

Хмельницький національний університет
Факультет інженерії, транспорту та архітектури
Кафедра машин і апаратів, електромеханічних та енергетичних систем

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА МАГІСТРА

Розробка блоку керування електроприводом
пристрою для нанесення полімерних покриттів
на плоскі поверхні

Назва теми

Галузь знань 14 «Електрична інженерія»

Шифр, назва

Спеціальність 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»

Шифр, назва

Освітня програма «Електропобутова техніка»

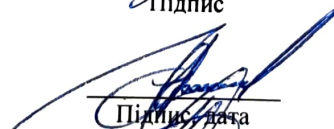
Шифр МРМА 23.00.00.000 ПЗ

Виконав студент 2 курсу
група ЕТм-22-1


Підпис

Керничний Д.В.
Ініціали, прізвище

Керівник


Підпис, дата

Горященко С.Л.
Ініціали, прізвище

Нормоконтролер


Підпис, дата

Тимошук О.Г.
Ініціали, прізвище

До захисту допускаю:

Зав. кафедри МАЕЕС


Підпис, дата

проф. Поліщук О.С.
Ініціали, прізвище

24 12 2023 р.

ХМЕЛЬНИЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет інженерії, транспорту та архітектури _____
Кафедра машин і апаратів, електромеханічних та енергетичних систем
Освітній рівень магістр
Галузь знань 14 «Електрична інженерія»

Шифр і назва

Спеціальність 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»
Шифр і назва

Спеціалізація _____

Освітня програма «Електропобутова техніка»

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри МАЕЕС

_____.201____

ЗАВДАННЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ МАГІСТРА

Керничний Дмитро Васильович

Прізвище, ім'я, по батькові студента

1. Тема роботи Розробка блоку керування електроприводом пристрою для нанесення полімерних покриттів на плоскі поверхні

керівник роботи Горященко С.Л., к.т.н., доцент

Прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання

Затверджено наказом ректора університету від 15 08 2023 р. № 50

2. Строк подання студентом роботи на кафедру _____

3. Вихідні дані до роботи зона переміщення 500ммX500 мм. , напруга 220 В.

4. Зміст пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити)

1. Огляд існуючих конструкцій пристроїв нанесення

2. Аналіз параметрів керування пристроєм для нанесення полімеру

3. Проектування блоку керування електроприводом пристрою для нанесення полімерних покриттів. Висновки. Перелік джерел посилань

5. Перелік графічного матеріалу (із зазначенням обов'язкових креслень)

Огляд МРМА 23.00.00.00 ДО1, Моделювання роботи електродвигунів МРМА

23.00.00.00 РР, Блок комутації МРМА 23.02.00.00 ЕЗ, Система керування

МРМА 23.00.00.00 ДІ1, Блок МРМА 23.00.00.00 ДІ2, Пристрій МРМА

23.00.00.00 ВЗ, Контролер МРМА 23.06.00.00 ЕЗ, Блок керування МРМА

23.03.00.000 ВЗ

АНОТАЦІЯ

до магістерської роботи студента
спеціальності 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка».

1. Прізвище, ім'я та по батькові Керничний Дмитро Васильович

2. Тема магістерської роботи; Розробка блоку керування електроприводом пристрою для нанесення полімерних покриттів на плоскі поверхні

3. Прізвище, ініціали, вчена ступінь та звання опонента _____

4. Об'єм магістерської роботи: креслень 8 арк., сторінок записки 75

5. В сучасному виробничому середовищі, де високі стандарти якості, ефективність та стійкість продукції визначають конкурентоспроможність, дослідження електроприводу в системах нанесення полімерних покриттів виявляється вельми важливим і стратегічно виправданим завданням. Метою роботи є розробка та виготовлення системи керування електроприводом, що містить крокові двигуни.

Проведено огляд пристроїв для нанесення полімерів, що дало можливість визначити основні елементи електроприводу. Розглянуто будову та роботу крокового двигуна, проаналізовано електричну схему його керування. Було проведено математичне моделювання роботи електроприводу. Розроблена модель пристрою для нанесення полімеру. Створено модель електродвигуна, та визначено його електричні та механічні характеристики. Створено програми для роботи блоку керування пристроєм для нанесення. Розроблено електричні плати керування на основі мікроконтролера.

Розроблена система мікроконтролерного керування кроковими двигунами пристрою для нанесення полімерного покриття на плоску поверхню, що керує вибраними кроковими двигунами після запуску та тонкого налаштування. Кроковий двигун сприймає керуючі імпульси без інерції і без так званої фазової або ступінчастої депресії. Прикладаючи постійне навантаження, можна було чітко спостерігати крутний момент на валу редуктора. Швидкість обертання валу редуктора і режим реверсу можна було встановити з кнопок блоку. Було розроблено функціональну схему керування, розроблені окремі блоки живлення, керування, програмування. Розроблено корпус блоку керування в програмному середовищі SolidWorks.

Підпис студента 

"23" 12 2023 р.

РІШЕННЯ ЕК:

Протокол № 3 від "19" 12 2023 р.

Оцінка проекту ЕК _____

Рекомендації ЕК _____

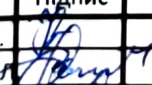


Особливі відмітки _____

Технічний секретар _____

"29" 12 2023 р.

ЗМІСТ

	стр
Вступ.....	5
1. Огляд існуючих конструкцій пристроїв нанесення покриттів та їх систем керування	9
1.1 ABB FlexPaint	9
1.2 Fanuc P-250iB/15.....	11
1.3 KUKA CoatingCell	12
1.4 Yaskawa Motoman Painting Robots.....	13
1.5 Огляд елементів електроприводу систем нанесення.....	16
1.4 Висновок до першого розділу.....	24
2. Аналіз параметрів керування пристроєм для нанесення полімеру.....	25
2.1 Аналіз виконання переміщення в просторі	25
2.2 Моделювання електроприводу.....	31
2.3 Розробка управління кроковими двигунами для переміщення пристрою для нанесення полімеру.....	37
2.4 Програмне забезпечення для роботи пристрою.....	47
2.5 Висновки до другого розділу.....	49
3. Проектування блоку керування електроприводом пристрою для нанесення полімерних покриттів.....	50
3.1 Вибір схеми керування і захисту двигуна.....	50
3.2 Розробка блоку живлення.....	53
3.3 Розробка блоку комутації.....	55
3.4 Розрахунок силового ключа комутації.....	57
3.5 Розробка блоку керування електроприводом.....	58

MPMA 23.00.00.000ПЗ								
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Розробка блоку керування електроприводом пристрою для нанесення полімерних покриттів на плоскі поверхні	Літ.	Аркуш	Аркушів	
Розроб.		Керничний Д.			М		4	88
Перев.		Горященко С.						
Н. контр.		Поліщук О.С.						
Затв.					ХНУ, гр. ЕТМ-22-1			

3.6 Розробка пристроїв виводу інформації.....	60
3.7 Розробка корпусу блоку керування.....	63
3.8 Програмування блоку керування електроприводом.....	65
3.9 Висновки до третього розділу.....	67
Висновки.....	68
Перелік джерел посилань.....	70
Додатки.....	73

					МРМА 23.00.00.000ПЗ	Арк.
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		4

ВСТУП

Сьогодні в різних галузях виробництва все ширше застосовуються автомати та напіваавтомати. Однак коли постає питання про створення багат шарових конструкцій, що складаються з декількох плоских деталей, виготовлених з гнучких матеріалів та вплив автоматизації незначний [6]. Це стосується, у першу чергу операцій спряження деталей у пакет та їх взаємного утримування до виконання операції скріплення пакета у виріб. При реалізації цих операцій потрібно забезпечити збереження відносної орієнтації попередньо складених деталей у пакеті із заданою точністю.

У сучасній легкій промисловості, а саме при автоматизованому виробництві взуття, виникає багато складних питань пов'язаних з вибором необхідного технологічного процесу виготовлення заготовки верху взуття за розумів, частих змін моделей та розмірів готової продукції згідно з вимогами торгівлі.

Деталі на позицію скріплення можуть подаватися двома способами: ручним та механічним [6]. Ручний спосіб передбачає подачу двох, попередньо складених людиною, деталей у робочу зону швейної машини. Якість та точність складання залежать від кваліфікації робітника. Для того, що сформувати пакет з декількох деталей, потрібно повторити процес скріплення кілька раз. При механічному способі деталі подаються в робочу зону спеціальним механізмом, який дозволяє скріплювати декілька складених деталей одночасно, тобто на протязі однієї операції. Це підвищує продуктивність праці, зменшує час на виконання операції скріплення. Але деталі в механізмі повинні бути попередньо складені і зафіксовані. Від якості фіксації деталей залежить якість скріплення деталей. При простому складанні деталей у пачку можуть виникнути небажані ефекти, які пов'язані наявністю в матеріалі деталей додаткових напружень, що виникли в процесі формування деталей (розкрою, механічної обробки). Ці напруження можуть призвести до

					MPMA 23.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		5

деформації деталей, а саме піднімання країв деталі, у результаті чого деталь з пласкої стає просторовою. А це ускладнює подальші операції.

В сучасному виробничому середовищі, де високі стандарти якості, ефективність та стійкість продукції визначають конкурентоспроможність, дослідження електроприводу в системах нанесення полімерних покриттів виявляється вельми важливим і стратегічно виправданим завданням. Ключові аспекти, які роблять це дослідження суттєвим для промисловості.

1) Ефективність та оптимізація процесу. Електропривід визначає ефективність роботи системи нанесення полімерних покриттів. Дослідження цього аспекту дозволяє визначити оптимальні параметри руху, швидкості, тисків та інших факторів для максимальної продуктивності та якості нанесення.

2) Точність та керування. Висока точність управління електроприводом визначає точність нанесення покриття. Дослідження дозволяє покращити системи керування, забезпечуючи точне відтворення рухів та покращення якості нанесення.

3) Зменшення витрат. Оптимізація електроприводу може сприяти економії матеріалів для нанесення. Керування тиском, розподілом покриття та інші фактори дозволяють зменшити відходи та витрати, що важливо з точки зору вартості та сталості виробництва.

4) Підвищення якості та контроль дефектів. Детальне дослідження електроприводу сприяє розробці передових систем контролю та виявлення дефектів. Автоматичне коригування електроприводом може усувати помилки та покращувати якість фінішного покриття.

5) Енергоефективність. Дослідження електроприводу також дозволяє працювати над енергоефективністю систем. Оптимізація режимів роботи сприяє зменшенню споживання електроенергії та впливу на довкілля.

6) Відповідність Стандартам та регулюванням. З ростом вимог до якості та екологічної безпеки, дослідження електроприводу допомагає системам

					MPMA 23.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		6

нанесення полімерних покриттів відповідати сучасним стандартам та регулюванням.

В цілому, дослідження електроприводу систем нанесення полімерних покриттів визначає не тільки конкурентоспроможність виробників, але й сприяє сталому розвитку, покращенню якості виробництва та зменшенню впливу на навколишнє середовище.

Метою роботи є розробка та виготовлення системи керування електроприводом, що містить крокові двигуни. Розроблена система повинна гарантувати номінальну роботу обраного крокового двигуна за потужністю, швидкісними характеристиками та різними режимами керування. Іншими словами, розроблена система використовується для дослідження характеристик крокового двигуна (статичний та динамічний момент, частота приймання, максимальна швидкість. Також є вивчення та дослідження схем та алгоритмів керування двигуном.

Система керування кроковим двигуном складається з п'яти основних частин: мікроконтролерного блоку керування, блоку живлення, блоку комутації, блоку введення інформації та блоку виведення інформації.

Блок управління побудований на 8-бітному мікроконтролері AVR Atmega8 і програмується відповідно до різних режимів роботи крокового двигуна.

Блок живлення (БЖ) необхідний для забезпечення крокового двигуна стабільним постійним струмом необхідної напруги і для подачі постійного струму (5 В) на БК. БЖ складається з трансформатора з однією первинною обмоткою і двома вторинними обмотками для перетворення мережевої напруги змінного струму в напругу змінного струму. напругу змінного струму. Він також складається з випрямляча (діодного моста) і окремих ланцюгів фільтрації та стабілізації необхідної напруги.

Комутаційні блоки використовуються для безпосереднього перемикання фаз (обмоток) двигуна. Це означає, що в залежності від вхідного сигналу від

					MPMA 23.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		7

БК (5 В) електронний ключ передає енергію з силового ланцюга на відповідну обмотку. Для електронного ключа було обрано польові транзистори.

Другим етапом виготовлення є виготовлення силового та комутаційного блоків, а також розробка блоку керування та блоків введення та виведення інформації, що будуть розміщені у корпусі будуть.

					<i>MPMA 23.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		8

1 ОГЛЯД ІСНУЮЧИХ КОНСТРУКЦІЙ ПРИСТРОЇВ НАНЕСЕННЯ ПОКРИТТІВ ТА ЇХ СИСТЕМ КЕРУВАННЯ

1.1 ABB FlexPaint

ABB FlexPaint - це система нанесення, яка використовує двохкоординатні роботи для точного і автоматизованого розпилення фарб та покриттів. Система інтегрується в різноманітні виробничі середовища, де вимагається висока точність та швидкість [1].

Двохкоординатна точність: Забезпечує високу точність розпилення та покриття завдяки двохкоординатній системі переміщення.

Гнучкість: Відмінно підходить для великого спектру виробництв, включаючи автомобільну промисловість, електроніку та інші галузі.

IRB 52 — це компактний фарбувальний робот, розроблений спеціально для фарбування деталей малого та середнього розміру в різноманітних галузях промисловості. Він надає вам доступне, професійне та високоякісне рішення для фарбування. Компактність Компактна конструкція IRB 52 означає менші розміри камери для розпилення, меншу потребу у вентиляції та системну економію енергії. Гнучкість Завдяки невеликому розміру та вражаючому радіусу дії (1,2 або 1,45 метра) IRB 52 є гнучким і універсальним, а його висока швидкість і точність забезпечують короткий час циклу та високу якість фарбування. Універсальні варіанти монтажу дозволяють IRB 52 відповідати ваШІМ вимогам щодо гнучкої інтеграції та збільшення продуктивності. IRB 52 можна легко інтегрувати з цілим рядом технологічних аксесуарів, таких як поворотні столи, човникові столи та конвеєрні системи. Робот має малу вагу, його дуже легко встановити, програмувати та обслуговувати. Інтегрований IRB 52 призначений для фарбування та повністю підготовлений до інтегрованого обладнання для процесу фарбування. У ньому

					MPMA 23.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		9

використовується потужна і добре перевірена інтегрована система процесу (IPS) для високошвидкісного керування процесом, синхронізована з чудовою системою руху IRC5P. Система IPS включає клапани зміни кольору та регулювання повітря та фарби, що забезпечує точне регулювання процесу, пропонуючи високу якість обробки та значну економію фарби. Поєднання перевірених технологій і перевірених інновацій забезпечує надійне виробництво та тривалий час безвідмовної роботи. IRB 52 може значно підвищити вашу продуктивність. Призначений для фарбування. IRC5P — це система керування роботом для фарбування останнього покоління, спеціально розроблена для фарбувального цеху. Ключовими елементами його зручного для користувача інтерфейсу є підвіска FlexPaint, сертифікована Eхі, із підтримкою кількох мов і настроюване програмне забезпечення для комп'ютера для контролю камери фарбування RobView 5.



Рисунок 1.1 - ABB FlexPaint

					MPMA 23.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		10

1.2 Fanuc P-250iB/15

Fanuc P-250iB/15 - це промисловий робот з двома координатними рухами, розроблений для точного нанесення покриттів і фарб. Його висока швидкість і точність роблять його ідеальним для застосувань, де потрібна ретельна робота. Двохкоординатний рух: Забезпечує робочі операції з високою точністю в областях, де це критично важливо [2].

Легка і компактна конструкція: Робот може легко інтегруватися в різноманітні виробничі середовища.

Цей фарбувальний робот має робочу зону 2800 мм і забезпечує гнучкість, необхідну для максимального підвищення якості, підтримання точних цільових відстаней і орієнтації головок під час роботи з великими деталями. Чудова альтернатива розпиленню вручну або застарілим системам автоматизації.

Ця модель має великий спектр функцій, легко інтегрується з обладнанням і вирізняється високою маневреністю. Вона добре підійде для виконання найрізноманітніших завдань із фарбування й нанесення покриття.

Перевірене на виробництві порожнисте зап'ястя та шланги, прокладені всередині руки, підтримують чистоту робочого середовища та підвищують якість продукції.

Контролер R-30iB Plus — це новий стандарт FANUC для підвищення продуктивності. Він покликаний сприяти простішому використанню роботів і автоматизації у виробничій промисловості. Завдяки новому поколінню передового інтегрованого апаратного забезпечення та понад 250 функціям програмного забезпечення, це ваш ключ до продуктивності робота з точки зору тривалості циклу, швидкості, точності та безпеки. R-30iB також забезпечує повне підключення через мережу Ethernet, що дозволяє легко підключати роботів, віддалені комп'ютери та інше обладнання. R-30iB Plus, розроблений для зручності використання та мінімального енергоспоживання,

					MPMA 23.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		11

поставляється в чотирьох різних шафах, щоб допомогти вам максимально використати простір і планування виробничих камер. Завдяки гнучкому зовнішньому вигляду інтерфейс користувача iHMI має переконливу роздільну здатність екрана та потужні можливості обробки.



Рисунок 1.2 - Fanuc P-250iB/15

1.3 KUKA CoatingCell

KUKA CoatingCell - це інтегрована система для автоматичного нанесення покриттів на поверхні [3]. Ця система використовує

					MPMA 23.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		12

двохкоординатні технології для точного керування рухом і забезпечення високоякісного нанесення покриттів (Див. Рис.1.2).

Двохкоординатний контроль: Забезпечує точність та надійність у великому спектрі застосувань.

Проста настройка: Легко інтегрується в різноманітні виробничі потоки завдяки своїй гнучкості [3].



Рисунок 1.3 - KUKA AMR KMP 1500P

					<i>MPMA 23.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		13

AMR KMP 1500P революціонує інтралогістику. Він транспортує товари, гнучко адаптується до процесів, пов'язує їх між собою та оптимізує складські процеси, складальні лінії та потік матеріалів у промислових середовищах. Завдяки найсучаснішій навігації, високій точності позиціонування, розширеному розпізнаванню вантажу, 3D-камерам та інноваційній технології завантаження цей AMR пропонує гнучке та безпечне рішення для автоматизованого транспортування. Зчитувач QR-кодів покращує відстеження товарів і ефективність роботи. 3D-камери надійно виявляють перешкоди [3].

AMR KMP 1500P легко програмується, забезпечуючи швидке налаштування та оптимізовану роботу. Це скорочує час і ресурси і підвищує ефективність і гнучкість.

Цей автономний робот пропонує наскрізне рішення для мобільного постачання матеріалів. Навіть малі та середні компанії виграють від нижчих витрат і високої гнучкості внутрішньої логістики

1.4 Yaskawa Motoman Painting Robots

Yaskawa Motoman виробляє промислові роботи, включаючи ті, які призначені для точного нанесення фарби та покриттів [4].

Змінні споживчі переваги продовжують стимулювати зростання попиту на високоміцні вироби з покращеною естетикою. Як наслідок, використання оптимізованих промислових покриттів набирає обертів, покращуючи продуктивність продукту та відповідаючи екологічним стандартам. Від електроніки, аерокосмічної та морської промисловості до гірничодобувної промисловості, автомобільної промисловості та інших, низка ринків бачить цінність високоефективних варіантів фарбування та покриття.

					MPMA 23.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		14

Використання акрилу все ще дуже привабливе, забезпечуючи такі характеристики, як стійкість до стирання, вогнестійкість, збереження блиску, стійкість до атмосферних впливів, паропроникність і стійкість до ультрафіолетового випромінювання¹. Разом із цією популярністю з'являється ширша група користувачів, багато з яких вирішують запровадити роботизовану автоматизацію для нанесення промислових покриттів. Однак, коли справа доходить до роботизованого процесу нанесення спрею, не всі роботи створені рівними [4].

Telltale сигналізує, що робот готовий до фарбування або покриття

Існують суворі вказівки щодо безпечного використання роботів у розпилювачах (так званих потенційно легкозаймистих середовищах). Коли мова заходить про те, що виробники можуть і не можуть робити з роботами в таких ситуаціях, наші експерти тут, щоб допомогти.

NFPA 70 – робот, який використовується, має використовувати деякі технології, перелічені Національною асоціацією протипожежного захисту (NFPA) для відповідності.

Сертифікація відповідності – має бути певна форма сертифікації або переліку, у якому зазначено, що робот відповідає NFPA 70.

Видима ідентифікація – щоб визначити, чи є робот роботом-фарбувальником, а не стандартним промисловим роботом, ви можете спільно шукати кілька речей:

Не має відкритих серводвигунів – хоча це не завжди є єдиним показником справжнього фарбувального робота, це крок до звуження можливостей робота.

Немає зовнішніх кабельних джгутів – усі кабельні джгути повинні проходити всередині для безпеки застосування та тривалої роботи робота.

Немає швидкокороз'ємних (QD) електричних роз'ємів – хоча вони зазвичай допомагають скоротити час встановлення та витрати на технічне

					MPMA 23.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		15

обслуговування для роботів, їх уникають на роботах для фарбування для безпеки застосування.

Не нагрівається після роботи – ще одна вимога стандартів NFPA: температура поверхні робота не може бути занадто високою. Це допомагає запобігти енергії займання.



Рисунок 1.4 – Yaskawa Motoman Painting Robots

Має тег схвалення – це найкращий показник для підтвердження здатності робота фарбувати чи наносити покриття.

1.5 Огляд елементів електроприводу систем нанесення

Крокові двигуни (КД) - це електромеханічні пристрої, які перетворюють електричні імпульси в дискретні механічні рухи (рис. 1.5).

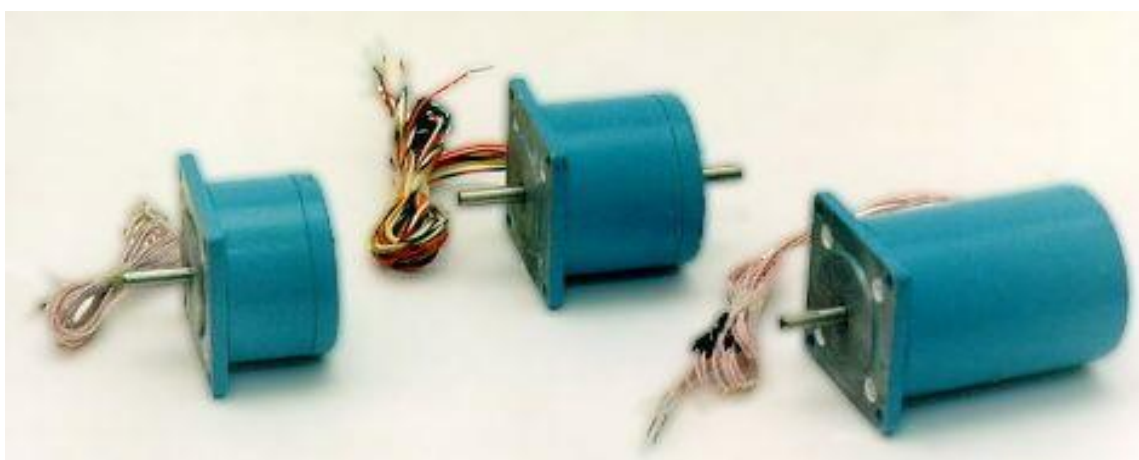


Рисунок 1.5 - Зовнішній вигляд крокового двигуна

Крокові двигуни відносяться до безколекторних двигунів постійного струму. Він складається зі статора з обмотками на полюсах і ротора, ротор виготовляється з магнітом'якої електромагнітної сталі або постійних магнітів, залежно від типу.

Як і інші безщіткові двигуни, вони мають високу надійність і тривалий термін служби, що робить їх придатними для використання в критичних умовах, таких як промисловість. У порівнянні зі звичайними двигунами постійного струму, крокові двигуни вимагають більш складної схеми керування, оскільки всі комутації обмоток повинні відбуватися під час роботи двигуна. Крім того, сам кроковий двигун є дорогим пристроєм, що робить звичайні щіткові двигуни очевидною перевагою, коли не потрібне точне позиціонування. В останні роки для керування колекторними двигунами використовуються такі складні контролери, як контролери крокових двигунів. Однією з головних переваг крокових двигунів є те, що вони можуть виконувати точне позиціонування і регулювання швидкості без датчиків зворотного зв'язку [6, 7].

Існує три основні типи крокових двигунів:

- Двигуни зі змінним магнітоопором (реактивні);
- Двигуни з постійними магнітами; і
- гібридні двигуни.

Переваги крокових двигунів.

- Кут повороту ротора визначається кількістю імпульсів, що подаються на двигун;
- Повний крутний момент може бути досягнутий навіть в режимі зупинки (якщо на обмотки подається живлення);
- Точне позиціонування і повторюваність. Хороші крокові двигуни мають точність 3-5% від розміру кроку. Ця похибка не накопичується від кроку до кроку;
- Можливість швидкого запуску/зупинки/реверсу;

					MPMA 23.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		17

- Висока надійність завдяки відсутності щіток; ресурс крокового двигуна визначається ресурсом підшипників;

- Чітка залежність положення від вхідних імпульсів дозволяє позиціонувати без зворотного зв'язку;

- Можливість досягнення дуже низьких швидкостей обертання для навантажень, безпосередньо підключених до валу двигуна, без проміжних редукторів;

- Може охоплювати досить широкий діапазон швидкостей; швидкість пропорційна частоті вхідного імпульсу.

Недоліки крокових двигунів

- Крокові двигуни схильні до резонансу;

- Працюють без зворотного зв'язку, тому контроль положення може бути втрачений;

- Споживання енергії не зменшується навіть за відсутності навантаження;

- Важко працювати на високих швидкостях;

- Низька питома потужність.

Крокові двигуни можна використовувати для досягнення малих кутів кроку. Залежність між кутом кроку θ_s , кількістю фаз m , кількістю зубців ротора N_r і кількістю кроків S задається формулою [16]:

$$S = 360 / \theta_s = m \cdot N_r, \quad (1.1)$$

де θ_s - кут кроку; 0;

m - кількість фаз;

N_r - кількість зубців ротора.

Щоб зменшити кут θ_s , необхідно збільшити кількість зубців. З наведеного вище пояснення випливає, що кількість зубців у статорі потрібно збільшувати так само, як і в роторі. Велика виступаюча частина, де

розташовані обмотки, називається полюсом. Полюс статора має два або більше зубців.

Розглянемо будову і принцип роботи найпростішого крокового двигуна, зображеного на рис. 1.6. Більш детально про будову крокових двигунів можна прочитати в [5]. Сердечник статора має шість виступаючих зубців, а ротор - лише чотири. Осердя ротора і статора виготовлені з магнітом'якої сталі. Обмотки розташовані у три комплекти, як показано на схемі. Кожен набір складається з двох послідовно з'єднаних котушок; один набір котушок називається однофазним, а машина - трифазною. Обмотки живляться струмом від джерела постійного струму через перемикачі I, II і III. У положенні (1) обмотка фази I підключена до джерела живлення через вимикач I, тобто фаза I збуджена. Магнітний потік, що виникає в результаті збудження, показаний стрілками на схемі. У положенні (1) два виступаючі зубці статора збудженої фази I зупиняються на одній лінії з двома з чотирьох зубців ротора. Це положення називається положенням рівноваги. Коли вимикач II замкнутий на додаток до фази I [17].

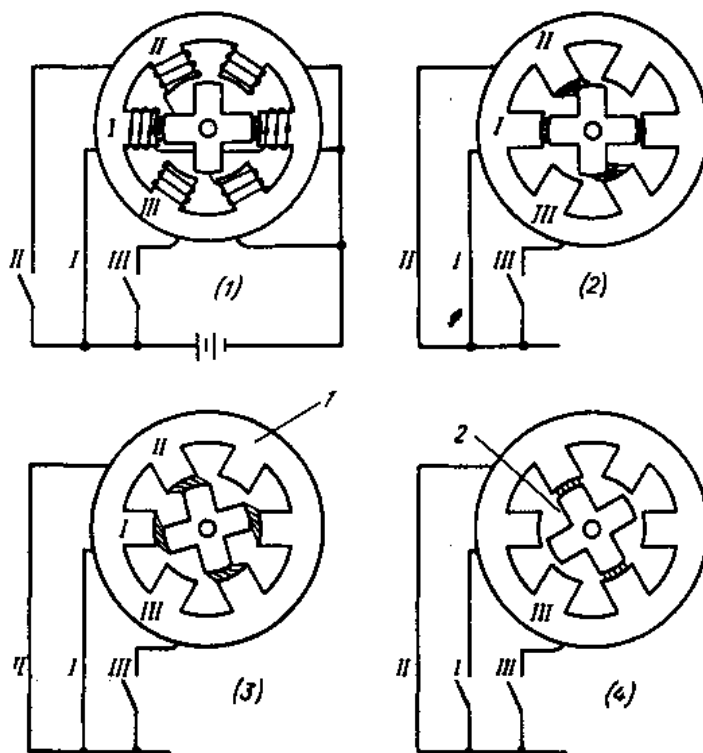
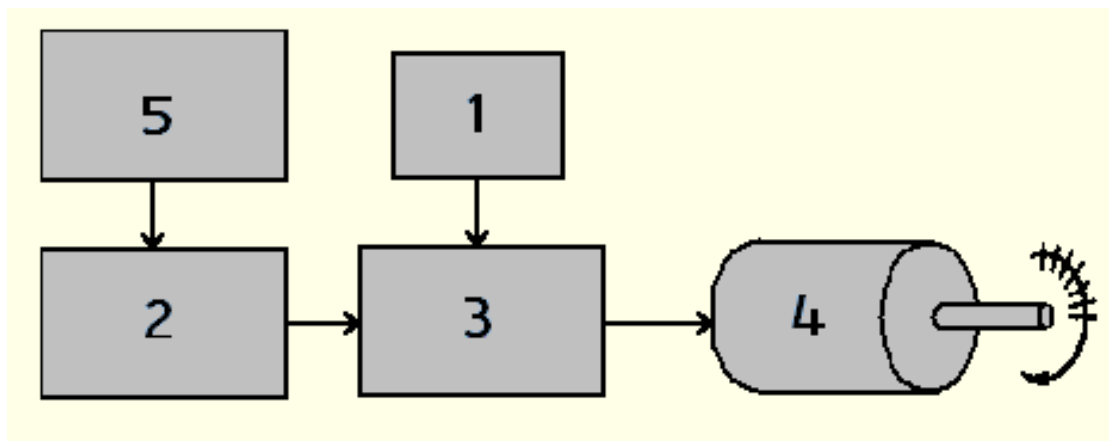


Рисунок 1.6 - Принцип роботи реактивного крокового двигуна

Коли фаза II збуджена, магнітний потік генерується в зубцях статора, що відповідають цій фазі, як показано на діаграмі в положенні (2), а "напруженість" в лініях магнітного поля генерує крутний момент в похилих лініях поля. Ротор знаходиться в положенні (3).

Таким чином, за одну операцію перемикання ротор повертається на певний кут (в даному випадку 150), який називається кутом повороту або кроком. Якщо в цьому місці розімкнути I-перемикач і від'єднати I-фазу, ротор повернеться на наступні 150 і опиниться в положенні (4). Таким чином, кутове положення ротора в кутових одиницях можна контролювати за допомогою процесу перемикання. Якщо перемикання виконується послідовно, ротор обертається ступінчасто, і середня швидкість також може регулюватися перемиканням.

Для керування кроковим двигуном в якості електронних перемикачів використовуються транзисторні перемикачі, а сигнали перемикання генеруються цифрою інтегральною схемою або мікропроцесором. На рисунку 1.7 показано функціональну схему керування кроковим двигуном.



1.- Джерело живлення постійного струму, 2 - Інтегральна схема або мікропроцесор, 3 - Транзисторний ключ (інвертор), 4 - Кроковий двигун, 5 - Вхідний контролер.

Рисунок 1.7 - Система керування кроковим двигуном

					MPMA 23.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		20

Розглянемо схему керування 4-фазним кроковим двигуном [6]. Цей метод дозволяє задавати частоту імпульсів, постійне прискорення/сповільнення та різні режими перемикання фаз.

Основою пристрою (рис. 1.8) є мікроконтролер Atmel AT90S2313 типу U1. Сигнали керування обмотками двигуна формуються програмно на портах PB4 - PB7[16].

Для комутації обмотки використовуються два польові транзистори типу KP505A і загалом вісім транзисторів (VT1 - VT8). Ці транзистори знаходяться в корпусі TO-92 і можуть комутувати струми до 1,4 А, з опором каналу приблизно 0,3 Ом. Транзистори.

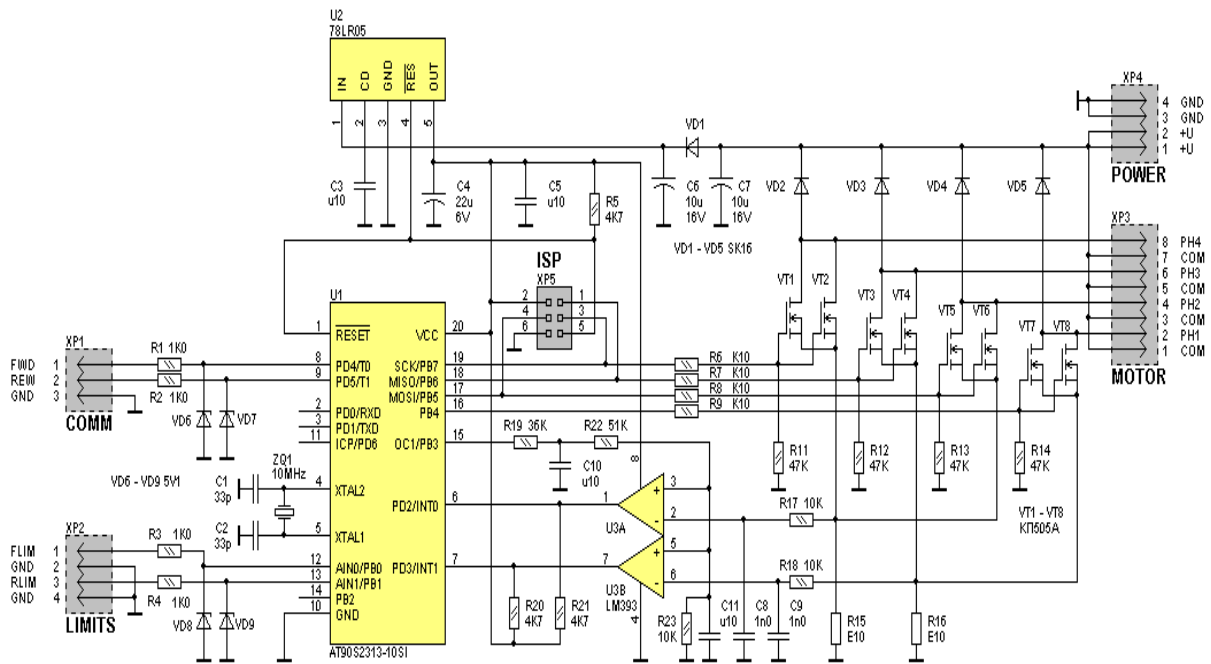


Рисунок 1.8 - Принципова схема керування 4-фазним кроковим двигуном.

Під час сигналу "скидання" мікроконтролера (порт в цей час знаходиться в стані Z) резистори R11 - R14 з'єднані між затвором і витком. Резистори R6 - R9 встановлені для обмеження струму перезаряду ємності затвора. Оскільки цей контролер не претендує на швидкісні характеристики, діоди VD2 - VD5 використовуються для відведення обмотки двигуна, що є достатнім для уповільнення спаду фазного струму. Для підключення крокових

двигунів є 8-контактний роз'єм ХР3, який дозволяє підключати двигуни з двома окремими виводами від кожної обмотки (наприклад, DSI). Для двигунів з внутрішнім з'єднанням обмоток один або два загальних виводи роз'єму залишаються вільними. Слід зазначити, що цей контролер можна використовувати для керування двигунами з високими середніми фазними струмами. Для цього достатньо замінити транзистори VT1 - VT8 і діоди VD2 - VD5 на більш потужні. Крім того, в цьому випадку не можна використовувати паралельне з'єднання транзисторів. Найбільш придатними є MOSFET, керовані на логічному рівні. Прикладами є KP723G і KP727V.

Стабілізація струму здійснюється за допомогою ШІМ, яка також реалізована програмно. Для цього використовуються два датчики струму R15 і R16. Сигнали з датчиків струму подаються через фільтри нижніх частот R17C8 і R18C9 на входи компараторів U3A і U3B. Фільтри нижніх частот захищають компаратори від хибних спрацьовувань через завади. На другий вхід кожного компаратора необхідно подати опорну напругу, яка визначає піковий струм в обмотці двигуна. Ця напруга генерується мікроконтролером за допомогою внутрішнього таймера, що працює в режимі 8-бітної ШІМ. Для фільтрації ШІМ-сигналу використовується дволанковий фільтр нижніх частот R19C10R22C11. Водночас резистори R19, R22 і R23 утворюють дільник частоти і задають шкалу регулювання фазного струму. У цьому випадку максимальний піковий струм, що відповідає коду 255, становить 5,11 А, що відповідає напрузі 0,511 В на датчику струму; враховуючи, що постійна складова ШІМ-виходу змінюється від 0 до 5 В, необхідний коефіцієнт заповнення становить близько 9,7. Виходи компаратора підключені до входів переривань INT0 і INT1 мікроконтролера.

Для керування роботою двигуна є два логічних входи: FWD (вперед) і REW (назад), які підключені до роз'єму ХР1. Коли на один з цих входів подається низький логічний рівень, двигун починає обертатися зі встановленою мінімальною швидкістю і поступово прискорюється.

					MPMA 23.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		22

Двигун поступово прискорюється з заданим постійним прискоренням. Прискорення завершується, коли досягається задана робоча швидкість. Коли подається команда реверсу, двигун сповільнюється з тим самим прискоренням, потім реверсує і знову розганяється.

На додаток до командних входів, до роз'єму ХР2 підключено два входи кінцевих вимикачів. Кінцевий вимикач вважається спрацьованим, якщо на відповідному вході присутній низький логічний рівень. У цьому випадку обертання в цьому напрямку заборонено. Якщо кінцевий вимикач спрацьовує під час обертання двигуна, він увійде в режим гальмування із заданим прискоренням, а потім зупиниться.

Входи команди і кінцевого вимикача захищені від перенапруги ланцюгами R1VD6, R2VD7, R3VD8 і R4VD9, що складаються з резисторів і стабілітронів.

Живлення мікроконтролера формується мікросхемою стабілізатора, яка одночасно виконує функцію монітора живлення. Якщо напруга живлення падає нижче встановленого порогу, ця мікросхема генерує сигнал "скидання" для мікроконтролера. Живлення подається на стабілізатор через діод VD1, який разом з конденсатором С6 зменшує пульсації, викликані перемиканням на потужне навантаження, наприклад, кроковий двигун. Живлення на плату подається через 4-контактний роз'єм ХР4 з дуплексними контактами.

Недоліком описаної схеми керування є великий перелік елементів, що не є економічно вигідним. Зокрема, використання мікроконтролера АТ90S2313 вимагає зовнішнього тактового генератора на основі кристала ZQ1 і двох конденсаторів С1 і С2, в той час як існує багато типів мікроконтролерів з внутрішнім тактовим генератором. По-друге, використання паралельної роботи польових транзисторів VT1 - VT8 - їх вісім, хоча можна використовувати лише чотири, а струм досягає 3 А. Система стабілізації напруги досить громіздка і потребує джерела постійного струму необхідної напруги.

					MPMA 23.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		23

1.3 Висновки до першого розділу

Проведено огляд пристроїв для нанесення полімерів, що дало можливість визначити основні елементи електроприводу. Розглянуто будову та роботу крокового двигуна, проаналізовано електричну схему його керування.

					<i>MPMA 23.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		24

2 АНАЛІЗ ПАРАМЕТРІВ КЕРУВАННЯ ПРИСТРОЕМ ДЛЯ НАНЕСЕННЯ ПОЛІМЕРУ

2.1 Аналіз виконання переміщення в просторі

Процес складання розглядають у стаціонарній та рухомій системах координат. Дискретний процес, що виконується в нерухомих координатах, приймаючих за базові, доцільніше розглядати в стаціонарній системі координат як неперервний процес, що характеризується складанням рухомих об'єктів у рухомій системі. Регулярність процесу накладає ряд обмежень на позиціонування об'єктів складання і їх положення на робочих поверхнях технічної системи. Однозначність положення обумовлюється ступеню стійкості об'єкта і його орієнтація в просторі [8, 9].

Початкове положення деталі $D_i (E_{u_i})$ у технологічному просторі можна характеризувати координатами $X_{c_i}, Y_{c_i}, Z_{c_i}$ точки деталі C_{c_i} (центра складання) та трьома одиничними векторами $\bar{n}_o, \bar{t}_o, \bar{b}_o$, взаємне орієнтування яких таке ж, що й у координатних ортів. Вказані компоненти жорстко зв'язані з деталлю, завдяки чому орієнтування деталей у просторі визначається орієнтацією вказаних векторів, де кожен вектор орієнтації характеризується направляючими косинусів кутів α, β, γ між векторами $\bar{n}_o, \bar{t}_o, \bar{b}_o$ і позитивними напрямками осей OX, OY, OZ відповідно:

$$\begin{vmatrix} \cos \alpha_{n_i}, \cos \beta_{n_i}, \cos \gamma_{n_i} \\ \cos \alpha_{t_i}, \cos \beta_{t_i}, \cos \gamma_{t_i} \\ \cos \alpha_{b_i}, \cos \beta_{b_i}, \cos \gamma_{b_i} \end{vmatrix}. \quad (2.1)$$

За аналогією положення орієнтованої деталі на складальній позиції характеризується набором параметрів.

					MPMA 23.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		25

$$N_{\partial_{ij}} = \{X_{c_{ij}}, Y_{c_{ij}}, Z_{c_{ij}}, \cos \alpha_v, \cos \beta_v, \cos \gamma_v\}, \quad (2.2)$$

$$j = 1, 2, 3, \dots, m, \quad v = n, t, b,$$

де $X_{c_{ij}}, Y_{c_{ij}}, Z_{c_{ij}}$ - координати деякого умовного центра складання j -ї позиції.

З урахуванням кількості та якості параметрів (розміри, форма, вага) об'єктів складання, що використовуються при описі процесу, складання може розглядатися як геометрична, фізична, технологічна або технічна задача. У першому випадку, об'єкт складання розглядається як геометричне тіло, в іншому - як фізичне, у третьому - як елемент конструкції (деталь, складальна одиниця), у четвертому - як об'єкт виробництва. Такий підхід передбачає різний рівень абстракції і відповідної форми опису процесу, а саме глибину розкриття взаємозв'язку між елементами процесу.

Геометрична задача складання формулюється умовами, при яких однойменні ортогональні одиничні вектори, що належать об'єктам (D_i, D_{i+1}), розташовані як завгодно в просторі, суміщаються. При цьому вектори являють собою реальні об'єкти, їх суміщення з деякого моменту може бути тільки плоскопаралельним, для запобігання пересічення об'єктів при спряженні.

Гвинтова передача 11 переміщує рухомий блок 15, що має відповідний нарізний отвір. Знизу каретки встановлено направляючу 14, яка компенсує обертовий момент і забезпечує плавність руху блока 15.

На блоці 15 закріплені п'яльця 16, в яких знаходяться деталі, що будуть зшиватися, або на яких буде виконуватись наперед заданий малюнок. Таким чином електродвигуни, та взаємно перпендикулярні гвинтові передачі забезпечують переміщення п'ялець 16 по двом координатам з достатньою точністю.

Складальне креслення показано на МРМА 23.00.00.000 СК.

					МРМА 23.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		26

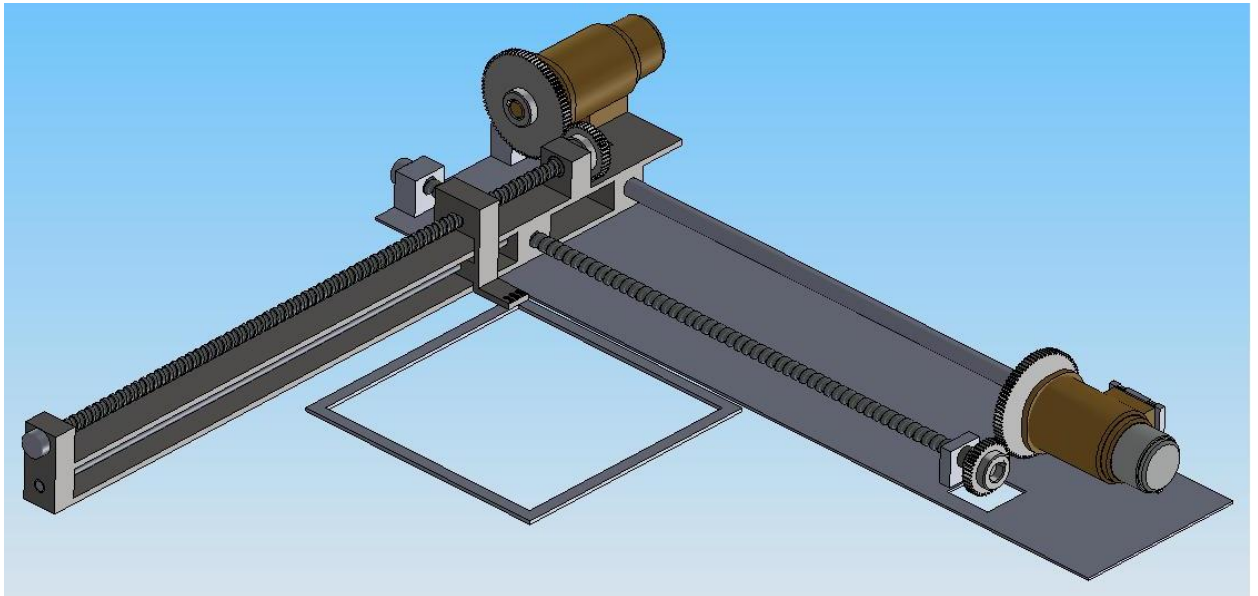


Рисунок 2.2 – Зовнішній вигляд пристрою.

Пропонується виготовити деякі окремі деталі пристрою з вініпласту. Це полегшить конструкцію. А саме каретку та рухомий блок. Це позбавить необхідності встановлювати додатково втулки, що призведе до спрощення та здешевлення конструкції в цілому.

В основі пристрою лежить металева плита з привареними блоками в яких зроблено паралельні отвори. (див. рис.2.4) В ці отвори встановлюються підшипники кочення, в яких обертаються гвинтові вали. Також встановлено вертикальну пластину до якої кріпиться електродвигун. У якості електродвигуна пропонуються використовувати крокові двигуни. Вони забезпечують плавне регулювання кута повороту валу, що забезпечує нам передбачувальні значення переміщення каретки та п'ялець.

Модель каретки показана на рис. 2.5.

Складається з П-подібної балки в якій є отвори для встановлення підшипників кочення.

В цих підшипниках обертається гвинтовий вал, що переміщує безпосередньо блок, що тримає пристрій для нанесення полімеру на плоску поверхню.

					MPMA 23.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		27

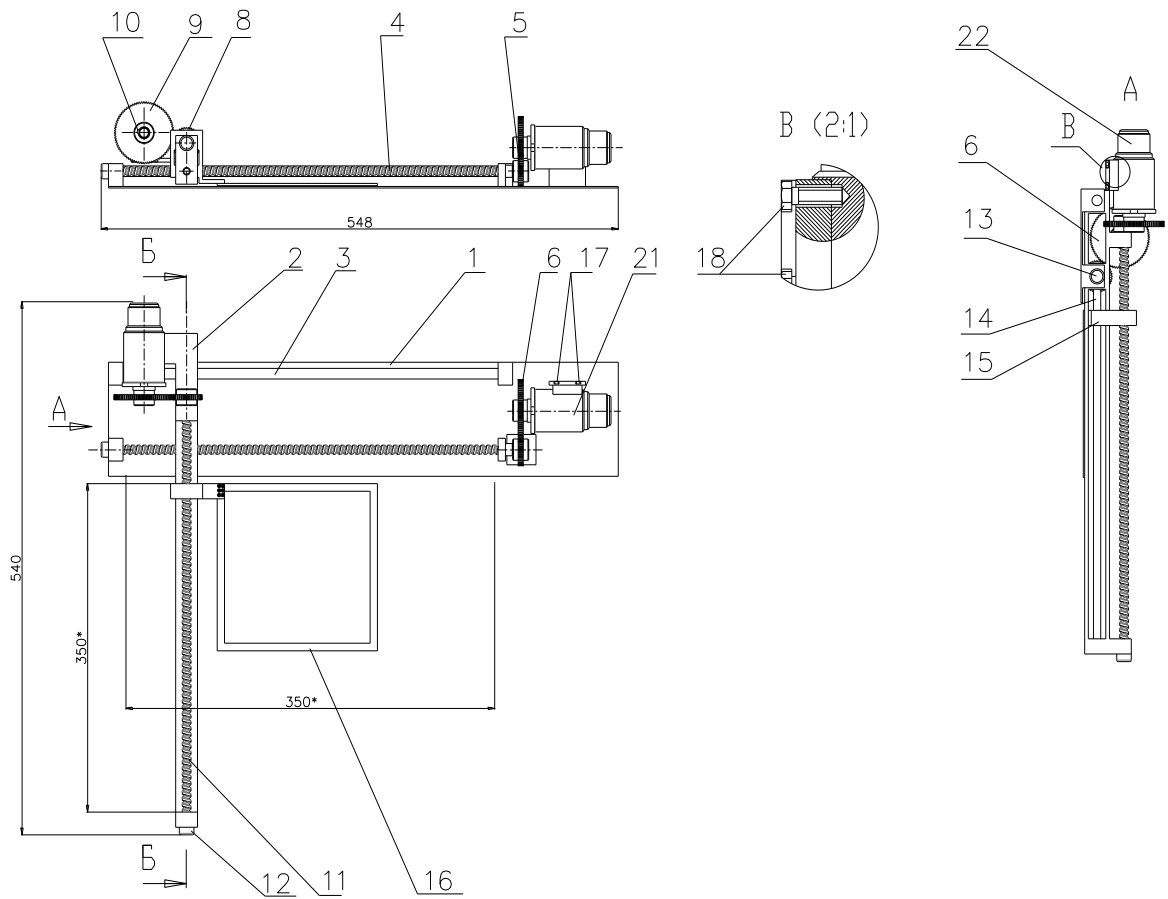


Рисунок 2.3 - Двохкоординатний пристрій

Також на каретці встановлюється ще один кроковий електродвигун.

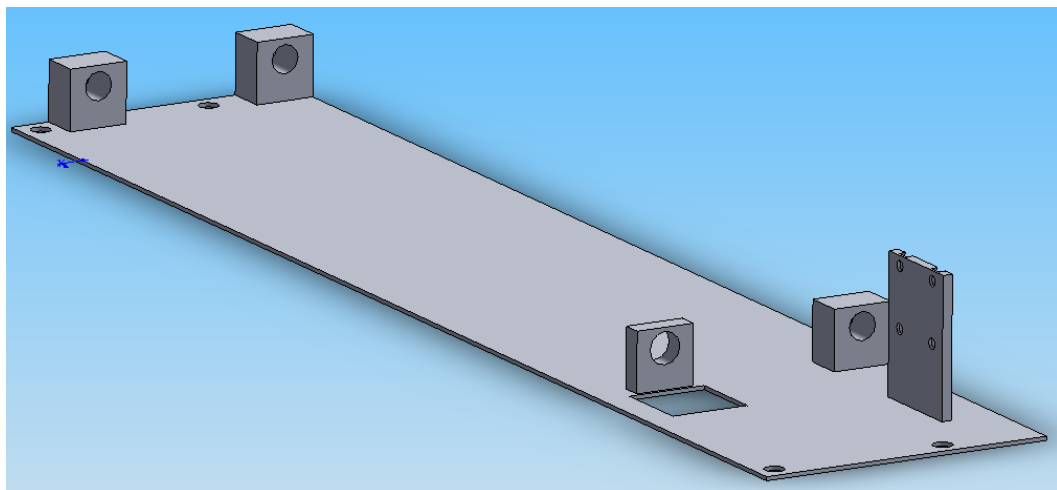


Рисунок 2.4 – Основа пристрою

					МРМА 23.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		28

Сама каретка переміщується перпендикулярно гвинтовій вісі, що встановлена на основі пристрою. Для забезпечення надійності переміщення, та зменшити вірогідність перекосу каретки встановлюється ще один додатковий вал. Цей вал паралельний гвинтовій вісі, а сама каретка встановлюється з зазором.

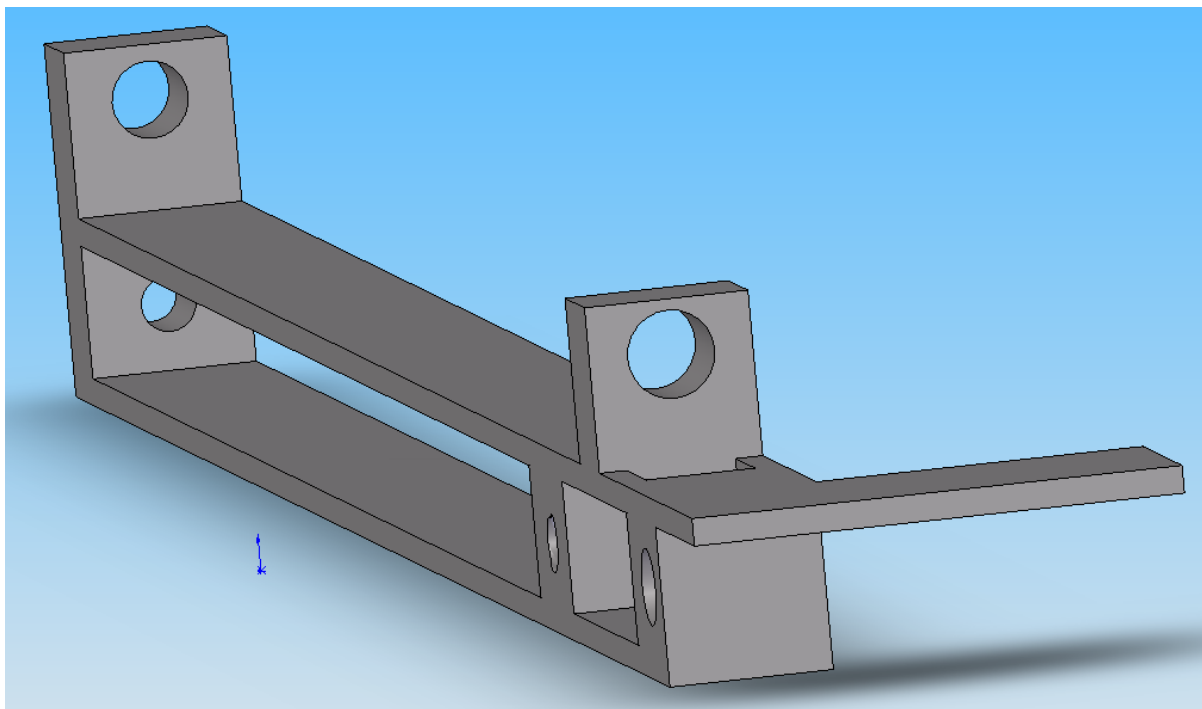


Рисунок 2.5 – Каретка пристрою

По каретці переміщується рухомий блок. (Рис.2.6) Він має два основних отвори. Один з різьбою, завдяки чому він отримує рух від гвинтової вісі (див. рис.2.7), інший ковзає по валу, що паралельно встановлений знизу під гвинтовою віссю. Внизу блок має майданчик, до якого прикріплюється пристрій для нанесення полімеру. В залежності від шляху покриття та типу полімеру даний пристрій може мати різну форму. Враховуючі, що його робота не є основною задачею на всіх рисунках показано лише площадку його розташування.

					MPMA 23.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		29

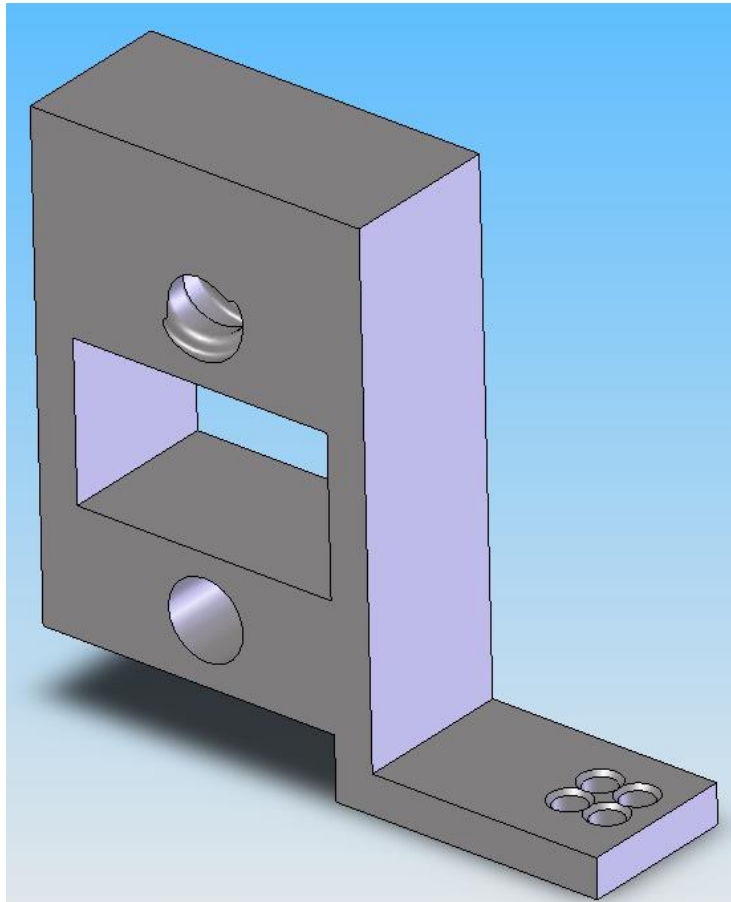


Рисунок 2.6 – Рухомий блок

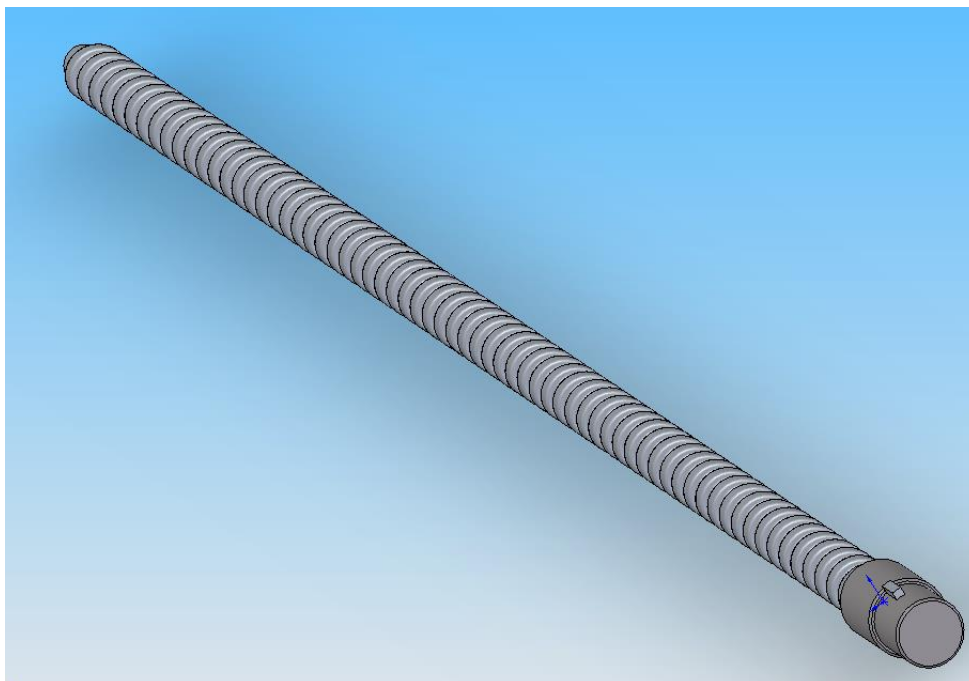


Рисунок 2.7 – Гвинтова передача

					MPMA 23.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		30

Механічний обертовий рух передається через шпонку, що встановлена в шпонковому пазу в гвинтовій передачі.

Сама гвинтова передача встановлена на підшипниках, що впресовані в корпусу каретки та основи пристрою.

2.2 Моделювання електроприводу

В якості основного електроприводу обрано кроковий електродвигун.

Електричні машини не повинні нагріватися понад допустимі межі. При перегріванні машини ізоляція обмотувальних проводів швидко старіє, втрачає ізоляційні властивості, стає тендітною і при подальшій роботі може обвуглитися, що може привести до короткого замикання і виходу машини з ладу [13].

По навантажувальній діаграмі визначаємо еквівалентний по нагріванню момент двигуна за годину його роботи без обліку години пауз:

$$M_{\text{э}} = \sqrt{\frac{M_n^2 t_n + M_c^2 t_p + M_m^2 t_m}{t_n + t_p + t_m}}, \quad (2.1)$$

де M_n і M_m – моменти, що розвиваються двигуном при пускові і гальмуванні.

Еквівалентна потужність:

$$P_{\text{э}} = \frac{M_{\text{э}} \cdot n_{\text{дв}}}{975}. \quad (2.2)$$

Після цього проводяться перерахунки еквівалентної потужності на найближчу, стандартну тривалість включення

					MPMA 23.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		31

$$P_k = P_{\text{э}} \sqrt{\frac{ПВ_{\text{д}}}{ПВ_k}}, \quad (2.3)$$

де $ПВ_{\text{д}}$ – дійсна тривалість включення двигуна

$ПВ_k$ – найближча по величині стандартна тривалість включення стосовно дійсного $ПВ$.

Якщо отримана в результаті розрахунку потужність $P_k < P_n$ двигуна, що був попередньо обраний, за умовами нагрівання проходить.

Якщо ж $P_k > P_n$, то необхідно задаватися більш потужним двигуном і розрахунок робити знову.

Визначаємо еквівалентний момент:

$$M_{\text{э}} = \sqrt{\frac{M_n^2 t_n + M_c^2 t_p + M_m^2 t_m}{t_n + t_p + t_m}} =$$

$$= \sqrt{\frac{(38.57)^2 \cdot 1.64 + (32.45)^2 \cdot 52.33 + (28.85)^2 \cdot 0.31}{1.64 + 52.33 + 0.31}} = 32.63 \cdot 10^{-3} \text{ (кг} \cdot \text{м)}$$

де $M_n = 1.3 M_H = 1.3 \cdot 29.67 = 0,3857 \text{ (кг} \cdot \text{м)}$

$$M_m = \frac{k \cdot (Q \cdot Q_0) \cdot D_{\text{б}} \cdot \eta}{2 \cdot m \cdot i}, \quad (2.4)$$

де k – поправочний коефіцієнт ($k = 1.5$);

$(Q+Q_0)$ – ваги вантажу з вантажозахватним пристроєм;

$D_{\text{б}}$ – діаметр ролика;

m – число поліспастів;

i – передатне відношення;

η - кпд приводові.

					МРМА 23.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		32

$$M_m = \frac{1.5 \cdot 57,75 \cdot 0.4}{2 \cdot 2 \cdot 25.22} \cdot 0.84 = 0,2885(\text{кг} \cdot \text{м})$$

Еквівалентна потужність:

$$P_{\vartheta} = \frac{M_{\vartheta} \cdot n_{\text{дв}}}{975} = \frac{32.63 \cdot 723}{975} = 24.2(\text{Вт});$$

$$P_{\kappa} = P_{\vartheta} \sqrt{\frac{ПВ_{\text{д}}}{ПВ_{\kappa}}} = 24.2 \cdot \sqrt{\frac{20}{25}} = 21.6(\text{Вт}).$$

Оскільки $P_{\kappa} = 21.6 \text{ Вт} < P_{\text{н}} = 22 \text{ Вт}$, то двигун за умовою нагрівання підходить.

Перевірка електродвигуна на перевантажувальну здатність і по пусковому моменті.

Обраний по каталозі двигун перевіряється на перевантажувальну здатність на умові нерівності:

$$\lambda \cdot M_{\text{н}} > M_{\text{max}}, \quad (2.5)$$

де λ - перевантажувальна здатність двигуна, $\lambda = 3$;

$M_{\text{н}}$ – номінальний момент ($M_{\text{н}} = 29.67 \cdot 10^{-3} \text{ кг} \cdot \text{м}$)

M_{max} - максимальний момент двигуна,

$M_{\text{max}} = 85 \text{ р.м.}$

Перевірка за пусковим моментом здійснюється на підставі нерівності:

$$0.7 \cdot \left(\frac{M_{\text{п}}}{M_{\text{н}}} \right) \cdot M_{\text{н}} > M_{\text{с}}, \quad (2.6)$$

де $\left(\frac{M_{\text{п}}}{M_{\text{н}}} \right)$ - кратність пускового моменту (береться з каталогу),

					МРМА 23.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		33

$$\left(\frac{M_n}{M_n}\right) = 2.8; M_c - \text{момент опору, } (M_c = 32,45 \cdot 10^{-3} \text{ кг/м}).$$

Якщо обраний двигун не проходить по перевантаженню або пусковому моменту, те вибирається двигун більшого габариту, що задовольняв би цим нерівностям:

$$\lambda \cdot M_n > M_{\max}$$

Двигун підходить на перевантажувальну здатність:

$$0.7 \cdot \left(\frac{M_n}{M_n}\right) \cdot M_n > M_c, \quad (2.7)$$

$$0.7 \cdot 2.8 \cdot 29.67 = 58 \cdot 10^{-3} \text{ кг.м} > 32.45 \cdot 10^{-3} \text{ кг.м}$$

Двигун підходить по пусковому моменту.

Проведемо комп'ютерне моделювання його роботи. На рис.2.8 показано модель крокового електродвигуна, його електричні характеристики на 2.9, фази роботи на 2.10. Змодельовані механічні характеристики показані на 2.11 та 2.12 (Див. МРМА 23.00.00.00 РР)

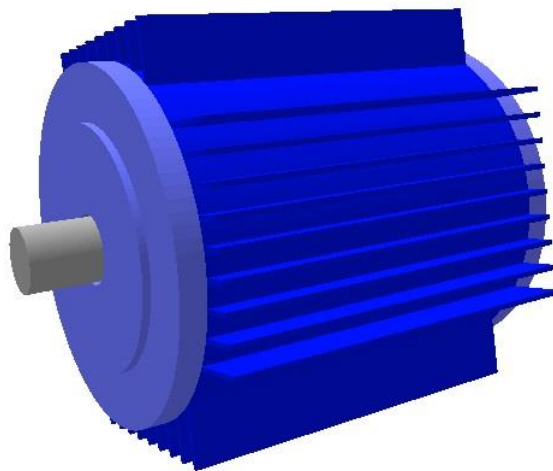


Рисунок 2.8 – Модель електродвигуна

					МРМА 23.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		34

Використовуючи програмне забезпечення було отримані значення електричних характеристик електродвигуна, що наведені на рис.2.9.

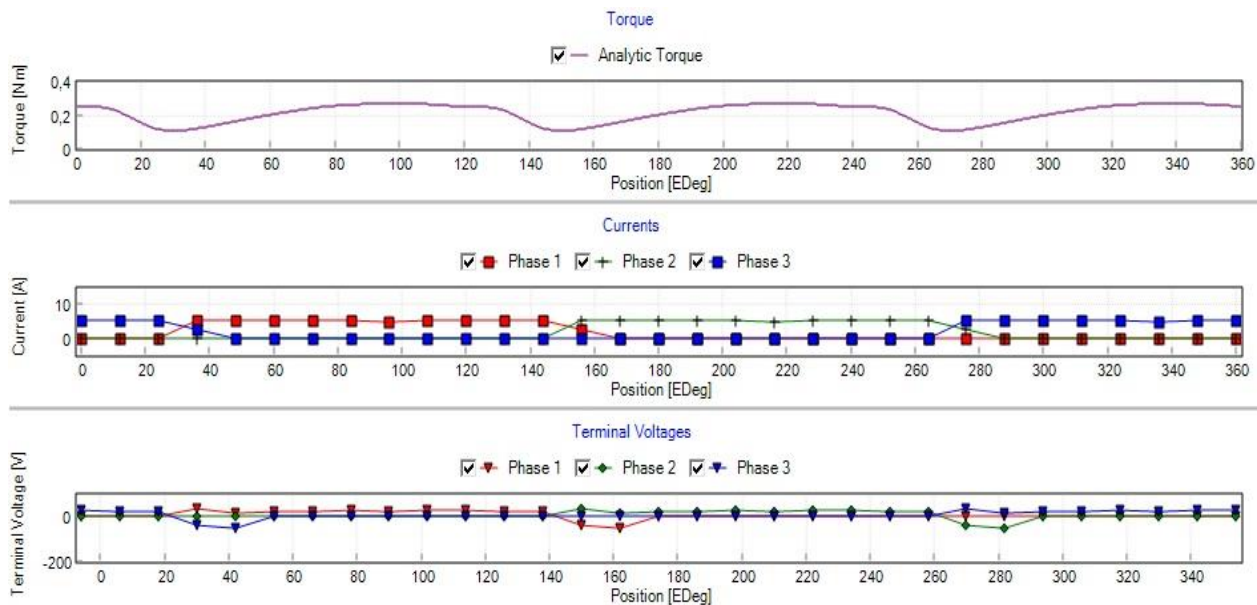


Рисунок 2.9 – Моделювання електричних параметрів двигуна

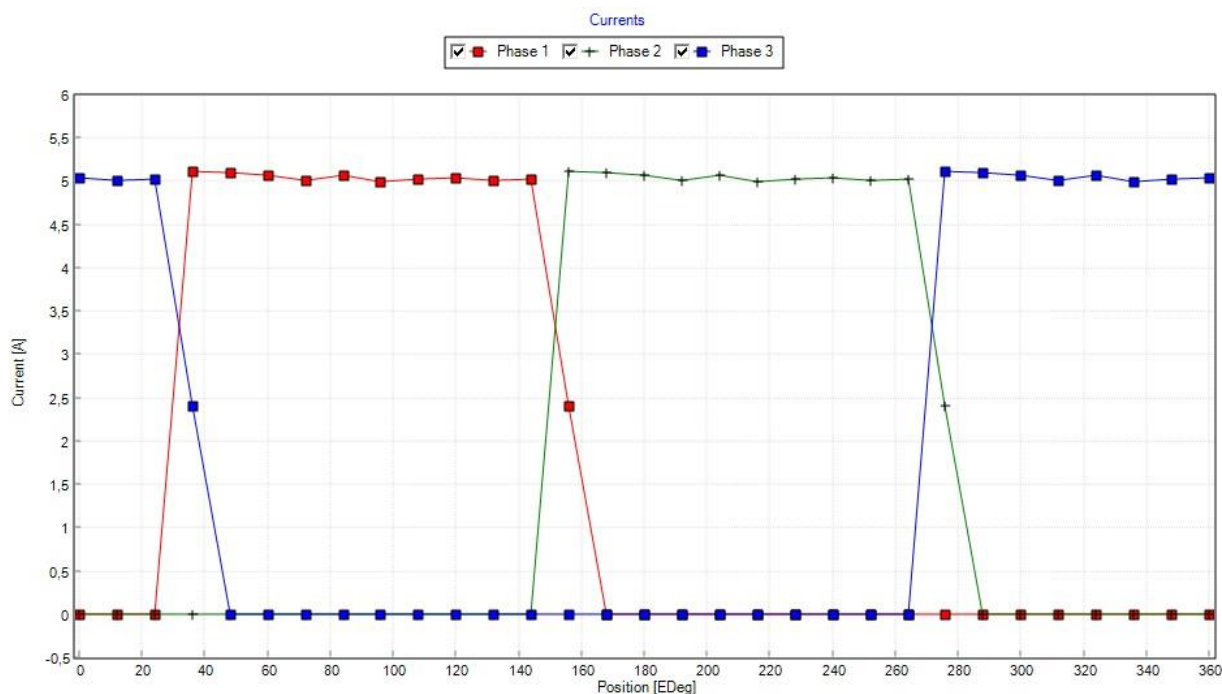


Рисунок 2.10 – Моделювання фаз роботи

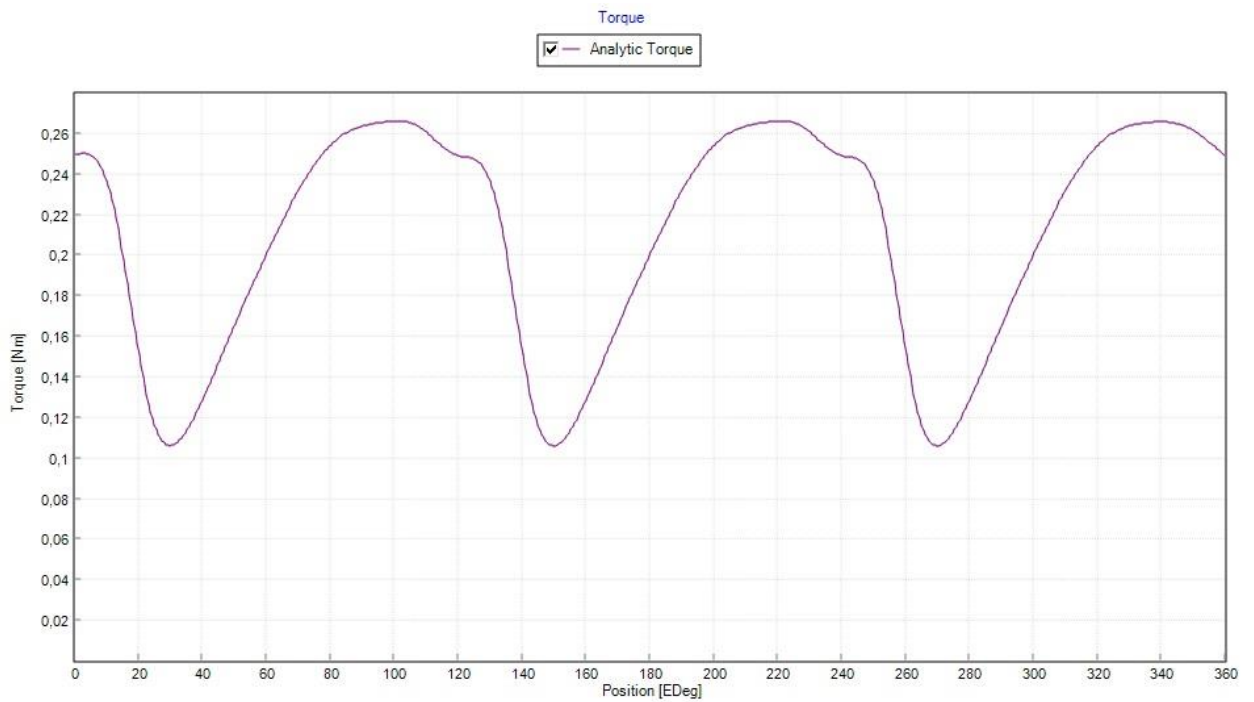


Рисунок 2.11 – Моделювання тягового крутного моменту

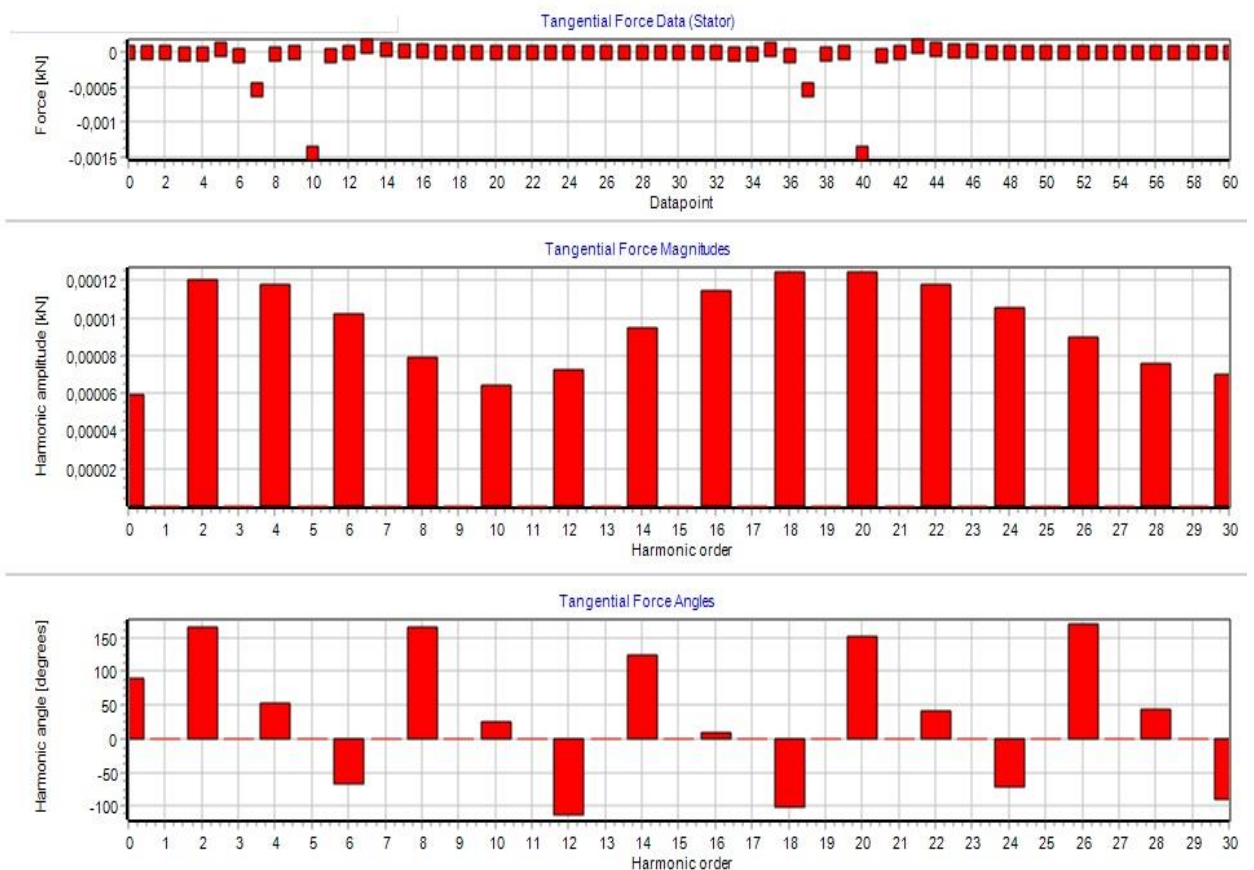


Рисунок 2.12 – Моделювання механічних характеристик : сили, крутного моменту та кута повороту валу електродвигуна

Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

МРМА 23.00.00.000 ПЗ

Отримані дані показують що електродвигун розвиває 12Н/м крутного моменту, що достатньо для нашого пристрою.

2.3 Розробка управління кроковими двигунами для переміщення пристрою для нанесення полімеру

Крокові двигуни вже давно і успішно застосовуються в найрізноманітніших пристроях. Їх можна зустріти в дисководах, принтерах, плотерах, сканерах, факсах, а також в різноманітному промисловому і спеціальному устаткуванні. В даний час випускається безліч різних типів крокових двигунів здатних задовольнити будь-які запити.

Однією з головних переваг крокових двигунів є можливість здійснювати точне позиціонування і регулювання швидкості без датчика зв'язку. Проте це підходить тільки для систем, які працюють при малому прискоренні і з постійним навантаженням. В той же час системи із зворотним зв'язком здатні працювати з великими прискореннями і навіть при змінному характері навантаження. Якщо навантаження крокового двигуна перевищить його момент, то інформація про положення ротора втрачається і система вимагає базування за допомогою, наприклад, кінцевого вимикача або іншого датчика. Системи із зворотним зв'язком не мають подібного недоліку [12].

Оскільки при роботі крокового двигуна без зворотного зв'язку можлива втрата контролю положення (втрата кроків), на практиці при здійсненні кожного кроку ротор не відразу зупиняється в новому положенні рівноваги. Позбавитися від цих явищ можна шляхом використання зворотного зв'язку і мікрокрокового режиму. На рис.2.13 показані переміщення ротора при роботі в повнокроковому і мікрокроковому режимах [15].

					MPMA 23.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		37

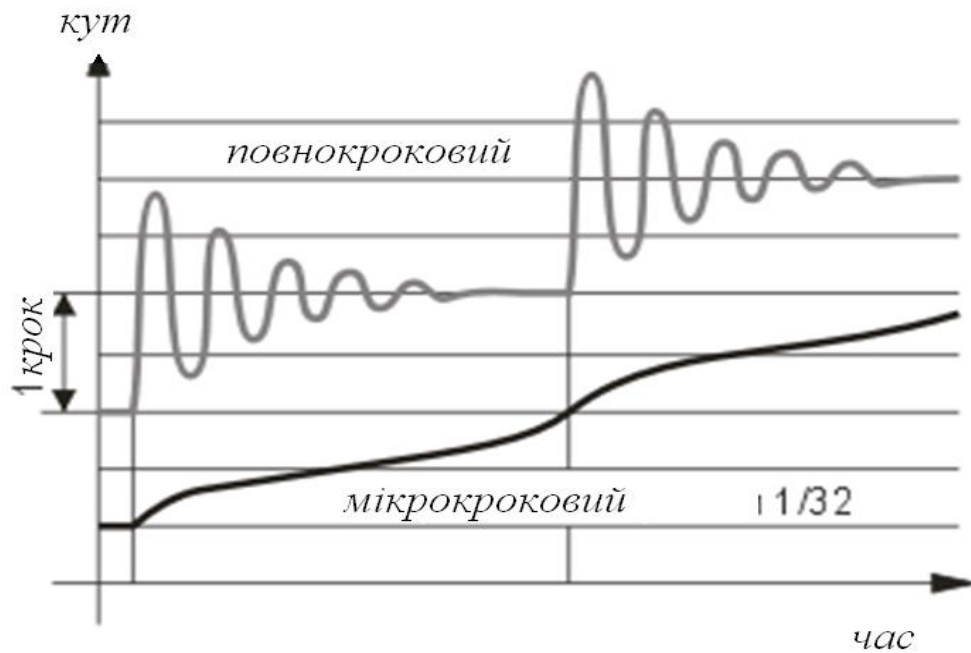


Рисунок 2.13 - Переміщення ротора в повнокроковому і мікрокроковому режимах

Мікрокроковий режим забезпечується шляхом отримання поля статора, що обертається плавніше, ніж в повно - або напівкроковому режимах. В результаті забезпечуються менші вібрації і практично безшумна робота аж до нульової частоти. До того ж менший кут кроку здатний забезпечити точніше позиціонування. Мікрокрокові режими бувають від $1/3$ повного кроку до $1/32$ і навіть менше, найчастіше використовують $1/4$, $1/8$, $1/16$, $1/32$ [15].

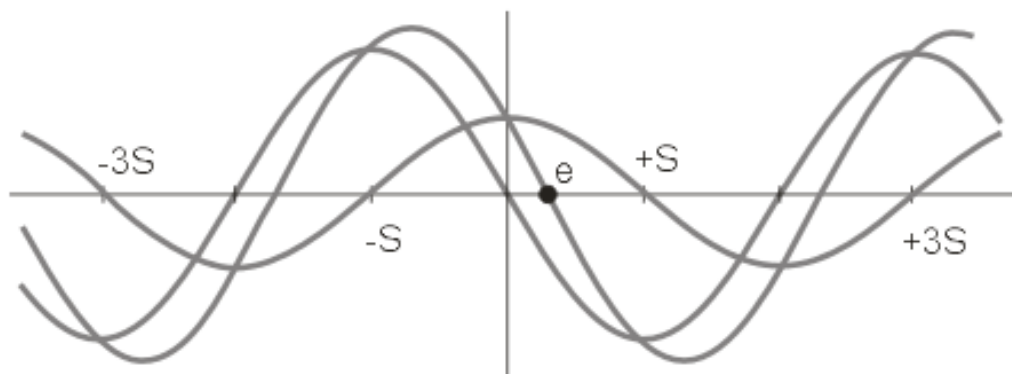


Рисунок 2.14 - Залежність моменту від кута повороту ротора у випадку різних значень струму фаз.

Щоб отримати потрібний напрям магнітного поля, необхідно вибрати правильний напрям струмів в котушках і правильне співвідношення цих струмів (рис. 2.14), результуючий момент буде:

$$T_h = (a_2 + b_2)^{0.5}, \quad (2.8)$$

а точка рівноваги ротора зміститься в точку:

$$x = (S/(\pi/2))\arctan(b/a). \quad (2.9)$$

де a і b - момент, що створюється першою і другою фазою відповідно,
 T_h - результуючий момент утримання,
 x - положення рівноваги ротора в радіанах,
 S - кут кроку в радіанах.

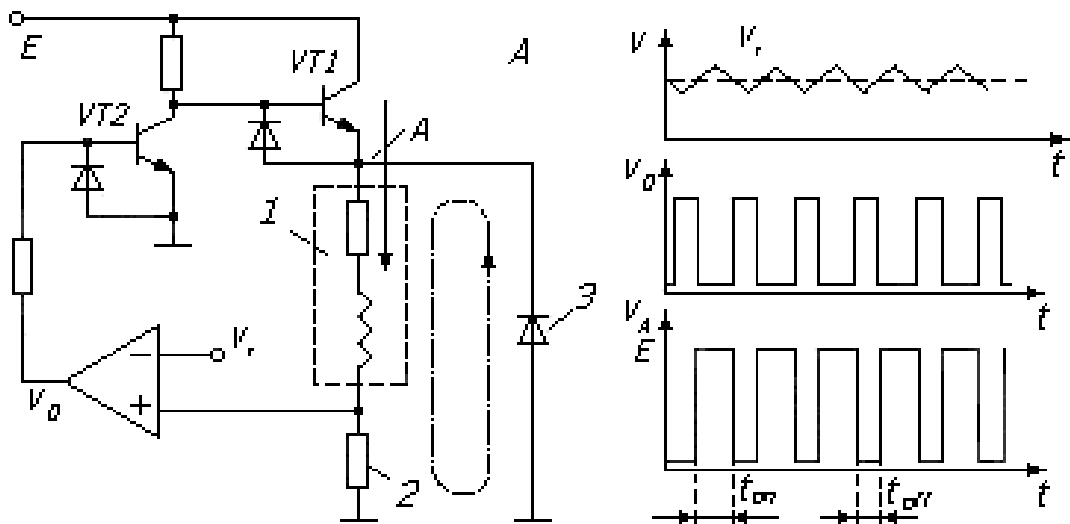
Ці рівняння справедливі лише за умови, що кут нахилу моменту до ротора є синусоїдальним і жодна частина магнітного кола двигуна не є насиченою.

Оскільки точка рівноваги рухається, ротор можна зафіксувати в будь-якому положенні. Для цього необхідно встановити відповідне співвідношення струмів кожної фази, щоб реалізувати режим мікрокроку.

Результатом використання режиму мікрокроку є дуже плавне обертання ротора на низьких частотах. [14, 15].

Сучасні мікроконтролери, які мають вбудовані ЦАП, можна використовувати для реалізації мікрокрокового режиму замість спеціальних контроллерів. Це дозволяє зробити практично однаковою вартість устаткування для повнокрокового і мікрокрокового режимів.

					MPMA 23.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		39



1 - навантаження; 2 – струмовимірювальний резистор;
3 - діод зворотного струму

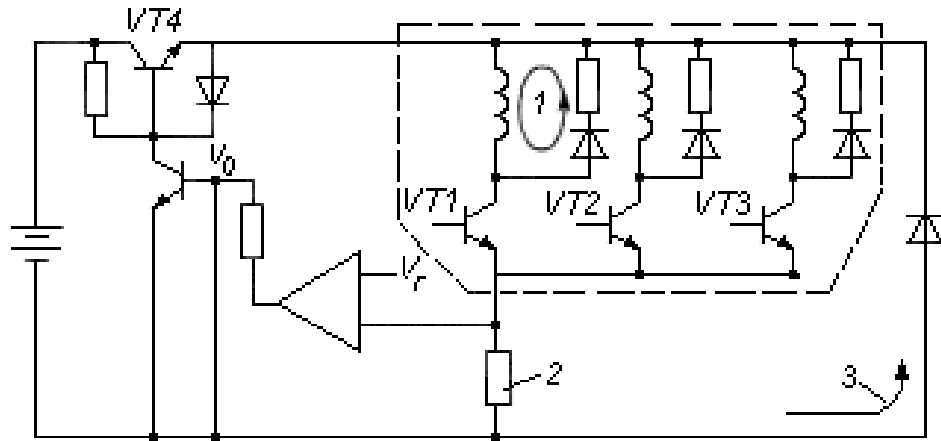
Рисунок 2.15 - Схема ШІМ і форми кривих напруги

Управління за допомогою широко-імпульсної модуляції. Комутатор з широко-імпульсною модуляцією (ШІМ) забезпечує стабілізацію струму з незначними втратами. Основна функція ШІМ комутатора представлена на рис. 2.16 [15, 16].

Тут індуктивне навантаження, поміщене в пунктирний прямокутник, є звичайний комутатор (Рис.2.16). Напруга на датчику струму навантаження порівнюється з еталонною, за допомогою операційного підсилювача з високим коефіцієнтом посилення.

Еталонна напруга є сумою високочастотної компоненти трикутної або синусоїдальної форми і постійної складової, з якою необхідно порівняти напругу датчика.

Якщо постійна компонента еталонного сигналу і напруга датчика близькі, то вихідний сигнал підсилювача матиме прямокутну форму, як показано для V_0 на Рис.2.18. [16, 17].



1 - циркуляційний струм після замикання $Vt1$; 2 - датчик струму;
3 - струм після замикання $Vt4$

Рисунок 2.16 - Схема комутатора типу ШІМ

Переваги ШІМ або вібраційного управління полягає в єдиному джерелі живлення, малих втратах потужності і автоматичному регулюванні напруги для управління при нормованому струмі.

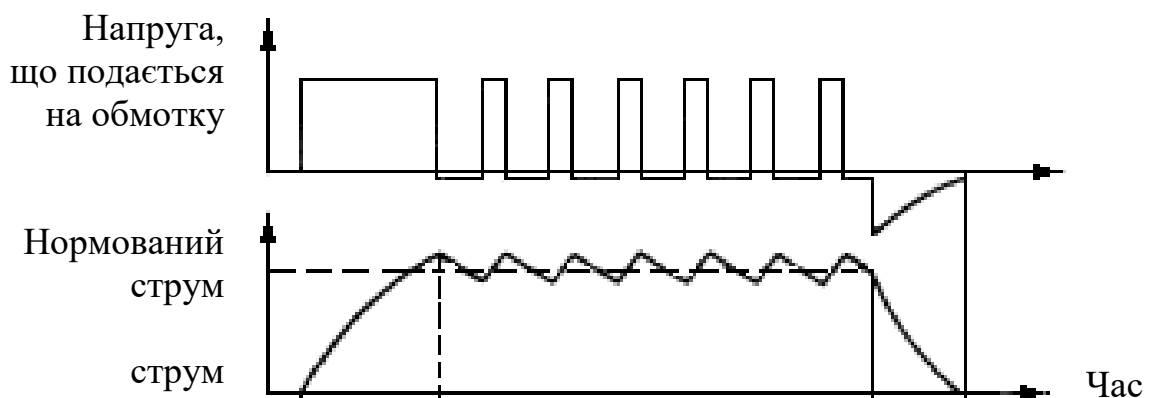


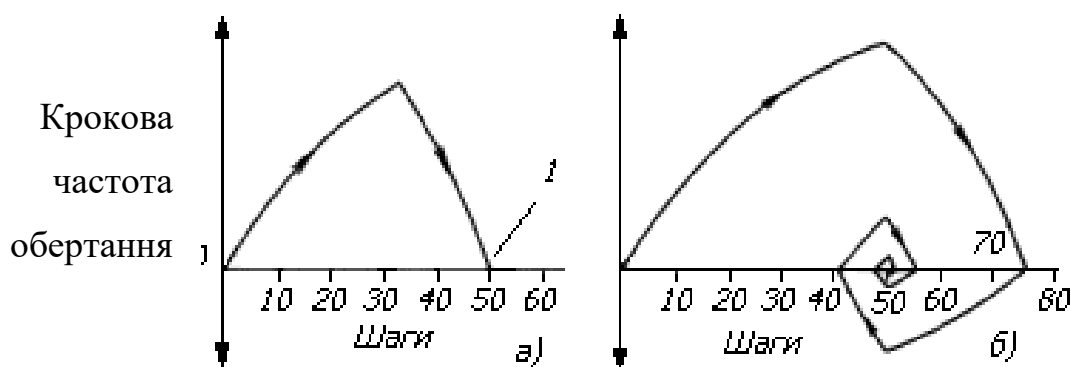
Рисунок 2.17 - Прямокутна форма напруги і форма кривої струму

Для роботи в прецизійних системах, де важливим чинником є точність позиціонування доцільно використовувати гібридні крокові двигуни. Найбільш поширеним гібридним кроковим двигуном є чотирьохфазний 200 - кроковий двигун з кутом кроку 1.8° [16].

Завдання мікроконтролера. На рис. 2.19 показано дві залежності частоти обертання від кута, побудовані при управлінні ШД із зворотним зв'язком. На рис.2.18,а показаний приклад, в якому ШД запускається з необхідним кутом комутації, прискорюється при іншому його значенні і починає гальмування в момент, з якого частота обертання швидко зменшується і стає рівною нулю якраз в необхідному положенні. Для запуску і прискорення використовували кут комутації більше 1 кроку, а для гальмування нульовий або негативний. На рис.2.18,б представлений невдалий приклад управління. Гальмування починається тоді, коли виявлено кінцеве положення. Але двигун не може зупинитися вмиль і обертатиметься за інерцією. Для приведення ротора в потрібне положення він повинен обертатися у зворотному напрямі зі встановленням відповідного кута комутації. Залежність частоти обертання від кутового положення ротора може бути такою, що коливає, як показано на рис.2.18,б [16].

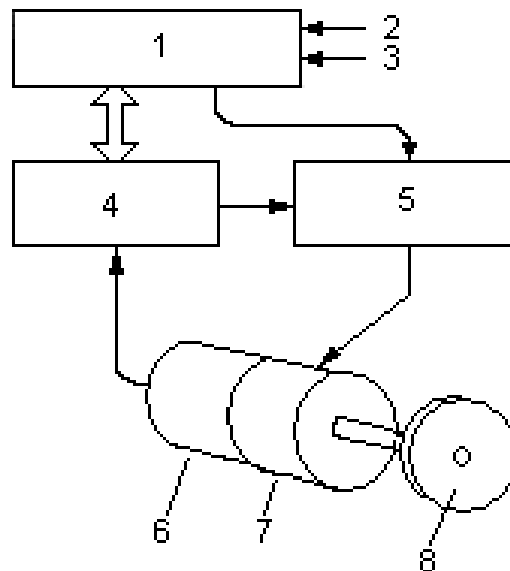
Мікроконтролерна система тут використовується для визначення якнайкращого часу зміни кутів комутації. На рис.2.19 показана схема системи, в якій логічний блок винесений за мікроконтролер.

Сигнал позиціювання поступає в блок формування сигналу, який управляє рухом ротора і обмінюється інформацією з мікроконтролером.



а - задовільна; б - незадовільна; 1 - кінцеве положення

Рисунок 2.18 - Залежностей частоти обертання від положення



1 - мікропроцесор; 2- команди управління; 3 - програма навчання і виконання; 4 - монітор; 5 - комутатор і логічний блок; 6 - датчик положення ротора; 7 - кроковий двигун; 8 - навантаження

Рисунок 2.19 - Система управління з логічним блоком, винесеним за мікроконтролер

Сигнал позиціювання поступає в блок формування сигналу, який управляє рухом ротора і обмінюється інформацією з мікроконтролером. Математичне забезпечення має бути організоване так, щоб мікроконтролер визначав кращий час для зміни кутів комутації, ґрунтуючись на попередньому досвіді і поточних даних про положення і частоту обертання. Мікроконтролер, кінець кінцем, після декількох ітерацій знаходитиме оптимальний час зміни кута комутацій [17].

Найбільш характерною якістю мікроконтролера є гнучкість програмування. Переваги мікроконтролера полягає також в тому, що він дозволяє здійснювати генерацію тимчасових імпульсів, управління логічною послідовністю і виконання функцій вхідного контролера. Складніші способи

регулювання частоти обертання можуть бути реалізовані за допомогою програм для мікроконтролера [22, 23].

При оптимізації роботи в мікрокроковому режимі системи управління можна використовувати мікроконтролери сімейства PIC, ATME1 або інші з вбудованим ЦАП.

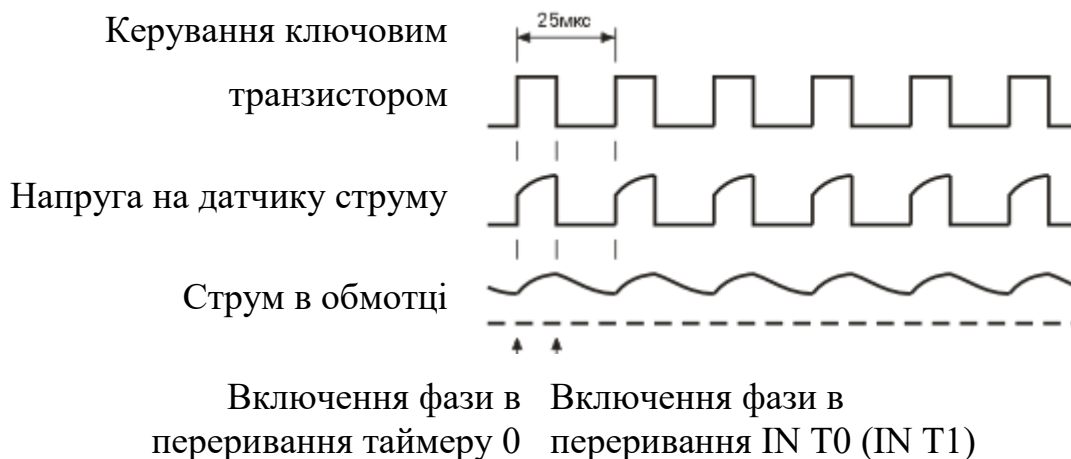


Рисунок 2.20 - Процес ШІМ – стабілізації струму

Управління кроковим двигуном здійснюється на основі широкоімпульсної модуляції, за допомогою якої ЦАП формує синусоїдальна опорна напруга, яка подається на схему управління, виконану на польових транзисторах, де сигнали посилюються і подаються на обмотки двигуна. Рис.2.21. [24].

Виконання кроків контролюється за допомогою зворотного зв'язку, який реалізований на датчиках струму і компараторах. Датчики струмів включаються в ланцюг витоків польових транзисторів. Сигнали, зняті з датчиків струму, поступають на входи компараторів, на другі входи компараторів подається опорна напруга, сформована мікроконтролером яке і визначає піковий струм в обмотках крокового двигуна. Виходи компараторів підключаються до входів переривань мікроконтролера. Рис.2.21 [22,23].

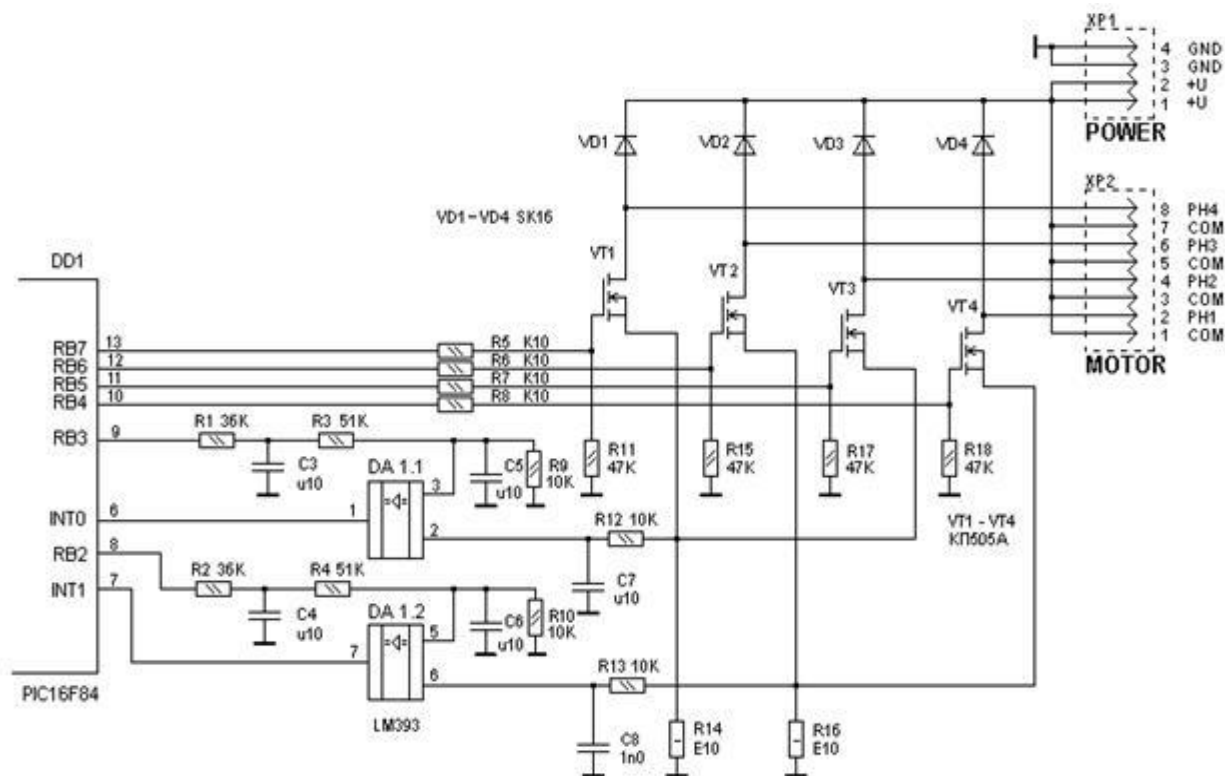


Рисунок 2.21 - Принципова схема контролера

Основою пристрою є мікроконтролер Dd1. Сигнали управління обмотками двигуна формуються на портах Pв4 - Pв7. Для комутації обмоток використовуються польові транзистори типу КП 505а (Vt1 - Vt4), щоб транзистори залишалися закритими під час дії сигналу « скидання » мікроконтролера (порти в цей час знаходяться у високоімпедансному стані), між затворами і витокami включені резистори R11, R14, R17, R18. Для обмеження струму перезарядки ємкості затворів встановлені резистори R3, R6, R7, R8. У даному контролері реалізований повільний спад струму фаз, який забезпечується шунтуванням обмоток двигуна діодами Vd1, - Vd4. Для підключення крокового двигуна є восьмиконтактний роз'єм Xp1, який дозволяє підключити двигун, що має два окремі виводи від кожної обмотки [24].

Стабілізація струму здійснюється за допомогою ШІМ, яка реалізована програмно. Для цього використовуються два датчики струму R15 і R16.

Сигнали, зняті з датчиків струму, через ФНЧ R12 C5 і R13 C6 поступають на входи компараторів Da1.1 і Da1.2. ФНЧ запобігають помилковим спрацьовуванням компараторів внаслідок дії перешкод. На другий вхід кожного компаратора подається опорна напруга, яка і визначає піковий струм в обмотках двигуна. Ця напруга формується мікроконтролером. Для фільтрації сигналу ШІМ використовуються двухланкові ФНЧ R1c1r4c3 і R2c2r5c4. Одночасно резистори R1, R4, R9 і R2, R5, R10 утворюють дільники, які задають масштаб регулювання струмів фаз. Виходи компараторів підключені до виходів переривань мікроконтролера INT 0 і INT 1. Алгоритм роботи показаний на малюнку 10. Грунтуючись на схемі стабілізації струму, програмно реалізована система контролю виконання кроків, алгоритм підпрограми показано у додатку.

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

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

					MPMA 23.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		46

2.4 Програмне забезпечення для роботи пристрою

Беремо крокові двигуни до 24В, 500мА, Електроживлення - 12-24 VDC. А Max232 ІС використовується для перетворення сигналів з послідовного порту ПК на рівні TTL . А At2313 приймає сигнали від послідовного порту і управляє кроковими двигунами.

Сигнали від МК поступають через Uln2803а, яка є драйвером, для навантаження до 500мА.

Двигун може бути повернений вліво або вправо, відправивши команди з терміналу програми. Максимум 32000 кроків може бути досягнуто в кожній команді.

Щоб синхронізувати програму терміналу з кроковим двигуном потрібно зробити наступні налаштування терміналу:

Com1 - 9600 baud - data bits 8 - 1 stop bit - No parity bit - No handshake.

Де СОМ порт, який ви використовуєте на вашому комп'ютері. Є 4 команди, які можна направити на кроковий контролер:

m0rx і m0lx і m1lx і m1rx.

У X в команді це число від 0 до 32000. Якщо ви посилаєте команду m0l2000 двигуна 0 то через 2000 кроків вона завершить виконання.

Термінал програми, такі, як Hyperterminal можна використовувати для управління кроковими двигунами (рис. 2.21).

У цій схемі можна контролювати два крокові двигуни кроком через Rs232 порт вашого комп'ютера. Загальний вигляд плати показано на рис.2.22.

					MPMA 23.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		47

Повідомлення роботи відображується у програмі терміналу. Можна давати команди для управління кроковими двигунами.

Таким чином розроблена програма дозволяє координувати роботу двох координатного пристрою для переміщення деталей.

2.5 Висновки до другого розділу

Було проведено математичне моделювання роботи електроприводу.

Розроблена модель пристрою для нанесення полімеру. Створено модель електродвигуна, та визначено його електричні та механічні характеристики.

Розроблено електричні плати керування на основі мікроконтролера.

					<i>MPMA 23.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		49

Де БК - блок керування, БВ - блок введення інформації (матрична клавіатура), БД - блок датчиків (оптичних, тензорезисторних, термоелектричних), БВ - блок виведення інформації, БКм - блок комутації, БЖ - блок живлення, КД - кроковий двигун (див. [МРМА 23.00.00.00 ДП1]).

Пояснимо роботу розробленої системи. Основним блоком є блок керування (БК), який побудований на 8-розрядному мікроконтролері. Він отримує сигнали від блоку введення інформації (БВІ), що являє собою матричну клавіатуру, та від блоку датчиків (БД), який може бути оптичним, тепловим або тензометричним; мікроконтролер БК має вбудований АЦП і може приймати сигнали від БД без попереднього перетворення. Потім БК обробляє сигнали відповідно до програми і передає їх на інші блоки (блок виводу інформації (БВІ), чотирирозрядний індикатор і блок комутації (БК)). Блок комутації побудований на основі польових транзисторів (силові ключі) та оптронів. Це означає, що за сигналами від БК, БКм подає електричну енергію від блоку живлення (БЖ), який є силовим трансформатором БЖ, на відповідні обмотки електродвигуна. Блок живлення також живить БК.

Алгоритм роботи показано на рис.3.2 де .

ДПС - двигун постійного струму; СНП - система нанесення полімеру; БКПС - блок комутації постійного струму; БКП - блок контролю полімеру; БЖ - блок живлення; БК - блок керування; БВ - блок введення; БД - блок датчиків; БВв - блок введення; ПК - персональний комп'ютер; ПЗ - програмне забезпечення; П – програматор.

Розроблена система може керувати кількома двигунами одночасно, що дозволяє використовувати цей електропривод в сучасних побутових і промислових приладах. (див МРМА 23.00.00.00 Е1)

Конструкція передбачає розміщення всіх п'яти блоків в одному корпусі. Живлення всього блоку - 220 В змінного струму.

					МРМА 23.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		51

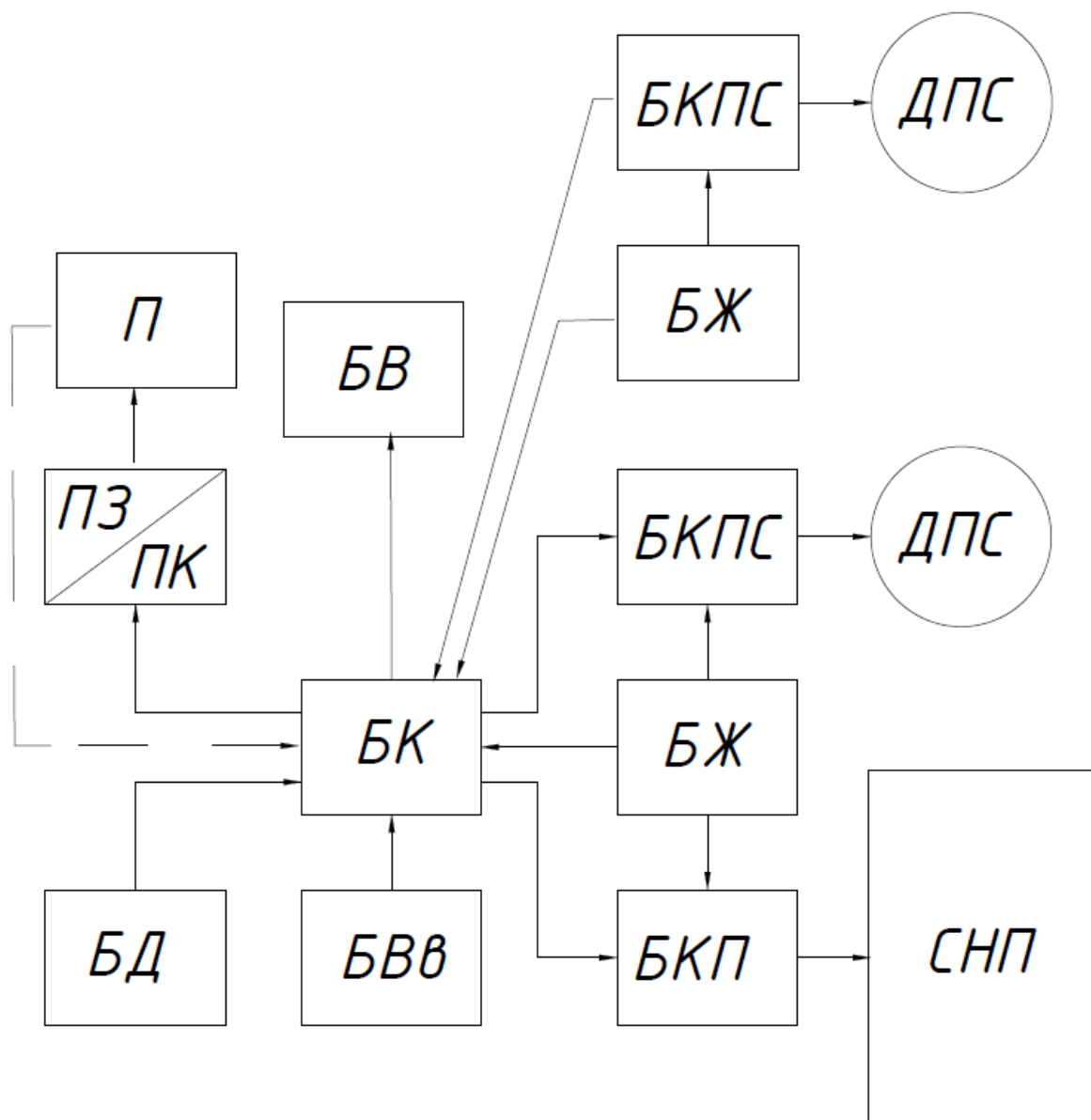


Рисунок 3.2 – Схема структурна блоку керування пристроєм для нанесення полімеру

Розрахункова потужність обраного приводу:

$$P = U \cdot I, \quad (3.1)$$

$$P = 48 \cdot 3 = 144 \text{ Вт},$$

де U - номінальна фазна напруга ПЧ В;

I - сила струму А фази КД.

Отже, трансформатор слід обирати з урахуванням потужності споживання приводу 150-160 Вт. Інтерфейс вводу/виводу складається з кнопок керування та перемикачів режимів (панель керування), а також відповідних світлових індикаторів та 7-сегментних індикаторів. Можливий зворотний зв'язок за швидкістю обертання або частотою кроку валу редуктора; для з'єднання між платою керування і самим електроприводом використовується 7-жильний кабель з номінальним струмом не менше 3 А на кожен жилу.

Транзистори силових ключових ключів з високою частотою перемикачів обмотки двигуна повинні бути оснащені радіаторами для ефективного відведення тепла при нагріванні.

Корпус повинен захищати друковану плату управління від пилу і надмірної вологи. Він також повинен запобігати падінню небажаних предметів на друковану плату. Дизайн панелі керування та алгоритми роботи повинні бути доступними і зрозумілими, не вимагаючи надмірних розумових здібностей.

Важливо, щоб на вході у блок управління електроприводом був запобіжник, розрахований на відповідний небезпечний струм короткого замикання.

Конструкція блоку управління повинна забезпечувати загальну електробезпеку та пожежну безпеку згідно з відповідними вимогами.

3.2 Розробка блоку живлення

Для початку визначимо вимоги до схеми живлення:

- постійний струм;
- стабільність напруги;
- можливість регулювання напруги живлення;

					MPMA 23.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		53

- плавність коливань напруги;
- захист від перевантажень.

Загалом, необхідна потужність трансформатора $P = 150-160$ Вт вже розрахована: для первинної обмотки $U_1 = 220$ В Т, вторинна обмотка буде $U_2 = 50-60$ В, оскільки напруга живлення СД становить $U = 48$ В.

Для випрямлення змінного струму в постійний використовується мостова схема випрямляча з випрямними напівпровідниковими діодами. Вибираємо D243В з запасом по струму 5 А на напругу до 200 В [5, с. 160].

Стабільність напруги забезпечує стабілізуюча схема на основі стабілітрона D814В і компаратора K544СА3. Зворотний зв'язок забезпечує компенсацію напруги в разі падіння напруги на виході схеми.

Це регулювання здійснюється компаратором K544SA3 і змінним резистором, який встановлює необхідну напругу і підсилюється транзистором.

Конденсатор великої ємності згладжує коливання напруги. Тут вибрано K50-20 2000 мкФ 50 В. [5, с.53]

З виходу компаратора сигнал посилюється транзисторами КТ315Б і КТ608Б у такій послідовності. Основним підсилювальним транзистором у цій схемі є р-п-р транзистор типу КТ853А з коефіцієнтом підсилення $b > 750$. Для надійної роботи цей транзистор слід закріпити на радіаторі. Транзистор був обраний відповідно до необхідних параметрів [6]. Резистори відіграють роль дільника напруги в схемі і необхідні для роботи кожного елемента. Також між "плюсом" і "землею" необхідно розмістити діод короткого замикання.

Тепер побудуємо схему живлення з параметричним стабілізатором у компараторі, яка дійсно задовольняє усім вищезгаданим умовам. Діодний міст розміщено окремо на платі трансформатора.

Принципову схему створено за допомогою автоматизованого проектування в програмі P-CAD Schematic [17].

					MPMA 23.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		54

3.3 Розробка блоку комутації

Комутаційні блоки є дуже важливими, оскільки вони отримують сигнали від схеми управління мікроконтролера і використовують ці сигнали для живлення електроприводу від джерела живлення, тобто вони виступають сполучною ланкою між джерелом живлення, сигналами управління і двигунами як споживачем. Отже, ось вимоги до розробки:

- висока продуктивність;
- гнучкість керування;
- низькі втрати потужності в електронному ключі;
- низькі втрати потужності в електронному ключі;
- низькі втрати потужності в електронному ключі;
- низькі втрати потужності в електронному ключі;
- захист схеми управління від силового ланцюга;
- захист самої схеми від самоіндукованих ЕРС обмотки двигуна.

Електронні ключі можуть бути схемами на основі біполярних або польових транзисторів, що працюють в ключовому режимі. Полярні транзистори є кращими, оскільки вони мають менший опір, ніж біполярні. Тепловтрати ключа визначаються опором. Було обрано зарубіжний полярний транзистор IRLZ34N, параметри якого описано в джерелі [9]. Внутрішню схему показано на рис. 3.3.

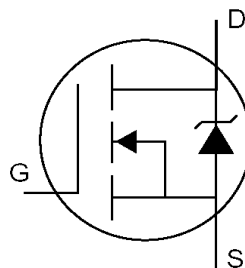


Рисунок 3.3 - Внутрішня схема силового польового транзистора IRLZ34N

Щоб відкрити канал, на затвор транзистора необхідно подати позитивний потенціал. Напруга, необхідна для відкриття транзистора, становить лише 1,0-2,0 В. Струм затвора становить менше 1-5 мкА. Силкові польові транзистори характеризуються надзвичайно низьким опором каналу. У випадку досліджуваного транзистора IRLZ34 опір відкритого каналу становить лише 0,035 Ом. Завдяки своїй внутрішній структурі він може комутувати постійний струм 30 А і витримувати імпульсні перенапруги до 100 А при напрузі до 55 В.

БК захищений оптичним рішенням з використанням оптопари 4N25, з напругою керування від 2 до 6 В, що подається на входи керування TTL+ і TTL-.

Використання транзисторних перемикачів з індуктивним навантаженням вимагає методу захисту ключових транзисторів від імпульсів зворотної полярності ЕРС самоіндукції. Захист досягається за допомогою перемикаючих діодів.

Резистори обмежують вхідний струм оптрона і польового транзистора.

Для стабільного живлення використано стабілітрони KS147 і конденсатори 220 мкФ і 4800 пФ. Крім того, паралельно з мережевим живленням необхідно увімкнути великий конденсатор для вирівнювання стрибків напруги у фазній обмотці К50-20 2000 мкФ 50 В. Діод KD213 запобігає випадковому контакту між "землею" і "+".

Перелік елементів схеми силового вимикача можна знайти в додатку.Б.

3.4 Розрахунок силового ключа комутації

Виберемо із схеми БКм один фрагмент силового ключа комутації для розрахунку резисторів необхідних опорів рис.3.4

					MPMA 23.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		56

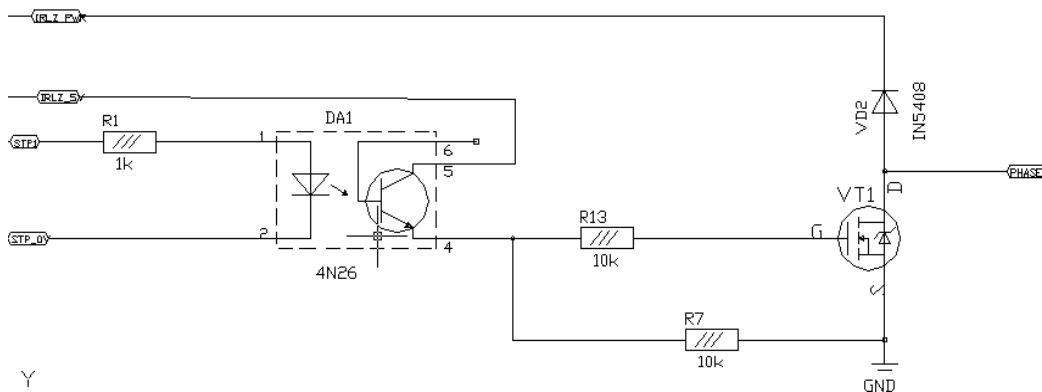


Рисунок 3.4 - Схема ключа комутації БКМ

Резистор R13 у запропонованій схемі призначений для обмеження струму затвора. Його величина визначається з урахуванням того, що він забезпечує необхідний струм затвора транзистора VT1; R13 вибирається в межах 10 кОм. Коли оптрон транзистора відкритий, напруга на R13 становить 4,6-4,7 В, а струм через R13 дорівнює:

$$I = \frac{U}{R_{13}}, \quad (3.2)$$

$$I = \frac{4,6}{10 \cdot 10^3} = 4,6 \cdot 10^{-4} \text{ A} = 0,46 \text{ mA},$$

де U – напруга на резисторі R13, В;

R13 – опір резистора R13, Ом.

Оскільки затвор транзистора VT1 ізолюваний, утворюється внутрішня ємність. Для зчитування цього потенціалу з затвора транзистора VT1 використовується резистор R7; R13-R7 утворює дільник напруги, величина якого становить 10 кОм.

Резистор R1 служить для обмеження струму оптрона DA1, тобто внутрішнього світіння діода, струм споживання якого становить $I_{sp} = 10 \text{ mA}$. Враховуючи, що вхідна напруга оптрона $U = 6 \text{ В}$, обмежувальний резистор R1 має значення опору

$$R_1 = \frac{U}{I_{сп}}, \quad (3.3)$$

$$R_1 = \frac{6}{0.01} = 600 \text{ Ом} \approx 1 \text{ кОм},$$

де U – напруга на резисторі R_1 , В;

$I_{сп}$ – струм споживання резистора R_1 , Ом.

Такі ж значення будуть мати відповідні резистори 5-ти наступних ключів.

3.5 Розробка блоку керування електроприводом

Мікрокомп'ютерний блок електроприводом пристрою для нанесення полімерів, включає:

- 6 послідовностей імпульсів, що повторюються;
- Напруга імпульсів 2-6 В;
- Можливість напівкрокового режиму імпульсів;
- Інверсія послідовності імпульсів
- Індикація режиму роботи за допомогою ламп;
- Виведення інформації на блок виведення інформації;
- Сприйняття інформації з блоку введення інформації;
- Забезпечення зворотного зв'язку;
- Вимірювання температури і крутного моменту
- Низьке споживання радіокомпонентів;
- Невеликий розмір керуючої програми; Простота програмування;
- Низьке енергоспоживання;

Така схема керування може бути побудована на мікроконтролері Atmega8 (DD1) з невеликою кількістю радіокомпонентів, джерелом живлення

					MPMA 23.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		58

та імпульсною напругою від 3,5 В до 5,5 В [10]. Джерело живлення забезпечується діодним мостом (VD1) з максимальним струмом 1 А, вбудованим стабілізатором K142EN5A (DA1) зі стабілізацією напруги 5 В і двома конденсаторами C1 і C2 ємністю 10 мкФ.

Мікроконтролер повинен керувати шістьма виходами для фази приводу, вісьмома сегментами 4-розрядних світлодіодних індикаторів, чотирма сигнальними лампами, 20 кнопками матричної клавіатури і шістьма каналами виходів АЦП, тому порти на існуючому мікроконтролері необхідно розширити. У розробленому БК це зроблено за допомогою двох регістрів (DD2, DD3) для послідовного завантаження та паралельного вивантаження інформації типу K555IP8 та трьох 8-розрядних паралельних регістрів типу K555IP23, підключених паралельно з DD2 (DD4 - фаза CD, DD5 - вибір біта індикатора, DD6 - порт порт допоміжного виводу) здійснюється за допомогою порту допоміжного виводу). Інформаційний вхід DD2 підключений до порту PD1, а тактовий генератор С підключений до порту PD2 мікроконтролера DD1. Резистори R5-R10, R13 і R14 підключені паралельно мікросхемі DD3 і є виходами для блоку введення (IU), тобто матричної клавіатури 4x5, і для 7-сегментного індикатора блоку виведення (OU).

Безпосередньо до портів мікроконтролера (DD1) підключаються виходи шести каналів АЦП (порти PC0-PC5), чотири розряди індикаторів блоку виводу (порти PB0-PB3), загальний провідник клавіатури блоку виводу через резистори R1 і R2 (порти PB4 і PB5), два два запасних порти (PB7, PD0).

Схема (Див, рис.3.5) включає кілька обмежувальних резисторів R3, R4 і конденсатор C2. Мікроконтролер програмується за допомогою виводів RES, MISO, MOSI і SCK, які також безпосередньо підключені до портів мікроконтролера.

Перелік елементів схеми блоку управління мікроконтролера можна знайти в додатку.

					MPMA 23.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		59

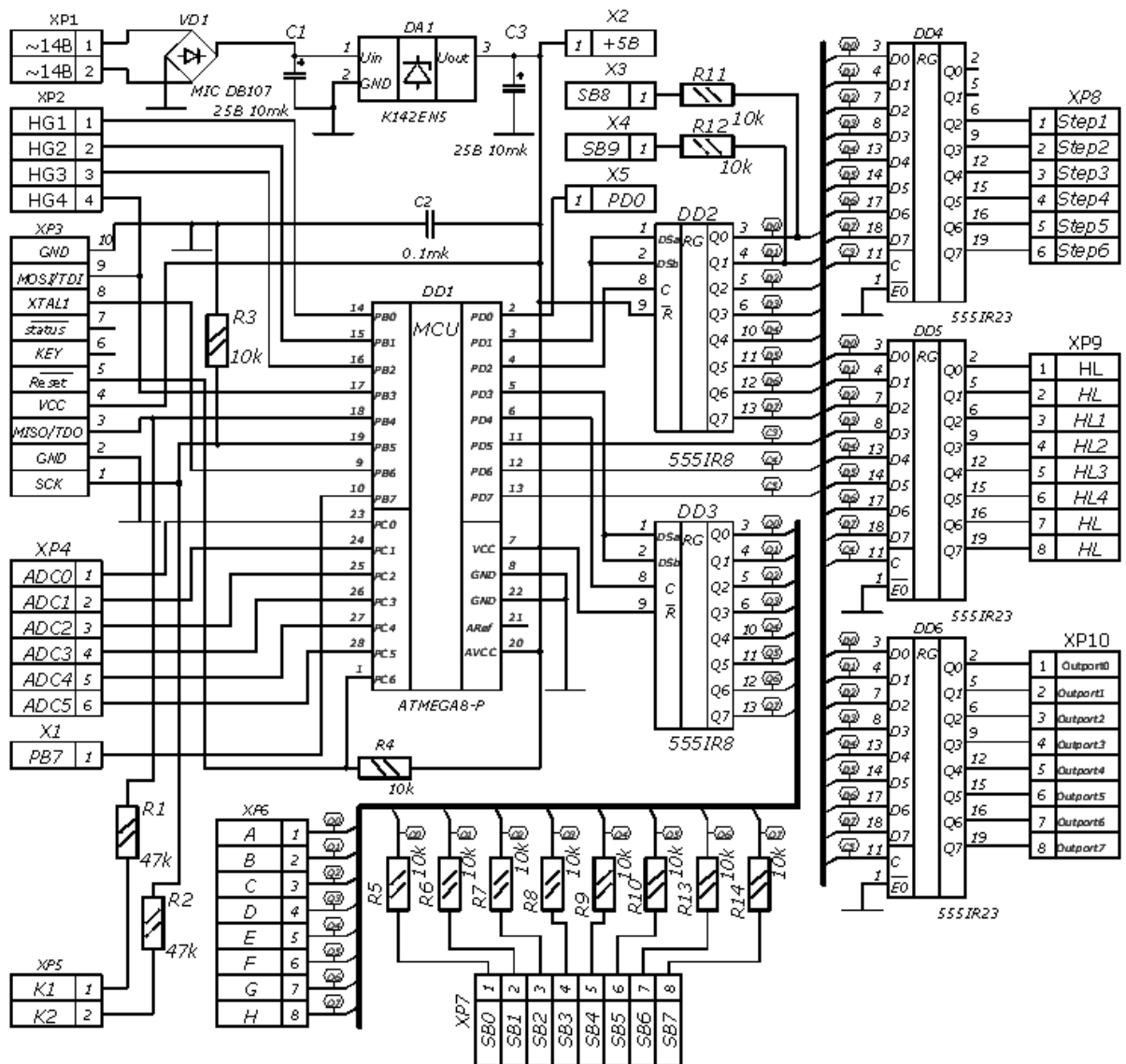


Рисунок 3.5 - Блок керування

3.6 Розробка пристроїв виводу інформації

Блок введення інформації (ПІУ) - це матрична клавіатура 4x5 з 14 виходами, два з яких є загальними входами, а 12 - виходами для 20 кнопок. Потреба у великій кількості кнопок зумовлена гнучким керуванням електроприводом і вибором програм з пам'яті МК. Клавіатура замінює численні тумблери, перемикачі та кнопки режимів.

Інформаційні виходи є невід'ємною частиною управління сучасними

Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

приладами. Це пов'язано з тим, що саме пристрої виводу (сигнальні лампочки, різноманітні індикатори, рідкокристалічні дисплеї, динамічні головки тощо) забезпечують діалог між оператором або користувачем та приладом. Саме це створює комфортні умови керування, особливо для електроприводів.

Пропонується створити незалежні блоки виведення інформації (БВІ), які в поєднанні з БК відображають запрограмовану інформацію (режим роботи системи, вибір номера програми, частота обертання ротора двигуна, температура нагріву елементів двигуна, крутний момент на валу, послідовність перемикавання фаз двигуна, позначення основних несправностей та ін.). Вищезазначені функції оптимально виконує комбінація з чотирирозрядного семисегментного світлодіодного індикатора, чотирьох ламп режимів (червоні, зелені та сині світлодіоди) та шести ламп перемикавання для кожної фази двигуна.

Було обрано дворозрядний індикатор типу HLEC-D512GWA із загальним анодом. Розміри сегментів 20x25 мм, яскравість світіння сегментів - зелена, струм споживання на сегмент $I_{sp} = 10$ мА. Він обмежений резисторами R1 - R8, опір яких становить 100 Ом. Таке низьке значення опору, яке не відповідає розрахунковому, можна пояснити динамічним режимом роботи індикатора, тобто в кожен момент часу фактично світиться лише один розряд індикатора. Для того, щоб засвітилися всі цифри, цифри та сегменти, які повинні бути підсвічені, перемикаються з великою швидкістю на частоті, яка вже не сприймається людським оком. Ця частота становить приблизно 65 Гц, що люди сприймають як одночасне випромінювання чотирьох розрядів.

Це означає, що на більш високих частотах струм не встигає досягти заданого значення (дещо нижчого), тому необхідно підбирати менший опір (підбирається експериментально).

Вісім сегментів кожного розряду індикатора з'єднані паралельно і через резистор підключені до виводу ВС регістра DD3 (див. Рис.3.6). Для збільшення потужності кожного індикатора і розвантаження струму на порту

					MPMA 23.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		61

мікроконтролера використовується попереднє підсилення на транзисторах VT1 - VT4 типу КТ315Б. Базовий струм обмежується резисторами R9 - R12 номіналом 10 кОм.

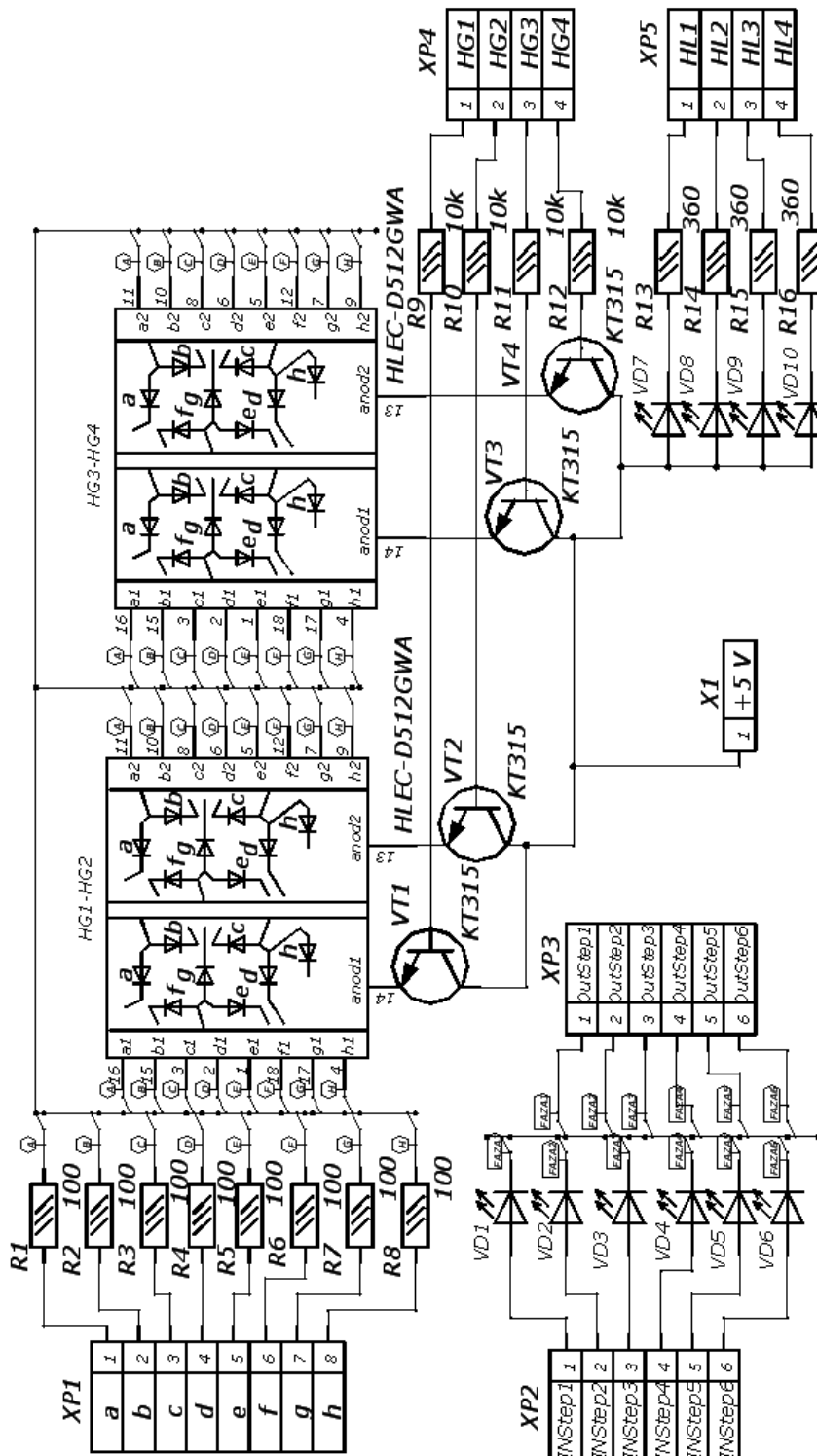


Рисунок 3.6 - Блок виводу інформації

Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата
-------	------	----------	--------	------

МРМА 23.00.00.000 ПЗ

Індикатори режимів роботи виконані на світлодіодах VD7-VD10 (червоний, зелений і два синіх); струми світлодіодів обмежені резисторами R13-R16 номіналом 360 Ом відповідно. Подача логічного нуля, тобто "землі" для протікання струму, на вихід порту МК через відповідний регістр БК викликає загоряння однієї з режимних ламп.

Лампи фазового перемикачання KD (VD1-VD6) виконані аналогічно, за винятком обмежувального резистора, обумовленого падінням напруги на оптроні ВСт.

Перелік елементів принципової електричної схеми вихідного блоку наведено в додатку.

3.7 Розробка корпусу блоку керування

Корпус відіграє важливу роль у використанні електроприладів. По-перше, він слугує основою, до якої кріпляться всі елементи приладу; по-друге, запобігає потраплянню механічних частин, вологи, пилу та бруду на елементи приладу; по-третє, захищає людей від небезпечних частин під високою напругою (струмопроводи, клеми). Тому корпус повинен максимально відповідати правилам безпеки.

Корпус приладу може бути виготовлений з двох матеріалів: мембранного (полімерного) або металевого, який повинен бути заземлений.

Корпус повинен бути виготовлений з оргскла, термопластика з відмінними ізоляційними властивостями і придатного для склеювання.

При проектуванні розмірів корпусу необхідно враховувати габаритні розміри силового трансформатора, друкованих плат PSU, ВСт, ВС, BV і BVv. Також слід визначити їх взаємне розташування і мінімально необхідні зазори з урахуванням розташування нагрівальних елементів, шкідливого впливу магнітного поля трансформатора, високих пробивних напруг і укорочення

					MPMA 23.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		63

довжини з'єднувальних провідників для зменшення паразитної індуктивності.

Нижня і верхня прямокутні стінки, а також бічні стінки у вигляді усічених квадратів виготовлені з листів оргскла товщиною 5 мм. Спеціальним клеєм приклеєна одна квадратна профільна планка по периметру стінки. У деяких стінах просвердлені отвори діаметром 5,1 мм, а в інших стінах вирізані відповідні метричні гвинти М5. Корпуси з'єднані між собою гвинтами М5х15. Ручки прикручені до бічних стінок корпусу.

Передня панель блоку виготовлена з органічного скла товщиною 4 мм. Завіса рояля прикручується гвинтами М3 з гайками, а корпус прикручується до передньої панелі тими ж гвинтами. В результаті панель можна нахилити в бік оператора і відкривати. У закритому стані панель фіксується за допомогою постійних магнітів у бічних стінках і металевій пластини всередині передньої панелі. Така панель дозволяє встановлювати елементи обладнання, проводити швидкий огляд, налагодження та розуміння будови обладнання. На передній панелі розміщена плата з вимикачем живлення, вхідними та вихідними запобіжниками, вихідними портами, входами датчиків, портом програмування електроприводу, змінним резистором для регулювання напруги живлення електроприводу, матричною клавіатурою, 7-сегментним світлодіодним індикатором та лампою режиму.

Задня стінка корпусу має отвір діаметром 8 мм для підключення шнура живлення пристрою. Для підвищення стійкості корпусу встановлено чотири гумові ніжки.

Загальний вигляд розробленого пристрою показано на рисунку 3.7. Внутрішню будову на рис. 3.8 (див. МРМА 23.00.00.00 В3)

					МРМА 23.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		64

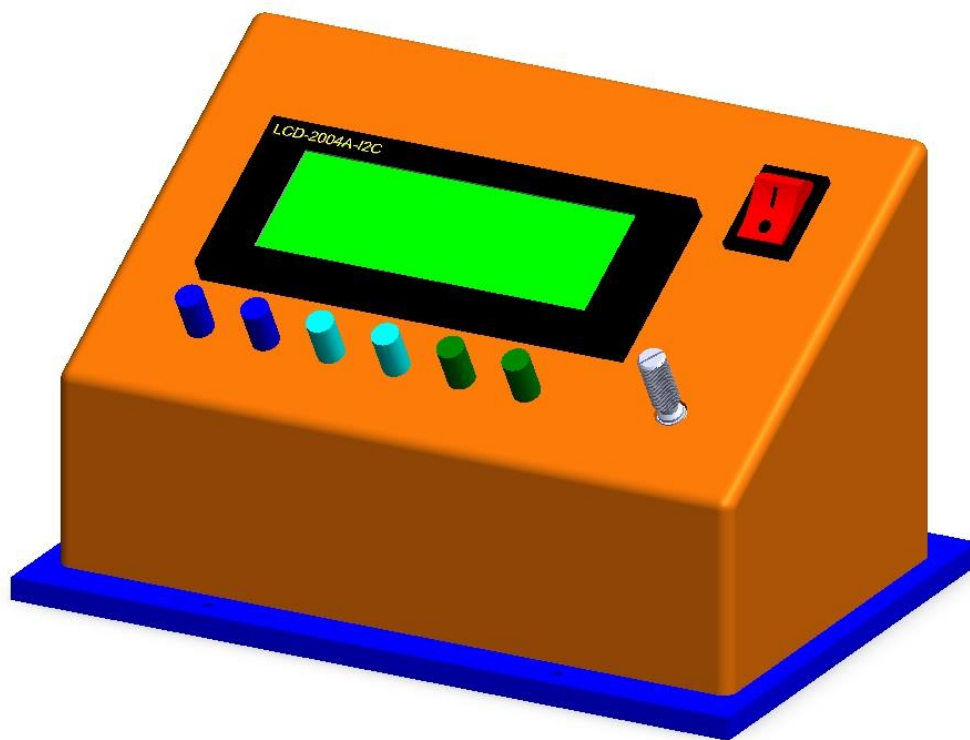


Рисунок 3.7 – Зовнішній вигляд корпусу блоку керування електроприводом

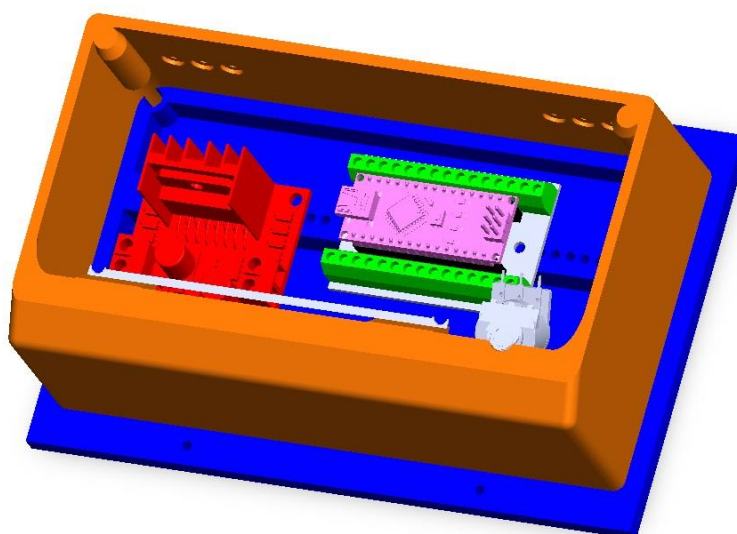


Рисунок 3.8 – Внутрішня будова корпусу блоку керування електроприводом

3.8 Програмування блоку керування електроприводом

Перед використанням розробленої системи її необхідно запрограмувати

для виконання поставлених завдань.

Блок керування електроприводом має гнучку систему перепрограмування, яка дозволяє легко і швидко змінювати робочу програму системи. Це забезпечується за допомогою програматора Byte Blaster і порту програмування на передній панелі. Програмне забезпечення для програмування - Avreal (або інше програмне забезпечення). Мова програмування - асемблер або С.

Схема програматора Byte Blaster показана на рисунку 3.9, конструкція дуже проста і побудована на одній мікросхемі.

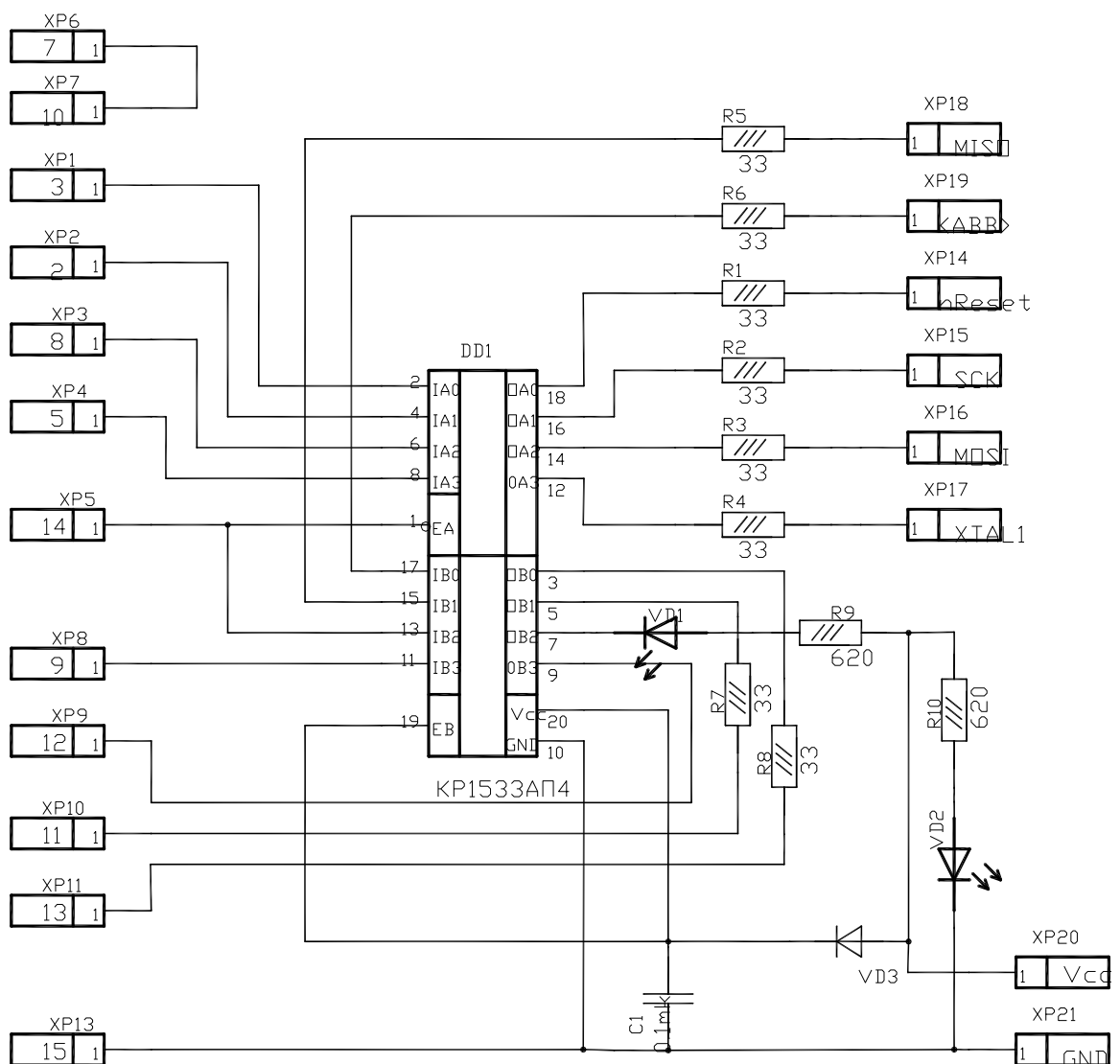


Рисунок 3.7 – Схема електрична принципова програматора Byte Blaster

Для прикладу, створимо програму, яка опитує матричну клавіатуру і виводить номер кнопки на 7-сегментний індикатор [11]. Це означає, що в подальшому цей фрагмент можна буде використовувати для вибору програми, що зберігається в пам'яті МК, і виводити номер обраної програми на індикатор. Програма написана мовою програмування С. Текст програми наведено в додатку А.

3.9 Висновки до третього розділу

Було розроблено функціональну схему керування, розроблені окремі блоки живлення, керування, програмування. Розроблено корпус блоку керування в програмному середовищі SolidWorks.

					<i>МРМА 23.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		67

ВИСНОВКИ

Проведено огляд пристроїв для нанесення полімерів, що дало можливість визначити основні елементи електроприводу. Розглянуто будову та роботу крокового двигуна, проаналізовано електричну схему його керування.

Було проведено математичне моделювання роботи електроприводу.

Розроблена модель пристрою для нанесення полімеру. Створено модель електродвигуна, та визначено його електричні та механічні характеристики.

Створено програми для роботи блоку керування пристроєм для нанесення.

Розроблено електричні плати керування на основі мікроконтролера.

Розроблена система мікроконтролерного керування кроковими двигунами пристрою для нанесення полімерного покриття на плоску поверхню, що керує вибраними кроковими двигунами після запуску та тонкого налаштування. Кроковий двигун сприймає керуючі імпульси без інерції і без так званої фазової або ступінчастої депресії. Прикладаючи постійне навантаження, можна було чітко спостерігати крутний момент на валу редуктора. Швидкість обертання валу редуктора і режим реверсу можна було встановити з кнопок блоку.

Було розроблено функціональну схему керування, розроблені окремі блоки живлення, керування, програмування. Розроблено корпус блоку керування в програмному середовищі SolidWorks.

Удосконаленням системи управління якістю характеристик переміщення елементів пристрою для нанесення полімерів є підключення оптичних, тензометричних та термоелектричних датчиків для комплексного тестування крокових двигунів. Це оптичні датчики у вигляді фотопар для вимірювання частоти приймання, тензодатчики для вимірювання моментних характеристик валу та термоелектричні датчики для вимірювання теплових

					MPMA 23.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		68

характеристик двигунів.

Перспективним напрямком є поєднання розробленого блоку керування електроприводом з персональним комп'ютером через послідовний порт для обробки результатів досліджень та контролю роботи розробленого блоку.

					<i>MPMA 23.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		69

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАНЬ

1. ABB FlexPaint [Електронний ресурс]. – 2023. – Режим доступу до ресурсу: <https://new.abb.com/products/robotics/robots/paint-robots/irb-52>.
2. Фарбувальний робот P-250iB/15 [Електронний ресурс]. – 2023. – Режим доступу до ресурсу: <https://www.fanuc.eu/ua/uk/%D1%80%D0%BE%D0%B1%D0%BE%D1%82%D0%B8/robot-filter-page/%D1%84%D0%B0%D1%80%D0%B1%D1%83%D0%B2%D0%B0%D0%BB%D1%8C%D0%BD%D1%96-%D1%80%D0%BE%D0%B1%D0%BE%D1%82%D0%B8/p-250ib-15>
3. Automated painting and coating [Електронний ресурс]. – 2023. – Режим доступу до ресурсу: <https://www.kuka.com/en-us/products/process-technologies/painting>
4. 4 .Painting Robots [Електронний ресурс]. – 2023. – Режим доступу до ресурсу: <https://www.yaskawa.com.sg/product/robotics/painting-robots>
5. Paint shops for Plastic Parts ts [Електронний ресурс]. – 2023. – Режим доступу до ресурсу: <https://www.eisenmann-china.com/en/Products-and-services/index.htm-28.html?SIId=2&PIId=151>
6. Любич М.Г. Внуттєве матеріалознавство. М. : ”легка індустрія”, 1970. - 408 с.
7. Муценек К.Я. Основи проектування складальних автоматів і ліній, - Рига: Зинатне, 1981. - 221з/
8. Орловський Б.В. Роботизація швейного виробництва. - К.: Технікі, 1986. - 159 с.
9. Електропривод постійного струму. Авторське свідоцтво №4618, кл. Н 02 Р 5/06, 1993. Авт.: Сокорченко М.І.
10. Електропривод. Авторське свідоцтво №6184, кл. Н 02 Р 5/00, 1993. Авт.: Богданов І.К., Гольц М.Є., Литвин М.С., Прокопенко О.А.

					MPMA 23.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		70

11. Пристрій для керування електродвигуном. Авторське свідоцтво №4618, кл. Н 02 Р 6/00, 2003. Авт.: Пасмурських О.О., Долженко В.В., Дубовський Є.В.

12. Цифрові системи регулювання електроприводу з комбінованим керуванням. Автореф. дис. кандидата техн. наук 30.09.1999 Мінтус А.М. Донецький державний технічний університет Д., 1999 – 14с.

13. Експериментальна установка для реалізації складних високоточних алгоритмів керування електроприводом змінного струму – І.В.Сметана, асп. – Вісник Вінницького політехнічного університету, 2005 - №5, с.22 - 25

14. Методичні вказівки до лабораторних робіт із навчальної дисципліни «Програмування мікроконтролерів» для здобувачів вищої освіти першого рівня за спеціальністю 123 «Компютерна інженерія» денної та заочної форми навчання/ Шатрний С.В. – Рівне: НУВГП. – 65 с.

15. Можаровський Д. О. Метод керування кроковим двигуном з мінімальним рівнем пульсації : 171 / Можаровський Дмитро Олександрович – Київ, 2018. – 98 с.

16. Електроприводи з кроковими двигунами [Електронний ресурс]. – 2023. – Режим доступу до ресурсу: https://stud.com.ua/84211/tehnika/elektroprivodi_krokovimi_dvigunami.

17. Інноваційні, енерго- та ресурсозберігаючі технології галузі : методичні вказівки до вивчення дисципліни для здобувачів вищої освіти ОНР «доктор філософії» спеціальності 133 «Галузеве машинобудування» / упоряд.: О. С. Поліщук, М. Є. Скиба, С. П. Лісевич, О. О. Коротич, В. О. Харжевський. Хмельницький : ХНУ, 2021. 212 с.

					MPMA 23.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		71

Додатки

					<i>MPMA 23.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		72

```
import cv2
import numpy as np
import time
import RPi.GPIO as GPIO
# Motor pins for two-coordinate system
motor_x_step_pin = 17
motor_x_dir_pin = 18
motor_y_step_pin = 27
motor_y_dir_pin = 22
spray_motor_pin = 23
# Setup GPIO
GPIO.setmode(GPIO.BCM)
GPIO.setup(motor_x_step_pin, GPIO.OUT)
GPIO.setup(motor_x_dir_pin, GPIO.OUT)
GPIO.setup(motor_y_step_pin, GPIO.OUT)
GPIO.setup(motor_y_dir_pin, GPIO.OUT)
GPIO.setup(spray_motor_pin, GPIO.OUT)
# Image path
image_path = "image.jpg"
# Motor movement parameters
steps_per_rev = 200
microsteps = 16
spray_duration = 0.1 # Duration for polymer spraying (in seconds)
def spray_polymer():
    GPIO.output(spray_motor_pin, GPIO.HIGH)
    time.sleep(spray_duration)
    GPIO.output(spray_motor_pin, GPIO.LOW)
```

					<i>MPMA 23.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		73

```

def move_motor_x(steps, direction):
    GPIO.output(motor_x_dir_pin, direction)
    for _ in range(steps):
        GPIO.output(motor_x_step_pin, GPIO.HIGH)
        time.sleep(0.001) # Adjust as per your motor's speed
        GPIO.output(motor_x_step_pin, GPIO.LOW)
        time.sleep(0.001) # Adjust as per your motor's speed
def move_motor_y(steps, direction):
    GPIO.output(motor_y_dir_pin, direction)
    for _ in range(steps):
        GPIO.output(motor_y_step_pin, GPIO.HIGH)
        time.sleep(0.001) # Adjust as per your motor's speed
        GPIO.output(motor_y_step_pin, GPIO.LOW)
        time.sleep(0.001) # Adjust as per your motor's speed
def apply_image():
    # Load the image as grayscale
    image = cv2.imread(image_path, cv2.IMREAD_GRAYSCALE)
    # Get image dimensions
    height, width = image.shape
    # Define the scaling factors for motor movement
    x_scale = (width * microsteps) / (steps_per_rev * 2)
    y_scale = (height * microsteps) / (steps_per_rev * 2)
    # Iterate through each pixel of the image
    for y in range(height):
        for x in range(width):
            # Get the pixel value (0-255)
            pixel_value = image[y, x]
            # Check if the pixel is black (coating required)
            if pixel_value < 128:

```

					<i>MPMA 23.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		74

```

        spray_polymer()
# Move the motors in the X and Y directions
        move_motor_x(int(x * x_scale), GPIO.HIGH)
        move_motor_y(int(y * y_scale), GPIO.HIGH)
# Move the motors back to the home position
        move_motor_x(0, GPIO.LOW)
        move_motor_y(0, GPIO.LOW)
try:
    # Call the function to apply the image
    apply_image()
except KeyboardInterrupt:
    # Clean up GPIO on program interruption
    GPIO.cleanup()

```

					<i>MPMA 23.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		75