УДК 621.631

І. В. Грицюк
Луцький національний технічний університет

УДОСКОНАЛЕННЯ АЛГОРИТМУ РОБОТИ РЕГУЛЯТОРА КОНДЕНСАТОРНИХ УСТАНОВОК

Вдосконалено метод коригування уставок регуляторів в процесі керування компенсувальними установками шляхом виключення ітераційної процедури з відомої моделі, з метою забезпечення адекватності та швидкодії регулятора в реальних умовах роботи електричної мережі.
Рис. 2. Форм. 7. Літ. 9.

И. В. Грицюк

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ АЛГОРИТМА РАБОТЫ РЕГУЛЯТОРА КОНДЕНСАТОРНЫХ УСТАНОВОК

Усовершенствован метод корректировки уставок регуляторов в процессе управления компенсирующими установками путем исключения итерационной процедуры известной модели, с целью обеспечения адекватности и быстродействия регулятора в реальных условиях работы электрической сети.

I. V. Hritsyuk

IMPROVING THE ALGORITHM OF THE CONTROL CAPACITOR UNITS

An improved method for adjusting the settings of regulators in the management of compensating installations by eliminating the iterative procedure known model, in order to ensure the adequacy and performance of the controller in real conditions of the electrical network.

Постановка проблеми. Оптимальне керування компенсувальними установками (КУ) є частиною комплексного вирішення завдання компенсації реактивної потужності (КРП) в електричних мережах підсистеми чи підприємства. Задачею оптимального регулятора є покращення певного параметру (параметрів) режиму електричної мережі в процесі керування КУ (підвищення $cos\varphi$, мінімізація перетоків реактивної потужності, мінімізація втрат активної потужності, стабілізація напруги і т.п.). Вирішення даної задачі здійснюється на проектному етапі шляхом побудови чітких математичних моделей з врахуванням максимальної кількості факторів, що можуть впливати на процес керування КУ.

Функціонування електричних мереж в реальних умовах характеризується певною динамікою, яка пов'язана зі зміною режимів електроспоживання, а також зміною конфігурації самих мереж. Необхідно враховувати також стан КУ. Таким чином, постає завдання коригування уставок регуляторів в процесі керування КУ для того, щоб їх дія була адекватною та своєчасною.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Аналіз ряду праць, які стосуються даної проблеми [1-8], продемонстрував, що уставки для систем і пристроїв автоматичного керування КУ визначаються заздалегідь для режиму найбільших активних навантажень енергопостачальної компанії (на етапі проектування КРП). Вибір в ролі розрахункового – режиму найбільших навантажень забезпечує виконання умови оптимальності недокомпенсованого (залишкового) потокорозподілу реактивної потужності серед вузлів мереж підсистеми чи підприємства

$$Q_{ф.i.j}\left(\Delta t\right) = Q_{e.i.j}, \tag{1}$$

де $Q_{ф.i.j}\left(\Delta t\right)$ – фактичне значення реактивної потужності тривалістю Δt, що споживається в *i*-му вузлі в період *j*-го добового режиму (зони пікових, позапікових і мінімальних навантажень), МВАр; $Q_{e.i.j}$ – оптимальна уставка, визначена за критерієм мінімальних втрат для *i*-го вузла *j*-го добового режиму, МВАр.

Після розрахунку уставки вводять в пристрій чи систему в якості початкових. Проте в процесі проектування та експлуатації можуть виникати різні нестандартні ситуації, які потрібно враховувати при розрахунку уставок. Так, ще на стадії проектування може виявитись, що в деяких вузлах встановлення КУ з різних причин неможливе (недопоставка засобів КРП або обмежені фінансові ресурси для їх придбання, поетапне впровадження КУ, вимоги техніки безпеки і т. ін.).

В процесі керування можливі такі ситуації:

- вихід з ладу засобів компенсації (силових конденсаторів, приладів обліку, комутаційної апаратури і т. ін.);
- аварійна зупинка окремих технологічних агрегатів, процесів, операцій і т. ін.;

© *І. В. Грицюк*

• виведення в ремонт технологічного обладнання;

• виведення в ремонт засобів компенсації.

У разі настання нестандартних ситуацій порушується умова оптимальності потокорозподілу (1), що вимагає коригування початкових уставок.

В [9] описані спосіб і система керування батареями конденсаторів (БК) шляхом контролю оптимальності потокорозподілу реактивної потужності у вузлах мережі.

Наявність в описаному способі ітераційного процесу вимагає відповідного часу на виконання розрахунків. У разі розв'язання балансової задачі з оптимізації розміщення БК це не може вважатись недоліком. Навпаки, застосування ітераційної процедури для коригування балансової задачі дозволяє уникнути зміни розрахункової схеми і вхідної потужності на вводі підприємства. В системах керування, які працюють в масштабі реального часу, бажано уникнути ітераційного обчислювального процесу.

Формулювання цілей статті. Метою роботи є вдосконалення методу коригування оптимізаційної задачі в процесі керування, шляхом виключення ітераційної процедури.

Виклад основного матеріалу дослідження. Метод ґрунтується на відповідному формулюванні цільової функції, в якій виділяються вузли, де передбачається встановлення БК і вузли, в яких їх встановлення неможливе з різних причин. Передбачено також, що в процесі керування кількість вузлів, в яких неможливе встановлення БК, може умовно збільшуватись за рахунок виходу БК з ладу або виводу їх в ремонт, в період нестабільних або малоймовірних режимів електроспоживання (коли всі секції вимкнені чи увімкнені). Зрозуміло, що це збільшення має тимчасовий характер. Після ремонту БК чи повернення нормальних режимів електроспоживання кількість вузлів відновлюється.

Математична модель визначення і коригування оптимальних уставок у вузлах записується так:

$$\begin{cases} \Delta P = \dfrac{10^{-3}}{U_н^2}\left(\sum\limits_{i=1}^{n}\sum\limits_{j=1}^{m}\left(Q_{ф.i.j}\left(\Delta t\right)-Q_{к.i.j}\right)^2\cdot r_{e.i}+\sum\limits_{\mu=1}^{p}\sum\limits_{j=1}^{m}\left(Q_{ф.\mu.j}\left(\Delta t\right)\right)^2\cdot r_{e.\mu}\right)\to min, \\ Q_{e.j}=\left(\sum\limits_{i=1}^{n}\sum\limits_{j=1}^{m}\left(Q_{ф.i.j}\left(\Delta t\right)\right)+\sum\limits_{\mu=1}^{p}\sum\limits_{j=1}^{m}\left(Q_{ф.\mu.j}\left(\Delta t\right)\right)-\sum\limits_{i=1}^{n}\sum\limits_{j=1}^{m}\left(Q_{к.i.j}\right)\right), \\ Q_{к.i.j}\ge 0 \text{ або } Q_{e.i.j}\le Q_{ф.i.j}, \end{cases} \tag{2}$$

де ΔP – сумарні втрати активної потужності в мережах підприємства (підсистеми), кВт; $Q_{ф.i.j}\left(\Delta t\right)$ – фактична реактивна потужність, яка споживається в *i*-му вузлі в *j*-му добовому режимі ($i=1,2,...,n$, n – кількість вузлів, в яких встановлені БК); $Q_{к.i.j}$ – потужність секції БК, яку необхідно увімкнути в *i*-му вузлі в *j*-му режимі; $r_{e.i}$ – еквівалентний активний опір відхідної від вузла розподілу *i*-ї по якій в *i*-й вузол мережі передається потужність, Ом; $Q_{ф.\mu.j}\left(\Delta t\right)$ – фактична реактивна потужність, яка споживається в μ-му вузлі в *j*-му добовому режимі ($\mu=1,2,...,p$, p – кількість вузлів, в яких не встановлені БК); m – кількість характерних добових режимів електроспоживання; $Q_{e.j}$ – вхідна реактивна потужність підприємства для *j*-го режиму активних навантажень енергосистеми.

Для розв'язання математичної моделі (2) використано метод неозначених множників Лагранжа.

Функція Лагранжа:

$$\begin{aligned} \Delta P = {} & \frac{10^{-3}}{U_н^2}\left[\sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{m}\left(Q_{ф.i.j}\left(\Delta t\right)-Q_{к.i.j}\right)^2\cdot r_{e.i}+\sum_{\mu=1}^{p}\sum_{j=1}^{m}\left(Q_{ф.\mu.j}\left(\Delta t\right)\right)^2\cdot r_{e.\mu}\right]+ \\ & +\lambda\left[-Q_{e.j}+\sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{m}\left(Q_{ф.i.j}\left(\Delta t\right)\right)+\sum_{\mu=1}^{p}\sum_{j=1}^{m}\left(Q_{ф.\mu.j}\left(\Delta t\right)\right)-\sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{m}\left(Q_{к.i.j}\right)\right]. \end{aligned} \tag{3}$$

Із умов $\frac{\partial \Delta P}{\partial Q_{к.i.j}} = 0$ і $\frac{\partial \Delta P}{\partial \lambda} = 0$ отримаємо формули для визначення потужності секції БК, яку необхідно увімкнути в в *i*-му вузлі в *j*-му режимі:

$$Q_{к.i.j} = Q_{ф.i.j}\left(\Delta t\right) - \frac{\lambda_j U_н^2}{2 \cdot 10^{-3} r_{e.i}}; \tag{4}$$

оптимальної уставки на вводі *i*-го вузла в *j*-му режимі (із виразу (4))

$$Q_{e.i.j} = \frac{\lambda_j U_н^2}{2 \cdot 10^{-3} r_{e.i}}; \tag{5}$$

та балансової умови

$$-Q_{e.j} + \sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{m}\left(Q_{ф.i.j}\left(\Delta t\right)\right) + \sum_{\mu=1}^{p}\sum_{j=1}^{m}\left(Q_{ф.\mu.j}\left(\Delta t\right)\right) - \sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{m}\left(Q_{к.i.j}\right) = 0. \tag{6}$$

Просумувавши зліва і справа вираз (5) і, взявши до уваги рівняння (6), визначимо величину коефіцієнта λ для *j*-го режиму:

$$\lambda_j = \frac{Q_{e.j} - \sum_{\mu=1}^{p}\sum_{j=1}^{m}\left(Q_{ф.\mu.j}\left(\Delta t\right)\right)}{\frac{U_н^2}{2 \cdot 10^{-3}} \sum_{i=1}^{n} \frac{1}{r_{e.i}}}. \tag{7}$$

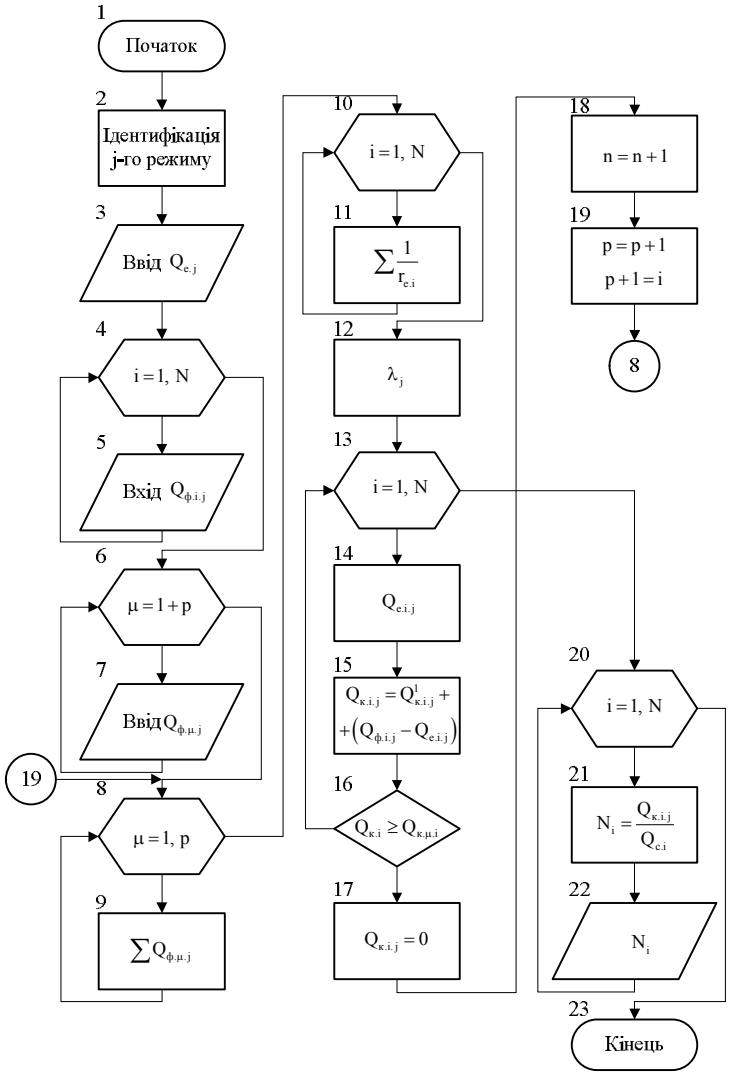

Рис. 1. **Блок-схема алгоритму керування БК за умовою $Q_{ф.i.j}\left(\Delta t\right) = Q_{e.i.j}$ з виділенням вузлів із встановленням і без встановлення БК та можливої їх зміни в процесі керування**

© *І. В. Грицюк*

У разі настання нестабільних режимів електроспоживання в одному чи в декількох вузлах, коли фактичне споживання реактивної потужності $Q_{ф.i.j}(\Delta t)$ виявляється меншим від уставки $Q_{e.i.j}$ при всіх вимкнених секціях БК ($Q_{к.i.j} < 0$), в цих вузлах приймають $Q_{к.i.j} = 0$, додаючи їх до числа p, і виконують перерахунок уставок вхідної реактивної потужності та потужності секції БК, які необхідно увімкнути або вимкнути в решті вузлах за формулами (4-7) з врахуванням умов, що змінилися. У разі відновлення нормального режиму електроспоживання в названих вище вузлах при черговому циклі керування здійснюється повернення до початкових уставок, які відповідають нормальному режиму електроспоживання в усіх вузлах.

Керування БК і коригування уставок здійснюється за алгоритмом, блок-схему якого надано на рис. 1. На початку кожного циклу керування обчислювальний пристрій 2, використовуючи системний годинник, здійснює ідентифікацію характерного добового режиму, і, використовуючи інформацію із задаючого блоку 3, вводить відповідні величини $Q_{e.i}$ (операція 3). За допомогою операцій 4…7, використовуючи датчики реактивної потужності $1_1 \ldots 1_n$ (рис. 2), задаючий блок 5 (операції 4, 5) і задаючий блок 6 (операції 6, 7), виконують введення фактичних значень реактивної потужності в кожному вузлі і визначають їх сумарне значення ($\sum_{\mu=1}^{p}\sum_{j=1}^{m}\left(Q_{ф.\mu.j}(\Delta t)\right)$ для вузлів, в яких не встановлені БК (операції 8, 9).

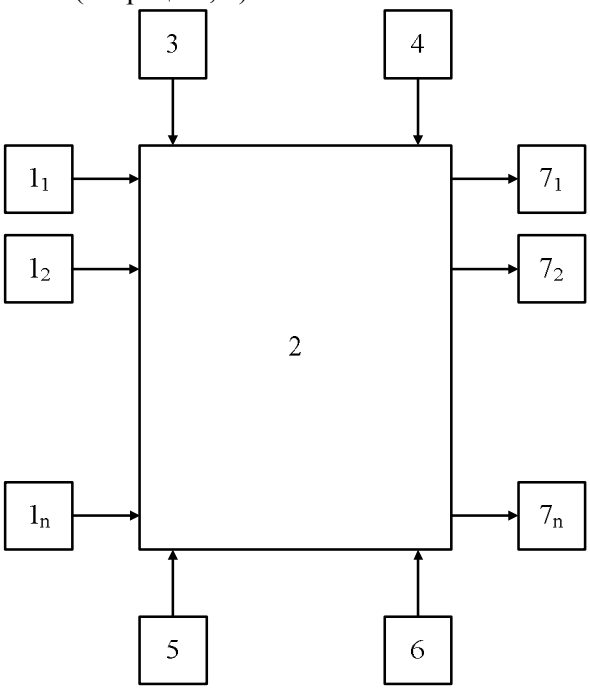

Рис. 2. **Структурна блок-схема оптимального керування БК на основі мікро- та міні-ЕОМ за умовою $Q_{ф.i.j}(\Delta t) = Q_{c.i.j}$ з виділенням вузлів із встановленням або без встановлення БК та можливої зміни їх кількості в процесі керування:** $1_1 \ldots 1_n$ **– датчик реактивної потужності;** *2* **– обчислювальний пристрій;** *3* **– датчик вхідної реактивної потужності на вводі вузла;** *4* **– блок задавання вхідних активних опорів відхідних від головної понижувальної підстанції чи центрального розподільного пункту ліній;** *5* **– блок задавання номерів вузлів, в яких встановлені БК, і кількість секцій в кожній БК та їх потужність;** *6* **– блок задавання вузлів, в яких відсутні БК;** $7_1 \ldots 7_n$ **– виконавчі органи**

Далі, використовуючи інформацію задаючих блоків 4 і 5, визначають еквівалентний опір мережі ($\sum_{i=1}^{n}\frac{1}{r_{e.i}}$) для вузлів, в яких установлені БК (операції 10, 11). Далі обчислювальний пристрій 2 за формулою (7) визначає величину λ_j (операція 12), значення $Q_{e.i.j}$ для вузлів в яких установлені БК (операції 13, 14) і потужності БК (операція 15), де $Q_{к.i.j}$ – потужність БК в попередньому циклі керування, за умови виконання обмеження (2) (операція 16). При невиконанні

обмеження (2) в одному чи декількох вузлах приймають для цих вузлів $Q_{к.i.j} = 0$ і додають їх до числа p. Далі виконують перерахунок уставок. Коли будуть переглянуті всі вузли, визначається кількість секцій БК, які повинні бути ввімкнені в і-му вузлі (операції 20, 21), де $Q_{c.i}$ – потужність одної секції БК в і-му вузлі. Після цього виконується виведення N_i на виконавчі пристрої (операція 22). На цьому цикл завершується.

Висновки.

- запропоновано метод і алгоритм визначення скоригованих уставок і повернення до початкових при відновленні нормального режиму споживання і генерації реактивної потужності;
- запропоновано удосконалений спосіб і технічний засіб, що його реалізує (рис.2), які дозволяють керувати компенсувальними установками за критерієм мінімальних втрат і в процесі керування коригувати початкові уставки при зміні режиму споживання реактивної потужності і кількості КУ.

1. Маркушевич Н. С. Автоматизированная система диспетчерского управления. Из опыта Латвийской энергосистемы / Н. С. Маркушевич – М.: Энергоатомиздат, 1986. – 136 с.
2. Ильяшов В. П. Автоматическое регулирование мощности КУ / В. П. Ильяшов – М.: Энергия, 1977. – 105 с.
3. Красник В. В. Автоматические устройства по компенсации реактивных нагрузок в электрических сетях предприятий / В. В. Красник – М.: Энергоатомиздат, 1983. – 112 с.
4. Баркан Я. Д. Автоматическое управление режимом батарей конденсаторов / Я. Д. Баркан – М.: Энергия, 1978. – 112 с.
5. Пивоваров В. И. Автоматический регулятор мощности конденсаторных батарей / В. И. Пивоваров // Промышленная энергетика. – 1982. – № 7. – С. 59–60.
6. Соскин Э. Я. Автоматизация управления промышленным электроснабжением / Э. Я. Соскин, Э. А. Киряева. – М.: Энергоатомиздат, 1990. – 383 с. – ISBN 5-283-01010-4.
7. Устройство автоматическое АРКОН-1. Техническое описание и инструкция по эксплуатации. – Рига: Рижский опытный завод „Энергоавтоматика”, 1977. – 46 с.
8. Железко Ю. С. Новый серийный регулятор мощности конденсаторных установок / Ю. С. Железко, И. А. Попов, В. Б. Бессмертнов // Промышленная энергетика. 1985. – № 4. – С. 44-47.
9. Рогальський Б. С. Компенсація реактивної потужності. Методи розрахунку, способи та технічні засоби управління. Навчальний посібник / Б. С. Рогальський. – Вінниця: Універсум, 2006. – 236 с. – ISBN 966-641-181-4.

Стаття надійшла до редакції 19.09.2014.

© І. В. Грицюк