

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

ДВНЗ « Ужгородський національний університет»

Інженерно-технічний факультет

кафедра електронних систем

кваліфікаційна робота магістра

На тему: Блок керування синхронного двигуна

Студента 2 курсу

Турянчика Сергія Мирославовича

(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)

Ужгород – 2024

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:

БЛОК КЕРУВАННЯ СИНХРОННОГО ДВИГУНА

Студента групи ЕС: Сергія ТУРЯНЧИКА

(_____)

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

Олександр СПЕСИВИХ

(_____)

Ужгород - 2024

ДВНЗ «Ужгородський національний університет»

«ЗАТВЕРДЖУЮ»

Зав. кафедрою,

доц. _____ (Заяць Т. М.)

“ _____ ” _____ 2023 року

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

Турянчика Сергія Мирославовича

(прізвище, ім'я, по-батькові)

1. Тема кваліфікаційної роботи магістра: “Блок керування синхронного двигуна”. 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 синхронного двигуна (крокового). Проаналізувати переваги та недоліки різних аналогів об'єкту проектування.
 1. Напруга живлення, мережа 50 Гц 220В;
 2. Напруга живлення двигуна 24 В;
 3. Точність позиціонування валу ротора, не гірше 2 градуса;
 4. Номінальний струм, не більше 5 А;
 5. Робоча температура, °С -20... +60
4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, що підлягають розробці).

Анотація роботи.

Пояснювальна записка:

Вступ.

1. Огляд та аналіз аналогів об'єкту проектування.

2. Проектно-конструкторський розділ.

2.1 Розробка структурної схеми.

2.2. Розробка електричної принципової схеми.

2.3. Розрахунки режимів роботи елементів принципової схеми, вибір елементів, розрахунки теплового режиму, надійності.

3. Техніко-економічне обґрунтування вартості виробу.

4. Заходи з охорони праці і техніки безпеки.

5. Висновки.

6. Перелік посилань.

7. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень):

- 7.1. Структурна (функціональна) електрична схема.
- 7.2. Принципова електрична схема.
- 7.3. Друкована плата.
- 7.4. Складальне креслення.
- 7.5. Перелік елементів.

5. Консультанти роботи, вказати з яких розділів.

Розділ	Консультант	Підпис, дата	
		Завдання видав	Завдання прийняв
		доц. Спесивих О.О.	Турянчик С.М.
Нормоконтроль	Папп О.В.		

6. Дата видачі завдання 10 жовтня 2023 року.

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

Завдання прийняв на виконання _____ (С.М. Турянчик)
(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 розрахунків.	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 _____ (С.М. Турянчик)
(підпис)

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

РЕФЕРАТ

Кваліфікаційна робота магістра на тему «Блок керування синхронного двигуна» / УжНУ; Керівник Спесивих О. О.; Студент Турянчик С. М., група ЕС.

Пояснювальна записка: 94 сторінки, 28 рисунків, 19 джерел, 6 додатків.

Графічна частина: 4 листи формату А1.

Об'єкт проектування – розробка блоку керування синхронного двигуна.

Мета роботи: аналіз прототипів та аналогів, синтез електричної структурної схеми та її реалізація у вигляді електричної принципової схеми.

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. У рамках проекту проведено оцінку економічної доцільності розробки та впровадження пристрою. Дана вартість враховує витрати на компонентну базу, виробничі процеси, а також можливі витрати на модернізацію прототипу. Отримана вартість підтверджує конкурентоспроможність пристрою у порівнянні з аналогами на ринку.

СИНХРОННИЙ ДВИГУН, КОНТРОЛЕР ОБЕРТІВ, КРОКОВИЙ ДВИГУН,
ЕЛЕКТРИЧНА СХЕМА

ABSTRACT

Master's qualification work on the topic “Synchronous motor control unit” / UzhNU;
Supervisor Spesyvykh O. O.; Student Turianchyk S. M., group ES.

Explanatory note: 94 pages, 28 figures, 19 sources, 6 applications.

Graphic part: 4 sheets of A1 format.

Design object: development of a synchronous motor control unit.

Purpose: analysis of prototypes and analogs, synthesis of an electrical structural scheme and its implementation in the form of an electrical circuit diagram.

In the course of this work, we searched for and analyzed analogs of the design object. Based on these data and the requirements of the technical task, the structural and circuit diagrams were developed. The design and construction section contains a synthesis of the structural and circuit diagrams, a description of the device operation and calculations. Within the framework of the project, the economic feasibility of the development and implementation of the device was assessed. This cost takes into account the cost of the component base, production processes, as well as possible costs of modernizing the prototype. The obtained cost confirms the competitiveness of the device in comparison with analogs on the market.

SYNCHRONOUS MOTOR, SPEED CONTROLLER, STEPPER MOTOR,
ELECTRICAL CIRCUIT

ЗМІСТ

ВСТУП.....	9
1. Огляд і аналіз аналогів об’єкту проектування.....	10
1.1 Аналіз технічного завдання.....	10
1.2 Огляд і аналіз існуючих методів та схемотехнічних рішень.....	10
2. Проектно-конструкторський розділ.....	26
2.1. Синтез та аналіз структурної і принципової схем.....	26
2.2 Опис роботи системи та розрахунки основних вузлів.....	28
3. Конструкторсько – технологічний розділ.....	42
3.1 Проектування та розрахунок друкованої плати.....	42
3.2. Визначення розмірів друкованих провідників.....	47
3.3. Вибір варіантів встановлення елементів РЕА.....	50
3.4. Теплові характеристики пристрою.....	50
3.5. Розрахунок характеристик надійності пристрою.....	58
4. Техніко-економічний розділ.....	66
4.1. Розрахунок собівартості приладу.....	66
4.2. Розрахунок ціни спроектованого приладу.....	72
5. Заходи з охорони праці і техніки безпеки.....	75

					<i>KPM.EC.11287686.001.ПЗ</i>			
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>				
<i>Розробив</i>		<i>Турянчик С.М.</i>			<i>Блок керування синхронного двигуна</i> <i>Пояснювальна записка</i>	<i>Літера</i>	<i>Аркуш</i>	<i>Аркушів</i>
<i>Перевірів</i>		<i>Спесивих О.О</i>				<i>У</i>	<i>7</i>	<i>94</i>
<i>Т.Контр.</i>						<i>УжНУ, ІТФ 2 курс магістр, гр. ЕС</i>		
<i>Н.Контр</i>		<i>Папн О.В.</i>						
<i>Затверд.</i>		<i>Заяць Т. М.</i>						

Висновки..... 92

Список використаних джерел..... 93

ДОДАТКИ

Додаток А. Структурна схема КРМ.ЕС.11287686.001.Е1

Додаток Б. Принципова схема КРМ.ЕС.11287686.001.Е3

Додаток В. Перелік елементів КРМ.ЕС.11287686.001.ПЕ

Додаток Г. Друкована плата КРМ.ЕС.11287686.001.ДП

Додаток Д. Складальне креслення КРМ.ЕС.11287686.001.СК

Додаток Е. Специфікація КРМ.ЕС.11287686.001.СП

					<i>КРМ.ЕС.11287686.001.ПЗ</i>	8
<i>Вим.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

ВСТУП

Крокові двигуни, як різновид синхронних двигунів, вже давно і успішно застосовуються в найрізноманітніших пристроях. Їх можна зустріти в дисководах, принтерах, сканерах, факсах, а також у іншому промисловому обладнанні. В даний час випускається безліч різних типів даних двигунів здатних задовольнити будь-які запити. Вони застосовуються в приводах машин і механізмів, що працюють в старт-стопному режимі, або в приводах безперервного руху.

Крокові двигуни є економічною альтернативою сервоприводам і оптимально підходять для автоматизації систем, де не потрібна висока динаміка або швидкі оберти.

Ця робота присвячена розробці та розрахункам блока керування синхронним двигуном. Вона ставить за мету, систематизацію, закріплення і розширення теоретичних знань в області конструювання радіоелектронної апаратури (РЕА). А також включає аналіз і обґрунтування основних елементів та вузлів принципової схеми, обґрунтування прийнятих розрахункових навантажень і технічних рішень.

					<i>КРМ.ЕС.11287686.001.ПЗ</i>	9
<i>Вим.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

1. Огляд та аналіз аналогів об'єкту проектування

1.1. Аналіз технічного завдання

Тема дипломного проекту «Блок керування синхронного двигуна».

Враховую технічні параметри двигуна які будуть розглянуті в проектно-конструкторському розділі, схема має відповідати наступним параметрам:

- напруга живлення, мережа 50 Гц: 220В;
- напруга живлення двигуна: 24В;
- точність позиціонування валу ротора, не гірше: 2 градуса;
- вихідний струм: 5 А;
- схема підключення: біполярна (4 дроти);
- робоча температура: -20...+60 °С.

1.2. Огляд і аналіз методів та схемотехнічних рішень

Крокові двигуни (як різновид синхронних двигунів) є популярними пристроями в області автоматизації, контролю руху і робототехніки. Вони використовуються для точного керування механізмами, які вимагають позиційної точності та надійного переміщення.

Основною перевагою крокових двигунів є можливість керувати ними з точністю до одного кроку, а також використання мікрокрокового режиму для ще більш точного позиціонування. Кроковий двигун складається з диска зі спеціальними вирізами, які називаються кроками. Імпульси електричного струму, які постачаються до обмоток двигуна, спричиняють поворот диска на певний кут, відповідно до кількості кроків. Це дозволяє точно контролювати положення валу двигуна.

Крокові двигуни є дуже надійними і мають високу стабільність керування. Вони здатні працювати при великому діапазоні температур (від -40°C до +100°C), вологості (до 85%, клас захисту IP67) і вібрацій (в межах 1–2 g на

					<i>KPM.EC.11287686.001.ПЗ</i>	10
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

частоті 10–55 Гц), що робить їх ідеальними для використання в різних галузях, включаючи медичну техніку, робототехніку, промислову та космічну галузі.

Серед найпоширеніших моделей крокових двигунів виділяють три: NEMA 23, NEMA 34 і NEMA 42.

NEMA 23 - це стандартне позначення для певного розміру крокового двигуна. NEMA (National Electrical Manufacturers Association) - це організація, яка встановлює стандарти в промисловості для електричного обладнання, включаючи двигуни [1]. Число "23" вказує на габаритні розміри двигуна, зокрема розмір пластини кріплення.

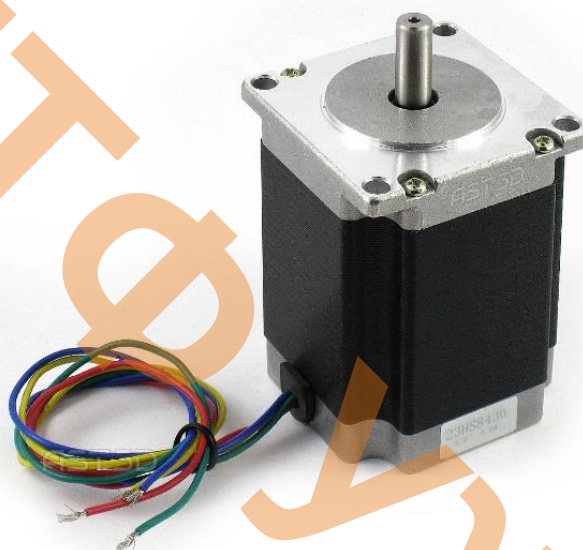


Рис. 1.1. Кроковий двигун NEMA 23

Крокові двигуни цього типу широко використовуються в різних приладах, які вимагають точного позиціонування та керування. Це 3D-принтери, ЧПУ-верстати, робототехніка та автоматизовані системи. Ці двигуни мають квадратну форму пластини кріплення, розмір якої становить приблизно 2,3 дюйма (57,15 мм) по кожній стороні.

Крокові двигуни NEMA 23 відомі своїм крутним моментом (від 0,5 Н×м до 3 Н×м) і сумісністю з різними електронними приводами. Вони мають кут

					<i>KPM.EC.11287686.001.ПЗ</i>	11
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

кроку 1,8 градуса, і така роздільна здатність кроку дозволяє точно позиціонувати і забезпечувати плавне керування рухом.

Електричні характеристики крокових двигунів цієї серії залежать від конкретної моделі та виробника, демонструючи широкий спектр варіантів, зокрема в біполярній та уніполярній конфігураціях. Крокові двигуни з біполярним живленням зазвичай характеризуються вищим крутним моментом завдяки більш ефективному використанню фазових обмоток, тоді як уніполярні модифікації відзначаються спрощеною схемою підключення. Параметри струму обмоток та номінальні значення напруги суттєво варіюються, що дозволяє адаптувати конкретну модель під певні вимоги, забезпечуючи баланс між продуктивністю, ефективністю та складністю інтеграції в систему.

NEMA 34 - ця серія крокових двигунів відома своєю високою потужністю та міцними конструкціями. Вони використовуються в промислових системах, де важливо мати достатню силу крутного моменту (від 1,0 Н×м до 12 Н×м) і точність. Число "34" вказує на габаритні розміри двигуна, зокрема розмір пластини кріплення.

Їх використовуються в різних системах, де потрібно точне позиціонування та керування. Вони мають більші габарити порівняно з кроковими двигунами меншого розміру, такими як NEMA 23. Розмір пластини кріплення NEMA 34 становить близько 3,4 дюйма (86,36 мм) по кожній стороні.



Рис. 1.2. Кроковий двигун NEMA 34

					<i>KPM.EC.11287686.001.ПЗ</i>	12
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Крокові двигуни NEMA 34 володіють високим крутним моментом, що робить їх популярними в приладах, які потребують великої сили або моменту обертання (до 12 Н×м). Вони здатні забезпечити стабільне та точне керування.

Наступний тип крокових двигунів NEMA 42 . Ці крокові двигуни є одними з найпотужніших в своєму класі. Вони використовуються в важких промислових системах, де потрібні велика сила, високий крутний момент і висока точність позиціонування. Використовуються у великих механізмах, таких як CNC-фрезерні верстати і металообробні станки. Вони мають значно більші габарити порівняно з кроковими двигунами менших розмірів, такими як NEMA 23 або NEMA 34.

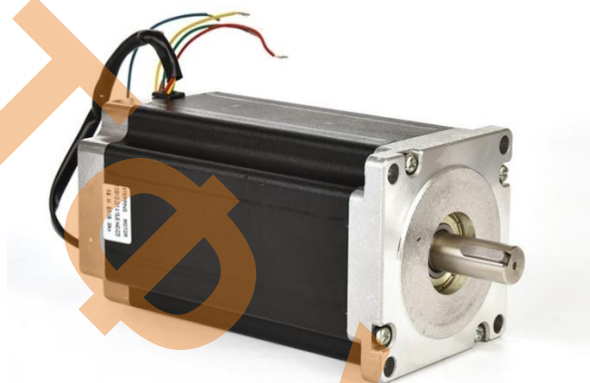


Рис. 1.3. Кроковий двигун NEMA 42

Крокові двигуни NEMA 42 володіють крутним моментом до 20 Н×м і можуть забезпечити відповідну силу обертання. Вони використовуються в приладах, які вимагають великої потужності, наприклад, важкі верстати, глибокі преси, обладнання для металообробки та інші промислові системи з великими навантаженнями. [1]

Ці найпопулярніші крокові двигуни забезпечують надійне і точне керування рухом у багатьох галузях. Вони використовуються в автоматизованих системах, де важливо мати контроль над точним положенням і надійністю механізму. Порівняння характеристик розглянутих вище двигунів відображено в таблиці 1.1.

					<i>KPM.EC.11287686.001.ПЗ</i>	13
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця 1.1 – Порівняльна характеристика двигунів

	NEMA 23	NEMA 32	NEMA 42
Розміри (мм)	57.15×57.15×112.0	86.4×86.4×110.0	106.0×106.0×130.0
Крутний момент (Н×м)	0.5 – 3.0	1.0 – 12.0	2.0 – 20.0
Струм споживання (А)	1.0 – 3.5	2.5 – 6.0	2.5 – 6.0

Контролер крокового двигуна на базі TB6560A

Контролер [2] представлений на рисунку 1.4, призначений для управління синхронними двигунами з максимальним струмом до 3.5А. Основа системи, контролер TB6560 від TOSHIBA відповідає наступним характеристиками:

Таблиця 1.2 – Технічні характеристики TB6560

Параметр	Значення
Струм обмоток, А	3...3.5
Напруга живлення логіки, В	5
Напруга живлення двигуна, В	24...40
Режими роботи	1/1, 1/2, 1/4, 1/8
Режим утримання	25% при 3.5 А

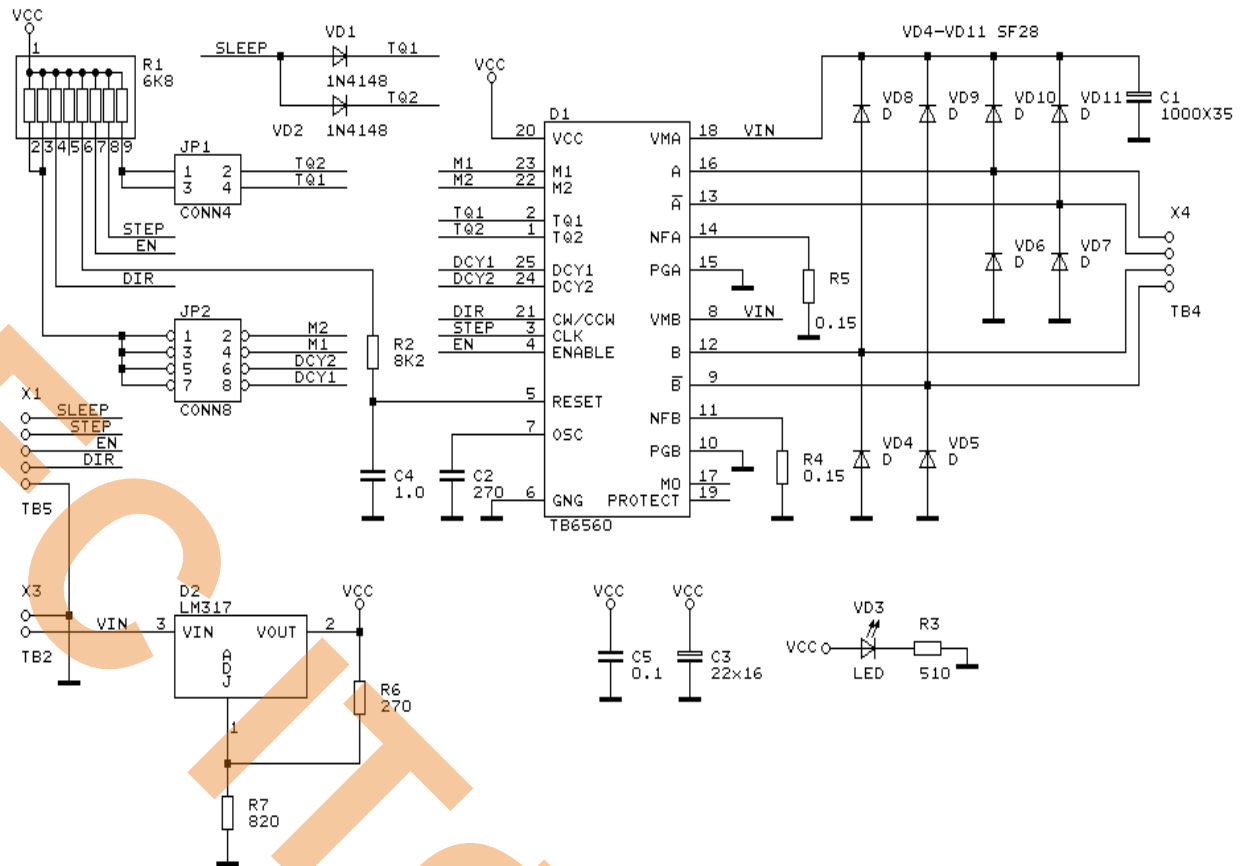


Рис. 1.4. Принципова схема контролера синхронного двигуна бази TB6560A [2]

Опис контактів:

X1-1 SLEEP режим утримання (активний рівень високий);

X1-2 STEP сигнал кроку;

X1-3 EN дозвіл роботи (активний рівень високий);

X1-4 DIR напрям обертання;

X1-5 GND;

X3-1 GND;

X3-2 Напруга живлення двигуна ($V_m=24V$);

X4-1,2 A1, A2 обмотка КД;

X4-3,4 B1, B2 обмотка КД.

Опис переминок:

JP1 - Установка моменту обертання (струму фази): Перемички не встановлені 100%; Встановлена 3-4 (TQ1) 75%; Встановлена 1-2 (TQ2) 50%; Встановлені 1-2 і 3-4 (TQ1 і TQ2) 20%.

JP2 - Установка режиму спаду струму і дроблення кроку: Режими дроблення кроку (TB6560A); Не встановлені 1-2, 3-4 1/1; Встановлена 3-4 (M1) 1/2; Встановлена 1-2 (M2) 1/16 (Для TB6560 1/4); Встановлені 1-2 і 3-4 (M1 і M2) 1/8; Режими дроблення кроку (TB6560); Не встановлені 1-2, 3-4 1/1; Встановлена 3-4 (M1) 1/2; Встановлена 1-2 (M2) 1/8; Встановлені 1-2 і 3-4 (M1 і M2) 1/4;

Режими спаду струму: Не встановлені 5-6, 7-8 0% (nominal);

Встановлена 7-8 (DS1) 25% (mixed decay);

Встановлена 5-6 (DS2) 50% (mixed decay);

Встановлені 5-6, 7-8 (DS1 і DS2) 100% (fast decay).

Драйвер розраховано на робочу напругу 24В і струм 3А.

Контролер крокового двигуна на мікросхемі РС116F84

На Рис.1.5 представлена принципова схема контролера крокового двигуна на мікросхемі РС116F84 де виконання кроків контролюється за допомогою зворотного зв'язку, який реалізований на датчиках струму і компараторах [2].

Датчики струму включаються в ланцюг польових транзисторів. Сигнали, зняті з датчиків струму, надходять на перші входи компараторів, на другі входи компараторів подається опорна напруга, що сформована мікроконтролером яка і визначає піковий струм в обмотках синхронного двигуна. Виходи компараторів підключаються до входів переривань мікроконтролера.

					<i>KPM.EC.11287686.001.ПЗ</i>	16
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Основою пристрою є мікроконтролер DD1. Сигнали управління обмотками двигуна формуються на портах RB4 – RB7. Для комутації обмоток використовуються польові транзистори типу КП 505А (VT1 – VT4). Щоб транзистори залишалися закритими під час дії сигналу «скидання» мікроконтролера, між затворами і витоками включені резистори R11, R14, R17, R18. Для обмеження струму перезарядки ємності затворів встановлені резистори R3, R6, R7, R8. У даному контролері реалізований повільний спад струму фаз, який забезпечується шунтуванням обмоток двигуна діодами VD1, – VD4. Для підключення синхронного двигуна є роз'єм XP1, який дозволяє підключити двигун, що має два окремі виводи від кожної обмотки

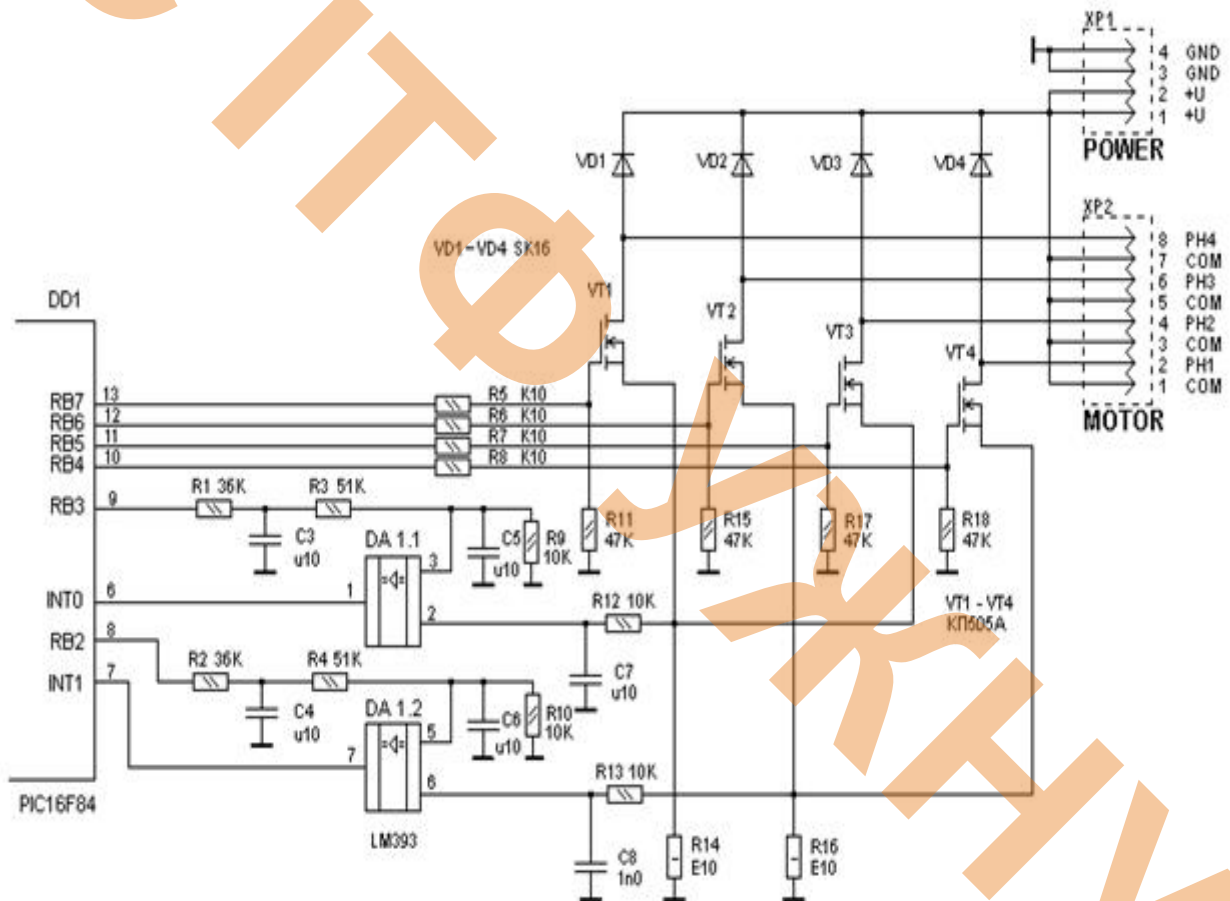


Рис. 1.5. Принципова схема контролера на PIC16F84 [2]

Стабілізація струму здійснюється за допомогою контролера ШІМ, який реалізований програмно. Для цього використовуються два датчики струму R15 і R16. Сигнали, зняті з датчиків струму, через фільтри низьких частот реалізовані R12, C5 і R13, C6 поступають на входи компараторів DA1.1 і

DA1.2. Фільтри низьких частот (ФНЧ) запобігають помилковим спрацьовуванням компараторів через завади. На другий вхід кожного компаратора подається опорна напруга, яка і визначає піковий струм в обмотках двигуна. Ця напруга формується мікроконтролером. Для фільтрації сигналу ШІМ використовуються ФНЧ R1, C1, R4, C3 і R2, C2, R5, C4. Одночасно резистори R1, R4, R9 і R2, R5, R10 утворюють дільники, які задають масштаб регулювання струмів фаз. Виходи компараторів підключені до виходів переривань мікроконтролера INT0 і INT1.

При переході в мікрокроковий режим підпрограма виконується безпосередньо після перевірки позиції двигуна. Таким чином, при перевірці позиції відбувається перевірка всієї системи в цілому, у тому числі і крокового двигуна. При переході в мікрокроковий режим проводиться контроль мікрокроків на наявність втрачених кроків, при втраті кроку напруга на вході компаратора не відповідає еталонному і підпрограма дає команду на повтор кроку. Якщо виконання мікрокрока сталося відповідно до програми, то виконується наступний крок, якщо в другий раз стається втрата кроку та видається команда STOP. У кроковому і напівкроковому режимах ця підпрограма не використовується.

Дана методика пропонує варіант вирішення проблеми втрати кроків при роботі мікроконтролерної системи на крокових двигунах без використання дорогих датчиків положення.

Автономний контролер крокового двигуна

Пропонований в роботі [3] варіант автономного контролера синхронного двигуна виконаний на мікроконтролері (МК) ATTINY2313 і транзисторах КТ972 призначений для автономної перевірки стану синхронного двигуна і контролерів управління синхронними двигунами. Можливості такого автономного контролера (АВК):

1. Управління синхронним двигуном в 2 сторони (реверсивне обертання);

					<i>KPM.EC.11287686.001.ПЗ</i>	18
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

2. 9 швидкостей обертання двигуна;
3. Вихід для перевірки контролера, що працює з програмою VRI-CNC;
4. Вихід для перевірки контролера з скерованих сигналів СТЕП-ДІР;
5. Інверсія сигналу СТЕР;
6. Кроковий режим роботи для всіх виходів;
7. Півкроковий для всіх окрім режиму СТЕП-ДІР;

Контролер має 5 кнопок управління: 1. вліво; 2. вправо; 3. крок-півкрок; 4. швидкість; 5. інверсія СТЕП.

У режимі КРОК - працюють режими СТЕП-ДІР - VRI-CNC – зміна швидкості і напрямку обертання двигуна для цих режимів відбувається одночасно.

У режимі ПІВКРОК працює ще режим VRI-CNC, всі зміни роботи для цих режимів відбувається одночасно. Мікроконтролер працює на частоті 1 мГц від внутрішнього генератора.

При зміні швидкості двигун не зупиняється. Рівнів регулювання - 9 (швидкостей). Знаходячись на низьких швидкостях при утриманні кнопки швидкості більше 3-4 секунди включається максимальна швидкість.

					<i>KPM.EC.11287686.001.ПЗ</i>	19
<i>Вим.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

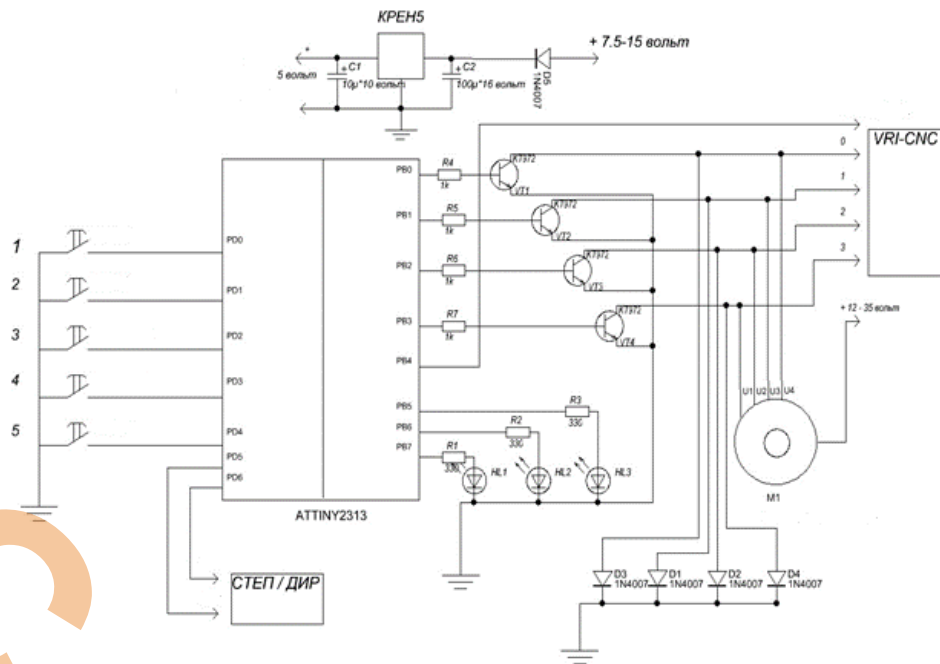


Рис. 1.6. Принципова схема автономного контролера крокового двигуна [3]

Після подачі живлення на мікроконтролер і натисканні будь-якої кнопки спалахнуть 3 світлодіоди - це індикація входу в покроковий режим. Тепер при натисненні будь-якої кнопки буде покрокове управління двигуном - поворот валу рівно на 1 крок при кожному натисненні будь-якої кнопки.

Для входу в основні режими потрібно вимкнути і включити живлення на мікроконтролер і чекати доки не спалахне світлодіод синхронного режиму роботи контролера.

Контролер крокового двигуна на базі мікросхеми АТmega16

У даній схемі [2] використовуються імпульсні діоди ВУ397 (схема на рис. 1.7).

S1 – Reset; S2 – лівий кінцевик 1 двигуна; S3 – правий кінцевик 1 двигуна; S4 – лівий кінцевик 2 двигуна; S5 – правий кінцевик 2 двигуна; S6 – кнопка «Вправо»; S7 – кнопка «Вліво».

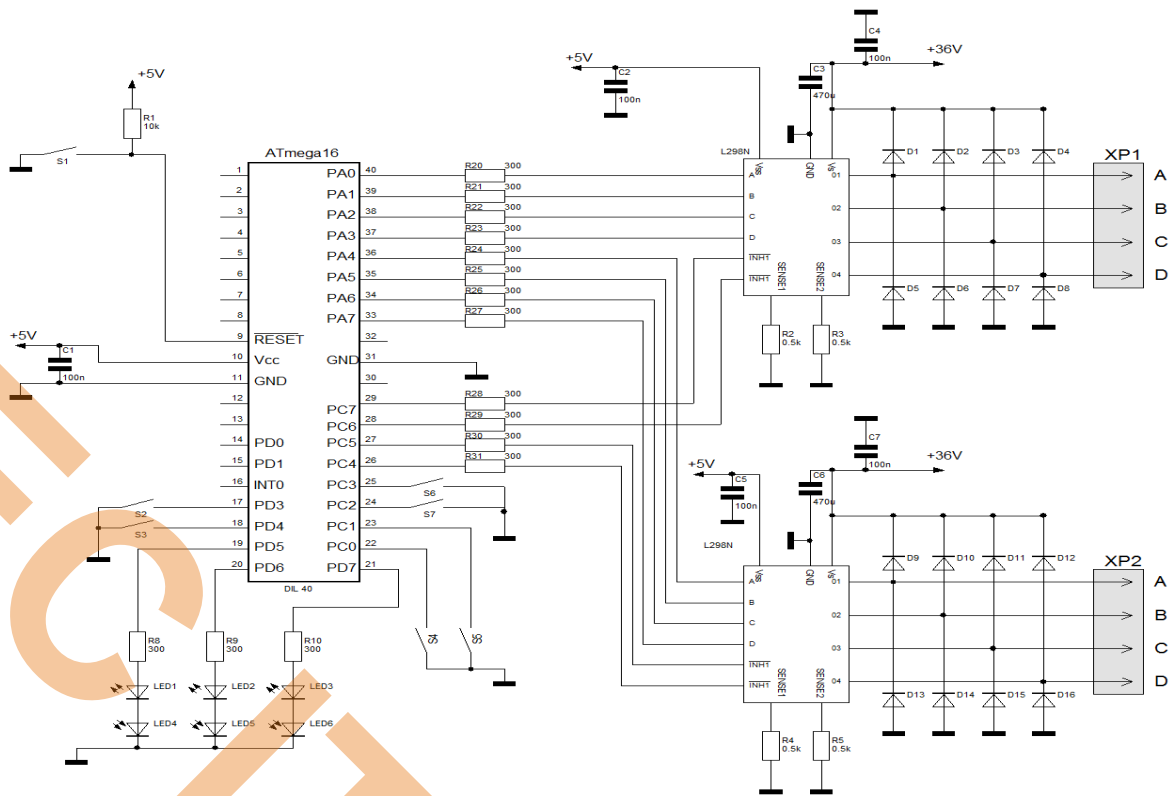


Рис. 1.7. Принципова схема контролера крокового двигуна на базі мікросхеми ATmega16 [2]

Двигун 1 – ведучий – підключається до роз'єму XP1

Двигун 2 – ведений – підключається до роз'єму XP2

Фотоприймачі зліва направо – Led1, Led2, Led3, підключені відповідно до PD5, PD7; PA7-PA0 – вихід; PC7-PC4 – вихід; PC3-PC0, PD7-PD2 – входи з внутрішньою підтяжкою що зарезервовані під RS-232 і LCD.

Використовується внутрішній RC-генератор, налаштований на 1МГц.

Сигнали від датчиків і кнопок: Кнопка натиснута – на вході низький рівень; Кнопка не натиснута – на вході високий рівень; Фотоприймач освітлений – на вході низький рівень; Фотоприймач не освітлений – на вході високий рівень.

Схема побудована на базі мікроконтролера ATmega16. Він дозволяє реалізувати всі необхідні функції.

Як випромінювач використано ІЧ-світлодіод TSAL4400, а фотоприймач – фотодіоди BPW34 PIN. Світлодіоди Led4, Led5 і Led6 використовуються для сигналізації приймача, що спрацював. Обмеження струму задається резисторами R8-R10.

Для керування біполярними синхронними двигунами з 4 виводами використовують драйвер на мікросхемі L298N. Це високовольтний двопівперіодний мостовий драйвер, призначений для прийняття стандартної транзисторної логіки і управління індуктивним навантаженням, – реле, соленоїдами, електродвигунами постійного струму і синхронними електродвигунами. Для відведення тепла необхідний радіатор.

Двонапівперіодний мостовий драйвер L298: Номінальна напруга живлення до 46 В; Сумарний постійний струм до 4 А; Мала напруга насичення (1.8 В при струмі 1 А); Захист від перегріву; Вхідна напруга логічного нуля елемента - до 1,5В (КМОП логіка).

Резистори R20-R31 обмежують струм мікроконтролера. Діоди D1-D16 підключають обмотки двигунів до відповідних виводів L298. Відмічено, що необхідно використовувати діоди з накопиченням заряду, для захисту мікросхеми від наведеної високої напруги, що виникає в мить, коли яка-небудь з обмоток вимкнена.

Напруга живлення двигунів становить 36В, а мікросхем 5В.

Існує декілька способів управління фазами крокового двигуна: кроковий режим, включена одна фаза; кроковий режим, включено дві фази.

Другий спосіб – керування фазами з перекриттям: дві фази включено в один і той же час. Його називають «two-phase-on full step» або просто «full step mode». При цьому способі управління ротор фіксується в проміжних позиціях між полюсами статора і забезпечується приблизно на 40% більший момент, чим в разі однієї включеної фази. Також цей спосіб управління забезпечує

					<i>KPM.EC.11287686.001.ПЗ</i>	22
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

такий же кут кроку, як і перший спосіб, але положення точок рівноваги ротора буде зміщене на півкроку.

У режимі півкроку і в однофазному режимі цілого кроку генеруються додаткові сигнали INH1 і INH2. Це два заборонні сигнали, пов'язані з входами включення на L298N, що служать для збільшення швидкості, при виключенні обмотки. Оскільки в двофазному режимі цілого кроку, обидві обмотки включено постійно і не відключаються. При натисненні кнопки «Вліво» або «Вправо» двигун рухається у відповідну сторону. Якщо він активує лівий або правий кінцевик, то відповідна кнопка деактивується, і кнопка знову стане доступною.

При активації лівого або правого оптичного датчика, двигун починає рухатися у відповідну сторону, при активації середнього оптичного датчика двигун зупиняється. Коли двигун активує лівий або правий кінцевики, то він починає рухатися в протилежну сторону.

Весь алгоритм роботи мікроконтролера знаходиться в нескінченному циклі. Спочатку опитуються підключені датчики і кнопки, за їх результатом опитування спрацьовують необхідні індикатори, які в подальшому аналізуються і у відповідності до них посилаються сигнали, що керують кроковим двигуном.

Контролер біполярного крокового двигуна на основі мікросхеми PIC18F2320

Контролер, [2] приведений на рисунку 1.8, підтримує сигнали керування STEP, DIR і ENABLE.

У контролері реалізований мікрокроковий режим і режим утримання пониженням струму фаз.

Апаратне ШІМ регулювання для обмеження струму фаз: Режим утримання за відсутності сигналу STEP більш за дві секунди (при вказаних номіналах ~ 50% від номіналу); Реалізований режим “fixed time off” (режим роботи, коли

					<i>KPM.EC.11287686.001.ПЗ</i>	23
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

система після кожного активного періоду автоматично переходить у стан вимкнення на фіксований, заздалегідь встановлений проміжок часу, незалежно від інших умов чи сигналів).

Робота в режимах «повний крок», «півкрок» і «мікрокрок» (FULL STEP/HALF STEP/MICRO STEP).

Регулювання струму фаз здійснюється за допомогою резисторів R24 і R26. При вказаних номіналах на схемі струм становить 2 А. Перемичками JP2-JP4 на платі перемикають режими роботи «крок», «півкрок» і «мікрокрок»:

Таблиця 1.3 – Позичіонування перемикачів для вибору режиму

Режим роботи	JP2	JP3	JP4
Крок	OFF	OFF	OFF
Півкрок	OFF	OFF	ON
Мікрокрок	OFF	ON	OFF

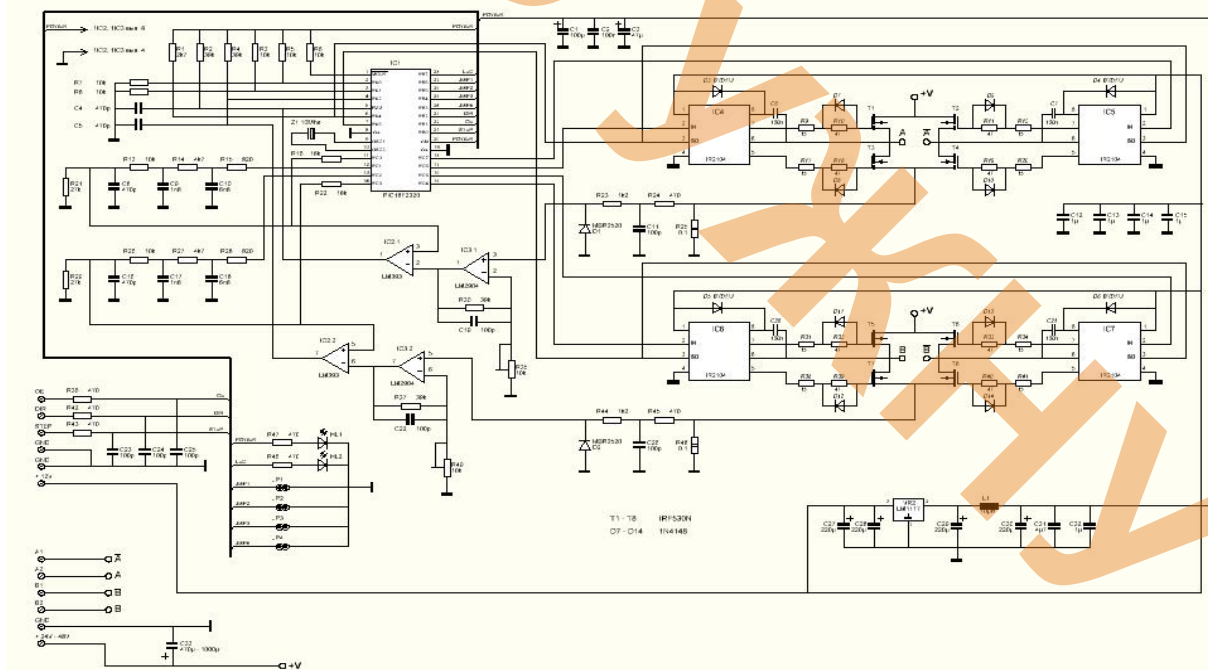


Рис. 1.8. Контролер синхронного двигуна на основі мікросхеми PIC18F2320

Режим утримання з пониженням струму фаз працюватиме при встановленій перемичці JP1. Струм утримання залежить від номіналів R21 і R22, із

зменшенням їх номіналів зменшиться і струм утримання. Будь-яка зміна в конфігурації перемичок, вимагає перезапуск контролера.

Вхідний роз'єм - «+12v», «GND», «GND», «STEP», «DIR», «ENABLE».

Вихідний роз'єм - «обмотка A1», «обмотка A2», «обмотка B1», «обмотка B2», «GND», «+48v».

Налаштування зводиться в основному до розрахунку резисторів R24 і R26 від яких залежить струм КД. Частота ШІМ залежить від індуктивності обмоток двигуна і номіналів R13, C1 і R14, C2 які визначають час T_{off} (в даному випадку 16.6 мксек).

					<i>KPM.EC.11287686.001.ПЗ</i>	25
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

2 Проектно-конструкторський розділ

2.1. Синтез та аналіз структурної і принципової схем

При розгляді аналогів контролера крокових двигунів було проведено їх аналіз: проаналізовано принципові та структурні схеми, розглянуто принципи побудови, подано їх основні параметри та характеристики. Таким чином, за прототип об'єкту проектування обрано блок керування крокового двигуна, побудований на програмованій мікросхемі з підтримкою широто-імпульсної модуляції, яка керується трьома універсальними сигналами STEP, DIR, ENABLE.

Структурна схема пристрою (Рис. 2.3) для керування таким двигуном включає в себе такі блоки: блок живлення, DC-DC перетворювач, стабілізатор напруги, блок керування, дисплей, драйвери ключів верхнього і нижнього рівнів та кроковий двигун.



Рис. 2.3. Структурна схема контролера синхронного двигуна

При відсутності сигналу управління STEP програма контролера переходить в режим утримування і через обмотки крокового двигуна (КД) тече струм утримування, який в даному контролері може регулюватися. У пристрої реалізовано режим роботи крок і на півкрок, є можливість апаратно керувати струмами фаз обмоток КД в робочому стані.

Двигуном, згідно технічного завдання при проектуванні приладу є 23HS45-4204S типу NEMA 23, його технічні параметри наступні [4]:

Таблиця 2.1 – Технічні параметри 23HS45-4204S

Параметр	Значення
Напруга, В	24
Струм на фазу, А	4.2
Крутний момент, Н×м	3
Кроки на оберт	200 (1.8° на крок)
Опір на фазу, Ом	0.9
Індуктивність на фазу, мГн	3.6
Схема підключення	Біполярна
Діапазон робочої температури, °С	-20...+80

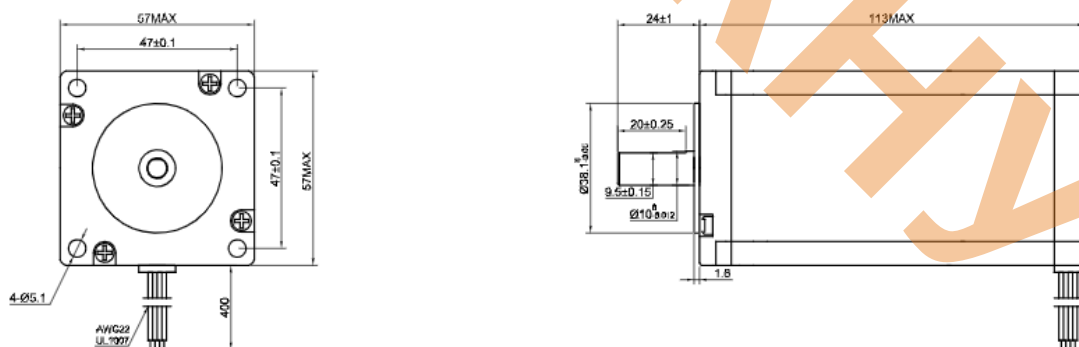


Рис. 2.1. Графічне зображення і розміри 23HS45-4204S

TYPE OF CONNECTION (EXTERN)		MOTOR	
PIN NO	BIPOLAR	LEADS	WINDING
1	A —	BLK	
2	A1 —	GRN	
3	B —	RED	
4	B1 —	BLU	

FULL STEP 2 PHASE-Ex.,
WHEN FACING MOUNTING END (X)

STEP	A	B	A1	B1		CCW
1	+	+	-	-	↓	↑
2	-	+	+	-		
3	-	-	+	+	↑	↓
4	+	-	-	+		

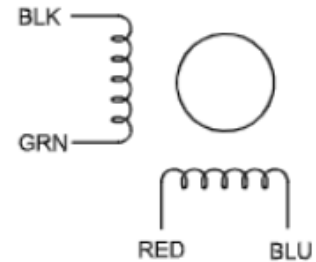


Рис. 2.2. Схема підключення двигуна до контролера

2.2. Опис роботи системи та розрахунки основних вузлів

Принципова схема приведена нижче:

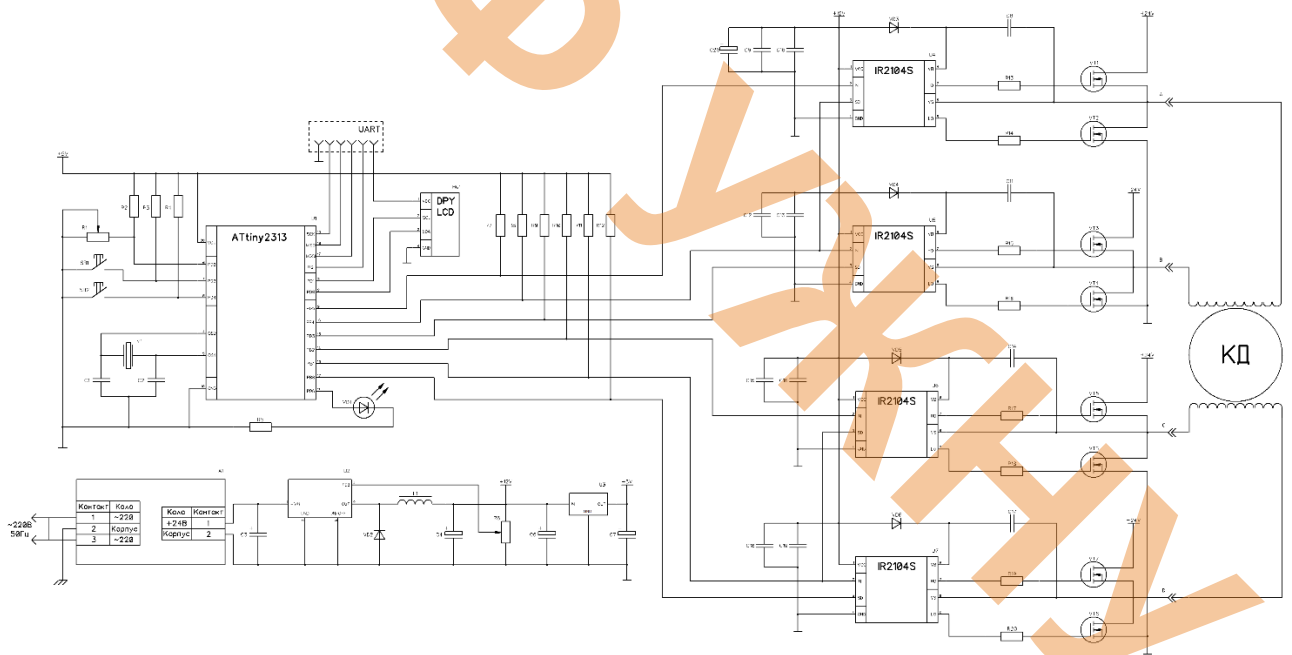


Рис. 2.4. Схема електрична принципова контролера крокового двигуна на мікросхемі ATtiny2313

Далі буде описано роботу кожного блоку і проведено розрахунки режимів роботи компонентів.

Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

Блок живлення

Для забезпечення стабільної та відповідної напруги для живлення керуючих елементів, таких як мікроконтролери, драйвери крокових двигунів та інші електронні компоненти системи в схемі використано стабілізоване джерело живлення на 24В від компанії Mean Well з індексом MP450-2HE [5] .

Потужності такого блоку живлення вистачить для живлення силових ключів, що зробить конструкцію проектованого приладу більш простою і універсальною.

Таблиця 2.2 – Технічні параметри MP450-2HE

Параметр	Значення
Вхідна напруга, В	85...264
Вихідна напруга, В	24
Максимальний вихідний струм, А	12.5
Ефективність, %	82.5
Діапазон робочої температури, °С	-30...+80

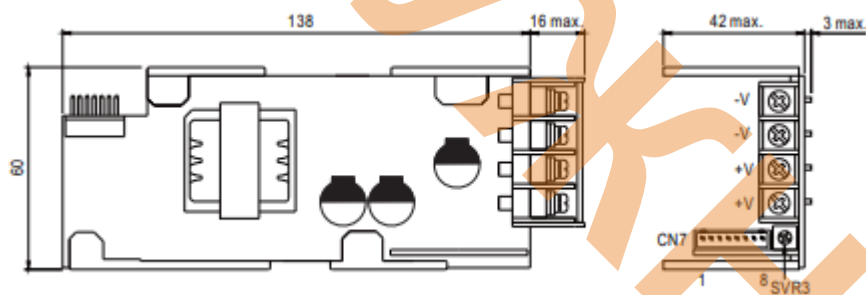


Рис.2.5. Графічне зображення і конфігурація виводів MP450-2HE

DC-DC перетворювач

Для роботи драйверів ключів верхнього і нижнього рівнів нам потрібна стабільна напруга в 12 В. Для забезпечення такого рівня напруги використано мікросхему-стабілізатор LM2576HV.

LM2576HV - це інтегральна схема стабілізатора напруги, яка працює у режимі перетворювача напруги. Вона забезпечує стабільний вихідний рівень напруги навіть при зміні вхідної напруги або навантаження. [6]

Конфігурація виводів, основні характеристики та графічне зображення LM2576HV показані нижче:

Таблиця 2.3 – Технічні параметри LM2576HV

Параметр	Значення
Вхідна напруга, В	4.5...72
Вихідна напруга, В	3.3...24
Максимальний вихідний струм, А	5
Ефективність, %	88
Діапазон робочої температури, °С	-40...+125

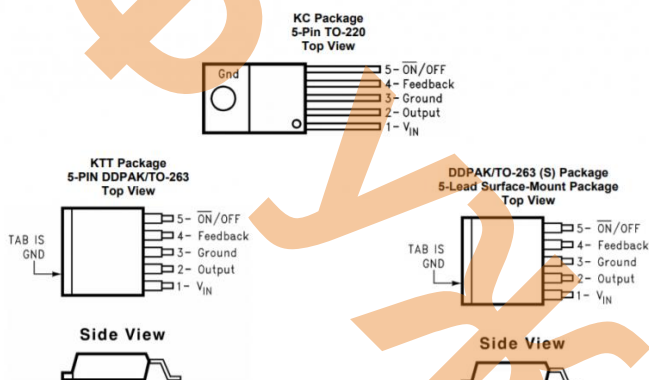


Рис.2.6. Конфігурація виводів LM2576HV

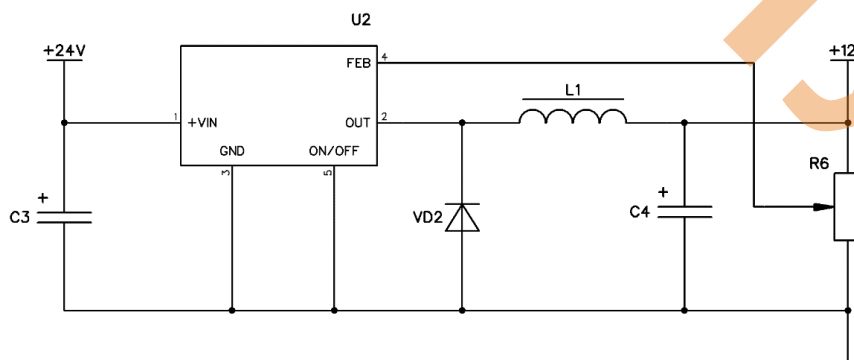


Рис. 2.7. Типова схема включення LM2576HV [6]

Конденсатор C3 на вході схеми служить для фільтрації та стабілізації вхідної напруги. Діод VD2 у цій схемі, є швидкодіючим діодом відводу напруги. Він використовується для захисту від зворотної напруги, що може виникати на індуктивному елементі L1 під час комутації. L1 використовується для зберігання енергії, яка потім передається на вихід перетворювача для забезпечення стабільної вихідної напруги. Резистор R6 виконує функцію регулювання вихідної напруги. [6]

Розрахунки.

Вхідні дані для розрахунків:

1. Вхідна напруга: $V_{in} = 24 \text{ В}$.
2. Вихідна напруга: $V_{out} = 12 \text{ В}$.
3. Навантаження: $R_{load} = 10 \text{ Ом}$.
4. Вихідний струм:

$$I_{out} = \frac{V_{out}}{R_{load}} = \frac{12}{10} = 1.2 \text{ А} \quad (2.1.1)$$

5. Частота перемикання: $f = 200 \text{ кГц}$.
6. Допустимі пульсації вихідної напруги: $\Delta V_{out} = 50 \text{ мВ}$.
7. Допустимі пульсації струму через дросель (30% від I_{out}):

$$\Delta I_{L1} = I_{out} \times 30\% = 1.2 \times 0.3 = 0.36 \text{ А} \quad (2.1.2)$$

Маючи ці данні можна розрахувати дросель L1 за наступною формулою:

$$L_1 = \frac{(V_{in} - V_{out}) \times D}{f \times \Delta I_{L1}} \quad (2.1.3)$$

де, D – коефіцієнт заповнення:

					<i>KPM.EC.11287686.001.ПЗ</i>	31
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$D = \frac{V_{out}}{V_{in}} = \frac{12}{24} = 0.5 \quad (2.1.4)$$

Підставляємо отримане значення у рівняння 2.1.3:

$$L_1 \geq \frac{(24 - 12) \times 0.5}{(200 \times 10^3) \times 0.36} = \frac{12 \times 0.5}{72 \times 10^3} \approx 80 \mu H \quad (2.1.5)$$

Вихідний конденсатор C4 розраховується за наступною формулою:

$$C_4 \geq \frac{\Delta I_{L1}}{8 \times f \times \Delta V_{out}} \quad (2.1.6)$$

Підставляємо дані:

$$C_4 \geq \frac{0.36}{8 \times (200 \times 10^3) \times 0.05} = \frac{0.36}{20.8} \approx 450 \mu F \quad (2.1.7)$$

Вхідний конденсатор розраховується за наступною формулою:

$$C_3 \geq \frac{I_{out} \times D}{f \times \Delta V_{in}} \quad (2.1.8)$$

де, ΔV_{in} – допустимі пульсації вхідної напруги, прийmemo як 0.5 В.

$$C_3 \geq \frac{1.2 \times 0.5}{(200 \times 10^3) \times 0.5} \approx 30 \mu F \quad (2.1.9)$$

Стабілізатор напруги

Для роботи мікросхеми логіки ATtiny2313 нам потрібна стабільна напруга 5В. Для цього в схемі застосовано стабілізатор напруги LM7805.

Стабілізатор напруги LM7805 - це інтегральна мікросхема, яка використовується для стабілізації напруги живлення в електричних пристроях. Вона забезпечує сталу вихідну напругу 5 вольт і може бути використана для живлення різноманітних електронних пристроїв, таких як мікроконтролери, операційні підсилювачі, сенсори тощо. [7]

Технічні параметри та конфігурація виводів LM7805 показана нижче:

					<i>KPM.EC.11287686.001.ПЗ</i>	32
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця 2.4 – Технічні параметри LM7805

Параметр	Значення
Вхідна напруга, В	7.5...25
Вихідна напруга, В	5
Максимальний вихідний струм, А	1.5
Ефективність, %	85
Діапазон робочої температури, °С	-40...+125

LM7805 PINOUT DIAGRAM

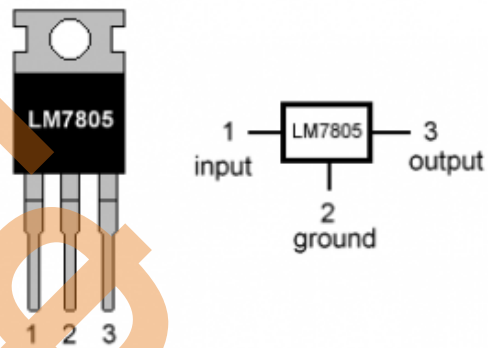


Рис.2.8. Графічне зображення та конфігурація виводів L7805

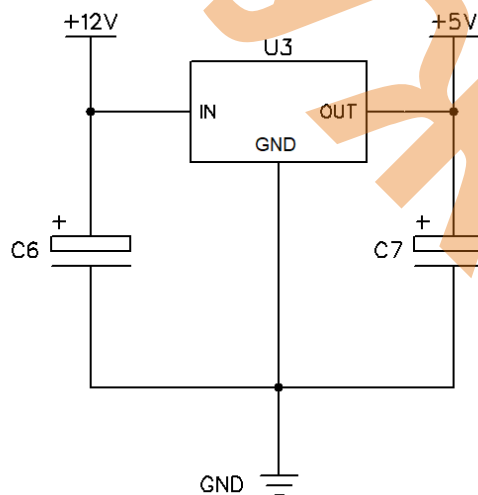


Рис. 2.9. Типова схема включення LM7805 з обв'язкою [7]

Для забезпечення стабільності роботи стабілізатора на вхід та вихід підключають конденсатори С6 (0.33 мкФ) та С7 (0.1мкФ) відповідно до документації від виробника [7].

Блок керування

Блок керування обертами крокового двигуна складається з мікросхеми ATtiny2313, перемикачів SB1 та SB2, та резистора змінного опору R1.

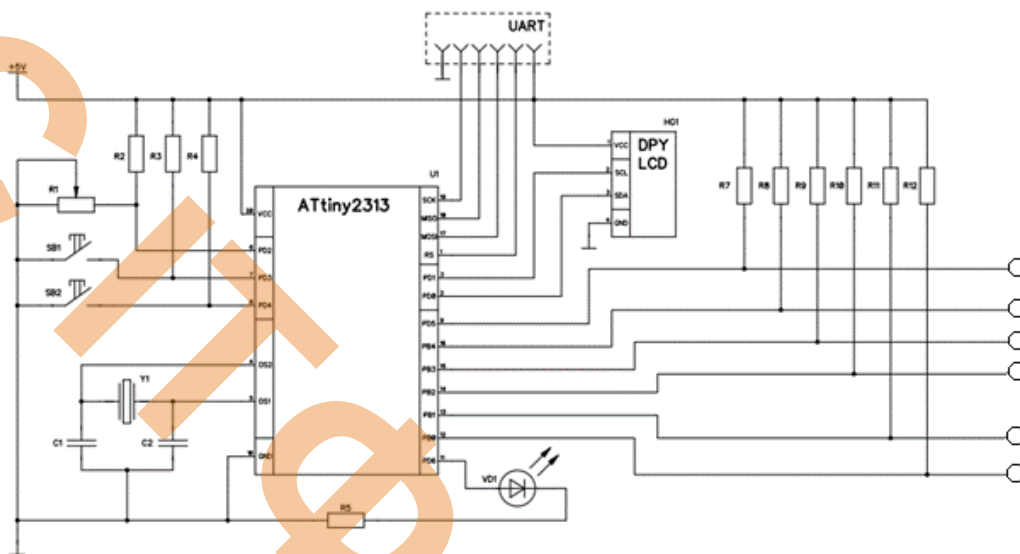


Рис. 2.10. Типова схема включення ATtiny2313 [8]

ATtiny2313 - це вбудований мікроконтролер від Microchip Technology, який входить у сімейство AVR [8].

Таблиця 2.5 – Технічні параметри ATtiny2313

Параметр	Значення
Напруга живлення, В	2.7...5.5
Розрядність, біт	8
Внутрішня пам'ять (Flash)	2 кб
Оперативна пам'ять(SRAM)	128 б
Тактова частота, МГц	20
Інтерфейси	UART, SPI, I ² C
Діапазон робочої температури, °C	-40...+85

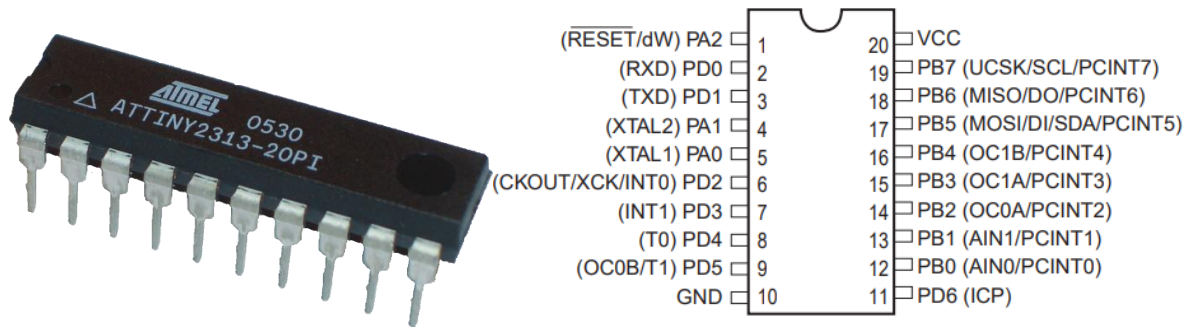


Рис.2.11. Графічне зображення та конфігурація виводів ATtiny2313

Його запрограмовано на генерування необхідних сигналів керування для мікросхем драйверів IR2104S. Ці сигнали включають крокові імпульси і керування напрямком [9]. Крокові імпульси визначають, коли кроковий двигун повинен зробити крок, а керування напрямком диктує напрямок обертання.

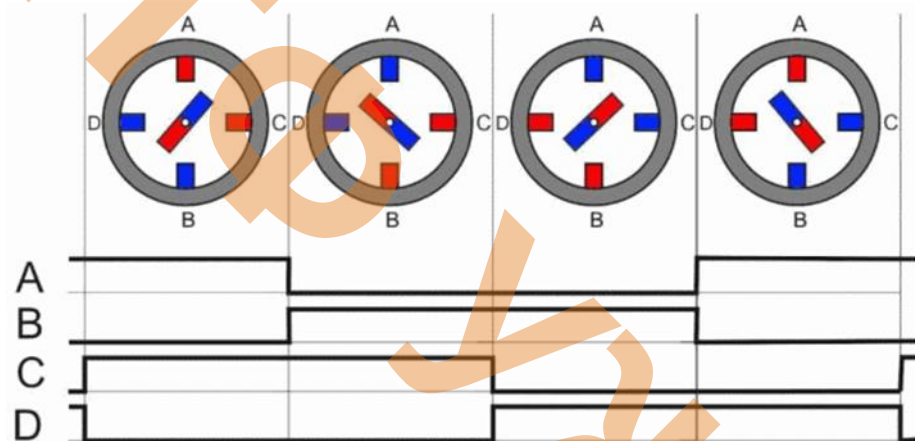


Рис.2.12. Принцип роботи крокового двигуна при керуванні за допомогою чергування імпульсів

Аналоговий потенціометр R1 служить для регулювання швидкості обертання крокового двигуна. Перемикачі SB1 та SB2 служать для вибору режиму роботи (крок-напівкрок). Резистори R2-R5 служать для обмеження струму. Кварц Y1 з частотою 16 МГц використовується для надання точного та стабільного тактового сигналу мікроконтролеру. Конденсатор C1 та C2 стабілізують роботу кварцового генератора. Світлодіод VD1 сигналізує про вибраний режим роботи. До роз'єму J1 підключається дисплей. А через роз'єм J2 (UART) відбувається програмування мікроконтролера.

Дисплей

Для відображення швидкості і режиму роботи контролера крокового двигуна в даній схемі використано дисплей SH1106 який підключається до ATtiny2313 по протоколу I²C через роз'єм J1.

Таблиця 2.6 – Технічні параметри SH1106

Параметр	Значення
Напруга живлення, В	3.3...5
Роздільна здатність, пкс	128 x 64
Час відгуку, мкс	1
Інтерфейс підключення	I ² C
Фізичні розміри, мм	29.42 x 14.7
Діапазон робочої температури, °C	-40...+85

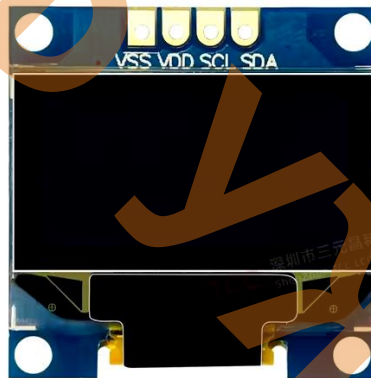


Рис.2.13. Графічне зображення SH1106

Передача даних від ATtiny2313 до дисплея здійснюється через дві шини :

1. SDA (Serial Data) – використовується для передачі даних між пристроями.
2. SCL (Serial Clock) – служить для синхронізації передачі даних.

Взаємодія між пристроями за цим протоколом відбувається так [10]:

1. Master (перший пристрій) генерує сигнал на SCL.

					<i>KPM.EC.11287686.001.ПЗ</i>	36
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

2. Master встановлює значення на SDA.
3. Slave (другий пристрій) зчитує значення з SDA, синхронізуючись із сигналом на SCL.

Драйвери ключів верхнього і нижнього рівнів

IR2104S - це високошвидкісний силовий драйвер, спеціально розроблений для керування MOSFET транзисторами у високопродуктивних пристроях. У цій системі чотири мікросхеми IR2104S використовуються для керування MOSFET, які керують кроковим двигуном [11].

Таблиця 2.7 – Технічні параметри IR2104S

Параметр	Значення
Напруга живлення, В	10...20
Максимальна робоча напруга, В	200
Затримка перемикання вмикання, нс	140
Затримка перемикання вимикання, нс	150
Максимальна частота перемикання	до 500 кГц
Діапазон робочої температури, °С	-40...+125

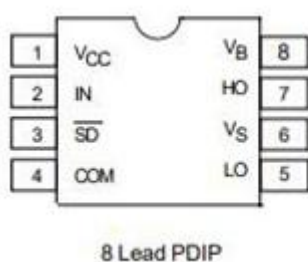


Рис.2.13. Графічне зображення та конфігурація виводів IR2104S

Крім цього у драйвера є наступні системи захисту: захист від перегріву (Thermal Shutdown), захист від короткого замикання (Short Circuit Protection) та захист від заниженої напруги (Under Voltage Lockout, UVLO) [11].

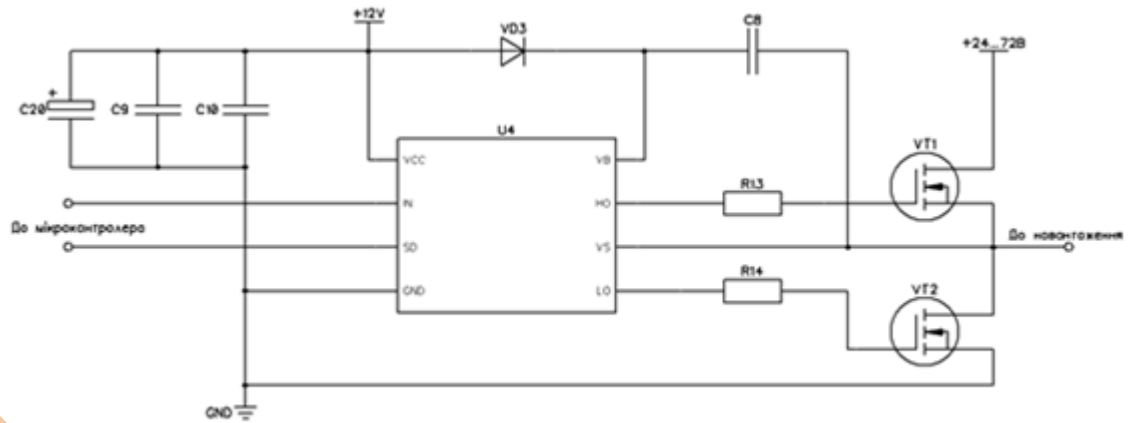


Рис. 2.14. Типова схема включення IR2104S [11]

Для ефективного ввімкнення MOSFET транзистора з верхньої сторони драйверу затвора потрібна напруга, вища за напругу живлення, для цього в схему включено конденсатор C8 на 2 мкФ.

Конденсатори C9 та C10 зменшують пульсації напруги і фільтрують високочастотні шуми від джерела живлення.

Конденсатор C20 служить накопичувачем енергії, забезпечуючи додатковий заряд під час короткочасних подій, коли звичайне джерело живлення не може забезпечити необхідний заряд досить швидко.

Резистори R13 та R14 служать в схемі для обмеження струму затвору.

Транзистори IRLZ14N використовуються як перемикачі для керування струмом, що протікає через обмотки крокового двигуна. У цій системі таких транзисторів вісім і вони розташовані попарно для кожної фази крокового двигуна. Вони діють як перемикачі для керування струмом, що протікає через обмотки крокового двигуна.

Вмикаючи та вимикаючи їх відповідно до сигналів від IR2104S та мікроконтролера, струм спрямовується через обмотки двигуна таким чином, що змушує двигун рухатися дискретними кроками [12].

Таблиця 2.8 – Технічні параметри IRLZ14N

Параметр	Значення
Максимальна напруга стік-витік, В	55
Максимальна напруга затвор-витік, В	16
Максимальний струм через стік, А	10
Час наростання, нс	28
Час спаду, нс	34
Діапазон робочої температури, °С	-55...+175

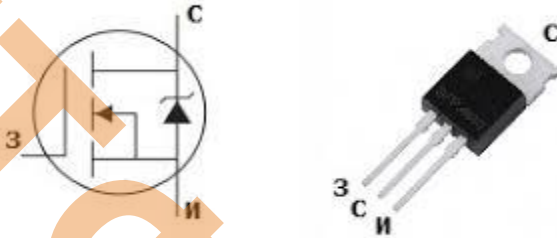


Рис.2.15. Графічне зображення та конфігурація виводів IRLZ14N

Розрахунки

Розраховуємо час затримки включення транзистора ($t_{3\text{вкл}}$), якщо у коло затвору включено обмежувач опір R13 номіналом 22 Ом:

$$t_{3\text{вкл}} = R13 \times (C_{3\text{в}} + C_{3\text{с}}) \times \ln \left(\frac{U_{\text{вх м}}}{U_{\text{вх м}} - U_0} \right) \quad (2.1.10)$$

де, $C_{3\text{в}}$ – ємність між затвором і витоком, $C_{3\text{в}} = 370 \text{ pF}$;

$C_{3\text{с}}$ – ємність між затвором і стоком, $C_{3\text{с}} = 110 \text{ pF}$;

$U_{\text{вх м}}$ – вхідна напруга на затворі, $U_{\text{вх м}} = 24 \text{ В}$;

U_0 – порогова напруга відкриття транзистора, $U_0 = 1 \text{ В}$.

Сумарна ємність:

					КРМ.ЕС.11287686.001.ПЗ	39
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$C_{\text{заг}} = C_{\text{зв}} + C_{\text{зс}} = 480 \text{ pF} = 480 \times 10^{-12} \text{ F} \quad (2.1.11)$$

Розрахуємо логарифм з формули 2.1.10:

$$\ln \left(\frac{U_{\text{вх м}}}{U_{\text{вх м}} - U_0} \right) = \ln \left(\frac{24}{24 - 1} \right) = \ln \left(\frac{24}{23} \right) \approx 0.043 \quad (2.1.12)$$

Підставляємо здобуті значення у формулу 2.1.10:

$$t_{\text{з вкл}} = 22 \times (480 \times 10^{-12}) \times 0.043 \quad (2.1.13)$$

$$t_{\text{з вкл}} = 0.45 \text{ нс} \quad (2.1.14)$$

Час установки включення, виключення:

$$t_{\text{у вкл}} = 2 \times R13 \times (C_{\text{зв}} + C_{\text{зс}}) \quad (2.1.15)$$

$$t_{\text{у вкл}} = 2 \times 22 \times (480 \times 10^{-12}) \quad (2.1.16)$$

$$t_{\text{у вкл}} = 21.12 \text{ нс} \quad (2.1.17)$$

Конектори

Для підключення живлення крокового двигуна було обрано роз'єм Molex 39-01-2040 (J3, 4 pin) через кілька важливих причин. По-перше, цей тип роз'єму забезпечує надійне електричне з'єднання, яке відповідає вимогам до струмових характеристик крокового двигуна. Крім того, роз'єм ATX є стандартним і широко використовуваним у комп'ютерній та електронній техніці, що спрощує інтеграцію в існуючі системи. Його фізичні параметри, такі як розміри, міцність і легкість у підключенні, додатково сприяють зручності використання у проектуваному пристрої.

Для підключення промислового блоку живлення був обраний роз'єм Kusun KLDX-0202 типу DC barrel jack (J4). Цей вибір обґрунтований зручністю підключення до стандартних адаптерів і блоків живлення, які оснащені аналогічними роз'ємами. Таке рішення також підвищує універсальність пристрою, оскільки дозволяє легко замінювати блок живлення у разі потреби, використовуючи стандартні доступні компоненти. Крім того,

					<i>KPM.EC.11287686.001.ПЗ</i>	40
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

він забезпечує надійний контакт і простоту експлуатації, що важливо для забезпечення стабільної роботи пристрою.

Для підключення проектованого приладу до комп'ютера для програмування або управління через UART використано роз'єм TE Connectivity 292132-6 (J2). Цей 6-контактний роз'єм з кроком 2 мм дозволяє зручно організувати з'єднання для передачі даних (TXD, RXD) та інших сигналів. Надійний вертикальний монтаж на плату забезпечує стабільний зв'язок.

Роз'єм OSTV7040150 (J1) використано для підключення дисплея SH106 по I²C. Роз'єм з кроком 3.96 мм забезпечує підключення живлення та ліній даних (SDA, SCL) до дисплея.

Таблиця 2.9 – Технічні параметри розглянутих конекторів

Тип роз'єму	Модель	Розміри (мм)	Ном. струм	Ном. напруга
P4 Power	Molex 39-01	21.84 x 7.49 x 8.11	6-9 А на контакт	До 250 В
DC Barrel jack	Kycon KLDX-020	Зов. Ø: 5.5, Вн. Ø: 2.1, Довжина: 9.5	До 13 А	До 36 В
PCB Header (2 мм Pitch)	TE Connectivity 292132-6	13.8 x 5.8 x 6.6	До 4 А	До 24 В
Wire-to-Board Connector	OSTV7040150	15.8 x 10.0 x 14.0	До 4 А	До 24 В

3. Конструкторсько – технологічний розділ

3.1 Проектування та розрахунок друкованої плати

Друкована плата (ДП) – це пластина з діелектрика, на поверхні або всередині якої нанесені провідні лінії, що з'єднують електронні компоненти. Друковані плати призначені для електричного та механічного з'єднання різних електро-радіо компонентів (ЕРЕ). Електронні компоненти з'єднуються на друкованій платі з елементами провідного рисунка зазвичай паянням.

Терміни та визначення основних понять, що стосуються друкованих плат, встановлено ДСТУ 2646-94.

Розробка друкованої плати починається з визначення її розмірів. Для цього потрібно знайти сумарну площу, яку займатимуть на платі малогабаритні ($S_{мг}$), середньогабаритні ($S_{сг}$) та великогабаритні ($S_{вг}$) електрорадіоелементи (ЕРЕ).

При виконанні такого поділу необхідно враховувати, що до малогабаритних ЕРЕ відносять мініатюрні резистори (0,125 і 0,25 Вт), діоди і стабілітрони у скляних корпусах, деякі типомінали керамічних конденсаторів та інші радіокомпоненти, які мають площу індивідуального встановлення $S_i \leq 1\text{см}^2$. До середньогабаритних ЕРЕ належать ІМС у прямокутних корпусах, резистори потужністю вище 0,5 Вт, конденсатори в циліндричних корпусах і подібні радіокомпоненти, які мають площу індивідуального встановлення $S_i \leq 2\text{см}^2$. До великогабаритних ЕРЕ належать потужні резистори, конденсатори в прямокутних корпусах, змінні резистори, трансформатори, напівпровідникові прилади з радіаторами та інші, індивідуальна площа встановлення яких $S_i > 2\text{см}^2$.

Під установчою площею ЕРЕ розуміють площу прямокутника (квадрата), у яку вписується ЕРЕ разом з виводом та контактними площинками при його установці на плати друкованої.

					<i>KPM.EC.11287686.001.ПЗ</i>	42
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Площа монтажної зони розраховується за середньою щільністю монтажу за допомогою формули:

$$S = (4 \times S_{\text{МГ}}) + (3 \times S_{\text{СГ}}) + (1.5 \times S_{\text{ВГ}}) \quad (3.1.1)$$

Під установочними площами ЕРЕ розуміють, площі прямокутників, в які вписані ЕРЕ разом із виводами та контактними площадками при встановленні їх на друковану плату. Вихідні дані для розрахунку установочних площ надані в таблиці 3.1.

Таблиця 3.1 – Розміри установчих площ компонентів

Умовне позначення	п, шт	Найменування	Установча площа, мм ²
C1, C2	2	206-NPO-10p	7,92
C3, C5	2	PV-100uF-50V	45,58
C4	1	MAL-1000uF	62,17
C6	1	RMU/SR-470uF	45,58
C7	1	T10/16A-JP 5%	20
C8, C11, C14, C17	4	1206-NPO-2u 5%	5,12
C9, C12, C15, C18	4	1206-NPO-10u	5,12
C10, C13, C16, C19	4	1206-NPO-100n	5,12
C20	1	LFB4700uF/63V	63,5
J1	1	OSTV7040150	211
J2	1	292132-6	203,3
J3	1	Molex 39-01	222
J4	1	Kycon KLDX-020	175,2
L1	1	822LY-100H	15
R1	1	3590S-2-50K	365,6
R2, R3, R4, R7, R8, R9, R10, R11, R12	9	RSF100JB-10K	30,48
R5	1	CFR-25JB-220R	30,48

R6	1	3296 47K	48,12
R13, R14, R15, R16, R17, R18, R19, R20	8	2512 22R 1W 5%	5,12
SB1, SB2	2	CKN1615-ND	327,72
U1	1	ATTINY2313	250
U2	1	LM2576	51,7
U3	1	L7805	48,3
U4, U5, U6, U7	4	IR2104S	87,5
VD1	1	5013LRD-B	21,16
VD2	1	1N5922	8
VD3, VD4, VD5, VD6	4	SS16/11T	12,6
VT1, VT2, VT3, VT4, VT5, VT6, VT7, VT8	8	IRLZ14N	47,3
Y1	1	MC9328MX1	56,8
Дисплей	1	SH106	195
Загальна площа			2025

В даній схемі до великогабаритних ЕРЕ відносяться J1, J2, J3, R1, SB1, SB2, U1. Їх площа становить:

$$S_{\text{вг}} = 211 + 203,3 + 222 + 365,5 + 327,72 + 250 = 1579,52 \text{ мм}^2 \quad (3.1.2)$$

До середньобагаритних ЕРЕ відносяться лише J4, і його площа становить:

$$S_{\text{сг}} = 175,2 \text{ мм}^2 \quad (3.1.3)$$

До малогабаритних ЕРЕ відносяться всі інші компоненти:

$$S_{\text{мг}} = 1760,55 \text{ мм}^2 \quad (3.1.4)$$

Тепер підставляємо здобуті значення у формулу:

					<i>KPM.EC.11287686.001.ПЗ</i>	44
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$S = (4 \times 1760,55) + (3 \times 175,2) + (1,5 \times 1579,52) \quad (3.1.5)$$

$$S = 9937,08 \text{ мм}^2 \quad (3.1.6)$$

Вибираємо для ДП розмір згідно ГОСТ 10317-79 Плати друковані. Основні розміри 150×135 мм. Площа в такому випадку становить:

$$0,15 \times 0,135 = 0,02025 \text{ м}^2 \quad (3.1.7)$$

Коефіцієнт заповнення по площі рівний:

$$K_S = \frac{S_{\text{уст}}}{S_{\text{дп}}} = \frac{9937}{20250} = 0,5 \quad (3.1.8)$$

Для розрахунку коефіцієнту заповнення по об'єму, потрібно розрахувати об'єм кожного компонента на платі за формулою:

$$V_k = l \times w \times h \quad (3.1.9)$$

де, l - довжина; w - ширина; h - висота компонента.

Об'єм компонентів (V_k) використаних на платі відображено в таблиці 3.2.

Таблиця 3.2 – Об'єм використаних компонентів

Мітка	п, шт.	Найменування	Об'єм компонента, см ³	Загальний об'єм, см ³
C1, C2	2	206-NPO-10p	60	120
C3, C5	2	PV-100uF-50V	1500	3000
C4	1	MAL-1000uF	1025	1025
C6	1	RMU/SR-470uF	1025	1025
C7	1	T10/16A-JP 5%	250	250
C8, C11, C14, C17	4	1206-NPO-2u 5%	90	360
C9, C12, C15, C18	4	1206-NPO-10u	120	480
C10, C13, C16, C19	4	1206-NPO-100n	120	480
C20	1	LFB4700uF/63V	1458	1458
J1	1	OSTV7040150	460	460
J2	1	292132-6	1050	1050
J3	1	Molex 39-01	2200	2200
J4	1	Kycon KLDX-020	2250	2250
L1	1	822LY-100H	90	90

R1	1	3590S-2-50K	180	180
R2, R3, R4, R7, R8, R9, R10, R11, R12	9	RSF100JB-10K	180	1620
R5	1	CFR-25JB-220R	180	180
R6	1	3296 47K	180	180
R13, R14, R15, R16, R17, R18, R19, R20	8	2512 22R 1W 5%	310	2480
SB1, SB2	2	CKN1615-ND	4500	9000
U1	1	ATTINY2313	960	960
U2	1	LM2576	1100	1100
U3	1	L7805	1000	1000
U4, U5, U6, U7	4	IR2104S	320	1280
VD1	1	5013LRD-B	125	125
VD2	1	1N5922	110	110
VD3, VD4, VD5, VD6	4	SS16/11T	110	440
VT1, VT2, VT3, VT4, VT5, VT6, VT7, VT8	8	IRLZ14N	3975	31800
Y1	1	MC9328MX1	240	240
Дисплей	1	SH1106	2100	2100
Всього				67151

Маючи ці дані можна розрахувати коефіцієнт заповнення по об'єму:

$$K_V = \frac{V_{уст}}{V_{дп}} \times 100\% \quad (3.1.10)$$

де, $V_{уст} = 67151 \text{ мм}^3$;

а, $V_{дп}$ розраховується за формулою:

$$V_{дп} = l_{дп} \times w_{дп} \times h_{дп} \quad (3.1.11)$$

де, $l_{дп}$, $w_{дп}$, $h_{дп}$ – довжина, ширина, і висота друкованої плати відповідно.

$$V_{дп} = 150 \times 135 \times 17.5 \quad (3.1.12)$$

$$V_{дп} \approx 354000 \text{ мм}^3 \quad (3.1.13)$$

В такому разі коефіцієнт заповнення по об'єму у відсотках становить:

					<i>KPM.EC.11287686.001.ПЗ</i>	46
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$K_V = \frac{67151}{354000} \times 100\% \quad (3.1.14)$$

$$K_V \approx 20\% \quad (3.1.15)$$

3.2. Визначення контактних площадок, розмірів друкованих провідників

Розміщення ЕРЕ на платі регламентується умовною координатною сіткою із взаємо перпендикулярних систем паралельних ліній, розташованих на однаковій відстані одна від одної.

Кроком координатної сітки вибрано 2,5 мм.

Навісні елементи мають вводи прямокутного або круглого перерізу. Діаметр монтажного отвору вибирають із умов: якщо діаметр виводу $d_b > 1$ мм тоді $d_o = d_b + (0.3 \dots 0.4 \text{ мм})$; і якщо $d_b < 1$ мм тоді $d_o = d_b + (0.2 \dots 0.3 \text{ мм})$.

Згідно ГОСТ 10317-79 номінальний діаметр монтажного отвору з урахуванням його металізації для виводів діаметром зображено в таблиці 3.3:

Таблиця 3.3 - Номінальні діаметри монтажних отворів

0.4...0.6 мм	0.9 мм
0.6...0.8 мм	1.1 мм
0.8...1.3 мм	1.5 мм
1.3...1.7 мм	2 мм
1.7...2.2 мм	2.5 мм

Діаметр металізованого отвору залежить і від товщини плати. Це пов'язано з тим, що при гальванічному осадженні металу на стінках отвору малого діаметру зробленого в товстій платі, товщина шару металу вийде нерівномірною і при великому відношенні товщини плати до діаметра отвору деякі місця можуть залишитись непокритими металом. Діаметр металізованого отвору повинен складати не менше половини товщини плати, отже повинна

виконуватись наступна умова:

$$0.4h \leq d_{min} \quad (3.2.1)$$

де, h – товщина плати, а d_{min} діаметр найменшого із металізованих отворів.

Виходячи з таблиці 3.4 діаметер найменшого отвору рівне 0,6 мм, а товщина плати рівне 1,5 мм. Контактні площадки виготовлені у вигляді кільця - забезпечують надійне з'єднання між металізованим отвором і друкованим провідником. Діаметр контактної площадки визначається з таблиці 3.4.

Таблиця 3.4 – Діаметри контактних площин

Діаметр отворів	0.6	0.8	1.0	1.3	1.5	2.0
Контактних площин	1.8	2.3	2.5	2.8	3.0	3.5

Діаметр перехідних отворів ($D_{пер}$) залежить від товщини плати і від виду металізуючого електроліту:

$$D_{пер} = H \times y \quad (3.2.2)$$

Де, H – товщина плати, y – коефіцієнт електроліту

У нашому випадку використаємо пірофосфатний електроліт, його коефіцієнт становить 0,25 тому діаметр буде становити:

$$D_{пер} = 1.5 \times 0.25 = 0.3 \text{ мм}^2 \quad (3.2.3)$$

Клас густини рисунка вибирається другий за ГОСТом, ширина провідників (t_{min}) для цього класу рівне 0,25 мм, а відстань між провідниками також рівне 0,25 мм. Окремо потрібно розрахувати мінімальну ширину провідника в ділянках живлення крокового двигуна, так як його струм споживання буде становити близько 5 А. Враховуючи, що щільність струму у друкованих провідників має бути не більше 20 А/мм².

Розрахунок виконано по формулах згідно IPC 2221.

					<i>KPM.EC.11287686.001.ПЗ</i>	48
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Обчислення площі:

$$S = \left(\frac{I}{k \times \Delta t^b} \right)^{\frac{1}{c}} \quad (3.2.4)$$

де, S – площа поперечного перерізу провідника (мм^2);

I – максимальний струм споживання (A);

Δt – максимальне підвищення температури ($^{\circ}C$);

Коефіцієнти $k = 0,048$; $b = 0,44$; $c = 0,725$; $t = 1$ з стандарту.

$$S = \left(\frac{5}{0,048 \times 2,75} \right)^{1,4} \approx 2.5 \text{ мм}^2 \quad (3.2.5)$$

Обчислення ширини провідника:

$$W = \frac{S}{t \times 1,378} \quad (3.2.6)$$

$$W = \frac{2.5}{1 \times 1,378} \approx 2.18 \text{ мм} \quad (3.2.7)$$

Перевірено який максимальний струм може проходити через провідник з визначеною вище шириною за допомогою Saturn PCB Toolkit:

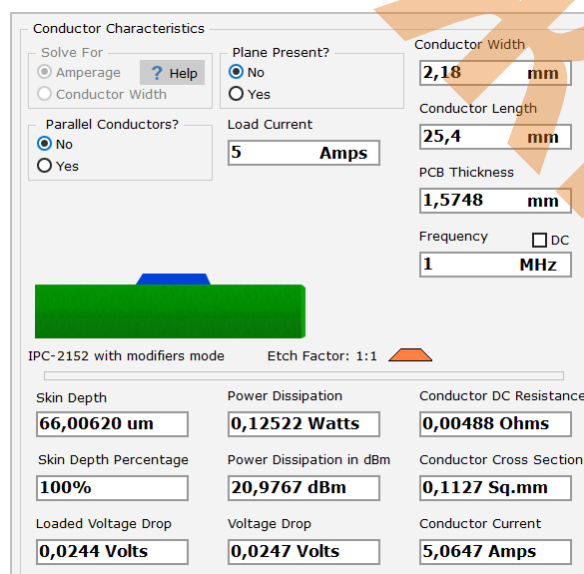


Рис. 3. Знімок екрану програми PCB Toolkit

У контексті розробки друкованої плати, враховуючи щільність компонування елементів, забезпечити ширину доріжки 2.18 мм для пропускання струму 5 А є технічно складним через обмежений простір. Для збереження компактності конструкції буде використаний метод підсилення провідності доріжки шляхом напаювання додаткового мідного проводу з перерізом 1.8 мм² поверх неї.

Це рішення дозволить зменшити ширину доріжки на платі до 1.8 мм, одночасно забезпечуючи необхідну пропускну здатність для струму 5 А.

3.3. Вибір варіантів встановлення елементів РЕА

Між корпусами сусідніх елементів повинна бути певна відстань, яку вибирають з врахуванням умов тепловідводу та допустимої різниці потенціалів між ними. Для даного пристрою застосовано друкований та об'ємний монтаж. У промислових умовах навісні елементи кріплять до плати шляхом пайки виводів (у тому числі і незадіяних) хвилею припою Alpha HF-850 (SN99CU1) у металізованих і неметалізованих отворах.

3.4. Теплові характеристики пристрою

Розрахуємо чи потрібне додаткове охолодження плати. Для цього спочатку розрахуємо площу уявного кожуха:

Габаритні розміри плати 135×150×26,5 мм.

					<i>KPM.EC.11287686.001.ПЗ</i>	50
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

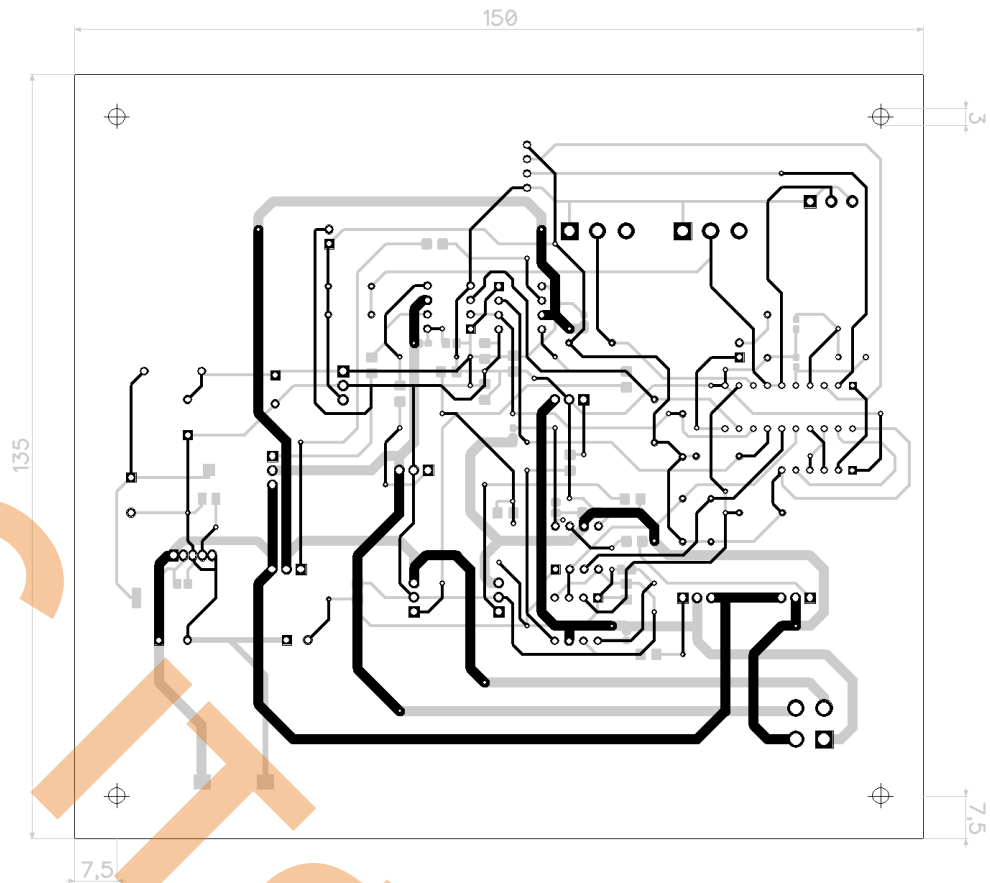


Рис. 3.2. Топологія друкованої плати (сторони А та Б)

Беремо корпус приблизно на 5 мм більший габаритів плати, тобто для блоку корпус буде 140×155×30 мм.

Площа всієї поверхні корпусу:

$$S = (2 \times 150 \times 140) + (4 \times 140 \times 30) = 58800 \text{ мм}^2 \quad (3.4.1)$$

Тепловий режим електронної [13]: апаратури характеризується залежністю температури нагріву компонентів пристрою від температури навколишнього середовища. Ця залежність визначається розсіюваною потужністю всіх електронних та електричних компонент, розміщених в об'ємі пристрою. Отже, однією з умов експлуатації електронного пристрою є температура навколишнього середовища, яка може вплинути на надійність його роботи. Такий вплив пояснюється існуванням максимально допустимих температур, при яких тривалий час можуть працювати електронні компоненти

					KPM.EC.11287686.001.ПЗ	52
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

в необхідному режимі. Розрахунок проведемо для максимальної температури заданої в технічному завданні до проекту (+ 60 °С).

При аналізі теплових режимів враховують щільність розміщення компонентів в об'ємі пристрою, його геометричну форму та вид корпусу.

Компоненти які виділяють більше всього тепла в робочому виведено в таблицю 3.5.

Таблиця 3.5 – Компоненти з найбільшим тепловиділенням

Позначення	Компонент	Кількість, шт
VT1-VT8	IRLZ14N	8
U4-U7	IR2104S	4
U2	LM2576	1

Для справної роботи приладу нам потрібно виконати розрахунок транзисторів IRLZ14N і їх охолодження при потребі.

Для теплових розрахунків використано такі параметри транзисторів IRLZ14N (відповідно до технічної документації (таблиця 3.6)):

Таблиця 3.6 – Технічні параметри IRLZ14N

Параметр	Значення
Максимальна потужність розсіювання (P_{max})	30 Вт
Максимально допустима температура переходу ($T_{j, max}$)	175 °С
Термостійкість від переходу до корпусу (R_{thJC})	3 °С/Вт
Термостійкість від корпусу до навколишнього середовища (R_{thJA})	20 °С/Вт
Опір у відкритому стані ($R_{DS(on)}$)	0.20 Ом

Розрахуємо потужність, яка розсіюється кожним транзистором за формулою:

$$P_D = I_D^2 \times R_{DS(on)} \quad (3.4.2)$$

де, I_D – струм стоку, 5А;

$R_{DS(on)}$ – опір у відкритому стані транзистора, 0.24 Ом (при 60°C).

$$P_D = 5^2 \times 0.24 = 6 \text{ Вт} \quad (3.4.3)$$

Температура переходу транзистора без використання радіатора розраховується за формулою:

$$T_{J(T)} = T_{amb} + (P_D \times R_{thJC}) \quad (3.4.4)$$

де, $T_{amb} = 60^\circ\text{C}$ (температура навколишнього середовища), $P_D = 5 \text{ Вт}$ (потужність розсіювання), $R_{thJA} = 20^\circ\text{C/Вт}$ (тепловий опір від переходу до навколишнього середовища).

$$T_{J(T)} = 60^\circ\text{C} + (6 \text{ Вт} \times 20^\circ\text{C/Вт}) = 60 + 120 = 180^\circ\text{C} \quad (3.4.5)$$

Розрахована температура переходу 180°C перевищує максимально допустиме значення 175°C, тому без додаткового охолодження транзистор не зможе працювати стабільно.

Припустимо, що буде використовуватися радіатор з тепловим опором $R_{thSA} = 3.7^\circ\text{C/Вт}$, $R_{thJC} = 3^\circ\text{C/Вт}$. Тоді загальний тепловий опір системи буде:

$$R_{th(total)} = R_{thJC} + R_{thSA} \quad (3.4.6)$$

$$R_{th(total)} = 3^\circ\text{C/Вт} + 3.7^\circ\text{C/Вт} = 6.7^\circ\text{C/Вт} \quad (3.4.7)$$

$$T_{J(T)} = T_{amb} + (P_D \times R_{th(total)}) \quad (3.4.8)$$

$$T_{J(T)} = 60^\circ\text{C} + (6 \times 6.7^\circ\text{C/Вт}) \approx 95^\circ\text{C} \quad (3.4.9)$$

При використанні радіатора температура переходу знижується до 95°C (при температурі навколишнього середовища в +60°C), що нижче максимально допустимої (175°C), забезпечуючи надійну роботу транзистора.

Радіатором який буде використано для даних транзисторів в моєму приладі є Wakefield-Vette 657-10AB [14] (технічні характеристики в табл. 3.7).

Таблиця 3.7 - Технічні характеристики 657-10AB

Параметр	Значення
Тепловий опір, при 200 LFM	3.7 °C/Вт
Матеріал	алюміній (анодований)
Кріплення	для транзисторів типу TO-220

Для теплових розрахунків драйверу IR2104S скористаємося формулою:

$$T_{J(IR2104S)} = T_{amb} + (P_D \times (R_{thJC} + R_{thCA})) \quad (3.4.10)$$

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

потужність розсіювання $P_D = 1.56$ Вт;

теплові опори $R_{thJC} = 1.4$ °C/Вт, $R_{thCA} = 10$ °C/Вт.

$$T_{J(IRS2005)} = 60 + (1.5 \times (1.4 + 10)) = 76.5 \text{ }^\circ\text{C} \quad (3.4.11)$$

Ця температура в межах допустимого ($T_{J(IRS2005)} < 150^\circ\text{C}$).

Для теплового розрахунку регулятора напруги LM2576 скористаємося наступною формулою:

$$T_{J(LM2576)} = T_{amb} + (P_D \times (R_{thJC} + R_{thCA})) \quad (3.4.12)$$

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

сумарна потужність $P_D = 2.36$ Вт;

теплові опори $R_{thJC} = 2$ °C/Вт, $R_{thCA} = 10$ °C/Вт.

$$T_{J(LM2576)} = 60 + (2.36 \times (2 + 10)) = 88.32 \text{ }^\circ\text{C} \quad (3.4.13)$$

Оскільки температура $T_{J(p)} < 150^{\circ}\text{C}$ додаткового охолодження регулятор не потребує.

Оскільки проєктований прилад інтегруватиметься в інші системи, проведення детального теплового розрахунку та визначення точних розмірів корпусу не є обов'язковим на цьому етапі. Основна увага у проєктуванні зосереджена на забезпеченні необхідних характеристик, щоб пристрій відповідав вимогам для вбудовування в існуючі конструкції.

Проте, для підвищення надійності і враховуючи можливі умови експлуатації, було вирішено виконати попередні розрахунки для двох варіантів корпусу: металевого, для кращого тепловідведення, і пластикового, для зменшення ваги та вартості виробу.

Початкові дані для розрахунків температури в середині корпусу:

Теплопровідність: Метал (Алюміній) $\lambda_{\text{м}} = 203.5 \text{ Вт/м}^2 \times \text{К}$; Пластик (полівінілхлорид) $\lambda_{\text{п}} = 0.159 \text{ Вт/м}^2 \times \text{К}$.

Сумарна площа корпусу:

$$S_{\text{сум}} = 2 \times (0.14 \times 0.155 + 0.14 \times 0.03 + 0.155 \times 0.03) = 0.129 \text{ м}^2 \quad (3.4.14)$$

Товщина стінок: $\delta = 1.5 \text{ мм} = 0.0015 \text{ м}$.

Коефіцієнт теплопередачі:

$$k = \frac{\lambda}{\delta} \quad (3.4.15)$$

Металічний корпус:

$$k_{\text{м}} = \frac{\lambda_{\text{м}}}{\delta} = \frac{203.5}{0.0015} = 13567 \text{ Вт/м}^2 \times \text{К} \quad (3.4.16)$$

Пластиковий корпус:

$$k_{\text{п}} = \frac{\lambda_{\text{п}}}{\delta} = \frac{0.159}{0.0015} = 106 \text{ Вт/м}^2 \times \text{К} \quad (3.4.17)$$

					<i>KPM.EC.11287686.001.ПЗ</i>	56
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Тепловиділення компонентів (умовно) $P_{\text{заг}} = 120$ Вт.

Температура навколишнього середовища $T_{\text{amb}} = 60^\circ\text{C}$.

Температура всередині корпусу (T_{in}) визначається з формули теплового балансу:

$$Q = kA(T_{\text{in}} - T_{\text{amb}}) \quad (3.4.18)$$

де, $Q = P_{\text{заг}}$

Металевий корпус:

$$T_{\text{in,м}} = T_{\text{amb}} + \frac{P_{\text{заг}}}{k_{\text{м}} \times S_{\text{сум}}} \quad (3.4.19)$$

$$T_{\text{in,м}} = 60 + \frac{120}{13567 \times 0.129} \approx 70^\circ\text{C} \quad (3.4.20)$$

Пластиковий корпус:

$$T_{\text{in,п}} = T_{\text{amb}} + \frac{P_{\text{заг}}}{k_{\text{п}} \times S_{\text{сум}}} \quad (3.4.21)$$

$$T_{\text{in,п}} = 60 + \frac{120}{106 \times 0.129} \approx 85^\circ\text{C} \quad (3.4.22)$$

При використанні обох видів корпусу для стабільної роботи при температурі навколишнього середовища в $+60^\circ\text{C}$ потрібно забезпечити вентиляційні отвори на бічних стінках для кращої конвенкції тепла.

Площу таких вентиляційних отворів (S_A) можна розрахувати за формулою:

$$S_A = \frac{Q}{k \times \Delta T} \quad (3.4.23)$$

де, k – коефіцієнт теплопередачі через отвори, для пластику 5 Вт/м², для металу 10 Вт/м².

					<i>KPM.EC.11287686.001.ПЗ</i>	57
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ΔT – різниця температури між корпусом і навколишнім середовищем, враховуючи розрахунки з формул 3.4.20 і 3.4.22, знаходиться так:

Пластиковий корпус:

$$\Delta T_{\text{п}} = T_{\text{in,п}} - T_{\text{amb}} = 85 - 60 = 25 \text{ }^{\circ}\text{C} \quad (3.4.24)$$

Металевий корпус:

$$\Delta T_{\text{м}} = T_{\text{in,м}} - T_{\text{amb}} = 70 - 60 = 10 \text{ }^{\circ}\text{C} \quad (3.4.25)$$

Розрахунок площі отворів для кожного типу корпусу:

$$S_{A(\text{пластик})} = \frac{n}{k_{\text{п}} \times \Delta T_{\text{п}}} = \frac{10}{5 \times 25} = 0.08 \text{ м}^2 \quad (3.4.26)$$

де, n – кількість отворів, 10;

$k_{\text{п}}$ - коефіцієнт теплопередачі через отвори, для пластику 5 Вт/м²;

$\Delta T_{\text{п}}$ різниця температури між корпусом і навколишнім середовищем

Аналогічним чином розрахуємо для металічного корпусу:

$$S_{A(\text{метал})} = \frac{n}{k_{\text{м}} \times \Delta T_{\text{м}}} = \frac{10}{10 \times 10} = 0.01 \text{ м}^2 \quad (3.4.27)$$

Якщо площа корпусу ($S_{\text{к}}$) складає 0.2м², давайте визначимо, яка частка корпусу має бути використана для вентиляційних отворів для забезпечення достатнього тепловідведення:

Частка для пластикового корпусу при $S_{\text{к}} = 0.2 \text{ м}^2$:

$$\frac{S_{A(\text{пластик})}}{S_{\text{к}}} = \frac{0.08}{0.2} = 0.4 \text{ (40\%)} \quad (3.4.28)$$

Частка для металічного корпусу $S_{\text{к}} = 0.2 \text{ м}^2$:

$$\frac{S_{A(\text{метал})}}{S_{\text{к}}} = \frac{0.01}{0.2} = 0.05 \text{ (5\%)} \quad (3.4.29)$$

Пластиковий корпус: Для ефективного тепловідведення 40% загальної площі корпусу потрібно зайняти вентиляційними отворами.

					<i>KPM.EC.11287686.001.ПЗ</i>	58
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Металевий корпус: Для металевого корпусу достатньо лише 5% від загальної площі корпусу для вентиляційних отворів.

3.5. Розрахунок характеристик надійності пристрою

Основною кількісною характеристикою надійності є функція надійності $P(t)$, або скорочено надійність, яка по визначенню рівна імовірності того, що в заданому інтервалі часу або в межах заданого напрацювання при заданих режимах і умовах експлуатації відмов в системі не виникає, тобто $P(t) = W\{T>t\}$, де T – час безвідмовної роботи системи, t – заданий час, $W\{A\}$ – імовірність події A , у даному випадку подія A полягає у тому, що $T>t$.

Непередбачувані експлуатаційні відмови представляють собою непередбачувані відмови РЕА, які виникають в період нормальної експлуатації, коли проробка пристрою вже закінчилася, а зношування і природне старіння ще не настали. [15]

Ці відмови обумовлені лише випадковими факторами, такими як: приховані внутрішні дефекти, які не можуть бути виявлені системою технологічного контролю; рівно імовірні, і тому не передбачені схемою та конструкцією технологічні дефекти; відхилення режимів роботи; співставлення параметрів концентрації зовнішніх навантажень і внутрішніх напружень; помилки операторів у період експлуатації. У зв'язку з перерахованими причинами поява таких відмов принципово не виключена і рівно імовірна в часі:

$$\lambda_0 = const \quad (3.5.1)$$

Розрахунок характеристик надійності полягає у визначенні показників надійності виробу по відомим характеристикам надійності складових компонент і умовам експлуатації. [15]

Це виражається формулою :

$$(3.5.2)$$

					<i>KPM.EC.11287686.001.ПЗ</i>	59
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$P(t) = \exp\left(-t \sum_{j=1}^m \lambda_{0j} N_j\right)$$

Напрацювання системи на відмову отримуємо по формулі :

$$T_{\text{ср.с}} = \frac{1}{\sum_{j=1}^m \lambda_{0j} N_j} \quad (3.5.3)$$

При уточненому розрахунку надійності враховують зовнішні дії, впливи теплових і електричних навантажень елементів пристрою. [15]

Розрахунок проводять по формулі:

$$P(t) = \exp\left(-k_{\lambda} t \sum_{j=1}^m \lambda_j N_j\right) \quad (3.5.4)$$

де, $P(t)$ – імовірність безвідмовної роботи;

λ_j – інтенсивність відмов елементів j -ої рівнонадійної групи при заданих експлуатаційних даних;

λ_{0j} – інтенсивність відмов елементів j -ої рівнонадійної групи в номінальному режимі;

α_j – поправочний коефіцієнт інтенсивності відмов j -ої групи, що враховує вплив температури навколишнього середовища і електричне навантаження елемента;

k_H – коефіцієнта навантаження елемента;

k_{λ} – враховує умови експлуатації радіоелектронної апаратури;

$k_{\lambda 1}$ – вплив механічних факторів (вібрація, ударні навантаження);

$k_{\lambda 2}$ – вплив кліматичних факторів (температура, вологість);

$k_{\lambda 3}$ – умови роботи при пониженому тиску.

					<i>KPM.EC.11287686.001.ПЗ</i>	60
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Значення поправочного коефіцієнта α_j в залежності від температури і коефіцієнта навантаження k_n знаходять в довіднику, коефіцієнти $k_{\lambda 1} - k_{\lambda 3}$ також [17].

При цьому під коефіцієнтом навантаження k_n розуміють відношення робочого навантаження, встановленого по визначеному параметру, який діє на елемент, до цього номінального навантаження, що встановлене нормативно-технічною документацією.

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

$$t = -20 \dots + 60^{\circ}\text{C} \quad (3.5.5)$$

Вологість становить 45...75%, а атмосферний тиск 86...104 кПа.
Примітка: розрахунок надійності проводили без врахування монтажу.

Коефіцієнти навантаження груп компонентів відображено в таблиці 3.8.

Таблиця 3.8 - Коефіцієнти навантаження груп компонентів

Назва елемента	Коефіцієнт навантаження, k_n
Резистори	0.6...1
Конденсатори	0.3...0.4
Діоди	0.7...0.8
Транзистори	0.7...0.8
Мікросхеми, з'єднувачі, гнізда	0.9...1
Друкована плата	0.9...1

Температурний коефіцієнт при 60° С:

Таблиця 3.9 - Температурні коефіцієнти груп компонентів

Назва елемента	Температурний коефіцієнт (k_T) при 60° С
Резистори	1.2...1.5
Конденсатори	1.5...3
Діоди	1.5...2
Транзистори	1.5...2
Мікросхеми, конектори	2
Друкована плата	2

Інтенсивність відмов компонентів:

Таблиця 3.10 - Інтенсивність відмов компонентів

Назва елемента	Інтенсивність відмови компонента λ_0 , 10^{-6} год.
Резистори	0.02
Конденсатори	0.06
Діоди	0.29
Транзистори	0.1
Мікросхеми	0.22
Конектори	0.06
Друкована плата	0.001

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

Сумарна інтенсивність відмов розраховується за формулою:

$$\sum k_H \times a_i \times (\lambda_0 \times 10^{-6}) \quad (3.5.6)$$

Для конденсаторів:

$$\sum 0.4 \times 1 \times (0.06 \times 10^{-6}) = 0.024 \times 10^{-6} \quad (3.5.7)$$

Для резисторів і котушок індуктивності:

$$\sum 0.6 \times 1 \times (0.02 \times 10^{-6}) = 0.012 \times 10^{-6} \quad (3.5.8)$$

Для діодів:

$$\sum 0.7 \times 1 \times (0.29 \times 10^{-6}) = 0.23 \times 10^{-6} \quad (3.5.9)$$

Для транзисторів:

$$\sum 0.7 \times 1 \times (0.1 \times 10^{-6}) = 0.07 \times 10^{-6} \quad (3.5.10)$$

Для мікросхем та кварцових резонаторів:

$$\sum 0.9 \times 1 \times (0.22 \times 10^{-6}) = 0.19 \times 10^{-6} \quad (3.5.11)$$

Для конекторів і перемикачів:

$$\sum 0.9 \times 1 \times (0.06 \times 10^{-6}) = 0.054 \times 10^{-6} \quad (3.5.12)$$

Для друкованої плати :

$$\sum 1 \times 1 \times (0.001 \times 10^{-6}) = 0.001 \times 10^{-6} \quad (3.5.13)$$

Для перехідних отворів:

$$\sum 1 \times 1 \times (0.000256 \times 10^{-6}) = 0.00025 \times 10^{-6} \quad (3.5.14)$$

Для пайки хвилею:

$$\sum 1 \times 1 \times (0.00069 \times 10^{-6}) = 0.00069 \times 10^{-6} \quad (3.5.15)$$

Результати розрахунків з урахуванням кількості і температурного коефіцієнту зведено в таблицю 3.11.

					<i>KPM.EC.11287686.001.ПЗ</i>	63
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця 3.11 – Результати розрахунків надійності

Мітка	п, шт.	Найменування	$\lambda_0, 10^{-6}$ год.	t°C	k_H	k_T	$\lambda, 10^{-6}$ год.
C1, C2	2	206-NPO-10p	0.06	60	0,4	2	0,08
C3, C5	2	PV-100uF-50V	0.06	60	0,4	2	0,08
C4	1	MAL-1000uF	0.06	60	0,4	2	0,04
C6	1	RMU/SR-470uF	0.06	60	0,4	2	0,04
C7	1	T10/16A-JP 5%	0.06	60	0,4	2	0,04
C8, C11, C14, C17	4	1206-NPO- 2u 5%	0.06	60	0,4	2	0.19
C9, C12, C15, C18	4	1206-NPO-10u 5	0.06	60	0,4	2	0.19
C10, C13, C16, C19	4	1206-NPO-100n	0.06	60	0,4	2	0.19
C20	1	LFB4700uF/63V	0.06	60	0,4	2	0.04
J1	1	OSTV7040150	0.06	60	0.9	2	0.1
J2	1	292132-6	0.06	60	0.9	2	0.1
J3	1	Molex 39-01	0.06	60	0.9	2	0.1
J4	1	Kycon KLDX-020	0.06	60	0.9	2	0.1
L1	1	822LY-100H	0.02	60	0.9	1.3	0.06
R1	1	3590S-2-50K	0.02	60	0.6	1.3	0.06
R2, R3, R4, R7, R8, R9, R10, R11, R12	9	RSF100JB-10K	0.02	60	0.6	1.3	0.54
R5	1	CFR-25JB-220R	0.02	60	0.6	1.3	0.06
R6	1	3296 47K	0.02	60	0,6	1.3	0.06
R13, R14, R15, R16, R17, R18, R19, R20	8	2512 22R 1W 5%	0.02	60	0,6	1.3	0.48
SB1, SB2	2	CKN1615-ND	0.06	60	0.9	2	0.21
U1	1	ATTINY2313	0.22	60	0.9	2	0.30
U2	1	LM2576	0.22	60	0.9	2	0.30
U3	1	L7805	0.22	60	0.9	2	0.30
U4, U5, U6, U7	4	IR2104S	0.22	60	0.9	2	1.2
VD1	1	5013LRD-B	0.29	60	0.7	2	0.46
VD2	1	1N5922	0.29	60	0,7	2	0.46
VD3, VD4, VD5, VD6	4	SS16/11T	0.29	60	0,7	2	1.8
VT1, VT2, VT3, VT4, VT5, VT6, VT7, VT8	8	IRLZ14N	0.1	60	0,7	2	1.2
Y1	1	MC9328MX1	0.22	60	0,8	2	0.39
Друкована плата	1		0.001	60	1	2	0.001
Перехідні отвори	24		0,00027	60	1	2	0.02
Пайка хвилею	87		0,00069	60	1	2	0.12
Всього $\sum \lambda, 10^{-6}$							7.47

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

KPM.EC.11287686.001.ПЗ

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, $\lambda = 7.47 \times 10^{-6}$;

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

$$P = e^{-(7.47 \times 10^{-6}) \times 20000} \quad (3.5.17)$$

$$P \approx 0.95 \quad (3.5.18)$$

Розрахунок імовірності безвідмовної роботи було виконано для умов експлуатації при температурі 60°C . Варто зазначити, що при зниженні температури до 35°C (згідно ГОСТ 15150 у кліматичній зоні України) очікується покращення показників надійності через зменшення температурного впливу на матеріали і компоненти (приблизно на 10-15 %).

					<i>KPM.EC.11287686.001.ПЗ</i>	65
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

4 Техніко-економічний розділ

4.1 Розрахунок собівартості приладу

Собівартість продукції являє собою сукупність витрат, пов'язаних з її виробництвом і реалізацією. Вона охоплює витрати на використані сировину та матеріали, оплату праці співробітників, утримання і експлуатацію обладнання, а також інші поточні витрати. Для визначення собівартості виготовлення розробленого приладу буде проведено калькуляційний розрахунок. Для цього використаємо метод питомої ваги, який належить до спрощених методів оцінки собівартості і забезпечує точність прогнозування з похибкою близько 5%. [16]

Цей підхід передбачає пропорційний розподіл непрямих витрат на основі співвідношення між витратами на заробітну плату основних виробничих працівників і витратами на обслуговування та експлуатацію обладнання.

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

Для визначення кількості витраченого припою, з врахуванням затрати на паяння 1 ніжка = 0.7 грама, розрахуємо масу необхідну для нашого виробу. Кількість ніжок – 87.

Тоді кількість припою в грамах:

$$P_k = 87 \times 0.7 \quad (4.1.1)$$

$$P_k = 6.09 \text{ г} \quad (4.1.2)$$

Переводимо грами в кілограми:

$$6.09 \text{ г} = \frac{6.09}{1000} = 0.0069 \text{ кг} \quad (4.1.3)$$

Ціну витраченого припою визначаємо так, враховуючи що ціна за 1 кг Alpha HF-850 1.0 мм з флюсом становить 1100 грн :

					<i>KPM.EC.11287686.001.ПЗ</i>	66
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$P_{ц} = 1100 \times 0.0069 \quad (4.1.4)$$

$$P_{ц} = 6.7 \text{ грн} \quad (4.1.5)$$

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.

Площа друкованої плати рівна $13.5 \times 15 = 202.5 \text{ см}^2$.

Ціна за 1 кг лаку НЦ-134 становить 114 грн.

Об'єм лаку (залежить від товщини шару): Для товщини лаку 0.05 мм (50 мікронів):

$$L_o = 202 \text{ см}^2 \times 0.005 \text{ см} \quad (4.1.6)$$

$$L_o = 1.01 \text{ см}^3 \quad (4.1.7)$$

Маса лаку: При щільності лаку 1 г/см^3 :

$$L_m = 1.01 \text{ см}^3 \times 1 \frac{\text{г}}{\text{см}^3} \quad (4.1.8)$$

$$L_m = 1.01 \text{ г} \quad (4.1.9)$$

Розрахунок вартості витраченого лаку:

$$L_{ц} = \frac{L_m}{1000} \times \text{Ціна за 1 кг} = \left(\frac{1.01}{1000} \right) \times 114 \quad (4.1.10)$$

$$L_{ц} = 12 \text{ грн} \quad (4.1.11)$$

Для нанесення основних написів на плату використаємо емаль ЄП-572, ціна за 10 г буде становити 3 грн, при ціні 300 грн за кг.

Тому разом ціна на витратні матеріали буде становити:

$$\text{Ціна витратних матеріалів} = 6.7 + 12 + 3 = 21 \text{ грн} \quad (4.1.12)$$

					<i>KPM.EC.11287686.001.ПЗ</i>	67
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Враховуючи зворотні відходи (5% від кожного матеріалу) і транспортно-заготівельні витрати (10% від загальної вартості матеріалів), ціна витратних матеріалів буде становити 25 грн. [16]

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

Вартість двошарової друкованої плати при замовленні з сайту JLCPCB.com з врахуванням доставки становить 176 грн.

Гвинти кріплення М3 яких потрібно 4 штуки коштують 6 грн.

Ціна шайб 2 грн.

Розрахунок кількості і вартості інших покупних комплектуючих виробів і напівфабрикатів представлений у вигляді табл. 4.1. Ціни за одиницю були визначені згідно інформації з сайтів Mouser.com, DigiKey.com та RSCcomponents.ua.

Таблиця 4.1 – Вартість компонентів

Умовне позначення	п, шт	Найменування	Ціна за 1, грн	Сума, грн
C1, C2	2	206-NPO-50V- 10p 5%	2.16	4.32
C3, C5	2	PV-100uF-50V	25	50
C4	1	MAL-250V-1000uF	77.50	77.50
C6	1	RMU/SR-470uF-50V	30.25	30.25
C7	1	T10/16A-JP 5%	35	35
C8, C11, C14, C17	4	1206-NPO-50V- 2u 5%	5	20
C9, C12, C15, C18	4	1206-NPO-50V- 10u 5%	5	20
C10, C13, C16, C19	4	1206-NPO-50V- 100n 5%	5	20
C20	1	LFB4700uF/63V	270	270
J1	1	OSTV7040150	37	37
J2	1	292132-6	16	16

J3	1	ATX 4-pin	85.50	85.50
J4	1	DC Barrel Jack	17	17
L1	1	822LY-100H	10	10
R1	1	3590S-2-50K	75.60	75.60
R2, R3, R4, R7, R8, R9, R10, R11, R12	9	RSF100JB-10K	6	54
R5	1	CFR-25JB-220R	4.5	4.5
R6	1	BOURNS-3296 47K	35	35
R13, R14, R15, R16, R17, R18, R19, R20	8	2512 22R 1W 5% 22R	6	48
SB1, SB2	2	CKN1615-ND	78	156
U1	1	ATTINY2313	92.20	92.20
U2	1	LM2576	72	72
U3	1	L7805	14.50	14.50
U4, U5, U6, U7	4	IR2104S	81.50	326
VD1	1	5013LRD-B	7.30	7.30
VD2	1	1N5922	7	7
VD3, VD4, VD5, VD6	4	SS16/11T	12.50	50
VT1, VT2, VT3, VT4, VT5, VT6, VT7, VT8	8	IRLZ14N	20.50	164
Y1	1	MC9328MX1	16	16
Дисплей	1	SH106	69	69
Плата друкована	1	JLCPCB Custom Board	176	176
Радіатор	8	Wakefield-Vette 657	30	240
Разом:			2299	

До розрахованої вартості треба ще додати транспортно-заготівельні витрати (10% від загальної вартості виробів і напівфабрикатів), в такому випадку вартість буде становити 2529 грн.

					<i>KPM.EC.11287686.001.ПЗ</i>	69
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

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

Погодинна оплата праці на теперішній час (наприклад, станом на кінець 2024 року) може становити 50 грн/год. З урахуванням коефіцієнта підвищення окладу для кожного розряду можуть бути такі ставки [16]:

$$3\text{-й розряд: } 50 \times 1,18 = 59,00 \text{ грн/год} \quad (4.1.13)$$

$$4\text{-й розряд: } 50 \times 1,27 = 63,50 \text{ грн/год} \quad (4.1.14)$$

$$5\text{-й розряд: } 50 \times 1,36 = 68,00 \text{ грн/год} \quad (4.1.15)$$

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:

$$\text{Трудомісткість пайки: } 87 \times 0,0005 = 0,043 \text{ год} \quad (4.1.16)$$

$$\text{Трудомісткість встановлення: } 87 \times 0,0002 = 0,017 \text{ год} \quad (4.1.17)$$

$$\text{Загальна трудомісткість: } 0,043 + 0,017 = 0,06 \approx 0,1 \text{ год} \quad (4.1.18)$$

Вартість паяння (3 розряд):

$$\text{Вартість паяння} = 0,1 \text{ год} \times 59 \frac{\text{грн}}{\text{год}} = 5,9 \text{ грн} \quad (4.1.19)$$

Вартість контролю (5 розряд):

					<i>KPM.EC.11287686.001.ПЗ</i>	70
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$\text{Вартість контролю} = 0.05 \text{ год} \times 68 \frac{\text{грн}}{\text{год}} = 3.4 \text{ грн} \quad (4.1.20)$$

Вартість лакування і збирання (4 розряд):

$$\text{Вартість лакування} = 0.1 \text{ год} \times 63.50 \frac{\text{грн}}{\text{год}} = 6.35 \text{ грн} \quad (4.1.21)$$

Загальна вартість :

$$\text{Загальна вартість} = 5.9 + 3.4 + 6.35 = 15.65 \text{ грн} \quad (4.1.22)$$

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 1.6 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 (17.25 грн) і буде становити 13.8 грн. [16]

					<i>KPM.EC.11287686.001.ПЗ</i>	71
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

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 (17.25+13.8=31.05 грн), та будуть становити 15.50 грн.

Розрахунок загальнозаводських витрат

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 31.05 грн, що буде в результаті становити 24.84 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:

$$0.3\% \times 2553.84 = 0.003 \times 2553.84 = 7.60 \text{ грн} \quad (4.1.23)$$

Розрахунок позавиробничих витрат

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

Що становить:

$$3\% \times 2561.44 = 0.03 \times 2561.44 = 76.84 \text{ грн} \quad (4.1.24)$$

4.2 Розрахунок ціни спроектованого приладу

Ціну спроектованого приладу можна розрахувати за наступною формулою:

					<i>KPM.EC.11287686.001.ПЗ</i>	72
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

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

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

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

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

Якщо прийняти рівень рентабельності на рівні 30%, тоді:

$$30\% = \frac{П}{C_{\text{пов}}} = \frac{П}{2638.28} \quad (4.2.3)$$

$$П = 0.3 \times 2638.28 = 791.50 \quad (4.2.4)$$

Тоді ціну спроектованого приладу можна обчислити за наступною формулою:

$$Ц = 2638.28 + 791.50 = 3429 \text{ грн} \quad (4.2.5)$$

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

$$C_{\text{вих}} = 3429 + 20\% = 4114 \text{ грн} \quad (4.2.6)$$

Тепер можна розрахувати прибуток з реалізації партії товару в кількості 1000 одиниць:

$$П_N = П \times N \quad (4.2.7)$$

$$П_{1000} = 791.50 \times 1000 = 791500 \text{ грн} \quad (4.2.8)$$

В порівнянні з аналогами доступними на ринку, такими як DM556D (Цифровий драйвер крокового двигуна [18]) та St 4.1 (Модуль керування

					<i>KPM.EC.11287686.001.ПЗ</i>	73
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

крокового двигуна [19]), розроблений пристрій при схожій ціні має наступні переваги:

1. Виконаний конструктивно легше.
2. Легше інтегрується у нестандартні системи за рахунок універсального роз'єму для програмування UART.
3. Підтримує спеціальні алгоритми керування струмом і напругою, що дозволяє уникати перегріву двигуна при пікових навантаженнях, забезпечуючи плавну та стабільну роботу.

					<i>КРМ.ЕС.11287686.001.ПЗ</i>	74
<i>Вим.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

5 Заходи з охорони праці і техніки безпеки

Основні поняття, терміни та визначення в сфері охорони праці

Праця людини є основним джерелом прогресу суспільства, створення матеріальних, культурних і духовних цінностей, а також необхідною умовою існування як окремих індивідів, так і людства в цілому. В ідеальному випадку, трудова діяльність має приносити задоволення і не бути надмірно тяжкою чи виснажливою. Тяжкість і напруженість праці є ключовими характеристиками трудового процесу. [17]

Тяжкість праці визначає навантаження на опорно-руховий апарат та функціональні системи організму (серцево-судинну, дихальну тощо), що забезпечують його нормальне функціонування. Ця характеристика включає фізичне навантаження (динамічне і статичне), масу вантажів, які піднімаються та переміщуються, загальну кількість повторюваних робочих рухів, робочі пози, кут нахилу корпусу та переміщення в просторі.

Напруженість праці відображає навантаження на центральну нервову систему, органи чуттів та емоційну сферу працівника. До факторів, що впливають на напруженість праці, належать інтелектуальні, сенсорні та емоційні навантаження, рівень монотонності виконуваних завдань і режим роботи.

Під час виконання трудових обов'язків на людину впливають різноманітні фізичні, хімічні, біологічні та соціальні чинники, які в сукупності формують виробниче середовище.

Умови праці складаються з усіх чинників трудового процесу та виробничого середовища, що впливають на здоров'я та працездатність людини. Реальний процес виробництва супроводжується шкідливими та небезпечними чинниками, що створюють певний рівень *виробничого ризику*.

Виробничий ризик визначається як ймовірність шкоди здоров'ю працівника під час виконання ним трудових обов'язків, що обумовлено

					КРМ.ЕС.11287686.001.ПЗ	75
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ступенем шкідливості та/або небезпечності умов праці, а також науково-технічним рівнем виробництва.

Шкідливий виробничий фактор — це небажане явище, яке супроводжує виробничий процес і може негативно вплинути на працівника, спричинивши погіршення самопочуття, зниження працездатності, захворювання, що виникають внаслідок виробничих умов, або навіть смерть у результаті захворювання.

Захворюванням називається порушення нормальної життєдіяльності організму, яке викликане функціональними та/або морфологічними змінами.

Виробничо-зумовлене захворювання — це хвороба, перебіг якої ускладнюється умовами праці, частота якої серед працівників, що піддаються впливу певних професійних шкідливих факторів, перевищує частоту захворювання у працівників, які не зазнають такого впливу.

Професійне захворювання (профзахворювання) — це хвороба, що виникла внаслідок професійної діяльності, і зумовлюється переважно або виключно впливом шкідливих речовин, певних видів робіт і інших факторів, пов'язаних з роботою.

Небезпечний виробничий фактор — це небажане явище, що супроводжує виробничий процес і може призвести до травм або раптового погіршення здоров'я працівника (гострого отруєння, раптового захворювання) і навіть до раптової смерті за певних умов.

Виробнича травма — це пошкодження тканин або порушення анатомічної цілісності організму людини та його функцій, спричинені впливом виробничих факторів. Зазвичай, виробнича травма є наслідком нещасного випадку на виробництві.

Нещасний випадок на виробництві — це обмежена за часом подія або раптовий вплив небезпечного виробничого фактору чи середовища на

					<i>KPM.EC.11287686.001.ПЗ</i>	76
<i>Вим.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

працівника під час виконання ним трудових обов'язків, що призводить до шкоди здоров'ю або навіть до смерті.

Тому всі несприятливі виробничі чинники зазвичай розглядаються як одне поняття – *небезпечний та шкідливий виробничий фактор (НШВФ)*.

Залежно від свого походження та механізму дії, небезпечні та шкідливі виробничі фактори (НШВФ) поділяються на п'ять груп: *фізичні, хімічні, біологічні, психофізіологічні та соціальні*.

До *фізичних НШВФ* відносяться машини та механізми, їх елементи, а також вироби, матеріали, заготовки тощо, що рухаються або обертаються; системи, устаткування чи елементи обладнання, які піддаються підвищеному тиску; підвищена запиленість та загазованість повітря в робочій зоні; високі рівні шуму, вібрації, ультразвуку та інфразвуку; підвищене іонізуюче випромінювання; а також високий рівень напруги в електричних мережах і напруженість електричних та магнітних полів.

Хімічні НШВФ включають речовини, які за своєю дією на організм людини поділяються на токсичні, задушливі, наркотичні, подразнюючі, сенсibiliзуючі, канцерогенні, мутагенні та такі, що впливають на репродуктивну функцію. За шляхами проникнення в організм ці речовини діляться на ті, що потрапляють через: 1) органи дихання; 2) шлунково-кишковий тракт; 3) шкіру та слизові оболонки.

До *біологічних НШВФ* належать патогенні мікроорганізми (бактерії, віруси, рикетсії, спірохети, гриби тощо) та продукти їхньої життєдіяльності, а також макроорганізми — тварини та рослини.

Психофізіологічні НШВФ охоплюють фізичні (статичні та динамічні) перевантаження і нервово-психічні перевантаження, які можуть виникати через розумове перенапруження, перенапруження аналізаторів, монотонність праці та емоційні перевантаження.

					<i>КРМ.ЕС.11287686.001.ПЗ</i>	77
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Соціальні НШВФ включають неякісну організацію праці, наднормову роботу, необхідність роботи в колективі з поганими взаєминами між його членами, соціальну ізоляцію, відрив від сім'ї, а також незадоволеність роботою.

Варто зазначити, що один і той самий НШВФ може належати одночасно до кількох з цих груп, оскільки його дія може бути багатогранною.

Стан умов праці, при якому дія небезпечних і шкідливих виробничих факторів на працівника виключена або зведена до прийняттого рівня, називається безпекою праці.

Оскільки в житті, а особливо у виробничому процесі, абсолютна безпека є недосяжною, було б нерозумно вимагати повного викорінення травматизму або виключення можливості будь-якого захворювання. Проте цілком реальним і розумним є прагнення звести вплив існуючих виробничих небезпек до мінімуму. Саме цю мету ставить перед собою охорона праці.

Законодавство України в сфері охорони праці

Законодавство України в сфері охорони праці є системою взаємопов'язаних нормативно-правових актів, які регулюють відносини у сфері соціального захисту громадян під час трудової діяльності.

Це законодавство ґрунтується на конституційному праві кожного громадянина України на належні, безпечні та здорові умови праці, що гарантується статтею 43 Конституції України. [17]

Основним документом у сфері охорони праці є Закон України «Про охорону праці», який визначає ключові положення реалізації права на захист життя і здоров'я під час трудової діяльності, на належні, безпечні та здорові умови праці. Цей закон також регулює відносини між роботодавцем і працівником з питань безпеки, гігієни праці та виробничого середовища, а також встановлює єдиний порядок організації охорони праці в Україні.

					<i>KPM.EC.11287686.001.ПЗ</i>	78
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Згідно зі статтею 2 Закону України «Про охорону праці», його дія поширюється на всіх юридичних та фізичних осіб, які відповідно до законодавства використовують найману працю, а також на всіх працівників.

До основних законодавчих актів, які безпосередньо стосуються охорони праці, слід віднести: основи законодавства України про охорону здоров'я, кодекс законів про працю України (КЗпПУ), закон України «Про загальнообов'язкове державне соціальне страхування від нещасного випадку на виробництві та професійного захворювання, які спричинили втрату працездатності», закон України «Про забезпечення санітарного та епідемічного благополуччя населення», Закон України «Про пожежну безпеку», закон України «Про використання ядерної енергії та радіаційну безпеку». [17]

Окремі питання правового регулювання охорони праці також розглядаються в багатьох інших законодавчих актах України.

Серед них: Цивільний кодекс, Кримінальний кодекс, Закон України «Про колективні договори і угоди», технічні регламенти з безпеки промислового обладнання та продукції, розроблені відповідно до вимог директив ЄС у цій сфері, які мають статус законів.

Окрім згаданих законів, правові відносини в сфері охорони праці регулюються також іншими національними законодавчими актами, міжнародними договорами та угодами, до яких Україна приєдналася відповідно до встановленого порядку, а також підзаконними нормативними актами. Це включає: укази та розпорядження Президента, рішення Уряду, нормативні акти міністерств та інших центральних органів державної влади. Усі ці документи формують єдине правове поле охорони праці в Україні.

Основні принципи державної політики в галузі охорони праці

Стаття 4 Закону України «Про охорону праці» [17] визначає, що основи державної політики в галузі охорони праці базуються на десяти принципах :

					<i>KPM.EC.11287686.001.ПЗ</i>	79
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

1. Пріоритет життя і здоров'я працівників, а також повна відповідальність роботодавця за створення належних, безпечних і здорових умов праці.
2. Підвищення рівня промислової безпеки через комплексний технічний контроль за станом виробництв, технологій та продукції, а також через економічну і соціальну політику, досягнення в галузі науки і техніки, і охорони довкілля.
3. Соціальний захист працівників, зокрема повне відшкодування шкоди особам, які зазнали травм під час роботи або професійних захворювань.
4. Встановлення єдиних вимог з охорони праці для всіх підприємств і суб'єктів підприємницької діяльності, незалежно від форми власності та виду діяльності.
5. Адаптація трудових процесів до можливостей працівника з урахуванням його здоров'я та психологічного стану.
6. Використання економічних методів управління охороною праці, участь держави у фінансуванні заходів з охорони праці, залучення добровільних внесків та інших надходжень на ці цілі, що не суперечать законодавству.
7. Інформування населення, проведення навчання, професійної підготовки та підвищення кваліфікації працівників у питаннях охорони праці.
8. Забезпечення координації між органами державної влади, установами, організаціями та об'єднаннями громадян, що займаються проблемами охорони здоров'я, гігієни та безпеки праці, а також співпраця та консультації між роботодавцями і працівниками (їх представниками) та всіма соціальними групами під час прийняття рішень у сфері охорони праці на місцевому та державному рівнях.
9. Використання міжнародного досвіду в організації роботи з поліпшення умов праці і підвищення безпеки на основі міжнародного співробітництва.

					<i>КРМ.ЕС.11287686.001.ПЗ</i>	80
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

10. Комплексне вирішення завдань охорони праці на основі загальнодержавних, галузевих та регіональних програм, а також врахування інших напрямків.

Права працівників на пільги та компенсації за важкі та шкідливі умови праці

Працівники, зайняті на роботах з важкими та шкідливими умовами праці, мають право на безкоштовне лікувально-профілактичне харчування та ряд інших пільг, зокрема:

- Оплачувані перерви санітарно-оздоровчого призначення.
- Скорочення тривалості робочого часу.
- Додаткову оплачувану відпустку.
- Оплату праці у підвищеному розмірі.
- Інші пільги та компенсації відповідно до законодавства.

Роботодавець має право за власний рахунок встановлювати додаткові пільги і компенсації, які не передбачені чинним законодавством, шляхом колективного договору (угоди). Протягом дії трудового договору роботодавець зобов'язаний своєчасно інформувати працівника про зміни у виробничих умовах, а також у розмірах пільг і компенсацій.

Відповідно до статті 19 Закону «Про охорону праці», фінансування охорони праці здійснюється роботодавцем. Для всіх підприємств і фізичних осіб, які використовують найману працю, витрати на охорону праці повинні становити не менше 0,5% від суми реалізованої продукції. Для бюджетних підприємств витрати на охорону праці передбачаються в державному або місцевих бюджетах і мають становити не менше 0,2% від фонду оплати праці.

Витрати на охорону праці, що входять до валових витрат юридичних або фізичних осіб, регулюються відповідно до переліку заходів і засобів з охорони праці, затвердженого Кабінетом Міністрів України.

					<i>KPM.EC.11287686.001.ПЗ</i>	81
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Додатковим джерелом фінансування є Фонд соціального страхування від нещасних випадків на виробництві (ФССНВ). Це є ефективним методом економічного впливу на стан безпеки, гігієни праці та виробничого середовища в ринкових умовах.

Державне управління охороною праці в Україні здійснюється такими органами:

- Кабінет Міністрів України.
- Спеціально уповноважений центральний орган виконавчої влади з нагляду за охороною праці.
- Міністерства та інші центральні органи виконавчої влади.
- Місцеві державні адміністрації та органи місцевого самоврядування.

Для забезпечення виконання вимог законодавства з охорони праці в Україні створено систему державного нагляду, відомчого і громадського контролю. Державний нагляд за додержанням законів та інших нормативно-правових актів здійснюють:

- Державна служба з питань праці.
- Комітет ядерного регулювання Міністерства охорони природного середовища.
- Державна служба з надзвичайних ситуацій.
- Головний державний санітарний лікар та санітарно-епідеміологічна служба Міністерства охорони здоров'я.

Органи державного нагляду не підпорядковані жодним господарським органам чи політичним формуванням. Їх діяльність регулюється законами України та нормативно-правовими актами, затвердженими Президентом або Кабінетом Міністрів.

Інспектори Держпраці мають право:

					<i>КРМ.ЕС.11287686.001.ПЗ</i>	82
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- Безперешкодно відвідувати підприємства та перевіряти дотримання законодавства.
- Одержувати пояснення, звіти про рівень профілактичної роботи.
- Видавати приписи про усунення порушень.
- Забороняти чи обмежувати експлуатацію виробництв або робочих місць до усунення порушень.
- Притягати до адміністративної відповідальності осіб, винних у порушенні охорони праці.

Ця система управління охороною праці спрямована на забезпечення безпеки працівників та створення здорових і безпечних умов праці.

Відомчий контроль покладається на керівництво підприємства та на вищі господарські організації. Цей контроль виконується спеціальними службами охорони праці.

Громадський контроль за дотриманням законодавства у сфері охорони праці, за забезпеченням безпечних і нешкідливих умов праці, а також відповідних виробничих і санітарно-побутових умов здійснюється професійними спілками через їх виборні органи та представників (уповноважених осіб). Професійні спілки мають право проводити незалежну експертизу умов праці, а також перевіряти об'єкти виробничого призначення на етапах проектування, будівництва чи експлуатації на відповідність НПАОП. Вони також можуть брати участь у розслідуванні причин нещасних випадків і професійних захворювань, надавати свої висновки, а також звертатися до роботодавців і державних органів управління і нагляду з пропозиціями щодо охорони праці та отримувати від них обґрунтовані відповіді.

Якщо на підприємстві немає професійної спілки, громадський контроль здійснюється уповноваженою найманими працівниками особою з питань охорони праці. Ця особа має право безперешкодно перевіряти виконання

					<i>КРМ.ЕС.11287686.001.ПЗ</i>	83
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

вимог охорони праці на підприємстві та вносити обов'язкові для розгляду пропозиції щодо усунення виявлених порушень НПАОП.

Служба охорони праці підприємства

На підприємствах з чисельністю працівників 50 і більше осіб роботодавець зобов'язаний створити службу охорони праці відповідно до "Типового положення про службу охорони праці" НПАОП 0.00-4.35-04, затвердженого наказом Державного комітету України з нагляду за охороною праці (Держпраці) від 15.11.2004 р. № 255, зареєстрованого в Міністерстві юстиції України 01.12.2004 р. за № 1526/10125. Для підприємств, де працює менше 50 осіб, функції служби охорони праці можуть виконувати особи, які мають відповідну підготовку, на основі сумісництва. Якщо чисельність працівників менша за 20, залучаються сторонні спеціалісти на договірних засадах, також з відповідною підготовкою.

Служба охорони праці має такі основні функції:

- Розробка цілісної системи управління охороною праці та вдосконалення діяльності у цьому напрямку в кожному структурному підрозділі.
- Проведення оперативного-методичного керівництва охороною праці.
- Спільно з підрозділами підприємства складання комплексних заходів для досягнення встановлених норм безпеки і гігієни праці.
- Організація проведення вступного інструктажу з охорони праці для працівників.
- Забезпечення працівників нормативними актами з охорони праці, паспортизація цехів та атестація робочих місць на відповідність вимогам охорони праці.

					<i>КРМ.ЕС.11287686.001.ПЗ</i>	84
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- Облік і аналіз нещасних випадків, професійних захворювань і аварій, підготовка статистичних звітів з охорони праці, розробка планів щодо створення безпечних умов праці.

- Організація підвищення кваліфікації та перевірка знань посадових осіб з охорони праці.

- Участь у розслідуванні нещасних випадків та аварій, роботі комісії з охорони праці, а також у розробці положень щодо охорони праці.

Спеціалісти служби охорони праці мають право представляти підприємство у державних і громадських установах під час розгляду питань охорони праці. Вони можуть безперешкодно відвідувати виробничі об'єкти, видавати обов'язкові приписи для усунення недоліків, вимагати відсторонення працівників, які не пройшли необхідні перевірки, зупиняти роботу в разі виявлення загроз для життя чи здоров'я, а також ініціювати притягнення до відповідальності працівників, які порушують вимоги з охорони праці.

Служба охорони праці підпорядковується безпосередньо роботодавцю. Керівники та спеціалісти цієї служби мають рівень посадових обов'язків і заробітної плати, рівний керівникам і спеціалістам основних виробничо-технічних служб. Ліквідація служби охорони праці можлива лише в разі ліквідації підприємства або припинення використання найманої праці фізичною особою.

Основне законодавство з охорони праці

Законодавство в сфері охорони праці в Україні складається із закону України "Про охорону праці", прийнятого 14 жовтня 1992 року, Кодексу законів про працю та інших нормативних актів. Ці закони є обов'язковими для всіх підприємств, незалежно від їх відомчої приналежності, і мають загальнодержавний характер.

Закон "Про охорону праці" визначає основні принципи реалізації конституційного права працівників на охорону їх життя та здоров'я під час

					<i>KPM.EC.11287686.001.ПЗ</i>	85
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

трудової діяльності, а також на безпечні та здорові умови праці. Він регулює взаємовідносини між роботодавцем і працівником з питань безпеки, гігієни праці та виробничого середовища, встановлюючи єдиний порядок організації охорони праці в країні.

Цей закон поширюється на всіх юридичних та фізичних осіб, які використовують найману працю, а також на всіх працівників. Основні загальнодержавні правила містять вимоги щодо забезпечення безпеки праці при проектуванні та експлуатації об'єктів виробничого призначення. До загальнодержавної нормативно-технічної документації входять державні стандарти РСБП.

Охорона праці є системою правових, соціально-економічних, організаційно-технічних, санітарно-гігієнічних і лікувально-профілактичних заходів, спрямованих на збереження життя, здоров'я та працездатності людини в процесі трудової діяльності.

Міжгалузеві правила та норми з техніки безпеки й виробничої санітарії також мають загальний характер, закріплюючи найважливіші гарантії безпеки та гігієни праці в окремих галузях або під час специфічних видів робіт. Оскільки деякі галузі мають специфічні умови праці, виникає потреба розробки галузевих правил і норм охорони праці, які поширюються тільки на відповідну галузь і містять специфічні гарантії.

Нормативно-технічна документація з охорони праці слугує основою для розробки заходів, що забезпечують безпечні та здорові умови праці на всіх робочих місцях. На кожному підприємстві розробляються інструкції з охорони праці з урахуванням конкретних умов для кожної професії, які узгоджуються з профспілковим комітетом та затверджуються керівником.

Працівник не може бути допущений до роботи, яка за медичним висновком йому протипоказана. Для виконання робіт підвищеної небезпеки допускаються лише особи, які мають висновок психофізіологічної експертизи.

					<i>KPM.EC.11287686.001.ПЗ</i>	86
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Всі працівники підлягають обов'язковому державному соціальному страхуванню від нещасних випадків на виробництві та професійних захворювань, які можуть призвести до втрати працездатності.

Права працівників на охорону праці включають:

- Вимоги до умов праці на робочому місці, безпеки технологічних процесів, а також стану засобів колективного та індивідуального захисту.
- У разі роботи в шкідливих або небезпечних умовах праці працівникам безкоштовно надаються спеціальний одяг, взуття та інші засоби індивідуального захисту.
- Працівники, залучені до разових робіт, пов'язаних із ліквідацією наслідків аварій або стихійного лиха, також повинні бути забезпечені відповідними засобами.

Обов'язки роботодавця:

Роботодавець зобов'язаний створити умови праці на кожному робочому місці відповідно до нормативно-правових актів і забезпечити дотримання прав працівників у сфері охорони праці. Для цього роботодавець має організувати функціонування системи управління охороною праці.

Вимоги електробезпеки

Ось узагальнені вимоги та заборони з електробезпеки та експлуатації електрообладнання:

Вимоги до експлуатації та електробезпеки:

1. Дотримання стандартів:

- Вимоги експлуатації повинні відповідати ДСТУ 12.1.002-80 та ДСТУ 12.1.019-79.
- Влаштування заземлення повинно відповідати ДСТУ 12.1.030-81 або ДСТУ 21130-75.

					<i>KPM.EC.11287686.001.ПЗ</i>	87
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- Монтаж електрообладнання повинен виконуватися відповідно до “Правил улаштування електроустановок”.

2. Заземлення:

- Корпуси електродвигунів і рам повинні бути заземленими на загальний контур.

- Опір між заземлювальним проводом і рамою не повинен перевищувати 0,1 Ом.

3. Безпека щитів і пультів:

- Двері щитів і пультів повинні бути закриті замками і обладнані контактами електроблокування.

4. Санітарно-гігієнічні вимоги:

- Санітарно-гігієнічні вимоги повинні відповідати ДСТУ 9.014-78 та ДСТУ 12.3.016-87.

- Освітленість робочої зони повинна бути не менше 150 люкс згідно з СН 357-77.

- Гранично допустима концентрація пилу в повітрі робочої зони не повинна перевищувати 6 мг/м³ відповідно до ДСТУ 12.1.005-88.

5. Організація робочого місця:

- Силу та освітлювальну проводку потрібно укладати в ізоляційні труби.

- Робоча зона навколо автоматів не повинна бути перевантажена, щоб забезпечити вільний доступ до обладнання з усіх сторін.

- Потрібно підтримувати чистоту на робочому місці.

- Під час монтажних і ремонтних робіт на шафовому щиті необхідно вивішувати табличку “Не включати! Працюють люди”.

					<i>КРМ.ЕС.11287686.001.ПЗ</i>	88
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Заборони:

1. Роботи з обладнанням:

- Забороняється проводити розборку або ремонт автомата без відключення від електромережі.
- Заборонено ремонтувати двигуни або електроапаратуру особам без відповідного доступу.
- Не можна працювати з несправними блокуючими вимикачами.
- Забороняється працювати з зламаним огороженням.
- Не можна чистити і змащувати обладнання під час його роботи.
- Забороняється залишати обладнання без нагляду.
- Не можна поправляти садку на вагонетці під час знаходження на ній візка з захватами.

Ці вимоги та заборони спрямовані на забезпечення безпеки працівників та запобігання нещасним випадкам під час експлуатації електрообладнання.

Заходи з пожежної безпеки

Для забезпечення пожежної безпеки та ефективного пожежогасіння в разі пожежі проектом передбачено наявність під'їздів для пожежних автомобілів до будівель та споруд. На території підприємства заплановано розташування градирні об'ємом 200 м³, яка слугуватиме засобом зовнішнього пожежогасіння. [17]

Також передбачено облаштування зручного під'їзду до градирні, включаючи площадку для розвороту пожежних машин. Витрата води для зовнішнього пожежогасіння відповідно до нормативів БНіП 2.04.02-81 становить 10 л/с. На об'єкті будуть встановлені світлові показники для інформування про засоби пожежогасіння, а також система пожежної та димової сигналізації, згідно з БНіП II-2-80.

					<i>KPM.EC.11287686.001.ПЗ</i>	89
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

У відповідності до "Вказівок з проектування та влаштування блискавкозахисту будівель і споруд " (СН 355-77) буде забезпечено захист від прямих ударів блискавки та переносу високих потенціалів. Димові труби захищаються індивідуальними блискавко-приймачами.

Захист від переносу високих потенціалів та статичної електрики буде реалізовано шляхом підключення всіх підземних і надземних комунікацій, які вводяться в будівлю, до заземлюючих пристроїв (див. п. 6.3.1). Для забезпечення безпеки обслуговуючого персоналу передбачено систему захисного занурення. Заземлюючі пристрої виконуються загальними для електроустановок високої та низької напруги (СН 305-77).

Трубопроводи та металеві конструкції будівель і споруд (включаючи арматуру фундаментів), які мають надійне з'єднання з землею, використовуються в якості ефективних заземлювачів.

У виробничих приміщеннях будуть забезпечені вільні проїзди відповідно до норм ГОСТ 12.1.004-76. Біля виробничих об'єктів встановлюються червоні щити, на яких розміщуються вогнегасники на 100 м² приміщення, а також багор та лопата. Біля щита буде встановлено ящик з піском.

Згідно з БНіП 3.03.01-87, дерев'яні елементи, які знаходяться поблизу джерел вогню та тепла, підлягають обробці антипіреном. При посадці зелених насаджень витримується відстань не менше 5 м до листяних дерев, а від хвойних - не менше меж протипожежних відстаней (БНіП II-60-75).

У запроектованому неопалювальному складі готової продукції передбачено сухо провідна сітка протипожежного водопроводу, яка наповнюється водою за допомогою електроприводу, що керується кнопками біля пожежних кранів. Засувка з електроприводом розташовується в опалювальному приміщенні - в побутових кімнатах підприємства.

					<i>KPM.EC.11287686.001.ПЗ</i>	90
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

У проекті також передбачено встановлення пульту пожежної сигналізації типу ППС-3 в приміщенні прохідної. ППС-3 дозволяє підключати лінії пожежної та охоронної сигналізації, що контролюють приміщення, які відносяться до певних категорій пожежонебезпеки.

Проектування цього підрозділу виконано відповідно до БНіП 2.04.09-84 на основі "Інструкції по проектуванню установок пожежної сигналізації" ВПСН-61-78 та інших нормативних документів. Сітка автомобільних доріг з твердим покриттям, пожежні щити і ящики з піском рівномірно розподілені по всій території заводу згідно з нормативами, забезпечуючи повну і надійну безпеку підприємства. [17]

Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

КРМ.ЕС.11287686.001.ПЗ

ВИСНОВКИ

При виконанні проекту було проведено літературний огляд та аналіз аналогів об'єкту проектування.

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.

Отримано такі результати: розроблено блок керування синхронним (кроковим) двигуном з наступними параметрами:

- напруга живлення двигуна: 24В;
- точність позиціонування валу ротора, не гірше: 2 градуса;
- вихідний струм: 5 А;
- схема підключення: біполярна (4 дроти);
- робоча температура: -20...+60 °С.

Орієнтовна ціна пристрою становить 4114 гривень.

Система призначена для експлуатації в УХЛ 4.1. ДСТУ EN 60335-1:2015

Розробка повністю відповідає технічному завданню.

					<i>KPM.EC.11287686.001.ПЗ</i>	92
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Що таке гібридний кроковий двигун. URL: http://soyomotor.com/new_detail/nid/73391 (дата звернення: 10.12.2024).
2. Методичні вказівки щодо виконання лабораторних робіт з навчальної дисципліни «Системи керування електроприводом» Частина 1. URL: https://document.kdu.edu.ua/metod/2022_4176.pdf (дата звернення: 13.12.2024).
3. Контролер крокового двигуна на ATtiny2313. URL: <http://radioparty.ru/device/avr/482-step-motor-controller-attiny2313> (дата звернення: 13.12.2024).
4. 23HS45-4204S Datasheet. URL: <https://www.alldatasheet.com/html-pdf/1141370/STEPPERONLINE/23HS45-4204S/1187/1/23HS45-4204S.html> (дата звернення: 13.12.2024).
5. MeanWell Modular Power Datasheet URL: https://www.mouser.be/datasheet/2/260/MP_series_spec-1591631.pdf (дата звернення: 13.12.2024).
6. Схеми регуляторів напруги на lm2576t. URL : <https://earin.malevaro.cx.ua/articles/shemi-reguljatoriv-napругi-na-lm2576t-adj.html> (дата звернення: 13.12.2024).
7. LM7805: все про регулятор напруги. URL: <https://uk.hwlibre.com/lm7805/> (дата звернення: 13.12.2024).
8. ATtiny 2313 Datasheet URL: <https://www.alldatasheet.com/datasheet/pdf/view/80317/ATMEL/ATTINY2313.html> (дата звернення: 13.12.2024).
9. Лекція 10. Особливості керування кроковим двигуном URL: https://em.fea.kpi.ua/images/doc_stud/distiplini/brem/BREM_Lekciya_10.pdf (дата звернення: 13.12.2024).
10. Виведення тексту на OLED дисплей із контролером SH1106 по шині I2C через бібліотеку HAL. URL: <https://habr.com/ru/articles/516260/> (дата звернення: 13.12.2024).

					КРМ.ЕС.11287686.001.ПЗ	93
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

11. IR2104S Datasheet. URL: https://www.infineon.com/dgdl/Infineon-IR2104S-M-DataSheet-v02_00-EN.pdf (дата звернення: 13.12.2024).
12. IRLZ14 Datasheet. URL: <https://www.alldatasheet.com/datasheet-pdf/view/68873/IRF/IRLZ14.html> (дата звернення: 13.12.2024).
13. Основи конструювання біомедичної апаратури. Лекція 10. Тепловий режим PEA. URL: <https://learn.ztu.edu.ua/pluginfile.php/283349/> (дата звернення: 13.12.2024).
14. Wakefield-Vette Heatsink Datasheet. URL: <https://www.tme.eu/Document/7374bc96c5730fac29dcf551e074fc8c/657.pdf> (дата звернення: 13.12.2024).
15. Матеріали ІХ Міжнародної науково-технічної конференції молодих учених та студентів. Розрахунок надійності й імовірність безвідмовної роботи елементів проектованого виробу. URL: https://elartu.tntu.edu.ua/bitstream/lib/34470/2/APMT_2020v1_ChYu_B_A-Calculation_of_reliability_144-145.pdf (дата звернення: 13.12.2024).
16. Собівартість послуг: особливості формування. URL: <https://interbuh.com.ua/ua/documents/oneanalytics/138487> (дата звернення: 13.12.2024).
17. Перелік заходів та засобів охорони праці. URL: <https://www.kmu.gov.ua/npas/1316161> (дата звернення: 13.12.2024).
18. Драйвер крокового двигуна DM556D. URL: <https://ua.teslaweld.com/drayver-shagovogo-dvigatelya-dm556d-5-6-a> (дата звернення: 13.12.2024).
19. Модуль управління крокового двигуна St 4.1. URL: <https://stack.in.ua/ua/p2282401813-modul-upravleniya-shagovym.html> (дата звернення: 13.12.2024).

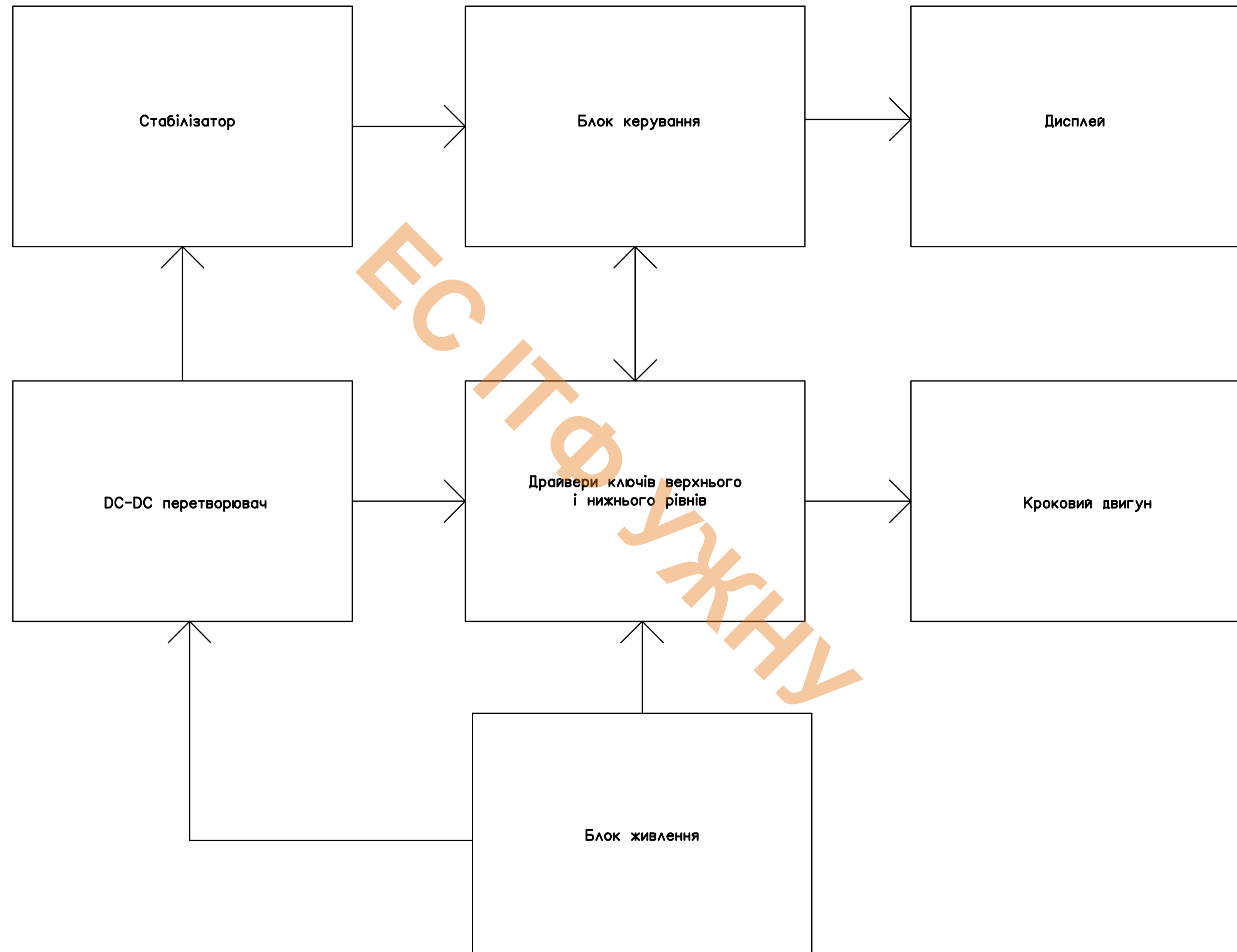
					<i>KPM.EC.11287686.001.ПЗ</i>	94
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Е С П Ф У Ж Н У

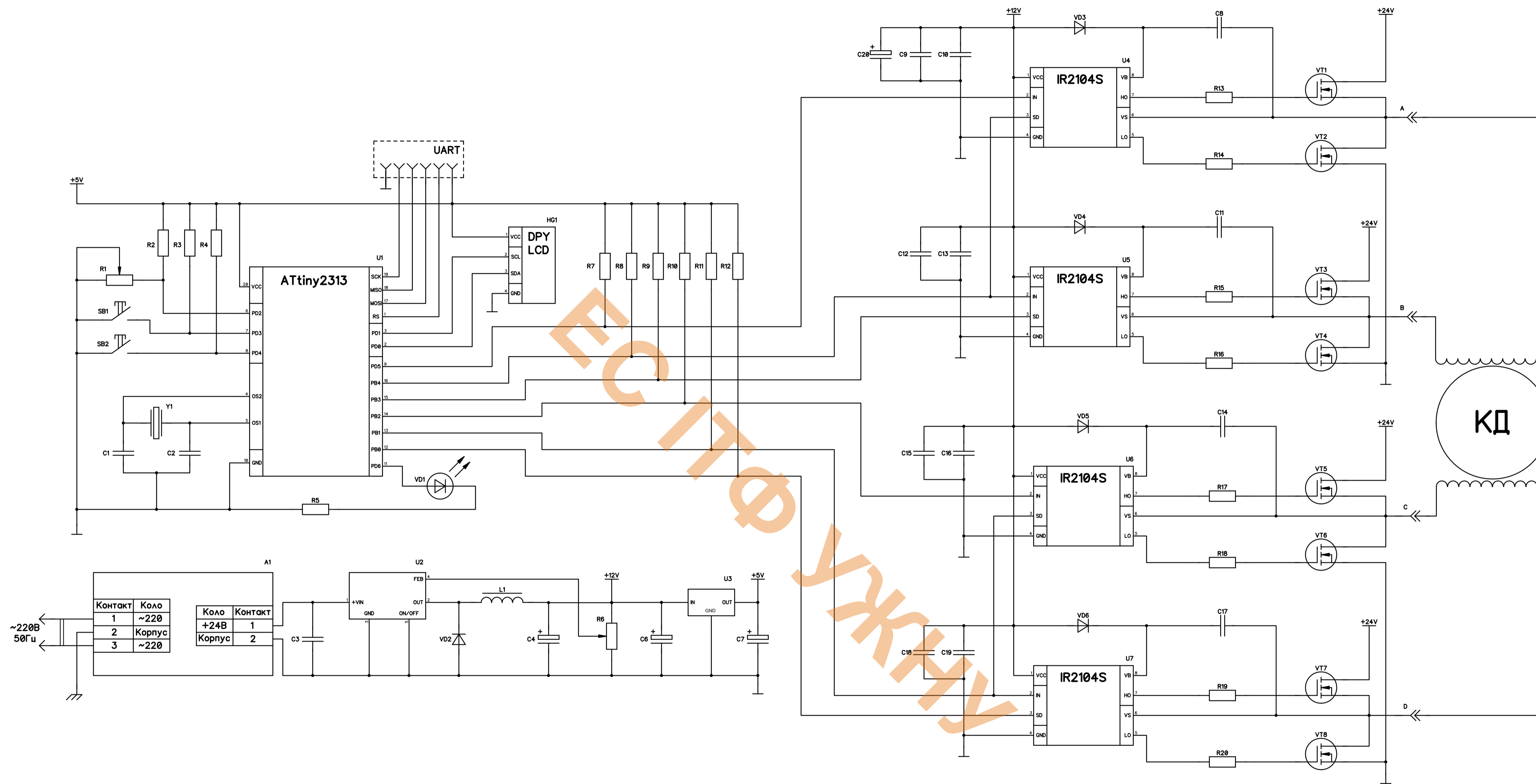
					КРМ.ЕС.11287686.001.ПЗ	96
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Поз. позн.	Найменування	Кіл.	Примітки
<u>Конденсатори</u>			
C1, C2	1206-NPO-50V- 10p 5%	2	
C3, C5	PV-100uF-50V	2	
C4	MAL-25V-1000uF	1	
C6	RMU/SR-470uF-50V	1	
C7	ET10/16A-JP 5%	1	
*	1206-NPO-50V- 2u 5%	4	C8, C11, C14, C17
*	1206-NPO-50V- 10u 5%	4	C9, C12, C15, C18
*	206-NPO-50V- 100n 5%	4	C10, C13, C16, C19
C20	FB4700uF/63	1	
<u>Роз'єми</u>			
J1	OSTV7040150	1	Shore Technology
J2	292132-6	1	TE Connectivity
J3	39-01	1	Molex
J4	KLDX-020	1	Kycon
L1	<u>Дросель</u> 822LY-100H	1	
<u>Резистори</u>			
R1	3590S-2-50K	1	
*	RSF100JB-10K	3	R2, R3, R4
*	RSF100JB-73-ND	6	R7...R12
R5	CFR-25JB-220R	1	
R6	BOURNS-3296 47K	1	
*	2512 22R 1W 5% 22R	8	R13...R20

КРМ.ЕС.11287686.001.ПЕ					
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	
Розробив		Гурянич С.М.			
Перевірив		Спесивих О.О.			
Т.Контр.					
Н.Контр.		Папш О.В.			
Затвердив		Ваяць Т. М.			
Блок керування синхронного двигуна Перелік елементів			Літера	Аркуш	Аркушів
			У	1	3
			УжНУ , ІТФ група ЕС, 2 курс		



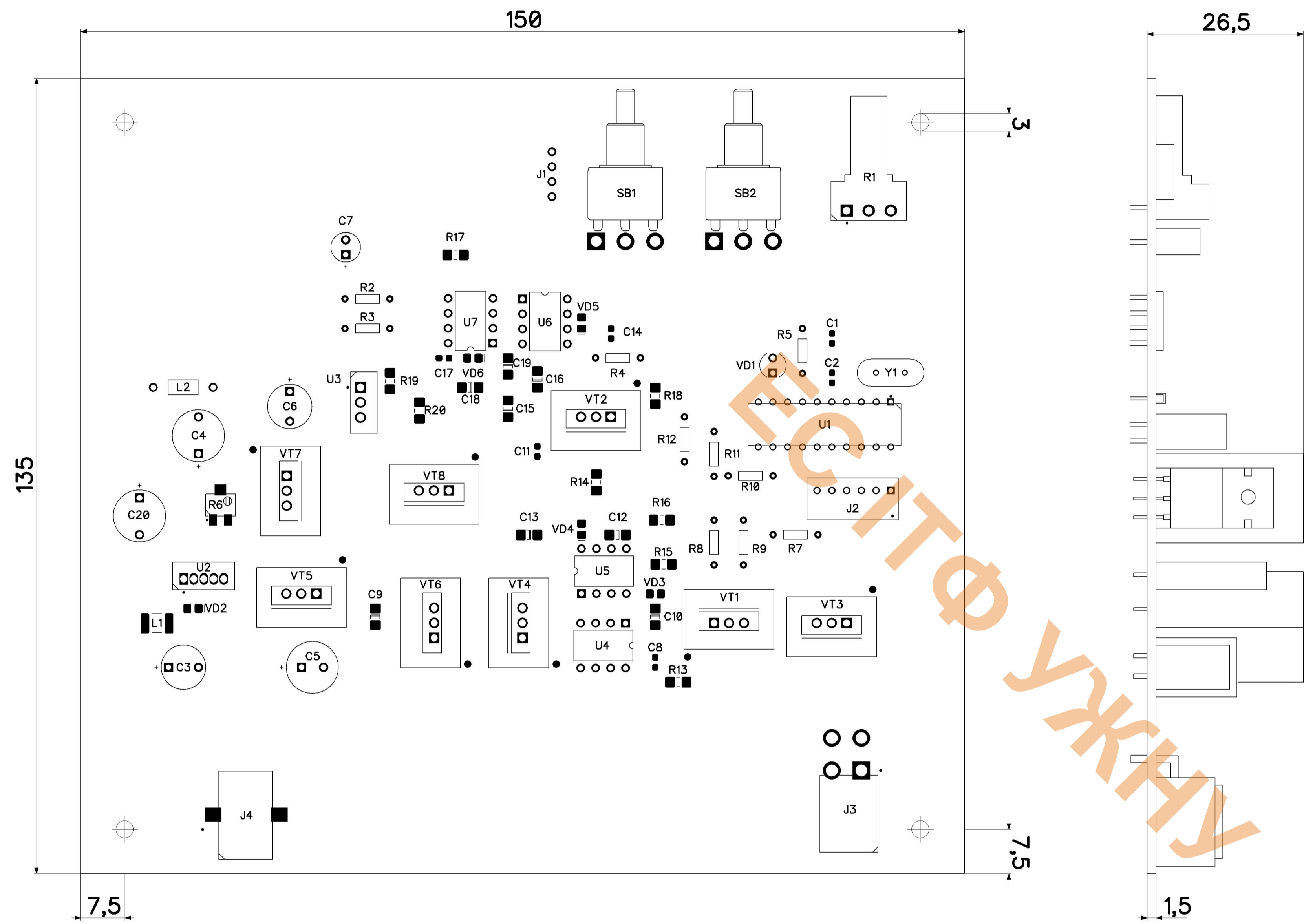
КРМЕС 11287686.001Е1						Літера	Маса	Масштаб
Зм.	Арх.	№ документа	Підпис	Дата	Блок керування синхронного двигуна	у		1:1
Розробив	Уряничук С.М.					Аркцив 1		Аркцив 1
Перевірив	Списових О.О.							
Т. контр.								
Н. контр.	Плат О.В.				Схема структурна	УжНУ, ІТФ, гр. ЕС, 2 курс		
Затвердив	Заяць Т.М.							



Контакт	Коло
1	~220В
2	Корпус
3	~220В

Коло	Контакт
+24В	1
Корпус	2

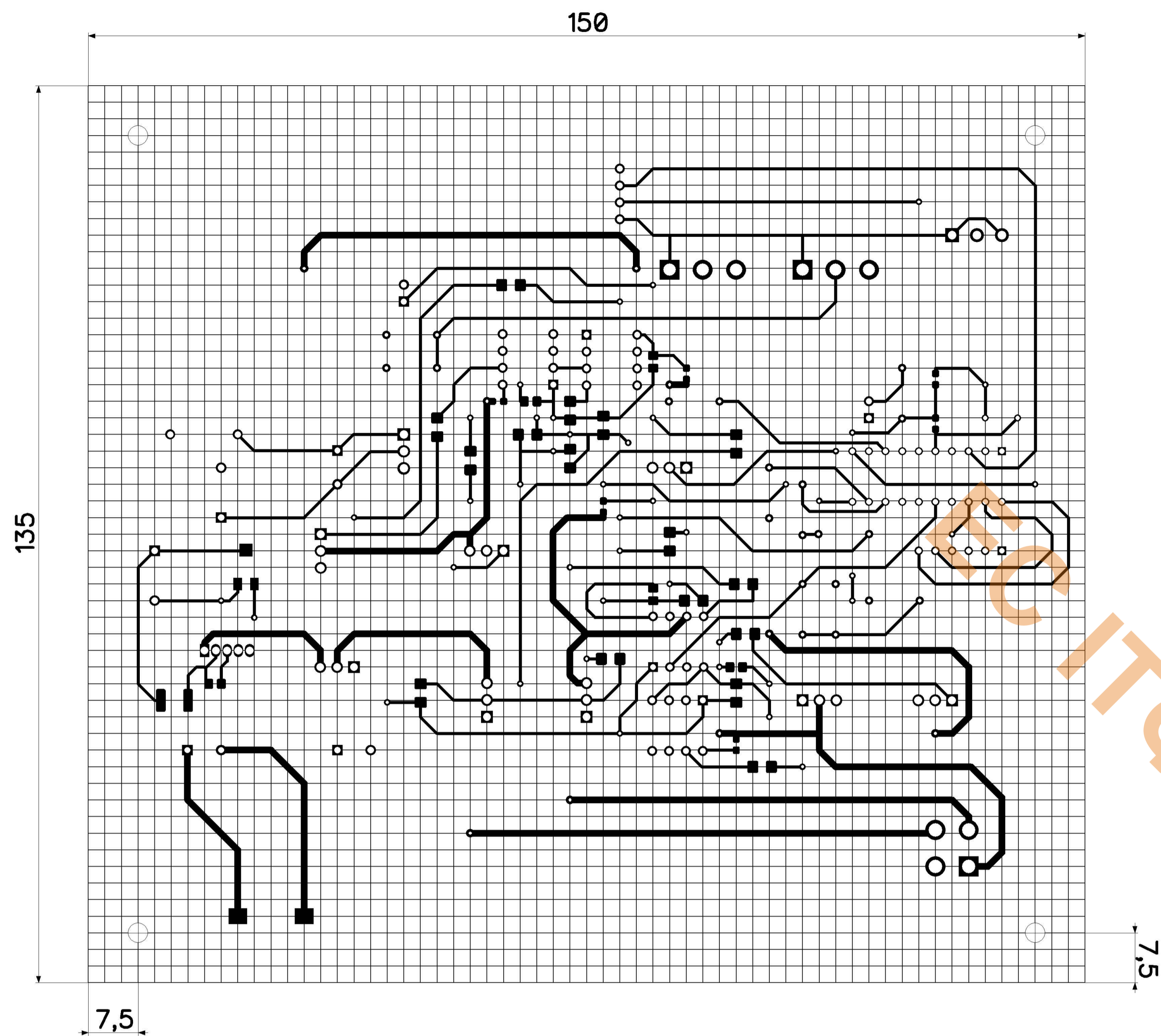
КРМЕС 11287686.001Е3						Лист	Мас	Масштаб
Эк	Арх	№ документа	Подпис	Дата	Блок керування синхронного двигуна	у		1:1
Розробив	Турянчик С.М.					Аркуш 1		Аркушів 1
Перевірив	Спесивих О.О.							
Т. контр.								
Н контр.	Плат О.В.				Схема електрична принципова			УжНУ, ІТФ, гр. ЕС, 2 курс
Затвердив	Зайць Т.М.							



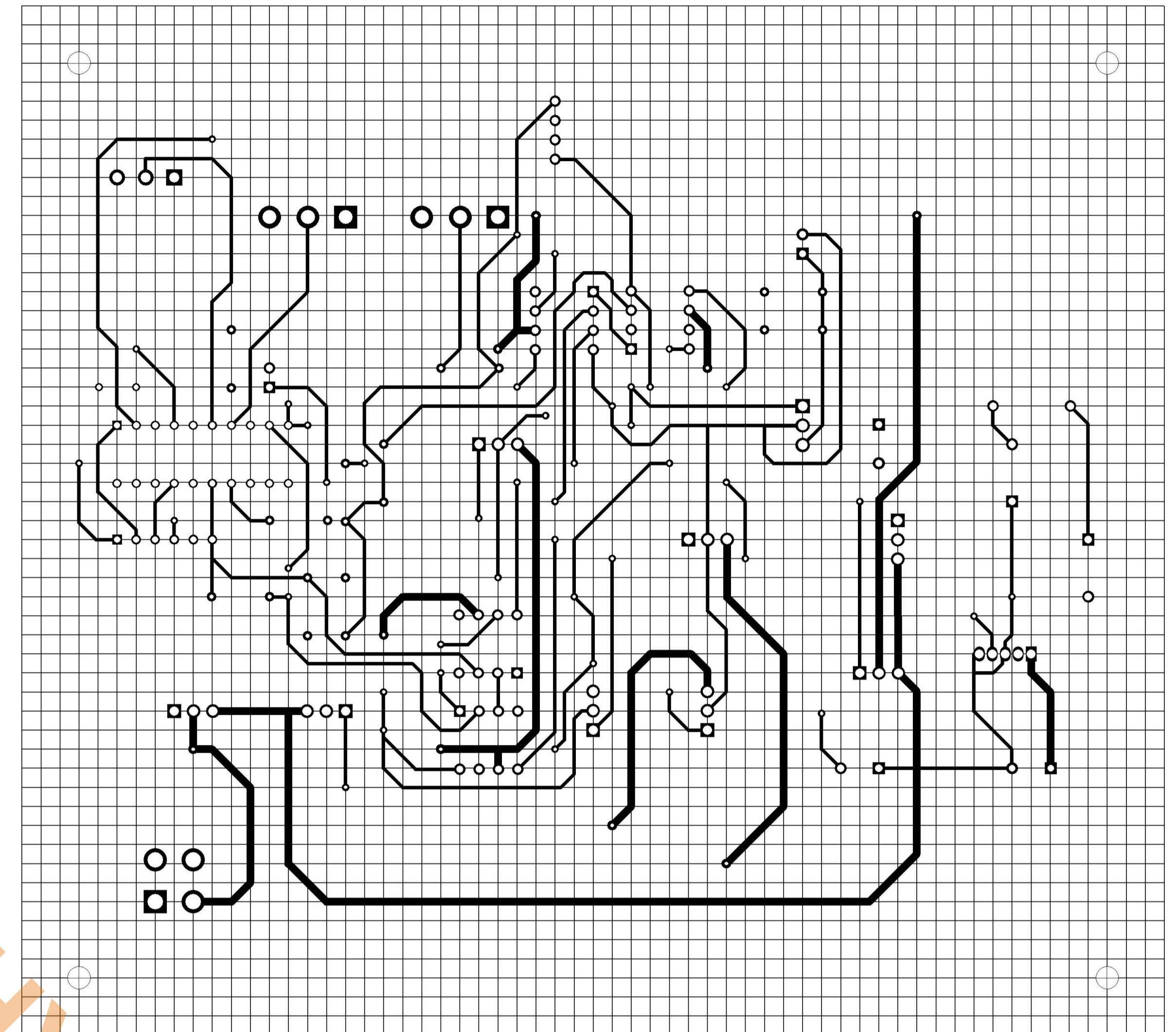
1. Електромонтаж виконати згідно КРМЕС.11287686.001.Е3
2. Установку елементів виконувати по ОСТ 4.010.030-81. Позиції та значення елементів показані умовно
3. Паяти припоєм Alpha HF-850 SN99CU1.
4. Покриття : лак НЦ-134.
5. Маркувати заводський номер фарбою МКЕ білою. У1 по ОСТ4 ГО.054.205 шрифтом 3-Пр3 по ГОСТ 26.020-80
6. Таврувати тавро ВТК
7. Решта технічних вимог по ОСТ 4ГО.070.015

КРМЕС.11287686.001.Е3						Літера	Маса	Масштаб
Зм.	Арх.	№ документа	Підпис	Дата	Блок керування синхронного двигуна	у		2:1
Розробив	Уряничук Л.М.					Аркш 1		Аркшів 1
Перевірив	Слесивих О.О.							
Т. контр.								
Н. контр.	Поп О.В.				Складальне креслення	УжНУ, ІТФ, гр. ЕС, 2 курс		
Затвердив	Заяць Т.М.							

Сторона встановлення компонентів



Зворотня сторона плати



Отвір	Тип	Кількість
Круглий 0.486 mm	Метал. Наскрізний	52
Круглий 0.559 mm	Метал. Наскрізний	20
Круглий 0.66 mm	Метал. Наскрізний	2
Круглий 0.81 mm	Метал. Наскрізний	20
Круглий 0.85 mm	Метал. Наскрізний	6
Круглий 0.889 mm	Метал. Наскрізний	2
Круглий 0.9 mm	Метал. Наскрізний	42
Круглий 0.965 mm	Метал. Наскрізний	2
Круглий 1 mm	Метал. Наскрізний	6
Круглий 1.186 mm	Метал. Наскрізний	5
Круглий 1.2 mm	Метал. Наскрізний	24
Круглий 1.27 mm	Метал. Наскрізний	3
Круглий 1.3 mm	Метал. Наскрізний	3
Круглий 1.85 mm	Метал. Наскрізний	6
Круглий 2.02 mm	Метал. Наскрізний	4
Круглий 3 mm	Неметал.	4

1. Друковану плату виготовити хімічним методом.
2. Крок координатної сітки 2,5 мм.
3. Конфігурацію провідників витримати з кроком 1.25
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. Таврувати тавро ВТК.
8. Решта технічних вимог по ОСТ 4ГО.070.014

КРМЕС 11287686.001.ДП				Літера	Маса	Масштаб
Зм. Арх.	№ документа	Підпис	Дата	у	21	Аркшів 1
Розробив	Уряничук С.М.					
Перевірив	Глєсєвих О.О.					
Т. контр.				Аркшів 1	Аркшів 1	
Н. контр.	Плат О.В.			Друкована плата		УжНУ, ІТФ, гр. ЕС, 2 курс
Затвердив	Зайць Т.М.					

Завідувачу кафедри ЕС ІТФ ДНВЗ УжНУ

Заяць Тарас Михайлович

Студента (-ки) 2 курсу
спеціальності 171 Електроніка
Туреченко Сергій Миронович
(прізвище, ініціали)

ЗАЯВА

щодо самостійного виконання
навчальної/кваліфікаційної роботи здобувачем освіти

Я, Туреченко Сергій Миронович
(прізвище, ім'я, по батькові),
Студент(-ка) 2-го курсу, Факультет, ІТФ
(форма навчання, факультет, курс)
заявляю: моя письмова робота на тему: Блок керування синхронного
двигуна.

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.

Дата

Підпис

Додаток 2.

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

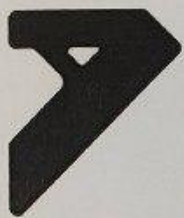
Автор роботи	Турченко Сергій Миколайович
Назва роботи	
Спеціальність	Електроніка 171
Курс	2
Факультет	Інженерно-технічний
Кафедра	Електронних систем
Керівник роботи	Снесих О.О.
Роботу перевірено в програмі	Unicheck
Додано до бази даних	
Ідентифікаційний номер роботи	2024-КРМ-Турченко С.М.
Результати перевірки	
Показник унікальності тексту через перевірку роботи у внутрішній базі кафедри ЕС ІТФ ДНВЗ УжНУ	97%
Показник унікальності тексту в мережі Інтернет	

Відповідальна особа/
Науковий керівник роботи

Снесих О.О.
(прізвище, ініціали)

Дата

Підпис



Автентифіковано засобом перевірки на плагіат ANTIPLA
Дата видачі: середа, 11 грудня 2024, 09:22
Доступно через www.antip.la

Плагіатограма

Результат (відсоток плагіату)	3%
Назва документу	2024-KPM-Турянчик С.М.docx
Кількість символів	15,000
Кількість спеціальних символів	58
Кількість слів	2,001
Унікальна кількість слів	1,172
Кількість речень	216
Найпоширеніші слова	та, і, для, в, на
Найдовше слово	Таблиця-23HS45-4204S
Середня довжина слова	6.5
Середня кількість слів у реченні	9.3
Всього посилань	0
Кількість слів із плагіатом	55

11.12.2024

(дата)

Сергій Турянчик

(перевірив)

CERTIFICATE

is awarded to

Turianchyk Serhii

for being an active participant in
X International Scientific and Practical Conference

**“GLOBAL SCIENCE:
PROSPECTS AND INNOVATIONS”**

24 Hours of Participation
(0,8 ECTS credits)

LIVERPOOL

23-25 May 2024

sci-conf.com.ua

