

мікроелектронних та електронних інформаційних систем
(повна назва кафедри)

Кваліфікаційна робота (проєкт)

магістр

(рівень вищої освіти)

на тему Мікроконтролери оптимізовані для управління
безкошторними двигунами

Виконав: студент 2 курсу, групи 8.1719

спеціальності 171 "Електроніка"
(код і назва спеціальності)

(код і назва спеціальності)

спеціалізації _____
(код і назва спеціалізації)

освітньої програми _____
(назва освітньої програми)

Бабич Ю. Ю.
(ініціали та прізвище)

Керівник к.т.н. доц. Шмагій С. І.
(посада, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали)

Рецензент Шершов С. А.
(посада, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали)

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЗАПОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Інженерний навчально-науковий інститут _____
Кафедра мікроелектроніки та електронних інформаційних систем
Рівень вищої освіти другий (магістерський)
Спеціальність 171 "Електроніка"
(код та назва)
Спеціалізація _____
(код та назва)
Освітня програма електроніка

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри _____
« 07 » 09 2020 року

ЗАВДАННЯ

НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ (ПРОЄКТ) СТУДЕНТОВІ (СТУДЕНТЦІ)

Бабич Катерина Юріївна
(прізвище, ім'я, по батькові)

1 Тема роботи (проєкту) Мікроконтролери синхронізовані для управління безколекторними двигунами

керівник роботи к.т.н. доц. Шумий С.М.
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом ЗНУ від « 25 » 05 2020 року № 600 - С

2 Строк подання студентом роботи 30.11.20

3 Вихідні дані до роботи Безколекторний двигун, частота мережі 50Гц, напруга 220 В,

4 Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) перевірка виборки частоти безколекторних двигунів, елементи будови системи управління, дослідження СУ, контрольно-технологічне обладнання, ескізи показує

5 Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень) Схема електрична принципова, принципи управління, перелік критеріїв вибору мікроконтролерів, драйвери для ВЛС, критерії вибору мікроконтролерів, огляд програми, скорочення програми, ескізи показує

6 Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
1	Шмакун С.М.	Шмакун	
2	Шмакун С.М.	Шмакун	
3	Шмакун С.М.	Шмакун	
4	Шмакун С.М.	Шмакун	
5	Шмакун С.М.	Шмакун	

7 Дата видачі завдання 7.09.2020

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
	Введення	23.09	
1	Розділ	10.10	
2	Розділ	19.10	
3	Розділ	05.11	
4	Розділ	18.11	
5	Розділ	21.11	
	завершення роботи	28.11	

Студент

(підпис)

Бабич К.Ю.

(ініціали та прізвище)

Керівник роботи (проєкту)

(підпис)

Шмакун С.М.

(ініціали та прізвище)

Нормоконтроль пройдено

Нормоконтролер

(підпис)

Турчинов К.Ю.

(ініціали та прізвище)

РЕФЕРАТ

Дипломний проект: 84 стор., 26 рис., 10 табл., 24 джерел

Об'єкт дослідження: системи управління.

Предмет дослідження: перехідні процеси в перетворювачах.

Мета роботи: дослідження структур та алгоритмів роботи сучасних мікроконтролерів для підвищення ефективності управління двигунами.

У даній роботі проведено дослідження потенціалу використання мікроконтролерів в умовах промисловості. Показано переваги сучасних мікроконтролерів для підвищення ефективності управління безколекторними двигунами.

Розглянуто алгоритми роботи системи контролю, проведено аналіз критерію вибору мікроконтролерів, які оптимізовані для управління безколекторними двигунами.

ДВИГУН, МІКРОКОНТРОЛЕР, СИСТЕМА УПРАВЛІННЯ, ПЕРВИННИЙ ПЕРЕТВОРЮВАЧ, АНАЛОГОВО-ЦИФРОВИЙ ПЕРЕТВОРЮВАЧ, АЛГОРИТМ, ПЕРЕХІДНИЙ ПРОЦЕС, ДРУКОВАНА ПЛАТА

ЗМІСТ

Вступ	6
1 Переваги використання безколекторних двигунів	8
1.1 Принцип дії та устрій	8
1.2 Управління двигуном BLDC	13
1.3 Управління двофазними безколекторними електродвигунами постійного струму	16
1.4. Принцип дії	17
1.4.1 Двофазний БКЕПТ	17
1.5 Електрорушійна сила	19
1.6 Управління БКЕПТ без датчиків	21
1.7 Напрямок обертання	21
1.8 Тимчасові діаграми напруг в процесі комутації	23
1.9 Управління швидкістю за допомогою широтно-імпульсної модуляції	24
1.10 Задана частота обертання	26
1.11 Аварійні режими роботи	27
1.12 Огляд запропонованої реалізації	27
1.12.1 Апаратна частина	28
1.12.2 Вибір мікроконтролеру	29
1.12.3 Розробка програми	30
2 Елементна база систем управління	38
2.1 Драйвери ПІ для крокових двигунів	39
2.2 Драйвери ПІ для BDC	42
2.3 Мікроконтролери Renesas RX66T оптимізовані для управління двигунами	46
3 Дослідження систем управління	48
3.1 Критерій 1 - потужність, що споживається	48
3.2 Критерій 2 - обсяги та типи вбудованої пам'яті	49

3.3 Критерій 3 - тактова частота	50
3.4 Критерій 4 - склад периферійних пристроїв	50
3.5 Критерій 5 - архітектурні особливості	52
3.6 Методика обробки критеріїв вибору МК	53
4 Конструкторсько-технологічна частина	56
4.1 Конструкція пристрою	56
4.2 Технологія виготовлення та збірки друкарської плати	57
4.3 Характеристика потенційних небезпечних та шкідливих виробничих факторів	63
4.4 Заходи зі зменшення впливу небезпечних та шкідливих виробничих факторів	66
4.5 Виробнича санітарія	67
4.6 Електробезпека	69
4.7 Пожежна та техногенна безпека	70
5 Економічні показники	75
5.1 Визначення стадій розробки	75
5.2 Розрахунок заробітної плати	77
5.3 Розрахунок кошторису витрат	78
Висновки	80
Список використаних джерел	81
Додаток А	83

ВСТУП

Електричний привід (ЕП) відіграє велику роль в реалізації завдань підвищення продуктивності праці в різних галузях народного господарства, автоматизації та комплексної механізації виробничих процесів. Близько 70% електроенергії, що виробляється перетворюється в механічну енергію електродвигунами (ЕД), які приводять в рух різні верстати і механізми. Сучасний ЕП відрізняється широким розмаїттям застосовуваних засобів управління - від звичайної комутаційної апаратури до ЕОМ, великим діапазоном потужностей двигунів, діапазоном регулювання швидкостей до 10000: 1 і більше, застосуванням як тихохідних, так і надшвидкісних ЕД.

Електричний привід є єдиною електромеханічною системою, електрична частина якої складається з електродвигуючого, перетворювального, керуючого і інформаційного пристроїв, а механічна частина включає в себе всі пов'язані рухомі маси приводу і механізму. Широке впровадження електричного приводу в усі галузі промисловості та все зростаючі вимоги до статичних і динамічних характеристик.

Як відомо в колекторних двигунах постійного струму комутація обмоток в потрібний момент часу здійснюється за допомогою колекторного вузла (якоря). У безколекторних двигунах комутацією управляє електроніка. В англійській версії двигуни даного типу називаються BLDC motor - Brushless Direct Current Motor - безщітковий мотор постійного струму. Ротор двигуна містить постійні магніти, а робочі обмотки розташовуються на статорі, тобто пристрій BLDC мотора повністю протилежно тому, як це має місце в класичному колекторному двигуні. Управління BLDC мотор електронним регулятором, який називають ESC - Electronic speed controller - електронний регулятор ходу [1].

Для визначення моменту комутації контролер може використовувати або датчики положення (Датчики Холу) або зворотний ЕРС, що генерується непідключеними обмотками. Датчики положення найбільш часто використовуються в низьких обертах (тягових) двигунах, де пусковий

момент істотно варіюється або де потрібно його високе значення, а також де двигун використовується для позиціонування. Управління безколекторними двигунами без датчиків використовується в тих випадках, коли пусковий момент істотно не змінюється і коли відсутня необхідність в управлінні позиціонуванням, як, наприклад, в вентиляторах.

1 ПЕРЕВАГИ ВИКОРИСТАННЯ БЕЗКОЛЕКТОРНИХ ДВИГУНІВ

1.1 Принцип дії та устрій

Безколекторні двигуни застосовуються в самих різних областях, так як це надійні, довговічні і стійкі до поломок агрегати. У побуті найчастіше використовується двигун постійного струму на 12 вольт, але бувають моделі з більшою потужністю.

Безколекторний двигун постійного струму можна класифікувати як самосінхронізуємий синхронний двигун, в якому повністю виключений іскрить вузол, що вимагає регулярного обслуговування - колектор. Функцію колектора несе на собі електроніка, завдяки чому вся конструкція виробу сильно спрощується і стає компактніше.

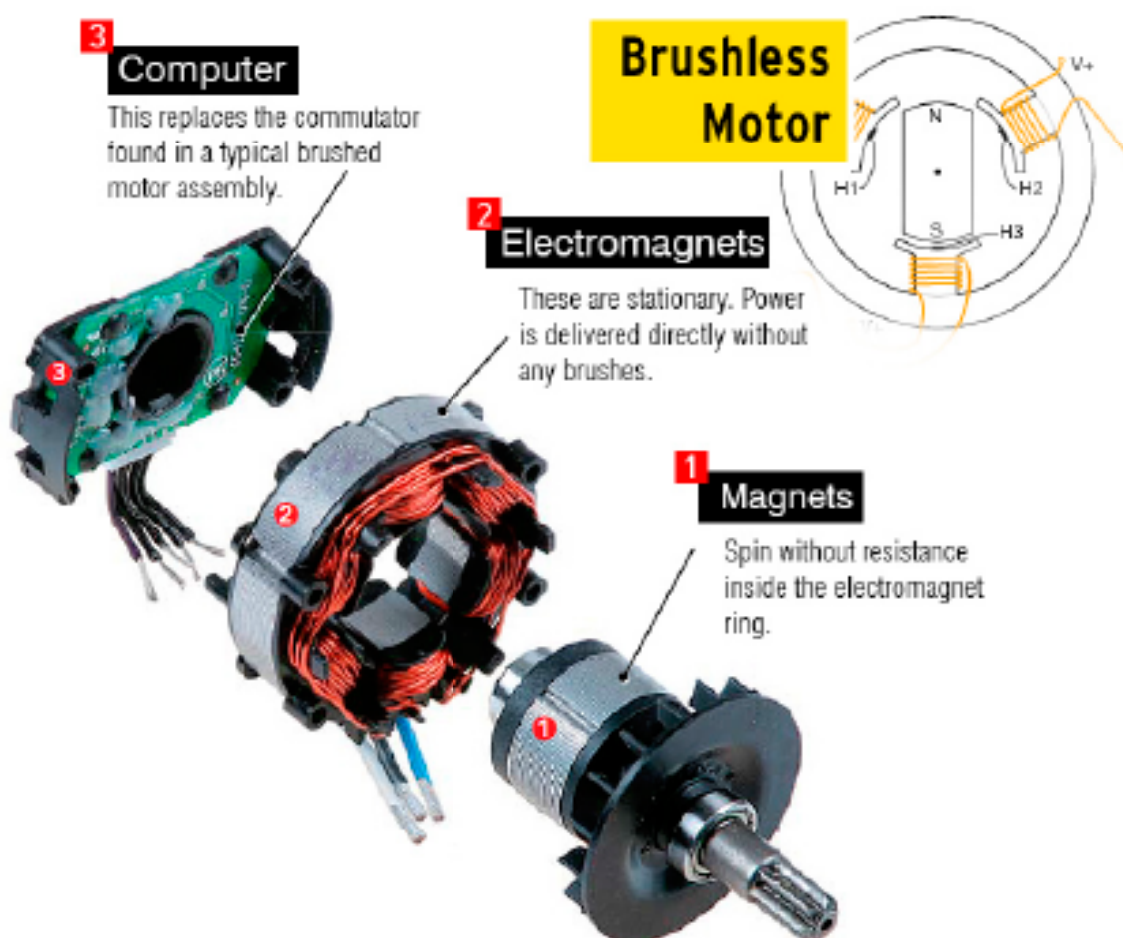


Рисунок 1.1 - Безколекторний двигун

Переваги безколекторного двигуна

У порівнянні зі своїми колекторними «побратимами» безколекторні механізми мають деякі переваги:

- Компактність і невелика вага. Двигуни можна встановити на маленькі пристрої.
- Дуже високий ККД. Їх використання вигідно.
- Відсутність контактів перемикачів і крутного моменту. Оскільки функції постійних магнітів виконують транзистори МОП, джерела втрат відсутні.
- Відсутність стираються і ламких елементів.
- Широкий діапазон зміни швидкості обертання.
- Здатність переносити велике навантаження по моменту.

Безколекторний двигун оснащується електронним блоком управління, який коштує досить дорого - це, мабуть, єдиний його недолік.

Принцип роботи безколекторного двигуна постійного струму той же, що і у агрегатів інших моделей. Але, як видно з назви, основна особливість механізму - відсутність колектора (цей вузол складний, важкий, вимагає обслуговування і може іскрити). Роль ротора виконує шпindel, навколо якого встановлені дротяні обмотки з різними магнітними полями. Кількість прямокутних магнітів, встановлених у ротора, може бути різним, але обов'язково парним (як і число полюсів). У разі якщо кілька магнітів становлять один полюс, число полюсів менше числа магнітів [1].

Обертання досягається завдяки зміні напрямку магнітного поля в певній послідовності. Взаємодіючи з магнітними полями ротора, постійні магніти призводять статор в рух. Від їх потужності залежить момент сили.

Управління безколекторним двигуном постійного струму

У двигунах подібного типу управління комутацією здійснюється за допомогою електроніки.

Для управління БКЕПТ використовується силовий каскад, що складається з 3 півмілі. Схема силового каскаду показана на рисунку 1.2.

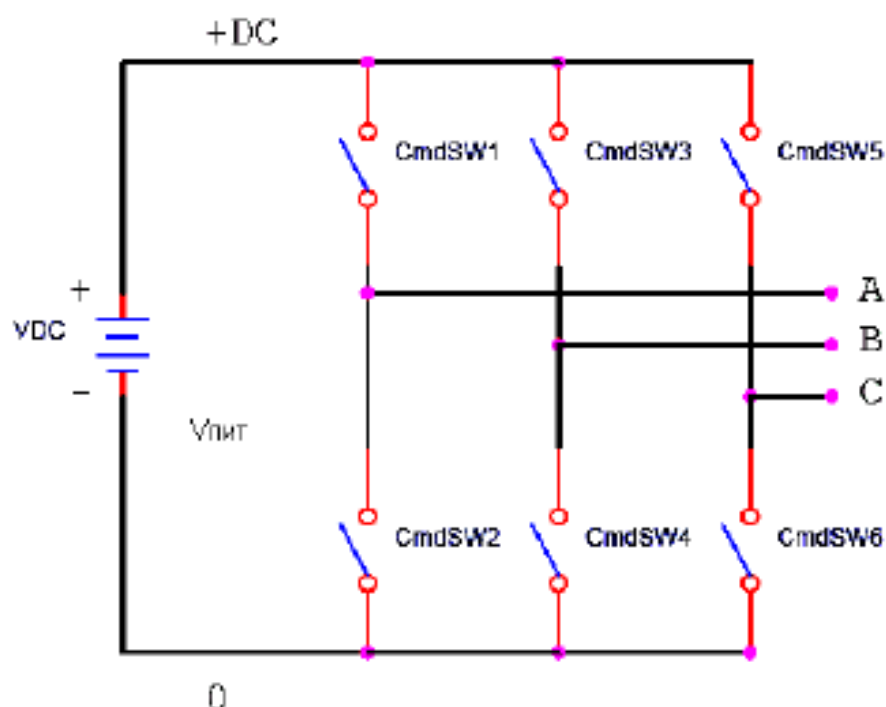


Рисунок 1.2 - Схема силового каскаду

На рис. 1.2 силовий каскад - це 6 транзисторів, схематично показаних ключами CmdSW, напівміст - пара транзисторів, з'єднаних послідовно між "+" і "-" живлення, наприклад CmdSW1, CmdSW2. А, В, С - виводи обмоток двигуна, з'єднання обмоток між собою як у асинхронних двигунів. Ця схема дозволяє току протікати між фазами А, В, С в будь-якому напрямку. Наприклад якщо замкнути ключ CmdSW1 і CmdSW4, то струм потече від виведення А до виводу В, а якщо замкнути CmdSW3 і CmdSW2 - від виведення В виводу А. А якщо замкнути CmdSW1 і CmdSW2 - вийде коротке замикання з вигоранням транзисторів, так що управляти транзисторами потрібно обережно. До речі для управління колектора двигуном з реверсом потрібно 2 напівмоста, без реверсу - 1 транзистор.

Для регулювання сили струму в фазі використовують широтно-імпульсну модуляцію (ШІМ). Наприклад частину часу відкривають ключі CmdSW1, CmdSW4 і струм починає текти від "А" до "В", потім закривають CmdSW1 і відкривають CmdSW2 і за рахунок індуктивності обмоток струм продовжити текти по кільцю А-В-CmdSW4- "земля" -CmdSW2. До речі в транзистори вбудовані діоди, які проводять струм в зворотному напрямку. Так що якщо в

другій фазі ШІМ розімкнуті всі транзистори, то в обмотці почне зростати напруга і через ці діоди енергія з обмоток почне повертатися в мережу.

Ця схема з 6 транзисторів називається трифазним інвертором і застосовується для перетворення постійного струму в трифазний змінний для живлення, як безколекторних, так і асинхронних двигунів. Для безколекторних двигунів застосовуються низьковольтні польові транзистори (MOSFET), для асинхронних двигунів - високовольтні біполярні транзистори з ізольованим затвором (IGBT). За допомогою цієї схеми можна здійснювати і рекуперацію.

Щітки замінені, по суті, на електронні ключі, втрати в яких сильно менше ніж були б при механічній комутації. Потужні неодимові магніти на роторі дозволяють домогтися більшого моменту на валу. І гріється такий двигун менше ніж його колекторний попередник.

В результаті ККД двигуна виходить якнайкраще, а показники потужності на кілограм ваги - вище, плюс досить широкий діапазон регулювання швидкості обертання ротора і практично повна відсутність генеруються радіоперешкод. Конструктивно двигуни даного типу легко адаптуються для експлуатації в воді і в агресивних середовищах.

Регулятори для двигунів бувають двох видів:

- Без датчиків, що використовуються при відсутності істотної зміни пускового моменту або необхідності в управлінні позиціонуванням (в вентиляторі). Широке поширення цього виду регуляторів пояснюється простотою їх виготовлення.

- З датчиками, що встановлюються в агрегатах з істотним варіюванням пускового моменту (в низькообертівим механізмах).

Положення ротора при подачі струмових сил на обмотки визначається електронною системою і датчиком положення. Найбільш поширені такі типи датчиків:

- Датчик холу. Цей вузол змінює свої виводи при перемиканні обмоток. Для вимірювання струму і частоти обертання застосовується пристрій з розімкненим контуром. До датчику приєднуються три введення. При зміні

показань запускається переробка переривання. Якщо потрібно забезпечити швидке реагування обробки переривання, датчик слід підключити до молодших виводів порту.

- Датчик положення з мікроконтролером. Управління безколекторним двигуном постійного струму здійснюється за допомогою AVR ядра (чіпа для виконання тих чи інших завдань). Програма, вшита в плату AVR, максимально швидко запускає двигун при відсутності додаткових зовнішніх приладів і управляє швидкістю.

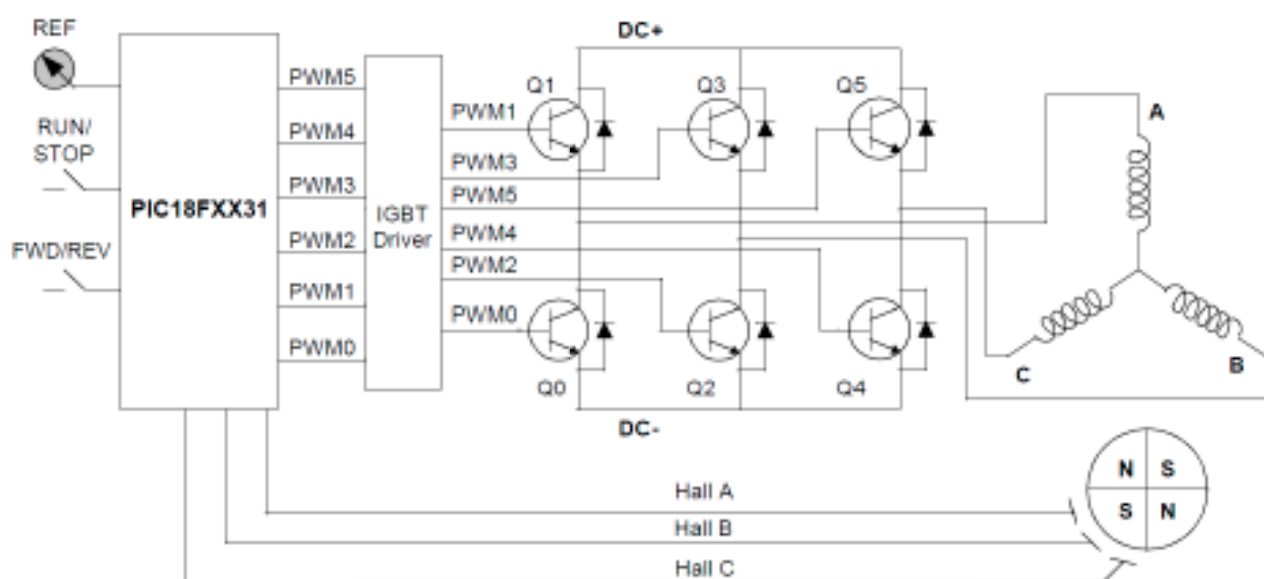


Рисунок 1.3 - Структура системи управління

Електронний блок управління - дуже важлива і дорога частина безколекторного двигуна постійного струму, без якої, однак, ніяк не обійтись. Від даного блоку двигун отримує живлення, параметри якого одночасно впливають і на швидкість, і на потужність, яку двигун буде в змозі розвинути під навантаженням [2].

Навіть якщо швидкість обертання регулювати не потрібно, все одно електронний блок управління необхідний, адже він несе на собі не тільки функцію управління, але також має силову складову. Можна сказати, що ESC -

це аналог частотного регулятора для асинхронних двигунів змінного струму, спеціально призначений для живлення і управління безколекторним мотором постійного струму.

Для усунення похибок у визначенні положенні ротора, дроти при підключенні контролера роблять максимально короткими (12-16 см). Серед програмних налаштувань контролерів можна перерахувати:

- зміну напрямку;
- плавне вимикання і гальмування;
- обмеження струму;
- випередження ККД і потужності;
- жорстке / плавне вимикання;
- швидкий / жорсткий / м'який старт;
- режим газу.

Деякі моделі контролерів містять драйвера двигуна, що дає можливість його запуску безпосередньо, без установки додаткових драйверів.

1.2 Управління двигуном BLDC

Щоб зрозуміти як відбувається управління BLDC двигуном, спочатку згадаємо як працює колекторний двигун. В його основі принцип обертання рамки зі струмом у магнітному полі.

Кожен раз, коли рамка зі струмом повернулася і знайшла положення рівноваги, комутатор (щітки притиснуті до колектора) змінює напрямок струму через рамку, і рамка рухається далі. Цей процес повторюється при русі рамки від полюса до полюса. Тільки ось в колекторному двигуні таких рамок багато і магнітних полюсів кілька пар, тому колекторно-щітковий вузол містить не два контакти, а багато.

Електронний блок управління безколекторним двигуном робить те ж саме. Він змінює полярність магнітного поля як тільки ротор необхідно повернути далі з положення рівноваги. Тільки керуюча напруга подається не на ротор, а на обмотки статора, і робиться це за допомогою напівпровідникових ключів в потрібні моменти часу (фази ротора).

Очевидно, що струм на обмотки статора безколекторного двигуна необхідно подавати в правильні моменти часу, тобто тоді, коли ротор знаходиться в певному відомому положенні. Для цього застосовується один з наступних методів. Перший - на основі датчика положення ротора, другий - шляхом вимірювання ЕРС на одній з обмоток, яка в даний момент не отримує живлення.

Датчики бувають різними, магнітними і оптичними, найбільш популярні магнітні датчики на основі ефекту Холу. Другий спосіб (на основі вимірювання ЕРС) хоча і ефективний, проте він не дозволяє здійснювати точне управління на низьких швидкостях і при старті. А ось датчики Холу забезпечують можливість більш точного управління в усіх режимах. У трифазних BLDC двигунах таких датчиків три штуки.

Двигуни без датчиків положення ротора застосовуються в тому разі, коли старт мотора відбувається без навантаження на валу (вентилятор, пропелер і т. П.). Якщо ж старт відбувається під навантаженням, необхідний мотор з датчиками положення ротора. В тому і в іншому варіанті є свої плюси і мінуси.

Рішення з датчиком обертається більш зручним управлінням, але при виході з ладу хоча б одного з датчиків, мотор доведеться розбирати, до того ж датчики вимагають окремих проводів. У варіанті без датчика немає потреби в спеціальних проводах, але під час старту ротор буде розгойдуватися туди-сюди. Якщо це неприпустимо, необхідно ставити в систему датчики.

Ротор BLDC двигуна може бути зовнішнім або внутрішнім, а статор, відповідно, внутрішнім або зовнішнім. Статор виготовляють з магнітопроводячого матеріалу, з кількістю зубців, яке без остачі ділиться на кількість фаз. Ротор може бути виготовлений необов'язково з

магнітопроводячого матеріалу, але обов'язково з жорстко зафіксованими на ньому магнітами.

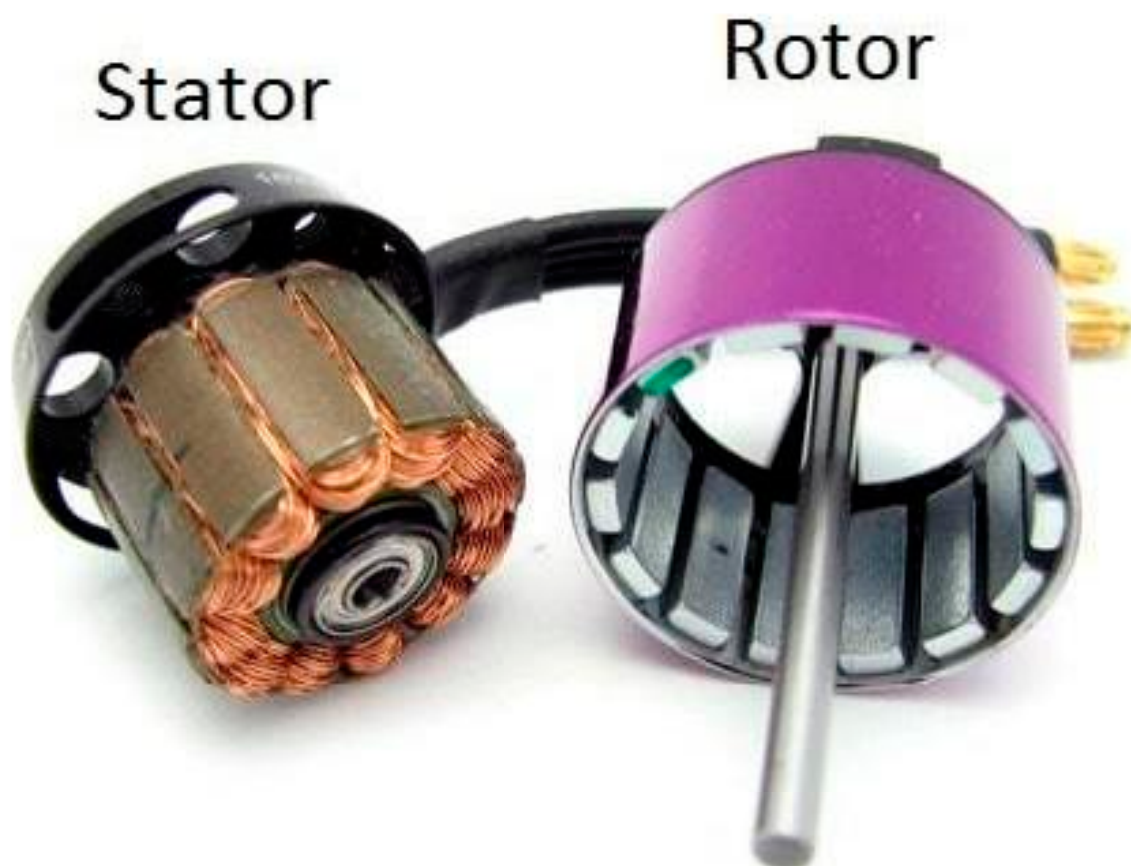


Рисунок 1.4 — Ротор та статор двигуна

Чим сильніше магніти - тим вище доступний крутний момент. Кількість зубців статора не обов'язково має дорівнювати кількості магнітів на роторі. Мінімальна кількість зубців дорівнює кількості фаз управління.

Більшість сучасних безколекторних двигунів постійного струму - трифазні, просто в силу простоти такої конструкції і способу управління нею. Як і в асинхронних двигунах змінного струму, обмотки трьох фаз з'єднуються тут на статор «трикутником» або «зіркою».

Такі двигуни без датчиків положення ротора мають 3 живлять дроти, а двигуни з датчиками - 8 проводів: додаткові два дроти - для живлення датчиків і три - сигнальні виводи датчиків.

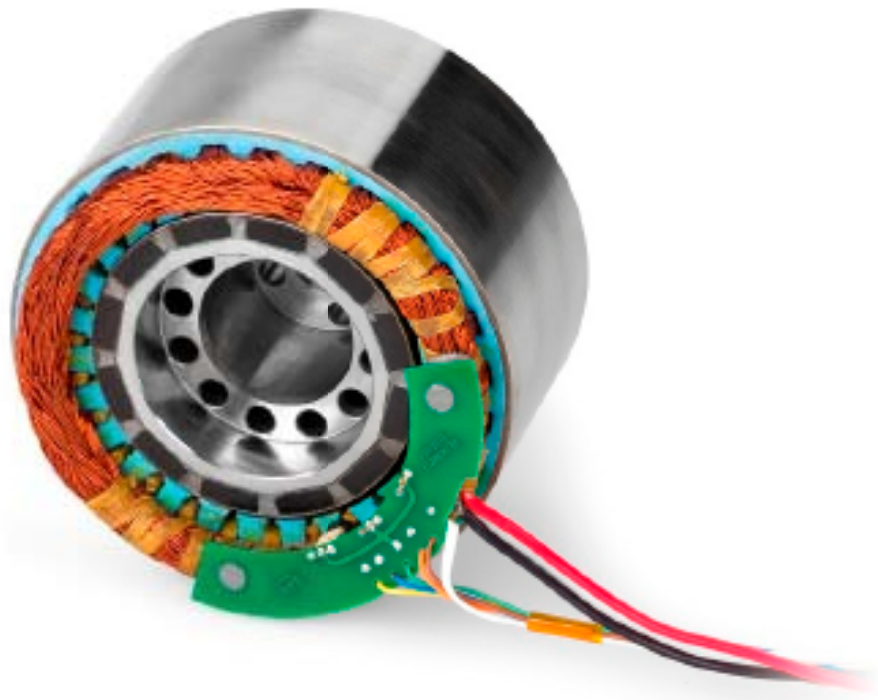


Рисунок 1.5 - Обмотка статора

Обмотка статора виконується ізольованим мідним дротом так, щоб сформувати магнітні полюси необхідної кількості фаз, рівномірно розподілені по колу ротора. Кількість окремо розташованих полюсів на статорі для кожної фази вибирається виходячи з необхідної швидкості обертання двигуна (і крутного моменту) [1].

Низькообертовий двигуни із зовнішнім ротором роблять з великою кількістю полюсів (і відповідно зубців) на кожну фазу, щоб отримати обертання з кутовою частотою значно менше частоти керуючого струму. Але навіть в високооборотних трифазних моторах зазвичай не застосовують кількість зубців менше 9.

1.3 Управління двофазними безколекторними електродвигунами постійного струму

Двофазні безколекторні електродвигуни постійного струму (БКЕПТ) широко використовуються в вентиляторах для вентиляції і охолодження ЦПУ, графічних процесорів, джерел живлення і безлічі інших додатків. У порівнянні

з колекторними двигунами БКЕПТ відрізняються більш легким вагою, швидким розгоном, випромінюванням меншого рівня електричних і акустичних шумів, а також не вимагають технічного обслуговування (виключений знос колекторного вузла). Вимоги до охолоджуючим вентиляторів безперервно збільшуються, так як зростає число електроніки з великим виділенням тепла. У зв'язку зі збільшенням обсягів застосування вентиляторів з'являється необхідність в недорогих рішеннях, що дозволяють зберегти на низькому рівні вартість кінцевої продукції. Крім того, оскільки зростає число використовуваних вентиляторів у побутовій та офісній електроніці, то вентилятори повинні бути якомога більш тихими і економічними. Характеристики БКЕПТ досить повно відповідають вимогам вентиляторів.

В даних рекомендаціях щодо застосування описується, як реалізувати схему і програму для управління двофазним БКЕПТ на основі 8-розрядного мікроконтролера AVR. Для реалізації функцій управління використовується недорогий і мініатюрний мікроконтролер ATtiny13. АЦП і ШПМ використовуються таким чином, що не потрібні датчики Холла; для визначення необхідності перемикання статорних струмів мікроконтролер оцінює рівень ЕРС на пасивної обмотці. Дане рішення дозволяє виключити датчик Холла (датчик положення) і є сучасним, недорогим методом управління двофазним БКЕПТ [3].

1.4. Принцип дії

Щоб більш точно зрозуміти принципи роботи даного пристрою ознайомимося з основами функціонування двухфазного БКЕПТ і генерацією ЕРС.

1.4.1 Двофазний БКЕПТ

Безколекторні електродвигуни постійного струму складаються з ротора з постійними магнітами і статора з декількома обмотками. Кількість полюсів на

постійних магнітах і кількість статорних обмоток варіюється в залежності від бажаних характеристик двигуна. Звичайний двофазний електродвигун показаний на рис. 1.6. На рисунку представлений двигун з 4 обмотками і 2 наборами полюсів. Верхня і нижня обмотки з'єднані послідовно, точно також з'єднані ліва і права обмотки.

Уточнимо термінологію по комутації електродвигуна. Пасивна обмотка - обмотка, яка генерує магнітне поле, що обертається, ротор (тому що через цю обмотку не протікає струм). На противагу цьому, активна або живиться обмотка - обмотка, через яку протікає електричний струм, що створює магнітне поле. У нормальному режимі роботи, в будь-який момент часу одна обмотка повинна активної, а інша пасивної. Від положення роторних магнітів залежить, яка обмотка повинна бути запитана для обертання ротора в потрібному напрямку. В процесі роботи зміна положення ротора відбувається за рахунок зміни електричного струму через обмотки таким чином, що обертання підтримується за рахунок зміни магнітного поля, генерованого статорними обмотками.

При запуску обмоток 1 і 2 на рис. 1.6 будуть притягатися/відштовхуватися полюса роторних магнітів у напрямку до обмоток (фаза 1). Як тільки почнеться обертання, інерцією ротора буде гарантуватися, що ротор не тільки притягнеться до активних обмоткам, а й пройде повз них. Як тільки магніт пройде повз активних обмоток, повинні бути активізовані інші обмотки (фаза 2) і обертання, таким чином, продовжиться. Якщо перемикання виконати в потрібний момент, то магнітні поля обмоток зміняться таким чином, що сформований крутний момент буде завжди в одному напрямку. Якщо ж перемикання обмоток виконати раніше або пізніше, то протягом короткого часу буде сформований крутний момент в протилежному напрямку, сповільнюючи частоту обертання ротора. Таким чином, необхідна інформація про стан роторних магнітів щодо обмоток для досягнення максимальних робочих характеристик.

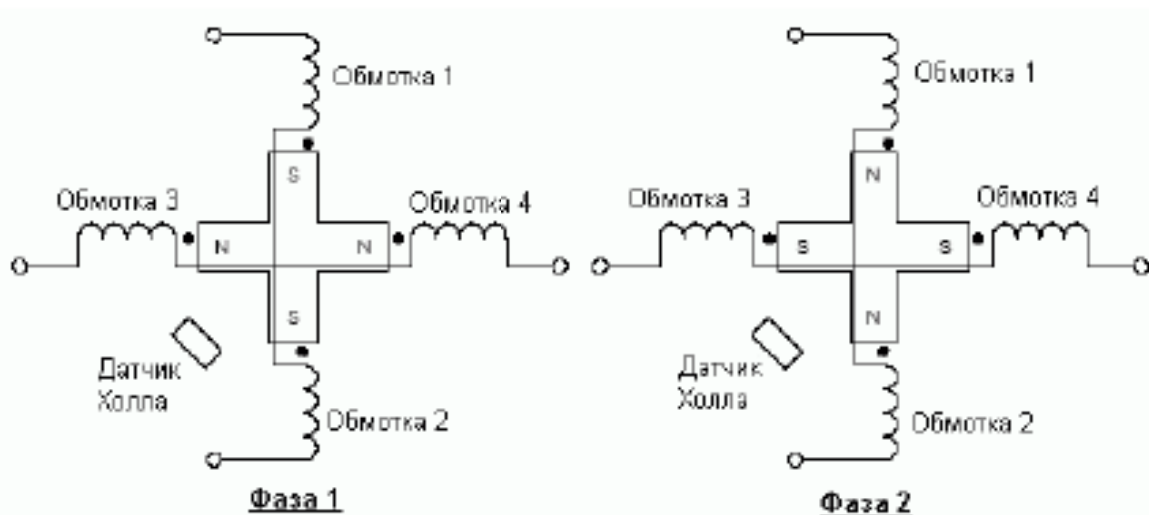


Рисунок 1.6 - Принцип действия двухфазного БКЭПТ

Процес комутації обмоток двофазного БКЭПТ зазвичай управляється датчиком Холу, який використовується для визначення положення ротора. Датчик Холу - магнітний ключ, який дозволяє визначити положення магнітного поля, в даному випадку генерувати роторними магнітами. Датчик Холу встановлює на свій вихід логічний 0 або 1 в залежності від полярності магнітного поля, генерованого роторними магнітами. Якщо датчик Холу розташувати між обмотками 2 і 3 (див. рисунок 1.6), то він змінює стан свого виходу, коли роторні магніти збігаються з обмотками, тобто коли магнітні поля двох полюсів компенсують один одного і змінюється полярність магнітного тяжіння. Датчики Холу надають керуючої системі інформацію про те, коли необхідно виконати перемикання обмоток для підтримки обертання. Недоліками використання даного способу управління комутацією є дорожнеча датчика Холу і необхідність точного позиціонування датчика для отримання надійної інформації. Навіть при точному позиціонуванні датчика Холу інформація про стан надходить тільки миттєво при кожному перемиканні.

1.5 Електрорушійна сила

Електрорушійна сила (ЕРС) - напруга на індуктивності (обмотці), генерувати змінним магнітним полем (створене магнітами при обертанні

ротора). Форма ЕРС у БКЕПТ приблизно трапеційдальна, як показано на рис. 1.7.

ЕРС має суттєвий вплив на роботу БКЕПТ. ЕРС генерується на статорних обмотках під час обертання ротора. Амплітуда ЕРС прямо пропорційна швидкості зміни магнітного поля (з боку обмотки) - іншими словами, амплітуда ЕРС пропорційна частоті обертання електродвигуна. Коли електродвигун досягне заданої швидкості, амплітуда ЕРС буде дорівнювати напрузі, використовуваному для живлення обмоток. Це обмежує електричний струм через обмотку і, отже, частоту обертання, тому що струм потрібно для генерації магнітного поля, а магнітне поле необхідно для створення крутного моменту. ЕРС, індукована в живиться обмотці, називається зворотної ЕРС [3].

ЕРС генерується не тільки в живиться обмотці, але також і в пасивній. ЕРС пасивної обмотки можна виміряти і використовувати для визначення положення ротора. На рис. 1.7 ілюструється трапеційдальна ЕРС, індукована в пасивної обмотці, в функції положення (кута) роторного магніту.

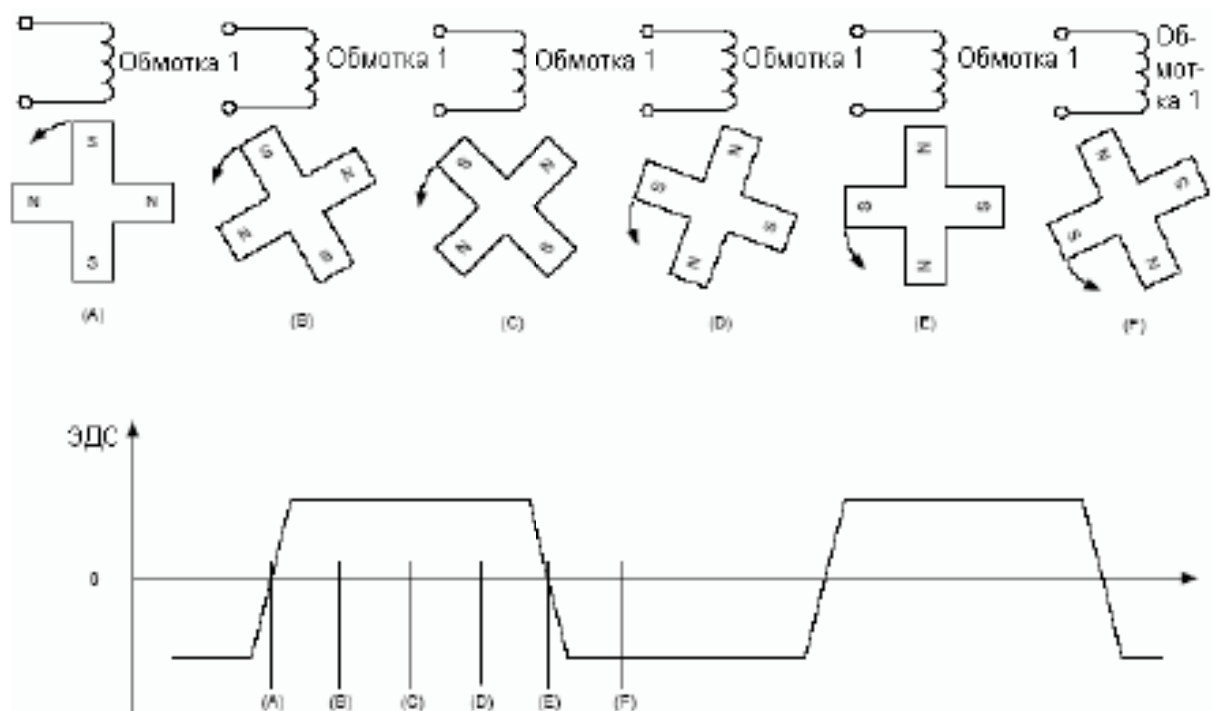


Рисунок 1.7 - ЕРС, індукована при обертанні роторних магнітів

Недоліком використання ЕРС для визначення положення ротора є залежність амплітуди ЕРС від частоти обертання, що вимагає вимірювання більш низьких рівнів напруги. При цьому також необхідно врахувати вплив шумів, які можуть бути присутніми в заданій системі.

Як показано на рис. 1.7 ЕРС змінює полярність, коли роторний магніт знаходиться на одній лінії з обмоткою, в цей же момент має змінитися стан на виході датчика Хола. Дана особливість використовується при використанні способу управління БКЕПТ без датчиків.

1.6 Управління БКЕПТ без датчиків

Спосіб управління без датчиків з використанням ЕРС, як правило, застосовується для керування трифазним БКЕПТ. У даній реалізації ЕРС використовується для визначення положення ротора і, таким чином, для синхронізації процесу комутації. При обертанні роторних магнітів двухфазного двигуна, за аналогією з трифазним двигуном, генерується ЕРС в пасивної обмотці статора. Ідея використання ЕРС пасивної обмотки для визначення положення ротора використовувалася при розробці пристрою, запропонованого в даних рекомендаціях щодо застосування. Основною перевагою комутації без датчиків є виключення датчика Хола, а решта переваги стануть ясніше далі.

1.7 Напрямок обертання

У більшості застосувань необхідно тільки одне свідомо відомий напрямок обертання. Наприклад, при охолодженні джерела живлення персонального комп'ютера необхідно швидше подавати холодне повітря приміщення в джерело живлення, ніж, навпаки, всмоктувати гаряче повітря з джерела живлення всередину приміщення. Крім того, в більшості випадків лопаті вентилятора оптимізовані під один напрямок обертання.

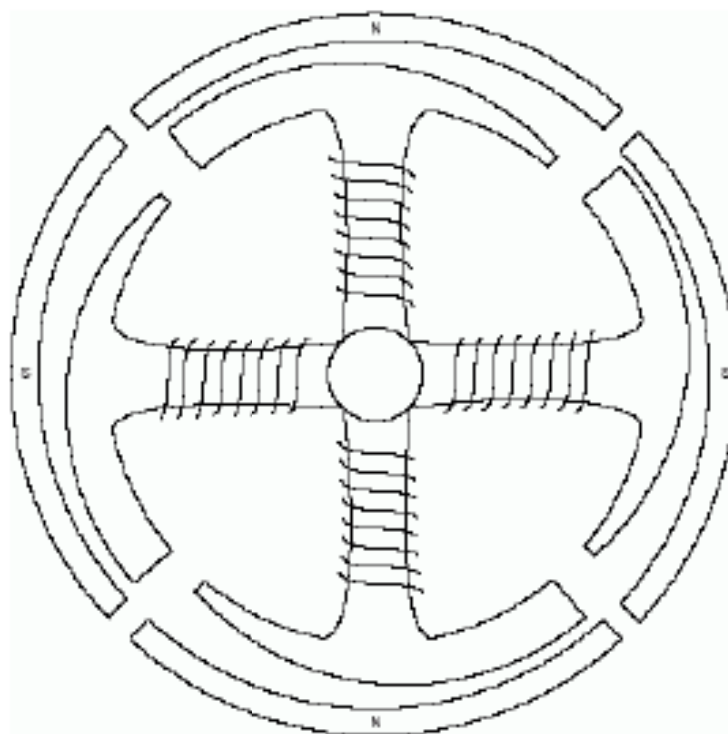


Рисунок 1.8 - Звужений повітряний зазор в двофазному електродвигуні

Конструкцією двигуна на рис. 1.6 не гарантується напрямок обертання під час запуску електродвигуна. Напрямок залежить від початкового положення ротора і порядку активізації обмоток. Якщо початкове положення ротора відомо, то можна визначити порядок активізації обмоток, який призведе до обертання в потрібному напрямку.

При управлінні без використання датчиків немає інформації про початковому положенні ротора. Таким чином, перед запуском електродвигуна ротор повинен бути переведений в відоме положення. При активізації одного набору обмоток магніти ротора порівнюються з обмотками таким чином, що північні полюси магнітів стають навпроти південних полюсів статора або навпаки. Активізуючи обмотки таким способом, можна перевести ротор в відоме положення. Однак знання положення ротора мало для гарантування, що двигун буде обертатися в потрібному напрямку. Для обертання двигуна в потрібному напрямку потрібно передбачити спеціальну конструкцію магнітного сердечника.

У багатьох двофазних БКЕПТ коректність напрямку обертання гарантується звуженням повітряного зазору (див. рис. 1.8). Повітряний зазор між роторним магнітом і статором непостійний. Коли статорні обмотки не запитані, роторний магніт приймає положення, в якому повітряний зазор між полюсами магнітів і магнітного сердечника - найменше (тобто, де найменше магнітне опір). Двигун на рис. 1.8 має чотири таких положення спокою. Ці положення розташовані між положеннями збіги полюсів, коли запитані послідовні обмотки. Якщо ротор порівнюється з набором обмоток (за рахунок активізації обмотки), а потім обмотка знеструмлюється, то ротор продовжить обертання до найближчого положення спокою. Положення ротора, таким чином, відомо і далі напрямок обертання управляється шляхом вибору відповідного порядку комутації [5].

1.8 Тимчасові діаграми напруг в процесі комутації

Для того, щоб зрозуміти як ефективно управляти двигуном, необхідно отримати уявлення про те, як формується крутний момент. Нижче представлено вираз електричного моменту, генерованого однією фазою:

$$T_e = e i / \omega , \quad (1.1)$$

де T_e - електричний момент,

e - ЕРС,

i - струм через обмотки двигуна,

ω - кутова швидкість ротора.

Вираз (1.1) показує, що сформований крутний момент має теж напрямок, що і обертання, якщо e і i мають однаковий знак. Або інакше, якщо e і i мають протилежні знаки, то електрична енергія витрачається на уповільнення двигуна.

У більшості вентиляторів використовується прямокутна форма напруг в процесі комутації (в цьому випадку комутація називається блоковою). На рис.1.9

показана блокова комутація, де перемикання виконується при перетині нуля напругою ЕРС (зміна полярності) для підтримки рівності знака фазного струму і знака ЕРС.

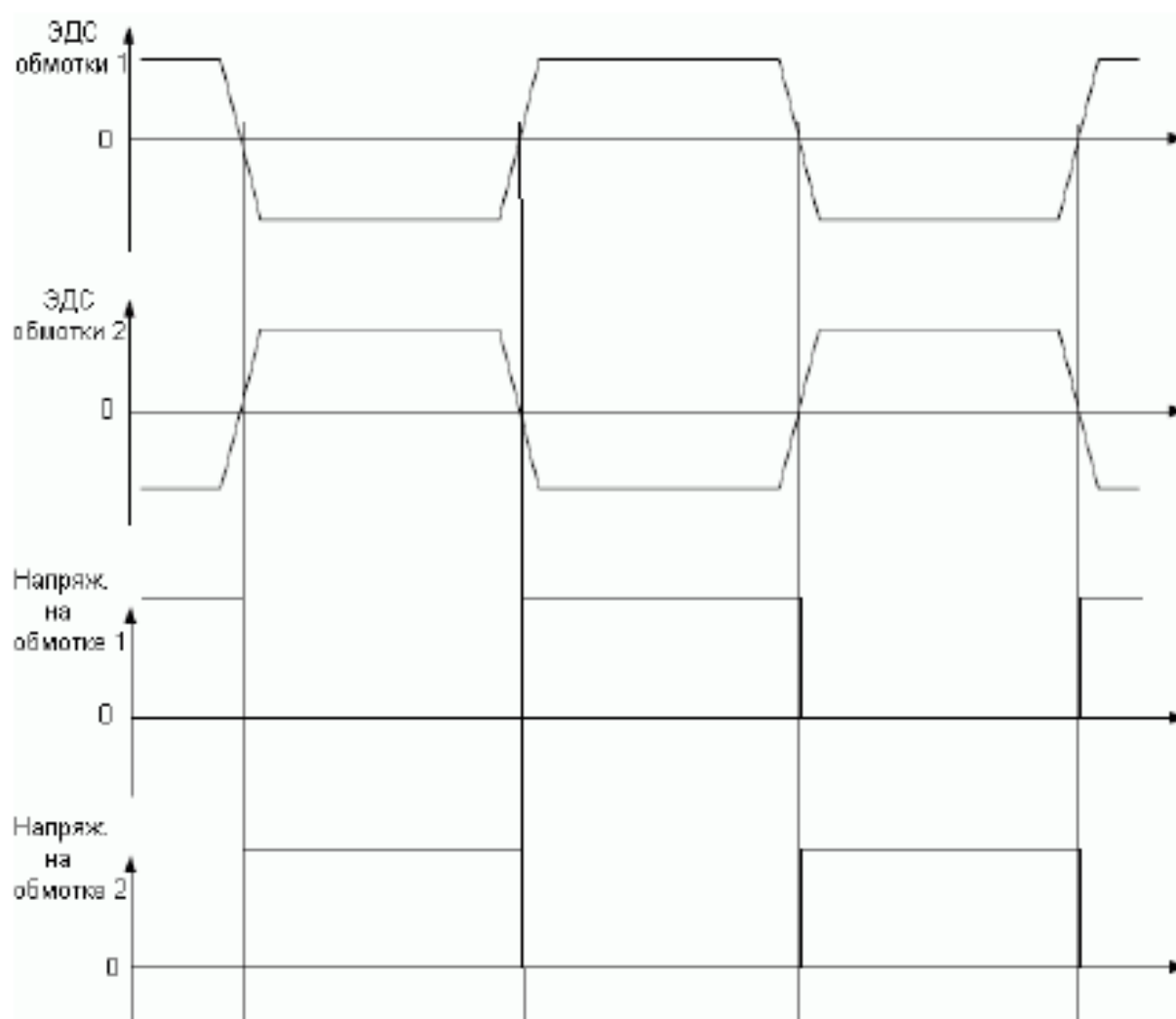


Рисунок 1.9 - Основні осцилограми напруг при комутації

1.9 Управління швидкістю за допомогою широтно-імпульсної модуляції

Як показано раніше, може виникнути необхідність управління частотою обертання двигуна. У вентиляторах також може виникнути необхідність зниження акустичних шумів і зниження споживаної потужності двигуна. Одним із способів управління частотою обертання двигуна є управління робочою напругою двигуна; проте, далеко не всі системи, в т.ч. ПК, можуть безпосередньо формувати регульоване напруга для живлення електродвигуна без спеціального апаратного каскаду живлення. В результаті до складу багатьох

систем входить спеціальна схема, яка дозволяє регулювати напругу живлення вентилятора і привносить свою частину вартості в кінцеву вартість системи. Якщо ж врахувати, що керуюча електроніка вентилятора вже містить транзистори, які можуть використовуватися для керування напругою живлення двигуна, то додаткову схему для регулювання напруги живлення електродвигуна необхідно розглядати, як надлишкову. Таким чином, альтернативним рішенням для управління напругою / швидкістю є використання керуючої електроніки двигуна. Якщо для управління комутацією використовується мікроконтролер, то для управління середнім значенням напруги живлення обмоток можна використовувати широтно-імпульсну модуляцію (ШІМ). Якщо зв'язати вихід ШІМ-генератора з обмотками електродвигуна, то можна управляти середнім значенням напруги і, отже, струмом через обмотки (див. рис. 1.10). Коефіцієнт заповнення імпульсів ШІМ-сигналу визначає середнє значення напруги живлення обмоток. На рис. 1.10 заповнення імпульсів 50%. Це означає, що середнє значення напруги, що подається на обмотки дорівнює 50% від вихідного напруги живлення. Збільшення заповнення імпульсів ШІМ-сигналу призводить до збільшення швидкості обертання і крутного моменту вентилятора.

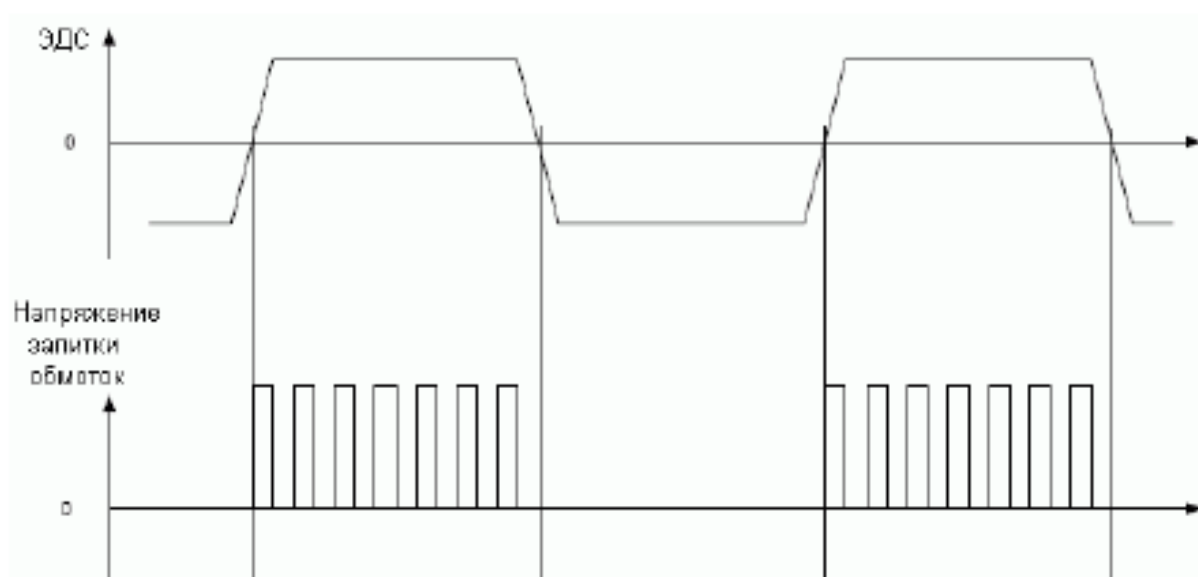


Рисунок 1.10 - Напруга живлення обмоток двигуна з широтно-імпульсною модуляцією

При використанні ШПМ-керування швидкістю бажано мати вбудований в мікроконтролер апаратний генератор ШИМ-сигналу. Використанням апаратного ШПМ-генератора гарантується коректність тимчасової діаграми без паразитних імпульсів, що уможливорює регулювання напруги (заповнення імпульсів) у всьому діапазоні від 0% до 100%, що важко при програмній генерації ШПМ-сигналу. Апаратна генерація ШПМ-сигналу також дозволяє розвантажити ЦПУ для виконання інших важливих завдань, як, наприклад, управління комутацією, функції захисту та стабілізація частоти обертання.

Одне з основних вимог при використанні ШПМ-керування швидкістю обертання є розташування основної частоти ШПМ за межами діапазону чутності (20 Гц ... 20 кГц). Це означає, що бажано використовувати основну частоту ШПМ істотно вище 20 кГц. При цьому, також необхідно враховувати механічні характеристики вентилятора. Акустичний шум від невеликих вентиляторів часто нечутний, навіть якщо базова частота ШПМ нижче 20 кГц. Однак потрібно знати, що частоти ШПМ нижче 20 кГц, в залежності від вентилятора, можуть бути чутні, як високий тон. При використанні частот ШПМ вище 20 кГц необхідно враховувати, що зі збільшенням основної частоти ШПМ збільшується розсіює потужність на керуючих транзисторах.

1.10 Задана частота обертання

Частота обертання двигуна в більшості додатків регулюється за допомогою зовнішнього сигналу. В якості останнього виступає аналоговий сигнал, сформований, наприклад, датчиком температури або потенціометром, або ШПМ-сигнал, сформований головним контролером системи. Використання мікроконтролера з вбудованим АЦП дозволяє оперувати з будь-яким типом зовнішнього сигналу для завдання швидкості двигуна, а потім після визначення заданої швидкості варіювати заповнення імпульсів ШПМ-сигналу для керування напругою живлення обмоток. Таким чином, є можливість реалізувати управління частотою обертання зі зворотним зв'язком, коли ШПМ-сигнал

постійно змінюється для мінімізації різниці між заданою і фактичною частотою обертання.

1.11 Аварійні режими роботи

Однією з проблем, з якою стикаються при управлінні двигуном, є його перекидання. Якщо знехтувати цією проблемою, то можливий вихід з ладу двигуна і навіть його загоряння. Таким чином, при розробці будь-якого пристрою керування електродвигуном необхідно враховувати можливість його перекидання. У деяких випадках перекидання є тимчасовим і в цьому випадку бажано перезапустити двигун. У разі виявлення перекидання необхідно зупинити комутацію, почекати деякий час, а потім виконати спробу перезапуску двигуна. Ця функція легко реалізується мікроконтролером шляхом контролю за частотою обертання. Потенційною проблемою для електродвигуна і драйверного каскаду є можливість перегріву. Перегрів може виникнути, коли двигун споживає надмірні струми, наприклад, при управлінні великим навантаженням або швидкому розгоні. Якщо датчик температури вбудований в електродвигун або драйверного каскад, то за допомогою інтегрованого в мікроконтролер АЦП можна легко контролювати температуру і виявляти перегрів. Найбільш простим способом є контроль струму через драйвер і обмотки за допомогою шунтового резистора, падіння напруги на якому служить гарним індикатором можливості утворення високої температури і перевантаження електродвигуна.

1.12 Огляд запропонованої реалізації

В даному розділі описується реалізація схеми і програми для запропонованого пристрою управління двигуном на основі мікроконтролера ATtiny13.

1.12.1 Апаратна частина

На рис. 1.11 представлені основні апаратні функціональні вузли, які необхідні для реалізації пристрою управління двофазним БКЕПТ без датчиків на основі мікроконтролера. Принципова схема залишається однією і тією ж, незалежно від використовуваного типу електродвигуна, а при відомому типі електродвигуна необхідно уточнити тільки параметри елементів схеми.

Вузол, позначений "Схема управління", як правило, являє собою два ключа, які при включенні уможливають протікання електричного струму через обмотки. Як ключі використовуються транзистори. Конденсатори паралельно транзисторів дозволяють згладити перехідні напруги, які виникають при розмиканні індуктивного навантаження, а також зменшують шуми, що виникають при комутації.

Вузол, позначений "Схем контролю", виконує обробку сигналу. На рис. 1.11 для цього використовується тільки ділянка напруги, що дозволяє узгодити по напрузі джерело сигналу з АЦП мікроконтролера.

Зверніть увагу, що резистивні ланцюга впливають на значення ЕРС. Якщо не виконувати розподіл напруги, то вимірювана напруга дорівнюватиме $V_m - V_d - V_c$, де V_d - падіння напруги на діоді, а V_c - загальне падіння напруги на обмотці. Падіння напруги на обмотці дорівнює ЕРС неактивній обмотки. Вимірювання негативних рівнів ЕРС можливо, завдяки використовуваному розташуванню точок вимірювання ЕРС і резистивних вимірювальних ланцюгів. В цьому випадку негативні рівні ЕРС накладаються на позитивне постійний зсув.

Діод між напругою живлення і обмотками двигуна виконує функцію захисту від зміни полярності, а також гарантує непопадання напруги з боку двигуна в ланцюг живлення.

Виводи, зазначені "АЦП Ф1 / 2" і "ШІМ Ф1 / 2", є підключеннями до мікроконтролера.

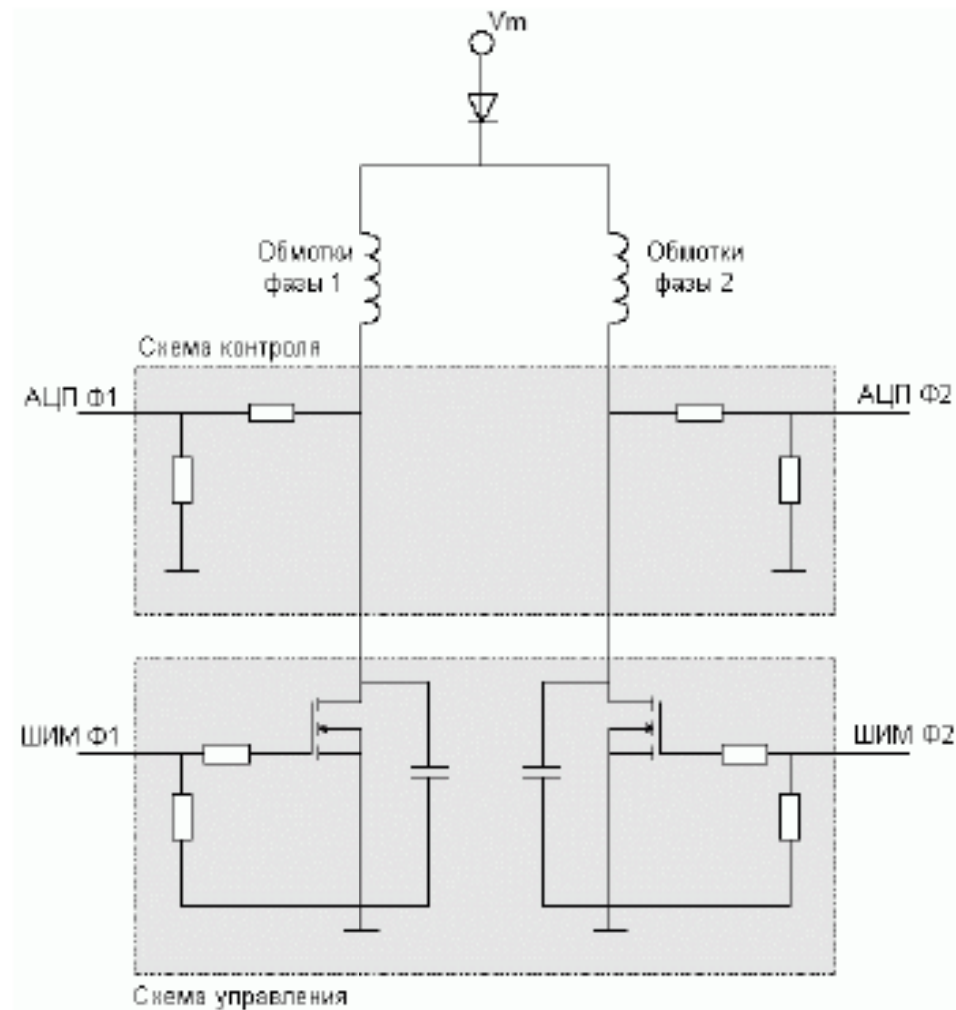


Рисунок 1.11. Драйвери і схема контролю при управлінні БКЕПТ без датчиків

1.12.2 Вибір мікроконтролеру

Як сказано вище, при управлінні двофазним БКЕПТ без використання датчиків необхідно два канали АЦП для вимірювання ЕРС і два ШИМ-виходу для управління комутацією і швидкістю. Крім того, один канал АЦП потрібно, якщо необхідно зовнішнє завдання швидкості. Якщо необхідно формувати інформацію про частоту обертання, то знадобиться додатковий вихід. Таким чином, всього потрібно 6 ліній введення-виведення.

ATtiny13 - 8-вивідний мікроконтролер, здатний виконувати функції управління двофазним БКЕПТ без датчиків з урахуванням опитування зовнішнього аналогового напруги уставки за швидкістю і формування сигналу з інформацією про частоту обертання. Вбудований АЦП, внутрішнє джерело

опорної напруги, два канали ШПМ, а також калібрований RC-генератор частотою 9,6МГц зводять потреби у зовнішніх компонентах до мінімуму. Розподіл виводів мікроконтролера ATtiny13 для вкладеного прикладу програмного коду представлено на рис. 1.12. Зверніть увагу, що сигнал з інформацією про частоту обертання формується на виводі скидання. Для дозволу роботи виведення скидання в якості лінії введення-виведення необхідно запрограмувати конфігураційний біт RSTDISBL (відключення скидання). Необхідно також врахувати, що, навіть якщо біт RSTDISBL запрограмований, то скинути мікроконтролер можна, якщо подати на вхід скидання напруга вище 10.5В. Якщо дана особливість буде використовуватися (тобто можлива подача високої напруги на вивод скидання), то в сигнальній ланцюга, пов'язаній з виведенням скидання, необхідно передбачити обмежувач напруги до рівня V_{cc} , наприклад, стабілітрон. При необхідності можна обміняти місцями виводи сигналу про вимірюваної швидкості і зовнішнього завдання по швидкості [3].

При вимірюванні за допомогою АЦП використовується внутрішнє джерело опорної напруги 1.1В. Всі сигнали на вході АЦП, таким чином, повинні змінюватися в межах 0-1.1В.

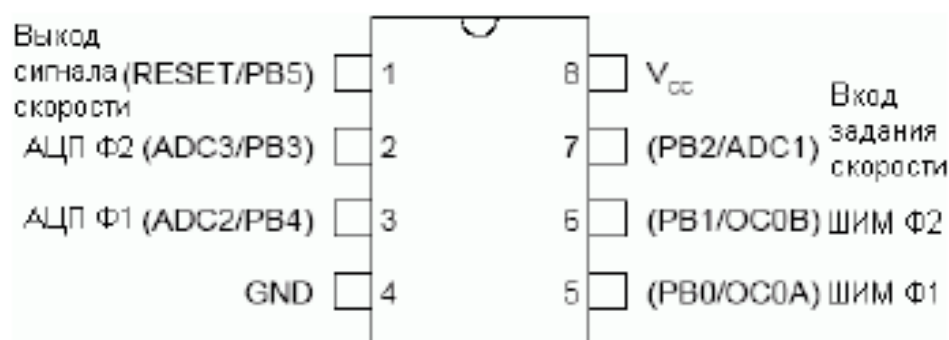


Рисунок 1.12. Підключення до мікроконтролеру ATtiny13

1.12.3 Розробка програми

В даному розділі описуються різні частини програми для мікроконтролера, що реалізує функції управління двофазним БКЕПТ без датчиків.

Для управління напругою активної обмотки і, отже, швидкістю обертання двигуна використовується два канали ШІМ. Виходи даних каналів пов'язані з транзисторами каскаду управління. Для реалізації ШІМ використовується двонаправлений таймер-лічильник. Таймер генерує три події: дві події збіги, при яких встановлюється або скидається відповідний вихід, і одне переривання при переповненні. Двонаправлений рахунок і ШІМ-вихід представлені на рисунку 1.13.

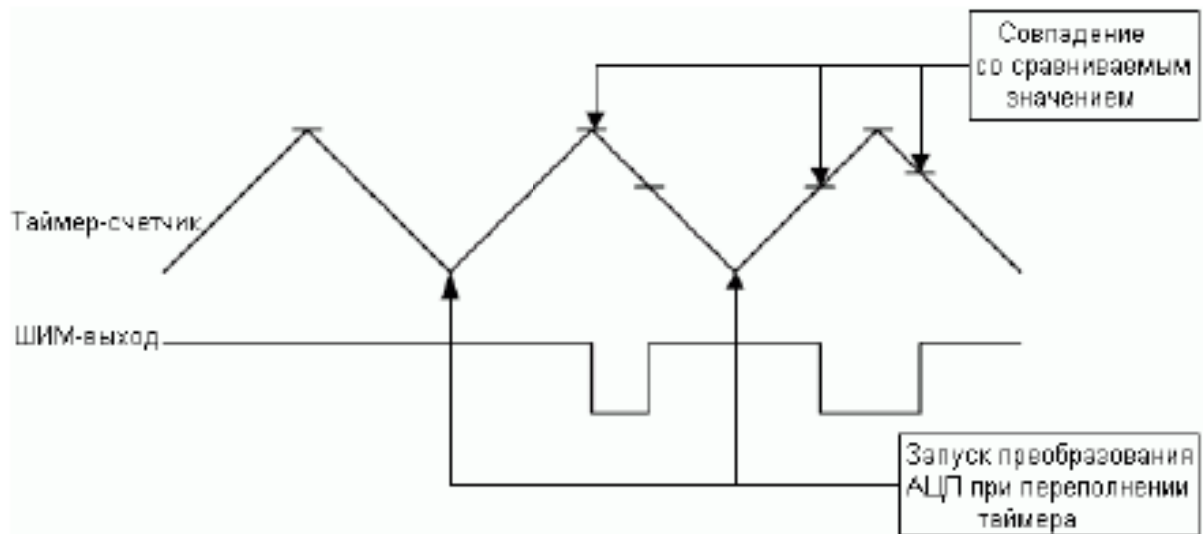


Рисунок 1.13 - ШІМ-вихід таймера-лічильника в режимі двонаправленого рахунку

Основною причиною використання двонаправленого режиму рахунку таймера є можливість запуску перетворення АЦП при переповненні таймера, тобто коли комутаційні шуми не накладаються на сигнал ЕРС.

При виникненні переривання по переповненню таймера також запускається процедура обробки переривання, в якій оцінюється стан ротора і виконується комутація, якщо для цього є необхідні умови (тобто, коли ЕРС, вимірний АЦП, перетинає заданий поріг).

Основна частота ШІМ повинна бути близькою до 20 кГц, щоб вийти за межі чутності. Якщо таймер працює від внутрішнього RC-генератора частотою 9.6 МГц і використовується двонаправлений режим рахунку, то для отримання частоти 20 кГц необхідно в якості вершини рахунку використовувати значення

240 (9.6МГц/20кГц/2). Однак при використанні двох каналів порівняння мікроконтролера ATtiny13 немає можливості змінити вершину рахунку і в цьому випадку в якості вершини рахунку виступає значення за замовчуванням 255. У цьому випадку базова частота ШПМ буде дорівнює 18.85 кГц, що цілком прийнятно в більшості вентиляторів. Якщо використовується вентилятор створює акустичний шум на частотах до 20 кГц, то необхідно варіювати частотою RC-генератору. При збільшенні частоти внутрішнього RC-генератора буде також збільшуватися і основна частота ШПМ. Частота внутрішнього RC-генератору може бути збільшена до 10% відносно номінальної частоти, не надаючи негативного впливу на роботу мікроконтролера. Більш детальна інформація щодо регулювання вбудованого RC-генератору може бути знайдена в документації на мікроконтролер AVR. Зверніть увагу, що конфігураційний біт CKDIV8, який управляє розподілом частоти синхронізації на 8, запрограмований за замовчуванням. Для отримання частоти синхронізації 9,6МГц даний конфігураційний біт необхідно скинути.

Запуск перетворення АЦП в мікроконтролері ATtiny13, як було сказано вище, виконується при переповненні таймера-лічильника (див. рис. 1.13). При використанні таймера в режимі двунправленого рахунку переповнення виникає при досягненні таймером нижньої межі рахунку (нуля), тобто коли ШПМ-сигнал не змінює свого стану (крім випадків, коли використовується мале заповнення імпульсів). Більшість вентиляторів використовують заповнення імпульсів між 10% і 40%, тому, шуми, що виникають при комутації, не впливають на результат перетворення. Якби не було можливості запускати оцифровку при переповненні таймера, то необхідно було б виконувати ефективну аналогову фільтрацію або виконувати складні обчислення для реалізації управління без датчиків двофазним БКЕПТ, тому що комутаційні шуми можуть накладатися на ЕРС.

Управління перемиканням каналу АЦП виконується в тій же частині програмного коду, де виконується оцінка результату вимірювання АЦП і управління комутацією обмоток. Даний процес більш детально розглядається в

розділі, присвяченому управлінню комутацією. АЦП може вимірювати з роздільною здатністю до 10 розрядів і частотою 15 тисяч перетворень в секунду. При більш високих частотах перетворення зменшується роздільна здатність. У запропонованій реалізації обробка результатів вимірювання ЕРС, а також зовнішнього сигналу швидкості, виконується в процедурі обробки переповнення таймера-лічильника. Для гарантування достатності часу для обробки переривання необхідно вибрати частоту синхронізації АЦП, що дорівнює $1/8$ від частоти системної синхронізації, тобто 1.2 МГц. Використання даної високої частоти синхронізації АЦП призводить до зниження роздільної здатності приблизно до 8 біт, але цього достатньо для успішного зчитування ЕРС.

Попереднє позиціонування ротора виконується шляхом збільшення напруги живлення обмоток і затримки на заданий час до тих пір, поки ротор встановиться в бажане положення. Після цього напруга живлення обмоток зменшується, щоб ротор перейшов в стан спокою. Цим гарантується популярність положення ротора. Після цього двигун запускається без зворотного зв'язку із затримками між перемиканнями відповідно до таблиці перетворення. Це дозволяє адаптувати управління під механічні характеристики керованого двигуна [6].

Затримки між перемиканнями обмоток можна обчислити, якщо відомі характеристики розгону двигуна. Альтернативно, час розгону двигуна можна визначити шляхом контролю напруги на обмотках за допомогою осцилографа.

По завершенні послідовності запуску активізується комутація без датчиків положення шляхом дозволу переривання по переповненню таймера-лічильника. Використовується блокова схема комутації. Для вимірювання ЕРС використовується вбудований АЦП. Виміряне значення ЕРС порівнюється з граничним значенням. Якщо ЕРС перетинає порогове значення, то виконується перемикання обмоток. Щоб уникнути помилок, викликаних перехідними процесами при перемиканні, кілька оцифровок після перемикання ігноруються.

Зовнішнє завдання швидкості реалізовано у вигляді аналогового входу, який мікроконтролер оцифровує для визначення бажаної частоти обертання двигуна. Безпосереднє зчитування заданої частоти обертання виконується в процедурі обробки переривання таймера-лічильника після закінчення вимірювання зворотної ЕРС. Контур стабілізації швидкості реалізований в основному циклі. Стабілізація частоти обертання виконується за алгоритмом покрокового збільшення/зменшення швидкості. При необхідності може бути реалізований ПІ-закон управління.

Відпрацювання аварійних режимів в даній реалізації обмежена захистом від перекидання. У стані опрокиду комутація не виконується. Оскільки в даній реалізації використовується управління швидкістю, то реалізований контроль за частотою обертання (якщо точніше, то визначається кількість переповнень таймера-лічильника між перемиканнями). Дана інформація використовується для перезапуску пристрою при виявленні перекидання двигуна. Для цього задіяний сторожовий таймер. Стан сторожового таймера обнуляється при кожному перемиканні обмоток. Якщо двигун перекинуть, то перемикання не відбуваються і сторожовий таймер НЕ обнуляється. Після закінчення певного часу виникає переповнення сторожового таймера і ініціюється скидання мікроконтролера. Під час запуску мікроконтролера є можливість визначити джерело скидання. Для цього необхідно опитати стан прапора "Watchdog Reset" (скидання від сторожового таймера). Якщо прапорець встановлений, то це означає, що причиною останнього скидання є переповнення сторожового таймера. Опитування стану даного прапора може використовуватися для підрахунку кількості аварійних перезапусків, наприклад, шляхом інкрименту лічильника в ЕСППЗУ.

У вентиляторів часто передбачається вихід з відкритим колектором для генерації сигналу, що надходить до ЦПУ ПК (або іншого пристрою), з інформацією про частоту обертання вентилятора. Дану функцію можна реалізувати, якщо задіяти вивод скидання мікроконтролера ATtiny13, який можна переналаштувати на виконання функції лінії введення-виведення.

Програмна реалізація даної функції дозволяє позбутися від необхідності застосування будь-яких зовнішніх компонентів, тим самим, знижуючи загальну вартість системи.

У мікроконтролера Attiny13 є вбудований оцінний інтерфейс debugWIRE, який підтримується внутрішнім емулятором JTAGICE mkII. Більш детальна інформація по налагодженню та використанню інтерфейсу debugWIRE може бути знайдена в документації JTAGICE mkII [6].

Верхній рівень програмної реалізації даного пристрою управління двофазним БКЕПТ представлений у вигляді блок-схеми на рис. 1.14. На рис. 1.15 представлена блок-схема процедури попереднього позиціонування і запуску. На рис. 1.16 приведена блок-схема процедури обробки переривання таймера-лічильника 0, де виконується перемикання обмоток без використання датчиків положення.



Рисунок 1.14 - Блок-схема програми управління двофазним БКЕПТ

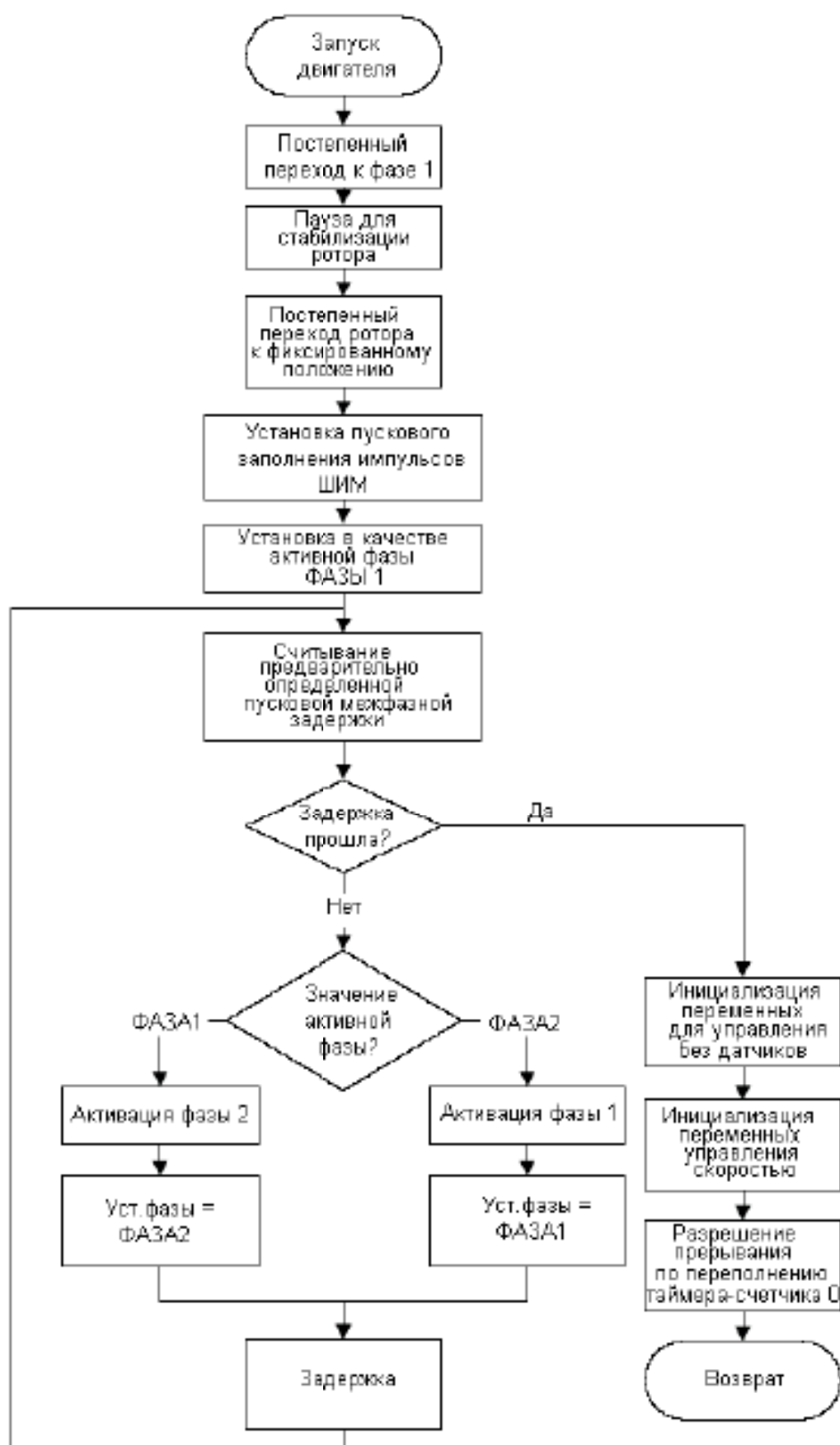


Рисунок 1.15 - Блок-схема процедуры попереднього позиціонування і запуску

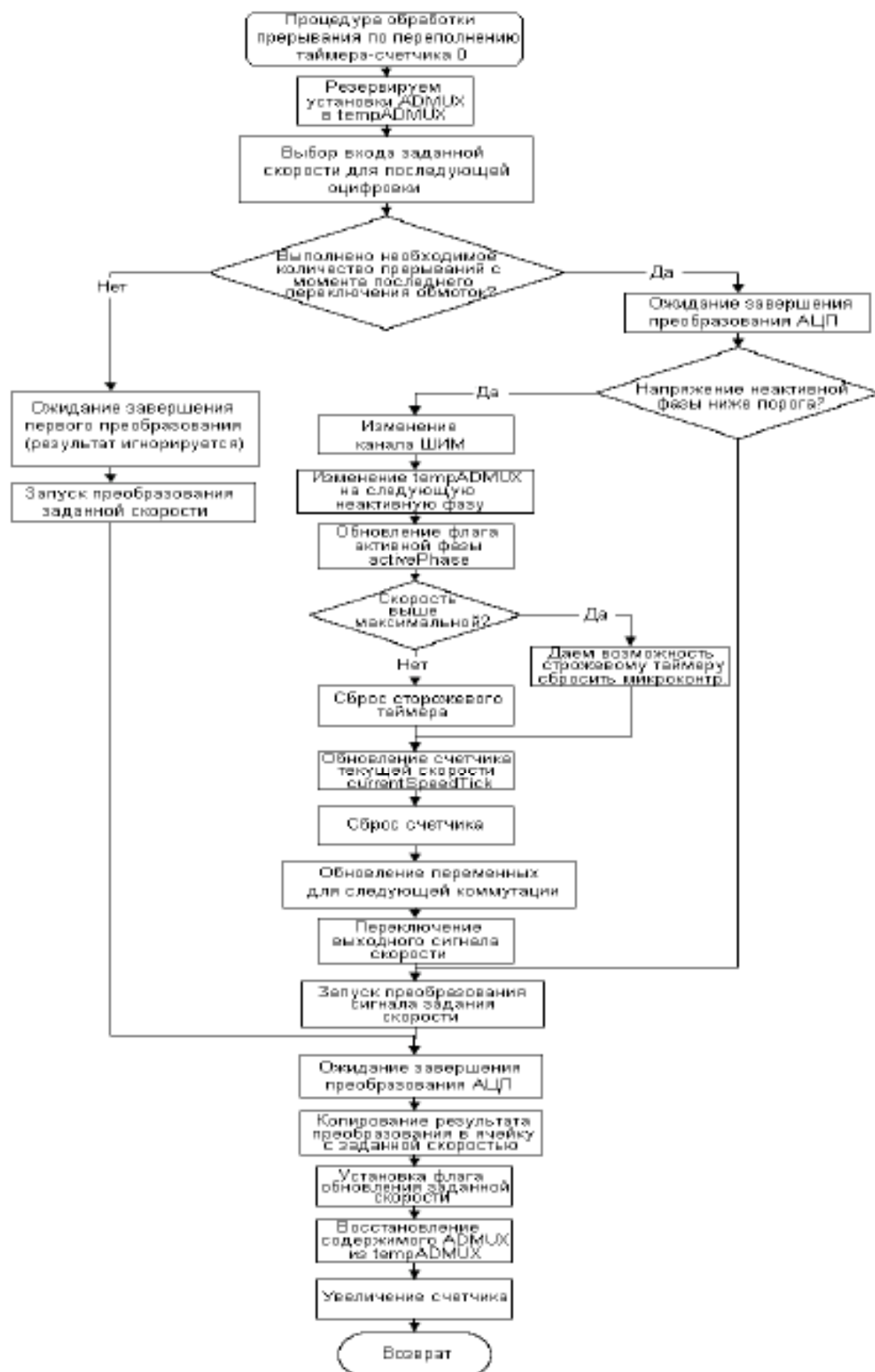


Рисунок 1.16 - Блок-схема процедуры обработки прерывания по переполнению таймера-счётчика 0

2 ЕЛЕМЕНТНА БАЗА СИСТЕМ УПРАВЛІННЯ

Сучасна прецизійна система управління електродвигуном постійного струму включає в себе мікроконтролер для обробки даних і блок управління живленням обмоток двигуна, який часто називають драйвером. До складу драйвера входить логічна схема для перетворення кодованих посилок в цифрові сигнали, з яких в блоці Gate Driver формуються аналогові сигнали для управління силовими ключами на основі польових транзисторів (FET). FET можуть входити до складу драйвера або розміщуватися в окремому блоці. Крім того, до складу драйвера входять схеми захисту силових ланцюгів і ланцюга зворотного зв'язку для контролю роботи двигуна.

На рис. 2.1 представлені варіанти блок-схем для інтегрованого та попереднього драйверів.

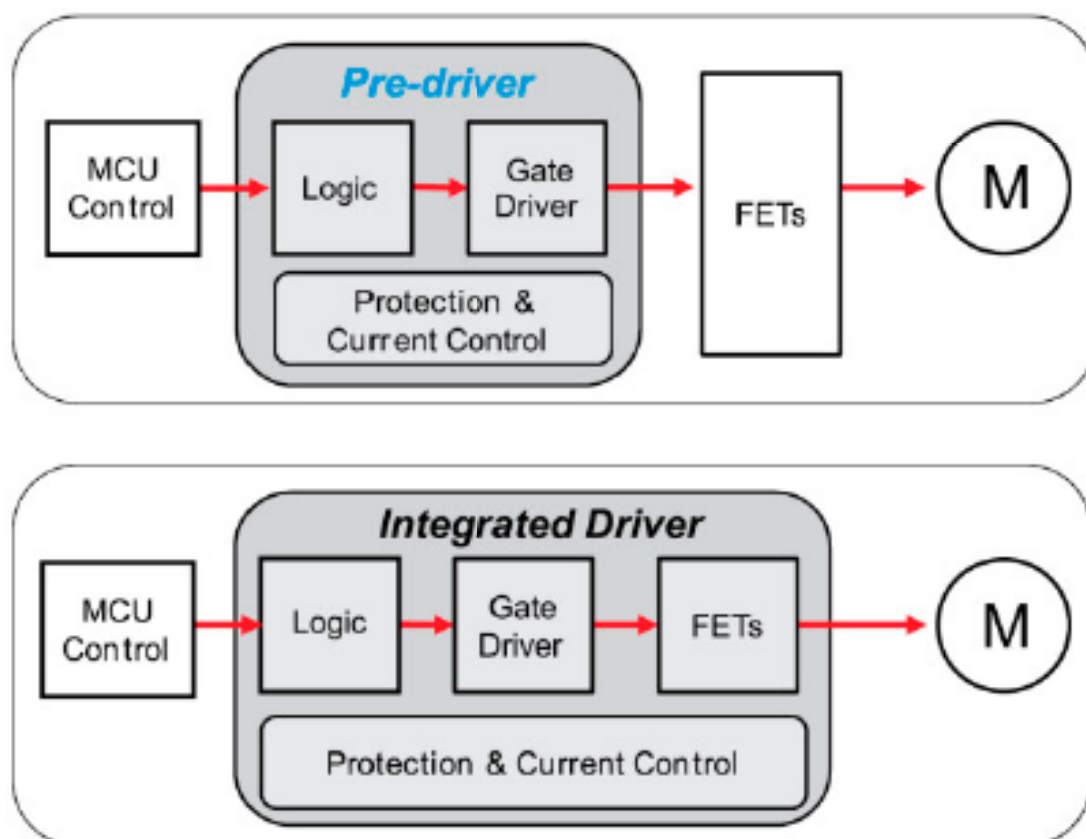


Рисунок 2.1 - Блок-схеми систем управління двигуном

Кожне з рішень має свої переваги та особливості. Попередній драйвер (Pre-Driver) має значно наділений температурний режим, дозволяє вибирати

зовнішні силові ключі відповідно до потужності підключається двигуна. Повнофункціональний інтегрований драйвер дозволяє створювати більш компактні системи управління, мінімізує зовнішні з'єднання, але значно ускладнює забезпечення необхідного температурного режиму.

Так, у інтегрованого драйвера TI DRV8312 максимальна робоча температура окремих елементів на платі може досягати 193 °С, а у попереднього драйвера DRV8301 цей показник не перевищує 37 °С.

Серед напівпровідникових компонентів, що випускаються компанією TI, представлений великий асортимент різних драйверів для управління електродвигунами постійного струму. Всі вони вимагають мінімуму зовнішніх компонентів, дозволяють створювати компактні рішення для управління двигунами з робочою напругою до 60 В, відрізняються підвищеною надійністю, забезпечують швидке і просте проектування систем приводу електродвигунами.

Вбудовані в драйвери інтелектуальні функції вимагають мінімальної підтримки розпорядника майна мікроконтролера (MCU), забезпечують розширені комутаційні можливості для обмоток, підтримують зовнішні датчики і цифрові контури управління. Комплекс захисних функцій включає обмеження напруги живлення, захист від перевищення струму і короткого замикання, зниження напруги і підвищення робочої температури [8].

Весь модельний ряд драйверів TI розбитий на три розділи: крокові, колекторні і безколекторні двигунів постійного струму. У кожному з них на сайті компанії діє зручна система підбору за цілою низкою параметрів. Є окремі драйвери, призначені для використання з двигунами різних типів.

2.1 Драйвери TI для крокових двигунів

Великий розділ рішень TI для управління двигунами включає драйвери для ШД (рисунок 2.2), які випускаються як з вбудованими силовими ключами на основі FET, так і у вигляді попередніх драйверів, які надають користувачеві підбір необхідних силових ключів. Всього в модельному ряду компанії більше 35 драйверів для ШД.

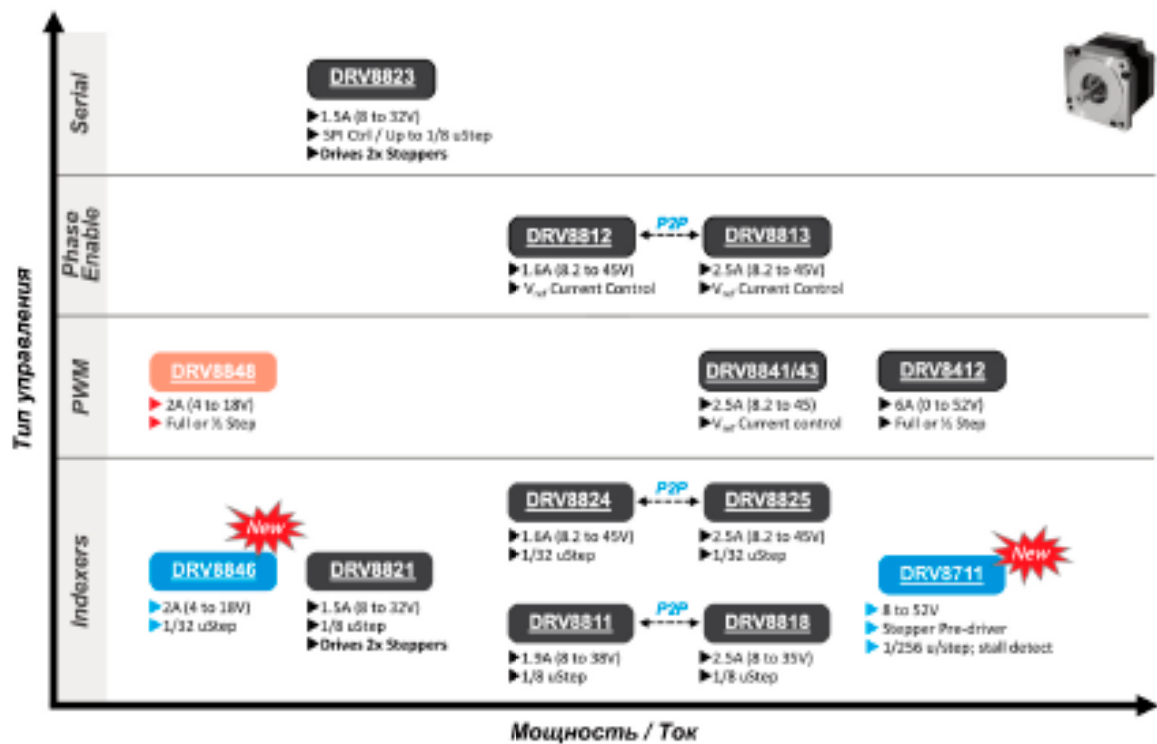


Рисунок 2.2 - Рішення TI для управління двигунами

TI пропонує широкий вибір найсучасніших рішень для управління переміщенням і точним позиціонуванням з використанням мікрошагових схем управління, що забезпечують електродвигунів плавним переміщенням в широкому діапазоні напруги і струму.

Окремі драйвери, використовуючи один керуючий контролер, дозволяють управляти відразу двома двигунами, маючи для цього чотири вбудованих моста на основі FET. Є драйвери з вбудованими FET, наприклад, DRV8834, які можна підключити для управління до двох обмоток крокового двигуна або використовувати ці ж виводи для управління двома електродвигунами постійного струму (рисунок 2.3).

Для більш плавного переміщення ротора в драйверах для ШД використовується налаштовується механізм згладжування імпульсів струму (режими Slow, Fast, Mixed Decay). Система розрахунку мікрошага може бути наступних типів:

- вбудованої в драйвер;
- з використанням зовнішнього опорного сигналу.

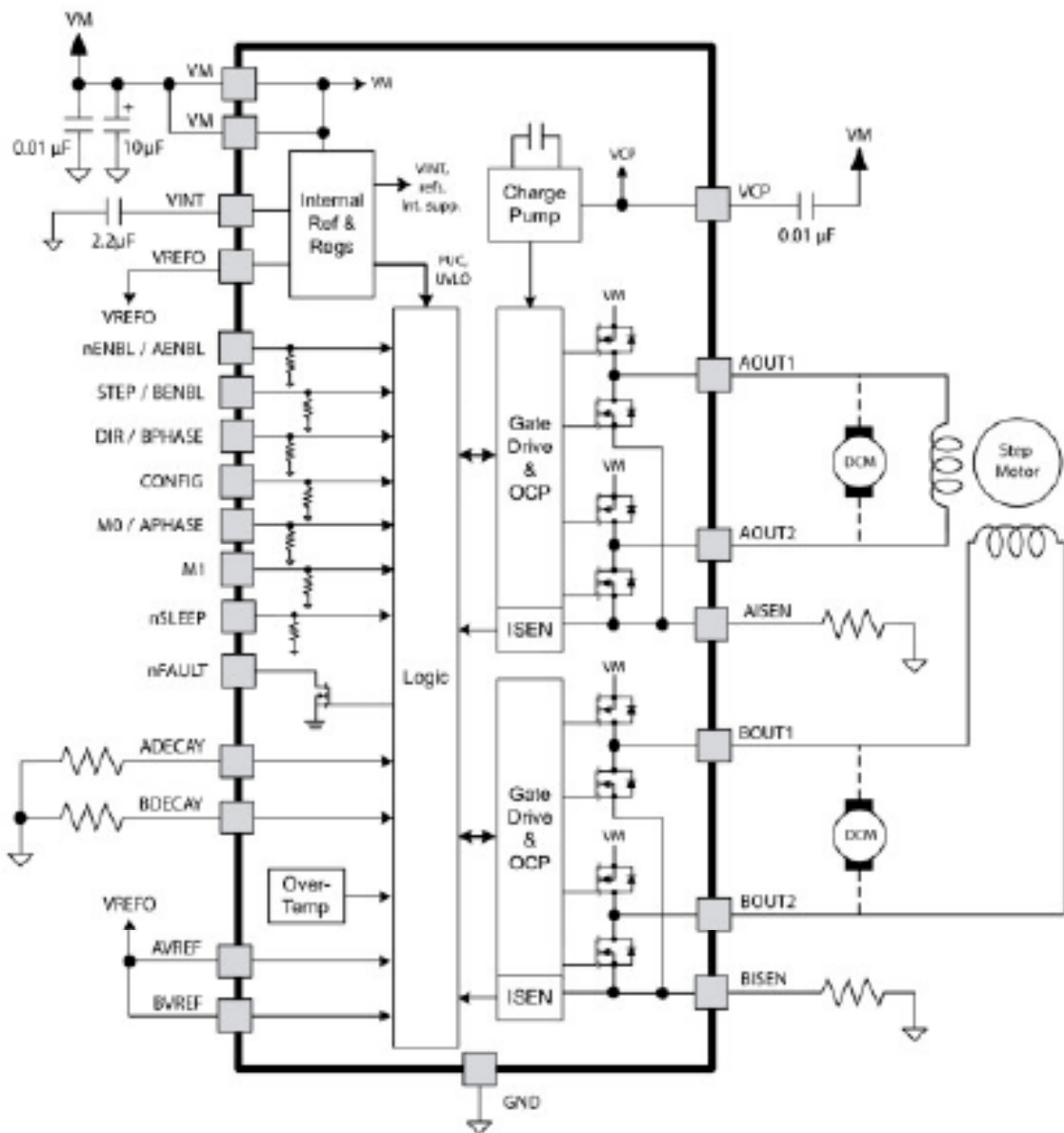


Рисунок 2.3 — Структура DRV8834

Не вимагають зовнішнього контролера для мікрошаговий переміщення драйвери DRV881, DRV8818, DRV8821, DRV8824 і DRV8825. Тут крок переміщення і алгоритм комутації обмоток розраховуються схемою, вбудованої в драйвер.

Простіші драйвери DRV8812, DRV8813, DRV8828, DRV8829, DRV8841, DRV8842 і DRV8843 забезпечують мікрошаговий обертання з використанням одержуваного від зовнішнього контролера опорного напруги (V_{ref}). Рівень дроблення основного кроку може досягати 1/128 або 1/256.

Для управління ШД з уніполярним підключенням обмоток ТІ пропонує

драйвери DRV8803, DRV8804, DRV8805 і DRV8806.

2.2 Драйвери ПІ для BDC

Для управління - колекторними електродвигунами постійного струму - призначене спеціальне сімейство драйверів DRV8x, ряд представників якого зображений на рис. 2.4. Вони забезпечує повний захист від перевищення напруги і струму, короткого замикання і перегріву. Завдяки можливостям інтерфейсу управління ці драйвери забезпечують просту і ефективну експлуатацію двигунів. Користувачі можуть за допомогою одного чіпа управляти одним або декількома двигунами с робочою напругою 1,8 ... 60 В [8].

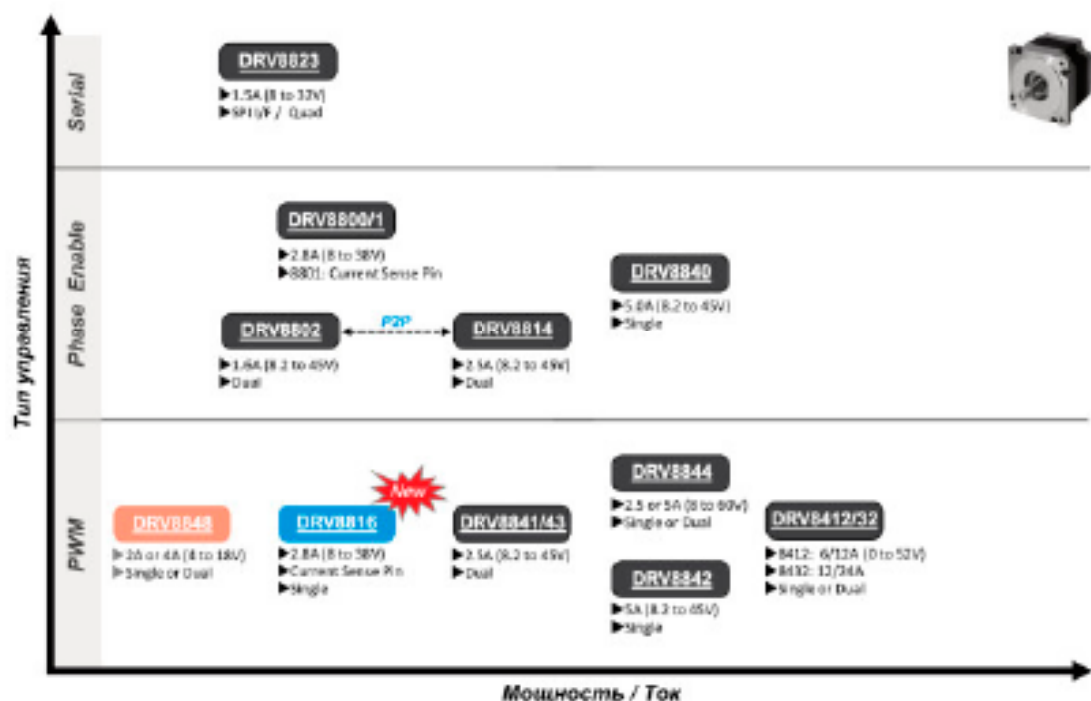


Рисунок 2.4 — Драйвери ПІ для BDC

Драйвери сімейства випускаються як з інтегрованими силовими ключами, так і як попередні драйвери. Вони вимагають мінімум додаткових компонентів, забезпечують компактність рішень, скорочують час розробки і дозволяють швидше випустити нові продукти на ринок.

Сплячий режим (Sleep) дозволяє мінімізувати споживання енергії в режимі простою і забезпечує прискорену активізацію при запуску двигуна. Для керування швидкістю обертання можуть використовуватися зовнішні сигнали

ШІМ або сигнали PHASE / ENABLE для вибору напрямку обертання і включення ключів вихідного моста.

Хто має чотири вихідних моста драйвер DRV8823 здатний управляти двома ЩД або одним ЩД і двома BDC, або ж чотирма BDC, використовуючи при цьому керуючий інтерфейс SPI.

На рис. 2.5 представлена функціональна схема простого драйвера DRV8837 для управління одним колекторним двигуном.

Драйвери ПІ для безколекторних двигунів, або BLDC, можуть включати інтегрований силовий міст або використовувати зовнішні силові транзистори. Схема формування 3-фазних сигналів управління також може бути зовнішньої або вбудованої.

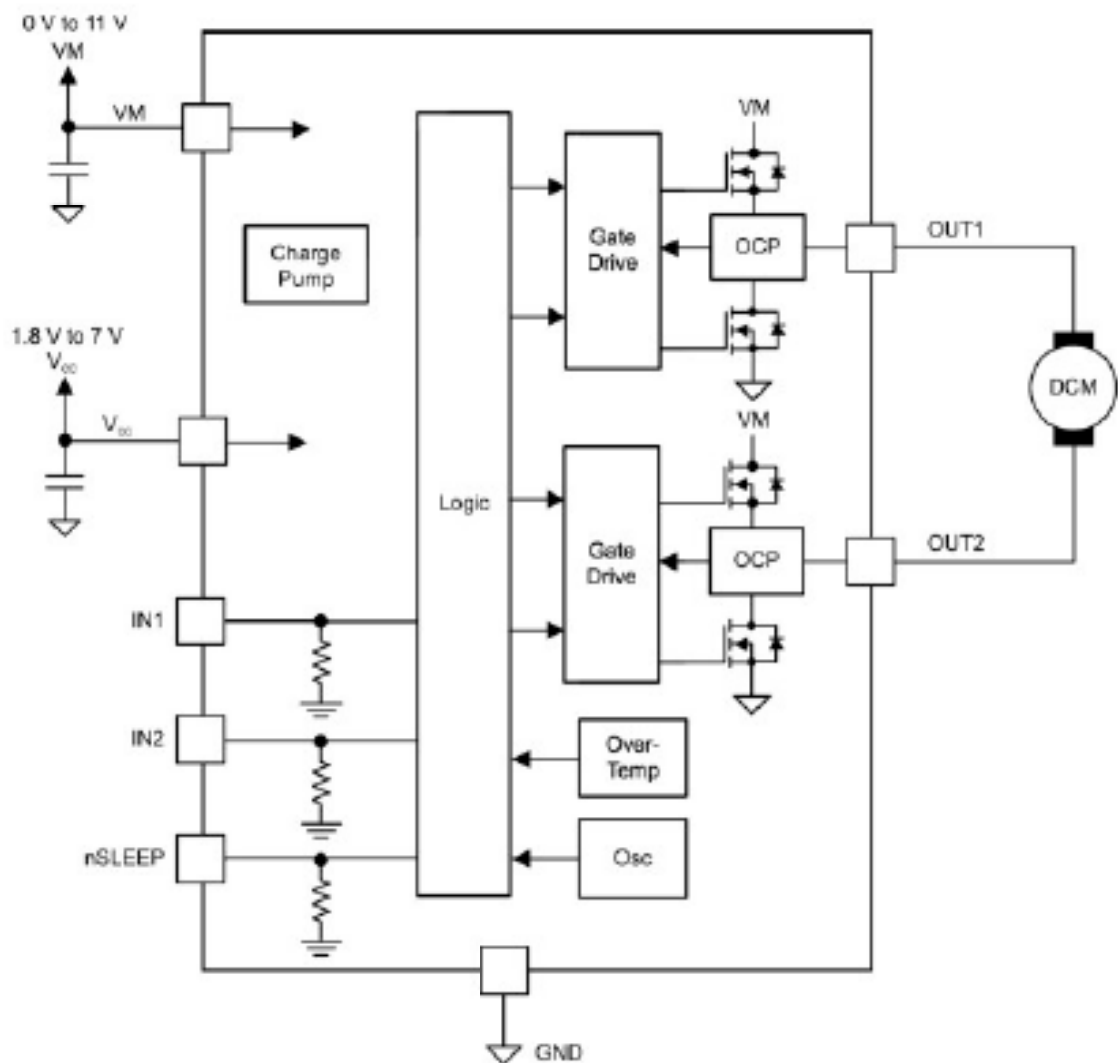


Рисунок 2.5 - Блок-схема драйверу DRV8837

Сімейство драйверів для управління безколекторними електродвигунами включає моделі з різним принципом управління і з різним крутним моментом. Ці драйвери, що забезпечують різні рівні шуму при управлінні BDLC, ідеально підійдуть для використання в промисловому обладнанні, автомобільних системах та іншій техніці. Щоб гарантувати надійну експлуатацію електродвигунів, драйвери забезпечують всеосяжний набір захистів від перевищення струму, напруги і температури. На рис. 2.6 представлені лише деякі з 3-фазних драйверів для BLDC в великому і постійно поповнюється модельному ряду компанії TI.

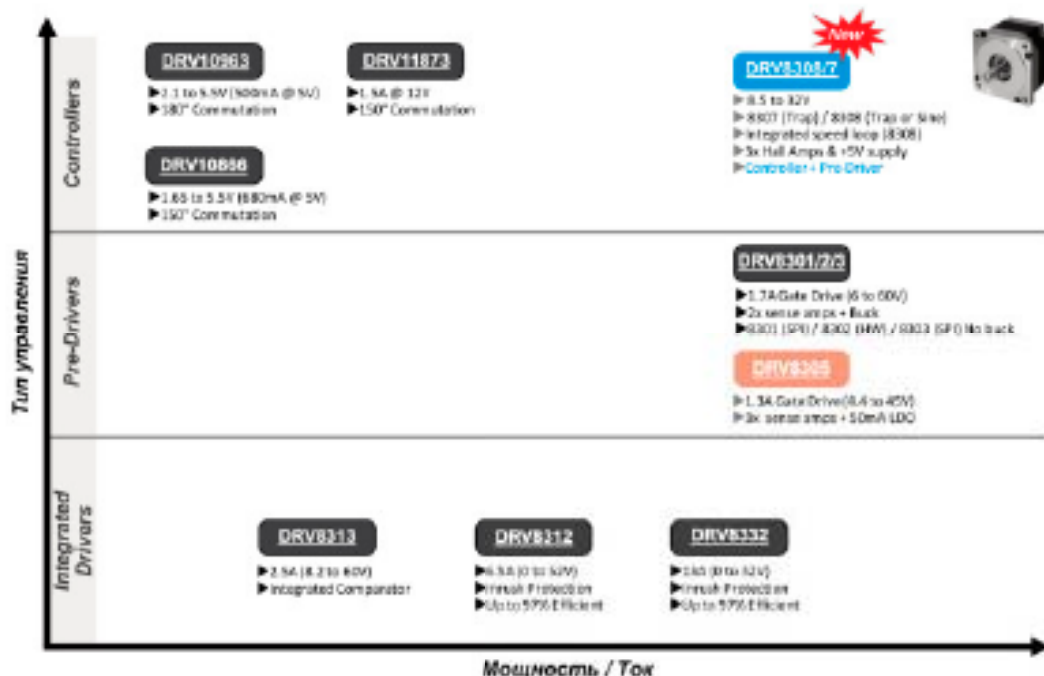


Рисунок 2.6 - Драйвери TI для управління безколекторними двигунами

Для контролю поточного стану обертового ротора можуть використовуватися зовнішні датчики різних типів або схема управління з визначенням позиції ротора за величиною протидії EPC (Back Electromotive Force, BEMF).

Управління може виконуватися за допомогою ШІМ, аналогових сигналів або через стандартні цифрові інтерфейси. Набори параметрів, що настроюються для управління обертанням можуть зберігатися у внутрішній незалежній

пам'яті.

На рис. 2.7 представлений працює в широкому діапазоні температур 40 ... 125 °C інтелектуальний драйвер для BLDC з вбудованими силовими ключами на польових транзисторах, з опором відкритого каналу лише 250 мОм. При діапазоні робочих напруг 8 ... 28 В драйвер може забезпечувати номінальний струм 2 А і піковий струм 3 А.

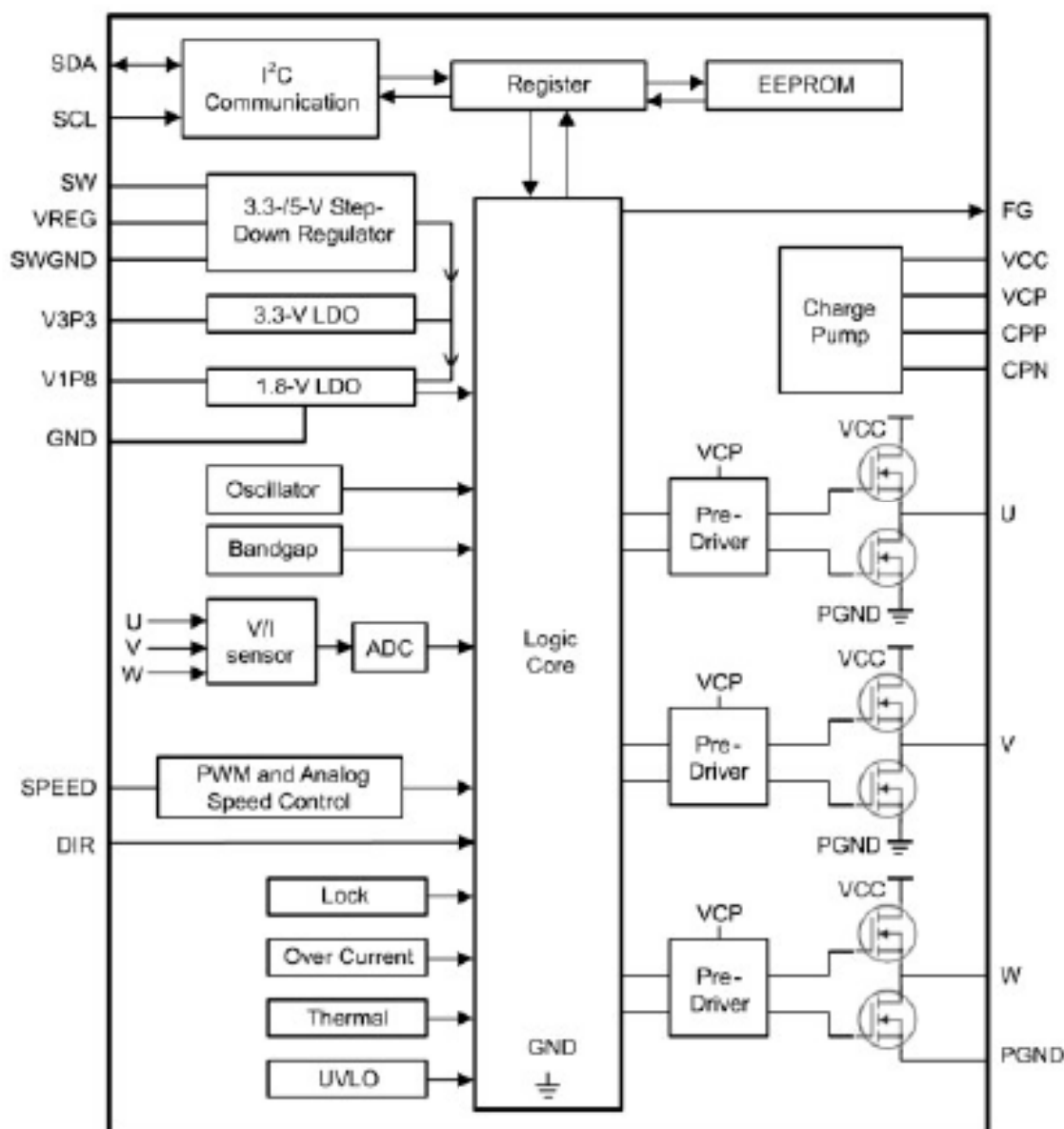


Рисунок 2.7 - Інтелектуальний драйвер для BLDC

Драйвер не вимагає зовнішнього датчика для контролю положення ротора, але може використовувати зовнішній резистор для контролю споживаної

двигуном потужності. DRV10983 відрізняється незначним енергоспоживанням, що становить всього 3 мА, в черговому режимі. А в моделі DRV10983Z цей показник доведений до рівня 180 мкА.

Вбудований інтерфейс I2C забезпечує діагностику і настройку, доступ до регістрів управління роботою логічної схеми і зберігаються в пам'яті EEPROM робочим профілям драйвера.

Розширений комплект захисних функцій забезпечує зупинку двигуна в разі перевищення струму і зниження напруги. Передбачено обмеження вхідної напруги. Захист по перевищенню струму працює без використання зовнішнього резистора. Методи використання захисту налаштовуються через спеціальні регістри.

Електродвигуни знаходять все більш широке застосування в самому різному обладнанні, удосконалюються і отримують нові можливості багато в чому завдяки сучасним системам електроприводу.

В асортименті напівпровідникових компонентів виробництва компанії Texas Instruments широко представлені мікросхеми драйверів для управління всіма типами двигунів постійного струму. На їх основі компанія пропонує масштабовані в залежності від вимог по точності, потужності і функціональності рішення для створення приводів, що працюють в широкому діапазоні струмів і напруг, що забезпечують надійну і зручну експлуатацію колекторних, безколекторних і крокових двигунів з повним комплексом захистів по струму, напрузі і температурі.

2.3 Мікроконтролери Renesas RX66T оптимізовані для управління двигунами

У ці 32-розрядні мікроконтролери інтегрований процесор RXv3 третього покоління. Компанія Renesas Electronics недавно представила групу мікроконтролерів RX66T. Це перші члени флагманського 32-розрядної сімейства RX на основі процесорного ядра RXv3 третього покоління. Як стверджується, новий процесор дозволив істотно підвищити продуктивність - в

2,5 рази в порівнянні з попередніми представниками сімейства RX.

За словами виробника, нові мікроконтролери добре підходять для використання в промисловому обладнанні наступного покоління, включаючи роботів, і в розумних побутових приладах, включаючи кондиціонери і пральні машини [9].

Працюючи на частоті 160 МГц, мікроконтролери RX66T демонструють максимальну в своєму класі продуктивність 928 балів CoreMark, за рахунок чого підвищується точність управління інвертором. Мікроконтролери можуть одночасно керувати чотирма двигунами, що робить їх ідеальними для таких додатків, як компактні промислові роботи і персональні роботи, швидко набирають популярність. Крім того, додаткова обчислювальна потужність RX66T дозволяє розробникам додавати програми з використанням вбудованого П для виявлення несправностей двигуна. Такі програми можуть виявляти несправності двигуна і визначати місцезнаходження несправностей в реальному часі на основі споживаного струму або вібрації двигуна. Іншою перевагою RX66T названа інтеграція джерела живлення 5 В, що забезпечує підвищену стійкість.

Група RX66T включає в 80 моделей з вбудованою флеш-пам'яттю об'ємом від 256 КБ до 1024 КБ і числом виводів від 64 до 144. Але на ринку України вони представлені в невеликій кількості.

3 ДОСЛІДЖЕННЯ СИСТЕМ УПРАВЛІННЯ

В даний час 3-фазні безколекторні двигуни з розвиненими системами діагностики на основі спеціалізованих мікроконтролерів. Дані системи дозволяють проводити діагностику пробоїв з використанням нейромереж. Діагностика на даний момент здійснюється з використанням швидкого перетворення Фур'є з подальшим аналізом нейромережею або при мінімальних можливостях використовуючи фільтр Калмана.

У роботах і верстаках з ЧПУ необхідний повний контроль миттєвого значення моменту, струмів і напруг, з постійним розрахунком положення в обох просторах координат, з постійною коригуванням по всіх осях і по складним алгоритмам.

Автономний інвертор не дозволить виявити дотик руки людини роботом з приводом в 2 кВт на першій осі. А ось високоінтегрована система управління з драйвером приводу на подібному мікроконтролері - дозволить. Тому далі розглянемо критерії вибору мікроконтролера для вирішення завдань поставлених у дипломній роботі.

Випуском мікроконтролерів (МК) займаються багато відомих фірм. Причому, на відміну від стандартних продуктів, таких як операційні підсилювачі або стабілізатори напруги, МК різних фірм рідко сумісні між собою. Більшість з них мають різні системи команд. Тому вибір мікроконтролера часто пов'язаний з вирішенням цілої низки завдань безпосередньо не пов'язаних з самим МК [11, 12].

3.1 Критерій 1 - потужність, що споживається

З остаточним переходом на КМОП технологію, питання зменшення споживаної потужності пов'язаний тільки зі зменшенням тактової частоти і напруги живлення. Однак, зменшення тактової частоти тягне за собою зниження продуктивності МК. Найбільш розумно виглядає рішення про випуск

різних версій МК для різних застосувань. Так в AVR серії фірми ATMEL випускаються і стандартні (90S) та мало споживають (90LS) версії зі зниженими тактовими частотами. У фірми Microchip це 16C і 16LC версії, наприклад. Крім цього, практично всі МК мають можливість програмного управління режимами енергоспоживання. Їх може бути більш ніж один. У 8051 це Idle і Power Down, наприклад. Залежно від змісту виконуваної програми, МК може перебувати в <сплячому> стані 90 і більше відсотків часу (автомобільний брелок). У таких випадках, відповідними командами МК перекладається в один з режимів, коли його споживання зменшується в десятки разів. Існують серії МК спочатку орієнтовані на Надмалій споживання та батарейне живлення, наприклад, MSP430 фірми Texas Instruments.

3.2 Критерій 2 - обсяги та типи вбудованої пам'яті

У загальному випадку, МК зобов'язаний мати постійну пам'ять для зберігання програми і оперативну для зберігання проміжних результатів роботи. Однак, в деяких випадках, постійної пам'яті на кристалі може і не виявитися. Тоді мається на увазі її зовнішнє підключення. Це робиться для здешевлення кристала МК і надання йому більшої універсальності. Але, таке включення неминуче веде до зменшення швидкодії, так як звернення до зовнішньої пам'яті відбувається трохи довше, ніж до внутрішньої. Переважна більшість МК все-таки має вбудовану пам'ять для зберігання програм. Якщо питання з її обсягом досить ясний: чим більше, тим краще, але дорожче, то з типами пам'яті можливі варіанти. Найпростіший варіант - одноразово програмується користувачем пам'ять (PROM), якщо не брати до уваги, що за замовленням МК може бути запрограмований прямо при виготовленні на заводі (ROM). Така пам'ять дешева, але не передбачає в подальшому корекції її вмісту і тому годиться для налагодженого серійного виробництва. Для налагодження ж краще мати пам'ять з можливістю перепрограмування. Можливі два варіанти: ультрафіолетове (UV) і електричне стирання (Flash). Мікросхеми з УФ стиранням з'явилися значно раніше новіших Flash типу, проте до цих пір використовуються в

налагоджувальних кристалах фірми Microchip, наприклад. Оперативна пам'ять починається з регістрів загального призначення, які іноді називають сверхоперативній пам'яттю. Проте їхня кількість завжди обмежена. Далі, зазвичай є 128 - 512 байт ОЗП загального призначення. Відсутній обсяг може бути заповнений підключенням зовнішньої, наприклад, недорогий статичної пам'яті значного обсягу. Необхідно тільки пам'ятати про обмеження МК по здатності адресувати великі обсяги пам'яті. Останнім часом, на кристалах МК все частіше поміщають EEPROM пам'ять порівняно невеликого обсягу. В даному випадку, її можна розглядати як незалежне ОЗП, що дуже зручно для зберігання оперативних налаштувань, наприклад. Після виключення / включення МК вміст цих осередків не змінюється, на відміну від звичайного ОЗП.

3.3 Критерій 3 - тактова частота

Безпосередньо і прямо пропорційно впливає на швидкість роботи МК. Однак, це ще не остання інстанція, так як в залежності від архітектурних особливостей, різні МК можуть забезпечувати різну продуктивність при однаковій тактовій частоті. Більш об'єктивним є показник MIPS - кількість мільйонів інструкцій, виконуваних в секунду. Справа в тому, що в різних МК одна і та ж інструкція може виконуватися за один, два, чотири і більше тактів тактової частоти. Наприклад, в 8051 їх потрібно цілих дванадцять! Тільки в першому випадку кожен мегагерц тактової частоти дає рівно один MIPS. Для 8051 одному MIPS відповідає 12 МГц.

3.4 Критерій 4 - склад периферійних пристроїв

Набір пристроїв введення / виводу, які може містити МК, постійно розширюється і якщо раніше деякі з них, наприклад АЦП, були дуже рідкісні, то зараз практично стають стандартом в комплектації. Перш за все, необхідно розмежувати між собою пристрої <для внутрішнього споживання> - ті, які призначені для забезпечення продуктивної і надійної роботи самого МК, і

власне UVB, які призначені для зв'язку із зовнішнім світом в сенсі введення вихідної і видачі обробленої інформації. До перших відносяться як відомі, типу вбудованого апаратного помножувача, так і такі порівняно нові пристрої, такі як схема сторожового (Watchdog) таймера і схема виявлення провалів у живленні. Вони випускаються і в зовнішньому виконанні, але сучасний МК, як правило, повинен містити їх на кристалі. Принцип роботи сторожового таймера досить простий. Будь-які програми, які виконуються МК, за визначенням циклічні. Нічого страшного не буде, якщо періодично примусово повертатися до певної (стартової) точки програми. Зате в разі її збою або зависання, період неадекватною роботи МК не перевищить періоду, заданого сторожовим таймером. Контроль напруги живлення, по суті, звичайний супервизор живлення, побудований на компараторах. При виході напруги за встановлені межі здійснюється генерація сигналу, щоб уникнути непередбачуваних наслідків. До цієї ж групи можна віднести і схеми обробки переривань, які, як відомо, можуть бути внутрішніми і зовнішніми. Як правило, обмовляється число внутрішніх переривань, а кількість зовнішніх дорівнює числу відповідних виводів МК. Власне UVB відомі ще з часів вищезгаданої 580-ї серії. Це паралельні і послідовні порти, таймери-лічильники подій, пристрої доступу до пам'яті. Замість паралельних портів, як таких, зовнішні лінії МК зараз програмуються індивідуально. Будь-який з них може працювати як на введення, так і на видачу сигналів. Різниця тільки в кількості таких універсальних ліній, що, в свою чергу, визначається розмірами і типом корпусу. Багато МК всередині одного сімейства відрізняються тільки цим. Універсального послідовного порту USART, як правило, цілком достатньо одного, зате додатково МК можуть бути обладнані інтерфейсами типу I2C, Microwire, SPI. Таймери, завдяки універсальності їх застосування є невід'ємною частиною будь-якого МК. Вони можуть бути 8-ми або 16-розрядними в кількості від одного до шести і більше штук. Що стосується доступу до пам'яті, то в даному випадку мова йде про, так званому, внутрішньосхемне програмування (ISP). Це дозволяє вносити текст програми у внутрішню пам'ять

МК вже після установки його на плату. Також часто допускається перепрограмування Flash пам'яті МК без його демонтажу, більш того, по послідовному двопровідному інтерфейсу. Далі, МК оснащуються АЦП і ЦАПами різної розрядності. АЦП, як правило, мають кілька входів, перемикаються за допомогою мультиплектора. Нерідко зустрічаються вбудовані модулі ШІМ (PWM) регулювання, що корисно для управління потужними навантаженнями. Спеціалізовані МК можуть містити на кристалі взагалі все, що завгодно, від драйверів LCD індикатора до інструментальних підсилювачів, компараторів, джерел опорного напруги і т.д. [11,12]

3.5 Критерій 5 - архітектурні особливості

Найважливішим і принциповою відмінністю МК є їх приналежність до CISC або RISC архітектурі. Перша - класична, Принстонський архітектура передбачає потужний набір одне, двох і трьох байтових команд, які передаються, поряд з іншими даними, із загальної шини даних. Виконання однієї команди, таким чином, розтягується на кілька машинних циклів, зате в результаті ми отримуємо досить помітний результат. Ідеологія RISC (аббревіатура від <скорочена система команд>), заснована на ідеї різкого зменшення числа команд з тим, щоб будь-яка з них могла виконуватися за мінімальне число тактів. У базового сімейства МК Microchip, наприклад, їх всього 33. Одна складна команда замінюється послідовністю кількох простих, але швидко виконуваних. Однак головний вигравш полягає в використанні Гарвардської архітектури з окремою шиною даних для пам'яті програм. По-перше, з'являється можливість одночасно зчитувати наступну команду з пам'яті по своїй шині і виконувати попередню, займаючи, якщо необхідно, загальну шину даних. По-друге, розрядність шини даних програм може бути якою завгодно: 10, 12, 14, 16 або більше біт, незалежно від розрядності основний шини даних, яка зазвичай відповідає розрядності самого МК. Таким чином, при довжині кодового слова 12 і більше, ми отримуємо не такий вже скорочений набір команд, але зчитуються і виконуються вони, тим не менш, за один

машинний цикл, який може складатися всього з одного такту. У загальному випадку, досить мати дані про кінцеву продуктивності даного МК.

На закінчення, критерії обирання МК зведено в таблицю 3.1, а також можна відзначити, що практично всі сучасні МК відносяться до класу RISC пристроїв. Виняток становлять, мабуть, лише МК сімейства MSC-51, які до сих пір випускаються різними фірмами в десятках модифікацій. Їх право на життя завойовано багатьма роками застосування і величезним накопиченим програмним забезпеченням. Найчастіше простіше і дешевше скористатися готовими бібліотеками програм, ніж прагнути до досягнення максимально можливої продуктивності, тим більше що це далеко не завжди є необхідним.

3.6 Методика обробки критеріїв вибору МК

При оптимізації проводять розрахунок значень критерію оптимізації для кожної з альтернатив, та вибирають ту альтернативу, у якій значення цього критерію найбільше (найменше). Критерій оптимальності - це кількісне вираження цілі системи.

Якщо відома залежність значення критерію оптимізації від значення альтернативи $W(u)$, то оптимальна альтернатива u_{opt} визначається з наступного виразу:

$$u_{opt} = \arg \max_u W(u) .$$

Треба зазначити, що вибрати оптимальну альтернативу можна за наявності лише одного критерію. Якщо ж критеріїв більше одного, вибір буде неможливий. У цьому випадку можна застосувати згортання декількох локальних критеріїв до одного глобального критерію.

Одним із способів цього згортання є адитивний критерій:

$$W = \sum_{i=1}^n \frac{a_i \cdot w_i}{S_i} .$$

де: W - глобальний критерій оптимальності,

a_i ($i=1, \dots, n$) - вагові коефіцієнти,

w_i ($i=1, \dots, n$) - локальні критерії оптимальності,

S_i ($i=1, \dots, n$) - величина, що забезпечує адитивність

Вагові коефіцієнти відображають ступінь важливості того чи іншого локального критерію відносно глобального [13].

Величина S_i має ту ж розмірність що і її локальний критерій w_i . Тому i -й член суми становиться безрозмірним, що й забезпечує адитивність виразу в цілому. Її вибирають як середнє значення відповідного локального критерію серед усіх альтернатив. Критерії вибору мікроконтролерів зведені в табл.3.1.

Таблиця 3.1 — Критерії вибору мікроконтролерів (K1-Microchip, K2-STM)

Тип критерію	вага 1	K1	вага 2	K2
розрядність обчислювального ядра;	0,8	0,4	0,8	0,4
набір вбудованих периферійних пристроїв (таймери, АЦП і т.п.);	1	0,8	1	1
Наявність незалежних АЦП	1	1	1	0,8
Модельний ряд для управління двигунами	1	1	0,9	1
апаратна організація обробки даних (структура машинного циклу);	1	0,2	0,9	0,2
можливість роботи з перериванням, по зовнішнім сигналам готовності;	1	1	1	1
кількість керованих портів введення / виводу, характер передачі даних	0,7	0,5	0,7	0,5
тип пристроїв введення / виводу, якими повинен управляти обраний МК в проектованій системі (вимикачі, реле, клавіші, датчики, цифрові пристрої візуальної індикації, аналого-цифрові та цифро-аналогові перетворювачі, модулятори і т.д.);	0,5	0,2	0,5	0,2
підтримувані способи завантаження програм в мікроконтролер,	1	0,8	1	0,9

можливість внутрішньосистемного програмування (ISP), JTAG, використання при цьому стандартизованих інтерфейсів (SPI, I2C);				
кількість і тип напруг живлення;	0,8	0,3	0,8	0,3
Ціна виробника	1	0,7	1	1
умови навколишнього середовища, необхідні для експлуатації.	0,4	0,1	0,4	0,1
Підтримка виробника, наявність бібліотек та прикладів	1	1	1	1

Після проведення розрахунків та аналізу продукції фірм виробників, які присутні ринку України оптимальним вибором буде мікроконтролер фірми ST серії F0 (глобальний критерій $1 = 7,55$, критерій $2 = 7,83$). Об'єм пам'яті для конкретного пристрою треба вибирати виходячи зі складності алгоритмів.

4 КОНСТРУКТОРСЬКО-ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА

4.1 Конструкція пристрою

Конструкція системи управління виконана таким чином. Основні елементи приладу знаходяться на платі довжина якої 70мм, ширина 50мм та висота 10мм. Плата друкована приладу кріпиться до шасі двома гвинтами М3. На передній панелі встановлені індикатор від блоку живлення для візуального контролю роботи.

За допомоги DipTrace проводилось проектування принципів схем і друкованих плат (EDA — система). DipTrace включає в себе чотири основні програми:

Schematic - розробка принципів схем;

PCB Layout - розводка плат, ручна і автоматичне трасування;

ComEdit - редактор корпусів;

SchemEdit - редактор компонентів [14].

Основні функції:

- Редактор плат - проектування плат за допомогою потужного автотрасувальника, зручною ручного трасування і системи позиціонування компонентів.

- Редактор схем - проектування схем з підтримкою ієрархії і необмеженої кількості аркушів. Експорт в редактор плат, список мереж (netlist) або симулятор.

- Редактори компонентів і корпусів - дозволяють створювати свої бібліотеки.

- Стандартні бібліотеки - містять більше 100 000 компонентів.

- 3D попередній - дозволяє переглядати тривимірну модель плати. З програмою поставляються більш 2.5 тис. 3D-моделей корпусів.

- Імпорт / Експорт - система може імпортувати схеми, плати і бібліотеки з P-CAD, PADS і інших популярних програм. Експорт в P-CAD, Gerber і інші формати дозволить підготувати плати для будь-якого виробництва.

- Доступний інтерфейс, довідка, підручник і приклади - дозволять швидко вивчити й ефективно користуватися програмою [12].

На рис. 4.1, а,б показано конструкцію устроюства.

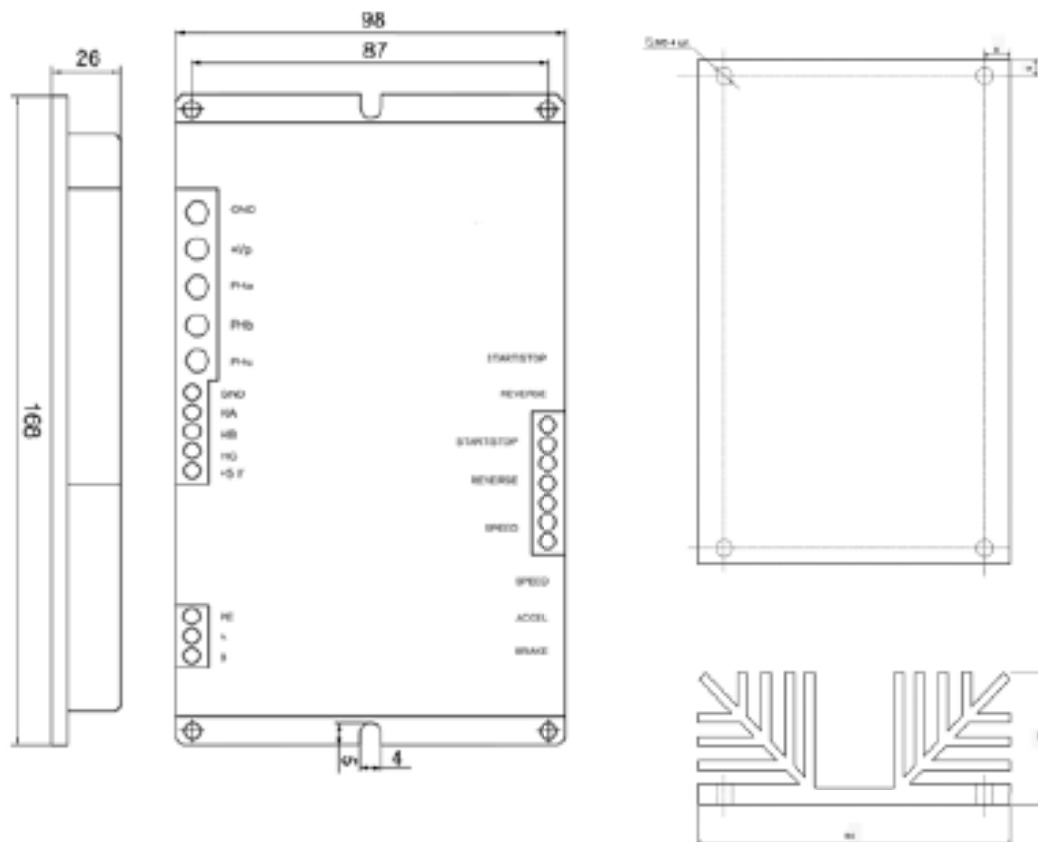


Рисунок 4.1 — Запропонована конструкція пристрою

4.2 Технологія виготовлення та збірки друкарської плати

Друківана плата являє собою плоску ізоляційну підставу, на одній або обох сторонах якої розташовані струмопровідні смужки металу (провідники) відповідно до електричної схеми.

Застосування друкованих плат дозволяє полегшити настройку апаратури і виключити можливість помилок при її монтажі, так як розташування провідників і монтажних отворів однаково на всіх платах даної схеми. Використання друкованих плат, обумовлює також можливість зменшення габаритних розмірів апаратури, поліпшення умов відведення тепла, зниження металоємності апаратури і забезпечує інші конструктивно-технологічні переваги в порівнянні з об'ємним монтажем.

Виготовлення друкарських плат відбувається на виробничій ділянці, де встановлено необхідне устаткування. Для виготовлення друкарських плат (ДП) використовують:

- шаруваті матеріали: фольговані і нефольговані листові діелектрики (папір, склотканина і інш.);
- нешаруваті матеріали (листові матеріали на основі фотопласта, сополімера, арилокса і інш.).

Залежно від кількості шарів з електропровідним рисунком, друковані плати поділяють на:

- односторонні (ОДП; є тільки один шар фольги);
- двосторонні (ДДП; два шари фольги);
- багат шарові (БДП; фольга не тільки на двох сторонах плати але і у внутрішніх шарах діелектрика), які застосовуються у випадках, коли розводка сполук на двосторонній платі стає занадто складною.

Залежно від умов експлуатації вибирається марка матеріалу ДП. Зазвичай ДП розробляються простій прямокутної форми; конфігурацію, що відрізняється від прямокутної, застосовують в технічно-обґрунтованих випадках.

Процес виготовлення друкованої плати можна умовно розділити на п'ять основних етапів:

- попередня підготовка заготовки (очищення поверхні, знежирення);
- нанесення тим чи іншим способом захисного покриття;
- видалення зайвої міді з поверхні плати (травлення);
- очищення заготовки від захисного покриття;
- сверловка отворів, покриття плати флюсом, лудіння.

1. Попередня підготовка заготовки є початковим етапом і полягає в підготовці поверхні майбутньої друкованої плати до нанесення на неї захисного покриття. У цілому за тривалий проміжок часу технологія очищення поверхні не зазнала скільки-небудь значних змін. Весь процес зводиться до видалення

окислів і забруднень з поверхні плати з використанням різних абразивних засобів і подальшого знежирення шкіри.

2. Нанесення захисного покриття є найважливішим етапом у процесі виготовлення друкованих плат, і саме їм на 90% визначається якість виготовленої плати. Найбільш популярними є три способи нанесення захисного покриття.

Застосування фоторезистів. Фоторезистом називається чутлива до світла речовина, яка під впливом освітлення змінює свої властивості. Сутність застосування фоторезиста полягає в наступному: на плату з нанесеним на неї шаром фоторезисту накладається фотошаблон і виробляється її засвітка, після чого засвічені (або незасвічені) ділянки фоторезисту змиваються спеціальним розчинником, в якості якого зазвичай виступає їдкий натр (NaOH). Всі фоторезисти діляться на дві категорії: позитивні та негативні. Для позитивних фоторезистів доріжці на платі відповідає чорна ділянка на фотошаблоні, а для негативних, відповідно, прозора. Найбільшого поширення набули позитивні фоторезисти як найбільш зручні в застосуванні [15].

Після нанесення шару фоторезисту необхідно висушити отриману плівку. Робити це рекомендується при температурі 70-80 градусів, причому спочатку потрібно підсушити поверхню при невеликій температурі і лише потім поступово довести температуру до потрібного значення. Час сушіння при вказаній температурі становить порядку 20-30 хвилин. В крайньому випадку допускається сушіння плати при кімнатній температурі протягом 24 годин. Плати з нанесеним фоторезистом повинні зберігатися в темному прохолодному місці.

Наступним дією після нанесення фоторезисту є експонування. При цьому на плату накладається фотошаблон (бажано стороною друку до плати: це сприяє збільшенню чіткості при експонуванні), який притискається тонким склом або шматком плексигласу. При досить невеликих розмірах плат для притиску можна використовувати кришку від коробки компакт-диска або відміту від емульсії фотопластинку. Оскільки область максимуму спектральної

чутливості більшості сучасних фоторезистів припадає на ультрафіолетовий діапазон, для засвічення бажано використовувати лампу з великою часткою УФ-випромінювання в спектрі (ДРШ, ДРТ та інш.). У крайньому випадку, можна використовувати потужну ксенонову лампу. Час експонування залежить від багатьох причин (тип і потужність лампи, відстань від лампи до плати, товщина шару фоторезиста, матеріал притискного покриття тощо) і підбирається експериментально. Проте в цілому час експонування становить зазвичай не більше 10 хвилин навіть при експонуванні під прямими сонячними променями.

Прояв більшості фоторезистів здійснюється розчином їдкого натру (NaOH) - 7 грамів на літр води. Краще всього використовувати свіжоприготований розчин, що має температуру 20-25 градусів. Час прояву залежить від товщини плівки фоторезисту і знаходиться в межах від 30 секунд до 2 хвилин. Після прояви плату можна піддавати травленню в звичайних розчинах, оскільки фоторезист стійкий до впливу кислот. При використанні якісних фотошаблонів застосування фоторезисту дозволяє отримати доріжки шириною аж до 0,15-0,2 мм.

3. При видалення зайвої міді з поверхні плати відомо багато складів для хімічного травлювання. Всі вони відрізняються швидкістю протікання реакції, складом речовин, що виділяються в результаті реакції, а також доступністю необхідних для приготування розчину хімічних реактивів.

Найбільш популярні розчини для травлення:

- Хлорне залізо (FeCl_3) - мабуть, найвідоміший і найпопулярніший реактив. Сухе хлорне залізо розчиняється у воді до тих пір, поки не буде отриманий насичений розчин золотисто-жовтого кольору (для цього потрібно близько двох столових ложок на склянку води). До недоліків даного розчину слід віднести освіту в процесі реакції відходів, які осідають на платі і перешкоджають нормальному протіканню процесу травлення, а також порівняно низьку швидкість реакції.

- Персульфат амонію - світла кристалічна речовина, розчиняється у воді виходячи зі співвідношення 35 г речовини на 65 г води. До недоліків цього

розчину відноситься необхідність підтримання необхідного температурного режиму і перемішування.

- Розчин соляної кислоти (HCl) і перекису водню (H₂O₂). Для приготування цього розчину необхідно до 770 мл води додати 200 мл 35% соляної кислоти і 30 мл 30% перекису водню. Готовий розчин повинен зберігатися в темній пляшці, не закритим герметично, тому що при розкладанні перекису водню виділяється газ. Увага: при використанні даного розчину необхідно дотримуватися всіх запобіжних заходів при роботі з їдкими хімічними речовинами. Всі роботи необхідно проводити тільки на свіжому повітрі або під витяжкою. При попаданні розчину на шкіру її необхідно негайно промити великою кількістю води. Недоліком даного розчину є необхідність суворого дотримання при роботі з ним усіх заходів обережності.

4. Очищення заготовки, сверловка, нанесення флюсу, лудіння.

Після завершення травлення і промивання плати необхідно очистити її поверхню від захисного покриття. Зробити це можна яким-небудь органічним розчинником, наприклад, ацетоном.

Далі необхідно просвердлити всі отвори. Найзручніше для свердління плат використовувати електродвигуни типу ДПМ-35Н і їм подібні з насадженням на їх вал невеликим цанговим патроном. Після свердловки потрібно обробити отвори: видалити всі щербини і задирки. Зробити це можна наждачним папером [15].

Наступним етапом є покриття плати флюсом з подальшим лудінням. Можна використовувати спеціальні флюси промислового виготовлення (найкраще змивані водою або взагалі не потребують змивання) або просто покрити плату слабким розчином канифолі в спирті. Лудіння можна проводити двома способами: зануренням в розплав припою або за допомогою паяльника і металевого обплетення, просоченої припоєм. У першому випадку необхідно виготовити залізну ванночку і заповнити її невеликою кількістю сплаву Розі або Вуда. Розплав повинен бути повністю покритий зверху шаром гліцерину щоб уникнути окислення припою. Для нагрівання ванночки можна використовувати

перевернутий праску або електроплитку. Плата занурюється в розплав, а потім виймається з одночасним видаленням надлишків припою ракелем з твердої гуми.

На цьому процес виготовлення друкованої плати вважається закінченим і можна приступати до монтажу елементів на ній.

Вихідним параметром при конструюванні друкованих плат є крок координатної сітки. За допомогою координатної сітки регламентуються основні геометричні розміри друкованих плат. Як правило, центри всіх видів отворів на друкованих платах розташовуються у вузлах координатної сітки. Її основний крок 2.5 мм, додатковий - 0.635 мм. При компонованні друкованої плати прагнуть досягти максимального заповнення її поверхні навісними елементами і розмістити їх так, щоб забезпечити найкоротші зв'язки між ними, що виконуються друкованими провідниками. Розміри визначаються відомчими нормативами і ДСТУ. За даними цих документів максимальний розмір друкованої плати не повинен перевищувати 240x360 мм. Перевага при розробці віддається малогабаритним платам, так як великогабаритні друковані плати мають малу механічну міцність і складні у виготовленні.

Товщина плати, як правило, відповідає товщині фольгованого діелектрика і вибирається залежно від вимог, що пред'являються до конструкції виробу, методу виготовлення плати, ваги і габаритів встановлюваних елементів і не перевищує 3 мм. Перехідним елементом від отвору, в який вставляється вивід встановлюваного елемента, до друкованого провідника є контактна площадка.

Важкі елементи (наприклад, трансформатори) або елементи, схильні до механічних впливів (тумблери, потенціометри, підлаштування конденсатори), встановлюються насамперед за допомогою своїх утримувачів. Такі утримувачі забезпечують механічне кріплення відповідних елементів до плати і запобігають обрив і поломку виводів під впливом механічних навантажень. [15].

4.3 Характеристика потенційних небезпечних та шкідливих виробничих факторів

Лабораторія по збірці і настройці системи управління освітленням на базі світлодіодів є прямокутним приміщенням довжиною 5,7 м і шириною 4,3 м, висота стелі 3 м. До заготівельних операцій відносять виготовлення друкованої плати, розрізку матеріалу, виконання базових отворів і виготовлення шарів на платах.

Робота в лабораторії пов'язана з шкідливою дією цілою рядом чинників. До таких чинників можна віднести:

- не комфортні метеорологічні умови (підвищена температура при роботі з паяльником);
- погана освітленість робочої зони;
- небезпека ураження електричним струмом; причиною якого може бути незнання правил поводження з електронезбезпечними об'єктами та умов їх експлуатації.
- підвищений рівень шуму на робочому місці;
- вміст у повітрі робочої зони шкідливих речовин, які утворюються під час пайки;
- пари етилового спирту, які виникає в повітрі під час промивання друкованої плати;
- пил, та мікрочастки скло текстоліту, які з'являються під час механічної обробки друкованої плати;
- вплив шкідливих факторів впливу моніторів ПК.

Висока температура впливає на людину і сприяє розширенню кровоносних судин. Відповідно має місце підвищений приплив крові до поверхні тіла і тепловіддача в навколишнє середовище значно підвищується. Однак, коли температура навколишнього середовища і поверхні досягає 30—35 °С, віддача тепла конвекцією і випромінюванням в основному припиняється. Більш висока температура повітря сприяє тому, що більша частина тепла віддається за рахунок випаровування його з поверхні шкіри. В таких умовах

організм губить відповідну кількість вологи, а разом з нею і солі, які відіграють важливу роль в життєдіяльності організму [16].

Відповідно до складального креслення в якості припою використовується олов'яно-свинцевий припій, а як флюс використовується безкислотний флюс. Для видалення залишків флюсу застосовується етиловий спирт.

Свинець є надзвичайно небезпечною речовиною (клас 1). ГДК у повітрі робочої зони $0,01\text{мг}/\text{м}^3$. Олово є речовиною помірковано небезпечним (клас 3). ГДК у повітрі робочої зони $10\text{мг}/\text{м}^3$. Спирт етиловий є мало-небезпечною речовиною (клас 4). ГДК у повітрі робочої зони $10\text{мг}/\text{м}^3$ [17].

При перевищення допустимої концентрації парів свинцю під час проведення паяльних робіт на організм людини приводить до зміни репродуктивної, нервової, серцево-судинної, імунної та ендокринної систем. Сполуки свинцю можуть викликати легке отруєння, отруєння середньої важкості та важке отруєння. При тривалому впливі виникає отруєння свинцем (сатурнізму). Для легкого отруєння характерними є розвиток анемії, для середньої важкості – токсичний гепатит, свинцева коліка, астеновегетативний синдром, для важкого – енцефалопатія, порушення координації рухів, розлади мови, периферичні нейропатії. Характерними симптомами свинцевої інтоксикації є свинцева кайма по краю ясен, а також «свинцевий колорит» - землисто-сіре забарвлення шкіри. Виникає енцефалопатія, яка характеризується головними болями, розладами сну, епілептичними паралічами, коматозними станами, депресією. Рухові розлади характеризуються поліневритом з переважним ураженням розгиначів кисті та стопи. Розвивається тремор витягнутих рук, посмикування очних яблук, болі в руках і ногах, болючість при пальпації по ходу нервів, погіршення зору. Для жінок свинець представляє особливу небезпеку, тому що цей елемент має здатність проникати через плаценту і накопичуватися в грудному молоці.

В лабораторії підвищений шум на робочому місці створюється при роботі ПК, вентиляторної установки, стендів для випробувань друкованої плати, електродвигуни для свердління плат. Шум може тимчасово активізувати або

постійно пригнічувати психічні процеси в організмі людини. Він не лише погіршує самопочуття людини і знижує продуктивність праці на 1—15%, але нерідко призводить до професійних захворювань. Інтенсивний щоденний, він повільно й незворотно впливає на незахищений орган слуху і призводить до розвитку нейросенсорної приглухуватості.

Таблиця 4.1 – Оцінка умов праці робочого місця інженера-електроніка

№	Фактори виробничого середовища та трудового процесу	Нормативне значення	Фактичне значення	Характер праці			Тривалість дії фактора за зміну, %
				1	2	3	
1	Шкідливі хімічні речовини, мг/м ³ : – пари спирту – свинець та його неорганічні з'єднання	0,1...10 0,01	0,2 0,0105	X 1,05p			10 17
2	Неіонізуюче випромінювання: – радіочастотний діапазон, В/м – діапазон промислової частоти, кВ/м	25 2,5	20 1,0–1,5				100
3	Мікроклімату приміщені (теплий період року): – швидкість руху повітря, м/с – температура повітря, °С – відносна вологість, % – інфрачервоне випромінювання, Вт/м ²	0,1 20–24 40–60 140	0,1–0,3 21–25 45–60 120	<4°С			100 100
4	Атмосферний тиск, мм рт. ст.	760	750				100
5	Дрібні стереотипні рухи кистями та пальцями рук, кіл. за зміну	5000	5000-6000				50
6	Напруженість праці увага (тривалість концентрації, %)		80	>75			80-100
7	Напруженість аналізаторних функцій			точна			80

Робота за комп'ютером, супроводжується підвищенням напруження зору, інтенсивністю і монотонністю праці, збільшенням статичних навантажень, нервово-психічним напруженням та інш. Внаслідок цього трапляються такі професійні захворювання, як передчасна стомлюваність, погіршення зору,

м'язові і головні болі, психічні й нервові розлади, хвороби серцево-судинної системи, онкологічні захворювання та інші. Рівні небезпечних і шкідливих виробничих факторів не повинні перевищувати граничнодопустимих значень, встановлених у санітарних нормах, правилах і нормативно-технічній документації.

Найбільш близькими до природного освітлення є люмінесцентні джерела або лампи денного світла, але для них характерна пульсація світла з частотою електричного струму - 50 Гц. Це викликає перенапруження м'язової системи ока, кришталика, нервової системи, що сприяє швидкій стомлюваності, захворюваності [18].

Згідно таблиці 6.1 робота розробника виконується згідно з нормами умов праці робочого місця інженера-електроніка.

4.4 Заходи зі зменшення впливу небезпечних та шкідливих виробничих факторів

В лабораторії зниження шуму є застосування звукоізоляції: кожухи, екрани, стіни, перетинки виготовляють із щільних твердих матеріалів, здатних запобігати розповсюдженню звукових хвиль (метал, пластмаса, бетон, цегла). Постійне перебування у місцях біля електродвигуна можливе тільки із застосуванням засобів індивідуального захисту, використовуються навушників, що забезпечують зниження рівнів звукового тиску в зоні високих частот 30-35 дБ. Шум ПК визначається, у першу чергу, їхніми силовими установками, тому для його зниження необхідне створення нових малошумних двигунів або модифікація існуючих.

Збільшення освітленості з 10 до 100 лк при напруженій зоровій роботі підвищує продуктивність праці на 10-20%, зменшує кількість браку на 20% та знижує число нещасних випадків на 30%. Тому штучне освітлення у приміщеннях з ЕОМ здійснюється у вигляді комбінованої системи освітлення з використанням люмінесцентних джерел світла у світильниках загального

освітлення, які розташовують у рівномірному порядку над робочими місцями. Відношення яскравості екрана ЕОМ до яскравості оточуючих його поверхонь не повинно перевищувати у робочій зоні 3:1 [19].

Заходи захисту від ураження електричним струмом: забезпечення наявності надійної ізоляції на струмоведучих частинах, що знаходяться під напругою, усунення небезпеки поразки з появою напруги на корпусах електроустаткування з допомогою заземлення, занулення, захисного відключення. Важливим є застосування малих напруг та захист від випадкового дотику до струмоведучих частин кожухів, огорожень.

Медичні профілактичні заходи: медичні огляди (попередні та періодичні); раціональне і профілактичне харчування; застосування змінного ритму і темпу роботи; виконання профілактичних та психологічних вправ [18].

4.5 Виробнича санітарія

Роботи, що проводяться в лабораторній, відносяться до розряду робіт дуже високої точності, 1 розряду, з найменшими розмірами об'єкту розрізнення 0.15 - 0,3 мм. Підрозряд зорових робіт при середньому контрасті об'єкту розрізнення з фоном і при середньому фоні - «В».

Освітленість від світильників загального штучного освітлення в системі комбінованого при газорозрядних лампах 400лк. В таблиці 6.2 показано розподіл природного та штучного освітлення [19].

В лабораторіях із зоровими роботами I-III розрядів слід застосовувати поєднане освітлення. При цьому нормовані значення КПО застосовуються 10, 7,5%.

Освітленість робочої поверхні, створена світильниками загального освітлення в системі комбінованого, повинна складати не менше 10% нормованої для комбінованого освітлення при таких джерелах світла, які застосовуються для місцевого освітлення [19].

Таблиця 4.2 - Розподіл природного та штучного освітлення

Характеристика зорової роботи		Дуже високою точності
Найменший розмір об'єкта розрізнення, мм		Менш 0,15
Підрозряд зорової роботи		в
Характеристика фону		Середній
Контраст об'єкта розрізнення з фоном		Середній
Штучне освітлення, лк	При комбінованому освітленні	2500
	При загальному освітленні	750
Природне освітлення, лк	При верхньому або верхньому і боковому освітленні	10
	При бічному освітленні, у зоні з стійким сніговим покривом	2,8
Сумішене освітлення, лк	При верхньому або верхньому і боковому освітленні	6
	При бічному освітленні, у зоні з стійким сніговим покривом	1,7

Мікроклімат в лабораторії відноситься до категорії робіт: легка Іб. Оптимальні і допустимі показники температури, відносної вологості та швидкості руху повітря повинні відповідати значенням, зазначених у таблиці 6.3. Коливань температури повітря по горизонталі в робочій зоні, а також протягом зміни допускаються до 4 °С - при легких роботах [20].

Таблиця 4.3

Оптимальні та допустимі норми температури, відносної вологості і швидкості руху повітря в робочій зоні

Період року	Температура, °С		Відносна вологість		Швидкість руху, м / с	
	Опт.	Доп.	Опт.	Доп.	Опт.	Доп.
Холодний	21-23	24-17	40-60	75	0,1	<0,2
Теплий	22-24	28-19	40-60	55	0,2	0,1-0,3

В лабораторії виділяються пари етилового спирту з густиною, що перевищує густину повітря, то загальнообмінна вентиляція повинна забезпечити видалення 60% повітря з нижньої зони приміщення та 40 % - з

верхньої. Забезпечення вловлювання шкідливих виділень (газів, парів, пилю) безпосередньо в місцях їх виділення, застосовують місцеві відсмоктувачі, так як джерело шкідливостей не можна ізолювати, витяжний зонтик або всмоктувальну панель.

В лабораторії повне кондиціонування повітря, передбачає регулювання температури, вологості, швидкості руху повітря, а також можливість його додаткового оброблення (очищення від пилу, дезінфекції) [20].

4.6 Електробезпека

Живлення електроприладів усередині лабораторії здійснюється від трьохфазної мережі напругою 220 В і частотою 50Гц із використанням автоматів захисту по струму.

В приміщенні сухо, без підвищеної температури і відповідно до [21] вона відноситься до класу приміщень без підвищеної небезпеки поразки персоналу електричним струмом, оскільки відносна вологість повітря не перевищує 75%, температура не більш 35 °С, відсутні хімічно агресивні середовища. У лабораторії електропроводка схована, проведена в прорізах під штукатуркою на висоті 2м. Силові провідники, які з'єднують між собою ПК із системним блоком і принтером мають подвійну ізоляцію. Штепсельні розетки встановлені на висоті одного метра від підлоги. Вимикачі на стінах розташовані на висоті 1,75м від підлоги з боку ручки для відкривання дверей. Корпус дисплея, клавіатури, принтера і калькулятора виготовлені зі спеціального матеріалу удароміцного пластику, що робить поразку електричним струмом людини, при дотику до них практично неможливим.

При виконанні розробки інтелектуального датчика в лабораторії проводять операції, які повинні строго дотримуватися правила техніки безпеки, зокрема правила електробезпеки:

- всі доступні для дотику струмоведучі частини електроустаткування повинні бути захищені;
- рубильники і коробчаті вимикачі повинні бути миттєвої дії;

- щитки і рубильники повинні бути встановлені в глухих металевих кожухах, що закриваються на замок, і мати написи про вживану напругу;
- ручки і рукоятки, маховики повинні бути зроблені з ізолюючих матеріалів;
- все електроустаткування, а також устаткування і механізми, які можуть опинитися під напругою повинні бути заземлені;
- металеві частини електрифікованих інструментів при напрузі зверху 36В повинні бути заземлені, електропроводка і арматура освітлювальної мережі повинні бути надійно ізольовані і захищені від впливу високої температури, механічних пошкоджень і хімічних дій;
- роботи по ремонту устаткування і механізмів повинні проводитися тільки після повного відключення від мережі електроживлення; на місці робіт обов'язково вивішуються попереджувальні плакати;
- контактні дроти, що підлягають ремонту, повинні бути заздалегідь відключені і заземлені;
- у місцях роботи поблизу відкритих струмоведучих частин повинні бути встановлені дерев'яні щити і ґрати, покриті гумовими килимками

4.7 Пожежна та техногенна безпека

Згідно з [23] будинок, де знаходиться лабораторія відноситься до категорії Д за пожежною небезпекою. Приміщення, в яких у системах машин охолодження та гідроприводу наявні ГР в кількостях не більше 60 кг в одиниці устаткування при тиску не вище 0,2 мПа, а також у яких є кабелі електропроводки до устаткування, окремі предмети меблів. Можливий на клас пожежі за стандартом [23] – Е.

Споруда, де знаходиться лабораторія відноситься до 3-го ступеню - будови, які мають основні несучі конструкції негорючі, а не несучі (міжповерхові й перекриття на горищі) - важкогорючі (0,25-2 год) [23].

Ймовірні причини пожеж в лабораторії:

1. Коротке замикання проводки;
2. Користування побутовими, електро-, радіо- приладами;
3. Недотримання умов протипожежної безпеки.

У зв'язку з цим необхідно передбачити наступні заходи щодо пожежної безпеки:

- улаштуванням протипожежних перепон у будівлях, системах вентиляції, опалювальних та кабельних комунікаціях;
 - спорудженням протидимного захисту;
 - ретельна ізоляція всіх струмоведучих провідників до робочих місць;
- періодичний огляд і перевірка ізоляції;
- суворе дотримання норм протипожежної безпеки на робочому місці;
 - встановлення автоматичної сигналізація (датчик, монтується в стіну лабораторії і служить для подачі сигналу при появі диму).

Приміщення обладнане двома пожежними датчиками типу ДТЛ, (площа, що захищається, $24,5\text{ м}^2$). Така кількість датчиків відповідає нормам розміщення згідно ДБН, тому що площа, що захищається датчиком ДТЛ складає 15 м^2 , два датчика захищають площу приміщення 30 м^2 , а площа приміщення лабораторії складає $24,5\text{ м}^2$.

Рекомендується улаштування в відділі збірки порошкового вогнегасника ОП-3(з), який призначений для гасіння загорання твердих, рідких речовин, а також для гасіння електрообладнання, яке знаходиться під напругою до 1000 В.

Відстань від найвіддаленішого робочого місця до найближчого евакуаційного виходу з приміщення безпосередньо назовні або на сходову клітку не має перевищувати значень, регламентованих [23]. Кількість евакуаційних виходів з будівель, з кожного поверху та приміщень має бути відповідною до СНиП [22], але не менше двох.

В лабораторії евакуація відбувається по плану на випадок виникнення пожежі. Інструкція про заходи пожежної безпеки (план евакуації людей), включає в себе загальну інструкцію для будинку та інструкція для окремої лабораторії, згідно з [23].

4.8. Розрахунок сили струму, що проходить через тіло людини, для різних режимів роботи електричної мережі

Лабораторія має напругу 220В, мережа змінна. При виконанні розробки системи управління освітленням цеху в лабораторії проводять операції, які можуть бути небезпечно дослідникам у випадку несправності електроустановок. Тому необхідно забезпечити безпечну мережу.

За напругою [16] ПУЕ розрізняють електроустановки (мережі) напругою до 1 кВ та електроустановки напругою вище 1 кВ. За режимом нейтралі бувають електроустановки (мережі) з ізолюваною нейтраллю джерела живлення (генератора або трансформатора) і глухозаземленою нейтраллю джерела живлення.

Лабораторія має напругу до 1 кВ.

1. Розглянемо дотик до однієї фази в мережі з ізолюваною нейтраллю (рис. 6.1). Для спрощення розрахунків вважаємо, що мережа симетрична, а саме: симетричні й однаково активні опори ізоляції фаз, а також ємності та ємнісні опори, тобто для такої мережі є справедливими наступні рівняння:

$$R_1=R_2=R_3=R, C_1=C_2=C_3=C, Z_1=Z_2=Z_3=Z, \quad (4.1)$$

де C - ємність дротів відносно землі; Z - комплекс повного опору відносно землі, Ом; R - активний опір ізоляції фаз відносно землі, Ом.

Струм, що проходить крізь тіло людини при дотику до однієї з фаз у нормальному режимі, так як мережа з напругою до 1 кВ малої довжини ємність дротів відносно землі мала, $C = 0$, тоді $Z = R$, опір фази відносно землі дорівнює активному опору ізоляції і рівняння набуває вигляду:

$$I = \frac{U}{R_h + \frac{Z}{3}}, \quad (4.2)$$

$$I = \frac{220}{1000 + \frac{500000}{3}} = 0,001 \text{ A.}$$

де $U=220$ - фазна напруга мережі, В; $R_h = 1000$ [20] - опір тіла людини, Ом; де $Z=0,5$ [21] - активний опір ізоляції фаз відносно землі, МОм.

Аналіз рівняння 4.2 показує, що при симетричних опорах між фазними дротами і землею струм крізь людину тим менший, чим більші ці опори.

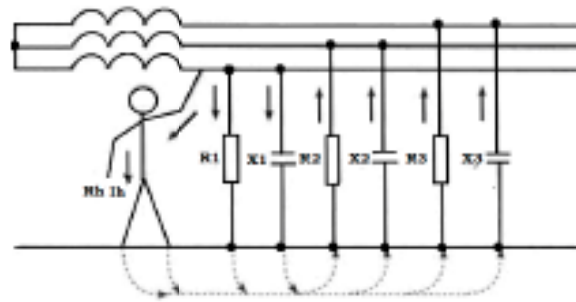


Рисунок 4.2- Дотик людини до фази в мережі з ізолюваною нейтраллю.

Також показує значення ізоляції як фактора безпеки: що вище опір ізоляції R , то меншим буде струм крізь людину. Тому короткі повітряні мережі з ізолюваною нейтраллю, малою ємністю, високим опором ізоляції не становлять значної небезпеки при дотику до фази.

2. Мережі з глухозаземленою нейтраллю (рис. 4.3). мають малий опір між нейтраллю і землею R_0 , тому при дотику людини до фази струм через неї практично не залежить від опору ізоляції та ємності мережі відносно землі. Відповідно до правил улаштування електроустановок (ПЕУ) на електричних установках напругою до 1000В допустимий опір заземлюючого пристрою не більше 4 Ом [21].

У цьому випадку струм крізь людину:

$$I = \frac{U}{R_n + R_0}, \quad (4.3)$$

$$I = \frac{220}{1000 + 4} = 0,2 \text{ A},$$

де $R_0 = 4$ - робоче заземлення нейтралі, Ом.

Пороговий не відпускаючий струм 10-15мА [21]. Враховуючи все сказане, можна дійти висновку, що в нормальному режимі значно безпечнішою є мережа з ізолюваною нейтраллю, так як струм, що проходить крізь тіло людини при дотику до однієї з фаз рівний пороговому струму, що є надійною ізоляцією порівняно з мережею з глухозаземленою нейтраллю.

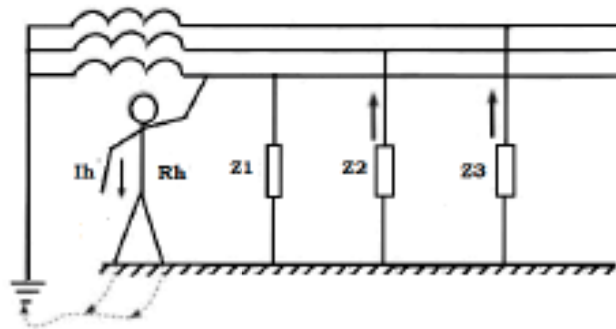


Рисунок 4.3 - Дотик людини в мережі із глухозаземленою нейтраллю.

Незалежно від якості ізоляційних робіт у процесі їх експлуатації з'являються помітні зміни в діелектричних характеристиках. Це виникає з часом зносу ізоляції, на яку впливають підвищені температури повітря, а також провідників. На ступінь зносу також впливають перенапруги комунікацій, а також підвищена вологість. Через це в ізоляції з часом починають виникати неполадки з електрикою.

Відповідно узгодженим нормативним і технічним документам, у кожного кабелю існують свої норми опору ізоляції. Низьковольтні силові кабелі менше 1000 (В) повинні володіти опором ізоляції не менше 0,5 (МОм), як уже було пораховано.

Для лабораторії безпечнішою є мережа з ізольованою нейтраллю, де $Z=1$ - активний опір ізоляції фаз лабораторії відносно землі, МОм.

Розрахуємо струм, що проходить крізь тіло людини в лабораторії .

$$I = \frac{220}{1000 + \frac{1000000}{3}} = 0,00066 \text{ А.}$$

Порівнюючи з пороговим не відпускаючим струмом, в лабораторії струм який проходить в мережі є безпечним для людини.

5 ЕКОНОМІЧНІ ПОКАЗНИКИ

Одним з основних показників, за допомогою якого оцінюється економічна ефективність нової техніки, є величина капітальних вкладень.

До таких капітальних вкладень відносяться витрати на науково-дослідні і дослідно-конструкторські роботи, включаючи випробування і доопрацювання дослідних зразків.

Для визначення вартості конструкторської підготовки виробництва складається кошторис витрат з моменту отримання завдання до виготовлення і заводських випробувань дослідного зразка включно і коректування документації за наслідками цих подій [24].

5.1 Визначення стадій розробки

Стадії роботи, які необхідні для розробки моделі системи управління двигуном, а також вміст робіт на кожній стадії зведені в таблицю 5.1.

Таблиця 5.1 – Стадії розробки моделі системи управління двигуном

№ з/п	Стадії розробки	Вміст робіт	Тривалість етапу, днів	Примітка
А	Постановка завдання	Узгодження технічного завдання із замовником	2	1 інженер
Б	Вивчення об'єкту	Аналіз існуючих схемних рішень	5	1 інженер
В	Розробка проекту	Проектування схеми	5	2 інженери
Г	Проведення дослідження та розробки	Розробка технічної документації по моделі системи управління двигуном	13	1 інженер
Д	Узгодження із замовником	Демонстрація моделі. Виправлення помилок.	2	1 інженер
Е	Передача замовнику	Передача результатів моделювання замовнику, підписання акту здачі робіт	5	1 інженер

Для визначення терміну виконання етапів розробки моделі системи управління асинхронним двигуном, а також витрат, будується лінійний графік, який відображує в наочному вигляді терміни виконання кожного етапу як окремо, так і в цілому. На рис. 5.1 зображений лінійний графік стадій вказаних в таблиці 5.1.

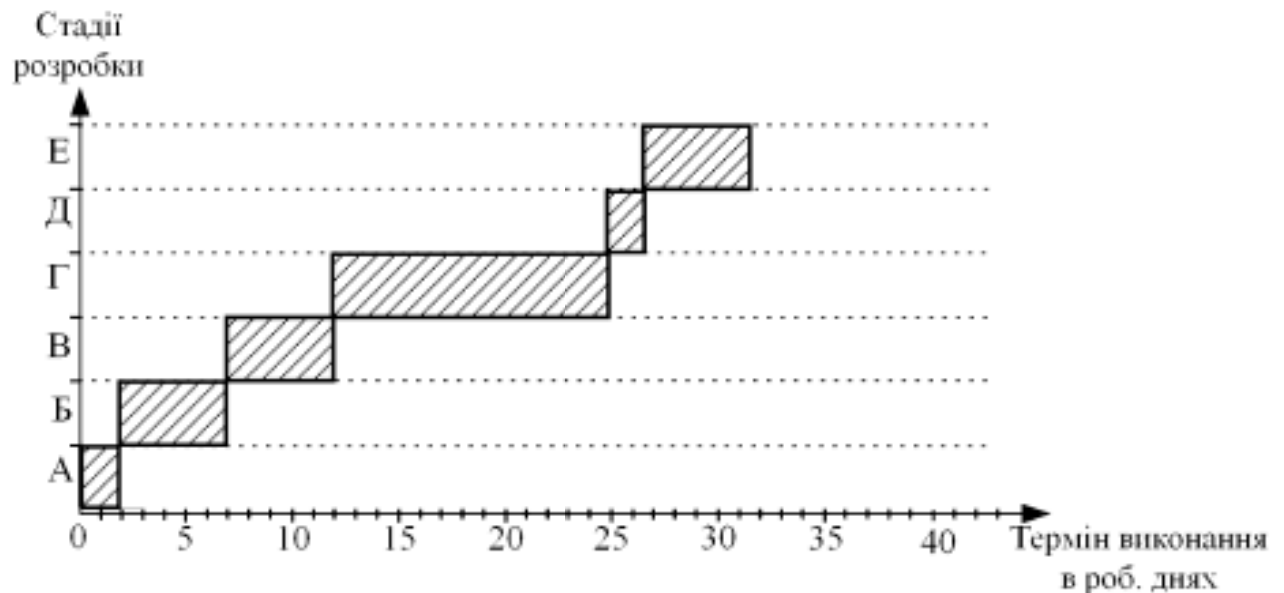


Рисунок 5.1 – Лінійний графік розробки моделі системи управління двигуном

Відповідно до рис. 5.1 на види роботи А-Е, потрібно 32 восьмигодинних робочих днів.

Для виконання робіт по етапу А необхідно 1 людину – інженера технічного забезпечення проекту.

Для виконання робіт по етапу Б необхідно 1 людину – інженера технічного забезпечення проекту.

Для виконання робіт по етапу В необхідно 2 людини – 1 інженер технічного забезпечення, 1 інженер електронної техніки.

Для виконання робіт по етапу Г необхідно 1 людина – інженер електронної техніки.

Для виконання робіт по етапу Д необхідно 1 людина – 1 інженер електронної техніки.

Для виконання робіт по етапу Е необхідно 1 людину – 1 інженер технічного забезпечення.

У зв'язку з наведеним вище списком працівників для виду робіт, в таблицю 5.2 зводяться всі необхідні співробітники з кількістю робочих днів участі в проекті.

Таблиця 5.2– Співробітники проекту

Найменування	Кількість співробітників людей	Кількість робочих днів участі в розробці, роб. дні	К-ть часу, витраченого на участь в проекті, ч
Інженер технічного забезпечення проекту	1	22	176
Інженер електронної техніки	1	20	160

5.2 Розрахунок заробітної плати

Заробітна плата кожного співробітника нараховується виходячи з годинної тарифної ставки. Вони представлені в таблиці 5.3.

Таблиця 5.3 – Тарифні ставки співробітників

Найменування співробітника	Тариф Тсер, грн./год.
інженер технічного забезпечення проекту	55
інженер електронної техніки	60

Заробітна плата кожного співробітника визначається по формулі [24]

$$ЗП = N_{\text{роб}} \cdot T_{\text{сер}} \cdot B \quad (5.1)$$

де ЗП – заробітна плата, грн.;

Тсер – ставка кожного співробітника, грн./год;

Проб – кількість працівників, людей;

В – кількість годин, витрачених на роботу над проектом, год.

Заробітну плату інженера технічного забезпечення збільшуємо на 15%, у зв'язку з необхідністю витрати робочого часу на коректування документів.

Результати розрахунків представлені в таблиці 5.4.

Таблиця 5.4 – Заробітна плата

Найменування	Заробітна плата, грн.
інженер технічного забезпечення проекту	9680
інженер електронної техніки	9600
РАЗОМ	19280

5.3 Розрахунок кошторису витрат

Кошторис витрат складається виходячи з таких показників: основні засоби (комп'ютер з програмним забезпеченням), заробітна плата, відрахування до єдиного фонду – 37%; накладні витрати (60...150% від фонду заробітної плати), які включають різні господарські та адміністративні витрати.

Далі наводиться вартість устаткування і програмного забезпечення, представлені в таблиці 5.5.

Таблиця 5.5 – Вартість устаткування і програмного забезпечення

Найменування	Ед вим.	К-ть	Ціна, грн.	Вартість, грн.
Комп'ютер	шт	1	10000,00	10000,00
Осцилограф	шт	1	3000,00	3000,00
Мультиметр	шт	1	350,00	350,00
STM32	шт	1	780	780
РАЗОМ				14130,00

Амортизація основних засобів (комп'ютер, осцилограф, мультиметр) [24]:

$$S_{ам} = \sum \frac{\alpha_{ам}}{100} \cdot \text{вартість} \cdot \frac{T_{вик}}{T_{можл.вик.}} \quad (5.2)$$

$$S_{аморт} = 0,15 \times 14130 \times (32 \times 8 / 2100) = 258,3 \text{ грн.}$$

Електроенергія, що витрачається при роботі інженера електронної техніки:

$$S_e = \text{тариф} \times \text{потужність} \times N \times T_{вик} \quad (5.3)$$

де N – кількість комп'ютерів, осцилографів, мультиметрів

$$S_e = 1,90 \times 0,5 \times 1 \times 256 = 243,2 \text{ грн.}$$

Кошторис витрат на розробку системи управління двигуном представлений в таблиці 5.6.

Таблиця 5.6 – Кошторис витрат

№ з/п	Найменування	Разом:
1	Основні засоби	14130,00
2	Амортизаційні відрахування	258,3
3	Витрати на електроенергію	243,2
4	Заробітна плата	19280
	Всього	33911,5

Економічні розрахунки підтвердили доцільність розробки системи управління двигуном для використання її в умовах серійного виробництва.

ВИСНОВКИ

В ході дослідження було розглянуто різні типи мікроконтролерів, які рекомендується використовувати для управління безколекторними двигунами. В першому розділі наведена інформація про переваги побудови інтелектуальних систем управління двигунами.

В другому розділі проведено дослідження елементної бази для побудови інтелектуальних систем управління. Розглянуто мікросхеми для силової частини та виробники мікроконтролерів. Показано, що перевагу слід віддавати 32-х бітним мікроконтролерам. Такий підхід обумовлено економічними показниками та швидкодією таких рішень.

Досліджено асортимент напівпровідникових компонентів виробництва компанії Texas Instruments, в якому широко представлені мікросхеми драйверів для управління всіма типами двигунів постійного струму. На їх основі компанія пропонує масштабовані в залежності від вимог по точності, потужності і функціональності рішення для створення приводів, що працюють в широкому діапазоні струмів і напруг, що забезпечують надійну і зручну експлуатацію колекторних, безколекторних і крокових двигунів з повним комплексом захистів по струму, напрузі і температурі.

В третьому розділі проведено дослідження систем управління та виконано аналіз критеріїв щодо вибору мікроконтролерів. Проведено аналіз можливостей по управлінню безколекторними двигунами мікроконтролерами з різною розрядністю. В результаті показано, що оптимальним вибором буде мікроконтролери фірми ST.

В четвертому розділі запропоновано конструкцію виробу та розглянуті методи виготовлення друкованих плат та розглянуті заходи з охорони праці при проектуванні виробу.

В 5-му розділі проведено економічні розрахунки, які показали доцільність розробки.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Современные бесколлекторные двигатели постоянного тока [Электронный ресурс]. - Режим доступа: <http://electricalschool.info/elprivod/2231-sovremennye-beskollektornye-dvigateli-postoyannogo-toka.html>
2. "Brushless DC (BLDC) Motor Fundamentals", Padmaraja Yedamale, Microchip Technology application note AN885, 2003.
3. AVR444: Управление трехфазным бесколлекторным электродвигателем постоянного тока без датчиков [Электронный ресурс]. - Режим доступа: <http://www.atmel.com/images/doc8012.pdf>
4. "FCM8201 Three-Phase Sine-Wave BLDC Motor Controller", Fairchild Semiconductor application note AN-8201, 2011.
5. AVR492: Управление бесколлекторным электродвигателем постоянного тока с помощью AT90PWM3 [Электронный ресурс]. - Режим доступа: <http://www.gaw.ru/pdf/Atmel/app/avr/AVR492.pdf>
6. AVR440: Управление двухфазным бесколлекторным электродвигателем постоянного тока без датчиков [Электронный ресурс]. - Режим доступа: <http://www.gaw.ru/html.cgi/txt/app/micros/avr/AVR440.htm>
7. Саяпин В.Е., Смурыгин И.М. Система управления трехфазного бесколлекторного двигателя постоянного тока / Саяпин В.Е. Смурыгин И.М. / Молодежный научно-технический вестник - 2012.
8. Драйверы от TI: Управляй любым электродвигателем [Электронный ресурс]. - Режим доступа: <https://www.compel.ru/lib/75973>
9. Микроконтроллеры Renesas RX66T оптимизированы для управления двигателями в роботах. [Электронный ресурс]. - Режим доступа: <https://www.ixbt.com/news/2018/12/03/mikrokontrollery-renesas-rx66t-optimizirovany-dlja-upravlenija-dvigateljami-v-robotah.html>
10. Одна микросхема - один двигатель. [Электронный ресурс]. - Режим доступа: <https://www.terraelectronica.ru/news/4461>

11. Microchip Technology Incorporated [Електронний ресурс]. - Режим доступу: <https://www.microchip.com/>
12. STMicroelectronics [Електронний ресурс]. - Режим доступу: www.st.com
13. Навчально-методичний посібник з дисципліни «Основи теорії систем» для студентів напрямку 6.050802 - "Електронні пристрої та системи". Сост.: Алексієвський Д.Г.- Запоріжжя, ЗДІА, 2012 р.
14. САПР DipTrace [Електронний ресурс]. - Режим доступу: <https://diptrace.com/ua/>
15. Друковані плати [Електронний ресурс]. - Режим доступу: <http://www.pselectro.ru/article/7/78>
16. Долин П.А. Основы техники безопасности в электроустановках: Учеб. пособие для вузов. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Энергоатомиздат, 1984. – 448с., ил.
17. НАПБ Б.03.002-2007 Нормы определения категорий помещений, зданий и наружных установок по взрывопожарной и пожарной опасности.
18. ГОСТ 12.1.005-88. ССБТ. «Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны».
19. СНиП 11-4-79. Естественное и искусственное освещение.
20. СНиП 2.04.05-92. «Отопление, вентиляция и кондиционирование воздуха».
21. Правила устройства электроустановок.- «Госэнергонадзор», 2009г. 704с.
22. Конов А. А. Электрооборудование жилых зданий. – М.: Додека 21, 2003. –256 с.
23. СНиП 2.01.02-85. Противопожарные нормы.
24. Попова В.Д. Методичні вказівки до виконання економічної й організаційної частини дипломної роботи – Запоріжжя, 2005,-36с.

Перв. примен.

Справ. №

Подп. и дата

Взам. инв. № Инв. № одкл.

Лист. и дата

Лист. и дата

Формат	Зона	Поз.	Обозначение	Наименование	Кол.	Примечание
				<u>Документация</u>		
A1			ЕС М.1914 9.00.00.00.00.00.Д1	Мікроконтролери оптимізовані для управління безколекторними двигунами		
				Схема електрична структурна		
A1			ЕС М.1914 9.00.00.00.00.00.Д2	Мікроконтролери оптимізовані для управління безколекторними двигунами		
				Виробники мікроконтролерів		
A1			ЕС М.1914 9.00.00.00.00.00.Д3	Мікроконтролери оптимізовані для управління безколекторними двигунами		
				Модель системи управління		
A1			ЕС М.1914 9.00.00.00.00.00.Д4	Мікроконтролери оптимізовані для управління безколекторними двигунами		
				Блок схема та параметри моделі		
A1			ЕС М.1914 9.00.00.00.00.00.Д5	Мікроконтролери оптимізовані для управління безколекторними двигунами		
				Результати моделювання		
A1			ЕС М.1914 9.00.00.00.00.00.Д6	Мікроконтролери оптимізовані для управління безколекторними двигунами		
				Порядок генерації коду		
A1			ЕС М.1914 9.00.00.00.00.00.Д7	Мікроконтролери оптимізовані для управління		

ЕС М.1914 9.00.00.00.00.00

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата
Разраб.		Бабич		30.11
Проб.		Шмаліу		30.11
Н.контр.		Туришев		16.12.10
Утв.		Критська		16.12.10

Мікроконтролери оптимізовані для управління безколекторними двигунами

Лит.	Лист	Листов
	1	2
ІННІ ЗНУ 8.1719		

Копировал

Формат А4

