

“Львівська політехніка”. – 2004. – № 551. – С. 40–45. 4. Вестерхоф Х., ван Дам К. Термодинамика и регуляция преращений свободной энергии в биосистемах: Пер. с англ. – М., 1992. 5. Чиликин М.Г., Сандлер А.С. Общий курс электропривода. – М.: Энергоиздат, 1981.

УДК 62-83:621.313.3

Б.Л. Копчак

Національний університет “Львівська політехніка”,
кафедра ЕМА

СИСТЕМА НЕЧІТКОГО КЕРУВАННЯ НАПРУГИ АВТОНОМНОГО АСИНХРОННОГО ГЕНЕРАТОРА

© Копчак Б.Л., 2005

Запропоновано систему автоматичного керування напруги автономної асинхронної генераторної системи з використанням нечіткого регулятора напруги. Розроблено її модель в середовищі MATLAB Simulink і проведено дослідження у різних режимах роботи.

The system of automatic control of voltage autonomous asynchronous generating system with fuzzy logic voltage regulator is offered. Model is designed and researches is carried out in different modes of operations using MATLAB Simulink.

Постановка проблеми. На сучасному етапі розвитку автономних джерел енергії широко використовується асинхронний генератор (АГ). Як об'єкт керування АГ з самозбудженням є складним, аналіз і синтез системи автоматичного керування (САК) його напруги ускладнюється в зв'язку з нелінійністю характеристики намагнічення АГ та дискретністю напівпровідникового перетворювача, який використовується для керування збудженням [1]. У разі використання АГ у вітроенергетичних установках (ВЕУ), які працюють в автономному режимі, проблема керування вихідної напруги і частоти ускладнюється у зв'язку з дією випадкових збурень у каналах швидкості обертання ротора і каналі навантаження і потребує свого розв'язання [1, 2]. Тому розробка САК напруги АГ з врахуванням нелінійності його характеристики, забезпечивши при цьому нечутливість вихідної напруги до зовнішніх збурень, є актуальним завданням.

Аналіз останніх досліджень. У відомих літературних джерелах більшість САК напруги АГ побудовані як одноконтурні, одноразовоінтегровальні системи стабілізації напруги. В [1] показано, що раціональним варіантом САК напруги АГ з самозбудженням є двоконтурна система підпорядкованого регулювання (СПР) напруги з внутрішнім контуром регулювання струму тиристорного компенсатора реактивної потужності (ТКРП) і зовнішнім контуром регулювання напруги. Проведено її дослідження за дії збурень в каналі швидкості. Проте під час її розробки використано лінеаризовану модель АГ, що уможливило оптимізувати параметри САК з певною похибкою, тому що не враховується нелінійність характеристики намагнічення у можливому діапазоні регулювання напруги АГ.

Розробка методів нечіткого керування робить їх перспективними у випадку керування напруги АГ, тому що про нього є багато апріорної інформації [3].

Задачі досліджень. Задачею досліджень є розробка системи нечіткого керування напруги АГ з самозбудженням для ВЕУ, яка забезпечує задані статичні і динамічні характеристики системи і є нечутливою до зовнішніх збурень.

Виклад основного матеріалу. На рис. 1 показано функціональну схему автономного асинхронного генератора з ТКРП (тиристорним перетворювачем з $R_k L_k$ -навантаженням) [1], в якому передбачена можливість регулювання таких координат: струму компенсатора та напруги АГ. Зворотні зв'язки за відповідними координатами реалізовані за допомогою давачів: струму ком пен-

сатора (ДСк) та напруги на затискачах АГ (ДН), і можуть бути реалізовані за допомогою доступної елементної бази. Керування відповідними координатами здійснюється за допомогою регулятора струму (РС) та нечіткого регулятора напруги (НРН). Сигналом $U_{з.с.0}$ виставляють початковий струм ТКРП, величина якого залежить від запасу АГ за напругою, а сигналом $U_{з.н}$ – величину напруги на виході АГ.

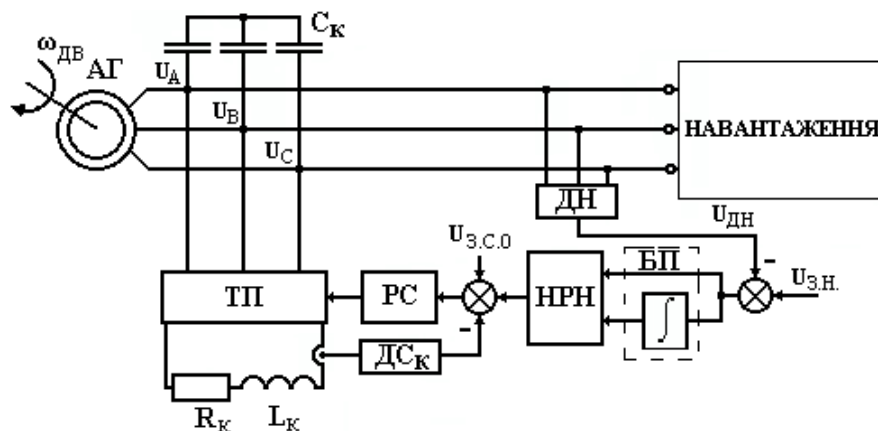


Рис. 1. Функціональна схема автономного асинхронного генератора з ТКРП

Останнім часом нечітке керування (НК) є одним з найбільш активних і перспективних напрямків в області керування і прийняття рішень. В області керування технічними системами НК дає можливість отримати більш адекватні результати порівняно з результатами, які отримані з використанням традиційних аналітичних моделей і алгоритмів керування. Нами розроблено модель АГ з самозбудженням на основі використання теорії моделювання електромеханічних систем з напівпровідниковими перетворювачами, яка дає змогу враховувати дискретність напівпровідникових перетворювачів, насиченість магнітопроводів електричних машин і апаратів, несиметрію фазних напруг і забезпечує високий ступінь адекватності моделі реальним установкам [4], а також лінеаризовану модель АГ, придатну для досліджень в пакеті Mathlab Simulink, що забезпечує достатню апіорну інформацію про АГ як об'єкт керування. Це уможливило застосувати для керування напруги нечіткий ПІ-регулятор.

Розробка нечіткого ПІ-регулятора напруги здійснюється за таким алгоритмом:

1. Проводимо аналіз системи. Встановлюємо структуру контуру регулювання вхідних і вихідних величин нечіткого регулятора.

Під нечітким ПІ-регулятором ми розуміємо такий нечіткий контролер, загальна структура якого показана на рис. 1. Нечіткий ПІ-регулятор вмикається замість класичного регулятора напруги. Вхідними величинами нечіткого регулятора напруги є помилка регулювання ($U_{з.н} - U_{ДН}$) та інтеграл від помилки регулювання. Вихідною величиною нечіткого контролера є сигнал $U_{РН}$ задання на струм навантаження ТКРП

$$U_{РН} = f((U_{з.н} - U_{ДН}), \int (U_{з.н} - U_{ДН}) dt).$$

2. Встановлюємо алгоритмічні ступені свободи.

Практика показує, що на етапі моделювання тип нечіткої інференції не грає великої ролі. Вибір операторів інференції має велике значення лише за практичної реалізації нечіткого блока, тому що він визначає швидкодію контуру регулювання та стабільність передавальних властивостей нечіткого блока. Проте необхідно дотримуватись певних рекомендацій і використовувати загальноприйняті сполучення операторів окремих етапів інференції. Для проєктованого нечіткого блока пропонуємо використати такі установки [3]:

- оператор імплікації – мінімум-оператор;
- оператор агрегації – максимум-оператор.

Рекомендуємо використати найбільш популярний метод дефазифікації – гравітаційний (centroid) [3].

3. Встановлюємо параметричні ступені свободи.

Цей етап є центральним кроком процесу розробки нечіткого регулятора; він складається з трьох кроків:

3.1. Встановлення можливих інтервалів зміни вхідних та вихідних величин. Результати моделювання системи з класичною системою регулювання уможливають визначити інтервали зміни вхідних та вихідних величин. Помилка регулювання змінюється в інтервалі $[-1,1]$, інтеграл від помилки регулювання $[-10,10]$, інтервал зміни вихідної величини $[-10,10]$.

3.2. Встановлення форми та параметрів функцій належності.

Вхідній змінній “**Помилка регулювання**” відповідають три лінгвістичні терми: U_{p1} , U_{p2} , U_{p3} . Кількість цих термів відповідає кількості ділянок апроксимації характеристики намагнічення в діапазоні регулювання вихідної напруги АГ. Форма термів U_{p1} , U_{p2} , U_{p3} приймається трапецієподібною, оскільки така форма функцій належності вживається в техніці регулювання найчастіше через зменшені витрати машинного часу.

Вхідній змінній “**Інтеграл від помилки регулювання**” відповідає один лінгвістичний терм U_{pi} .

Границі термів спочатку встановлюємо приблизно в межах інтервалів зміни вхідних величин, а потім уточнюються після моделювання системи. Остаточні прийняті для лінгвістичних змінних “**Помилка регулювання**” та “**Інтеграл від помилки регулювання**” функції належності зображені на рис. 2, а, параметри їх термів наведено в табл. 1.

Таблиця 1

Параметри функцій належності вхідних змінних

Вхідні змінні	Терм	Форма терма	Характерні точки
“Помилка регулювання”	U_{p1}	трапеція	$[-1.1, -1.1, -0.9, -0.1]$
	U_{p2}	трапеція	$[-0.9, -0.1, 0.1, 0.9]$
	U_{p3}	трапеція	$[0.1, 0.9, 1.1, 1.1]$
“Інтеграл від помилки регулювання”	U_{pi}	трапеція	$[-11,0, -11,0, 11,0, 11,0]$

Вихідній змінній U_{pn} відповідають три терми (набори коефіцієнтів) – U_{v1} , U_{v2} , U_{v3} .

Вибрати параметри термів для вихідної змінної складніше, ніж для вхідних змінних, точно встановити їх можна лише після багаторазового моделювання.

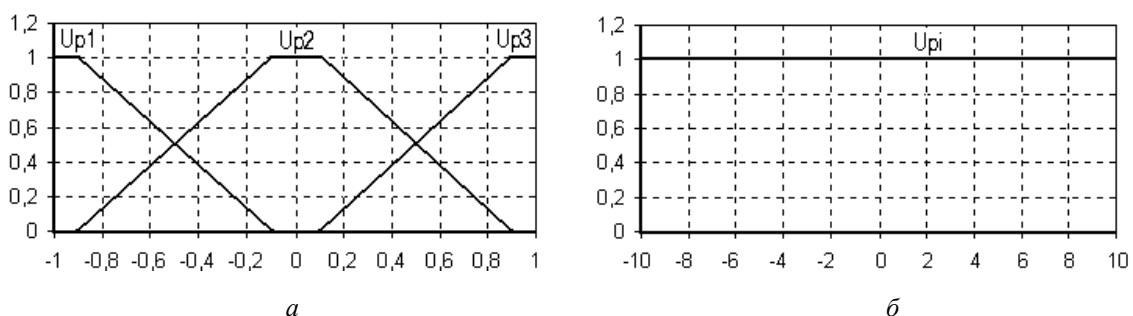


Рис. 2. Функції належності нечіткого регулятора напруги для вхідних змінних:
а – “помилка регулювання”; б – “інтеграл від помилки регулювання”

Результуючі параметри функції належності лінгвістичної змінної “**Задання на струм навантаження ТКРП**” подано в табл. 2.

Параметри функції належності вихідної змінної “Задання на струм навантаження ТКРП”

Терм	Коефіцієнти
U_{V1}	[0.179, 0.787]
U_{V2}	[0.3, 2.0]
U_{V3}	[0.179, 0.787]

3.3. Складання бази нечітких правил.

Правила складаються на основі інтуїтивних знань експерта. У нашому випадку, як експертні знання, використовуються результати аналізу перехідних процесів, що були отримані під час моделювання системи з класичною системою регулювання. Деякі правила після моделювання системи можуть бути уточненими.

Для аналізу САК напругою АГ розроблено структурну схему в програмному середовищі Matlab Simulink і проведено її комп'ютерні дослідження в різних режимах роботи за різних варіантів налаштувань контурів. Модель створена для АГ типу АО51-4 ($P_H = 4,5$ кВт, $n_H = 1440$ об./хв., $U_H = 220/380$ В, $I_H = 16,3/9,4$ А, $\cos\varphi = 0,83$, $\eta = 85,5$ %), який використаний як лабораторний стенд.

Правила, які складені та уточнені після моделювання, наведені в табл. 3.

Таблиця 3

Нечіткі правила

“Інтеграл від помилки регулювання”	“Помилка регулювання”		
	U_{p1}	U_{p2}	U_{p3}
U_{pi}	U_{V1}	U_{V2}	U_{V3}

Як базовий розраховано варіант налаштувань за методикою [1] для звичайного ПІ-регулятора напруги (РН). Параметри нечіткого регулятора вибрані, виходячи з експериментальної характеристики АГ у робочому діапазоні. Межі діапазону вибрані згідно зі стандартом: $U_{AG} = 220 +5\% -10\%$. Цей діапазон розбитий на три ділянки: U_{p1} , U_{p2} , U_{p3} . Параметри нечіткого регулятора вибрані шляхом моделювання основних динамічних режимів: стрибкоподібної зміни сигналу задання та навантаження. Такий нечіткий регулятор може бути реалізований за використання сигнального процесора, наприклад типу TMS фірми Texas Instrumental, у якому передбачені вхідний аналого-цифровий та вихідний цифро-аналоговий перетворювачі.

На рис. 3, б показано частину досліджень динамічних режимів у контурах напруги АГ (рис. 3, а) і струму навантаження ТКРП у двоконтурній СПР напруги АГ у режимах: зміни сигналу задання на напругу АГ (2–3,5 с) і вмикання електричного кола навантаження (5–6 с). На графіки нанесено два перехідних процеси за різних регуляторів напруги: 1 – застосований базовий варіант зі звичайним ПІ-РН і параметрами: $K_{pn} = 0,179$, $T_i = 0,787$ с; 2 – застосований нечіткий регулятор напруги

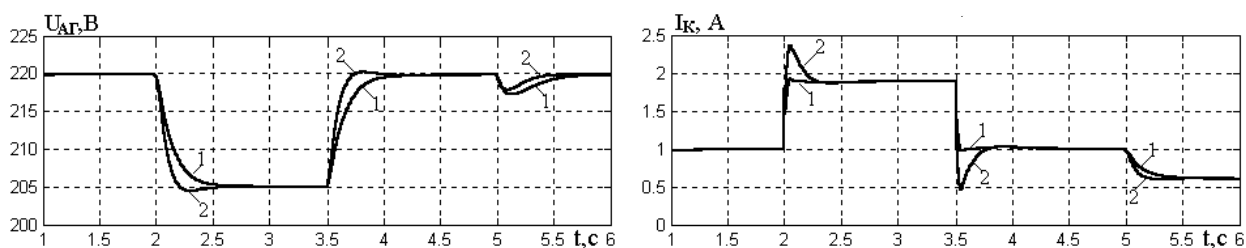


Рис. 3. Перехідні процеси двоконтурної СПР напруги АГ

З аналізу графіків перехідних процесів випливає, що вибором параметрів нечіткого регулятора можна забезпечити бажані динамічні характеристики системи регулювання напруги.

На рис. 4 показані перехідні процеси напруги АГ і струму компенсатора за дії збурень f^* [2]. Частота збурення $f^* = f_0/50$ вибрана з умови імітації пориву вітру і максимального відхилення частоти обертання АГ від синхронної за рахунок інерційності системи її регулювання.

На графіки рис. 4, б, в нанесені два перехідних процеси під час налаштування контурів напруги і струму відповідно на: 1 – застосований базовий варіант зі звичайним ПІ-РН з параметрами: $K_{рн} = 0,179$, $T_i = 0,787$ с; 2 – застосований нечіткий регулятор напруги.

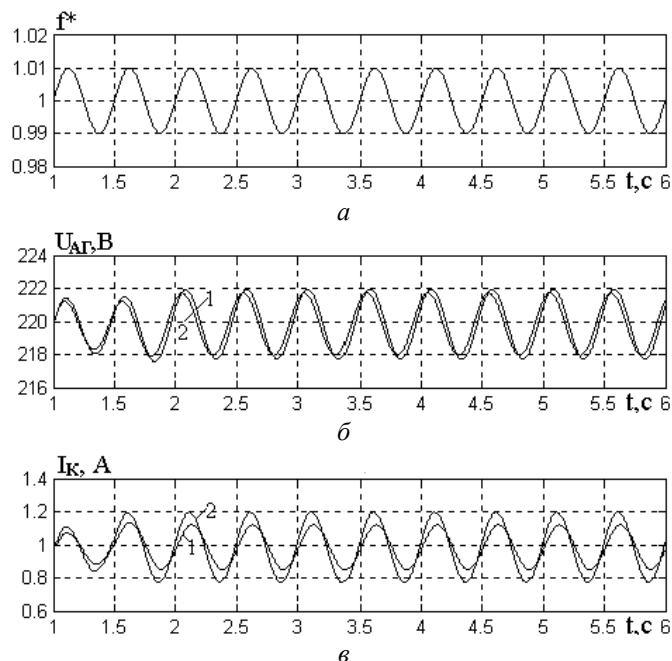


Рис. 4. Вплив збурень в каналі частоти обертання за використання:
1 – ПІ-РН; 2 – НРН

Висновки: 1. Застосування нечіткого регулятора забезпечує бажані динамічні характеристики в усьому діапазоні регулювання напруги АГ.

2. Відповідним налаштуванням нечіткого регулятора можна забезпечити практичну нечутливість САК напруги до збурень в каналі швидкості.

1. Марущак Я.Ю., Копчак Б.Л. Вибір раціонального варіанта системи автоматичного регулювання напруги асинхронного генератора з самозбудженням // *Технічна електродинаміка. Темат. вип.: Проблеми сучасної електротехніки* – 2002. – К., 2002. – Ч. 5. – С. 22–26. 2. Копчак Б.Л., Ткачук В.І. Порівняльний аналіз систем автоматичного керування напруги асинхронного генератора з самозбудженням // *Пр. Луганського відділення Міжнар. Акад. інформатизації*. – Луганськ: “Копіцентр”, 2003. – № 2 (7). 3. Леоненков В.А. Нечеткое моделирование в среде MATLAB и fuzzyTECH. – СПб.: БХВ-Перербург, 2003. – 736 с. 4. Плахтина Е.Г. Математическое моделирование электромашиинно-вентильных систем. – Львов: Вища шк., 1986. – 164 с. 5. Ткачук В.І., Копчак Б.Л. Асинхронний генератор з самозбудженням як ланка системи автоматичного керування // *Вісн. Нац. ун-ту “Львівська політехніка”*. – 2002. – № 449. – С. 170–177.