

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
УЖГОРОДСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ІНЖЕНЕРНО-ТЕХНІЧНИЙ ФАКУЛЬТЕТ
КАФЕДРА ПРИЛАДОБУДУВАННЯ

ДО ЗАХИСТУ ДОПУЩЕНО

Завідувач кафедри

«__» _____ 2023 р.

ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА

до кваліфікаційної магістерської роботи

на тему:

ОПТИМІЗАЦІЯ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ ПРАЛЬНОЮ МАШИНОЮ

Виконав:

Шемет Андрій Васильович
(прізвище, ім'я, по-батькові)

(підпис)

Науковий керівник:

Професор Іваницький В.П.
(вчене звання, ПІБ, посада)

(підпис)

Ужгород – 2023

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка кваліфікаційної магістерської робота містить:
61 сторінка, 22 рисунки, 2 таблиці, 6 додатків, 12 джерел посилань

КЕРУВАННЯ, АВТОМАТИЗАЦІЯ. ПРАЛЬНА МАШИНА. НЕЧІТКА ЛОГІКА

Об'єкт досліджень – пристрій для оптимізації автоматичними режимами роботи пральної машини.

Мета досліджень - розробити оптимізовану систему автоматичного керування пральною машиною на основі мікроконтролера з нечіткою логікою побудови алгоритму.

Методи досліджень – теоретичний аналіз принципів нечіткої логіки, математичне моделювання, створення концепції оптимізації режимів пральної машини, проектування структурної схеми, розробка алгоритму та програми мікроконтролера.

Отримані результати. Проведений аналіз виявив основні недоліки систем автоматичного керування сучасними пральними машинами: відсутність вимірювання маси завантаженої в барабан білизни, ступеня забруднення та типу забруднення білизни. Врахування відмічених параметрів може суттєво підвищити економічні показники процесу прання. Для усунення виявлених недоліків розроблена концепція оптимізації системи керування пральними машинами на основі застосування принципів «нечіткої» логіки та «нечітких» контролерів. Для оптимізації запропоновано ввести до системи керування давачі ступеня та типу забруднення білизни і давач її маси.

Розроблено структурну схему оптимізованої системи керування пральною машиною та створено алгоритми функціонування мікроконтролера за оптимізованим варіантом системи керування. Запропоновано принципи взаємодії базового контролера пральної машини із мікроконтролером «нечіткої» логіки при реалізації оптимізованих режимів прання.

ABSTRACT

The magister's thesis contains: 61 pages, 2 tables, 22 figures, 6 additions, 12 reference sources

CONTROL. AUTOMATION. WASHING MACHINE. FUZZY LOGIC

The object of research is a device for optimizing the automatic modes of operation of a washing machine.

The purpose of research is to develop an optimized system of automatic control of a washing machine based on a microcontroller with fuzzy algorithm construction logic.

Research methods – theoretical analysis of the principles of fuzzy logic, mathematical modeling, creation of the concept of optimization of washing machine modes, structural diagram design, algorithm and microcontroller program development.

The results obtained. The analysis revealed the main shortcomings of the automatic control systems of modern washing machines: the lack of measurement of the mass of laundry loaded into the drum, the degree of contamination and the type of contamination of the laundry. Taking into account the noted parameters can significantly increase the economic indicators of the washing process. To eliminate the identified shortcomings, the concept of optimization of the washing machine control system was developed based on the application of the principles of "fuzzy" logic and "fuzzy" controllers. For optimization, it is proposed to introduce into the control system sensors of the degree and type of laundry contamination and a sensor of its mass.

The structural diagram of the optimized control system of the washing machine was developed, and the algorithms of the microcontroller functioning according to the optimized version of the control system were created. The principles of interaction of the basic controller of the washing machine with the "fuzzy" logic microcontroller during the implementation of optimized washing modes are proposed.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	8
1 АНАЛІТИЧНИЙ АНАЛІЗ ЗА ТЕМАТИКОЮ РОЗРОБКИ.....	10
1.1 Роль контролю маси завантаженої білизни для оптимальної експлуатації пральних машин.....	10
1.2 Системи керування на основі «нечіткої логіки».....	11
1.3 Огляд автономних модулів керування пральними машинами.....	14
1.3.1 Мікроконтролерний модуль керування пральною машиною.....	15
1.3.2 Спеціалізований модуль керування для пральних машин БУСМ-4.....	18
1.3.3 Універсальний електронний блок керування пральними	19
2 ДОСЛІДЖЕННЯ ПРИНЦИПІВ ВИКОРИСТАННЯ «НЕЧІТКОЇ» ЛОГІКИ ДЛЯ ПРОЕКТУВАННЯ СУЧАСНИХ СИСТЕМ АВТОМАТИЗАЦІЇ.....	23
2.1 Базові поняття нечіткої логіки.....	23
2.2 Використання нечітких множин у системах автоматизації.....	25
2.3 Нечіткі мікроконтролери та їх структура.....	29
3 РОЗРОБКА ЕЛЕМЕНТІВ НЕЧІТКОГО КОНТРОЛЕРА ДЛЯ ОПТИМІЗАЦІЇ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ.....	34
4 АНАЛІЗ ТЕХНІЧНИХ РІШЕНЬ ВИМІРЮВАННЯ ВАГИ ЗАВАНТАЖЕНОГО ОДЯГУ БЕЗПОСЕРЕДНЬО В ПРАЛЬНІЙ МАШИНІ.....	40
5 РОЗРОБКА БЛОК-СХЕМИ, СТРУКТУРНОЇ СХЕМИ ТА АЛГОРИТМУ.....	48
ПРОГРАМИ ФУНКЦІОНУВАННЯ ОПТИМІЗОВАНОЇ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ	
5.1 Блок-схема функціонування оптимізованої системи керування.....	48
5.2 Алгоритм оптимізованої частини програми контролера пральної машини.....	49
5.3 Розробка структурної схеми оптимізованої системи керування.....	52

					КМР.АКІТ.10539872.01.000 ПЗ				
		Прізвище ім'я	Підпис	ДатаД					
Розробив	Шебет А.В.				Оптимізація системи керування пральною машиною Пояснювальна записка	Літера	Аркуш	Аркушів	
Перевірив	Іваницький В.П.					у	6	61	
Т. контроль						ІТФ, кафедра ПБ, 2 курс магістри денна форма			
Н. контроль									
Затвердив	Чичура І.І.								

6 ВИБІР МІКРОКОНТРОЛЕРА «НЕЧІТКОЇ» ЛОГІКИ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ ТА ЙОГО ПРОГРАМУВАННЯ.....	54
ВИСНОВКИ.....	58
Перелік джерел посилань.....	60
Додаток А СТРУКТУРНА СХЕМА ФУНКЦІОНУВАННЯ ОПТИМІЗОВАНОЇ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ	
Додаток Б АЛГОРИТМ РОБОТИ ОПТИМІЗОВАНОЇ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ В ЧАСТИНІ ВИЗНАЧЕННЯ ВАГИ БІЛИЗНИ	
Додаток В АЛГОРИТМ РОБОТИ ОПТИМІЗОВАНОЇ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ В ЧАСТИНІ ВИЗНАЧЕННЯ ПАРАМЕТРІВ ЗАБРУДНЕННЯ БІЛИЗНИ	
Додаток Г СТРУКТУРНА СХЕМА ОПТИМІЗОВАНОЇ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ	
Додаток Д ВІДОМІСТЬ ДОКУМЕНТІВ	

					КМР.АКІТ.10539872.01.000 ПЗ	Арк.
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		7

ВСТУП

Більшість фірм-виробників сучасних пральних машин не розкривають повну технічну інформацію на свою продукцію. Це стосується:

- електричних принципових схем модулів;
- опису загального алгоритму керування;
- алгоритмів функціонування складових компонентів і модулів;
- принципів взаємодії електричних, електронних, механічних, гідравлічних та інших вузлів;
- алгоритму пошуку несправностей;
- програми роботи контролера та інше.

Тому технічне завдання оптимізації режимів роботи пральних машин, алгоритму їх функціонування чи програмного коду керування є досить непростим. Складність проблеми обумовлюється також дуже високими темпами розвитку нових сучасних моделей побутових пральних машин. Особливо це відноситься до модифікацій їх електроприводів. Сучасні тенденції вдосконалень в цьому напрямку пов'язані:

- зі зменшенням витрат електричної енергії;
- з підвищенням надійності механізмів і довговічності їх роботи;
- зі зменшенням собівартості продукції;
- з введенням ресурсозберігаючих технологій;
- зі створенням більш ефективних алгоритмів та програмних кодів їх функціонування тощо.

Однак, мало хто звертає увагу на те, що побутові пральні машини досить часто працюють в умовах неповного часткового завантаження барабана білизною, у порівнянні з максимальною дозволеною кількістю, для якої дана машина спроектована. Це призводить до перевитрат води, миючих засобів і електроенергії. А всі ці три показники суттєво впливають на екологічний стан нашого довкілля. Тому метою нашої роботи ставилася оптимізація системи

					КМР.АКІТ.10539872.01.000 ПЗ	Арк.
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		8

керування побудовою пральною машиною шляхом врахування в алгоритмі її роботи маси завантаженої білизни.

Методологічною основою наших досліджень стали базові положення гідродинаміки, сучасної електротехніки, етапів технологічних процесів машинного прання; проектування конструктивних елементів пральних машин і розробка їх режимних алгоритмів.

					КМР.АКІТ.10539872.01.000 ПЗ	Арк.
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		9

1 АНАЛІТИЧНИЙ АНАЛІЗ ЗА ТЕМАТИКОЮ РОЗРОБКИ

1.1 Роль контролю маси завантаженої білизни для оптимальної експлуатації пральних машин

Для тривалої та надійної роботи пральної машини однією з умов є правильний контроль маси завантаженого для прання одягу. Звичайно, що для цього нема необхідності зважувати білизну перед пранням. Контроль маси здійснюється виконанням кількох правил при підготовці до прання та під час прання.

У першу чергу слід звертати увагу на тип тканини одягу, оскільки кожна тканина вимагає особливих умов прання для того, щоб прання було ефективним і без руйнування. До основних технологічних параметрів тканини можна віднести [1]:

- температурний режим прання;
- часові інтервали та етапи програми прання;
- швидкість віджимання.

Зазвичай, виробники пральних машин рекомендують у процесі підготовки одягу до прання розподіляти його за типами тканин, а при необхідності, і за кольором. Важливим є також врахування ступеня забрудненості одягу при сортуванні. Такий процес є досить важливим, так як кожен тип відсортованого одягу має оптимальний режим прання, який відповідає найбільш економному використанню технологічних ресурсів: електрична енергія, пральний засіб, вода та інше.

Для визначення ваги білизни і розрахунків кількості одягу, який можна завантажити в барабан, слід користуватися інструкція з експлуатації вашої конкретної пральної машини. Однак можна надати загальну рекомендацію, яка є дієвою для будь-якої моделі. Практично всі сучасні моделі пральних машин не мають технічних обмежень на мінімальну вагу завантаженої білизни. Однак тут треба

					КМР.АКІТ.10539872.01.000 ПЗ	Арк.
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		10

мати на увазі, що більш ранні моделі не забезпечують ефективного прання одягу з вагою менше 1,5 кг.

Важливість сортування одягу за типом тканини слідує із простої особливості технологічного процесу прання. Під час намокання речей з різних типів тканини їхня маса змінюється по різному – речі з легкого матеріалу стають значно важчими в мокрому вигляді в порівнянні з одягом із тканин зі щільною структурою.

Ще однією технологічною умовою є ступінь заповнення барабана білизною. У інструкціях з експлуатації більшості сучасних машини зазначають, що барабан можна заповнювати повністю. Але при цьому шкідливим є щільне «трамбування» речей. Більш того, для якісного прання одягу з різних типів тканин ступінь заповнення барабану має бути різним. Виробами із синтетики рекомендується заповнювати барабан наполовину, тоді як речами із природної шерсті можна заповнити третину барабана. Крім того, слід враховувати, що загальна кількість білизни в барабані при здійсненні прання прямо пропорційно до того, який рівень механічних вібрацій пральної машини буде під час віджимання. А такий фактор безпосередньо впливає на термін служби машини.

Іноді виробники рекомендують максимально наповнювати барабан пральної машини посилаючись на те, що в даному випадку економиться електрична енергія та вода. У цьому є певний сенс. Але дану рекомендацію не слід доводити до абсурду – якість прання та технічний ресурс пральної машини також є важливими умовами нашого життя. Саме тому можна рекомендувати компромісну умову – мінімальне завантаження барабану біля 1 кг.

Наступною технологічною умовою є розподіл білизни по об'єму барабана при віджиманні. Він повинен бути максимально рівномірним, щоб зменшити розбалансування барабана, оскільки це може призвести до серйозних аварій та поломок машини. Дуже мала кількість білизни не може розподілятися по барабану у принципі. Тому вимога уникати режимів прання із дуже малим заповненням барабана (менше 1 кілограма) є дуже важливою і з технічної точки зору.

					КМР.АКІТ.10539872.01.000 ПЗ	Арк.
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		11

Показник максимального завантаження пральної машини теж є її важливим експлуатаційним параметром. Але не слід його сприймати буквально. Наприклад, якщо в технічному описі машини сказано, що максимальна місткість становить 12 кг сухої білизни, то це не означає, що в барабан постійно можна поміщати таку кількість одягу. Максимальна місткість прання – це лише показник того, яку вагу зможе прокручувати барабан без перенавантаження свого електроприводу. З технологічної точки зору величина максимального завантаження барабана більше характеризує максимальний об'єм тих речей, які зможе ефективно випрати дана машина. Тобто, пральну машину з максимальною місткістю барабана 10 кг слід брати не для того, щоб постійно прати в ній по 10 кг білизни. Такий прилад доречний, якщо вам часто треба випрати об'ємні речі, наприклад, ковдри, великі пальто тощо.

Вага білизни, яка завантажуються у пральну машину, вимірюється в сухому вигляді перед завантаженням. Для цього, як правило, використовують таблиці, у яких наведені приблизні значення ваги різного одягу [1]. Однак, у більшості випадків, користувачі проводять зважування білизни перед пранням простим методом «на око». Звичайно, що такий підхід є далеким від оптимального процесу прання.

Таким чином, наведений вище аналіз показує, що вага завантаженої у барабан пральної машини одягу є дуже важливим технологічним параметром, Тому цілком зрозуміло, що сучасна пральна машина мала б оснащуватися такою «розумною» функцією як автоматичне зважування. Тоді контроль даного важливого технологічного фактора не покладався б на користувача, а пральна машина сама б отримувала цю важливу інформацію. У такому випадку у програму прання був би закладений цей параметр. У результаті машина сама б могла розрахувати оптимальну кількість води для прання, кількість різних пральних засобів, які слід додати, а також вибрати під дану вагу оптимальний режим процесу прання. Зрозуміло, що наявність такої функції суттєво зменшує і ймовірність поломок механізмів електроприводу та барабану, знижує рівень

					КМР.АКІТ.10539872.01.000 ПЗ	Арк.
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		12

механічних вібрацій всіх компонентів, підвищує комфортність проведення прання.

1.2 Системи керування на основі «нечіткої логіки»

Контроль маси завантаженої в барабан пральної машини білизни та врахування цього параметру при розробці алгоритму здійснення технологічного процесу прання є досить складною для розв'язання задачею у рамках традиційної детермінованої логіки.

На сьогодні в області автоматичного керування різними технічними пристроями та технологічними процесами отримують все більший розвиток системи, які базуються на так званій «нечіткій логіці» (Fuzzy Logic). Широко вони проникають і в галузь проектування та виробництва різних видів побутової техніки.

Перші основи нечіткої логіки було закладено американським професором Лотфі Заде у 1965 р. у його роботі «Нечіткі множини», яка була опублікована в журналі «Інформатика та управління». Методичні підходи даної логіки дозволяють виразити та оцінити нечіткі поняття (типу «привабливість») у кількісній формі.

На сьогодні сфери застосування алгоритмів нечіткої логіки поширюються на різні області діяльності людини: різні експертні системи, нелінійний технічний контроль за виробничими процесами; системи самонавчання, програми дослідження ризикових або критичних ситуацій, розпізнавання відео образів, штучний інтелект та ін.

На відміну від традиційної двійкової математики, яка вимагає на кожному кроці моделювання чи алгоритмізації точних однозначних формулювань подій або ситуації, нечітка логіка застосовує зовсім інший рівень методичного підходу, у якому у вигляді окремих постулатів задається лише певний мінімальний набір базових закономірностей.

					КМР.АКІТ.10539872.01.000 ПЗ	Арк.
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		13

Нечіткі числа, які одержуються внаслідок проведення «не цілком точних вимірів», багато в чому аналогічні традиційним розподілам теорії ймовірностей та сучасної статистики. У граничних умовах, при зростанні точності задання вихідних критеріїв, нечітка логіка автоматично наближається до висновків стандартної Булевої алгебри. Особливістю нечітких методів є те, що вони дають змогу різко скоротити обсяг необхідних для рішення математичних обчислень, у порівнянні з імовірнісними чи статистичними методами. У результаті використання методів нечіткої логіки дозволяє суттєво збільшити швидкодію автоматичних систем і використовувати алгоритми нечіткої логіки в режимі реального часу сучасних контролерів.

Викладене вище робить актуальним використання для вирішення поставлених у завданні до роботи задач саме підходів нечіткої логіки. Для цього доцільно проаналізувати ті типи електронних модулів пральних машин, які можна запрограмувати алгоритмами нечіткої логіки.

1.3 Огляд автономних модулів керування пральними машинами

При оптимізації системи керування пральною машиною візьмемо до уваги, що для її виконання необхідно буде перепрограмувати МК. Але фірми-виробники захищають свою продукцію від таких втручань. Тому рішення поставленої в завданні задачі можливе шляхом встановлення додаткового автономного електронного модуля керування. Проведемо короткий аналітичний огляд можливостей таких сучасних різних модулів.

1.3.1 Мікроконтролерний модуль керування пральною машиною

Таки функціональний електронний модуль керування призначений для модернізації та оптимізації процесу прання у пральних машинах «старого» типу, у яких відсутня власна система керування. Установлений у пральну машину такий блок, дозволяє здійснювати прання одягу в автономному автоматичному режимі.

					КМР.АКІТ.10539872.01.000 ПЗ	Арк.
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		14

При цьому користувач сам може розробляти та змінювати програму процесу прання. Структурна електрична схема даного блоку керування наведена на рис.1.1.

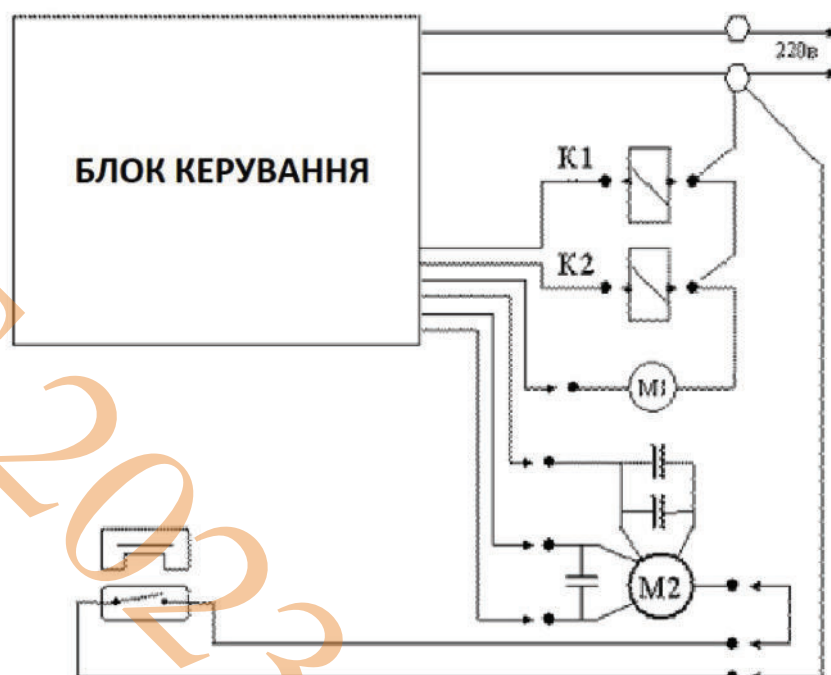


Рисунок 1.1 – Структурна електрична схема мікроконтролерного блоку керування пральною машиною [2]

Відповідно до рис.1.1 система керування складається із двох монтажних плат. На першій платі – платі керування й індикації розміщено МК фірми Atmel AT89C51. Для процесу керування тут також розміщено 8 кнопок, один семисегментний індикатор та 9 світлодіодів, які відображають ті режими програми, які виконуються в даний час (рис 1.2).

Особливістю схеми є підхід до реалізації процесу керування. Інформаційний обмін із семисегментним індикатором, світлодіодами індикації стану та при опитуванні клавіатури вводу відбувається в динамічному режимі. Для цього у схему введено два паралельні регістри на базі мікросхеми K555ІР22 і два електронні ключі на транзисторах Q1 і Q2. Частота комутації циклів інформаційного обміну складає 100 Гц. Дана частота моментів перемикання

Друга плата – силова (рис.1.3) складається з: кількох окремих модулів:

- блок живлення з нестабілізованою вихідною напругою біля +12 В для живлення силових реле;
- блок живлення зі стабілізованою вихідною напругою +5 В для живлення цифрових мікросхем;
- два розв’язуючі оптотиристи TO122;
- детектор переходу напруги через "0", який реалізований на оптроні АОТ101;

					КМР.АКІТ.10539872.01.000 ПЗ	Арк.
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		16

- блок силових реле для керування електроприводом та іншими виконавчими елементами.

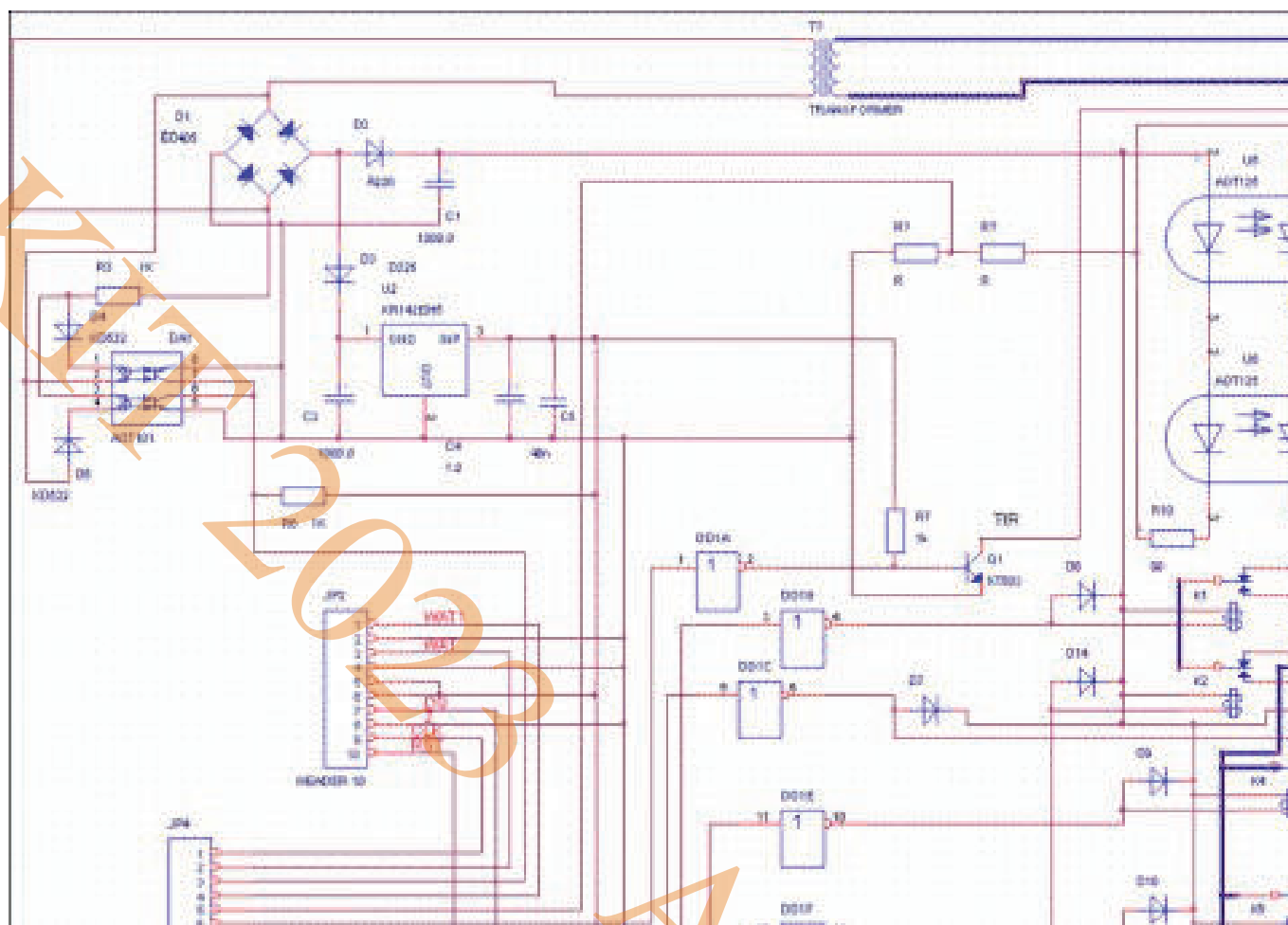


Рисунок 1.3 – Принципова електрична схема силового модуля системи керування [3]

У силовому електронному модулі релейна електрична схема комутації силових кіл працює при знеструмлених ланцюгах для зменшення впливу завад. Загальне відключення пральної машини здійснюється за допомогою двох з'єднаних за зустрічно-паралельною схемою оптотиристорів TO122. Це дозволило розробникам використати для комутації малопотужні безінерційні реле, у яких відсутні тривалі перехідні процеси.

Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

KMP.AKIT.10539872.01.000 ПЗ

Арк.

17

1.3.2 Спеціалізований модуль керування для пральних машин БУСМ-4

Спеціалізований модуль БУСМ-4 [4] вже передбачає збір обширної інформації про стан компонентів пральної машини та про параметри технологічного процесу прання. Сюди відносяться чотири давачі тиску, які контролюють чотири рівні води в барабані, температурний давач води, таходатчик швидкості обертання барабана, давач стану клавіатури та давач закриття кришки. Зовнішній вигляд модуля БУСМ-4 наведено на рис. 1.4.



Рисунок 1.4 – Зовнішній вигляд модуля керування БУСМ-4 [4]

На основі вихідних сигналів від давачів та алгоритму циклограми прання модуль БУСМ-4 керує такими виконуючими пристроями:

- асинхронним електродвигуном відповідної потужності;
- чотирма водяними клапанами;
- насосом зливу води;
- нагрівальним елементом води.

Модуль керування БУСМ-4 забезпечує досить великий набір функціональних можливостей:

- легко здійснюється електронне балансування в режимі віджиму;

					КМР.АКІТ.10539872.01.000 ПЗ	Арк.
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		18

- доступне тестування основних несправностей (відсутність зливу води, переповнення водою, збої обертання барабана, збої системи нагрівання води та інші);

- задання частоти обертання асинхронного двигуна у діапазоні від 300 об/хв до 12 000 об/хв з відносною похибкою біля 3%; з частотою;

- тестування роботи основних пристроїв;

- діагностики помилок у роботі програми для полегшення знаходження несправностей;

- легке перепрограмування відповідно з різними циклограмами користувача (забезпечує встановлення більш вісімдесяти різних програм прання).

Із наведеного аналізу слідує, що модуль БУСМ-4 вже може бути використаний для оптимізації системи керування пральних машин у якості блоку керування виконавчими механізмами. Однак для реалізації в ньому алгоритмів нечіткої логіки він має недостатньо потужний контролер.

1.3.3 Універсальний електронний блок керування пральними машинами

Розглянемо сучасну розробку за тематикою нашої кваліфікаційної роботи – універсальний електронний модуль для пральних машин різного типу [5, 6]. Такий модуль (рис.1.5) може бути використаний замість штатних систем керування пральних машин із електроприводами різного виду: асинхронними, колекторними, комбінованими асинхронно-колекторними та іншими. Крім широкої універсальності такий модуль має й ряд інших переваг: низька вартість, простота програмування та монтажу, висока ремонтпридатність тощо.

Універсальний електронний модуль може дуже просто монтуватися та програмуватися замість штатних блоків різних пральних машин. Схемотехнічно він виконаний на основі сучасного спеціалізованого контролера, який не вимагає підключення командоапарата для його програмування. Якщо у пральній машині, яка підлягає модернізації, встановлено штатний командоапарат, то після

					КМР.АКІТ.10539872.01.000 ПЗ	Арк.
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		19

встановлення універсального модуля функції командоапарата стають не потрібними.

Простота та універсальність аналізованого модуля прослідковуються вже із його зовнішнього вигляду, який наведени на рис.1.5.

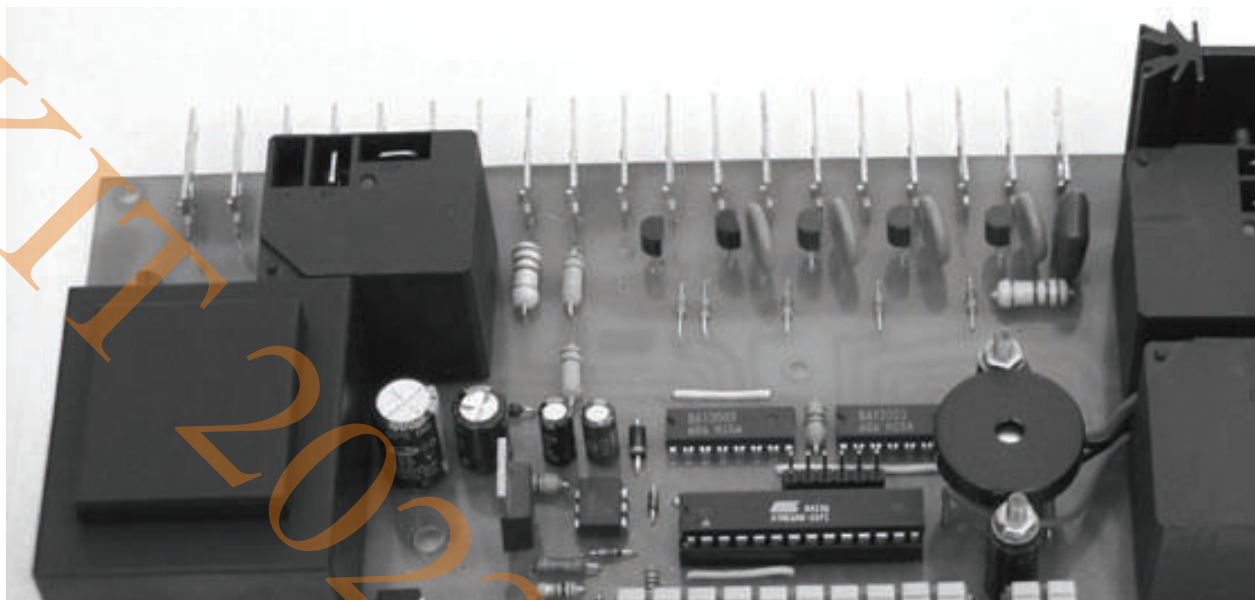


Рисунок 1.5 – Зовнішній вигляд універсального електронного модуля керування пральними машинами [6]

Ще однією особливістю аналізованого приладу є можливість дистанційного зв'язку з електронним модулем з використанням інфрачервоного каналу передачі інформації. Для цього використано стандартний протокол сучасного керування побудовою технікою за допомогою спеціального пульта дистанційного керування.

Деякі важливі особливості модуля стосуються і його електронної схеми (на рис.1.6 наведена його електрична принципова схема). Для зниження ймовірності виходу з ладу МК, особливо у вихідних колах керування силовими навантаженнями, застосовані інтегральні буферні ключі типу ULN2003, а також у колі формувача імпульсних сигналів з тахогенератором встановлено розв'язуючий оптрон. Таке схемотехнічне рішення, крім забезпечення гальванічної розв'язки різного типу електричних кіл, також підвищує заводозахищеність МК від електромагнітних завад працюючого силового електроприводу.

					КМР.АКІТ.10539872.01.000 ПЗ	Арк.
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		20

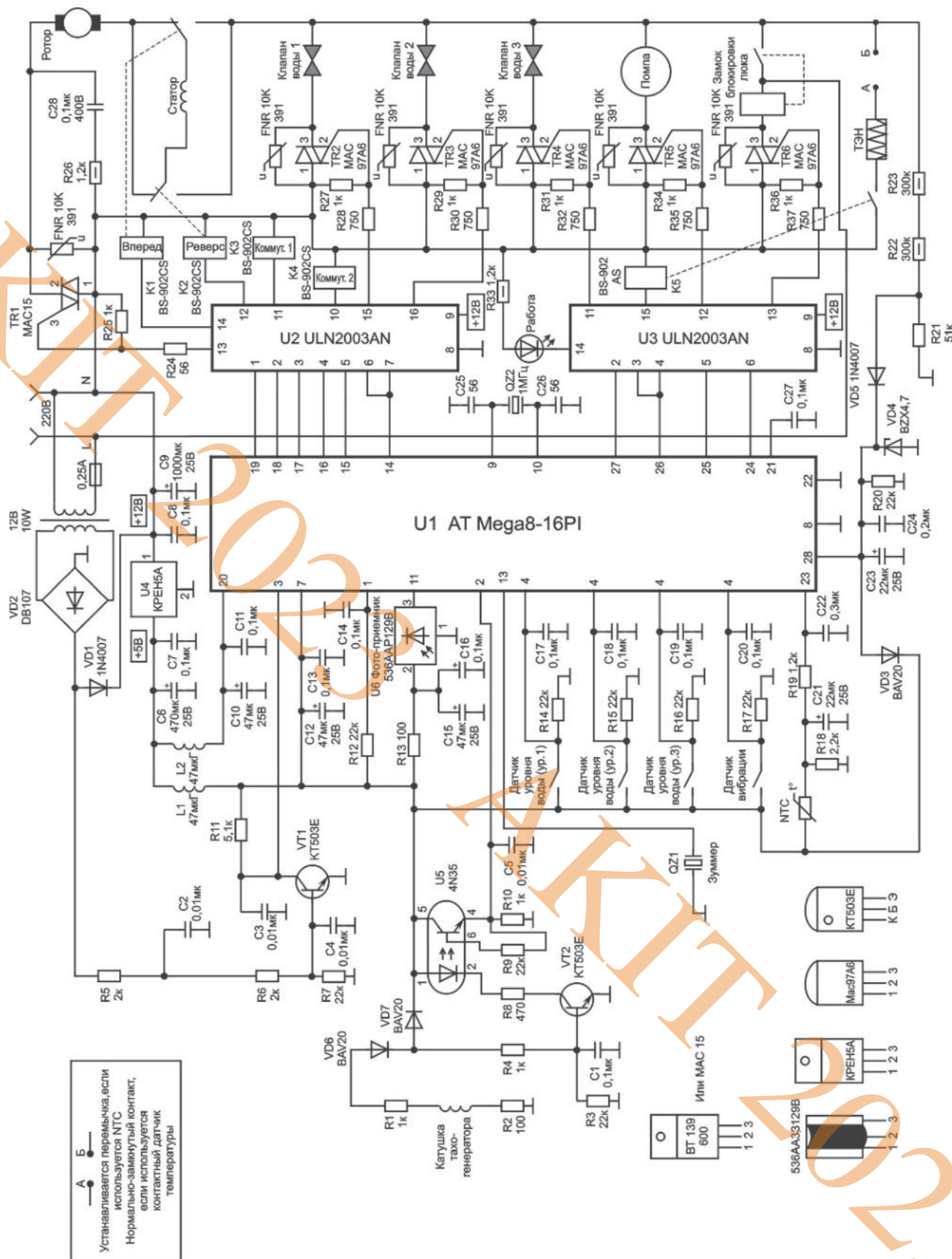


Рисунок 1.6 – Принципова електрична схема універсального модуля керування пральними машинами [6]

Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

KMP.AKIT.10539872.01.000 ПЗ

Арк.

21

Описаний універсальний модуль керування є найбільш близьким електронним пристроєм для застосування у нашій розробці. Тому на дане апаратне рішення ми будемо орієнтуватися у процесі проектування оптимізаційних змін системи керування пральними машинами.

					КМР.АКІТ.10539872.01.000 ПЗ	Арк.
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		22

2 ДОСЛІДЖЕННЯ ПРИНЦИПІВ ВИКОРИСТАННЯ «НЕЧІТКОЇ» ЛОГІКИ ДЛЯ ПРОЕКТУВАННЯ СУЧАСНИХ СИСТЕМ АВТОМАТИЗАЦІЇ

2.1 Базові поняття нечіткої логіки

Поняття нечіткої логіки введемо шляхом розгляду простого типового прикладу, який стосується відчуття свого віку людиною в кількісних категоріях «молодий» та «старий». До досягнення особою 16-ти річного віку більшість не буде однозначно стверджувати, що дана особа молода – дехто буде вважати, що дана особа ще дитина чи юнак і т.д. Тоді можна допустити, що, наприклад, 15-річних людей будуть відносити до категорії «молоді» з рангом близько 0,9. І чим менший буде вік людини, тим з меншим рангом її будуть відносити до цієї категорії.

Зовсім інша ситуація буде для вікового діапазону людей від 16 років до 30 років. Тут більшість респондентів будуть вважати, що людина «молода». Тобто, подіям віднесенню людини до вказаного вікового діапазону можна присвоїти ранг, рівний 1.

Проводячи аналогічний аналіз можна допустити, що після 30 років людину вважають вже не молодого, але ще й не старого. Тут ранг категорії «молодий» знову буде спадати від 1 до 0 по мірі зростання віку людини більше 30 років, оскільки при цьому поступово зменшується кількість респондентів, які будуть мати відповідну думку. Тому все менше людей буде приналежати даній категорії.

Наведений приклад описується в рамках нечіткої логіки за допомогою функціонального розподілу рангів [7] (рис.2.1). При цьому змінна x задає певний кількісний параметр для категорії «молода людина» (у нашому випадку x – це вік людини). А ранг реалізації події, при якій змінній x відповідатиме категорія «молода людина», задається відповідною функцією рангів $M(x)$. За допомогою наведених математичних конструкцій в сучасній математиці та техніці вводять

					КМР.АКІТ.10539872.01.000 ПЗ	Арк.
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		23

особливі поняття «нечіткої» логіки, «нечітких» множин, «нечітких» операцій та інше.

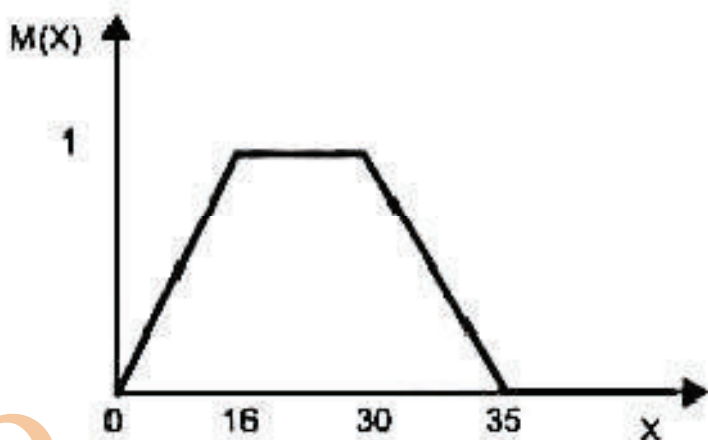


Рисунок 2.1 – Приклад визначення «нечіткої» множини для категорії «молода людина».

За допомогою описаного прикладу була отримана нечітка множина, яка описуватиме категорію «молодості» у всьому діапазоні віку людини. Якщо ввести в аналіз інші вікові категорії людей (наприклад, «дитина», «дуже молодий», «старий» тощо), то можна охарактеризувати таку суспільну змінну як вік людини у вигляді ще кількох нечітких множин. Отриманий набір математичних множин повністю буде перекривати весь період людського життя.

Ключовими поняттями нечіткої логіки є [8]:

1. Фазифікація – зіставлення безлічі значень аргументу x до значень функції рангу $M(x)$. У результаті проходить переведення кількісних значень x у нечіткий формат (рис.2.1).

2. Дефазифікація – процес, зворотний до фазифікації.

Усі автоматичні системи, які описуються нечіткою логікою, функціонують за однаковими основними принципами:

- показання давачів або вимірювальних приладів фазифікуються (тобто, переводяться в нечіткий формат);

- отримані функції рангу $M(x)$ математично обробляються за законами нечіткої логіки;
- результати математичної обробки дефазифікуються;
- за отриманою при дефазифікації величиною x визначаються рівні керуючих сигналів;
- генеруються керуючі сигнали і подаються на виконавчі пристрої.

У певній мірі можна вважати, що функція рангу відповідає розподілу ймовірності відповідних подій. Але строго математично це не вірно, оскільки при визначенні функції рангу нам невідомий статистичний розподіл випадкових величин і ми не проводимо великої кількості повторюваних експериментів для визначення цієї функції. Значення функції рангу $M(x)$ отримують іншими методами — з апріорних знань, інтуїції, досвіду, опитування експертів, статистичної обробки та інше.

Ще одним поняттям нечіткої логіки є нормованість множини двох взаємовиключних подій, наприклад, «буде дощ» і «дощу не буде». Якщо сума рангів цих подій буде рівна 1, то така нечітка множина вважається нормованою. Однак, для більшості нечітких множин, які застосовуються в автоматичних системах, умова нормованості не виконується.

2.2 Використання нечітких множин у системах автоматизації

Для проектування технічних автоматичних систем у рамках нечіткої логіки дуже часто вводяться поняття лінгвістичних змінних. Значеннями даних змінних є не звичні для нас з курсу математики числа, а слова природної нашої мови, які називають термами. Наприклад, для поширеної автоматичної моделі керування мобільним роботом прибиральником типовим є завданням об'їзду виникаючих перешкод. Для такої моделі можна ввести дві прості лінгвістичні змінні: «дистанція» (тобто, відстань від рухомого робота до перешкоди) та «азимут» (геометричний кут між поздовжньою віссю платформи робота і напрямком на виникаючу при русі перешкоду).

					КМР.АКІТ.10539872.01.000 ПЗ	Арк.
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		25

Проаналізуємо першу із введених лінгвістичну змінну «дистанція». Її значеннями, наприклад, можна визначити таким набором термів «далеко», «середня», «близько», «дуже близько». Звичайно, що залежно від завдань алгоритму роботи мобільного робота набір термів може бути і більш широким, і більш вузьким.

Для фізичного проявлення вибраних лінгвістичних змінних необхідно задати точні кількісні значення термів для кожної із введених у розгляд змінних. Для прикладу, нехай змінна «дистанція» зможе приймати будь-яке значення в широкому діапазоні від нуля до безкінечності. Тоді, згідно з положеннями теорії нечітких множин, кожному значенню величини відстані із зазначеного вище безмежного діапазону можна поставити у відповідність деяке значення рангу від нуля до одиниці, яке буде визначати ступінь приналежності даної фіксованої відстані (наприклад, 40 см) до того чи іншого терму нашої лінгвістичної змінної «дистанція».

Ступінь приналежності всіх значень величини відстані до перешкоди d , згідно з викладеними визначеннями, буде задаватися введеною нами функцією рангу $M(d)$, яку часто ще називають функцією приналежності. Наприклад у нашому конкретному випадку відстані до перешкоди 40 см можна задати ступінь приналежності до терму «дуже близько», рівну 0,7, а до іншого терму «близько» – 0,3. Визначивши значення ступеня приналежності для всіх відстаней до перешкоди, отримаємо явний вид функції $M(d)$, який для нашого прикладу наведений на рис. 2.2.).

Зрозуміло, що для кожного конкретного випадку проектування визначення функції приналежності має даватися кваліфікованими експертами, які розробляють відповідну систему керування.

Лінгвістична змінна «напрямок» для руху міні робота може набувати значно більшої кількості термі в діапазоні величин від 0 до 360°. Тому зручно її замінити на дві окремі лінгвістичні змінні: власне «напрямок» та «азимут» (або «рульовий кут»). При цьому для змінної «напрямок» задамо три терми: «наліво», «прямо» і «направо». Дані терми відносяться до вхідних величин для МК.

					КМР.АКІТ.10539872.01.000 ПЗ	Арк.
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		26



Рисунок 2.2 – Лінгвістичні змінні, лінгвістичні терми та функція приналежності відстаней до перешкод x для алгоритму програми руху міні робота

Аналогічно задаються вихідні лінгвістичні змінні для МК. У випадку нашого міні робота вихідною реакцією має бути зміна напрямку його руху у залежності від відстані до перешкоди та текучого курсу робота. Тому для контролю даної ситуації достатньо однієї введеної змінної, яку ми назвали «азимут». Для цієї змінної можна визначити різну кількість термів. Мінімальний набір можна обмежити такими термами як «різко вліво», «наліво», «прямо», «направо» та «різко вправо». Зрозуміло, що чим точніша реакція потрібна на текучу ситуацію, то тим більшу кількість термів слід вводити в розробку алгоритму.

Необхідною умовою проектування систем автоматизації з нечіткою логікою є також встановлення взаємозв'язку між вхідними та вихідними лінгвістичними змінними. Якщо їх кількість невелика, то такий зв'язок можна задати у вигляді таблиці нечітких правил. Для випадку нашого міні робота така таблиця наведена у вигляді табл. 2.1).

Таблиця 2.1 – Один із видів таблиці нечітких правил для мобільного міні робота

		Терми лінгвістичної змінної «дистанція»			
		«дуже близько»	«близько»	«середня»	«далеко»
Терми лінгвістичної змінної «напрямок»	«направо»	«різко вліво»	«різко вліво»	«наліво»	«прямо»
	«прямо»	«різко вліво»	«наліво»	«наліво»	«прямо»
	«наліво»	«різко вправо»	«різко вправо»	«направо»	«прямо»

Як видно із наведеної таблиці нечітких правил, на перетині кожної пари термів двох різних лінгвістичних змінних стоїть один терм вихідної лінгвістичної змінної. Це значить, що кожен запис у даній таблиці відповідає своєму одному нечіткому правилу вибору траєкторії руху робота. Наприклад: якщо «дистанція» є «близько» і одночасно «напрямок» є «направо» тоді МК має виставити рульове колесо у положення «азимут» рівний «різко вправо».

Таким чином, мобільний робот із закладеною в програму керування нечіткою логікою буде функціонувати за таким рядом операцій:

- вхідні дані з сенсорів робота інформують МК про відстань до перешкоди і просторовий напрямок на неї;
- проходить фазифікація вхідних даних згідно з таблицею нечітких правил;
- МК отримує вихідні дані;
- здійснюється дефазифікація вхідних даних;
- на основі результатів дефазифікації формуються необхідні вихідні сигнали;
- вихідні сигнали поступають на виконуючі механізми приводу робота.

2.3 Нечіткі мікроконтролери та їх структура

Аналіз матеріалу попереднього підрозділу показує, що для оптимізації системи керування пральною машиною доцільно застосувати підходи нечіткої логіки. У такому випадку в апаратній частині пральної машини слід використати нечіткий МК [9]. Для його успішного програмування слід знати загальна структуру такого МК, яка наведена на рис.2.3.

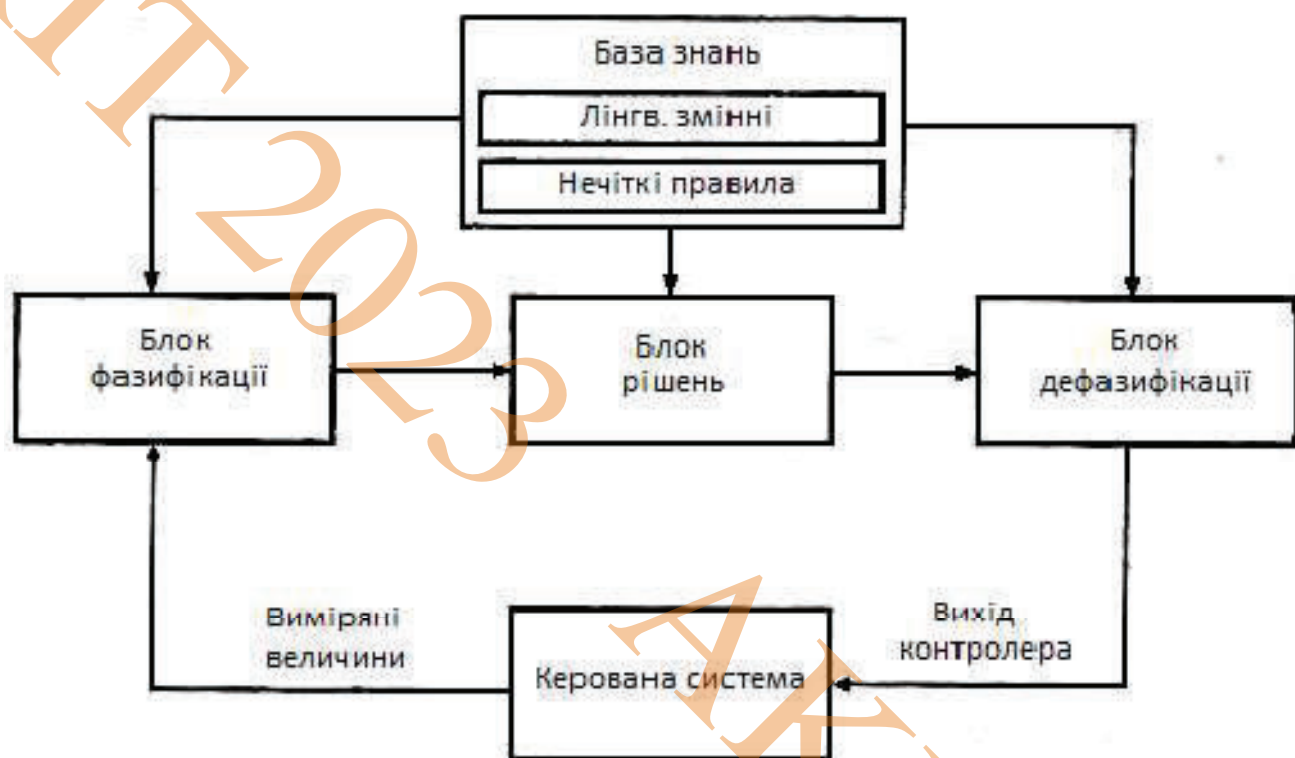


Рисунок 2.3 – Загальна структура нечіткого контролера

Головними блоками нечіткого контролера є:

- блок фазифікації;
- база знань;
- блок рішень;
- блок дефазифікації.

Блок фазифікації проводить перетворення чітких значень вхідних величини від датчиків, які контролюють текучий стан об'єкта керування, у нечіткі терми, які

описуються лінгвістичними змінними. Процес такого перетворення проходить із використанням МК бази знань.

Зрозуміло, що блок знань містить усі лінгвістичні змінні, які притаманні даному об'єкту керування, усі терми цих змінних та таблицю нечітких правил для цих термів.

Блок рішень використовує нечіткі умовні правила, закладені в базі знань, на основі яких проходить перетворення нечітких вхідних даних (термів) у необхідні вихідні керуючі впливи у вигляді нечітких термів вихідної лінгвістичної змінної (див табл.2.1).

Блок дефазифікації виконує перетворення нечітких даних з виходу блоку рішень на чіткі значення величин, які використовуються у процесі формування вихідних сигналів керування об'єктом.

На сьогодні можна вказати кілька типів МК, які підтримують нечітку логіку. Серед них найбільш використовуються чіпи 68HC11 і 68HC12 фірми Motorola та чіп MCS-96 фірми Intel.

У наш час паралельно з розвитком необхідної елементної бази інтенсивно розвиваються й зручні інструменти програмування, які дозволяють легко моделювати системи керування з нечіткою логікою, проводити їх оптимізацію та отримувати безпосередні машинні коди, якими можна прошивати нечіткі контролери.

Теоретичною основою розробки алгоритмів та програм нечіткого керування є поняття нечітких множин та нечіткого логічного практичного мислення. За допомогою таких підходів досягається можливість моделювати поведінку сучасних автоматизованих систем, які приймають рішення та функціонують в антропо технічних умовах. Це дозволяє суттєво поліпшувати показники різних систем автоматичного й автоматизованого керування, оскільки в їх програмах використовуються моделі процесів підвищеної точності. Методи нечітких множин можуть застосовуватися для створення простих програм керування різними як технічними, так і соціальними об'єктами.

					КМР.АКІТ.10539872.01.000 ПЗ	Арк.
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		30

Але для складних автоматичних систем на сьогодні інтенсивно розвивається більш універсальний підхід програмування, у основі якого поставлено поняття нечітких регуляторів. Останні забезпечують формування комплексного зваженого впливу на об'єкт керування з урахуванням правил нечіткої логіки. Регулятор застосовують для проведення розбиття всієї області допустимих значень вхідних і вихідних лінгвістичних змінних на окремі нечіткі множини та для встановлення між ними необхідних логічних відповідностей. На основі отриманих результатів формується алгоритм створення бази правил, які забезпечують автоматичне логічне створення необхідного вихідного сигналу контролера.

При програмуванні нечіткого спеціалізованого контролера укладаються конструктиви, які узгоджують взаємодію блока фазифікації, блока формування логічного вихідного сигналу та блока дефазифікації, як це показано на рис.2.4. Основою такої взаємодії є база знань про відповідний об'єкт автоматизації. У результаті забезпечується отримання правильного керувального впливу на об'єкт автоматизації. У ролі кожного з відмічених блоків у тілі програмі можуть виступати різні логічні функції, які й визначають чіткість та якість керування всіма процесами в автоматичній системі. При цьому на вхід нечіткого контролера передбачається поступлення «чітких» вхідних даних від різних давачів та інших інформаційних пристроїв, а на виході формується «чіткий» сигнал для виконуючих механізмів.

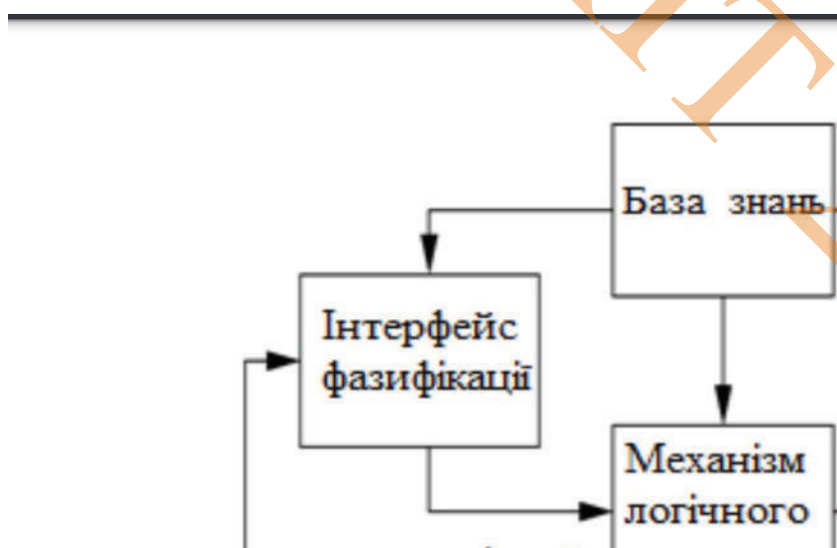


Рисунок 2.4 – Основні елементи архітектури алгоритму нечіткої логічної системи

					КМР.АКІТ.10539872.01.000 ПЗ	Арк. 31
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таким чином, основою якісної роботи програми нечіткого контролера є якість використаної для програмування бази знань. У більшості випадків база знань містить окрему базу набору правил, визначених у термінах нечіткої логіки, і необхідні бази даних, які містять конкретні значення лінгвістичних термінів для кожної із вхідних і вихідних лінгвістичних змінних.

Важливою частиною програми є інтерфейс фазифікації. Він відповідає за перетворення «чітких» значень вхідних параметрів в нечіткі лінгвістичні змінні, визначає їх приналежність до тих або інших лінгвістичних термінів у відповідній області вхідних сигналів.

Для чіткого функціонування нечіткого контролера ефективним є застосування алгоритму керування зі зворотним зв'язком, схема якого наведена на рис.2.5. При його використанні інтерфейс дефазифікації обчислює «чіткі» значення вихідного сигналу, враховуючи при цьому його вплив на автоматичну систему в цілому.

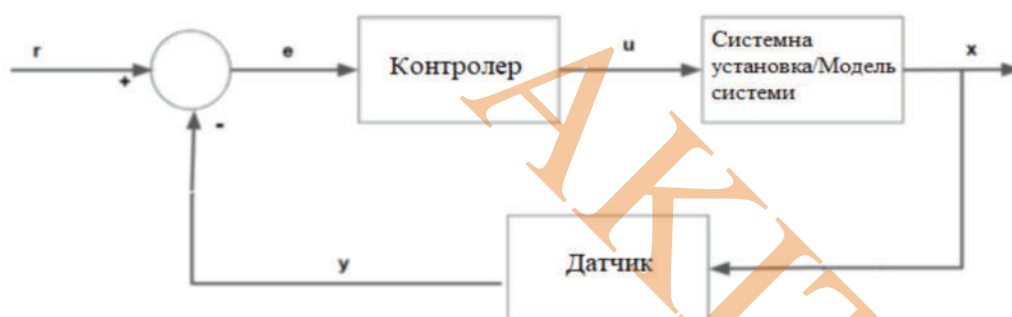


Рисунок 2.5 – Система нечіткого контролю з встановленим зворотнім зв'язком

Для надійного функціонування програмного забезпечення автоматичних систем, які працюють за правилами нечіткої логіки слід проводити його тестування на основі спеціально створених наборів тестових даних. Це забезпечує правильне виявлення процесів взаємодії створеного програмного забезпечення із оточуючим «зовнішнім» світом. На сьогодні для тестування програм нечітких контролерів використовують модель так званого «чорного» ящика та більш

прогресивний метод «м'яких» обчислень. Згідно з висновками провідних фахівців, саме методи м'яких обчислень стають ідеальними для оцінки надійності програмного забезпечення автоматичних систем з нечіткими правилами керування. Особливо ефективними тут стають методи м'яких обчислень з використанням нейронних мереж та нечітка логіка. У даній роботі ми поєднуємо ці дві методики для створення алгоритму роботи оптимізованої системи керування пральними машинами.

					КМР.АКІТ.10539872.01.000 ПЗ	Арк.
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		33

3 РОЗРОБКА ЕЛЕМЕНТІВ НЕЧІТКОГО КОНТРОЛЕРА ДЛЯ ОПТИМІЗАЦІЇ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ

Відповідно із завданням роботи, оптимізована система керування пральною машиною має автоматично визначати ступінь забруднення одягу та тип його основних забруднень. На основі цих двох вхідних величин за правилами нечіткої логіки можна сформувати одну із вихідних лінгвістичних змінних «час прання». Функціональна схема здійснення цього процесу оптимізованою системою керування ілюструє рис.3.1.



Рисунок 3.1 – Функціональна схема керування нечітким МК часом прання одягу

Як видно із рисунку, на вхід МК надходить інформація про рівень забруднення одягу та одночасно і про тип забруднення. Вихідним параметром із МК є тривалість прання.

Для визначення величини рівня забруднення одягу використаємо оптичний датчик. Його принцип дії базується на вимірюванні величини пропускання інфрачервоного випромінювання, яке проходить через нормовану товщину миючого розчину (рис. 3.2). У даному випадку на рівень забруднення вказує величина прозорості миючого розчину: чим нижче забруднення білизни – тим прозорішим буде розчин. Звичайно, що проводити таке вимірювання слід після певного нормованого проміжку часу виконання процесу прання (наприклад, через 10 хвилин від початку прання).

					КМР.АКІТ.10539872.01.000 ПЗ	Арк.
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		34



Рис. 3.2 – Принцип роботи давача рівня забруднення одягу

Тип забруднення (зокрема, ступінь жирності) одягу вимірюється давачем іншого типу. Такі давачі працюють на принципі встановлення концентрації жирів або інших забруднень в миючому розчині. Зрозуміло, що таке вимірювання слід також проводити після певного нормованого проміжку часу виконання процесу прання. При цьому дані давачі враховують, що жирні забруднення менш розчинні у воді, а їх концентрація в миючому розчині повільніше виходить на рівень насичення. Тому забруднення низької жирності розчиняються краще і розчин у баку пральної машини швидше стає насиченим.

Таким чином, для програмування МК необхідно побудувати дві функції приналежності для двох лінгвістичних змінних: «ступінь забруднення білизни» та «тип забруднення». Діапазон зміни цих змінних візьмемо у відсотках від 0 до 100. Результат побудови функцій приналежності наведено на рис.3.3.

Для кожної із введених лінгвістичних змінних ми вибрали три терми. При необхідності більш точного врахування забруднення одягу у процесі прання програмою МК кількість термів має буди збільшена.

На основі введених нами математичних параметрів нечіткої логіки складаємо таблицю нечітких правил для проектованого контролера (табл 3.1). Зрозуміло, що дана таблиця визначає таку вихідну лінгвістичну змінну як «час прання».

					КМР.АКІТ.10539872.01.000 ПЗ	Арк.
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		35

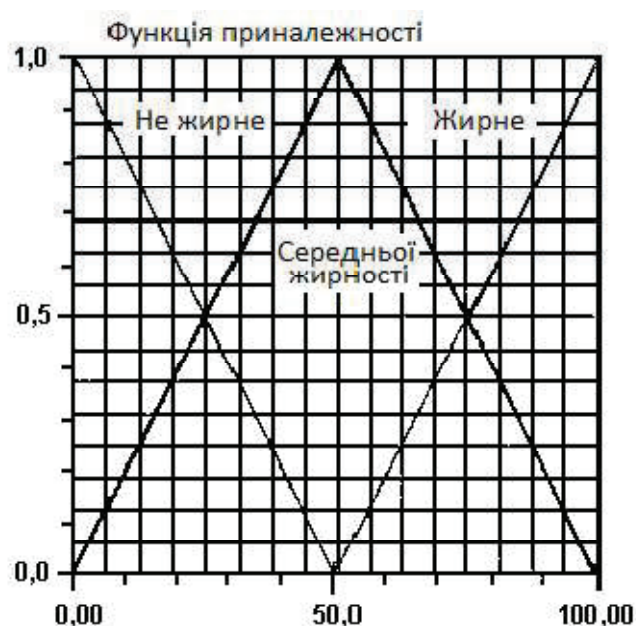
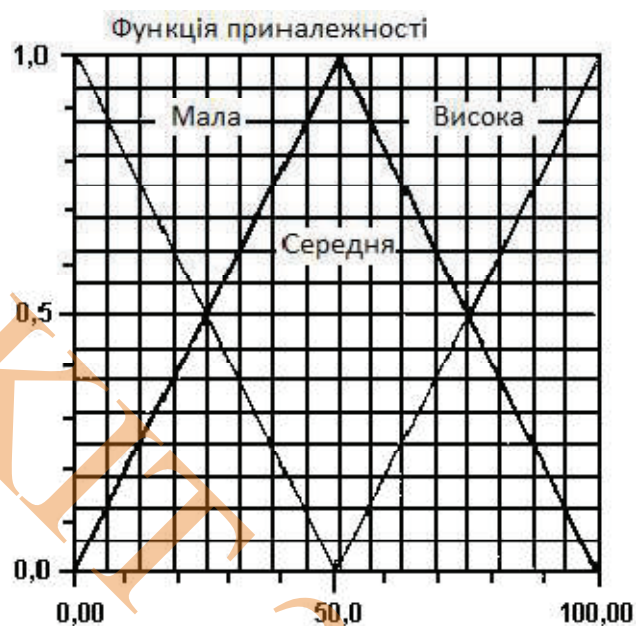


Рисунок 3.3 – Функції приналежності нечіткого контролера для лінгвістичних змінних: а – «ступінь забруднення»; б – «тип забруднення»

Таблиця 3.1 – Таблиця нечітких правил для контролера пральної машини

		Терми лінгвістичної змінної «ступінь забруднення»		
		«мала»	«середня»	«висока»
Терми лінгвістичної змінної «тип забруднення»	«нежирне»	«дуже малий»	«малий»	«середній»
	«середня жирність»	«середній»	«середній»	«великий»
	«жирне»	«великий»	«великий»	«дуже великий»

Величина вихідного параметра «час прання» у хвилинах визначається за допомогою набору нечітких правил типу: «якщо прозорість розчину низька і забруднення є жирним, то час прання буде великим».

Для вихідного параметра нашого нечіткого МК візьмемо такі дискретні градації:

- «дуже великий» – 60 хв;
- «великий» – 45 хв;

- «середній» – 30 хв;
- «малий» – 20 хв;
- «дуже малий» – 10 хв.

У наведеному вище прикладі в оптимізованій нами системі Fuzzy Logic, яка буде керувати пральною машиною, ми розглядали лише одну лінгвістичну вихідну змінну – «час прання». Використовуючи такий же принцип, при оптимізації системи керування можна вводити в розгляд й інші вихідні лінгвістичні змінні, наприклад, «рівень води у баку», «швидкість обертання барабана при віджимі» та інші. Аналогічно серед вхідних лінгвістичних змінних у розгляд можна вводити «жорсткість води», «вага завантаженої білизни» тощо. У такому випадку набір нечітких правил буде представлятися багатопараметричною («багатомірною») таблицею, за допомогою якою буде відбуватися прийняття рішень системою керування пральною машиною (рис.3.4).



Рисунок 3.4 – Приклад алгоритму прийняття рішення оптимізованою системою керування пральною машиною

Зрозуміло, що в такій оптимізованій системі керування кількість можливих варіантів реалізації програми прання може наблизитись до кількох сотень. У цьому і виражається якісна відмінність пральних машин з системою керування Fuzzy Logic від приладів із стандартною «жорсткою» програмою чітко визначених режимів прання.

У нашій розробці не реально розв'язати вказану багатопараметричну задачу оптимізації системи керування. Тому при проектуванні ми обмежимося лише трьома вхідними лінгвістичними змінними: двома вже введеними нами раніше та третьою змінною – вага завантаженої білизни.

У випадку перших двох змінних «ступінь забруднення» та «тип забруднення» для їх вимірювання на ринку представлені різні відповідні датчики. Процес же вимірювання такої лінгвістичної змінної як «вага білизни» на сьогодні знаходиться у стадії інтенсивних досліджень. Існуючі системи вимірювання кількості білизни в більшості сучасних пральних машин є досить недосконалими. Як правило вони базуються на використанні простого датчика рівня води. Оскільки різна кількість білизни вбирає різну кількість води, то за зниженням водяного рівня у баку при замочуванні одягу в барабані визначають вагу одягу. Серйозним недоліком даного методу є те, що різні типи білизни при замочуванні з дуже різною інтенсивністю вбирають воду. Тому точність вимірювання ваги білизни таким методом дуже мала. У той же час, як показує аналіз, точне вимірювання ваги білизни, яка завантажується в барабан автоматичної пральної машини має суттєве значення в багатьох відношеннях:

- для забезпечення високої якості прання при мінімальних затратах різних ресурсів;
- для оптимального навантаження на електродвигун і механічні елементи конструкції пральної машини;
- для збільшення терміну експлуатації;
- для економного використання води, електроенергії, хімічних миючих засобів;
- для забезпечення більшого комфорту користувачів та інше.

					КМР.АКІТ.10539872.01.000 ПЗ	Арк.
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		38

Тому слід провести більш детальні дослідження способу вимірювання ваги білизни, завантаженої в барабан пральної машини. Ці питання будуть предметом аналізу наступного розділу нашої розробки.

					КМР.АКІТ.10539872.01.000 ПЗ	Арк.
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		39

4 АНАЛІЗ ТЕХНІЧНИХ РІШЕНЬ ВИМІРЮВАННЯ ВАГИ ЗАВАНТАЖЕНОГО ОДЯГУ БЕЗПОСЕРЕДНЬО У ПРАЛЬНІЙ МАШИНИ

Сучасні точні методи вимірювання ваги завантаженої в пральну машину білизни базуються на використанні законів змін параметрів обертowego руху барабана у залежності від його маси. Найбільш перспективними із них є методи, які вимірюють час розгону барабана із завантаженою білизною до максимальної швидкості, час зупинки завантаженого барабана при його русі за інерцією при вимкненому двигуні та вимірювання величини зворотної електрорушійної сили, яка генерується, коли двигун вимикається. Тому для оптимізації системи керування пральною машиною в даному напрямку зупинимося саме на даних методах.

Вимірювання часів розгону та зупинки барабана пов'язані із певними технічними труднощами внаслідок дуже малих змін величини цих часів при зміні ваги білизни в діапазоні кількох кілограмів. Тому для оптимізації системи керування використаємо метод вимірювання зворотної електрорушійної сили, яка генерується обмотках електричного двигуна при його вимиканні. Величина даної електрорушійної сили пропорційна швидкості гальмування двигуна, яка, у свою чергу, зменшується із зростанням ваги завантаженої білизни в барабані пральної машини.

Переваги даного методу проявляються і в тому, що зворотна електрорушійна сила може багаторазово вимірюватись під час здійснення кількох послідовних однотипних циклів запуску та вимикання двигуна електроприводу пральної машини. У такому випадку величина зворотної електрорушійної сили може бути виміряна досить велику кількість разів. Статистична обробка такого великого масиву вимірювань дозволяє досягнути високої точності визначення величини зворотної електрорушійної сили, а, відповідно і точності визначення маси білизни. Крім того, у процесі вимірювань можна періодично змінювати і напрямок обертання барабана, що дозволяє врахувати похибки, пов'язані з

					КМР.АКІТ.10539872.01.000 ПЗ	Арк.
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		40

нерівномірністю розміщення білизни по об'єму барабану та з варіаціями даної нерівномірності від прання до прання.

У якості двигуна електроприводу пральної машини з оптимізованою системою керування оптимальним варіантом є використання однофазних індукційних двигунів, які забезпечують досягнення максимальної швидкості обертання барабану за заданий проміжок часу з моменту подачі електричного живлення. Однак, проєктована система керування може бути застосована і для випадку інших двигунів. Для цього слід лише врахувати інші закономірності змін зворотної електрорушійної сили таких двигунів при їх вимиканні.

Для однофазного індукційного електричного двигуна на рис. 4.1 наведено типові графіки зміни швидкості обертання барабану, при різній вазі білизни, завантаженої в барабан.

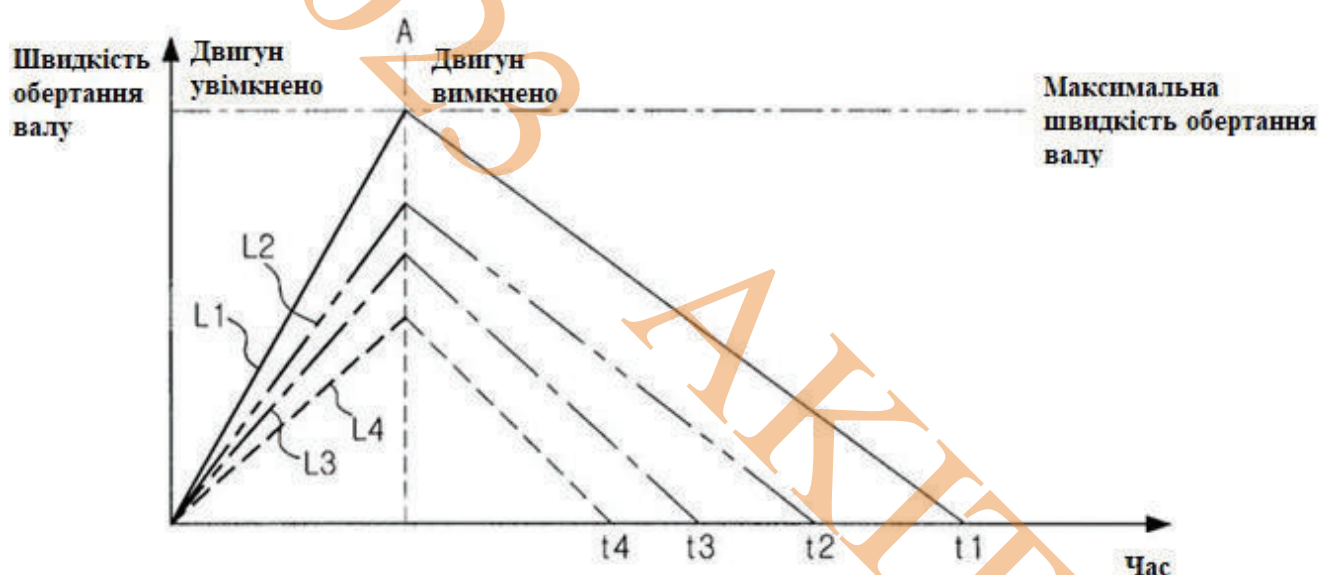


Рисунок 4.1 – Графіки зміни швидкості обертання барабану пральної машини в залежності від ваги завантаженої білизни

Наведені на рис.4.1 графіки відповідають чотирьом різним ступеням завантаження барабану пральної машини білизною. Із них графік L1 відповідає пустому барабану, а графік L4 – максимальному дозволеному завантаженню. Відповідно, графіки L2 та L3 відображають швидкісні характеристики барабану при проміжних ступенях його завантаження.

					КМР.АКІТ.10539872.01.000 ПЗ	Арк.
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		41

При пустому барабані його швидкість обертання досягає максимального значення за певний проміжок часу t_0 . Після цього двигун електроприводу вимикається і барабан за інерцією гальмується до повної зупинки. Весь цей цикл функціонування здійснюється протягом інтервалу часу t_1 обертання.

Для визначення ваги завантаженої білизни за даними залежностями можна запропонувати такий алгоритм:

- вмикається двигун електроприводу на проміжок часу t_0 ;
- двигун електроприводу вимикається і з цього моменту розпочинається відлік часу, протягом якого барабан зупиниться (це відповідає абсцисам t_4 , t_3 та t_2 на рис.4.1);
- розраховується інтервал часу гальмування барабану, наприклад, як різниця $t_4 - t_0$;
- за відповідними співвідношеннями між часом гальмування та вагою завантаженої білизни визначається величина останньої.

Недоліком такого алгоритму роботи системи керування є велика похибка та неоднозначність процесу вимірювання. Тому на основі залежностей рис.4.1 більш широко застосовується метод вимірювання магнітуди зворотної електрорушійної сили E обмоток двигуна електроприводу або сили струму, який генерується при цьому.

Дослідження показують, що вимірювання ваги завантаженої білизни за величиною E має малу точність при використанні лише одного циклу вмикання та гальмування двигуна. Це обумовлюється як статистичними ймовірнісними причинами, так і досить малими інтервалами часу пуску та гальмування двигуна, який змінюється у діапазоні від кількох десятих секунди до кількох секунд.

На рис. 4.2 наведено графіки, які ілюструють ефективність вимірювання ваги білизни вказаним методом. На рисунку графік R показує ідеальний випадок, коли результат вимірювання зворотної електрорушійної сили прямо пропорційно зменшується із зростанням ваги за лінійним законом. Така ситуація характерна лише для ідеальних електричних приводів із малими внутрішніми втратами електричної, магнітної та механічної енергії в електроприводі. У такому випадку

					КМР.АКІТ.10539872.01.000 ПЗ	Арк.
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		42

надійність та точність вимірювання ваги завантаженої в барабан білизни є досить високими.

Для реальних електроприводів пральних машин залежність величини E від ваги білизни P ілюструє графік С1. Він показує, що в діапазоні реальних умов прання, тобто при відносно великих значення ваги P , чутливість аналізованого методу дуже низька. Відповідно, для нього будуть характерні великі похибки вимірювань.

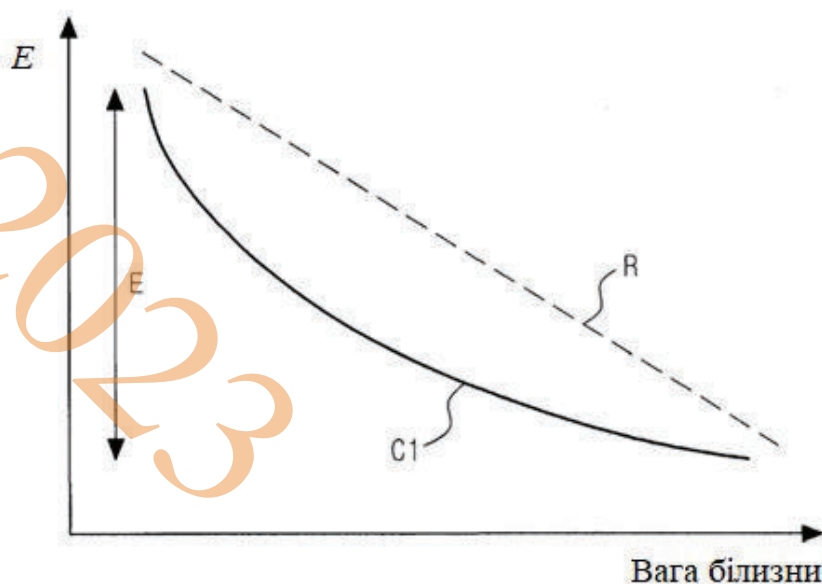
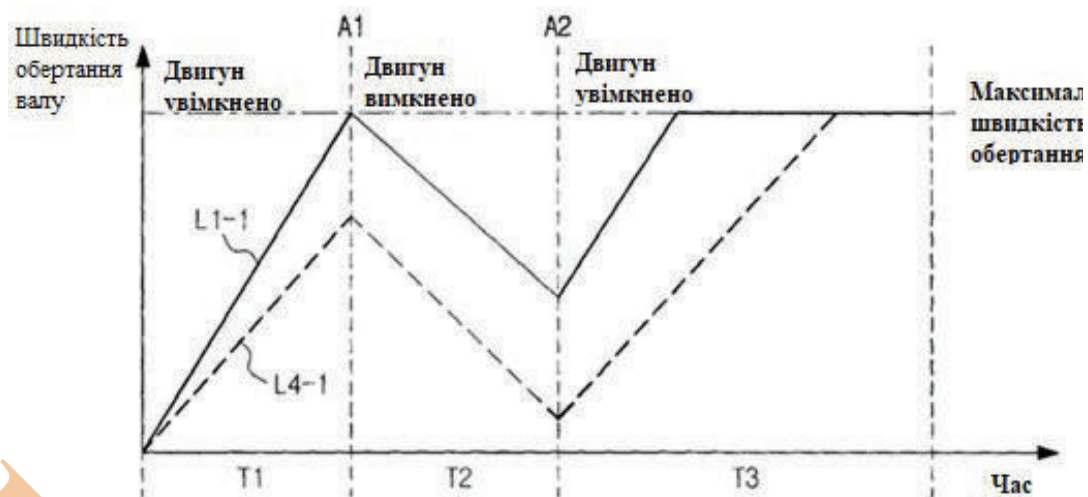


Рисунок 4.2 – Залежність величини зворотної електрорушійної сили обмоток двигуна електроприводу E від ваги завантаженої в барабан пральної машини білизни P

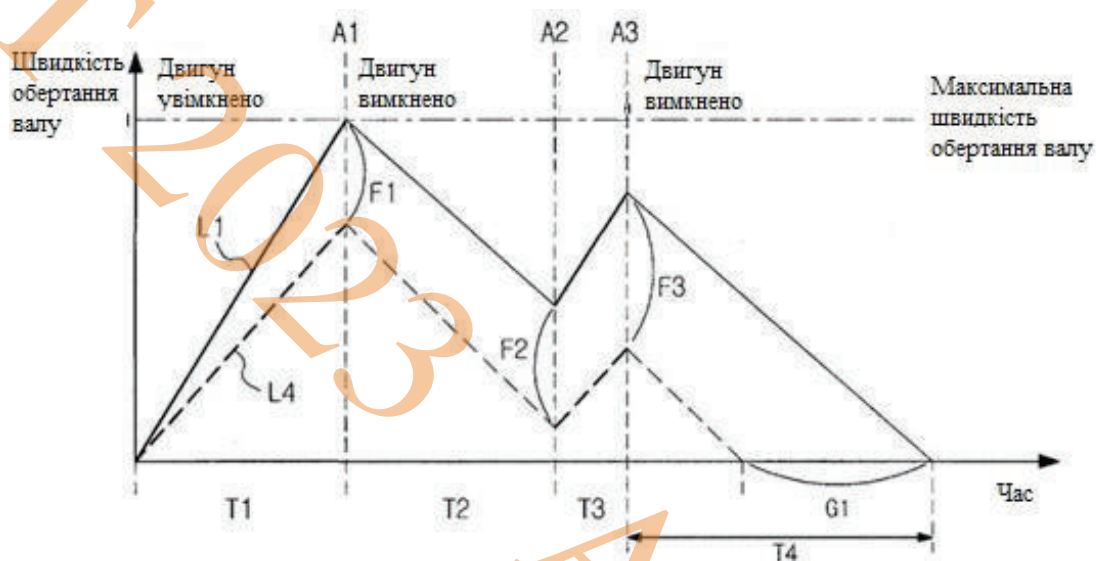
Для підвищення лінійності вихідної характеристики та точності вимірювання ваги білизни ми пропонуємо використати алгоритм проведення процесу вимірювань із кількох послідовних вмикання та вимикання двигуна. Можливі варіанти таких циклів наведено на рис.4.3.

Варіант а) відповідає алгоритму проведення вимірювань, коли вимірюється величина E при першому гальмуванні та інтервал часу набирання барабаном максимальної швидкості обертання під час другого циклу швидкісної характеристики. При цьому процес вимірювань на чекає повної зупинки барабана між вказаними двома циклами.

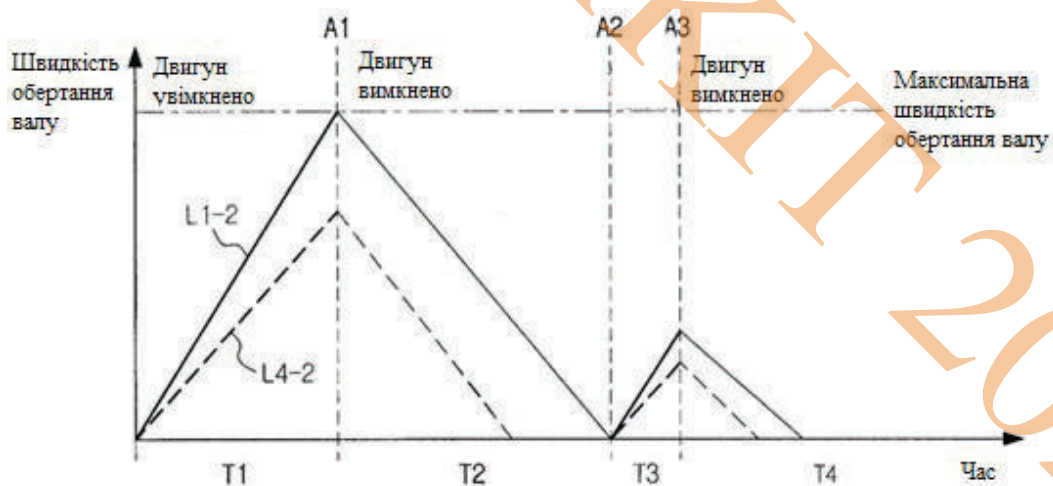
					KMP.AKIT.10539872.01.000 ПЗ	Арк.
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		43



а) L1-1 – випадок мінімальної ваги білизни, L4-1 – максимальної ваги



б) L1 – випадок мінімальної ваги білизни, L4 – максимальної ваги



в) L1-2 – випадок мінімальної ваги білизни, L4-2 – максимальної ваги

Рисунок 4.3 – Різні варіанти швидкісних характеристик двох різних алгоритмів здійснення циклів вимірювання ваги білизни

Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

KMP.AKIT.10539872.01.000 ПЗ

Арк.

44

Випадок б) відповідає ситуації, коли перший цикл є аналогічним випадку а), але на другому циклі барабан розганяється не до повної максимальної швидкості, після чого повністю зупиняється. У такому випадку для вимірювань можна вибрати кілька параметрів швидкісних характеристик, які умовно показані на рис.4.3 як $F1$, $F2$, $F3$ та $G1$. Точність вимірювання ваги білизни при такому алгоритмі суттєво підвищується.

Випадок в) є найбільш простим для технічної реалізації в пральних машинах. Він полягає у здійсненні двох повних циклів розгону та зупинки барабану. Однак за точністю вимірювань він децю поступається варіанту б).

На наведених швидкісних діаграмах використовуються лише два цикли. Однак, різні алгоритми можуть використовувати і більшу кількість циклів, аналогічних наведеним (рис.4.4). При цьому точність вимірювань ваги завантаженої білизни зростає за рахунок покращення статистичних параметрів розподілу ймовірностей похибок.

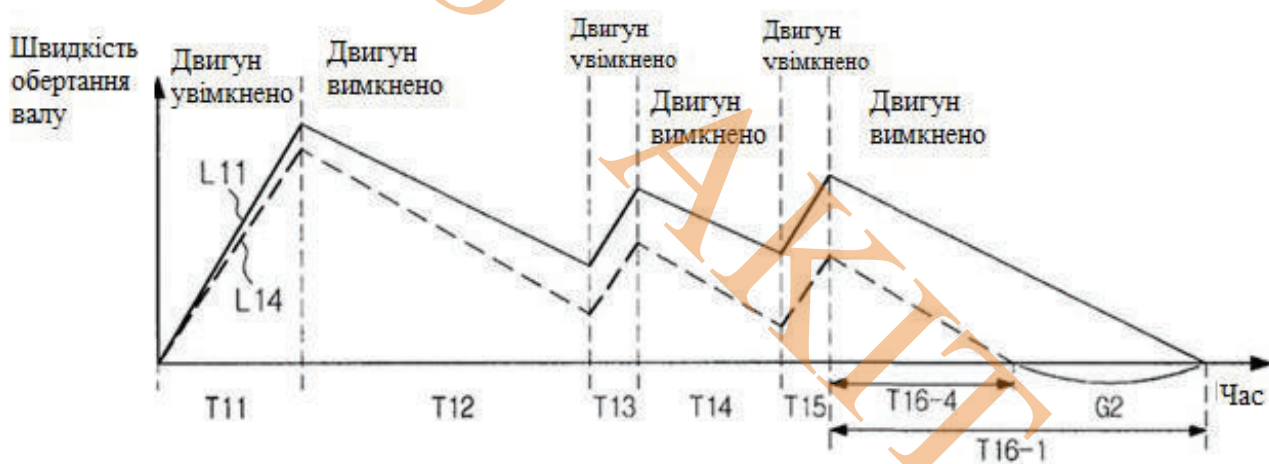


Рисунок 4.4 – Швидкісна характеристика барабана при кількох циклах «пуск – гальмування» двигуна

На рис. 4.5 наведено графік експериментальних досліджень залежності зворотної електрорушійної сили обмоток електричного двигуна пральної машини від ваги завантаженої в барабан білизни для алгоритму, який наведений на

рис.4.4. Значення величини E при цьому отримувались шляхом статистичного усереднення даних вимірювань під час трьох циклів гальмування.

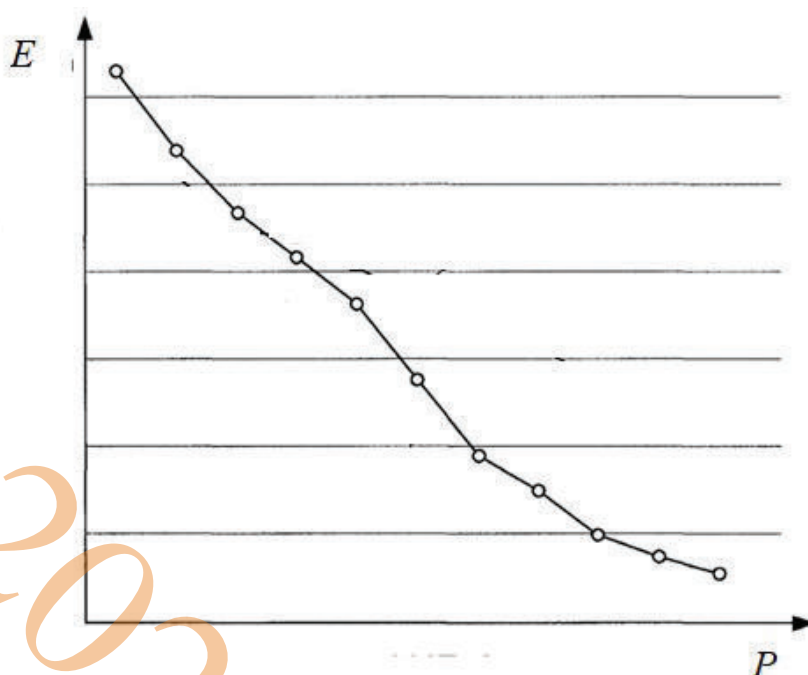


Рисунок 4.5 – Експериментальна залежність зворотної електрорушійної сили E від ваги білизни P

Результати експериментальних досліджень показують, що вибраний для оптимізації системи керування пральних машин метод вимірювання ваги білизни забезпечує хорошу точність та відтворюваність. Крім того, вихідна характеристика системи вимірювання за даним методом має хорошу лінійність, що полегшує розробку алгоритму процесу керування та написання відповідної програми.

Недоліком вибраного методу є можливі збої системи керування у випадках завантаження малої кількості білизни. Це обумовлено нерівномірністю її розподілу по об'єму барабана. У результаті отримані дані у різних циклах гальмування двигуна можуть суттєво відрізнятися один від одного. Для врахування даного недоліку кількість циклів проведення вимірювань можна збільшити навіть до десятка. При цьому почергові пуски двигуна слід здійснювати зі зміною напрямку обертання барабана. Результати вимірювань

кожного циклу вимірюються і порівнюються між собою. Якщо сумарні статистичні параметри всіх вимірювань попадають у заданий діапазон, то за середнім значенням отриманої величини E визначається вага білизни. Якщо статистичні параметри виходять за межі встановленого діапазону, то системи контролю приймає рішення не приймати до уваги таку логістичну змінну як «вага білизни» при визначенні часу прання. У останньому випадку режим прання буде вибиратися із умови максимального завантаження барабана.

					КМР.АКІТ.10539872.01.000 ПЗ	Арк.
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		47

5 РОЗРОБКА БЛОК-СХЕМИ, СТРУКТУРНОЇ СХЕМИ ТА АЛГОРИТМУ ПРОГРАМИ ФУНКЦІОНУВАННЯ ОПТИМІЗОВАНОЇ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ

5.1 Блок-схема функціонування оптимізованої системи керування

У цілому, результати досліджень попередніх розділів дозволяють запропонувати загальну блок-схему слідування пунктів програми оптимізованою системою керування пральною машиною, яка наведена в додатку А. Відповідно з даною схемою після задання режиму прання користувачем та старту програми контролер пральної машини перемикає її механізми в режим **вимірювання ваги білизни**. Розроблений нами алгоритм проходження даного режиму наведено в додатку Б.

При вимірюванні ваги білизни контролер пральної машини виконує ряд операцій за наведеним в додатку Б алгоритмом. При цьому здійснюється кілька циклів вмикання-вимикання двигуна електроприводу за швидкісною характеристикою, наведеною на рис.4.4. Під час здійснення вказаних циклів контролер за допомогою відповідних датчиків проводить вимірювання кількості величин зворотної електрорушійної сили. За усередненим значенням параметра E контролер встановлює вагу білизни, яка завантажена в барабан.

Отримана середня величина E передається контролеру нечіткої логіки, який ставить їй у відповідність певний терм лінгвістичної змінної «вага білизни». На нашу думку, кількість термів даної змінної доцільно обмежити трьома:

- «мала вага» (від 2 кг до 3 кг);
- «середня вага» (від 3 кг до 5 кг);
- «повне завантаження» (від 5 кг до 6 кг).

Визначивши значення лінгвістичної змінної «вага білизни», контролер нечіткої логіки передає керування контролеру пральної машини.

					КМР.АКІТ.10539872.01.000 ПЗ	Арк.
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		48

Контролер пральної машини проводить початковий стандартний процес прання. Для виконання цього початкового процесу прання контролер керує кількістю води, яка заливається в бак пральної машини. Ця кількість буде пропорційною до визначеної раніше ваги білизни. Після цього контролер здійснює початкове прання протягом певного фіксованого інтервалу часу (наприклад, від 10 хв до 15 хв). За цей час певна частина бруду перейде у пральний розчин. Тому контролер зупиняє процес прання і здійснює вимірювання двох інших лінгвістичних змінних «ступінь забруднення» та «тип забруднення» за допомогою відповідних давачів. Отримані результати вимірювань передаються контролеру нечіткої логіки, який на їх основі визначає значення термів цих двох змінних.

На даний момент контролер нечіткої логіки вже має три конкретні терми трьох лінгвістичних змінних. На основі цих даних за таблицею нечітких правил він знаходить необхідний в даних умовах терм вихідної лінгвістичної змінної «час прання». Значення цього терму передається контролеру пральної машини.

Контролер пральної машини відновлює процес прання і проводить його протягом інтервалу часу, який він отримав. Після цього цикл прання завершується відповідно до заданої користувачем програми.

5.2 Алгоритм оптимізованої частини програми контролера пральної машини

Відповідно до прийнятого нами технічного рішення оптимізація системи керування пральною машиною вимагає зміни двох частин програми її основного контролера.

Перша частина виконується зразу ж після старту процесу прання і забезпечує вимірювання ваги білизни. Розроблений нами алгоритм цієї частини програми наведено в додатку Б. Він охоплює виконання багатьох операцій, послідовність яких така:

- пуск двигуна електроприводу барабана;

					КМР.АКІТ.10539872.01.000 ПЗ	Арк.
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		49

- контроль процесу наростання швидкості обертання барабана;
- при досягненні швидкості обертання встановленого максимального значення – вимкнути двигун;
- проведення вимірювання величини зворотної електрорушійної сили обмоток двигуна E_1 при обертанні барабана за інерцією:
- запис значення величини E_1 в реєстр пам'яті;
- контроль процесу спадання швидкості обертання барабана;
- при досягненні швидкості обертання барабана встановленого певного мінімального значення – знову ввімкнути двигун;
- контроль процесу наростання швидкості обертання барабана;
- при досягненні швидкості обертання встановленого середнього значення – вимкнути двигун;
- проведення вимірювання величини зворотної електрорушійної сили обмоток двигуна E_2 при обертанні барабана за інерцією:
- запис значення величини E_2 в реєстр пам'яті;
- контроль процесу спадання швидкості обертання барабана;
- при досягненні швидкості обертання барабана встановленого певного мінімального значення – знову ввімкнути двигун;
- контроль процесу наростання швидкості обертання барабана;
- при досягненні швидкості обертання встановленого середнього значення – вимкнути двигун;
- проведення вимірювання величини зворотної електрорушійної сили обмоток двигуна E_3 при обертанні барабана за інерцією:
- запис значення величини E_3 в реєстр пам'яті;
- розрахунок середнього значення трьох величин E_1 , E_2 , та E_3 ;
- розрахунок відносної похибки вимірювань вказаних трьох величин;
- перевірка умови попадання відносної похибки в допустимий інтервал;
- якщо попередня умова виконується, то передати середнє значення зворотної електрорушійної сили контролеру нечіткої логіки;

					КМР.АКІТ.10539872.01.000 ПЗ	Арк.
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		50

- за середнім значенням розрахувати об'єм води, який слід залити в бак пральної машини;
- здійснити процес заливання відміряної кількості води;
- розпочати стандартний процес прання;
- розпочати відлік часу від початку прання.

Далі виконується стандартна програма процесу прання пральною машиною. При цьому контролер рахує текучий час, який пройшов від початку прання. Коли цей час досягне значення 15 хв, контролер зупиняє процес прання. Це необхідно, щоб пральний розчин прийшов у стан спокою. У цій точці розпочинає працювати друга коротка частина програми оптимізованої системи керування пральною машиною, яка наведена в додатку В і містить такі операції.

- отримати від датчика прозорості прального розчину інформаційний сигнал;
- передати отриманий сигнал контролеру нечіткої логіки;
- отримати від датчика концентрації жирів у пральному розчині інформаційний сигнал;
- передати отриманий сигнал контролеру нечіткої логіки;
- отримати від контролера нечіткої логіки значення терму вихідної лінгвістичної змінної «час прання»;
- ввести отримане значення часу прання у свій основний відповідний регістр пам'яті;
- відновити стандартний процес прання і продовжувати його протягом отриманого інтервалу часу.

Розроблений та описаний вище алгоритм має дві особливості. Перша із них пов'язана з оператором умовного переходу. У ньому можлива така ситуація, що похибка вимірювання величини зворотної електрорушійної сили буде більша за допустиму. У такому разі контролер буде виконувати не оптимізовану, а стандартну програму прання.

					КМР.АКІТ.10539872.01.000 ПЗ	Арк.
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		51

Друга особливість полягає в тому, що визначений «нечітким» контролером час прання буде вводиться у програму взамін того, який був встановлений стандартною програмою на початку процесу прання.

5.3 Розробка структурної схеми оптимізованої системи керування

Згідно з описаною вище аналітичною моделлю, основою оптимізації системи керування пральною машиною є визначення маси завантаженої у барабан білизни. Для її вимірювання використовується залежність від маси білизни сили струму в колі живлення двигуна електроприводу при його пуску. При цьому для вимірювання даної величини достатньо забезпечити поворот барабана на кут, менший за 180° . Відповідно, вимірювання сили струму покладемо на датчик, який працює на ефекті Хола. У цілому структурна схема системи керування наведена в додатку Г. Значення величини сили струму зберігається в оперативній пам'яті мікроконтролера «нечіткої» логіки і використовується для розрахунку маси завантаженої білизни.

До мікроконтролера «нечіткої» логіки надходять також інформаційні сигнали від давачів ступеня забруднення білизни та інтенсивності жирових видів забруднення

Виконання всіх операцій з керування пральною машиною за оптимізованою програмою покладемо на контролер з нечіткою логікою. При цьому для забезпечення виконання базового процесу прання необхідно забезпечити чітку взаємодію даного мікроконтролера з власним контролером пральної машини, що забезпечується програмною частиною проекту. Оптимізовану частину керування виконує «нечіткий» контролер, після чого він передає необхідні дані контролеру пральної машини та запускає базову програму прання останнього.

Підготовка та запуск оптимізованої частини системи керування відбувається за допомогою пульта керування. Відображення всіх режимів та етапів роботи оптимізованої системи керування відбувається на спеціальному дисплеї.

					КМР.АКІТ.10539872.01.000 ПЗ	Арк.
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		52

Для розширення функціональних можливостей системи керування до неї можна ввести додатково давач для вимірювання величини вібраційного дисбалансу прального барабана. Такий давач може працювати на принципі фіксації змін швидкості обертання барабана. Альтернативним методом може бути вимірювання амплітуд механічних вібрацій барабана, підвішеного на демпферних деталях електричного приводу пральної машини.

					КМР.АКІТ.10539872.01.000 ПЗ	Арк.
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		53

6 ВИБІР МІКРОКОНТРОЛЕРА «НЕЧІТКОЇ» ЛОГІКИ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ ТА ЙОГО ПРОГРАМУВАННЯ

У принципі, режим роботи з «нечіткою» логікою можна запрограмувати для будь-якого сучасного мікроконтролера. Однак, більш оптимальним підходом буде використання спеціальних мікроконтролерів, які орієнтовані саме на роботу з такою логікою. Одним із сучасних приладів даного типу є мікроконтролери серії MC68HC11.

Найпростішим із мікроконтролерів серії MC68HC11 є 8-розрядний пристрій MC68HC11E9 з низьким рівнем енергоспоживання. Ці мікроконтролери мають досить об'ємну внутрішню пам'ять. При необхідності до них також можна під'єднати необхідну зовнішню пам'ять. Позитивною стороною приладів є потужний 16-розрядний таймер і широкий набір паралельних та послідовних портів передачі даних.

Мікроконтролер MC68HC11E9 характеризується такими основними параметрами:

- 8-розрядний процесор з вбудованим арифметично-логічним пристроєм обробки даних;
- 12 кБ ПЗП (ROM), інтегрований в кристал;
- 512 байт ОЗП (RAM), інтегрований в кристал;
- 512 байт EEPROM, інтегрований в кристал;
- 16-розрядний модуль таймера;
- 38 пінів вводу/виводу даних загального призначення;
- 2 послідовних порти з протоколами обміну інформацією SCI та SPI;
- 8-розрядні АЦП;
- живлення забезпечується зовнішнім джерелом з ЕРС у діапазоні від 3 В до 5 В;
- тактова робоча частота: 2,4 МГц;

					КМР.АКІТ.10539872.01.000 ПЗ	Арк.
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		54

На рисунку 6.1 наведена загальна структурна схема мікроконтролера MC68HC11E9.

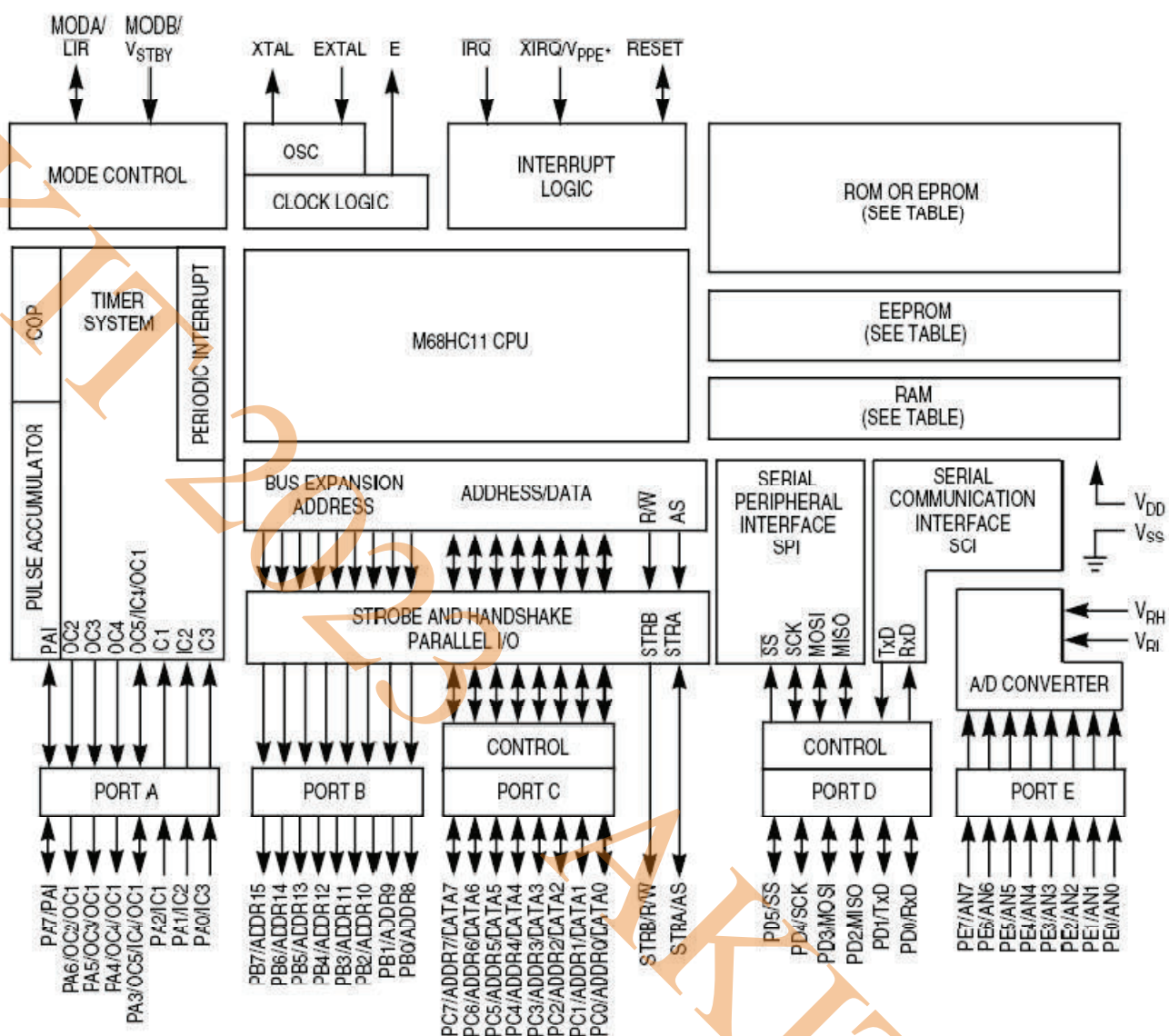


Рисунок 6.1 – Структурна схема мікроконтролера MC68HC11E9

Особливістю мікроконтролерів MC68HC11E9 є те, що для кожного порту вводу-виводу виділено окрему комірку його пам'яті з конкретною індивідуальною адресою. Тому при створенні програми для таких мікроконтролерів можна застосовувати як загальні конструктиви мови C++, так і безпосереднє вказування коду того піну, який буде застосовуватись при реалізації конкретно заданої операції.

Для практичного створення систем керування наведемо призначення всіх виводів мікроконтролера MC68HC11E9 на рис.6.2.

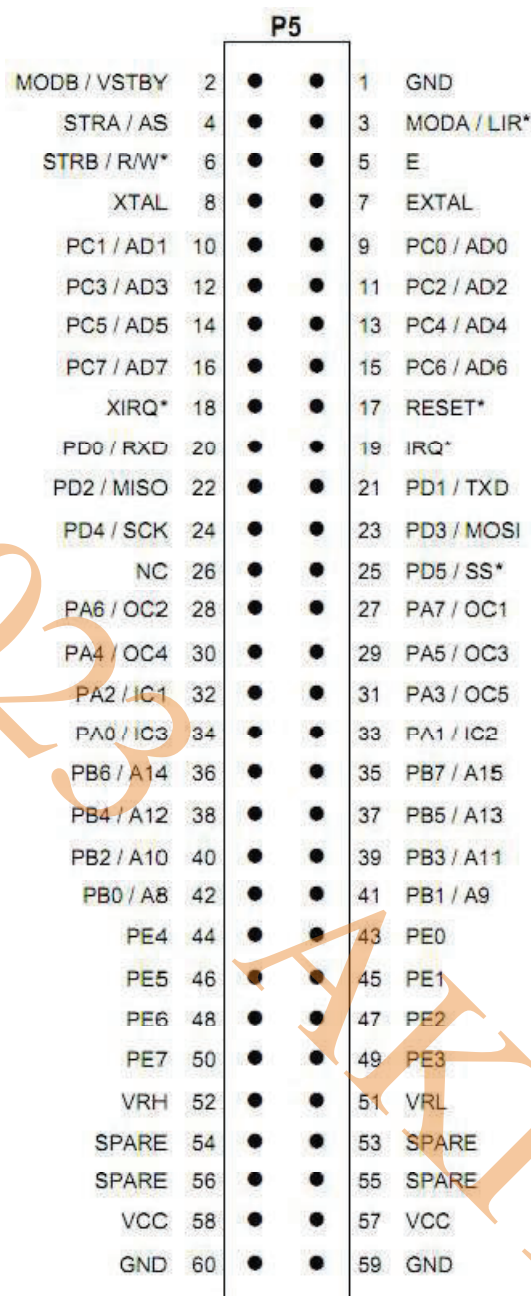


Рисунок 6.2 – Роз'єми входних та вихідних портів мікроконтролера MC68HC11E9

На основі наведеної на рисунку схеми сигналів досить легко можна провести проектування принципової електричної схеми оптимізованої системи керування пральною машиною. Однак, така схема буде малоінформативною, оскільки міститиме лише кілька окремих спеціалізованих інтегральних модулів,

які відображені на структурній схемі. Тому розробка такої схеми не ставилася як окреме завдання даної кваліфікаційної роботи.

					КМР.АКІТ.10539872.01.000 ПЗ	Арк.
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		57

ВИСНОВКИ

У процесі виконання кваліфікаційної магістерської роботи:

1. Проведено критичний аналіз недоліків систем керування ринковими пральними машинами. До основних із них віднесено відсутність пристроїв вимірювання маси завантаженої в барабан білизни, визначення ступеня забруднення та типу забруднення білизни, контролю інтенсивності механічних вібрацій у різних режимах. Показано, що врахування відмічених параметрів може привести до суттєвого підвищення економічних показників процесу прання: час прання, кількість використаної води, кількість використаних пральних засобів, довговічність обладнання та інше.

2. Встановлено доцільність оптимізації системи керування пральними машинами для уникнення відмічених недоліків. Показано перспективність використання при розв'язанні даної задачі принципів «нечіткої» логіки та «нечітких» контролерів.

3. Запропоновано для оптимізації системи керування ввести до пральної машини датчики ступеня та типу забруднення білизни і датчик сили струму живлення двигуна електроприводу барабану. Обґрунтовано можливість використання останнього для вимірювання маси завантаженої в барабан білизни.

3. Проведено аналітичне дослідження роботи приводу барабану пральної машини в режимі прання.

4. Розроблено функціональну та структурну схеми оптимізованої системи керування пральною машиною. При цьому основою оптимізованої системи вибрано контролер «нечіткої» логіки. Встановлені основні входні та вихідні лінгвістичні змінні для контролера і створено математичну трьохмірну матрицю блоку рішень контролера.

5. Створено алгоритми функціонування мікроконтролера при реалізації різних етапів роботи пральної машини за оптимізованим варіантом системи керування.

					КМР.АКІТ.10539872.01.000 ПЗ	Арк.
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		58

6. Запропоновано принципи взаємодії базового контролера пральної машини із мікроконтролером «нечіткої» логіки при реалізації різних режимів прання.

					КМР.АКІТ.10539872.01.000 ПЗ	Арк.
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		59

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАНЬ

1. Електронний ресурс – режим доступу: <http://ua.radioland.net.ua/sxemaid-443.html>.
2. Електронний ресурс – режим доступу: <https://bestrest.com.ua/ua/article/245699-Prystriy-ta-pryncyp-roboty-pralnoyi-mashyny>.
3. Електронний ресурс – режим доступу: <http://service-home.com.ua/content/view/59/39/>.
4. Електронний ресурс – режим доступу: <https://forum.cxem.net/>.
5. Електронний ресурс – режим доступу: <http://monitor.espec.ws/section7/topic64132.html>.
6. Електронний ресурс – режим доступу: https://elektrotanya.com/ardo_merloni_a600l_sch.pdf/download.html.
7. Потій О.В., Леншин А.В. Основні положення математичного апарату суб'єктивної логіки та його застосування для оцінки рівня зрілості систем забезпечення безпеки інформації // Радіотехніка. Тематичний випуск “Інформаційна безпека”. Харків: Харківський національний університет радіоелектроніки. с. 144–160.
8. Jenny Carter, Francisco Chiclana, Arjab Singh Khuman, Tianhua Chen. Fuzzy Logic: Recent Applications and Developments. – 2021. – 385 p.
9. Andreas Meier, Edy Portmann, Kilian Stoffel, Luis Terán. The Application of Fuzzy Logic for Managerial Decision Making Processes: Latest Research and Case Studies (Fuzzy Management Methods). – 2017. – 115 p.
10. Сила нечіткої логіки в штучному інтелекті: методи, застосування та проблеми. Електронний ресурс – режим доступу: <https://ts2.space/uk/0%BB/#gsc.tab=0>.
11. Vergaz R., Pena J.M.S., Barrios D., Perez I., Torres J.C. Electrooptical behaviour and control of a suspended particle device // Opto-Electronics Review. 2007. – Vol. 15. – P. 154–158.

					КМР.АКІТ.10539872.01.000 ПЗ	Арк.
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		60

12. Sobhy S.M., Khedr W.M. Developing of fuzzy logic controller for air condition system // International Journal of Computer Applications. – 2015. – Vol. 126.– P. 1–8.

					КМР.АКІТ.10539872.01.000 ПЗ	Арк.
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		61