

Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка»
(повне найменування закладу вищої освіти)

Навчально-науковий інститут інформаційних технологій і робототехніки
(повне найменування інституту, назва факультету (відділення))

Кафедра автоматики, електроніки та телекомунікацій
(повна назва кафедри (предметної, циклової комісії))

Пояснювальна записка

до кваліфікаційної роботи

магістр

(ступінь вищої освіти)

на тему

**Розроблення та дослідження автоматизованого електроприводу
двокоординатного модуля для виробництва інтегральних мікросхем**

Виконав: студент 2 курсу, групи 601-мМЕ
спеціальності 141 «Електроенергетика,
електротехніка та електромеханіка»
(шифр і назва напрямку підготовки, спеціальності)

Шокодзько М.О.

(прізвище та ініціали)

Керівник Кислиця С.Г.

(прізвище та ініціали)

Рецензент Галай В.М.


(прізвище та ініціали)

Полтава - 2026 рік

Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка»
Інститут Навчально-науковий інститут інформаційних технологій та
робототехніки
Кафедра Автоматики, електроніки та телекомунікацій
Рівень вищої освіти Магістр
Спеціальність 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри автоматики,
електроніки та телекомунікацій


" 15 " 09 2025 р.

О.В. Шефер

З А В Д А Н Н Я НА МАГІСТЕРСЬКУ РОБОТУ СТУДЕНТУ

Шокодьку Миколі Олександровичу

1. Тема проекту (роботи) «Розроблення та дослідження автоматизованого електроприводу двокоординатного модуля для виробництва інтегральних мікросхем»

керівник проекту (роботи) Кислиця Світлана Григорівна, к.т.н., доцент
затверджена наказом вищого навчального закладу від "___" _____ 2025 року
№ _____

2. Строк подання студентом проекту (роботи) 22.12.2025 р.

3. Вихідні дані до проекту (роботи) двокоординатний транспортний модуль на основі лінійних крокових двигунів.

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) Вступ. 1. Технологічна частина. 2. Аналіз технологічного процесу. 3. Вибір системи електропривода і автоматизація промислової установки. 4. Проектування функціональної схеми автоматизованого електроприводу. 5. Розрахунок навантажень і побудова механічної характеристики і навантажувальної діаграми механізму. 6. Проектування силової схеми автоматизованого електропривода і вибір комплектного перетворювача електричної енергії. 7. Проектування системи автоматичного керування. 8. Аналіз динамічних і статичних характеристик електропривода. Висновки по роботі.

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових плакатів): 1. Схема конструкції лінійного крокового двигуна. 2. Структурна схема крокового електропривода. 3. Функціональна схема електропривода. 4. Навантажувальні діаграми електропривода та механізму. 5. Структурна схема

автоматизованого електропривода з лінійним кроковим двигуном. 6. Графік перехідних процесів електропривода. 7. Контур регулювання струму. 8. Імітаційна модель. Висновки.

6. Дата видачі завдання 15.09.2025 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№	Назва етапів магістерської роботи	Термін та обсяг виконання етапів роботи			Примітки (плакати)
		Термін	Категорія	Обсяг	
1	Аналіз технологічного процесу. Постановка завдань на магістерську роботу	07.10.25		15%	Пл. 1
2	Вибір системи електропривода і автоматизація промислової установки.	21.10.25	I	25%	Пл. 2
3	Проектування функціональної схеми автоматизованого електропривода	04.11.25		40%	Пл. 3
4	Розрахунок навантажень і побудова механічної характеристики і навантажувальної діаграми механізму	11.11.25		50 %	Пл. 4
5	Проектування силової схеми автоматизованого електропривода і вибір комплектного перетворювача електричної енергії	18.11.25	II	60%	Пл. 5
6	Проектування системи автоматичного керування	25.11.25		70%	Пл. 6,7
7	Аналіз динамічних і статичних характеристик електропривода	09.12.25		90%	Пл. 8,9
8	Оформлення пояснювальної записки	22.12.25	III	100%	Пл. 10

Магістрант ШУ
(підпис)

Шокодько М.О.
(прізвище та ініціали)

Керівник роботи [підпис]
(підпис)

Кислиця С.І.
(прізвище та ініціали)

ЗМІСТ

	Стор.
ВСТУП.....	7
1. ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА.....	11
1.1 Аналіз технологічного процесу.....	11
1.2 Опис промислової установки.....	12
1.3 Аналіз взаємодії оператор - промислова установка.....	19
1.4 Аналіз кінематичної схеми, визначення параметрів і проектування розрахункової схеми механічної частини електроприводу.....	21
1.5 Вибір системи електропривода і автоматизація промислової установки.....	22
2. РОЗРАХУНКОВО-КОНСТРУКТОРСЬКА ЧАСТИНА.....	30
2.1 Розрахунок навантажень, побудова механічної характеристики і навантажувальної діаграми механізму.....	30
2.2 Попередній вибір двигуна по потужності.....	32
2.3 Вибір номінальної швидкості двигуна і типорозміру двигуна	32
2.4 Побудова навантажувальної діаграми електроприводу.....	33
2.5 Перевірка обраного двигуна по нагріванню і перевантажувальній здатності.....	35
2.6 Проектування силової схеми автоматизованого електропривода і вибір комплектного перетворювача електричної енергії.....	36
3. ПРОЕКТУВАННЯ СИСТЕМИ АВТОМАТИЧНОГО КЕРУВАННЯ.....	41
3.1 Розробка математичної моделі автоматизованого електроприводу.....	41
3.2 Розрахунок параметрів об'єкта керування.....	43
3.3 Визначення структури і параметрів керуючого пристрою.....	43
3.4. Аналіз динамічних і статичних характеристик електропривода.....	47
3.5 Вибір і проектування системи автоматизації виробничої установки.....	59
3.6 Вибір апаратів.....	67
3.7 Проектування вузла системи автоматизованого електропривода...68	
3.8. Проектування схеми електропостачання та захисту установки.....	73
ВИСНОВКИ.....	80
ЛІТЕРАТУРА.....	81
ДОДАТКИ	

ВСТУП

За короткий проміжок часу напівпровідникова електроніка пройшла величезний шлях розвитку від найпростіших електронних приладів до найскладніших мікромодулів та мікросхем. Розробка та освоєння серійного випуску інтегральних мікросхем (ІМС) стали значним кроком уперед на шляху мініатюризації апаратури. Мікроскопічні розміри компонентів і тенденція збільшення ступеня інтеграції інтегральних схем (ІС), роблять операції складання особливо важливими. Під складання напівпровідникових приладів та ІС розуміють сукупність технологічних операцій, що забезпечують з'єднання елементів та частин напівпровідникового приладу або ІМС в єдине ціле. До таких операцій належать механічне закріплення кристала в корпусі або на рамі з выводами, утворення електричних зв'язків між контактними майданчиками на кристалі та зовнішніми выводами та герметизація для забезпечення захисту виробу від впливу навколишнього середовища та механічних пошкоджень. Цим операціям надається велике значення тому, що електричні параметри та надійність виробів багато в чому залежать від якості збирання.

Складання напівпровідникових приладів, ІМС істотно відрізняється від збирання звичайних радіотехнічних пристроїв. Вона характеризується різноманіттю обладнання та різними матеріалами; найбільш специфічними особливостями є малі товщини провідників (10-200 мкм) та плівок (0,05-5 мкм). Операції складання були і залишаються найбільш трудомісткими в техпроцесі виготовлення напівпровідникових приладів та ІМС. Якщо в процесах створення кристалів застосовуються групові методи обробки, то при складанні оперують з кожним виробом окремо. Основні параметри процесу збирання: температура нагріву, витримка, питомий тиск – повинні бути мінімально можливими, щоб не пошкодити елементи приладу чи мікросхеми.

Сучасний етап розвитку мікроелектроніки характеризується випуском надвеликих інтегральних схем (НВІС), завдяки чому створюються блоки та функціональні вузли електронної апаратури. У зв'язку з цим новий розвиток

отримують основні технологічні процеси збирання: монтаж кристалів, розведення висновків та герметизація виробів.

Багатокоординатно кроковий електропривод, який має конструктивну пластичність (гнучкість), дозволяє створювати досить складні пристрої точного відтворення рухів (складальні центри, вимірювальні машини, установки для лазерної обробки матеріалів і т.д.), в яких поєднано керування технологічними та транспортними операціями і отримано якісно новий рівень конструктивної інтеграції електромеханічного перетворювача з робочим органом.

Області застосування електроприводу: робототехніка і гнучке автоматизоване виробництво, збірка малогабаритних виробів (наприклад, електромагнітних реле, годинників і т.д.); автоматичний монтаж радіокомпонентів і мікросхем на друкованих платах; вимірювальні машини, установки лазерного, електроіскрового маркування, гравіювання і т.д.

Сучасна практика автоматизації виробництва переконливо показує, що класичний спосіб проектування гнучких виробничих систем, коли для створення окремого гнучкого виробничого модуля використовуються традиційні елементи технологічного обладнання, у ряді випадків призводить до невиправданої надмірності і внаслідок цього до високої вартості, матеріаломісткості, і в кінцевому рахунку, до економічної неефективності розроблюваного обладнання. Так, використання сучасного робота з великим числом ступенів рухливості для реалізації простої операції завантаження економічно невиправдано.

Альтернативою традиційному підходу є застосування при проектуванні гнучких виробничих модулів досить широкої серії "інтелектуальних" модулів руху різного типу (лінійних, планарних, поворотних) з вбудованими датчиками та індивідуальною системою мікропроцесорного керування, забезпечених необхідними типами інтерфейсів для сполучення з системою керування більш високого рівня і засобами сполучення з робочим інструментом або оброблюваною деталлю. З окремих блоків такого

своєрідного "конструктора" може проектуватися система відтворення взаємопов'язаних рухів деталей та інструментів конкретного гнучкого виробничого модуля з одночасною мінімізацією числа ступенів рухливості в системі і, відповідно, матеріальних витрат.

Серія модулів руху може включати в себе модулі руху традиційного типу, виконані, наприклад, на основі обертових двигунів і кінематичних перетворювачів руху, а також модулі руху нового типу - на основі лінійних, планарних і поворотних крокових двигунів з аеростатичними опорами. Останні мають принципові переваги, так як є по суті "безфрикційними" модулями руху, що забезпечують відсутність зносу і, як наслідок, збереження характеристик приводу протягом усього часу експлуатації. Ця обставина дозволяє проектувати гнучкі виробничі модулі взагалі без кінематичних перетворювачів руху, що, безсумнівно вигідно з точки зору підвищення надійності системи та скорочення термінів регламентних робіт.

Другий підхід до проектування гнучких виробничих систем дозволяє оптимальним чином реалізувати ідею конструктивної інтеграції органів руху з інструментом або органів руху з оброблюваною деталлю (супутником). Крім того, з'являється можливість реалізації технологічних і транспортних операцій на єдиній елементарній базі. Особливо привабливою виглядає при цьому можливість вирішення не тільки завдання автоматизованого проектування та автоматизованої технологічної підготовки виробництва, а й завдання автоматизованого проектування самих гнучких виробничих систем. Архітектурна гнучкість модульної системи руху дозволяє при цьому не тільки скоротити терміни і вартість проектування нових машин і механізмів, а й автоматизувати цей процес, саму технологічну установку, відмовившись від традиційного пристосування технології до наявної номенклатури машин і механізмів. Така концепція побудови гнучких виробничих систем є дуже перспективною, оскільки поєднує в собі переваги високопродуктивних жорстких роторно-конвеєрних ліній з перевагами традиційних гнучких

виробничих систем. Роботи в цьому напрямку активно ведуться рядом фірм в США, Японії та Європі.

Актуальність теми

Сучасний розвиток мікроелектроніки характеризується постійним зростанням ступеня інтеграції компонентів та переходом до нанометрових технологічних вузлів. Виготовлення та контроль мікросхем високого ступеня інтеграції (ВІС/НВІС) вимагають точності позиціювання робочих інструментів або підкладок.

Традиційні системи з перетворенням обертowego руху в поступальний мають обмеження через люфти, тертя та інерційність. Двокоординатні транспортні модулі на базі лінійних крокових двигунів (ЛКД) дозволяють усунути ці недоліки, забезпечуючи прямий привід, високу роздільну здатність та динамічну стабільність. Використання таких модулів у складі зондових установок є критично важливим для забезпечення безконтактного або точного контактного вимірювання параметрів кристалів, що робить розробку та вдосконалення систем керування цими модулями пріоритетним завданням для напівпровідникової промисловості.

Метою роботи є дослідження та вдосконалення характеристик двокоординатного транспортного модуля на основі лінійних крокових двигунів для забезпечення прецизійного позиціювання зондової установки при виробництві мікросхем високого ступеня інтеграції.

Для досягнення мети необхідно вирішити такі завдання:

- Проаналізувати динамічні характеристики ЛКД у складі двокоординатної системи.
- Оптимізувати алгоритми керування для мінімізації похибок позиціювання.
- Дослідити вплив зовнішніх факторів на точність переміщення модуля.

1. ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА

1.1 Аналіз технологічного процесу

Двокоординатний транспортний модуль на основі лінійних крокових двигунів застосовується для виготовлення мікросхем високого ступеня інтеграції. Для цієї мети використовується зондова установка, що включає в себе двокоординатний транспортний модуль. Пластина, на якій будуть виготовлятися мікросхеми, має круглу форму, її діаметр, як правило, становить 300 мм. Пластина розділяється на контактні зони розміром 80x80 мкм які маркуються спеціальною фарбою, для того щоб відрізнити браковану контактну зону від робочої.

Робочий цикл установки відбувається наступним чином. Координатний стіл з пластиною піднімається до спрацювання датчика положення (рух по координаті Z), розташованого на 300 мкм нижче поверхні зондів. Після спрацювання цього датчика координатний стіл переміщується по координаті Z з меншою швидкістю для забезпечення плавного дотику поверхні контактної зони з зондами. Кількість зондів може бути різним: від 8 до 16. Після маркування відповідної контактної зони координатний стіл опускається вниз на висоту 15 мм. Після цього відбувається переміщення координатного столу по координаті X або Y для переміщення наступної контактної зони в положення безпосередньо під зондами. Потім координатний стіл знову піднімається і відбувається маркування наступної контактної зони. На рис. 1.1 представлена діаграма роботи пристрою.

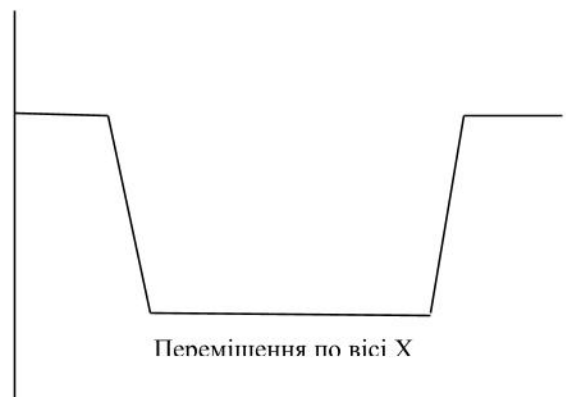


Рисунок 1.1 - Діаграма роботи пристрою

1.2 Опис промислової установки

Координатні системи, що реалізують переміщення об'єкта обробки по декількох координатах одночасно без кінематичних елементів перетворення обертального руху в поступальний, будуються на базі лінійних крокових двигунів.

Принципово лінійні крокові двигуни являють собою крокові двигуни з розгорнутими рухомою і нерухомою частинами. Конструктивно лінійний кроковий двигун (рис. 1.2) містить якір, що складається з жорстко з'єднаних модулів А і В, і безобмоточний зубчастий пасивний статор, виконаний з магнітом'якого матеріалу. Кожен з модулів А і В складається з двох П-подібних магнітопроводів, об'єднаних постійним магнітом. Зубцеві зони полюсів орієнтовані щодо зубців статора з взаємним лінійним зсувом в половину зубцевого ділення δz . Обмотки управління охоплюють середні полюси А2 і А3 і відповідно В2 і В3 модулів А і В. Електромагнітні модулі якоря лінійних крокових двигунів розташовані з взаємним лінійним зсувом, рівним, де $k = 1$. Якір лінійного крокової двигуна розташований над статором з зазором δ .

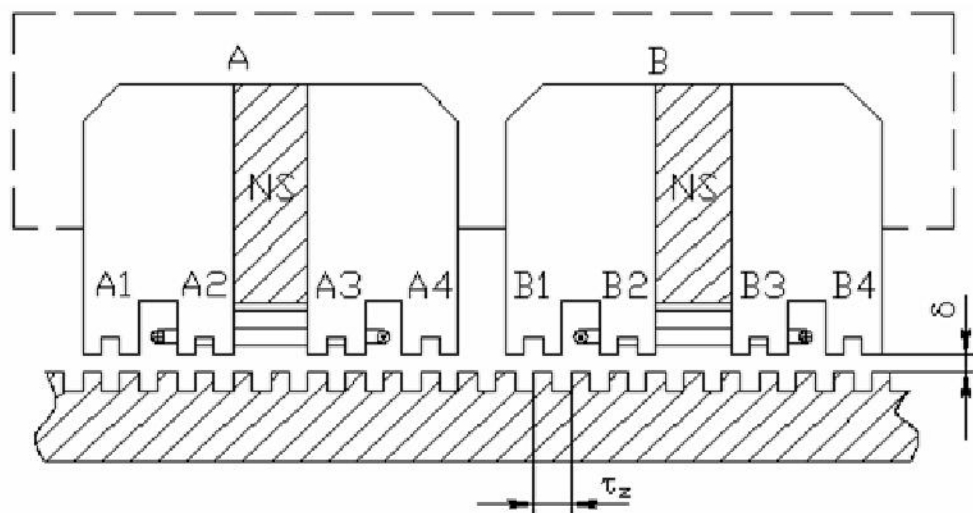


Рисунок 1.2 - Схема конструкції лінійного крокового двигуна

Лінійний кроковий двигун забезпечує лінійні переміщення по одній координаті перпендикулярно лініям нарізки зубців статора. Для забезпечення

переміщення координатного столу в площині об'єднуються два двигуна. Необхідний робочий зазор δ між статором і якорем забезпечується застосуванням аеростатичних опор.

Основна вимога до координатних систем – стабільність їх електромеханічних характеристик. Передумовою тому є висока якість обробки прилеглих поверхонь статора і рухомої каретки. Зубчасті поверхні статора і ротора виготовляються фрезеруванням прецизійною груповою фрезою або методами травлення за прецизійним фотошаблоном з подальшою заливкою пазів епоксидними компаундами з твердим немагнітним наповнювачем, шліфуванням і притиранням. Це забезпечує високий ступінь паралельності та чистоту робочих поверхонь.

Електромагнітна взаємодія ротора зі статором відбувається в повітряному шарі між кареткою і статором, тому сталість зазору δ веде до стабільності тягових і точностних характеристик координатної системи. Сама ж величина зазору виходить як результат врівноваження аеростатичної сили відштовхування і магнітної сили тяжіння ротора лінійного крокового електродвигуна. При цьому задоволено умови "спливання" каретки над площиною статора при подачі стисненого повітря. У проєктованій установці, що є серійно виробленою двокоординатною системою з лінійними кроковими електродвигунами забезпечується зазор $\delta = 10$ мкм при тиску повітря в межах 4 атм і витраті 15 л / хв.

Схематично конструкція такого координатного столу представлена на рис. 1.3. Рухома каретка 1, що має в якості підстави модуль з лінійним кроковим двигуном 2, для руху по осі X і модуль з лінійним кроковим двигуном 3, для руху по осі Y, ковзає по статору 4 на повітряній подушці, утвореною стисненим повітрям, що подається в зазор між статором і кареткою через жиклери 5, розташовані по периметру якорів лінійних крокових двигунів. У даній установці використовується варіант конструкції координатного столу з поєднаною по осях X і Y нарізкою зубців статора

(рис. 1.3). Каретка містить два лінійних крокових двигуна для рухів по двох осях координат.

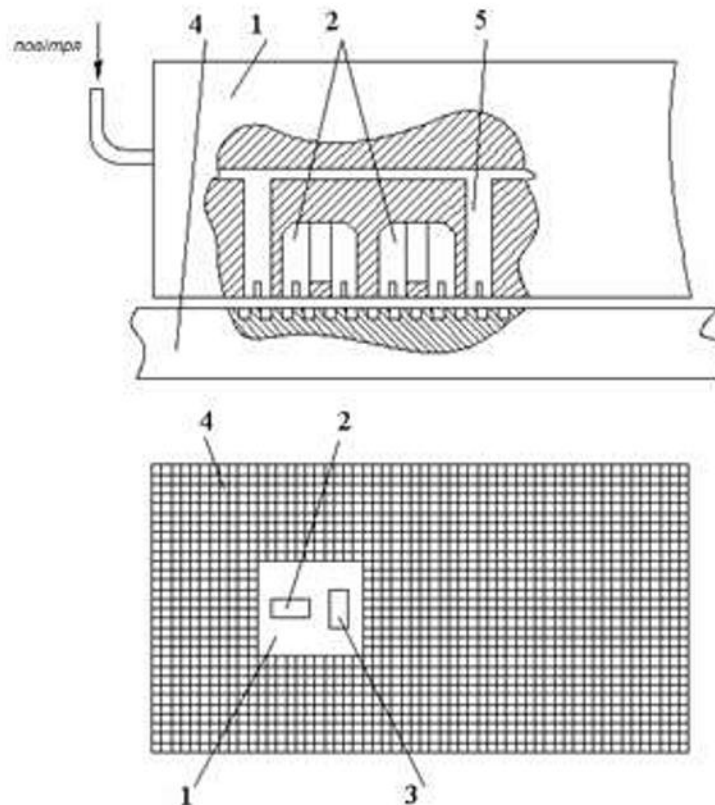


Рисунок 1.3 - Координатний стіл з лінійним кроковим двигуном :

а) конструктивна схема; б) координатний стіл з поєднаною нарізкою статора:
 1 - рухома каретка, 2 - лінійний кроковий двигун осі X, 3 - лінійний кроковий двигун осі Y, 4 статор, 5 – жиклери

При русі по координаті X комутуються обмотки електромагнітів крокового двигуна координати X при статичному стані струмів в обмотках крокового двигуна координати Y. При комутації обмоток крокового двигуна осі Y забезпечується переміщення по координаті Y. При одночасному переміщенні по двох координатах керують струмами обох лінійних крокових двигунів.

Програмне забезпечення системи управління кроковими двигунами побудовано за ієрархічним принципом. На верхньому рівні в розпорядженні користувача є засоби, що дозволяють встановити конфігурацію системи (число дискретних входів-виходів, задіяних в кожному осьовому контролері,

наявність додаткових модулів тощо) і написати програму узгодженого керування всіма осями даної установки і технологічним обладнанням відповідно до карти технологічного процесу. Для написання програми користувачеві пропонується спеціалізована мова програмування багатоосьового електроприводу ML, що дозволяє описати всю необхідну послідовність рухів у їх взаємозв'язку з технологічними командами. Особливість мови полягає в тому, що не одна виконується програма, а кілька – для всіх рівнів управління: для керуючої ЕОМ, що здійснює синхронізацію роботи груп електроприводів (крейти), для модуля центрального процесора, що здійснює синхронізацію роботи окремих осей та технологічного обладнання, для кожного з осьових контролерів, які здійснюють безпосереднє управління рухом.

Середній рівень є монітором реального часу і забезпечує обмін даними і командами між керуючою ЕОМ, модулями центрального процесора і осьовими контролерами, а також виклик і виконання необхідних програм. Програмні модулі монітора входять в програмне забезпечення керуючої ЕОМ, модуля центрального процесора і осьових контролерів разом з драйверами введення-виведення інформації, а також інтерпретаторами програм управління приводами і технологічним обладнанням.

Нижній рівень включає в себе програми безпосереднього управління віссю в режимах позиційного та контурного рухів, програми тестової перевірки обладнання, таймери, процедури обслуговування переривань та ін.

Необхідне конкретному користувачеві програмне забезпечення для осьових контролерів і модулів центрального процесора поставляється у вигляді ПЗУ. Існує програмна підтримка найбільш поширених в даний час систем підготовки конструкторської документації (ACAD) і графіки на персональних комп'ютерах IBM PC/XT/AT. Наприклад, є можливість підготувати бажану траєкторію руху в пакеті ACAD або зняти її сканером з наявного креслення і перетворити отримані файли у відповідну програму управління кроковим електроприводом.

Дискретність відпрацювання кроку – кількість точок на період основної нарізки задається при ініціалізації користувачем. Для забезпечення плавності при розгоні-гальмуванні, а також при відпрацюванні маленьких переміщень в момент розгону-гальмування повинен виконуватися зсув фази струмів (робота з так званими "швидкими імпульсами". Необхідна величина зсуву фази розраховується сигнальним процесором відповідно до необхідного поточного прискорення по заданій траєкторії руху. Крім того, передбачити можливість завдання необхідного кута випередження користувачем, його оперативна зміна в процесі наладки, а також пропорційна зміна стосовно результатів розрахунку сигнального процесора. За замовчуванням, форма формованого пристроєм сполучення фазного струму синусоїдальна. Крім того, повинна існувати можливість завдання довільної, що задається користувачем таблиці струмів фаз. Це дає можливість задати необхідні передспотворення струмів в фазах двигунів і тим самим значно знизити циклічну похибку індуктора. Для зниження енергоспоживання в системі приводу, зменшення нагрівання статора і індуктора ЛКД і, отже, зменшення температурних похибок приводу, необхідно передбачити можливість зниження струмів в фазах двигуна. Величина паузи після закінчення руху і величина зменшення струму у відсотках програмується користувачем при ініціалізації координати.

Поряд з програмою, контролер повинен виконувати обслуговування ліній введення-виведення. Циклічність опитування ліній введення і зміна ліній виводу 100 мкс. При роботі генератора траєкторії поточна координата повинна постійно порівнюватися з граничними, програмно встановленими значеннями поля переміщення по координаті. При спрацьовуванні одного із зовнішніх датчиків крайніх положень повинна бути виконана миттєва зупинка приводу. Регулятор також має відстежувати величину помилки на кожному циклі (різниця між очікуваною і реальною помилкою координати). Ця помилка порівнюється із заздалегідь визначеним користувачем значенням i , у разі перевищення останньої, рух має бути припинено. Це дозволить зупинити

привід при механічному блокуванні приводу або несправності датчика положення.

У пристрої сполучення передбачити систему трасування, задаючих користувачем змінних регулятора і траєкторії руху (координата, помилка за положенням або за швидкістю, задана чи реальна швидкість руху та ін.) у внутрішньо буферне ОЗУ з можливістю подальшого перекачування масиву даних на ПЕОМ для графічного відображення, перегляду і аналізу отриманої інформації з метою більш точного визначення параметрів об'єкта керування і більш точного налаштування параметрів регулятора.

Обмін з зовнішніми пристроями включає:

1) 40 вхідних сигналів від кінцевих датчиків (оптронна розв'язка), при застосуванні в якості датчика зворотнього зв'язку лазерного інтерферометра, 3 лінії на кожен використовуваний сервоканал можуть використовуватися для паралельного введення зовнішніх молодших розрядів лічильника становища; можливе використання даних ліній просто як стандартні лінії цифрового введення з їх програмним опитуванням і передачею їх стану на HOST - комп'ютер. Конкретна настройка функціонального призначення ліній програмується при ініціалізації;

2) 4 вхідних аналогових сигнала (залежно від конфігурації системи можуть використовуватися або для введення сигналів від індуктивного датчика зворотнього зв'язку по положенню або для введення сигналів від 4-х датчиків прискорення; для введення аналогових сигналів в процесор використовується чотирьохканальний 12-бітовий АЦП; одночасна робота АЦП по всіх каналах уможлиблює використання даних входів для прямого введення квадратурних синусоїдального і косинусоїдального сигналів з оптичного датчика положення);

3) 2 синхронних канала для керування вихідними драйверами або для підключення додаткових каналів АЦП. Кожен синхронний канал має мультиплексор на 4 лінії вибору, загальне число ліній з поділом за часом – 8;

4) 16 ліній цифрового виводу з навантажувальною здатністю до 25 мА для керування приводами з розімкнутим зворотнім зв'язком по положенню (можуть використовуватися як звичайні лінії виведення з їх встановленням від HOST - комп'ютера).

Обмеження по динаміці приводу із зворотнім зв'язком накладаються контролером. Максимальна швидкість приводу обмежується двома обставинами:

1) максимальна частота входних сигналів від інкрементального датчика положення обмежена значенням 4 МГц (при необхідності, можливе введення додаткових паралельних 3 розрядів для розширення частоти сигналів інкрементального датчика при використанні лазерного інтерферометра; в цьому випадку ефективна тактова частота датчика зворотнього зв'язку складе 32 МГц, що досить для роботи з лазерним інтерферометром з дискретністю 0,01 мкм при швидкості переміщення до 300 мм/с);

2) при одночасній роботі всіх 4-х координат крокового приводу, максимальна швидкість кожної з координат не більше 5000 Гц основного кроку нарізки. Це обмеження впливає з максимальної частоти програмної комутації фаз обмоток, яка виконується з періодом 20 мкс, крім того, швидкість не може бути більше 3,2 м/с;

3) максимальне прискорення не більше 50 м/с²;

4) плавність в межах 30 ... 65 000 м/с²;

Основні технічні характеристики транспортного модуля з контролером на основі сигнального мікропроцесора ADSP2186 Analog devices :

- цифровий сигнальний процесор ADSP2186 Analog devices;
- одночасне керування двома кроковими двигунами з максимальним струмом фази до 5,5 А і дробленням 6400 мікрокроків на оборот;
- діапазон переміщення 2147483648 дискрет;
- максимальне переміщення до 8388608 дискрет;
- високорівнева мова опису руху;
- програмно-задані швидкості і прискорення переміщення;

- можливість обробки завдань введення-виведення спільно з рухом;
- лінійна і кругова інтерполяція;
- драйвер електродвигуна має захист від короткого замикання навантаження, замикання на живлення та на загальний провід;
- незалежна настройка максимального струму в фазі для кожного двигуна;
- 4 оптоізольованих цифрових входи;
- 6 цифрових входів з максимальною напругою логічної одиниці до 24 В;
- 8 виходів типу відкритий колектор з навантажувальною здатністю до 500 мА;
- інтерфейс зв'язку HOST EOM - асинхронний послідовний канал RS232/RS485 (конфігурується користувачем) до 115200 біт/с з оптичною ізоляцією;
- власна споживана потужність не більше 2 Вт;
- робоча температура експлуатації - від 0 до 40 °С;
- габарити 135 100 мм.

1.3 Аналіз взаємодії оператор - промислова установка

Зондова установка призначена для маркування контактних зон пластини, з якої згодом буде виготовлятися мікросхеми. Пластина розділяється на контактні зони розміром 80x80 мкм які маркуються спеціальною фарбою, для того щоб відрізнити браковану контактну зону від робочої.

Установка забезпечує наступні дії:

- вивантаження пластини на координатний стіл, з подаючої касети;
- переміщення пластини в зону маркування;
- нанесення на контактну зону відповідної маркувальної мітки;
- переміщення пластини за заданою програмою;
- переміщення пластини в зону вивантаження і вивантаження в приймальню касету;

- переміщення приймальної і подаючої касет на крок.

Існують наступні режими роботи пристрою:

- " Напіваавтомат " – робочий,
- " Ручне завантаження " – робочий,
- "Контроль" – налагоджувальна,
- "Діагностика" - налагоджувальна.

Вибір режиму роботи здійснюється введенням відповідної команди з пульта управління.

Пуск установки здійснюється натисканням клавіші "ПУСК" на пульті управління.

Робота установки в напіваавтоматичному режимі:

Оператор встановлює касети з пластинами і порожню на платформи завантаження і запускає установку натисканням клавіші "ПУСК" і, маніпулюючи органами управління пульта, виконує точну орієнтацію пластини за координатами X і Y, і після цього запускає установку в режим "автоматичної" обробки. Завантажувальна касета переміщується вгору до спрацьовування датчика положення і зупиняється. Датчик положення розташований на 300 мкм нижче поверхні зондів. Після звіту витримки часу, пластина переміщується вгору до зіткнення контактної зони з зондами з меншою швидкістю. Швидкість переміщення знижується для того щоб не відбулося пошкодження пластини або наконечників зондів. Після маркування контактної зони, пластина переміщується вниз на 10 мм, а потім по координаті x або y (задається в програмі) для установки наступній контактної зони під наконечники зондів і цикл повторюється спочатку.

Режим "Ручне завантаження" передбачає ручне завантаження пластин на предметний стіл. Вихід в режим здійснюється натисканням кнопки "РУЧ". При натисканні кнопки "ЗАВ" відключається вакуум на планшайбі столу. Оператор встановлює пластину на предметний стіл і натискає кнопку "СТОП". Після натискання кнопки "ПУСК", подальший цикл проводиться автоматично.

Режим роботи "Контроль" для налагодження установки та її складових частин і контролю роботи установки. Вихід в режим здійснюється натисканням кнопки "КОНТР". У цьому режимі передбачені наступні підрежими:

- - "Растіфікація",
- - "Завантаження",
- - "Цикл",
- - "Вивантаження",
- - "Атенюатор",
- - "Орієнтація",
- - "Сканування",
- - "Контроль".

Режим "Діагностика" передбачає перевірку працездатності пристрою. Введення в режим здійснюється натисканням клавіші "ДІАГН".

1.4 Аналіз кінематичної схеми, визначення параметрів і проектування розрахункової схеми механічної частини електроприводу

Робочим органом даної установки є ротор лінійного крокової двигуна, що складається з двох жорстко з'єднаних електромагнітних модулів. Робочий зазор між статором і ротором здійснюється застосуванням аеростатичних опор.

Лінійні крокові двигуни є по суті "безфрикційними" модулями руху, що забезпечує відсутність зносу і, як наслідок, збереження метрологічних характеристик приводу протягом усього часу експлуатації.

Ця обставина дозволяє проектувати гнучкі виробничі модулі взагалі без кінематичних перетворювачів руху, що безсумнівно вигідно з точки зору підвищення надійності системи та скорочення термінів регламентних робіт.

У цьому пристрої, що робочий орган є одночасно і якорем лінійного крокового двигуна і, отже, у пристрої відсутні які або кінематичні елементи кінематичної передачі.

1.5 Вибір системи електропривода і автоматизація промислової установки

Крокові електроприводи широко застосовуються в системах позиціонування і контурного руху. Серед цих електроприводів є як дешеві традиційні системи з поворотними двигунами і простим програмним керуванням, так і високоточні безредукторні багатокординатні приводи складних технологічних установок з розвиненими системами керування із зворотніми зв'язками.

Останнім часом зросло використання комп'ютерних технологій, а крокові двигуни, з керуванням від обчислювальних машин, дозволяють повністю виключити схеми керування двигуном, залишивши лише блоки посилення потужності. Також використання комп'ютерних технологій, спільно з кроковими електроприводами, дозволяють гнучко змінювати завдання циклу роботи приводу, без схемної зміни системи керування двигуном.

Крім крокового приводу в пристроях позиціонування використовується також вентильний привід. Один з нових напрямків в електромеханіці пов'язаний з вентильно-індукторними двигунами [1]. Їх також називають індукторними реактивними, керованими реактивними, реактивними двигунами з електронною комутацією. Простота конструкції і електричних схем таких двигунів та їх комутаторів, висока надійність і відносно низька вартість, хороші регульовальні властивості, можливість використання в складних умовах навколишнього середовища та інші переваги сприяють розширеному застосуванню вентильно-індукторних двигунів в різних областях техніки – від прецизійних систем керування до потужних

транспортних засобів і стимулюють їх поглиблені розрахунково-теоретичні дослідження [1].

Основна увага в даний час приділяється обертовим вентильно-індукторним двигунам. Очевидні переваги вентильно-індукторних двигунів дають імпульс до застосування їх нетрадиційних виконань, зокрема лінійних вентильно-індукторних двигунів.

Головною перевагою застосування крокових електроприводів є те, що в проєктованому пристрої необхідна організація дискретного переміщення робочого механізму, а це і є головною функцією крокового двигуна [2].

Отже, застосування крокових двигунів пояснюється тим, що вони дозволяють перетворювати керуючий імпульс у фіксоване лінійне переміщення без датчиків зворотнього зв'язку. Дана обставина дозволяє істотно спростити систему керування механізмом і збільшити її надійність, оскільки скорочується кількість електронних елементів.

До автоматизованого приводу пред'являються вимоги наступного характеру:

- Точність позиціонування - 10 мкм;
- Перерегулювання - 20 %;
- Максимальна швидкість - 0,28 м / с;
- Максимальне прискорення - 18 м/с²;
- Зручність і гнучкість керування - швидке переналагодження;
- Надійність СКЕП;
- Зручність наладки й діагностики;
- Зручність монтажу та ремонту - полегшений доступ до основних схем і вузлів, блокова побудова;
- Вимога електробезпеки та охорони праці - відповідність правилам та нормам техніки безпеки;
- Пожежна безпека;

- Мінімальні масогабаритні показники - створення компактних блоків і вузлів.
- Мінімальна вартість і мінімальні експлуатаційні витрати – застосування недорогих комплектуючих і технологій.

На рис. 1.4 представлена функціональна схема електроприводу двокоординатного транспортного модуля.

Електродвигуни M1 і M2 є двофазними лінійними кроковими електродвигунами, які здійснюють переміщення ротора (XY-столу) за координатами X і Y. Керування рухом ротора, згідно закладеної програми здійснюється за допомогою мікропроцесора.

Модуль гальванічної розв'язки 1 і схема захисту на діодах здійснюють узгодження напруги сигналів, що надходять на дискретні входи з допустимою напругою на входах мікросхеми процесора.

У постійному записуючому пристрої зберігаються програми переміщення XY-столу.

Модуль гальванічної розв'язки 2 та вихідні драйвери здійснюють зв'язок між мікропроцесором і комп'ютером (PC).

В оперативну пам'ять через вхід програмування здійснюється введення програм.

Цифро-аналогові перетворювачі ЦАП1 і ЦАП2 здійснюють перетворення цифрової інформації з виходу мікросхеми оперативної пам'яті в аналогову форму. Аналоговий сигнал надходить на драйвера 1 і 2 зі схемою захисту від перевантаження по струму.

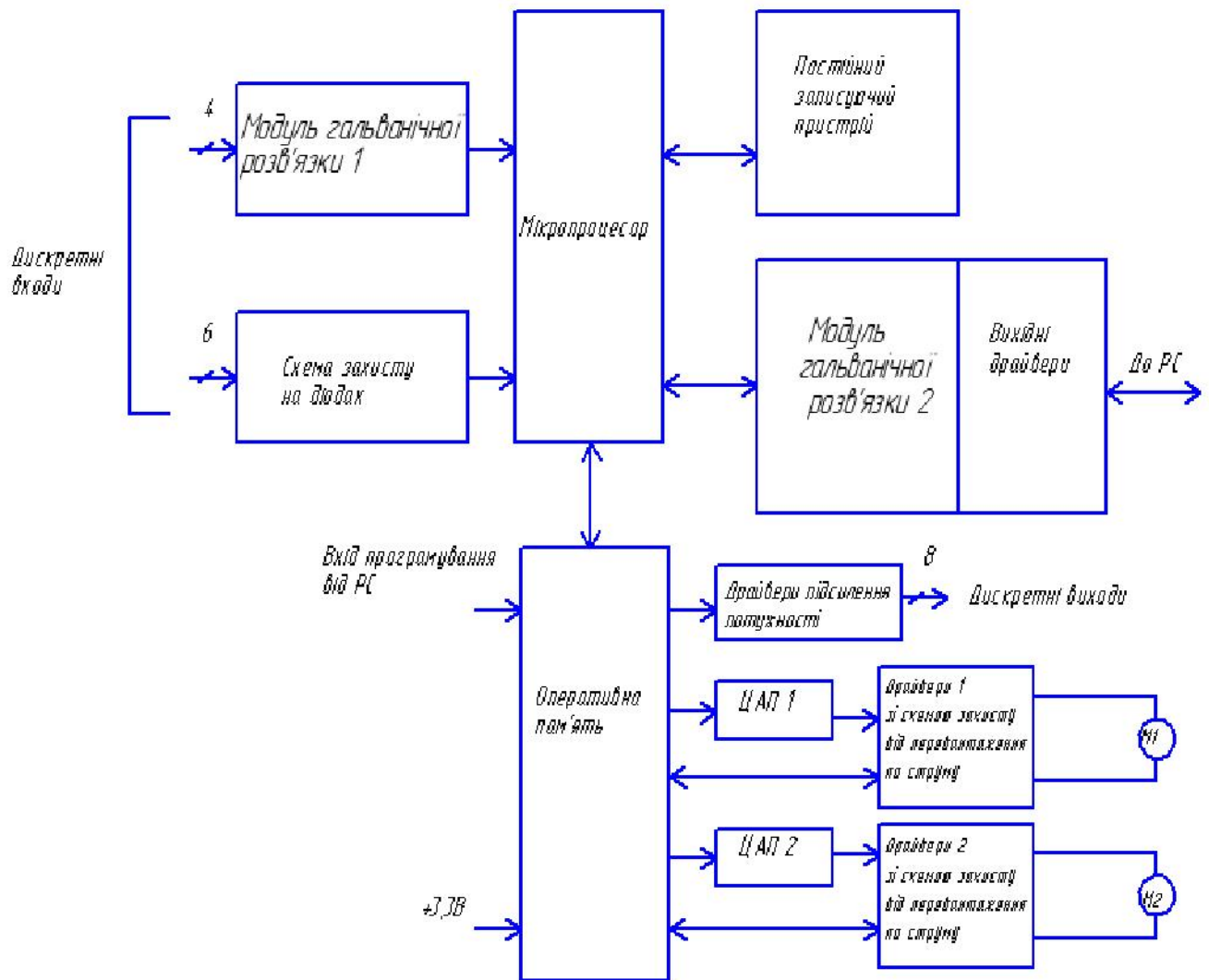


Рисунок 1.4 - Функціональна схема електроприводу двокоординатного транспортного модуля

Серед крокових двигунів найбільше застосування завдяки кращому використанню обсягу машини по моменту знайшли двигуни з постійним магнітом на роторі і великою кількістю зубців на роторі і статорі. У вітчизняній літературі цей тип машини отримав назву "магнітоелектричний індукторний кроковий двигун" [3]. У західній літературі цей тип двигуна називають "гібридним кроковим двигуном". Структура розімкнутого крокового приводу наведена на рис. 1.5. Розімкнутий кроковий привід використовує програмний режим роботи з розрахунком синусно-косинусних струмів, що створюють момент двигуна, необхідний для виконання руху і фіксації в заданій позиції. Програма руху приводу $\theta_t, \omega_t, \mu_t$ (шлях, швидкість,

момент) розраховується генератором траєкторії по моделі приводу. Положення приводу задається положенням γ годографа вектора струму, завдання швидкості частотою ω струмів, а прискорення – фазовими зрушеннями годографа вектора струму.

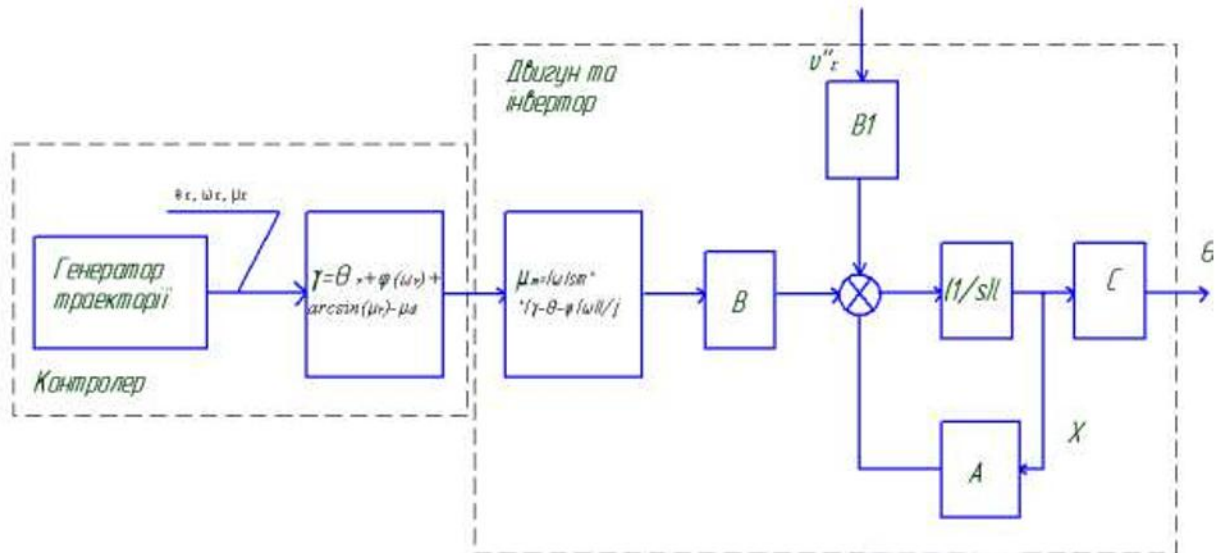


Рисунок 1.5 - Структура розімкнутого крокового приводу

Розімкнутий кроковий привід описується спрощеною системою рівнянь у відносних величинах:

$$\begin{aligned} \frac{d\theta}{d\tau} &= \omega; \\ \frac{d\omega}{d\tau} &= \frac{\mu}{j}; \\ \mu &= \mu(\omega_r) \sin(\gamma - \theta - \varphi(\omega)) - \omega \beta(\omega) + \mu_d + v, \end{aligned} \quad (1.1)$$

Де θ - електрична координата рухомої частини приводу;

ω - електрична швидкість; τ - час; μ - момент;

$j = j_{втр} + j_L$ - момент інерції двигуна і навантаження;

$\mu(\omega_r)$ - амплітуда моменту; γ - завдання кута вектора струму;

$\varphi(\omega)$ - кут запізнення вектора струму, викликаного індуктивністю двигуна, інерційністю регулятора струму і дискретизацією управління;

$\beta(\omega)$ - коефіцієнт демпфування, що виникає в основному через вихрових втрат;

$\mu_d = -\mu_{d4} \sin 40^\circ$ - збурення у вигляді фіксуєчого моменту двигуна;

ν - невраховане збурення; індекс "r" означає задану величину.

Закон руху розімкненого крокового приводу забезпечується програмуванням моменту відповідно до (1.1), тобто програмуванням амплітуди, фази і частоти годографа вектора струму.

Амплітудне керування (програмування амплітуди) з постійним кутом навантаження ($\gamma - \theta - \varphi(\omega)$) малоефективно, так як на його якості сильно позначається негативний вплив насичення магнітного кола двигуна і фіксуєчого моменту, так вплив насичення проявляється в нелінійній зміні моменту у функції струму, що еквівалентно появі додаткових збурень, а фіксуєчий момент, слабо залежить від струму двигуна, створює, в свою чергу, зони параметричної нестійкості при амплітудному керуванні з малими значеннями струмів.

При фазовому керуванні насичення і фіксуєчий момент впливають значно слабкіше. Тому для крокового приводу, як правило, використовується фазове керування. Фазове керування означає стабілізацію номінального значення амплітуди завдання струму ($i_m = 1$) і керування завданням кута і частоти годографа вектора струму.

При фазовому керуванні програмування кута вектора струму відбувається відповідно до (1.2):

$$\gamma = \theta_r + \varphi(\omega_r) + \arcsin(\mu_r), \quad (1.2)$$

де μ_r - завдання моменту; $\varphi(\omega_r)$ - розрахований кут запізнювання струму.

При використанні дискретного керуючого пристрою (мікропроцесора) з періодом квантування h рівняння (1.1) з урахуванням (1.2) перетворяться до лінійного вигляду:

$$\begin{aligned}
 \frac{d\theta}{d\tau} &= \omega; \\
 \frac{d\omega}{d\tau} &= \frac{\mu(nh)}{j} + v_{\Sigma}; \\
 \mu(nh) &= \mu_r(nh); \\
 v_{\Sigma} &= \frac{(-\omega\beta(\omega) + \mu_d + v)}{j},
 \end{aligned}
 \tag{1.3}$$

де n - номер періоду квантування; v_{Σ} - помилка щодо прискорення.

Структура замкнутого крокового приводу наведена на рис. 1.6, термін "замикання" в цьому випадку означає наявність зворотнього зв'язку по положенню. Замкнутий привод, як і розімкнутий, використовує програмний розрахунок завдання струмів двигуна. Програмний режим доповнено цифровою корекцією (μ_c), що обчислюється регулятором по сигналу помилки X_0 вектора стану. Розрахунок помилки вектора стану веде цифровий спостерігач по сигналу датчика положення. За рахунок застосування додаткового локального зворотнього зв'язку по положенню кроковий двигун набуває властивостей безконтактного двигуна постійного струму (БДПС) з практично постійним в широкому діапазоні швидкостей моментом.

Контур регулювання струму виконується аналогічно варіанту розімкнутого приводу. Рівняння замикання в режимі БДПС, має вигляд:

$$\gamma = \theta + \varphi(\alpha \cdot r) + \arcsin(\mu_r + \mu_c).
 \tag{1.4}$$

З урахуванням (1.3) і (1.4) замкнутий привод описується рівняннями (1.5):

$$\begin{aligned}
 \frac{d\theta}{d\tau} &= \omega; \\
 \frac{d\omega}{d\tau} &= \frac{\mu(nh)}{j} + v_{\Sigma}
 \end{aligned}
 \tag{1.5}$$

де v_{Σ} - помилка щодо прискорення.

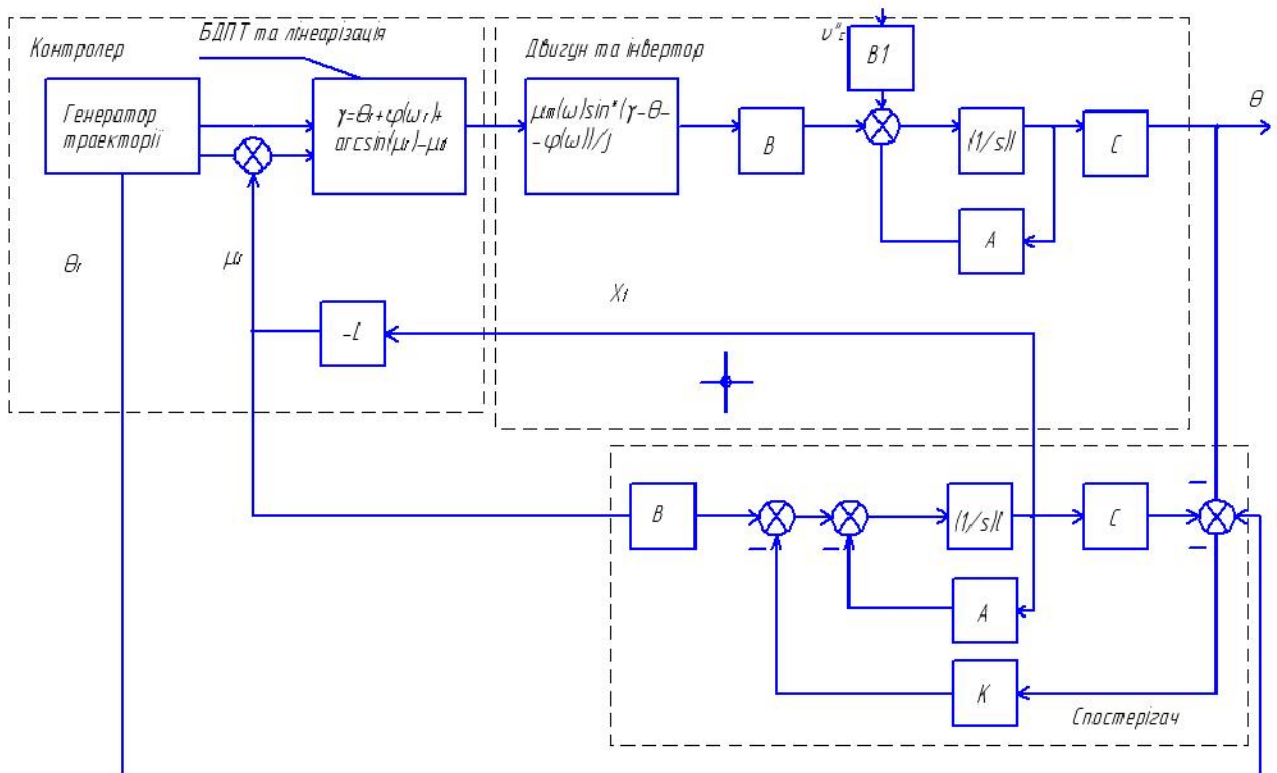


Рисунок 1.6 - Структура замкнутого крокового приводу

Виходячи з вимог до точності, швидкості і прискорення, пред'явлених електроприводу двокоординатного транспортного модуля вибираємо розімкнуту систему крокового електроприводу. У розімкнутій системі керування положенням робочого органу здійснюється завданням струмів фаз зрушених один відносно одного на 90^0 , що створюють тягове зусилля двигуна, необхідне для виконання руху і фіксації в заданій позиції. Вона є більш економічною, тому що не містить дорогих датчиків зворотніх зв'язків, і більш проста, тому що не містить цифрового спостерігача.

2. РОЗРАХУНКОВО-КОНСТРУКТОРСЬКА ЧАСТИНА

2.1 Розрахунок навантажень, побудова механічної характеристики і навантажувальної діаграми механізму

Будуємо навантажувальну діаграму механізму $P = f(t)$.

Кроковий двигун в проектованому пристрої працює в короткочасному режимі роботи (S2), оскільки період включення чергується з періодом відключення машини, при цьому періоди включення не настільки тривалі, щоб перевищення температури машини могли досягти сталих значень, а періоди відключення настільки тривалі, що всі її частини охолоджуються до температури навколишнього середовища.

Зусилля тяги в статичному режимі необхідно тільки для подолання сил в'язкого тертя, так як ротор двигуна, який є робочим органом, переміщується на повітряній подушці. Зміна статичного моменту не відбувається, оскільки установка знаходиться в спеціальному приміщенні з стабілізованою температурою, тому що великі зміни температури негативно позначаються на точності позиціювання. Отже, зусилля тяги в статичному режимі можна визначити за формулою [4]:

$$\boxed{F_C = \beta \cdot v}, \quad (2.1)$$

де $\beta = 10^{-4}$ Нм·с - коефіцієнт в'язкого тертя крокової двигуна; $v = 0,28$ м/с - швидкість переміщення. Тоді

$$F_C = \beta \cdot v = 0,28 \cdot 10^{-4} = 28 \text{ мкН.}$$

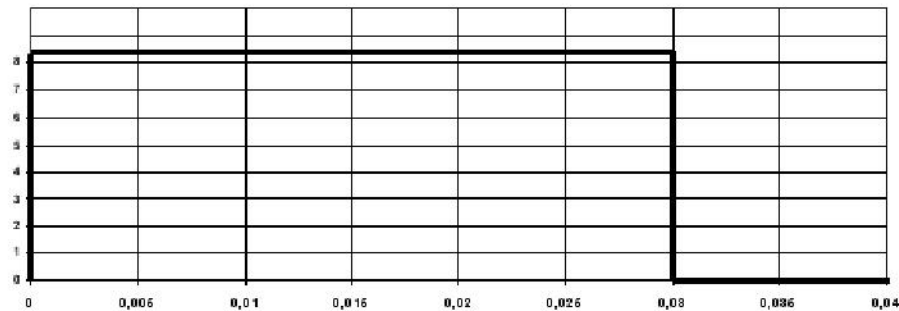
Час максимального переміщення (4мм) - $t_p = 0,03$ с; час паузи - час, що витрачається на переміщення столу по осі Z - $t_{п} = 0,1$ с.

Потужність в статичному режимі:

$$P_C = F \cdot v = 0,28 \cdot 10^{-4} \cdot 0,3 = 8,4 \text{ мкВт.}$$

Навантажувальна діаграма механізму представлена на рис. 2.1.

t, c



$P, \text{мкВт}$

Рисунок 2.1- Навантажувальна діаграма механізму

Так як тягове зусилля при розгоні і гальмуванні значно перевищує зусилля в статичному режимі, вибір електродвигуна не можна робити, на основі спрощеної навантажувальної діаграми механізму.

Оцінка якості функціонування систем автоматичного керування базується на дослідженні їх статичних і динамічних характеристик.

Статичними називаються характеристики, що відображають зв'язок між вхідними впливами і вихідними координатами в сталому режимі.

Стабільність статичних характеристик залежить від збурюючих впливів на систему. Зокрема, основним збурюючим впливом у системі керування електроприводом є навантаження на валу електродвигуна, яка обумовить зміни заданої швидкості його обертання. В якості статичної характеристики системи розглядається залежність швидкості від статичного моменту, при сталості задаючого впливу.

Крім основного збурення, на точність підтримки заданої вихідної величини впливають другорядні впливи - коливання напруги мережі живлення, неоднозначність статичних характеристик підсилювальних і перетворювальних пристроїв, температурні зміни.

Статичне навантаження обмежується тільки силами тертя і занадто мала порівняно з динамічним зусиллям. Крім того, статичне навантаження незмінне в часі. Установка знаходиться в приміщенні з стабілізованою температурою.

Оскільки статичне зусилля визначається силами тертя і незмінне в часі, відсутня необхідність в побудові статичних характеристик.

2.2 Попередній вибір двигуна по потужності

Вибір ЛКД здійснюється по зусиллю тяги, необхідному для позиціонування робочого органу з певним корисним навантаженням.

Вихідними даними для розрахунку є: переміщення - $S = 4$ мм, час переміщення - $t = 0,015$ с і маса рухомої частини - $m = 3$ кг. Швидкісна діаграма КД - трикутна.

Вибір КД здійснюється в наступному порядку:

Розраховується прискорення a , за формулою:

$$a = \frac{S}{t^2} = \frac{0,004}{0,015^2} = 17,8 \text{ м/с}^2$$

Розраховується необхідне зусилля тяги F :

$$F = ma = 3 \cdot 17,8 = 53,3 \text{ Н}$$

2.3 Вибір номінальної швидкості двигуна і типорозміру двигуна

По необхідному зусиллю тяги вибираємо лінійний кроковий двигун НР 30848101 з наступними параметрами:

- максимальний струм у фазі- 1,5 А,
- дроблення, мікрокроків - 6400 об,
- максимальне переміщення- 8388608 дискрет,
- опір обмотки фази- 5 Ом,
- індуктивність обмотки фази- 0,3 мГн,

- маса ротора-3 кг,
- число фаз- 2,
- тягове зусилля- 55 Н,
- величина кроку- 10 мкм,
- максимальна швидкість- 0,3 м/с,
- складова фіксуєчого моменту-0,01 Н / А.

2.4 Побудова навантажувальної діаграми електроприводу

Динамічне зусилля визначаємо за такою формулою:

$$F = ma = 3 \cdot 17,8 = 53,3 \text{ Нм}$$

На кожному інтервалі навантажувальної діаграми тягове зусилля двигуна будемо розраховувати за такою формулою [5]:

$$m \frac{d^2 l}{dt^2} + \beta \frac{d\theta}{dt} - F = m \cdot a + \beta \cdot v - F = 0.$$

де $\beta = 10^{-4}$ Нм · с - коефіцієнт в'язкого тертя крокової двигуна; l - переміщення, м.

Тепер знаходимо максимальну швидкість, до якої розженеться двигун виходячи з тих міркувань, що відстань, на якому відбувається розгін - 2мм:

$$S = \frac{v^2}{2a} \Rightarrow v_{\max} = \sqrt{2a_{\max} S} = \sqrt{2 \cdot 17,8 \cdot 2 \cdot 10^{-3}} = 0,27 \text{ м/с.}$$

Розрахуємо момент двигуна для кожного інтервалу роботи механізму:

Розгін:

$$F_1 = m \cdot a + \beta \cdot v = 3 \cdot 17,8 + 0,27 \cdot 10^{-4} = 53,4 \text{ Н.}$$

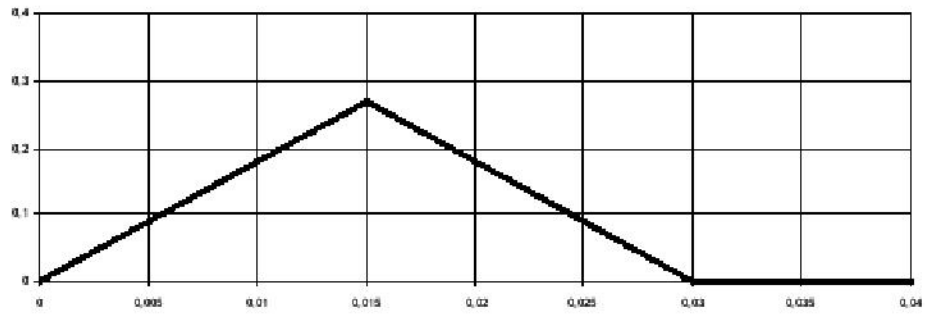
Сталий режим роботи:

$$F_2 = \beta \cdot v = 0,27 \cdot 10^{-4} = 27 \text{ мкН.}$$

Гальмування:

$$F_3 = -m \cdot a + \beta \cdot v = -3 \cdot 17,8 + 0,27 \cdot 10^{-4} = -53,4 \text{ Н.}$$

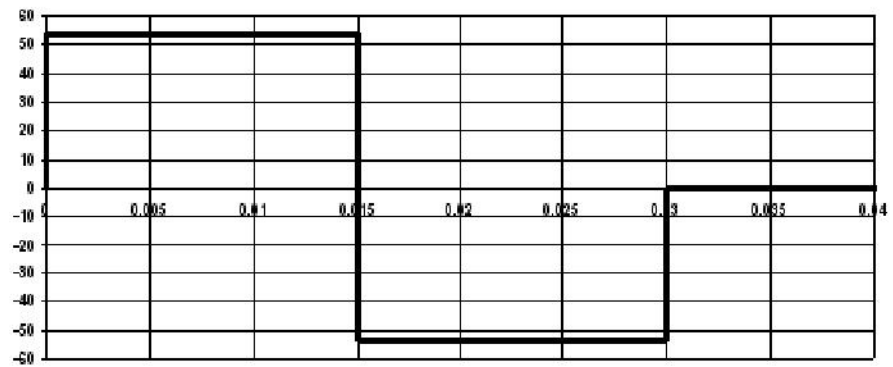
$v, \text{ м / с}$



$t, \text{ c}$

Рисунок 2.2 - Швидкісна діаграма електроприводу

$F, \text{ Н}$



$t, \text{ c}$

Рисунок 2.3 - Навантажувальна діаграма електроприводу

2.5 Перевірка обраного двигуна по нагріванню і перевантажувальній здатності

Спрощена перевантажувальна діаграма електроприводу використовується для попередньої перевірки двигуна по нагріванню і перевантажувальній здатності. Для перевірки двигуна по нагріванню скористаємося методом еквівалентного моменту. Умовою правильного вибору двигуна по нагріванню є:

$$M_e \leq M_{\text{ном}}$$

У випадку лінійного двигуна:

$$F_e \leq F_{\text{ном}}$$

Де $F_{\text{ном}}$ - номінальне тягове зусилля.

Тоді еквівалентне зусилля тяги двигуна визначимо за формулою:

$$F_e = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n F_i^2 t_i}{\alpha_0 t_{\Sigma}}},$$

де α_0 - коефіцієнт, що враховує погіршення охолодження при пуску (гальмуванні). Приймаємо $\alpha_0=1$, так як використовується примусове охолодження

$$F_e = \sqrt{\frac{53^2 \cdot 0,015 \cdot 2}{0,015 \cdot 2}} = 53,4 \text{ Н.}$$

$$F_e < F_{\text{ном}}$$

$$53,4 \text{ Н} < 55 \text{ Н}$$

Двигун буде задовольняти умовам нагріву.

З навантажувальної діаграми (рис. 3.4) видно, що

$$F_{\text{max}} = 53,4 \text{ Н} \leq F_{\text{ном}} = 55 \text{ Н},$$

отже, обраний двигун задовольняє умовам перевантажувальній здатності.

2.6 Проектування силової схеми автоматизованого електропривода і вибір комплектного перетворювача електричної енергії

У системі керування розімкненим кроковим приводом важливі період квантування, розрядність і структура периферійних пристроїв [3]. Період квантування для розімкнутого приводу визначається максимальним завданням швидкості. Для розімкнутого крокового приводу період квантування бажано мати не більше 100 мкс. Важлива характеристика процесора - його розрядність. Для забезпечення мікрокрокового керування в широкому діапазоні переміщень, швидкостей і прискорень необхідна розрядність процесора не менше 16. Третя важлива вимога - наявність розвиненої вбудованої периферії процесора: таймерів, пам'яті, зручного механізму обслуговування переривань і зручного зв'язку з host - EOM.

Систему керування розімкненим кроковим приводом можна побудувати на базі мікропроцесора KP1816BE31 [6]. Мікропроцесорна система має вихід на шину з паралельним магістральним інтерфейсом для зв'язку з модулем центрального процесора і вихід на шину локального паралельного інтерфейсу для зв'язку з модулем зв'язку і через нього з інвертором струму. Додатково модуль контролера має вбудований модуль введення-виведення дискретних сигналів на 2 або 4 вхідних сигналу і 4 вихідних сигналу (з них 2 з оптронною гальванічною розв'язкою на напруги до 24 В і струми до 0,5 А і 2 без гальванічної розв'язки на напруги 5 В для передачі керуючих сигналів від модуля контролера до модуля інвертора струму). У контролері реалізовано програмне керування двигуном по " математичної моделі об'єкта керування".

Однак, перерахованим вимогам краще відповідають 16 - розрядні сигнальні процесори з фіксованою точкою, архітектура яких оптимізована для високошвидкісної обробки сигналів (мікропроцесор ADSP2185KST - 133 Analog devices) [7]. При періоді квантування 100 мкс від одного процесора можна керувати кількома осями розімкненого крокового приводу з завданням мікрокрока близько 1,5', з похибкою позиціонування до 3 - 5', частотою

обертання до 2000 об / хв і прискоренням приводу до 20000 рад/с². Одне з реалізованих застосувань розімкнутого крокового приводу на основі мікропроцесора ADSP2185 - 4 - координатний стіл лазерної машини для обробки ювелірних алмазів. На основі всього вищесказаного вибираємо систему управління з контролером на основі мікропроцесора ADSP2185KST - 133 Analog devices.

Розрахунок параметрів і вибір елементів силового ланцюга

Силова частина електроприводу побудована за схемою перетворювача частоти і автономного двофазного інвертора струму і розрахована на керування двофазними кроковими двигунами з різнополярною комутацією фаз [3].

Інвертор струму являє собою двофазний широтно - імпульсний перетворювач напруги (ШІМ - перетворювач) із зворотнім зв'язком по струму. Силова частина перетворювача виконана мостовою схемою, в діагональ якого включена фаза двигуна. Аналоговий сигнал завдання струму фази порівнюється з сигналом зворотнього зв'язку по струму, і отримана неузгодженість надходить на вхід регулятора струму. Вихідний сигнал регулятора є вхідним сигналом завдання напруги для ШІМ - перетворювача. Для кожного сигналу завдання струму, незалежно від рівня миттєвої проти-ЕРС, індуктивності і опору обмотки, регулятор струму автоматично встановлює таку шпаруватість імпульсів напруги, прикладених до фази, щоб забезпечити протікання в ній заданого струму. Інвертор працює в другому імпульсному режимі, забезпечуючи додаток до обмоток двигуна імпульсів позитивної і негативної напруги.

Можна вважати, що силова частина електроприводу являє собою кероване джерело струму, здатне в широкому діапазоні частот обертання відтворювати задані струми і момент двигуна. Конструктивно це виконано у вигляді модуля інвертора струму, на вхід якого надходять два сигналу

завдання миттєвих значень струмів фаз, а до виходу приєднані обмотки керування кроковим двигуном.

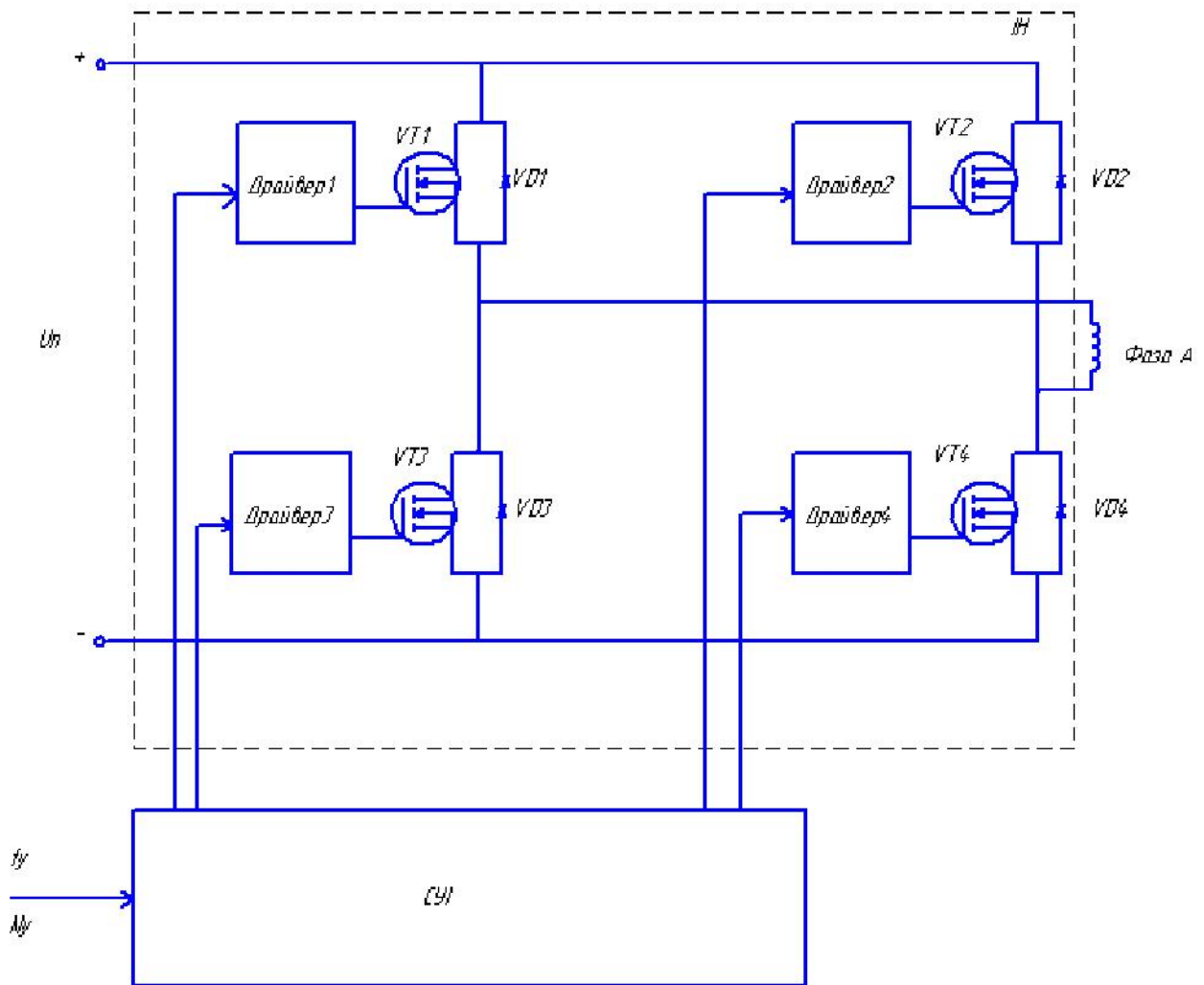


Рисунок 2.4 - Функціональна схема силової частини для одного з двигунів

СУІ - система управління інвертором, ІН - інвертор, $U_{п}$ - напруга живлення, VT1 - VT4 - силові ключі (транзистори), f_y - частота імпульсів, що керують.

На рис. 2.4 представлена функціональна схема силової частини для однієї з фаз (фази А) лінійного крокової двигуна. Для іншої фази (фаза В) цього двигуна схема аналогічна. СУІ - система управління інвертором, ІН - інвертор, $U_{п}$ - напруга живлення, VT1 - VT4 - силові ключі (транзистори, керовані подачею імпульсів N_y частотою f_y в СУІ від зовнішнього пристрою, що задає. Програма керування задається за допомогою мікропроцесора шляхом зміни

частоти керуючих імпульсів f_u по будь-якому закону і кількості цих імпульсів N_y - як поодиноких, так і декількох імпульсів.

Вибір силових ключів інвертора

В якості силових ключів використовуються модулі Mosfet.

Робоча напруга на силовому ключі:

$$U_{DSS} \geq U_{\max} + 0,3U_{\max},$$

де U_{\max} - амплітудне значення напруги в силовому ланцюзі інвертора, В;

$U_{\max} = 30$ В.

Тоді,

$$U_{DSS} \geq 30 + 0,3 \cdot 30 = 39 \text{ В.}$$

Максимальний струм в силовому ланцюзі:

$$I_{\max} = 5,5 \text{ А.}$$

Вибираємо модуль Mosfet IRF420 з робочою напругою $U_{DSS} = 40$ В, максимально допустимим струмом $I_D = 18$ А і опором у включеному стані $R_{DS} = 0,001$ Ом. Радіатор - алюмінієва пластина (при струмі нижче 5,5 А – без обдування).

Втрати потужності на нагрівання транзисторів:

$$\Delta P_{\text{акт}} = I_{\max}^2 \cdot R_{DS} = 5,5^2 \cdot 0,001 = 0,03 \text{ Вт.}$$

Температурний діапазон роботи - від 59 °С до 175 °С.

У таблиці 2.1 вказані максимально допустимі струми I_{\max} при температурах корпусу $T_{\text{корп}} = 25$ °С и $T_{\text{корп}} = 175$ °С.

Таблиця 2.1 – Максимально допустимі струми модулів Mosfet при позначених вище температурах корпусу

$T_{\text{корп}}, \text{ }^\circ\text{C}$	$I_{\max}, \text{ А}$
25	18
100	12

Розсіювана потужність при максимально допустимих параметрах і температурі корпусу $T_{\text{корп}}=25^{\circ}\text{C}$:

$$\Delta P_{\text{розс}} = 140 \text{ Вт}$$

Так як параметри силової схеми установки нижче гранично допустимих для обраних транзисторів, то втрати потужності нижче, отже, транзистори вибрані правильно.

Вибираємо драйвер ІНD215А з параметрами, зазначеними у таблиці 2.2.

Таблиця 2.2 Параметри драйвера ІНD215А

Найменування	ІНD215А
Кількість каналів	1
Вихідна напруга, В	+/-15
Вихідний струм, А	+/-8
Вихідна потужність/канал, Вт	5
Затримка, нс	225
Напруга пробною, В	5000
Тип розв'язки	Оптичний

3. ПРОЕКТУВАННЯ СИСТЕМИ АВТОМАТИЧНОГО КЕРУВАННЯ

3.1 Розробка математичної моделі автоматизованого електроприводу

Автоматизований електропривод проектованої установки включає в себе два двофазних лінійних крокових двигуна. Кожна фаза керується пристроєм керування, що включає в себе регулятор струму і інвертор. Математична модель крокового двигуна описується наступними рівняннями [8]:

$$\begin{aligned}
 u_A &= R \cdot i_A + L \cdot \frac{di_A}{dt} + \Psi_m \cdot \frac{d\theta}{dt} \cdot \sin \theta, \\
 u_B &= R \cdot i_B + L \cdot \frac{di_B}{dt} + \Psi_m \cdot \frac{d\theta}{dt} \cdot \cos \theta, \\
 \frac{d^2\theta}{dt^2} - k \cdot i_A \cdot \sin \theta - k \cdot i_B \cdot \cos \theta &= f_n,
 \end{aligned}$$

де A і B - фази лінійного крокової двигуна,

u_A і u_B - миттєві значення напруг, що прикладаються до фаз, В,

R - активний опір обмотки фази, Ом,

i_A і i_B - миттєві значення струмів фаз, А,

L - індуктивність обмотки фази, Гн.

Ψ_m - максимальне потокозчеплення, Вб,

θ - переміщення, м,

k - постійна моменту, Н / м,

f_n - навантажувальне зусилля, Н.

При моделюванні крокового двигуна необхідно враховувати фіксуєчий момент (зусилля) двигуна і вплив в'язкості, що долається ротором. У індукторно-кроковому двигуні з постійними магнітами значний вплив четвертої гармоніки моменту (зусилля), яка і називається фіксуєчим моментом (зусиллям). Цю гармонійну складову слід враховувати введенням додаткової складової в навантажувальний момент. В'язкість також враховується введенням додаткової складової в навантажувальний момент.

У проектованій установці керування лінійним кроковим двигуном здійснюється за допомогою інвертора на основі модулів Mosfet. Контур керування струму включає в себе регулятор струму, на вхід якого надходить сигнал неузгодженості між заданим і фактичним значенням струму фази.

Структурна схема автоматизованого електроприводу з лінійним кроковим двигуном представлена на рис. 3.1.

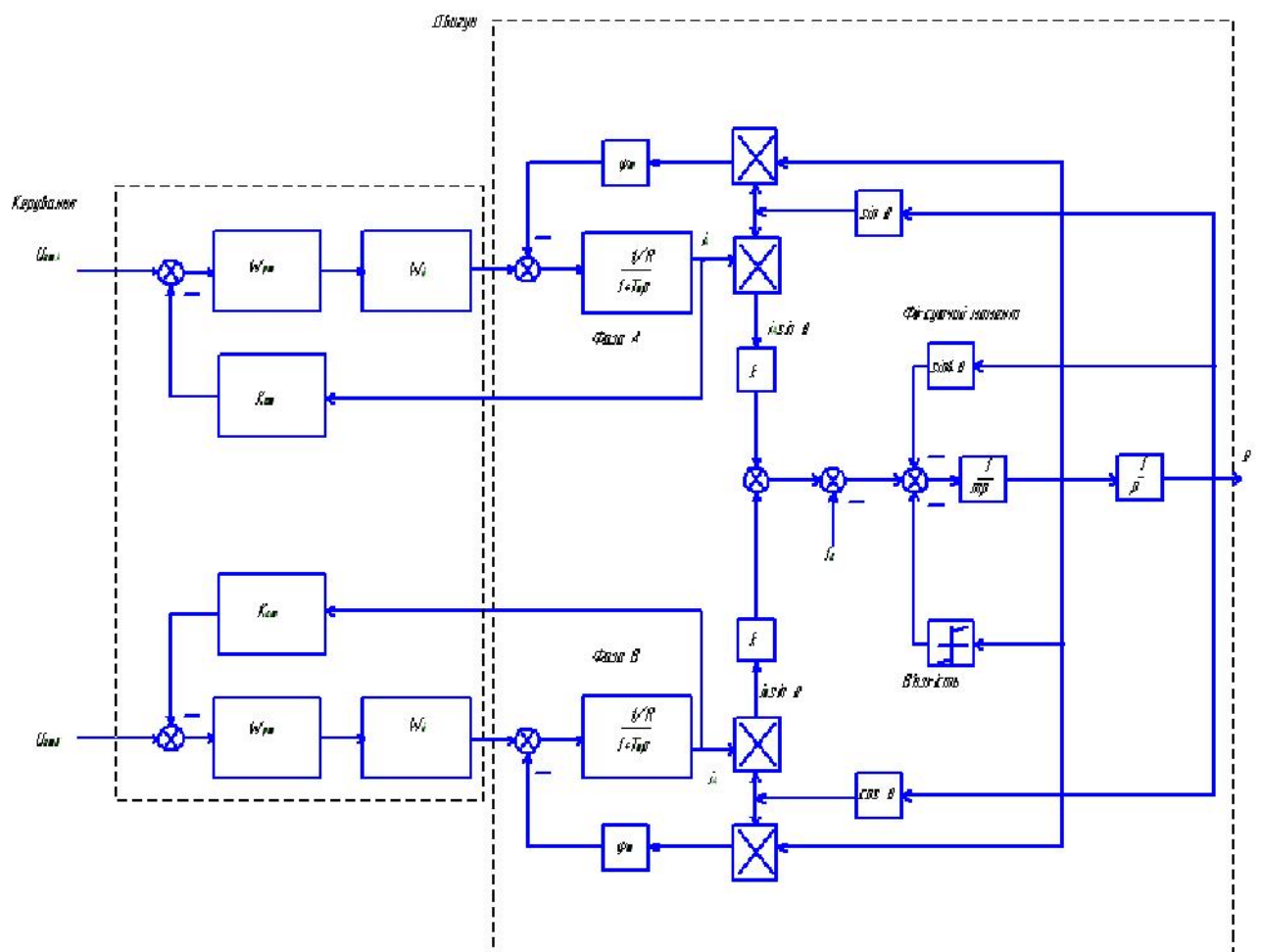


Рисунок 3.1 - Структурна схема автоматизованого електроприводу з лінійним кроковим двигуном,

де $W_{рс}$ - передавальна функція регулятора струму;

W_i - передавальна функція інвертора;

T_c - постійна часу обмотки фази двигуна;

$U_{зтА}$, $U_{зтВ}$ - сигнали завдання струмів фази, А та В відповідно.

3.2 Розрахунок параметрів об'єкта керування

Об'єктом керування є двофазний лінійний кроковий двигуном з параметрами, зазначеними в таблиці 3.1.

Постійна часу обмотки фази двигуна:

$$T_3 = \frac{L}{R} = \frac{0,3 \cdot 10^{-3}}{5} = 0,06 \text{ мс.}$$

Так як двигун працює без навантаження, то навантажувальний зусилля $f_H = 0$.

Максимальне потокозчеплення:

$$\Psi_m = L \cdot I_m$$

де I_m - максимальний струм у фазі двигуна.

Тоді, максимальне потокозчеплення:

$$\Psi_m = 0,3 \cdot 10^{-3} \cdot 5,5 = 1,65 \text{ мкВб.}$$

Таблиця 3.1 – Параметри об'єкта керування

Параметри	Значення
Опір обмотки фази, Ом	5
Індуктивність обмотки фази, мГн	0,3
Маса ротора, кг	3
Максимальне потокозчеплення, Вб	0,00165
Складова фіксуючого момента, Н/А	0,01
Коефіцієнт в'язкого тертя, Нм·с	10^{-4}
Коефіцієнт сухого тертя,	10^{-8}
Постійна часу обмотки фази двигуна, мс	0,06

3.3 Визначення структури і параметрів керуючого пристрою

До складу керуючого пристрою входять інвертор на основі модулів Mosfet і регулятор струму, охоплені зворотним зв'язком по струму. Кожна фаза двухфазного крокового двигуна живиться таким інвертором і має зворотний зв'язок по струму [3].

Сигнал завдання струму фази порівнюється з сигналом зворотнього зв'язку по струму, і отримана неузгодженість надходить на вхід регулятора струму. Вихідний сигнал регулятора є вхідним сигналом для ШІМ-перетворювача.

Розрахуємо регулятор струму:

Контур регулювання струму фази зображений на рис. 3.2.

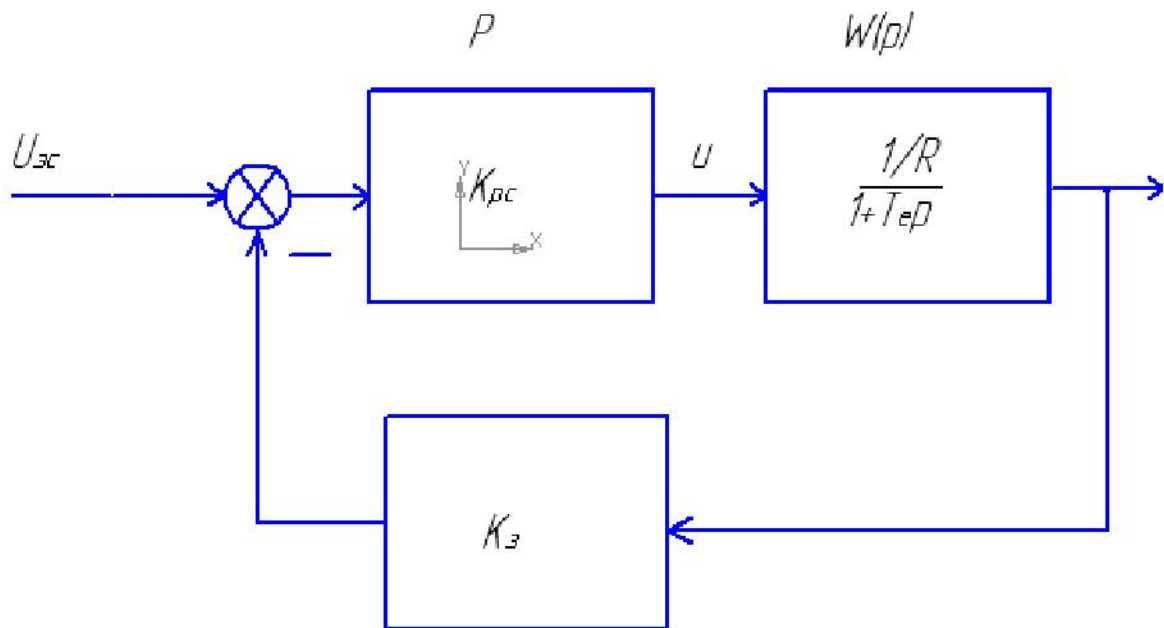


Рисунок 3.2 - Контур регулювання струму

P - регулятор струму;

k_{pc} - передавальна функція регулятора струму;

u_{zc} - сигнал завдання струму фази;

i - струм фази;

k_z - коефіцієнт зворотного зв'язку;

$W(p)$ - передавальна функція фази двигуна.

Для проекрованої установки необхідна система керування, що має структуру і яка володіє низькою чутливістю до параметричних збурень. Для проектування такої структури необхідно скористатися властивістю стійкості при нескінченному посиленні в контурі [9].

Для визначення умов стійкості замкнутої системи при нескінченному коефіцієнті посилення β представимо її характеристичний поліном у вигляді:

$$N(p) = a_n p^n + a_{n-1} p^{n-1} + \dots + a_1 p + a_0 + \beta(b_m p^m + b_{m-1} p^{m-1} + \dots + b_0). \quad (3.1)$$

У формулі (3.1) прийняті наступні позначення:

a_i, b_i - коефіцієнти, що виражаються через параметри системи.

Відповідно до умов М. В. Меєрова при $n - m = 1$ система зберігає стійкість при $\beta \rightarrow \infty$ завжди, при $n - m = 2$ при дотриманні нерівності $a_{n-1}/a_n > b_{m-1}/b_m$, а в разі $n - m = 3$ при $\beta \rightarrow \infty$ система не зберігає стійкість.

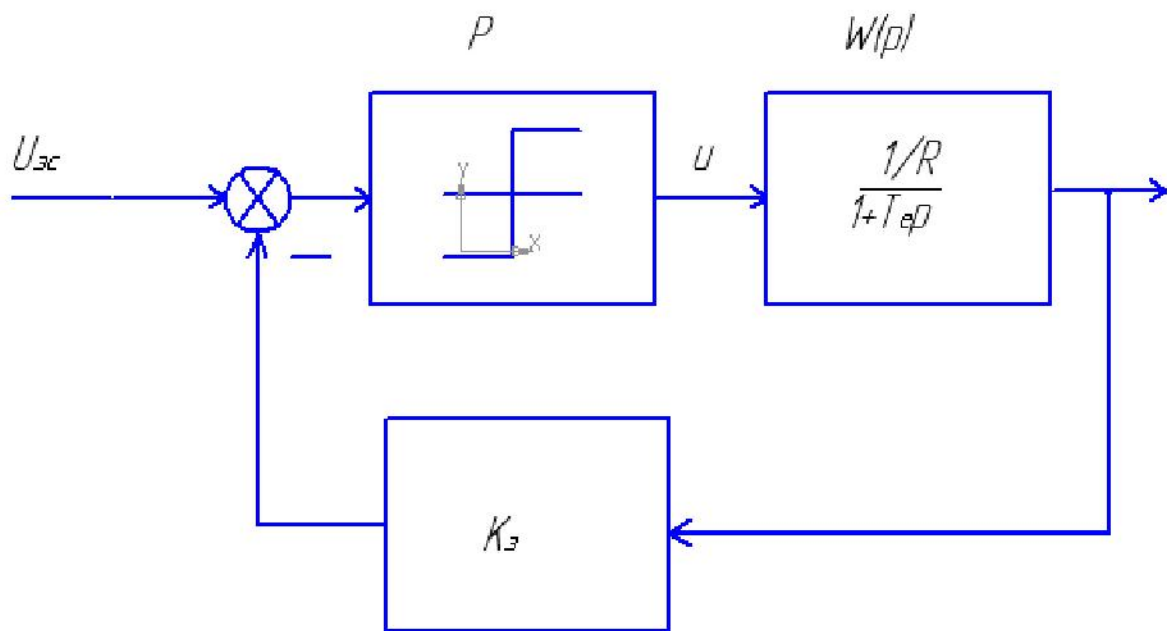


Рисунок 3.3 - Контур регулювання струму з релейним регулятором струму

P - регулятор струму;

$k_{рт}$ - передавальна функція регулятора струму;

$u_{зс}$ - сигнал завдання струму фази;

i - струм фази;

$k_з$ - коефіцієнт зворотного зв'язку

На рис. 3.2 представлений контур регулювання струму, в прямому каналі якого є ланка P . Його характеристика вхід-вихід має вертикальний ділянку, еквівалентний нескінченному посиленню, а вихідний сигнал u обмежений по модулю значенням im . Якщо позначити через β коефіцієнт посилення ланки P , то можна передавальну функцію контуру представити у вигляді:

$$\Phi = x(p)/u(p) = \beta W / (1 + k_0 \beta W)$$

Тоді,

$$\lim_{\beta \rightarrow \infty} \Phi = 1/k_0,$$

і властивості контуру не залежать від параметрів ланки $W(p)$. Так, при

$W(p) = \frac{k}{T_3 p + 1}$ отримаємо $\Phi = \beta k (1 + T_3 p + k_0 k \beta)$, $n = 1$, $m = 0$, $n - m = 1$, і система стійка при $\beta \rightarrow \infty$.

Так як всі умови для застосування релейного регулятора дотримуються, реалізуємо регулятор струму релейним елементом з максимально допустимим відхиленням фактичного струму фази від струму завдання рівним 0,05 А (1% від номінального струму 5,5 А).

3.4. Аналіз динамічних і статичних характеристик електропривода

Розробка програмного забезпечення для комп'ютерного моделювання автоматизованого електроприводу

Комп'ютерне моделювання проектованої установки розробляємо в середовищі математичного моделювання MATLAB 6.0, з використанням бібліотеки Simulink.

У імітаційній моделі інвертор побудований на силових модулях Mosfet. Відкриваючі імпульси подаються на транзистори з релейного регулятора струму, здійснюючи симетричну комутацію силових ключів. На рис. 3.4 представлена імітаційна модель двофазного мостового інвертора на модулях Mosfet.

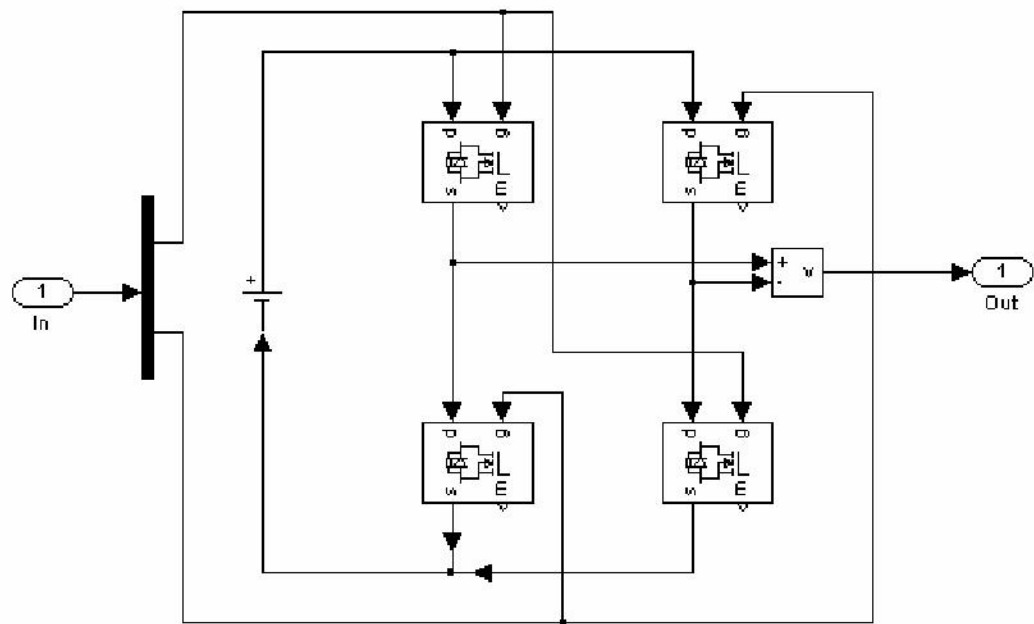


Рисунок 3.4 - Імітаційна модель двофазного мостового інвертора

Параметри модулів Mosfet, використаних у моделі представлені на рис. 3.5.

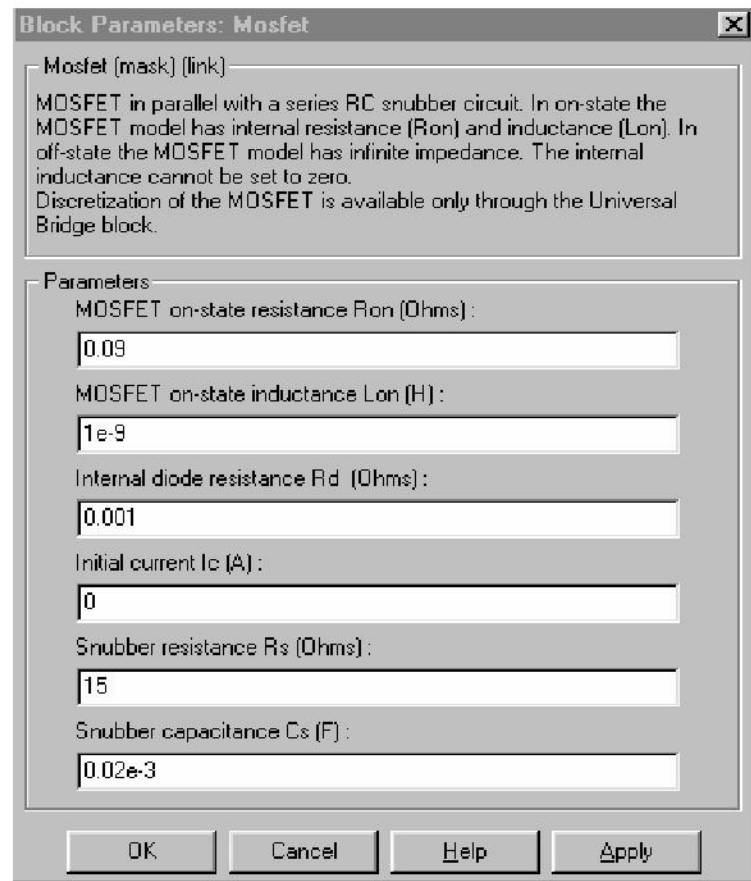


Рисунок 3.5 - Параметри модулів Mosfet

На рис. 3.6 представлена імітаційна модель релейного регулятора струму.

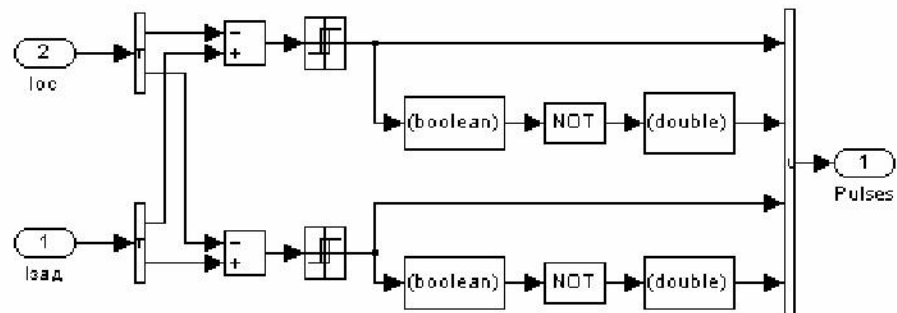


Рисунок 3.6 - Реалізація релейного регулятора струму

I_{oc} - сигнал зворотного зв'язку по струму, $I_{зад}$ - сигнал завдання струму, "Pulses" - відкривають імпульси.

Імітаційна модель двофазного лінійного крокової двигуна з контуром регулювання струму представлена на рис. 3.9.

Опис блоків, застосованих при складанні імітаційної моделі.

При реалізації релейного регулятора струму були використані блоки "boolean", "NOT", "double", які здійснюють інвертування відкриваючих імпульсів, що подаються на транзистори Mosfet для здійснення симетричної комутації.

Блоки "Завдання 1" і "Завдання 2" формують сигнали завдання струмів фаз А та В відповідно. Сигнали завдання струмів фаз $U_{зтА}$ і $U_{зтВ}$ показані на рис. 3.7 та 3.8.

$U_{зс А, В}$

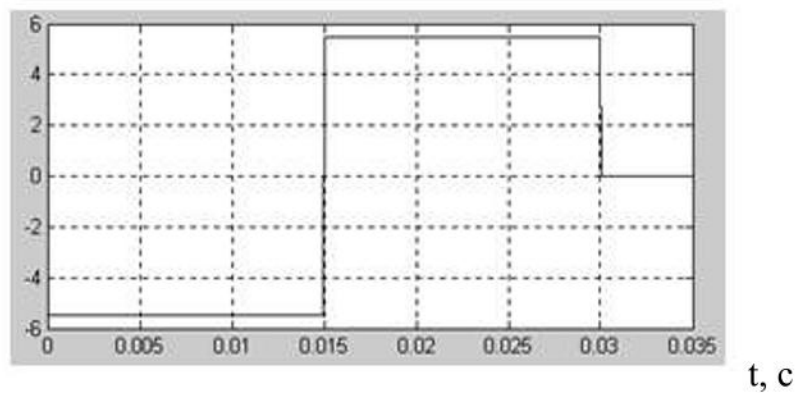


Рисунок 3.7 – Сигнал завдання струму фази А

$U_{зс В, В}$

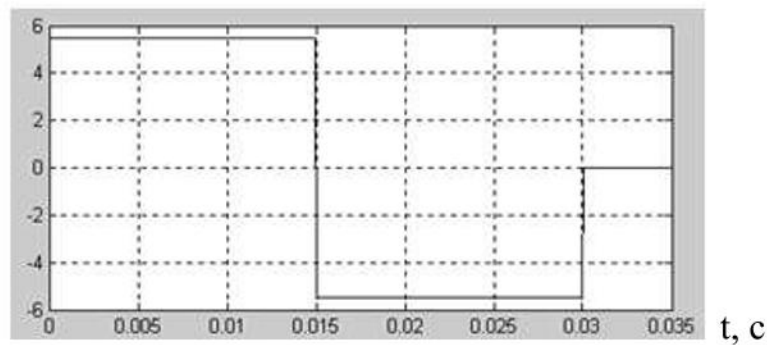


Рисунок 3.8 – Сигнал завдання струму фази В

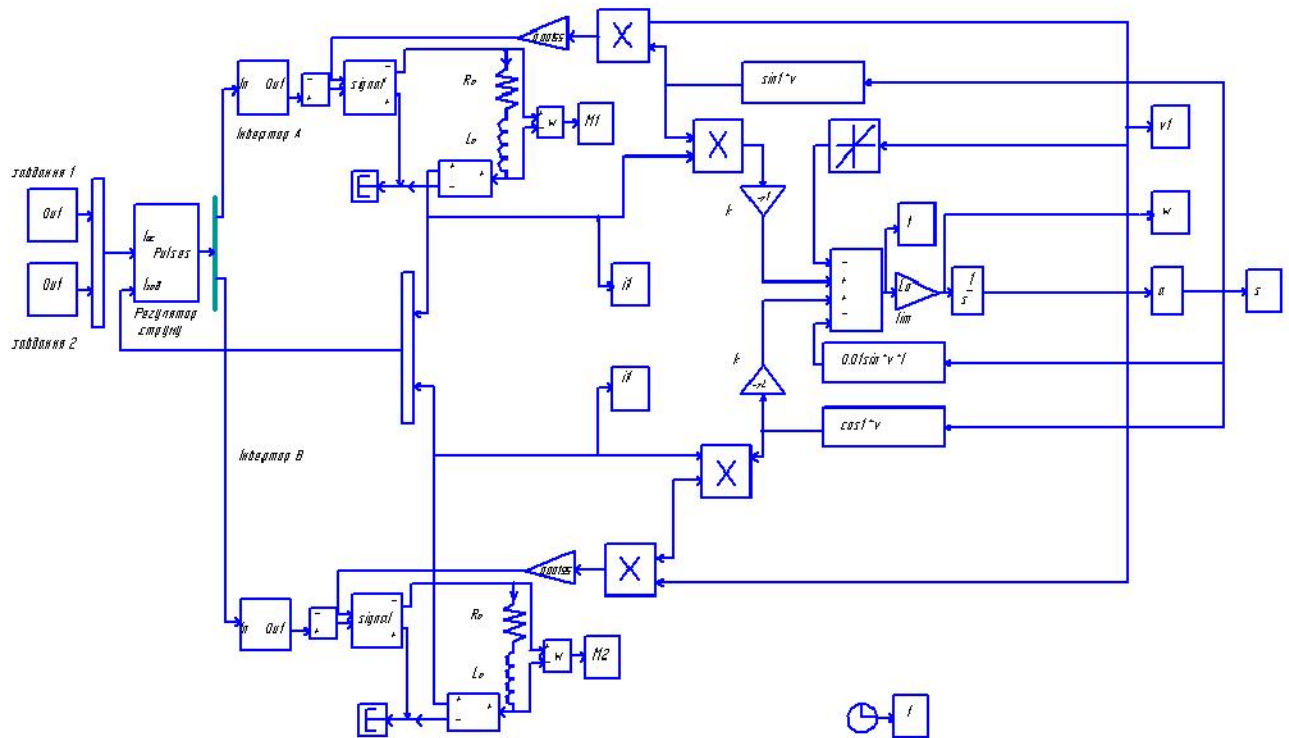


Рисунок 3.9 – Імітаційна модель електропривода проектованої установки

R_a і L_a - опір і індуктивність обмотки фази А;

R_b і L_b - опір і індуктивність обмотки фази В;

k - постійна моменту

Блоки " u_1 " і " u_2 " повертають залежності напружень, що прикладаються до фаз А та В від часу; блоки " i_1 " та " i_2 " повертають залежності струмів фаз А та В від часу; блок " T " повертає залежність тягового зусилля лінійного крокової двигуна від часу; блок " a " повертає залежність прискорення від часу; блок " v " - повертає залежність швидкості від часу; блок " s " повертає залежність переміщення від часу.

У блоці " $1 / m$ " врахована маса рухомої частини, рівна 3 кг.

3.4.2 Розрахунок та визначення показників якості перехідних процесів

Графіки, отримані в результаті моделювання в середовищі MATLAB 6.0, представлені на рис. 3.10 – 3.15.

t, c

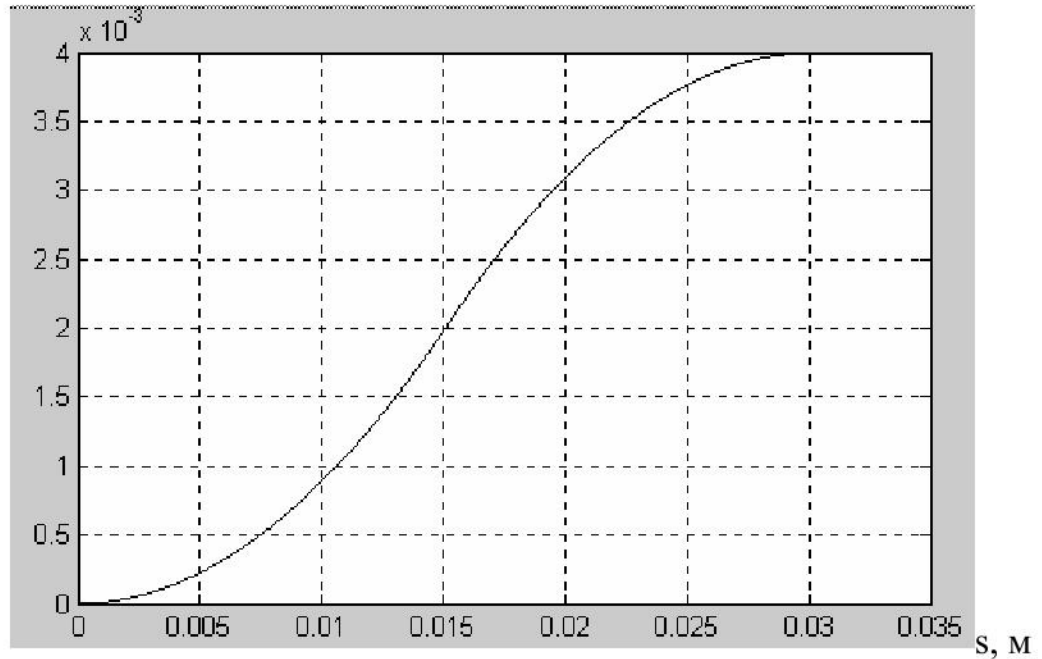


Рисунок 3.10 – Залежність переміщення від часу

t, c

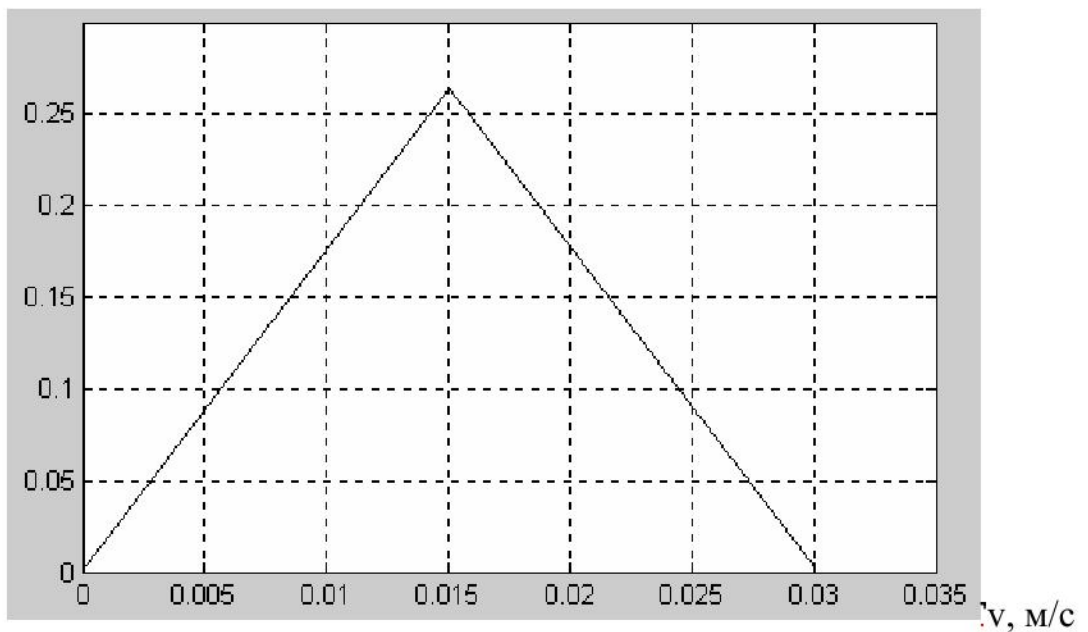


Рисунок 3.11 – Залежність швидкості від часу

t, c

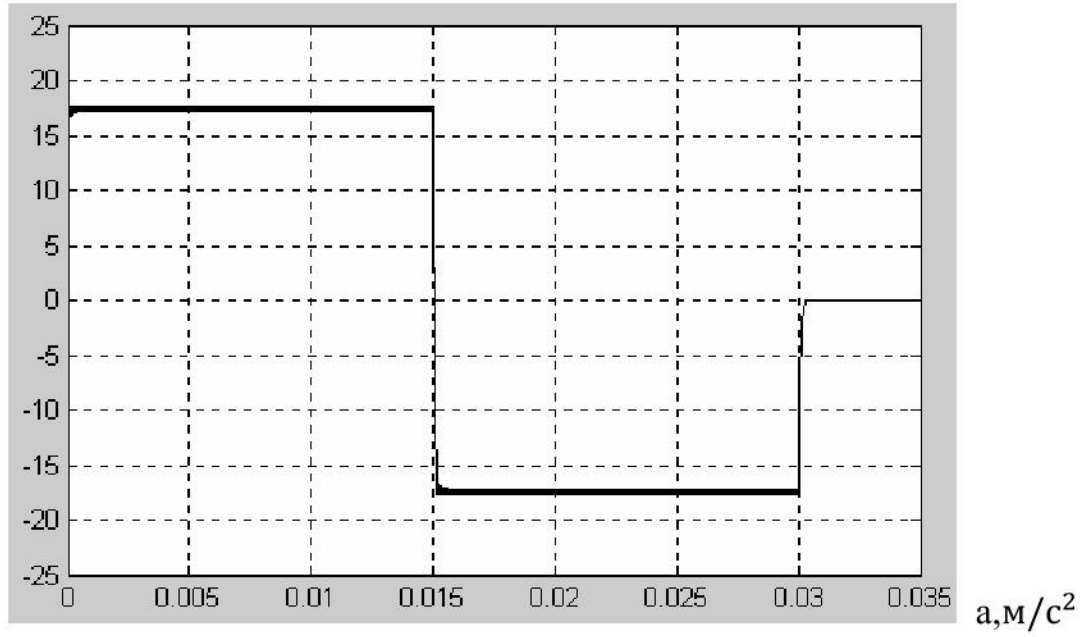


Рисунок 3.12 – Залежність прискорення від часу

t, c

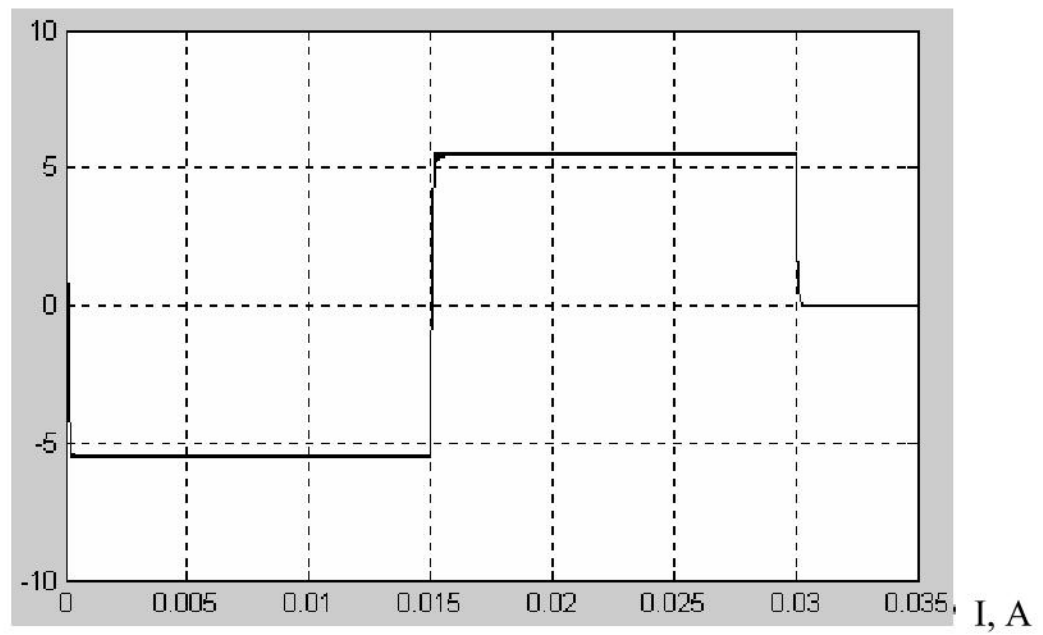


Рисунок 3.13 – Залежність струму фази А від часу

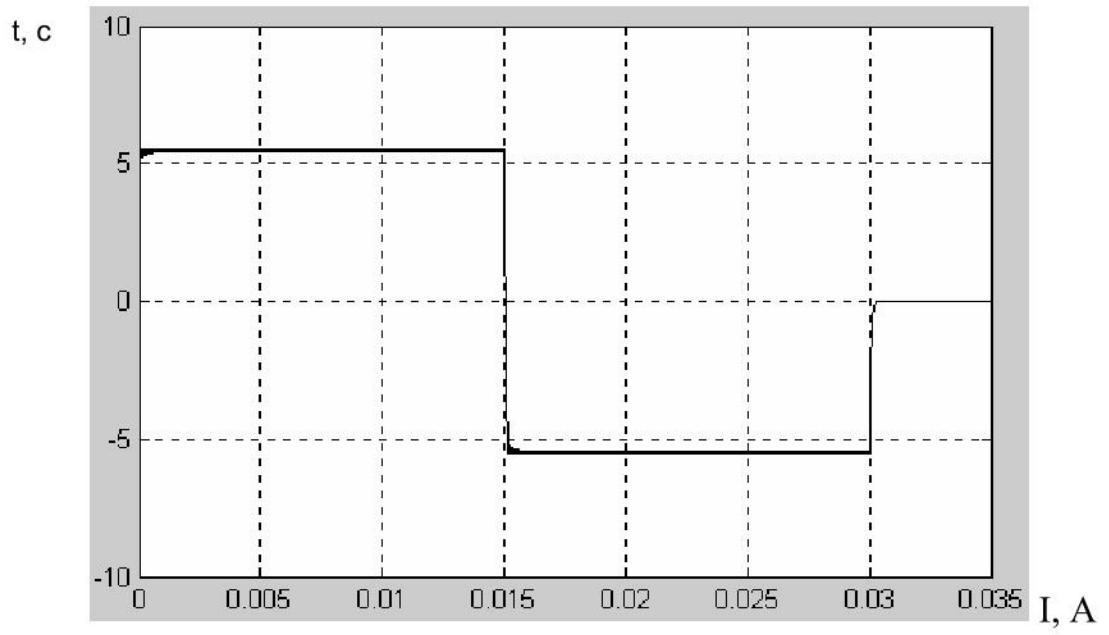


Рисунок 3.14 – Залежність струму фази В від часу

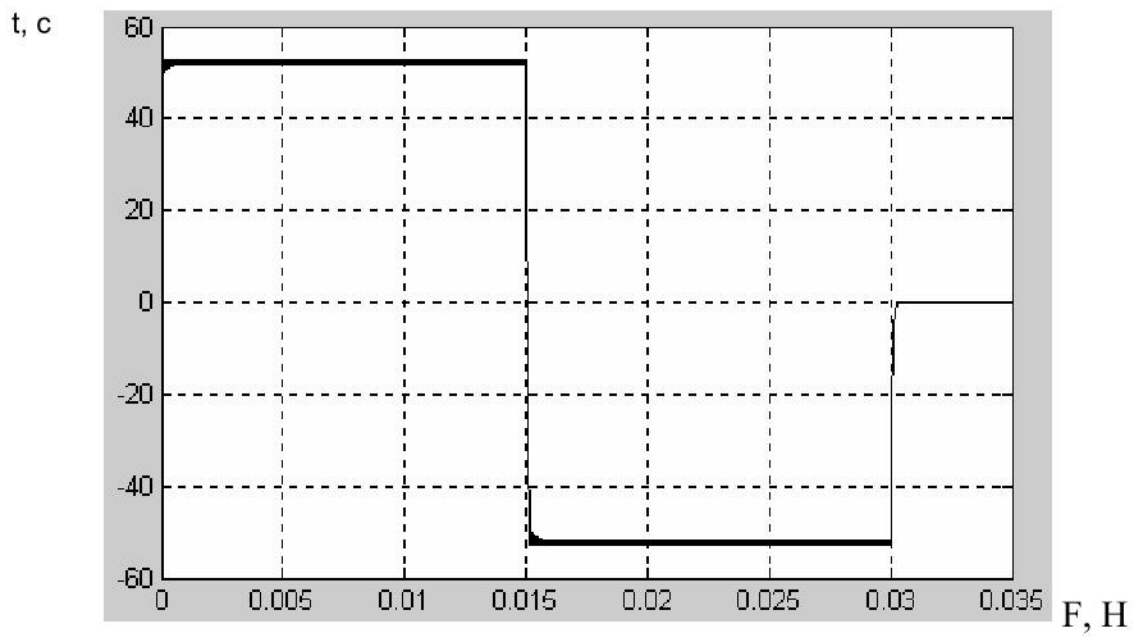


Рисунок 3.15 – Залежність тягового зусилля від часу

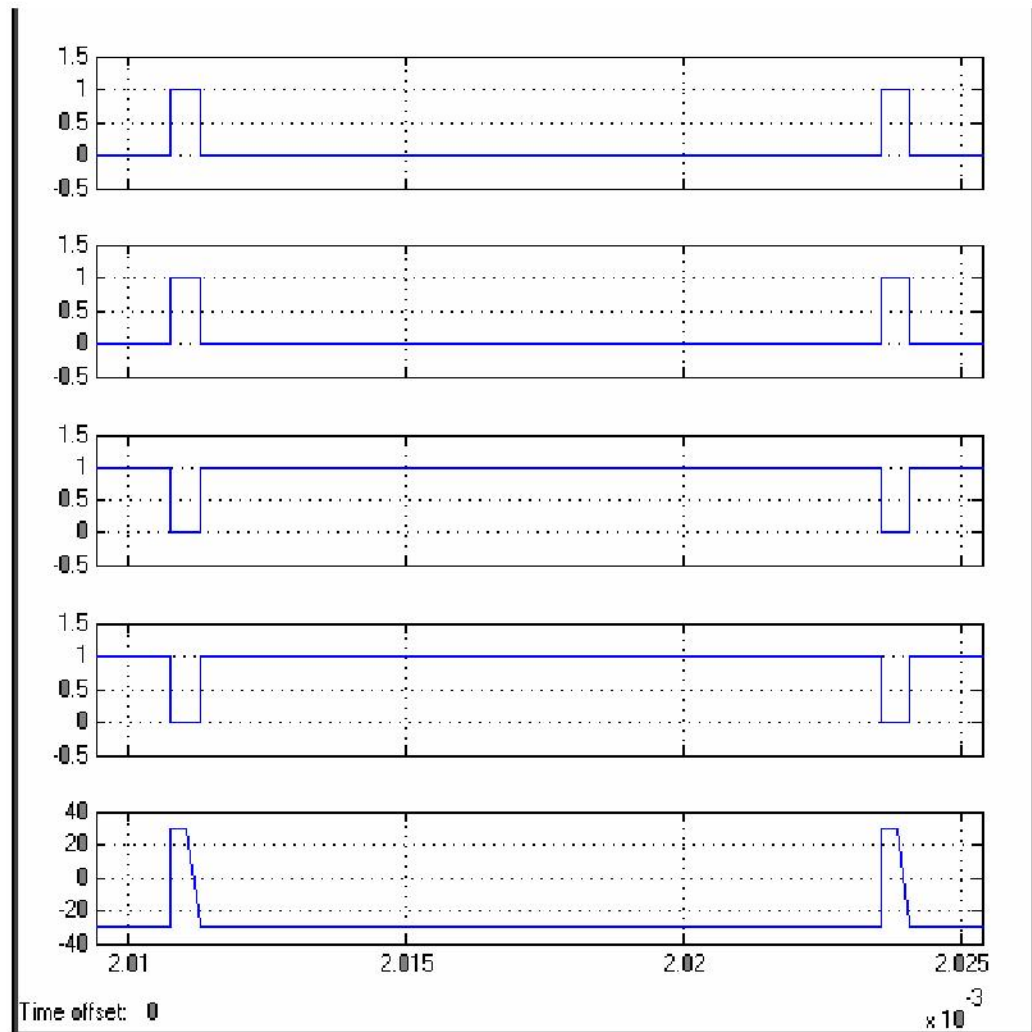


Рисунок 3.16 – Алгоритм роботи ключів інвертора фази А

На рис. 3.16 показаний алгоритм роботи ключів інвертора фази А за час від $2,0110^{-3}$ с до $2,02510^{-3}$ с. Це відрізок часу на ділянці розгону електродвигуна. Оскільки частота широтно-імпульсної модуляції напруги дуже висока, внаслідок того, що допустиме відхилення струму фази від заданого становить 1%, неможливо достовірно відобразити зміну напруги на фазі електродвигуна протягом усього часу типового переміщення. Алгоритм роботи ключів інвертора фази В показаний на рис. 3.17.

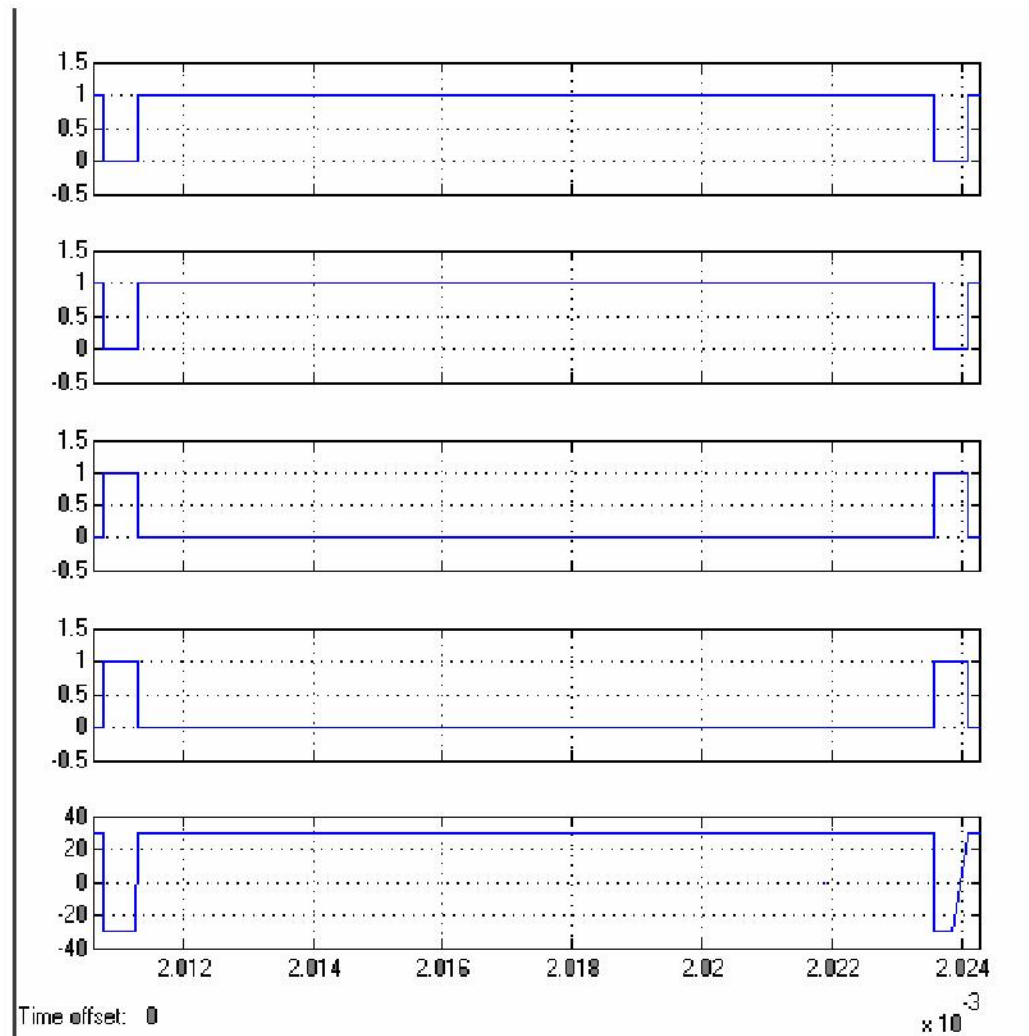


Рисунок 3.17 - Алгоритм роботи ключів інвертора фази В

Сигнал завдання струму фази В зрушений по фазі щодо сигналу завдання струму фази А на 90 електричних градусів.

На рис. 3.18 показано відпрацювання кроковим двигуном руху на два кроки вперед.

Якість регулювання прийнято оцінювати наступними основними показниками [9]:

- величиною перерегулювання;
- швидкодією або часом регулювання;
- числом коливань регульованої величини за час перехідного процесу.

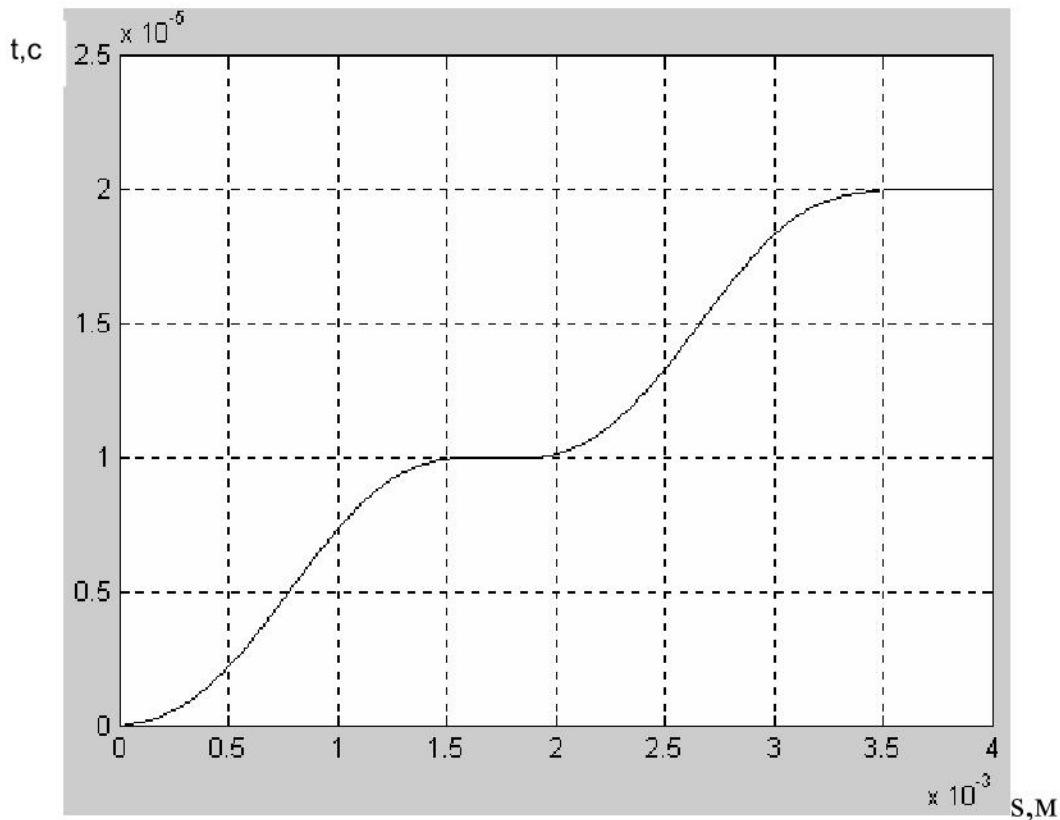


Рисунок 3.18 - Результати відпрацювання моделлю завдання руху на два кроки вперед.

Перерегулювання обчислюється за формулою:

$$\Delta\% = \frac{h_{\max} - h_{\text{уст}}}{h_{\text{уст}}} \cdot 100\% \quad (5.1)$$

Для проектованої установки особливо важливо перерегулювання по положенню. $h_{\max} = h_{\text{уст}} = 4$ мм, отже, перерегулювання $\Delta = 0\%$.

При відпрацюванні одиничного кроку $h_{\max} = h_{\text{уст}} = 10$ мкм.

Швидкодія, або час регулювання являє собою час на протязі якого відхилення регульованої величини від сталого значення перевищує деяке допустиме значення. У більшості випадків це значення приймається рівним 5%. Регульована величина (переміщення) після досягнення сталого значення більше не відхиляється від нього, і, отже, час регулювання дорівнює нулю.

Число коливань регульованої величини за час перехідного процесу не перевищує допустимого значення, так як коливання відсутні.

Величина одиничного кроку становить 10 мкм, отже, система задовольняє вимогам точності позиціювання.

Максимальна швидкість в проектованій установці дорівнює 0,27 м/с, що не перевищує необхідної максимальної швидкості 0,28 м/с і дорівнює значенню розрахункової максимальної швидкості.

Максимальне прискорення дорівнює 17,7 м/с², що не перевищує необхідного значення, рівного 18 м/с².

3.4.3 Побудова статичних характеристик електроприводу

Вище було описано, чому статичне зусилля лінійного крокового двигуна на повітряній подушці в проектованій установці не змінюється і визначається силами тертя рухомої частини об повітряну опору. Так як зусилля навантаження незмінно, немає необхідності будувати статичні характеристики.

3.4.4 Остаточна перевірка двигуна по нагріванню

У результаті моделювання перехідних процесів були отримані залежності $w(t)$, $F(t)$, $I(t)$.

Перевірка по нагріванню проводиться методом середніх втрат або еквівалентних величин (моменту, струму, зусилля). Площа кривої зусилля замінюється сумою площ еквівалентних прямокутників. Отже,

$$F_e = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n F_i^2 t_i}{\alpha_0 t_{\Sigma}}}$$

де F_i - еквівалентне значення моменту на i -му інтервалі.

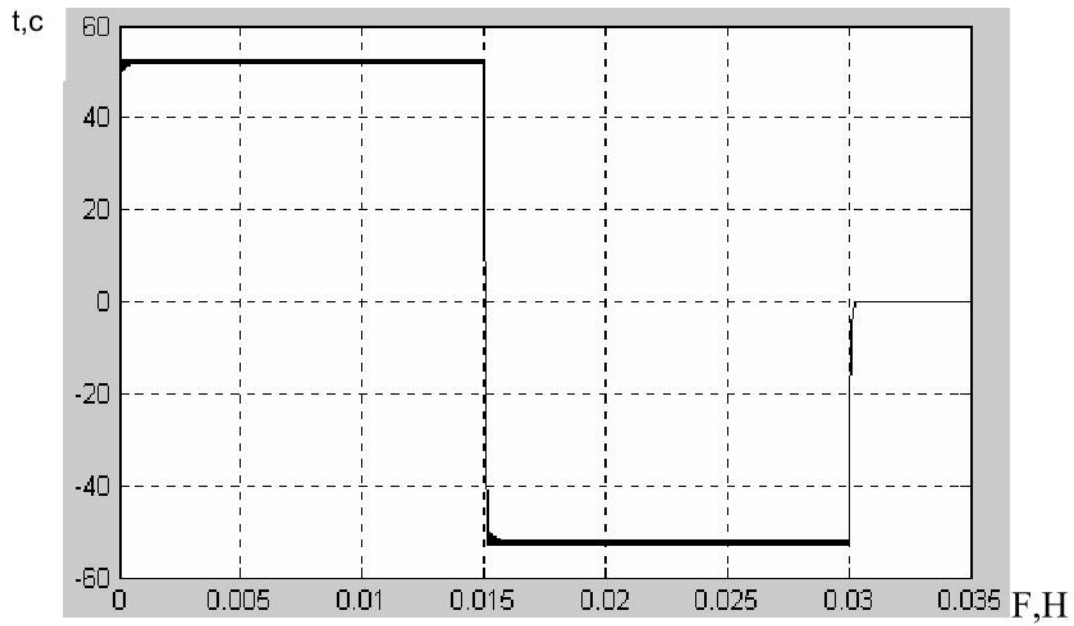


Рисунок 3.19 - Залежність тягового зусилля від часу

де α_0 - коефіцієнт, що враховує погіршення охолодження при пуску і гальмуванні, $\alpha_0 = 1$, так як використовується примусова вентиляція.

За даними графіка нарисунку 3.19 визначаємо:

$$F_e = \sqrt{\frac{53^2 \cdot 0,015 \cdot 2}{0,015 \cdot 2}} = 53,4 \text{ Н.}$$

$$F_e \leq F_H.$$

53,3 Н \leq 55 Н – двигун задовольняє умовам нагріву

3.5 Вибір і проектування системи автоматизації виробничої установки

3.5.1 Формалізація умов роботи установки

Одним з найважливіших напрямків у вирішенні завдань інтенсивності виробництва і підвищення його ефективності є комплексна автоматизація промисловості. Автоматизація промислових комплексів дозволяє підвищити надійність систем в цілому, завдяки тому, що скорочується кількість використовуваних елементів в системах керування.

Останнім часом для автоматизації промислових установок в основному використовуються мікроконтролери, застосування яких дозволяє підвищити ефективність використання приводів, знизити витрати на ремонт. Такі системи забезпечують швидке переналагодження систем керування, змінивши всього лише параметри керуючих програм. Також системи керування, в яких використовуються мікроконтролери, дозволяють за допомогою пристроїв візуалізації, контролювати велику кількість параметрів, в зручному вигляді для операторів. В даний час мікроконтролери дозволяють забезпечити зв'язок з ЕОМ, що дозволяє оператору контролювати роботу відразу декількох робочих комплексів зі свого робочого місця.

Система керування кроковим двигуном є системою точного відтворення рухів з можливостями як позиційного, так і контурного керування [2]. Вона призначена для створення багатокординатного крокового електроприводу на базі застосування обертових, лінійних, планарних крокових двигунів і крокових двигунів з комбінованим характером руху, а також для комплексної автоматизації всіх технологічних процесів в складі установки на основі багатокординатного крокового електроприводу.

Система керування кроковими електродвигунами є мультимікропроцесорною системою керування, яка побудована за ієрархічним тривірневим магістрально - модульним принципом.

На нижньому рівні керування реалізується принцип прямого цифрового керування однією віссю електроприводу за допомогою мікропроцесорного

контролера - модуля контролера (МК), автономного інвертора струму - модуля інвертора струму (МІ) і блоку електричного дроблення кроку і обробки сигналів датчиків зворотнього зв'язку, конструктивно виконаного у вигляді інтерфейсного модуля зв'язку (МС) контролера і інвертора струму. Три названих модуля і кроковий двигун (або одна координата багатокординатного двигуна) разом з робочим органом утворюють електропривод осі або однокоординатний електропривод.

Кожен осьовий контролер має вбудований модуль введення-виведення дискретної інформації для прийому логічних сигналів про стан технологічного обладнання і приводу (датчиків кінцевого положення, аварійних датчиків) та видачі технологічних команд (включення -виключення повітря). Це дозволяє здійснювати в найпростішому випадку керування дискретною автоматикою технологічної установки без будь-яких додаткових модулів вводу - виводу дискретних сигналів або окремо встановлених додаткових промислових програмованих контролерів.

На середньому рівні керування здійснюється узгоджене керування за допомогою модуля центрального процесора (МЦП) і загальної шини з магістральним паралельним інтерфейсом декількома осями електроприводу і відповідним технологічним обладнанням, підключеним до модулів вводу-виводу дискретних сигналів окремих осьових контролерів.

До шини магістрального паралельного інтерфейсу під'єднуються всі модулі осьових контролерів та інші програмно - керовані модулі, до числа яких можуть відноситися спеціальні пристрої сполучення з об'єктом керування, наприклад, модулі обміну інформацією по каналу загального користування (МКЗК), додатково забезпечують зв'язок системи керування кроковими двигунами з якими-небудь приладами та інформаційно - вимірювальними системами або додаткові модулі вводу - виводу дискретних сигналів, розраховані на велику кількість виходів і входів.

На верхньому рівні керування здійснюється узгоджене керування групами електроприводів і технологічним обладнанням, підключеним до

осьових контролерів. В якості керуючого пристрою на цьому рівні керування використовуються персональні комп'ютери, промислові програмовані контролери та керуючі ЕОМ, що мають вихід на стандартний послідовний інтерфейс RS-232 для сполучення з модулями центрального процесора, встановленими в крейти.

3.5.2 Розробка алгоритму і програми керування

Виробничий цикл проектованої установки виглядає наступним чином. Оператор встановлює максимальну координату по осі Z і швидкість наїзду на датчик положення. Контролер розфіксує двигун, що здійснює переміщення по осі Z (двигун 1). Координатний стіл із закріпленою на ньому платою, підготовлену для маркування, піднімається на висоту 30мм (40960 дискрет) зі швидкістю 0,25 м/с (366357 дискрет) до зіткнення з датчиком положення, встановленому на 6 мм нижче контактної поверхні зондів. Після цього відбувається відлік витримки часу, рівний 0,78 с. Після витримки часу, координатний стіл знову піднімається, але вже зі швидкістю 5,8 м/с (8000 дискрет) на висоту 3мм (4095 дискрет) до зіткнення з контактною поверхнею зондів. Швидкість руху при наближенні до зондів знижена для того, щоб плата, що маркується не пошкодила контактну поверхню зондів, при зіткненні з ними. Після цього відбувається фіксація двигуна 1 і розфіксація двигуна, що здійснює рух по осі X (двигун 2). Оператором задана в програмі максимальна координата переміщення по осі X (100000 дискрет) і координата точки по осі X, в яку необхідно переміститися ($x = 4 \text{ мм} = 5460 \text{ дискрет}$). Двигун здійснює задане переміщення. Потім відбувається фіксація двигуна 2 і запуск програмного буфера 1. Потім відбувається розфіксація двигуна, що здійснює рух по осі Y (двигун 3). Оператором задана максимальна координата переміщення по осі Y (100000 дискрет) і задана координата точки по осі Y, в яку необхідно переміститися ($y = 4 \text{ мм} = 5460 \text{ дискрет}$). Двигун здійснює задане переміщення. Потім проводиться фіксація двигуна 3 і запуск програмного буфера 1. Після цього цикл повторюється спочатку. Алгоритм керування установкою показаний на рис.3.20, а програма реалізації

технологічного циклу, складена на підставі цього алгоритму представлена в таблиці 3.2.

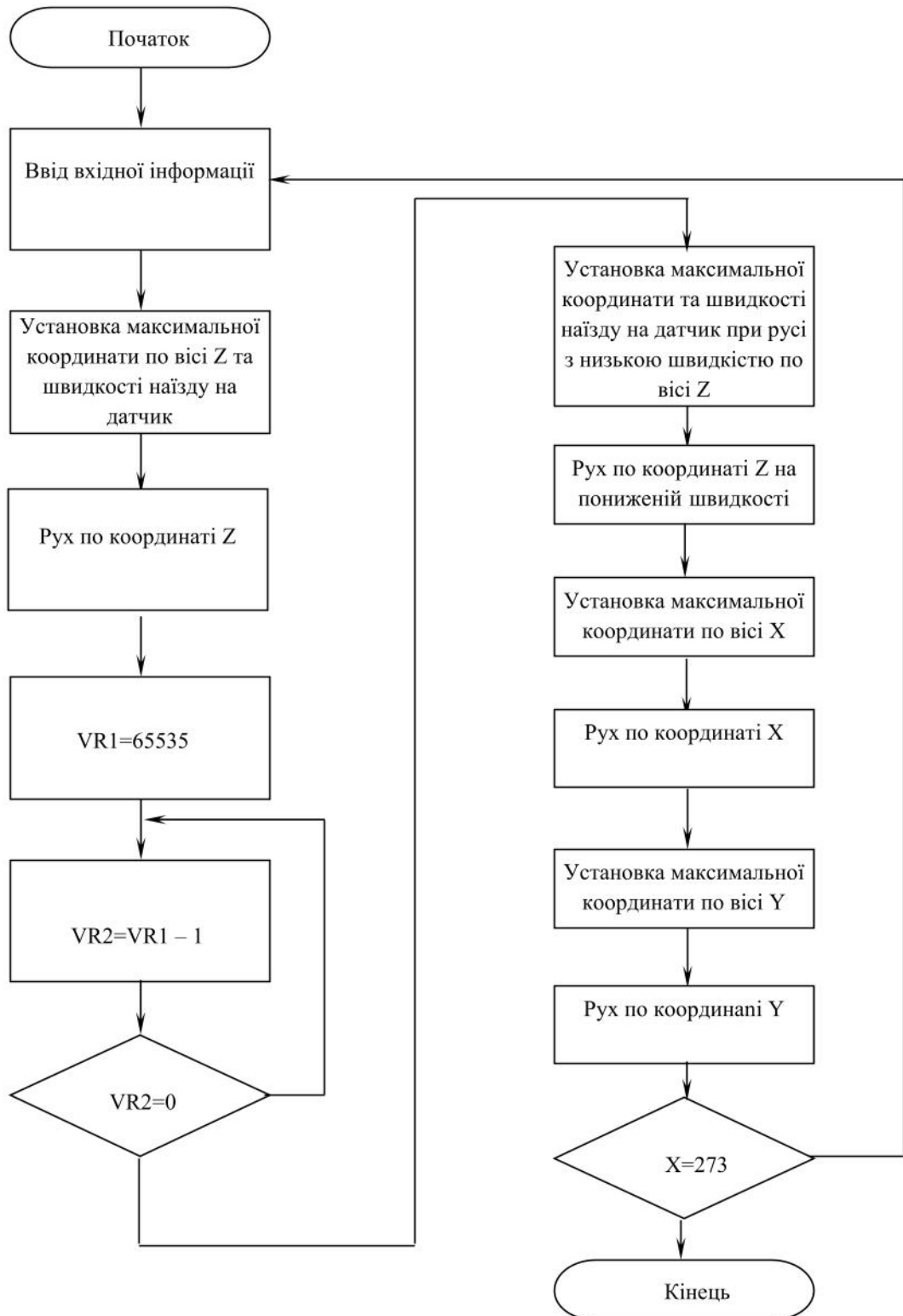


Рис. 3.20 Алгоритм керування установкою

Таблиця 3.2

Програма реалізації технологічного циклу

Команда	Мітка	Коментарі
@1		Вибір активним контролера 1
@		Опитування номера плати
HMZ		Обнуління всіх координат
IN		Опитування дискретних входів
OPRG		Відкриття програмного буфера 1 для запису
DS1		Розфіксація двигуна 1
I _{z21} =40960		Установка максимальної координати по осі Z, дискет
I _{z40} =366357		Установка швидкості наїзду на датчик, дискет/с
Z40960		Рух по координаті Z в точку, з координатою 40960 по осі Z
OPRG2		Відкриття програмного буфера 2 для запису
VR1=65535		Присвоєння змінній VR1 значення 65535
VR2=VR1-1	1	Присвоєння змінній VR2 значення VR1-1
IF VR2!=0		Організація циклу затримки часу. Поки вираз VR2!=0 вірно, цикл виконується до команди END
GOTO1		

END		
SR		Зупиняє активний програмний буфер, з можливістю подальшого запуску командою
I _{z21} =4095		Установка максимальної координати по осі Z, дискет
I _{z40} =8000		Установка швидкості наїзду на датчик, дискет/с
Z8000		Рух по координаті Z в точку, з координатою 8000 по осі Z
EN1		Фіксація двигуна 1
SR		Зупиняє активний програмний буфер, з можливістю подальшого запуску командою
DS2		Розфіксація двигуна 2
I _{x21} =100000		Установка максимальної координати по осі X, дискет
X5460		Рух по координаті X в точку, з координатою 5460 по осі X
EN2		Фіксація двигуна 2
DS3		Розфіксація двигуна 3
I _{y21} =100000		Установка максимальної координати по осі Y, дискет
Y5460		Рух по координаті Y в точку, з координатою 5460 по осі X

EN3		Фіксація двигуна 3
IF X!=273000		Організація умови, поки вираз X!=273000 вірно, виконуються команди END
END		Запуск програмного буфера 1

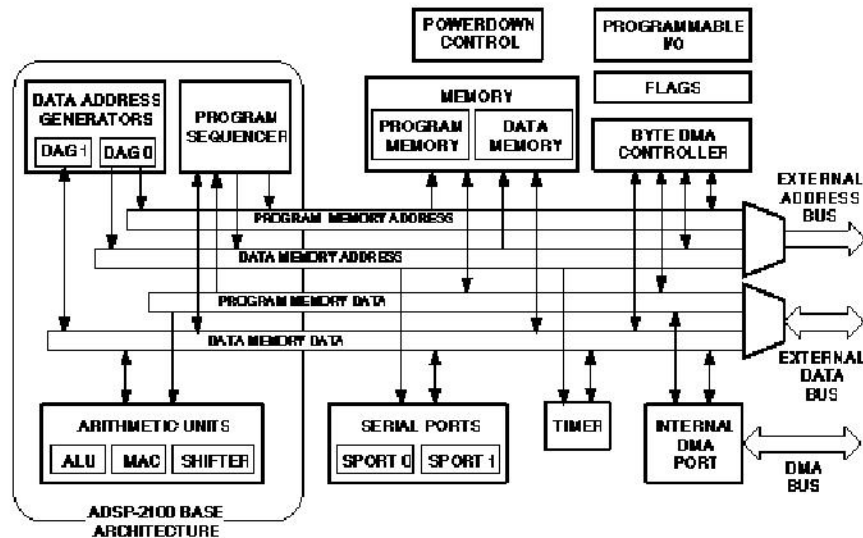


Рисунок 3.21 - Внутрішня архітектура ADSP 2185

Процесор має 80К байт внутрішньої оперативної пам'яті організованою, як 16К слів даних і програм відповідно по 16 і 24 біта. Два незалежних генератора адреси, дозволяють виконувати одночасне виконання інструкцій. Арифметичний пристрій дозволяє виконувати операції додавання, віднімання та множення з фіксованою точкою за один машинний цикл рівний 33 нс [7]. Час виконання будь-якої інструкції 33 нс забезпечує продуктивність сигнального процесора 33 MIPS (Millions Instructions Per Second), винятком є лише команда ділення яка реалізується процесором у вигляді двох примітивів DIVS і DIVQ. Перший дозволяє отримувати знаковий біт результату, а другий, відповідно, кожен наступний. В цілому операція ділення виконується за 16 циклів, що становить 530 нс. Процесор оснащений двома синхронними високошвидкісними каналами SPORT0 і SPORT1. Другий з них може

налаштовуватися, як синхронний канал, і як набір переривань і бітових прапорів. У системі використовується другий режим для забезпечення зв'язку з персональним комп'ютером в стандарті інтерфейсу RS-232. Конфігурація процесора вказана на рис. 3.22.

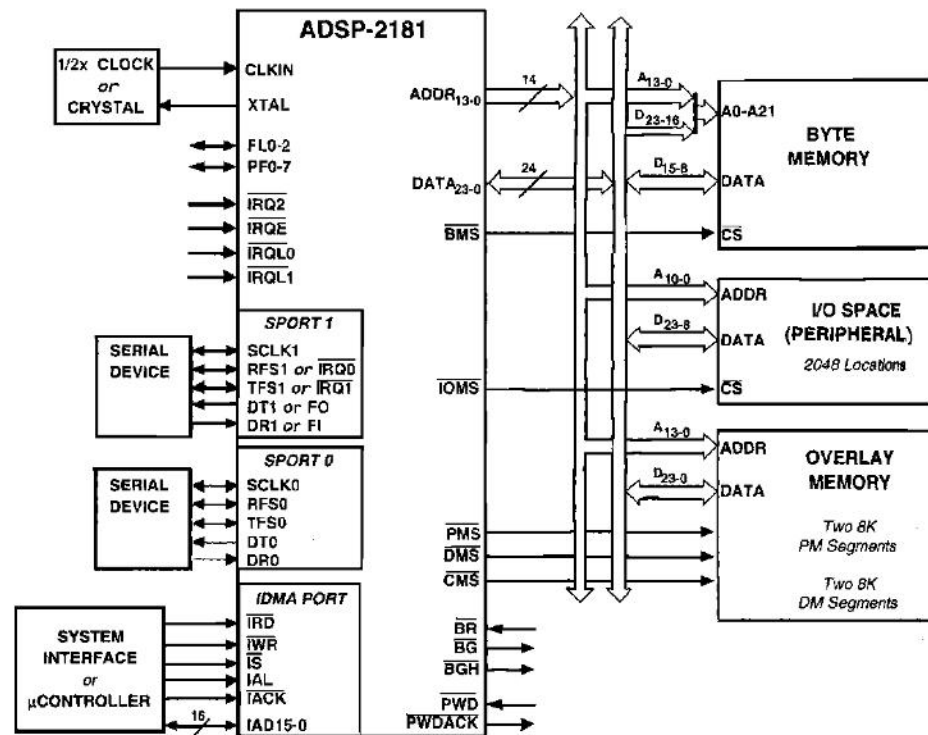


Рисунок 3.22 - Базова системна конфігурація

Так як в процесорі відсутній вбудований ПЗП після скидання процесор завантажує виконуваний код у внутрішню пам'ять програм з BYTE MEMORY (метод завантаження вказується шляхом подачі логічних сигналів на входи BMODE і MMAP). Процесор може адресувати до 2048 адрес вводу/виводу (I/O SPACE) розбитих на чотири блоки по 512 адрес з програмованими тактами очікування. Наявність бітових прапорів FL2 - FL0 і PF7 - PF0 і різних джерел переривань, включаючи зовнішні, значно спрощує завдання сполучення сигнального процесора з різноманітними периферійними мікросхемами, аналого - цифровими перетворювачами.

3.6 Вибір апаратів

Керування лінійними кроковими двигунами в проектованому пристрої здійснюється за алгоритмом, відповідному чотиритактній комутації. При такому алгоритмі керування ротор переміщається з кроком, рівним $\tau z / 4$, що в лінійних розмірах відповідає 0,05 - 0,25 мм. Для прецизійних систем така дискретність не є задовільною. Зниження величини одиничного кроку домагаються способами керування, що використовують електричне дроблення основного кроку лінійного крокового двигуна.

Керуючі струми фаз лінійних крокових двигунів формуються за допомогою цифрової техніки при кінцевому числі поєднань рівнів струмів у фазах, що забезпечує ряд дискретних позицій статора в межах зубцевого поділу. Синусо - косинусні функції струмів фаз виходять при цьому квантованими за часом. Таким чином протягом зубцевого ділення можна мати в межі будь-яке число статично стійких положень ротора, що задаються поточним значенням аргументу керуючих синусо - косинусних струмів фаз. Таким чином, використовуючи мікропроцесор для формування керуючих струмів, можна використовувати розімкнуту систему керування без дорогих датчиків положення ротора.

Вибираємо мікропроцесор ADSP2185KST - 133 Analog devices.

Модуль гальванічної розв'язки реалізуємо на аналоговій мікросхемі PC48 Sharp.

Постійний записуючий пристрій - на мікросхемі AT2910A-90JC Atmel.

Оперативна пам'ять - мікросхема EPM3064ATC100-10 Altera.

Цифро-аналогові перетворювачі - AD5300.

Пристрій з вихідними драйверами - мікросхема ADM222AR Analog devices.

Драйвер посилення потужності - ULN2803A Motorola.

Драйвера зі схемою захисту від перевантаження по струму - A3972SB24 AllegroMicro.

3.7 Проектування вузла системи автоматизованого електропривода

Основним вузлом проектованої установки є вузол програмного керування, що складається з мікропроцесора ADSP2185 і постійного записуючого пристрою AT29C10. Принципова схема постійного записуючого пристрою наведена на рис. 3.23.

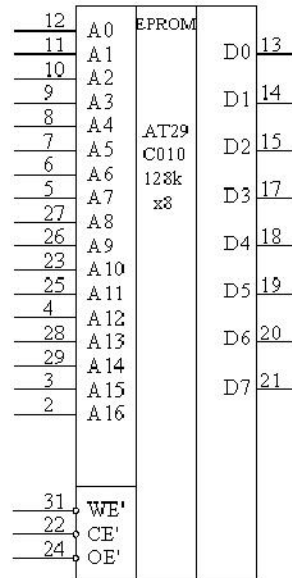


Рисунок 3.23 - Принципова схема постійного записуючого пристрою

Сімейство процесорів ADSP - 2100 [7] являє собою ряд програмованих процесорів і мікрокомп'ютерів на одному кристалі, який об'єднує загальна базова архітектура, оптимізована для цифрової обробки сигналів і інших операцій у галузі високошвидкісної обробки цифрових даних.

Дані процесори містять наступні функціональні пристрої:

Обчислювальні пристрої - три незалежних обчислювальних пристрої з повним набором функціональних можливостей: арифметико - логічний пристрій (АЛП), помножувач - накопичувач (помножувач) і пристрій циклічного зсуву. Обчислювальні пристрої обробляють дані розрядністю 16 біт і підтримують обчислення з підвищеною точністю.

Генератори адреси даних і програмний автомат - два генератора адреси даних і програмний автомат генерують адреси для доступу до пам'яті на кристалі або зовнішньої пам'яті. Програмний автомат підтримує команди умовного переходу за один цикл і організує виконання циклів програми з

нульовими витратами ресурсів. Два генератора адреси даних дозволяють одночасно генерувати адреси для вибірок двох операндів. Програмний автомат і генератор адреси даних забезпечують постійне завантаження обчислювальних пристроїв, максимізуючи, таким чином, їх продуктивність.

Пам'ять - в сімействі ADSP - 2100 використовується модифікована архітектура, при якій дані зберігаються в пам'яті даних, а пам'ять програми містить як команди, так і дані. Всі процесори цього сімейства мають оперативний пристрій на кристалі, який включає частину простору пам'яті програми і частину простору пам'яті даних. Швидкодія пам'яті на кристалі дозволяє процесору вибирати два операнда (один - з пам'яті даних, і один - з пам'яті програми) і команду (з пам'яті програми) за один цикл.

Послідовні порти - вони забезпечують повне спряження з апаратними засобами реалізації компандування. Кожен порт може генерувати програмовані внутрішні тактові синхронні імпульси або приймати зовнішні тактові синхронні імпульси.

Таймер – запрограмований таймер/лічильник з попереднім дільником частоти разрядністю 8 біт, що забезпечує генерацію періодичних переривань.

Порт інтерфейсу хост-машини – забезпечує пряме з'єднання с хост-процесором. Порт інтерфейсу хост-машини має 16 виводів для даних и 11 керуючих виводів.

Порти прямого доступу до пам'яті - наявний в процесорі порт прямого доступу до внутрішньої пам'яті (IDMA) і порт прямого побайтового доступу до пам'яті (BDMA) забезпечують ефективну передачу даних в і з внутрішньої пам'яті. Внутрішній порт доступу до пам'яті має 16 - розрядну мультиплексууючу шину адреси і даних і підтримує роботу з 24 - розрядною пам'яттю програми. Запис даних в цей порт здійснюється асинхронно і не впливає на швидкодію процесора. Порт прямого доступу до пам'яті з байтовою організацією дозволяє здійснювати початкове завантаження і зберігання даних і команд програми.

Аналоговий інтерфейс - процесор має на кристалі засоби підтримки обробки змішаних аналогових/цифрових сигналів. Ці засоби включають аналогово - цифровий перетворювач (АЦП), цифро - аналоговий перетворювач (ЦАП), аналогові і цифрові фільтри і засоби паралельного сполучення з базовою архітектурою процесора. Перетворювачі використовують сигма - дельта модуляцію для отримання вибірки з сигналу з надлишковою дискретизацією.

Керування роботою процесора здійснюється за допомогою під'єднання кварцевого резонатора між виводами CLKIN і XTAL. Частота вхідних сигналів тактової синхронізації в два рази менше частоти командних циклів, наприклад при частоті вхідного сигналу тактової синхронізації 16,67 МГц процесор працює з тактовою частотою внутрішніх тактових синхроімпульсів (сигнал CLKOUT).

Кварцевий резонатор приєднується до виводів CLKIN і XTAL, з використанням двох конденсаторів. Паралельно включений резонатор слід використовувати на його основній частоті. Вибране значення частоти резонатора дорівнює половині необхідної частоти командних циклів процесора.

Процесор генерує сигнал CLKOUT, синхронізований щодо внутрішніх циклів процесора і має період, рівний тривалості командних циклів процесора. Для генерації сигналу CLKOUT і для поділу кожного командного циклу на послідовність внутрішніх тимчасових інтервалів, які називаються станами процесора, використовується система фазового автоматичного підлаштування частоти. Вихідний сигнал CLKOUT може бути блокований за допомогою відповідної установки біта CLKODIS в регістрі управління автобуферизацією SPORT0.

Для процесора потрібні сигнали тактової синхронізації, отримані з вхідного тактового сигналу шляхом множення частоти на 0,5. Внутрішня система фазового автоматичного підстроювання частоти ефективно використовується в процесорах для генерування внутрішніх сигналів тактової

синхронізації більш високої частоти і CLKOUT. Сигнал CLKIN повинен подаватися протягом часу встановлення фази в схемі автопідналаштування до зняття сигналу. Крім того частота тактових синхроімпульсів не може змінюватися до перезапуску процесора по сигналу.

Сигнал перезапуску зупиняє виконання операцій і призводить до перезапуску апаратних засобів процесора. Для правильної ініціалізації процесора сигнал повинен виставлятися під час включення живлення процесора. Нижче описано призначення виводів мікропроцесора.

SCLK1, RFS1, TFS1, DT1, DR1 - виводи послідовного порту 1, використовуються для зв'язку з пристроями з послідовним інтерфейсом.

SCLK0, RFS0, TFS0, DT0, DR0 - виводи послідовного порту 2, використовуються для зв'язку з пристроями з послідовним інтерфейсом.

EBG, EBR, IRD, WR, IS, IAL, IACK, IAD15 - 0 - виводи порту IDMA, служать для зв'язку з системним інтерфейсом.

Всього в процесорі ADSP - 2185 є чотири окремих області пам'яті: пам'ять даних, пам'ять програми, байтова пам'ять і пам'ять вводу-виводу. Сигнали, вказують, до якої області пам'яті здійснюється звернення.

Область складової пам'яті (і її лінія) дозволяє при доступі до одного зовнішнього пристрою зберігання даних розглядати його як декілька областей пам'яті. Регістр вибору складової пам'яті дозволяє задавати вибрані сигнали області пам'яті.

Зчитування з пам'яті (RD) і запис в пам'ять (WR) проводиться по низькому рівні. DMS приєднується до виводу CE (кристал доступний), - RD до OE (вихід дозволений), WR а – до WE (запис дозволений).

На відміну від інших процесорів, в процесорі ADSP - 2185 передбачено ряд додаткових можливостей сполучення із зовнішньою пам'яттю. До них відносяться:

- Зовнішня оверлейная пам'ять у вигляді сегментів по 8 К, які можуть перемикатися, що використовуються як старші 8 К внутрішньої пам'яті або як молодші 8 К пам'яті даних;

- Пам'ять з байтовою організацією і порт прямого побайтового доступу до пам'яті (BDMA), які забезпечують доступ максимум до 4 Мб; пам'ять з байтовою організацією підтримує завантаження і звернення під час роботи до недорогих 8 - розрядних запам'ятовуючих пристроїв; порт прямого доступу до пам'яті дозволяє користувачеві задавати кількість комірок пам'яті, які передаватимуться в або з внутрішньої пам'яті без відриву процесора від виконання основного завдання.

- Внутрішній порт прямого доступу до пам'яті (IDMA), який підтримує операцію завантаження і звернення до хост - машини (наприклад, до комп'ютера) і дозволяє користувачеві задавати кількість комірок пам'яті, які передаватимуться в або з внутрішньої пам'яті без відриву процесора від виконання основного завдання. У таблиці 3.3 представлені стани виводів процесора при перезапуску, початковому завантаженні та представленні шини.

Таблиця 3.3 Стани виводів процесора при перезапуску, початковому завантаженні, представленні шини

Операція	Шина адреси	Шина даних	PMS, DMS, BMS	RD, WR	CLKOUT	Послідовні порти	BG
Пере запуск	Знаходиться в третьому стані	Знаходиться в третьому стані	Високий рівень	Високий рівень	Активний	Знаходиться в третьому стані	Високий рівень
Автоматичне початкове завантаження після перезапуску	Активна	Активна	BMS активний, PMS, DMS високий рівень	RD активний, WR високий рівень	Активний	Знаходиться в третьому стані	Високий рівень
Повторне початкове завантаження	Активна	Активна	BMS активний, PMS, DMS високий рівень	RD активний, WR високий рівень	Активний	Активний	Високий рівень
Встановлення BR при нормальному режимі роботи, початковому завантаженні, та у режимі G0	Знаходиться в третьому стані	Знаходиться в третьому стані	Знаходиться в третьому стані	Знаходиться в третьому стані	Активний	Активний	Низький рівень
Встановлення BR під час перезапуску	Знаходиться в третьому стані	Знаходиться в третьому стані	Знаходиться в третьому стані	Знаходиться в третьому стані	Активний	Знаходиться в третьому стані	Низький рівень

3.8. Проектування схеми електропостачання та захисту установки

3.8.1 Вибір апаратів, проводів та кабелів

Вибір перерізу проводів и кабелів в електричних мережах до 1 кВ проводиться виходячи з наступних умов:

1. По допустимому нагріву струмом навантаження;
2. За відповідністю апаратів максимального струмового захисту, встановлених на початку лінії.

Вибір перерізу кабеля по допустимому нагріву виконується за таблицею допустимих струмів за умовою

$$I_{\text{доп}} \geq \frac{I_{\text{дл}}}{K_n}, \quad (3.2)$$

де K_n – коефіцієнт, який враховує фактичні умови прокладки, при нормальних умовах прокладки $K_n = 1$.

Відповідно, $I_{\text{доп}} = I_{\text{дл}} = 5,5 \text{ А}$.

Вибір перерізу за умовою відповідності апаратів максимального струмового захисту, встановлених на початку лінії.

$$I_{\text{доп}} \geq K_3 \cdot I_3, \quad (3.3)$$

де K_3 – кратність допустимого струму провідника по відношенню до I_n або струму спрацювання захисного апарата, $K_3 = 0,33$;

I_3 – при використанні плавких зхалобіжників $I_3 = I_{\text{вн}} = 10$.

$$I_{\text{доп}} \geq 0,33 \cdot 10 = 3,3 \text{ ,А}$$

Із умов (3.2) та (3.3) вибираємо найбільший допустимий струм, тобто

$$I_{\text{доп}} \geq 5,5 \text{ А}$$

Із довідника [10] слідує, що для кабеля напругою до 1 кВ з чотирма алюмінієвими жилами при допустимому струмі 55 А, переріз повинен бути 2 мм^2 , відповідно вибираємо кабель АВРГ – $3 \times 2,5 + 1 \times 1,5$.

Таблиця 3.4.

Основні параметри кабеля типу АВРГ

Позначення кабеля	АВВГ – $3 \times 2,5 + 1 \times 1,5$
Жили кабеля	Алюмінієві
Оболочка кабеля	ПВХ
Броня кабеля	Відсутня
Зовнішній покрив кабеля	Відсутній
$3 \times 2,5$	три проводи з перерізом $2,5 \text{ мм}^2$
$1 \times 1,5$	нульовий провід з перерізом $1,5 \text{ мм}^2$

В системі керування розімкнутим кроковим приводом важливі період квантування, розрядність и структура периферійних елементів. Період квантування для розімкнутого привода визначається максимальним заданням швидкості. Для розімкнутого крокового привода період квантування бажано мати не більше 100 мкс. Важлива характеристика процесора – його розрядність. Для забезпечення мікрокрокового керування в широкому діапазоні переміщень, швидкостей та прискорень необхідна розрядність процесора не менше 16. Третя важлива вимога – наявність розвиненої вбудованої периферії процесора: таймерів, пам'яті, зручного механізму опрацювання переривань та зручного зв'язку з host-EOM.

Перерахованим вимогам задовольняють 16-розрядні сигнальні процесори з фіксованою точкою, архітектура яких оптимізована для високошвидкісної обробки сигналів (мікропроцесор ADSP2185KST-133 Analog devices). При періоді квантування 100 мкс від одного процесора можна керувати декількома вісями розімкнутого крокового привода із заданням

мікрокроку близько 1,5', з похибкою позиціювання до 3 – 5', частотою обертання до 2000 об/хв та прискоренням привода до 20000 рад/с².

Тому вибираємо процесор ADSP2185KST-133 Analog devices.

Модуль гальванічної розв'язки між процесором та дискретними входами реалізуємо на аналоговій мікросхемі PC48 Sharp з вихідною напругою 5 В.

Модуль гальванічної розв'язки між процесором и вихідними драйверами реалізуємо на аналоговій мікросхемі HCPL0630 Hewlett Packard, вихідна напруга 5 В.

Схему захисту мікропроцесора реалізуємо на діодах BAV70 із зворотньою напругою 5 В.

Драйвера підсилення потужності реалізуємо на мікросхемі ULN2803A Motorola.

Вихідні формувачі струму ЛКД (драйвери) складаються із декількох функціонально-закінчених модулів, розроблених на різну потужність ЛКД. Нижче приведений опис одного з варіантів вихідного формувача.

Вихідний формувач струму двохфазний з 10-ти бітним дробленням струмів у фазах по послідовному швидкодіючому синхронному каналу.

Драйвер виконується в типорозмірі 3U кроком установки 40 мм.

Драйвер однокоординатний, 2-х фазний и представляє собою стабілізатор струму з ШІМ регулятором и використовується для захисту як лінійних, так і зичайних крокових двигунів в режимі мікрокрокового дроблення з біполярним включенням обмоток, як в розімкнутих, так і в замкнутих по положенню приводах. Величина тструму в фазах повинна передаватися по швидкодіючому синхронному каналу (максимальна швидкість передачі до 10 МБод, фізичне спряження з лінією через RS-422 з гальванічною розв'язкою). Для керування двома фазами використовується один синхронний канал з програмною дешифрацією фаз. Перетворювач код-струм 10-бітовий. Вихідний силовий підсилювач виконаний по мостовій схемі.

Передбачено декілька варіантів комплектування польовими транзисторами, наприклад, для роботи в режимі 140В, 10А або 30В, 5,5А.

Точність підтримки струму в обмотці – не менше 2-х дискрет 8-бітового цифро-аналогового перетворювача. Живлення драйвера забезпечується від одного силового джерела живлення.

Оскільки параметри описаного драйвера задовольняють проектувану установку, вибираємо драйвер типу ADM222AR Analog devices.

Зв'язок між контролером и вихідними драйверами забезпечується по швидкодіючому синхронному каналу, апаратно підтримуючому сигнальним процесором ADSP2185. Максимально можлива швидкість обміну до 10 МБод. Інтерфейс обміну - RS422.

Контролер має розвинену систему команд та гнучку систему налаштування параметрів регулятора. Програмування та налаштування необхідних параметрів виконується по послідовному каналу RS-232 115Kb або швидкодіючому RS-485.

Точність підтримки струму в обмотці повинні бути не менше 2-х дискрет 8-бітового цифро-аналогового перетворювача. Тому вибираємо 8-бітовий цифро-аналоговий перетворювач AD5300.

Постійний записуючий пристрій повинна задовольняти вимогам швидкості передачі даних (10 Мбод), пам'яті та підтримувати інтерфейс обміну - RS422. Цим вимогам задовольняє постійна записуюча установка на мікросхемі AT2910A-90JC Atmel.

Аналогічні вимоги пред'являються до оперативної пам'яті. Оперативну пам'ять реалізуємо на мікросхемі EPM3064ATC100-10 Altera.

Оскільки необхідна частота командних циклів процесора рівна 33 МГц, так як частота резонатора повинна бути вдвічі менше частоти командних циклів, вибираємо резонатор з частотою 16 МГц HC49/4H.

Вибираємо мікросхеми логічні "I" типу 74HC080 National Semiconductor з вхідними струмами 0,5 мА и напругою 5 В.

Вибираємо штирі: XT2 – PLD2-26, XT3 – PLD14.

Оскільки вхідний струм виводів мікропроцесора складає 0,5 мА, а напруга стабілізованого джерела живлення складає 5В, вибираємо набір

резисторів DR1...DR4 ARC241 з опором 10 кОм, тоді струм виводів мікросхеми процесора складе:

$$I = \frac{5}{10000} = 0,5 \text{ мА.}$$

Оскільки вхідний струм виводів мікросхеми постійного записуючого пристрою AT29C010 складає 2,3 мА, вибираємо набір резисторів DR5, DR6 ARC241 з опором 2,2 кОм, тоді струм виводів мікросхеми постійної записуючої установки складе:

$$I = \frac{5}{2200} = 2,3 \text{ мА.}$$

3.8.2 Складання таблиці переліку елементів електрообладнання установки

Перелік елементів установки представлений у таблиці 3.5.

Таблиця 3.5. Перелік елементів установки

Позначення	Найменування	К-ть	Примітка
	Документація		
	Пояснювальна записка	1	
	Електродвигуни		
	НР 30848101	3	
	Мікросхеми		
DR1..DR4	Набір резисторів ARC241 10 кОм	5	
DR5, DR6	Набір резисторів ARC241 10 кОм	2	
DD3	74HC08D	1	
DD5	ADSP2185KST-133	1	
DD6	AT29C010A-90JC	1	
	Конденсатори		
C4, C5	ЧІП 0805 18 пФ 50 В NPO	2	
BQ1	Резонатор 16 MHz HC49/4H		
XT2	Штир PLD2-26	1	
XT3	Штир PLD14	1	

ВИСНОВКИ

В даній магістерській роботі спроектований автоматизований електропривод двокоординатного модуля для виготовлення інтегральних мікросхем. В даній установці використовується лінійний кроковий двигун с аеростатичними опорами. Спроектований модуль має переваги перед модулями традиційного типу, виконаними на основі обертових двигунів, оскільки в них необхідне застосування кінематичних перетворювачів (гвинт-гайка, кулькова гвинтова пара та ін). Внаслідок застосування аеростатичних опор, модуль на основі лінійних крокових двигунів є практично “безфрикційним” модулем руху. Це забезпечує відсутність зносу та збереження характеристик привода під час експлуатації. Оскільки немає необхідності використовувати кінематичні перетворбвачі руху, підвищується надійність системи, та скорочуються строки регламентних робіт.

Керування автоматизованим електроприводом спроектованої установки забезпечується з допомогою сигнального мікропроцесора ADSP2185KST-133. Сімейство ADSP-2100 представляє собою ряд програмованих процесорів на одному кристалі, які об’єднує загальна базова архітектура, оптимізована для цифрової обробки сигналів та інших операцій в області високошвидкісної обробки цифрових даних. Даний процесор задовольняє вимогам до мікропроцесорів, які використовується для мікрокрокового керування, має розвинену вбудовану периферію: таймери, пам’ять, зручний механізм обслуговування переривань та зручний зв’язок з host-EOM (комп’ютером).

ЛІТЕРАТУРА

1. Лук'янов М. О. Вентильно-індукторний двигун з покращеними тяговими характеристиками / М. О. Лук'янов // Вісник Національного технічного університету "ХПІ". Сер. : Нові рішення в сучасних технологіях: зб. наук. пр. – Харків : НТУ "ХПІ", 2020. – № 2. – С. 23-29.
2. Основи електропривода виробничих машин та комплексів [текст]: навч. посіб. / В.Е. Воскобойник, В.А. Бородай, Р.О. Боровик, О.Ю. Нестерова – Д.: Національний ТУ «Дніпровська політехніка», 2021. – 254 с.
3. Karii M. O., Pavliuchenko V. L., Zhuikov V. Y., Verbytskyi Y. V., Yamnenko Y. S., — Elektropyvid z ventylno-induktornym elektrodvyhunom [Electric drive with switched-reluctance motor], Patent UA 127633 U, 2018.
4. Галай М. В. Імпульсні, цифрові та релейні системи автоматичного керування: навчальний посібник: – Полтава: ПолтНТУ, –2002. – 222 с.
5. Галай М. В. Лінійні неперервні системи автоматичного керування: навчальний посібник: – Полтава: ПолтНТУ, – 2001. – 140 с.
6. СВ Альтера – крокові двигуни [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://www.svaltera.ua/>
7. «Артель» – серводвигуни проти крокових двигунів [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://artelua.com/servodvigatel-vs-steppingmotors.html>
8. Грищук Ю.С. Мікропроцесорні пристрої :Навчальний посібник. – Харків: НТУ «ХПІ, 2007. – 280 с.
9. Костинюк, Л.Д. Мікропроцесорні засоби та системи [Текст]/ Л.Д. Костинюк, Я.С. Парганчук. – Львів.: Львівська політехніка, 2001. – 200 с.
10. Мікропроцесорна техніка [Текст]: навч. посібник/В.В. Ткачов, Г. Грулер, М-59 Н. Нойбергер та ін. – Д.: Національний гірничий університет, 2012. – 188 с.
11. Невзоров А.В. Мікропроцесорні системи управління в галузі: Методичний посібник. Ч.1 – Основи роботи в системах

автоматизованого проектування цифрових та мікропроцесорних пристроїв – Умань: УНУС – 2011 р. – 53 с.

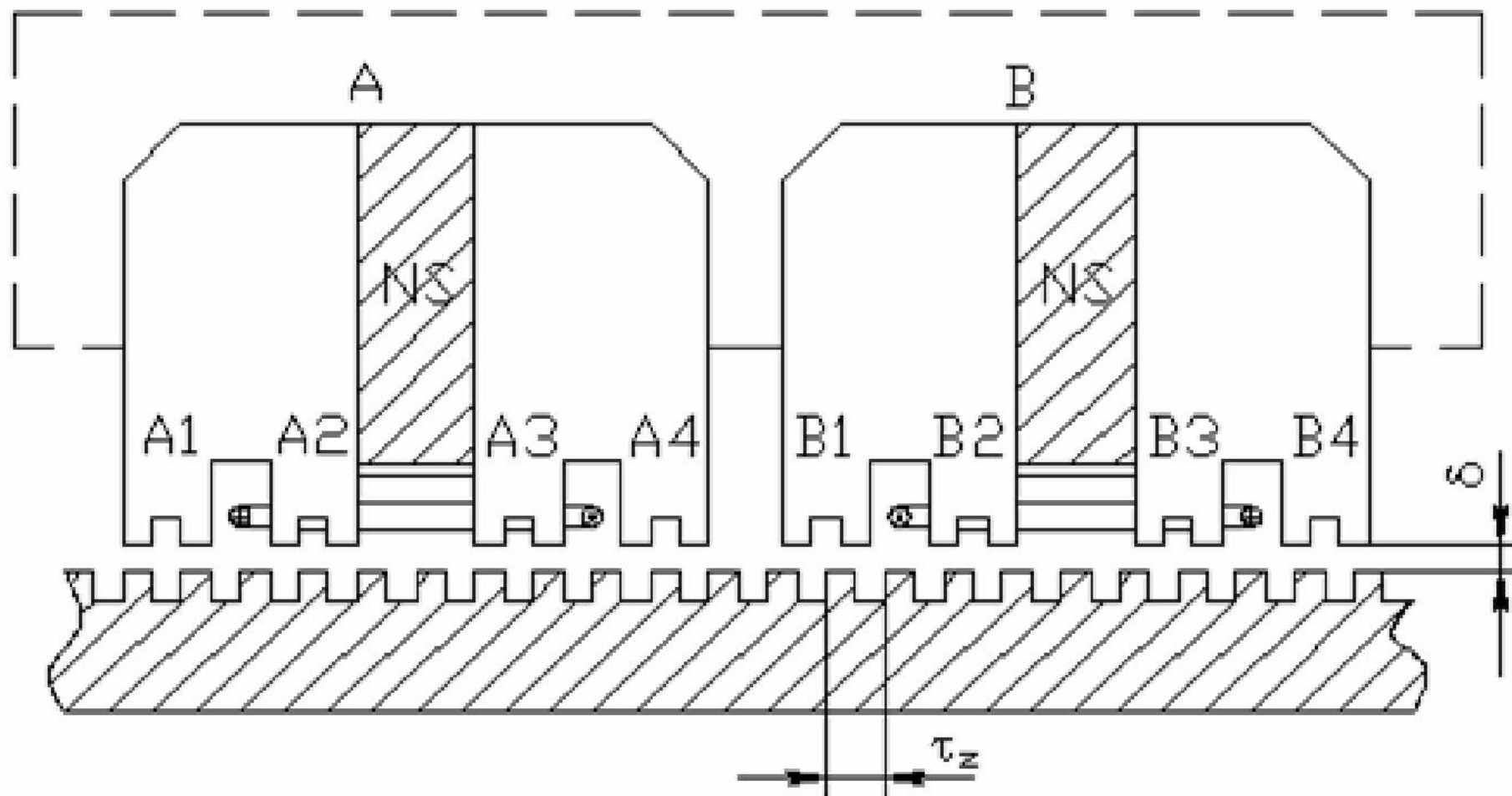
12. Півняк Г. Г. Сучасні частотно-регульовані асинхронні електроприводи з широтно-імпульсною модуляцією/ Г.Г. Півняк, О. В. Волков. – Дніпропетровськ, НГУ, 2006. – 470 с.
13. Boukoberine M. N., Zhou Z., & Benbouzid M., «A critical review on unmanned aerial vehicles power supply and energy management: Solutions, strategies, and prospects», *Applied Energy*, 2019, 255, DOI:10.1016/j.apenergy.2019.113823.
14. Laskaris K. I. & Kladas A. G., «Internal Permanent Magnet Motor Design for Electric Vehicle Drive», *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, 57(1), 2010, 138–145, DOI:10.1109/tie.2009.2033086.
15. Widmer J. D., Martin R., & Kimiabeigi M. (2015), «Electric vehicle traction motors without rare earth magnets», *Sustainable Materials and Technologies*, 2015, 3, pp. 7–13., DOI:10.1016/j.susmat.2015.02.001.
16. Ramu Krishnan, «Permanent Magnet Synchronous and Brushless DC Motor Drives», CRC Press, 2010, 611 p., DOI: 10.1201/9781420014235.
17. Chiba A. & Kiyota K., «Review of research and development of switched reluctance motor for hybrid electrical vehicle», *IEEE Workshop on Electrical Machines Design, Control and Diagnosis (WEMDCD)*, 2015, pp. 127-131, DOI:10.1109/wemdcd.2015.7194520.
18. Jiang C., Chau K. T., Liu C. & Han W., «Design and Analysis of Wireless Switched Reluctance Motor Drives», *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, 2018, 1–1, DOI:10.1109/tie.2018.2829684.

Актуальність теми

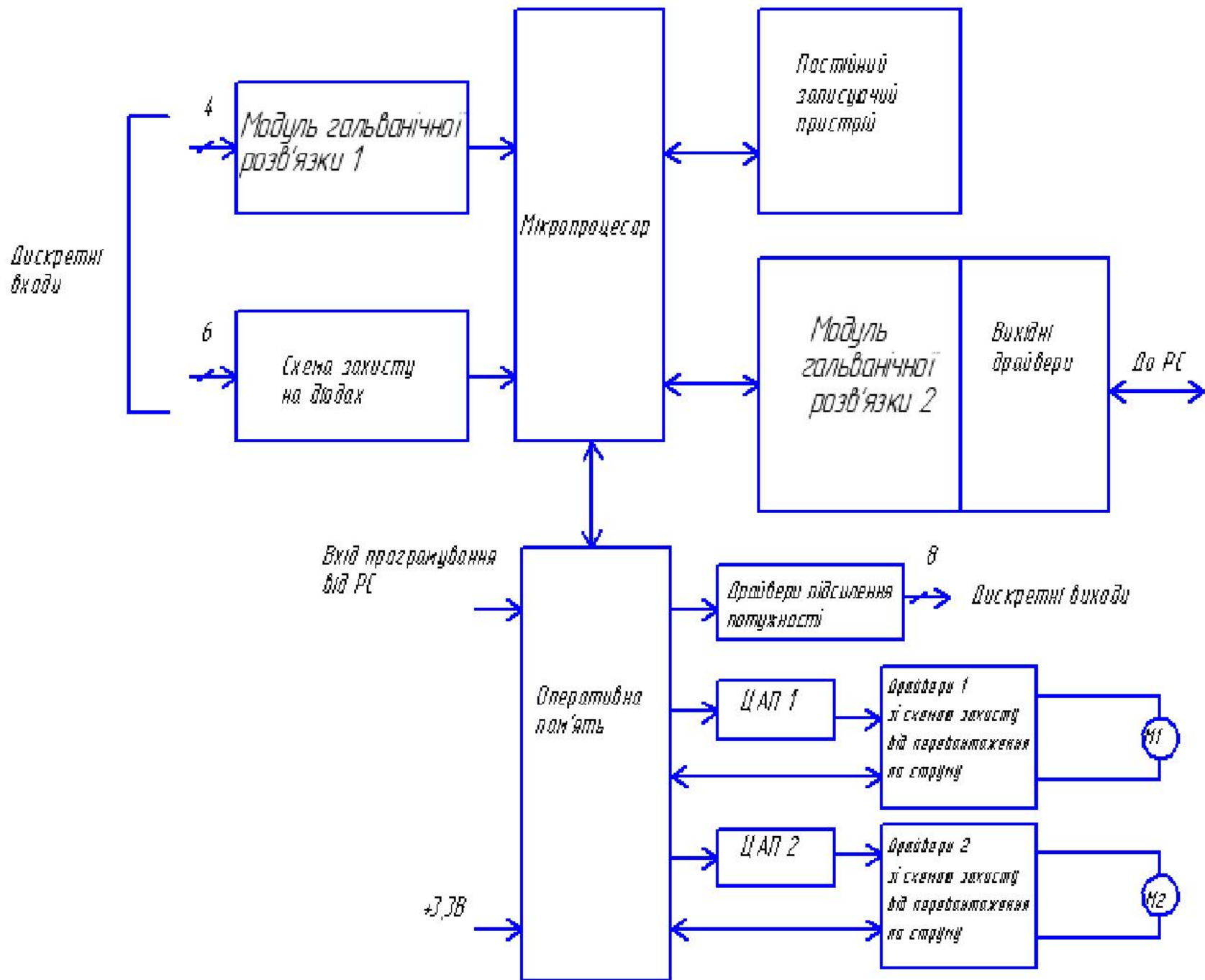
Сучасний розвиток мікроелектроніки характеризується постійним зростанням ступеня інтеграції компонентів та переходом до нанометрових технологічних вузлів. Виготовлення та контроль мікросхем високого ступеня інтеграції вимагають точності позиціювання робочих інструментів або підкладок.

Мета роботи

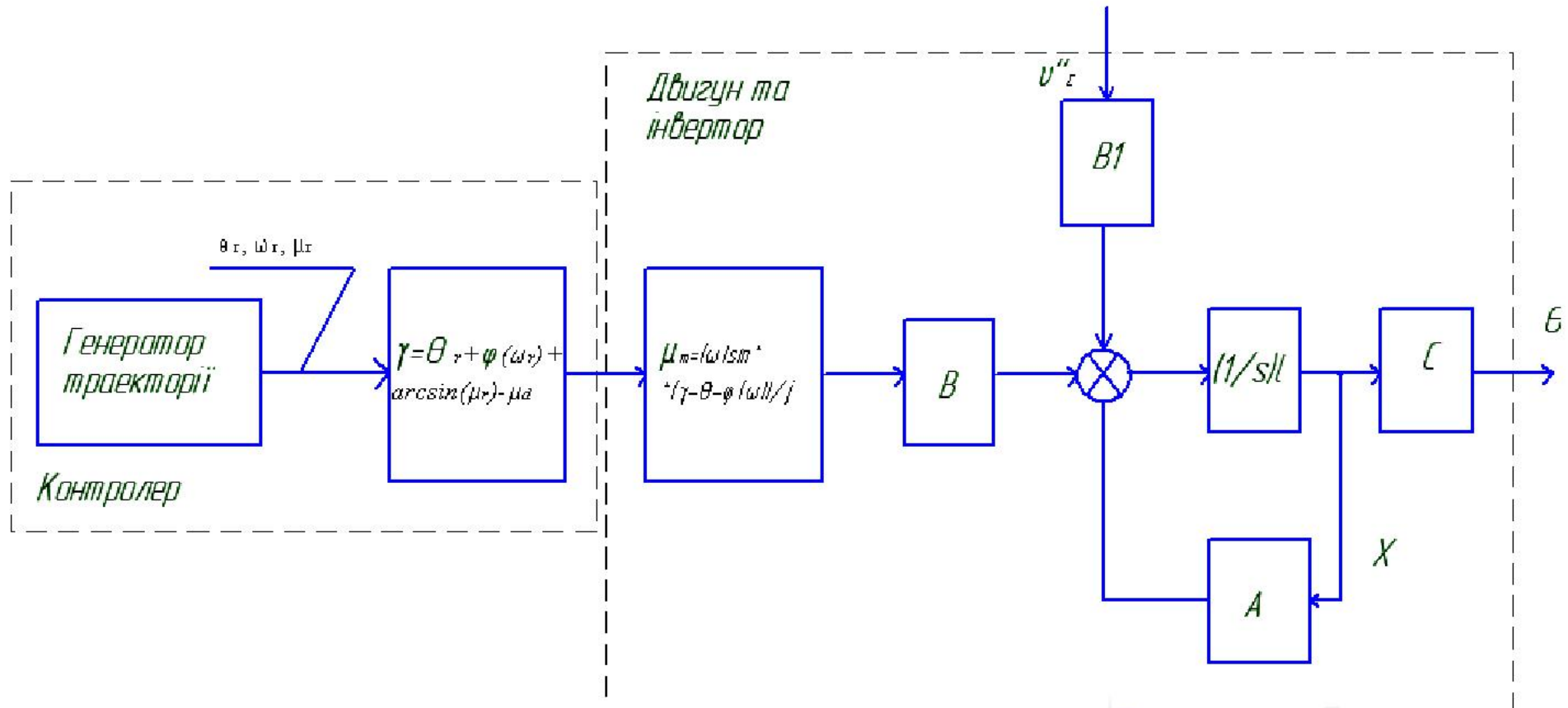
Метою роботи є дослідження та вдосконалення характеристик двокоординатного транспортного модуля на основі лінійних крокових двигунів для забезпечення прецизійного позиціювання зондової установки при виробництві мікросхем високого ступеня інтеграції.

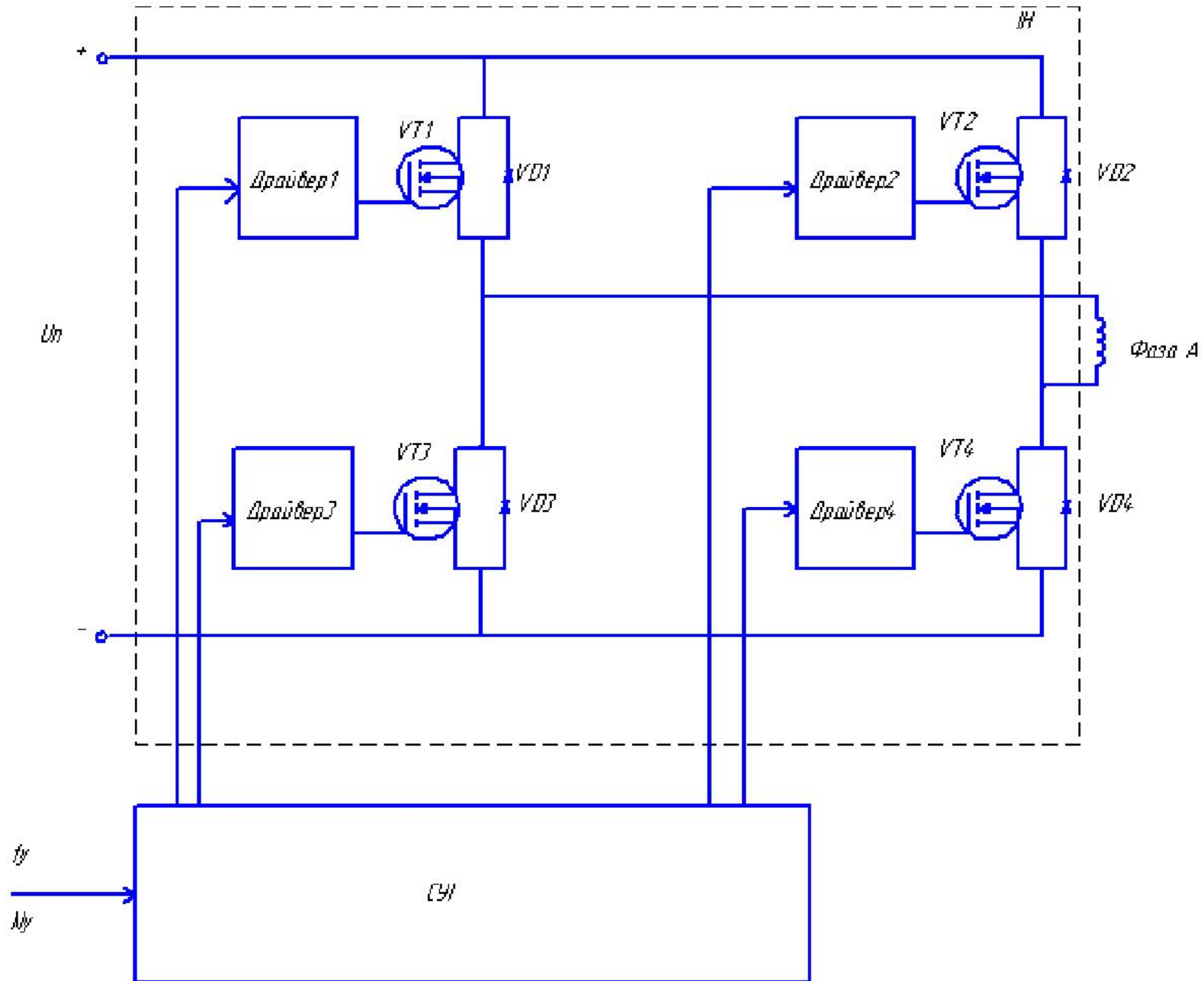


Функціональна схема електроприводу

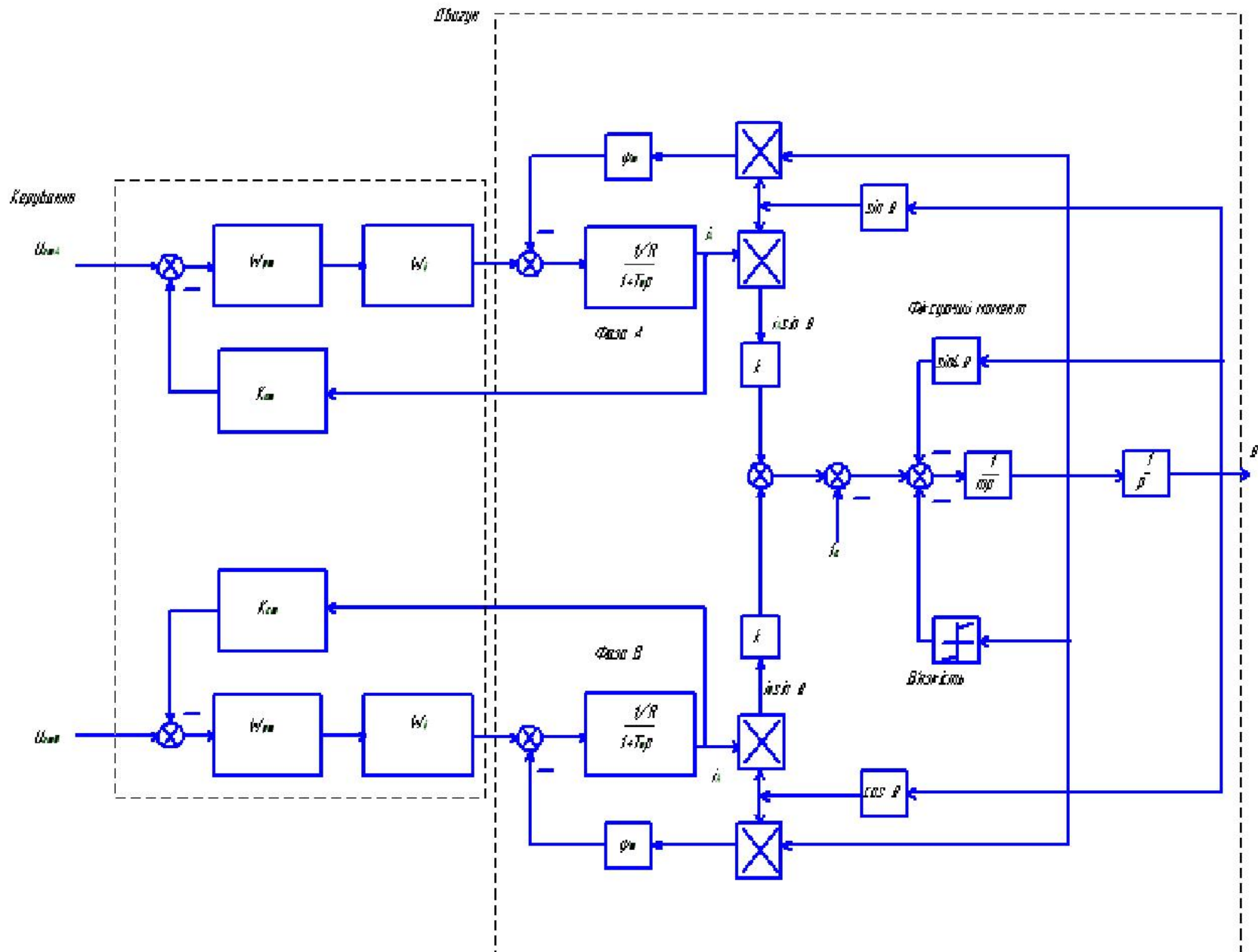


Структура розімкнутого крокового приводу

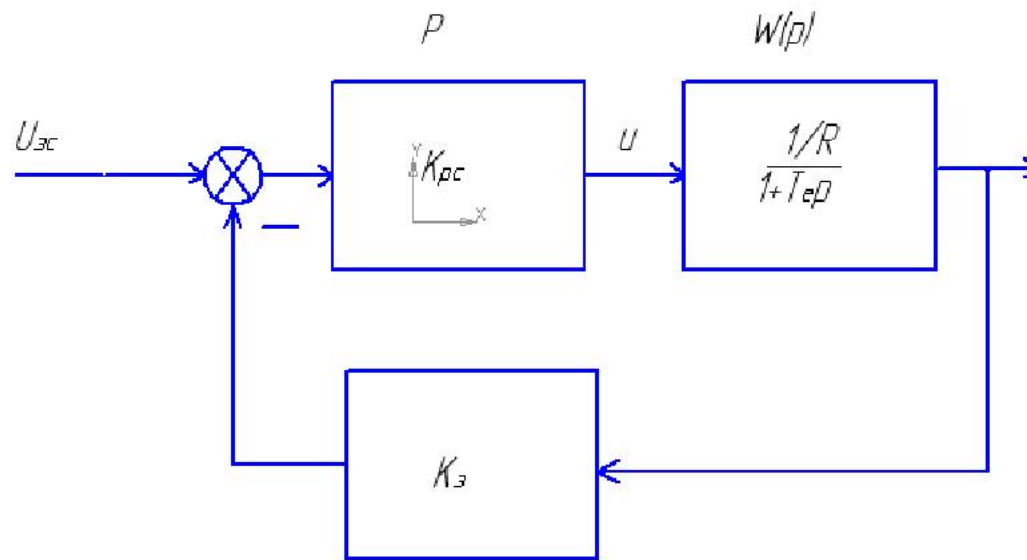




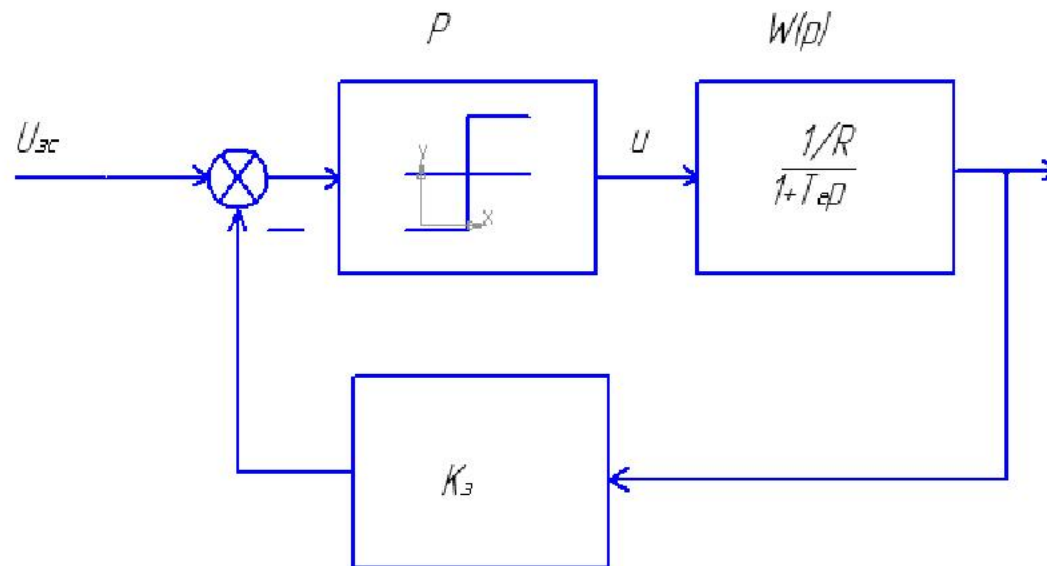
Структурна схема автоматизованого електроприводу з лінійним кроковим двигуном



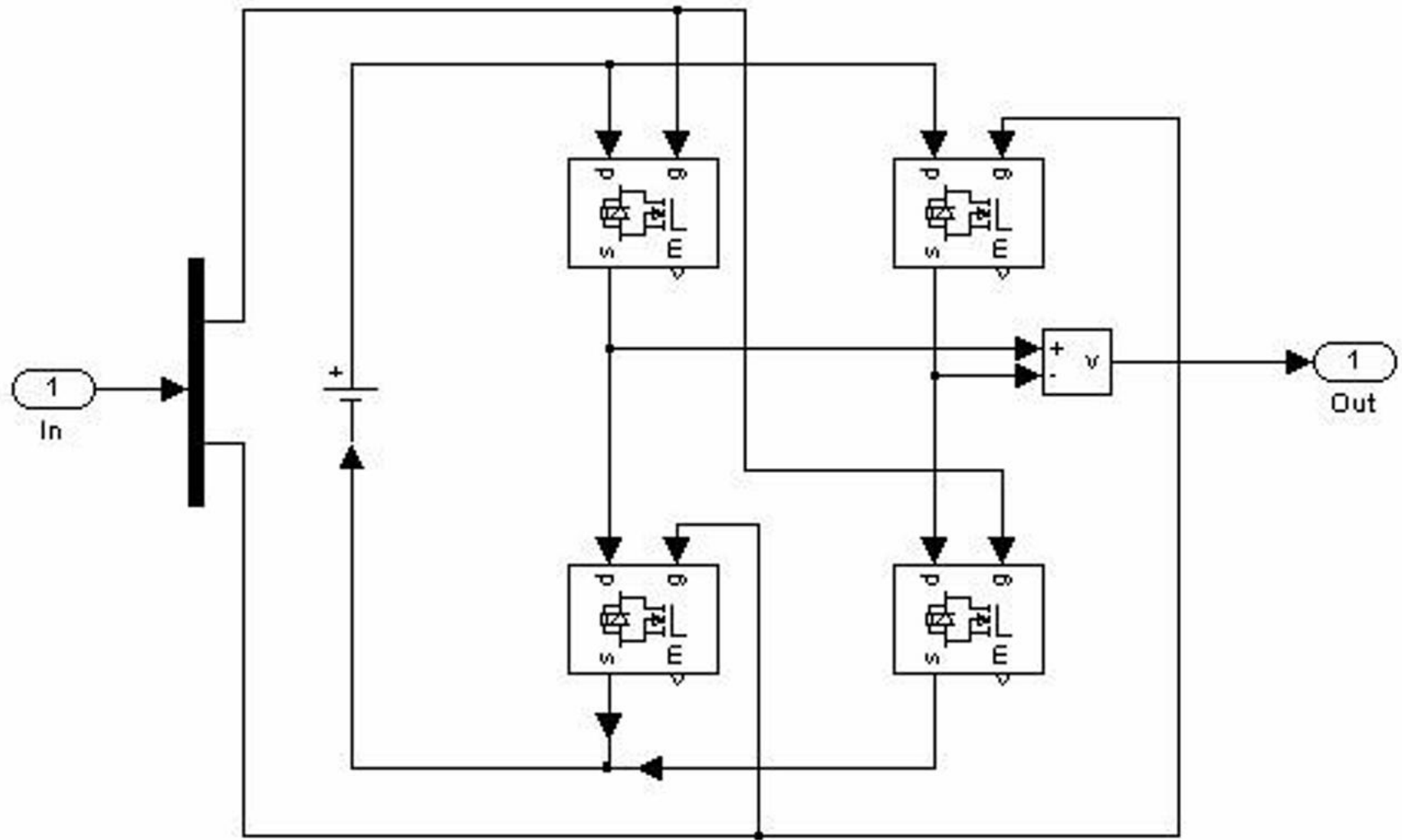
Контур регулювання струму

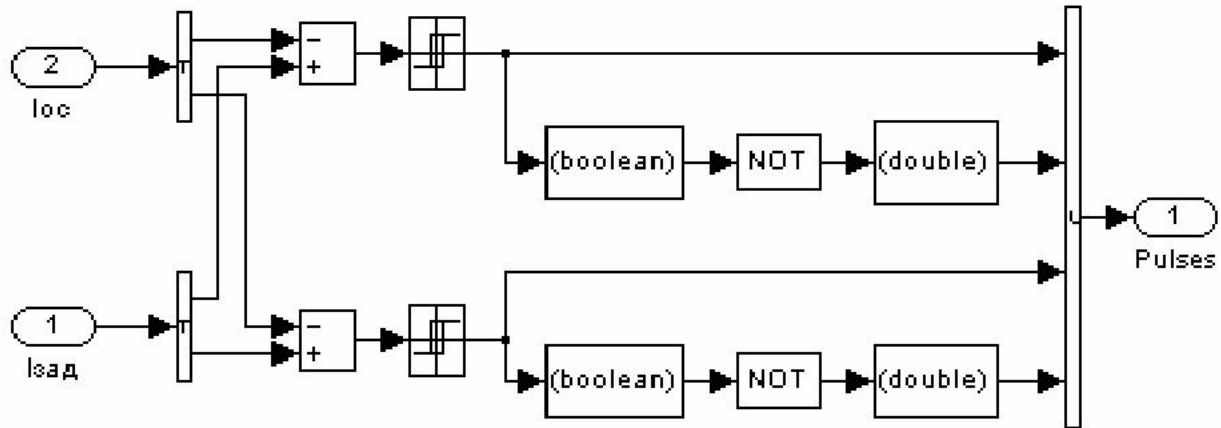


Контур регулювання струму з релейним регулятором



Імітаційна модель двофазного мостового інвертора



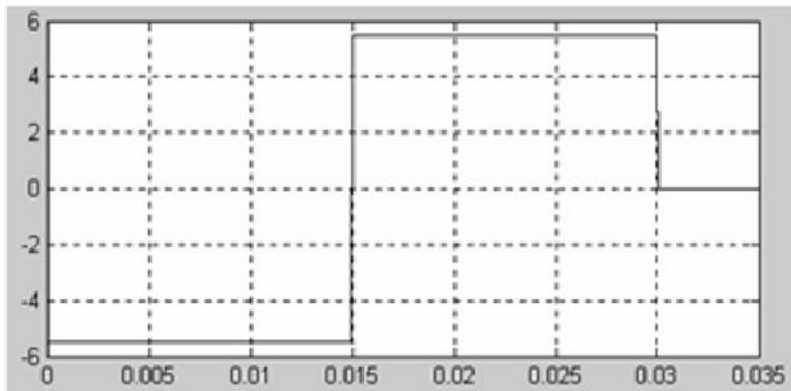


Сигнал завдання струму фази А

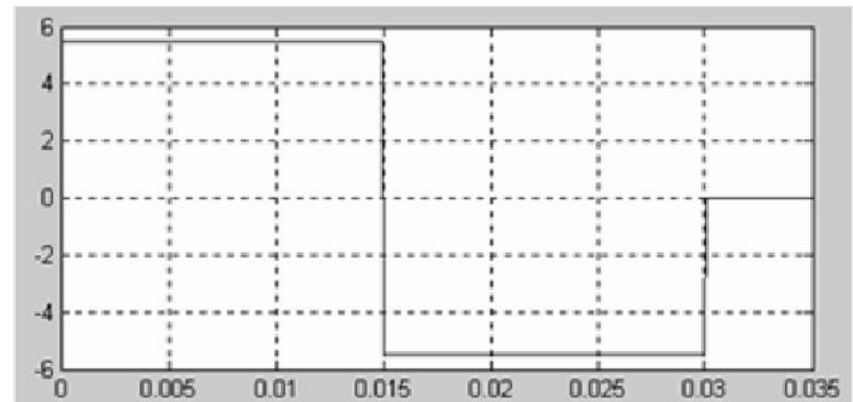
Сигнал завдання струму фази В

U_с А, В

U_с В, В

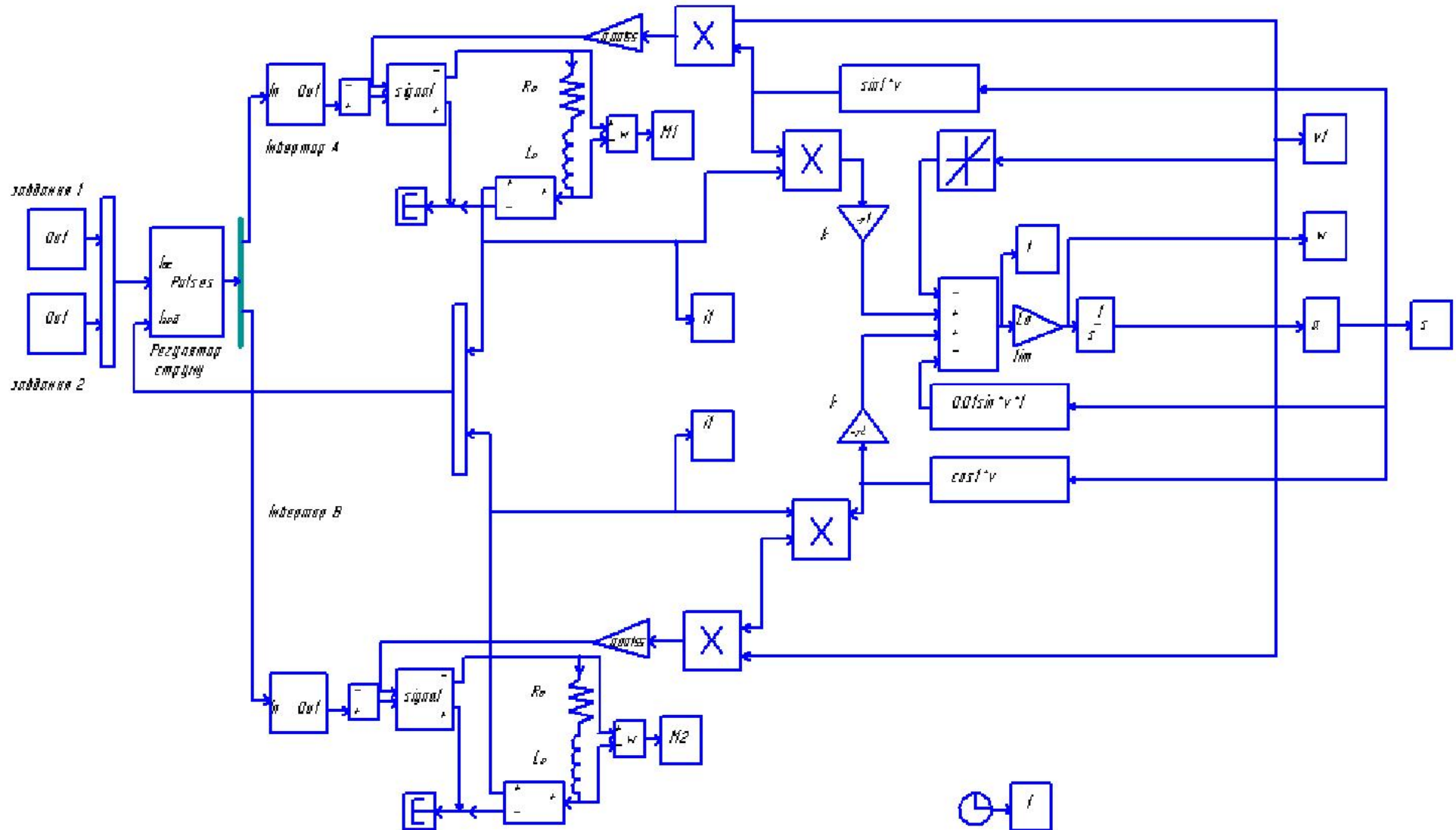


t, с

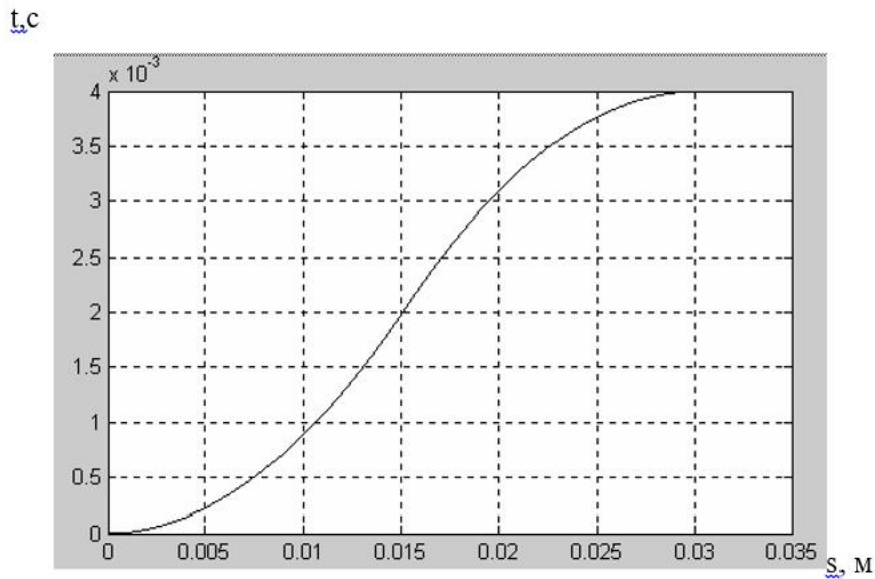


t, с

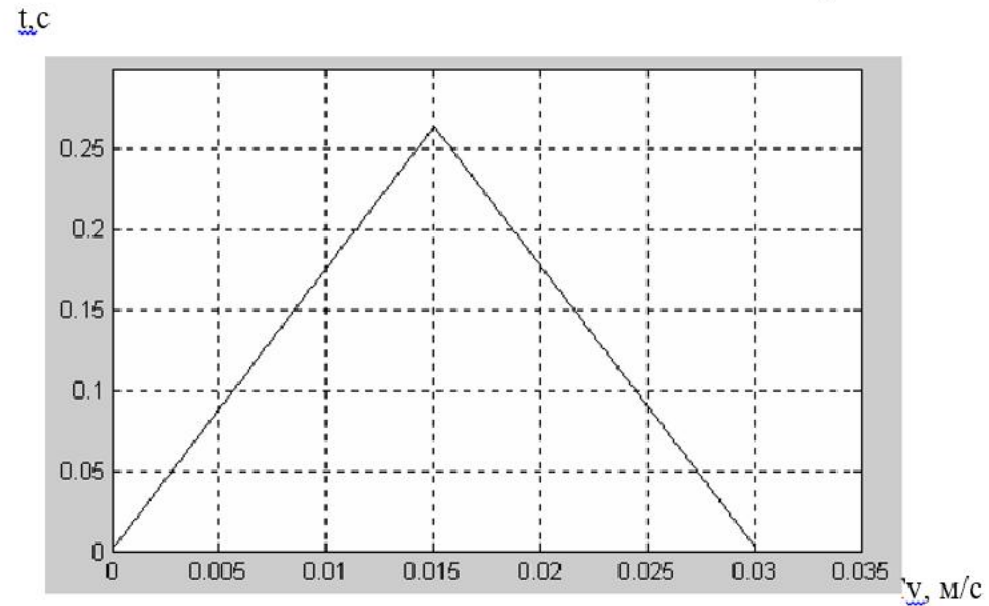
Імітаційна модель електропривода проектованої установки



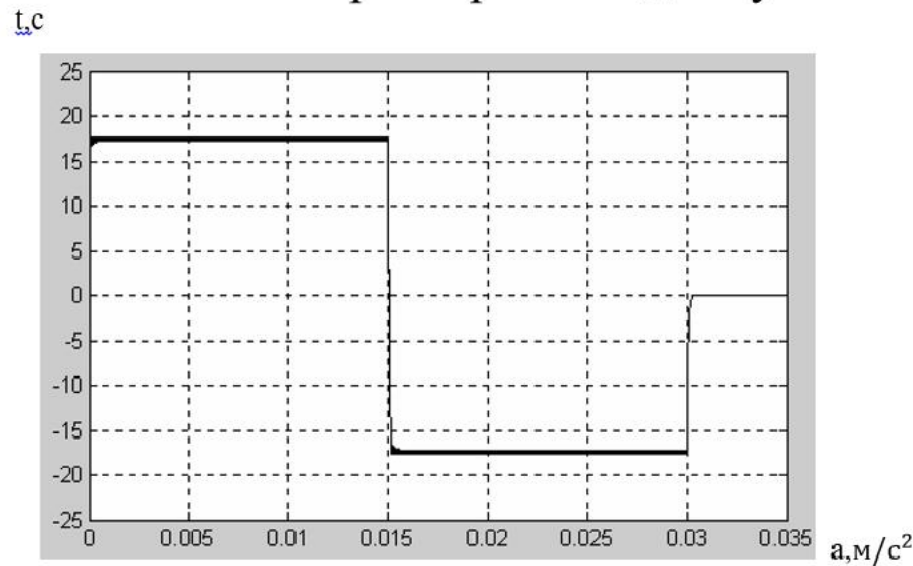
Залежність переміщення від часу



Залежність швидкості від часу

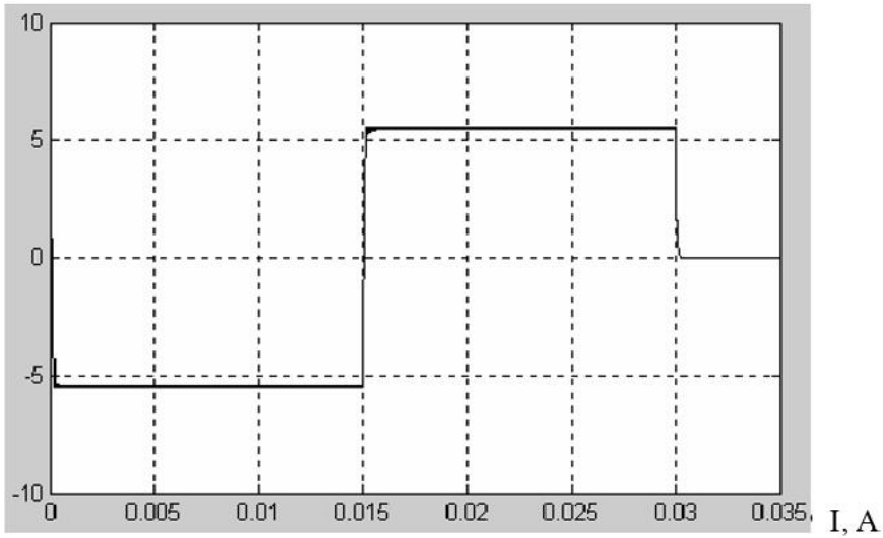


Залежність прискорення від часу



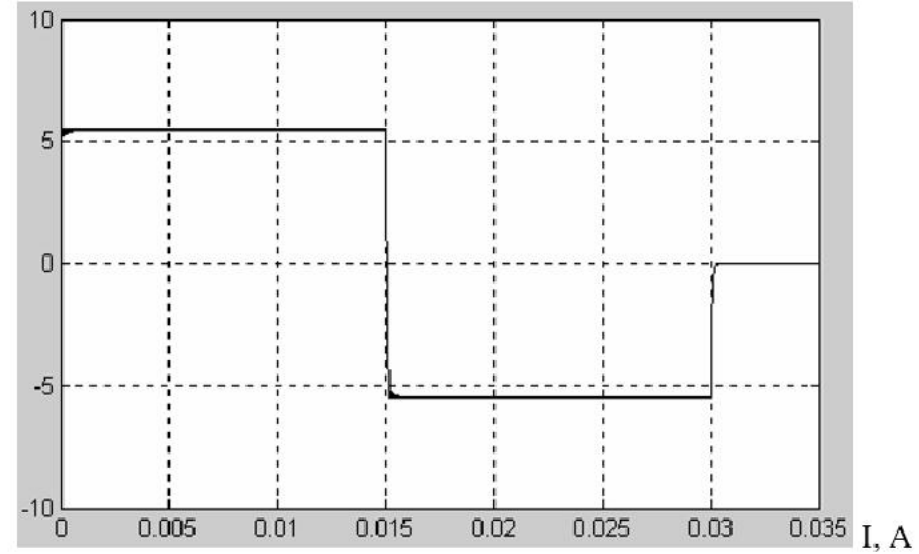
Залежність струму фази А від часу

t, c



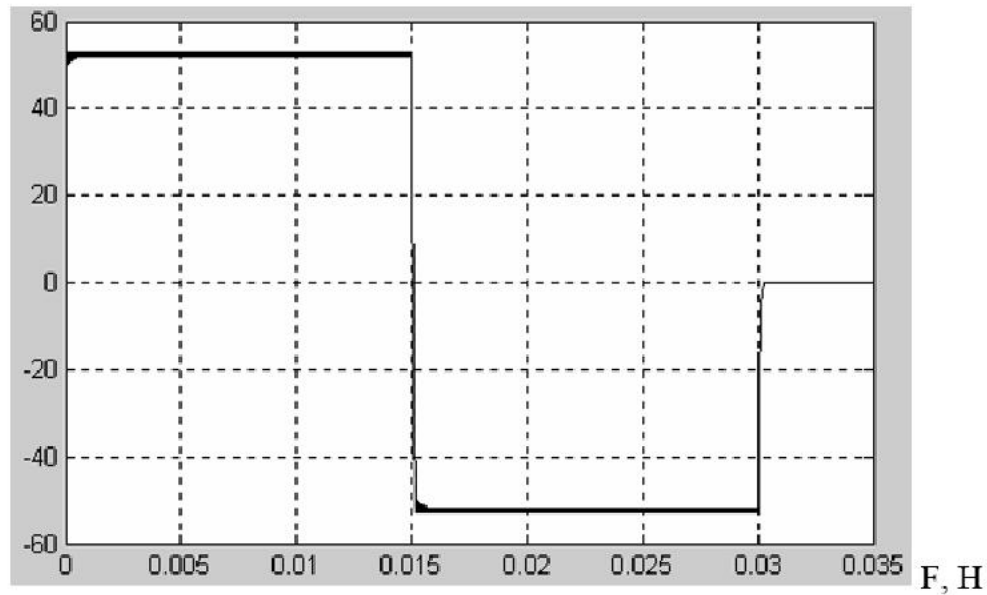
Залежність струму фази В від часу

t, c

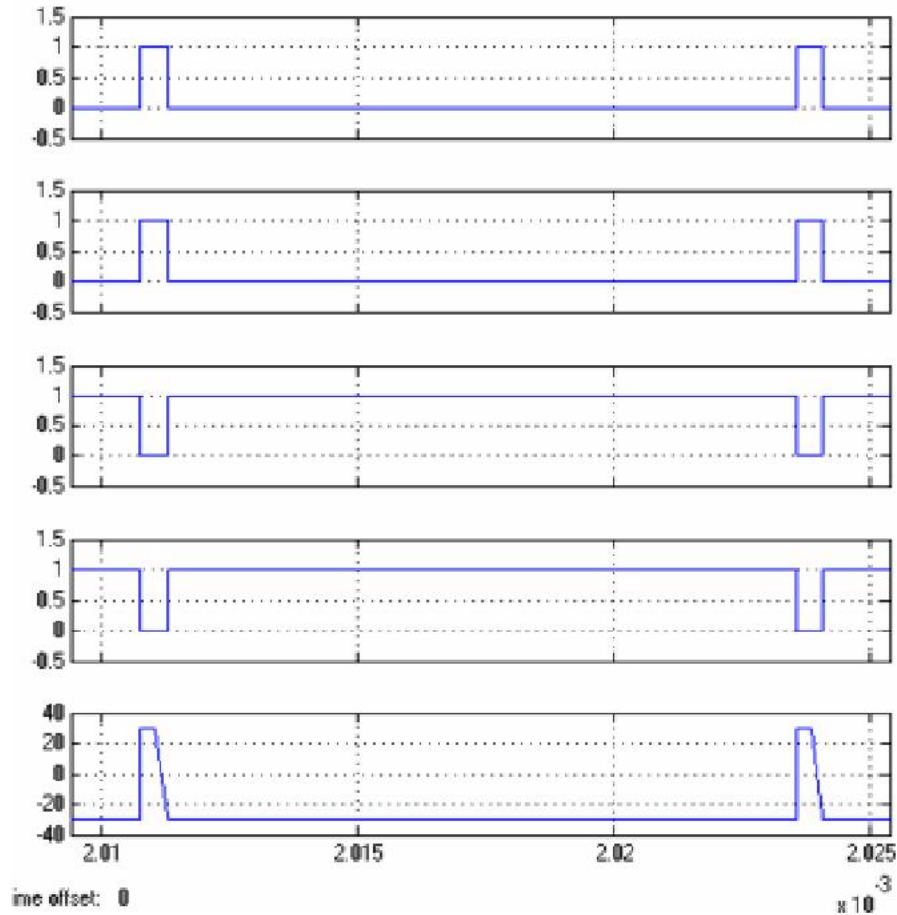


Залежність тягового зусилля від часу

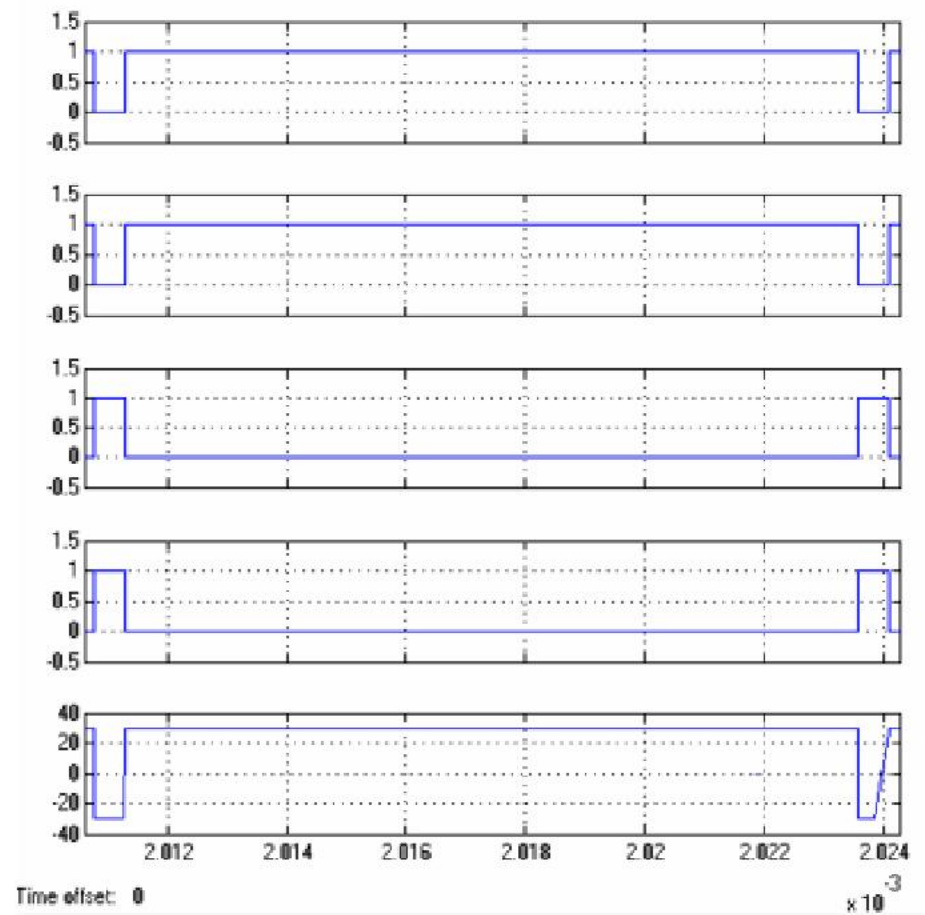
t, c

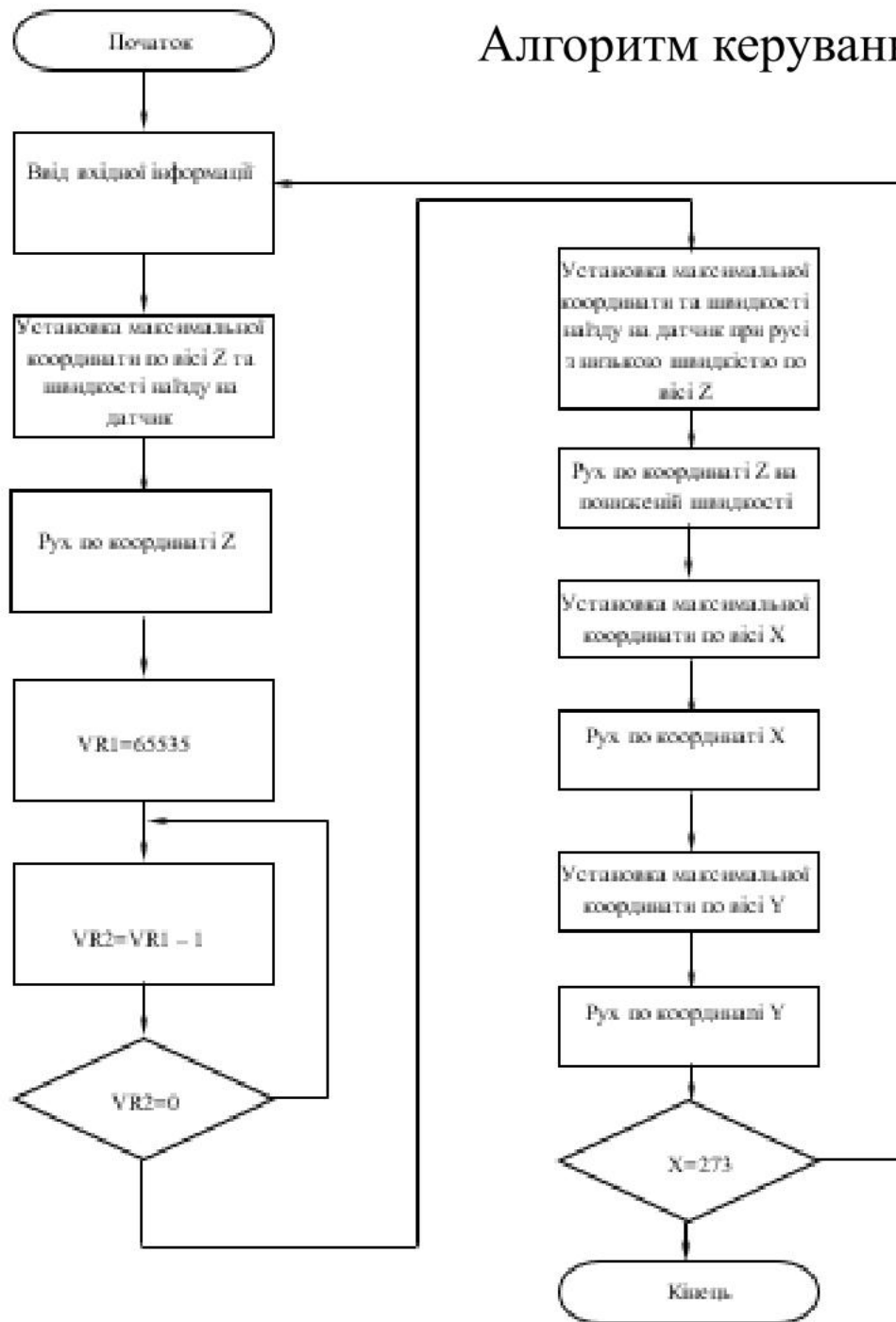


Алгоритм роботи ключів інвертора фази А



Алгоритм роботи ключів інвертора фази В





ВИСНОВКИ

В даній магістерській роботі спроектований автоматизований електропривод двокоординатного модуля для виготовлення інтегральних мікросхем.

В установці використовується лінійний кроковий двигун с аеростатичними опорами.

Спроектований модуль має переваги перед модулями традиційного типу, виконаними на основі обертових двигунів, оскільки в них необхідне застосування кінематичних перетворювачів (гвинт-гайка, кулькова гвинтова пара та ін).

Внаслідок застосування аеростатичних опор, модуль на основі лінійних крокових двигунів є практично “безфрикційним” модулем руху.

Це забезпечує відсутність зносу та збереження характеристик привода під час експлуатації. Оскільки немає необхідності використовувати кінематичні перетворбвачі руху, підвищується надійність системи, та скорочуються строки регламентних робіт.