

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Національний університет «Запорізька політехніка»

Інститут інформатики та радіоелектроніки
Факультет радіоелектроніки та телекомунікацій
(повне найменування інституту, факультету)

Кафедра радіотехніки та телекомунікацій
(повне найменування кафедри)

Пояснювальна записка

до дипломного проєкту (роботи)

магістра

(ступінь вищої освіти)

на тему НЕЧІТКА ЛОГІКА В СИСТЕМАХ ФАПЧ

Виконав: студент 2 курсу, групи РТ-219м

Спеціальності 172 «Телекомунікації та радіотехніка»
(код і найменування спеціальності)

Освітня програма (спеціалізація)
«Радіотехніка»

Холоша Станіслав Едуардович
(прізвище та ініціали)

Керівник Кабак В.С.
(прізвище та ініціали)

Рецензент Кудерметов Р.К.
(прізвище та ініціали)

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Національний університет «Запорізька політехніка»
 (повне найменування закладу вищої освіти)

Інститут, факультет Інститут інформатики та радіоелектроніки, ФРЕТ
 Кафедра Радіотехніка та телекомунікації
 Ступінь вищої освіти Магістр
 Спеціальність 172 «Телекомунікації та радіотехніка»
 (код і найменування)
 Освітня програма (спеціалізація) «Радіотехніка»
 (назва освітньої програми (спеціалізації))

ЗАТВЕРДЖУЮЗавідувач кафедри РТТМорщавка С.В.« » грудня 2020 року

ЗАВДАННЯ
НА ДИПЛОМНИЙ ПРОЄКТ (РОБОТУ) СТУДЕНТА(КИ)

Холоші Станіслава Едуардовича

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема проєкту (роботи) Нечітка логіка в системах ФАПЧкерівник проєкту (роботи) Кабак Владислав Семенович к.т.н., доцент,
 (прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)затверджені наказом закладу вищої освіти від «6» листопада 2020 року № 3152. Строк подання студентом проєкту (роботи) 14 грудня 2020 року

3. Вихідні дані до проєкту (роботи) _____

Система ФАПЧ з нечіткими регуляторами
Дві логістичні зв'язки з трикутною гармою
прималешності ($c=1$) у нечіткому регуляторі. Об'єктом
є гармонічний сигнал: $U_m = 0,2 В$, $f = 0,8 Гц$

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) Розробити програмну модель нечіткого

регулятора з двома термами і трикутною
гармою прималешності. На дачі нечіткого регу-
лятора подати модель системи ФАПЧ.

Провести дослідження до моделювання ФАПЧ в
системі Matlab. Дослідити поведінку ФАПЧ при різних

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень)

Структурні схеми блоків нечіткого
регулятора.

Структурна схема ФАПЧ з Fuzzy-контролером
Блок в контрольних точках схеми з
результатами комп'ютерного моделювання.

6. Консультанти розділів проєкту (роботи)

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	приймав виконане завдання
1-4	Кабак В. С. к.т.н., доцент		
5	Левченко Н. М., професор		
6	Якімцов Ю. В., доцент		
нормо контроль	Мороз Г.В., ст. викладач		

7. Дата видачі завдання « _____ » _____ 20__ року.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломного проєкту (роботи)	Строк виконання етапів проєкту (роботи)	Примітка
1.	Ознайомлення з математичкими основами негітної логіки	1.08.20-15.09.20	
2.	Синтез негітної реєстрів з двома термами і трікутними функціями прималетності.	16.09.-20-1.10.20	
3.	Програма реалізації блоків функціональної схеми негітної реєстрів	2.10.-2.11.20	
4.	Подготовка моделі ФАПЧ з негітними реєстрами	3.11.20-3.12.20	
5.	Тестування моделі і проведення досліджень.	4.12.-12.12.20	
6.	Впорядкування ПЗ	12.12.-20-18.12.20	

Студент(ка)


(підпис)

Холоша С.Е.

(прізвище та ініціали)

Керівник проєкту (роботи)


(підпис)

Кабак В.С.

(прізвище та ініціали)

РЕФЕРАТ

ПЗ: 110 сторінок, 51 рисунок, 12 таблиць, 11 джерел

Об'єктом дослідження в дипломному проекті є fuzzy-контролери (контролери, робота яких заснована на алгоритмах нечіткої логіки) і можливість їх застосування в системах автоматичного управління.

Мета роботи – розглянути можливість застосування контролера нечіткої логіки в системах автоматичного управління, розглянути ефективність того чи іншого алгоритму роботи контролера, оцінити ефективність застосування нечітких контролерів різних типів.

Робота містить загальну інформацію про системах автоматичного управління, доцільність застосування в них контролерів нечіткої логіки, алгоритм створення контролера нечіткої логіки з різними параметрами, можливість застосування створеного контролера в системі автоматичного підстроювання частоти, процес налаштування контролера, проведено аналіз основних характеристик системи без контролера і з ним а також залежність характеристик системи від параметрів контролера.

Отримані результати можна застосувати для модернізації систем з фазовим автопідстроюванням частоти, а також інших систем радіоавтоматики, для яких потрібно збільшувати швидкодію або точність.

FUZZY-LOGIC, НЕЧІТКІ РЕГУЛЯТОРИ, СИСТЕМА ФАПЧ

ЗМІСТ

РЕФЕРАТ	5
ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ.....	7
ВСТУП	8
1 ЗАСТОСУВАННЯ СИСТЕМИ MATLAB ДЛЯ РОЗРАХУНКУ ХАРАКТЕРИСТИК СИСТЕМ УПРАВЛІННЯ.....	9
1.1 Основні поняття математичних моделей в системі Matlab	9
2 СИСТЕМИ З НЕЧІТКОЮ ЛОГІКОЮ	18
2.1 Поняття нечіткої логіки	18
2.2 Функціональна і структурна схеми системи управління на базі нечіткої логіки. Принцип роботи нечіткого регулятора. Алгоритми нечіткого виведення	25
3 СИНТЕЗ І МОДЕЛЮВАННЯ НЕЧІТКИХ РЕГУЛЯТОРІВ	34
3.1 Синтез нечіткого регулятора з декількома входами	34
3.2 Використання ідентичних зведених в ступінь трикутних функцій належності.....	40
3.3 Синтез формувача керуючих величин А і В	48
3.4 Синтез блоку порівняння величин	52
3.5 Синтез блоку нормування вихідної змінної	55
4 ЗАСТОСУВАННЯ НЕЧІТКИХ КОНТРОЛЛЕРІВ В СИСТЕМАХ АВТОМАТИЧНОГО КЕРУВАННЯ	57
4.1 Традиційна схема фазового автопідстроювання частоти	57
4.2 Застосування нечіткого контролера в системі фазового автопідстроювання частоти.....	60
4.3 Застосування контролера з зведеної в ступінь трикутної функцією приналежності для $c=2$	66
4.4 Застосування контролера з зведеної в ступінь трикутної функцією приналежності для $c=10$	69

4.5 Процес настройки і оптимізації контролера нечіткої логіки.....	71
5 ЕКОНОМІЧНЕ ОБГРУНТУВАННЯ НАУКОВО-ДОСЛІДНОЇ РОБОТИ .	76
5.1 Планування науково-дослідної роботи.....	76
5.1.1 Визначення тривалості НДР	76
5.1.2 Побудова мережного графіка.....	78
5.1.3 Розрахунок параметрів мережного графіка.....	79
5.2 Визначення витрат на проведення НДР.....	82
5.2.2 Визначення витрат на матеріали	82
5.2.3 Розрахунок вартості електроенергії	83
5.2.4 Розрахунок амортизації обладнання	84
5.2.5 Розрахунок заробітної плати.....	85
5.2.6 Розрахунок єдиного соціального внеску	86
5.2.7 Розрахунок загальновиробничих витрати	86
5.3 Розрахунок економічної ефективності НДР.....	87
5.4 Економіко-математичне моделювання в управлінні діяльністю підприємства.....	89
6 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ	94
6.1 Аналіз потенційних небезпек.....	94
6.2 Заходи по забезпеченню безпеки.....	96
6.3 Заходи по забезпеченню виробничої санітарії та гігієни праці	97
6.3.1 Заходи з пожежної безпеки.....	101
6.3.2 Заходи з цивільної оборони	102
6.4 Висновки з розділу «Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях»	105
ВИСНОВКИ.....	108
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ	109

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ

АЦП	—	аналого-цифровий перетворювач
АЧХ	—	амплітудно-частотна характеристика
ЛЧХ	—	логарифмічні частотні характеристики
НР	—	нечіткий регулятор
ПГ	—	перестроюваний генератор
РА	—	радіоавтоматика
ФАПЧ	—	вазове автопідстроювання частоти
ФД	—	фазовий детектор
ФНЧ	—	фільтр низьких частот
ФП	—	функція приналежності
ФЧХ	—	фазочастотна характеристика
ЦАП	—	цифроаналоговий перетворювач

ВСТУП

У сучасній техніці для управління різними системами досить широко стали застосовуватися fuzzy-контролери – контролери, засновані на нечіткій логіці. Відмінною рисою їх є алгоритм роботи, чимось схожий зі способом людського мислення. Так, змінні в контролері приймають не чіткі значення 0 і 1, як в Булевої алгебрі, а можуть набувати різних значень даному діапазоні, тобто мати імовірнісний характер. Застосування даних контролерів варіюється в досить широких межах: вони використовуються в управлінні пральними машинами, паровими котлами, робототехнікою, системах наведення, системах радіоавтоматики, також самі алгоритми досить широко застосовуються в сучасних системах аналітики і прогнозування та при цьому показують відмінні результати. Властивості нечітких контролерів дозволяють застосовувати їх в системах радіоавтоматики, в яких, наприклад, потрібно збільшувати швидкодію або якість роботи самої системи. При цьому можна управляти контролером, використовуючи різні алгоритми для обробки сигналів з метою визначення найбільш оптимального і відповідного нам. Це можливо внаслідок того, що контролер є цифровим пристроєм і просте зміни алгоритму роботи дасть нам абсолютно нові характеристики вдосконалюється системи. При цьому зміна параметрів самого регулятора досягається простим зміною значення констант в пристрої. Застосування нечітких контролерів дасть можливості для створення більш якісних систем передачі інформації, поліпшить параметри і характеристики вже існуючих систем, дозволить інтенсивно розвиватися різним системам автоматичного управління.

В рамках даної роботи розглядається спосіб застосування нечіткого контролера в системі фазового автопідстроювання частоти, вплив зміни параметрів контролера на роботу всієї системи, наведено спосіб оптимізації роботи нечіткого контролера відповідно до поставленої мети. Розглянуто залежність параметрів контролера від застосовуваних функцій приналежності.

1 ЗАСТОСУВАННЯ СИСТЕМИ МАТЛАБ ДЛЯ РОЗРАХУНКУ ХАРАКТЕРИСТИК СИСТЕМ УПРАВЛІННЯ

1.1 Основні поняття математичних моделей в системі Matlab

Припустимо відповідно до вираження (1.1) система РА описується рівнянням другого порядку:

$$\frac{d^2 y(t)}{dt^2} + 2 \times z \times w \times \frac{dy(t)}{dt} \times w^2 \times y(t) = w^2 \times u(t) \quad (1.1)$$

Його можна записати в матричному вигляді. Моделі систем в формі змінних стану в системі Matlab представляються порівняно просто – матрицями A, B, C, D, які розглядаються як індивідуальні змінні. У просторі зміною стану вираз (1.1) представляється системою рівнянь першого порядку, для якої:

$$A = \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ -w^2 & -2zw \end{bmatrix}, B = \begin{bmatrix} 0 \\ w^2 \end{bmatrix}, C = \begin{bmatrix} 1 & 0 \end{bmatrix}, D = 0. \quad (1.2)$$

Цю систему можна описати в системі Matlab, для цього введемо наступні рядки:

$$w = 1.5;$$

$$z = 0.2;$$

$$A = \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ -w^2 & -2 * z * w \end{bmatrix};$$

$$B = \begin{bmatrix} 0 \\ w^2 \end{bmatrix};$$

$$C = \begin{bmatrix} 1 & 0 \end{bmatrix};$$

$$D = \begin{bmatrix} 0 \end{bmatrix};$$

Це дозволяє нам відносно просто аналізувати систему. Так, відповідно до виразів (1.1-1.17) ми можемо знаходити імпульсні і перехідні функції. Моделювати систему можна різними методами. Як для безперервного, так і для дискретного часу прийнято виділяти два типи моделей:

- різні форми подання передавальної функції;
- рівняння для змінних стану.

Весь набір моделей, які можна аналізувати, представлений на рисунку 1.1.

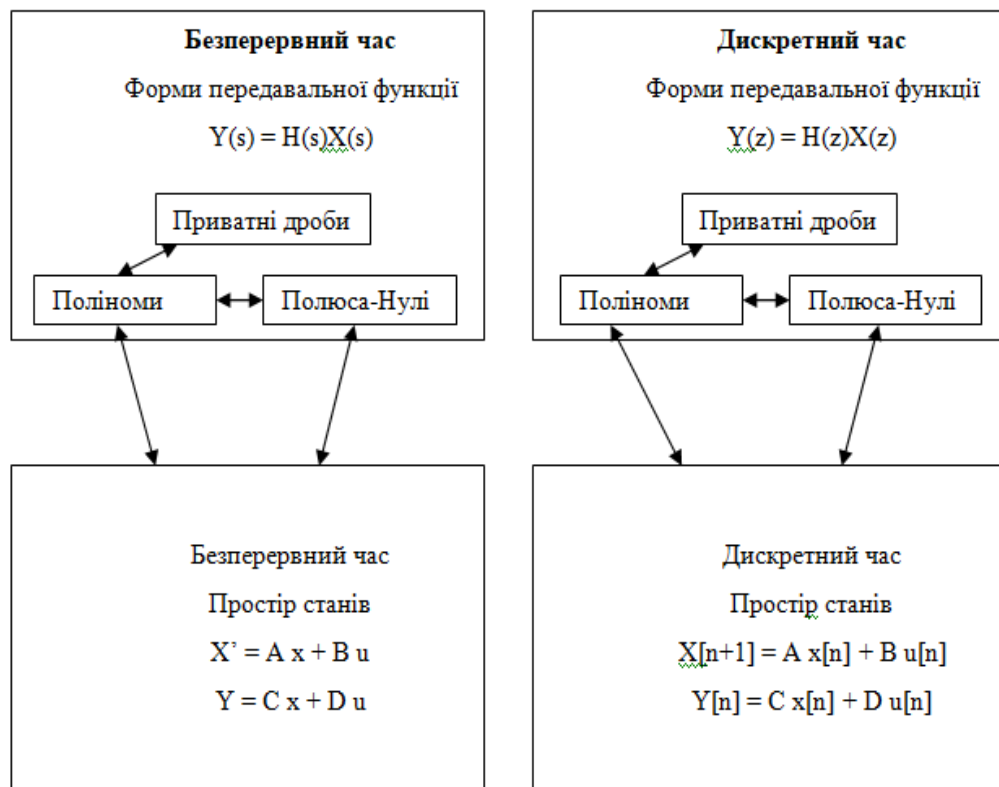


Рисунок 1.1 – Моделі лінійних систем і їх взаємозв'язок

Для системи MATLAB найбільш підходящим є модель у вигляді рівнянь для змінних стану [8]. Для систем з багатьма входами і виходами ця модель виявляється єдино прийнятною. Особливо очевидними переваги цієї моделі стають при дослідженні систем управління на ЕОМ, оскільки ця мо-

дель менш чутлива до помилок округлення. Розглянуті моделі можна аналізувати як в безперервному часу, так і в дискретному.

Якщо в пристрої застосовується АЦП, то можна вважати що пристрій є цифровим з кроком дискретизації h , від вибору якого залежать параметри системи.

Запишемо передавальну функцію для системи з одним входом і двома виходами:

$$h(S) = \frac{3(s+1_2)}{(s+3)(s+4)(s+5)} \quad (1.3)$$

Таку модель в систему Matlab можна ввести шляхом запису наступних рядків:

$$\begin{aligned} k &= [3; 4]; \\ z &= [-12 - 1; \text{Inf} - 2]; \\ p &= [-3; -4; -5]. \end{aligned}$$

Цей запис можна перетворити в матричну форму для змінних стану.

Для цього введемо в систему передавальну функцію і виконаємо наступну програму:

$$\begin{aligned} w &= 1.5; \\ z &= 0.2; \\ A &= \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ -w^2 & -2 * z * w \end{bmatrix}; \\ B &= [0 \quad w^2]; \\ C &= [1 \quad 0]; \\ D &= [0]; \end{aligned}$$

$$[\text{num}, \text{den}] = \text{ss2tf}(A, B, C, D, 1).$$

В результаті виконання програми отримаємо коефіцієнти полінома для передавальної функції:

$$\begin{aligned} \text{num} &= 0 \quad 0 \quad 2.2500 \\ \text{den} &= 1.0000 \quad 0.6000 \quad 2.2500 \end{aligned}$$

де матриці num і den є коефіцієнтами полінома для передавальної функції

$$H(s) = \frac{NUM(s)}{den(s)}$$

Можливий перехід до факторізованої формі записи передавальних функцій. Цим самим ми знаходимо полюса і нулі передавальної функції:

$$\begin{aligned} NUM &= [0 \quad 2 \quad 3; 1 \quad 2 \quad 1]; \\ den &= [1 \quad 0.4 \quad 1]; \\ [Z, p, k] &= \text{tf2zp}(NUM, den) \\ Z &= \begin{matrix} -1.5000 & -1.0000 \\ Inf & -1.0000 \end{matrix} \\ p &= \begin{matrix} -0.2000 + 0.9798i \\ -0.2000 - 0.9798i \end{matrix} \\ k &= \begin{matrix} 2 \\ 1 \end{matrix} \end{aligned}$$

Відповідно до отриманого раніше виразу (1.2) побудуємо амплітудно-частотну характеристику розглянутої раніше системи:

$$w=1.5;$$

```

z=0.2;
A = [ 0      1
      -w^2  -2 * z * w ];
B = [ 0 ];
C = [ 1  0 ];
D = [ 0 ];
w = logspace(-1,1);
[mag, phase] = bode(A, B, C, D, 1, w);
loglog(w, mag), grid.

```

Система Matlab побудує графік, який і буде амплітудно-частотною характеристикою даної системи. На ньому ми можемо досить непогано розглянути питання, що цікавлять нас якості і поведінку системи на різних частотах, внаслідок чого можна буде зробити відповідні висновки. Так, наприклад, можна будувати АЧХ, використовуючи логарифмічну шкалу, а можна як би наблизити окрему ділянку частотної області, ввівши в умови, що цікавить нас діапазон частот. Таким чином, моделювання в системі Matlab дозволяє нам отримувати характеристики реальних пристроїв, не вдаючись до використання дорогих вимірювальних пристроїв, довгих і складних процесів створення працюючих моделей. Звичайно, без випробувальної моделі не обійтися, але завдяки моделюванню ми можемо максимально точно розрахувати необхідні нам елементи, отримати потрібні нам характеристики, і тим самим значно здешевити і прискорити створення готового пристрою, так як потім при створенні дослідного зразка досить буде зробити всього лише деяку підстроювання, обумовлену розкидом параметрів елементів, невідповідністю математичних моделей їх реальними параметрами, а також деяким іншим факторам.

У цьому прикладі після моделювання буде отримана амплітудно-частотна характеристика системи. У сучасних ЕОМ процес моделювання

займе зовсім небагато часу. Для простих систем на це знадобиться кілька секунд; для більш складних – не більше хвилини.

Отриманий графік представлений на рисунку 1.2.

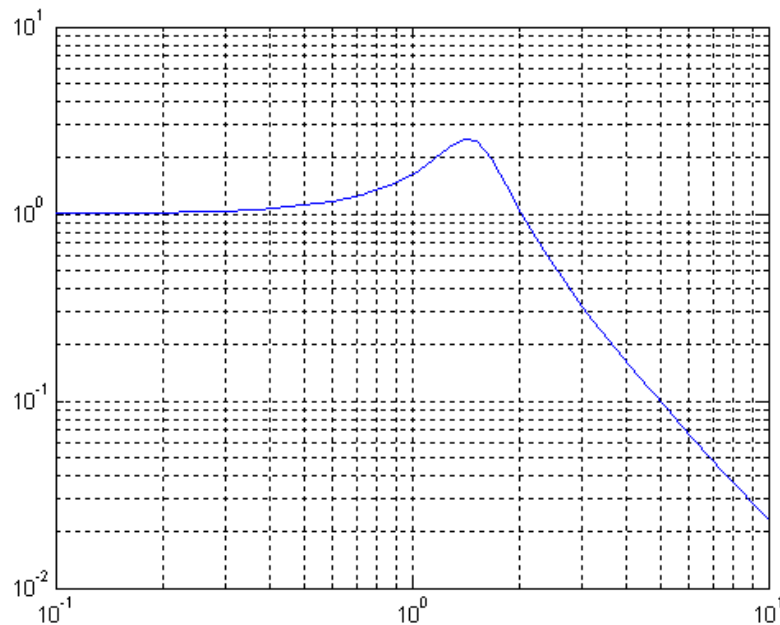


Рисунок 1.2 – АЧХ даної системи

Отриманий графік досить точно характеризує змодельовану систему. При цьому відмінності можуть стосуватися параметрів математичної моделі досліджуваної системи і її реальних характеристик. Якщо ж, наприклад, будь-які елементи ми реалізуємо в цифровому вигляді, будь то цифровий фільтр, логічний елемент, або будь-який інший пристрій, то отримана характеристика досить точно відображає реальний стан справ. Так само можна отримати і інші характеристики даної системи. Так, наприклад, ФЧХ цієї ж системи ми отримуємо, ввівши лише додатковий рядок (рис. 1.3).

semilogx(w, phase), grid;

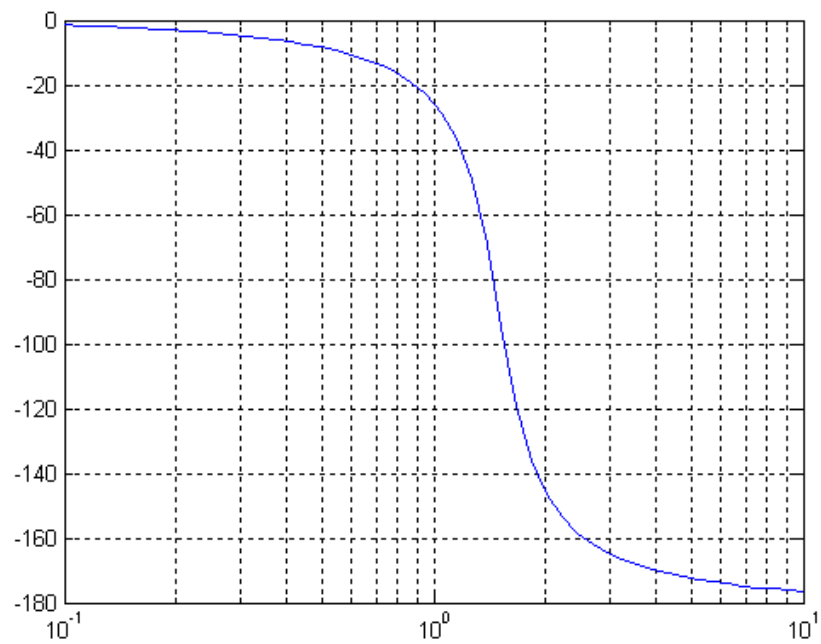


Рисунок 1.3 – ФЧХ даної системи

Побудова характеристики Найквіста зазвичай виявляється корисною при дослідженні посилення, фазових співвідношень, смуги пропускання, частотних спотворень, стійкості.

Побудуємо годограф Найквіста для цієї ж системи. Для цього введемо в систему кілька рядків:

```
w = 1.5;
z = 0.2;
A = [ 0      1
      -w^2  -2 * z * w ];
B = [ 0
      w^2 ];
C = [ 1  0 ];
D = [ 0 ];
w = logspace(-1,1);
[RE,IM] = nyquist(A,B,C,D,1,w);
plot(RE,IM),grid;
```

Після виконання програми отримаємо на виході годограф (рис. 1.4).

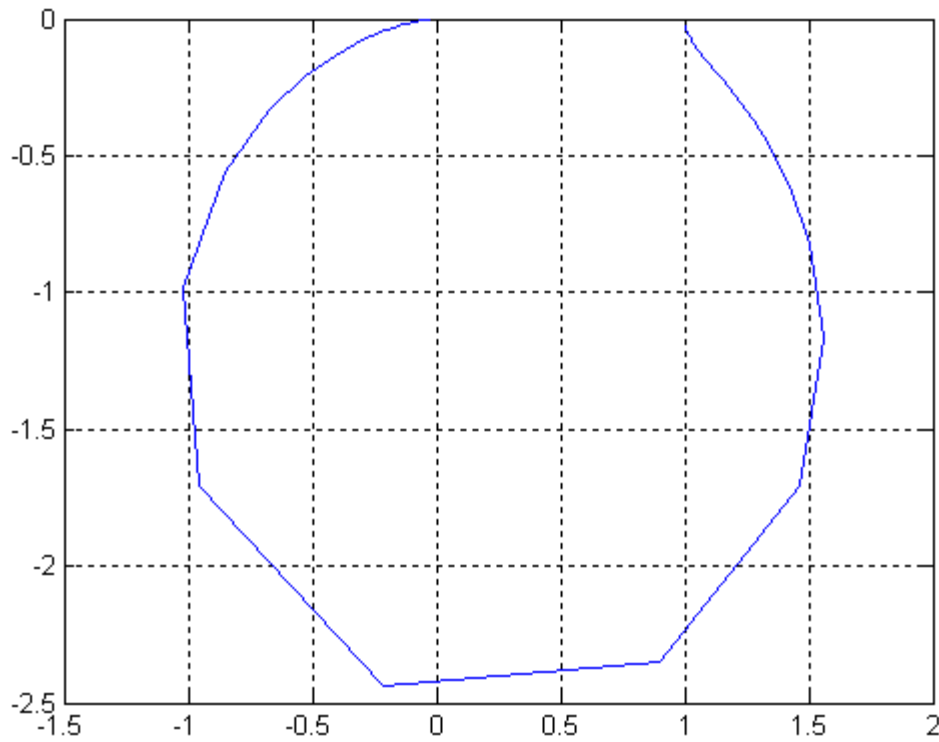


Рисунок 1.4 – Годограф Найквіста для даної системи

Таким чином можна знаходити різні характеристики систем за допомогою системи Matlab для лінійних систем.

Таким же чином в Matlab, використовуючи вбудовані в нього бібліотеки нечіткої логіки можна досліджувати різні алгоритми і способи їх застосування. Можна розрахувати для різних алгоритмів ступінь стійкості системи і тим самим модернізувати або окреслити коло можливих застосувань тих чи інших систем для різних завдань автоматики та управління [7].

Досить часто можна зіткнутися з ситуацією, коли передавальна функція є занадто складною для опису або має велику нелінійність. Це дуже ускладнює синтез подібних систем, так як спрощення не дасть результатів, відповідних дійсності. Тому для управління об'єктами, які або не піддаються, або піддаються з великими труднощами формалізованого опису, з'являється

інтерес у використанні нечітких регуляторів. Вони часто найкращим за всі інші і дозволяють отримати більш високу якість систем автоматичного управління. Традиційні методи опису регуляторів, наприклад, за допомогою передавальних функцій, для нечітких регуляторів не підходять і не потрібні. Нечіткий регулятор є нелінійним і його особливістю є відсутність динаміки в самому нечіткому регуляторі. Також особливістю є словесний опис процесу управління, що дуже спрощує процес створення нечіткого регулятора. Далі розглянемо основні поняття для систем з нечіткою логікою і сам процес включення нечіткого регулятора в систему автоматичного управління.

2 СИСТЕМИ З НЕЧІТКОЮ ЛОГІКОЮ

2.1 Поняття нечіткої логіки

Характеристикою нечіткої множини виступає функція приналежності (Membership Function). Позначимо через $\mu(x)$ – ступінь приналежності до нечіткої множини C , що представляє собою узагальнення поняття характеристичної функції звичайного безлічі. Тоді нечіткою множиною Z називається безліч впорядкованих пар виду $\mu_C(x) [0,1]$. Значення $\mu_C(x) = 0$ означає відсутність приналежності до безлічі, 1 – повну приналежність.

Процес приведення змінної до нечіткості називають фазифікацією, а зворотний процес – отримання конкретних значень – дефазифікацією. Існує багато алгоритмів фазифікації – дефазифікації, але в основному все зводиться до нормування вхідної змінної до одиниці і подальшим приведенням до нечіткості за допомогою алгоритмів Мадманні і Сугено, які інтегровані в більшість засобів розробки програмного забезпечення, і вникати в подробиці яких немає сенсу.

Для нечітких множин, як і для звичайних, визначені основні логічні операції. Самими основними, необхідними для розрахунків, є перетин і об'єднання.

Перетин двох нечітких множин (нечітка "І"): $A \cap B$:

$$\mu_{AB}(x) = \min(\mu_A(x), \mu_B(x)).$$

Об'єднання двох нечітких множин (нечітка "АБО"): $A \cup B$:

$$\mu_{AB}(x) = \max(\mu_A(x), \mu_B(x)).$$

В теорії нечітких множин розроблено загальний підхід до виконання операторів перетину, об'єднання і доповнення, реалізований в так званих трикутних нормах і конормах. Наведені вище реалізації операцій перетину і об'єднання – найбільш поширені випадки t -норми і t -конорми.

Для опису нечітких множин вводяться поняття нечіткої і лінгвістичної змінних.

Нечітка змінна описується набором (N, X, A) , де N – це назва змінної, X – універсальна множини (область міркувань), A – нечітка множини на X . значення лінгвістичної змінної можуть бути нечіткі змінні, тобто лінгвістична змінна знаходиться на більш високому рівні, ніж нечітка змінна. Кожна лінгвістична змінна складається з:

- назви;
- безлічі своїх значень, яке також називається базовою терм-безліччю T . Елементи базової терм-множини являють собою назви нечітких змінних;
- універсальної множини X ;
- синтаксичного правила G , за яким генеруються нові терми із застосуванням слів природної або формальної мови;
- семантичного правила P , яке кожному значенню лінгвістичної змінної ставить у відповідність нечітке підмноження безлічі X [6].

Існує понад десяток типових форм кривих для завдання функцій приналежності. Найбільшого поширення набули: трикутна, трапецеїдальних і гауссова функції приналежності. Трикутна функція приналежності визначається трійкою чисел (a, b, c) , і її значення в точці x обчислюється згідно з виразом:

$$\mu(x) = \begin{cases} 1 - \frac{b-x}{b-a}, & a \leq x \leq b; \\ 1 - \frac{x-b}{c-b}, & b \leq x \leq c; \end{cases} \quad (2.1)$$

0, в інших випадках.

При $(b - a) = (c - b)$ маємо випадок симетричній трикутної функції приналежності, яка може бути однозначно задана двома параметрами з трійки (a, b, c) .

Аналогічно для завдання трапецеїдальної функції приналежності необхідна четвірка чисел (a, b, c, d) :

$$\mu(x) = \begin{cases} 1 - \frac{b-x}{b-a}, & a \leq x \leq b; \\ 1, & b \leq x \leq c; \\ 0, & \text{в інших випадках.} \end{cases} \quad (2.2)$$

0, в інших випадках.

При $(b - a) = (d - c)$ трапецеїдальна функція приналежності має симетричний вид (рис. 2.1).

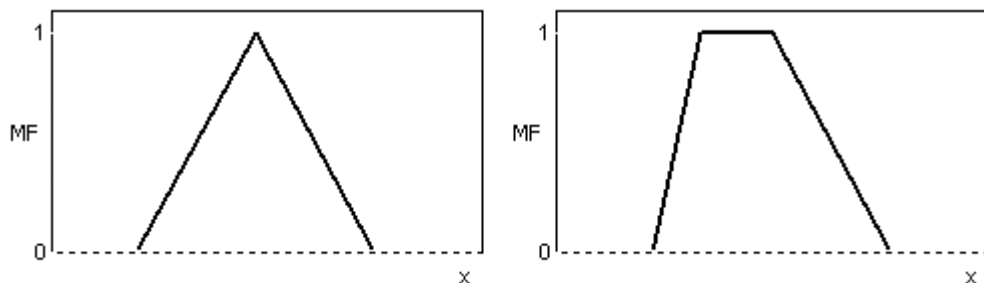


Рисунок 2.1 – Типові кусочно-лінійні функції приналежності

Функція приналежності гауссового типу описується формулою:

$$\mu(x) = \exp \left[-\left(\frac{x-c}{\sigma} \right)^2 \right]; \quad (2.3)$$

І оперує двома параметрами. Параметр c позначає центр нечіткої множини, а параметр σ відповідає за крутизну функції.

На рисунку (2.2) приведено приклад гауссової функції приналежності.

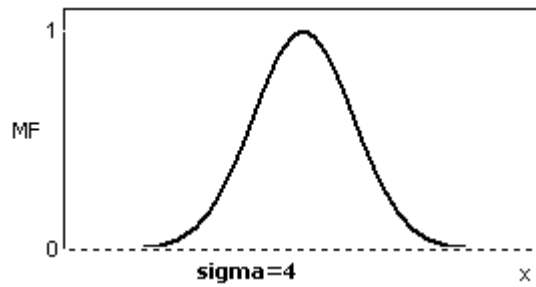


Рисунок 2.2 – Гауссова функція приналежності

Основою для проведення операції нечіткого логічного висновку є база правил, що містить нечіткі висловлювання у формі «Якщо – то» і функції приналежності для відповідних лінгвістичних термів. При цьому повинні дотримуватися наступні умови:

Існує хоча б одне правило для кожного лінгвістичного терма вихідної змінної.

Для будь-якого терма вхідної змінної є хоча б одне правило, в якому цей терм використовується в якості передумови (ліва частина правила).

В іншому випадку має місце неповна база нечітких правил.

Нехай в базі правил є m правил виду:

R_1 : ЕСЛИ x_1 это A_{11} ... И ... x_n это A_{1n} , ТО y это B_1 ;

R_i : ЕСЛИ x_1 это A_{i1} ... И ... x_n это A_{in} , ТО y это B_i ;

R_m : ЕСЛИ x_1 это A_{m1} ... И ... x_n это A_{mn} , ТО y это B_m ;

де x_k , $k = 1..n$ – вхідні змінні;

y – вихідна змінна;

A_{ik} – задані нечіткі множини з функціями належності.

Результатом нечіткого висновку є чітке значення змінної y * на основі заданих чітких значень x_k , $k = 1..n$.

В даному розділі розглянемо можливості застосування одного з пакетів Matlab для роботи з нечіткою логікою. Він називається Fuzzy-logic і запус-

кається однією командою fuzzy. Його можна використовувати для створення нечіткого контролера з потрібними нам параметрами. Потім цей контролер можна буде використовувати в Simulink для моделювання будь-якого процесу.

Створимо простий регулятор на основі нечіткої логіки. Для цього скористаємося командою fuzzy середовища Matlab.

У цій системі створимо один вхід і один вихід. Нехай нам потрібно контролювати якусь змінну шляхом її порівняння з якимось іншим значенням. Для цього будемо використовувати змінну Input. Нехай вона може набувати значень «менше» і «більше» і має область визначення на інтервалі від 0 до 1 (рис. 2.3).

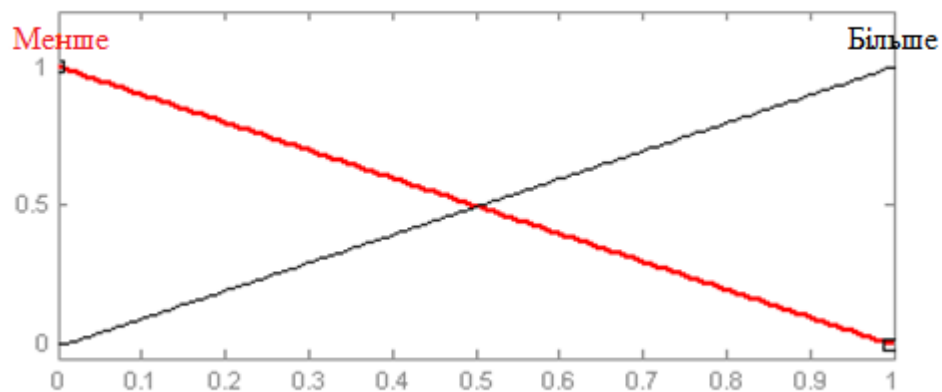


Рисунок 2.3 – Вхідні змінна з трикутними функціями належності

Вихідна змінна output може приймати значення «зменшити» і «збільшити».

Визначена вона на цьому ж інтервалі (рис. 2.4).

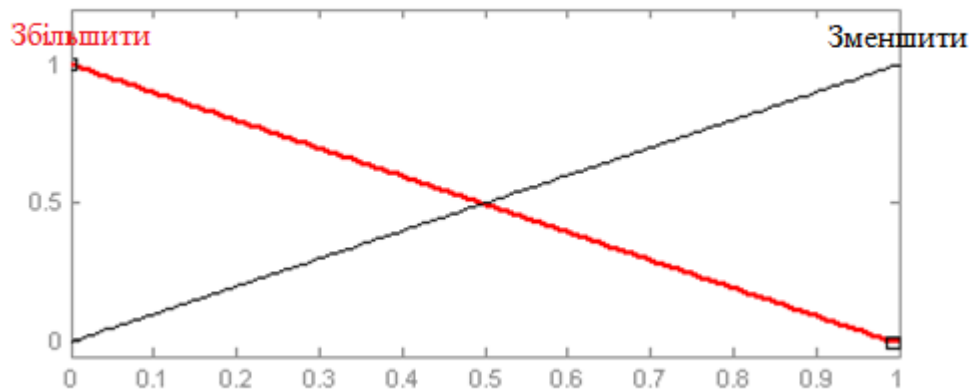


Рисунок 2.4 – Вихідна змінна

Створимо правила управління за наступним принципом:

- ЯКЩО значення на вході менше, ТО збільшити;
- ЯКЩО значення на вході більше, ТО зменшити.

Схематична структурна схема системи управління буде виглядати наступним чином (рис. 2.5):

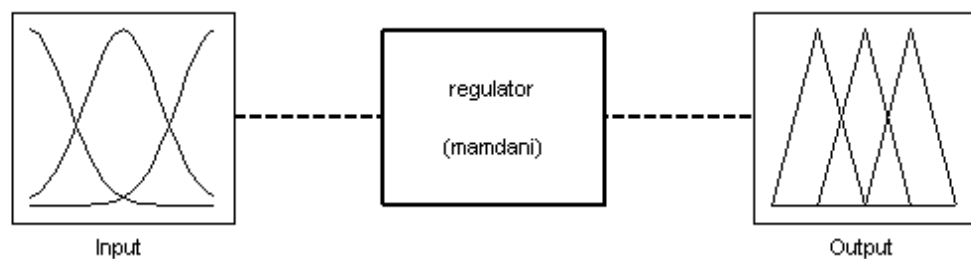


Рисунок 2.5 – Схематична структурна схема в Fuzzy-logic

Можна промодельовати реакцію системи графічно. Це буде виглядати так (рис. 2.6):

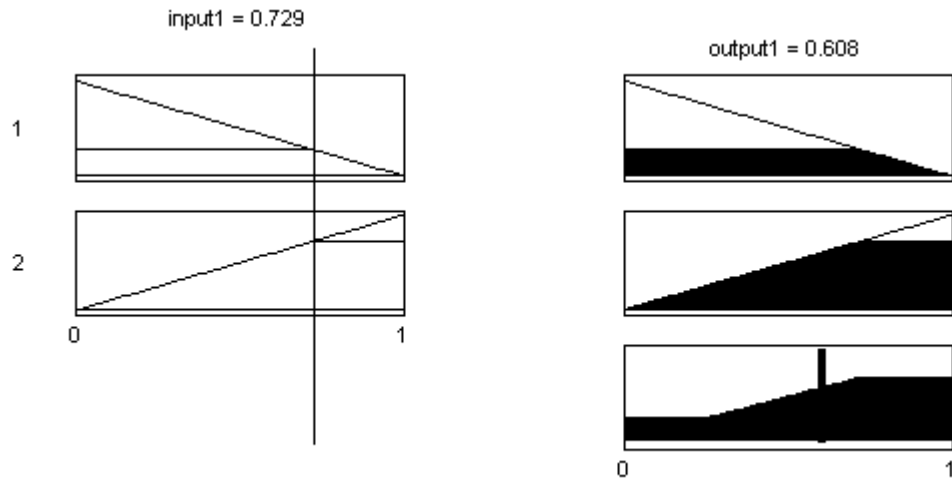


Рисунок 2.6 – Інтерактивна модель реакцій системи на дії

Вертикальною лінією зліва вказується ступінь входять впливу. Вертикальною лінією справа буде вказуватися ступінь реакції системи.

В даному прикладі результуюча ФП буде формуватися внаслідок об'єднання двох перших змінних, а значення вихідної дії є центром тяжіння результуючої фігури.

Можна подивитися графічно залежність вихідних реакцій від вхідного впливу. Для цих правил графік буде виглядати наступним чином (рис. 2.7):

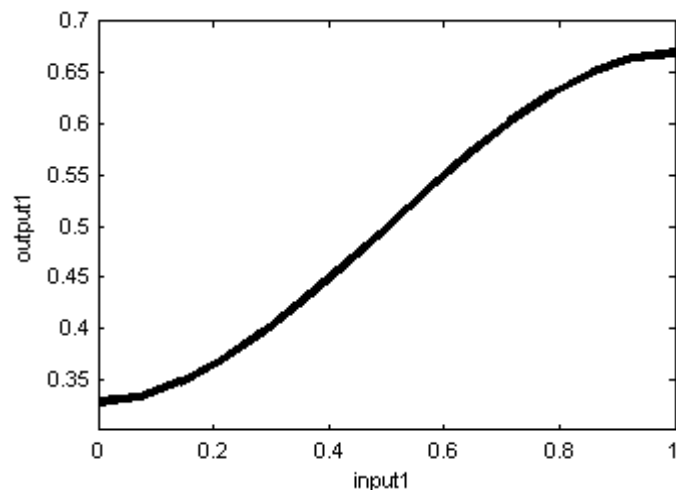


Рисунок 2.7 – Реакція системи в залежності від вхідних впливів

Також можна змінювати ступінь приналежності змінної до певного терму, тим самим змінюючи реакцію системи на вплив [8].

Застосування систем нечіткої логіки дозволяє також застосовувати кілька вхідних впливів і кілька вихідних відгуків, формуючи тим самим досить складні системи, логіка яких базується на різних змінних. Такі системи можуть успішно працювати навіть при нестачі якихось даних про об'єкт, приймаючи рішення з деяким ступенем ймовірності.

Також можна застосовувати різні методи фазифікації-дефазифікації і порівнювати результати роботи системи.

Система з одним входом і одним виходом буде тільки погіршувати роботу будь-якого пристрою автоматичного управління, оскільки аналізу тільки одного впливу явно недостатньо і немає сенсу застосовувати даний контролер. Тому він тут описаний як наочний приклад роботи нечіткого регулятора.

Далі розглянемо більш детально принципи роботи і синтез нечіткого регулятора.

2.2 Функціональна і структурна схеми системи управління на базі нечіткої логіки. Принцип роботи нечіткого регулятора. Алгоритми нечіткого виведення

Функціональна схема системи автоматичного управління на базі нечіткої логіки (системи управління з нечітким регулятором або системи фаззи-управління) приведена на рисунку 2.8.

Схема складається з пристрою порівняння, нечіткого регулятора НР, об'єкта управління ОУ і ланцюга зворотного зв'язку.

Нечіткий регулятор (фаззи-регулятор, fuzzy-controller) включає три основні блоки – блок фазифікації, блок формування логічного рішення і блок дефазифікації.

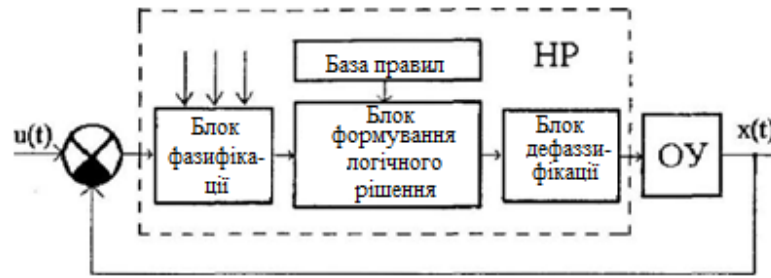


Рисунок 2.8 – Функціональна схема системи автоматичного управління

У загальному випадку в блоці фазифікації входні лінгвістичні змінні x_i , $i = 1, n$, такі як помилка системи θ , швидкість зміни (перша похідна) помилки, прискорення (друга похідна) помилки, якісно характеризуються такими можливими терм-множинами (лінгвістичними величинами) як негативна (О), негативна середня (ОС), негативно мала (ОМ), нульова (Н), позитивна мала (ПМ), позитивно середня (ПС), позитивна (П), які описуються на універсальній множині U функціями належності ФП $\mu(u)$.

Зазвичай кількість терм-множин коливається від 2-х до 7ми, причому збільшення їх кількості сильно ускладнює базу правил. ФП визначає ступінь приналежності кожного елемента u безлічі U числом між 0 і 1, яке називають ступенем істинності даної лінгвістичної змінної даному терму. Діапазони зміни входних змінних, наприклад, $[\theta_{min}, \theta_{max}]$ і поточні значення входних змінних перераховуються (відображаються) на єдиний універсальний безліч $U_i = [0, L_i - 1]$, де L_i – число, відповідне кількості термів кожної лінгвістичної змінної X_i , $i = 1, n$, або на універсальне безліч $U = [0, 1]$.

Як правило, кількість термів j для кожної лінгвістичної змінної вибирається одним і тим же. Таким чином, для кожного поточного значення входний змінною визначається ступінь приналежності (величина істинності) до тих термам (нечітким підмножини), котрі характеризують конкретну лінгвістичну змінну. Оскільки ФП зазвичай перекривають один одного, то для однієї і тієї ж входний змінної кілька ФП можуть повідомляти різні величини істинності, що відрізняються від нуля.

У блоці формування логічного рішення на основі матриці знань (бази правил) записуються лінгвістичні правила виду ЯКЩО (вихідна ситуація), ТО (відповідна реакція), які разом зазвичай називають робочим правилом. Взаємодія між входніми і вихідними ФП типу ЯКЩО–ТО позначається як імплікація (логічна зв'язка). Імплікація (активізація) – це етап нечіткого виведення, що представляє собою процедуру знаходження ступеня істинності кожного з подзаключених логічних правил виду ЯКЩО – ТО, які є нечіткими лінгвістичними висловлюваннями в формі лінгвістичних змінних. Частина ЯКЩО (передумови або умови) означає поєднання логічних операцій, а частина ТО (рішення, висновок, висновок) зазвичай є просте зазначення лінгвістичної величини для вихідного впливу (керуючого впливу на об'єкт управління) нечіткого регулятора.

Відповідним формулюванням правил досягається результат, при якому для будь-якої лінгвістичної величини керуючого впливу, як мінімум, одне з правил виявляється прийнятним. Найбільш часто використовується «мінімаксний» (Max-Min Inference) метод логічного рішення, коли спочатку ФП частини ТО кожного з правил об'єднуються з величиною істинності частини ЯКЩО (при цьому ФП частини ТО обмежується величиною істинності частини ЯКЩО – це «міні» – операція), а потім з обмежених ФП частини ТО шляхом взаємного накладення вибирається результуюча ФП з максимальною величиною істинності («максі» – операція). Ця результуюча ФП визначає собою поточний вплив бази правил. Процедура обробки бази правил з формуванням результуючої ФП представляє собою логічне рішення для розрахунку вихідної величини НР. Процес прийняття рішень на базі нечіткої логіки або логічний нечіткий висновок описаний в розділі 2.

Нечіткий висновок займає центральне місце в нечіткій логіці і системах нечіткого управління. Процес нечіткого виведення представляє собою деяку процедуру або алгоритм отримання нечітких висновків на основі нечітких умов або передумов з використанням понять нечіткої логіки. Цей процес по-

єднує в собі всі основні концепції теорії нечітких множин: функції приналежності, лінгвістичні змінні, нечіткі логічні операції, методи нечіткої імплікації і нечітку композиції [1].

Слід підкреслити, що як операцію імплікації (логічного зв'язки), так і операцію композиції (згортки) в алгебрі нечітких множин можна реалізувати по-різному (при цьому підсумковий результат теж буде різним), але в будь-якому випадку загальний логічний висновок здійснюється за наступні чотири етапи:

- визначення нечіткості (фазифікації). Задаються функції приналежності на єдиному універсальному просторі для термів вхідних лінгвістичних змінних і для конкретних значень змінних визначаються ступеня істинності кожної передумови кожного правила;

- логічний висновок. Попередньо обчислені значення істинності для передумов кожного правила застосовуються до висновків (висновків) кожного правила. Як правил логічного висновку зазвичай використовуються тільки операції $\min$ (мінімум) або $\prod$ (множення). У логічному висновку $\min$ функція приналежності виведення «відсікається» по висоті, що відповідає обчисленої ступеня істинності передумови правила (нечітка логіка «І»). У логічному висновку $\prod$ функції приналежності виведення масштабуються обчисленими величинами творів ступенів істинності передумов кожного правила;

- композиція. Отримані нечіткі підмножини («усічені по висоті» функції приналежності) об'єднуються разом для формування одного нечіткого підмножини (результуючої функції приналежності) для змінної виводу (рішення). Для об'єднання зазвичай використовуються операції $\max$ (максимум) або $\sum$ (сумма). При композиції $\max$ результуюче нечітке підмножина конструюється як поточечной максимум за всіма отриманими нечіткими підмножинами (нечітка логіка «АБО»). При композиції $\sum$ результуюче нечітке підмножина конструюється як по-точечна сума за всіма отриманими нечіткими підмножинами;

– приведення до чіткості (дефазифікація). Нечіткий висновок перетворюється в чітке число.

У блоці дефазифікації отримана результуюча функція належності для керуючого впливу на об'єкт управління перетворюється в числову величину, як правило, методом визначення «центру ваги» (Centre of Gravity) площині S результуючої фігури, що лежить під графіком результуючої ФП. (рис 1.4). Загальне правило розрахунку абсциси центра ваги $u_c = S(u_c, \mu_c)$ ділянки площею, яку охоплює результуючої функцією $\mu_c(i)$ в межах зміни змінної u від $u = U_1$ до $u = U_2$ визначається за формулою:

$$U_c = \frac{\int_{U_1}^{U_2} u \mu_c(u) du}{\int_{U_1}^{U_2} \mu_c(u) du}. \quad (2.4)$$

Центр тяжіння площі називають центроїдом площі. Тому описаний вище метод приведення до чіткості називається центроїдного (centroid of area). Мінлива u_c – результат дефазифікації.

Переходячи до чисельного інтегрування за методом трапецій (з кроком дискретизації u_0), запишемо формулу (2.4) в наступному вигляді:

$$u_c = \frac{\frac{U_1 \mu_0}{2} + \sum_{i=1}^{M-1} u_i \mu_i + \frac{U_2 \mu_M}{2}}{\frac{\mu_0}{2} + \sum_{i=1}^{M-1} \mu_i + \frac{\mu_M}{2}}, \quad (2.5)$$

де $(U_2 - U_1) / M = u_0$ – крок дискретизації;

M – число дискрет на інтервалі $U_2 - U_1$, $i = 1, 2, 3, \dots, M-1$.

В окремому випадку, коли результуюча ФП є кусочно- лінійної, абсциса "центру ваги" визначається наступним чином:

$$u_c = \frac{\sum_{k=1}^N (a_{k+1} - a_k) [(2a_{k+1} + a_k)b_{k+1} + (2a_k + a_{k+1})b_k]}{\sum_{k=1}^N (a_{k+1} - a_k)(b_{k+1} + b_k)}, \quad (2.6)$$

де N – число вершин,

a_k, b_k – координати вершин результуючої фігури.

Отримане значення u_c потім перетворюється в значення керуючого впливу на об'єкт управління шляхом зворотного відображення величини u_c з єдиного універсального на діапазон зміни $[m_{\min}, m_{\max}]$ лінгвістичної змінної, керуючий вплив на об'єкт m .

Відзначимо, що метод центру тяжіння для одноточкових множин (Centre of Cravity for Singletons) розраховується за такою формулою:

$$U_c = \frac{\sum_{i=1}^n u_i \mu_c(u_i)}{\sum_{i=1}^n \mu_c(u_i)}, \quad (2.7)$$

де n – число одноточкових (одноелементні) нечітких множин, кожне з яких характеризує єдине значення розглянутої вихідний лінгвістичної змінної.

Нечіткий висновок виробляється за різними алгоритмами (наприклад Мамдані або Сугено).

В алгоритмі нечіткого висновку Мамдані основними етапами є причиною формування бази правил, фазифікації входних змінних, агрегування підумови в нечітких правилах, активізація подзаключеній і акумуляція (композиція) висновків нечітких правил. В алгоритмі нечіткого виведення Сугено акумуляція фактично відсутня, оскільки розрахунки здійснюються із звичайними дійсними числами.

До теперішнього часу запропоновано кілька інших алгоритмів нечіткого виведення. Так, наприклад описані алгоритми нечіткого виведення Цукamoto і Ларсена. Однак в більшості практичних випадків цілком достатньо використовувати тільки алгоритми нечіткого висновку Мамдані або Сугено.

Нечіткий регулятор НР практично реалізується на мікроЕОМ (або мікропроцессоре) і працює в дискретному режимі, тому система автоматичного управління з нечітким регулятором містить пристрій сполучення мікроЕОМ з об'єктом управління – аналого-цифровий перетворювач АЦП і цифроаналоговий перетворювач ЦАП. На рисунку 2.9 представлена структурна схема системи управління з нечітким регулятором).

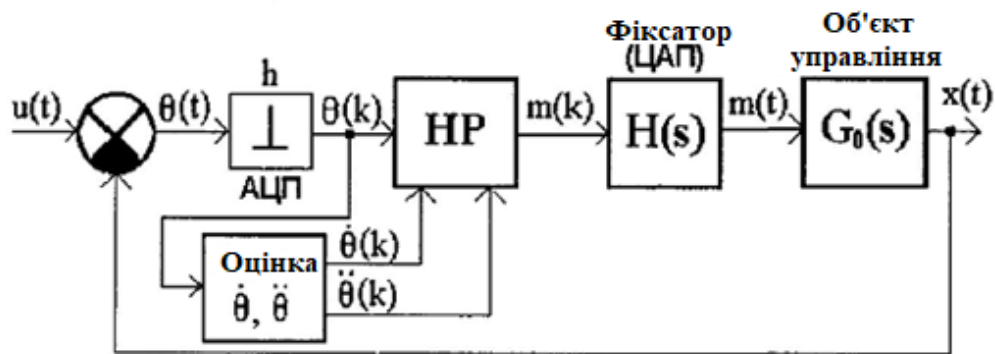


Рисунок 2.9 – Структурна схема системи управління з нечітким регулятором

АЦП Квант безперервну помилку $\theta(t) = u(t) - x(t)$ з кроком квантування h . У якості першої і другої похідних від помилки зазвичай обчислюють першу і другу різницю по формулах:

$$\dot{\theta}(k) = \frac{[\theta(k) - \theta(k-1)]}{h}; \quad (2.8)$$

$$\ddot{\theta}(k) = \frac{[\dot{\theta}(k) - \dot{\theta}(k-1)]}{h} = \frac{[\theta(k) - 2\theta(k-1) + \theta(k-2)]}{h^2}; \quad (2.9)$$

де $\theta(k)$ – квантована помилка на виході АЦП. ЦАП являє собою, як правило, фіксатор нульового порядку з передавальною функцією:

$$H(s) = (1 - e^{-hs})/s \quad (2.10)$$

Відзначимо деякі особливості нечіткого регулятора. НР працює в дискретному режимі, тому на кожному кроці квантування h він повинен виконати всі необхідні обчислення. НР обробляє всі вхідні змінні, тому на нього можна подавати додаткові змінні, що характеризують процеси в об'єкті управління, і тим самим забезпечувати більш широкій вплив на динаміку управління. Система з НР зазвичай стійка щодо змін параметрів об'єкта управління, що пов'язано з нечіткою природою правил функціонування. Традиційні методи опису регуляторів, наприклад, за допомогою передавальних функцій, для НР не підходять і не потрібні. НР є нелінійним і його особливістю є відсутність динаміки в самому НР. Відсутність "пам'яті" і процедура проектування, а також словесний опис процесу управління, що характеризується лінгвістичними правилами, є головними особливостями НР.

Нечіткі регулятори реалізуються на практиці, як правило, у формі програмного забезпечення високого рівня, наприклад «Pascal», що забезпечує більшу гнучкість при їх налаштування. При цьому за результатами моделювання та випробувань системи управління, що містить нечіткий регулятор в замкнутому контурі, можна змінювати кількісні діапазони лінгвістичних змінних, функції приналежності і модифікувати базу правил з метою отримання необхідної якості управління. Нечіткі регулятори представляють інтерес в першу чергу для управління об'єктами, які або не піддаються, або піддаються з великими труднощами формалізованого опису, але навіть пристосовно до управління об'єктами, для яких отримані математичні моделі, ці регулятори часто найкращим за всі інші, так як дозволяють отримати більш високу якість (менші помилки в перехідних і сталих режимах) систем автоматичного управління.

Оскільки алгоритми управління на базі нечіткої логіки можуть бути реалізовані тільки з використанням ЕОМ, то система автоматичного управління з нечітким регулятором є цифровий. Найважливішою характеристикою цифрової системи управління є крок квантування миттєвого ключа h (інтервал дискретизації аналогового сигналу). Значення h багато в чому визначає значення інших параметрів цифрової системи автоматичного управління, зокрема, параметрів традиційних цифрових регуляторів. Тому при проектуванні систем управління з нечіткими регуляторами необхідно приділяти увагу вибору значення кроку квантування h .

При формуванні структурних схем систем управління з нечіткими регуляторами важливим є вибір вхідних параметрів нечіткого регулятора. Лінгвістичні правила керування самі по собі не можуть бути реалізовані на сучасних ЕОМ. Необхідна процедура їх формалізації. У зв'язку з цим дуже важливим є завдання вибору методу формалізації експертних знань. Оскільки нечіткі множини формалізуються за допомогою функцій приналежності важливу роль відіграє вибір їх виду і параметрів. При реалізації нечіткого управління в сучасних ЕОМ необхідно ставити конкретні значення параметрів функцій приналежності, в першу чергу межі їх зміни. Тому важлива методика параметричної настройки нечіткого регулятора.

Нечіткий регулятор зі статичною характеристикою «один вхід – один вихід» являє собою в загальному випадку нелінійність і істотного позитивного впливу на динамічні властивості системи автоматичного управління не робить, а навіть може їх погіршувати, то його використання в системах автоматичного управління недоцільно. Тому застосовуються нечіткі регулятори з декількома входами [1].

3 СИНТЕЗ І МОДЕЛЮВАННЯ НЕЧІТКИХ РЕГУЛЯТОРІВ

3.1 Синтез нечіткого регулятора з декількома входами

В якості вхідних змінних НР використовуємо помилку θ , першу похідну $\dot{\theta}$ і другу похідну $\ddot{\theta}$ помилки. Вихідна змінна – керуючий вплив на об'єкт управління m .

Виробляємо вибір виду функцій приналежності ФП нечітких термів, які оцінюють вхідні і вихідну змінні НР на універсальній множині $[0,1]$. Число термів для кожної змінної вибираємо рівним двом, наприклад, помилка – негативна, позитивна. При цьому ФП – безперервні на універсальній множині, симетричні (одна спадна, інша зростаюча), пересічні при значенні абсциси 0,5.

Формуємо два (по числу термів) лінгвістичних правила управління і здійснюємо формалізацію лінгвістичних правил керування системою логічних рівнянь.

Задаємо початкові значення оптимізуються параметрів НР – діапазонів зміни вхідних і вихідної змінних НР і параметрів ФП.

Задаємо крок квантування h в системі, часовий інтервал спостереження, вибираємо критерій якості і метод параметричної оптимізації.

Розраховуємо з кроком моделювання h_0 ($h_0 \leq h$) критерій якості замкнутої системи при заданих заданому і перешкоджаючі впливах для обраного інтервалу спостереження. При цьому виконуємо наступні кроки: а) виробляємо перехід від значень вхідних змінних НР, виражених в фізичних величинах, до відповідних значень універсальної множини, на якому задані ФП нечітких термів або в блоці нормується; б) здійснюємо вибір методу дефазифікації і виробляємо розрахунок виходу НР u_c^* на універсальній множині; в) виробляємо перехід від отриманого значення виходу НР на універсальній множині до значення керуючого впливу m^* ; г) здійснюємо розрахунок вихо-

ду об'єкта управління при даному m^* ; е) визначаємо значення поточної помилки в замкнутій системі автоматичного управління для кожного h_0 ; ж) для обраного часового інтервалу спостереження розраховуємо значення критерію якості.

Процедуру повторюємо (з іншими значеннями діапазонів зміни вхідних і вихідної змінних і параметрів ФП) до тих пір, поки не буде отримано або мінімальне значення критерію якості або задовольняє розробника якість системи управління з НР. Відповідні цій ситуації значення параметрів НР (діапазонів зміни вхідних і вихідної змінних і параметрів ФП) вибираємо в якості оптимальних.

Викладена методика параметричного синтезу цифрових нечітких регуляторів відрізняється від відомих наступним. Синтез виконується шляхом оптимізації діапазонів зміни вхідних і вихідної змінних регулятора і параметрів функцій належності нечітких термів. В якості вхідних змінних нечіткого регулятора використовуються помилка, перша і друга похідні помилки, а вихідний змінної регулятора є керуючий вплив на об'єкт управління. Для спрощення розрахунків використовуються лише дві лінгвістичні оцінки (два терм-множини) для вхідних і вихідної змінних регулятора: «негативна», «позитивна». Причому функції приналежності зазначених терм-множин на універсальній множині є безперервними, симетричними і пересічними в центрі універсальної множини. Різні функції приналежності і алгоритми Мамдані та Сугено нечіткого виведення (визначення виходу НР u_c на універсальній множині) закладені в пакеті нечіткої логіки (Fuzzy Logic Toolbox) інтерактивної системи MATLAB.

Для простоти рішення задачі синтезу нечіткого регулятора будемо вважати, що число термів, за допомогою яких оцінюються лінгвістичні змінні (вхідні та вихідний параметри нечіткого регулятора) помилка системи θ , швидкість зміни (перша похідна) помилки $\dot{\theta}$, прискорення (друга похідна) помилки $\ddot{\theta}$, керуючий вплив на об'єкт m , мінімально, тобто дорівнює 2.

Відобразимо діапазони $[\theta_{\min}, \theta_{\max}]$ і $[m_{\min}, m_{\max}]$ зміни вхідних і вихідного параметрів на єдиний універсальний безліч.

Перерахунок фіксованого значення кожної лінгвістичної змінної в відповідний елемент $u \in [0,1]$.

$$\begin{aligned} U_1 &= \frac{\theta - \theta_{\min}}{\theta_{\max} - \theta_{\min}}; \\ U_2 &= \frac{\dot{\theta} - \dot{\theta}_{\min}}{\dot{\theta}_{\max} - \dot{\theta}_{\min}}; \end{aligned} \quad (3.1)$$

$$\begin{aligned} U_3 &= \frac{\bar{\theta} - \bar{\theta}_{\min}}{\bar{\theta}_{\max} - \bar{\theta}_{\min}}; \\ U_c &= \frac{m - m_{\min}}{m_{\max} - m_{\min}}; \end{aligned} \quad (3.2)$$

На безлічі $U = [0,1]$ задамо два нечітких підмножини, функції приладдя (ФП) яких трикутної форми показані на рис. 3.1.

Для отримання аналітичних виразів запропонованих ФП скористаємося рівнянням прямої, що проходить через точки з координатами (U_1, μ_1) і (u_2, μ_2) , яке має вигляд:

$$\mu(u) = \frac{[(\mu_2 - \mu_1)u + \mu_1 u_2 - \mu_2 u_1]}{u_2 - u_1}. \quad (3.3)$$

На наступному рисунку покажемо дві трикутні функції приналежності і проєкції різних лінгвістичних змінних на них (рис. 3.1).

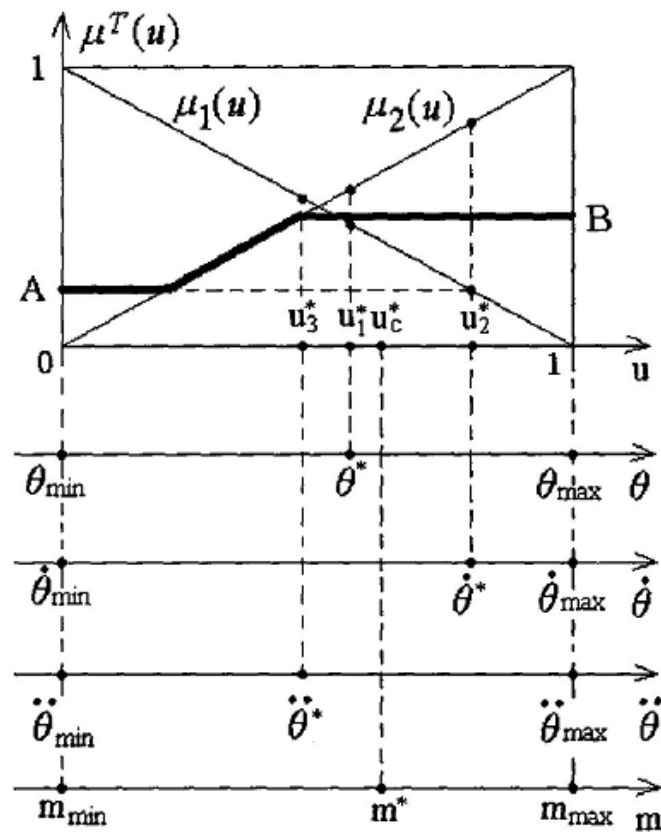


Рисунок 3.1 – Трикутні функції приналежності

Тоді, у відповідність з рис. 3.1, отримаємо наступні ФП для кожної лінгвістичної величини:

$$\mu_1(u) = 1 - u, u \in [0,1]; \mu_2(u) = u, u \in [0,1] \quad (3.4)$$

При надходженні на нечіткий регулятор (НР) значень вхідних змінних θ , $\dot{\theta}$ і $\ddot{\theta}$ з кроком квантування u здійснюється розрахунок величин u_1^* , u_2^* і u_3^* за формулами (3.1) і ФП

$$\mu_j(u), j = \overline{1,2} \text{ за формулами (3.4)}$$

Сформуємо лінгвістичне правило управління (робоче правило) нечіткого регулятора у вигляді:

$$\text{Якщо } (\theta = a_1^j) \text{ і } (\dot{\theta} = a_2^j) \text{ і } (\bar{\theta} = a_3^j) \text{ то } (m = a_c^j), j = \overline{1,2}, \quad (3.5)$$

де a_1^j, a_2^j, a_3^j – лінгвістичні оцінки помилки, швидкості зміни (першої похідної) помилки і другої похідної помилки, що розглядаються як нечіткі множини, певні на універсальній множині;

$j = \overline{1,2}$; a_c^j – лінгвістичні оцінки керуючого впливу на об'єкт, які обираються зі терм-множини змінної m . Лінгвістичні оцінки вибираються з терм-множини лінгвістичних змінних $\theta, \dot{\theta}, \bar{\theta}$ і m :

$$a \in \{\text{негативна}(1), \text{позитивна}(2)\}.$$

Іншими словами, всі сигнали (певні вище лінгвістичні змінні) в системі автоматичного управління характеризуються як негативні ($j = 1$) або позитивні ($j = 2$).

Нехай $\mu^{m_j}(x_i)$ функція приналежності параметра непевному терму $a_i^j = \overline{1,3}, j = \overline{1,2}$. Тоді $\mu^{m_j}(\theta, \dot{\theta}, \bar{\theta})$ – залежна від трьох змінних

$(x_1 = \theta; x_2 = \dot{\theta}; x_3 = \bar{\theta})$ функція приналежності вектора параметрів рішенням (вибраному керуючому впливу на об'єкт) $m_j, j = \overline{1,2}$, визначається з системи нечітких логічних рівнянь:

$$\mu^{m_j}(x_1, x_2, x_3) = \mu^j(x_1) \frown \mu^j(x_2) \frown \mu^j(x_3). \quad (3.6)$$

Таким чином, $\mu^{m_1}(x_1, x_2, x_3)$ – функція приналежності керуючого впливу нечіткій множині "негативний", а $\mu^{m_2}(x_1, x_2, x_3)$ – функція приналежності керуючого впливу нечіткій множині "позитивний". Результируюча функція належності для керуючого впливу відповідно до робочого правилом НР записується у вигляді:

$$\mu^m(x_1, x_2, x_3) = \mu^{m_1}(x_1, x_2, x_3) \sim \mu^{m_2}(x_1, x_2, x_3). \quad (3.7)$$

У виразах (3.6) і (3.7) $\wedge$ – логічне і, $\sim$ – логічне або.

Відповідно до лінгвістичними правилами управління, формалізованою системою нечітких логічних рівнянь (3.6) функція приналежності керуючого впливу $\mu_{1c}(u)$ нечіткій множині "негативний" обмежена зверху значенням:

$$A = \min[\mu_1(u_1), \mu_1(u_2), \mu_1(u_3)], \quad (3.8)$$

а функція приналежності керуючого впливу $\mu_{2c}(u)$ нечіткій множині "позитивний" обмежена зверху значенням:

$$B = \min[\mu_2(u_1), \mu_2(u_2), \mu_2(u_3)], \quad (3.9)$$

Результуюча функція належності для керуючого впливу на підставі виразу (3.8) визначається як:

$$\mu_c(u) = \mu_{1c}(u) \sim \mu_{2c}(u), \quad (3.10)$$

тобто виходить формуванням максимуму (жирна лінія на рис.3.1):

$$\mu_c(u) = \max[\mu_{1c}(u), \mu_{2c}(u)]. \quad (3.11)$$

Для визначення конкретного значення керуючого впливу m формується «результуюча фігура», обмежена результуючої ФП.

Проводиться пошук абсциси «центру ваги» результуючої фігури за формулою:

$$u_c = \frac{\sum_{k=1}^N (a_{k+1} - a_k) [(2a_{k+1} + a_k)(2a_k - a_{k+1})b_k]}{3 \sum_{k=1}^N (a_{k+1} - a_k)(b_{k+1} - b_k)}, \quad (3.12)$$

де N – число вершин,

a_k, b_k – координати вершин результуючої фігури.

Отримане значення u на підставі формули (3.2) перетворюється в значення керуючого впливу на об'єкт управління:

$$m = m_{min}(m_{max} - m_{min})u_c. \quad (3.13)$$

Вищеописані формули дозволяють реалізовувати алгоритм роботи нечіткого контролера.

3.2 Використання ідентичних зведених в ступінь трикутних функцій належності

Нехай на універсальній множині $U = [0,1]$ задані два нечітких підмножини, функції приналежності (ФП) яких для кожної лінгвістичної величини визначаються за формулами:

$$\mu_1(u) = (1 - u)^c, u \in [0,1]; \mu_2(u) = u^c, u \in [0,1]. \quad (3.14)$$

При надходженні на нечіткий регулятор в якийсь момент часу значень вхідних змінних $\theta, \dot{\theta}, \bar{\theta}$, з кроком квантування h здійснюється перерахунок вхідних змінних в змінні u_1, u_2, u_3 , на універсальне безліч $U = [0,1]$ і розрахунок значень ФП для цих змінних (рис. 3.2). Точками на універсальній множині відзначені можливі для цього моменту часу значення змінних u_1, u_2, u_3 .

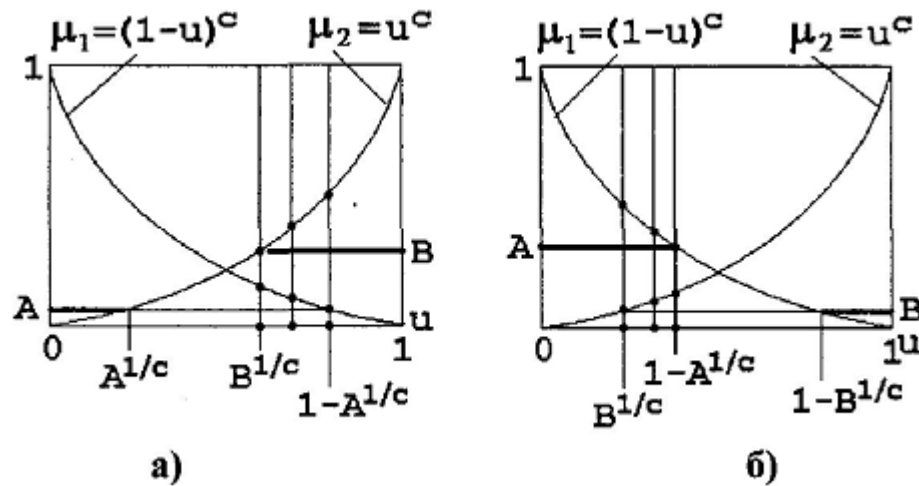


Рисунок 3.2 – Зведені в ступінь трикутні функції приналежності

Для спрощення нормування (перерахунку значень сигналів в значення елементів єдиного універсального безлічі) діапазони зміни вхідних сигналів (параметрів нечіткого регулятора) приймаємо симетричними:

$$\theta_{max} = -\theta_{min}; \dot{\theta}_{max} = -\dot{\theta}_{min}; \bar{\theta}_{max} = -\bar{\theta}_{min}.$$

Тоді формули для нормування (перерахунку) приймають вид:

$$\begin{aligned} u_1 &= (\theta - \theta_{min}) / (2\theta_{min}); \\ u_2 &= (\dot{\theta} - \dot{\theta}_{min}) / (2\dot{\theta}_{min}); \\ u_3 &= (\bar{\theta} - \bar{\theta}_{min}) / (2\bar{\theta}_{min}). \end{aligned} \tag{3.15}$$

Лінгвістичне правило управління нечіткого регулятора формулюється у вигляді:

$$\text{Якщо } (\theta = a_1^j) \text{ і } (\dot{\theta} = a_2^j) \text{ і } (\bar{\theta} = a_3^j) , \text{ то } m = a_c^j, j = \overline{1,2}, \quad (3.16)$$

Де a_1^j, a_2^j і a_3^j – лінгвістичні оцінки помилки, першої похідної помилки і другої похідної помилки, що розглядаються як нечіткі терм-множин, певні на універсальній множині, $j = \overline{1,2}$; a_c^j – лінгвістичні оцінки керуючого впливу на об'єкт, які обираються зі терм-множини змінної m . Лінгвістичні оцінки вибираються з терм-множин лінгвістичних змінних $\theta, \dot{\theta}, \bar{\theta}$ і m :

$$a \in \{\text{негативна}(1), \text{позитивна}(2)\}.$$

Відповідно до лінгвістичними правилами управління функція приналежності керуючого впливу непевному терм-безлічі «негативна» обмежена зверху значенням:

$$A = \min[\mu_1(u_1), \mu_1(u_2), \mu_1(u_3)], \quad (3.17)$$

а функція приналежності керуючого впливу $\mu_{2c}(u)$ нечіткій множині «позитивна» обмежена зверху значенням:

$$B = \min[\mu_2(u_1), \mu_2(u_2), \mu_2(u_3)]. \quad (3.18)$$

Результуюча функція належності для керуючого впливу визначається як:

$$\mu_c(u) = \mu_{1c}(u) \sim \mu_{2c}(u), \quad (3.19)$$

тобто виходить формуванням максимуму:

$$\mu_c(u) = \max[\mu_{1c}(u), \mu_{2c}(u)]. \quad (3.20)$$

Для визначення конкретного значення керуючого впливу m формується «результуюча фігура», обмежена результуючою ФП, і проводиться пошук абсциси «центру ваги результуючої фігури» u_c . Загальна формула для визначення абсциси «центру ваги результуючої фігури» записується у вигляді формули:

$$U_c = \frac{\int_0^1 u \mu(u) du}{\int_0^1 \mu(u) du}. \quad (3.21)$$

Відзначимо досить істотний факт. Які б значення не брали змінні u_1, u_2, u_3 на універсальній множині $U = [0,1]$, в залежності від співвідношень величин A і B "результуюча фігура" може приймати тільки дві конфігурації: при $A < B$ перша конфігурація показана на рисунку 3.2, а; при $A > B$ друга конфігурація показана на рисунку 3.2, б. Абсциса «центру ваги результуючої фігури» при $A < B$ визначається за формулою:

$$u_c = \frac{A \int_0^{\sqrt[c]{A}} u du + \int_{\sqrt[c]{A}}^{\sqrt[c]{B}} u^{c+1} du + B \int_{\sqrt[c]{B}}^1 u du}{\int_0^{\sqrt[c]{A}} du + \int_{\sqrt[c]{A}}^{\sqrt[c]{B}} u^c du + B \int_{\sqrt[c]{B}}^1 du}, \text{ при } A < B. \quad (3.22)$$

Після нескладних обчислень знаходимо:

$$u_c = \frac{\frac{B}{2} + \frac{C}{2(C+2)} \left(A^{\frac{2}{C}+1} - B^{\frac{2}{C}+1} \right)}{B + \frac{C}{C+1} \left(A^{\frac{1}{C}+1} - B^{\frac{1}{C}+1} \right)}, \text{ при } A < B. \quad (3.23)$$

Абсциса «центру ваги результуючої фігури» при $A > B$ визначається за формулою:

$$u_c = \frac{A \int_0^{1-\sqrt[c]{A}} u du + \int_{1-\sqrt[c]{A}}^{1-\sqrt[c]{B}} (1-u)^c du + B \int_{1-\sqrt[c]{B}}^1 u du}{A \int_0^{1-\sqrt[c]{A}} du + \int_{1-\sqrt[c]{A}}^{1-\sqrt[c]{B}} (1-u)^c du + B \int_{1-\sqrt[c]{B}}^1 du}, \quad A > B. \quad (3.24)$$

Після нескладних обчислень знаходимо:

$$u_c = \frac{\frac{A}{2} - \frac{C}{C+1} \left(A^{\frac{1}{C}+1} - B^{\frac{1}{C}+1} \right) + \frac{C}{2(C+2)} \left(A^{\frac{2}{C}+1} - B^{\frac{2}{C}+1} \right)}{A - \frac{C}{C+1} \left(A^{\frac{1}{C}+1} - B^{\frac{1}{C}+1} \right)}, \quad A > B. \quad (3.25)$$

Отримане значення u_c потім перетворюється в значення керуючого впливу на об'єкт управління. При симетричних діапазонах зміни вихідних сигналів ($m_{\max} = -m_{\min}$)

$$m = m_{\min}(1-2u_c). \quad (3.26)$$

При обчисленні виразів, записаних в формулах (3.22) і (3.24) використані наступні невизначені інтеграли:

$$\int u^c du = \frac{1}{C+1} u^{C+1}; \quad \int (1-u)^c du = -\frac{(1-u)^{C+1}}{C+1};$$

$$\int (1-u)^c u du = -\frac{1}{C+1 \left[u(1-u)^c + \frac{(1-u)^{C+1}}{C+2} \right]}.$$

Найбільш часто в нечітких регуляторах використовуються трикутні функції приналежності, для яких $z = 1$ (рис. 3.3). [3]

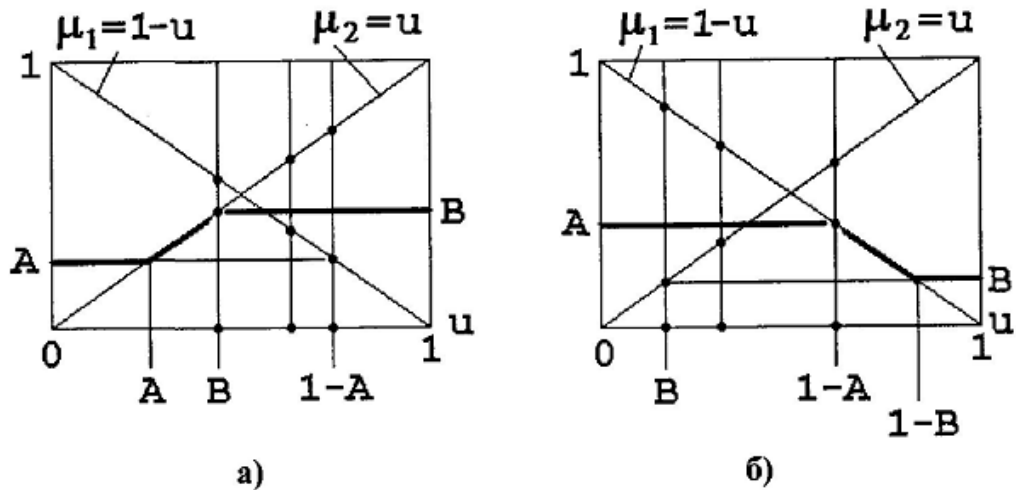


Рисунок 3.3 – Трикутні функції приналежності, для яких $z = 1$

Підставляючи значення $z = 1$ в формули (3.23) і (3.25), для керуючих впливів на виході нечіткого регулятора при ідентичних трикутних функціях приналежності отримуємо наступні результати.

Абсциса "центру ваги результуючої фігури" при $A < B$ визначається за формулою:

$$u_c = \frac{B/2 + \frac{A^3 - B^3}{6}}{B + \frac{A^2 - B^2}{2}}, \text{ при } A < B. \quad (3.27)$$

Абсциса "центру ваги результуючої фігури" при $A > B$ визначається за формулою:

$$u_c = \frac{\frac{A - A^2 + B^2}{2} + \frac{A^3 - B^3}{6}}{A - \frac{A^2 - B^2}{2}}. \quad (3.28)$$

Отримане значення u_c потім перетворюється в значення керуючого впливу на об'єкт управління за формулою (3.26). Як приклад наведемо такі результати розрахунків:

При $A = 0,01$, $B = 0,3$, $z = 3$ отримуємо $u_c = 0,7272$;

При $A = 0,3$, $B = 0,01$, $z = 3$ отримуємо $u_c = 0,2728$;

При $A = 0,2$, $B = 0,4$, $z = 1$ отримуємо $u_c = 0,5608$;

При $A = 0,4$, $B = 0,2$, $z = 1$ отримуємо $u_c = 0,4392$.

Отримані формули дозволяють використовувати точний метод обчислення абсциси «центру ваги результуючої фігури» при ідентичних трикутних, зведених в ступінь трикутних, експоненційних, колоколообразний і гауссових функціях приналежності і дають можливість спростити алгоритм розрахунку керуючих впливів на виході нечіткого регулятора.

При цьому функціональну схему нечіткого регулятора можна представити у вигляді, показаному на рисунку 3.4.

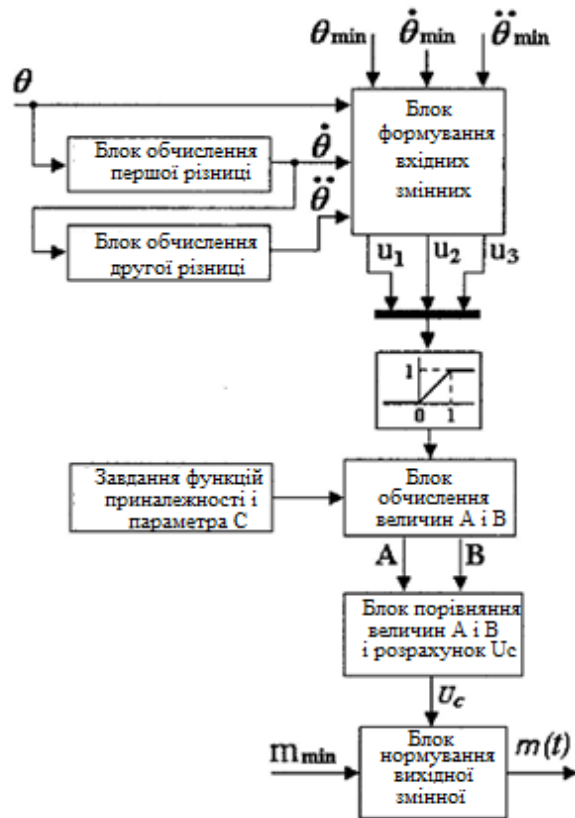


Рисунок 3.4 – Функціональна схема нечіткого регулятора

Помилка неузгодженості в системі управління з нечітким регулятором квантується аналого-цифровим перетворювачем АЦП (Zero– Order Hold) з кроком квантування (кроком надходження даних в нечіткий регулятор) h .

Помилка на виході АЦП $\theta(k)$, її перша $\dot{\theta}(k) = \frac{[\theta(k) - \theta(k-1)]}{h}$ і друга $\ddot{\theta}(k) = \frac{[\dot{\theta}(k) - \dot{\theta}(k-1)]}{h}$ різниці подаються на вхід блоку нормування вхідних змінних.

Обчислення в блоках нормування вхідних і вихідної змінних виконуються відповідно за формулами (3.15) і (3.16).

Сигнали з виходу блоку нормування вхідних змінних $U_{j,i} = 1, 2, 3$, надходять на елемент обмеження, який описує універсальне безліч $U = [0, 1]$.

Після завдання функцій приналежності і параметра C величини A і B обчислюються за формулами (3.17) і (3.18).

Якщо одна або дві з змінних u_i , $i = 1, 2, 3$, більше одиниці, а дві або одна з інших розташовані на універсальній множині, то $A = 0$. Якщо одна або дві з змінних менше нуля, а дві або одна з інших розташовані на універсальній множині, то $B = 0$.

Якщо одна з змінних u_i , $i = 1, 2, 3$, більше одиниці, а інша змінна менше нуля, то $A = B = 0$ і на виході нечіткого регулятора сигнал дорівнює нулю.

У логічному блоці порівняння величин A і B здійснюється розрахунок абсциси «центру ваги результуючої фігури» u_c за відповідними формулами для трикутних, зведених в ступінь трикутних, експоненційних, колоколообразних і гауссових функцій приналежності, згідно з малюнком 3.3.

Нормировка вихідної змінної здійснюється за формулою (3.26)

Сигнал з блоку нормування вихідної змінної надходить на ЦАП (фіксатор нульового порядку Zero–Order Hold) з передавальної функцією

$$H(s) = (1 - e^{-hs}) / s \text{ і далі на вхід об'єкта управління.}$$

На основі представленої функціональної схеми нечіткого регулятора можлива реалізація даного класу нечітких регуляторів програмним або апаратним способом.

Викладену методику можна також використовувати для розрахунку керуючих впливів на виході нечіткого регулятора при функціях приналежності іншого виду [1].

3.3 Синтез формувача керуючих величин A і B

Створимо структурну схему формувача величин A і B . Помилка неузгодженості квантується аналого-цифровим перетворювачем АЦП (Zero–Order Hold) з кроком квантування (кроком надходження даних в нечіткий регулятор) h . Помилка $\theta(k)$ з виходу АЦП надходить на помножувач, який дозволить змінювати ваговий коефіцієнт для цієї помилки. Після множителя

сигнал з неї буде надходити на обмежувач рівня. Отриману структурну схему представимо на рисунку 3.5:

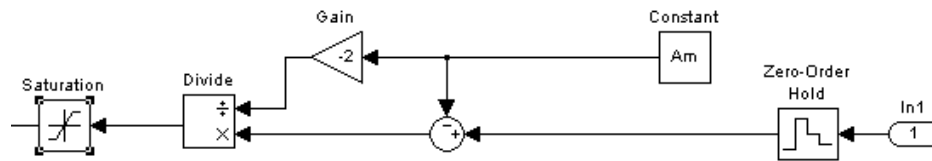


Рисунок 3.5 – Пристрій для формування помилки $\theta(k)$

Наступним етапом буде додавання першої похідної помилки – швидкості її зміни. Для цього в цю схему слід додати затримку. У цифровому вигляді це і буде першою похідною $\dot{\theta}(k) = \frac{[\theta(k) - \theta(k-1)]}{h}$. Отримаємо таку структурну схему (рис. 3.6).

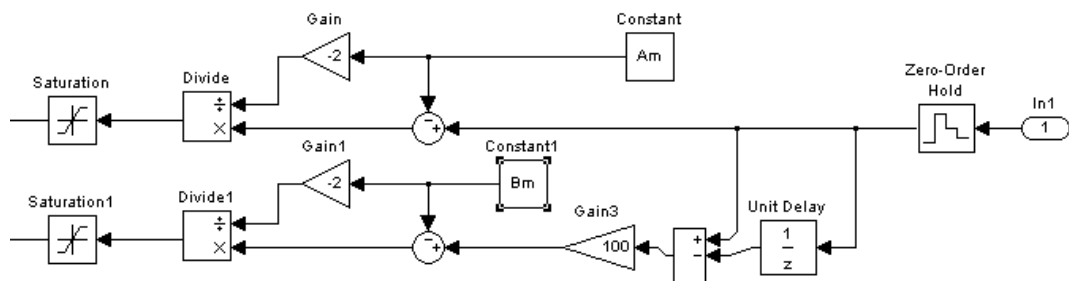


Рисунок 3.6 – Пристрій для формування помилки $\theta(k)$ і першої її похідної $\dot{\theta}(k)$

Далі слід додати ще й другу похідну відповідно до формулами 3.15. Для цього нам всього лише потрібно поставити додаткову затримку.

Схема набуде вигляду (рис. 3.7).

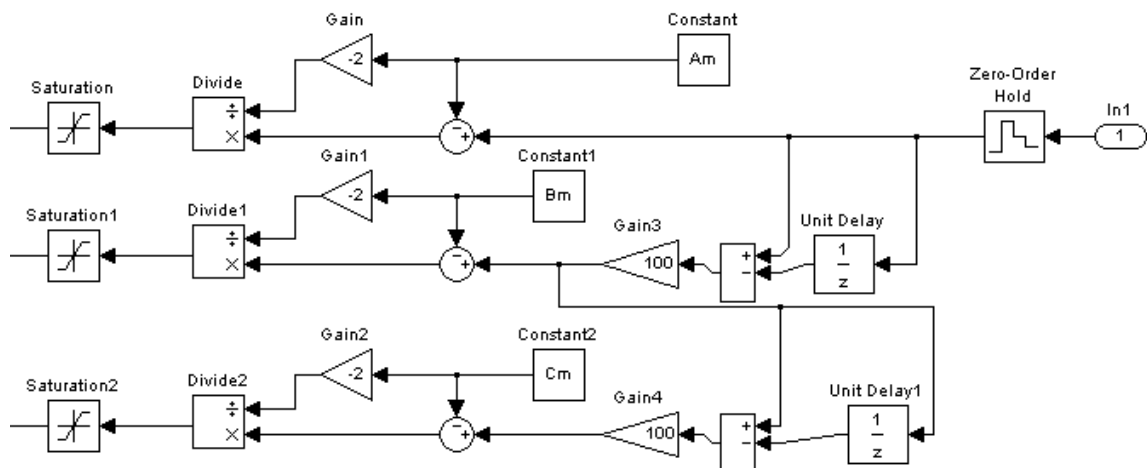


Рисунок 3.7 – Пристрій для формування помилки $\theta(k)$, першої і другої її похідної

Для нечітких регуляторів, функції приналежності яких представлені на рис.3.2– 3.3, слід додати функціональні блоки, які мають аналітичні вирази відповідних формул в залежності від певних функцій приналежності. Результуюча структурна схема послідовного з'єднання всіх блоків функціональної схеми до блоку порівняння величин A і B і розрахунку u_c (рис. 3.4) показана на рисунку 3.8.

Структурну схему, що представлена на рис.3.8, назовемо формувачем величин $A(t)$ і $B(t)$.

змінних менше нуля, а дві або одна з інших розташовані на універсальній множині, то $B = 0$.

Якщо одна з змінних u_i , $i = 1, 2, 3$, більше одиниці, а інша змінна менше нуля, то $A = B = 0$ і на виході нечіткого регулятора сигнал дорівнює нулю.

У логічному блоці порівняння величин A і B здійснюється розрахунок абсциси "центру ваги результуючої фігури" u_c за відповідними формулами для трикутних, зведених в ступінь трикутних, експоненційних, колоколообразних і гауссових функцій приналежності згідно з рисунком 3.3.

Нормировка вихідної змінної здійснюється за формулою (3.27)

Сигнал з блоку нормування вихідної змінної надходить на ЦАП (фіксатор нульового порядку Zero– Order Hold) з передавальною функцією

$$H(s) = (1 - e^{-hs}) / s \text{ і далі на вхід об'єкта управління.}$$

На основі представленої функціональної схеми нечіткого регулятора можлива реалізація даного класу нечітких регуляторів програмним або апаратним способом.

Викладену методику можна також використовувати для розрахунку керуючих впливів на виході нечіткого регулятора при функціях приналежності іншого виду [1].

3.4 Синтез блоку порівняння величин

Наступним блоком структурної схеми нечіткого контролера є блок порівняння величин і розрахунку u_c . Для нечіткого регулятора з ідентичними трикутними функціями приналежності (рис. 3.3) блок порівняння величин $A(t)$ і $B(t)$ і розрахунку u_c показаний на рисунку 3.8.

Відповідно до виразами 3.7 і 3.8 необхідно створити блок порівняння величин A і B . Так, для вираження 3.7 створимо наступний блок, що описує чисельник і знаменник цієї формули наступним чином (рис. 3.9):

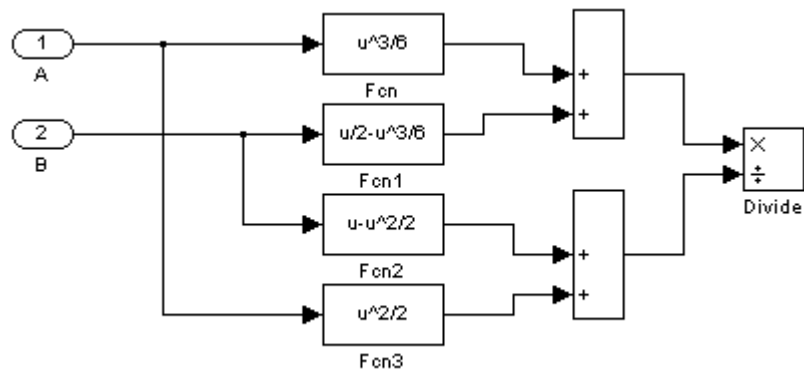


Рисунок 3.9 – Блок обчислення центра ваги фігури при $A < B$

Аналогічно для вираження (3.8) створимо наступний блок (рис. 3.10).

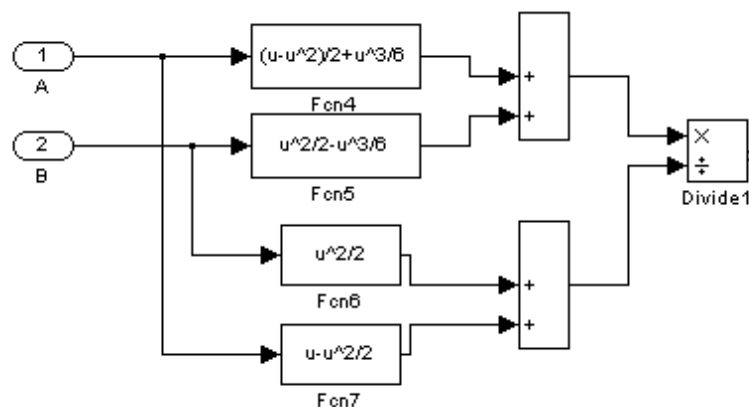


Рисунок 3.10 – Блок обчислення центра ваги фігури при $A > B$

Далі для вибору формули, по якій необхідно обчислювати центр ваги фігури, додамо суматор, який визначас, яка з величин A і B більше, а вихід суматора з'єднаємо з перемикачем, який і буде комутувати вихід відповідного обчислювального блоку з виходом всього блоку порівняння величин. Повну структурну схему блоку порівняння уявімо на рисунку 3.11. Опишемо алгоритм роботи даного блоку.

На виході суматора Sum1 формується чисельник, а на виході суматора Sum2 формується знаменник виразу (3.27) і на виході дільника Product формується величина uc при $A < B$. Аналогічним способом на виході суматора

Sum3 формується чисельник, а на виході суматора Sum4 формується знаменник виразу (3.28) і на виході подільника Product1 формується величина u_c при $A > B$.

Перемикач Switch замикає верхній контакт за умови $A < B$ (коли на середньому контакті сигнал позитивний, в блоці Switch параметр Threshold = 0.000001). За умови $A > B$, коли на середньому контакті перемикача Switch сигнал негативний, перемикач замикає нижній контакт. [9] Готовий блок формування представлений на рисунку 3.11.

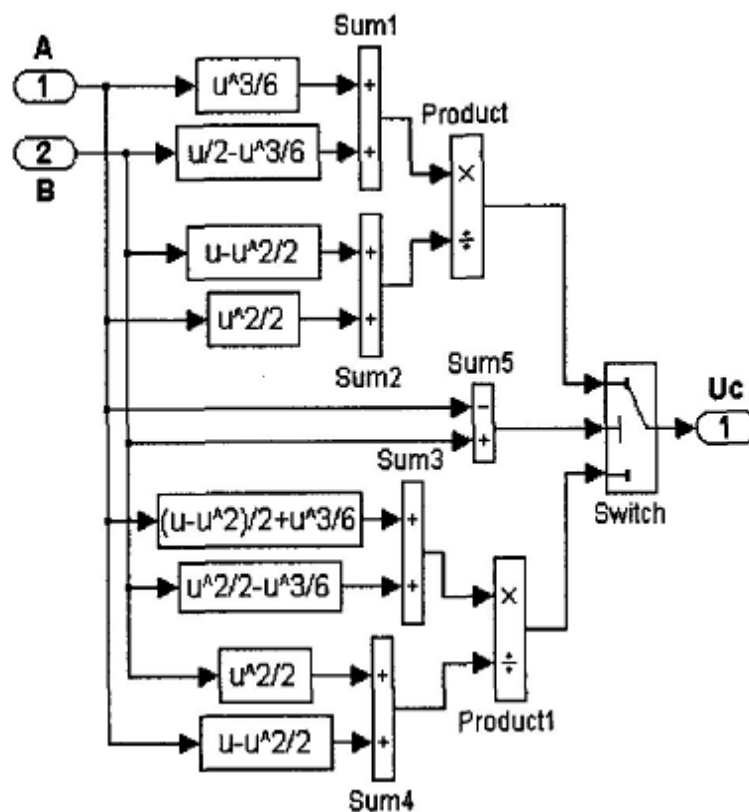


Рисунок 3.11 – блок порівняння величин $A(t)$ і $B(t)$

Моделювання блоків порівняння величин $A(t)$ і $B(t)$ і розрахунку u_c в інтерактивній системі MATLAB можна значно спростити, якщо в засобі моделювання та дослідження систем управління зі зворотним зв'язком Simulink використовувати блок MATLAB Fcn, для якого записувати відповідні про-

грами розрахунку виходу нечіткого регулятора u_c при надходженні на вхід цього блоку змінних величин $A(t)$ і $B(t)$. У цьому випадку блок порівняння величин $A(t)$ і $B(t)$ і розрахунку u_c моделюється одним блоком MATLAB Fcn.

3.5 Синтез блоку нормування вихідної змінної

Останнім блоком нечіткого контролера є блок нормування вихідної змінної, який здійснює процедуру дефазифікації. Блок нормування вихідної змінної з цифроаналоговим перетворювачем ЦАП (Zero-Order Hold1 – фіксатором нульового порядку з передавальною функцією $H(s) = (1 - e^{-hs}) / s$) показаний на рисунку 3.12. У цьому блоці встановимо множитель, відповідно до рівняння 3.26, що дозволяє вводити необхідний нам ваговий коефіцієнт в отримане нами значення на виході блоку порівняння величин, тим самим визначаючи ступінь впливу контролера на керований об'єкт.

Граничне значення діапазону $Dm = m_{\max} = -m_{\min}$ є параметром, який перебудовується при налаштуванні нечіткого регулятора.

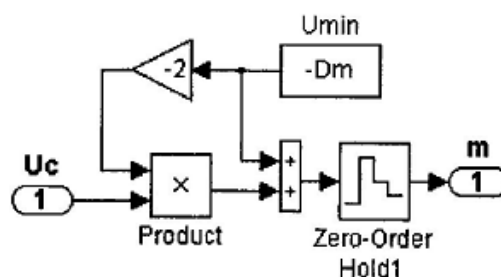


Рисунок 3.12 – Блок нормування вихідної змінної

Узагальнимо отримані блоки, з'єднавши їх в один функціональний блок нечіткого регулятора.

Таким чином, нечіткий регулятор з функціями приналежності, мають два терми (наприклад, показаними на рис. 3.3), при моделюванні в інтеракти-

вній системі MATLAB можна представити у вигляді послідовного з'єднання трьох блоків (рис. 3.13): формувача величин $A(t)$ і $B(t)$ (блок 1 – рис. 3.8), блоку порівняння величина A і B і розрахунку u_c (блок 2 – рис. 3.11) і блоку нормування вихідної змінної (блок 3 – рис. 3.13).

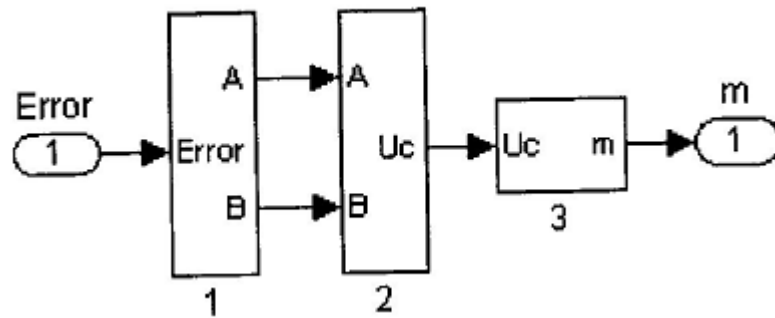


Рисунок 3.13 – Узагальнена структурна схема нечіткого контролера з функціями приналежності, мають два терми

4 ЗАСТОСУВАННЯ НЕЧІТКИХ КОНТРОЛЛЕРІВ В СИСТЕМАХ АВТОМАТИЧНОГО КЕРУВАННЯ

4.1 Традиційна схема фазового автопідстроювання частоти

Побудуємо в системі MATLAB традиційну схему ФАПЧ і отримаємо її характеристики, запустивши моделювання в пакеті Simulink. Для цього відповідно до традиційної функціональної схеми ФАПЧ (рис. 4.1) побудуємо модель в системі Matlab.

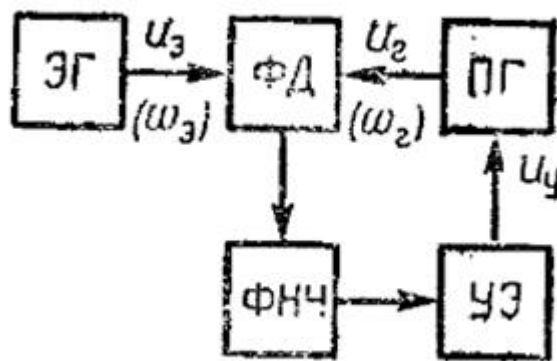


Рисунок 4.1 – Традиційна функціональна схема ФАПЧ

Система стабілізує частоту подстраиваемой генератора ПГ за сигналом з еталонного генератора ЕГ. Об'єктом управління є ПГ, фаза напруги якого змінюється в залежності від напруги, що виробляється керуючим елементом УЕ. Частота напруги ПГ є вихідним сигналом системи ФАПЧ. На систему діє еталонне напруга генератора ЕГ з частотою ω_e , цей сигнал є керуючим впливом. Вимірником неузгодженості є фазовий детектор ФД, вихідний сигнал якого є нелінійної періодичної функцією різниці фаз сигналів, що подаються від ЕГ і ПГ. Сигнал з ФД через фільтр низьких частот ФНЧ надходить на вхід УЕ, який перебудовує частоту ПГ.

ПГ описується передавальною функцією:

$$G(s) = \frac{a}{s(s+a)}. \quad (4.1)$$

Фільтр низьких частот ФНЧ описується передавальною функцією:

$$G_{\phi}(s) = \frac{k}{(s+b)}. \quad (4.2)$$

Поставивши собі за типовими значеннями коефіцієнтів, створимо таку модель системи ФАПЧ для дослідження її характеристик (рис 4.2) [2].

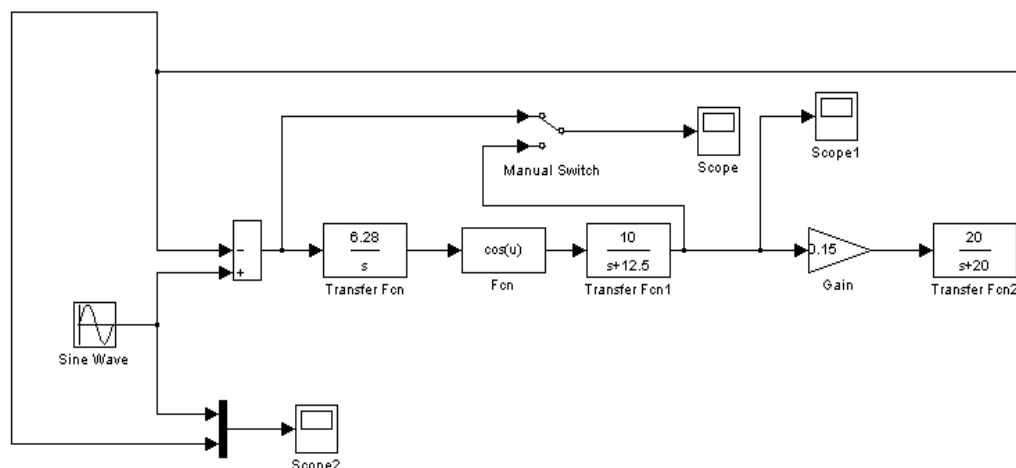
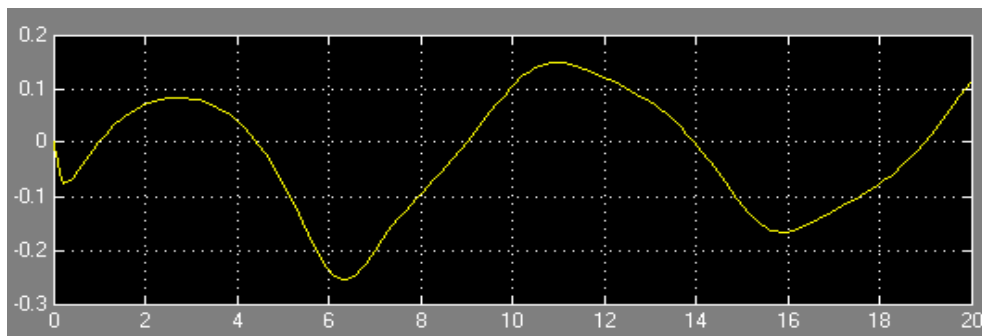


Рисунок 4.2 – Структурна схема системи фазового автопідстроювання

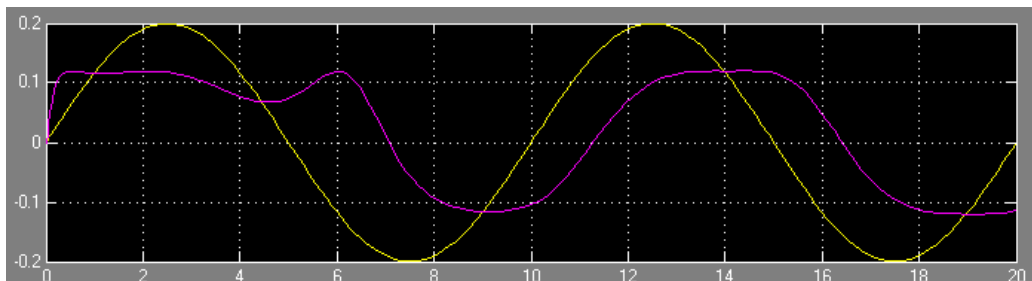
На осцилографі Score2 можна бачити одночасно сигнали з генератора, що задає і підстроюється генератора, на осцилографі Score можна спостерігати помилку неузгодженості сигналів, а також сигнал, отриманий з фазового детектора. Score1 показує сигнал після фазового детектора, якщо попередній осцилограф переключено в режим спостереження сигналу помилки неузгодженості. Отримані осцилограми представлені на рисунку 4.3. Аналіз отриманих осцилограм дозволить нам оцінити помилку в сталому режимі,

максимальну помилку неузгодженості, переглядати вхідний і вихідний сигнал і різниця між ними, що згодом дозволить нам контролювати налаштування системи, оптимізуючи необхідні нам характеристики, змінюючи при цьому настраюються параметри.

Провівши аналіз даної схеми, отримаємо осцилограму сигналу помилки:



А) осцилограма сигналу помилки системи ФАПЧ



Б) осциллограмма входного і вихідного сигналу системи ФАПЧ

Рисунок 4.3 – Сигнали в системі ФАПЧ

Проаналізувавши ці осцилограми, можна відзначити, що сигнал помилки в установленому режимі постійно змінюється, при цьому досягаючи значення в 250 мВ. При цьому неузгодженість сигналів дорівнює приблизно 1,25 рад / с. Сигнал з ФД внаслідок такого неузгодженості становить 0,75в.

4.2 Застосування нечіткого контролера в системі фазового автопідстроювання частоти

Тепер включимо в систему Fuzzy-контролер і проведемо повторний аналіз. Контролер буде стежити за зміною надходить на нього сигналу, і в залежності від швидкості зміни сигналу буде приймати рішення про вихідному впливі. Ступінь впливу на реакцію контролера лінійного зміни сигналу, швидкості зміни (перша похідна) або прискорення зміни (друга похідна) буде залежати від вагових коефіцієнтів, які ми можемо змінювати і регулюючи які ми можемо налаштовувати контролер для досягнення оптимального результату. Ці коефіцієнти показані на рисунку 4.4 і позначені як A_m , B_m і C_m відповідно. Для початку задамося значенням h – кроком квантування АЦП $h = 0,01$ с. Цього буде достатньо для роботи нечіткого контролера, і це цілком прийнятна цифра з урахуванням швидкодії сучасних АЦП. Для початкового налаштування контролера задамося зразковими параметрами: $A_m = 0.01$, B_m приймаємо в 10 разів більше $B_m = 0.1$, C_m ж приймається орієнтовно на 2 порядки більше за B_m $C_m = 10$. Отриманий блок представлений на рисунку 4.3. Також створимо блок порівняння величин, який буде розраховувати центр тяжіння отриманої фігури для трикутних функцій приналежності. Все виконаємо згідно з раніше розрахованим блоку, представленого на рисунку 3.8. Структурна схема обраного формувача величин після попередньої настройки представлена на рисунку 4.4.

Отримаємо наступну схему в MATLAB:

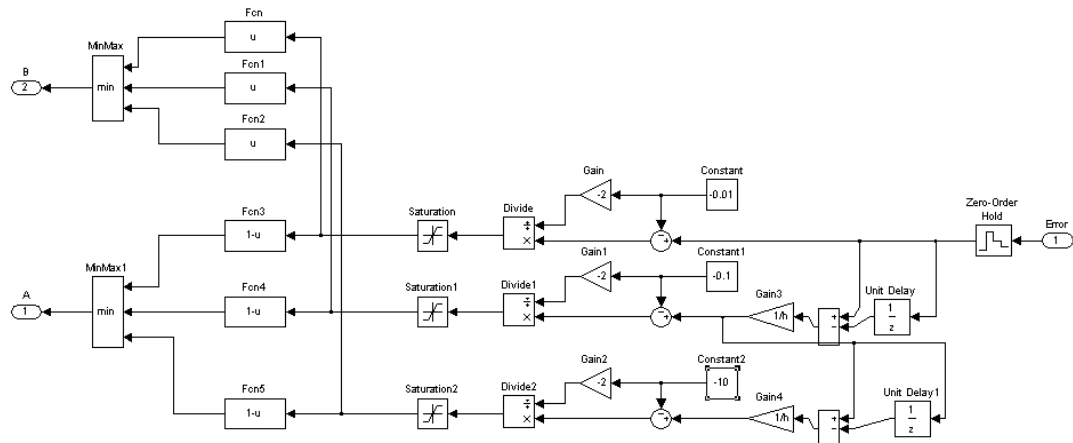


Рисунок 4.4 – Блок формувача величин $A(t)$ і $B(t)$

Згідно з проведеними раніше розрахунками і моделювання, згідно рис. 3.13 і з огляду на раніше обрану нами функцію приналежності, отримаємо наступний блок порівняння величин. Він представлений на рисунку 4.5.

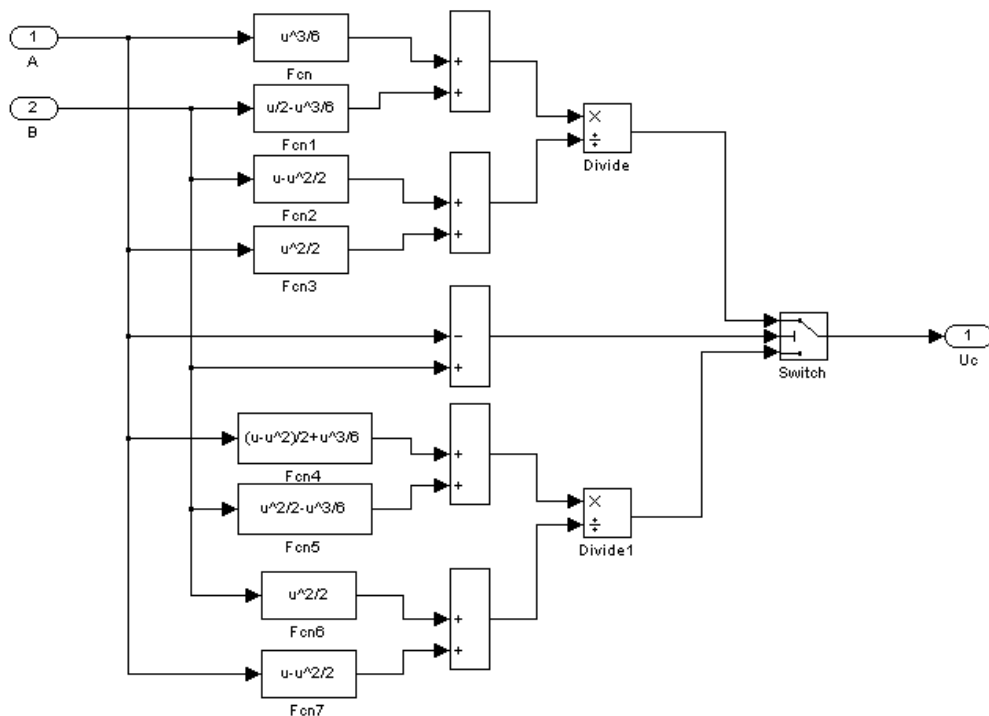


Рисунок 4.5 – Блок порівняння величин $A(t)$ і $B(t)$

Останнім блоком нечіткого контролера є блок нормування вихідної змінної, який здійснює процедуру дефаззифікації. Блок нормування вихідної змінної з цифроаналоговим перетворювачем ЦАП. Узагальнена його схема показана на рисунку 3.14. Для нашого конкретного випадку нам необхідно вибрати значення параметра D_m для ЦАП. Для початку він приймається рівним C_m . Тобто $D_m = 10$. Отримана схема представлена на наступному рисунку (рис. 4.6).

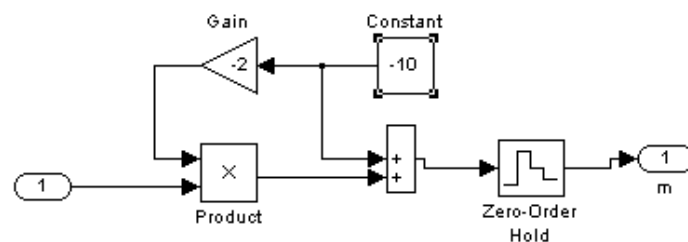


Рисунок 4.6 – Блок нормування вихідної змінної

Скомпонуємо всі блоки згідно структурній схемі, представленій на рисунку 3.13. Схема матиме вигляд (рис. 4.7):

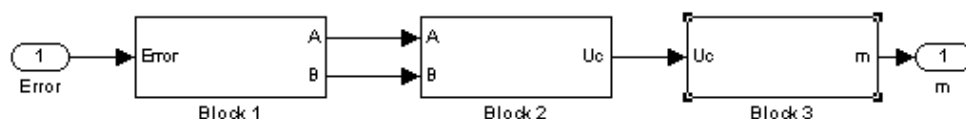


Рисунок 4.7 – Структурна схема нечіткого контролера

Тепер включимо нечіткий контролер в систему ФАПЧ наступним чином (рис. 4.8).

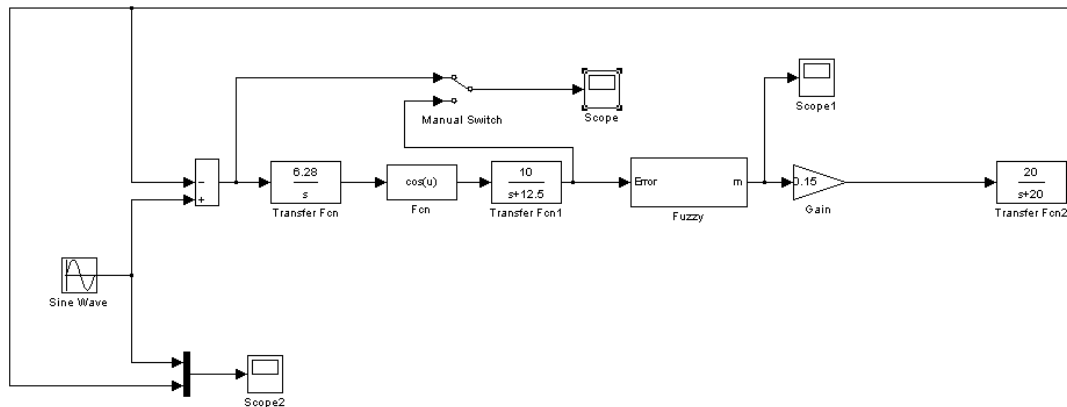


Рисунок 4.8 – Система ФАПЧ з Fuzzy-контролером

Зробимо симуляцію роботи даної системи ФАПЧ з нечітким контролером. Отримаємо осцилограму сигналу помилки і представимо її на наступному рисунку (рис. 4.9).

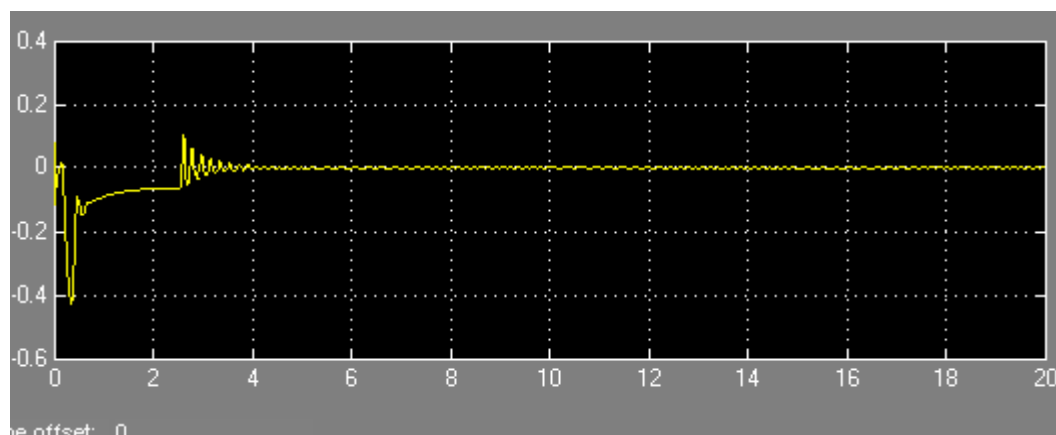


Рисунок 4.9 – Осцилограма сигналу помилки системи ФАПЧ з нечітким регулятором

Як бачимо з осцилограми, максимальне значення помилки дорівнює 400мВ, або 0,68 рад / с при цьому система усуває помилку неузгодженості вже за 4 секунди.

Спробуємо провести оптимізацію роботи нечіткого контролера шляхом експертного підбору оптимальних параметрів настройки. Тут необхідно до-

тримуватися правила зміни тільки однієї характеристики до прийнятного значення отриманої помилки. Тільки після цього варто переходити до зміни другого параметра. Але навіть при ненастроеному регуляторі можна помітити істотне поліпшення роботи системи ФАПЧ в порівнянні з регулятором без контролера. Провівши оптимізацію, отримаємо наступні значення параметрів для контролера:

$A_m = 0.03$, $B_m = 0.5$, $C_m = 10$. При таких параметрах осцилограма сигналу помилки буде наступною (рис. 4.10).

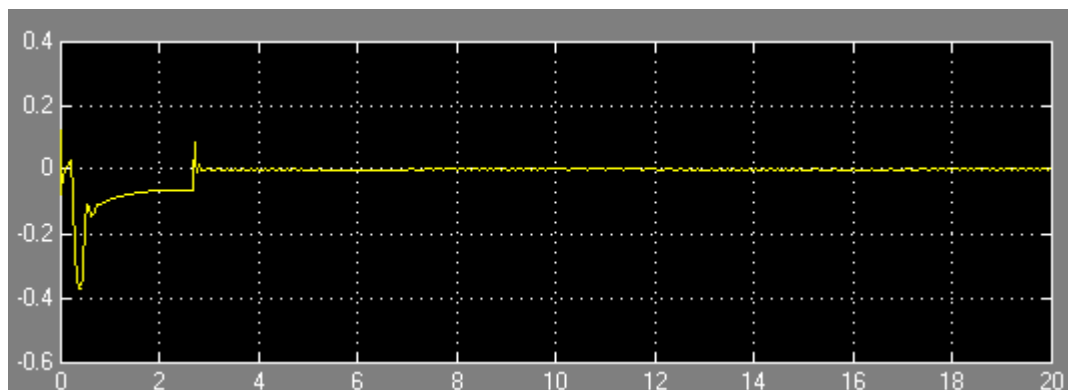


Рисунок 4.10 – Осцилограма сигналу помилки системи ФАПЧ з налаштованим Fuzzy-контролером

Як бачимо, максимальне значення помилки зменшилася до 380мВ, або 0,646 рад / с і помилка неузгодженості була усунена вже за 3 секунди.

Нижче наведемо осцилограму сигналів на вході і виході системи. На самому початку вона має деяке неузгодженість, яке згодом дуже швидко компенсується нечітким регулятором, що видно на рис 4.11:

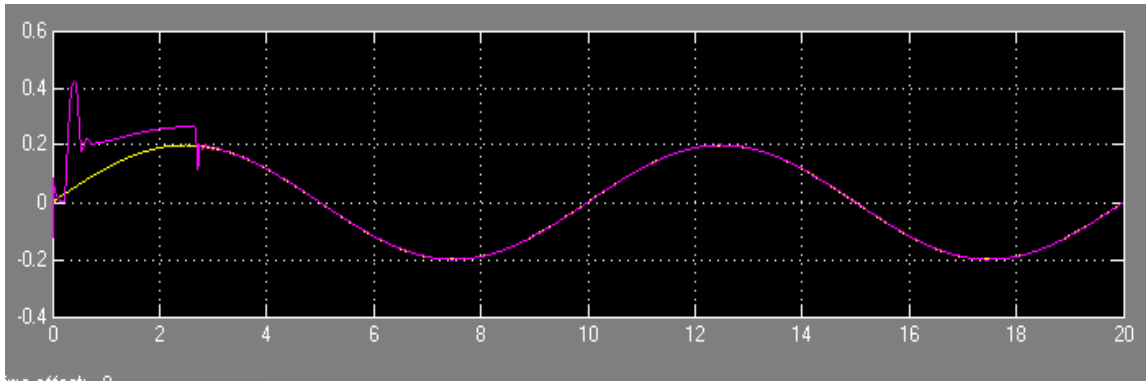


Рисунок 4.11 – Сигнали на вході і виході регулятора з налаштованим нечітким контролером

Для порівняння наведемо таку ж характеристику для системи без нечіткого контролера при такому ж входній дії (рис. 4.12).

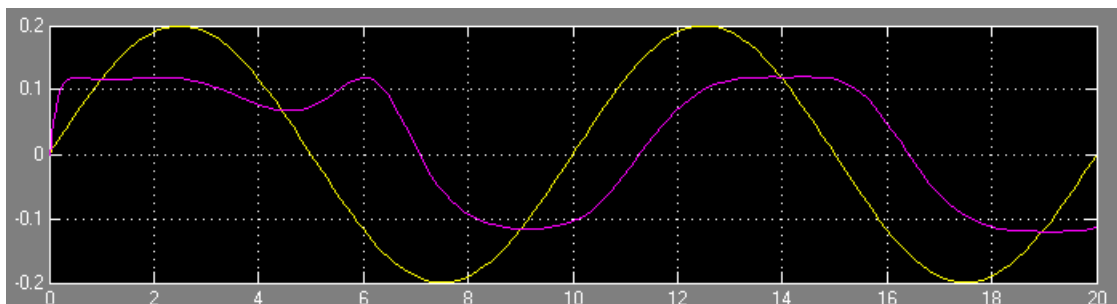


Рисунок 4.12 – Сигнали на вході і виході традиційної системи ФАПЧ

Як бачимо, помилка узгодженості по фазі для системи ФАПЧ з нечітким регулятором в установленому режимі практично відсутня. Якщо сигнал на виході ФД для традиційної системи ФАПЧ становив 0,75В в установленому режимі, то для системи з нечітким контролером він не перевищує 9мВ, що відповідає 0,015 рад / с для налаштованого контролера.

На основі проведеного аналізу можна сказати, що застосування нечіткого регулятора в системі ФАПЧ істотно покращує її динамічні характеристики і зменшує помилку на виході системи.

4.3 Застосування контролера з зведеної в ступінь трикутної функцією приналежності для $c=2$

Створимо Fuzzy-контролер з зведеними в ступінь трикутними функціями належності та подивимося наскільки зміняться якісно параметри системи ФАПЧ після його налаштування. Для цього нам необхідно внести деякі зміни в блоки формування і порівняння величин $A(t)$ і $B(t)$. Відповідно до формул 3.14 і рисунку 3.9 отримаємо блок формування величин. Після настройки він матиме такий вигляд (рис. 4.13).

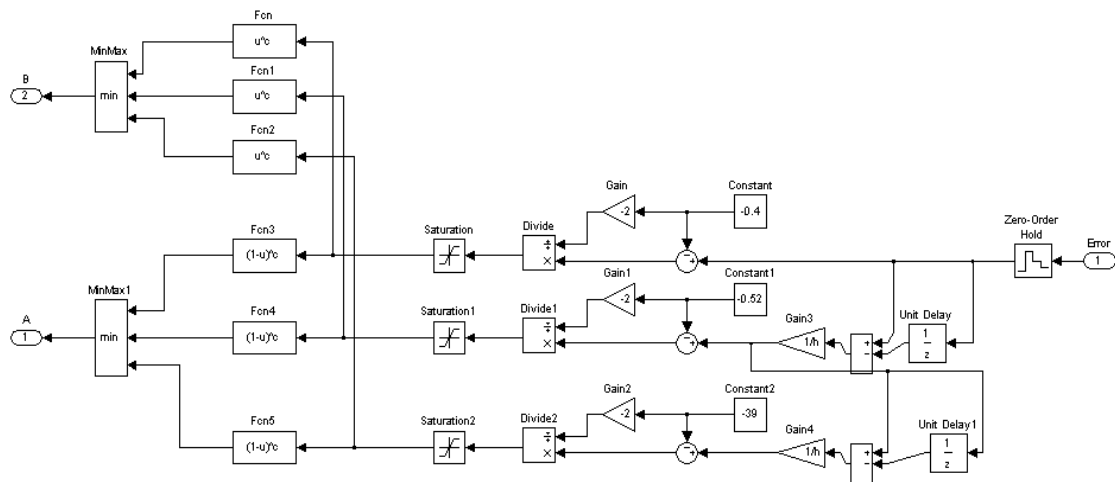


Рисунок 4.13 – Блок формувача величин $A(t)$ і $B(t)$

Як видно з малюнка, змінилися функції приналежності в функціональних блоках, і тепер вони описуються формулами $A(t) = (1-u)c$ і $B(t) = uc$. Внаслідок зміни функцій приналежності, зміняться і формули для обчислення центра ваги отриманих фігур, результат обчислення яких, по суті, і є вихідним впливом, нормованим до одиниці. Тому наступний блок буде створено на підставі формул 3.24 і 3.25. Створимо блок порівняння величин, аналогічний представленому на рис. 3.14, тільки внесемо в нього корективи відповідно до описаних вище формулами.

Модель блоку порівняння величин представлена на наступному рисунку 4.14.

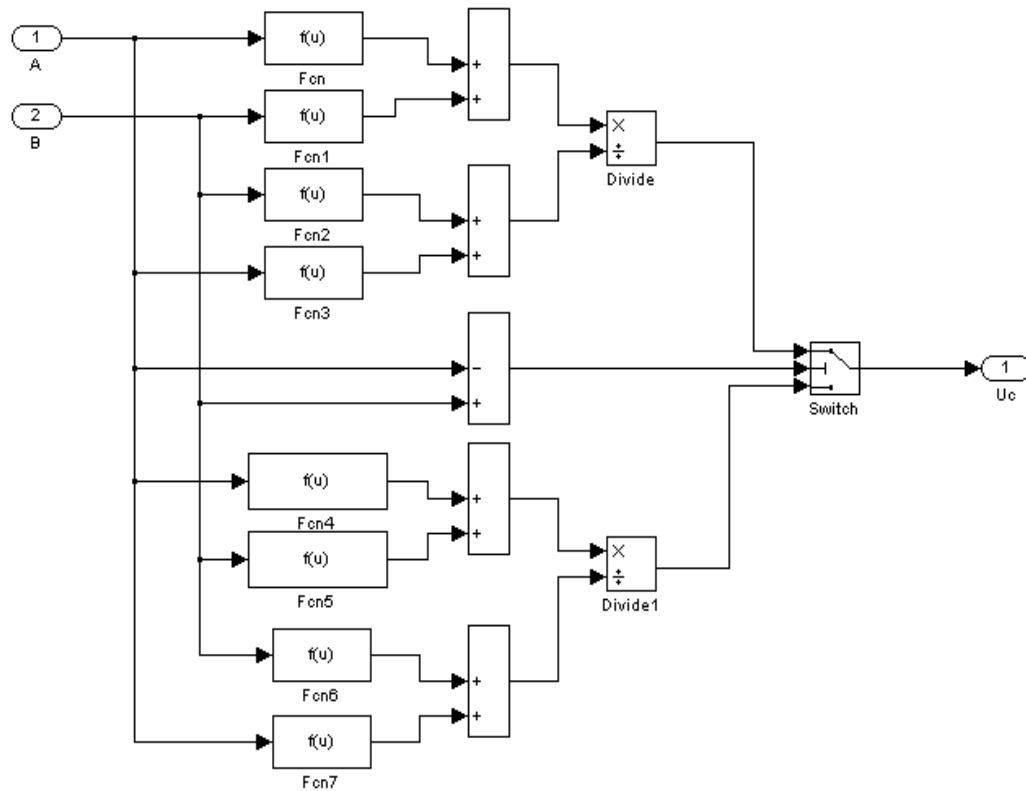


Рисунок 4.14 – Блок порівняння величин $A(t)$ і $B(t)$

В даному блоці в кожному функціональному блоці містяться такі формули для обчислення центра ваги фігур:

$$\begin{aligned}
 Fcn &= c/2/(c+2)*u^{(2/c+1)}; \\
 Fcn1 &= u/2 - c/2/(c+2)*u^{(2/c+1)}; \\
 Fcn2 &= u - c/(c+1)*u^{(1/c+1)}; \\
 Fcn3 &= c/(c+1)*u^{(1/c+1)}; \\
 Fcn4 &= u/2 - c/(c+1)*u^{(1/c+1)} + c/2/(c+2)*u^{(2/c+1)}; \\
 Fcn5 &= c/(c+1)*u^{(1/c+1)} - c/2/(c+2)*u^{(2/c+1)}; \\
 Fcn6 &= c/(c+1)*u^{(1/c+1)}; \\
 Fcn7 &= u - c/(c+1)*u^{(1/c+1)}.
 \end{aligned}
 \tag{4.4}$$

Блок нормування вихідної змінної залишається без зміни. Після проведення настройки регулятора були отримані наступні значення для регульованих параметрів: $A_m = 0.4$, $B_m = 0.52$, $C_m = 39$. При настройці необхідно методично раціоналізувати контролер, змінюючи для початку значення константи C_m до отримання оптимального результату, потім константи B_m , і в кінці налаштуванням параметра A_m досягається найкращий результат. Проделуємо систему при значенні параметра $c = 2$.

Отримана осцилограма сигналу помилки для трикутних зведених до рівня функцій приналежності матиме такий вигляд (рис. 4.15).

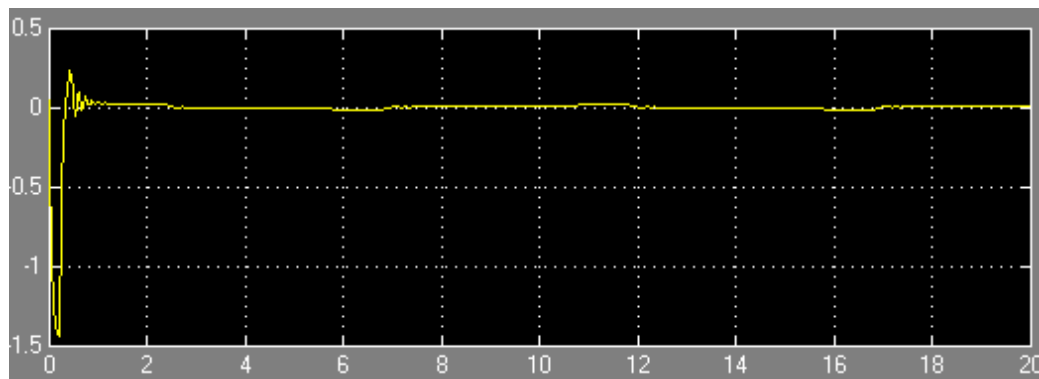


Рисунок 4.15 – Осцилограма сигналу помилки системи ФАПЧ з налаштованим Fuzzy-контролером

Ми можемо відзначити поліпшення швидкодії контролера. У варіанті з трикутними функціями належності встановлення стабільного режиму роботи займало близько 3х секунд, а в даному випадку захоплення частоти відбувається вже за 1 секунду. При цьому помилка початкового неузгодженості вже дорівнює 1,4 В, а напруга помилки після ФД дорівнює 0,1 (0,17 рад / с), що дещо більше, ніж для системи з трикутними функціями належності.

Порівняємо сигнали на вході і виході системи ФАПЧ (рис. 4.16).

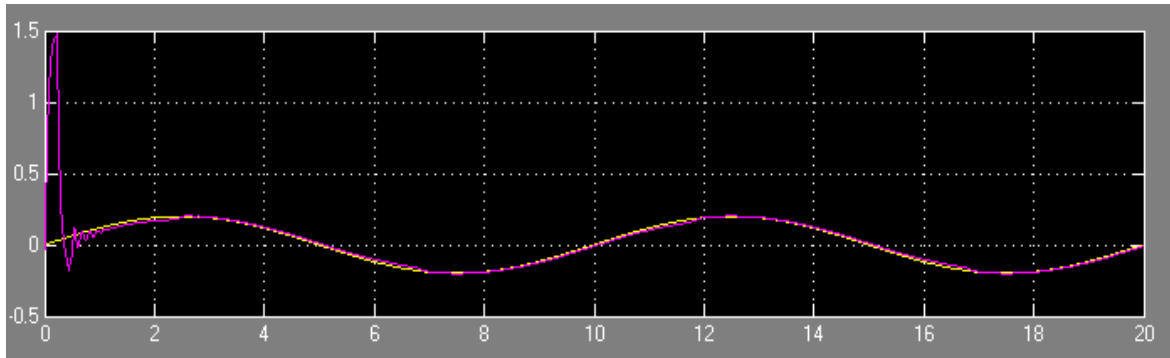


Рисунок 4.16 – Сигнали на вході і виході регулятора з налаштованим нечітким контролером

Можна відзначити значно більший сплеск початкової неузгодженості. Це пояснюється поліпшенням швидкодії системи, внаслідок якого контролер став набагато більше реагувати на початкову неузгодженість, але при цьому набагато швидше призводить його в норму. При цьому в установленому режимі система також має деяке неузгодження (напруга на виході ФД дорівнює 0,1 (0,17 рад / с)). З цього можна зробити висновок, що застосування різних функцій приналежності залежить від бажаних результатів і від конкретного застосування контролера для вирішення того чи іншого завдання.

4.4 Застосування контролера з зведеної в ступінь трикутної функцією приналежності для $c=10$

Зробимо аналіз системи з тим же контролером, використовуючи інші функції приналежності. Формули залишимо ті ж, що і для зведених до рівня ФП, тільки ступінь їх зведення підвищимо до 10ти. Для цього просто в рядку введення команд системи Matlab введемо команду $z = 10$. Вона змінить значення змінної, і відповідно, ФП матимуть інший вигляд, при цьому функції обчислення центра ваги фігур залишаться тими ж.

Запустивши моделювання, отримаємо наступну осцилограмму сигналу помилки (рис. 4.17).

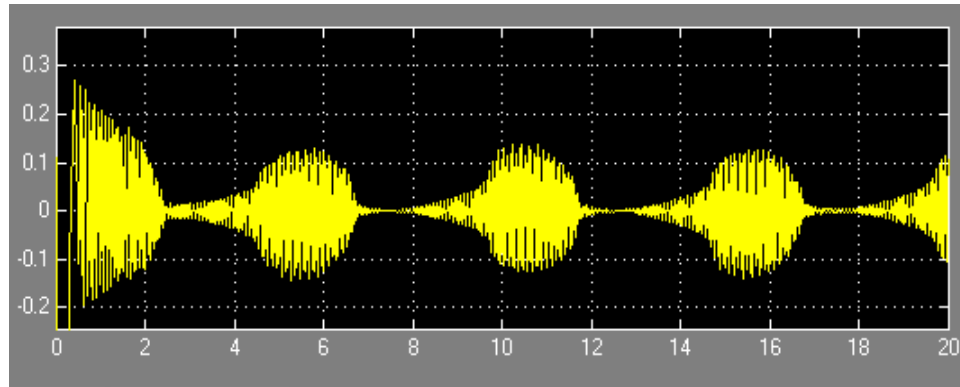


Рисунок 4.17 – Сигнал помилки для ненастроєного контролера з зведеними в ступінь функціями належності для $c = 10$

Для зменшення помилки неузгодженості слід провести настройку контролера, оскільки для інших значень ступеня трикутних ФП потрібні і інші значення вагових коефіцієнтів. Далі проведемо настройку нечіткого контролера і оцінимо сигнал помилки після настройки. Так, параметри вагових коефіцієнтів для налаштованого контролера при $c = 10$ будуть такі: $A_m = -0,6$, $B_m = -2,5$, $C_m = -34$. При цьому отримаємо наступну осцилограмму сигналу помилки (рис. 4.18).

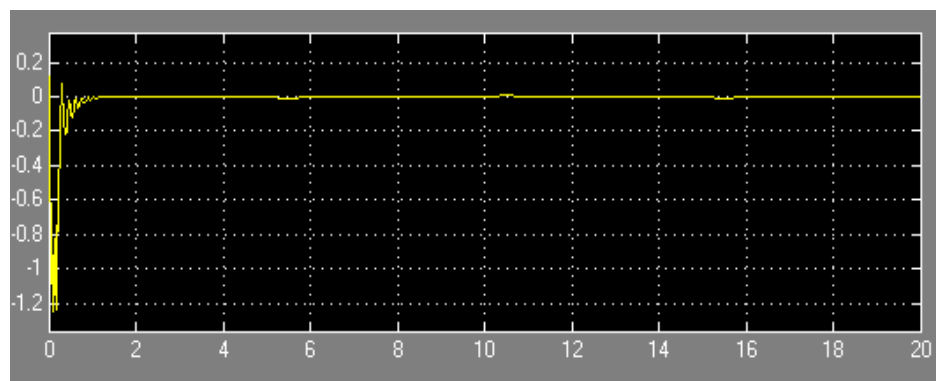


Рисунок 4.18 – Сигнал помилки для налаштованого контролера з зведеними в ступінь функціями належності для $c = 10$

Наступного осцилограмме ми можемо спостерігати сигнали на вході і виході системи ФАПЧ (рис. 4.19).

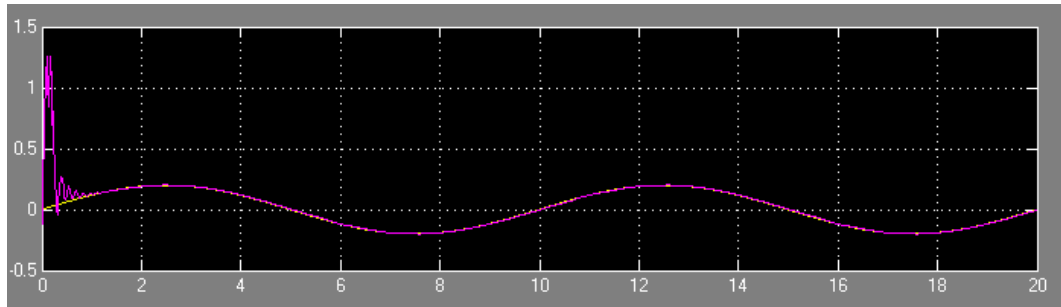


Рисунок 4.19 – Сигналы на входе и выходе регулятора с настроенным нечетким контроллером при $c = 10$

Ми можемо бачити, що сигнали синхронізуються вже через 1с. При цьому ми можемо оцінити помилку неузгодженості по фазі, вимірявши максимальна напруга на виході ФД в установленому режимі роботи. Так, для розглянутої системи помилка становитиме 4мВ (0,0068 рад / с). При цьому максимальна помилка початкового неузгодженості досягає 1.2В (2,04 рад / с). Тобто контролер з трикутними зведеними до рівня функціями належності при $c = 10$ по всіх параметрах працює краще, ніж той же контролер при $c = 2$, а помилка неузгодженості в установленому режимі ще менше, ніж для контролера зі звичайними трикутними функціями належності. Далі розглянемо процес налаштування нечіткого контролера згідно з розробленими мною в процесі роботи над цією проблемою рекомендацій.

4.5 Процес настройки і оптимізації контролера нечіткої логіки

Тут ми розглянемо процес налаштування контролера, починаючи з початкових зразкових параметрів, покроково оптимізуючи його роботу. Для прикладу розглянемо контролер з трикутними функціями належності. Процес настройки для інших контролерів буде аналогічним. Для початку Продемо створену раніше модель ФАПЧ з нечітким контролером, описану в розділі 4.2 з такими ж початковими рекомендованими параметрами, як на

рис. 4.4. Після моделювання отримаємо осцилограму сигналу помилки, представлену на рис. 4.20.

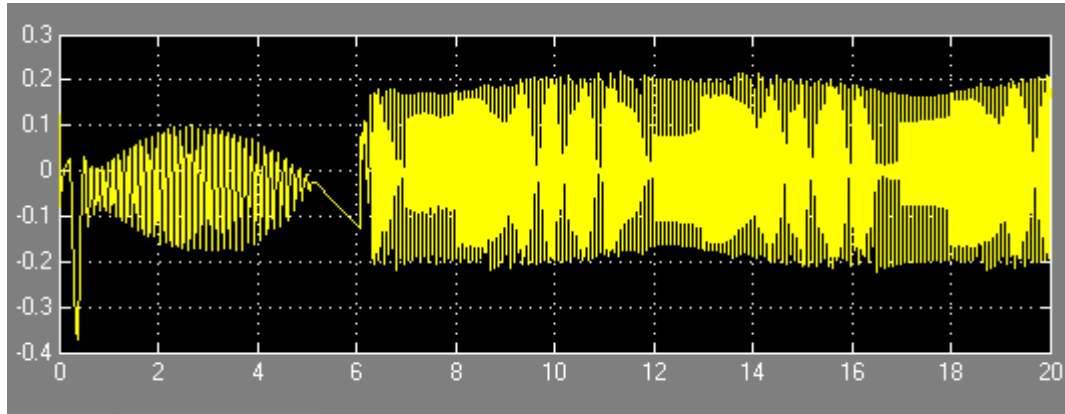


Рисунок 4.20 – Сигнал помилки для ненастроєного контролера

Далі виробляємо оптимізацію шляхом підбору оптимальних вагових коефіцієнтів. Я рекомендую починати з підбору коефіцієнта для другої похідної помилки C_m . Зміна коефіцієнта в більшу або меншу сторону в невеликих межах не дає нам ніякого поліпшення осцилограми, а змінюючи значення в великих межах ми отримуємо помітне погіршення даної характеристики. Тому вважаємо вибране значення вагового коефіцієнта $C_m = 10$ оптимальним для даного контролера. Далі переходимо до зміни вагового коефіцієнта для першої похідної помилки. Для цього починаємо варіювати змінну V_m спочатку у великих межах, а потім все більш точно налаштовуючи контролер. Для цього найбільш ефективним я вибрав наступний метод: середнє значення, вибране нами з урахуванням рекомендацій, ми варіюємо в приблизно однакових межах в бік збільшення і зменшення. Порівнявши результат, ми можемо визначити, потрібно нам збільшувати, або зменшувати значення обраного коефіцієнта. Наприклад, збільшимо і зменшимо значення коефіцієнта в 10 разів. Для значення отримана осцилограма буде мати ще більший сигнал помилки, а для значення $V_m = 1$ ми отримаємо осцилограму, наведену на рису-

нку 4.21, в ній ми вже можемо відзначити деякі поліпшення в порівнянні з попереднім варіантом.

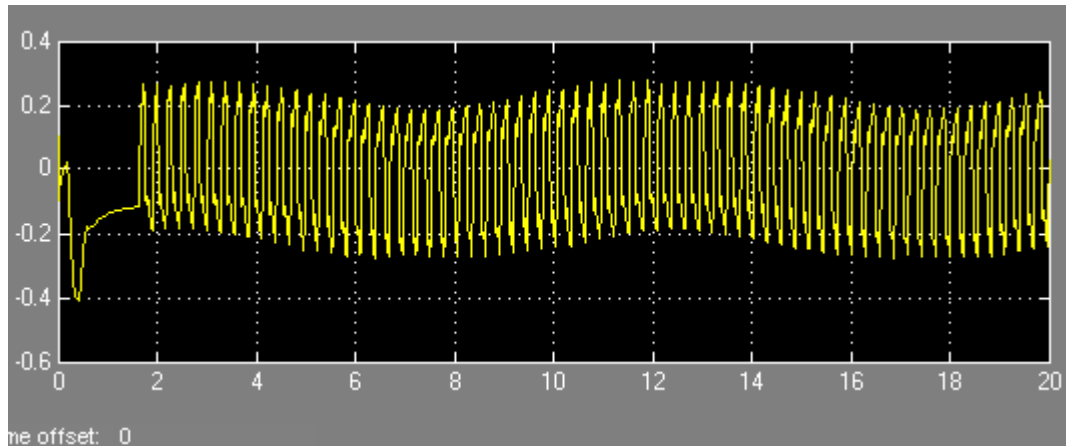


Рисунок 4.21 – Сигнал помилки для контролера з $V_m = 1$

Можна відзначити значне зменшення частоти коливального процесу. Тобто за одну ітерацію ми вдвічі скоротили кордону пошуку оптимального коефіцієнта. У межах $[0.001 \dots 1]$ ми вже знаємо що нам потрібно шукати оптимальний параметр серед значень $[0.1 \dots 1]$. Далі ділимо отриманий інтервал навпіл і шляхом порівняння вибираємо в якому ж інтервалі ми отримуємо більш підходящу нам характеристику. Отже, таке значення $V_m = 0.5$ дасть нам осцилограму, представлену на рисунку нижче (рис. 4.22).

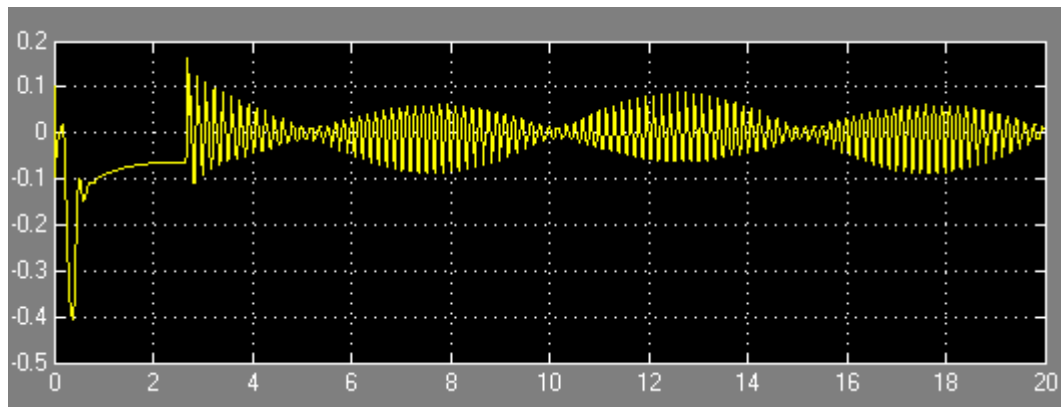


Рисунок 4.22 – Сигнал помилки для контролера з $V_m = 0,5$

Промодельовати систему при зміні параметра $V_m = 0,25$ і $V_m = 0,75$ було помітно тільки погіршення. Це означає що за дві ітерації ми максимально наблизилися до оптимального значення параметра. Тепер можна спробувати зробити більш тонке налаштування параметра. Поліпшень при значеннях $V_m = 0,51$ і $V_m = 0,49$ помічено не було. Також результатів не дало незначне варіювання параметра $V_m = 0,501$ і $V_m = 0,499$. Тому можна зробити висновок, що значення $V_m = 0,5$ є оптимальним для даного контролера. Далі переходимо до налаштування параметра A_m . Дотримуючись вищеописаного методу, було визначено оптимальне значення параметра $A_m = 0.03$, осцилограма сигналу помилки для якого показана на рисунку 4.23.

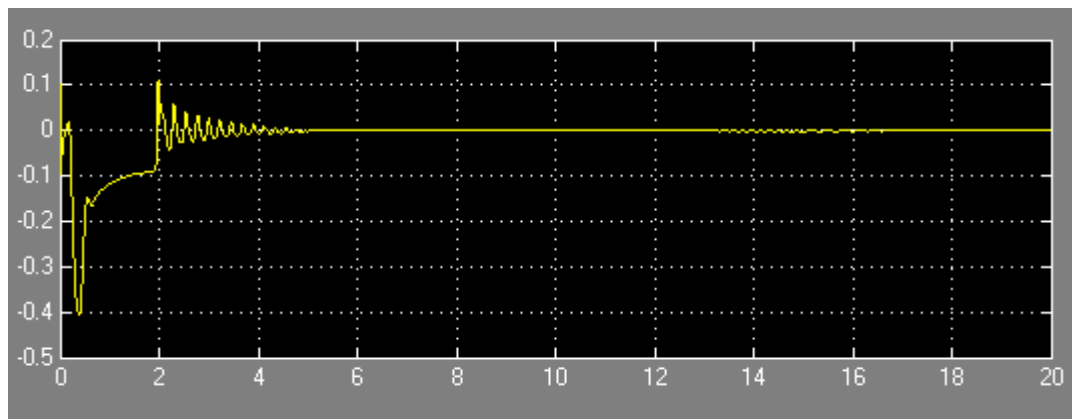


Рисунок 4.23 – Сигнал помилки для контролера з $A_m = 0.03$

Налаштування вагового коефіцієнта в блоці нормування вихідної змінної не знадобилася. Зменшення кроку дискретизації $h = 0.01$ не впливає на якість роботи системи ФАПЧ. Збільшення ж кроку значно погіршує роботу системи. Можна зробити висновок, що застосування кроку дискретизації $h = 0.01$ цілком достатньо і збільшення його не має сенсу. Але, оскільки система із застосуванням нечіткого контролера є цифровий, то частота дискретизації згідно теореми Котельникова, повинна бути як мінімум удвічі більше максимальної частоти сигналу. Сучасна елементна база дозволяє використовувати

досить недорогі і якісні АЦП, що працюють на досить високих частотах, при цьому використання цифрових процесорів реального часу дозволяє проводити всі необхідні обчислення з достатньою для цього швидкістю. При цьому застосування тих же цифрових процесорів дозволяє нам включати в систему цифрові фільтри, реалізовані не на дискретній елементній базі, а вже в цифровому вигляді, що дозволяє здешевити кінцевий продукт, оскільки цифровий фільтр високого порядку буде мати меншу собівартість, не потребує точного налаштування і має більше плюсів в порівнянні з застосуванням дискретних конденсаторів і намотувальних виробів, маючи при цьому оптимальні амплітудно-частотні характеристики.

5 ЕКОНОМІЧНЕ ОБГРУНТУВАННЯ НАУКОВО-ДОСЛІДНОЇ РОБОТИ

В організаційно-економічній частини наукової роботи по дослідженню застосування нечіткої логіки в системах автоматичного управління розглянуті наступні питання:

- а) планування науково-дослідної роботи (НДР);
- б) визначення витрат на виконання НДР;
- в) розрахунок економічної ефективності від впровадження результатів дослідження.

5.1 Планування науково-дослідної роботи

Основна умова раціонального планування НДР – скорочення термінів виконання розробок при мінімальних витратах трудових, матеріальних і грошових ресурсів. Для цього розглянемо наступні питання: визначення трудомісткості та тривалості НДР і складання календарного графіка виконання.

5.1.1 Визначення тривалості НДР

Тривалість НДР залежить від безлічі факторів, передбачити які неможливо. Тому, у зв'язку з новизною технічної проблеми, використовуємо вірогідну оцінку часу, яка визначається по кожному етапу робіт:

$$t_{ож} = \frac{3t_{min} + 2t_{max}}{5} \quad (5.1)$$

де $t_{ож}$ – очікувана оптимальна оцінка часу виконання НДР, днів,

t_{min} – Мінімально необхідний час виконання роботи при найбільш сприятливих умовах, днів;

t_{max} – Максимальні витрати часу на виконання роботи по даному етапу при несприятливих умовах, днів.

Правильність визначення $t_{ож}$ перевіряється розрахунком дисперсії – розкиду між мінімальною і максимальною оцінками часу. Дисперсія являє собою середнє значення квадрата відхилення тривалості роботи від її очікуваного значення і визначається за формулою:

$$\sigma^2(t) = \left(\frac{t_{max}-t_{min}}{5}\right)^2, \quad (5.2)$$

Якщо $\sigma^2(t) \leq 1$, то ступінь невизначеності оцінки часу робіт по даному етапу мала.

Результати розрахунків тривалості окремих етапів зведені в табл.5.1.

Таблиця 5.1 – Тривалість виконання етапів НДР

Етапи НДР	Тимчасові оцінки, днів			Дисперсія	Виконавці	
	t_{min} , днів	t_{max} , днів	$t_{ож}$, днів		Спеціальність	Кількість, чол.
1	2	3	4	5	6	7
1. Підготовчий	17	20	18	0.36	інженер-радіотехнік	2
2. Виконання теоретичних розробок по темі	10	12	11	0.36	інженер-радіотехнік	1
					інженер-програміст	1
3. Проведення досліджень за планом	20	24	22	1	інженер-радіотехнік	2
					інженер-програміст	1
4. Уточнення та узагальнення отриманих результатів, висновки та пропозиції	3	8	5	1	інженер-радіотехнік, економіст	1 1

Продовження таблиці 5.1

1	2	3	4	5	6	7
5. Складання і обговорення технічного звіту	4	5	6	1	інженер-радіотехнік, економіст	1 1
6. Визначення подальшого використання результатів розробки та впровадження	12	15	13	0.36	інженер-радіотехнік	1
Разом:	66	84	75			4

Найбільше значення дисперсії, рівне одиниці, говорить про малу ступеня невизначеності оцінки часу робіт по даному етапу.

5.1.2 Побудова мережного графіка

Мережевий графік являє собою інформаційно-динамічну модель, в якій зображаються взаємозв'язки і результати всіх робіт, необхідних для досягнення кінцевої мети проектування. При побудові мережного графіка використовуються два графічних елемента: роботи і події.

Робота – це процес, що вимагає витрат часу, наявності виконавців і матеріальних ресурсів. Подіями називаються результати проведених робіт, на графіку події показуються гуртками з номером. Мережевий графік будується за даними табл. 5.2 і представлений на рисунку 5.1.

Таблиця 5.2 – Перелік робіт мережного графіка

№	Код робіт	Найменування роботи	Тривалість, днів
1	0–1	Аналіз ТЗ на регулятор	4
2	1–2	Узгодження і затвердження ТЗ	3
3	2–3	Вивчення існуючих аналогів	4
4	2–4	Розробка алгоритму роботи	6
5	4–5	Розробка функціональної схеми	5
6	5–6	Експертна оцінка нечітких множин	6
7	6–7	Вибір лінгвістичних змінних	3

Продовження таблиці 5.2

№	Код робіт	Найменування роботи	Тривалість, днів
8	6–8	Аналіз функцій приналежності	4
9	6–9	Аналіз конфігурації терм-множин	3
10	9–10	Аналіз функцій нечіткого виводу	4
11	10–11	Економічне обґрунтування проекту	4
12	10–12	Оформлення документації	4
13	11–13	Закупівля необхідних компонентів	2
14	13–14	Розробка конкретної моделі	3
15	14–15	Налаштування ПЗ	5
16	14–16	Тестування	3
17	15–17	Здача в експлуатацію	3
	Всього		66

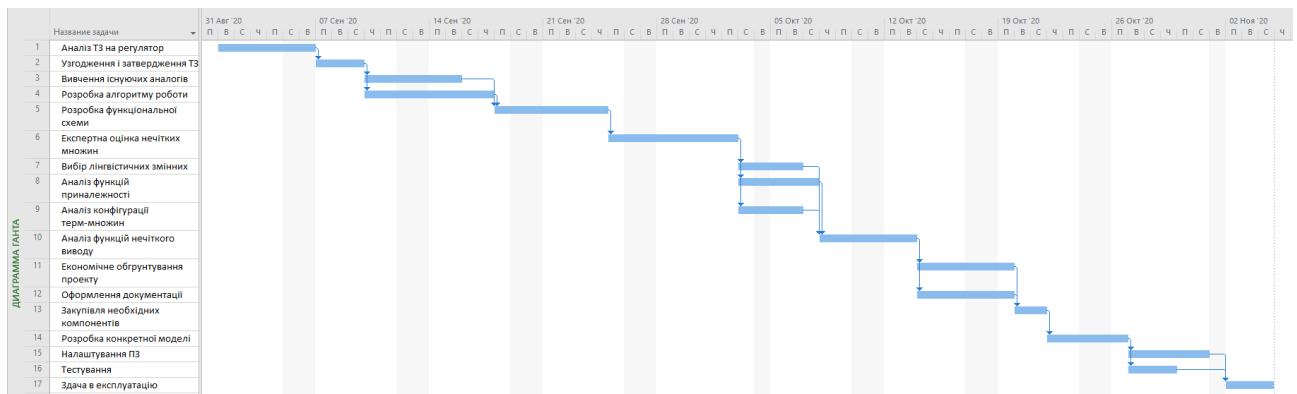


Рисунок 5.1 – Діаграма Ганта розробки проекту нечіткого регулятора

5.1.3 Розрахунок параметрів мережного графіка

Результати розрахунку параметрів робіт та шляхів наведено у таблицях 5.3 і 5.4 відповідно.

Таблиця 5.3 – Параметри робіт мережевого графіка

Код роботи	t_{ij}	$C_{р.н. ij}$	$C_{п.н. ij}$	$C_{р.о. ij}$	$C_{п.о. ij}$	$P_{п. ij}$	$P_{с. i}$
0–1	4	0	0	4	4	0	0
1–2	2	4	4	6	6	0	0
2–3	3	6	6	9	12	3	0
2–4	6	6	6	12	12	0	0
4–5	4	12	12	16	16	0	0
5–6	6	16	16	22	22	0	0
6–7	3	22	22	25	26	1	0
6–8	4	22	22	26	26	0	0
6–9	4	22	22	26	26	0	0
9–10	4	26	26	30	30	0	0
10–11	4	30	30	34	34	0	0
10–12	3	30	30	33	37	4	0
11–13	3	34	34	37	37	0	0
13–14	3	37	37	40	40	0	0
14–15	5	40	40	45	45	0	0
14–16	2	40	40	42	48	6	0
15–17	3	45	45	48	48	0	0

Таблиця 5.4 – Параметри шляхів мережного графіка

№	№ подій	Тривалість шляху, днів	Кн.і	Резерв шляху, днів
1	0, 1, 2, 4, 5, 6, 9, 10, 11, 13, 14, 15, 17	48	1	0
2	0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 12, 13, 14, 16, 17	34	0,44	14
3	0, 1, 2, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 12, 13, 14, 15, 17	43	0,54	6
4	0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 8, 9, 10, 12, 13, 14, 16, 17	35	0,48	0
5	0, 1, 2, 4, 5, 6, 9, 10, 12, 13, 14, 15, 17	44	0,42	4

У таблицях використані наступні позначення:

t_{ij} – час виконання роботи;

$C_{р.н. ij}$ – ранній термін початку роботи;

$C_{п.н. ij}$ – пізній термін початку роботи;

$C_{p.o. ij}$ – ранній термін закінчення роботи;

$C_{п.о. ij}$ – пізній термін закінчення роботи;

$P_{п. ij}$ – повний резерв часу роботи;

$P_{с. ij}$ – вільний резерв часу роботи;

$K_{н. i}$ – коефіцієнт напруженості і-го шляху.

Коефіцієнт напруженості і-го шляху визначається за формулою:

$$K_{н..i} = \frac{L_i - L_{кр}'}{L_{кр} - L_{кр}'} \quad (5.3)$$

де $L_{кр}$ – довжина критичного шляху;

L_i – довжина і-го шляху;

$L'_{кр}$ – загальна частина і-го і критичного шляху.

Як видно з мережного графіка, тривалість розробки проекту мережі мобільного зв'язку по мережевому графіку становить 48 днів. При послідовному виконанні цієї ж роботи тривалість склала б 63 дня.

Календарний план проекту (табл. 5.5) будується по мережевому графіку (рис. 5.1).

Таблиця 5.5 – Календарний план проекту

Найменування роботи	Код работы	t_{ij}	Строки	
1	2	3	4	5
Аналіз ТЗ на регулятор	0–1	4	01.09.2020	06.09.2020
Узгодження і затвердження ТЗ	1–2	3	07.09.2020	9.09.2020
Вивчення існуючих аналогів	2–3	4	10.09.2020	15.09.2020
Розробка алгоритму роботи	2–4	6	10.09.2020	17.09.2020
Розробка функціональної схеми	4–5	5	18.09.2020	24.09.2020
Експертна оцінка нечітких множин	5–6	6	25.09.2020	02.10.2020

Продовження таблиці 5.5

1	2	3	4	5
Вибір лінгвістичних змінних	6–7	3	03.10.2020	06.10.2020
Аналіз функцій приналежності	6–8	4	03.10.2020	07.10.2020
Аналіз конфігурації терм-множин	6–9	3	03.10.2020	06.10.2020
Аналіз функцій нечіткого виводу	9–10	4	08.10.2020	13.10.2020
Економічне обґрунтування проекту	10–11	4	14.10.2020	19.10.2020
оформлення документації	10–12	4	14.10.2020	19.10.2020
Закупівля необхідних компонентів	11–13	2	20.10.2020	21.10.2020
Розробка конкретної моделі	13–14	3	22.10.2020	26.10.2020
Налаштування ПЗ	14–15	5	27.10.2020	31.10.2020
тестування	14–16	3	27.10.2020	29.10.2020
Здача в експлуатацію	15–17	3	02.11.2020	04.11.2020

Таким чином, побудований графік подій, мережевий графік, таблиця списку робіт, знайдений критичний шлях. Їм є шлях [0, 1, 2, 4, 5, 6, 9, 10, 11, 13, 14, 15, 17], що має довжину 48 днів.

5.2 Визначення витрат на проведення НДР

5.2.2 Визначення витрат на матеріали

У вартість матеріалів включаються витрати на матеріали для проведення дослідження. Їх кількість визначається на підставі програми дослідження, норм витрати, кількості годин випробувань та інших даних. Ціна матеріалу визначається договірними цінами на 01.06.2020г.

Витрати на основні матеріали знаходяться з розрахунку їх вартості та кількості. Транспортно-заготівельні витрати складають 5% від вартості матеріалів.

Вихідні дані й розрахунки вартості матеріалів заносяться в таблицю 5.6.

Таблиця 5.6 – Розрахунок витрат на матеріали

Матеріал	Витрата матеріалу на тему, шт.	Ціна за одиницю, грн.	Сума витрат, грн.
Аркуш паперу А4	500	0,16	80
Картридж для принтера	1	435	435
Разом:			514
Транспортно-заготівельні витрати			33,7
Всього з урахуванням транспортно-заготівельних витрат:			547,7

5.2.3 Розрахунок вартості електроенергії

Витрати на електричну енергію E_c визначаються за формулою:

$$E_c = \frac{M_y \Phi_{\text{еф}} K_n C_e}{\text{КПД}}, \quad (5.4)$$

де M_y – потужність, споживана електроприладом, кВт;

$\Phi_{\text{еф}}$ – ефективний фонд часу роботи даного виду обладнання, ч.;

K_n – коефіцієнт використання енергетичних установок по потужності і часу, що дорівнює 0.8;

C_e – ціна 1 кВт * год електроенергії;

ККД – коефіцієнт корисної дії, приймається рівним 0.9.

Розрахунок вартості енергоресурсів представлено в таблиці 5.7.

Таблиця 5.7 – Розрахунок вартості енергоресурсів

Обладнання	Вид енергоресурсів	Потужність обладнання, кВт	$\Phi_{эф}$, год.	Тариф, грн.	Вартість, грн.
1	2	3	4	5	6
Asus Laptop X509MA– BR301, RAM 4Gb, SSD 128Gb, Intel UHD Graphics 600	Електроенергія	0,3	600	1,4	252
Принтер Canon TS704	Електроенергія	0,1	2	1,4	0,28
Всього			602		252,28

5.2.4 Розрахунок амортизації обладнання

Сума амортизаційних відрахувань від балансової вартості універсального устаткування, апаратів і приладів, які відносяться до основних фондів, розраховуються з урахуванням використання їх для даної НДР.

Щодо розрахунку витрат з амортизації, варто зазначити, що з 23.05.20 р. стартували зміни до пп. 14.1.138 Податкового кодексу, згідно з якими вартісний критерій для основних засобів змінено з 6000 грн на 20000 грн. Тож, ті матеріальні цінності, строк корисного використання яких – більше року, але вартість менша чи дорівнює 20000 грн, визнаються малоцінними необоротними матеріальними активами (далі – МНМА). Для них у пп. 138.3.3 ПК передбачено групу 11 «Малоцінні необоротні матеріальні активи», термін використання для яких не визначено. Отже, нарахування амортизації здійснюється за принципом 50/50 (при надходженні – 50% і 50% – при списанні) або ж 100% при надходженні.

Результати розрахунку зведені в таблицю 5.8.

Таблиця 5.8 – Розрахунок суми амортизаційних відрахувань

Обладнання	Балансова вартість, грн.	Норма амортизації, %	Сума амортизації, грн.
Комп'ютер	10999	50	1562,35
Принтер	2688	50	1,27
Всього	13687		1563,62

5.2.5 Розрахунок заробітної плати

В дану статтю включається заробітна плата всіх категорій працівників, які безпосередньо зайняті у процесі проведення всіх етапів НДР. Сума заробітної плати розраховується на основі зайнятості виконавців по окремих етапах робіт і середньоденного заробітку для кожної категорії персоналу. Розрахунок основної заробітної плати зведений в таблицю 5.9.

Таблиця 5.9 – Розрахунок основної заробітної плати

Посада	Кількість, чел.	Оклад, грн.	Середньоденна зарплатня, грн.	Зайнятість НДР, днів	Підсумкова сума зарплатні, грн.
1	2	3	5	6	7
Інженер-програміст	1	6500	400	33	13200
Інженер-радіотехнік	2	5500	230	115	26450
Економіст	1	5000	200	11	2200
Разом				159	41850

Додаткова заробітна плата дорівнює 12% від основної заробітної плати, що становить 5022 грн.

Сумарна заробітна плата, таким чином, складе 46872 грн.

До підсумковій сумі основної зарплати робітників необхідно додати премію за становищем і всі доплати до річного фонду в розмірах, встановлених на місці проведення НДР.

5.2.6 Розрахунок єдиного соціального внеску

Єдиний соціальний внесок підлягає сплаті до Пенсійного фонду України. Ставки ЄСВ диференційовані залежно від виду платника, а також в залежності від класів професійного ризику виду діяльності. Відрахування в єдиний внесок визначаються у відсотковому відношенні від суми основної та додаткової зарплати з урахуванням премій. Відрахування дорівнюють 22%, що становить 10311,84 грн.

5.2.7 Розрахунок загальновиробничих витрати

Загальновиробничі витрати розраховуються у відсотках від основної заробітної плати виконавців. Загальновиробничі витрати дорівнюють 80%, що становить 37497,6 грн.

Калькуляція витрат на розробку і вивчення спеціалізованого нечіткого регулятора наведена в таблиці 5.10.

Таблиця 5.10 – Кошторис витрат на проведення НДР

Статті витрат	Сума, грн.	Питома вага до підсумку, %
1	2	3
Витрати на матеріали	547,7	0,56
Амортизація універсального обладнання	1563,62	1,62
Заробітна плата основна	41850	43,12
Заробітна плата додаткова	5022	5,18
Відрахування на соц. страхування	10311,84	10,62
Витрати на електроенергію	252,28	0,26
Загальновиробничі витрати	37497,6	38,64
Разом	97045,04	100

5.3 Розрахунок економічної ефективності НДР

Для теоретичних досліджень в більшості випадків важко або навіть неможливо розрахувати економічний ефект, тому доцільно визначити їх техніко-економічну ефективність з урахуванням наступних показників: важливості дослідження для народного господарства; складності розробки; результативності та важливості використання. Важливість теоретичного дослідження оцінюють за його призначенням: вирішення проблемних питань; задоволення вимог спеціальної техніки; пошук принципово нових конструктивних і технологічних рішень.

Складність виконання робіт визначається порівнянням отриманих результатів даного дослідження з результатами відомих аналогічних досліджень з урахуванням грошових і трудових витрат на їх проведення. Результативність НДР визначається по повноті рішень поставленої задачі: отриманий результат відповідає планованому; задовільний (часткове рішення); негативний. Аналіз залежності між цими показниками і витратами на їх досягнення дає можливість кількісної оцінки техніко-економічних показників теоретичних НДР по формулі:

$$K_{\text{НДР}} = \frac{J^n \cdot R \cdot T}{Z_{\text{НДР}} \cdot t_{\text{НДР}}}, \quad (5.5)$$

де $K_{\text{НДР}}$ – рівень ефективності дослідження;

J^n – важливість роботи;

R – результативність роботи;

T – технічна складність;

$Z_{\text{НДР}}$ – витрати на проведення НДР, тис. грн.;

$t_{\text{НДР}}$ – фактичний час виконання НДР, років;

n – показник використання результатів.

Для НДР час виконання не більше 2 років, допустимі значення коефіцієнтів наведені в таблиці 5.11.

Таблиця 5.11 – Значення оціночних факторів

Оціночні фактори	J	R	T	$z_{ндp}$	$t_{ндp}$	n
Допустимі значення	2..5	1..4	1..3	—	—	1..8
Прийняті значення	4	3	2	97045,04	0,133	1

$$K_{ндp} = \frac{4 * 3 * 2}{97045.04 * 0.133} = 0.001$$

Висновки. В дипломній роботі представлено планування НДР яка присвячена моделюванню регулятора потужності передавача в каналі радіозв'язку. Основна умова раціонального планування наукового дослідження роботи – скорочення термінів виконання розробок при мінімальних витратах матеріальних і грошових ресурсів. Для того щоб умова виконувалася було розглянуто наступні питання: визначення трудомісткості та тривалості НДР, та складання календарного графіка виконання, відобразити взаємозв'язок результатів всіх робіт необхідних для досягнення кінцевої мети проектування було побудовано інформаційно-динамічну модель – мережевий графік. В результаті встановлено тривалість розробки проекту по мережевому графіку становить 48 днів, при послідовному виконанні цієї роботи тривалість склала б 72 доби. На виконання НДР було затрачено суму у розмірі 69683,80 грн. Розрахунок економічної ефективності показав що проведена НДР дала високі результати ($R = 3$), які використовуються в дослідно-конструкторських роботах і вона являє собою велику важливість і технічно не дуже складна ($T = 1$).

Отже, можливо зробити висновок про доцільність та ефективність проведення дослідницьких робіт присвячених моделюванню регулятора потужності передавача в каналі радіозв'язку.

5.4 Економіко-математичне моделювання в управлінні діяльністю підприємства

Одними з найбільш розповсюджених методів стратегічного аналізу, планування та управління діяльністю сільськогосподарських підприємств підприємства являються методи економіко-математичного моделювання.

Значний внесок у розвиток практичного застосування економіко-математичного моделювання в економіці, фінансах зробили вчені, такі як: Б. Буркінський, Вітлінський В.В., Грабовецький Б. Є., В. Здрок, Н. Лепа, В. Осипов, Прокопов С. В. , Є. Слуцький, Туган – Барановський М. І. та інші. За допомогою економіко-математичних методів вони побудували свої теорії, провели практичні розрахунки, дали обґрунтовані висновки, здійснили прогнози й оцінили ризики багатьох економічних явищ і процесів.

Економіко-математичне моделювання є універсальним інструментом аналізу та дослідження виробничих та фінансово-господарських процесів і явищ. Широке використання математичних методів є важливим напрямком удосконалення економічного аналізу, який підвищує ефективність діяльності підприємств та їхніх підрозділів. Основними причинами швидкого поширення методів економіко-математичного моделювання є різке удосконалення сучасної економічної практики, викликане високим рівнем розвитку виробництва, зростанням темпів науково-технічного прогресу, вимогами підвищення ефективності використання природних ресурсів.

Модель – це спрощене представлення або абстракція реальності, умовний образ об'єкта, який створюється для більш глибокого вивчення дійсності. Математична модель дає змогу знаходити оптимальний варіант управлінського рішення, яке дає можливість забезпечити розвиток ситуації для ефективного досягнення мети.

Моделювання – це наукова теорія побудови і реалізації моделей, за допомогою яких досліджуються явища, процеси в природі і суспільному житті.

Побудова економіко-математичних моделей – складний процес, який вимагає глибоких знань з економічної теорії, предмета дослідження і математичного інструментарію.

За типом задач, які розв’язуються на виробничому підприємстві, можна виділити такі основні напрямки використання економіко-математичного моделювання:

- а) здійснення кількісного аналізу власного виробництва і використання виробничих потужностей на основі балансових матричних математичних моделей;
- б) вибір перспективних напрямків виробництва й стратегії фінансової діяльності з використанням прогнозуючих математичних моделей;
- в) оптимізація техніко-економічного планування з різною деталізацією часу;
- г) прогнозування вибору оптимального кредитного механізму;
- д) прогнозування оптимальної поведінки на ринках виробничих ресурсів та виробленої продукції.

Математичне моделювання фінансової діяльності підприємства можна подати у вигляді комплексу задач, розв’язання яких треба здійснити трьома етапами. На першому етапі визначають призначення і специфіку моделей, математичний апарат та інформаційне забезпечення, які використовуватимуться у дослідженні, основні напрямки і тенденції у розробленні й використанні моделей, напрямки та методи проведення дослідження. Другий етап передбачає дослідження моделей, виявлення та оцінку можливостей економіко-математичного інструментарію аналізу фінансової діяльності підприємства. На третьому етапі досліджується можливість і необхідність створення системи фінансових моделей, забезпечується узгодженість їх функціонування, розробляється проект моделі системи, яка вивчається.

Економіко-математичні методи і моделі дають такі можливості:

- а) точно і компактно викласти положення економічної теорії;

- б) формально описати зв'язки між економічними змінними;
- в) розв'язати задачі оптимізації планування та управління, відображаючи специфіку виробничих процесів;
- г) своєчасно реагувати на зміни цілей, обмежень на ресурси, залежностей між параметрами та адекватно коректувати плани й управлінські рішення;
- д) отримати інформацію про об'єкт, його функціонування;
- е) спрогнозувати об'єкт і його поведінку в майбутньому.

Отже, фінансовий успіх підприємства, його місце на ринку значною мірою залежить від правильної стратегії поведінки. Для вибору раціональних варіантів управління підприємством необхідно прогнозувати можливі ситуації, впливати на них, спрямовуючи його господарську діяльність на досягнення поставленої мети. Виконувати раціональне управління всією економіко-виробничою системою з урахуванням змін кожного виду елементів, вирішення конфліктних ситуацій без застосування економіко-математичного інструментарію неможливо.

Приклад. Нехай потрібно визначити план випуску чотирьох видів продукції: А, В, С, D курси трьох видів: трудові, матеріальні, фінансові, Кількість кожного і-го виду ресурсу для виробництва кожного j-го виду про для виготовлення яких використовуються ресурси називають нормою витрати і позначають a_{ij} .

Норми витрати і наявність ресурсів наведено в таблиці 5.12.

Таблиця 5.12 – Норми витрати і наявність ресурсів

Ресурси	Вид продукції				Запас ресурсу
	А	В	С	Д	
Трудові	6	4	2	1	800
Матеріальні	7	9	11	5	2000
Фінансові	3	4	9	6	12000
Кордон:	1	—	3	—	—
нижня	12	2	—	—	—
верхня					
План	x_1	x_2	x_3	x_4	—

Для випуску одиниці продукції, виду А потрібно шість одиниць трудових ресурсів, С– 11 одиниць матеріальних ресурсів і т. д.

Підприємство має у своєму розпорядженні 12000 одиницями фінансових ресурсів, 2000 одиницями матеріальних, 800 одиницями трудових.

Виходячи з ринкового попиту і виробничо-технологічних можливостей, задані верхні і нижні граничні межі випуску кожного виду продукції.

На підставі вихідних даних потрібно скласти математичну модель для визначення плану випуску продукції.

Рішення: так як x_1, x_2, x_3, x_4 – кількість продукції, що випускається видів А, В, С, D, яке необхідно визначити обсяг продукції, максимізує прибуток.

Складемо обмеження.

З таблиці видно, що для випуску одиниці продукції А потрібно 6 одиниць трудових ресурсів, В, С, D відповідно 4, 2, 1 одиниць трудових ресурсів. Тоді трудовий ресурс, необхідний для випуску всіх видів продукції буде дорівнювати $6x_1 + 4x_2 + 2x_3 + x_4$.

Існують обмеження на відповідний ресурс:

$$6x_1 + 4x_2 + 2x_3 + x_4 \leq 800 \quad (5.6)$$

Складемо аналогічні залежності для інших видів ресурсів і додати гранично-допустимі значення випуску кожного виду продукції, то отримаємо систему:

$$\begin{cases} 6x_1 + 4x_2 + 2x_3 + x_4 \leq 800 \\ 7x_1 + 9x_2 + 11x_3 + 5x_4 \leq 2000 \\ 3x_1 + 4x_2 + 5x_3 + 6x_4 \leq 12000 \end{cases} \quad (5.7)$$

$$1 \leq x_1 \leq 12, x_2 \leq 2, x_3 \geq 3, x_4 \geq 0 \quad (5.8)$$

В системі нерівностей, що встановлюють залежності для ресурсів, називаються обмеженнями, а гранично-допустимі значення змінних – граничними умовами.

В обмеженнях ліві частини нерівності – потрібні ресурси, а праві розташовувані.

Розглянемо систему виду

$$\begin{cases} 6x_1 + 4x_2 + 2x_3 + x_4 + x_5 \leq 800 \\ 7x_1 + 9x_2 + 11x_3 + 5x_4 + x_6 \leq 2000 \\ 3x_1 + 4x_2 + 5x_3 + 6x_4 + x_7 \leq 12000 \end{cases} \quad (5.9)$$

де $1 \leq x_1 \leq 12$, $x_2 \leq 2$, $x_3 \geq 3$, $x_4 \geq 0$, $x_5 \geq 0$, $x_6 \geq 0$, $x_7 \geq 0$.

В цій системі рівнянь в порівнянні з попередньою введені врівноважують змінні, тобто резерви по ресурсах.

Таким чином, сума резервів $x_5 \geq 0$, $x_6 \geq 0$, $x_7 \geq 0$ буде збільшуватися при мінімізації використовуваних ресурсів.

Очевидно, що система, яка містить три рівняння і сім змінних, має незліченну безліч рішень, тобто різних варіантів плану. Всі ці можливі варіанти, що включають задовольняють системі значення основних і додаткових змінних, є допустимими планами.

6 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

6.1 Аналіз потенційних небезпек

Оскільки тема дипломного проекту «Нечітка логіка в системах ФАПЧ», передбачає проведення робіт в приміщенні (лабораторії), обладнаному персональними комп'ютерами з візуальними дисплейними терміналами, тому нижче розглянемо заходи щодо забезпечення безпеки, виробничої санітарії, гігієні праці і пожежної безпеки для приміщення (лабораторії) з персональними комп'ютерами.

На основі аналізу роботи існуючого устаткування і технологічних процесів в приміщенні (лабораторії) обладнаному персональними комп'ютерами з візуальними дисплейними терміналами, згідно ГОСТ 12.0.003-74 (1999) «Небезпечні і шкідливі виробничі чинники» що всі виникають у виробничих умовах небезпечні і шкідливі чинники підрозділяються за природою дії на наступні групи.

Ураження електричним струмом. Може виникнути у разі несправності оргтехніки, неправильного проведеного або відсутнього заземлення, порушення ізоляції дротів або порушення правил техніки безпеки робітником. Внаслідок ураження електричним струмом можливе отримання електроудару.

Механічні травми. Виникають внаслідок неправильної організації робочого місця працівника. Призводять до забоїв, вивихів чи переломів кінцівок.

Статичні фізичні перевантаження. Виникають в наслідок порушень у організації робочого місця, монотонністю роботи коли від робітника потребується тривале статичне напруження м'язів шиї, спини, рук та ніг. Призво-

дять до надмірної перевтоми, захворювань кістково-м'язової системи організму.

Психологічні перевантаження. Викликані стресовими ситуаціями, складними відносинами у колективі, нервовими перевантаженнями, надмірним ускладненням робочого процесу. Призводять до загальних захворювань нервової системи, головного болю, підвищеної втомлюваності, втрати уваги.

Вплив електромагнітного випромінювання (ЕМВ). Обумовлений тривалою роботою людини у приміщенні з великою кількістю електронної апаратури та комп'ютерів. Може призводити до порушення психічного стану людини та різних захворювань загального характеру.

Незадовільна ергономічність робочого місця. Неправильна організація робочого місця і порядку роботи може приводити до захворювань нервової системи, таким як стрес, стенокардія і головні болі, захворюванням кістково-м'язової системи: ревматизм, захворюванням очей: комп'ютерний зоровий синдром (КЗС), короткозорість.

Недостатня освітленість робочого місця. Обумовлена виходом з ладу ламп освітлення, неправильною розстановкою освітлювальних приладів чи недотриманням режиму праці. Може призвести до зниження чутливості та появи захворювань органів зору.

Незадовільні кліматичні умови. Можуть бути викликані недостатньою вентиляцією робочого приміщення, слабким опаленням взимку або недостатнім кондиціонуванням повітря влітку. Можуть викликати захворювання органів дихання, призводити до зниження імунітету.

Можливість загоряння. Обумовлена можливістю коротких замикань у обладнанні, наявністю устаткування з високою температурою роботи, порушеннями техніки безпеки. Може призвести до виникнення опіків тіла різної ступені тяжкості чи отруєнню чадним газом.

Неправильні дії персоналу в умовах пожежі. Виникають внаслідок недотримання правил евакуації з палаючого приміщення. Призводять до виникнення паніки та давки серед людей, що евакуюються.

6.2 Заходи по забезпеченню безпеки

Забезпечення електробезпеки обладнання, що використовується та вибір технічних методів та засобів захисту виконується відповідно до вимог, що приведені у ДСТУ 7237:2011 «Система стандартів безпеки праці. Електробезпека. Загальні вимоги та номенклатура видів захисту».

Умови експлуатації електроустаткування повинні відповідати вимогам НПАОП 40.1 – 1.21 – 98. «Правила безпечної експлуатації електроустановок споживачів».

Заземлення електрообладнання виконується згідно з СОУ 31.2 – 21677681 – 19:2009 «Випробування та контроль стану пристроїв заземлення електроустановок» з опором контуру $\leq 4,0$ Ом.

У приміщенні згідно з НПАОП 40.1 – 1.21 – 98 «Система стандартів безпеки праці. Електробезпека. Загальні вимоги та номенклатура видів захисту.» передбачений пристрій централізованого відключення від електромережі усіх споживачів електроенергії.

Усі електричні дроти, що перебувають під небезпечною напругою надійно ізольовані або розташовані на висоті більше двох метрів для виключення можливості випадкового доторкання до них.

Для попередження ураження електричним струмом усі працівники повинні досконало вивчити правила техніки безпеки при роботі з електроустаткуванням та пройти інструктаж з атестацією на групу допуску (II– група).

Для попередження механічних травм необхідно забезпечити дотримання робітниками правил безпеки на робочому місці згідно з ГОСТ 50923 – 96 «Дисплеї. Робоче місце оператора. Загальні ергономічні вимоги та

вимоги до в виробничого середовища. Методи вимірювання». Потрібно раціонально організувати робочі місця, слідкувати за тим, щоб проходи у приміщенні завжди були вільними.

Статичні фізичні перевантаження виникають внаслідок обмеженої рухової активності робітників на робочому місці чи одноманітному навантаженню на деякі групи м'язів. Для зменшення шкідливого впливу цього фактору необхідно вводити перерви у роботі, у які виконувати комплексні фізичні вправи, що попереджують гіподинамію.

Для усунення нервових психологічних перевантажень вводяться перерви у роботі для виконання фізичних вправ та зміни уваги, також робітники чередують рід діяльності.

6.3 Заходи по забезпеченню виробничої санітарії та гігієни праці

Вплив електромагнітного випромінювання (ЕМВ) зменшено згідно СанПиН 2.2.42.1.8.055 – 96 «Електромагнітні випромінювання радіочастотного діапазону»: рекомендується, щоб екран дисплея знаходився від очей користувача на відстані не ближче, ніж 50-70 см. Тривалість безперервної роботи з ПЕОМ не повинна перевищувати 2 г. Враховуючи, що від випромінювання з боку екрану монітора можна захистити застосуванням спеціальних фільтрів, необхідно, щоб користувач розміщався від бічних і задніх стінок інших дисплеїв на відстані не менше 1м.

Незадовільна ергономічність робочого місця. Неправильна організація робочого місця і порядку роботи може приводити до захворювань нервової системи, таким як стрес, стенокардія і головні болі, захворюванням кістково-м'язової системи: ревматизм, захворюванням очей: комп'ютерний зоровий синдром (КЗС), короткозорість. Правильне положення тіла дуже важливе при тривалій роботі з ПЕВМ. Необхідно слідувати рекомендаціям ергономіки в організації робочого місця.

Недостатня освітленість робочого місця. Обумовлена виходом з ладу ламп освітлення, неправильною розстановкою освітлювальних приладів чи недотриманням режиму праці. Може призвести до зниження чутливості та появи захворювань органів зору. Слід передбачити наявність сонцезахисних засобів, що знижують перепади яскравостей між природним світлом та свіченням екрана ЕОМ. Робоче місце оператора ЕОМ повинно бути розташоване так, щоб в поле зору не потрапляли вікна або освітлювальні прилади згідно ДБН В.2.5 – 28 – 2006. «Інженерне обладнання будинків і споруд. Природне і штучне освітлення». Значення освітленості на поверхні робочого столу в зоні розміщення документів має становити 300-500 лк. При цьому світильники місцевого освітлення слід встановлювати таким чином, щоб не створювати відблисків на поверхні екрана, а освітленість екрана має не перевищувати 300 лк.

Незадовільні кліматичні умови. Можуть бути викликані недостатньою вентиляцією робочого приміщення, слабким опаленням взимку або недостатнім кондиціонуванням повітря влітку. Можуть викликати захворювання органів дихання, призводити до зниження імунітету. У виробничих приміщеннях на робочих місцях з комп'ютерною технікою мають забезпечуватись оптимальні значення параметрів мікроклімату: температура $+22...+24^{\circ}\text{C}$, відносна вологість повітря 40...60%, швидкість руху повітря 0,1...0,2 м/с (ГОСТ 12.1.005– 88 «ССБТ. Загальні санітарно-гігієнічні вимоги до повітря санітарної зони», ДСН 3.3.6.042– 99 «Санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень»), рівень позитивних і негативних іонів у повітрі 1,5...3 тис./см³ та 3...5 тис./см³ відповідно (ГН 2152– 80).

Для визначення скільки комп'ютеризованих робочих місць, оснащених відеодисплейними терміналами (ВДТ) можна встановити у приміщенні і як їх розташувати відповідно до встановлених норм та правил з охорони праці. Розміри приміщення: довжина $a = 6$ м, ширина $b = 5,5$ м, висота $h = 4,5$ м.

Розрахунок повітрообміну в приміщенні виконується по формулі

$$L = n \cdot S \cdot H, \quad (6.1)$$

де: L – Необхідна продуктивність припливної вентиляції, м³/ч;

n – нормована кратність повітрообміну:

для житлових приміщень – від 1 до 2, для офісів – від 2 до 3;

S – площа приміщення, м²;

H – висота приміщення, м;

$$L = 2 \cdot 33 \cdot 4.5 = 297 \text{ м}^3/\text{ч}$$

Відповідно до НПАОП 0.00 – 1.28 – 10 «Правила охорони праці під час експлуатації електронно-обчислювальних машин» є неприпустимим розташування приміщень, призначених для роботи з ВДТ у підвалах та цокольних поверхах. Також забороняється розташування вибухонебезпечних приміщень категорії А і Б (НАПБ Б.03.002 – 2007 «Нормы определения категорий помещений, зданий и наружных установок по взрывопожарной и пожарной безопасности») та виробництв з мокрими технологічними процесами поряд з приміщенням, де розташовуються ЕОМ (ПЕОМ), а також над такими приміщеннями, або під ними. Окрім того, виробничі приміщення для роботи з ВДТ не повинні межувати з приміщеннями, у яких рівень шуму і вібрації перевищує допустимі значення.

Вибране приміщення відповідає вищезазначеним вимогам, тому переходимо до наступного етапу, а саме, до визначення кількості комп'ютеризованих робочих місць, що можна розмістити в даному приміщенні. Оскільки площа приміщення становить $S_{\text{пр}} = 33 \text{ м}^2$, а площа, на якій розташовується одне робоче місце з ВДТ, згідно з ДСанПіН 3.3.2.007–98 «Державні санітарні правила і норми роботи з візуальними дисплейними терміналами електронно-обчислювальних машин» повинна становити не менше $6,0 \text{ м}^2$, то в даному приміщенні можна розмістити щонайбільше п'ять комп'ютеризованих робо-

чих місць. Такої кількості достатньо для технічного переоснащення виробництва.

Перевіримо, чи відповідає це число нормативу щодо мінімального об'єму приміщення на одне робоче місце з ВДТ, згідно з ДСанПіН 3.3.2.007–98 «Державні санітарні правила і норми роботи з візуальними дисплейними терміналами електронно-обчислювальних машин» ($V_{P.M.Min} = 20 \text{ м}^3$). Об'єм приміщення становить $148,5 \text{ м}^3$, а об'єм, що припадає на одне комп'ютеризоване робоче місце – $V_{P.M.} = 29,7 \text{ м}^3$. Таким чином норматив щодо об'єму приміщення на одне робоче місце з ВДТ виконується.

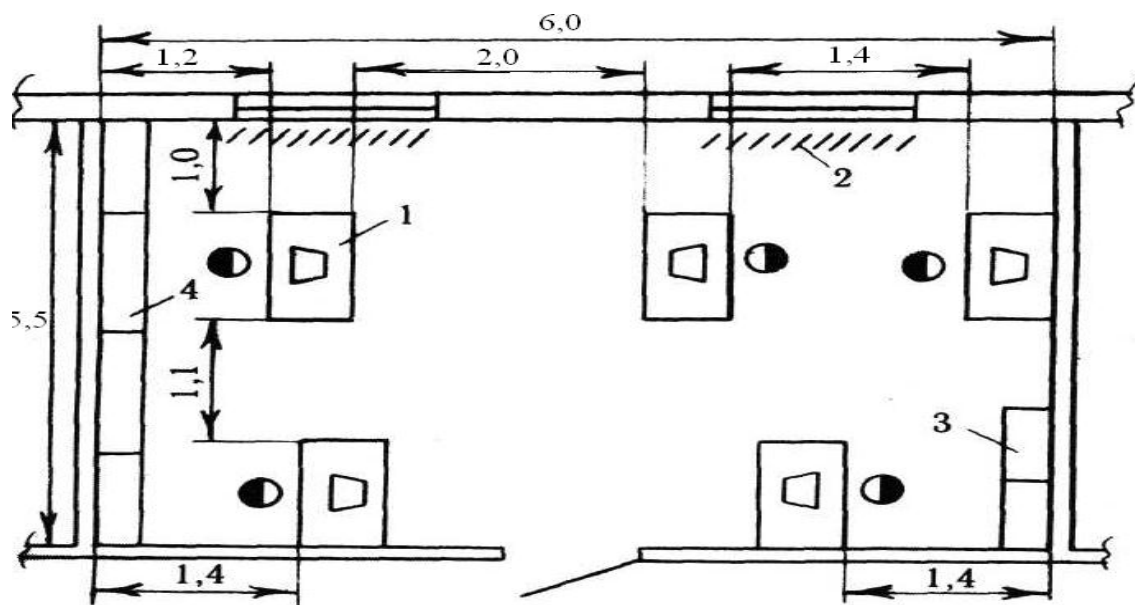
Планування розміщення комп'ютеризованих робочих місць у приміщенні проводимо із врахуванням наступних вимог:

- а) робочі місця з ВДТ розміщуються на відстані не менше 1 м від стіни зі світловими прорізами;
- б) відстань між бічними поверхнями ВДТ має бути не менше за 1,2 м;
- в) відстань між тильною поверхнею одного ВДТ та екраном іншого не повинна бути меншою за 2,5 м;
- г) прохід між рядами робочих місць має бути не меншим 1 м.

Необхідно також врахувати розміри меблів на комп'ютеризованих робочих місцях, зокрема робочого столу. Відповідно до НПАОП 0.00– 1.28– 10 «Правила охорони праці під час експлуатації електронно-обчислювальних машин» рекомендовані розміри столу для робочого місця з ВДТ становлять: висота – 725 мм, ширина – 600-1400 мм, глибина – 800-1000 мм. Приймаємо, що робочий стіл має такі розміри: ширина – 1200 мм, глибина – 800 мм.

Найкраще розмістити комп'ютеризовані робочі місця рядами вздовж стіни з вікнами. Це дасть змогу унеможливити дзеркальне відбиття на екрані ВДТ джерел природного світла (вікон) та потрапляння останніх у поле зору операторів, що погіршує умови їх зорової роботи.

На рисунку 6.1 наведено план виробничого приміщення з комп'ютеризованими робочими місцями.



1 – комп'ютеризоване робоче місце з ВДТ; 2 – сонцезахисні жалюзі; 3 – шафи для зберігання дискет та програмного забезпечення; 4 – шафи для зберігання документації та фахової літератури.

Рисунок 6.1 – План виробничого приміщення з комп'ютеризованими робочими місцями

6.3.1 Заходи з пожежної безпеки

У залежності від меж вогнестійкості будівельних конструкцій СНиП 2.01.02 – 85 «Противопожечні норми проектування будівель і споруд» частин будинків іншого призначення, у яких передбачене розміщення ЕОМ, запроєктований II ступень вогнестійкості.

Обладнання лабораторії відповідає вимогам Правил пожежної безпеки в Україні, оскільки виконано відповідно до ПУЕ «Електробезпека. Терміни і визначення».

Для виявлення загоряння і пожеж у приміщенні встановлена система автоматичної пожежної сигналізації з димовими пожежними сповіщувачами у двох місцях, оскільки площа приміщення становить приблизно 180 м².

У будинку пожежні крани запроектовані в коридорах, на площадках сходових кліток, біля входів (у нішах на висоті 1,35 м.).

В приміщенні встановлено 2 ручних вуглекислотних вогнегасника ВВ–5 на відстані 5 метрів один від одного.

6.3.2 Заходи з цивільної оборони

Організація дослідження стійкості роботи промислового об'єкта.

Оцінка стійкості роботи об'єкта – це всебічне вивчення підприємства з погляду здатності його протистояти впливу вражаючих факторів ядерного вибуху, відновлення виробництва при одержанні середніх і слабких руйнувань.

Мета дослідження складається в тому, щоб виявити уразливі місця в роботі об'єкта у воєнний час і виробити найбільш ефективні пропозиції і рекомендації, спрямовані на підвищення його стійкості. Надалі ці рекомендації включаються в план заходів щодо підвищення стійкості роботи об'єкта, що і реалізується.

Дослідження стійкості підприємств проводиться силами інженерно-технічного персоналу із залученням фахівців науково-дослідних і проектних організацій, пов'язаних із даним підприємством. Організатором і керівником дослідження є керівник підприємства – начальник ЦО об'єкта.

Весь процес планування і проведення дослідження можна розділити на три етапи: перший – підготовчий, другий – оцінка стійкості роботи об'єкта в умовах воєнного часу, третій – розробка заходів, що підвищують стійкість роботи об'єкта.

На першому етапі розробляються керівні документи, визначається склад учасників дослідження й організується їхня підготовка.

Основними документами для організації дослідження стійкості роботи об'єкта є: наказ керівника підприємства; календарний план основних заходів щодо підготовки до проведення дослідження; план проведення дослідження.

Календарний план підготовки до проведення дослідження визначає основні заходи і терміни їхнього проведення, відповідальних виконавців, сили і засоби, які беруть участь у поставлених задачах.

План проведення дослідження стійкості роботи об'єкта є основним документом. У плані вказуються: тема, мета і тривалість дослідження, склад слідчих груп і зміст їхньої роботи, порядок дослідження. Тривалість дослідження встановлюється в залежності від обсягу робіт і підготовленості учасників, залучених до виконання задач, і може складати два – три місяці.

Залежно від складу основних виробничо-технічних служб на об'єкті можуть створюватися такі дослідницькі групи:

- начальника відділу капітального будівництва;
- головного енергетика;
- головного технолога;
- головного механіка;
- відділу матеріально-технічного постачання та ін.

У підготовчий період з керівниками дослідницьких груп проводиться спеціальне заняття, на якому керівник підприємства доводить до виконавців план роботи, ставить задачу кожній групі та визначає терміни проведення дослідження.

На другому етапі проводиться безпосереднє дослідження стійкості роботи об'єкта у воєнний час.

У ході дослідження визначаються умови захисту робітників та службовців від зброї масового ураження. Виробляється оцінка стійкості виробничого комплексу при впливі на нього вражаючих факторів ядерного вибуху, визначається характер можливого ураження від вторинних вражаючих факторів, вивчається стійкість системи постачання і кооперативних зв'язків об'єкта

з підприємствами— постачальниками і зв'язків зі споживачами, виявляються уразливі місця в системі керування виробництвом.

Кожна група фахівців оцінює стійкість визначених елементів виробничого комплексу і робить необхідні розрахунки.

Група головного енергетика оцінює стійкість систем електропостачання, водопостачання і каналізації, подачі газу, інших видів палива, а також визначає можливий характер і масштаби їхніх руйнувань, у тому числі й від вторинних вражаючих факторів.

Група головного механіка оцінює стійкість технологічного устаткування, а також визначає: можливі утрати верстатів, приладів і систем автоматичного керування при різних ступенях руйнувань від впливу ударної хвилі та від вторинних вражаючих факторів; способи збереження і захисту особливо коштовного й унікального устаткування; потреба в силах і засобах, терміни й обсяг відбудовних робіт; можливість створення резерву устаткування і порядок маневрування їм.

Захист систем електропостачання, газопостачання, водопостачання. Захист основних систем життєзабезпечення від ударної хвилі здійснюється:

- заглибленням комунально-енергетичних мереж;
- створенням резервних джерел постачання електрикою, газом, водою;
- установкою запірно-регулюючих пристосувань;
- подача енергоносіїв із різних напрямків (не менш двох);
- пристрій роздільних систем.

Впливу світлового випромінювання піддаються всі елементи інженерно-технічного комплексу промислового об'єкта. Тому для захисту об'єкта від світлового випромінювання проводяться визначені заходи.

Для підприємств, виробнича діяльність яких у воєнний час може продовжуватися в умовах впливу радіоактивного, хімічного і бактеріологічного зараження, проводяться такі захисні заходи:

- герметизація основних виробничих будинків і споруджень;

- установка фільтрів-поглиначів у систему приточно-витяжної вентиляції;
- установка герметичних засувки у системі вентиляції;
- підготовка пристроїв по знезаражуванню води;
- створення запасів дезактивуючих, що дегазують і дезінфікують речовини, підготовка технічних засобів;
- розробка можливих режимів захисту робітників та службовців в умовах радіоактивного зараження;
- забезпечення усього виробничого персоналу засобами індивідуального захисту.

6.4 Висновки з розділу «Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях»

1. Для попередження поразки електричним струмом необхідні:
 - а) ізоляція струмоведучих частин НПАОП 40.1– 1.21– 98 «Система стандартів безпеки праці. Електробезпека. Загальні вимоги та номенклатура видів захисту.»;
 - б) захисне відключення НПАОП 40.1– 1.21– 98 «Система стандартів безпеки праці. Електробезпека. Загальні вимоги та номенклатура видів захисту.»;
 - в) захисне заземлення, виконане згідно СОУ 31.2– 21677681– 19:2009 «Випробування та контроль стану пристроїв заземлення електроустановок.» і становить 4 Ом;
 - г) досконале знання робітниками техніки безпеки при роботі з електрообладнанням та проходження інструктажу по електробезпеці з атестацією на групу допуску.
2. Для попередження появи механічних травм усе офісне обладнання розташоване доцільно, робочі місця організовані раціонально. Здійснюється

контроль за захаращеністю коридорів та за виконанням робітниками техніки безпеки на робочому місці згідно з ГОСТ Р 50923– 96 «Робоче місце оператора. Загальні ергономічні вимоги і вимоги до виробничого середовища. Методи виміру».

3. Щоб запобігти кістково-м'язовим порушенням ведені паузи для виконання комплексу вправ, спрямованих на м'язову роботу (5 хвилин на 1 годину), а також передбачена конструкція сидіння, що відповідає антропометричним даним і гігієнічним вимогам відповідно до вимог ДСТУ 12.2.032– 78 «Робоче місце при виконанні робіт сидячи».

4. Для запобігання появи фізичних перевантажень та нервових перевантажень вводяться паузи для виконання комплексу вправ, у конструкцію устаткування робочого місця входять сидіння, що враховує індивідуальні антропометричні характеристики людини відповідно до вимог ДСТУ 12.2.032 – 78 «Робоче місце при виконанні робіт сидячи».

5. Для поліпшення ергономічності робочого місця правильне положення тіла дуже важливе при тривалій роботі з ПЕВМ, необхідно слідувати рекомендаціям ергономіки в організації робочого місця згідно ГОСТ Р 50923 – 96 «Дисплеї. Робоче місце оператора. Загальні ергономічні вимоги і вимоги до виробничого середовища».

6. Для нормального освітлення робочого місця, освітлення має бути змішаним (природним і штучним). Природне освітлення повинне здійснюватися у вигляді бічного освітлення і відповідати нормальним рівням за ДБН В.2.5 – 28:2018. «Інженерне обладнання будинків і споруд. Природне і штучне освітлення». Значення освітленості на поверхні робочого столу в зоні розміщення документів має становити 300-500 лк. При цьому світильники місцевого освітлення слід встановлювати таким чином, щоб не створювати відблисків на поверхні екрана, а освітленість екрана має не перевищувати 300 лк.

7. Для створення сприятливих умов мікроклімату у приміщенні ДСН 3.3.6.042 – 99 «Санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень» забезпечуються оптимальні значення таких параметрів, як:

- температура $+22...+24^{\circ}\text{C}$;
- відносна вологість повітря 40...60%;
- швидкість руху повітря 0,1...0,2 м/с (ГОСТ 12.1.005 – 88, СН 4088 – 8Є, ДСН 3.3.6.042 – 99);
- рівень позитивних і негативних іонів у повітрі 1,5...3 тис/см³ та 3...5 тис/см³.

Для забезпечення постійних параметрів мікроклімату (температури, вологості, швидкості руху і чистоти повітря) у приміщенні встановлений побутовий кондиціонер LG типу V18LH.

8. Для попередження негативного впливу ЕМП та ЕМВ використовується Acer eMachines E725 – 452G25Mikk з рівнем ЕМВ безпечним для здоров'я людини відповідно нормам МРК ІІ 1990:10 Шведського національного комітету по вимірах і випробовуваннях, ДНАОП 0.00 – 1.31 – 99 та ДСанПіН 3.3.2.007 – 98.

9. Для попередження загорянь дільниця обладнана відповідно до СНіП 2.09.02 – 85 «Производственные здания» та СНіП 2.01.02 – 85 «протипожежні норми». Для виявлення загорання і пожеж у приміщенні встановлена система автоматичної пожежної сигналізації з димовими пожежними оповіщувачами у двох місцях, оскільки площа приміщення становить 180 м². У будинку лабораторії розташовані пожежні крани. В приміщенні лабораторії встановлено ручні вуглекислотні вогнегасники.

10. При виникненні надзвичайної ситуації внаслідок землетрусу (ГОСТ Р 22.0.02 – 94). здійснюються спеціальні служби на території підприємства, негайно сповіщується і евакуюється робочий персонал підприємства, залучаються належні способи боротьби з наслідками аварії.

ВИСНОВКИ

В ході даної дипломної роботи було проведено дослідження нечітких регуляторів і можливість їх застосування в системах автоматичного керування. Розглянуто приклад застосування нечіткого контролера в системі автоматичного регулювання потужністю передавача. Розглянуто вплив функцій приналежності для вхідних змінних на результат роботи нечіткого контролера. Також розглянуто процес оптимізації і настройки нечіткого регулятора, проведений порівняльний аналіз різних варіацій налаштування контролера і застосування різних функцій приналежності. В залежності від необхідних нам характеристик системи автоматичного управління, ми можемо застосовувати різні настройки нечіткого контролера і алгоритми обробки, що в підсумку впливає на швидкодію і точність системи.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Гостев В.І. Нечеткие регуляторы в системах автоматического управления [Текст] / В.І. Гостев. – К.: Радиоаматор, 2008. – 971 с.
2. Коновалов Г.Ф. Радиоавтоматика [Текст] / Г.Ф. Коновалов. – М.: Высшая школа, 1990. – 333 с.
3. Гостев В.І. Определение управляющих воздействий на выходе нечеткого регулятора при идентичных возведенных в степень треугольных функциях принадлежности [Текст] / В.І. Гостев. – К.: Вісник Хмельницького національного університету, 2007. – №2. – 300 с.
4. Куо Б. Теория и проектирование цифровых систем управления [Текст] / Б. Куо. – М.: Машиностроение, 1986. – 448 с.
5. Зайцев Г.Ф. Радиоавтоматика [Текст] / Г.Ф. Зайцев, Г.М. Арсеньев, В.Г. Кривуца, В.Л. Булгач. – К.: ГУИКТ, 2004. – Том 1. – 523 с.
6. Заде Л. Понятие лингвистической переменной и его применение к принятию приближенных решений [Текст] / Л. Заде. – М.: «Мир» 1976. – 165 с.
7. Дьяконов В. Математические пакеты расширения MATLAB. Специальный справочник [Текст] / В. Дьяконов, В. Круглов. – Спб.: Питер, 2001. – 480 с.
8. Дьяконов В.П. MATLAB 6/6.1/6.5+SIMULINK 4/5 в математике и моделировании. Полное руководство пользователя [Текст] / В.П. Дьяконов. – М.: СОЛОН-Пресс, 2003. – 546 с.
9. Дорф Р. Современные системы управления; пер. с англ [Текст] / Р. Дорф, Р. Бишоп. – М.: Лаборатория Базовых Знаний, 2002. – 832 с.
10. Депутат О.П. Цивільна оборона: навчальний посібник [Текст] / О.П. Депутат, І.В. Коваленко, І.С. Мужик; за ред. В.С. Франчука, 2-ге вид.доп. – Львів: Афіша, 2001. – 336 с.

11. Касьян Е.М. Методические указания по экономическому обоснованию дипломных проектов для студентов специальностей 7.091501 «Компьютерные системы и сети», 7.091503 «Специализированные компьютерные системы» [Текст] / Е.М. Касьян, Т.А. Антоненко, В.В. Остапенко.– Запорожье: ЗНТУ, 2000. – 23 с.