

О. С. Яндульський, д. т. н., проф.; В. С. Гулий

ОСОБЛИВОСТІ УЧАСТІ БЛОКІВ ТЕС У ВТОРИННОМУ РЕГУЛЮВАННІ ЧАСТОТИ В ОЕС УКРАЇНИ

Проведений аналіз проблем участі енергоблоків ТЕС у вторинному регулюванні частоти. Урахування нелінійного елемента в гнучкому зворотному зв'язку системи управління та уточнення моделей енергоблоків підвищить маневрові характеристики енергоблоків ТЕС та забезпечить вимоги для участі у вторинному регулюванні частоти та активної потужності в ОЕС України.

Ключові слова: вторинне регулювання частоти та активної потужності, режими роботи енергосистеми, система управління, моделювання, теплова електрична станція.

Вступ

Автоматичне регулювання частоти та активної потужності відіграє дуже важливу роль в надійності енергосистеми та її безпечному функціонуванні. В ОЕС України існує проблема забезпечення вторинними резервами для виконання вимог щодо вторинного регулювання частоти та активної потужності. Застосування блоків ТЕС у вторинному регулюванні частоти дозволить підвищити маневреність енергосистеми України та ефективність регулювання частоти.

Мета роботи полягає в дослідженні проблем участі блоків ТЕС у вторинному регулюванні частоти в ОЕС України.

Постановка проблеми

На сьогодні час енергосистема України функціонує на паралельній роботі з єдиною енергосистемою Росії (ЄЕС). Регулювання частоти в ОЕС України здійснюється в режимі автоматичного регулювання активної потужності з корекцією за частотою.

Бурхливий розвиток відновлювальних джерел енергії та їх установа в ОЕС України, що спостерігаємо за останні роки, висуває нові вимоги до САРЧП, оскільки основна частина турбін вітрових та сонячних станцій під'єднана до мережі через інверторні перетворювачі, які мають низьку інерцію [1]. Тому у випадку зростання частки відновлювальної енергетики у складі генерувальних потужностей, а також за умови часткового витіснення агрегатів традиційних джерел енергії в ОЕС України спостерігатиметься зниження інерційності, що негативно вплине на регулювання частоти в енергосистемі загалом. Для розв'язання цієї проблеми необхідно виконати заходи щодо підвищення потужності резервів первинного та вторинного регулювання.

На сьогодні участь у вторинному регулюванні частоти бере лише Дніпровська ГЕС-1 сумарною потужністю 432 МВт, яка підключена до САРЧП України. Слід зазначити, що до вторинного регулювання частоти також можна залучити Кременчуцьку, Дніпродзержинську, Каховську та Київську ГЕС, сумарна потужність яких складає 797,4 МВт [2]. Для забезпечення вимог [3] цієї регулювальної вторинної потужності недостатньо.

Залучення блоків ТЕС до вторинного регулювання дозволить збільшити необхідний резерв потужності вторинного регулювання. Однак протягом останніх десятиліть в Україні склалися несприятливі умови для використання блоків ТЕС у складі маневрених потужностей. Основною проблемою низької привабливості залучення блоків ТЕС до регулювання частоти є низька маневреність та автоматизація блоків. Сучасні системи автоматизації енергоблоків морально та фізично вичерпали свій ресурс, що негативно впливає на маневрені характеристики ТЕС. Із метою підвищення маневреності блоків для

залучення їх до вторинного регулювання частоти та активної потужності виникає необхідність дослідити відповідність математичних моделей енергоблоків згідно з експериментальними даними, а також виконати дослідження наявних недоліків систем автоматичного регулювання вихідної потужності енергоблоку та запропонувати заходи, спрямовані на покращення маневреності ТЕС.

Розв'язання цих проблем дозволить залучити енергоблоки ТЕС до вторинного регулювання частоти та потужності, що збільшить регулювальний діапазон вторинної потужності та позитивно вплине на ефективність регулювання частоти в ОЕС України і задовольнить вимоги чинних нормативних документів [3].

Результати досліджень

Досліджуючи ефективність вторинного регулювання із залученням блоків ТЕС, досить часто користуються спрощеними моделями, у кращому випадку з урахуванням нелінійностей, таких як мертва зона станційного регулятора, обмежувач швидкості набору або зниження потужності блоку [4]. Дослідження експериментальних даних [5] показали, що під час надходження керівного сигналу від регулятора блок теплової станції потужністю 355 МВт починає збільшувати свою вихідну потужність, але через деякий час спостерігається зменшення потужності. На рис. 1 представлено графік зміни активної потужності блоку за зміни керівного впливу від системи керування блоку. Аналогічні дані були отримані і для інших блоків різної потужності.

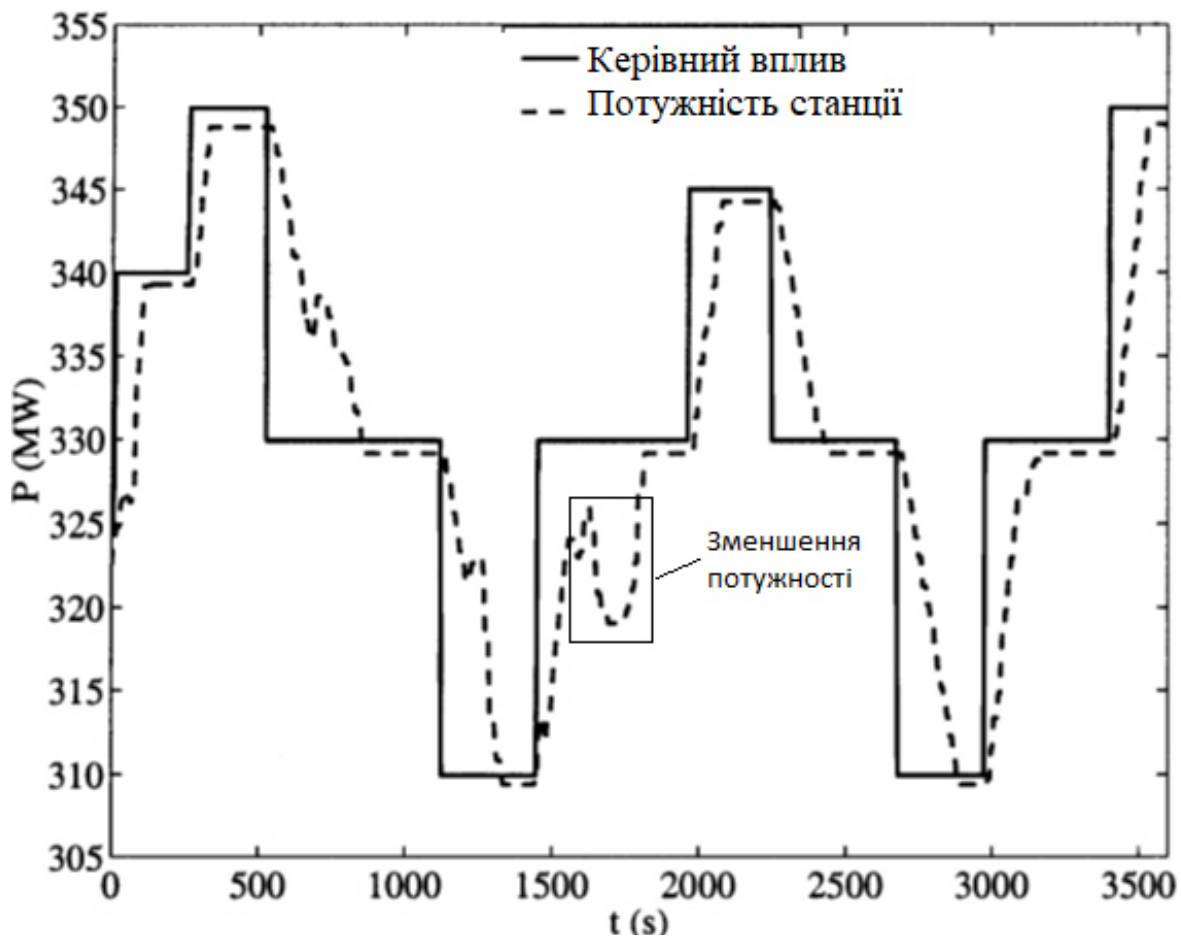


Рис. 1. Графік зміни активної потужності блоку станції та вихідного керівного впливу системи управління

Таке характерне зниження вихідної потужності блоку між 1600 та 1800 с пояснюється впливом роботи котельного обладнання на турбіну, а саме: під час надходження керівного впливу на збільшення активної потужності станції регулювальний клапан відкривається на задану величину відносно початкового положення й на турбіну потрапляє більше енергоносія, у результаті чого потужність станції починає збільшуватися. Однак після певного часового проміжку тиск пари починає зменшуватися й система управління котла подає керівний вплив на закриття регулювального клапана. Котел не в змозі забезпечити швидкий набір тиску енергоносія. За умови залучення ТЕС до процесів вторинного регулювання частоти необхідно враховувати вплив котельного обладнання під час налаштування станційних регуляторів, а також регулятора САРЧП ОЕС України для ефективнішого регулювання в ОЕС України, оскільки за таких зменшень вихідної потужності блоків ТЕС, задіяних у вторинному регулюванні, система САРЧП змінює вихідну величину керівних впливів на регулювальні станції. Це призводить до погіршення маневрових характеристик енергосистеми.

Іншою проблемою, яка постає під час переходу ТЕС у маневровий режим роботи є значна статична похибка регулювання та швидке вичерпання ресурсу виконавчого обладнання, зумовлені хибною дією диференціатора системи управління швидкості ротора турбоагрегата. Для зменшення часу регулювання та демпфування коливань у регуляторі швидкості ротора, який є одним із складників систем керування турбоагрегатів, уведений диференційний зворотний зв'язок. Застосовуючи механіко-гідролічні системи, вимірювання похідної швидкості ротора виконували зі значною похибкою, що призводило до хибного спрацювання диференціатора. Перехід від механіко-гідролічних до електрично-гідролічних систем дозволило частково компенсувати ці недоліки. Однак у процесі регулювання частоти обертання ротора турбіни постає проблема визначення коефіцієнта передачі диференціатора в гнучкому зворотному зв'язку електромеханічної системи управління швидкості турбіни. Дослідження [6, 7] показали, що у випадку нелінійної системи, яка представляє собою математична модель турбіни, за різних значень прискорення ротора значення коефіцієнта передачі зворотного зв'язку змінюватиметься. Під час фіксації цього коефіцієнта до одного значення спостерігатимуться коливання тиску масла у виконавчій частині системи керування, що суттєво вплине на зміну постійної часу сервомоторів, унаслідок чого виникає значна статична похибка регулювання, а також швидке вичерпання ресурсу виконавчого обладнання. Отже, виникає проблема визначення коефіцієнтів системи керування в умовах параметричної невизначеності об'єкта керування, розв'язання якої дозволить підвищити регулювальні характеристики блоків ТЕС та залучити їх до вторинного регулювання частоти та потужності.

Висновки

1. Сучасний стан енергоблоків ТЕС не дозволяє залучити їх до вторинного регулювання частоти внаслідок морального та фізичного старіння регулювального обладнання на них. Перехід від механіко-гідролічних до сучасних електрично-гідролічних систем керування дозволить застосування ефективніших алгоритмів та законів управління енергоблоками ТЕС під час регулювання частоти в ОЕС України.

2. Під час розробки станційних регуляторів та регулятора САРЧП, урахування теплової частини блоку ТЕС, а також нелінійного елемента у гнучкому зворотному зв'язку в математичній моделі, дозволить підвищити регулювальні характеристики блоків ТЕС.

3. Запропоновані заходи дозволять залучити енергоблоки ТЕС до вторинного регулювання, що підвищить резерв вторинної потужності та збільшить ефективність вторинного регулювання частоти в енергосистемі.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Diouf E. Frequency control ancillary services in large interconnected systems [Електронний ресурс] : A thesis submitted to The University of Manchester for the Degree of Doctor of Philosophy / E. Diouf. – School of Electrical and Electronic Engineering Energy and Power Systems Group 2013. 253 p. – Режим доступу: <https://www.escholar.manchester.ac.uk/api/datastream?publicationPid=uk-ac-man-scw:198042&datastreamId=FULL-TEXT.PDF>.
2. Яндутьський О. С. Автоматичне регулювання частоти та перетоків активної потужності в енергосистемах / О. С. Яндутьський, А. О. Стелюк, М. П. Лукаш. – К. : НТУУ «КПІ», 2010. – 88 с.
3. Основні вимоги щодо регулювання частоти та потужності в ОЕС України : СОУ-Н ЕЕ ЯЕК 04.156:2009. – Офіц. вид. – К. : Міністерство палива та енергетики України, 2009. – 56 с. – (Нормативний документ Мінпаливенерго України. Настанова).
4. Anderson P. M. Power System Control and Stability, 2nd edn. / P. M. Anderson, A. A. Fouad. – Piscataway. N. J: IEEE Press, 2003. – p. 658
5. Ignacio Egidio. Modeling of Thermal Generating Units for Automatic Generation Control Purposes / Ignacio Egidio, Fidel Fernández-Bernal, Luis Rouco, Eloisa Porras, Ángel Sáiz-Chicharro // IEEE Transactions on control systems technology. – 2004. – Vol. 12, № 1. – P. 205 – 210.
6. Melnikov D. V. Mathematical model of the rotor rotation control loop for K-800-130/3000 steam turbine / D. V. Melnikov, M. R. Fisher // Herald of the Bauman Moscow State Tech. Univ., Mech. Eng., Spec. Issue “Power and transport engineering. – 2011. – № 3. – P. 197 – 215.
7. Корнюшин Ю. П. Исследование и расчет параметров элементов системы регулирования частоты вращения ротора турбины с учетом параметрической неопределенности математической модели / Ю. П. Корнюшин, Д. В. Мельников, Н. Д. Егупов, П. Ю. Корнюшин // Вестник МГТУ им. Н. Э. Баумана. Сер. “Естественные науки”. – 2014. – № 1. – С. 78 – 93.

Рекомендована кафедрою автоматизації енергосистем.

Яндутьський Олександр Станіславович – д. т. н., професор, декан факультету електроенерготехніки та автоматики, e-mail: yandu_kpi@ukr.net.

Гулий Володимир Сергійович – аспірант кафедри автоматизації енергосистем, e-mail: vladimir_hulyi@ukr.net.

Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського».