



ВІДОМІСТЬ ДИПЛОМНОГО ПРОЕКТУ

№ з/п	Формат	Позначення	Найменування	Кількість листів	Примітка
1	A4		Завдання на дипломний проект	2	
2	A4	141.7118.030.БР	Пояснювальна записка	66	
3	A1	141.7118.030.БР	Креслення загального виду	1	
4	A1	141.7118.030.БР	Схема електрична принципова	1	
5	A1	141.7118.030.БР	Результати досліджень	1	

				141.7118.030.БР		
	ПІБ	Підп.	Дата	Відомість дипломного проекту	Лист	Листів
Розробн.	Юрченко О.О.				2	71
Керівн.	Приймак Б.І.					
Консульт.					НТУУ КПІ ім. Ігоря Сікорського Каф. АЕМС-ЕП Гр. ЕП-71	
Н/контр.						
Зав.каф.	Пересада С.М.					

**Пояснювальна записка
до дипломного проекту**

на тему: Електромеханічна система подачі столу фрезерного верстату

Київ – 2021 р.

**Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»**

Факультет електроенерготехніки та автоматики
(повна назва)

Кафедра автоматизації електромеханічних систем та електроприводу
(повна назва)

Рівень вищої освіти – перший (бакалаврський)

Спеціальність – 141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка
(код і назва)


Освітньо-професійна програма – Електромеханічні системи автоматизації, електропривод та електромобільність

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри
_____ Сергій ПЕРЕСАДА
(підпис)

«__»__20__р.

ЗАВДАННЯ
на дипломний проект студенту
Юрченко Олександр Олександрович
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема проекту: «Електромеханічна система подачі столу фрезерного верстату»

керівник проекту: Приймак Богдан Іванович, к.т.н., доц. 
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом по університету від «_»_ 20__р. №__

2. Термін подання студентом проекту

3. Вихідні дані до проекту :межа подач столу: 0,25-2400 мм / хв
швидкість швидкого переміщення столу по осі X: $V_{X \max \delta.x.} = 5000 \text{ мм / хв}$ сила
різання: $F_p = 9000 \text{ Н}$ максимальна маса оброблюваної деталі і пристосувань
встановлюються на столі верстата $m_2 = 300 \text{ кг}$ маса виконавчого механізму
 $m_1 = 220 \text{ кг}$ сила попереднього натягу $F_H = 100 \text{ Н}$ крок гвинта. $S_g = 8 \text{ мм}$.

4. Зміст пояснювальної записки: Вступ; 1. Аналітичний огляд; 2. Вибір електро двигуна та батареї; 3. Розрахунок силового перетворювача та синтез регуляторів; 4. Дослідження динамічних процесів електромеханічної системи керування подачі столу фрезерного верстату; 5. Загальний висновок; 6. Список використаних джерел.

5. Перелік графічного матеріалу (із зазначенням обов'язкових креслеників, плакатів, презентацій тощо): Електрична схема принципова; Схема загального виду станка та функціональна схема; Результати моделювання.
6. Дата видачі завдання: 30 березня 2021 року

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН – ГРАФІК

виконання дипломного проекту

студентом Юрченком Олександром Олександровичем

на тему

«Електромеханічна система подачі столу фрезерного верстату»

№	Назва етапів роботи та питань, які мають бути розроблені відповідно до завдання	Обсяг, с.	Термін виконання	Позначки
1	Аналітичний огляд проблеми та формування технічних вимог до електроприводу (ЕП) подачі столу фрезерного верстату	15	10.04.21	
2.	Розрахунок потужності електродвигуна та вибір силового обладнання	15	20.04.21	
3	Побудова функціональної схеми САК ЕП подачі столу фрезерного верстату	5	25.04.21	
4	Математичний опис об'єкта керування, побудова структурної схеми та синтез регуляторів САК ЕП подачі столу фрезерного верстату	20	10.05.21	
5	Складання математичної моделі в MatLab/Simulink, дослідження усталених і перехідних процесів в САК ЕП подачі столу фрезерного верстату	15	20.05.21	
6	Оформлення пояснювальної записки. Підготовка презентації дипломного проекту	60-90	07.06.21	

Студент



(підпис)

Олександр ЮРЧЕНКО

(ініціали, прізвище)

Керівник проекту



(підпис)

Богдан ПРИЙМАК

(ініціали, прізвище)

РЕФЕРАТ


Дипломний проект містить: сторінок –71, рисунків –27, таблиць – 1

В даному дипломному проекті було спроектовано систему подачі столу фрезерного верстату . Був проведений аналітичний огляд. Зроблено вибір двигуна. Розроблена функціональна схема системи та здійснений синтез регуляторів. Наведено варіант енергоефективної системи подачі столу фрезерного верстату , результати моделювання підтвердили працездатність та ефективність спроектованої системи.

Розрахунок і реалізація даного дипломного проекту забезпечувались за допомогою використання наступних програм: Microsoft Office Word 2011, Microsoft Office Visio 2011, Matlab R2009b,

Графічна частина включає в себе: схематичне зображення установки, схему електричну принципову, графіки перехідних процесів системи при дослідженнях в різних режимах роботи.

ПЕРЕХІДНИЙ ПРОЦЕС, ДОБРОТНІСТЬ, ПЕРЕРЕГУЛЮВАННЯ,
СИСТЕМА АВТОМАТИЧНОГО КЕРУВАННЯ.

					141.7118.030.БР		
		№ докум.	Підпис	Дата			
Розроб.	Юрченко О.О.				Електромеханічна система подачі столу фрезерного верстату	Літ.	Арк.
Перевір.	Приймак Б.І.					6	71
Н. Контр.						НТУУ «КПІ імені Ігоря Сікорського»	
Затверд.						Кафедра АЕМС-ЕП	
					Реферат		

SUMMERY


The diploma project contains: pages –71, drawings –27, tables –1

In this diploma project the table feeding system of the milling machine was designed. An analytical review was conducted. The choice of the engine is made. The functional scheme of the system is developed and the synthesis of regulators is carried out. A variant of the energy-efficient table feed system of the milling machine is given, the simulation results confirmed the efficiency and effectiveness of the designed system.

The calculation and implementation of this thesis project was provided through the use of the following programs: Microsoft Office Word 2011, Microsoft Office Visio 2011, Matlab R2009b,

The graphic part includes: a schematic representation of the installation, the electrical circuit diagram, graphs of the transients of the system during research in different modes of operation.

TRANSITION PROCESS, QUALITY, ADJUSTMENT, AUTOMATIC CONTROL SYSTEM.

					141.7118.030.БР			
		№ of doc.	Sign	Date	Electromechanical feed system of the milling machine table Summary		Page	Pages
Devel.		Yurchenko A.						
Checked		Priymak B.					7	71
						NTUU "Igor Sikorsky Kyiv Politechnic Institute", FEA		
N. Contr								
Approved								

ЗМІСТ

ВСТУП.....	10
РОЗДІЛ 1 АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД.....	12
1.1.Моделі фрезерного верстата з ЧПУ під конкретні завдання.....	12
1.2.Конструкція, блок схема, специфіка верстата. Конструкція верстату приводу і опис технологічної обробки.....	19
1.3.Аналітичний огляд, пов'язаний з сучасними приводами.....	23
1.4.Техніко-економічне обґрунтування вибору електроприводу подачі і вимоги, що пред'являються до нього.....	28
Висновки до розділу 1.....	29
РОЗДІЛ 2 ВИБІР ЕЛЕКТРОДВИГУНА.....	30
2.1.Розрахунок потужності і вибір двигуна.....	30
2.2.Вибір транзисторного перетворювача.....	36
2.3.Вибір основних датчиків в контурі електроприводу.....	37
Висновки до розділу 2.....	41
РОЗДІЛ 3 ПОБУДОВА ФУНКЦІОНАЛЬНОЇ СХЕМИ САК ЕП ПОДАЧІ СТОЛУ ФРЕЗЕРНОГО ВЕРСТАТУ.....	42
Висновок до розділу 3.....	43
РОЗДІЛ 4 ОТРИМАННЯ МАТЕМАТИЧНОЇ МОДЕЛІ ПРИВОДУ ПОДАЧІ ВЕРСТАТА ТА СИНТЕЗ РЕГУЛЯТОРІВ САК ЕП ПОДАЧІ СТОЛУ ФРЕЗЕРНОГО ВЕРСТАТУ.....	44
4.1.Розрахунок контуру струму з ПІ регулятором.....	44
4.2.Розрахунок контуру швидкості і отримання передавальної функції з урахуванням датчика зворотного зв'язку.....	51
4.3.Аналіз можливо використання аналогового регулятора і отримання його передавальної функції методом послідовної корекції...	54
Висновки до розділу 4.....	56

РОЗДІЛ 5 ДОСЛІДЖЕННЯ ДИНАМІЧНИХ ПРОЦЕСІВ ЕЛЕКТРОМЕХАНІЧНОЇ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ ПОДАЧЕЮ СТОЛУ.....	58
5.1.Опис моделі САК ЕП.....	58
5.2.Дослідження САК ЕП шляхом моделювання.....	60
Висновки до розділу 5.....	63
ВИСНОВОК.....	66
СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ.....	67

ВСТУП

Електричний привід є одним з основних засобів комплексної автоматизації та механізації виробництва без яких неможливо уявити технічний прогрес і реалізація сучасних технологій. З іншого боку, технологічний прогрес в області електротехніки та силової електроніки призводить до суттєвих змін в теорії і практиці електричного приводу. Ці зміни стосуються насамперед створення нової елементної бази та технологічних засобів автоматизації, істотного розширення областей та обсягів застосування регульованого електроприводу, який найбільш часто став реалізовуватися у вигляді тиристорних і транзисторних систем як постійного, так і змінного струму.

Істотні зміни відбуваються і в розвитку систем автоматичного управління електроприводами. Поряд з завоював широке застосування принципом підлеглого регулювання координат все частіше застосовуються системи адаптивного електроприводу, системи з векторними принципами управління машинами змінного струму, розривними управляючими впливами, і т. П.

Широке застосування знаходять вузли знаходяться, реалізовані на базі ЕОМ.

Сучасний автоматизований електропривод являє собою складну, динамічну, в загальному випадку багатозв'язну і нелінійну систему, яка в умовах дії різних збурювальних факторів має забезпечувати необхідні статичні і динамічні характеристики.

Характер технологічного процесу робить основний вплив на режим роботи електроприводу і визначає вимоги, що пред'являються до нього щодо потужності, перевантажувальної здатності, динамічних якостей, необхідної точності регулювання координат і т. П. Велику частину технологічного обладнання з пристрою ЧПУ в даний час складають металорізальні верстати. Верстатний парк металообробного обладнання дуже великий. У ньому можна бачити обладнання з ЧПУ, більшу частину якого складають металорізальні, шліфувальні верстати і пресове обладнання. Як об'єкт управління металообробні обладнання можна

охарактеризувати декількома параметрами, загальними для всіх верстатів, наприклад, числом координат (осей). Поняття «координатна вісь» пов'язане з геометричним представленням переміщення в просторі робочих органів верстата в деякій системі координат. Управління осями верстата може проводитися за різними законами. В одному випадку момент бути обговорені кінцеве положення робочого органу з відповідним осях, в іншому, крім кінцевого положення, пристрій ЧПУ може задавати середнє значення швидкості переміщення по осях, в третьому - закон зміни значення кожної координати в часі. У перших двох випадках мова йде про позиційних системах, траєкторія руху робочого органу в просторі суворо не визначена, за характером його установки в потрібне положення (позицію). У третьому випадку траєкторія руху в просторі строго визначена (контурне управління).

Переміщення робочого органу по осях називають подачами, а здійснюються вони приводами подач. Діапазон вимірювання швидкостей подач дуже великий і визначається технологічними режимами обробки.

Метою дипломного проекту є розробка та дослідження електромеханічної системи подачі столу фрезерного верстату.

РОЗДІЛ 1 АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД

1.1 Моделі фрезерного верстата з ЧПУ під конкретні завдання

Фрезерні обробні центри з ЧПУ використовуються на багатьох підприємствах для виробництва масових і високоточних деталей. Якісне промислове фрезерне обладнання служить вірою і правдою в районі 10 років. Ціна такого обладнання відповідна. Тому підхід до вибору типу, моделі та комплектації особливо відповідальний.

Сучасні високопродуктивні фрезерні обробні центри виготовляють різні деталі від прес-форм і штампів високої якості до шестерень, крильчаток і інших відповідальних деталей.

Фрезерні верстати дозволяють розрізати, просвердлити, розрахувати відстань між отворами в різних деталях.

Використовуються заготовки:

- дерев'яні,
- металеві,
- керамічні,
- пластикові,
- кам'яні.

Вони прикріплюються до столу фрезерного верстата, а верстат, за допомогою фрези, здійснює обертальні рухи, таким чином, розрізаючи деталі.

Залежно від пристрою фрезерні верстати поділяють на:

1. Консольні:

- широкоуніверсальні,
- горизонтальні,
- вертикальні.

2. беськонсольніє фрезерні верстати:

- вертикальні,

- горизонтальні.

Консольні фрезерні верстати - найпопулярніші. Наявність консолі відрізняє їх від без консольних фрезерних верстатів. Це деталь, на яку кріпиться заготовка. Шпиндель консольного верстата не робить ніяких рухів. Консоль рухається по напрямних сатини і таким чином виконує свої функції.

Конструкція без консольних фрезерно-токарних верстатів з ЧПУ відрізняється тим, що стіл, на якому закріплена деталь, переміщається тільки в двох напрямках: поздовжньому і поперечному. При цьому шпиндель має більший спектр рухів, в тому числі і вертикальних.

Числове програмне управління - це процес виконання операцій, записаних на певний носій. У фрезерних верстатах існує чотири типи таких програм:

- Позиційна - коли в процесі виконання роботи, задаються тільки координати кінцевих точок. Застосовується в свердлильних або розточувальних верстатах.
- Контурна - управляє по заданій траєкторії. Цю програму використовують круглошліфувальні верстати.
- Комбінована - поєднує в собі позиційну і контурну програми. Багатоцільові токарські фрезерні верстати використовують цю програму.
- Багатоконтурні системи є найскладнішими, вони забезпечують управління всіма функціями верстата. Широкоформатні фрезерні верстати застосовують цю програму.

Згідно з матеріалом для заготовок фрезерні верстати з ЧПУ діляться на:

- ЧПУ фрезерний верстат по металу,
- ЧПУ фрезерний верстат по дереву,
- ЧПУ фрезерно-гравірувальний верстат.



Рисунок 1.1 – Фрезерний верстат з ЧПУ

Для фрезерування деталей, зроблених з різних видів металу, використовують верстат фрезерний по металу ЧПУ. Залежно від функцій ці верстати поділяються на:

- ЧПУ настільно-фрезерний верстат,
- ЧПУ фрезерно-обробний центр,
- Широкоуніверсальний фрезерний верстат,
- токарно-фрезерний верстат з ЧПУ,
- свердлильно-фрезерний верстат з ЧПУ.

Числове програмне керування дозволяє розрахувати точну відстань, при виготовленні різних деталей, як на виробництві, так і для приватного або індивідуального споживача.

Для фрезерування матеріалів з дерева використовують деревообробні фрезерні верстати з ЧПУ. На меблевому виробництві, в будівельних компаніях вони є незамінними помічниками. Слід зазначити, що сучасні моделі таких верстатів здатні обробляти не тільки дерево, але і різні види акрилу, пластика, фанер, алюмінію, ДСП і інших матеріалів.

Фрезерно-гравірувальний верстат з ЧПУ використовують для гравіювання, фрезерування кам'яних і бетонних виробів, таких як: колони, статуетки,

дизайнерські моделі, виконані з різного роду каміння. Також вони застосовуються у виробництві зовнішньої реклами.

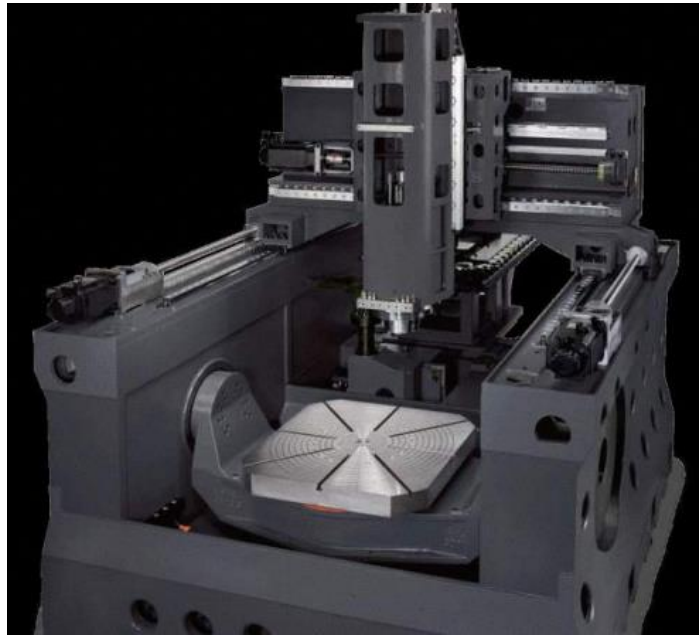


Рисунок 1.2 – Фрезерно-гравірувальний верстат

Фрезерні верстати з ЧПУ, щодо обсягу та принципу роботи поділяють на:

- Міні фрезерні верстати з ЧПУ,
- Настільні фрезерні верстати з ЧПУ,
- Вертикально-фрезерні верстати з ЧПУ,
- Широкоформатні фрезерні верстати.

Міні фрезерні верстати з ЧПУ, в більшості випадків, використовують в якості хобі. Так як вони мають низьку вартість, в порівнянні з іншими фрезерними верстатами, невелика кількість програм і обмежену функціональність. Також, такі верстати підходять для навчання, тому встановлюються в школах, училищах та інших освітніх закладах.

Настільний фрезерний верстат з ЧПУ має ряд переваг:

- Низька вартість,
- мобільність,
- Простота конструкції і експлуатації.

Ці верстати підходять для малогабаритного виробництва або індивідуального споживача. Вони здатні виконувати всі види фрезерних робіт, а також свердління, розточування, обробку деталей з різних матеріалів.

Вертикально-фрезерні верстати з ЧПУ, відрізняються від настільних своєю конструкцією. Фрези і свердла на цих верстатах бувають циліндричними, фасонними, торцевими і кінцевими. Ці верстати здатні обробити деталі великих розмірів, в порівнянні з настільними. Вони призначені для фрезерування як горизонтальних, так і вертикальних поверхонь. Використовуються такі верстати на великих виробництвах.

Широкоформатні фрезерні верстати мають додаткову голівку, яка здатна повертатися в будь-яких напрямках. Універсальність цих верстатів дозволяє використовувати їх в різних цехах експериментального та інструментального напрямки.

Якість роботи фрезерного верстата залежить від функцій, які він виконує. Для правильного вибору фрезерного верстата з ЧПУ потрібно ознайомитися з характеристикою основних моделей. Виготовленням фрезерних верстатів з ЧПУ займаються такі країни:

- Австрія,
- Німеччина,
- Італія,
- Китай,
- Північна Корея,
- США,
- Малайзія,
- Тайвань,
- Чехія,
- Туреччина та інші



Рисунок 1.3 – П'ятикоординатний фрезерний верстат

Фірми виробники фрезерних верстатів з ЧПУ:

- GCC Jaguar
- JCC,
- RuStan,
- Redwood
- Hyundai Wia,
- Kami,
- Zenitech і інші

GCC Jaguar - верстати цієї торгової марки відрізняються зручністю використання. Вони одні з найшвидших, мають масу налаштувань та додаткових функцій.

JCC - ця компанія займається виробництвом різних видів фрезерних верстатів з ЧПУ. це:

- універсальні фрезерні верстати з ЧПУ,
- металообробні і деревообробні фрезерні верстати з ЧПУ,
- електроерозійні прошивні верстати з ЧПУ,
- фрезерно-токарні верстати з ЧПУ.

Унікальна система програмування дозволяє використовувати весь потенціал, закладений в фрезерних верстатах цієї торгової марки.

RuStan - компанія, що займається виробництвом фрезерних верстатів з ЧПУ. Широко універсальні верстати цієї компанії, дозволяють виконувати всі види фрезерних робіт. Також, при покупці цього устаткування діють гнучкі знижки і система гарантійного і післягарантійного обслуговування.-

Фрезерні верстати торгової марки Redwood дозволяють виконувати різні завдання, вони обладнані 2-d і 3-d форматом. За заздалегідь розробленою програмою, з заготовок, ці верстати роблять необхідні деталі. Висока швидкість роботи гарантує якісні вироби.



Рисунок 1.4 – Вертикальний фрезерний верстат

Високоякісне фрезерування поверхні є головним завданням для розробників фрезерних верстатів торгової марки Камі. Вони пропонують різні інноваційні моделі, які здатні обробляти не тільки дерево, камінь і метал, але навіть скло.

Hyundai Wia надає моделі фрезерних верстатів для виготовлення автомобільних, аерокосмічних, промислових деталей. Фрезерні верстати з ЧПУ Hyundai Wia мінімізують втручання людини в процес роботи. Доступні програми роблять ці верстати незамінними на виробництві.

Zenitech - професійний виробник фрезерного обладнання. Основну частину їх продукції займають металообробні і деревообробні фрезерні верстати.

Моделі фрезерних верстатів з ЧПУ торгової марки Інвест Адам відрізняються своєю компактністю і універсальністю. Основні їх переваги такі:

- Точність обробки,
- Висока продуктивність,
- Багаторазове повторення програм,
- Надійна конструкція,

Через USB-порт забезпечується зв'язок зі звичайним комп'ютером.

Німеччина представляє широкомасштабні фрезерні верстати BZT. Вони розроблені як для індивідуального споживача, так і для широкоформатних виробництв. Ці верстати мають гарну стійкість, міцність в закріпленні конструкцій і високою якістю виробів, що виготовляються. Ці верстати підходять для всіх існуючих програмних забезпечень.

1.2 Конструкція, блок схема, специфіка верстата. Опис технологічного процесу

Узагальнена компоновка металорізального верстату показана на рис. 1.5.

Верстати складаються із типових елементів, перелік яких представлений на рис. 1.5. При модульному виконанні верстатів з цих елементів можуть складатися верстати різного цільового призначення, тобто вони є взаємозамінними.

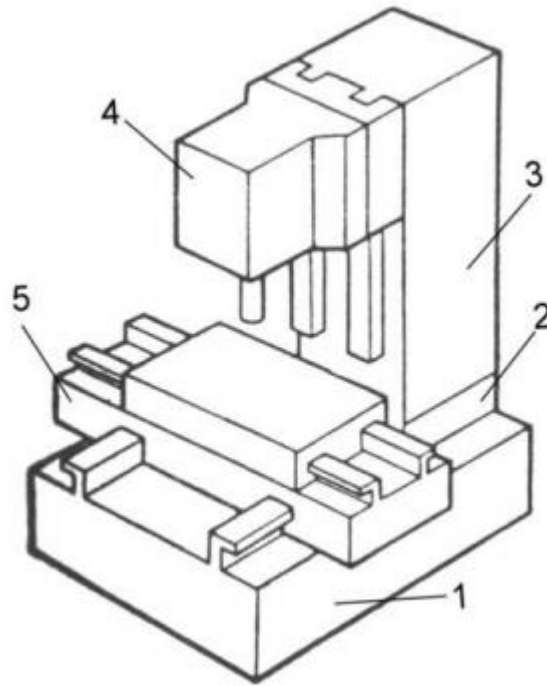


Рисунок 1.5 – Металорізальний верстат

Верстат металорізальний консольний вертикальний з автоматичною зміною інструменту призначений для багатоопераційної обробки деталей складної конфігурації зі сталі, чавуну, кольорових металів. Верстат складається з наступних основних частин:

- 1 - станина;
- 2 - проставочні плити;
- 3 - стійка верстату;
- 4 - корпуси силових голівок;
- 5-корпуси супортів;

Двигун головного руху (обертання шпинделя) розташований у верхній частини станини.

Подача в верстаті здійснюється за трьома координатами: вісь X (поздовжнє переміщення столу), вісь Y (поперечне переміщення столу), вісь Z (переміщення повзуна зі шпинделем).

Всі приводи подач працюють від індивідуальних двигунів, що дозволяє здійснювати подачу по всім трьом координатам одночасно.

Кінематична схема подачі по осі X показана на рис. 2.

Стіл отримує рух по осі X від електродвигуна через передачу «гвинт - гайка» з кроком гвинта 8мм.

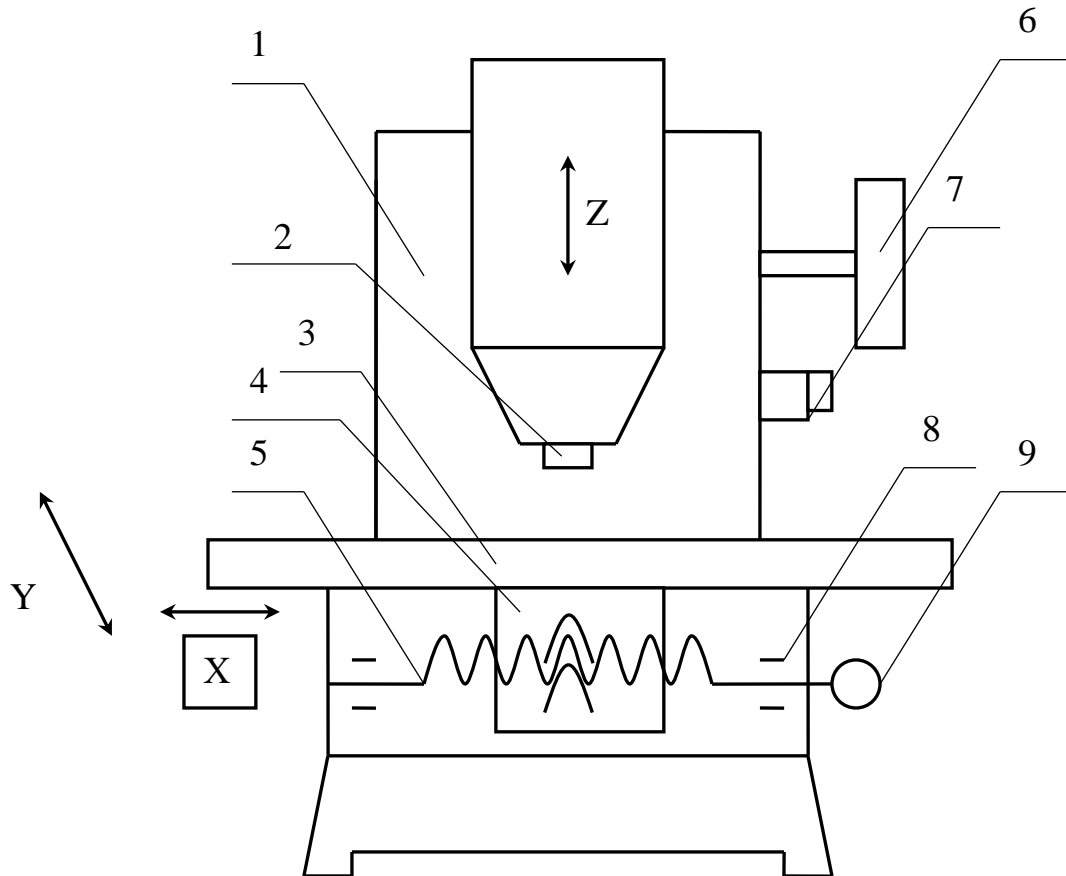


Рисунок 1.6 – Кінематична схема

1 станина

2 шпиндель

3 стіл

4 гайка кочення

5 ходовий гвинт

6 барабан з інструментом

7- механізм автоматичної зміни інструменту

8- підшипники

9-електродвигун

Двигун жорстко з'єднаний безпосередньо з ходовим гвинтом.

Максимальна швидкість подачі 2400 мм/хв. Швидкість швидкого переміщення стола 5000 мм/хв. Зусилля різання, яке визначається технологічним процесом, дорівнює 9000 Н. Максимальна маса оброблюваної деталі, яка встановлюється на столі верстата дорівнює 300 кг.

Механізм автоматичної зміни інструменту виконаний окремим вузлом і складається з автооператора і магазину інструментів барабанного типу, ємністю дванадцять інструментів.

Автооператор здійснює подачу інструменту з магазину в шпиндель і повернення інструменту, відпрацьованого цикл, з шпинделя в магазин. В процесі зміни інструменту автооператор забезпечує відведення його за межі робочої зони верстата (зони різання). Механізм кріплення оправлення забезпечує автоматичне тертя ріжучого інструменту в шпинделі верстата.

Зміна інструменту в шпинделі відбувається наступним чином:

- після зупинки шпинделя, його орієнтація і підведення захвату автооператора до інструментальної оправки, подається команда гідрозолотнику на подачу масла в нижню порожнину гідроциліндра, ніж знижується зусилля затиску;
- вступає в дію механізм виштовхування оправлення, при цьому кінцевим вимикачем контролюється положення «віджятий», і подається команда на заміну інструменту.

Після того як захват автооператора вставить нове інструментальне оправлення в шпиндель, подається команда гідрозолотнику на подачу масла в верхню порожнину гідроциліндра, і відбувається затиск інструменту в шпинделі верстата.

Кінець циклу положення «затиснуто», контролюється кінцевим вимикачем, який дозволяє включення приводу головного руху, після чого здійснюється підведення інструменту до оброблюваної деталі (подача по осі Z), а також установка столу з деталлю в початкове положення (подача по осях X і Y). Процес різання може відбуватися при різних значеннях швидкості шпинделя і величиною подачі столу в залежності від технологічного процесу обробки, оброблюваної деталі і т. д.

Швидкість обертання шпинделя задається за допомогою коробки швидкостей. Перемикання частоти обертання шпинделя здійснюється за програмою.

Залежно від необхідного числа обертів команда подається на відповідні магніти золотників.

Останні включають гідроциліндри, рушійні зубчасті блоки. Шпиндель зупиняється по команді від керуючої програми або натисканням кнопки «Стоп».

1.3 Аналітичний огляд, пов'язаний з сучасними приводами

Верстати з ЧПУ широко впроваджуються у виробництво, безперервно розширюється технологічні можливості.

Багато верстатобудівні заводи повністю перейшли на випуск верстатів з ЧПУ роботів.

У 50-60 х. роках верстати з ЧПУ застосовувалися головним чином в авіаційній та суднобудівній промисловості для обробки деталей складної форми. З 70-х років верстати з ЧПУ працюють практично у всіх галузях промисловості.

Більшість верстатобудівних фірм широко демонструють на промислових виставках тільки верстати з ЧПУ, роботи з ЧПУ, роботизовані комплекси і гнучкі виробничі модулі та системи, що складаються з верстатів з ЧПУ, роботів автоматизованих складів з керуванням від ЕОМ.

Настільки бурхливий розвиток виробництва і впровадження верстатів з ЧПУ обумовлено їх істотними перевагами в порівнянні з універсальними верстатами. До цих переваг відносяться:

- 1) можливість обробки об'ємних деталей складної форми;
- 2) сталість якості обробки;
- 3) істотне підвищення продуктивності праці;
- 4) економія робочої сили, особливо кваліфікованої;
- 5) можливість створення гнучких виробничих систем автоматизації і систем автоматизації виробництва. [2]

Верстати з ЧПУ відрізняються від універсальних верстатів застосуванням систем ЧПУ і датчиків положення, в них більш скорочені і спрощені кінематичні схеми. Спрощення кінематики верстатів стало можливим завдяки застосуванню великої кількості незалежних регульованих електроприводів, збільшенню їх потужностей і моментів.

Розширення технологічних можливостей верстатів з ЧПУ, створення багатоцільових верстатів стало можливим як за рахунок застосування спеціалізованих систем ЧПУ і необхідних вимірювальних пристроїв, так і за рахунок розширення діапазонів регулювання, швидкодії і точності встановлених електроприводів.

Значне розширення і ускладнення електричної та електронної частин верстата з ЧПУ вимагало не тільки підвищення вимог до надійності цих комплектуючих виробів, але також застосування спеціальних діагностичних пристроїв, що забезпечують оперативний контроль і ремонт обладнання. [16]

Одним з основних ланок електроприводу є виконавчий двигун. В даний час в механізмах подач верстатів з ЧПУ знайшли найширше розповсюдження двигуни постійного струму зі збудженням від постійних магнітів. Їх перевагою є помірно габаритні розміри, хороші регульовальні властивості, швидкодія, відсутність втрат на збудження, підвищена перевантажувальна здатність і невисока вартість живильного перетворювача. Ці гідності забезпечили застосування таких двигунів у всьому світі. Але основним недоліком цих двигунів є наявність струмозміного щітково-колекторного вузла, який негативно позначається на роботі двигуна в умовах автоматизованих виробничих систем, так як вимагає проведення регулярних профілактичних оглядів і ремонтів. Наявність щітково-колекторного вузла знижує надійність машини і накладає обмеження на можливість використання в умовах агресивного навколишнього середовища. [4]

В силу цих факторів останнім часом всіма провідними електротехнічними фірмами світу ведуться роботи зі створення широко регульованих електроприводів з двигунами змінного струму.

Безколекторні двигуни вимагають мінімального обслуговування, що дозволяє їх встановлювати на верстати, що працюють в гнучких виробничих системах. Виконання цих двигунів в безкорпусному варіанті з шихтованою станиною і «холодним» ротором (без обмотки) дозволяє знизити їх габаритні розміри і зменшити передачу тепла від електродвигуна на верстат.

Розробка безщіткових двигунів ведеться в двох напрямках - створення спеціальних синхронних і асинхронних електродвигунів. Синхронним, або вентельний електродвигунів, властиві всі регульовальні гідності двигунів постійного струму. У безщіткових двигунах колектор замінений безконтактним комутатором на транзисторах або тиристорах. Двигун оснащений безколекторним тахогенератором і досить простим датчиком кута повороту для комутації струму в обмотках статора в залежності від числа полюсів і геометричного положення ротора. Регулюванні швидкості подібних синхронних двигунів здійснюється зміною напруги на статорі. Тому перетворювачі, що живлять безколекторні (вентильні) двигуни, досить прості і надійні.

Асинхронні електродвигуни для широкого регулювання приводів подач стояв на базі загальнопромислових асинхронних електродвигунів, проте в цьому випадку свідомо знижуються масогабаритні і регульовальні показники двигунів. Система регулювання швидкості асинхронного двигуна складніше синхронного, так як для асинхронних двигунів потрібне регулювання напруги і частоти струму статора за певним законом. [11]

Ряд провідних зарубіжних фірм («Сіменс», «Бош», «Індромат», «Фанук») досить широко випускає широкорегульовані приводи з безколекторними двигунами і встановлює їх в механізмах верстатів з ЧПУ.

Промисловість країн СНД випускає малоінерційні двигуни з гладким якорем і електромагнітним збудженням серії СМТ і з дисковим якорем ДПУ і ПЯ.

У колишньому СРСР було здійснено випуск єдиної серії двигунів постійного струму з номінальним моментом в діапазоні від 0,7 до 175 Нм.

Приводи, що стежать сучасних верстатів з ЧПУ стояти на базі серійних регульованих електроприводів, систем ЧПУ, датчиків положення і механічних передач. [1], [5]

Як датчики положення використовують обертові трансформатори, резольвери, фотоелектричні датчики. На верстатах встановлюють системи ЧПУ типів 2C85, 2C42, 1H22, H55-2, HC31, H33-2, HC80 і інші.

У верстатах застосовуються серійні електроприводи ET6C, ET3I, ETU3601, ETШН, ЕШР, ЕТА, ЕШМ-1, ЕШМ-2 та інші.

В якості виконавчого двигуна найбільшого поширення набули високомоментні двигуни серії ПБЗ (2ПБВ) і ДК1, мало інерційні двигуни з порушенням від постійних магнітів серії ПГ-ДТ і ряд двигунів зарубіжних фірм.

Механічні передачі в електроприводах подач, як правило, короткі; двигуни встановлюють або безпосередньо на ходовий гвинт, або на зубчасту передачу з співвідношенням 1: 1 або 1: 2. У верстатах з ЧПУ виробництва країн СНД поряд з переважним застосування електроприводів подач, виготовлених в країнах СНД, отримали застосування останнім часом електроприводи зарубіжних фірм. В першу чергу це приводи таких країн ближнього зарубіжжя як Болгарія, Польща, Чехія, Словенія. Останнім часом досить широко використовується приводи подач фірм «SIEMENS», "BOSCH", "ABB".

Електроприводи серії «Кемерон» виробництва Болгарії мають двокомплектний шести імпульсний тиристорний випрямляч з зрівняльними струмами. Випрямляч харчується через силовий трансформатор. Система регулювання одноконтурна, зі зворотним зв'язком за швидкістю.

Електроприводи серії TNP виробництва Польщі мають двокомплектний трьох імпульсний тиристорний випрямляч з зрівняльними струмами. Система регулювання - одноконтурна, зі зворотним зв'язком за швидкістю.

Електроприводи «Мезоматік» виробництва Чехії мають додаткове регулювання зрівняльних струмів.

Останнім словом техніки сучасного електроприводу є використання електричних машин змінного струму (найбільш часто-асинхронні і синхронні

електродвигуни), при харчуванні їх статорних ланцюгів від перетворювача частоти, вихідна напруга якого є Широтноімпульсна модельовану трифазну (багатофазну) систему. Модуляція здійснюється на високій частоті (10 - 15 кГц). Типовим представником такого типу ASC і SAMI фірми ABB.

Регулювання частоти обертання двигуна від нуля до номінальної величини здійснюється в режимі підтримання сталості моменту (магнітного потоку), а вище номінальної - в режимі сталості потужності (ослаблення поля). Система управління забезпечує безконтактного реверсування електродвигуна шляхом зміни порядку чергування фаз. Гальмування здійснюється або самовибігом, або за допомогою пристрою динамічного гальмування. Додатково в цьому електроприводі можуть бути реалізовані:

- максимізація крутного моменту та двигуна;
- захист двигуна від перекидання;
- компенсація ковзання для отримання високої потужності підтримки швидкості обертання двигуна;
- автоматичне регулювання технологічних параметрів за рахунок застосування програмно реалізованої системи автоматичного управління.

Силова частина перетворювача виконується з ланкою постійного струму з широтно-імпульсної модуляцією інвертора. Комутація силового ланцюга здійснюється за допомогою швидкодіючих IGBT - транзисторів.

Система автоматичного управління, в залежності від вимог, що пред'являються до конкретного механізму, може реалізувати або скалярний, або векторне управління, або безпосереднє управління моментом двигуна. При всіх перевагах таких систем на цьому етапі їх відрізняє висока вартість, тому їх застосування повинно бути виправдане з техніко - економічної точки зору. [6]

Таким чином, для реалізації поставлених цілей проектування попередньо будемо орієнтуватися на використання електроприводу з Високомоментний двигуном постійного струму з постійними магнітами, що живиться від перетворювача з широтно- імпульсною модуляцією вихідної напруги.

1.4 Техніко-економічне обґрунтування вибору електроприводу подачі і вимоги, що пред'являються до нього

Як вже зазначалося раніше, привід це сукупність механічних, електричних, гідравлічних та інших вузлів, які надають руху робочі органи верстата. Залежно від призначення розрізняють приводи головного руху, подачі і допоміжні приводи.

Головний привід безпосередньо забезпечує процес різання.

Приводи подачі забезпечують переміщення заготовки або різального інструменту в зоні різання.

Допоміжні приводи забезпечують допоміжні переміщення заготовок, деталей, ріжучого інструменту, обертання магазинів з інструментами, поворотних і похилих столів, подачу мастила, вентиляцію і т. Д.

Відповідно до призначення до кожного приводу пред'являються різні вимоги.

Вимоги до електроприводу та систем управління металообробних верстатів визначаються технологічними можливостями верстатів, їх конструктивними особливостями і т. д.

У нашому випадку можна виділити наступні основні технологічні вимоги до електроприводу:

1) Забезпечення найширшого кола технологічних режимів обробки з використанням сучасного ріжучого інструменту;

2) Забезпечення максимальної продуктивності, тобто привід подачі повинен мати високу швидкість швидкого ходу і високу швидкодію при розгоні - гальмуванні і при скиданні - набиранні навантаження;

3) Привід повинен забезпечувати широкий діапазон регулювання $D = 10000$, який визначається відношенням максимальної та мінімальної швидкостей робочої подачі;

4) Показники якості перехідного процесу повинні бути :

а) характер перехідного процесу монотонний(нульове перерегулювання)

б) час перехідного процесу $t_p \leq 0.06$ с

5) Показник точність при відпрацюванні лінійного завдання:

добротність за швидкості $K_v \geq 60 \text{ 1/c}$

6) Забезпечення найбільшої точності обробки;

7) Мала шорсткість, яка відповідає виду обробки;

8) Виходячи з точності обробки - забезпечити високу швидкодію при набиранні і скиданні навантаження, при реверсі під навантаженням на малих частотах обертання;

9) Висока надійність і ремонтпридатність;

10) Зручність конструктивної установки двигуна на верстаті;

11) Простота налагодження, ремонту і експлуатації;

Висновки до розділу 1

1. До економічних вимог до електроприводу подач можна віднести наступні: мала собівартість системи електроприводу, висока енергоекономічність (високий ККД.), Висока надійність електроприводу, малі габарити і маса.

2. Тільки комплексний аналіз технологічних і економічних вимог і економічних вимог до електроприводу подачі, конструктивних особливостей верстата може забезпечити коректний вибір електроприводу.

3. Нові концепції в області конструювання металообробного обладнання неминуче призводять до посилення вимог, що пред'являються до приводів верстатів, в тому числі, до приводів подач.

РОЗДІЛ 2 ВИБІР ЕЛЕКТРОДВИГУНА

2.1 Розрахунок потужності і вибір двигуна

Початкові дані:

- межа подач столу: 0,25-2400 мм / хв

- швидкість швидкого переміщення столу по осі X: $V_{X \max \delta.x.} = 5000 \text{ мм / хв}$

- сила різання: $F_p = 9000 \text{ Н}$

- максимальна маса оброблюваної деталі і пристосувань встановлюються на столі верстата $m_2 = 300 \text{ кг}$

- маса виконавчого механізму $m_1 = 220 \text{ кг}$

- сила попереднього натягу $F_H = 100 \text{ Н}$

- крок гвинта. $S_g = 8 \text{ мм}$.

Розрахунок потужності двигуна здійснимо відповідно методикою викладеної в [2]:

Визначимо зусилля подачі по осі X: $F_n = k_p F_p + \mu F_{NZ} + F_H$ (2.1)

де F_p - зусилля різання уздовж осі;

$k_p = 1 \div 1,5$ - коефіцієнт запасу;

F_{NZ} - сума паралельних сил, що діють на напрямні, визначаються за формулою:

$$F_{NZ} = (m_1 + m_2)g, \quad (2.2)$$

де g - прискорення вільного падіння;

F_H - сила попереднього натягу, не врахована в F_{NZ} .

$$F_n = 1,25 \cdot 9000 + 0,1(220 + 300) \cdot 9,8 + 100 = 11859,6 \text{ Н}.$$

Потужність, прикладена до виконавчого механізму:

а) в режимі різання

$$P_{MX1} = F_n \cdot V_{\text{роб. max}} \quad (2.3)$$

де $V_{\text{роб. max}}$ - максимальна швидкість робочої подачі, $V_{\text{роб. max}} = 2400 \text{ мм/хв} = 0,04 \text{ м/с}$

$$P_{MX2} = (\mu F_{NZ} + F_H) \cdot V_{X \max \delta X} \quad (2.4)$$

де $\mu = 0,1$ - коефіцієнт тертя

$$V_{X \max \delta X} = 5000 \text{ мм} / \text{хв} = 0,0833 \text{ м} / \text{с}$$

$$P_{MX2} = (0,1 \cdot 5096 + 100) \cdot 0,0833 = 50,78 \text{ Вт}.$$

За P_{MX1} попередньо вибираємо двигун ПБВ-100L. Це високомоментний двигун постійного струму з параметрами:

$$P_{ном} = 1,1 \text{ кВт};$$

$$\omega_{ном} = 104 \text{ с}^{-1}; (n_{\max} = 2000 \text{ об} / \text{хв})$$

$$M_{дон1} = M_{дон2} = M_{ном} = 10,5 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

Зробимо перевірку електродвигуна по допустимому максимальному моменту в статичному і динамічному режимах.

Відповідно до комутаційної кривої для двигунів серії ПБЗ

$$M_{дон3} = 6,5 \cdot M_{ном}. \quad (2.5)$$

Для обраного двигуна маємо

$$M_{дон3} = 6,5 \cdot 10,5 = 68,25 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

Перевірку зробимо в основних режимах: режим старту з місця, режим робочої подачі, режим швидкого ходу при підводі робочого органу до деталі.

Визначимо передавальне число між робочим органом виконавчого механізму і двигуном:

$$i_0 = \frac{V_{X \max \delta X}}{\omega_{\max}} \quad (2.6)$$

$$\text{де } \omega_{\max} = \frac{2n \cdot n_{\max}}{60} = \frac{2n \cdot 2000}{60} = 210 \text{ с}^{-1} \quad (2.7)$$

$$i_0 = \frac{0,0833}{210} = 4 \cdot 10^{-4} \text{ м} / \text{рад}$$

Визначимо момент на валу двигуна від сили різання:

$$M_n = \frac{F_n \cdot i_0}{\eta}, \quad (2.8)$$

де $\eta = 0,9$ - ККД передачі «гвинт - гайка»

$$M_n = \frac{11859,6 \cdot 4 \cdot 10^{-4}}{0,9} = 5,27 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Момент на двигуні від сил тертя складається з моментів тертя в напрямляючих і від сили попереднього натягу.

Момент тертя в напрямляючих визначається виразом:

$$M_{TH} = (m_1 + m_2) g \mu_0 = (220 + 300) 9,8 \cdot 0,1 \cdot 4 \cdot 10^{-4} = 0,208 \text{ Нм} \quad (2.9)$$

для передачі «гвинт - гайка» враховуємо момент сил тертя в винтовій парі, що виникає в результаті попереднього натягу:

$$M_{TB} = 0,032 F_H S_B \frac{1}{3}, \quad (2.10)$$

де S_B - крок гвинта, м

$$M_{TB} = 0,032 \cdot 100 \cdot 8 \cdot 10^{-3} \frac{1}{3} = 0,0085 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Статичний момент на валу двигуна дорівнює:

а) при робочій подачі

$$M_1 = M_n + M_{TH} + M_{TB} = 5,27 + 0,208 + 0,0085 = 5,45 \text{ Н} \cdot \text{м}. \quad (2.11)$$

б) на швидкому ході

$$M_2 = M_{TH} + M_{TB} = 0,208 + 0,0085 = 0,2165 \text{ Н} \cdot \text{м} \quad (2.12)$$

Прискорення валу двигуна при нормованому прискоренні механізму $a_{mx} = 0,4 \text{ м/с}^2$ складе:

$$\epsilon_g = \frac{a_{mx} \cdot \omega_{gb \max}}{V_{x \max} \delta x} = \frac{0,4 \cdot 210}{0,0833} = 1008 \text{ с}^{-2}. \quad (2.13)$$

Наведений момент інерції механізму визначається виразом:

$$\mathfrak{J}_{\text{мех}} = (m_1 + m_2) \cdot \frac{V_{x \max}^2 \delta x}{\omega_{gb \max}^2} = (220 + 300) \cdot \frac{0,0833^2}{210^2} = 8,18 \cdot 10^{-5} \text{ кг} \cdot \text{м}^2. \quad (2.14)$$

Необхідний динамічний момент двигуна з урахуванням запасу 20% дорівнює:

$$M_{\text{дин}} = (1,2 \cdot 0,013 + 8,18 \cdot 10^{-5}) 1008 = 15,8 \text{ Н} \cdot \text{м}. \quad (2.15)$$

Визначимо необхідний момент двигуна при перехідному режимі для додання виконавчого механізму необхідного прискорення:

$$M_3 = M_{дин} + M_2 = 15,8 + 0,2165 = 16,02 \text{ Н} \cdot \text{м} \quad (2.16)$$

маємо:

$$\begin{aligned} M_1 &= 5,45 \text{ Н} \cdot \text{м} < M_{дон1} = 10,5 \text{ Н} \cdot \text{м} \\ M_2 &= 0,2165 \text{ Н} \cdot \text{м} < M_{дон2} = 10,5 \text{ Н} \cdot \text{м} \\ M_3 &= 16,02 \text{ Н} \cdot \text{м} < M_{дон3} = 68,25 \text{ Н} \cdot \text{м} \end{aligned} \quad (2.17)$$

Таким чином, обраний двигун задовольняє умовам перевірки по допустимому моменту у всіх режимах. Побудуємо навантажувальну діаграму.

Вибираємо для розрахунку цикл, коли процес різання проходить при максимальній швидкості і повернення столу відбувається на швидкому ході, при цьому приймаємо максимальну подачу, рівну довжині столу (Рис.2.1)

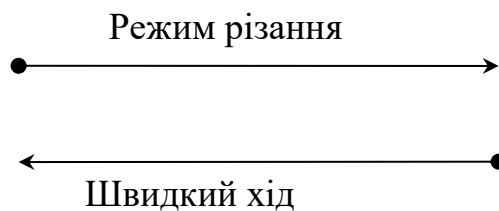


Рисунок 2.1

Визначимо час розгону і гальмування:

$$t_{раз1} = \frac{(\mathfrak{I}_g + \mathfrak{I}_{мех})\omega_{роб. max}}{M_{дин}} \quad (2.18)$$

де $\omega_{роб. max}$ - максимальна швидкість робочої подачі, $\omega_{роб. max} = 104 \text{ с}^{-1}$

$$t_{раз1} = \frac{(0,013 + 8 \cdot 10^{-5})104}{15,8} = 0,086 \text{ с}$$

$$t_{з1} = \frac{(\mathfrak{I}_g + \mathfrak{I}_{мех})\omega_{роб. max}}{M_{TH} + M_{Г} + M_{TB}} \quad (2.19)$$

де $M_{Г}$ - гальмівний момент, створюваний електромагнітним гальмом, $M_{Г} = 20$

Н*м.

$$t_{z1} = \frac{(0,013 + 8 \cdot 10^{-5})104}{0,208 + 20 + 0,0085} = 0,067 \text{ c}$$

Визначимо час різання:

$$t_{p31} = \frac{S_{\text{раб.х}}}{V_{\text{раб.мах}}} \quad (2.20)$$

де $S_{\text{раб.х}}$ - шлях пройдений при різанні, який визначається за формулою

$$S_{\text{раб.х}} = l_{\text{СТ}} - (S_1 + S_2) \quad (2.21)$$

де S_1 і S_2 - шлях пройдений під час пуску і гальмуванні відповідно, $l_{\text{СТ}}$ - довжина столу (2м).

Шлях пройдений під час пуску і гальмуванні визначимо за формулою:

$$S_1 + S_2 = \frac{a_{\text{мх}}}{2} (t_{\text{розг.1}}^2 + t_{\text{зальм.1}}^2) = \frac{0,4}{2} (0,086^2 + 0,067^2) = 0,0024 \text{ м} = 2,4 \text{ мм} \quad (2.22)$$

$$S_{\text{раб.х}} = l_{\text{см}} - 2,4 = 2000 - 2,4 = 1997,6 \text{ мм}$$

$$t_{p31} = \frac{1997,6}{2400} = 0,83 \text{ хв} = 49,8 \text{ с}.$$

Після закінчення процесу різання стіл повертається з оброблюваної деталлю в вихідну точку на швидкому ході.

Визначимо час розгону і гальмування без навантаження:

$$t_{p2} = \frac{\Im \omega_{\text{мах}}}{M_{\text{дин}}}, \quad (2.23)$$

$\omega_{\text{мах}} = 210 \text{ c}^{-1}$ максимальна швидкість двигуна

$$t_{p2} = \frac{0,013 \cdot 210}{15,8} = 0,173 \text{ с}$$

$$t_{p2} = \frac{\Im \omega_{\text{мах}}}{M_{\text{ТН}} + M_{\text{Г}} + M_{\text{ТВ}}} = \frac{0,013 \cdot 210}{0,208 + 20 + 0,0085} = 0,135 \text{ с}. \quad (2.24)$$

Шлях пройдений під час пуску і гальмуванні

$$S_1 + S_2 = \frac{a_{\text{мх}}}{2} (t_{p2}^2 + t_{z2}^2) = \frac{0,4}{2} (0,173^2 + 0,135^2) = 0,0096 \text{ м} = 9,6 \text{ мм}. \quad (2.25)$$

Шлях пройдений на швидкому ході:

$$S_{\text{ш.х}} = l_{\text{см}} - 9,6 \text{ мм} = 2000 - 9,6 = 1990,4 \text{ мм}.$$

Визначимо час швидкого ходу: ω_{ux}

$$t_{ux} = \frac{S_{ux}}{V_{x\max} \delta x} = \frac{1990,4}{5000} = 0,398 \text{ хв} = 23,9 \text{ с} . \quad (2.26)$$

За розрахованими даними побудуємо навантажувальну діаграму (рис. 2.2)

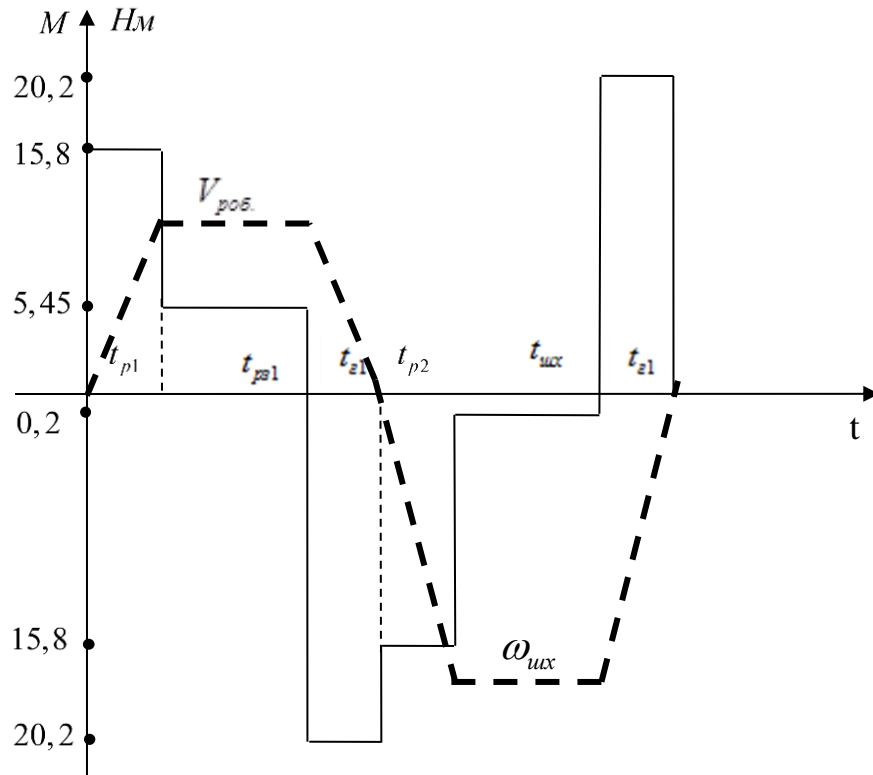


Рисунок 2.2 – Навантажувальна діаграма

Визначимо ефективний момент, прийнявши, що наступні цикли будуть також:

$$M_{\text{эф}} = \sqrt{\frac{\sum(M_i^2 t_i)}{\sum t}} \quad (2.27)$$

$$M_{\text{эф}} = \sqrt{\frac{15,8^2 \cdot 0,086 + 5,45^2 \cdot 49,8 + 20,2165^2 \cdot 0,067 + 15,8^2 \cdot 0,173 + 0,2165^2 \cdot 23,9 + 20,2165^2 \cdot 0,135}{0,086 + 49,8 + 0,067 + 0,173 + 23,9 + 0,135}} = 4,69 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

$$M_{\text{эф}} = 4,69 \text{ Н} \cdot \text{м} < M_{\text{дон1}} = 10,5 \text{ Н} \cdot \text{м} \quad (2.28)$$

Таким чином, обраний двигун задовольняє умовам перевірки.

Технічні дані двигуна ПБВ-100L [4]:

1. Номінальна потужність $P_H = 1,1 \text{ кВт}$
2. Номінальний момент $M_H = 10,5 \text{ Н} \cdot \text{м}$
3. Номінальна швидкість $n_H = 1000 \text{ об/мин}$
4. Номінальна напруга $U_H = 56 \text{ В}$
5. Номінальний струм якоря $I_H = 24 \text{ А}$
6. Максимальна швидкість $n_{\max} = 2000 \text{ об/мин}$
7. Момент інерції $\mathfrak{Z}_я = 0,013 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$
8. Опір обмотки якоря $R_я = 0,139 \text{ Ом}$ (15^0 C)
9. Індуктивність обмотки якоря $L_я = 0,8 \text{ мГ}$
10. Електромеханічна постійна часу $T_M = 7,6 \text{ мс}$
11. Електромагнітна постійна часу $T_э = 6,74 \text{ мс}$
12. Максимальний пусковий момент $M_{\max \text{ пуск}} = 100 \text{ Н} \cdot \text{м}$
13. Маса двигуна з тахогенератором $m = 40 \text{ кг}$

2.2 Вибір транзисторного перетворювача

Як було визначено в п. 1. 4. даного проекту для реалізації поставленої мети будемо використовувати комплектний транзисторний електропривід постійного струму типу ЕШІМ-1, який призначений для використання в механізмах подач металорізальних верстатів [9].

Електроприводи ЕШІМ мають блочну структуру побудови, що складається з двох частин - силовий (блок живлення БП) і керуючий (блок регулювання БР), кожна з яких має різні типові виконання.

Блок живлення здійснює перетворення трифазного напруги живильної мережі в напругу постійного струму, що подається на якорь двигуна. Блок регулювання здійснює регулювання цієї напруги в функції завдання.

З огляду на умову $I_{\text{дв}} < I_{\text{ІПР}}$, а також виходячи з параметрів обраного двигуна вибираємо ЕШІМ-1-400000-607.УХЛ4 [9], що складається з блоку живлення типу

БС9802-362Ф і блоку регулювання типу БС3001-342Ф з наступними технічними даними:

$$U_{\text{сети}} = 380 \text{ В}$$

$$f_{\text{сети}} = 50 \text{ Гц}$$

$$U_H = 200 \text{ В}$$

$$I_H = 25 \text{ А}$$

Згідно [9] для ЕШІМ-1 вибираємо силовий трансформатор типу ТСМ-769 потужністю 1,6 кВт.

Для зниження пульсацій в ланцюзі двигуна вибираємо згладжувальний дросель типу ДСА-554, для якого

$$R_{\text{др}} = 0,0083 \text{ Ом}$$

$$L_{\text{др}} = 1 \cdot 10^{-3} \text{ Г}$$

Як датчик струму вибираємо тороїдальний трансформатор струму типу ТТ.724 [9].

До складу електроприводу також входять: автоматичний вимикач, магнітний пускач з приставкою, узгоджувальний трансформатор.

2.3 Вибір основних датчиків в контурі електроприводу

У системах автоматичного керування електроприводами застосовуються чотири основних види датчиків: швидкості, струму, навантаження, положення.

Крім перерахованих використовуються датчики моменту (зусилля), потужності, ЕРС. Сигнали цих датчиків зазвичай отримують шляхом відповідної обробки сигналів датчиків струму і напруги.

За принципом дії датчики діляться на аналогові, де вимірюється вхідна величина перетворюється і обробляється в аналоговій формі, і дискретні, де вхідні величина перетворюється в цифрову інформацію. Нижче наведені технічні дані аналогових датчиків.

Датчики швидкості. Динамічні і статичні характеристики електроприводу з регулятором швидкості оцінюються лінійністю, симетричністю характеристики,

рівнем і частотою змінної складової в сигналі, температурним дрейфом, зоною нечутливості датчика швидкості. Нелінійність і асиметрія характеристики, температурний дрейф і зона нечутливості датчика швидкості призводять до збільшення статичної помилки і зменшення діапазону регулювання.

Наявність низькочастотної змінної складової в сигналі (оборотні і полюсні пульсації) призводить до появи змінної складової в струмі якоря і двигуна і вимагає зниження швидкодії регулятора швидкості.

У регульованих електроприводах середньої і великої потужності застосовуються володіють низькими обіговими і полюсними пульсаціями і високою лінійністю і стабільністю характеристик тахогенератори постійного струму серії ПТ і змінного струму серії ТТ.

Тахогенератори ПТ і ТТ мають підвісне виконання, внаслідок чого знижені оборотні пульсації.

Конструкція тахогенераторів ПТ розрахована на жорстке з'єднання вала тахогенератора з валом приводного двигуна.

Магнітна система тахогенераторів ПТ вільно підвішена на валу за допомогою кулькових підшипників і фіксується кріпленням до підшипниковому щиту приводного електродвигуна. Тахогенератори на частоту обертання 600 об / хв і вище виконуються з додатковими полюсами.

Тахогенератори серій ПТ і ТТ володіють значними габаритами і масою і використовуються в основному як датчики швидкості в приводах прокатних станів, паперової, хімічної промисловості та як датчики швидкості потужних турбоагрегатів.

Для приводів середньої потужності, не пред'являють високих вимог до точності регулювання швидкості, використовуються тахогенератори постійного струму серій ЕТ, ТМГ, ТД.

Тахогенератори серій ПТ і ТТ призначені для роботи в запилених приміщеннях в умовах як помірного, так і тропічного клімату. Тахогенератори ПТ виконуються в закритому виконанні з природний-ним охолодженням. За способом монтажу тахогенератори виконуються фланцевого виконання зі станиною без лап.

Крім того, в нереверсивних приводах і приводах малої потужності, де важливо мале значення інерції ротора тахогенератора, застосовуються асинхронні тахогенератори змінного струму серії ТГ і АТ.

У сучасному електроприводі уникають з'єднання тахогенератора з валом за допомогою гнучкої передачі і редукторів, так як гнучкі передачі мають властивості коливальної ланки і погіршують динаміку приводу, а редуктор викликає труднощі, пов'язані з наявністю люфтів в передачах.

Датчики струму і напруги. У системах автоматичного керування електроприводом сигнали, пропорційні струму, знімаються з шунтів, трансформаторів струму. Ці сигнали використовуються як в чистому вигляді, так і перетворені для виділення сигналів, відповідних ЕРС, потужності, потоку і т. Д.

Основними проблемами при створенні датчиків струму і напруги є проблеми гальванічного поділу силових ланцюгів і ланцюгів управління, проблеми забезпечення високої швидкодії і точності.

В аналогових датчиках напруги для поділу ланцюгів застосовують модуляцію вхідного напруги і трансформування з подальшою демодуляцією і посиленням.

Підвищення несучої частоти до 30-35 кГц дає можливість збільшити смугу пропускання до 1,5-2 кГц. У блокової уніфікованої системи регуляторів на інтегральних елементах (УБСР-АІ) розроблені датчики (перетворювачі) напруги з пропускну здатністю 2 кГц. Гальванічна розв'язка вхідних і вихідних ланцюгів датчиків систем УБСР і УБСР-АІ розрахована на напругу до 1000В. Точність перетворення напруги знаходиться в межах 1%.

Останнім часом в якості датчиків струму і магнітного потоку все ширше використовуються прилади, засновані на ефекті Холла, які будуються у вигляді магнітопроводів з зазором. Магнітопровід з магнітомягкого матеріалу намагнічується за допомогою обмотки, по якій тече вимірюваний струм. У зазорі встановлюється датчик Холла, що живиться від стабілізованого джерела струму. Датчики струму з використанням ефекту Холла забезпечують гальванічну

розв'язку між ланцюгами вимірювання і вихідний при напрузі до декількох кіловольт, точність до $\pm 1\%$ і смугу пропускання до 1 кГц.

Датчики положення. В аналогових системах автоматичного управління електроприводами в якості датчиків положення використовуються в основному сельсини і синусно-косинусні обертові трансформатори різних типів.

Підвищення точності стежать систем по положенню досягається застосуванням грубої і точної систем відліку. Датчики точної системи мають менше передавальне відношення до валу виконавчого двигуна. Зазвичай передавальне відношення між грубого й точного системами відліку виконується кратним п'яти або десяти.

Перехід в процесі стеження з грубої на точну систему відліку здійснюється за допомогою ключових схем у функції сигналу неузгодженості грубого відліку.

Дискретні датчики використовуються в електроприводі в основному при регулюванні положення і швидкості в випадках, коли вимоги до точності регулювання не можуть бути задоволені аналоговими датчиками.

Імпульсні датчики швидкості. Робота датчика заснована на модуляції світлового потоку, спрямованого від джерела випромінювання через диск з прорізами на фотоприймач.

Диск пов'язаний механічно з вхідним валом датчика. При постійній швидкості вала вихідний сигнал являє собою серію імпульсів напруги певної частоти. Частота вихідного сигналу пропорційна швидкості. Датчики забезпечуються каналом нульового імпульсу (початком відліку), що дає можливість при наявності лічильника використовувати датчик не тільки для регулювання швидкості, але і як датчик положення.

Кодові датчики положення являють собою набір кодових дисків з прорізами і системою фотозчитування. Зазвичай в датчиках положення застосовується код Грея, що виключає одночасну зміну значень в декількох розрядах.

У нашому випадку:

Двигун ПБВ-100L забезпечений тепловим захистом. Термодатчик виконаний на основі терморезистора СТ 14-1А. Комплектується тахогенератором типу ТС-1М

(тахогенератор постійного струму з збудженням від постійних магнітів). Двигун оснащений вбудованим електромагнітним терморезистором серії ЕТДВ 22УЗ, для якого: $M_{T\text{ ном}} = 20 \text{ Нм}$, $I_{\text{роб}} = 0,6 \text{ А}$, $U = 24 \text{ В}$.

Висновки до розділу 2

1. На основі початкових даних нами проведено розрахунок потужності електродвигуна, завдяки порівнянню ефективного моменту, обрано двигун ПБВ-100L. Було розраховано момент інерції даного механізму.

2. Виходячи з отриманої потужності обрано ПБВ-100L загальнопромислового призначення та будемо використовувати комплектний транзисторний електропривод постійного струму типу ЕШІМ-1.

3. Обрано датчики в контурі електроприводу для електромеханічної системи подачі столу фрезерного верстату.

РОЗДІЛ 3 ПОБУДОВА ФУНКЦІОНАЛЬНОЇ СХЕМИ САК ЕП ПОДАЧІ СТОЛУ ФРЕЗЕРНОГО ВЕРСТАТУ

За основу візьмемо електропривід ЕШІМ-1 який виготовляється в касетному і модульному виконанні. Блок касетного перетворювача містить блок живлення БС9802 і від одного до чотирьох блоків регулювання БС3001 для незалежного живлення двигунів. Функціональна схема електроприводу ЕШІМ-1 з одним блоком регулювання представлена на рис.3.1.

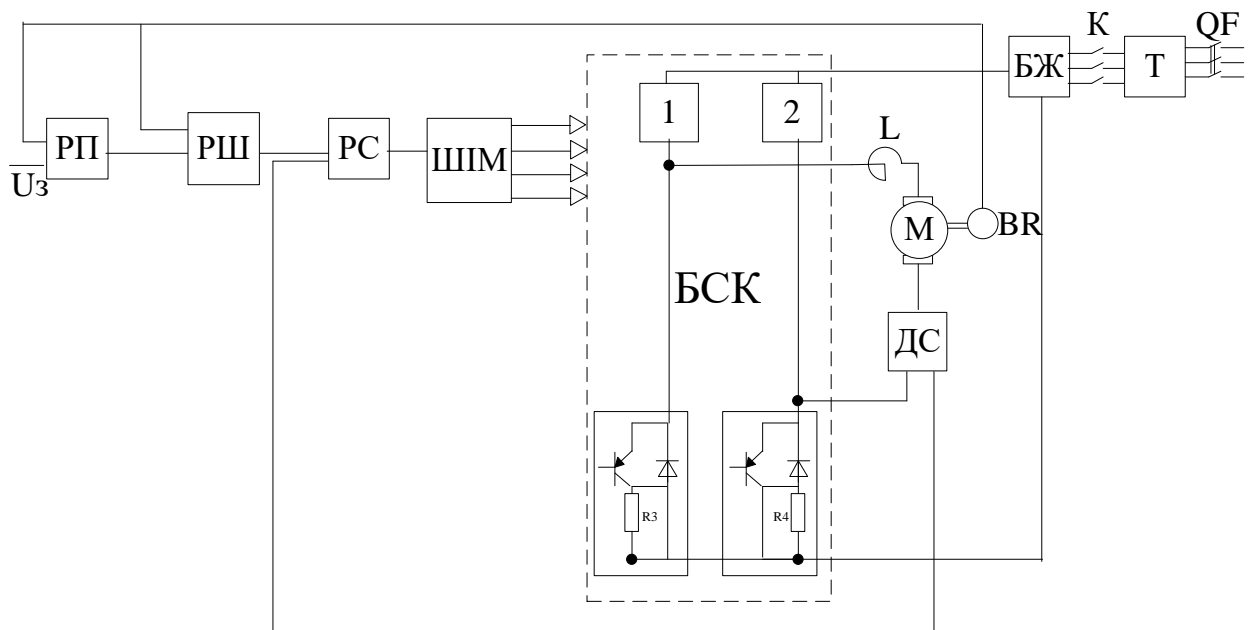


Рисунок 3.1 – Функціональна схема електроприводу

До складу електроприводу входять: блок живлення (БЖ) типу БС9802; блок регулювання (БСК) типу БС 3001; двигун постійного струму (М) з вбудованим тахогенератором, гальмом, вбудованим або прибудованим датчиком шляху; дросель (L); вимикач автоматичний (QF); магнітний пускач (К) і узгоджувальний трансформатор (Т). Силова частина блоку регулювання являє собою чотириохлобовий транзисторний міст, до однієї діагоналі якого подається напруга блоку живлення (60, 150, 220), а до іншої приєднана якорний ланцюг електродвигуна.

В систему регулювання і управління входять регулятор швидкості (РШ), регулятор положення (РП), регулятор струму (РС). Зворотній зв'язок по току подається або від резисторних датчиків ($R1 \dots R4$) в кожному плечі транзисторного моста, або за допомогою датчика струму (ДС), що має гальванічну розв'язку вихідного сигналу щодо силового ланцюга.

Дросель (L) призначений для згладжування струму при широтно-імпульсному регулюванні. Блок живлення містить трифазний некерований міст з ємнісним фільтром і розрядних транзисторним ключем для скидання енергії гальмування двигуна в баластний резистор.

Висновок до розділу 3

1. На основі попереднього розділу була побудована функціональна схема САК ЕП подачі столу фрезерного верстату та зроблений її опис.

РОЗДІЛ 4 ОТРИМАННЯ МАТЕМАТИЧНОЇ МОДЕЛІ ПРИВОДУ ПОДАЧІ ВЕРСТАТА ТА СИНТЕЗ РЕГУЛЯТОРІВ САК ЕП ПОДАЧІ СТОЛУ ФРЕЗЕРНОГО ВЕРСТАТУ

4.1 Розрахунок контуру струму з ПІ регулятором

Об'єкт регулювання досліджуваної системи включає транзисторний перетворювач і електродвигун, момент інерції якого враховує наведений до його валу момент інерції механізму. Структурна схема такого об'єкта показана на рис 4.1.

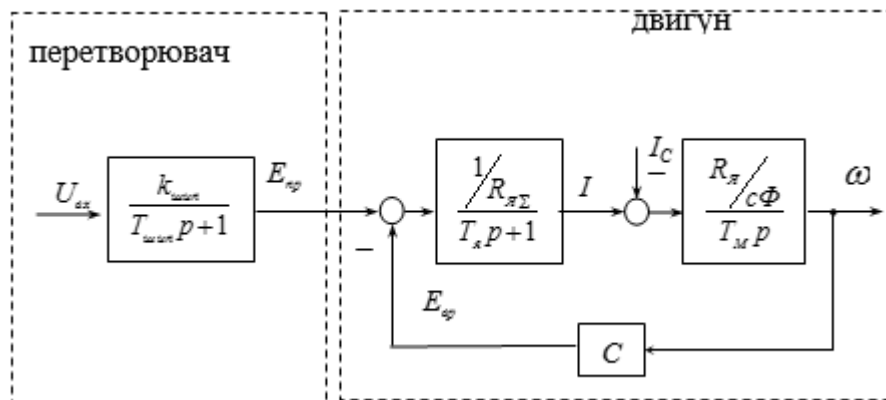


Рисунок 4.1 – Структура схема об'єкта керування

Передавальна функція широтно - імпульсного перетворювача $W_{uin}(p)$, на вході якого встановлений фільтр, що володіє інерційністю, може розглядатися у вигляді:

$$W_{uin}(p) = \frac{k_{uin}}{T_{uin}p + 1}, \quad (4.1)$$

де T_{uin} - середньостатистична постійна часу транзисторного Широтно-імпульсного перетворювача (для електроприводів типу ЕШПМ-1 її можна прийняти рівною 0,001 з [5])

k_{uin} - коефіцієнт посилення транзисторного ШПП, який дорівнює:

$$k_{uin} = \frac{U_{\max}}{U_{\text{кер. max}}} = \frac{200}{10} = 20 \quad (4.2)$$

$$\text{Тоді } W_{\text{min}}(p) = \frac{20}{0,001p+1}$$

Електромагнітна постійна часу якірного ланцюга двигуна дорівнює:

$$T_{\text{я}} = \frac{L_{\text{я}\Sigma}}{R_{\text{я}\Sigma}}, \quad (4.3)$$

де $L_{\text{я}\Sigma}$ - сумарна індуктивність якірного ланцюга, що включає в себе індуктивність обмотки якоря $L_{\text{я}} = 0,8 \text{ мГ}$, індуктивність дроселя ДСА-554 $L_{\text{др}} = 0,001 \text{ Г}$

$R_{\text{я}\Sigma}$ - сумарний активний опір якірного ланцюга, що складається з опору обмотки якоря двигуна $R_{\text{я}} = 0,139 \text{ Ом}$, опору дроселя $R_{\text{др}} = 0,0083 \text{ Ом}$ (. п. 4.3)

Тоді:

$$T_{\text{я}} = \frac{L_{\text{я}} + L_{\text{др}}}{R_{\text{я}} + R_{\text{др}}} = \frac{8 \cdot 10^{-4} + 1 \cdot 10^{-3}}{0,139 + 0,0083} = 0,012 \text{ с}. \quad (4.4)$$

Електромеханічна постійна часу з урахуванням наведеного до валу двигуна моменту інерції механізму:

$$T_{\text{м}} = \frac{\mathfrak{I}_{\Sigma} R_{\text{я}\Sigma}}{(c\Phi)^2}, \quad (4.5)$$

де \mathfrak{I}_{Σ} - сумарний момент інерції, рівний $\mathfrak{I}_{\Sigma} = \mathfrak{I}_{\text{дв}} + \mathfrak{I}_{\text{м}} / i^2$. У нашому випадку величиною $\mathfrak{I}_{\text{м}} / i^2$ можна знехтувати, так як вона на чотири порядки менше, ніж $\mathfrak{I}_{\text{дв}}$

Розрахуємо $c\Phi$:

$$c\Phi = \frac{30(U_{\text{н}} - I_{\text{н}} \cdot R_{\text{я}})}{\pi \cdot n_{\text{н}}} = \frac{30(56 - 24 \cdot 0,139)}{\pi \cdot 1000} = 0,502. \quad (4.6)$$

Тоді:

$$T_{\text{м}} = \frac{0,013 \cdot 0,1473}{0,502^2} = 0,0076 \text{ с}. \quad (4.7)$$

Таким чином, всі вихідні дані про об'єкт регулювання, необхідні для синтезу і дослідження САК, визначені.

Як було визначено, електропривод подачі будемо будувати за структурою з підлеглим регулюванням координат. Структурна схема триконтурної СПР при

відсутності задатчика інтенсивності і фільтрів в ланцюгах зворотних зв'язків, наведена на рис. 4.2, де позначено: W_{PC} і W_{PII} - передаточні функції швидкості і струму відповідно,

Розрахунок системи керування електроприводом, побудованої за принципом підлеглого регулювання зводиться до послідовного розрахунку контурів регулювання, починаючи з внутрішнього контуру. Для кожного контуру регулювання необхідно визначити коефіцієнт зворотного зв'язку за регульованим контуром параметру, а також передавальний функцію коригуючого елемента (регулятора).

Розрахунок параметрів контуру струму будемо проводити виходячи з налаштування його на так званий модульний оптимум [1]. Оскільки процеси в механічній частини електроприводу характеризується великою тривалістю в порівнянні з електромагнітними процесами в якірного ланцюга, впливом внутрішнього зворотного зв'язку по ЕРС двигуна можемо знехтувати [2].

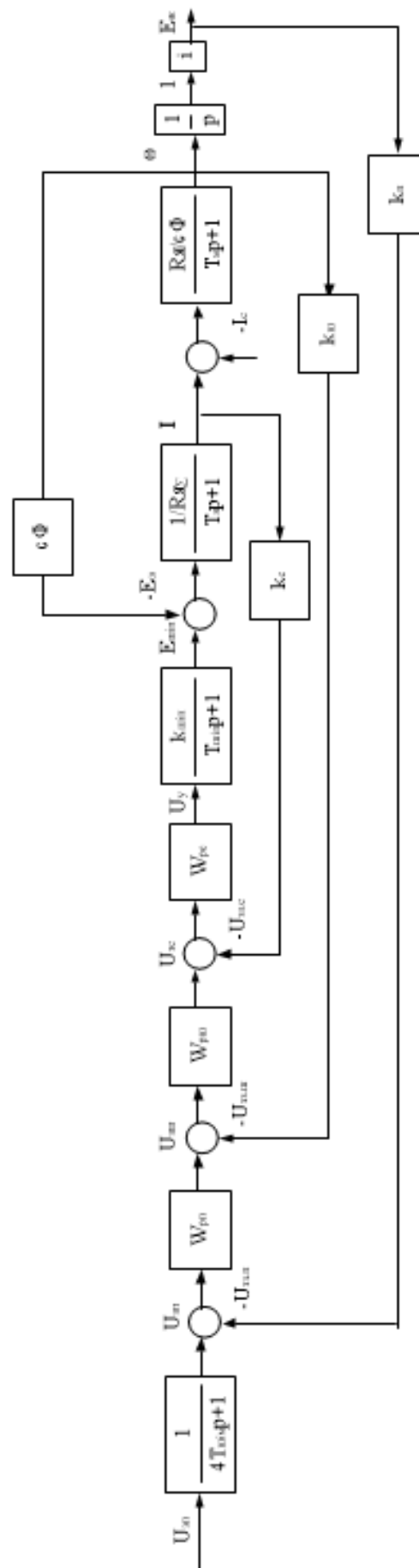


Рисунок 4.2 – Структурна схема САК

k_c - коефіцієнт зворотного зв'язку по струму якоря;

k_{ui} - коефіцієнт зворотного зв'язку по швидкості двигуна;

$U_{3ш}$ - сигнал завдання за швидкістю;

U_{3c} - сигнал завдання по струму двигуна;

U_y - сигнал управління на вході перетворювача;

E_{uin} - ЕРС на виході перетворювача;

E_ω - ЕРС обертання;

I - струм якоря двигуна;

ω - швидкість двигуна.

З структурної схеми рис. 4.2 визначаємо передавальну функцію елементів контуру струму, дію яких повинен компенсувати регулятор струму:

$$W_{OK}(p) = \frac{k_{ui} \cdot \frac{1}{R_{я\Sigma}} \cdot k_c}{T_{я}p + 1} \quad (4.8)$$

Під час прийому модульний оптимум передавальна функція регулятора визначається наступним чином:

$$W_{PC}(p) = \frac{1}{W_{OK}(p)} \cdot \frac{1}{2T_{\mu}p} = \frac{R_{я\Sigma}(T_{я}p + 1)}{k_{ui}k_T 2T_{\mu}p}. \quad (4.9)$$

Коефіцієнт зворотного зв'язку по струму визначається максимальним значенням напруги на вході контуру струму, $U_{3T \max}$, який при побудові системи управління на базі операційних підсилювачів, становить 10 В, а також відповідним даному рівню сигналу величиною струму якоря.

$$k_c = \frac{U_{3C \max}}{2,5I_H} = \frac{10}{2,5 \cdot 24} = 0,17. \quad (4.10)$$

Якщо ввести позначення

$$T_H = k_{uin} k_C \frac{1}{R_{\Sigma}} \cdot 2T_{\mu}, \quad (4.11)$$

де T_{μ} - мала некомпенсована стала часу, в даному випадку його є постійна часу ШП $T_{uin}(T_{\mu} = T_{uin} = 0,001)$, то отримуємо шукану передавальну функцію регулятора струму в наступному вигляді:

$$W_{PC}(p) = \frac{T_{\Sigma} p + 1}{T_H p}, \quad (4.12)$$

Звідки видно, що в контурі струму потрібно застосувати пропорційно-інтегральний (ПІ) регулятор. Використовуючи попередні величини, маємо:

$$W_{PC}(p) = \frac{0,012p + 1}{20 \cdot 0,17 \cdot 1 / 0,1473 \cdot 2 \cdot 0,001p} = \frac{0,012p + 1}{0,046p}.$$

При розрахованій налаштуванні контуру струму його передавальна функція в розімкнутому стані:

$$\begin{aligned} W_{poz.C}(p) &= W_{PC}(p) \frac{k_{uin}}{T_{\mu} p + 1} \cdot \frac{1/R_{\Sigma}}{T_{\Sigma} p + 1} \cdot k_C = \frac{T_{\Sigma} p + 1}{k_{uin} \cdot k_C \cdot \frac{1}{R_{\Sigma}} \cdot 2T_{\mu} p} \cdot \frac{k_{uin}}{T_{\mu} p + 1} \cdot \frac{1/R_{\Sigma}}{T_{\Sigma} p + 1} \cdot k_C = \\ &= \frac{1}{2T_{\mu} p \cdot (T_{\mu} p + 1)} \end{aligned} \quad (4.13)$$

Як видно, динамічні характеристики оптимізованого контуру струму не залежать від параметрів об'єкта регулювання. У тому числі і від електромагнітної постійної часу.

Передавальна функція оптимізованого контуру струму в замкнутому стані:

$$W_{3C}(p) = \frac{W_{poz.C}(p) / k_C}{1 + W_{poz.C}(p)} = \frac{1/k_C}{2T_{\mu} p (T_{\mu} p + 1) + 1} \quad (4.14)$$

Оскільки T_{μ} - мала некомпенсована постійна часу, то в знаменнику отриманого виразу можна знехтувати членом при p^2 , так як коефіцієнт при ньому буде величиною істотно більшого порядку малості. Тоді передавальна функція замкнутого контуру струму може бути прийнята в наступному вигляді:

$$W_{3C}(p) = \frac{1/k_C}{2T_{\mu} p + 1} = \frac{1/0,17}{2 \cdot 0,001p + 1} = \frac{5,88}{0,002p + 1} \quad (4.15)$$

Таким чином, динамічні властивості оптимізованого за модульним оптимуму контуру струму визначаються некомпенсовані малої (постійної часу ШП) і величиною коефіцієнта зворотного зв'язку по струму.

Розрахований регулятор струму реалізується на базі операційного підсилювача, включеного за схемою інверсного включення, як показано на рис. 4.3.

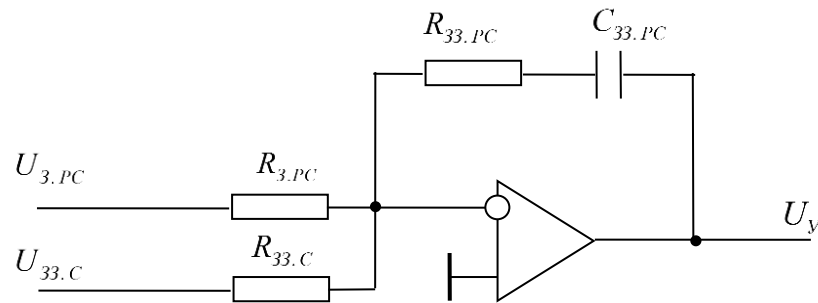


Рисунок 4.3 – регулятор струму

Передавальна функція наведеної схеми без урахування зміни полярності вихідного сигналу по відношенню до вхідного, має вигляд:

$$W_{CX.PC}(p) = \frac{Z_{CX.PC}(p)}{Z_{BX.PC}(p)}, \quad (4.16)$$

де $Z_{CX.PC}(p)$ і $Z_{BX.PC}(p)$ - відповідно повні опору ланцюга зворотного зв'язку і вхідного ланцюга операційного підсилювача, вираз в операторній формі.

Як впливає з наведеної схеми:

$$Z_{CX.PC}(p) = R_{CX.PC}(p) + \frac{1}{pC_{33.PC}} = \frac{R_{33.PC} \cdot C_{33.PC}p + 1}{pC_{33.PC}} \quad (4.17)$$

$$Z_{BX.PC}(p) = R_{3.PC}(p)$$

при цьому реалізована схемою рис. 4.3 передавальна функція буде відповідати необхідній (ПІ регулятор):

$$W_{CX.PC}(p) = \frac{R_{33.PC} \cdot C_{33.PC}p + 1}{R_{3.PC} \cdot C_{33.PC}p} = \frac{R_{33.PC}}{R_{3.PC}} + \frac{1}{R_{3.PC} \cdot C_{33.PC}p}. \quad (4.18)$$

Для забезпечення реалізації необхідної функції регулятора струму необхідно виконання наступних співвідношень:

$$\begin{cases} T_{\text{я}} = R_{33.PC} \cdot C_{33.PC} p \\ \frac{k_{\text{uin}} \cdot k_C \cdot 2T_{\mu}}{R_{\text{я}\Sigma}} = R_{3.PC} \cdot C_{33.PC} \end{cases}$$

(4.19)

Оскільки дані рівняння (яких два) містять три невідомих параметра, одним з них можна задати. Нехай ємність в колі зворотного зв'язку регулятора. $C_{33.PC} = 1 \text{ мкФ} = 1 \cdot 10^{-6} \text{ Ф}$.

Тоді:

$$R_{33.PC} = \frac{T_{\text{я}}}{C_{33.PC}} = \frac{0,012}{1 \cdot 10^{-6}} = 12000 \text{ Ом} . \quad (4.20)$$

Приймаємо стандартне значення. $R_{33.PC} = 12 \text{ кОм}$.

Опір в ланцюзі задавального сигналу регулятора струму:

$$R_{3.PC} = \frac{k_{\text{uin}} \cdot k_C \cdot 2T_{\mu}}{R_{\text{я}\Sigma} \cdot C_{33.PC}} = \frac{20 \cdot 0,17 \cdot 0,002}{0,1473 \cdot 1 \cdot 10^{-6}} = 46164 \text{ Ом} . \quad (4.21)$$

Приймаємо стандартне значення. $R_{3.PC} = 47 \text{ кОм}$.

З урахуванням реальних значень параметрів резисторів і конденсатора в ланцюзі операційного підсилювача, що реалізується передавальна функція регулятора струму набуває вигляду:

$$W_{\text{CX.PC}}(p) = \frac{R_{33.PC}}{R_{3.PC}} + \frac{1}{R_{3.PC} \cdot C_{33.PC} p} = \frac{12}{47} + \frac{1}{47000 \cdot 1 \cdot 10^{-6} p} = 0,255 + \frac{1}{0,047 p} \quad (4.22)$$

Ланцюг зворотного зв'язку по струму комплектного транзисторного електроприводу ЕШІМ-1 містить вбудований датчик струму, що забезпечує напругу $U_{\text{вих}} = 1,0 \text{ В}$ при номінальному струмі силового ланцюга. Для блоку регулювання БС3001-342 номінальний струм силового ланцюга дорівнює 25А. Розрахуємо коефіцієнт передачі датчика струму:

$$k_{\text{ДС}} = \frac{1,0}{25} = 0,04 \text{ В/А} \quad (4.23)$$

Коефіцієнт зворотного зв'язку по струму можна розглядати як загальний коефіцієнт передачі даної ланцюга:

$$k_c = k_{дс} \cdot \frac{R_{3. PC}}{R_{33. C}}, \quad (4.24)$$

звідки можна визначити опір зворотного зв'язку по струму на вході регулятора струму:

$$R_{33. C} = k_{дс} \cdot \frac{R_{3. PC}}{k_c} = 0,04 \cdot \frac{47000}{0,17} = 11059 \text{ Ом}. \quad (4.25)$$

З ряду стандартних значень вибираємо. $R_{33. C} = 11 \text{ кОм}$.

4.2 Розрахунок контуру швидкості і отримання передавальної функції з урахуванням датчика зворотного зв'язку

Розрахунок параметрів контуру регулювання швидкості двигуна будемо проводити за аналогією з розрахунком контуру регулювання струму, припускаючи його настройку на симетричний оптимум. Структурна схема контуру швидкості буде мати вигляд, представлений на рис. 4. 4.

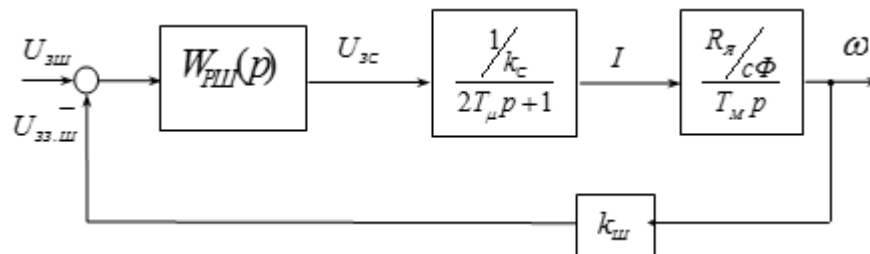


Рисунок 4.4 – Структурна схема контуру швидкості.

Передавальна функція елементів контуру, дія яких повинен компенсувати регулятор швидкості, матиме вигляд:

$$W_{ок}(p) = \frac{1/k_c \cdot R_{я\Sigma}/c\Phi \cdot k_{ш}}{T_{\mu}p}. \quad (4.26)$$

Під час прийому симетричний оптимум передавальна функція регулятора швидкості приймає форму пропорційно-інтегральної ланки:

$$W_{PII}(p) = k_{PII} + \frac{k_{PII}}{8T_\mu p}, \quad (4.27)$$

де k_{PII} - коефіцієнт підсилення пропорційного регулятора:

$$k_{PII} = \frac{T_M \cdot k_C \cdot c\Phi}{R_{\Sigma} \cdot k_{II} \cdot 4T_\mu} \quad (4.28)$$

Коефіцієнт зворотного зв'язку по швидкості при використанні пропорційно - інтегрального регулятора може бути визначений таким чином:

$$k_{II} = \frac{U_{III \cdot \max}}{\omega_{ном}} = \frac{10}{104} = 9,6 \cdot 10^{-2} \quad (4.29)$$

Тоді

$$k_{PII} = \frac{0,0076 \cdot 0,17 \cdot 0,502}{0,1473 \cdot 9,6 \cdot 10^{-2} \cdot 4 \cdot 0,001} = 11,48.$$

Шукана передавальна функція регулятора швидкості буде дорівнює:

$$W_{PII}(p) = 11,48 + \frac{1}{0,0007 p}.$$

Передавальна функція регулятора швидкості може бути реалізована за допомогою схеми рис. 4.5, Аналогічної ПІ регулятору струму. Порядок розрахунку аналогічний вищеведеному для регулятора струму

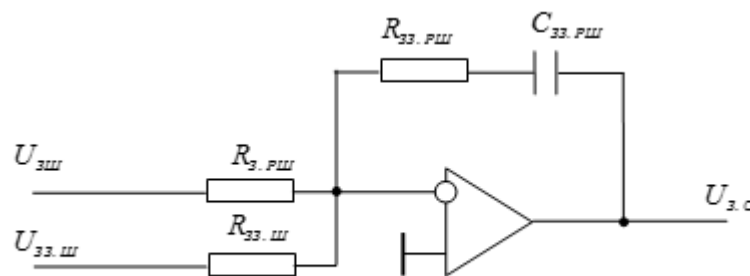


Рисунок 4.5 – Регулятор швидкості.

Прийmemo собі ємність в колі зворотного зв'язку регулятора швидкості $C_{33.ПИИ} = 0,1 \text{ мкФ}$, визначимо опір $R_{33.ПИИ}$:

$$R_{33.ПИИ} = \frac{8T_\mu}{C_{33.ПИИ}} = \frac{8 \cdot 0,001}{1 \cdot 10^{-7}} = 80000 \text{ Ом}. \quad (4.30)$$

З ряду стандартних значень вибираємо визначимо: $R_{33. PIII} = 8,2 \text{ кОм}$.

Визначимо $R_{3. PIII}$:

$$R_{3. PIII} = \frac{32 \cdot T_{\mu}^2 \cdot R_{\Sigma} \cdot k_{III}}{T_M \cdot k_C \cdot c\Phi \cdot C_{33. PIII}} = \frac{32 \cdot 0,001^2 \cdot 0,1473 \cdot 0,096}{0,0076 \cdot 0,17 \cdot 0,502 \cdot 10^{-7}} = 6980 \text{ Ом} \quad (4.31)$$

Приймаємо найближче стандартне значення. $R_{3. PIII} = 6,8 \text{ кОм}$.

У комплектних електроприводах, побудованих на базі пристроїв ЕШМ. Зворотній зв'язок по швидкості реалізується за допомогою тахогенератора. Вихідний сигнал якого через резистивний дільник напруги надходить на вхід регулятора швидкості (на резистор $R_{33. III}$ схема рис. 4.5.).

Обраний раніше електродвигун комплектується тахогенератором типу ТС-1М з крутизною характеристики $0,02 \text{ В / хв}$.

Напруга на виході тахогенератора визначається швидкістю двигуна:

$$U_{TG} = \omega \cdot k_{TG}, \quad (4.32)$$

де k_{TG} - коефіцієнт передачі тахогенератора, який визначається крутизною його характеристики.

Напруга зворотного зв'язку по швидкості, наведене до ланцюга завдання по швидкості, дорівнюватиме:

$$U_{33. III} = U_{TG} \cdot k_{\text{дйл}} \cdot \frac{R_{3. PIII}}{R_{33. III}} = \omega \cdot k_{TG} \cdot k_{\text{дйл}} \cdot \frac{R_{3. PIII}}{R_{33. III}}, \quad (4.33)$$

де $k_{\text{дйл}} = 0,05$ – коефіцієнт передачі дільника напруги в ланцюзі тахогенератора.

З структурної схеми контуру швидкості (рис. 4.5) маємо:

$$k_{III} = \frac{U_{33. III}}{\omega} = k_{TG} \cdot k_{\text{дйл}} \cdot \frac{R_{3. PIII}}{R_{33. III}}, \quad (4.34)$$

Звідки:

$$R_{33. III} = \frac{k_{TG} \cdot k_{\text{дйл}}}{k_{III}} \cdot R_{3. PIII} = \frac{0,02 \cdot 0,05}{9,6 \cdot 10^{-2}} \cdot 6800 = 70,8 \text{ Ом}. \quad (4.35)$$

Приймаємо найближче стандартне значення. $R_{33. III} = 75 \text{ Ом}$.

4.3 Аналіз можливо використання аналогового регулятора і отримання його передавальної функції методом послідовної корекції

Структурна схема контуру положення має вигляд, представлений на малюнку 4.6.

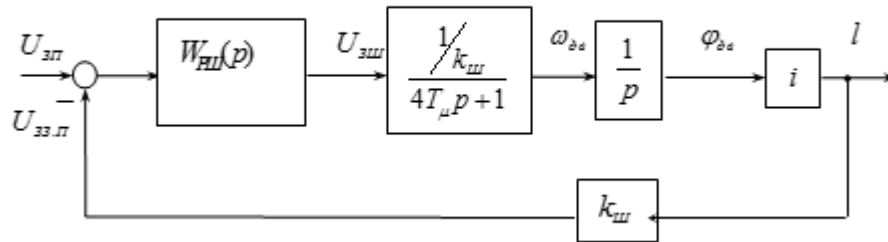


Рисунок 4.6 – Структурна схема контуру положення

Передавальна функція елементів контуру, дію яких повинен компенсувати регулятор положення, матиме вигляд:

$$W_{OK}(p) = \frac{1}{k_{ш}} \cdot \frac{1}{p} \cdot i \cdot k_n. \quad (4.36)$$

При налаштуванні на модульний оптимум передавальна функція регулятора струму визначається наступним чином:

$$W_{PI}(p) = \frac{1}{W_{OK}(p)} \cdot \frac{1}{8T_{\mu}p} = \frac{k_{ш}}{8T_{\mu} \cdot i \cdot k_n}, \quad - \quad (4.37)$$

звідки видно, що в контурі положення необхідно застосувати пропорційної (П) регулятор.

Коефіцієнт зворотного зв'язку по положенню може бути визначений таким чином:

$$k_n = \frac{U_{зп. \max}}{h}, \quad - \quad (4.38)$$

h - максимальна відстань зміщення столу в одну зі сторін від середнього (вихідного) стану. При довжині столу $l = 2 \text{ м}$ виліт столу буде $l/2 = 1 \text{ м}$.

отже,

$$k_n = \frac{10}{1} = 10.$$

Використовуючи певні величини, маємо:

$$W_{PI}(p) = \frac{9,6 \cdot 10^{-2}}{4 \cdot 8 \cdot 0,001 \cdot 10 \cdot 10^{-4}} = 3000$$

При цьому значенні моделювання показало наявність перерегулювання в перехідній характеристиці. Тому експериментальним шляхом було знижено коефіцієнт передачі регулятора положення до $W_{PI}=1500$ при якому отримано монотонний перехідний процес.

Передавальна функція регулятора положення може бути реалізована за допомогою схеми рис. 4.7.

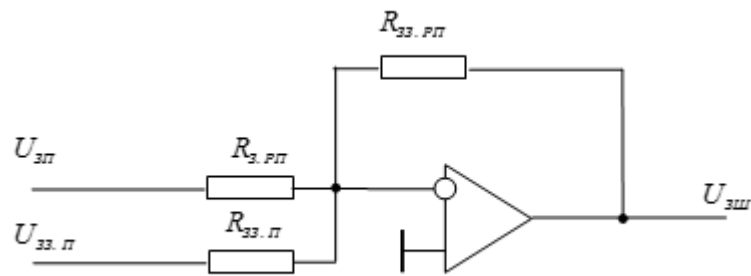


Рисунок 4.7 – Регулятор положення

При цьому реалізується схемою рис. 4.7 передавальна функція буде відповідати необхідній (П- регулятор):

$$W_{CX.PI} = \frac{R_{зз.PI}}{R_{з.PI}}, \quad (4.39)$$

звідки визначимо

$$R_{зз.PI} = W_{CX.PI} \cdot R_{з.PI} \quad (4.40)$$

Поставивши собі за значенням $R_{з.PI} = 100 \text{ Ом}$, визначимо $R_{зз.PI}$:

$$R_{зз.PI} = 3000 \cdot 100 = 300000 \text{ Ом}.$$

З ряду стандартних значень вибираємо $R_{зз.PI} = 300 \text{ кОм}$.

Опір $R_{зз.PI}$ розраховуємо виходячи зі співвідношення:

$$\frac{R_{33.ПП}}{R_{3.ПП}} = k_{П}, \quad (4.41)$$

Звідки

$$R_{33.ПП} = \frac{R_{33.ПП}}{k_{П}} = \frac{300000}{10} = 30000 \text{ Ом} \quad (4.42)$$

З ряду стандартних значень вибираємо $R_{33.ПП} = 30 \text{ кОм}$.

Висновки до розділу 4

1. Побудована структурна схема САК ЕП подачі столу фрезерного верстату та зроблений її опис. Також синтезовані регулятори струму, потокозчеплення та швидкості. І розраховані відповідні коефіцієнтів для цих регуляторів.

2. Був проведений аналіз використання аналогового регулятора і отримання його передавальної функції методом послідовної корекції.

РОЗДІЛ 5 ДОСЛІДЖЕННЯ ДИНАМІЧНИХ ПРОЦЕСІВ ЕЛЕКТРОМЕХАНІЧНОЇ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ ПОДАЧЕЮ СТОЛУ

5.1 Опис моделі САК ЕП

Для проведення досліджень системи була побудована модель в MatLab/Simulink яка відтворювала структурну схему системи на рисунку 4.2 і зображена на рисунку 5.1

В моделі синтезовано три регулятори : регулятори струму, регулятор положення та регулятор швидкості. Керовані величини виведені на осцилографи (Scope) для постійного спостереження за моделювання системи. Ще в моделі миттєві значення струму та швидкості. Траєкторія руху задається за допомогою блоку Step і Ramp.

Силову частину моделі зібрано з двигуна постійного струму, та аперіодичної ланки першого порядку яка відображає динаміку силової частини.

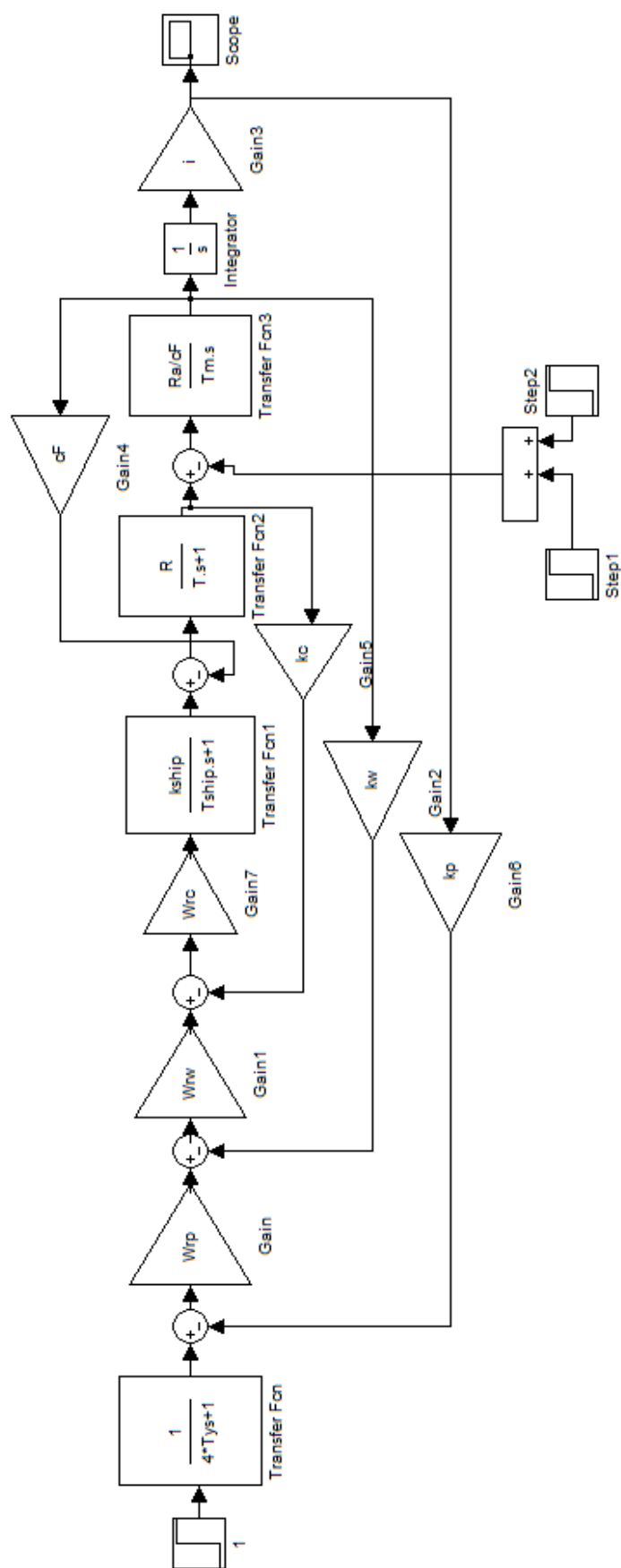


Рисунок 5.1 – Схема моделі САК ЕП подачі столу фрезерного верстату

5.2 Дослідження САК ЕП шляхом моделювання

Дослідження реакції на стрибок завдання. Знаходимо перехідну характеристику системи керування положенням. Отримана реакція системи на стрибокоподібне завдання, представлена на рисунку 4.1.

Ми бачимо що рівень 0.95 від усталеного значення положення валу двигуна досягається в момент часу $t_p = 0.055 \text{ c} \leq 0.06 \text{ c}$.

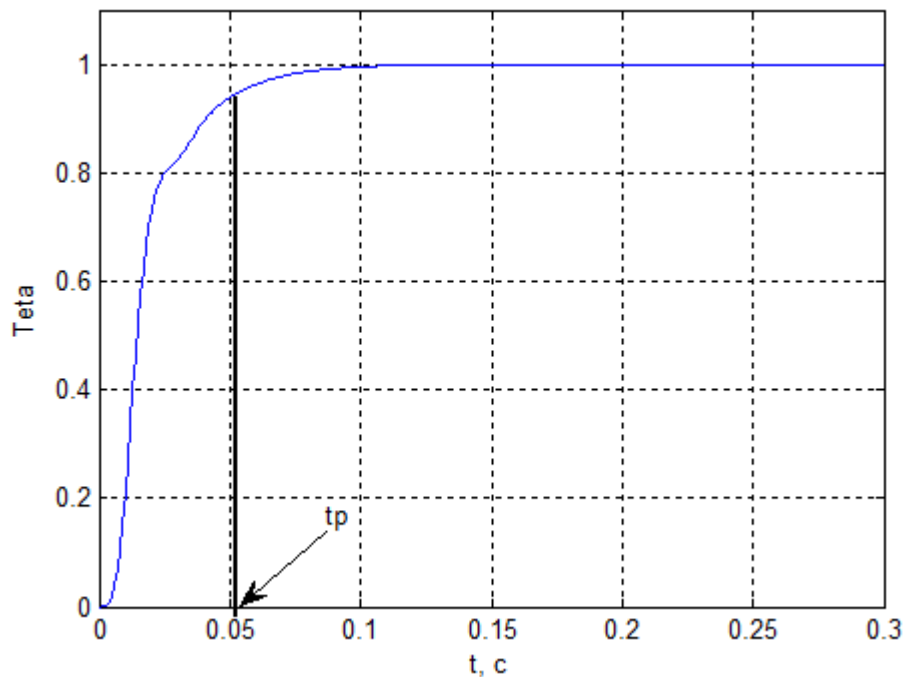


Рисунок 5.2 – Реакція на стрибок завдання

Дослідження реакції системи на лінійно наростаюче завдання. Дослідимо якість системи при відпрацюванні лінійного завдання. Для цього визначимо показник точності при відпрацюванні лінійного завдання тобто добротність за швидкістю $K_v \geq 60 \text{ 1/c}$.

Теоретично добротність в контурі регулювання положенням визначається як:

$$K_v = W_{pp} * i * k_{\Pi} / k_{\text{ш}};$$

$$K_v = 62.5 \text{ c}^{-1};$$

а експериментально при лінійному завданні як відношення швидкості до помилки. Лінійне завдання з швидкістю $v = 1 \text{ рад/с}$ показано на рисунку 5.3 а крива швидкості на рисунку 5.4.

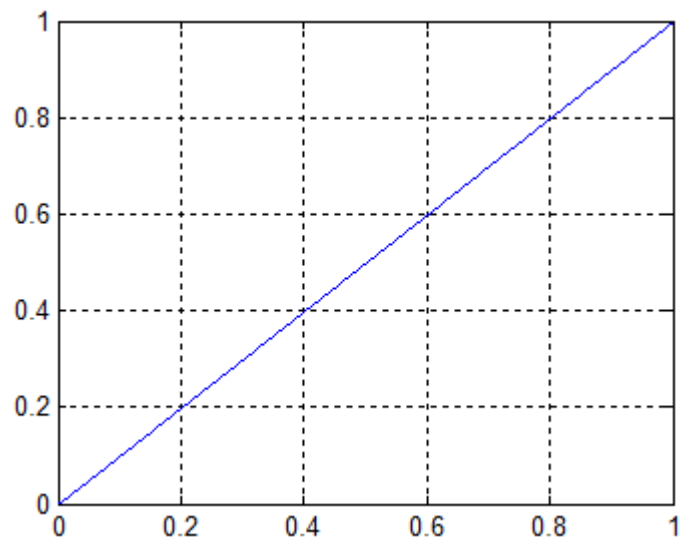


Рисунок 5.3 – Лінійне завдання положення валу двигуна

В цьому експерименті була отримана усталена похибка керування положенням $Er=6,4 \cdot 10^{-5}$ яка зображена на рисунку 5.5.

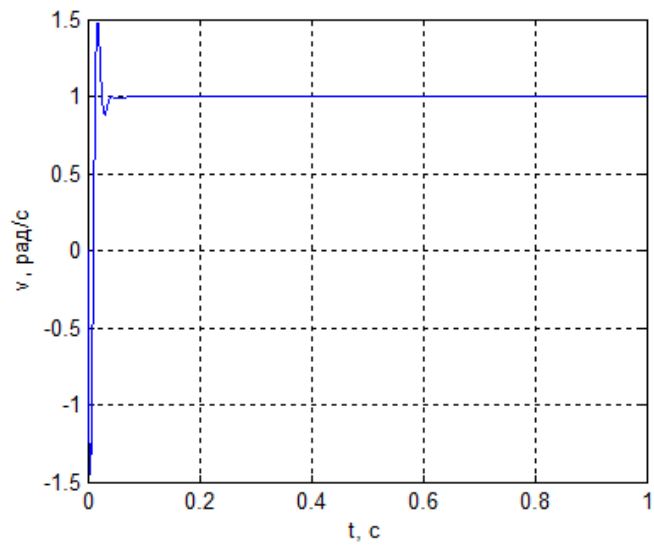


Рисунок 5.4 – Швидкість при лінійному завданні

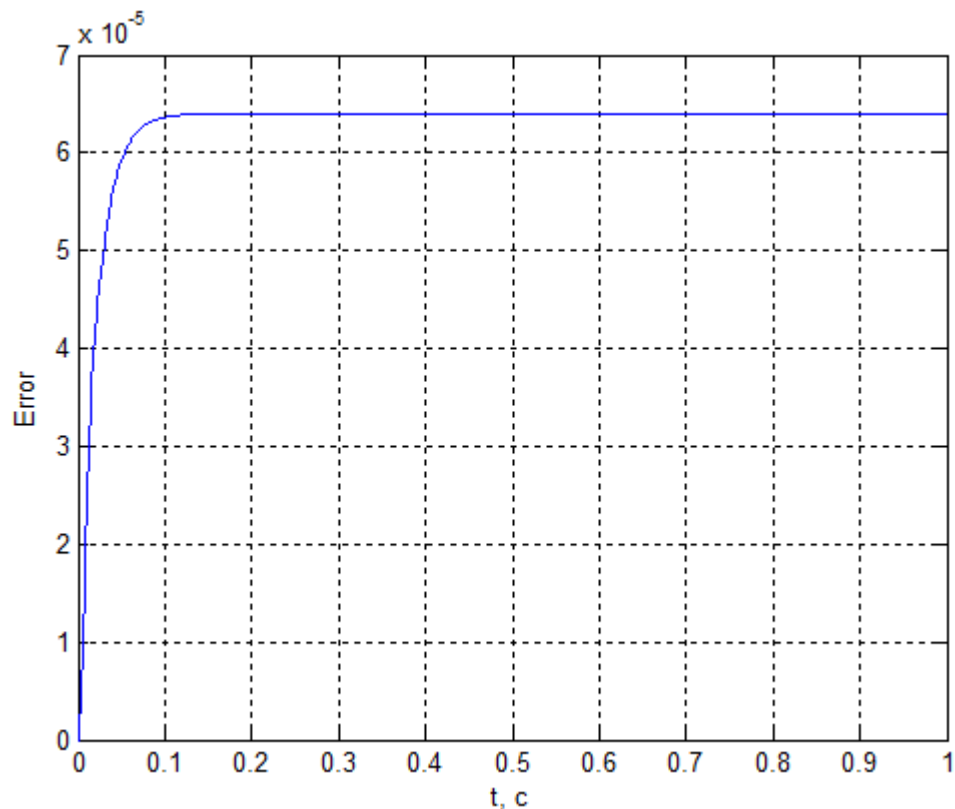


Рисунок 5.5 – Похибка регулювання положення

Отже експериментальна добротність визначається

$$K_{v1} = (v/Er) * i * k_n; = (1/0.000064) * 0.0004 * 10 = 62.5 \text{ c}^{-1};$$

Дослідження відпрацювання циклограми швидкості відповідно до технологічного процесу. Для відтворення цього режиму процес різання проходить при максимальній швидкості і повернення столу після закінчення різання відбувається на швидкому ході при максимальній подачі (рисунок 2.1). На рисунку 5.6 зображено графік швидкості, на рисунку 5.7 зображено графік струму, на рисунку 5.8 зображено графік напруги на якорі двигуна при відпрацюванні циклограми технологічного процесу. При проведенні цього розділу прикладався статичний момент до двигуна який дорівнював моменту різання і швидкого ходу.

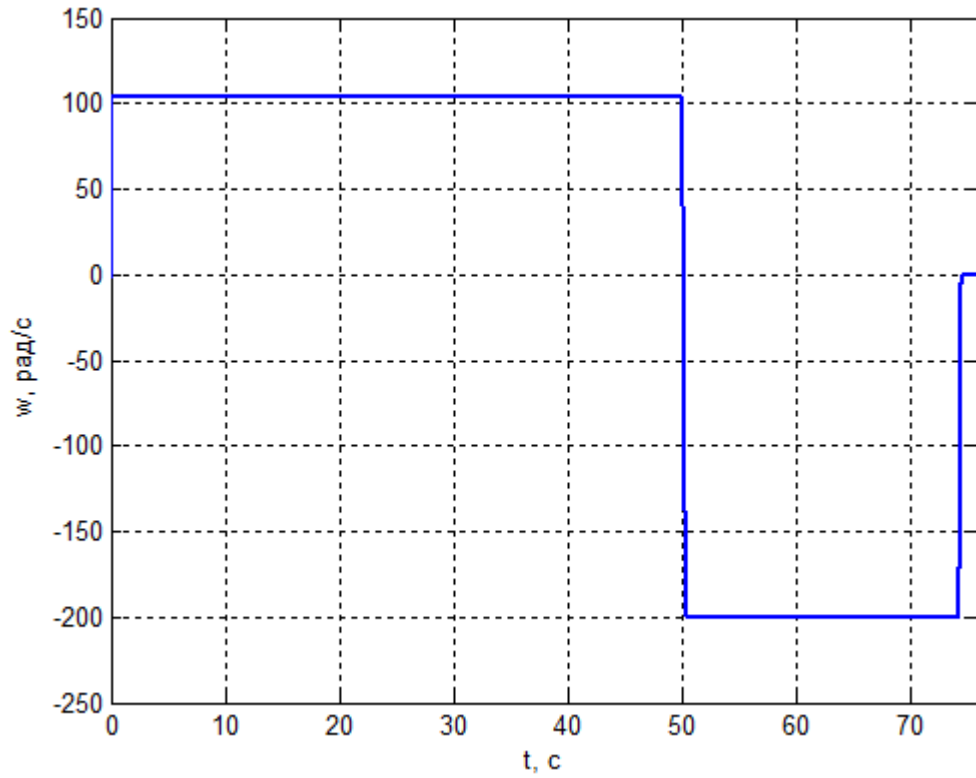


Рисунок 5.6 – Швидкість при відпрацюванні циклограми технологічного процесу

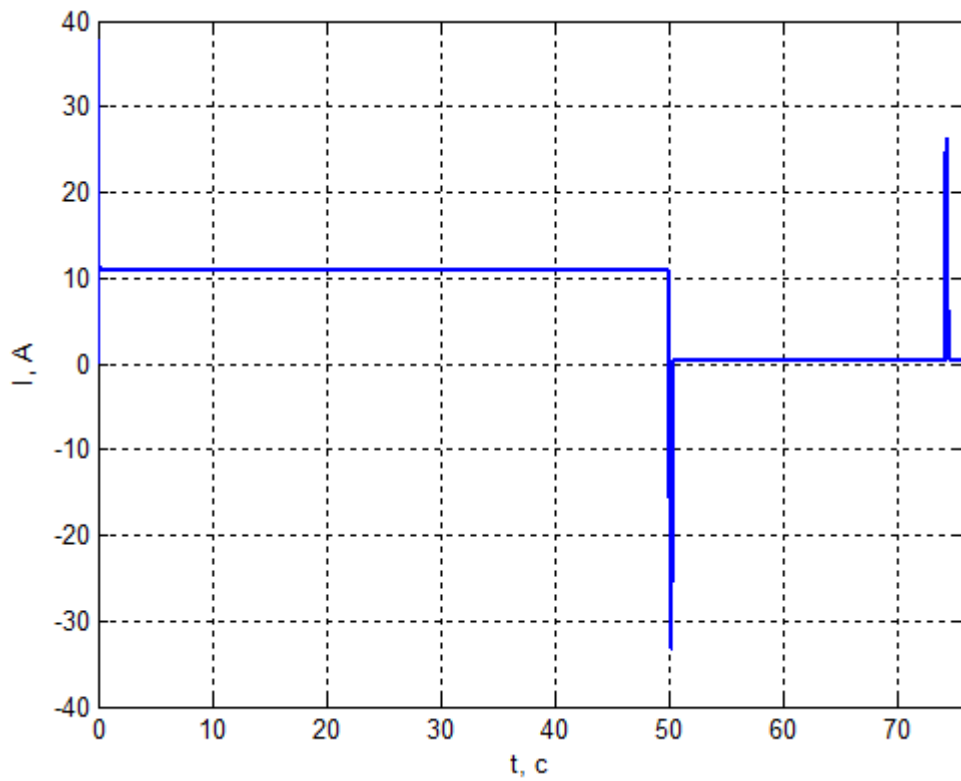


Рисунок 5.7 – Струм двигуна при відпрацюванні циклограми технологічного процесу

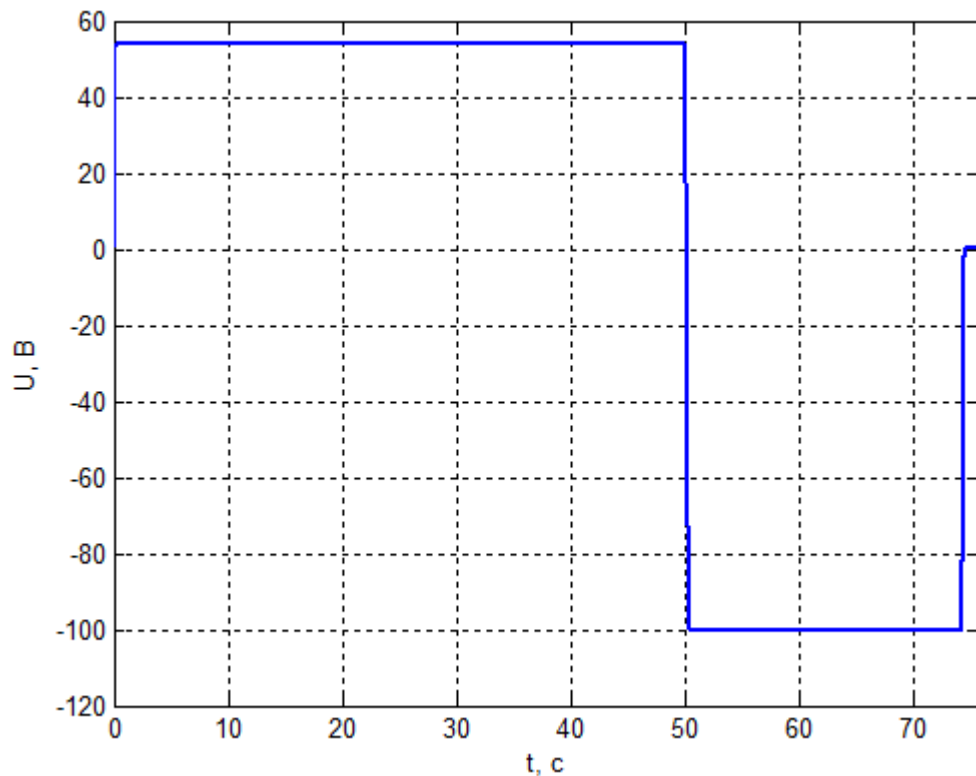


Рисунок 5.8 – Напруга на якорі двигуна при відпрацюванні циклограми технологічного процесу

Порівнюючи рис. 5.6 і рис. 5.7 з рис. 2.2 навантажувальної діаграми бачимо їх подібність. Задана швидкість повністю відпрацьовується а момент двигуна не перевищує номінального значення. При цьому рис. 5.8 підтверджує що напруга на якорі двигуна не перевищує допустимого значення.

Висновки до розділу 5

1. У даному розділі було здійснено моделювання системи керування подачі столу фрезерного верстату.
2. З дослідів можна побачити, що система стійка, та повністю відпрацьовує задану траєкторію швидкості.
3. Було досліджено реакцію системи на лінійно наростаюче завдання та на стрибок завдання. Ці дослідження підтвердили наявність необхідного значення добротності за швидкістю, часу регулювання та монотонності перехідної характеристики.

ВИСНОВОК

В даній роботі було спроектовано електромеханічну систему приводу роботи подачі столу фрезерного верстату на основі електродвигуна. Було виконано аналітичний огляд проблеми та сформульовані вимоги до системи. Об'єктом дослідження був електропривод (ЕП) подачі столу фрезерного верстату. При виконанні дипломного проекту були отримані наступні висновки та результати.

1. Здійснено аналітичний огляд, який підтвердив актуальність проблеми, дозволив сформулювати вимоги до ЕП.
2. Були розраховані потужності електродвигуна та вибір силового обладнання також була проведена перевірка правильності обраного двигуна по моменту та розраховано сумарний момент інерції. Побудовано навантажувальну діаграму двигуна та за нею вибрано електродвигун.
3. Побудована функціональна схема САК ЕП подачі столу фрезерного верстату.
4. Проведений математичний опис об'єкта керування, побудована структурна схема та виконано синтез регуляторів САК ЕП подачі столу фрезерного верстату.
5. Побудована модель САК ЕП в середовищі Simulink та за її допомогою виконано дослідження властивостей системи шляхом визначення реакції на стрибок завдання та на лінійне завдання і відпрацювання циклограми швидкості згідно технологічного процесу.
6. Розроблено схему електричну принципову силової частини електропривода та виконано креслення зовнішнього вигляду столу фрезерного верстату.

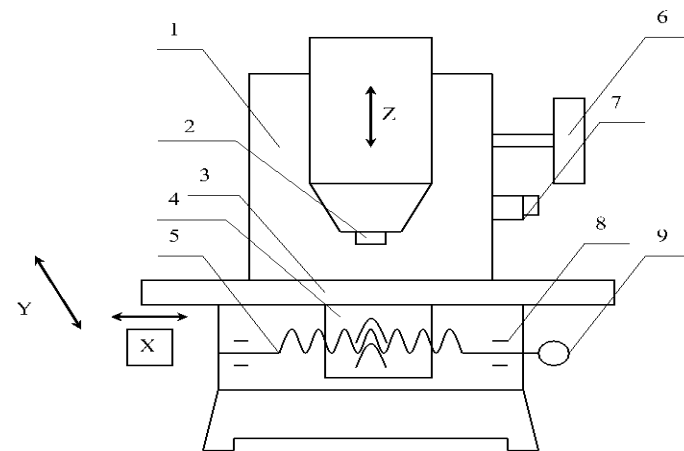
СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Лебедев А.М., Орлова Р.Т., Пальцев А.В. Следящие электроприводы станков с ЧПУ. М., Энергоатомиздат, 1988г.
2. Коровин Б.Г., «Системы программного управления промышленными установками и робототехническими комплексами», 1990г.
3. Демидов С.В., Авдушев С.А., и др. «Электромеханические системы управления тяжелыми металлорежущими станками», 1986г.
4. Королев Э.Г., и др. «Эффективность применения вспомогательных двигателей в станкостроении», 1981 г.
5. Башарин А.В., Новиков В. А., Соколовский Г.Г., «Управление электроприводами» (учебное пособие), 1982 г.
6. Созонник Г.Д., Стеклов В.К., «Цифровые системы управления», Техника, 1991 г.
7. Иванов В.А., Ющенко А.С., «Теория дискретных систем автоматического управления», 1983 г.
8. Пальтов Н.П. «Качество процессов и синтез корректирующих устройств в нелинейных автоматических системах». 1979 г.
9. Техническое описание и инструкция по эксплуатации электропривода ЭШИМ-1. ИГЕВ, 654773.002-40 ТО.
10. Сандлер А.С. «Электропривод и автоматизация металлорежущих станков», 1977 г.
11. Ключев В.И. «Теория электропривода», Москва, Энергоиздат, 1985 г.
12. Попов Е.П. «Теория систем автоматического регулирования», 1966 г.
13. Васильев Д.В. и др. «Основы теории и расчета следящих систем», 1979 г.
14. Ахметжанов А.А., Кочемасов А.В., «Следящие системы и регуляторы», 1982 г.
15. Справочник «Станки металлорежущие с программным управлением. Параметры сопротивления систем программного управления с ЭВМ и периферийными устройствами ввода - вывода», 1985 г.

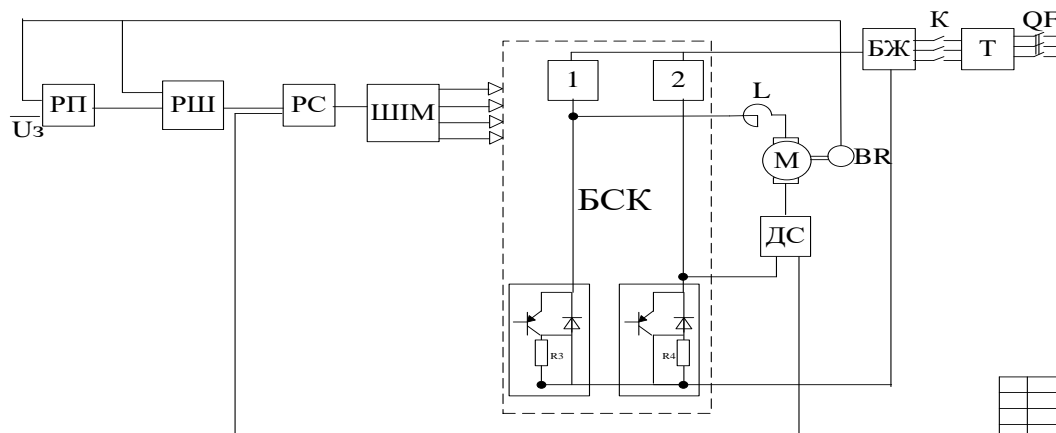
16. Андрейчиков Б.И. «Динамическая точность систем программного управления станками», Москва, Машиностроение, 1974 г.
17. Гостев В.И. «Системы управления с цифровыми регуляторами», 1990 г.
18. Косовский В.А., Подвигина В.И., Довгань Л.Е. Справочник «Программное управление станками и промышленными роботами», 1986 г.
19. Сандлер А.С. «Электропривод и автоматизация металлорежущих станков», 1977 г.
20. Методические указания по курсовому проектированию «Автоматическое управление электроприводами», 1979 г.

Додаток А Графічна частина

[illegible]



- 1 станина
- 2 шпиндель
- 3 стіл
- 4 гайка кочення
- 5 ходовий гвинт
- 6 барабан з інструментом
- 7- механізм автоматичної зміни інструменту
- 8- підшипники
- 9-електродвигун



					141.7118.030.БР			
					Електромеханічна система подачі столу фрезерного верстату. Загальний вигляд установки	Лит.	Маса	Масштаб
Зм.	Арк.	№ док.ум.	Підпис	Дата		Т		
Розроб.	Юрченко О.О							
Перев.								
Керівник	Приймак Б.І.				Аркуш 1	Аркушів 3		
Н.контр.					КПІ ім. Ігоря Сікорського Каф. АЕМС-ЕП Гр. ЕП-71			
Затв.	Пересада С.М							

Рисунок 5.9 – Загальний вигляд фрезерного верстату

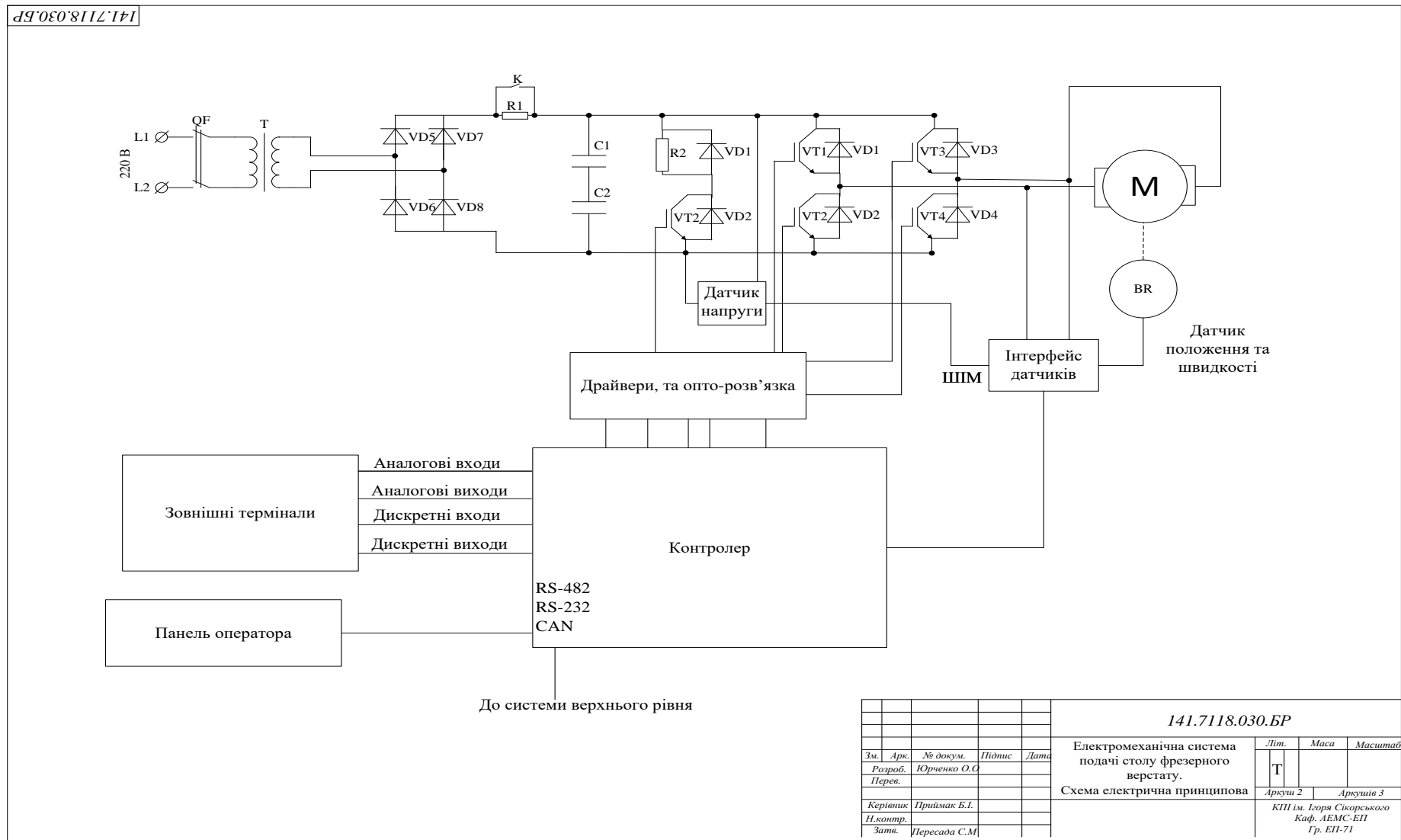


Рисунок 5.10 – Схема електрична принципова

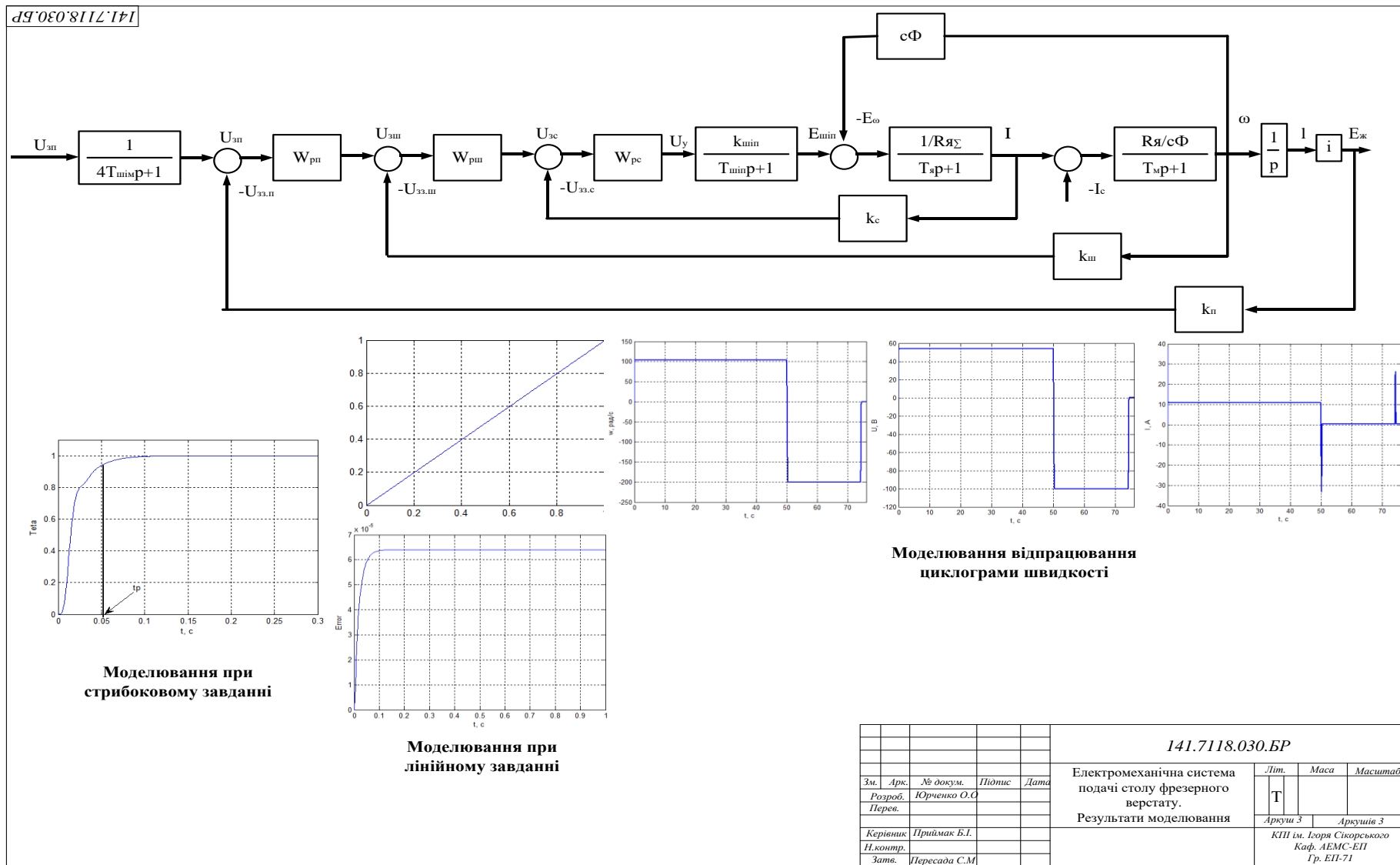


Рисунок 5.11 – Результати моделювання