

Дослідження роботи fuzzy-logic регулятора з різними алгоритмами нечіткого виведення

Виконав: студент групи ЕПА-16м Сухань С.В.

Мета і задачі дослідження

Метою роботи є дослідження впливу алгоритму нечіткого виведення на якість, стійкість та динаміку електроприводу.

Для досягнення поставленої мети необхідно розв'язати такі **задачі**:

- 1) здійснити аналіз існуючих алгоритмів нечіткого виведення, які можуть бути реалізованими fuzzy-logic регуляторами;
- 2) обрати об'єкт дослідження, для якого розробити математичні моделі з класичним регулятором та fuzzy-logic регуляторами з алгоритмами Mamdani та Sugeno з одним та двома входами;
- 3) реалізувати розроблені моделі об'єкта дослідження в програмному середовищі;
- 4) дослідити функціонування системи електропривода з класичним регулятором та fuzzy-logic регуляторами з алгоритмами Mamdani та Sugeno з одним та двома входами;
- 5) порівняти результати функціонування системи електропривода з класичним регулятором та fuzzy-регуляторами з одним та двома входами.

Розв'язанню поставлених задач присвячена дана робота.

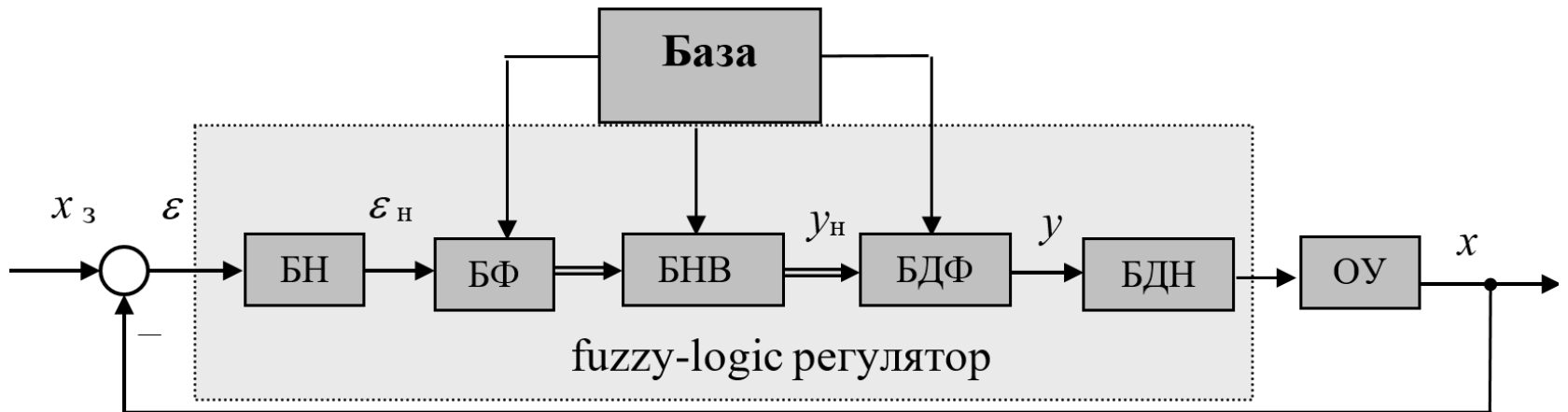
Об'єкт, предмет та методи дослідження

Об'єктом дослідження в роботі є процеси зміни поведінки електроприводу при використанні fuzzy-logic регулятора з різними алгоритмами нечіткого виведення.

Предметом дослідження є математичні моделі fuzzy-logic регулятора з різними алгоритмами нечіткого виведення.

Методи дослідження:

- теорія автоматичного керування;
- теорія систем керування електроприводами;
- математичне моделювання;
- теорія нечітких множин.



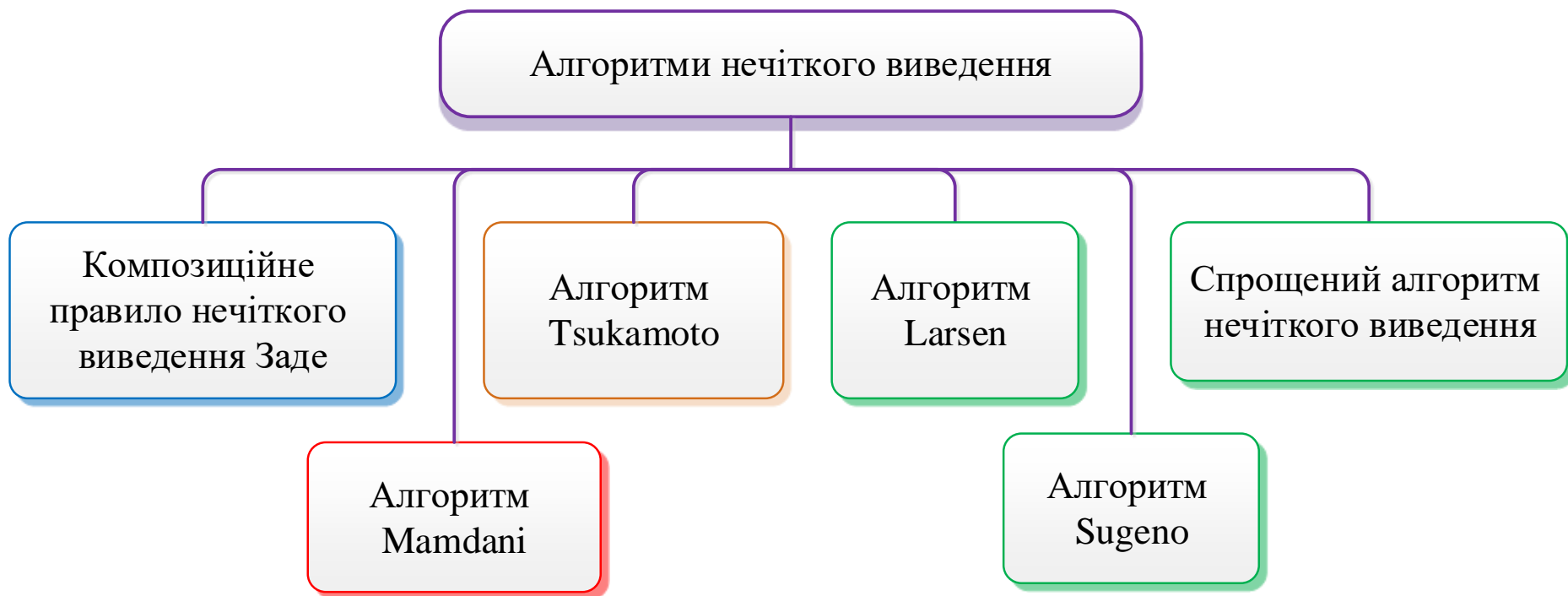
Зм.	Арк.	№ докумен.	Підпис	Дата
Розробив:		Сухань С.В.		
Перевірив		Розводок М.П.		
Т. контр.				
Норм.кон.				
Затверд.		Кутін В.М.		

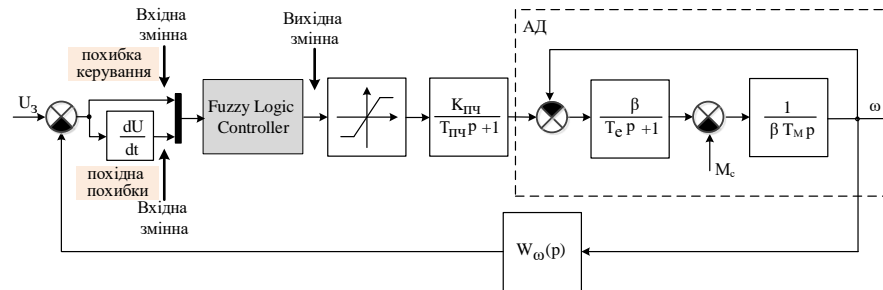
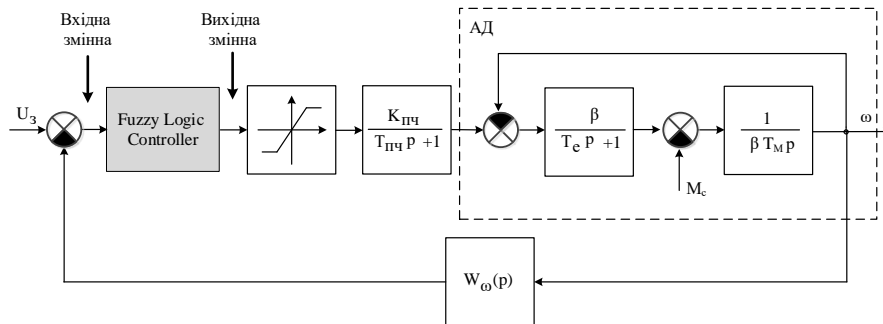
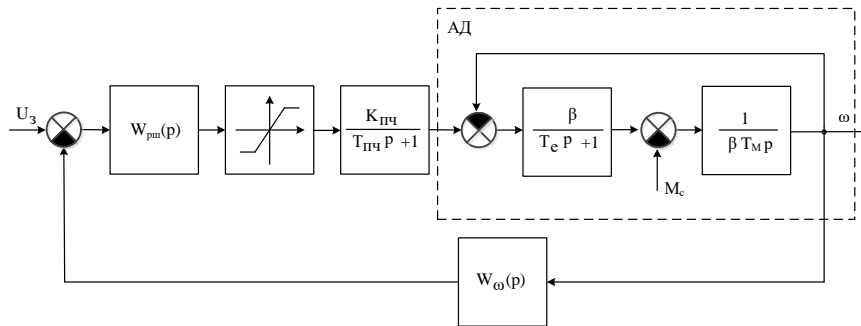
Дослідження роботи fuzzy-logic регулятора з різними алгоритмами нечіткого виведення.
Структура fuzzy-logic регулятора

Літ.	Маса	Масштаб
у		
Аркуш 1		Аркушів 1

Інв. №
Підпис та дата
На зам. інв.
На зам. інв.
Підпис та дата

Класифікація алгоритмів нечіткого виведення





Інв. №
Підпис та дата
На зам. інв.
На зам. інв.
Підпис та дата

				08-16.МКР.007.00.000 Е1			
Зм. Арк.	№ докум.	Пісьм.	Дата	Дослідження роботи fuzzy-logic регулятора з різними алгоритмами нечіткого висноєня. Структурні схеми електронного з системою ПЧ-АД з контуром зворотного зв'язку за швидкістю	Літ.	Маса	Масштаб
Розробив:	Нинь Б.Ю.				у		
Перевіряв:	Ровозов М.П.						
Т. контр.					Аркуш 1	Аркушів 1	
Норм.кон.				ВНТУ, гр. ЕПА-16м			
Затверд.	Кутів В.М.						

Fuzzy-регулятор з одним входом. Лінгвістичні оцінки для вхідної та вихідної змінних

Пара- метри	Назва вхідного параметру	Терми	
		назва	позначення
ΔU	Вхідний сигнал регулятора	від'ємний великий	NB
		від'ємний малий	NS
		близький до нуля	Z
		додатній малий	PS
		додатній великий	PB
U_{reg}	Вихідний сигнал регулятора	від'ємний великий	NB $\rightarrow d_1$
		від'ємний малий	NS $\rightarrow d_2$
		близький до нуля	Z $\rightarrow d_3$
		додатній малий	PS $\rightarrow d_4$
		додатній великий	PB $\rightarrow d_5$

Fuzzy-регулятор з одним входом.

Нечітка база знань та логічні рівняння для системи нечіткого виведення

Номер правила	Вхідний параметр ΔU	Вихідний параметр U_{reg}
	Δu	d
1	NB	d_1
2	NS	
3	NS	d_2
4	Z	
5	Z	d_3
6	Z	d_4
7	PS	
8	PS	d_5
9	PB	

Логічні рівняння:

$$\mu^{d_1}(d) = \mu^{\text{NB}}(\Delta u) \vee \mu^{\text{NS}}(\Delta u);$$

$$\mu^{d_2}(d) = \mu^{\text{NS}}(\Delta u) \vee \mu^{\text{Z}}(\Delta u);$$

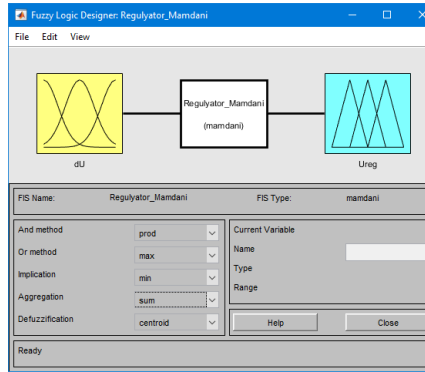
$$\mu^{d_3}(d) = \mu^{\text{Z}}(\Delta u);$$

$$\mu^{d_4}(d) = \mu^{\text{Z}}(\Delta u) \vee \mu^{\text{PS}}(\Delta u);$$

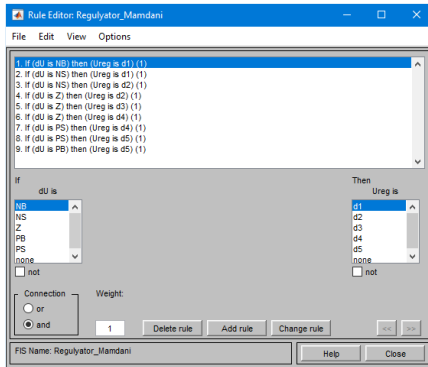
$$\mu^{d_5}(d) = \mu^{\text{PS}}(\Delta u) \vee \mu^{\text{PB}}(\Delta u).$$

Структура Fuzzy системи FIS

FIS Editor

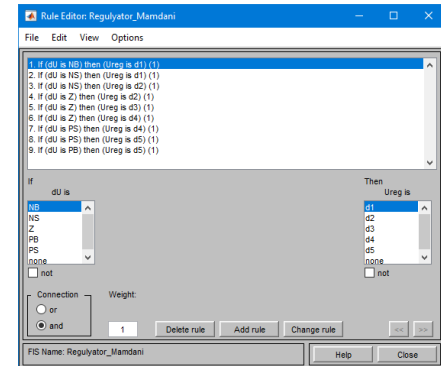


Rule Editor



Редактор правил

Membership Function Editor

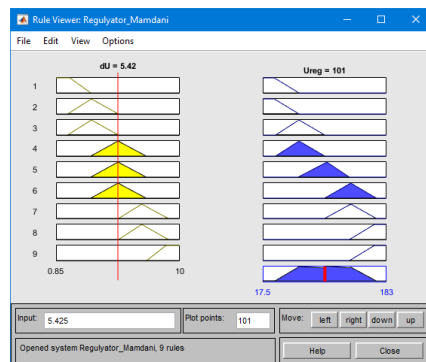


Редактор функцій належності

FIS редактор

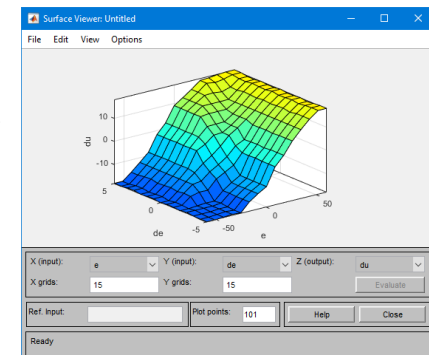
Fuzzy Inference System

Rule Wiewer



Перегляд правил

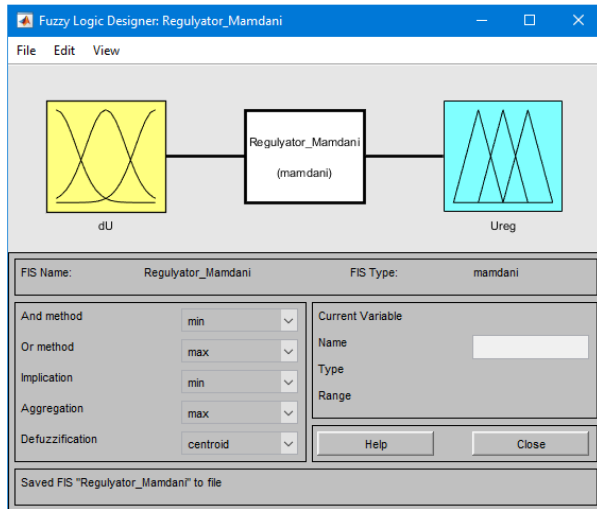
Surface Wiewer



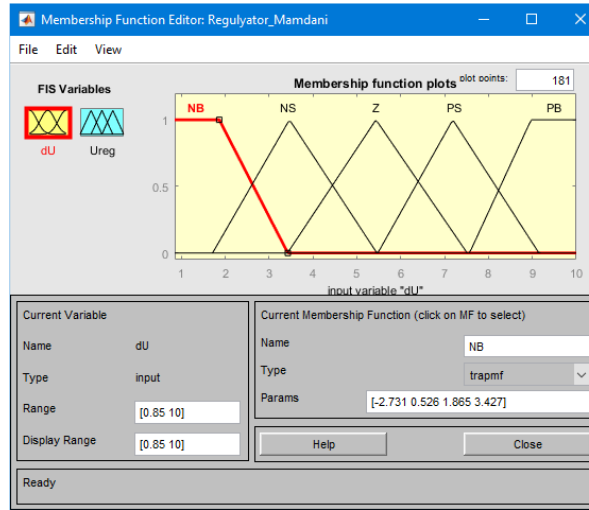
Перегляд поверхні

Інструменти лише для читання

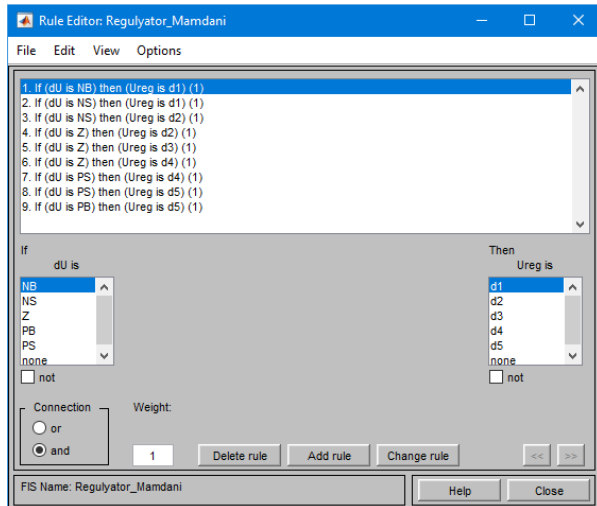
Параметри fuzzy-logic регулятора з одним входом з алгоритмом Mamdani



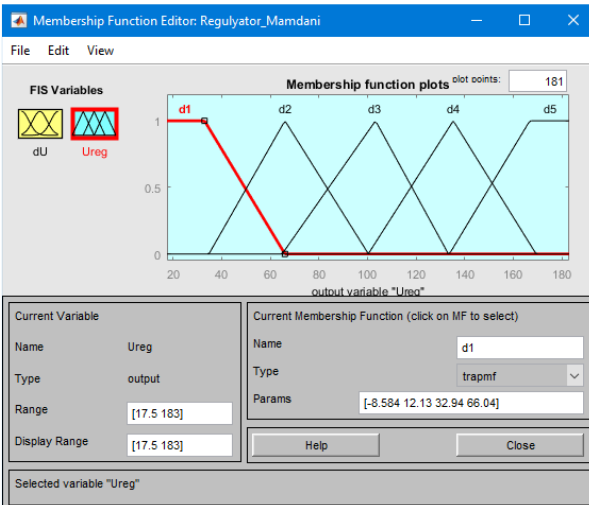
Графічний інтерфейс редактора FIS після задання вхідних і вихідних параметрів для системи нечіткого висновку Regulator_Mamdani



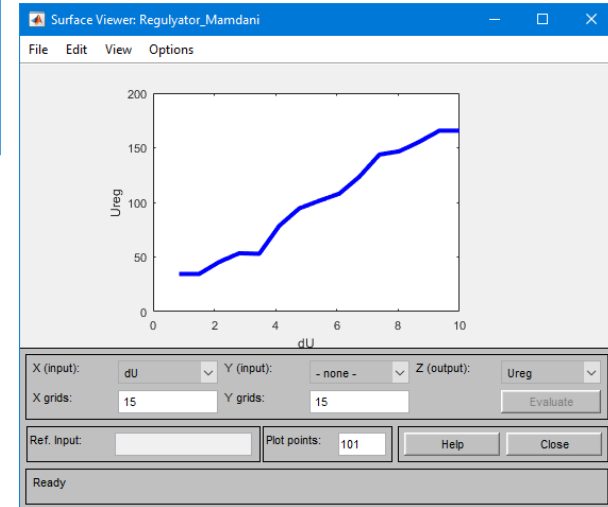
Параметри функцій належності вхідної змінної ΔU



Правила fuzzy-logic регулятора

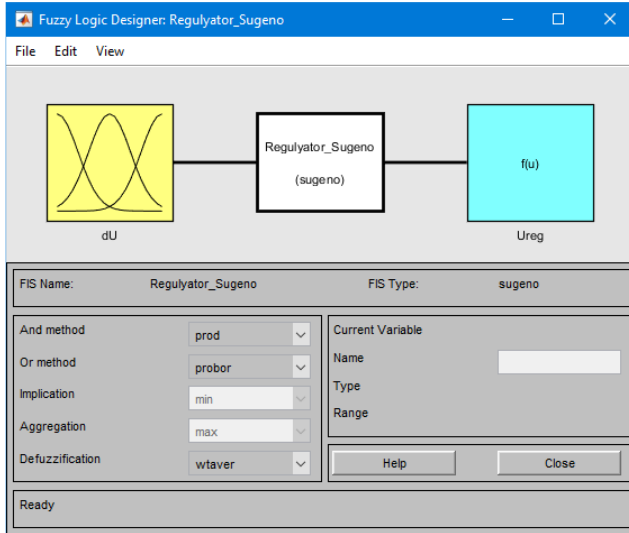


Параметри функцій належності вихідної змінної U_{reg} з алгоритмом Mamdani

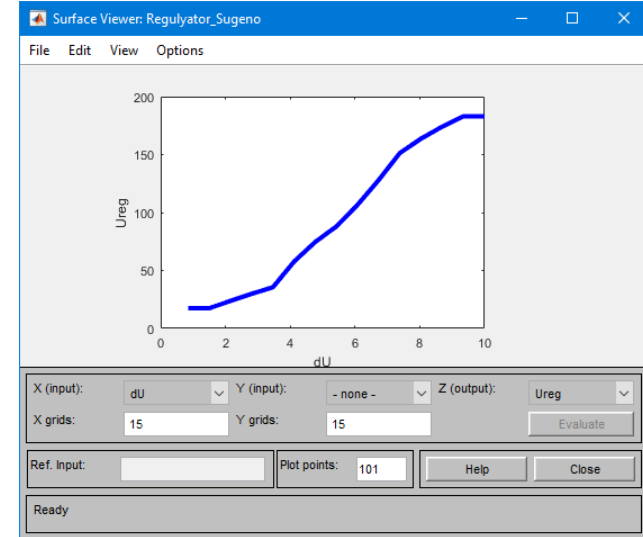


Зовнішній вигляд залежності $U_{reg} = f(dU)$ для алгоритму Mamdani

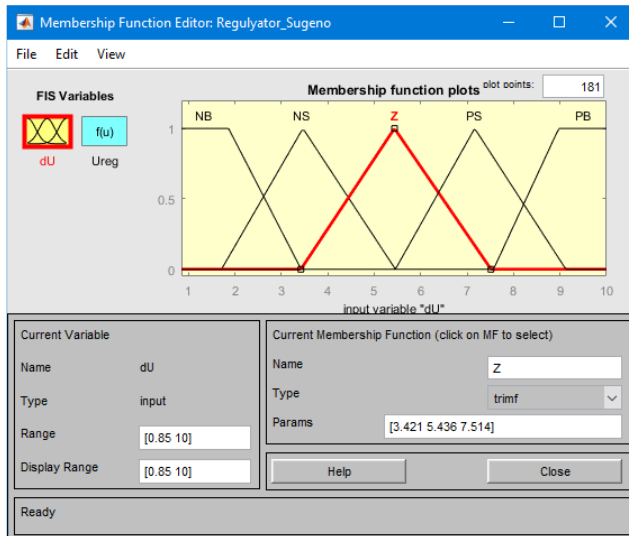
Параметри fuzzy-logic регулятора з одним входом з алгоритмом Sugeno



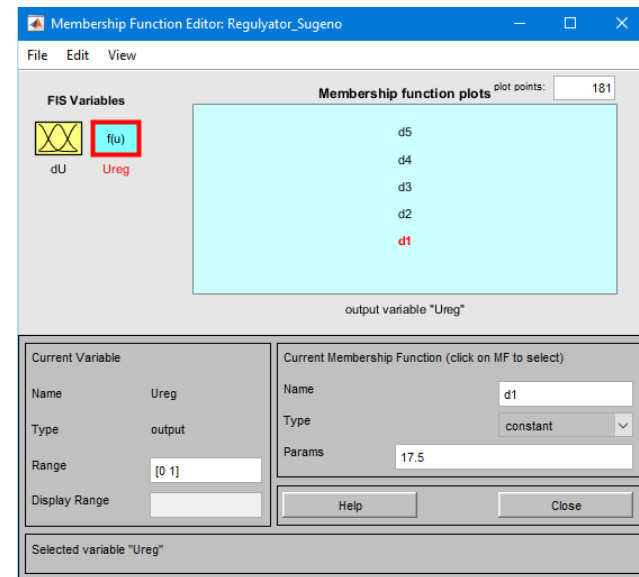
Графічний інтерфейс редактора FIS після задання вхідних і вихідних параметрів для системи нечіткого висновку Regulator_Sugeno



Параметри функцій належності вхідної змінної ΔU



Зовнішній вигляд залежності $U_{reg} = f(dU)$ для алгоритму Sugeno



Параметри функцій належності вихідної змінної U_{reg} з алгоритмом Sugeno

Fuzzy-регулятор з двома входами.

Лінгвістичні оцінки для вхідної та вихідної змінних

Параметри	Назва вхідного / вихідного параметрів	Терми	
		назва	позначення
ΔU	Похибка керування	від'ємний великий	NB
		від'ємний малий	NS
		близький до нуля	Z
		додатній малий	PS
		додатній великий	PB
$\frac{dU}{dt}$	Похідна похибки керування	від'ємний великий	NB
		від'ємний малий	NS
		близький до нуля	Z
		додатній малий	PS
		додатній великий	PB
U_{reg}	Вихідний сигнал регулятора	від'ємний великий	NB $\rightarrow d_1$
		від'ємний малий	NS $\rightarrow d_2$
		близький до нуля	Z $\rightarrow d_3$
		додатній малий	PS $\rightarrow d_4$
		додатній великий	PB $\rightarrow d_5$

Fuzzy-регулятор з двома входами.

Нечітка база знань та логічні рівняння для системи нечіткого виведення

Номер правила	Похибка керування	Похідна похибки керування	Вихідний параметр регулятора U_{reg}
	Δu	$\frac{du}{dt}$	d
1	NB	NB	d_1
2	NB	NS	
3	NB	Z	
4	NB	PS	
5	NB	PB	
6	NS	NB	
7	NS	NS	
8	NS	Z	
9	NS	PS	d_2
10	NS	PB	
11	Z	NB	
12	Z	NS	
13	Z	Z	d_3
14	Z	PS	d_4
15	Z	PB	
16	PS	NB	
17	PS	NS	
18	PS	Z	
19	PS	PS	
20	PS	PB	d_5
21	PB	NB	
22	PB	NS	
23	PB	Z	
24	PB	PS	
25	PB	PB	

$$\mu^{d_1}(d) = \mu^{NB}(\Delta u) \cdot \mu^{NB}\left(\frac{du}{dt}\right) \vee \mu^{NB}(\Delta u) \cdot \mu^{NS}\left(\frac{du}{dt}\right) \vee \mu^{NB}(\Delta u) \cdot \mu^Z\left(\frac{du}{dt}\right) \vee \mu^{NB}(\Delta u) \cdot \mu^{PS}\left(\frac{du}{dt}\right) \vee \mu^{NB}(\Delta u) \cdot \mu^{PB}\left(\frac{du}{dt}\right) \vee \mu^{NS}(\Delta u) \cdot \mu^{NB}\left(\frac{du}{dt}\right) \vee \mu^{NS}(\Delta u) \cdot \mu^{NS}\left(\frac{du}{dt}\right);$$

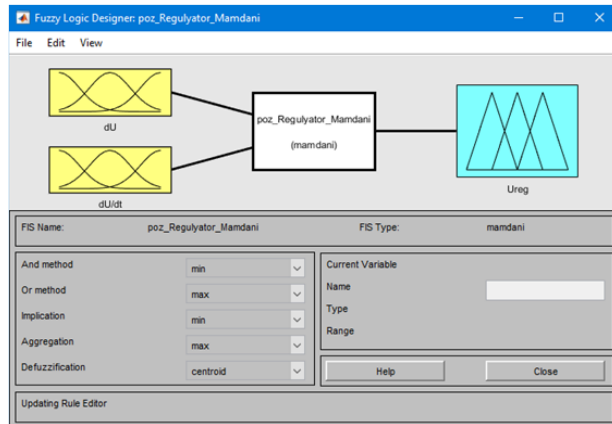
$$\mu^{d_2}(d) = \mu^{NS}(\Delta u) \cdot \mu^Z\left(\frac{du}{dt}\right) \vee \mu^{NS}(\Delta u) \cdot \mu^{PS}\left(\frac{du}{dt}\right) \vee \mu^{NS}(\Delta u) \cdot \mu^{PB}\left(\frac{du}{dt}\right) \vee \mu^Z(\Delta u) \cdot \mu^{NB}\left(\frac{du}{dt}\right) \vee \mu^{PS}(\Delta u) \cdot \mu^{NS}\left(\frac{du}{dt}\right) \vee \mu^{PS}(\Delta u) \cdot \mu^Z\left(\frac{du}{dt}\right) \vee \mu^{PS}(\Delta u) \cdot \mu^{PS}\left(\frac{du}{dt}\right);$$

$$\mu^{d_3}(d) = \mu^Z(\Delta u) \cdot \mu^Z\left(\frac{du}{dt}\right);$$

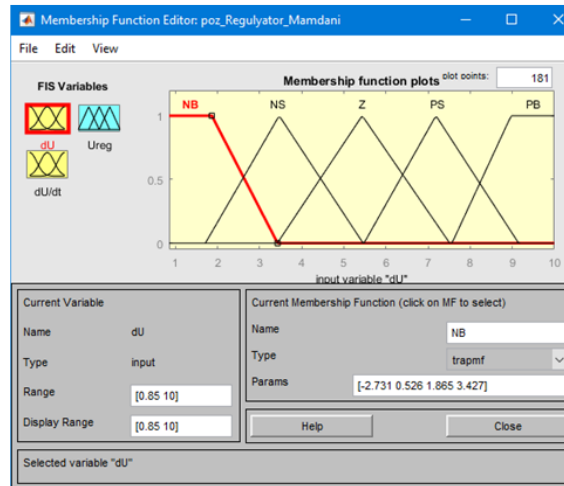
$$\mu^{d_4}(d) = \mu^Z(\Delta u) \cdot \mu^{PS}\left(\frac{du}{dt}\right) \vee \mu^Z(\Delta u) \cdot \mu^{PB}\left(\frac{du}{dt}\right) \vee \mu^{PS}(\Delta u) \cdot \mu^{NB}\left(\frac{du}{dt}\right) \vee \mu^{PS}(\Delta u) \cdot \mu^{NS}\left(\frac{du}{dt}\right) \vee \mu^{PS}(\Delta u) \cdot \mu^Z\left(\frac{du}{dt}\right) \vee \mu^{PS}(\Delta u) \cdot \mu^{PS}\left(\frac{du}{dt}\right);$$

$$\mu^{d_5}(d) = \mu^{PS}(\Delta u) \cdot \mu^{PB}\left(\frac{du}{dt}\right) \vee \mu^{PB}(\Delta u) \cdot \mu^{NB}\left(\frac{du}{dt}\right) \vee \mu^{PB}(\Delta u) \cdot \mu^{NS}\left(\frac{du}{dt}\right) \vee \mu^{PB}(\Delta u) \cdot \mu^Z\left(\frac{du}{dt}\right) \vee \mu^{PB}(\Delta u) \cdot \mu^{PS}\left(\frac{du}{dt}\right) \vee \mu^{PB}(\Delta u) \cdot \mu^{PB}\left(\frac{du}{dt}\right);$$

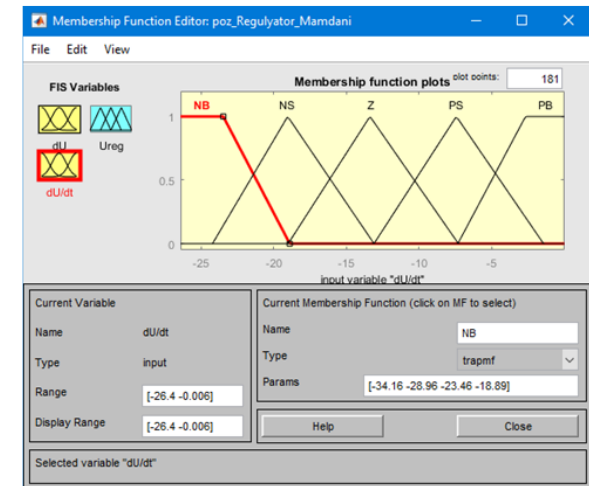
Параметри fuzzy-logic регулятора з двома входами з алгоритмом Mamdani



Графічний інтерфейс редактора FIS після задання вхідних і вихідних параметрів для системи нечіткого висновку poz_Regulyator_Mamdani



Параметри функцій належності вхідної змінної dU

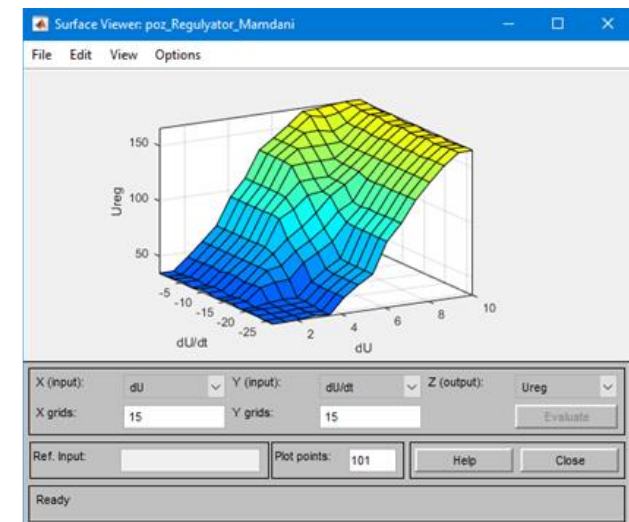


Параметри функцій належності вхідної змінної dU/dt

The screenshot shows the 'Rule Editor' with 24 rules. The rules are as follows:

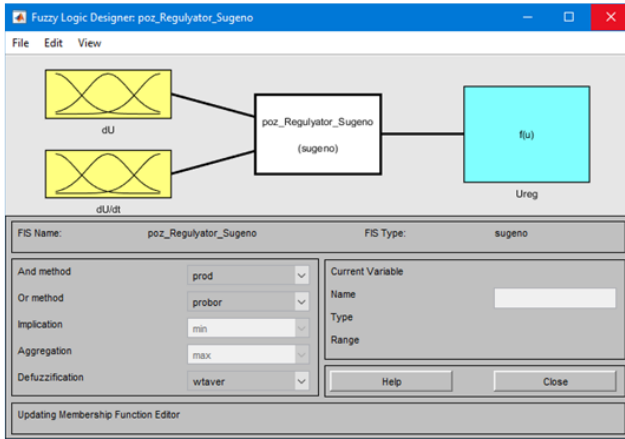
1. If (dU is NB) and (dU/dt is NB) then (Ureg is d1) (1)
2. If (dU is NB) and (dU/dt is NS) then (Ureg is d1) (1)
3. If (dU is NB) and (dU/dt is Z) then (Ureg is d1) (1)
4. If (dU is NB) and (dU/dt is PS) then (Ureg is d1) (1)
5. If (dU is NB) and (dU/dt is PB) then (Ureg is d1) (1)
6. If (dU is NS) and (dU/dt is NB) then (Ureg is d1) (1)
7. If (dU is NS) and (dU/dt is NS) then (Ureg is d1) (1)
8. If (dU is NS) and (dU/dt is Z) then (Ureg is d2) (1)
9. If (dU is NS) and (dU/dt is PS) then (Ureg is d2) (1)
10. If (dU is NS) and (dU/dt is PB) then (Ureg is d2) (1)
11. If (dU is Z) and (dU/dt is NB) then (Ureg is d2) (1)
12. If (dU is Z) and (dU/dt is NS) then (Ureg is d2) (1)
13. If (dU is Z) and (dU/dt is Z) then (Ureg is d3) (1)
14. If (dU is Z) and (dU/dt is PS) then (Ureg is d4) (1)
15. If (dU is Z) and (dU/dt is PB) then (Ureg is d4) (1)
16. If (dU is PS) and (dU/dt is NB) then (Ureg is d4) (1)
17. If (dU is PS) and (dU/dt is NS) then (Ureg is d4) (1)
18. If (dU is PS) and (dU/dt is Z) then (Ureg is d4) (1)
19. If (dU is PS) and (dU/dt is PS) then (Ureg is d4) (1)
20. If (dU is PS) and (dU/dt is PB) then (Ureg is d5) (1)
21. If (dU is PB) and (dU/dt is NB) then (Ureg is d5) (1)
22. If (dU is PB) and (dU/dt is NS) then (Ureg is d5) (1)
23. If (dU is PB) and (dU/dt is Z) then (Ureg is d5) (1)
24. If (dU is PB) and (dU/dt is PS) then (Ureg is d5) (1)

Правила fuzzy-logic регулятора

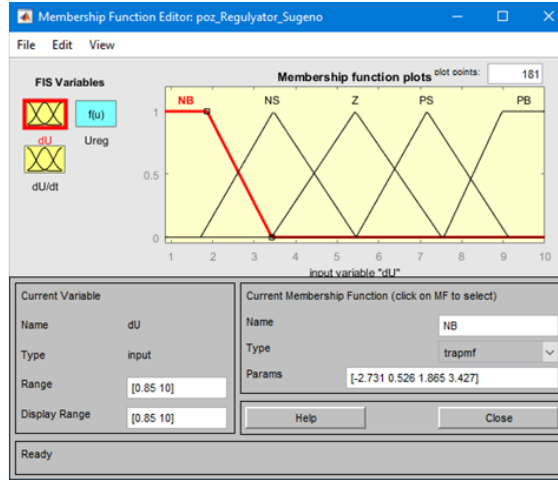


Зовнішній вигляд залежності $U_{reg} = f(\Delta U, dU/dt)$ для алгоритму Mamdani

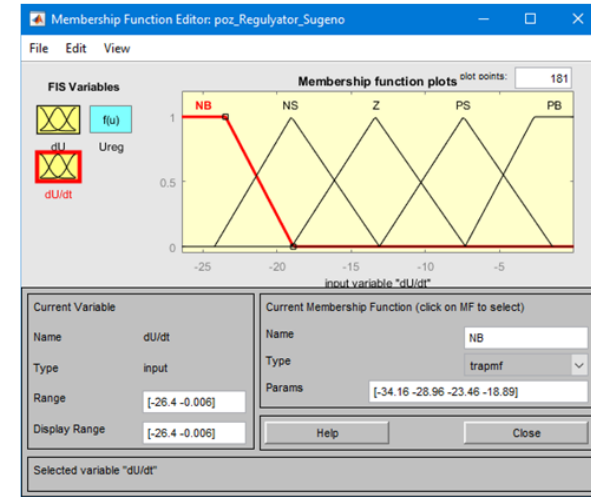
Параметри fuzzy-logic регулятора з двома входами з алгоритмом Sugeno



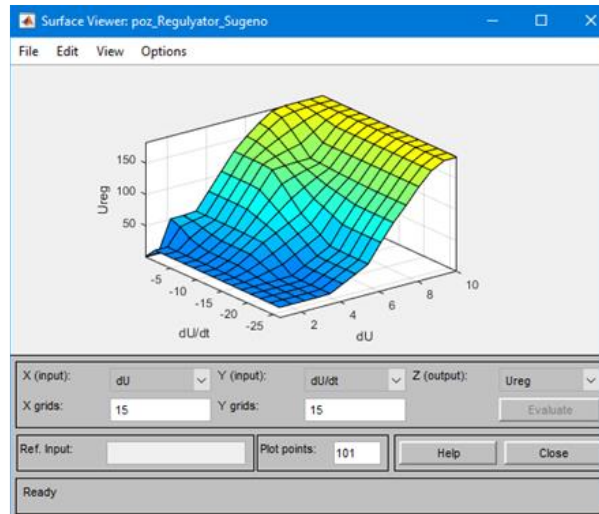
Графічний інтерфейс редактора FIS після задання вхідних і вихідних параметрів для системи нечіткого висновку poz_Regulyator_Sugeno



Параметри функцій належності вхідної змінної dU

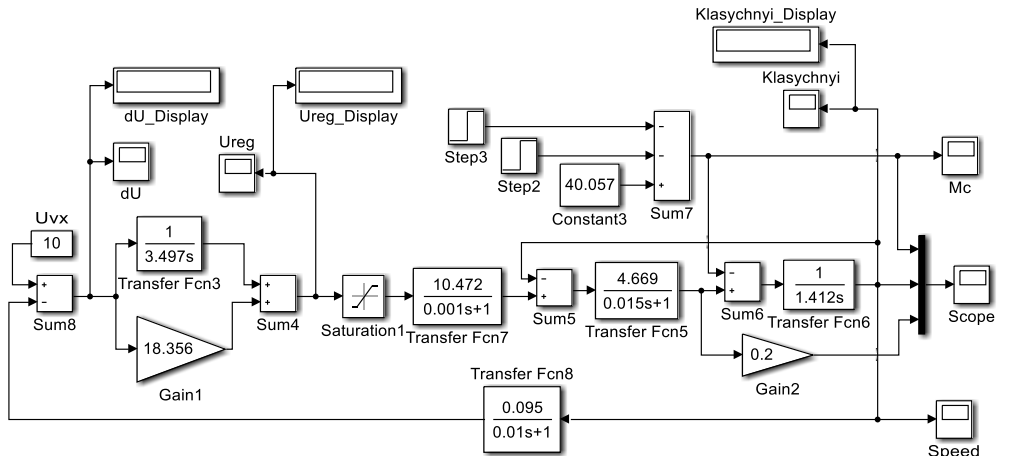


Параметри функцій належності вхідної змінної dU/dt

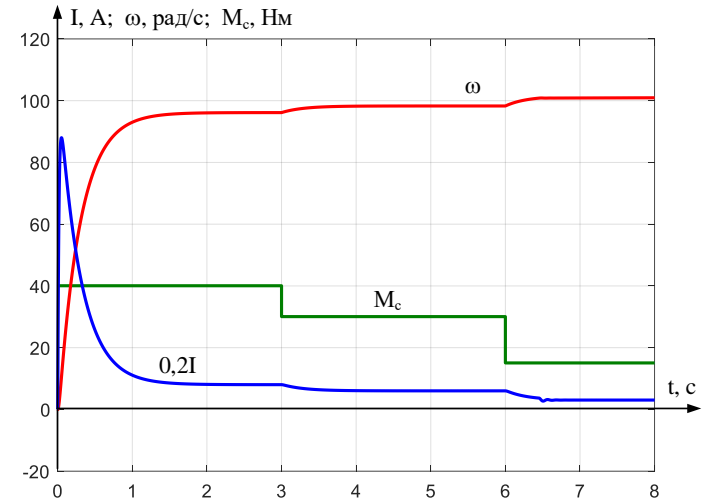


Зовнішній вигляд залежності $U_{reg} = f(dU, dU/dt)$ для алгоритму Sugeno

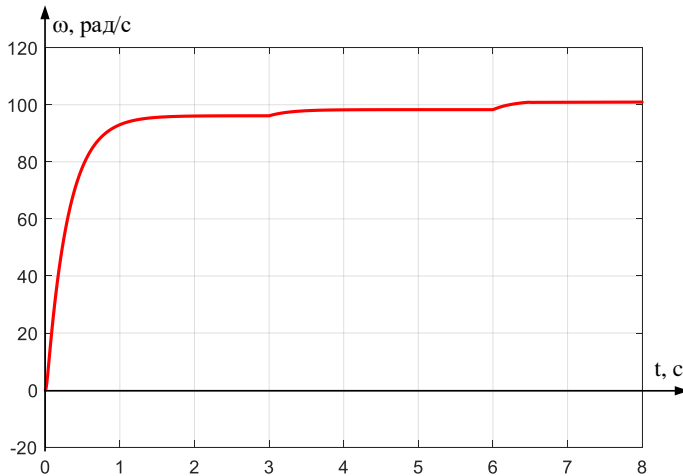
Дослідження функціонування системи електропривода з класичним регулятором



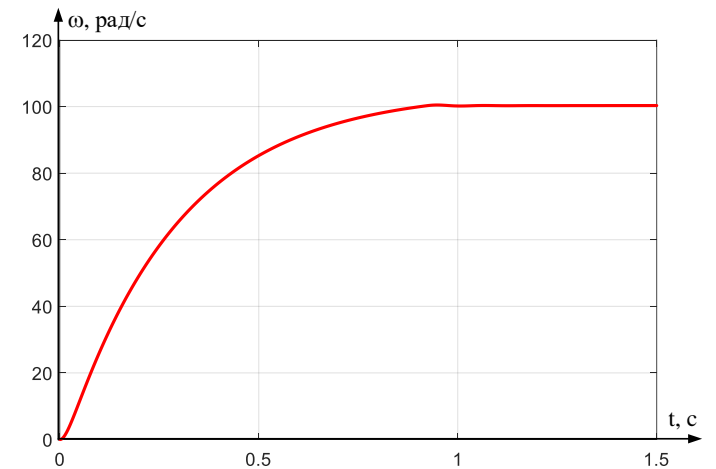
Структурна схема систем ПЧ-АД з класичним регулятором в пакеті Simulink (Matlab)



Графіки перехідних характеристик системи електропривода з класичним регулятором

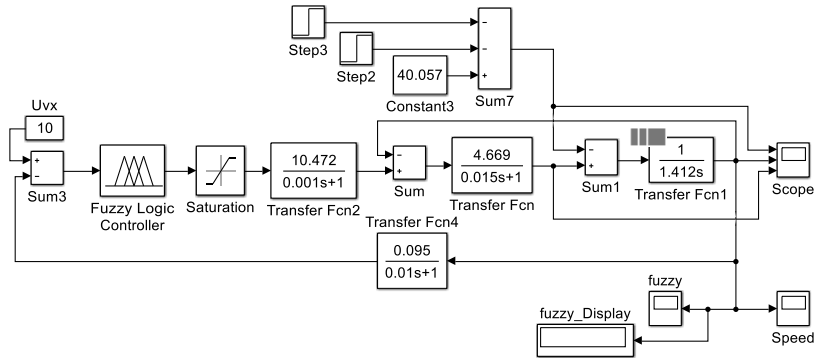


Графік перехідного процесу кутової швидкості системи електропривода з класичним регулятором

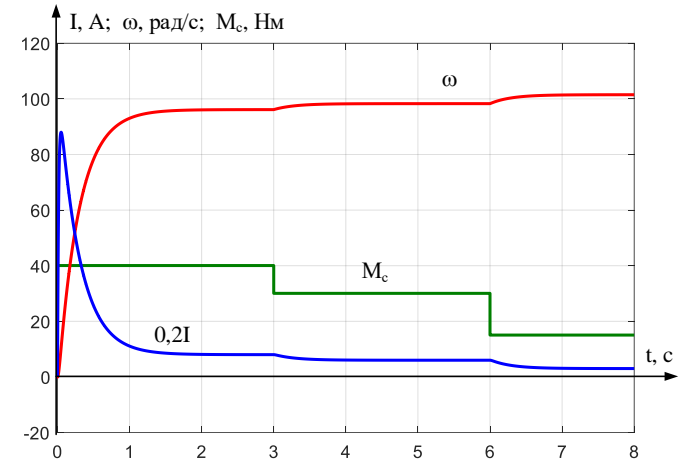


Графік перехідного процесу кутової швидкості системи електропривода з класичним регулятором

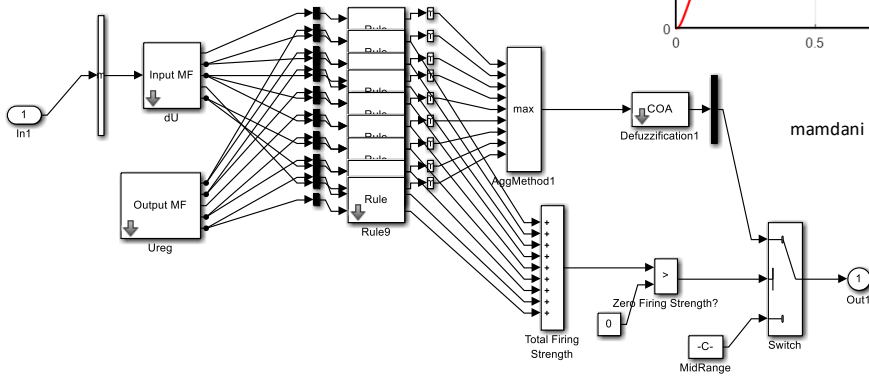
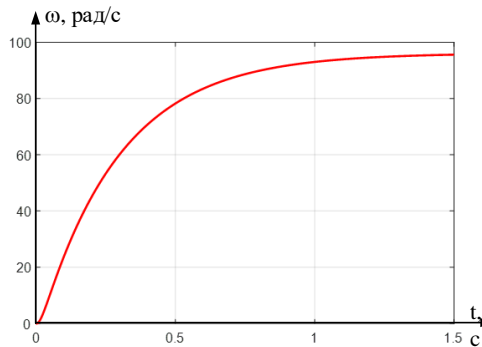
Дослідження функціонування системи електропривода з fuzzy-logic регулятором з одним входом з алгоритмом Mamdani



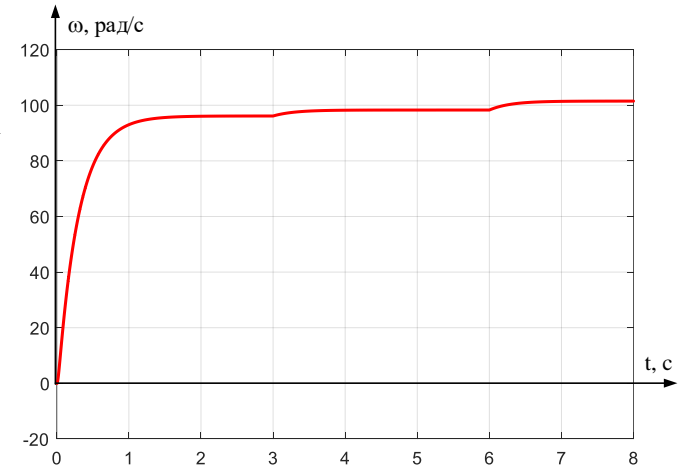
Структурна схема систем ПЧ-АД з fuzzy-logic регулятором в пакеті Simulink (Matlab)



Графік перехідного процесу кутової швидкості системи електропривода з fuzzy-logic регулятором з алгоритмом Mamdani

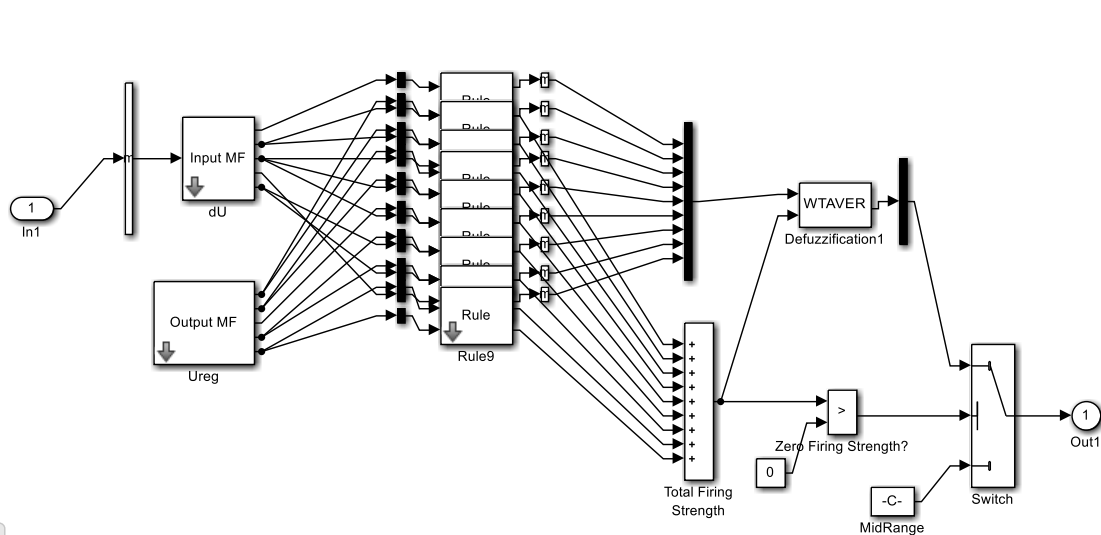


Структура fuzzy-logic регулятора з алгоритмом Mamdani

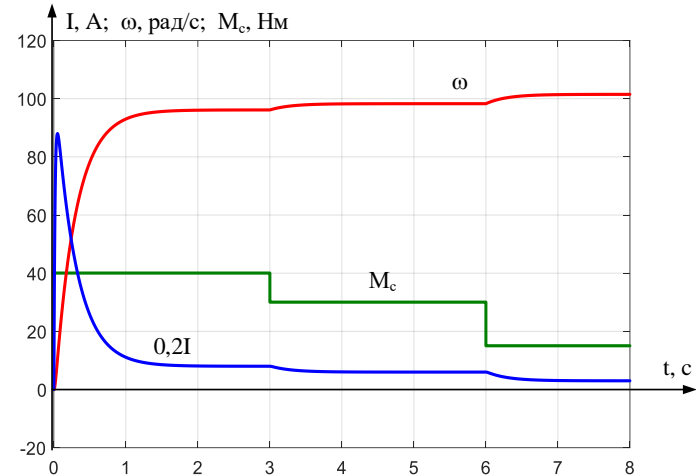


Графік кутової швидкості системи електропривода з fuzzy-logic регулятором з алгоритмом Mamdani

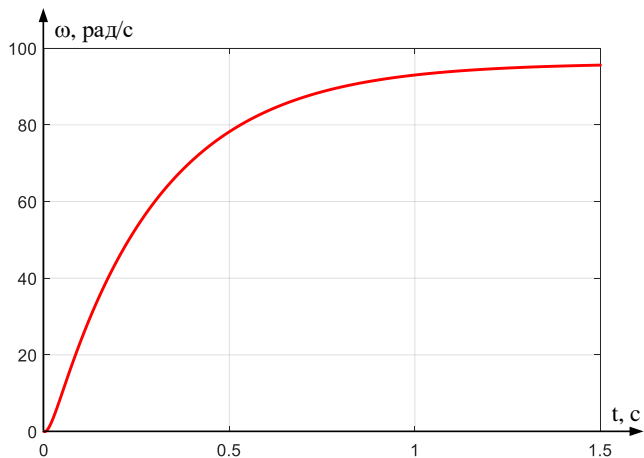
Дослідження функціонування системи електропривода з fuzzy-logic регулятором з одним входом з алгоритмом Sugeno



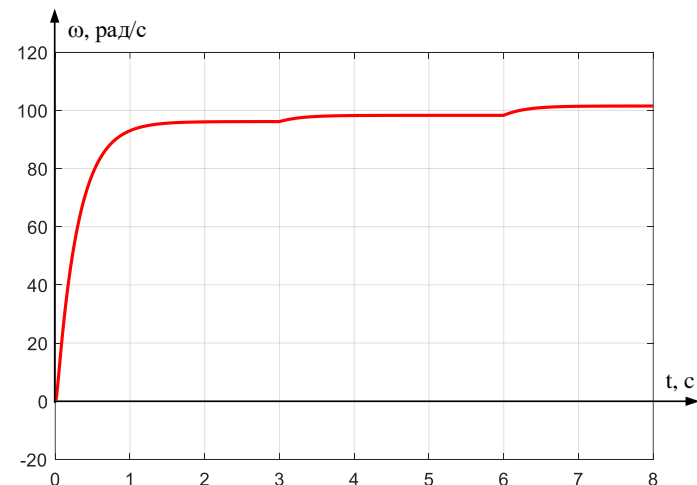
Структура fuzzy-logic регулятора з алгоритмом Sugeno



Графік перехідного процесу кутової швидкості системи електропривода з fuzzy-logic регулятором з алгоритмом Mamdani



Графік кутової швидкості системи електропривода з fuzzy-logic регулятором з алгоритмом Mamdani

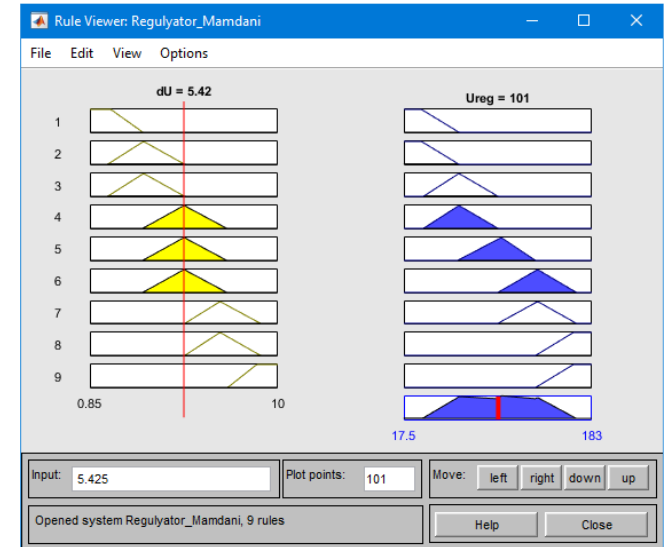


Графік кутової швидкості системи електропривода з fuzzy-logic регулятором з алгоритмом Mamdani

Порівняння результатів логічного виведення при різних методах дефазифікації fuzzy-logic регулятора з одним входом

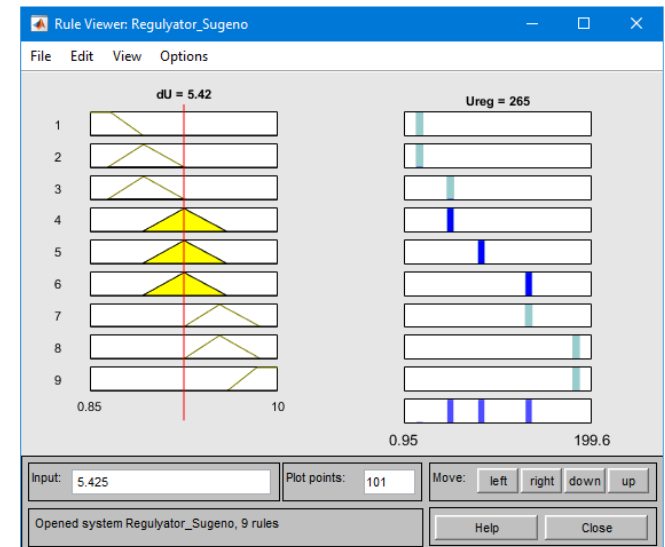
При алгоритмі Mamdani

	ΔU	0,85	1,99	3	4,11	5,42	7,02	8,02	9,02	10
Метод дефазифікації	centroid	34,5	44,3	52,7	78,4	101	132	147	163	166
	bisector	32,4	37,4	53,9	70,5	102	138	147	166	166
	mom	24,9	25,8	44	46,6	135	164	152	176	176
	lom	17,5	17,5	17,5	17,5	17,5	17,5	17,5	17,5	17,5
	som	17,5	17,5	17,5	17,5	135	133	122	168	168

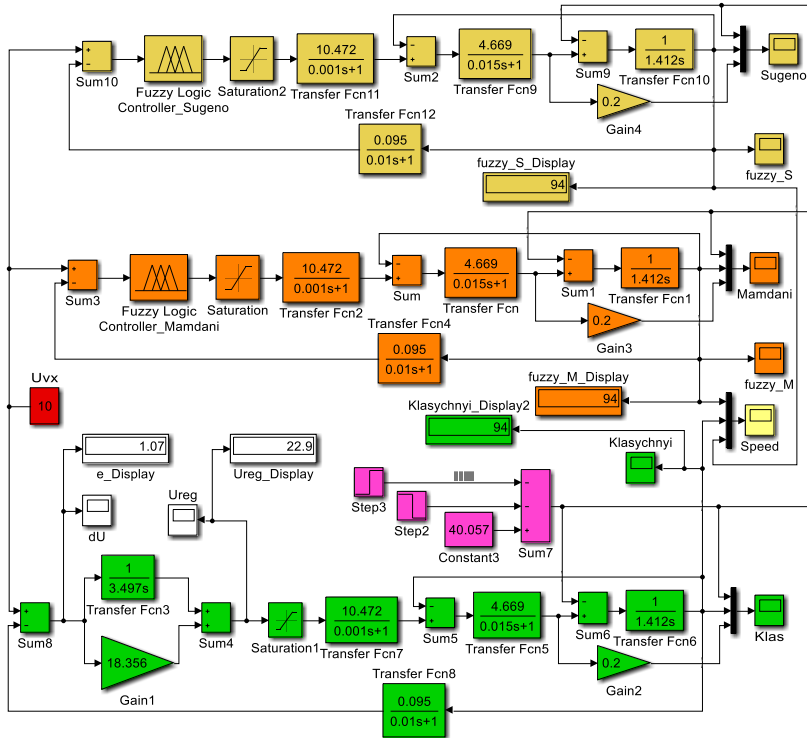


При алгоритмі Sugeno

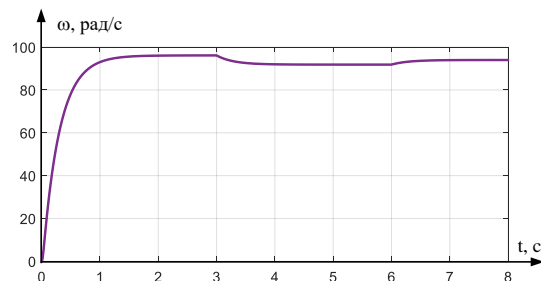
	ΔU	0,85	1,99	3	4,11	5,42	7,02	8,02	9,02	10
Метод дефазифікації	wtaver	17,5	21,7	31,2	57,6	88	138	164	181	183
	wtsun	17,5	26,9	54,4	137	265	352	237	199	183



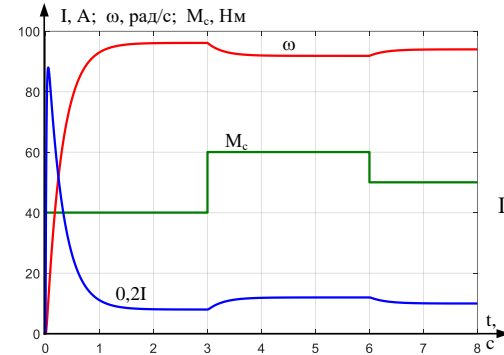
Порівняння результатів використання системи електропривода з класичним регулятором та fuzzy-регуляторами з одним входом



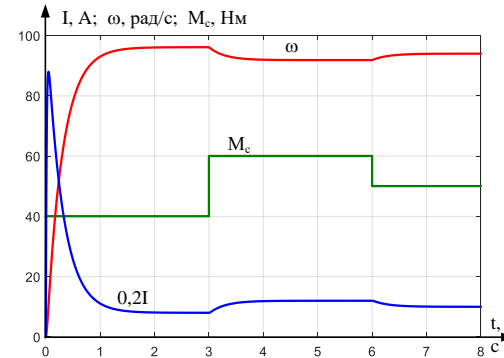
Структурна схема систем ПЧ-АД з класичним регулятором та fuzzy-logic регуляторами з одним входом в пакеті Simulink (Matlab)



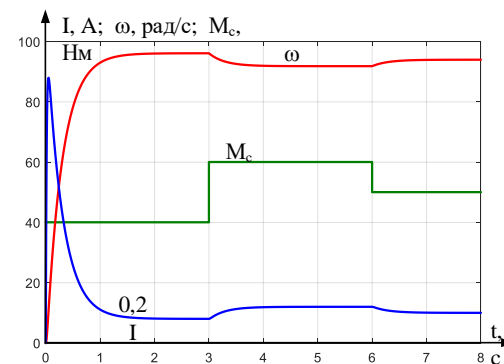
Графіки перехідних характеристик системи електропривода з класичним та fuzzy-logic регуляторами з алгоритмом Sugeno та алгоритмом Mamdani



Графіки перехідних характеристик системи електропривода з класичним регулятором

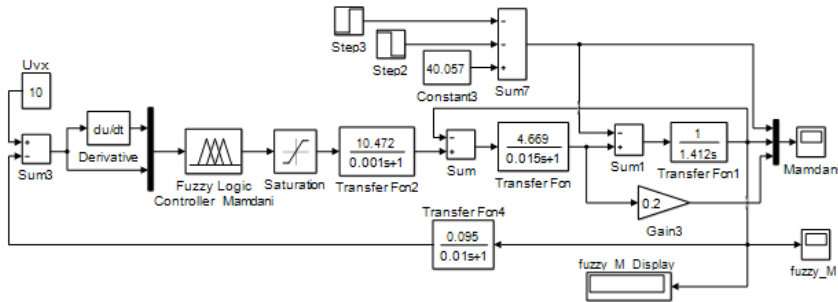


Графіки перехідних характеристик системи електропривода з fuzzy-logic регулятором з алгоритмом Mamdani

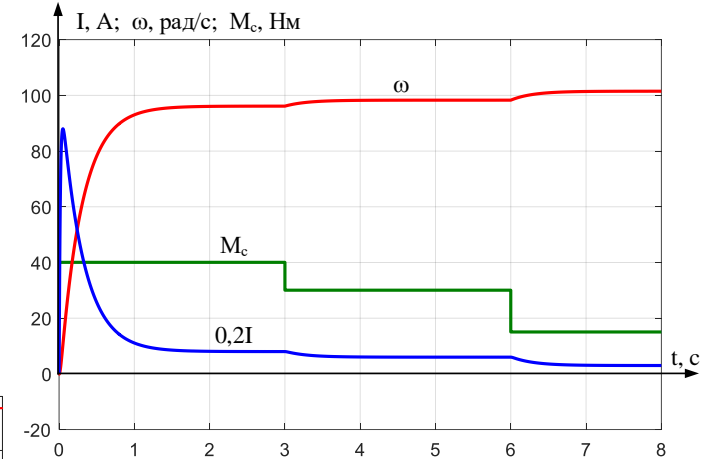


Графіки перехідних характеристик системи електропривода з fuzzy-logic регулятором з алгоритмом Sugeno

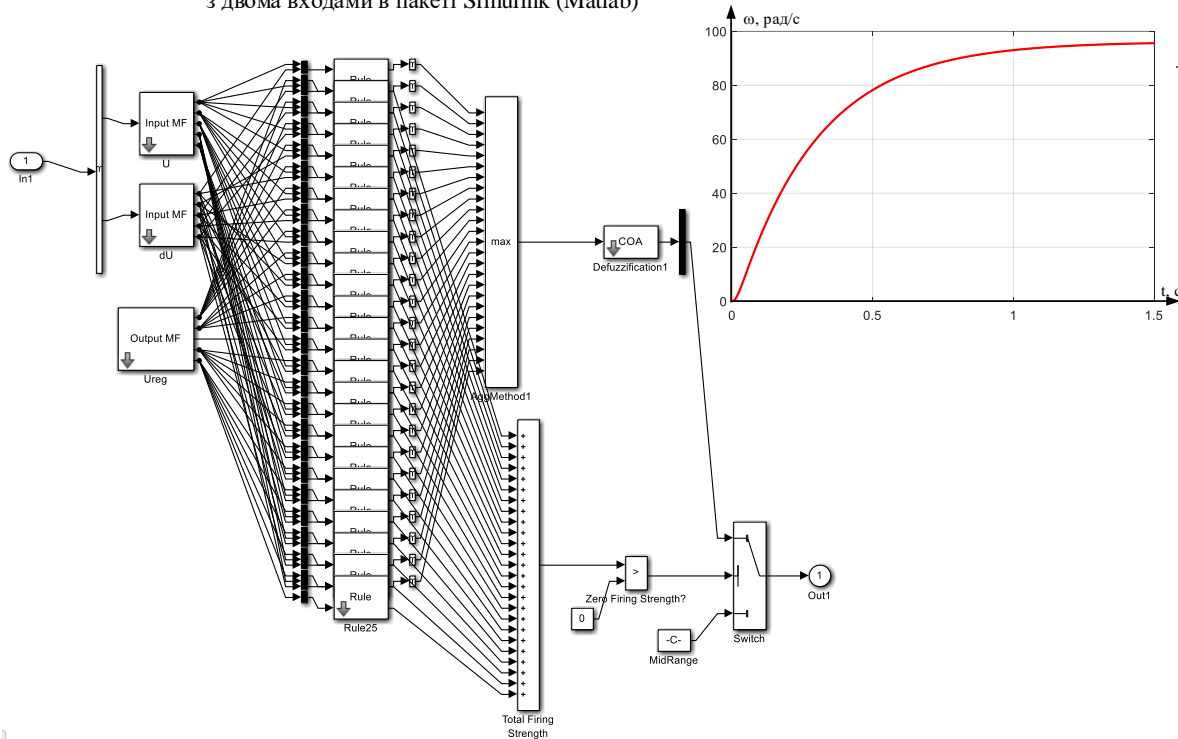
Дослідження функціонування системи електропривода з fuzzy-logic регулятором з двома входами з алгоритмом Mamdani



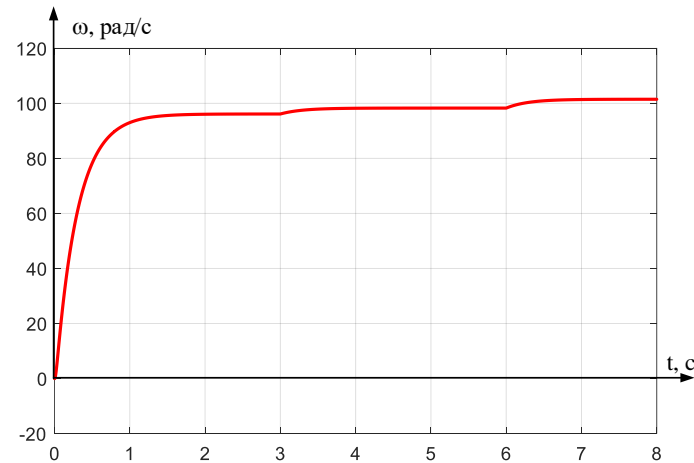
Структурна схема систем ПЧ-АД з fuzzy-logic регулятором з двома входами в пакеті Simulink (Matlab)



Графік перехідного процесу кутової швидкості системи електропривода з fuzzy-logic регулятором з двома входами з алгоритмом Mamdani

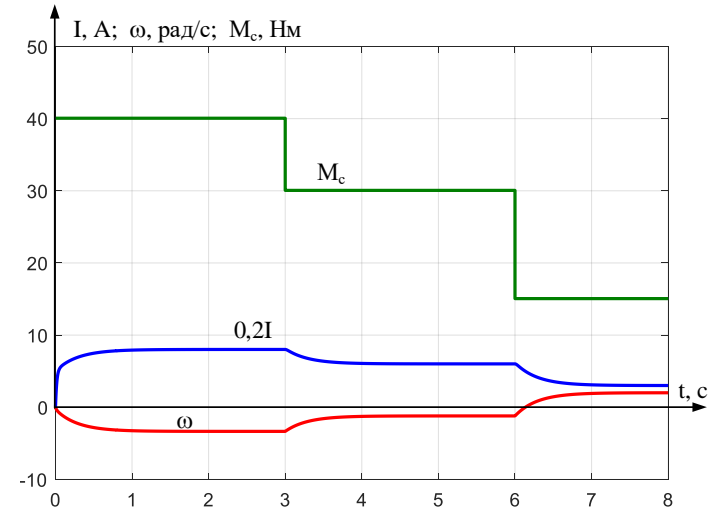
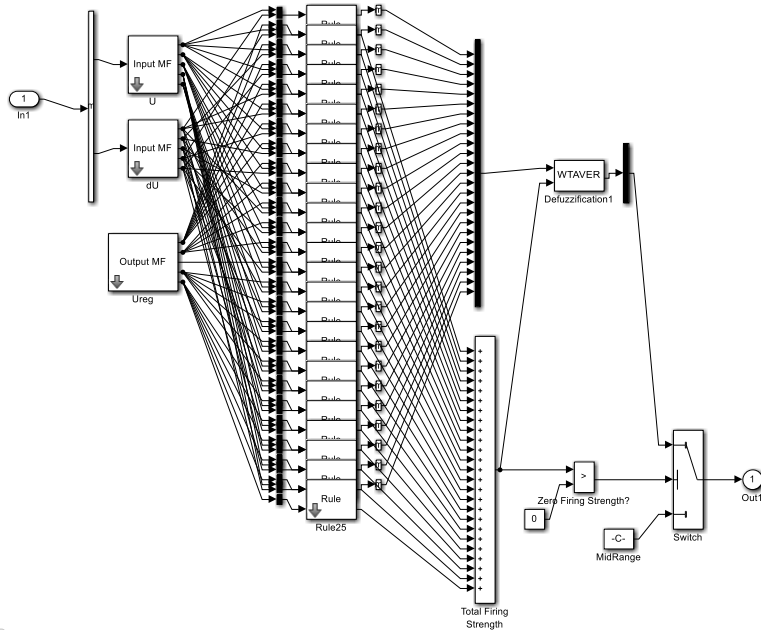


Структура fuzzy-logic регулятора з двома входами з алгоритмом Mamdani



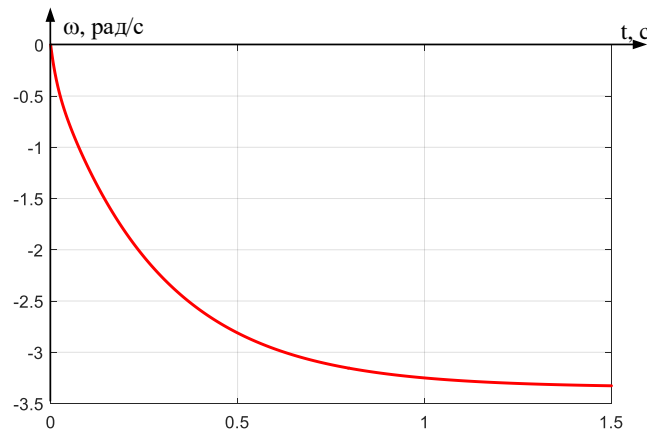
Графік кутової швидкості системи електропривода з fuzzy-logic регулятором з двома входами з алгоритмом Mamdani

Дослідження функціонування системи електропривода з fuzzy-logic регулятором з двома входами з алгоритмом Sugeno

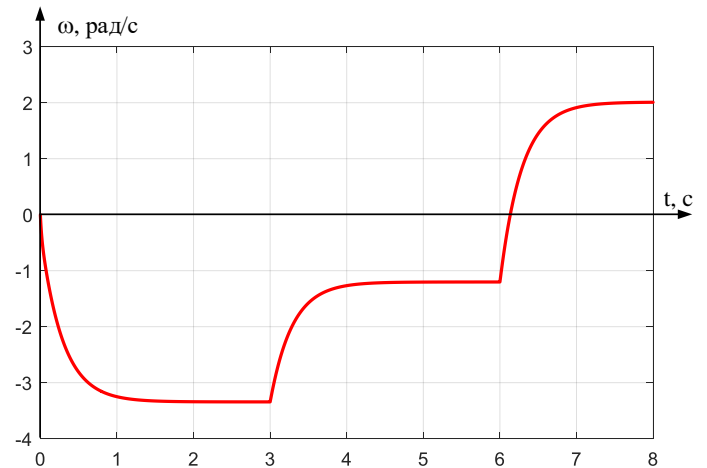


Графік перехідного процесу кутової швидкості системи електропривода з fuzzy-logic регулятором з алгоритмом Mamdani

Структура fuzzy-logic регулятора з двома входами з алгоритмом Sugeno



Графік кутової швидкості системи електропривода з fuzzy-logic регулятором з двома входами з алгоритмом Mamdani

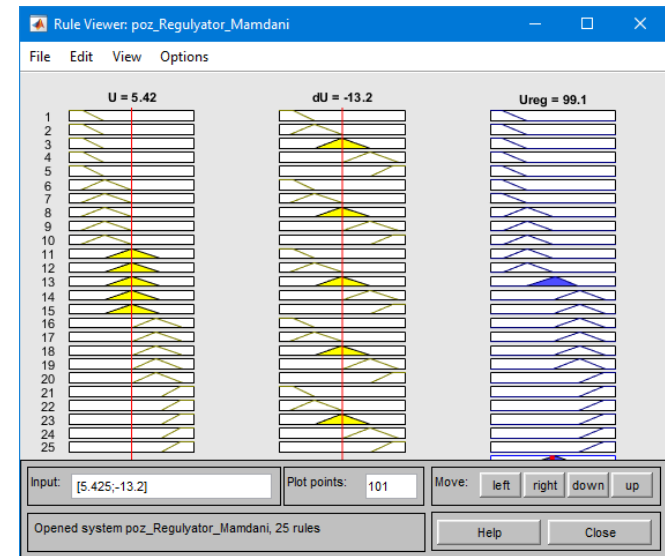


Графік кутової швидкості системи електропривода з fuzzy-logic регулятором з двома входами з алгоритмом Mamdani

Порівняння результатів логічного виведення при різних методах дефазифікації fuzzy-логіс регулятора з двома входами

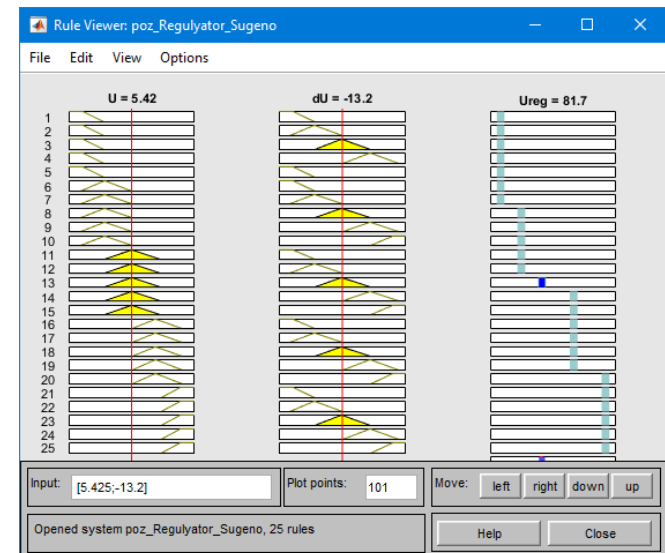
При алгоритмі Mamdani

	ΔU	0,85	1,98	2,99	4	5,42	7,02	8,03	9,03	10
Метод дефазифікації	centroid	34,6	41,4	60,4	77,5	99,1	125	142	165	166
	bisector	34	37,4	62,2	73,8	100	130	140	166	166
	mom	24,9	25,8	66,3	66,3	104	136	136	175	175
	Iom	17,5	17,5	17,5	17,5	17,5	17,5	17,5	17,5	17,5
	som	17,5	17,5	58,9	58,9	104	133	122	166	166

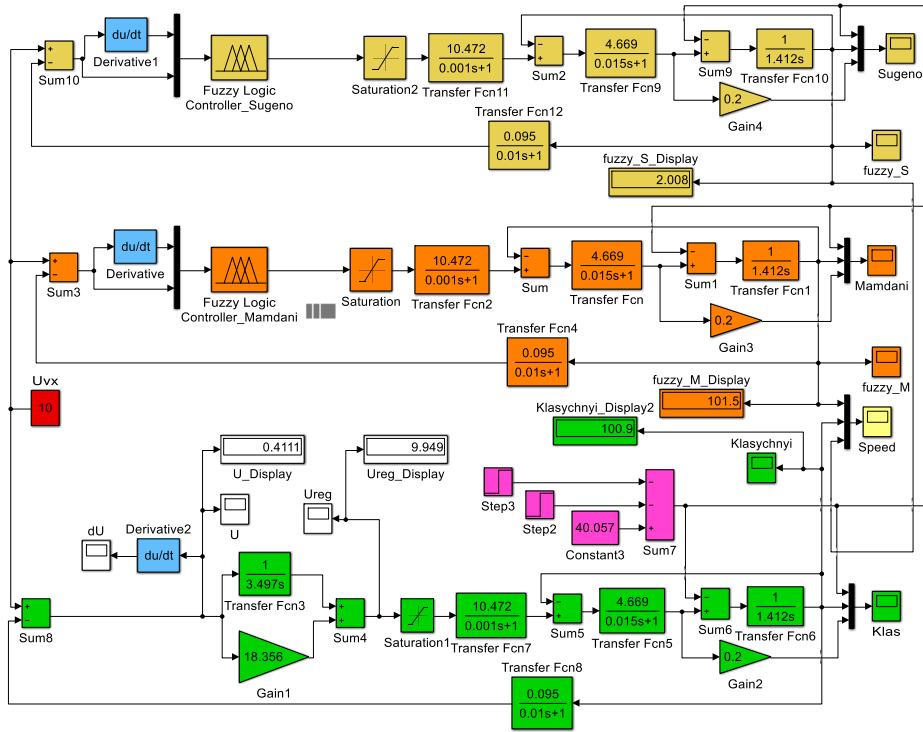


При алгоритмі Sugeno

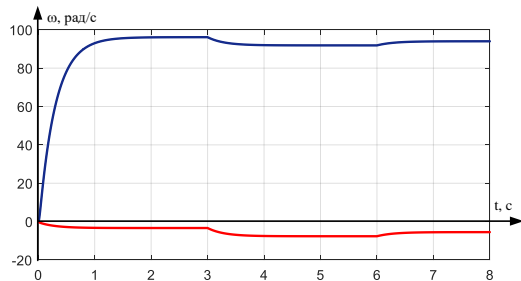
	ΔU	0,85	1,98	2,99	4	5,42	7,02	8,03	9,03	10
Метод дефазифікації	wtaver	17,5	22,1	40,7	58,7	81,7	122	151	181	183
	wtsum	17,3	23,5	40,5	59,1	81,6	140	133	181	181



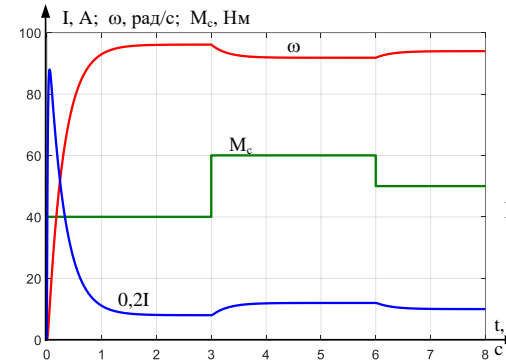
Порівняння результатів використання системи електропривода з класичним регулятором та fuzzy-регуляторами з двома входами



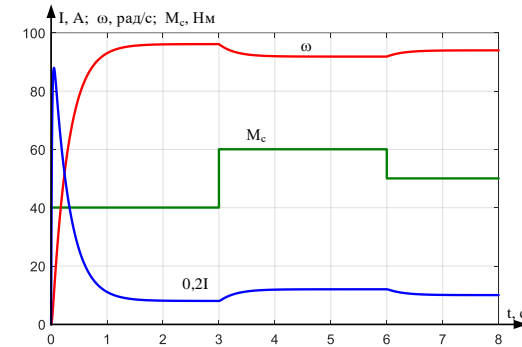
Структурна схема систем ПЧ-АД з класичним регулятором та fuzzy-logic регуляторами з двома входами в пакеті Simulink (Matlab)



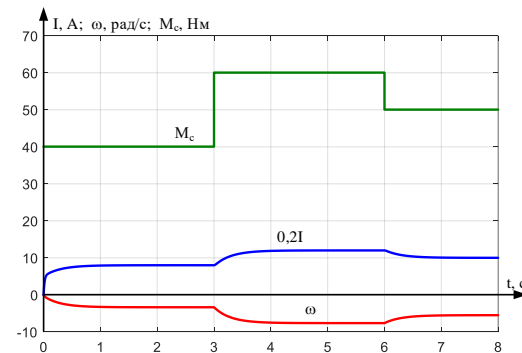
Графіки перехідних характеристик системи електропривода з класичним та fuzzy-logic регуляторами з двома входами з алгоритмом Sugeno та алгоритмом Mamdani



Графіки перехідних характеристик системи електропривода з класичним регулятором



Графіки перехідних характеристик системи електропривода з fuzzy-logic регулятором з двома входами з алгоритмом Mamdani



Графіки перехідних характеристик системи електропривода з fuzzy-logic регулятором з двома входами з алгоритмом Sugeno

Наукова новизна та практичне значення одержаних результатів

Наукова новизна одержаних результатів. У роботі отримано такий новий науковий результат:

– встановлено, що алгоритми нечіткого виведення Mamdani та Sugeno fuzzy-logic регулятора з одним входом не впливає на динаміку перехідних процесів електропривода за умови правильного налаштування нечіткого регулятора;

– встановлено, що fuzzy-регулятор з двома входами, що характеризують похибку системи та похідну цієї похибки, дає такі ж самі результати динамічних характеристик електропривода, що і класичний регулятор. Однак fuzzy-logic регулятор з алгоритмом Sugeno з двома входами видає небажані динамічні характеристики електропривода.

Практичне значення одержаних результатів. Використання одержаних результатів дозволить розширити спектр використання fuzzy-logic регуляторів в системах електроприводах, підвищити точність та якість їх керування.

Дякую за увагу!

Доповідь завершено.