

А. М. Волоцький¹
М. В. Девятко¹
В. О. Милосердов¹

ПРО ОДИН СПОСІБ СИМЕТРУВАННЯ НЕПОВНОФАЗНОГО РЕЖИМУ ЕЛЕКТРИЧНИХ МЕРЕЖ

¹Вінницький національний технічний університет

Розглянуто один із можливих способів симетрування неповнофазного режиму мереж, який дозволяє контролювати несиметрію режиму одночасно в усіх вузлах системи та враховувати їх взаємовпливи.

Ключові слова: неповнофазний режим, симетрування, математична модель, оптимізувальні пристрої.

Вступ

Несиметричні режими можуть виникати не тільки в нормальних, а й в аварійних режимах, наприклад, за поздовжніх пошкоджень. При цьому в усіх вузлах навантаження може виникати несиметрія режиму, незалежно від характеру навантаження. В таких умовах актуальним є забезпечення необхідних рівнів якості електричної енергії у вузлах навантаження.

Відомо багато методів оптимізації неповнофазних режимів, однак, всі вони мають низку недоліків, що звужують сферу їх використання [3]. Авторами був розроблений метод, який дозволяє застосувати концепцію системного підходу та розглядати електричну систему, що знаходиться у неповнофазному режимі роботи, з, так званого, «верхнього» рівня. Використання цього методу дозволяє контролювати несиметрію режиму одночасно в усіх вузлах системи, враховувати впливи одного вузла на інший, що є важливим у забезпеченні напруги зворотної послідовності в них на рівні, що нормується.

Матеріали дослідження

Можливість оптимізації якості електроенергії з «верхнього» рівня управління багато в чому залежить від наявності та ступеня достовірності необхідної вихідної інформації. У найзагальнішому випадку інформаційна база має включати: топологію і параметри всієї системи; параметри режиму фактичні і граничні по вузлах, які нас цікавлять, і прилеглих гілках; можливі способи оптимізації якості електроенергії; обмеження, важливі для системи в цілому.

Крім того, для успішного проведення оптимізаційних розрахунків велика увага має бути приділена вибору алгоритму управління.

Алгоритм для оптимізації неповнофазних режимів може бути таким:

1. Складається комплексна схема заміщення системи;
2. Вибираються вузли розміщення оптимізувальних пристроїв;
3. Формується матриця комплексних коефіцієнтів розподілу для задавальних струмів оптимізувальних пристроїв;
4. Вибирається певна математична модель оптимізації режиму;
5. Вибрана модель представляється у функціональній формі;
6. Обчислюється вектор оптимального управління.

Суттєвою перевагою оптимізації неповнофазного режиму з «верхнього» рівня є використання спеціально розроблених оригінальних математичних моделей, критеріальними функціями та обмеженнями яких можуть виступати як технічні вимоги до процесу оптимізації, так і економічні [1]. Керованими змінними в них є струми або потужності у фазах симетрувальних пристроїв, які виконані на базі реактивних елементів. Серед них заслуговують на увагу такі математичні моделі:

$$\begin{cases} Q_{\text{вст}}(x) \rightarrow \min; \\ U_2^{(i)}(x) \leq 2\% U_1^{(i)}; \\ x \geq 0; \end{cases} \quad (1)$$

$$\begin{cases} Q_{\text{вст}}(x) \rightarrow \min; \\ \dot{\cdot}^{(i)} \\ \text{Re}U_2(x) \langle \pm 2 \% U_1^{(i)}; \\ \dot{\cdot}^{(i)} \\ \text{Im}U_2(x) \langle \pm 2 \% U_1^{(i)}; \\ x \geq 0; \end{cases} \quad (2)$$

$$\begin{cases} U_2^{(i)}(x) \rightarrow \min; \\ U_2^{(i)}(x) \leq U_{2\text{доп}}; \\ U_{\min} \leq U_1^{(i)}(x) \leq U_{\max}; \\ x \geq 0; \end{cases} \quad (3)$$

$$\begin{cases} I_2^{(i)}(x) \rightarrow \min; \\ U_{\max} \leq U_1^{(i)}(x) \leq U_{\max}; \\ x \geq 0; \end{cases} \quad (4)$$

$$\begin{cases} Q_{\text{вст}}(x) \rightarrow \min; \\ U_2^{(i)}(x) \leq U_{2\text{доп}}; \\ U_{\min} \leq U_1^{(i)}(x) \leq U_{\max}; \\ x \geq 0; \end{cases} \quad (5)$$

$$\begin{cases} U_2^{(i)}(x) \rightarrow \min; \\ U_2^{(i)}(x) \leq U_{2\text{доп}}; \\ K_{\text{зоп}}^{(i)}(x) \geq K_{\text{зап доп}}; \\ x \geq 0, \end{cases} \quad (6)$$

де $Q_{\text{вст}}(x)$ — встановлена потужність оптимізувального пристрою; $U_2^{(i)}(x)$ — напруга зворотної послідовності в i -му вузлі електричної системи; $I_2^{(i)}(x)$ — струм зворотної послідовності в i -му вузлі; $K_{\text{зоп}}^{(i)}(x)$ — характеристика стійкості i -го вузла навантаження [2]; x — вектор керованих змінних (наприклад, струм по фазах симетрувального пристрою).

Більшість з математичних моделей пройшли випробування під час розв'язання практичних задач і показали достатню збіжність та стійкість оптимальних рішень.

Розглянемо можливість оптимізації неповнофазного режиму електричної системи на числовому прикладі.

Приклад. Система з двостороннім живленням, яка містить чотири вузли навантаження, має матрицю з'єднань такого вигляду:

$$M = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & -1 & 1 & 0 & 0 \\ -1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & -1 & 1 & -1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & -1 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}.$$

У разі обриву однієї фази має місце несиметрія режиму, що характеризується величиною відносної напруги зворотної послідовності у вузлах навантаження:

$$\dot{\cdot}^{(1)} U_{II} = 0,038 \cdot e^{j91,9^\circ}; \quad \dot{\cdot}^{(2)} U_{II} = 0,077 \cdot e^{j91,9^\circ}; \quad \dot{\cdot}^{(3)} U_{II} = 0,089 \cdot e^{j91,9^\circ}; \quad \dot{\cdot}^{(4)} U_{II} = 0,038 \cdot e^{j91,9^\circ}.$$

Здійснимо оптимізацію режиму.

Приймемо структури оптимізуючих пристроїв у вигляді несиметричного трикутника ємнісних елементів. Параметри такого пристрою, виражені, наприклад, через струми по фазах є керованими змінними. Для аналізу струморозподілу в комплексній схемі заміщення та обліку взаємних впливів оптимізувальних пристроїв, розміщених у відповідних вузлах, була сформована матриця коефіцієнтів розподілу струмів такого вигляду:

$$C_{ij} := \begin{pmatrix} 0,0334 \cdot e^{j39,8} & 0,0545 \cdot e^{j59,2} & 0,005 \cdot e^{j59,2} & 0,0206 \cdot e^{j39,8} \\ 0,0295 \cdot e^{j4,8} & 0,11 \cdot e^{j34,8} & 0,042 \cdot e^{j34,8} & 0,00932 \cdot e^{j4,8} \\ 0,00373 \cdot e^{-j36,2} & 0,014 \cdot e^{j3,8} & 0,083 \cdot e^{j3,8} & 0,376 \cdot e^{j26,2} \\ 0,000686 \cdot e^{j2,9} & 0,0026 \cdot e^{j32,9} & 0,199 \cdot e^{j32,8} & 0,14 \cdot e^{j2,9} \end{pmatrix}.$$

Оптимізацію режиму виконаємо відповідно до моделі:

$$\begin{cases} Q_{\text{уст}}(x) \rightarrow \min; \\ \dot{U}_{II}^{(i)}(x) \leq 2\sqrt{2} \% \cdot U_{II}^{(i)}, \quad i=1, 2, 3, 4. \end{cases}$$

Модель вимагає забезпечення мінімальної встановленої потужності реактивних елементів при забезпеченні напруги зворотної послідовності у вузлах в межах 3 %. Ця величина прийнята виходячи з тих міркувань, що втрата однієї фази являє собою не нормальний, а аварійний режим, що допускає відхилення більше, ніж ГОСТ 13109-97. Формування обмежувальних умов здійснювалось відповідно до виразу

$$\dot{U}_{II}^{(i)}(x) = \left(I_{II}^{(i)} + \sum_{j=1}^m \sum_{i=1}^n \dot{C}_{ij} \cdot I_{IIoy}^{(i)}(x) \right) \cdot x_{II}^{(i)},$$

де $\dot{U}_{II}^{(i)}(x)$ — вектор напруги зворотної послідовності в i -му вузлі навантаження з урахуванням всіх включених оптимізують пристроїв; $I_{II}^{(i)}$ — вектор струму зворотної послідовності i -го вузла навантаження; $I_{IIoy}^{(i)}(x)$ — вектор струму зворотної послідовності оптимізувального пристрою, що є функцією від керованих змінних; \dot{C}_{ij} — комплексний коефіцієнт струморозподілу в i -му вузлі навантаження від дії i -го джерела заданого струму; $x_{II}^{(i)}$ — опір зворотної послідовності i -го вузла навантаження. Матриця умов-обмежень для цього прикладу має розмірність 16×28 . Результатом розв'язання стало отримання чотирьох векторів управління: $x_1^t = (0; 0; 0, 264)$; $x_2^t = (0, 591; 0; 0)$; $x_3^t = (0; 0; 0, 149)$; $x_4^t = (0, 759; 0; 0)$. Включення оптимізувальних пристроїв із знайденими параметрами покращило режим зворотної послідовності, відповідно, моделі до величин:

$$\dot{U}_{II}^{(1)} = 0,028 \cdot e^{j134,7^\circ}; \quad \dot{U}_{II}^{(2)} = 0,0114 \cdot e^{j120,2^\circ}; \quad \dot{U}_{II}^{(3)} = 0,0216 \cdot e^{j81,5^\circ}; \quad \dot{U}_{II}^{(1)} = 0,00965 \cdot e^{-j122,7^\circ}.$$

Висновок

Оптимізація неповнофазного режиму з «верхнього» рівня управління дає можливість отримати оптимальне рішення, що враховує взаємні впливи вузлів один на одного.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Аввакумов В. Г. О постановке ограниченный по устойчивости узлов нагрузки в задачах оптимального проектирования устройств с использованием силовых реактивных элементов / В. Г. Аввакумов, А. М. Волоцкий // Методы и средства повышения эффективности устройств преобразовательной техники : сб. — Киев : Наукова думка, 1981. — С. 69—71.
2. Волоцький А. М. Покрокова оптимізація неповнофазних режимів роботи електричних систем / А. М. Волоцький, М. В. Девятко, В. О. Милосердов // Сучасні проблеми систем електропостачання промислових та побутових об'єктів : сб. — Донецьк : «ДВНЗ» ДонНТУ, 2013. — С. 129—131.

3. Леонтъев В. О. Симетрування неповнофазних режимів в розподільних електричних мережах : моногр. / В. О. Леонтъев. — Вінниця : ВНТУ, 2009. — 163 с.

Рекомендована кафедрою електричних станцій та систем ВНТУ

Стаття надійшла до редакції 29.01.2014

Волоцький Анатолій Михайлович — асистент, **Девятко Марина Василівна** — канд. техн. наук, старший викладач, e-mail: marina9vn@gmail.com, **Милосердов Валерій Олександрович** — канд. екон. наук, доцент.

Кафедра електротехнічних систем електроспоживання та енергетичного менеджменту, Вінницький національний технічний університет, Вінниця

A. M. Volotskyi¹
M. V. Devyatko¹
V. O. Myloserdov¹

ABOUT ONE METHOD OF SIMMETRATION OF NONEFAZE MODE OF ELECTRIC NETWORKS

¹Vinnitsia National Technical University, Vinnitsia

One of possible methods of symmetration of the nonefaze mode of electric networks is considered, allowing to control unsymmetry of the mode simultaneously in all knots of the system taking into account their cross-couplings.

Keywords: nonefaze mode, symmetration, mathematical model, optimizing devices.

Volotskyi Anatolii M. — Assistant, **Deviatko Maryna V.** — Cand. Sc. (Eng.), Senior Lecturer, e-mail: marina9vn@gmail.com, **Myloserdov Valerii O.** — Cand. Sc. (Econ.), Assistant Professor.

The Chair of Electrical Engineering Systems of Electro-consumption and Power Management

А. М. Волоцкий¹
М. В. Девятко¹
В. А. Милосердов¹

ОБ ОДНОМ СПОСОБЕ СИММЕТРИРОВАНИЯ НЕПОЛНОФАЗНОГО РЕЖИМА ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЕЙ

¹Винницкий национальный технический университет

Рассмотрен один из возможных способов симметрирования неполнофазного режима электрических сетей, позволяющий контролировать несимметрию режима одновременно во всех узлах системы с учетом их взаимных влияний.

Ключевые слова: неполнофазный режим, симметрирование, математическая модель, оптимизирующие устройства.

Волоцкий Анатолий Михайлович — ассистент, **Девятко Марина Васильевна** — канд. тех. наук, старший преподаватель, e-mail: marina9vn@gmail.com, **Милосердов Валерий Александрович** — канд. экон. наук, доцент.

Кафедра электротехнических систем электропотребления и энергетического менеджмента