

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

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

кваліфікаційна бакалаврська робота

На тему: Система керування обертами синхронного
двигуна потужністю до 2 кВт

Студента 4 курсу

Турянчика Сергія Мирославовича

(прізвище та ініціали)


(підпис)

Керівник кандидат фіз.-мат. наук Спесивих Олександр

Олександрович

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


(підпис)

Голова ЕК:

Лоя В.Ю. канд. тех.наук., ст. н. с. 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)

Спесивих О.О.-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 – 2023

«ЗАТВЕРДЖУЮ»

Зав. кафедрою,

доц.  (Заяць Т. М.)

“ 15 ” червня 2023 року

З А В Д А Н Н Я

на кваліфікаційну бакалаврську роботу
студенту Турянчику Сергію Мирославовичу

1. Тема бакалаврської кваліфікаційної роботи: “Система керування обертами синхронного двигуна потужністю до 2 кВт”.

Затверджена на засіданні кафедри електронних систем
(протокол №4 від “11” _ листопада_ 2022 року).

Затверджено Розпорядженням декана ІТФ від «12» травня 2023 року № 15

2. Термін закінчення студентом бакалаврської кваліфікаційної роботи:
10 червня 2023 року.

3. Вихідні дані до курсової роботи.

Провести пошук аналогів пристроїв керування синхронного (асинхронного) електричного двигуна. Проаналізувати переваги та недоліки різних аналогів об'єкту проектування.

Забезпечити наступні характеристики:

- | | |
|---|----------------|
| 1. Напруга живлення | 220 В; |
| 2. Потужність електродвигуна, не більше | 2.0 кВт; |
| 3. Частотний діапазон обертів, хв ⁻¹ | 0 -600; |
| 4. Форма залежності напруги живлення електродвигуна | синусоїдальна; |
| 5. Робоча температура, °С | -35 ÷ 65. |

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, що підлягають розробці).

Вступ.

1. Огляд і аналіз існуючих аналогів об'єкту проектування.

1.1 Аналіз технічного завдання.

1.2 Огляд і аналіз існуючих методів та схемотехнічних рішень

2. Проектно-конструкторський розділ.



3.1 Розробка структурної та принципової схеми;

3.2 Розрахунки режимів роботи елементів принципової схеми, вибір елементів

3. Висновки.

4. Список використаних джерел.
5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень):
 - 5.1 Структурна (функціональна) електрична схема
 - 5.2 Електрична принципова схема.
 - 5.3 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			


6. Дата видачі завдання 23 листопада 2022 року.

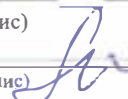
Керівник роботи  (доц. О.О. Спесивих)
(підпис)

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

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ п/п	Найменування етапів виконання КБР	Термін виконання етапів	Примітки
1.	Пошук та аналіз аналогів об'єкта досліджень.	до 20.12.2022 року	
2.	Огляд та аналіз аналогів.	до 20.02.2023 року	
3.	Вибір технічного рішення та обґрунтування технічної пропозиції.	до 20.03.2023 року	
4.	Синтез структурної та принципової схем, їх розрахунок.	до 20.04.2023 року	
5.	Виготовлення конструкторської документації.	до 20.05.2023 року	
6.	Оформлення кваліфікаційної бакалаврської роботи.	до 10.06.2023 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 бакалаврська робота на тему «Система керування обертами синхронного двигуна потужністю до 2 кВт» / УжНУ; Керівник Спесивих О. О.; Студент Турянчик С. М., група ЕС.

Пояснювальна записка: 44 сторінки, 12 рисунків, 18 джерел, 4 додатки. Графічна частина: 2 листи формату А1.

Об'єкт розробки – система керування синхронним двигуном потужністю до 2 кВт.

Мета дослідження – розробка схем та проведення розрахунків згідно вимог до курсових проектів системи керування синхронним двигуном потужністю до 2 кВт. Виготовлення, графічної документації із застосуванням програмного проектно-конструкторського пакета “AutoCAD 2022”.

Кваліфікаційна бакалаврська робота включає літературний огляд і аналіз систем даного типу та загальних принципів їх побудови. На основі цих даних і вимог технічного завдання розроблено структурну схему. Проектно-конструкторський розділ містить критерії вибору елементної бази, детальну розробку принципової електричної схеми, розрахунок основних функціональних блоків.

СИНХРОННИЙ ДВИГУН, КРОКОВИЙ ДВИГУН,
СИСТЕМА КЕРУВАННЯ ДВИГУНОМ

ABSTRACT

Diploma project of the “Bachelor” degree: «The system for speed controlling of the synchronous engine with a capacity of up to 2 kW» / UzhNU; Supervisor: Spesyvyh O. O.; Student: Turyanchik S. M. ES group.

Explanatory note: 44 pages, 12 figures, 18 sources, 4 appendixes.

Graphic part: 2 A1 sheets.

The development object is a control system for a synchronous motor with a capacity of up to 2 kW.

The goal of this project is to create a control system for a synchronous motor that can handle a maximum power of 2 kW. Our research aims to develop circuit designs and perform calculations that meet the requirements for course projects involving synchronous motor control systems with a power capacity of up to 2 kW. We will utilize the "AutoCAD 2022" software design package to produce visual documentation.

For our bachelor thesis, we will conduct a literature review and analyze similar systems, as well as study the fundamental principles behind their construction. Drawing from this information and the specifications outlined in the technical requirements, we have developed a structural diagram. The design and construction section of our thesis will include criteria for selecting the necessary components, an in-depth analysis of the core electrical circuit, and calculations for the primary functional components.

Keywords:

**SYNCHRONOUS MOTOR, STEPPER MOTOR,
MOTOR CONTROL SYSTEM**

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

«ЗАТВЕРДЖУЮ»

Зав. кафедрою,

доц.  (Заяць Т. М.)





“ 15 ” серпень 2023 року

ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА

На кваліфікаційну бакалаврську роботу

на тему:

СИСТЕМА КЕРУВАННЯ ОБЕРТАМИ СИНХРОННОГО ДВИГУНА ПОТУЖНІСТЮ ДО 2 КВТ

Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	КБР.ЕС.9469334.001.ПЗ			
Розробив		Туранчик С.М.		19.06.23	Система керування обертами синхронного двигуна потужністю до 2 кВт	Літера	Аркуш	Аркушів
Перевірів		Спесивих О.О.		19.06		У	6	44
Т.Контр.						УжНУ, ІТФ 4 курс, гр. ЕС		
Н.Контр		Спесивих О.О.		19.06				
Затверд.		Заяць Т. М.		19.06				

ЗМІСТ

ВСТУП	8
1. Огляд і аналіз існуючих аналогів об'єкту проектування	9
1.1 Аналіз технічного завдання	9
1.2 Огляд і аналіз існуючих методів та схемотехнічних рішень	9
2. Проектно-конструкторський розділ	24
2.1. Синтез та аналіз структурної і принципової схем	24
2.2. Розрахунки режимів роботи елементів принципової схеми, вибір елементів	26
3. Висновки	42
4. Список використаних джерел	43

ДОДАТКИ

Додаток А. Структурна схема КБР.ЕС.9469334.001.Е1

Додаток Б. Принципова схема КБР.ЕС.9469334.001.Е2

Додаток В. Перелік елементів КБР.ЕС.9469334.001.ПЕ

Додаток Г. Специфікація КБР.ЕС.9469334.001.СП

					<i>КБР.ЕС.9469334.001.ПЗ</i>	7
<i>Вим.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

ВСТУП

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

Головна перевага синхронних двигунів – економічна. Ціна, в середньому в 1,5-2 рази менша за асинхронні аналоги. Синхронний двигун, як недорога альтернатива сервоприводу щонайкраще підходить для автоматизації окремих вузлів і систем де не потрібна висока динаміка, точність позиціонування, велика потужність і швидкість обертання, а також для заміни (модернізації) крокових приводів, що виробили встановлений ресурс. Саме на розрахунок такого типу системи, спрямований даний курсовий проект.

Курсовий проект 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>КБР.ЕС.9469334.001.ПЗ</i>	8
<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 курсового проекту "Розробка структурної та принципової схем системи керування синхронним двигуном потужністю до 2 кВт".

Система керування синхронним двигуном із наступними параметрами:

- напруга живлення $220\text{ В} \pm 20\%$, 50 Гц;
- частотний діапазон обертів/хв 0-1600;
- максимальна потужність не більше 2.0 кВт;
- форма залежності напруги живлення електродвигуна - синусоїдальна;
- робоча температура °С від -35 до +65.

1.2. Огляд і аналіз існуючих методів та схемотехнічних рішень

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

Основна перевага крокових двигунів полягає в тому, що вони керуються з точністю до одного кроку. 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.

					<i>КБР.ЕС.9469334.001.ПЗ</i>	9
<i>Вим.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

Крокові двигуни є дуже надійними і мають високу стабільність керування. Вони здатні працювати при великому діапазоні температур, вологості і вібрацій, що робить їх ідеальними для використання в різних галузях, включаючи медичну техніку, прилади промислової автоматизації та робототехніку.

Завдяки своїм унікальним властивостям, крокові двигуни знаходять широке застосування у пристроях, які вимагають високої точності руху і позиціонування. Вони дозволяють контролювати швидкість, напрямок і положення механізму з високою точністю, що робить їх незамінними в багатьох сучасних технологіях і промислових процесах.

Найпопулярніші крокові двигуни потужністю до 2 кВт включають такі моделі, як 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. Число "23" вказує на габаритні розміри двигуна, зокрема розмір пластини кріплення.



Рис. 1.1. Кроковий двигун NEMA 23 [6]

					<i>КБР.ЕС.9469334.001.ПЗ</i>	10
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Їх широко використовуються в різних застосунках, які вимагають точного позиціонування та керування, таких як 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.

Також вони відомі своїм відносно високим крутним моментом і сумісністю з різними електронними приводами. Зазвичай вони мають кут кроку 1,8 градуса, що означає, що вони рухаються з кроком 1,8 градуса на кожному кроці. Це дрібна роздільна здатність кроку дозволяє точно позиціонувати і забезпечувати плавне керування рухом.

Електричні характеристики крокових двигунів NEMA 23 можуть варіюватись залежно від конкретної моделі і виробника. Вони доступні в різних варіантах, включаючи біполярні та уніполярні конфігурації, з різними значеннями струму котушки і вимогами до напруги. Біполярні двигуни, як правило, надають вищий крутний момент, тоді як уніполярні двигуни пропонують простіші конфігурації проводки

NEMA 34 - ця серія крокових двигунів відома своєю високою потужністю та міцними конструкціями. Вони використовуються в промислових системах, де важливо мати достатню силу і точність. Вони також досягають потужності до 2 кВт і використовуються в пристроях, які вимагають великих моментів і високої точності руху. Число "34" вказує на габаритні розміри двигуна, зокрема розмір пластини кріплення.

Найчастіше їх використовуються в різних системах, де потрібно більш точне позиціонування та керування. Вони мають більші габарити але і відповідно більшу потужність порівняно з кроковими двигунами меншого розміру, такими як NEMA 23, що були описані вище. Розмір пластини кріплення NEMA 34 становить близько 3,4 дюйма (86,36 мм) по кожній стороні.

					<i>КБР.ЕС.9469334.001.ПЗ</i>	11
<i>Вим.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		



Рис. 1.2. Кроковий двигун NEMA 34 [6]

Крокові двигуни NEMA 34 володіють високим крутним моментом, що робить їх популярними у випадках, коли потребується велика сила або момент обертання. Вони здатні забезпечити стабільне та точне керування рухом, що є важливим для багатьох вимогливих завдань.

Крокові двигуни NEMA 34 мають різноманітні електричні характеристики, які залежать від моделі та виробника. Вони доступні як у біполярних, так і уніполярних варіантах, з різними значеннями струму котушки та напруги. Біполярні двигуни зазвичай забезпечують великий крутний момент, тоді як уніполярні двигуни є більш простими у використанні та підключенні.

Вони широко застосовуються в різних важливих областях, де необхідний потужний крутний момент та точне керування рухом. Вони знаходять своє застосування, наприклад, в промислових автоматизованих системах, робототехніці та CNC-машинах.

Ще одним видом крокових двигунів є NEMA 42 які є одними з найпотужніших в своєму класі. Вони використовуються в важких промислових системах, де потрібні велика сила, високий крутний момент і висока точність позиціонування. Такі двигуни досягають потужності 2 кВт і використовуються у великих механізмах, таких як CNC-фрезерні верстати і металообробні станки. Вони мають значно більші габарити порівняно з

					<i>КБР.ЕС.9469334.001.ПЗ</i>	12
<i>Вим.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

кроковими двигунами менших розмірів, такими як NEMA 23 або NEMA 34. Розмір пластини кріплення NEMA 42 становить близько 4,2 дюйма (106,68 мм) по кожній стороні.



Рис. 1.3. Кроковий двигун NEMA 42 [6]

Крокові двигуни NEMA 42 володіють дуже високим крутним моментом і можуть забезпечити потужну силу обертання. Вони використовуються в застосунках, які вимагають великого потужності, наприклад, важкі верстати, глибокі преси, обладнання для металообробки та інші промислові системи з великими навантаженнями.

Ці найпопулярніші крокові двигуни потужністю до 2 кВт забезпечують надійне і точне керування рухом у багатьох галузях. Вони використовуються в автоматизованих системах, де важливо мати контроль над точним положенням і швидкістю механізму.

Контролер синхронного двигуна на базі TB6560A [2]

Контролер призначений для управління синхронними двигунами (СД) максимальним струмом до 3.5А

					<i>КБР.ЕС.9469334.001.ПЗ</i>	13
<i>Вим.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

Основа контролера IC TB6560 від TOSHIBA відповідіє наступними характеристиками: Струм обмоток 3 А (средн.) і 3.5А (макс.); Напряга живлення логіки Vcc 5В; Напряга живлення КД VIN 24В (40В макс.); Режим мікрокроку 1/1, 1/2, 1/4, 1/8; Режим утримання 100% або 25% від максимального струму.

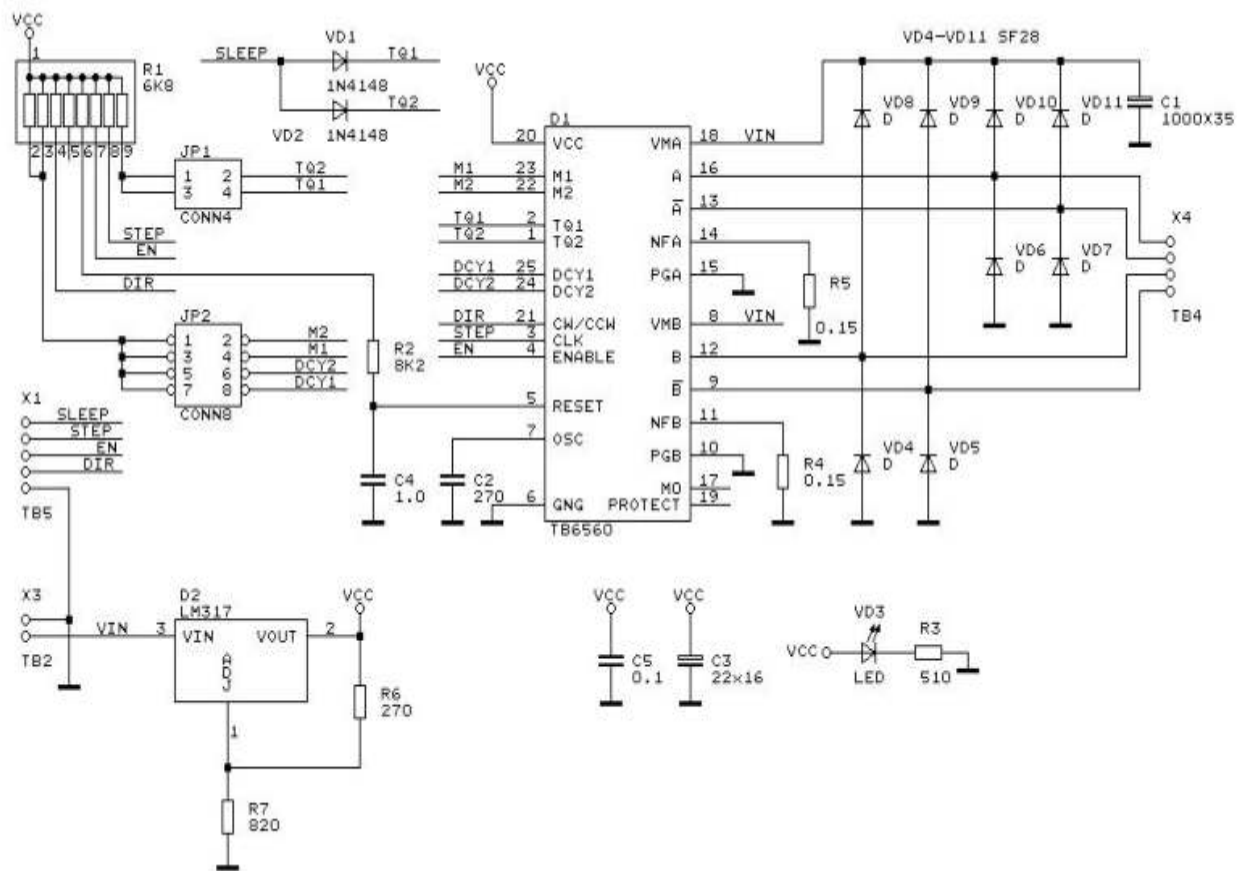


Рис. 1.4. Принципова схема контролера синхронного двигуна на базі TB6560A [2]

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 Напряга живлення КД Vm 24В; X4-1,2 A1, A2 обмотка КД; X4-3,4 B1, B2 обмотка КД. Опис перемичок. 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)

½; Встановлена 1-2 (M2) 1/16 (Для ТВ6560 1/4); Встановлені 1-2 і 3-4 (M1 і M2) 1/8; Режими дроблення кроку (ТВ6560); Не встановлені 1-2, 3-4 1/1; Встановлена 3-4 (M1) ½; Встановлена 1-2 (M2) 1/8; Встановлені 1-2 і 3-4 (M1 і M2) ¼;

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 синхронного двигуна на мікросхемі РС116F84 [2]

Виконання кроків контролюється за допомогою зворотного зв'язку, який реалізований на датчиках струму і компараторах.

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

Основою пристрою є мікроконтролер РС116F84 (DD1). Сигнали управління обмотками двигуна формуються на портах PB4 – PB7. Для комутації обмоток використовуються польові транзистори КП 505А (VT1 – VT4). Щоб транзистори залишалися закритими під час дії сигналу «скидання» мікроконтролера (порти в цей час знаходяться у високоімпедансним стані), між затворами і витоками включені резистори R11, R14, R17, R18. Для обмеження струму перезарядки ємкості 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 синхронним двигуна є восьмиконтактний роз'єм XP1, який дозволяє підключити двигун, що має два окремі виводи від кожної обмотки.

					<i>КБР.ЕС.9469334.001.ПЗ</i>	15
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

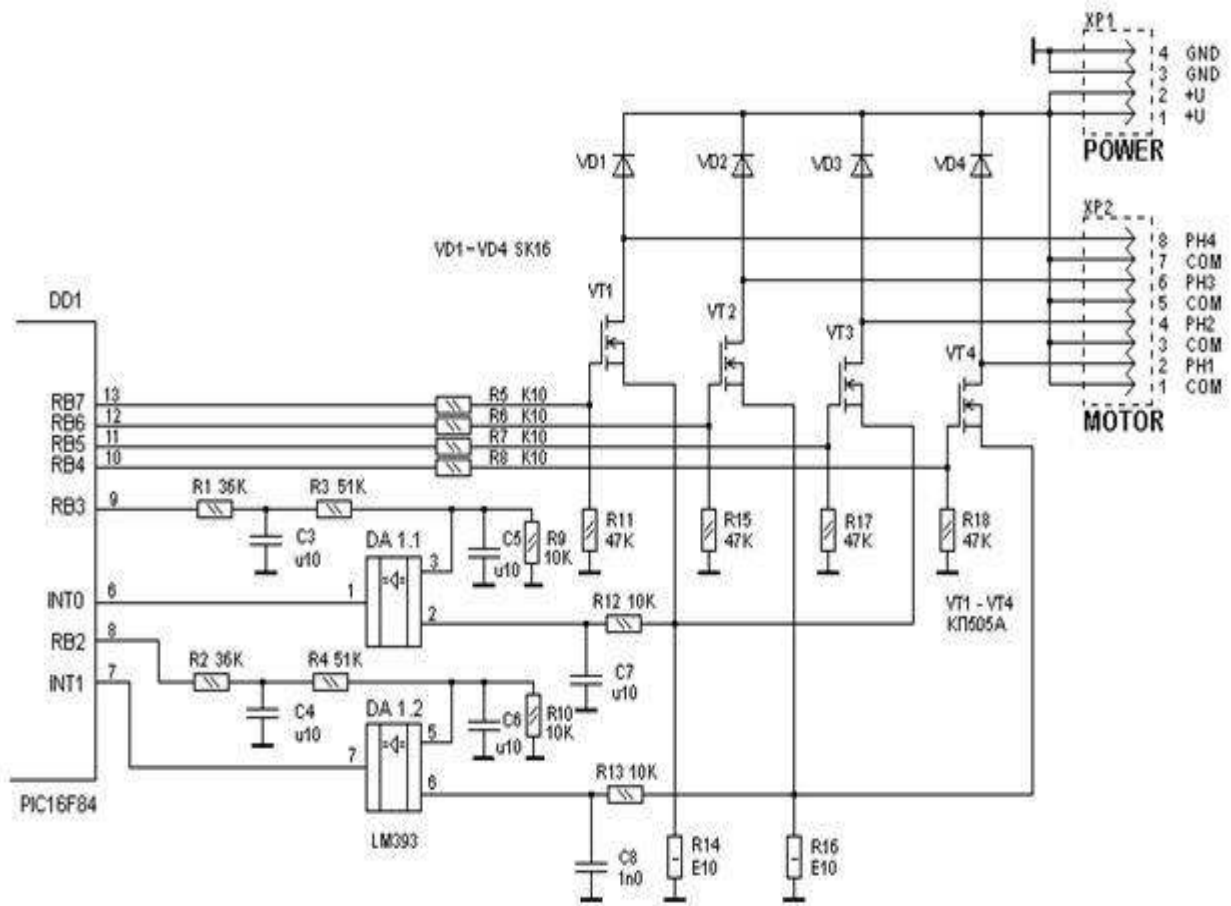


Рис. 1.5. Принципова схема контролера [2]

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 фільтр R12 C5 і R13 C6 поступають на входи компараторів DA1.1 і DA1.2. Фільтри низьких частот запобігають помилковим спрацюванням 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 фільтр 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

синхронним двигуна. При переході в мікрокроковий режим проводиться контроль мікрокроків, наявністю 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 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 синхронного двигуна [3]

Пропонований в роботі варіант [3] автономного контролера синхронним двигуна виконаний на мікроконтролері (МК) ATTINY2313 і транзисторах КТ972 призначений для автономної перевірки синхронного двигуна і контролерів управління синхронним двигуном.

Можливості автономного контролера (АВК): 1) Управління синхронним двигуном в 2 сторони (реверсивне обертання); 2) 9 швидкостей обертання двигуна; 3) Вихід для перевірки контролера на мікросхемах Тм7, що працює програмою VRI-CNC; 4) Вихід для перевірки контролера скерованих сигналів СТЕП-ДІР; 5) Інверсія сигналу СТЕП; 6) Кроковий режим роботи для всіх виходів; 7) Півкроковий для всіх окрім режиму СТЕП-ДІР; 8) Покроковий режим роботи.

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 напрямки для цих режимів відбувається одночасно.

					<i>КБР.ЕС.9469334.001.ПЗ</i>	17
<i>Вим.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

У режимі ПІВКРОК працює ще режим VRI-CNC, всі зміни роботи для цих режимів відбувається одночасно.

Схема МК працює на частоті 1 мГц від внутрішнього кварцового генератора.

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

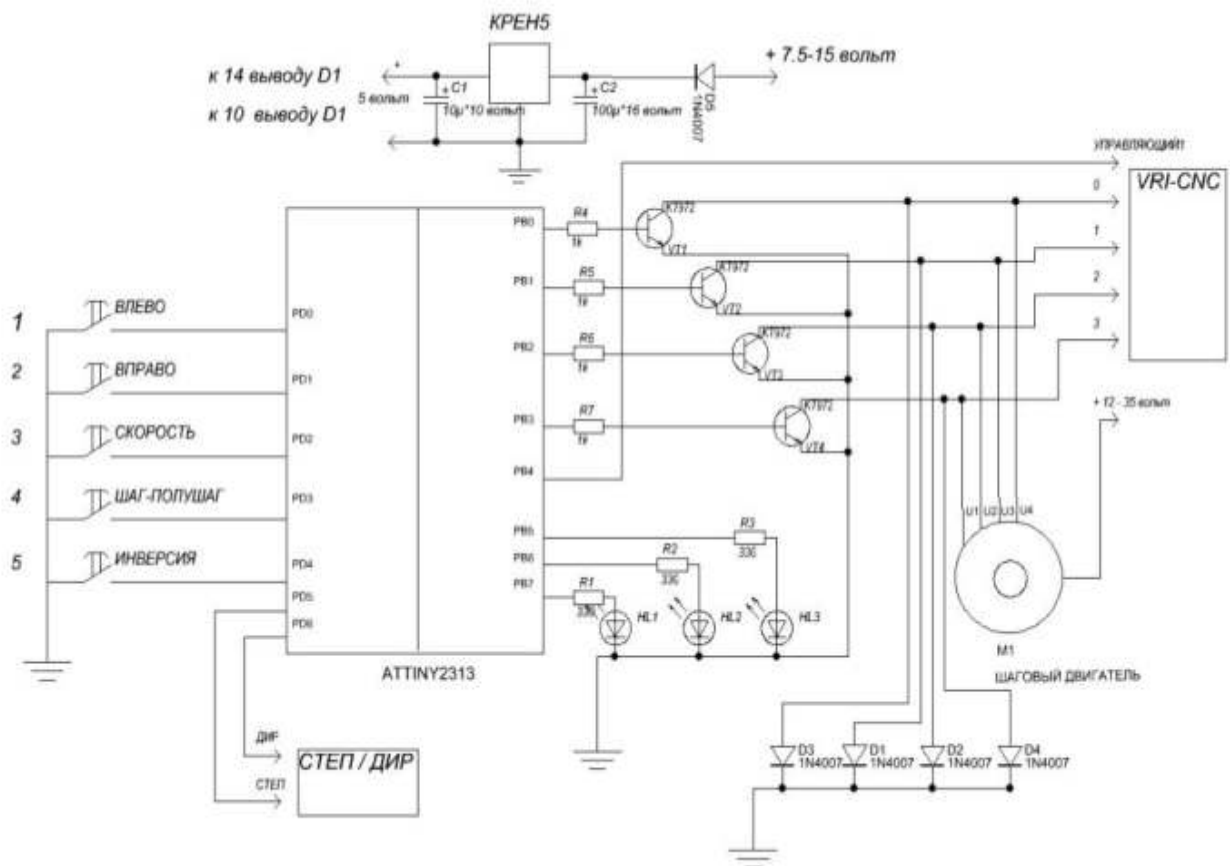


Рис. 1.6. Принципова схема автономного контролера синхронного двигуна [3]

Після подачі живлення на мікроконтролер і натисканні будь-якої кнопки спалахнуть 3 світлодіоди, що означає вхід в покроковий режим. Тепер при натисненні будь-якої кнопки буде реалізовано покрокове управління двигуном тобто поворот валу рівно на 1 крок при кожному натисненні відповідної кнопки. Для входу в основні режими потрібно вимкнути і ввімкнути живлення

на мікроконтролер і зачекати доки не спалахне світлодіод синхронного режиму роботи контролера.

Контролер синхронного двигуна на базі мікросхеми ATmega16 [3]

У даній схемі використовуються імпульсні діоди з накопиченням заряду 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».

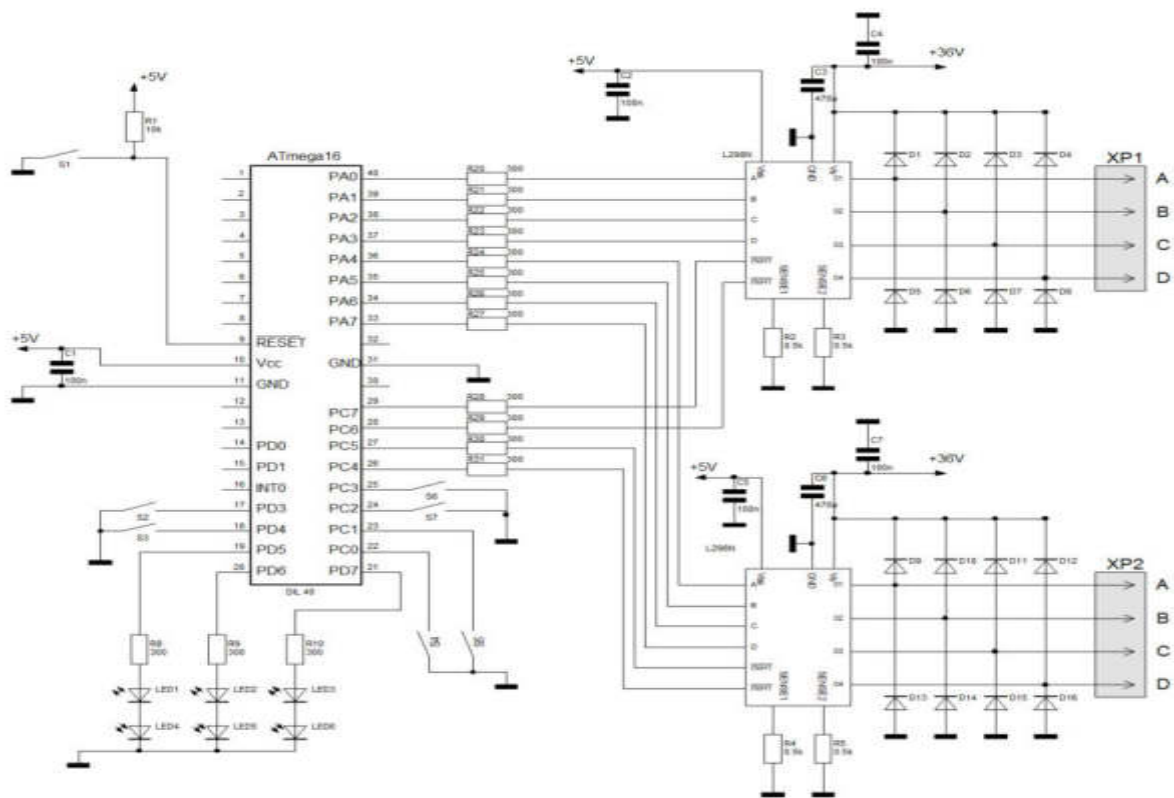


Рис. 1.7. Принципова схема контролера синхронного двигуна на базі мікросхеми ATmega16 [3]

Двигун 1 – ведучий («втікає») – підключається до роз'єму XP1.

Двигун 2 – ведений («ловить») – 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, останні зарезервовані під RS-232 і LCD.

Використовується внутрішній RC-генератор, 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 УЧ-світлодіод TSAL4400 (d = 3мм, 940нм, 30мВт), а фотоприймач – фотодіоди BPW34 PIN (3 шт., 600...1050нм). 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 сильнострумний двонапівперіодний 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 46В. Сумарний постійний струм до 4А. Мала напруга насичення; Захист від перегріву. Вхідна напруга логічного нуля до 1,5В.

Резистори R20R31 обмежують струм МК. Діоди D1D16 підключають обмотки двигунів до відповідних виводів L298. Відмічено, що необхідно використовувати діоди з накопиченням заряду, що захистить мікросхему від наведеної високої напруги, що виникає в мить, коли яка-небудь обмоток

					<i>КБР.ЕС.9469334.001.ПЗ</i>	20
<i>Вим.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

вимкнена. У даній схемі використані імпульсні діоди з накопиченням заряду ВУ397.

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

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

Другий спосіб – керування фазами 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. Цей спосіб управління забезпечує такий же кут кроку, як і перший спосіб, але положення точок рівноваги ротора 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 і струму, 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» провідний 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 ведений двигун активує лівий або правий кінцевики, то він починає рухатися в протилежну сторону.

Весь алгоритм знаходиться в нескінченному циклі. Спочатку допитуються підключені датчики і кнопки, за їх результатом записуються необхідні індикатори, які в подальшому аналізуються і у відповідності до них посилаються сигнали, що керують кроковий двигун.

					<i>КБР.ЕС.9469334.001.ПЗ</i>	21
<i>Вим.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

Контролер біполярного синхронного двигуна на основі мікросхеми

РІС18F2320 [3]

Контролер 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”.

Великий діапазон напруги і струму фаз (залежить від силової частини контролера)

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 дорівнює 2 А. Перемичками JP2-JP4 на платі перемикають режими роботи «крок», «півкрок» і «мікрокрок»:

Режими роботи:	JP2	JP3	JP4
1	off	off	off
1/2	off	off	on
1/4	off	on	off

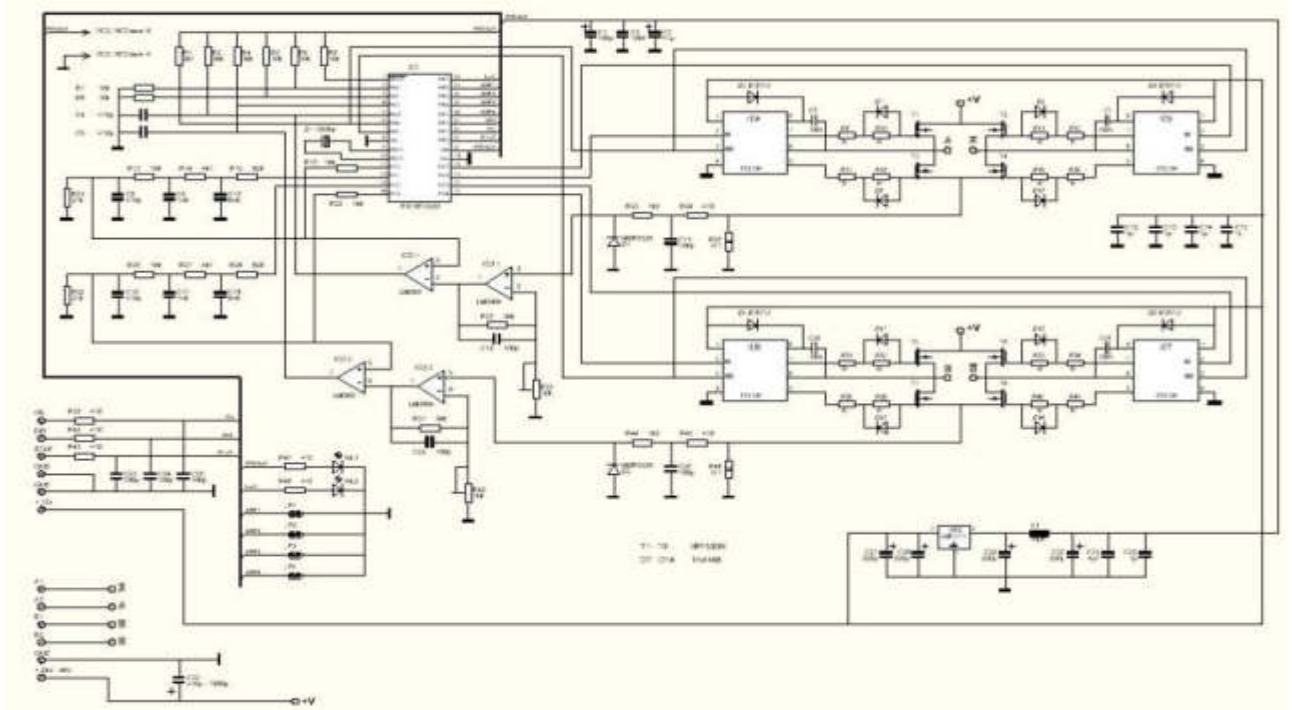


Рис. 1.8. Контролер синхронного двигуна на основі мікросхеми PIC18F2320 [3]

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 ШД. $R_{24} = R_{26} = 27000 / (3,175 / (R * I) - 1)$, де $R = R_{30}$ і R_{32} , I = необхідний струм фази. Частота ШІМ залежить від індуктивності обмоток двигуна і номіналів R13, C1 і R14, C2 які визначають час T_{off} . $T_{off} = - \ln (0,5) * R * C$, де $R = R_{13} = R_{14}$; $C_1 = C_2$. При даних номіналах $T_{off} = 16,6$ мкСек. Моделі крокового двигуна, що рекомендуються, для даного драйвера: FL42, FL57, FL86.

2 Проектно-конструкторський розділ

2.1. Синтез та аналіз структурної і принципової схем

При розгляді аналогів контролера синхронних 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 контролер крокового двигуна, побудований на програмованій мікросхемі з підтримкою широто-імпульсної модуляції, яка керується трьома універсальними сигналами STEP, DIR, ENABLE.

При відсутності сигналу управління STEP програма контролера переходить в режим утримування і через обмотки 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.

Структурна схема пристрою, яка зображена в додатках включає в себе такі блоки: В-випрямляч, ЛЕ-логічний елемент, К-ключ, Ст-стабілізатор, СУ-система управління, Тр –трансформатор 1, Ф- фільтр, СД-синхронний двигун.

					<i>КБР.ЕС.9469334.001.ПЗ</i>	24
<i>Вим.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

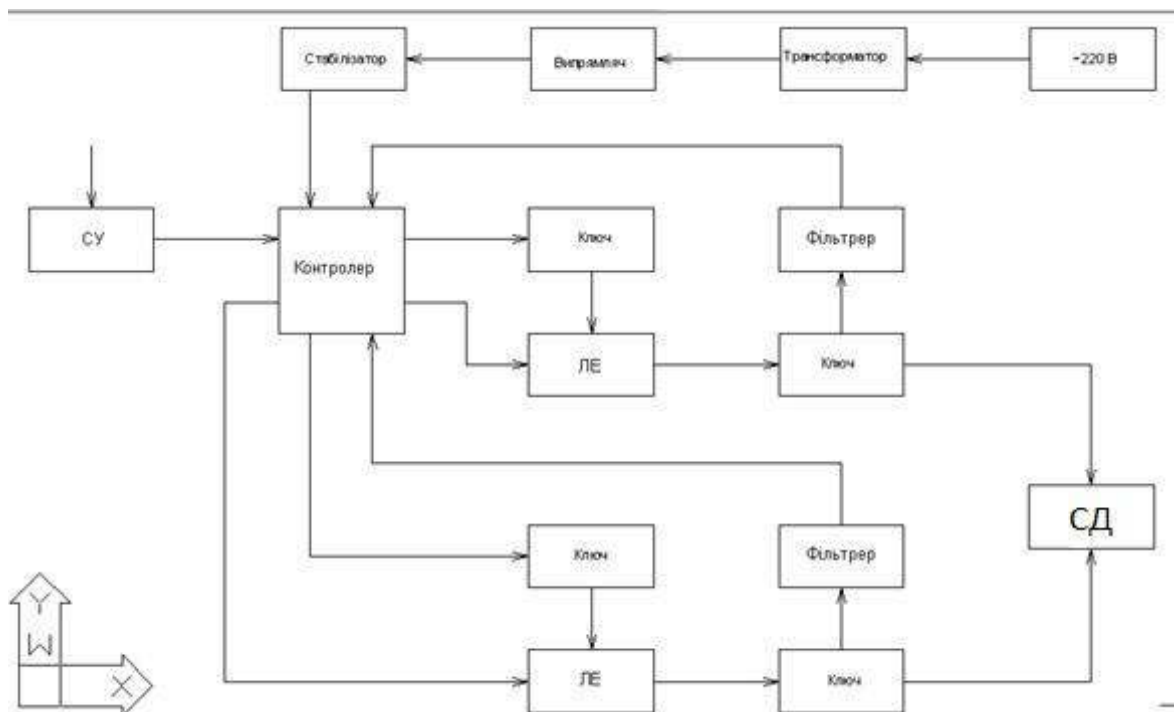


Рис. 2.1. Структурна схема контролера синхронного двигуна

Опис роботи контролера синхронного двигуна

Синхронний двигун який під який буде розроблено контролер – NEMA51 ST130-250C від виробника DaxtonST.

Його основні характеристики наступні:

Напруга живлення	80...200 В
Струм фази	8.0 А
Максимальна потужність	1430 Вт
Вихідний момент	44 Нм
Крок кута	1,8° (200кр/об)
Активний опір обмотки	0.85 Ом
Тип двигуна	Біполярний

Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

КБР.ЕС.9469334.001.ПЗ

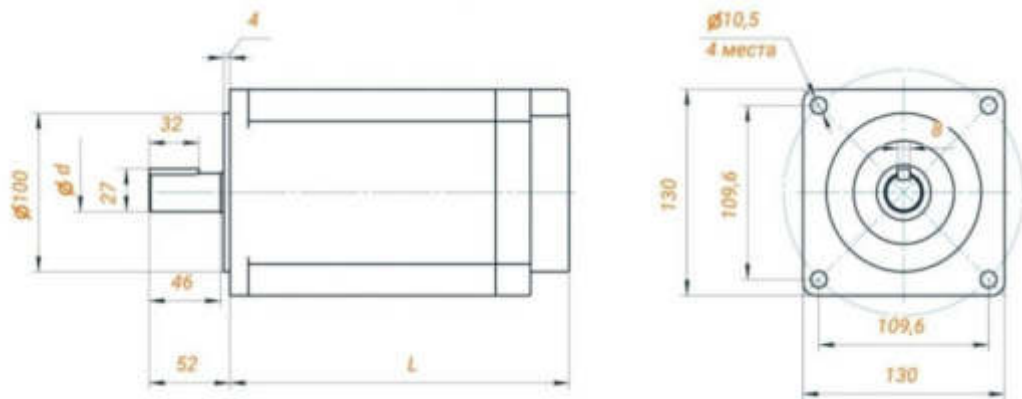


Рис. 2.2. Габаритні розміри двигуна ST130-250C

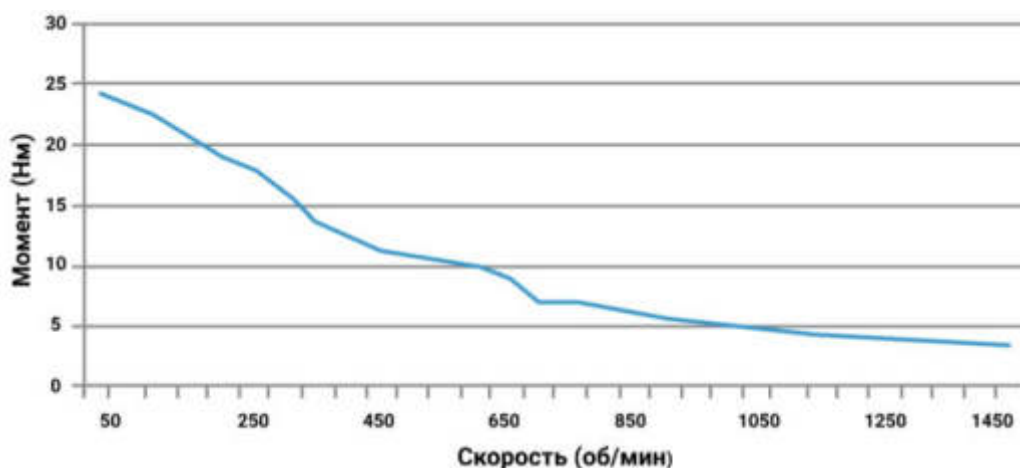


Рис. 2.3. Графік залежності моменту від швидкості при 80 В і 6.5 А для двигуна ST130-250C

Принципова схема контролера приведена в додатках. Керування його роботою проводиться з допомогою трьох вхідних сигналів та перемикача, позиція якого визначає кроковий або напівкроковий режим роботи пристрою. З метою обмеження струмів на керуючих входах в схему було введено опори R1-R3, а для забезпечення швидкого стікання заряду при зміні вхідного сигналу – опори R6-R8. Для живлення в схему введений трансформатор Т1, діоди VD2- VD5 включені за мостовою схемою, стабілізуюча ланка зібрана з стабілітрона VD1, гасячого резистора R4 і конденсатора С1.

Особливістю даного контролера є можливість апаратного ШІМ регулювання струму фаз з допомогою змінного резистору R15, а також

регулювання струму обмоток крокового синхронного двигуна в режимі утримування з використовуючи змінного резистору R10.

В пристрої для роботи ШІМ введено ланку зворотнього зв'язку побудовану з резистора R30, Г- подібного RC фільтру та обмежуючого струм ланки опору R25. Також в ланку включено діод VD6, який повинен забезпечити захист від від'ємних стрибків напруги.

Силова частина пристрою виконана на польових резисторах марки IRR60R190E6, що мають значний запас за напругою та потужністю.

Для керування кожної пари таких транзисторів нам ідеально підійде драйвер IR2113 який буде ввімкнено по типовій схемі. IR2113 є драйвером польових транзисторів з подвійним каналом ізоляції, призначеним для керування високовольтними і високострумними ключами, включаючи польові транзистори. Він має вбудовані захисти і може працювати з напругою живлення до 600 Вольт.

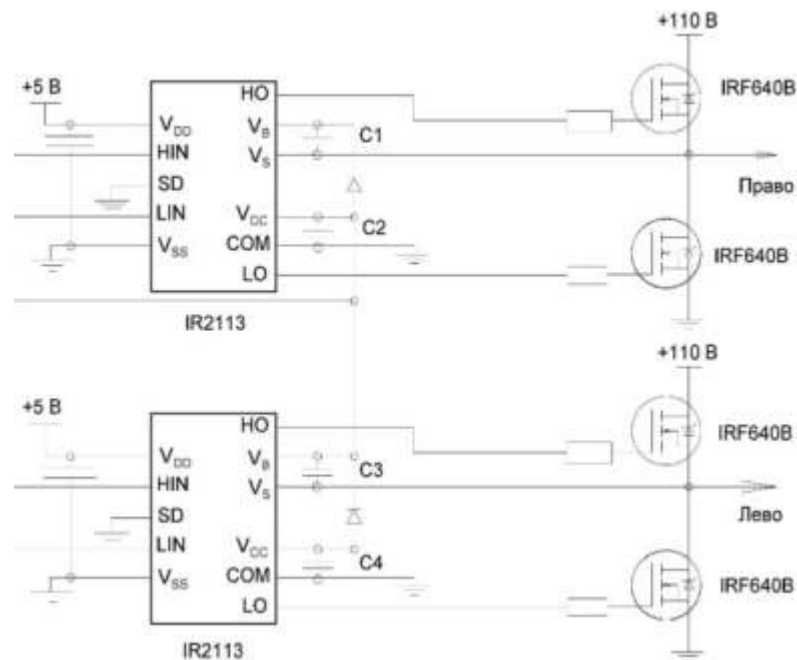


Рис. 2.4. Типова схема включення драйвера IR2113 для керування обертами крокового двигуна

Для керування польовими транзисторами окрім драйвера IR2113 потрібен мікроконтролер. В нашому випадку ідеально підходить PIC16F27. PIC16F27 є 8-бітним мікроконтролером з достатньою кількістю виводів GPIO (входи/виходи загального призначення), щоб здійснити комунікацію з двома драйверами IR2113.

Для підключення двох драйверів IR2113 до PIC16F27 нам знадобиться підключити виводи GPIO мікроконтролера до вхідних сигналів драйверів, такі як IN (вхідний сигнал керування) і SD (вхідний сигнал вимкнення). Також не треба забувати за резистори та конденсатори для забезпечення стабільності сигналів ізоляції. Додатково, потрібно налаштувати програмне забезпечення на мікроконтролері для генерації потрібних сигналів керування, щоб управляти входами драйверів IR2113.

Для забезпечення усунення завад при перехідних процесах в транзисторах, на вхід затвору було включено опори R22, R23.

Щоб реалізувати напівкроковий режим роботи контролера в схемі було введено резистори R16 - R19 та вимикач X1, який дає можливість відключати їх від схеми пристрою.

Також в контролері побудовано транзисторний ключ на транзисторі VT1, VT2 опорі R14, R21 які обмежують струм у відкритому стані транзисторів та конденсаторі C2, що визначає час затримки подачі сигналу на вхід логічного елемента .

2.2. Розрахунки режимів роботи елементів принципової схеми, вибір елементів

Визначимо основні параметри трансформатора для живлення мікроконтролера з відповідними вимогам: $U_1 = 220 \text{ В}$; $F = 50 \text{ Гц}$; $U_2 = 7 \text{ В}$

Знаючи необхідну напругу на вторинній обмотці (U_2) і максимальний струм навантаження (I_n), трансформатор розраховують в такій послідовності:

					<i>КБР.ЕС.9469334.001.ПЗ</i>	28
<i>Вим.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

1. Визначають значення струму, поточного через вторинну обмотку трансформатора [9]:

$$I_2 = 1,5 \times I_H = 1,5 \times 0,35 = 0,525 \text{ A}$$

де: I_2 -струм через другу обмотку трансформатора, А; I_H - максимальний струм навантаження, А.

2. Визначають потужність, споживану випрямлячем від вторинної обмотки трансформатора:

$$P_2 = U_2 \times I_2 = 7 \times 0,525 = 3,675 \text{ Вт}$$

де: P_2 - максимальна потужність, споживана від вторинної обмотки, Вт; U_2 - напруга на вторинній обмотці, В; I_2 - максимальний струм через вторинну обмотку трансформатора, А.

3. Підраховують потужність трансформатора:

$$P_{\text{тр}} = 1,25 \times P_2 = 1,25 \times 3,675 = 4,6 \text{ Вт}$$

де: $P_{\text{тр}}$ - потужність трансформатора, Вт; P_2 - максимальна потужність, споживана від вторинної обмотки трансформатора, Вт.

Якщо трансформатор повинен мати декілька вторинних обмоток, то спочатку підраховують їх сумарну потужність, а потім потужність самого трансформатора.

4. Визначають значення струму, поточного в первинній обмотці:

$$I_1 = \frac{P_{\text{тр}}}{U_{11}} = \frac{4,6}{220} = 0,02 \text{ A}$$

де: I_1 - струм через обмотку I, А; $P_{\text{тр}}$ - підрахована потужність трансформатора, Вт; U_1 - напруга на первинній обмотці трансформатора (мережева напруга).

5. Розраховують необхідну площу перетину сердечника магнітопровода:

$$S = 1,3 P_{\text{рт}} = 1,3 \times 4,6 = 5,98 \approx 6 \text{ см}^2$$

					<i>КБР.ЕС.9469334.001.ПЗ</i>	29
<i>Вим.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

де: S - перетин сердечника магнітопровода, см^2 ; $P_{\text{тр}}$ - потужність трансформатора, Вт.

6. Визначають число витків первинної (мережевий) обмотки:

$$w_1 = 50 \times \frac{U_1}{S} = 50 \times \frac{220}{6} = 1830$$

де: w_1 - число витків обмотки; U_1 - напруга на первинній обмотці, В; S - перетин сердечника магнітопровода, см^2 .

7. Підраховують число витків вторинної обмотки:

$$w_2 = 55 \times \frac{U_2}{S} = 55 \times \frac{7}{6} = 65$$

де: w_2 - число витків вторинної обмотки; U_2 - напруга на вторинній обмотці, В; S -переріз сердечника магнітопровода, см^2 .

8. Визначають діаметри дротів обмоток трансформатора:

$$d = 0,02 I$$

$$d_1 = 0,02 \times 0,02 = 0,0004 \text{ мм}$$

$$d_2 = 0,02 \times 0,35 = 0,007 \text{ мм}$$

де: d -діаметр дроту, мм; I -ток через обмотку, мА.

Обираємо трансформатор ВВЕІ 382 1187 з наступними параметрами:

$$U_{\text{вх}}=220\text{В}; U_{\text{вих}}=7\text{В}; I_{\text{вих}}=600\text{мА}; T_{\text{max}}=70^\circ\text{C}$$

Розрахунок стабілізатора напруги

Вибираємо тип кремнієвого стабілітрона VD1, основним критерієм для вибору служить рівень вихідної напруги та його допустимі відхилення від номінального значення. Оберемо стабілітрон КС515А з такими параметрами:

$$U_{\text{ст}}=5\text{В}; \Delta U_{\text{ст}}=10\%; I_{\text{ст max}}=160\text{ мА}; I_{\text{ст min}}=4\text{ мА}; r_{\text{ст}}=18\text{ Ом};$$

					<i>КБР.ЕС.9469334.001.ПЗ</i>	30
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$T = (60...+125)^{\circ}\text{C}$$

1. Визначимо коефіцієнт стабілізації обраного стабілітрона[10]:

$$K_{\text{ст}} = \frac{(a_{\text{вх}} + b_{\text{вх}})}{(a_{\text{вих}} + b_{\text{вих}})}$$

$$K_{\text{ст}} = \frac{20}{10} = 2$$

Де, а b- відхилення напруги на вході стабілітрона у бік збільшення або зменшення, %.

2. Знаходимо максимальне значення коефіцієнта стабілізації:

$$K_{\text{ст max}} = \frac{U_{\text{вих}} \times \left(1 - \frac{b_{\text{вх}}}{100}\right)}{(I_{\text{н}} \times \left(1 + \frac{c}{100}\right) + I_{\text{ст}}) \times r_{\text{ст}}}$$

$$K_{\text{ст max}} = \frac{5 \times \left(1 - \frac{10}{100}\right)}{(0.2 \times \left(1 + \frac{10}{100}\right) + 0.08) \times 18} = 2.5$$

Де, с d –відхилення вхідного струму у бік збільшення або зменшення, %; $r_{\text{ст}}$ - номінальний опір стабілітрона.

3. Величина $K_{\text{ст}}$ повинна бути більшою за номінальне значення у 1,3...1,5 рази

$$K_{\text{ст max}} \geq (1.2 \dots 1.5) \times K_{\text{ст}}$$

$$2.5 \geq (1.2 \dots 1.5) \times 2$$

Умова виконана значить даної нанки стабілізації достатньо

4. Знаходимо величину гасячого резистора:

$$R_4 = \frac{(U_{\text{вх}} \times \left(1 - \frac{b_{\text{вх}}}{100}\right) - U_{\text{вих}})}{I_{\text{н}} \times \left(1 + \frac{c}{100}\right) + I_{\text{ст}}}$$

					<i>КБР.ЕС.9469334.001.ПЗ</i>	31
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$R4 = \frac{(7 \times (1 - \frac{10}{100}) - 5)}{0.2 \times (1 + \frac{10}{100}) + 0.08} = 13 \text{ Ом}$$

де, I_H -номінальний струм навантаження (споживання мікросхеми).

Тоді, потужність яка розсіюється на опорі складає:

$$PR4 = (I_H + I_{CT})^2 \times R1 = (0,2 + 0,08)^2 \times 13 = 1 \text{ Вт}$$

5.Обрахуємо максимальне (розрахункове) значення струму стабілітрона:

$$I_{CT \text{ max роз}} = I_{CT} + I_H \left(1 + \frac{c}{100}\right) -$$

$$- I_H \left(1 - \frac{d}{100}\right) + \frac{\left(I_H \left(1 + \frac{c}{100}\right) + I_{CT}\right) \times \frac{(a_{ВХ} + b_{ВХ})}{100} \times K_{CT \text{ max}}}{\left(1 - \frac{b}{100}\right) \times K_{CT}}$$

$$I_{CT \text{ max роз}} = 0,08 + 0,2 \left(1 + \frac{5}{100}\right) -$$

$$- 0,2 \left(1 - \frac{5}{100}\right) + \frac{\left(0,2 \left(1 + \frac{5}{100}\right) + 0,08\right) \times \frac{(10 + 10)}{100} \times 2,5}{\left(1 - \frac{10}{100}\right) \times 2} = 0,14 \text{ А}$$

Необхідно щоб знайдене за формулою значення не перевищувало величину табличного максимального струму стабілітрона.

$$I_{CT \text{ max роз}} \leq I_{CT \text{ роз}}$$

$$0,14 \leq 0,16$$

6.Знаходимо номінальне значення струму на виході стабілізатора

$$I_{ВХ} = I_{CT} + I_H == 0,08 + 0,2 = 0,28 \text{ А}$$

7.Тоді, максимальний струм на вході стабілітрона рівний:

$$I_{ВХ \text{ max}} = I_{CT \text{ max роз}} + I_H \times \left(1 + \frac{c}{100}\right)$$

					<i>КБР.ЕС.9469334.001.ПЗ</i>	32
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$I_{\text{вх max}} = 0,014 + 0,2 \times \left(1 + \frac{5}{100}\right) = 0,35 \text{ A}$$

Розрахунок однофазного випрямляча малої потужності

Вихідні дані для розрахунку: середнє значення випрямленої напруги за номінального опору навантаження $U_d = 7 \text{ В}$; струм навантаження $I_d = 0.2 \text{ А}$; коефіцієнт пульсації випрямленої напруги $K_{\text{п}} = 2,0 \%$; напруга мережі живлення $U_{\text{м}} = 7 \text{ В}$; частота мережі живлення $f_{\text{м}} = 50 \text{ Гц}$.

1. Керуючись [6], обрахуємо амплітуду зворотної напруги на вентилі:

$$U_{\text{вм}} = 1,5 \times U_d = 1,5 \times 7 = 10,5 \text{ В}$$

2. Середнє значення струму через вентиль:

$$I_a = 0.1 \text{ А}$$

3. Амплітудне значення струму через вентиль:

$$I_{\text{ам}} = I_d \times 0,5F = 0,2 \times 0,5 \times 7 = 0.7 \text{ А}$$

Обираємо діоди VD2 – VD5 типу КД235А з наступними параметрами:

$I_{\text{пр max}} = 1 \text{ А}$; $I_{\text{обр max}} = 400 \text{ мкА}$; $U_{\text{обр max}} = 40 \text{ В}$; $T = -45 \dots +100 \text{ }^\circ\text{C}$; $U_{\text{пр}} = 0,55 \text{ В}$.

4. Знайдемо опір діода у провідному стані:

$$r_{\text{пр}} = \frac{U_{\text{пр}}}{I_{\text{а max}}} = \frac{0,55}{0,7} = 0,8 \text{ Ом}$$

5. Обчислимо r – активний опір випрямляча, який можна визначити за формулою:

$$r = r_{\text{Т}} + n_{\text{q}} \times r_{\text{пр}}$$

де, n_{q} – кількість послідовно увімкнених і одночасно працюючих діодів. Для мостової схеми $n_{\text{q}} = 2$, у випадку мостової схеми $r_{\text{Т}} = 3,5$.

					<i>КБР.ЕС.9469334.001.ПЗ</i>	33
<i>Вим.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

$$r = 3,5 + 2 \times 0,8 = 5,1 \text{ Ом}$$

6. Втрати потужності в діодах:

$$P_B = I_a \times U_{пр} \times n_q = 0,1 \times 0,55 \times 2 = 0,11 \text{ Вт}$$

7. Для розрахунку ємнісного фільтру використаємо формулу:

$$C1 = \frac{K_c}{\omega * R_H}$$

де $\omega = 2\pi f$, а коефіцієнт згладжування вхідного сигналу рівний 2, тоді:

$$C1 = \frac{2}{628 * 25} = 1,3 \times 10^{-4} \text{ Ф}$$

Виберемо конденсатор C1 типу К50-6 на напругу 16В ємністю 130 мкФ.

Розрахунок транзисторів у схемі мостового перетворювача

Польові транзистори у схемі мають відповідати наступним вимогам:

$$U_{св \max} = 600 \text{ В}$$

$$I_{в \max} = 15 \text{ А}$$

$$U_3 = 20 \text{ В}$$

Виконання всіх параметрів забезпечує польовий транзистор з ізольованим затвором типу IRR60R190E6. Номінальна напруга стік-витік такого типу транзисторів складає 600 В, а номінальні струми 20А (імпульсний 68А) чого буде достатньо з великим запасом. Опір у відкритому стані близько 0,06 Ом, максимальна потужність розсіювання на переході стік-витік 160Вт.

1. Обрахуємо потужність, яка розсіюється на транзисторах у даній схемі, згідно [7, с280]:

$$P_{\max} = \frac{U_{ж}^2}{4 \times (R_H + R_{св})}$$

					<i>КБР.ЕС.9469334.001.ПЗ</i>	34
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

або,

$$P = I^2 \times R = (20)^2 \times 0.06 = 24 \text{ Вт}$$

Отже, використання даного типу транзисторів є допустимим.

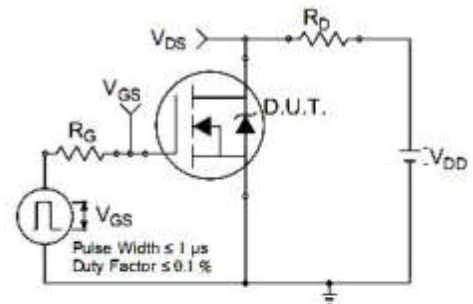
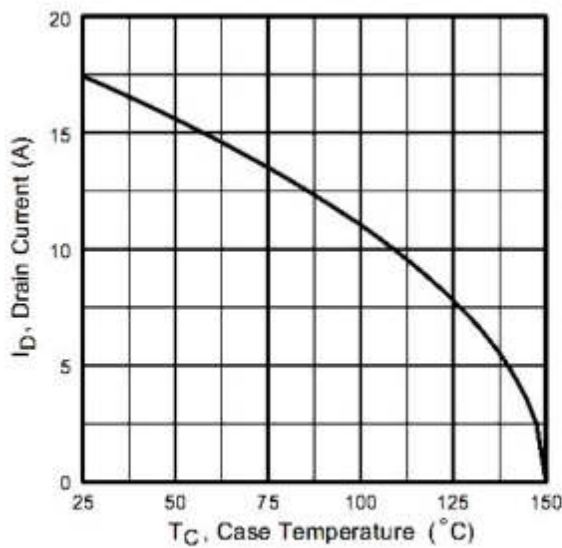


Fig 10a. Switching Time Test Circuit

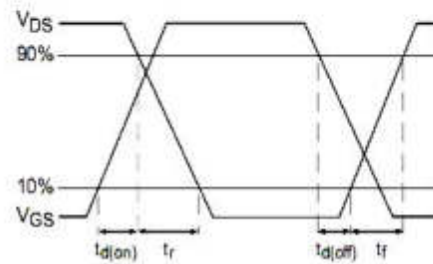


Рис. 2.5. Схема включення, ВАХ та графіки роботи транзисторного ключа [7]

2. Обрахуємо час затримки включення транзистора, якщо у коло затвору включено обмежувач опір R22 номіналом 15 Ом:

$$t_{з \text{ вкл}} = R_{\text{б}} \times (C_{зв} + C_{зс}) \times I_n \frac{U_{\text{вх м}}}{U_{\text{вх м}} - U_0}$$

$$t_{з \text{ вкл}} = 27 \times (10^{-9} + 4 \times 10^{-12}) \times I_n \left(\frac{10}{5} \right) = 19,7 \times 10^{-9} \text{ с}$$

$$t_{з \text{ вкл}} = 20 \text{ нс}$$

3. Визначимо час включення:

$$t_{\text{вкл}} = 0.8 \times C_{зс} \times \frac{R_{\text{б}} \times (U_{\text{ж}} - U_{\text{св вкл}})}{U_{\text{вх м}} - U_0 - \frac{(U_{\text{ж}} - U_{\text{св вкл}})}{2 \times R_{\text{н}} * S_0}}$$

де,

$$U_{CB} = \frac{U_{ж} \times R_{CB}}{R_{H} + R_{CB}} = 0,5B$$

$$t_{ВКЛ} = 0.8 \times 4 \times 10^{-12} \times \frac{27 \times (27 - 0,5)}{10 - 5 - \frac{(27 - 0,5)}{2 \times 3,3 \times 1}} = 22,4 \times 10^{-9}c$$

$$t_{ВКЛ} = 23нс$$

4. Час установки включення, виключення:

$$t_{у ВКЛ} = 2R_{б} \times (C_{зв} + C_{зс})$$

$$t_{у ВКЛ} = 2 \times 27 \times (10^{-9} + 4 \times 10^{-12}) = 85 \times 10^{-9}c$$

$$t_{у ВКЛ} = 85нс$$

5. Час затримки вимикання:

$$t_{з ВИКЛ} = R_{б} \times (C_{зв} + C_{зс}) \times l_n \frac{U_{ВХМ}}{U_{зв кр}}$$

де,

$$U_{зв кр} = U_0 + \frac{U_{ж} - U_{CB ВКЛ}}{R_{H} \times S_0} = 2.47$$

$$t_{з ВИКЛ} = 27 \times (10^{-9} + 4 \times 10^{-12}) \times l_n \frac{10}{2,47} = 37 \times 10^{-9}c$$

$$t_{з ВИКЛ} = 37нс$$

6. Визначимо час виключення транзистора:

$$t_{ВИКЛ} = 0.8 \times C_{зс} \times \frac{R_{б} \times (U_{ж} - U_{CB ВКЛ})}{U_0 + (U_{ж} - U_{CB ВКЛ}) / (2 \times R_{H} \times S_0)}$$

$$t_{ВИКЛ} = 0.8 \times 4 \times 10^{-12} \times \frac{27 * (27 - 0,5)}{\frac{5 + (27 - 0,5)}{2 \times 5 \times 1}} = 70 \times 10^{-9}c$$

					<i>КБР.ЕС.9469334.001.ПЗ</i>	36
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$t_{\text{вкл}} = 70 \text{ нс}$$

Тоді, з розрахунків видно, що вибраний тип транзисторів при включенні в коло затвору резистору R22 опором 15 Ом, має хороші часові характеристики і може використовуватись у нашому пристрої. Обираємо в якості резистора R22, R23, R26, R27 резистор марки МЛТ 0.25 Вт.

Розрахунок транзисторного ключа VT1, VT2.

Вибираємо транзистор VT1, VT2 типу 1Т101 з наступними параметрами: $I_{\text{к max}} = 10 \text{ мА}$; $U_{\text{ке max}} = 15 \text{ В}$; $U_{\text{ке нас}} = 0,1 \text{ В}$; $U_{\text{еб max}} = 6 \text{ В}$; $I_{\text{кб0 max}} = 10 \text{ мкА}$; $\beta = 50 \dots 300$.

Розрахунок цього ключа зводиться до визначення номіналів опорів у колі емітера і бази [6].

Для обмеження струму через транзистор в коло колектора введемо гасячий резистор :

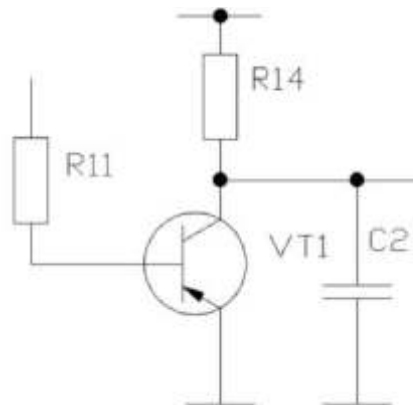


Рис. 2.6. Ділянка схеми з транзисторним ключем

1. Розглянемо струмом переходу колектор-емітер у відкритому стані транзистора в 10 мА.

Тоді:

$$U_1 = U_{\text{ж}} - U_{\text{ке}} = 5 - 0,1 = 4,9 \text{ В},$$

$$R14 = \frac{4,9}{0,01} = 490 \text{ Ом}$$

2. Визначимо потужність, яка розсіюється на опорі:

					<i>КБР.ЕС.9469334.001.ПЗ</i>	37
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$P = 4,9 \times 0.01 = 0.05 \text{ Вт}$$

Оберемо опір R14,R21 500 Ом – 0,125Вт

3. Для надійного закривання транзистора необхідне виконання умови:

$$U_{\text{вх0}} + I_{\text{кб0 max}} \times R_{\text{б}} < U_{\text{бе відс}}$$

$$R_{\text{б}} < \frac{U_{\text{бе відс}} - U_{\text{вх0 max}}}{I_{\text{кб0 max}}}$$

Знаходимо $U_{\text{бе відс}}$ з рис. 7, враховуючи, що струм $I_{\text{б}} = 0,1 \text{ мА}$.

$$R_{\text{б}} < \frac{0,5 - 0,3}{0,0001} = 20 \text{ кОм.}$$

Враховуючи згадані вище умови, вибираємо резистори R11,R20 типу МЛТ номіналом 20 кОм $\pm 5\%$ на потужність 0,25 Вт.

4. Умову насичення можна записати так:

$$U_{\text{вх1}} > U_{\text{бе відс}} + I_{\text{кб0}} \times R_{\text{б}}.$$

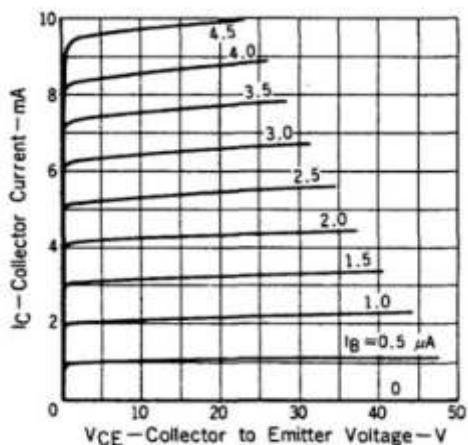
Враховуючи, що $\beta = 80$, вибираємо:

$$I_{\text{б}} > \frac{I_{\text{к}}}{\beta};$$

звідси $I_{\text{б}} > 0,01 \text{ мА}$, враховуючи коефіцієнт запасу(2...5), $I_{\text{б}} = 0,1 \text{ мА}$.

					<i>КБР.ЕС.9469334.001.ПЗ</i>	38
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

COLLECTOR CURRENT
vs. COLLECTOR TO EMITTER VOLTAGE



COLLECTOR CURRENT
vs. BASE TO EMITTER VOLTAGE

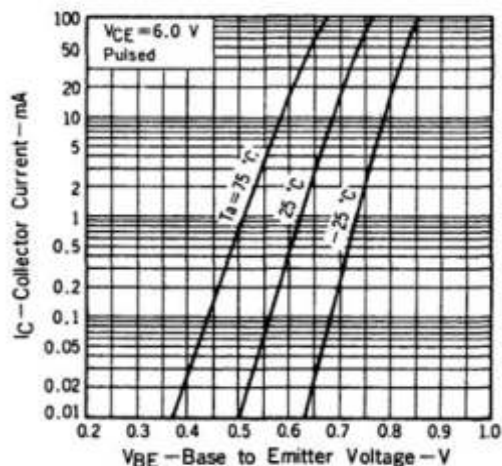


Рис. 2.7 Характеристики транзисторів типу 1Т101 при різних температурах навколишнього середовища

На виході ключа введено конденсатор С2, С3 ємністю 330 пФ, що повинен забезпечувати стабільну роботу схеми та згладжувати пульсації сигналу при переході ключа з одного стану в інший.

Розрахунок ланки зворотнього зв'язку.

Для роботи схеми на резисторі R30 падіння напруги повинно коливатися в межах 0,2 – 0,8 В. Надалі у розрахунках будемо керуватися значенням 0,5 В

1. Знайдемо струм, що тече через резистор:

$$P = I \times U;$$

де, P – потужність яку споживає КД, U- напруга живлення двигуна.

$$I = \frac{18}{26,5} = 0,68 \text{ A}$$

2. Знайдемо опір обмотки :

$$P = I^2 \times R$$

$$R_{\text{обм}} = \frac{18}{0,46} = 39 \text{ Ом}$$

3. Знайдемо номінал опору R30;

$$R = \frac{U}{I} = \frac{0,5}{0,68} = 0,74 \text{ Ом}$$

тоді, на ньому буде розсіюватися потужність:

$$P_{R30} = 0,46 \times 0,74 = 0,34 \text{ Вт}$$

Був обраний резистор R30 ,R31 номіналом 0,75 Ом МЛТ 0,5 Вт

Розрахунок фільтра низьких частот.

Напруга сигнального входу мікросхеми повинна складати 0,5 В , а струм бути близьким 10 мкА. Отже в ланцюг нам потрібно ввести резистор.

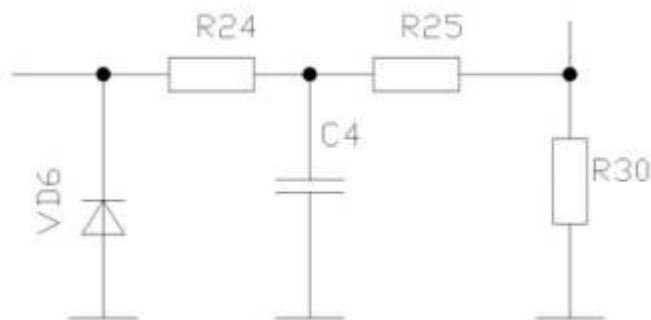


Рис. 2.8. Ділянка схеми з фільтром низьких частот

1. Визначимо номінал резисторів:

$$R_{25}, R_{29} = \frac{U}{I} = \frac{0,05/0,0001}{0,0001} = 500 \text{ Ом}$$

2. Визначимо потужність, яка розсіюється на опорі:

$$P_{R_{25}} = I^2 \times R = (0,0001)^2 \times 500 = 5 \times 10^{-6} \text{ Вт}$$

3. Визначимо добуток $R_1 \times C_1$ для однієї ланки Г-подібного типу ФНЧ:

$$R_1 \times C_1 = 1,5 \times 10^6 \times \frac{q}{m \times F}$$

де, m – число фаз випрямляча; F - частота завад; q- коефіцієнт згладжування.

Для даного типу фільтрів q коливається в межах 0,0005-0,001 %.

					<i>КБР.ЕС.9469334.001.ПЗ</i>	40
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

4. При виборі величини опору R_1 будемо керуватися наступною формулою:

$$0,25R_n \leq R_{24} \leq 0,65 R_n; \quad 117,5 \leq R_{24} \leq 305,5$$

Виходячи з цього діапазону значень, оберемо опір 207 Ом .

5. Знайдемо ємність конденсатора C_1 (мкФ) в ланці фільтру:

$$C_4 = \frac{(1,5 \times 10^6 \times \frac{q}{m} \times F)}{R_1} = \frac{(1,5 \times 10^6 \times (\frac{0,001}{1} \times 20\,000))}{207} = 360 \text{ мкФ}$$

Оберемо конденсатор К53-1 з номінальною напругою 6 В та ємністю 360 мкФ.

6. Для визначення типу резисторів R_{24} , R_{28} необхідно обрахувати потужність яка розсіюється на ньому:

$$P_{R_{24}} = I^2 \times R = (0,0001)^2 \times 207 = 2 \times 10^{-6} \text{ Вт}$$

Оберемо опір R_{24} , R_{28} 0,125 Вт 207 Ом

7. Для захисту схеми від від'ємних пульсацій напруги, введемо діоди VD6, VD7 1N4148 з такими характеристиками: $U_{\max} = 10 \text{ В}$; $I_i = 0,4 \text{ А}$; $t_{\text{IT}} = 4 \text{ нс}$.

Опис роботи блоку управління

Роботою контролера керують три вхідні сигнали Enable, Sleep, Deep в залежності від рівнів напруги на яких контролер змінює свій режим роботи. Для обмеження струмів керуючих сигналів у схему було введено опори R1-R3 номіналом 470 Ом. потужністю 0,125 Вт.

					<i>КБР.ЕС.9469334.001.ПЗ</i>	41
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

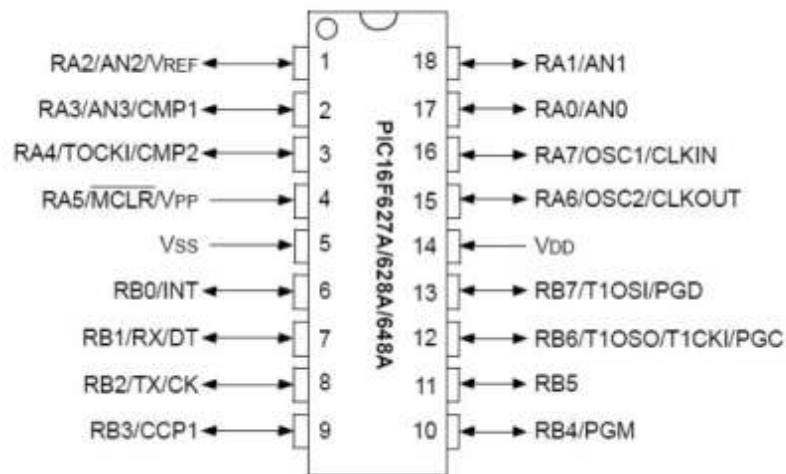


Рис. 2.9 Схема входів мікроконтролера

Та опори R6 – R8 номіналом 47 кОм на 0,125Вт, які повинні забезпечувати швидке відсікання напруги з керуючого входу при зміні сигналу управління.

Обраний мікроконтролер дає змогу керувати струмами в обмотках синхронного двигуна при зміні рівня напруги на вході мікросхеми. Використовуючи цю функцію введемо в схему змінний опір R15 номіналом 1 кОм.

Також в мікроконтролері реалізована можливість керувати струмами утримування, що протікають в обмотках синхронного двигуна при відсутності зміни вхідних керуючих сигналів. Для управління струмами в схему було введено змінний опір R10 номіналом 2 кОм.

Для обмеження струмів при роботі схеми в режимі напівкрок були введені опори R13 номіналом 37 кОм та R16-R19 номіналом 10 кОм 0,125Вт.

В схему також введений опори R5, R12 номіналом 10 кОм для обмеження струму на вході мікроконтролера та забезпечення його стабільної роботи.

ВИСНОВКИ

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

Згідно із поставленими у технічному завданні вимогами, та в результаті аналізу завдання та існуючих аналогів об'єкту проектування було виконано проектування електричної структурної та принципової схеми. Проведено повний електричний розрахунок принципової схеми.

Отримано такі результати: розроблена система керування синхронним двигуном з наступними параметрами:

- напруга живлення $220\text{ В} \pm 20$, 50 Гц;
- номінальна напруга живлення двигуна 80...200 В;
- максимальна потужність двигуна 2000 Вт;

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

Наша розробка використовує передові технології та інноваційні рішення, що робить її кращою за аналогічні вироби.

					<i>КБР.ЕС.9469334.001.ПЗ</i>	43
<i>Вим.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Методичні вказівки до практичних занять з дисципліни “Електричні машини”. Розділ “Синхронні машини” для студентів освітньо-кваліфікаційного рівня “бакалавр” напряму підготовки 6.050702 “Електромеханіка”/ Уклад.: Ю.М. Васьковський, О.А. Гераскін. – К.: НТУУ “КПІ”, 2014. – 45 с
2. Вольдек А.И. Электричні машини / А.И. Вольдек. – Л.: Енергія, 1974. – 840 с.
3. Бондар В.М., Гаврилюк В.А., Духовний А.Х., Павлишин М.М., Печеник М.В. Практична електротехніка. - К.: Веселка, 1997.
4. Кацман М.М., Электричні машини. М., Вища школа, 1990. -464 с.
5. Андрієнко В.М., Куєвда В.П. Электричні машини. Київ, НУХТ, 366 с.
6. Копилов И.П. Электричні машини – М.: Логос, 2000.– 607 с.
7. Гуржій А.М., Бойкова В.О., Поворознюк Н.І. Електротехніка з основами промислової електроніки. - К.: Форум.
8. Попов Ю.П., Шовкошитний І.І. Основи електротехніки, радіо та мікроелектроніки. - Л.: Оріяна-Нова,2001.
9. Б. С. Гершунський “Довідник з розрахунку електричних схем”, К., “Вища школа”, 1983
10. В.В.Бачурін, В.П.Дяконов. Схемотехніка приладів на потужних польових транзисторах.-М.: Радіо і зв'язь, 1994, 280 с.
11. Сивокобиленко В. Ф., Лисенко В.А Математичне моделювання режимів перемикачів на резервне живлення асинхронних двигунів Наукові праці Донецького національного технічного університету. Покровськ. Серія «Електротехніка і енергетика» №1(21) 2019р. с.70 - 83.
12. Сиром'ятников И.А. Режимы работы асинхронных та синхронных двигунів. Під ред. Л.Г. Мамиконянца. - 4-те видання. - М.: Енергоатом, 1984. - 240 с.

					<i>КБР.ЕС.9469334.001.ПЗ</i>	44
<i>Вим.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

13. Виноградов А.Б. Облік втрати, насичення та поверхневого ефекту при моделюванні динамічних процесів у частотно-регульованому електроприводі / А.Б. Виноградов – Електротехніка.–М.–2005. – №5. – С. 57-61.
14. Сивокобиленко В.Ф., Лебедев В.К. Визначення параметрів схем заміщення та характеристик синхронних турбодвигунів // Наукові праці Донецького національного технічного університету Серія «Електротехніка і енергетика» 2014 №1(16) с. 189-193
15. Гамазин С.И., Ставцев В.А., Цирук С.А. Перехідні процеси у системах електропостачання електроенергії, що обумовлені електричним навантаженням. – М. Вид-во МЕІ, 1997. – 421с.
16. Данку А., Фаркаш А., Надь Л. Електричні машини. Збірник задач та вправ. М.: Енергоат, 1984. - 362 с.
17. Куликов А.А. Збірник задач з електричних машин / А.А. Куликов, М.И. Немировский. – М.-К.: Машгиз, 1961. – 200 с.
18. Проектування електричних машин : навч. посіб. / Д.В. Ципленков, О.Б. Іванов, О.В. Бобров, В.В. Кузнецов, В.В. Артемчук, М.О. Баб'як ; Нац. техн. ун-т «Дніпровська політехніка». – Д. : НТУ «ДП», 2020. – 408 с.

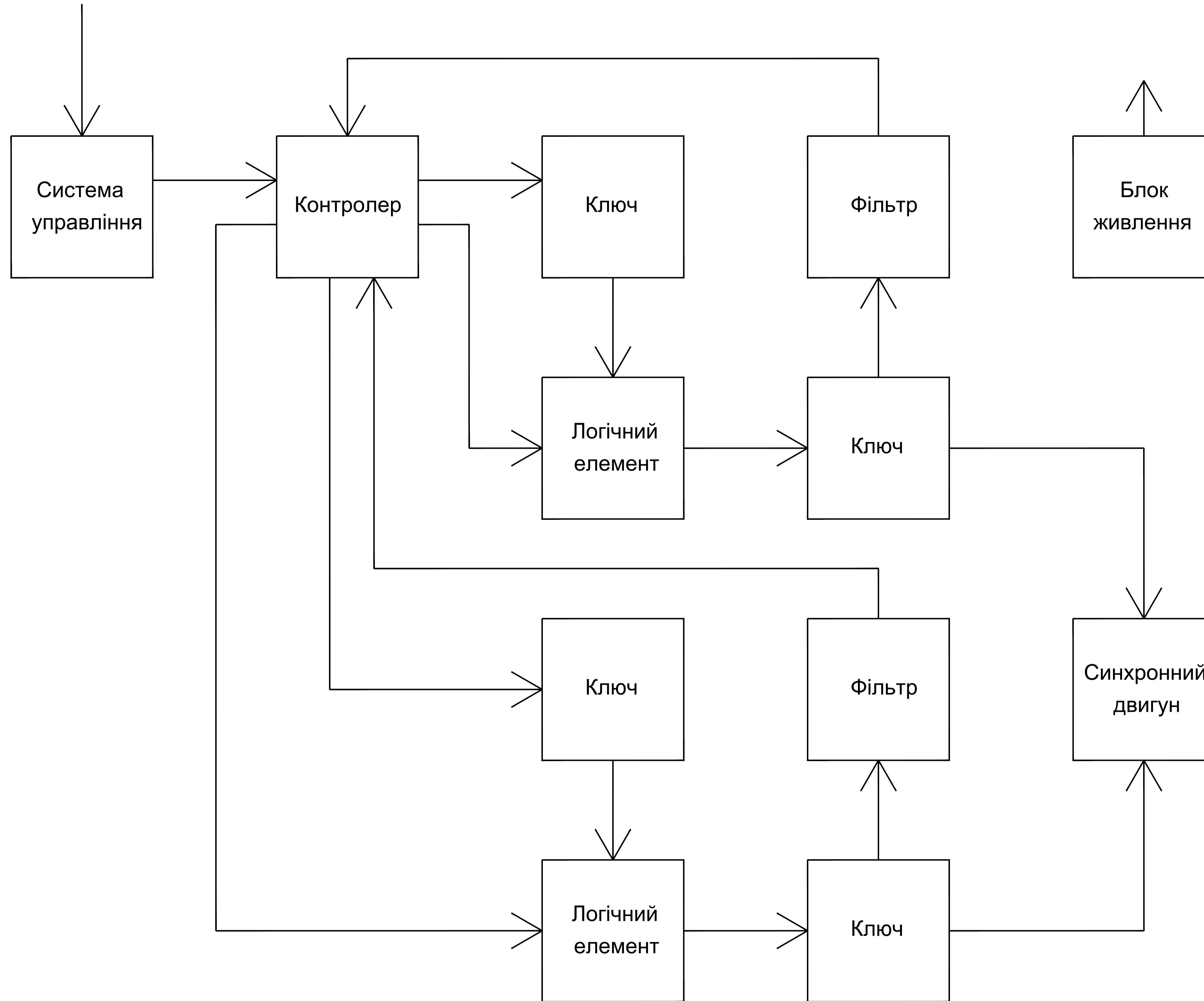
					<i>КБР.ЕС.9469334.001.ПЗ</i>	45
<i>Вим.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

Поз. позначення	Найменування	Кіл.	Примітки
	<u>Конденсатори</u>		
	<u>ОЖО.460.172ТУ</u>		
C1	K10-176-130мкФ 16В	1	
C2, C3	K10-176-330нФ 10В	2	
C4, C5	K10-176-360мкФ 6В	2	
C6, C7	EHV100M-50RC 50В	2	
	<u>Мікросхеми</u>	1	
DD1	PIC16F628A	2	
DD2, DD3	IR2113		
	<u>Резистори</u>		
	<u>МЛТ-0,125 ОЖО.467.180ТУ</u>		
R1...R3	МЛТ-0,125 470Ом±5%	3	
R4	МЛТ-1 130Ом±5%	1	
R5	МЛТ-0,125 10кОм±5%	1	
R6... R8	МЛТ-0,125 47кОм±5%	3	
R9	МЛТ-0,125 1кОм±5%	1	
R10	СПЗ-4- 2кОм±5%	1	
R11	МЛТ-0,25 20кОм±5%	1	
R12	МЛТ-0,125 10кОм±5%	1	
R13	МЛТ-0,125 37кОм±5%	1	
R14	МЛТ-0,125 500Ом±5%	1	
R15	СПЗ-4- 2кОм±5%	1	
R16...R19	МЛТ-0,125 10кОм±5%	4	
R20	МЛТ-0,25 20кОм±5%	1	

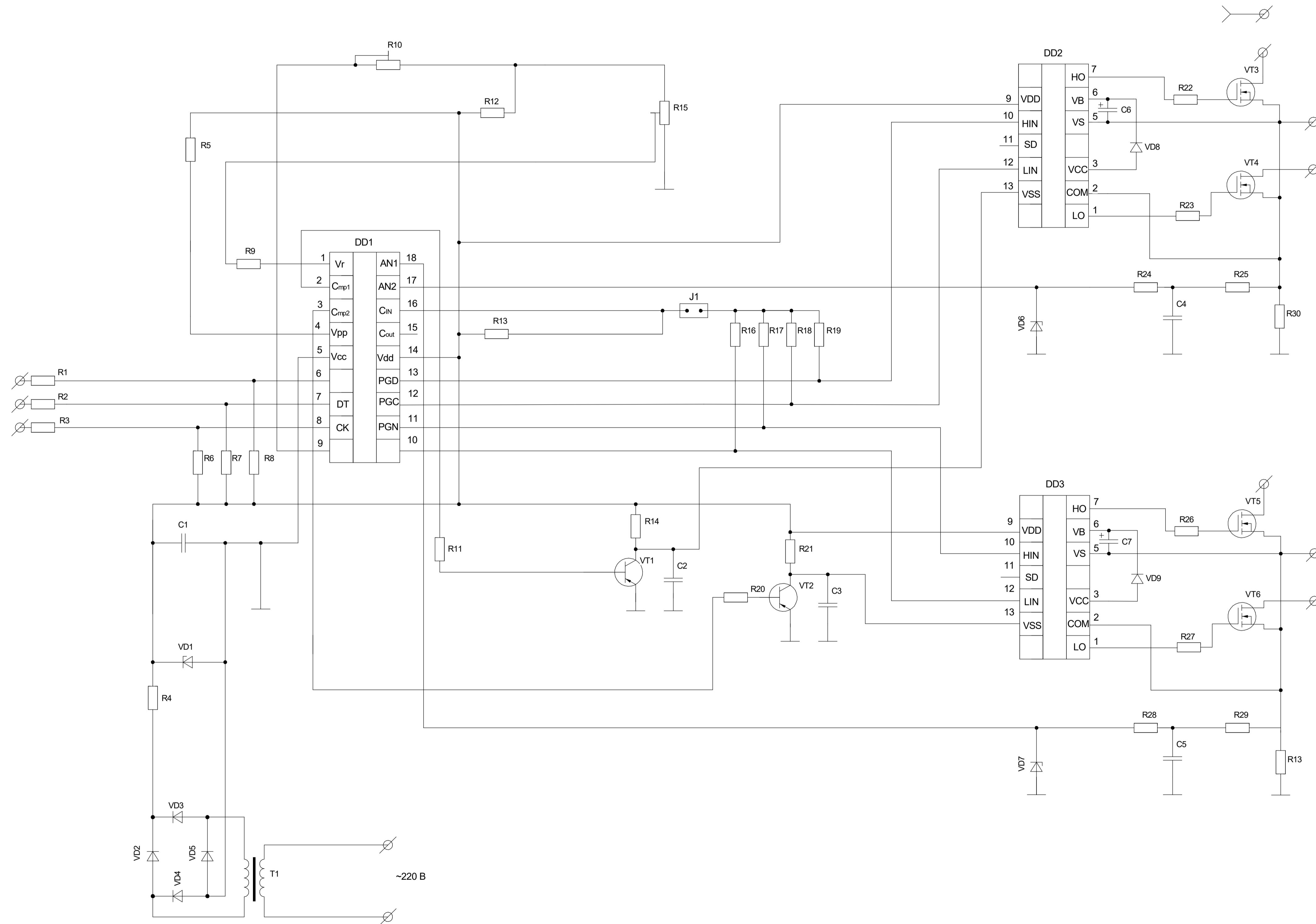
КБР.ЕС.9469334.001.ІІЕ

Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	Система керування обертами синхронного двигуна потужністю до 2 кВт. Перелік елементів	Літера	Аркуш	Аркушів
Розробив		Турянчик С.М.		19.06.23		У	1	2
Перевірів		Снесивих О.О.		19.06				
Т.Контр.								
Н.Контр		Снесивих О.О.		19.06				
Затвердив		Заяць Т.М.		19.06				

УжНУ, ІТФ
група ЕС, 4 курс



КБРЕС 9469334.001Е1									
Эк.	Арх.	№ документа	Подпис	Дата	Система керування синхронним двигуном потужністю до 2 кВт	Літера	Маса	Масштаб	
Розробив	Турянчик С.М.					у		1:1	
Перевірив	Слесивих О.О.					Архив 1		Архив 1	
Т. контр.									
Н. контр.	Слесивих О.О.				Структурна схема	УжНУ, ІТФ, гр. ЕС, 4 курс			
Затвердив	Заяць Т.М.								



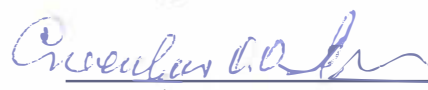
КБРЕС 9469334.001Е2					
Эк.	Арх.	№ документа	Подпис	Дата	Система керування синхронним двигуном потужністю до 2 кВт
Розробив	Уряничук С.М.				Літера
Перевірив	Слесидих О.О.				Маса
Т. контр.					Масштаб
Н. контр.	Слесидих О.О.				у
Затвердив	Заяць Т.М.				Аркш 1
					Аркшів 1
Схема електрична принципова					
УжНУ, ІТФ, гр. ЕС, 4 курс					

Додаток 2.

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

Автор роботи	Гуренчик Сергій Миколайович
Назва роботи	Система керування об'єктами смакродомо об'єктами мережі до 10 2+Вм
Спеціальність	171. Електроніка
Курс	4-й
Факультет	Чисельно-технічний
Кафедра	Електронне суденство
Керівник роботи	Степанів Олександр Олександрович
Роботу перевірено в програмі	Unicheck
Додано до бази даних	-
Ідентифікаційний номер роботи	КБД.ЕС.9468334.001.СП
Результати перевірки	
Показник унікальності тексту через перевірку роботи у внутрішній базі кафедри ЕС ІТФ ДНВЗ УжНУ	-
Показник унікальності тексту в мережі Інтернет	81%

Відповідальна особа/
Науковий керівник роботи


(прізвище, ініціали)

15.06.23
Дата


Підпис

Ім'я користувача:
приховано налаштуваннями конфіденційності

ID перевірки:
1015612460

Дата перевірки:
15.06.2023 12:47:08 EEST

Тип перевірки:
Doc vs Internet + Library

Дата звіту:
15.06.2023 12:48:17 EEST

ID користувача:
100006217

Назва документа: 2023-КБР-Турянчик,Сергій,Мирославович

Кількість сторінок: 38 Кількість слів: 7694 Кількість символів: 49308 Розмір файлу: 3.47 MB ID файлу: 1015260184

19.4% Схожість

Найбільша схожість: 10.9% з Інтернет-джерелом (<https://www.uzhnu.edu.ua/uk/infocentre/get/44131>)

17.4% Джерела з Інтернету

133

Сторінка 40

13.3% Джерела з Бібліотеки

148

Сторінка 41

0% Цитат

Вилучення цитат вимкнене

Вилучення списку бібліографічних посилань вимкнене

0% Вилучень

Немає вилучених джерел

Модифікації

Виявлено модифікації тексту. Детальна інформація доступна в онлайн-звіті.

Замінені символи

137