

ДОСЛІДЖЕННЯ РОБОТИ СИСТЕМНИХ РЕГУЛЯТОРІВ АВТОМАТИЧНОГО РЕГУЛЮВАННЯ ЧАСТОТИ ТА ПОТУЖНОСТІ

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

Вступ. Частота струму – один із основних якісних показників електричної енергії. Відхилення частоти суттєво впливає на стабільність роботи ОЕС, яка підтримується завдяки дотриманню балансу виробництва та споживання потужності в енергосистемі, враховуючи втрати в мережі. В нормальному режимі цей баланс зберігається при номінальній частоті 50 Гц. Небаланс у системі призводить до відхилення частоти та погіршення роботи енергообладнання як генерації, так і споживачів. Система автоматичного розвантаження частоти та потужності (САРЧП) призначена для регулювання частоти в енергосистемі України при ізольованій роботі та регулювання перетоків активної потужності міждержавними лініями електропередачі в режимі паралельної роботи енергосистеми України з сусідніми енергосистемами [1].

Ведення режиму за частотою та активною потужністю здійснюється програмним комплексом, до складу якого входить регулятор САРЧП. У випадку відхилення від заданого режиму роботи енергосистеми регулятор САРЧП автоматично корегує та виводить параметри перетоків по міждержавних лініях електропередачі або частоти та потужності на необхідний рівень [2].

Мета роботи. Моделювання роботи САРЧП в математичній моделі ОЕС та дослідження роботи САРЧП з пропорційно-інтегральним регулятором і предиктором Сміта.

Матеріали та результати дослідження. На рисунку 1 зображено математичну модель ОЕС створену в середовищі Matlab. Основні компоненти схеми: керуючий елемент – САРЧП, яка виконує автоматичне регулювання частоти та потужності в системі, еквівалентна міжсистемна лінія зв'язку – завдяки перетоку по якій здійснюється регулювання потужності, блок генератор-турбіна – приймає участь в автоматичному регулюванні частоти та потужності в ОЕС.

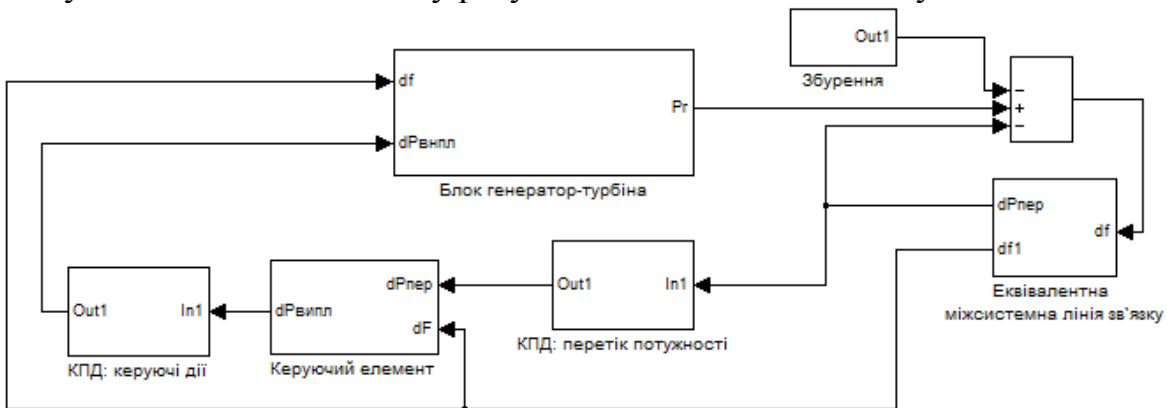


Рисунок 1 – Математична модель ОЕС

При проведенні дослідження роботи САРЧП в якості збурень використовується різка зміна потужності генерації: такий режим різкого було змодельовано вимиканням генератора 200 Мвт з подальшим його вмиканням через 5 хв. В цьому випадку розвантаження проходить достатньо швидко, турбіна не в змозі підтримати баланс потужності, через те, що потужність турбін не може миттєво змінитися внаслідок інерційності. По еквівалентній міжсистемній лінії зв'язку від сусідньої ОЕС перетікає потужність, яка покриває небаланс потужності, що виник. З часом турбіна також починає приймати участь у процесі встановлення балансу. Небаланс ліквідується, відхилення частоти стабілізується.

При виконанні досліджень, створюються дві математичні моделі ОЕС. В першому варіанті моделі ОЕС керуючий елемент представлений пропорційно-інтегральним регулятором. Структурна схема керуючого елемента з ПІ-регулятором показана на рисунку 2 [3].

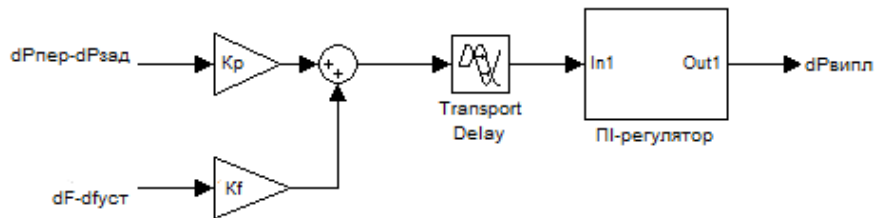


Рисунок 2 – Структурна схема керуючого елемента з ПІ-регулятором

В другому варіанті виконання моделі ОЕС, керуючий елемент представлено предиктором Сміта. Мета предиктора Сміта – передбачити, який сигнал має з'явитися на виході об'єкту до того, як він там дійсно з'явиться. Для передбачення використовується модель об'єкту, яка складається з передатної функції об'єкту $W_m(s)$ та транспортної затримки τ_m (рисунок 3, де $E(s)$ — помилка керування, $U(s)$ — сигнал керування) [4, 5].

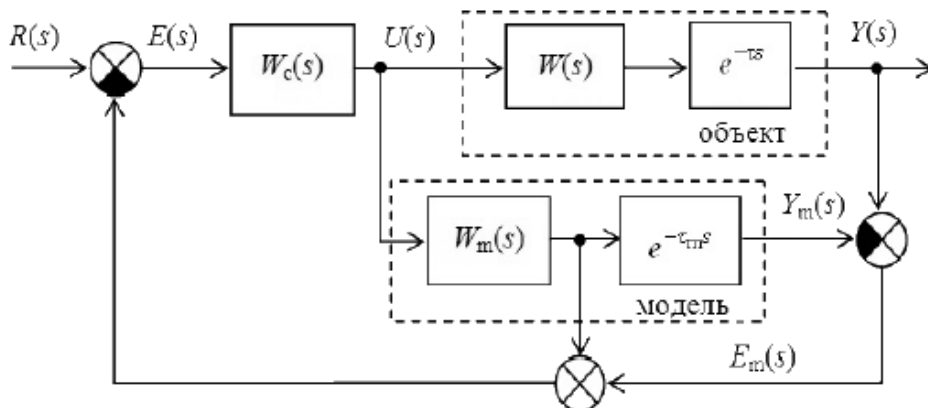


Рисунок 3 – Опис предиктора Сміта

Розрахована передатна функція моделі об'єкту (1):

$$W_m(s) = \frac{-0.52s^3 - 0.148s^2 + 0.106s + 0.004}{0.1275s^5 + 12.9284s^4 + 32.401s^3 + 29.9s^2 + 3.65s + 0.1} \quad (1)$$

Структурна схема керуючого елемента з предиктором Сміта показана на рисунку 4.

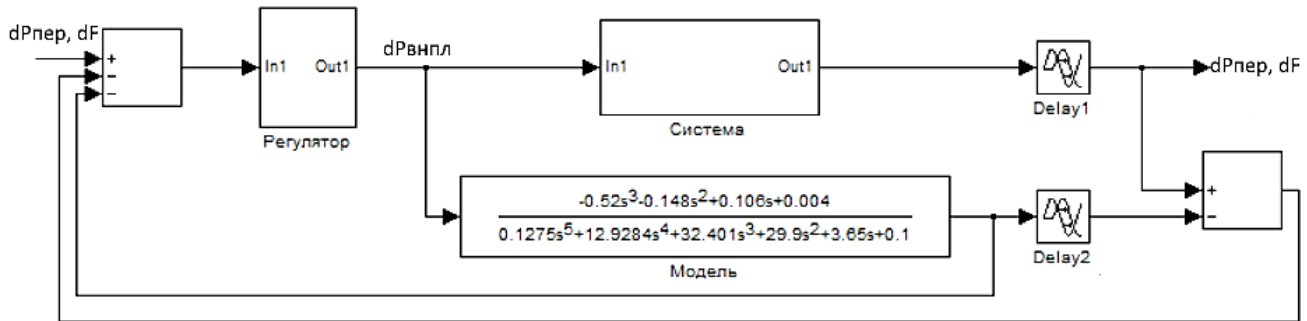


Рисунок 4 – Структурна схема керуючого елемента з предиктором Сміта

При моделюванні роботи САРЧП з різними системними регуляторами, виконаємо емуляцію різкої зміни генерації потужності. Через 50 секунд нормальної роботи відбувається різке відключення генератора, що призводить до появи небалансу $\Delta P=200$ МВт (рисунок 5) та відхилення частоти (рисунок 6). За результатами моделювання отримано три суміщені графіки: зміни частоти в системі, зміни потужності генерації та зміни перетоку активної потужності по міжсистемній лінії зв'язку, які наведені на рисунках 5-7.

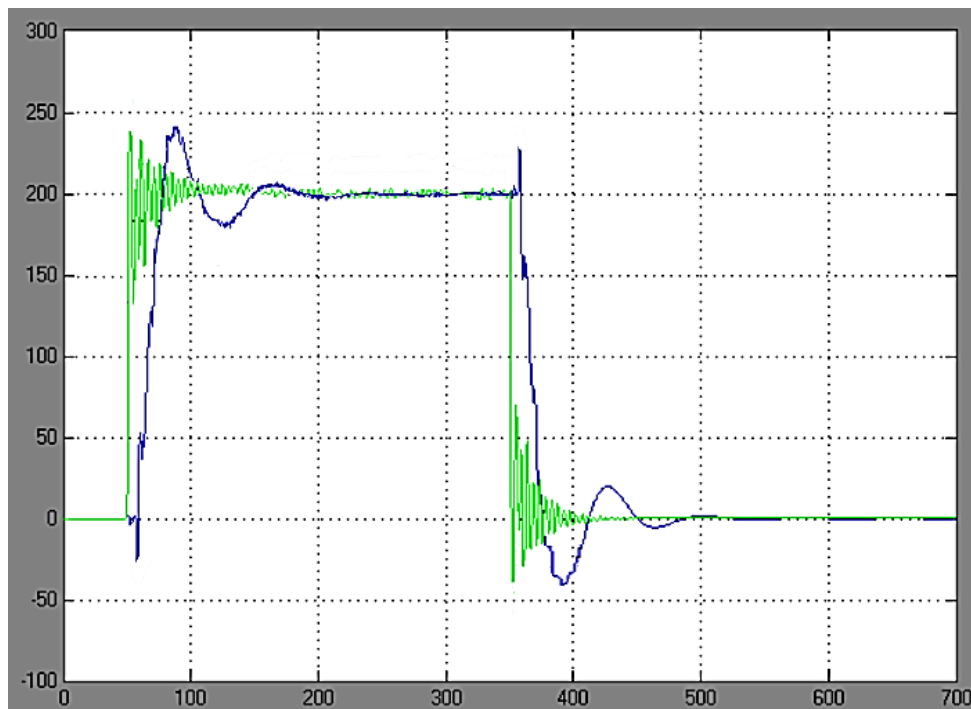


Рисунок 5 – Суміщений графік зміни потужності генерації Система з: — ПІ-регулятором; — предиктором Сміта.

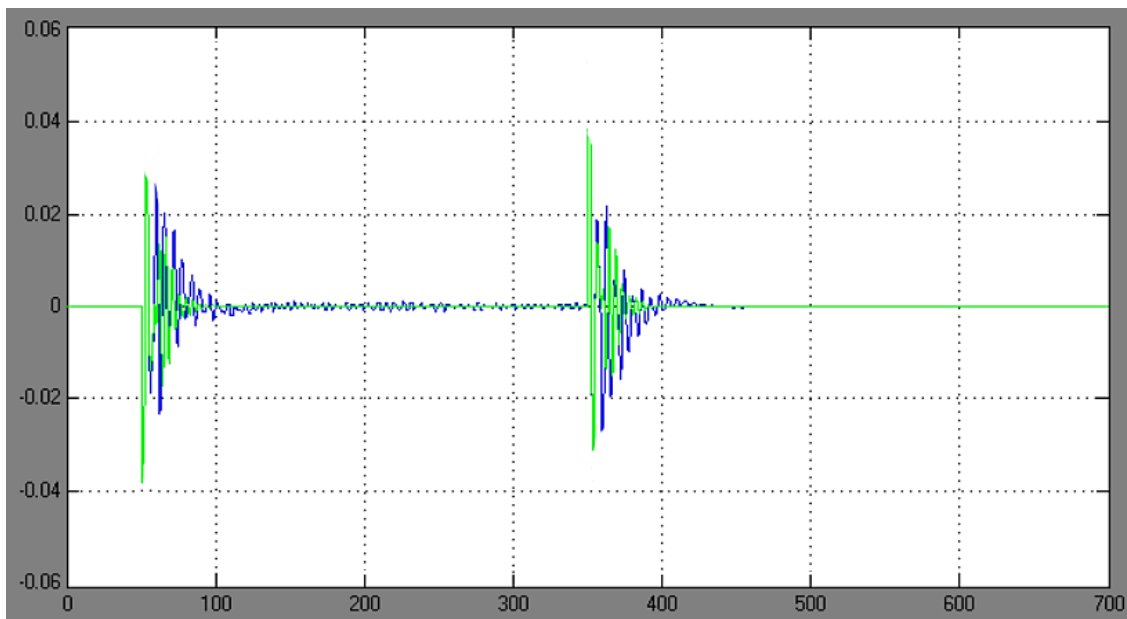


Рисунок 6 – Суміщений графік зміни частоти в системі Система з: — ПІ-регулятором; — предиктором Сміта.

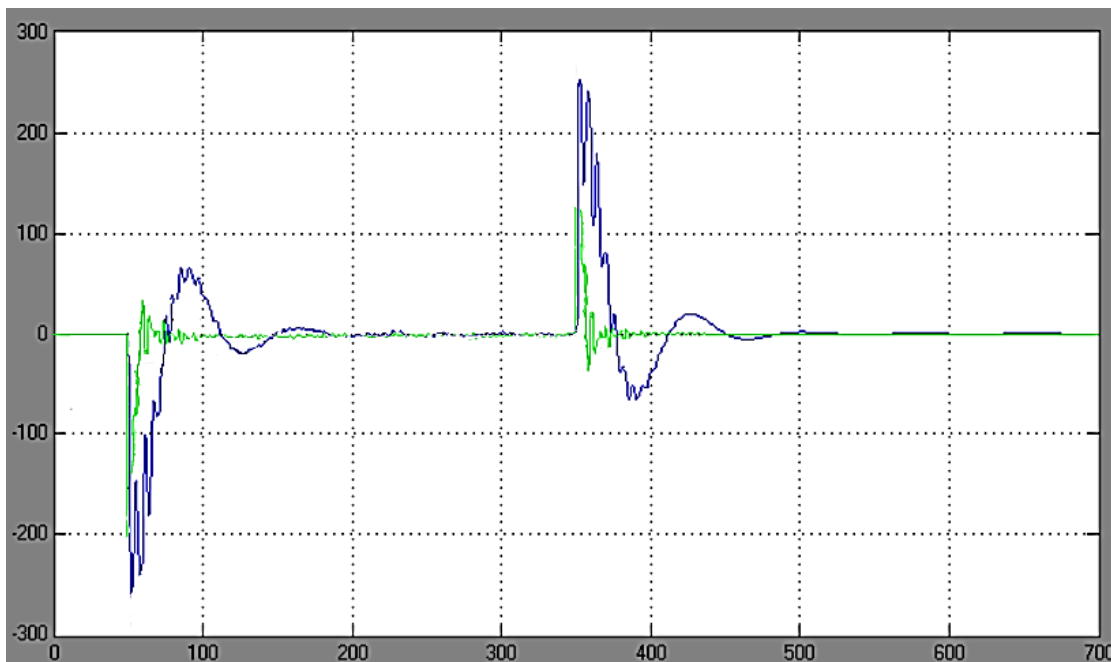


Рисунок 7 – Суміщений графік зміни перетоку активної потужності Система з: — ПІ-регулятором; — предиктором Сміта.

Графіки, які наведені на рисунках 5-7 відповідно показують, що до введення система була в стійкому стані. В момент часу $t=50$ с. відбувається поява небалансу потужності $\Delta P=200$ МВт, який спричиняє відхилення частоти $\Delta f=0.04$ Гц. Реакція САРЧП (регулятора) дозволяє покрити небаланс потужності за допомогою

перетоку потужності по міжсистемній лінії зв'язку. За рахунок чого, частота стабілізується і стає $\Delta f=0$.

Через $t=300$ с. відбувається включення генератора, що також призводить до появи небалансу потужності та відхиленню частоти.

Висновки. В ході дослідження виконано моделювання роботи системи автоматичного регулювання частоти та потужності в програмному забезпеченні Matlab. Порівнюючи роботу САРЧП з пропорційно-інтегральним регулятором та предиктором Сміта, за результатом моделювання та аналізу результатів встановлено, коливальні процеси потужності та частоти стабілізуються в допустимих межах 20%, $\Delta P=\pm 240$ МВт і $\Delta f=\pm 0.04$ Гц, що показує ефективну роботу регулятора в обох варіантах. Предиктор Сміта забезпечує швидшу відповідь на збурення та менше перерегулювання, ніж ПІ-регулятор. Коливальний процес частоти стабілізується через $t=50$ с. Перерегулювання потужності перетоку становить 10%. За використання ПІ-регулятора частота стабілізується повільніше, через $t=70$ с. Перерегулювання потужності перетоку 20%. В контексті даного моделювання предиктор Сміта працює ефективніше, але його реалізація складніше за ПІ-регулятор.

Перелік посилань

1. Сисоєва В.В., Марченко А.А. Імітаційне моделювання системи автоматичного частотного розвантаження. // Міжнародний науково-технічний журнал молодих учених, аспірантів і студентів «Сучасні проблеми електроенерготехніки та автоматики» [Електронний ресурс] – 2016. – С.60–63. – Режим доступу: <http://jour.fea.kpi.ua/issue/view/3960>
2. Павлов Г.М., Меркурьев Г.В. Автоматика энергосистем. // С.-П.: Центр подготовки кадров РАО «ЕЭС России». – 2001. – 387 с.
3. Яндутьський О.С., Марченко А.А., Хоменко О.В., Мацейко В.В. Підвищення ефективності роботи центрального регулятора САРЧП при регулюванні частоти та перетоків потужності в ОЕС України // Вісник Чернігівського державного техноло-гічного університету: Серія: Технічні науки - Чернігів: ЧНТУ, 2013. – №3 (67). – С. 233-238.
4. Бураков М.В., Шишлаков В.Ф. Модифицированный предиктор Смиа для объекта с переменной задержкой. // Труды СПИИРАН – 2017. – №51. – С.60–77
5. Денисенко В. В. ПИД - регуляторы: принципы построения и модификации // Современные технологии автоматизации. 2006. № 4. с. 66 - 74; – 2007. – № 1. – С. 78 - 88.