

## АЛГОРИТМ ВИЗНАЧЕННЯ СТІЙКОСТІ ДВИГУНОГО НАВАНТАЖЕННЯ

**Костерев М.В., д.т.н., проф., Савищев Б.С., магістрант, Златов С.О., магістрант**

*НТУУ «КПІ», кафедра електричних станцій*

Функціонування сучасної енергосистеми України відбувається в складних умовах внаслідок наступних факторів:

1. доля силового, комутаційного та вторинного обладнання, що повністю відпрацювала свій ресурс, складає до 75% загальної кількості;
2. темпи заміни та модернізації існуючого обладнання значно відстають від темпів його старіння;
3. ринкові відносини в енергетиці спричиняють максимально напружений режим експлуатації обладнання до повного його зношення;
4. почастищення несприятливих метеорологічних умов (грози, сильні вітри, ожеледь).

Перераховані фактори суттєво знижують надійність роботи ЕЕС, що призводить до зростання кількості аварійних ситуацій, наслідками яких може бути порушення стійкості як окремих елементів системи, так і в цілому енергосистеми. В таких умовах важливим є обрання правильної стратегії управління ЕЕС. Ця стратегія має включати в себе:

1. управління режимом ЕЕС з урахуванням фактичного технічного стану обладнання;
2. модернізацію обладнання з урахуванням структурної, режимної та технічної надійності об'єктів;
3. оптимальний розподіл наявних коштів та ресурсів між підсистемами ЕЕС;
4. планування технічного обслуговування і ремонтів при обмеженому фінансуванні з урахуванням приналежності електрообладнання до певних класів, що визначені за ознаками важливості для експлуатаційної надійності та безпеки ;
5. ведення режиму роботи обладнання підсистем з урахуванням акцентованого розподілу уваги в залежності від приналежності до певних класів за ознаками важливості для забезпечення надійності режиму;
6. планування планомірного та стійкого розвитку ЕЕС як багатокритеріальної задачі прийняття рішення.

Перераховані стратегічні задачі відносяться до задач превентивного управління ЕЕС, метою яких є прийняття рішень для зниження аварійності в ЕЕС та підвищення її надійності. Для їх розв'язання необхідний критерій, який би давав достовірну кількісну оцінку надійності ЕЕС та її об'єктів, дозволяв прогнозувати стан об'єктів, оцінювати можливі сценарії розвитку аварії та проводити порівняльний аналіз ефективності управлінських рішень. Сучасні світові тенденції свідчать про ефективність використання ризико-

орієнтованого управління, основною кількісною характеристикою якого є ризик. Ризик виникнення аварії в ЕЕС включає в себе імовірність виникнення причини аварії, імовірність розвитку аварії за певним сценарієм та її наслідки (технічні, економічні, екологічні тощо).

Одним із критеріїв надійної роботи ЕЕС являється забезпечення нормативних запасів стійкості вузлів навантаження по напрузі, а також її елементів - рухового навантаження. При цьому необхідно виділення підмножини вузлів навантаження, котрі найбільш чутливі до зміни потужностей у вузлах навантаження [2].

Режими, при яких треба визначати стійкість навантаження по напрузі [3]:

1. При раптовому відключенні генерувальних потужностей та подальшого розвантаження черговим персоналом перенавантажених по струму генераторів.
2. При повільному зростанні навантаження в ЕЕС в умовах відсутності резерву по активної та реактивної потужності.
3. При відновленні схеми після виникнення аварії.
4. При відключенні ЛЕП в розподільчій мережі (або трансформатора), що приводить до значного зниження напруги у вузлах розподільчої мережі з великим двигуном навантаженням.
5. При скиданні потужності вітрової електростанції внаслідок зникнення вітру.

Для оцінки вірогідності порушення стійкості синхронних двигунів використовується лінеаризована математична модель у формі переміних стану [4]:

$$\frac{d}{dt} \begin{bmatrix} \Delta e'_q \\ \Delta s \\ \Delta \delta \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -a_{11} & 0 & a_{13} \\ -a_{21} & -a_{22} & -a_{23} \\ 0 & -a_{32} & 0 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \Delta e'_q \\ \Delta s \\ \Delta \delta \end{bmatrix}$$

В відповідності з методом, викладеним в [4], аналіз стійкості буде виконувати на основі матричної експоненти:

$$e^{A\Delta t} = H = E + \Delta t A + \frac{\Delta t^2 A^2}{2} + \frac{\Delta t^3 A^3}{3} ! + \dots$$

Задається вектор початкових відхилень координат моделі двигуна  $x_0$ , причому, цей вектор може бути визначений як різниця координат в до- і після аварійному режимі, якщо розглядається одноразове обурення. У загальному випадку цей вектор може бути задан довільно, так як стійкість руху визначається поведінкою матричної експоненти. Задавати цей вектор необхідно в випадках, коли виникає необхідність у спостереженні за траєкторіями координат, з тим, щоб визначити характер розвитку процесу.

Матрична експонента послідовно зводиться в к-ю ступінь і на кожному етапі перевіряється стійкість об'єкта:

- якщо при зведенні матричної експоненти в к-ю ступінь виконується нерівність

$$\frac{1}{n} |Sp H^k| > 1,$$

тоді незбурений рух нестійкий;

- якщо при послідовному зведенні матричної експоненти в  $k$ -ю ступінь справедливі наступні  $n$  нерівностей

$$|h_{ii}(k)| + \sum |h_{ij}(k)| < 1$$

тоді незбурений рух асимптотично стійке.

**Висновок.** Для оцінки ймовірності порушення стійкості рухового навантаження запропоновано застосування матричної експоненти, алгоритмічна реалізація якої простіше, ніж використання коренів характеристичного рівняння.

#### Перелік посилань:

1. Гуревич Ю.Е., Либова Л.Е., Хачатрян З.А., Устойчивость нагрузки электрических систем М.: энергоиздат, 1981.- 208с.
2. Гамм А.З. Обнаружение слабых мест в электроэнергетической системе./ А.З. Гамм., И.И. Голуб// Изв. АН СССР. энергетика и транспорт.- 1993.- №3. - С.83-92.
3. Марковим И.М. Режимы энергетических систем .- М.: энергия. 1969. 352с
4. Костерев Н.В. Моделирование и динамика атомных электростанций при возмущениях в энергосистеме. К.: Вища школа, 1986. - 168 с.
5. Костерев М.В. Питання побудови нечітких моделей оцінки технічного стану об'єктів електричних систем / М.В. Костерев. Є.І. Бардик. К.: НТУУ «КПІ», 2011.- 148 с.
6. Сыромятников И.А. Режимы работы асинхронных и синхронных электродвигателей / И.А. Сыромятников. - М.: Госэнергоиздат, 1963. - 527 с.

## МОДЕЛЮВАННЯ РЕЖИМІВ ВУЗЛА НАВАНТАЖЕННЯ З АСИНХРОННИМИ ДВИГУНАМИ ПРИ ЗОВНІШНІХ ЗБУРЕННЯХ

**Костерев М.В., д.т.н., проф., Бурдужан О.Г., магістрант, Митнік О.О., магістрант**

*НТУУ «КПІ», кафедра електричних станцій*

Для оперативної надійності і планування режимів енергосистем важливим завданням являється визначення коефіцієнта запасу стійкості по напрузі вузлів навантаження з асинхронними двигунами [1,3,6]. Стійкість вузла навантаження в основному визначається динамічними характеристиками АД, розосереджених в розподільчій мережі і в значній мірі залежить від збурень, які можуть виникнути в розподільчій мережі внаслідок наступних подій:

- відмова ЛЕП і електрообладнання;
- короткі замикання в розподільчій мережі.

Для зберігання стійкості АД при даних збуреннях доцільно відключення частини невідповідального статичного навантаження.