

Хмельницький національний університет  
Факультет інженерії, транспорту та архітектури  
Кафедра машин і апаратів, електромеханічних та енергетичних систем

## КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА МАГІСТРА

### Розробка мікроконтролерної системи керування для пральної машини

Назва теми

Галузь знань 14 «Електрична інженерія»

Шифр, назва

Спеціальність 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»

Шифр, назва

Освітня програма «Електропобутова техніка»

Шифр МРМА 24.00.00.000 ПЗ

Виконав студент 2 курсу  
група ЕТМ-23-1

Підпис

Дрегало О.О.

Ініціали, прізвище

Керівник

Підпис, дата

докт. філ. Поліщук А.О.

Ініціали, прізвище

Нормоконтролер

Підпис, дата

С.І. Пундик

Ініціали, прізвище

До захисту допускаю:

Підпис, дата

доц. Неймак В.С.

Ініціали, прізвище

Зав. кафедри МАЕЕС

17 12 2024 р.

Хмельницький 2024

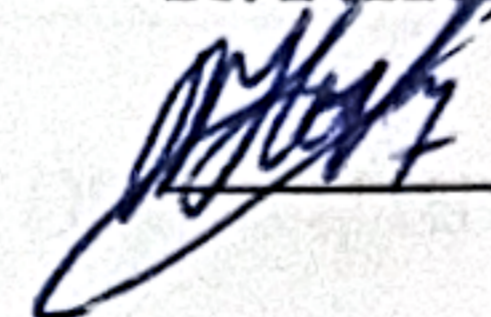
# ХМЕЛЬНИЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет інженерії, транспорту і архітектури  
Кафедра машин і апаратів, електромеханічних та енергетичних систем  
Освітній рівень магістр  
Галузь знань 14 «Електрична інженерія»  
Шифр і назва  
Спеціальність 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»  
Шифр і назва  
Освітня програма «Електропобутова техніка»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри МАЕЕС

к.т.н. доц. Неймак В.С.

 . 12 . 2024р.

## ЗАВДАННЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ МАГІСТРА

Дрегало Олександр Олегович

Прізвище, ім'я, по батькові студента

1. Тема роботи Розробка мікроконтролерної системи керування для пральної машини

керівник роботи доктор філософії Поліщук А.О.

Прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання

Затверджено наказом ректора університету від 26 08 2024 р. № 60

2. Строк подання студентом роботи на кафедру \_\_\_\_\_

3. Вихідні дані до роботи Технічні характеристики мікроконтролерних систем керування – аналогів та пральних машин

4. Зміст пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити)

Вступ. 1. Огляд та аналіз існуючих технологічних та технічних рішень з тематики магістерської роботи. 2. Розробка мікроконтролерної схеми управління побутовою пральною машиною. 3. Розрахунки, що підтверджують працездатність пральної машини. Висновки. Перелік джерел посилання.

5. Перелік графічного матеріалу (із зазначенням обов'язкових креслень) Аркуш 1. Схеми керування пральною машиною. Документ оглядовий (A1). Аркуш 2. Пристрій керування. Схема структурна (A1). Аркуш 3. Система автобалансування. Документ технологічний (A1). Аркуш 4. Пристрій. Документ ілюстраційний (A1). Аркуш 5. Пристрій керування пральною машиною. Схема електрична принципова (A1). Аркуш 6. Плата друкована. Деталювання (A1). Аркуш 7. Демонстраційний стенд. Габаритне креслення (A1). Аркуш 8. Алгоритм роботи пристрою керування пральною машиною. Розрахунки.

6. Консультанти розділів кваліфікаційної роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв

7. Дата видачі завдання \_\_\_\_\_

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

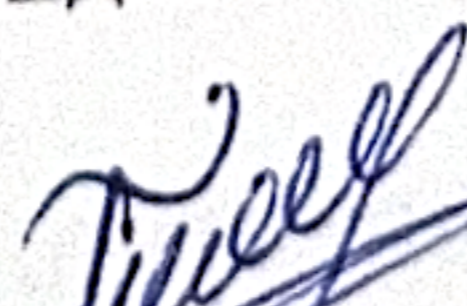
Назва етапів (розділів) кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1. Огляд та аналіз існуючих технологічних та технічних рішень з тематики магістерської роботи	до 30.10.24р.	
2. Розробка мікроконтролерної схеми управління побутовою пральною машиною	до 15.11.24р.	
3. Розрахунки, що підтверджують працездатність пральної машини	до 21.11.24р.	
4. Оформлення пояснювальної записки та графічного матеріалу	до 12.12.24р.	

Студент

  
Підпис

О.О. Дрегалю  
Ініціали, прізвище

Керівник роботи

  
Підпис

А.О. Поліщук  
Ініціали, прізвище

# АНОТАЦІЯ

до магістерської роботи студента  
спеціальності 141 «Електроенергетика, електротехніка та  
електромеханіка».

1. Прізвище, ім'я та по батькові \_\_\_\_\_

Дрегало Олександр Олегович

2. Тема магістерської роботи Розробка мікроконтролерної системи керування для пральної машини

3. Прізвище, ініціали, вчена ступінь та звання опонента \_\_\_\_\_

4. Об'єм магістерської роботи: креслень 8 арк., сторінок записки 70

5. Сучасні побутові пральні машини оснащуються як складними системами управління на базі мікропроцесорних технологій, так і традиційними командними апаратами, характерними для цього виду техніки. Метою магістерської роботи є розробка універсальної схеми управління для типової пральної машини, яка використовує датчики рівня води, температури, закриття дверцят, а також має привід на основі колекторного електродвигуна.

В магістерській роботі розроблено мікроконтролерну систему керування для пральної машини. В першому розділі проведено огляд та аналіз існуючих технологічних та технічних рішень з тематики магістерської роботи. В другому здійснено розробку мікроконтролерної схеми управління побутовою пральною машиною. В третьому розділі виконано розрахунки, що підтверджують працездатність пральної машини.

Підпис студента \_\_\_\_\_

" 17 " 12 20 24 р.

## РІШЕННЯ ЕК:

Протокол 1 від " 23 " 12 20 24 р.

Оцінка проекту ЕК \_\_\_\_\_

добре /с

Рекомендації ЕК \_\_\_\_\_

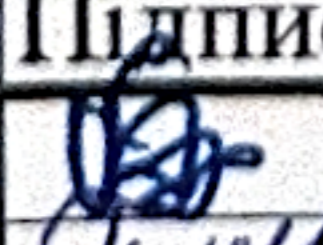
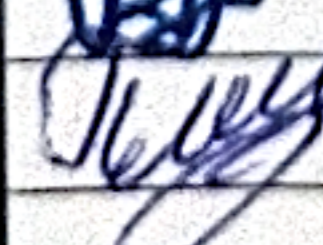
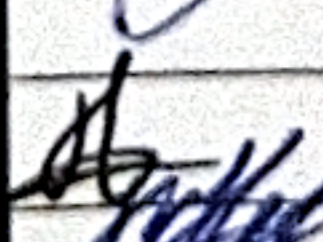
Особливі відмітки \_\_\_\_\_

Технічний секретар \_\_\_\_\_

" 23 " 12 20 24 р.

# ЗМІСТ

		стор.
	Вступ	6
1	Огляд та аналіз існуючих технологічних та технічних рішень з тематики магістерської роботи	8
1.1	Огляд основних характеристик пральних машин	8
1.2	Приклад створення схеми управління з використанням AT89C51	17
1.3	Реалізація системи управління на базі мікроконтролера AVR AT9084434	19
1.4	Основні параметри електричних двигунів побутових пральних машин	21
1.5	Технічні дані насосів для побутових пральних машин	33
1.6	Висновки до першого розділу	35
2	Розробка мікроконтролерної схеми управління побутовою пральною машиною	36
2.1	Аналіз та розробка варіантів структурної схеми управління пральною машиною	36
2.2	Розробка силового вузла управління універсальним колекторним електричним двигуном	40
2.3	Створення блоку стабілізованого живлення	43
2.4	Розробка вузла управління	43
2.5	Опис електричної схеми управління пральною машиною автоматом	44
2.6	Розробка друкованої плати пристрою управління автоматичною пральною машиною та вибір радіоелементів	47

<b>МРМА 24.00.00.000 ПЗ</b>								
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата	Розробка мікроконтролерної системи керування для пральної машини Пояснювальна записка	Літера	Аркуш	Аркушів
						м	4	70
Виконав		Дрегало			ХНУ гр. ЕТм-23-1			
Перевір.		Поліщук						
Н.контр. Затвер.		Пундик Неймак						

2.7	Створення алгоритму роботи контролера управління пральною машиною	48
2.8	Розробка структурної схеми системи автоматичного балансування пральної машини	50
2.9	Розробка пристрою, що імітує роботу пральної машини автомату	51
2.10	Висновки до другого розділу	53
3	Розрахунки, що підтверджують працездатність пральної машини	54
3.1	Розрахунок стабілізованого блоку живлення	54
3.2	Розрахунок силового вузла	57
3.3	Розрахунок барабана пральної машини автомату	61
3.4	Висновки до третього розділу	66
	Висновки	67
	Перелік джерел посилання	68
	Додаток А	
	Додаток Б	

## ВСТУП

Сучасні побутові пральні машини оснащуються як складними системами управління на базі мікропроцесорних технологій, так і традиційними командними апаратами, характерними для цього виду техніки. Основним недоліком мікропроцесорних систем управління є їх висока складність і, відповідно, дороговартісність ремонту. З іншого боку, командні апарати обмежені у реалізації всіх можливостей, які можуть запропонувати мікропроцесорні системи [1].

Завдяки мікропроцесорам можливо розпізнавати та активувати спеціальну закодовану інформацію, яка надходить від одного або кількох контактів командного апарата або кнопок управління. У мікропроцесорній системі управління процеси здійснюються за допомогою кодів програмного забезпечення, причому кожен код відповідає одній конкретній послідовності операцій, за допомогою яких електронний модуль запускає електричний двигун і забезпечує задані параметри:

- режими прання;
- швидкість обертання при пранні і віджимі;
- напрям обертання;
- параметри реверсування.

Електронна плата управління виконує наступні функції [2]:

- зчитування та оцінка вхідних сигналів (температура, рівень води, напруга мережі, частота, положення фаз);
- регулювання роботи електричного двигуна;
- розпізнавання рівня завантаження та дисбалансу барабана;
- контроль за тривалістю та якістю прання, полоскання й віджиму;
- діагностика стану пральної машини (визначення несправностей інтегрованого біполярного транзистора, обриву кола тахометра,

					MPMA24.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		6

несправностей термостата, нагрівального елемента (ТЕНу), електричного двигуна);

- контроль тривалості виконуваних операцій;
- регулювання температури при підключенні до системи гарячого водопостачання;
- запуск тестових програм перевірки роботи пральної машини.

Плата управління електричним двигуном здійснює зчитування та оцінку сигналів, таких як:

- кількість обертів;
- температура;
- напруга електромережі;
- частота.

Крім того, вона запускає та управляє електричним двигуном за допомогою інтегрованого біполярного транзистора.

Метою магістерської роботи є розробка універсальної схеми управління для типової пральної машини, яка використовує датчики рівня води, температури, закриття дверцят, а також має привід на основі колекторного електродвигуна потужністю 0,35 кВт і швидкістю обертання до 1000 об/хв. Така схема буде оснащена простим програмним забезпеченням із необхідними функціями прання і можливістю адаптації під різні моделі пральних машин.

					МРМА24.00.00.000 ПЗ	Арк.
						7
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

# 1 ОГЛЯД ТА АНАЛІЗ ІСНУЮЧИХ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ТА ТЕХНІЧНИХ РІШЕНЬ З ТЕМАТИКИ МАГІСТЕРСЬКОЇ РОБОТИ

## 1.1 Огляд основних характеристик пральних машин

Щоб детально зрозуміти завдання, поставлене в магістерській роботі, а саме розробку схеми управління пральною машиною на базі контролера, необхідно провести огляд сфери її використання, основних технічних характеристик та умов експлуатації. Також важливо розглянути вже існуючі аналоги побутових пральних машин і наявні системи їх управління. Проведення аналізу технічних та патентних джерел, а також принципів роботи машин є необхідним для оцінки актуальності магістерської роботи та доцільності застосування її результатів у майбутньому.

### Будова та принцип роботи побутових пральних машин

Пральні машини створені для автоматизації та механізації однієї з найбільш трудомістких домашніх робіт – прання білизни [3]. Процес прання полягає у фізико-хімічному та механічному впливі на білизну з використанням миючого розчину, що складається з води та миючого засобу (детергенту).

Основною складовою миючих засобів є поверхнево-активні речовини (ПАР), які створюють адсорбційні шари на межі поділу «забруднення – миючий розчин».

Миючі засоби поділяються на дві групи:

- жирове мило;
- синтетичні засоби.

Найбільш поширеними є синтетичні засоби, які, окрім ПАР, містять відбілюючі речовини, лужні добавки для пом'якшення води тощо.

Автоматичні побутові пральні машини іноді оснащуються режимом сушіння білизни. Вони забезпечують прання (і сушіння) без втручання

					МРМА24.00.00.000 ПЗ	Арк.
						8
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

людини, виконуючи дії за заданою програмою, обраною споживачем відповідно до типу білизни та ступеня її забруднення.

Цей процес відбувається у перфорованому обертовому барабані, розташованому у баку з миючим розчином. Залежно від обраної програми виконуються етапи замочування, прання, полоскання та віджимання. Машина автоматично наповнює, підігріває і зливає воду, а також додає пральний порошок у необхідний момент.

Побутові автоматичні пральні машини виготовляються з:

- фронтальним завантаженням;
- вертикальним (горизонтальним) завантаженням (рис.1.1).

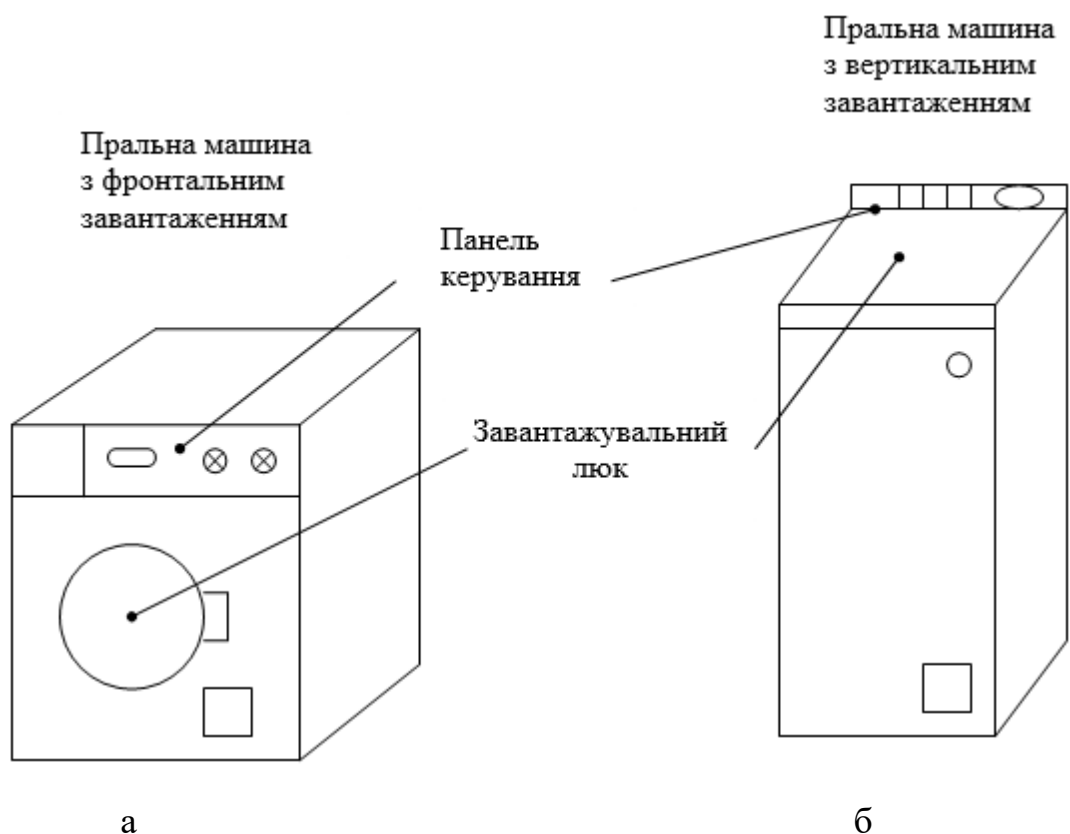


Рисунок 1.1 - Пральні машини із завантаженням: а – фронтальним;  
б - вертикальним

Кожен тип має свої переваги, недоліки, конструктивні особливості та області застосування. Однак їх конструкція включає однакові функціональні вузли.

Розглянемо функціональну схему автоматичної побутової пральної машини [4]. Варто зазначити, що її робота в усіх режимах можлива лише при зачинених дверях, тому до кожного вузла включено мікровимикач блокування дверцят (люка) .

#### Наповнення води [4/]

Вода надходить з водопроводу через вентиль або систему AQUA-STOP, яка відкривається вручну, через фільтр грубого очищення на клапан наповнення. Цим клапаном управляє реле рівня.

Команди на реле подає командний апарат (рис.1.2). Після відкриття клапана вода змиває пральний порошок з відповідного відділу бункера миючих засобів у бак. Після заповнення бака до потрібного об'єму миючим розчином реле рівня подає сигнал на закриття клапана наповнення.

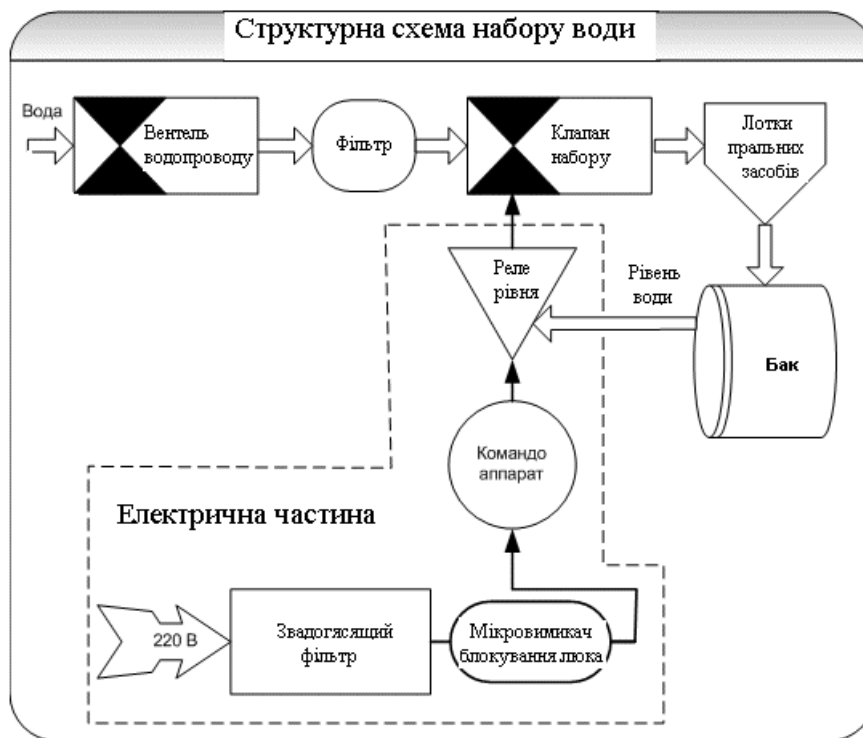


Рисунок 1.2 – Структурна схема наповнення води

#### Нагрівання води [4].

У пральну машину зазвичай заливається холодна вода, яку для ефективного прання необхідно підігріти до заданої температури. Її значення

визначається обраним режимом прання і коливається в межах від 40 до 90 °С. Підігрів води здійснюється за допомогою електронагрівача ТЕН. Після заповнення бака командоапарат подає сигнал на початок нагрівання, а вимикає нагрівання після отримання сигналу від датчика температури (рис. 1.3).

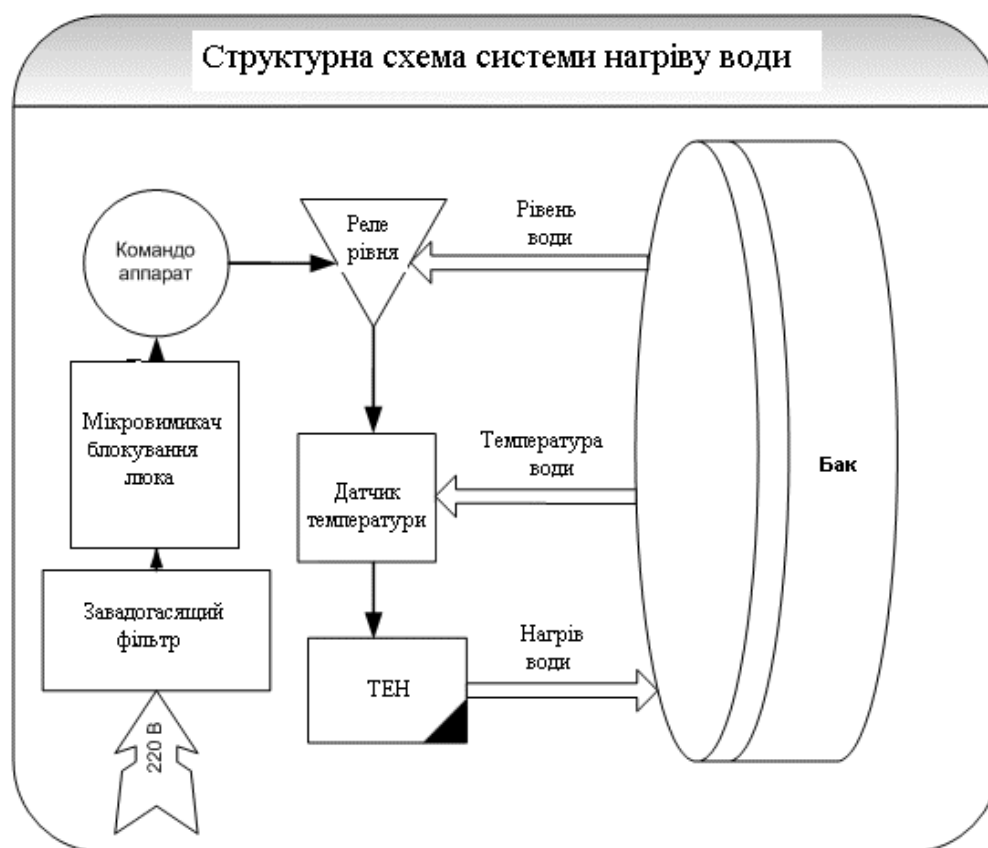


Рисунок 1.3 – Структурна схема системи нагрівання води

Енергозберігаючі програми передбачають такі режими прання:

- прання при 75 °С замість 90 °С дає можливість скоротити споживання електроенергії до 15%;
- прання при 60 °С замість 90 °С дозволяє зекономити до 30% електроенергії;
- прання при 40 °С замість 90 °С забезпечує економію до 35% електроенергії;

Система прання [4]. Основне завдання цієї системи – обертання барабана за встановленою програмою, яка передбачає почергове обертання в прямому напрямку, а потім, після короткої паузи, у зворотному напрямку. Протягом цього часу (рис. 1.4) барабан обертається в частково заповненому водою з пральним порошком баку. Білизна захоплюється ребрами барабана, піднімається догори і падає назад у воду, імітуючи процес відбивання у водяному середовищі. Перфоровані ребра захоплюють воду, піднімаючи її до верхнього положення, після чого виливають її на білизну, створюючи ефект "дощу".

Для покращення якості прання можуть застосовуватися додаткові підрежими. Наприклад, у дорогих моделях використовується система вприскування: спеціальний насос спрямовує потужний струмінь води на білизну, що прилягає до стінок барабана, забезпечуючи примусове проникнення води через тканину. Такі системи вприскування мають різні комерційні назви, як-от: Активу, Душ, Джет, Гейзер.

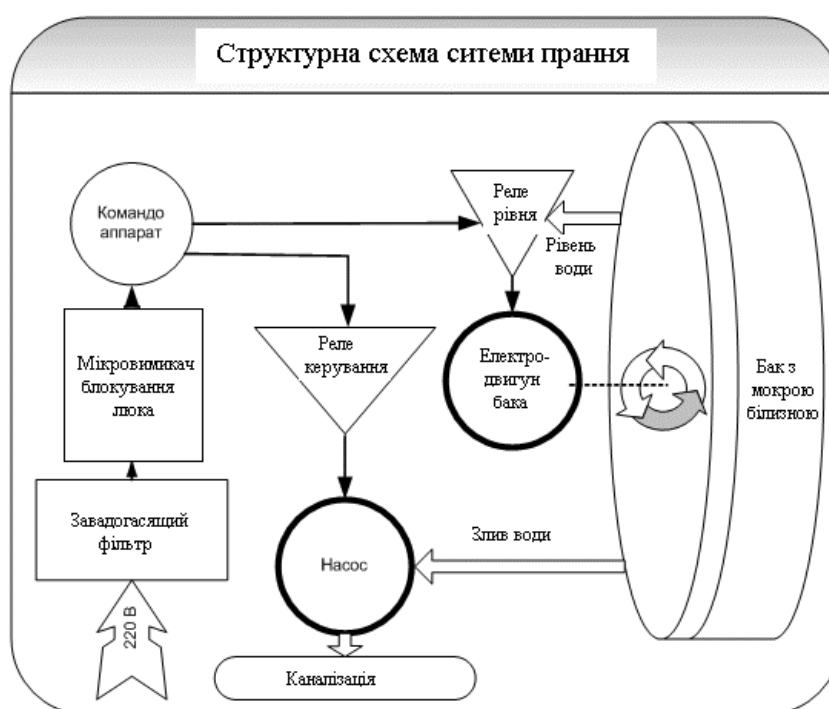


Рисунок 1.4 – Структурна схема системи прання

Система зливу води [4] має просту конструкцію (рис. 1.5). Головним елементом є насос, який активується за сигналом командоапарата. У цей момент вода з бака відкачується в каналізацію. Зливний режим активується як після завершення циклу прання, так і під час віджиму білизни. Важливо зазначити, що довжина зливного патрубка повинна бути максимально короткою і не перевищувати одного метра. У разі необхідності відкачування води в більш віддалену каналізацію електродвигун насоса працюватиме в режимі постійного перевантаження.

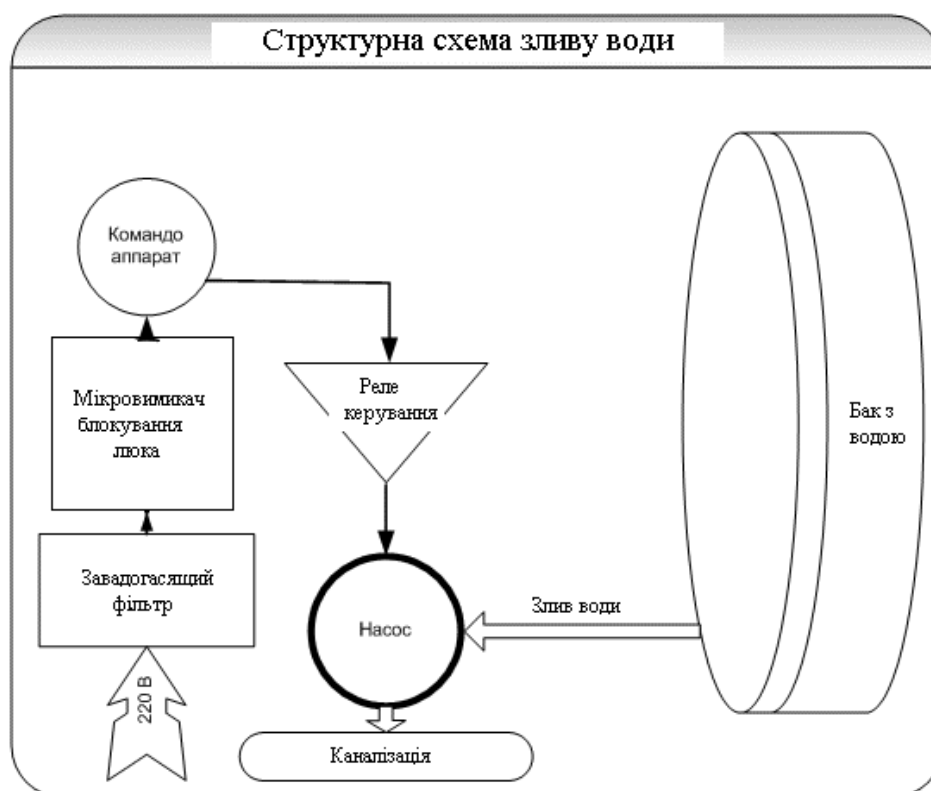


Рисунок 1.5 – Структурна схема системи зливання води

Система віджиму [4].

Основним елементом цієї системи є електродвигун (рис. 1.6), який обертає барабан з мокрою білизною на високій швидкості. Чим вища швидкість обертання, тим сушішою стає білизна після віджиму. Для більшості пральних машин число обертів під час віджиму зазвичай варіюється в межах 400–1600 об/хв. Для деяких моделей пральних машин

користувач може регулювати швидкість обертання в залежності від типу білизни. Східчає регулювання швидкості характерне для машин з асинхронним двигуном, а плавне - для машин з колекторним двигуном. Команду на електродвигун подає командоапарат через реле рівня. Електродвигун починає обертати барабан, розганяючи його до заданої користувачем швидкості. Коли в баку накопичується певна кількість води, що зливається під час віджиму, спрацьовує реле управління насосом. Насос починає відкачувати воду в каналізацію. Після закінчення програми віджиму командоапарат відключає електродвигун і насос.

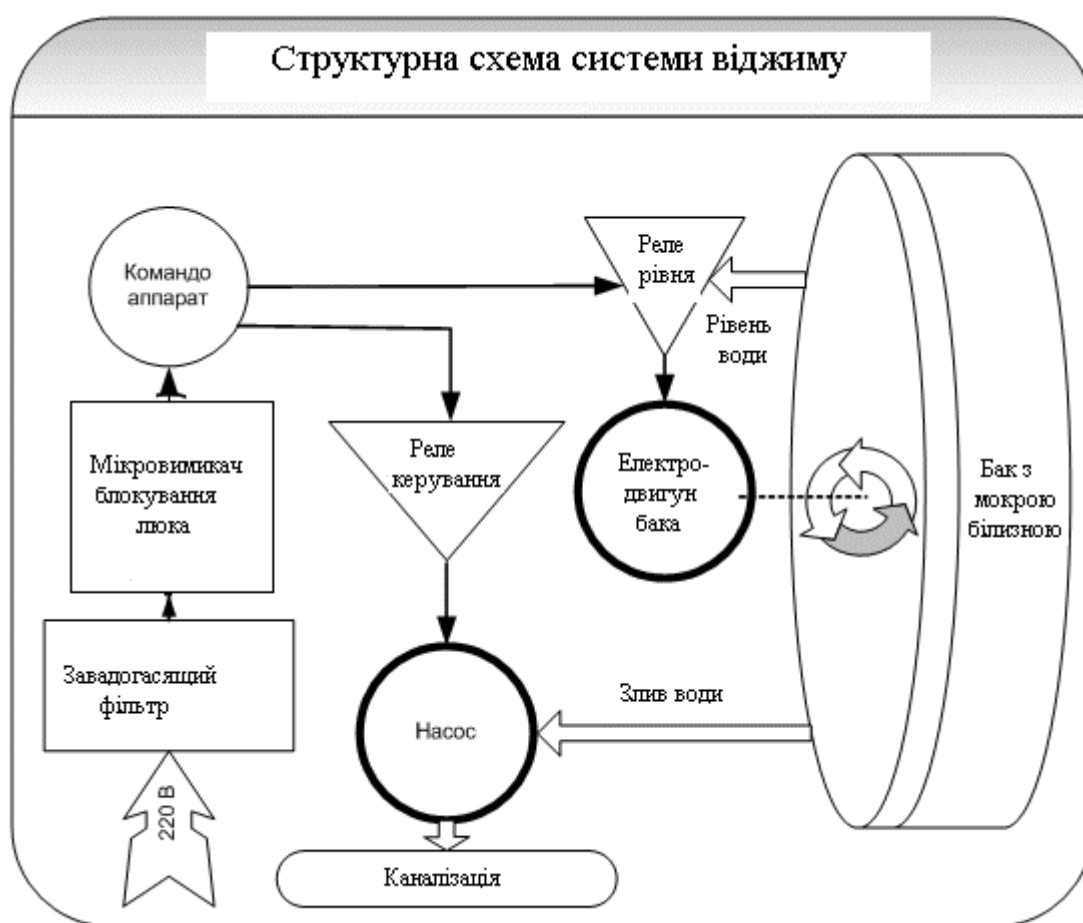


Рисунок 1.6 – Структурна схема системи віджиму і зливу води, що утворилася в результаті віджиму

Система сушіння.

Вона наявна лише в окремих моделях прально-сушильних машин (рис. 1.7). Процес сушіння здійснюється за допомогою гарячого повітря, яке нагрівається спеціальним елементом. Потужний потік повітря спрямовується вентилятором у бак та барабан машини. Під дією гарячого повітря білизна нагрівається, а утворена пара переноситься потоком у конденсатор. Для кращого конденсування вологи через конденсатор пропускається холодна вода, завдяки чому пара конденсується, а утворений конденсат видаляється насосом у каналізацію. Осушене гаряче повітря знову повертається до барабана з білизною, і цикл повторюється. Температуру повітря під час сушіння можна регулювати залежно від типу тканини. Протягом усього циклу сушіння барабан обертається з різною швидкістю та змінює напрямок обертання для рівномірного висихання білизни без заминання.

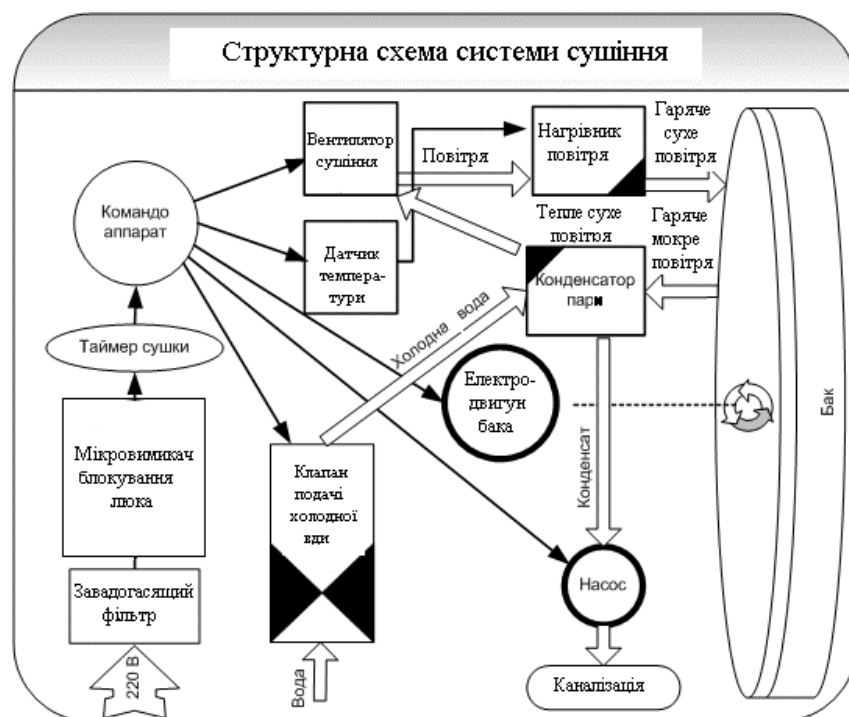


Рисунок 2.7 – Структурна схема системи сушіння

Ступінь залишкової вологості білизни можна налаштувати: від злегка вологої, придатної для негайного прасування, до повністю сухої, якщо прасування не передбачається. Система сушіння розрахована на обробку

половини максимально допустимого завантаження барабана. Повний цикл сушіння може тривати до трьох годин.

Система управління [4].

Усі розглянуті системи керуються і контролюються системою управління, ключовою частиною якої є командоапарат або мікропроцесор. Окремі етапи прання називаються кроками, а їх послідовність складає програму прання. Програм може бути від 3 до 55 і більше, але зазвичай користувач застосовує до п'яти основних програм, які відповідають різним типам тканин, що підлягають пранню. Наприклад, це може бути прання бавовняної білизни, синтетичних тканин, дбайливе прання вовни, шовку чи тюлів.

Електродвигуни пральних машин [4].

У деяких моделях пральних машин, наприклад від фірми LG, використовується безколекторний електродвигун постійного струму. На відміну від традиційного колекторного двигуна, де обертання ротора забезпечується подачею змінного струму через щітки на роторну обмотку (рис. 1.8, а), у безколекторних двигунах ротор оснащений постійним магнітом (рис. 1.8, б). Такі двигуни характеризуються низьким рівнем шуму, меншим енергоспоживанням і довшим терміном експлуатації [5]. Порівняльні характеристики колекторних і безколекторних двигунів наведені в табл. 1.1.

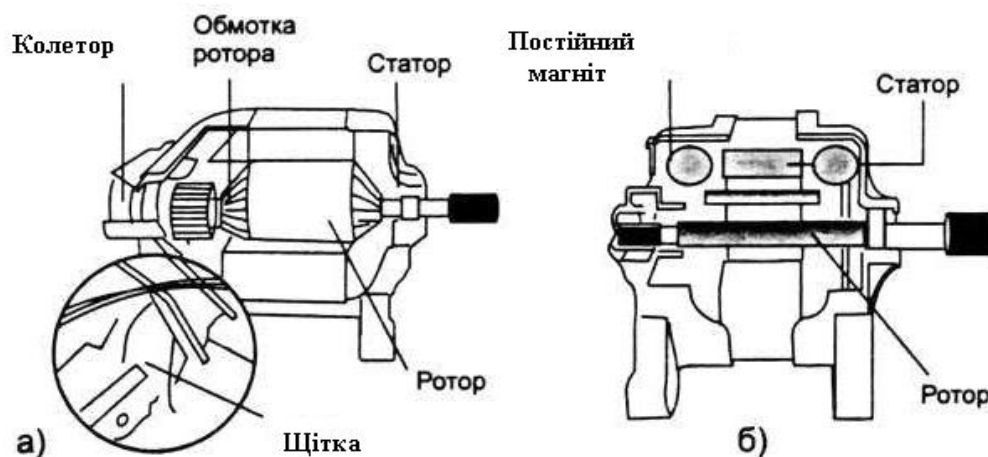


Рисунок 1.8 – Електродвигуни: а – колекторний; б – безколекторний

Таблиця 1.1 - Порівняльні технічні параметри колекторного і безколекторного електричних двигунів

Параметр	Електричний двигун	
	Колекторний	Безколекторний
Використання електричної енергії при завантаженні 7 кг білизни, Вт	190	70
Рівень шуму при 10000 об/хв, дБ	74	63
Термін служби при 1000 об/хв, годин	500	5000

## 1.2 Приклад створення схеми управління з використанням АТ89С51

На платі управління [6] та індикації розташовані мікроконтролер, вісім кнопок управління, здвоєний семисегментний індикатор і дев'ять світлодіодів, що відображають перебіг програми (рис. 1.9) (аркуш [МРМА24.00.00.000ДО]). Керування семисегментним індикатором, світлодіодами стану та опитування стану клавіш здійснюється в динамічному режимі за допомогою двох паралельних регістрів IP22 та двох транзисторних ключів Q1 і Q2 з частотою 100 Гц. Частота генерується на силовій платі за допомогою детектора переходу напруги через «нуль».

Силова плата (рис. 1.10) включає [6]:

- блок живлення з вихідною напругою 12 вольт для живлення силових реле,
- джерело живлення на 5 вольт для живлення цифрової частини,
- детектор переходу напруги через "нуль" на оптроні АОТ101,
- два оптотиристири ТЕ122,
- силові реле, які управляють пральною машиною.

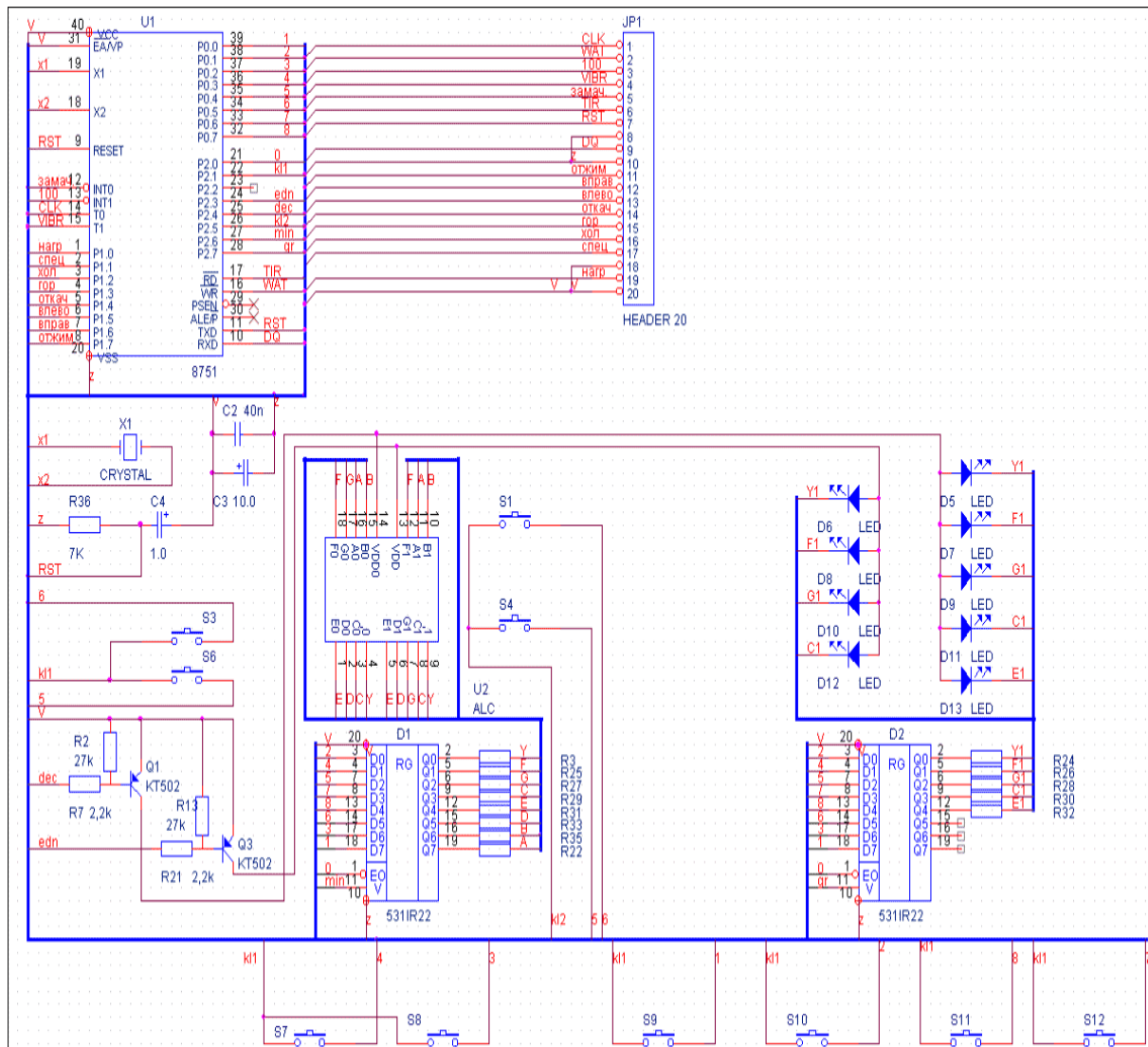


Рисунок 1.9 – Плата управління з використанням мікроконтролера AT89C51

Релейна схема комутації здійснює всі перемикання виключно у знеструмленому стані кола. Загальне розмикання забезпечується за допомогою двох оптотиристорів TE122, увімкнених паралельно. Це рішення дозволяє використовувати дешевші та менш потужні реле, оскільки відсутні перехідні процеси.

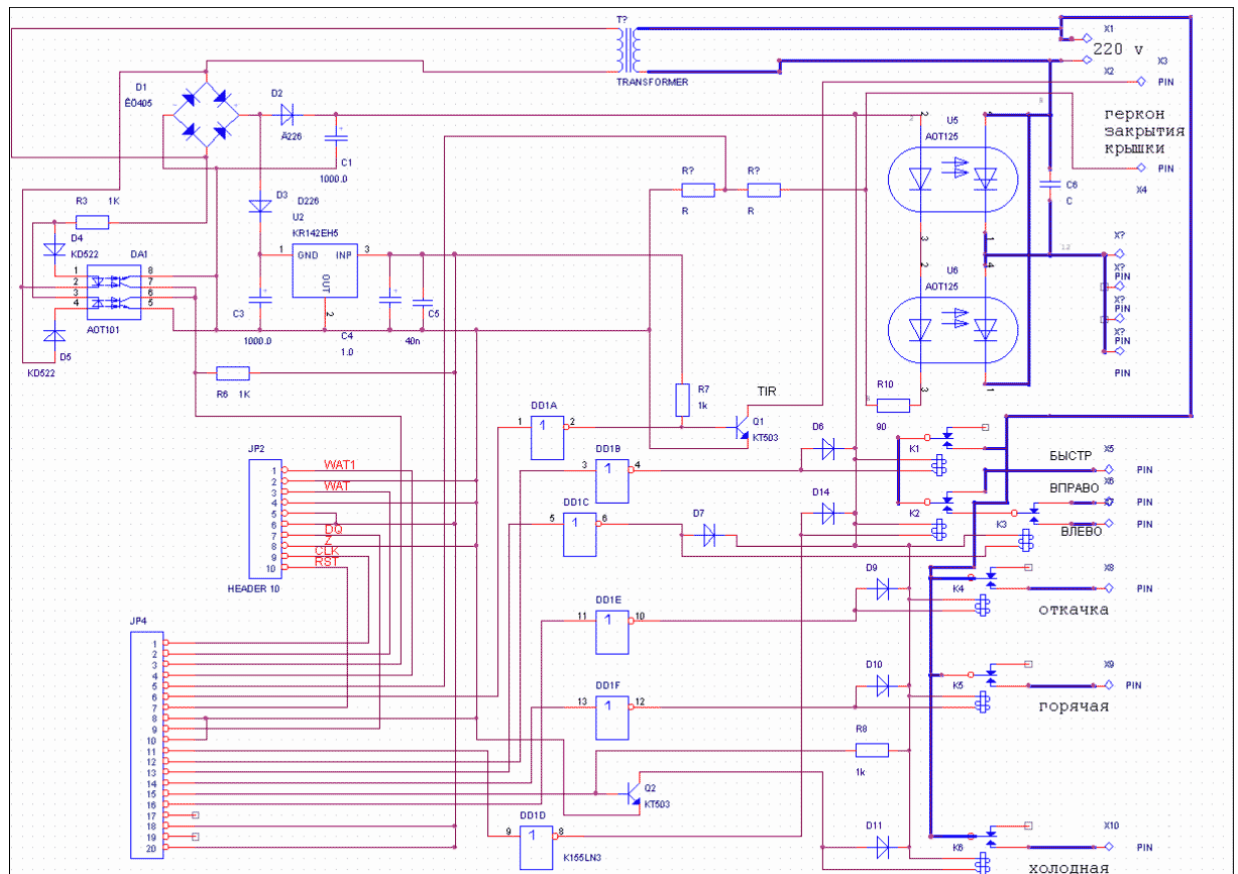


Рисунок 1.10 – Силовая плата управління пральною машиною на основі двох опто тиристорів TE122

### 1.3 Реалізація системи управління на базі мікроконтролера AVR AT9084434

Останнім часом мікроконтролери знаходять все ширше застосування в системах керування побутовими електроприладами. Одним із прикладів є використання мікроконтролера AVR AT9084434 для управління пральною машиною «Еврика-3М». Цей пристрій виконує основне завдання – керує чотирма ключами, які забезпечують обертання барабана в обидва напрямки, злив води та віджимання білизни. Спрощена структурна схема управління пральною машиною наведена на рис.1.11.

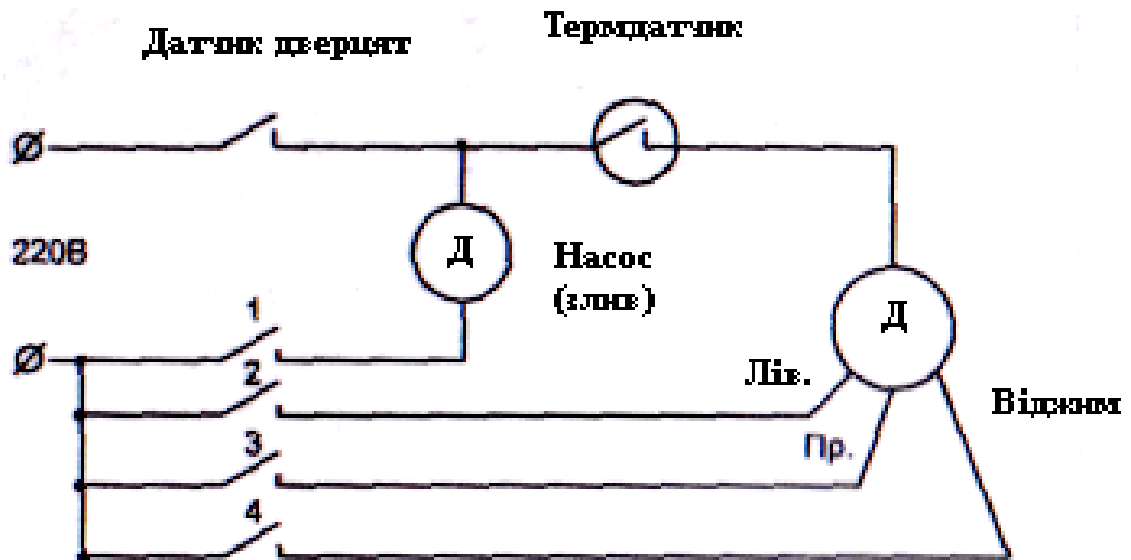


Рисунок 1.11 - Спрощена структурна схема управління пральною машиною

Побутова пральна машина функціонує у чотирьох основних режимах:

- попереднє прання,
- основне прання,
- полоскання,
- віджимання.

Головними вимогами до пральної машини є її надійність та безпека. Окрім цього, бажано мати індикатор, який показує, скільки хвилин залишилося до завершення поточного режиму, а також звукове сповіщення про завершення певного етапу. Кількість елементів керування (кнопок, перемикачів тощо) має бути мінімальною – ідеально, якщо обійтися без них, але одна кнопка все ж виявилася необхідною. Схема не критична до номіналів резисторів [4, 7].

AVR-мікроконтролери є досить чутливими до іскріння та завад [8, 9]. Тому всі потенційно іскрові місця повинні бути зашунтовані конденсаторами. Для цього використовувалися кола із послідовно з'єднаними резисторами

опором 100 Ом та конденсаторами ємністю 0,33 мкФ. Щоб уникнути збоїв у роботі, всі механічні контакти мають бути надійно підігнуті.

Принципова електрична схема з використанням мікроконтролера AVR AT9084434 наведена на рис. 1.12.

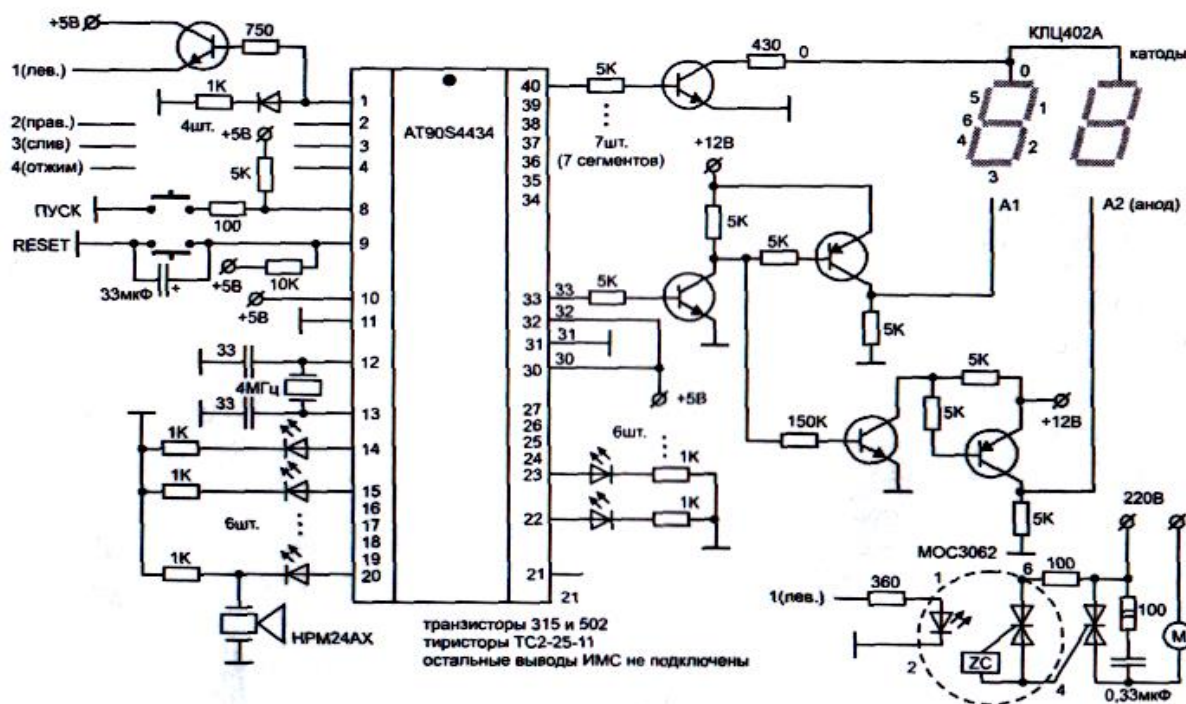


Рисунок 1.12 – Схема принципова електрична управління пральною машиною на основі контролера AVR AT9084434

#### 1.4 Основні параметри електричних двигунів побутових пральних машин

Одним із ключових компонентів побутових пральних машин є електродвигун [10]. Його правильний вибір, технічний стан і експлуатаційні характеристики значною мірою визначають надійність роботи всієї машини.

Електродвигун забезпечує обертання барабана під час усіх режимів роботи. Крутний момент, що створюється шківом двигуна, передається через

приводний пас на шків барабана пральної машини. Колекторні та асинхронні електродвигуни працюють від мережі з напругою 220 В.

Електродвигуни, що використовуються в пральних машинах, поділяються на два типи:

- колекторні,
- асинхронні.

Основна функція електродвигуна полягає у забезпеченні обертання барабана в основних режимах роботи пральної машини (прання, віджимання, сушіння). Передача обертального руху від двигуна до шківів осі барабана здійснюється за допомогою пасової передачі (рис. 1.13).

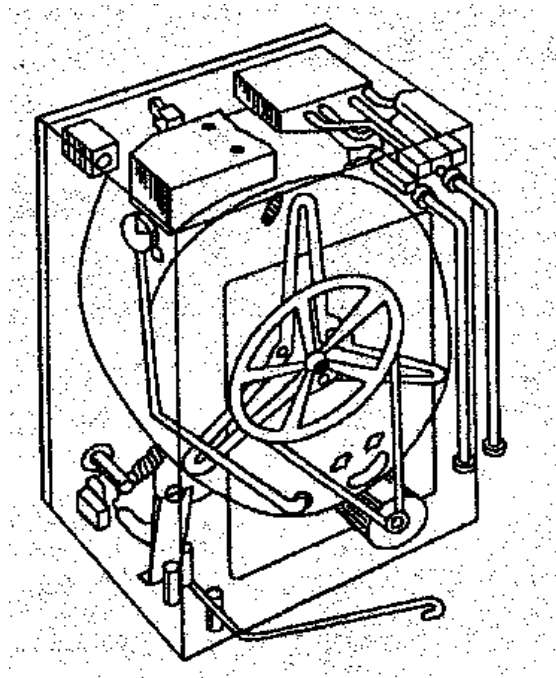


Рисунок 1.13 – Приклад застосування електродвигуна в пральних машинах автоматах

Асинхронні електродвигуни є найбільш поширеними у використанні [11]. Швидкість обертання шківів асинхронного двигуна під час віджимання (зазвичай стандартна для всіх пральних машин) становить 2800 об/хв і залежить від кількості обмоток, яких зазвичай дві. Швидкість обертання

Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата

МРМА24.00.00.000 ПЗ

Арк.  
22

обернено пропорційна числу пар обмоток в двигуні. Частота обертання барабана визначається співвідношенням діаметрів шківів на електродвигуні та барабані (рис. 1.14) [12].

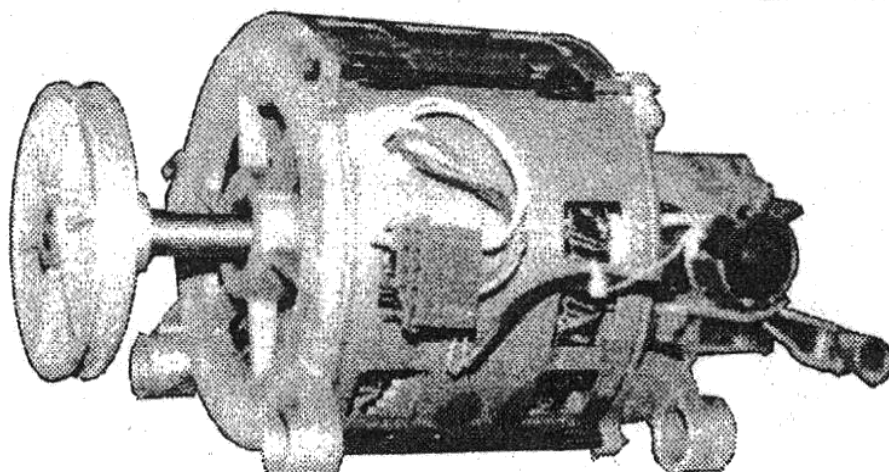


Рисунок 2.14 – Асинхронний двигун пральної машини

Асинхронні електродвигуни зазвичай взаємозамінні без значних модифікацій або з мінімальними доробками, наприклад, може знадобитися перепресування шківів. Це можливо за умови однакової (або подібної) потужності замінних двигунів і при однаковій кількості обмоток.

Найпростішою конструкцією однофазного асинхронного двигуна є статор з однією обмоткою і короткозамкненим ротором. Однак такі двигуни не створюють початкового (пускового) моменту. Для його створення застосовують спеціальні конструкції однофазних асинхронних двигунів, які мають на статорі дві обмотки – основну (робочу) та допоміжну (пускову або конденсаторну), зміщені на 90 електричних градусів. Відмінність між ними полягає у способі створення фазового зсуву струмів у цих обмотках.

Серед поширених типів електродвигунів можна виділити [13]:

- зі збільшеним активним опором допоміжної обмотки,
- конденсаторні двигуни,
- двигуни з екранованим полюсом.

Збільшення активного опору допоміжної обмотки досягається трьома способами:

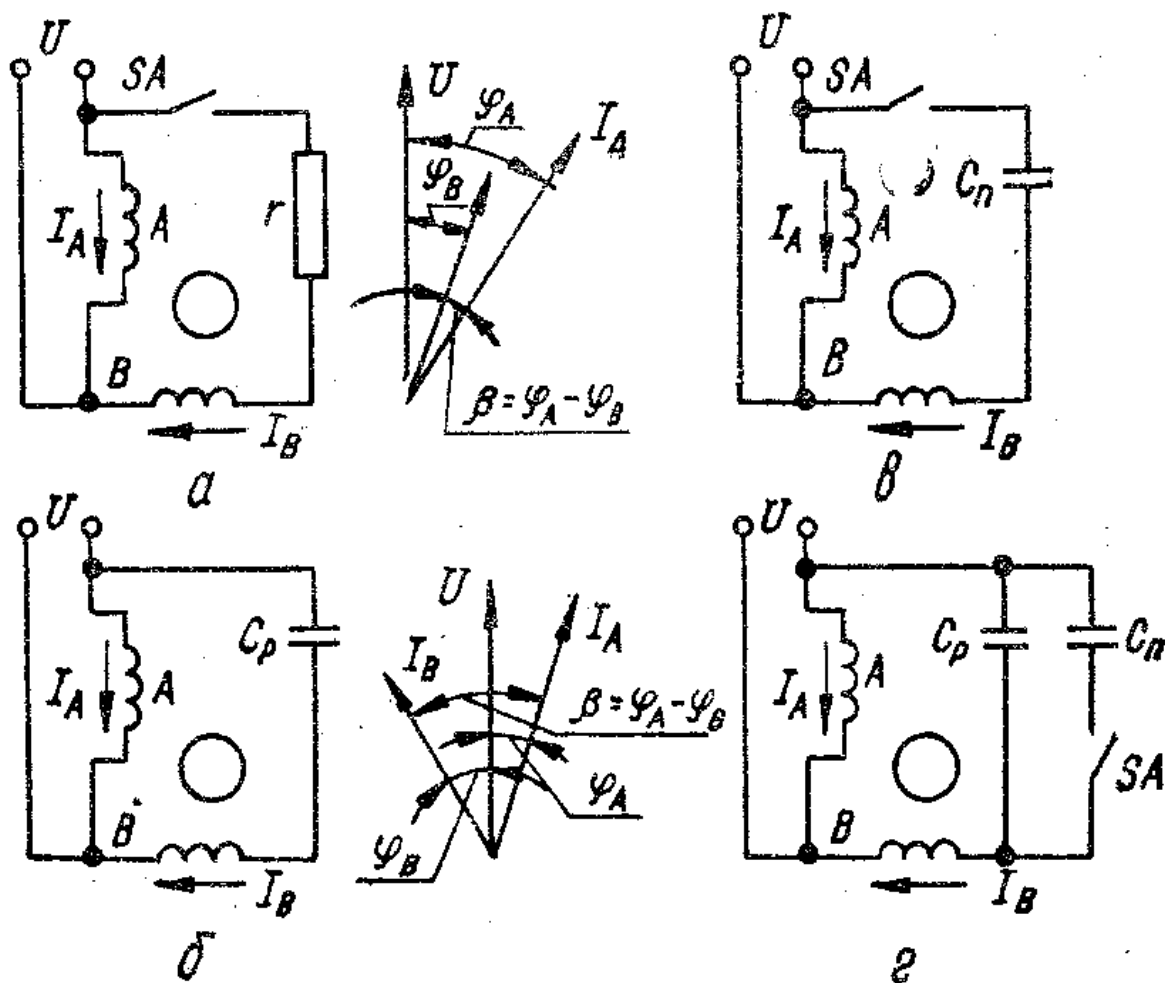
- послідовне ввімкнення зовнішнього резистора з додатковою обмоткою («пуск із зовнішнім опором»);
- зменшення перерізу дроту намотки допоміжної обмотки («пуск з внутрішнім опором»);
- введення біфілярних витків у допоміжну фазу («пуск з біфілярною обмоткою»), що зменшує індуктивний опір та одночасно збільшує активний.

Схема ввімкнення однофазного асинхронного двигуна з підвищеним опором допоміжної обмотки представлена на рис. 1.15, а. Струм  $I_A$  в основній обмотці А має фазовий зсув відносно напруги живлення на кут  $\phi_A$ . Струм  $I_B$  у допоміжній обмотці В має фазовий зсув на кут  $\phi_B$ , менший за  $\phi_A$  через великий активний опір обмотки В ( $\phi_B < \phi_A$ ). Завдяки наявності двох обмоток, розташованих у просторі та струмів, що зміщені у фазі, електродвигун створює початковий обертовий момент. Коли обертова частота двигуна досягає приблизно 75% від номінальної, допоміжна обмотка вимикається, і двигун продовжує роботу лише за рахунок основної обмотки.

Однофазні асинхронні двигуни з пусковою обмоткою мають порівняно невисокі енергетичні показники: коефіцієнт корисної дії і коефіцієнт потужності не перевищують 0,5–0,6. Кратності обертових моментів становлять не менше 1,5 для максимального, 0,7 для мінімального та 0,8 для пускового моментів.

Електродвигуни зі збільшеним опором допоміжної обмотки не здатні створити фазовий зсув струмів основної та допоміжної обмоток на 90 електричних градусів, що є оптимальним для досягнення кругового обертового магнітного поля і найкращих характеристик однофазного асинхронного двигуна з двома обмотками на статорі, розташованими під кутом 90 градусів. Якщо активний опір допоміжної обмотки прямує до нескінченності, мінімальний кут зсуву між напругою  $U$  та струмом  $I_B$  буде

дорівнювати 0. Кут зсуву струму  $I_A$  в основній обмотці буде меншим за 90 градусів через індуктивно-активний опір. Тому зсув фаз між струмами  $I_A$  та  $I_B$  завжди  $\beta < 90$  електричних градусів.



а – із збільшеним опором допоміжної обмотки, б - з робочим конденсатором, в - з конденсатором пусковим, г - з робочим та пусковим конденсаторами

Рисунок 1.15 – Схема увімкнення однофазних асинхронних електричних двигунів:

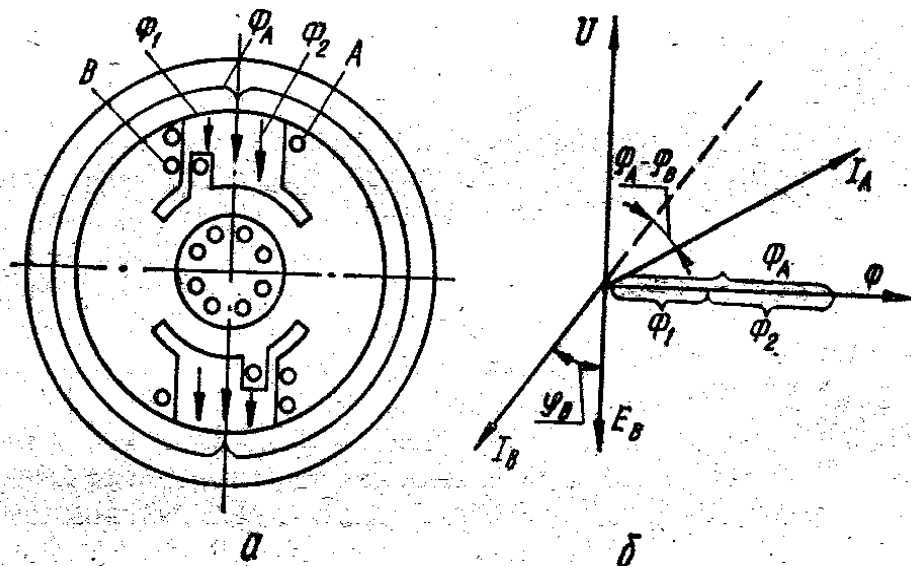
Кращі робочі характеристики мають двигуни з робочим конденсатором (рис. 1.15, б), де з допоміжною обмоткою В послідовно підключений конденсатор  $C_p$  [14]. Його ємність підбирається так, щоб у робочому режимі утворювалося кругове обертове магнітне поле. Енергетичні показники таких

двигунів значно кращі, ніж у двигунів зі збільшеним опором пускової обмотки, тому вони мають меншу масу і габарити за однакової номінальної потужності. Кратність обертових моментів для таких двигунів становить щонайменше 1,5 – максимального, 0,4 – мінімального, 0,55 – пускового. Однофазні двигуни з робочим конденсатором мають хороші робочі характеристики, проте їх недоліком є низька кратність пускового моменту.

Цей недолік усувають однофазні асинхронні двигуни з конденсаторним пуском (рис. 1.15, в). У таких двигунах на період запуску з допоміжною обмоткою В послідовно підключається пусковий конденсатор  $C_p$ , який після досягнення двигуном приблизно 75% номінальної частоти обертання відключається від живлення ключем SA. Ємність пускового конденсатора вибирається так, щоб у момент пуску утворювалося кругове обертове магнітне поле, необхідне для створення максимального пускового моменту. Кратність обертових моментів для таких двигунів становить щонайменше 1 – мінімального, 1,5 – максимального, 1,6 – пускового. Енергетичні показники та габаритні розміри є приблизно такими ж, як у двигунів із пусковою обмоткою опору.

Однофазні асинхронні двигуни з робочим ( $C_p$ ) і пусковим ( $C_p$ ) конденсаторами (рис. 1.15, г) поєднують переваги двигунів з робочим конденсатором та двигунів з пусковим конденсатором. Енергетичні характеристики таких двигунів схожі з характеристиками двигунів, оснащених робочим конденсатором. Кратність обертових моментів становить щонайменше: 1 – мінімального, 1,5 – максимального і 1,5 – пускового. Головним недоліком таких двигунів є їхня порівняно висока вартість.

Однофазні асинхронні двигуни з екранованим полюсом (рис. 1.16, а) мають статор із явно вираженими полюсами та короткозамкнений ротор.



а - схема конструкції; б - векторна діаграма

Рисунок 1.16 – Асинхронний електричний двигун з екранованим полюсом:

У серцевині статора розташована основна обмотка А, а кожен із виражених полюсів має пази, які розділяють його на дві частини. Одна з цих частин містить короткозамкнуті витки допоміжної обмотки В. Коли на основну обмотку подається змінна напруга  $U$ , через неї проходить струм  $I_A$ , і в серцевині створюється магнітний потік  $\Phi_A$  (рис. 1.16, б), який, проходячи через полюс, розподіляється на потоки  $\Phi_1$  і  $\Phi_2$ . Потік  $\Phi_1$  індукуює електрорушійну силу  $E_B$  у короткозамкнутому витку (допоміжній обмотці В), під дією якої виникає струм  $I_B$ , що відстає за фазою від  $E_B$  на кут  $\varphi_B$ . Кут фазового зсуву між струмами  $I_B$  і  $I_A$  становить  $\varphi_A - \varphi_B$ . Завдяки просторовому зсуву між обмотками А і В та фазовому зсуву між струмами  $I_A$  та  $I_B$  у зазорі машини створюється обертове магнітне поле, яке взаємодіє з короткозамкненою обмоткою ротора, утворюючи обертовий момент.

Асинхронні двигуни з короткозамкнутим витком на полюсі мають низьку енергоефективність. Їхній коефіцієнт корисної дії та коефіцієнт потужності зазвичай не перевищують 0,4–0,45. Кратності обертових моментів теж є невеликими: 1,5 – максимального, 0,15 – мінімального, 0,2 – пускового.

Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата

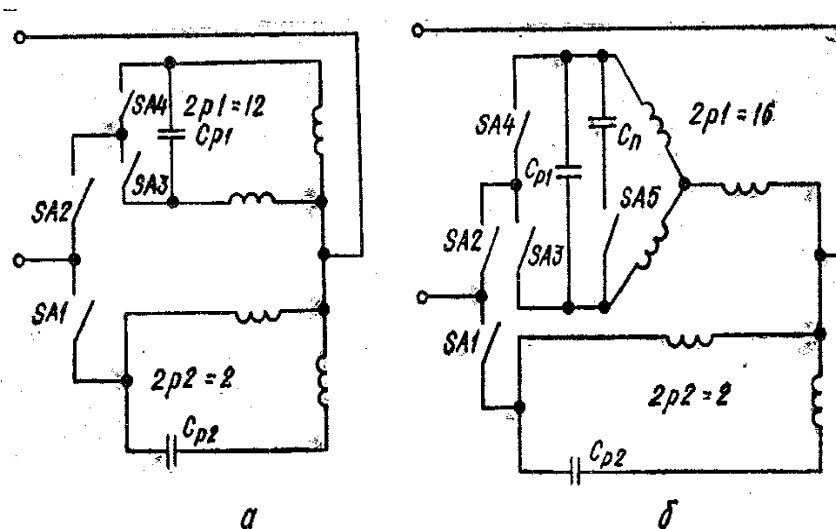
Для двигунів потужністю до 180 Вт (СМ-7М) спеціальні заходи дозволяють збільшити кратність пускового моменту до 0,6–0,7.

Частоту обертання асинхронних електродвигунів можна регулювати кількома способами:

- зміною частоти джерела живлення,
- ковзанням ротора,
- зміною кількості пар полюсів обмотки статора.

Перші два способи дозволяють плавно регулювати частоту обертання, а третій забезпечує ступінчасте регулювання. Найекономічніший спосіб – регулювання частоти обертання шляхом зміни частоти джерела живлення, але для цього потрібен перетворювач частоти, що є дорогим.

В Україні для побутових пральних машин барабанного типу були розроблені двошвидкісні електродвигуни ДАСМ-2 і ДАСМ-4 (рис. 1.18) [14].



а - ДАСМ-2; б - ДАСМ-4

Рисунок 1.18 – Схема включення однофазних двошвидкісних електричних двигунів:

У двигуні ДАСМ-2 обмотка з більшою кількістю полюсів  $2p_1$  і обмотка з меншою кількістю полюсів  $2p_2$  виконані за типом обмотки статора звичайних одношвидкісних двигунів з робочим конденсатором. Схема електродвигуна ДАСМ-4 відрізняється тим, що статорна обмотка з великою

кількістю полюсів виконується як трифазна. ДАСМ-2 має синхронні частоти обертання 3000 і 500 об/хв (відношення числа полюсів становить 2...12) та номінальні потужності 180 і 60 Вт відповідно. Для ДАСМ-4 ці показники становлять 3000 і 375 об/хв, а номінальні потужності – 180 і 60 Вт.

Коли контакти SA1 замкнуті, а контакти SA2 розімкнуті, обмотка з більшою кількістю полюсів (2p1) знеструмлена, а обмотка 2p2 підключена до джерела живлення. У такому режимі електродвигун працює з максимальною частотою обертання. Якщо ж контакти SA1 розімкнуті, а SA2 замкнуті, обмотка з більшою кількістю полюсів підключається до живлення, і двигун обертається з мінімальною частотою.

Схеми включення дозволяють електродвигунам працювати в перервно-реверсивному режимі. При замкнутих SA3 і розімкнутих SA4 електродвигун обертається в одному напрямку, при розімкнутих SA3 і SA4 він залишається нерухомим, а при замкнутих SA4 і розімкнутих SA3 – обертається в протилежному напрямку.

До недоліків електродвигунів з перемиканням полюсів належать великі розміри та маса, неефективне використання корисної площі пазу та трудомістке виготовлення через необхідність розміщення великої кількості пазів на статорі. Ці недоліки стають більш помітними зі збільшенням відношення чисел полюсів. Тому такі двигуни використовують, коли відношення чисел полюсів не перевищує 2:18.

Колекторні електродвигуни застосовуються в машинах із вищою швидкістю обертання барабана під час віджиму [16]. Їхньою перевагою є можливість плавного регулювання швидкості обертання за допомогою блоку керування. Зазвичай колекторні двигуни не є взаємозамінними (рис. 1.19).

Колекторні електродвигуни змінного струму розділяються за способом створення потоку збудження на:

- двигуни з паралельним збудженням,
- двигуни зі змішаним збудженням,

- двигуни з послідовним збудженням,
- двигуни зі збудженням від постійних магнітів.

Далі розглянемо електродвигуни з паралельним і послідовним збудженням.

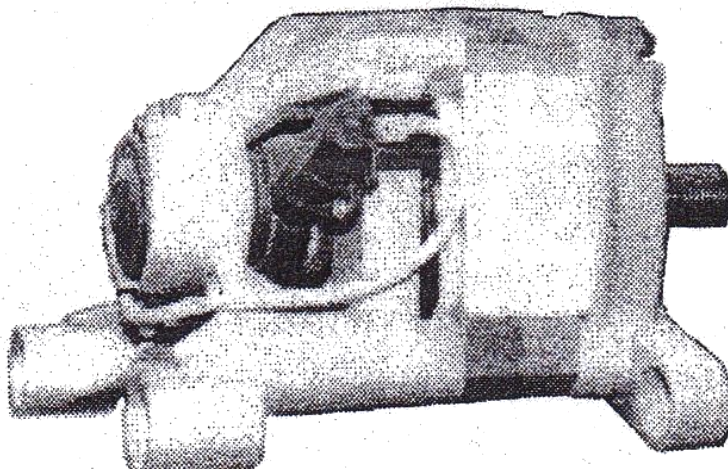


Рисунок 1.19 – Колекторний електричний двигун пральної машини

У колекторних електродвигунах змінного струму з паралельним збудженням обмотка збудження (ОВ) і обмотка якоря (Я) підключені паралельно до джерела живлення. Якщо нехтувати втратами на гістерезис і вихрові струми, можна вважати, що магнітний потік збудження збігається за фазою (у часі) зі струмом збудження  $I_B$  (рис. 1.20, а). Обмотка якоря має значно менший індуктивний опір порівняно з обмоткою збудження, тому струм  $I_a$  в обмотці якоря випереджає за фазою струм  $I_b$ , а отже, і магнітний потік  $\Phi$ . Обертовий момент, створюваний електродвигуном, залежить від взаємодії магнітного потоку з струмом в обмотці якоря.

Графічне перемноження струму обмотки якоря та магнітного потоку  $\Phi$  дозволяє отримати залежність електромагнітного моменту  $M$ , що створюється двигуном, від часу. Коли магнітний потік збудження і струм якоря збігаються за фазою (мають однаковий напрямок), двигун розвиває позитивний обертовий момент. Якщо ж вони не збігаються за фазою (мають

протилежний напрямом), утворюється негативний, тобто гальмівний момент. Підсумковий обертовий момент двигуна буде дорівнювати деякому середньому значенню  $M_{ср}$ .

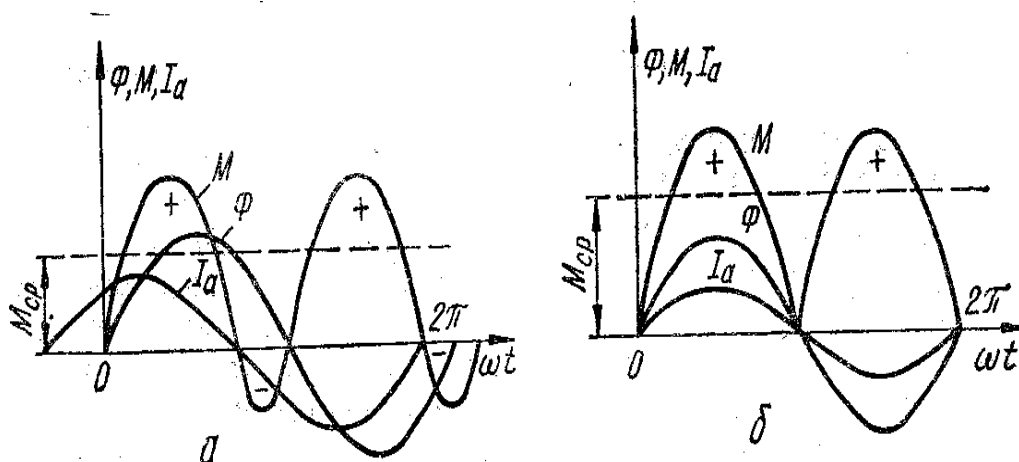


Рисунок 1.20 – Графіки залежності від  $\omega t$  потоку, обертового моменту і струму якоря електродвигунів з паралельним (а) і послідовним (б) збудженням

У колекторних електродвигунах із послідовним збудженням обмотка збудження та обмотка якоря з'єднані послідовно. Якщо нехтувати втратами на гістерезис та вихрові струми, магнітний потік збудження збігається за фазою зі струмом збудження  $I_b$  (рис. 1.20, б). Оскільки обмотка якоря підключена послідовно з обмоткою збудження, струм, що протікає через неї, має ту саму фазу, що й струм в обмотці збудження, а отже, збігається й з магнітним потоком  $\Phi$ . У будь-який момент часу обертовий момент, який створює двигун, буде позитивним. Середній обертовий момент  $M_{ср}$ , що розвивається двигуном при послідовному збудженні, перевищує той, який створюється двигуном із паралельним збудженням. Через це двигуни змінного струму з послідовним збудженням є найпоширенішими. [5]

Колекторні електродвигуни змінного струму мають нижчі енергетичні характеристики порівняно з двигунами постійного струму через втрати на гістерезис і вихрові струми. Регульовальні властивості та гальмівні

характеристики таких двигунів здебільшого аналогічні характеристикам двигунів постійного струму.

Колекторні електродвигуни, що забезпечують плавне регулювання швидкості обертання та високу швидкість обертання барабана пральної машини під час віджиму, часто використовуються. Принципова схема та конструкція колекторного електродвигуна показані на рис. 1.21. Обмотка збудження на полюсах статора підключається послідовно з обмоткою якоря, тому струм в обох обмотках однаковий. Для зниження рівня радіоперешкод у деяких двигунах обмотку збудження поділяють на дві частини. Реверсування роботи двигуна здійснюється шляхом перемикання кінців обмотки збудження або обмотки якоря.

У деяких складних моделях побутових пральних машин застосовується електронна система управління колекторним двигуном, яка є цифровим електронним модулем. Схемотехніка такого модуля представлена на рис. 1.22.

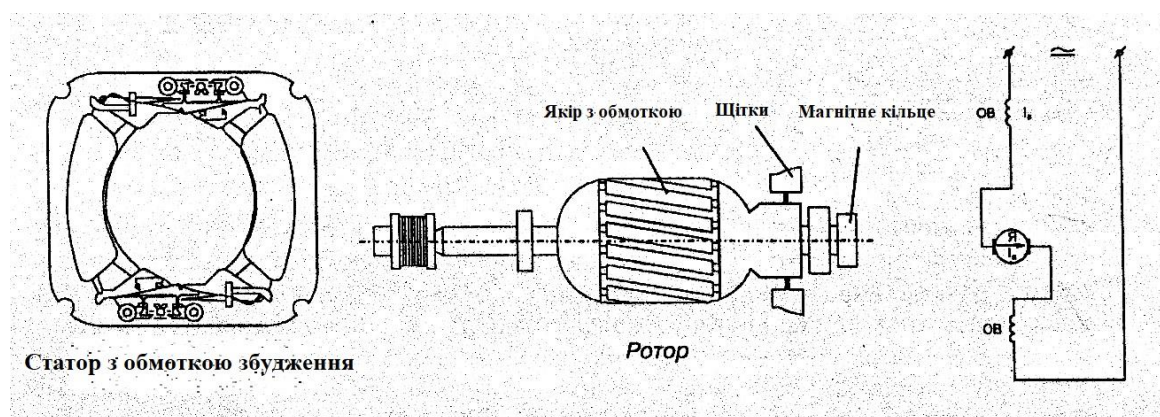


Рисунок 1.21 – Будова і принципова схема колекторного електричного двигуна

Регулювання та підтримка заданої швидкості обертання електродвигуна відбувається автоматично. Реверс електродвигуна здійснюється за допомогою спеціального реле реверсу з електронним управлінням і двома перемикачами. Контроль швидкості обертання

забезпечується тахометром, який порівнює фактичну кількість обертів електродвигуна із заданим еталонним значенням.

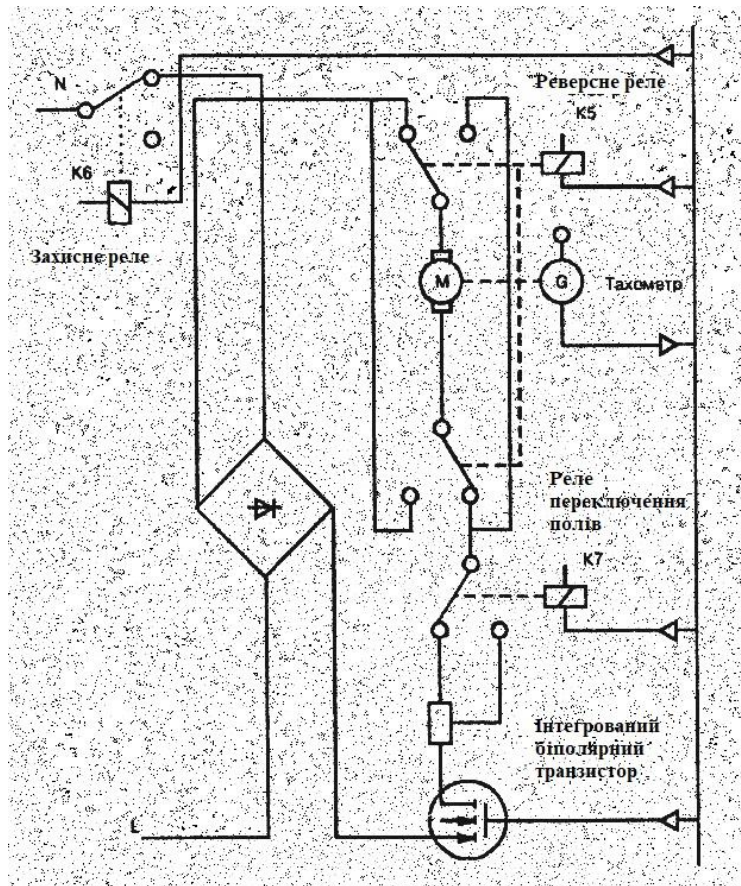
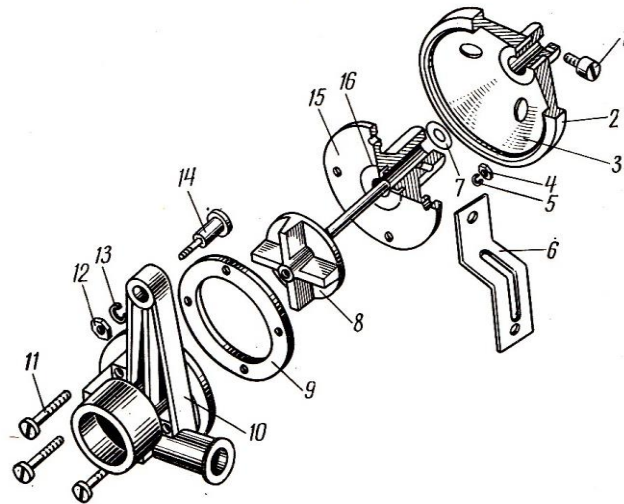


Рисунок 1.22 – Принципова схема електронної системи керування електричним колекторним двигуном

Сигнал про відхилення подається на плату керування, яка коригує фактичну швидкість обертання двигуна. Для захисту від перевантаження в системі керування передбачене захисне реле.

### 1.5 Технічні дані насосів для побутових пральних машин

Для зливання або повторного використання розчину в пральних машинах встановлюється насос, що складається з корпусу (рис. 1.23), крильчатки та кришки [17].



1, 11—гвинт; 2—шина шківа; 3—шків; 4, 12—гайка; 5, 7, 13—шайба; 6—кронштейн; 8—крильчатка; 9—прокладка; 10—корпус; 14—ось; 15—кришка; 16—манжета

Рисунок 1.23 – Електронасос для зливання розчину:

Крильчатка закріплюється на валу, а між корпусом і кришкою насоса встановлюється гумова прокладка для герметичності.

Насос розташовується окремо від активатора, і привід крильчатки здійснюється за допомогою фрикційного з'єднання між шківом насоса та шківом або валом електродвигуна. У пральній машині насос монтується на кронштейні.

Інколи крильчатка насоса розташована на одній осі з активатором. На цій же осі фіксується ведений шків, який приводним пасом з'єднаний із ведучим шківом, встановленим на осі електродвигуна. Продуктивність насоса варіюється залежно від типу машини і може становити від 18 до 30 л/хв. Тиск рідини, що створюється насосом, коливається від 6860 до 34300 Па (700–3500 мм вод. ст.).

Корпус і кришка відцентрового насоса виготовлені з пластмаси (волокніту). Крильчатка разом із віссю створюються методом пресування з поліетилену. Для герметичності між корпусом насоса і кришкою встановлюється гумове ущільнювальне кільце. Вісь крильчатки ущільнюється за допомогою сальника. Насос кріпиться до щита

електродвигуна за допомогою чотирьох металевих стійок. Передача обертального руху від вала двигуна до крильчатки здійснюється через плаваючу муфту. Насос оснащений двома штуцерами для з'єднання з гідросистемою пральної машини.

У побутових пральних машинах може бути встановлений один або два насоси. У машинах з двома насосами один насос працює від електродвигуна, що приводить у дію центрифугу, і відкачує миючий розчин із бака центрифуги, а другий – від електродвигуна, який приводить в рух активатор, забезпечуючи циркуляцію миючого розчину або його відкачування з прального бака.

### 1.6 Висновки до першого розділу

У цьому розділі представлено огляд та аналіз наявних технологічних і технічних рішень, що стосуються тематики магістерської роботи. Наведено приклади реалізації систем управління на основі різних мікроконтролерів. Також розглянуто технічні характеристики насосів побутових пральних машин.

					МРМА24.00.00.000 ПЗ	Арк.
						35
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

## 2 РОЗРОБКА МІКРОКОНТРОЛЕРНОЇ СХЕМИ УПРАВЛІННЯ ПОБУТОВОЮ ПРАЛЬНОЮ МАШИНОЮ

### 2.1 Аналіз та розробка варіантів структурної схеми управління пральною машиною

Система управління пральною машиною на основі багатопозиційного командоапарата.

Структурна схема стенду автоматичної пральної машини (рис. 2.1) складається з таких основних блоків:

- командоапарата;
- блока управління (кнопки вводу);
- датчиків стану побутової пральної машини;
- блока обробки сигналів від датчиків;
- силової плати для керування електродвигуном;
- універсального колекторного електродвигуна;
- лотків, клапана, ТЕНа та помпи.

#### 2.1.1 Схема керування пральною машиною на основі командо апарата

Основним елементом схеми є командоапарат, який шляхом послідовної механічної комутації забезпечує роботу побутової пральної машини за визначеною програмою. Залежно від обраної програми прання командоапарат передає сигнали керування на відповідні вузли (клапан, ТЕН, силову плату управління електродвигуном, помпу). Уся необхідна інформація про поточний етап виконання програми відображається на панелі пральної машини, де ручка командоапарата вказує на виконувану дію в процесі прання.

Такі схеми вже не настільки популярні, як приблизно п'ять років тому, оскільки швидкий розвиток мікроконтролерної техніки поступово витісняє аналогові методи управління цифровими.



Рисунок 2.1 – Схема управління пральною машиною з використанням командоапарата

### 2.1.2 Схема керування пральною машиною з використанням мікроконтролера та частотного приводу

Частотний привід – це система, яка може змінювати частоту з 50 Гц на необхідну, що дозволяє керувати безколекторними електродвигунами

змінного струму, зазвичай асинхронними двигунами [18]. Такий підхід є перспективним, оскільки надає можливість використовувати всі переваги прямого приводу, де електродвигун розташований на одному валу з барабаном. Основним недоліком цієї схеми є її висока вартість на сьогоднішній день. Приклад такої схеми наведено на рис. 2.3.



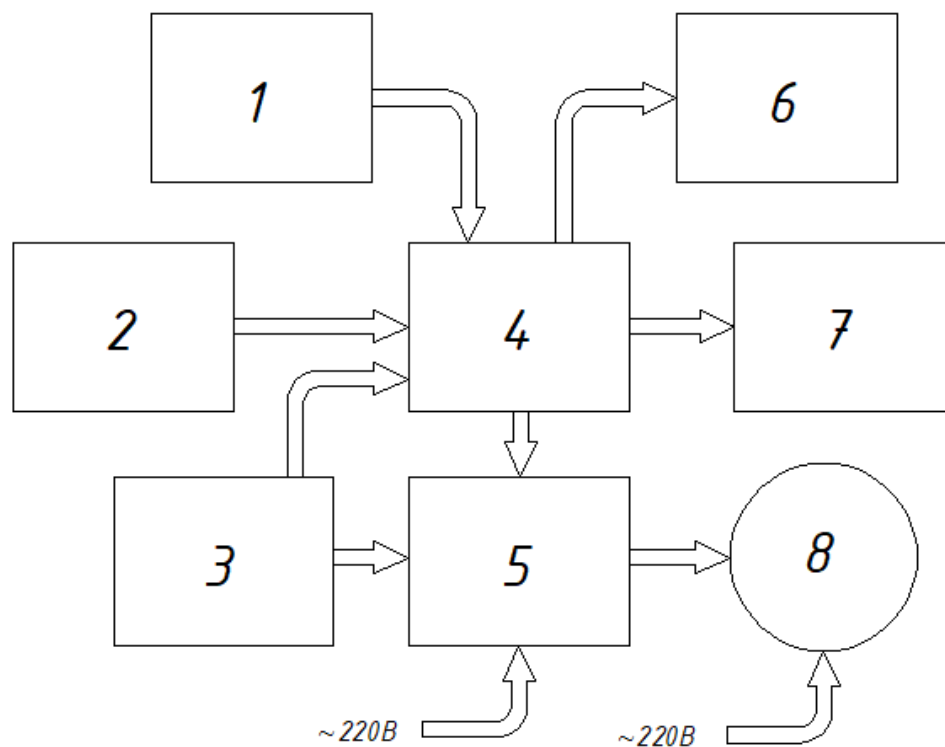
Рисунок 2.3 – Структурна схема керування пральною побутовою машиною з використанням мікроконтролера та частотного приводу

### 2.1.3 Схема керування побутовою пральною машиною з використанням мікроконтролера

Структурна схема автоматичної побутової пральної машини складається з таких основних блоків (рис. 2.2) (аркуш [МРМА24.00.00.000С1]):

- мікроконтролера;

- блока управління (кнопок введення);
- датчиків стану пральної машини;
- дисплея;
- стабілізованого блоку живлення;
- силової плати управління електродвигуном;
- універсального колекторного електродвигуна;
- лотків, клапана, ТЕНа та помпи.



1 – датчик стану пральної машини, 2 – блок керування (кнопки введення); 3 – стабілізований блок живлення; 4 – мікроконтролер; 5 – силова плата управління двигуном; 6 – дисплей; 7 – лотки, клапан, ТЕН, помпа; 8 – універсальний колекторний двигун.

Рисунок 2.2 – Структурна схема управління пральною машиною з використанням мікроконтролера

Основним елементом схеми є мікроконтролер, який функціонує згідно з програмою, що записана в його пам'ять [19]. Вибір програми прання здійснюється за допомогою блоку управління, після чого мікроконтролер, спираючись на сигнали від датчиків стану пральної машини (термодатчик, датчик рівня води, датчик закриття дверей), подає відповідні команди на органи керування (клапан, ТЕН, силову плату управління електродвигуном, помпу). Уся необхідна інформація про хід виконання програми виводиться на дисплей.

Для подальшого проектування було використано схему управління побутовою пральною машиною на базі мікроконтролера.

## 2.2 Розробка силового вузла управління універсальним колекторним електричним двигуном

Силовий вузол включає такі основні компоненти (рис. 2.4) [20]:

- оптосимістор МOC3063,
- реле перемикання полярності,
- польовий транзистор,
- потужний оптосимістор.

Регулювання потужності в колі статора здійснюється за допомогою фазо-імпульсного методу. Суть цього методу полягає в тому, що мікроконтролер відстежує момент, коли синусоїдальна напруга мережі проходить через нуль, і подає імпульс на польовий транзистор. Транзистор відкриває потужний оптосимістор на певний період часу, який варіюється від 0 до 10000 мкс [21].

Часові інтервали розраховуються так, щоб інтеграли миттєвого значення синусоїди були рівними. У результаті отримуються нерівномірні інтервали, що відповідають різним рівням потужності. Мінімальна затримка відповідає максимальному рівню потужності.

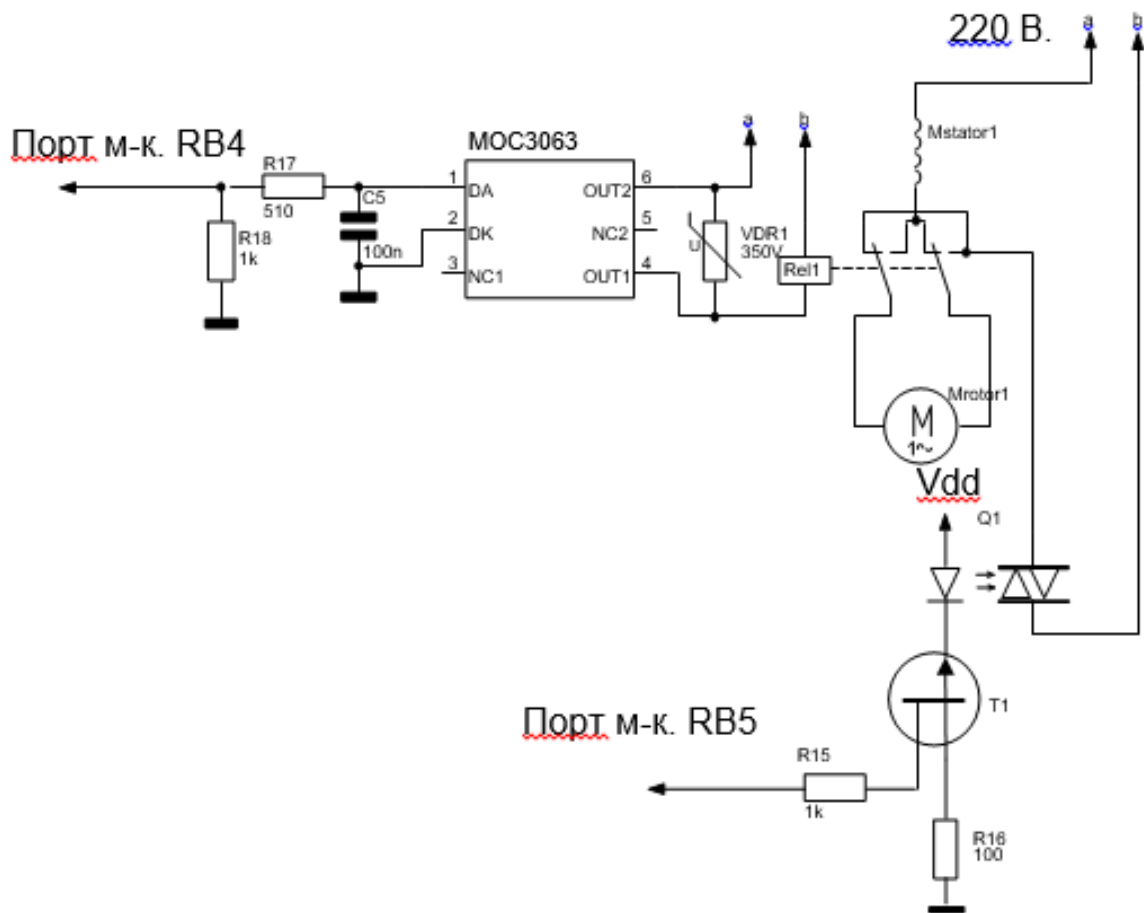


Рисунок 2.4 – Електрична принципова схема силового вузла керування електричним двигуном

Графічна ілюстрація результатів розрахунку представлена на рис. 2.5. Для демонстрації розрахунків було виконано для 20 інтервалів. З графіків видно, що час між сусідніми точками в області максимуму синусоїди майже втричі менший за час першого інтервалу.

Нерівномірність таблиці дозволяє забезпечити більш рівномірну зміну частоти обертання при зміні рівня потужності. Позитивним наслідком такого підходу є те, що з моменту, коли напруга мережі проходить через нуль, до моменту, що відповідає 99% інтеграла напруги за півперіод, проходить близько 640 мікросекунд. Це означає, що мікроконтролер має достатньо часу для виконання різних операцій без втрати максимально можливої потужності. Таким чином, за умови відсутності втрат на симісторі, регулятор із заданим

рівнем потужності 100% майже повністю передає на навантаження таку ж потужність, як і пряме підключення до розетки.

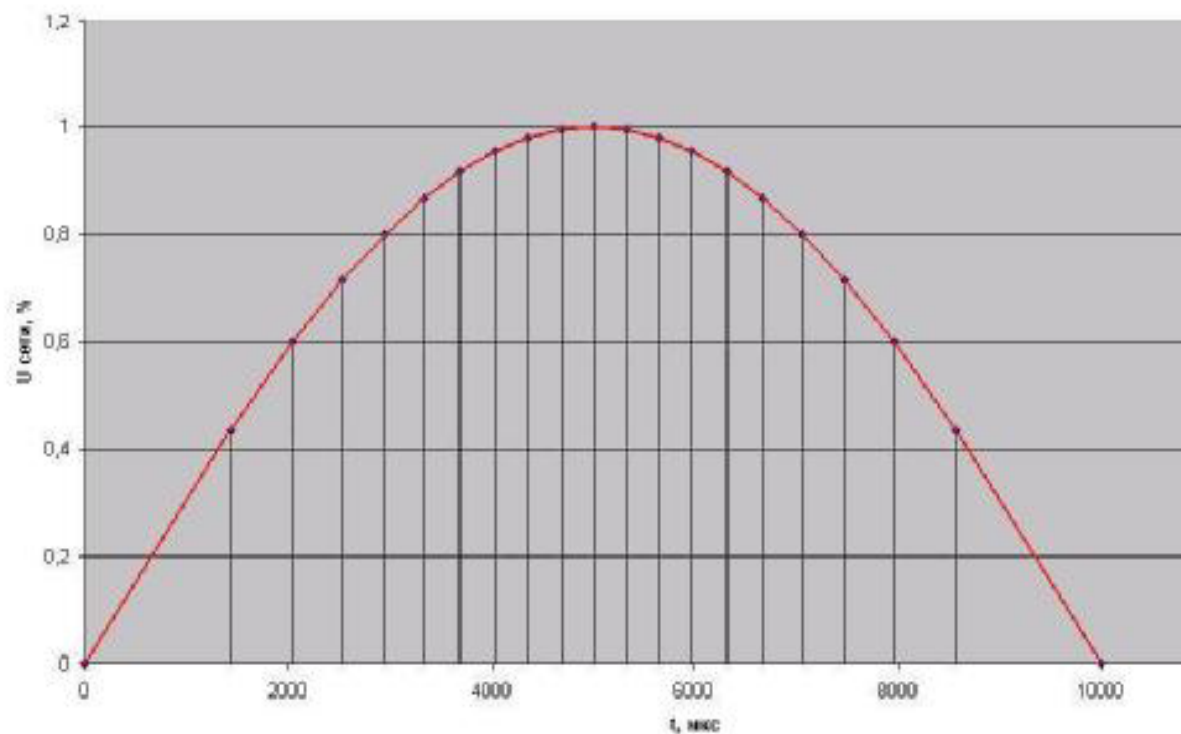


Рисунок 2.5 – Пояснення таблиці кутів ввімкнення симістора

Керуючий імпульс із плати мікроконтролера тривалістю 25 мікросекунд подається на затвор біполярного транзистора VT1, який створює керуючий імпульс струму для оптосимістора Q1. Резистор R17 забезпечує достатній струм керуючого електрода для вмикання симістора в усьому робочому температурному діапазоні. Резистор R16 необхідний для забезпечення заводостійкості симістора у вимкненому стані.

Оптосимістор MOC3063 використовується для управління реле Rel1, яке здійснює перемикання полярності в колі ротора, забезпечуючи реверс електродвигуна. Варістор VDR1 і конденсатор C5 є стандартними компонентами для типового підключення оптосимістора MOC3063 [22].

## 2.3 Створення блоку стабілізованого живлення

Напруга змінного струму від електричної мережі подається на первинну обмотку трансформатора Т1 (рис. 2.6). Вторинна обмотка трансформатора подає напругу на мостовий випрямляч, зібраний на діодах Вr1, і вузол синхронізації з мережею, що включає резистор R14, підключений до окремої обмотки трансформатора. У момент, коли синусоїдальна напруга мережі проходить через «нуль», порт мікроконтролера RB3 фіксує цей момент, забезпечуючи синхронізацію з частотою мережі. Стабілізатор VR1 забезпечує стабільну напругу 5 В для живлення контролера.

У колі первинної обмотки трансформатора послідовно встановлені запобіжник F1 (2A) та тумблер S5.

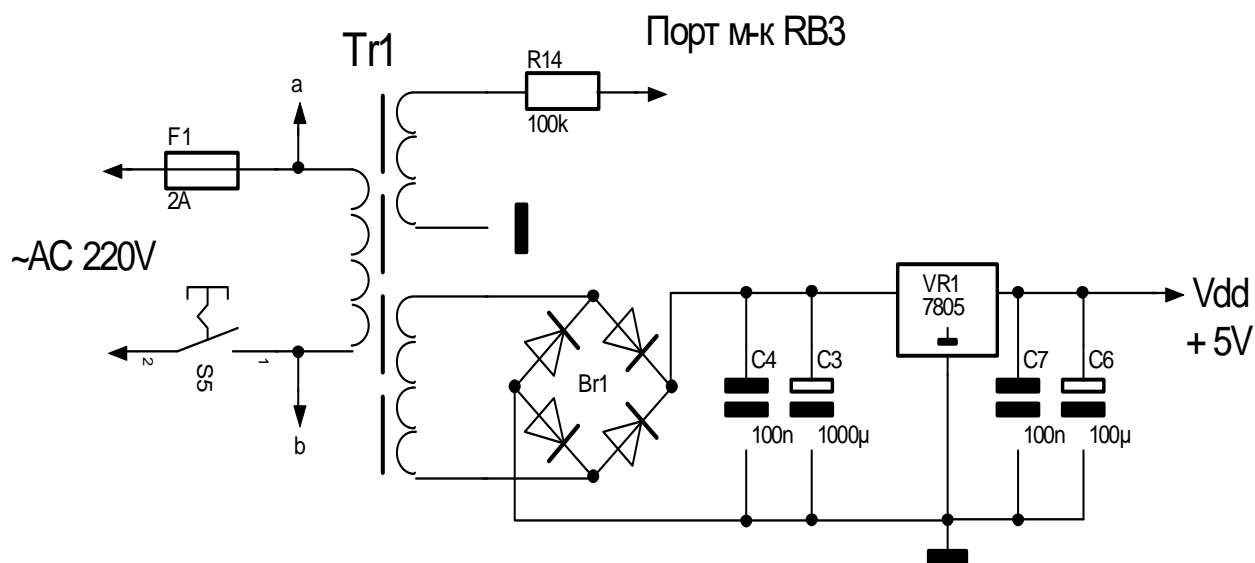


Рисунок 2.6 – Принципова електрична схема блоку стабілізованого живлення

## 2.4 Розробка вузла управління

Вузол керування складається з наступних основних елементів (рис.2.7):

- мікроконтролера PIC16F877;
- інформативного дисплею;
- кнопок вводу S1 – S3;
- сигналізуючих світлодіодів LED1 – LED6;
- резисторів обмеження.

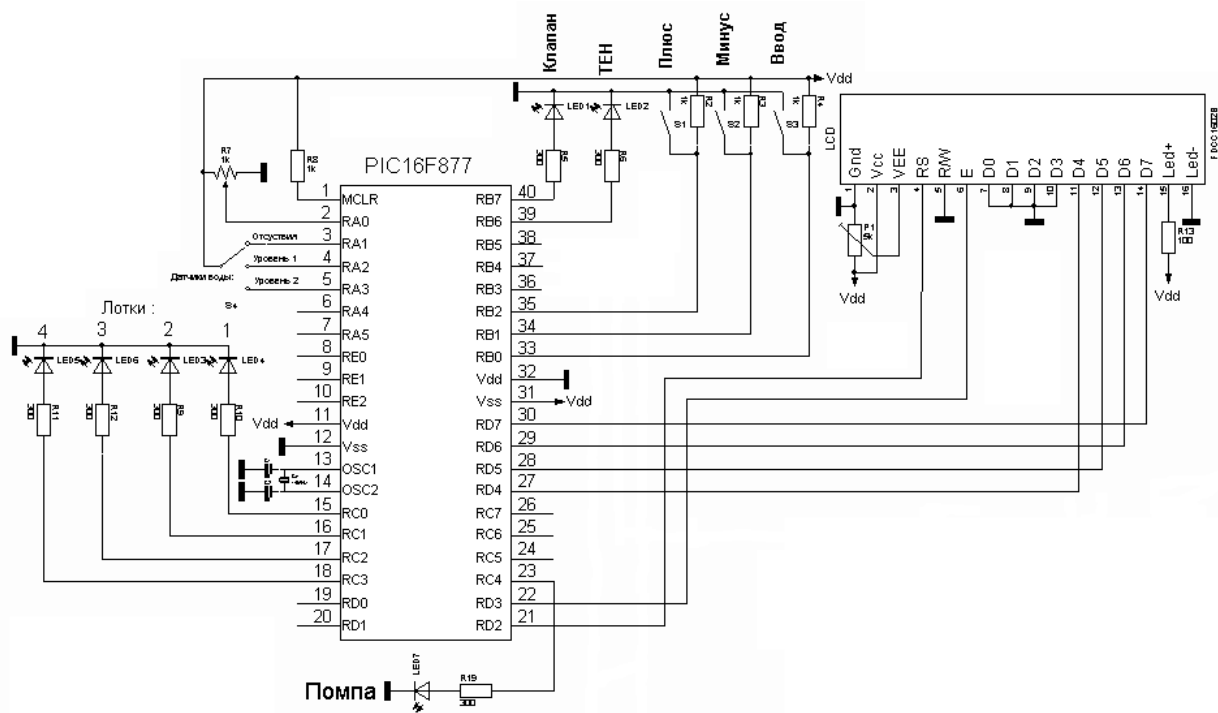


Рисунок 2.7 – Вузол управління

## 2.5 Опис електричної схеми управління пральною машиною автоматом

Результуюча схема (рис. 2.8) включає:

- силову схему;
- схему стабілізованого живлення;
- кнопки введення;
- рідкокристалічний дисплей (аркуш [MPMA24.00.00.000E3]).

Світлодіоди використовуються для імітації роботи клапана, нагрівального елемента, помпи та лотків.

Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата

Для імітації термодатчика застосовується змінний резистор R7 (1K), а для імітації датчика рівня води використовується перемикач S4.

Мікроконтролером є PIC16F877. Уніфіковані контролери PiControl на базі 8-розрядного процесора PIC16F877 розроблені та виготовлені для побудови різноманітних систем комплексної автоматизації [23], діагностичних і вимірювальних приладів, які вимагають високої продуктивності для реалізації складних алгоритмів роботи та забезпечення надійної роботи в промисловому діапазоні температур від -40 до +85 °С [23].

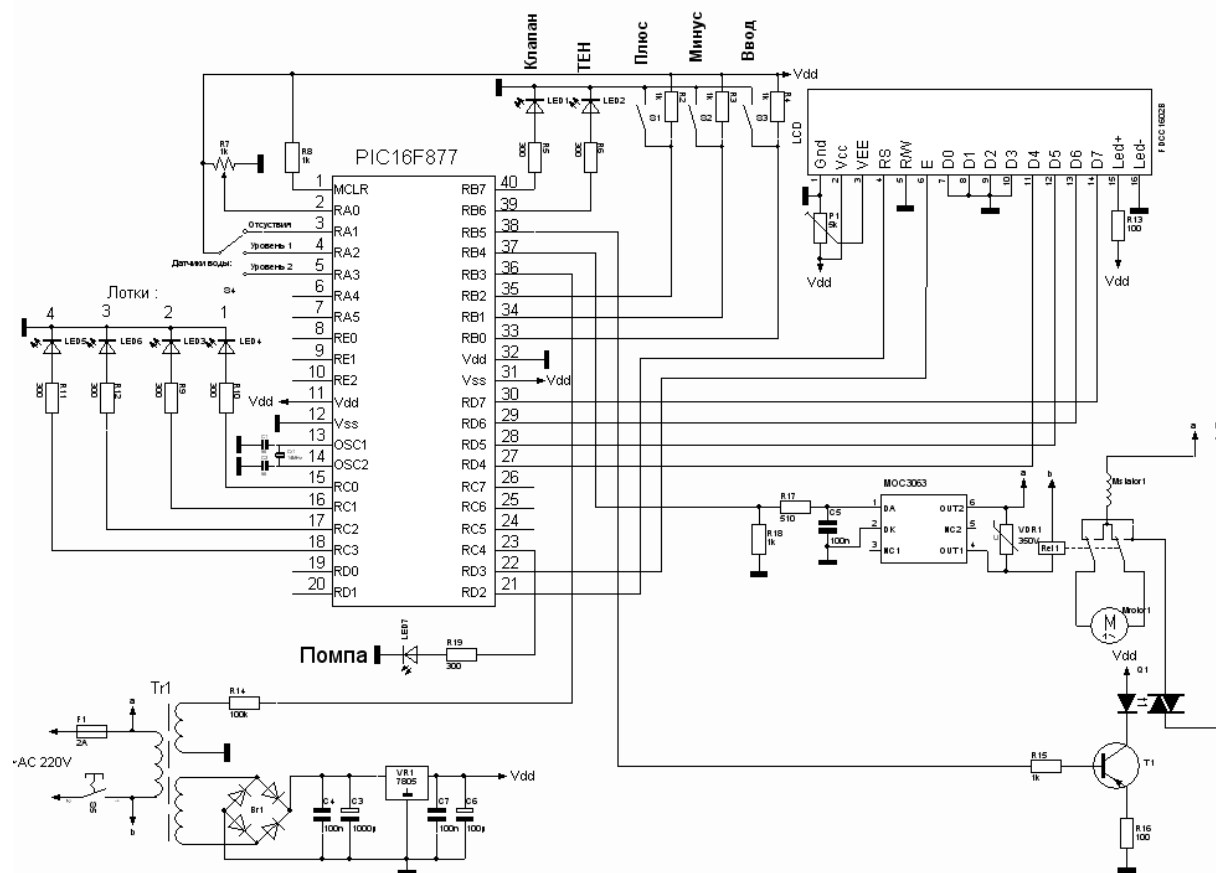


Рисунок 2.8 – Електрична принципова схема пристрою керування ПМА

Велика кількість периферійних елементів, розташованих на кристалі мікроконтролера, дозволяє виконувати широкий спектр технічних завдань, зокрема:

- збір інформації з аналогових датчиків температури, струму, напруги та інших технологічних параметрів у діапазоні напруги від 0 до 5 В;
- передачу/прийом даних з комп'ютера оператора через стандартний послідовний інтерфейс RS232 зі швидкістю до 625 кбіт/с;
- управління зовнішніми пристроями, підключеними через послідовний інтерфейс RS232 або SPI;
- на базі модуля PiControl можлива реалізація автономного пульта управління, який здатний виконувати налаштування систем автоматизації за допомогою матричної клавіатури (3x4) і дисплея (наприклад, ЖК індикатора ВР 1602У фірми Volymín);
- у сфері діагностичних і вимірювальних систем на основі контролера PiControl можна створювати інтелектуальні датчики зі складними алгоритмами обробки даних і передачею результатів на системи вищого рівня через послідовний інтерфейс.

Робота схеми відбувається наступним чином. При увімкненні тумблера S5 мікроконтролер отримує напругу живлення +5 В і запускає програму, за якою працює, відображаючи отримані дані на дисплеї. Натисканням кнопок S1 – S3 вибираються режими прання, і запускається процес виконання операцій прання. Для запуску електродвигуна на порт мікроконтролера PB5 подаються імпульси з частотою мережі, які відстежує резистор R14. Тривалість імпульсів визначає потужність, а отже і частоту обертання електродвигуна. Зміна напрямку обертання здійснюється через порт PB4 мікроконтролера.

Датчик температури підключений до порту RA0, а рівень рідини в баку контролюється портами RA1, RA2 та RA3. Лотками з пральними засобами керують порти RC0-RC3.

## 2.6 Розробка друкованої плати пристрою управління автоматичною пральною машиною та вибір радіоелементів

На основі розробленої електричної принципової схеми пристрою керування автоматичною пральною машиною була створена друкована плата (рис. 2.9) (аркуш [МРМА24.00.00.008]).

Після проведення розрахунків були обрані відповідні радіоелементи, які згодом були припаяні на друковану плату.

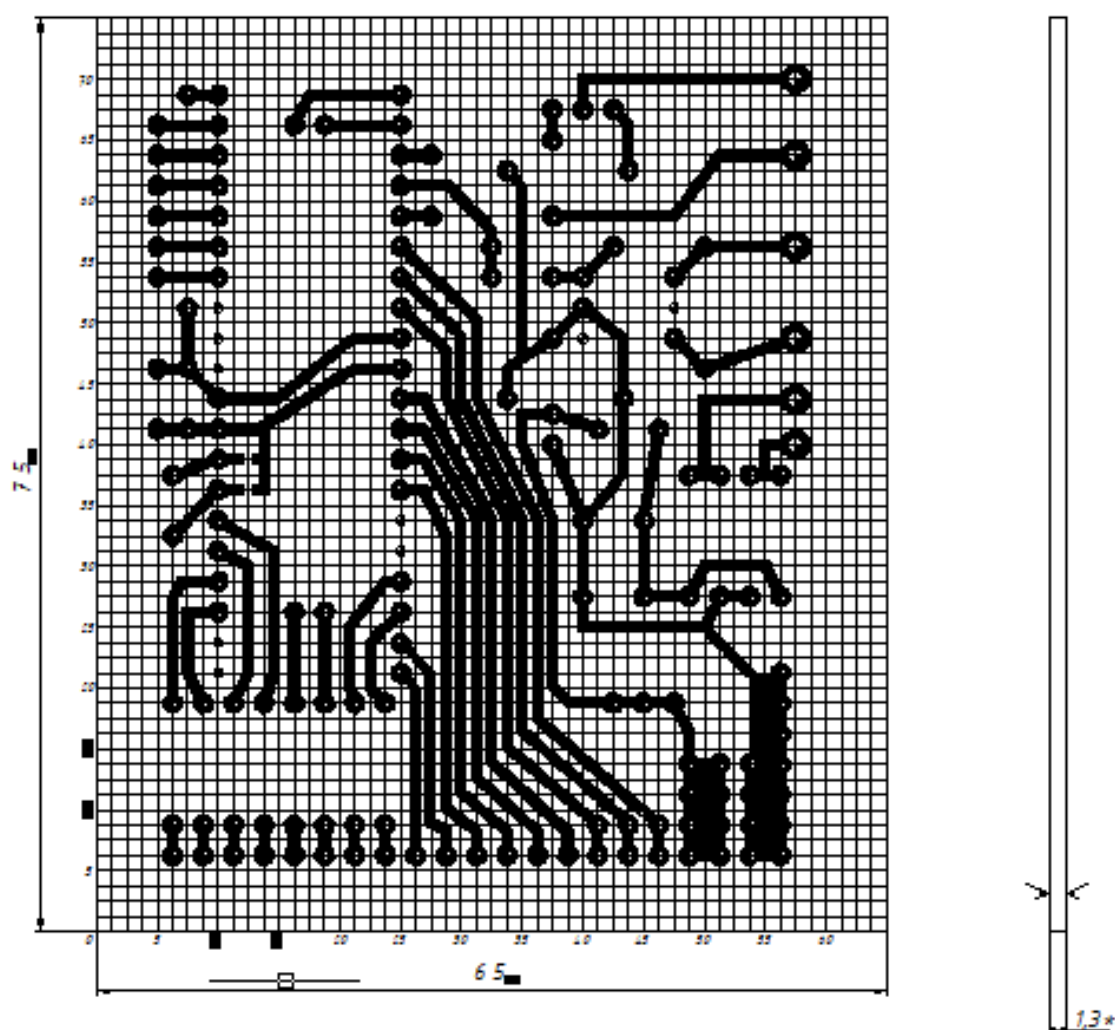


Рисунок 2.9 – Друкована плата пристрою керування ПМА

Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата

МРМА24.00.00.000 ПЗ

Арк.  
47

## 2.7 Створення алгоритму роботи контролера управління пральною машиною

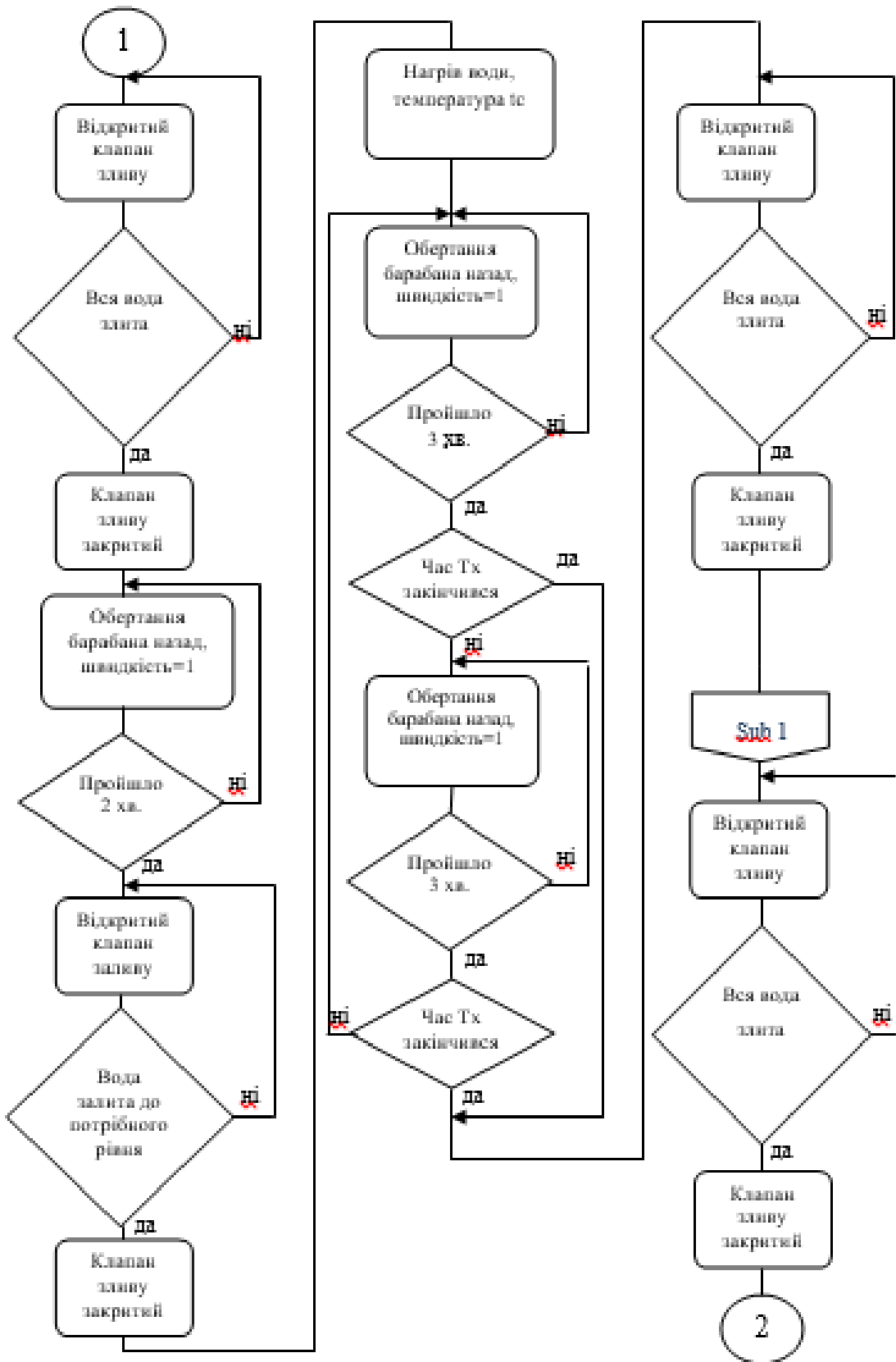
Після завантаження білизни і прального порошку необхідно здійснити програмування пристрою:

- ввести час попереднього прання (замочування) і підтвердити введення кнопкою «ENTER»;
- ввести час основного прання;
- задати температуру прання;
- ввести час віджиму;
- вибрати швидкість віджиму (один з трьох варіантів).

Робота пристрою:

- а) запуск відбувається після натискання кнопки «ENTER»;
- б) відкривається клапан для надходження води, яка заливається до необхідного рівня (контролюється датчиком рівня води);
- в) починається процес замочування, під час якого кожні дві хвилини барабан обертається (два оберти в одному напрямку і два у протилежному);
- г) по завершенні замочування відкривається клапан для зливу води і вмикається насос, коли датчик рівня води фіксує її відсутність; починається віджимання білизни на низькій швидкості протягом двох хвилин із ввімкненими клапаном і насосом;
- д) прання. Процес починається із забору води до потрібного рівня (відрізняється від рівня для замочування), після чого процесор подає команду на нагрівання води до заданої температури (встановлюється в двійково-десятковому коді). Під час прання температура підтримується на заданому рівні з допуском  $\pm 5\%$  шляхом увімкнення/вимкнення нагрівального елемента при зниженні/підвищенні температури. Вмикається клапан для подачі води і змивання порошку з контейнера протягом двох хвилин. Під час прання барабан обертається протягом трьох хвилин в одному напрямку.

Блок-схема роботи пристрою зображена на рис. 2.9 (аркуш [МРМА24.00.000РР]).



Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата

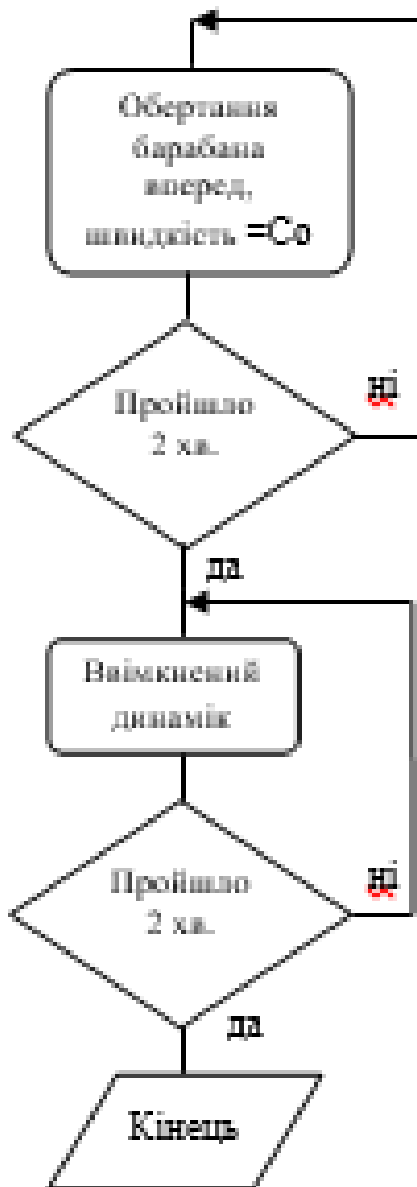


Рисунок 2.9 – Блок-схема роботи програми

Текст програми написаної в MicroPASCAL представлений в додатку Б.

## 2.8 Розробка структурної схеми системи автоматичного балансування пральної машини

Структурна схема системи автоматичного балансування пральної машини наведена на рис. 2.10 та на аркуші [MPMA24.00.00.000ДТ].

Структурна схема системи автоматичного балансування пральної машини приведена на рис.2.10 та на аркуші [МРМА24.00.00.000ДТ].

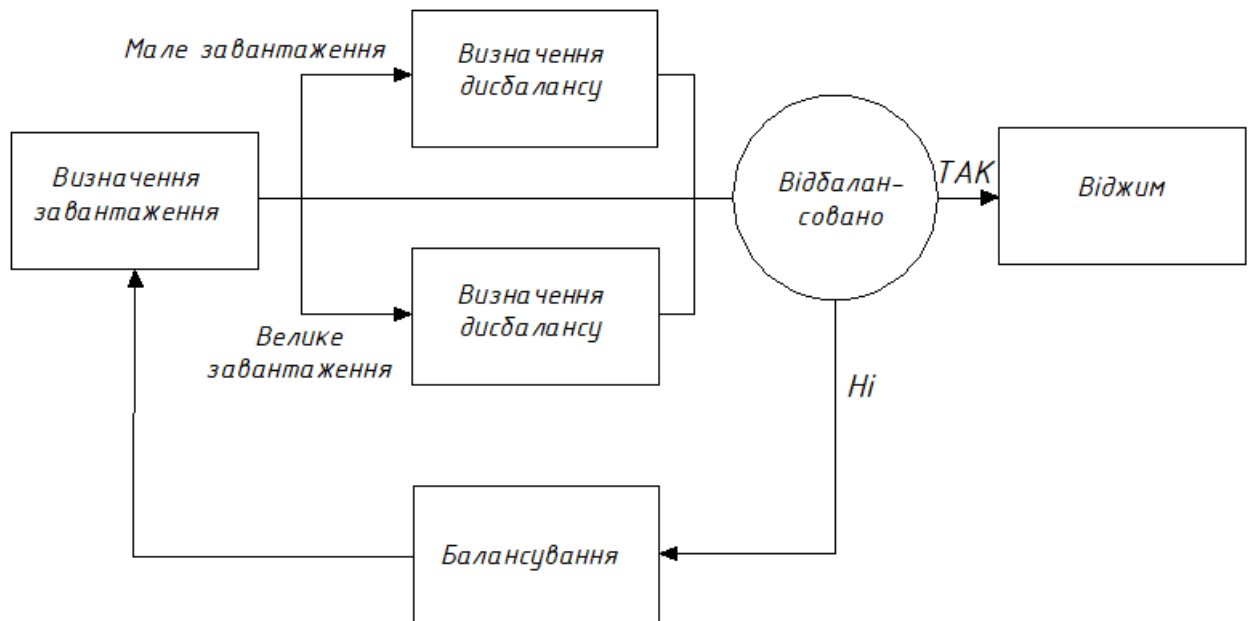


Рисунок 2.10 – Структурна схема системи автоматичного балансування пральної машини

## 2.9 Розробка пристрою, що імітує роботу пральної машини автомату

На основі розробленої електричної схеми мікроконтролерної системи керування пральною машиною було створено пристрій, що імітує її роботу. Габаритне креслення цього пристрою представлено на рис. 2.11 (аркуш [МРМА24.00.00.000ГК]).

Фото виготовленого пристрою наведено на рис. 2.12 (аркуш [МРМА24.00.00.000ДІ]).

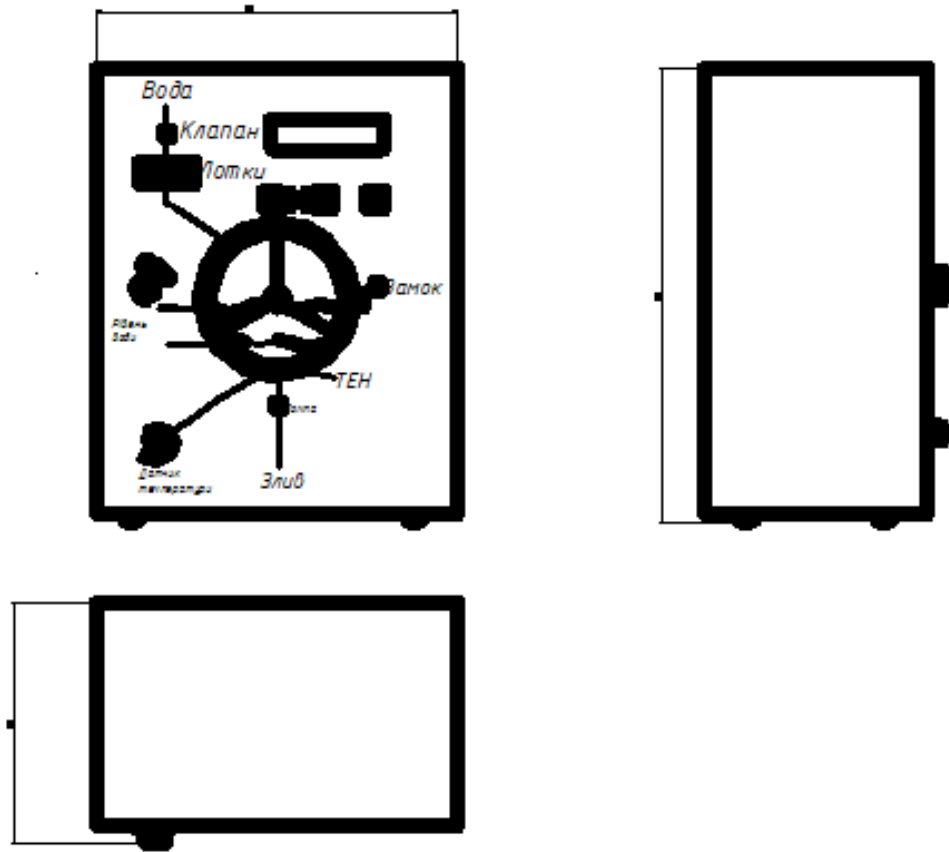


Рисунок 2.11 – Габаритне креслення пристрою, що імітує роботу пральної машини



Рисунок 2.12 – Фото пристрою, що імітує роботу пральної машини

Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата

МРМА24.00.00.000 ПЗ

Арк.

52

## 2.10 Висновки до другого розділу

У цьому розділі розробляється мікроконтролерна схема управління побутовою пральною машиною. Розглядаються різні варіанти структурних схем управління, серед яких обрана мікроконтролерна схема завдяки її найкращим характеристикам. Виконується розробка силового вузла для управління універсальним колекторним електродвигуном, блоку стабілізованого живлення та вузла управління. Описується схема керування пральною машиною та розробляється алгоритм роботи контролера управління пральною машиною.

На основі створеної електричної схеми мікроконтролерної системи керування розробляється пристрій, що імітує роботу пральної машини.

					МРМА24.00.00.000 ПЗ	Арк.
						53
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		



Визначимо номінальний струм стабілізації згідно з методикою розрахунку, наведеною у [24]:

$$I_{\text{ст.ном}} = \frac{I_{\text{ст. min}} + I_{\text{ст. max}}}{2}, \quad (3.1)$$

де  $I_{\text{ст. min}}$  – мінімальний струм;

$I_{\text{ст. max}}$  – максимальний струм,

$$I_{\text{ст.ном}} = \frac{3 \cdot 10^{-3} + 32 \cdot 10^{-3}}{2} = 17,5 \cdot 10^{-3} \text{ А.}$$

Розрахуємо зміну напруги стабілізації  $\Delta U_{\text{ст1}}$  при зміні струму від  $I_{\text{ст.ном}}$  до  $I_{\text{ст. min}}$  за такою формулою:

$$\Delta U_{\text{ст1}} = r_{\text{ст}} \cdot (I_{\text{ст.ном}} - I_{\text{ст. min}}), \quad (3.2)$$

де  $r_{\text{ст}}$  – опір при зміні струму;

$I_{\text{ст.ном}}$  – номінальний струм,

$$\Delta U_{\text{ст1}} = 12 \cdot (17,5 \cdot 10^{-3} - 3 \cdot 10^{-3}) = 0,174 \text{ В.}$$

Розрахуємо зміну напруги стабілізації  $\Delta U_{\text{ст}}$  при зміні струму від  $I_{\text{ст.ном}}$  до  $I_{\text{ст. max}}$  за такою формулою:

$$\Delta U_{\text{ст2}} = r_{\text{ст}} \cdot (I_{\text{ст. max}} - I_{\text{ст.ном}}), \quad (3.3)$$

$$\Delta U_{\text{ст2}} = 12 \cdot (32 \cdot 10^{-3} - 17,5 \cdot 10^{-3}) = 0,174 \text{ В.}$$

					МРМА24.00.00.000 ПЗ	Арк. 55
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

Розрахуємо допустиме відхилення вхідної напруги  $\Delta U_{\text{вх2}}$ , яке може призвести до зміни струму від  $I_{\text{ст.ном}}$  до  $I_{\text{ст.мах}}$ , за допомогою наступного виразу:

$$\Delta U_{\text{вх2}} = (r_{\text{ст}} + R) \cdot (I_{\text{ст.мах}} - I_{\text{ст.ном}}), \quad (3.4)$$

де  $R$  – опір навантаження,  $R = 200$  Ом,

$$\Delta U_{\text{вх2}} = (12 + 200) \cdot (32 \cdot 10^{-3} - 17,5 \cdot 10^{-3}) = 3,074 \text{ В.}$$

Визначимо коефіцієнт корисної дії (ККД) джерела опорної напруги в номінальному режимі за такою формулою:

$$\eta = \frac{1}{1 + \frac{I_{\text{ст.ном}} \cdot R}{U_{\text{ст}}}} \cdot 100 \quad \%, \quad (3.4)$$

де  $U_{\text{ст}}$  – зміна напруга.

Відповідно:

$$\eta = \frac{1}{1 + \frac{17,5 \cdot 10^{-3} \cdot 200}{5}} \cdot 100\% = 75\% .$$

Зміна напруги стабілізації стабілітрона при зміні температури навколишнього середовища  $\Delta T$  визначається за формулою:

$$\Delta U_{\text{ст}} = \frac{\alpha \cdot U_{\text{ст}} \cdot \Delta T}{100}, \quad (3.5)$$

де  $\Delta T$  – зміна температури зовнішнього середовища.

Відповідно:

$$\Delta U_{ст} = \frac{0,08 \cdot 5 \cdot 45}{100} = 0,18 \text{ В.}$$

### 3.2 Розрахунок силового вузла

Силовий вузол включає наступні ключові компоненти:

- оптосемістор МОС3063,
- реле для перемикання полярності,
- польовий транзистор,
- потужний оптосемістор.

Принцип роботи цього вузла був описаний у попередньому розділі.

Розрахунок польового транзистора Т1 проведено за методикою, викладеною в [24]. Згідно з довідковими даними, вибрані польові транзистори типу КП505А. Вони мають корпус ТО-92 і здатні комутувати струм до 1,4 А. Опір каналу становить приблизно 0,3 Ом, а порогова напруга складає  $U_{пор} = 3,7 \text{ В}$ . Для закриття ключа на затвор транзистора подається напруга  $E_z < U_{пор}$ . У цьому стані через резистор  $R_c$  проходить зворотний струм стокового р-п-переходу, який дорівнює  $I_{ост} \approx 10^{-9} \text{ А}$ . За таких значень залишкового струму падіння напруги на  $R_c$  можна знехтувати, і вважається, що максимальна напруга на закритому ключі дорівнює  $U_{мах} = E_c$ . На вольт-амперній характеристиці (ВАХ) закритому стану ключа відповідає точка А (рис. 3.1, б).

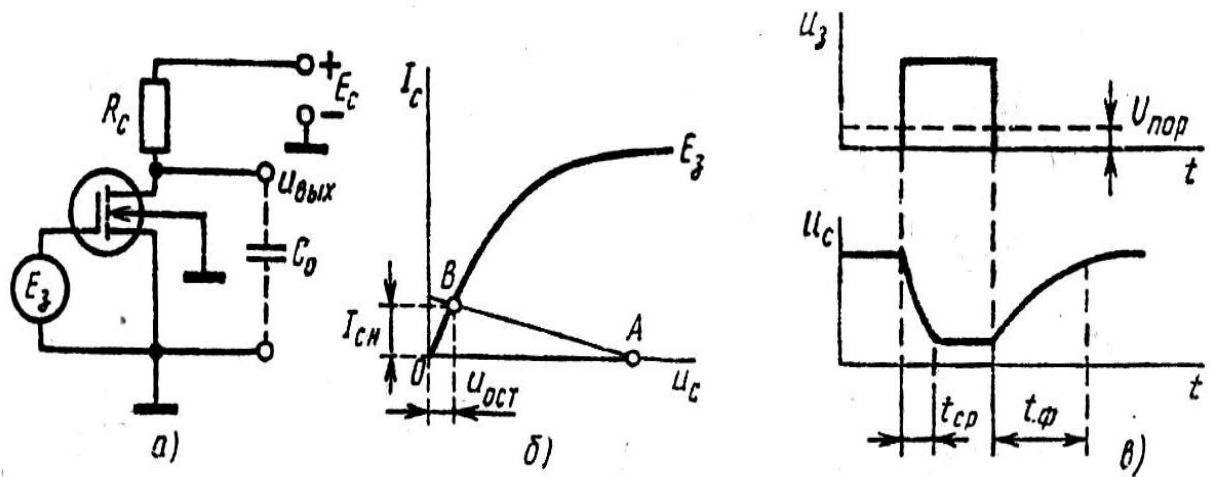


Рисунок 3.1 – Схема ключа на польовому транзисторі (а), його вольт-амперна характеристика (б) та імпульсні характеристики (в)

Для відкриття ключа на затвор подається напруга, що задовольняє нерівність  $E_x > U_{пор}$ . У цьому випадку робочий струм відкритого ключа (струм насичення) визначається зовнішніми елементами схеми за формулою:

$$I_{сн} = (E_c - U_{ост})/R_c \approx E_c/R_c = 5/100 = 0,05 \text{ А}, \quad (3.6)$$

де  $R_c$  - середній опір на крутій ділянці;

$E_c$  - напруга на закритому ключі;

$U_{ост}$  - залишкова напруга.

Робоча точка В у відкритому стані розташована на крутій ділянці характеристики, тому залишкова напруга визначається виразом:

$$U_{ост} = \frac{E_c}{b(E_3 - U_{пор})R_c} = \frac{5}{0,1(24 - 3,7) \cdot 10} = 0,35 \text{ В}, \quad (3.7)$$

де  $E_3$  – напруга закриття ключа на затвор;

$b$  – локальна крутизна транзистора (типове значення рівняється  $\approx 0,1$  мА/В<sup>2</sup>).

Опір транзистора на крутому відрізку вольт-амперної характеристики визначається наступним чином:

$$R_0 = \frac{1}{b(u_{зи} - U_{пор})}, \quad (4.9)$$

звідси напруга затвор-сток складає:

$$u_{зи} = \frac{1}{R_0 b} + U_{пор} = \frac{1}{0,3 \cdot 0,1} + 3,7 = 36В.$$

Інерційність МОП-транзисторних ключів зумовлена переважно перезарядкою паразитних ємностей. Еквівалентна паразитна ємність  $C_0$  (рис. 3.1, а) знаходиться:

$$C_0 = C_{11в} + C_{22в} + C_H + C_M \approx 0,9 \text{ мкФ}, \quad (3.9)$$

де  $C_{11в}$  - вхідна ємність;

$C_{22в}$  - вихідна ємність;

$C_H$  - ємність навантаження;

$C_M$  - ємність монтажу.

При запиранні транзистора в схемі, що представлена на рис.3.1, ємність  $C_0$  заряджається через резистор  $R_c$  формуючи фронт (рис.3.1, в):

$$t_{\phi} \approx 2,3 \cdot R_c \cdot C_0 = 2,3 \cdot 10 \cdot 0,9 \cdot 10^{-6} \text{ мкс}. \quad (3.10)$$

Швидкодія схеми, що розробляється, є достатньою для її коректної роботи. Вибір силового оптосимістора здійснюється відповідно до параметрів електродвигуна. У разі потреби (наприклад, при встановленні схеми на пральну машину з більшою потужністю) оптосимістор можна замінити на потужніший. Для електродвигуна потужністю 420 Вт оптосимістор підбирається за максимальним струмом і робочою напругою. Відповідно:

$$I_{\max} = (7...10) \cdot I_{\text{ном}}, \quad (3.11)$$

де  $I_{\text{ном}}$  - номінальний струм роботи електродвигуна,

$$I_{\text{ном}} = \frac{P_{\text{ном}}}{U_{\text{ном}}}, \quad (3.12)$$

де  $P_{\text{ном}}$  – номінальна потужність двигуна;

$U_{\text{ном}}$  – номінальна напруга двигуна.

Відповідно:

$$I_{\text{ном}} = \frac{420}{220} = 1,9 \text{ А},$$

згідно формули 3.11:

$$I_{\max} = (7...10) \cdot 1,9 = 13,3 \text{ А}.$$

Для керування електродвигуном потужністю 420 Вт було обрано оптосимістор ВТА216Х-600В, здатний комутувати струм до 15 А при напрузі до 220 В [25].

### 3.3 Розрахунок барабана пральної машини автомату

Під час конструктивного розрахунку визначаються необхідні розміри прального барабана, резервуара, опорних елементів, а також розраховуються потрібні потужності для виконання режимів прання та віджиму з метою підбору відповідного електродвигуна.

Розміри прального барабана обчислюються на основі заданого номінального завантаження і коефіцієнта заповнення (питомої ємності), який встановлюється на основі досвіду проектування, за допомогою наступного виразу:

$$V_6 = G_m.$$

На рис.3.2 приведена розрахункова схема прального барабана.

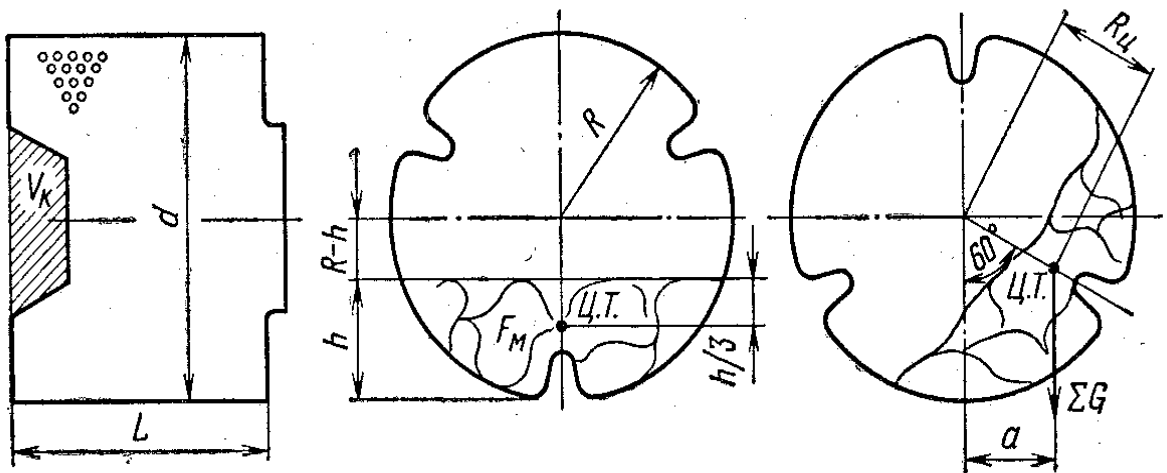


Рисунок 3.2 – Розрахункова схема барабана пральної машини

Діаметр завантажувального люка зазвичай становить 250–300 мм. Для надійного з'єднання барабана з валом на його днищі виготовляється конусна виштамповка. Гребені для перемішування білизни виконують у вигляді трьох

Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата

або чотирьох овальних подовжніх ребер висотою 50–60 мм із розширеною основою. Іноді гребені виготовляються як фігурна виштамповка з перфорованої стрічки циліндра. Це забезпечує гладкість внутрішньої поверхні, що сприяє меншому зносу білизни. Діаметр перфорованих отворів становить 5–6 мм, а коефіцієнт перфорації поверхні – 10–15%. Отвори завальцьовуються з внутрішньої сторони циліндра. Діаметр барабана вибирається в межах 450–500 мм, а його необхідна довжина розраховується за такою формулою:

$$L = \frac{4 \cdot (V_b - V_k)}{\pi \cdot d^2 \cdot \varphi}, \quad (3.13)$$

де  $V_k$  – об'єм, який займається конусною виштамповкою;

$\varphi = 0,95$  – коефіцієнт, який враховує об'єм, що займається гребенями.

Виходячи з цього знаходимо:

$$L = \frac{4 \cdot (10 - 6)}{3,14 \cdot 25 \cdot 0,95} = 74,58 \text{ мм.}$$

Діаметр і довжина резервуара вибираються конструктивно з урахуванням необхідного зазору (не більше 30 мм) та можливості розміщення трубчастого електричного нагрівача.

Схема приводу прального барабана визначається на основі досвіду проектування та експлуатації машин аналогічного класу.

Потужність електродвигуна встановлюється залежно від необхідного обертового моменту для підняття білизни та частини прального розчину при повороті барабана на кут близько  $60^\circ$ , а також для подолання тертя в підшипниках і елементах приводу.

Обертовий момент, необхідний для прання білизни, може бути розрахований за наступною формулою:

					MPMA24.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		62

$$M_{ст} = \sum G \cdot a \cdot K_{в}, \quad (3.14)$$

де  $\sum G$  – сумарна маса мокрої білизни і частини прального розчину, що піднімається гребенем;

$a$  – відстань від центру тяжіння сумарної маси;

$K_{в} = 0,75$  – коефіцієнт, що враховує зважений стан мас, піднятих гребенем.

Отже:

$$M_{ст} = 28,35 \cdot 0,5 \cdot 0,75 = 10,63 \text{ кг.}$$

Величина сумарної маси може бути знайдена за слідуючою формулою:

$$\sum G = K_{м} \cdot G + K_{р} \cdot G, \quad (4.16)$$

де  $K_{м} = 3,25$  – враховуючий коефіцієнт збільшення маси білизни від її замочування;

$K_{р} = 0,8$  – враховуючий коефіцієнт маси вільної частини розчину.

Відповідно:

$$\sum G = 3,25 \cdot 7 + 0,8 \cdot 7 = 28,35 \text{ Н.}$$

Величина  $a$  може бути визначена геометрично (рис. 3.2) відповідно до рівня розчину з білизною, використовуючи відомі розміри барабана і резервуара та прийнятий водяний модуль  $M$ .

Момент тертя у підшипниках кочення валу і в його сальниках зазвичай не перевищує  $0,02 M_{ст}$ .

Необхідна статична потужність на валу електродвигуна розраховується за такою формулою:

					МРМА24.00.00.000 ПЗ	Арк.
						63
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

$$P_{ст} = \frac{M_{ст} \cdot n_6}{\eta}, \quad (3.16)$$

де  $\eta$  – коефіцієнт корисної дії привода ( $\eta = 0,9 - 0,95$ ),

$$P_{ст} = \frac{0,02 \cdot 700}{0,9} = 15,6 \text{ Вт.}$$

Швидкість обертання прального барабана зазвичай визначається на основі досвіду проектування та перевіряється на відповідність умовам процесу прання. Ця умова задається нерівністю:

$$F_{ц} \leq G_{м},$$

де  $G_{м}$  – вага мокрої білизни, яка дорівнює 3,25 G;

$F_{ц}$  – відцентрова сила мокрої білизни, що обертається зі швидкістю барабана,

$$2,78 < 3,25.$$

Дотримання такої умови необхідне для того, щоб мокра білизна під дією власної ваги після підйому її гребенем падала в пральний розчин.

Величина відцентрової сили знаходиться наступним чином:

$$F_{ц} = m \cdot \omega^2 \cdot R_{ц}, \quad (3.17)$$

де  $m$  – маса мокрої білизни;

$\omega$  – кутова швидкість обертання барабану;

$R_{ц}$  – радіус центра тяжіння мокрої білизни (рис.3.2).

					МРМА24.00.00.000 ПЗ	Арк.
						64
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

Відповідно:

$$F_{Ц} = 7 \cdot 3600 \cdot 0,7 = 17,64Н.$$

Кількість обертів барабана в режимі віджиму визначається залежно від заданої величини залишкової вологості та конструкції підвіски резервуара з барабаном до корпусу або станини.

Залишкова вологість білизни, %, після прання та віджиму обчислюється за наступною формулою:

$$B = \frac{m_1 - m_2}{m_1} \cdot 100, \quad (3.18)$$

де  $m_1, m_2$  – маса вологої і сухої білизни, кг,

$$B = \frac{7-5}{7} \cdot 100 = 28,57 \%$$

За наявності пружної підвіски резервуара можна допустити більшу швидкість обертання барабана, що підвищує ефективність віджиму. Методика визначення швидкості обертання барабана при віджимі аналогічна розрахунку режиму центрифугування машин типу ПМП. Проте залежність залишкової вологості білизни від фактора віджиму тут буде дещо іншою, оскільки вісь обертання барабана розташована горизонтально, а конструкція барабана відрізняється від конструкції бака-центрифуги.

Необхідна потужність електродвигуна для віджиму визначається з урахуванням потрібного моменту обертання білизни з барабаном, а також для подолання сил інерції та тертя. Якщо пральна машина проектується з одним електродвигуном, який уже був обраний для режиму прання, цей двигун

перевіряється на можливість його використання в режимі віджиму. Після цього двигун додатково перевіряється на здатність до перевантаження.

### 3.4 Висновки до третього розділу

У цьому розділі проведено розрахунок основних вузлів і елементів пральної машини. Виконано розрахунки стабілізованого блоку живлення, силового вузла та барабана пральної машини.

					МРМА24.00.00.000 ПЗ	Арк.
						66
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

## ВИСНОВКИ

У першому розділі було розглянуто будову пральних машин, основні конструктивні вузли та елементи, а також принципи розрахунку барабана і конструктивних компонентів машини.

У наступних розділах магістерської роботи було розроблено схему керування пральною машиною на основі мікроконтролера PIC16F877, яка повністю відповідає завданню на роботу. Ця схема є значно дешевшою за зарубіжні аналоги, водночас практично не поступаючись їм за характеристиками. Розроблена система має високу гнучкість в удосконаленні та ремонті, що є однією з її головних переваг над аналогами.

Крім того, на основі цієї розробки було створено реальний пристрій, що імітує роботу пральної машини. Він може бути використаний як навчальний стенд для дослідження схеми керування пральною машиною в лабораторних умовах.

					МРМА24.00.00.000 ПЗ	Арк.
						67
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

## ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. Пральна машина [Електронний ресурс]. Режим доступу: [https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%9F%D1%80%D0%B0%D0%BB%D1%8C%D0%BD%D0%B0\\_%D0%BC%D0%B0%D1%88%D0%B8%D0%BD%D0%B0](https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%9F%D1%80%D0%B0%D0%BB%D1%8C%D0%BD%D0%B0_%D0%BC%D0%B0%D1%88%D0%B8%D0%BD%D0%B0).
2. Модуль керування (плата) пральної машини [Електронний ресурс]. Режим доступу: [https://doctor-h.com.ua/catalog/modul\\_upravleniya\\_plata\\_stiralnoy\\_mashiny/?srsltid=AfmBOooxjUjPArb1YLAWj89kx5H7DI0yOfjV680cIUh1EpcTgI9trKYR](https://doctor-h.com.ua/catalog/modul_upravleniya_plata_stiralnoy_mashiny/?srsltid=AfmBOooxjUjPArb1YLAWj89kx5H7DI0yOfjV680cIUh1EpcTgI9trKYR).
3. Пральна машина. Посібник користувача [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://www.beko.com/content/dam/ukraine-ua-aem/ukraine-ua-aemProductCatalog/product-documents/7179282000-WMI-81242/uk-UA-Manual-7179282000-uk-UA20170130-122856-194.pdf>.
4. Корякин-Черняк С.Л. Пральні машини від А до Я. Наука і техніка, 2005. – 296 с.
5. Лавріненко Ю.М., Марченко О.С., Савченко П.І., Синявський О.Ю. Електропривод. – К.: Ліра, 2009 – 504с.
6. Мікропроцесорний блок керування пральною машиною [Електронний ресурс]. Режим доступу: <http://www.radioland.net.ua/sxema/id-443.html>
7. Побутові пральні машини. [Електронний ресурс]. Режим доступу: [https://elib.lntu.edu.ua/sites/default/files/elib\\_upload/%D0%9F%D0%BE%D0%B1%D1%83%D1%82%D0%BE%D0%B2%D1%96%20%D0%BC%D0%B0%D1%88%D0%B8%D0%BD%D0%B8%20%D1%82%D0%B0%20%D0%BF%D1%80%D0%B8%D0%BB%D0%B0%D0%B4%D0%B8/page13.html](https://elib.lntu.edu.ua/sites/default/files/elib_upload/%D0%9F%D0%BE%D0%B1%D1%83%D1%82%D0%BE%D0%B2%D1%96%20%D0%BC%D0%B0%D1%88%D0%B8%D0%BD%D0%B8%20%D1%82%D0%B0%20%D0%BF%D1%80%D0%B8%D0%BB%D0%B0%D0%B4%D0%B8/page13.html)
8. AVR [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://uk.wikipedia.org/wiki/AVR>
9. Основи електротехніки та електроніки. Лабораторний практикум для студентів спеціальності 272 «Авіаційний транспорт», спеціалізації 272.02

					МРМА24.00.00.000 ПЗ	Арк. 68
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

«Льотна експлуатація повітряних суден»/ Уклад: Т.Ю. Шкварницька, С.В. Єгоров, Т.І. Яремич, Н.Г. Пряхіна.-К.: НАУ, 2020.-150с.

10. Електродвигун [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%95%D0%BB%D0%B5%D0%BA%D1%82%D1%80%D0%BE%D0%B4%D0%B2%D0%B8%D0%B3%D1%83%D0%BD>.

11. Електричні двигуни: принцип роботи, особливості та застосування [Електронний ресурс]. Режим доступу: [https://rivne1.tv/news/154644-elektrichni-dvihuni-printsip-roboti-osoblivosti-ta-zastosuvannya#google\\_vignette](https://rivne1.tv/news/154644-elektrichni-dvihuni-printsip-roboti-osoblivosti-ta-zastosuvannya#google_vignette).

12. Двигуни пральних машин: який тип кращий? [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://epicentrk.ua/ua/articles/motory-v-stiralnykh-mashinakh-kaکوy-tip-luchshe.html>.

13. Асинхронні двигуни [Електронний ресурс]. Режим доступу: <http://univer.nuczu.edu.ua/e-books/326/560.html>

14. Конденсаторні асинхронні двигуни [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://studfile.net/preview/7083153/page:33/>.

15. Побутові пральні машини [Електронний ресурс]. Режим доступу: [https://elib.lntu.edu.ua/sites/default/files/elib\\_upload/%D0%9F%D0%BE%D0%B1%D1%83%D1%82%D0%BE%D0%B2%D1%96%20%D0%BC%D0%B0%D1%88%D0%B8%D0%BD%D0%B8%20%D1%82%D0%B0%20%D0%BF%D1%80%D0%B8%D0%BB%D0%B0%D0%B4%D0%B8/page13.html](https://elib.lntu.edu.ua/sites/default/files/elib_upload/%D0%9F%D0%BE%D0%B1%D1%83%D1%82%D0%BE%D0%B2%D1%96%20%D0%BC%D0%B0%D1%88%D0%B8%D0%BD%D0%B8%20%D1%82%D0%B0%20%D0%BF%D1%80%D0%B8%D0%BB%D0%B0%D0%B4%D0%B8/page13.html).

16. Колекторний електродвигун [Електронний ресурс]. Режим доступу: [https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%9A%D0%BE%D0%BB%D0%B5%D0%BA%D1%82%D0%BE%D1%80%D0%BD%D0%B8%D0%B9\\_%D0%B5%D0%BB%D0%B5%D0%BA%D1%82%D1%80%D0%BE%D0%B4%D0%B2%D0%B8%D0%B3%D1%83%D0%BD](https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%9A%D0%BE%D0%BB%D0%B5%D0%BA%D1%82%D0%BE%D1%80%D0%BD%D0%B8%D0%B9_%D0%B5%D0%BB%D0%B5%D0%BA%D1%82%D1%80%D0%BE%D0%B4%D0%B2%D0%B8%D0%B3%D1%83%D0%BD).

17. Пральна машина. Інструкція з експлуатації та монтажу [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://590.ua/files/instruction/17668.pdf?srsltid=AfmBOor-d92g77it7EeTzIOjy2OUel-HLX9xVSvbAGSXvWyF2DEVU7Pn>

18. Перетворювач частоти [Електронний ресурс]. Режим доступу: [https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%9F%D0%B5%D1%80%D0%B5%D1%82%D0%B2%D0%BE%D1%80%D1%8E%D0%B2%D0%B0%D1%87\\_%D1%87%D0%B0%D1%81%D1%82%D0%BE%D1%82%D0%B8](https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%9F%D0%B5%D1%80%D0%B5%D1%82%D0%B2%D0%BE%D1%80%D1%8E%D0%B2%D0%B0%D1%87_%D1%87%D0%B0%D1%81%D1%82%D0%BE%D1%82%D0%B8).

19. Поджаренко В.О., Кучерук В.Ю., Севастьянов В.М. Основи мікропроцесорної техніки. Навчальний посібник. – Вінниця: ВНТУ, 2006. - 226 с.

20. Елементна база радіоелектронної апаратури: Пасивні радіокомпоненти В 4 ч. Ч.1. [Електронний ресурс]: навч. посіб. для студ. спеціальності 172 «Телекомунікації та радіотехніка» / КПІ ім. Ігоря Сікорського ; уклад.: В.О.Піддубний, І.О.Товкач. – Електронні текстові дані (1 файл: 1,05 Мбайт). – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2021. – 98 с.

21. Загальна електротехніка і основи електроніки: навчальний посібник / Співак

В.М., Гуржий А.М., Нельга А.Т., Ітякін О.С.– Київ: КПІ, 2020. – 266 с.

22. Болюх В.Ф., Данько В.Г. Основи електроніки і мікропроцесорної техніки: Навч. посібник. – Харків: НТУ «ХП», 2011. – 257 с.

23. Півняк Г.Г., Шкрабець Ф.П., Довгань В.П. Електричні машини. Дніпропетровськ: Видавництво національного гірничого університету, 2003. – 331с.

24. Стахів П. Г., Коруд В. І., Гамола О. Є. Основи електроніки: функціональні елементи та їх застосування. Підручник для студентів неелектротехнічних спеціальностей вищих навчальних закладів. - Львів: : «Новий Світ-2000»; «Магнолія плюс». - 2003. - 208 с.

25. ВТА216Х-600В.127. [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://eltis.ua/catalog/simistory8yac/bta216x-600b-127-simistor-600v-16a-to220fp-igt-50ma-ifsm-140a-3q-hi-com/index.php>.

					МРМА24.00.00.000 ПЗ	Арк.
						70
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

ДОДАТОК А

					МРМА24.00.00.000 ПЗ	Арк.
						71
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		