

УДК 621.311 : 681.3

П. С. Євтух, докт. техн. наук, проф., О. О. Вакуленко, Т. О. Жарський
Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, Україна

ДОСЛІДЖЕННЯ ТЕХНОЛОГІЧНОЇ СТІЙКОСТІ РАЙОНУ ЕЛЕКТРОМЕРЕЖІ ВУЗЛОВОЇ ПІДСТАНЦІЇ 110/35/10 КВ

P. S. Yevtukh Dr., Prof.; O. O. Vakulenko, T. O. Zharsky
**RESEARCH OF THE ELECTRICAL NETWORK DISTRICT TECHNOLOGICAL
FASTNESS OF THE NODULAR SUBSTATION 110/35/10 KV**

Стійкість за напругою - це здатність енергосистеми підтримувати стійкі та прийнятні рівні напруги на всіх системах шин (СШ) як в нормальних, так і в післяаварійних та ремонтних режимах [1]. Основною причиною неконтрольованого зменшення напруги $\partial U \leq 0$ та втрати стійкості є нездатність енергосистеми підтримувати в кожний момент часу відповідний баланс реактивних потужностей $\partial Q \leq 0$ на окремій СШ або в окремій зоні системи після виникнення збурення. Критерій стійкості енергосистеми за напругою полягає у тому, що в поточному режимі на кожній СШ при збільшенні напруги величина реактивної потужності також повинна збільшуватись. Тобто, енергетична система стійка за напругою якщо $\partial Q / \partial U \geq 0$.

Статична стійкість за напругою (часто це технологічна стійкість району електромережі) належить до форми стійкості, що визначається переважно статичними характеристиками навантаження та параметрами мережі, і розглядається як усталений режим електромережі протягом (2 ... 10) с. Причинами збурень часто є: втрата деякого елемента енергосистеми чи зміна характеристик навантаження споживачів, динаміка режиму перетоків реактивної потужності, зміна характеристик пристроїв компенсації реактивної потужності (статичних тиристорних компенсаторів - СТК, батарей статичних конденсаторів - БСК), перерозподіл реактивної потужності при регулюванні під напругою на автотрансформаторах чи трансформаторах (РПН на АТ чи Т).

Дослідження стійкості енергосистеми чи окремого району електромережі методом побудови $Q-U$ кривих за результатами розрахунків серії рівнянь усталеного режиму електромережі дозволяє локалізувати виникнення лавини напруги та нестабільність напруги на СШ. При цьому, кожна з кривих представляє зв'язок між напругою U й реактивною потужністю Q при різних фіксованих значеннях активної потужності P . Мінімальний екстремум певної $Q-U$ кривої є критичною точкою із значенням відповідної критичної напруги $U_{кр}$, де $\partial Q / \partial U = 0$. Всі точки кривої праворуч від мінімуму вважаються стійкими, і навпаки, точки ліворуч відповідають нестійким режимам.

Метод $P-U$ кривих дозволяє сформувати відповідні криві, що «зв'язують» напруги на певних СШ з перетоком активної потужності через деяку вузлову підстанцію і є інструментарієм, який дозволяє визначити реальну пропускну спроможність за активною потужністю через вузол енергосистеми, що обмежується стійкістю за напругою. Перевагою цього методу є те, що він дозволяє визначити «відстань» до точки початку лавини напруги при втраті стійкості енергосистемою у розмірності - $MВт$.

Відомо, що модель рівнянь усталеного режиму енергосистеми в лінеаризованій формі можна представити у вигляді: $J_{P\delta} \begin{bmatrix} \Delta P \\ \Delta Q \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} J_{P\delta} & J_{PU} \\ J_{Q\delta} & J_{QU} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \Delta \delta \\ \Delta U \end{bmatrix}$, де ΔP , ΔQ , $\Delta \delta$, ΔU - прирости активної та реактивної потужності, кута й амплітуди напруги на шинах;

$J_{P\delta}$, J_{PU} , $J_{Q\delta}$, J_{QU} - елементи матриці Якобі, що відображають взаємну кореляцію (чутливість) між перетоками потужності та зміною напруги на СШ [2].

Стабільність напруги в системі 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 U . Таким чином, якщо у наведеному рівнянні прийняти $\Delta P = 0$, то: $\Delta Q = J_R \cdot \Delta U$ або $\Delta U = J_R^{-1} \cdot \Delta Q$, де $J_R = [J_{QU} - J_{Q\delta} \cdot J_{P\delta}^{-1} \cdot J_{PU}]$. Матриця J_R є скороченим Якобіаном, а її i -тим діагональним елементом є U - Q чутливість на шині i .

Позитивне значення U - Q чутливості свідчить про стабільну роботу певних СШ. Чим менша величина чутливості, тим більш стійкою є система. Від'ємне значення величини чутливості свідчить про виникнення нестійкого режиму роботи енергосистеми. Критерій стійкості за напругою $\partial Q / \partial U \geq 0$ був використаний для такого одиночного вузла живлення як вузла підстанція 110/35/10 кВ електричної системи, де забезпечується баланс активної потужності, але може порушуватися баланс реактивної потужності. Навантаження представляють залежністю споживаних активної та реактивної потужності у функції напруги на її шинах. При цьому приймається, що е.р.с. джерела живлення не залежить від споживаної навантаженням потужності. Коефіцієнт запасу статичної стійкості за напругою визначається з рівняння $K_U = (U_{ном} - U_{кр}) / U_{ном}$, де $U_{ном} = 110$ кВ - номінальна напруга лінії живлення даної вузлової підстанції.

Для визначення критичних за напругою СШ виконуються розрахунки чутливості у двох режимах: мінімуму та максимуму навантажень і будуються відповідні $\partial U / \partial Q$ гістограми. Аналіз побудованих гістограм дозволяє виділити найбільш нестабільні шини СШ. При цьому виявилось, що «слабкість» виявлених СШ відносно напруги визначається не тільки параметрами мережі, а ще й режимами їх роботи. За таких обставин, необхідно постійно проводити контроль за резервами реактивної потужності, щоб забезпечити стабільну роботу енергосистеми. Із графіків також видно, що при зменшенні коефіцієнта потужності ($\cos \varphi$), тобто із збільшенням споживання реактивної потужності, значно зменшуються запаси за статичною стійкістю та пропускна спроможність вузлів енергосистеми. Це підтверджує положення, що нестача реактивної потужності (або значне її споживання) можуть суттєво впливати на транзит активної потужності та стійкість всієї енергосистеми. Також на підставі аналізу наведених графіків можна зробити висновок, що, підтримуючи рівень напруги на «критичних шинах» в енергосистемі, можна збільшити її пропускну спроможність. Таким чином, дослідження стійкості за напругою дозволяє визначати найбільш критичні системи шин електромережі та виявляти фактори, що можуть призводити до порушення стійкості в цих ділянках. Тому, отримані на етапі планування режимів запаси стійкості за напругою та допустимі перетоки через вузлові перетини потребують оперативного уточнення в режимі «on-line». За таких обставин автоматизований контроль за наявними резервами з реактивної потужності для забезпечення стабільної роботи енергосистеми є невід'ємною частиною роботи диспетчерських служб.

Література

1. Стійкість енергосистем. Керівні вказівки : ГКД 34.20.575–2002. – [На заміну ГКД 341.004.006–97 ; чинний від 2002–07–03]. – К. : ОЕП «Гріфре», 2002. – 23 с.
2. Стогній Б. С. Підвищення пропускної здатності «слабких» перетинів енергосистем з використанням технології ГПЗС (FACTS) / Б. С. Стогній, О. В. Кириленко та ін. // Технічна електродинаміка. – 2009. – №2. – С. 63–68.