

Міністерство освіти і науки України
Криворізький національний університет
Електротехнічний факультет
Кафедра електричної інженерії

ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА

до кваліфікаційної роботи

магістра

(рівень вищої освіти)

зі спеціальності 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»

На тему: «Система керування тяговим асинхронним електроприводом
рудничного електровозу з використанням апарату нечіткої логіки»

КНУ.МР.141.25.665-02

Виконав студент II курсу , групи ЕПА-24м /Олексій ГАЙДАР/

141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»

«Електромеханічні системи автоматизації та електропривод»

(шифр і назва спеціальності, освітньо-професійної програми)

Керівник:

д.т.н., професор

_____/Олег СІНЧУК/

Нормоконтролер:

д.т.н., професор

_____/Олег СІНЧУК/

Завідувач кафедри,

д.т.н., професор

_____/Олег СІНЧУК/

Гарант ОПП:

к.т.н., доцент

_____/Юрій ОСАДЧУК/

Кривий Ріг
2025 р.

Криворізький національний університет

Факультет: електротехнічний

Освітній рівень: магістр

Спеціальність: 141 - Електроенергетика, електротехніка та
електромеханіка

**ЗАВДАННЯ
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ ЗДОБУВАЧА ВИЩОЇ ОСВІТИ**

ГАЙДАР Олексій Сергійович

(прізвище, ім'я, по батькові)

Тема роботи: Система керування тяговим асинхронним електроприводом рудничного
електровозу з використанням апарату нечіткої логіки

1. Термін подання студентом роботи: 15 грудня 2025 р.
2. Мета та завдання кваліфікаційної роботи: Метою є розробка системи керування тяговим асинхронним електроприводом рудничного електровозу з використанням апарату нечіткої логіки.
3. Зміст пояснювальної записки (перелік питань, які необхідно розробити) I. Розробка структури асинхронного частотно-регульованого тягового електропривода рудничних електровозів з векторним керуванням і системою формування сигналів завдання; II. Системи векторного керування асинхронним електроприводом з використанням апарату нечіткої логіки; III. Модель асинхронного електропривода з векторним керуванням і системою формування сигналів завдання з використанням апарату нечіткої логіки.
4. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень) I. Математична модель асинхронного електродвигуна; II. Структура алгоритму системи нечіткого виводу; III. Знаходження центру ваги плоскої фігури функції ступені приналежності вихідних лінгвістичних змінних; IV. Графічне представлення роботи Fuzzy-Регулятора.

5. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали консультанта	Дата, підпис	
		Завдання видав	Завдання прийняв
I	Сінчук О.М.		
II	Сінчук О.М.		
III	Сінчук О.М.		

7. Календарний план

№	Етапи роботи	Термін
1	Обґрунтування звернення до експертних оцінок	10.09.25
2	Структура асинхронного частотно-регульованого тягового електропривода	17.09.25
3	Алгоритм формування сигналів завдання	26.10.25
4	Фазифікація вхідних змінних системи нечіткого виводу	18.11.25
5	Дефазифікація вихідних лінгвістичних змінних	30.11.25
6	Математична модель	04.12.25
7	Графіки перехідних процесів	07.12.25

Дата видання завдання 01.09.2025 р.

Здобувач вищої освіти _____
(підпис)

_____ Гайдар О.С.
(ПБ)

Керівник роботи _____
(підпис)

_____ Сінчук О.М.
(ПБ)

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка до кваліфікаційної роботи на тему «Система керування тяговим асинхронним електроприводом рудничного електровозу з використанням апарату нечіткої логіки», КНУ.РМ.141.25.665-02

Мета дослідження – розробка системи керування тяговим асинхронним електроприводом рудничного електровозу з використанням апарату нечіткої логіки.

Об'єкт дослідження – система керування тяговим асинхронним електроприводом рудничного електровозу.

Предмет дослідження – тяговий асинхронний електропривод рудничного електровозу.

Застосування нечіткого керування найбільше ефективно в тих випадках, коли відсутня явна модель процесу або аналітична модель є занадто складною для вистави (наприклад, системи з декількома входами й декількома виходами) або для одержання розв'язків у реальному масштабі часу.

Асинхронний тяговий електропривод рудничних електровозів, як об'єкт керування, підпадає під рекомендації застосування нечіткого керування.

Відсутність явної моделі процесу, що не піддаються строгому математичному опису.

Так, заздалегідь не відомий коефіцієнт зчеплення електровоза з рейками, крім того, при роботі тягових двигунів відбувається перерозподіл навантажень на осі колісних пар — одні осі трохи розвантажуються, а інші перевантажуються.

Параметри обмоток асинхронного двигуна не є величинами постійними.

Система керування багатодвигунним електроприводом складається із двох рівнів: нижнього із класичною системою векторного керування ТАД і верхнього з регулятором нечіткої логіки — регулятором сигналів завдання швидкості обертання роторів ТАД (індивідуально для кожного електропривода).

Результати представлені на графіках перехідних процесів показують, що система нечіткого векторного керування в порівнянні із класичною системою векторного керування має приблизно в 8 раз більш високу швидкодію в пускових режимах і приблизно в 13,5 рази швидше при накиді навантаження.

Неузгодженість швидкостей обертання роторів АД нижче в 10,1 рази, а фактичні відхилення частот обертання електроприводів від заданої нижче в 1,89 рази при навантаженні 2,4 Нм і в 2,21 рази нижче при навантаженні 3 Нм.

РУДНИЧНИЙ ЕЛЕКТРОВОЗ, ТЯГОВИЙ АСИНХРОННИЙ
ЕЛЕКТРОПРИВОД, СИСТЕМА КЕРУВАННЯ, АПАРАТ НЕЧІТКОЇ
ЛОГІКИ

ЗМІСТ

ВСТУП	8
РОЗДІЛ 1. Розробка структури асинхронного частотно-регульованого тягового електропривода рудничних електровозів з векторним керуванням і системою формування сигналів завдання	10
1.1. Обґрунтування звернення до експертних оцінок, теорії нечітких множин і нечіткої логіки	10
1.2 Структура асинхронного частотно-регульованого тягового електропривода рудничних електровозів з векторним керуванням і системою формування сигналів завдання	12
РОЗДІЛ 2. Системи векторного керування асинхронним електроприводом з використанням апарата нечіткої логіки	15
2.1. Алгоритм формування сигналів завдання системи векторного керування асинхронним електроприводом з використанням апарата нечіткої логіки	15
2.2. Фазифікація входніх змінних системи нечіткого виводу	18
2.3. Дефазифікація вихідних лінгвістичних змінних системи нечіткого виводу	21
РОЗДІЛ 3. Модель асинхронного електропривода з векторним керуванням і системою формування сигналів завдання з використанням апарата нечіткої логіки	24
3.1. Математична модель асинхронного електропривода з векторним керуванням і системою формування сигналів завдання з використанням апарата нечіткої логіки	24
3.2. Графіки перехідних процесів, отримані на математичній моделі асинхронного електропривода з нечіткою системою векторного керування	

<i>при пуску під навантаженням, різкім скиданні й різкому накиді навантаження</i>	26
ВИСНОВКИ.....	32
ДОДАТКИ.....	33

ВСТУП

Широкий діапазон додатків і природність підходу, заснованого на досвіді фахівців, робить нечітке керування головним засобом, який у якості стандарту може використовуватися при побудові систем керування тяговими електроприводами, причому не виключається можливість комбінування нечіткого керування із класичними методами керування [21].

Застосування нечіткого керування найбільше ефективно в тих випадках, коли відсутня явна модель процесу або аналітична модель є занадто складною для вистави (наприклад, системи з декількома входами й декількома виходами) або для одержання розв'язків у реальному масштабі часу.

Асинхронний тяговий електропривод рудничних електровозів, як об'єкт керування, підпадає під рекомендації застосування нечіткого керування.

На сам перед це відсутність явної моделі процесу обумовлене поруч випадкових факторів, що не піддаються строгому математичному опису.

Так, заздалегідь не відомий коефіцієнт зчеплення електровоза з рейками, величина якого може змінюватися більш ніж у два рази, а залежить від матеріалу бандажів, рейок, стану дотичних частин, профілю колії.

Коефіцієнт зчеплення електровоза звичайно не дорівнює коефіцієнту зчеплення однієї колісної пари.

При індивідуальному приводі, широко застосовуваному в електричній тязі, на коефіцієнт зчеплення електровоза впливають розбіжність характеристик тягових двигунів і можлива деяка нерівність діаметрів коліс.

При цьому виходять неоднакові дотичні сили тяги на ободі коліс різних колісних пар, що приводить до можливості появи боксування або юза окремих пар.

Крім того, при роботі тягових двигунів відбувається перерозподіл навантажень на осі колісних пар — одні осі трохи розвантажуються, а інші перевантажуються.

Зміна сили притиснення коліс до рейок відбувається також при проходженні ними нерівностей шляху й внаслідок динамічного впливу коливань підвішених на ресорах частин рухливого состава.

Не можна також заздалегідь визначити кінцева зчіпна вага состава, тому що ступінь завантаження вагонеток визначається питомою вагою й кількістю гірської маси в кожній вагонетці.

РОЗДІЛ 1. Розробка структури асинхронного частотно-регульованого тягового електропривода рудничних електровозів з векторним керуванням і системою формування сигналів завдання

1.1. Обґрунтування звернення до експертних оцінок, теорії нечітких множин і нечіткої логіки

Для відшукування неспостережуваних координат параметрів керування (електромагнітний момент двигуна й потокозчеплення ротора) використовують математичну модель електропривода, за допомогою якої обчислюються шукані параметри.

Складність алгоритму полягає в значному обсязі обчислювальних операцій, які ведуться в реальному масштабі часу.

Існуючі цифрові сигнальні процесори (*DSP*) при цьому перебувають на межі своїх можливостей [28], а збільшення кроку обчислень вносить у систему постійне запізнювання по керуванню й приводить до зниження запасу стійкості.

Присутні в математичній моделі параметри обмоток асинхронного тягового двигуна, необхідні для обчислення амплітуди й фази результуючого вектора потокозчеплення ротора, можуть бути попередньо обмірювані приблизно, з деякою помилкою (помилкою виміру).

Присутність у системі постійної помилки через неточність вимірів приводить до появи постійної помилки при обчисленні неспостережуваної координати системи. Причому ця помилка -, що накопичується.

Параметри обмоток асинхронного двигуна не є величинами постійними. У процесі роботи двигуна вони змінюються.

Найбільш сильний вплив на систему керування в цьому змісті виявляє температурна зміна активного опору короткозамкненої обмотки ротора, яке в процесі нагрівання тягового двигуна може змінюватися майже у два рази.

Для компенсації температурної зміни активного опору ротора в класичних системах векторного керування існують різні прийоми.

Однак, така корекція може привести до збільшення кроку обчислень, внести в систему постійне запізнювання по керуванню, і привести до зниження запасу стійкості.

Перераховані фактори приводять до необхідності розв'язку завдання розподілу навантаження між тяговими двигунами залежно від умов і режиму роботи електровоза, що методами класичної теорії автоматичного керування виконати важко.

Однак це завдання можна розв'язати нетрадиційним методом, створивши комбіновану систему керування побудовану на експертних оцінках, теорії нечітких множин і нечіткої логіки.

1.2 Структура асинхронного частотно-регульованого тягового електропривода рудничних електровозів з векторним керуванням і системою формування сигналів завдання

Електропривод із класичною системою векторного керування АТД має високу якість регулювання.

Однак для тягового електропривода рудничних електровозів недостатньо використовувати тільки векторне керування, оскільки потрібне перерозподіл навантаження між тяговими двигунами при зміні умов роботи електровоза.

Такий перерозподіл можна здійснити коректуючи сигнал завдання швидкості обертання індивідуально для кожного електропривода рудничного електровоза.

Корекцію сигналу завдання можна виконати з використанням нечіткого регулятора (FUZZY-регулятора).

Структурна схема асинхронного частотно-регульованого електропривода з формуванням сигналу завдання системи векторного керування представлена на рис. 1.1.

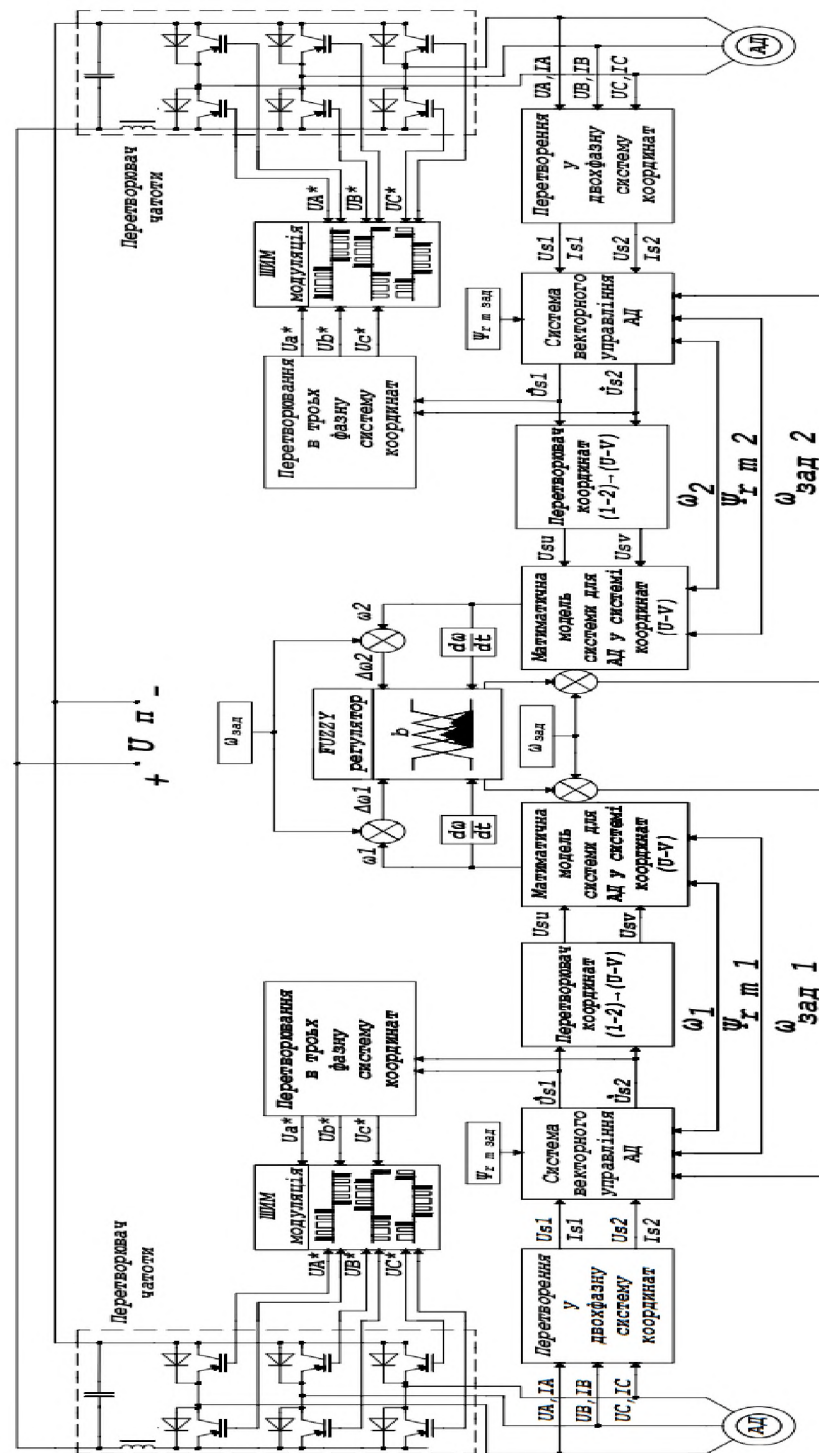


Рис. 1.1 Структурна схема асинхронного частотно-регульованого електропривода з формуванням сигналу завдання системи векторного керування.

У представленій схемі реалізований варіант безсенсорного керування, однак інформація про швидкість обертання роторів АД може бути отримана шляхом прямого виміру.

Система керування електроприводом складається із двох рівнів: нижнього із класичною системою векторного керування ТАД і верхнього з регулятором нечіткої логіки — регулятором сигналів завдання швидкості обертання роторів ТАД (індивідуально для кожного електропривода).

Нижній рівень містить блоки перетворення трифазної системи координат (a ; B ; c) у двофазну (12), блоки з алгоритмом векторного керування, перетворювачі системи координат (1-2) у систему координат (u - v), блоки з математичною моделлю АД для обчислення потокозчеплень роторів і швидкостей обертання роторів ТАД ω_r і блоків зворотного перетворення двофазної системи координат (12) у трифазну (a ; B ; c).

Усі ці блоки інтегровані разом з інвертором і утворюють єдиний напівпровідниковий перетворювальний модуль із мікропроцесорним керуванням.

Входом цього модуля є сигнал завдання швидкості ω обертання ротора ТАД, а виходом трифазна синусоїдальна напруга, отримана широтно-імпульсною модуляцією.

Процес формування сигналів завдання швидкості обертання електроприводів здійснюється відповідно до розробленого алгоритму нечіткого керування.

РОЗДІЛ 2. Системи векторного керування асинхронним електроприводом з використанням апарата нечіткої логіки

2.1. Алгоритм формування сигналів завдання системи векторного керування асинхронним електроприводом з використанням апарата нечіткої логіки

Структура даного (рис. 2.1) алгоритму була розроблена з урахуванням наявного встаткування, призначеного для експериментальних лабораторних досліджень із метою зіставлення результатів досліджень, отриманих теоретичним і експериментальним способами.

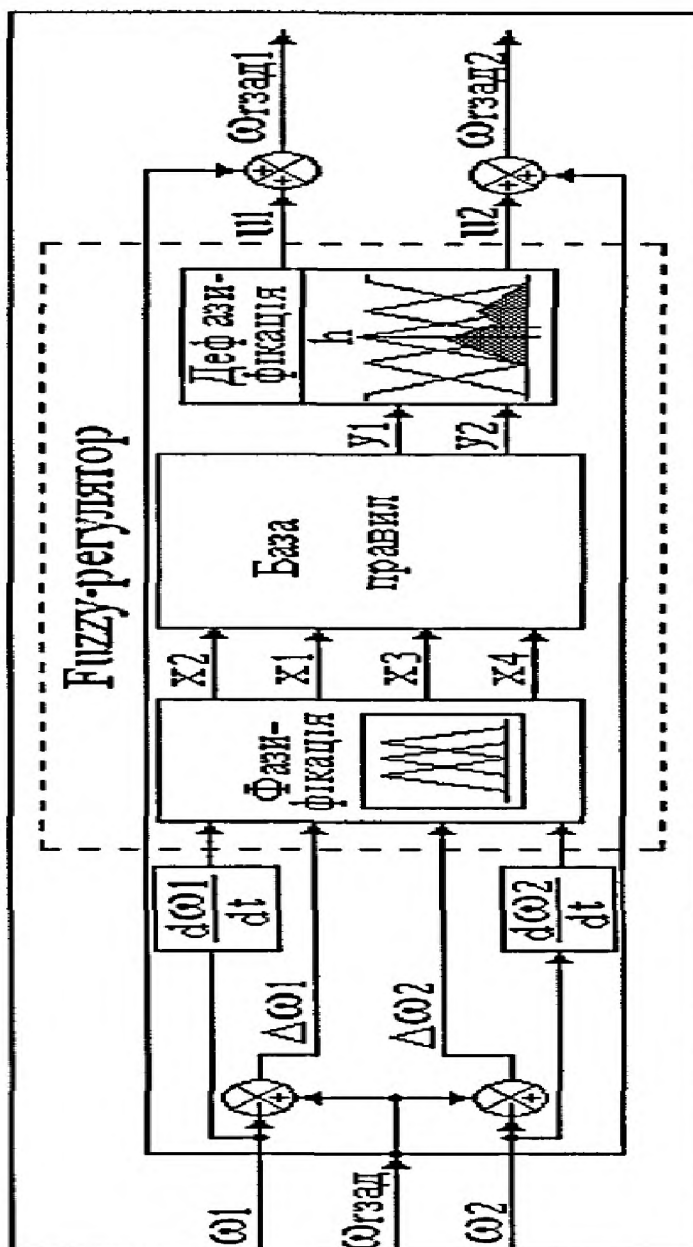


Рис. 2.1. Структура алгоритму системи нечіткого виводу.

На вхід Fuzzy-Регулятора надходять сигнали неузгодженості і фактичної швидкості обертання роторів АД із заданим значенням і похідні по швидкості обертання електроприводів.

Виходом нечіткого регулятора є коригувальні сигнали u_1 і u_2 , які будуть додані до опорного сигналу завдання швидкості обертання роторів ТАД.

Представлений алгоритм нечіткого виводу складається із трьох етапів у наступній послідовності:

- перетворення чітких значень вхідних змінних у лінгвістичні змінні (терм-безлічі) - етап фазифікації;
- обробка отриманої інформації в категоріях нечіткої логіки відповідно до розробленої на основі експертних оцінок базою логічних правил виду ЯКЩО...ТО;
- перехід від категорії нечітких множин до чітких значень вихідних змінних - етап дефазифікації.

2.2. Фазифікація вхідних змінних системи нечіткого виводу

На цьому етапі встановлюється відповідність між конкретним (чисельним) значенням окремої вхідної змінної системи нечіткого виводу й значенням функції приналежності відповідного їй значення вхідний лінгвістичної змінної.

Так для чітких значень вхідних змінних відповідають лінгвістичні вхідні змінні X_1 (помилка по швидкості обертання першого електропривода), x_2 (значення похідної по швидкості обертання першого електропривода), X_3 (помилка по швидкості обертання другого електропривода) і X_4 (значення похідної по швидкості обертання другого електропривода), які задані терм-множинами трикутного, S- Образного й Z-Образного виду з деяким ступенем приналежності в діапазоні від нуля до одиниці.

Вхідні лінгвістичні змінні X_1 і X_3 задано п'ятьома терм-множинами в області значень (на універсумі) $(-10; +10)$.

Вхідні лінгвістичні змінні X_2 і X_4 задано трьома терм-множинами також на універсумі $(-10; +10)$.

Діапазон універсумів відповідає максимальним позитивному й негативному значенням вхідних змінних нечіткого регулятора й може бути забезпечений, при необхідності, за допомогою блоків обмеження.

Кількість терм-множин, якими задані вхідні лінгвістичні змінні, було визначено експертним опитуванням на етапі формування таблиці логічних правил.

Для терм-множин вхідних лінгвістичних змінні X_1 і X_3 були зроблені наступні позначення:

Z - значення вхідного сигналу близьке до нуля;

NS - значення вхідного сигналу негативне мале;

NB - значення вхідного сигналу негативне велике;

PS - значення вхідного сигналу позитивне мале;

PB - значення вхідного сигналу позитивне велике.

Усе терм-множині вхідних лінгвістичних змінних задано трьома крапками.

Терм-множина Z: (-4,5;0 0; 1 4,5;0);

Терм-множина NS: (-9;0 -4,5; 1 0;0);

Терм-множина NB: (-10; 1 -9;1 -4,5;0);

Терм-множина PS: (0;0 4,5; 1 9;0);

Терм-множина PB: (4,5;0 9; 1 10; 1).

Для терм-множин, якими задані вхідні лінгвістичні змінні X_2 і X_4 минулого зроблені наступні позначення:

Терм-множина Z: (-6;0 0; 1 6;0);

Терм-множина P: (0;0 6;1 +00;1);

Терм-множина N: $(-00;1 \ -6;1 \ 0;0)$.

Уся безліч комбінацій терм-множин вхідних лінгвістичних змінних утворює безліч підумов, які утворюють безліч умов стану об'єкта регулювання.

Для кожної умови стану об'єкта існує свій висновок також представлене лінгвістичної змінної u_1 або v_2 відповідної до чіткого значення вихідний змінної u_1 або u_2 .

2.3. Дефазифікація вихідних лінгвістичних змінних системи нечіткого виводу

У даному алгоритмі перехід від категорії нечітких значень коригувальних сигналів вихідних лінгвістичних змінних u_1 і u_2 до звичайних (чітким) значенням Fuzzy-Регулятора u_1 або u_2 проводиться найпоширенішим методом - методом центру ваги плоских фігур функцій ступені приналежності вихідних лінгвістичних змінних u_1 і u_2 (рис. 2.2), утворених на етапі акумуляції висновків, по формулі:

$$u_{1,2} = \frac{\int_{y_{1,2min}}^{y_{1,2max}} y_{1,2} \cdot \mu(y_{1,2}) dy_{1,2}}{\int_{y_{1,2min}}^{y_{1,2max}} \mu(y_{1,2}) dy_{1,2}},$$

де U_j — результат дефазифікації - чіткі значення коригувальних сигналів на виході нечіткого регулятора;

u_i - вихідні лінгвістичні змінні, представлені деякими терм-множинами (висновками);

$\mu(y_{1,2})$ — ступені приналежності нечітких множин висновків, що відповідають вихідних лінгвістичних змінних u_1 і u_2 після етапу акумуляції;

$y_{1,2min}$ $y_{1,2max}$ ~ ліва й права крапки інтервалу носія нечітких множин вихідних лінгвістичних змінних u_1 і u_2 .

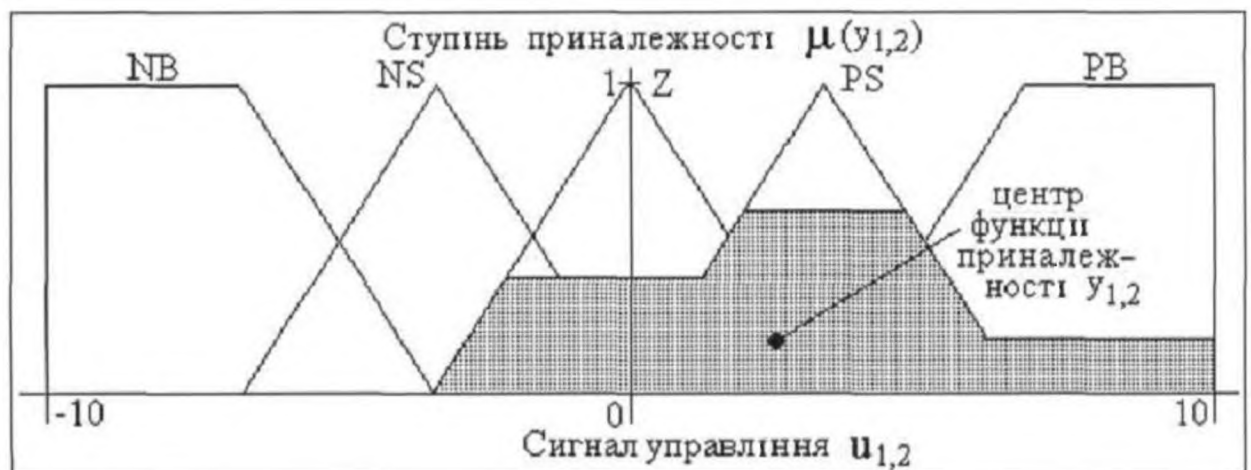


Рис. 2.2. Знаходження центру ваги плоскої фігури функції ступені приналежності вихідних лінгвістичних змінних u_1 і u_2 .

Отримані на виході нечіткого регулятора чіткі значення коригувальних сигналів u_1 або u_2 , додаються до останніх значень сигналів завдання швидкості обертання електроприводів і надходять на вхід системи векторного керування багатодвигунним асинхронним тяговим електроприводом.

Графічне представлення роботи Fuzzy-Регулятора, зображене на рис. 2.3., є поверхня в просторі станів об'єкта регулювання.

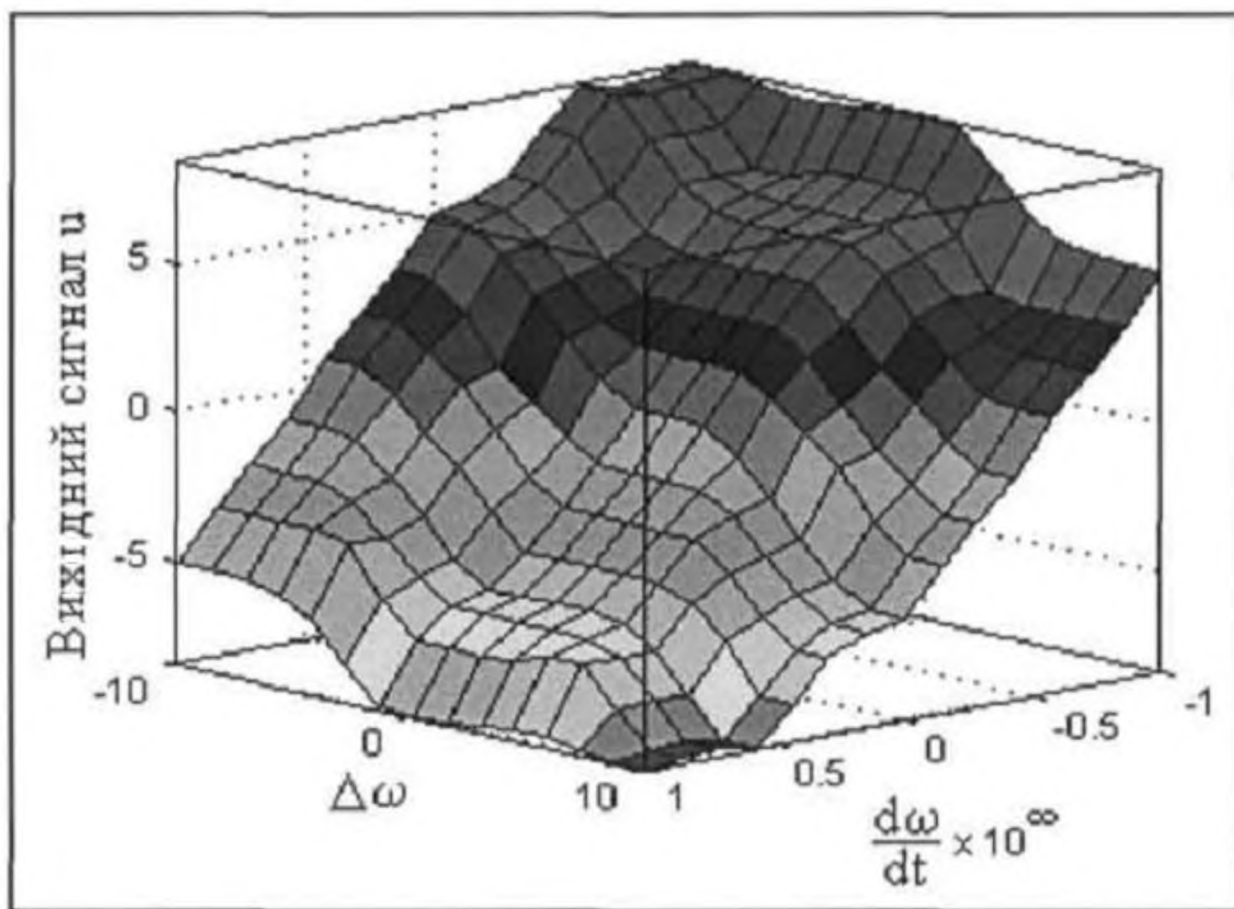


Рис. 2.3 Графічне представлення роботи Fuzzy-Регулятора.

РОЗДІЛ 3. Модель асинхронного електропривода з векторним керуванням і системою формування сигналів завдання з використанням апарата нечіткої логіки

3.1. Математична модель асинхронного електропривода з векторним керуванням і системою формування сигналів завдання з використанням апарата нечіткої логіки

На основі розробленого алгоритму формування сигналів завдання системи векторного керування й математичної моделі асинхронного частотно-регульованого електропривода з векторним керуванням, у додаток Simulink програми MATLAB була побудована математична модель асинхронного електропривода з векторним керуванням і системою формування сигналів завдання з використанням апарата нечіткої логіки.

Структурна схема такої моделі представлена на рис. 3.1.

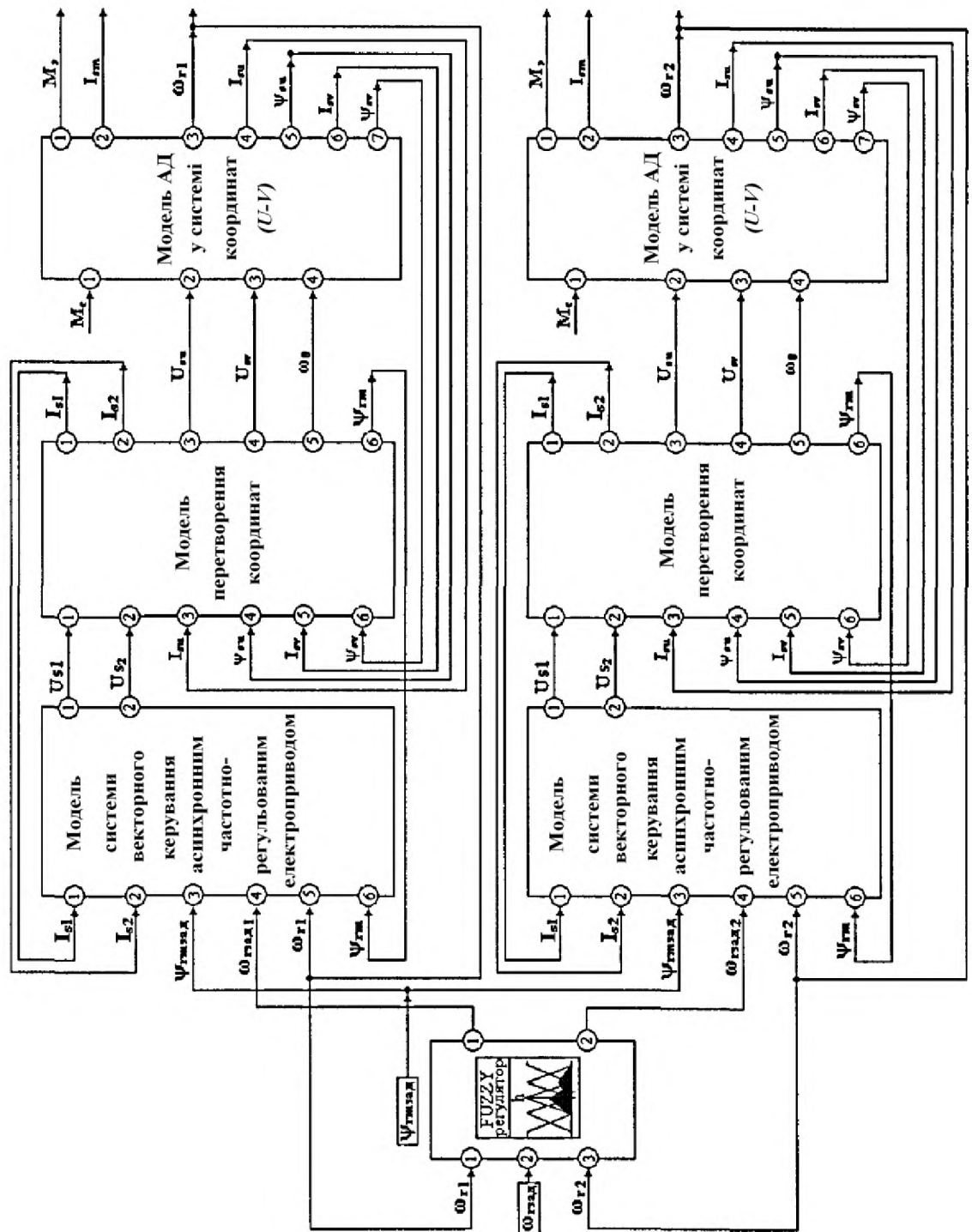


Рис. 3.1. Структурна схема математичної моделі асинхронного електропривода з векторним керуванням і системою формування сигналів завдання з використанням апарата нечіткої логіки.

3.2. Графіки перехідних процесів, отримані на математичній моделі асинхронного електропривода з нечіткою системою векторного керування при пуску під навантаженням, різким скиданні й різкому накиді навантаження

Графіки перехідних процесів, отримані на математичній моделі асинхронного електропривода з нечіткою системою векторного керування при пуску під навантаженням, різким скиданні й різкому накиді навантаження представлені на мал.3.2, 3.3 і 3.4.

Сигнал завдання швидкості обертання роторів АД становить 4В, що відповідає частоті обертання 62,8 рад/с.

Навантаження на валах АД нерівномірне, прийняті моменти сил опору 3 Нм і 2,4 Нм, що становить 20% різниці.

Різде скидання навантаження було здійснено на обох приводах одночасно в момент часу t рівний 0,08 с.

Різкий накид навантаження також був здійснений одночасно на двох приводах при $t = 0,12$ с.

Загальний час експерименту на математичній моделі склало 0,15 с.

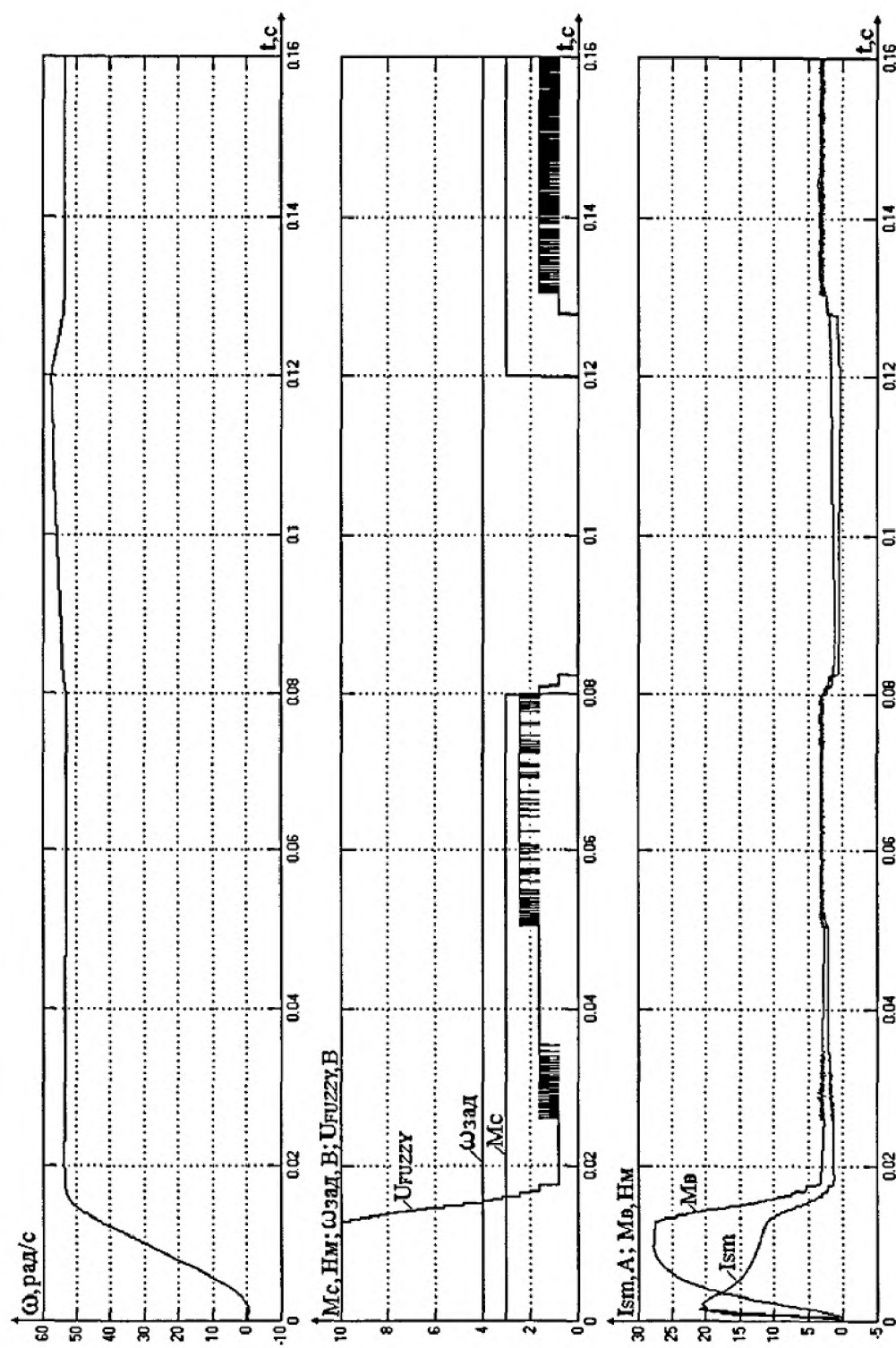


Рис. 3.2. Електромеханічні характеристики асинхронного електропривода з нечіткою системою векторного керування при пуску під навантаженням, різкім скиданні й різкому накиді навантаження рівному 3 Нм.

Розгін електроприводів під навантаженням до значення, що встановилося, становить 0,04з, для електропривода з навантаженням 2,4 Нм і 0,05із для електропривода з навантаженням 3 Нм.

Відпрацьовування скидання навантаження за відведений інтервал часу 0,04з не виконується.

Накид навантаження спрацьовується за 0,012з і 0,01з відповідно. Максимально-Розвинені електромагнітні моменти склали 27,7 Нм і 27,9 Нм при моментах опору, 2,4 Нм і 3 Нм, а значення, що встановилися, швидкостей обертання електроприводів з навантаженням склали 53,5 рад/с і 53 рад/с відповідно.

У такий спосіб відхилення фактичних швидкостей обертання роторів АД від заданого значення склали 14,8% і 15,6%.

Неузгодженість частот обертання електроприводів склала 0,9%. Перерегулювання склало менш 1%.

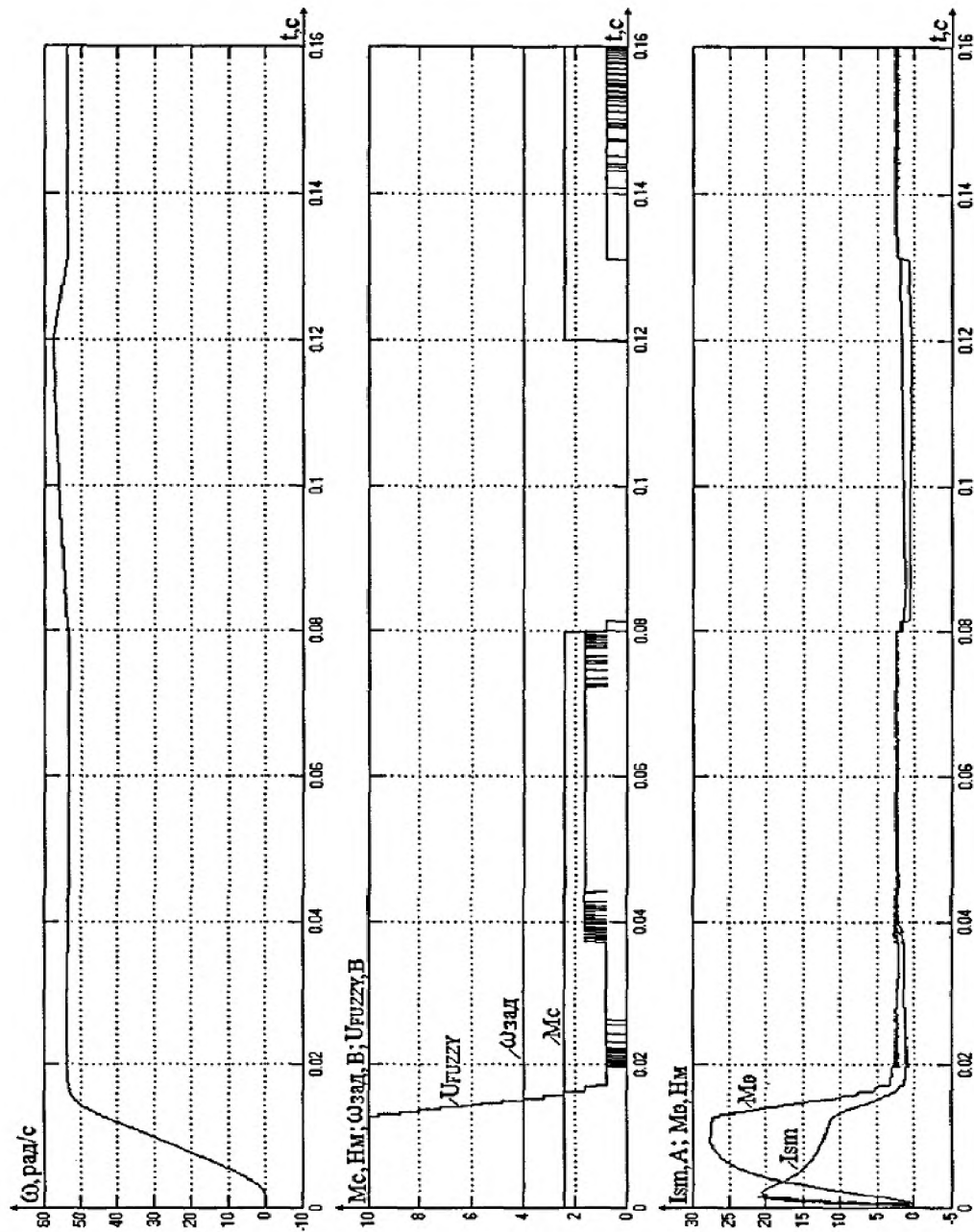


Рис. 3.3. електромеханічні характеристики асинхронного електропривода з нечіткою системою векторного керування при пуску під навантаженням, різкім скиданні й різкому накиді навантаження рівному 2,4 Нм.

Результати експерименту представлені на графіках рис. 3.2.-3.4. показують, що система нечіткого векторного керування в порівнянні із класичною системою векторного керування має приблизно в 8 раз більш

високою швидкістю в пускових режимах і приблизно в 13, 5 рази швидше при накиді навантаження.

Неузгодженість швидкостей обертання роторів АД нижче в 10, 1 рази, а фактичні відхилення частот обертання електроприводів від заданої нижче в 1, 89 рази при навантаженні 2,4 Нм і в 2, 21 рази нижче при навантаженні 3 Нм.

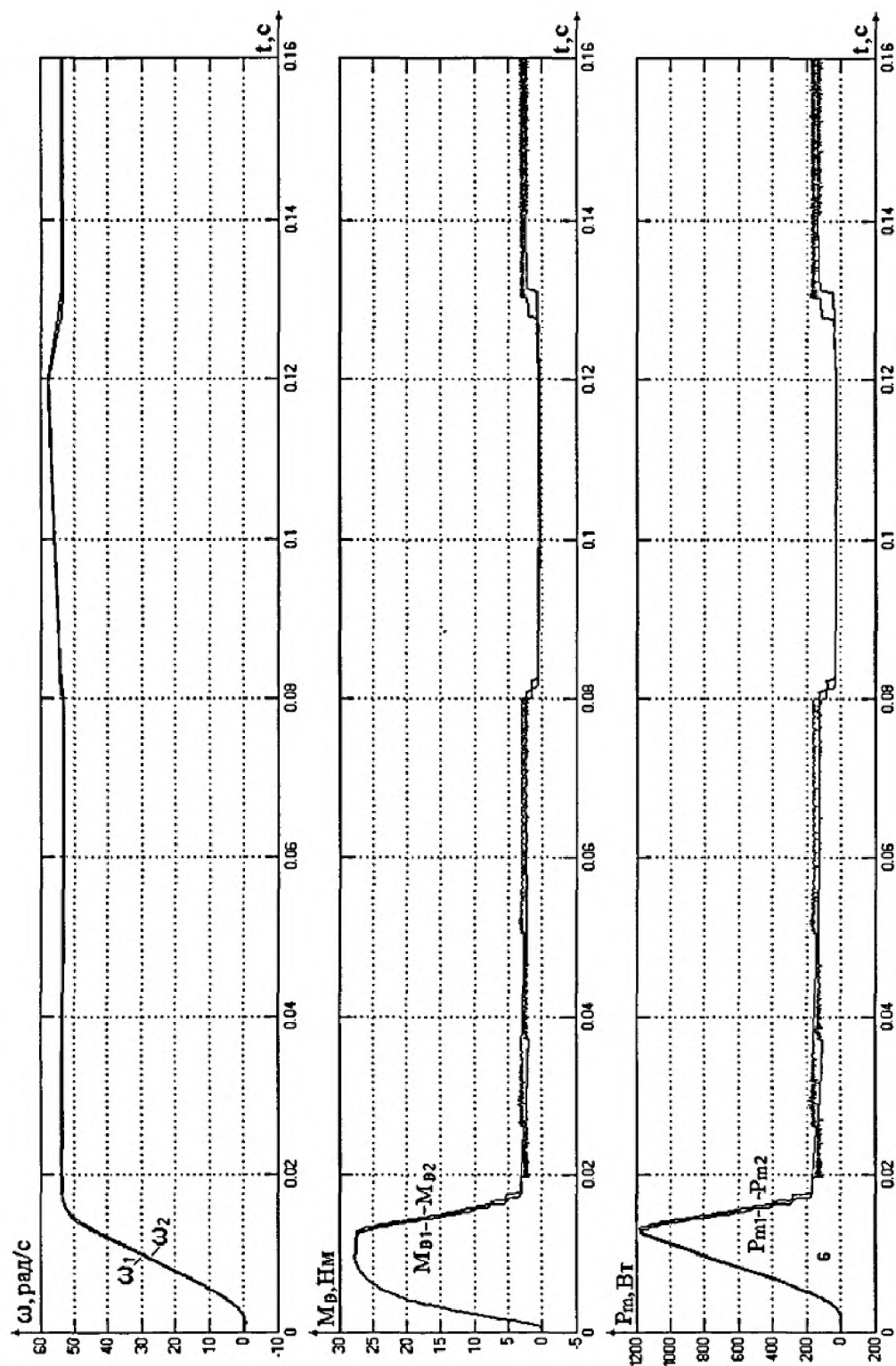


Рис. 3.4. Механічні характеристики асинхронних електроприводів електромеханічної системи з нечітким векторним керуванням.

ВИСНОВКИ

Застосування нечіткого керування найбільше ефективно в тих випадках, коли відсутня явна модель процесу або аналітична модель є занадто складною для вистави (наприклад, системи з декількома входами й декількома виходами) або для одержання розв'язків у реальному масштабі часу.

Асинхронний тяговий електропривод рудничних електровозів, як об'єкт керування, підпадає під рекомендації застосування нечіткого керування.

Відсутність явної моделі процесу, що не піддаються строгому математичному опису.

Так, заздалегідь не відомий коефіцієнт зчеплення електровоза з рейками, крім того, при роботі тягових двигунів відбувається перерозподіл навантажень на осі колісних пар — одні осі трохи розвантажуються, а інші перевантажуються.

Параметри обмоток асинхронного двигуна не є величинами постійними.

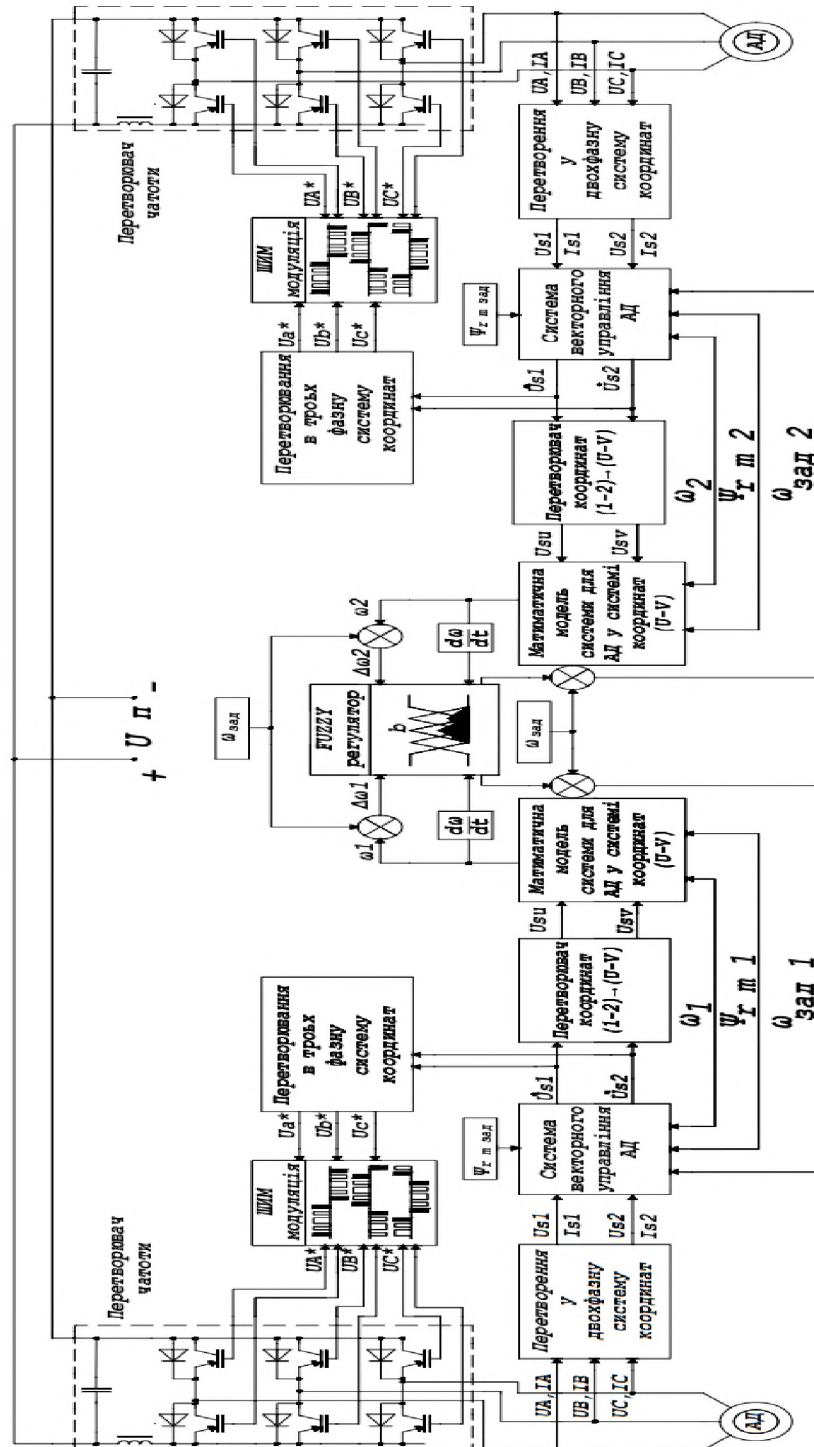
Система керування багатодвигунним електроприводом складається із двох рівнів: нижнього із класичною системою векторного керування ТАД і верхнього з регулятором нечіткої логіки — регулятором сигналів завдання швидкості обертання роторів ТАД (індивідуально для кожного електропривода).

Результати представлені на графіках перехідних процесів показують, що система нечіткого векторного керування в порівнянні із класичною системою векторного керування має приблизно в 8 раз більш високу швидкодію в пускових режимах і приблизно в 13,5 рази швидше при накиді навантаження.

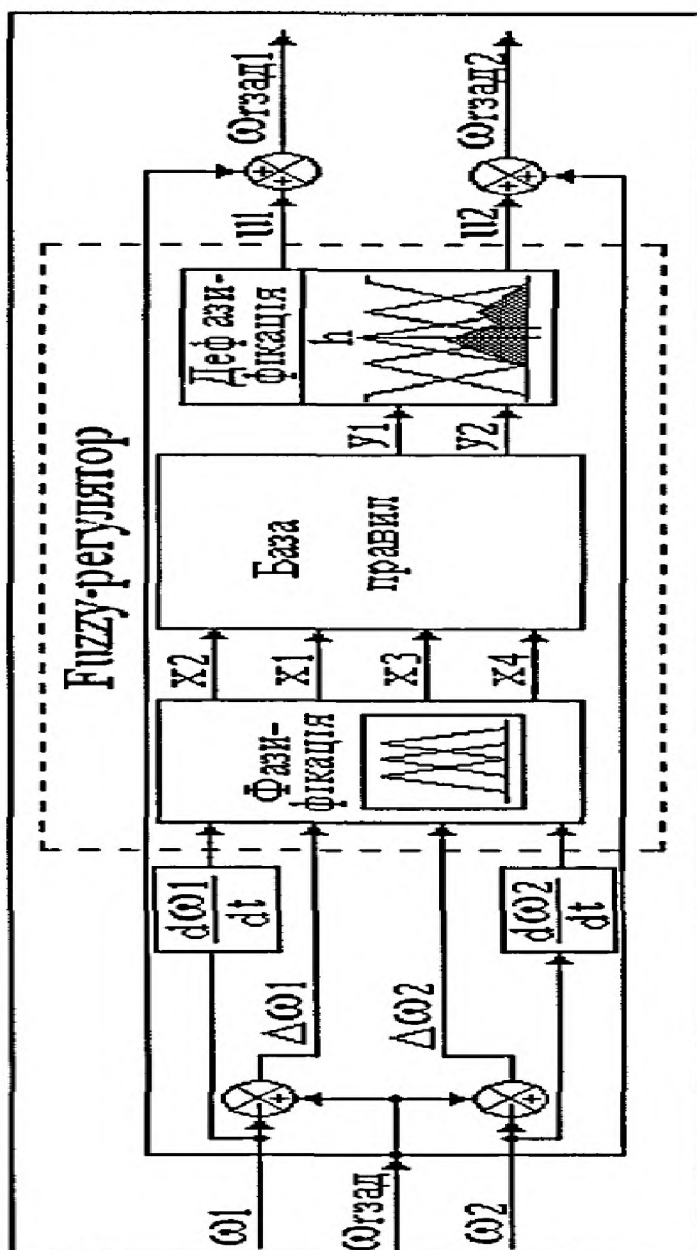
Неузгодженість швидкостей обертання роторів АД нижче в 10,1 рази, а фактичні відхилення частот обертання електроприводів від заданої нижче в 1,89 рази при навантаженні 2,4 Нм і в 2,21 рази нижче при навантаженні 3 Нм.

ДОДАТКИ

Структурна схема асинхронного частотно-регульованого електропривода з формуванням сигналу завдання системи векторного керування



Структура алгоритму системи нечіткого виводу



Програма системи нечіткого виводу

Для терм-множин вхідних лінгвістичних змінні X_1 і X_3 були зроблені наступні позначення:

Z - значення вхідного сигналу близьке до нуля;

NS - значення вхідного сигналу негативне мале;

NB - значення вхідного сигналу негативне велике;

PS - значення вхідного сигналу позитивне мале;

PB - значення вхідного сигналу позитивне велике.

Усе терм-множині вхідних лінгвістичних змінних задано трьома крапками.

Терм-множина Z: (-4,5;0 0; 1 4,5;0);

Терм-множина NS: (-9;0 -4,5; 1 0;0);

Терм-множина NB: (-10; 1 -9;1 -4,5;0);

Терм-множина PS: (0;0 4,5; 1 9;0);

Терм-множина PB: (4,5;0 9; 1 10; 1).

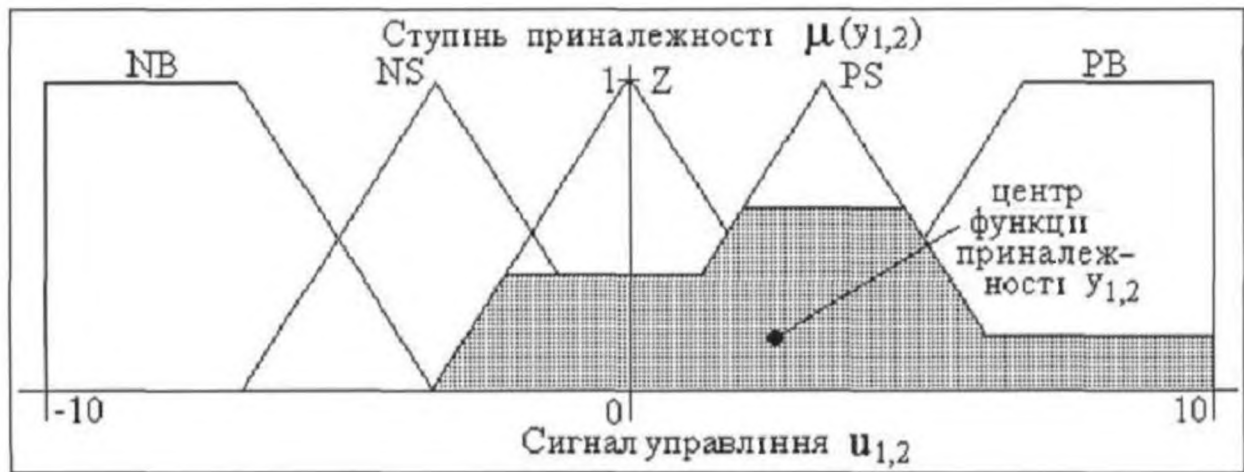
Для терм-множин, якими задані вхідні лінгвістичні змінні X_2 і X_4 минулого зроблені наступні позначення:

Терм-множина Z: (-6;0 0; 1 6;0);

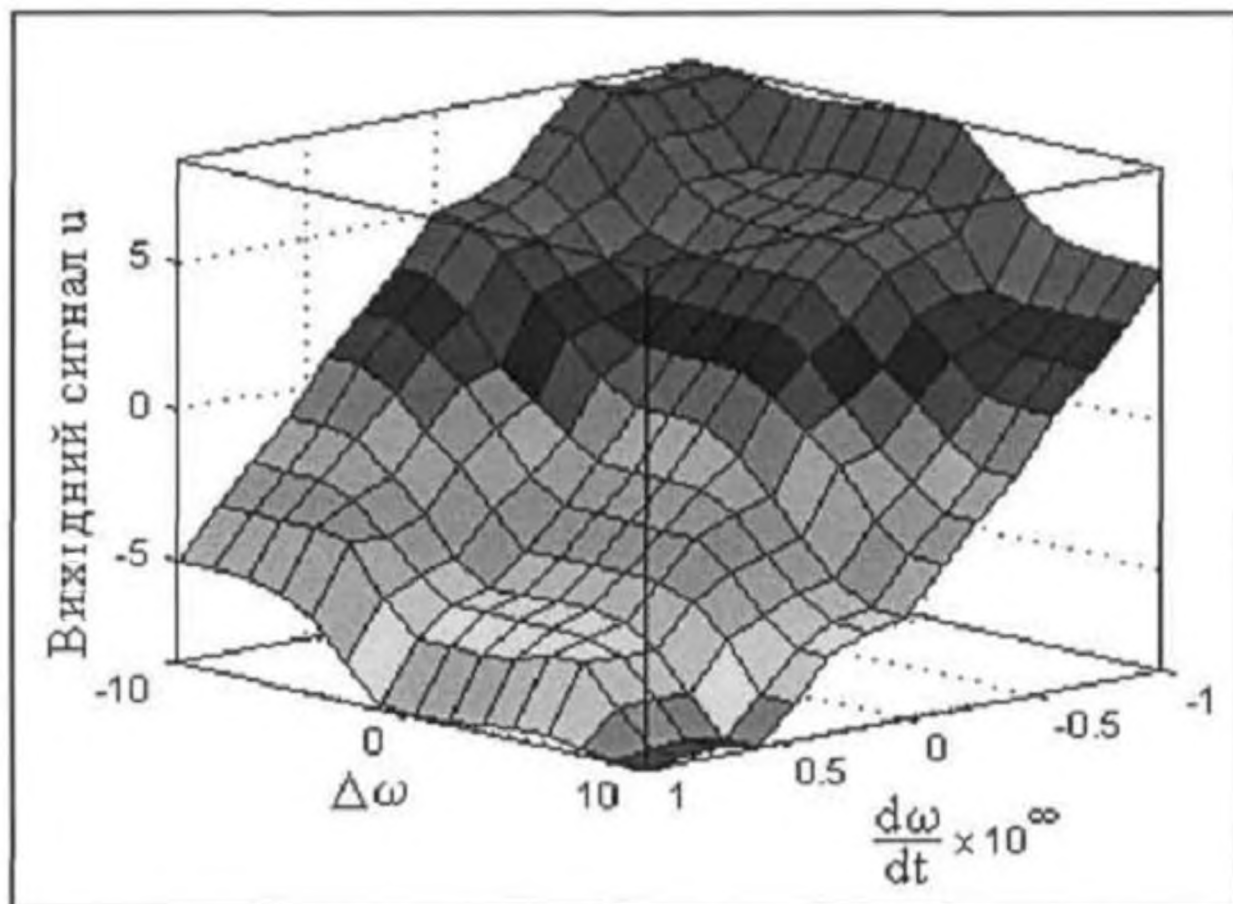
Терм-множина P: (0;0 6;1 +00;1);

Терм-множина N: (-00;1 -6;1 0;0).

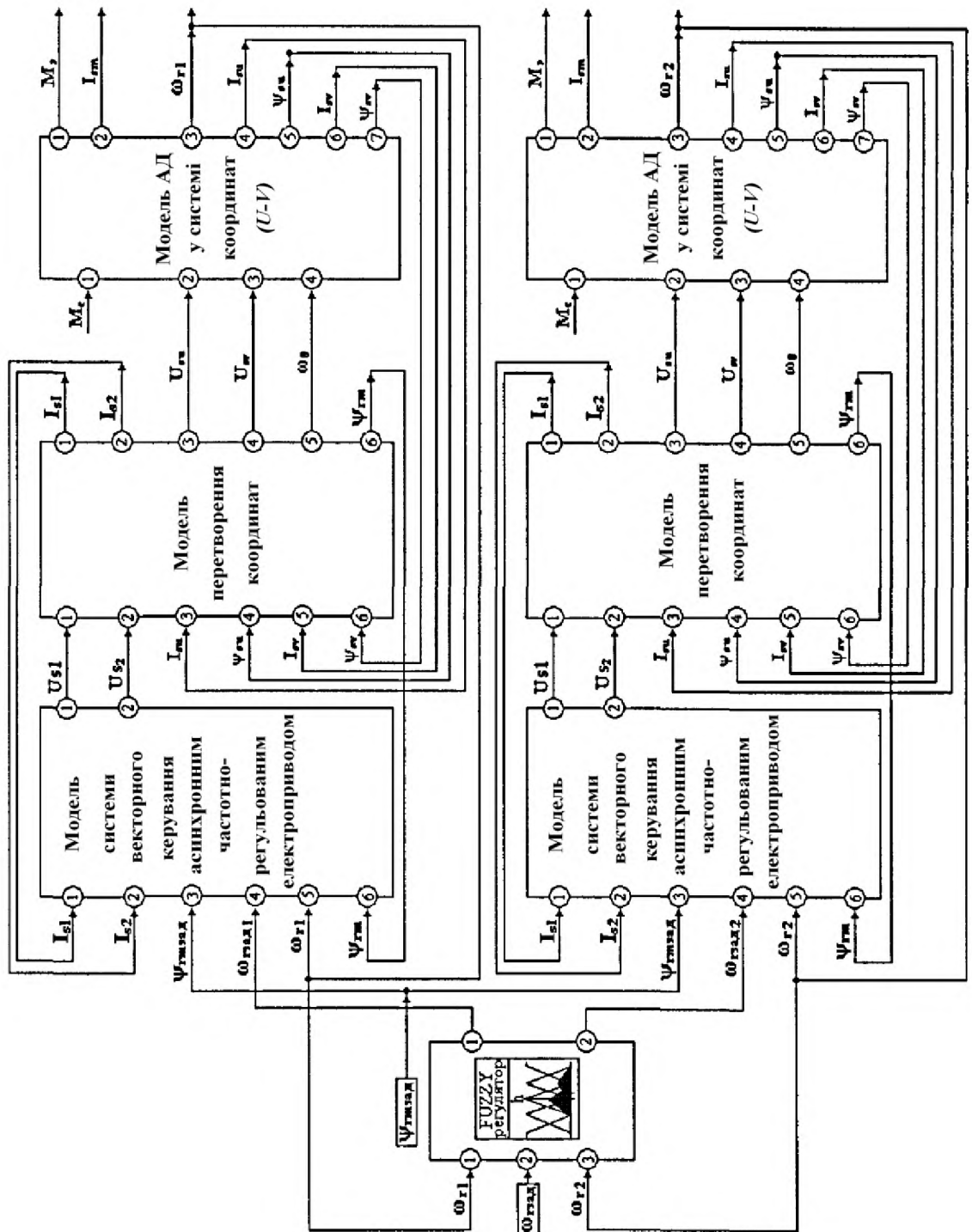
Знаходження центру ваги плоскої фігури функції ступені приналежності
вихідних лінгвістичних змінних y_1 і y_2



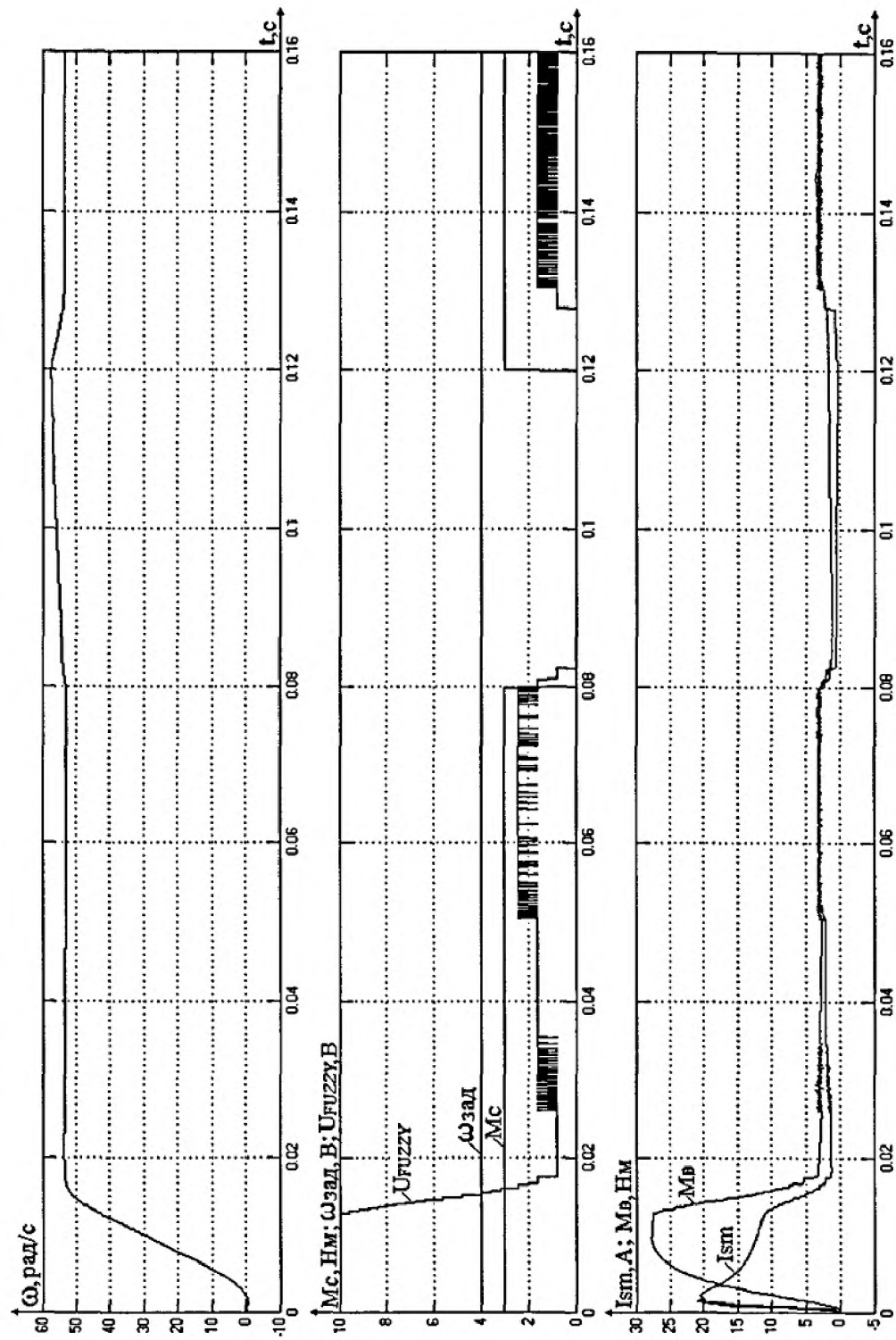
Графічне представлення роботи Fuzzy-Регулятора



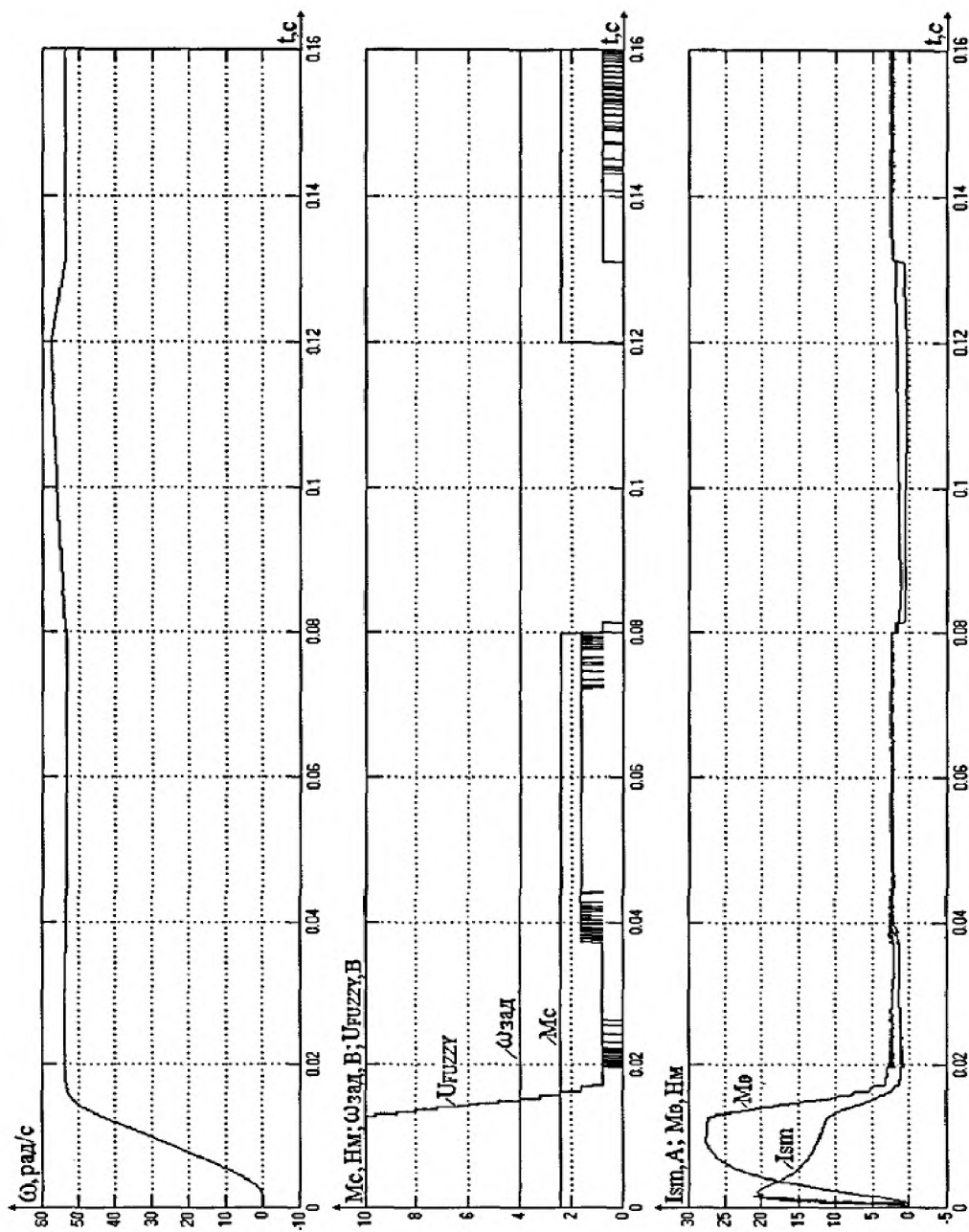
Структурна схема математичної моделі асинхронного електропривода з векторним керуванням і системою формування сигналів завдання з використанням апарата нечіткої логіки



Електромеханічні характеристики асинхронного електропривода з нечіткою системою векторного керування при пуску під навантаженням, різкім скиданні й різкому накиді навантаження рівному 3 Нм



Електромеханічні характеристики асинхронного електропривода з нечіткою системою векторного керування при пуску під навантаженням, різкім скиданні й різкому накиді навантаження рівному 2,4 Нм



Електромеханічні характеристики асинхронного електропривода з нечіткою системою векторного керування при пуску під навантаженням, різкім скиданні й різкому накиді навантаження рівному 2,4 Нм

