

МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ КЕРУВАННЯ РЕАКТИВНОЮ ПОТУЖНІСТЮ В ЕЛЕКТРИЧНИХ МЕРЕЖАХ ПРОМИСЛОВИХ ПІДПРИЄМСТВ

Вінницький національний технічний університет

Анотація

Розроблено математичну модель керування реактивною потужністю за допомогою секцій БСК, що мають схему зірки з нулем та які під'єднуються до вузла з несиметричною напругою, та числовий метод її аналізу.

Ключові слова: конденсатори, схема зірка, математична модель, реактивна потужність.

Abstract

The mathematical model of reactive power control using sections of the BSK, which have a diagram of a star with a leading zero, and that are connected to the node with the non-energetic voltage, and numerical method of analysis.

Keywords: capacitors, circuit star, mathematical model, reactive power.

Вступ

На промислових підприємствах для зниження активних втрат в електричних мережах використовуються батареї статичних конденсаторів (БСК) симетричного виконання (потужності плеч кожної секції, що відповідають номінальним напругам, однакові).

Для забезпечення високого кінцевого ефекту БСК виконують керуваннями, а кожна секція такої БСК повинна мати можливість ввімкнення ємностей за схемою трикутника або зірки з нулем [1]. В процесі експлуатації кінцевий ефект від встановленої БСК визначається законом керування. Найкращі результати досягаються, коли при розрахунку вектора керування беруться до уваги всі суттєві для даного моменту часу фактори та забезпечуються необхідні умови. Відомі наукові роботи та їх практична реалізація, де прийняття керуючого рішення здійснюється із врахування таких факторів: втрати активної потужності як в мережах енергопостачальної організації, так і в мережах споживачів; вимоги енергосистеми до споживання реактивної потужності з її мереж в періоди максимуму і мінімуму навантажень; рівень напруги як на моменти прийняття рішення, так і за результатами його реалізації [2-3].

Мікропроцесорна (або комп'ютерна) реалізація систем прийняття рішення прискорює процес розрахунку та надає можливість проводити його за складними алгоритмами, що в свою чергу дозволяє врахувати додаткові фактори, якими раніше нехтували. Одним із таких факторів є вплив несиметрії напруги на роботу БСК симетричного виконання і на керуючі впливи, що ними здійснюються. Під'єднання БСК, яка з'єднана трикутником, до електричної мережі збільшує напругу зворотної послідовності, а БСК, що з'єднана в зірку з нулем, збільшує одночасно напруги зворотної і нульової послідовностей. Показники якості електроенергії, що нормують несиметрію режиму, можуть набути недопустимих значень [4].

Один із можливих підходів до прийняття керуючого рішення полягає в тому, що задача поділяється на дві підзадачі, які вирішуються послідовно. Одна полягає в прийнятті рішення по секціях, що вмикаються за схемою трикутника. По секціях, які залишилися, приймається рішення другого етапу, виходячи з того, що вони будуть ввімкнені за схемою зірки з нулем, та в припущенні реалізації рішення першого етапу. При такому підході негативний вплив, що чиниться на параметри несиметрії режиму, буде мінімальним (перш за все максимально використовуються секції БСК, які мають вплив лише на режим зворотної послідовності).

Метою даної роботи є розробка математичної моделі керування реактивною потужністю за допомогою секцій БСК, що мають схему зірки з нулем та які під'єднуються до вузла з несиметричною напругою.

Критерій ефективності і фактори, що мають контролюватись в математичній моделі керування

Ввімкнення БСК за схемою зірки з нулем приводить до збільшення рівня напруг прямої, зворотної і нульової послідовностей. Для запобігання перевищення допустимих за ГОСТ 13109-97 значень коефіцієнтів несиметрії напруги по зворотній - $K_{2U_{\text{фн}}}$ та нульовій - $K_{0U_{\text{фн}}}$ послідовності в математичній моделі мають бути обмеження на відповідні величини.

Потужності БСК в залежності від прикладеної напруги набувають різних значень по фазах і відповідно добавки напруги будуть неоднаковими. Причому найбільшою буде добавка напруги в тій фазі, де вихідне значення напруги було найбільшим. Саме напруга в цій фазі повинна контролюватися для забезпечення допустимих відхилень напруг трифазної системи.

Математична модель повинна містити обмеження, що контролює величину реактивної потужності, яка буде в результаті реалізації вектора керування - Q . Така необхідність викликана недопустимістю зворотних потоків реактивної потужності від електричних навантажень в живлячій мережі, чи вимогами енергопостачальної організації до споживаної потужності.

Окреме обмеження повинно указувати на можливі стани кожної секції БСК (ввімкнено або вимкнено).

За критерій ефективності математичної моделі приймається мінімум реактивної потужності на вводі підприємства, або по вузлу, до якого під'єднана БСК. Досягнутому мінімуму реактивної потужності відповідає мінімум активних втрат в живильній мережі.

Математична модель керування та її характеристики

Розрахунок вектора керування реактивною потужністю в умовах несиметрії напруги проводиться за розробленою математичною моделлю:

$$\left\{ \begin{array}{l} Q_1 - \mathbf{X}^T \cdot \Delta Q(U) \rightarrow \min \\ Q_1 - \mathbf{X}^T \cdot \Delta Q(U) \geq Q_{\text{фн}} \\ \left| \dot{U}_2 + \mathbf{X}^T \cdot \Delta \dot{U}_2 \right| \leq U_{2\text{фн}} \\ \left| \dot{U}_0 + \mathbf{X}^T \cdot \Delta \dot{U}_0 \right| \leq U_{0\text{фн}} \\ \left| \dot{U}_s + \mathbf{X}^T \cdot \Delta \dot{U}_s(\dot{U}_s) \right| \leq U_{\text{max.фн}} \\ \mathbf{X} + \bar{\mathbf{X}} = \mathbf{n} \\ x_i, \bar{x}_i = 1 \forall 0, \end{array} \right. \quad (1)$$

де Q_1 – природне (в припущенні, що всі секції БСК вимкнені) споживання реактивної потужності;
 $\Delta Q(U)$ - матриця потужностей керованих секцій БСК, що відповідають реальним фазним напругам, вимірністю $(m \times 1)$, де m – кількість секцій БСК;

\mathbf{X} - вектор керування вимірністю $(m \times 1)$, кожна компонента якого описує стан комутаційного апарату, яким здійснюється комутація відповідної секції; якщо $x_i = 1$, то секція i має бути ввімкнена, а якщо $x_i = 0$, то навпаки;

T - індекс транспонування;

$Q_{\text{фн}}$ - допустиме значення реактивної потужності;

\dot{U}_2, \dot{U}_0 - вектор напруги зворотної і нульової послідовностей у вузлі під'єднання БСК (до реалізації керуючого рішення) відповідно;

$\Delta \dot{U}_2, \Delta \dot{U}_0$ - матриці добавок напруги зворотної та нульової послідовностей, що мають місце внаслідок ввімкнення відповідних секцій БСК, вимірністю $(m \times 1)$;

$U_{2\dot{u}}, U_{0\dot{u}}$ - рівні напруг зворотної і нульової послідовностей, що відповідають $k_{2U\dot{u}}$ і $k_{0U\dot{u}}$ відповідно;

\dot{U}_s - напруга у вузлі під'єднання БСК у фазі з найбільшим її значенням в припущенні, що всі секції вимкнені;

s - індекс, що визначає фазу з найбільшим значенням напруги;

$\Delta \dot{U}_s(\dot{U}_s)$ - матриця добавок напруги, що мають місце внаслідок ввімкнення відповідних секцій БСК, вимірністю $(m \times 1)$;

U_{\max} - рівень напруги, що відповідає максимально допустимому відхиленню напруги;

\bar{X} - фіктивний вектор вимірністю $(m \times 1)$, кожна компонента якого \bar{X}_i пов'язана із змінною X_i вектора X так, що коли $\bar{X}_i = 1$, то $X_i = 0$ і навпаки;

\mathbf{n} - одинична стовпцева матриця вимірністю $(m \times 1)$;

∇ - індекс логічної операції «АБО».

Матриці добавок напруги зворотної та нульової послідовності, що мають місце внаслідок ввімкнення відповідних секцій БСК, визначаються за формулами:

$$\Delta \dot{U}_2 = \frac{1}{3} \cdot \frac{\dot{U}_2}{U_{\dot{u}}^2} \cdot \underline{z}_2 \cdot \Delta \mathbf{Q}_1, \quad (2)$$

$$\Delta \dot{U}_0 = \frac{1}{3} \cdot \frac{\dot{U}_0}{U_{\dot{u}}^2} \cdot \underline{z}_0 \cdot \Delta \mathbf{Q}_1, \quad (3)$$

де $\underline{z}_2, \underline{z}_0$ - опори живильної мережі струмам зворотної і нульової послідовності відповідно;

$U_{\dot{u}}$ - номінальна фазна напруга мережі у вузлі під'єднання БСК;

$\Delta \mathbf{Q}_1$ - матриця номінальних потужностей секцій БСК, вимірністю $(m \times 1)$.

Висновки

В умовах несиметрії напруги керування реактивною потужністю за допомогою БСК, які мають схему ввімкнення «зірка з нулем», необхідно виконувати з врахуванням їх впливів на режим зворотної та нульової послідовностей, що виключить можливість отримання технічно недопустимих рішень. Розрахунок вектора керування можна здійснювати у відповідності до математичної моделі (1) за відповідним обчислювальним методом.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Лебедин А. А. Повышение эффективности конденсаторных установок / А. А. Лебедин, Н. И. Джус // Промышленная энергетика. – 1996. - №1. – С. 34 - 35.
2. Рогальський Б. С. Проблеми енергозбереження. Зниження втрат електроенергії в електричних мережах: [навчальний посібник] / Рогальський Б. С. – Вінниця : ВДТУ, 1996. – 112 с.
3. Рогальський Б. С. Способи та технічні засоби керування компенсуючими установками нового технічного рівня / Б. С. Рогальський, В. М. Непийвода, П. В. Сосенко, С. І. Вознюк // Вісник ВПП. – 2001. - №3. – С.62 - 70.

4. Терешкевич Л. Б. Аналіз впливу батарей статичних конденсаторів на роботу системи електропостачання з несиметричною напругою / Л. Б. Терешкевич, Т. М. Червінська // Вісник ВПІ. – 2009. - №5. – С.

Парасюк Руслан Дмитрович – студент групи ЕСЕ-17м, факультет електроенергетики та електромеханіки, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: parasyuk2017@gmail.com;

Supervisor: Tereshkevych Leonid Borisovich — candidate. Eng. Science head of ESEEM, Vinnitsa National Technical University

Parasyuk Ruslan D. – student group ESSAY-17 m, Faculty of power engineering and electromechanics, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: parasyuk2017@gmail.com;

Supervisor: **Tereshkevych Leonid Borisovich** — candidate. eng. science head of ESEEM, Vinnitsa National Technical University