

# ІМІТАЦІЙНЕ МОДЕЛЮВАННЯ СИСТЕМИ АВТОМАТИЧНОГО ЧАСТОТНОГО РОЗВАНТАЖЕННЯ

*Сисоєва В.В., магістрант, Марченко А.А., к.т.н., доцент  
КПІ ім. Ігоря Сікорського, кафедра автоматизації енергосистем*

**Вступ.** Відомо, що усталений режим енергосистеми характеризується балансом потужностей: сумарна потужність генерації повинна дорівнювати навантаженню енергосистеми, враховуючи втрати в мережі  $P_G = P_H$ . В нормальному режимі цей баланс зберігається при номінальній частоті 50 Гц. В разі порушення вказаного балансу потужностей відбувається зміна частоти [3].

Частота є одним з якісних показників електричної енергії. Відхилення частоти суттєво впливають на роботу енергосистеми [3, 4]. Зниження частоти може призводити до тяжких аварій, таких як «лавина частоти», «лавина напруги» та інших [2-5], для запобігання яких широко застосовується автоматичне частотне розвантаження (АЧР). Аварійне частотне розвантаження є засобом підтримки частоти енергосистеми в допустимих межах при виникненні дефіциту потужності шляхом регульованого відключення частини споживачів.

**Постановка задачі.** Метою роботи є імітаційне моделювання роботи АЧР, а також визначення його ефективності. Для цього в ЕЕС імітується робота АЧР, проводиться контроль частоти та оцінка стану режиму ЕЕС. Актуальність дослідження й налаштування АЧР полягає в тому, щоб при відсутності гарячого резерву для відновлення частоти, АЧР було засобом, який дозволяє утримувати криву перехідного процесу зниження частоти в допустимих межах.

**Матеріали дослідження.** В якості досліджуваної схеми було обрано тестову 14-вузлову схему IEEE 14 Bus System – рисунок 1, оскільки вона чітко відображає поведінку енергосистеми в умовах поставленої задачі. Обрана схема містить 3 генератори, 2 синхронні машини та 14 шин. Сумарна потужність генерації досліджуваної системи складає 730 МВт. Моделювання здійснювалося у програмному пакеті Digsilent Power Factory [6].

Для дослідження роботи АЧР було змодельовано аварійну ситуацію, яка призводить до виникнення небалансу потужності в енергосистемі. Відключення генератора 2 через 5.0 секунд нормальної роботи системи викликає дефіцит потужності в 140 МВт. Зміна потужності генератора 2 зображена на рисунку 2. Ця подія призводить до зміни потужності генерації системи, і внаслідок дефіциту потужності та відсутності автоматики АЧР, відбувається зниження частоти системи до 48.3 Гц, що показується на рисунку 3.

Дія системи АЧР направлена на попередження глибокого зниження частоти та має уставки 48.5-46.5 Гц [1]. Як правило визначають декілька черг розвантаження, які називають ще ступенями. Ступені АЧР, відстроєні одна від одної на  $\Delta f=(0.2-0.3)$  Гц і більше, працюють селективно [3]. Для попередження помилкової роботи реле частоти в перехідному режимізначається невелика витримка часу 0.2-0.5 секунди. Сумарна потужність споживачів, що

під'єднуються до АЧР визначається по максимально можливому дефіциту генерації, взятому з деяким запасом.

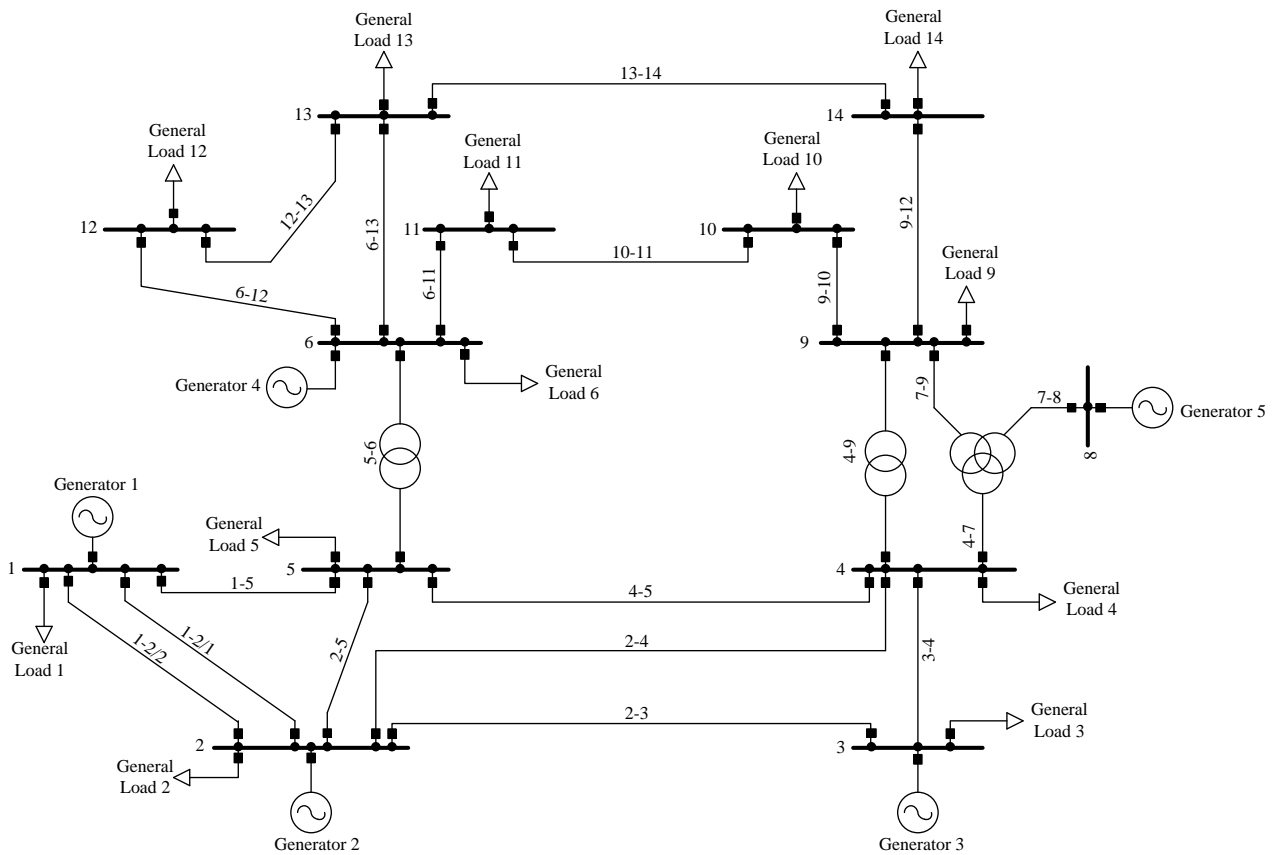


Рисунок 1 – Досліджувана 14-вузлова тестова схема IEEE

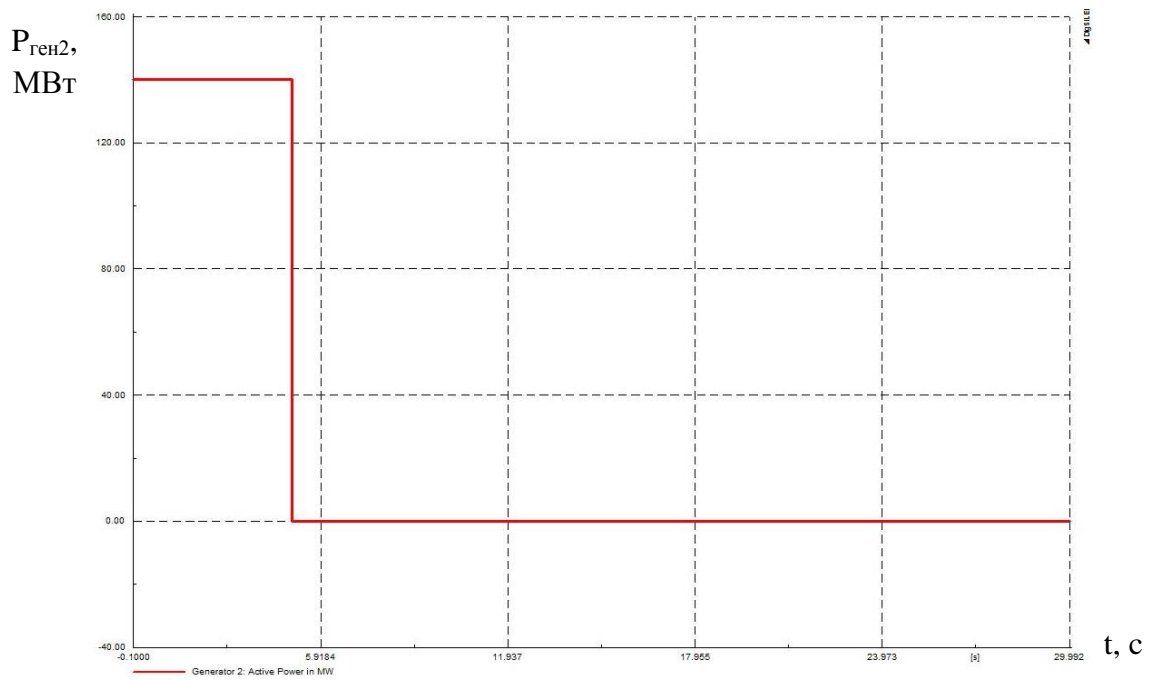


Рисунок 2 – Графік зміни потужності генератора 2

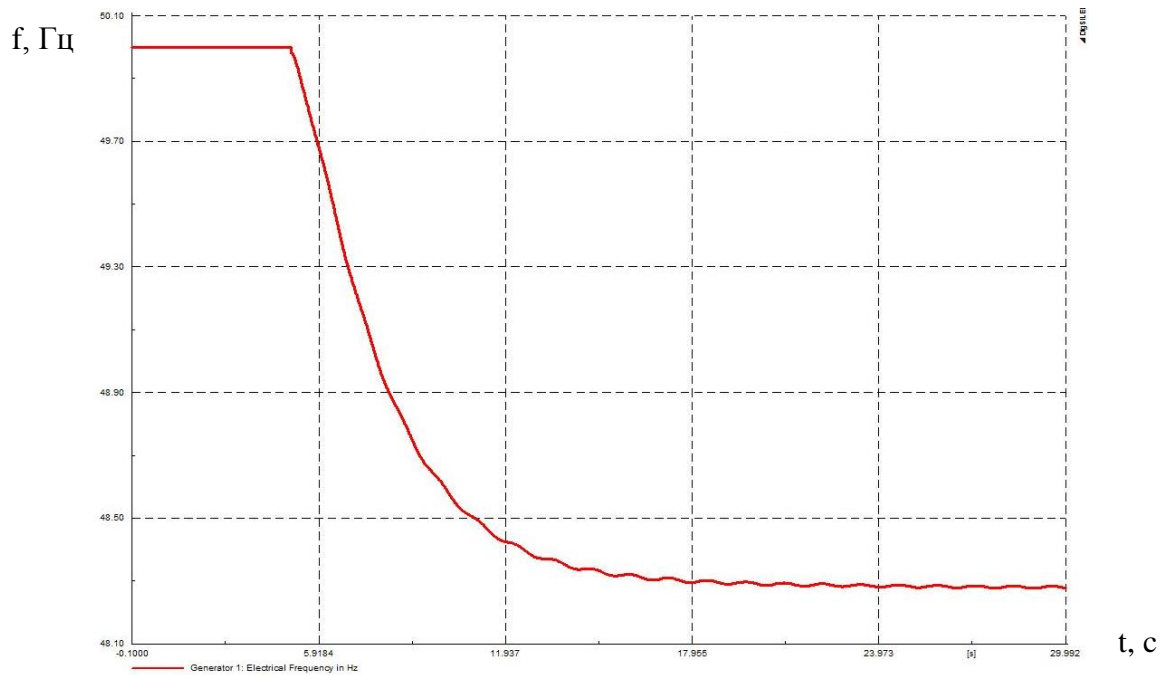


Рисунок 3 – Зниження частоти в аварійних умовах без дії системи АЧР



Рисунок 4 – Графік зміни потужності навантаження системи

Перша ступінь АЧР спрацьовує при досягненні частотою значення 48.5 Гц, та відключає споживачів на загальну потужність  $\Delta P_1=40$  МВт, для даної схеми це відбувається через 6 секунд після аварії. Але відключеної потужності недостатньо і частота підвищується тільки до рівня 48.7 Гц. Тоді спрацьовує друга черга розвантаження з уставкою 48.7 Гц і відключає споживачів на потужність  $\Delta P_2=22$  МВт, підвищуючи частоту до рівня 49 Гц. Аналогічно за другим відбувається третє і четверте відключення споживачів на  $\Delta P_3=20$  МВт і  $\Delta P_4=18$  МВт відповідно, і частота в системі стабілізується на рівні  $f=49.8$  Гц. На рисунку 4 зображена зміна потужності навантаження під час моделювання черг АЧР.

Рисунок 5 показує зміну частоти системи внаслідок дії чотирьох черг АЧР.



Рисунок 5 – Графік зміни частоти системи з дією системи АЧР

**Висновки.** Проведене імітаційне моделювання системи АЧР показало, що:

1) Перша ступінь АЧР відключаючи споживачів потужністю  $\Delta P_1=40$  МВт піднімає частоту до 48.7 Гц, друга, третя та четверта ступінь АЧР відключаючи  $\Delta P_2=22$  МВт,  $\Delta P_3=20$  МВт,  $\Delta P_4=18$  МВт, піднімають частоту до рівнів 49 Гц, 49.4 Гц та 49.8 Гц відповідно.

2) За рахунок зменшення дією системи АЧР сумарної потужності навантаження на  $\Delta P=100$  МВт, за 6 секунд вдалося підняти частоту на  $\Delta f=1.5$  Гц, тобто до допустимого значення  $f=49.8$  Гц.

3) За відсутності гарячого резерву для відновлення частоти, система АЧР є ефективним засобом, який дозволяє утримувати криву перехідного процесу зниження частоти в допустимих межах.

#### Перелік посилань

1. Александров В.Ф., Езерский В.Г., Захаров О.Г., Мальшев В.С. Частотная разгрузка в энергосистемах. Ч.2. Аварийные режимы и уставки. М.: НТФ «Энергопрогресс», 2007. – 76 с. [Библиотечная энерготехника, приложение к журналу «Энергетик», Вып.9(105).]
2. Гловацкий В.Г., Пономарев И.В. Релейная защита и автоматика распределительных сетей [Электронная версия 1.0]. – 2003. – 471 с.
3. Павлов Г.М., Меркурьев Г.В. Автоматика энергосистем. – С.-П.: Центр подготовки кадров РАО «ЕЭС России», 2001. – 387 с.
4. Рабинович Р.С. Автоматическая частотная разгрузка энергосистем. – 2-е изд. – М.: Энергоатомиздат, 1989. – 352 с.
5. Семенов В.А. Противоаварийная автоматика в ЕЭС России. – М.: НТФ «Энергопрогресс», «Энергетик», 2004. – 108 с.
6. PowerFactory User's Manual. – DIgSILENT PowerFactory. Version 14.0. – DIgSILENT GmbH, Gomaringen, Germany, 2008. – 1100 с.