

## ВИКОРИСТАННЯ НЕЧІТКИХ РЕГУЛЯТОРІВ ДЛЯ ПОКРАЩЕННЯ ХАРАКТЕРИСТИК ЕЛЕКТРОПРИВОДІВ З БЕЗЩІТКОВИМИ ДВИГУНАМИ ПОСТІЙНОГО СТРУМУ

*Запропоновано вводити в астатичні за швидкістю системи керування електроприводами з безщітковими двигунами постійного струму нечіткі регулятори паралельно до класичних. Наведені результати досліджень на математичній моделі, які підтвердили покращення динамічних характеристик електропривода.*

*Предложено вводить в астатические по скорости системы управления электроприводами с безщеточными двигателями постоянного тока нечеткие регуляторы параллельно к классическим. Приведены результаты исследований на математической модели, которые подтвердили улучшение динамических характеристик электропривода.*

*It is suggested to apply fuzzy regulators in parallel to classic ones to the speed – astatic control systems of electric drives with direct current brushless motors. The results of the research based on a mathematical model confirming the improvement of dynamic performances of an electric drive have been presented.*

**Постановка проблеми.** Безщіткові двигуни постійного струму (БДПС) (engl. BLDC) – один з типів двигунів, що швидко набули популярності та широко використовуються в різних галузях промисловості, зокрема: автомобільній, приладобудівній, космічній, побутовій техніці, медичній, промисловій автоматизації тощо. Тому розроблення сучасних систем керування для таких двигунів є актуальною проблемою.

**Аналіз останніх досліджень.** Проведені нами комп'ютерні дослідження БДПС в середовищі MATLAB Simulink показали, що такі двигуни за своїми характеристиками близькі до двигунів постійного струму і їм притаманне динамічне і статичне просідання швидкості обертання при стрибкоподібній зміні навантаження. Для керування сучасними БДПС застосовують традиційні САК, які у багатьох випадках не забезпечують бажаних динамічних характеристик. З метою усунення цих недоліків перспективним є застосування у таких електроприводах нечітких регуляторів.

**Задачі дослідження.** Завданням дослідження є розроблення: структурної схеми системи керування швидкістю БДПС; методики синтезу САК швидкістю БДПС з високим ступенем нечутливості до дії збурень на валу вантаження, що змінюється випадковим чином, з використанням нечітких регуляторів в контурі керування швидкістю, або неадаптивного нечіткого регулятора, який повинен вмикатися паралельно до відомої схеми реалізації керування швидкістю обертання БДПС [1] без зміни її параметрів. Така САК повинна забезпечити високу точність регулювання швидкості БДПС, його хороші динамічні характеристики, простоту в налагодженні та надійність в експлуатації.

**Вирішення проблеми.** Внаслідок дії випадкових збурень на навантаження БДПС, його швидкість може також коливатися випадковим чином. Щоб покращити динамічні властивості контура швидкості системи

електропривода при дії збурень в каналі навантаження, запропоновано синтезувати неадаптивний нечіткий регулятор [3] і ввімкнути його паралельно до відомої схеми керування швидкістю БДПС з ПІ-регулятором швидкості (рис.1).

До складу даного нечіткого регулятора входить блок підготовки вхідної інформації, що перетворює вхідні сигнали в сигнали з необхідними параметрами, які в подальшому використовуються для його роботи. Крім цього, в нечіткому регуляторі слід передбачити диференціальний вхід.

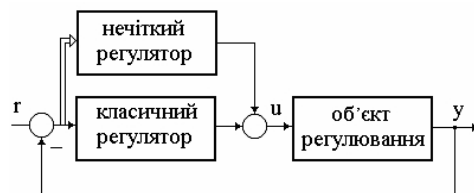


Рис.1. Структурна схема контуру з паралельною нечіткою корекцією

**Синтез нечіткого регулятора** здійснюється за методикою, наведеною в [2].

Обирається одна з найбільш стабільних та простих для настроювання структур – контур з паралельною нечіткою корекцією, загальна структура якого показана на рис.1. Нечіткий регулятор вмикається паралельно до класичного ПІ-регулятора (рис.1). Вхідними величинами нечіткого регулятора є сигнал розузгодження між завданням на швидкість БДПС і зворотним зв'язком за швидкістю ( $y$ ) та його похідна ( $y'$ ). Вихідною величиною нечіткого регулятора є сигнал корекції, який в поєднанні з вихідним сигналом відомої схеми реалізації САК швидкістю БДПС повинен покращити динамічні характеристики контура швидкості системи електропривода.

Результати аналізу системи з класичним регулятором дозволяють визначити інтервали зміни вхідних та вихідних величин. Прийняті для лінгвістичних змінних Error ( $y$ ) та D-Error ( $y'$ ) функції приналежності показані на рисунках 2,3.

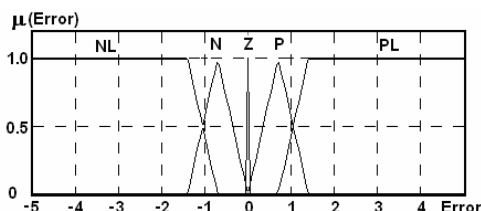


Рис.2. Функція приналежності вхідної змінної Error

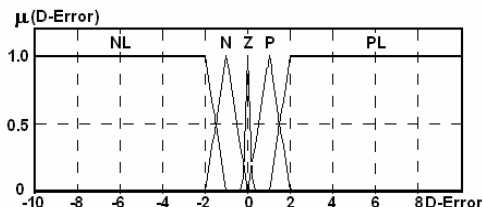


Рис.3. Функція приналежності вхідної змінної D-Error

Обрати параметри термів для вихідної змінної складніше, ніж для вхідних змінних, а встановити їх точно можна лише після багаторазового моделювання. Остаточно приймається функція приналежності, що зображена на рис. 4.

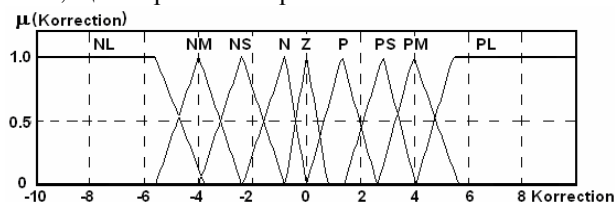


Рис.4. Функція приналежності вихідної змінної

**Складання бази нечітких правил.** Правила складаються на основі інтуїтивних знань експерта. В нашому випадку як експертні знання використовуються результати аналізу, що були отримані при дослідженні класичного регулятора. Деякі правила після моделювання системи з паралельною корекцією можуть бути уточнені.

Як зазначалося вище, завдання паралельної нечіткої корекції полягає в забезпеченні вищої точності, надійності та працездатності САК швидкістю БДПС. Складені таким чином та уточнені після моделювання правила наведені в табл.1.

1. Нечіткі правила

		Error					
D-Error		PL	P	Z	N	NL	
	PL	NL	NM	Z	N	Z	
	P	NM	NS	Z	Z	P	
	Z	NS	N	Z	P	PS	
	N	N	Z	Z	PS	PM	
	NL	Z	P	Z	PM	PL	

Результати цифрового моделювання приводу на основі БДПС з  $P_n = 1$  кВт, у якому керування швидкістю здійснюється з використанням перетворювача частоти з цифровим ПІ – регулятором без паралельної нечіткої корекції (НК), а також з нею, наведені в табл.2:  $\sigma$  – перерегулювання в режимі пуску,  $\delta$  – перерегулювання при дії на систему збурення у вигляді стрибкоподібної зміни навантаження  $M_n=3$  Н·м.

2. Результати моделювання

	$\sigma, \%$	$\delta, \%$
Без НК	2,85	5,22
3 НК без диф. складов.	0,17	1,08
3 НК	2.61	0.2

### Висновки

1. В схеми керування БДПС для покращення динамічних характеристик доцільно вмикати паралельно до схеми класичного ПІ-регулятора швидкості нечіткий регулятор.

2. Запропонований неадаптивний нечіткий регулятор в контурі регулювання швидкості БДПС покращує динамічні властивості системи електроприводу, зокрема його диференціальна складова суттєво зменшує перерегулювання при дії збурень у навантаженні.

### Список використаної літератури

1. Леоненков В.А. Нечеткое моделирование в среде MATLAB и fuzzy TECH / В.А.Леоненков – СПб.: БХВ-Петербург, 2003.– 736 с.
2. Лозинський А.О. Системи керування електропобутовими приладами / А.О.Лозинський, Б.Л.Копчак, В.В.Бушер // Видавниц. Нац. ун-ту “Львівська політехніка”, – Львів: 2010. – 302 с.
3. Рутковская Д. Нейронные сети, генетические алгоритмы и нечеткие системы / Д.Рутковская, М.Пилинский, Л.Рутковский – М.: Гор. Линия. Телеком, 2004. – 452 с.

Отримано 08.07.2011



Біляковський Ігор Євгенович,  
к.т.н., доц. каф. ЕМА НУ  
«ЛП», Львів-13,  
вул. Бандери 12.  
р/тел. 258-21-60  
E-mail: bilyakovsky@mail.ru



Копчак Богдан Любомирович,  
к.т.н., доц. каф. ЕМА НУ  
«ЛП», Львів-13,  
вул. Бандери 12.  
р/тел. 258-21-60  
E-mail: kopchak@mail.ru



Копчак  
Любомир Стефанович,  
к.т.н., доц. каф. ЕАП НУ  
«ЛП», Львів-13,  
вул. Бандери 12.  
р/тел. 258-21-26



Цяпа Володимир Богданович,  
ст. викладач каф. ЕАП НУ  
«ЛП», Львів-13,  
вул. Бандери 12.  
р/тел. 258-36-20