

## МОДЕЛЮВАННЯ СТІЙКОСТІ ВУЗЛА НАВАНТАЖЕННЯ ЕЕС ЗА НАЯВНОСТІ ГНУЧКИХ ЕЛЕКТРИЧНИХ ЗВ'ЯЗКІВ

**Костерев М.В., д.т.н., проф., Вознюк В.М., магістрант**  
*КПІ ім. Ігоря Сікорського, кафедра електричних станцій*

**Вступ.** Однією з тенденцій підвищення керування та стійкості сучасних енергосистем являється застосування гнучких електричних зв'язків [7,8]. При цьому необхідно враховувати, що на даний час до 80% обладнання електроенергетичної системи України знаходиться в зношеному стані, що підвищує ймовірність відмови електрообладнання і, як наслідок, може призвести до порушення стійкості вузлів навантаження, що містять асинхронні двигуни. В даних об'єктивно існуючих умовах функціонування електричної системи виникає задача залучення пристроїв гнучких електричних зв'язків до регулювання напруги на шинах вузла навантаження.

Стійкість вузла навантаження ЕЕС в основному визначається поведінкою асинхронних двигунів, розосереджених в розподільчій мережі (РМ). Стійкість двигунового навантаження, що приєднується до вузла енергосистеми, залежить від наступних факторів:

- величини падіння напруги між вузлом навантаження ЕЕС і вузлом РМ;
- відносній електричній віддаленості від вузла ЕЕС до шин вузла РМ;
- величини сумарної потужності вузла навантаження РМ.

Порушення стійкості асинхронних двигунів може відбутися і при нормальній нарузі на шинах вузла навантаження, якщо в розподільчій мережі виникли аварійні ситуації з відключенням ЛЕП або трансформаторів. В даному випадку збільшується опір зв'язку до АД, що може викликати порушення стійкості двигунів, і це спричинить різке збільшення споживання реактивної потужності. І якщо система не має в запасі реактивної потужності, то це спричинить подальше зниження напруги у вузлі навантаження і лавину напруги.

Напруга у вузлі навантаження в значній мірі залежить від рівня реактивного навантаження, а це навантаження – від напруги. Крім того, споживання асинхронними двигунами реактивної потужності залежить від характеристик самого двигуна. У вузлі навантаження може знаходитись від десятків до сотень чи навіть тисяч таких двигунів, з різними характеристиками, різних потужностей, з різними коефіцієнтами завантаження, які досить хаотично включаються і виключаються. Крім того у вузлі навантаження присутнє і статичне навантаження, тому математично точно визначити споживання реактивної потужності вузлом навантаження при заданій нарузі досить складно. Отже, ці фактори треба враховувати при моделюванні вузла навантаження.

**Аналіз літературних джерел та постановка задачі.** Дослідженню стійкості асинхронного навантаження в залежності від напруги, завантаження двигуна, параметрів присвячено багато робіт [1 4, 5, 6, 7]. Однак, в цих роботах не розглядається можливість забезпечення стійкості асинхронного

навантаження за допомогою регулювання напруги пристроями гнучких електричних зв'язків.

**Мета і завдання дослідження.** Метою роботи являється моделювання вузла навантаження з асинхронними двигунами з використанням пристроїв гнучких електричних зв'язків для збереження стійкості асинхронних двигунів при відмовах електрообладнання.

*Моделювання вузла навантаження з асинхронними двигунами за наявності гнучких електричних зв'язків.*

Розглянемо наступну схему електричної системи:

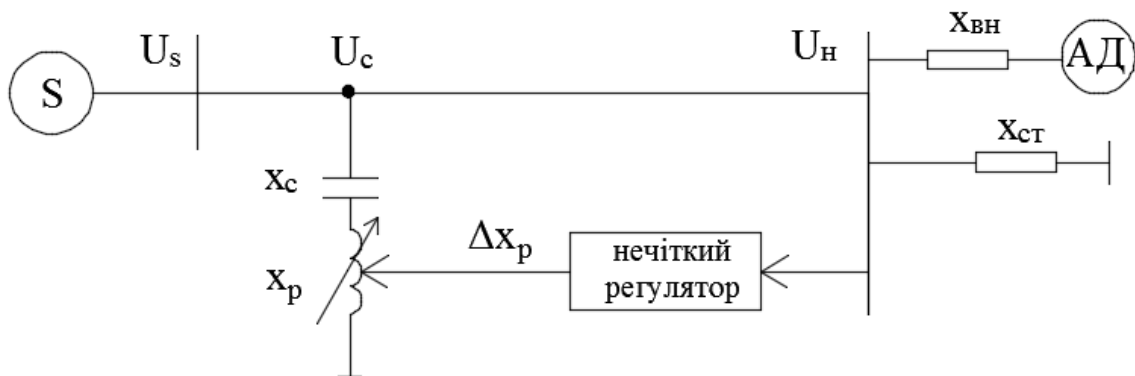


Рисунок 1 – Схема підключення нечіткого регулятора на основі гнучких електричних зав'язків.

Реактивну потужність, що поступає в енергосистему від пристроїв гнучких електричних зв'язків, можна визначити на основі наступного співвідношення:

$$Q_c = U^2/x_c - U^2/x_p$$

Для еквівалентного асинхронного двигуна можна визначити критичну напругу  $U_k$ , при якій відбувається порушення стійкості [6, 7]

$$U_k = \sqrt{2 \cdot P(x_{вн} + x_\varepsilon)}$$

де  $x_{вн}$  – зовнішній опір відносно АД,  $x_\varepsilon$  – опір розсіювання асинхронного двигуна.

Визначається відмова електрообладнання [2, 3] і розраховується після аварійний усталений режим енергосистеми при відмові обладнання (по ітераційній схемі). В результаті отримуємо напругу  $U_n$  у вузлі приєднання АД.

Якщо  $U_n < U_k$ , то необхідно збільшити реактивну потужність  $Q_c$  за рахунок зменшення індуктивності реактора на величину  $\Delta x_p$ . Для визначення конкретного значення  $\Delta x_p$  виконується ітераційний розрахунок усталеного режиму таким чином, щоб виконувалась умова  $U_n > U_k$  при заданому  $P_a$ .

Проведені розрахунки дозволяють визначити статистичні дані для визначення конкретних значень  $\Delta x_p$  в залежності від потужності асинхронного навантаження і напруги на шинах системи:

$$\Delta x_p = f(P_a, U_s)$$

На основі отриманих даних можна сформувавши базу правил нечіткого логічного висновку для нечіткого регулятора. Дана база має наступну структуру :

- 1) Якщо потужність асинхронного навантаження  $P_{ai}$ ;
- 2) Та напруга у вузлі системи  $U_{si}$ ;
- 3) То виконати крок зміни індуктивності реактора  $\Delta x_{pi}$ .

**Висновок.** В умовах реально існуючої імовірності відмови електрообладнання в енергосистемі при наявності гнучких електричних зв'язків розглянуто моделювання вузла навантаження з асинхронними двигунами. А також можливість використання регулювання пристроїв гнучких електричних зв'язків для збереження стійкості двигунів.

#### Перелік посилань

1. Костерев Н.В. Моделирование и динамика атомных электростанций при возмущениях в энергосистеме./Н.В. Костерев. – К.:вищ. шк., 1986. – 168с.
2. Костерев М.В. Питання побудови нечітких моделей оцінки технічного стану об'єктів електричних систем/ М.В. Костерев, Є.І. Бардик. – К.: НТУУ «КПІ», 2011. – 148с.
3. Kosterev M.V., Bardyk E.I., Litvinov V.V. Risk Estimation of Induction Motor Fault in Power System// WSEAS TRANSACTIONS on POWER SYSTEMS. – 2013, October, Vol.8. – pp 217-226.
4. Веников В.А. Электромеханические переходные процессы в электрических системах. – М.,Госэнергоиздат, 1958. – 480с.
5. Жданов П.С. Вопросы устойчивости электрических систем / - М., Энергия, 1979. – 456 с.
6. Гуревич Ю.Е. Устойчивость нагрузки электрических систем / Ю.Е. Гуревич, Л.Е. Либова, Э.А. Хачатрян. – М.:Энергоиздат, 1981. – 209с.
7. Сыромятников И.А. Режимы работы асинхронных и синхронных электродвигателей / И.А. Сыромятников. – М.: Госэнергоиздат, 1963. – 527 с.
8. Поспелов Г.Е., Поспелова Т.Г. Применение управляемых гибких линий электропередачи в электрических сетях энергосистем // Энергетика. Известия высших учебных заведений и энергетических объединений СНГ – 2010, №5.
9. Кузьмич С.В. Повышение эффективности электроэнергетических систем и развитие управляемости в свете применения гибких электропередач FACTS / С.В. Кузьмич, Г.Е. Поспелов // Энергетика... (Изв. высш. учеб. заведений и энерг. объединений СНГ). – 2007. - №6. – С. 15-19.