

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЗАПОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ІНЖЕНЕРНИЙ НАВЧАЛЬНО-НАУКОВИЙ ІНСТИТУТ
ім. Ю.М. ПОТЕБНІ

Кафедра електроніки, інформаційних систем та програмного забезпечення
(повна назва кафедри)

Кваліфікаційна робота

другий (магістерський)

(рівень вищої освіти)

на тему Дослідження та розробка системи керування мікромеханічними механізмами

Виконав: студент II курсу, групи 8.1532
спеціальності 153 «Мікро- та наносистемна
техніка

(код і назва спеціальності)

освітньої програми Мікроелектронні інформаційні
системи

(код і назва освітньої програми)

спеціалізації _____

(код і назва спеціалізації)

Д.Ю. Ніколаєнко

(ініціали та прізвище)

Керівник доцент кафедри ЕІСПЗ, доцент, к.ф.-м.н.,
Світанько М.В.

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

Рецензент завідувач кафедри електричної інженерії
та кіберфізичних систем ІННІ ім. Ю.М. Потебні ЗНУ,
професор, д.т.н., Коваленко В.Л.

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

Запоріжжя
2023

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЗАПОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ІНЖЕНЕРНИЙ НАВЧАЛЬНО-НАУКОВИЙ ІНСТИТУТ
ім. Ю.М. ПОТЕБНІ

Факультет _____
Кафедра електроніки, інформаційних систем та програмного забезпечення
Рівень вищої освіти другий (магістерський)
Спеціальність 153 «Мікро- та наносистемна техніка»
(код і назва)
Освітня програма Мікроелектронні інформаційні системи
(код і назва)
Спеціалізація _____

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри ЕІСПЗ

“ _____ ” _____ 20__ року

З А В Д А Н Н Я
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ СТУДЕНТОВІ (СТУДЕНТЦІ)

Ніколаєнку Дмитру Юрійовичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1 Тема роботи (проєкту) Дослідження та розробка системи керування мікромеханічними механізмами

керівник роботи Світанько Микола Вікторович, к.ф.-м.н., доцент,
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом ЗНУ від “09” жовтня 2023 року № 639-с

2 Строк подання студентом роботи 11 грудня 2023 року

3 Вихідні дані до роботи МЕМС, 10 кГц – 200 МГц , 2 В, 15 В, Proteus

4 Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) 1. Складові сучасних мікроелектромеханічних систем (МЕМС) 2. Розробка системи керування мікромеханічними механізмами 3. Техніко – економічне обґрунтування 4. Охорона праці та техногенна безпека при розробці системи

5 Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень)

1. Загальна структура МЕМС. 2. Структурна схема системи керування мікромеханічними механізмами 3. Сенсорний блок системи 4. Блок перетворення вхідного сигналу 5. Безколекторні електричні двигуни МЕМС 6. Електрична схема керування силовою частиною двигунів 7. Електричні

схеми основних функціональних блоків системи 8. Моделювання роботи електричної силової схеми в редакторі Proteus

6 Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
<i>I</i>	<i>Світанько М.В., доцент</i>	<i>01.05.2023</i>	<i>01.05.2023</i>
<i>II</i>	<i>Світанько М.В., доцент</i>	<i>01.05.2023</i>	<i>01.05.2023</i>
<i>III</i>	<i>Світанько М.В., доцент</i>	<i>01.05.2023</i>	<i>01.05.2023</i>
<i>IV</i>	<i>Світанько М.В., доцент</i>	<i>01.05.2023</i>	<i>01.05.2023</i>

7 Дата видачі завдання 01 травня 2023 року

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи магістра	Строк виконання етапів роботи	Примітка
<i>1</i>	<i>Літературний огляд</i>	<i>21.10.2023</i>	
<i>2</i>	<i>Розрахункова частина</i>	<i>20.11.2023</i>	
<i>3</i>	<i>Техніко-економічне обґрунтування розробки</i>	<i>20.11.2023</i>	
<i>4</i>	<i>Розробка заходів із охорони праці та техногенної безпеки</i>	<i>20.11.2023</i>	
<i>5</i>	<i>Розробка графічної частини роботи</i>	<i>24.11.2023</i>	
<i>6</i>	<i>Оформлення пояснювальної записки</i>	<i>04.12.2023</i>	
<i>7</i>	<i>Нормоконтроль</i>	<i>05.12.2022</i>	
<i>8</i>	<i>Попередній захист роботи</i>	<i>11.12.2023</i>	

Студент _____ Ніколаєнко Д.Ю.
(підпис) (прізвище та ініціали)

Керівник роботи (проекту) _____ Світанько М.В.
(підпис) (прізвище та ініціали)

Нормоконтроль пройдено

Нормоконтролер _____ Верьовкін Л.Л.
(підпис) (прізвище та ініціали)

Реферат

Дипломна робота містить 81 сторінку, 27 рисунків, 15 таблиць, 24 джерела літератури.

Об'єкт дослідження – мікроелектромеханічні системи (МЕМС).

Мета роботи – дослідження та розробка системи керування мікромеханічними механізмами.

Завдання роботи – провести аналіз існуючих МЕМС, обрати для подальшого аналізу найбільш оптимальну і розробити на її основі систему керування мікромеханічними механізмами.

Методика досліджень – моделювання пристрою за допомогою програмних забезпечень Proteus.

Короткий виклад результатів досліджень – розроблено структурну схему системи керування мікромеханічними механізмами із одним каналом оброблення інформації. Розроблено комплексну схему керування безколекторними двигунами за допомогою мікроконтролера AT90PWM3B .

Результати впроваджень – модельні компоненти системи пройшли випробовування на кафедрі ЕІСПЗ.

Прогнозні пропозиції – запропоновано подальше удосконалення схеми генератора шуму за рахунок використання мережі RS-485 як інтерфейсу збору даних.

**БЕЗКОЛЕКТОРНИЙ ЕЛЕКТРОДВИГУН, МІКРОЕЛЕКТРОМЕХА-
НІЧНА СИСТЕМА, МІКРОКОНТРОЛЕР, PROTEUS.**

Дипломну роботу виконано на кафедрі електроніки, інформаційних систем та програмного забезпечення з 01.05.2023 р. по 11.12.2023 р.

ЗМІСТ

Вступ	6
1. Складові сучасних мікроелектромеханічних систем (МЕМС).....	7
1.1 Загальна характеристика МЕМС.....	7
1.2 Актюатори та покрокові двигуни	8
1.3 Сенсорні пристрої	16
1.4 Системи керування МЕМС	17
2. Розробка системи керування мікромеханічними механізмами	22
2.1 Структурна схема пристрою	22
2.2 Вхідний перетворювач.....	23
2.2.1 Сенсор електромагнітного випромінювання.....	23
2.2.2 АЦП вхідного сигналу.....	25
2.2.3 Моделювання недвійкового та двійково-десятькового лічильників для встановлення розрядності АЦП вхідного сигналу.....	26
2.3 Вихідний перетворювач із мікромеханізмами.....	31
2.3.1 Безколекторні двигуни системи керування мікромеханічними механізмами.....	31
2.3.2 Електрична схема керування силовою частиною безколекторних двигунів.....	34
2.3.3 Схема живлення логічних елементів.....	38
2.3.4 Електрична схема з'єднання мікроконтролера управління безколекторними двигунами.....	40
2.4 Моделювання роботи електричної схеми пристрою в середовищі Proteus.....	33
2.5 Інтерфейс обробки інформації електричної схеми пристрою управління двигунами.....	43
3. Техніко - економічне обґрунтування виготовлення електронних схем	

системи керування мікромеханічними механізмами	48
3.1 Обґрунтування вибору технології виготовлення електронних схем системи керування мікромеханічними механізмами	48
3.2 Розрахунок витрат на виготовлення електронних схем системи керування мікромеханічними механізмами	52
4 Охорона праці та техногенна безпека при розробці електричних схем системи керування мікромеханічними механізмами	54
4.1 Характеристика потенційних шкідливих та небезпечних виробничих факторів	54
4.2 Заходи зі зменшення впливу небезпечних та шкідливих виробничих факторів.....	55
4.3 Виробнича санітарія.....	58
4.4 Електробезпека.....	60
4.5 Пожежна безпека та техногенна безпека.....	62
Висновки та рекомендації.....	66
Перелік посилань.....	68
Додаток 1.....	71

Вступ

Розвиток сучасного стану мікроелектроніки дозволяє зробити висновок про те, що з кінця 20-го сторіччя одним з науково-технічних напрямів, що найбільш динамічно розвиваються, є розробка, дослідження і використання мікроелектромеханічних систем (МЕМС) [1,2].

При цьому особливістю таких систем нового покоління є необхідність забезпечення тривалої їх експлуатації при перенесенні енергії, заряду, інформації не тільки в стаціонарних умовах, але і в динаміці процесів. Разом з цим, перехід на мікрорівень вимагає при створенні МЕМС різного функціонального призначення нового покоління приладів та компонентів, а також особливостей їх інтеграції в єдиному об'ємі з позицій кристалографії, термомеханіки, електромагнітної техніки [1,2].

МЕМС складаються з механічних елементів, сенсорів, актюаторів (виконавчих механізмів), а також електричних і електронних пристроїв. Сенсори та актюатори МЕМС є важливими компонентами, які збирають інформацію з навколишнього середовища шляхом вимірювання механічних, теплових, біологічних, хімічних, оптичних і магнітних явищ. Електроніка обробляє інформацію, отриману від сенсорів, інаправляє її на вхід актюаторів (виконавчі механізми) шляхом переміщення, позиціонування, регулювання, накачування і фільтрації з метою досягнення поставлених цілей.

Особливо важливим при цьому є контроль параметрів МЕМС та забезпечення надійного каналу зворотнього зв'язку, що дозволить уникнути значних відхилень від поставленої задачі усьому механізму [1,2].

Тому, розробка систем керування МЕМС є досить актуальною задачею сучасної інформаційної електроніки уцілому.

1. Складові сучасних мікроелектромеханічних систем (MEMS)

1.1 Загальна характеристика MEMS

MEMS складається з низки елементів, які призначені для виконання більше ніж однієї функції. Рішення про це приймається конструктором, якщо необхідно зменшити кількість елементів конструкції для спрощення технологічних процесів. Але ще й досі використовуються такі елементи, про які можна сказати, що вони виконують ту чи іншу певну функцію. Загалом MEMS можна розглядати як пристрій, що містить функціональні модулі: виконавчий механізм – мікрорушій для приведення у рух необхідних механізмів – інколи його називають мікроактюатором чи просто актюатором (з англ. actuator – виконавчий механізм); чутливий елемент, чи давач (з англ. sensor – давач, первинний вимірювальний перетворювач), що реагує на зміну певної фізичної величини і перетворює її до відповідного виду; керований механізм – завершальна ланка ланцюга керування (таких ланцюгів керування може бути кілька, і вони можуть бути різними) – такими механізмами можуть бути мікродзеркала, керовані мікроклапани, мембранні мікропомпи тощо; пристрої передавання енергії – для передавання енергії (руху, електричного струму, тиску рідин тощо) від однієї ланки до іншої ланки; пристрої керування (електричні чи механічні) – для приведення у дію відповідних актюаторів, часто з урахуванням інформації від давачів та відповідно до закладених принципів побудови MEMS. Для виготовлення сучасних MEMS використовується широка гама матеріалів: різноманітні метали у чистому вигляді та у сплавах, неметали, мінеральні сполуки та органічні матеріали [1-3].

Звичайно, намагаються використовувати якомога меншу кількість різнорідних матеріалів, щоби покращити технологічність MEMS та

знизити собівартість продукції. Тому розширення спектра матеріалів прийнятне лише за наявності специфічних вимог до елементів пристрою [1-3]. Частка приладів МЕМС у промисловій продукції невідомо зростає з року у рік. Така популяризація МЕМС зумовлена широким спектром їхнього застосування чи не у кожній сфері діяльності людини. Такі прилади зручно та вигідно використовувати практично усюди завдяки їхнім перевагам над традиційними пристроями. Малі розміри, низьке споживання енергії, велика щільність розміщення елементів системи усередині, можливість створювати пристрої з набором функцій та параметрами, необхідними конкретному замовнику – ось основні привабливі характеристики, що впливають на прийняття рішення інженерами багатьох світових підприємств різних розмірів на користь збільшення частки використання МЕМС у своїй продукції[1-3].

1.2 Актюатори та покрокові двигуни

Одним з основних елементів МЕМС є актюатори – вузли, що виконують функцію перетворення одного виду енергії на інший вид (здебільшого, на механічну роботу). Для створення цих вузлів можуть використовуватися різні фізичні явища, і їхня кількість безперервно зростає.

Часто застосовуються електростатичні, термоелектричні, п'єзоелектричні, осмотичні, гідравлічні, пневматичні, електромагнітні та інші типи актюаторів.

Звичайно, кожен з цих видів має переваги для якогось конкретного випадку, що зумовлено технологічними умовами та конструкторським рішенням. Також не варто забувати про недоліки певних типів пристроїв за конкретних умов їхнього використання. Його дія ґрунтується на використанні сили притягання між електродами з різними зарядами. Для

збільшення сили притягання застосовують електроди у вигляді гребенів, пальці яких розміщені у міжпальцевих проміжках іншого електрода. Ця конструкція дає змогу на малій площі виготовити електроди зі значною поверхнею. У таких конструкціях використовується втягування пальців одного гребеня у міжпальцеві проміжки іншого під дією електростатичної сили. Сила, яку розвиває такий актюатор, є незначною і залежить від напруги між електродами та від площі взаємодії електродів – залежно від використаних технологій сила, яку розвивають такі мікроактюатори, може сягати 1–10 мкН/мм² при напрузі 15 В [4]. Тому для збільшення тягової сили часто користуються нарощуванням кількості електродів (т. зв. каскадний актюатор) чи збільшенням робочої напруги між електродами. Сам актюатор є простим у виготовленні і не вимагає використання великої кількості типів матеріалів – здебільшого для формування структури актюатора використовується кремній, що проводить електричний струм сам, а для покращання провідності використовується насичення різними домішками (n–р, кремній), для формування діелектрика застосовують оксид кремнію, що достатньо просто отримують окисненням кремнію, чи використовують властивості р–n–каналу. Взагалі кремнієва технологія для виготовлення МЕМС є найпривабливішою сьогодні, оскільки не вимагає значних змін технології виготовлення кремнієвих інтегральних мікросхем.

Термоелектричні актюатори за дією нагадують реакцію біметалевої пластини на її нагрівання. Сама конструкція залежно від напрямку дії (горизонтальна – переміщення лежить у площині основи, вертикальна – у напрямку від основи вгору) має різний вигляд. На відміну від біметалевої пластини, де використовуються два типи металів з різними коефіцієнтами теплового розширення, в МЕМС актюаторах часто застосовують конструкції у вигляді петлі, що утворюється двома чи більшою кількістю пластин з різною площею поверхні. Одні кінці пластин жорстко закріплені на основі, а інші мають спільну точку кріплення.

Через таку петлю пропускають електричний струм і пластини нагріваються. Завдяки різній площі їхніх поверхонь вони видовжуються по-різному. За певного з'єднання кінців такої петлі виникає результуюча сила, що переміщує кінець у бік холоднішої пластини. Звичайно, конструкція таких актюаторів може і бути іншою, але принцип функціонування залишається тим самим. Серед наявних конструкцій заслуговують на увагу також каскадні термоелектричні актюатори, в яких незначне переміщення одного елемента можна збільшити завдяки використанню кількох актюаторів, де кожен новий елемент прикріплений до “рухомого” кінця попереднього.

Електромагнітні актюатори також поширені у МЕМС. Але потреба у виготовленні котушок достатньо великих розмірів, застосуванні феромагнітних матеріалів чи постійних магнітів дещо гальмує застосування таких механізмів.

Незважаючи на перелічені незручності, ці актюатори успішно використовуються багатьма виробниками МЕМС. Найпоширенішими конструкціями електромагнітних актюаторів є дві: одна – з нерухомими котушками керування та з рухомими елементами (якорями) з феромагнітних матеріалів; інша – з котушкою, поміщеною на рухомий елемент, і вся конструкція приладу перебуває у сильному магнітному полі постійного магніту, розміщеного над системою. Це саме магнітне поле може використовуватися іншими актюаторами у радіусі дії магнітного поля.

Звичайно, конструкцію пристроїв вибирають залежно від багатьох чинників, зокрема враховується собівартість приладу, що зростає через ускладнення технологічного процесу. Доволі поширене використання п'єзоелектричного ефекту для побудови актюаторів МЕМС. Хоча такі актюатори і ускладнюють технологічний процес та збільшують розміри конструкції, але велика навантажувальна здатність цього актюатора

компенсує зазначені недоліки. На практиці використовується ряд різноманітних конструкцій такого актюатора.

Широкий спектр сучасної п'єзокераміки дає змогу максимально пристосувати актюатор до всіх вимог як конструкції, так і електронної системи приладу. Багато вчених та конструкторів МЕМС вважають, що у найближчому майбутньому найперспективнішими будуть гідравлічні та пневматичні актюатори. На сучасному етапі існують гідравлічні турбінні актюатори, що перетворюють потік рідини на обертовий рух турбіни, та актюатори осмотичного типу [5] – тиск рідини приводить у рух еластичну мембрану. Цілком зрозуміло, що для функціонування актюаторів таких типів недостатньо мати лише мембрани та турбіни. У цих випадках необхідно створювати мініатюрні компресорні системи на цій самій основі. Такі компресори часто мають вигляд мембранної помпи з приводом від п'єзоелектричного актюатора.

Окрім компресорної системи, необхідно мати регульовальну та керуючу систему, що додатково ускладнює систему. Але все ж переваги таких актюаторів доволі відчутні – проста конструкція осмотичних актюаторів, підведення та відведення робочої рідини здійснюється по малих каналах і може використовуватись багатьма системами, переносити теплоту тощо. Звичайно, розглянуті методи та способи приведення в рух не вичерпуються вищеописаними. Використання якогось конкретного типу актюатора зумовлюється, передусім, конструкторською доцільністю, доступними на певний період технологічними можливостями, та, звичайно, вартістю.

Основною із проблем при створенні електромеханічних мікромеханізмів є підбір оптимального покрокового двигуна, який здійснює переміщення моделі у горизонтальному та вертикальному напрямках, а також схеми автоматизованого управління подібною системою.

Існують два основні типи крокових двигунів, які використовуються на практиці [6]:

- з постійним магнітом;
- із змінним магнітним полем.

Конструкція типового біполярного крокового двигуна показана на рисунку 1.1.

Двигуни з постійним магнітом бувають біполярними (рисунок. 1.2) і уніполярними (рисунок 1.3).

Біполярні двигуни – найбільш прості для вирішення нескладних завдань. Вони складаються з постійного магніта ротора, що обертається, і оточеного полюсами статора, що складається з чотирьох обмоток. Протікання струму в обмотках статора збуджує ротор, і при послідовній комутації обмоток відбувається ступінчасте обертання [6].

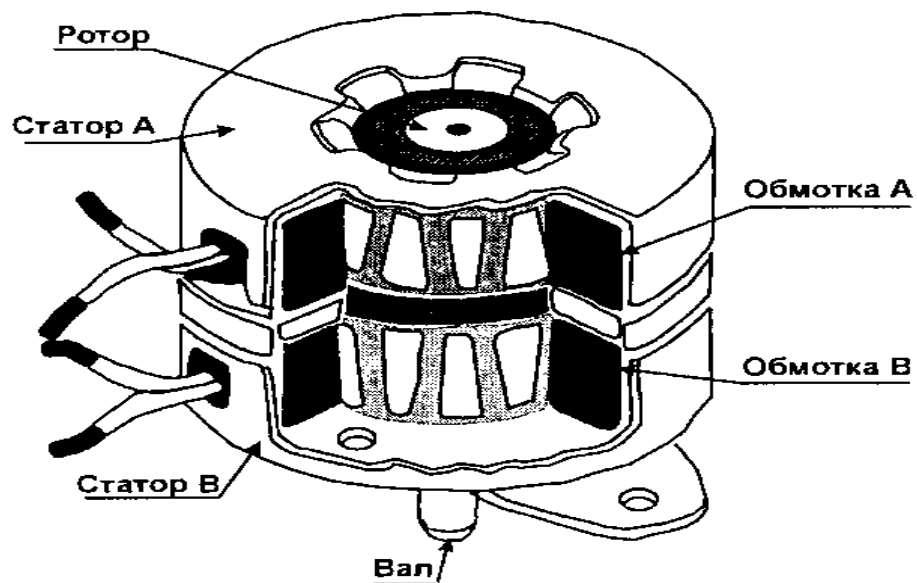


Рисунок 1.1 – Конструкція біполярного крокового двигуна

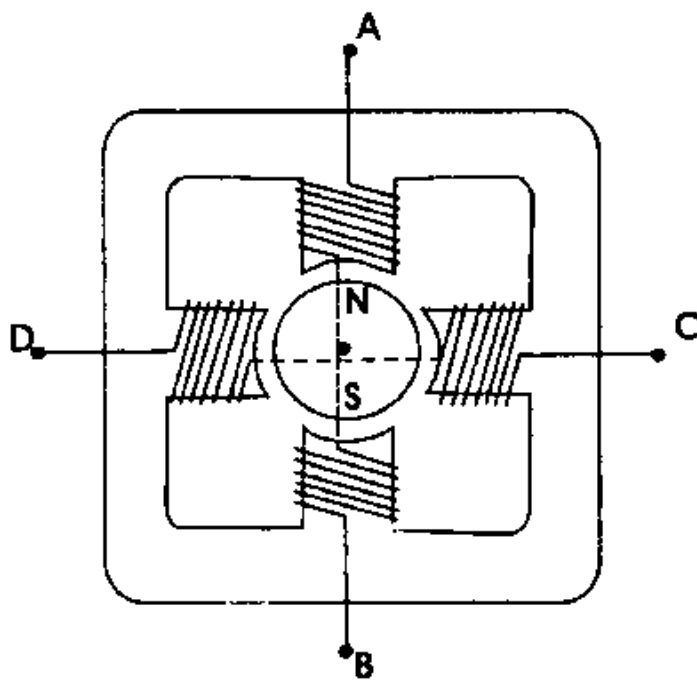


Рисунок 1.2 – Схема біполярного двигуна

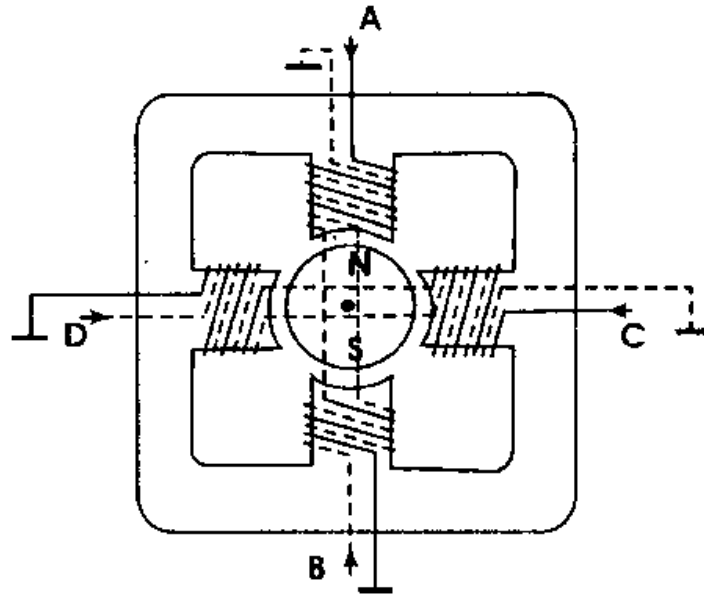


Рисунок 1.3 – Схема уніполярного двигуна

Уніполярний двигун з постійним магнітом ідентичний біполярному за тим виключенням, що у нього в кожній фазі використовуються дві обмотки. Це необхідно для того, щоб повністю змінити потік статора швидше, ніж в двонаправленому приводі (рисунок 1.4) [6].

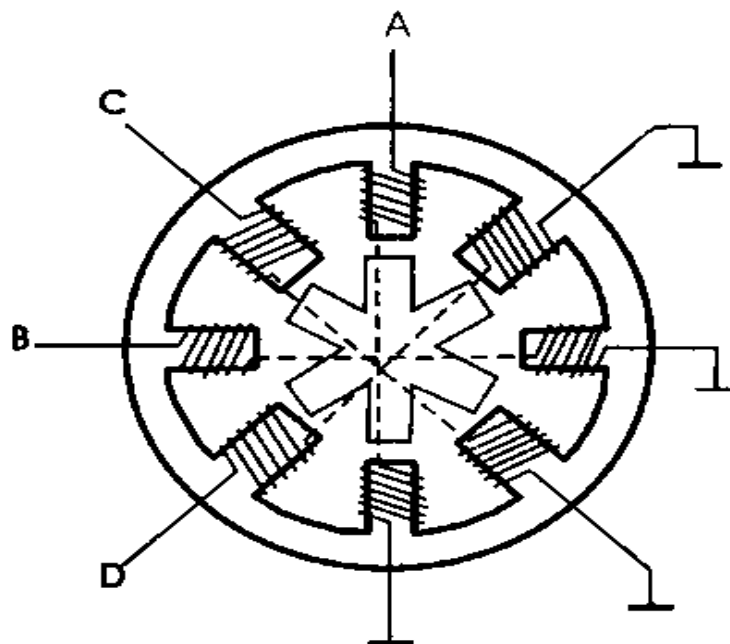


Рисунок 1.4 – Схема уніполярного двигуна з постійним магнітом

Ротор виконує ту ж саму функцію, що і в біполярного двигуна за тим виключенням, що мостові драйвери замінені простими уніполярними каскадами: чотири транзистори Дарлінгтона, або квадровані транзисторні матриці Дарлінгтона.

Уніполярні двигуни дорожчі, оскільки у них – удвічі більше обмоток. Крім того, їх характеризує набагато менший обертальний момент при однакових габаритах, оскільки обмотки виконані з тоншого дроту. Всі двигуни з постійним магнітом генерують електромагнітні перешкоди ротором, який обмежує швидкість обертання. При дуже високих швидкостях обертання необхідний двигун із змінним магнітним полем.

Двигун змінного магнітного поля оснащений ротором з ненамагніченного м'якого заліза з меншою кількістю полюсів, чим статор (рисунок 1.4). При цьому використовується уніполярний метод збудження пари полюсів статора, аби ступінчасто обернути ротор до полюсів збуджуваної обмотки. Тут використовують три різні послідовності збудження фаз:

- «одна фаза активна» – A/C/B/D;
- «дві фази активні» – AC/CB/BD/DA;
- «крок-половина» – A/AC/C/BC/B/BD/D/DA.

Відмітимо, що кут повороту ротора складає 15° , а не 45° . У минулому уніполярні двигуни були більш привабливі для проектування схем, оскільки вони мали простій вихідний каскад. Тепер, коли випускаються монолітні драйвери напруги, біполярні двигуни стають популярнішими [6].

На сучасному етапі розвитку МЕМС керування крокових двигунів виконується за допомогою мікроконтролерів [6].

Однокристальні (однокорпусні) мікроконтроллери є приладами, конструктивно виконаними у вигляді ВІС із наступними складовими частинами, що включають: мікропроцесор, пам'ять програм і пам'ять даних, а також програмовані інтерфейсні схеми для зв'язку із зовнішнім середовищем.

Світова промисловість випускає величезну номенклатуру мікроконтролерів. По сфері застосування їх можна розділити на два класи: спеціалізовані, призначені для використання в якій-небудь одній конкретній області і універсальні, які не мають конкретної спеціалізації і можуть застосовуватися в самих різних областях мікроелектроніки, за допомогою яких можна створити як будь-який з перерахованих вище пристроїв, так і принципово новий пристрій [6].

1.3 Сенсорні пристрої

Стрімкий розвиток технології мікроелектроніки відкриває широкі можливості оснащення об'єктів ракетно-космічної, авіаційної та цивільної техніки сучасними датчиками фізичних величин, окремі з яких можна класифікувати так [7]:

- датчики швидкості, прискорення, напрямки руху (акселерометри, гіроскопи і компаси);
- датчики сили механічної напруги та дотику (тензодатчики, тактильні чутливі елементи, п'єзоелектричні датчики сили);
- датчик температури (контактні: термопари, терморезистори, термістори, напівпровідникові; безконтактні - пірометри);
- датчик тиску (п'єзорезистивні, ємнісні, індуктивні та резонансні);
- витратоміри (теплові, ультразвукові, електромагнітні);
- акустичні датчики (резистивні, електростатичні, оптоволоконні, п'єзоелектричні та електретні);
- детектори положення, переміщень і рівня (потенціометричні, гравітаційні, ємнісні, індуктивні, магнітні, оптичні та ультразвукові);
- датчики вологості і вмісту води (резистивні, ємнісні та термісторні датчики вологості; оптичні та вібраційні гігрометри).

Використовувані до 60-х років ХХ століття системи вимірювання фізичних величин базувалися в основному на застарілих конструкторсько-технологічних рішеннях. У цей же час почалися науково-технічні розробки в галузі мініатюризації датчиків різного призначення. Ряд провідних фірм розробників інформаційних систем (Draper Laboratory, Rockwell International, Systron Donner, Analog Device, SAGEM, Murata та ін.) запатентували різні технології і технічні рішення щодо розробки мікромеханічних чутливих елементів [7].

Ці технології мікроелектроніки дозволили почати виробництво мікромеханічних датчиків на кремнієвих кристалах, які об'єднують чутливі елементи та електронні компоненти. Нові покоління МЕМС-датчиків фізичних величин, на основі сучасних досягнень мікроелектроніки, інтегрального мікрооброблення та мікроскладання об'ємних кремнієвих структур мікронних розмірів на тепер почали широко впроваджуватися в сучасні інформаційно-вимірювальні системи [7].

1.4 Системи керування МЕМС

Загальну структуру МЕМС показано на рисунку 1.5. Вона включає вхідний перетворювач, мікропроцесор (пристрій для оброблення, збереження, передавання інформації) та вихідний перетворювач [8].

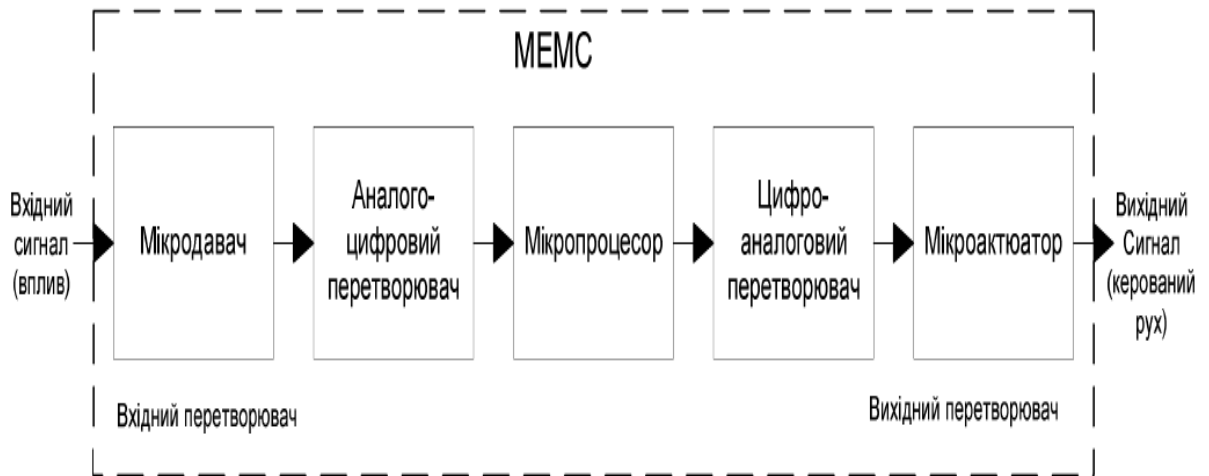


Рисунок 1.5 - Загальна структура MEMS з можливістю оброблення даних від мікродавача у цифровому форматі

Вхідний перетворювач (мікродавач) призначений для визначення змін чи впливу оточуючого середовища на інтегральний пристрій. Як правило, до вхідних перетворювачів належать мікродавачі. Такі пристрої перетворюють, для прикладу, зміну тиску, напруження чи деформації на зміну електричного параметра, який може бути сприйнятий за допомогою пристрою оброблення, передавання та збереження даних, який називається мікропроцесором. В багатьох мікропроцесорах як вхідний електричний параметр можуть виступати зміна опору, ємності, частоти, напруги, струму тощо [8].

Оскільки безпосередньо аналогову величину напруги чи струму мікропроцесор обробляти не може, то після мікродавача використано аналого-цифровий перетворювач (АЦП), з якого вже цифровий сигнал поступає на мікропроцесор. Мікропроцесор обробляє отримані дані згідно з попередньо визначеним алгоритмом, а результат оброблення у формі цифрового сигналу видає на цифро-аналоговий перетворювач (ЦАП). ЦАП перетворює код в аналоговий сигнал, який безпосередньо подається

на вихідний перетворювач. Як вихідний перетворювач виступають актюатори – це мікропристрої, які перетворюють електричну енергію чи енергію іншого виду в керований рух, нагрівання, зміну напрямку оптичного променя тощо[8].

Багато подібних, більш деталізованих базових структурних схем MEMS були розроблені в роботах Лобура М.В. [9], зокрема: структура вбудованої системи на базі програмно-логічних інтегральних схем (ПЛІС), структура вбудованої системи на базі спеціалізованого мікроконтролера (з АЦП та ЦАП), структура вбудованої системи з можливістю прецезійного оброблення та проста структура вбудованої системи.

Складні структури MEMS можуть включати десятки мікродавачів, кілька каналів оброблення інформації та десятки виконуючих пристроїв. Прикладом MEMS з такою структурою може бути “мікролабораторія-на-кристалі” (рисунок 1.6 та рисунок 1.7) [10,11].



Рисунок 1.6 – Приклад складної структури MEMS з одним каналом оброблення інформації

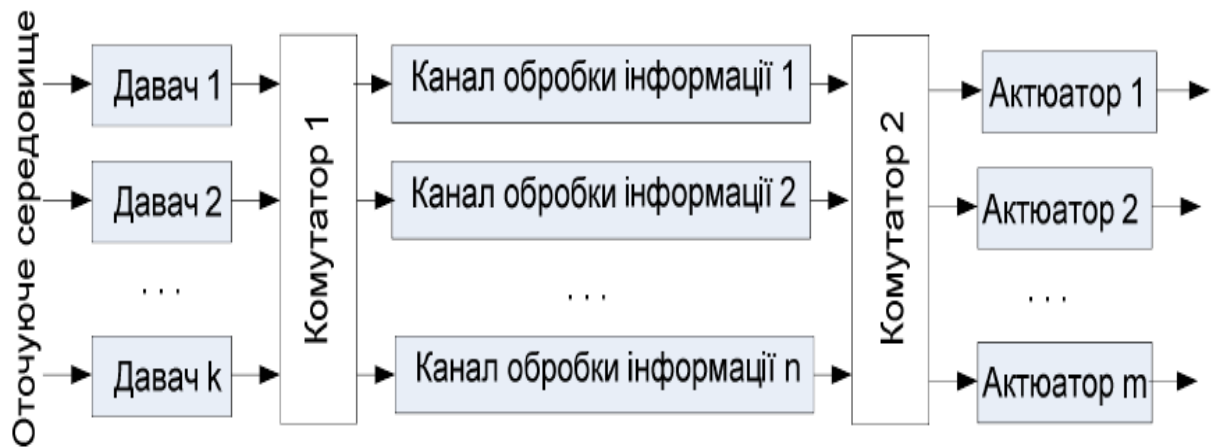


Рисунок 1.7 - Приклад складної структури МЕМС з кількома каналами оброблення інформації

Різниця між структурами на рисунках 1.6 та 1.7 полягає в тому, що на рисунку 1.6 структура включає один канал оброблення даних, а на рисунку 1.7 – декілька.

За кількістю елементів структура на рис. 1.7 є складніша, але структура на рис. 1.6 має кращі параметри швидкодії та надійності [10,11].

Усі канали оброблення інформації на рис. 1.7 можна розділити на дві групи. Перша група характеризується тим, що оброблення інформації відбувається в програмному режимі і відповідно для неї притаманні певні особливості. Зокрема до переваг програмних каналів оброблення інформації можна віднести можливість зміни програми оброблення, не змінюючи структури системи змінювати функції, які вона виконує. Друга група каналів обробляє інформацію від давачів за допомогою апаратних засобів і має кращі параметри швидкодії, ніж перша група. Разом з тим для каналів кожної групи притаманні і недоліки, зокрема: канали з програмним обробленням інформації мають гірше значення швидкодії, ніж канали з апаратними засобами оброблення, які не надають можливості змінювати алгоритми оброблення інформації від мікродавачів[10,11].

Тому, метою роботи є дослідження та розробка системи керування мікромеханічними механізмами.

Для досягнення поставленої мети необхідно було виконати наступні завдання:

1) виконати підбір оптимальної МЕМС із використанням двигунів мінімальних габаритів на мікроконтролерах;

2) розробити електричну схему пристрою управління мікромеханічними механізмами;

3) провести моделювання схеми за допомогою сучасних САПР (Proteus);

4) розробити заходи по умовам дотримання техніки безпеки та охорони праці робіт, що планується здійснити.

2. Розробка системи керування мікромеханічними механізмами

2.1 Структурна схема пристрою

У роботі за основу було обрано структурну схему МЕМС, описану у [10] – МЕМС із одним каналом оброблення інформації.

Структурна схема представлена на рисунку 2.1.

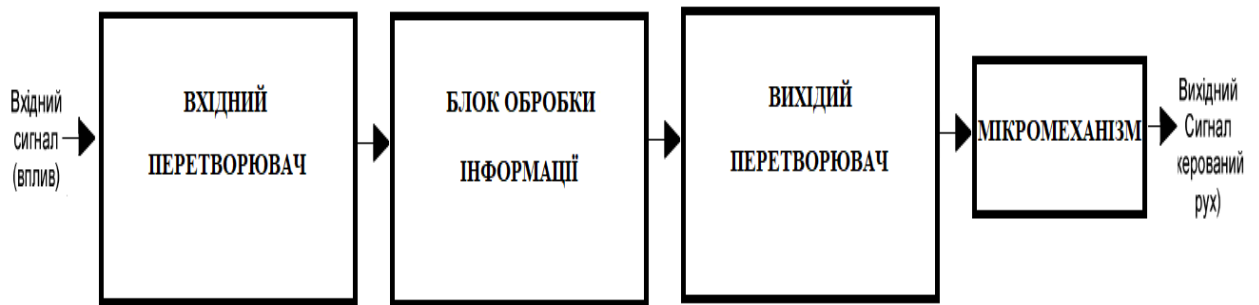


Рисунок 2.1 – Структурна схема системи керування мікромеханічними механізмами

Схема складається із блоку сенсорів разом із аналогово-цифровим перетворенням (АЦП) сигналу, мікроконтролерного блоку обробки інформації із подальшим її перетворенням на цифровий за допомогою цифро-аналогового перетворювача (ЦАП), мікромеханізму та каналу керованого руху вихідного сигналу.

За базову модель практичної реалізації МЕМС обираємо пристрій базпілотного літального апарату (БПЛА), призначеного для детектування електромагнітного випромінювання.

2.2 Вхідний перетворювач

Блок обробки вхідного сигналу складається із системи сенсорів електромагнітного випромінювання та АЦП.

2.2.1 Сенсор електромагнітного випромінювання

У якості сенсорів електромагнітного випромінювання обираємо модуль M116 [12].

Електрична схема модуля представлена на рисунку 2.2

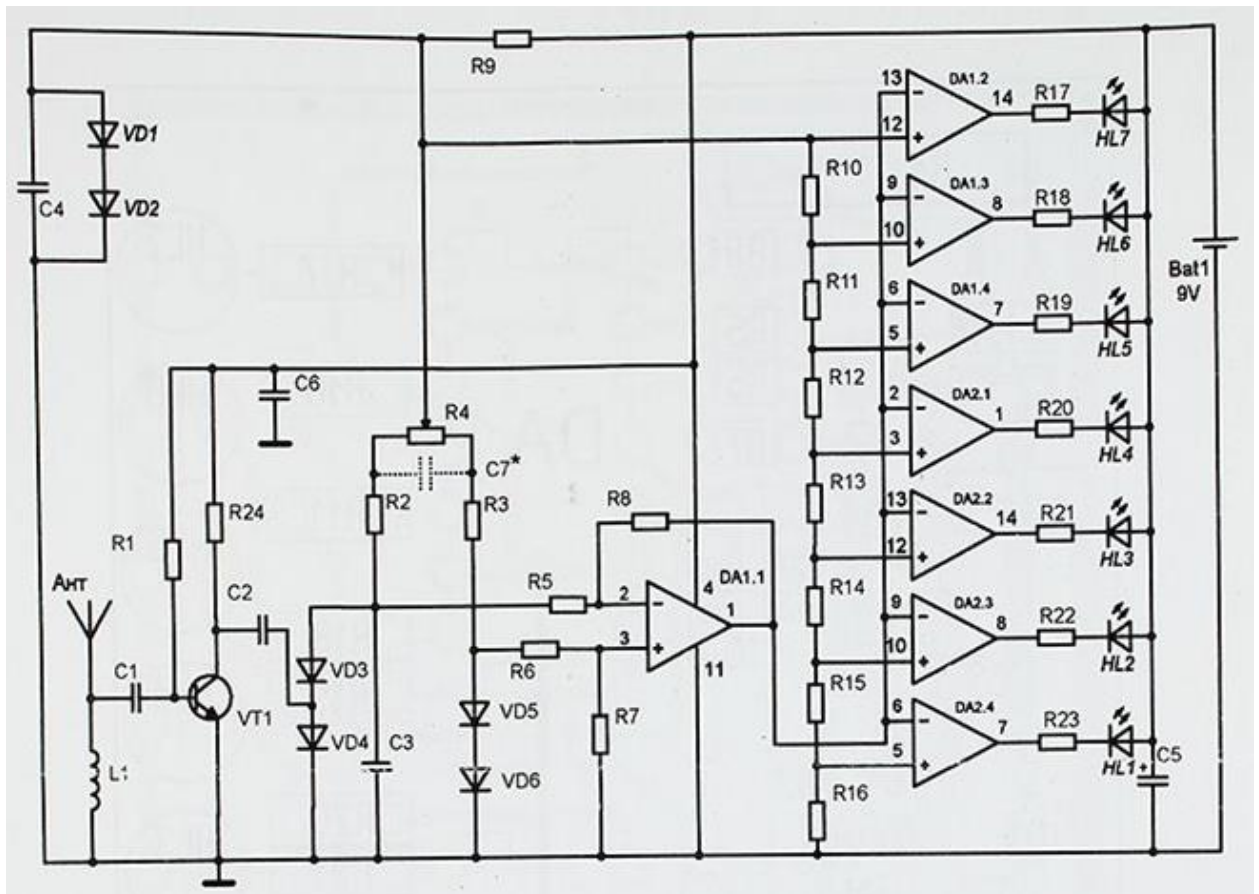


Рисунок 2.2 – Електрична схема сенсора електромагнітного випромінювання M116

Сигнал, підсилений підсилювачем високої частоти на транзисторі VT, потрапляє на балансний детектор, який зібрано на діодах VD1...VD6. Рівновага сигналу регулюється резистором R4. Детектований сигнал поступає

на диференціальний підсилювач DA1.1. На операційних підсилювачах DA1.2 – DA2.4 зібрано компаратори напруги, до яких підключено світлодіоди HL1 – HL7. Резисторами R10 – R16 задаються опорні напруги компараторів.

На рисунку 2.3 представлено друковану плату сенсора.

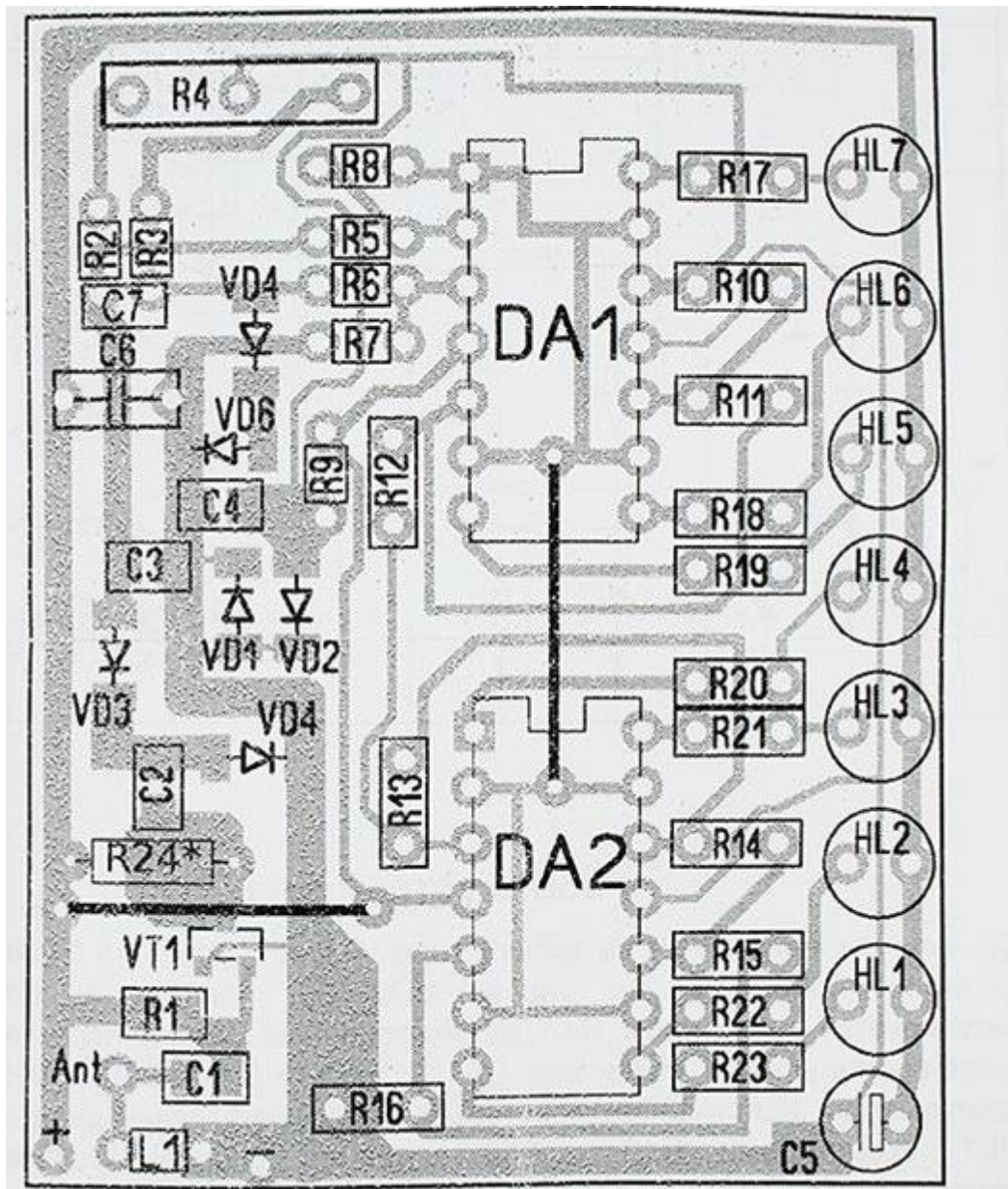


Рисунок 2.3 – Друкована плата сенсора електромагнітних коливань M116

2.2.2 АЦП вхідного сигналу

У якості каналу перетворення вхідного сигналу на цифровий у роботі запропоновано використати модуль PRUDAQ на базі АЦП Analog Devices AD9201 фірми Google Research [13] (рисунок 2.4).

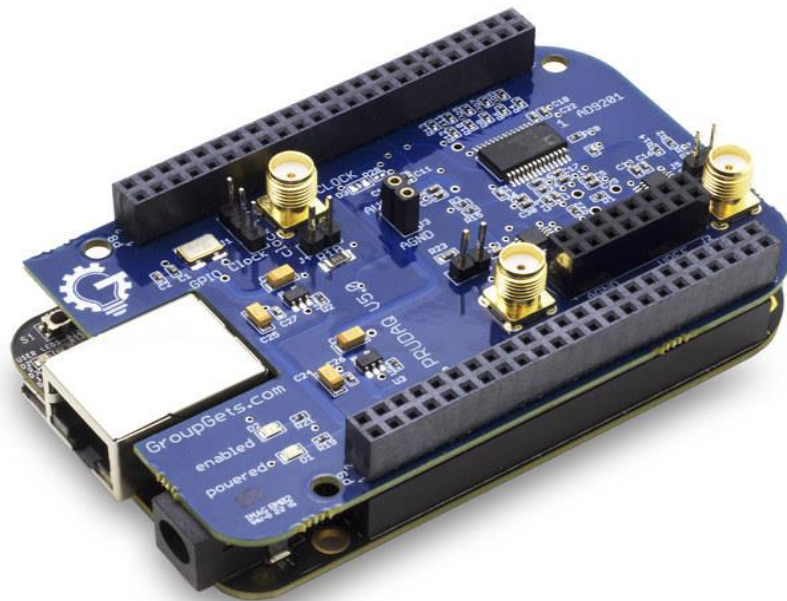


Рисунок 2.4 - Модуль PRUDAQ для АЦП перетворення вхідного сигналу

Характеристики PRUDAQ:

Двоканальна одночасна дискретизація 10-бітний АЦП (Analog Devices AD9201).

До 20 MSPS на канал (40MSPS загальної).

Діапазон вхідної напруги 0-2В (за постійним струмом).

4:1 аналогові перемикачі в передній частині кожного каналу забезпечують загалом 8 несиметричних аналогових входів.

SMA роз'єми для прямого доступу до 2 каналів АЦП.

Гнучкі можливості синхронізації:

Зовнішній вхід через роз'єм SMA;

Внутрішній бортовий генератор 10МГц;

Програмований годинник від BeagleBone GPIO.

Працює за допомогою BeagleBone - не потрібно зовнішнього джерела живлення.

Повністю відкриті BeagleBone заголовки на вершині для підключення.

Розміри - 87 мм x 56 мм (+/- 1 мм).

Вага - 29 грам.

2.2.3 Моделювання недвійкового та двійково-десятькового лічильників для встановлення розрядності АЦП вхідного сигналу

Для оптимізації роботи АЦП у роботі проведено моделювання недвійкового та двійково-десятькового лічильників для встановлення розрядності АЦП вхідного сигналу [14,15].

У двійкових лічильниках коефіцієнт рахунку $K_{\text{рах.}} = 2^n$ і може дорівнювати 2, 4, 8, 16, 32 і так далі. На практиці потрібні лічильники з коефіцієнтом рахунку не рівним 2^n , наприклад, 3, 6, 10, 12, 24 та ін. Вони виконуються на основі двійкових лічильників шляхом виключення в лічильники з $K_{\text{рах.}} = 2^n$ відповідного числа «надлишкових» станів N :

$$N = 2^n - K_{\text{доб.}}$$

Стани $(2^n - K_{\text{рах.}})$ виключаються усередині лічильника за допомогою зворотних зв'язків. Завдання синтезу таких лічильників зводиться до визначення вигляду необхідних зворотних зв'язків і мінімізації їх числа. Розглянемо приклад синтезу підсумовуючого лічильника з $K_{\text{рах.}} = 3$. Визначаємо необхідну кількість тригерів: $m = \log_2 3 = 1,58$

Округлюємо m до двох. Знаходимо число надлишкових станів:

$$2^2 - 3 = 1$$

З числа можливих станів лічильника виключимо, наприклад, стан $Q1 = Q2 = 1$.

Вибираємо тип тригерів (D – тригер). Будуємо таблицю станів лічильника (табл. 2.1) [14,15].

Таблиця 2.1 – Таблиця станів паралельного недвійкового лічильника

x^n	$Q2^n$	$Q1^n$	$Q2^{n+1}$	$Q1^{n+1}$
1	0	0	0	1
1	0	1	1	0
1	1	0	0	0
1	1	1	0	1

Складаємо карти функцій переходів тригерів лічильника (рис. 2.5).

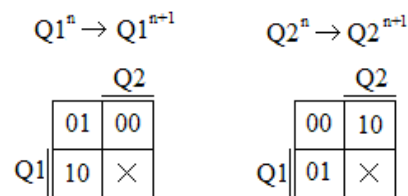


Рисунок 2.5 – Карти функцій переходів тригерів лічильника

Використовуючи словник переходів D – тригера і побудовані карти переходів тригерів лічильника, будуємо карти функцій входів тригерів (рис. 2.6) [14,15].

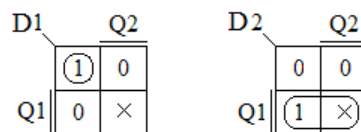


Рисунок 2.6 – Карти Карно функцій входів тригерів лічильника

В результаті отримані наступні функції входів тригерів лічильника:

$$D_1 = \bar{Q}_2 \bar{Q}_1; \quad D_2 = Q_1.$$

Будуємо схему лічильника (рис. 2.7).

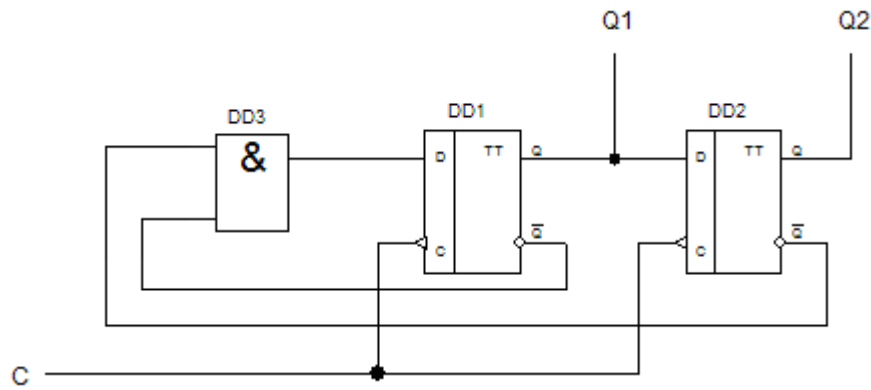


Рисунок 2.7 – Паралельний недвійковий лічильник з $K_{\text{рах.}} = 3$ на D – тригерах

Як видно зі схеми, виключення із станів лічильника двійкового числа 11 досягається подачею сигналів з інверсних виходів першого і другого розрядів на вхід першого розряду. Діаграма функціонування лічильника представлена на рисунку 2.8 [14,15].

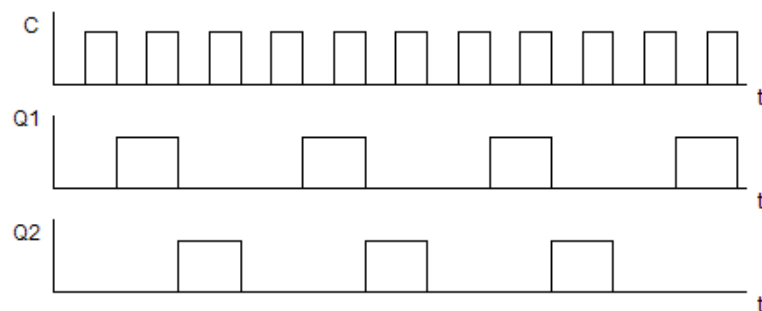


Рисунок 2.8 – Діаграма функціонування паралельного недвійкового лічильника з $K_{\text{рах.}} = 3$ на D – тригерах

Двійково-десяткові лічильники мають $K_{\text{рах.}} = 10$. Їх синтезують на основі чотирьохрозрядного лічильника, виключаючи $N = 2^m - K_{\text{рах.}} = 16 - 10 = 6$ надлишкових станів. Виключити можна будь-які 6 з 16 станів. У різних варіантах схем одному і тому ж десятковому числу можуть відповідати різні кодові комбінації, тобто різні варіанти лічильників працюють в різних двійково-десяткових кодах. Синтез двійково-десятьового лічильника можливо здійснити відповідно до таблиці станів (табл. 2.2) [14,15].

Таблиця 2.2 – Таблиця станів двійково-десятькового лічильника

n	$Q4^n$	$Q3^n$	$Q2^n$	$Q1^n$	$Q4^{n+1}$	$Q3^{n+1}$	$Q2^{n+1}$	$Q1^{n+1}$
0	0	0	0	0	0	0	0	1
1	0	0	0	1	0	0	1	0
2	0	0	1	0	0	0	1	1
3	0	0	1	1	0	1	0	0
4	0	1	0	0	0	1	0	1
5	0	1	0	1	0	1	1	0
6	0	1	1	0	0	1	1	1
7	0	1	1	1	1	0	0	0
8	1	0	0	0	1	0	0	1
9	1	0	0	1	0	0	0	0

Складемо карти Карно для функцій переходів тригерів кожного розряду (рис. 2.9).

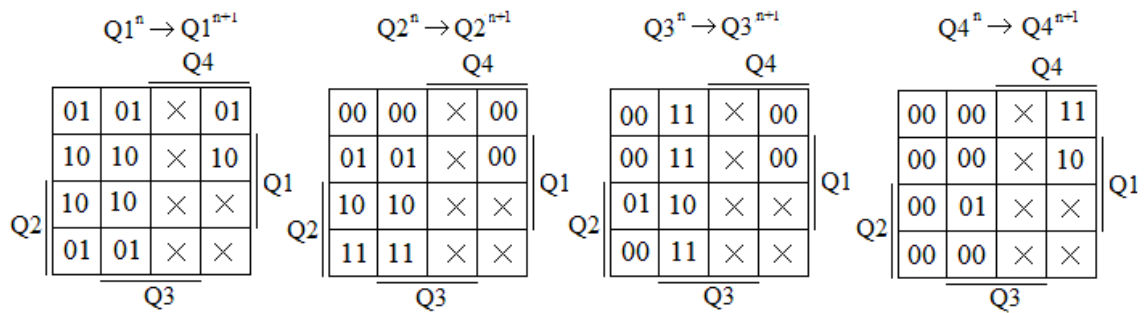


Рисунок 2.9 - Карти функцій переходів тригерів двійково-десятькового лічильника

Вибираємо JK – тригер, для побудови лічильника. Використовуючи словник переходів JK – тригера, для кожного входу тригера складаються карти Карно (рис. 2.10).

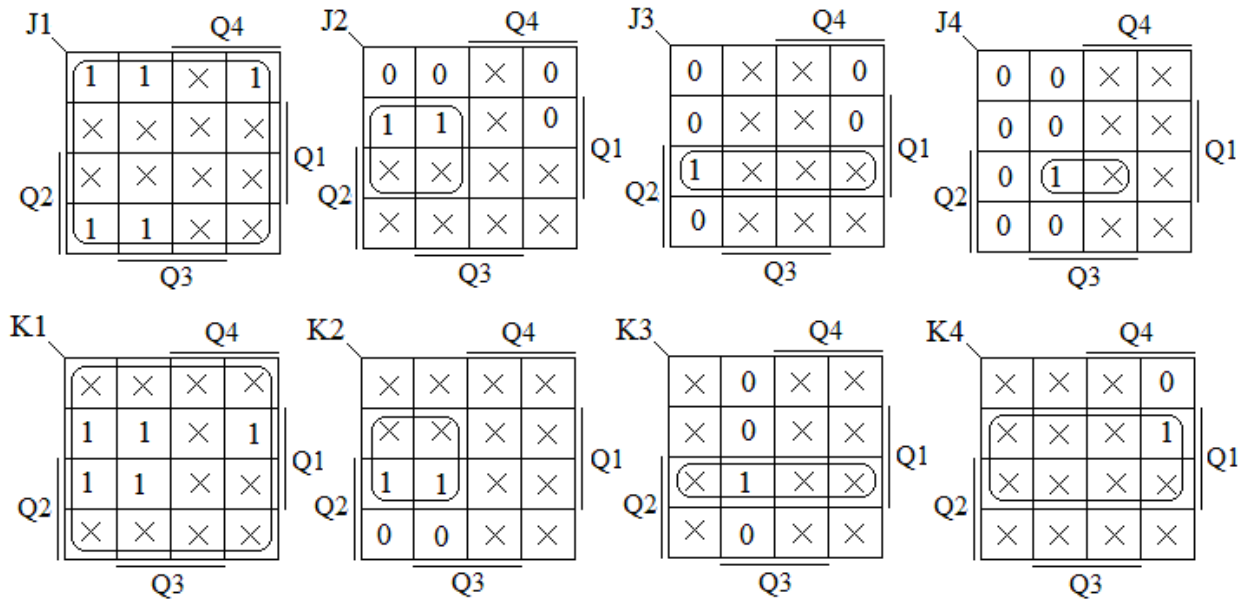


Рисунок 2.10- Карти Карно функцій входів тригерів лічильника

Функції входів лічильника мають вигляд:

$$J1 = 1; J2 = \bar{Q}4Q1; J3 = Q2Q1; J4 = Q3Q2Q1$$

$$K1 = 1; K2 = \bar{Q}4Q1; K3 = Q2Q1; K4 = Q1$$

Схема двійково-десятькового лічильника з $K_{\text{max}} = 10$ на JK – тригерах представлена на рисунку 2.11 [14,15].

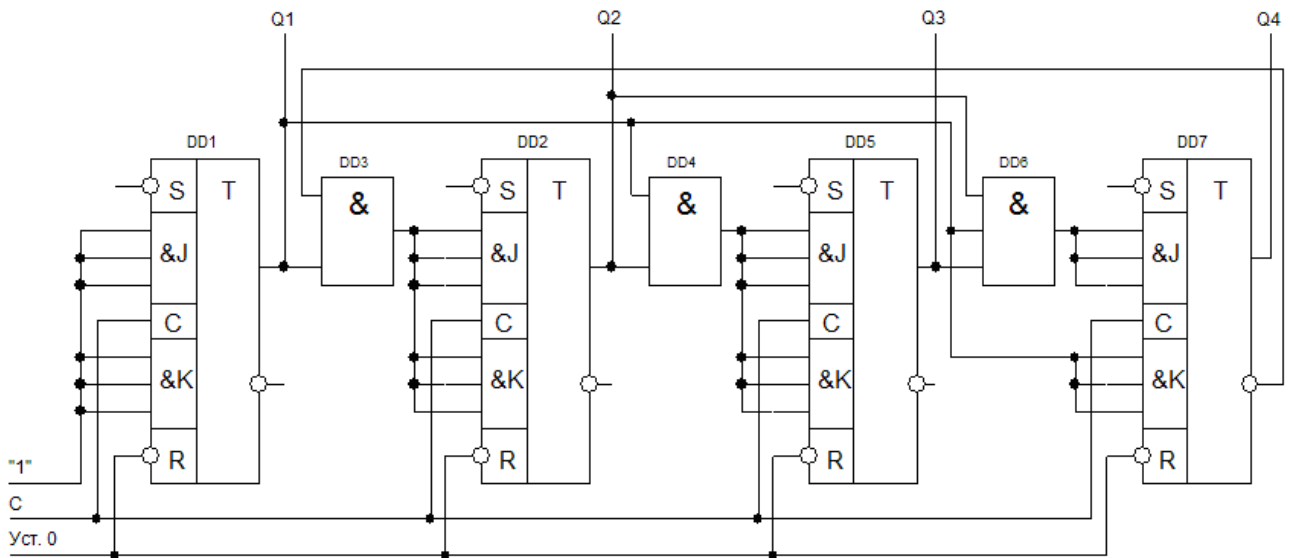


Рисунок 2.11 - Схема двійково-десятькового лічильника

2.3 Вихідний перетворювач із мікромеханізмами

Вихідний блок перетворювача об'єднано із схемами керування мікромеханізмами. У роботі у якості мікромеханізмів використано безколекторні електродвигуни.

2.3.1 Безколекторні двигуни системи керування мікромеханічними механізмами

У якості виконавчих мікромеханізмів у роробці обрано безколекторні електричні двигуни.

Безколекторні, або як їх ще називають, безщіточні (вентильні) двигуни – це електродвигун, що складається із ротора з магнітами постійного струму і статора з обмотками. Роль колектора виконує електронне обладнання [16].

Як і у колекторних двигунів момент безколекторних двигунів прямо пропорційний току, а швидкість залежить від напруги живлення і навантажує моменту [16].

Однак, безколекторні електродвигуни мають незаперечну перевагу в порівнянні з колекторними двигунами – це відсутність тертьових і стиральних частин, що перемикаються з контактами і т.п. і, як наслідок, високий ресурс роботи безколекторного двигуна.

Основні переваги безколекторних двигунів:

- висока швидкість і динаміка, точність позиціонування
- широкий діапазон зміни частоти обертання
- велика перевантажувальна здатність по моменту
- високий термін служби (ресурс електродвигуна обмежений тільки терміном служби підшипників)

- висока надійність і підвищений ресурс роботи за рахунок відсутності ковзних електричних контактів [16].

На рисунку 2.12 представлено зразки безколекторних електричних двигунів.



Рисунок 2.12 – Безколекторні електричні двигуни

Розрізняють два типи двигунів: «Inrunner», у яких магніти ротора знаходяться всередині статора з обмотками, і 390 «Outrunner», у яких магніти розташовані зовні та обертаються навколо нерухомого статора з обмотками.

Схему з внутрішнім ротором зазвичай застосовують для високошвидкісних двигунів з невеликою кількістю полюсів. Машину з зовнішнім ротором використовують при необхідності отримати високий питомий момент при порівняно невеликих оборотах. Конструктивне виконання машина з внутрішнім ротором має більш просту конструкцію, так як нерухомий статор може виконувати функцію корпусу. Так, на ньому можуть бути змонтовані кріплення. У разі виконання машини з зовнішнім ротором кріплення виконується до нерухомої вісі або деталі статора. По принципу дії він являє собою синхронну електричну машину, принцип роботи якого ґрунтується на самосинхронізованому частотному регулюванні, завдяки якому відбувається керування вектором магнітного поля статора. Обертання ротора забезпечується за рахунок постійного перемикання магнітного потоку таким чином, що постійні магніти «слідують» за магнітним полем, яке створюється котушками, які розташовані на статорі.

Контролери електродвигунів такого типу часто споживають постійну напругу [17], від чого і отримали свою назву. Одним з суттєвих недоліків є неможливість прямого пуску двигуна і для забезпечення роботи обов'язковим елементом є електронна система. Однією з умов є необхідність подачі напруги на обмотки двигуна в залежності від положення ротора, для чого застосовуються датчики положення. Вони можуть бути різного типу: оптичні, магнітні і т.п. В даний час найпоширеніші дискретні датчики на основі ефекту Холла.

Двигуни розміщуються на відповідних місцях рами БПЛА (рисунок 2.13) [18].

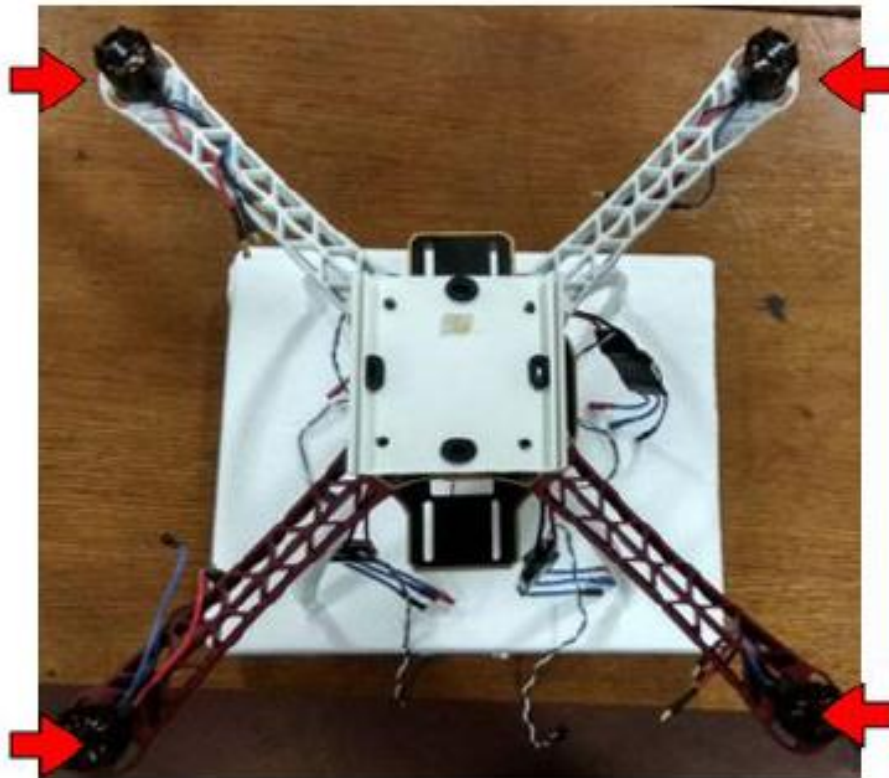


Рисунок 2.13. - Розміщення двигунів на рамі БПЛА

Слід зауважити, що двигуни променів на одній лінії мають обертатися в оберненому напрямку від інших двох двигунів (рисунок 2.14) [18].

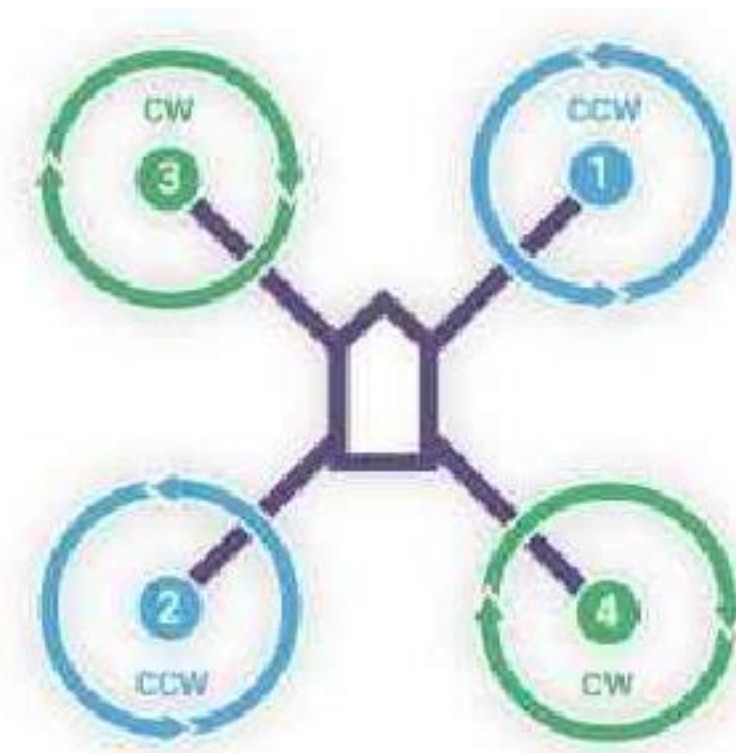


Рисунок 2.14. Схема напрямків обертання двигунів квадрокоптера типу «X»

Для цього необхідно інвертувати підключення кабелів живлення та заземлення до регуляторів швидкості у двигунах 1 та 2 [18].

2.3.2 Електрична схема керування силовою частиною безколекторних двигунів

Схема силового каскаду показана на рисунку 2.15. Силовий каскад складається із шести транзисторних ключів $K1...K6$. А, В, С - виводи обмоток двигуна. З'єднання обмоток між собою подібне до з'єднання в асинхронних двигунах. Ця схема дозволяє струму протікати між фазами А, В, С в будь-якому напрямі. Наприклад якщо замкнути ключ $K1$ та $K4$, то струм

потече від виводу А до виводу В, а якщо замкнути К3 і К2 - від виводу В до виведення А. Якщо замкнути К1 та К2 - вийде коротке замикання з вигоранням транзисторів.

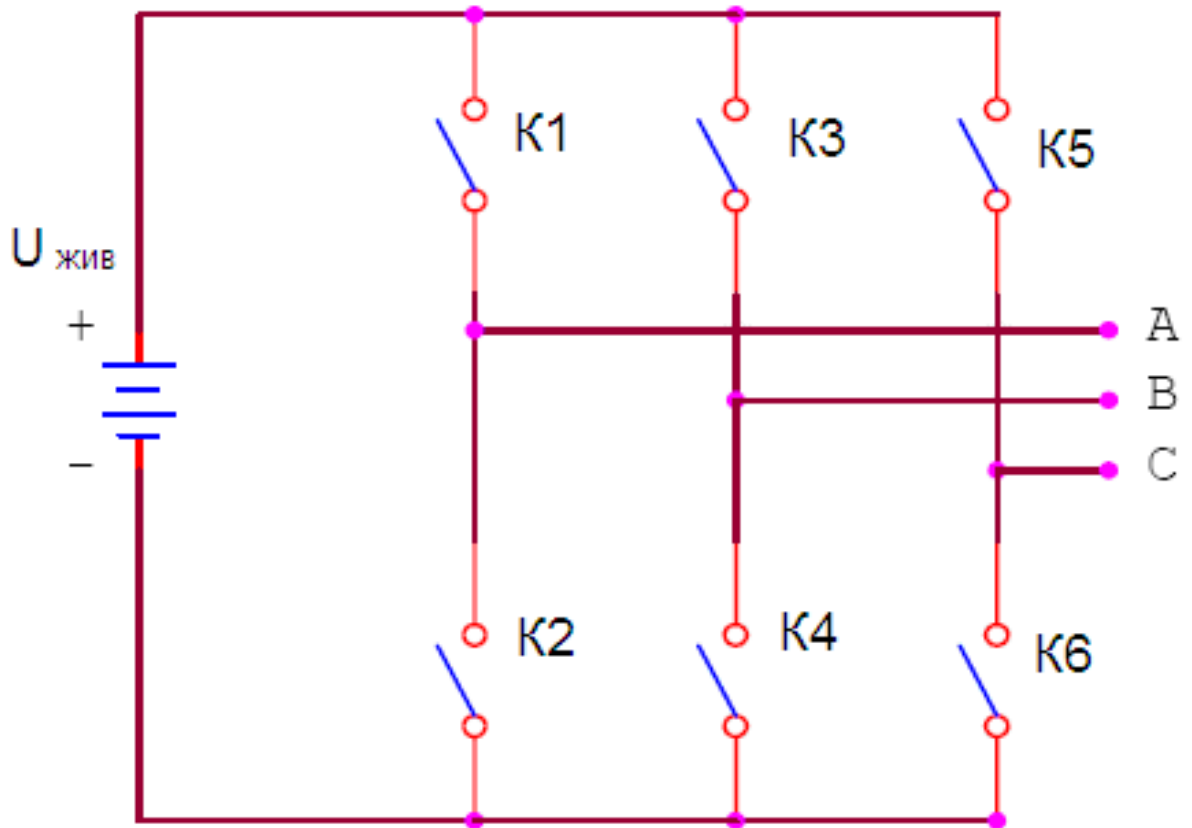


Рисунок 2.15 – Схема силового керування двигунами

Для регулювання сили струму у фазі використовують широкоімпульсну модуляцію (ШІМ). Наприклад частину часу спрацьовування відкривають ключі К1, К4 і струм починає текти від "А" до "В", потім закривають К1 і відкривають К2 і за рахунок індуктивності обмоток струм продовжує текти по кільцю А-В-К4-"земля"-К2. В транзистори вбудовані діоди, які проводять струм у зворотному напрямі. Отже, якщо в другій фазі ШІМ розімкнуті всі транзистори, то в обмотці почне зростати напруга і через ці діоди енергія з обмоток почне повертатися в мережу.

Силкові транзистори VT1-VT6 керуються мікросхемами-драйверами DA1-DA3 (рисунок 2.16). Транзистори типу IRLR3705 як одні з найбільш

потужних в корпусі D-Пак на напругу 55 В з опором 8МОм (розрахунок на напругу роботи 36 В плюс запас). Можлива реалізація транзисторів на радіаторах. Драйвера від фірми International Rectifier - irf2186s із струмом керування до 4А. Напівмостовий драйвер управляє двома транзисторами - верхнім і нижнім, для управління верхнім транзистором потрібна висока напруга, яка виходить за бустрепною схемою живлення за допомогою діода і конденсатора (наприклад С6, DD7). Ця схема найбільш проста. Між затворами транзисторів і драйверами - резистори з діодом. Вони обмежують струм затвора, причому струм зарядки майже в 2 рази більше. Чим більше струм, тим менше гріються транзистори при перемиканні, але зростають сплески напруги. Тому номінал резисторів потрібно зменшувати до якої-небудь межі. Причому транзистор відкривається повільніше, ніж закривається, тому струм зарядки встановлено більше. Сигнальні виводи драйверів підтягнуті до землі на той випадок, щоб не спрацювали коли немає сигналів управління. Живлення, силові виводи транзисторів і виводи датчиків холу виведені на клемник Х1. Для захисту від короткого замикання потрібно контролювати струм. Для цього служать резистори R19, R21 сумарним опором 0,005 Ом , падіння напруги на них посилюється мікросхемою LM358 і йде на компаратор і АЦП контролера. Пропонується у схемі ставити змінний резистор, аби користувач міг задавати порогового спрацювання захисту. Також в контролер заведений сигнал V_IN_MEAS, пропорційний вхідній напрузі. Зроблено це, аби не давати працювати драйверу при вхідній напрузі більш 36 В.

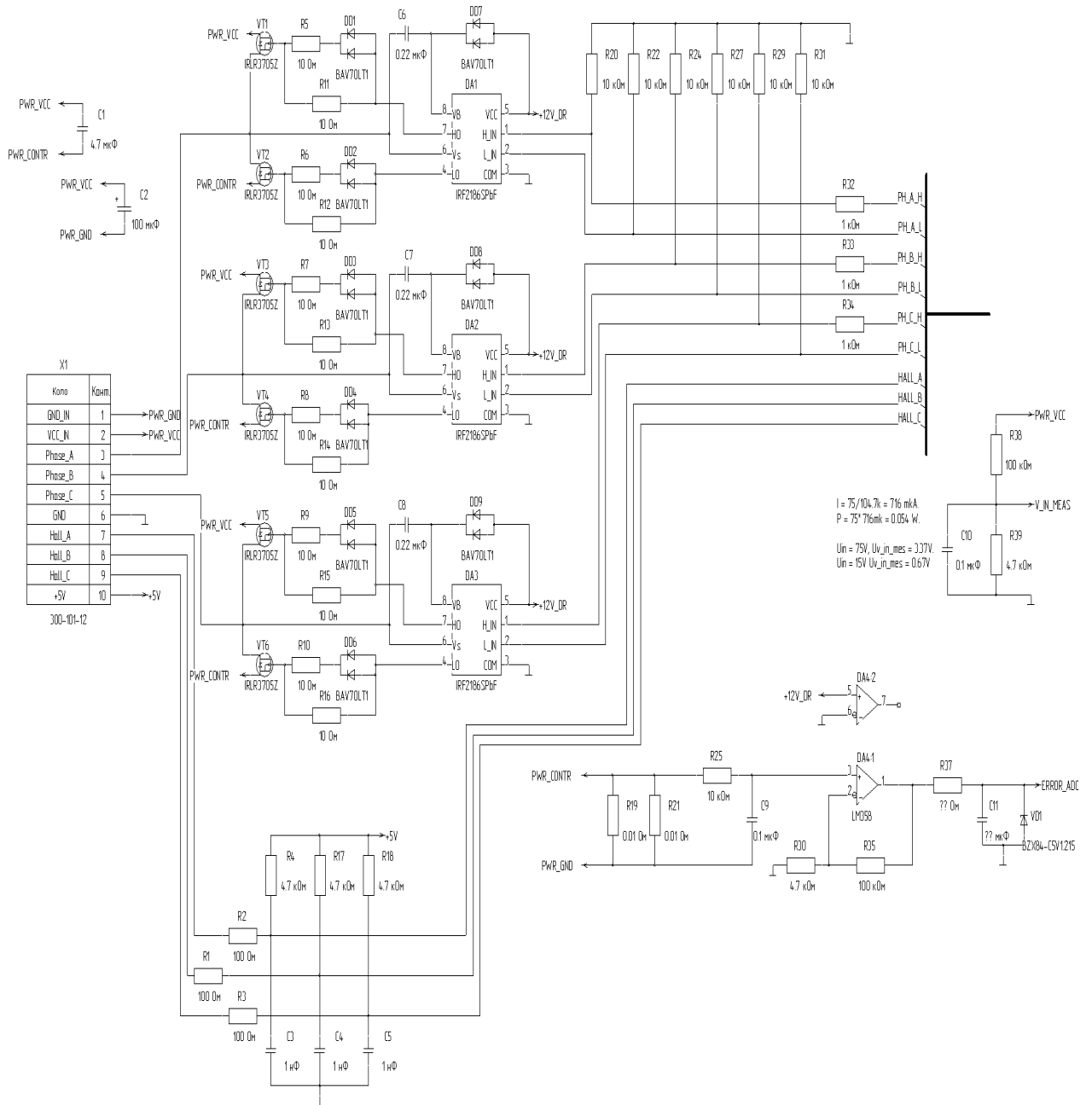


Рисунок 2.16 – Електрична схема керування силовою частиною двигунів

2.3.3 Схема живлення логічних елементів

З вхідного живлення 24..36 В потрібно отримати 12 В для живлення драйверів транзисторів і 5 В для схеми управління логікою. Для отримання 12 В у схемі використовується лінійний стабілізатор MC78M12. Зайву напругу він розсіює у вигляді тепла, але оскільки драйвери транзисторів споживають невелику потужність температурний режим є прийнятним. Для отримання 5 В живлення застосовується знижуючий перетворювач L5973AD. Він не дуже дорогий, але у відмінності від ще дешевших варіантів має захист від короткого замикання на виході. Обидві ці мікросхеми мають максимально допустиму напругу 35 В. Для гасіння можливої зайвої напруги призначена конструкція з транзисторів VT7, VT8 і стабілітрона VD3. На рисунку 2.17 представлено схему живлення логічних елементів.

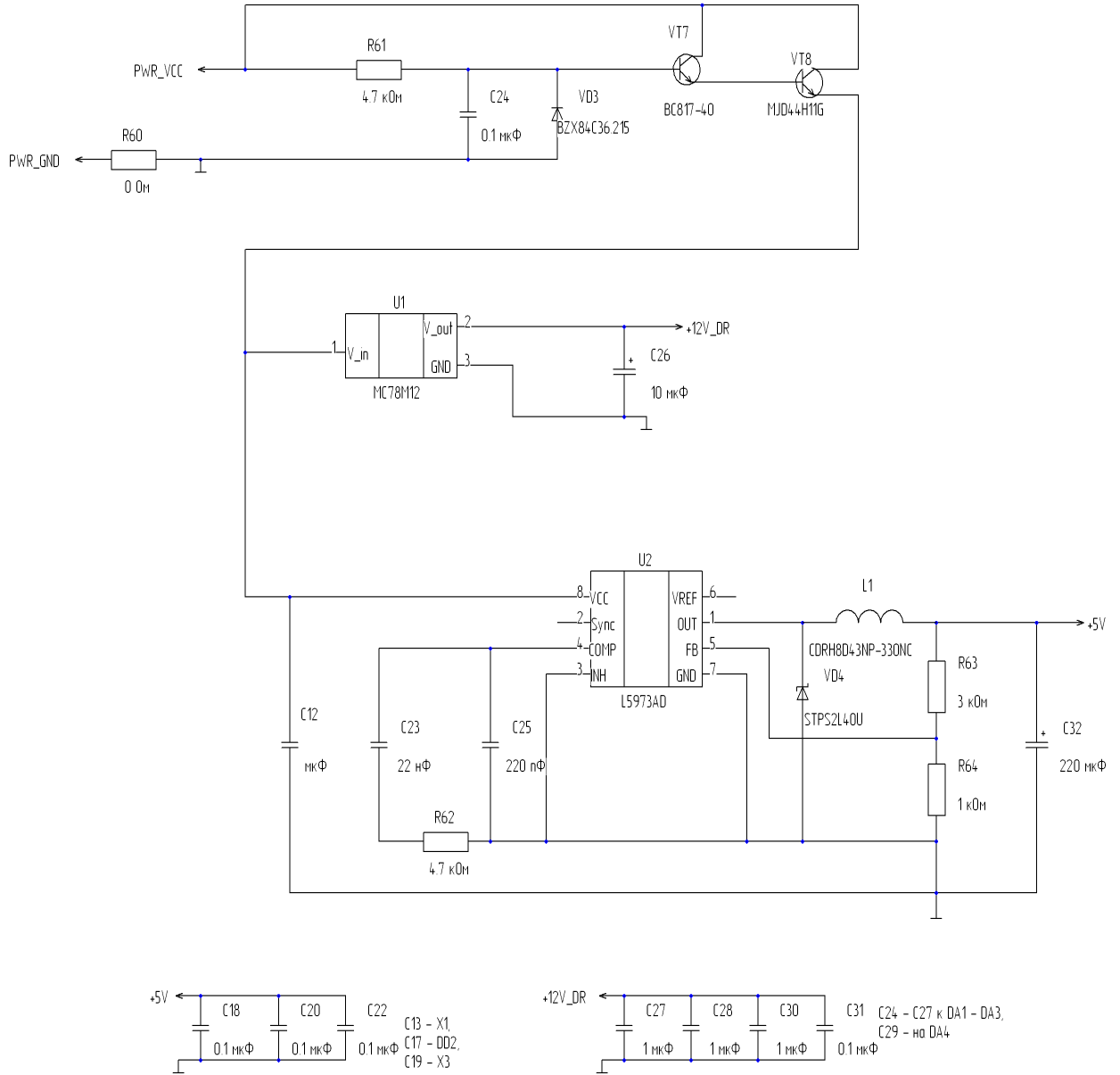


Рисунок 2.7 – Схема живлення логічних елементів

2.3.4 Електрична схема з'єднання мікроконтролера управління безколекторними двигунами

На рисунку 2.18 представлено схему з'єднання мікроконтролера, який керує роботою двигунів та системою автоматизації. Для використання було обрано мікроконтролер типу AT90PWM3B. Вибір цього типу мікроконтролера був обґрунтований наступними значеннями його параметрів [19]:

- тактова частота: 16 МГц;
- ядро: AVR;
- пам'ять: 8 кБ Flash, 512 байт EEPROM, 512 байт SRAM;
- швидкодія: до 1MIPS на 1 МГц;
- АЦП: 11-канальний, 10-розрядний;
- ЦАП: 10 біт;
- чотири зовнішніх переривання;
- сторожовий таймер із власним осцилятором;
- напруга живлення: 2,7 В...5,5 В;
- температурний діапазон: -40°C...+105°C;
- тип корпусу: SO-32.

Схема з'єднання мікроконтролера складається із наступних елементів:

- 6 виводів PSCOUT_XX використовуються для управління драйверами транзисторів;
- 3 виведення HALL_X використовуються для відстежування датчиків холу двигуна;
- 3 виводу задіяні на мікроперемикач SA1 - він служить для перемикання інтерфейсів драйвера (RS485 або змінний резистор з кнопками), вибору числа пар полюсів підключеного двигуна (2

або 4) і для проведення калібрування двигуна (визначення положення датчиків холу);

- 3 виводу задіяні для управління мікросхемою-драйвером RS485;
- 6 виводів задіяні під варіант традиційного управління драйвером - з кнопками і змінним резистором. 4 кнопки служать для вмикання/вимикання (Enable), реверсу(F/R), гальма (Brake) і вибору режиму підтримки швидкості (Mode). Ще одне виведення Speed (analog) для змінного резистора задання швидкості і на останній вихід Hall_out подаються імпульси при спрацьовуванні датчиків холу. Ці виводи і виводи інтерфейсу RS485 виведені на клемник X3;
- 2 виводу задіяні для контролю сигналу струмового шунта ERROR_ADC. Один для швидкого спрацьовування захисту, інший для грубої оцінки споживаного струму;
- 1 вивід для контролю входної напруги V_IN_MEAS;
- 1 вивід для світлодіода VD5 - для індикації різних станів.

Також на схемі є роз'єм програмування контролера X2

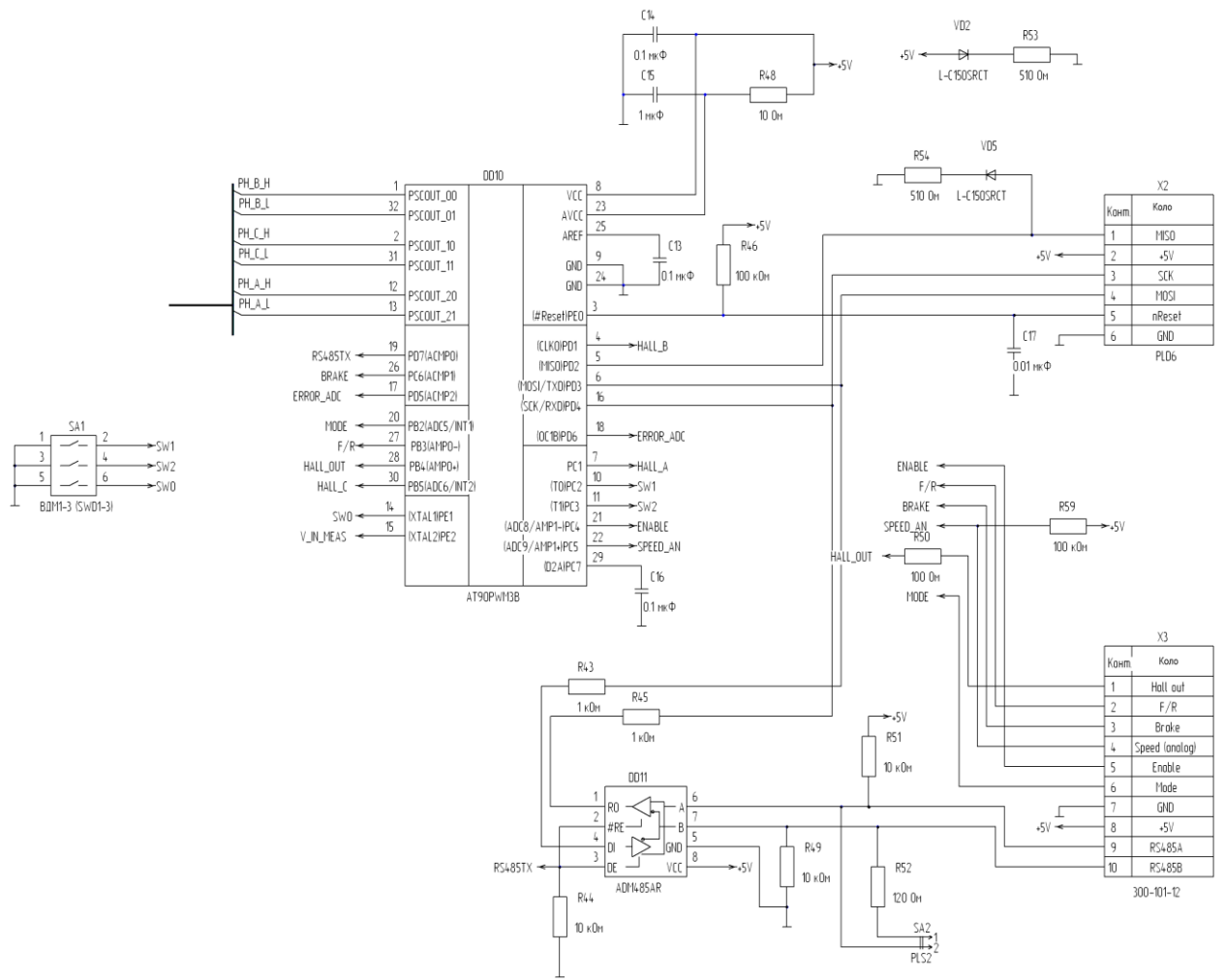


Рисунок 2.18 - Схема з'єднання мікроконтролера

2.4 Моделювання роботи електричної схеми пристрою в середовищі Proteus

Для аналізу роботи електричну схему було проведено моделювання схеми в програмному середовищі Proteus. На рисунку 2.19 представлено осцилограми сигналів керування.

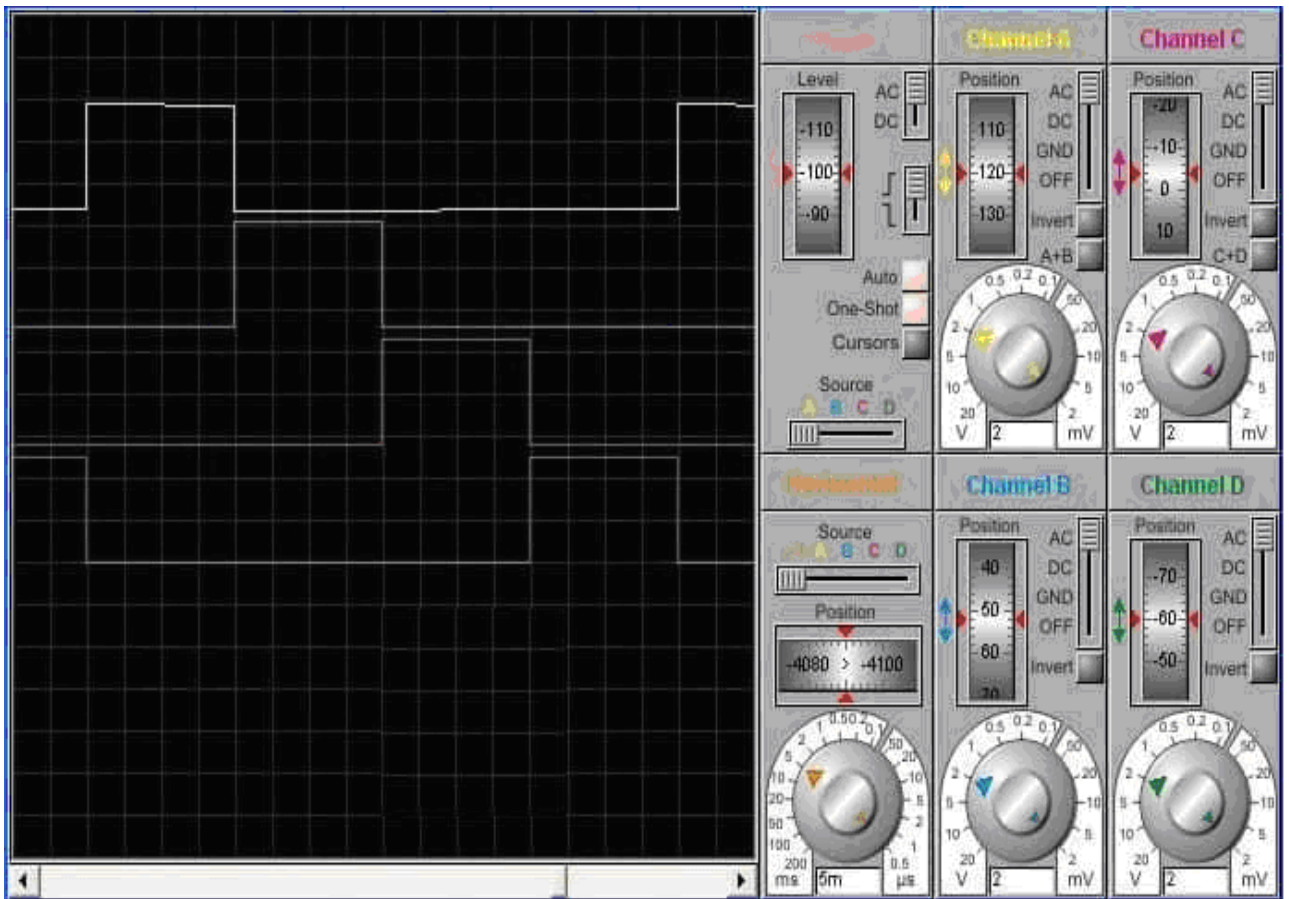


Рисунок 2.19 – Моделювання роботи схеми в середовищі Proteus

Як видно із осцилограм, схема має достатньо стабільний режим роботи і не містить додаткових шумових спотворень.

2.5 Інтерфейс обробки інформації електричної схеми пристрою управління двигунами

Для управління та обробкою інформативних сигналів в електричній схемі використано інтерфейс RS-485 (Recommended Standard 485 або EIA/TIA-485-A).

Електричні властивості інтерфейсу стандарту RS-485:

- двонаправлена напівдуплексна передача даних. Потік послідовних даних передається одночасно тільки в один бік, передача даних в інший бік вимагає перемикання прийомопередавача. Прийомопередавачі прийнято називати "драйверами" (driver), цей пристрій або електричний ланцюг, який формує фізичний сигнал на стороні передавача для обміну з приймачами на лінії;
- симетричний канал зв'язку. Для прийому/передачі даних використовуються два рівнозначних сигнальних дроти. Вони позначаються латинськими літерами "А" і "В". По цих двох проводах йде послідовний обмін даними в обох напрямках (по черзі). При використанні витої пари симетричний канал істотно підвищує стійкість сигналу до синфазної завади і добре пригнічує електромагнітні випромінювання, створювані корисним сигналом;
- диференціальний (балансний спосіб передачі даних). При цьому способі передачі даних на виході приймача змінюється різниця потенціалів, при передачі "1" різниця потенціалів між АВ позитивна, а при передачі "0" різниця потенціалів між АВ негативна. Тобто струм між контактами А і В при передачі "0" або "1" тече (балансує) в протилежних напрямках;
- багатоточковість. Допускає множинне підключення передавачів і приймачів до однієї лінії зв'язку. При цьому допускається підключення до лінії тільки одного передавача в даний момент часу і безлічі приймачів,

- а інші передавачі повинні чекати звільнення лінії зв'язку для передачі даних;
- низькоімпедансний вихід передавача. Буферний підсилювач передавача має низькоомний вихід, що дозволяє передавати сигнал до багатьох приймачів. Стандартна навантажувальна здатність передавача дорівнює 32 приймачам на один передавач. Крім цього струмовий сигнал використовується для роботи "крученої пари" (чим більше робочий струм "крученої пари", тим сильніше придушуються синфазні перешкоди на лінії зв'язку);
 - зона нечутливості. Якщо диференціальний рівень сигналу між контактами А–В не перевищує $\pm 200\text{mV}$, то вважається, що сигнал у лінії відсутній. Це збільшує завадостійкість передачі даних [20].

Переваги стандарту RS–485:

- поліпшена завадостійкість;
- велика дальність зв'язку;
- однополярне живлення +5 В;
- проста реалізація драйверів;
- можливість ширококомовної передачі;
- багатоточкове інтерфейсне з'єднання [20].

Для передачі та прийому сигналів на промисловому рівні застосовуються програмно керовані логічні контролери. Максимальна віддача від логічних контролерів отримується при мережевій роботі на шині і тут доречним стає інтерфейс RS–485. На рисунку 2.20 відображено типову схему підключення трансиверів за допомогою «крученої пари» і розташування контактів мікросхем з логікою почергового керованого обміну адресною інформацією по шині інтерфейсної мережі. Кількість абонентів складає 32 точки прийому [20].

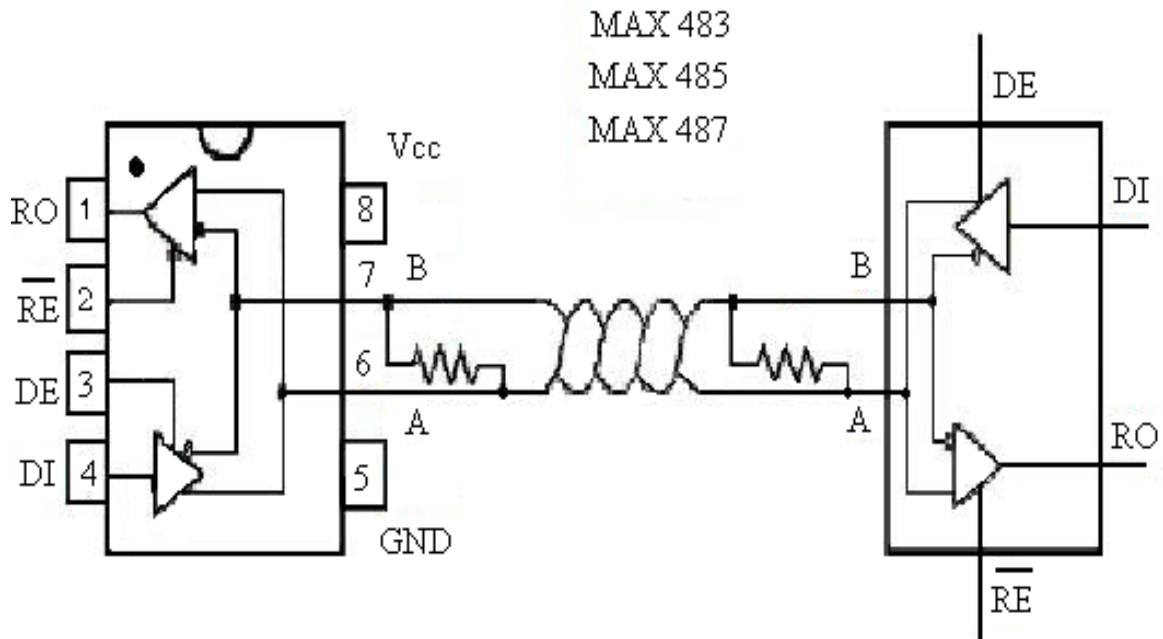


Рисунок 2.20 – Типова схема підключення двох трансиверів фірми MAXIM з напівдуплексним обміном даними

Отже, за результатами розділу можна зробити наступні висновки:

1) у результаті проведеного дослідження та аналізу розроблено структурну схему системи керування мікромеханічними механізмами із одним каналом оброблення інформації, як найбільш економічну;

2) за базову модель практичної реалізації MEMS обираємо пристрій безпілотного літального апарату (БПЛА), призначеного для детектування електромагнітного випромінювання;

3) у якості каналу перетворення вхідного сигналу на цифровий у роботі запропоновано використати модуль PRUDAQ на базі АЦП Analog Devices AD9201 фірми Google Research, як такий що має невеликі масогабаритні параметри (вага – 29 г);

4) у роботі використано безколекторні електричні двигуни, як такі, що мають високу надійність і підвищений ресурс роботи за рахунок відсутності ковзних електричних контактів;

5) розроблено комплексну схему керування безколекторними двигунами за допомогою мікроконтролера AT90PWM3B;

4) для сумісної роботи інтерфейсу збору даних та ПК використовується мережа RS-485;

6) моделювання роботи окремих блоків системи у САПР показало достатні результати, які співпадають із теоретичними розрахунками.

3 Техніко - економічне обґрунтування виготовлення електронних схем системи керування мікромеханічними механізмами

3.1 Обґрунтування вибору технології виготовлення електронних схем системи керування мікромеханічними механізмами

Для вибору технології виготовлення електронних схем проаналізуємо ієрархії чотирьох варіантів (табл. 3.1), враховуючи шкалу відносної важливості (табл. 3.2) [21].

Таблиця 3.1 - Можливі варіанти технологій виробництва пристрою

Технологія		Короткий опис
A	Напівпровідникових інтегральних схем	Всі елементи та між елементні з'єднання виконані на поверхні та в об'ємі загального кристала напівпровідника
B	Толстоплівкових гібридних інтегральних схем	Всі елементи та між елементні з'єднання виконані у вигляді товстих композитних плівок.
C	Тонкоплівкових гібридних інтегральних схем	Всі елементи та між елементні з'єднання виконані у вигляді тонких плівок провідних та резистивних матеріалів.
D	Тонкоплівкових гібридних мікроборки	Активні та пасивні елементи схеми навісні, а струмопровідний шар виконано у вигляді тонких плівок.

Вибір робимо за критеріями, наведеними в таблиці 3.3.

Встановлюємо відносну вагу кожного критерію на основі матриці парних порівнянь для обраних критеріїв (табл. 3.3) [21].

Таблиця 3.2 - Шкала відносної важливості

Інтенсивність відносної важливості	Визначення
1	рівна важливість
3	помірна перевага
5	сильна перевага
7	значна перевага
9	дуже сильна перевага
2,4,6,8	проміжні судження

Таблиця 3.3 – Попарне порівняння критеріїв

Критерій	1	2	3	4	5	6	$\sqrt[6]{\prod_{i=1}^6 \omega_i}$	X_i
1. Швидкодія	1	1/3	3	1/7	1/5	3	0,664	0,073
2. Завадостійкість	3	1	3	1/3	1/7	3	1,042	0,116
3. Споживання	1/3	1/3	1	1/5	1/7	3	0,460	0,051
4. Площа	7	3	5	1	1/5	7	2,297	0,254
5. Сумісність	5	7	7	5	1	5	4,277	0,473
6. Вартість	1/3	1/5	1/3	1/7	1/5	1	0,293	0,033
	Σ						9,033	1,00

У матриці прийняті наступні позначення: i – номер критерію; при порівнянні 6-ох критеріїв (табл. 3.3) $i = 1, 2, 3, 4, 5, 6$; X_i - локальний пріоритет, тобто відносна вага i -го критерію в глобальному критерії:

Далі аналогічно складаємо 6 матриць попарних порівнянь альтернатив стосовно кожного критерію (табл. 3.4 - 3.9). Оскільки тепер порівнюються 4 технології по одному критерію, то $i = 1, 2, 3, 4$.

$$X_i = \frac{\sqrt[4]{\prod_{i=1}^4 \omega_i}}{\sum_{i=1}^4 \sqrt[4]{\prod_{i=1}^4 \omega_i}},$$

де Σ - сума по стовпці $\sqrt[4]{\prod_{i=1}^4 \omega_i}$.

Таблиця 3.4 - Порівняння альтернатив стосовно критерію «швидкодія»

Технологія	A	B	C	D	$\sqrt[4]{\prod_{i=1}^4 \omega_i}$	X _i
A	1	1/5	3	3	1,16	0,19
B	5	1	7	7	3,96	0,65
C	1/3	1/7	1	1/2	0,39	0,07
D	1/3	1/7	2	1	0,56	0,09
Σ					6,07	1,00

Таблиця 3.5 - Порівняння альтернатив стосовно критерію «завадостійкість»

Технологія	A	B	C	D	$\sqrt[4]{\prod_{i=1}^4 \omega_i}$	X _i
A	1	5	1	1/3	1,14	0,21
B	1/5	1	1/5	1/7	0,48	0,09
C	1	5	1	1/3	1,56	0,29
D	3	7	3	1	2,20	0,41
Σ					5,37	1,00

Таблиця 3.6 - Порівняння альтернатив стосовно критерію «споживання»

Технологія	A	B	C	D	$\sqrt[4]{\prod_{i=1}^4 \omega_i}$	X _i
A	1	5	1/5	1/7	0,61	0,09
B	1/5	1	1/7	1/9	0,24	0,04
C	5	7	1	1/3	1,85	0,29
D	7	9	3	1	3,71	0,58
Σ					6,41	1,00

Таблиця 3.7 - Порівняння альтернатив стосовно критерію «площа»

Технологія	A	B	C	D	$\sqrt[4]{\prod_{i=1}^4 \omega_i}$	X _i
A	1	5	3	5	0,99	0,21
B	1/5	1	1/3	1/2	0,24	0,05
C	1/3	3	1	3	2,03	0,43
D	1/5	2	1/3	1	1,47	0,31
Σ					4,73	1,00

Таблиця 3.8 - Порівняння альтернатив стосовно критерію «сумісність»

Технологія	A	B	C	D	$\sqrt[4]{\prod_{i=1}^4 \omega_i}$	X_i
A	1	5	1/3	1/5	0,76	0,13
B	1/5	1	1/7	1/9	0,24	0,04
C	5	7	1	1/2	2,41	0,41
D	3	9	2	1	2,47	0,42
Σ					5,88	1,00

Таблиця 3.9 - Порівняння альтернатив стосовно критерію «вартість»

Технологія	A	B	C	D	$\sqrt[4]{\prod_{i=1}^4 \omega_i}$	X_i
A	1	3	5	6	3,08	0,56
B	1/3	1	3	4	1,41	0,26
C	1/5	1/3	1	2	0,60	0,11
D	1/6	1/4	1/2	1	0,38	0,07
Σ					5,47	1,00

Глобальний пріоритет для кожної альтернативи обчислюється як сума добутоків кожного локального пріоритету на його ваговий коефіцієнт (табл. 3.10) [21].

З порівняння глобальних пріоритетів різних технологій видно, що найбільшим є пріоритет у варіанта виготовлення електронної схеми системи керування мікромеханічними механізмами з використанням технології тонкоплівкових гібридних мікроборок.

Таблиця 3.10 - Глобальний пріоритет для кожної альтернативи

Пріоритети	№1	№2	№3	№4	№5	№6	Глобальний
Вага	0,073	0,116	0,051	0,254	0,473	0,033	
Напівпровідникових інтегральних схем	0,19	0,21	0,09	0,21	0,13	0,56	0,176
Толстоплівкових гібридних інтегральних схем	0,65	0,09	0,04	0,05	0,04	0,26	0,100
Тонкоплівкових гібридних інтегральних схем	0,07	0,29	0,29	0,43	0,41	0,11	0,360
Тонкоплівкових гібридних мікроборок	0,09	0,41	0,58	0,31	0,42	0,07	0,364

За допомогою методу аналізу ієрархій проведено порівняння чотирьох типів технологій виготовлення електронної схеми пристрою дистанційного керування системою тепловізійних вимірювань за наступними критеріями: 1) швидкодія; 2) завадостійкість; 3) споживана потужність; 4) площа, займана на кристалі; 5) сумісність; 6) вартість. Найбільший локальний пріоритет у критерію «сумісність» (табл. 3.3). За даними таблиці 3.9 локальний пріоритет за критерієм «вартість» є найвищим для технології напівпровідникових інтегральних схем. Проте найбільший глобальний пріоритет має технологія тонкоплівкових гібридних мікроборок. Саме вона й буде використовуватися для виготовлення електронної схеми пристрою дистанційного керування системою тепловізійних вимірювань.

3.2 Розрахунок витрат на виготовлення електронних схем системи керування мікромеханічними механізмами

Витрати на матеріали і напівфабрикати, вказані в таблиці 3.11, склали 2314,00 грн.

Таблиця 3.11 - Розрахунок вартості основних покупних виробів

Матеріали і напівфабрикати	Одиниця виміру	Кількість	Ціна за одиницю, грн.	Вартість матеріалів і напівфабрикатів, грн.
Фольгований склотекстоліт	м ²	0,4	20	8
Хлорне залізо	кг	0,5	50	25
Мікросхема AD9201	шт.	1	40	40
Мікросхема AD9201	шт.	1	140	140
Операційний підсилювач	шт.	10	80	800
Діод	шт.	16	20	320
Транзистор біполярний	шт.	3	10	30
Транзистор польовий	шт.	6	20	120
Конденсатори метало-плівкові типа CL20	шт.	23	5,0	115
Резистор	шт.	18	2,0	36
Папір писальний	уп.	1	180	180
Транспортно-заготівельні витрати				500
Разом				2314

4 Охорона праці та техногенна безпека при розробці системи керування мікромеханічними механізмами

4.1 Характеристика потенційних шкідливих та небезпечних виробничих факторів

Роботи по розробці електричних схем системи керування мікромеханічними механізмами планується проводити в дослідницькій лабораторії Інженерного навчально-наукового інституту ім. Ю.М. Потебні ЗНУ. Ці роботи не представляють великої небезпеки, оскільки приміщення Інженерного навчально-наукового інституту ім. Ю.М. Потебні ЗНУ належать до приміщень без підвищеної небезпеки. Проте, використання електроустаткування може нести в собі ряд шкідливих і небезпечних для життя і здоров'я людей чинників, що працюють з ним. Основну небезпеку дослідницької лабораторії представляють використання електроприладів, які працюють при напрузі небезпечній для життя.

Дія електричного струму на живу тканину носить своєрідний характер. Проходячи через організм, електричний струм виробляє термічну, електролітичну і біологічну дію [22].

Міра небезпечної і шкідливої дії на людину електричного струму і електричної дуги залежить від роду і величини напруги струму, частоти струму, шляху струму через тіло організму, тривалість дії електричного струму, умов зовнішнього середовища.

У дослідницькій лабораторії існує можливість виникнення небезпеки при роботі з шкідливими речовинами в процесі моделювання плати пристрою. При монтажі електронних плат застосовують ацетон, спирт для знежирення і очищення від пилу мікросхеми, а також олово і каніфоль для припаювання ніжок напівпровідникового приладу до плати.

Спирт, ацетон викликає сухість шкіри. При систематичному вдиханні можливі захворювання сітківки ока. Також можливі нирково-психічні захворювання.

Каніфоль дратівливо діє на слизисті оболонки дихальних шляхів і на шкіру, що наводить до дерматитів.

При недостатній освітленості на робочому місці може виникнути зорова втома.

Небезпечні фактори:

1. Балони з киснем. Обладнання, яке працює під тиском, повинне мати запобіжні пристрої, які не допускають підвищення тиску в обладнанні вище дозволеного.

2. Печі. Всі гарячі частини обладнання, трубопроводів, посудин, дотик до яких може викликати опіки, повинні мати теплову ізоляцію.

3. Електричне виробниче обладнання.

4. Шкідливі фактори:

1. Підвищений рівень шуму.

2. У повітрі робочої зони можливий підвищений вміст шкідливих речовин, таких як кислоти, основи та розчинники. Їх концентрацію у повітрі значно зменшує вентиляція та спеціальні витяжки, або витяжні шафи.

4.2 Заходи зі зменшення впливу небезпечних та шкідливих виробничих факторів

Задля безпечної роботи в лабораторії співробітники повинні мати заглушки (для цехів із підвищеним рівнем шуму), шапочку (для підтримання достатньої чистоти виробництва), респіратори та протигази (для уникнення впливу шкідливих парів на організм), халати та фартухи, резинові рукавиці (для електроізоляції) та кислотостійкі рукавиці.

На роботах із шкідливими та небезпечними умовами праці згідно зі ст.8 Закону України «Про охорону праці» робітникам видається безоплатно за встановленими нормами спеціальний одяг, спеціальне взуття та інші засоби індивідуального захисту, а також мийні та знешкоджуючі засоби:

- халат бавовняний (білий або світлих тонів);
- ковпак (шапочка, косинка) бавовняний (білий або світлих тонів);
- взуття шкіряне (тапочки);
- рукавички хірургічні гумові;
- рукавички гумові;
- нарукавники поліетиленові;
- протигаз фільтруючий;
- коробки фільтруючі марки „Г”;
- мило туалетне;
- рушники (серветки) з паперу (одноразового використання);
- рушник із бавовняної тканини [23].

Вимоги безпеки перед початком роботи:

1. Привести в порядок спецодяг. Робочий одяг не повинний мати звисаючих кінців, чи кінців, що розвіваються, має бути наглухо застебнутий, звисаючі кінці косинок, хусток мають бути підібрані, манжети рукавів повинні щільно обхоплювати руки біля кистей. Волосся має бути закрито щільно облягаючим головним убором. Робота в легкому взутті (тапочках, босоніжках) не допускається. Перевірити і одягти засоби індивідуального захисту. Покласти власний одяг у шкафчик.

2. Впевнитись в тому, що освітлення (загальне чи місцеве) забезпечує чітку видимість поділок на контрольно-вимірювальних приладах, а також поверхонь деталей, що оброблюються.

3. Впевнитись у повній працездатності робочого устаткування.

Задля підтримання рівня безпеки на виробництві під час виконання робіт забороняється:

1. Працювати з незакріпленими деталями;
2. Чистити устаткування під час його роботи;
3. Працювати на несправному устаткуванні, з несправним інструментом, самостійно виконувати його ремонт;
4. Знімати загороджувальні щитки на частинах устаткування, що рухаються;
5. Працювати з інструментом, правила експлуатації якого невідомі;
6. Працювати з інструментом і на устаткуванні, застосування якого не передбачено технологічним процесом;
7. Працювати без необхідних засобів індивідуального захисту;
8. Користуватися для виконання виробничих процесів протипожежним інвентарем із протипожежних стендів;
9. Чистити робочий одяг стисненим повітрям;
10. Одягатися, роздягатися, митися на робочому місці.

З метою підвищення безпеки роботи на виробництві проводиться ретельний контроль працездатності та справності вентиляцій, печей та іншого робочого обладнання, яке знаходиться в експлуатації. Проте на будь-якому виробництві можливі надзвичайні випадки. Вимагається припинити роботу в наступних випадках:

1. Виявлення несправності устаткування і інструмента;
2. Припинення подачі електроенергії;
3. Відключення загального чи місцевого освітлення;
4. Відключення систем загальнообмінної чи місцевої витяжної вентиляції;
5. Пошкодження засобів індивідуального захисту;
6. Погіршення самопочуття;
7. Одержання травми [23].

4.3 Виробнича санітарія

У виробничих приміщеннях, в яких робота на відеотерміналах і персональних комп'ютерах є допоміжною, температура, відносна вологість і швидкість руху повітря на робітниках повинні відповідати санітарним нормам мікроклімату виробничих приміщень, що діють [23].

У виробничих приміщеннях, в яких робота на відеотерміналах і персональних комп'ютерах є основною (диспетчерські, операторські, розрахункові, кабінети і пости управління, зали обчислювальної техніки і ін.) повинні забезпечуватися оптимальні параметри мікроклімату відповідно до таблиці 4.1

Таблиця 4.1 - Оптимальні норми мікроклімату для приміщень з відеотерміналами і персональними комп'ютерами

Період року	Категорія робіт	Температура повітря, °С (не більше)	Відносна вологість повітря, %	Швидкість руху повітря, м/с
Холодний	Легка – 1а	22-24	40-60	0.1
	Легка – 1б	21-23	40-60	0.1
Теплий	Легка – 1а	23-25	40-60	0.1
	Легка – 1б	22-24	40-60	0.2

До категорії 1а відносяться роботи, вироблювані сидячи і що не вимагають фізичної напруги, при яких витрата енергії складає до 120 ккал/ч. До категорії 1б відносяться роботи, вироблювані сидячи, стоячи або пов'язані з ходьбою і такі, що супроводжуються деякою фізичною напругою, при яких витрата енергії складає від 120 до 150 ккал/ч

При монтажі компонентів на плату і формуванні топологічного рисунка струмопровідного шару виникає потенційна небезпека небажаної дії на організм речовин, що обертаються в технологічному процесі, і матеріалів. Всі речовини, що забруднюють повітря, надають шкідливу дію, якщо вони потрапляють в організм в кількостях, що перевищують деяку порогову величину (ГДК). У виробництві плат застосовують певні речовини, які шкідливі для організму. Клас небезпеки шкідливих речовин встановлюється залежно від гранично допустимої концентрації речовин в повітрі робочої зони. Це та концентрація яка переноситься без відхилень від нормального полягання в перебігу робочого дня при щоденному диханні. Згідно СН 245-71 встановлюють чотири класи шкідливих речовин: 1-й клас – речовини надзвичайно небезпечні; 2-й клас – речовини високо небезпечні; 3-й клас – речовини помірно небезпечні; 4-й клас – речовини мало небезпечні. Дія токсичних речовин виявляється в гострих і хронічних отруєннях.

При монтажі електронних плат застосовують ацетон, спирт для знежирення і очищення від пилу, а також олово і каніфоль для припаювання ніжок напівпровідникового приладу до плати.

У таблиці 4.2 [24] приведені гранично допустимі концентрації небезпечних речовин, вживаних при монтажі елементів.

Таблиця 4.2 - Гранично допустимі концентрації шкідливих речовин в повітрі робочої зони

Речовини	ГДК, мг/м ³
Ацетон	30
Каніфоль	150
Олово	90
Спирт	1000

Спирт, ацетон викликає сухість шкіри. При систематичному вдиханні можливі захворювання сітківки ока. Також можливі нервово-психічні захворювання.

Каніфоль дратівливо діє на слизисті оболонки дихальних шляхів і на шкіру, що наводить до дерматитів.

Основні засоби техніки безпеки – герметизація апаратури і устаткування, наявність припливний витяжній вентиляції в приміщенні проведення робіт і витяжна шафа для проведення експериментальних досліджень, виготовлення печатних плат і монтажу компонентів паянням

4.4 Електробезпека

В організації, що експлуатує будь-які види електротехніки має бути забезпечено їх утримання у справному стані. Відповідальність за це несе інженер з охорони праці або фахівець, що виконує функції по забезпеченню охорони праці.

Експлуатація такого устаткування повинна проводитися відповідно до інструкцій, правил і норм безпеки, вимог охорони праці та ін. Електричне обладнання повинне своєчасно проходити технічне планове обслуговування, ремонт, профілактичні випробування та інші види обслуговування, що забезпечують його справну роботу.

До роботи на електричному обладнанні допускаються особи, які мають необхідну групу електробезпеки, пройшли медичний огляд і не мають протипоказань за станом здоров'я, що пройшли інструктаж з правил експлуатації і техніки безпеки. У компанії обов'язково повинні проводитися інструктажі з охорони праці та техніки безпеки для всього електротехнічного і неелектротехнічного персоналу, крім того, для всіх працівників повинні бути розроблені відповідні інструкції. Персонал, що працює з електричним

обладнанням, повинен бути забезпечений засобами електрозахисту і спецодягом, а самі електричні установки - укомплектовані засобами захисту і всім необхідним для пожежогасіння.

Перевірку дотримання даних вимог підприємствами проводять органи енергонагляду, державної інспекції праці та ін.

Заходи попередження ураження людей електрострумом включають огорожу і ізоляцію будь-яких частин електричного обладнання та установок, що знаходяться під напругою. Також на підприємствах повинно бути організовано, де це можливо і де необхідно відповідно до правил і норм, застосування малої напруги. обов'язковою мірою є заземлення або занулення всіх металевих конструкцій і кабелів, а також використання засобів індивідуального та колективного електрозахисту. Також до організаційних заходів відносяться заходи по допуску до роботи з електрикою і нагляду під час роботи фахівців на електроустановках.

Заземленню або зануленню підлягають такі конструкції і елементи:

- металеві корпуси технічних засобів і обладнання;
- електроприводи;
- вторинні обмотки трансформаторів;
- каркаси щитів управління, шаф та ін.;
- пересувні електричні установки та обладнання;
- інші кабельні та металеві конструкції.

Заземлення та занулення повинні проходити інструментальну перевірку відразу після монтажу, при експлуатації - не рідше 1 разу на рік, а також після проведеного ремонту.

Забезпечення заходів електробезпеки на підприємстві регламентується Міжгалузевими правилами охорони праці, Правилами улаштування електроустановок та іншими нормативними актами, затвердженими державними органами [22-24].

4.5 Протипожежна безпека

Співробітники, відповідальні за забезпечення пожежної безпеки приміщень призначаються замовленням директора установи.

Особи, призначені за заявою, є відповідальними за забезпечення пожежної безпеки приміщень або ділянок території.

Відповідальні за пожежну безпеку зобов'язані в кінці робочого дня проводити щоденний огляд закріплених за ними об'єктів.

При огляді слід контролювати прибирання приміщень:

- корзини для збору відходів повинні бути пустими;
- електроприлади, що знаходяться в приміщенні знеструмлені, штепсельні вилки витягнуті з електричних розеток;
- вікна закриті і зафіксовані;
- проходи та виходи із приміщень вільні та обладнані знаками охоронної безпеки та планами евакуації;
- електричне освітлення, за виключенням чергового освітлення відключене;
- вхідні двері закриті;
- автоматична сигналізація включена і функціонує;
- первинні засоби пожежогасіння повинні знаходитися в спеціально відведених місцях і доступ до них повинний залишатися вільним.

Якщо при огляді виявлено порушення дійсних правил, слід негайно повідомляти про порушення, що пред'являються відповідальним за запобіжну безпеку або керівнику установи.

Для запобігання виникненню пожеж від електричного струму, висвітлення, нагріву струмоведучих частин, дугового розряду та ін. необхідно дотримуватися "Правила техніки безпеки при експлуатації електроустановок споживачів", інструкції по експлуатації електричних

приладів. Всі приміщення повинні бути забезпечені первинними засобами пожежогасіння відповідно до норм і правил пожежної безпеки. Засоби пожежотушіння повинні розміщатися в пожежних шафах і обов'язково позначені відповідним знаком пожежної безпеки. Всі наявні первинні засоби пожежогасіння повинні постійно утримуватися в справному стані і регулярно, відповідно до технічних умов експлуатації, випробовуватися на придатність до використання [24].

Співробітники установи зобов'язані виконувати правила пожежної безпеки.

Для запобігання пожежі в приміщеннях будівлі забороняється:

- використовувати нагрівальні електроприбори для опалення приміщень;
- приготування та розігрівання їжі поза спеціально відведеними місцями, узгоджених з Державною протиповітряною службою;
- використовувати електричні прилади, споживана потужність яких перевищує допустиму потужність електромережі;
- залишати без нагляду будь-які прилади та пристрої, що знаходяться під напругою;
- підключати електроприбори без стандартних штепсельних роз'ємів;
- використовувати несправні електричні вимикачі, розетки, штепсельні роз'єми з розбитими корпусами, обгорілі і контактами;
- з'єднання, які нагріваються в місцях контакту;
- світильники без колпаків;
- здійснювати монтаж мереж без дотримання вимог "Правил пристроїв електроустановок";
- використовувати для захисту електромережі некалібровані плавкі вставки або автоматичні вимикачі, струм спрацьовування яких перевищує максимально допустиме значення для електромережі.

Всі перемикання та ремонтні роботи в електромережах повинні виконуватися спеціалістами, що мають допуск до роботи та групу електричної безпеки не нижче третьої.

Підключати до електричних мереж несправні електроприлади заборонено.

Забороняється:

- виконувати нагрів труб опалення, водопостачання та каналізації паяльними лампами або іншим способом із застосуванням відкритого вогню. Нагрівання слід виконувати - гарячою водою, паром, розігрітим піском або іншими пожежобезпечними способами;

- зберігати ємності з горючими, легкозаймистими рідинами, балони з горючими газами, горючі предмети та матеріали на шляхах евакуації, а саме в коридорах, на сходових клітках, у вестибюлі, в тамбурах евакуаційних виходів, а також в підвалах, на горищах, в технічних приміщеннях електрощитових, в вентиляційних камерах;

- зберігати на місцях проведення ремонтних і реконструкційних робіт пиломатеріали в кількості, що перевищує добову потребу, по залишати закінчення робочого дня легкозаймисті відходи;

- захаращувати шляхи евакуації меблями, матеріалами, обладнанням коридорів, сходові клітки, вестибюлі, тамбури евакуаційних виходів з будинку, доступ до первинного засобів пожежогасіння, електророзподільні щити і пристрої, що вимикають;

- закривати на важко відкривані засуви двері евакуаційних виходів в період перебування в будівлі людей;

- проводити перепланування і перепрофілювання приміщень, зводити на території різного роду споруди та прибудови без дотримання протипожежних вимог і без узгодження з органами державного пожежного нагляду;

- використовувати наявні засоби пожежогасіння не за прямим призначенням;
- зберігати горючі рідини, вогнезахисні предмети та матеріали, горючі гази в приміщеннях установи за виключенням спеціально обладнаних місць, де їх застосування передбачено технологічним процесом. При експлуатації цих приміщень необхідно керуватися спеціальними вказівками. Забезпечення пожежної безпеки при проведенні господарських та пожежостійких робіт регулюється окремою інструкцією. Вимикати автоматичні засоби протипожежної охорони, систему оповіщення про пожежі, автоматичні пристрої виявлення пожеж або автоматичну пожежну сигналізацію, установку автоматичного пожежогасіння суворо заборонено. При необхідності таких відключень, робити це тільки з письмового дозволу керівника, з прийняттям необхідних заходів протипожежного захисту, в достатній мірі компенсуючих зниження протипожежної захищеності будівлі [24].

Висновки та рекомендації

Отже, за результатами роботи можна зробити наступні висновки:

1) у результаті проведеного дослідження та аналізу розроблено структурну схему системи керування мікромеханічними механізмами із одним каналом оброблення інформації, як найбільш економічну;

2) за базову модель практичної реалізації МЕМС обираємо пристрій безпілотного літального апарату (БПЛА), призначеного для детектування електромагнітного випромінювання;

3) у якості каналу перетворення вхідного сигналу на цифровий у роботі запропоновано використати модуль PRUDAQ на базі АЦП Analog Devices AD9201 фірми Google Research, як такий що має невеликі масогабаритні параметри (вага – 29 г);

4) у роботі використано безколекторні електричні двигуни, як такі, що мають високу надійність і підвищений ресурс роботи за рахунок відсутності ковзних електричних контактів;

5) розроблено комплексну схему керування безколекторними двигунами за допомогою мікроконтролера AT90PWM3B;

4) для сумісної роботи інтерфейсу збору даних та ПК використовується мережа RS-485;

6) моделювання роботи окремих блоків системи у САПР показало достатні результати, які співпадають із теоретичними розрахунками.

Як рекомендації щодо розроблюваного пристрою можна відмітити наступне:

1) система може бути використана в подальших розробках сучасних мікроелектромеханічних системах;

2) окремі модельні компоненти системи можуть бути використані в лабораторному практикумі та при проведенні практичних занять кафедри електроніки, інформаційних систем та програмного забезпечення.

Перелік посилань

1. Лазарев Ю. Ф. Основи теорії чутливих елементів систем орієнтації : підруч./ Ю. Ф. Лазарев, П. М. Бондар – Київ : НТУУ «КПІ», 2011. 644 с.
2. Bandi, T., H. Shea, and A. Neels. "Mechanical properties of MEMS materials: reliability investigations by mechanical-and HRXRD-characterization related to environmental testing." SPIE Sensing Technology+ Applications. International Society for Optics and Photonics, 2014.
3. Implications of Emerging Micro and Nanotechnology Committee on Implications of Emerging Microand Nanotechnologies, National Research Council ISBN: 0309–50521–6, 266 pages, 6x9, (2002).
4. Implications of Emerging Micro and Nanotechnology Committee on Implications of Emerging Microand Nanotechnologies, National Research Council ISBN : 0309–50521–6, 266 pages, 6x9, (2002).
5. Yu-Chuan Su, Liwei Lin, Albert P. Pisano A. Water-Powered Osmotic Microactuator // JOURNAL OF MICROELECTROMECHANICAL SYSTEMS, VOL. 11, NO. 6, DECEMBER 2002.
6. Judy J. W., Muller R. S., Zappe H. H. Magnetic microactuation of polysilicon flexure structures // Journal of microelectromechanical systems. 1995. vol.4, №4. pp.162-169.
7. Філяшкін М. К. Мікроелектромеханічні системи : Навчальний посібник Київ : НАУ, 2019. 276 с.
8. Теслюк В. М. Розроблення та аналіз структурних схем МЕМС // Національний університет «Львівська політехніка» Львів. 2008.
9. Лобур М. В. Проектування мікроелектромеханічних структур для вбудованих систем з використанням сучасних САПР // Вісник НУ "Львівська політехніка" "Електроенергетичні та електромеханічні системи". 2003. № 479. С. 121–125.

10. Теслюк В. М. Побудова множини можливих рішень з допомогою І – АБО – дерева при вирішенні задач структурного синтезу на системному рівні проектування MEMC // Науково-технічний журнал "Інформаційні технології і системи". Львів. 2006. Том 9. № 1. С. 101–108.
11. Lab-on-a-Chip and Microarrays for Post-Genome Applications // Cambridge Helthtech Institute's Fourth Annual. Zurich. 2002. 608 p.
12. Модуль детектор радіосигналів M116 (160430) Режим доступу : URL: <https://gsm-komplekt.ua/ua/product/83983/> (дата звернення: 10.10.2023).
13. Google Research PRUDAQ Режим доступу : URL: <https://www.cnx-software.com> (дата звернення: 10.10.2023).
14. . Верьовкін Л. Л., Світанько М. В. Кісельов Є. М. Мікропроцесорна техніка // Методичні вказівки до самостійної роботи та виконання контрольної роботи. Запоріжжя : ЗДІА. 2014. С.15-29.
15. Верьовкін Л. Л., Світанько М. В., Кісельов Є. М., Хрипко С. Л. // Цифрова схемотехніка Підручник для студентів технічних вузів і коледжів, Запоріж. держ. інж. акад. Запоріжжя : ЗДІА. 2016.
16. Chang-liang Xia, Permanent magnet brushless dc motor drives and controls/ Chang-liang Xia. John Wiley & Sons Singapore Pte. Ltd., 2012. 282 p.
17. 1-3-2 Brushless DC motor Режим доступу : URL: // <https://www.nidec.com/en-EU/technology/motor/basic/00005/> (дата звернення: 10.10.2023).
18. Автоматизована система моніторингу наявності шкідливих та вибухонебезпечних газів на основі міні безпілотних літальних апаратів: монографія / А. Г. Ткачук, А. В. Коваль, А. А. Гуменюк, М. В. Богдановський. Житомир : Державний університет «Житомирська політехніка», 2021. 141 с.
19. Electronic Components Datasheet Search Режим доступу: : URL: // <http://www.alldatasheet.com> (дата звернення: 08.10.2023).
20. Calcutt D., Cowan F., Parchizadeh H. 8051 Microcontrollers : An Applications Based Introduction. Oxford: Newnes, 2004.

21. Основи наукових досліджень : навч. посіб. / за заг. ред. Т. В. Гончарук. Тернопіль, 2014. 272 с.

22. Бегун В. В., Науменко І. М. Безпека життєдіяльності : Навч. посібник. Київ : МОНУ, 2004. 328 с.

23. Охорона праці. Методичні вказівки до проведення практичних занять та виконання контрольних робіт для студентів ЗДІА інженерних спеціальностей / Укл. В. Г. Рижков Запоріжжя, 2005. 43 с.

24. Безпека життєдіяльності. Методичні вказівки до практичних занять та контрольні завдання для студентів ЗДІА всіх спеціальностей денної та заочної форм навчання / Укл. В. Г. Рижков. Запоріжжя, 2005. 24 с.

Міністерство освіти і науки України
Запорізький національний університет
Інженерний навчально-науковий інститут ім. Ю.М. Потебні



**III ВСЕУКРАЇНСЬКОЇ НАУКОВО-ПРАКТИЧНОЇ КОНФЕРЕНЦІЇ ЗА
УЧАСТЮ МОЛОДИХ НАУКОВЦІВ
«АКТУАЛЬНІ ПИТАННЯ СТАЛОГО НАУКОВО-ТЕХНІЧНОГО ТА
СОЦІАЛЬНО-ЕКОНОМІЧНОГО РОЗВИТКУ РЕГІОНІВ УКРАЇНИ»**

17-20 жовтня 2023 року



Міністерство освіти і науки України
Запорізький національний університет
Інженерний навчально-науковий інститут ім. Ю.М. Потебні
Запорізька міська рада
Запорізька обласна державна адміністрація
Національний університет «Львівська політехніка»
Національний університет «Кієво-Могилянська Академія»
Національний університет кораблебудування імені Адмірала Макарова
Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка»
Харківський національний автомобільно-дорожній університет
Київський національний університет будівництва і архітектури
Кременчуцький національний університет імені Михайла Остроградського
Національний транспортний університет

**III ВСЕУКРАЇНСЬКОЇ НАУКОВО-ПРАКТИЧНОЇ КОНФЕРЕНЦІЇ
ЗА УЧАСТЮ МОЛОДИХ НАУКОВЦІВ
«АКТУАЛЬНІ ПИТАННЯ СТАЛОГО НАУКОВО-ТЕХНІЧНОГО
ТА СОЦІАЛЬНО-ЕКОНОМІЧНОГО РОЗВИТКУ РЕГІОНІВ
УКРАЇНИ»**

17-20 жовтня 2023 року

Запоріжжя

2023

ОРГАНІЗАЦІЙНИЙ КОМІТЕТ КОНФЕРЕНЦІЇ

Голова оргкомітету:

Фролов М.О. – доктор історичних наук, професор, в.о. ректора ЗНУ.

Заступники голови:

Васильчук Г.М. – доктор історичних наук, професор, проректор ЗНУ з наукової роботи.

Метеленко Н.Г. – доктор економічних наук, професор, директор ІННІ ім. Ю.М. Потебні ЗНУ.

Белоконь К.В. – кандидат технічних наук, доцент, заступник директора з наукової роботи ІННІ ім. Ю.М. Потебні ЗНУ.

Члени оргкомітету:

Амінов Р.Ф. – кандидат біологічних наук, старший викладач кафедри фізіології, імунології і біохімії з курсом цивільного захисту та медицини біологічного факультету ЗНУ, голова Ради молодих вчених ЗНУ;

Арутюнян І.А. – доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри промислового та цивільного будівництва ІННІ ім. Ю.М. Потебні ЗНУ;

Банаш А.В. – кандидат технічних наук, доцент, завідувач кафедри міського будівництва та архітектури ІННІ ім. Ю.М. Потебні ЗНУ;

Барабаш О.В. – доктор технічних наук, професор, професор кафедри екології та ТЗНС Національного транспортного університету;

Белоконь Ю.О. – доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри металургійних технологій, екології та техногенної безпеки ІННІ ім. Ю.М. Потебні ЗНУ;

Бондаренко В.В. – заступник начальника управління інвестицій та проєктів Департаменту економічного розвитку Запорізької міської ради;

Воронкова В.Г. – доктор філософських наук, професор, завідувач кафедри управління та адміністрування ІННІ ім. Ю.М. Потебні ЗНУ;

Внукова Н.В. – доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри екології Харківського національного автомобільно-дорожнього університету;

Коваленко В.Л. – доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри електричної інженерії та кіберфізичних систем ІННІ ім. Ю.М. Потебні ЗНУ;

Критська Т.В. – доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри електроніки, інформаційних систем та програмного забезпечення ІННІ ім. Ю.М. Потебні ЗНУ;

Мальований М.С. – доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри екології та збалансованого природокористування національного університету «Львівська політехніка»;

Меліхова Т.О. – доктор економічних наук, професор, завідувач кафедри обліку, аналізу, оподаткування та аудиту ІННІ ім. Ю.М. Потебні ЗНУ;

Власов А.О. – кандидат технічних наук, доцент, завідувач кафедри металургійного обладнання ІННІ ім. Ю.М. Потебні ЗНУ;

Пірогова І.М. – заступник директора Департаменту захисту довкілля Запорізької обласної державної адміністрації;

Степова О.В. – доктор технічних наук, професор, проректор з наукової та міжнародної роботи Національного університету «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка»;

Тарабан Є.В. – аспірантка, голова наукового товариства студентів, аспірантів та докторантів Інженерного навчально-наукового інституту ім. Ю.М. Потебні ЗНУ;

Ткаченко Т.М. – доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри охорони праці та навколишнього середовища Київського національного університету будівництва і архітектури;

Трохименко Г.Г. – доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри екології та природоохоронних технологій Національного університету кораблебудування імені Адмірала Макарова;

Храпкіна В.В. – доктор економічних наук, професор, кафедра маркетингу та управління бізнесом, Національний університет «Кієво-Могилянська Академія»;

Шапуров О.О. – доктор економічних наук, професор, завідувач кафедри інформаційної економіки, підприємництва та фінансів ІННІ ім. Ю.М. Потебні ЗНУ;

Шмандій В.М. – доктор технічних наук, професор, професор кафедри екології та біотехнології Кременчуцького національного університету імені Михайла Остроградського.

План

проведення III Всеукраїнської науково-практичної конференції за участю молодих науковців «Актуальні питання сталого науково-технічного та соціально-економічного розвитку регіонів України»

17-20 жовтня 2023 р. – засідання секцій відповідно до програми.

ЗМІСТ

СЕКЦІЯ «ГАЛУЗЕВЕ МАШИНОБУДУВАННЯ»

Гречаний О. М., Пімкін А.Є., Гальченко А.О., Лінник Ю.М. Аналіз недоліків роботи вузлів поворотного столу обтискного стану 1150.	5
Гречаний О. М., Шевченко І.О., Лінник Ю.М. Аналіз існуючих типів конвеєрних машин обтискних прокатних станів та їх подальший розвиток.....	7
Гречаний О. М., Губін А.В. Аналіз конструктивних особливостей шпіндельних пристроїв прокатних станів.....	12
Гречаний О. М., Ткаченко Є.В., Шупік С.О. Аналіз підвищення ефективності роботи дресирувального стану 1700.....	14
Міхайлуца О.М., Власова Л.А. Програмне забезпечення для розрахунку потреби в запасних частинах.....	16
Таратута К.В., Борщевський Б.І. Аналіз конструкцій механізму переміщення підлогової машини мартенівського цеху.....	18
Таратута К.В., Куницін В.О. Аналіз конструкцій натискових механізмів прокатних станів.....	20
Таратута К.В., Осінов Д.С. Критерії оцінки надійності приводів волочильного обладнання на етапі проектування.....	22

СЕКЦІЯ «ЕЛЕКТРИЧНА ІНЖЕНЕРІЯ, АВТОМАТИЗАЦІЯ, КОМП'ЮТЕРНО-ІНТЕГРОВАНІ ТЕХНОЛОГІЇ ТА РОБОТОТЕХНІКА»

Artemchuk V.V., Myliy O.V., Bandurenko I.I., Berezin O.O. Energy management in the educational process: theory and practice.....	25
Artemchuk V.V., Krol O.V., Umnov P.V., Kuznetsov R.P. Energy management: key aspects and impact on sustainable development.....	27
Artemchuk V.V., Klymchuk D.V., Prokopenko D.V., Skliar V.I. Energy management and smart grids: navigating the future of electrical infrastructure..	29
Artemchuk V.V., Karasev O.P., Pavlovskiy E.A., Chernevych M.V. The main development elements of an energy installation of electric rolling stock with autonomous power supply.....	31
Артемчук В.В., Коваленко Ю.Л. Оптимізація системи електроспоживання ПАТ «Дніпрспецсталь».....	32
Барішенко О.М., Моїсєєва О.В. Комп'ютерне моделювання та автоматизація систем теплоенергопостачання багатоквартирних будинків як запорука енергозбереження, ефективності та комфорту.....	33
Башлій С.В., Рибак О.В. Теоретичні відомості щодо перспектив геотермальної енергетики в Україні.....	35
Башлій С.В., Радомський О.М. Підвищення стабільності електропостачання приватного домоволодіння в період стабілізаційних відключень.....	37

Дятлова В.В., Владіміров В.О., Милета К.Є. Методичне підґрунтя оцінки розвитку банківського сектору України в умовах конкуренції.....	559
Дятлова В.В., Жук О.А., Савела А.А. Аналітичні інструменти інноваційного розвитку регіонів в умовах реформування бюджетної системи.....	561
Дятлова В.В., Філіпенко Я.П., Стародубцев Д.Є. Інноваційні підходи до кредитування банківськими установами фізичних осіб.....	563
Козачок І.А., Герцик Б.М. Напрямки формування інноваційної економіки України.	565
Нікітенко В.О., Грамчук М.О. Цифрова культура цифрового міста.....	567
Нікітенко В.О., Курчінок О.С. Удосконалення технологій смарт-міста в умовах сталого розвитку.....	569
Нікітенко В.О., Олещенко М.О. Удосконалення механізмів антикризового управління в умовах нестабільності.....	571
Нікітенко В.О., Приставка В.В. Удосконалення кадрового потенціалу підприємства в умовах невизначеності.	573
Нікітенко В.О., Романенко В.Ю. Напрями підвищення ролі керівника промислового підприємства в сучасних умовах.....	576
Нікітенко В.О., Сироватка Д.Б. Концепція удосконалення механізмів соціальної відповідальності керівників в умовах кризи.....	578
Нікітенко В.О., Трашков В.Д. Цифровізація у медичній сфері.....	580
Нікітенко В.О., Фурманова О.В. Розвиток зеленого менеджменту в історико-культурному контексті запорізького краю.....	582
Олексенко Р.І., Гайдуков І.В., Гайдукова І.С. Філософія психологічних аспектів прийняття рішень в умовах невизначеності.....	584
Олексенко Р.І., Ткаліч К.В. Філософські проблеми розвитку особистості.....	589
Олексенко Р.І., Шароварова В.Д. Розвиток психологічної духовності часів античної філософії.....	594
Олексенко Р.І., Яковлєва Д.В. Особливості підліткового віку з точки зору психології.....	596

**СЕКЦІЯ «МІКРОЕЛЕКТРОННІ ТА ЕЛЕКТРОННІ
ІНФОРМАЦІЙНІ СИСТЕМИ»**

Алексієвський Д.Г., Жбанков О.В. Дослідження системи керування електроприводу прокатного стану 1700-1.....	600
Алексієвський Д.Г., Манасєв К.В. Керування сильно нелінійними об'єктами методом адаптивного керування з еталонною моделлю.....	601
Алексієвський Д.Г., Шляховський С.Ю. Дослідження схеми джерела живлення на базі резонансного інвертора та індуктивного баласту.....	603

Верьовкін Л.Л., Сушко А.А. Мікроелектронна система аналізу фотометричної інформації.....	604
Кісельов Є.М., Кісельов В.Є. Розробка датчика озону з бездротовим каналом передавання даних.....	606
Кісельов Є.М., Постернак О.С. Аналіз особливостей сучасних датчиків для вимірювання концентрації озону у рідині.....	608
Критська Т.В., Гагошидзе А.Ю., Науменко М.С. Деградація сонячних елементів та шляхи її зниження.....	610
Критська Т.В., Грідін О.С., Баженов Є.В. Нові напрями модернізації промислової технології кремнію напівпровідникової чистоти.....	612
Світанько М.В., Костик О.В., Ніколаско Д.Ю., Пішуков С.В. Підсилювач лазерного випромінювача для дистанційного керування БПЛА.....	613

СЕКЦІЯ «МЕТАЛУРГІЯ, ОБРОБКА МЕТАЛІВ ТИСКОМ»

Блоконь Ю.О., Немкіна І.Г. Аналіз моделей зміцнення низьколегованих сталей при холодній деформації.....	615
Блоконь Ю.О., Плющ І.А. Отримання алюмінідів нікелю при термохімічному пресування.....	616
Блоконь Ю.О., Шавкуненко А.В. Формування поверхні металу в процесі холодної пластичної деформації.....	617
Блоконь Ю.О., Шопов А.В. Аналіз поперечної різнотовщинності та дефектів форми штаби при прокатці в нерегульованих клітях.....	618
Блоконь Ю.О., Булігін М.В. Оптимізація прокатки круглого профілю з високолегованих сталей на блюмінгу.....	619
Блоконь Ю.О., Можаров О.В. Оптимізація режимів прокатки вуглецевих сталей при гарячій деформації.....	620
Блоконь Ю.О., Федько М.В. Поверхнєве зміцнення титанових сплавів в умовах нестаціонарних процесів обробки.....	621
Бондаренко Ю.В., Зайцев Д.О. Аналіз процесу прокатування слябів на слябінгу 1150.....	622
Бондаренко Ю.В., Іванченко Д.С. Визначення показників коефіцієнта положення рівнодіючих сил при прокатуванні штаб.....	623
Бондаренко Ю.В., Клименко М.Д. Аналіз перехідних зон композиційних матеріалів в системі сталь-бронза отриманих імпульсними методами обробки тиском.....	624
Бондаренко Ю.В., Клименко Д.Є. Вплив технологічного мастила на якість металу при прокатуванні штаб на неперервних станах.....	625
Бондаренко Ю.В., Кривцов О.О. Аналіз розширення металу при прокатуванні штаб в лабораторних умовах.....	626
Бондаренко Ю.В., Ткаченко О.В. Аналіз технології та режиму обтиснення на станах холодної прокатки на натяжіння штаби.....	627
Бондаренко Ю.В., Блоконь О.С. Формування структури та властивостей високолегованих сталей при гарячій деформації.....	628

(сполук Al, Fe, Mn, Mg) здійснюється завдяки використанню SiH₄ для підживлення рециркуляційної системи Siemens -процесу. Перевагою нової технології також є підвищення продуктивності CVD-процесу для одержання стрижнів полікристалічного кремнію. Подальше використання отриманого полікристалічного кремнію можливо як для напрямку фотовольтаїки, так і для отримання монокристалічного кремнію щодо мікроелектроніки, силової перетворювальної техніки і спеціальних використань.

Список використаних джерел

1. Т. Критська, М. Сукач, Є. Баженов «Кремній з піску» – Перспективна технологія отримання кремнію напівпровідникової якості.» *Transfer of Innovative Technologies*. Vol.5, No.1 (2022), 29-44
2. Т. Критська, М. Сукач, Є. Баженов. Кварцовий пісок – доступна дешева сировина для технологій електроніки і фотовольтаїки. *Underwater technologies: industrial and Civil Engineering*, Iss.12 (2022), 63-67.

УДК 621.3

Світанько М.В. к.ф.-м.н., доц., Костик О.В., магістрант 2 курсу,
Ніколаєнко Д.Ю., магістрант 2 курсу, Пішуков С.В., магістрант 2 курсу
Науковий керівник – к.ф.-м.н., доцент Світанько М.В.

ПІДСИЛЮВАЧ ЛАЗЕРНОГО ВИПРОМІНЮВАЧА ДЛЯ ДИСТАНЦІЙНОГО КЕРУВАННЯ БПЛА

*Інженерний навчально-науковий інститут ім. Ю.М. Потебні
Запорізького національного університету,*

кафедра електроніки, інформаційних систем та програмного забезпечення

Одним із головних пристроїв безпілотних літальних апаратів (БПЛА) є джерело випромінювання, яке використовують у якості сигналу керування. Такі джерела повинні мати малі габаритні розміри, ефективну потужність випромінюючого сигналу, надійність та відносну простоту технічної реалізації. Генерація випромінювання у таких пристроях повинна знаходитись у діапазонах 700 – 950 нм та 1550 нм, в залежності від використовуваного фотоприймача [1, 2].

Тому, досить актуальною є питання створення компактних та потужних джерел лазерного випромінювання для дистанційного керування БПЛА.

У роботі пропонується у якості джерела випромінювання використати оптичний параметричний генератор світла (ОПГС), здатний генерувати безпечно для зору людини випромінювання на довжині хвилі 1,54 мкм. За основу розробки запропоновано схему, раніше представлену у роботі [3], де основним елементом генерації було обрано нелінійно-оптичний кристал КТіОРО₄ (КТР). Замість КТР також можливе використання нелінійно

оптичного кристала RbTiOPO_4 (RTP), отриманого в лабораторії нелінійно-оптичних перетворювачів частоти лазерного випромінювання ЗДІА [4].

Для більш ефективного підсилення випромінювання у пристрої пропонується застосувати оптичний хвилевод, отриманий із кристалу $\text{Sr}_4\text{B}_{14}\text{O}_{25}:\text{Pr}^{3+}$ (SBVO). Кристал SBVO вперше було отримано у ЗДІА в лабораторії нелінійно-оптичних перетворювачів частоти (НОПЧ) [5, 6].

Властивості кристалів RTP та SBVO представлено у таблиці 1 [4].

Як видно із таблиці 1, оптичні якості кристалів у поєднанні із значною оптичною стійкістю дають можливість значно розширити діапазон каналу інформації від дальнього УФ до ІЧ діапазонів.

Таблиця 1 – Оптико-фізичні властивості кристалів RTP та SBVO

Кристал	Область прозорості, нм	Оптичний поріг руйнування*, ГВт/см ²
SBVO	130-3200	14.7
RTP	350-4500	0.81

** - $\lambda = 1079$ нм, $\tau = 15$ нс

Також, при легуванні кристалу SBVO іонами Pr^{3+} , було виявлено лінію поглинання на довжині 440-480 нм, що при накачуванні випромінюванням діодного лазера дає можливість отримати додаткову лінію генерації в самому матеріалі світловода на довжині хвилі $\lambda=655$ нм. Це дає можливість додатково збільшити потік оптичної інформації [6].

Список використаних джерел

1. QinetiQ deliver world's first demonstration of a laser controlled drone during flight Режим доступа: // <https://bit.ly/3MwdDo7> (дата звернення: 15.03.2023).
2. Tom Garlington, Joel Babbitt and George Long \ Analysis of Free Space Optics as a TransmissionTechnology\ WP No. AMSEL-IE-TS-05001, March 2005 pp. 1 – 12.
3. Наумов В. Л., Онищенко А. М., Подставкін А. С., Шестаков А. В. Високоєфективний параметричний перетворювач на кристалах КТР // Ж. Квантова електроніка. 30. №.7. 2000. с. 632 – 634
4. Oseledchik Yu. S, Pisarevsky A. I., Prosvirnin A. L. et al. Nonlinear optical properties of the flux growth RTP cristal // Optical Materials V.3. 1994 P.237-242.
5. Oseledchik Yu. S., Prosvirnin A. L., Svitanko N. V., Kudrjajtcev D. P., Lozova E. A. SrB_4O_7 – nonlinear optical material for deep UV//ICCM'2005.- Kharkov, Ukraine.-2005.-P.91.
6. Kudrjajtcev D. P., Oseledchik Yu. S., Prosvirnin A. L., Svitanko N. V., Petrov V. V. The luminescence of the Praseodymium-doped Strontium borate $\text{Sr}_4\text{B}_{14}\text{O}_{25}:\text{Pr}^{3+}$ //Ukr.J.Phys.Opt. V3. №2. 2002. P.155-160.

Матеріали представлені у авторській редакції. Автори несуть повну відповідальність за зміст тез, використану літературу, а також добір, точність наведених фактів, цитат, власних імен та інших відомостей.

Оргкомітет конференції.

Коректори: Блокоч К.В., Тарабан Є.В.

МАТЕРІАЛИ
III ВСЕУКРАЇНСЬКОЇ НАУКОВО-ПРАКТИЧНОЇ КОНФЕРЕНЦІЇ ЗА
УЧАСТЮ МОЛОДИХ НАУКОВЦІВ
«АКТУАЛЬНІ ПИТАННЯ СТАЛОГО НАУКОВО-ТЕХНІЧНОГО ТА
СОЦІАЛЬНО-ЕКОНОМІЧНОГО РОЗВИТКУ РЕГІОНІВ УКРАЇНИ»

17-20 жовтня 2023 року