

## СИНТЕЗ ТА ДОСЛІДЖЕННЯ НЕЧІТКОЇ СИСТЕМИ АВТОМАТИЧНОГО РЕГУЛЮВАННЯ ЧАСТОТИ ТА ПОТУЖНОСТІ ТЕПЛООВОГО ЕНЕРГОБЛОКУ

**Вступ.** Система автоматичного регулювання частоти та потужності (САРЧП) відіграє визначальну роль у виконанні вимог держстандарту щодо стабілізації частоти електричного струму, а також забезпеченні економічності та надійності функціонування об'єднаної енергосистеми (ОЕС) України. Якість регулювання частоти та потужності залежить як від розмірів регульованих діапазонів САРЧП протягом доби, так і від динамічних показників її станційних частин. Сучасний стан національної САРЧП такий, що вона не може забезпечити високі показники якості регулювання балансу потужностей генерації та споживання без участі енергоблоків (ЕБ) теплових електростанцій у автоматичному режимі. Сучасні теплові енергоблоки, які оснащені автоматичними регуляторами потужності (АРП) – центральними регуляторами (ЦР) – та частоти обертання (АРЧО) турбіни разом з автоматичними регуляторами паропроодуктивності котла можуть значно розширити регульовальний діапазон САРЧП. Це забезпечить вирішення задачі відновлення використаних регульованих діапазонів ЕБ разом з оперативним перерозподілом потужностей між генеруючим устаткуванням (одна з задач третинного регулювання частоти та потужності) та значно покращити показники якості регулювання, без чого паралельна робота з країнами Центральної та Західної Європи неможлива. Залученню теплових енергоблоків до роботи у складі САРЧП повинно передувати системне вирішення комплексу питань, в першу чергу дослідження та покращення динамічних показників блочних частин САРЧП.

**Мета роботи.** Основна мета полягає у визначенні можливості підвищити швидкодню блочних САРЧП, тобто зменшити тривалість перехідних процесів при зміні потужності ЕБ без неприпустимого перерегулювання в процесі відпрацювання завдань на зміну потужності ЕБ згідно [1, 2, 3, 4]. Для покращення показників якості регулювання розробники сучасних регуляторів використовують апарат нечіткої логіки, що забезпечує адаптацію процесу регулювання до зміни режимів роботи об'єкта без зміння поведінки (настройки) системи регулювання.

**Матеріал і результати дослідження.** Для дослідження динаміки блочної САРЧП використана її модель для типового енергоблоку 300 МВт, яка на верхньому рівні регулювання має АРП ЕБ-рівень вторинного регулювання частоти та потужності, а на нижньому (рівні первинного регулювання) має АРЧО турбіни та головний регулятор котла (ГРК) [5, 6]. Для АРП та ГРК у типовій схемі застосовані класичні ПІ-регулятори з жорсткою настройкою. АРЧО моделюється аперіодичною ланкою першого порядку. Структурна схема такої САРЧП наведена на рис.1. На рис.1,а та рис.1,б подані структури нечітких ПІ-ЦР та ПІ-ГРК відповідно.



З використанням цієї моделі проведені дослідження якості процесу регулювання у випадку зміни навантаження ЕБ з 240 МВт до 270 МВт (відпрацювання позапланової складової графіка навантаження). Графіки перехідних процесів розглядалися на інтервалі 600с, фіксувалися тривалість перехідного процесу  $t_p$ , відхилення потужності ЕБ від завдання в сталому режимі  $\Delta P_{ст}$  та характер перехідного процесу. Перехідний процес вважали закінченим за умови  $\Delta P_{ст} \leq 0,05$  МВт, а значення  $\Delta P_{ст}$  фіксувалось в момент часу  $t=600$ с після збурення. За точку відрахування були прийняті результати дослідження САРЧП з класичними ПІ-АРП та ПІ-ГРК з настройкою: для ГРК  $K_{гр}=3$ ;  $T_{гр}=40$  с, для АРП  $K_{арп}=1$ ;  $T_{арп}=10$  с.

На першому етапі досліджень нечіткої САРЧП нечіткий ПІ-регулятор був встановлений лише на рівні ЦР (рис. 1,а). Було використано 4 варіанти його настроювання відповідно до числа нечітких змінних (термів) на інтервалі зміння вхідних і вихідного сигналів регулятора (настроювання Mf5 та Mf7 відповідно з 5 та 7 термами і рівносторонніми трикутними функціями належності (ФН), які мають 50-відсоткове перекриття та симетричне розташування відносно центрів діапазонів зміння сигналів, і настроювання SMf5 та SMf7 відповідно з 5 та 7 термами, у яких вершини трикутних ФН мають зміщення до центрів діапазонів зміння сигналів. Число нечітких змінних на діапазоні зміння вихідного сигналу регулятора в кожному експерименті дорівнює числу термів вхідних змінних, але перекриття термів вихідного сигналу відсутнє. Вхідні сигнали нечіткого ПІ-АРП (зміна позапланової потужності та її інтегральна складова відносно планового значення) змінюються у діапазонах:

$p=[-1; 1]$ ,  $i=[-10; 10]$ , діапазони зміння вихідного сигналу регулятора показані у таблицях результатів досліджень. У кожному варіанті настроювання нечіткого ПІ-АРП використана база правил [7] відповідно до подрібнення діапазону зміння сигналів регулятора, рис.2.

На рис.3 зображено графік перехідного процесу при відпрацюванні позапланової складової графіка навантаження з класичним ПІ-АРП. В результаті моделювання цього процесу отримали:  $t_p=437,82$  с,  $\Delta P_{ст}=0,007$  МВт.

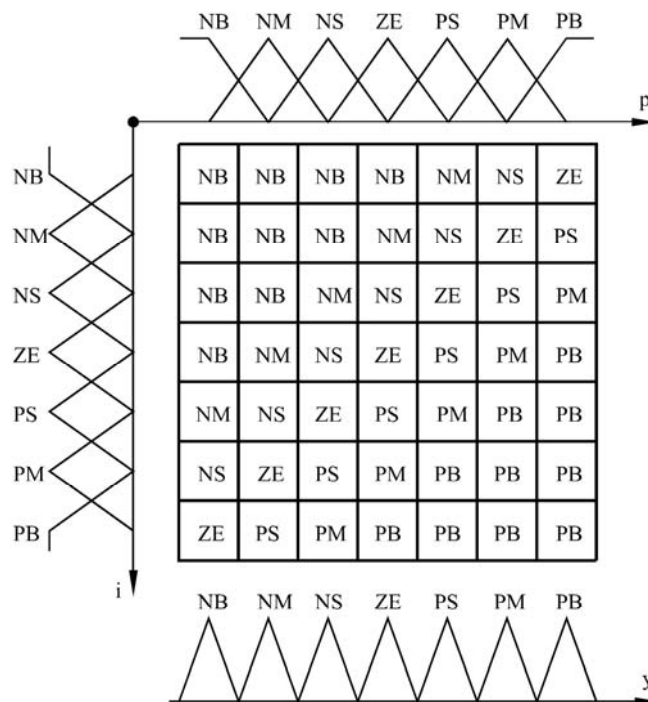


Рис.2. База правил, яка використовувалася для настроювання Mf7

Результати експериментів з нечітким ПІ-АРП зведені у табл.1, звідки видно, що точність регулювання зростає, а тривалість перехідних процесів зменшується зі збільшенням числа нечітких змінних на діапазоні зміння вхідних сигналів регулятора. Збільшення розміру інтервалу зміння вихідного сигналу також підвищує точність регулювання і швидкодію системи, що пояснюється підвищенням чутливості системи. Значне покращення показників якості спостерігається при використанні настроювань зі зміщеними вершинами ФН термів вхідних сигналів нечіткого ПІ-АРП до центру діапазонів їх зміння, що вказує на невелику амплітуду

вхідних сигналів відносно до розмірів інтервалів  $p(-1; 1)$ ,  $i(-10; 10)$ . Графіки змінення потужності ЕБ для деяких експериментів з налаштуванням  $Mf5$  нечіткого ПІ-АРП у відповідності з табл.1 показані на рис.4, які вигідно відрізняються від наведеного на рис.3.

У табл.2 подані результати досліджень з масштабуванням вхідних сигналів нечіткого ПІ-АРП так, щоб вони охопили найбільшу кількість термів, звідки можна зробити висновок, що це ефективний і простий спосіб підвищення показників якості регулювання. Моделювання та дослідження системи виконано у середовищі Matlab/Simulink [8].

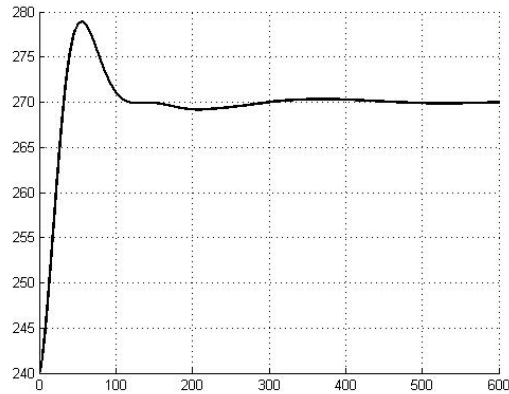


Рис.3. Графік зміни потужності ЕБ при використанні класичного ПІ-АРП

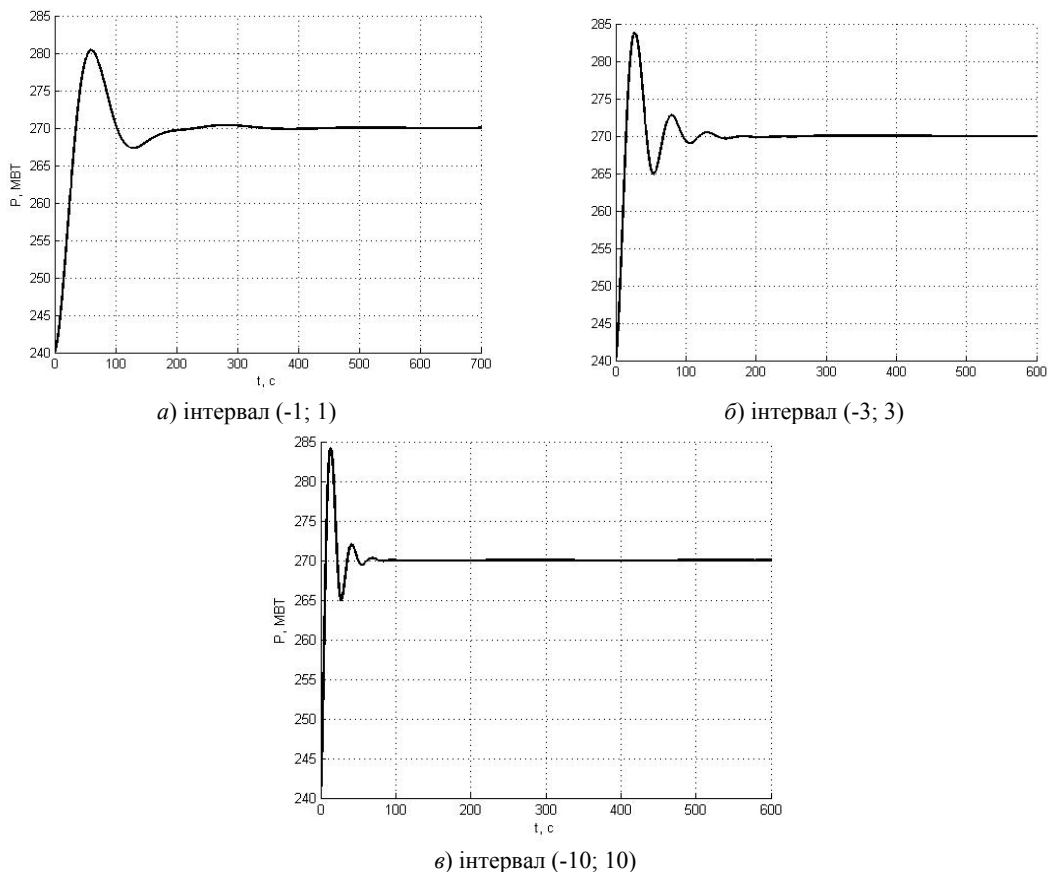


Рис.4. Графіки змінення потужності ЕБ для різних інтервалів змінення вихідного сигналу нечіткого ПІ-АРП з налаштуванням  $Mf5$

Таблиця 1

Інтервал змінення вихідного сигналу	Кількість термів вхідних та вихідного сигналу регулятора							
	5 термів		7 термів		5 термів зі зміщеними до центру вершинами ФН		7 термів зі зміщеними до центру вершинами ФН	
	$t_p$	$\Delta P_{ст}$	$t_p$	$\Delta P_{ст}$	$t_p$	$\Delta P_{ст}$	$t_p$	$\Delta P_{ст}$
-1;1	440.85	0.0066	464.75	0.0109	327.78	0.0026	350.23	0.0037
-3;3	214.65	0.0005	208.91	0.0005	176.88	0.0004	194	0.0003
-10;10	86.06	0.00009	58.88	0.00011	59.75	0.00006	30.26	0.00004

Таблиця 2

Інтервал змінення вихідного сигналу	Настроювання Mf5					
	Посилення в 5 разів		Послаблення в 5 разів		Посилення р – каналу в 10 разів, і – каналу в 20 разів	
	$t_p$	$\Delta P_{ст}$	$t_p$	$\Delta P_{ст}$	$t_p$	$\Delta P_{ст}$
-1;1	198,44	0,0005	-	0,2345	223,73	0,0001
-3;3	70,44	0,0006	437,97	0,0082	62,12	0,00002
-10;10	21,24	0,0001	282,78	0,0007	16,33	0,00001

### Висновки

Результати досліджень свідчать, що використання нечіткого ПІ-АРП блокової САРЧП має суттєві переваги порівняно з використанням класичного регулятора потужності енергоблоку, покращуються показники якості регулювання, за яких задовольняються вимоги щодо паралельної роботи ОЕС України з країнами Центральної та Західної Європи.

### Література

1. СТО СО-ЦДУ ЕЕС 001-2005. Стандарт СО-ЦДУ ЕЕС. Нормы участия энергоблоков ТЭС в нормированном первичном и автоматическом вторичном регулировании частоты. – М.: 2005.
2. Концепція регулювання частоти в енергооб'єднанні країн СНД і Балтії. Затверджено рішенням Електроенергетичної ради СНД і Балтії 27.10.2005р.
3. СОУ – Н ЕЕ 04.157:2009. Нормативний документ Мінпаливенерго України. Методики і рекомендації щодо організації первинного та вторинного регулювання частоти та потужності на енергоблоках ТЕС (ТЕЦ). Настанова.
4. Норми мінімально допустимих рівнів і гранично допустимих швидкостей зміни навантаження енергоблоків 150-1200 МВт (що уточнені для кожного конкретного енергоблоку і затверджені РАО ЄЕС Росії 20.12.1993р як «Норми допустимих мінімальних рівнів і швидкостей зміни навантаження теплових електростанцій РАО ЄЕС Росії»).
5. Лукаш Н.П., Перевертень В.В. Моделирование и исследование динамики энергоблоков ТЭС, оснащенных главным регулятором котла. – Деп. в УКРНИИТИ 4.07.88, №1841 Ук-88. Деп.
6. Рабинович Р.С., Полонская М.А. Модели тепловых электростанций для расчета длительных электромеханических переходных процессов в энергосистемах. – Электричество, 1983, №3.
7. Терехов В.М. Фаззи-логика в электротехнике. – Электричество, 2000, №11.
8. Леоненков А.В. Нечеткое моделирование в среде Matlab и fuzzyTECH. – Спб.: БХВ – Петербург, 2005.