

ПІДВИЩЕННЯ СТІЙКОСТІ ЗА НАПРУГОЮ ЕНЕРГОСИСТЕМИ ЗАСОБАМИ ГНУЧКИХ СИСТЕМ ПЕРЕДАЧІ ЗМІННОГО СТРУМУ

*Матвієнко Т.О., магістрант, Марченко А.А., к.т.н., доцент
КПІ ім. Ігоря Сікорського, кафедра автоматизації енергосистем*

Вступ. Швидке зростання споживання електроенергії потребує модернізації електричної мережі, зокрема підвищення пропускну здатності ліній. Це завдання виконується одним із методів: підвищенням робочих напруг, навантажень на проводи, так і застосуванням додаткових технічних засобів: компенсаторів реактивної потужності, пристроїв розподілу потоків потужності в мережі, гнучкого управління режимами роботи ліній змінного струму [1]. Відомо, що основною причиною неконтрольованого зниження напруги та втрати стійкості є нездатність енергосистеми підтримувати в кожний момент часу баланс реактивних потужностей на окремій системі шин (СШ) або в окремій зоні енергосистеми після виникнення збурення. Тому ідентифікація таких критичних за напругою місць (слабких СШ та/або зон мережі) є актуальним завданням планування поточних та перспективних режимів роботи енергосистем..

Метою роботи є дослідження стійкості енергосистеми за напругою.

Матеріали та результати дослідження. В роботі розглянемо метод VQ-чутливості. Перевагою методу є те, що він безпосередньо дає інформацію щодо стійкості енергосистеми за напругою та надає оцінку міри стабільності напруги із загальносистемної точки зору і дозволяє визначити райони, які потенційно мають проблеми в зазначеному аспекті [1, 2].

Ефективність інтеграції в ЕС поперечної компенсації залежить від ряду особливостей ЕС і може бути оцінена за допомогою коефіцієнта ефективності. Задачею є підвищення ефективності застосування гнучких систем передачі на змінному струмі (ГПЗС) шляхом створення методики вибору їх типу, місця встановлення і потужності. Теоретичні основи методу оптимальної компенсації складають елементи теорії чутливості. Такий підхід базується на аналізі чутливості першого порядку.

Індекс чутливості V_Q необхідний для визначення слабких зон (СШ) мережі стосовно варіацій напруги при зміні реактивного навантаження. Цей індекс корисний, для ідентифікації СШ як претендентів на встановлення пристроїв поперечної компенсації реактивної потужності – статичний тиристорний компенсатор (СТК).

Модель УР енергосистеми в лінеаризованій формі можна представити у такому вигляді:

$$\begin{bmatrix} \Delta P \\ \Delta Q \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} J_{P\delta} & J_{PV} \\ J_{Q\delta} & J_{QV} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta\delta \\ \Delta V \end{bmatrix},$$

де $\Delta P, \Delta Q, \Delta\delta, \Delta V$ – прирости активної та реактивної потужностей, кута та амплітуди напруги на шинах; $J_{P\delta}, J_{PV}, J_{Q\delta}, J_{QV}$ – елементи матриці Якобі, що

відображають взаємну кореляцію (чутливість) між перетоками потужностей та зміною напруг на СШ.

Стабільність напруги системи залежить від коливання P та Q . При цьому, якщо в кожній робочій точці забезпечити P постійним ($\Delta P = 0$), то можна оцінити стабільність напруги шляхом розгляду додаткових зв'язків між Q і V . Таким чином, якщо у наведеному рівнянні прийняти $\Delta P = 0$, то: $\Delta Q = J_R \cdot \Delta V$, або $\Delta V = J_R^{-1} \cdot \Delta Q$, де $J_R = [J_{QV} - J_{Q\delta} \cdot J_{P\delta}^{-1} \cdot J_{PV}]$.

Матриця J_R , є скороченим Якобіаном, а її i -тим діагональним елементом є V - Q чутливість на шині i . Недіагональні елементи матриці J_R визначають зміни напруги на i -ій шині у зв'язку зі зміною балансу реактивної потужності на різних СШ системи. Позитивне значення V - Q чутливості свідчить про стабільну роботу певних СШ. Чим менше величина чутливості, тим більш стійкою є система. При зменшенні стабільності напруги величина чутливості збільшується і стає нескінченною на межі стійкості енергосистеми. Від'ємне значення величини чутливості свідчить про виникнення нестійкого режиму роботи енергосистеми.

Методи пошуку найкращих місць встановлення поперечної компенсації ґрунтуються на пошуках слабких (чутливих) вузлів ЕС з допомогою декількох індексів.

В даній роботі розглянемо коефіцієнт чутливості V_Q - залежність напруги від реактивного навантаження. Індекс V_Q відображає чутливість напруги вузлів до реактивного навантаження/генерації. Слід очікувати, що встановлення пристроїв поперечної компенсації у вузлах з високим значенням V_Q буде ефективним.

Результати досліджень. Проведемо моделювання аналізу чутливості на тестовій схемі (рис. 1).

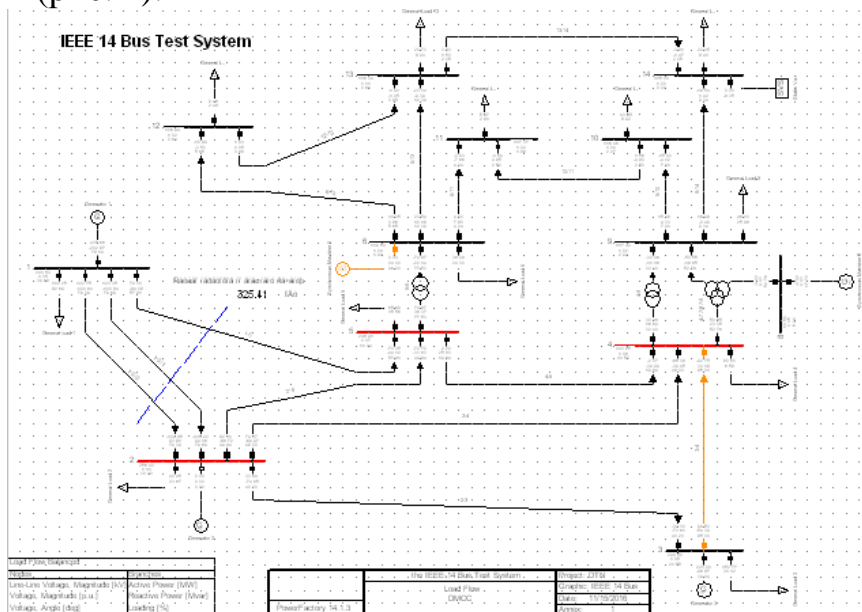


Рисунок 1 – Тестова схема

Результати розрахунку чутливості наведені в табл. 1 та на гістограмі (рис. 2).

Таблиця 1 – Розрахунок чутливості для СШ

| № СШ тестової схеми | 1 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 8 | 9 |
|--------------------------------|------|---------|--------|---------|---------|----|---------|------|--------|---------|---------|------|---------|
| u, напруга, в.о. | 1,05 | 1,01 | 1,02 | 1,01 | 1,01 | 1 | 1,11 | 1,05 | 1,06 | 1,07 | 1,03 | 1,05 | 1,02 |
| U, кут, град | 40 | 2,26 | 1,88 | 0,63 | 0,6 | 0 | 30 | 21 | 11 | 11 | 2 | 6 | 3 |
| Чутливість dv/dQ , в.о./Мвар | 0 | 0,00137 | 0,0018 | 0,00232 | 0,00151 | 0 | 0,00045 | 0 | 0,0006 | 0,00072 | 0,00129 | 0 | 0,00087 |

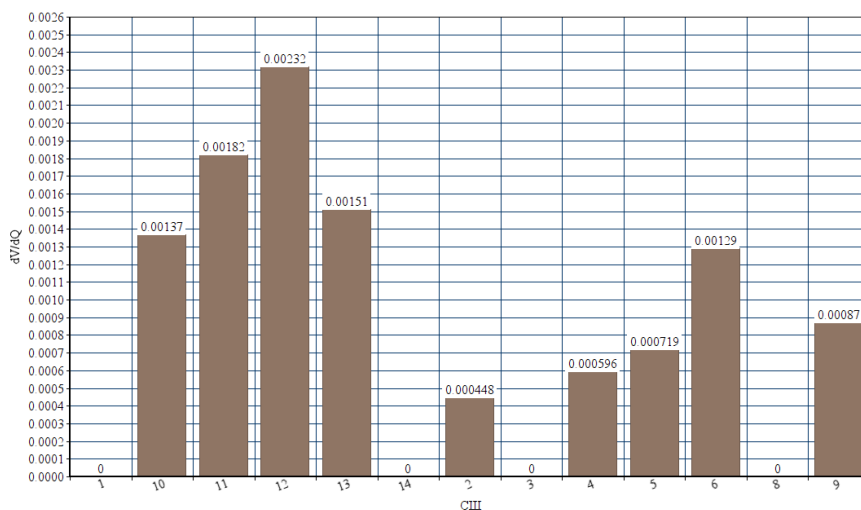


Рисунок 2 – Діаграма чутливості для СШ

Найбільші індекси чутливості V_Q , що ідентифікують слабкі зони (СШ) мережі відносно варіацій напруги при зміні реактивного навантаження, відповідають переважно віддаленим підстанціям, а саме СШ 12, 10, 13, 11, 6 – 110 кВ.

Висновки. На підставі проведених розрахунків та їх аналізу можна зробити висновок, що із всіх наведених СШ, найкращим претендентом на встановлення пристроїв поперечної компенсації реактивної потужності – СТК є СШ 12, яка має коефіцієнт чутливості рівний 0,00232 в.о./МВАр і є найбільш критичною в аспекті стійкості за напругою.

Перелік посилань

1. Стогній Б.С., Проблема інтеграції гнучких передач змінного струму в електричні системи. Аналіз та керування режимами./ Павловський В.В., Сопель М.Ф., - К., Інститут електродинаміки НАН України, 2011
2. Веников В.А. Вопросы применения теории чувствительности к анализу режимов работы энергетических систем / В.А. Веников, Б.И. Головицын, М.С. Лисеев // Изв. АН СССР. Энергетика и транспорт. – 1969. – № 5. – С. 26-32.
3. PowerFactory User's Manual. – DlgSILENT PowerFactory. Version 14.0. – DlgSILENT GmbH, Gmaringen, Germany, 2008. – 1100 с.