

УДК 621.313.322

АНАЛІЗ МЕТОДОМ МАТЕМАТИЧНОГО МОДЕЛЮВАННЯ ДИНАМІКИ ПАРАЛЕЛЬНОЇ РОБОТИ ТУРБОГЕНЕРАТОРІВ ПІВДЕННО-УКРАЇНСЬКОЇ АТОМНОЇ ЕЛЕКТРОСТАНЦІЇ**О. Г. Плахтина**

Морська академія

вул. Морська, 81-87, 81-225, Гдиня, Польща. E-mail: plakht@utp.edu.pl

А. С. Куцик

Національний університет "Львівська політехніка"

вул. С. Бандери, 12, Львів, 79013, Україна. E-mail: kutsyk@i.ua

М. О. Мальцев, В. П. Чумак

Південно-Українська АЕС

м. Южноукраїнськ, Миколаївська обл., Україна. E-mail: vp_chumak@sunpp.atom.gov.ua

Установки генерування електроенергії, що експлуатуються на електростанціях, містять паралельно-працюючі турбогенератори з напівпровідниковими системами збудження та автоматичними регуляторами збудження. Актуальним є розв'язання задач аналізу режимів роботи турбогенераторів у таких системах, у тому числі їх взаємних впливів, для синтезу систем керування збудженням, а також випробування та налагодження виготовлених систем збудження перед їх введенням в експлуатацію. Для розв'язання цих задач авторським колективом створено цифровий діагностичний комплекс, який проходить апробацію на Південно-Українській атомній електростанції. Даний комплекс описано в роботі, в якій також представлено результати математичного моделювання режимів паралельної роботи турбогенераторів Південно-Української атомної електростанції.

Ключові слова: турбогенератор, система збудження, автоматичний регулятор збудження, математичне моделювання.

АНАЛИЗ МЕТОДОМ МАТЕМАТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ДИНАМИКИ ПАРАЛЛЕЛЬНОЙ РАБОТЫ ТУРБОГЕНЕРАТОРОВ ЮЖНО-УКРАИНСКОЙ АТОМНОЙ ЭЛЕКТРОСТАНЦИИ**Е. Г. Плахтына**

Морская академия

ул. Морская, 81-87, 81-225, Гдыня, Польша. E-mail: plakht@utp.edu.pl

А. С. Куцик

Национальный университет "Львовская политехника"

ул. С. Бандеры, 12, Львов, 79013, Украина. E-mail: kutsyk@i.ua

Н. А. Мальцев, В. П. Чумак

Южно-Украинская АЭС

г. Южноукраинск, Николаевская обл., Украина. E-mail: vp_chumak@sunpp.atom.gov.ua

Эксплуатируемые на электростанциях установки генерирования электроэнергии содержат параллельно-работающие турбогенераторы с полупроводниковыми системами возбуждения и автоматическими регуляторами возбуждения. Актуальным является решение задач анализа режимов работы турбогенераторов в таких системах, в том числе их взаимных влияний, для синтеза систем регулирования возбуждения, а также испытания и наладки изготовленных систем возбуждения перед их введением в эксплуатацию. Для решения таких задач авторским коллективом создан цифровой диагностический комплекс, проходящий апробацию на Южно-Украинской атомной электростанции. Данный комплекс описан в статье, в которой также представлены результаты математического моделирования режимов параллельной работы турбогенераторов Южно-Украинской атомной электростанции.

Ключевые слова: турбогенератор, система возбуждения, автоматический регулятор возбуждения, математическое моделирование.

АКТУАЛЬНІСТЬ РОБОТИ. Система генерування електроенергії електростанції є багатомашинним комплексом, який об'єднує паралельно-працюючі спільні шини генератори. Кожний генератор містить системи збудження з напівпровідниковими перетворювачами та автоматичними регуляторами збудження, які забезпечують якість роботи генератора в енергосистемі. Розробка та експлуатація систем збудження об'єднує ряд актуальних задач, зокрема: аналіз режимів роботи генераторів та процесів у системах збудження, синтез автоматичних регуляторів збудження (АРЗ), випробування, діагностування та налагодження реальних виготовлених систем збудження перед їх під'єднанням до генераторів.

Досвід роботи спеціалістів, які експлуатують системи збудження турбогенераторів українських атомних станцій, свідчить про виникнення неоднакових збурень у паралельних турбогенераторах під час їх роботи на мережу. Не завжди вдається пояснити, а значить – усунути вплив цих збурень.

Отже, розробка математичної моделі, яка описує систему генераторів станції з мережею й дозволяє

ставити математичні експерименти, є актуальною проблемою. Актуальною є також розробка віртуальних моделей у вигляді програмно-електронного комплексу, які в реальному масштабі часу можуть працювати з реальними системами збудження турбогенераторів, а значить їх випробувати, налагоджувати, діагностувати з урахуванням збурень, які виникають у випадку паралельної роботи генераторів і мережі.

МАТЕРІАЛ І РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ.

Система генерування електроенергії Південно-Української атомної електростанції (ПУАЕС) (рис. 1) містить 3 паралельно-працюючі турбогенератори ТГ потужністю 1000 МВт. Система збудження ТГ1 містить безщітковий збудник. Оскільки збудження основного турбогенератора здійснюється за схемою самозбудження, передбачено джерело початкового збудження. Системи збудження турбогенераторів ТГ2 і ТГ3 на рис. 1 не показані.

Функцією автоматичного регулятора збудження (типу АРВ-СДП1 [3]) є підтримання напруги на шинах генератора згідно з заданою точністю і статизмом, демпфування коливань на виході генератора та

в енергосистемі, забезпечення стійкої роботи генератора в енергосистемі. Для цього АРЗ містить зворотні зв'язки: за напругою генератора (включно з її першою та другою похідною), за похідною струму збудження генератора, за напругою збудження генератора.

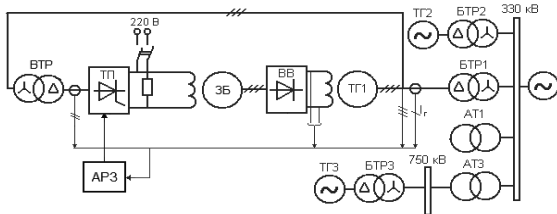


Рисунок 1 – Функціональна схема системи генерування електроенергії ПУЕС

Для розв'язання задач діагностування, налагодження систем збудження турбогенераторів, а також задач аналізу їх режимів роботи авторським колективом, який об'єднує науковців та працівників ПУАЕС, розроблено цифровий діагностичний комплекс (ЦДК). Його можливості: проведення випробувань та діагностування реальних систем збудження шляхом під'єднання фізичної системи збудження до функціонуючої в реальному часі цифрової моделі енергоблоку; налаштування регуляторів збудження та захистів систем збудження; аналіз режимів роботи турбогенераторів та виявлення причин нештатних ситуацій; навчання обслуговуючого персоналу електростанцій (робота як тренажера).

До складу цифрового діагностичного комплексу входять: цифрова модель системи генерування електроенергії, реалізована на промисловому комп'ютері з платами ЦАП/АЦ; сукупність електронних пристроїв для узгодження сигналів цифрової моделі з апаратурою реальних систем збудження.

Особливістю реалізованої в ЦДК цифрової моделі системи генерування електроенергії (головне вікно інтерфейсу моделі показано на рис. 2) є врахування нелінійностей електричних машин (моделюються у фазних координатах) та напівпровідникових перетворювачів (кожен вентиль перетворювача моделюється RL-ланкою), врахування несиметрії та взаємних впливів між усіма складовими частинами, висока числова стійкість моделі та можливість її неперервної роботи в реальному масштабі часу протягом тривалого періоду (близько доби), можливість взаємодії моделі з реальним фізичним обладнанням через аналогові та дискретні сигнали.

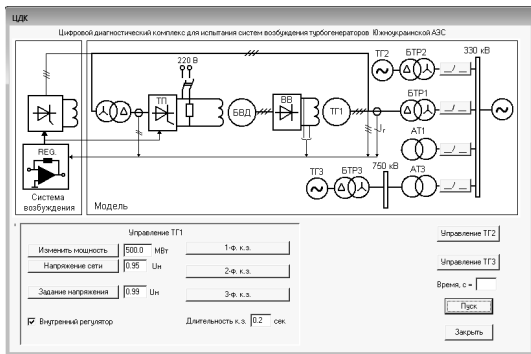


Рисунок 2 – Головне вікно інтерфейсу ЦДК

Висока числова стійкість моделі забезпечується застосуванням методу середньокрокових напруг [1] для математичного опису силової схеми. Проведені дослідження дають підстави стверджувати про пе-

реваги даного методу порівняно з відомими методами чисельного інтегрування.

Для формування цифрової моделі використано об'єктно-орієнтований метод [2], що дає можливість конструювати модель системи з готових моделей типових елементів, реалізованих згідно з принципами об'єктно-орієнтованого підходу.

Із застосуванням розробленої моделі були проаналізовані режими взаємних впливів між турбогенераторами ПУАЕС. Номінальні дані турбогенераторів ГТ1 і ГТ2: $I_n = 26,7 \text{ кА}$, $U_n = 24 \text{ кВ}$, $\cos\phi_n = 0,9$. Взаємний вплив турбогенераторів, зокрема, зумовлює перерозподіл реактивної потужності на їх виходах при просадках напруги в мережі. На рис. 3 показано розраховану осцилограму зміни реактивної потужності на виходах ГТ1 і ГТ2 у випадку під'єднання до лінії з працюючим ГТ1 турбогенератора ГТ2 з одночасним звантаженням останнього реактивною потужністю

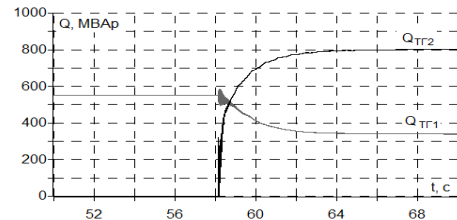


Рисунок 3 – Осцилограми перерозподілу реактивної потужності на виходах ГТ1 і ГТ2 під час вмикання останнього в лінію

У цьому випадку вмикання паралельного турбогенератора зумовлює зменшення генерованої ГТ1 реактивної потужності. Величина реактивної потужності визначається напругою в лінії та завданням напруги в автоматичних регуляторах збудження турбогенераторів.

У генераторах електростанції, які мають неоднакові АРЗ, час від часу виникають коливання реактивної потужності. Причому спостерігаються коливання на одному з енергоблоків при практичній відсутності цих коливань на паралельному блоці. Причиною цих коливань, на нашу думку, є збурення в мережі, і пояснити їх можна на основі таких міркувань.

Збурення, які виникають у мережі при стабільній напрузі на шинах генераторів, генерують коливання струму. Отже, в цьому сенсі мережу можна розглядати як джерело струму. А коливання цього струму

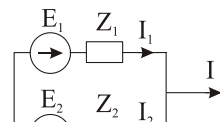


Рисунок 4 – Розрахункова схема

розподіляються несиметрично між генераторами, залежно від їх параметрів та параметрів систем збудження. Так, два генератори з мережею надамо еквівалентною схемою, зображеною на рис. 4

(позначення на схемі відповідають комплексним змінним).

Для цієї схеми отримано залежності в приростах струму

$$\Delta I_1 = (\Delta E_2 - \Delta E_1 + Z_2 \Delta I) / (Z_1 + Z_2); \quad (1)$$

$$\Delta I_2 = (\Delta E_1 - \Delta E_2 + Z_1 \Delta I) / (Z_1 + Z_2). \quad (2)$$

З цих залежностей видно, що симетричний розподіл збурень у мережі між генераторами є лише у випадку однакових параметрів генераторів і приростів їх е.р.с. E_1 , E_2 , індукованих струмами ротора.

Виявляється, що в генераторі, де є система збудження зі зворотнім зв'язком за струмом статора, реалізованим на основі діаграми Пот'є, коливання практично відсутні, зате в паралельному генераторі вони є значними. З формул (1) і (2) випливає, що якщо, наприклад, E_1 регулювати так, щоб компенсувати $Z_2 \Delta I_1$ при $\Delta E_2 = 0$, тоді приріст струму ΔI_2 визначатиметься сумою $\Delta E_1 + Z_1 \Delta I_1$ і буде зростати.

Природу вищезгаданих коливань підтверджено і математичними експериментами на розробленій моделі, результати яких показано на рис. 5.

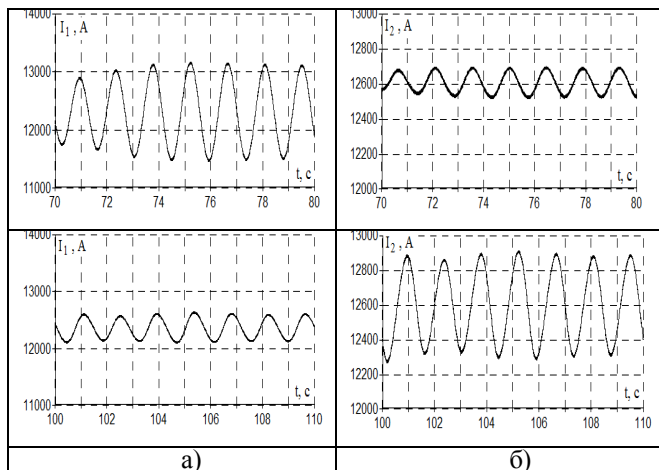


Рисунок 5 – Осцилограми зміни діючого значення струмів ТГ1 (а) і ТГ2 (б) до (зліва) і після (справа) введення в ТГ1 зворотного зв'язку за зміною струму статора

Як видно з отриманих осцилограм, введення в систему збудження ТГ1 зворотного зв'язку за струмом

THE ANALYSIS OF DYNAMICS OF THE SOUTH-UKRAINIAN NUCLEAR POWER STATION'S TURBOGENERATOR PARALLEL WORK BY MATHEMATICAL MODELLING METHOD

O. Plakhtyna

Gdynia Maritime University
vul. Morska, 81-87, 81-225, Gdynia, Poland. E-mail: plakht@utp.edu.pl

A. Kutsyk

Lviv Polytechnic National University
vul. Bandery, 12, Lviv, 79013, Ukraine. E-mail: kutsyk@i.ua

N. Malcev, V. Chumak

South-Ukrainian Nuclear Power Plant
Yuzhnoukrainsk, Nikolaevskaya obl., Ukraine. E-mail: vp_chumak@sunpp.atom.gov.ua

The power plants are complicated multi-machine system, which contain parallel-working turbogenerators with semiconductor excitation systems, excite controller, transformers and characterize by nonlinearity of each elements and interconnection between them. Analysis of generator's working regimes in such systems, including their mutual influences, is necessary for the synthesis of control systems and is important. Also, is important the testing and diagnosing of the excite systems before their connected to generators. For the solving of these tasks the digital diagnostics complex has been developed by authors for South-Ukrainian Nuclear Power Plant. The used in this complex mathematical model takes into account the nonlinearities of synchronous machines and semiconductor converters, as well as the mutual influences between all elements of electric power plants. This complex is described in the paper and the results of analysis of dynamics of the SUNPP's turbogenerator parallel work are presented.

Key words: synchronous generator, excite systems, excite controller, mathematical modeling.

REFERENCES

1. Plakhtyna O.G. The digital one-step method for simulated of electrical circuits and it use in electromechanical tasks // *Visnyk NTU "KhPI"*. – 2008. – № 30. – PP. 223–225. [in Ukrainian]
2. Kutsyk A.S. The object-oriented method for analyze of electromechanical systems // *Technical electrodynamic*. – 2006. – № 2. – PP. 57–63. [in Ukrainian]
3. Jurganov A.A., Kozhevnikov V.A. *The excite regulate of the synchronous generators*. – SPb.: Nauka, 1996. – 138 p. [in Russian]

Стаття надійшла 15.06.2012.

Рекомендовано до друку
к.т.н., доц. Каліновим А.П.