження, а в другому – необхідні пристрої для контролю за змінами параметрів режиму і відповідного керування установками корекції струморозподілу. Один з способів корекції струморозподілу є секціонування розподільної електричної енергії. Існує ряд методів для визначення місць секціонування розподільних мереж [1], які успішно використовуються для розв'язання задачі мінімізації втрат активної потужності. Але спільною рисою цих методів є необхідність повторних розрахунків усталеного режиму для нового варіанту конфігурації мережі (або її частини) з метою оцінки втрат (приросту втрат).

Критеріальне моделювання дозволяє отримати залежності, за якими можна оцінити прирости цільової функції лише за приростами аргументу без додаткових розрахунків. Тому використання такого підходу в задачі визначення оптимальних місць секціонування розподільних мереж дозволило б зменшити об'єм розрахунків та час розв'язання задачі. Метою цієї статті є застосування критеріальних моделей для визначення оптимальних, за критерієм мінімуму втрат активної потужності, місць секціонування.

Для побудови критеріальних моделей необхідно визначитись з базисом [3]. Оскільки мінімум втрат активної потужності відповідає кільцевій г-схемі [4, 5], то ці значення втрат можна прийняти за базис.

З врахуванням цього побудуємо критеріальні залежності для простої мережі, схема якої зображена на рис. 1.

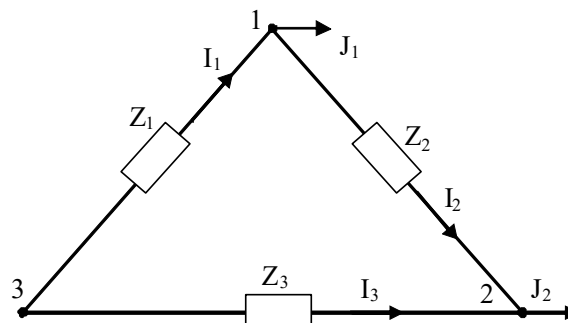


Рис. 1. Приклад схеми

Відповідно до [4] струми у вітках цієї схеми визначаються як

$$\dot{I}_i^{(k)} = J_1 \cdot C_{i1}^{(k)} + J_2 \cdot C_{i2}^{(k)}, \quad (1)$$

$$\dot{I}_i^{(k+1)} = J_1 \cdot C_{i1}^{(k+1)} + J_2 \cdot C_{i2}^{(k+1)}, \quad i = 1, 2, 3, \quad (2)$$

де $\dot{I}_i^{(k)}$, $\dot{I}_i^{(k+1)}$ – струми в i -й вітці відповідно для k -го та $k+1$ -го варіанту секціонування мережі; $C_{i1}^{(k)}$, $C_{i2}^{(k)}$, $C_{i1}^{(k+1)}$, $C_{i2}^{(k+1)}$ – коефіцієнти струморозподілу в i -й вітці відповідно від навантаження вузлів 1 і 2 для k -го та $k+1$ -го варіанту секціонування мережі.

Перепишемо (1) і (2) через активні і реактивні складові струмів і коефіцієнтів струморозподілу:

$$\dot{I}_{ai}^{(k)} = J_{a1} \cdot C_{a,i1}^{(k)} + J_{a2} \cdot C_{a,i2}^{(k)}; \dot{I}_{pi}^{(k)} = J_{p1} \cdot C_{a,i1}^{(k)} + J_{p2} \cdot C_{a,i2}^{(k)}; \quad (3)$$

$$\dot{I}_{ai}^{(k+1)} = J_{a1} \cdot C_{a,i1}^{(k+1)} + J_{a2} \cdot C_{a,i2}^{(k+1)}; \dot{I}_{pi}^{(k+1)} = J_{p1} \cdot C_{a,i1}^{(k+1)} + J_{p2} \cdot C_{a,i2}^{(k+1)}. \quad (4)$$

Для базисного варіанту струми у вітках визначаються за такими виразами:

$$\dot{I}_{ai}^{(\bar{\delta})} = J_{a1} \cdot C_{a,i1}^{(\bar{\delta})} + J_{a2} \cdot C_{a,i2}^{(\bar{\delta})}; \dot{I}_{pi}^{(\bar{\delta})} = J_{p1} \cdot C_{a,i1}^{(\bar{\delta})} + J_{p2} \cdot C_{a,i2}^{(\bar{\delta})}.$$

Скористаємося методом відносних одиниць і перетворимо вирази (3) і (4) в критеріальну форму [3]. Спочатку запишемо їх як

$$\dot{I}_{*ai}^{(k)} = \frac{\dot{I}_{ai}^{(k)}}{\dot{I}_{ai}^{(\bar{\delta})}} = \frac{\sum_{j=1}^m J_{aj} \cdot C_{a,ij}^{(k)}}{\dot{I}_{ai}^{(\bar{\delta})}}; \dot{I}_{*pi}^{(k)} = \frac{\dot{I}_{pi}^{(k)}}{\dot{I}_{pi}^{(\bar{\delta})}} = \frac{\sum_{j=1}^m J_{pj} \cdot C_{a,ij}^{(k)}}{\dot{I}_{pi}^{(\bar{\delta})}}, \quad m = 1, 2; \quad (5)$$

$$\dot{I}_{*ai}^{(k+1)} = \frac{\dot{I}_{ai}^{(k+1)}}{\dot{I}_{ai}^{(\bar{\delta})}} = \frac{\sum_{j=1}^m J_{aj} \cdot C_{a,ij}^{(k+1)}}{\dot{I}_{ai}^{(\bar{\delta})}}; \dot{I}_{*pi}^{(k+1)} = \frac{\dot{I}_{pi}^{(k+1)}}{\dot{I}_{pi}^{(\bar{\delta})}} = \frac{\sum_{j=1}^m J_{pj} \cdot C_{a,ij}^{(k+1)}}{\dot{I}_{pi}^{(\bar{\delta})}}. \quad (6)$$

Ввівши позначення

$$C_{*a,ij}^{(k)} = \frac{C_{a,ij}^{(k)}}{C_{a,ij}^{(\bar{\delta})}}; C_{*a,ij}^{(k+1)} = \frac{C_{a,ij}^{(k+1)}}{C_{a,ij}^{(\bar{\delta})}},$$

перепишемо (5) і (6) у такому вигляді:

$$\dot{I}_{*ai}^{(k)} = \frac{\sum_{j=1}^m J_{aj} \cdot C_{a,ij}^{(\bar{\delta})} \cdot C_{*a,ij}^{(k)}}{\dot{I}_{ai}^{(\bar{\delta})}}; \dot{I}_{*pi}^{(k)} = \frac{\sum_{j=1}^m J_{pj} \cdot C_{a,ij}^{(\bar{\delta})} \cdot C_{*a,ij}^{(k)}}{\dot{I}_{pi}^{(\bar{\delta})}};$$

$$\dot{I}_{*ai}^{(k+1)} = \frac{\sum_{j=1}^m J_{aj} \cdot C_{a,ij}^{(\bar{\delta})} \cdot C_{*a,ij}^{(k+1)}}{\dot{I}_{ai}^{(\bar{\delta})}}; \dot{I}_{*pi}^{(k+1)} = \frac{\sum_{j=1}^m J_{pj} \cdot C_{a,ij}^{(\bar{\delta})} \cdot C_{*a,ij}^{(k+1)}}{\dot{I}_{pi}^{(\bar{\delta})}}.$$

В результаті (3) і (4) в критеріальній формі будуть мати такий вигляд:

$$\dot{I}_{*ai}^{(k)} = \sum_{j=1}^m \pi_{a,ij} \cdot C_{*a,ij}^{(k)}; \dot{I}_{*pi}^{(k)} = \sum_{j=1}^m \pi_{p,ij} \cdot C_{*a,ij}^{(k)}, \quad (7)$$

$$\dot{I}_{*ai}^{(k+1)} = \sum_{j=1}^m \pi_{a,ij} \cdot C_{*a,ij}^{(k+1)}; \dot{I}_{*pi}^{(k+1)} = \sum_{j=1}^m \pi_{p,ij} \cdot C_{*a,ij}^{(k+1)}$$

де $\pi_{a,ij} = \frac{J_{aj} \cdot C_{a,ij}^{(\bar{\delta})}}{\dot{I}_{ai}^{(\bar{\delta})}}$, $\pi_{p,ij} = \frac{J_{pj} \cdot C_{a,ij}^{(\bar{\delta})}}{\dot{I}_{pi}^{(\bar{\delta})}}$ – критерії подібності відповідно для активної та реактив-

ної складової струмів у вітках.

Втрати активної потужності в критеріальній формі записуються [3]:

$$\Delta P_* = \sum_{i=1}^n (\pi_{ai} \cdot I_{*ai}^2 + \pi_{pi} \cdot I_{*pi}^2), \quad (8)$$

де $\pi_{ai} = \frac{r_i I_{aio}^2}{\Delta P_{min}}$ та $\pi_{pi} = \frac{r_i I_{pio}^2}{\Delta P_{min}}$ – критерії подібності відповідно для активної та реактивної складової

втрат; I_{aio} , I_{pio} – відповідно активна та реактивна складова струму у вітці i ; ΔP_{min} – втрати активної потужності, які відповідають базисному варіанту; n – кількість віток в схемі.

Підставляючи рівняння струмів у вітках одного з варіантів конфігурації мережі (7) в критеріальну залежність втрат активної потужності (8), отримуємо значення відносної зміни втрат

$$\Delta P_* = \sum_{i=1}^n \left(\pi_{ai} \cdot \left(\sum_{j=1}^m \pi_{a,ij} \cdot C_{*a,ij} \right)^2 + \pi_{pi} \cdot \left(\sum_{j=1}^m \pi_{p,ij} \cdot C_{*a,ij} \right)^2 \right). \quad (9)$$

За допомогою останнього виразу можна оцінити відносну зміну втрат активної потужності в мережі при переході з однієї схеми до іншої. Тобто, використовуючи (9), можна порівняти між собою різні варіанти секціонування схеми і вибрати оптимальний. Покажемо це на прикладі.

Приклад

Розглянемо мережу конфігурація, якої зображена на рис. 2. Параметри схеми заміщення елементів схеми та навантаження у вузлах задані відповідно у таблицях 1 і 2.

За результатом розрахунку режиму для г-схеми втрати активної потужності становлять 1,73 МВт. Результати визначення оптимальних місць секціонування за методом [3] наведені на рис. 3.

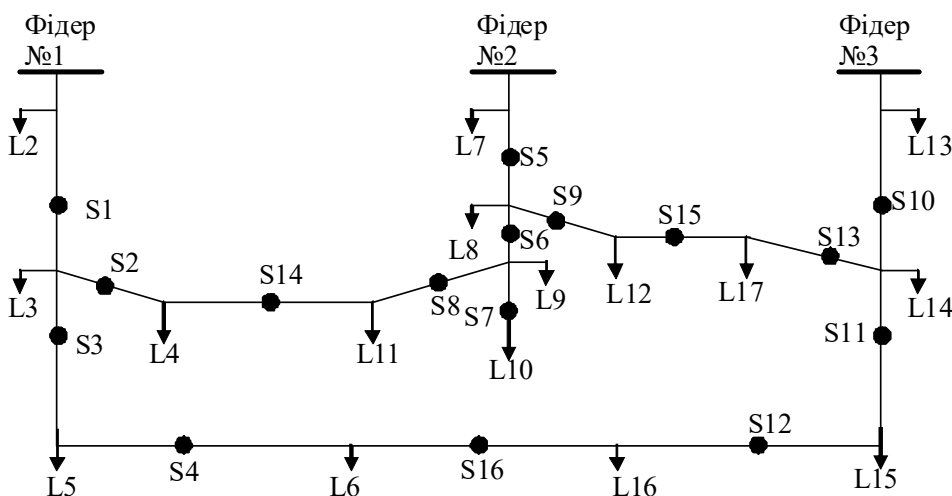


Рис. 2. Схема досліджуваної мережі

Таблиця 1. Навантаження у вузлах

№ вузла	P, МВт	Q, Мвар
2	2	1,6
3	3	1,6
4	3	1,5
5	3	0,8
6	4	1,2
7	2	1,6
8	2	2,7
9	4	3
10	2	2
11	3	0,1
12	3	0,9
13	3	1,6
14	3	0,9
15	5	0,9
16	4	1
17	3	0,7

Таблиця 2. Параметри схеми заміщення

№ поч	№ кінц	R, Ом	X, Ом
2	Ф1	0,075	0,1
3	2	0,075	0,1
4	3	0,08	0,11
4	11	0,04	0,04
5	3	0,09	0,18
5	6	0,04	0,04
6	16	0,09	0,12
7	Ф2	0,075	0,1
7	8	0,11	0,11
8	12	0,11	0,11
9	8	0,08	0,11
9	10	0,08	0,11
11	9	0,11	0,11
12	17	0,04	0,04
13	Ф3	0,075	0,1
14	13	0,11	0,11
15	14	0,08	0,11
16	15	0,04	0,04
17	14	0,09	0,12

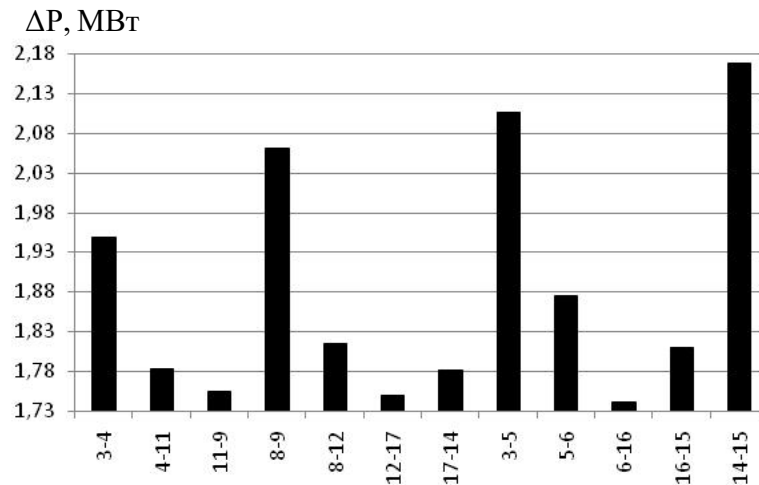


Рис. 3. Зміна значення втрат активної потужності під час вибору точок секціонування методом Хука-Дживса

Перебираючи вітки з множини ділянок, які можуть бути розімкнені, було визначено, що ділянки 11-9, 12-17 та 6-16 є оптимальними за мінімумом втрат активної потужності.

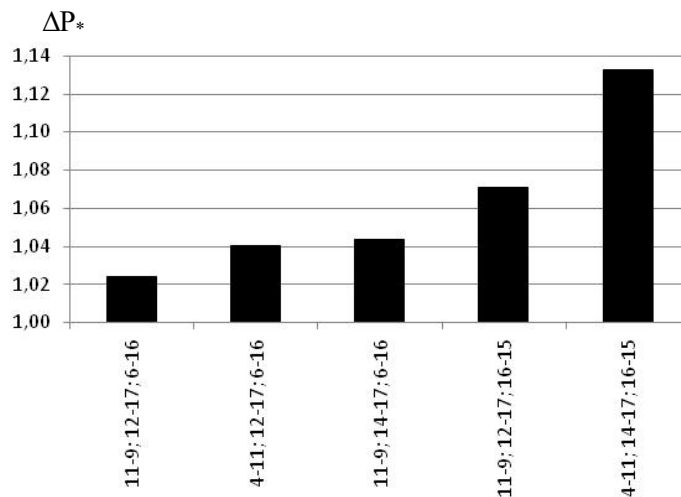


Рис. 4. Зміна відносного значення втрат активної потужності під час перевірки отриманого результату

До такого ж результату призвів розрахунок використовуючи критеріальну залежність (3) (див. рис. 4). Але в цьому випадку розрахунок усталеного режиму проводився лише один раз для г-схеми.

Висновки

Застосування критеріального моделювання дозволяє розв'язувати оптимізаційну задачу визначення місць секціонування розподільних електричних мереж з мінімальною кількістю розрахунків усталеного режиму. Це дозволяє спростити алгоритм розв'язання поставленої задачі та зменшити час, який на це витрачається.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. 98. Лежнюк П. Д., Комар В. О., Кулик В. В. Вплив відновлюваних джерел енергії на функціонування розподільних електричних мереж. *Енергетика та електрифікація*. 2015. № 1. С. 8 – 12.
2. Холмский В. Г. Расчет и оптимизация режимов электрических сетей. – М.: Высшая школа, 1975. – 280 с.
3. Астахов Ю.Н., Лежнюк П.Д. Применение критериального метода в электроэнергетике. – Киев: УМК ВО, 1989. – 140 с.
4. Лежнюк П. Д., Комар В. О., Лесько В. О., Кузьмик О. В. Оптимізація режимів розподільних електричних мереж в умовах зростання частки розосередженого генерування. *Вісник харківського національного технічного університету сільсь-*

кого господарства ім. Петра Василенка. Проблеми енергозабезпечення та енергозбереження АПК України. 2012. № 129. С. 29 – 32.

5. Лежнюк П. Д., Рубаненко Е.А., Гунько И.А. Оптимальное управление нормальными режимами электроэнергетических систем с учетом нормативного значения потерь электроэнергии и тгф. Materialy X mezinarodni vedecko-praktika conference "Moderni vymozenosti vedy – 2014". – Dil 38. Technicke vedy.: Praha. Publishing House "Education and Science" s.r.o. 2014. С. 87 – 92.

Сікорська Олена Вікторівна – аспірант кафедри електричних станцій та систем, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: olenasikorska@ukr.net

Підгорець Іван Олегович – студент гр. 2ЕЕ-19б, факультет електроенергетики та електромеханіки Вінницького національного технічного університету, e-mail: lvhslybqlsv@i.ua

Решетов Михайло Костянтинович – студент гр. ЕСМ-18м, факультет електроенергетики та електромеханіки Вінницького національного технічного університету, e-mail: Reshetov05@ukr.net

Sikorska Olena V. – Postgraduate Student, Department of Power Plants and Systems, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: olenasikorska@ukr.net

Pidhorets' Ivan O. – student of group 2EE-19b, Faculty of Electrical Engineering and Electromechanics, Vinnytsia National Technical University, e-mail: lvhslybqlsv@i.ua

Reshetov Mykhaylo K. – student of group ESM-18m, Faculty of Power Engineering and Electromechanics, Vinnytsia National Technical University, e-mail: Reshetov05@ukr.net