

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЗАПОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

ІНЖЕНЕРНИЙ НАВЧАЛЬНО-НАУКОВИЙ ІНСТИТУТ

мікроелектроніки та електронних інформаційних систем
(повна назва кафедри)

Кваліфікаційна робота (проект)

магістр

(рівень вищої освіти)

на тему Сучасні мікроконтролери для управління
трифазними двигунами.

Виконав: студент 2 курсу, групи 8.1719-3

спеціальності 171 "Електроніка"
(код і назва спеціальності)

(код і назва спеціальності)

спеціалізації _____
(код і назва спеціалізації)

освітньої програми _____
(назва освітньої програми)

Тітохеренко Т.О.
(ініціали та прізвище)

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

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

Запоріжжя

2020

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЗАПОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Інженерний навчально-науковий інститут _____
Кафедра MEFIC _____
Рівень вищої освіти зступний (магістерський) _____
Спеціальність 171 "Електроніка" _____
(код та назва)
Спеціалізація _____
(код та назва)
Освітня програма електроніка _____

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри МФ _____
« 02 » 09 2020 року

З А В Д А Н Н Я

НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ (ПРОЄКТ) СТУДЕНТОВІ (СТУДЕНТЦІ)

Титаренко Федор Олександрович

(прізвище, ім'я, по батькові)

1 Тема роботи (проєкту) Сучасні мікроконтролери для управління трифазним двигуном

керівник роботи к.т.н. доц. Шваніт С. П.

(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом ЗНУ від « 25 » 05 2020 року № 601-С

2 Строк подання студентом роботи 30.11.20

3 Вихідні дані до роботи нереальний двигун потужністю 6000 Вт, частота мережі 50 Гц напруга 220 В.

4 Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) Вашин, елементна база систем управління. Дослідження систем управління. Конструкторсько-технологічна записка, тех. збр.

5 Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень) Постановка завдання, моделювання, результати моделювання блок-схема та креслення моделі. Варіанти контролю. Порівняння енергетичної моделі. Економічні показники

6 Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
1	к.т.н. доц. Шмагії С.М.	<i>Шмагії</i>	<i>Керн</i>
2	к.т.н. доц. Шмагії С.А.	<i>Шмагії</i>	<i>Керн</i>
3	к.т.н. доц. Шмагії С.А.	<i>Шмагії</i>	<i>Керн</i>
4	к.т.н. доц. Шмагії С.А.	<i>Шмагії</i>	<i>Керн</i>
5	к.т.н. доц. Шмагії С.А.	<i>Шмагії</i>	<i>Керн</i>

7 Дата видачі завдання _____

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
	Вступ	21.09	
1	Розділ	9.10	
2	Розділ	19.10	
3	Розділ	2.11	
4	Розділ	16.11	
5	Розділ	20.11	
	Узагальнювальна робота	27.11	

Студент

Керн
(підпис)

Тимаренко С.О.
(ініціали та прізвище)

Керівник роботи (проекту)

Шмагії
(підпис)

Шмагії С.А.
(ініціали та прізвище)

Нормоконтроль пройдено

Нормоконтролер

(підпис)

Туринцев К.О.
(ініціали та прізвище)

РЕФЕРАТ

Дипломний проект: 80 стор., 30 рис., 11 табл., 21 джерел

Об'єкт дослідження: асинхронний двигун.

Предмет дослідження: перехідні процеси в системах управління.

Мета роботи: дослідження роботи мікроконтролерів і алгоритмів їх роботи для підвищення ефективності використання в системах управління асинхронними двигунами.

У даній роботі проведено дослідження потенціалу використання сучасних мікроконтролерів в умовах промисловості для побудови систем управління трифазними двигунами. Показано переваги використання мікроконтролерів при використанні спеціалізованих моделей по обчислювальним ресурсам та точності показників.

Розглянуто алгоритми роботи системи контролю, типи первинних перетворювачів та проведено математичне моделювання системи векторного управління асинхронним двигуном.

МІКРОКОНТРОЛЕР, ДВИГУН, СИСТЕМА УПРАВЛІННЯ, МОДЕЛЬ,
АЛГОРИТМ, ПЕРЕХІДНИЙ ПРОЦЕС, БЛОК-СХЕМА

ЗМІСТ

Вступ	6
1 Переваги використання асинхронних двигунів	8
1.1 Принцип дії та устрій	8
2 елементна база систем управління	12
2.1 Аналіз рішень, які існують	12
3 Дослідження систем управління	24
3.1 Опис моделі двигуна в Simulink	24
3.2 критерії вибору мікроконтролера	37
3.3 моделювання алгоритмів на апаратній платформі STM32	45
4 Конструкторсько-технологічна частина	52
4.1 Шляхи отримання плати друкованої	52
4.2 Розрахунок теплових режимів ключових елементів, вибір тепловідведення	54
4.3 Заходи, щодо охорони праці	
4.3.1 Аналіз шкідливих і небезпечних факторів	56
4.3.2 Джерела шкідливих і небезпечних впливів	57
4.3.3 взаємодія на людину	57
4.3.4 заходи щодо усунення шкідливих і небезпечних факторів	60
4.3.5 розрахунок захисного заземлення	62
5 техніко-економічне обґрунтування	65
5.1 Визначення стадій розробки	65
5.2 Розрахунок заробітної плати	67

5.3 Розрахунок кошторису витрат	68
Висновки	70
Список використаних джерел	71
Додаток А	73

ВСТУП

Автоматизація виробництва на основі мікроелектронної техніки для розвитку і вдосконалення існуючих та створюваних технологічних виробництв, є одним з важливих напрямків виробництва.

У світі виробляється безліч 3х-фазних асинхронних двигунів. Вони використовуються практично скрізь. До плюсів цих двигунів можна віднести їх відносно невисоку вартість. Мінус же їх в тому, що асинхронними двигунами складно управляти. Підвищуючи і знижуючи напругу живлення можна в деякій мірі керувати швидкістю обертання, але при низькій напрузі буде малий крутний момент, а при підвищеній напрузі з'являється ризик перегріву двигуна. Існують схеми управління такими двигунами, але вони мають значну вартість, часто перевищує вартість самого двигуна.

В даний час створено безліч схем управління двигунами змінної напруги. При цьому робиться великий акцент на застосування в цих схемах спеціальних уніфікованих мікросхем управління потужними ключовими транзисторами. Висока швидкість управління, зручна схема сполучення, просте управління, всі ці та багато інших переваг роблять дані схеми перспективними в розвитку і в подальшому використанні в багатьох галузях виробництва.

Використання мікроконтролерів у таких виробках не тільки приводить до підвищення техніко-економічних показників (надійності, споживаної потужності, габаритних розмірів), але і дозволяє скоротити час розробки виробів і робить їх модифікуємими, адаптивними, а також дозволяє зменшити їх вартість. Використання мікроконтролерів в системах управління забезпечує досягнення високих показників ефективності при низькій вартості.

Цифрові схеми управління двигунами в наші дні зробили великий крок вперед і впритул наблизилися до використання досконалих електронних технологій. На ринку можна зустріти безліч модулів управління двигунами, які мають свої відмінні риси в схемотехніці, які значно впливають на

швидкість обробки даних, зручність у використанні, і, звичайно, ж на їх вартість.

Тому актуальним завданням є аналіз і вибір мікроконтролера для вирішення завдань управління трифазним двигуном.

1 ПЕРЕВАГИ ВИКОРИСТАННЯ АСИНХРОННИХ ДВИГУНІВ

1.1 Принцип дії та устрій

В даний час створено безліч схем управління двигунами змінної напруги. При цьому робиться великий акцент на застосування в цих схемах спеціальних уніфікованих мікросхем управління потужними ключовими транзисторами. Висока швидкість управління, зручна схема сполучення, просте управління, всі ці та багато інших переваг роблять дані схеми перспективними в розвитку і в подальшому використанні в багатьох галузях виробництва.

Використання мікроконтролерів в системах управління забезпечує досягнення високих показників ефективності при низькій вартості. Для коректного вибору мікроконтролера розглянемо принципи роботи і конструктивні особливості двигунів.

В силу своїх конструктивних особливостей асинхронна машина позбавлена ряду недоліків, властивих машинам постійного струму. Зокрема, відсутність колектору і щіток в асинхронному короткозамкненому двигуні (АД) обумовлює велику граничну одиничну потужність, кращі ваго-габаритні показники, більш високу перевантажувальну здатність і допустиму швидкість зміни моменту, більш високі швидкості обертання, ніж машини постійного струму. Відомо, що переваги АД найбільш повно реалізуються при частотному управлінні, що обумовлює постійне витіснення регульованого електроприводу постійного струму частотно-регульованим асинхронним електроприводом в усіх галузях промисловості.

В даний час близько половини вироблюваної електроенергії споживається нерегульованими двигунами змінного струму, серед яких значну частину складають потужні високовольтні АД. Регулювання швидкості потужних високовольтних АД, виключення режимів прямих пусків - ефективні фактори підвищення продуктивності робочих механізмів,

зниження експлуатаційних витрат, економії електроенергії. Робочими механізмами потужних високовольтних електроприводів є: підйомники гірничої та металургійної промисловості, вентилятори, насоси, газодувки, компресори гірської, металургійної, хімічної промисловості, атомної енергетики [1].

З розробкою і освоєнням серійного виробництва потужних силових напівпровідникових приладів з'явилася можливість широкого застосування потужних високовольтних перетворювачів частоти (ПЧ) для живлення обмоток високовольтних АД. Таким чином, з'явилася можливість створення регульованих по швидкості потужних високовольтних асинхронних електроприводів.

Відомо, що механічні і динамічні характеристики, енергетичні показники АД в частотно-регульованому електроприводі визначаються: прийнятим законом частотного управління, способом частотного управління, алгоритмічної і апаратною реалізацією автоматичної системи регулювання (АСР) електроприводу.

Незважаючи на велику кількість розроблених і досліджених структур АСР для низьковольтних електроприводів, застосування їх для потужних високовольтних електроприводів не представляється можливим. Це пов'язано з особливостями високовольтного електроприводу, а саме:

- значним ускладненням безпосереднього вимірювання параметрів електроприводу;
- умовою мінімальної асиметрії струмів, що живлять, яка витікає з вимоги до підвищеної енергетиці електроприводу;
- застосуванням трифазного двохобмотувальні АД, що живиться від двохсекційного перетворювача частоти, що впливають з умови поліпшених енергетичних, регульовальних властивостей і способу нарощування вихідної потужності.

Крім перерахованих особливостей необхідно відзначити, що значна частина високовольтних АД розрахована на високі швидкості обертання

(6000 об / хв і вище), що виключає можливість застосування обертових датчиків на валу АД.

Таким чином, на підставі аналізу наведених законів, способів, технічних пристроїв частотного керування асинхронними електроприводами, можна зробити наступні висновки.

1. Для потужних високовольтних електроприводів механізмів, що працюють з постійним моментом опору на валу з частими пуско-гальмовими режимами, доцільно застосування закону частотного керування з постійністю потокозчеплення ротора, що відрізняється найвищою перевантажувальною здатністю і забезпечує найкращі динамічні властивості двигуна.

2. Для потужних високовольтних електроприводів механізмів, що працюють з вентиляторним моментом опору на валу, завдяки своїм високим енергетичним показникам і простоті технічної реалізації доцільно використовувати закон частотного управління по мінімуму втрат.

3. В силу своїх переваг у порівнянні з іншими способами частотного управління, а саме: простоті технічної реалізації (в порівнянні з векторними способами) і кращими динамічними і статичними показниками (в порівнянні з амплітудними способами) кращий квазівекторний спосіб частотного управління.

4. Для нарощування потужності електроприводу і одночасного підвищення його енергетичних показників, використовуються трифазні двохобмотувальні двигуни з просторовим зсувом між трифазними статорними обмотками, що живяться від двох трифазних перетворювачів частоти струмами (напругами) з фазовим зрушенням в 30 ел.град.

5. Відомі в даний час технічні пристрої для частотного управління асинхронним електроприводом повною мірою не відповідають вимогам, що пред'являються до потужного високовольтного електроприводу і їм властиві такі недоліки:

- обмежена низькошвидкісними електроприводами область застосування, необхідність виготовлення спеціальної машини або переробка

серійної, застосування спеціальних пристроїв для механічного зчленування валів, неможливість застосування в запилених і агресивних середовищах, що обумовлено наявністю датчиків на валу і всередині машини;

- висока складність технічної реалізації, обумовлена наявністю складних технічних пристроїв: координатного перетворення, векторних фільтрів, фазообертачів, функціональних перетворювачів, блоків корекції миттєвого значення частоти;

- наявність великої кількості датчиків, які здійснюють високо-вольтну гальванічну розв'язку;

- невисока надійність, що обумовлено наявністю датчиків на валу і всередині машини, високою складністю технічної реалізації блоків АСР, датчиків, які здійснюють високовольтну гальванічну розв'язку [1].

Для технічної реалізації таких законів управління необхідний мікроконтролер. Подальша робота буде присвячена питанням вибору найбільш відповідної моделі і фірми виробника.

2 ЕЛЕМЕНТНА БАЗА СИСТЕМ УПРАВЛІННЯ

2.1 Аналіз рішень, які існують

Досвід індустріально розвинених країн показує, що при ефективній технічній політиці питання про те, куди направляти капіталовкладення - на збільшення виробництва електроенергії або на енергозбереження, в переважній більшості випадків вирішується на користь інвестицій в енергозбереження. Створення силових напівпровідникових приладів з новими властивостями і характеристиками дозволило здійснювати перетворення електричної енергії в формах, найбільш зручних для її електромеханічного перетворення, що відкрило широкі можливості для створення технічно досконалих регульованих електроприводів. У свою чергу використання досягнень мікропроцесорної і комп'ютерної техніки принципово змінило елементну базу, функціональні можливості систем керування електроприводами.

Частотне управління асинхронних електроприводів є найбільш економічним способом плавного регулювання частоти обертання асинхронного двигуна, т. к. в усьому діапазоні регулювання двигун працює з малою величиною ковзання ротора, зберігає високий коефіцієнт корисної дії і хорошу жорсткість механічних характеристик, може працювати в руховому і генераторному режимі [2].

Використання нових напівпровідникових приладів дозволило принципово змінити не тільки топологію силової схеми інвертора, перш за все автономний інвертор напруги (АІН), але і принципи управління інверторами. Для АІН і автономного інвертора струму (АІС) на повністю керованих «високовольтних ключах» застосовуються різні технології широтно-імпульсної модуляції (ШІМ) - зі «стеженням» (релейного типу), програмна - з виборчим придушенням вищих гармонік, багаторівнева ШІМ, ШІМ в комбінації з амплітудно-імпульсною модуляцією і т. п. [2].

Автономний інвертор напруги отримує живлення від джерела напруги, з малим внутрішнім опором (акумуляторна батарея, випрямляч з ємнісним фільтром), на його виході при перемиканні силових напівпровідникових ключів генерується змінна напруга в формі послідовності різнополярних прямокутних імпульсів.

Перша гармоніка такої послідовності повинна відповідати необхідному значенню вихідної напруги. В цьому випадку для навантаження - асинхронного електродвигуна - інвертор також є джерелом з малим внутрішнім опором, тобто джерелом напруги [3].

Метою даної роботи є розробка і проектування автономного інвертора напруги для управління малопотужним асинхронним електроприводом. Структурна схема системи управління електроприводу представлена на рис. 1.1.

Функціонально розроблений частотний перетворювач складається з наступних частин: нерегульованого випрямляча напруги; блоку живлення плати контролера; блоку плати управління; драйвера інвертора; власне інвертора; зв'язку з персональним комп'ютером по UART-інтерфейсу і блоків гальванічної розв'язки.

Блок управління реалізований на мікроконтролері AT90PWM3, що представляє собою економічний однокристальний мікроконтролер, що досягає продуктивності до 16 мільйонів інструкцій у секунду. Він призначений для виконання функцій управління в понижуючих та підвищуючих перетворювачах постійної напруги, синхронними електричними машинами на основі постійних магнітів, трифазними асинхронними електродвигунами і безколекторними електродвигунами постійного струму.

Принципова схема блоку управління на основі мікроконтролера AT90PWM3 представлена на рис. 2.2. Блок управління являє собою мікроконтролер з набором елементів, необхідним для його функціонування.

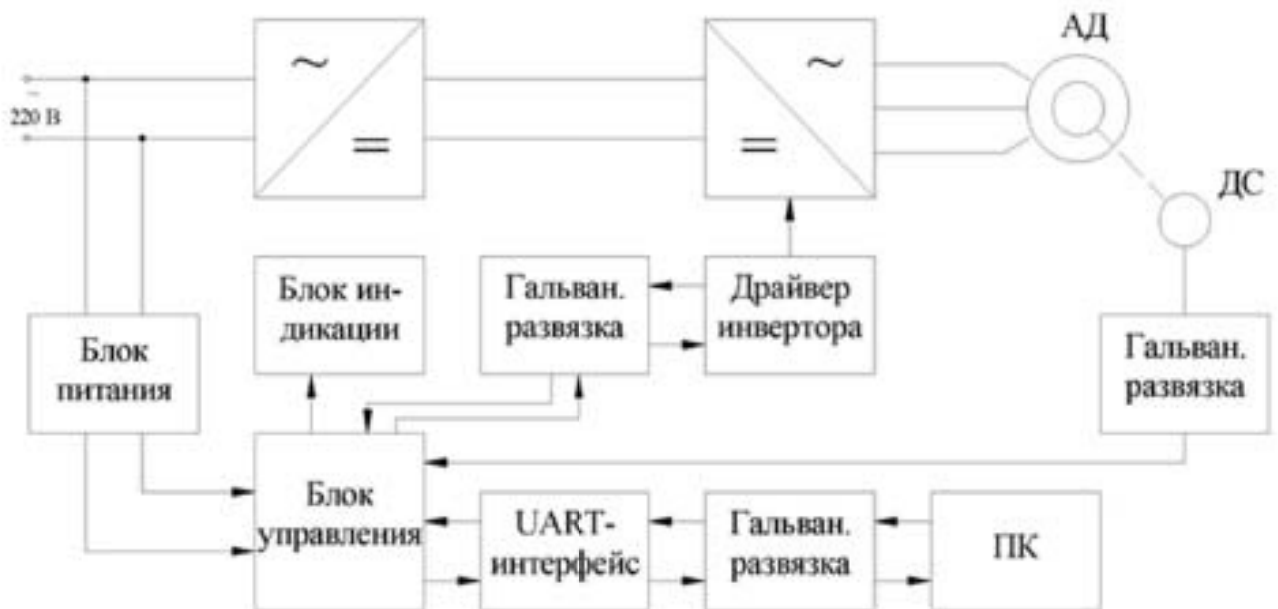


Рисунок 2.1 - Структурна схема системи управління електроприводу

У схемі блоку управління передбачені наступні гальванічні розв'язки: блоку управління з платою драйвера інвертора, інтерфейсу енкодера і UART-інтерфейсу для зв'язку з персональним комп'ютером. UART-інтерфейс забезпечує з'єднання з комп'ютером для управління роботою електроприводу, а також налагодження внутрішньої програми мікроконтролера [2].

Елементи C10, C11 і Z1 підключені до висновків XTAL1, XTAL2 мікроконтролера є тактовий генератор, необхідний для тактування ядра мікроконтролера.

Конденсатори C1-C8 пригнічують імпульсні перешкоди по ланцюгах живлення мікроконтролера і мікросхем гальванічної розв'язки. Кнопка S1 і резистори R3, R4 утворюють схему скидання, необхідну при апаратному зависанні контролера.

Конденсатор C9 пригнічує брязкіт контактів кнопки S1.

Світлодіоди D1, D2 є індикаторами роботи мікроконтролера і виникнення помилки. Резистори R5, R6 обмежують струм через світлодіоди в допустимих для портів мікроконтролера межах (20mA).

Елемент U2 - 74HC04 є HEX-інвертор, інвертується логічні рівні на виходах UN, WN і VN мікроконтролера, так як застосована в даній роботі

ревiзiя чiпа мiкроконтролера AT90PWM3 має недопрацювання фiрми-виробника, що складається у вiдсутностi зсуву фаз на 180 градусiв мiж вихiдними сигналами мiкроконтролера керуючими верхнiми i нижнiми ключами iнвертора.

Мiкросхеми гальванiчної розв'язки U1, U3, U5, U6 забезпечують повну гальванiчну розв'язку плати блоку управлiння з зовнiшнiми пристроями, тим самим забезпечують безпеку мiкроконтролера в разi виникнення аварiйної ситуацiї у зовнiшнiх колах, а також в ланцюгах зв'язку плати управлiння з персональним комп'ютером.

Мiкросхема U1 - ADUM1201 є двоканальний двонаправлений цифровий iзолятор. U3, U5, U6 - триканальнi односпрямованi цифровi iзолятори.

Живиться блок мiкроконтролера вiд мережевого трансформаторного блоку живлення забезпечує вихiдну напругу 9В постiйного струму i струм навантаження до 1 А, на платi мiкроконтролера встановлений стабiлiзатор напруги LM7805, що забезпечує стабiлизовану напругу живлення контролера 5В.

У данiй роботi органiзований найбiльш популярний алгоритмом керування трифазним асинхронним електродвигуном - пiдтримкою сталостi вiдносини напруга/частота (правило Костенко) i використанням синусоїдальної широтно-iмпульсної модуляцiї [4].

Для узгодження силових ключiв iнвертора з мiкроконтролером AT90PWM3 використана мiкросхема-драйвер 3-фазного мосту IR2130 - високовольтний, високошвидкiсний драйвер МОП-транзисторiв i IGBT-транзисторiв з роздiльними вихiдними каналами управлiння ключами верхнього i нижнього рiвнiв.

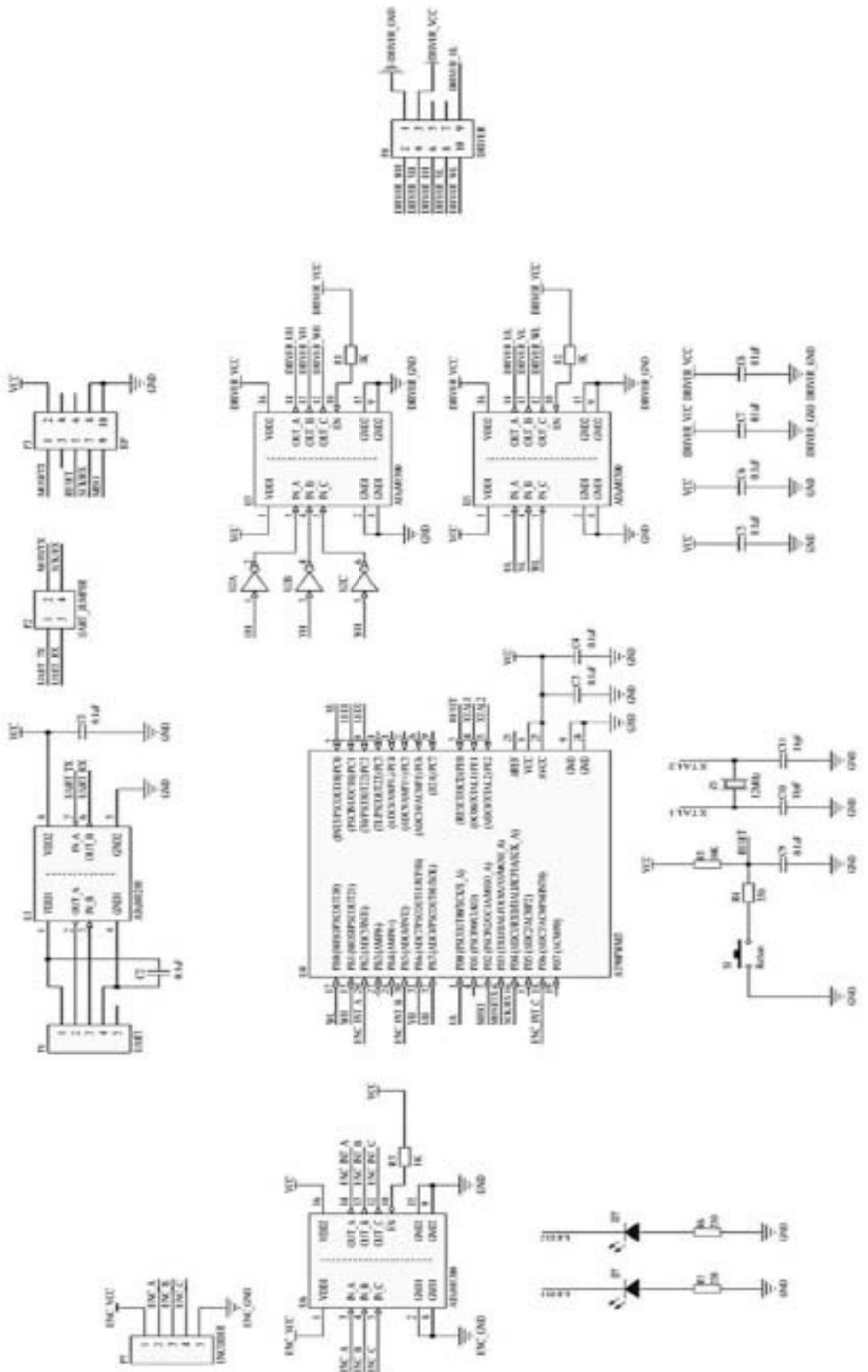


Рисунок 2.2 - Принципова схема блоку управління

Розроблена принципова схема інвертора на основі IR2130 представлена на рис. 2.3. В якості ключових транзисторів T1-T6 обрані польові транзистори типу IRF740. На схемі елементи C21, C22, C11, C12, C14 і VDS1 утворюють вхідний мережевий фільтр і випрямляч. Резистори R26 і R27 разом з реле K1 і пристроєм затримки включення на транзисторі T7 проводяться за схемою «м'якого» включення інвертора в мережу, необхідну для обмеження струму зарядки конденсаторів C11 і C12 і подачі повного напруги живлення на транзистори T1-T6 тільки після повного включення IR2130 і припинення всіх перехідних процесів в інверторі.

На мікросхемі U4 - TNY256 зібраний імпульсний блок живлення, що забезпечує стабілізовану вихідну напругу 15 В для живлення драйвера IR2130. Мікросхема TNY256 є спеціалізованим ШІМ-контролером для створення імпульсних блоків живлення невеликої потужності з мінімальною кількістю навісних компонентів.

Ланцюжки C15-R30-C20-R35 являють собою RC-фільтри, що поліпшують якість напруги на двигуні і зменшують перешкоди створюються приводом. Плавкі вставки F1-F3 відключають пристрій від мережі живлення в разі аварійної ситуації.

Контролер AT90PWM3 містить наступні елементи: 8 кБайт внутрішнього програмованої флеш-пам'яті з підтримкою можливості читання під час запису, 512 байт ЕСППЗУ, 512 байт статичного ОЗУ, 53 лінії введення-виведення загального призначення, 32 робочих регістра загального призначення, три контролера силового каскаду (PSC), два гнучких таймера-лічильника з режимами порівняння і ШІМ, один УСАПІ з режимом DALI (інтерфейс управління освітленням з цифровою адресацією), 11-канальний АЦП з двома диференціальними вхідними каскадами і програмованим посиленням, 10-разр. ЦАП, програмований сторожовий таймер з внутрішнім генератором, послідовний порт SPI, вбудована налагоджувальна система і чотири програмно настроюються економічних режиму.

Завдяки контролерам силового каскаду, вбудованим в контролер

AT90PWM3, з'явилася можливість за допомогою фазового автоматичного підстроювання частоти (PLL) організувати високу частоту 64/32 МГц. Форма сигналів PSCn00 і PSCn01 в режимі центрального орієнтування вирівнюються по центру сигналу PSC лічильника.

Вихідна напруга АІН може регулюватися в межах від нуля і до середньодіючого значення напруги ланцюга постійного струму, за допомогою широтно-імпульсної модуляції в інверсії відданої на верхній і нижній ключі. Середнє значення напруги буде пропорційно коефіцієнту заповнення верхнього ключа, яке відповідає відношенню тривалості імпульсу до тривалості періоду (0-100%). Напруга на виході, в цьому випадку не буде гладкою кривою, а стане такою ж прямокутної форми як сигнал ШІМ, прикладений до верхнього ключу.

Якщо цей сигнал подати на фільтр низьких частот (ФНЧ), то напруга на виході фільтра буде пропорційно коефіцієнту заповнення верхнього ключа.

По ряду причин, в пристрої управління двигуном зазвичай не додають спеціальний фільтр низьких частот. По-перше, тому, що двигун сам діє як ФНЧ. Індуктивність і опір його обмоток створюють R-L фільтр низьких частот. Додатково, інерція ротора і навантаження створюють механічний ФНЧ. Вибираючи частоту ШІМ досить високою, можна домогтися відсутності скільки-небудь значимий пульсацій в швидкості ротора. По-друге, струми, подані на обмотки навіть маленького двигуна, можуть досягати декількох ампер. Проходження такого струму через фільтр, наприклад R-C, привело б до суттєвої втрати потужності в самому фільтрі і до небажаної втрати енергії.

Щоб керувати трифазним двигуном за допомогою синусоїдальних струмів, для кожної фази повинні бути згенеровані незалежні напруги. Драйвер для трифазного двигуна зазвичай складається з трьох півмостів, по одному на кожен вивод двигуна. Кожен напівміст складається з двох ключів.

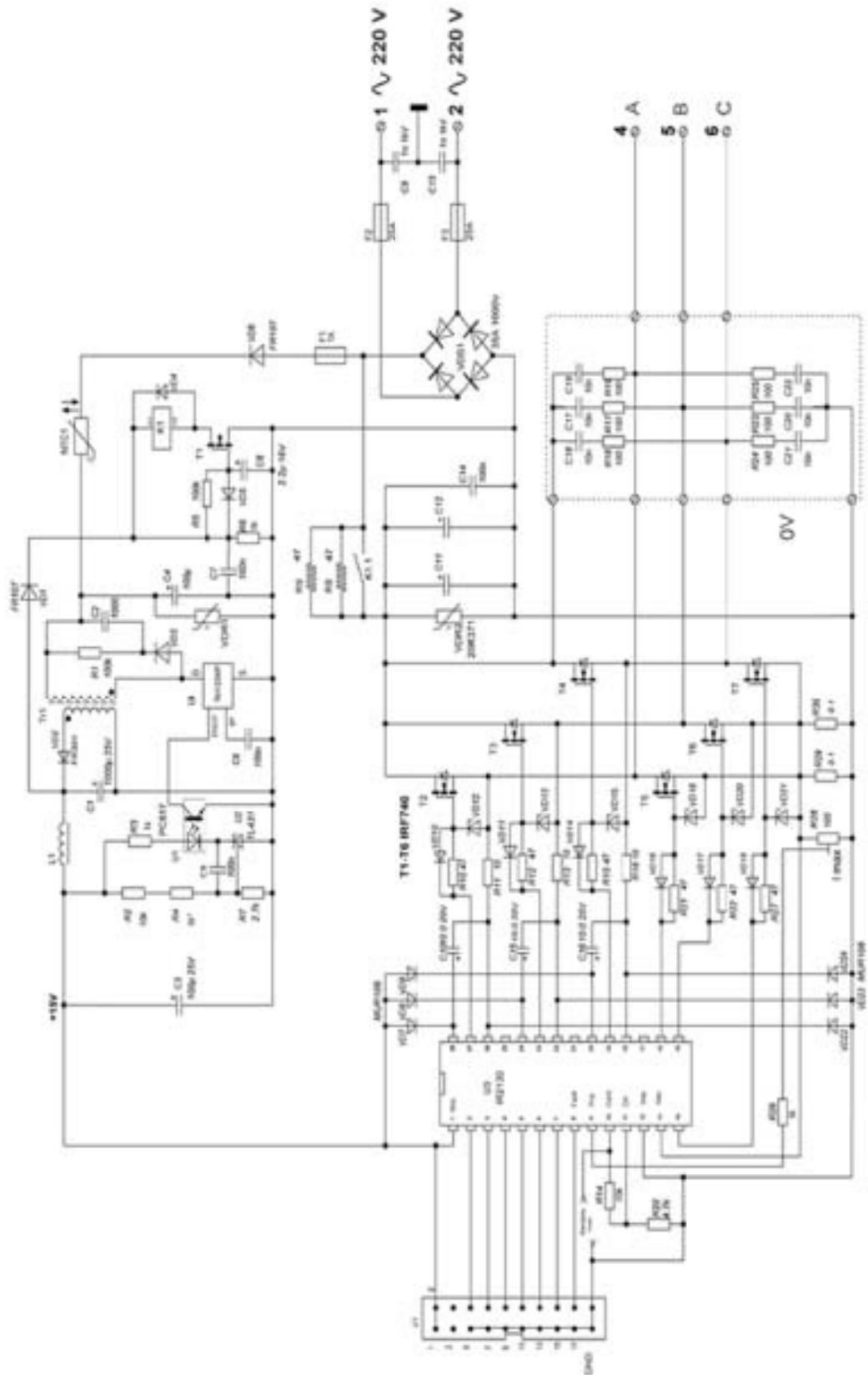


Рисунок 2.3 - Принципова схема інвертора на основі IR2130

Перемикання транзисторів не може бути миттєвим. На верхні і нижні ключі сигнали подаються в інверсії, тобто коли один ключ включається, інший ключ вимикається. Протягом цього переходу, буде короткий момент, коли один ключ закритися ще не повністю, а інший вже почав відкриватися. Виникає замикання між джерелом напруги живлення і землею через транзистори з дуже малим опором, відповідно, струм може бути дуже великим. Ця ситуація відома як наскрізний струм, і її потрібно уникати, так як велика ймовірність виходу драйвера з ладу, якщо не передбачено апаратний захист [4].

Вирішенням цієї проблеми є додавання малого періоду часу (паузи), яка утворює мертву зону, коли обидва ключа вимкнені для кожного перемикання ШІМ.

Принцип сталості відносини напруга/частота найбільш широко поширений в сучасних регульованих асинхронних приводах [4]. Він може використовуватися в приводах, які не вимагають високих динамічних характеристик, а необхідно тільки ефективно варіювати частотою обертання в повному діапазоні. Це дозволяє використовувати синусоїдальну модель асинхронного електродвигуна в сталому режимі, в якій величина магнітного потоку статора пропорційна відношенню амплітуди і частоти напруги обмотки статора. Якщо дане відношення підтримувати на постійному рівні, то сталість буде зберігати і магнітний потік статора і, таким чином, що обертає момент буде залежати тільки від частоти ковзання.

Коли частота статора знижується менше певної порогової частоти, амплітуду напруги необхідно підтримувати на певному рівні для підтримання сталості магнітного потоку ротора. В протилежному випадку, коли частота стає вище номінального значення, амплітуда напруги залишиться на номінальному рівні через насичення ключів інвертора. У цьому випадку потік ротора буде непостійним і крутний момент знижується.

Таким чином, скалярний принцип управління "V/f" полягає в подачі на обмотки електродвигуна 3-фазного синусоїдальної напруги, амплітуда якого

пропорційна частоті, за винятком частот нижче порогового значення і вище номінального. Нахил графіка залежності "V/f" визначається по номінальним значенням напруги живлення і частоти мережі живлення, а порогова частота вибирається по відсотку (5-10%) від номінальної частоти.

Алгоритм керування трифазним асинхронним електродвигуном використаний в даній роботі реалізований в мікроконтролері AT90PWM3 представлений на рис. 2.4.

При організації синусоїдальної ШПМ, табличні значення синуса порівнюють з виходом реверсивного лічильника (використовується як генератор трикутних імпульсів). Коли вихідне значення реверсивного лічильника переступає через дані значення, перемикається відповідний вихід компаратора.

Як результат, в кожному ШПМ-каналі генеруються імпульси, коефіцієнт заповнення яких пропорційний відповідному значенням напруги статора. Оскільки даний реверсивний лічильник з трьома компараторами досить складний для програмної реалізації, то такий пристрій повинен бути присутнім в мікроконтролері як вбудованого апаратного блоку. Це і послужило причиною вибору мікроконтролера AT90PWM3, до складу якого входять три контролера силового каскаду (PSC).

Одним із способів вирішення завдання формування за допомогою інвертора трифазної синусоїдальної системи напруг із зсувом по фазі 120 градусів на обмотках статора є використання таблиці синусів.

В цьому випадку частота поля статора ω_s визначає три дискретних часу інтеграторів, які обчислюють миттєві значення фаз для кожної статорної напруги:

$$\begin{aligned}\theta_0 &= \theta_0[k-1] + \omega_s [k]T_s, \\ \theta_1 &= \theta_1[k-1] + \omega_s [k]T_s, \\ \theta_2 &= \theta_2[k-1] + \omega_s [k]T_s,\end{aligned}\tag{2.1}$$

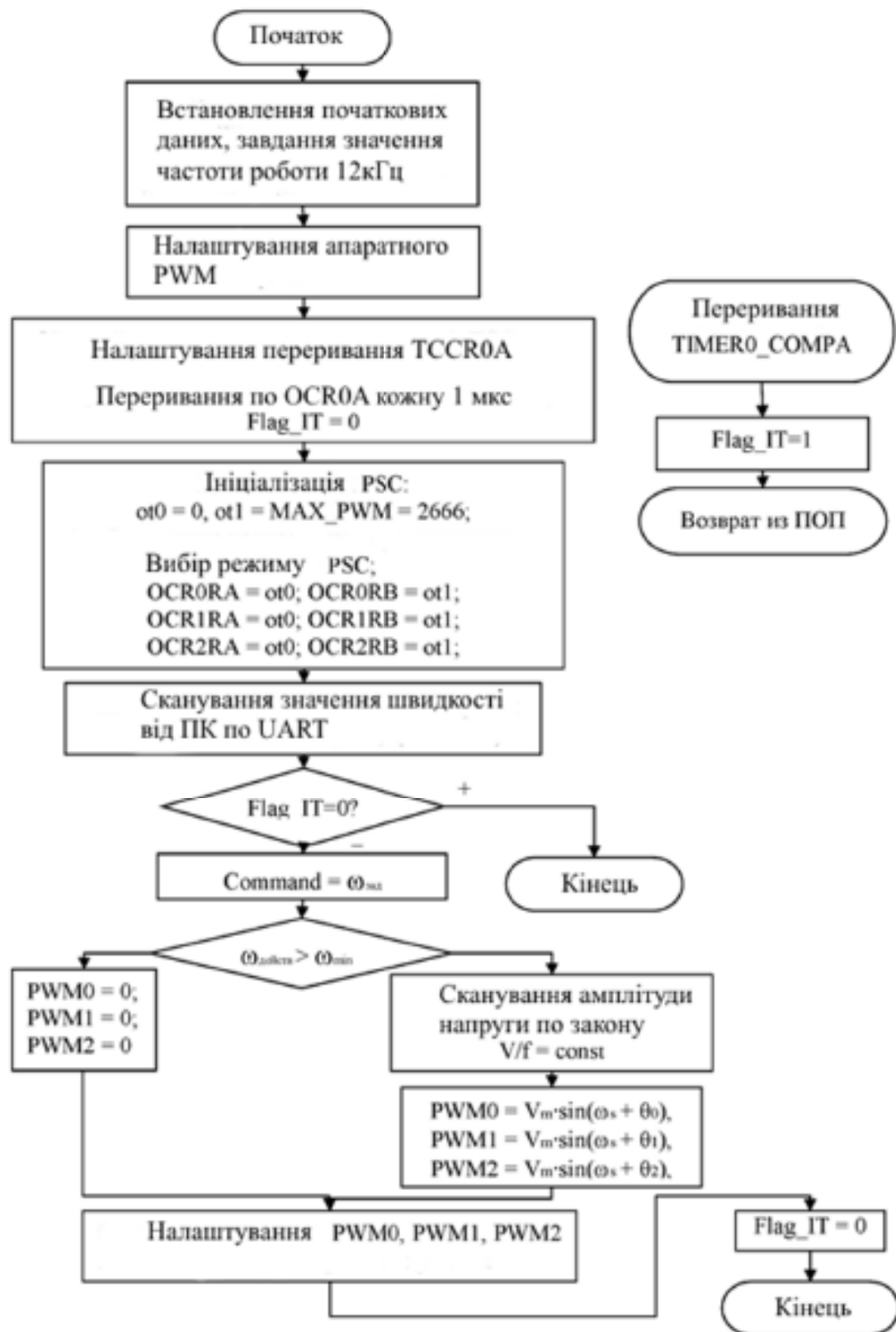


Рисунок 2.4 - Алгоритм керування трифазним асинхронним електродвигуном

де $\theta 0[0] = 0$, $\theta 1[0] = -2\pi/3$, $\theta 2[0] = -4\pi/3$, а T_s - період дискретизації для алгоритму управління.

Якщо одне з цих значень стає більше 2π , то для підтримки галузі значень в діапазоні від 0 до 2π з результуючого значення віднімається 2π . Таблиця синусів використовується для обчислення трьох напруг, які необхідно докласти до статора:

$$\begin{aligned} V_a[k] &= V_{sm}(\omega_s[k]) \cdot \text{sita}(\theta 0[k]), \\ V_b[k] &= V_{sm}(\omega_s[k]) \cdot \text{sita}(\theta 1[k]), \\ V_c[k] &= V_{sm}(\omega_s[k]) \cdot \text{sita}(\theta 2[k]), \end{aligned} \quad (2.2)$$

де $V_{sm}(\omega_s)$ - амплітуда напруги статора, визначена за принципом сталості відносини напруга-частота і $\text{sita}(\theta i[k]) = \sin(\theta)$. Таблиця синусоїди має значення синусоїди в діапазоні от 0 до $\pi/2$.

У прикладі запропонований варіант реалізації автономного інвертора напруги для керування асинхронним електроприводом з реалізацією скалярного закону управління, що підтримує сталість співвідношення напруги і частоти. Для формування напруги живлення організована синусоїдальна широтно-імпульсна модуляція з високою частотою ШІМ 12 кГц на мікроконтролері AT90PWM3.

Особливу увагу в роботі приділено організації захистів: захисту від пікових струмів, гальванічних розв'язок, захистів від наскрізних струмів в інверторі. Наведена методика є основою для розробки і побудови більш складних систем управління асинхронними електроприводами.

Таким чином, побудова системи управління асинхронними двигунами не вимагає великих обчислювальних потужностей, досить і 8-ми бітного мікроконтролера, але в тому випадку, якщо він має спеціалізовані блоки. В інших випадках рекомендується вибирати чіпи з більшою розрядністю і актуальністю на сьогоднішній день.

3 ДОСЛІДЖЕННЯ СИСТЕМ УПРАВЛІННЯ

3.1 Опис моделі двигуна в Simulink

З огляду на, що програмне забезпечення Simulink дозволяє проводити налагодження програм безпосередньо в МК, проведемо моделювання схеми керування асинхронним двигуном, яка представлена на рис. 3.1.

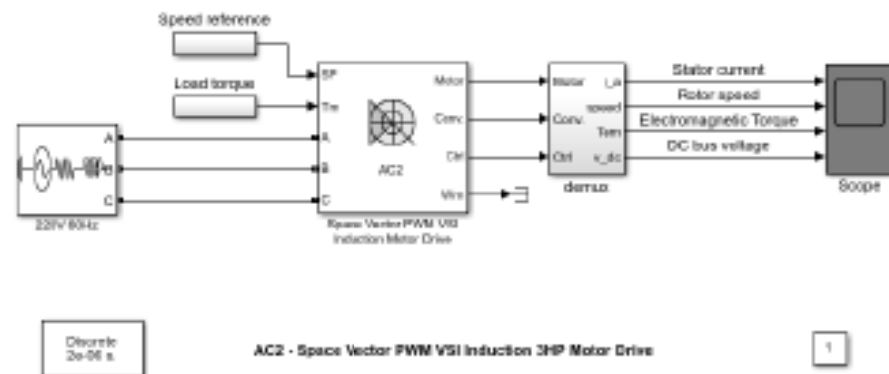


Рисунок 3.1 Схема керування асинхронним двигуном

Схема (див. рис.3.1) складається з блоків Speed reference (завдання швидкості), Load Torque (навантажувальний момент), генератора трифазного напруги, Space Vector PWM VSI Induction Motor Drive (векторне управління з ШІМ асинхронним двигуном), demux (демультиплексор) і Scope (осцилографа).

У блоці "Speed reference" задаються потрібні нам значення швидкості, до яких слід розігнати двигун, а також час початку розгону до цих швидкостей.

У блоці "Load Torque" вказується значення статичного моменту навантаження та час розгону.

У генераторі трифазного напруги ми задаємо значення напруги (з можливістю завдання початкової фази) і його частоту, також задається опір джерела і його індуктивність.

Блоки "demux" і "Scope" служать для зняття характеристик і їх

відображення в зручному нам вигляді. На рис. 3.2 показана схема блоку demux.

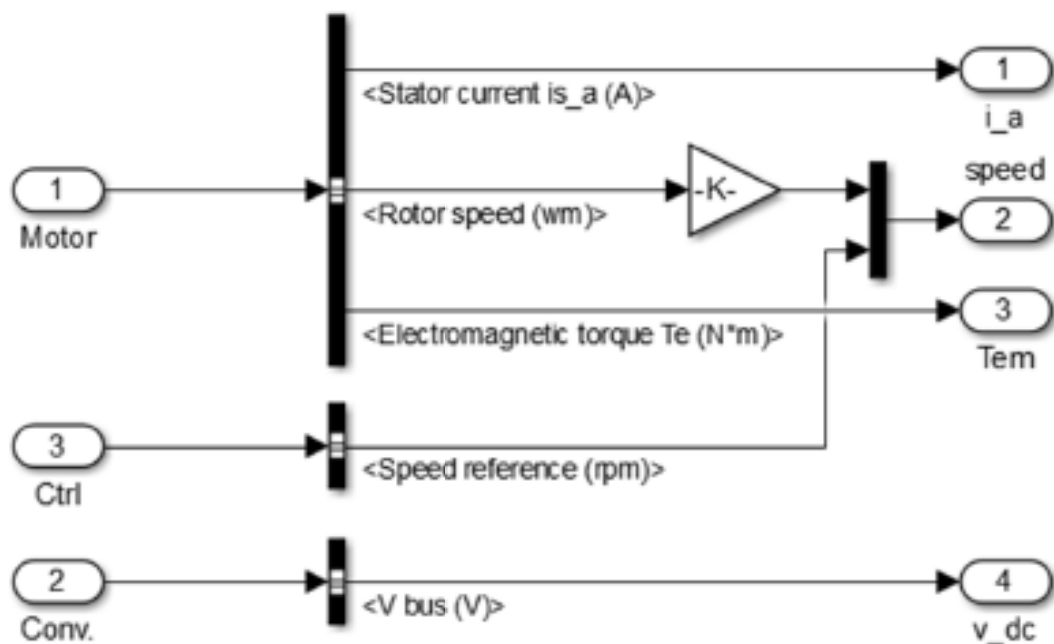


Рисунок 3.2 Схема блоку demux

Як бачимо з рис.3.2, на першу шину надходять сигнали двигуна - струм статора, швидкість обертання ротора і електромагнітний момент. На другу шину надходить сигнал від контролера - про швидкість, яка йде на загальну шину з перетвореної швидкістю з двигуна, і разом вони йдуть на осцилограф. З перетворювача сигнал надходить на третю шину, це сигнал відображає напругу на шині постійного струму.

Про блок Space Vector PWM VSI Induction Motor Drive розповімо докладніше, оскільки він основний і саме там реалізується робота схеми за заданою програмою.

На рис. 3.3 показана схема блоку Space Vector PWM VSI Induction Motor Drive.

Схема включає в себе наступні основні блоки: Speed controller (контролер швидкості), SVM generator (генератор векторної ШІМ), Braking chopper (стабілізатор напруги на шині постійного струму, "гальмівний

переривник"), трифазний інвертор, трифазний випрямляч, асинхронний двигун.

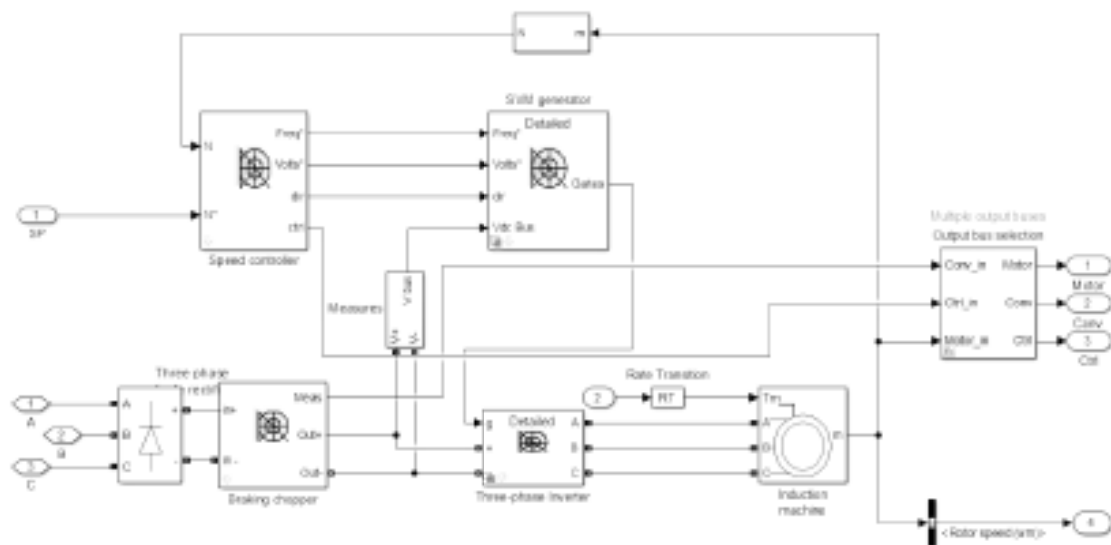


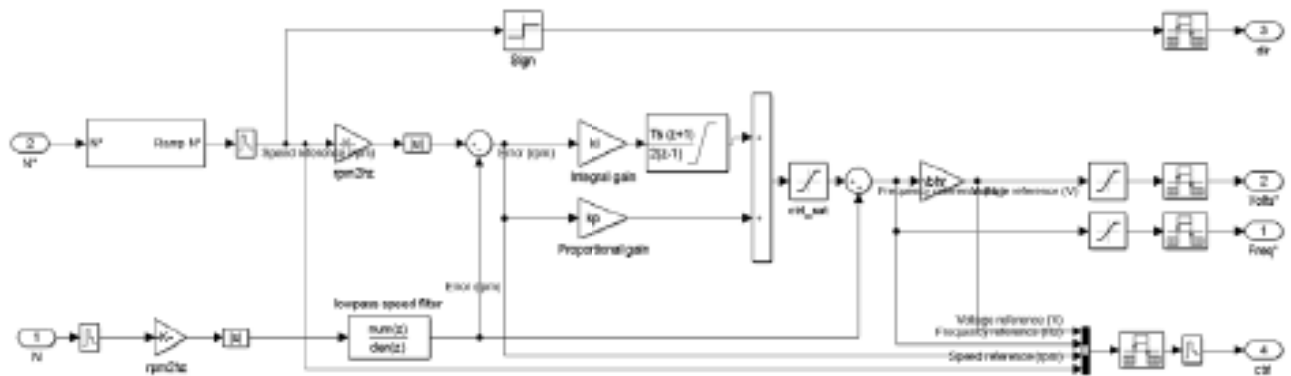
Рисунок 3.3 Схема блоку Space Vector PWM VSI Induction Motor Drive

З генератора трифазного напруги (висновки A, B, C) напруга надходить на трифазний (некерований) випрямляч на діодах, звідки випрямлена напруга йде на стабілізатор напруги на шині постійного струму. З стабілізатора постійна напруга надходить на трифазний інвертор (на IGBT-транзисторах з зворотними діодами), і, що важливо - сигнал про величину цієї напруги через вимірювальний елемент надходить на генератор векторної ШПМ. Генератор векторної ШПМ приймає сигнали про частоту, напрузі на статорі, напрямку обертання від контролера швидкості (той в свою чергу отримує сигнали з виходу асинхронного двигуна і зі Speed reference, де задаються умови). На основі сигналів від контролера швидкості і стабілізатора напруги на шині постійного струму генератор векторної ШПМ задає керуючий імпульс на трифазний інвертор. Уже з інвертора подається регульоване таким чином напругу на асинхронний двигун. Реалізується векторне управління асинхронним двигуном.

Опишемо докладніше основні блоки схеми управління.

Блок «controller» реалізує регулятор ковзання, яким ми можемо регулювати швидкість обертання двигуна.

На рис.3.4 приведена схема блоку.



Рисунке 3.4 - Схема контролера швидкості

На вхід блоку 2 (з позначкою N^*) надходить сигнал з асинхронного двигуна (через елемент, що переводить обороти в хвилину в радіани в секунду, див. Рис. 3.3). Потім сигнал про швидкість обертання перетворюється в сигнал обмеження характеристики швидкості обертання від часу (Ramp N^*). Потім сигнал проходить через блок "Zero order-hold". Отримана інформація йде на вихід контролера швидкості 3 - dir (direction) (через відповідні перетворювачі), який характеризує напрямок обертання двигуна; на загальну шину (що веде до виходу 4 - ctrl (controller)) і на підсилювальний ланцюг, в якому йде перетворення в частоту в герцах.

Після взяття модуля від отриманого сигнал йде на суматор, куди також приходить сигнал від Speed reference (минулий через аналогічні блоки, що і перший, але ще через lowpass speed filter (фільтр низьких частот)).

Сигнали віднімаються, і з виходу суматора отримуємо помилку ("e", error). Цей сигнал - помилка, що характеризує різницю швидкостей заданої і наявної - йде на вже згадану загальну шину, що веде до виходу 4, а також на два підсилювальних ланки - Integral gain (інтегральне) і Proportional gain (пропорційне). Потім обидва сигнали (перший проходить через дискретне інтегрування, оскільки інтегральна складова ПІ-регулятора відповідає за накопичення інформації про помилку) йдуть на новий елемент, що підсумовує.

Що вийшов з суматора сигнал проходить через обмежувач, а потім на

третій суматор, де складається з тих самих сигналом, що надходять зі Speed reference, що йшов на перший суматор, тобто виходить складання обробленої помилки та інформації про заданій швидкості двигуна.

Сигнал з третього суматора йде на загальну шину, на вихід 1 Freq* (Frequency), а також на підсилювальний ланцюг, після якого надходить на вихід 2 Volts.

Таким чином, регулювання швидкості (ковзання) здійснюється за рахунок аналізу різниці двох величин - наявної швидкості обертання двигуна і заданої нами швидкості, отримання помилки і прагнення її мінімізувати.

Контролер швидкості має 4 виходи, які характеризують напрямок обертання (3 dir), напруга (2 Volts), частоту (1 Freq) і йдуть із загальною шини показники контролера - напруга, частоту і швидкість завдання (4 ctrl) .generator.

Цей блок реалізує просторово-векторний модулятор. Важливо правильно встановити співвідношення між часом моделювання кроку і опорної частотою. Схеми блоку показані на рис. 3.5 і 3.6.

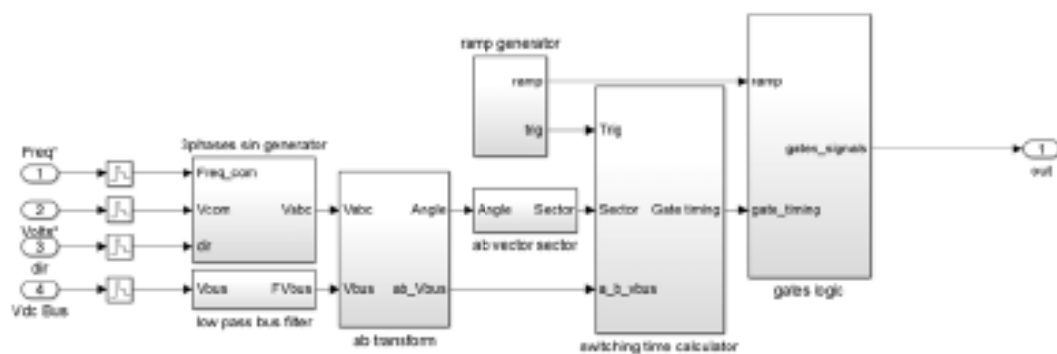


Рисунок 3.5 - Схема блоку SVM generator

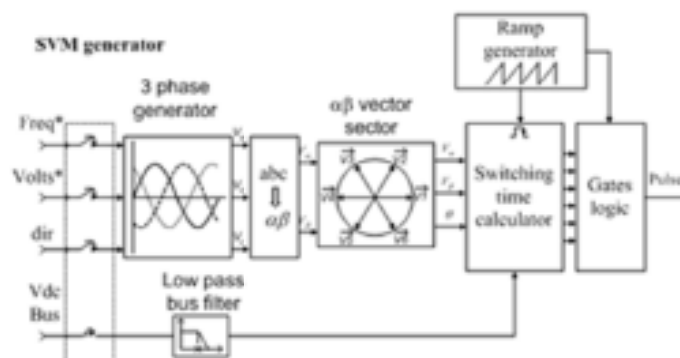


Рисунок 3.6 - Схема блоку SVM generator

Цей генератор включає в себе трифазний генератор синусоїдальної напруги, фільтр низьких частот, трансформатор, блок визначення положення просторового вектора, генератор нахилу (генератор пили), лічильник перемикання часу, логічний ключ.

Блок має 4 входи - на 1,2,3 подаються сигнали від контролера швидкості, на 4 - з шини постійного струму. Всі сигнали проходять через елементи Zero-order hold.

Сигнали з контролера швидкості йдуть на трифазний генератор синусоїдальної напруги, де проходять через перетворювачі ($\sin\varphi$ 0, 240 і 120), після чого надходять на загальну шину, і з трифазного генератора синусоїдальної напруги виходить один сигнал, що характеризує вектора напружень на фазах А, В, С. Сигнал з шини постійного струму проходить через фільтр низьких частот.

Сигнали з генератора синусоїдальної напруги і з фільтра надходять в трансформатор. На виході трансформатора отримуємо кут, що характеризує стан вектора (узагальнюючого вектора) в просторі, і напруга (модуль цього вектора). Сигнал про вугілля узагальнюючого вектора надходить на блок, де визначається сектор, в якому знаходиться наш узагальнюючий вектор напруги (секторів 6: 0-60, 60-120, 120-180, (-180) - (-120), (-120) - (-60), (-60) - 0).

Маємо сектор, в якому знаходиться узагальнюючий вектор, маємо його модуль. Обидва ці сигнали надходять на лічильник перемикання часу, туди ж надходить сигнал спрацювання trig з генератора пили. Сигнали положення вектора і його модуля за допомогою тригера проходять через 3 блоку, що відповідають за фази А, В, С, і на виході отримуємо сигнал часу подачі імпульсу.

На логічний ключ приходять два сигнали - нахил пилкоподібної напруги, заданий в генераторі, і сигнал часу подачі імпульсу. На виході логічного ключа маємо керуючий сигнал - імпульс потрібної форми, що подається в потрібний момент часу, який далі піде на трифазний інвертор і буде відкривати / закривати напівпровідникові ключі - IGBT-транзистори.

Таким чином реалізується векторна ШПМ. На відміну від звичайної ШПМ, тут замість звичайної низьковольтної синусоїди, на який накладається опорна пилоподібна напруга, маємо справу з просторовим вектором (див. рис. 3.7), на підставі інформації про його модулі та секторі задається потрібний час подачі імпульсу на інвертор.

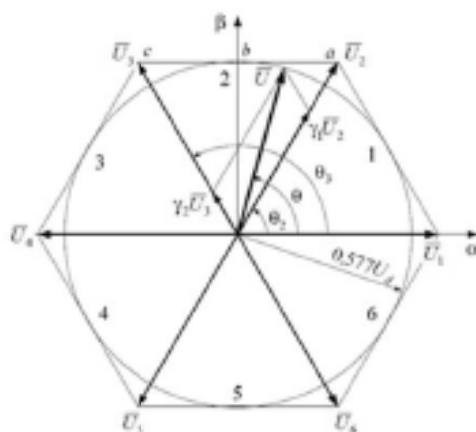


Рисунок 3.7 - Базові просторові вектора

Цей блок реалізує вставку постійного струму між випрямлячем і інвертором. Він містить шину постійного струму, вбудовану в гальмівний переривник. Схема блоку показана на рис. 3.8.

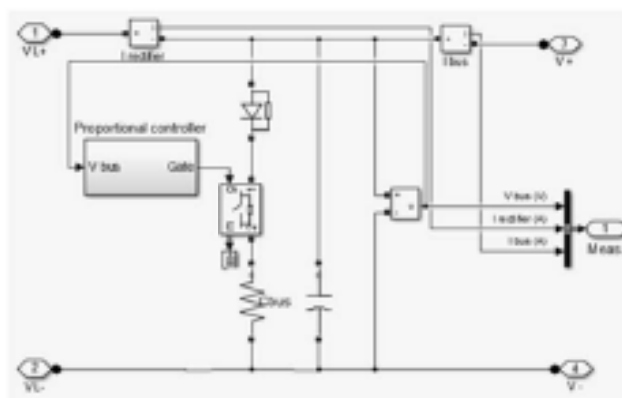


Рисунок 3.8 - Схема блоку Braking chopper

Блоки I rectifier і I bus є ідеальними вимірювачами струму випрямляча і струму на шині відповідно, інформація з них разом з виміряними значенням

напруги на шині надходить на загальну шину, а далі - на висновок 1 Meas., Який потім йде на вимірювальний елемент всієї схеми, де ми може побачити осцилограми струму або напруги на шині постійного струму або струму з випрямляча.

Регулювання здійснюється в паралелі між проводами прямого і зворотного потоку. Тут розташований діод з паралельним резистором, що імітує пряме і зворотне опір діода, R і C елементи, що відображають активний опір і ємність шини і разом складові демпфуючий контур, ідеальний перемикач, керований сигналом з затвора. Основним елементом регулювання є пропорційний контролер (Proportional controller). Про нього розповімо докладніше.

Схема пропорційного контролера зображена на рис. 3.9.

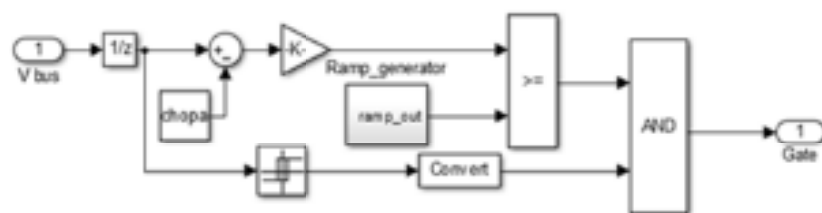


Рисунок 3.9 - Схема пропорційного контролера

На вхід пропорційного контролера надходить вимірювана напруга на шині. Проходячи через блок затримки, воно надходить на суматор, де віднімається з напругою активації (chopa).

У блоці, що задає темп порівняння (Ramp generator, див. рис. 3.10), формується сигнал переривання. З частотою порівняння, яку ми ставимо як постійне значення, формується сигнал переривання, при цьому схема генератора темпу має зворотний зв'язок з компаратором і блоком затримки, йде накопичення інформації та видача її на висновок ramp out.

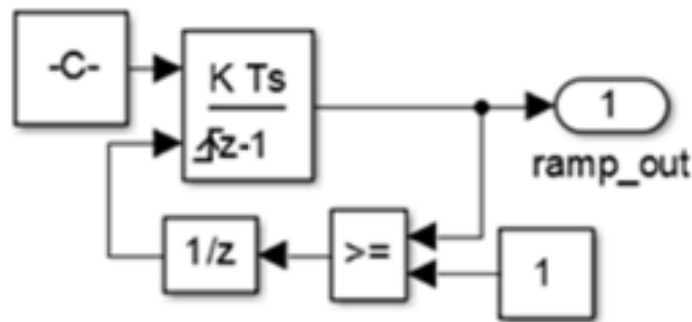


Рисунок 3.10 Схема блоку Ramp generator

Різниця між напругою на шині і напругою активації (поділена на 100 в ланці підсилювача) і сигнал з Ramp generator порівнюються в компараторе. Якщо різниця є "1" надходить на логічний елемент "I".

Також на елемент "I" надходить перетворений сигнал про напругу на шині, який є "1", якщо воно перевищує напруга активації (Chopper activation voltage). Якщо на вході елемента "I" два сигнали "1", то надходить команда на відкриття ідеального перемикача.

Таким чином, якщо напруга на шині виходить за встановлені рамки (тут - 320 В), то за допомогою пропорційного контролера відкривається перемикач, і "зайва" напруга йде в демпфуючий контур.

На рис. 3.11 представлена модель двигуна в програмі Simulink.

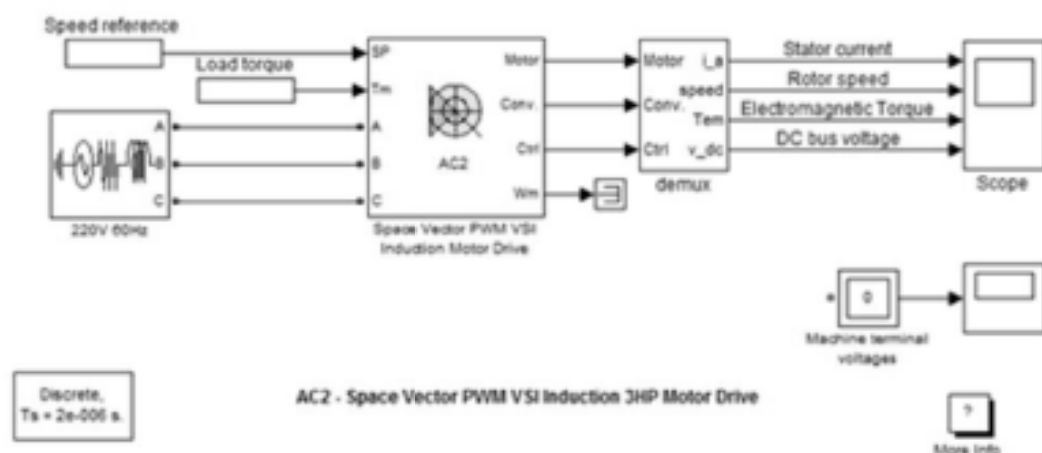


Рисунок 3.11 - Модель двигуна

Наведемо блоки даної моделі з підстановкою своїх параметрів. "Speed reference" - це блок завдання швидкості. Щоб підставити в даному блоці свої параметри, необхідно подвійним натисканням лівої кнопки миші відкрити його, потім у вікні натискаємо на блок "Timer" і в новому вікні в рядку "Time" підставимо 0, а в "Amplitude" - 1440 ($n_n = 1440$ об / хв). І натискаємо на "OK".



Рисунок 3.12 - Зміна параметрів в блоці Speed reference

"Load torque" - блок завдання моментів. Щоб підставити в даному блоці свої параметри, необхідно подвійним натисканням лівої кнопки миші відкрити його, потім у вікні натискаємо на блок "Timer" і в новому вікні в рядку "Time" підставимо 0, а в "Amplitude" - 14.9 ($MCT = 14.9$ Н/м). І натискаємо на "OK".

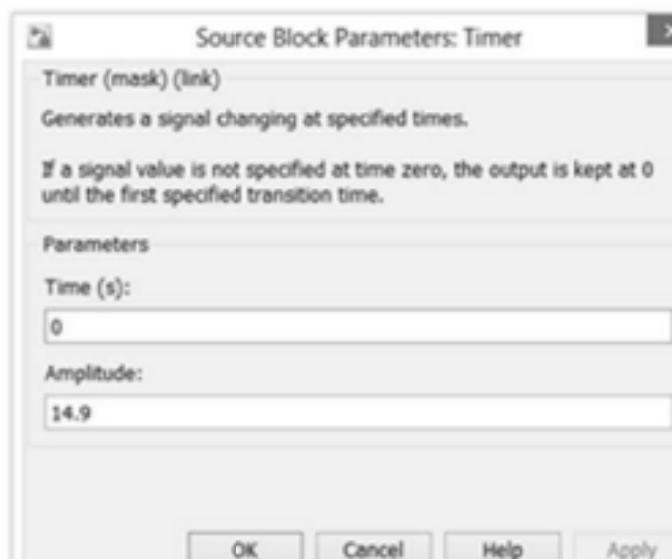


Рисунок 3.13 - Зміна параметрів в блоці Load torque

Встановлюємо в блоці параметрів частоту 50 Гц, та натискаємо на "ОК" (рис.3.14).

Посередині знаходиться система управління. Мінємо значення в підпункті "Nominal values" - номінальні значення: "Power" - потужність на $S = P_n / \cos\phi = 6627$ Вт, "Frequency" - частоту на $f = 50$ Гц. Мінємо значення в підпункті "Equivalent circuit values" - значення еквівалентної схеми: "Resistance Stator" - опір статора $r_1 = 1.094$ Ом, "Resistance Rotor" - опір ротора $r'_2 = 0.974$ Ом, "Leakage inductance Stator" - індуктивність розсіювання статора $L_1 = x_{1\sigma} / \omega_1 = 0.005$ Гн, "Leakage inductance Rotor" - індуктивність розсіювання ротора $L_2 = x'_{2\sigma} / \omega_1 = 0.005$ Гн, "Mutual inductance" - взаємна індуктивність $L = x_m / \omega_1 = 0.124$ Гн. "Inertia" - момент інерції $J = 0.287$ Н/м². "Pole pairs" - число пар полюсів одно 2.

У вкладці "Controller" мінємо значення "Speed ramps acceleration" ставимо значення рівне $pn / tp = 720$; "Speed ramps deceleration" виставляємо 0. "PI regulator" спочатку виставляємо 0, а потім починаємо повільно збільшувати. "Frequency": мінімальне значення виставляємо 1 і повільно піднімаємо, а максимальне - 150 Гц (залишається постійним). "Voltage": мінімальне - 5 В (також піднімаємо), максимум - 180 В. "VOLT / Hertz ratio" виставляємо близько 5 і повільно піднімаємо (рис. 3.15).

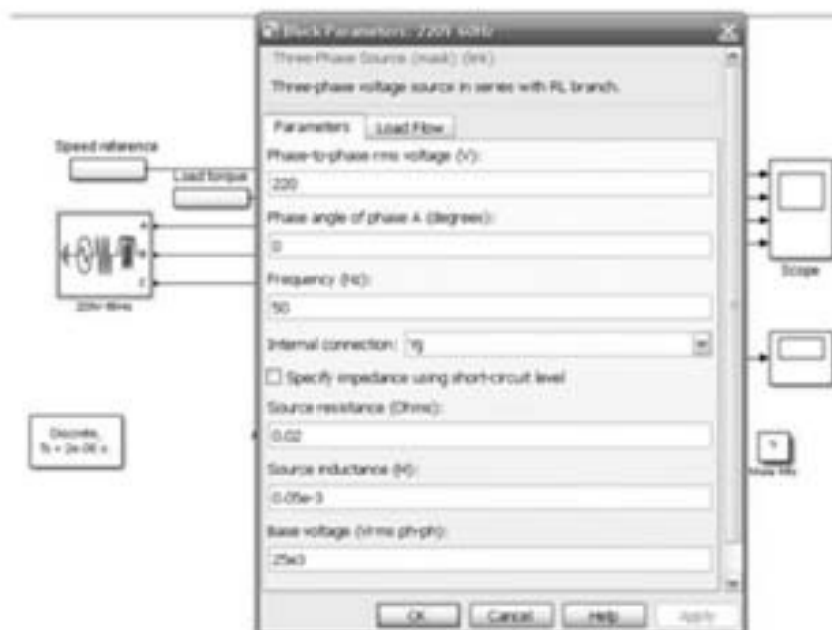


Рисунок 3.14 - Зміна частоти в блоці параметрів

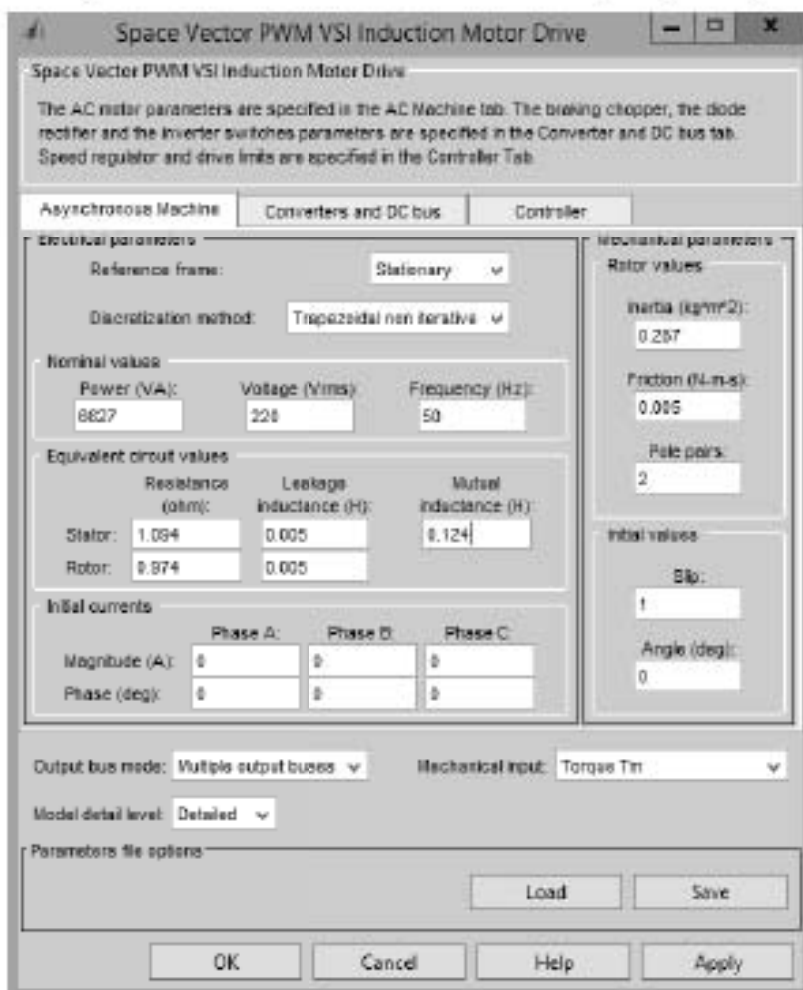


Рисунок 3.15 - Зміна параметрів в системі управління

Для отримання правильних осцилограм виставимо параметри такими як показано на рис. 3.16.

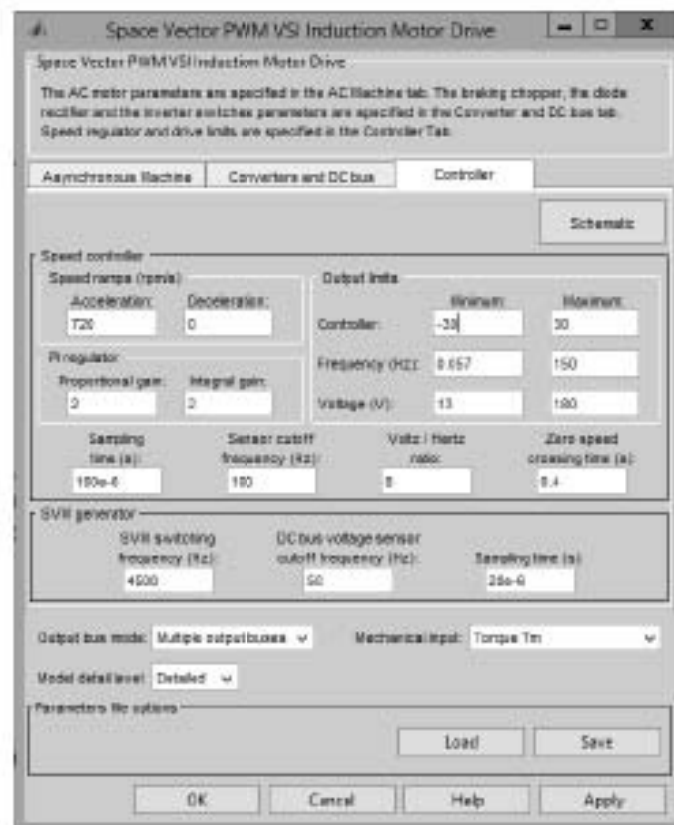
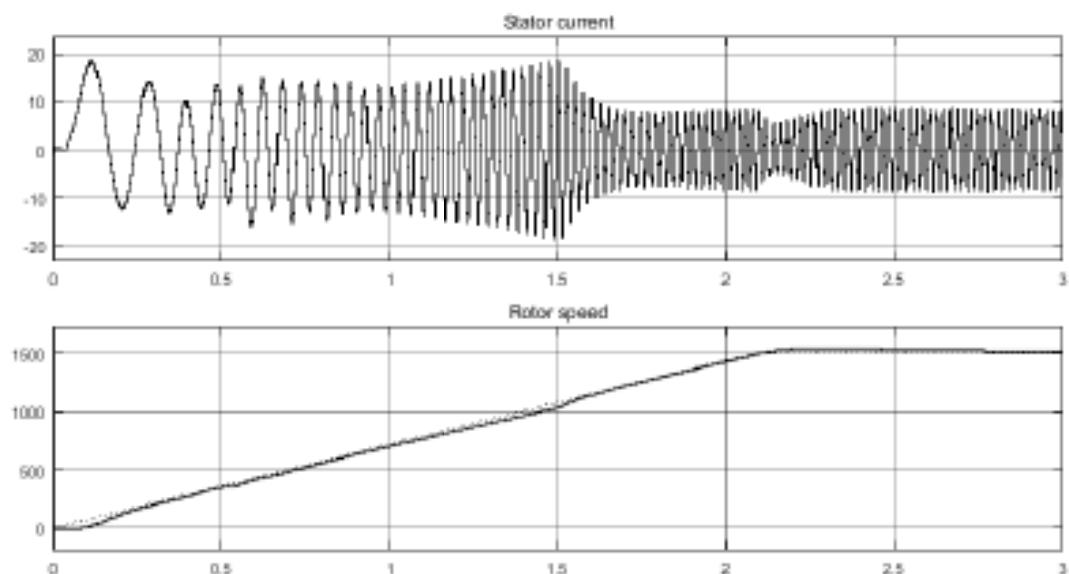
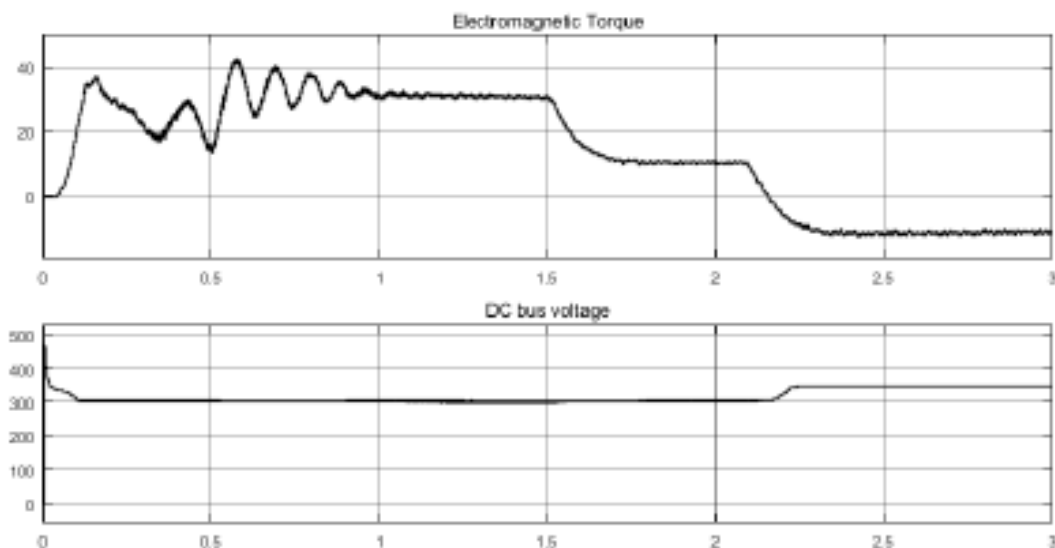


Рисунок 3.16 - Зміна параметрів у вкладці "Controller"

Утворені в такому випадку осцилограми показані на рис. 3.17, а, б. Щоб подивитися їх, потрібно натиснути на "Scope", що знаходиться на моделі двигуна, двічі клацнувши.



a)



б)

Рисунок 3.17 — Результати моделювання

3.2 Критерії вибору мікроконтролера

В останні роки при розробці систем управління об'єктами різного типу та рівня складності все більше уваги приділяється мікроконтролерній техніці. Це пов'язано з її бурхливим розвитком і широким асортиментом пропонованої продукції. Використання мікроконтролерів дозволяє конструювати пристрої, що володіють такими якостями, як невеликі габарити, відносна дешевизна, простота і надійність, сумісність з персональним комп'ютером через стандартні інтерфейси.

При розробці пристрою виникає необхідність у виборі мікроконтролера, що задовольняє вимогам по продуктивності, надійності, умов застосування і т.інш.

Вибір мікроконтролера (МК) є одним з найбільш важливих рішень, від яких залежить успіх або провал усього проекту. При виборі мікроконтролера існують численні критерії, більшість з яких представлені в цьому розділі.

Основна мета - вибрати мікроконтролер з мінімальною ціною (щоб знизити загальну вартість системи), але в той же час задовольняє системної специфікації, тобто вимогам по продуктивності, надійності, умов

застосування і т.інш. Загальна вартість системи включає все: інженерне дослідження і розробку, виробництво (комплектуючі і праця), гарантійний ремонт, оновлення, обслуговування, сумісність, простоту в обігу і т.інш.

Другий крок - пошук мікроконтролерів, які задовольняють цим вимогам. Він зазвичай включає підбір літератури, технічних описів та технічних комерційних журналів, а також демонстраційні консультації.

Остання стадія вибору складається з кількох етапів, мета яких - звзунти список прийнятних мікроконтролерів до одного. Ці етапи включають в себе аналіз ціни, доступності, засобів розробки, підтримки виробника, стабільності та наявності інших виробників.

Проведення системного аналізу проекту дозволяє визначити вимоги до мікроконтролера:

- Розрядність обчислювального ядра;
- Набір вбудованих периферійних пристроїв (таймери, АЦП і т.п.);
- Наявність бітових операцій;
- Апаратна організація обробки даних (структура машинного циклу, співвідношення тактів ГТВ і машинних циклів);
- Можливість робота по перериваннях, по зовнішнім сигналам готовності або по командах людини;
- Кількість керованих портів введення / виводу, характер передачі - байтова або бітова, програмна настройка напрямку передачі;
- Тип пристроїв введення / виводу, якими повинен управляти обраний МК в проектованій системі (термінали, вимикачі, реле, клавіші, датчики, цифрові пристрої візуальної індикації, аналого-цифрові та цифро-аналогові перетворювачі, модулятори і т.д.);
- Підтримувані способи завантаження програм в мікроконтролер, можливість внутрішньосистемного програмування (ISP), використання при цьому стандартизованих інтерфейсів (SPI, I2C);
- Кількість і тип напруг живлення;
- Відмовостійкість джерела живлення;

- Масогабаритні і естетичні обмеження;
- Умови навколишнього середовища, необхідні для експлуатації.

Вибір прикладного мови програмування (наприклад, С або Паскаль замість асемблера) може сильно вплинути на продуктивність системи, яка потім може диктувати вибір 8-, 16 - або 32 -розрядної архітектури [8, 9].

Тактова частота або, більш точно, швидкість шини визначає, скільки обчислень може бути виконано за одиницю часу. Деякі мікроконтролери мають вузький діапазон можливої тактової частоти, в той час як інші можуть працювати аж до нульової частоти. Іноді вибирається спеціальна тактова частота, щоб згенерувати іншу тактову частоту, необхідну в системі, наприклад, для завдання швидкостей послідовної передачі (згадати 11059,2 кГц).

В основному, обчислювальна потужність, споживана потужність і вартість системи збільшуються з підвищенням тактової частоти. Ціна системи при підвищенні частоти збільшується через вартість не тільки мікроконтролера, але також і всіх потрібних додаткових мікросхем, таких як ROM, RAM, PLD та контролери шини.

При виборі МК важливо також взяти до уваги технологію, з використанням якої виготовлено процесор МК: N-канальний метал-оксид-напівпровідник (NMOS) в порівнянні з комплементарних MOS високого ступеня інтеграції (HCMOS). На відміну від ранніх NMOS - процесорів, в HCMOS сигнали змінюються від 0 до значення напруги харчування. Так як ця обставина може значно впливати на рівень перешкод в схемі, зазвичай віддається перевага процесорам HCMOS. Крім того, HCMOS споживає меншу потужність і, таким чином, менше нагріваються. Геометричні розміри HCMOS менше, що дозволяє мати більш щільні схеми і, таким чином, працювати при більш високих швидкостях. Більш щільний дизайн також зменшує вартість, так як на кремнієвій пластині того ж розміру можна зробити більшу кількість чіпів. З цих причин більшість мікроконтролерів сьогодні виробляються з використанням HCMOS – технології [8, 9].

Щоб досягти більш високого рівня інтеграції та надійності при більш низькій ціні, всі мікроконтролери мають вбудовані додаткові пристрої. Ці пристрої під управлінням мікропроцесорного ядра мікроконтролера виконують певні функції. Вбудовані пристрої підвищують надійність, тому що вони не вимагають ніяких зовнішніх електричних ланцюгів. Вони попередньо тестуються виробником і звільняють місце на платі, так як всі електричні з'єднувальні ланцюга виконані на кристалі в мікроконтролері. Деякими з найбільш популярних внутрішніх пристроїв є пристрої пам'яті, таймери, системний годинник / генератор і порти введення - виведення (I / O). Пристрої пам'яті включають оперативну пам'ять (RAM), постійні запам'ятовуючі пристрої (ROM), перепрограммируемую ROM (EPROM), електрично перепрограмує ROM (EEPROM) і електрично стирається пам'ять (EEM). Термін EEM, насправді, відноситься до інженерно розвивається версії мікроконтролера, де EEPROM замінює ROM, щоб знизити час розробки. Під таймерами розуміють як годинник реального часу, так і пристрої періодичного переривання. Слід брати до уваги діапазон дозволу таймера, так само як і інші підфункції, такі як порівняння стану таймера і / або вхідних ліній вимірювання сигналу.

До пристроїв введення-виведення відносять послідовні порти зв'язку, паралельні порти (I / O лінії), аналого-цифрові перетворювачі (A / D), цифро-аналогові перетворювачі (D / A), драйвери рідкокристалічного екрана (LCD) і драйвери вакуумного флуоресцентного екрана (VFD). Іншими, рідше використовуються, вбудованими ресурсами є внутрішня / зовнішня шина, таймер стеження за нормальним функціонуванням системи (COP), сторожова схема, система виявлення відмов тактового генератора, що обирається, конфігурація пам'яті та системний інтеграційний модуль (SIM). SIM зазвичай замінює зовнішню логіку, необхідну для взаємодії із зовнішніми пристроями через обрані контакти мікросхеми.

У більшість мікроконтролерів з внутрішніми ресурсами включається блок конфігураційних регістрів для управління цими ресурсами. Хоча

конфігураційні регістри можуть спочатку налякати своєю складністю, вони вкрай цінні завдяки гнучкості при низькій вартості, так що одному мікроконтролеру можна знайти різні застосування.

На ринку величезна кількість виробників і архітектури. Але вибір насправді зовсім не великий: відразу відсікаємо все 8-ми і 16-ти бітні архітектури, крім PIC і AVR, так іноді виробники пропонують налагоджувальні плати і контролери по дуже привабливою ціною, але не радимо їх брати тому, що це малопоширені архітектури і на них менше прикладів плюс пересідати на інші контролери буде складніше [8, 9].

З тієї ж самої причини відсікаємо все 32-х розрядні архітектури крім ARM плюс з ними ще починаються проблеми з прикладами, і вони поступово відходять на задній план.

ARM мікроконтролери діляться на ARM7, ARM9, Cortex M0, 3, 4.

Сьомі і дев'яті поступово заміщає Cortex і незабаром їх теж не буде.

Разом маємо:

AVR

PIC

ARM Cortex

Виробники представлені у нас: NXP, ST, Freescale, TI, Luminary Micro, Atmel і багато інших але поменше поширених.

В процесі вибору з такої великої кількості виробників, треба вибирати не контролер, а плату відладки, бібліотеки, середовище розробки та спільнота.

Для NXP є альтернатива від Olimex www.chipdip.ru/product/lpc-p1343.aspx

Є й мінуси: коли захочеться розширити їх можливості доведеться шукати нову.

Підведемо підсумки:

1 купити Arduino Uno с AVR за 100грн на платі практично нічого немає, зате в продажу безліч плат розширення і величезне співтовариство

2 купити STM32L-DISCOVERY с M3 за 16.22дол с сенсорними

кнопками, USB і маленьким LCD-дисплеєм і дебагером на борту

3 купити за 220 грн LPCEXPRESSO с M3 з просто виведенням контактами і дебагером на борту

4 купити KWIKSTICK з M4 за 30дол + доставку з великим сегментним LCD, USB, входом під навушники, динаміком, сенсорними кнопками, літєвої батарейкою, мікрофоном, ІК портом, слотом під SD-карту + можливість розширення функціоналу без пайки і великих вкладень. Великий набір бібліотек, прикладів і хороша IDE.

В результаті оптимальним вибором буде STM32L-DISCOVERY [9].

Наявність вбудованого програматора-відладчика ST-LINK дозволяє почати розробку власних програм без додаткових витрат. Сигнали вбудованого ST-LINK виведені на зовнішній роз'єм, що дозволяє в подальшому використовувати STM32L-Discovery в якості програматора-відладчика для своїх власних розробок. На офіційному сайті STMicroelectronics ви можете знайти всю необхідну інформацію по даному продукту - керівництва, приклади програмного забезпечення, документацію.

Основні характеристики STM32L-Discovery:

- Мікроконтролер STM32L152RBT6 - 32МГц.
- Ядро Cortex-M3, 128 KB Flash, 16 KB RAM, 4 KB EEPROM
- Інтерфейси USB 2.0 FS, 3xUSART, 2xSPI, 2xI2C, 8 таймерів
- 24-канальний 12-біт АЦП 1мкс, компаратори, 2x12-біт ЦАП
- Повноцінні годинник реального часу
- Вбудований контролер LCD 8x40
- Вбудований програматор ST-Link з можливістю програмувати інші мікроконтролери STM32.
- LCD дисплей 24x8 в форм-факторі DIP28
- Можливість вимірювання споживаного струму

Чотири світлодіода:

- LD1 (червоний / зелений) для сигналізації зв'язків із використанням USB

- LD2 (червоний) для живлення 3.3В
 - Два призначені для користувача діода LD3 (зелений) і LD4 (синій)
- Дві кнопки (user і reset)

Сенсорна клавіатура (чотири сенсорних кнопки або один слайдер) [9]

Всі вільні висновки STM32L152RBT6 виведені на контактні площадки (див. рис. 3.18).

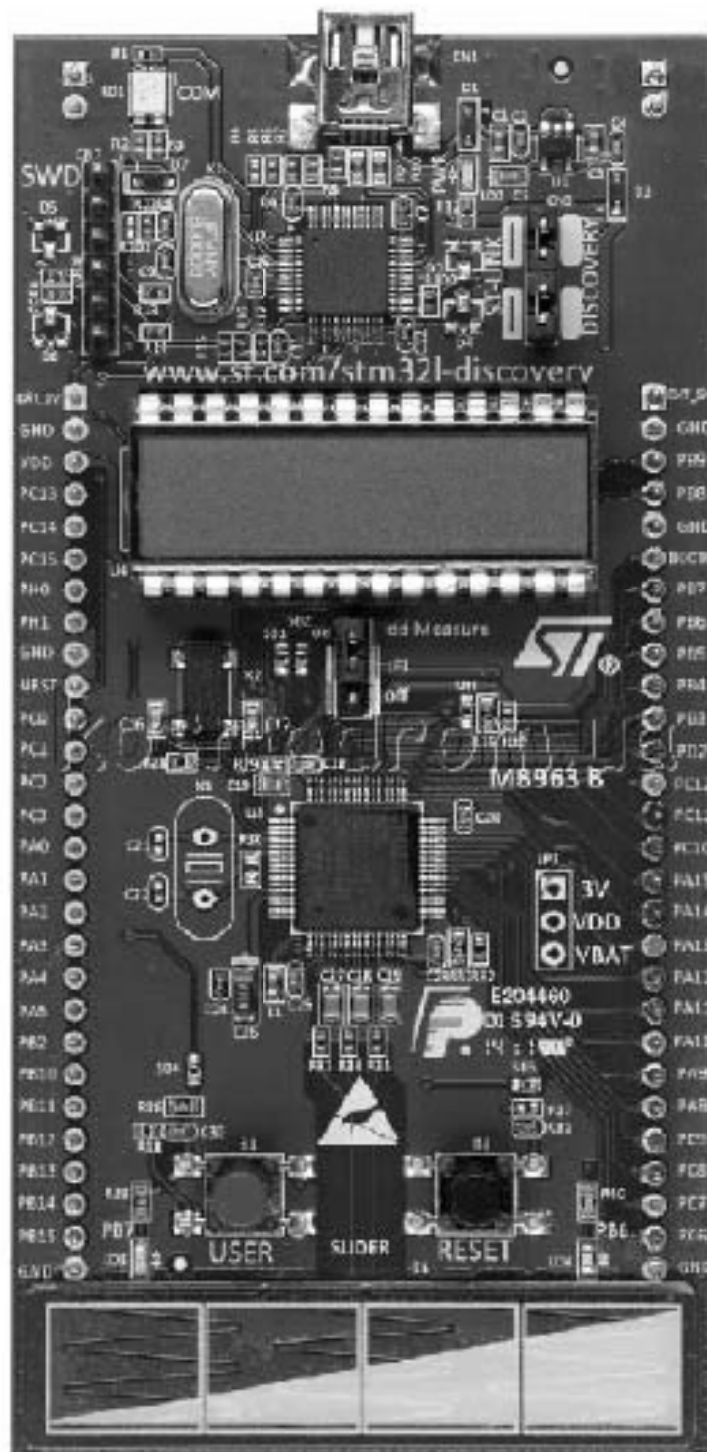
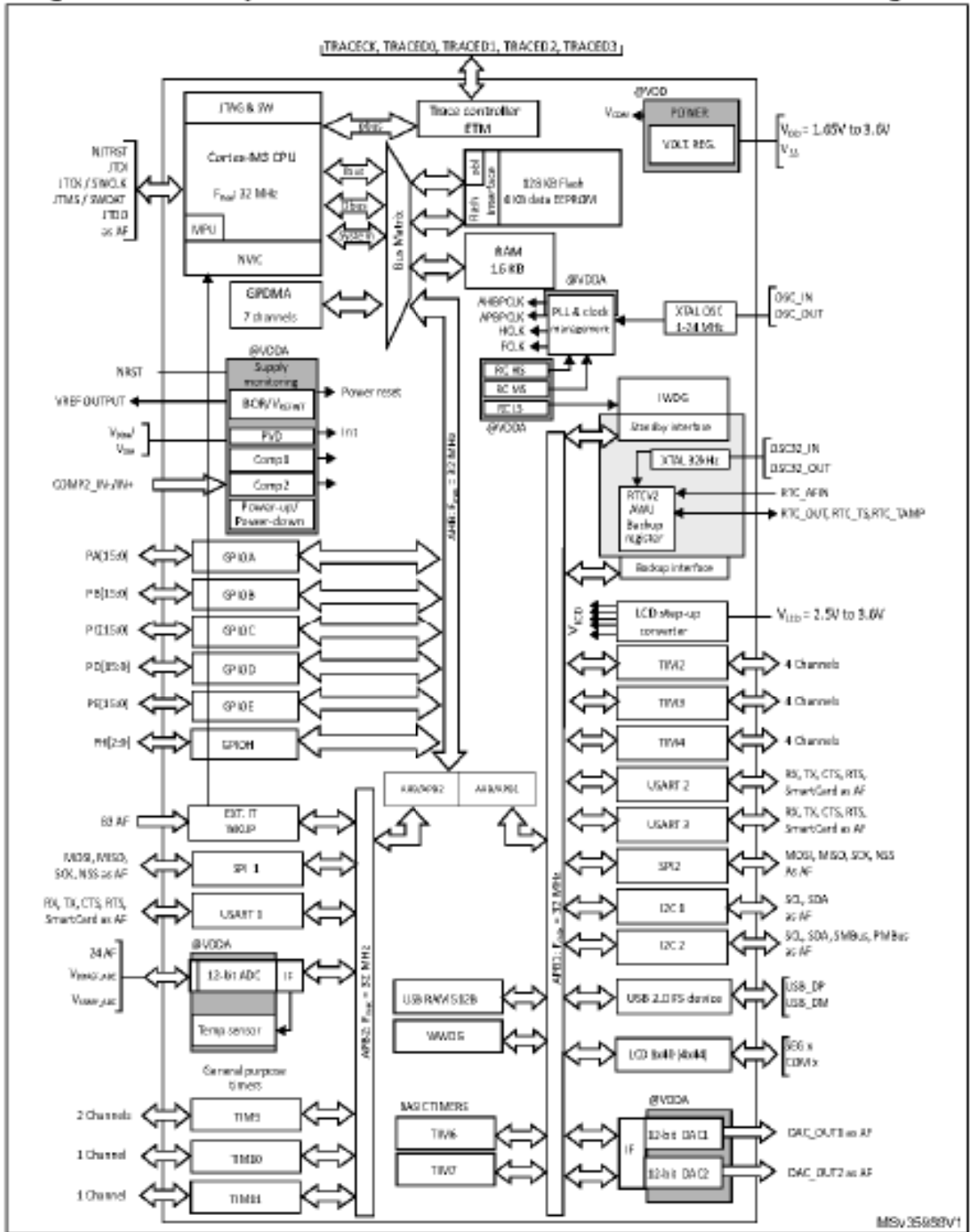


Рисунок 3.18 - STM32L-Discovery

Структура мікроконтролера показана на рис. 3.19.

Figure 1. Ultra-low-power STM32L151x6/8/B and STM32L152x6/8/B block diagram



1. AF = alternate function on I/O port pin.

Рисунок 3.19 – Структура мікроконтролера

3.3 Моделювання алгоритмів на апаратній платформі STM32

Моделювання може зацікавити при створенні математичного алгоритму. А Matlab/Simulink дозволяють моделювати STM32 та виконувати алгоритм мікросхеми. Алгоритм може використовувати фактичну периферію STM32, закінчуючи повною обробкою, виконаною на 100% в MCU, без письмових рядків коду та повним підходом, керованим моделлю, менше схильних до помилок.

Програмні продукти, які треба використовувати:

- від Mathworks: MATLAB®, Simulink and Embedded Coder (2018B)
- від STMicroelectronics: STM32CubeMX ® (5.6.0) та STM32-

MAT/TARGET toolkit to develop STM32 applications.

Також потрібно використовувати один з наступних інструментаріїв:

- EWARM від IAR M (8.32.3)
- MDK-ARM від Keil (5.29.0)
- STM32CubeIDE від STMicroelectronics

Апаратні ресурси:

- Будь-яка електронна плата на базі STM32 із підключенням SWD /

JTAG.

- STLinkV2 / V3 або незалежний зонд для налагодження
- Віртуальний порт COM реалізований між STM32 та комп'ютером.

Коротка характеристика продуктів наведена в таблиці 3.1.

Таблиця 3.1 – Характеристика програмних продуктів.

Matlab	Мова високого рівня для складних обчислень
	Графічне середовище розробки. Повне середовище моделювання та реалізації вбудованих систем.
Embedded Coder	Генерація коду C для вбудованих систем. Вбудований системний ін-

	терфейс
STM32Cube Embedded Software	Колекція вбудованих програмних компонентів, дуже портативних з одного STM32 на інший
STM32CubeMX	Програмний інструмент конфігурації на ПК, здатний генерувати код ініціалізації C на основі вибору користувача
Набір інструментів	Для компіляції та зв'язування коду C, згенерованого вбудованим кодером, вбудованим програмним забезпеченням STM32CubeMX та STM32Cube, потрібен набір інструментів одного з партнерів фірми, яка випускає мікроконтролер.

Таблиця 3.2 - Використання сценаріїв та інструментів

Кроки	ПЗ, яке використовується
Крок 1: Чисте моделювання • Все, що зроблено на ПК	MATLAB/ Simulink
Крок 2: Процесор у циклі (PIL) • Алгоритм повністю виконаний на MCU STM32 • Дані (вхідні чи вихідні), якими обмінюються MATLAB/ Simulink та STM32 MCU через UART	MATLAB/Simulink STM32Cube Embedded Software Embedded Coder STM32 CubeMX набір інструментів (Toolchain)
Крок 3: Все на STM32 • Дані (вхідні чи вихідні), зібрані з	MATLAB/Simulink STM32Cube Embedded Software

периферійних пристроїв STM32 (АЦП, таймери, ...) та алгоритм, повністю виконаний на STM32	Embedded Coder STM32 CubeMX набір інструментів (Toolchain)
Крок 4: Зовнішній режим • Така ж поведінка, як і крок 3. Моніторинг даних від Simulink за допомогою UART. Неможливо змінити конфігурацію STM32 під час зовнішнього режиму.	

На 1 кроці готуєте свою модель, імітуєте та тестуєте її на ПК. На данному етапі не потрібно набору інструментів STM32-MAT/TARGET. MATLAB® / Simulink використовується в загальному режимі.

На 2-му кроці використовується структуру моделювання PIL (processor-in-the-loop) для запуску алгоритму MATLAB® на пристрої STM32. Щоб побачити, чи обчислювальні результати STM32 чисельно еквівалентні результатам моделювання на основі ПК.

Для безпосереднього вимірювання часу на виконання кроків моделі Simulink моделювання PIL використовує послідовний порт для передачі даних з Simulink на STM32 і отримує оброблені дані Simulink назад від STM 32.

Моделювання PIL не працює в режимі «реального часу». Simulink є «ведучим», що асинхронно надсилає дані на STM32 через послідовний порт. Пристрій STM32 очікує на дані від Simulink, обробляє дані (у режимі реального часу) і надсилає результат назад до Simulink через послідовний порт. Моделювання PIL не обробляє реальні дані з периферійних пристроїв STM32 [10].

Периферійні пристрої STM32 (АЦП тощо ...) не використовуються. Тільки периферійний пристрій STM32 USART використовується для зв'язку з Simulink.

Огляд PИL показано на рис. 3.20.

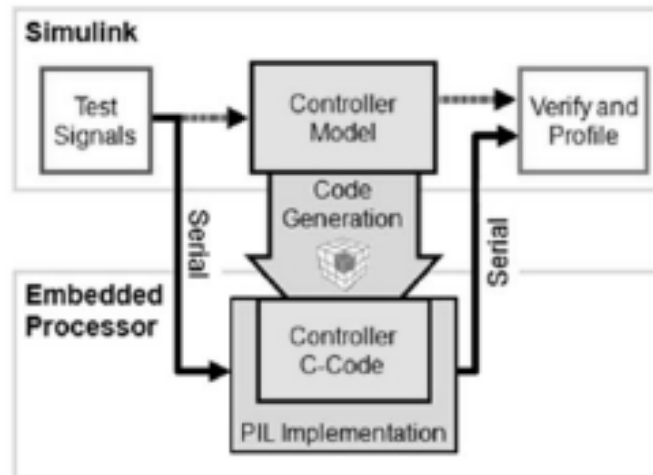


Рисунок 3.20 - Огляд PИL

На даному кроці встановлюється час тривалості моделювання та запускається моделювання. Приклад показано на рис. 3.21.

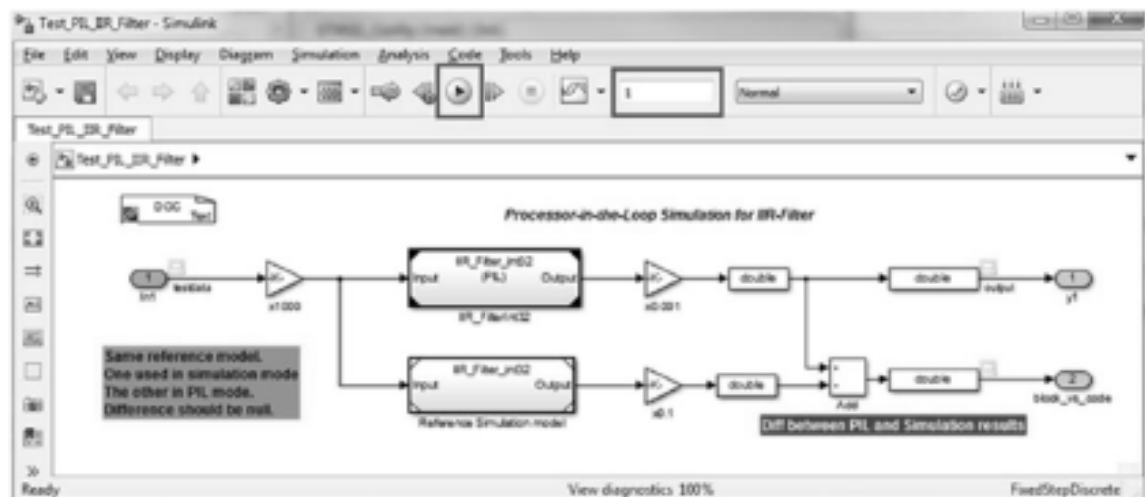


Рисунок 3.21 - Приклад: імітація 1 секунди (дано 1000 значень з даних тестів, по одному на кожні 1 мс)

Порядок генерації коду:

- Модель, на яку посилається PИL, потрапляє в ціль STM32, тоді як імітаційна модель працює на ПК;
- Автоматичне перетворення моделі PИL у файли .c/.h;
- Автоматичний виклик STM32CubeMX для створення проекту;

- Створення та завантаження проекту вручну до цілі STM32 із вибраної IDE.

У вигляді ілюстрації, порядок генерації коду представлено на рис. 3.22.

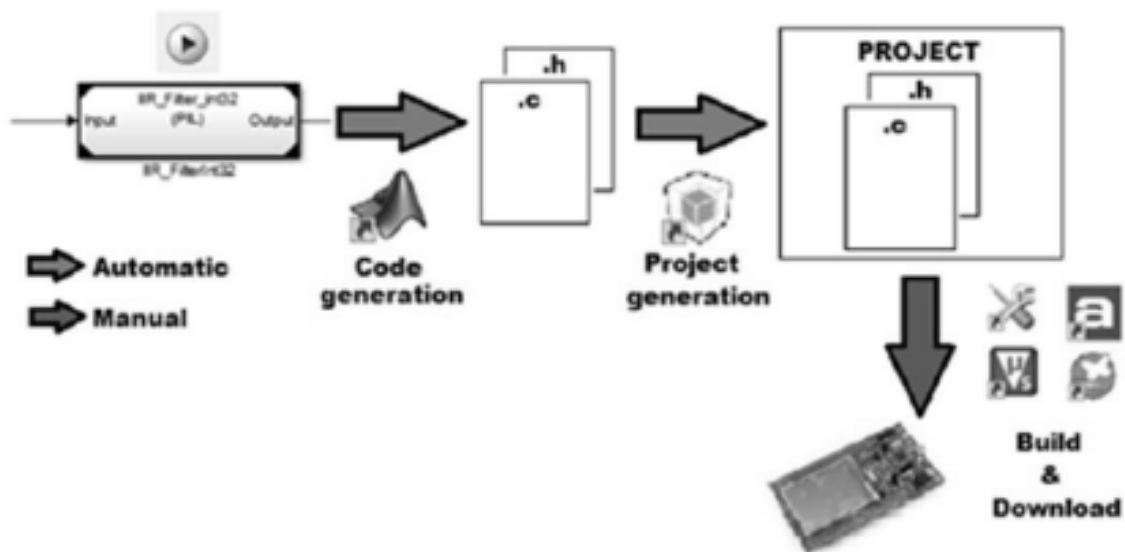


Рисунок 3.22 – Порядок генерації коду.

На 3-му кроці всі процедури треба виконувати на апаратній платформі STM32. Треба обробляти дані через реальну периферію, шляхом налаштування периферійних пристроїв через міст за допомогою інструмента STM32CubeMX. Також на цьому етапі треба завантажити програму у пристрій та запустити (см. рис. 3.23).



Рисунок 3.23 – Етапи від коду до периферії.

Порядок створення коду для програми Simulink:

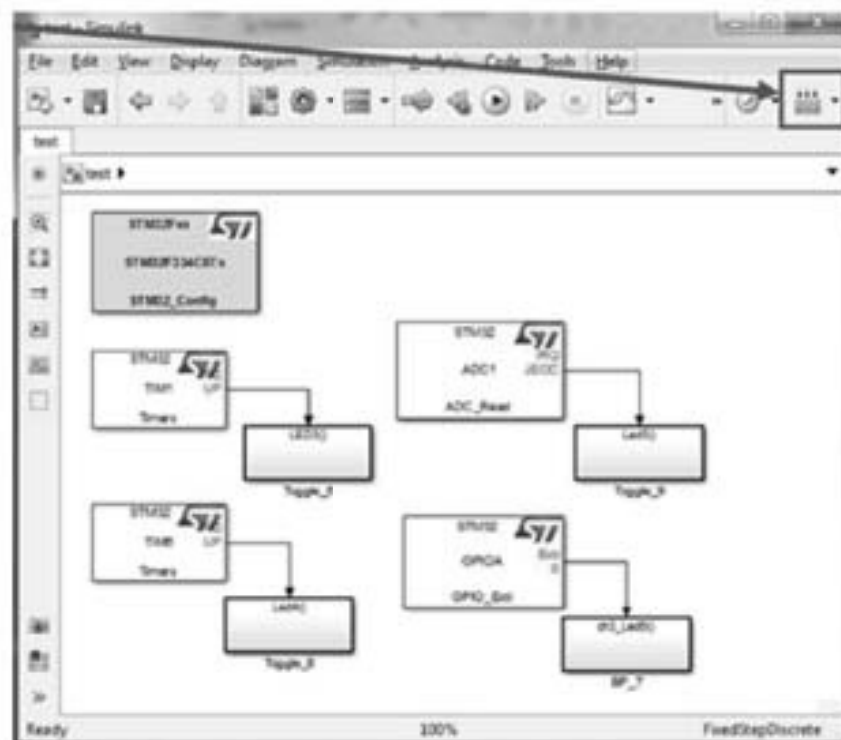
- Натисніть «Створити модель», щоб автоматично генерувати код C та проект IDE;

- Код драйвера периферійних пристроїв STM32 генерується у файлах .c/.h, ім'я яких створюється з використанням імені моделі Simulink та імені периферії.

На наступному етапі процес STM32CubeMX автоматично викликається з MATLAB® коли вибрано «Завантажити додаток» з вікна конфігурації моделі (рис. 3.24) [9, 10].

На 4 кроці - зовнішній режим Simulink.

Поки запущена програма STM32, параметри моделі Simulink можна редагувати. Моніторинг означає, що можна змінювати лише параметри. Згенерований код C не можна змінити. Наприклад, неможливо замінити x на +, оскільки було створено функцію коду на C (рис. 3.26).



a)

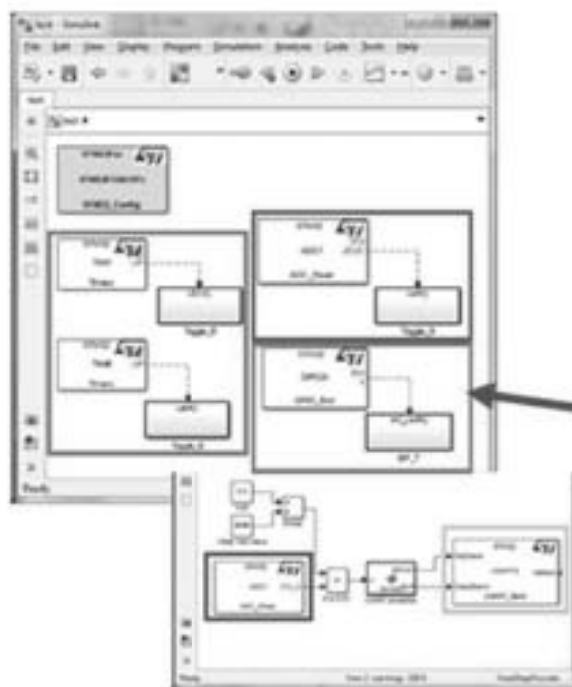


Рисунок 3.24 – Етапи компіляції та завантаження

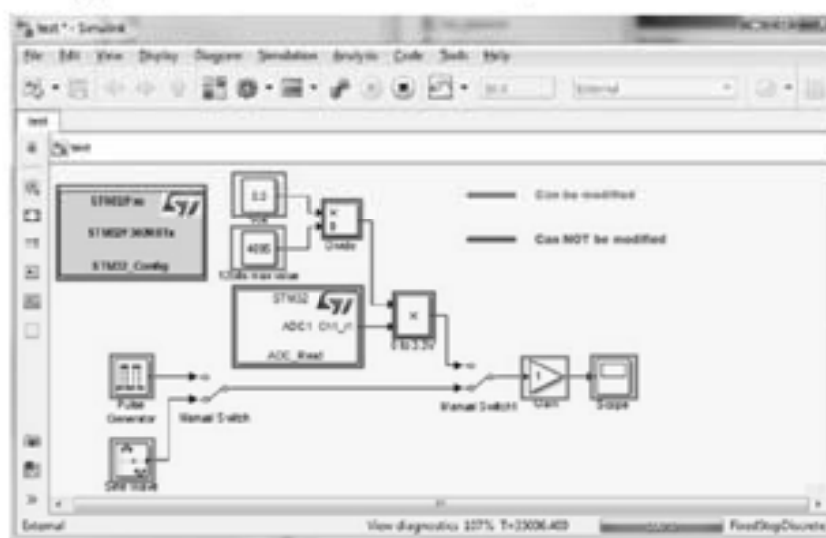


Рисунок 3.26 – Режим моніторингу

Таким чином, використовуючи новий пакет підтримки для MATLAB, Simulink та Embedded Coder можливо створювати оптимізований код, автоматизувати кроки побудови, інтеграції та перевірки. За допомогою ST та MathWorks на цей час можливо: прискорити час виходу на ринок, знизити витрати на розробку та поліпшити якість продукції в галузі управління асинхронними двигунами за допомогою мікроконтролерів STM32.

4 КОНСТРУКТОРСЬКО-ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА

4.1 Шляхи отримання плати друкованої

Рівень розвитку радіоелектронних засобів немислимий без застосування систем автоматизованого проектування (САПР) на різних етапах розробки і виробництва апаратури.

Автоматизоване проектування - важлива складова частина науково - технічного прогресу. Для вирішення цього питання потрібні фахівці з систем автоматизованого проектування (САПР). Тому в технічних вузах країни йде підготовка таких фахівців. Особлива увага при цьому приділяється фахівцям "Електронні обчислювальні машини", "Конструювання і виробництво електронно-обчислювальної апаратури", "Автоматизовані системи управління", в рамках яких готуються як інженери - користувачі, так і інженери - розробники.

На сучасному етапі проектування РЕЗ дуже важко домогтися необхідної якості продукції без використання сучасних САПР. В останні кілька років помітна тенденція різкого скорочення термінів проектування нових виробів при зростаючих вимогах до їх якісним характеристикам. Створення нового електронного пристрою включає в себе наступні етапи:

- формування технічного завдання (ТЗ) на розробку, визначення структури алгоритмів функціонування схеми;
- розробка електричної принципової схеми, переліку елементів і випуск відповідної документації;
- моделювання та макетування окремих вузлів або всього пристрою в цілому;
- розробка конструкції друкованої плати і випуск комплексу конструкторської та технологічної документації;
- підготовка до виробництва і виготовлення друкованих плат;
- складання, налагодження та регулювання виробу

Проектування сучасної радіоапаратури займає дуже багато часу, так як це дуже складне завдання, тому застосування САПР дозволяє скоротити час і кількість робочих на етапі проектування РЕА.

Склад технічних засобів САПР вибирається виходячи з необхідної продуктивності на основі аналізу характеристик проєктованих виробів, алгоритмів їх проєктування, технологічного циклу конструювання, що випускається конструкторської документації, процесу виготовлення і контролю апаратури у виробництві.

Успіх автоматизованого конструювання залежить в основному від застосовуваних обчислювальних засобів. Використовувані в САПР ЕОМ повинні мати високу швидкість, велику оперативну і зовнішню пам'ять, засоби діалогового спілкування людини з машинної, пристрої для друку.

Не можна собі уявити розведення багатошарової друкованої плати ручним способом. В сучасних умовах жодне підприємство, яке хоче витримати жорстку конкуренцію, не може дозволити ручної роботи. Отже, необхідно комплекс пакетів, які задовольняли вимогам виробництва сучасних РЕА. Тому стоїть проблема підбору комплексу пакетів, які підтримували б один формат файлів і мали функції експорту - імпорту файлів.

Однією з подібних систем є САПР OrCAD фірми Cadence Design Systems. На сьогоднішній день, пройшовши значний шлях по вдосконаленню свого продукту, OrCAD є системою, що дозволяє розробнику в досить короткі терміни створювати, моделювати електронні схеми, розробляти друковані плати і готувати їх до виробництва. Підтримка виробниками елементів і виробничого обладнання середовища OrCAD дозволяє їй по праву вважатися одним з кращих пакетів.

САПР OrCAD - інтегроване програмне забезпечення, призначене для наскрізного проєктування радіоелектронних пристроїв.

Особливістю системи OrCAD можна відзначити закінченість окремих складових, що представляють собою самостійні пакети. Немає охоплює програми, але обмін документами відбувається автоматично, таке рішення

зменшує вимоги до ресурсів і прискорює обмін між пакетами. Інтеграція пакетів для роботи відбувається при роботі, а не при інсталяції, тому немає проблем роботи в окремому пакеті без запуску інших

Даний модуль управління можна конструктивно уявити різними способами. Для спрощення конструкції, часу і трудомісткості збірки, а також зменшення собівартості модуля, необхідно розмістити всі електронні компоненти на одній друкованій платі, що має з одного боку роз'єм для підключення двигуна і харчування, а з іншого органи управління. Розведення друкованої плати зробимо в спеціалізованій системі Diptrace [11]. Друковану плату будемо встановлювати на підставу - тепловідвід. Таким чином, ми позбавляємося від необхідності встановлювати додаткові радіатори. Встановивши дві стінки на підставу, закриваємо блок кришкою з цельногнутого металу.

4.2 Розрахунок теплових режимів ключових елементів, вибір тепловідведення

Тепловий режим РЕА є просторово-часовий розподіл температури в РЕА, відповідне певному просторово-тимчасовому розподілу тепловиділення в РЕА. Під заданим тепловим режимом в РЕА розуміють такий тепловий режим, при якому температура кожного з елементів РЕА дорівнює заданої або не виходить за межі, зазначені для цього елемента. Точний аналіз температурного стану РЕА пов'язаний з великими труднощами, які пояснюються складністю конструкції і проходять в ній процесів, тому при вивченні теплового режиму РЕА застосовують наближене фізико-математичне дослідження і розрахунок тепловідведення в РЕА носить оціночний характер, необхідний для встановлення вихідних параметрів конструкції.

Комплекс заходів, спрямований на зниження температури, часто пов'язаний з додатковими матеріальними витратами, тому в процесі розробки РЕА необхідно приділяти увагу економічно обгрунтованим рішенням конструкції при прийнятному перепаді температур. З міркувань економічним перш за все необхідно прагнути до природного охолодження, приймаючи заходів до інтенсифікації передачі тепла в навколишній простір або на інші частини конструкції.

Природне повітряне охолодження РЕА - найпростіший спосіб відведення тепла в навколишній простір, здійснюваний за рахунок вільної конвекції і випромінювання. Природне повітряне охолодження в блоках дозволяє відводити тепло.

Розрахунок охолодження при природної конвекції зводиться до визначення теплової характеристики корпусу і нагрітої зони РЕА. Тепловою характеристикою корпусу приладу називається функціональна залежність перегріву від його потужності тепловиділення.

Корпус пристрою виготовлений з листового алюмінієвого сплаву.

Ці матеріали мають досить велику теплопровідність; крім того, тепла енергія, що передається від нагрітої зони кожуха, приблизно рівномірно розподілена по всій поверхні, тому з достатньою підставою кожух можна вважати ізометричної поверхнею.

Тепловий розрахунок потужних польових транзисторів працюють в ключовому режимі проводиться методом проб і помилок [13]. Виходячи з реальної конструкції розраховують умовну нагріту зону. Задаються температурою умовної нагрітої зони щодо навколишнього середовища.

По тепловому режиму блоки і вузли РЕА можна розділити на теплонавантаженому і не теплонавантаженому. Оцінка теплового навантаження проводиться по тепловому потоку, що проходить через одиницю поверхні. Теплове навантаження до $0,05 \text{ Вт/см}^2$ вважається малою, а понад $0,05 \text{ Вт/см}^2$ - великий.

4.3 Заходи, щодо охорони праці

4.3.1 Аналіз шкідливих і небезпечних факторів

У дипломній роботі проведена розробка методики використання програми MATLAB для моделювання та аналізу режимів управління асинхронним трифазним двигуном.

Розробка відбувається за допомогою ЕОМ. Робота оператора ЕОМ відноситься до категорії робіт, пов'язаних з небезпечними і шкідливими умовами праці. У таблиці 4.1 приведена карта умов праці для робочого місця оператора ЕОМ.

Так як оператор виконує легку фізичну роботу, яка потребує вільного переміщення, то робоче місце організовано для виконання робіт сидячи.

При виконанні легких робіт нормативні числові значення:

- висота робочої поверхні не менше 725 мм;
- висота сидіння не менше 420 мм.

Робоче місце оператора складається з столу, поверхня якого 1550x1000 мм, висота столу 760 мм і стільця, його висота 430 мм.

Категорія робіт за ступенем тяжкості 1а - легкі, роботи виконуються сидячи і супроводжуються незначним фізичним напруженням [14].

Таблиця 4.1 - Карта праці оператора ЕОМ

Фактори виробництва	Нормативне значення ГДК	Фактичне значення	Шкідливі небезпечні умови і характер праці			Час впливу %
			I	II	III	
Шкідливі хімічні речовини, мг /л	-	-	-	-	-	-
Пил, мг / м ³	1-4	2	-	-	-	100
Шум, дБА	40-70	50	-	-	-	100
Неіонізуюче випромінювання:			-	-	-	100

- Діапазон промислової частоти, кВ / м	20	5-15				
Мікроклімат в приміщенні Х.П.						
- Температура повітря, °С	21-25	24	-	-	-	100
- Швидкість руху повітря, м / с	0,2	0,1-0,2	-	-	-	
- Відносна вологість,% (при 28 ⁰ С)	60	55-60	-	-	-	
Атмосферний тиск, мм рт.ст.	760	750-760	-	-	-	100
Розряд зорової роботи	IV					
Важкість праці	легка, 1а					
Напруженість праці	II ступінь					

4.3.2 Джерела шкідливих і небезпечних впливів

Значне відхилення рівня освітленості робочої зони від оптимального може бути причиною ряду фізіологічних порушень, в організмі працюючих, привести до різкого зниження працездатності і навіть до професійних захворювань.

Основні джерела ураження електричним струмом наступні: дотик до неізольованих струмоведучих частин (до металевих частин): кондиціонера, переносного світильника, принтера, модему, а також труб опалення опинилися під напругою внаслідок пошкодження ізоляції.

4.3.3 Взаємодія на людину

Мікроклімат. Клімат внутрішнього середовища приміщення, визначається діючими на організм людини поєднаннями температури, вологості і швидкості руху повітря, а також температурою навколишніх поверхонь.

При сприятливих поєднаннях параметрів мікроклімату оператор відчуває стан теплового комфорту, що є важливою умовою високої продуктивності праці і попередження захворювань.

При відхиленні метеорологічних параметрів від оптимальних в організмі людини для підтримання сталості температури тіла починають відбуватися різні процеси, спрямовані на врегулювання теплопродукції і тепловіддачі.

– Електричний струм. Проходячи через тіло людини, електричний струм чинить на нього складний вплив, що є сукупністю термічного (нагрів тканин і біологічних середовищ), електролітичного (розкладання крові і плазми) і біологічного (роздратування і збудження нервових волокон та інших органів тканин організму) впливів.

Електричний опік (результат теплового впливу електричного струму в місці контакту); металізація шкіри частками розплавився під дією електричної дуги металу; електроофтальмія (запалення зовнішніх оболонок очей через впливу ультрафіолетових променів електричної дуги); механічні пошкодження (розриви шкіри, вивихи, переломи кісток), викликані мимовільними скороченнями м'язів під дією струму [14].

Електричний удар є дуже серйозним ураженням організму людини, викликаним порушенням живих тканин тіла електричним струмом і супроводжується судорожним скороченням м'язів.

Таблиця 4.2 - Значення сили струму

Рід струму	Пороговий відчутний струм, мА	Граничний не відпускаючий струм, мА	Граничний фібриляційний струм, мА
Змінний частотою 50 Гц	0,5...1,5	6...10	80...100
Постійний струм	5,0...7,0	50...80	300

На результат ураження сильно впливає опір тіла людини, яке змінюється в дуже великих межах. Тривалість протікання струму через тіло людини дуже сильно впливає на результат поразки в зв'язку з тим, що з плином часу різко падає опір шкіри людини, більш імовірним стає ураження серця і накопичуються інші негативні наслідки.

Ступінь ураження залежить також від роду і частоти струму. Найбільш небезпечним є змінний струм частотою від 20 до 1000 Гц. Змінний струм небезпечніший постійного, але це характерно тільки для напруг до 250 ... 300 В; при великій нарузі небезпечніше стає постійний струм [14].

Індивідуальні властивості людини і стан навколишнього середовища роблять помітний вплив на тяжкість ураження. Деякі захворювали; людини (хвороби шкіри, серцево-судинної системи, легенів, нервові хвороби та ін.) роблять його більш сприйнятливим до електричного струму.

Таблиця 4.3 - Оптимальні і допустимі норми температури, відносної вологості і швидкості руху повітря в робочій зоні виробничих приміщень.

Період року	Категорія роботи	Температура, С ⁰			Відносна вологість, %		Швидкість руху, м/с	
		Оптимальна	Допустима		Оптимальна	на робочому місці, не більше	Оптимальна, не більше	Допустима на робочому місці
			Верхня границя	Нижня границя				
Холодний	Легка -1	24	25	21	40	75	0,2	Не більше 0,1
Теплий	Легка -1	25	28	22	40	55 (при 28 °С)	0,2	0,1-0,2

Таблиця 4.4 - Гранично допустимі рівні напруги дотику.

Рід струму	Напруга дотику	Сила струму, мА, не більше
Змінний, 50 Гц	2	0.3
Змінний, 400 Гц	3	0.4
Постійний	8	1

4.3.4 Заходи щодо усунення шкідливих і небезпечних факторів

Робоче місце з монітором розташовується на відстані не менше 1,5 м від стіни з віконними прорізами, від інших стін - на відстані 1 м, між собою - на відстані не менше 1,5 м.

Розташовувати монітор на робочому столі необхідно так, щоб поверхня екрана знаходилася на відстані 400-700 мм від очей користувача. Рекомендується розмішувати елементи робочого місця таким чином, щоб витримувалося рівну відстань очей користувача від екрана, клавіатури, тримача документів.

Для підтримки необхідних мікрокліматичних умов в приміщенні застосовується місцевий кондиціонер, продуктивністю по повітрю - 600м³/ч, холоду продуктивністю - 1800ккал/ч, змінна напруга живиться мережі - 220В застосовується для охолодження, вентиляції та нагрівання повітря [15].

Раціональна вентиляція, опалення та кондиціонування повітря є найбільш поширеними способами нормалізації мікроклімату.

Оскільки існує можливість торкання корпусів апаратури і батареї центрального опалення. У приміщенні відсутні відкриті струмопровідні частини з напругою понад 12 В. Ураження електричним струмом можливо тільки в разі несправності апаратури і живлячих кабелів.

Для захисту від ураження електричним струмом в операторній передбачено:

- 1) наявність заземлення всіх ЕОМ та приладів з опором не більше 4 Ом;

- 2) недоступність струмоведучих частин;
- 3) застосована прихована електропроводка в захищають від механічних пошкоджень трубах;
- 4) марковані роз'єми і розетки;
- 5) передбачено аварійний рубильник виключення всього електроживлення.

Оскільки ЕОМ відноситься до виробу першого класу, то згідно вона має принаймні робочу ізоляцію і елемент для заземлення.

Раціоналізація режимів праці та відпочинку досягається скороченням тривалості робочого часу за рахунок додаткових перерв, створенням умов для ефективного відпочинку в приміщеннях з нормальними метеорологічними умовами.

Крім того, для нормальної роботи необхідні приміщення для куріння, буфет, їдальня і медпункт. Їх розміщують в місцях з найменшим впливом виробничих факторів. Розташування допоміжних приміщень в окремій прибудові з висотою стель в межах 3 ... 3.6 м.

Кожен оператор повинен:

1. Бути ознайомлений під розпис:
 - з переліком робіт з підвищеною небезпекою;
 - з переліком робочих місць своєї ділянки, на яких діють шкідливі і небезпечні виробничі фактори.
2. Виконувати правила внутрішнього трудового розпорядку центру, дотримуватися режимів роботи і відпочинку.
3. Знати і виконувати правила безпеки при установленнях технологіях виконання робіт, в тому числі - з підвищеною небезпекою.
4. Виконувати тільки доручену і оформлену відповідним нарядом або розпорядженням роботу, по якій отримав інструктаж.
5. Не допускати на робоче місце сторонніх осіб і не передавати свою роботу іншим особам.

6. Мати засоби надання першої медичної допомоги, вміти надавати першу долікарську допомогу потерпілим.

7. Помітивши порушення правил безпеки іншими працівниками, слід попередити їх про дотримання вимог правил безпечного виконання робіт.

8. У разі виникнення нещасного випадку негайно повідомити про це безпосереднього керівника робіт або керівнику вищого рівня. По можливості (якщо це не загрожує життю і здоров'ю інших працівників, а також тих, що оточують і не призведе до більш тяжких наслідків), необхідно зберегти для розслідування обладнання і обстановку на робочому місці в тому стані, яке було на момент події.

9. Согласно Закону України «Про охорону праці» оператор може відмовитися від дорученої роботи, яка суперечить правилам безпеки і несе загрозу життю і здоров'ю самого працівника або оточуючих, при цьому оператор звертає на це увагу керівника, який видав наказ (розпорядження), і ставить в відома керівника вищого рівня.

10. За порушення вимог даної інструкції винні особи несуть дисциплінарну, адміністративну та кримінальну відповідальність згідно з чинним законодавством пристроїв, сходів і переконатися в тому, що вони не мають пошкоджень. Працювати в спецодязі, спецвзуття, використовуючи інші засоби індивідуального захисту відповідно яку вони виконують. Про всі несправності доповісти відповідальному керівникові робіт.

4.3.5 Розрахунок захисного заземлення

Початкові дані: напруга 220 В, нормативний опір (R_H) 4 Ом, коефіцієнт сезонності для Запоріжжя 1,3 (вертикальний заземлювач), ґрунт - чорнозем. Передбачається створення штучних заземлювачем з труб діаметром $d = 30$ мм, довгою $l = 2$ метри, розміщені на відстані $r = 4$ метри один від одного, і що скріплюють сталевую смугою $b = 40$ міліметрів ширини.

Розрахунок штучного заземлювача зводиться до знаходження числа труб, а також перевірки їх опору.

З [19] визначаємо питомий опір чорнозему ρ_0 . Воно дорівнює 20 Ом·м.
Розрахункове значення питомого опору ґрунту:

$$\rho = Y \cdot \rho_0 = 1.3 \cdot 20 = 26 \text{ Ом} \cdot \text{м} \quad (4.1)$$

Опір розтіканню струму одиночної труби, верхній кінець якої знаходиться на рівні землі:

$$R_0 = \frac{\rho}{2\pi l} \ln\left(\frac{4l}{d}\right) = \frac{26}{2 \cdot 3.14 \cdot 2} \cdot \ln\left(\frac{4 \cdot 2}{0.03}\right) = 11.56 \text{ Ом} \quad (4.2),$$

де l - довжина стрижня, м;

d - його діаметр, м.

Орієнтовне число вертикальних заземлювачем:

$$n = \frac{R_0}{R_H} = \frac{11.56}{4} = 2.89 \quad (4.3)$$

Вибираємо $n=3$.

Визначаємо довжину горизонтальної сполучної смуги:

$$l_{\Gamma} = n \cdot r = 3 \cdot 4 = 12 \quad (4.4)$$

Електроди будуть розміщені в ряд. Знайдемо коефіцієнт використання для вертикальних (q_B) і горизонтальних (q_{Γ}) заземлювачем [20]:

$$q_B = 0.86, \quad q_{\Gamma} = 0.92 \quad (4.5)$$

Опір групи вертикальних заземлювачах:

$$R_B = \frac{R_0}{nq_B} = \frac{11.56}{4 \cdot 0.86} = 4.48 \text{ Ом} \quad (4.6)$$

Розрахункове значення питомого опору ґрунту для горизонтальної смуги ($Y=2.5$):

$$\rho = Y \cdot \rho_0 = 2.5 \cdot 20 = 50 \text{ Ом} \cdot \text{м} \quad (4.7)$$

Опір горизонтальної смуги, лежачої на поверхні:

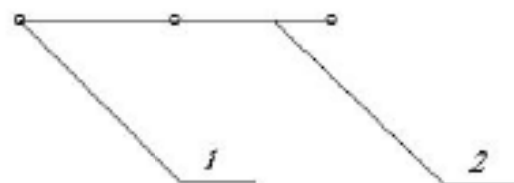
$$R_G = \frac{\rho}{\pi \cdot l_G q_G} \ln\left(\frac{4l_G}{b}\right) = \frac{50}{3.14 \cdot 12 \cdot 0.92} \cdot \ln\left(\frac{4 \cdot 12}{0.04}\right) = 10.23 \text{ Ом} \quad (4.8)$$

Опір розтіканню струму заземлювача в цілому знайдемо як паралельне включення вертикальних і горизонтальних заземлювачей:

$$R_3 = \frac{R_B \cdot R_G}{R_B + R_G} = \frac{4.48 \cdot 10.23}{4.48 + 10.23} = 3.12 \text{ Ом} \quad (4.9)$$

Це значення менше нормованого (4 Ом), значить, норма витримана.

План захисного заземлювача представлений на рисунку 4.1.



1 - Вертикальний заземлювач

2 - Горизонтальний заземлювач

Рисунок 4.1 - План захисного заземлювача

5 ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНЕ ОБГРУНТУВАННЯ

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 [21].

5.1 Визначення стадій розробки

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

Таблиця 5.1 – Стадії розробки моделі системи управління асинхронним двигуном

№ з/п	Стадії розробки	Вміст робіт	Тривалість етапу, днів	Примітка
А	Постановка завдання	Узгодження технічного завдання із замовником	3	1 інженер
Б	Вивчення об'єкту	Аналіз існуючих схемних рішень	12	1 інженер
В	Розробка проекту	Проектування схеми	3	1 інженер
Г	Проведення	Розробка технічної	18	2 інженери

	дослідження та розробки	та документації по моделі системи управління асинхронним двигуном		
Д	Узгодження із замовником	Демонстрація моделі. Виправлення помилок.	2	2 інженери
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.

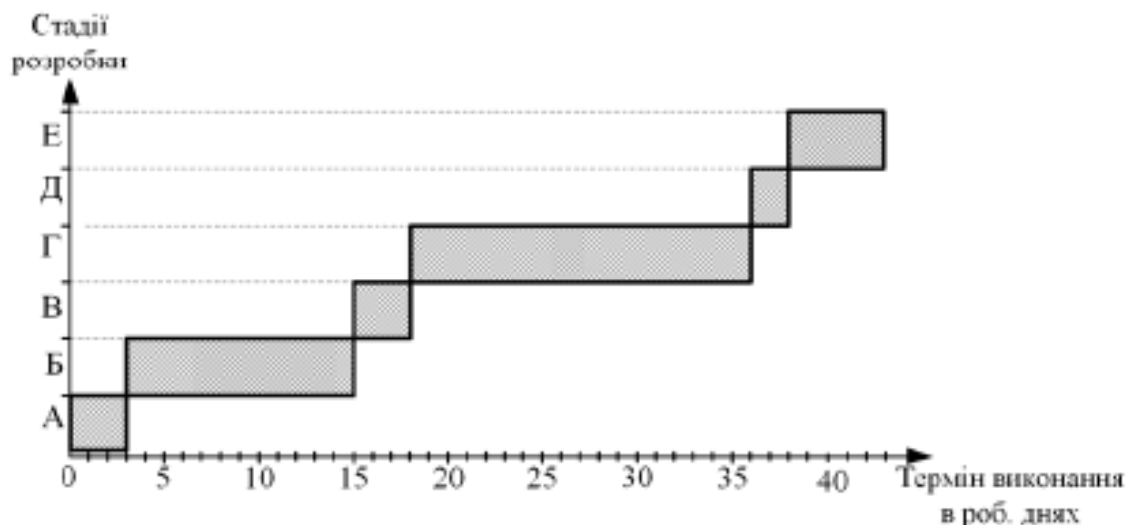


Рисунок 5.1 – Лінійний графік розробки моделі системи управління асинхронним двигуном

Відповідно до рис. 5.1 на види роботи А-Е, потрібно 43 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 1 людину – інженера технічного забезпечення.

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

Для виконання робіт по етапу Д необхідно 2 людини – 1 інженера технічного забезпечення, 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	38	304
Інженер електронної техніки	1	16	128

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 [21]

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

де ЗП – заробітна плата, грн.;

$T_{\text{сер}}$ – ставка кожного співробітника, грн./год;

$N_{\text{роб}}$ – кількість працівників, людей;

B – 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	19228
інженер електронної техніки	8832
РАЗОМ	28060

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	15000,00	15000,00
Програмне забезпечення trial 30 day	шт	1	0	0
Осцилограф	шт	1	3000,00	3000,00
Мультиметр	шт	1	350,00	350,00

STM32	шт	1	780	780
РАЗОМ				19130,00

Амортизація основних засобів (комп'ютер, осцилограф, мультиметр) [21]:

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

$$S_{аморт} = 0,15 \times 18350 \times (34,5 \times 8 / 2100) = 361,7 \text{ грн.}$$

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

$$S_e = 1,90 \times 0,5 \times 1 \times 240 = 228 \text{ грн.}$$

Кошторис витрат на інтеграцію програмних продуктів в комплекс САПР пристроїв промислової електроніки представлений в таблиці 5.6.

Таблиця 5.6 – Кошторис витрат

№ з/п	Найменування	Разом:
1	Вартість програмного забезпечення	0,00
2	Основні засоби	18350,00
3	Амортизаційні відрахування	361,7
4	Витрати на електроенергію (машинний час)	228
5	Заробітна плата	28060
	Всього	46999,7

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

ВИСНОВКИ

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

Далі розглянуто схемотехнічні рішення існуючих систем. Показано як визначати параметри схеми заміщення асинхронного двигуна за довідковими даними. Підраховується номінальна кутова швидкість обертання статора і ротора, номінальний момент двигуна, номінальне ковзання, активні і індуктивні опору статора і ротора. Таким чином, з вихідних даних можна отримали всі параметри схеми заміщення, які необхідні нам для моделювання векторного керування асинхронним двигуном в Simulink.

Проведено моделювання векторного управління асинхронним двигуном в програмі Simulink. Визначили параметри навантаження двигуна, параметри схеми заміщення асинхронного двигуна за довідковими даними. Отримали осцилограми струму статора, швидкості обертання ротора, моменту і напруги від часу.

Розглянуто існуючі моделі мікроконтролерів, визначено пріоритетні для побудови системи управління.

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

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

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Електричні машини і апарати: навчальний посібник / Ю.М.Куценко, В.Ф.Яковлев та ін.–К.: Аграрна освіта, 2013. –449 с.
2. Чередник Ю. Н., Пащенко А. С., Ревякин Е. А., Квапшин В. О. Частотно-регулируемый асинхронный электропривод, управляемый от автономного инвертора напряжения, Вісник Донбаської державної машинобудівної академії, №4, 2012
- 3 Шавьолкін О. О. Перетворювальна техніка: навчальний посібник / О. О. Шавьолкін, О. М. Наливайко ; під заг. ред. О. О. Шавьолкіна. - Донецьк-Краматорськ : ДДМА, 2003. - 326 с.
- 4 Управление асинхронным электродвигателем переменного тока по принципу постоянства V/f и обычного ШИМ-управления [Электронный ресурс]. - Режим доступа: <http://www.gaw.ru/html.cgi/txt/app/micros/avr/AVR494.htm>.
- 5 Лазарев Г. Б. Инверторы преобразователей для частотно-регулируемых электроприводов / Г. Б. Лазарев //Новости электротехники. - 2005. - № 2 (23).
- 6 Квапшин В. О. Разработка и исследование регулируемого асинхронного электропривода на основе преобразователя частоты с широтно-импульсной модуляцией / В. О. Квапшин, Ю. Н. Чередник // Наукові праці Донецького національного технічного університету. - Донецьк: ДВНЗ «ДонНТУ», 2011. - Випуск 11(186). - С. 174-177.
- 7 Состояние, тенденции и проблемы в области методов управления асинхронными двигателями / В. Г. Бичай, Д. М. Пиза, Е. Е. Потапенко, Е. М. Потапенко // Радіоелектроніка, інформатика, управління. - 2001. - № 1. - С. 138-144.
- 8 Microchip Technology Incorporated [Электронный ресурс]. - Режим доступа: <https://www.microchip.com/>

- 9 STMicroelectronics [Електронний ресурс]. - Режим доступу: www.st.com
- 10 MathWorks [Електронний ресурс]. - Режим доступу: www.mathworks.com/
- 11 САПР DipTrace [Електронний ресурс]. - Режим доступу: <https://diptrace.com/ua/>
12. Друковані плати [Електронний ресурс]. - Режим доступу: <http://www.pselectro.ru/article/7/78>
13. Sven Konrad. Тепловые параметры силовых модулей в широтно-импульсных преобразователях. Technical University of Ilmenau, Germany.
14. Долин П.А. Основы техники безопасности в электроустановках: Учеб. пособие для вузов. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Энергоатомиздат, 1984. – 448с., ил.
15. ГОСТ 12.1.005-88. ССБТ. «Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны».
16. НАПБ Б.03.002-2007 Нормы определения категорий помещений, зданий и наружных установок по взрывопожарной и пожарной опасности.
17. СНиП 11-4-79. Естественное и искусственное освещение.
18. СНиП 2.04.05-92. «Отопление, вентиляция и кондиционирование воздуха».
19. Правила устройства электроустановок.- «Госэнергонадзор», 2009г. 704с.
20. Конов А. А. Электрооборудование жилых зданий. – М.: Додека 21, 2003. –256 с.
21. Попова В.Д. Методичні вказівки до виконання економічної й організаційної частини дипломної роботи – Запоріжжя, 2005,-36с.

```
// Підключення безколекторного двигуна к мікроконтролеру
#include <avr/interrupt.h>
#include <avr/io.h>
#include <util/delay.h>

// Фаза U(Верхнее плечо)
#define UH_ON  TCCR1A |= (1 << COM1A1);
#define UH_OFF TCCR1A &= ~(1 << COM1A1);

// Фаза U(Нижнее плечо)
#define UL_ON  PORTB |= (1 << PB5);
#define UL_OFF PORTB &= ~(1 << PB5);

// Фаза V(Верхнее плечо)
#define VH_ON  TCCR2 |= (1 << COM21);
#define VH_OFF TCCR2 &= ~(1 << COM21);

// Фаза V(Нижнее плечо)
#define VL_ON  PORTB |= (1 << PB0);
#define VL_OFF PORTB &= ~(1 << PB0);

// Фаза W(Верхнее плечо)
#define WH_ON  TCCR1A |= (1 << COM1B1);
#define WH_OFF TCCR1A &= ~(1 << COM1B1);

// Фаза W(Нижнее плечо)
#define WL_ON  PORTB |= (1 << PB4);
#define WL_OFF PORTB &= ~(1 << PB4);
```

```
#define PHASE_ALL_OFF    UH_OFF;UL_OFF;VH_OFF;VL_OFF;WH
_OFF;WL_OFF;
```

```
#define SENSE_U    ADMUX = 0; // Вход обратной ЭДС фазы U
#define SENSE_V    ADMUX = 1; // Вход обратной ЭДС фазы V
#define SENSE_W    ADMUX = 2; // Вход обратной ЭДС фазы W
```

```
#define SENSE_UVW    (ACSR&(1 << ACO)) // Выход компаратору
```

```
#define START_PWM    10 // Минимальный ШИМ при запуске
```

```
#define WORK_PWM    100 // Рабочий уровень ШИМ
```

```
char start_stop = 0;
```

```
volatile unsigned char motor_pwm = WORK_PWM;
```

```
volatile unsigned char commutation_step = 0;
```

```
volatile unsigned char rotor_run = 0; // Лічильник імпульсів обратної ЕРС
```

```
// Крутим за годинниковою стрілкою
```

```
void commutation(unsigned char startup)
```

```
{
```

```
    switch (commutation_step)
```

```
    {
```

```
        case (0):
```

```
            if(!SENSE_UVW || startup)
```

```
            {
```

```
                WH_OFF; // Фаза W отключена
```

```
                UH_ON; // На фазе U - ШИМ
```

```
                SENSE_W; // Активируем вход фазы W
```

```
                commutation_step = 1; // Следующий шаг
```

```
                TCNT0 = 0; // Обнуляем счетчик T0
```

```
    }  
    break;  
  
case (1):  
    if(SENSE_UVW || startup)  
    {  
        VL_OFF; // На фазе V - лог. 0  
        WL_ON; // На Фазе W - лог. 1  
        SENSE_V; // Активація входу фази V  
        commutation_step = 2;  
        TCNT0 = 0; // Занулення лічильника T0  
    }  
    break;  
  
case (2):  
    if(!SENSE_UVW || startup)  
    {  
        UH_OFF; // Фаза U відключена  
        VH_ON; // На фазе V - ШИМ  
        SENSE_U; // Активація вход фази U  
        commutation_step = 3;  
        TCNT0 = 0; // Занулення лічильника T0  
    }  
    break;  
  
case (3):  
    if(SENSE_UVW || startup)  
    {  
        WL_OFF; // На Фаза W - лог. 0  
        UL_ON; // На фазе U - лог. 1
```



```
        SENSE_W; // Активація вход фази W
        commutation_step = 4;
        TCNT0 = 0; // Занулення лічильника T0
    }
    break;

case (4):
    if(!SENSE_UVW || startup)
    {
        VH_OFF; // Фаза V відключена
        WH_ON; // На фазе W - ШИМ
        SENSE_V; // Активуємо вход фази V
        commutation_step = 5;
        TCNT0 = 0; // Занулення лічильника T0
    }
    break;

case (5):
    if(SENSE_UVW || startup)
    {
        UL_OFF; // На фазе U - лог. 0
        VL_ON; // На Фазе V - лог. 1
        SENSE_U; фаза U
        commutation_step = 0;
        TCNT0 = 0; // Занулення лічильника T0
    }
    break;
}
}
```

// Оброблювач переривання по компаратору. Детектор зворотної ЕРС

```
ISR(ANA_COMP_vect)
```

```
{
```

```
rotor_run++; // інкримент імпульсів
```

```
if(rotor_run > 200) rotor_run = 200;
```

```
if(rotor_run == 200) //Якщо імпульси зворотної ЕРС є, включити двгун  
commutation(0);
```

```
}
```

// Оброблювач переривання по перепоовнення Т0. Робота двигуна без сигналів зворотної ЕРС

```
ISR(TIMER0_OVF_vect)
```

```
{
```

```
commutation(1); // Якщо спрацювало переривання, є пропуски імпульсів
```

зворотної ЕРС

```
rotor_run = 0; // Сброс лічильника імпульсів
```

```
OCR1A = START_PWM; // ШПМ минимум
```

```
OCR1B = START_PWM;
```

```
OCR2 = START_PWM;
```

```
}
```

// Оброблювач зовнішнього переривання INT0. Енкодер

```
ISR(INT0_vect){
```

```
  _delay_us(100);
```

```
  if ((PIND & ( 1 << PD2)) == 0){
```

```
    _delay_us(100);
```

// Крутим проти годинникової стрілки

```
  if ((PIND & ( 1 << PD1)) == 0)
```

```
  {
```

```
    if(motor_pwm != START_PWM) motor_pwm = 5; //
```

```

    }
    else
    {
        if(motor_pwm != 255) motor_pwm += 5; // Збільшуємо ШІМ
    }
}
GIFR = (1 << INTF0); // Сбрасуємо прапор зовнішнього
переривання
return;
}

int main (void)
{
    // Порти вводу/вивода
    DDRB = 0xFF;
    PORTB = 0x00;
    DDRD &= ~(1 << PD2)|(1 << PD1)|(1 << PD0);
    PORTD |= (1 << PD2)|(1 << PD1)|(1 << PD0);

    // T0 - для старта и праці двигуна без сигналів обратної ЕРС
    TCCR0 |= (1 << CS02)|(1 << CS00);
    TIMSK |= (1 << TOIE0);
    // T1 и T2 ШІМ
    TCCR1A |= (1 << WGM10); // Режим Fast PWM, 8-bit
    TCCR1B |= (1 << CS10)|(1 << WGM12);
    TCCR2 |= (1 << WGM21)|(1 << WGM20) // Режим Fast PWM
        (1 << CS20); /

    PHASE_ALL_OFF; // Вимикаємо все фази

```

```

// Аналоговий компаратор
ADCSRA &= ~(1 << ADEN); // Вимикаємо АЦП
SFIOR |= (1 << ACME); // Негативний вхід компаратора підключаємо
до виходу мультиплектора
ACSR |= (1 << ACIE); // Дозволяємо переривання від компаратора

// Зовнішнє переривання (Енкодер)
MCUCR |= (1 << ISC01); // Переривання по задньому фронту INT0(по
спаду імпульса)
GIFR |= (1 << INTF0); // Очищаємо прапор зовнішнього переривання
GICR |= (1 << INT0); // Дозволяємо зовнішні переривання INT0

sei(); // Глобально дозволяємо переривання

while(1)
{
if((PIND&(1 << PD0)) == 0) // Старт/Стоп
{
_delay_ms(20);
start_stop ^= 1; // Перемикаємо стан
while((PIND&(1 << PD0)) == 0){}
}

if(start_stop)
{
ACSR |= (1 << ACIE); // Дозволяємо переривання від компаратора
TIMSK |= (1 << TOIE0); 0
GICR |= (1 << INT0);

```

```

    if(rotor_run == 200) // Якщо імпульси зворотного ЕРС присутні,
можемо змінювати ШПМ
    {
        OCR1A = motor_pwm;
        OCR1B = motor_pwm;
        OCR2 = motor_pwm;
    }
}
else
{
    PHASE_ALL_OFF; // Все фази вимкнені
    ACSR &= ~(1 << ACIE); // Забороняємо переривання від компаратора
    TIMSK &= ~(1 << TOIE0); // Забороняємо переривання по
переповненню T0
    GICR &= ~(1 << INT0); // Забороняємо зовнішні переривання INT0
}
}
}

```

Формат	Зона	Поз.	Обозначение	Наименование	Кол.	Примечание
				Документация		
A1			ЕС М.190006.00.00.00.00.Е1	Сучасні мікроконтролери для управління трифазними двигунами		
A1			ЕС М.190006.00.00.00.00.Д1	Схема електрична структурна Сучасні мікроконтролери для управління трифазними двигунами		
A1			ЕС М.190006.00.00.00.00.Д2	Виробники мікроконтролерів Сучасні мікроконтролери для управління трифазними двигунами		
A1			ЕС М.190006.00.00.00.00.Д3	Модель системи управління Сучасні мікроконтролери для управління трифазними двигунами		
A1			ЕС М.190006.00.00.00.00.Д4	Блок схема та параметри моделі Сучасні мікроконтролери для управління трифазними двигунами		
A1			ЕС М.190006.00.00.00.00.Д5	Результати моделювання Сучасні мікроконтролери для управління трифазними двигунами		
A1			ЕС М.190006.00.00.00.00.Д6	Порядок генерації коду Сучасні мікроконтролери для управління трифазними двигунами Охорона праці		
A1			ЕС М.190006.00.00.00.00.Д7	Сучасні мікроконтролери для управління трифазними двигунами Економічні показники		

ЕС М.190006.00.00.00.00

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата
Разраб.		Титаренко	<i>Титаренко</i>	30.11
Проб.		Шмаліу	<i>Шмаліу</i>	20.11
Н.контр.		Турішев	<i>Турішев</i>	30.11
Утв.		Критська	<i>Критська</i>	20.11

Сучасні мікроконтролери для управління трифазними двигунами

Лит.	Лист	Листов
		1
ІННІ ЗНУ		
8.1719-3		

Копировав

Формат А4