

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

ДВНЗ « Ужгородський національний університет »
Інженерно-технічний факультет
кафедра електронних систем

кваліфікаційна робота магістра

На тему: Контролер обертів асинхронного двигуна потужністю до 2 кВт

Студента 2 курсу

Дзямко Дмитра Ярославовича

(прізвище та ініціали)

_____ (підпис)

Керівник кандидат фіз.-мат. наук Спесивих О.О.

(посада, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали)

_____ (підпис)

Голова ЕК:

Ремета Є.Ю.- доктор фіз.-мат. наук, зав. відділу ІЕФ НАНУ

(прізвище, ініціали, вчені ступінь та звання,)

_____ (підпис)

Заяць Т.М.- канд. фіз.-мат наук, доц. кафедри ЕС.

(прізвище, ініціали, вчені ступінь та звання,)

_____ (підпис)

Юркін І.М.- канд. фіз.-мат наук, доц. кафедри ЕС.

(прізвище, ініціали, вчені ступінь та звання)

_____ (підпис)

Засвідчую, що у цьому дипломному проєкті
немає запозичень з праць інших авторів без
відповідних посилань.

Студент _____
(підпис)

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ДВНЗ «Ужгородський національний університет»
Інженерно-технічний факультет
Кафедра електронних систем

«ЗАТВЕРДЖУЮ»

Зав. кафедрою,

доц. _____ (Заяць Т. М.)

“ ____ ” _____ 2024 року

ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА

На кваліфікаційну роботу магістра

на тему:

**КОНТРОЛЕР ОБЕРТІВ АСИНХРОННОГО ДВИГУНА
ПОТУЖНІСТЮ ДО 2 КВТ**

Студента групи ЕС: Дмитра ДЗЯМКО

()

Керівник: канд. фіз.-мат наук, доц. кафедри ЕС

Олександр СПЕСИВИХ

()

«ЗАТВЕРДЖУЮ»

Зав. кафедрою,

доц. _____ (Заяць Т. М.)

“ _____ ” _____ 2023 року

З А В Д А Н Н Я
на кваліфікаційну роботу магістра студента

Дзямко Дмитра Ярославовича

(прізвище, ім'я, по-батькові)

1. Тема кваліфікаційної роботи магістра: “Контролер обертів асинхронного двигуна потужністю до 2 кВт, розробка друкованої плати”.
Затверджена на засіданні кафедри (протокол №3 від 10.10 2023р.)
2. Термін закінчення студентом кваліфікаційної роботи магістра:
10 грудня 2024 року.
3. Вихідні дані до кваліфікаційної роботи магістра.
Провести пошук аналогів пристроїв керування обертами асинхронного двигуна.
Проаналізувати переваги та недоліки різних аналогів об'єкту проектування.
 1. Напрямок живлення, мережа 50 Гц 220В;
 2. Потужність електродвигуна, не більше 2.0 кВт;
 3. Робочий діапазон обертів, обр/хв 0 -1500;
 4. Номінальний струм, не більше А 7;
 5. Робоча температура, °С -35 ÷ 65.
4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, що підлягають розробці).

Вступ.

 1. Огляд та аналіз аналогів об'єкту проектування.
 2. Огляд і аналіз методів та схемотехнічних рішень поставленого завдання.
 3. Проектно-конструкторський розділ.
 - 3.1 Синтез та аналіз структурної і принципової схем;
 - 3.2. Розрахунки режимів роботи елементів принципової схеми, вибір елементів
 - 3.3. Проектування друкованої плати, вибір типу та матеріалу
 4. Розрахунок надійності.
 5. Розділ з охорони праці та захисту навколишнього середовища.
 6. Висновки.
 7. Перелік посилань.
 8. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень):
 - 8.1. Структурна (функціональна) електрична схема.

8.2. Принципова електрична схема.

8.3. Друкована плата.

8.4. Складальне креслення.

8.5. Перелік елементів.

5. Консультанти роботи, вказати з яких розділів.

Розділ	Консультант	Підпис, дата	
		Завдання видав	Завдання прийняв
		доц. Спесивих О.О.	Дзямко Д.Я.
Нормоконтроль	Пап О.В.		

6. Дата видачі завдання 10 жовтня 2023 року.

Керівник роботи _____ (доц. О.О. Спесивих)
(підпис)

Завдання прийняв на виконання _____ (Д.Я. Дзямко)
(підпис)

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ п/п	Найменування етапів виконання КРМ	Термін виконання етапів	Примітки
1.	Пошук та аналіз аналогів об'єкта досліджень.	до 20.12.2023 року	
2.	Огляд та аналіз аналогів.	до 20.02.2024 року	
3.	Вибір технічного рішення та обґрунтування технічної пропозиції.	до 20.03.2024 року	
4.	Синтез структурної та принципової схем, їх розрахунок.	до 20.04.2024 року	
5.	Виготовлення конструкторської документації.	до 20.10.2024 року	
6.	Оформлення кваліфікаційної роботи магістра.	до 10.12.2024 року	
7.	Захист на державній екзаменаційній комісії.	Згідно з графіком захисту	

Студент _____ (Д.Я. Дзямко)
(підпис)

Керівник роботи _____ (доц. О.О. Спесивих)
(підпис)

РЕФЕРАТ

Кваліфікаційна робота магістра на тему «Контролер обертів асинхронного двигуна потужністю до 2 кВт» / УжНУ; Керівник Спесивих О. О.; Студент Дзямко Д. Я., група ЕС.

Пояснювальна записка: 93 сторінки, 28 рисунків, 29 джерел, 6 додатків.

Графічна частина: 4 листа формату А1.

Об'єкт проектування – розробка контролеру обертів асинхронного двигуна потужністю до 2 кВт.

Мета роботи: аналіз прототипу та аналогів, синтез електричної структурної схеми та її реалізація у вигляді електричної принципової схеми. Розрахувати собівартість приладу.

При виконанні даної роботи було проведено пошук та аналіз аналогів об'єкту проектування. На основі цих даних і вимог технічного завдання розроблено структурну та принципові схеми. Проектно конструкторський розділ містить синтез структурної та принципової схеми, опис дії пристрою і розрахунки. Також було розраховано собівартість приладу.

АСИНХРОННИЙ ДВИГУН, КОНТРОЛЕР ОБЕРТІВ, РОЗРАХУНОК КОНТРОЛЕРУ,
ЕЛЕКТРИЧНА СХЕМА

ABSTRACT

Diploma project of the “Magister” degree: «Speed controller for the asynchronous engine with a capacity of up to 2 KVA and the printed circuit board development » / UzhNU; Supervisor: Spesyvyh O. O.; Student: Dzyamko D. Y., ES roup.

Explanatory note: 93 pages, 28 figures, 29 sources, 6 appendixes.

Graphic part: 4 A1 sheets.

The object of the project is the development of a controller for an asynchronous engine with a power of up to 2 kW.

The aim of the work is to analyze the prototype and analogues, synthesize the electrical structural diagram, and realize it in the form of an electrical schematic. Calculate the cost of the device.

During the execution of this work, a search and analysis of analogues of the design object was conducted. Based on this data and the requirements of the technical assignment, structural and schematic diagrams were developed. The design and engineering section includes the synthesis of the structural and schematic diagrams, a description of the device's operation, and calculations. Calculated the cost of the device.

Keywords:

ASYNCHRONOUS ENGINE, SPEED CONTROLLER, CALCULATION OF THE CONTROLLER, ELECTRICAL DIAGRAM

ЗМІСТ

ВСТУП	9
1. Огляд і аналіз аналогів об'єкту проектування	11
2. Огляд і аналіз методів та схемотехнічних рішень поставленого завдання	19
3. Проектно-конструкторський розділ	39
3.1. Синтез та аналіз структурної і принципової схем	39
3.2. Розрахунки режимів роботи елементів принципової схеми, вибір елементів	42
3.3. Проектування друкованої плати, вибір типу та матеріалу друкованої плати	56
3.4. Вибір класу точності друкованої плати	58
3.5. Вибір методу виготовлення друкованої плати	59
3.6. Розміщення компонентів та трасування ДП	60
3.7. Теплові характеристики пристрою	61
3.8. Розрахунок надійності друкованої плати	68
4. Техніко економічний розділ	74
4.1 Розрахунок собівартості приладу	74
4.2 Розрахунок ціни спроектованого приладу	80

					<i>KPM.ES.11287689.001.ПЗ</i>			
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>				
<i>Розробив</i>	<i>Дзячко Д.Я.</i>				<i>Контролер обертів асинхронного двигуна потужністю до 2 кВт</i>	<i>Літера</i>	<i>Аркуш</i>	<i>Аркушів</i>
<i>Перевірів</i>	<i>Снесивих О.О.</i>					<i>У</i>	<i>7</i>	<i>93</i>
<i>Т.Контр.</i>						<i>УжНУ, ІТФ 2 курс, гр. ЕС</i>		
<i>Н.Контр</i>	<i>Папн О.В.</i>							
<i>Затверд.</i>	<i>Зяць Т. М.</i>							
					<i>Пояснювальна записка</i>			

4. Заходи по плануванню, техніці безпеки та захисту навколишнього середовища	83
4.1 Загальні питання охорони праці та навколишнього середовища	83
ВИСНОВКИ	90
Перелік використаних джерел	91
ДОДАТКИ	
Додаток А. Структурна схема КРМ.ЕС.11287689.001.Е1	
Додаток Б. Принципова схема КРМ.ЕС.11287689.001.Е2	
Додаток В. Друкована плата КРМ.ЕС.11287689.001.ДП	
Додаток Г. Складальне креслення КРМ.ЕС.11287689.001.СК	
Додаток Е. Перелік елементів КРМ.ЕС.11287689.001.ПЕ	
Додаток Ж. Специфікація КРМ.ЕС.11287689.001.СП	

					<i>КРМ.ЕС.11287689.ПЗ</i>	8
<i>Вим.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

ВСТУП

Електродвигуни мають широкий спектр типів і конструкцій, кожен з яких відповідає специфічним потребам у різних сферах. Окрім колекторних, асинхронних і безколекторних двигунів, існують інші важливі типи, такі як синхронні, лінійні, крокові та універсальні електродвигуни.

Синхронні двигуни відрізняються стабільністю роботи при постійній швидкості обертання, яка визначається частотою живильної мережі. Вони використовуються в системах, де потрібна висока точність, наприклад, у генераторах змінного струму, великих насосах або компресорах. Завдяки використанню постійних магнітів або обмоток збудження, синхронні двигуни також мають високу енергоефективність.

Лінійні електродвигуни представляють собою унікальну конструкцію, яка перетворює електричну енергію безпосередньо в лінійний рух, замість обертального. Вони широко застосовуються у високошвидкісних поїздах, системах автоматизації та транспортуванні матеріалів.

Крокові двигуни забезпечують дискретний рух, що дозволяє їм точно позиціонуватися без використання зворотного зв'язку. Вони знайшли своє застосування в робототехніці, 3D-принтерах і медичній техніці, де потрібна висока точність і керованість.

Універсальні двигуни працюють як на змінному, так і на постійному струмі, що робить їх універсальними в домашніх приладах, таких як пилососи чи кухонні міксери. Їх основними перевагами є висока потужність і простота конструкції, хоча вони мають нижчий ресурс через зношення щіток.

Асинхронні двигуни залишаються одними з найпоширеніших у промисловості завдяки простоті конструкції, високій надійності та доступній вартості. Їх основною особливістю є те, що швидкість обертання ротора завжди менша за швидкість обертання магнітного поля статора, що й пояснює назву "асинхронний". Це зумовлено тим, що принцип роботи базується на

					<i>КРМ.ЕС.11287689.ПЗ</i>	9
<i>Вим.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

виникненні індукованого струму в обмотках ротора під дією змінного магнітного поля статора.

З розвитком технологій з'являються інноваційні конструкції двигунів, такі як двигуни з магнітною підвіскою або надпровідникові двигуни. Вони обіцяють забезпечити ще більшу ефективність, зниження втрат і можливість роботи в умовах екстремальних навантажень. Таким чином, електродвигуни є важливою складовою сучасних технологій, і їх розвиток дозволяє реалізовувати дедалі складніші інженерні завдання.

					<i>КРМ.ЕС.11287689.ПЗ</i>	10
<i>Вим.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

1. Огляд та аналіз аналогів об'єкту досліджень

Теоретичні відомості

Асинхронний двигун, також відомий як двигун зі змінним струмом, є одним з найпоширеніших типів електричних двигунів. Він використовується в різних сферах, включаючи промисловість, транспорт та побутові пристрої. Основна його перевага полягає в простоті конструкції та надійності.

Асинхронний двигун працює на принципі взаємодії магнітного поля, створеного статором, з ротором, на якому розташовані провідні обмотки. При підключенні до джерела змінного струму статор створює магнітне поле що обертається, яке індукуює струми в роторі. Ці струми взаємодіють з магнітним полем статора, що призводить до обертання ротора. Оскільки ротор не синхронізується з магнітним полем статора, двигун отримав назву "асинхронний".

Приклади асинхронних двигунів включають вентилятори, насоси, компресори та електроприводи промислового обладнання. У домашній сфері вони зустрічаються в пральних машинах, посудомийних машинах та холодильниках. Велика популярність асинхронних двигунів пояснюється їхньою високою ефективністю, простотою у використанні та низькими витратами на обслуговування.

Узагалі, асинхронні двигуни відіграють важливу роль у сучасному світі, забезпечуючи потужну та надійну рухливість та виробничі процеси в багатьох галузях промисловості і побутовому секторі.

Як правило асинхронний двигун застосовується на різних виробництвах, починаючи від шахт і закінчуючи металообробними галузями. Наприклад, у вугільних шахтах для плавного пуску конвеєрних стрічок використовується пускач АПМ, в який вбудовано пристрій на тиристорах, що дозволяє плавно запустити конвеєр. Асинхронний однофазний двигун застосовується також в автомобілях, вентиляторах грубок, двигунах, які надають руху двірники,

					<i>КРМ.ЕС.11287689.ПЗ</i>	11
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

побутових вентиляторів, що живляться від напруги 220 В. У машині двигуни працюють від постійної напруги 12 вольт, але плавний запуск в них не передбачений.

Для регулювання обертів асинхронного двигуна застосовуються так звані частотні перетворювачі. Ці перетворювачі дозволяють кардинально міняти форму та частоту сигналу. Як правило, такі перетворювачі зібрані на базі потужних напівпровідникових транзисторів і імпульсних модуляторів, а всіма елементами управляє ШІМ-контролер.

Слід пам'ятати: чим плавнів розгін двигуна, тим менше він відчуває перевантажень. Це стосується редукторів, конвеєрів, потужних насосів, ліфтів.

Перш ніж переходити до моделі, алгоритмів та систем керування електроприводом, потрібно точно знати, що він собою являє. Це дозволяє виявити в його ланцюзі такі моменти, які можна буде використовувати для організації плавної зміни ключових характеристик (частота/швидкість обертання, напруга). Відповідно, можна визначити параметри контролера.

Робота будь-якого асинхронного двигуна базується на збудженні на контактних обмотках магнітного поля при подачі електрики. Воно виникає на статорі – нерухомій частині двигуна, яка складається з кільцевого осердя (магнітопроводу), зібраного з окремих металевих пластин. Кожна з них має концентричні пази на внутрішній стороні кільця, які при з'єднанні утворюють поздовжні пази. Вони служать для намотування дроту, складової основу статорної обмотки [1].

					<i>КРМ.ЕС.11287689.ПЗ</i>	12
<i>Вим.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

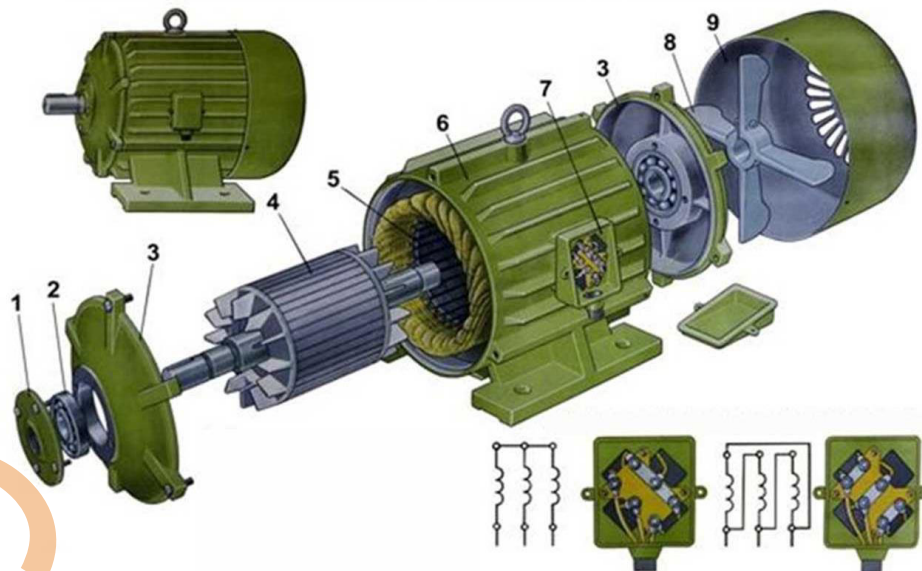


Рис. 1.1. Асинхронний трьохфазний двигун [1]

Також асинхронний двигун має рухома частину – ротор, поєднаний з приводним валом. Він також має пластинчастий сердечник з пазами, але вже на зовнішній стороні. Замість дроту використовуються мідні прутки, які замкнені пластинами по краях (такий варіант двигуна називається з короткозамкненим ротором).

За рахунок того, що частоти обертання магнітного поля статора і ротора відрізняються, в обмотках останнього за рахунок індукції наводиться електричний струм. Він, в свою чергу, спонукає електромагнітну силу, що приводить в рух ротор (обертання). Різниця частот зазвичай називається ковзанням. Його величина становить близько 2...10%.

Керування швидкістю обертання двигуна

Очевидно, що двигун в звичайному режимі роботи від мережі має стандартну швидкість, частоту обертання. Це обмежує пряме його використання, змушуючи застосовувати різні редукторні механізми для зниження частоти до необхідної. Але навіть тоді немає можливості динамічно змінювати обертів, а разом з ними, потужність, подачу, оскільки все одно

					<i>KPM.EC.11287689.ПЗ</i>	13
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

залишаються фіксованими частоти на виході з двигуна і редуктора. Для розширення існуючих рамок використовують різні способи керування асинхронним двигуном (частотні, імпульсні, фазні і т. д), які можна розділити на дві великі групи: скалярне керування та векторне керування.

Скалярне керування.

Найбільшого поширення набули асинхронні електроприводи зі скалярним керуванням. Його використовують в приводах компресорів, вентиляторів, насосів і інших механізмів в яких необхідно утримувати на певному рівні або швидкість обертання валу електродвигуна (застосовується датчик швидкості), або якогось технологічного параметра (наприклад, тиск у трубопроводі, із застосуванням відповідного датчика).

Принцип дії скалярного керування асинхронним двигуном - амплітуда і частота живлячої напруги змінюються по закону $U / f^n = \text{const}$, де $n \geq 1$. Те, як буде виглядати ця залежність в конкретному випадку, залежить від вимог, висунутих навантаженням електроприводу. Як правило, в якості незалежного впливу виступає частота, а напруга при певній частоті визначається видом механічної характеристики, а також значеннями критичного і пускового моментів. Завдяки скалярному керуванню забезпечується постійна перевантажувальна здатність асинхронного двигуна, незалежна від частоти напруги, і все ж при досить низьких частотах може відбутися значне зниження моменту, що розвивається двигуном. Максимальне значення діапазону скалярного керування, при якому можливе здійснення регулювання значення швидкості обертання ротора електродвигуна, без втрати моменту опору не перевищує 1:10.

Скалярне керування асинхронним двигуном досить просто реалізується, але все ж є два значні недоліки. По-перше, якщо на валу не встановлено датчик швидкості, то неможливо здійснювати регулювання значення швидкості обертання валу, оскільки вона залежить від впливу на електропривод навантаження. Установка датчика швидкості з легкістю

					<i>КРМ.ЕС.11287689.ПЗ</i>	14
<i>Вим.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

вирішує дану проблему, але ще одним значним недоліком залишається - відсутність можливості регулювання значення моменту на валу двигуна. Можна звичайно встановити датчик моменту, але вартість подібних датчиків, як правило, перевищує вартість самого електропривода. Причому, навіть якщо встановити датчик керування моментом, то процес керування цим самим моментом виявиться неймовірно інерційним. Ще одне «але» - скалярне керування асинхронним двигуном характеризується тим, що неможливо здійснення одночасного регулювання швидкості і моменту, тому доводиться здійснювати регулювання тієї величини, яка в даний момент часу найбільш важлива в силу умов технологічного процесу.

Скалярне керування як правило, використовується на приводах двигунів компресорних, вентиляторних, насосних та інших механізмів, де потрібен контроль швидкості обертання або будь-якого іншого параметра, пов'язаного з датчиками.

Векторне керування.

Сучасні системи векторного керування пройшли довгий шлях розвитку і в даний час є найбільш поширеними серед систем електроприводу змінного струму. Вони дозволяють просто і ефективно управляти такими складними об'єктами як асинхронний двигун з короткозамкненим ротором (АД), що в свою чергу, дозволяє істотно розширити область його застосування, майже повністю витісняючи з автоматизованих керованих приводів двигуни постійного струму. Це пов'язано в першу чергу з розвитком силової електроніки, що дозволяє створювати надійні і відносно дешеві перетворювачі, а також з розвитком швидкодіючої мікроелектроніки, здатної реалізувати алгоритми керування практично будь-якої складності. Тому високоякісний асинхронний векторний електропривод (АВП) в даний час є суті технічним стандартом.

Першим етапом процесу розвитку АВП була розробка універсальної векторно-матричної математичної моделі [2], що отримала назву узагальненої

					<i>КРМ.ЕС.11287689.ПЗ</i>	15
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

електричної машини, яка почалася в кінці 20-х років і завершилася в кінці 40-х років ХХ століття. Ця модель дозволяє описувати електромагнітні процеси в ідеалізованій електричній машині за допомогою апарату лінійної алгебри. Практичне використання моделі було відкладено на кілька десятиліть, тому що при ручних розрахунках вона не давала жодних переваг, але вимагала істотних обчислювальних витрат, теоретично ж її успішно використовували для аналізу перехідних процесів в електричних машинах.

У 1971 році F. Blaschke [3] запропонував принцип побудови системи керування асинхронним двигуном, в якому використовувалася векторна модель АД з орієнтацією системи координат по потокозчепленню ротора. Сутність запропонованого методу, який отримав згодом назву векторного, полягала у використанні в системі керування передавальних функцій зворотних по відношенню до передавальних функцій векторної моделі АД, що дозволяло отримати в якості незалежних вхідних змінних системи величини, що входять в рівняння електромагнітного моменту. Тому цей принцип називається також прямим керування моментом. Крім того, для спрощення завдання в векторній моделі АД використовувалася система координат, орієнтована по одному з векторів, що входять в рівняння електромагнітного моменту, що істотно спрощувало передавальні функції системи і дозволяло визначити момент двома незалежними змінними аналогічно тому, як це робиться в двигунах постійного струму.

За три минулі десятиліття були розроблені десятки варіантів вихідних моделей АВП, реалізовані сотні пристроїв на різній елементній базі, опубліковані тисячі статей і монографій, але принцип і перша модель, запропонована F. Blaschke, як і раніше домінують в технічних реалізаціях.

Керування асинхронним двигуном

На відміну від скалярного векторне керування як раз полягає в можливості здійснення контролю збудження (потоку). Фактично, асинхронний

					<i>КРМ.ЕС.11287689.ПЗ</i>	16
<i>Вим.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

двигун представляється як двигун постійного струму, який має незалежні один від одного обмотки. Такий підхід дозволяє створити подібну математичну модель системи роботи контролера.

Форми і схема векторного керування

Всі існуючі на сьогодні системи векторного керування роботою двигунів можна розділити на дві групи:

Датчикові. Блок керування роботою двигуна має з ним зворотний зв'язок по швидкості, з допомогою розташування на валу відповідних датчиків;

Бездатчикові. Це системи, які працюють без датчиків швидкості на основному валу.

Датчикові системи є більш складними, так як точність контролю становить 1:10000. Бездатчикові системи працюють на рівні не більше 1:100.

Якщо уявити все вище сказане як наочну схему, то вийде щось таке:

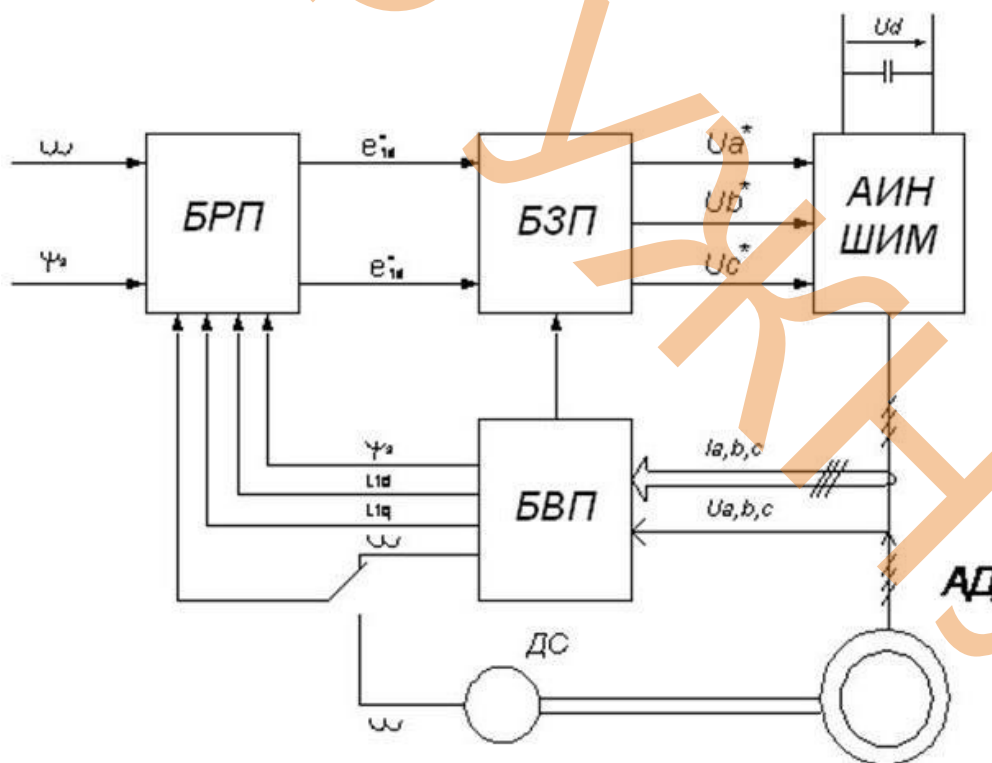


Рис. 1.2. Наочна схема керування асинхронним двигуном [1]

Тут можна бачити такі ключові компоненти системи керування, як:

- АД – власне, асинхронний двигун (об'єкт контролю);
- БРП – логічний блок регуляторів для змінних рівняння;
- БВП – логічний блок, що відповідає за обчислення за змінними;
- БЗП – блок, що задає значення змінних;
- ДС – датчик швидкості на валу двигуна;
- АІН ШІМ – блок амплітудноімпульсної/широотно-імпульсної модуляції.

Те, що на схемі відображено у вигляді блоків, на практиці є лише параметричними елементами ланцюга керування, яка реалізується на мікроконтролері.

Керування частотними контролерами

Сучасні перетворювачі частоти струму/напруги працюють і по скалярному, і по векторному варіанту, використовуючи параметричні математичні моделі, реалізовані в програмному коді вбудованого мікроконтролера. Частотні перетворювачі електронного типу працюють на тиристорних мостових схемах і включають такі основні компоненти:

- Випрямляч – тиристорний або транзисторний міст, що перетворює змінний струм у постійний;
- Інвертор – блок АІМ/ШІМ, що працює за зворотним принципом, тобто перетворює постійний струм в змінний.

Оскільки такий перехід так чи інакше впливає на форму графіка вихідної напруги, то блоковий контролер/частотний перетворювач може використовувати в схемі дроселя і спеціальні мережеві ЕМС фільтри. Останні застосовують для зниження інтенсивності електромагнітних завад. Центральний контролер забезпечує параметричне керування схемою, а також допоміжними завданнями, наприклад, діагностикою стану, захистом від перевантажень і т. п.

					<i>КРМ.ЕС.11287689.ПЗ</i>	18
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

В цілому, векторне керування асинхронним двигуном, організоване на сучасному контролері перетворювача частоти, дозволяє домогтися плавного регулювання ключових величин, а також побічних параметрів роботи обладнання.

1.1. Огляд і аналіз методів та схемотехнічних рішень поставленого завдання

Керування асинхронним двигуном широко застосовується у побутовій техніці. Наприклад на основі пральної машини, а саме керування її роботою, що включає керування асинхронним двигуном із можливістю задання швидкості і реверсу двигуна проведемо огляд аналогів.

Електронне керування пральною машиною [4]

Багато побутових пральних машин при гарних експлуатаційних якостях, таких як довговічність, надійність і зручність користування, мають мінімум сервісних можливостей, які звичайно зводяться до простого вибору одного із двох режимів прання і її тривалості.

Пристрій керування пральною машиною (наведено на рисунку 2.1) зібрано на мікросхемах серії K155 максимальна комутуюча потужність - 450 Вт, співвідношення тривалості прямого/зворотного ходу циклу прання - 1:4, 1:2, 1:1, 2:1, 4:1. Тривалість циклу - 1,2,4 хв. Тривалість прання - 2,4,6, 12 хв. Принципова схема пристрою наведена на рис.2.1. Як опорна частота для його роботи використовується частота мережі - 50 Гц. У формуванні тактових імпульсів беруть участь утворюючий тригер Шмітта елементи DD1.1, DD1.2, що обмежує напругу на рівні лог. 1 стабілітрон VD1, а також резистори R1 – R3. Через елемент DD2.1 тактові імпульси надходять на вхід складеного дільника частоти DD2DD3, що забезпечує її розподіл на 64, а потім - на лічильник DD4, додатково понижуючу частоту в 4 рази. Таким чином, період

					<i>KPM.EC.11287689.ПЗ</i>	19
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

пуск відбувається автоматично через 1,28 с негативним імпульсом з виходу 6 мікросхеми DD3. Відсутність цілочислової кореляції й чіткій взаємозалежності між установками тривалості циклу й загальної тривалості прання не створює скільки-небудь помітних незручностей у процесі експлуатації пристрою, однак дозволяє значно спростити його схему. Для живлення пристрою використаний трансформатор Т1 (рис.2.2). Напруга 12,6 В із його послідовно з'єднаних обмоток 7-8 й 9-10 надходить на однопівперіодний випрямляч VD1C2 і далі на блок керування. Струм, споживаний цим ланцюгом, не перевищує 150 мА. З виводів 9-10 трансформатора Т1 знімається змінна напруга опорної частоти 50 Гц, що надходить на формуючий ланцюг VD1R1 (рис.1.1). Стабілізатор U1 - на напругу +5 В стаб. і струм навантаження до 500 мА, наприклад, мікросхема КР142ЕН5А. Конденсатор Сп - типовий для конкретного виду пральної машини.

Мікропроцесорний блок керування пральною машиною [5]

Мікропроцесорний блок керування призначений для модернізації пральною машиною ЭВРИКА. Установлений у пральну машину блок, дозволяє робити прання білизни в автоматичному режимі, по програмі що задається користувачем.

Місце встановити мікропроцесорного блоку керування в пральну машину рис.2.3.

					<i>КРМ.ЕС.11287689.ПЗ</i>	22
<i>Вим.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

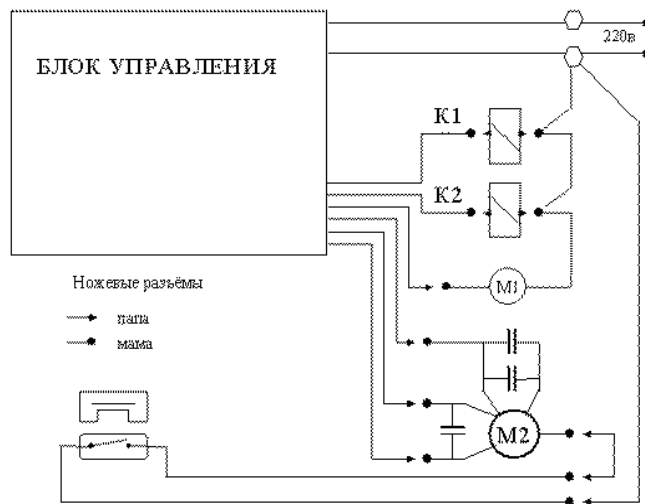


Рис.2.3. Місце встановити мікропроцесорного блоку керування в ПМ [3]

Схема керування складається із двох плат. На платі керування й індикації (рис 2.4) перебувають мікроконтролер АТ89С51, 8 кнопок керування, один здвоєний семисегментний індикатор й 9 світлодіодів що відображають хід програми.

Керування семисегментним індикатором, діодами стану й опитування стану клавіатури відбувається в динамічному режимі за допомогою двох паралельних регістрів ІР22 і двох транзисторних ключів Q1, Q2 із частотою 100 Гц. Частота формується на силовій платі детектором переходу напруги через "0".

Силова плата (рис.2.5) складається з: блоку живлення з вихідними напругами 12 вольтів для живлення силових реле, 5 вольт для живлення цифрової частини, двох опто-тиристорів ТО122, детектора переходу напруги через "0" на оптроні АОР101, силових реле для керування машиною [3].

					<i>КРМ.ЕС.11287689.ПЗ</i>	23
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

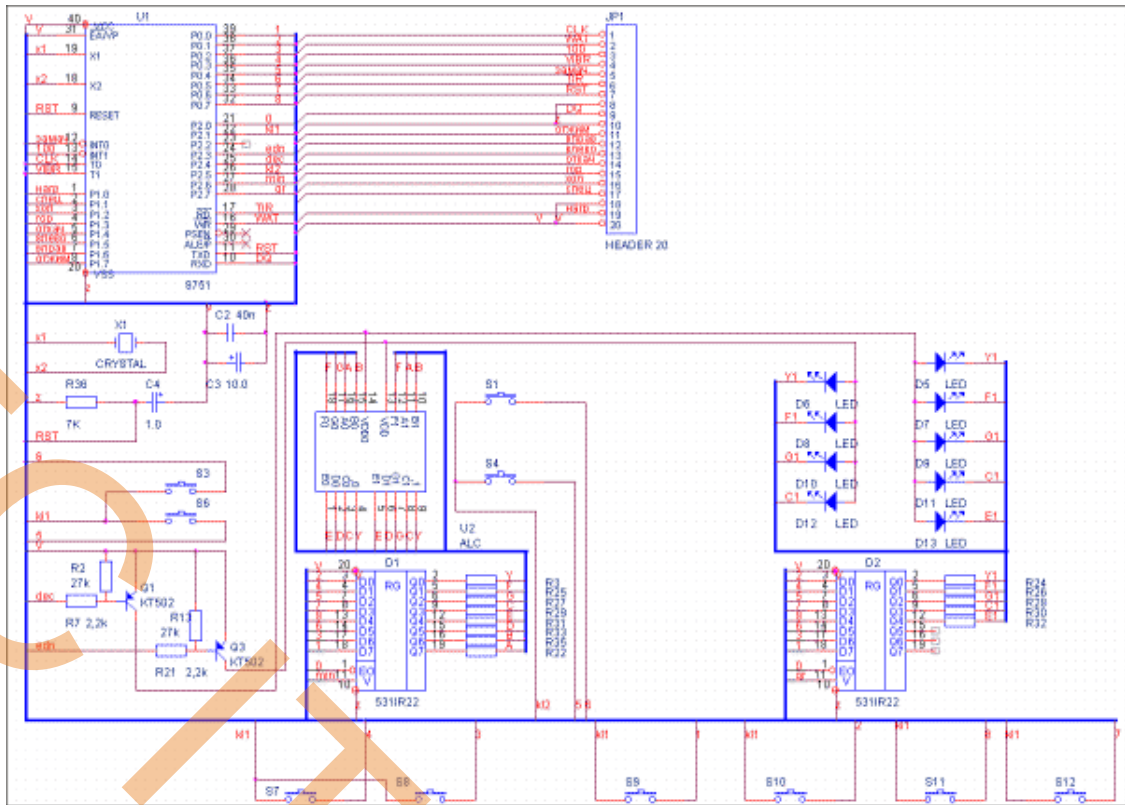


Рис.2.4. Плати керування й індикації [5]

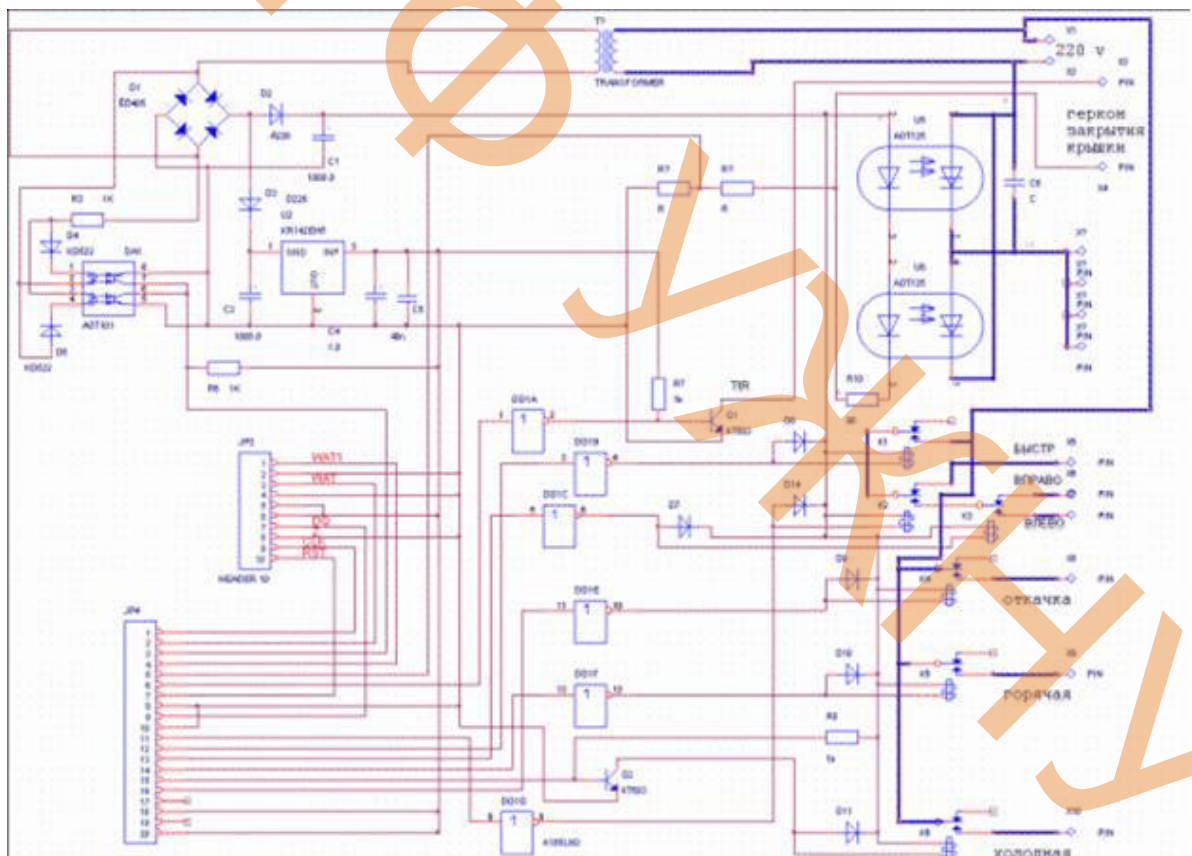


Рис.2.4. Плати керування й індикації [5]

Релейна схема силової комутації здійснює всі перемикання тільки при

знеструмлених ланцюгах, загальне відключення здійснюється за допомогою двох включених паралельно опто-тиристорів ТО122. Це дозволяє використати більше малопотужні (дешеві) реле тому що перехідні процеси в них відсутні.

Блок керування пральною машиною БУСМ-4 [6]

БУСМ-4 забезпечує прийом інформації від: датчика тиску (чотири рівні води); температурного датчика; таходатчика; клавіатури; датчика кришки.

По цій інформації, а також відповідно до циклограми прання БУСМ-4 управляє: роботою асинхронного електродвигуна (ДАУ-250-12, АИР-56 й ін.); чотирма водяними клапанами; зливальним насосом; нагрівальним елементом (ТЭН). Зовнішній вид БУСМ-4 рис. 2.6.

БУСМ-4 має можливість електронного балансування на віджимі й тестування основних несправностей (відсутність зливу, затоки, обертання, нагрівання). Обертання асинхронного двигуна забезпечується з точністю 3% із частотою від 300 про/хв до 12 000 про/хв.. У БУСМ-4 закладена можливість тестування роботи основних пристроїв, а також можливість більше докладної розшифровки помилок що виникли для полегшення знаходження несправності.

Вироблений НПО "Кинетик" блок керування пральної машини легко перепрограмується по циклограмах замовника й забезпечує більше 80 програм прання.

Універсальний електронний модуль для пральних машин [7]

Приведена конструкція - універсального електронного модуля для пральних машин. Він може бути використаний замість штатних модулів у ПМ із асинхронними, колекторними й комбінованими асинхронно-колекторними приводними моторами. Основні його переваги - універсальність, низька вартість, простота, висока ремонтпридатність.

					<i>КРМ.ЕС.11287689.ПЗ</i>	25
<i>Вим.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

Універсальний електронний модуль призначений для установки замість штатних модулів ПМ. Модуль виконаний на основі мікроконтролера й не вимагає підключення командо-апарату. Відзначимо, що якщо в ПМ уже має штатний командо-апарат, після установки модуля він буде виконувати тільки декоративну функцію.

Керування модулем відбувається по інфрачервоному каналі від телевізійного пульта дистанційного керування (ПДУ). Для зниження ймовірності виходу з ладу мікроконтролера (у ланцюгах керування силовими навантаженнями), у ньому застосовані інтегральні буферні ключі типу ULN2003, також у ланцюзі формувача сигналів з тахогенератора використовується оптрон. Застосування оптрона, крім забезпечення гальванічної розв'язки підвищує перешкодозахищеність мікроконтролера від наведень працюючого колекторного приводного мотора, що особливо важливо при підвищеному зношуванні щіток.

Основні функції модуля і його керування. Універсальний модуль забезпечує апаратно-програмне керування наступними елементами в складі ПМ: асинхронними або колекторними приводними моторами; помпою; клапанами затоки води; пристроєм блокування люка; тенном. Він також забезпечує прийом й обробку сигналів від елементів: контрольної контактної групи замка дверцята люка; датчика рівня води; датчика температури; датчика вібрації (якщо є необхідність у його установці). Принципова електрична схема модуля наведена на рис.2.8.

					<i>КРМ.ЕС.11287689.ПЗ</i>	26
<i>Вим.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

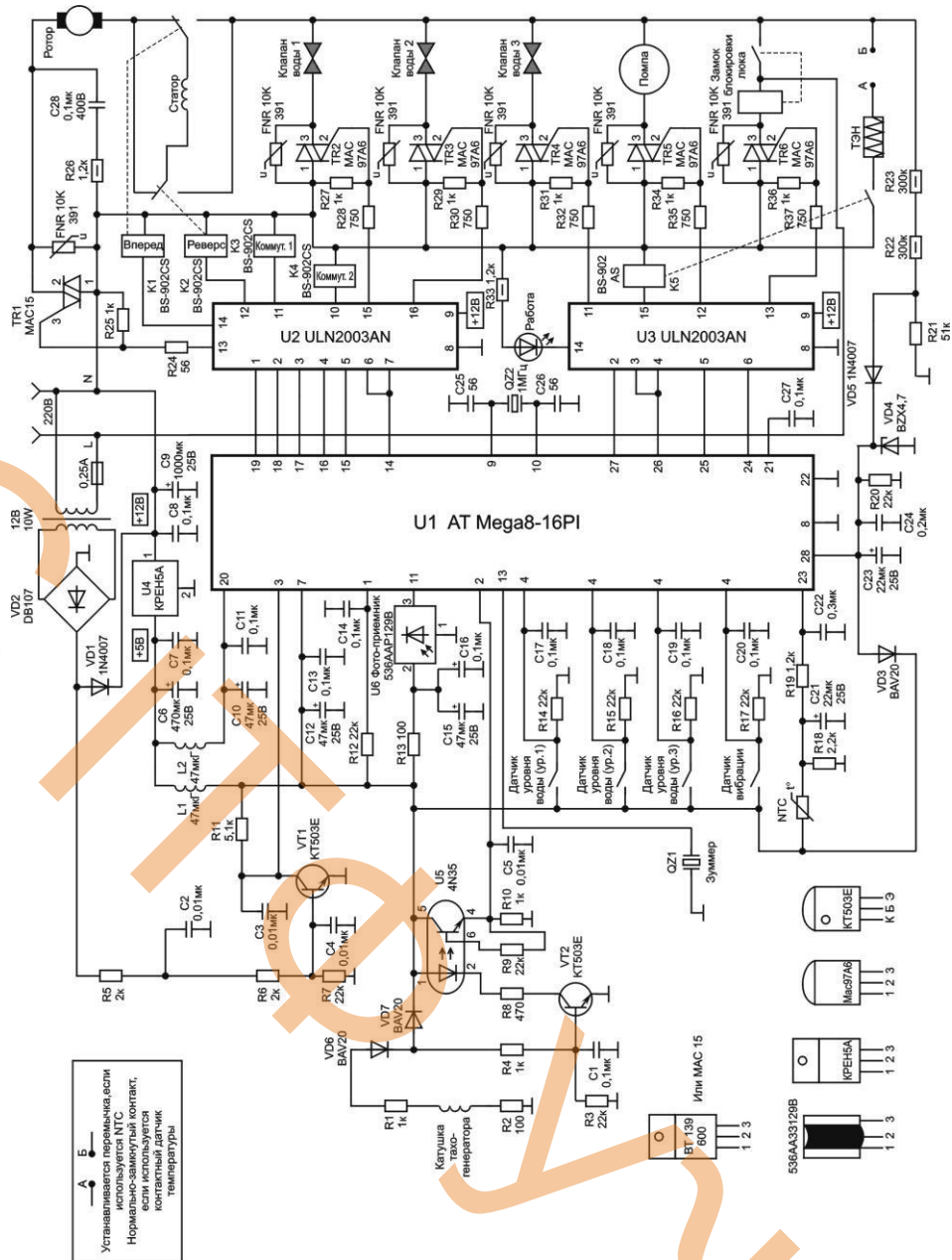


Рис. 2.8. Принципова електрична схема модуля [7]

Електронний модуль керування DMPU [8]

Електронний модуль типу DMPU використовується в пральних машинах ARDO і призначений для керування наступними вузлами пральної машини: колекторним двигуном змінного струму; клапаном затоки холодної води; зливальним насосом; двигуном програматора (таймера).

На модуль DMPU надходять сигнали від наступних вузлів пральних машин: від контактних груп програматора (1, 3, 5); від кнопок і ручок

Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	
					КРМ.ЕС.11287689.ПЗ
					27

додаткових функцій; від терморезистора й регулятора температури; від реле рівня води в баці; від тахометра швидкості обертання барабана.

Модуль DMPU включається в загальну схему пральної машини за допомогою трьох з'єднувачів: CNA, CNB, CNC. З'єднувач CNA: A01 - вхід сигналу від температурного зонда (терморезистора) про нагрівання води; A02 - загальне проведення; A03 - вхід сигналу з тахогенератора про швидкості обертання барабана; A04 - загальний провід; A05, A07 - живлення статорної обмотки приводного двигуна; A06 - не використовується; A08, A09 - живлення роторної обмотки приводного двигуна; A10, A11 - ланцюг термозахисту двигуна. З'єднувач CNB: B01 - не використовується; B02 - кнопка «додаткове полоскання» (EK); B03 - кнопка «зупинка з водою в баці» (RSS); B04 - кнопка «відключення центрифуги» (SDE); B05 - кнопка «ощадливий режим» (E); B06 - кнопка «половинне завантаження» (LWS); B07 - сигнал регулювання швидкості віджиму; B08 - сигнал регулювання температури нагрівання води; B09 - живлення для всіх кнопок передньої панелі; B10 - загальний провід; B11 - загальний провід; B12 - вихід на клапан холодної води.

З'єднувач CNC: C01 - живлення модуля змінною напругою -220 В, фаза (F); C02 - вихід на зливальну помпу (DPM); C03 - живлення двигуна таймера (TM); C04 - живлення модуля -220 В, нейтраль (N); C05 - вхід сигналу з датчика рівня води; C06 - загальна інформаційна шина перемикачів таймера; C07 - вхід з контакту 3Т таймера; C08 - вхід з контакту 1Т таймера; C09 - вхід з контакту 5Т таймера; C10 - вхід з контакту 3В таймери; C11 - вхід з контакту 5В таймера; C12 - вхід з контакту 1В таймера. Функціональна схема пральної машини ARDO на основі електронного модуля DMPU наведена на рис. 2.9.

					<i>KPM.EC.11287689.ПЗ</i>	28
<i>Вим.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

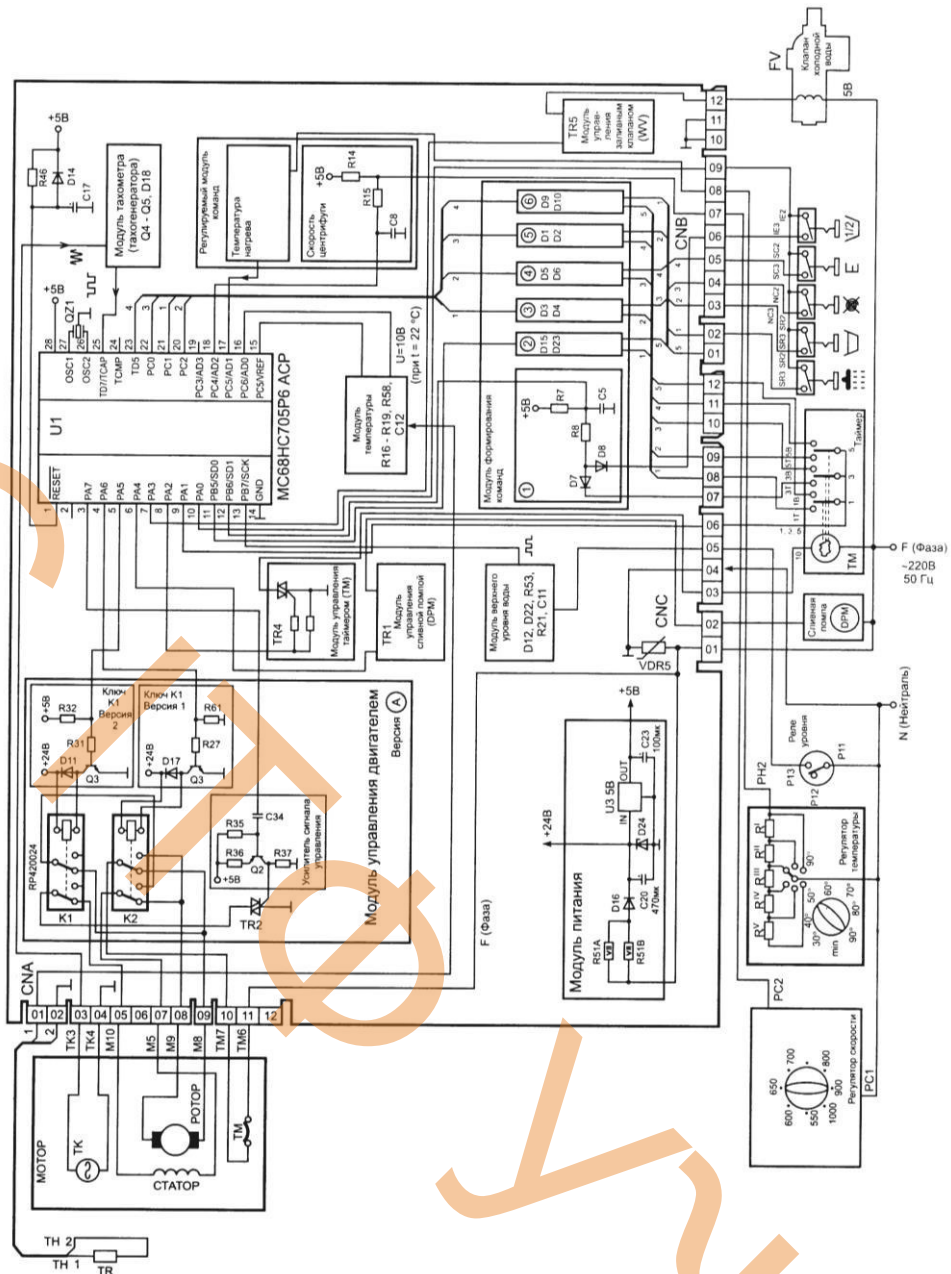


Рис. 2.9. Функціональна схема пральної машини ARDO на основі електронного модуля DMPU [8]

Вона складається з наступних елементів: мікроконтролера сімейства HC05; модуля живлення; модуля формування команд; регульованого модуля команд; модуля температури; модуля тахогенератора; модуля контролю верхнього рівня води; модуля керування двигуном; модулів керування заливним клапаном, зливальною помпою, двигуном таймера; модуля захисту.

Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

Схема керування для асинхронного двигуна, на АТtiny2313 [9]

Для початку, на невеликому прикладі розберемося з мінімальною схемою такого підключення (рис. 2.10), з її елементами і їх призначенням.

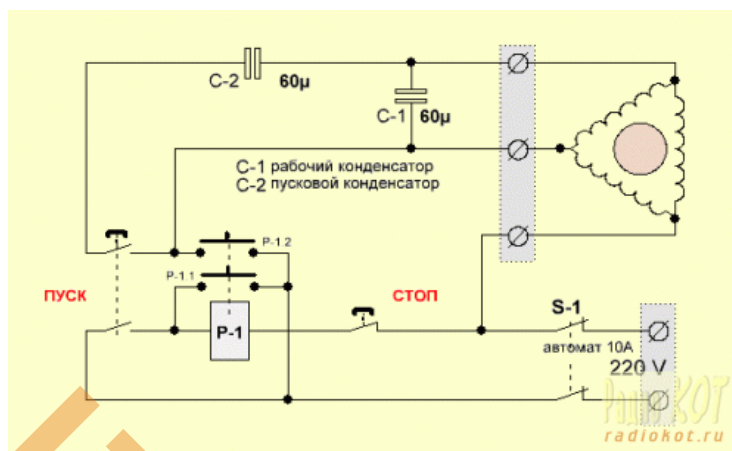


Рис. 2.10. Мінімальна схема підключення старт/стоп, без реверсу [9]

S1 - це автоматичний вимикач він захищає ланцюг керування від короткого замикання.

«Стоп» - кнопка, що дозволяє зробити зупинку роботи схеми.

«Пуск» - кнопка, яка запускає схему в дію.

P-1 - магнітний пускач, основа даної схеми.

Працює це все наступним чином: подаємо напругу на силову частину схеми і на схему керування (в нашому випадку, це відбувається за допомогою автоматичного вимикача S1). Потім натискаємо кнопку «Пуск», при цьому живлення подається на котушку магнітного пускача P-1.

Що відбувається далі: магнітний пускач P-1 «спрацьовує», силові контакти пускача замкнуться, що призведе до подачі напруги на двигун і його пуску.

При цьому, за допомогою блокувальних контактів P-1.1 блокує сам себе, і коли ми відпустимо кнопку «Пуск», живлення на пускач буде надходити через заблоковані контакти P-1.1 і схема запрацює.

					КРМ.ЕС.11287689.ПЗ	30
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

А так же, утримуючи кнопку «Пуск» в натиснутому стані, підключаються додаткові пускові конденсатори двигуна (при відпущеній кнопці, пускові конденсатори, в роботі схеми участі не приймають).

Вимкнути її можна, натиснувши на кнопку «Стоп», це розірве ланцюг живлення котушки пускача, що призведе до зупинки роботи схеми (або за допомогою автоматичного вимикача S1).

Схема керування асинхронним електродвигуном 220V, старт/стоп, без реверсу на ATtiny2313 представлена на рис 2.11.

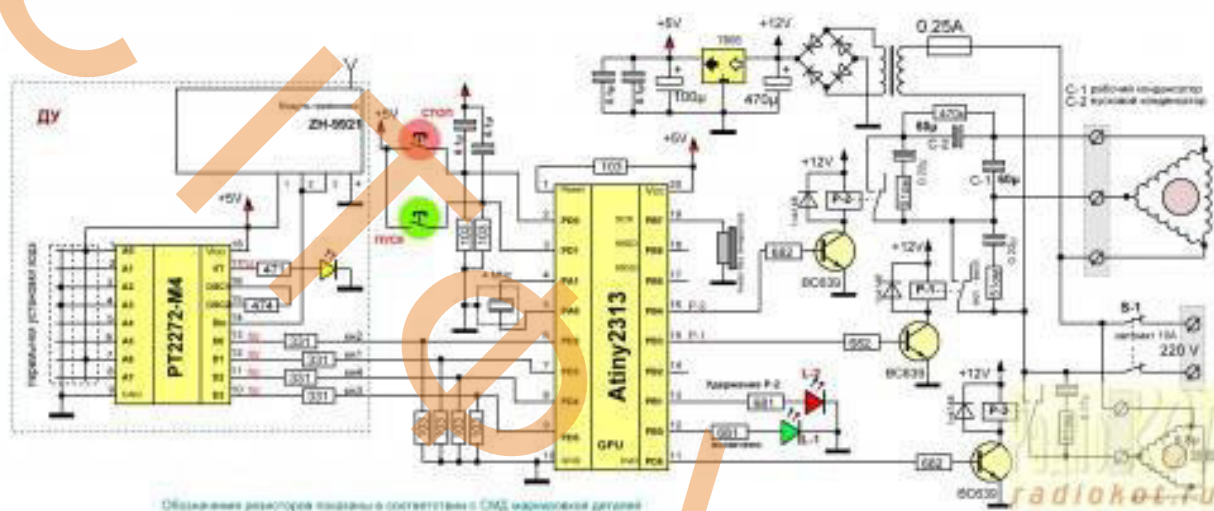


Рис. 2.11. Схема керування для асинхронного двигуна, на ATtiny2313 [9]

Ручне керування двома кнопками, без фіксації ПУСК, СТОП. Функції:

1) Натискання кнопки ПУСК (до 6 сек.), Подає живлення 220V на двигун (реле-1), і підключає (реле-2) додаткові пускові конденсатори (на час утримання кнопки ПУСК);

2) Тривале натискання кнопки ПУСК (більше 6 сек.), подає живлення 220V на двигун, і ставить реле пускових конденсаторів на утримання (якщо потрібно посиленій крутний момент).

3) Після запуску двигуна (реле-1, реле-2), з невеликою затримкою включиться (реле-3), це для додаткового повітряного вентилятора охолодження електродвигуна (якщо раптом, в цьому є необхідність).

4) Натискання кнопки СТОП (до 5 сек.), Відключає живлення 220V (реле-1 і реле-2) повітряний вентилятор (реле-3) продовжує працювати ще 8 хвилин.

5) Тривале натискання кнопки СТОП (більше 5 сек.) Зробить відключення повітряного вентилятора (реле-3).

Індикація стану роботи схеми світлодіодами:

- Світлодіод L-1, при подачі живлення на електродвигун горить постійно, в режимі очікування блимає (реле-1 відключено).

- Світлодіод L-2, горить тільки коли реле-2 в режимі утримання (підключені пускові конденсатори постійно).

Дистанційне керування на готовому радіо модулі, на базі мікросхем PT2262, PT2272. Всі команди з пульта подаються короткочасними натисканнями кнопок і дублюють команди кнопок ПУСК - СТОП і всі попередні функції 1, 2, 3, 4, 5.

Дублювання керування функціями пуск, стоп, дистанційно (чотири кнопки):

- кн0 ПУСК подає живлення 220V на двигун (реле-1), і підключає (реле-2) додаткові пускові конденсатори на 8 секунд.

- Кн1 ПУСК + подає живлення 220V на двигун, і ставить реле пускових конденсаторів на утримання.

- КН2 СТОП відключає живлення 220V (реле-1 і реле-2) повітряний вентилятор (реле-3) продовжує працювати ще 8 хвилин.

- кн3 стоп відключає живлення 220V і все реле (реле-1, реле-2 і реле-3).

Бuzzer (п'єзо без генератора), це сигналізація для забудькуватих. Через чотири години бездіяльності схеми, він почне подавати переривчастий звуковий сигнал, сигналізуючи про те, що апарат підключений до мережі і по всій видимості знаходиться без нагляду.

Керування частотою обертання [10]

					<i>KPM.EC.11287689.ПЗ</i>	32
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Використовуючи пропонований пристрій, можна не тільки живити трифазний асинхронний електродвигун від однофазної мережі, але і плавно регулювати частоту його обертання.

Регулятор частоти обертання істотно покращує характеристики трифазного асинхронного двигуна (ТАД). Описується пристрій дозволяє живити ТАД від однофазної мережі практично без втрати потужності, регулювати пусковий момент, регулювати в широких межах частоту обертання як на холостому ході, так і при навантаженні, а також головне - збільшувати максимальну частоту обертання більше номінальної.

Пропонований пристрій експлуатується з ТАД потужністю 120 Вт і номінальною частотою обертання 3000 об / хв.

Схема регулятора наведена на рис. 2.12. На елементах DD1.1-DD2.1 зібраний задаючий генератор із змінною в межах 30 ... 800 Гц частотою. Регулюють частоту змінним резистором R3. Лічильник DD2, елемент І-НЕ DD2.2 і чотири елементи DD3.1-DD3.4 входять до складу формувача імпульсів трифазної послідовності (ФІТ), який перетворює постійну напругу в сигнали прямокутної форми, зсунуті по фазі на 120 градусів. На рис. 2.13. приведені епюри напруги в характерних точках.

					<i>КРМ.ЕС.11287689.ПЗ</i>	33
<i>Вим.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

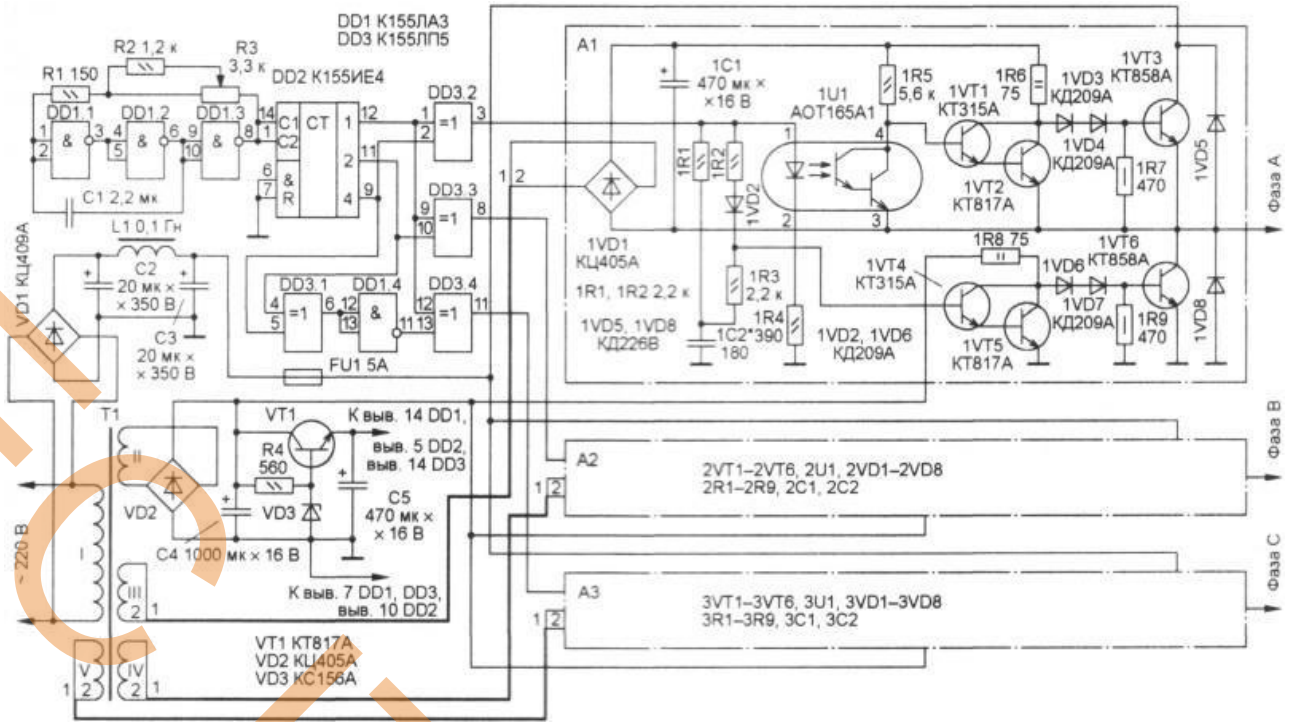


Рис. 2.12. Схема регулятора [10]

На транзисторах 1VT1-1VT6, 2VT1-2VT6, 3VT1- 3VT6 зібрані три однакових підсилювача, по одному на кожну фазу ТАД. На рис. 1 наведена схема тільки одного підсилювача. Схеми інших точно такі ж. Розглянемо роботу одного з них (верхнього за схемою). Коли на виході елемента DD3.2 з'являється високий рівень, відкривається складовою транзистор 1VT4, 1VT5, а вихідний транзистор 1VT6 закривається. Крім того, високий рівень надходить на вхід транзисторної оптопари 1U1, в результаті чого на її виході встановлюється низький рівень, який закриває складовою транзистор 1VT1, 1VT2. Вихідний транзистор 1VT3 відкритий. Для розв'язки по напрузі транзистори 1VT1, 1VT2 і 1VT4, 1VT5 живлять від різних джерел напругою +10 В, а транзистори 1VT3, 1VT6 - від джерела напругою +300 В. Діоди 1VD3, 1VD4, 1VD6, 1VD7 служать для більш надійного закривання вихідних транзисторів.

Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

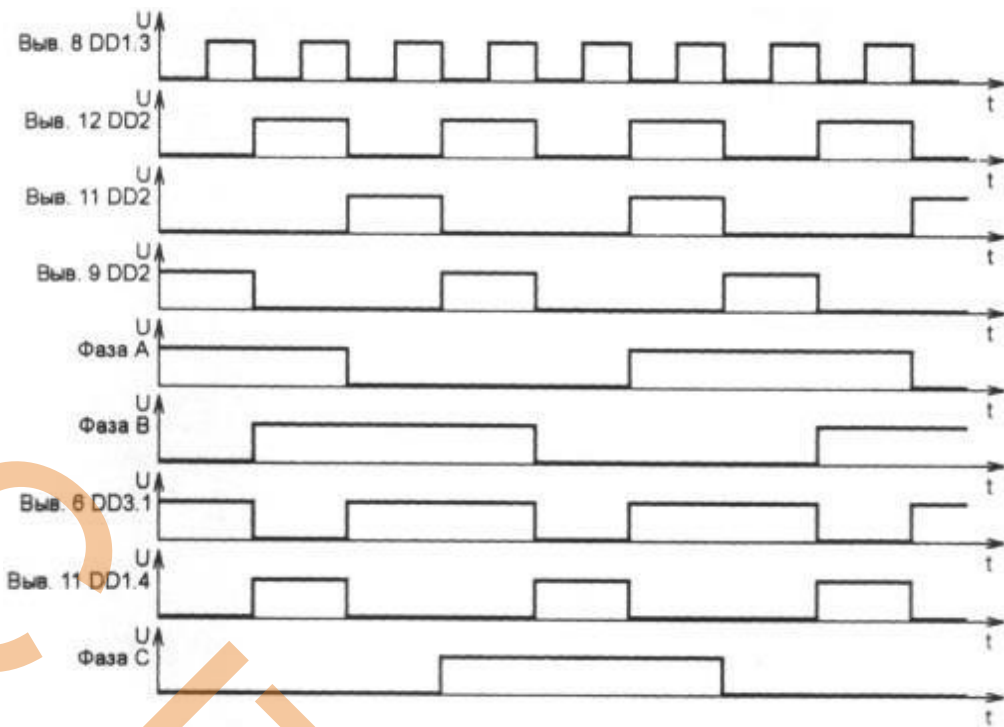


Рис. 2.13. Енюри напруг [10]

Одне з головних умов нормальної роботи транзисторів 1VT3 і 1VT6 - вони не повинні бути одночасно відкриті. Для цього на вхід складеного транзистора 1VT1, 1VT2 керуюча напруга надходить з виходу оптопари 1U1, що забезпечує деяку затримку його перемикання (приблизно 40 мкс). При появі на вході оптопари високого рівня починає заряджатися конденсатор 1C2. Сигнал низького рівня на вході оптопари не може миттєво закрити складовою транзистор 1VT4, 1VT5, оскільки конденсатор 1C2, розряджучись за ланцюгом 1R3, емітерний переходи транзисторів, підтримує його протягом близько 140 мкс у відкритому стані, а транзистор 1VT6 - в закритому. Час виключення оптопари складає приблизно 100 мкс, тому транзистор 1VT3 закривається раніше, ніж транзистор 1VT6 відкривається.

Діоди 1VD5, 1VD8 захищають вихідні транзистори від підвищення напруги при комутації індуктивного навантаження - обмоток ТАД, а також замикають струм обмоток, коли напруга на них змінює свою полярність (при перемиканні транзисторів 1VT3, 1VT6). Наприклад, після закривання транзисторів 1VT3 і 2VT6 струм деякий час проходить в колишньому напрямі

					<i>КРМ.ЕС.11287689.ПЗ</i>	35
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- від фази А до фази В, замикаючись через діод 2VD5, джерело живлення, діод 1VD8, поки не зменшиться до нуля.

Блок живлення регулятора виробляє напруги +5, +10 та +300 В. Напруга +5 В, що виробляється стабілізатором на стабілітроні VD3 і транзисторі VT1, використовується для живлення мікросхем DD1-DD3. Верхній по схемі складовою транзистор кожного підсилювача харчується від окремої обмотки мережевого трансформатора Т1 і окремого мостового випрямляча (1VD1, 2VD1, 3VD1). Нижній складовою транзистор всіх підсилювачів - від обмотки II і діодного моста VD2. Для харчування вихідних транзисторів застосований міст VD1 і LC-фільтр C2L1C3. Ємність конденсаторів C2 і C3 вибирають виходячи з потужності ТАД. Вона повинна бути не менше 20 мкФ при індуктивності дроселя 0,1 Гн.

У регуляторі можна застосувати постійні резистори МЛТ, ОМЛТ, ВС. Конденсатор C1 - будь-який, наприклад, керамічний КЮ-17-26, C2-C5, 1C1, 2C1, 3C1 - будь-які оксидні. Дросель L1 - саморобний. Його намотують на Ш-подібному магніто-проводі площею поперечного перерізу 4 см². Обмотка містить 120 витків дроту ПЕВ 0,35. Дросель можна виключити, але при цьому доведеться збільшити ємність конденсаторів C2 і C3 до 50 мкФ. Оптопарі 1U1, 2U1, 3U1 можна використовувати і інші, у яких час затримки включення не більше 100 мкс, а напруга ізоляції не менше 400 В.

Основна вимога до транзисторів - високий і приблизно однаковий у всіх коефіцієнт передачі струму (не менше 50). Транзистори КТ315А можуть бути замінені на транзистори серій КТ315, КТ312, КТ3102 з будь-якими літерними індексами, а транзистори КТ817А (VT1, 1VT2, 1VT5, 2VT2, 2VT5, 3VT2, 3VT5) - на КТ817 або КТ815 з будь-якими літерними індексами. Замість транзисторів КТ858А можна застосувати будь-які потужні з допустимою напругою колектор-емітер не менше 350 В і коефіцієнтом передачі струму не менше 50. Їх слід встановити на тепловідводи площею не менше 10 см² кожний.

					<i>КРМ.ЕС.11287689.ПЗ</i>	36
<i>Вим.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

Однак при використанні електродвигунів потужністю понад 200 Вт потрібні тепловідводи з більшою площею. Якщо потужність ТАД перевищує 300 Вт, замість випрямляча КЦ409А необхідно зібрати міст з окремих діодів, розрахованих на зворотне напруга більше 400 В і відповідний струм. Діоди 1VD5, 1VD8 підійдуть будь-які з допустимим прямим імпульсним струмом не менше 5 А і зворотним напругою не менше 400 В, наприклад, КД226В або КД226Г. Трансформатор - будь-який потужністю не менше 15 Вт, що має чотири роздільні вторинні обмотки по 8 ... 9 В кожна.

Світ електродвигунів доволі великий і постійно поширюється, тому й зустріти ці агрегати можна у будь-якій галузі людської діяльності. Якщо говорити про промислове використання, то там найбільший попит мають асинхронні мотори АІР. У каталозі Булат Метал можна побачити всі існуючі моделі двигунів з різними технічними характеристиками. Їх встановлюють у:

- промислових вентиляторах;
- різноманітних насосах;
- дерево- та металообробних станках;
- крановій техніці;
- компресорах;
- конвеєрах тощо.

Існують і інші електромотори промислового призначення. Ці пристрої характеризуються відносно компактними розмірами, міцними корпусами та чудовими показниками ефективності. Обслуговування подібних приладів також не викликає складнощів. На українському ринку представлені двигуни АІР як вітчизняного, так і закордонного виробництва.

У побуті також можна зустріти асинхронні мотори. Окрім описаної вище пральної машини вони встановлюються у холодильники, кухонні комбайни, інші зразки техніки. Усюди, де необхідно перетворити електричну енергію на механічну, за це відповідають двигуни. Вони роблять наше життя більш комфортним та зручним, допомагають у вирішенні різноманітних задач: від

					<i>КРМ.ЕС.11287689.ПЗ</i>	37
<i>Вим.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

приготування страв до прибирання в домі. Електрична енергія вважається екологічною та доволі безпечною, якщо дотримуватися певних правил. З кожним роком кількість електродвигунів у побуті та промисловості інтенсивно збільшується.

ЕКОСТЕФ

					<i>КРМ.ЕС.11287689.ПЗ</i>	38
<i>Вим.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

2. Проектно - конструкторський розділ

2.1. Синтез та аналіз структурної і принципової схем

Провівши аналіз аналогів і з врахування технічного завдання розробимо структурну схему на основі якої продовжимо роботу над проектуванням пристрою.



Рис. 3.1. Узагальнена структурна схема пристрою: 1 – мережа 220 В; 2 – блок керування; 3-двигун

Конкретизувавши деякі аспекти отримаємо структурну схему системи рис.3.2.

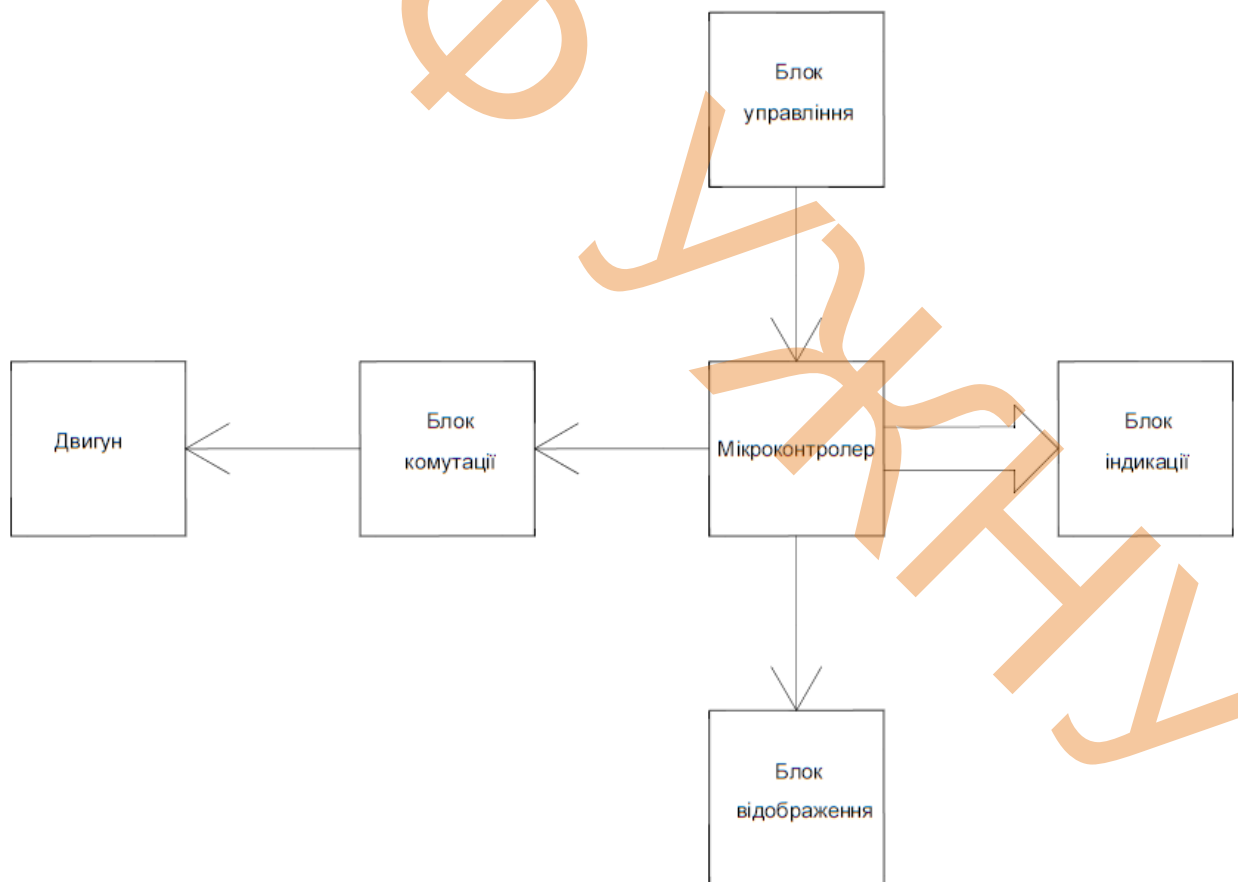


Рис. 3.2. Структурна схема пристрою

					КРМ.ЕС.11287689.ПЗ	39
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Двигун – трьохфазний 1,5 кВт;

Блок комутації – представляє собою драйвери для транзисторів які керуються сигналами від мікроконтролера;

Блок керування – набір кнопок для задання режиму роботи;

Блок індикації – динамічне індукування швидкості обертання двигуна;

Блок відображення – лінійка світлодіодів які відображають потужність з якою працює двигун.

Хід роботи системи керування. Управляючий сигнал надходить на мікроконтролер, який виконує ряд операцій пов'язаних із управляючими сигналами і його внутрішньою програмою.

Дії мікроконтролера:

- 1) передача сигналу на драйвери для роботи двигуна;
- 2) на індикатор виводиться частота обертання двигуна;
- 3) запалюються світлодіоди в залежності навантаження двигуна.

На основі структурної схеми будуюмо принципову схему рис.3.3.

					<i>КРМ.ЕС.11287689.ПЗ</i>	40
<i>Вим.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

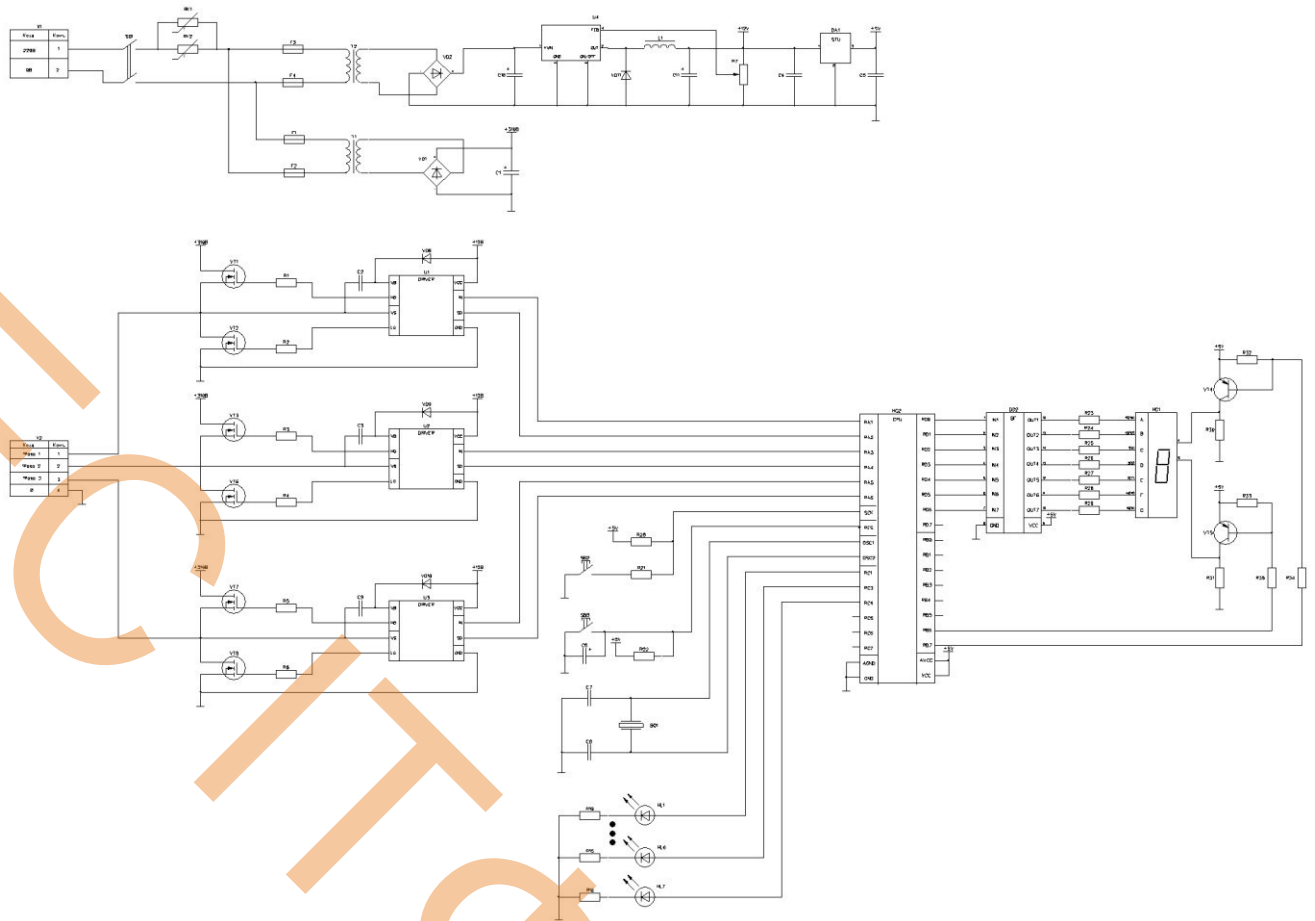


Рис.3.3. Принципова схема пристрою

Керування відбувається в наступній послідовності: при включенні в мережу і натисненні кнопки SB1 на схему керування надходить живлення усіх її компонентів. За наперед заданою програмою мікроконтролер запусить управляючий сигнал на драйвери U1-U3, що керують транзисторами VT1-VT3, VT6-VT8. Із врахуванням зсуву фаз у відповідності керування асинхронними трьохфазними двигунами від одної фази. Реверс двигуна виконується також за керуванням МК. Керуючі сигнали для МК надходять з кнопок SB2 «+», SB3 «-», при натисканні одночасно двох і утримання більше 3 с, включиться режим реверсу. Кнопка SB2 буде збільшувати потужність двигуна, а кнопка SB3 зменшувати.

Про величину регулювання і задану потужність будуть сповіщати світлодіоди HL1-HL7. А на дисплеї HG1 відобразиться швидкість обертання двигуна.

2.2. Розрахунки режимів роботи елементів принципової схеми, вибір елементів

Для гальванічної розв'язки використаю трансформатор Т1 де на первинній і вторинній обмотці буде однакова кількість витків. Це підвищує безпеку експлуатації пристрою, захищаючи користувачів і чутливу електроніку від можливих перенапруг або коротких замикань на стороні мережі і навпаки.

Цей трансформатор не розміщений безпосередньо на друкованій платі, оскільки він має більші габарити та специфічні монтажні вимоги. У реальній конструкції він підключається до плати зовнішньо, відповідно до проектної документації. Такий підхід спрощує проектування друкованої плати, забезпечує гнучкість у виборі трансформатора і зменшує її розміри.

Для розроблюваного приладу обрано тороїдальний трансформатор HDB2000 220v на 2 кВт [11].

Таблиця 3.1 – Технічні характеристики HDB2000

Параметр	Значення
Напруга на первинні обмотці, В	220
Напруга на вторинній обмотці, В	220
Потужність, Вт	2000
Матеріал обмотки	Мідь
Робоча температура, °С	-25...+150

Трансформатором Т2, від якого будуть живитися логічні елементи схеми, обрано ТТ-100VA 220/24V [12].

Таблиця 3.2 – Технічні характеристики ТТ-100VA

Параметр	Значення
Напруга на первинні обмотці, В	220
Напруга на вторинній обмотці, В	24
Потужність, Вт	100
Матеріал обмотки	Мідь
Робоча температура, °С	-25...+150

Терморезистори

Використання двох терморезисторів SCK-0510 (RK1, RK2) на вході живлення системи керування асинхронного двигуна потужністю до 2 кВт обґрунтоване необхідністю обмеження пускових струмів, захисту компонентів схеми від перевантажень та забезпечення стабільної роботи системи, що підвищує її надійність і тривалість експлуатації.

Запобіжники

Запобіжники є критично важливими елементами електричних систем, оскільки вони забезпечують захист обладнання від перевантажень та коротких замикань. Розрахунок їх номіналів здійснюється на основі номінального струму кола з урахуванням можливих пікових перевантажень.

Враховуючи коефіцієнт запасу як 1.25, було обрано наступні запобіжники: F1, F2 Littelfuse 0218016 (20A, 220V) та ETI CH 5x20 (1A, 50V).

Ці номінали забезпечують достатній запас для роботи системи та захищають її від можливих аварійних ситуацій.

Діодний міст

Для випрямлення змінної напруги з вторинної обмотки трансформатора Т2 потрібен діодний міст, здатний працювати з цими параметрами.

Вимоги до діодного моста наступні:

					<i>КРМ.ЕС.11287689.ПЗ</i>	43
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Зворотна напруга: Потрібно враховувати пік напруги на обмотці. Для змінної напруги 24 В ефективного значення:

$$U_{\pi} = 24 \times \sqrt{2} \approx 34 \text{ В} \quad (3.2.13)$$

З урахуванням запасу, зворотна напруга діодів має бути не менше 50 В.

Максимальний струм: Споживання логічної частини кілька ватт. Струм що проходить через вторинну обмотку не більше 0.5 А, тож діоди мають витримувати щонайменше 1 А з запасом.

Падіння напруги на діодах : Кремнієві діоди мають падіння напруги 0.7 В, отже потрібно враховувати що на мості втрачається приблизно 1.4 В.

Враховуючи вище зазначені особливості діодним мостом VD2 для даної схеми було обрано 2W005, його параметри наступні [13]:

Таблиця 3.3 - Технічні параметри 2W005

Параметр	Значення
Максимальна зворотна напруга, В	50
Середній випрямлений струм, А	1
Максимальний піковий струм, А	3
Гранична частота, Гц	до 60
Робоча температура, °С	-55...150

Стабілізація напруги

Для роботи MOSFET-драйверів в схемі потрібно стабільну напругу в 12 В. Для цього підійде понижуючий стабілізатор напруги MIC4576 від виробника Microchip Technology [14].

MIC4576 - це інтегральна схема стабілізатора напруги, яка працює у режимі перетворювача напруги. Вона забезпечує стабільний вихідний рівень напруги навіть при зміні вхідної напруги або навантаження. Також має

вбудовані захисти від перегріву і перевантаження по струму. Випускається в двох корпусах TO-220-5 або TO-263-5 (D2PAK).

Вихідні робочі струми цієї мікросхеми є достатніми для живлення драйверів пристрою стабілізованою напругою в 12 В.

Нижче наведено конфігурацію виводів та основні характеристики MIC4576 [12]:

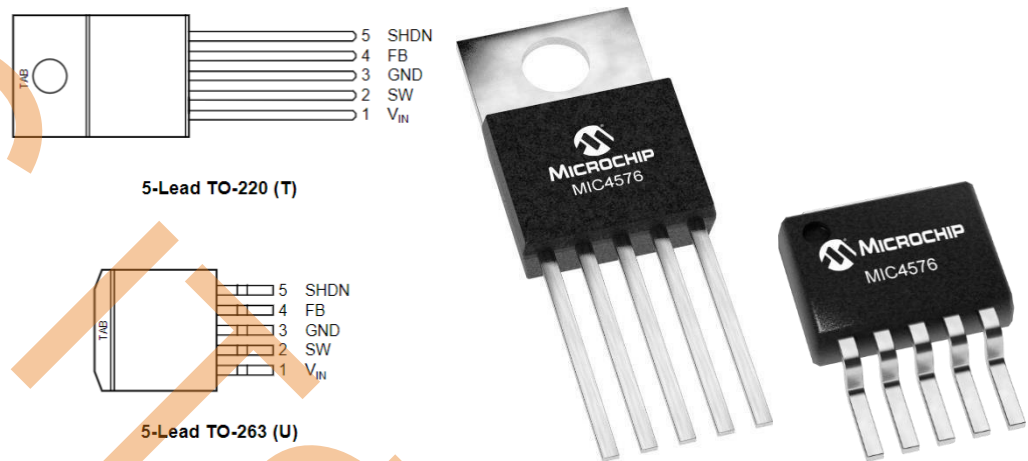


Рис.3.4. Графічне зображення і конфігурація виводів MIC4576 [14]

Таблиця 3.4 - Технічні параметри MIC4576

Параметр	Значення
Вхідна напруга, В	7.5...60
Вихідна напруга, В	1.23...57
Максимальний вихідний струм, А	3
Ефективність, %	90
Діапазон робочої температури, °С	-40...+125

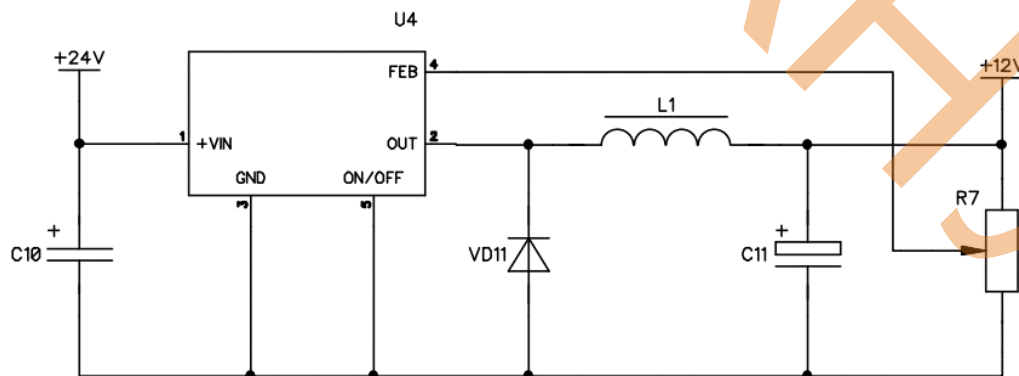


Рис.3.5. Ділянка схеми стабілізатора напруги на MIC4576 [14]

					КРМ.ЕС.11287689.ПЗ	45
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Конденсатор C10 і C11 вибираємо згідно документації виробника. [14]

Діод VD11 в цій схемі є швидкодіючим діодом для відведення напруги. Він забезпечує захист від зворотної напруги, що може виникати на індуктивному елементі L1 під час комутації.

L1 служить для зберігання енергії, яка потім передається на вихід перетворювача, щоб забезпечити стабільну вихідну напругу. Згідно документації виробника вибираємо на 68 μH . [14]

Для забезпечення стабільної роботи компонентів що працюють від напруги 5 В, в схемі використано стабілізатор напруги MC7805 від виробника Microchip Technology [15].

MC7805 — це лінійний стабілізатор напруги, який забезпечує стабільну вихідну напругу 5 В при змінному вхідному діапазоні від 7 до 35 В. Мікросхема здатна подавати струм до 1 А, що робить її популярною для живлення мікроконтролерів, сенсорів та інших електронних пристроїв. Вона має вбудований захист від перевантаження та перегріву, що забезпечує надійність роботи.

Вона випускається в чотирьох корпусах: TO-220, TO-3, TO-263, та TO-92 (який зазвичай використовується для стабілізаторів з низьким струмом [15]).

Таблиця 3.5 - Технічні характеристики MC7805

Параметр	Значення
Вхідна напруга, В	7.5...35
Вихідна напруга, В	5
Максимальний вихідний струм, А	1.5
Ефективність, %	85
Діапазон робочої температури, °C	-40...+125

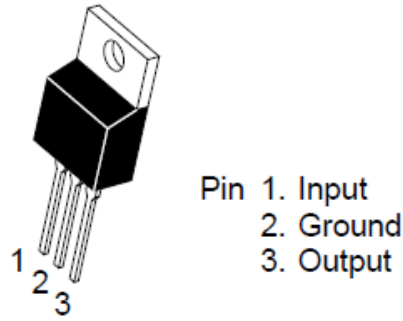


Рис.3.6. Графічне зображення і конфігурація виводів MC7805 [13]

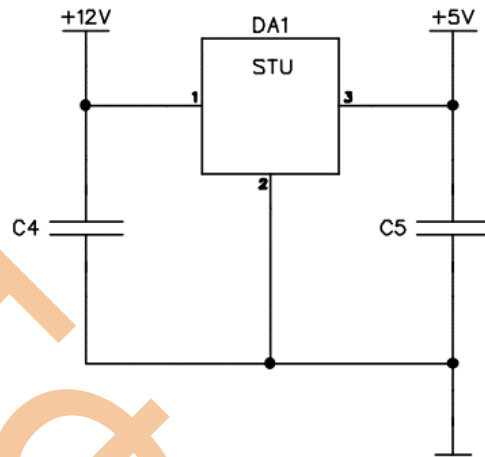


Рис.3.7. Ділянка схеми лінійного стабілізатора на MC7805 [15]

Для забезпечення стабільності роботи стабілізатора MC7805 на вхід та вихід підключають конденсатори C4 (10 мкФ 35 В) і C5 (10 мкФ 35 В) відповідно до документації від виробника [15]. Вони допомагають зменшити пульсації, покращити перехідні характеристики та знизити шум в стабілізованій напрузі, забезпечуючи надійну роботу стабілізатора при змінних навантаженнях.

Для забезпечення роботи асинхронного двигуна потужністю 1.5 кВт, діодний міст VD1 який підключені після вторинної обмотки трансформатора T1 виконує функцію випрямлення змінного струму в постійний.

Для нашої схеми таким діодним мостом обрано KBPC1510W [16].

Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

Таблиця 3.6 - Технічні параметри KBPC1510W

Параметр	Значення
Максимальна зворотна напруга, В	1000
Середній випрямлений струм, А	15
Максимальний піковий струм, А	20
Гранична частота, Гц	до 60
Робоча температура, °С	-55...150

Однією з особливостей даного діодного моста є те, що він не потребує додаткового охолодження, так як його масивний корпус зроблено з металу, який і виконує функцію радіатора. [16]

Розрахуємо пікову напругу на виході мостового випрямляча за умови живлення змінною напругою ($V_{вх}$) 220 В:

$$V_{вих} = V_{вх} \times \sqrt{2} = 220 \times 1.4 = 310 \text{ В}$$

Після діодного моста VD1 у схемі живлення асинхронного двигуна встановлено згладжувальний конденсатор С1. Випрямлений струм після мостової схеми має форму, близьку до пульсуючого сигналу. Конденсатор забезпечує його перетворення на постійний струм. У моменти, коли напруга випрямленого сигналу падає, конденсатор розряджається, підтримуючи стабільну напругу на виході. Стабільна напруга дозволяє уникнути стрибків струму, які можуть негативно вплинути на двигун. Параметри цього конденсатора розраховуються наступним чином:

Ємність конденсатора визначається споживаним струмом і допустимим рівнем пульсацій.

Формула для розрахунку ємності:

$$C1 \geq \frac{I}{f_{вп} \times \Delta U} \quad (3.2.24)$$

де, I – споживаний двигуном струм і становить 7 А.

					<i>KPM.EC.11287689.ПЗ</i>	48
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$f_{\text{вп}}$ – частота пульсацій після випрямлення і становить 100 Гц.

ΔU – допустима амплітуда пульсацій напруги. Вибирається в межах 5–10% від номінальної напруги, і становить приблизно 20 В.

$$C1 \geq \frac{7}{100 \times 20} \quad (3.2.25)$$

$$C1 \geq 3600 \mu F \quad (3.2.26)$$

Конденсатором який може забезпечити відповідні параметри є 500C362T450DD2B (3600 μF , 450V) виробника CDE.

Через значні розміри вибраного конденсатора його розміщення безпосередньо на друкованій платі стало неможливим. Щоб забезпечити компактність і зручність монтажу всієї системи, конденсатор було винесено за межі плати та з'єднано з нею за допомогою провідників. Цей підхід має низку переваг: Це дозволяє уникнути перевантаження компонування і зберегти структурну цілісність схеми. Конденсатор можна розташувати в будь-якому зручному місці корпусу пристрою, забезпечуючи ефективне використання внутрішнього простору.

Такий підхід гарантує надійну роботу всієї системи без компромісів між якістю компонентів та дизайном пристрою.

Блок комутації

Для керування обертами асинхронного двигуна потужністю 1.5 кВт із напругою обмотки 310 В використано трьохфазний інвертор, побудований на базі трьох драйверів IR2110 і шести MOSFET-транзисторів.

					<i>KPM.EC.11287689.ПЗ</i>	49
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

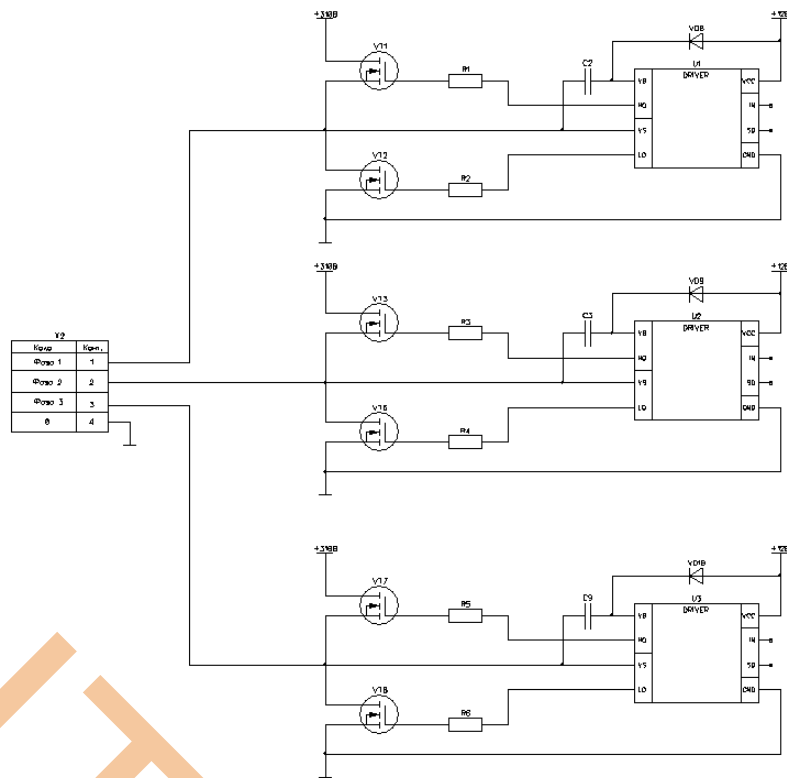


Рис.3.8. Ділянка схеми блока комутації для двигуна

Принцип роботи та розрахунки наведено нижче.

Кожна фаза двигуна управляється парою MOSFET-транзисторів: верхній (High-Side) і нижній (Low-Side). У схемі є три фази, тому потрібно шість транзисторів.

Для керування транзисторами використовуються драйвери IR2110, які здатні забезпечувати необхідну напругу для верхнього ключа (за допомогою схеми підвищення напруги — Bootstrap) і нижнього ключа.

Такий драйвер має два виходи: HO (High Output) для керування верхнім ключем і LO (Low Output) для керування нижнім. Вхідні сигнали для драйвера подаються від мікроконтролера HG2.

Розрахунок MOSFET-транзисторів виконується наступним чином:

1. Потужність двигуна : $P_d = 1500$ Вт;
2. Струм споживання двигуна (максимальний) при $U_{вп} = 310$ В:

$$I_{д макс} = \frac{P_d}{U_{вп}} \quad (3.2.30)$$

$$I_{д макс} = \frac{1500}{310} = 5 \text{ А} \quad (3.2.31)$$

З урахуванням пускових струмів (коефіцієнт 2–3) вибираємо транзистори з максимальним струмом більше 15 А.

3. Напряга транзисторів:

$$U_T \geq 1.3 \times U_{вп} \quad (3.2.32)$$

$$U_T \geq 1.3 \times 310 \quad (3.2.33)$$

$$U_T \geq 400 \text{ В} \quad (3.2.34)$$

Рекомендується використовувати в такому випадку MOSFET з напругою 500–600 В.

Обраним транзистором в таку випадку є STP24N60, в корпусі TO-220 (такий корпус дозволяє легко знайти радіатор для транзистора) [17].

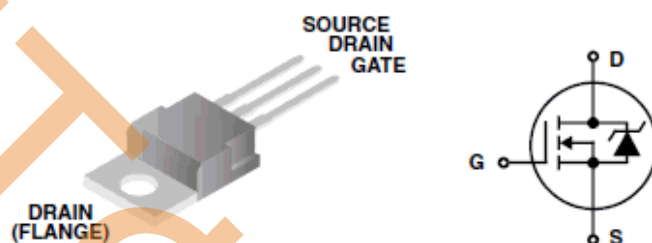


Рис.3.9. Графічне зображення і конфігурація виводів STP24N60 [17]

Таблиця 3.7 - Технічні параметри STP24N60

Параметр	Значення
Максимальна напруга стік-витік, В	600
Максимальна напруга затвор-витік, В	30
Максимальний струм через стік, А	24
Максимальний імпульсний струм через стік, А	32
Діапазон робочої температури, °С	-55...+155

Резистори R1-R6 для затворів MOSFET 100 Ом. Діоди VD8-VD10 швидкодіючі UF4007.

Мікроконтролер

Мікроконтролер PIC16F877 є ідеальним вибором для генерації сигналів ШІМ (широтно-імпульсної модуляції) у схемі трифазного інвертора на базі драйверів IR2110. [18]

Ось опис роботи PIC16F877 у такій конфігурації [19]:

Для генерації сигналів мікроконтролер використовує вбудований модуль CCP (Capture/Compare/PWM) для створення ШІМ-сигналів. Оскільки для трифазного інвертора потрібні 6 сигналів (по два на кожен фазу), можна застосувати наступний підхід:

Використовувати два вбудовані ШІМ-канали для генерації сигналів для двох фаз.

Використовувати таймери або програмну реалізацію для генерації сигналів третьої фази з відповідною фазовою затримкою.

ШІМ-сигнали для верхніх і нижніх ключів повинні мати мертвий час (dead-time), щоб уникнути короткого замикання між ними.

Для Формування синусоїдального сигналу методом широтно-імпульсної модуляції (SPWM) використовується таблиця значень синусоїди, збережена в пам'яті контролера (наприклад, у Flash або EEPROM).

Мікроконтролер генерує три синусоїдальні сигнали зі зсунутими на 120° фазами. Вихідні синусоїдальні сигнали модулюються за допомогою ШІМ із заданою частотою (зазвичай 10–20 кГц).

Мікроконтролер забезпечує правильне чергування імпульсів для верхніх і нижніх ключів із урахуванням мертвого часу. Фазова затримка реалізується шляхом зміщення таблиці значень синусоїди для кожної фази.

Частота ШІМ повинна бути значно вищою за частоту синусоїди (наприклад, для 50 Гц синусоїди частота ШІМ може бути 10–20 кГц) [19].

Блок управління

Управління відбувається за допомогою кнопок SB2 та SB3.

					<i>KPM.EC.11287689.ПЗ</i>	52
<i>Вим.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

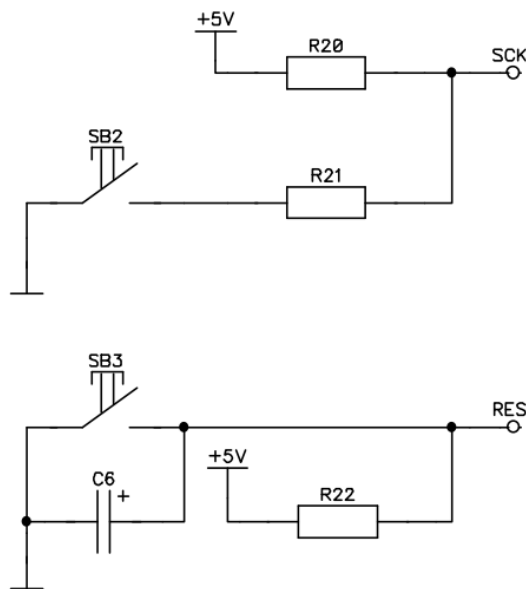


Рис.3.10. Ділянка схеми блока управління двигуном

Входи керування мікроконтролера чутливі до тригерного ефекту вимикачів, тому місця керування потрібно захищати від випадкового спрацювання для цього їх шунтують. Тому кнопку SB2 шунтуємо резистором R21 номіналом 100 Ом, а кнопку SB3 ємністю C6 33 мкФ.

Опори R20 і R22 обмежуючі резистори для утримання логічної 1 для мікроконтролера, візьмемо їх номіналом 10 кОм.

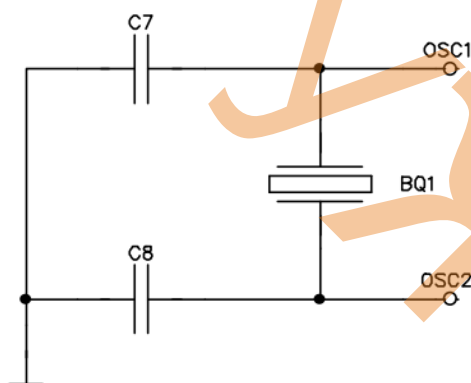


Рис.3.11. Ділянка схеми кварцового генератора [20]

Кварцовий генератор BQ1 і конденсатори C7, C8 візьмемо згідно рекомендації до мікроконтролера.

BQ1 - UM5 частотою 4МГц виробника Mtrori, C7, C8 ємністю 33 пФ.

					<i>KPM.EC.11287689.ПЗ</i>	53
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Оскільки вихідні струми контактів паралельного порту мікроконтролера складають десятки мікроамперів, то його підключення до індикатора виконано через буфер DD2. При цьому мікроконтролер по чергово передає через буфер на індикатор код цифри першої та другої позиції, одночасно комутуючи їх приймання індикатором через управляючі лінії мікроконтролера. Оскільки частота передачі обох кодів вибирається досить високою, то із-за інерційності індикаторів мигтіння цифр буде непомітним.

Буфер на виході видає сигнали логічних рівнів нуля та одиниці з напругами до 5В. Максимальна ж пряма напруга на контактах індикатора не має перевищувати 2,5 В. Тому в коло зв'язку буфера з індикатором введено обмежуючі резистори R23...R29. Їх номінали визначаються робочими струмами через контакт індикатора і робочою напругою на них.

Для індикації візьмемо цифровий індикатор на чотири позиції DA/DC04-11. Для цього індикатора пряма робоча напруга на контактах 2,5 В, прямий струм через контакт 30 мА. Розрахуємо опір за законом Ома:

$$R_{23} = \frac{U}{I} = \frac{2.5}{0.03} \approx 100 \text{ Ом}$$

Їх максимальна потужність розсіювання буде 75 мВт.

Для комутації процесів переключення позицій індикатора використовуються сигнали мікроконтролера. Враховуючи їх малий вихідний струм 50 – 100 мкА, ці сигнали подаються на індикатор через підсилювальні каскади на транзисторах VT4...VT5 типу 2N3906.

При вхідних струмах порядку 100 мкА вони забезпечують колекторні вихідні струми 20 мА, що достатньо для керування роботою індикаторів. При максимальній напрузі на контактах індикатора 2,5 В опори резисторів R30, R31 мають складати:

$$R_{30} = \frac{U}{I} = \frac{2.5}{0.02} \approx 100 \text{ Ом}$$

Враховуючи напругу відкриття транзисторів 0,8 В, опори R32...R33 мають становити:

					<i>KPM.EC.11287689.ПЗ</i>	55
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$R_{32} = \frac{U}{I} = \frac{0.8}{0.02} \approx 50 \text{ Ом}$$

Обмежувальні резистори R34... R35 візьмемо рівними 100 Ом аналогічно розрахункам проведеним раніше для обмежувальних кіл індикатора.

2.3. Проектування друкованої плати, вибір типу та матеріалу друкованої плати

Друкована плата – пластина з діелектрика, на поверхні або в обсязі якої сформовані електропровідні ланцюги електронної схеми. Друкована плата призначена для електричного і механічного з'єднання різних електронних компонентів. Електронні компоненти на друкованій платі з'єднуються своїми контактами з елементами провідного малюнка, зазвичай, паянням.

На відміну від навісного монтажу, на друкованій платі електропровідний малюнок виконано з фольги, цілком розташованої на твердій ізолюючій основі.

Друкована плата містить монтажні отвори і контактні майданчики для монтажу вивідних або планарних компонентів. Крім того, на друкованих платах є перехідні отвори для електричного з'єднання ділянок фольги, розташованих на різних шарах плати. З зовнішніх сторін на плату зазвичай нанесені захисне покриття (паяльна маска) та маркування (допоміжний малюнок і текст відповідно до конструкторської документації).

Види друкованих плат

Залежно від кількості шарів з електропровідним малюнком друковані плати поділяють на:

- односторонні (ОДП): є тільки один шар фольги, який наклеєно на одну сторону плати;
- двосторонні (ДДП): два шари фольги;
- багатошарові (БДП): фольга не тільки на двох сторонах плати, а й у внутрішніх шарах діелектрика. Багатошарові друковані плати виходять

					<i>KPM.EC.11287689.ПЗ</i>	56
<i>Вим.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

склеюванням декількох односторонніх або двосторонніх плат [21].

По мірі зростання складності проєктованих пристроїв і щільності монтажу збільшується кількість шарів на платах.

За властивостями матеріалу основи:

- жорсткі;
- теплопровідні;
- гнучкі.

Друковані плати можуть мати свої особливості у зв'язку з їх призначенням і вимогами до особливих умов експлуатації (наприклад, розширений діапазон температур), або особливості застосування (наприклад, плати для приладів, що працюють на високих частотах).

Двосторонні ДП мають високу трасувальну здатність, високу надійність з'єднань, забезпечують високу щільність монтажу елементів та хорошу механічну міцність їх кріплення. А також вони не надто складні у виготовленні. Тобто можна сказати, що для схем середньої складності вони чудово підходять. Адже трасувальна здатність у них вища ніж у одношаровій друкованій платі, що «розв'язує» руки при розводці плати, а складність виконання не така велика як у багатошарових друкованих платах. Тому у якості типу ДП, для розроблюваного приладу, вирішено взяти двосторонню друковану плату.

Основою друкованої плати служить діелектрик, найчастіше використовуються такі матеріали, як стеклотекстоліт, гетинакс.

Також основою друкованих плат може служити металева пластина, покрита діелектриком (наприклад, анодований алюміній), поверх діелектрика наноситься мідна фольга. Такі друковані плати застосовуються в силовій електроніці для ефективного відводу тепла від електронних компонентів. Для подальшого поліпшення теплових характеристик металева основа плати може кріпитися до радіатора.

					<i>КРМ.ЕС.11287689.ПЗ</i>	57
<i>Вим.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

Як матеріал для друкованих плат, що працюють в діапазоні НВЧ і при температурах до 260°C, застосовується фторопласт, армований склотканиною (наприклад, ФАФ-4Д), і кераміка. Такі плати мають наступні обмеження:

- в кераміці зазвичай неможливе виконання отворів, а в ФАФ-4Д – металізація отворів;
- самі по собі такі плати не можуть бути несучою конструкцією, тому використовуються спільно з підкладкою (підставою).

Існують сучасні матеріали і технології, що дозволяють подолати перше обмеження, але не друге.

Гнучкі плати роблять з поліамідних матеріалів, таких як каптон.

Матеріал, що буде використано у якості основи для ДП повинен мати високі електроізоляційні властивості, достатню механічну міцність і бути стійким до кліматичних впливів. Цим критеріям відповідають електротехнічні матеріали:

- склотекстоліт;
- кераміка;
- гнучка фторопластова плівка;
- ситал;
- сапфір та ін.

Взявши до уваги температурні режими схеми та частоти сигналів у схемі (мається на увазі що схема працює не на понад-високих частотах) у якості матеріалу для друкованої плати обрано FR4, адже він має прекрасні механічні та електрофізичні властивості. А саме FR4-2-35-1.5 – двостороння друкована плата з товщиною фольги 35 мкм, та товщиною ДП 1,5 мм.

2.4. Вибір класу точності друкованої плати

ГОСТ 23.751-86 передбачає п'ять класів точності друкованих плат [21]:

					<i>КРМ.ЕС.11287689.ПЗ</i>	58
<i>Вим.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

Таблиця 3.8 – Граничні значення основних параметрів ДП

Параметр	Позначення	Клас точності			
		2	3	4	5
Ширина друкованого провідника, мм	$b_{\text{прг}}$	0,45	0,25	0,15	0,10
Відстань між елементами друкованого монтажу, мм	$l_{\text{г}}$	0,45	0,25	0,15	0,10
Гарантований поясок, мм	$b_{\text{по}}$	0,20	0,10	0,05	0,03
Відношення номінального діаметру найменшого з металізованих отворів до товщини друкованої плати, мм	$K_{\text{дт}}$	0,40	0,33	0,25	0,20

Точність виготовлення друкованих плат залежить від комплексу технологічних характеристик, і з практичної точки зору визначає основні параметри елементів друкованої плати. В першу чергу це відноситься до мінімальної ширини провідників, мінімального зазору між елементами провідного малюнка (все це виконано з міді) і до ряду інших параметрів.

Так як у схемі приладу використано SMD елементи, для комфортного трасування даних компонентів, та забезпечення можливості провести провідник між контактними майданчиками таких компонентів, було обрано четвертий клас точності. Оскільки класи точності нижче четвертого не дозволяють таку щільність трасування яка необхідна, а використання п'ятого класу точності буде надлишковим для даного приладу, адже зазвичай п'ятий клас точності використовується для трасування компонентів типу BGA, які можуть бути встановлені тільки за п'ятим класом точності, у такому разі четвертий клас точності повністю задовольняє поставленій задачі трасування, адже він забезпечує високу щільність прокладання провідників та, на відміну від п'ятого класу точності, не потребує використання унікального високоточного обладнання.

2.5. Вибір методу виготовлення друкованої плати

Найбільшого поширення здобули такі методи [21].

Хімічний метод. Полягає в тому, що на мідну фольгу, приклеєну до діелектрика з однієї або з двох сторін, кислотостійкою фарбою наносять малюнок розташування друкованих провідників. Наступним етапом

					<i>KPM.EC.11287689.ПЗ</i>	59
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

видаляється мідь з незахищених ділянок і на діелектриків залишається схема провідників.

Електрохімічний метод. Полягає в нанесенні на плату кислотостійкою фарбою негативного малюнка провідників. Нанесення малюнка відбувається з наступним нарощуванням шару міді.

Комбінований метод. Полягає в отриманні провідників шляхом труїння фольгованого діелектрика і металізацією отворів електрохімічним способом. Суть методу – труїння фольгованого матеріалу з наступним витравленням фольги з окремих ділянок плати. Цей метод забезпечує отримання чітких ліній провідників друкованої схеми. Він характеризується меншою трудомісткістю в порівнянні з електрохімічним методом. Друковані плати надійніші, оскільки при цьому діелектрик знаходиться в сприятливішій умові, тому що фольга оберігає його від дії електроліту (ГОСТ 21000-81).

У якості методу для виготовлення ДП обрано комбінований позитивний метод. Цей метод забезпечує отримання чітких ліній провідників друкованої схеми.

Він характеризується меншою трудомісткістю в порівнянні з електрохімічним методом. Друковані плати надійніші, оскільки при цьому діелектрик знаходиться в сприятливіших умовах, адже фольга оберігає його від дії електроліту. Також комбінований метод широко застосовується при виготовленні ДДП.

2.6. Розміщення компонентів та трасування ДП

При розміщення компонентів друкованої плати, в першу чергу накладено обмеження на контактні площини живлення пристрою (X1) і двигуна (X2), адже їх необхідно розмістити на краю плати. Близько до них розміщено двополісний вмикач S1.

Також не потрібно забувати про елементи взаємозв'язку з користувачем. Екран (HG) розміщено з правого боку разом з кнопками перемикачів режимів (SB2 і SB3).

					<i>КРМ.ЕС.11287689.ПЗ</i>	60
<i>Вим.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

Після того як фіксовані елементи схеми розміщено, пріоритет було надано мікросхемі HG2, адже вона являється «мозком» даного приладу, та має найбільшу зв'язність з усіма іншими елементами. Дану мікросхему доцільно розмістити у центрі друкованої плати.

Лінійні стабілізатори DA1 та U4, трансформатор T1 та діодні мости VD1 та VD2 розташовано подалі від всіх інших компонентів, з деяким проміжком між ними. Адже дані компоненти грітимуться більше ніж інші, і таким чином можуть вплинути на роботу інших компонентів.

Блок комутації розміщено біля контактних площин живлення двигуна, з врахуванням радіатора для транзисторів VT1...VT3, VT6...VT8.

Також біля них було розміщено струмо-обмежуючі резистори R1...R6 та драйвери U1...U3.

Для того щоб запобігти коливанню напруги в схемі, одразу після лінійних стабілізаторів розміщено декілька пар електролітичних та керамічних конденсаторів.

Окремі конденсатори також розміщено біля входів живлення мікросхеми HG2.

Таким чином розмістивши всі компоненти, розміри друкованої плати становлять 175x250 мм.

2.7 Теплові характеристики пристрою

Тепловий режим функціонування електронної апаратури визначається залежністю температури нагрівання компонентів від зовнішніх умов. Ця залежність формується через сумарну потужність, що розсіюється всіма електронними та електричними елементами, розміщеними в корпусі пристрою. Тому важливим параметром експлуатації електронного обладнання є температура навколишнього середовища, яка може істотно впливати на стабільність і довговічність роботи пристрою. Зокрема, перевищення максимально допустимих температур може призвести до збоїв або виходу з ладу компонентів.

					<i>KPM.EC.11287689.ПЗ</i>	61
<i>Вим.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

У межах цього проекту аналіз виконується з урахуванням максимальної температури, вказаної в технічному завданні, яка становить +60 °С.

Під час аналізу теплових режимів роботи електронної апаратури враховують такі ключові фактори, як щільність розташування компонентів у межах корпусу пристрою та його геометричні характеристики. Щільне розміщення елементів може спричинити локальне підвищення температури через обмежений теплообмін. Крім того, форма та розміри корпусу впливають на ефективність відведення тепла, що визначає потребу у використанні пасивного або активного охолодження. Урахування цих параметрів дозволяє забезпечити оптимальний тепловий режим, який сприяє стабільній роботі пристрою в умовах експлуатації.

Для забезпечення коректної роботи пристрою необхідно виконати тепловий розрахунок транзисторів STP24N60 і, за необхідності, передбачити систему охолодження. Розрахунок базується на технічних характеристиках транзисторів STP24N60, наведених у документації.

Основні параметри, які враховуються:

Максимальна потужність розсіювання: 200 Вт;

Тепловий опір корпус–навколишнє середовище (R_{thJA}): 62 °С/Вт; [17]

Тепловий опір корпус–радіатор (R_{thJC}): 0,8 °С/Вт;

Опір у відкритому стані ($R_{DS(on)}$): 0,3 Ом (при 60°C).

Ці параметри дозволяють визначити нагрів транзистора під час роботи, враховуючи споживану потужність і умови експлуатації.

					<i>KPM.EC.11287689.ПЗ</i>	62
<i>Вим.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

У разі перевищення допустимого температурного режиму потрібно додатково розрахувати параметри системи охолодження, зокрема ефективність використання радіаторів або активного охолодження.

Розрахунок потужності, що розсіюється транзистором в схемі, виконується за формулою:

$$P_D = I_D^2 \times R_{DS(on)} \quad (3.7.1)$$

де, I_D – струм стоку, 5 А;

$R_{DS(on)}$ – опір у відкритому стані транзистора, 0.3 Ом.

$$P_D = 5^2 \times 0.3 \approx 7.5 \text{ Вт} \quad (3.7.2)$$

Розрахуємо такий радіатор, щоб зміг відводити тепло від всіх шести транзисторів STP24N60, що застосовуються в проектуваному приладі.

Для цього потрібно їх розрахувати загальну потужність яку треба розсіяти:

$$P_{D(\text{заг})} = N \times P_D \quad (3.7.10)$$

Де, N – кількість компонентів;

P_D – потужність розсіювання одного компоненту.

$$P_{D(\text{заг})} = 6 \times 7.5 = 45 \text{ Вт} \quad (3.7.10)$$

Отже, нам потрібен радіатор який може розсіяти 45 Вт тепла, і щоб температура радіатора не перевищувала робочу температуру транзистора (175°C). Використаємо номограму [22] для розрахунку площі радіатора:

					<i>KPM.EC.11287689.ПЗ</i>	63
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

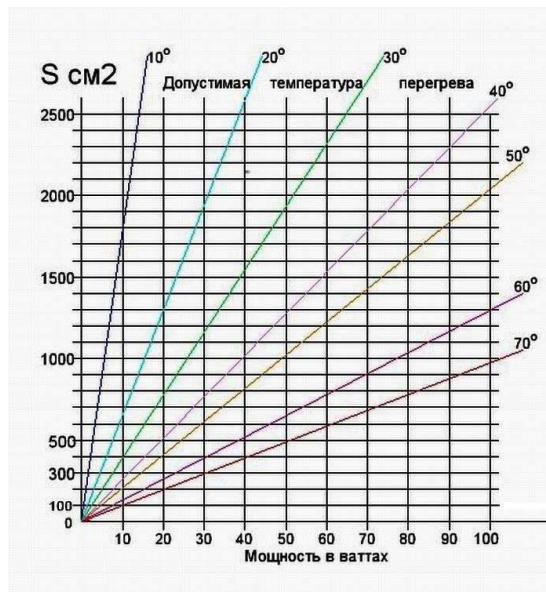


Рис. 3.14 Номограма розрахунку площі радіатора охолодження транзисторів

Рахуємо, що максимальна температура навколишнього середовища згідно ГОСТ 15150 у кліматичній зоні України становить 35 °С, тоді максимальна температура радіатора транзистора має не перевищувати 100-130 °С і дорівнювати

$$T_c + T_p + T_{к-р} = T_k$$

де, T_c — температура середовища;

T_p — температура радіатора;

$T_{к-р}$ — температура корпусу транзистора.

Для розсіювання 45 Вт при температурі перегріву 60 °С корпусу транзистора потрібен радіатор 600 см² згідно номограмі і тоді температура кристалу буде дорівнювати:

$$35 + 60 + (0.83 \times 7.5) = 101.25 \text{ °С}$$

Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

Розрахунки програмою [23] дають для радіатора площею 600 см² температуру кристала 175 °С, що є критичним.

Розрахуємо який тепловий опір має мати такий радіатор:

$$R_{th(heatsink)} = \frac{\Delta T}{P_{D(зар)}} \quad (3.7.11)$$

Де, ΔT - Температурний перепад, 60 °С.

$$R_{th(heatsink)} = \frac{60}{45} = 1.33 \text{ °С/Вт} \quad (3.7.12)$$

Для нормального охолодження транзисторів потрібно радіатор площею від 600 см² до 1000 см².

Одним з кращих варіантів для нашого приладу є L100-180 Aavid Thermalloy. [24]

Активним охолодженням обрано МХ 2507. Розміри – 30 × 30 × 10 мм. Номінальна напруга: 12 В; Номінальний струм: 0.07А. Продуктивність 153 м³/г. Його живлення буде забезпечуватися постійно від 12 В.

Підставляючи значення з попередніх розрахунків, отримуємо:

$$T_{J(т)} = 60 + (45 \times 0.5) = 82.25\text{°С} \quad (3.7.13)$$

Таке значення температури є оптимальним для довготривалої роботи транзисторів.

					<i>KPM.EC.11287689.ПЗ</i>	65
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

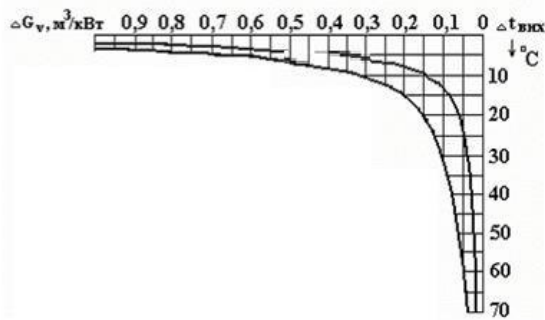


Рис. 3.15. Номограма для розрахунку температури перегріву при примусовій вентиляції [25]

При використанні цієї номограми [25] при умові використання МХ 2507 температура перегріву знизиться до 15-20 °С. Тоді температура кристала транзистора буде мати $35 + 20 + 6.3 = 61.3$ °С, що повністю задовольняє вимогам до температурного режиму роботи транзистора.

Розрахуємо температуру інших компонентів проектного приладу.

Для теплових розрахунків діодного мосту VD2 скористаємося формулою:

$$T_{J(2W005)} = T_{amb} + (P_D \times (R_{thJC} + R_{thCA})) \quad (3.7.14)$$

де, температура навколишнього середовища $T_{amb} = 60^\circ\text{C}$,

P_D – потужність розсіювання 4 Вт,

R_{thJC} - тепловий опір $2^\circ\text{C}/\text{Вт}$, а $R_{thCA} = 3^\circ\text{C}/\text{Вт}$.

$$T_{J(2W005)} = 60 + (4 \times (2 + 3)) = 80^\circ\text{C} \quad (3.7.15)$$

Для теплових розрахунків драйвера IR2110 можна використати наступну формулу для визначення температури переходу:

$$T_{J(IR2110)} = T_{amb} + (P_D \times (R_{thJC} + R_{thCA})) \quad (3.7.16)$$

					<i>KPM.EC.11287689.ПЗ</i>	66
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

де, температура навколишнього середовища $T_{amb} = 60^{\circ}\text{C}$,

P_D – потужність розсіювання 2 Вт,

R_{thJC} - тепловий опір $1.4^{\circ}\text{C}/\text{Вт}$, а $R_{thCA} = 10^{\circ}\text{C}/\text{Вт}$.

Підставляючи значення отримуємо:

$$T_{J(IR2110)} = 60 + (2 \times (1.4 + 10)) = 82^{\circ}\text{C} \quad (3.7.17)$$

Що є нормальною робочою температурою ($T_{J(IR2110)} < 150^{\circ}\text{C}$), і додаткового охолодження не потрібно.

Для теплового розрахунку регулятора напруги LM2576 скористаємося наступною формулою:

$$T_{J(LM2576)} = T_{amb} + (P_D \times (R_{thJC} + R_{thCA})) \quad (3.7.18)$$

де, температура навколишнього середовища $T_{amb} = 60^{\circ}\text{C}$,

P_D – потужність розсіювання 2.5 Вт,

R_{thJC} - тепловий опір $2^{\circ}\text{C}/\text{Вт}$, а $R_{thCA} = 10^{\circ}\text{C}/\text{Вт}$.

$$T_{J(LM2576)} = 60 + (2.5 \times (2 + 10)) = 90^{\circ}\text{C} \quad (3.7.19)$$

Що є нормальною робочою температурою для розрахованого регулятора напруги.

Оскільки проєктований прилад буде інтегруватися в інші системи, тепловий розрахунок і визначення розмірів корпусу не є необхідними. Проєктування є зосередженим на забезпечення характеристик, щоб відповідати вимогам для вбудовування в уже існуючі конструкції.

					<i>KPM.EC.11287689.ПЗ</i>	67
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

2.8. Розрахунок надійності друкованої плати

Найбільш точна кількісна міра надійності кожного конструктивного елемента – його індивідуальне напрацювання до моменту виникнення відмови.

На практиці ж достатньо повна характеристика надійності – щільність розподілення часу безвідмовної роботи даного типу КЕ $f(t)$ та інтенсивність відмов $\lambda(t)$. Функції $f(t)$ та $\lambda(t)$ визначаються експериментально. При цьому період нормальної експлуатації для приладу характеризується високою надійністю.

Тоді величини $f(t)$ та $\lambda(t)$ зв'язані відношенням:

$$f(t) = \lambda^{-\lambda t} \quad (3.8.1)$$

Знаючи $f(t)$ та $\lambda(t)$, можна визначити інші кількісні характеристики надійності протягом часу від 0 до t :

$$Q(t) = 1 - P(t) = 1 - e^{-\lambda t} \quad (3.8.2)$$

Важлива характеристика надійності – середній час безвідмовної роботи визначається за формулою:

$$T_{сч} = \frac{1}{\lambda} \quad (3.8.3)$$

Інтенсивність відмов ЕРЕ є їх вихідною характеристикою надійності, залежить від режиму роботи та степені тяжкості таких зовнішніх впливів, як температура, тепловий удар, вологість, вібрації і т.д.

Згідно технічного завдання умови експлуатації приладу стаціонарні, а саме становлять:

$$t = -20 \dots + 60^\circ\text{C}$$

Вологість становить 45...75%, а атмосферний тиск 86...104 кПа.

Коефіцієнти навантаження груп компонентів відображено в таблиці 3.9.

					<i>KPM.EC.11287689.ПЗ</i>	68
<i>Вим.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

Таблиця 3.9 - Коефіцієнти навантаження груп компонентів

Назва елемента	Коефіцієнт навантаження, k_n
Резистори	0.6
Конденсатори	0.3...0.6
Діоди	0.7...0.8
Транзистори	0.7...0.8
Трансформатори	0.3...0.5
Мікросхеми, з'єднувачі, гнізда	0.9...1
Друкована плата	0.9...1

Температурний коефіцієнт при 60° С:

Таблиця 3.10 - Температурні коефіцієнти груп компонентів

Назва елемента	Температурний коефіцієнт (k_T) при 60° С
Резистори	1.2
Конденсатори	1.5
Діоди	1.5
Транзистори	1.5
Трансформатори	1.2
Мікросхеми, конектори	1.5
Друкована плата	1.5

Інтенсивність відмов компонентів [26] :

					<i>KPM.EC.11287689.ПЗ</i>	69
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця 3.11 - Інтенсивність відмов компонентів

Назва елемента	Інтенсивність відмови компонента $\lambda_0, 10^{-8}$ год $^{-1}$.
Резистори	2
Конденсатори	6
Діоди	2
Транзистори	7.4
Трансформатори	0.45
Мікросхеми	0.2
Конектори	5.2
Друкована плата	0.1

Коефіцієнт впливу умов (a_i) для розрахунків вибрано 1 (що відповідає апаратурі стаціонарній).

Сумарна інтенсивність відмов розраховується за формулою:

$$\sum k_n \times a_i \times (\lambda_0 \times 10^{-8}) \times k_T \quad (3.5.6)$$

Для конденсаторів:

$$\sum 0.4 \times 1 \times (6 \times 10^{-8}) \times 1.5 = 3.6 \times 10^{-8} \quad (3.5.7)$$

Для резисторів і котушок індуктивності:

$$\sum 0.8 \times 1 \times (2 \times 10^{-8}) \times 1.2 = 2 \times 10^{-8} \quad (3.5.8)$$

Для діодів:

$$\sum 0.7 \times 1 \times (2 \times 10^{-8}) \times 1.5 = 2.1 \times 10^{-8} \quad (3.5.9)$$

Для транзисторів:

					<i>KPM.EC.11287689.ПЗ</i>	70
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$\sum 0.7 \times 1 \times (7.4 \times 10^{-8}) \times 1.5 = 10.36 \times 10^{-8} \quad (3.5.10)$$

Для трансформаторів та запобіжників:

$$\sum 0.5 \times 1 \times (0.5 \times 10^{-8}) \times 1.2 = 0.37 \times 10^{-8} \quad (3.5.11)$$

Для мікросхем та кварцових резонаторів:

$$\sum 0.8 \times 1 \times (0.2 \times 10^{-8}) \times 1.5 = 0.36 \times 10^{-8} \quad (3.5.11)$$

Для конекторів і перемикачів:

$$\sum 0.8 \times 1 \times (5.2 \times 10^{-8}) \times 1.5 = 9.3 \times 10^{-8} \quad (3.5.12)$$

Для друкованої плати :

$$\sum 1 \times 1 \times (0.1 \times 10^{-8}) \times 1.5 = 0.2 \times 10^{-8} \quad (3.5.13)$$

Для перехідних отворів:

$$\sum 1 \times 1 \times (0.0256 \times 10^{-8}) \times 1.5 = 0.05 \times 10^{-8} \quad (3.5.14)$$

Для пайки хвилею:

$$\sum 1 \times 1 \times (0.069 \times 10^{-8}) \times 1.5 = 0.138 \times 10^{-8} \quad (3.5.15)$$

Для кулера SX1 коефіцієнт λ_0 , взято 6×10^{-8} годин згідно [26].

Результати розрахунків з урахуванням кількості зведено в таблицю 3.12.

					<i>KPM.EC.11287689.ПЗ</i>	71
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця 3.12 - Результати розрахунків надійності

Мітка	n, шт	Серія компоненту	λ_0 , 10^{-8} год.	a_i	$t^\circ\text{C}$	k_H	k_T	λ , 10^{-8} год.
BQ1	1	UM5	0.2	1	60	0.8	2	0.36
C1	1	500C362T450DD2B	6	1	60	0,4	2	4.8
C2, C3, C6...C9	6	ESR 68 мкФ 35 В	6	1	60	0,4	2	28.8
C4, C5	2	ESR 10 мкФ 35 В	6	1	60	0,4	2	9.6
C10	1	ESR 470 мкФ 63 В	6	1	60	0,4	2	4.8
C11	1	ESR 1000 мкФ 16В	6	1	60	0,4	2	4.8
C6	1	ESR 33 мкФ 10 В	6	1	60	0,4	2	4.8
C7, C8	2	Y5V-33 пФ 50 В	6	1	60	0,4	2	9.6
DA1	1	MC7805	0.2	1	60	0.9	2	0.36
DD2	1	ULN2803A	0.2	1	60	0.9	2	0.36
F1, F2	2	Littelfuse 0218016	0.5	1	60	0.5	1.5	0.37
F3, F4	2	ETI CH 5x20 T1 A	0.5	1	60	0.5	1.5	0.37
HG1	1	DA/DC04-11	0.2	1	60	0.9	2	0.36
HG2	1	PIC16F877	0.2	1	60	0.9	2	0.36
HL1, HL6, HL7	3	GNL-3004SRD	2	1	60	0.7	2	1.82
L1	1	PA4455.560NL	2	1	60	0.6	1.3	1.56
R1...R6, R20...R22, R23...R29, R30...R31, R34...R35	18	Hitano 100R, 0.25W	2	1	60	0.6	1.3	28.1
R10, R15, R16	3	Hitano 670R, 0.25W	2	1	60	0.6	1.3	4.68
R21	1	Hitano 100k, 0.25W	2	1	60	0.6	1.3	1.56
R32, R33	2	Hitano 80R, 0.25W	2	1	60	0.6	1.3	3.12
RK1, RK2	2	SCK-0510	2	1	60	0.6	1.3	3.12
SB1	1	KN3C220	52	1	60	0.6	2	93

KPM.EC.11287689.ПЗ

72

Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата
------	------	----------	--------	------

SB2, SB3	2	8121SD9A2	52	1	60	1	2	186
T1	1	HDB2000	0.45	1	60	0.5	1.5	0.37
T2	1	TT-100VA	0.45	1	60	0.5	1.5	0.37
U1...U3	3	IR2110	0.2	1	60	0.9	2	1.8
U4	1	MIC4576	0.2	1	60	0.9	2	0.36
VD1	1	KBPC1510W	2	1	60	0.7	2	1.82
VD2	1	2W005	2	1	60	0.7	2	1.82
VD8...VD10	3	SS-34	2	1	60	0.7	2	5.46
VD11	1	1N4007	2	1	60	0.7	2	1.82
VT1...VT3, VT6...VT8	6	STP24N60	7.4	1	60	0,7	2	62.16
VT4, VT5	2	2N3906	7.4	1	60	0,7	2	20.72
SX1 (Кулер)	1	MX 2507	6	1	60	0.6	2	6
Друкована плата	1	JLPCPB	0.1	1	60	1	2	0.2
Перехідні отвори	26		0.0265	1	60	1	2	1.3
Пайка хвилею	140		0.069	1	60	1	2	53.2
Разом $\sum\lambda, 10^{-8}$								550

Імовірність безвідмовної роботи розраховується за формулою:

$$P = e^{-\lambda t} \quad (3.5.16)$$

де, e - це основа натурального логарифма, числове значення якої приблизно дорівнює $e \approx 2.71$;

λ - інтенсивність відмов, яка характеризує середню кількість відмов за одиницю часу, $\lambda = 550 \times 10^{-8}$;

t - час експлуатації приладу, і становить $t = 20000$ годин.

$$P = e^{-(550 \times 10^{-8}) \times 20000} \approx 0.90 \quad (3.5.17)$$

Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	<i>KPM.EC.11287689.ПЗ</i>				73

3. Техніко економічний розділ

3.1 Розрахунок собівартості приладу

Собівартість продукції відображає загальні витрати, що виникають у процесі її виробництва та реалізації. Вона включає витрати на сировину, матеріали, оплату праці працівників, а також витрати на обслуговування та експлуатацію обладнання і інші поточні витрати. Для визначення собівартості виготовлення розробленого приладу буде проведено калькуляційний розрахунок. У цьому випадку застосуємо метод питомої ваги, який є спрощеним способом оцінки собівартості і дозволяє отримати досить точний прогноз з похибкою, що не перевищує кілька відсотків.

Цей метод передбачає пропорційний розподіл непрямих витрат, ґрунтуючись на порівнянні витрат на заробітну плату основних виробничих працівників і витрат на обслуговування та експлуатацію обладнання.

Розрахунок кількості і вартості матеріалів, що витрачаються на виготовлення спроектованого приладу

Щоб розрахувати масу припою, необхідну для паяння 260 ніжок, використаємо наступну формулу, враховуючи, що для паяння однієї ніжки нам потрібно 0.8 грам припою:

Кількість припою:

$$P_k = 260 \times 0.7 = 208 \text{ г} \approx 0.2 \text{ кг} \quad (4.1.1)$$

Вартість витраченого припою розраховується на основі ціни 1 кг ПОС61 1.0 мм з флюсом, яка становить 1100 грн:

$$P_{\text{ц}} = 1100 \times 0.2 = 220 \text{ грн} \quad (4.1.2)$$

Для визначення кількості витраченого лаку, з врахуванням затрати на площу $1 \text{ см}^2 = 0,008 \text{ кг}$, розрахуємо масу лаку необхідну для нашого виробу.

					<i>KPM.EC.11287689.ПЗ</i>	74
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Площа друкованої плати рівна $17.3 \times 25 = 432.5 \text{ см}^2$. Ціна за 1 кг лаку НЦ-134 становить 114 грн.

Об'єм витраченого лаку при товщині лакового покриття в 0.05 мм (50 мікронів):

$$L_0 = 432.5 \text{ см}^2 \times 0.005 \text{ см} = 2.16 \text{ см}^3 \quad (4.1.3)$$

Масу витраченого лаку розрахуємо за формулою:

$$L_M = 2.16 \text{ см}^3 \times 1 \frac{\text{г}}{\text{см}^3} = 2.16 \text{ г} \quad (4.1.4)$$

Розрахунок вартості витраченого лаку:

$$L_{\text{ц}} = \frac{L_M}{1000} \times \text{Ціна за 1 кг} = \left(\frac{2.16}{1000} \right) \times 114 \approx 2 \text{ грн} \quad (4.1.5)$$

Разом ціна на витратні матеріали буде становити приблизно 222 грн.

Враховуючи зворотні відходи (5% від кожного матеріалу) і транспортно-заготівельні витрати (10% від загальної вартості матеріалів), ціна витратних матеріалів буде становити 275 грн.

Розрахунок вартості покупних комплектуючих виробів, що витрачаються на виготовлення спроектованого приладу

Вартість двошарової друкованої плати наших розмірів при замовленні з сайту JLCPCB.com з врахуванням доставки становить 240 грн.

Гвинти кріплення М3 для радіатора та кріплення в корпус, яких потрібно 7 штуки, коштують 14 грн.

Розрахунок кількості і вартості інших покупних комплектуючих виробів і напівфабрикатів представлений у вигляді табл. 4.1.

					<i>KPM.EC.11287689.ПЗ</i>	75
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця 4.1 – Розраховані значення вартості комплектуючих

Мітка	п, шт	Серія компоненту	Ціна за 1 шт, грн	Загальна ціна, грн
BQ1	1	UM5	96.25	96.25
C1	1	500C362T450DD2B	310	310
C2...C3, C6...C9	6	ESR 68 мкФ 35 В	20	120
C4, C5	2	ESR 10 мкФ 35 В	15	30
C6	1	ESR 33 мкФ 10В	20	20
C7, C8	2	Y5V 33 пФ 50В	4	8
C10	1	ESR 470 мкФ 63В	50	50
C11	1	ESR 1000 мкФ 16В	50	50
DA1	1	MC7805	30.80	30.80
DD2	1	ULN2803A	46.20	46.20
F1, F2	2	Littelfuse 0218016	20	40
F3, F4	2	ETI CH 5x20 T1 A	15	30
HG1	1	DA/DC04-11	40	40
HG2	1	PIC16F877	192	192
HL1, HL6, HL7	3	GNL-3004SRD	30	90
L1	1	PA4455.560NL	96	96
R1...R6, R20...R22, R23...R29, R30...R31, R34...R35	18	Hitano 100R, 0.25W	3.8	68.40
R10, R15, R16	3	Hitano 670R, 0.25W	3.8	11.40
R21	1	Hitano 100k, 0.25W	3.8	3.80
R32, R33	2	Hitano 80R, 0.25W	3.8	7.60
SB1	1	KN3C220	180	180
SB2, SB3	2	CK 8121SD9A2GE	57	114

					<i>KPM.EC.11287689.ПЗ</i>	76
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

T1	1	HDB2000 220v	5750	5750
T2	1	TT-100VA	1300	1300
U1...U3	3	IR2110	96	288
U4	1	MIC4576	46	46
VD1	1	KBPC1510W	22	22
VD2	1	2W005	12	12
VD8...VD10	3	SS-34	7	21
VD11	1	1N4007	4	4
VT1...VT3, VT6...VT8	6	STP24N60	80	480
VT4, VT5	2	2N3906	3.85	7.7
Радіатор	1	L100-180	1015	1015
Кулер	1	MX2507	19.25	19.25
Друкована плата	1	JLCPCB Board	240	240
Сума			10975	

До розрахованої вартості треба ще додати транспортно-заготівельні витрати (10% від загальної вартості виробів і напівфабрикатів), в такому випадку вартість буде становити 12000 грн.

Розрахунок основної заробітної плати виробничих робітників

До основної заробітної плати виробничих працівників, яка включається до собівартості продукції, входить оплата праці робітників-відрядників і погодинників, які безпосередньо задіяні у виготовленні спроектованого виробу.

Основна заробітна плата визначається шляхом множення трудомісткості виготовлення виробу на погодинну тарифну ставку, що відповідає розряду

					<i>KPM.EC.11287689.ПЗ</i>	77
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

роботи. Трудомісткість виготовлення на етапах проектування визначається на основі трудомісткості виготовлення аналогічного виробу та його компонентів.

Погодинна оплата праці на теперішній час становить 50 грн/год.

З урахуванням коефіцієнта підвищення окладу для кожного розряду можуть бути такі ставки: 3-й розряд: $50 \times 1,18 = 59,00$ грн/год; 4-й розряд: $50 \times 1,27 = 63,50$ грн/год; 5-й розряд: $50 \times 1,36 = 68,00$ грн/год

Трудомісткість операцій встановлення та пайки залежить від кількості елементів і їх складності. Виходячи з витрат часу на одну пайку (0,0005 год) і встановлення (0,0002 год), можна розрахувати загальний час для пайки та встановлення всіх елементів:

$$\text{Трудомісткість пайки: } 260 \times 0,0005 = 0,13 \text{ год} \quad (4.1.6)$$

$$\text{Трудомісткість встановлення: } 260 \times 0,0002 = 0,52 \text{ год} \quad (4.1.7)$$

$$\text{Загальна трудомісткість: } 0,13 + 0,52 \approx 0,6 \text{ год} \quad (4.1.8)$$

Вартість паяння (3 розряд):

$$\text{Вартість паяння} = 0,2 \text{ год} \times 59 \frac{\text{грн}}{\text{год}} = 11,8 \text{ грн} \quad (4.1.9)$$

Вартість контролю (5 розряд):

$$\text{Вартість контролю} = 0,05 \text{ год} \times 68 \frac{\text{грн}}{\text{год}} = 3,4 \text{ грн} \quad (4.1.10)$$

Вартість лакування і збирання (4 розряд):

$$\text{Вартість лакування} = 0,1 \text{ год} \times 63,50 \frac{\text{грн}}{\text{год}} = 6,35 \text{ грн} \quad (4.1.11)$$

Загальна вартість :

$$\text{Загальна вартість} = 5,9 + 3,4 + 6,35 = 21,55 \text{ грн} \quad (4.1.12)$$

					<i>KPM.EC.11287689.ПЗ</i>	78
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Розрахунок додаткової заробітної плати для виробничих працівників включає такі виплати, як оплата відпусток, лікарняних, виплати за вислугу років та вихідну допомогу.

Розмір додаткової заробітної плати визначається як процент від загальної суми основної заробітної плати працівників (10%) і становить в нашому випадку приблизно 2.2 грн.

Розрахунок витрат на утримання та експлуатацію устаткування

Розрахунок витрат на утримання та експлуатацію устаткування включає витрати на повне відновлення основних виробничих фондів та капітальний ремонт. Це передбачає амортизаційні відрахування від вартості виробничого та підйомно-транспортного устаткування, цехового транспорту та інструментів, що належать до основних виробничих фондів, а також витрати на реконструкцію, модернізацію та капітальний ремонт цих фондів.

Величина витрат на утримання та експлуатацію устаткування визначається процентом від суми основної заробітної плати виробничих робітників. Розроблюваний прилад належить до радіотехнічних виробів, тому витрати на утримання та експлуатацію устаткування становитимуть 80% від загальної суми основної заробітної плати виробничих працівників (21.55 грн) і буде становити 17 грн.

Розрахунок цехових витрат

Розмір цехових витрат визначається для кожного цеху як процент від загальної суми основної заробітної плати та витрат на утримання й експлуатацію устаткування. Оскільки розроблюваний прилад належить до радіотехнічних виробів, цехові витрати становитимуть 50% від (21+17=38 грн), та будуть становити 14 грн.

Розрахунок загальнозаводських витрат

					<i>КРМ.ЕС.11287689.ПЗ</i>	79
<i>Вим.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

Розмір загальнозаводських витрат визначається як процент від загальної суми основної заробітної плати та витрат на утримання і експлуатацію устаткування. Оскільки розроблюваний прилад належить до радіотехнічних виробів, цехові витрати становитимуть 80% від 38 грн, що буде в результаті становити 27 грн.

Розрахунок інших виробничих витрат

Розмір інших виробничих витрат визначається як процент від загальної суми всіх попередніх статей, який становить від 0,2% до 0,4%.

Що становить:

$$0.3\% \times 12000 = 0.003 \times 12000 = 36 \text{ грн} \quad (4.1.13)$$

Розрахунок позавиробничих витрат

Розмір позавиробничих витрат визначається як процент від виробничої собівартості, який становить від 2% до 4%.

Що становить:

$$3\% \times 12000 = 0.03 \times 12000 = 360 \text{ грн} \quad (4.1.14)$$

3.2 Розрахунок ціни спроектованого приладу

Ціну спроектованого приладу можна розрахувати за наступною формулою:

$$Ц = C_{\text{пов}} + П \quad (4.2.1)$$

де, $C_{\text{пов}}$ - повна собівартість виготовлення спроектованого приладу, а $П$ - прибутковість.

Прибутковість підприємства визначається показником рентабельності. Розмір рентабельності можна обчислити за наступною формулою:

					<i>KPM.EC.11287689.ПЗ</i>	80
<i>Вим.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

$$P = \frac{\Pi}{C_{\text{пов}}} \quad (4.2.2)$$

Якщо прийняти рівень рентабельності на рівні 25%, тоді:

$$25\% = \frac{\Pi}{C_{\text{пов}}} = \frac{\Pi}{12396} \quad (4.2.3)$$

$$\Pi = 0.25 \times 12396 = 3099 \quad (4.2.4)$$

Тоді ціну спроектованого приладу можна обчислити за наступною формулою:

$$Ц = 12396 + 3099 = 15495 \text{ грн} \quad (4.2.5)$$

Якщо підприємство є платником податку на додану вартість (ПДВ) зі ставкою 20%, то вихідна ціна на спроектований прилад буде розрахована за такою формулою:

$$C_{\text{вих}} = 15495 + 20\% = 18594 \text{ грн} \quad (4.2.6)$$

Тепер можна розрахувати прибуток з реалізації партії товару в кількості 500 одиниць:

$$\Pi_N = \Pi \times N \quad (4.2.7)$$

$$\Pi_{500} = 3099 \times 500 = 1549500 \text{ грн} \quad (4.2.8)$$

В порівнянні з популярними аналогами доступними на ринку, такими як:

ABB ACS355-01E-02A4-2 (Потужність: 1.5 кВт. Ціна: 19000 грн); Danfoss Micro Drive FC 51 (Потужність: 1.5 кВт. Ціна: 20292 грн), розроблений пристрій має наступні переваги:

1. Більша потужність при нижчій ціні.
2. Може бути вбудований у вже готовий пристрій.

					<i>KPM.EC.11287689.ПЗ</i>	81
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

3. Підтримує функції плавного пуску, зупинки та функцію складення розпорядку запуску (програмним чином).

ПРОЕКТОР

					<i>КРМ.ЕС.11287689.ПЗ</i>	82
<i>Вим.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

4. Заходи по плануванню, техніці безпеки та захисту навколишнього середовища

4.1 Загальні питання охорони праці та навколишнього середовища

Охорона праці – це система законодавчих актів, соціально-економічних, організаційно-технічних, санітарно-гігієнічних і лікувально-профілактичних заходів і засобів, спрямованих на збереження здоров'я й працездатності людини в процесі праці [27].

Завдання охорони праці - звести до мінімуму ймовірність чи виникнення захворювання робітника з одночасним забезпеченням комфорту при максимальній продуктивності праці. Реальні виробничі умови характеризуються, як правило, наявністю небезпечних і шкідливих виробничих факторів.

Закон «Про охорону навколишнього природного середовища», прийнятий 25.06.90 (зі змінами 2004р.), визначає правові, економічні, соціальні основи охорони праці і навколишнього середовища в інтересах людей [28]. Завдання закону полягають у регулюванні відносин у галузі охорони природи, використання і відтворенні природних ресурсів, забезпеченні екологічної безпеки, попередження і ліквідації негативних впливів на навколишнє середовище господарської й іншої діяльності людини, охорони природних ресурсів, генетичного фонду, ландшафту.

У зв'язку з цим у розділі «Охорона праці та навколишнього середовища» розглядається питання охорони праці для етапу випробування інженером випробувачем. Для дослідження небезпечних факторів, що впливають на інженера-випробувача, розглянемо його робоче місце - випробувальну станцію.

На випробувальній станції повинні бути створені визначені умови праці, гарантовані законом України про охорону праці, а саме, такі умови, при яких небезпечні і шкідливі фактори повинні бути усунуті чи знижені до безпечних величин.

					<i>КРМ.ЕС.11287689.ПЗ</i>	83
<i>Вим.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

Виробнича санітарія

Виробнича санітарія – це система організаційних та технічних заходів, які запобігають або зменшують вплив на працюючих шкідливих виробничих факторів.

Аналіз небезпечних і шкідливих виробничих факторів

Небезпечним фактором називається фактор, який викликає травму або ушкодження організму.

Шкідливий фактор – це фактор, тривалий вплив якого приводить до патології в організмі - професійним захворюванням. Ці фактори розділяються на фізичні, хімічні, біологічні та психофізичні.

Мікроклімат у приміщенні

Під мікрокліматом виробничого приміщення розуміють клімат внутрішнього середовища цих приміщень, які визначаються діючими на організм людини поєднаннями температури, вологості та швидкості руху повітря, а також температури навколишньої поверхні.

Робота інженера – випробувача – це робота середньої важкості, категорії II а, тому що енергетичні витрати складають 151-200 ккал/год.

Оптимальний мікроклімат на робочому місці підтримують:

- 1) у холодний період року – опалення, повітряно – теплові завіси у воріт, застосування засобів індивідуального захисту за СНиП 2.04.05-91
- 2) у теплий період року – припливно – витяжна та місцева вентиляція для видалення шкідливих речовин безпосередньо з робочої зони.

Виробниче освітлення

Випробувальна станція, як приміщення робочої зони відповідає I групі приміщень за завданнями зорової роботи. Спостереження за апаратурою відповідає IV «в» розряду зорової роботи (розмір об'єктів, що спостерігаються – 0,5-1 мм).

Для раціонального освітлення, необхідно дотриматися усіх вимог до його якості:

					<i>КРМ.ЕС.11287689.ПЗ</i>	84
<i>Вим.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

- 1) показник засліпленості не повинен перевищувати 40;
- 2) рівень гранично допустимої яскравості по дискомфорту не повинен перевищувати яскравість адаптації;

- 3) коефіцієнт пульсації не повинен перевищувати 20%.

Для зменшення останнього коефіцієнта необхідно застосувати дволампові світильники з ємкісними та індуктивними опорами.

Шум, вібрація

Через специфіку спроектованого двигуна, на інженера – випробувача впливають також такі шкідливі фактори, як шум і вібрація.

Максимум частотної характеристики шуму, виданого ротором асинхронного двигуна, знаходиться біля частоти 50 Гц. Відповідно до ГОСТ 12.1.003-83*, допустимий рівень звуку на робочому місці випробувача не повинен перевищувати 50 дБ.

Для послаблення наслідків шуму, які впливають на інженера – випробувача, необхідно застосовувати індивідуальні засоби захисту: спеціальні, навушники, вкладиші у вушні раковини, противошумні каски. Для ослаблення вібрації кожухом із сталевих листів застосовується вібропоглинання шляхом нанесення на віброуючу поверхню шару гумки. Величини нормування вібрації з віброшвидкості та віброприскорення за ГОСТ 12.1.012-90 [29].

Електробезпека

Техніка безпеки – це система організаційних заходів та технічних засобів, які запобігають або зменшують вплив на робітників небезпечних виробничих факторів.

При роботі на випробувальній станції домінуючим фактором є небезпека поразки електричним струмом. У зв'язку з цим необхідно розглянути комплекс заходів, що забезпечують зменшення небезпеки поразки електричним струмом.

Випробувальна станція відноситься до електроустановок з малим струмом замикання на землю (менше 500 А) і розташовується в сухому

					<i>KPM.EC.11287689.ПЗ</i>	85
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

приміщенні (відносна вологість повітря менше 60%). Підлога в приміщенні – залізобетонна, напруга по низькій стороні станції – 400 В. За ступенем застосовуємого електроустаткування, випробувальну станцію можна віднести до електротехнічних приміщень, які доступні тільки для обслуговуючого електротехнічного персоналу.

Для захисту ураження людини електричним струмом застосовують такі заходи (ГОСТ 12.1.019-79):

1) захисне заземлення - навмисне електричне з'єднання з землею або її еквівалентом - металевих струмоведучих частин, які можуть виявитися під напругою;

2) мала напруга, необхідна для світильників;

3) електричний поділ мереж;

4) захисне відключення - апаратури захисту, реле струму та напруги, контактори;

5) ізоляція струмоведучих частин (робоча, додаткова, посилена, подвійна);

6) огорожувальні пристрої;

7) попереджувальна сигналізація, блокування, знаки безпеки;

8) засоби захисту та запобіжні пристосування.

Застосування цих захисних мір регламентуються ПУЕ та іншими правилами.

Для забезпечення безпеки робіт у діючих електроустановках повинні виконуватися наступні організаційні заходи:

1) призначення осіб, відповідальних за організацію й проведення робіт;

2) оформлення вбрання на провадження робіт;

3) здійснення допуску до проведення робіт;

4) організація нагляду за веденням робіт;

5) оформлення закінчення роботи.

					<i>КРМ.ЕС.11287689.ПЗ</i>	86
<i>Вим.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

Технічні заходи, що забезпечують безпеку робіт виконуються зі зняттям напруги. Для підготовки робочого місця при роботах зі зняттям напруги виконуються в зазначеному порядку наступні технічні заходи:

- 1) проводяться необхідні відключення та приймаються міри, що перешкоджають подачу напруги до місця роботи, внаслідок помилкового або мимовільного включення комутаційних апаратів;
- 2) на приводах ручного керування на кнопках дистанційного керування комутаційних апаратів вивішуються заборонні плакати;
- 3) перевіряється відсутність напруги на струмоведучих частинах;
- 4) накладається заземлення;
- 5) вивішуються попереджуючі плакати, обгороджені при необхідності робочі місця та струмоведучі частини, що залишилися під напругою. Залежно від місцевих умов, струмоведучі частини захищаються до та після накладення заземлення.

Пожежна безпека

Пожежна безпека об'єкта - це стан, за якого виключається можливість виникнення пожежі, а у випадку її розвитку, запобігається вплив на людей небезпечних факторів пожежі та забезпечується захист матеріальних цінностей.

Причиною пожежі можуть бути аварії і неполадки в роботі електроустановок, наприклад коротке замикання, перевантаження провідників мережі та виникнення великих перехідних опорів.

Електричне освітлення становить пожежну небезпеку при перевантаженнях проводів і запаленні їхньої ізоляції.

Пожежна безпека цеху забезпечується:

- системою мір по запобіганню пожежі;
- системою мір по пожежному захисту;
- організаційно-технічними заходами.

Запобігання пожежі повинно досягатися:

					<i>КРМ.ЕС.11287689.ПЗ</i>	87
<i>Вим.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

- запобіганням утворення пожежного середовища;
- запобігання утворення в горючому середовищі джерел запалювання;
- підтримка температури горючого середовища нижче максимально допустимої по горючості. Пожежний захист повинен забезпечуватися:
 - максимально можливим застосуванням негорючих речовин і матеріалів;
 - обмеженням кількості горючих речовин та їхнього розміщення;
 - ізоляцією горючого середовища;
 - запобіганням поширення пожежі за межі вогнища та інших заходів.

Згідно з ОНТП 24-86 будинки по вибухопожежній безпеці відносяться до категорії Д. По вогнестійкості будинки відносяться до II ступеню.

Для гасіння пожеж у приміщеннях передбачаються ручні вогнегасники типу ВКК-5 та пересувний – ВКК-10. Будинок забезпечується внутрішньою протипожежною сигналізацією.

Охорона навколишнього середовища

Проектований прилад не є джерелом забруднення навколишнього середовища у процесі його експлуатації. Однак у процесі його виготовлення утворюються відходи електроізоляційних матеріалів, чорних і кольорових металів, виділяються у повітря шкідливі пари і гази, пил, які можуть чинити шкідливий вплив на навколишнє середовище та атмосферу.

При виготовленні асинхронного двигуна утворюються наступні шкідливі речовини, які негативно впливають на навколишнє середовище:

- 1) відходи металу при виготовленні деталей електродвигуна;
- 2) відходи ізоляційних матеріалів;
- 3) лакофарбові вироби.

Очищення вентиляційних викидів здійснюється за допомогою фільтрів для виловлювання забруднюючих середовище компонентів.

На підприємстві також здійснюється замкнута система водопостачання, при якій забруднена вода після очищення знову надходить для потреб

					<i>КРМ.ЕС.11287689.ПЗ</i>	88
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

технічних процесів. Очищення стічних вод на підприємстві здійснюється у відстійниках і маслоуловлювачах. Контроль здійснюється за санітарною інструкцією.

Таким чином, після впровадження вище перелічених заходів при випробуванні асинхронного двигуна з короткозамкненим ротором величина небезпечних факторів, які діють на організм оператора, не перевищують допустимих значень і не чинять шкідливого впливу на організм, а також правильна організація вентиляцій та утилізацій відходів не чинить шкідливого впливу на навколишнє середовище.

					<i>КРМ.ЕС.11287689.ПЗ</i>	89
<i>Вим.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

ВИСНОВКИ

Провівши аналіз ТЗ та розглянувши аналоги, мною було досліджено принципи побудови та особливості роботи окремих елементів та в цілому системи контролю та частотного регулювання обертів асинхронного двигуна.

Згідно із поставленими у технічному завданні вимогами розроблена конструкторська документація на систему керування крокового двигуна, виконано проектування електричної принципової схеми та елементів конструкції — друкованої плати. Проведено розрахунок режимів роботи елементів принципової схеми та зроблено їх вибір. Розраховано надійність і теплонавантаженість пристрою. Визначена собівартість пристрою.

Запропонований пристрій має наступні характеристики:

- живлення від мережі 220 В 50 Гц;
- можливість керування трифазним двигуном потужністю до 2 кВт;
- забезпечено плавну зміну швидкості обертання двигуна;
- забезпечено режим реверсу;
- відображення текучої потужності навантаження двигуна;
- на індикаторі відображається кількість обертів;
- відображення текучої потужності навантаження двигуна, також на індикаторі відображається кількість обертів;
- орієнтована ціна пристрою 18594 гривень.

Розроблений пристрій повністю відповідає умовам технічного завдання. А кількість аналогів вказують на актуальність теми.

					<i>КРМ.ЕС.11287689.ПЗ</i>	90
<i>Вим.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Електричні машини. Методичні вказівки, Ю.М. Васьковський, О.А. Гераскін, 2013 – 38 с.
2. Тема 15. Векторне керування асинхронними двигунами. URL: <https://org2.knuba.edu.ua/mod/book/tool/print/index.php?id=36026>
3. Blaschke F. The principle of field-orientation as applied to the transvector closed loop control system for rotating-field machines. *Siemens*. 1972. Rev 34.
4. Вольдек А.И. Електричні машини / А.И. Вольдек. – Л.: Енергія, 1974. – 840 с.
5. Кацман М.М., Електричні машини. М., Вища школа, 1990. -464 с.
6. Копилов И.П. Електричні машини / И. П. Копилов. – М.: Логос, 2000. – 607 с.
7. Костенко М.П. Електричні машини, т.2 / М.П. Костенко, Д.М. Пиотровский. – Л.: Енергія, 1973. – 648 с.
8. Куликов А.А. Сбірник задач з електричних машин / А.А. Куликов, М.И. Немировский. – М.-К.: Машгиз, 1961. – 200 с.
9. Меркин Г.Б. Електричні машини та трансформатори: посібник з розв'язку задач / Г.Б. Меркин, Н.П. Титов, С.П. Печерица. – Л.: Видавництво Північно-Західного політехнічного інститута, 1969. – 277 с.
10. Петров Г.Н. Електричні машини, т.2 / Г.Н. Петров. – М. -Л.: Госенергоиздат, 1963. – 416 с.
11. HDB2000 220v [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://voron.ua/uk/catalog/048697--transformator-toroidalnyy-hdb-2000-220v-razdelitelnyy-torodalniy-rozdloviy>.
12. TT-100VA 220/24V [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://electrolend.com.ua/ua/p309091283-transformator-toroidalnyj-100va.html>

					<i>КРМ.ЕС.11287689.ПЗ</i>	91
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

13. 2W005 Datasheet [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу:
<https://www.alldatasheetru.com/datasheet-pdf/pdf/33896/WTE/2W005.html>
14. MIC4576 Datasheet [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу:
<https://www.alldatasheetru.com/datasheet-pdf/pdf/74601/MICREL/MIC4576.html>
15. MC7805 Datasheet [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу:
<https://www.alldatasheetru.com/datasheet-pdf/pdf/4480/MOTOROLA/MC7805.html>
16. KBPC1510 Datasheet [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу:
<https://www.alldatasheetru.com/datasheet-pdf/pdf/34058/WTE/KBPC1510W.html>
17. STP24N60DM2 Datasheet [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу:
<https://www.alldatasheetru.com/datasheet-pdf/pdf/881308/STMICROELECTRONICS/STP24N60DM2.html>
18. IR2110 Datasheet [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу:
<https://www.alldatasheetru.com/datasheet-pdf/pdf/82793/IRF/IR2110.html>
19. PIC16F877 Datasheet [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу:
<https://www.alldatasheetru.com/datasheet-pdf/pdf/75016/MICROCHIP/PIC16F877.html>
20. ESP8266 Datasheet [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу:
https://www.espressif.com/sites/default/files/documentation/0aesp8266ex_datasheet_en.pdf.
21. Савельев Л. Я. Овчинников В. Л. Конструювання ЕОМ та систем: Підручник для технічних ВУЗ-ів, 1984. – 248 с.
22. Простий розрахунок площі радіатора для мікросхеми. URL: <https://full-chip.net/soft-dlya-radiolyubitelya/47-prostoy-raschet-ploschadi-radiatora-dlya-tranzistorov-i-mikroshem.html>
23. Програма для розрахунку площі радіатора для транзистора URL:
<https://drive.google.com/file/d/0BxFX4uuz1hvDNmVfQWVqeDUzWnM/v>

					<i>КРМ.ЕС.11287689.ПЗ</i>	92
<i>Вим.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

iew?resourcekey=0-JgDPAMeSIWJl2xY5qubnkQ.

24. L100-180 Datasheet. URL: <https://pdf.directindustry.com/pdf/aavid-thermalloy/led-heatsink-1100-180/157466-693358.html>
25. Дульнев Г.Н. Теплообмен в радиоэлектронной аппаратуре: Учебник для вузов по специальности «Конструирование и производство радиоаппаратуры». - М.: Высшая шк., 1984.- 217 с.
26. Paul H. Art of Electronics. 2nd ed. Camb. U. P., 1992. 800 с.
27. Охрана праці: Підр. для студентів ВИШІВ / Князевский Б.А., Долин П.А., Марусова Т.М. та інші.; Під ред. Князевского Б.А. – 2-е видання. – М.: Вища школа, 1982.
28. Закон України «Про охорону праці» (Відомості Верховної Ради України (ВВР), 1992, № 49, ст.668) {Вводиться в дію Постановою ВР № 2695-ХІІ від 14.10.92, ВВР, 1992, № 49, ст.669}
29. ГОСТ 12.1.012-90. ССБТ. Вібраційна безпека. Загальні вимоги. - Введено 01.07.91.

					<i>КРМ.ЕС.11287689.ПЗ</i>	93
<i>Вим.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

Завідувачу кафедри ЕС ІТФ ДНВЗ УжНУ

Зачець Борис Михайлович

Студента (-ки) 2 курсу
спеціальності 171 Електроніка
Рибалко Дмитро Ярославич
(прізвище, ініціали)

ЗАЯВА

**щодо самостійного виконання
навчальної/кваліфікаційної роботи здобувачем освіти**

Я, Рибалко Дмитро Ярославич
(прізвище, ім'я, по батькові),

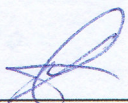
Студент(-ка) 2-го курсу, група, УТ 90
(форма навчання, факультет, курс)

заявляю: моя письмова робота на тему: Контролер енергії в асинхронного
двигуна потужністю до 2 кВт

виконана самостійно і в ній не міститься елементів плагіату.

Всі запозичення з друкованих та електронних джерел, а також із захищених раніше робіт мають відповідні посилання. Я ознайомлений(а) з діючим Положенням, згідно з яким виявлення плагіату є підставою для відмови в допуску навчальної/кваліфікаційної роботи до захисту та притягнення до академічної відповідальності.

16.12.2024
Дата


Підпис

Додаток 2.

ДОВІДКА
про результати перевірки на унікальність
кваліфікаційної, навчальної (курсової) роботи

Автор роботи	Діячко Радіо Прокопівна
Назва роботи	Контроль обертів в асинхронного двигуна потужністю 90 л кВт
Спеціальність	Електроніка 171
Курс	2
Факультет	Інженерно-технічний
Кафедра	Електронних систем
Керівник роботи	Спеціаль О.О.
Роботу перевірено в програмі	Unicheck
Додано до бази даних	
Ідентифікаційний номер роботи	2024 - КРМ - Діячко Р. П.
Результати перевірки	
Показник унікальності тексту через перевірку роботи у внутрішній базі кафедри ЕС ІТФ ДНВЗ УжНУ	
Показник унікальності тексту в мережі Інтернет	94%



Автентифіковано засобом перевірки на плагіат ANTIPLA
Дата видачі: середа, 11 грудня 2024, 09:48
Доступно через www.antipla.com

Плагіатограма

Результат (відсоток плагіату)	6%
Назва документу	2024-КРМ-Дзямко Д.Я..docx
Кількість символів	15,000
Кількість спеціальних символів	24
Кількість слів	1,892
Унікальна кількість слів	1,158
Кількість речень	117
Найпоширеніші слова	в, і, з, на, що
Найдовше слово	амплітудно-імпульсної/широтно-імпульсної
Середня довжина слова	6.9
Середня кількість слів у реченні	16.2
Всього посилань	0
Кількість слів із плагіатом	112

11.12.2024

(дата)

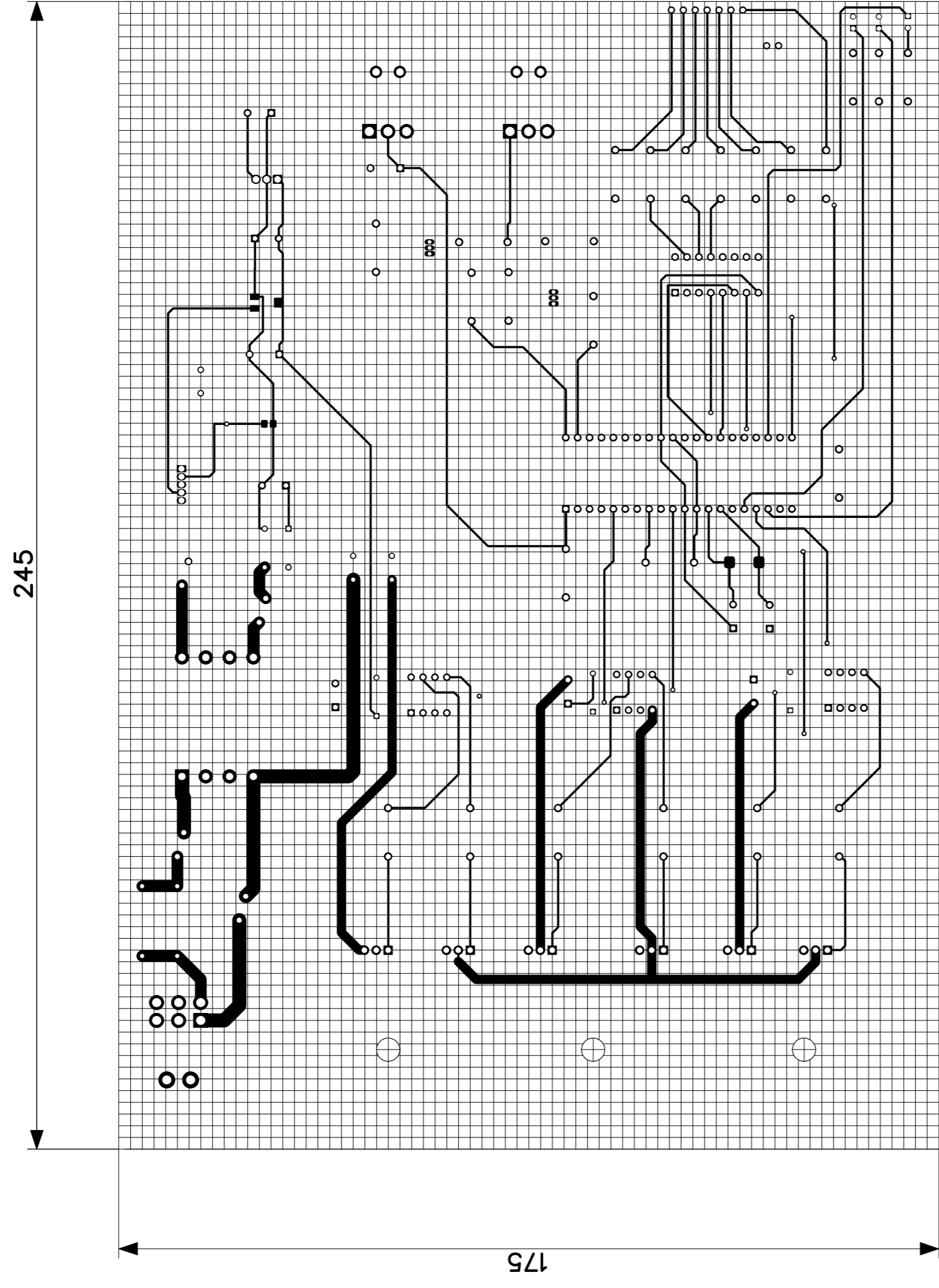
Дзямко Дмитро

(перевірив)

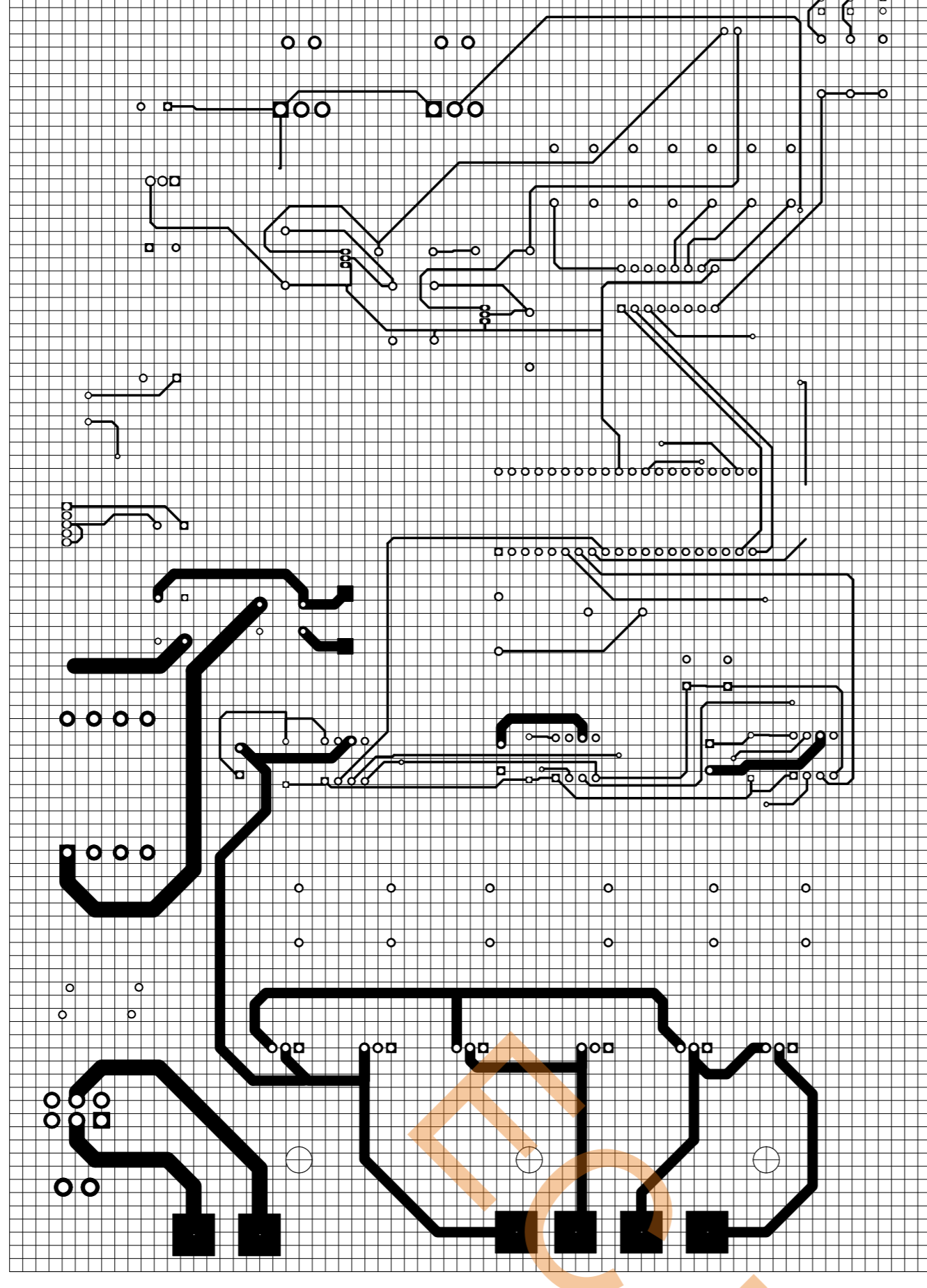
Поз. позн.	Найменування	Кіл.	Примітки
BQ1	Кварцовий генератор UM-5	1	Mtrori
<u>Конденсатори</u>			
C1	500C362T450DD2B	1	
*	ESR-68 мкФ 35 В	7	C2, C3, C6...C9
*	ESR-10 мкФ 35 В	3	C4, C5
C6	ESR-33 мкФ 10 В	1	
C7, C8	ESR-10 мкФ 35 В	2	
C10	ESR-470 мкФ 63 В	1	
C11	ESR-1000 мкФ 16 В	1	
<u>Мікросхеми</u>			
DA1	MC7805	1	
DD2	ULN2803A	1	
<u>Запобіжники</u>			
F1, F2	Littelfuse 0218016	2	
F3, F4	ETI CH 5x20 T1 A	2	
HG1	Індикатор DA/DC04-11	1	
HG2	Мікроконтролер PIC16F877	1	
*	Світлодіоди GNL-3004SRD	3	HL1, HL6, HL7
L1	Котушка індуктивності PA4455.560NL	1	

KPM.EC.11287689.001.ПЕ				
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата
Розробив		Дзямко Д. Я.		
Перевірив		Спесивих О.О.		
Т.Контр.				
Н.Контр		Папп О.В.		
Затвердив		Заяць Т. М.		
Контролер обертів асинхронного двигуна потужністю до 2 кВт Перелік елементів				
Літера		Аркуш		Аркушів
У		1		3
УжНУ , ІТФ група ЕС, 2 курс				

Сторона встановлення компонентів



Зворотня сторона плати



1. Друковану плату виготовити хімічним методом.
2. Крок координатної сітки 2,5 мм.
3. Конфігурацію провідників втримати з кроком 125
4. Форма контактних площин довільна.
5. Ширина провідників, позначених суцільними лініями, виконати шириною $1,3 \pm 0,2$ мм, у вузьких місцях – не менше 0,6 мм.
6. Відстань між двома сусідніми провідниками не менше 2,0 мм. Відстань між двома сусідніми контактними площинами – не менше 1,0 мм.
7. Табувати пахро ВТК.
8. Решта технічних вимог по ОСТ 4ГО.070.01

Отвір	Тип	Кількість
Круглиа $\varnothing 486$ mm	Метал. Наскрізня	26
Круглиа $\varnothing 7$ mm	Метал. Наскрізня	12
Круглиа $\varnothing 76$ mm	Метал. Наскрізня	12
Круглиа $\varnothing 8$ mm	Метал. Наскрізня	4
Круглиа $\varnothing 82$ mm	Метал. Наскрізня	16
Круглиа $\varnothing 85$ mm	Метал. Наскрізня	4
Круглиа $\varnothing 889$ mm	Метал. Наскрізня	12
Круглиа $\varnothing 9$ mm	Метал. Наскрізня	210
Круглиа 1 mm	Метал. Наскрізня	104
Круглиа 1,01 mm	Метал. Наскрізня	12
Круглиа 1,1 mm	Метал. Наскрізня	36
Круглиа 1,186 mm	Метал. Наскрізня	10
Круглиа 1,31 mm	Метал. Наскрізня	6
Круглиа 1,46 mm	Метал. Наскрізня	16
Круглиа 1,5 mm	Метал. Наскрізня	8
Круглиа 1,85 mm	Метал. Наскрізня	28
Круглиа 5 mm	Неметал.	6

КРМЕС.1287689.001.ДП			
Литера	Маса	Масштаб	
У			
Арк. № документа	Платьс	Дата	
Розробив	Виконав	Д.Я.	
Перевірив	Електрик	О.О.	
Т. комп.			
Н. комп.	Платьс	О.В.	
Виконав	Виконав	Т.М.	
Розробка друкованої плати контролера обертів асинхронного двигуна потужністю до 2 кВт			Друкована плата
УжНЗ, ІТФ, ар. ЕС, 2 курс			

