

621.317.333.621.316.13

Л.Б. Терешкевич¹, І.О. Бандура², О.О. Хоменко¹
Вінницький національний технічний університет¹
Луцький національний технічний університет²

МЕТОД РОЗРАХУНКУ ВНУТРІШНЬОГО СИМЕТРУВАННЯ ОДНОФАЗНИХ ЕЛЕКТРОПРИЙМАЧІВ У ВУЗЛАХ ЧОТИРИПРОВІДНОЇ МЕРЕЖІ

Розроблено метод розрахунку оптимального під'єднання однофазних навантажень до вузла чотирипровідної мережі, який враховує зміни їх параметрів в часі та забезпечує глобальний екстремум сумарних додаткових втрат енергії, зумовлених несиметрією режиму.

Ключові слова: несиметрія електричного режиму, чотирипровідна мережа.

Л.Б. Терешкевич, И.А. Бандура, О.О. Хоменко МЕТОД РАСЧЕТА ВНУТРЕННЕЙ СИММЕТРИРОВАНИЯ ОДНОФАЗНЫХ ЭЛЕКТРОПРИЕМНИКОВ В УЗЛАХ ЧЕТЫРЕХПРОВОДНЫХ СЕТЕЙ

Разработан метод расчета оптимального подключения однофазных нагрузок к узлу четырехпроводной сети, учитывающий изменения их параметров во времени и обеспечивает глобальный экстремум суммарных дополнительных потерь энергии, обусловленных несимметрией режима

Ключевые слова: несимметрия электрического режима, четырехпроводная сеть.

L. Tereshkevich, I. Bandura, O. Khomenko METHOD OF CALCULATION OF INTERNAL SYMBOLIZATION OF ONE-PHASE ELECTRIC PIPES IN HIGH-POINTING NETWORK NETWORKS

The method of calculating the optimal connection of single-phase loads to the node of a four-wire network, which takes into account changes in their parameters in time and provides the global extremum of total additional energy losses due to regime asymmetry, is developed.

Keywords: asymmetry of electric mode, four-wire network.

Постановка проблеми. Несиметрія електричного режиму, яка має місце в мережах 0,4 кВ енергопостачальних компаній, зумовлена однофазними електроприймачами (ОЕ), що живляться від неї. Нормовані ГОСТ 13109-97 показники несиметрії напруг в багатьох випадках залишаються не забезпеченими, а потужності ОЕ мають тенденцію до зростання.

Зменшити несиметрію електричного режиму без додаткових пристроїв можна шляхом внутрішнього симетрування ОЕ.

За своєю природою задача внутрішнього симетрування оптимізаційна, а її вирішення класичними методами супроводжується рядом труднощів, серед яких [1]:

- необхідність знаходження розв'язків в цілочислових змінних;
- критерії ефективності описуються не скалярною квадратичною функцією дійсного змінного;
- розв'язки, знайдені існуючими методами вирішення таких задач, можуть відповідати локальним екстремумам цільових функцій, якими описані критерії ефективності.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Відомі роботи, де розроблено методи розрахунку внутрішнього симетрування ОЕ в трипровідній мережі при незмінних параметрах ОЕ, що забезпечують локальний екстремум цільової функції [1, 2]. Прийняти технічне рішення з внутрішнього симетрування із врахуванням зміни параметрів ОЕ можна за методом [3]. Взаємозв'язки задачі внутрішнього симетрування ОЕ із задачею вирівнювання групового графіка навантажень дослідженні в [4].

Локальний мінімум цільової функції для задач внутрішнього симетрування ОЕ із сталими параметрами в чотирипровідній мережі можна знайти за методом [5]. Але для більшості ОЕ характерним є зміна їх параметрів в часі, оптимальне рішення прийняте для одного моменту часу, може бути неоптимальним для іншого. Тому виникає потреба у врахуванні цього фактору при внутрішньому симетруванні ОЕ, які під'єднуються до фазних напруг. Зменшити струм в нульовому провіднику можна за допомогою інформаційних технологій [6]. У роботі [7, 8] розроблено пристрій автоматичного перемикачів магістралей з групою ОЕ на протязі доби. Недопустимим для роботи ОЕ – часті перемикачів, оскільки це зменшує термін служби побутового обладнання.

Мета роботи: розробити метод розрахунку внутрішнього симетрування ОЕ в чотирипровідній мережі за умови зміни їх параметрів, який забезпечує знаходження рішення, якому відповідає глобальний екстремум цільової функції, а всі етапи такого розрахунку можуть виконуватись за інформаційними технологіями.

Викладення основного матеріалу. Багатокритеріальна оптимізаційна задача внутрішнього симетрування ОЕ, параметри яких змінюються в часі, може вирішуватись за середньозваженим критерієм – сумарними додатковими втратами активної енергії в лінії живлення вузла навантаження [4]. Складові цільової функції – додаткові втрати активної енергії, зумовлені струмами зворотної та нульової послідовності, можуть бути суперечливими.

Глобальний екстремум цільової функції можна знайти якщо прорахувати всі можливі варіанти розв'язку задачі та виконати кількісну оцінку кожного, порівняти результати і відібрати найкращий. Такий шлях реальний, оскільки задача цілочислова і кількість варіантів обмежена.

Якщо на інтервалі часу $t_0 - t_K$ виділити дискретні моменти часу t_k з однаковою тривалістю інтервалів $t_k - t_{k+1}$, $k=1;2;\dots;K$, на яких параметри графіків навантажень ОЕ залишаються незмінними (позначення інтервалів є спільним для всіх графіків і відповідає реалізованому взаємному їх зсуву в часі), то додаткові втрати активної енергії в лінії живлення для деякого варіанту внутрішнього симетрування будуть пропорційними:

$$P^* \sum_k \left| \sum_n (I_{lmm})_k \right|^2 + \sum_k \left| \sum_n (I_{0mm})_k \right|^2, \quad (1)$$

де $(I_{lmm})_k$ – вектор струму зворотної послідовності, що створюється електроприймачем n , $n=1;2;\dots;N$ на інтервалі часу k . (m – код напруги, до якої під'єднано ОЕ, $m=1$ відповідає під'єднанню до U_A ; $m=2$ до U_B ; $m=3$ до U_C).

$(I_{0mm})_k$ – те саме, нульової послідовності.

$$P^* = \frac{\Delta P_{II}}{\Delta P_0},$$

де ΔP_{II} – додаткові втрати активної потужності в лінії живлення, зумовлені струмом зворотної послідовності величиною 1А.

ΔP_0 – те саме, струмом нульової послідовності.

Залежність (1) є аналітичним описом показника ефективності i -го варіанта внутрішнього симетрування.

Струми в лінії живлення – $\sum_n (I_{lmm})_k$ та $\sum_n (I_{0mm})_k$, які є компонентами матриць **F** та **E** відповідно, за умови усіх можливих варіантів під'єднання ОЕ до мережі, можуть бути розрахованими так:

$$\mathbf{F} = P^* \cdot \mathbf{I}_{II} \cdot \mathbf{X};$$

$$\mathbf{E} = \mathbf{I}_0 \cdot \mathbf{X},$$

де \mathbf{I}_{II} – матриця векторів струмів зворотної послідовності, що генеруються окремими ОЕ за умови їх під'єднання до різних напруг вимірністю $K \times 3N$, її k -тий рядок – це струми в k -тий момент часу;

\mathbf{I}_0 – те саме – векторів струмів нульової послідовності;

\mathbf{X} – матриця векторів під'єднання ОЕ до мережі, кожний стовпчик якої – опис одного із варіантів під'єднання групи ОЕ до мережі.

Матриця **X** охоплює описи всіх можливих варіантів під'єднання ОЕ до мережі. Якщо зафіксувати під'єднання одного із них до будь-якої напруги, то кількість можливих комбінацій зменшиться втричі і її вимірність буде $3N \times \frac{1}{3} 3^N$. Інформація про i -тий варіант під'єднання ОЕ до

мережі міститься в i -тому стовпчику матриці **X**, $\mathbf{X} = \begin{pmatrix} \mathbf{X}_1 & \mathbf{X}_2 & \dots & \mathbf{X}_i & \dots & \mathbf{X}_{\frac{1}{3} 3^N} \end{pmatrix}$.

Для опису під'єднання n -го ОЕ за i -тим варіантом використовуються булеві змінні $x_{(3n)i}$; $x_{(3n-1)i}$; $x_{(3n-2)i}$. Якщо електроприймач під'єднується до напруги U_A , то $x_{(3n)i} = 1$, а $x_{(3n-1)i} = 0$, $x_{(3n-2)i} = 0$; якщо до U_B , то $x_{(3n-1)i} = 1$, а $x_{(3n-2)i} = 0$, $x_{(3n)i} = 0$; якщо до U_C , то $x_{(3n-2)i} = 1$, а $x_{(3n-1)i} = 0$, $x_{(3n)i} = 0$.

Надалі обробка інформації, що міститься в матрицях **F** та **E**, пов'язана із вибором за критерієм (1) оптимального варіанту внутрішнього симетрування ОЕ і виконується за алгоритмом, рис. 1.



Рис. 1. Алгоритм розрахунку оптимального варіанту внутрішнього симетрування ОЕ у вузлі чотирипровідної мережі

Приклад вирішення задачі за розробленим методом

До вузла електричної мережі необхідно під'єднати чотири ОЕ, параметри яких змінюються в часі, як показано в табл. 1.

Таблиця 1

		Характеристика ОЕ				
№ ОЕ	Параметри	Інтервали часу				
		Δt_1	Δt_2	Δt_3	Δt_4	Δt_5
1	Р, кВт	4,2	2,6	2,9	3,8	5,9
	cosφ	0,75	0,86	0,82	0,9	0,92
2	Р, кВт	5,8	1,6	5,4	1,3	1,4
	cosφ	0,9	0,89	0,88	0,85	0,87
3	Р, кВт	1,2	1,1	2,6	2,3	3
	cosφ	0,71	0,79	0,7	0,67	0,71
4	Р, кВт	3,6	7,2	5,1	4	3,2
	cosφ	0,91	0,89	0,9	0,91	0,92

Визначити оптимальний варіант їх під'єднання до вузла мережі, що забезпечує мінімум додаткових втрат енергії (1). При розрахунках прийняти значення $P^* = \frac{1}{4}$.

Розв'язування.

Складаються: матриці векторів під'єднання ОЕ **X**, а також векторів струмів зворотної та нульової послідовностей I_n та I_0 відповідно. Компоненти матриць I_n та I_0 розраховуються за аналітичними залежностями:

Відповідно до алгоритму, рис. 1, розраховуються множини M_1 та M_2 і знаходяться суми відповідних їх елементів, якіє компонентами множини M_3 :

$$M_3 = \{44331,99 \quad 19052,37 \quad 16324,41 \quad 24156,22 \quad 12234,77 \quad \dots \quad 2617,29\}.$$

На останньому кроці знайдемо мінімум із множини M_3 :

$$\min\{M_3\} = 2617,29 (A^2).$$

Отриманому $\min\{M_3\}$ знаходиться у відповідності такий вектор під'єднання ОЕ:

$$\mathbf{X}_i^T = (1 \quad 0 \quad 0 \quad 0 \quad 0 \quad 1 \quad 0 \quad 0 \quad 1 \quad 0 \quad 1 \quad 0).$$

У відповідності до оптимального вектора \mathbf{X}_i перший ОЕ слід під'єднати – до \underline{U}_A , другий та третій – до \underline{U}_C , четвертий – до \underline{U}_B .

Оптимальним рішенням для умов прикладу, табл.1, яке знайдене за параметрами для дискретного моменту часу t_1 (без врахування зміни параметрів ОЕ в часі) у відповідності [5] буде таким:

- перший ОЕ під'єднати – до напруги \underline{U}_B ;
- другий – до \underline{U}_C ;
- третій та четвертий – до \underline{U}_A .

Показник ефективності (1), що відповідає такому під'єднанню ОЕ становить 5045,24 A^2 , що в 1,9 разів перевищує результат, отриманий за розробленим методом. Це свідчить про необхідність врахування зміни параметрів ОЕ в часі при розрахунках оптимального варіанту їх під'єднання до вузла мережі.

Висновки.

1. Розрахунок оптимального під'єднання однофазних навантажень до трифазної чотирипровідної мережі необхідно виконувати із врахуванням зміни їх параметрів.

2. За показник ефективності, який оцінює прийняте рішення з під'єднання однофазних навантажень до чотирипровідної мережі на інтервалі часу $t_1 - t_K$, може бути прийнято функціонал (1), числове значення якого пропорційне сумарним додатковим втратам активної енергії, що зумовлені несиметрією режиму.

3. Розроблений метод дозволяє знайти оптимальне під'єднання однофазних навантажень до трифазної чотирипровідної мережі із врахуванням зміни їх параметрів.

4. Всі етапи розрахунку алгоритмізовано, що дає можливість використання інформаційних технологій.

Список використаних джерел:

1. Аввакумов В. Г. Методы нескалярной оптимизации и их приложения / В. Г. Аввакумов. – К. : Вища шк., 1990. – 188 с. – ISBN 5-11-001321-7/
2. Терешкевич Л.Б. АСУ в електроспоживанні – Вінниця: ВНТУ, 2016. – 136 с.
3. Терешкевич Л. Б. Оптимальне під'єднання однофазних навантажень, параметри яких змінюються в часі, до вузла трипровідної електричної мережі / Л. Б. Терешкевич, О. О. Хоменко // Вісник Вінницького політехнічного інституту. – 2017 – №1 – с. 57-61.
4. Терешкевич Л. Б. Внутрішнє симетрування однофазних електроприймачів та вирівнювання їх групового графіка навантажень / Л. Б. Терешкевич, О. О. Хоменко // Вісник Вінницького політехнічного інституту. – 2018 – №1 – С. 12-17.
5. Мокін Б. І. Нескалярна квадратична цільова функція та алгоритм її мінімізації в задачі керування несиметрією режиму чотирипровідної електричної мережі / Б. І. Мокін, В. А. Барчук // Вісник Вінницького політехнічного інституту. – 2012 – №1 – С. 43-47.
6. M. Noruzi, A. Basiri "Current balancing for distributed single phase loads based on automated phase tracing" IEEE 23rd International Conference on Electricity Distribution, 2015.
7. T. T. Son, T. A. Tung "Current unbalance reduction in low voltage Distribution networks using automatic phase Balancing device" Journal of Science and Technology Vol. 55, No. 1, pp. 108-119, 2017.
8. Y. Zheng, L. Zou, J. He, Y. Su, Z. Feng "Fast Unbalanced Three-phase Adjustment base on Single-phase Load Switching" TELKOMNIKA, Vol. 11, No. 8, pp. 4327-4334, 2013.

Стаття надійшла до редакції 19.03.2019