

ВИБІР МІСЦЬ ВСТАНОВЛЕННЯ ПРИСТРОЇВ КОМПЕНСАЦІЇ РЕАКТИВНОЇ ПОТУЖНОСТІ В ЕЛЕКТРИЧНІЙ МЕРЕЖІ

Сгоров О. Б.

Українська інженерно-педагогічна академія

Запропоновано методику вибору місця встановлення пристроїв для компенсації реактивної потужності в електричній мережі.

Постановка проблеми. При проектуванні електричних систем (ЕС) часто виникає необхідність в встановленні приладів компенсації реактивної потужності (ПКРП). Технічний аналіз побудови й параметрів мережі дозволяє без розрахунків сталих режимів вибрати необхідні місця для установки ПКРП при розв'язанні завдань керування роботою цієї мережі.

Аналіз досліджень і публікацій. Серед методів оптимізації, що використовуються для вибору ПКРП найбільше поширення одержали: метод покоординатного спуску, метод нелінійного квадратичного програмування, матрично-обчислювальний метод і ін. [1]. Були проаналізовані методи компенсації реактивної потужності при нелінійності між потужністю й струмом у вузлах енергетичної мережі [2].

Мета статті. Представляється необхідним попередній аналіз структури мережі і її параметрів, який можна провести на основі класифікації вузлів мережі по ступеню їхньої стійкості. На режими роботи енергосистеми сильний вплив виявляють структура мережі, рівень неоднорідності її елементів, їх параметри.

Основний матеріал дослідження. Для ЕС різного типу та призначення характерні різні проблеми, такі як невідосконаленість керування напругою та компенсацією реактивною потужністю. У зв'язку із сучасними вимогами до регулювання рівнем напруги та значенням реактивної потужності в мережі виникає необхідність використання пристроїв, що відповідають цим вимогам, тобто приладів компенсації реактивної потужності.

При використанні цих сучасних приладів компенсації реактивної потужності може бути підвищено навантаження ліній електропередач, кабельних мереж, що дає можливість підвищити економічну ефективність при транспортуванні, перетворюванні та розподілу електричної енергії. При проектуванні ЕС, що постійно розширюються, ПКРП слід віддавати перевагу у зв'язку із впровадженням систем аналізу перехідних режимів і запасу стійкості у режимах реального часу, а також з тенденцією організації й розвитку розподіленої генерації, "інтелектуальних" електричних мереж, що робить можливими оптимізацію режимних процесів. Розміщення ПКРП є складним завданням, вирішення якого можна спростити, використовуючи попередній аналіз схеми мережі та зробити оцінку статичної стійкості за аналітичними та розрахунковими критеріями.

При великій кількості ліній зв'язку електричної мережі між різними вузлами та з регульованими по напрузі вузлами, необхідне підвищення стійкості саме вузлів з регулюванням напруги, що позначиться на

стійкість ЕС в цілому. Якщо навантаження характеризується постійними за часом потужностями, то воно на оказує регулюючого ефекту та залишається зв'язок із іншими вузлами мережі. В цьому випадку можна оцінити ступінь стійкості вузлів, використавши принцип, при якому враховуються побудова та характеристики мережі, без врахування параметрів сталого режиму. Таким чином, попередня класифікація вузлів по ступеню їх стійкості дозволяє провести раціональне розміщення пристроїв коректування режиму по напрузі або реактивній потужності до проведення розрахунків режиму. Розрахунок місця установки ПКРП може здійснюватися за двома варіантами. У першому враховується необхідність зміни рівнів напруги у вузлі керування вузлах, у другому - зміна реактивної потужності за умови відносної сталості напруги у вузлі керування. У першому випадку вибирається найменш стійкий вузол зі списку усіх вузлів електричної мережі, у другому випадку – вибирають найбільш стійкий вузол. В обох варіантах розрахунків попередній вибір вузла керування може суттєво спростити розрахунки та скоротити їхній обсяг. Найбільш стійкий вузол – це вузол керування, найменш стійкий - контрольний вузол.

Розглянемо найпростішу електричну схему генератор-шини, для якої $J = dp/d\delta$ і критерій статичної аперіодичної стійкості $J \geq 0$ збігаються із практичним критерієм за знаком синхронізуючої потужності $S = -dp/d\delta \geq 0$.

Вираз для активної й синхронізуючої потужності генератора мають вигляд

$$P_2 = P_{max} \sin \delta,$$

$$S = \frac{dP}{d\delta} = P_{max} \cos \delta = J,$$

де P_{max} – максимальне значення потужності генератора (P_2);

δ – фаза напруги генератора.

У ході збільшення потужності генератора від базового, що характеризується P_0, S_0 , до граничного $P = P_{np}, J = S = 0$, відбувається зміна кута δ від 0 до 90, а P_2 міняється від P_0 до $P_m = -P_{np}$.

Для зручності порівняння різних критеріїв у ході зміни режиму повну потужність S одержують у відносних одиницях (о.е), наведеної до величини S_0 у вихідному (базовому) режимі:

$$S_{o.e.} = \frac{P_{max} \cos \delta}{P_{max} \cos \delta_0} = \frac{\cos \delta}{\cos \delta_0} = J_{o.e.}$$

Тут кут δ_0 й синхронізуюча потужність S_0 визначені в базовому режимі.

Вважаючи на те, що S і P є параметрично взаємозалежними через кут δ , можна одержати аналітично значення ds/dp (dj/dp) як:

$$S' = \frac{dS/d\delta}{dP/d\delta} = -\frac{tg \delta}{S_0},$$

$$\text{де } ds/d\delta = -\sin \delta / \cos^2 \delta,$$

$$dp/d\delta = P_m \cos \delta.$$

Виразення для S'' визначається як

$$S'' = \frac{1}{P_{max}^2 \cos^3 \delta} = -b \frac{1}{\cos^3 \delta},$$

$$\text{де } b = \frac{1}{P_{max}^2 \cos^3 \delta_0}.$$

Функція $S''(P)$ спочатку незначно зменшується при збільшенні P , але в області режимів близьких до граничного величина $S''(P)$ змінюється значно. Швидке збільшення $S''(P)$ по абсолютній величині може характеризувати наближення режиму до граничного.

Рівняння балансу потужностей у найпростішій системі запишуться як:

$$P_2 = U_2 U_0 B_{02} \sin \delta = b \sin \delta,$$

$$Q_2 = -U_2 U_0 B_{02} \cos \delta + U_2^2 B_{02} = -b \cos \delta + U_2^2 B_{02},$$

де B_{02} – реактивна провідність зв'язку між генераторним і балансуєчим вузлом;

U_2 і U_0 – відповідно напруга на шинах генератора й балансуєчого вузла;

Q_2 – реактивна потужність генератора.

Вважаючи, що P_2 і Q_2 взаємозалежними параметрично через δ , можна одержати

$$Q_2'' = \frac{a}{b} \frac{1}{\cos^3 \delta},$$

де a, b – постійні коефіцієнти.

Таким чином, відмінність $Q'(P)$ від $S''(P)$ полягає в знаку й величині постійного множника, тобто при аналізі статичної стійкості ЕС можна використовувати функцію $Q'(P)$ у якості вихідної характеристики для одержання P_{2p} . Якщо замість генератора розглядати пристрій для компенсації реактивної потужності,

то цілком можливе одержання аналогічних висновків щодо реактивної потужності ПКРП $Q''(P)$.

Результати розрахунків показують, що у вузлі керування є можливість максимального регулювання реактивної потужності, при цьому рівні напруг максимально наближені до номінального значення й міняються мало, втрати потужності незначні. В таких вузлах можлива встановлення пристроїв компенсації реактивної потужності. При розташуванні ПКРП в контрольних вузлах рівні напруги змінюються на більшу величину, економічність розподілу електричної енергії знижується при менших значеннях реактивної потужності.

Висновки. Діапазон керування реактивної потужності у вузлах електричної системи дозволяє оцінити мережі економічного керування режимом з меншими втратами. Можливість по економічному керуванню режимом при використанні пристроїв компенсації реактивної потужності у вузлі керування набагато більше ніж у контрольних вузлах: зона, у якій інтенсивне наростання втрат не буде супроводжувати зміну реактивної потужності у вузлі, відповідає діапазону близько 400 МВАр.

Список використаних джерел

1. Беляевский, Р. В. Технические ограничения в задачах оптимизации размещения компенсирующих устройств // Актуальные вопросы современной техники и технологии: сб. докл. – Липецк : Издательский центр "Гравис", 2012. – С. 70–72.
2. Паули В. К. Компенсация реактивной мощности как эффективное средство рационального использования электроэнергии // Паули В. К., Воротников Р. А. Энергоэксперт. – 2007. – № 2.

Аннотация

ВЫБОР МЕСТА УСТАНОВКИ УСТРОЙСТВА КОМПЕНСАЦИИ РЕАКТИВНОЙ МОЩНОСТИ В ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ СЕТИ

Егоров А. Б.

Предложена методика выбора места установки устройств для компенсации реактивной мощности в электрической сети.

Abstract

THE CHOICE OF MOUNTING THE DEVICE OF REACTIVE POWER COMPENSATION IN ELECTRIC NETWORKS

A. Yegorov

The technique of a choice of the place of installation of devices for reactive power compensation in electric networks.