

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
СУМСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ФАКУЛЬТЕТ ЕЛЕКТРОНІКИ ТА ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ
КАФЕДРА КОМП'ЮТЕРНИХ НАУК

ЗАТВЕРДЖУЮ

Зав. Кафедри

_____ Довбиш А.С.

_____ 2019 р.

КВАЛІФІКАЦІЙНА МАГІСТЕРСЬКА РОБОТА
на тему: «Система автоматизованого керування фрезерно-гравірувальним
верстатом SLOD-1»

Керівник проекту:

к. ф.-м. наук, доцент

Журба В.О.

Дипломник:

студент групи СУ.м-81

Левковський О.В.

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
СУМСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ФАКУЛЬТЕТ ЕЛЕКТРОНІКИ ТА ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ
КАФЕДРА КОМП'ЮТЕРНИХ НАУК

ЗАТВЕРДЖУЮ

Зав. кафедри

_____ Довбиш А.С.

_____ 2019 р.

ЗАВДАННЯ

кваліфікаційної магістерської робота
Левковському Олександровичу

1. Тема проекту: Система автоматизованого керування фрезерно-гравірувальним верстатом «SLOD-1».
2. Затверджено наказом ректора університету. № 2342.ІІ від “27” листопада 2019р.
3. Термін здавання студентом закінченого проекту “17” грудня 2019р.
4. Вихідні дані до проекту: звіт з переддипломної практики, наукові публікації, статті, технічна документація та перелік літературних джерел з матеріалами опису і автоматизації технологічного процесу відповідної установки.
5. Зміст пояснювальної записки: аналіз сучасного стану верстатів з числовим програмним управлінням: загальна характеристика фрезерно-гравірувальних верстатів з ЧПУ, функціональна структура системи управління верстатом, вибір об'єкту і предмету дослідження, висновки та постановка

завдання дослідження; система числового програмного управління фрезено-гравірувальним верстатом «SLOD-1»: ознайомлення з роботою верстата та його складових частин, аналіз контурів керування системи, контур керування переміщенням верстата, контур керування робочим органом верстата, дослідження контуру керування робочим органом верстата, вибір технічних засобів системи управління верстатом; програмне забезпечення системи керування: розробка функціональної схеми автоматизації, комутація апаратних складових верстату між собою, програмне забезпечення для роботи з верстатом, САМ програма для створення G-коду фрезерування або гравірування, програмне забезпечення для керування процесом виготовлення виробу; техніко-економічні розрахунки; заходи з охорони праці: аналіз небезпечних та шкідливих факторів для оператора верстата, заходи щодо попередження впливу відповідних небезпечних та шкідливих факторів для оператора.

6. Перелік графічних матеріалів: 35 рисунки, 9 таблиць, 8 додатків.

7. Календарний план проектування.

Номер етапу	Зміст етапу проектування	Термін виконання
1	Аналіз завдання кафедри. Підбір та аналіз літератури і першоджерел	01.09.2019 – 15.09.2019
2	Аналіз сучасного стану верстатів з числовим програмним управлінням	16.09.2019 – 20.09.2019
3	Ознайомлення з роботою верстата та аналіз контурів керування системи	21.09.2019 – 02.10.2019
4	Дослідження контуру керування робочим органом верстата	03.10.2019 – 03.11.2019
5	Вибір технічних засобів для роботи системи керування, розробка основних схем автоматизації	04.11.2019 – 24.11.2019
6	Проведення кошторису та розгляд питань щодо охорони праці	25.11.2019 – 05.12.2019

7	Оформлення кваліфікаційної магістерської роботи	06.12.2019 – 17.12.2019
---	---	----------------------------

8. Дата видачі завдання " 1 " вересня 2019 р.

Керівник проекту:

К.ф.-м.н., доцент

Журба В.О.

До виконання прийняв:

студент-дипломник

групи СУ.м-81

Левковський О.В.

РЕФЕРАТ

Левковський Олександр Вікторович. Система автоматизованого керування фрезерно-гравірувальним верстатом «SLOD-1». Кваліфікаційна магістерська робота. Сумський державний університет. Суми, 2019 р.

Робота містить: 67 сторінок, 35 рисунки, 9 таблиць, 8 додатків, 2 схеми, 1 специфікація. При виконанні магістерської роботи було використано 30 літературних джерел.

В якості об'єкту дослідження було обрано систему числового програмного керування верстатом «SLOD-1», предметом дослідження – керування робочими органами верстата.

Метою роботи було проаналізувати роботу системи керування фрезерно-гравірувальним верстатом, виявити недоліки і проблеми та вдосконалити існуючу систему керування.

Під час дослідження контуру керування робочим органом верстата було виявлено нестабільну роботу шпинделя під час навантажень. Для виправлення даного недоліку було проведено ідентифікацію об'єкта керування. Результатом дослідження став синтезований ПД-регулятор для керування робочим органом верстата. Для керування шпинделем використовується додатковий мікро процесорний із записаною програмою регулятора.

Таким чином мікропроцесорний пристрій для керування шпинделем можна використовувати як окремий пристрій для бюджетних верстатів з ЧПУ. Він забезпечить стабільну роботу шпинделя верстата та покращить якість готових деталей.

ЗМІСТ

СКОРОЧЕННЯ ТА УМОВНІ ПОЗНАЧЕННЯ	4
ВСТУП.....	5
1. АНАЛІЗ СУЧАСНОГО СТАНУ ВЕРСТАТІВ З ЧИСЛОВИМ ПРОГРАМНИМ УПРАВЛІННЯМ.....	7
1.1. Загальна характеристика фрезерно-гравірувальних верстатів з ЧПУ	7
1.2. Функціональна структура системи управління верстатом.....	9
1.3. Вибір об'єкту і предмету дослідження.....	13
1.4. Висновки. Постановка завдання дослідження.....	14
2. СИСТЕМА ЧИСЛОВОГО ПРОГРАМНОГО УПРАВЛІННЯ ФРЕЗЕНО-ГРАВІРУВАЛЬНИМ ВЕРСТАТОМ «SLOD-1»	16
2.1 Ознайомлення з роботою верстата та його складових частин	16
2.2 Аналіз контурів керування системи	16
2.2.1 Контур керування переміщенням верстата.....	17
2.2.2 Контур керування робочим органом верстата.....	21
2.3 Дослідження контуру керування робочим органом верстата.....	22
2.4 Вибір технічних засобів системи управління верстатом	32
2.4.1 Контур керування переміщенням верстата.....	38
2.4.2 Контур керування робочим органом верстата.....	45
3. ПРОГРАМНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ.....	50
4.1. Розробка функціональної схеми автоматизації.....	50
4.2 Комутація апаратних складових верстату між собою.....	51
4.3 Програмне забезпечення для роботи з верстатом.....	55
4.3.1 САМ програма для створення G-коду фрезерування або гравірування.....	55
4.3.2 Програмне забезпечення для керування процесом виготовлення виробу.....	56
4. ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНІ РОЗРАХУНКИ.....	58
5. ЗАХОДИ З ОХОРОНИ ПРАЦІ.....	61
5.1. Аналіз небезпечних та шкідливих факторів для оператора верстата	61
5.2. Заходи щодо попередження впливу відповідних небезпечних та шкідливих факторів для оператора.....	61

ВИСНОВОКИ.....	63
СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ.....	65
ДОДАТКИ.....	68

СКОРОЧЕННЯ ТА УМОВНІ ПОЗНАЧЕННЯ

- СУ – система управління
- САУ – система автоматичного управління
- ЧПУ – числове програмне управління
- ГП – гвинтова передача
- КД – кроковий двигун
- ДКД – драйвер крокового двигуна
- ШІМ(PWM) – широтно-імпульсна модуляція
- ПЗ – програмне забезпечення
- МД – модель деталі
- КП – керуюча програма
- ЗП – зчитуючий пристрій
- СПП – систему підготовки програми
- СТП – систему технологічної підготовки
- Д – деталь
- ВО – виконавчого органу
- РМ – робочий механізми
- ПЧПУ – пристрій з числове програмне управління
- ПР – порівнюючий пристрій
- ККД – коефіцієнт корисної дії

ВСТУП

В даний час при виробництві будь-яких деталей важко обійтися без фрезерно-гравірувальних верстатів з ЧПУ.

Числове програмне управління (ЧПУ) — це комп'ютеризована система керування, яка зчитує команди написані на спеціальній мові програмування (G-code), після чого перетворює їх в керуючі сигнали для керування переміщеннями робочих органів верстата.

Провідну позицію серед цих верстатів займають фрезерно-гравірувальні верстати з ЧПУ.

В наш час вони широко використовуються в різних сферах промисловості. Програмне управління використовується в ряді провідних галузей машинобудування, деревообробній промисловості, а також в комп'ютерній промисловості. Існує велика кількість підприємств, на яких працюють верстати з ЧПУ, що виконують велику кількість операції при обробці деталей (токарних, свердлильних, фрезерних, шліфувальних та ін.).

Завданням дипломного проекту було проаналізувати роботу верстата власної розробки, виявити можливі проблеми при роботі системи керування та вирішити їх.

Спочатку необхідно проаналізувати різні літературні джерела зв'язані з побудовою та роботою систем з ЧПУ. Після отриманих знань потрібно проаналізувати існуючу систему керування для виявлення недоліків. В результаті аналізу було обрано об'єкт дослідження – система числового програмного керування верстатом, та предмет дослідження – керування робочими органами верстата.

Після постановки завдання дослідження необхідно детально проаналізувати контури керування верстата. Після аналізу та виявлення можливих недоліків необхідно застосувати всі можливі варіанти для їх вирішення. При необхідності потрібно провести глибоке дослідження контурів керування для виявлення недоліки.

В результаті дослідження та виправлення недоліків системи керування необхідно обрати відповідне технічне забезпечення для коректної роботи контурів керування та системи ЧПУ загалом.

Метою даного проекту було проаналізувати роботу системи керування фрезерно-гравірувальним верстатом. В результаті аналізу необхідно вдосконалити існуючу систему керування для підвищення точності обробки деталей.

1. АНАЛІЗ СУЧАСНОГО СТАНУ ВЕРСТАТІВ З ЧИСЛОВИМ ПРОГРАМНИМ УПРАВЛІННЯМ

1.1. Загальна характеристика фрезерно-гравірувальних верстатів з ЧПУ

В якості об'єкту розглядаємо фрезерно-гравірувальний верстат з ЧПУ.

В наш час верстати з числовим програмним управлінням широко використовуються в різних сферах промисловості. Також випускаються верстати з ЧПУ, які можуть виконувати багато операцій і автоматично змінювати інструменти, а також концентрують на одному робочому місці ряд технологічних операцій. Також добре працюють автоматичні лінії, ділянки і цілі виробництва з ЧПУ, на яких застосовується централізоване управління на базі електронно-обчислювальних машин (ЕОМ).

Впровадження верстатів в різні галузі виробництва дозволяє здійснювати певну програму обробки в автоматичному чи напівавтоматичному режимі і створює умови для відносно простого і досить точного виконання переналагодження і підналагодження верстата за допомогою введення в нього заздалегідь розрахованої і записаної на будь-який носій інформації керуючу програму.

Регулюючи певні параметри є можливість вводу необхідних поправки для забезпечення більшої точності оброблюваної деталі. При цьому механізацією і автоматизацією також можуть бути охоплені зміна інструменту, зміна режимів різання і інші елементи обслуговування і управління верстатом. Таким чином, створення і широке впровадження верстатів з ЧПУ, в яких універсальність поєднується з автоматизацією, відкриває нові можливості для вдосконалення процесу обробки матеріалу.

На даний момент верстати з ЧПУ відрізняються своєю жорсткістю і надійністю, швидкістю робочих органів і точністю роботи. У них успішно використовуються електромеханічні та гідравлічні приводи. Ці верстати комплектуються складним оснащенням для автоматичної зміни інструменту і

різними пристроями для індикації дій виконавчих органів, а також електромагнітними муфтами для перемикання швидкості а також кульковими гвинтовими парами, які в свою чергу збільшують точність обробки і надійність верстата.

При роботі на верстатах з ЧПУ необхідно звертати особливу увагу вибору і правильного використання ріжучого інструменту для обробки деталей. Впровадження цих верстатів сприяло створенню нових принципів технології механічної обробки. При цьому в значній мірі змінилися завдання та функції конструкторів виробів і оснастки, технологів і майстрів, наладчиків та робочих-операторів. Велика насиченість електронними компонентами і автоматикою та інші особливості верстатів з ЧПУ, їх широкі можливості в підвищенні продуктивності праці і забезпеченні стабільної якості продукції, значною мірою підвищили значення бездоганного дотримання умов їх обслуговування та експлуатації.

Так як технологічний процес автоматизований, тобто управління верстатом здійснюється за занесеною в систему програмою, то збільшується точність обробки матеріалу. В результаті, верстати з ЧПУ дозволяють істотно знизити відсоток браку. Крім того, автоматизація процесу обробки верстатами з ЧПУ сприяє підвищенню продуктивності праці. [3]

Таким чином, завдяки високій швидкості і точності обробки матеріалу, керовані верстати з ЧПУ збільшують ефективність виробництва в кілька разів.

Тобто для того щоб зробити не дуже масивну деталь наприклад з дерева, то потрібно йти до знайомого на завод і просити його про допомогу. Саме в таких випадка в голову приходить ідея про те що даний вид роботи можна зробити і вдома за допомогою компактного верстата з ЧПУ. Авжеж можна купити вже готовий верстат, але його ціна достатньо велика в порівнянні з верстатом зібраним вдома. Тому і постала задача розробити доступний верстат з ЧПУ, який би мав достатню точність і надійність.

Загальний вигляд розробленої моделі знаходиться на рис. 1.1.

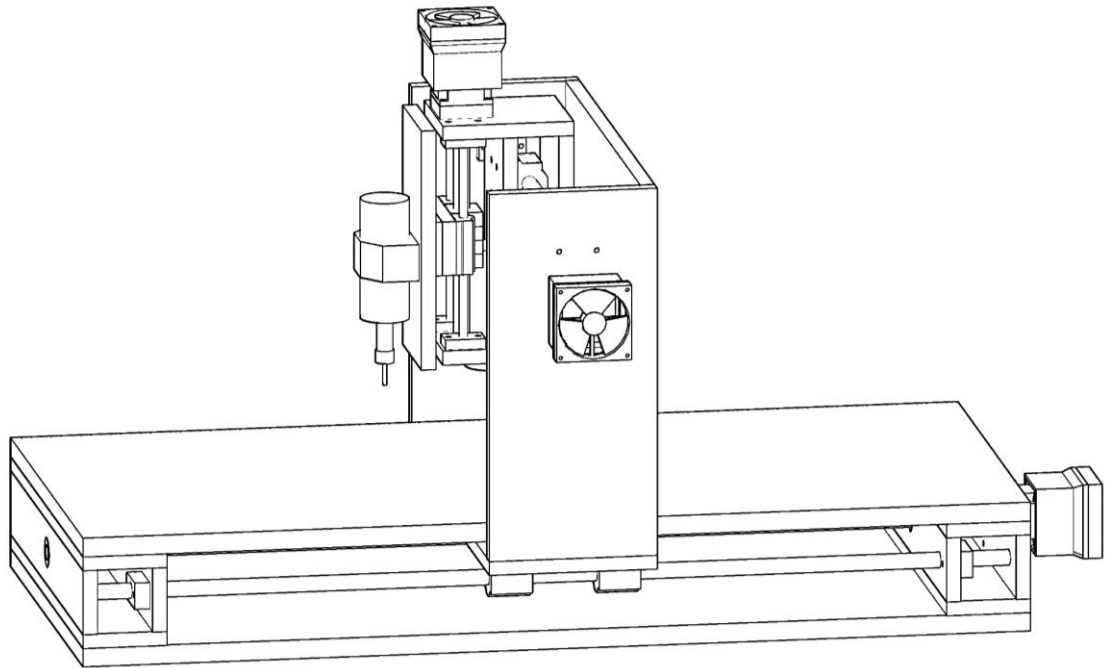


Рисунок 1.1. Загальний вигляд верстата

1.2. Функціональна структура системи управління верстатом

В загальному випадку система автоматизації фрезерно-гравірувального верстату з ЧПУ складається з трьох основних контурів:

- контур керування положенням;
- контур керування швидкістю обертання крокових двигунів;
- контур керування струмом.

Дана система керування являється триконтурною системою керування.

Триконтурна структура керування - це система, управління якої прагне підтримувати задане положення вала ротора. Це класична триконтурна система підпорядкованого регулювання з послідовною корекцією, показана на рис. 1.2.

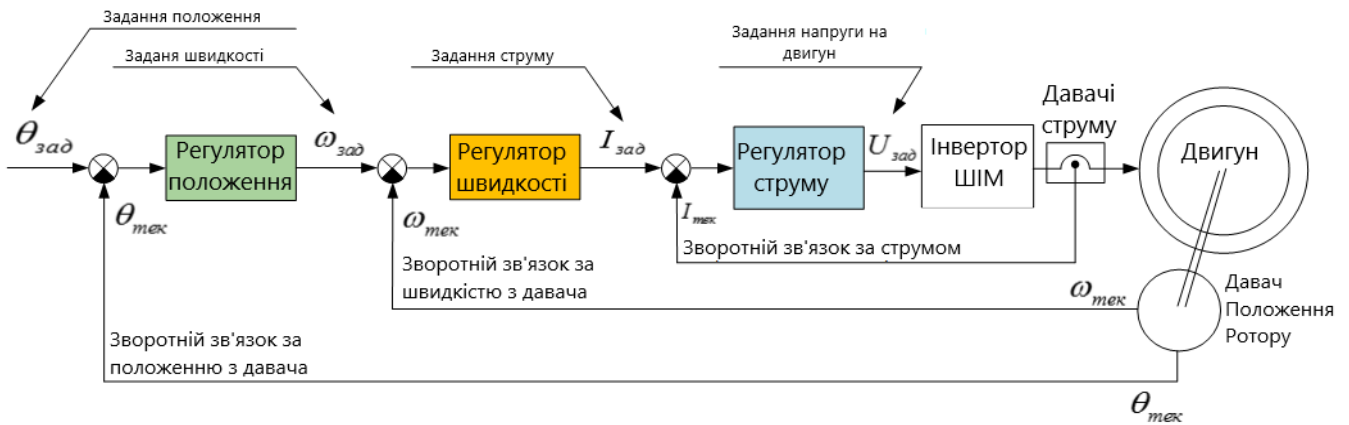


Рисунок 1.2. Триконтурна система підпорядкованого регулювання

Дана система називається підпорядкованою, тому що кожен вкладений контур «підпорядковується» завданню вищого. В системі три контури: контур струму (моменту), контур швидкості (частоти обертання), контур положення. Відповідно, кожен контур за допомогою свого регулятора підтримує на заданому рівні свою величину. В даному випадку використовувався ПІ-регулятор для струму, П-регулятор для швидкості і ПІД-регулятор для положення. [5]

Якщо нам потрібно регулювати положення, то для цього нам підходить швидкість (частота обертання), тому що саме швидкість впливає на зміну положення (швидкість - це похідна від положення). Далі, якщо ми хочемо регулювати швидкість, то для цього нам підходить регулювання моменту двигуна, так як момент визначає прискорення приводу, і він також найпростішим математичним законом пов'язаний зі швидкістю. Так як для двигуна момент - це струм то для регулювання моменту потрібно керувати напругою драйвері крокового двигуна, тому що струм і напруга теж пов'язані в першому наближенні через просте диференціальне рівняння. [5]

Якщо який-небудь внутрішній контур опустити, то положення регулюватися буде регулюватися погано, не з такою швидкодією, як в триконтурній системі. Якщо викинути, наприклад, контур струму, змусивши регулятор швидкості впливати безпосередньо на напругу інвертора, то залишиться безконтрольним момент приводу (струм) - він буде змінюватися як хоче, перехідні процеси будуть пущені на самоплив, тобто система буде не стійка. [5]

В більшості випадків для керування верстатів з ЧПУ використовується дана система регулювання.

Оскільки галузь застосування таких верстатів заключається переважно для простих дерево-, пластмасо-обробних робіт, тому для пересування кожної з осей немає необхідності використовувати окремий контролер електроприводу. Взагалі для регулювання координат верстату використовуються комплектні електроприводи з контролером і давачем зворотного зв'язку.

В нашому випадку використовуються крокові двигуни малої потужності і керування ними відбувається без фізичного регулятора положення і регулятора швидкості. В якості регулятора виступає програмне забезпечення Mach3. В ньому задається швидкість обертання крокового двигуна при різних умовах роботи. Регулювання положення відбувається переданням на кроковий двигун необхідної кількості кроків. Так як сучасні крокові двигуни дуже точні та надійні при нормальному температурному режимі, то існує лише малий відсоток пропускання кроків. Для наших задач даного принципу керування цілком достатньо, але верстат побудований таким чином, що при необхідності підвищення точності обробки деталей, можливо удосконалити систему керування. Докупивши енкодери система стане повноцінною триконтурною, також програмне забезпечення Mach3 підтримує дану функцію.

Розглянемо загальну структурну схему системи ЧПУ.

Структурна схема системи ЧПУ представлена на рис. 1.3.

Модель деталі (МД), що підлягає обробці на верстаті з ЧПУ, одночасно модель надходить в систему підготовки програми (СПП) і систему технологічної підготовки (СТП).

СПП представляє собою САМ програму в якій створюється керуюча програма.

СТП забезпечує систему даними про режими різання, робочий інструмент, матеріал для обробки.

На підставі цих даних розробляється керуюча програма (КП), вона являє собою набір команд для керування робочими органами верстата. Оператор встановлює на верстат заготовку, ріжучі інструменти згідно з документацією, розробленою в системі технологічної підготовки.

Установку заготовки і зняття готової деталі здійснює оператор.

Зчитуючий пристрій (ЗП) зчитує інформацію закладену в керуючу програму. Він являє собою програмне забезпечення для зчитування G-коду КП та передачі її в пристрій ЧПУ. ПЧПУ видає керуючі команди на робочі механізми (РМ) верстата, які здійснюють основні рухи циклу обробки.

В даному випадку ЗП і ПЧПУ являють собою програмне забезпечення Mach3, яке зчитує G-код та передає інформацію на РМ верстата.

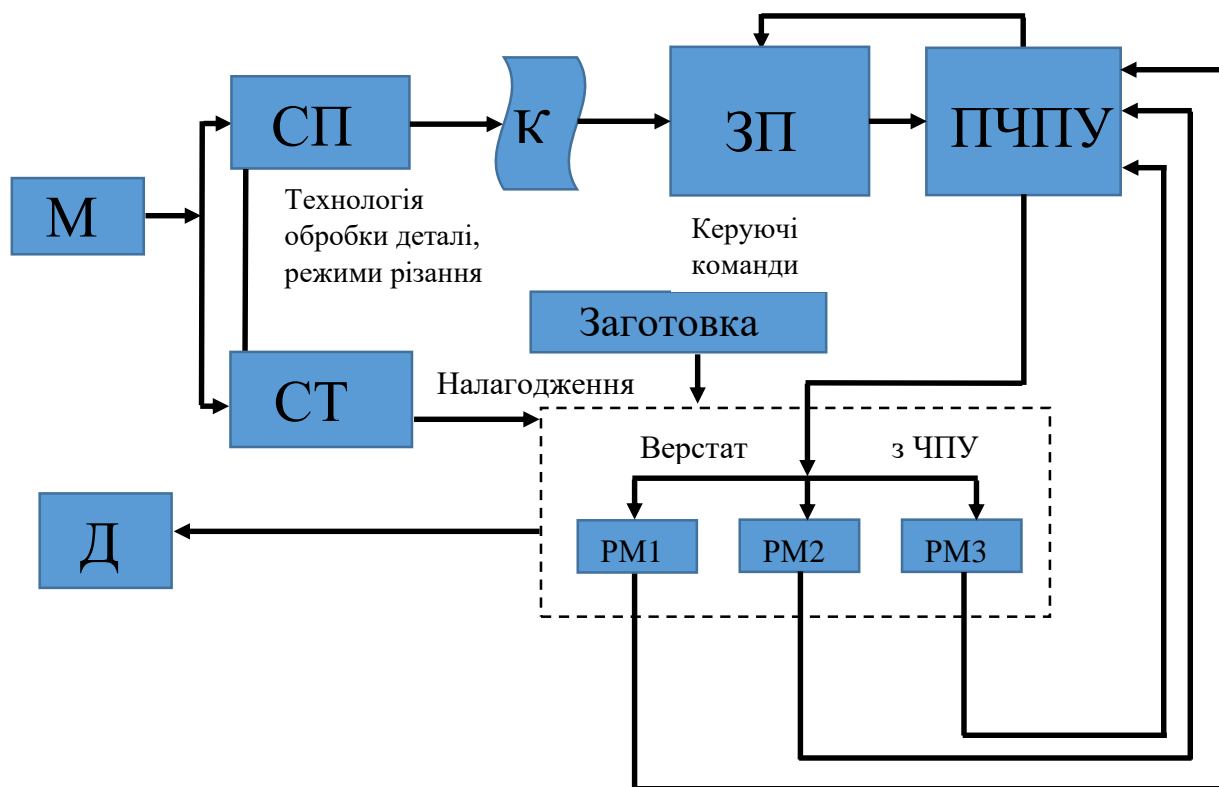


Рисунок 1.3 Структурна схема системи ЧПУ

Верстат містить кілька робочих механізмів, кожен з яких включає в себе (рис. 1.4):

- 1) кроковий двигун (КД), що є джерелом енергії;
- 2) гвинтову передачу (ГП), що служить для перетворення енергії і її передачі від двигуна до виконавчого органу (ВО).

3) виконавчий орган (лазер, шпиндель і т.д.), що виконують координатні переміщення тим самим обробляючи матеріал. [6]



Рисунок 1.4 Структурна схема цільового механізму

1.3. Вибір об'єкту і предмету дослідження

Об'єктом дослідження є процес керування робочими органами деревообробного верстату.

Робочими органами верстата являються електроприводи рухомих осей та шпинделя для безпосередньої обробки деталі.

В промислових верстатах з ЧПУ для переміщення осей використовуються комплектні електроприводи.

Комплектний електропривод – це електромеханічна система, що складається з електродвигуна, перетворювача, передавального і керуючого пристроїв, призначена для руху виконавчих органів робочої машини і керування цим рухом.

Перетворювач необхідний для перетворення :

а) перетворення роду струму;

- змінний в постійний;

- постійний в змінний;

б) перетворення джерела напруги в джерело струму і навпаки;

в) перетворення частоти;

г) перетворення числа фаз;

д) перетворення рівня напруги (струму).

Електродвигун, призначеного для перетворення електричної енергії в механічну.

Передавальний пристрій, призначеного для передачі механічної енергії від електродвигуна до виконавчого органу.

Керуючий пристрій – програмований логічний контролер, який керує електродвигуном.

В нашому випадку використання комплектного електродвигуна не виправдано, через те що метою є створення бюджетного верстата для використання в домашніх майстернях та невеликих підприємствах використовуються малопотужні крокові двигуни без зворотного зв'язку.

Для керування системою буде застосовуватися ПК з встановленим програмним забезпеченням Mach3, який буде зв'язуватися по LPT порту до плати опторозв'язки (керування).

Орієнтуючись на таку галузь економіки України як виробництво меблів, як предмет дослідження виберемо такий : алгоритми і засоби керування рухами робочих органів верстата.

1.4. Висновки. Постановка завдання дослідження

Раніше нами був розглянутий бюджетний фрезерно-гравірувальний верстат з ЧПУ «SLOD-1» для виготовлення або гравірування малогабаритних виробів. Цей верстат може бути використаний для обробки дерева, пластмас, акрилу, алюмінію або інших матеріалів. Дана модель верстата здатна поповнити парк верстатів невеликих підприємств, виробництв або домашніх майстерень.

Отже по матеріалах інформаційних джерел ми проаналізували технічну систему з позицій устрою та принципу функціонування.

Як приклад була розглянута модель верстату власної розробки «SLOD-1».

Тому на підставі аналізу процесу сформулювали особливі вимоги до автоматизації а саме:

- збільшити точність позиціонування осей верстата;
- точне керування швидкістю обертання шпинделя.

З проведеного аналізу виберемо **об'єкт дослідження**: процес керування робочими органами деревообробного верстату.

Предметом дослідження є розробка перехідні процеси при керуванні деревообробного верстата.

На підставі проведеного аналізу сучасного стану сформульований нами предмету дослідження поставим наступні задачі дослідження.

Задача 1. Скорегувати функціональну схему автоматизації верстату з ЧПУ

Задача 2. Привести вибір додаткових засобів автоматизації модельного зразка

Задача 3. Розробити алгоритм керування станком, та його ПЗ

Задача 4. Синтезувати регулятор для контуру керування робочим органом верстата

Таким чином на підставі аналізу автоматизації системи керування фрезерно-гравірувальним верстатом з ЧПУ нами поставлені задачі наукового дослідження яким будуть присвячені розділи дипломної роботи.

2. СИСТЕМА ЧИСЛОВОГО ПРОГРАМНОГО УПРАВЛІННЯ ФРЕЗЕНО-ГРАВІРУВАЛЬНИМ ВЕРСТАТОМ «SLOD-1»

2.1 Ознайомлення з роботою верстата та його складових частин

Розглянемо роботу верстату з системою ЧПУ за спрощеною схемою (рис. 2.1), що включає основні блоки систем ЧПУ.



Рисунок 2.1. Спрощена схема верстата з ЧПУ

Спочатку керуюча програма потрапляє в програмне забезпечення Mach3. Далі після вмикання кнопки «Початок», на плату керування BL - MACH - V1.1 D305 приходять команди про переміщення однієї з осей на певну відстань, а саме сигнал Step кількість кроків і Dir – напрямок обертання двигуна. Далі плата керування передає ці сигнали на драйвери крокових двигунів. Вони в свою чергу підсилюють сигнали і передають їх на кроковий двигун. Кроковий двигун починає обертатися в певну сторону виконуючи при цьому відповідну кількість кроків для переміщення осі. Під час обертання двигун приводить в дію гвинтову передачу, яка перетворює обертовий рух в поступальний і тим самим відбувається переміщення осі верстата. Всі три осі верстата можуть працювати одночасно, відпрацьовуючи при цьому різні криволінійні форми. В результаті даних переміщень відбувається обробка деталі.

2.2 Аналіз контурів керування системи

Система автоматизації фрезерно гравірувального верстата з ЧПУ складається з двох основних контурів керування:

- контуру керування переміщенням верстата;
- контур керування робочим органом верстата.

2.2.1 Контур керування переміщенням верстата

Контур керування переміщенням верстата являє собою кроковий двигун, який виконує переміщення осі верстата для обробки деталі. Даний контур керування включає в себе кроковий двигун без зворотного зв'язку.

В процесі роботи верстата було виявлено, що точність обробки кінцевої деталі не співпадає із початково заданою. Для боротьби з даною проблемою були прийняті певні міри:

- перевірена кінематика верстата, по максимуму зменшені люфти у всіх частинах, які рухаються;

- підсилені кути верстата металевими куточками для зменшення вібрації та збільшення міцності верстата.

Після виконання вище перерахованого були проведені тестові вирізання з різним заглибленням по осі Z та різною подачею по осям X та Y.

Під час експериментів використовувалась фреза по дереву діаметром 3 мм, швидкість обертання шпинделя 12000 об/хв. та матеріал обробки – фанера з березових листів. Максимальна глибина різання для берези 3 мм. Всі результати вирізів представлені в табл. 2.1.

Таблиця 2.1. Результат тестових вирізів

Заглиблення по осі Z мм	Подача мм/с	Задано мм	Прохід по осі X мм	Прохід по осі Y мм
0,5	5	300	300	300
	10		302	302
	12		302,5	302
1	5		300	300
	10		300	300
	12		301	302,5
1,5	5		300	300
	10		301,5	302,5
	12		301	302,5

Продовження таблиці 2.1.

2	5		300	300
	10		301	301
	12		302	302
3	5		300	300
	10		301	302
	12		302	302,5

В ході експерименту було виявлено наступне:

1. при подачі в 5 мм/с довжина проходу фрези рівна заданій при всіх заглибленнях по осі Z;
2. під час збільшення швидкості подачі при заглибленні до від 1 до 3 мм було виявлено збільшення дожини проходу фрези.

Для усунення даних відхилень першим кроком було налаштування розгінної та тормозної характеристик крокових двигунів.

Програмне середовище для керування верстатом з ЧПУ - MACH3 має в собі функцію налаштування даних характеристик.

Дані характеристики налаштовувалися експериментальним шляхом у вікні «Motor Tuning and Setup» рис.2.2.

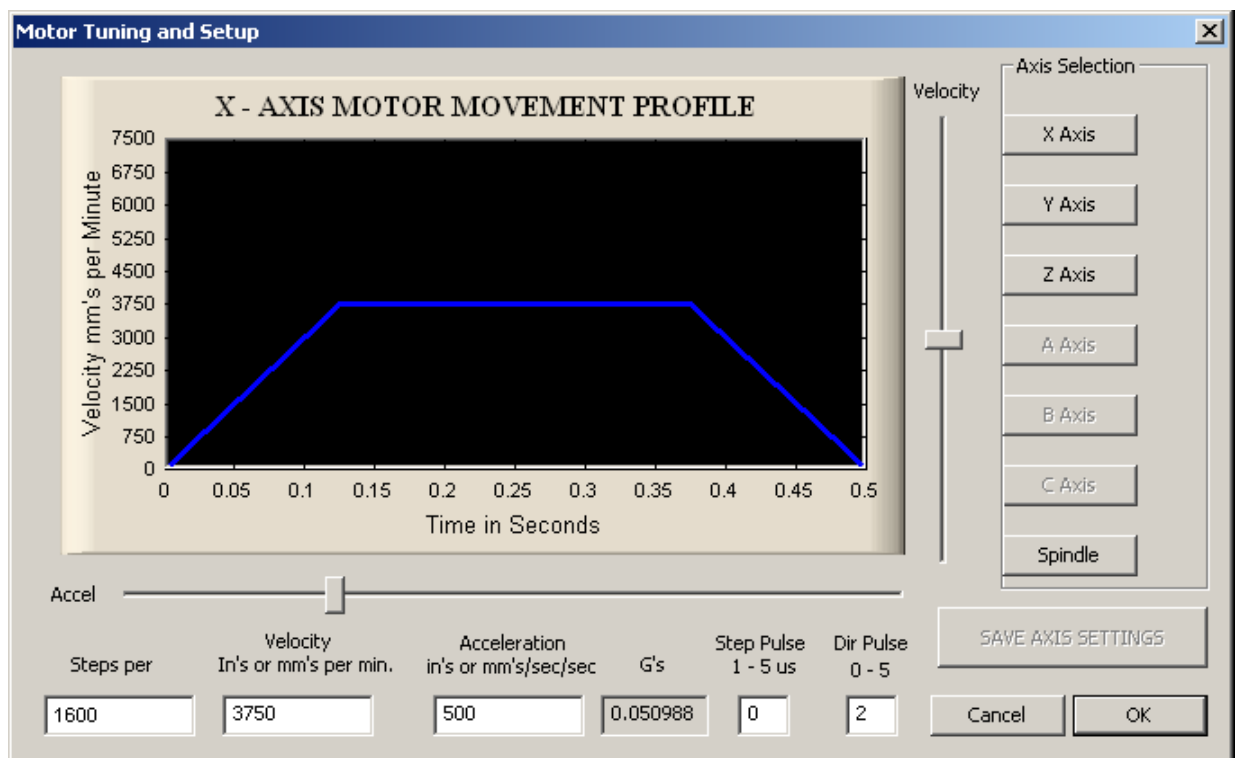


Рисунок 2.2. Налаштування швидкості та прискорення

Величина «Velocity» задає максимальну допустиму швидкість переміщення по осі, яка вимірюється в мм/хв. Максимальна швидкість залишалась без змін так, як її параметр вказується в G-кодi керуючої програми.

Наступна величина «Acceleration» - вказує максимальне прискорення по осі, яке вимірюється в мм/с². Максимальне прискорення підбиралось відповідно до роботи верстата, а саме споживання струму крокових двигунів по осях X та Y. Було досягнуто результату коли верстат робив вирізку з мінімальним навантаженням.

Після виконаних налаштувань був проведений ще один експеримент, який показав наступні результати табл. 2.2.

Таблиця 2.2. Результат тестових вирізів після налаштувань

Заглиблення по осі Z мм	Подача мм/с	Задано мм	Прохід по осі X мм	Прохід по осі Y мм
0,5	5	300	300	300
	10		301	301
	12		301,5	302
1	5		300	300
	10		300	300
	12		301	301,5
1,5	5		300	300
	10		301,5	301,5
	12		301	301,5
2	5		300	300
	10		301	301
	12		301	301
3	5	300	300	
	10	301	301	
	12	301	301,5	

Як бачимо зменшення значення прискорення тільки частково зменшила реальну довжину проходження фрези верстата.

Також в результаті ми бачимо, що вісь Y має більше відхилення від заданого значення, так як ця вісь є порталом верстату і це означає, що вона є найважчим рухомих елементом верстата. Саме тому портал по інерції ще намагається рухатись далі.

Після проведених експериментів було прийнято рішення додати давачі зворотного зв'язку у вигляді енкодерів для осей X та Y .

Енкодер – це пристрій, який перетворює кут повороту валу в імпульси. З його допомогою можна визначити положення валу або осі обертання.

Механічний рух (оберти), валу енкодера перетворюються в електричний сигнал – імпульси. В результаті цього можна знайти кут повороту, визначити положення та напрямок обертання валу двигуна. Використовуючи енкодер можна виміряти такі величини як: довжина, пройдена відстань, та ін.

Виділяють два основних типи енкодерів інкрементальні та абсолютні.

Інкрементальний енкодер - це пристрій, який визначає кут повороту обертового об'єкта, видаючи імпульси. Використовується для визначення швидкості обертання валу (осі), коли немає потреби зберігати абсолютне кутове положення при виключенні живлення. Тобто, якщо вал нерухомий, передача імпульсів припиняється. Іншими словами, якщо включити енкодер цього типу, то відлік повороту кута почнеться з нуля, а не з кута на який він був виставлений до моменту виключення. Осі об'єкта і енкодера з'єднуються між собою за допомогою спеціальної гнучкої перехідної муфти або жорсткої втулки, або енкодер можна встановити власне на сам вал. Найголовнішими перевагами інкрементальних енкодерів є простота використання, надійність і відносно низька вартість. [28]

Абсолютний енкодер видає цифровий код, різний для кожного положення об'єкта, дозволяє визначати кут повороту осі навіть в разі зникнення і відновлення живлення і не вимагає повернення об'єкта в початкове положення, що є безперечною перевагою цього типу енкодерів. Так як кут повороту завжди відомий, то лічильник імпульсів в цьому випадку не потрібен. Сигнал абсолютного енкодера не піддається перешкодам і вібраціям і тим самим для нього не потрібна точна установка валу. Абсолютний енкодер використовується в

високоточних системах: робототехніка, верстати з числовим програмним управлінням і ін. [28]

Для верстата були обрані нові крокові двигуни для осі X, Y та Z, які в своєму конструктиві вже містять енкодер. Дана особливість полегшить підключення до плати керування та дозволить збільшити надійність верстата.

В результаті допрацювання контуру переміщення була збільшена точність обробки верстата.

Даний контур керування аналогічний для всіх осей верстата.

2.2.2 Контур керування робочим органом верстата

Контур керування робочим органом верстата виконує функцію безпосередньої обробки деталі та являє собою шпиндель, керування яким відбувається із програмного забезпечення Mach3.

Керування швидкістю обертання шпинделя відбуваються із програмного забезпечення Mach3. Керуючий сигнал у вигляді PWM сигналу потрапляє на блок живлення шпинделя, який виконує функцію регулятора швидкості.

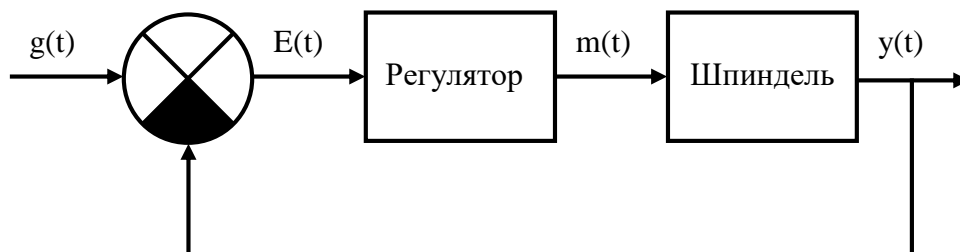


Рисунок 2.3. Контур керування робочим органом верстата

$g(t)$ - завдання, задана кількість обертів шпинделя;

$E(t)$ – помилка регулювання;

$m(t)$ – керуючий вплив;

$y(t)$ – регульована величина.

Робота контуру керування описана нижче.

Після завантаження G коду та початку виконання керуючої програми подається сигнал з ПЗ Mach3 на плату керування. На платі керування сигнал перетворюється в величину від 0 до 5 вольт, де 0 – шпиндель не обертається, 5 –

шпиндель має максимальні оберти. Далі цей сигнал подається на блок живлення шпинделя і перетворюється у відповідний вольтаж живлення в діапазоні від 0 до 100 В. Таким чином відбувається керування робочим органом верстата.

2.3 Дослідження контуру керування робочим органом верстата

В процесі роботи верстата з ЧПУ були виявлені недоліки роботи основного виконавчого органу верстата – шпинделя.

Під час обробки заготовок було виявлено, що шпиндель не рівномірно тримає задані оберти під час навантаження.

Для якісної обробки заготовки дана проблема є неприпустимою, саме тому було прийнято рішення обладнати шпиндель давачем зворотного зв'язку по струму. А також синтезувати регулятор для даного об'єкта керування.

В якості мікропроцесорного пристрою буде використовувати програмований контролер Arduino UNO з підключеним давачем зворотного зв'язку по струму. В якості давача зворотного зв'язку буде використовуватися давач струму на базі мікросхеми ACS712.

Датчик ACS712 дозволяє вимірювати силу струму до 30 А і передавати виміри на контролер Arduino. Модуль може використовуватися для виміру і контролю струму в таких пристроях: зарядний пристрій, плата для захисту від перевантаження, джерело живлення і т.д. Робота модуля полягає у використанні ефекту Холла. Даний ефект виникає в слідстві впливу сили Лоренца на електрони, яка змінює руху електронів при наявності магнітного поля. Внаслідок чого з'являється ЕРС через протікання струму на краях пластини. []

Після вибору давача для синтезу регулятора об'єкта керування спочатку необхідно визначити передатну функцію шпинделя для математичного опису в ПЗ. Це можна зробити декількома способами:

1. Знаючи всі характеристики двигуна підставити значення в готовий блок в програмному середовищі Matlab. Але в системі керування використовувався не стандартний шпиндель основні характеристик якого не

вдалося знайти. Також ці характеристики не повноцінно описують поведінку шпинделя в реальних умовах.

2. Провести ідентифікацію об'єкта керування під час якої зняти розгінну характеристику шпинделя. Після чого отримані дані ввести до програмного середовища Matlab і з його допомогою визначити передатну функцію об'єкта.

Зняття розгінної характеристики шпинделя відбувалося за допомогою мікропроцесорного пристрою Arduino UNO та двох датчиків: швидкості та струму. Час дискретизації було обрано 0,024 с. Таким чином було знято 50 точок. Були проведені виміри швидкості обертання шпинделя відносно часу та споживання струму відносно часу. В результаті була отримана таблиця даних, яка представлена в додатку Б.

Відповідно до розгінної характеристики шпинделя в ПЗ Matlab були побудовані графіки залежності швидкості обертання від часу рис.2.4 та струму обмотки від часу рис.2.5.

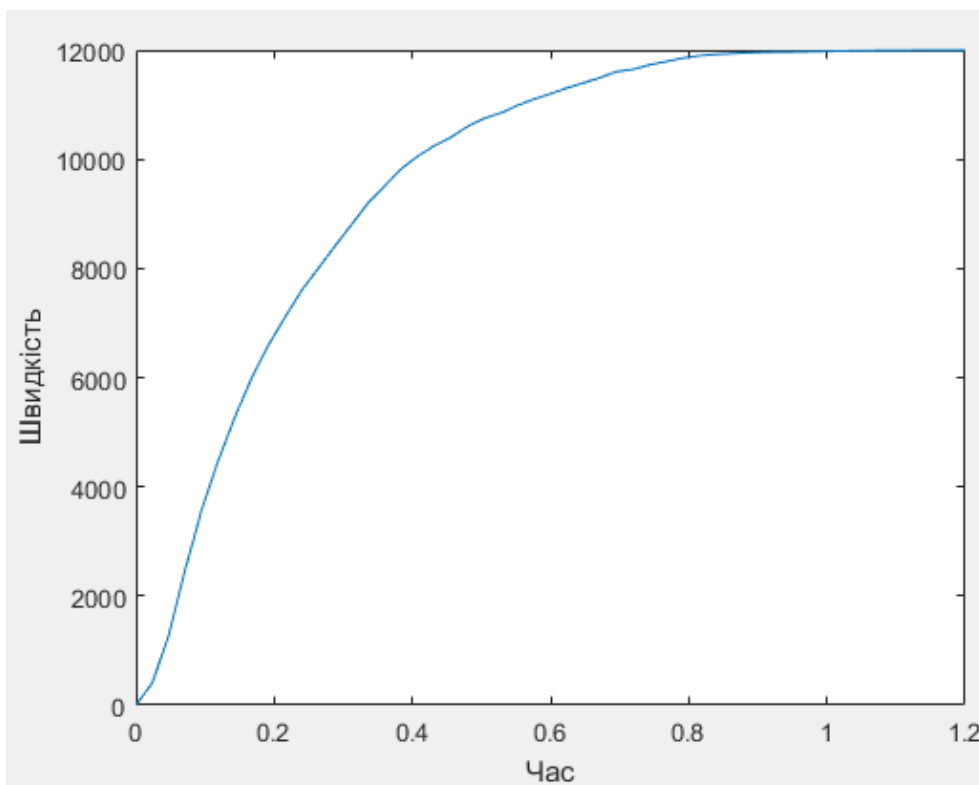


Рисунок 2.4. Залежність швидкості обертання від часу

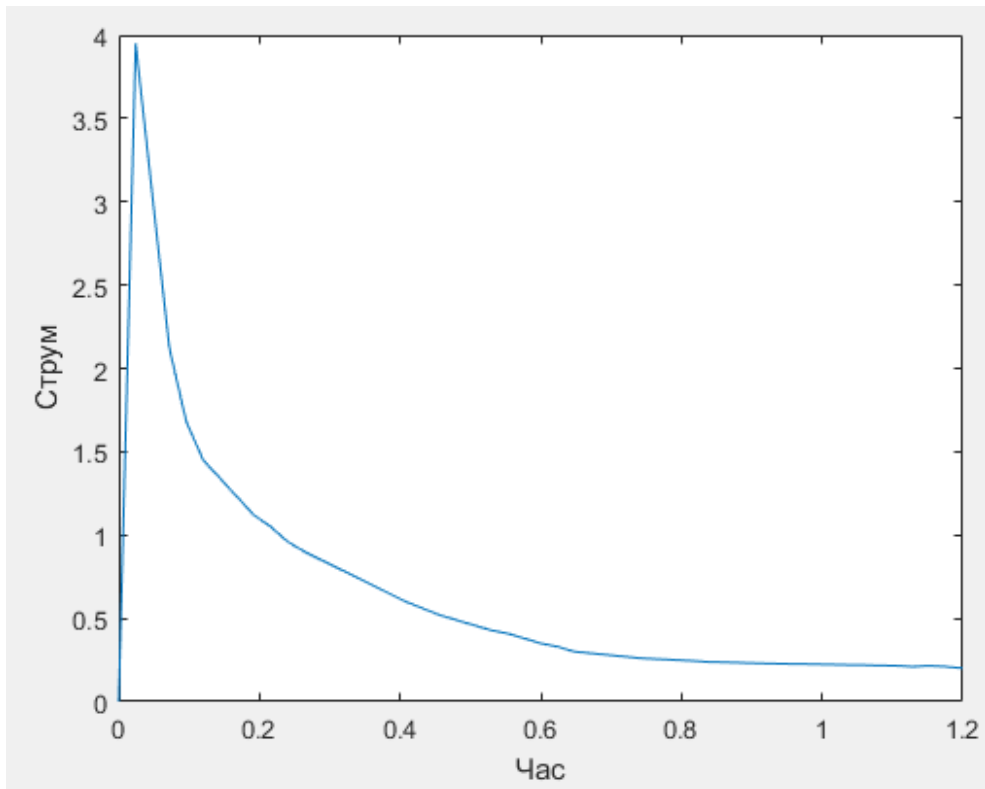


Рисунок 2.5. Залежність струму обмотки шпинделя від часу

Відповідно до вхідних даних можна провести ідентифікацію об'єкта керування з використання інструменту «System Identification Toolbox» (рис.2.6.) в ПЗ Matlab для отримання передатної функції об'єкта.

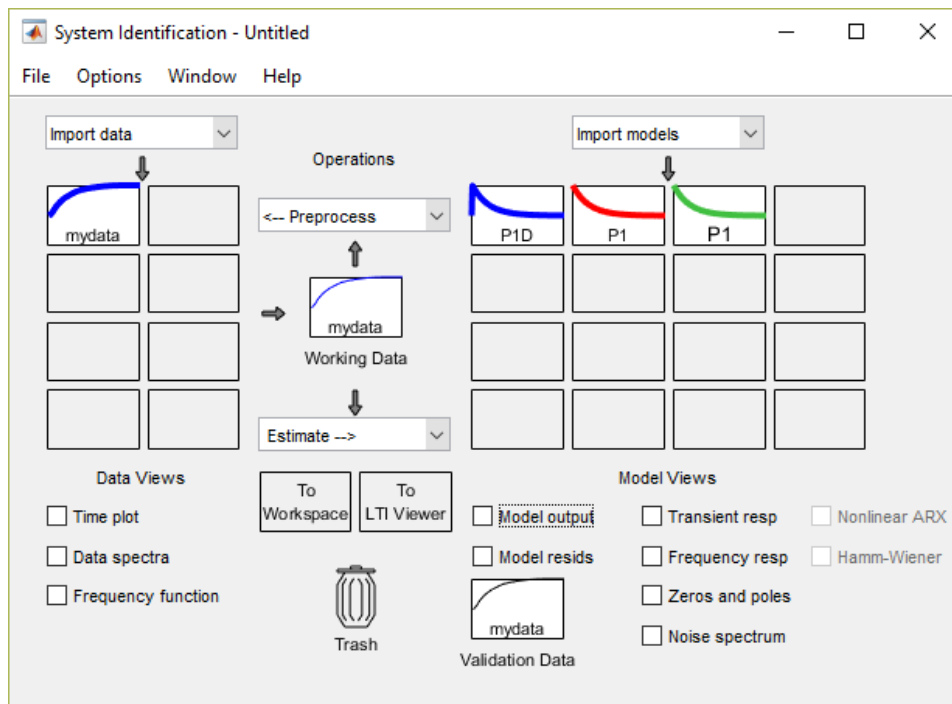


Рисунок 2.6. Інструменту для ідентифікації System Identification Toolbox

Розгінна крива була досліджена на відповідність аперіодичним ланкам першого та другого порядків із запізненням та аперіодичною ланкою першого

порядку без запізнення. Оскільки опис ланкою першого порядку із запізненням отримав найвищий відсоток відповідності 96.69%, то обираємо дану ланку для опису розгінної характеристики (P1D). Порівняння характеристик представлено на рис. 2.7.

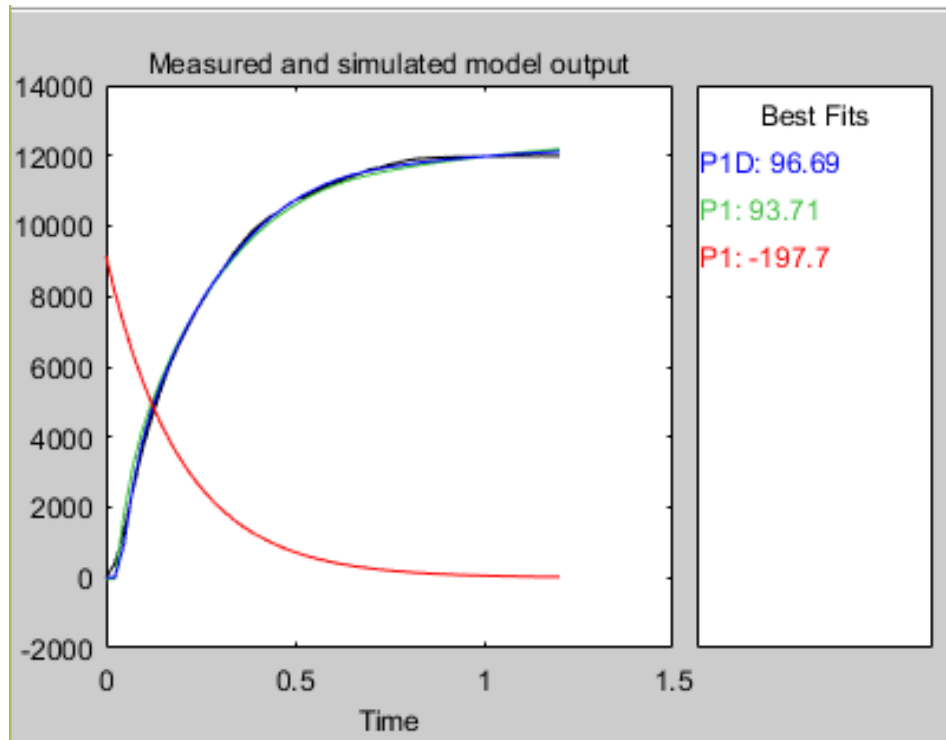


Рисунок 2.7. Порівняння характеристик

Таким чином була отримана передатна функція об'єкта керування представлена на рис. 2.8.

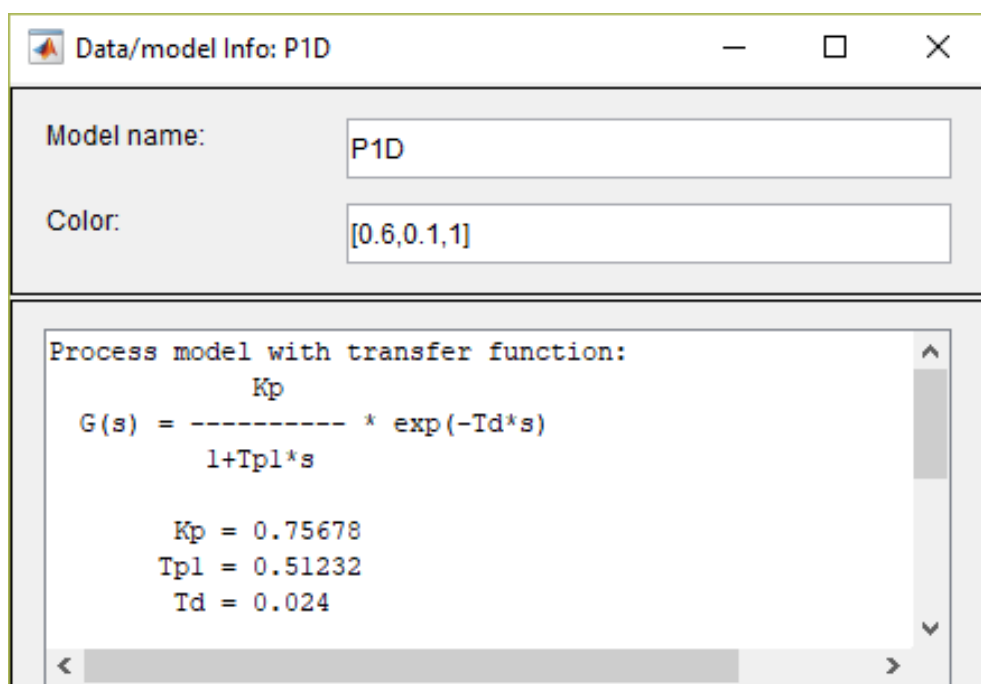


Рисунок 2.8. Передатна функція об'єкта керування

Після отримання передатної функції ми маємо можливість синтезувати регулятор для керування шпинделем. Для цього в ПЗ Matlab будуємо контур керування робочим органом верстата представлений на рис. 2.9.

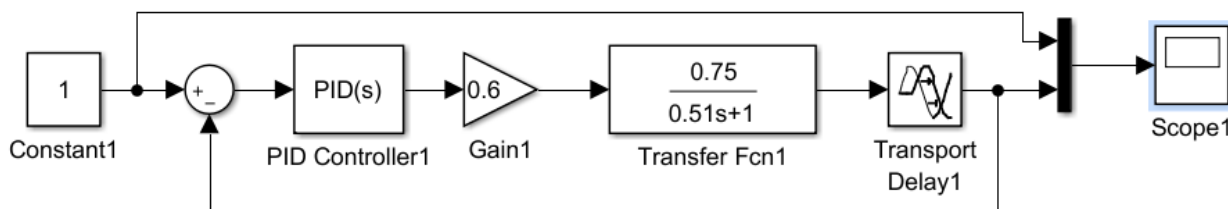


Рисунок 2.9. Контур керування робочим органом верстата

Спочатку спробуємо змодельювати перехідну характеристику контуру без регулятора (всі коефіцієнти рівні 1). В результаті отримуємо наступну перехідну характеристику рис. 2.10.

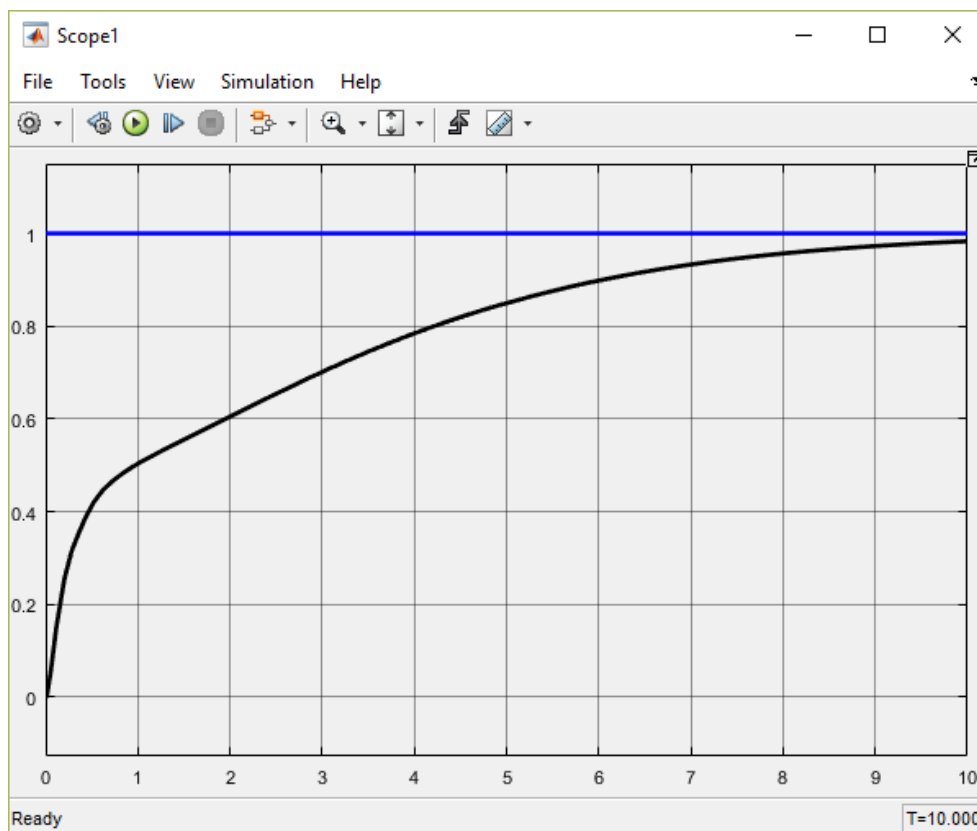


Рисунок 2.10 Перехідна характеристика процесу без регулятора

Як бачимо час перехідного процесу доволі великий. Такі умови нас не влаштовують, тому необхідно синтезувати регулятор для керування процесом розгону. Для цього нам необхідно визначити коефіцієнти регулятора в блоці «PID Controller» представленому на рис. 2.11.

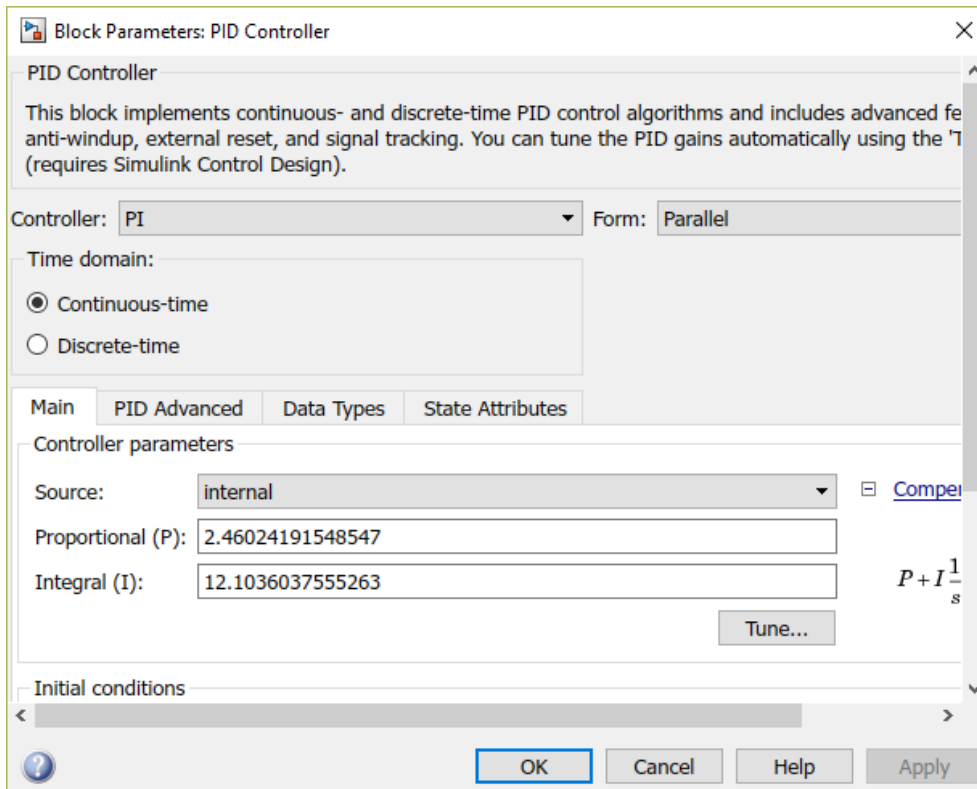


Рисунок 2.11. Блоці «PID Controller»

Даний блок має в собі візуальний редактор «PID Tuner» за допомогою якого в реальному часі можна налаштувати перехідну характеристику шляхом зміни часу реакції та перехідної поведінки (рис. 2.12).

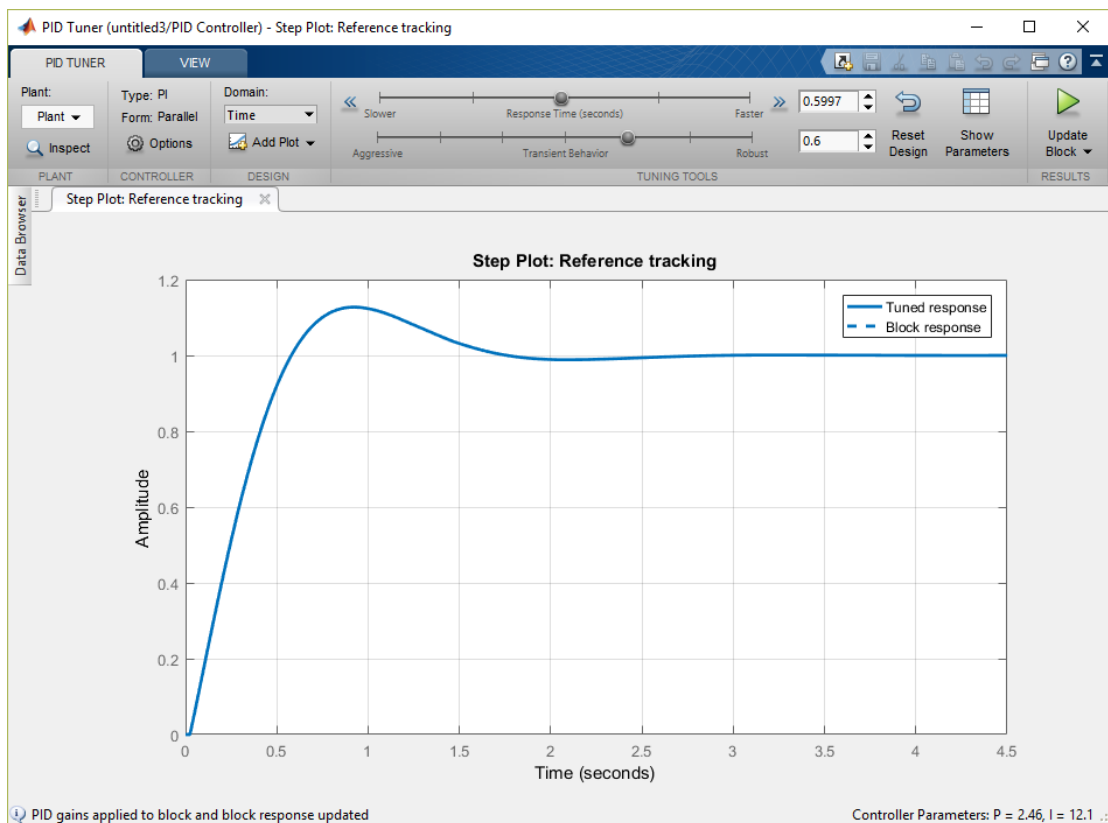


Рисунок 2.12. Візуальний редактор «PID Tuner»

Після підбору параметрів, редактор автоматично визначає коефіцієнти регулятора.

В нашому випадку ми отримали пропорційно-інтегрально-диференціальний регулятор з наступними коефіцієнтами представленими на рисю 2.13.

Controller parameters	
Source:	internal
Proportional (P):	3.36968267484831
Integral (I):	11.0625493380289
Derivative (D):	0.0472103327494369
Filter coefficient (N):	19.0462856935463

Рисунок 2.13. Коефіцієнти регулятора

Тепер спробуємо змодельовати поведінку системи керування з налаштованим регулятором. В результаті отримуємо перехідну характеристику зображену на рис. 2.14.

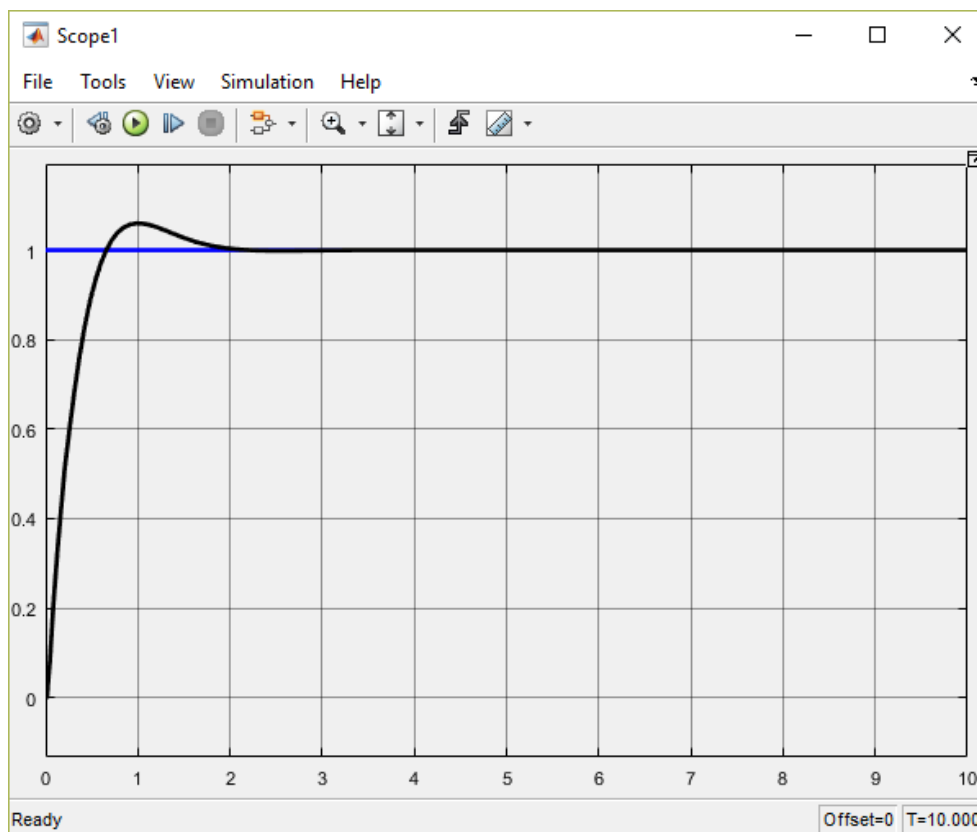


Рисунок 2.14. Перехідна характеристика із регулятором

Із графіка ми можемо побачити, що постійна часу складає 0,301 с., час перехідного процесу складає 2.163 с., пере регулювання – 6%. Дані параметри

повністю відповідають якісному функціонуванню системи керування. Тепер необхідно провести експерименти та створити вплив на систему, тобто змодельовати процес врізання та різання заготовки. Для цього доповнюємо схему в ПЗ Matlab (рис.2.15.).

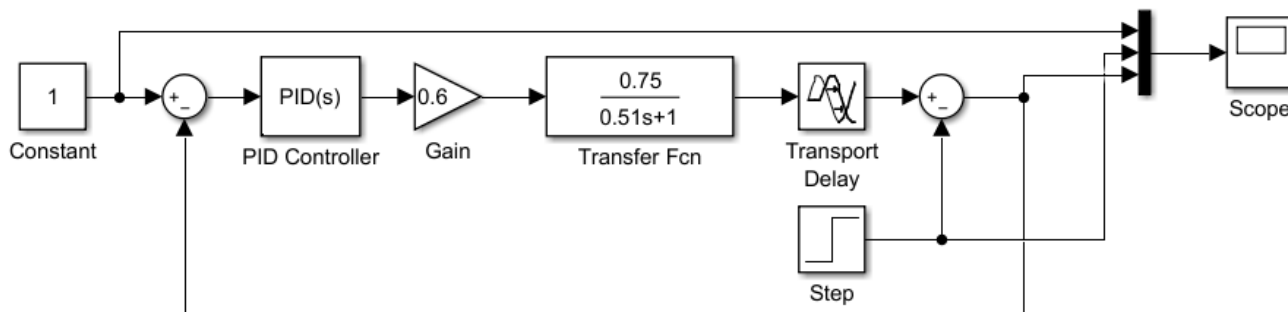


Рисунок 2.15. Контур керування робочим органом верстата з впливом

Робимо декілька тестових моделювань використовуючи впливи величиною 10, 20 та 40 відсотків. Таким чином відслідкуємо реакцію системи та роботу регулятора.

Спочатку робимо вплив величиною 40%, перехідна характеристика представлена на рис. 2.16.

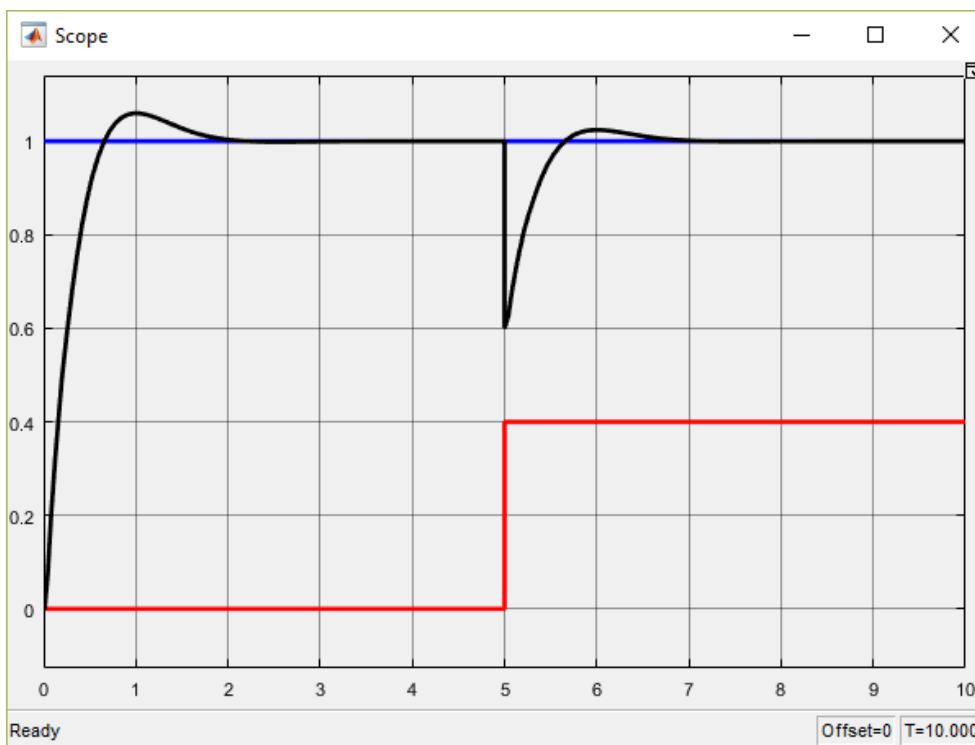


Рисунок 2.16. Перехідна характеристика під впливом 40%

Змодельовавши процес було визначено наступні характеристики:

- час виходу на задану швидкість обертання складає 0.71 с.;

- час перехідного процесу складає 1,9 с.,
- пере регулювання складає 2,4%.

Наступним робимо вплив величиною 20%, перехідна характеристика показана на рис. 2.17.

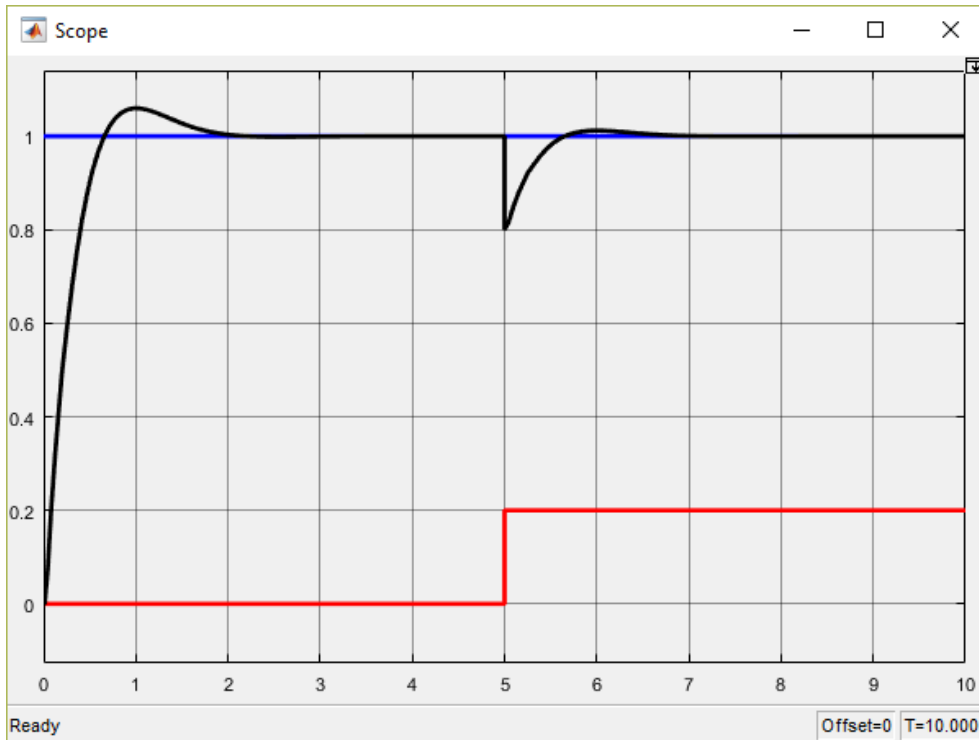


Рисунок 2.17. Перехідна характеристика під впливом 20%

Змодельовавши процес було визначено наступні характеристики:

- час виходу на задану швидкість обертання складає 0.65 с.;
- час перехідного процесу складає 1,8 с.,
- пере регулювання складає 1,2%.

Останнім робимо вплив величиною 10%, перехідна характеристика представлена на рис. 2.18.

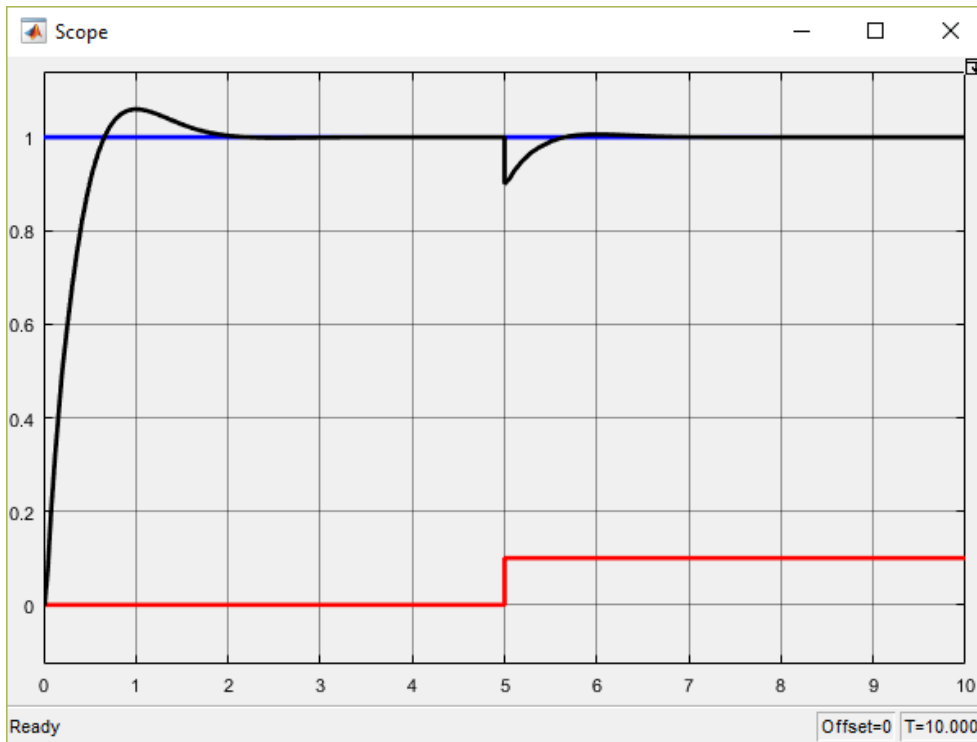


Рисунок 2.18. Перехідна характеристика під впливом 10%

Змодельовавши процес було визначено наступні характеристики:

- час виходу на задану швидкість обертання складає 0,64 с.;
- час перехідного процесу складає 1,7 с.,
- пере регулювання складає 0,6%.

За часту під час роботи верстата навантаження на шпиндель складає на більше 5-10%. Тому синтезований регулятор повністю підходить для даної системи керування.

При старі перехідний процес має пере регулювання, яке складає 6% та час перехідного процесу 2,5 с. Дані показники є абсолютно нормальними так як запуск шпинделя відбувається в холосту і незначне збільшення швидкості та відносно довгий час перехідного процесу не вплине на роботу верстата.

Втім під час навантаження регулятор дуже добре опрацьовує зовнішній вплив. При нормальному навантаженні в 10%, час виходу на задану швидкість обертання складає 0,64 с., при цьому час перехідного процесу складає 1,7 с. і пере регулювання не перевищує 0,6%. Це дуже хороші показники для даної системи керування.

Після синтезу регулятора відповідний програмний код був завантажений в контролер Arduino UNO. Після підключення технічних засобів були проведені пробні вирізи. Під час роботи верстата швидкість обертання шпинделя була стабільною. При навантаженні технічне забезпечення вчасно опрацьовувало впливи та стабільно підтримувало задані оберти шпинделя.

2.4 Вибір технічних засобів системи управління верстатом

Для роботи системи управління необхідне відповідне технічне забезпечення. Під час вибору технічних засобів треба враховувати велику кількість факторів таких як:

- потужність, крутний момент габаритні розміри КД;
- вхідна напруга та вихідний струм ДКД, здатність до мікро крокового режиму;
- сумісність плати керування з ДКД;
- потужність блоку живлення та ін.

Технічне забезпечення даної системи повинно включати в себе:

- плату керування;
- крокові двигуни з вбудованим енкодером;
- драйвери крокових двигунів;
- блок живлення;
- кінцеві вимикачі;
- шпиндель;
- давач струму.

Плата керування

У якості плати керування верстатом з ЧПУ була використана плата VL - MACH - V1.1 D305 представлена на рис. 2.19.

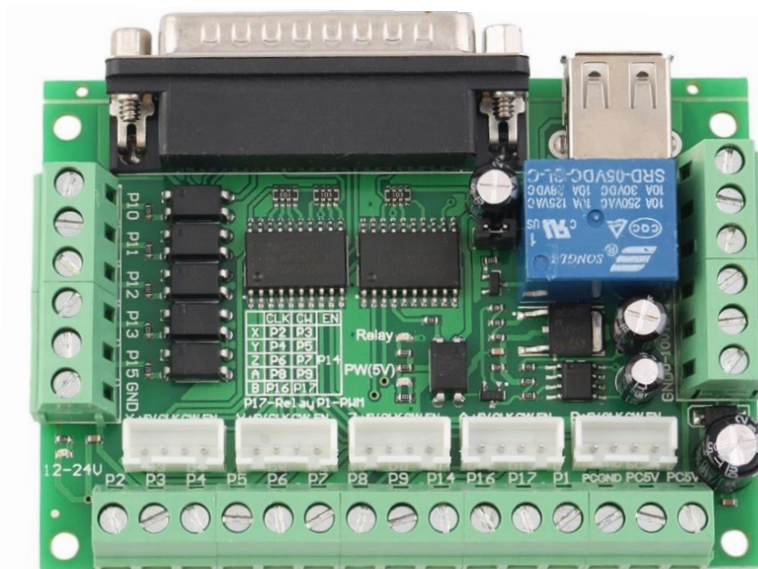


Рисунок 2.19. Вигляд плати керування BL - MACH - V1.1 D305

Інтерфейсна плата з опторозв'язкою на 5 осей ЧПУ використовується як сполучна ланка між комп'ютером і трьома ДКД в системах верстатів з ЧПУ. Інтерфейсна плата оснащена опторозв'язкою силової і логічної частин плати. Опторозв'язка - це один з видів гальванічної розв'язки. Сенс в тому, щоб між двома схемами не було електричного зв'язку, що в результаті дає захищеність логічної частини від різних перепадів напруги і стуму.

Характеристики плати:

1. Повна підтримка програми MACH3 та інших комп'ютерних програм призначених для управління станком за допомогою паралельного порту.
2. Наявність роздільного живлення цифрової частини (від USB або зовнішнього джерела +5 В) і периферійних пристроїв (від зовнішнього джерела + 12-24В), для захисту комп'ютера.
3. Широкий діапазон вхідної напруги для живлення периферійних пристроїв від +12 до +24, анти-реверсна функція.
4. Опторозв'язка всіх вхідних сигналів для захисту комп'ютера.
5. Наявність реле для управління шпинделем. Вихідний порт P17.
6. Опторозв'язаний вихід аналогового перетворювача з напругою 0 - 10В для управління швидкістю обертання шпинделя. Вихідний порт P1.
7. Наявність 17 портів, які можуть працювати з опторозв'язаними входами драйверів управління кроковими двигунами.

8. Вихідний порт P1 можна використовувати як вихід ШІМ (PWM) для управління шпинделем з опторозв'язаним входом.

9. Можна підключати в схеми із загальним катодом або анодом і напругою сигналу до +5 В.

Опис портів.

Роз'єми які знаходяться на платі керування описані в табл. 2.3, а також в додатку В

Таблиця 2.3. – Роз'єми на платі керування

Маркування	Опис
P1	PWM
P2	STEP X
P3	DIR X
P4	STEP Y
P5	DIR Y
P6	STEP Y
P7	DIR Y
P8	STEP A
P9	DIR A
P10	E-STOP
P11	Probe
P12	LimitX
P13	LimitY
P14	Enable
P15	LimitZ
P16	STEP B
P17	DIR B/Reley

STEP - це команда, яка надходить з керуючої програми і передає двигуну кількість кроків, яких треба зробити в даний момент часу.

DIR - це команда яка вказує двигуну в якому напрямку обертатися.

E-STOP - даний роз'єм слугує для підключення кнопки аварійної зупинки.

Limit - дані роз'єми слугують для підключення кінцевих вимикачів.

Enable - даний роз'єм відключає крокові двигуни якщо програма знаходить в режимі очікування (не виконується G-код). Це робиться для економії електроенергії, а також збільшується строк експлуатації крокових двигунів.

PWM - вихід ШІМ за допомогою нього можна керувати швидкістю обертання шпинделя в реальному часі навіть при виконанні G-коду.

Relay - даний роз'єм слугує для вмикання і вимикання шпинделя із програми на комп'ютері. [13]

Серед великої кількості плат керування була вибрана саме ця. На відміну від плати керування на основі Arduino, дана плата має більші функціональні можливості, вищу надійність завдяки керуванню по паралельному порту та високу швидкодію. Є можливість підключення двох плат паралельно, що дає змогу використовувати в двічі більше даних з давачів та підключати більшу кількість КД. Також дана плата сумісна з програмним забезпеченням ArtSoft Mach3, яка володіє великим функціоналом для точної обробки матеріалів. За допомогою даного програмного забезпечення буде проводитися керування верстатом.

Блок живлення системи

В якості основного блоку живлення використовується блок живлення середньої потужності S-360-36 представлений на рис. .2.20.



Рисунок 2.20. Блок живлення S-360-36

Імпульсний блок живлення — це стабілізатор напруги, в якому регулювальний елемент працює в ключовому режимі, тобто більшу частину часу знаходиться або в режимі відсічення — коли його опір максимально великий, або в режимі насичення — коли його опір максимально малий.

В даному проекті використовується саме імпульсний блок живлення на 36В.

На відміну від лінійних блоків живлення імпульсні мають ряд переваг:

-Вхідний конденсатор конденсатор здатен запасати значну енергію при відносно невеликій ємності.

- Розсіювана на ключі потужність є незначною.

- Вихідний трансформатор та вихідні фільтри працюють на високій частоті, тому їх розміри можуть бути незначними. [9]

Як наслідок, імпульсні стабілізатори напруги мають високий ККД при невеликих розмірах, вазі і вартості.

Основні параметра

- Вхідна напруга: AC110V/220 В
- Вихідна напруга: DC 36 В
- Вихідний струм: 0 ~ 10А
- Вага: 800 грам
- Розміри: 220*115*50 мм

- Матеріал корпусу: металевий корпус/Алюміній
- Захист: перевантаження по струму і короткого замкнення
- Робоча температура: 0 ~ 40С
- Для зберігання температура: -20 ~ 60С
- Вологість: від 0 до 95% без конденсації
- Використовувати в замкнутому приміщенні.

Запобіжні кінцеві вимикачі

В даному проєкті були використані найпростіші кінцеві вимикачі зображені на рис. 2.20.



Рисунок. 2.20. Кінцеві вимикачі

В електротехніці кінцевий вимикач - перемикач, який спрацьовує при досягненні механічною частиною пристрою певного положення. Вони використовуються для керування механізмами, для блокування в системах безпеки, для підрахунку кількості проходжень певного об'єкту біля певної точки.

Стандартні кінцеві вимикачі в промислових системах керування виробляють з різними типами діючих на кінцевик механізмами. Це може бути важіль, котильний плунжер або пружина. Кінцеві вимикачі можуть прямо перемикатися діючим важелем. Геркони спрацьовують, коли повз них проходять магніти, вбудовані в рухому деталь. Безконтактні перемикачі (сенсори), можуть спрацьовувати при збуренні електромагнітного поля, при зміні електричної ємності, при появі магнітного поля (наприклад, давачі Холла).

Зазвичай об'єкти керування не підключені безпосередньо до кінцевиків. Контакти кінцевих вимикачів можуть бути підключеними до реле, до схеми керування двигуном, до схеми контролера.

Часто кінцевий вимикач має дві пари контактів, нормально розімкнуті і нормально замкнуті. Замкнута пара дозволяє контролювати стан підключення кінцевика: якщо сигнал через цю пару не проходить, можна зробити висновок про пошкодження кабеля. [10]

В нашому випадку кінцеві вимикачі використовують в граничних положення осей координат X, Y і Z. Вони потрібні для того, щоб не давати осям рухатися занадто далеко і тим самим уникати можливого пошкодження верстата. Можна використовувати верстат і без них, але невелика помилка в розрахунках може спричинити за собою безліч ушкоджень, усунення яких обійдеться досить дорого.

2.4.1 Контур керування переміщенням верстата

Для контурів керування переміщенням верстата необхідно використовувати драйвери крокових двигунів та крокові двигуни, котрі містять в своєму конструктиві давачі зворотного зв'язку – енкодери.

Крокові двигуни

Кроковий двигун — електричний двигун, в якому імпульсне живлення електричним струмом призводить до того, що його ротор не обертається неперервно, а виконує щоразу обертальний рух на заданий кут. Завдяки цьому, кут повороту ротора залежить від числа поданих імпульсів струму, а кутова швидкість ротора точно рівна частоті імпульсів помноженій на кут повороту ротора за один цикл роботи двигуна. [8]

Для побудови верстата з ЧПУ були використані крокові двигуни моделі NEMA23 а саме, крокові двигуни зі зворотним зв'язком 57EBP75ALC-TFA, фізичний вигляд двигуна показаний на рис. 2.21.



Рисунок 2.21. Фізичний вигляд крокового двигуна 57EBP75ALC-TFA

57EBP75ALC-TFA - 2-х фазний двигун з енкодером, який забезпечує високу точність і плавність роботи при низькому рівні шуму і нагріванні. Максимально ефективну роботу двигуна забезпечує драйвер з підтримкою зворотного зв'язку HBS57AJ. Двигун також можна підключати до звичайного драйверу, але тоді він буде працювати без точного контролю положення ротора. Номінальний крутний момент даної моделі складає 1.5 Нм.

Технічні характеристики двигуна:

- виробник: Times Brilliant;
- кількість фаз: 2;
- напруга живлення: 24 ~ 48 В (постійний струм) ;
- номінальний крутний момент: 1.5 Нм;
- струм обмотки: 4.2 А;
- опір обмоток: 0.5 Ом;
- ізоляційний клас: В;
- індуктивність: 1.8 мГн;
- кутовий крок: 1.8 ;°
- номінальна швидкість: 1000 об / хв;
- максимальна швидкість: 2000 об / хв;

- дозвіл енкодера 1000 імпульсів / оборот;
- тип фланця: NEMA 23;
- діаметр валу: 8 мм;
- довжина кабелів: ~ 2 м;
- робоча температура енкодера: -20 ... + 85 ° С;
- робоча температура навколишнього середовища: -10 ... + 40 ° ;
- вологість навколишнього середовища: макс. 85% (без конденсату) ;
- вага: 0.99 кг. [29]

Переваги і недоліки крокових двигунів.

Переваги:

- двигун повертається на заданий кут при певній кількості імпульсів;
- велика точність виконання кроків — добротні крокові двигуни мають точність близько 3 — 5% кроку і ці помилки не накопичується від кроку до кроку;
- двигуни мають можливість швидко розганятися та швидко гальмувати;
- висока надійність, так як у даних двигунів відсутні щітки вони є довговічними;
- оберти двигуна залежать від дискретних імпульсів, що в свою чергу дозволяє керувати кроковим двигуном без зворотного зв'язку;
- при низьких швидкостях обертання двигун не втрачає моменту;
- двигун має можливість обертатися з різною швидкістю, тому що швидкість обертання пропорційна частоті вхідних імпульсів.

Недоліки:

- при неправильному керуванні з'являється механічний резонанс;
- на великих швидкостях можливий пропуск кроків, але це нівелюється давачем зворотного зв'язку;
- при роботі без давача зворотного зв'язку можливий пропуск кроків;
- при встановленому режимі утримки двигун не рухається, але все одно споживає електроенергію;
- складна схема управління .[6]

Драйвер крокового двигуна HBS57AJ

Так як кроковий двигун 57EBP75ALC-TFA має в своєму конструктиві енкодер, то виникає необхідність для використання спеціалізованого ДКД а саме HBS57AJ. Фізичний вигляд драйвера приведений на рис. 2.22.



Рисунок 2.22. Фізичний вигляд драйвера крокового двигуна HBS57AJ

HBS57AJ - драйвер нового покоління, який використовує передову технологію векторного управління зі зворотним зв'язком. Дана модель повністю вирішує проблему пропускання кроків, яка притаманна традиційним кроковим двигунів з розімкненим контуром керування. HBS57AJ значно покращує швидкодію і точність двигуна, знижує його нагрівання, вібрацію і енергоспоживання. Крім того, в разі постійного перевантаження двигуна, драйвер видає сигнал тривоги. HBS57AJ прекрасно працює з кроковими двигунами серій 42, 57 або 60. Драйвер оснащений інтерфейсом RS232 для підключення до комп'ютера.[29]

Особливості ДКД HBS57AJ.

- Використання нового 32-розрядного чіпу DSP для управління двигуном.
- Використання вдосконаленої технології векторного управління зі зворотним зв'язком (двигун працює більш плавно з більш високою точністю).
- Точне управління положенням і швидкістю для вимогливих доповнень.
- Технологія зниження нагріву двигуна.

- Висока динамічна здатність реагування, скорочення часу розгону і гальмування двигуна.

- Можливість налаштування параметрів системи за допомогою зовнішнього пристрою послідовного порту.

- Можливість регулювання струму обмоток (в діапазоні 0 ~ 6 А).

- Драйвер може бути адаптований для управління гібридним кроковим двигуном серії 42, 57 або 60 із замкнутим контуром.

- Оптично ізольовані вхідний і вихідний сигнали.

- Частота імпульсного відгуку до 200 кГц.

- 16 видів поділу кроку.

- Захист від перевантаження по струму, перенапруги, перегріву.

- Функція стеження за помилками.

Технічні характеристики драйвера:

- виробник: Times Brilliant;

- вхідна напруга: 24 ~ 80 В (постійний струм) ;

- вихідний струм: 0 ~ 6 А;

- струм логічного сигналу: 7 ~ 20 мА;

- частота імпульсів: 0 ~ 200 кГц;

- опір ізоляції: ≥ 500 МОм;

- струм енкодера: ≤ 50 мА;

- метод охолодження: радіатор;

- робоча температура навколишнього середовища: $-10 \dots + 50$ ° С;

- вологість навколишнього середовища: 40 ... 90%;

- температура зберігання: $-20 \dots + 80$ ° ;

- стійкість до вібрації: ≤ 5.9 м / с² ;

- вага: 0.275 кг.[29]

Підключення живлення та фаз двигуна до ДКД відбувається відповідно до табл. 2.4.

Таблиця 2.4. Підключення крокового двигуна до ДКД

Назва	Позначення	Колір	Примітка
Роз'єми підключення фаз двигуна	A+	Білий	Фаза А двигуна
	A-	Зелений	
	B+	Синій	Фаза В двигуна
	B-	Чорний	
Роз'єми підключення живлення	V+		DC 24~80V
	V-		

Підключення енкодера двигуна відбувається відповідно до табл. 2.5.

Таблиця 2.5. Роз'єм для підключення енкодера

Роз'єм	Позначення	Колір
1	EB+	Жовтий
2	EB-	Зелений
3	EA+	Чорний
4	EA-	Синій
5	VCC	Червоний
6	EGND	Білий

Під час підключення енкодера до ДКД необхідно бути дуже уважним, так як неправильне підключення може вивести з ладу енкодер або ДКД.

Також ті самі умови необхідно виконувати під час підключення ДКД до плати керування. Підключення відбувається відповідно табл. 2.6.

Таблиця 2.6. Підключення сигналів керування

Роз'єм	Позначення	Назва	Примітка
1	ALM+	Сигнал помилки	Нормально розімкнутий вихід, при замиканні видає сигнал помилки
2	ALM-		

Продовження таблиці 2.6.

3	PUL+	Сигнал кроку	Сигнал керування	Струмообмежуючий резистор
4	PUL-			
5	DIR+	Сигнал напрямку	+5В	-
6	DIR-		+12В	1 кОм
7	ENA+	Сигнал утримання КД	+24В	2 кОм
8	ENA-			

Також драйвер обладнаний двома світлодіодними індикаторами червоного та зеленого кольорів (рис. 2.23.). Зелений індикатор вмикається при подачі живлення на ДКД. Червоний індикатор показує можливі помилки в роботі драйверу. Можливі помилка показані в табл. 2.7.



Рисунок 2.23. Індикатори на драйвері крокового двигуна

Таблиця 2.7. Індикація помилок ДКД

Кількість моргань індикатора	Опис помилки
1	Струм на обмотках двигуна перевищує допустиме значення
2	Напруга перевищує допустиме значення
3	Помилка при завантаженні параметрів на драйвер
4	Неправильно підключені фази двигуна

Також ДКД має перемикачі, які виконують наступні дії:

- SW1: вибір мотора;

- SW2: напрямок обертання (ON=CW, OFF=CCW);
- SW3, SW4, SW5, SW6: налаштування мікро кроку.

Мікро крок - режим керування кроковим двигуном, під яким розуміють режим поділу кроку. Мікро кроковий режим відрізняється від простого режиму, повнокрокового управління двигуном тим, що в кожен момент часу обмотки крокового двигуна живляться неповним струмом, а якимись його рівнями, що змінюються за законом SIN в одній фазі і COS в другій. Такий принцип дозволяє фіксувати вал в проміжних положеннях між цілими кроками. Кількість таких положень задається налаштуваннями драйвера. Таблиця налаштування мікро крокового режиму представлена в додатку Є.

Таким чином використання зв'язки крокового двигуна 57EBP75ALC-TFA і драйвер HBS57AJ працюють як система замкнутого циклу. Ця збірка забезпечує високу швидкість відгуку на команду, відсутність ефекту коливання ротора в точці зупинки, низьку вібрацію, а також високу точність роботи без пропуску кроків.

2.4.2 Контур керування робочим органом верстата

Шпиндель

В якості шпинделя в даному проекті був взятий шпиндель потужністю 500w 12000об/хв представлений на рис. 2.24.



Рисунок 2.24. Шпиндель для верстата з ЧПУ

Даний прилад має наступні характеристики:

- живлення диммера: AC110-220V \pm 10% 50/60 Гц;
- потужність шпинделя: 500w;
- швидкість обертання шпинделя: 3000-12000 об/хв;
- діаметр шпинделя: 52mm;
- довжина шпинделя: 208mm;
- робоча напруга шпинделя: 100V DC;
- момент: 5000G / CM;
- патрон на шпинделі: ER11. [11]

Даний шпиндель має цанговим патроном ER-11, який сприяє мінімальному биттю при обробці матеріалу і в свою чергу збільшує точність вихідного результату. Також вагомим плюсом є автоматична система охолодження та можливість підключення диммера до плати керування, що в свою чергу дозволить керувати швидкістю обертання шпинделя з програми Mach3.

Також для обробки дерев'яних деталей рекомендується придбати відповідні фрези. Для початкових робіт добре підходять «Фрези для ЧПУ, кукурудза, з хвостовиком 3,17 мм». Превагою дах фрез являється те, що вони повністю підходять для даного шпинделя, мають відмінну заточку, спеціальну форму ріжучих частин для якісної обробки деталі, а також в ході експлуатації показали свою надійність та стійкість до нагрівання при довгій неперервній роботі.

Давач струму

В якості давача зворотного зв'язку буде використовуватися давач струму на базі мікросхеми ACS712. Фізичний вигляд давача приведений на рис. 2.25.

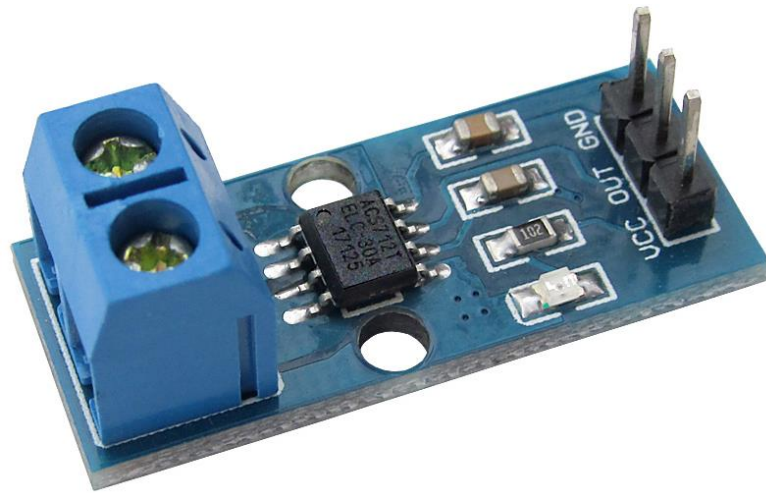


Рисунок 2.25. Фізичний вигляд давача струму ACS712

Датчик ACS712 дозволяє вимірювати силу струму до 30 А і передавати виміри на контролер Arduino. [1]

Модуль давача струму спроектований на базі мікросхеми ACS712Т в корпусі SOIC. Усередині мікросхеми знаходяться датчик Холла і мідний провідник по якому проходить струм, створюючи магнітне поле. На різних сторонах пластини щільність вільних частинок відрізняється, що викликає різницю потенціалів, яку фіксує датчик Холла. Головною особливістю мікросхеми є велика товщина провідника, яка дозволяє проходити струм у багато разів більше, ніж допустиме значення мікросхеми.

Підключається датчик до платформи Arduino за допомогою 3 контактів. Для подачі живлення використовуються контакти VCC і GND, а контакт OUT служить для передачі зафіксованих значень датчика або прийому даних від мікроконтролерного пристрою, і підключається до аналогового порту плати Arduino.[1]

Для підключення вимірюваного джерела живлення використовується затиск J1. Клеми зовнішнього джерела затискаються мідними болтами для точних вимірів показань параметрів струму.

На плату модуля подається напруга 5 В від мікроконтролерного пристрою або від зовнішнього джерела живлення. При наявності живлення вмикається світлодіод, який підключений до шин живлення. При проходженні струму

рівному нулю, в залежності від його напрямку протікання, вихідна напруга буде змінитися в бік нуля або до напруги живлення.

Для роботи з модулем в середовищі розробки Arduino IDE необхідно завантажити бібліотеку ACS712 і самостійно її встановити в папку Libraries.

Технічні характеристики модуля представлені в таблиці 2.8.

Таблиця 2.8. Характеристика модуля ACS712

Мікросхема	ACS712T
Напруга живлення, В	5
Діапазон вимірювання, А	-30 ... +30
Точність, %	1,5
Чутливість, мВ/А	66
Полоса пропускання, кГц	80
Температура роботи, °С	-40 ... +80
Розмір модуля, мм	31,4 x 13 x 14
Вага, г	4

Мікропроцесорний пристрій

В якості мікропроцесорного пристрою для керування робочим органом верстата було обрано контролер Arduino UNO. Фізичний вигляд мікропроцесорного пристрою наведений на рис. 2.26.

Керуючий сигнал з плати керування передається у вигляді сигналу 0-5В на аналоговий вхід мікропроцесорного пристрою. Arduino опрацьовує прийнятий сигнал та видає керуючу дію на блок живлення (диммер) шпинделя. В процесі роботи відповідно до показників давача струму відбувається керування швидкості обертання робочого органу.



Рисунок 2.26. Фізичний вигляд Arduino UNO

Arduino UNO - це пристрій на основі контролера ATmega328. Він має необхідні для роботи параметри, а саме: аналогові входи та аналогові виходи (PWM).

Короткі характеристики пристрою представлені нижче.

- Мікроконтролер - ATmega328.
- Робоча напруга - 5В.
- Напруга живлення (рекомендована) - 7-12В.
- Напруга живлення (максимальна) - 6-20В.
- Цифрові входи/виходи - 14 (з них 6 можуть використовуватися в якості PWM-виходів).
- Аналогові входи – 6.
- Максимальний струм одного виходу - 40 мА.
- Максимальний вихідний струм виводу 3.3V - 50 мА.
- Flash-пам'ять 32 КБ (ATmega328) з яких 0.5 КБ використовуються загрузчиком.
- SRAM - 2 КБ (ATmega328).
- EEPROM - 1 КБ (ATmega328).
- Тактова частота - 16 МГц.[27]

3. ПРОГРАМНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ

За часту для роботи з верстатом з ЧПУ програмне забезпечення складається з трьох основних програм. А саме з CAD, CAM і програмного забезпечення для розпізнання G-коду та переведення його в відповідні сигнали на плату керування.

4.1. Розробка функціональної схеми автоматизації

Після вибору контурів керування верстатом, а також вибору апаратних складових системи потрібно розробити функціональну схему автоматизації системи.

На функціональній схемі автоматизації повинно бути присутні складові перелічені нижче.

1. Три крокових двигуни із давачами зворотного зв'язку, які відповідають за переміщення осей. Для керування коковими двигунами використовується ШІМ сигнал, який комп'ютер передає на драйвери крокових двигунів, після чого посилений сигнал йде на самі двигуни. Даний сигнал несе в собі інформацію про швидкість обертання двигуна, напрямок в якому буде обертатися двигун та кількість кроків, які він повинен зробити. На функціональній схемі автоматизації двигуни осей позначаються наступним чином рис. 2.27.



Рисунок 2.27. Позначення осей переміщення на ФСА: М3 – кроковий двигун, G3 – механічно з'єднаний енкодер.

2. Шпиндель з давачем зворотного зв'язку, який виконує процес обробки деталі. На функціональній схемі позначається наступним чином (рис. 2.28):



Рисунок 2.29. Позначення контуру керування робочим органом на ФСА: М4 – шпиндель з диммером, Е – мікропроцесорний пристрій Arduino UNO.

3. Кінцеві вимикачі всіх осей. Дані вимикачі потрібні для захисту механізмів верстата від пошкоджень. На кожній з осей є два кінцевих вимикачі їхня задача обмежити рух осі верстата при підході до крайнього положення. На функціональній схемі вони позначаються наступним чином рис. 2.30.

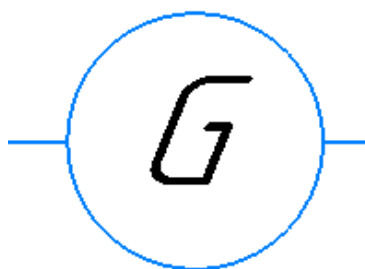


Рисунок 2.30. Позначення кінцевого вимикача на ФСА.

4. Також в разі надзвичайних ситуацій повинна бути кнопка аварійної зупинки натисканні на яку верстат повністю зупиняє свою роботу. На функціональній схемі вона виглядає наступним чином рис. 2.31.



Рисунок 2.31. Позначення кнопки аварійної зупинки на ФСА.

Функціональна схема автоматизації системи автоматизованого керування фрезерно-гравірувальним верстатом «SLOD-1» представлена в додатку А.

4.2 Комутація апаратних складових верстату між собою

Для роботи механіки і всього верстата взагалі необхідно з'єднати між собою все вище обране апаратне забезпечення.

З'єднання всіх компонентів починається з плати керування або інтерфейсної плати.

Для використання інтерфейсної плати потрібно завантажити і встановити на комп'ютер програму для його управління і настройки, наприклад MACH3. Тепер потрібно визначитися з місцем монтажу BL - MACH - V1.1 . Місце має бути захищене від агресивних чинників навколишнього середовища тому BL - MACH - V1.1 не встановлено в корпус. BL - MACH - V1.1 може бути змонтована на будь-якій плоскій поверхні, для цього на платі передбачено чотири отвори. Потім за допомогою кабелю LPT з'єднати інтерфейсну плату з комп'ютером. Роз'єм LPT інтерфейсної плати виконаний в корпусі DB25 типу «тато».

Коли фізичний зв'язок з комп'ютером встановлений, можна підключати живлення. BL - MACH - V1.1 потребує окремого живлення логічної і силової частини. Живлення логічної частини може здійснюватися двома способами.

Перший - від USB порту комп'ютера. Для цього підключити BL - MACH - V1.1 кабелем USB тип А - USB тип А на самій платі є роз'єм USB типу «мама».

Другий - від зовнішнього джерела живлення. Зовнішнє джерело живлення підключається до клем-затискачів PCGND (загальний контакт), PC5V (напруга живлення). Клем PC5V дві, немає різниці, до якої підключати живлення. Зовнішнє джерело живлення повинно підтримувати струм не менше 500 мА.

BL - MACH - V1.1 має світлодіодну індикацію. Світлодіод, позначений на платі PW (5V), горить, коли на логічну частину плати подається напруга живлення 5 В.

Після цього можна підключати живлення до силової частини BL - MACH - V1.1. Живлення має здійснюватися від зовнішнього джерела живлення з напругою 12 - 24 В постійного струму. Підключати джерело живлення потрібно до клем-затискачів, позначених на нижньому боці плати + 12-24V (IN) і GND. Світлодіод, позначений на платі 12-24V, горить, коли на силову частину плати подається напруга живлення 12 - 24 В.

Щоб правильно підібрати джерело живлення для всієї системи потрібно зробити невеликий розрахунок. Джерело живлення в комплекті з BL - MACH -

V1.1 не йде. Для розрахунку необхідних показників джерела живлення можна використовувати формулу: Вихідний струм = Сума струмів всіх споживачів системи + 2А.

Тепер потрібно зайнятися захистом самої плати, комп'ютера і пристроїв, що підключаються. BL - MACH - V1.1 має оптоізоляцією всіх вхідних сигналів. Блок для підключення кнопок аварійної зупинки зображений на малюнку зліва.

Позначення контактів P10 - P13, P15, GND.

P10 - аварійна зупинка всієї системи.

P11 - попередня настройка різачка (карта поверхні).

P12 - кінцевий вимкати осі X.

P13 - кінцевий вимкати осі Y.

P15 - кінцевий вимкати осі Z.

GND - загальний контакт.

Після цього можна підключати до BL - MACH - V1.1 драйвери двигунів. Драйвери двигунів до інтерфейсної плати можна підключити двома способами.

Перший - більш цивілізований спосіб. На корпусі плати BL - MACH - V1.1 є п'ять гнізд - по одному гнізду на кожен вісь. Кожне гніздо має чотири контакти + 5V (живлення логіки), CLK (Pulse), CW (Direction), EN (Enable). Якщо виявилось, що гнізда драйверів двигунів такі ж, як у інтерфейсної плати, і є правильні кабелі з коннекторами під ці гнізда - можете з'єднувати пристрої цим способом.

Другий - підключення драйверів двигунів до клем-затискачів. На текстоліті інтерфейсної плати є таблиця відповідності клеми-сигнали для кожної осі.

Сигнали від інтерфейсної плати потрібно підключати до відповідних входів драйверів двигунів:

Вісь X: P2 – CLK, P3 - CW;

Вісь Y: P4 - CLK, P5 - CW;

Вісь Z: P6 - CLK, P7 - CW;

Вісь A: P8 - CLK, P9 - CW;

Вісь B: P16 - CLK, P17 - CW.

Сигнал Enable буде загальним для всіх драйверів двигунів - цей сигнал потрібно розводити на кожен драйвер окремо. Він виводиться з клеми P14.

Клема P17 може виконувати дві функції: сигнал CW (Direction) для осі В і вихідний сигнал реле управління шпинделем. Функція клеми P17 встановлюється за допомогою джампера, який знаходиться на інтерфейсній платі. Якщо джампер встановлений - клема P17 виконує функцію виходу реле, якщо немає - функцію сигналу CW (Direction) для осі В. Використовується реле SRD-05VDC-SL-C, комутаційна здатність реле 8 А при живленні 24 В. До реле може бути підключено тільки один пристрій. Світлодіод, позначений на платі Relay, горить, коли релейний інтерфейс замкнутий.

Клема P1 вихід широтно-імпульсної модуляції (PWM).

Клеми PCGND, PC5V крім функції зовнішнього живлення логіки можуть використовуватися в схемах з використанням загального анода (PCGND) або загального катода (PC5V) з напругою сигналу до +5 В.

Клеми, позначені на малюнку «Spindle ON / OFF Control interface», виконують функцію перемикача шпинделя.

Клеми, позначені на нижній частині інтерфейсної плати PWM 0-10V (OUT) і GND - виконують функцію регулювання швидкості обертання шпинделя. Це фактично аналоговий ШІМ частотний перетворювач. [19]

Відповідно до обраних апаратних засобів розроблюємо схему підключення всіх елементів між собою яка зображена на рис 4.1, а також принципову електричну схему системи числового програмного управління верстатом, яка приведена в додатку А.

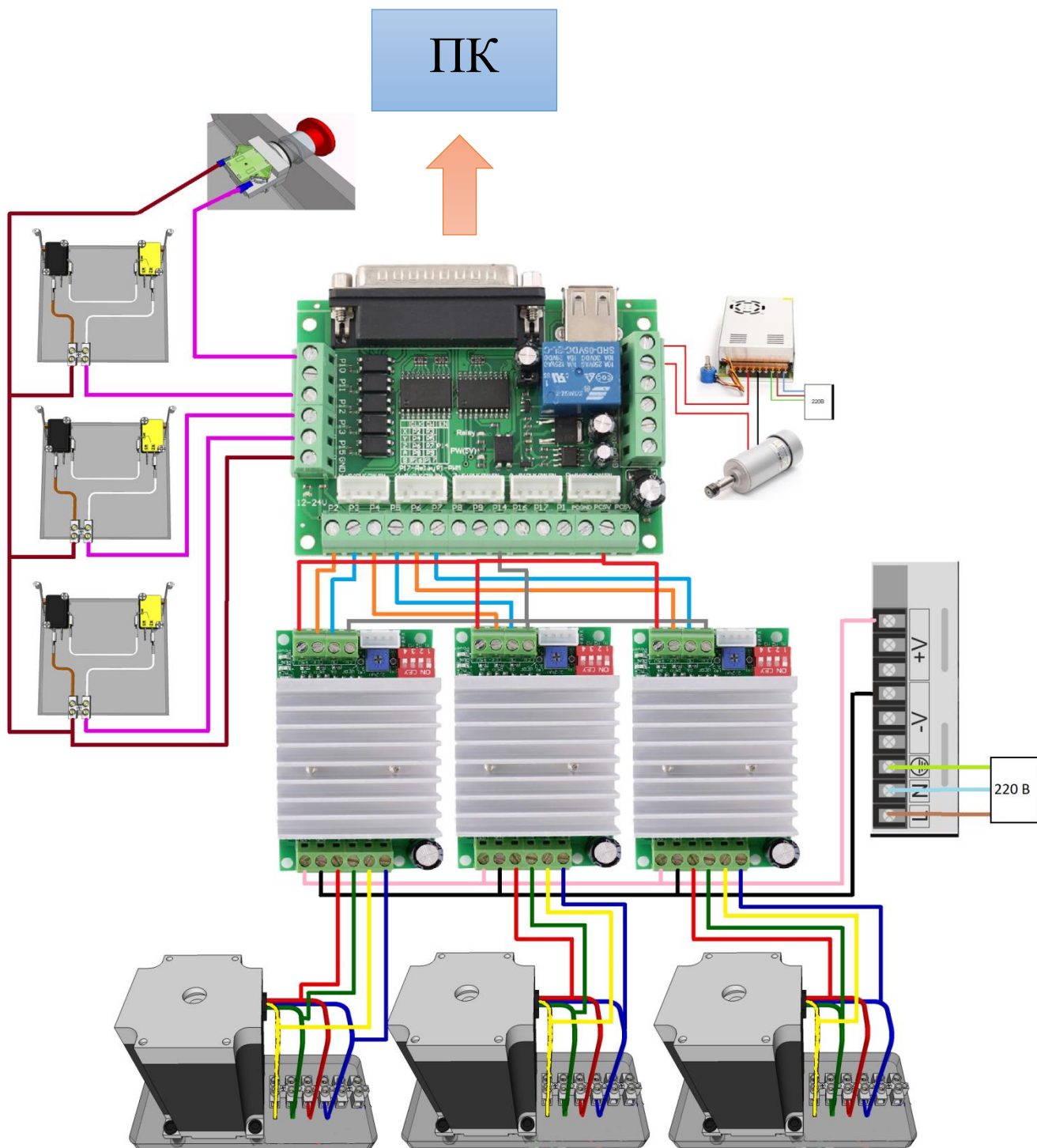


Рисунок 4.1. Схема підключення апаратних складових

4.3 Програмне забезпечення для роботи з верстатом

4.3.1 САМ програма для створення G-коду фрезерування або гравірування

CAM (англ. Computer-aided manufacturing) - технологія автоматизованого виробництва, призначена для підготовки керуючих програм для верстатів з ЧПУ. Дане програмне забезпечення використовує заздалегідь створену тривимірну модель для створення керуючої програми в вигляді G- коду.

Програмним забезпеченням для виконання даних функцій було вибрано Delcam ArtCAM 2009.

Delcam ArtCAM - це програмний пакет для просторового моделювання, який дозволяє автоматично генерувати просторові моделі з плоского малюнка і отримувати по ним вироби на верстатах з ЧПУ.

ArtCAM 2009 в свою чергу пропонує потужний, легкий у використанні набір засобів моделювання, який надає дизайнерові свободу при створенні складних просторових рельєфів.

Додаткові модулі, що входять до складу ArtCAM 2009, дозволяють:

- імпортувати математичні моделі;
- імпортувати і використовувати моделі, отримані на лазерних і традиційних скануючих пристроях;
- використовувати унікальну бібліотеку просторових елементів;
- створювати 3D рельєфи по плоскій геометрії;
- наносити об'ємну текстуру на деталі;
- створювати моделі з напівтонових зображень;
- створювати КП для різних верстатів;
- контролювати масу, обсяг виробу і час роботи верстата до безпосереднього виготовлення.

Все це може бути об'єднано з рельєфами, згенерованими в ArtCAM 2009, щоб отримати більш складний дизайн. Такий набір модулів в ArtCAM 2009 поєднує швидкість і гнучкість без шкоди для творчості.

Закінчені конструкції можуть бути зафарбовані, щоб дати реалістичне уявлення про дизайн. Це дозволяє оцінити і прийняти або відкинути дизайн на екрані без необхідності виготовляти моделі на верстаті. [12]

4.3.2 Програмне забезпечення для керування процесом виготовлення виробу

Найголовніше програмне забезпечення яке використовують це ArtSoft Mach3. Основним завдання даного ПЗ являється зчитати G-код створений заздалегідь та створити відповідні керуючі імпульси для коректної роботи верстата з ЧПУ.

Програмне забезпечення ArtSoft Mach3 призначена для управління ЧПУ верстатом. Програма встановлюється на IBM сумісний персональний комп'ютер з'єднаний з платою керування. Mach3 була розроблена американськими програмістами, як для професійного так і для аматорського використання, тому вона є найбільш поширеним програмним забезпеченням для верстатів з ЧПУ в світі.

Програма має широкий функціонал і відрізняється наглядним інтерфейсом. За допомогою Mach3 можливе управління наступними типами верстатів: токарськими, фрезерними, лазерними і плазмовими і гравірувальними.

4. ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНІ РОЗРАХУНКИ

Економічні розрахунки даного проекту представляють собою кошторис комплектуючих для системи керування верстата «SLOD-1».

Для створення фрезерно-гравірувального верстата з ЧПУ, потрібно використати апаратне забезпечення яке було перераховано вище.

Всі комплектуючі використані під час побудови верстата з ЧПУ наведені в таблиці 4.1.

Таблиця 4.1 – Ціна комплектуючих для створення верстата з ЧПУ

Назва	шт.	Ціна шт.,грн		Ціна заг.,грн
Крокові двигуни та драйвери				
57EBP75ALC-TFA+ HBS57AJ	3	1680,00		5400,00
Плата керування				
BL-MACH- V1.1	1	270,00		270,00
Блок живлення				
36 В 10А 360 Вт	1	603,41		603,41
Шпиндель				
Шпиндель 500W з димером	1	2447,5		2447,5
Тримачі валів				
SHF16 16 мм (круглі на X Y)	8	48,84		390,72
SHF8 8 мм (круглі на Z на верх)	4	32,86		131,44
Підшипники				
SC16UU 16 мм (на вісь Y)	4	125,71		502,84
SC16UU 16 мм (на вісь X)	2	83,00		166,00
SC8UU 8 мм (на вісь Z)	4	68,76		275,04
Підшипник вн. D10 мм	3	22,00		66,00
201	3	20,00		60,00

Продовження таблиці 4.1

Вали				
WCS 16 (Y)	2	285,00		570,00
WCS 16 (X)	1	285,00		285,00
WCS 8 (Z)	0,5	132,00		66,00
Шпильки				
M16	2	56,1		112,2
M8	1	16,00		16,00
Роздріб				
Болт М5х70	4	1,72		6,88
Болт М5х35	24	0,44		10,56
Болт М5х30	16	0,48		7,68
Болт М5х40	12	0,6		7,2
Гайка стопорна М5	60	0,21		12,6
Шайба плоска збільшена М5	80	0,15		12,00
Гровер М5	80	0,07		5,6
Шайба плоска збільшена М4	8	0,1		0,8
Гровер М4	8	0,09		0,72
Гвинт метричний з потайн м5*70	4	4,11		16,44
Гвинт метричний з напівк м4	8	2,055		16,44
Гвинт метричний з потайн м5*80	4	4,11		16,44
Гайка М16	6	2,00		12,00

Продовження таблиці 4.1.

Додаткові витрати				
Фрези кукурудза набір 10 шт	1	275,00		276,00
Фанера 1525*1525*15	1	411,9		411,9,00
Порізка фанери	1	35,46		35,46,00
Гнучкі муфти 8-10	3	85,05		255,15,00
Кінцевий вимикач	10	5,49		54,9,00
Доставка	1	329,00		329,00
			Всього	12850,00

Перед удосконалення собівартість верстата складала 9923,938. Після удосконалення загальна собівартість фрезерно-гравірувального верстата з числовим програмним керуванням складає 12850,00 грн. Затрати на роботу по збиранню в даний кошторис не враховувались.

Як бачимо створення даної верстата з ЧПУ, а також підсистеми загалом є не дуже затратно, тому дану систему можна рекомендувати для малих підприємств, а також для домашніх майстерень.

5. ЗАХОДИ З ОХОРОНИ ПРАЦІ

5.1. Аналіз небезпечних та шкідливих факторів для оператора верстата

В ході експлуатації фрезерно-гравірувального верстата з числовим програмним керування на оператора можуть діяти різні шкідливі або небезпечні фактори. А саме:

- дія механічних факторів - рухомі частина верстата, обертання шпинделя, механічна дія стружки;

- підвищений рівень шуму біля верстата – шум створюють різні рухомі частини верстата, обертання шпинделя, робота крокових двигунів, обробка деталі;

- підвищена запиленість – в результаті обробки деталі рівень пилу піднімається, і в залежності від матеріалу, який підлягає обробці пил може містити різні шкідливі частки;

- підвищений рівень вібрації – в результаті роботи верстата на нього діють різні рухомі механізми, що і спричиняє підвищення рівня вібрації;

- дія електричного струму – для роботи верстата використовуються різні види струмів і напруги. В залежності від виду та сили, електричний струм може бути небезпечним для життя людини.

5.2. Заходи щодо попередження впливу відповідних небезпечних та шкідливих факторів для оператора

Для попередження впливу механічних факторів рекомендується ставити металеві огорожі біля робочих органів верстата, обмежити дії оператора при працюючому верстаті, захищатися від дії стружки шляхом одягання рукавиць та окулярів.

Для зменшення дії шуму на оператора під час роботи рекомендується вдягати спеціальні навушники для ізоляції шуму від органів слуху людини. Рівень звукового тиску і гучність звуку на робочому місці оператора при роботі верстата

під навантаженням не повинні перевищувати значень, наведених у ГОСТ 12.1.003 - 88.

В залежності від матеріалу оброблюваного на верстаті рід пилу і стружки може відрізнятись. Різний вид пилу, несе різні наслідки за собою. Пил небезпечно впливає на оболонки та органи людини. Для захисту рекомендується використовувати різного роду респіратори і спеціальні окуляри. Концентрація шкідливих домішок в повітрі наводяться в ГОСТ 12.1.005-88 «Повітря робочої зони. Загальні санітарно-гігієнічні вимоги» і СНиП 2.04.05-86 «Опалення, вентиляція і кондиціонування».

Для зменшення дії вібрації на оператора рекомендується робити демфрування верстату, тобто встановлення верстату на спеціальні опори, які гасять вібрацію. Також досягти зменшення вібрації дозволяє збільшення жорсткості конструкції верстата. Норми вібрації наведені в ГОСТ 12.1.012-90 «Вібраційна безпека. Загальні вимоги безпеки».

Верстат має ряд електроприладів різних напруг і родів струму. Шпиндель верстату живиться від напруги 220 В. Також використовується блок живлення на 220 В, який перетворює змінну напругу в постійну напругу живлення для крокових двигунів 36 В. Для забезпечення безпеки передбачається добротна ізоляція дротів, розташування контактів в недосяжних для людей місцях, а також заземлення блоків живлення і всіх робочих механізмів верстата. Заземленню або зануленню підпадають номінальна напруга від 220 В змінного струму і від 110 В постійного струму відповідно до ГОСТ 12.1.030 - 81 «ССБТ. Електробезпека. Захисне заземлення, занулення».

ВИСНОВОКИ

В проєкті було запропоновано варіант фрезерно-гравірувального верстата з ЧПУ «SLOD-1» власної розробки для виготовлення або гравірування малогабаритних виробів. Цей верстат може використовуватися для обробки різних матеріалів: дерева, пластмас, акрилу, алюмінію тощо. Дана модель верстата здатна поповнити парк верстатів невеликих підприємств, виробництв або домашніх майстерень.

Проаналізувавши сучасні принципи побудови та роботи систем ЧПУ за обрано об'єкт дослідження обрано систему числового програмного керування верстатом, та предмет дослідження – процеси керування робочими органами верстата.

Проведено роботи для ознайомлення з особливостями верстата та його складових частин, а також проведено аналіз контурів керування верстата.

Під час аналізу контуру керування переміщенням верстата виявлені проблеми з точністю позиціонування по осях, які вирішуються шляхом збільшенні міцності та зменшенню люфтів верстата. Також для збільшення точності позиціонування замінено штатні крокові двигуни та драйвери крокових двигунів на двигуни з енкодерами та відповідні драйвери для них.

При аналізі контуру керування робочим органом верстата виявлені нестабільності роботи шпинделя під час навантажень, які виправлені шляхом проведення дослідження даного контуру. За результатом дослідження синтезований ПД-регулятор для керування робочим органом верстата, який забезпечує час перехідного процесу під час пуску 2,5 с. при цьому пере регулювання складає 6 %. Під час навантаження регулятор якісно опрацьовує зовнішній вплив, а саме, при навантаженні в 10 %, час виходу на задану швидкість обертання складає 0,64 с., при цьому час перехідного процесу складає 1,7 с. і пере регулювання не перевищує 0,6 %.

В ході роботи проведено дослідження та аналіз системи керування, обрано відповідне технічне забезпечення для коректної роботи контурів керування та системи ЧПУ загалом.

Розроблені функціональна схема автоматизації (додаток А) та електрична схема підключення складових верстата між собою (додаток А).

В економічній частині був наведений кошторис витрат на вдосконалення відповідного верстата з усіма його складовими. Загальна вартість верстата становить 12850,00 грн.

В розділі охорона праці проаналізовано основні небезпечні та шкідливі фактори, які можуть мати вплив на оператора верстата з ЧПУ. Запропоновано ряд заходів щодо запобігання впливу цих шкідливих факторів на оператора.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Модуль давача струму ACS712-30A [Електронний ресурс]. – 2018. – Режим доступу до ресурсу: https://3v3.com.ua/product_7625.html.
2. Історія числового програмного управління [Електронний ресурс] – 2015. – Режим доступу до ресурсу: <http://sitelab-15.dss-bi.com.ua/index.php/statti/6-istoriia-chyslovoho-prohramnoho-upravlinnia>.
3. Проектування трудового процесу [Електронний ресурс] – 2018. – Режим доступу до ресурсу: <http://ukrefs.com.ua/page,5,111933-Proektirovanie-trudovogo-processa.html>.
4. Переваги та недоліки верстатів з ЧПУ [Електронний ресурс] – 2016. – Режим доступу до ресурсу: <http://um.co.ua/11/11-8/11-88721.html>.
5. Підтримка положення в сервоприводі: підлегле регулювання vs кроковий режим [Електронний ресурс] – 2016. – Режим доступу до ресурсу: https://habr.com/company/npf_vektor/blog/392837/.
6. Загальні відомості про системи управління і верстатах з ЧПУ [Електронний ресурс] – 2015. – Режим доступу до ресурсу: <https://studfiles.net/preview/2688655/page:2/>.
7. Комутаційна плата (контролер) для ЧПУ (CNC) 5 осей [Електронний ресурс] – 2015. – Режим доступу до ресурсу: <https://radiostore.com.ua/p448916967-plata-upravleniya-chpu.html>.
8. Кроковий електродвигун [Електронний ресурс] – 2016.– Режим доступу до ресурсу: http://www.gpedia.com/uk/gpedia/%D0%9A%D1%80%D0%BE%D0%BA%D0%BE%D0%B2%D0%B8%D0%B9_%D0%B5%D0%BB%D0%B5%D0%BA%D1%82%D1%80%D0%BE%D0%B4%D0%B2%D0%B8%D0%B3%D1%83%D0%BD.
9. Імпульсний стабілізатор напруги [Електронний ресурс] – 2015.– Режим доступу до ресурсу: https://uk.bywiki.com/wiki/%D0%86%D0%BC%D0%BF%D1%83%D0%BB%D1%8C%D1%81%D0%BD%D0%B8%D0%B9_%D1%81%D1%82%D0%B0%D0%B1%D1

%96%D0%BB%D1%96%D0%B7%D0%B0%D1%82%D0%BE%D1%80_%D0%BD%D0%B0%D0%BF%D1%80%D1%83%D0%B3%D0%B8.

10. Кінцевий вимикач [Електронний ресурс] – 2014. – Режим доступу до ресурсу:

<https://www.turkaramamotoru.com/uk/%D0%9A%D1%96%D0%BD%D1%86%D0%B5%D0%B2%D0%B8%D0%B9-%D0%B2%D0%B8%D0%BC%D0%B8%D0%BA%D0%B0%D1%87-170608.html>.

11. Шпиндель-500Вт ER11 БЖ-100В, [Електронний ресурс] – 2017. – Режим доступу до ресурсу: <http://www.xn--d1acjlcenzi.com/cnc/shpindel500-detail>.

12. ArtCAM Pro 9 [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <http://ua.nauchebe.net/2013/07/artcam-pro-9-crack-kerivnictvo-rosijskoju/>.

13. Інтерфейсна плата з опторозв'язкою на 5 осей ЧПУ [Електронний ресурс] – 2016. – Режим доступу до ресурсу: <https://uawest.com/ua/interfeysnaya-plata-s-optorazvyazkoj-na-5-osey-chpu.html>.

14. Базове налаштування MACH3 [Електронний ресурс] - 2013.– Режим доступу до ресурсу: http://wiki.purelogic.ru/index.php?title=%D0%91%D0%B0%D0%B7%D0%BE%D0%B2%D0%B0%D1%8F_%D0%BD%D0%B0%D1%81%D1%82%D1%80%D0%BE%D0%B9%D0%BA%D0%B0_MACH3

15. Mach3 CNC Controller Установка і конфігурування [Електронний ресурс]. 2008. – Режим доступу до ресурсу: <http://stanokplazma.ru/text/mach.pdf>.

16. Підключення наборів для ЧПУ на базі інтерфейсної плати до LPT порту [Електронний ресурс] – 2015. – Режим доступу до ресурсу: http://shagovik.ru/index.php?route=information/articles&articles_id=2.

17. Загальні відомості про верстати з ЧПУ [Електронний ресурс] – 2014. – Режим доступу до ресурсу: http://oplib.ru/dom/view/124340_stor_ua.

18. Числове програмне керування [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://sites.google.com/site/sajtbereznogosergia/kollegam>.

19. Принцип роботи фрезерного верстата з ЧПУ [Електронний ресурс] // 2017 – Режим доступу до ресурсу: <http://studvesna73.ru/07/23/7217/>.

20. Черв'яков, В. Д. 3317 Інструктивні вказівки до виконання курсових і дипломних проектів [Текст] : з напрямку підготовки "Системна інженерія" і спец. "Комп'ютеризовані системи управління та автоматика" для студ. денної та заочної форм навчання / В. Д. Черв'яков, О. Ю. Журавльов, І. В. Щокотова. – Суми : СумДУ, 2013. – 69 с. – 7-32.
21. Локтева С.Е. Станки с программным управлением и промышленные роботы.
22. Шихельман Г. Л Рабочему о качестве металлообработки. — М.: Машиностроение. 1980.— 152 с, ил, 50 к.
23. ГОСТ 12.1.030 - 81 «ССБТ. Електробезпека. Захисне заземлення, занулення».
24. ГОСТ 12.1.012-90 «Вібраційна безпека. Загальні вимоги безпеки ».
25. СНиП 2.04.05-86 «Опалення, вентиляція і кондиціонування ».
26. ГОСТ 12.1.003 – 88 «Система стандартів безпеки роботи».
27. ARDUINO UNO REV3 [Електронний ресурс] – 2018. – Режим доступу до ресурсу: <https://store.arduino.cc/arduino-uno-rev3>.
28. ЩО ТАКЕ ЕНКОДЕР? [Електронний ресурс]. – 2017. – Режим доступу до ресурсу: <https://www.stl-grupp.com/info/what-is-encoder.html>.
29. Кроковий сервопривід зі зворотним зв'язком 57EBP75ALC-TFA + HBS57AJ, 1.5 Nm [Електронний ресурс]. – 2017. – Режим доступу до ресурсу: https://storage.ua.prom.st/1417705_shagovyj_servoprivod_s_ob_stvo_polzovatelya_rus.pdf.
30. Левковський, О.В. Система числового програмного керування фрезерно-гравірувальним верстатом [Текст]: дипломний проект на здобуття кваліфікаційного рівня бакалавр; спец.: 050201 - системна інженерія / О.В. Левковський; кер. А.В. Павлов. - Суми: СумДУ, 2018. - 64 с.

Додаток А
(довідниковий)

Конструкторська документація

СУ.м-81 6.050202 А2 Функціональна схема автоматизації системи автоматизованого керування фрезерно-гравірувальним верстатом "SLOD-1".

СУ.м-81 6.050202 Е2 Електрична принципова схема системи автоматизованого керування фрезерно-гравірувальним верстатом "SLOD-1".

СУ.м-81 6.050202 ПЕ1 Перелік елементів до електричної принципової схема системи автоматизованого керування фрезерно-гравірувальним верстатом "SLOD-1".

Додаток Б
(довідниковий)

Розгінна характеристика шпинделя

Час с	Струм А	Швидкість об/хв
0	0	0
0.024	3.95	412
0.048	3.03	1301
0.072	2.12	2515
0.096	1.68	3611
0.12	1.45	4507
0.144	1.34	5303
0.168	1.23	6007
0.192	1.12	6602
0.216	1.05	7110
0.24	0.96	7601
0.264	0.9	8005
0.288	0.85	8409
0.312	0.8	8803
0.336	0.75	9200
0.36	0.7	9512
0.384	0.65	9825
0.408	0.6	10055
0.432	0.56	10251
0.456	0.52	10404
0.48	0.49	10601
0.504	0.46	10749
0.528	0.43	10847
0.552	0.41	10986
0.576	0.38	11101
0.6	0.35	11198
0.624	0.33	11309
0.648	0.3	11398
0.672	0.29	11497
0.696	0.28	11605
0.72	0.27	11650

Час с	Струм А	Швидкість об/хв
0.744	0.26	11732
0.768	0.255	11791
0.792	0.25	11854
0.816	0.245	11899
0.84	0.238	11921
0.864	0.236	11939
0.888	0.233	11952
0.912	0.23	11961
0.936	0.228	11965
0.96	0.226	11969
0.984	0.225	11974
1.008	0.223	11980
1.032	0.221	11985
1.056	0.22	11988
1.08	0.217	11990
1.104	0.216	11992
1.128	0.21	11994
1.152	0.215	11996
1.176	0.21	11995
1.2	0.2	11994

Додаток В
(довідковий)

Опис портів плати керування

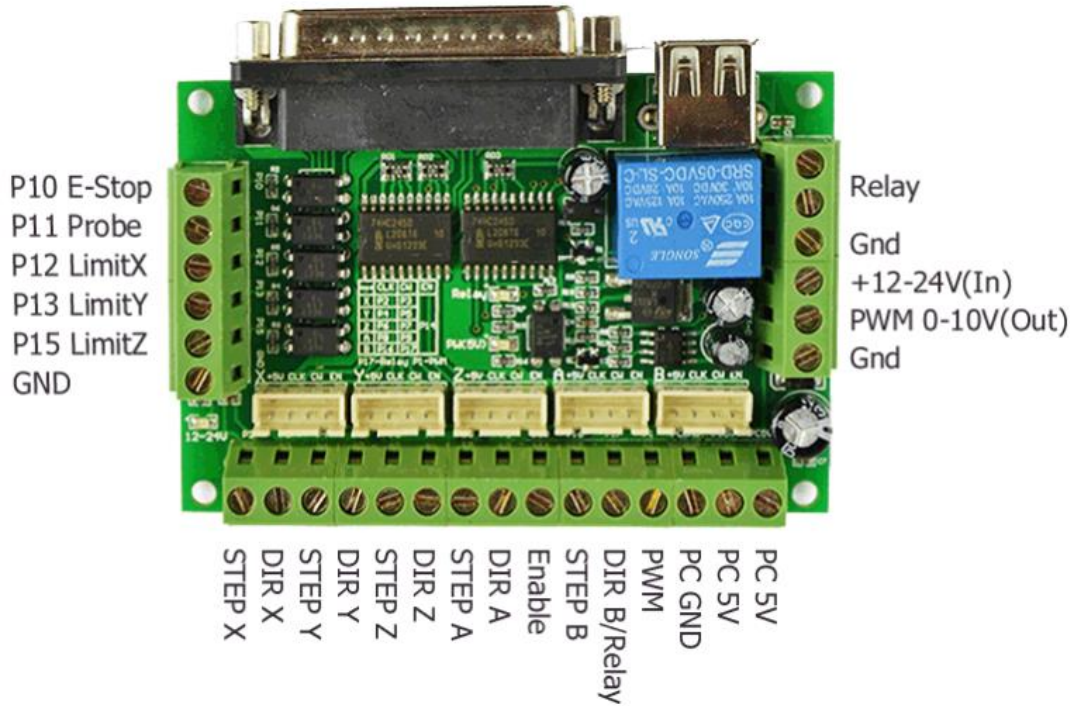


Рисунок В.1 - Роз'єми на платі керування

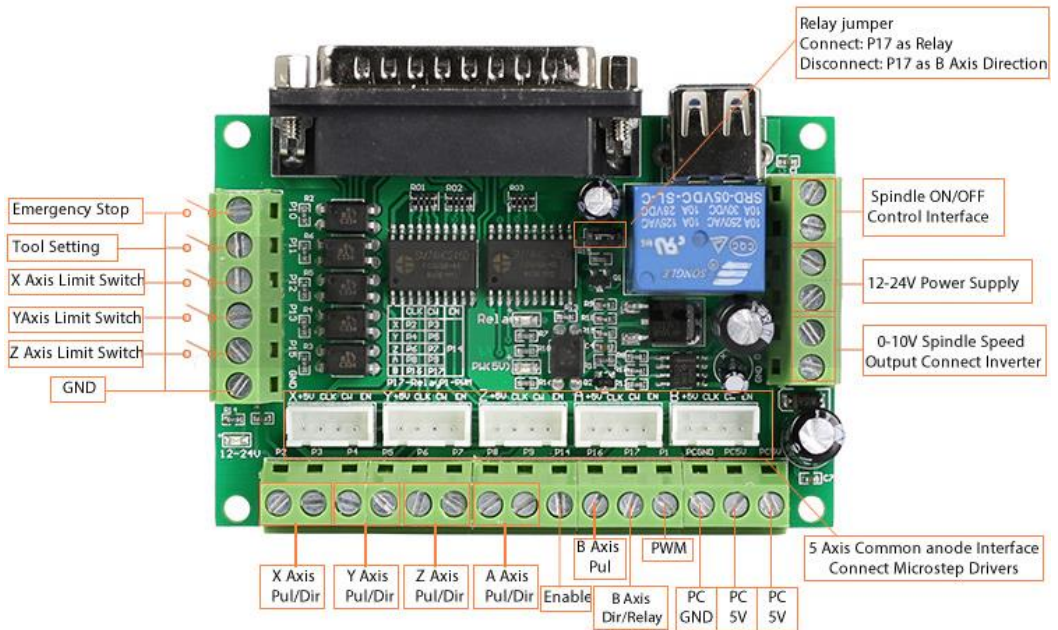


Рисунок В.2 – Опис роз'ємів на платі керування

Додаток Г
(довідковий)

Габаритні розміри крокового двигуна 57EBP75ALC-TFA та драйвера крокового двигуна HBS57AJ

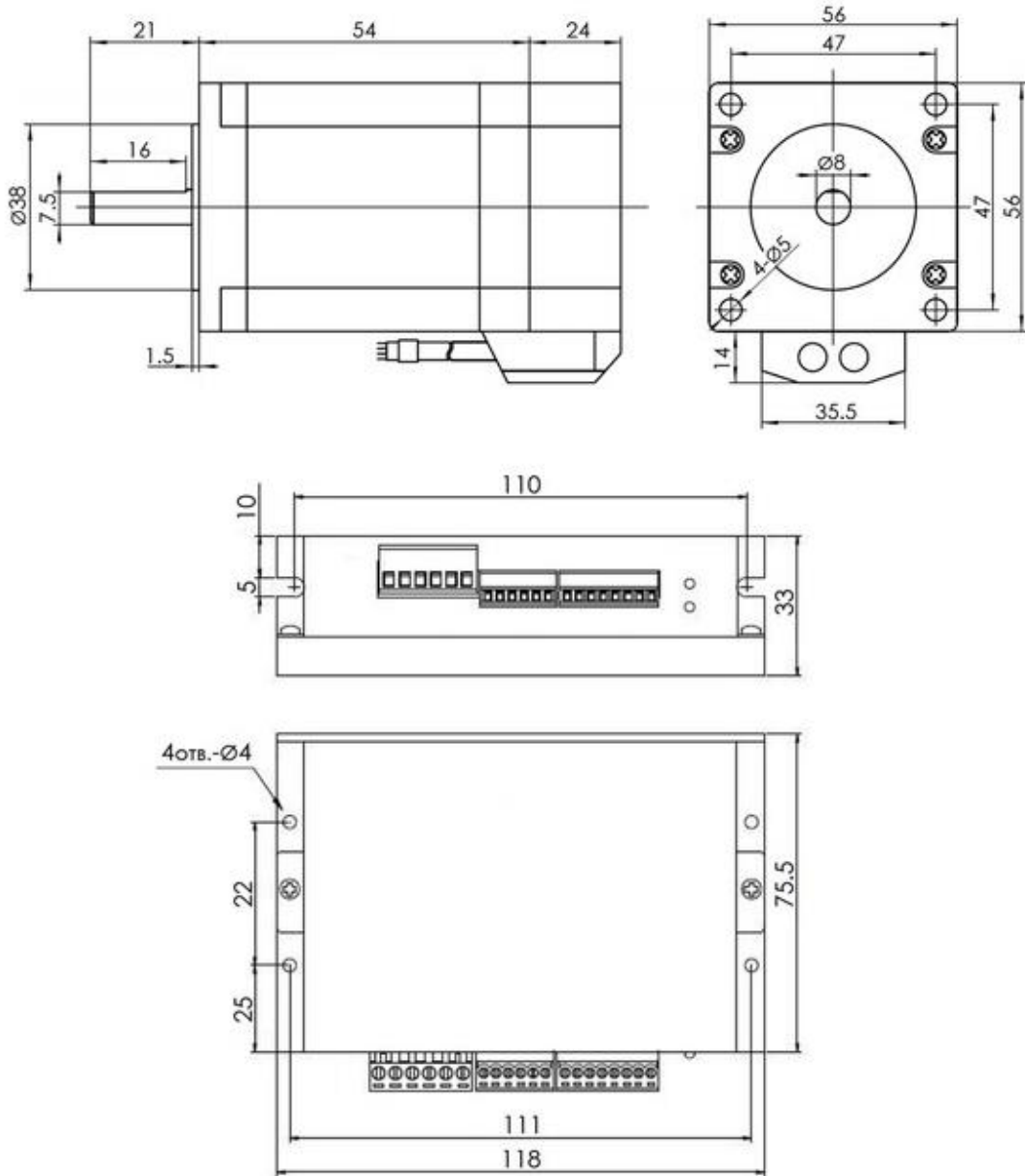


Рисунок Г.1 – Габаритні розміри крокового двигуна та драйверу крокового двигуна

Додаток Д
(довідковий)
Конструктив верстата з ЧПУ

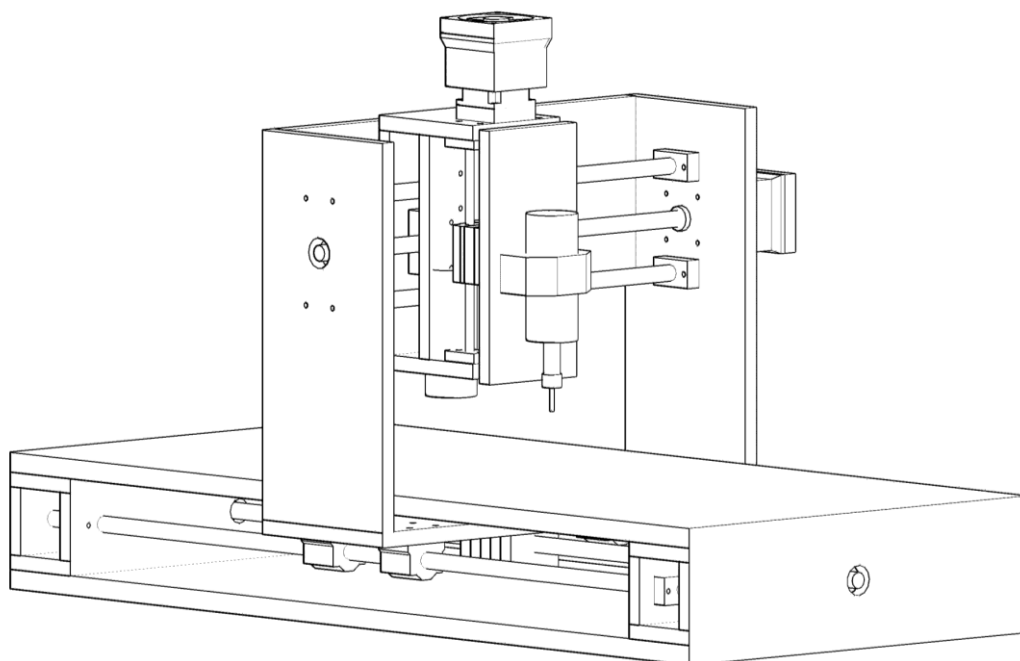


Рисунок Д.1 – Конструктив верстата з ЧПУ вид зліва

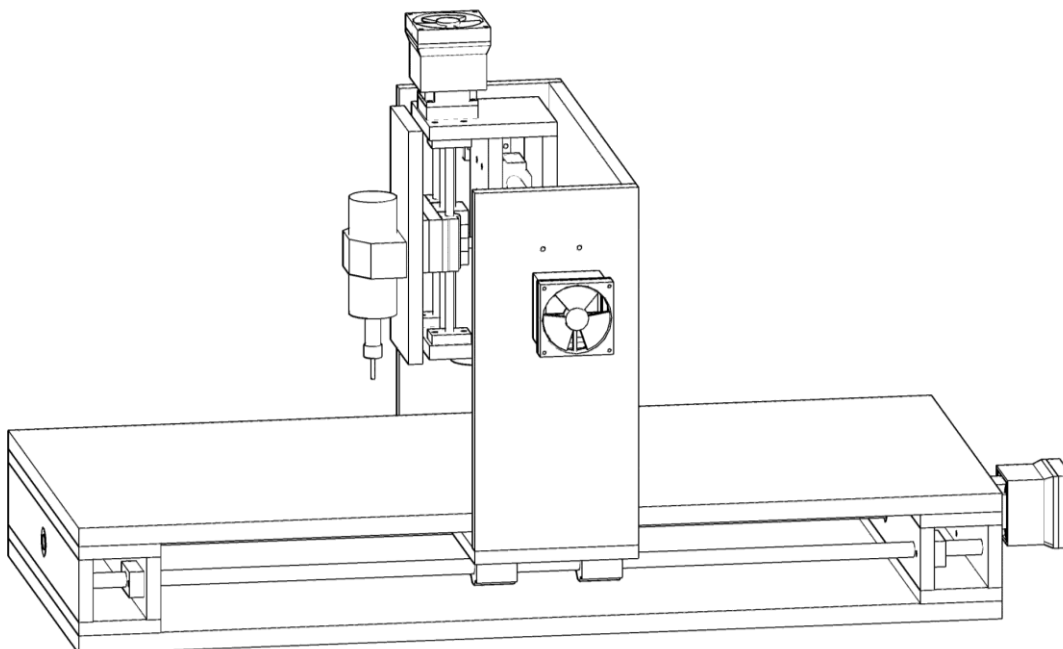
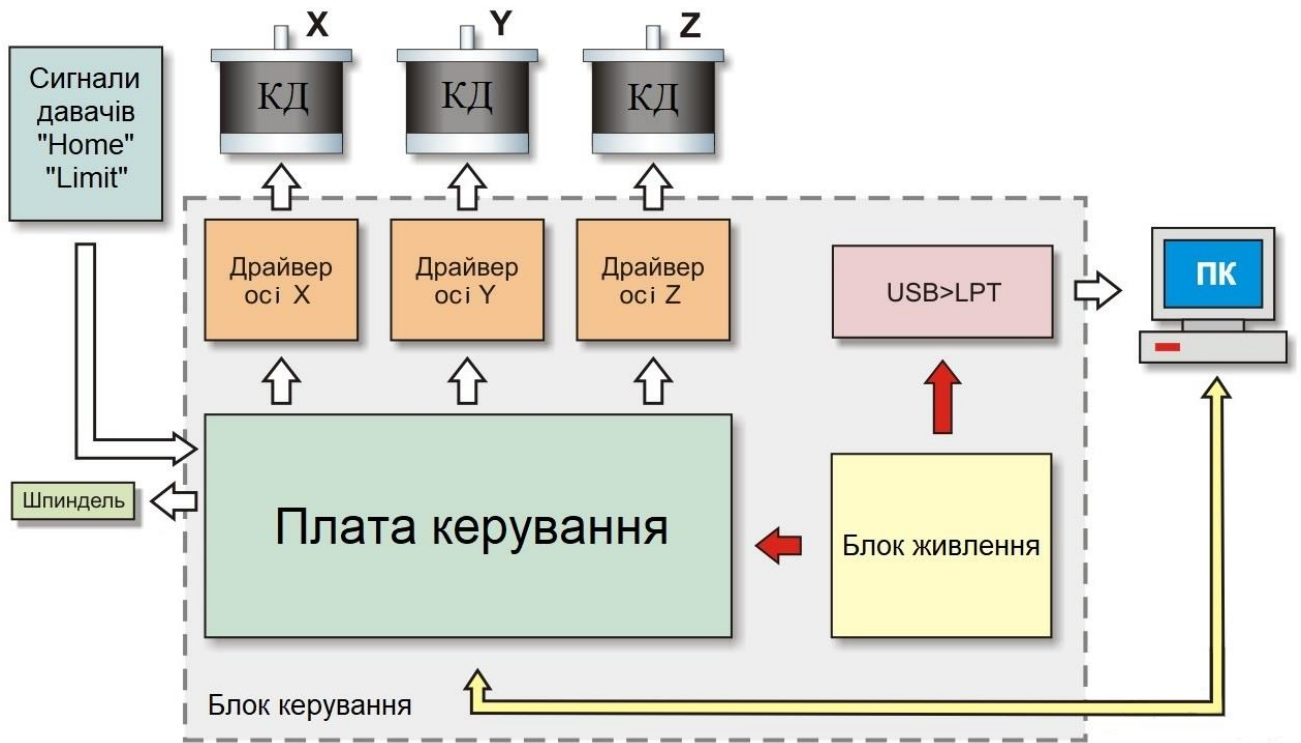


Рисунок Д.1 – Конструктив верстата з ЧПУ вид справа

Додаток Е
(довідковий)

Матеріальні потоки верстата з ЧПУ



Додаток Є
(довідковий)

Налаштування мікро кроку ДКД НBS57AJ

Микрошаг	SW3	SW4	SW5	SW6
По умолчанию (400)	ON	ON	ON	ON
800	OFF	ON	ON	ON
1600	ON	OFF	ON	ON
3200	OFF	OFF	ON	ON
6400	ON	ON	OFF	ON
12800	OFF	ON	OFF	ON
25600	ON	OFF	OFF	ON
51200	OFF	OFF	OFF	ON
1000	ON	ON	ON	OFF
2000	OFF	ON	ON	OFF
4000	ON	OFF	ON	OFF
5000	OFF	OFF	ON	OFF
8000	ON	ON	OFF	OFF
10000	OFF	ON	OFF	OFF
20000	ON	OFF	OFF	OFF
40000	OFF	OFF	OFF	OFF

Додаток Ж
(довідковий)

Схема підключення ДКД HBS57AJ

